

А. АТАНАСОВ

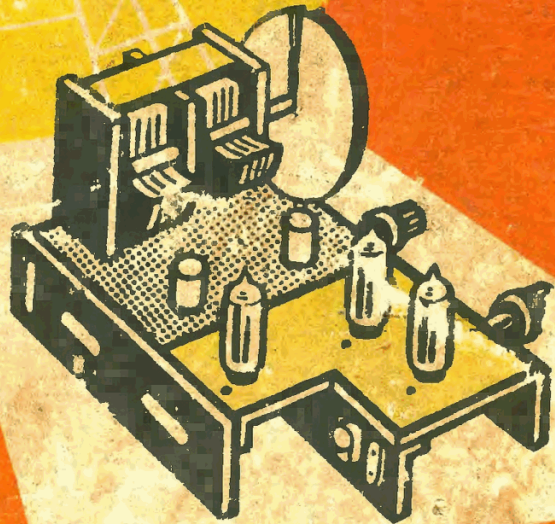
А. СОКАЧЕВ

В. ТЕРЗИЕВ

И. ГАНЕВ

Н. МАСЛЕВ

Учебник за радиоловбителя



ТЕХНИКА

А. АТАНАСОВ, А. СОКАЧЕВ, В. ТЕРЗИЕВ,
И. ГАНЕВ, Н. МАСЛЕВ

Учебник
за Радиоловбителя
ВТОРО ПРЕРАБОТЕНО И ДОПЪЛНЕНО ИЗДАНИЕ

*Сканиране: Петко Петков, обработка: LZ2WSG
20 януари 2009 година, KN34PC*

ТЕХНИКА
СОФИЯ * 1966

Учебникът за радиоловителя е съобразен с учебната програма на ЦК на ДОСО, по която се води подготовката в курсовете за квалификация на радиоловители конструктори и в професионалните курсове по радиотехника.

В учебника е застъпен материал по обща електротехника, обща радиотехника, радиолампи, транзистори, радио-приемници, захранване на радиоапаратурите, на усилватели, УКВ техника, измервания в радиоапаратурите и на края е разработен ценен материал за практическа работа по радио-конструкторство. За да бъде използван учебникът от по-широк кръг читатели, теоретичният материал от всички раздели е написан на достъпен език с предимство на физикалното обяснение на процесите и явленията. В книгата са дадени достатъчно схеми и практически примери, които помагат за създаване на верни представи и добиване на трайни знания у читателите.

В учебника са систематизирани всички въпроси, които живо интересуват радиоловители, и той е ценно помагало в тяхната практическа дейност.

ПРЕДГОВОР

Досега за нашите радиолюбители са издавани голям брой книги по различни въпроси в областта на радиотехниката. Напоследък обаче бурното развитие на техниката и особено на ракетостроенето изисква все по-съвършени и сигурни средства за управление и свързка на далечни разстояния. За нуждите на телеуправлението, което намира широко приложение в самонасочването на балистичните, орбиталните и космическите ракети, се строят апаратури за управление и свързка, които действуват с изумителна точност. Миролюбивите народи от цял свят възторжено посрещнаха съобщенията на ТАСС за първите полети в космоса на съветските космонавти.

Радиолюбителите от цял свят също не останаха безучастни към тези велики постижения на съветската астронавтика. Те с небивал интерес приемаха сигналите, предавани от „техните кореспонденти“ — съветските спътници и космически кораби. Голям брой наши радиолюбители слушаха със своите приемници и записваха на магнетофонни ленти тези сигнали, излъчвани на къси и ултракъси вълни.

Напоследък все по-често се появяват статии в списанията, а също така и в отделни книги се разглеждат практически проблеми от техниката за УКВ, транзисторната техника и от други области на радиотехниката, които предствавляват голям интерес за радиолюбителите, и то предимно за по-напредналите. По-малко книги обаче се издават за средно подготвените и начеващите радиолюбители. Ето защо с издаването на настоящия учебник ЦК на ДОСО, редакцията и авторите са си поставили за цел да запълнят до известна степен тази празнота в издаваната у нас радиолюбителска литература.

Учебникът е съобразен с програмата на ЦК на ДОСО, по която се водят занятията в курсовете по радиотехника за професионални техници. В него са разгледани въпроси от основите на електротехниката и радиотехниката, като е обърнато внимание на физикалната същност на явленията в светлината на материалистическото схващане за устройството на материята. Разглеждането на останалите въпроси от радиотехниката има подчертан практически характер. В последната глава — „радиоконструкторство“, която е обобщение на изложения в предшествуващите глави материал, са дадени практически схеми и изчисления за самостоятелно изпълнение на редица любителски конструкции.

Поради малкия обем на учебника в него не са разгледани практическите въпроси за високоговорителите и радиофицирането. По същата причина не са застъпени и никакви въпроси от телевизията и звукозаписа.

При написването на учебника авторите са използвали наша и чуждестранна литература, която е посочена в края на книгата.

Авторите ще приемат с благодарност всички забележки на читателите и особено на преподавателите в професионалните курсове по радиотехника, за които е пригоден настоящият учебник.

Бележките и преценките както по достоверността на изложения материал, така и по методиката на неговото разработване да се отправят до издателството.

Отделните глави са написани, както следва: I, II и III — от Н. Маслев; IV — от Ив. Ганев; V, VI, VII и X — от инж. Анг. Сокачев; VIII — от инж. Ал. Атанасов; IX — от инж. В. Терзиев.

От авторите

ОСНОВИ НА ЕЛЕКТРОТЕХНИКАТА

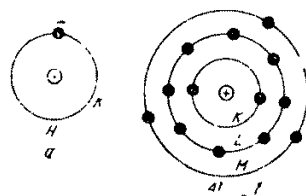
I. ЕЛЕКТРОСТАТИКА

а. Строеж на веществото

Съгласно електронната теория атомът се състои от *положително ядро*, около което по елиптични орбити обикалят *електроните*, носители на *отрицателен електрически заряд*. Орбитите са разпределени на слоеве, които могат да бъдат най-много 7: *K, L, M, N, O, P* и *Q*. Всеки слой може да съдържа точно определен брой максимум електрони. В електрически неутралния атом отрицателният товар на електроните е равен на положителния товар на ядрото. При движението си около ядрото електроните могат да прескачат от една орбита на друга, като при приемане на енергия отвън (напр. при загряване) електронът прескача на по-външна орбита. В този случай атомът се намира във *възбудено състояние*. Прескачането на електрон от по-външна на по-вътрешна орбита винаги е съпроводено с излъчване на енергия под формата на светлинен квант — *фотон*. Най-богати на енергия са електроните от най-външния слой, поради което лесно могат да напуснат атома. Тези електрони играят важна роля при химичните реакции, затова се наричат *химични* или *валентни* електрони.

Основни градивни елементи на атомното ядро са *протоните* и *неутроните*. В тези частици е съсредоточена почти цялата маса на атома, поради което се наричат „тежки“ частици. Протоните са носители на *положителен електрически заряд*, равен на този на електроните. Броят им в атомното ядро е равен на броя на електроните, поради което в нормално състояние атомът е *електрически неутрален*. Неутроните имат маса, почти равна на тази на протона, но нямат електрически заряд. Броят на протоните в ядрото определя номера на елемента в периодичната таблица на Менделеев, а сборът от протоните и неутроните дава атомното тегло на елемента.

Днес се знае, че в атомното ядро се съдържат и други частици с маса, много по-малка от тази на протона, като *позитрони*, *неутрино* и



Фиг. 1-1

др. Дори се предполага, че самите протони и неутрони са сложни — състоят се от ядро, около което обикалят *мезони*.

Най-простият атом е атомът на водорода. Ядрото му се състои от един протон, около което обикаля един електрон (фиг. 1-1, а). Той е първият елемент от таблицата на Менделеев. Тринадесетият елемент от тази таблица е алуминият, атомът на който има 13 протона и 13 електрона, разположени в три слоя: *K*, *L* и *M* (фиг. 1-1, б). Във външния слой *M* той има само 3 електрона, поради което е от трета валенция.

б. Основни понятия в електротехниката

Наелектризиране на телата. Електрически товар

Когато телата не са поставени под действието на външни сили, те са електрически неутрални. Ако обаче по някакъв начин се отнемат част от електроните на неутралното тяло, в него добива превес положителното електричество на атомните ядра. За такова тяло се казва, че е *наелектризирано положително*. Колкото повече електрони са отнети, толкова неговият положителен потенциал е по-висок. Обратно; ако към неутрално тяло се добавят електрони, то се *наелектризира отрицателно* и колкото по-голям е броят на излишните му електрони, толкова по-висок е отрицателният му потенциал. Такива промени в електронното съдържание на телата могат да настъпят по различни причини, при които те се наелектризирват положително или отрицателно. Натрупаното количество положително или отрицателно електричество в наелектризираните тела се нарича *електрически товар* на тялото или *електрически заряд*.

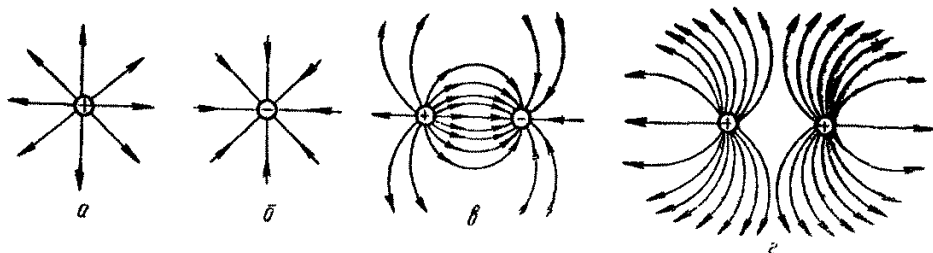
Електрическо силово поле

Около всяко наелектризирано тяло се създава *електрическо силово поле*. То представлява пространство, във всяка точка на което върху поставен точков електрически товар действа електрическа сила, пропорционална на товара. За изследване свойствата на електрическото силово поле е прието да се наблюдава действието му върху единица положителен електрически товар. При тези условия, ако полето е създадено от положително наелектризирано тяло, точковият товар ще се отдалечава от тялото. Ако полето е създадено от отрицателно наелектризирано тяло, положителният точков товар ще се придвижва към тялото. Електрическото поле обикновено се характеризира със своята *интензивност*, която е различна за различни точки на полето и не зависи от големината на електрическия товар, поставен в полето:

$$E = \frac{Q}{r^2},$$

където *Q* е големината на заряда, който е създал полето;
r — разстоянието между заряда и точката от полето.

За пълно и удобно характеризиране на електрическото поле е въведено понятието *електрически силови линии*. Това са линиите, по които се движи един електрически товар. На фиг. 1-2 е показано как трябва да си представим силовите линии на две наелектризирани тела.



Фиг. 1-2

Електрически потенциал и потенциална разлика

Потенциалът на полето в една негова точка се изразява чрез работата, която ще се извърши от електрическите сили на полето за пренасяне на единица положителен товар от тази точка до безкрайност или за преодоляване на електрическите сили при пренасяне на единица положителен товар от безкрайност в тази точка. Когато силите на полето се съпротивляват при пренасяне на $+1$ товар от безкрайност в точката на полето, потенциалът в тази точка е *положителен* (полето е създадено от положително наелектризирано тяло). Обратно, когато силите на полето сами притеглят $+1$ товар от безкрайност до дадена точка на полето, потенциалът в тази точка е *отрицателен*.

Числено потенциалът в една точка на електрическото поле се изразява с формулата

$$\varphi = \frac{Q}{r},$$

където Q е зарядът, който е създавал полето;

r — разстоянието на точката от полето до заряда.

От формулата се вижда, че точки, еднакво отдалечени от заряда, имат еднакъв потенциал. Такива точки образуват около наелектризираното тяло *еквипотенциални повърхнини*. Между две еквипотенциални повърхнини с различни потенциални нива съществува *потенциална разлика*, наречена още *напрежение*. Физически напрежението изразява онази работа, която електрическите сили на полето извършват при преместване на единица електрически товар между две точки с различни потенциали. Така, ако за пренасяне на електрически товар от 1 кулон (κ) електричество ($1 \kappa = 3 \cdot 10^9$ електростатични единици) е извършена работа 1 джаул ($дж$), напрежението между точките на пренасяне е 1 волт ($в$).

Електрически ток. Електропроводимост

От гледище на електронната теория електрическият ток представлява поток от свободни електрически товари от точка с по-висок към точка с по-нисък потенциал. При обикновени условия, за да протече по един проводник електрически ток, необходимо е между краищата му да съществува потенциална разлика и в създаденото в проводника електрическо поле да има свободни товари. В зависимост от това, какви електрически товари се пренасят, съществуват два вида електрически ток: *електронен* и *йонен*. В металните проводници, които са богати на свободни електрони, протича електронен ток, поради което те имат *електронна проводимост* и се наричат *проводници от първи род*. В електролитите проводимостта е *йонна*, тъй като в тях свободните електрически товари са йони. Тези проводници се наричат *проводници от втори род*. Газовете притежават едновременно и йонна, и електронна проводимост.

При подходящи условия електрически ток може да протече и във вакуум. В такъв случай той представлява *електронен ток*. Когато обаче вакуумът не е абсолютен, каквито са нормалните условия в електронните лампи, протича и *йонен ток*, който зависи от степента на вакуума.

За да се осъществи постоянно протичане на електрически ток по един проводник, необходимо е в краищата му непрекъснато да се поддържа потенциална разлика. Ако такава не се поддържа, пренесените електрически товари ще изравнят създадената еднократно потенциална разлика, при което в проводника ще настъпи *електростатично равновесие*, и ток няма да протича. Поддържането на постоянна потенциална разлика става за сметка на друг вид енергия — *механична, химична, топлинна* и др., и се осъществява от устройства, наречени *токоизточници*. Работата, която тези токоизточници извършват за пренасяне на електрическите товари в проводника, се нарича *електродвижеща сила (едс)* на токоизточника.

От казаното дотук става ясно, че проводници на електрически ток могат да бъдат онези тела, които съдържат свободни електрически товари. В това отношение са характерни металите, които са основните проводници в електро- и радиоапаратите. Те се характеризират с наличието на голямо количество свободни електрони, които в отсъствие на електрическо поле се движат хаотично в междоатомното пространство на метала, образувайки т. нар. *електронен газ*. Сега е общоприето под понятието електрически ток да се разбира преди всичко потокът от свободни електрони в металите, които се движат от точката с отрицателен потенциал към тази с положителен. За да се запазят обаче различните правила, приети в електротехниката, прието е посоката на електрическия ток да се счита от положителния към отрицателния потенциал.

Тела, които не съдържат свободни електрически заряди, са познати като *непроводници* или *изолатори*. Такива са стъклото, слюдата, керамиката, пластмасите и др. На практика абсолютни изолатори не съществуват.

Електрически капацитет

Както се каза по-горе, потенциалът на един проводник е пропорционален на количеството електричество, с което е зареден.

Ако на един проводник, отдалечен от други проводници, се придават последователно количества електричество Q_1, Q_2, Q_3 и т. н., установява се, че същият придобива потенциал U_1, U_2, U_3 и т. н. При това съществува следното равенство на отношенията:

$$\frac{Q_1}{U_1} = \frac{Q_2}{U_2} = \frac{Q_3}{U_3} = \dots = \frac{Q_n}{U_n} = C.$$

Както се вижда, величината C е постоянна за даден проводник и зависи само от големината на формата му. Тази величина се нарича *електрически капацитет* на проводника.

От горните равенства следва, че

$$C = \frac{Q}{U} \text{ или } Q = CU,$$

от които зависимости може да се определи физическият смисъл на капацитета: капацитетът на един проводник числено е равен на количеството електричество, от което потенциалът му се изменя с единица.

Абсолютната единица за измерване на капацитета е *сантиметър*. Капацитет 1 *см* има тялото, което от 1 абсолютна единица електричество повишава потенциала си с 1 абсолютна единица потенциал. Такъв капацитет има сфера с радиус 1 *см*. Действително потенциалът на такава сфера е

$$U = \frac{Q}{r},$$

а капацитетът на същата е

$$C = \frac{Q}{U},$$

от което следва, че

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{Q}{\frac{Q}{r}} = r,$$

т. е. капацитетът числено е равен на радиуса на сферата. От тази зависимост е изчислен капацитетът на Земята, радиусът на която е 6370 *км*, а капацитетът ѝ — $6,37 \cdot 10^8$ *см*.

Тъй като абсолютната единица капацитет (*см*) е много малка, приета е в практиката друга мярка — *фарад*. Капацитет 1 фарад има

проводник, който от 1 кулон електричество изменя потенциала си с 1 волт:

$$1\phi = \frac{1\kappa}{1\sigma} = \frac{3 \cdot 10^9 \text{ абс. ед. ел.}}{300 \text{ абс. ед. пот.}} = 9 \cdot 10^{11} \text{ см.}$$

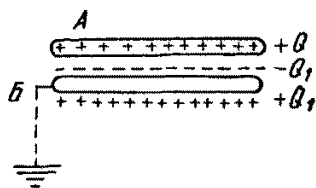
Както се вижда, тази единица капацитет е много голяма (такъв капацитет има сфера с радиус $9 \cdot 10^{11}$ см, т. е. около 1200 пъти по-голям от този на Земята). Затова на практика са приети производни на фарада единици:

1 микрофарад ($\mu\phi$) = $9 \cdot 10^5$ см и

1 пикофарад ($p\phi$) = 0,9 см.

От казаното е ясно, че големи капацитети имат проводниците с големи размери, което ги прави непригодни за използване в електротехниката и радиотехниката. В тези случаи се използват специални системи, които при малък обем притежават голям капацитет, наречени *кондензатори*.

Устройството и действието на кондензаторите почиват на принципа на *електростатичната индукция*, която се свежда до следното: ако един проводник (А) се наелектризира с товар $+Q$, същият добива потенциал U . При доближаване до този проводник на друг, ненаелектризиран (Б), в него по индукция се създават товарите $-Q_1$ и $+Q_1$, при което по-близо до товара $+Q$ е товарът $-Q_1$ (фиг. 1-3). Електрическото поле на последния влияе върху полето на $+Q$, при което последното отслабва, а потенциалът на А намалява. За да достигне проводникът А първоначалния си потенциал U , необходимо е да се увеличи товарът му $+Q$. От последното следва, че проводникът А е увеличил капацитета си. Това увеличение е значително по-голямо, ако проводникът Б е по-близо до А и ако е заземен, поради оттичане на товара му $+Q_1$. Още повече се увеличава капацитетът на А, ако между проводниците



Фиг. 1-3

вместо въздух се постави *диелектрик с голяма диелектрична константа* (ϵ) — напр. стъкло, слюда, парафинирана хартия и др.

Техническите кондензатори представляват металически плочи, между които е поставен диелектрик. С цел да се увеличи капацитетът на кондензатора при намалени размери на същия за металически плочи се използват ленти от тънка алуминиева фолия, а за диелектрик — тънка парафинирана хартия. Този тип кондензатори са известни като *книжни кондензатори*¹.

Капацитетът на плосък кондензатор може да се изчисли по формулата

$$C = \frac{S\epsilon}{4\pi d},$$

¹ Подробности за устройството на техническите кондензатори виж в гл. III, т. в.

където S е повърхнината на застъпване на двете плочи;

ϵ — диелектричната константа на диелектрика;

d — дебелината на диелектрика (разстоянието между плочите).

Когато няколко кондензатора се свържат паралелно (фиг. 1-4, а), общият капацитет на кондензаторната батерия е равен на сбора от капацитетите на отделните кондензатори:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n.$$

Това е така, понеже се увеличава общата повърхнина S на кондензаторните плочи. При това напрежението, приложено на батерията, е еднакво и за всеки кондензатор. Зарядите, които получават отделните кондензатори, съответствуват на капацитетите им:

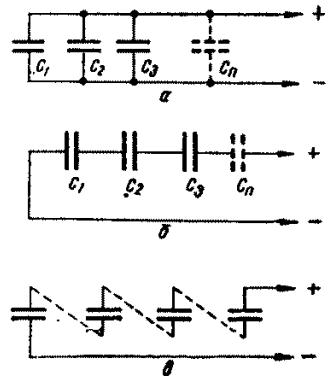
$$Q_1 = UC_1; Q_2 = UC_2; Q_3 = UC_3 \text{ и т. н.}$$

При последователно свързване на кондензаторите (фиг. 1-4, б) общият им капацитет се намалява и се изчислява по формулата

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}.$$

Напрежението, приложено на такава кондензаторна батерия, се разпределя между отделните кондензатори, като под най-голямо напрежение се намира кондензаторът с най-малък капацитет.

Свойствата на кондензаторните батерии позволяват да се получат големи напрежения от токоизточник с ниско напрежение. Това става, като се зареди батерия от паралелно свързани кондензатори, след което последните се превключват последователно (фиг. 1-4, в). Напрежението е толкова по-голямо, колкото повече са кондензаторите.



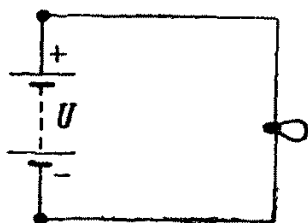
Фиг. 1-4

2. ПОСТОЯНЕН ТОК И ЗАКОНИ ЗА ПОСТОЯННИЯ ТОК

а. Същност и условия за протичане на постоянен ток

Както вече е известно, електрическият ток е поток от електрически товари, получили насочено движение под действието на електродвижещата сила. За да се създаде такъв ток, необходимо е да съществуват свободни електрически товари и постоянно действаща

електродвижеща сила. Свободни товари съществуват в проводниците, а електродвижещата сила се получава от различните видове токоизточници. Оттук следва, че за да протече електрически ток, необходимо е към краищата на проводника да се приложи електродвижещата сила на токоизточника. Системата от токоизточник с включен към полюсите му проводник и консуматор се нарича *електрическа верига*. Необходимо условие за протичане на тока е веригата да бъде затворена, т. е. да не бъде прекъсната (фиг. 1-5).



Фиг. 1-5

В радиотехническите вериги се използват изключително метални проводници, които притежават електронна проводимост. Електрическият ток в металите представлява поток от свободни електрони, които се движат от отрицателния към положителния полюс на токоизточника. Независимо от тази посока, както вече се каза, условно е приета посоката на тока от положителния към отрицателния полюс — такава, в каквата биха се придвижвали положителни товари под действието на електрическото поле.

В проводниците свободните електрони извършват хаотично движение със скорост 100 км/сек . Когато под действието на електродвижещата сила на токоизточника получават насочено движение, те запазват и предишното си движение в междуатомното пространство. Скоростта на насоченото им движение, което обуславя протичането на електрическият ток, е от порядъка на няколко десети от милиметъра в секунда. Практически обаче поради голямата скорост на разпространение на електрическото поле ($3 \cdot 10^8 \text{ км/сек}$) електрическият ток възниква едновременно по цялото протежение на веригата. В този смисъл трябва да се разбира понятието „скорост на електрическият ток“, което често се употребява.

б. Сила на електрическият ток

Силата на тока е характерна негова величина. Тя се изразява чрез количеството електричество, което протича през напречното сечение на проводника за единица време:

$$I = \frac{Q}{t}.$$

Ако количеството електричество се изрази в практически единици (кулони), а времето — в секунди, силата на тока се измерва също в практически единици — *ампери* (а). Така, ако през сечението на провод-

ника за 1 сек протече 1 кулон електричество, силата на тока е 1 ампер:

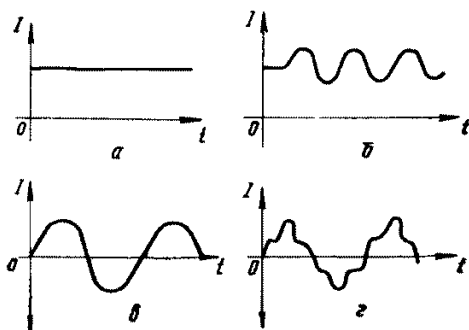
$$1 \text{ а} = \frac{1 \text{ к}}{1 \text{ сек}} = \frac{3 \cdot 10^9 \text{ абс. ед.}}{1 \text{ сек}} = \frac{6,25 \cdot 10^8 \text{ електрона}}{1 \text{ сек}}$$

Когато по един проводник със сечение S протича ток I , на всяка единица от сечението му се пада

$$\delta = \frac{I}{S} \text{ а/мм}^2.$$

Тази величина се нарича *гъстота на електрическия ток* и се измерва в ампери на квадратен милиметър. Колкото гъстотата на тока е по-голяма, толкова по-голяма е скоростта на насоченото движение на електроните.

Под действието на постоянна по големина и неизменяща се с времето *едс* в токовата верига протича *постоянен електрически ток*, който е еднакъв за всяка точка от веригата. Ако електродвижещата сила мени с времето само големината си, токът във веригата става *пулсиращ*. Такъв ток се нарича още *прав ток*. Понятието прав ток е по-общо понятие и не трябва



Фиг. 1-6

да се смесва с постоянен ток. Всеки постоянен ток е прав (тече в една посока), но не всеки прав ток е постоянен.

Ако електродвижещата сила мени с времето както големината, така и посоката си, във веригата протича *променлив ток*. Когато изменението се извършва синусоидално, токът е *променлив синусоидален*. Постоянният и синусоидалният променлив ток са *прости токове*.

На фиг. 1-6 са посочени графиките на няколко вида електрически ток.

в. Действие на електрическия ток

Протичането на електрически ток не може непосредствено да се наблюдава със сетивните органи на човека. За него се съди по действията, които той предизвиква. Основните действия на тока са: топлинно, химическо и магнитно.

Топлинно и химическо действие

Топлинното действие се изразява в загряването на проводника при протичане на електрически ток през него. Причината за загряването му е превръщането на кинетичната енергия на движещите се електрони в топлинна поради сблъскванията на последните с атомите на проводника. Колкото гъстотата на тока е по-голяма, толкова повече се загрява проводникът. В радиотехническите вериги превърнатата в топлина електрическа енергия е „загубена“, докато в електронагревателните уреди тя е полезната енергия, която се използва.

Химическото действие на електрическия ток се изразява в протичане на различни химически реакции при преминаване на електрическия ток през електролит. Такова действие е възможно само при електролитите.

Магнитно действие

Магнитното действие на електрическия ток се изразява в създаването на магнитно поле около проводник, по който протича електрически ток. На това действие се основават много явления в електрическите вериги (*взаимоиндукция*, *самоиндукция* и др.), а също така и принципното устройство и действие на много електрически съоръжения (електрически машини, електромагнити, релета и др.).

На базата на различните действия на електрическия ток са създадени и уредите, с които се измерват неговите параметри. Така например силата на тока се измерва с *ампермери*, действието на които почива или на топлинното, или най-често на магнитното действие на електрическия ток. Подобно на тях е и устройството на *волтмерите* — уреди за измерване на *едс* на токоизточниците, на *оммерите* — уреди за измерване съпротивлението на проводниците, и др.

г. Закони за постоянния ток

Закон на Ом

Ако в една затворена токова верига се изменя напрежението на токоизточника, силата на тока в нея също се изменя. При това между различните напрежения и съответната сила на тока съществува зависимостта

$$\frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2}{I_2} = \frac{U_3}{I_3} = \frac{U}{I} = R.$$

Тази зависимост за пръв път е констатирана от известния немски физик Ом, поради което се нарича *закон на Ом* и се изразява с уравнението

$$\frac{U}{I} = R.$$

Това постоянно отношение, характерно за всеки проводник, от който е съставена токова верига, Ом нарекъл *електрическо съпротивление* или само *съпротивление на проводниците*. Неговата стойност зависи само от материала и размерите на проводника.

Уравнението, изразяващо закона на Ом за постоянния ток, се употребява по-често в следните видове:

$$I = \frac{U}{R} \text{ и } U = IR.$$

Практическата мерна единица за съпротивление на проводниците е *омът* (Ω). Такова съпротивление има живачен стълб със сечение 1 мм^2 и дължина $106,3 \text{ см}$, която стойност е приета през 1908 год. за еталон. Производни на нея са: *килоом* (*ком*) = 10^3 и *мегаом* (*мгом*) = 10^6 ом .

От уравнението за съпротивление на проводниците

$$R = \frac{U}{I}$$

се дефинира стойността на съпротивлението 1 ом така: съпротивление 1 ом има онзи проводник, при който от приложеното в краищата му напрежение 1 в през него протича ток със сила 1 а .

$$1 \text{ ом} = \frac{1 \text{ в}}{1 \text{ а}} = \frac{300}{3 \cdot 10^9} = \frac{1}{9 \cdot 10^{11}} \text{ абс. ед. съпротивление.}$$

Ом е изследвал и зависимостта на съпротивлението от материала и размерите на проводника. Правейки опити с проводници от различни материали и с различни дължини и сечения, той е установил зависимостта

$$R = \rho \frac{l}{s},$$

където l е дължината на проводника;

s — сечението на проводника;

ρ — коефициентът на пропорционалност, който представлява *специфичното съпротивление на метала*, от който е направен проводникът. То се равнява на онова съпротивление, което има проводник от съответния метал с дължина единица и сечение единица. Ако се вземат абсолютните единици $l = 1 \text{ см}$ и $s = 1 \text{ см}^2$, то за ρ ще се получи неговата *абсолютна стойност*. На практика по-удобно се работи с *практическа стойност на ρ* , която е съпротивлението на проводник с дължина 1 м и напречно сечение 1 мм^2 . Тази стойност е 10^4 пъти по-голяма от абсолютната стойност на ρ .

Горната зависимост за съпротивлението R е позната като втори закон на Ом. Тя позволява да се изчисли стойността на съпротивле-

нието на всеки проводник, като се измерят дължината и сечението му и като се знае специфичното съпротивление на метала (сплавта), от който е направен.

Върху съпротивлението на проводниците оказват влияние някои външни фактори, между които най-важен е температурата. Изменението на съпротивлението от температурата става по закон, който е подобен на закона за линейното и обемното изменение на телата при промяна на температурата:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t)$$

или

$$R = R_0 (1 + \alpha t).$$

В тези формули ρ_0 и R_0 са стойностите на съпротивлението при 0° , а ρ и R — при температура t° . Коефициентът α се нарича *температурен коефициент на съпротивлението*.

В таблица 1-1 са дадени стойностите за ρ_0 и α на най-употребяваните за проводници метали.

Таблица 1-1

Метали и сплави	$\rho_0 = 10^4 \rho$ (ом)	α
Сребро	0,016	0,0041
Мед	0,017	0,0043
Алуминий	0,027	0,0047
Цинк	0,059	0,0042
Желязо	0,098	0,0066
Никел	0,070	0,0067
Манганин	0,43	0,00002
Константан	0,50	0,00005
Никелин	0,40	0,0002
Алпака (ново сребро) . .	0,30	—
Месинг	0,09—0,17	0,0014
Въглерод	40	0,0003

Реципрочната стойност на съпротивлението се нарича *проводимост на електрическия проводник*:

$$G = \frac{1}{R}.$$

Законите на Ом дават възможност за решаване на редица задачи от областта на електротехниката, тъй като те дават основните и най-важни зависимости в токовите вериги.

Закони на Кирхоф

Докато законът на Ом разглежда зависимостите между електрическите величини U , I и R в проста затворена токова верига, законите на Кирхоф разглеждат тези зависимости в разклонените вериги.

Първият закон на Кирхоф се отнася за разклонена верига и гласи сумата от силите на втичащите се в една възлова точка токове е равна на сумата от силите на изтичащите от тази точка токове. Ако по фиг. 1-7, а се приеме посоката на втичащите токове за положителна, а тази на изтичащите за отрицателна, следва:

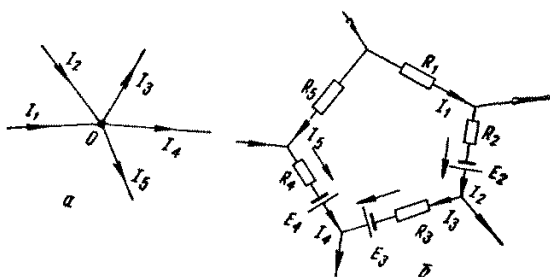
$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$

или

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0.$$

Това равенство произтича от условието, че никъде във веригата, включително и във възловата точка 0, електричеството не се натрупва и не изчезва.

Вторият закон на Кирхоф се отнася за затворен участък от една произволно разклонена верига, клоновете на



Фиг. 1-7

който имат определени съпротивления и електродвижещи сили, при което протичат съответни токове (фиг. 1-7, б).

Като се приложи законът на Ом за всеки участък от веригата и като се имат предвид посоките на електродвижещите сили, включени в отделните клонове, се идва до следния извод:

$$E_2 + E_3 - E_4 = I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 - I_4 R_4 - I_5 R_5.$$

Произведението IR от закона на Ом представлява напрежението U което се създава в краищата на съпротивленията, когато през тях протича ток. Това напрежение се нарича още *падение на напрежението* в съответното съпротивление. Поради това горното равенство може да се напише още така:

$$E_2 + E_3 - E_4 = U_1 + U_2 + U_3 - U_4 - U_5.$$

Вижда се, че сборът от действащите в затворения участък на веригата електродвижещи сили е равен на сбора от паденията на напреженията в отделните съпротивления. В това се изразява и вторият закон на Кирхоф, който важи и за всяка проста затворена верига.

Практически изводи:

а) За разклонена верига от паралелно свързани съпротивления.

Изводите за такава верига следват от първия закон на Кирхоф. По схемата, дадена на фиг. 1-8, а, те могат да се обобщят по следния начин:

1. Силата на тока в общата верига е равна на сбора от силите на токовете в отделните клонове на веригата:

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

2. Силата на токовете в отделните клонове е обратно пропорционална на големината на съпротивленията, т. е. през най-малкото съпротивление протича най-силен ток, а през най-голямото — най-слаб.

3. Всички паралелно свързани съпротивления, образувачи разклонената верига, се намират под еднакво напрежение — това на токоизточника. Това позволява лесно да се намери силата на тока във всеки клон, без да се търси общото съпротивление на групата и да се използва съществуващата пропорционалност на токовете от съпротивленията

$$I_1 = \frac{U}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U}{R_2}; \quad I_3 = \frac{U}{R_3}.$$

По този начин лесно се намира и общият ток I като сбор от I_1 , I_2 и I_3 .

4. Общото съпротивление на групата от няколко паралелно свързани съпротивления е по-малко от най-малкото и се изчислява по формулата.

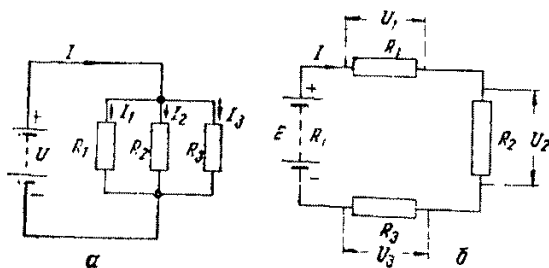
$$\frac{1}{R} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

Тъй като $\frac{1}{R}$ е проводимостта (G) на веригата, следва, че

$$G = G_1 + G_2 + G_3.$$

5. Във веригата от паралелно свързани съпротивления доминира най-малкото съпротивление, т. е. както се изменя то, така се изменя общото съпротивление.

6. Тази верига е позната под името *делител на токове*. Чрез подходящо подбиране на съпротивления общият ток може да се раздели на токове с желани стойности. Такива вериги се създават при шунтиране на измервателните инструменти, когато се ползват като ампермери.



Фиг. 1-8

б) За проста верига, съставена от последователно свързани съпротивления.

Изводите за тази верига следват от втория закон на Кирхоф. По схемата, дадена на фиг. 1-8, б, те могат да се обобщят по следния начин:

1. Силата на тока в цялата верига и в отделните съпротивления е еднаква независимо от техните различни стойности:

$$I = \frac{U}{R_{об}}$$

2. Общото съпротивление на веригата е по-голямо от най-голямото и е равно на сбора от всички съпротивления :

$$R=R_1+R_2+R_3.$$

3. В тази верига доминира голямото съпротивление, т. е. общото съпротивление се изменя така, както се изменя то.

4. Протичащият ток създава във всяко съпротивление падение на напрежение (IR), при което в най-голямото съпротивление се създава най-голямо напрежение. Сборът от всички падения на напреженията е равен на напрежението на токоизточника :

$$U=IR_1+IR_2+IR_3.$$

Като се има предвид наличието на вътрешното съпротивление на токоизточника R_1 , в което също се създава падение на напрежението, може да се напише равенството

$$E=IR_1+IR_1+IR_2+IR_3.$$

Тъй като сборът $IR_1+IR_2+IR_3=U$, следва, че

$$U=E-IR_1.$$

Тук U представлява полюсното напрежение на токоизточника при включена верига. То е по-малко от неговата електродвижеща сила (която се измерва при прекъсната външна верига) със стойността на падението на напрежението във вътрешното му съпротивление. Това е особено важно да се знае при измерване на напреженията на захранващите устройства на радиоапаратите.

5. Верига от последователно свързани съпротивления се нарича *делител на напрежения*. Тя дава възможност от един токоизточник да се захранват няколко консуматора с различни напрежения, както е случаят в повечето от радиотехническите вериги.

д. Работа и мощност на постоянния ток

Работата, която се извършва от електрическите сили на полето за пренасяне на q кулона електричество между две точки с потенциална разлика U , се изразява с произведението от товара и напрежението :

$$A=qU \text{ (дж)}.$$

Когато един проводник със съпротивление R е включен във верига, в която действа напрежение U , през сечението на проводника протича за едно и също време t еднакво количество електричество — $q=It$. В този случай работата, която извършват електрическите сили за времето t , ще бъде :

$$A=qU=UIt,$$

която се нарича *работа на електрическия ток*. Ако U се измерва във волтове, I — в амperi, t — в секунди, работата A се измерва в джаули. Ясно е, че 1 джаул работа се извършва, когато по проводника протича 1 кулон електричество под напрежение 1 волт или когато под напрежение 1 волт за една секунда протича ток със сила 1 ампер.

Ако работата на електрическия ток се отнася за единица време (1 сек), се получава мощността на тока:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{UIt}{t} = UI \text{ (вт)}.$$

Следва, че ток, който извършва работа 1 дж за 1 сек, има мощност 1 ват (вт):

$$1 \text{ ват} = \frac{1 \text{ джаул}}{1 \text{ секунда}} = 1 \text{ волтампер}$$

или ток с мощност 1 вт е този, силата на който е 1 а при напрежение в края на проводника 1 в.

В електротехниката се употребяват и производните единици за работа на електрическия ток, както следва:

ватсекунда (втсек) = джаул (дж);

ватчас (втч) = 1 дж × 3600 сек = 3600 дж;

хектоватчас (хвтч) = 100 вт × 3600 сек = 360 000 дж = 36 700 килограмометра (кгм);

киловатчас (квтч) = 1000 вт × 3600 сек = 3 600 000 дж = 367 000 кгм.

Електрическата енергия, консумирана за домакински нужди, се измерва нормално в киловатчаса.

Закон на Джаул—Ленц

Електрическата енергия лесно се преобразува в други видове енергии, като напр. в механическа (при електромоторите), топлинна (в електронагревателните уреди) и др. Законът на Джаул—Ленц дава зависимостите при трансформиране на електрическата енергия в топлинна:

$$Q = 0,24 UIt = 0,24 I^2 R t = 0,24 \frac{U^2}{R} t \text{ калории}^1,$$

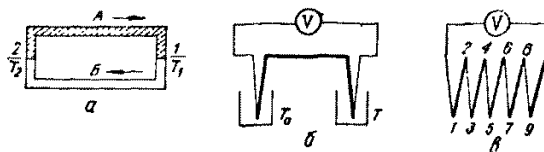
където Q е полученото от електрическия ток количество топлина в калории, а коефициентът 0,24 е топлинният еквивалент на 1 дж.

От горните формули е видно, че при последователно включване на няколко консуматора в една верига най-много топлина ще се отдели в този, който има най-голямо съпротивление ($Q = 0,24 I^2 R t$, където токът I е еднакъв за цялата верига), а при паралелно свързване — в този, който има най-малко съпротивление ($Q = 0,24 \frac{U^2}{R} t$, където напрежението U е еднакво за всички консуматори).

¹ Разновидността на горните формули се получава чрез заместване на U и I с равностойните им величини от закона на Ом $\left(U = IR \quad I = \frac{U}{R} \right)$.

е. Термоелектрически явления

В една затворена верига, съставена от споени два различни метала (фиг. 1-9, а), ако между точките на две спойки (А и Б) съществува температурна разлика, във веригата се получава електродвижеща сила, наречена *термоелектродвижеща сила*, и протича ток, наречен *термоелектрически ток*. Силата на тока зависи от големината на термоелектродвижещата сила и съпротивлението на веригата.



Фиг. 1-9

Намерено е, че термоелектродвижещата сила се изразява с уравнението

$$E = k(T_1 - T_2),$$

където k е термоелектродвижещата сила при температурна разлика между две спойки от 1° във σ ;

$T_1 - T_2$ — температурната разлика между двете спойки.

Изчислена е също и числената стойност на k , която е приблизително от порядъка:

$$k \approx 3 \cdot 10^{-5} \text{ в.}$$

Големината на термоелектродвижещата сила зависи също и от двата метала, от които е осъществена спойката. В таблица 1-2 са дадени някои метали, подредени в термоелектричен ред. От нея може да се изчисли стойността на k в микроволтове в зависимост от това, от каква двойка метали е осъществена спойката. Например при спойка между никел и антимон

$$k = 100 - 51 = 49 \text{ мкв.}$$

Таблица 1-2

Метал (сплав)	Число	Метал (сплав)	Число
Бисмут	0	Цинк	71
Константан	30	Злато	71
Никел	51	Сребро	72
Платина	65	Мед	72
Алуминий	69	Месинг	76
Магnezий	69	Желязо	83
Олово	69	Антимон	100

Система, съставена от два споени метала, се използва за измерване на високи и ниски температури, както и температури на тела с малък топлинен капацитет. Такава система се нарича *термоелемент* (фиг. 1-9, б). За повишаване чувствителността на системата термоеле-

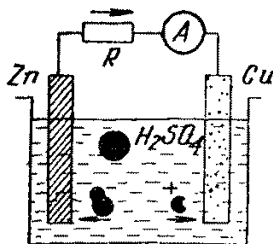
ментите се свързват в батерии (фиг. 1-9, в). В такава батерия трябва примерно всички четни спойки да се поставят при постоянна температура (0°C), а нечетните да се загряват (да се допират до тялото, чиято температура t° се измерва). Термоелементът се използва и за направа на високочестотни измервателни уреди (ампермери с термичен кръст — термокръст), в които високочестотният ток се използва за загряване на едната спойка. Създадената термоелектродвижеща сила се измерва с чувствителен уред и по нея се съди за силата на високочестотния ток.

ж. Източници на постоянен ток

Устройството на източниците за постоянен ток почива на принципа на превръщане на химическата енергия в електрическа, поради което те се наричат още химически токоизточници. Те се делят на две групи: първични (гальванични елементи) и вторични (акумулатори).

Гальванични елементи

Известно е, че в затворена верига, съставена само от проводници от първи род (напр. метали), не се създава електродвижеща сила. През 1800 год. Александър Волта установил, че ако в такава верига се включи и проводник от втори род (електролит), в нея възниква електродвижеща сила и протича електрически ток. При това, докато в проводниците от първи род не настъпват химически изменения при преминаването на електрически ток през тях, в проводниците от втори род протича химическа реакция.



Фиг. 1-10

Процесите, които обуславят създаването на *едс* в една такава система, могат да се обяснят по следния начин:

Ако във вана със слаб (20%) разтвор на сярна киселина се потопят два проводника — цинков и меден (фиг. 1-10), между тях и електролита протича следната химическа реакция.

1. Между цинка и електролита настъпва взаимодействие, при което положителните йони на цинка преминават в разтвора (цинкът се разтваря в електролита). При това цинковият проводник остава наелектризиран отрицателно, а електролитът — положително. Стремешът на металните йони да преминават в разтвора се нарича *напрежение на разтваряне*. Процесът на разтваряне на цинка продължава до настъпване на равновесие между химическите и електрическите сили — *потенциален скок*, при който на границата между цинка и електролита се създава потенциална разлика, зависеща само от вида на метала и електролита, но не и от размерите им.

2. Между медта и електролита протича същата реакция, но понеже напрежението на разтваряне на медта е по-малко, потенциалният скок настъпва по-рано и медта остава по-малко отрицателна от цинка. По този начин между медния и цинковия проводник се създава потенциална разлика, която е около 1,1 в.

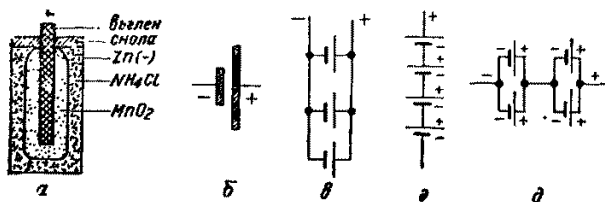
3. Ако се съединят цинковият и медният проводник външно с друг проводник, излишните електрони от цинка протичат под действието на потенциалната разлика към медта, при което се нарушава равновесието както на границата цинк—електролит, така и на тази мед—електролит. По тази причина процесът на разтваряне се възобновява. За възстановяване на равновесието електроните, попаднали върху медния проводник, преминават върху положителните йони на разтвора в непосредствена близост до него, като ги неутрализират, а отрицателните йони се отблъскват и отправят към цинковия проводник. По този начин в електролита се създават два насрещни потока от йони: положителните — към медта, а отрицателните — към цинка, докато във външната верига постоянно протича електронен поток (електрически ток) от цинка към медта.

От казаното се вижда, че за създаване на електродвижеща сила и протичане на ток в тази система от различни проводници решаваща е ролята на проводника от втори род (електролита). Тази система, съставена от медна и цинкова пластина, потопени в слаб разтвор от сярна киселина, е известна като *елемент на Волта*.

Ако в електролит се потопят два еднакви проводника от първи род и се пропусне ток от външен източник през електролита, забелязва се, че на електродите вследствие пренасянето на различни товари към тях настъпват химически реакции, които превръщат еднаквите електроди в различни. В същото време се изменя и концентрацията на електролита. Превръщането на еднаквите електроди в различни обуславя превръщането на тази система в *гальваничен елемент* със своя *едс*, която е обратна по посока на тази на външния токоизточник. Ако в тази система се изключи последният, а двата електрода се свържат с проводник, ще протече електрически ток в обратна посока. Процесът на изменение на електродите се нарича *поляризация*, а създадената *едс* — *поляризациянна едс*.

Процесът на поляризиране на електродите съществува и при обикновените гальванични елементи, когато външната верига е свързана и през нея протича електрически ток. При продължително протичане на този ток създадената в елемента поляризациянна *едс* може да стигне такава стойност, че токът постепенно да спре. Видно е, че поляризацията при експлоатиране на химическите елементи е нежелан процес. По тази причина в съвременните елементи се вземат мерки за отстраняването ѝ. Това се постига чрез употреба на специални вещества, наречени *деполяризатори*, които се поставят около електрода или в електролита и имат назначение да се свързват химически с отделящите се на електродите вещества, причиняващи поляризацията. В елемента на Волта поляризацията се дължи на натрупване на водород около медния електрод, докато цинковият не се изменя, но се разяжда.

Един от най-употребяваните днес елементи като източник на постоянен ток е *елементът на Лекланше*. Той се среща в три разновидности: *течен, наливен и сух*. Най-удобен за ползуване е сухият, тъй като няма опасност от разливане на електролита му. Устройството му е показано на фиг. 1-11, а. За отрицателен полюс се използва цилиндричен цинков съд, в който са поместени



Фиг. 1-11

електродвижещата сила на този елемент е около 1,5 в. Означението на елемента в схемата е показано на фиг. 1-11, б.

Важен параметър на химическите токоизточници е техният капацитет, т. е. количеството електроенергия, която може да се използва от тях. Капацитетът им зависи от големината на електродите и се измерва в амперчасове (*ач*). Например от елемент с капацитет 10 *ач* може да се черпи ток със сила 1 *а* в продължение на 10 *ч* или 2 *а* в продължение на 5 *ч* и т. н.

За увеличаване капацитета на елементите последните се свързват паралелно в батерии (фиг. 1-11, в), при което електродвижещата сила (*едс*) на батерията не се увеличава. За увеличаване на *едс* елементите се свързват *последователно* в батерии (фиг. 1-11, г). В този случай капацитетът на батерията остава такъв, какъвто е на един елемент. При нужда елементите могат да се свързват и смесено (фиг. 1-11, д).

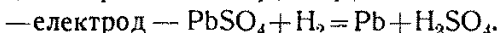
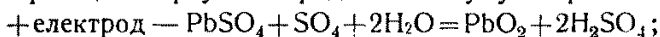
Акумулатори

Акумулаторите спадат към системите от два еднакви електрода и електролит, в които може да се натрупва електрическа енергия при пропускане през тях на електрически ток за сметка на полярizacionните процеси, които протичат върху електродите. По тази причина те носят името *вторични елементи*. Най-характерното свойство на акумулаторите е, че след изчерпване на акумулираната в тях енергия е възможно ново зареждане на акумулатора, което при галваничните елементи е невъзможно. Поради това акумулаторите се използват многократно и техният живот при добро поддържане продължава десетки години.

Най-използуваните днес акумулатори са оловните, наречени още *киселинни*, и желязно-никеловите или кадмиево-никеловите, наречени *алкални*.

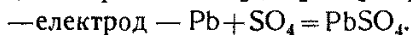
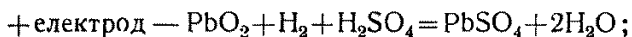
Оловният акумулатор е даден най-напред от Планте. Неговите два електрода са оловни (Pb), а електролитът е 20% разтвор на сярна ки-

селина. От взаимодействието на оловото с киселината електродите се покриват с пласт от оловен сулфат (PbSO_4). Така приготвеният акумулатор е незареден. Зареждането му става чрез включване към електродите на външен постоянен ток източник, който прокарава ток през електролита. Този йонен ток, съставен от потоците на положителните водородни и отрицателните сулфатни (SO_4) йони, предизвиква следните реакции върху електродите на акумулатора:



От тези реакции се вижда, че положителният електрод се превръща в оловен двуокис (PbO_2), а отрицателният — в чисто олово. При това концентрацията на сярната киселина се увеличава. Между електродите, които са вече различни, се създава потенциална разлика както в обикновените галванични елементи, която за оловния акумулатор е 2 в. Трябва да се отбележи, че при зареждане тази потенциална разлика се покачва на 2,8 в, но при експлоатация на акумулатора бързо спада и продължително остава на 2 в, което е нормалното му напрежение.

Когато към заредения акумулатор се включи консуматор на електрическа енергия, започва неговото разреждане (изпразване), при което на електродите му протичат следните реакции:



Вижда се, че в този случай и двата електрода се сулфатизират, а концентрацията на сярната киселина намалява поради отделената се вода.

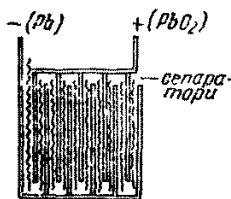
Разреждането на акумулатора може да продължава, докато, електродвижещата му сила спадне от 2 в на 1,8 в, при което концентрацията на сярната киселина намалява от плътност 1,24 до 1,16. Границата на разреждане може да се констатира или посредством волтмер, или като се измери гъстотата на електролита с ареометър. Спадането на напрежението под 1,8 в може да доведе до разрушаване на електродите на акумулатора, поради което не трябва да се допуска.

Както и при галваничните елементи характерна величина за акумулатора е неговият капацитет, който се измерва също в амперчасове. За увеличаване капацитета на акумулатора неговите електроди се правят с голяма повърхност, като се приготвят от паралелно свързани плочи (фиг. 1-12) Не се препоръчва паралелно свързване на два и повече акумулатори, тъй като този, който има по-ниско напрежение, служи като консуматор на другия (зарежда се от него). Акумулаторни батерии се правят от последователно свързани акумулатори, при което се повишава напрежението.

Акумулаторите се отличават с много малко вътрешно съпротивление, поради което от тях може да се черпи силен ток (за кратко време може да се получи импулсен ток до 300 и повече амperi).

Желязно-никеловият акумулатор има за положителен електрод $\text{Ni}(\text{OH})_2$, за отрицателен — гъбесто желязо, а за електролит — 20% раз-

твор на калиева основа (KOH). Тяхната електродвижеща сила е 1,25 в. Тези акумулатори имат редица преимущества пред оловните: издържат на големи механични сътресения, по-леки са при еднакъв капацитет (на 1 кг активна маса отговаря около 30 ач, докато за оловните — около 12 ач), могат да се разреждат докрай, без да се повреждат електродите им, и др. Те обаче имат и редица недостатъци: имат по-голямо вътрешно съпротивление, електродвижещата им сила не остава непрекъснато постоянна при изразване, по-скъпи са, електролитът им поема от въздуха въглероден диоксид и се карбонизира, коефициентът на полезното им действие е по-малък и др. Те намират широко приложение, особено за захранване на преносими радиоапаратури.



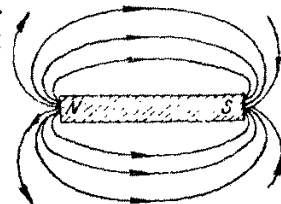
Фиг. 1-12

3. МАГНЕТИЗЪМ И ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗЪМ

а. Постоянни магнити — свойства и приложение

Тела, които имат свойството да привличат железни предмети, се наричат *магнити*. Те биват *естествени* и *изкуствени*. Естествен магнит представлява рудата магнетит, която се среща свободна в природата, а изкуствените се приготвяват от различни стомани, като се магнетизират допълнително. И двата вида магнити се наричат още *постоянни магнити*. В практиката намират приложение изключително изкуствените постоянни магнити.

Всеки постоянен магнит проявява магнитните си свойства най-силно в две точки, разположени в краищата на магнита, наречени *полюси*. В средата си, между полюсите, магнитът не проявява такива свойства и тази област се нарича *неутрална*. Двата полюса на магнита имат еднакво притегателно действие на железни предмети, но по отношение полюсите на друг магнит те се проявяват различно, от което следва, че магнетизмът в двата полюса е *разнороден*. Всеки пръчковиден магнит, окачен свободно, с единия полюс се ориентира на север, а с другия — на юг, поради което и двата му полюса са именувани съответно *северен* (N) и *южен* (S). Между едноименните полюси на два различни магнита съществуват сили на *отблъскване*, а между разноименните — на *привличане*, които количествено се определят по закона на Кулон. Средата, в която се проявяват тези сили, се нарича *магнитно поле*, което подобно на електрическото има *магнитни силови линии*. Последните изхождат от северния полюс на магнита и се затварят в южния (фиг. 1-13).



Фиг. 1-13

При делене на магнита на две и повече части всяка част остава магнит с два полюса. Това говори, че магнетизмът има молекулен ха-

ракер, т. е. в постоянния магнит всяка молекула е постоянен магнит с 2 полюса. Магнит с един полюс не съществува, което качествено отличава магнитните от електрическите силови полета.

За да се обясни процесът на намагнитване на някои тела, допуска се, че тези тела са съставени от *елементарни молекулярни магнити*, които нормално са така ориентирани, че вътрешномагнитните им сили се неутрализират. Когато такова тяло се постави в магнитно поле, елементарните магнити се ориентират в една посока и тялото се намагнитва.

В такива тела съществуват сили, които се стремят да възстановят равновесието на елементарните магнити след премахването на външното магнитно влияние, и други сили, които се стремят да поддържат тялото намагнетизирано. Последните се наричат *коерцитивни сили* и те са големи при стоманите, от които се правят изкуствените магнити, а в мекото желязо почти липсват. Обикновено не е възможно пълното размагнитване на едно намагнетизирано тяло — в него остава *остатъчен магнетизъм*, дължащ се на коерцитивните сили.

Опитно се установява, че магнитите при загряване отслабват, а при достигане на определени температури за магнити от различни вещества те губят магнитните си свойства (желязото — при $+775^\circ$, никелът при $+370^\circ$, кобалтът — при $+1100^\circ$ и др.). Тези температури се наричат *точка на Кюри*.

Взаимодействието между магнитните полюси количествено се изразява със закона на Кулон:

$$F = \frac{m_1 m_2}{\mu r^2},$$

където: m_1 и m_2 са магнитните маси в двата полюса;

r — разстоянието между полюсите;

μ — магнитната проницаемост (пермеабилитет) на средата.

Магнитната проницаемост характеризира магнитните свойства на телата. Тела с $\mu > 1$ се наричат *парамагнитни*, тези с $\mu < 1$ — *диамагнитни*, а тези с много голяма магнитна проницаемост (желязо, кобалт, никел) се наричат *феромагнитни*.

Постоянните магнити имат голямо приложение в техниката вобщо (перманентни високоговорители, поляризовани релета, измерителни инструменти и др.).

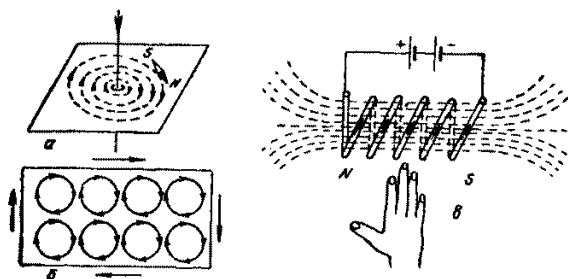
6. Магнитно поле на постоянен ток

Електромагнити

Връзката между електричеството и магнетизма е била установена още в началото на миналия век. Чрез редица опити, извършени от Оерщед и Ампер, при които са наблюдавани въздействието на ток върху магнитната стрелка, на ток върху ток и на магнит върху ток, се е

дошло до извода, че около проводник, по който протича електрически ток, се създава магнитно поле. Магнитното поле е присъщо само на движещи се електрически заряди, докато неподвижните създават само електрическо силово поле.

На фиг. 1-14, а е показано как опитно може да се установи наличието на магнитно силово поле около проводник, по който протича ток. Насипаните по хартията железни стърготини се разполагат по



Фиг. 1-14

концентрични окръжности, по които действуват магнитните силови линии. Посоката на тези линии се определя по известното правило на тирбушона: посоката на постъпателното движение на тирбушона показва посоката на електрическия ток, а посоката на въртенето му — посоката на действие на силите линии¹. При добли-

жаване на магнитната стрелка до проводника тя се ориентира по допирателната към силовите линии, като северният ѝ полюс е по посока на тяхното действие. Ако токът промени посоката си, и магнитната стрелка се ориентира в обратна посока.

Тези и други наблюдения са дали основание на Ампер да създаде в 1820 год. хипотезата за магнетизма, според която всяко магнитно поле, включително и това на постоянните магнети, има електрически произход. Той приема, че около атомите или молекулите на всяко тяло текат кръгови токове, поради което те представляват елементарни магнети. В немагнетизираните тела елементарните магнети са така ориентирани, че магнитните им сили се неутрализират и не се проявяват навън. Под влияние на външно магнитно поле кръговите токове на елементарните магнети застават перпендикулярно на полето, поради което се подреждат в една посока. В точките, в които кръговите токове почти се допират (фиг. 1-14, б), магнитните им сили се неутрализират поради обратната си посока, като остават само външните части на токовете от периферните молекули, които имат еднаква посока. Следва, че по повърхността на тялото протича ток, на който се дължи намагнитването му.

Тази хипотеза се обоснова след откриването на строежа на атома, когато се установи, че кръговите токове се дължат на движението на електроните по орбитите си около ядрото. Сега може да се направи следното обобщение: всички магнитни явления се предизвикват от движението на електрическите товари, т. е. от протичането на електрически ток, от което следва, че не съществува количество магнетизъм. За

¹ Тук за посока на електрическия ток трябва да се смята условно приетата — от плюса (+) към минуса (—) на токоизточника. Тази посока се приема при прилагането на всички подобни правила, които ще бъдат разгледани по-нататък.

опростяване на тези явления при изследването им обаче се допуска, че количество магнетизъм съществува.

Ако се навие проводник спирално по цилиндрична повърхнина, получава се еднослойна бобина, която се нарича още *соленоид*. При протичане на ток по този проводник около последния се създава магнитно поле, напълно подобно на това на пръчковиден магнит. Полюсите му се определят по правилото на дясната ръка, а именно: ако се обхване с дясната ръка соленоидът така, че четирите пръста да сочат посоката на тока по навивките, то отвореният палец ще сочи северния полюс на създадения магнит (фиг. 1-14, в).

Интензивността на магнитното поле на соленоида е право пропорционална на броя на навивките и на силата на протичащия ток. Често тя се изразява с понятието *ампернавивки*. Ако в соленоид се постави сърцевина от феромагнитно тяло, например желязо, поради голямата му магнитна индукция се получава многократно по-силен магнит, отколкото при обикновения соленоид. Този магнит се нарича *електромагнит* и намира голямо приложение както в електротехниката, така и в радиотехниката (релета, динамични високоговорители и др.).

в. Електромагнитна индукция

Електромагнитната индукция е открита от Фарадей през 1831 год. Тя е процес, обратен на създаване на магнитно поле от протичащ електрически ток. След редица опити, позовавайки се на единството в природните явления, Фарадей открива, че магнитното поле може да възбуди електрически ток. Това явление той нарекъл *електромагнитна индукция*.

За да се възбуди електрически ток в един проводник, необходимо е да се спазят две условия:

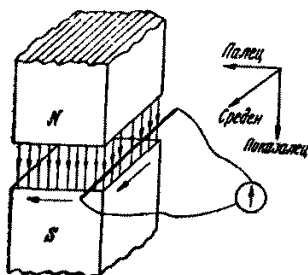
1. Проводникът да представлява затворена електрическа верига.
2. Магнитното поле да бъде изменяемо.

Магнитно поле, създадено от постоянен ток или от постоянен магнит, не възбужда електрически ток в неподвижен проводник.

Токът, възбуден в проводник от изменящо се магнитно поле, се нарича *индуциран ток*. Когато проводникът не представлява затворена верига, в него се индуцира електродвижеща сила, под действието на която при затваряне на веригата протича електрически ток. Индуцирането на *едс* или ток става само във времето, в което магнитното поле се изменя или проводникът се движи в постоянно магнитно поле.

Посоката на индуцираната *едс* зависи от посоката на магнитното поле и от посоката на движението на проводника. Практически тя може да се определи по правилото

на трите пръста на дясната ръка, известно като правило на Флеминг: ако се разположат палецът, показалецът и средният пръст на дясната ръка взаимно перпендикулярно и така, че показалецът да сочи посоката на магнитните силови линии, а палецът — посоката на движението на проводника, то средният пръст ще сочи посоката на индуктираната $едс$ (фиг. 1-15). При това трябва да се знае, че при движение на проводника по посока на силовото поле $едс$ не се индуктира.



Фиг. 1-15

Големината на индуктираната електродвижеща сила в един проводник зависи от скоростта на изменение на магнитното поле, респ. от скоростта на движение на проводника в него:

$$E_i = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Индуктирането на електродвижеща сила в проводника е възможно и когато магнитното поле е създадено от протичащ ток в съседен проводник. Това явление лесно се проверява, ако се разположат близо една до друга и успоредно две намотки, в едната от които протича ток. За да се индуктира във втората намотка $едс$, необходимо е токът в първата да изменя силата си, за да се създаде изменящо се магнитно поле. Посоката на индуктираната $едс$ може да се определи, като се изходи от известния закон на Ленц, който гласи, че всяко вторично явление се стреми да се противопостави на първичното, което го е породило. Така, ако в първата намотка токът се усилва, във втората ще се индуктира $едс$, която ще прокара ток в обратна посока. Когато в първата намотка токът отслабва, във втората ще се индуктира $едс$, която ще прокара ток с посока, еднаква на тока в първата намотка.

Това явление е познато в електротехниката като *взаимоиндукция*. Големината на индуктираната $едс$ зависи както от скоростта на изменение на тока в едната намотка, така и от геометричните форми, взаимното разположение и размерите на намотките. Последните фактори определят така наречения *коэффициент на взаимоиндукция* на намотките, който се измерва с практическата единица *хенри* ($хн$). На принципа на взаимоиндукцията почиват устройството и действието на трансформаторите.

При изменение силата на тока в един проводник, което е съпроводено с изменение на магнитното му поле, $едс$ се индуктира не само в

близки проводници, но и в самия проводник, по който тече токът. Това явление е известно под името *самоиндукция*. Големината на индуктираната *едс* зависи от скоростта на изменението на тока и от индуктивността на проводника. Дължината и формата на проводника определят неговата индуктивност, която се измерва също в хенри.

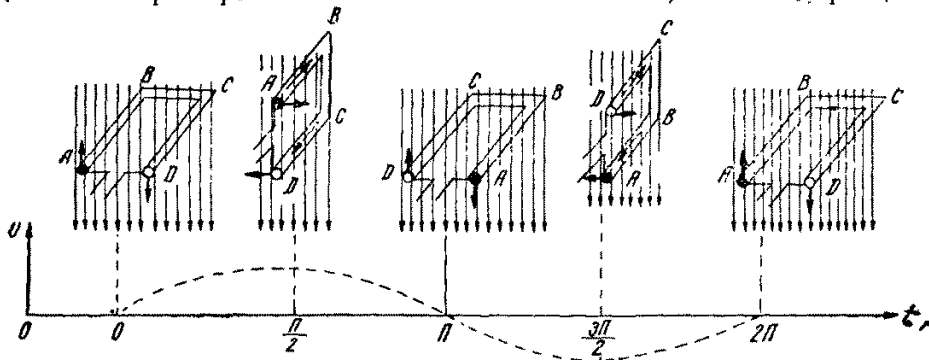
4. ПРОМЕНЛИВ ТОК И ЗАКОНИ ЗА ПРОМЕНЛИВИЯ ТОК

а. Същност и параметри на променливия ток

Променлив ток е онзи, който периодически мени както силата, така и посоката си. Поради редицата преимущества, които притежава пред постоянния, той намира по-голямо приложение в електротехниката. Основните преимущества на променливия ток са:

1. Получава се по-лесно от постоянния ток.
2. Възможно е трансформирането му в токове с различни напрежения.

Необходимо условие за протичане на променлив ток в една верига е наличието на *променлива електродвижеща сила*. Такава се създава лесно при въртене на намотка в магнитно поле, на който принцип



Фиг. 1-16

почиват устройството и действието на всички променливотокови генератори¹. На фиг. 1-16 е показано как се изменя електродвижещата сила в такава намотка. Когато раменете *AB* и *CD* се движат по посока на магнитното силово поле, в нея не се индуктира *едс*, а в положенията $\frac{\pi}{2}$ и $\frac{3\pi}{2}$, когато за единица време раменете пресичат най-голям брой силови линии, индуктираната *едс* е максимална, което се вижда от нейния график, даден на същата фигура.

¹ Устройството и действието им не са предмет на настоящия учебник (б. р.).

Когато измененията на индуктираната електродвижеща сила стават синусоидално, тя се нарича *синусоидална*. Променливият ток, създаден от нея, също се нарича *синусоидален* и графикът му представлява синусоида.

Както се вижда от диаграмата на променливия ток, неговата сила се изменя с времето, като достига всички стойности от 0 до максимум. Стойността на тока в определено време се нарича неговата *моментна стойност*.

Времето, за което променливият ток прави едно пълно изменение (по графика от 0 до 2π), се нарича *период* (T). Броят на периодите за 1 сек се нарича *честота на променливия ток* (f). В практиката се използват променливи токове с различни честоти. Например за индустриални цели се използва ток с честота 50 пер/сек (или 50 херца). В радиотехниката се използват токове с много по-висока честота: токове с ниска или звукова честота (до 20 000 пер/сек) и високочестотни токове (над 20 000 пер/сек). Между периода T и честотата f съществува следната зависимост:

$$f = \frac{1}{T} \text{ и } T = \frac{1}{f}.$$

Максималната стойност на променливия ток се нарича *амплитуда*. Тъй като такава стойност той получава само 2 пъти в един период, тя не може да бъде мярка за работата, която променливият ток извършва. В това отношение реална стойност се явява неговата *ефективна стойност*. Количествено тя е равна на стойността на онзи постоянен ток, който за същото време отделя във веригата толкова топлина, колкото отделя и разглежданият променлив ток. Когато последният е синусоидален, ефективната му стойност се определя от равенството

$$I_{\text{еф}} = \frac{I_{\text{макс}}}{\sqrt{2}} = 0,707 I_{\text{макс}}.$$

Освен тази стойност съществува и *средна стойност* на променливия ток:

$$I_{\text{ср}} = \frac{2}{\pi} I_{\text{макс}} = 0,637 I_{\text{макс}}.$$

Тази стойност обаче се ползува по-рядко при изразяване параметрите на променливия ток.

Токът и напрежението са във *фаза*, когато максималните и минималните им стойности съвпадат по време.

6. Закони за променливия ток

За променливия ток са в сила разгледаните закони за постоянния ток, като в областта на индустриалните честоти и при омически товар могат без забележима грешка да се използват и формулите за нами-

Тъй като във веригата на променливия ток обаче съществуват индуктивно (X_L) и капацитивно (X_C) съпротивление, които изместват по фаза тока и напрежението, а, от друга страна, U и I нямат постоянна стойност с времето, този израз за мощността добива друг вид.

В зависимост от това, в какви стойности се изразяват U и I , променливият ток има и съответната мощност. При това дефазиранието на тока спрямо напрежението се изразява във формулата чрез множителя $\cos \varphi$. В този случай изразите за мощността на променливия ток добиват следния вид:

$$P_{\text{макс}} = U_{\text{макс}} I_{\text{макс}} \cos \varphi;$$

$$P_{\text{ср}} = U_{\text{ср}} I_{\text{ср}} \cos \varphi;$$

$$P_{\text{еф}} = U_{\text{еф}} I_{\text{еф}} \cos \varphi.$$

От тези изрази практическо значение има ефективната мощност, която се нарича още *активна мощност на променливия ток*. Когато във веригата съществува чисто индуктивен или чисто капацитивен товар (съпротивление), тогава мощността е равна на нула (0), тъй като при такива товари фазовият ъгъл между U и I е съответно $+90^\circ$ и -90° , а $\cos \varphi = 0$. Такава мощност се нарича *реактивна* и се изразява с равенството

$$P_p = UI \sin \varphi.$$

Когато веригата е съставена от чисто омически товар, фазовият ъгъл между U и I е $\varphi = 0^\circ$, а $\cos 0^\circ = 1$. В този случай изразът за мощността добива вида:

$$P = U_{\text{еф}} I_{\text{еф}}.$$

Тази мощност се нарича *привидна мощност на променливия ток*. Изобщо променливият ток се характеризира с трите вида мощност: *активна, реактивна и привидна*, които понякога се наричат *активен, реактивен и привиден товар*. Множителят $\cos \varphi$ се нарича *фактор на мощността* и има голямо значение в електротехниката.

2. ТРАНСФОРМАТОРИ

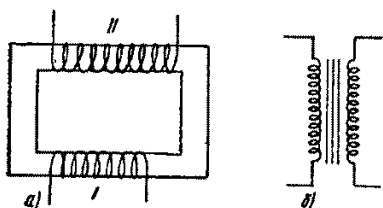
Трансформаторите са електрически съоръжения, чрез които е възможно трансформирането на електрическа енергия с по-ниско в електрическа енергия, с по-високо напрежение или обратно. Тяхното устройство и действие почиват на принципа на взаимоиндукцията. Тъй като взаимоиндукцията е възможна само при изменящо се магнитно поле, трансформаторите осигуряват трансформиране само на променливотокова енергия. На фиг. 1-18 е показано принципното устройство на трансформатора. Той се състои от две бобини, свързани индуктивно чрез поставянето им на обща желязна сърцевина, която има предназначение да увеличи магнитната индукция и намали магнит-

ното съпротивление на системата, вследствие на което се увеличава многократно коефициентът на взаимоиндукцията.

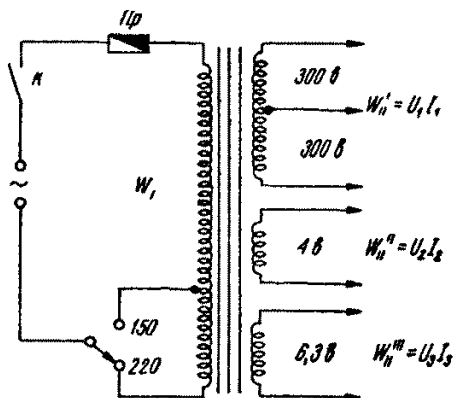
Намотката, в която протича променливият ток, предназначен за трансформиране, се нарича *първична*, а тази, в която се индуцира *едс* — *вторична*.

В зависимост от предназначението си трансформаторите биват *нискокочестотни* и *висококочестотни*. Първите най-често се използват като *мрежови трансформатори* в захранващите устройства на радиоапаратурите, а вторите — за прехвърляне на високочестотна енергия в радиотехническите вериги.

При трансформиране на електрическата енергия мощността, която консумира от мрежата



Фиг. 1-18



Фиг. 1-19

първичната намотка на трансформатора, се нарича *първична мощност* или само *мощност на трансформатора*. Вследствие наличието на загуби при прехвърлянето на енергията, дължащи се на разсейване на магнитното поле и на индуциране паразитни токове в желязната сърцевина, мощността във вторичната намотка е по-малка. За мрежовите трансформатори в радиоапаратурите загубите при прехвърляне на енергия са около 25%.

Съществува зависимост между броя на навивките и напреженията в двете намотки, която се изразява в равенството

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = K,$$

където n_1 и n_2 са съответно броят на навивките в първичната и вторичната намотка, а U_1 и U_2 — напреженията в първичната и вторичната намотка.

Ако се пренебрегнат загубите при трансформирането, от равенството за привидните мощности в двете намотки ($U_1 I_1 = U_2 I_2$) следва:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2},$$

т. е. токовете в двете намотки при натоварен трансформатор са обратно пропорционални на напреженията.

Горните съотношения ни показват, че трансформаторите могат да бъдат повишаващи ($n_2 > n_1$) и понижаващи ($n_2 < n_1$). В практиката намират приложение и двата вида трансформатори. В радиотехниката мрежовите трансформатори обикновено имат повече от една вторична намотка, като в едни от тях напрежението на мрежата се повишава, а в други намалява. Схематично изображение на мрежов (или още наречен *силов*) трансформатор е дадено на фиг. 1-19.

За да се намалят загубите от индуктиране на паразитни токове в желязната сърцевина и за да се намали загряването на същата, тя се приготвя от отделни листове от специална силициева ламарина, които предварително се оксидират или намазват с лак, за да се изолират електрически един от друг.

6. ЕЛЕКТРОАКУСТИЧНИ ПРИБОРИ

Основните електроакустични прибори, които се ползват от радиолюбителите, са *микрофони*, *радиослушалки* и *високоговорители*. Микрофоните имат предназначение да преобразуват звуковата енергия в електрическа, а радиослушалките и високоговорителите, обратно, електрическата енергия с ниска честота — в звукова.

Микрофон

Предназначението на микрофона е да преобразува звуковата енергия в електрическа.

В зависимост от начина на преобразуването различаваме няколко вида микрофони: *графитни*, *динамични*, *кондензаторни*, *кристални* и др.

Графитният микрофон има най-просто устройство, но притежава редица недостатъци, като *собствен шум* и необходимост от захранване, поради което в радиотехниката намира малко приложение. Неговото основно приложение е в жичната телефония. Преобразуването на звуковата енергия в електрическа се осъществява чрез изменение на контактното съпротивление между твърди проводници при натиск. Тъй като този ефект е най-забележим при графита (въглена), тези микрофони се изработват именно от графит. Принципното устройство на графитен микрофон е показано на фиг. 1-20, *а*, а включването му — на фиг. 1-20, *б*. Той се състои от въгленова плочка и мембрана, между които е осъществена електрическа връзка посредством въгленов прах. При протичане на постоянен ток през него, когато тази система е в покой, токът има постоянна сила. При произвеждане на звук пред мембраната последната започва да трепти с честотата и силата на звука. Вследствие различния натиск на звуковите вълни върху плочката вътрешното съпротивление на микрофона се изменя. Съгласно закона на Ом в този случай се изменя и силата на тока, който става пулсиращ. Под влиянието на изменящото се магнитно поле на този ток във вторичната намотка на микрофонния трансформатор се индуктира

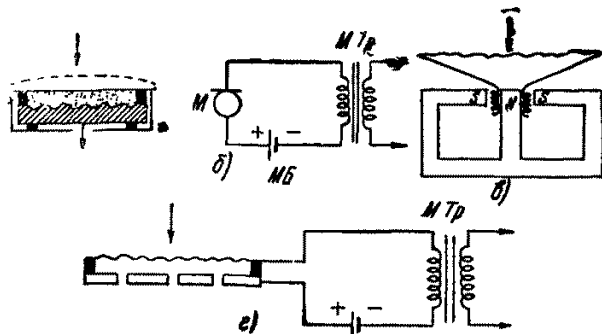
едс, стойността на която зависи от преводното отношение на трансформатора.

Създаденият пулсиращ микрофонен ток, както и токът във вторичната намотка на трансформатора носят всички качества на звуковата енергия и посредством подходящи устройства тези качества се възпроизвеждат на голямо разстояние от микрофона.

Динамичният микрофон е показан принципно на фиг. 1-20, *в*. Трансформирането на звуковата енергия в електрическа при него става за сметка на индуктирането на *едс* в намотката, когато последната трепти в магнитното поле на постоянния магнит. За целта тя се свързва към подходяща мембрана, пред която се произвежда звукът.

Този микрофон е по-качествен от графитния и не се нуждае от отделно захранване, но се налага усилване на слабата *едс*, която се индуктира в намотката. На фиг. 1-20, *г* е показано принципното устройство на кондензаторен микрофон. Действието му почива на изменението на капацитета на кондензатора при изменение на разстоянието между плочите му. Той представлява плосък кондензатор, едната плоча на който е оформена като еластична мембрана. При произвеждането на звук срещу нея тя трепти, с което се изменя и капацитетът на кондензатора. Вследствие на допълнителното зареждане и разреждане на кондензатора от включения във веригата му токоизточник през първичната намотка на микрофонния трансформатор протича променлив ток, който може да се трансформира в ток с по-високо напрежение в зависимост от преводното отношение на трансформатора.

И при този микрофон е необходимо усилване на създадената променлива *едс*.



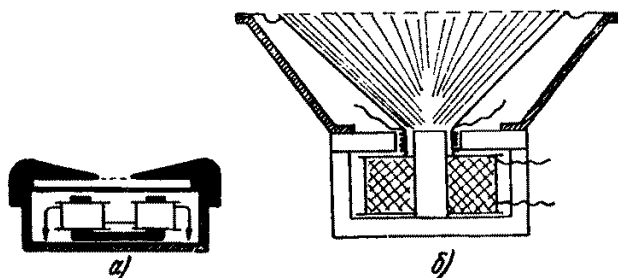
Фиг. 1-20

Радиослушалки и високоговорители

Предназначението им е да преобразуват електрическата енергия със звукова честота в звук. Устройството и действието им се основават на взаимодействието между ток и магнит. На фиг. 1-21, *а* е показано принципното устройство на радиослушалката. Тя представлява подковообразен магнит с надянати върху полюсите му бобинки, срещу които е разположена тънка мембрана от меко желязо. Когато през бобинките протече променлив (със звукова честота) или пулсиращ ток, създаденото от него променливо магнитно поле засилва или отслабва полето на постоянния магнит, вследствие на което мембраната се притегля по-

силно или по-слабо от магнита. По такъв начин тя започва да трепти с честотата на тока в бобинките, като създава звукови вълни, напълно еднакви с онези, които са въздействували на микрофона при преобразуването на звуковата енергия в електрическа.

Радиослушалките за разлика от телефонните слушалки имат голямо вътрешно съпротивление (2000—4000 *ом*), поради което могат да се вадействуват с много слаби токове. В много от слушалките бобинките



Фиг. 1-21

са надянати не направо върху полюсите на постоянния магнит, а върху полюсни наставки от меко желязо, с което се избягва вредното влияние на големите коерцитивни сили на стоманата.

В концертните радиоприемници се използват изключително високоговорители. Те биват два типа: *перманентни* и *електродинамични*.

Разликата между тях е тази, че при първите магнитната система е от постоянен магнит, а при вторите — от електромагнит. На фиг. 1—21, *б* е показано принципното устройство на електродинамичен високоговорител. Върху цилиндричната сърцевина на електромагнита е надяната малка бобинка, която може свободно да се движи по протежение на оста му, без да се опира до полюсите, които са направени така, че в тесния цилиндричен процеп между тях, в който е поставена бобинката, се създава хомогенно магнитно поле. Бобинката е центрирана със специална еластична шайба и към нея е захваната конусообразната мембрана, изработена от твърда хартия. При протичане през навивките на бобинката на ток със звукова честота създаденото от него променливо магнитно поле взаимодействува със силното поле на електромагнита, при което бобинката започва да трепти, като се увеличава повече или по-малко по оста на магнита. Трептенията се предават на сравнително голямата мембрана.

Съпротивлението на бобинката на високоговорителя е малко (от порядъка на няколко ома), поради което се налага включването ѝ към изхода на крайното стъпало на приемника да става посредством изходен трансформатор.

7. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА ИЗМЕРВАТЕЛНИТЕ ИНСТРУМЕНТИ

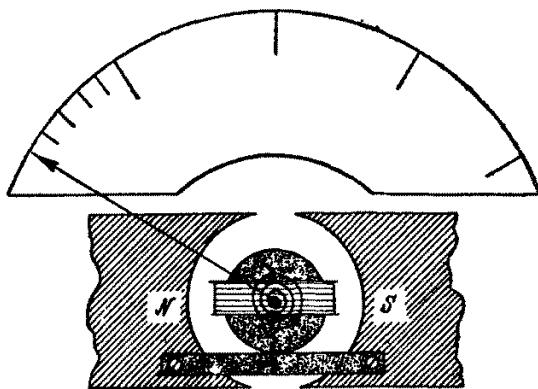
Измервателните инструменти имат предназначение да измерват основните електрически величини: напрежение, сила на тока и съпротивление на проводниците. Тъй като тези величини не могат да се измерват пряко, в измервателните инструменти се отчита действието на

електрическият ток (термично, термоелектрично или най-често магнитно), по което се съди за стойностите на електрическите величини. В зависимост от предназначението си те биват:

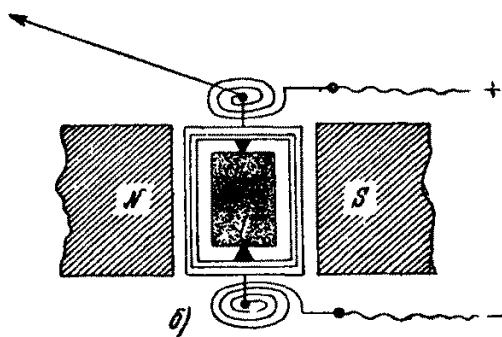
- ампермери — за измерване силата на електрическият ток;
- волтмери — за измерване напрежението;
- оммери — за измерване съпротивлението на проводниците.

Съществуват и комбинирани измервателни инструменти, наречени още *авомери* или *мултицети*, в които посредством подходящи превключвания една измервателна система се използва за измерване на тока, напрежението и съпротивлението.

Днес най-голямо приложение намират измервателните инструменти с *магнитоелектрична система*. В нея се използва магнитното действие на тока, по което се съди за силата му. На фиг. 1-22, *a* е показано принципното устройство на една такава система. В силното поле на един постоянен магнит е поставена лека бобинка, която може свободно да се върти по оста си на две кристални лагерчета (фиг. 1-22, *b*). Върху оста на бобинката действуват силите на две спирални пружинки, предназначението на които е да фиксират изходното положение на бобинката и да я връщат в него след завъртането ѝ. Към същата ос е прикачена и стрелката, която отчита по скалата измерваната електрическа величина.



a)



b)

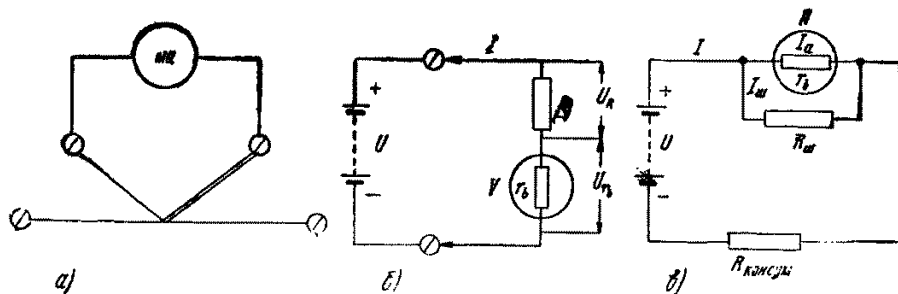
Фиг. 1-22

При протичането на постоянен ток през намотките на бобината създаденото от него магнитно поле си взаимодействува с постоянния магнит, при което бобината се завърта на определен ъгъл, зависещ от силата на тока, като преодолява силите на пружинките. След спиране на тока под действието на пружинките бобинката се завърта и се връща в изходното си положение. Вижда се, че такава система се задействува само от постоянен или пулсиращ ток. Когато се наложи да се измерва променлив ток, необходимо е преди това

същият да се изправи. За тази цел в измервателните инструменти за променлив ток има вградени изправители — обикновено от полупроводници.

Други типове измервателни системи са :

Електромагнитната система, при която желязната сърцевина на бобината се привлича от магнитното поле, създадено от протичането на измервания ток през бобината. Такива системи имат малка точност и се строят предимно за измерване на силни токове. Скалата им е



Фиг. 1-23

неравномерна. Преимуществото им е в простата конструкция и липсата на подвижни токопроводници, поради което са устойчиви на претоварвания.

Електродинамичната система, устроена на принципа на взаимодействие между проводници, по които протича ток. Състои се от две взаимодействащи си бобини, от които едната е неподвижна, като измерваният ток се пуска да протича през двете бобини.

Термичните системи, които действуват на принципа на топлинното действие на тока. Могат да измерват и прав, и променлив ток, но са с малка чувствителност.

Термоелектричната система, която е съчетание на магнитоелектричната система с термоелемент. Измерваният ток само загрява термоелемента, а създадената термоелектродвижеща сила прокарва ток през магнитоелектричната система, която го отчита. С такива системи се измерват високочестотни токове. На фиг. 1-23, а, е показано устройството на тази система.

Важен показател за чувствителността на една система е силата на тока, от която стрелката му се отклонява до края на скалата. За магнитоелектричните системи тя е от порядъка на няколко микроампера до няколко милдъмпера. Колкото тази сила е по-малка, толкова по-чувствителни са системите.

Използуването на една магнитоелектрична система за измерване на ток или напрежение зависи от това, как тя се включва във веригата за измерване на електрическа величина. Тъй като системата има малко вътрешно съпротивление, а през нея трябва да протече ток със сила, не по-голяма от необходимата за отклонение на стрелката до края, на-

лага се токът през инструмента да се ограничава до тази стойност. За волтмерите и ампермерите това става по различен начин, като и в двата случая се прилагат изводите от законите на Кирхоф за проста и разклонена верига.

Така във волтмерите последователно на системата се включва едно съпротивление, наречено *предсъпротивление*, стойността на което зависи както от чувствителността на системата, така и от максималното напрежение, което ще се измерва, т. е. от обхвата на инструмента. В този случай съгласно втория закон на Кирхоф това предсъпротивление и вътрешното съпротивление на системата образуват делител на напрежение. Предсъпротивлението трябва да се подбере така, че в крайщата на измервателната система да се получи падение на напрежението, достатъчно да прокара през нея ток, в зависимост от чувствителността ѝ. Например, ако вътрешното съпротивление на една система е 100 ом и стрелката ѝ се отклонява до края от 1 ма, за да се използва като волтмер за измерване на максимално напрежение 100 в, необходимо е (по фиг. 1-23, б) в цялата верига при $U=100$ в да протича ток $I=0,001$ а:

$$I = \frac{U}{R + r_v}; 0,001 = \frac{100}{R + 100}; R = 99\,900 \text{ ом.}$$

За радиолюбителски нужди е напълно достатъчно да се приеме, че за система с крайно отклонение 1 ма предсъпротивлението може да се изчислява по 1000 ом на волт от обхвата. Тази стойност на предсъпротивлението (ом/в) нормално се означава върху измервателните инструменти.

Като се има предвид горното, лесно е да си обясним, че разширяването на измервателния обхват на волтмера може да стане чрез включване на подходящо по-голямо предсъпротивление. На този принцип почива изменението на измервателните обхвати на волтмера от комбинирания измервателен инструмент.

Волтмерът се включва паралелно на полюсите на токоизточника (фиг. 1-23, б). Колкото той е по-чувствителен, толкова по-точно измерва полюсното му напрежение, тъй като слабият ток, който инструментът консумира, ще предизвика и малко падение на напрежението във вътрешното съпротивление на токоизточника.

За да се използва магнитеоелектричната система като ампермер, тя се включва последователно в електрическата верига. В този случай, за да протече през нея само необходимият за отклонение на стрелката ток, без да се изменя токът във веригата, се прибавя до шунтиране на системата с подходящо съпротивление, наречено *електрически шунт* или само *шунт*. При изчисляването му се използват изводите от първия закон на Кирхоф за разклонени токови вериги. По схемата на фиг. 1-23, в следва:

$$\frac{I_a}{I_{ш}} = \frac{R_{ш}}{r_v}.$$

Понеже общият ток във веригата е равен на сбора от I_a и $I_{ш}$, то следва, че

$$I_{ш} = I - I_a.$$

От тези равенства изчислението на $R_{ш}$ става по формулата

$$R_{ш} = \frac{I_a r_v}{I - I_a} \text{ (ом)}.$$

Тези зависимости дават възможност за разширяване обхвата на ампермерите чрез превключване на подходящи шунтове, както се постъпва в комбинираните измервателни инструменти.

ЕЛЕКТРОВАКУУМНИ ПРИБОРИ

1. ЕЛЕКТРОННА ЕМИСИЯ

Един от основните елементи на радиотехническите вериги са *радиолампите*. В зависимост от устройството, предназначението и действието им те биват *електронни* и *йонни*, а общо се наричат *електривакуумни прибори*.

Действието на електронните лампи се основава на принципа на *електронната емисия* и на протичане на електрически ток във вакуум. Електронната емисия представлява процес на излъчване на свободни електрони от повърхността на металите при определени условия.

Възможността за излъчване на такива електрони от металите се обуславя от тяхната структура. Както е известно, атомите на металите в твърдо състояние са подредени правилно и образуват кристалната решетка на метала. Външните електрони на металните атоми са слабо свързани с ядрата, което позволява лесното им отделяне под формата на свободни електрони. При нормални условия свободните електрони се движат хаотично в междуатомното пространство на метала. Практически те не напускат неговата повърхност, тъй като кинетичната им енергия не е достатъчна да преодолее притегателното действие на повърхностните положителни метални йони. За да се предизвика излъчване на тези електрони, необходимо е да им се придаде допълнително енергия отвън, която да увеличи скоростта им, а с това и кинетичната им енергия. В зависимост от вида на приложената енергия електронната емисия бива:

а) Термоелектронна емисия — когато излъчването на електроните се предизвиква от загряването на метала.

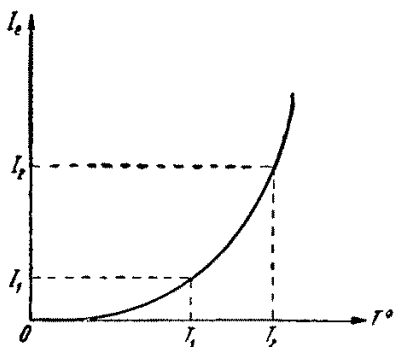
б) Вторична електронна емисия — когато излъчването на електроните се предизвиква чрез избиване на същите от повърхността на метала при бомбардиране на последната с бързо движещи се електрони.

в) Фотоелектронна емисия — когато излъчването на електроните се предизвиква чрез облъчване на металната повърхност с лъчиста енергия.

г) Автоелектронна (студена) емисия — когато излитането на електроните се осъществява чрез поставяне на металната повърхност под действието на силно електрическо поле.

Съвременните електронни лампи са устроени и действуват на принципа на термоелектронната емисия.

Те представляват система от електроди, поставени във вакуум, един от които има предназначение да излъчва електрони, за която цел същият се загрява посредством електрически ток до определена температура. Този електрод се нарича *термокатод* или само *катод*. Количеството на емитираните електрони или силата на емисионния ток е в зависимост от температурата на катода, която зависимост се изразява, както е посочено графически на фиг. 2-1. За изследване на тази зависимост и построяване на графика ѝ необходимо е излъчените електрони да се поставят под действието на ускоряващо електрическо поле. За целта на един от електродите на електронната лампа се подава сравнително висок положителен потенциал, който насочва движението на излъчените електрони и предизвиква протичането на електрически ток от катода през вакуума към този електрод. Във всички електронни лампи този електрод се нарича *анод*.



Фиг. 2-1

количество на емитираните електрони или силата на емисионния ток е в зависимост от температурата на катода, която зависимост се изразява, както е посочено графически на фиг. 2-1. За изследване на тази зависимост и построяване на графика ѝ необходимо е излъчените електрони да се поставят под действието на ускоряващо електрическо поле. За целта на един от електродите на електронната лампа се подава сравнително висок

положителен потенциал, който насочва движението на излъчените електрони и предизвиква протичането на електрически ток от катода през вакуума към този електрод. Във всички електронни лампи този електрод се нарича *анод*.

2. ТЕРМОКАТОДИ. ВИДОВЕ

За правилната работа на електронната лампа голямо влияние оказва качеството на нейния катод. За сравнение и оценка на качествата на различните катода са въведени следните параметри на катодите:

а) Специфичната емисия на катода — представлява стойността на емисионния ток от 1 cm^2 от повърхността на катода. Тя зависи както от материала, така и от температурата му. Измерва се в ma/cm^2 .

б) Специфична отоплителна мощност на катода — представлява отоплителна мощност, която се пада на 1 cm^2 от повърхността му. Измерва се във wt/cm^2 .

в) Ефективност на катода — представлява отношението между специфичната емисия и специфичната отоплителна мощност на катода и показва колко милиампера емисионен ток може да се получат от 1 wt отоплителна мощност. Измерва се в ma/wt .

г) Дълготрайност на катода — представлява срокът за нормална експлоатация на катода, в който той не променя емисионните си качества извън допустимите граници, т. е. срокът, в който електронната лампа е годна за използване. Измерва се в работни часове.

В зависимост от материала, от който са направени, катодите на съвременните електронни лампи се делят на *катоди от чисти метали*,

активирани катоди и окисни катоди, а според вида на отоплението те биват катоди с пряко (директно) отопление и катоди с непряко (индиректно) отопление.

Катоди от чисти метали

За изработване на катоди от чисти метали днес се използват волфрамът и танталът, които имат сравнително висока температура на топене (волфрамът — 3370°C , а танталът — 2850°C) и могат да се обработват във вид на тънки жички или ленти. По-често се срещат волфрамовите катоди, тъй като танталът при високи температури става крехък и чуплив. Волфрамовите катоди се отличават със сравнително ниска ефективност (2–6 *ма/вт*), но затова пък притежават други положителни качества. Те например са по-устойчиви на йонна бомбардировка, която се получава при високи анодни напрежения, а също при загряване на катода без анодно напрежение се подобрява вакуумът на лампата.

Активирани катоди

Устройството на активираните катоди почива на свойството на някои метали да увеличават многократно специфичната си емисия при покритие с тънък слой от друг метал. При това тези катоди работят при сравнително ниски температури на загряване, поради което имат голяма ефективност. Най-употребяваните днес активирани катоди са *торираните и карбидираните катоди*.

Окисни катоди

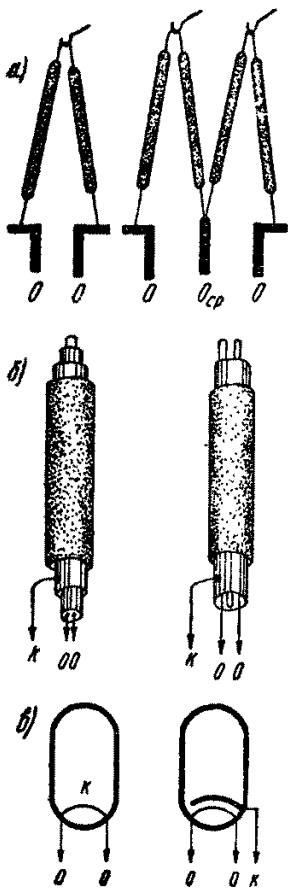
Поради добрите си качества окисните катоди са едни от най-употребяваните в съвременните електронни лампи. Тяхната структура е значително по-сложна от тази на активираните катоди. За основен материал при тях се използва никел, върху които се нанасят по механичен път изходните продукти за окисно покритие — *бариев и стронциев карбонат*. Чрез външна термична обработка (висококочестотно загряване) върху никеловия катод остава покритие от окисен слой, който служи за източник на електрони.

Чрез изпарение на специално вещество, наречено гетер, в балона се постига висок вакуум, като парите му поглъщат газовете в балона и се полепват по стъклото.

Катоди с пряко отопление

При катодите с пряко отопление електроните се излъчват непосредствено от отоплителната жичка, загрявана от протичащ през нея електрически ток. По форма те биват най-различни в зависимост от ламповата конструкция: праволинейни, Л-образни, М-образни и др. (фиг. 2-2, а), при което с различните форми нормално се цели увели-

чаване на емитиращата повърхност. По вид те могат да бъдат или от чист метал, или активирани, или окисни. Поради малката температурна инертност на металната нишка при загряване на тези катоди с променлив ток се предизвиква пулсиращо излъчване на електрони (съгласно закона на Ричърдсън) с честота, двойно по-голяма от честотата на променливия ток, което е нежелателно явление в лампите. По тази причина тези катоди се загряват само с постоянен ток от химически източник или подходящ изправител.



Фиг. 2-2

Катоди с непряко отопление

Катодите с непряко отопление са предназначени за загряване с променлив ток. Принципно им устройство е показано на фиг. 2-2, б. При тях емитиращата повърхност е отделена електрически от отоплителната жичка и представлява металически цилиндър, покрит с активен слой. Практически изолацията се постига или чрез поставянето му върху керамична пръчка, през която по канали е прекарана отоплителната жичка, или чрез покриване на последната с топлоустойчив изолационен пласт от алуминиеви окиси. При това отоплителната жичка може да има различни форми, както е показано на фигурата. Предвид голямата температурна инертност на изолационния слой температурата на емитиращата повърхност остава постоянна независимо от моментните изменения на силата на променливия отоплителен ток. Тези катоди се наричат още *еквипотенциални катоди*.

Схематичното изображение на катодите с директно и индиректно загряване е посочено на фиг. 2-2, в.

3. ДВУЕЛЕКТРОДНА ЛАМПА (ДИОД)

Предназначение на диода

Двуелектродната лампа, наречена още *диод*, е най-простата електронна лампа. Нейното основно предназначение е като изправител на променливи мрежови напрежения в захранващите устройства на радиоапаратите и като детектор на високочестотни напрежения. Трябва да се отбележи, че различията между диода-детектор и мрежов изправител са само конструктивни.

Устройство на диода

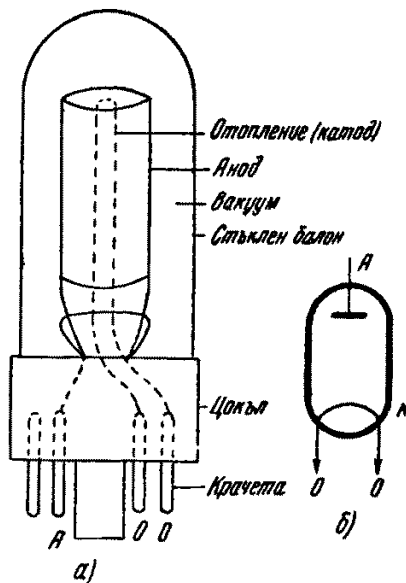
Устройството на двуелектродната лампа е показано схематично на фиг. 2-3, а, а означението ѝ — на фиг. 2-3, б. Тя има два електрода: *катод* и *анод*, поместени в метален или най-често в стъклен балон, от който е изтеглен въздухът до висок вакуум. Предназначението на катода е да излъчва електрони, а на анода — да създаде подходящо ускоряващо електрическо поле, което да предизвика протичане на електрически ток във вакуума на лампата. Катодът има устройството, показано на фиг. 2-2, а и б. Анодът е направен от добре обработен метал без шупли и остатъчни газове в него и има формата на паралелепипед или най-често на цилиндър, на който по оста е поставен катодът. За удобство при монтиране в радиоуредбите изводите на електродите са направени на крачета върху цокъл от изолационен материал.

Действие на диода

Излъчените от загретия катод електрони изпълват балона на лампата, като създават т. нар. *пространствен заряд* (фиг. 2-4, а). При подаване положително напрежение на анода електроните от пространствения заряд под действието на ускоряващото електрическо поле се отправят към анода, при което във вакуума на лампата протича електрически ток под формата на електронен поток от катода към анода, а във външната верига — от анода през анодния токоизточник към катода.

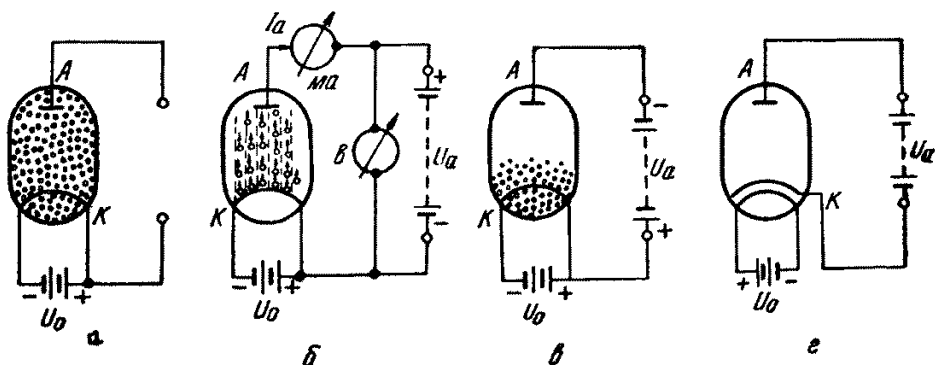
Ако на анода се подаде отрицателно напрежение спрямо катода (фиг. 2-4, в), излъчените от катода електрони не достигат анода поради отблъскващото действие на електрическото му поле и се натрупват около катода, образувайки *електронен облак*. Електрически ток не протича (за по-голяма нагледност при обяснение на действието на електронните лампи ще се проследява пътят на електронния поток).

От казаното следва, че диодът има изправително или вентилно действие, т. е. пропуска електронния поток само в една посока (от катода към анода) и при това само когато анодът има положителен потенциал спрямо катода. Това му свойство определя и неговото приложение като изправител на променливо напрежение. Така, ако на анода му се подаде променливо напрежение от някакъв генератор, във веригата



Фиг. 2-3

на генератора ще протече прав пулсиращ ток независимо от променливия характер на генераторното напрежение.



Фиг. 2-4

Токови вериги в диода

В диода съществуват две токови вериги, означени на фиг. 2-4, б.

1) отоплителна верига — включва отоплителния токоизточник и отоплителната жичка на катода, и

2) анодна верига — изхожда от катода, вакуумната междина катод—анод, анода, съединителните проводници, анодния токоизточник и завършва в катода.

В отоплителната верига нормално действа токоизточник с ниско напрежение от порядъка на 2 до 50 в в зависимост от типа на лампата и протича сравнително силен ток от 100 ма до няколко десетки ампера, докато в анодната верига действа сравнително високо напрежение — от няколко десетки до няколко хиляди волта, а протича значително по-слаб ток — от порядъка на десетки до стотици милиампера.

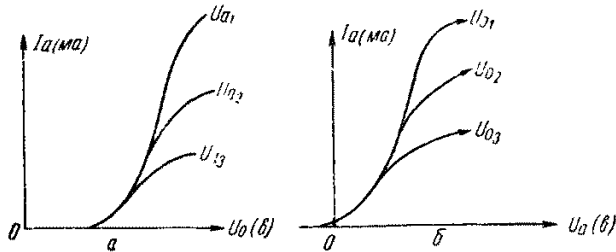
Характеристики на диода

Диодът притежава две характеристики, от които можем да съдим за някои негови качества. Едната изразява зависимостта на анодния ток от температурата на катода и се нарича *емисионна характеристика*, а другата — зависимостта на анодния ток от анодното напрежение и се нарича *анодна характеристика*. Тъй като температурата на катода зависи от силата на отоплителния ток, а последният — от големината на отоплителното напрежение, най-често емисионната характеристика се изразява като функция на анодния ток от отоплителния ток (или от отоплителното напрежение):

$$I_a = f_1(I_t) \text{ или } I_a = f_2(U_t).$$

Емисионната характеристика на диода може да се снее при различни анодни напрежения, при които се получава *сноп* или *семејство* *характеристики* (фиг. 2-5, а).

При експлоатацията на диода по-голяма практическа стойност има анодната характеристика, която се нарича още *статична* или *волт-*



Фиг. 2-5

амперна. Както и при емисионната характеристика, всеки диод притежава *сноп* или *семејство* *анодни характеристики*, снети при различни отоплителни напрежения. На фиг. 2-5, б е показано графически семејството анодни характеристики на диода. Вижда се, че характеристиките не са *праволинейни*, което е указание, че *вътрешното съпротивление* на диода е *нелинейно*.

Параметри на диода

За сравнение на качествата и определяне експлоатационниот режим на различните двуелектродни лампи са въведени качествени показатели за тях, наречен *параметри*. Основните параметри на диода са следните :

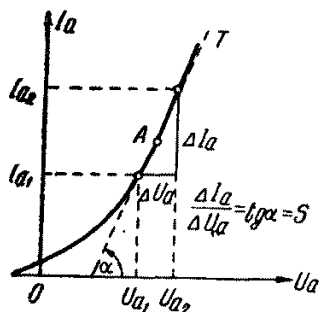
1. Стръмност на характеристиката — S .
2. Вътрешно съпротивление — R_i .
3. Максимална загубна (разсејана) мощност на анода $P_{a \text{ макс}}$.
4. Максимално обратно напрежение — $U_{a \text{ обр макс}}$.

Стръмност на характеристиката. От графиката на анодната характеристика на диода се вижда, че наклонът ѝ спрямо оста X не е еднаков во отделните ѝ участъци. По тази причина, кога то се говори за стръмност на характеристиката, трябва да се разбира, че този параметър за различни точки от неа, т. е. при различни режими на работата, е различен. Стръмноста се изразява чрез ъгловиот коефициент на допирателната към характеристиката в дадена нејна точка. На фиг. 2-6 е показана стръмноста в точка A от възходящиот клон на характеристиката, која може да се изрази чрез равенството:

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_a} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{I_{a2} - I_{a1}}{U_{a2} - U_{a1}}$$

Стръмноста се измерва в ма/в и показва с колко милиампера се изменя анодниот ток при изменение

на анодното напрежение с един волт. Тъй като отношението $\frac{I}{U}$ представлява проводимостта на една токова верига, ясно е, че стръмността ще бъде толкова по-голяма, колкото по-малко е вътрешното съпротивление на лампата.



Фиг. 2-6

Вътрешно съпротивление на диода

Вътрешното съпротивление на диода представлява реципрочната стойност на стръмността и се определя от отношението

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{1}{S}.$$

Като отношение $\frac{U}{I}$ по закона на Ом

изразява съпротивление и се измерва в оме, когато U_a е изразено във волтове, а I_a в амperi. Необходимо е да се отбележи, че отношението $\frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$ изразява

съпротивлението, което лампата оказва на изменението на анодния ток, предизвикано от изменението на анодното напрежение, така че то се явява съпротивление, което диодът оказва на променливия ток.

Максимална загубна мощност на анода. При протичане на електрически ток във верига с активно съпротивление част от енергията му се превръща в топлина, която се излъчва и се явява като загубена енергия. Подобно явление се наблюдава и при протичане на аноден ток в диода с тази разлика, че при него се загрева само анодът поради сблъскването на електроните с него, при което кинетичната им енергия се превръща в топлинна.

Мощността, която се изразходва за загреване на анода, се нарича *загубна мощност на анода* (P_a). Нейната стойност се определя от равенството

$$P_a = U_a \cdot I_a \text{ (вт).}$$

Загубната мощност на анода не трябва да превишава определени граници по следните причини:

- а) Прекомерното загреване на анода може да предизвика отделяне на остатъчни газове от него, които да влошат вакуума на лампата.
- б) Високата температура на анода може да предизвика допълнително загреване на катода, което води до увеличаване на емисията му. При това се достига до изменение режима на работа на лампата, което за активирани и окисни катоди е опасно.

За предотвратяване на тази опасност се вземат мерки за охлаждане на анода, като същият се изработва с по-голяма повърхност за естествено излъчване на повече топлина или на мощните лампи се прибегва до принудително въздушно или водно охлаждане.

Максимално обратно напрежение. При експлоатацията на двueleктродната лампа от значение е стойността на променливото напрежение, което се подава на анода. То може да стигне такава стойност, при която да се получи *пробив*, т. е. прескачане на искра между анода и катода. Такъв пробив при загрят катод може да настъпи само когато на анода действа отрицателният полупериод на променливото напрежение, тъй като в този случай вакуумната междина катод—анод без притока на електрони към анода представлява голямо съпротивление и падението на напрежение в нея (IR) добива голяма стойност. Пробивът винаги е съпроводен с влошаване на вакуума на лампата, но може да предизвика и разрушаване на катода.

Максималното допустимо напрежение на анода, което не трябва да се превишава, за да не настъпи пробив, се нарича *максимално обратно напрежение*. То се дава в характеристиките на двueleктродните лампи и трябва да се съблюдава при експлоатацията им.

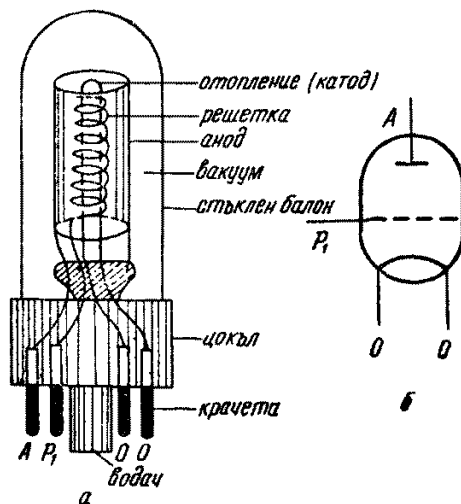
4. ТРИЕЛЕКТРОДНА ЛАМПА (ТРИОД)

Предназначение на триода

Триелектродната лампа, наречена още *триод*, е най-простата електронна лампа, в която е осъществено *управление (командуване)* на анодния ток. Тя произлиза фактически от диода и най-същественото ѝ отличие от него е това, че тя има усилвателно действие. Това определя и приложението ѝ в радиоапаратите. Триодът днес се използва предимно като генератор на високочестотни напрежения и като усилвател. В някои случаи благодарение на нелинейността на вътрешното му съпротивление триодът се използва като детектор, преобразувател или модулатор.

Устройство на триода

Както се спомена по-горе, триодът произлиза от диода, в който е поместен *трети електрод* между анода и катода,

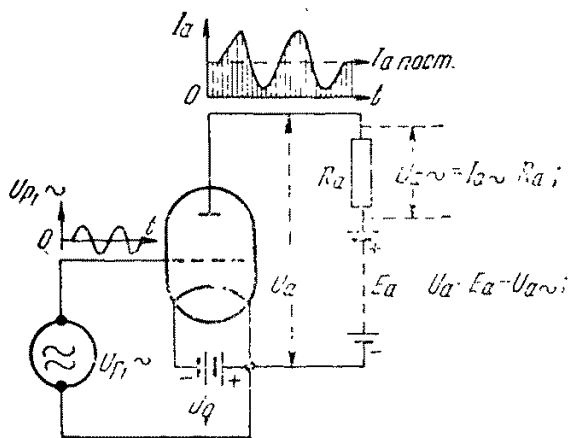


Фиг. 2-7

наречен *решетка*. В съвременните триоди решетката представлява металическа спирала, която обхваща катода от всички страни и има електрически извод във външния балон върху краче на цокъла на лампата. На фиг. 2-7 е показано принципното устройство (а) и означението (б) на триода. Според предназначението на триода решетката се приготвя с различна гъстота и е поставена на различно разстояние от катода, но винаги по-близо до катода, отколкото до анода. Останалите електроди и елементи на триода имат същото устройство както при диода.

Действие на триода

Характерното в действието на триода, както е показано на фиг. 2-8, е командното действие, което решетката упражнява върху анодния ток, поради което тя се нарича *командна* или *управляваща решетка*. Наличието на известен потенциал на решетката — положителен или отрицателен спрямо катода — предизвиква съответно увеличаване или намаляване на електронния поток към анода, при което анодният ток расте или намалява. Командното напрежение на решетката нормално се подава от вън и ако то е променливо, предизвиква съответно изменение на анодния ток, който става пулсиращ с честотата на променливото решетъчно напрежение (U_{p1}). По този начин в анодния ток се създава променлива съставна, отговаряща напълно по форма на U_{p1} . Същността на управлението на решетката е в нейното притегателно (когато е положителна спрямо катода) или отблъскващо действие



Фиг. 2-8

когато е отрицателна) към излъчените от катода електрони. Всъщност процесът е по-сложен, тъй като върху емитираните от катода електрони действа сумарното електрическо поле на анода и решетката, което в областта на катода има сложен характер. Независимо от това обаче поради близостта на решетката до катода се създават условия, при които малки изменения в потенциала на решетката предизвикват значителни изменения на анодния ток. Ако в анодната верига на триода се включи някакво съпротивление (R_a), в което променливата съставна на анодния ток да създаде падение на напрежението ($U_a \sim$), констатира се, че това напрежение, съответстващо по форма на $U_p \sim$, е значително по-голямо от последното (управляващото). В това се състои и усилвателното действие на триода. Ако пък командващото на-

прежение $U_p \sim$ се подаде от анодната верига на същата лампа, триодът става генератор на променливи трептения, т. е. преобразува постояннотоковата енергия на анодния токоизточник в променливотокова.

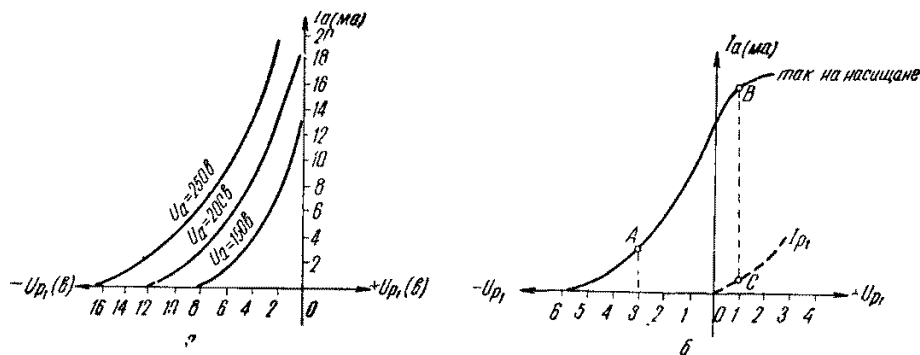
Токови вериги в триода

Триодът притежава освен познатите от диода анодна и отоплителна верига и трета — верига на командувашата решетка, наречена *решетъчна верига*. Тя започва от катода на лампата, включва вакуумната междина катод—решетка, съединителните проводници и решетъчния токоизточник и завършва в катода. Фактът, че тя съдържа част от вакуума на лампата, подсказва, че и тази верига подобно на анодната (в диода и триода) има нелинейно съпротивление. Характерно за тази верига е, че в нея действа сравнително ниско напрежение (от няколко волта до няколко десетки волта) и протича слаб решетъчен ток (от няколко *мкА* до няколко *мА*).

Характеристики на триода

Наличието на трети електрод в триода определя и наличието на трета характеристика, наречена *решетъчна*, която изразява зависимостта на анодния ток от решетъчното напрежение: $I_a = f(U_p)$ при $U_a = \text{const}$. Практическо значение за определяне режима на работа на триода при неговата експлоатация има решетъчната му характеристика.

Решетъчна характеристика. За различни стойности на анодното напрежение триодът притежава различни решетъчни характеристики,



Фиг. 2-9

които образуват също така семейство характеристики. На фиг. 2-9, а са изобразени семейство решетъчни характеристики на триода 6С5С. Характерна за характеристиката е най-лявата им точка, определена от онзи потенциал на решетката, при който не протича аноден ток, т. е. лампата е запушена. Този потенциал на решетката се нарича *потен-*

циал на запушване. От графиката се вижда, че колкото анодното напрежение е по-високо, толкова отрицателният потенциал на запушване на решетката е по-голям. При това характеристиките, снети при по-високи анодни напрежения, имат по-ляво разположение от тези за по-ниски анодни напрежения. Това се обяснява с факта, че ускоряващото положително електрическо поле на анода с по-висок потенциал намалява отблъскващото действие на отрицателното поле на решетката в областта на катода, което налага повишаване на отрицателния потенциал на същата до неутрализиране полето на анода в тази област.

На фигурата са показани онези области от характеристиките на триода, които са снети за отрицателни напрежения на решетката. При подаване положително напрежение на решетката анодният ток продължава да нараства и при катод от чист метал може да достигне до *ток на насищане* (фиг. 2-9, б). При лампи с активирани и окисни катода достигането на тока на насищане е съпроводено с разрушаване на катода. При експлоатиране на триода нормално на решетката му се подава предварително постоянно отрицателно напрежение, наречено *решетъчно преднапрежение*. То определя така наречената работна точка върху характеристиката му. На фиг. 2-9, б е означена работната точка *A* за преднапрежение -3 в и работна точка *B* за преднапрежение $+1\text{ в}$. Видно е, че при положително преднапрежение протича и решетъчен ток с известна стойност (виж точка *C* на същата фигура).

Разгледаната решетъчна характеристика на триода се нарича *статична*, тъй като същата е снета при постоянно U_a . В динамичен режим на лампата, когато в анодната верига съществува товарно съпротивление R_a , изменението на I_a предизвиква и съответно изменение на U_a , което от своя страна също влияе върху изменението на I_a . По този начин характеристиката добива по-малка стръмност от статичната и се нарича *динамична характеристика*. Работата на триода практически се определя от вида на неговата динамична характеристика.

Параметри на триода

Основните параметри на триода, по които се съди за неговите експлоатационни качества, са:

- 1) вътрешно съпротивление — R_i ;
- 2) стръмност на характеристиката — S ;
- 3) статичен коефициент на усилване — μ ;
- 4) прохват (проницаемост) — D .

Първите два параметъра са известни още от двуелектродната лампа с тази разлика, че при триода се има предвид стръмността на решетъчната характеристика, а не на анодната.

Вътрешно съпротивление на триода. Както и при диода, вътрешното съпротивление на триода се изразява с отношението

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \text{ при } U_p = \text{const.}$$

Вътрешното съпротивление R_i се измерва в омове. Както и при диода, то е нелинейно и се изменя в широки граници в зависимост от

U_p . Така например, когато U_p клони към потенциала на запусване, R_i клони към безкрайност, понеже ΔI_a клони към 0. В съвременните триоди вътрешното съпротивление, отнасящо се за режим на работа при работна точка в средата на праволинейния участък на характеристиката, е в границите от единици до десетки килоома.

Стръмност на характеристиката. Стръмността на решетъчната характеристика на триода се изразява също чрез тангенса на ъгъла от допирателната в дадена точка от нея. Тя представлява наклонът на характеристиката в тази точка и се определя от отношението

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_p} \text{ при } U_a = \text{const.}$$

Измерва се *ма/в* и показва с колко милиампера нараства анодният ток при нарастване на решетъчното напрежение с един волт. Стръмността е най-голяма в праволинейния възходящ участък на характеристиката, а най-малка — в точката на потенциала на запусване, където клони към 0, тъй като ΔI_a клони към 0.

Стръмността на съвременните триоди е между 1 и 10 *ма/в*, но съществуват мощни генераторни триоди със S над 200 *ма/в*.

Статичен коефициент на усилване. Коефициентът на усилване на триода представлява число, което показва колко пъти се усилва едно променливо напрежение, подадено на решетката му. Изразява се чрез отношението

$$\mu = \frac{\Delta U_p}{\Delta U_a} \text{ при } I_a = \text{const.}$$

Дефинитивно коефициентът на усилване представлява отношението между нарастването на анодното напрежение и нарастването на решетъчното напрежение, за които две нараствания поотделно би се получило еднакво нарастване на анодния ток. Например, ако за нарастването на анодния ток с 1 *ма* е необходимо да се увеличи U_a с 20 *в* или U_p с 1 *в*, то коефициентът на усилването на триод ще бъде

$$\mu = \frac{20}{1} = 20.$$

Стойността на коефициента на усилване показва колко пъти е по-силно влиянието на решетката върху анодния ток в сравнение с влиянието на анода.

Проницаемост. Проницаемостта, наречена още *прохват*, е параметър, реципрочен на коефициента на усилване

$$D = \frac{1}{\mu} = \frac{\Delta U_p}{\Delta U_a} \text{ при } I_a = \text{const.}$$

Той показва каква част от сумарното въздействие на анодното и решетъчното напрежение върху анодния ток се пада на анода. В съвременните триоди прохватът се движи в границите от 0,01 до 0,25.

Вътрешно уравнение на триода

Вътрешното уравнение на триода, известно още като *уравнение на Баркхаузен*, изразява зависимостите между параметрите на триода за определена работна точка от характеристиката му. То има следния вид:

$$S \cdot R_i \cdot D = 1 \text{ или}$$

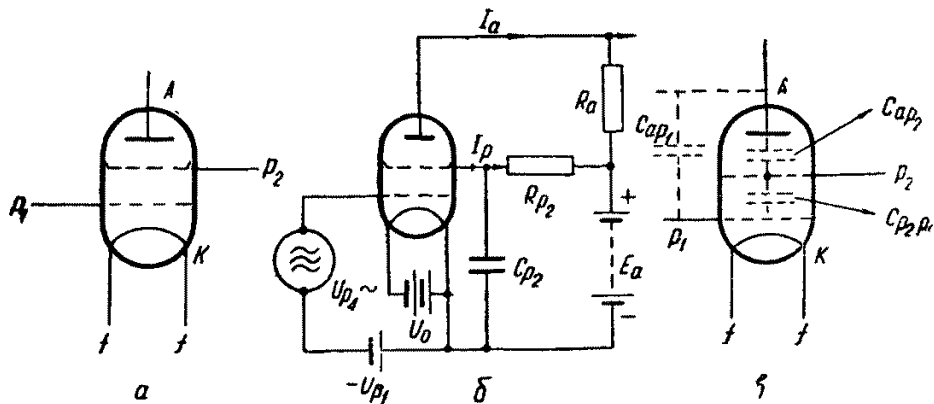
$$S \cdot R_i = \mu.$$

Това уравнение позволява да се намери третият параметър на триода, ако са известни другите два. При това ако S е изразена в ma/v , R_i се взема в $ком$.

5. ЧЕТИРИЕЛЕКТРОДНА ЛАМПА (ТЕТРОД)

Устройство на тетрода

Тетродът произлиза от триода, в който е поставен нов, четвърти електрод под формата на решетка между анода и управляващата решетка. Тази решетка, наречена



Фиг. 2-1

екранираща (екранна) или заслоняваща (заслон), нормално се прави по-гъста от управляващата и има отделен електрически извод на краче върху цокъла на лампата. Устройството и предназначението на останалите електроди и елементи на тетрода са същите както на триода. При работа на тетрода на екраниращата решетка се подава сравнително високо положително напрежение — от 0,25 до 0,5 от анодното, при което в нейната верига, наречена *верига на заслона*, протича сравнително слаб ток (ток на заслона) — от порядъка 1—5 ma . Означението на тетрода в схемите е показано на фиг. 2-10, а.

Предназначението на заслоняващата решетка е преди всичко да намали вредния вътрешен капацитет C_{ap1} на лампата, който в тетродите може да достигне стойност, 100 пъти по-малка от тази на триода. При такъв малък вътрешен капацитет се избягва възможността за самовъзбуждане на стъпалото при усилване на високи честоти. От друга страна, тази решетка екранира катода от действието на анода, поради което се намалява много прохватът на лампата, от което пък следва, че тя има голям коефициент на усилване.

Действие на тетрода

Както и в останалите електронни лампи, действието на тетрода се обуславя от протичането на електронен поток през вакуума на лампата при наличие на възможност за управляването му посредством потенциала на управляващата решетка. Тетродът се включва за действие по показаната на фиг. 2-10, б схема. Положителният потенциал на екранната решетка се подава от анодния токоизточник чрез съпротивлението R_{p2} , назначението на което е чрез създаденото в него от I_{p2} падение на напрежението да осигури на решетката необходимия по-нисък положителен потенциал в сравнение с анодния. Характерно за схемата е наличието на кондензатора C_{p2} , който има голям капацитет, от порядъка на 0,1 мкф, и се свързва между p_2 и k . Практически без тази връзка екраниращото действие на втората решетка не съществува. Физически обяснено, предназначението на този кондензатор е да даде път (да затвори веригата) на високочестотните трептения към катода, които биха се прехвърлили от анода върху p_1 чрез вътрешния капацитет C_{ap1} (фиг. 2-10, в) при действие на лампата като високочестотен усилвател¹. Капацитетът C_{ap1} в този случай може да се разгледа като резултантен на капацитетите C_{ap2} и C_{p2p1} .

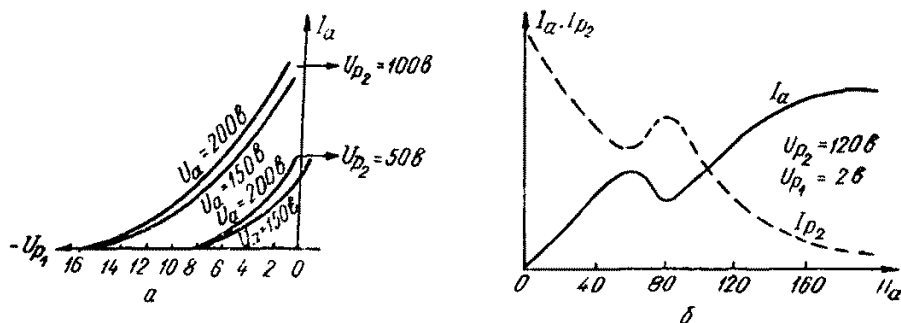
При протичане на анодния ток в тетрода е характерно, че влиянието на ускоряващото поле на p_2 върху излиташите от катода електрони е много по-голямо от това на анодното поле. По тази причина при $U_{p2}=0$ анодният ток е толкова слаб, че няма практическо значение за действието на лампата като усилвател. От това следва, че правилно избраното U_{p2} е от голямо значение както за статичния, така и за динамичния режим на лампата. Слабият ток на заслона въпреки сравнително големия му положителен потенциал се обяснява с голямата скорост, която притежават електроните в областта на p_2 .

Характеристики на тетрода

Характеристиките, които определят качествата на тетрода и режима на неговата работа, са две: решетъчна — $I_a = f_1(U_{p1})$, и анодна — $I_a = f_2(U_a)$. Поради наличието на четвърти електрод при снемането на тези характеристики на екранната решетка се подава определено постоянно напрежение, така че и за тетрода съществуват семейство характеристики от двата типа.

¹ Принципно устройство и действие са разгледани в гл. III, т. 4 (б. р.).

На фиг. 2-11, а са показани две семейства решетъчни характеристики на тетрода за различни напрежения на p_2 . Вижда се, че във всяко семейство поотделно независимо от голямото изменение на U_a характеристиките са разположени близо една до друга, докато при същото изменение на U_{p2} семействата са много отдалечени, т. е. рязкосе из-



Фиг. 2-11

меня стойността на потенциала на запущване. Този факт показва, че влиянието на U_{p2} върху анодния ток е много по-голямо от това на U_a , което позволява с малко повишаване на U_{p2} да се получат много леви характеристики, без за това да е необходимо голямо повишаване на U_a , както е при триода.

На фиг. 2-11, б е изразена анодната характеристика на тетрода $I_a = f_2(U_a)$ при $U_{p1} = const$ и $U_{p2} = const$. Характерна е формата на кривата, която за определени анодни напрежения, по-ниски от U_{p2} , има спадащ клон. Нормално се казва, че за тези анодни напрежения (U_a) настъпва провал в характеристиката. От графиката, на която е изразено и изменението на I_{p2} , се вижда, че то следва обратно пропорционално (реципрочно) изменението на I_a , т. е. когато I_a намалява, I_{p2} расте и обратно. Това е лесно обяснимо, когато се знае, че при $U_{p1} < 0$ сумата от I_a и I_{p2} е равна на емисионния ток на лампата I_k , който за определения режим на работа на катода може да се приеме за постоянен по сила.

Процесът на получаване провал в анодната характеристика на тетрода се дължи на така наречения *динактронен ефект* в лампата, т. е. получаване на вторично излъчване на електрони от анода при определено U_a , по-ниско от U_{p2} . Вследствие на голямата скорост, с която електроните пристигат върху анода, те избиват от него други електрони, които се натрупват в пространството между анода и втората решетка p_2 , като образуват *електронен облак*. Този електронен облак, от една страна, възпрепятства движението на емитираните от катода електрони към анода, поради което I_a намалява, а от друга — служи като пространствен заряд, от който p_2 черпи допълнително електрони, поради което I_{p2} се увеличава. Това е възможно поради факта, че в областта на електронния облак притегател-

ното действие на полето на p_2 е значително по-голямо от това на анода поради по-високия ѝ положителен потенциал. С повишаването на U_a над U_{p2} анодът започва да поема обратно върху себе си избитите вторични електрони, поради което вече не се създават условия за образуване на електронен облак, а с това се ликвидира и динатронният ефект — характеристиката получава естествения си възходящ вид.

При работа на тетрода в динамичен режим поради наличието на товарно съпротивление в анодната верига (R_a) винаги могат да се създадат условия, при които U_a да стане по-малко от U_{p2} и да възникне динатронен ефект. Това води до силни изкривявания във възпроизвеждането на усилваното напрежение, което е нежелателно. По тези причини приложението на тетрода като усилвател е ограничено.

Трябва да се отбележи, че спадащият участък на характеристиката дефинира така нареченото *отрицателно съпротивление на тетрода* за този режим, т. е. с повишаване на U_a анодният ток I_a , вместо да се увеличава (както би следвало да бъде по закона на Ом), той намалява.

Параметри на тетрода

Параметрите на тетрода се дефинират, както и при триода, обаче те имат по-други стойности. Характерно за тях е например, че докато стръмността на решетъчната му характеристика S не се отличава много от тази на триода, то прохватът му D е значително по-малък, а коефициентът на усилване μ е много по-голям от този на триода (μ е в границите от 20 до няколкостотин). Вътрешното съпротивление R_i на тетрода поради екраниращото влияние на p_2 и слабо влияние на U_a върху I_a достига от няколко десетки до няколкостотин килоома.

Поради недостатъците, които бяха изтъкнати във връзка с динатронния ефект, тетродът не намира широко приложение във вида, в който бе описан.

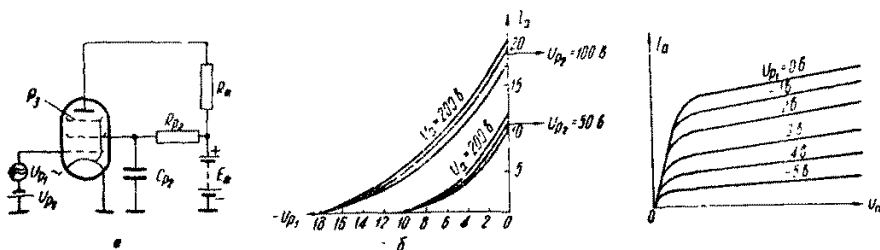
6. ПЕТЕЛЕКТРОДНА ЛАМПА (ПЕНТОД)

Пентодът както триодът и тетродът има предназначение да усилва напрежението или мощността на трептения с различни честоти. Поради по-добрите си качества той може да се използва в много по-широки граници. Усилвателното му действие позволява да се използва и като автогенератор както в предавателните, така и в приемните радиоапаратури.

Устройство и действие на пентода

Пентодът произлиза от тетрода и в него за премахване на динатронния ефект е вграден нов електрод — трета решетка (p_3), разположена между анода A и p_2 . Предназначението на тази решетка е да създаде в областта между p_2 и A поле с нулев потенциал, т. е. отрицателно спрямо анода, което да не допуска създаването на електронен

облак от вторичните електрони на анода, а да ги връща обратно на него. С това си действие тази решетка предотвратява динаatronния ефект и затова се нарича *спираща* или *антидинаatronна*. Тя се свързва или вътрешно с катода, или е изведена на отделно краче върху цокъла, за да се свърже с катода външно. Когато антидинаatronната



Фиг. 2-12

решетка е свързана по втория начин, тя позволява да се използва и за други цели — например за извършване на модулация в предавателите. По конструкция тази решетка е много по-рядка от p_1 и p_2 и е разположена по-близо до анода, отколкото до p_2 .

При действието на пентода не се проявява динаatronен ефект. Устройството и включването му за работа са показани на фигура 2-12, а.

В конструктивно отношение съществуват два типа пентоди: *високофреотни (вч)* и *нискофреотни (нч)*. Първите са предназначени да действуват предимно като усилватели на напрежение и при това на високофреотно, поради което те са по-малки и имат много малки вътрешни капацитети. Такива пентоди са например 6К3, 6К7, 6Ж4, ЕФ6, ЕФ31, 6ВА6 и др.

Нискофреотните пентоди са предназначени предимно за усилване мощността на трептенията (сигналите) с ниска фреота в крайните стъпала на радиоприемните апаратури. Те са по-големи по размери, със сравнително по-малко R_1 и по-големи вътрешни капацитети. Характерно конструктивно отличие на тези пентоди от високофреотните е по-рядката им втора решетка (p_2), на която могат да се подават напрежения, дори по-високи от анодното, за да се получи силен I_a , необходим при усилването по мощност. Такива пентоди са например 6П6, 6П9, ЕЛ3, ЕЛ11, ЕЛ12, ЕЛ42, ЕЛ84 и др.

Характеристики и параметри на пентода

Основните характеристики на пентода са: решетъчна — $I_a = f_1(U_{p1})$ при $U_a = \text{const}$ и $U_{p2} = \text{const}$; и анодна — $I_a = f_2(U_a)$ при $U_{p1} = \text{const}$ и $U_{p2} = \text{const}$. Решетъчните му характеристики (фиг. 2-12, б), построени за различни U_a , имат много по-близо разположение една до друга, отколкото тези при тетрода. Това се дължи на още по-отслабеното влияние на анода върху I_a , предизвикано от допълнителното екраниращо действие на p_3 .

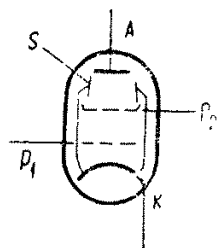
Анодните характеристики на пентода, показани на фиг. 2-12, в, се отличават съществено от тези на тетрода. В тях липсва спаданият клон, дължащ се на динаatronен ефект. Характерна е голямата стръмност на началния клон и почти липсва наклон в областта на работните анодни напрежения. На практика това осигурява почти постоянно U_a на пентода в динамичен режим независимо от наличието на голямото товарно съпротивление.

Параметрите на пентода се отличават от тези на триода и тетрода само по числените стойности. Прохватът му е много малък, а коефициентът на усилване μ — много голям. Например за *вч* пентоди той е над 1000, а за мощните — от 150 до 600. Съответните вътрешни съпротивления R_1 са: за *вч* пентоди — над 1 мгом, а за *нч* — до 0,1 мгом.

Пентодът е една от най-употребяваните приемно-усилвателни електронни лампи.

7. ЛЪЧЕВ ТЕТРОД

Лъчевите тетроди намират голямо приложение. При тях динаatronният ефект е отстранен чрез създаване на потенциал, по-нисък от анодния, в областта между анода и p_2 , използвайки излъчваните от катода електрони, като се насочва тяхното движение в снопове. За целта p_1 и p_2 се навиват с еднакви стълки и през отворите им електронният ток се насочва към анода под формата на снопове. За подобряване концентрацията на електроните в междината $A-p_2$ се монтират допълнителни електроди с нулев потенциал, означени на фиг. 2-13 с S .



Фиг. 2-13

8 ШЕСТЕЛЕКТРОДНА ЛАМПА (ХЕКСОД)

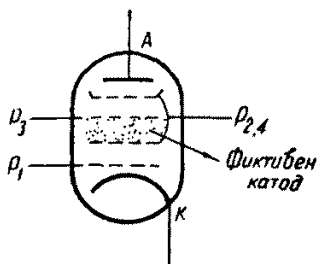
Разгледаните дотук електронни лампи се наричат още *прости лампови системи*. Познавайки свойствата им, лесно е да направим извода, че всяка следваща от тях може да изпълнява функциите на предната, но обратното не винаги е възможно.

Лампите с повече от пет електрода се наричат *сложни* и се делят на *многорешетъчни* и *комбинирани*. Многорешетъчните лампи освен функциите на простите лампови системи имат и други — специални, в светлината на които ще бъде разгледано тяхното устройство и действие, докато комбинираните лампи, както е видно от името им, представляват комбинация от две и повече лампови системи с познато действие. По тези причини те ще се разгледат само информативно.

Хексодът е най-простата многорешетъчна лампа. Нейното предназначение в електронните устройства е да извърши смесване на две различни по честота напрежения, в резултат на което да се получи трето, отличаващо се по честотата от първите две. Поради това си действие хексодът спада към *смесителните лампи*.

Устройство и действие

Устройството на хексода е показано на фиг. 2-14. Видно е, че той има 6 електрода: катод, анод и 4 решетки. Характерно за него е, че двете от решетките му са управляващи, което дава възможност за осъществяване на двойно управление на анодния ток. Другите две са заслоняващи и имат общ извод върху цокъла на лампата.



Фиг. 2-14

Наличието на две управляващи решетки в хексода определя неговите две решетъчни характеристики $I_a = f_1(U_{p1})$ и $I_a = f_2(U_{p2})$ при постоянни напрежения на другите електроди. Характерно за тези характеристики е, че стръмността на всяка от тях, означена съответно с S_1 и S_2 , е в зависимост от другата и става по-голяма, колкото потенциалът на решетката, определящ другата характеристика, е по-малко отрицателен. От тази зависимост се определя така наречената *константа на смесването* (K_c), която има измерение ma/v^2 и показва с колко ma/v се изменя стръмността на едната характеристика, когато потенциалът на другата решетка се изменя с 1 в.

Нормално стръмността S_1 , определена от първата управляваща решетка, е по-голяма и затова при действие на хексода като смесител на нея се подава по-слабият сигнал (входният), а на p_2 — сигналът на местния осцилатор (автогенератор), който е с по-големи амплитуди.

9. СЕДЕМЕЛЕКТРОДНА ЛАМПА (ХЕПТОД)

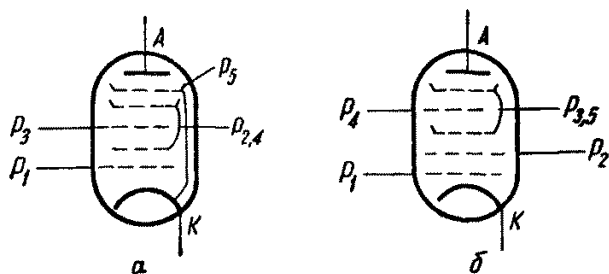
Хептодът има същото предназначение както хексодът — да извърши смесване на две напрежения с различни честоти.

Устройство и действие

Хептодът има седем електрода: катод, анод и пет решетки, поради което се нарича още *пентагрид*. Той се явява в две разновидности — *хептод смесител* и *хептод преобразовател*.

Хептодът смесител произлиза от хексода, на който е вградена още една решетка между анода и p_4 . Тази решетка както третата решетка на пентода има предназначение да премахне динаatronния ефект, който може да възникне в процеса на работата на смесителя, и се нарича също спираща или антидинаatronна. Освен това тази решетка подобрява значително и параметрите на лампата, като увеличава вътрешното ѝ съпротивление и намалява проходните капацитети. Предназначението и устройството на останалите електроди са същите както на хексода. Устройството на хептода смесител е показано на фиг. 2-15, а.

Хептодът преобразовател има конструкция, различна от тази на смесителя (фиг. 2-15, б). Той е приспособен не само да извършва смесване на две честоти, но и да създаде едната от тях, т. е. той действа и като *автогенератор*¹ (*осцилатор*). За включване като автогенератор се използва триодната му система (катод, p_1 и p_2), в която



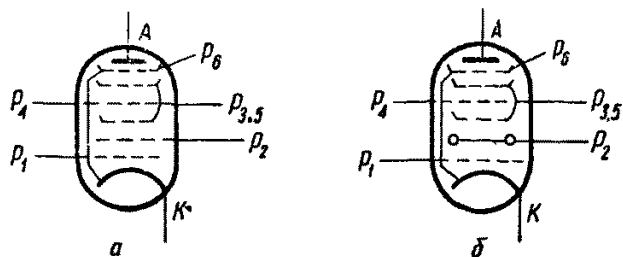
Фиг. 2-15

p_2 играе роля на анод. Входният сигнал се подава на втората управляваща решетка (p_4), а p_3 и p_6 , които имат общ извод, са заслоняващи.

Действието му се заключава в това, че създаденото в триодната система високочестотно напрежение е приложено върху p_1 и чрез нея въздейства на общия емисионен ток на лампата. Посредством влиянието и на входния сигнал, приложен върху p_4 , се осъществява двойното въздействие върху анодния ток.

10. ОСЕМЕЛЕКТРОДНА ЛАМПА (ОКТОД)

Октодът е преобразователна лампа с осем електрода: катод, анод и 6 решетки. Отличава се от хептода преобразовател по това, че има и антидина тронна решетка. Освен това съвременните октоди имат и



Фиг. 2-16

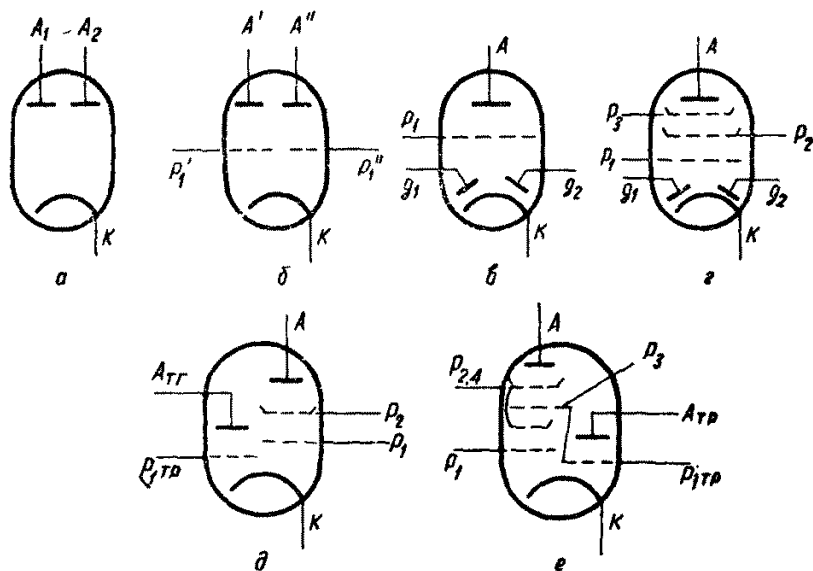
редица вътрешноконструктивни подобрения, които осигуряват пълна независимост на двете системи — входната и генераторната. Например

¹ Устройството и принципното му действие са разгледани в гл. III, т. 5 (б. р.).

при него p_1 има подходящо закрепване в 4 точки, p_2 е видоизменена като плочка или пръстен и др. Означението на октода е показано на фиг. 2-16, а и б.

11. КОМБИНИРАНИ ЛАМПИ

Създаването на комбинираните лампи се е наложило от икономически съображения. Те представляват комбинация от 2 или повече независими лампови системи, поставени в един стъклен балон, и в



Фиг. 2-17

повечето случаи с общ катод. Осъществяването на комбинациите може да се извърши произволно, но винаги се съобразява с предназначението на лампата. Комбинираните лампи имат широко приложение в радиоелектронните устройства. По-важните типове, които най-често се срещат и в практиката на радиоловителя, са показани на фиг. 2-17, а именно:

а) Двоен диод — съществува в два различни варианта: като мрежов изправител (кенотрон), каквито са AZ1, AZ11, 5ЦЗС и др., и като детектор — 6Х6, 6Х2П и др.

б) Двоен триод — двете системи се използват поотделно предимно като *нч* усилватели на напрежение или мощност, като генератори и др. Такива са 6СС31, ЕСС81, ЕСС83, ЕСС85, 6СС41 и др.

в) Двоен диод+триод — използва се като детектор и предусилвател на *нч* напрежение. Такива са 6АТ6, 6Г2, 6Г7 и др.

г) Двоен диод+пентод — използва се като *нч* усилвател и детектор или като детектор и предусилвател на *нч* напрежение. Такива са 6Б8С, 6ВФ2, 6ВФ11 и др.

д) Триод+*нч* тетрод или пентод — използва се като нискочестотен предусилвател и усилвател на мощност. Такива лампи са 6СЛ11, 6СЛ11 и др.

е) Триод+хексод или триод+хептод — преобразователи на честотата с отделна генераторна и смесителна система. Такива са 6СН3, 6СН4, 6СН81 и др.

Съществуват и много други комбинирани лампи, между които има и с повече лампови системи, каквато е напр. 6АВС80 (троен диод+триод).

От схемите се вижда, че всяка комбинирана лампа може да се използва вместо две или три обикновени, което е по-икономично и позволява да се намаляват размерите на апаратурите.

12. ГАЗОРАЗРЯДНИ ПРИБОРИ

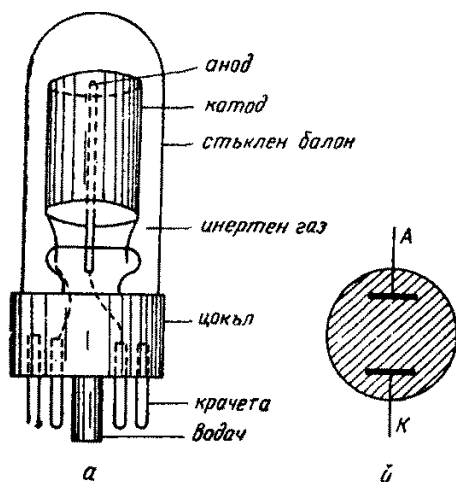
Газоразрядните прибори представляват лампи, балонът на които не е вакуумен, а е изпълнен с инертен газ (неон, аргон или хелий) под ниско налягане (няколко десетки *мм* живачен стълб). Поради йонизационните процеси, които настъпват при работа, тези лампи се отличават съществено от електронните и се наричат *йонни лампи*. Процесът йонизация в тях е съпроводен винаги с характерно за газа светене.

В зависимост от това, дали процесът на електрическия разряд в лампата се поддържа от външен източник на електрони или той е резултат само на вътрешни процеси, разрядите биват *несамостоятелни* и *самостоятелни*. С самостоятелни разряди работят йонните лампи с горещ катод, каквито са *газотроните* и *тиратроните*, а със самостоятелен разряд — лампите със студен катод, каквито са стабилизаторните лампи на напрежение — *стабилитроните*. За практиката на радиолюбителя особен интерес представляват стабилитроните, поради което накратко ще се разгледат само тяхното устройство и действие.

Стабилитрон — устройство и действие

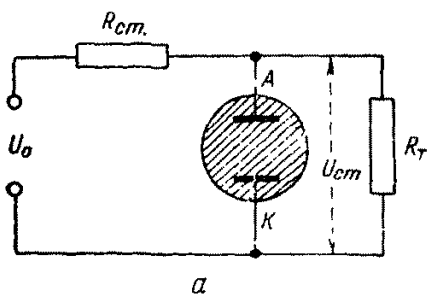
Както се вижда и от наименованието му, той се използва за стабилизиране на напрежението на онези стъпала в радиотехническите устройства, в които стабилността на напрежението е особено желателна — например генераторните стъпала на предавателите и приемниците и др.

Най-простият стабилитрон представлява двуелектродна газонапълнена лампа със студен катод. Външният ѝ вид и означението ѝ в

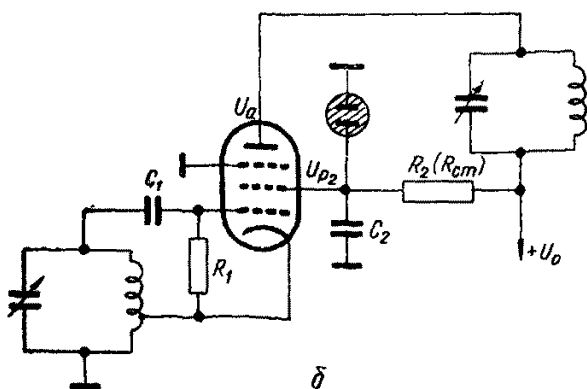


Фиг. 2-18

схемите са показани на фиг. 2-18, а и б. Той представлява стъклен балон, изпълнен с инертен газ под ниско налягане, в който са поместени двата електрода — катод и анод. Те имат нормално цилиндрична форма, като външният цилиндър (с по-голямата повърхност) е катодът, а анодът е във форма на метална пръчка, поставена по оста на катода. Електродите имат изводи на крачета върху цокъла на лампата, както и при електронните лампи. Свързването на стабилизатора като стабилизатор на напрежение е показано принципно на фиг. 2-19, а, а практическото изпълнение в схема на радиопаратура, за която е необходимо стабилно U_{p2} — на фиг. 2-19, б.



а



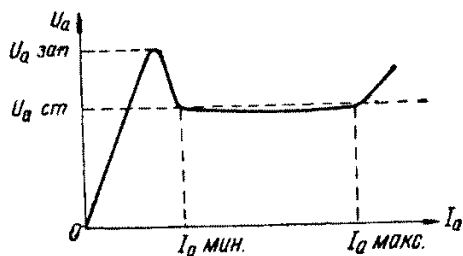
б

Фиг. 2-19

При подаване на сравнително ниско постоянно напрежение между електродите на стабилизатора под действието на ускорящото поле хаотично движещите се газови йони и електрони се насочват съответно към катода и анода, при което протича слаб аноден ток. С увеличаването на U_a до стойност $U_{a\text{ зап}}$ (фиг. 2-20) I_a се изменя незначително. Този режим на работа се нарича режим на *тъмен* или *тих разред*, т. е. разрядът е несамостоятелен и I_a се дължи на йонизиращото действие на външни фактори¹. С изравняването на U_a до стойността на $U_{a\text{ зап}}$ (запалителното напрежение на лампата)

¹ Космически лъчи, радиоактивно излъчване, термоелектронна емисия от нагорещен електрод и др. (б. р.).

разрядът става самостоятелен, при което U_a спада до стойността на $U_{a\text{ ст}}$, а I_a се увеличава значително. Появява се и светването на лампата (тя се „запалва“). Характерно за този режим на работа е, че I_a може да се изменя в широки граници (от $I_{a\text{ мин}}$ до $I_{a\text{ макс}}$), при което U_a остава практически постоянно. Това е възможно, когато във веригата е включено ограничителното съпротивление $R_{\text{ст}}$ (фиг. 2-19, а). На фиг. 2-19, б с U_0 е означено напрежението на анодния токоизточник, от който посредством R_2 (еквивалентното на $R_{\text{ст}}$) се осигурява захранването на p_2 . Ако се създадат условия за увеличаване на U_0 или за изменение стойността на $R_{\text{т}}$ (за схемата на фиг. 2-19, б товарно съпротивление за U_0 е вътрешното съпротивление на лампата $k-p_2$), което ще доведе до изменение на силата на тока във веригата на p_2 поради стабилизиращото действие на стабилитрона, U_{p2} (идентично с $U_{\text{ст}}$ по фиг. 2-19, а) остава практически постоянно.



Фиг. 2-20

Стабилизиращото действие на стабилитрона се отнася за определено $U_{\text{ст}}$ и за I_a в границите от $I_{a\text{ мин}}$ до $I_{a\text{ макс}}$. Тези стойности за всеки стабилитрон се дават в характеристиката му. Работата на стабилитрона в такъв режим се нарича „режим на нормален тлеещ разряд“, който може да се определи и по волт-амперната му характеристика, показана на фиг. 2-20. От нея се вижда също, че в областта на тлеещия разряд малки изменения на U_a предизвикват големи изменения на I_a , което значи, че стабилитроните имат малко вътрешно съпротивление (от 20 до 300 ом).

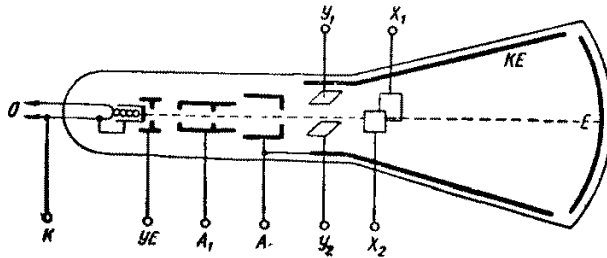
Познати стабилизаторни лампи за напрежение от този тип са съветските СГ2С, СГ3С, СГ4С и др. и европейските от типа STV100/200

13. ЕЛЕКТРОННОЛЪЧЕВИ ТРЪБИ

Електроннолъчевите тръби са електровакуумни прибори, при които енергията на емитираните от катода електрони се преобразува в светлинна енергия. За целта се използва свойството на някои вещества (*люминофори*) да светят при бомбардирането им с интензивен електронен сноп. В електроннолъчевите тръби интензивен електричен сноп се създава от така наречения *електронен прожектор*, а люминофорът се използва за приготвяне на екрана на тръбата. Приложението на електроннолъчевите тръби днес е много широко. Те се използват в електронните осцилографи и осцилоскопи, в радарните апаратури, в приемните телевизионни апарати, както и в промишлените телевизионни устройства за контрол на производствения процес. В зависимост от предназначението им те

имат различни конструктивни особености, обаче принципното им устройство и действие е еднакво.

Електроннолъчевата тръба, чието принципно устройство е показано на фиг. 2-21, представлява цилиндричен стъклен балон (от кварцово



Фиг. 2-21

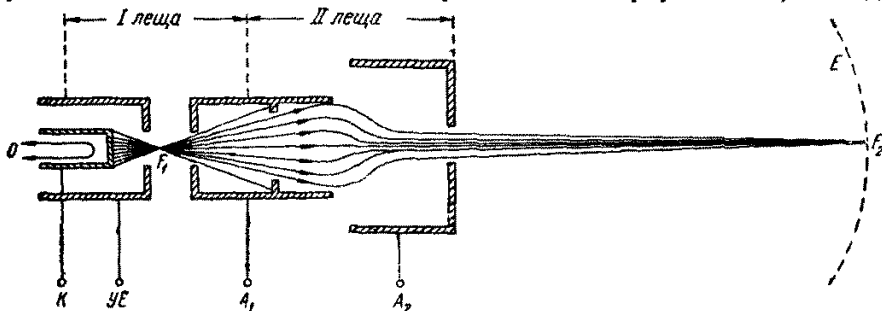
стъкло) с висок вакуум и фуниеобразно уширение в единия край, където са вградени основните елементи на тръбата: електронен прожектор, отклонителна система и екран.

Електронен прожектор

Електронният прожектор представлява система от електроди, които осигуряват емитирането на електрони и фокусирането им в тесен сноп. Неговите основни елементи са:

1. *Индиректно загрят катод (K)*. Представлява никелов цилиндър, на челото на който е нанесен активният окисен слой. Има предназначение да излъчи електрони.

2. *Управляващ електрод (UE)*, наречен още *Венелтов цилиндър*. Представлява металически цилиндър, поставен върху катода, снабден



Фиг. 2-22

с малък цилиндричен отвор (диафрагма) срещу челото на катода. Предназначението му е да управлява излъчвания от катода електронен поток, с което може да се изменя яркостта на светещата точка върху

екрана. Управляващият електрод има отрицателен потенциал спрямо катода и може да се сравни с управляващата решетка на усилвателните електронни лампи.

3. *Фокусиращо устройство.* Съставено е от два цилиндрични анода (A_1 и A_2), които заедно с управляващия електрод образуват *електростатична леща*. Преминаващите през нея електрони се фокусират в тесен сноп и се отправят към екрана на тръбата. Фокусиращото действие на тази система се дължи на различните потенциали на UE , A_1 и A_2 (фиг. 2-22), електрическите полета на които добиват особена форма в областта на отворите на цилиндрите (диафрагмите), при което полето с по-малък потенциал, разположено близо до катода, действа като събирателна леща за електронния поток, а по-отдалеченото — като разсейвателна леща със значително слабо разсейване. Показаната на фиг. 2-22 система от K , UE , A_1 и A_2 образува фактически две електростатични лещи, от които главна е втората, създадена от A_1 и A_2 .

Отклонителна система

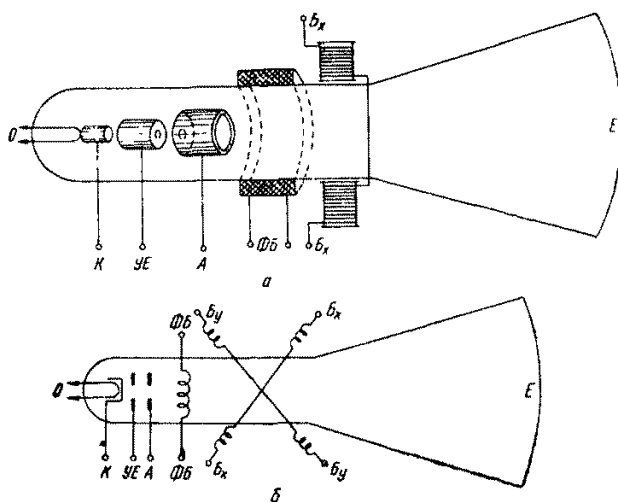
Отклонителната система има предназначение да отклони под влиянието на външно въздействие електронния лъч в хоризонтално и вертикално направление. На фиг. 2-21 тя е изобразена чрез двата чифта металически плочи X_1X_2 и Y_1Y_2 . Плочките от всеки чифт са успоредни помежду си, а двата чифта са разположени в плоскости, взаимно перпендикулярни. По този начин чрез създаване на напречни електрически полета между чифтовете електронният лъч може да отклони повече или по-малко в зависимост от потенциала на плочките в хоризонталната (X_1X_2) или във вертикалната (Y_1Y_2) плоскост. Ако на тях едновременно се подаде променливо напрежение, то електронният лъч чрез периодичното си отклонение в двете плоскости ще очертава някаква крива върху екрана, която може да се наблюдава. На този принцип почива действието на електроннолъчевата тръба.

Екран

За екран на електроннолъчевата ръба се използва челото на уширения край на стъкления балон, което от вътрешната си страна е покрито с луминесциращо вещество. Вследствие бомбардирането на луминесциращия слой от електроните на електронния лъч върху екрана се появява светещо петно с диаметър, равен на сечението на лъча. Яркостта на петното се регулира чрез изменение потенциала на управляващия електрод в границите от -10 до -60 в, а големината му — чрез изменение потенциала на електрода A_1 .

Според вида на луминесциращите вещества, с които е покрит екранът, той може да свети със зелен, син, оранжев, бял и други цветове. Според продължителността на светене на екрана след загасването на електронния лъч съществуват екрани с *малко, средно* и *голямо послесветене*.

След като отдадат кинетичната си енергия за получаване на светлинен ефект, електроните, попаднали върху екрана, заедно с вторичните, получени при бомбардировка на луминесциращия слой, остават във вакуума пред екрана. За отвеждането им в електроннолъчевата тръба се поставя нов електрод, наречен *коллекторен електрод (КЕ)*



Фиг. 2-23

Той представлява най-често графитен слой, поленен по вътрешната страна на стъкления балон на тръбата и свързан електрически с втория анод (A_2), поради което получава неговия висок положителен потенциал. Освободените електрони се привличат от него, при което във веригата на A_2 протича анодният ток I_{A_2} .

Дотук се дадоха общи сведения за електроннолъчевите тръби с *електростатично фокусиране и отклонение*. Този тип тръби намират приложение изключително в осцилографите и радиолокационните устройства. В приемните телевизионни апаратури се използват предимно тръби с *магнитно или смесено фокусиране и магнитно отклонение*.

В тръбите с магнитно фокусиране съставна част на електронния прожектор е *магнитната леща*. Нейните полета се създават от специална фокусираща бобина, което прави устройството на тръбата по-просто. По същия начин със специални отклоняващи бобини се създават отклонителни магнитни полета в отклонителното устройство.

На фиг. 2-23 са показани принципното устройство (а) и означението (б) на електроннолъчева тръба с магнитно фокусиране и отклонение.

ОСНОВИ НА РАДИОТЕХНИКАТА

1. ЕЛЕМЕНТИ НА РАДИОТЕХНИЧЕСКИТЕ ВЕРИГИ

Радиотехническите вериги се характеризират с това, че в тях протичат предимно сложни токове, съставени от две и повече компоненти. Особено значение от тях имат *високочестотните токове*, спрямо които елементите на веригите проявяват различни свойства. Познаването на тези свойства осигурява правилното им подбиране и използване при съставяне и изпълнение на радиосхеми, както и при разчитане на такива.

а. Омическо съпротивление

Омическото съпротивление е свойство на проводниците да се съпротивляват на електрическия ток. Както е известно, то се дължи на триенето и сблъскванията на електроните при движението им, при което кинетичната им енергия се превръща в топлинна. Като елемент на токовата верига то представлява изкуствено създаден проводник със съсредоточено омическо съпротивление. Общоприето е под понятието *съпротивление* да се разбира не свойството на проводниците, а самите елементи. Бележи се с R .

Свойства на омическите съпротивления

Основните свойства, които характеризират омическото съпротивление и които определят приложението му, са следните:

1. То е *загубно (активно)* съпротивление вследствие невъзвратимото трансформиране и излъчване на електрическата енергия в топлина.

2. *Омическото съпротивление е линейно*. Протичащият през него ток се изменя пропорционално на изменението на напрежението във веригата.

3. То не създава *фазово отклонение* между тока и напрежението.

4. Практически омическото съпротивление е *честотно независимо*. Само за свръхвисоките честоти то увеличава стойността си вследствие проявяването на така

наречения *повърхностен (кожен или skin) ефект*. Той се състои в изтласкване на електроните по повърхността на проводника, поради което практически се намалява сечението на проводника за протичащия ток.

Изхождайки от тези свойства, съпротивленията се използват като *товарни* и *оттечни съпротивления* („утечка“) в анодните и решетъчните вериги, като делители на напрежение и др.

Класификация и качествени показатели

В зависимост от материала, от който са направени, техническите съпротивления се делят на *жични* и *химични*.

Жичните съпротивления се изготвят от специална съпротивителна жица и могат да бъдат *еднослойни* и *многослойни*.

Химичните съпротивления според структурата си се делят на:

- а) *обемни* — когато цялата им маса е токопроводяща;
- б) *слоинни* — когато съпротивителният слой е нанесен външно, върху керамично тяло;
- в) *повърхностни* — когато този слой е създаден чрез дифузия на графит в повърхностния керамичен пласт.

Съпротивленията могат да бъдат още *постоянни* и *променливи (потенциометри, реостати)*. Днес най-голямо приложение намират химичните съпротивления, които се наричат още *керамични*, *силитни* или *графитни*.

Техническите съпротивления притежават редица качествени показатели, по които се съди за тяхната годност и които определят конкретното им приложение. Те са следните:

а) *Съпротивителна стойност* — маркира се върху тях в *ом*, *ком* или *мом*, като отклоненията от тази номинална стойност се обозначават в проценти (5, 10, 15%).

б) *Номинална разсейвана мощност* — онази мощност, която съпротивлението може да излъчи като топлина. Маркира се във *вт* и се изчислява по формулите

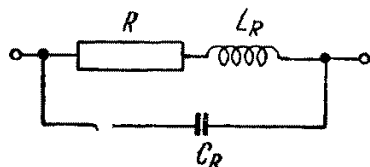
$$P = UI \text{ или } P = I^2 R,$$

където U е падението на напрежението в краищата на съпротивлението, а I — токът през съпротивлението.

в) *Стабилност на съпротивлението* — зависи от химическия състав на свързващото вещество в съпротивителния слой и от херметизацията. От тем-

пературни и други влияния свързващото вещество се разлага и съпротивлението изменя стойността си („старее“),

д) *Собствен шум* — характерен е при химичните съпротивления и се появява при протичане на постоянен ток. Дължи се на нееднаквите контактни съпротивления между графитните частици.



Фиг. 3-1

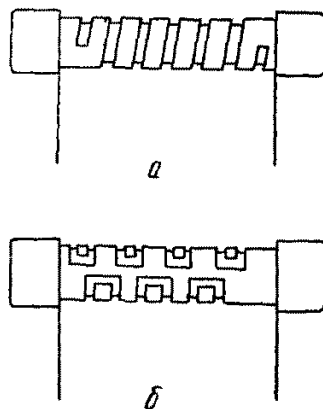
д) *Собствен капацитет и индуктивност* (C_R и L_R). Те се явяват като променливотокови съставни на всички съпротивления и са особено подчертани в жичните. Еквивалентната схема на съпротивлението е означена на фиг. 3-1.

Устройство на омическите съпротивления

Жични съпротивления. Те се приготвяват от проводник с голямо специфично съпротивление, като никелин, константан, кантал, реотан, хром-никел и др., който се навива върху керамично тяло. Изводите се правят със специални метални шапки от краищата на тялото. Когато се предявят изисквания към жичното съпротивление то да бъде *безиндуктивно*, проводникът се навива *бифиллярно*¹.

Приложението на тези съпротивления е по-ограничено. Най-често се използват като *катодни съпротивления* и за делители на напрежение в *изправителните групи* на *безтрансформаторните приемници*.

Химични съпротивления. Те представляват също цилиндрични керамични тела, върху които е нанесен съпротивителният слой. Изводите се правят от краищата на тялото с метални шапки. За да добият необходимата стойност, след нанасянето на съпротивителния слой върху тях се правят спирални нарязи с шмиргел (фиг. 3-2, а) за увеличаване на дължината и намаляване сечението на проводящия слой. Когато се изисква да са безиндуктивни, нарязите не се правят спирални, а по определен начин (фиг. 3-2, б).



Фиг. 3-2

6. Индуктивно съпротивление

Както е известно от електротехниката, явлението, при което протичащ по проводник променлив ток индуктира в същия проводник електродвижеща сила, се нарича самоиндукция. На това явление се дължи привидното съпротивление, което проводниците оказват на променливия ток, наречено *индуктивно съпротивление* (X_L). Съществуването на X_L за променливия ток опитно може да се констатира, като в една токова верига се включат поредно напълно еднакви по стойност постоянно и променливо напрежение и се измерят стойностите на съответните токове. Ще се установи, че променливият ток е с по-малка сила. Физически обяснено, по-мал-

¹ Виж. гл. X, т. 2 (б. р.).

ката сила на последния се дължи на това, че във веригата е действувало не приложеното от генератора променливо напрежение, а някакво резултантно — по-малко, равно на геометричния сбор от приложеното (U_r) и индуктираното вследствие самоиндукцията ($-U_L$):

$$\bar{U}_{\text{рез}} = U_r - \bar{U}_L.$$

Отказаното е ясно, че резултантното напрежение ще бъде толкова по-малко, колкото по-голямо е индуктираното противонапрежение. Тъй като стойността на $U_{\text{рез}}$ определя фактически големината на X_L , може да се направи изводът, че X_L зависи от онези фактори, които обуславят индуктирането на по-голямо противонапрежение във веригата. Тези фактори в общи линии са следните:

а) Дължината и формата на проводника, по който протича променлив ток.

б) Честотата на тока.

Дължината и формата на проводника определят неговия коефициент на самоиндукция (L), който се измерва в хенри ($хн$). Той е по-голям при дългия проводник и се увеличава многократно при навиване на последния на спирала с малка дължина и особено ако спиралата има желязна сърцевина. Това свойство на проводниците се използва за изготвянето на специални елементи за радиотехническите вериги със съсредоточено магнитно поле и голям коефициент на самоиндукция, наречени бобини.

Влиянието на честотата се обуславя от факта, че големината на индуктираното противонапрежение зависи от скоростта на изменение на магнитното поле. Колкото тя е по-голяма, толкова и противонапрежението е по-голямо. Оттук следва, че токовете с висока честота, при които изменението на магнитното поле става по-бързо, ще срещнат по-голямо индуктивно съпротивление от тези с ниска честота.

Горните зависимости на X_L се изразяват количествено с формулата

$$X_L = 2 \pi f L \text{ (ом)},$$

където X_L е индуктивното съпротивление в $ом$;

f — честотата на тока в $хц$;

L — коефициентът на самоиндукцията в $хн$.

Свойства на индуктивното съпротивление

Индуктивното съпротивление притежава редица характерни свойства, основните от които са следните:

а) То е беззагубно (реактивно) съпротивление. Изразходваната от променливотоковия генератор при нарастването на тока

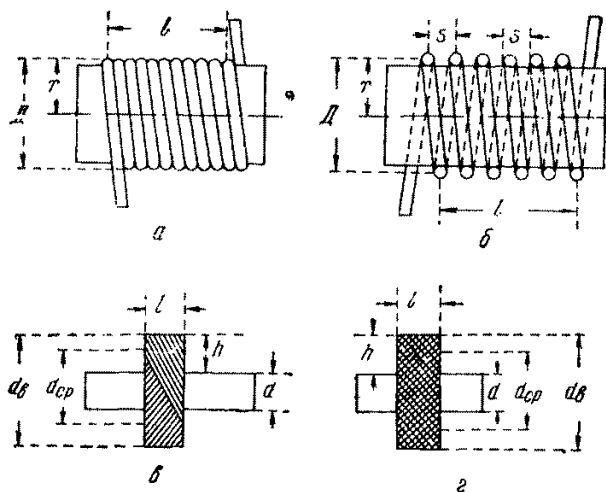
енергия за създаването на магнитно поле, което индуктира противонапрежението, се връща на последния при намаляването на тока чрез индуктиране на напрежение в посоката на действащото U_r .

б) Индуктивното съпротивление е често зависимо. Както се вижда от формулата, съпротивлението на проводник с определен коефициент на самоиндукция нараства с нарастването на честотата. За постоянния ток с честота $f=0$ индуктивното съпротивление X_L е също равно на нула, т. е. постоянният ток не среща индуктивното съпротивление във веригата (освен в момента на създаването и на спирането му, когато е налице изменение на магнитното поле).

в) Индуктивното съпротивление създава фазово отклонение на тока и напрежението във веригата, при което токът изостава от напрежението с 90° .

Устройство и качествени показатели на бобините

В зависимост от предназначението си бобините могат да имат най-различна конструкция. Днес те се срещат като *цилиндрични, квадратни, многоъгълни, плоски, тороидални* и др. В зависимост от на-



Фиг. 3-3

чина на навиване на проводника те могат да бъдат *еднослойни и многослойни*. Еднослойните бобини от своя страна могат да бъдат навити с *плътни навивки*, или с *принудителна стъпка*, а многослойните — „на куп“ или машинна плетка „универсал“. Освен това бобините се правят с постоянна или *променлива индуктивност (вариометри)*, със или без желязна сърцевина и т. н. (фиг. 3-3).

Независимо от формата и конструктивните им особености всички бобини притежават качествени показатели, които определят конкретното им приложение. Основните качествени показатели на бобините са следните:

Коефициент на самоиндукция (индуктивност). Коефициентът на самоиндукция е основният показател, който определя използването на бобината. Най-често използваните в практиката бобини имат индуктивност от части от *мкхн* до няколко десетки *мкхн*. Трябва да се отбележи, че за разлика от омическите съпротивления бобините не се изработват с някакви стандартни стойности, а се изчисляват и приготвяват за всеки отделен случай на използването им съобразно изискванията, които се предявяват към тях.

Тук се предлагат няколко достатъчно точни за практиката на радиолюбителите формули за изчисление индуктивността на бобините

За еднослойни цилиндрични бобини (фиг. 3-3):

$$L = \frac{D^2 n^2}{44D + 100l} \text{ (мкхн)},$$

където D е диаметърът на бобината в *см*;

l — дължината на бобината в *см*;

n — броят на навивките.

Производна от тази формула е:

$$n = \frac{10}{D} \sqrt{L(44D + 100l)},$$

по която при дадена индуктивност L (*мкхн*) може да се изчисли необходимият брой навивки.

За сравнение на резултатите могат да се използват и следните формули:

$$L = \frac{0,3937 r^2 n^2}{9l + 10r} \text{ (мкхн)},$$

където r е радиусът на бобината (*см*);

l — дължината на бобината (*см*);

n — броят на навивките.

$$n = \frac{5LS}{D^2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{1,8D^3}{LS^2}} \right),$$

където n е броят на навивките;

L — коефициентът на самоиндукция (*мкхн*);

S — стъпката на навивките (*мм*);

D — диаметърът на бобината.

За многослойни цилиндрични бобини:

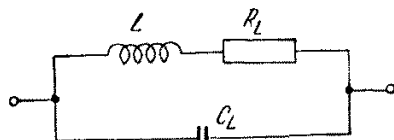
Индуктивността на бобина с машинна плетка тип „универсал“ се изчислява по формулата

$$L = \frac{0,08n^2 d^2 c_p}{3(d_{cp} + 3l + 3h)} \text{ (мкхн)}, \text{ (виж фиг. 3-3).}$$

Определянето на n за тези бобини при даден коефициент на самоиндукция става сравнително по-трудно, отколкото за еднослойните, тъй като почти всички размери преди навиването са неизвестни и трябва да се налучкват опитно чрез предварително навиване на пробна бобина.

Собствен капацитет. Собственият капацитет на бобината се обуславя от съществуването на елементарни капацитети между отделните навивки, а при много-

слойните бобини — и от капацитетите между редовете. Наличието на тези паразитни капацитети, които заедно с бобината образуват *трептящи кръгове*¹ с различни *резонансни честоти*², влошава действието на последната и създава възможност за възникване на паразитни трептения, когато тя се използва като *дросел*³ или като елемент на трептящия кръг. В еднослойните бобини собственият капацитет е от порядъка на 2—5 пф. От фиг. 3-4, където е изобразена еквивалентната схема на една бобина, се вижда, че собственият капацитет C шунтира бобината, което трябва да се има предвид при изготвянето на *високофреkwентните дросели*³.



Фиг. 3-4

Качествен фактор. *Качественият фактор* Q на бобината се определя от отношението между индуктивното и омическото ѝ съпротивление:

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{2\pi fL}{R}.$$

От горния израз се вижда, че Q е голям при големи f и L и при малко R . Като се има предвид обаче, че, от една страна, с увеличението на L се увеличава и R , а f намалява⁴, а, от друга, че в трептящите кръгове не може да се изменя произволно, тъй като от него зависи собствената честота на кръга, може да се дойде до извода, че подобряването на Q -фактора на бобината трябва да става предимно по пътя на намаляването на R . За целта в съвременните бобини⁵ се използват проводници с малки съпротивления и се вземат мерки за намаляване на загубите в бобината, предизвикани от други фактори (повърхностен ефект, лош диелектрик, разсейване на магнитната енергия и пр.).

Бобините притежават и други качествени показатели, като *влажностойчивост*, *механична* и *температурна стабилност* и др., на които тук няма да се спираме.

Приложение на бобините

Основното приложение на бобините като елементи на радиотехническите вериги е в трептящите кръгове и във *филтражните групи*⁶. В последните те се срещат под формата на *високофреkwентни* и *нискофреkwентни дросели*. Първите не се различават съществено от бобините на кръговете и се характеризират със сравнително малък коефициент на самоиндукция, тъй като за високите честоти X_L е голямо и при

¹ ² и ³ Разгледани са по-назад в настоящата глава (б. р.).

⁴ Тази зависимост се разглежда при трептящите кръгове.

⁵ За бобини от средновълновия обхват се използва многожичният проводник „литцендрат“, за късвольновия — дебел меден проводник, а за УКВ — посребрен дебел меден проводник.

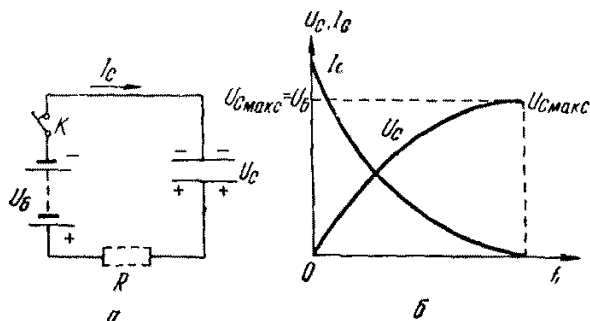
⁶ Предназначението ѝ се разглежда в схемите (б. р.)

малка индуктивност L . Нискочестотните дросели се приготвяват с голям коефициент на самоиндукция, за да представляват голямо индуктивно съпротивление и за ниските честоти, които трябва да се ограничат. Те се навиват върху желязна сърцевина с много намотки и по външен вид наподобяват обикновен *нч* трансформатор.

в. Капацитивно съпротивление

Свойства на капацитивното съпротивление

Съпротивлението, което включеният във веригата кондензатор оказва на електрическия ток, се нарича *капацитивно съпротивление*. За да се изясни неговата същност, необходимо е да се познаят свойствата



Фиг. 3-5

на кондензатора и процесите, които стават в токова верига с кондензатор, когато в нея действува токоизточник с постоянно и с променливо напрежение.

На фиг. 3-5 е показана схема за включване на кондензатор при зареждане от постоянно-токов източник, а също така и графиките на изменение тока на зареждане I_C и кондензаторното напрежение U_C до пълното зареждане на кондензатора. От графиките се вижда, че докато в началото на зареждането $U_C=0$, в края то достига стойност, равна на напрежението на зареждащия токоизточник (U_B), при което U_C има противоположен знак на U_B . В същото време токът на зареждането I_C в началото е максимален и, намалявайки постоянно, в края на зареждането става нула.

От графиките се вижда и фазовото съотношение между U_C и I_C : най-напред се появява $I_{C_{\max}}$, когато още $U_C=0$. А с увеличаването на U_C I_C намалява, като става нула при $U_{C_{\max}}$. Ясно е, че токът и напрежението във веригата на кондензатора са дефазирани на 90° , при което токът изпреварва напрежението.

От процеса на зареждане се вижда, че когато във веригата действува постоянно напрежение (U_B), ток протича само в началния момент на зареждане на кондензатора. В останалото време ток във веригата не протича (освен ако няма някаква малка отечка вследствие лош диелектрик). Това говори, че кондензаторът оказва на постоянния ток безкрайно голямо съпротивление (за $f=0$, $X_C=\infty$). В същото време, ако във веригата действуваше променливотоков генератор с напреже-

ние U_r вследствие периодичното зареждане и разреждане на кондензатора в две посоки с честотата на генератора, във веригата ще се протича променлив ток I_C с определена стойност, който също е дефазизиран на 90° спрямо U_C .

Освен теоретическото доказване по горните схеми може и опитно да се потвърди, че кондензаторите с по-голям капацитет C оказват по-малко съпротивление на променливия ток. Освен това кондензатор с определен капацитет оказва по-малко съпротивление на токовете с по-високи честоти, отколкото на тези с по-ниски. Тази зависимост на X_C от f и от C се изразява количествено с формулата

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \text{ (ом),}$$

където f е честотата на променливия ток в Hz , а C — капацитетът на кондензатора във ϕ .

Нагрупаната в заредения кондензатор енергия поради съществуването на потенциална разлика между плочите му се проявява като концентрирано в диелектрика силно електрическо поле, което е форма на потенциалната енергия.

От казаното дотук основните свойства на капацитивното съпротивление могат да се обобщят, както следва:

а) X_C , както и X_L , по същество представлява противонапрежение, създадено в кондензатора при зареждането му. Тъй като при разреждане енергията, с която се е противопоставял, се връща на генератора, капацитивното съпротивление е също беззагубно (реактивно).

б) То е честотно зависимо съпротивление, което определя основното му предназначение като филтров елемент в радиотехническите вериги.

в) Наличието на капацитивно съпротивление във веригите създава фазово отклонение между тока и напрежението, при което токът избързва с 90° .

г) В него енергията се концентрира под формата на електрическо силово поле (електрическа енергия).

Технически кондензатори — класификация и качествени показатели

Под *технически кондензатори* трябва да се разбират всички изкуствено създадени елементи на радиотехнически вериги, които притежават *средоточен капацитет*.

Днес за нуждите на електро- и радиотехниката се приготвяват най-различни по вид и качества кондензатори. Основният белег, по който сполучливо се диференцират, е видът на диелектрика им. Според него кондензаторите се разпределят на три групи — *въздушен, течен и твърд* диелектрик. Освен по този белег в зависимост от конструктивните им особености кондензаторите се делят и на следните

две главни групи: кондензатори с постоянен капацитет, към които спадат така наречените *блок-кондензатори*, и кондензатори с изменяем капацитет, към които спадат *променливите* и *полупроменливите*¹ кондензатори.

Кондензаторите с въздушен диелектрик се характеризират с висока стабилност и малки загуби, обаче поради големия обем, който заемат, те се правят предимно с малък капацитет и изключително променливи и полупроменливи.

Кондензаторите с течен диелектрик са известни под името *електролитни кондензатори*. Характерна за тях е възможността да се получи голям капацитет при сравнително малки размери на кондензатора. При тези кондензатори единият електрод е *алуминиева фолия*, а другият — самият електролит. За диелектрик между тях служи извънредно тънкият слой алуминиев окис, който се създава по химичен път върху повърхността на фолията.

Кондензаторите с твърд диелектрик са едни от най-използуваните в радиотехниката. Те се изработват както с постоянен, така и с променлив и полупроменлив капацитет. В зависимост от използвания диелектрик те биват *книжни*, *слюдени*, *керамични*, *стирофлексни* и др. Книжните и стирофлексните се изработват нормално от два листа алуминиева фолия с диелектрик между тях и се навиват във формата на цилиндър, като изводите от електродите им се правят в двата края на цилиндъра. Слюдените кондензатори са предимно плоски и често са херметизирани, като се пресоват в бакелит. Керамичните кондензатори представляват най-често тънкостенни керамични тръбички, вътрешната и външната плоскост на които са метализирани и представляват електродите на кондензатора. За запазване от външни влияния и нараняване те се боядисват с ацетонова боя. От същия тип се изработват и плоски полупроменливи кондензатори.

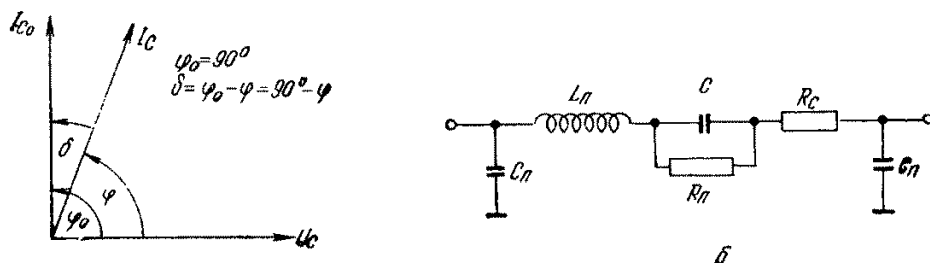
Всички кондензатори притежават редица качествени показатели, по които се съди за тяхното приложение. Основните им показатели са следните:

Номинален капацитет. Съвременните кондензатори се изработват в широки граници от няколко пикофарада (*пф*) до няколко хиляди микрофарада (*мкф*), като последните са винаги електролитни. Номиналният им капацитет се означава върху тялото им. Тъй като под влиянието на външните условия (температура, влага и др.) се изменя диелектричната константа на диелектрика им, този капацитет варира в известни граници, които също са означени в проценти. В зависимост от допустимия толеранс на изменение на номиналния им капацитет кондензаторите се класифицират в следните категории: I — 5%, II — 10%, и III — 20%.

Някои специални типове кондензатори, използвани предимно в измервателната техника, се изготвят с голяма точност на капацитета им и се класифицират в групите: 00—1% и 0—2%.

¹ Отличават се от променливите само по границите, в които се изменя номиналният им капацитет.

Работно напрежение. Работното напрежение на кондензатора представлява онова постоянно напрежение, при което последният може да работи продължително време, без да настъпи в него *пробив*. Освен работното напрежение върху последния се означава в знаменател и напрежението, при което кондензаторът е изпробван, без да настъпи



Фиг. 3-6

пробив за време около една минута. Това напрежение се нарича *напрежение на изпитване* и трябва да се отличава от пробивното напрежение на кондензатора, което характеризира *електрическата якост на диелектрика* и при което пробивът настъпва за около 1 секунда.

Загуби в кондензатора. Във всички кондензатори част от енергията се губи по различни начини, което води и до това, че във веригата с *реален кондензатор* ъгълът на дефазирание между тока и напрежението не е 90° , а по-малък. По разликата между тези два ъгъла (ъгъла δ — фиг. 3-6, а) се съди за годемината на загубите в кондензатора, които се изразяват чрез неговия тангенс:

$$P_{\text{заг}} = 2 \pi f C U^2 \operatorname{tg} \delta$$

От горната формула се вижда, че загубите зависят още от честотата, капацитета и работното напрежение на кондензатора. Загубите, изразени чрез $\operatorname{tg} \delta$, се дължат на разсейване на електричното поле, на некачествен диелектрик, на съпротивлението на металните части, от които е направен кондензаторът, на съществуването на паразитни капацитети и индуктивности и др. По тези причини еквивалентната схема на реален кондензатор ще има вида, показан на фиг. 3-6, б, където идеалният кондензатор е означен с C , а всички останали елементи са паразитни и водят до загуби на енергия в последния.

2. ТРЕПТЯЩИ КРЪГОВЕ

Предназначение и устройство

Трептящите кръгове са едно от основните звена в радиотехническите вериги. Главното им предназначение е да преобразуват постояннотоковата енергия на обикновените токоизточници в променливотокова и

при това предимно във високочестотна. Освен тези функции те изпълняват и редица други, основаващи се на техните характерни свойства, които ще бъдат разгледани по-долу.

Като звено в радиотехническите вериги трептящият кръг сам представлява токова верига, съставена от последователно свързани индуктивно, капацитивно и омическо съпротивления (фиг. 3-7, а). В схемите, когато е необходимо, чрез последното се изразяват всички загуби в кондензатора, бобината и съединителните проводници.

Процеси при свободни трептения

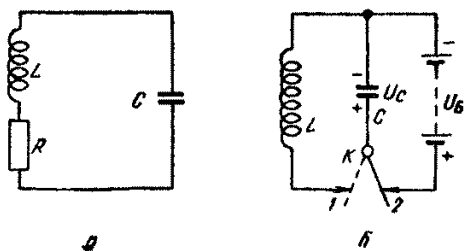
Свободни трептения в трептящия кръг възникват при еднократно зареждане на кондензатора с електрическа енергия. Както е показано на фиг. 3-7, б при зареден кондензатор, ако се превключи ключът K на положение „1“, започва зареждане на последния през бобина L . Под действието на U_C във веригата протича ток на разреждане, който в началния момен е слаб поради наличие на голямо противонапрежение, създадено в бобината (X_L е голямо). Нараствайки постепенно, токът достига своята максимална стойност, когато плочите на кондензатора изравнят потенциалите си ($U_C=0$). В този момент поради анулиране на действащото във веригата напрежение (U_C) би следвало токът да спре. Това обаче не става, тъй като под действието на магнитното поле, създадено в бобината от протеклия през нея ток, във веригата се индукира ток в същата посока (съгласно закона на Ленц), който постепенно намалява и става нула при изчезване на полето. Намаляването на тока се дължи на противодействието на създаденото в кондензатора напрежение, който от този момент започва отново да се зарежда, но вече в обратна посока. Процесът на ново разреждане и зареждане на кондензатора се повтаря периодически до пълното из-

разходване на електрическата енергия в активното съпротивление на кръга. Явно е, че постояннотоковата енергия на токоизточника се е превърнала в трептящия кръг в променливотокова.

Може да се направи аналогия между свободните трептения на кръга и люлеенето на махалото.

Както при махалото, така и при трептящия кръг трептящият процес продължава до пълно затих-

ване на трептенията. При това характерно е, че времето за едно пълно трептене на махалото и на тока в кръга не зависи от амплитудата на трептенето и е винаги едно и също, т. е. честотата на трептене е постоянна. За махалото тази честота се определя от неговата дължина и маса, а за трептящия кръг — от стойностите на L и C .



Фиг. 3-7

Собствена честота на трептящия кръг

Всеки процес в природата, който възниква и протича самovolно, без външно въздействие, протича при оптимален режим на условията, в които се развива. Така токът в трептящия кръг, който среща две честотно зависими съпротивления, при свободни трептения ще има такава честота, за която веригата ще му оказва най-малко съпротивление. Като знаем, че индуктивното и капацитивното съпротивление са дефазирани помежду си на 180° (т. е. общото им съпротивление е равно на тяхната разлика), лесно е да се убедим, че веригата ще има най-малко съпротивление, когато те са равни ($X_L = X_C$).

Ако решим долното равенство по отношение на f , ще намерим честотата, за която то се удовлетворява:

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} \text{ или } 4\pi^2 f^2 LC = 1; f^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC}, \text{ откъдето}$$

$$f = \sqrt{\frac{1}{4\pi^2 LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Крайният извод е известен в радиотехниката като *формула на Томсон*, която определя честотата на трептящия кръг при свободни трептения, наречена *собствена честота на кръга*. От формулата се вижда, че тя зависи обратно пропорционално от L и C и не зависи от количеството на енергията, с която първоначално е зареден трептящият кръг. За изчисляване честотата в Hz е необходимо L и C да се вземат съответно в hH и ϕ . Този извод за трептящия кръг характеризира най-важното му свойство, което определя неговото приложение в радиотехниката.

Обобщавайки казаното дотук, можем да извлечем следните основни свойства на кръга при свободни трептения:

1. Свободните трептения на трептящия кръг са винаги *затихващи*. Затихването става толкова по-бързо, колкото е по-голямо активното съпротивление на кръга. Когато то има стойност $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$, разреждането на кондензатора става *апериодично*, т. е. трептящият процес въобще не възниква. В този случай и токовата верига вече не представлява трептящ кръг.

2. При свободни трептения кръгът трепти със строго определена честота (собствената честота на кръга), която зависи от L и C и се изчислява по формулата на Томсон.

3. Енергията в кръга непрекъснато се трансформира от електростатична (в кондензатора) в магнитна (в бобината) и обратно.

4. Големината на амплитудите на трептящия ток зависи от количеството на енергията, с която първоначално е зареден кондензаторът.

Както бе казано по-горе, продължителността на свободните трептения на трептящия кръг зависи от стойността на омическото му съпротивление. В практиката се предпочитат кръгове с малки омически съпротивления, тъй като загубите в тях са по-малки. За сравнение качествата на различните трептящи кръгове е въведено понятието *качествен фактор на кръга* (Q). Той се изразява чрез отношението между X_L или X_C и R :

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{2\pi fL}{R} \quad \text{или} \quad Q = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{2\pi fCR},$$

където f е собствената честота на трептящия кръг.

Тъй като последният израз е по-неудобен за ползуване, прието е Q да се изразява чрез отношението $\frac{2\pi fL}{R}$.

Подобряването на качеството на кръга на практика се извършва, като се намалява R , за което бобините се навиват от проводници с малко съпротивление (дебел меден проводник, посребрен проводник, литцендрат и др.).

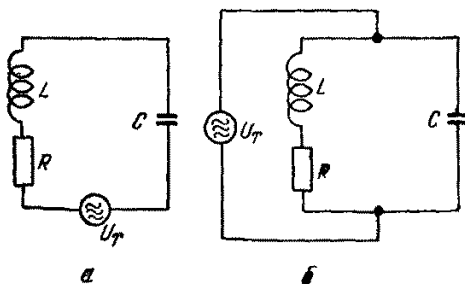
Качествените фактори на съвременните трептящи кръгове са от порядъка на няколко десетки до няколко стотици.

Често за изразяване качеството на кръга се използва и реципрочната стойност на качествения му фактор, наречена *фактор на затихването на кръга* (δ):

$$\delta = \frac{1}{Q} = \frac{R}{2\pi fL}.$$

Принудително трептящи кръгове

Затихването на трептенията в свободно трептящия кръг прави последния неизползуваем на практика в съвременните радиоапаратури. За да се поддържат трептенията *незатихващи*, необходимо е на



Фиг. 3-8

кръга непрекъснато да се подава от външен източник поне толкова енергия, колкото се изразходва в активното му съпротивление. Такъв трептящ кръг извършва вече не свободни, а *принудителни трептения*, поради което се нарича *принудително трептящ кръг*.

Свойствата на принудително трептящия кръг се различават значително от тези на свободно

трептящия и могат да се сведат до следните:

1. Трептенията в принудително трептящия кръг са винаги *незатихващи*.
2. Честотата на трептенията винаги е равна на честотата на *захранващия* го генератор.

3. Амплитудата на трептенията зависи изключително от съотношението между честотата на генератора и собствената честота на кръга.

В зависимост от това, как е включен захранващият генератор към елементите на кръга, принудително трептящите кръгове се делят на две групи:

а) *последователен трептящ кръг* — когато генераторът е свързан последователно на L и C (фиг. 3-8, а);

б) *паралелен трептящ кръг* — когато генераторът е включен паралелно на L и C (фиг. 3-8, б).

Трябва да се отбележи, че трептящите кръгове, към които генераторът е свързан *индуктивно*, са последователни трептящи кръгове.

И двата вида трептящи кръгове предвид особените си свойства намират извънредно широко приложение в радиотехниката.

Последователен трептящ кръг

Последователният трептящ кръг по отношение на генератора представлява променливотокова верига, съставена от последователно свързани L и C . Тъй като при сравнително ниските радиочестоти омическото съпротивление R е честотно независимо, при по-нататъшните изследвания на процесите в кръга, свързани с честотните зависимости, неговото влияние ще се пренебрегва съзнателно.

Едно от характерните свойства на последователния трептящ кръг е държането му спрямо генератора при изменение на честотата на последния в широки граници. За изясняване на това свойство ще разгледаме процесите в кръга, когато генераторът, без да изменя полюсното си напрежение, изменя честотата си от 0 *хц* (постоянен ток) до ∞ *хц*.

Посредством кривата Z на фиг. 3-9, а е изобразена честотната зависимост на общото съпротивление (импедансът Z) на кръга, като са нанесени стойностите му за различни честоти на генератора. Видно е, че за $f=0$ *хц* $Z \sim$ безкрайно голям поради наличието на безкрайно голямото за тази честота X_C ; с увеличаването на f , капацитивното съпротивление X_C намалява, поради което намалява и Z независимо от това, че X_L (което за $f_r=0$ е било 0), нараства.¹ Намаляването на Z продължава дотогава, докато X_C стане равно на X_L , т. е.

$$\frac{1}{2\pi fC} = 2\pi fL.$$

От процесите при свободните трептения на трептящия кръг ни е известно, че горното равенство съществува за честота, равна на собствената честота на трептящия кръг (f_0). В последователния трептящ кръг това състояние, при което генераторът

¹ В гл. I бе обяснено, че във верига с последователно свързани съпротивления доминира голямото съпротивление и общото съпротивление се изменя така, както се изменя последното.

произвежда трептения с честота, равна на собствената честота на кръга, се нарича *електрически резонанс* или само *резонанс*, а честотата, при която настъпва резонанс — *резонансна честота* ($f_{рез}$).

Ако генераторът продължава да увеличава честотата си, Z започва да нараства паралелно с нарастването на X_L , което като по-голямо от X_C вече доминира във веригата. За $f_r = \infty$ и Z става безкрайно голям, по-неже $X_L = \infty$.

От направените разсъждения, а и от графиката за изменението на Z се вижда, че при резонанс той е най-малък и е равен на омическото съпротивление на кръга. За всяка друга стойност на f_r Z може да се изчисли графически, както е показано на фиг. 3-9, б, при което може да се отчете и фазовият ъгъл между U и I в кръга.¹

На фиг. 3-9, а с кривата I е изразена и зависимостта на тока в кръга от честотата на генератора. Тя може да се построи опитно и по изчисления, след като се познава графиката на Z . Вижда се, че за $f_r = 0$ или ∞ токът $I = 0$ (поради безкрайно големите стойности на X_C и X_L при тези честоти). За всички останали значения на f_r токът I има определени стойности, които могат да бъдат изчислени по закона на Ом за променливия ток при проста токова верига, каквато е последователният трептящ кръг:

$$I = \frac{U_r}{Z}.$$

Максималната си стойност токът достига при резонанс (когато Z е минимален) и числено се изразява с формулата

$$I_{\max} = \frac{U_r}{R}.$$

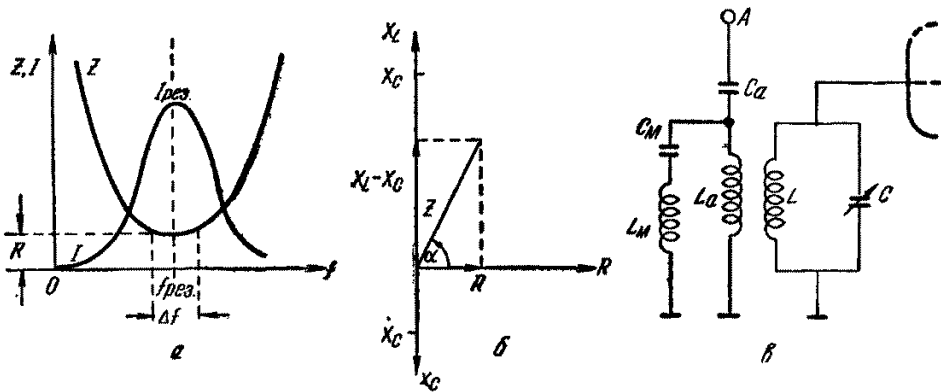
Кривите, изразени на фиг. 3-9, а, отразяващи зависимостта на Z и I от f_r , се наричат *резонансни криви* на последователния трептящ кръг. Те имат практическа стойност за определяне качествата на трептящия кръг в близките до резонансната честота участъци, в които могат да се приемат за симетрични. Острите резонансни криви са присъщи на трептящи кръгове с голям качествен фактор, докато недоброкачествените такива притежават значително притъпени резонансни криви.

В зависимост от формата на резонансната крива се определя и така наречената *честотна пропускаемост на кръга*. От фиг. 3-9, а се вижда, че при остри резонансни криви на кръга импедансът на последния е малък и почти равен за сравнително тясна лента от честоти. За честоти, отстоящи по-далеч от резонансната, Z рязко се повишава, а токът в кръга се намалява. Широчината на *пропусканата честотна лента* (Δf) се изразява чрез отношението:

$$\Delta f = \frac{f_0}{Q}.$$

¹ За целта е необходимо да се изчислят X_L и X_C за съответната стойност на f_r , и да се измери R на кръга.

Състоянието на резонанс в последователния трептящ кръг се характеризира с едно много важно за практиката следствие. Ако се измерят в това състояние напреженията в краищата на кондензатора и бобината, ще се констатира, че те са равни и многократно по-големи от това на генератора. Този факт лесно се обяснява с втория закон на Кирхоф:



Фиг. 3-9

във веригата протича силен ток поради малкото общо съпротивление ($Z=R$), но отделно X_L и X_C имат големи стойности. Следва, че и паденията на напрежение в тях ще бъдат големи:

$$U_C = I_{рез} \cdot X_C (\theta);$$

$$U_L = I_{рез} \cdot X_L (\theta).$$

Тъй като $X_L = -X_C$, следва, че $U_L = -U_C$. При това положение вторият закон на Кирхоф за последователния трептящ кръг ще има следния израз:

$U_r = U_L - U_C + U_R$, но тъй като $U_R = I_{рез} \cdot R$, напрежението на генератора ще бъде $U_r = I_{рез} \cdot R$.

Лесно може да се определи и отношението на напрежението в бобината или кондензатора към генераторното напрежение. Така

$$\frac{U_L}{U_r} = \frac{I_{рез} \cdot X_L}{I_{рез} \cdot R} = \frac{X_L}{R} = Q, \text{ откъдето } U_L = Q \cdot U_r.$$

Резонансът на последователния трептящ кръг поради получаване на свръхнапрежение е познат под името *резонанс на напрежение* или *последователен резонанс*. Той трябва да се има предвид винаги, когато се подбира кондензатор за кръга.

Разгледаните дотук свойства на последователния трептящ кръг определят и неговото основно приложение в радиотехниката. Така на първо място той се използва като *входен кръг* в почти всички *високоче-*

*стотни усилвателни стъпала*¹. Както е показано на фиг. 3-9, в, входната верига на усилвателното стъпало е последователен трептящ кръг тъй като генераторът му (антената) е свързан индуктивно с него. На същата фигура е показан случай на използване последователен трептящ кръг като малко оттечно съпротивление в антенната верига на суперхетеродинен приемник. Кръгът, съставен от L_M и C_M , се настройва на *междинната честота*² на приемника. Външен сигнал с такава честота, попаднал в антената на приемника, се оттича през кръга, поради което същият не се прехвърля в стъпалото за усилване.

Паралелен трептящ кръг

Свойствата на паралелния трептящ кръг са коренно различни от тези на последователния. За тяхното определяне е необходимо да се знае каква е зависимостта на импеданса на кръга от честотата на генератора f_r при изменение на последната от $f_r=0$ до $f_r=\infty$.

Когато генераторът има честота $f=0$, съпротивлението, което му оказва кръгът, е равно на R , тъй като целият ток ще протече през клоната, в която е включена бобината L , а за $f_r=0$ индуктивното съпротивление $X_L=0$. С увеличаването на честотата импедансът на кръга се увеличава паралелно с нарастването на X_L , което за ниските честоти е многократно по-малко от X_C ³. Независимо от намаляването на стойността на X_C импедансът Z ще нараства дотогава, докато стигне стойност, за която $X_L=X_C$. Известно ни е вече, че индуктивното и капацитивното съпротивление се изравняват при резонанс. Ако честотата на генератора продължава да расте над резонансната, импедансът Z на кръга започва да намалява паралелно с намаляването на X_C , което от този момент става по-малко от X_L . При $f_r=\infty$ импедансът става равен на нула, тъй като за $f_r=\infty$ и $X_C=0$.

От казаното се вижда, че импедансът на кръга е максимален при резонанс, а за всички останали честоти е по-малък, при което за честоти под резонансната той има *индуктивен характер*, а за честоти над резонансната — *капацитивен*.

Теоретически за идеалния паралелен трептящ кръг $Z_{\text{рез}}$ достига безкрайно голяма стойност. За реалния паралелен трептящ кръг импедансът при резонанс не е безкрайно голям, но достига големи стойности и се изчислява по формулата:

$$Z_{\text{рез.}} = \frac{L}{CR} \text{ (ом)},$$

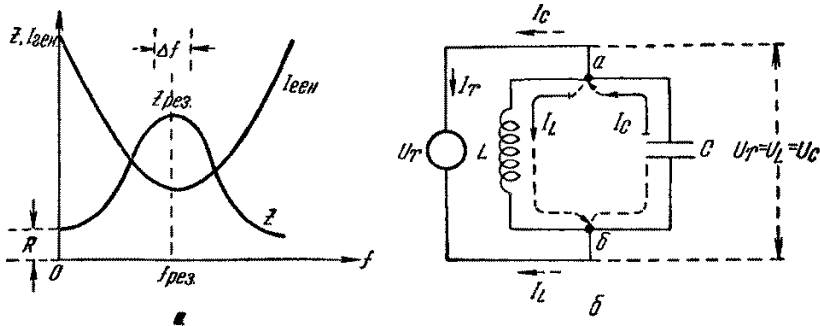
като L се взема в $хн$, C — във ϕ , а R — в $ом$.

¹ Разгледани са по-назад в тази глава (б. р.).

² Подробности са дадени в гл. IV, т. 3 (б. р.).

³ Както е известно от гл. I, при паралелно свързани съпротивления общото съпротивление е по-малко от най-малкото, има характера на последното и се изменя така, както се изменя то.

На фиг. 3-10, а с кривата Z е означена зависимостта на импеданса на кръга от f_r . На същата фигура е изразено изменението на тока на генератора (I_r) в зависимост от изменението на f_r посредством кривата $I_{ген}$,



Фиг. 3-10

която може да се построи или опитно, или чрез изчисление. Вижда се, че при резонанс I_r е минимален и се определя по формулата:

$$I_r = \frac{U_r}{Z_{рез.}}$$

Тези криви, както и при последователния трептящ кръг, се наричат *резонансни криви на паралелния трептящ кръг*. Тяхното разположение е обратно на това на резонансните криви на последователния трептящ кръг и в областта на резонанса също могат да се приемат за симетрични.

Състоянието на резонанс на паралелния трептящ кръг се характеризира и с друга много важна особеност. Докато във веригата на генератора I_r достига минималната си и при това много малка стойност, в кръга се създава трептящ ток, стойността на който е многократно (Q пъти) по-голяма от I_r . Физически този факт се обяснява лесно по следния начин:

Под действието на U_r в точките на разклонение a и $б$ (фиг. 3-10, б) генераторният ток I_r се разклонява съгласно първия закон на Кирхоф на два тока — I_L и I_C , при което трябва да съществува равенството

$$I_r = I_L + I_C.$$

Като се има предвид обаче, че I_L и I_C са дефазирани помежду си на 180° , следва, че токът във външната верига (I_r) ще бъде равен не на сбора, а на разликата им, както се вижда от фиг. 3-10, б:

$$I_r = I_C - I_L.$$

При това положение не е трудно да се разбере, че резултантният ток (I_r) ще бъде слаб и ще има толкова по-малка стойност, колкото по-близки по стойност са I_C и I_L . Това условие се осъществява при резонанс, когато $X_L = X_C$ и само наличието на R не позволява анулирането на I_r . Последното е възможно само в идеалния трептящ кръг.

В същото време I_L и I_C в кръга са във фаза, която обуславя силния трептящ ток. За последния импедансът на кръга е минимален и е равен на омическото съпротивление, както бе при последователния трептящ кръг. Поради наличието на Q пъти по-силен трептящ ток от този на генератора резонансът на паралелния трептящ кръг се нарича още *резонанс на токове* или *паралелен резонанс*.

Необходимо е да се знае, че както при всички разклонени вериги напреженията в краищата на L и C в паралелния трептящ кръг са еднакви и са равни на напрежението на генератора (U_r). Това е видно и от фиг. 3-10, б, по която напрежението, измерено в точките a и b , е същевременно и U_r , U_L и U_C .

Паралелният трептящ кръг има широко приложение в радиотехниката. Основното му предназначение освен като филтров елемент в радиотехническите вериги е като *товарно съпротивление* в *резонансните и лентовите високочестотни усилватели*¹. В тях се използва свойството му да представлява грамадно съпротивление за променливата съставна на анодния ток, когато тя е с честота, равна на резонансната, и в същото време за постоянната му съставна да представлява само омическото съпротивление на бобината.

Настройка на трептящите кръгове

В практиката се налага не довеждането на генератора в резонанс с кръга, а обратното — довеждане на кръга в резонанс с генератора. Това естествено може да стане, като се направи собствената честота на кръга (f_0) да стане равна на честотата на генератора (f_r). От формулата на Томсон е видно, че изменението на последната може да се извърши чрез изменение или на L , или на C , или и на двата елемента едновременно. При това съществува възможност при едновременно изменение на L и C собствената честота на кръга f_0 да не се измени, стига произведението LC да остава постоянно.

Изменението на собствената честота на кръга посредством изменението на L и C се нарича *настройка на трептящия кръг*. Най-често настройката на трептящите кръгове се налага от необходимостта те да работят не само на една честота, а на различни честоти от определен обхват. Това се постига, като единият или двата им елемента се правят променливи. За разширяване честотния обхват на кръга настройката се извършва най-често чрез изменение капацитета на кондензатора.

Съществуват два способа за настройка на трептящите кръгове:

а) груба настройка — когато стойността на единия от елементите се изменя скокообразно, например чрез превключване на различни бобини или кондензатори с различни стойности (фиг. 3-11, а и б);

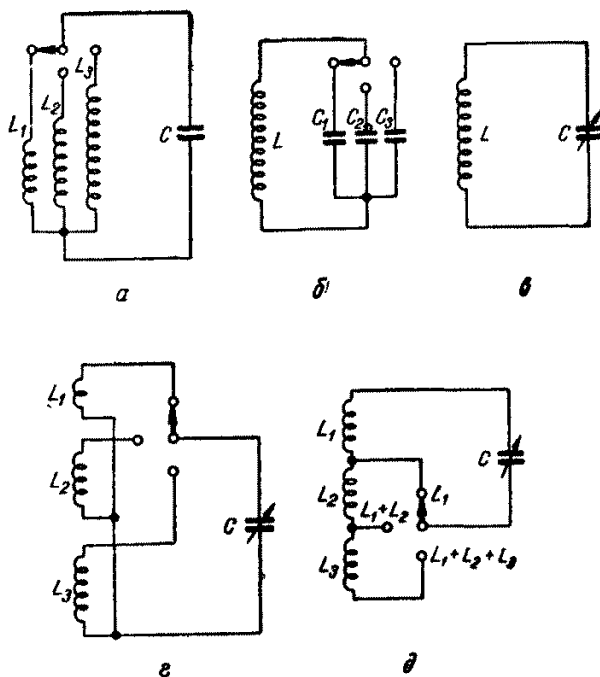
б) фина настройка — когато стойността на L и C се изменя плавно (фиг. 3-11, в).

При първия случай трептящият кръг се настройва само на определен брой строго фиксирани честоти, докато при втория той може да

¹ Тези усилватели са разгледани в края на настоящата глава и в гл. IV (б. р.).

се настрои на всяка честота в границите на честотния му обхват, определен от крайните стойности на променливия елемент (L или C). Най-често двата способа се комбинират, при което честотният обхват на кръга се разширява в големи граници. Комбинираната настройка на кръга е посочена на фиг. 3-11, z и $д$.

В съвременните радиоапаратури често се налага едновременна настройка на два и повече трептящи кръгове на една и съща честота или



Фиг. 3-11

на различни честоти, но при спазване на известна закономерност в отношенията между последните. Такива кръгове се наричат *спрегнати*.

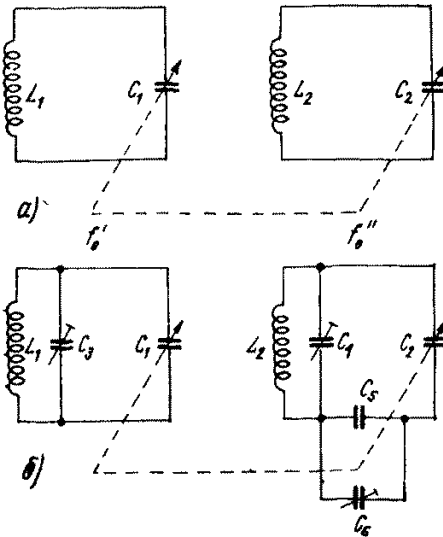
За настройката на два трептящи кръга на една и съща честота е необходимо да се спазват следните условия:

1. Елементите на двата кръга да имат еднакви номинални стойности.
2. Изменението на стойностите на променливия им елемент да става едновременно и равностойно.

На фиг. 3-12, a е показан способ за едновременна настройка на два трептящи кръга на една и съща честота, при което е спазено условието $L_1 = L_2$, $C_1 = C_2$, $\Delta C_1 = \Delta C_2$. Както се вижда от схемата, роторите на двата променливи кондензатора са на една ос, с което се осъществява едновременно изменение на C_1 и C_2 .

За изравняване на общите капацитети на кръговете, които независимо от еднаквите номинални стойности на C_1 и C_2 не са еднакви (поради наличието на различни паразитни монтажни капацитети), паралелно на C_1 и C_2 се включват допълнително полупроменливите кондензатори C_3 и C_4 , наречени *тримери*.

По-сложен е случаят с едновременната настройка на два трептящи кръга на различни честоти при спазване на известно съотношение между



Фиг. 3-12

тях. Най-често днес се налага едновременната настройка на два кръга на постоянна разлика в честотите, както е случаят в преобразователните стъпала на суперхетеродинните приемници. За осъществяване на такава настройка необходимо е единият от кръговете да има по-висока собствена честота от другия, т. е. неговите L и C да са по-малки и в процеса на едновременната настройка да остават по-малки. На практика това се постига по следния начин:

Бобината L_2 (фиг. 3-12, б) се приготвя с по-малък коефициент на самоиндукция от L_1 , като в същото време тя има възможност да се донастройва в малки граници посредством подвижна желязна сърцевина. Променливият кондензатор C_2 , поставен на една ос със C_1 , има същата стойност както

C_1 , но за намаляване общия капацитет на кръга последователно на него се включва кондензатор C_3 , наречен *падинг*. За изравняване влиянието на паразитните капацитети и за създаване възможност за допълнителна настройка на кръговете, когато се определя горната граница на обхвата им, и в двата кръга се включват тримерите C_3 и C_4 .

Както се каза по-горе, чрез това изпълнение на двата трептящи кръга се цели при тяхната едновременна настройка собствената честота на единия кръг да се отличава по целия обхват от собствената честота на другия с една постоянна, предварително определена честота, т. е. да се удовлетвори равенството:

$$f''_0 - f'_0 = f_1 = \text{const.}$$

На практика обаче чрез подходяща предварителна настройка на L_2 , C_4 и C_3 такова съгласуване на двата кръга може да се постигне само в три точки от обхвата му — средата и приблизително в двата му края, които отговарят на следните честоти от последния:

$$a) f_{\text{ср}} = \frac{f_{\text{макс}} + f_{\text{мин}}}{2};$$

$$б) f_{\text{горна}} = f_{\text{ср}} + 0,43 (f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}});$$

$$в) f_{\text{долна}} = f_{\text{ср}} - 0,43 (f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}}).$$

За практиката на радиолюбителя е необходимо да се знае, че при настройка на преобразователното стъпало на суперхетеродинния приемник, в което е осъществено подобно спрягане на два трептящи кръга, $f_{\text{ср}}$ се установява по скалата на приемника чрез донастройка на L_2 , $f_{\text{горна}}$ — чрез донастройка на тримера C_4 , а $f_{\text{долна}}$ — чрез донастройка на падинга C_5 .

Свързване на трептящите кръгове

В много случаи от практиката се налага прехвърляне на енергията от един трептящ кръг в друг. Това се постига чрез осъществяване на подходяща връзка между кръговете, при което възникват процеси, обуславящи някои особени свойства на свързаните кръгове.

Различаваме следните видове свързка между трептящите кръгове:

а) *Индуктивна свързка* — нарича се още *трансформаторна* и се характеризира с това, че прехвърлянето на енергията от единия кръг в другия става по индуктивен път (фиг. 3-13, а).

б) *Автотрансформаторна свързка* (фиг. 3-13, б, в) — характерното за нея е, че във вторичния кръг участвува част от бобината на първичния, при което прехвърлянето на енергията се осъществява от падението на напрежение, създадено от тока на първичния кръг в общата част от бобината.

В зависимост от способа на осъществяването автотрансформаторната свързка бива свързка с понижаване на напрежението (фиг. 3-13, б) и свързка с повишаване на напрежението (фиг. 3-13, в).

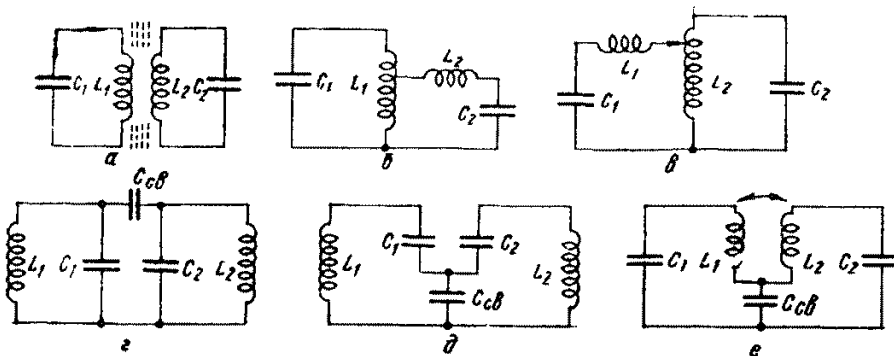
в) *Външнокапацитивна свързка* (фиг. 3-13, г). При тази свързка прехвърлянето на енергията става чрез протичане на ток от единия кръг в другия през кондензатора за свързка $C_{\text{свр}}$. Характерно за нея е, че прехвърлената енергия е толкова по-голяма, т. е. свързката е толкова по-силна, колкото е по-голям капацитетът на свързващия кондензатор.

г) *Вътрешнокапацитивна свързка* (фиг. 3-13, д). Прехвърлянето на енергията при този вид свързка се осъществява чрез падението на напрежение, което се създава в $C_{\text{свр}}$ от тока на първичния кръг. Ясно е, че колкото капацитетът на $C_{\text{свр}}$ е по-малък, толкова свързката е по-силна.

На практика се прилага и *комбинирана свързка*, каквато е показаната на фиг. 3-13, е — индуктивна и вътрешнокапацитивна.

Характерна е формата на резонансната крива на системата от два свързани кръга. Тя изразява зависимостта на тока или напрежението във вторичния кръг от изменението на честотата на първичния. Както се вижда от показаните на фиг. 3-14 резонансни криви, формата им подчертано зависи от силата на свързката между кръговете. Така при слаба свързка тя е подобна на тази от единичния кръг, при силна има две характерни гърбици встрани

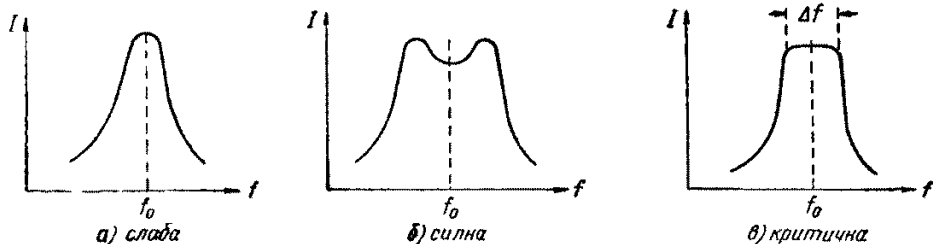
от резонансната честота, а при строго определена сила на свързката, наречена *критична*, тя има ясно изразен широк максимум със стръмни склонове. Тази свързка определя максимално прехвърляне на енергия от първичния във вторичния кръг, поради което се нарича още *оптимална свързка*.



Фиг. 3-13

Различните форми на резонансните криви на свързващите кръгове се обясняват с обратното влияние на вторичния кръг върху първичния.

Както се вижда от резонансната крива, при критична свързка между кръговете е възможно прехвърляне без изкривяване на значително по-

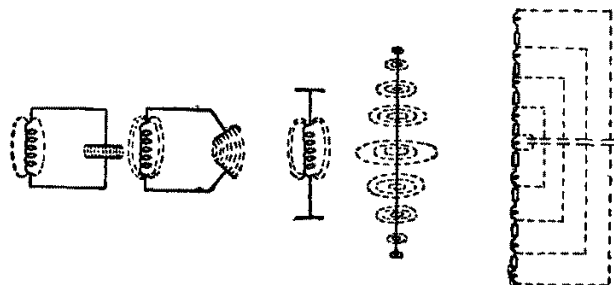


Фиг. 3-14

широка честотна лента, отколкото при единичен кръг. По тази причина свързаните кръгове се наричат още *лентови филтри*. Те намират широко приложение както в радиоприемниците (в междинно-честотните усилвателни стъпала), така и в крайните стъпала на някои предаватели на телефония.

Трептящи кръгове с разпределени параметри

Разгледаните дотук трептящи кръгове се наричат *затворени* или *кръгове със съсредоточени параметри*. Те се характеризират с това, че енергията в тях е концентрирана в бобината и кондензатора и практи-



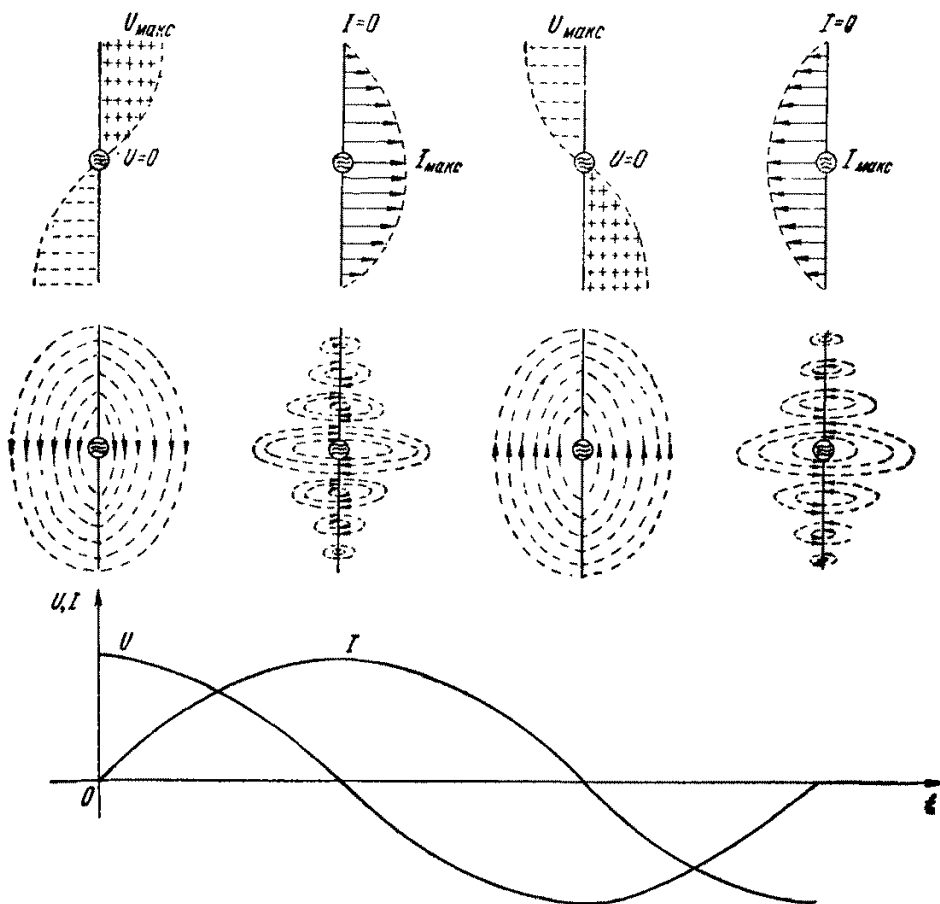
Фиг. 3-15

чески много малка част от нея се излъчва в околната среда. За да се осигури излъчването на цялата високочестотна енергия, което е същността на радиопредаването, се изготвят така наречените *отворени трептящи кръгове* или *антени*. В тях индуктивността и капацитетът са разпределени равномерно по цялата им дължина, поради което се наричат още *кръгове с разпределени параметри*. Прерастването на затворения трептящ кръг в отворен е показано на фиг. 3-15.

Антената, както и затвореният трептящ кръг, притежава собствена честота, зависеща от нейните L и C . Тъй като на практика те са малки, собствената ѝ честота е сравнително висока. Трябва да се отбележи, че всички изводи, направени за затворените трептящи кръгове, се отнасят и за антените. Така например при свободни трептения тя трепти със собствената си честота и трептенията ѝ са затихващи. Когато трепти принудително, честотата ѝ е равна на честотата на генератора. Антената може да се доведе в резонанс с генератора чрез подходяща настройка. Възможна е груба и фина настройка. Включването на бобината последователно в антената увеличава нейния коефициент на самоиндукция, поради което се намалява собствената ѝ честота. При включване последователно на кондензатор собствената ѝ честота се увеличава. Тези способности на настройка на антената се наричат съответно *изкуствено удължаване* и *изкуствено скъсяване на антената*. Фина настройка се постига чрез включване на изменяеми L и C .

На фиг. 3-16 графично са представени процесите в една антена при захранване на същата от високочестотен генератор. Под действието на неговото напрежение двете половини на антената периодически се зареждат с разнородно електричество, при което около нея се създава електрическо силово поле. При изравняване на потенциалите на двете части на антената протича антенен ток, който създава в околната среда магнитно силово поле. Периодичното изменение на тези полета (съгласно

теорията на Максвел) предизвиква пораждането на електромагнитно силово поле в околната среда, който процес представлява излъчване на високочестотна електрическа енергия под формата на електромагнитни вълни, наречени *радиовълни*.



Фиг. 3-16

Класификация и характерни свойства на антените

Класификацията на антените се извършва по някои техни белези като не винаги е възможно рязкото разграничаване на едни типове антени от други. Така например в зависимост от предназначението си те се делят на *предавателни* и *приемни*. При това в повечето случаи на радиолюбителската практика, както и във войсковите радиостанции една и съща антена се ползува и за предавателна, и за приемна.

В зависимост от конструкцията си и от някои особени свойства на антените последните се делят на следните видове:

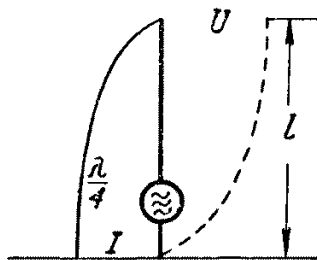
- а) *пространствени и заземени антени;*
- б) *симетрични и несиметрични;*
- в) *с насочено и нена�очено излъчване.*

Поради специфичните си свойства в отделна група спадат *телевизионните и УКВ антени.*

Различните видове антени притежават редица общи свойства. Едно от основните им свойства е зависимостта на дължината на излъчваната вълна от геометричните размери на антената. Така например пространствената симетрична антена, изобразена на фиг. 3-16, когато трепти със собствената си честота, излъчва вълна, два пъти по-дълга от дължината на антената:

$$\lambda = 2l.$$

Това се вижда и от графиката на разпределение на тока и напрежението по протежение на антената, която представлява половин синусоида.



Фиг. 3-17

На фиг. 3-17 е изобразена несиметрична заземена вертикална антена и разпределението на тока и напрежението в нея. Вижда се, че тази антена излъчва вълна с дължина $\lambda = 4l$.

Посочените по-горе зависимости дават възможност за лесен избор на оптимална антена за радиолюбителски предаватели, без да е необходима допълнителна настройка на последната.

3. ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ВЪЛНИ — КЛАСИФИКАЦИЯ И РАЗПРОСТРАНЕНИЕ

Класификацията на електромагнитните вълни в зависимост от тяхната дължина е представена в таблица 3-1.

Таблица 3-1

№ по ред	Видове вълни	Дължина на вълната λ в м	Честота f в кхц (мгхц)
1	Дълги вълни	над 3000	под 100 кхц
2	Средни вълни	200—3000	100—1500 кхц
3	Междинни вълни	50—200	1500—6000 кхц
4	Къси вълни	10—50	6000—30000 кхц
5	Ултракъси вълни	1—10	30—300 мгхц
6	Дециметрови вълни	0,1—1	300—3000 мгхц
7	Сантиметрови вълни	0,01—0,1	3000—30000 мгхц

Като се изходи от скоростта на разпространението на електромагнитните вълни, която е $c=300\,000$ км/сек, съществува следната зависимост между дължината на вълната и честотата:

$$\lambda = \frac{300\,000 \text{ км}}{f(\text{кхц})} \text{ (м)} \text{ или}$$

$$f = \frac{300\,000 \text{ км}}{\lambda \text{ (м)}} \text{ (кхц)}.$$

Излъчените от антената електромагнитни вълни се разпространяват във всички посоки, като тази част, която следва непосредствено земната повърхност, се нарича *земна вълна*, а онази, която се излъчва в пространството — *пространствена*. Земната вълна се поглъща силно от земята, поради което тя бързо затихва и нейният радиус на действие е малък. Различните по дължина вълни притежават различни свойства по отношение на разпространението си. Така например дългите вълни по-малко се поглъщат от земята, поради което земната вълна достига на по-голямо разстояние, като следва конфигурацията на местността. Пространствената дълга вълна се поглъща от йонизирания слой на атмосферата, познат като *Хевизайдов пласт*. Късата земна вълна има малък радиус на действие поради силното поглъщане от земята, докато пространствената се отразява от *йонизирания слой* и може да попадне на земята на голямо разстояние от предавателя. Възможно е неколкочратно отражение на пространствената къса вълна от йонизирания слой и земята, поради което е възможна далечна свързка на къси вълни.

Когато на една точка от земята попаднат вълни от един предавател, изминали различен път (напр. две отразени или земна и отразена), наблюдава се явлението *фадинг*, което се състои в редуващо се усилване и затихване на приемането. Това се дължи на взаимодействието между двете вълни, които пристигат в различни фази.

Ултракъсите вълни се характеризират с праволинейността на разпространението си подобно на светлинните вълни, поради което техният радиус на действие е до видимия хоризонт.

За разпространение на радиовълните оказват влияние редица фактори, например времето като част от денонощието, като сезон и пр.

4. ЛАМПОВИ УСИЛВАТЕЛИ

Принципно действие и качествени показатели

Ламповите усилватели са устройства, в които се използва действието на електронните лампи за усилване напрежението или мощността на различни видове електрически трептения. Те намират широко приложение във всички съвременни електронни съоръжения. В зависимост от

честотата, за която са предназначени да усилват, ламповите усилватели се делят на две групи: *високочестотни* и *нискокочестотни*.

Въпреки че принципното им действие е еднакво, тези усилватели се различават значително по схеми, устройство и режим на работата.

В зависимост от изходната мощност на усилваните трептения както нискокочестотните, така и високочестотните усилватели биват *усилватели на напрежение* и *усилватели на мощност*.

Високочестотните усилватели на напрежение се използват в почти всички високочестотни електронни апаратури, включително приемниците и предавателите, докато мощните високочестотни усилватели намират приложение предимно в радиопредавателите и в някои електронни апаратури за народното стопанство.

Нискокочестотните усилватели се използват широко в приемната, предавателната и измервателната техника, както и в телевизията, телемеханиката, телефонията и особено много в жичната радиофикация.

Принципът на действие на ламповия усилвател е следният. Предназначеното за усилване променливо напрежение се подава на входа на лампата. Вследствие усилвателното действие на същата в изхода ѝ то се получава усилено. Радиолампата заедно със свързаните във веригата елементи, вземащи участие в усилването, образува *усилвателно стъпало*. Когато усилваното напрежение е много малко, а се изисква то да бъде усилено значително, ламповият усилвател може да се конструира с няколко последователно свързани усилвателни стъпала. Такъв усилвател се нарича *многостъпален*.

Към усилвателите се предявяват редица изисквания, удовлетворяването на които се постига чрез подходящи схеми и режим на работа на радиолампите. Във връзка с това са определени някои качествени показатели, на които те трябва да отговарят. Такива са например: *коэффициент на усилване*; *изходно напрежение* и *изходна мощност*; *чувствителност на входа*; *коэффициент на полезно действие*; *изкривявания в усилването*; *ниво на собствените шумове* и др. Подобряването на един от тези показатели почти винаги е съпроводено с влошаване на някои от останалите, което налага компромисно разрешаване на въпроса за качеството съобразно с конкретните нужди.

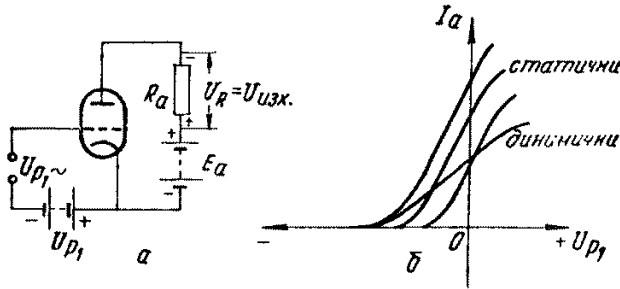
За изясняване значението на горните качествени показатели необходимо е да се познава динамичният режим на работа на усилвателната лампа, при който последната се намира в усилвателя и който значително се различава от статичния, разгледан в гл. II.

На фиг. 3-18, а е показана принципна схема на нискокочестотно усилвателно стъпало с триод. Характерно в него е наличието на товарното съпротивление R_a в анодната верига на лампата. Анодният ток създава в крайщата на това съпротивление падение на напрежението $U_R = I_a R_a$, което е обратно по фаза на напрежението на анодния токоизточник. По тази причина анодното напрежение на лампата е по-малко от напрежението на токоизточника със стойността на U_R :

$$U_a = E_a - I_a R_a.$$

Ясно е, че ако на решетката на лампата се подаде за усилване променливо напрежение $U_p \sim$, последното ще предизвика изменение на I_a , а с това — и изменение на анодното напрежение U_a .

Оттук следва, че когато в анодната верига на усилвателната лампа е включено товарно съпротивление, анодното напрежение зависи от напрежението на решетката. При такъв режим, ако се снее решетъч-



Фиг. 3-18

ната характеристика на триода, ще се констатира, че стръмността ѝ е по-малка от тази на познатата вече статична характеристика, тъй като всяко повишаване на потенциала на решетката е съпроводено с намаляване на анодното напрежение, което пък води до по-малко изменение на анодния ток. Тази характеристика се нарича *динамична характеристика* на лампата (фиг. 3-18, б). По-малката ѝ стръмност е указание, че и коефициентът на усилване е по-малък от статичния (μ).

Коефициент на усилване. Действително в динамичен режим на работа коефициентът на усилване на стъпалото се изразява с отношението

$$k = \frac{U_R}{U_{p1}}$$

Той зависи от R_a и се изчислява по формулата

$$k = \frac{\mu R_a}{R_1 + R_a},$$

където μ е статичният коефициент на усилване;

R_1 — вътрешното съпротивление на лампата в *ом*;

R_a — товарното съпротивление на анодната верига в *ом*;

Въпреки че според горния израз колкото по-голям е R_a , толкова по-голям е коефициентът на усилване, за триодите и пентодите съществуват оптимални стойности на последното: при триодите $R_a = (2-5) R_1$, а за пентодите $R_a = (0,1-0,2) R_1$.

Във високочестотните усилвателни стъпала за товарно съпротивление се използва нормално паралелен трептящ кръг, настроен в резонанс с честотата на усилваното напрежение, а в нискочестотните — омическо съпротивление, *ни* дросел или изходен трансформатор. Основното предназначение на товарното съпротивление е в него да се създаде падение на напрежение от променливата съставна на анодния ток, което

представлява усиленото в стъпалото напрежение $U_{\text{изх}}$. В тази връзка *динамичният коефициент на усилване* k придобива значението

$$k = \frac{U_{\text{изх}}}{U_{\text{вх}}}.$$

Когато усилвателят е многостъпален, всяко следващо стъпало усилва напрежението, получено на изхода на предното. В този случай коефициентът на усилване на целия усилвател е равен на произведението от коефициентите на усилване на отделните стъпала:

$$k = k_1 k_2 k_3.$$

Често коефициентът на усилване се изразява с логаритмичните единици *децибел* и *непер*. Връзката между тези величини на k е следната:

$$k(\text{дб}) = 20 \lg k = 20 \lg \frac{U_{\text{изх}}}{U_{\text{вх}}};$$

$$k(\text{неп}) = \ln k = \ln \frac{U_{\text{изх}}}{U_{\text{вх}}};$$

$$1 \text{ дб} = 0,115 \text{ неп}; \quad 1 \text{ неп} = 8,7 \text{ дб}.$$

Тези зависимости на коефициента на усилване се отнасят за усилвателите на напрежение. За усилвателите на мощност те са следните:

$$k_p(\text{дб}) = 10 \lg \frac{P_{\text{изх}}}{P_{\text{вх}}} \text{ и}$$

$$k_p(\text{неп}) = \frac{1}{2} \ln \frac{P_{\text{изх}}}{P_{\text{вх}}},$$

където $P_{\text{изх}}$ е изходната мощност на усилвателя, отделена от R_a ;
 $P_{\text{вх}}$ — мощността, подадена на входа на усилвателя.

Номинална изходна мощност. Тя представлява онази полезна мощност, която се отделя в товарното съпротивление R_a , и се изразява с отношението

$$P_{\text{изх}} = \frac{U_{\text{изх}}^2}{R_a}.$$

Тъй като $U_{\text{изх}}$ зависи от амплитудата на входното напрежение, явно е, че от нея зависи и $P_{\text{изх}}$. Произволното увеличаване на входното напрежение обаче води до големи *нелинейни изкривявания*, поради което за различните усилватели неговите оптимални стойности са различни.

Чувствителност на входа. Под чувствителност на усилвателя се разбира онова минимално входно напрежение, от което на изхода на усилвателя се получава неговата номинална мощност. Ясно е, че усилвателите с по-голям коефициент на усилване ще имат по-голяма чувствителност. Голямата чувствителност е необходима за онези усилватели, които са предназначени за усилване на малки входни напрежения, като такива от микрофон, адаптер, фотоелемент и др. Те са от порядъка на няколко миливолта.

Коефициент на полезно действие. Той представлява отношението между полезната променливотокова мощност, отделена на товарното съпротивление, и ця-

лата анодна мощност на усилвателното стъпало. Изразява се в проценти.

$$\eta = \frac{P_{\sim}}{P_a} \cdot 100\%.$$

За различните усилватели той се движи в границите между 30 и 70%.

Изкривявания в усилвателя. Под изкривявания в усилвателя се разбира всяко различие във формата на изходния сигнал по отношение на формата на входния. Изкривяванията биват: *честотни, нелинейни и фазови.*

Честотните изкривявания се дължат на нееднаквото усилване на напреженията с различни честоти, от които се състои изходният сигнал. Те водят до изменение на тембъра на възпроизвеждания звук, тъй като различните хармонични се усилват различно.

Нелинейните изкривявания се дължат на наличието на нелинейни елементи във веригите на усилвателя, които изменят формата на усиленото напрежение. Когато във входа на усилвателя се подаде синусоидално напрежение, вследствие нелинейното изкривяване на изхода се получава несинусоидално напрежение, което се характеризира с наличието на хармонични трептения. Количествената оценка на нелинейните изкривявания се изразява чрез тъй наречения *коэффициент на нелинейни изкривявания* или *клирфактор*, който се изразява в проценти по следната формула:

$$K = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \cdot 100\%,$$

където I_2, I_3, I_n са амплитудите на съответните хармонични;
 I_1 — амплитудата на основната честота.

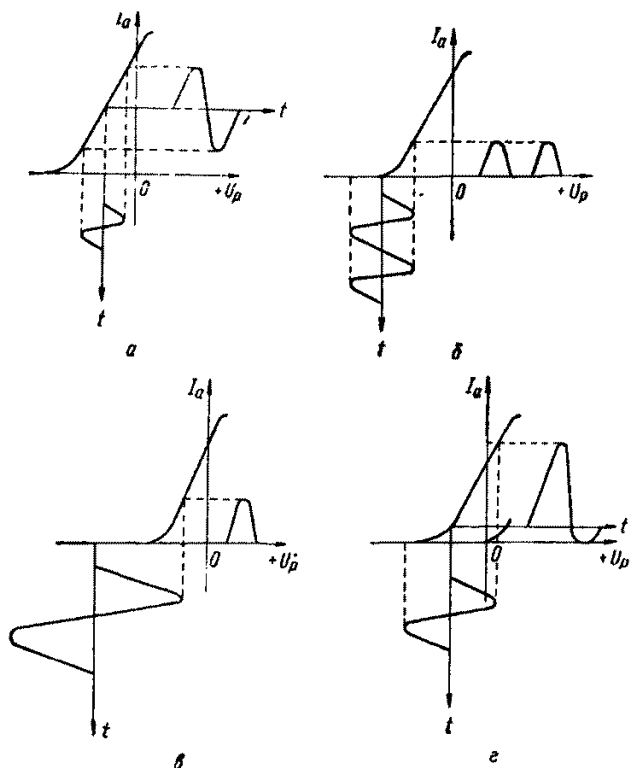
Режими на работа на ламповите усилватели

В зависимост от изискванията към работата на различните лампови усилватели последните се поставят в подходящ режим на работа. Това се постига чрез подаване на подходящи напрежения на електродите на усилвателната лампа. Съществуват няколко режима на работа на усилвателите, известни в радиотехниката.

1. Усилване клас *A* (фиг. 3-19, *a*) — когато работната точка се избира в средата на праволинейния участък на характеристиката. Този режим се характеризира с точно възпроизвеждане на усиления сигнал, без големи изкривявания, но с малък коэффициент на полезно действие.

2. Усилване клас *B* (фиг. 3-19, *b*) — когато работната точка се избере в най-лявата част на характеристиката, при потенциала на запущване. За него са характерни големи изкривявания на усиления сигнал, но същевременно и голям КПД поради малката стойност на постоянната съставна на анодния ток.

3. Усилване клас С (фиг. 3-19, в) — когато работната точка е много по-вляво от потенциала за запушване. За такова усилване е необходимо амплитудата на входното напрежение да бъде голяма. Изкривяванията при усилване клас С са много големи, но КПД при него е



Фиг. 3-19

най-голям. Такова усилване най-често се използва в мощните стъпала на предавателите и в онези, при които се изисква умножаване на честотата (изкривеният сигнал съдържа много хармонични).

Между тези основни класове на усилване съществуват и някои междинни, като например клас АВ, при който работната точка е в долния крив участък на характеристиката.

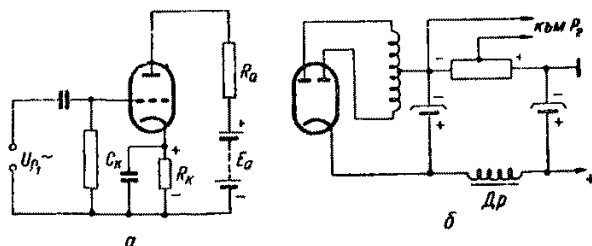
За да не се видоизменя входният сигнал още в решетъчната верига на усилвателната лампа, не се препоръчва протичане на решетъчен ток, който възниква при положителна решетка. За тази цел на последната се подава предварително постоянен отрицателен потенциал, наречен *решетъчно преднапрежение*. По големина той трябва да бъде по-голям от най-голямата амплитуда на положителния полупериод на усилваното напрежение. Когато все пак тези амплитуди са по-големи

и предизвикват протичане на такъв ток, тогава усилвателят работи в друг клас, например усилвателят клас B без решетъчен ток се именува клас B_1 (фиг. 3-19, б), а с решетъчен ток — B_2 ; усилвателят клас AB без решетъчен ток се нарича клас AB_1 , а с решетъчен ток — AB_2 (фиг. 3-19, г).

Отрицателното преднапрежение на решетките може да се подаде по различни способи. Възприети са главно два способа за подаване на отрицателно преднапрежение.

1. От отделен токоизточник, минусът на който се включва към решетката, а плюсьт — към катода (виж фиг. 3-18, а).

2. По автоматичен начин. При него отрицателното преднапрежение се създава за сметка на общия катоден ток чрез включеното в катода съпротивление R_k (фиг. 3-20, а), в което последният създава падение на



Фиг. 3-20

напрежението. Отрицателният потенциал се подава автоматически на решетката. За избягване на *отрицателна обратна връзка*¹ катодното съпротивление се шунтира с голям капацитет.

Разновидност на този способ представлява полуавтоматичният, при който отрицателното преднапрежение се получава като падение на напрежение в съпротивлението, включено в общия минус на изправителната група (фиг. 3-20, б).

Особености на ламповите усилватели

Високочестотен усилвател. На фиг. 3-21, а е дадена схемата на усилвателно стъпало за усиляване на напрежение с висока честота. То се характеризира със следните особености:

1. Високочестотното напрежение във входа му нормално се подава от трептящ кръг, а за товарно съпротивление се използва също паралелен трептящ кръг, настроен в резонанс с входния. Настройката на кръговете се осъществява по познатия вече способ за настройка на два кръга на една и съща честота.

2. На решетката на лампата се подава отрицателно преднапрежение по един от познатите способи със стойност, зависеща от амплитудите на входния сигнал. За входните вериги на радиоприемниците то е малко

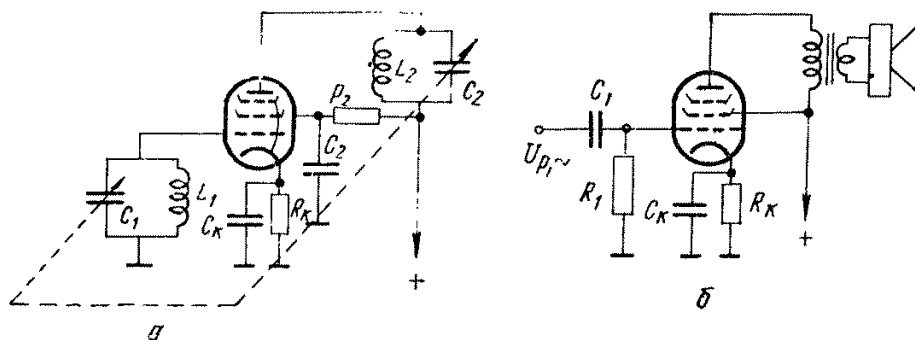
¹ Обяснена подробно в гл. 6, т. 5 (б. р.).

(от порядъка на няколко волта), а в мощните усилвателни стъпала на предавателите — от порядъка на няколко десетки волта. Тогава то се подава нормално от отделен токоизточник.

3. Използва се радиолампа високочестотен пентод с голямо вътрешно съпротивление и малък вътрешен капацитет — анод-решетка. Това е необходимо, за да не стане самовъзбуждане и стъпалото да се превърне във високочестотен генератор, което е възможно при използване на триод.

Този тип високочестотен усилвател (ВЧУ) се нарича *резонансен*, защото за R_a се използва резонансният импеданс на товарния трептящ кръг. Понеже последният е максимален само за много тясна лента от честоти, резонансният усилвател е теснолентов.

Използването на трептящия кръг в анодната верига създава условия за получаване на голямо падение на напрежение само от промен-



Фиг. 3-21

ливата съставна на анодния ток, докато постоянната съставна почти не създава такава в малкото омическо съпротивление на бобината.

Към резонансните усилватели спадат и така наречените *лентови усилватели*, използвани в суперхетеродинните приемници. Поради наличието на свързани кръгове в анодната верига на стъпалото ширината на *пропусканата честотна лента* е по-голяма, откъдето носи и името си.

Нискочестотен усилвател. Схемата на нискочестотния усилвател е показана на фиг. 3-21, б. Той се характеризира със следните особености:

1. Използва се лампа триод или нискочестотен пентод, тъй като за ниските честоти самовъзбуждането е по-трудно.

2. В схемата му трептящи кръгове не се използват. За товарно съпротивление се използва най-често изходен трансформатор, но може и дросел или омическо съпротивление.

3. На решетката му се подава отрицателно преднапрежение по един от познатите методи.

Когато този усилвател се използва като крайно стъпало в приемниците, нормално работи като усилвател на мощност. В този случай използваната лампа е с по-голяма мощност и отрицателното преднапрежение на решетката е значително по-голямо от това на ВЧУ.

5. ГЕНЕРИРАНЕ НА ВИСОКОЧЕСТОТНИ ТРЕПТЕНИЯ

В почти всички съвременни електронни апаратури токовете с висока честота намират широко приложение. Поради това процесът на генериране на високочестотни трептения е основен процес в радиотехниката. Устройствата, в които се осъществява този процес, се наричат *високочестотни генератори*.

Ламповите генератори са устройства, в които обикновената електрическа енергия се преобразува във високочестотна. В зависимост от устройството и действието им те се делят на две групи:

1. *Лампови генератори със самовъзбуждане или автогенератори;*
2. *Лампови генератори с независимо (чуждо) възбуждане.*

Предназначението на ламповия генератор със самовъзбуждане е да създаде високочестотни трептения, докато генераторът с чуждо възбуждане действа само като техен усилвател. По тази причина във всички електронни апаратури, съдържащи *вч* генератори, основният им елемент е автогенераторът.

Освен за произвеждане на високочестотни трептения автогенераторите се използват и за произвеждане на такива с ниска честота и се наричат *нискокчестотни* или *тонгенератори*. Те се използват изключително в измервателните апаратури.

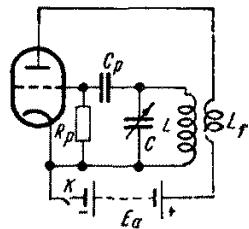
Лампов генератор със самовъзбуждане

Както е известно, трептящият кръг е склонен да извършва високочестотни трептения със строго определена честота, зависеща от неговите параметри. Тези трептения поради загубите в активното съпротивление са затихващи. За да се поддържат последните незатихващи, необходимо е непрекъснато да се добавя енергия от външен източник.

Ламповият генератор представлява система от трептящ кръг, радиолампа и токоизточник, свързани така, че радиолампата поддържа трептенията в кръга незатихващи за сметка на енергията на токоизточника. Една от възможните схеми на такъв генератор е дадена на фиг. 3-22. Характерно за нея е, че между анодната и решетъчната верига на лампата е осъществена електрическа връзка чрез взаимоиндукцията между бобините L_1 и L , поради което е възможно прехвърляне на енергия от анодната в решетъчната верига. По тази схема трептящият кръг е включен в решетъчната верига, но той може да бъде включен и в анодната.

Действието на генератора се обяснява по следния начин: с включването на прекъсвача K в анодната верига протича ток, първият импулс

на който индуктира в трептящия кръг определена електродвижеща сила. Кондензаторът на кръга се зарежда и в последния възникват свободни затихващи трептения с честота, равна на собствената честота на кръга. Тъй като променливото напрежение, създадено от тези трептения, се подава на решетката на лампата, вследствие усилвателното действие на последната в анодната верига възниква променлива съставна на анодния ток със същата честота. Чрез индуктивната връзка между L_1 и L тази съставна продължава да индуктира напрежение в кръга, което поддържа колебанията в последния незатихващи. Връзката между анодната и решетъчната верига на лампата се нарича *обратна връзка*, тъй като чрез нея енергията се връща от изхода обратно във входа на последната.



Фиг. 3-22

От казаното се вижда, че ламповият генератор по принцип действа като усилвател на собственото си променливо напрежение. Възникването и поддържането на трептенията в него се нарича *самовъзбуждане*, откъдето носи и името си.

За да възникнат и се поддържат незатихващи трептения на автогенератора, необходимо е да се спазят известни условия, без изпълнението на които самовъзбуждането е невъзможно. Анализирайки процеса на попълване загубите на трептящия кръг, тези условия могат да се сведат до следните:

1. За попълване на изразходваната в кръга енергия необходимо е променливата съставна на анодния ток да притежава по-голяма стойност, тъй като съществуват загуби при прехвърлянето на енергията чрез обратната връзка. Това налага лампата да има усилвателно действие, т. е. да бъде най-малко триод.

2. Прехвърлената от анодната в решетъчната верига енергия трябва да бъде достатъчна по количество и във фаза с възникналите в кръга трептения. Такава обратна връзка, която осигурява поддържането на трептящия процес в кръга, се нарича *положителна*. Следва, че в автогенератора трябва да се осъществи достатъчно силна положителна обратна връзка.

Ако само едно от тези условия не се осъществи, трептящ процес в кръга няма да настъпи. Изключение правят така наречените *динактронни* и *транзитронни* генератори, самовъзбуждането на които почива на друг принцип.

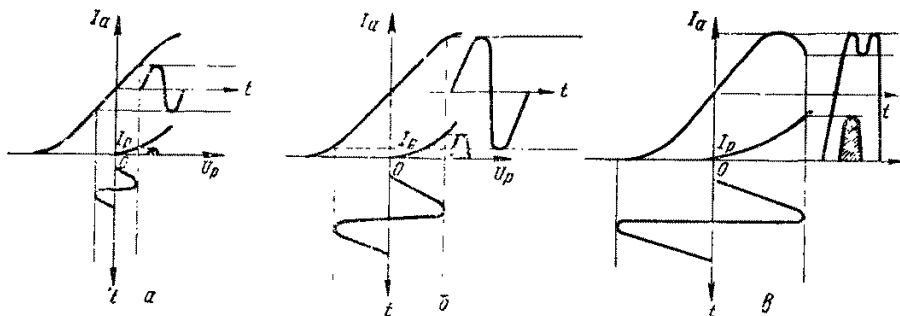
Силата на индуктивната обратна връзка зависи както от съотношението между броя на навивките на двете бобини, така и от близостта на разположението им, а необходимата фаза на прехвърлената енергия се осъществява чрез подходящо свързване на краищата на L_1 в анодната верига. В зависимост от силата на обратната връзка ламповият генератор може да работи в един от следните три режима, показани графически на фиг. 3-23:

1. *Недонапрегнат режим* — при слаба обратна връзка, достатъчна само да поддържа трептенията незатихващи (фиг. 3-23, а).

2. *Нормален режим* — при по-силна обратна връзка, чрез която в решетъчната верига се подава сравнително голямо променливо напрежение. При този режим амплитудата на трептенията на анодния ток е от нула до ток на насищане (фиг. 3-23, б).

Характерното за тези два режима на работа е, че получените трептения имат синусоидален характер, но коефициентът на полезно действие при тях е малък поради наличие на голяма постоянна съставна на анодния ток.

3. *Пренапрегнат режим* — създава се при много силна обратна връзка. Тъй като при него амплитудата на прехвърляното в решетъч-



Фиг. 3-23

ната верига напрежение е много голяма, трептенията в анодната верига са силно изкривени. Характерни за него са по-високият му коефициент на полезно действие и наличието на много хармонични в генерирания сигнал (фиг. 3-23, в).

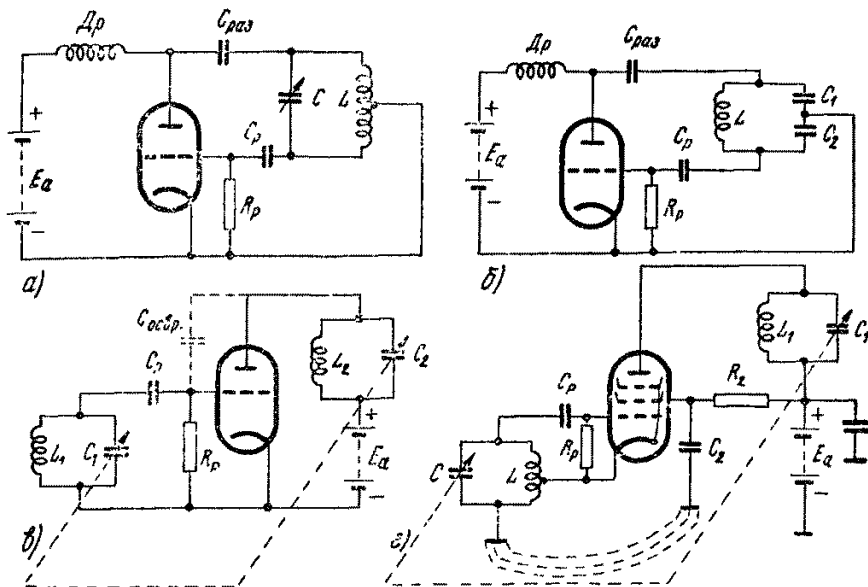
За ограничаване амплитудата на трептенията на решетката на ламповия генератор се подава *отрицателно преднапрежение*. Практически във всички автогенератори това се постига чрез включване в решетъчната верига на лампата *RC* група, наречена *гидлик*. Отрицателното преднапрежение се получава за сметка на решетъчния ток, който създава в съпротивлението падение на напрежение, минусът на което се подава на решетката. Този способ за автогенераторите е най-удобен, понеже преди възникването на трептенията решетката е без преднапрежение и работната точка е в праволинейния участък на характеристиката, където стръмността е най-голяма. Това позволява лесното самовъзбуждане на генератора.

Схеми на лампови автогенератори

Съществуват различни схеми, по които се осъществява самовъзбуждането на ламповия генератор. Основното различие между тях е начинът на осъществяване на обратната връзка. В зависимост от това, как е осъществена тя, различаваме следните схеми на лампови генератори:

1. *Генератор с индуктивна обратна връзка.* Тази схема е известна още като схема *Майснер* (фиг. 3-22). Тя може да бъде изпълнена в четири варианта в зависимост от това, как е осъществено захранването (последователно или паралелно) и къде е включен трептящият кръг (в решетъчната или анодната верига). Действието на този генератор е вече познато.

2. *Генератор с автотрансформаторна обратна връзка* (фиг. 3-24, а). Нарича се още *триточкова схема* или схема *Хартлей*. Обратната връзка в нея се осъществява по автотрансформаторен път, като променливата съставна на анодния ток протича по част от намотките на кръга.



Фиг. 3-24

Правилното включване на трептящия кръг към лампата се осъществява чрез подходящо свързване на трите точки от него към електродите на последната: двата края в анода и решетката, а средната точка — в катода. Тази схема може да бъде изпълнена в два варианта — с последователно и паралелно захранване.

3. *Генератор с капацитивна обратна връзка.* Тази схема е също триточкова и се нарича още схема *Колпитц* (фиг. 3-24, б). Обратната връзка при нея се осъществява за сметка на падението на напрежение, което трептящият ток създава в кондензатора C_2 , свързан между катода и решетката. Ясно е, че колкото по-малък е капацитетът му, толкова по-силна е създадената обратна връзка, тъй като капацитивното му съпротивление е по-голямо. Захранването по тази схема може да стане само паралелно.

4. *Генератор с вътрешнокапацитивна обратна връзка* или схема *Армстронг* (фиг. 3-24, в). При нея обратната връзка се осъществява за сметка на големия вътрешен капацитет анод—решетка на лампата, чрез който *вс* енергия от анодната верига се прехвърля в решетъчната. В такъв генератор би се превърнал всеки високочестотен резонансен усилвател, ако се изпълни с триод с голям капацитет анод—решетка (C_{ap}).

Тези схеми на лампови генератори се наричат още *прости схеми* и могат да се изпълнят освен с триод и с всякаква друга усилвателна лампа. Освен тях съществува и *сложна схема* на лампов генератор, показана на фиг. 3-24, г. Тази схема е известна като схема *Шембел—Дюу* и има следните характерни особености:

а) Усилвателната лампа трябва да бъде тетрод или пентод.

б) Освен генериране при нея се извършва и усилване на високочестотните трептения.

в) Честотата на трептенията е по-стабилна от тази на обикновените генератори.

Действието на този генератор се заключава в следното: самовъзбуддането се осъществява в триодната част на лампата (катод—решетка—заслон) по триточкова автотрансформаторна схема. Връзката на кръга със заслона (който играе ролята на анод за триода) става чрез кондензатора C_2 и шаси. Получените трептения в кръга са подадени на решетката на лампата, която ги усилва. В анодната верига за товарно съпротивление се използва паралелен трептящ кръг, настроен в резонанс с генераторния. Понеже той извършва принудителни трептения, външни влияния не изменят честотата му, откъдето идва нейната по-голяма стабилност.

Този генератор намира широко приложение, особено в маломощните предаватели. Една разновидност на него е познатата схема *Клап*. При нея генераторният трептящ кръг е свързан по триточкова схема с капацитивна обратна връзка.

6. МОДУЛИРАНЕ НА ВИСОКОЧЕСТОТЕН СИГНАЛ

Модулацията е процес на видоизменение на един от параметрите на високочестотното трептение по законите за изменение на нискочестотно напрежение. Такава необходимост се явява при радио-телефонното предаване, където се налага излъчване на енергията на звуков сигнал под формата на електромагнитни вълни. В зависимост от това, кой параметър на *вс* трептения се изменя, различаваме следните видове модулация:

1. *Амплитудна модулация* — когато се изменя амплитудата на високочестотния сигнал.

2. *Честотна модулация* — когато се изменя честотата на същия.

3. *Фазова модулация* — когато се променя фазата на високочестотното напрежение.

Днес най-голямо приложение за нуждите на радиопредаването имат амплитудната и честотната модулация. Последната поради широкия

честотен спектър, който се излъчва, намира приложение само в областта на УКВ.

За да се осъществи амплитудна модулация на високочестотен сигнал, е необходимо ниската и високата честота да действуват в обща токова верига, която има нелинейно съпротивление (фиг. 3-25). Такова съпротивление притежават веригите на електронните лампи, поради което на практика амплитудна модулация се извършва именно в тях.

В зависимост от това, в коя верига на лампата се осъществява модулацията, различаваме следните видове амплитудна модулация:

1. *Решетъчна* — когато модулацията се осъществява във веригата на управляващата решетка на едно от стъпалата на предавателя.

2. *Анодна (анодно-токова и анодно-напрежителна)* — когато се извършва в анодната верига.

3. *Модулация на екранната решетка.*

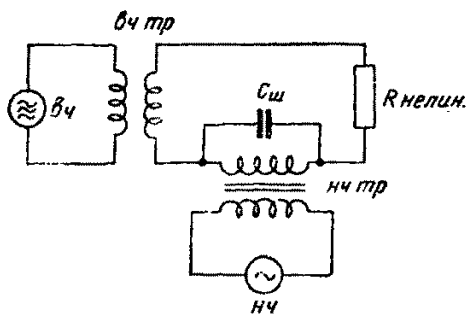
4. *Анодно-екранна модулация* — когато *нч* напрежение действа едновременно в анодната и екранната верига.

5. *Модулация на защитната решетка.*

6. *Модулация в катода.*

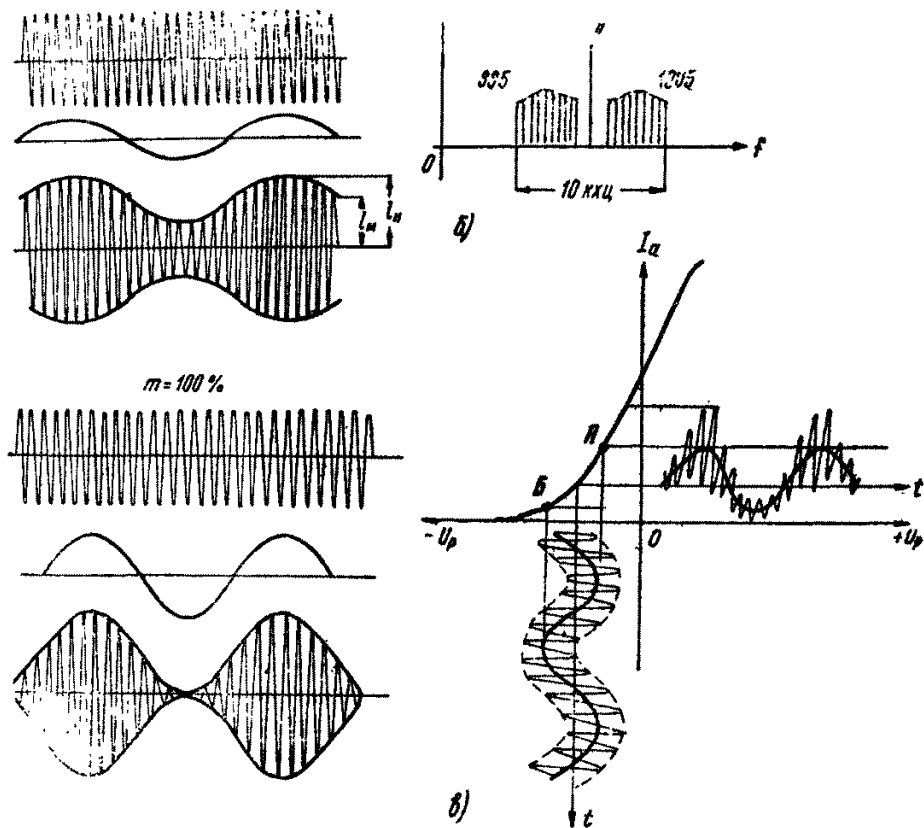
Всеки един от горните способности на модулиране на високочестотния сигнал притежава свои положителни и отрицателни качества, особено по отношение изискванията към мощността на нискочестотния сигнал, поради което в различните предаватели се прилага най-подходящият от тях.

Процесът на амплитудна модулация е изобразен графически на фиг. 3-26, а. Високата честота (напрежението с висока честота), която се модулира, се нарича *носеща честота*, а ниската, с която се извършва модулацията — *модулираща*. Получената в резултат на модулацията честота се нарича *модулирана*. В зависимост от амплитудите на носещата и модулиращата честота и от силата на тяхното взаимодействие може да се осъществи модулация с различна дълбочина. Дълбочината на модулацията представлява отношението между най-голямото изменение на амплитудата на носещата честота и нейната първоначална стойност и се измерва в проценти. Когато това отношение е малко, модулацията се нарича *плитка* (под 30%), а когато е голямо — *дълбока*. При голяма амплитуда на *нч* сигнал може да се достигне дълбочина на модулацията 100%, а в някои случаи и над 100%.



Фиг. 3-25

В такъв случай се казва, че имаме *премодулация*. Преמודулацията винаги е свързана с изкривяване на нискочестотния сигнал при възпроизвеждането му в радиоприемниците.



Фиг. 3-26

Анализирайки модулирания сигнал, се установява, че той е сложен и съдържа следните честоти:

1. $f_0 = f_{\text{нос}}$;
2. $f_1 = f_{\text{нос}} + f_{\text{мод}}$;
3. $f_2 = f_{\text{нос}} - f_{\text{мод}}$.

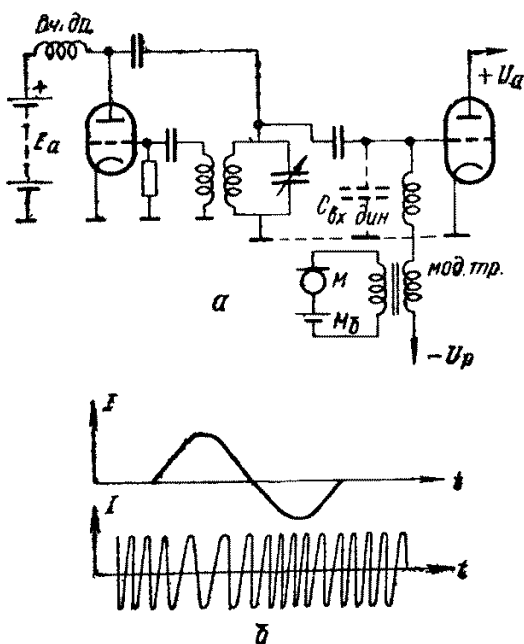
Такъв е случаят, когато модулираният сигнал е прост (синусоидален) и не съдържа други честоти. Когато обаче последният е сложен и сам представлява спектър от много честоти, както е случаят при радио-телефонното предаване, модулираният сигнал се състои от основната честота (f_n) и две странични ленти, широчината на които зависи от спектъра на модулирания сигнал. Това лесно се пояснява със следния числен пример:

При $f_n = 1000$ кхц и $f_{\text{мод}} = 50-5000$ хц модулираният сигнал ще има следния състав:

1. $f_n = 1000$ кхц = 1 000 000 хц;
2. f_1 — горна странична лента. Съдържа всички честоти от 1 000 050 хц до 1 005 000 хц;
3. f_2 — долна странична лента. Съдържа всички честоти от 999 950 хц до 995 000 хц.

Графически този състав на модулирания сигнал е показан на фиг. 3-26, б. От нея се вижда, че широчината на честотната лента, която се излъчва при модулацията на *вч* сигнал, е равна на удвоената най-висока честота на модулирания сигнал. Явно е, че за да не си пречат два радио-телефонни предавателя, работещи на близки честоти, необходимо е носещите им честоти да се отличават с удвоената стойност на модулиращите ги честоти. По стандарт на предавателите се определят честотни ленти от 9 кхц, което показва, че най-високата звукова честота, която могат да излъчват, е 4,5 кхц.

При честотната модулация под действието на нискочестотния сигнал се изменя носещата честота на предавателя. Това се постига чрез изменение параметрите на генераторния трептящ кръг на автогенератора на предавателя по законите на изменение на нискочестотния сигнал. Принципно такава модулация може да се осъществи чрез използване на кондензаторен микрофон, свързан паралелно на кондензатора на генераторния трептящ кръг. За избягване обаче на някои външни влияния върху съединителните линии на микрофона с трептящия кръг обикновено честотната модулация се извършва от специално модулаторно стъпало, при което паралелно на трептящия кръг на генератора се включва входният динамичен кондензатор на модулаторната лампа (фиг. 3-27, а). Действието му се обяснява по следния начин. На решетката на модулаторната лампа се подава сравнително голямо отрицателно преднапрежение, при което лампата се запущва и около катода се създава електронен облак. Между катода и решетката съществува кондензатор с определена стойност, който по схемата е свързан паралелно на кондензатора на генераторния трептящ кръг. По този на-



Фиг. 3-27

чин генераторът съгласно формулата на Томсон произвежда *вч* трептения със строго определена честота. При подаване на променливо напрежение със звукова честота на решетката на модулаторната лампа нейният потенциал се изменя, което предизвиква изменение и на големината на електронния облак (разстоянието между решетката и него се изменя в такт с нискочестотното напрежение). По този начин в същото съотношение се изменя и входният динамичен капацитет на лампата, което пък предизвиква изменение на честотата на генераторното стъпало.

Процесът на извършване честотна модулация е показан графически на фиг. 3-27, б.

Честотномодулираният сигнал е сложен и съдържа широк спектър от високи честоти. По тази причина честотната модулация се използва само в областта на УКВ.

Решетъчна модулация

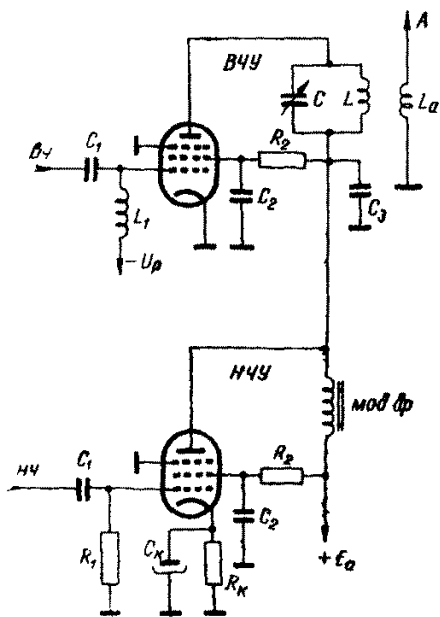
На фиг. 3-26, в е показан графически процесът при извършване на амплитудна модулация в решетъчната верига на едно от високочестотните стъпала на предавателя.

За да се осъществи модулацията, е необходимо работната точка да бъде в криволинейния участък на характеристиката, за да има веригата нелинейно съпротивление.

В случая процесът на модулация се състои в следното: Нискочестотното променливо напрежение измества работната точка в границите от А до Б по решетъчната характеристика, в който участък стръмността ѝ е различна в отделните точки. Приложените в същото време на решетката *вч* трептения ще се усилват различно, вследствие на което резултантният високочестотен ток в анодната верига на лампата ще бъде модулиран амплитудно.

Характерно за решетъчната модулация е това, че за нея не е необходимо модулираният сигнал да има голяма мощност. Достатъчно е само подаването на нискочестотно напрежение от микрофонния трансформатор без предварително усилване.

За другите способи на модулация такова усилване на ниската честота е необходимо и то се извършва в отделно *нч* усилвателно стъпало, което е познато като модулаторно стъпало. Фак-



Фиг. 3-28

тически обаче модулацията се извършва във високочестотното стъпало на предавателя.

На фиг. 3-28 е показана схемата за осъществяване на анодно-екранна модулация, която намира голямо приложение както в маломощните предаватели, така и в тези със средна мощност. Принципът ѝ се състои в изменение едновременно на анодното и екранното напрежение на високочестотното стъпало от предавателя под действието на нискочестотен сигнал. Това изменение се постига за сметка на падението на напрежение в така наречения *модулационен дросел*, който е включен едновременно както в анодната верига на модулатора, така и в анодната и екранната верига на високочестотното стъпало на предавателя. В този случай на модулиране мощността на крайното стъпало на модулатора трябва да бъде по големина от порядъка на мощността на високочестотното стъпало на предавателя, в което се извършва модулацията. Тъй като в посочената схема падението на напрежение в модулационния дросел става за сметка на анодния ток на модулатора, тази модулация се нарича още *аноднотокова*.

7. ДЕТЕКЦИЯ НА МОДУЛИРАНИ СИГНАЛИ

Приетият и усилен модулиран високочестотен сигнал не може да задействува електроакустичните прибори и да създаде звукова енергия. За да се използват качествата на нискочестотния сигнал, с който е бил модулиран, необходимо е в радиоприемното устройство да се извърши детекция или демодулация. Този процес по същество представлява създаване на ниска честота с качествата на модулиращия сигнал под действието на модулирания високочестотен. За да се осъществи този процес, е необходимо модулираното високочестотно трептене да действа във верига с нелинейно съпротивление. Понеже такива вериги притежават електронните лампи и някои кристали и полупроводници, детекцията се осъществява чрез тях. В зависимост от това, в коя верига на лампата се извършва детекцията, различаваме следните видове детектори:

1. *Диоден детектор* — когато се извършва в анодната верига на диод.

2. *Решетъчен детектор* — когато детекцията се извършва в решетъчната верига на радиолампата.

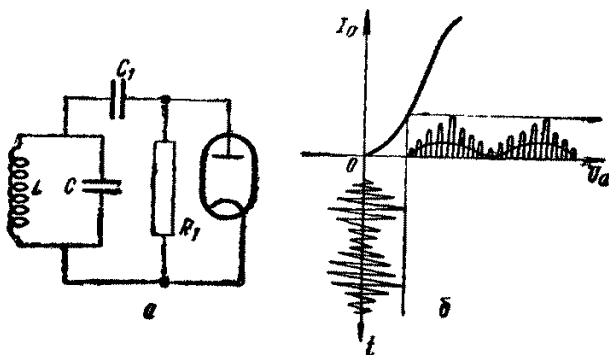
3. *Анодна детекция* — когато нискочестотният сигнал се създава в анодната верига на решетъчната лампа.

Най-голямо приложение намират диодният и решетъчният детектор, поради което тук ще се разгледат тяхното устройство и действие.

Диодна детекция

Схемата на диоден детектор е показана на фиг. 3-29, а. Действието му се заключава в следното: подаденото в анодната верига на диода модулирано високочестотно напрежение предизвиква протичане на

аноден ток само когато върху анода действуват положителните му полупериоди. Това е така, защото на анода на този детектор не се подава предварително постоянно анодно напрежение, с което се осигурява нелинейността на анодната верига. Полученият в резултат на това действие аноден ток е сложен и съдържа три съставни: по-



Фиг. 3-29

стоянна, високочестотна и нискочестотна. От тях полезна е нискочестотната съставна, която създава падение на напрежение във включеното във веригата товарно съпротивление. За да се избегне действието на високочестотната съставна, последното се шунтира с малък кондензатор от порядъка на 50 до 100 *пф*. Създаденото нискочестотно напрежение може да се подаде за усилване в следващото стъпало на радиоприемника.

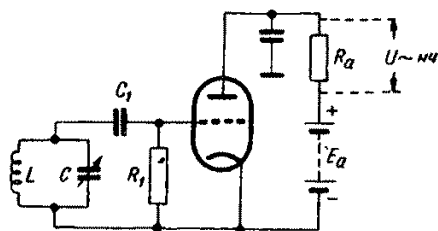
Характерното за диодния детектор е, че той е малко чувствителен, поради което се използва в онези приемници, в които съществува предварително усилване на модулирания високочестотен сигнал (нормално в суперхетеродинните приемници). Графически процесът на детектиране в диодния детектор е показан на фиг. 3-29, б.

Решетъчна детекция

В радиоприемници, в които усилването на модулирания високочестотен сигнал е по-малко, каквито са линейните приемници, се използва решетъчен детектор (фиг. 3—30). Характерните особености на този детектор са следните:

1. Детекцията се извършва в решетъчната верига на усилвателна лампа (нормално триод).
2. На решетката при детекция не се подава никакво преднапрежение.
3. Освен детектиране в решетъчния детектор се извършва и усилване на нискочестотното напрежение.

По същество решетъчният детектор представлява съчетание на диоден детектор с нискочестотен усилвател. Като диод в него действа системата катод—решетка на триода, в която се извършва детекцията. Режимът на работа на тази верига е същият както на анодната верига на диода детектор. Полученото в утечното съпротивление на решетъчната верига нискочестотно падение на напрежението се явява автоматически подадено на решетката на триода, усилва се и в анодната верига на лампата се получава значително усилено. Характерен белег на схемата на решетъчния детектор е групата RC в решетъчната верига, чрез която се осигурява детекцията. Кондензаторът има капацитет от порядъка на 50 до 100 $n\phi$, а товарното съпротивление — 1 до 2 $M\Omega$.



Фиг. 3-30

Общи сведения за честотната детекция

Принципът на честотната детекция се състои в преобразуване на честотномодулирания сигнал в амплитудномодулиран, след което детектирането на последния се осъществява по един от познатите способности. За преобразуването му в амплитудномодулиран се използва честотната зависимост на импеданса на паралелния трептящ кръг, когато последният е включен като товарно съпротивление в анодната верига на едно високочестотно усилвателно стъпало. Честотният детектор представлява именно такова усилвателно стъпало, на което товарният трептящ кръг е разстроен по отношение на усилвания честотно модулиран сигнал. Действието му се заключава в следното: при изменение на честотата трептящият кръг оказва различно съпротивление на високите и по-ниските честоти, поради което последните създават различно падение на напрежение в краищата му. Тъй като изменението на честотата става по законите на нискочестотния сигнал, с който е била извършена модулацията, то и създаденото в краищата на кръга падение на напрежение ще следва същите изменения, т. е. то се явява амплитудномодулирано и носи качествата на модулирания сигнал. Това амплитудномодулирано напрежение се подава по-нататък за детектиране от обикновен амплитуден детектор.

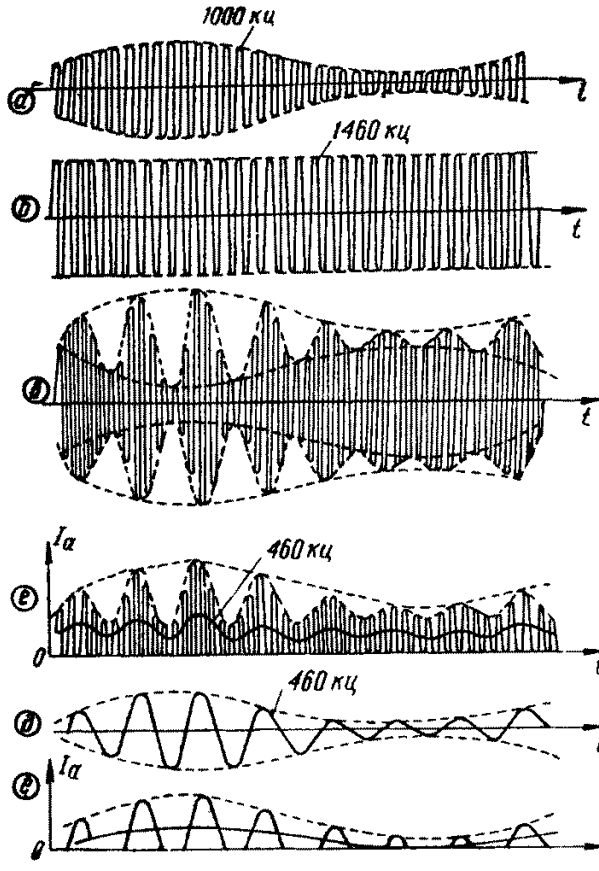
Разстроеният трептящ кръг в честотния детектор се нарича *дискриминатор*.

8. ПРЕОБРАЗУВАНЕ НА ВЧ СИГНАЛ

Преобразуването на *вч* сигнал е процес, при който високочестотното трептене с определена честота се преобразува в трептене с друга честота. Такъв процес се осъществява в смесителното стъпало на суперхетеродинния приемник.¹

¹ Принципно му устройство и действие са разгледани в следващата глава (б. р.).

На фиг. 3-31 е изобразено графически преобразуването на сигнал с честота 1000 кхц в сигнал с честота 460 кхц, осъществено по метода на биенията между двете честоти (1000 и 1460 кхц), които се подават



Фиг. 3-31

на двете управляващи решетки на смесителната лампа. В резултат на двойното управление на анодния ток в анодната верига се създават променливи съставни на сигнала, две от които имат честоти

$$f_1 = 1460 + 1000 = 2460 \text{ кхц} \text{ и } f_2 = 1460 - 1000 = 460 \text{ кхц.}$$

Тъй като новата честота 460 кхц се получава след детектиране на резултантния от биенето сигнал, смесителното стъпало в суперхетеродинния приемник се нарича още *първи детектор*.

Математически се доказва, че при преобразуването на сигнала характерът на модулацията му (амплитудна или честотна) не се променя,

т. е. преобразуването не е съпроводено с изкривяване на сигнала. При това в смесителното стъпало освен преобразуването се извършва и усилване на сигнала. Коэффициентът на усилване на стъпалото, както и при другите усилватели, се определя от отношението между изходното и входното променливо напрежение.

За да бъде смесителното стъпало по-чувствително, необходимо е да има голям коэффициент на усилване, който зависи от стръмността на смесване на лампата :

$$S_c = \frac{I_a}{U_{вх}},$$

където I_a е амплитудата на анодния ток на получения след преобразуването сигнал с честота 460 $кхц$;

$U_{вх}$ — амплитудата на напрежението на входния сигнал,

РАДИОПРИЕМНИЦИ

1. ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ И КЛАСИФИКАЦИЯ

В пространството се разпространяват голям брой електромагнитни вълни с различна дължина на вълната, които пренасят електрическите сигнали на звука или изображението на близки и далечни разстояния. С тези електрически сигнали, представляващи от себе си говор, музика, изображение, телеграфни знаци и др., е модулиран (амплитудно, честотно или фазово) високочестотният сигнал (носещата честота), който се излъчва от предавателното устройство посредством предавателната антена във вид на електромагнитни вълни. При разпространението си тези вълни индуцират в приемните антени *вч* напрежения, които се подават на входното устройство на приемника, пропускащо само избрания по честота сигнал (полезния сигнал).

Предназначението на радиоприемника е да избере и усилва подадения му на входа полезен сигнал, да отдели (демодулира, детектира) нискочестотния сигнал и го превърне съответно в говор, музика и др.

Съвременните радиоприемници се разделят на две основни групи: концертни и професионални.

Концертните радиоприемници са предназначени за приемане на звукови програми (говор и музика). В зависимост от техните качествени показатели те се подразделят на четири класа, както е показано на фиг. 4-1.

Професионалните радиоприемници се използват за поддържане на служебни радиовръзки.

Всички типове радиоприемници от двете основни групи се класифицират въз основа на следните признаци:

В зависимост от захранването — на мрежови и батерийни.

В зависимост от вида на схемата — на линейни (с пряко усилване), регенеративни, свръхрегенеративни, рефлексни и суперхетеродинни. Повечето от съвременните радиоприемници са изпълнени по суперхетеродинна схема.

В зависимост от вълновия обхват, за който са конструирани — на дълговълнови, средновълнови, късовълнови и ултракъсовълнови. Напоследък в модерните концертни радиоприемници се вгражда и УКВ високочестотна част за приемане на ЧМ сигнали. По такъв начин повечето от съвременните типове радиоприемници биват всевълнови и комбинирани.

Професионалните радиоприемници могат да се класифицират още в зависимост от:

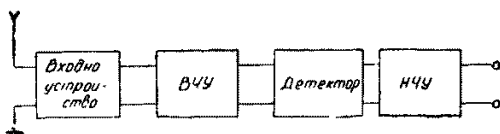
вида на работата — на телефонни и телеграфни;
вида на модулацията на приемания сигнал — за приемане на сигнали с амплитудна, честотна, фазова или импулсна модулация;

мястото, където се установяват за работа — на стационарни и возими (в кола, танк, самолет, кораб и др.).

Съвременните радиоприемници от двете основни групи могат да бъдат разделени още на лампови и транзисторни в зависимост от електронните прибори, употребени в схемното изпълнение на апарата. Напоследък се срещат и комбинирани схеми, изпълнени с лампи и транзистори.

2. ЛИНЕЙНИ РАДИОПРИЕМНИЦИ

Линейните радиоприемници или, както още ги наричат, приемници с пряко усилване не отговарят на изискванията за един модерен радиоприемник, като напр. добра чувствителност, висока избирателност, достатъчна ширина на пропусканата честотна лента и др. Обаче поради простото си устройство и лесна направа те си остават най-масовият радиоприемник, който се строи от начеващите радиолюбители.



Фиг. 4-1

Обикновено линейните приемници имат входна верига, високочестотен усилвател (ВЧУ), детекторно стъпало и нискочестотен усилвател (НЧУ). На фиг. 4-1 е показана блоковата схема на линеен приемник.

Двулампов приемник 0-V-1

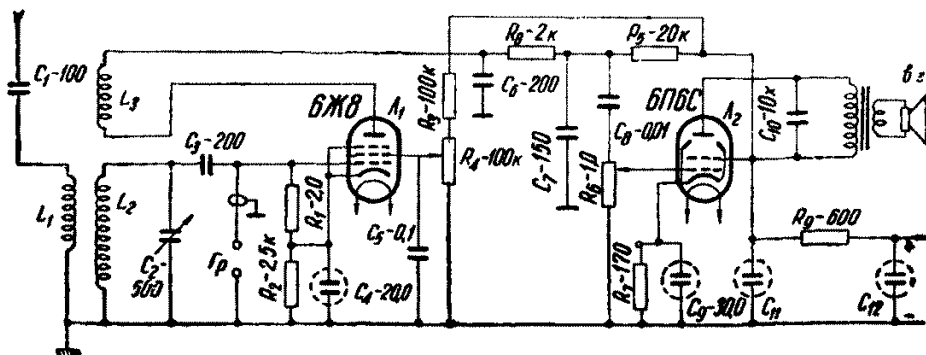
На фиг. 4-2 е показана принципната схема на двулампов линеен приемник без токозахранващото стъпало, който може да се използва и като нискочестотен усилвател. За да се повишат чувствителността и избирателността на приемника, детекторното му стъпало е изпълнено по регенеративна схема — с индуктивна обратна връзка.

В случая, когато приемникът се използва за НЧУ, в катода на лампата L_1 — 6Ж8 са поставени съпротивленията R_2 — 2,5 ком и блоккондензаторът C_4 — 20 мкф за получаване на необходимото отрицателно преднапрежение на управляващата решетка на лампата.

При използването му като радиоприемник лампата L_1 работи като решетъчен детектор и преднапрежението на управляващата решетка се получава в краищата на утечното съпротивление R_1 — 2 мгом. В този случай катодното съпротивление R_2 и катодният блок C_4 не играят съществена роля в стъпалото.

Обратната връзка е осъществена посредством бобината L_3 , навита върху общото тяло с входната бобина L_2 , и е в зависимост от усилването на лампата, което се регулира с потенциометъра R_4 , чрез който

се подават различни положителни напрежения на втората решетка на лампата. Веригата на обратната връзка се затваря през кондензатора C_8 на шаси. Високочестотните трептения във веригата на втората решетка се отвеждат в шасито през кондензатора C_8 — 0,1 μf . Третата решетка е свързана с катода на лампата и има нулев потенциал спрямо



Фиг. 4-2

него. Филтърът, образуван от кондензаторите C_6 , C_7 и R_8 , пропуска само нискочестотен ток. Веригата на този ток се затваря през бобината L_3 , съпротивлението R_8 , товарното съпротивление R_5 и електролитните кондензатори C_{11} и C_{12} от филтражната група на токоизправителя.

В краищата на товарното съпротивление R_5 се създава падение на напрежението със звукова честота, което през разпределителния кондензатор C_8 се оказва приложено върху потенциометъра R_6 , откъдето се подава на управляващата решетка на лъчевия тетрод L_2 — 6П6С. Чрез потенциометъра R_6 , който изпълнява ролята на утечно съпротивление за лампата L_2 , се регулира усилването на нч сигнал във втората лампа, работеща в режима на усилване клас А.

Автоматичното преднапрежение на управляващата решетка на L_2 се осъществява чрез включване в катода на лампата съпротивлението R_7 и катодния блоккондензатор C_9 . Втората решетка на лампата има същия потенциал, както анодът (+250 v), и получава захранване на право от плюса на токоизправителя.

Изходният трансформатор е товарно съпротивление в анодната верига на тетрода и служи да прехвърли електрическата енергия в електроакустичния преобразовател, какъвто в случая се явява високоговорителят. През кондензатора C_{10} се отвеждат на шаси по-високите честоти, съответстващи на високите тонове, за да бъде тонът по-мек. При положение че приемникът се използва като НЧУ, след този кондензатор може да се включи серийно (последователно) един потенциометър от 50 ком , за да се получи веригата на тонрегулатора. Когато съпротивлението на потенциометъра е най-голямо, по-високите звукови честоти не могат да отидат към шаси и тогава тонът ще бъде най-остър.

Токозахранването на приемника е разгледано в гл. V, т. 2, б.

Трилампов двукръгов приемник 1-V-1

На фиг. 4-3 е показана принципната схема на трилампов двукръгов приемник, която се различава от схемата на фиг. 4-2 по това, че тук има още едно стъпало — ВЧУ, изпълнено с лампата 6Ж7. Това дава възможност да се подобрят чувствителността и избирателността на приемника.

Лампата L_1 — 6Ж7 (6К3) е с апериодичен вход. Високочестотните токове с честоти, съответстващи на породилите ги напрежения, индуктирани в антената, затварят веригата си на шаси през съпротивлението R_1 . В краищата на това съпротивление се създават падения на напреженията с висока честота, подавани всичките във входа на лампата (на управляващата решетка), тъй като в решетъчната верига няма трептящ кръг, който да отделя само полезния сигнал.

В анодната верига на лампата е включен първият трептящ кръг, който може да се настройва, състоящ се от променливия кондензатор C_4 , кондензаторите с постоянен капацитет C_8 и C_{16} и бобина L_1 . С помощта на този кръг полезният сигнал се избира и по индуктивен път се прехвърля във втория настройващ се кръг (L_3 , C_5 , C_7), включен в решетъчната верига на втората лампа L_2 — 6Ж7.

Настройващите променливи кондензатори C_4 и C_5 са на обща ос (две секции на един въздушен кондензатор), а бобините L_1 и L_3 са свързани индуктивно и навити на едно тяло. По такъв начин и двата трептящи кръга се настройват едновременно на желаната честота с помощта само на едно копче.

Лампата L_2 работи в режим на решетъчна детекция по регенеративна схема. Веригата на обратната връзка се затваря през бобината L_5 и променливия кондензатор C_6 .

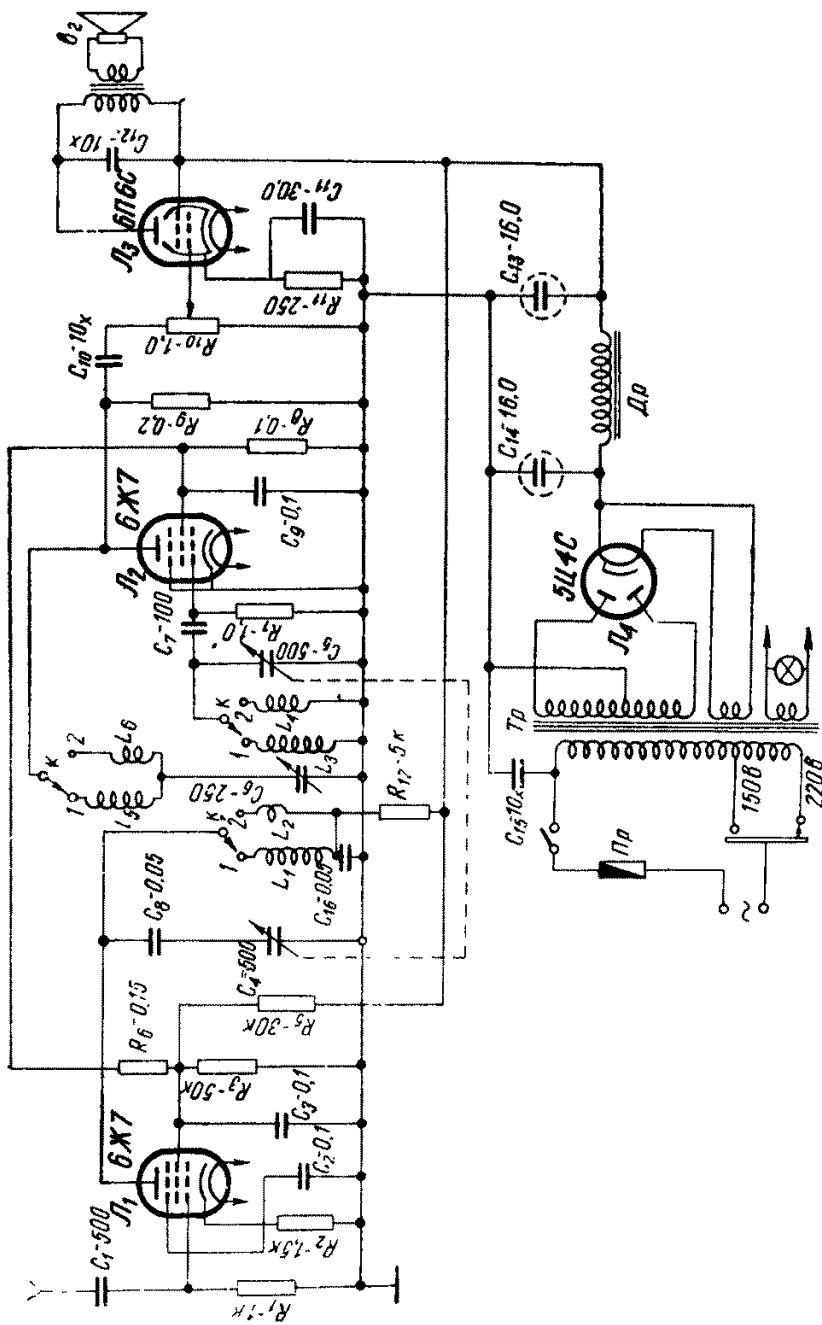
Обхватите на средни и къси вълни се сменят чрез превключване на бобините $L_1L_3L_5$ и $L_2L_4L_6$ посредством ключа K , който има две положения по три контакта.

Крайното стъпало е изпълнено с лъчевия тетрод 6П6С (L_3) и по нищо не се отличава от това в дуламповия приемник.

Настройка на линеен приемник

За да има приемникът от фиг. 4-3 максимална чувствителност и добра избирателност, необходимо е да се настройат двата кръга — първият $L_1C_4C_8C_{16}$ (в анодната верига на ВЧУ — L_1) и втория $L_3C_5C_7$ (в решетъчната верига на детектора — L_3), в резонанс на една и съща честота. Обикновено настройващите кондензатори на тези кръгове са напълно еднакви и на една ос. Паралелно на всеки настройващ кондензатор се поставя по един малък кондензатор (най-често вграден в настройващия) с полупроменлив капацитет. Тези донастройващи кондензаторчета се наричат „тримери“ или „квечове“. Техният капацитет се променя в границите от 5 до 20 пф.

Настройката се извършва обикновено на слух, но може да се включи в изхода на приемника паралелно на високоговорителя един волтмер



Фиг. 4-3

за индикатор на изходния сигнал. Настройваме приемника на някоя мощна станция в началото на обхвата към по-късите вълни при напълно отворен кондензатор за настройката. Посредством регулатора за силата — потенциометъра R_{10} (фиг. 4-3), нагласяме подходящо за отчитане ниво на изходния сигнал, а чрез тримерите изменяме капацитета на анодния и на решетъчния кръг, докато получим максимално напрежение в изхода (максимална сила на приемането). След това завъртаме копчето за настройка до почти пълно затваряне на въздушния кондензатор и хващаме друга станция в този край на обхвата. Сега изменяме индуктивността на кръговете чрез изместване сърцевините на бобините, докато получим пак максимална сила на приемането. При изменяне индуктивността на кръговете се е получила разстройка в началото на обхвата. Затова отново се връщаме на първата станция в началото на обхвата и донастройваме кръговете чрез тримерите, след което пак настройваме приемника на станцията в другия край на обхвата, към по-дългите вълни, и пак чрез сърцевините донастройваме още веднъж кръговете. Тази операция се повтаря няколко пъти, докато получим максимална чувствителност на приемника и след това зафиксираме положението на сърцевините и тримерите с парафин или лак.

Описаната дотук настройка се отнасяше за обхвата на средни вълни (СВ). За да извършим настройката на късовълновия обхват, превключваме приемника на обхвата за къси вълни (КВ) посредством ключа K (положение 2), при което в първия кръг вместо бобината L_1 се включва бобината L_2 , във втория — L_4 вместо L_3 и във веригата на обратната връзка — бобината L_5 вместо L_6 . Настройката се извършва по същия начин, както и за обхвата на СВ.

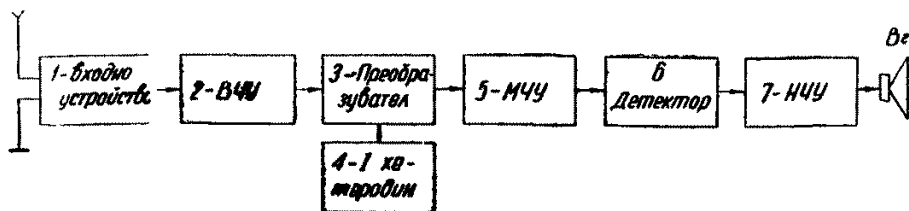
3. СУПЕРХЕТЕРОДИННИ ПРИЕМНИЦИ

а. Принцип на суперхетеродинния приемник

Блокова схема

В началото на тази глава се спомена, че линейните приемници притежават основните два недостатъка — малка чувствителност и недобра избирателност. Дори с най-добрия линеен приемник (1-V-1) не може да се приема от по-отдалечени предаватели. Не е възможно добро отделяне, особено на къси вълни, на сигнала на приеманата станция от съседните по честота сигнали. Ако искаме да постигнем по-добра избирателност, тогава пропусканата честотна лента ще бъде по-тясна и няма да ни позволи да приемаме музика с цялото ѝ богатство на тонове. При модулирането на носещата честота с нискочестотните трептения (звуковата честота) се получава цяла лента от честоти. Така например, ако един предавател излъчва *вч* трептения с честота 1000 *кхц* (дължина на вълната 300 *м*), а модулиращите *нч* трептения имат честота 2 *кхц*, след модулацията се получават още две странични честоти: горна — 1000 *кхц* + 2 *кхц* = 1002 *кхц*, и долна — 1000 *кхц* — 2

$\kappa\text{хц} = 998 \text{ кхц}$. Но понеже звуковият спектър на човешкия говор и на някои музикални инструменти не е с горна граница до 2 кхц , а в границите от 16 хц до около $10\,000\text{—}13\,000 \text{ хц}$ (заедно с обертоновете), следва, че предавателят ще излъчва цяла честотна лента, широка $20\,000\text{—}26\,000 \text{ хц}$. В такъв случай всеки предавател от радиоразпръск-



Фиг. 4-4

вателните служби ще трябва да заеме във вълновия обхват една лента от около 20 кхц и в тази лента не трябва да работи друг предавател.

Следователно всички предаватели трябва да отстоят един от друг най-малко на по 20 кхц . Това обаче ограничава възможността да се вместят повече предаватели в даден обхват. Затова с международна конвенция е прието честотната лента на всеки предавател за Европа да не надвишава 9 кхц , а за Америка — 10 кхц .

От описаното дотук става ясно, че с линейните приемници не можем да приемаме отдалечени станции и да отделим добре сигнала на приеманата станция. Ето защо се е наложило да се потърси друг принцип на радиоприемането, при който изброените недостатъци на приемането с пряко усилване да се избягнат. Такъв принцип е изнамерен и се заключава в следното: всеки приет сигнал независимо от неговата честота се променя в сигнал с една постоянна честота; на тази честота се настройват лентовите филтри и се извършва главната част на усилването. Приемникът, построен на този принцип, има почти еднаква чувствителност и избирателност по целия честотен обхват, а ширината на пропусканата честотна лента е еднаква за всички обхвати.

Този принцип се нарича *принцип на суперхетеродина*, а построените въз основа на него приемници — *суперхетеродинни*. Постоянната честота, в която се преобразуват всички приетани сигнали, е по-ниска от честотата на входния сигнал и се нарича *междина честота*.

На фиг. 4-4 е показана блоковата схема на суперхетеродинен приемник. Приеманите сигнали с различна честота се подават чрез приемната антена на входното устройство на приемника, където се извършва частично отделяне на полезния сигнал (сигнала на радиостанцията, на която е настроен приемникът) от смущаващите сигнали. От входното устройство полезният сигнал се подава на ВЧУ за усилване. Така усиленият сигнал постъпва в преобразователното стъпало, където си

взаимодействува с осцилаторния сигнал, получаван от местния осцилатор, и се преобразува в сигнал с междинна честота. Преобразуването се извършва по такъв начин, че на изхода на преобразователя се получава винаги сигнал с една и съща честота — междинната честота. Това се постига чрез запазване на постоянна разлика между честотите на входния и осцилаторния сигнал.

Преобразователното стъпало се състои от смесител и хетеродин (местен осцилатор). Преобразуването се извършва в смесителя, където постъпват едновременно двата сигнала — входният (от ВЧУ) $f_{вх}$ и осцилаторният (от хетеродина) $f_{осц}$. Тук по метода на биенето се получава третият сигнал f_m с честота, равна на разликата от честотите на двата сигнала, постъпващи в смесителя, или

$$f_m = f_{осц} - f_{вх}.$$

Обикновено междинната честота на приемници за приемане на АМ сигнали е 465 кхц, т. е. в средата на свободния честотен участък между дългите и средните вълни (400—520 кхц), а на приемници за приемане на ЧМ сигнали — 8,4 или 10,7 мгхц.

За да се покрие по-широк обхват на приемника чрез използване само на един променлив кондензатор, осцилаторната честота (работната честота на хетеродина) е винаги по-висока от резонансната честота на входните кръгове с 465 кхц. Това се постига чрез „спрягането“ на входните и осцилаторните кръгове, което ще разгледаме в т. 3, д на настоящата глава.

От изхода на преобразователя сигналът с междинна честота се подава на МЧУ, който представлява лентов усилвател от едно или няколко стъпала с почти правоъгълна резонансна крива, което осигурява добра избирателност и равномерно усилване на цялата пропускана честотна лента.

Напрежението на междинночестотния сигнал, усилено до 1—2 в, се подава на детектора, където се отделя нискочестотният сигнал, който се подава на крайното стъпало за усилване по мощност. Детекторното стъпало обикновено е изпълнено със сложна лампа, която извършва и предусилване на *нч* напрежение, а също така от нея се взема и сигналът за автоматичното регулиране на усилването (АРУ).

Основен недостатък на суперхетеродинните приемници е наличието на тъй наречената „огледална честота“, която е равна на сбора от честотата на входния сигнал и удвоената междинна честота или

$$f_{огл} = f_{вх} + 2 f_m.$$

Така например за Софийския предавател на средни вълни (827 кхц) огледалната честота за приемници с междинна честота 465 кхц е 1757 кхц. Тази честота обаче не попада в обхвата на средните вълни и затова приемането не може да бъде смушавано по огледален канал. За предавател обаче, който работи на по-дълга вълна, какъвто е Националният предавател София I (593 кхц), огледалната честота попада в обхвата на средните вълни. За случая честотата, на която работи чехословашкият предавател Прага II (1520 кхц), е приблизително равна на огледалната честота на нашия предавател.

б. Устройство на суперхетеродинния приемник

Входно устройство

Входното устройство служи да свърже антената с първото стъпало на приемника — ВЧУ или преобразователя, и да извърши отчасти филтрацията на полезния сигнал, като отслаби подаваните на входа на

приемника смущаващи сигнали. В по-сложните приемници входното устройство се състои от няколко трептящи кръга, свързани помежду си, а в обикновените приемници — само от един кръг.

Различаваме четири основни връзки на входното устройство с антената: индуктивна, външнокапацитивна, вътрешнокапацитивна и комбинирана.

Индуктивната връзка, показана на фиг. 4-5, а, е най-често срещаната и осигурява равномерно пропускане на полезния сигнал по целия обхват на приемника.

Външнокапацитивната връзка е показана на фиг. 4-5, б. Тя се използва предимно при разтегнати подобхвати, а също така

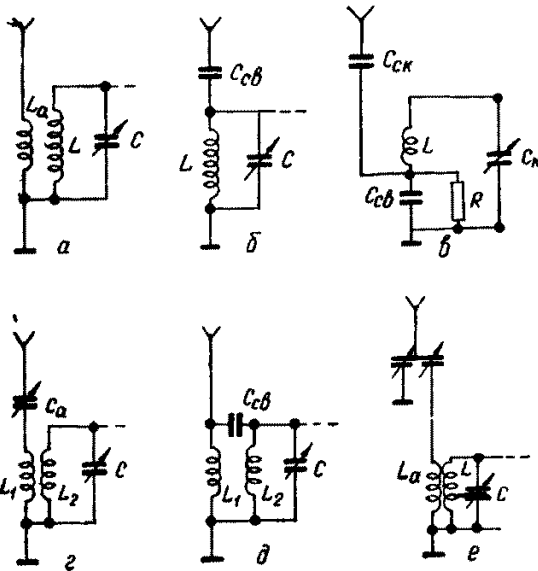
и когато трептящите кръгове са настроени на фиксирана честота.

Вътрешнокапацитивната връзка, показана на фиг. 4-5, в, има почти равномерно предаване на полезния сигнал по целия обхват и се използва, когато се работи на скъсена антена или пък на антена с малък капацитет.

Комбинираната връзка, показана на фиг. 4-5, г, д, е, осигурява най-постоянен коефициент на предаване напрежението на полезния сигнал по целия обхват.

Високочестотен усилвател

Високочестотният усилвател е предназначен да усили полезния сигнал и да го филтрира добре, т. е. да подобри отношението сигнал—шум. В съвременните концертни приемници много рядко се среща отделно стъпало ВЧУ. При тях входният сигнал се подава направо в преобразователното стъпало. Най-разпространени *вч* усилватели са резонансните и апериодичните.



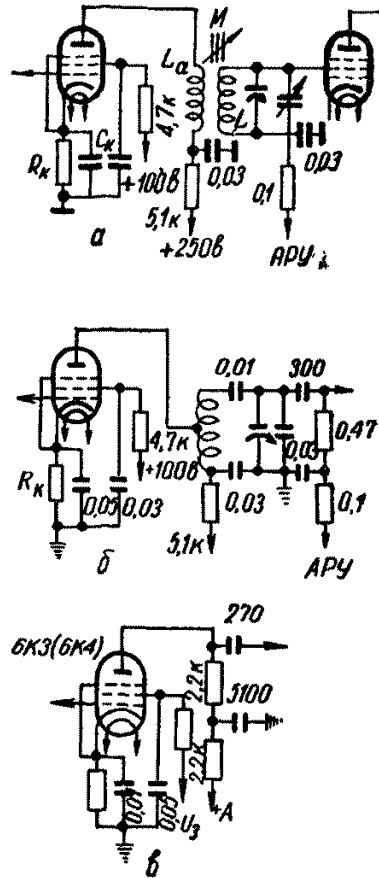
Фиг. 4-5

Резонансен усилвател. Усилватели, при които товарното съпротивление в анодната верига (анодния товар) е трептящ кръг или лентов филтър, се наричат резонансни усилватели. На фиг. 4-6, а, б са показани две схеми на резонансни усилватели. Първата схема (а) е на резонансен усилвател с трансформаторна връзка, а втората (б) — с автотрансформаторна. От резонансните усилватели се изисква да покриват определен обхват от честоти. В тях се получават честотни изкривявания, които се дължат на неравномерното усилване на честотите от пропусканата честотна лента. Вследствие работата на усилвателя в криволинейните участъци на характеристиката на лампата се пораждат също така и нелинейни изкривявания. В тези усилватели обикновено се използват лампи с удължени или полуудължени характеристики (6К3, 6К4), които имат променлива стръмност и позволяват да се използва автоматично регулиране на усилването (АРУ), чието устройство и действие са разгледани по-назад.

При недобро филтриране на захранващото изправено напрежение върху електродите на лампата се оказват приложени пулсациите на захранващото напрежение с честота 50 или 100 хц, които причиняват вторична амплитудна модулация на усилвания входен сигнал, и на изхода на приемника се появява фон, който има честота 50 или 100 хц.

Полезният сигнал се подава на управляващата решетка на лампата. Същевременно с него се подават и сигнали от смущаващи станции, които също се модулират с пулсациите на захранващото напрежение, проникнали през филтъра на токоизправителя. В резултат на това на изхода на приемника се получават смущения, за отстраняването на които е необходимо да се отслабят смущаващите сигнали още във входното устройство на приемника. Това се постига чрез подходящи за целта филтри.

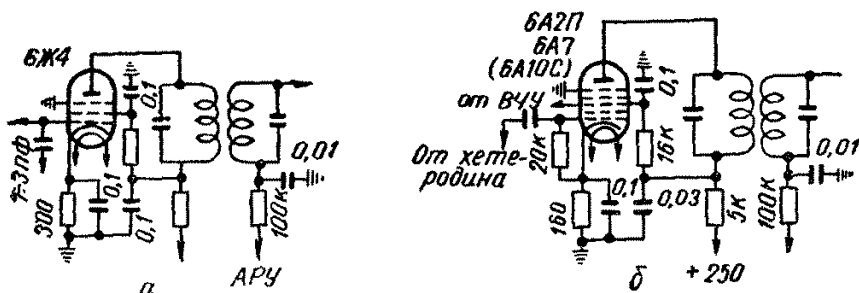
Апериодичен усилвател. Схемата му е показана на фиг. 4-6, в. Неговият коефициент на усилване е значително по-нисък, отколкото на резонансния усилвател. Тъй като не притежава избирателни свойства, той се употребява в случаите, когато входното устройство се състои от лентови филтри, което се среща обикновено при висококачествени приемници за средни и дълги вълни.



Фиг. 4-6

Преобразовател на честотата

Преобразователното стъпало се състои от смесител и хетеродин (осцилатор). Както смесителят, така и хетеродинът имат във веригата си на управляващата решетка трептящи кръгове, които се настройват



Фиг. 4-7

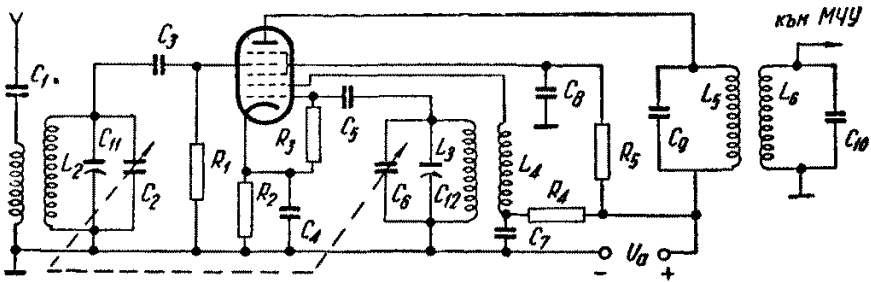
едновременно, тъй като настройващите им кондензатори са поставени на една и съща ос. Съвременните електронни лампи дават възможност за едновременното им използване като смесител и осцилатор. Когато една и съща лампа изпълнява две функции — смесител и осцилатор, стъпалото се нарича преобразователно, а лампата — съответно преобразовател на честотата. При използването на отделна лампа за осцилатора (хетеродина) лампата осъществява само смесването на двете честоти, които постъпват от входното устройство и осцилатора, и се нарича смесител, а стъпалото — смесително. Различаваме главно два вида смесители на честотата: еднорешетъчни и двурешетъчни.

При еднорешетъчни смесители се използва обикновено лампа с една управляваща решетка — в повечето случаи пентод. При двурешетъчното смесване на честотата се използват лампи с две управляващи решетки — предимно хексоди. В приставката за УКВ/ЧМ на съвременните приемници най-често се използва за преобразуване на честотата триодна лампа. Преобразователното стъпало за АМ на тези приемници се явява като първи МЧУ за ЧМ. Показаната на фиг. 4-7, а схема на еднорешетъчен смесител е изпълнена с пентод. Подобни схеми се срещат вече по-рядко. Те се използват, когато е целесъобразно да се употребят лампи от един тип в целия приемник.

При двурешетъчното смесване на честотата (фиг. 4-7, б) най-голямо приложение намират лампите с две управляващи решетки — хексоди, хептоди, октоди и др., или комбинирани лампи от типа триод-хексод. Напрежението на приемания сигнал се подава от входното устройство или от ВЧУ обикновено на четвъртата решетка на лампата, откъдето тя носи и наименованието си сигнална решетка, а осцилаторното напрежение — на първата решетка, която носи името осцилаторна. Между двете управляващи решетки — сигналната и осцилаторната, се поставя

екранна решетка, която намалява възможността за проникване на осцилаторните трептения в антената.

На фиг. 4-8 е показана схема на преобразовател на честотата, изпълнена с хептод, който изпълнява функциите на смесител и на хетеродин. За анод на хетеродина служи втората, екранната, решетка, а в



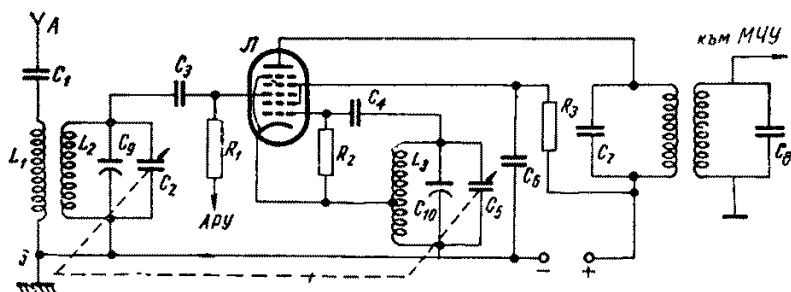
Фиг. 4-8

първата решетка е включен осцилаторният трептящ кръг на хетеродина. Останалата част на лампата, състояща се от четвъртата и петата решетка и анода, може да се разглежда като тетрод. В него се извършва смесването на входния и спомагателния (осцилаторния) сигнал, в резултат на което входният сигнал се преобразува в сигнал с междинна честота. Обратната връзка е осъществена посредством бобината L_4 , която е включена в анода на осцилатора (втората решетка на лампата). Осцилаторните трептения, които имат синусоидална форма, периодически променят смесителната стръмност на втората част на лампата, тетродната. Входният сигнал се подава на четвъртата решетка на лампата, в която е включен входният трептящ кръг L_2C_2 . Петата решетка на лампата е екранираща. За товарно съпротивление в анодната верига на лампата служи трептящият кръг L_5C_6 , който е свързан индуктивно с кръга L_6C_{10} , и двата заедно образуват първия междинночестотен филтър: на трои на междинната честота като лентов филтър. Третата решетка е също екранна, свързана с петата, и служи да отслаби връзката между осцилаторната и входната верига, вследствие на което се намалява възможността за проникване на осцилаторните трептения в антената. Въздушните кондензатори C_2 и C_6 са поставени на обща ос, което дава възможност за едновременна настройка на осцилаторния и входния кръг, вследствие на което разликата в честотата на входния и осцилаторния сигнал се запазва постоянна.

Недостатък на тази схема е, че всяка промяна на преднапрежението на сигналната решетка предизвиква изменение в анодния ток, което от своя страна довежда до нестабилност на осцилаторната честота. Поради това тази лампа не може да бъде включена в системата на автоматичното регулиране на усилването (APУ), което се осъществява чрез изменение на преднапрежението именно на четвъртата решетка.

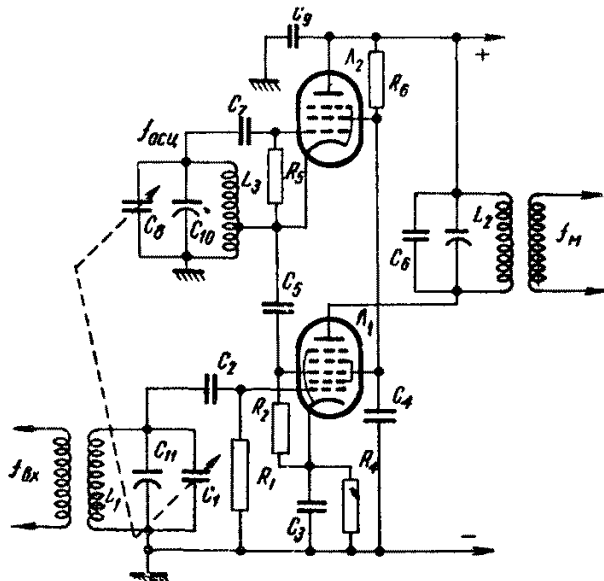
На фиг. 4-9 е показана друга схема на преобразовател, изпълнен също с хептодна лампа, в която няма специална решетка за анод на триода, използван за хетеродина.

Осцилаторът е изпълнен по триточкова схема Хартлей с електронна обратна връзка, за която се използва катодният ток на лампата. Пре-



Фиг. 4-9

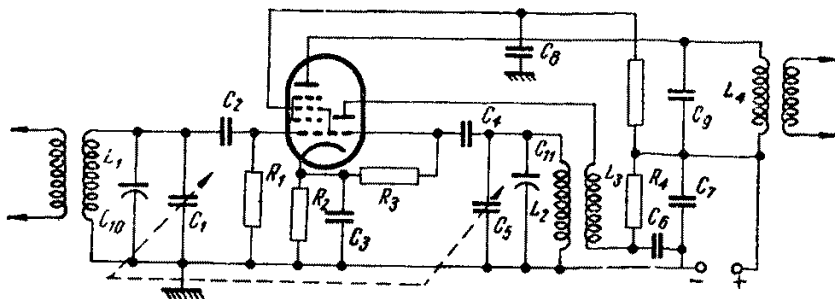
имуществото на тази схема е, че третата решетка (сигналната) може да се използва за АРУ, защото нейното преднапрежение почти не влияе на тока в катода и честотата на осцилатора се оказва сравни-



Фиг. 4-10

телно по-стабилна. Петата решетка има нулев потенциал, вследствие на което се увеличава вътрешното съпротивление на лампата и по такъв начин шунтиращото действие на лампата по отношение на анодния трептящ кръг е силно намалено.

Основен недостатък и на двете схеми е, че във входната верига проникват трептения от осцилатора, особено при късите вълни, вследствие на което се намалява стръмността на лампата и се понижава коефициентът на усилване на стъпалото. На фиг 4-10 е показана схема на преобразовател, изпълнен с две лампи — хептод (J_1) за смесителя и



Фиг. 4-11

пентод (J_2) за хетеродина. Входният сигнал се подава на първата решетка на хептода, а осцилаторният — на третата. Втората и четвъртата решетка са екраниращи, а петата — антидинаatronна.

Преимуществото на тези схеми е това, че във входната верига почти не проникват осцилаторни трептения, тъй като хетеродинът е изпълнен с отделна лампа.

На фиг. 4-11 е показана схема на преобразовател, изпълнен с комбинирана лампа — триод-хексод. Едната система, триодната, участва в хетеродина, а другата, хексодната, извършва смесването на двете честоти. В повечето случаи входният сигнал се подава на първата решетка, а осцилаторният — на третата. Има обаче и схеми, при които сигнална е третата решетка, а осцилаторна — първата. Тази схема има всички преимущества на преобразовател с отделен хетеродин.

Хетеродин (осцилатор)

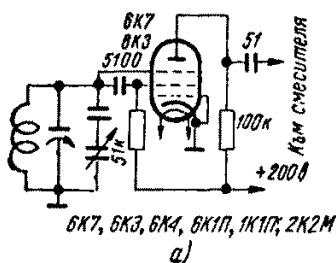
В трета глава бяха разгледани генераторите на високочестотни трептения и затова тук подробно няма да се спираме върху хетеродина, който по нищо не се различава от тях. Хетеродините се строят по схема с положителна обратна връзка, в резултат на което част от енергията на анодната верига се връща обратно в решетъчната верига. Към хетеродините се предявяват редица определени изисквания, по-важни от които са:

1. Независимост на честотата на осцилаторните трептения от влиянието на различни фактори, като например обкръжаваща температура, захранващо напрежение и др. Честотата на хетеродина трябва да се отличава от резонансната честота на входните кръгове със стойност, равна на междинната честота.

2. Осцилирането по целия обхват да бъде стабилно.

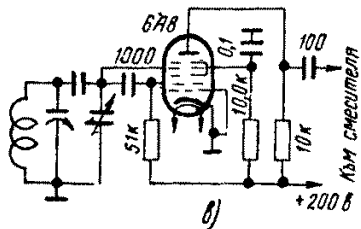
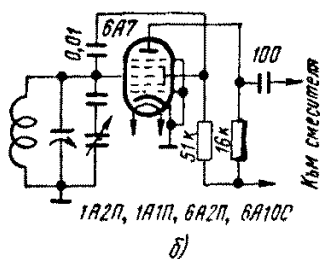
3. Амплитудата на осцилираните трептения да бъде достатъчна по целия честотен обхват.

Първото изискване се удовлетворява чрез правилно съгласуване на трептящия кръг в хетеродина и входните високочестотни трептящи кръгове. Чрез съответно подбиране на работния режим на хетеродинната лампа се постигат стабилна честота и еднаква амплитуда на осцилираните трептения.



Най-простата схема на осцилатор със стабилна честота е триточковата с индуктивна връзка, показана на фиг. 3-22, гл. III. При правилен подбор на връзката между бобините L и L_1 тази схема осигурява стабилна осцилация по целия обхват.

Друга схема, която намира широко приложение в осцилаторните стъпала, е транзитронната. Принципът на тази схема се състои в създаването на „отрицателно съпротивление“. При нея се използва свойството на многорешетъчната лампа да създава при определени условия отрицателно вътрешно съпротивление във веригата на някои от електродите. На фиг. 4-12 са показани три транзитронни схеми, които работят на този принцип.



Фиг. 4-12

Междинночестотен усилвател

Междинночестотният усилвател е предназначен да усили полезния сигнал, преобразуван в сигнал с междинна честота, и да отслаби сигналите с друга честота. На изхода на преобразователното стъпало $мч$ сигнал е обикновено с напрежение от няколко или около 10 $мкв$, а за детектирането е необходимо

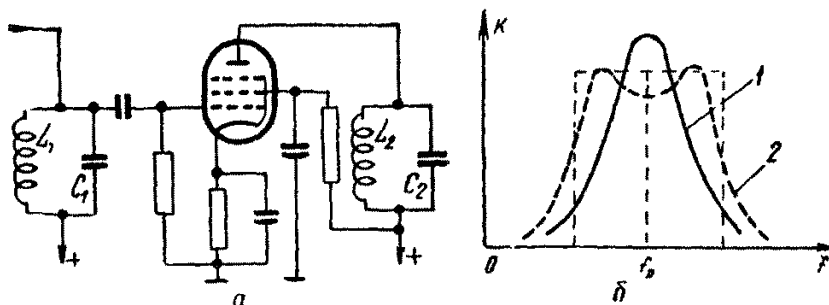
напрежение на сигнала от няколко волта. Затова сигналът трябва да се усили около 1 милион пъти, което се извършва от МЧУ. Изобщо най-съществените параметри на приемника — чувствителност, избирателност и ширина на пропусканата честотна лента, зависят от работата на МЧУ.

Почти във всички случаи МЧУ представлява лентов усилвател. Неговите характерни параметри са честотна характеристика, ширина на пропусканата честотна лента, коефициент на усилване и др.

Ширина на пропусканата честотна лента се нарича обхватът между страничните честоти, разположени от двете страни на резонансната че-

стота, в случая междинната, за която усилвателят има почти два пъти по-малко усиливане, отколкото при резонансната.

На фиг. 4-13 са показани принципната схема и честотната характеристика на резонансен усилвател, чието действие е описано в гл. II, т. 4.



Фиг. 4-13

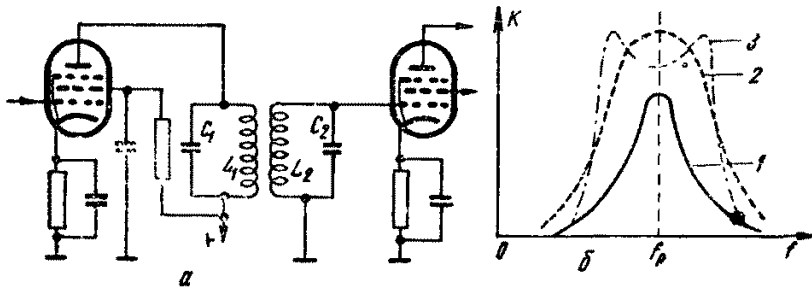
Първата резонансна крива 1 се получава, когато трептящият кръг на усилвателя, включен в анодната му верига, е настроен в резонанс на междинната честота. Тогава съпротивлението на кръга е най-голямо и коефициентът на усиливане на стъпалото е многократно по-голям от резонансната (междинната) честота в сравнение с коефициента на усиливане за всички други честоти. По този начин се получава отслабване на страничните честоти, които могат да имат смущаващо действие на приемането. Именно в това се състои избиращото свойство на междинночестотния усилвател.

Когато обаче трептящите кръгове на усилвателя са настроени на различни, но близки честоти, честотната характеристика на усилвателя може да има П-образна форма. Същата форма се получава и при използване на лентов филтър, състоящ се от два кръга, настроени на междинната честота и свързани помежду си при определен коефициент на свързката. Такива усилватели, при които се осъществява усиливане не на една честота, а на цяла лента от честоти, се наричат лентови усилватели.

Важно условие за качествената работа на приемника е МЧУ да не променя параметрите си и при конструирането му да бъдат избягнати всякакви капацитивни връзки между изхода и входа му, които биха довели до самовъзбуждане на стъпалото.

На фиг. 4-14 са показани принципната схема на лентов усилвател и честотната му характеристика за различни степени на връзката между кръговете. При слаба връзка между бобините L_1 и L_2 резонансната крива (1) е остра и ниска, което показва, че коефициентът на усиливане на стъпалото е малък. При приближаване на кръговете връзката между бобините се усилюва, докато достигне една оптимална степен, при която резонансната крива става най-висока и по-притъпена (2), което показва, че коефициентът на усиливане е по-голям и пропуска-

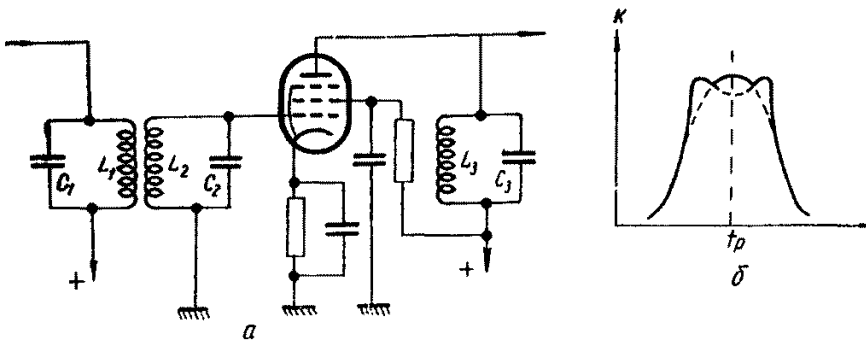
ната честотна лента е по-широка. При по-нататъшното усилване на връзката между кръговете резонансната крива на филтъра става по-стръмна и с два върха (3), между които се образува провал (падина). По форма тази крива се доближава най-много до П-образната форма,



Фиг. 4-14

при която усилвателят осигурява равномерно усилване на всичките честоти от лентата и висока избираност (селективност) на приемника.

На фиг. 4-15 е показана схемата (a) и честотната характеристика (б) на усилвател с един лентов филтър и един единичен трептящ кръг. При тази схема, освен че коефициентът на усилване е голям, но се получава и повдигане на средната част на честотната характеристика, което показва, че усилването на честотите от цялата лента става още по-равномерно.

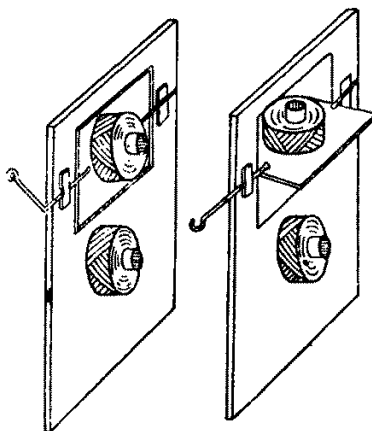


Фиг. 4-15

Съвременните висококачествени приемници се правят с променлива (регулируема) ширина на пропускливата честотна лента. При приемане на далечни станции или пък радиотелеграфни сигнали тези приемници дават възможност да намалим ширината на пропусканата честотна лента, като по този начин могат да се избягват смущенията с честотна близка до честотата на приемания сигнал. Когато пък приемаме близка и мощна станция, за да се подобри качеството на възпроизвеждания

от приемника сигнал, необходимо е да се увеличи ширината на пропусканата честотна лента.

Най-употребяваният способ за осъществяване на регулируема ширина на честотната лента е, когато едната от бобините на *мч* филтър се прави подвижна и се поставя на ос така, че да може да се изменя положението ѝ спрямо другата бобина посредством корда, която се придвижва от специално за целта копче (фиг. 4-16). Регулирането на ширината на честотната лента дава по-добри резултати, когато е осъществено в два *мч* филтъра. Тогава може да се получи доста тясна лента — 600—700 *хц*, а в специалните приемници при употреба на кварцови филтри ширината на лентата може да се намали и до 100 *хц*.

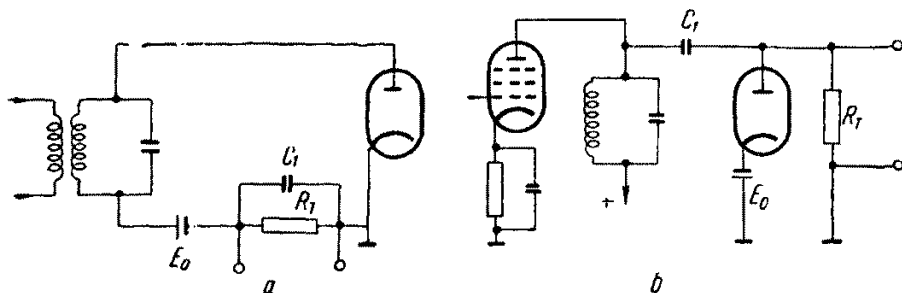


Фиг. 4-16

Детекторно (демодулаторно) стъпало

Предназначението на демодулаторното стъпало е да отдели нисчестотния сигнал (напрежение със звукова честота) от носещата (междинната) честота и да го подаде на следващото стъпало за усиляване. В суперхетеродинните приемници се използват обикновено диодни детектори, тъй като те внасят по-малки изкривявания на сигнала.

Амплитудният детектор представлява нелинеен елемент (лампа или полупроводников прибор), на входа на който се подава *вч* модулиран



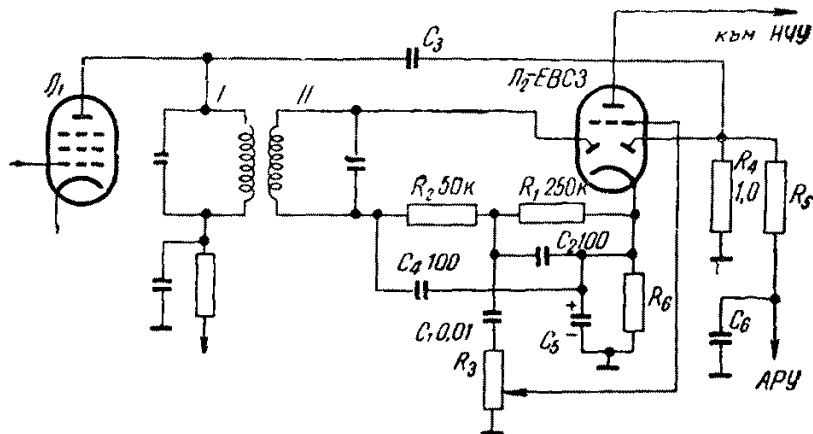
Фиг. 4-17

сигнал, а на изхода му в краищата на товарното съпротивление R_T (фиг. 4-17) се получава напрежение със звукова честота.

Товарното съпротивление и лампата могат да бъдат свързани последователно (фиг. 4-17, *а*) или паралелно (фиг. 4-17, *б*) спрямо *мч*

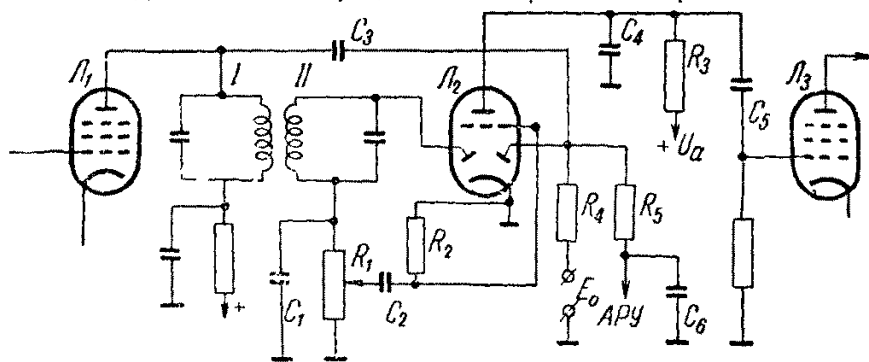
Филтър, от който детекторът получава напрежението с междинната честота. Паралелното свързване се използва в случаите, когато кръгът се намира под високо постоянно напрежение. При тази схема кондензаторът C_1 спира постояннотоковата съставна (компонента), а пропуска само $m\mu$ сигнал.

Оптималната стойност на товарното съпротивление R_T е в границите от 0,25—0,5 $m\Omega$. Увеличаването на стойността на това съпро-



Фиг. 4-18

тивление довежда до появяване на нелинейни изкривявания. Ако във веригата на лампата е включен източникът на напрежение E_0 (фиг. 4-17), който създава слабо отрицателно напрежение, при слаби сигнали



Фиг. 4-19

лампата е запущена и в диодната верига не тече ток. По такъв начин детекторът става нечувствителен към сигналите с малка амплитуда и се нарича *детектор със задръжка*, а стойността на напрежението, при която лампата се отпушва — *напрежение на задръжка*.

В суперхетеродинните приемници за детекторно стъпало най-често се използват комбинирани лампи от типа двоен диод+триод или двоен диод+пентод.

На фиг. 4-18 е показана схема на диоден детектор, изпълнен с лампа ЕВСЗ. Както се вижда от схемата, товарните съпротивления R_1 и R_2 (включени в катода) и първият диод на лампата са свързани последователно по отношение втория кръг на *мч* филтър. Кондензаторите C_4 и C_2 затварят веригата на високочестотните трептения, подавани на катода на лампата. Нискочестотното напрежение със звукова честота се получава в краищата на съпротивлението R_1 и чрез потенциометъра R_3 за регулиране на усилването в *мч* стъпало се подава на решетката на триодната част на лампата за предварително усилване. Решетъчното преднапрежение се получава посредством катодната група, състояща се от съпротивлението R_6 и блоккондензатора C_5 .

На фиг. 4-19 е показана друга схема на диоден детектор, в която потенциометърът R_1 за регулиране на усилването в *мч* стъпало изпълнява ролята на товарно съпротивление на детектора.

Автоматично регулиране на усилването

Чрез автоматичното регулиране на усилването се регулира чувствителността на приемника. Това устройство дава възможност да се възприсвеждат с приблизително една и съща сила приеманите сигнали независимо от мощността и далечината на предавателната станция.

Системата на АРУ обхваща високочестотните стъпала на приемника (ВЧУ и МЧУ). Както е показано на фиг. 4-18 и фиг. 4-19, вторият диод на лампата L_2 се използва за автоматичното регулиране на усилването. Диодът и товарното съпротивление R_4 са свързани паралелно към първия кръг на *мч* филтър. Кондензаторът C_3 е разделителен. Той затваря веригата на *вч* напрежение, подавано на анода на втория диод, и спира постояннотоковата съставка на анодния ток на лампата L_1 . В краищата на товарното съпротивление R се получава падение на изправеното напрежение, което има положителна полярност (+) към шаси и отрицателна (-) в другия край, откъдето се подава към управляващите решетки на лампите от ВЧУ и МЧУ. Действието на автоматичното регулиране на усилването се състои в следното: при приемане на силен сигнал вторият детектор ще подава на управляващите решетки на лампите, включени в системата на АРУ, по-високо по стойност отрицателно преднапрежение, вследствие на което усилването на лампите ще се намали; обратно, ако приеманият сигнал е слаб, отрицателното преднапрежение, подавано на управляващите решетки, ще бъде по-ниско по стойност и усилването на лампите автоматично ще нарасне.

Вторият детектор работи в режим на задръжка. Напрежението на задръжката се получава в краищата на съпротивлението R_6 (фиг. 4-18) при протичането през него на анодния ток на триода. При ефекта на задръжка вторият диод се оказва запушен и системата на АРУ престава да действа, вследствие на което приемникът се намира в режим на максимално усилване по висока и междинна честота.

Системата на АРУ трябва да действа с известно закъснение, защото при мигновеното действие тя би реагирала и на модулацията на сигнала, вследствие на което ще се получат изкривявания при възпроизвеждането на приемания сигнал. Закъсняващото действие на системата се осигурява от филтърната група R_6C_6 . Нейната времеконстанта се определя от капацитета на кондензатора и стойността на съпротивлението и представлява времето, за което кондензаторът C_6 се зарежда до изравняване на потенциала му със стойността на напрежението, получено в краищата на товарното съпротивление R_6 . Обикновено тази времеконстанта е около 0,1 сек. В някои приемници напрежението за АРУ се взема направо от детектирания сигнал чрез делител, а не както е показано на схемата — от специален за тази цел диод.

На същия принцип системата за АРУ служи като антифадингово устройство, което придобива особено значение при приемането на къси вълни, където явлението фадинг е много силно подчертано.

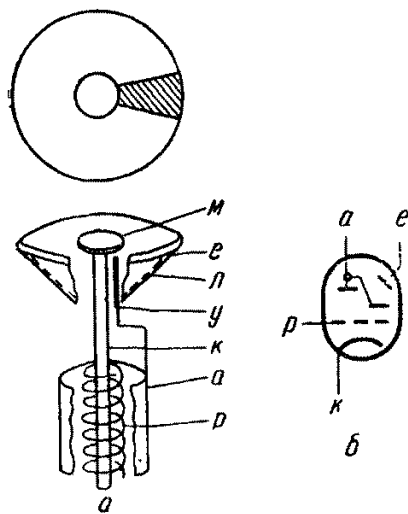
Индикатор на настройката

Не винаги точната настройка на приемника може да се постигне чрез контрол на сигнала от високоговорителя. Затова е наложително в приемника да бъде вграден и визуален индикатор на настройката.

В специалните късовълнови приемници най-често се използва за индикатор на настройката милиамперметър, включен в анодната верига на някоя лампа от мч усилвател. Приемникът се настройва по минималните показания на уреда, тъй като при добра настройка на приемника входният сигнал е най-силен, а отрицателното преднапрежение на лампата по стойност е най-голямо, вследствие на което постояннотоковата съставка на анодния ток е най-малка.

В концертните приемници за индикатор на настройката се използват изключително електронни индикатори (лампа „око“), монтирани върху лицевата страна на приемника.

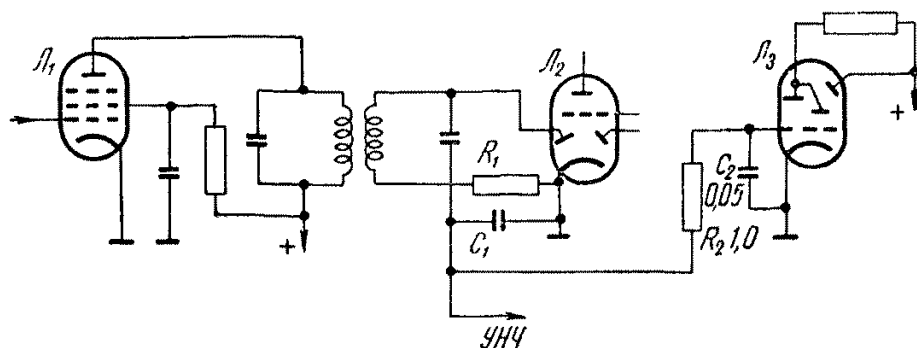
На фиг. 4-20 е показано устройството (а) и условното означение (б) на индикаторна лампа, която има три електрода — катод (к), решетка (р) и анод (а). Катодът завършва по горния си край с непрозрачна кръгла капачка (м), която покрива отоплителната жичка и катода на лампата, за да не дразнят зрението, когато са нагreti. Върху горния край на катода е надянат луминесциращият екран (е), а непо-



Фиг. 4-20

средствено под капачката M и успоредно на катода се намира управляващият електрод (y), свързан с анода (a).

На фиг. 4-21 е показана принципната схема за свързване на ламповия индикатор. За товар в анодната верига на триода е използвано съпротивлението R_3 . Екранът на лампата има постоянен положителен



Фиг. 4-21

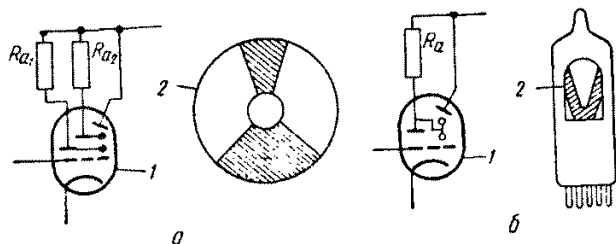
потенциал, а на управляващата решетка на триода се подава отрицателно преднапрежение от товара на детектора или АРУ, което по стойност се увеличава пропорционално с нарастването на амплитудата на входния сигнал. Във входа на лампата е поставен филтър (R_2C_2), който не пропуска променливата съставна на детектирания сигнал към решетката.

При настройка на приемника точно на честотата на предавателя входният сигнал е най-силен и отрицателното преднапрежение на управляващата решетка на лампата ще бъде по стойност максимално, вследствие на което анодният ток на триода, респ. падението на напрежението в краищата на товарното съпротивление R_3 , ще бъде минимално, а напрежението на допълнителния управляващ електрод — най-високо. Под действието на допълнителния управляващ електрод в този момент светлият сектор на екрана ще бъде най-широк, а при всички други случаи на „неточна настройка“ — най-тесен.

Недостатъкът на описания лампов индикатор се състои в това, че при приемане от много мощни и близки станции тъмният сектор от екрана на лампата почти изчезва (светлият се затваря) и се налага да се извършва донастройка пак на слух, което не е много точно. Затова напоследък са разработени нови типове индикаторни лампи с една или две триодни системи, два управляващи електрода и два тъмни сектора върху екрана (фиг. 4-22, а и б). Двата триода имат обща управляваща решетка, но различни товарни съпротивления, вследствие на което усилването, респ. ширината на светлите сектори, зависи от силата на сигнала в различна степен за двата сектора. В такъв случай единият

от секторите се оказва по-нечувствителен и се използва, когато сигналът е чувствително по-силен, а другият — с „двойна чувствителност“ и се използва при по-слабите станции.

На фиг. 4-22, б е показано принципното устройство (1) и лопатообразната форма (2) на ламповия индикатор EM80, който се използва много често в съвременните концертни приемници.



Фиг. 4-22

в. Симфония — описание и принципна схема

Един от най-модерните радиоприемници, които са произведени у нас, е Симфония. Той е 9-лампов съвременен суперхетеродинен приемник за АМ/ЧМ от класа „голям супер“. Снабден е с клавишно превключване на обхватите, клавишно фиксиране и ръчно плавно регулиране на тона. В приемника са употребени три елиптични перманентно-динамични високоговорителя, които, монтирани на предната и на двете странични стени на кутията, осъществяват обемно звучене. За средни и дълги вълни приемникът има и феритна антена, монтирана вътре в кутията.

Технически показатели

Обхвати и чувствителност

Обхвати	Честота	Чувствителност
УКВ	64,5—73 мгхц	по-добра от 10 мкв
КВН	11,5—18 мгхц	по-добра от 80 мкв
КВГ	5,8—10 мгхц	по-добра от 80 мкв
СВ	520—1620 кхц	по-добра от 35 мкв
ДВ	145—350 кхц	по-добра от 70 мкв

Забележка. Чувствителността е измерена при изходна мощност $P_{\text{изх}} = 50 \text{ мвт}$ и отношение сигнал/шум = 10 : 1.

Избирателност

Затихването на съседния канал при АМ, отстоящ на $\pm 10 \text{ кхц}$, е над 36 дб;

затихването на съседния канал при ЧМ, отстоящ на $\pm 300 \text{ кхц}$, е над 26 дб;

затихването на огледалния канал за различните обхвати е:

УКВ	— над 30 дБ
КВІІ	— над 12 дБ
КВІ	— над 20 дБ
СВ	— над 30 дБ
ДВ	— над 36 дБ

Затихването на сигнали с честота, равна на междинната (465 кхц), е над 40 дБ и за двата канала — АМ и ЧМ.

Пропусканата честотна лента на междинночестотния канал за АМ е с променлива ширина (4—6 кхц) и е комбинирана с регулатора на високите тонове.

Изходна мощност — 5 вт при клирфактор под 3,5%.

Принципна схема

От дадената на фиг. 4-23 принципна схема на приемника ще разгледаме накратко канала за АМ и честотния детектор от канала за ЧМ, тъй като в т. е на настоящата глава е разгледана приставката за УКВ/ЧМ, която по нищо не се различава от тази на приемника Симфония.

Входно устройство. Изпълнено е по схема с индуктивна връзка с антената и се състои от входните кръгове за отделните обхвати.

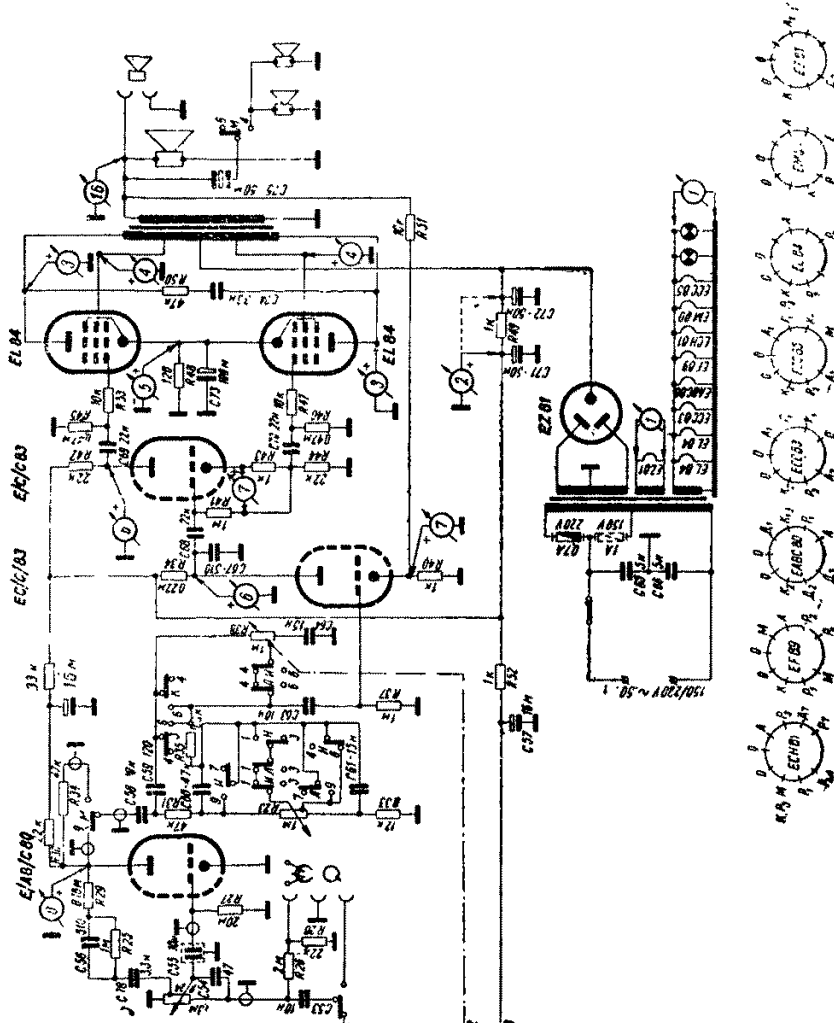
Първият и вторият (отгоре надолу) входни кръгове са за къси вълни, а третият и четвъртият — за средни и дълги вълни. Индуктивността на кръга за средни вълни се състои от индуктивността на бобината на феритната антена, която е 70% от цялата индуктивност, и индуктивността на бобината за свързка с антената. Връзката на входния кръг за дълги вълни с антената се осъществява посредством бобината на кръга за средни вълни, като индуктираното напрежение в бобината за средни вълни се подава във входния кръг за дълги вълни по автотрансформаторен път. При използването на феритната антена чрез завъртане на копчето ФА до нулево положение външната антена се заземява, но на къси вълни приемникът работи и на външната антена, понеже заземяването е след антенните бобини за КВ.

Преобразовател на честотата. Състои се от смесител, в който работи хептодната част на лампата ЕСН81, и хетеродин, изпълнен с триодната система на същата лампа по схема с индуктивна обратна връзка за къси и средни вълни и с капацитивна — за дълги вълни. Трептящият кръг на хетеродина е включен в решетъчната верига за по-добра стабилност на осцилаторното напрежение по целия обхват.

В анодната верига на хептодната система на ЕСН81, която работи като първи МЧУ за ЧМ, е свързан първият двоен *мч* филтър.

Междинночестотен усилвател. Работи с пентода ЕФ89 като лентов усилвател в канала на АМ и ЧМ. В анодната верига на лампата е включен вторият двоен *мч* филтър.

За амплитуден детектор е използван вторият (долният по схемата) диод на лампата ЕАВ/С/80. Другите два диода от същата лампа се



Фиг. 4-23

използват за честотен детектор, който работи по схемата на несиметричен дробен детектор.

Триодната система на Е/АВ/С80 работи в предусилвателното стъпало с честотно зависима отрицателна обратна връзка, която се осъществява посредством кондензаторите C_{73} и C_{66} и съпротивленията R_{26} , R_{30} и потенциометъра за регулиране на силата R_{24} , който има четвърти извод за тази цел.

Обратната връзка се регулира с помощта на потенциометъра R_{24} . Когато плъзгачът е в положение на по-малко усилване, обратната връзка за средните звукови честоти е по-силна, тъй като по-малка част от съпротивлението на потенциометъра R_{24} участва в решетъчната верига на лампата, а напрежението на обратната връзка за тези честоти е по-голямо. За ниските и високите честоти обратната връзка е по-слаба, тъй като кондензаторът C_{78} не пропуска ниските честоти, а кондензаторът C_{64} шунтира високите. По такъв начин при намаляване на силата на приемането ниските и високите звукови честоти се повдигат в сравнение със средните и по-слабата чувствителност на човешкото ухо за ниски и високи честоти се компенсира с намаляване силата на звука.

Тон-коректорите са включени в анодната верига на предусилвателното стъпало, изпълнено с триодната система на лампата Е/АВ/С80. Корекцията на ниските честоти се осъществява посредством елементите R_{31} , R_{32} , R_{37} , C_{60} и C_{61} , а на високите — чрез R_{38} , C_{59} и C_{64} .

Преди да се подаде *и*ч напрежение на крайното стъпало, то се усилва от усилвателя на напрежение, изпълнен с първата система на двойния триод ЕС/С/83. Вторият триод на лампата Е/С/С83 работи като фазоинвертор с товар в анодната и катодната верига.

Честотнонезависимата отрицателна обратна връзка, която обхваща усилвателя на напрежение, фазиинвертора, крайното стъпало и изходния трансформатор, е осъществена чрез вторичната намотка на изходния трансформатор и съпротивленията R_{61} и R_{40} .

Крайното стъпало е изпълнено противотактно по ултралинейна схема с две лампи EL84. Отрицателната обратна връзка е осъществена чрез свързване на екранните решетки на двете лампи към междинни изводи на първичната намотка на изходния трансформатор. По такава схема лампите имат междинен режим между пентод и триод, откъдето схемата е получила и името си „ултралинейна схема“.

г. Качествени показатели на суперхетеродинните приемници и измерването им

Преди да се пристъпи към измерване на параметрите или към настройка на приемника, необходимо е да се проверят изправността на токозахранващото стъпало и стойностите на захранващите напрежения и токове в отделните вериги, за да се приведат в нормален режим всички стъпала (лампи), така че основните параметри на приемника — чувствителност, избирателност, качество на върпроизвеждане и др., да до-

бият най-добра стойност. За тази цел е необходим високоомен комбиниран уред („авомер“), какъвто е напр. АВО5 с вътрешно съпротивление 20 ком на волт. С помощта на този уред се извършват най-елементарни измервания в точките, показани на фиг. 4-23 за приемник Симфония. Преди включването уредът трябва да се нагласи на съответния обхват на скалата, указан по-долу. Също така трябва да се спазва полярността на клемите, означена с „+“ и „—“ (плюс и минус) на схемата.

Токозахранващо стъпало: 1 — отоплително напрежение на токоизправителната лампа отделно и на всички останали лампи заедно (променливо напрежение — обхват 30 в); 2 — напрежение на електролитните кондензатори (постоянно напрежение — обхват 300 в).

Нискочестотен усилвател и детектор: 3 — анодно напрежение, и 4 — напрежение на екранните решетки на лампите EL84 (постоянно напрежение — обхват 300 в); 5 — преднапрежение на управляващите решетки на лампите EL84 (постоянно напрежение — обхват 30 в); 6 — анодно напрежение на триодите на лампага ECC83 (постоянно напрежение — обхват 300 в); 7 — преднапрежение на решетките на ECC83 (постоянно напрежение — обхват 30 в); 8 — анодно напрежение на триода (предусилвателя на *нч* напрежение) на лампата EABC80 (постоянно напрежение — обхват 300 в); 9 — анодно напрежение на индикатора за настройка EM80 (постоянно напрежение — обхват 300 в).

Междинночестотен усилвател и високочестотна част: 10 — анодно напрежение, и 11 — напрежение на екранната решетка на лампата EF89 (постоянно напрежение — обхват 300 в); 12 — анодно напрежение на хептода и триода и напрежение на екранната решетка на лампата ECH81 (постоянно напрежение — обхват 300 в); 13 — в тази точка се проверява с помощта на микроампермер за наличност на решетъчен ток, което е показание, че осцилаторът работи; 14 — анодно напрежение на триодите на лампата ECC85 (постоянно напрежение — обхват 300 в).

За да се прецени по-точно работният режим на лампите, стойностите на измерените напрежения и токове могат да се сравнят с дадените в справочниците и каталозите характеристики на радиолампите.

В точките 15 и 16 се включват уреди за индикатори при настройка и при измерване параметрите на приемника.

Номиналната изходна мощност P_n на приемника се определя от максималната мощност, получена на изхода на радиоприемника при допустима стойност на коефициента на нелинейните изкривявания, и се изчислява по формулата

$$P_n = \frac{U_n^2}{Z} \text{ вт,}$$

където U_n е напрежението в краищата на трептящата бобина на високоговорителя във в;

Z — съпротивлението на трептящата бобина на високоговорителя при честота 400 хц (приблизително равно на 1,2 пъти от омическото ѝ съпротивление) в ом.

Начин на измерване. От звуковия генератор се подава напрежение с честота 400 хц или на решетката на първата лампа, която усилява ниската честота, или на входа за грамофон. Потенциометърът за регулиране на силата се поставя на максимално усилване. Напрежението от звуковия генератор се регулира така, че на изхода на радиоприемника да се получи достатъчна за измерване изходна мощност при допустим клирфактор. Измерването на напрежението се извършва с волтмер, включен паралелно на трептящата bobина на високоговорителя, а мощността се изчислява по дадената формула.

Нормалната изходна мощност $P_{\text{норм}}$ е една десета част от номиналната, обикновено 50 *ват*, и се определя от нормалното изходно напрежение $U_{\text{норм}}$ и съпротивлението Z на трептящата bobина по формулата

$$P_{\text{норм}} = \frac{U_{\text{норм}}^2}{Z}$$

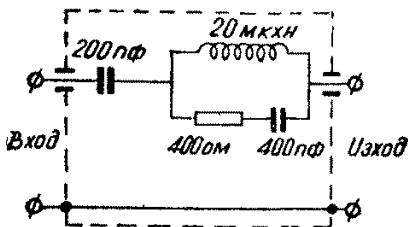
Начинът на измерване е същият, както и на номиналната мощност

Чувствителността на входа за грамофон се определя от стойността на *мв* (звуковото) напрежение на входа за грамофон, при която изходната мощност на приемника е равна на номиналната.

Начин на измерване. На входа за грамофон се подава от звуков генератор напрежение с честота 400 хц. Потенциометърът за регулиране на силата се поставя на максимум, а потенциометърът за

тона (тонрегулаторът) — в положение на най-широка пропускана честотна лента. Подбира се такава стойност на подаваното от генератора във входа за грамофон напрежение, при която във високоговорителя се получава напрежение с номинална стойност.

Чувствителността на входа на приемника се определя от стойността на *мв* напрежение, подадено чрез еквивалентна антена, показана на фиг. 4-24, което при амплитудна модулация с дълбочина 30% и честота



Фиг. 4-24

400 хц или при честотна модулация с девиация на честотата ± 15 кхц и модулираща честота 1000 хц създава на изхода на приемника напрежение, равно на нормалното при отношение сигнал/шум, не по-малко от:

за радиоразпръскване — 10:1 (20 *дб*);

за радиотелефония — 4:1 (12 *дб*);

за радиотелеграфия — 2:1 (6 *дб*).

Начин на измерване. Измерването се извършва поне в три точки за всеки подобхват, като двете крайни от тях трябва да отстоят съответно от крайните точки на подобхвата на около 10—20% от ширината му. На входа на приемника („антена—земя“) през еквивалентна антена се подава *мв* сигнал от сигнала-генератора, модулиран с честота 400 хц и дълбочина на модулацията 30%. Паралелно на високоговори-

теля се включва волтмер за индикатор на изходното напрежение със звукова честота. Регулаторите на тембъра и на пропусканата честотна лента се поставят в положение да най-тъсна лента. Приемникът се настройва на подаваната от сигнал-генератора честота, отговаряща на избраните точки за измерване, по максималните показания на волтмера или по индикатора на настройката в приемника.

След това се изключва модулацията на сигнал-генератора а потенциометърът за усилването се поставя в такова положение, че на изхода на приемника напрежението на шумовете да бъде с цяло число пъти по-слабо от нормалното изходно напрежение, обикновено 10 пъти (20 дБ). Отново се включва вътрешната модулация на сигнал-генератора с дълбочина 30% и модулирана честота 400 хц и се подбира такава стойност на входния сигнал, при която напрежението на изхода на приемника е равно на нормалното. Чувствителността на приемника се отчита в мкв по скалата на сигнал-генератора за стойността на изходния му сигнал.

Чувствителността на приемника за УКВ/ЧМ канал се измерва по същия начин, но вместо чрез еквивалентна антена сигналът се подава през активно съпротивление, стойността на което заедно с изходното съпротивление на сигнал-генератора за ЧМ трябва да бъде равно на съпротивлението на УКВ антена.

Чувствителността на приемника при работа с феритна антена се измерва също по описания вече начин, но вместо еквивалентна антена се използва квадратна рамка от меден или алуминиев проводник с диаметър 4 мм и страни 380 мм, която се включва в изхода на сигнал-генератора за АМ чрез съпротивление 80 ом. Плоскостта на рамката се разполага перпендикулярно на сърцевината на феритната антена, а разстоянието между рамката и средата на сърцевината трябва да бъде 1 м.

Избирателност (селективност) на радиоприемника е способността му да отделя полезния сигнал на приемната станция от подаваните му чрез антената сигнали от другите станции, отличаващи се по честота. Тя се определя от намаляването на чувствителността на приемника при разстройката му с ± 10 кхц за АМ и ± 250 кхц за ЧМ.

Начин на измерване. Измерванията се правят на честота 250 и 1000 кхц за АМ и 70 мхц за ЧМ. На входа на приемника през еквивалентна антена се подава от сигнал-генератора модулиран с честота 400 хц и дълбочина на модулацията 30% сигнал с такова ниво, че на изхода на приемника да се получи напрежение 0,1 от номиналното. Приемникът се настройва при тъсна пропускана лента точно на честотата на сигнала по максималното показание на волтмера или по индикатора за настройка. При подаване на немодулиран сигнал потенциометърът за регулиране на силата трябва да бъде в такова положение, при което се осигурява отношение сигнал/шум, не по-малко от 20 дБ. Без да се изменя настройката на приемника, сигнал-генераторът се разстройва на ± 10 кхц спрямо честотата за точната настройка, като чрез атенюатора се поддържа постоянно ниво на изходното напрежение на приемника (0,1 от номиналното).

Отношението от подаваното от сигнал-генератора напрежение при точна настройка към подаваното напрежение при разстройка на ± 10 кци, изразено в децибели, характеризира избирателността на приемника.

Честотна характеристика на нискочестотната част на приемника. Възпроизвеждането на говора или музиката е толкова по-добро, колкото са по-малки честотните изкривявания в *нч* канал на приемника. Степента на нискочестотните изкривявания се определя по честотната характеристика. Тя показва каква е зависимостта на изходното напрежение на приемника от измененията на честотата, подавана във входа на нискочестотната му част, при постоянна стойност на входното напрежение.

Начин на измерване. Във входа за грамофон се подава *нч* напрежение от звуков генератор. Чрез регулатора на усилването на изхода на приемника се установява напрежение, съответстващо на номиналната мощност. След това, като се изменя честотата на тон-генератора и се поддържа постоянна стойност на изходното му напрежение, подавано във входа за грамофон, се снима зависимостта на изходното напрежение от честотата. По графиката на тази зависимост се определя неравномерността на честотната характеристика спрямо точката от кривата, която съответствува на честота 400 *хц*.

Вярност на възпроизвеждането на приемника. Неравномерността на усилването по целия канал, от входа до изхода (високоговорителя) на приемника, се определя от честотната характеристика на целия канал на приемника. Верността на възпроизвеждане (графически — крива на верността) се изразява чрез зависимостта на изходното напрежение от честотата на звуковите трептения, с които е модулирана носещата честота. Характеристиката на верността на възпроизвеждане се снима в двете крайни положения на регулатора за усилването.

Начин на измерване. На входа на приемника през еквивалентна антена се подава от сигнал-генератора модулиран сигнал с постоянно ниво на напрежението. Модулацията на сигнала се извършва с помощта на отделен звуков генератор. Приемникът се настройва точно на честотата на сигнала по максимума на изходното напрежение при тясна лента на възпроизвежданите честоти или по индикатора за настройката. Дълбочината на модулацията е 30% и се поддържа постоянна при всички модулиращи честоти. Потенциометърът за регулиране на силата се установява в такова положение, при което на изхода на приемника се получава напрежение, съответстващо на нормалната мощност. Честотата на модулиращото напрежение се изменя в границите от 50 до 10 000 *хц*. По построената графически честотна характеристика на изходното напрежение се определя в децибели неравномерността на усилване в обхвата на модулираната честота.

Ниво на фона на приемника е отношението между нивото на фона към нивото на номиналното изходно напрежение на приемника. Макар че фонът не изкривява възпроизвеждания сигнал, все пак влошава качеството на приемане.

Пропускана честотна лента на високочестотната част на приемника е честотният интервал, в крайните точки на който чувствителността

се влошава два пъти в сравнение с чувствителността за резонансната честота.

Начин на измерване. Измерва се чувствителността на приемника при настройка в резонанс на честотата, подавана от сигнал-генератора. След това, без да се изменят настройката на приемника и положението на регулатора за усилването, се изменя честотата на сигнал-генератора, докато чувствителността на приемника спадне два пъти. Измерването се извършва на честоти от двете страни на резонансната. Разликата между тези честоти е равна на пропусканата лента.

Отслабване (затихване) на огледалния канал е величината, която показва колко пъти чувствителността на приемника по огледален канал е по-ниска от чувствителността при резонансната честота.

Начин на измерване. Затихването по огледален канал се измерва по подобие на измерването на избирателността, но разстройката на сигнал-генератора при това измерване се извършва не на 10 *кхц* както при избирателността, а на удвоената междинна честота, и то само към по-високата страна, т. е. за междинна 465 *кхц* от сигнал-генератора при разстройката се подава сигнал с честота 930 *кхц* в повече от резонансната честота (честотата, на която е измервана чувствителността на приемника).

Отслабване (затихване) на приемането на честота, равна на междинната, е величината, която показва колко пъти чувствителността на приемника е по-слаба при входен сигнал с честота, равна на междинната, от чувствителността, измерена за входен сигнал с честота, близка до междинната.

Начин на измерване. Измерва се чувствителността на приемника при точна настройка на честота, близка до междинната. След това, без да се изменят настройката на приемника и положението на регулатора за усилването, от сигнал-генератора се подава сигнал с честота, равна на междинната, и отново се измерва чувствителността. Отношението от получените при двете измервания стойности за чувствителността определя отслабването на приемането на честота, равна на междинната.

В този случай измерването на чувствителността трябва да се извърши при настройка на приемника на честоти, близки до междинната. За междинна честота 465 *кхц* такива честоти са 415 и 520 *кхц*.

Обхват на приеманите честоти се нарича този обхват, в който приемникът може да се настройва за работа.

Начин на измерване. При превключване на обхватите на приемника въздушният кондензатор се поставя поредно в две крайни положения, които съответствуват на честотите в двата края на обхвата. За всяко едно от двете положения подаваме от сигнал-генератора сигнал, като изменяме честотата му, докато в изхода на приемника се получи максимално напрежение.

Честотите на подавания сигнал, при които в изхода се получават максимални напрежения за двете крайни положения на настройващия кондензатор, са граничните честоти на дадения обхват.

Точност на градуировката на скалата е величината, която показва отношението от абсолютната грешка в градуировката на скалата към съответстващата честота на входния сигнал.

Начин на измерване. На входа на приемника се подава сигнал от хетеродинен вълномер. Паралелно на високоговорителя се включва волтмер за индикатор на изходно напрежение. Стрелката на скалата на приемника се поставя на определена честота от обхвата. Без да се разстройва приемникът, хетеродинният вълномер се настройва до максимума на изходното напрежение в приемника. Разликата в честотите, отчетени по скалата на приемника и по скалата на вълномера, е абсолютната грешка на градуировката. Като разделим величината на грешката с честотата на подавания във входа на приемника сигнал и умножим по 100, получаваме в проценти действителната грешка на градуировката.

Това измерване се извършва за не по-малко от три точки на всеки подобхват, при което крайните точки на измерването трябва да отстоят от краищата на скалата на 10—12% от ширината на измервания подобхват.

Изменение честотата на хетеродина вследствие нагриването на детайлите му.

Начин на измерване. Хетеродинният вълномер се свързва слабо с хетеродина на приемника. Последователно настройваме приемника на най-високата честота за всеки подобхват. Пет минути след включване на приемника вълномерът се настройва на честотата на хетеродина по нулевите биения и се отчита честотата по скалата му. Тази операция се повтаря след 15 минути и отново се отчита честотата на вълномера. Разликата в честотите при двете измервания ни показва какво е изменението на честотата на хетеродина вследствие на нагриването. Затова в осцилаторните кръгове често се използват кондензатори с обратен температурен коефициент на капацитета, за да се компенсира изменението на честотата от температурата.

Отслабване на паразитната амплитудна модулация за обхвата на УКВ/ЧМ е величината, която показва колко пъти чувствителността на приемника при приемане на амплитудно модулирани сигнали е по-лоша от чувствителността при работа на приемника на ЧМ.

Начин на измерване. От ЧМ сигнал-генератор се подава във входа на приемника честотно модулиран сигнал с напрежение, равно на номиналната чувствителност на приемника и модулирано с честота 1000 *хц* при девиация на модулацията ± 15 *кхц*. Приемникът се настройва точно на честотата на входния сигнал и чрез потенциометъра за усилването се установява на изхода на приемника напрежение, равно на нормалното. След това от АМ сигнал-генератор се подава на входа на приемника амплитудно модулиран сигнал с модулираща честота 1000 *хц* и дълбочина на модулацията 30%, като напрежението и честотата на модулирания сигнал се запазват постоянни. При разстройване на приемника с ± 50 *кхц* спрямо резонансната честота отново се измерва максималното напрежение, получено на изхода на приемника.

Отношението от изходното напрежение, отчетено при приемането на *чм* сигнали, към максималното изходно напрежение, отчетено при приемане на *ам* сигнали, е показател за отслабване на паразитната амплитудна модулация, изразен в децибели.

Класификация и основни параметри на приемниците
съгласно БДС 1510—53 и БДС 2698—57

Основни параметри	Приемници							
	I клас		II клас		III клас		IV клас	
	мрежови	батерийни	мрежови	батерийни	мрежови	батерийни	мрежови	батерийни
Източници на захранване Консумация на електрическа енергия Обхват на приемните честоти :	150 220	батерия	150 220	батерия	150 220	батерия	150 220	батерия
	определя се в техническите условия	150—350 160—350	определя се от броя на лампите	определя се от броя на лампите	определя се от броя на лампите	определя се от броя на лампите	определя се от броя на лампите	определя се от броя на лампите
дълги вълни	кхц	—	—	—	—	—	—	—
	кхц	—	—	—	—	—	—	—
средни вълни къси вълни	кхц	520—1560 520—1560	520—1560 520—1560	520—1560 520—1560	520—1560 520—1560	520—1560 520—1560	520—1560 520—1560	520—1560 520—1560
	мгхц	5,88—18	5,88—18	5,88—18	5,88—18	5,88—18	5,88—18	5,88—18
Междина честота	кхц	задължително трябва да имат най-малко два разтегнати или полуразтегнати обхвата от тесни участъци на 49, 41, 31 и 25 м	допуска се дълги вълни	допуска се дълги вълни	допуска се дълги вълни	допуска се дълги вълни	допуска се дълги вълни	допуска се дълги вълни
	кхц	465 ± 5	465 ± 5	465 ± 5	465 ± 5	465 ± 5	465 ± 5	465 ± 5
Номинална изходна мощност Чувствителност при 0,1 от номиналната мощност и при отношение сигнал към шум, не по-малко от 20 дБ	вт	4	1,5	0,15	0,5	0,5	0,5	0,5
	кхц	—	—	—	—	—	—	—
дълги вълни	мкв	—	—	—	—	—	—	—
	мкв	—	—	—	—	—	—	—
средни вълни къси вълни	мкв	50	200	200	300	300	300	300
	мкв	50	200	200	300	300	300	300
фиксирана настройка Чувствителност на входа „грамофон“ не по-малко от	мкв	200	300	300	300	300	300	300
	мв	200	250	250	250	250	250	250
не се нормира	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—
не се нормира	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—
не се нормира	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—

Продължение от табл. 4-1

Основни параметри	Приемници							
	I клас		II клас		III клас		IV клас	
	мрежови	батерийни	мрежови	батерийни	мрежови	батерийни	мрежови	батерийни
Избирателност по съседния канал при разстройка ± 10 кхц	46	26	29	26	20	20	—	—
Отсъствие на огледания канал, не по-малко от дълги вълни	60	36	36	36	26	26	—	—
средни вълни	50	30	30	30	20	20	—	—
къси вълни	26	12	12	12	—	—	—	—
Изменение честотата на хетеродина вследствие на самонагряване за 10 минути (след 5 минути от включването на радиоприемника)	4	—	—	—	—	—	—	—
15 мхц	3	—	—	—	—	—	—	—
9—15 мхц	2	—	—	—	—	—	—	—
6—9 мхц	50	40	40	40	40	40	—	—
Ръчно регулиране на силата	40	34	34	34	20	20	—	—
Отслабване на сигнала с честота, равна на междинната	Отделна регулировка на ниските и високите звукови честоти. Повишаване на ниските с 4 дб, а на високите с 6 дб	Понижение на високите звукови честоти с не по-малко от 6 дб. Отделна възможност за повишаване и понижаване на ниските честоти с не по-малко от 3 дб	Понижение на високите звукови честоти с не по-малко от 6 дб. Отделна възможност за повишаване и понижаване на ниските честоти с не по-малко от 3 дб	Понижение на високите звукови честоти с не по-малко от 6 дб. Отделна възможност за повишаване и понижаване на ниските честоти с не по-малко от 3 дб	Понижение на високите звукови честоти с не по-малко от 6 дб. Отделна възможност за повишаване и понижаване на ниските честоти с не по-малко от 3 дб	Понижение на високите звукови честоти с не по-малко от 6 дб. Отделна възможност за повишаване и понижаване на ниските честоти с не по-малко от 3 дб	Понижение на високите звукови честоти с не по-малко от 6 дб. Отделна възможност за повишаване и понижаване на ниските честоти с не по-малко от 3 дб	Понижение на високите звукови честоти с не по-малко от 6 дб. Отделна възможност за повишаване и понижаване на ниските честоти с не по-малко от 3 дб
Регулиране на тона	—	—	—	—	—	—	—	няма

Продължение на табл. 4-1

Основни параметри	Премисни								
	I клас		II клас		III клас		IV клас		
	мрежови	мрежови	батерийни	мрежови	батерийни	мрежови	батерийни	мрежови	батерийни
Индикатор за настройка	има	има	няма	не е задължително	няма	не е задължително	няма	няма	няма
Променлива лента за пропускане	има	не е задължително	няма	няма	няма	няма	няма	няма	няма
Възможност за включване на втори високочестотен вериген	има	има	има	има	има	не е задължително	няма	няма	няма
Възможност за включване на високочестотен вериген в жичната радиоразпределителна мрежа	не е задължително	не е задължително	има	има	има	не е задължително	има	не е задължително	има
Брой на радиодиагностичните	не се нормира	не повече от 7	не повече от 7	не повече от 7	не повече от 5	не повече от 5	не повече от 5	не повече от 4	не повече от 4

Ръчно регулиране на усилването е обхватът, в който е възможно плавно изменение на усилването чрез потенциометъра за силата.

Начин на измерване. Потенциометърът за силата се поставя в положение на максимално усилване. Във входа за грамофон се подава от звуков генератор напрежение, при което в изхода на приемника се получава нормално изходно напрежение. След това потенциометърът за силата се поставя в положение на минимално усилване и отново се подава такова напрежение от генератора, при което на изхода на приемника отново се получава нормално изходно напрежение.

Отношението, изразено в децибели, между стойностите на напреженията, подавани от генератора при двете крайни положения (максималното и минималното) на регулатора за ръчното усилване, определя обхвата на регулиране силата на приемане.

Граница на регулиране тембъра (тона) е величината, която показва колко пъти се усилва или отслабва напрежението с дадена честота при повече или по-малко усилване на средната честота на звуковия обхват.

Начин на измерване. На входа за грамофон се подава от звуков генератор напрежение от 250 мв с честота 1000 хц. Чрез потенциометъра за силата се установява в изхода на приемника напрежение, което съответствува на 0,1 от номиналната мощност на приемника, а регулаторът на тембъра се поставя в положение на максимално усилване на високите и ниските честоти. После от генератора се подават поредно напрежения с честота 100 хц и 5000 хц, но със същата стойност (250 мв) и се отчитат напреженията в изхода на приемника съответно за подаваните честоти. След това регулаторът на тембъра се поставя в положение на най-малко усилване и се повтарят измерванията при същите условия.

Изразено в децибели, отношението от напреженията, получени в изхода на приемника при двете крайни положения на регулатора на тембъра, за честоти 100 и 5000 хц показва обхвата на действие на регулатора за тембъра (тона).

Коефициент на нелинейните изкривявания (клирфактор). Този параметър показва до каква степен хармонични на основния сигнал се съдържат в изходното напрежение и се определя в проценти по формулата

$$k = \frac{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}}{U} \cdot 100\%,$$

Начин на измерване. Коефициентът на нелинейните изкривявания се измерва със специален за целта уред. Приблизителна представа за клирфактори може да се добие от неприятната дрезгавина и неестественост на звученето на някои инструменти и гласове.

д. Настройка на суперхетеродинен приемник

Същността на настройката на суперхетеродинния приемник се състои в настройване на междинночестотния и високочестотния канал, след като нискочестотният усилвател е приведен в нормален режим на работа.

Измерванията на нискочестотната част на приемника бяха описани в т. 3—г на настоящата глава и затова тук ще преминем направо към настройката на МЧУ и ВЧУ. Най-напред се настройва *мч* усилвател, а след това — *вч* част на приемника.

Настройка на *мч* канал

При положение че усилвателят е с повече от едно стъпало, настройката се извършва по обратен ред на последователността на стъпалата, т. е. започва се с последното стъпало.

Обикновено *мч* канал на суперхетеродинния приемник е двукръгов лентов усилвател, както е и на приемника Симфония, чиято схема е показана на фиг. 4-23.

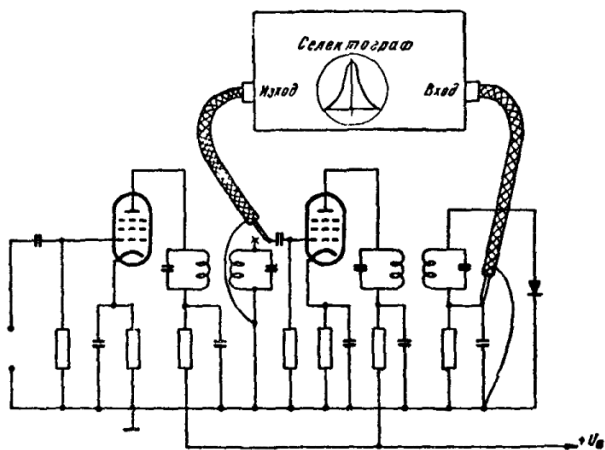
Най-бързо и прецизно лентовият усилвател може да се настрои с помощта на селектограф (или осцилограф, честотен модулатор, вобел-генератор и др.), включен по показаната на фиг. 4-25 схема. Макар че много рядко се използва този уред, тъй като е много скъп, съвсем накратко ще опишем настройката с него.

Както се вижда от схемата, изводът на кабела, по който се подава сигналът във входа на стъпалото, се включва към управляващата решетка на лампата. Решетъчният кръг е изключен (прекъснат), за да не оказва влияние при настройването. Сигналът, по който ще преценяваме настройката на филтъра, се взема от детектора на приемника, за да не се допусне разстройка на втория кръг на филтъра от капацитета на кабела. Чрез изменение на индуктивността или капацитета на филтъра е необходимо да получим върху екрана на селектографа кривата, изчислена по теоретичен път. След получаване на желания резултат се пристъпва към настройка на филтъра в предното стъпало по същия начин, като за целта кабелът от изхода на уреда се включва към управляващата решетка на предното стъпало.

Настройка с помощта на сигнал-генератор. Този начин е най-разпространеният и се среща вече и в радиолюбителската практика. Първо ще разгледаме как се извършва настройката на филтрите, които имат едновърхова крива.

На изхода на приемника паралелно на трептящата бобинка (шпулката) се включва волтмер (16) за индикатор на настройката, както е показано на фиг. 4-23. От сигнал-генератора чрез коаксиален кабел се подава на управляващата решетка на лампата в последното *мч* стъпало модулиран сигнал с честота, равна на междинната (виж фиг. 4-23). Чрез атенюатора на сигнал-генератора усилваме подавания сигнал, докато се задействуват волтмерът и високоговорителят. Започваме да изменяме индуктивността на кръговете чрез изместване сърцевините на бобините или пък изменяме капацитета, ако кондензаторите са с изменяем капацитет („тримери“, „квечове“), докато индикаторът покаже максимално усилване на стъпалото. С това настройката на последното стъпало е завършена и преминаваме към настройване на предпоследното и на останалите предшествуващи стъпала, ако *мч* усилвател е многостъпален. За тази цел само превключваме изходния коаксиален

кабел на сигнал-генератора към по-предните стъпала и извършваме същата операция. След като сме настроили поотделно всички стъпала, добре е да подадем на входа на усилвателя сигнал със същата честота и чрез повторно, но много внимателно придвижване на елементите за настройка на всички *мч* филтри отново да потърсим максималното усил-



Фиг. 4-25

ване сега на целия усилвател. С това настройката на *мч* усилвател е завършена и следва да зафиксираме положението на настройващите елементи чрез подходящи за целта лакове, парафин и др.

Когато лентовите филтри имат двувърхова крива, която е с по-голям коефициент на правоъгълност, настройката им се извършва значително по-трудно при липса на селектограф. При такъв случай всички кръгове с изключение на настройвания се шунтират с помощта на малки съпротивления, около 10 *ком*, след което настройването се извършва по описания вече начин от последното към първото стъпало. След като се настрои и първият *мч* филтър, шунтиращите съпротивления се махат и се зафиксирва положението на настройващите елементи.

Настройка с помощта на друг суперхетеродинен приемник. Този метод се прилага често в радиолюбителската практика. Необходимо е само да разполагаме със заводски или настроен със сигнал-генератор любителски суперхетеродинен приемник за еталон, който да има същата междинна честота, каквато е на настройвания приемник. Еталонният приемник в случая представлява генератор на сигнали с междинна честота, които се получават на изхода на *мч* усилвател. За тази цел свързваме двете шасита на приемниците и прекъсваме входните вериги на последните стъпала от *мч* усилватели. Обикновено това се прави на самото краче на управляващата решетка на последната лампа от *мч* усилвател (където е включен *СГ* в схемата на фиг. 4-23). След това свързваме откачения проводник от еталонния приемник към управля-

ващата решетка на лампата в настройвания приемник, откъдето сме откачили предпоследния *мч* филтър. По-нататък всички манипулации са ни известни.

Настройка без измерителен инструмент (на слух). Този метод успешно се прилага при настройване на заводски приемник, който веднъж е настройван със сигнал-генератор, а след това се е наложила настройката му поради промени в стойностите на някои елементи от *мч* филтри. Настройката се извършва при работа на приемника на някаква станция, която излъчва носеща честота, близка до междинната на настройвания приемник. За приемници с междинна честота от 125—150 *кхц* обикновено приемникът се настройва на румънската станция Брашов, която работи на дълги вълни 155 *кхц*), а за приемници с междинна честота от 450—470 *кхц* — София I (593 *кхц*). Преди да започнем настройката, действието на автоматичното регулиране на усилването (АРУ) се преустановява чрез даване на късо закъснителния блок (виж фиг. 4-18 и 4-19). Чрез изменение индуктивността на бобините посредством техните сърцевини търсим максималната сила на приемане. Така настройваме поотделно всички кръгове отзад напред, докато изчезне напълно разликата в силата на тона при настройване на отделните кръгове.

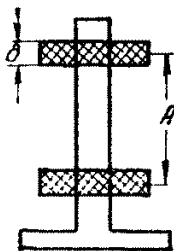
Дотук разгледахме настройката на приемник, който е настройван. Когато обаче трябва да настроим нов приемник, работата е по-сложна, защото често се случва, че приемникът не може да „хване“ нито една станция. В такъв случай включваме антената посредством един блок-кондензатор с капацитет около 100—200 *пф* направо към управляващата решетка на първата лампа (смесителката). Превключваме приемника на КВ (къси вълни) и търсим някаква станция, макар и на телеграфия. След като сме установили приемника за работа, извършваме настройката на *мч* усилвател по описания вече начин, като целим да постигнем максимална сила на изходния сигнал. След това преместваем антената на входа „антена“, превключваме приемника на близкия до междинната честота обхват и извършваме цялостната настройка.

Установяване ширината на пропусканата честотна лента. Ширината на пропусканата честотна лента е основен параметър на *мч* усилвател. Тя зависи от *Q*-фактора на кръговете и от коефициента на свързката между тях *K*, определен от разстоянието между бобините за кръгове с индуктивна връзка и от капацитета на свързващия кондензатор — за кръгове с капацитивна връзка. Тъй като в концертните приемници почти не се прилага капацитивна връзка между кръговете, ще се спрем само на случая с индуктивна връзка.

Междинночестотните филтри на приемници за приемане на амплитудно модулирани сигнали се строят за ширина на пропусканата честотна лента 4,5—8 *кхц*, а на приемници за приемане на честотномодулирани сигнали — 100—200 *кхц* (съгл. БДС 1510—53 и БДС 2698—57).

Пропусканата честотна лента се определя обикновено от настройката на втория *мч* филтър, чиито кръгове са настроени на междинната честота, и се регулира по следния начин. Включваме на изхода на приемника волтмер за индикатор на изходния сигнал. На входа на

мч усилвател, респ. на управляващата решетка на лампата, от първото *мч* стъпало се подава модулиран с 400 *кци* и дълбочина на модулацията 30% сигнал с междинна честота от сигнал-генератора. Чрез атенюатора регулираме нивото на изходния сигнал така, че волтмерът да отчита цяла величина (1—2 *в*), която е по-удобна за по-нататъшната работа. След това увеличаваме честотата на подавания сигнал, докато нивото на изходния сигнал спадне до 0,7 пъти от първоначалното, отчетено за междинната честота. По обратен път чрез съответния регулатор намаляваме честотата на подавания сигнал, докато индикаторът отчете на изхода сигнал с ниво 0,7 пъти по-ниско от нивото на първоначалния сигнал за междинната честота. Тези граници, в които сме изменяли честотата, определят ширината на пропусканата честотна лента на втория *мч* филтър, респ. на приемника. Ако примерно при първата разстройка на сигнал-генератора сме отчели горна граница 469 *кци*, а при втората — долна граница 461 *кци*, разликата в тези граници от 8 *кци* е ширината на пропусканата честотна лента на *мч* канал на приемника (виж кривата 2 на фиг. 4-14, б).



Фиг. 4-26

Такъв пример обаче се отнася за предварително настроен приемник. Когато настройваме новопостроен любителски приемник, за да получим задоволителна ширина на пропусканата честотна лента, трябва да регулираме коефициента на връзката между кръговете *К*. Това се постига чрез изменение разстоянието *A* (фиг. 4-26) между бобините на свързаните кръгове, обикновено на втория *мч* филтър. С намаляване разстоянието между бобините коефициентът на връзката *К* се увеличава и горната част на кривата се притъпява (виж пак фиг. 4-14, б — кривите 2 и 3), което показва, че пропусканата лента се разширява, вследствие на което усилването на *мч* стъпало се увеличава, а избирателността му се влошава. Дори при много силна връзка между кръговете може да настъпи самовъзбуждане в приемника.

Ако започнем пак да увеличаваме разстоянието между бобините, ще получим много тясна лента (изразена графически чрез кривата 1 на същата фигура), вследствие на което избирателността на приемника се подобрява за сметка на чувствителността му.

От казаното дотук става ясно, че за да получим задоволителна ширина на пропусканата честотна лента, необходимо е компромисно разрешение на въпроса за чувствителността и избирателността на приемника. Ето защо при установяване на пропусканата честотна лента трябва да се спазва разстоянието между бобините, определено при заводски условия. Разстоянието *A*, показано на фиг. 4-26, за I *мч* филтър е 24—26 *мм*, а за II — 22—23 *мм*.

Настройка на *вч* част

Същността на тази настройка се изразява в настройване поотделно на входните и осцилаторните кръгове и така нареченото „спрягане“ помежду им.

Преди обаче да пристъпим към настройката на тези кръгове, е необходимо да проверим дали осцилаторът работи стабилно по целия обхват и какви са измененията на амплитудата на осцилаторните трептения при пренастройване от единия до другия край на обхвата. За целта включваме последователно на утечното съпротивление R_6 един микроампермер I_3 (виж фиг. 4-23). По измененията на решетъчния ток правим преценка за амплитудата (силата) на осцилаторния сигнал. След като сме осигурили на осцилатора стабилен режим на осцилиране по целия обхват, можем да преминем по-нататък към настройване на осцилаторните и входните кръгове.

Възможни са два начина на настройване по отношение на последователността на работата: първо да се настройват входните кръгове, а след това осцилаторните и, обратно — първо осцилаторните, а след това входните.

При положение че започваме настройката с входните кръгове, осцилаторът се изключва чрез прекъсване на анодната му верига.

В постояннотоковата анодна верига на смесителната лампа се включва един микроампермер (I_5) за индикатор на изходния сигнал на стъпалото (виж пак фиг. 4-23). От сигнал-генератора подаваме във входа на приемника *вч* сигнал с най-ниската честота за обхвата (500—520 *кхц*), но с достатъчно голяма амплитуда. При най-голям капацитет на въздушния кондензатор (напълно затворен) изменяме индуктивността на бобината от входния кръг с помощта на сърцевината ѝ, докато в индикатора получим минимално отклонение на стрелката, тъй като за тази честота е постигнат резонанс на кръга. След това отваряме напълно въздушния кондензатор и подаваме сигнал с честота, отговаряща на най-високата за обхвата — около 1600 *кхц*. Изменяме капацитета на полупроменливия кондензатор, докато отново се получи резонанс на кръга, което се установява по минималното отклонение на стрелката на микроампермера.

Ако приемникът няма отделен *вч* усилвател, какъвто е например Симфония, след като сме извършили последователно за всеки обхват тази операция, можем да считаме, че настройката на входните кръгове е завършена. Когато обаче приемникът има отделно *вч* стъпало, което по-рядко се среща, описаната дотук настройка се извършва едновременно на входния кръг, включен в управляващата решетка на първата лампа (*вч* усилвател), и на кръга, включен в анода на същата лампа или в решетката на смесителната лампа.

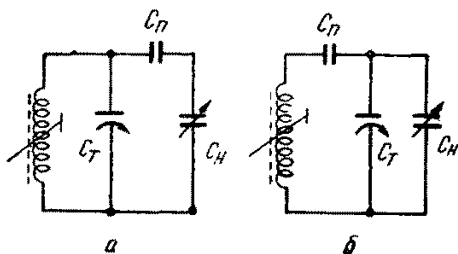
Друга особеност, която трябва да се съблюдава при настройката на входните кръгове, е участието на бобините в кръговете за отделните обхвати. При положение че за всеки обхват се превключват отделни, независими бобини, безразлично е от кой обхват ще се започне настройката. В друг случай обаче, когато бобините са свързани последо-

вателно и при превключването на обхватите една бобина участва в повече от един обхват, както е на показаната схема на приемник Симфония, настройката трябва да се извършва по определен ред. Примерно, ако при превключването на обхватите бобината за КВ участва с друга бобина в кръга за СВ, а двете заедно с третата бобина участват в кръга на обхвата ДВ, настройката трябва да започне от обхвата на късите вълни и да свърши с обхвата на дългите вълни.

След като са настроени входните кръгове в резонанс, преминаваме към настройката на осцилаторните кръгове. Тази настройка както вече казахме, се характеризира със „спрягане“ на входния и осцилаторния кръг за всеки обхват поотделно. „Спрягането“ в един суперхетеродинен приемник се състои в осигуряване на една постоянна за всички честоти разлика между работната честота на осцилатора и резонансната честота на входния кръг за съответния обхват. Тази разлика в честотите, както вече е известно, е междинната честота. Тя води обаче до различно честотно покритие на обхватите от входния и осцилаторния кръг. Например при междинна честота 465 кхц за обхвата на средни вълни (520—1620 кхц) честотата на осцилатора (хетеродина) трябва да се изменя в границите от 985 до 2085 кхц. Отношението от максималната към минималната честота за обхвата на входния кръг е 3,1, а за обхвата на осцилаторния — 2,12. Осигуряването на тази разлика в честотно покритие се постига по три способа: първият — чрез изместване под известен ъгъл на роторните пластини на въздушния кондензатор в осцилаторния кръг спрямо роторните пластини на въздушния кондензатор във входния кръг; вторият — чрез придаване на различна форма на роторните пластини на кондензатора в осцилаторния кръг и на кондензатора във входния кръг; и третият, най-широко разпространен способ е чрез поставяне в осцилаторния кръг на още два допълнителни кондензатора, единият от които се свързва последователно на въздушния кондензатор и се нарича още „падинг“, а другият — паралелно и се нарича „тример“. На фиг. 4-27 са показани схематично два вида осцилаторни кръгове, с „тример“ и „падинг“, които на практика се оказват идентични. Чрез използване на последния способ за „спрягане“ се получава разлика в честотите, която е равна на междинната честота само в три точки на обхвата. Навсякъде другаде по обхвата тази разлика се отличава от междинната честота с минимални стойности.

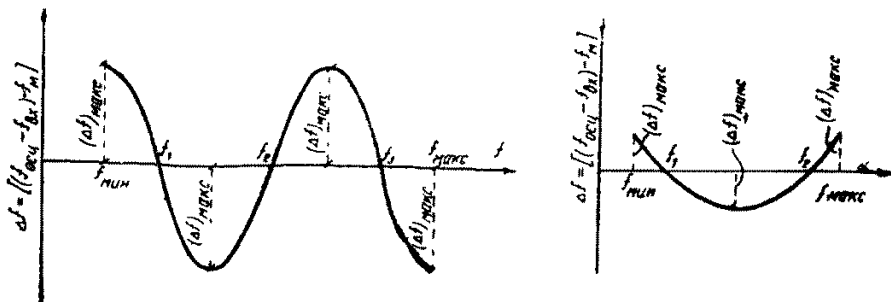
Постигането на максимална близост между междинната честота и тази честотна разлика в „спрягането“ е същността на настройката на високочестотната част на суперхетеродинния приемник.

Настройката на *вч* канал на приемника може да се счита за успешна, когато „спрягането“ е извършено така, че максималните от-



Фиг. 4-27

клонения на честотната разлика спрямо междинната честота са равни помежду си. Честотите (точките по обхвата) на „точната настройка“ f_1 , f_2 и f_3 (Фиг. 4-28, а) могат да се пресметнат по следните най-прости формули:



Фиг. 4-28

$$f_2 = \frac{f_{\text{мин}} + f_{\text{макс}}}{2},$$

където

$f_{\text{мин}}$ е долната честотна граница на обхвата;
 $f_{\text{макс}}$ — горната честотна граница на обхвата.

$$f_1 = f_2 - 0,433 (f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}}) \text{ и}$$

$$f_3 = f_2 + 0,433 (f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}}).$$

Пример:

Обхватът за средни вълни е от 520 кхц до 1620 кхц. Гочките на „точната настройка“ са:

$$\text{средната точка } f_2 = \frac{520 + 1620}{2} = 1070 \text{ кхц};$$

$$\text{долната точка } f_1 = 1070 - 0,433 (1620 - 520) \approx 594 \text{ кхц};$$

$$\text{горната точка } f_3 = 1070 + 0,433 (1620 - 520) \approx 1546 \text{ кхц}.$$

Понеже относителната разстройка между входния и осцилаторния кръг за обхвата на КВ е сравнително малка, допълнителен кондензатор („падинг“) в осцилаторния кръг не се поставя. „Спрягането“ може да се извърши само в две точки на обхвата, както е показано на фиг. 4-28, б. Честотите (точките на обхвата) за точна настройка f_1 и f_3 се определят от следните формули:

$$f_1 = f_{\text{мин}} + \frac{f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}}}{4} \text{ и } f_3 = f_{\text{макс}} - \frac{f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}}}{4}.$$

Пример:

Ако единият подобхват на КВ е от 6 до 12 мГц, точките за „точната настройка“ ще бъдат:

$$f_1 = 6 + \frac{12 - 6}{4} = 7,5 \text{ мГц}$$

$$f_2 = 12 - \frac{12 - 6}{4} = 10,5 \text{ мГц.}$$

Направените изчисления за точките на „точната настройка“ не винаги са наложителни. В повечето от заводските приемници те са маркирани на скалата.

След като знаем тези точки, оставяме стрелката на скалата на средната точка f_2 за средновълновия обхват. В изхода на приемника включваме индикатор за изходното напрежение (волтмер) и от сигнал-генератора подаваме сигнал с достатъчна амплитуда и с честота f_2 . Изменяме индуктивността на кръга чрез изместване сърцевината на бобината, докато чуем от високоговорителя тон. Намаляваме чрез атенюатора подавания във входа на приемника сигнал, за да не се претоварва *нч* част, и настройваме осцилаторния кръг по максималното показание на индикатора. След това проверяваме дали индуктивността на кръга е достатъчна, когато сърцевината на бобината е в средно положение. За тази цел доближаваме до единия край на бобината медна или месингова пръчка и следим показанията на индикатора. Ако индуктивността на бобината е прекалено голяма, индикаторът ще отчете усилване на изходния сигнал, тъй като медта (месингът) „свързва на късо“ част от навивките на бобината. Ако пък индуктивността е недостатъчна, това усилване на изходния сигнал ще получим чрез доближаване на магнитен материал (желязна пръчка и др.).

В случай че при доближаване и на медната, и на желязната пръчка индикаторът отчита отслабване на изходния сигнал, това показва, че индуктивността на бобината е достатъчна и не се налага отвиване на част от навивките за намаляване на индуктивността или пък навиване на още навивки за увеличаване на индуктивността.

След като сме постигнали максимална чувствителност на приемника в тази точка, което показва, че осцилаторният кръг е разстроен спрямо входния кръг точно на междинната честота, пристъпваме към „спрягането“ в другите две точки — f_1 и f_3 .

При настройката в точка f_1 въздушният настройващ кондензатор C_n (фиг. 4-27) е почти напълно затворен. Стрелката на скалата е поставена в края на обхвата, в точката f_1 . От сигнал-генератора подаваме във входа на приемника сигнал с честота f_1 и чрез кондензатора с полупроменлив капацитет C_n (фиг. 4-27) настройваме кръга до получаване на максимално показание на индикатора в изхода на приемника. След това преминаваме към настройването в точка f_3 . При почти напълно отворен кондензатор за настройката (C_n) стрелката на скалата трябва да сочи точката f_3 в другия край на обхвата. По същия начин, както и за „спрягането“ в точката f_1 чрез тримера C_T се настройва осцилаторният кръг на честота f_3 .

Тъй като настройките в тези три точки си оказват една на друга влияние, тези операции се повтарят няколко пъти, докато получим най-добра чувствителност на приемника, и чак тогава зафиксираме положението на полупроменливите кондензатори и на сърцевините на бобините.

Настройката на дълговълновия обхват се извършва аналогично както за средните вълни.

В обхвата на КВ настройката се извършва, като за дълговълновата част на обхвата (точка f_1) се изменя индуктивността чрез сърцевината на бобината, а за късовълновата (точка f_2) се изменя капацитетът чрез тримера C_T .

На съвременните приемници, в които „падингите“ са с непроменлив капацитет, настройката се извършва само в две точки: в точката на по-високите честоти f_3 (или за КВ — f_2) чрез тримера C_T и в точките на по-ниските честоти f_1 (f_2) или за КВ в точка f_2 — чрез сърцевината на бобината.

Друг метод за настройка на високочестотната част, широко практикуван, е методът, при който най-напред се извършва настройката на осцилаторния кръг, а след това — на високочестотните. Предимството на този метод е това, че при него осцилаторът не се изключва и за индикатор при настройката на входните кръгове служи също уредът, включен в изхода на приемника.

При този метод на настройка настройването на осцилаторния кръг е познато още под името „вкарване на приемника в обхват“. Въздушният кондензатор е напълно затворен. Стрелката на скалата е поставена в началото на обхвата, в точка f_1 . От сигнал генератора се подава във входа на приемника сигнал с честота f_1 . Чрез сърцевината на бобината или чрез падинга (за по-старите типове приемници) настройваме осцилаторния кръг по максималното показание на индикатора в изхода на приемника. После отваряме напълно въздушния кондензатор, при което стрелката сочи точката f_3 , и чрез кондензатора с полупроменлив капацитет C_T (тримера) настройваме кръга по максималните показания на индикатора. В другия край на обхвата безспорно е възникнала известна разстройка и затова извършваме тази операция поне още един път за обхвата на средни и дълги вълни и два или три пъти за късовълновия обхват, където деленията на скалата са нанесени през 20—50 кхц.

След като сме вече убедени в задоволителната настройка на осцилаторния кръг, подаваме от сигнал-генератора във входа на приемника сигнал с честота f_1 и въртим копчето за настройка на приемника, докато чуем от високоговорителя най-силен тон. Посредством сърцевината на бобината изменяме индуктивността на входния кръг, за да получим в изхода на приемника максимално показание на уреда. След това подаваме от генератора във входа на приемника сигнал с честота f_3 (f_2) и чрез копчето за настройка настройваме приемника на тази честота по максималната сила на тона от високоговорителя. Чрез изменение капацитета на донастройващия кондензатор C_T (тримера) на входния кръг намираме максималното отклонение на стрелката на

волтмера, включен в изхода на приемника. И тук, както и при настройката на осцилаторния кръг, повтаряме тази операция няколко пъти, за да постигнем най-добра чувствителност на приемника, след което фиксираме положението на сърцевината с парафин. На къси вълни обаче (особено в края на обхвата за по-високите честоти) при настройка на входния кръг с помощта на тримера се забелязва т. нар. „увличане“ на честотата на осцилаторния кръг, при което се изменя и работната честота на осцилатора. Този ефект се забелязва най-вече при батерийните приемници, каквито са „Szarotka“, „Турист“ и др., при които преобразователното стъпало е изпълнено с лампата DK96 (1R5T). Ако констатираме, че честотата на осцилатора се е изменила в повече от допустимите граници, необходимо е да я коригираме и отново да донстроим входните кръгове.

При настройване на съвременни заводски приемници, работещи с феритни антени, има някои особености, на които трябва да се спрем. Настройката на осцилаторния кръг по нищо не се отличава от описаната дотук. При настройката обаче на входните кръгове съществуват два случая. Първият е, когато част от бобината, участваща във входния кръг, е навита върху антенната феритна пръчка, а другата — върху тялото със сърцевина. С помощта на тази сърцевина се извършва настройката на входния кръг. Другият случай е, когато цялата бобина е навита върху феритната пръчка. Тогава трябва много внимателно да местим бобината по дължината на пръчката, докато получим резонанс на кръга.

Дотук се запознахме с настройката на *вч* канал с помощта на измервателни уреди — сигнал-генератор за модулирани сигнали и волтмер за променлив ток — високоомен, който се включва направо в изхода на приемника, или нискоомен, който се включва паралелно на трептящата бобинка (шпулката) на високоговорителя.

Условията, при които се извършва настройката, са: потенциометърът за регулиране на силата се поставя на максимално усилване; АРУ е изключено; тон-коректорите са при положение на най-тъсна честотна лента; към изхода на приемника се включва волтмерът; от сигнал-генератора се подава модулиран сигнал през еквивалентна антена, която за късите вълни е еквивалентна на едно омическо съпротивление от 400 *ом*, затова при настройката на КВ обхват е достатъчно да включим последователно на коаксиалния кабел, по който се подава сигналът от сигнал-генератора, едно активно съпротивление от 400 *ом*.

Настройка без уреди (на слух). Настройката на слух се извършва по честотата на някаква позната и близка станция (местната станция). Затова, ако при първоначалното прекарване на стрелката по целия обхват не чуем никаква станция, изменяме малко настройката на осцилаторния кръг и отново превъртаме настройващия кондензатор чрез копчето за настройка. Тази операция се повтаря няколко пъти, докато чуем някаква станция. Примерно, ако чуем Софийския предавател на средни вълни 827 *кхц*, който при настроен приемник се намира към средата на скалата, започваме настройката по него. Най-напред се

настройват входните кръгове, за да се получава от входа на приемника най-силен сигнал. Ако първоначално сме чули станцията при почти отворен въздушен кондензатор, т. е. в края на обхвата към по-високите честоти по отношение на скалата, трябва постепенно да пренастройваме входния и осцилаторния кръг, като приближаваме приемането на сигнала към средата на скалата и внимаваме да не „изгубим“ станцията. За тази цел изваждаме малко навън сърцевината на осцилаторната бобина и като затваряме малко кондензатора, отново намираме станцията, но по-близо до средата на скалата. Същата операция извършваме и с входния кръг. След няколко повторения на тази операция получаваме точна настройка на приемника в една точка към средата на обхвата, в която чувствителността е най-добра.

Ако сме чули същата станция в края на обхвата, към по-ниските честоти, т. е. при почти затворен кондензатор, увеличаваме индуктивността на входния и осцилаторния кръг чрез вкарване на сърцевините на бобините по-навътре, така че да намерим станцията по към средата на скалата (при по-отворен кондензатор), и при този случай повтаряме няколко пъти тази операция, докато стрелката на скалата дойде на определеното си място по обхвата.

По аналогичен път настройваме приемника в още две точки на обхвата, а също така и за другите обхвати, като при първата възможност обаче трябва да донастроим приемника със сигнал-генератор или най-малко да проверим чувствителността му.

е. Приемане на ЧМ сигнали. УКВ приставка

Произведените от нашия слаботъков завод радиоприемници Орфей, Мелодия, Концерт и Симфония имат УКВ високочестотна част за приемане на честотнодулирани сигнали. Този блок се състои от две стъпала — ВЧУ и смесител.

ВЧУ се поставя първо за повишаване чувствителността на приемника, второ — повишаване устойчивостта на работа, и трето — намаляване паразитното проникване на осцилаторните трептения в антената на приемника.

Във *вч* стъпало най-често се употребяват триод със заземена междинна точка *а*, пентод със заземен катод *б* или пък триод със заземена решетка *в*, фиг. 4-29, *а*, *б*, *в*.

За входни кръгове се използва предимно лентов филтър от два свързани кръга с фиксирана настройка в средата на обхвата или единичен кръг също с фиксирана настройка. В някои случаи обаче, обикновено при по-ниските честоти на УКВ обхват, може да се употреби кръг, който се настройва синхронно с трептящите кръгове в хетеродина и анодната верига на лампата от ВЧУ, особено когато последната е пентод, поради голямото и входно съпротивление за тази част на обхвата.

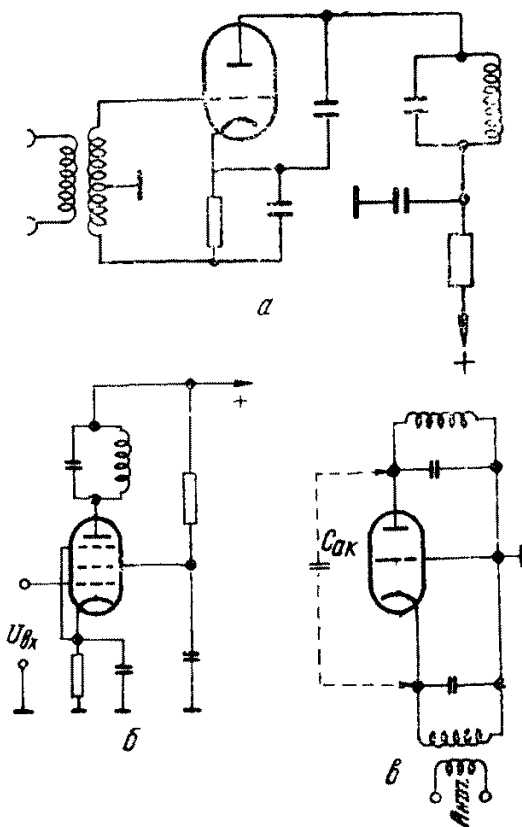
Смесителното стъпало за обхвата на УКВ в по-старите приемници е изпълнено с лампа триод-хексод, както и обхвата на къси, средни и

дълги вълни, само че при такава висока междинна честота (8—10 мгхц) в сравнение с междинната честота за обхвата на къси, средни и дълги вълни резонансното съпротивление на лентовия филтър в анода на смесителната лампа е значително по-малко. Затова и усиляването от преобразователното стъпало е чувствително по-малко — от 1—3 пъти.

В смесителните стъпала за УКВ обхват на съвременните комбинирани приемници за АМ/ЧМ се употребяват изключително *вч* триоди, защото при тях собствените шумове са много по-малки, а стръмността на смесване и усиливане е по-голяма.

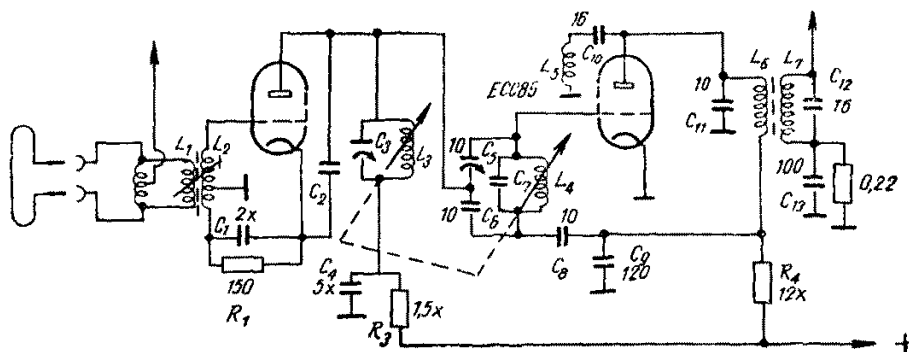
На фиг. 4-30 е показана принципната схема на входния блок за УКВ на приемниците Орфей, Мелодия, Концерт и Симфония. Както се вижда от схемата, настройката по обхвата се извършва чрез бобините с изменяема индуктивност L_3 и L_4 . *Вч* сигнал от антената се подава във входната верига посредством симетричен лентов кабел с вълново съпротивление 240 (300) ом. ВЧУ е изпълнен с едната триодна система на лампата ЕСС85 по схема със заземена междинна точка. Другият триод на същата лампа работи като самоосцилиращ смесител. Полученият от смесването на двете честоти (приемната и осцилаторната) сигнал с честота 10,7 мгхц се отделя от включения в анода на смесителя *мч* филтър и се подава на първата решетка на хептода в лампата ЕСН81 (виж фиг. 4-23), която за обхвата на УКВ изпълнява роля на МЧУ.

За намаляване на паразитното влияние на осцилаторната честота върху антената е употребен capacitивен мост, образуван от capacitетата на кондензаторите C_6 , C_6 , $C_8 + C_9$ и capacitетата решетка—катод (C_{pk}) на смесителния триод. В единия от диагоналите е включен осцилаторният кръг, а в другия — анодният кръг на първия триод (ВЧУ). Този мост компенсира част от излъчваните от осцилатора трептения и на клемите на антената се създава много по-слабо напрежение с осцилаторна честота около 15 мкв.



Фиг. 4-29

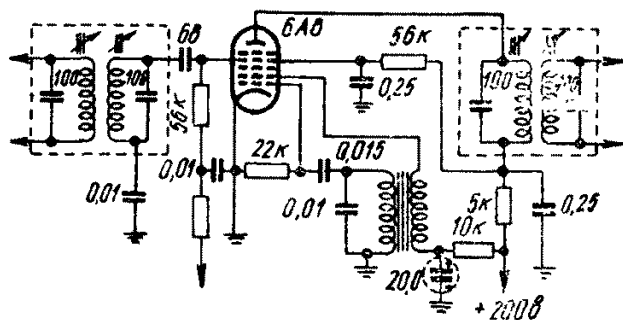
За компенсиране на паразитната обратна връзка по междинна честота, дължаща се на проходния капацитет анод—решетка (C_{ap}) на смесителния триод, е употребен друг капацитивен мост, образуван от капацитетите на кондензаторите C_8 , C_9 и $C_{10}+C_{11}$ — единия диагонал, и капацитетата C_{ap} — другия диагонал.



Фиг. 4-30

ж. Приемане на телеграфни сигнали

Радиотелеграфните сигнали могат да бъдат модулирани (тонови) и немодулирани (безтонови). Модулираните сигнали се приемат от всеки приемник без специално устройство за телеграфна работа. Немодули-



тектирането на който се отделя напрежение със звукова честота. Тонът на приеманите телеграфни сигнали може да се изменя чрез изменение честотата на втория (телеграфния) хетеродин.

Друг способ за приемане на телеграфни сигнали е използването на модулация в приемника. При този способ приеманите *вч* сигнали се модулират със звукова честота, получавана от местен генератор, и след детектирането им се получават телеграфни сигнали със звукова честота. В такъв случай тонът на приеманите телеграфни сигнали се определя само от честотата на модулиращото напрежение.

На фиг. 4-31 е показана схема за осъществяване на модулацията в едно от стъпалата на МЧУ. Както се вижда от схемата, лампата 6А8 се използва и за генератор на напрежение със звукова честота. В този случай не бива да се използват лампи с голям капацитет анод—решетка, защото може да се получи неустойчива работа на усилвателя.

4. ТРАНЗИСТОРНИ ПРИЕМНИЦИ

Портативните радиоприемници, изпълнени с транзистори, все по-широко навлизат в битата на нашия народ. През последните няколко години интересът и на нашите радиолюбители към транзисторните приемници чувствително се повиши и те с ентузиазъм работят по усвояването на тази нова техника. Но тъй като радиолюбителите трудно се снабдяват с транзистори, за тях е много важно с какъв брой транзистори ще бъде изпълнена избраната схема.

Принципното устройство и действие на транзисторите и особеностите при използването им в радиотехническите схеми са разгледани в гл. VIII. Тук ще бъдат описани само две практически схеми на транзисторни приемници.

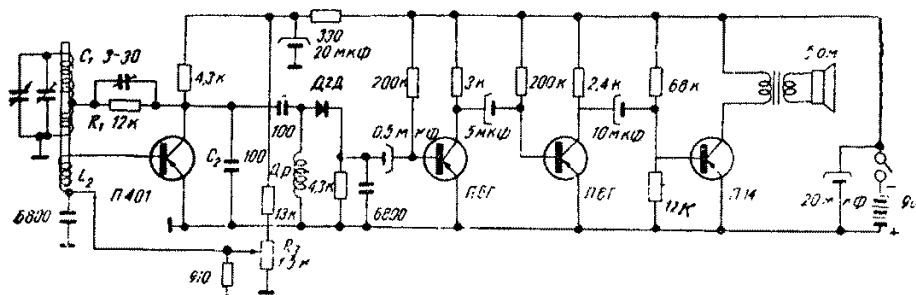
Регенеративен приемник

Регенеративният приемник, изпълнен по схемата на фиг. 4-32, има повишена чувствителност и добра избирателност в сравнение с линейните портативни приемници, изпълнени със същия брой идентични транзистори при еднаква изходна мощност. С този приемник през деня в София се слушат с нормална сила и трите местни станции на средни вълни. Вечерно време се приемат с феритна антена не по-малко от 20 станции.

Както се вижда от схемата, приемникът се състои от едно регенеративно стъпало, детектор, двустъпален предусилвател на *нч* напрежение и едно крайно стъпало.

Регенеративното стъпало е изпълнено с транзистора П401 по схема с индуктивна обратна връзка. Третият кръг на генератора, който служи и за входен (антенен) кръг, е включен в колекторната верига посредством подходяща *RC*-връзка (R_1C_1). Положителната обратна връзка се осъществява с помощта на бобина L_2 също през групата R_1C_1 . Постоянното напрежение на колектора се подава през достатъчно ви-

сокоомно съпротивление (4,3 ком), за да не се шунтира кръгът, но не и много голямо, за да не се създаде в краищата му излишно падение на постоянното захранващо напрежение. Потенциометърът R_3 служи за плавно регулиране на работната точка на транзистора П401, от което зависи самовъзбуждането на стъпалото. При положение на плъзгача в



Фиг. 4-32

долния край (по схемата) усилването на транзистора е минимално. Когато плъзгачът се движи нагоре, отрицателният потенциал на базата се повишава по стойност и колекторният ток нараства, вследствие на което усилването на стъпалото се увеличава, а с това се подобряват и условията за самовъзбуждане.

Детекторното стъпало е изпълнено с диода Д2Д. Високофреkwентният сигнал се подава към *вч* дросел L_p чрез един прехвърлящ кондензатор (100 пф). След детектирането *нч* сигнал се подава на предусилвателя (П6Г) през разделителния миниатюрен електролитен кондензатор от 0,5 мкф.

Нискофреkwентният усилвател работи по схема със заземен емитер. Той се състои от две предусилвателни стъпала, изпълнени с транзисторите П6Г, и едно крайно стъпало — с П14, което работи в режим на максимален колекторен ток.

За да се намали възможността за проникване на паразитни трептения към регенератора, захранващата верига на последния е отделена от останалите посредством един разделителен RC филтър.

Настройката на приемника се заключава в нагласяване работния режим на отделните стъпала.

Оптималният работен режим на генератора за дадения обхват се осигурява по следния начин:

Във веригата на детектора между съпротивлението от 4,3 ком и шасито се включва постояннотоков уред (милиампермер) за индикатор на генерациите. За появяването на генерациите се съди по протичането на ток през уреда. Нагласяването на режима се започва от най-ниската честота на обхвата, т. е. при затворен настройващ кондензатор. Генерациите трябва да възникнат приблизително при средното положение на плъзгача на потенциометъра R_3 , и то не със скок, а плавно

(меко самовъзбуждане). С повишаване потенциала на базата генерациите нарастват. При положение обаче, че генерациите се появяват в този край на обхвата със скок (твърдо самовъзбуждане), трябва да се подбере опитно по-голяма стойност на съпротивлението R_1 . Плъзгачът на потенциометъра се фиксира в това положение, при което индикаторът показва едва появен ток, т. е. на границата между генераторния и регенераторния режим. След това се преминава към настройката на регенератора в средата на обхвата. Отваря се настройващият кондензатор до средно положение и се търси отново моментът на появяване на генерации чрез изменение капацитета на кондензатора C_2 при същата работна точка на транзистора. После се отваря напълно настройващият кондензатор и чрез тримера C_1 се търси положението на меко възбуждане. Описаната настройка се повтаря няколко пъти до пълното „изравняване“ на регенератора по целия обхват, след което се преминава към настройката на *нч* усилвател.

Преди да се пристъпи към настройката на предусилвателните стъпала, се нагласява режимът на крайното стъпало. За тази цел, след като е осигурен на транзистора П14 постоянен ток в режим при максимално допустим колекторен ток, във входа на стъпалото се подава от звуков генератор или зумер сигнал с честота 400—1000 *хц*. Изходното съпротивление на генератора трябва да бъде около 600—1000 *ом*. Оптималният режим на стъпалото се постига опитно чрез превключване на високоговорителя към различен брой навивки от вторичната намотка на изходния трансформатор. Обикновено тази намотка се прави с няколко извода, съобразени с предварително изчислените стойности за изходната мощност и коефициента на трансформацията. За силата и нелинейните изкривявания на изходния сигнал може да се съди по тона на високоговорителя, но оптималният режим най-добре се подбира, когато сигналът се наблюдава на осцилограф.

При настройката на предусилвателните стъпала за индикатор на изходното напрежение може да се включи, паралелно на шпунката, един волтмер за променливо напрежение. През кондензатора от 100 *нф* се подава на детектора модулиран сигнал от подходящ генератор. Последователно се подбират стойностите на съпротивлението (200 *ком*), докато се получи максимална сила на изходния сигнал.

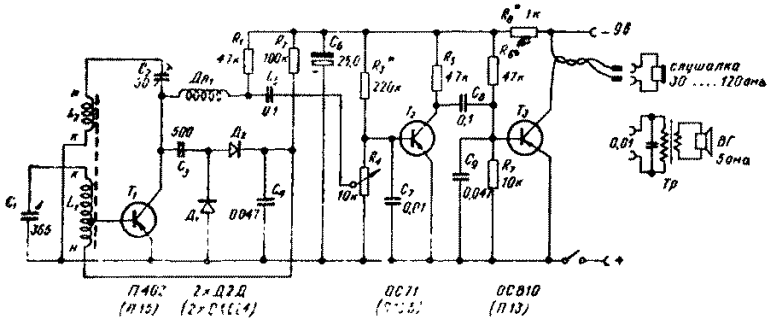
След като е получен оптималният режим на всяко стъпало поотделно, приемникът се монтира в окончателен вид и обратно се изпробва, след което се поставя в кутията.

Пълни конструктивни данни за описания приемник са дадени в брошурата „Любителски транзисторни приемници“ от Сакалян и Марков, издание 1960 г.

Джобен рефлексен приемник Рекорд 3

На фиг. 4-33 е показана схемата на линеен приемник за средни вълни (550—1600 *кхц*), изпълнен по рефлексна схема с 3 транзистора и 2 диода. Той може да работи и с външна антена, при което вечер се приемат повечето от европейските радиостанции.

Високофреkwентното стъпало е изпълнено с транзистора П402 (T_1) по регенеративна схема. Единственият настроен трептящ кръг ($L_1 C_1$) отделя приемания сигнал и чрез съответния съгласуващ извод на бобината L_1 го подава на базата на транзистора T_1 за усилване. Положи-



Фиг. 4-33

телната обратна връзка се осъществява през тримера C_2 и бобината L_2 . Усиленият сигнал се подава през кондензатора C_3 на двата диода D_1 и D_2 за детектиране. Детектираното $нч$ напрежение се подава пак на базата на T_1 за усилване (рефлексно усилване). Усиленото нискофреkwентно напрежение, получено върху товарното съпротивление R_1 , се подава през кондензатора C_5 към потенциометъра R_4 , включен във входа на двустъпалния $нч$ усилвател.

И тук както при регенеративния приемник настройката се извършва след нагласяване режима на транзисторите T_2 и T_3 . При напълно отворен кондензатор (C_1) обратната връзка се нагласява малко преди прага на самовъзбуждането с помощта на кондензатора C_2 или чрез преместване на бобината на обратната връзка L_2 по дължината на бобината L_1 .

Конструктивните данни на някои по-важни възли от този приемник са дадени в „Справочник по полупроводникови диоди и транзистори“ от Хинков и Атанасов, издаден през 1964 г.

Суперхетеродинен приемник за къси и средни вълни

Схемата на приемника е показана на фиг. 4-34 без описание. Той е изпълнен по суперхетеродинна схема с междинна честота 455 кхц и работи на къси и средни вълни. Късовълновият схват се състои от три подобхвата. При изходна мощност 400 мвт е осигурена чувствителност на приемника от 10 мкв.

Данните за по-важните възли могат да се вземат също от „Справочника по полупроводникови диоди и транзистори“.

ЗАХРАНВАНЕ НА РАДИОАПАРАТУРИТЕ

1. СПОСОБИ ЗА ЗАХРАНВАНЕ НА РАДИОАПАРАТУРИТЕ

За захранване на радиоапаратурите се използват източници за променлив и за постоянен ток.

Източник на променлив ток е електрическата мрежа. Тъй като обаче за захранване на радиолампите и транзисторите е необходимо постоянно напрежение, променливото напрежение се изправя с помощта на токоизправители, след което се филтрира. В такъв случай променливото напрежение се използва само за отопление на радиолампите, и то на места, където има електрическа мрежа.

За захранването на преносими радиоапаратури и на стационарни (в места, където липсва електрическа мрежа) се използват постоянно-токови източници (галванични елементи, сухи елементи и батерии, акумулатори и акумулаторни батерии).

Батериите могат да се произвеждат с всички стандартни напрежения за захранване на радиоапаратурите: 1,5; 3; 4,5; 9; 12; 15; 30; 45; 67,5; 90; 120 и 150 в. Това обаче при акумулаторните батерии е невъзможно, тъй като те са много обемисти и тежки. Затова те се произвеждат с напрежение до 12,6 в.

В слабо-токовата техника се употребяват и трите вида акумулатори: оловен — с напрежение на една клетка 2,1 в, алкален — с напрежение за една клетка 1,1—1,5 в и сребърно-цинков — с напрежение за една клетка 2 в.

Тъй като напрежението на акумулаторните батерии е много ниско за захранване на радиоапаратурите, налага се да се използват вибро-преобразователи или преобразователи (умформери) за повишаване напрежението до необходимата стойност. С помощта на тях ниското постоянно напрежение се превръща във високо променливо напрежение и след това се изправя.

При захранване на радиоапаратурите от постоянно-токови източници отоплителните жички на радиолампите се захранват направо от тези източници. За захранване на транзисторните радиоапаратури отоплително напрежение въобще не е необходимо. Освен това за транзисторите е необходимо сравнително много по-ниско захранващо напрежение — от 1,5 до 45 в.

За захранването на радиолобителските неподвижни радиоапаратури се използва най-често електрическата мрежа, а за захранване на подвижните радиоапаратури, както например при „лов за лисици“, се из-

ползват батерии. При използването на радиоапаратури с батерийни радиолампи са необходими две батерии: за захранване на отоплението (1,5 в) и за захранване на анодите и екранните решетки (30—90 в). При използването на радиоапаратури с транзистори е необходима само една батерия.

2. ТОКОИЗПРАВИТЕЛИ

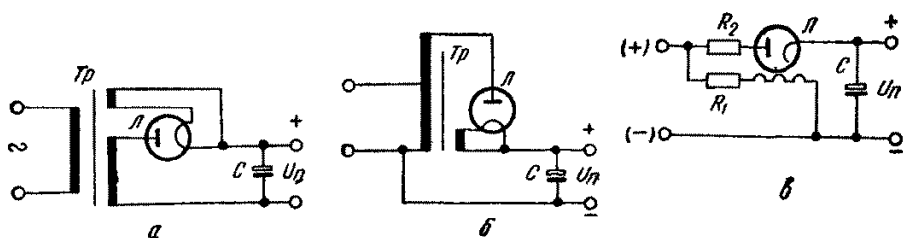
Променливото напрежение има предимство, че може да се повишава или понижава до всички необходими стойности с помощта на трансформатори. Освен това от един трансформатор могат да се получат повече, различни по стойност променливи напрежения.

В радиотехниката се използват два вида токоизправители: *лампови и полупроводникови*. Освен това по начина на изправянето различаваме *еднопътни и двупътни* токоизправители. Еднопътните токоизправители изправят само единия полупериод на променливото напрежение, а двупътните — и двата полупериода.

Схеми на лампови токоизправители

Различаваме два вида токоизправителни лампи: *вакуумни и с газов пълнеж*. Според начина на изправянето и двата вида токоизправителни лампи се подразделят на еднопътни и двупътни.

На фиг. 5-1 са дадени най-употребяваните схеми на еднопътни лампови токоизправители. Схемата *а* е с мрежов трансформатор, а *б* — автотрансформатор. При тях променливото анодно напрежение е най-

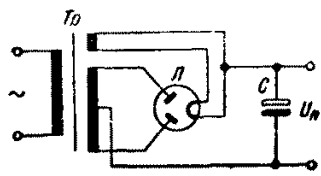


Фиг. 5-1

високото първично напрежение на трансформатора. Ако искаме да получим по-високо променливо напрежение, може да донавием първичната намотка на трансформатора до желаното напрежение. Втората схема има недостатък, че мрежата е директно свързана с радиоприемника. При тези схеми може да се използва токоизправителна лампа с директно или индиректно отопление.

На фиг. 5-1, *в* е дадена схемата за еднопътно изправяне при радиоапаратури за захранване с постоянен или с променлив ток. За тази схема обездателно е необходима токоизправителна лампа с индиректно отопление и отделно изведен катод. При захранване на радиоапаратура

е постоянен ток тази лампа е необходима, за да се спази означеният в скоби поляритет на входа на токоизправителя. В противен случай електrolитните филтражни кондензатори ще се повредят независимо от това, че апаратурата въобще няма да работи.



Фиг. 5-2

Отоплителните жички на всичките радиолампи в апаратурата при тази схема се свързват последователно и през едно изравнително съпротивление R_1 се свързват направо към мрежата. Съпротивлението R_2 предпазва лампата от първоначалния токов удар при първото зареждане на кондензатора C . Стойността на това съпротивление зависи от тока

на лампата и от капацитета на този кондензатор.

Еднопътното изправяне се употребява само в по-малките радиоапаратури. При апаратурите за постоянен и променлив ток няма друга възможност освен еднопътно изправяне.

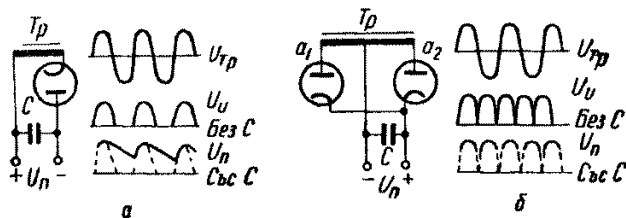
Докато при свързването на еднопътните лампови токоизправители се срещат различни възможности и комбинации, при двупътния лампов токоизправител се употребява само една схема, дадена на фиг. 5-2.

Тук не е възможно автотрансформаторно свързване и са необходими повече намотки за трансформатора, отколкото в разгледаните преди схеми за токоизправители. Двупътното изправяне обаче има редица предимства пред всички останали видове токоизправители и затова се употребява най-често.

Принцип на действие на ламповите токоизправители

На кондензатора C на токоизправителя се получава пулсиращо напрежение, което е различно в зависимост от вида на изправянето (еднопътното или двупътното).

На фиг. 5-3, а са дадени принципната схема и кривите при еднопътното изправяне с лампа, както следва: променливото напрежение от трансформатора U_{TP} , изправеното напрежение U_U без кондензатор C и изправеното пулсиращо напрежение U_n , което се появява вследствие последователното зареждане и разреждане на кондензатора C .



Фиг. 5-3

На фиг. 5-3, б са показани принципната схема и кривите при двупътното изправяне. Токоизправителната лампа тук е дадена във вид на две отделни системи a_1 и a_2 , но всъщност представлява една лампа с два анода.

Избор на токоизправителна лампа

Токоизправителната лампа се избира в зависимост от вида на схемата (еднопътна или двупътна), от променливото напрежение U , което се прилага на анода (анодите), от силата на черпения от консуматора постоянен ток I_0 и от това, дали е необходимо лампата да има отделно изведен катод.

В схемите, при които токоизправителната лампа трябва да има отделно изведен катод (фиг. 5-1, в), не може да се употреби лампа с директно загряван катод. В схемите, при които не е необходима лампа с отделно изведен катод, може да се употреби и лампа с отделно изведен катод, като в такъв случай катодът се свързва външно с единия край на отоплителната жичка.

Приложеното променливо напрежение (U) на анода (анодите) на токоизправителната лампа и черпеният от консуматора постоянен ток I_0 в никакъв случай не трябва да превишават посочените стойности в характеристиките на радиолампите.

При избиране на токоизправителна лампа за радиоапаратите за постоянен и променлив ток трябва да се спрем на радиолампа със съответния за останалите лампи отоплителен ток, напр. 50, 100, 150, 200 или 300 *ma*.

В радиоапаратите намират приложение почти изключително вакуумните токоизправителни лампи с отопляван катод. Лампите с газосъдържащ пълнеж се употребяват в по-мощните радиопредавателни и радиоусилвателни уредби.

Общи сведения за полупроводниковите токоизправители

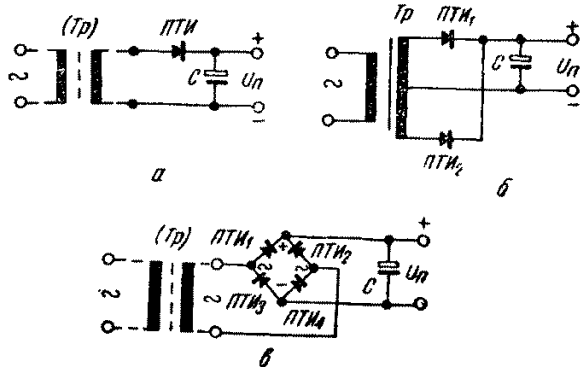
Полупроводниковите токоизправители в много случаи са за предпочитане, тъй като те са много стабилни, изискват малко място и трайността им е почти неограничена. Докато обикновените токоизправителни радиолампи имат нормална трайност 500 часа, полупроводниковите токоизправители работят без каквато и да е промяна в характеристиката им 25 000 и повече часа. Те са много издръжливи на механични сътресения, докато повечето токоизправителни радиолампи са със стъклени балони и са лесно чупливи. Освен това при работа полупроводниковите токоизправители се загряват много малко в сравнение с токоизправителните лампи, което при известни обстоятелства е от значение за правилното функциониране на една радиоапаратура. При тях няма нужда и от отоплителна мощност както при токоизправителните лампи.

Като недостатък на полупроводниковите токоизправители може да се посочи, че вследствие на *обратния им ток* (виж гл. VIII) изправеният ток не е тъй силно очертан като този на ламповите. Този недостатък обаче лесно се отстранява, като се увеличи съответно капацитетът на първия кондензатор C и на елементите на следващия го изглаждащ филтър.

Напоследък полупроводниковите токоизправители все повече изместват токоизправителните лампи в серийно произведените радиоапаратури.

Схеми на полупроводникови токоизправители

Някои от схемите за свързване на полупроводникови токоизправители са подобни на схемите на ламповите. При други от тях обаче има съществена разлика. Според начина на изправянето полупроводниковите



Фиг. 5-4

токоизправители биват: *еднопътни, двупътни и по мостовата схема (схема на Гретц).*

На фиг. 5-4,а е дадена схемата на еднопътното изправяне. Тя може да се употреби за приемници при захранване без или със мрежов трансформатор, поради което трансформаторът Tr е означен пунктирано.

На фиг. 5-4,б е дадена схемата на двупътното изправяне с полу-

проводникови токоизправители. Тук са необходими трансформатор Tr и два полупроводникови токоизправителя $ПТИ_1$ и $ПТИ_2$. Тази схема често се нарича *накрещно свързване*.

На фиг. 5-4,в е дадена мостовата схема, която се нарича още *схема на Гретц*. Тя има приблизително същите показатели, както и схемата на двупътното изправяне. От последните две схеми се вижда ясно предимството на мостовата схема. Докато при обикновената схема за двупътното изправяне е абсолютно необходим мрежов трансформатор, и то с две вторични намотки, при мостовата схема трансформаторът не е нужен или ако трябва да има по-високо напрежение от мрежовото, все пак е необходим трансформатор само с една вторична намотка. Поради тази причина и трансформаторът Tr е даден пунктирано на схемата

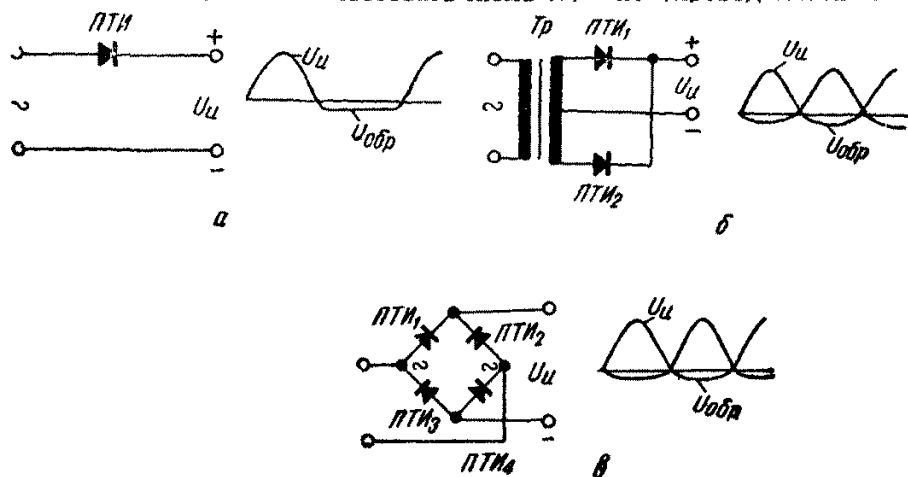
Принцип на действие на полупроводниковите токоизправители

Полупроводниковите токоизправители се наричат още *контактни токоизправители*, тъй като при тях изправянето става вследствие допирането на два различни материала. Те се състоят от два различни метални електрода, между които се намира слой от специален метал или метално съединение, което е полупроводник. Между полупроводника и единия метален електрод се образува непроводим, изолиращ слой (запиращ слой). Металът винаги се явява като катод, тъй като съдържа повече свободни електрони, които е в състояние да емитира.

Полупроводникът (селен, меден окис, германий или силиций), който има малко свободни електрони (лоша проводимост), се явява като анод в така образувания диод. Тези токоизправители действуват като *вен-*

тили, т. е. пропускат тока почти безпрепятствено само в една посока докато в обратната имат голямо съпротивление и не пропускат почти никакъв ток. Казваме почти никакъв, тъй като все пак пропускат слаб ток, наречен *обратен ток*, за разлика от радиолампите, които в обратна посока не пропускат никакъв ток.

На фиг. 5-5 са дадени принципните схеми на еднопътно (а), двупътно (б) и изправяне по мостовата схема (в) с полупроводникови токо-



Фиг. 5-5

изправители без кондензатора С. И на трите фигури се вижда влиянието на обратния ток, вследствие на което в полупериодите, когато токът тече през токоизправителя, се получава, макар и много слабо, *обратно напрежение*. Това напрежение има противоположна посока на напрежението, получено при изправянето.

Следователно в посоката на пропускането на тока полупроводниковият токоизправител има много малко вътрешно съпротивление, а в другата посока — много голямо. Качествениите полупроводникови токоизправители трябва да имат съотношение на съпротивленията в двете посоки най-малко 1:100.

Полупроводниковите токоизправители се характеризират с *коэффициента на изправяне К*, който представлява съотношението между пропускания и обратния ток при еднакви по големина, но различни по знак напрежения:

$$K = \frac{I_{\text{пр}}}{I_{\text{обр}}},$$

където: $I_{\text{пр}}$ е токът в посока на пропускане в *ма*;
 $I_{\text{обр}}$ — обратният ток в *ма*.

При редовни токоизправители K трябва да е 100—2000. На практика обаче качеството на полупроводниковите токоизправители се характеризира не толкова с коэффициента на изправянето K , определен

при някакво напрежение, а с големината на напрежението на пропускане и на обратното напрежение, измерени напр. при плътност на тока на пропускане 40 ма/см^2 и плътност на обратния ток 4 ма/см^2 . Колкото по-голямо е обратното напрежение и по-малко напрежението на пропускане при взетите плътности на тока, толкова по-качествен е токоизправителят.

Полупроводниковите селенови и медноокисни токоизправители се състоят от повече последователно свързани отделни клетки, тъй като една клетка има сравнително ниско обратно напрежение. Броят на клетките за изправяне се определя, като се раздели това напрежение на обратното напрежение на една клетка.

Големината на тока, която една клетка може да пропусне, е право пропорционална на диаметъра ѝ. Ако е необходим по-голям ток, отколкото една клетка може да изправи, то клетките се свързват паралелно.

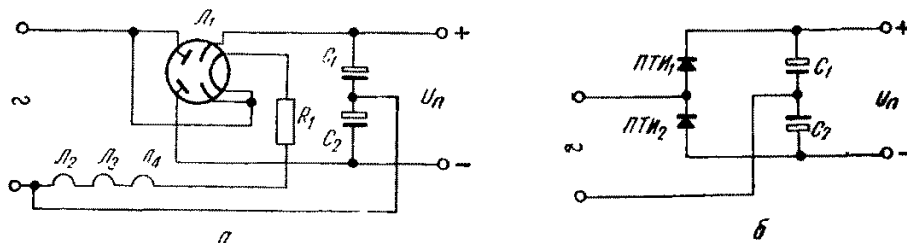
Една селенова клетка може да изправи 12—15 в променливо (обратно) напрежение. Една медноокисна клетка може да изправи около 5 в променливо напрежение

Германиевите и силициевите полупроводникови токоизправители се изработват във вид на готови патрони. Те могат да изправят променливо напрежение до няколкостотин волта.

За мрежови токоизправители най-често се използват селенови, германиеви и силициеви токоизправители, докато медноокисните се употребяват главно в измервателната техника.

3. СХЕМИ ЗА УДВОЯВАНЕ НА НАПРЕЖЕНИЕТО

Както видяхме при еднопътните токоизправителни схеми без трансформатор, максималното променливо напрежение, което може да се изправи, е напрежението на мрежата. Това напрежение обаче често



Фиг. 5-6

пъти е недостатъчно за захранване на съответната радиоапаратура. Поради това се употребяват схеми за едновременно изправяне и удвояване на полученото изправено пулсиращо напрежение.

Характерно за схемите на токоизправителите с удвояване на напрежението е използването за тази цел свойствата на кондензаторите да натрупват и за известно време да задържат електрическа енергия. Кол-

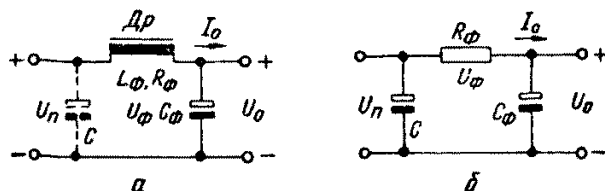
кото по-голям е капацитетът на влизащите в схемата кондензатори, толкова по-голямо количество електрическа енергия те ще натрупат и толкова по-високо ще бъде изправеното напрежение при едно и също натоварване. Затова в такива схеми е най-удобно да се използват електролитни кондензатори, които имат значителен капацитет.

Две от схемите на токоизправители с удвояване на напрежението, които са получили най-широко разпространение, са дадени на фиг. 5-6, а и б. За първата схема е необходима токоизправителна лампа L_1 с два анода и два индиректно отоплявани катода. Във втората схема са употребени два полупроводникови токоизправителя $ПТИ_1$ и $ПТИ_2$.

Полученото изправено пулсиращо напрежение U_n е приблизително равно на двойното мрежово напрежение $U_{мр}$.

4. ФИЛТРИРАНЕ (ИЗГЛАЖДАНЕ) НА ИЗПРАВЕНОТО НАПРЕЖЕНИЕ

Полученото от токоизправителя изправено пулсиращо напрежение U_n на кондензатора C трябва да се изглади или, както се казва, да се филтрира, за да се намали бръмченето до необходимия минимум.



Фиг. 5-7

По този начин напрежението ще стане годно за употреба от консуматора. Това става с помощта на нискочестотен филтър, който обикновено се състои от един филтражен дросел Dp и един филтражен кондензатор C_ϕ (фиг. 5-7, а) или от едно съпротивление R_ϕ и един кондензатор C_ϕ (фиг. 5-7, б). Много по-ефикасен е филтърът по схемата на фиг. 5-7, а, но често пъти при невъзможност да се употреби дросел се прибягва до втората схема, като съответно се увеличава капацитетът на кондензатора C_ϕ . Ако е необходимо да се получи по-чисто постоянно напрежение, увеличава се броят на филтрите, като съответно се удвоява, утроява и т. н. броят на дроселите (съпротивленията) и кондензаторите или пък се прави комбинация от двата вида филтри. Кондензаторът C , който е начертан пунктирано, е кондензаторът C от схемите на токоизправителите (фиг. 5-1, 5-2 и 5-4).

Качеството на филтъра се увеличава с увеличаване капацитета на кондензатора C_ϕ и индуктивността L_ϕ на дросела, респ. стойността на съпротивлението R_ϕ . Обаче при увеличаване на омическото съпротивление на дросела вследствие по-големия брой навивки (или увеличаване стойността на съпротивлението R_ϕ) на тях ще има по-голямо падение на напрежението U_ϕ , поради което U_0 намалява.

НЧ УСИЛВАТЕЛИ**1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА НЧ УСИЛВАТЕЛИ**

Нискочестотните усилватели са радиоустройства, които усилват слабите сигнали от тонови източници, за да се получи на изхода им необходимата променливотокова мощност за захранване на определен брой високоговорители. При усилване на сигналите обаче не трябва да се допускат съществени изкривявания, които водят до изопачаване на тона. Обикновено *нч* усилватели трябва да усилват равномерно сигналите в обхвата от 50 (30) до 10 000 (15 000) *хц*.

Тоновите източници могат да бъдат микрофон, ел. грамофон, радио-приемник, магнетофон, адаптор за електрическа китара, електрически гонг и др. Освен това те могат да бъдат нискоомни и високоомни.

Схемата на един *нч* усилвател се определя в зависимост от големината на входното *нч* напрежение, от големината на необходимата изходна мощност и от качеството на възпроизвеждането.

Нискочестотните усилватели се състоят от известен брой усилвателни стъпала, във всяко от които има по една или повече радиолампи (транзистори). Стъпалата в *нч* усилватели се делят на две групи: *предусилвателни и крайни*. Задачата на предусилвателните стъпала е да усилят слабите входни сигнали до стойност, достатъчна за задействане на крайното стъпало, за да може то да отдаде необходимата за захранване на високоговорителя изходна мощност. Крайната изходна мощност на усилвателите се определя от параметрите на крайните лампи и от режима, в който те работят.

На изхода на *нч* усилватели обикновено има трансформатор за съгласуване (написване) на голямото изходно съпротивление на усилвателя с малки съпротивления на високоговорителите, които се включват към усилвателя. Напоследък се строят и усилватели с малка мощност, при които не се употребява изходен трансформатор.

На входа на усилвателя или непосредствено след първото предусилвателно стъпало има потенциометър за регулиране силата на тока.

Обикновено *нч* усилватели се захранват от мрежата за променлив ток. По-малките усилватели, особено транзисторните, могат да се захранват от батерии.

В предусилвателните стъпала обикновено се употребяват триоди или пентоди, а напоследък често се използват и комбинирани лампи, напр. от типа ECC, ECH, ECF и пр. В един *нч* усилвател може да има от 1 до 4 предусилвателни стъпала.

Крайното стъпало при усилвателите с най-малка мощност се състои обикновено от една лампа. При усилвателите с малка и средна мощност се употребява противотактна (пушпулна) схема с две лампи. При усилвателите с голяма мощност се употребяват или специални мощни крайни лампи, или паралелно свързване на повече лампи в противотактна схема. В крайните стъпала се употребяват най-често пентоди или дъчеви тетроди, а в някои усилватели се употребяват и триодни лампи.

Усилвателите клас А се употребяват за по-малки мощности, където се изисква висококачествено възпроизвеждане.

Усилвателите клас В се употребяват при по-големи мощности, за да се пести електрическа енергия и да се удължава животът на усилвателните лампи. Използват се при случаи, при които не се държи на качеството на възпроизвеждането (предаване на съобщения, маршова музика и др.). Усилвателите клас В се употребяват и при батерийните уредби, за да се удължи животът на анодната батерия.

Усилвателите клас АВ се употребяват при всички останали случаи, предимно за средни мощности и за сравнително качествено възпроизвеждане.

Напоследък в *нч* усилватели широко се прилага *отрицателната обратна връзка*, с помощта на която се постига по-качествено възпроизвеждане. Освен това с нея се постига и независимост на изходното напрежение от промените на товара в изхода на усилвателите.

Освен това понякога се употребяват само отделни предусилватели без крайно стъпало. Такива усилватели се използват за предварително усилване по напрежение на много слаби *нч* сигнали, които след това се подават на друг *нч* усилвател за усилване по мощност.

2. ПАРАМЕТРИ НА *НЧ* УСИЛВАТЕЛИ

Според предназначението си *нч* усилватели се делят на киноусилватели, усилватели за звукозапис, усилватели за възпроизвеждане на грамофонни плочи, усилватели за измервателни цели и усилватели за озвучаване на помещения и открити площи. Към последните спадат и усилвателите за радиотранслационните централи за озвучаване на населените места.

Всеки *нч* усилвател се характеризира със следните параметри:

а) *Номинална изходна мощност P_n* . Това е максималната мощност, която усилвателят може да отдаде на номиналния (полезния) си товар (високоговорители) при допустимия коефициент на нелинейни изкривявания.

б) *Номинално изходно напрежение U_n* . Това е напрежението, което се установява на номиналното товарно съпротивление на усилвателя при отдаване на номиналната изходна мощност.

в) *Номинално изходно съпротивление R* . Това е товарното съпротивление, върху което усилвателят може да създаде най-голяма мощност, т. е. да работи с голям КПД при допустими нелинейни и линейни изкривявания. Обикновено то се дава при честота 800 *хц*.

г) *Съпротивление на входа на усилвателя в ком.*

д) *Честотен обхват.*

е) *Коефициент на нелинейните изкривявания в % при номинална изходна мощност.*

ж) *Честотна характеристика.* Тя показва как усилвателят усилва различните честоти. Честотната характеристика обикновено се изобразява чрез съответна крива.

з) *Чувствителност на усилвателя.* Това е необходимо променливо напрежение, което трябва да се приложи на входа на усилвателя при максимално усилване (напълно отворен регулатор), за да се получи на изхода му номинална мощност при натоварване с номиналното съпротивление. Чувствителността трябва да се даде поотделно за всеки вход на усилвателя: микрофонен, грамофонен, магнетофонен, вход за радио и пр.

и) *Ниво на собствените шумове*, включително бръмченето. То представлява отношението от напрежението на шумовете към номиналното нискочестотно напрежение на усилвателя.

Произведените у нас усилватели според БДС 1509—57 се делят на два класа — I и II. Всеки произведен в страната ни усилвател за електроакустични уредби според стандарта трябва да отговаря на следните технически условия:

1) Да има отделни входове за микрофон, грамофон, радио и линия.

2) Да има изходи за 30, 60 или 120 *в* номинално изходно напрежение за усилватели до 100 *вт* и 240 *в* за усилватели до 800 *вт*.

3) Да може да се превключва на 110, 125, 150, 220 и 240 *в* захранващо напрежение.

4) Да има предпазител за съответния номинален ток.

5) Коефициентът на нелинейните изкривявания *K* при номиналната изходна мощност да бъде по-малък от 4% за честоти до 100 *хц* и 2,5% за честоти над 100 *хц* за I клас и съответно 10% и 4% за II клас.

6) Честотен обхват 50 до 10 000 *хц* за I клас и 60 до 8000 *хц* за II клас.

7) Чувствителността трябва да бъде най-малко:

на входа за микрофон: не повече от 0,5 *мв* за I клас и 1 *мв* за II клас;

на входа за грамофон: 150 *мв* за I и II клас;

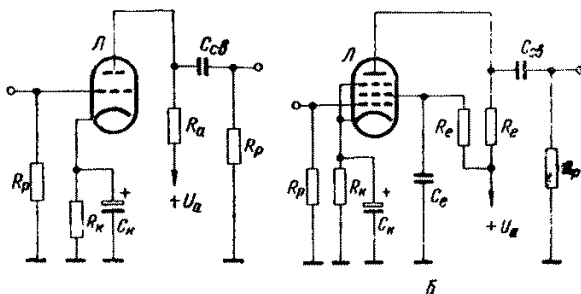
на входа за радио: 0,775 *в* за I и II клас;

на входа за линия: 0,775 *в* за I и II клас.

Отношението номинално изходно напрежение към напрежението на шума на усилвателя трябва да бъде за микрофонен вход по-голямо или равно на 320, а за вход грамофон и линия — 560 за усилватели I клас и 250 съответно за усилватели II клас.

3. НИСКОЧЕСТОТНИ ПРЕДУСИЛВАТЕЛНИ СЪТЪПАЛА

На фиг. 6-1 са дадени две принципни схеми за усилвателни сътърпала, изпълнени с триод (а) и с пентод (б) по капацитивно-съпротивителна схема. Както се вижда, основните елементи са $C_{св}$ и R_a , откъдето и усилвателите се наричат *капацитивносъпротивителни* или *RC*-



Фиг. 6-1

усилватели. Капацитивносъпротивителната връзка има по-голяма честотна независимост от трансформаторната и дроселната, вследствие на което по-широко се използва.

Коефициентът на усилване на всяко сътърпало с капацитивносъпротивителна връзка се определя по формулата:

$$K = \frac{\mu \cdot R_a}{R_a + R_1},$$

където μ е коефициентът на усилване на съответната лампа;

R_a — товарното съпротивление на анодната верига в *ом*;

R_1 — вътрешното съпротивление на лампата в *ом*.

За пентоди горната формула може да се опрости. Ако се пренебрегне в знаменателя R_a пред R_1 ($R_1 \gg R_a$), получава се:

$$K = \frac{\mu \cdot R_a}{R_1},$$

но $\mu \cdot R_1 = S$ (от формулата на Баркхаузен $R_1 \cdot S = \mu$).

Следователно за пентоди може да се употреби изразът

$$K = S \cdot R_a.$$

При точни пресмятания вместо R_a трябва да се употреби сборното съпротивление:

$$R = \frac{R_a \cdot R_p}{R_a + R_p},$$

състоящо се от паралелно свързаните товарно и решетъчно съпротивление на следващата лампа.

Броят на необходимите предусилвателни стъпала n се определя по формулата

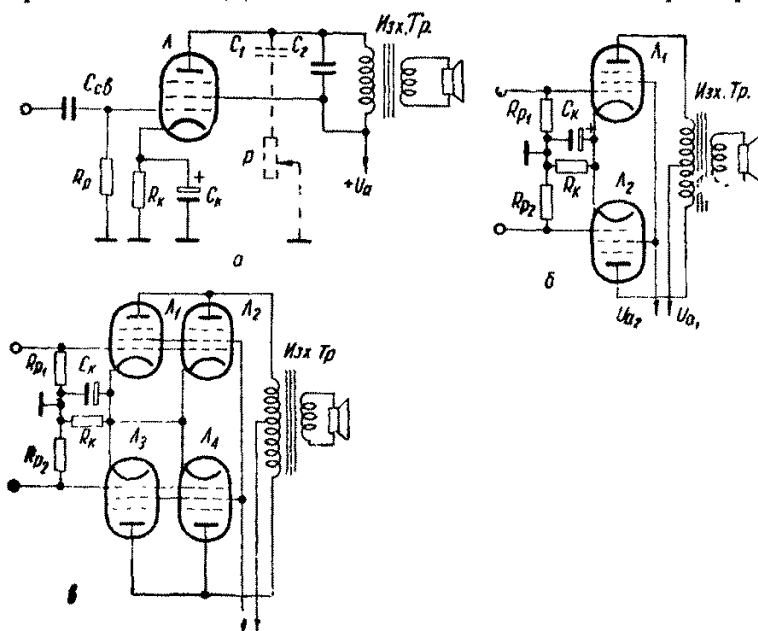
$$n = \frac{U_{кр ст}}{U_{вх}}$$

където $U_{кр ст}$ е необходимо n ч напрежение на входа на крайното стъпало за постигане на номиналната изходна мощност във ν ;

$U_{вх}$ — променливото напрежение от тоновия източник, което се подава на съответния вход на усилвателя във ν .

4. КРАЙНИ СЪПАЛА

В n ч усилватели се употребяват еднотактни и противотактни (пушпулни) крайни стъпала. Докато еднотактните схеми намират приложение



Фиг. 6-2

ние само в най-маломощните крайни стъпала, при всички останали се употребява противотактната схема.

На фиг. 6-2 са дадени основните схеми на еднотактно (а) и противотактно (б) крайно стъпало. На фиг. 6-2, в е дадена схемата на противотактното крайно стъпало с две по две паралелно свързани крайни лампи.

Променливотоковата мощност, която може да се получи от едно противотактно крайно стъпало $P_{пр}$, е двойно по-голяма от тази за еднотактното стъпало $P_{едн}$;

$$P_{пр} = 2 \cdot P_{едн} \text{ (вт).}$$

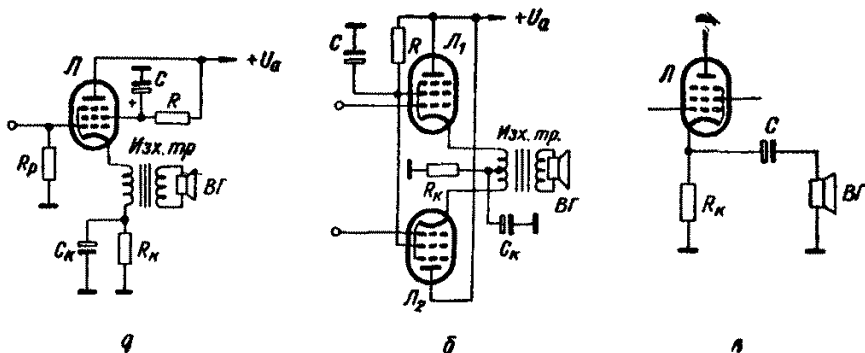
Товарното съпротивление между анодите на двете противотактно свързани крайни лампи R_{aa} е два пъти по-голямо от товарното съпротивление при еднотактно свързване R_a :

$$R_{aa} = 2 \cdot R_a \text{ (ком).}$$

Напоследък се използват и други схеми на крайни стъпала, показани на фиг. 6-3, при които изходът е включен в катода на лампите.

Ако се касае за включване на звуковата бобинка на високоговорителя без изходен трансформатор (фиг. 6-3, в), необходимо е тя да бъде по-високоомна, като кондензаторът C блокира постоянното напрежение, за да не се получи опъване на мембраната в една посока вследствие протичането на постоянен ток. В редица случаи това включване има предимства пред включването в анода. Премахването на изходния трансформатор подобрява честотната характеристика на усилвателя.

Полученото от предусилвателя усилено u_c напрежение се подава на управляващата (първата) решетка на лампата от еднократно крайно стъпало. При противотактното свързване това напрежение трябва да се подаде с обратни фази (изместено на 180°) на управляващите ре-

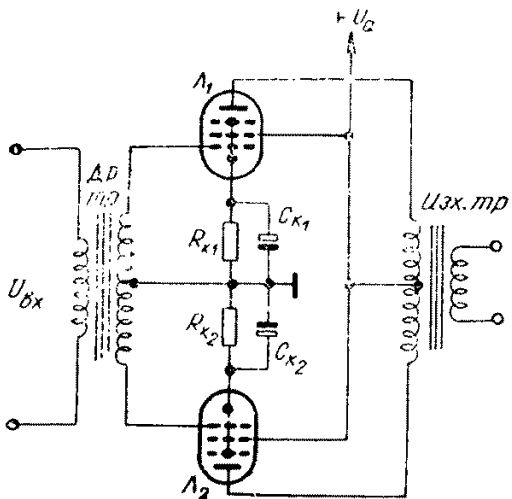


Фиг. 6-3

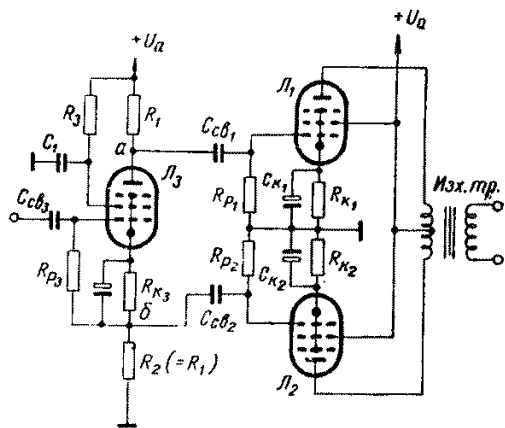
шетки на двете противотактно свързани лампи. Подадените u_c напрежения на първите решетки на крайните лампи трябва освен това да бъдат напълно еднакви по стойност.

Обръщането на фазите може да стане по три начина:

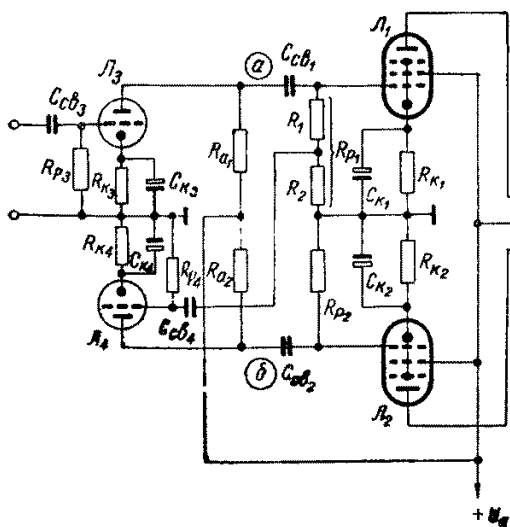
- 1) със специален трансформатор, наречен фазообръщащ или драйверен трансформатор,
- 2) с една или две лампи, наречени драйверни лампи;
- 3) без специална лампа или драйверен трансформатор.



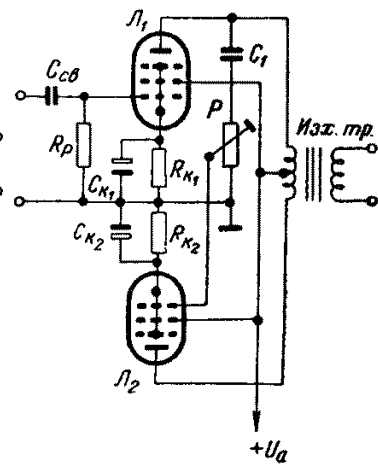
Фиг. 6-4



Фиг. 6-5



Фиг. 6-6



Фиг. 6-7

На фиг. 6-4 е дадена схемата на фазообръщащо стъпало с драйверен трансформатор. Тази схема има предимството, че с драйверния трансформатор може да се постигне известно повишаване (обикновено около 3 пъти) на *и*ч напрежение, но има недостатъка, че трансформаторът внася допълнително големи честотни изкривявания, особено в областта на по-високите звукови честоти. Затова тази схема вече почти не се употребява.

Най-често се употребяват схемите за обръщане на фазите с лампи.

На фиг. 6-5 е дадена схемата за обръщане на фазите с помощта на една лампа L_3 . Двете напрежения са обърнати на 180° . Фазите се взимат от точките *a* и *b* и през кондензаторите $C_{св1}$ и $C_{св2}$ се подават на управляващите решетки на двете крайни лампи L_1 и L_2 . За да бъдат двете напрежения еднакви по стойност, необходимо е съпротивлението R_2 да бъде равно на товарното съпротивление R_1 в анода на лампата L_3 .

На фиг. 6-6 е дадена схемата за обръщане на фазите с помощта на две лампи L_3 и L_4 . Отношението от стойностите на двете съпротивления $R_1 : R_2$ се избира така, че в точките *a* и *b* да се получат еднакви по стойност, но обратни по фаза *и*ч напрежения. Ако напр. усилването в лампата L_3 е 10 пъти, а общото съпротивление $R_{p1} = R_1 + R_2$, което трябва да е от своя страна равно на R_{p2} , е 1 мгом, то $R_2 = \frac{R_{p1}}{10} = \frac{1}{10} = 0,1$ мгом. В такъв случай $R_1 = R_{p1} - R_2 = 1 - 0,1 = 0,9$ мгом.

На фиг. 6-7 е дадена схемата за обръщане на фазите без драйверен трансформатор и лампа. Необходимата стойност на *и*ч напрежение за управляващата решетка на лампата L_2 се регулира еднократно с помощта на потенциометъра *P*. Кондензаторът C_1 предпазва управляващата решетка на същата лампа от високото положително анодно напрежение на другата лампа L_1 .

5. ОТРИЦАТЕЛНА ОБРАТНА ВРЪЗКА

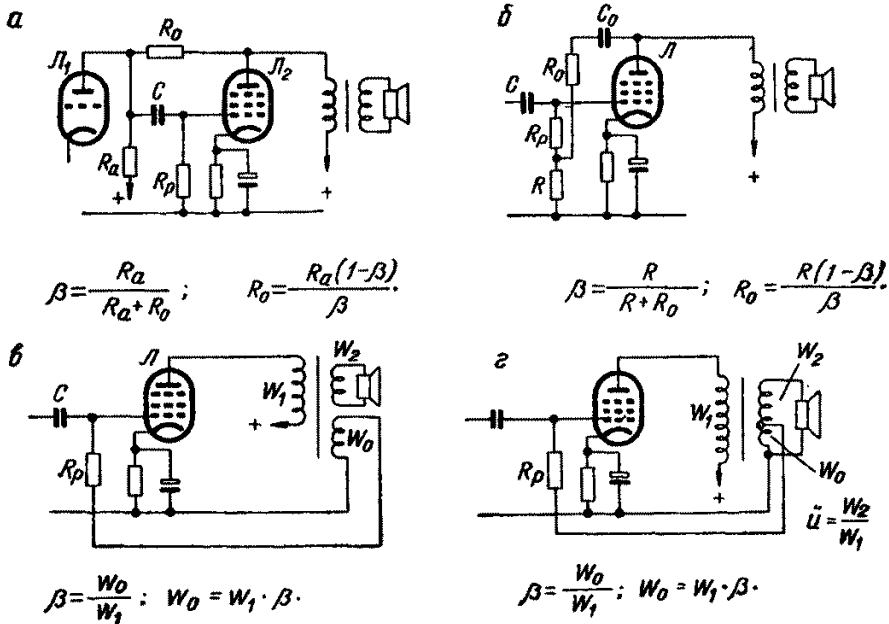
При отрицателната обратна връзка една част от *и*ч напрежение на изхода на усилвателя се обръща с обратна фаза на входа на крайното стъпало или на входа на някое от-предусилвателните стъпала. Отрицателната обратна връзка е толкова по-дълбока, колкото повече стъпала обхваща.

Ако напрежението на обратната връзка се доведе от изхода до входа на някоя от лампите през честотно зависими елементи, напр. кондензатори или *RC*-филтри, в такъв случай може по желание да се коригира честотната характеристика на усилвателя.

В миналото посредством отрицателна обратна връзка се довеждаха от изхода към входа обикновено високите тонове. Вследствие на това усилването на високите честоти намалява или, което е все едно — усилването на басовете се увеличава. Това значи, че честотната характеристика на усилвателя се разширява към басовете.

Употребата на отрицателната обратна връзка, която позволява да се разшири честотният обхват в областта на басовете и на високите тонове, днес се използва твърде много и е отлично средство за подобряване качеството на възпроизвеждане.

Освен подобряването на честотната характеристика, т. е. намаляване на линейното изкривяване, отрицателната обратна връзка подобрява и коефициента на нелинейните изкривявания. Амплитудите на дадена хар-



Фиг. 6-8

монична се намаляват от отрицателната обратна връзка със същия фактор, с който усилването на даден сигнал с честота, равна на тази на хармоничната, се намалява. Същото явление важи и за смущаващи напрежения, дошли по мрежата, които попадат в анода на обратно свързаната лампа и които в края на краищата влияят също върху коефициента на усилването K .

Ако U_{ax} е напрежението на сигнала, U_p — входното напрежение на решетката на лампата с обратна връзка, U_a — изходното напрежение с обратна връзка, а U_β — напрежението, прехвърлено чрез обратната връзка, тогава:

$$U_p = U_{ax} - U_\beta$$

Ако K е усилването без обратна връзка, а β — числото, което показва каква част от изходното напрежение се връща чрез обратната връзка във входа, тогава са в сила изразите:

$$U_a = K \cdot U_p;$$

$$U_{\beta} = \beta \cdot U_{\lambda}$$

$$U_{\beta} = \beta \cdot K \cdot U_{p}$$

В зависимост от начина на осъществяването отрицателната обратна връзка бива напрежителна и токова.

Типична токова обратна връзка се получава при всяка лампа с автоматично отрицателно преднапрежение, когато се премахне катодният кондензатор.

При напрежителната обратна връзка усилването зависи по-малко от товарното съпротивление, а при токовата — повече. С други думи, при напрежителна връзка усилвателят ще намали вътрешното си съпротивление, а при токова — ще го увеличи.

На фиг. 6-8 са дадени четири типични схеми на крайни стъпала с отрицателна обратна връзка и изразите за определяне на числото β , което показва каква част от напрежението се връща във входа чрез обратната връзка. Дадени са също и изразите за определяне стойността на съпротивлението, чрез което се осъществява отрицателната обратна връзка, ако е дадено β . Най-често употребяваната отрицателна обратна връзка за съвременните радиоприемници от по-нисък клас е дадена на фиг. 6-8, б.

6. СХЕМИ НА УСИЛВАТЕЛИ

Усилвателите в зависимост от мощността им се разделят на 3 групи: усилватели с малка мощност — от 4 до 25 *вт*; усилватели със средна мощност — от 30 до 60 *вт*, и усилватели с голяма мощност — над 60 *вт*.

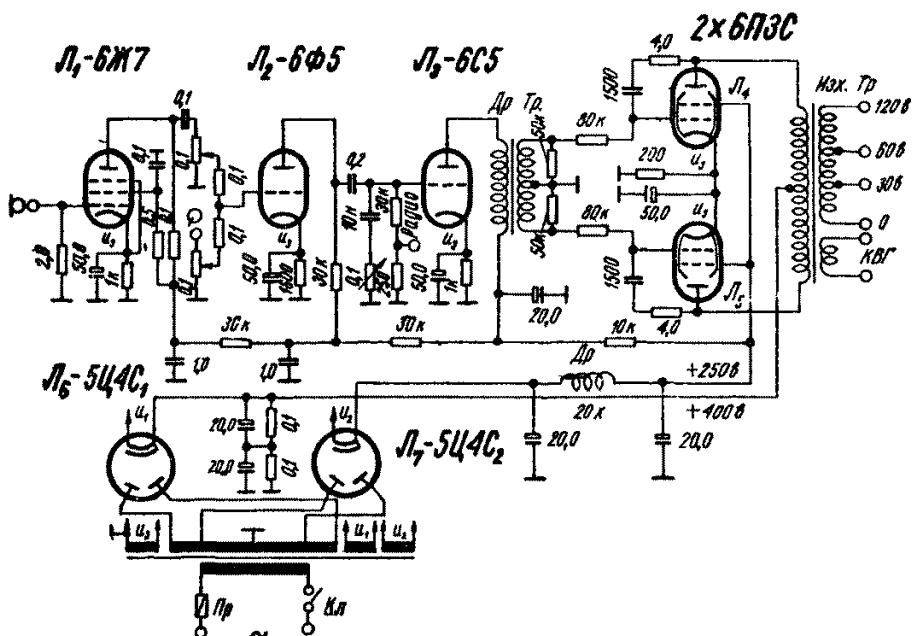
Усилвателите с голяма мощност достигат понякога до няколкостотин вата, в редки случаи и до 1 *квт*. Усилвателите с мощност до 25 *вт* се строят обикновено на едно общо шаси, а тези над 25 *вт* се разделят на няколко отделни шасита, монтирани на една обща стойка. Таква усилватели се състоят обикновено от отделни крайно стъпало и предусилвател, като токозахранващото стъпало е обединено с крайното. Понякога и токозахранващото стъпало може да се монтира на отделно шаси.

Усилвател 25 *вт*

Схемата на един усилвател с изходна мощност 25 *вт* е дадена на фиг. 6-9. Към входа за грамофон може да се подаде и сигнал от магнетофон. Схемата на този усилвател може да се раздели на три основни стъпала: крайно стъпало, токозахранващо стъпало и предусилвател.

Крайното стъпало на усилвателя е изпълнено с две лампи 6П3С (лъчеви тетроди), свързани противотактово в клас АВ₁. Изходният трансформатор има отклонения от вторичната си намотка за 30, 60 и 120 *в*, като има и отделна намотка за свързване на контролен високо-

говорител. От анодите на крайните лампи към техните решетки е свързана отрицателна обратна връзка, която се състои от съпротивително-капацитивен делител. Лампите получават автоматично отрицателно преднапрежение от свързаното в катодите им съпротивление 200 ом, което е шунтирано с кондензатор 50 мкф.



Фиг. 6-9

Анодното напрежение за крайното стъпало се получава от първата токоизправителна лампа 5Ц4С₁ чрез двупътно изправяне. Тук филтърната група се състои от два последователно свързани електролитни кондензатора.

Отделна токоизправителна група с лампата 5Ц4С₂ захранва екранните решетки на крайните лампи. Тук постоянното напрежение се филтрира от една дроселно-кондензаторна група, тъй като екранните решетки на лъчевия тетрод са по-чувствителни и изискват по-добро филтрирано напрежение, отколкото анодите. Същият постоянен ток източник служи за захранване и на останалите лампи на усилвателя.

Самостоятелното захранване на анодите и екранните решетки има за цел да увеличи стабилността на постоянните напрежения. Тъй като анодният ток мени силно своята стойност с амплитудата на входния сигнал, а постояннотоковият източник не е достатъчно нискоомен, то анодното напрежение се колебае в известни граници с амплитудата на подадения към крайните лампи сигнал. Ако този източник захранва и екранните решетки, тяхното напрежение ще се мени също с амплиту-

дата на сигнала и крайните лампи не ще отдават максималната неизкривена мощност. При самостоятелен източник тези вариации са почти напълно избягнати.

Предусилвателят е тристъпален, изпълнен с лампите 6Ж7, 6Ф5 и 6С5. Целият предусилвател се използва само за работа с микрофон. Грамофонният сигнал се подава на втората лампа, а сигналът от радиоприемника, който трябва да се вземе от изходния трансформатор на приемника, се подава на третата лампа на предусилвателя. В случай че сигналът от радиоприемника се вземе направо от демодулаторния му диод, то той се подава на входа на грамофон. В решетъчната верига на тази лампа е включен тонрегулатор, който се състои от кондензатор $10\ 000\ \mu\text{f}$ и потенциометър $100\ \text{ком}$. В решетъчната верига на лампата 6Ф5 са включени два потенциометъра, с помощта на които се регулира амплитудата на подадените от микрофона и грамофона сигнали. Анодните напрежения на предусилвателните лампи са добре филтрирани с помощта на допълнителни RC -групи. Лампите получават отрицателно автоматично преднапрежение с помощта на катодни съпротивления.

От особено значение е доброто изпълнение на монтажа на усилвателя. Лампите трябва да се намират встрани от мрежовия трансформатор. Носещите мрежово напрежение проводници трябва да са положени на разстояние от чувствителните точки, т. е. решетъчните елементи и проводниците на усилвателните лампи.

Тъй като сигналите, които се подават на лампите на предусилвателя, са слаби, обикновено тук не може да се очаква особено изкривяване на тяхната форма. Изкривяванията се получават предимно в крайното стъпало, което работи със значителни променливи напрежения

Усилвател 60 *вт*

Както се каза по-горе, обикновено такива усилватели се монтират на отделни групи.

Схемата на крайното и на токозахранващото стъпало на един усилвател 60 *вт* е дадена на фиг. 6-10.

Крайното стъпало е изпълнено с четири крайни лампи 6ПЗС, свързани две по две противотактово. Изходният трансформатор е с отклонения от вторичната намотка за 30, 60 и 120 *в*. Към първичната намотка на входящия дефазиращ трансформатор се включва предусилвателят. Крайното стъпало работи с приблизително 400 *в* анодно напрежение и 260 *в* екранно напрежение. Постоянният аноден ток без сигнал на входа е около $2 \times 40\ \text{ма}$, а със сигнал нараства до $2 \times 120\ \text{ма}$. Крайните лампи работят в режим АВ₁. Преднапрежението се получава автоматично чрез общо катодно съпротивление. $Ич$ напрежение от предусилвателя се подава на входния трансформатор.

В токозахранващото стъпало има два предпазителя. Първият от тях $Пр_1$ предпазва целия усилвател, а вторият $Пр_2$ — само токоизправителните лампи $Л_{6-7}$. Напрежението за анодите на крайните лампи се изправя от двете лампи 5Ц4С₂ и 5Ц4С₃, свързани паралелно, тъй като

само едната от тях не може да даде необходимия ток. Екранните решетки на крайните лампи и лампите на предусилвателя получават изправено захранващо напрежение от лампата $5Ц4С_1$, филтрирано с помощта на една дроселно-кондензаторна група.

Схемата на предусилвателя е дадена на фиг. 6-11. Той има входове за два микрофона и един общ вход за грамофон, радио или магнетофон. По желание на втория вход може да се монтира един тристъпален превключвател. С помощта на потенциометрите P_{1-3} може да се прави и смесване на отделните програми. Сигналът от изходния трансформатор се подава на входния трансформатор на крайното стъпало. Постоянното напрежение от токоизправителя в крайното стъпало се филтрира допълнително с помощта на няколко RC -групи.

РАДИОИЗМЕРВАНИЯ

1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА ИЗМЕРВАТЕЛНИТЕ АПАРАТИ
В РАДИОТЕХНИКАТА

Освен комбинираните уреди за измерване на ток, напрежение и съпротивление в радиопрактиката се използват още лампови волтмери, високочестотни и нискочестотни сигналгенератори, апарати за измерване на съпротивления, капацитет и индуктивност, осцилографи, вълномери, грид-дип-мери и др.

По конструкция различаваме прецизни лабораторни апарати и по-неточни апарати, предназначени за ремонт и поддържане на радиоапаратурите, както и за радиолюбителски измервания.

Ламповите волтмери се използват за измерване на постоянни нискочестотни и високочестотни напрежения. Те имат измервателен обхват от части на волта до няколкостотин волта. Високочестотните напрежения, които могат да се измерват с тях, стигат до обхвата на УКВ (300 мгхц). Характерно за ламповите волтмери е, че те имат много голямо вътрешно съпротивление (от порядъка на десетки мегаома) и малък входен капацитет при измерване на *вч* напрежения (от порядъка на части от пикофарада). Произвеждат се най-често в отделни изпълнения (за постоянни, *нч* и *вч* напрежения), а по-рядко като комбинирани апарати за измерване на два или три вида напрежения. Обикновено ламповите волтмери са снабдени с пробник за *вч* и *нч* измервания.

Високочестотните сигналгенератори се наричат често *осцилатори*. Те произвеждат всички видове *вч* напрежения — от около 100 кхц до около 300 мгхц и повече. Получаването на *вч* напрежения в такъв широк обхват обаче не става от един *вч* сигналгенератор. Обикновено за тази цел се използват два сигналгенератора. Единият от тях произвежда *вч* напрежения с честота от около 100 кхц до около 30 мгхц, а другият — от 10—300 мгхц. И двата *вч* сигналгенератора имат възможност за собствена или външна модулация. Първият *вч* генератор може да се модулира само амплитудно (АМ), а вторият — амплитудно (АМ) и честотно (ЧМ). Обикновено процентът на амплитудната модулация е точно определен на 30%. Изходното *вч* напрежение при *вч* сигналгенератори може да се изменя на стъпала и плавно с помощта на вграден атенюатор в границите от около 1 мкв до около 100 мв, а в някои случаи и до 1 в. Атенюаторите трябва да дават възможност за точно отчитане стойността на *вч* напрежение. Към всеки *вч* сигналгенератор има и по една изкуствена антена.

Нискочестотните сигналгенератори произвеждат *нч* напрежения със синусоидална форма с честота от около 20 до около 20 000 *хц*. Изходното *нч* напрежение е от около 100 *мв* до няколко десетки волта. По схема различаваме два вида *нч* сигналгенератори: по принципа на биене и *RC нч* сигналгенератори.

Апаратите за измерване на съпротивления, капацитет и индуктивност се произвеждат в различни комбинации и с различни схеми. Срещат се мостове за измерване на съпротивления (от 0,1 *ом* до 10 *мгом*) и капацитети (от 10 *пф* до 10 или 100 *мкф*), така наречените *филоскопи*, които работят с измервателна честота 50 *хц* от мрежата. В някои от тези мостове има предвиден и обхват за измерване на *вч* бобини. В такъв случай измервателното напрежение е около 1000 *хц*, произвеждано в самия апарат. Други апарати работят с измервателно напрежение с висока честота. Те дават възможност да се измерват бобини с много малка индуктивност (части от микрохенри) и кондензатори с малък капацитет (от 1 *пф* нагоре), като може да се измерва и ъгълът на загубите ($\text{tg } \delta$) при кондензаторите. Освен това тези апарати дават възможност да се измерва и качественият фактор (*Q*-факторът) на *вч* трептящи кръгове. Понякога тези апарати се комбинират с *вч* сигналгенератор.

Осцилографите са универсални измервателни апарати. Те се наричат още и осцилоскопи. На екрана на катоднолъчевата им тръба могат да се наблюдават всички електрически процеси в отделните променливотокови вериги на радиоапаратурите. Различаваме два вида осцилографи: нискочестотен и високочестотен.

Вълномерите служат за измерване на собствената (резонансната) честота на *вч* трептящи кръгове. Различаваме два вида вълномери: *хетеродинни* и *резонансни*. Към вълномерите спадат и често използваните от радиолюбителите *грид-дип-мери*. Вълномерите са много удобни за използване. С тях може да се определя резонансната честота от около 300 *кхц* до обхвата на УКВ—300 *мгхц*. Измервателните им обхвати се променят чрез смяна на трептящата бобина, която същевременно служи и за индуктивно свързване на вълномера с *вч* трептящ кръг, чиято резонансна честота трябва да се определи. Затова бобините са извън вълномера.

2. МЕТОДИ НА РАДИОИЗМЕРВАНИЯТА

Видовете измервания, чрез които се определят качествените показатели на една радиоапаратура, зависят от конкретния случай. Не винаги при конструиране на нова радиоапаратура се цели измервания на всички качествени показатели. Пълно прецизно изследване се провежда сравнително рядко, предимно в големите производствени предприятия и изследователски институти. При радиолюбителски условия често пъти се налага да се правят само ориентировъчни измервания, да се награфяват скали на радиопредаватели и приемници, да се откриват повреди и пр.

Освен определяне режима на работа и установяване на точното мрежово напрежение, което винаги предхожда и измерването на параметрите, се налагат и измервания на ниска и висока честота. Такива измервания съставят основата за определяне на качествените показатели на радиоапаратурите.

Затрудненията, които се явяват при измерване на висока честота, се дължат преди всичко на паразитните капацитети, които се явяват от проводниците за свързване и от входния капацитет на самия измервателен апарат. С оглед изискването за малък входен капацитет най-удобни се явяват измервателните апарати с пробник, например лампови волтмери. Входният капацитет на апарата може да предизвика значително преразпределение на токовете и напреженията в дадена схема поради поява на резонансни явления. Особено чувствителни към включване на измервателен апарат са настроените *вч* кръгове. Паралелното включване на апарата към даден настроен *вч* кръг предизвиква разстройка поради включване на допълнителен капацитет (входния капацитет на прибора), а също понякога значително допълнително затихване поради вътрешното съпротивление на апарата. Колкото собствената честота на кръга, на който се провежда измерването, е по-висока, толкова капацитетът на кръга е по-близо до капацитета на апарата, а следователно и внесена разстройка е по-голяма. Ето защо измерванията при къси, особено при ултракъси вълни са трудни.

Когато качественият фактор на даден трептящ кръг има особено значение, измерванията, проведени с лампов волтмер със сравнително малко входно съпротивление, могат да дадат също значителни грешки.

Във високочестотните схеми измервателните апарати трябва да се свързват по възможност в тези точки на схемата, чиито потенциали са възможно по-близки до потенциала на шасито („земя“). При това желателно е единият свързващ проводник да бъде даден на шасито, което от своя страна се заземява, ако не е свързано капацитивно към мрежата, както е обикновено при радиоприемниците. Това е особено важно при по-високите честоти.

Свързването на измервателните апарати става с помощта на специални екранирани *вч* кабели с малък собствен капацитет. Екранировката на тези кабели трябва да е отгоре изолирана. Трябва също така да се внимава, щото екранировката на свързващите проводници (най-често *вч* кабели) на всички апарати, в това число и на ламповия волтмер, да бъдат дадени към шаси, а не обратно — активният проводник на шаси. При грешки от този род се внасят големи допълнителни паразитни капацитети и загуби и дори пълно късо съединение за *вч*. На фиг. 7-1, *а* е показано неправилно, а на фиг. 7-1, *б* — правилно включване на апарат за измерване на *вч* ток в един трептящ кръг. Пунктирано е показано влиянието на паразитните капацитети. При неправилно свързване независимо от разстройката на кръга апаратът може да показва стойност на напрежението или тока, значително различна от действителната поради шунтиращото действие на паразитните капацитети C_1 и C_2 .

Освен това измервателният апарат може да образува паразитен трептящ кръг, съставен от входния капацитет и индуктивността на

съединителните проводници. Ако собствената честота на такъв трептящ кръг се окаже близка или равна на собствената честота на схемата, то като правило трябва да се очакват груби грешки вследствие на резонансни явления. При това може да се яви както сериен, така и паралелен резонанс. С повишаване на честотата тази опасност расте и

е особено голяма при УКВ. При измерване на УКВ, когато дължината на свързващите проводници на измервателния апарат се окаже съизмерима с дължината на вълната, се получават големи грешки поради това, че свързващите проводници започват да играят ролята на двупроводна линия. В различни участъци на една такава линия стойностите на тока и напрежението могат да бъдат нееднакви и следователно измерването ще зависи от дължината на свързващите проводници. Грешката, която възниква в такива случаи, бива малка и може да се пренебрегне, ако дължината на съединителния проводник съставлява до 1% от дължината на вълната.

По-долу ще дадем най-често провежданите измервания на радио-предаватели, които могат да се проведат при любителски условия. Измерванията на радиоприемниците разгледахме в IV глава.

Измерване честотата на радиопредаватели

За оценка на работата на съвременните предаватели се провеждат редица измервания, някои от които имат общ, а други по-специален характер. В зависимост от типа и предназначението на предавателя техническите изисквания се изменят, но много от тези изисквания са общи за предавателите от всякакъв тип.

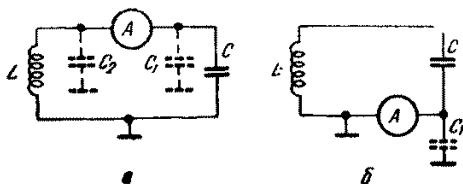
Радиопредавателите са конструирани обикновено с възможност за пренастройка на различни честоти в определен по-тесен или по-широк обхват. Някои предаватели работят на една или няколко фиксирани честоти.

За измерване и контрол на честотата на предавателя се използват хетеродинни и резонансни вълномери. Резонансните вълномери намират приложение най-много при измервания в областта на УКВ.

Особено важно качество на предавателите е стабилността на честотата. Изменението на честотата на предавателите се дължи на загряване, изменение на захранващото напрежение и др.

Постановката за измерване честотата на предаватели с помощта на вълномер е дадена на фиг. 7-2.

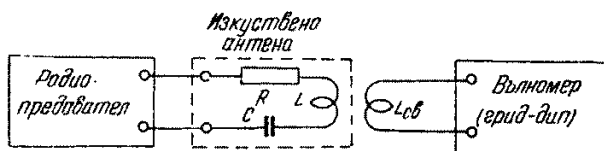
При тези измервания предавателят може да работи както обикновено върху своята външна антена или да бъде включен към изкуствена антена. Изкуствената антена се комбинира експериментално от бобини, кондензатори и омически съпротивления, така че нормалният режим на работата на предавателя да не се изменя при превключване



Фиг. 7-1

от външна антена към изкуствена антена. Разбира се, изкуствената антена може да бъде нагласена само с известна степен на точност. Тя се използва тогава, когато се цели предавателят да не излъчва през време на измерването.

За повишение точността на измерването е необходимо да се поддържа между вълномера и предавателя възможно слаба електрическа връзка. Тази връзка се избира експериментално при измерването така,



Фиг. 7-2

че и реагирането на вълномера да не бъде съвсем слабо. При резонансните вълномери връзката се счита нормална, когато отклонението на стрелката не превишава половината от скалата и не е много по-малко. При много силна връзка се получават не само грешни резултати от измерването, но има опасност от прегаряне на термоелектрическият уред.

Когато максимумът на резонанса се разлива, за повишаване на точността се правят две отчитания, съответстващи на преминаването на стрелката през едно и също деление при подем и при спад на резонансната крива. Средното аритметично от тези отчитания определя точката на резонанса.

При хетеродинните вълномери също може да се правят две отчитания за еднакво намаляване силата на сигнала в двете посоки, което изисква известна опитност.

Измерването на честотата на радиопредавателите се провежда след два-три часа от тяхното включване. В течение на това време предавателите трябва да работят с нормален товар. За предаватели, работещи на точно фиксирани честоти, контролно измерване се прави за всяка от тези честоти, а за предаватели с плавна настройка — за две или три точки на всеки обхват, като двете точки лежат в краищата на обхвата.

Често задачата се постави обратно — да се намери такава точка от обхвата на предавателя, която отговаря на дадената честота. В такъв случай най-напред се намира и фиксира дадената честота върху вълномера и след това бавно се пренастройва предавателят, докато честотата му съвпадне с тази на вълномера.

Ако е необходимо, да се направи градуировка на скалата на предавателя, когато се провежда възможно по-голям брой измервания. Количеството на измерванията се определя от необходимата точност на градуировката.

Измерване на мощността на радиопредаватели

Мощността в антената на предавателя се състои от излъчваната мощност в пространството и загубна мощност в самата антена.

Цялата мощност, развивана в антената, може да се определи по формулата

$$P_A = I_A^2 \cdot R_A \text{ (вт)},$$

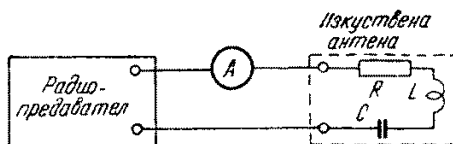
където I_A е резонансният ток, който тече в антенната верига, в a ;

R_A — активното съпротивление на антената в $ом$.

За определяне на активното съпротивление на антената е необходимо първо да се измери токът на резонанс I_A , а след това да се измери токът I_R , който се получава, като се включи в антената известно съпротивление R (20 до 50 $ом$). Измерването на тока става, както е известно, с термоелектрически (термокръстни) или топлинни уреди. Величината на активното съпротивление се изчислява по формулата

$$R_A = R \frac{I_R}{I_A - I_R} \text{ (ом)}.$$

Постановката на непосредственото измерване мощността на предавателите с термоелектрически измервателен уред е дадена на фиг. 7-3. Уредът се свързва във веригата на изкуствената антена. Като се измери токът I_A и като се знае стойността на активното съпротивление на антената R_A , може да се изчисли мощността по горната формула.



Фиг. 7-3

Измерване дълбочината на модулацията на радиопредаватели

Измерването и контролът на дълбочината на модулацията имат голямо значение за радиопредавателите. Малката модулация (по-малка от 30%) дава слаба чуваемост независимо от силата на сигнала, а голямата (дълбоката) модулация и премодулация дават изкривявания и разширение на излъчваната лента на предавателя поради появата на хармонични. Модулацията, както е известно, се определя чрез зависимост между модулиращото напрежение с ниска честота и напрежението на носещата висока честота.

Определение на дълбочината на модулацията може да стане чрез непосредствено наблюдение на модулирания сигнал върху екрана на осцилографа. Обикновено обаче честотата на модулацията се мени, а самата крива на модулирания сигнал е несинусоидална, поради което наблюдението е трудно. По-сигурно измерване на дълбочината на модулацията с помощта на осцилографа става посредством наблюдение на т. нар. трапецовидни образи.

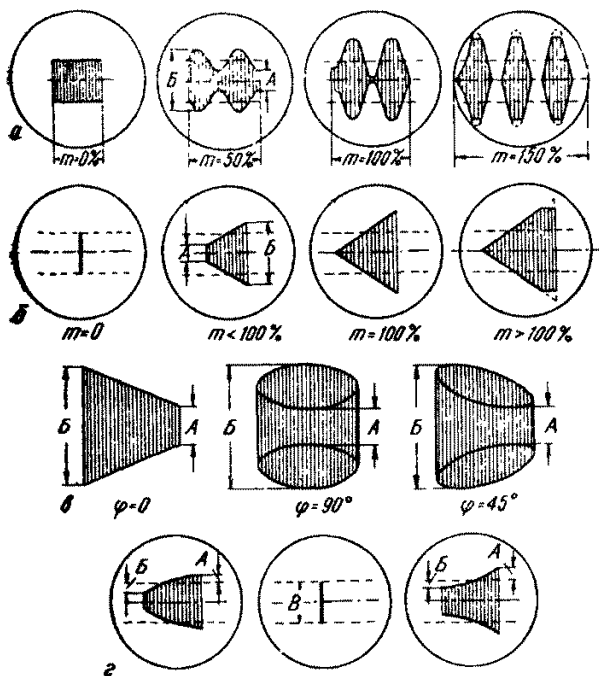
За измерване на коефициента на модулацията с помощта на осцилографа модулираната носеща честота се подава на плочките за верти-

жално отклонение. При синхронизация на честотата на генератора за падащо напрежение с честотата на модулацията на екрана се вижда модулираната висока честота. Горната и долната образуваща на тази

крива съответствуват на честотата на модулацията (фиг. 7-4, а).

За наблюдение на трапецовидните образи от фиг. 7-4, б на плочките за вертикално отклонение се подава модулираното *вч* напрежение, а на плочките за хоризонтално отклонение — модулиращото *нч* напрежение. Модулиращото *нч* напрежение се взема от изхода на нискочестотния сигналгенератор. Голямата основа на трапеца *Б* съответствува на максималната амплитуда на високочестотното трептене, а малката *А* — на минималната амплитуда.

Коефициентът на модулацията за двата случая се определя по отношението:



Фиг. 7-4

$$m = \frac{B - A}{B + A} \cdot 100\%$$

Правилното трапецовидно изображение с праволинейни страни се получава, когато между образуващата на модулираното напрежение и самото напрежение на модулацията няма фазова разлика, а освен това изкривяванията са нищожни. В противен случай се получават изображения от вида, който е показан на фиг. 7-4, в за 90° и за 45° . Коефициентът на модулацията се определя по същата формула.

3. РАДИОИЗМЕРВАТЕЛНИ АПАРАТИ

Лампови волтметри

Ламповите волтметри са едни от най-употребяваните радиоизмервателни апарати. При тях се използват детекторните свойства на радиолампите. Измерваното напрежение се подава на входа (анод—катод

или решетка—катод) на детекторната лампа (най-често диод или триод). В анодната верига на детекторната лампа е свързан чувствителен милиампермер. Като резултат на детекцията се явява изменение на постоянния аноден ток на детекторната лампа. Това изменение на анодния ток отклонява стрелката на милиампермера, скалата на който е градуирана в ефективни стойности на измерваното напрежение.

Такива волтмери без усилвател имат максимална чувствителност до 0,2 в. За повишаване чувствителността на ламповите волтмери се налага да се използват усилвателни стъпала. Когато ламповият волтмер е предназначен за измерване на нискочестотни напрежения, усилвателното стъпало се включва най-често пред детекторното стъпало. В случай на лампов волтмер с широк честотен обхват се налага да се използва усилване след детектора. Чрез едностъпални усилватели може да се постигне чувствителност от около 20 мв. При употреба на многостъпални усилватели могат да се измерват напрежения до няколко десетки микроволта.

Ламповите волтмери имат много широк честотен обхват. С тях могат да бъдат измервани както постоянни напрежения, така и напрежения с ултрависока честота (УКВ). При употреба на специални радиолампи могат да се измерват с достатъчна точност напрежения с честота до 1500 мгхц.

Най-малката грешка, която се допуска при точните лампови волтмери, е от порядъка на 2—3%. Най-често грешката на волтмерите е от порядъка на 5—10%, ако се вземат предвид грешките, дължащи се на милиампермера, на изменението на параметрите на лампите, на зависимостта на показанията от изменението на захранващото напрежение, на зависимостта на показанията от честотата на измерваното напрежение и на зависимостта на показанията от температурата.

Входното съпротивление и входният капацитет на ламповия волтмер определят неговото качество и област на приложение. Най-голямо входно съпротивление имат ламповите волтмери с триоди, работещи без решетъчни токове. Входното съпротивление на такива волтмери достига до няколко мгом, а входният капацитет — до няколко пф.

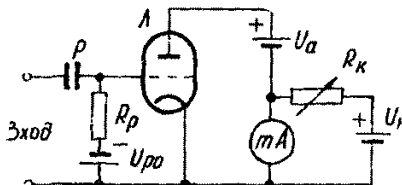
Диодните волтмери имат значително по-малко входно съпротивление. Средно входното съпротивление на диодните волтмери достига до няколко десетки килоома, а входният им капацитет е от порядъка на пф.

В ламповите волтмери за детекция могат да се използват всички видове електронни лампи: диодни, триодни и многоелектродни лампи. Изправянето в триодните и многоелектродните лампи може да се извърши в решетъчната или анодната верига в зависимост от това, в коя от тези вериги протича изправеният ток. Решетъчната детекция е аналогична на диодната, тъй като при изправянето в решетъчната верига участъкът решетка—катод, в който се извършва детекцията, представлява от себе си диод. При анодно изправяне в триодните и многоелектродните лампи измерваното напрежение се използва само за управляване на анодния ток на лампите. В това отношение изправянето с помощта на триодите е сходно с изправянето посредством

многоелектродни лампи. За това има две групи лампови волтмери с диодна и с триодна (решетъчна или анодна) детекция.

Напоследък вместо радиолампи се използват полупроводникови диоди и триоди (транзистори).

За определяне вида на скалата (равномерна или неравномерна) на ламповите волтмери е от съществено значение да познаваме съотношението между измерваното напрежение и стойността на изправения ток. Това съотношение се определя от режима на работа на волтмера. Режимът на работа на ламповия волтмер се характеризира с положението на работната точка върху волтамперната характеристика на детекторното устройство на волтмера.



Фиг. 7-5

Аналогично на режимите на усилване в зависимост от избора на работната точка и стойността на измерваното напрежение, което подаваме

на детекторното устройство, различаваме три режима на изправяне: режим клас А, режим клас В и режим клас С. Следователно положението на работната точка на характеристиката и стойността на напрежението, постъпващо на входа на детекторното стъпало в ламповите волтмери, има не по-малко значение, отколкото положението на работната точка и стойността на постъпващото напрежение в усилвателните схеми. Обаче за разлика от усилвателните схеми тук интерес представлява не усиленото напрежение на изхода, а изправеният ток или напрежението.

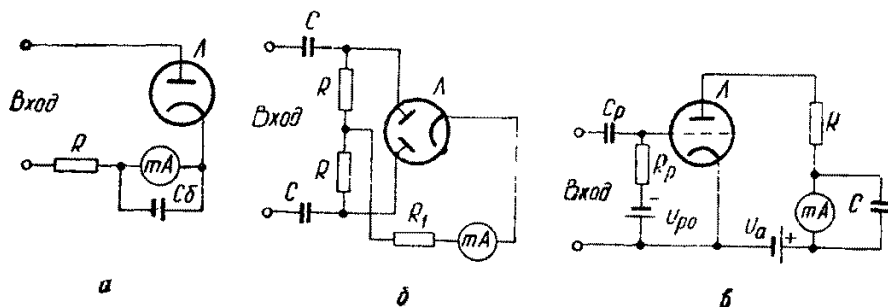
При ламповите волтмери клас А в детектирането участвуват и двете полувълни на измерваното напрежение или, с други думи, в анода на детекторната лампа протича ток през целия период на подаденото на входа измервано напрежение.

На фиг. 7-5 е дадена принципната схема на лампов волтмер клас А с триодна лампа. Работната точка се избира в средата на правата част на I_a/U_p — характеристиката на лампата. С помощта на реостата R_k и токоизточника U_k се компенсира началният аноден ток, протичащ през милиампермера. По такъв начин, когато на входа няма подадено измервано напрежение, стрелката на уреда сочи нула.

Ламповите волтмери от клас В се характеризират с това, че при изправянето участвува само едната полувълна на измерваното напрежение. За тази цел началното положение на работната точка се избира в самото начало на характеристиката (долу), така че през анодната верига на лампата протича ток само през положителния полупериод на измерваното напрежение. Средната стойност на този ток I_0 ще отклонява стрелката на милиампермера.

Ламповите волтмери клас В могат да бъдат построени както с диодни, така и с триодни лампи. На фиг. 7-6, а е дадена схема на лампов волтмер клас В с диод. Ако съпротивлението R е значително по-голямо от вътрешното съпротивление на диода, волтмерът ще

работи с приблизително линейна скала. При това обаче се намалява чувствителността на волтмера и затова измерваното напрежение не трябва да бъде по-малко от няколко волта. Съпротивлението R не трябва да бъде шунтирано с кондензатор. В противен случай постоянното напрежение, което ще се образува на кондензатора, ще измести работната точка на диода. Кондензаторът C_3 (обикновено 5—10 мкф), шунтираш милиампермера, служи да даде на късо променливата съ-



Фиг. 7-6

ставна на анодния ток на диода и да защити от нея чувствителния инструмент. Благодарение на малкото съпротивление на инструмента този кондензатор не измества работната точка на диода.

Недостатък на тази схема е непостоянството на входното съпротивление. През положителния полупериод входното съпротивление на волтмера е малко по-голямо от R , а през отрицателния полупериод добива значителна стойност. За получаване на неизменно входно съпротивление на волтмера може да се употреби включване на два диода по противотактната схема с цел да се получи двуполупериодно изправяне (фиг. 7-6, б). Средната точка, необходима за двупътно изправяне, се получава благодарение на последователното включване на две еднакви съпротивления R , стойността на които определя входното съпротивление на волтмера. Кондензаторите C са разделителни. Изправеното напрежение от двойния диод се подава на милиампермера, свързан последователно със съпротивлението R_1 , определящо обхвата на волтмера. Изменяйки съпротивлението R_1 , можем да изберем необходимия измервателен обхват.

На фиг. 7-6, в е дадена схемата на триоден лампов волтмер клас В. Отрицателното преднапрежение U_{po} се избира така, че анодният ток при отсъствие на измерваното напрежение да бъде доста малък. В линейните волтмери съпротивлението R трябва да бъде значително по-голямо от вътрешното съпротивление на лампата. Поради това че вътрешното съпротивление на триода е много по-голямо от вътрешното съпротивление на диода, е трудно да се построи линейен волтмер по тази схема. Желателно е да се използват триоди с малки вътрешни съпротивления, тъй като при включване на съпротивления с голяма стойност трябва да се повиши значително анодното напрежение.

Волтмерите, построени по диодните или триодните схеми, могат да работят като линейни при стойности на измерваното напрежение над 1 в. За избягване на решетъчни токове и свързаното с тях рязко намаляване на входното съпротивление на волтмера максималното измервано напрежение трябва да бъде с около 2 в по-ниско от отрицателното напрежение на решетката U_{po} .

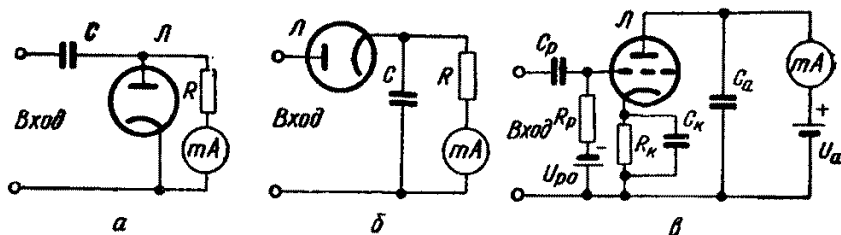
При ламповите волтмери клас С изправянето се характеризира с това, че през лампата протича ток само в течение на неголяма част от единия полупериод. На практика волтмерите от този клас се употребяват най-често за измерване на амплитудните стойности на напреженията. При тези волтмери при детекцията участва само една малка част от положителния полупериод на измерваното напрежение. Това се постига благодарение на подаденото отрицателно преднапрежение на управляващия електрод на лампата, което е приблизително равно на амплитудата на измерваното напрежение. Това преднапрежение се подава или от външен източник, или чрез зареждане на кондензатор от тока, получен чрез изправянето на измерваното напрежение. Напрежението, което се получава на кондензатора, автоматически подава отрицателното преднапрежение на управляващия електрод на лампата.

За изправители в режим клас С могат да бъдат употребени диодни и триодни лампи. Широко разпространение имат амплитудните диодни лампови волтмери с автоматично преднапрежение. Две такива схеми са показани на фиг. 7-7, а и б. Схемата на фиг. 7-7, а дава възможност да се измерват само променливи напрежения, докато схемата на фиг. 7-7, б служи и за измерване на постоянни напрежения.

Принципът на работа на двете схеми е еднакъв. Измерваното променливо напрежение се подава на входните букси на волтмера. В момента, когато на анода на лампата постъпи положителният полупериод на измерваното напрежение, кондензаторът С, свързан последователно с диода, започва да се зарежда от протичащия през диода ток. Заедно с това започва и процесът на разреждане на кондензатора през съпротивлението R. При всеки следващ период на измерваното напрежение кондензаторът ще се зарежда в течение само на тази част от положителния полупериод, когато измерваното напрежение е по-голямо от напрежението на кондензатора, а разреждането на кондензатора ще се извършва през целия период. Състояние на равновесие ще настъпи тогава, когато количеството електричество, което получава кондензаторът при зареждане в течение на една част от положителния полупериод, стане равно на количеството електричество, което отдава кондензаторът през време на разреждането му в течение на целия период през съпротивлението R. За да могат тези схеми да изпълняват ролята на върхови (амплитудни) волтмери, трябва пулсациите на напрежението върху кондензатора С да бъдат по възможност по-малки. Това може да бъде постигнато чрез увеличаване на стойността на съпротивлението R. Последното се избира не по-малко от 0,1 мгом. Капацитетът на кондензатора С е от порядъка на 2000—2500 пф.

Широко приложение намират и триодните амплитудни волтмери с автоматично преднапрежение. Преимуществовата на тези волтмери в

сравнение с диодните са по-голямото входно съпротивление и по-голямата чувствителност, тъй като тук се използват не само изправителните, но и усилвателните свойства на лампата. Недостатък на триодните амплитудни волтмери е необходимостта от три източника за захранване: за отопление, анодно напрежение и преднапрежение на



Фиг. 7-7

решетката. На фиг. 7-7, в е дадена схемата на амплитуден триоден волтмер с автоматично преднапрежение. През анодната верига на лампата тече ток само за една част от положителния полупериод.

Често пъти като индикатор вместо милиампермер се използва оптически индикатор на настройката (магическо око). Такива лампови волтмери често се използват от радиолюбителите, понеже са прости по устройство, като при тях липсва чувствителният милиампермер (микроампермер).

За да могат да се измерват напрежения с висока и ултрависока честота, ламповите волтмери са снабдени с пробник, в който е поместен диодният изправител (лампов и полупроводников) със съответните елементи (превключвател, съпротивления и кондензатори). По този начин входният капацитет на ламповия волтмер става много малък. Пробникът се свързва с ламповия волтмер с помощта на екраниран вч кабел.

В края на книгата се дава схема за постройка на лампов волтмер, който задоволява изискванията на радиолюбителя.

Високочестотни сигналгенератори

Както видяхме, високочестотният сигналгенератор се употребява за почти всички вч измервания на радиоапаратурите. Освен това той служи и за настройка на радиоприемниците. В радиолюбителската практика той често се нарича осцилатор. Както знаем, вч сигналгенератор трябва да произвежда вч трептения от целия високочестотен обхват, включително и УКВ. Освен това стойността на вч напрежение на изхода на генератора трябва да може да се изменя в широки граници с помощта на атенюатор, както и да може да се модулира 30% с ниска честота. При някои по-големи модели вч сигналгенератори дълбочината на модулацията може да се мени главно от 0 до 100%. Освен собстве-

ята модулация някои от *вч* генератори имат вход и за външна модулация. Следователно основните параметри на един *вч* сигналгенератор са: *честота, напрежение на изхода и дълбочина на модулацията.*

Високочестотните трептения се получават с помощта на лампов генератор (осцилатор), който се свързва по една от основните схеми, разгледани в гл. III, т. в. За покриване на всички обхвати с помощта на подходящ превключвател се превключват различни бобини, като променливият кондензатор остава същият. Превключването на отделните обхвати става с въртящ ключ. Често пъти освен този начин на превключване се употребява системата с барабан, особено при солидните и прецизни конструкции. На даден барабан са наредени всички бобини. Превключването се извършва, като се върти този барабан около една ос. На барабана има необходимият брой контактни пъпки, които допират до съответните контактни пера, закрепени отделно неподвижно. Това се прави с цел да се намалят монтажните капацитети.

Недостатък на *вч* генератор е, че амплитудата на получените *вч* трептения не е постоянна по целия обхват на скалата. При загворен променлив кондензатор амплитудата е по-голяма, отколкото при отворен. Друг недостатък е, че генераторът освен основните честоти произвежда и съответните хармонични. Ако основната честота е f , първата хармонична има честота $2f$, втората — $3f$, третата — $4f$ и т. н. Този недостатък обаче е относителен, тъй като понякога хармоничните се използват вместо липсващи по-високи основни честоти в генератора. Всяка следваща хармонична обаче има по-малка амплитуда от тези на основната честота, респективно от предшестващата хармонична.

Високочестотният генератор обикновено има следните приблизителни обхвати:

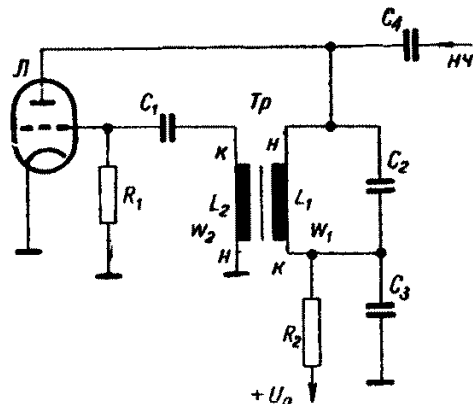
- I — 100 до 300 *кхц.*
- II — 300 до 500 *кхц* (разтегнат).
- III — 500 до 1600 *кхц.*
- IV — 6 до 20 (30) *мхцг.*

Ултрависоките честоти (УКВ) обикновено се получават от специални УКВ сигналгенератори, които имат много сложно устройство и солидна конструкция.

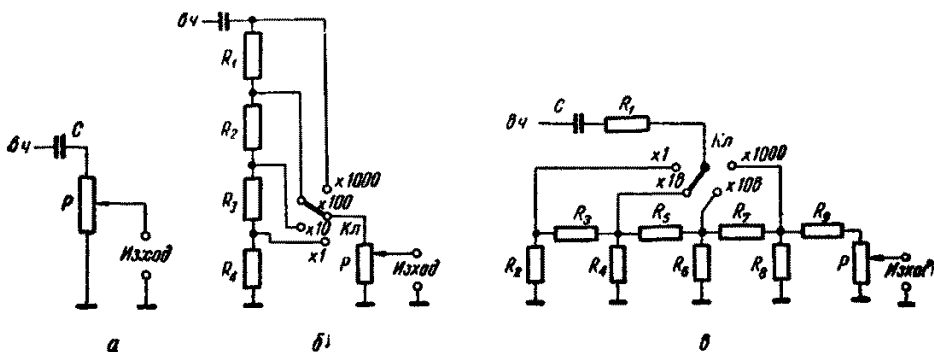
Модулацията на високата честота става със синусоидална ниска честота — от 400 до 1000 *хц.* Получаването на тази честота става обикновено чрез обикновен или триточков лампов генератор за ниска честота. При някои конструкции ниската честота се получава от *RC* генератор или от прост *нч* генератор с глимлампа. Ламповият *нч* генератор се свързва по схемата от фиг. 7-8. Нискочестотният трансформатор T_r е с отношение между навивките $\omega_1 : \omega_2 = 2 : 1$ до $5 : 1$. Честотата на трептенията зависи от стойностите на L_1 и C_2 . Тя се определя опитно чрез свързване на различни кондензатори C_2 , като техният капацитет е между 5000 и 50 000 *пф.* Честотата на модулационното напрежение е 400, 800 или 1000 *хц.* По-ниската честота не дразни ухото при по-продължителна работа.

Модулацията на *вч* напрежение с ниска честота става най-често с помощта на една обикновена смесителна лампа.

Много важно е за даден осцилатор да се знае освен честотата и стойността на излъчваното от него напрежение. Ето защо *вч* сигнал-генератори имат атенюатор за регулиране стойността на излъчваното *вч* напрежение, като при повечето от тях стойността на излъчваното напрежение може да се отчита в *мкв*, *мв* или *в*. В по-простите сигнал-генератори това става с помощта на потенциометър, чиято скала е градуирана напр. от 1 до 10. Този потенциометър регулира изходящото *вч* напрежение от максимум до минимум, без да дава представа за неговата стойност (фиг. 7-9, *а*). В по-тежките конструкции освен този потенциометър има и ключ на няколко положения. С този ключ се дели напрежението грубо на части, като отделните положения на ключа носят напр. надписи $\times 1$, $\times 10$, $\times 100$, $\times 1000$. Това означава, че при първото положение има най-слаб сигнал, при второто той е 10 пъти посилен, при третото — 100 пъти и при четвъртото — 1000 пъти посилен. Финото регулиране на изходящото напрежение в този случай става също с потенциометър (фиг. 7-9, *б*). В този случай атенюаторът има два делителя на напрежението, при което единият е на стъпала, а другият — плавен. Недостатък на този атенюатор е, че при различни положения на ключа има включени различни съпротивления, като с това се мени нагаждането на целия кръг. За тази цел в най-сложните



Фиг. 7-8



Фиг. 7-9

конструкции има атенюатори, построени по принципа за филтрите. При тях нагаждането при всяко положение остава едно и също, което позволява по-точно разграфяване на атенюатора (фиг. 7-9, *в*).

Необходимо е потенциометърът и съпротивленията да са напълно безиндуктивни. Както е известно, тук се работи с много ниски напрежения. За да може да се постигне точна регулация на напрежението, абсолютно е необходимо целият атенюатор да е много добре екраниран, и то не с тънка ламарина, а чрез лети дебели капаци. Елементите на атенюатора — съпротивления, потенциометър и изходни букси — трябва също така да са поотделно екранирани, за да може той да бъде точен. Безсмислено е да се правят атенюатори, които не са добре екранирани, тъй като високата честота се прехвърля от трептящия кръг направо на изходните букси.

Последният тип атенюатори позволяват точна градуировка. Скалата на потенциометъра P се регулира точно в mv , респ. mkv , като само нейните показания се умножават по съответното число на положението на ключа на атенюатора.

В най-добрите конструкции vc сигналгенератори съществува още и възможността да се отчита направо изходното напрежение с помощта на лампов волтмер, вграден в самия генератор. Отчитанията стават на подходящ измервателен уред.

Излъчваната от vc сигналгенератор честота се отчита с помощта на подходяща скала. Най-често тя е дъгообразна, а по-рядко е права (хоризонтална). За всеки обхват има отделно разграфена скала. Скалите за дългите и средните вълни, както и междинните честоти, са разграфени в kc , а скалите за късите вълни — в mc . При някои сигналгенератори за късите вълни има допълнителни скали, разграфени в метри.

Има два начина за отчитане на скалите на сигналгенераторите. Първият и най-често срещаният е, когато скалата е неподвижна, а върху нея се движи една стрелка от плексиглас или др. подобна с една фина чертичка или една тънка метална стрелка. За по-точно отчитане на стрелката от плексиглас от долната и горната страна се изтеглят по една фина чертичка, които се покриват напълно една с друга. Другият вид скала е, когато има неподвижно закрепена стрелка от гореописаните видове, а на оста на кондензатора е закрепена скалата, която се върти. Към този вид спадат барабанните скали.

Много важно за един сигналгенератор е да има предаване между копчето за движение и променливия кондензатор в отношение 1:3 до 1:5. Също така в предавателния механизъм не трябва да има никакъв луфт.

В края на книгата се дава схема за постройка на високочестотен сигналгенератор, който задоволява изискванията на радиолюбителя.

Нискочестотни сигналгенератори

Нискочестотните сигналгенератори произвеждат нискочестотни напрежения с честота от около 20 до 20 000 hc . Този обхват понякога може да се раздели на два или повече подобхвата. Тези прибори често се наричат тонгенератори.

Изискванията, които се поставят на един nc сигналгенератор, са:

- 1) Да дава синусоидално напрежение без бръмчене и хармонични

- 2) Да има неизменно изходно напрежение по целия си обхват.
- 3) Честотата му да не се мени при по-продължителна работа вследствие на загряване и др.
- 4) Честотата му да не се мени при изменение на мрежовото напрежение.

За да се получи неизменно *нч* напрежение при изменение на мрежовото напрежение, необходимо е да се стабилизира анодното напрежение.

За да може *нч* сигналгенераторите да се включват към всякакъв консуматор, трябва да бъдат снабдени с различни нискоомни и високоомни изходи от 2 до 100 000 *ом*, което става най-често с подходящ нагаждащ трансформатор или направо от анода на лампата през един кондензатор (високоомно).

Различават се главно два вида *нч* сигналгенератори: по принципа на „биене“ и *RC* генератори.

***Нч* сигналгенератори по принципа на „биене“.** Звуковата честота се получава, като се смесят две високи честоти, от които едната е постоянна, а другата се мени в определени граници. Обикновено първата честота е от порядъка 100 *кхц*, като втората се изменя от 100 до 120 *кхц*. Смесването на двете високи честоти става в едно смесително стъпало чрез смесителна радиолампа. Получената ниска честота се филтрира от остатъците на високата честота, след което при нужда се усилва в нискочестотен усилвател.

Главният недостатък на този тип е, че дават непостоянно напрежение по целия обхват. Освен това при по-ниските честоти (до 100 *хц*) има изкривяване на синусоидалната крива. В последно време те са изместени от *RC* генераторите.

***RC* генератори.** Техните преимущества са:

- а) лесно възбуждане на осцилацията в широк диапазон на повече обхвати;
- б) голяма стабилност на честотата;
- в) малко съдържание на хармонични;
- г) липсват всякакви бобини, филтри и др.;
- д) сравнително лека калибрация.

Особеното при този тип генератори се състои в това, че техният трептящ кръг е съставен от кондензатори и съпротивления вместо от кондензатори и бобини. Тези кондензатори и съпротивления са включени във вид на специален мост. Изменението на честотата може да стане чрез изменение стойностите на кондензаторите или съпротивленията, като принципът обаче си остава все същият. За изменение на честотата се използва или двоен променлив кондензатор, или двоен потенциометър (два еднакви потенциометъра на една обща ос).

Диапазонът от честотите може да се раздели на няколко обхвата, така че да се получи много точна скала. По този принцип могат да се получат и високи честоти — до 2 и повече мегагерца.

На изхода на *нч* сигналгенератори има също така атенюатор за отчитане на стойностите на изходното *нч* напрежение. Най-често той се състои от няколко букси, от които може да се вземе различно по стойност *нч* напрежение.

За регулиране на амплитудата се използват лампите L_1 (EF9 — с променлива стръмност) и L_4 (EBC3). Последната изпълнява и функцията на постояннотоков усилвател за индикатора на изходното напрежение L_6 (6E5).

Променливите трептения чрез C_{14} се подават на диодите на L_4 и се детектират. Изправеното напрежение се филтрира чрез $R_{2,1}—C_8$ и се подава на управляващата решетка L_1 . Когато амплитудата на трептенията се намалява, преднапрежението на лампата L_1 е малко, стръмността ѝ се увеличава, а оттам се увеличава и усилването ѝ. Това позволява на трептенията да нараснат. С нарастването на амплитудата детектираното постоянно напрежение се увеличава, увеличава се преднапрежението на L_1 и усилването намалява. По този начин се получава амплитудата, чиято стойност се запазва почти неизменна при значително изменящи се условия на работа.

За да се получат добри резултати, кондензаторите $C_9, C_{10}, C_{12}, C_{13}$ трябва да бъдат от безиндуктивен тип и монтажните капацитети да бъдат по възможност по-малки.

Мрежовият трансформатор е с мощност 40 *вт*. За избягване на фона отоплението на лампите получава известно положително напрежение спрямо катода им чрез делителя $R_{28}—R_{29}$.

За нуждите на обучение по морзова манипулация в радиоклубовете се използват по-прости *мч* сигналгенератори, наречени зумери. Те произвеждат само една определена ниска честота. В края на книгата се дават схеми за постройка на лампови зумери за упражненията по радиотелеграфия.

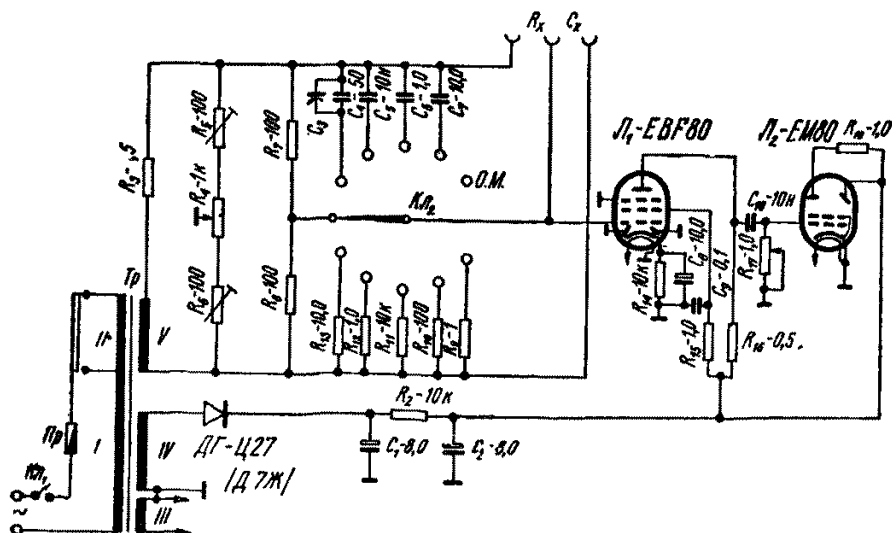
Апарати за измерване на съпротивления и кондензатори

При строежа и поддържането на радиоапаратите много често се налага да се измерват стойностите на съпротивления и кондензатори. Освен това в повечето случаи освен стойността трябва да се провери и качеството на кондензаторите. Това е особено наложително, ако се употребяват кондензатори по-старо производство, със съмнително качество. Измерването на съпротивленията и кондензаторите става много трудно без помощта на специален апарат, като се има предвид, че на практика се работи с най-различни стойности — от десетина ома до около 10 *мгом* и от няколко пикофарада до около 100 *мкф*. Стойностите на тези елементи могат да се измерват с помощта на апарати, построени по мостова схема, индикатор в които е една индикаторна лампа (магическо око). Тази лампа е много подходяща за целта, тъй като тя не консумира ток от мостовото напрежение и действа напълно безинертно. Тези прибори се наричат в радиопрактиката *филоскопи*.

На фиг. 7-11 е дадена схемата на такъв апарат. С него се измерват кондензатори със стойности от 10 *пф* до 10 *мкф* и съпротивления от 0,1 *ом* до 100 *мгом*. За измерване на самоиндукции този апарат е неподходящ, тъй като работи с променливо захранващо напрежение за моста с честота само 50 *хц*, получено от намотката *V* на мрежовия

трансформатор. При тази честота могат да се измерват само бобини с много голяма индуктивност — от порядъка на хенри.

Лампата L_1 работи като предусилвател. Усиленото в нея напрежение от моста се подава на управляващата решетка на индикаторната лампа L_2 . Общата чувствителност на моста се регулира с по-



Фиг. 7-11

мощта на потенциометъра R_{17} , който е свързан като реостат. Нагласяването на различните обхвати става с помощта на ключа KL_2 . Потенциометърът R_4 трябва да е обезателно жичен, като неговата стойност може да варира между 500 и 10 000 ом , обаче най-добре е да бъде със стойност 1000 ом . От неговото качество зависи до най-голяма степен и точността на целия апарат.

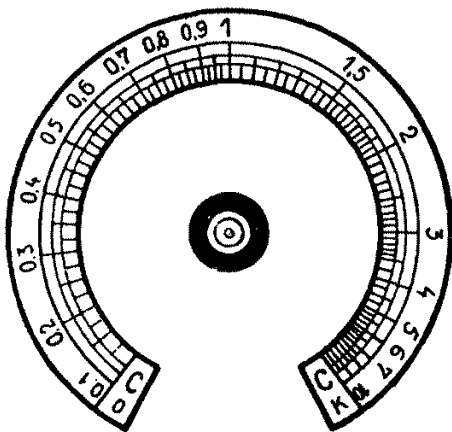
Двете регулируеми съпротивления R_5 и R_6 служат за изравняване на моста. Тяхната стойност зависи от стойността на потенциометъра. Те се равняват на $1/10$ от стойността на R_4 .

Съпротивлението R_3 служи като предпазно съпротивление и ограничава силата на тока в случай на късо съединение на буксите R_x и C_x . В противен случай има опасност да се повреди мрежовият трансформатор.

Точността на моста при качествен потенциометър R_4 , добро изравняване и точна скала зависи изключително от точността на еталоните R_9 до R_{11} и C_3 до C_7 . Те трябва по възможност да се измерват на други точни мостове. Ако това не можем да сторим, трябва да вземем по възможност по-точни съпротивления и кондензатори. Обикновено точността им е означена. Желателно е да се поставят такива с точност

5 до 1%. Еталонните кондензатори трябва да са качествени. Кондензаторите C_4 и C_5 трябва да бъдат слюдени или керамични. Към C_4 е свързан паралелно един донастройващ кондензатор за изравняване. Общата стойност на C_3 и C_4 трябва да бъде около 90 μf при максимален капацитет на донастройващия кондензатор.

Скалата на този апарат се начертава, както е показано на фиг. 7-12. Измерването с апарата става, както следва. Свързва се неизвестното съпротивление на буксите R_x (при кондензатори C_x), ключът се обръща на предполагаемия обхват и копчето със стрелката се върти, докато се получи ясен минимум, т. е. максимум на отваряне на окото. Цифрата, която отговаря по скалата на точката на минимума, се умножава на стойността на еталона за дадения обхват и полученият резултат е стойността на неизвестното съпротивление (кондензатор). Например минимум на скалата се получава при цифрата 3,25. Показалецът на копчето на обхватите показва 10 *ком.* Следователно неизвестното съпротивление е 32 500 *ом.* В случай че не се получи минимум при дадения обхват, обръща се на съседния обхват и пак се търси минимумът. Ако на всички обхвати не се появи минимум, това показва, че измерваният елемент е прекъснат.



Фиг. 7-12

С помощта на този апарат може да се определи приблизително и качеството на кондензаторите. Колкото един кондензатор е по-качествен, толкова окото ще се отваря повече при измерването му. Ако кондензаторът е некачествен, окото няма да се отвори до пълния максимум. Това се забелязва особено много при електролитните кондензатори, които, както знаем, имат сравнително голяма утечка. При положителна работа с прибора ще може веднага да се определи кой от двата кондензатора с еднакви стойности е по-качествен.

В левия край на скалата има означението C_0 , а в десния — C_K . Това означава: кондензаторът е отворен (прекъснат) и кондензаторът има късо съединение. Когато се измерва някой кондензатор, който е прекъснат, на всички обхвати ще се получи максимум отваряне на окото в левия край на скалата. Когато се измерва кондензатор, който има късо съединение, на всички обхвати ще се получи максимум отваряне на окото в десния край на скалата.

При положение *ОМ* на ключа KL_2 мостът е отворен и апаратът може да се използва като индикатор за някакво друго измерване.

Положението *К* на ключа KL_2 служи за контрола дали копчето със стрелката не се е изместило, с което всички показания на апарата ще бъдат неверни. При въртене на стрелката окото трябва да показва

минимум точно, когато тя сочи I на скалата. Ако се е изместила по всякаква причина, трябва да се освободи винтчето на копчето и да се затегне в основното му положение.

Апарати за измерване на индуктивност

Апаратите за измерване на индуктивност биват главно два вида:

- 1) апарати, построени по мостовата система;
- 2) апарати, построени по системата с резонансен кръг.

Първият тип апарати се употребяват най-често за измерване на сравнително по-голяма индуктивност, а вторият — за по-малка и най-малка — от части от $мкхн$.

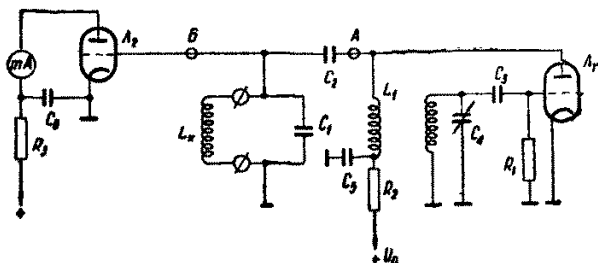
Апарати, построени по мостовата система. Както показва и наименованието им, измерването на неизвестната индуктивност става чрез мост, като същата се сравни с друга известна индуктивност със стойност от същия порядък. Мостът се захранва с променливо напрежение, което при измерване на много големи индуктивности (от няколко хенри нагоре) може да бъде с честота 500 $хц$. При измерване на индуктивност около 0,1 до 1 $хн$ се работи със звукова честота, а при измерване на малки радиобобини трябва да се работи с висока честота, която е толкова по-висока, колкото по-малка е индуктивността. Много важно е при работа с такъв мост и въобще всички мостове, при които се работи със звукови и особено с високи честоти, да се екранират всички елементи един до друг. Тази екранировка трябва да бъде по-добра с увеличение на честотата. Като индикатор тук може да послужи една телефонна слушалка, индикатор с магическо око и др.

За да се получат повече обхвати, необходимо е да се разполага с повече нормални индуктивности L_n . Всяка нормална индуктивност трябва да се използва за измерване на неизвестни индуктивности между 0,1 L_n и 10 L_n , понеже при по-големи разлики между L_x и L_n изравняването на моста става много трудно, поради което и резултатите са много неточни.

Практическото изпълнение на моста наподобява много моста с око за измерване на съпротивления и кондензатори, само че честотата на захранване на моста е по-висока и целият мост както и елементите му са добре екранирани. На мястото на нормалните кондензатори и съпротивления се свързват нормалните бобини. Има и такива конструкции, които обединяват измерването и на трите вида величини (R_x , C_x и L_x).

Апарати, построени по системата на резонансен кръг. Този вид апарати за измерване на малки и най-малки индуктивности са много разпространени. На фиг. 7-13 е показано принципното устройство на един такъв апарат. Неизвестната индуктивност L_x се свързва паралелно с известен постоянен кондензатор C_1 , като по този начин те образуват трептящ кръг. Последният се свързва капацитивно или индуктивно с осцилатор за висока честота, който е вграден в апарата. На фиг. 7-13 $вч$ напрежение се подава в точка A . Стойността на кондензатора C_1 и обхватът на осцилатора се избират така, че да могат да се измерят всички необходими в практиката малки индуктивности от 1 $мкхн$ до

0,1 хл. Практически това става, като със съответен ключ се превключват различни бобини L_1 . Щом като с помощта на променливия кондензатор C_4 осцилаторът се нагласи да трепти на честота, равна на резонансната на кръга L_x-C_1 , получава се резонанс на тока и при лампата L_2 протича съответно по-силен ток, вследствие на което стрелката на милиампермера mA се отклонява до максимална стойност. Стръмността на резонансната крива и величината на анодния ток зависят от качествата на бобината. Ето защо по отклоненията на стрелката може при по-голяма опитност да се съди и за качествата на измерваните бобини.



Фиг 7-13

За да бъде удобен за работа така описаният апарат, скалата на променливия му кондензатор е разграфена напрово в стойностите на индуктивностите L_x при точно определен кондензатор C_1 , който се намира в апарата.

При работа с апарата трябва да се внимава да не попадне на хармоничната честота на трептящия кръг L_x-C_1 , понеже в такъв случай ще има пак отклонение на милиампермера, макар и по-малко, което би могло да ни заблуди. Ето защо, за да се убедим, че измерването е точно, трябва да се провери по всички обхвати дали има на друго място резонанс с по-голямо отклонение на милиампермера. При наличността на повече отклонения търсената стойност е там, където има максимално отклонение на стрелката на милиампермера.

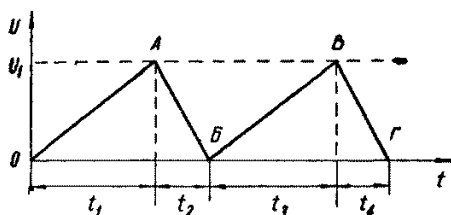
Осцилографи

Осцилографите са универсални апарати, с които могат да се извършват най-разнообразни измервания и изследвания. Те се използват за наблюдение, измерване и евентуално фотографиране на всички бързо протичащи процеси при постоянния и променливия ток.

Основната съставна част на осцилографите е катодната тръба, принципното устройство и действие на която е разгледано в гл. III, т. 13.

Генератори за падащо напрежение. Задачата им е да произведат напрежение с формата на фиг. 7-14. Напрежението нараства от нула за времето t_1 до максималната си стойност U_1 , след което бързо пада до нула, но вече за много по-късото време t_2 , и след това пак нараства до U_1 за времето t_3 , пак бързо пада до нула за времето t_4 и т. н. Поради този свой характер напрежението се нарича *падащо*, откъдето произлиза и името на генератора. Един генератор за падащо напрежение е толкова по-качествен, колкото времената t_2 , t_4 и т. н. са по-къси в сравнение с t_1 , t_3 и т. н.

При осцилографите за разтягане на лъча се използва само секторът $O-A$ от кривата, докато секторът $A-B$ се използва за връщане на лъча в началното му положение за повтаряне на същия процес. Лъчът се движи при връщането си в началното положение с такава



Фиг. 7-14

бързина на екрана, че оставя само много слаби, практически незабележими следи по него.

В практиката падащите напрежения се наричат *трионообразни*, тъй като те наподобяват зъбите на трион.

Генераторите за падащо напрежение могат да бъдат електронни лампи, с газов триод или глимлампа. Най-висока честота на па-

дащото напрежение може да се получи с електронни лампи, а най-ниска — с глимлампа. Първият тип позволяват да се получат напрежения с честота до $0,5 \text{ мгхц}$, а по специални схеми — и до 5 мгхц . От честотата на падащото напрежение зависи най-високата честота, чиито трептения могат да се наблюдават добре на екрана на катодната тръба. Обикновено тази честота е $10-20$ пъти по-висока от честотата на падащото напрежение.

Синхронизация на честотата на падащото напрежение. За да се получи неподвижен образ на екрана на тръбата, необходимо е честотата на падащото напрежение да е равна или цяло число пъти по-малка от честотата на изследваното променливо напрежение. Ако честотите на двете напрежения не отговарят на това условие, изображението на екрана почва да се движи по него, като не може добре да се наблюдава. Бързината на това движение зависи от разликата в двете честоти. Това непрекъснато движение на образа по екрана на тръбата е, разбира се, нежелателно. Генераторите за падащо напрежение имат недостатък, че не притежават голяма устойчивост на честотата на падащото напрежение.

Отстраняването на този недостатък на електронните осцилографи става чрез така наречената синхронизация. Това става, като се синхронизира генераторът за падащото напрежение с честотата на изследваното променливо напрежение или с честотата на източник на каквото и да е външно стабилно променливо напрежение. Синхронизацията на честотата на генераторите за падащо напрежение се постига, като във входа на генератора се подаде част от изследваното напрежение или някакво външно синхронизиращо напрежение със стабилна честота, напр. определено напрежение от мрежата с честота 50 хц . Величината на синхронизиращото напрежение може да се регулира с един потенциометър.

Чрез синхронизацията и в зависимост от честотата на падащото напрежение може да се получат стоящи един или повече периоди от изследваното напрежение. Когато честотата на изследваното променливо напрежение е равна на тази на падащото, на екрана се получава изображение на една амплитуда на трептението. Ако честотата на пада-

щото напрежение е два пъти по-малка, получават се две амплитуди на измерваното напрежение, при три пъти по-малка честота — три амплитуди и т. н., практически 10—20 амплитуди в зависимост от диаметъра на екрана.

Както казахме, освен синхронизация вътре в самия осцилограф може да се синхронизира и с едно външно подходящо напрежение, даже с 50 *хц* от мрежата. За целта осцилографите имат по две букси за външната синхронизация и един ключ за изключване на собствената такава.

Усилватели. В радиотехниката се работи най-често с ниски и много ниски променливи напрежения, които не биха предизвикали никакво или много малко отклонение на електронния лъч при определена чувствителност на катодната тръба. Ето защо измерваните напрежения трябва да се усилят предварително до необходимата величина за достатъчно отклонение на електронния лъч. Това става с помощта на лампови усилватели, обикновено вградени в самия осцилограф. Те са един или два на брой. Когато има само един усилвател, той усилюва напрежението, преди да се даде на вертикалните плочки. При два усилвателя единият се използва за усиляване във вертикална, а другият — в хоризонтална посока. Усилвателите са с едно или повече стъпала (лампи) в зависимост от това, каква е чувствителността на съответните отклонителни плочки и с какви напрежения има да се работи. Те се строят с обикновени радиолампи, като връзката между отделните стъпала е почти винаги съпротивително-капацитивна. На тези усилватели се поставят много високи изисквания, тъй като от тяхното качество зависи най-много достоверността на изображението върху екрана на тръбата. Те трябва да усилят напреженията без никакви изкривявания и да имат максимален обхват на усиляването честоти, като не предизвикват никакви амплитуди, фазови или честотни изкривявания.

Вредният собствен капацитет на входа на усилвателя трябва да е намален до минимум. Входното им съпротивление е обикновено около 0,5—1 *мгом*. Те са снабдени евентуално с отрицателна обратна връзка за избягване на амплитудни изкривявания при различните честоти.

Коефициентът на усиляване на едностъпалните усилватели при малките осцилографи е обикновено 40—100 пъти, а обхватът на усиляването честоти без особени амплитудни изкривявания — от 10—20 *хц* до 150—200 *кхц*. При по-големи осцилографи има специални широко-лентови усилватели с обхват на равномерно усиляване от 5 *хц* до около 2 *мгхц*, а в особени случаи — и повече.

Токозахранваща част. Захранването на лампите на усилвателя и генератора за падащо напрежение, както и на катодната тръба, става с токоизправители, подобни на тези при радиоапаратите. При най-малките осцилографи захранването с постоянен ток става с общ токоизправител, докато при средните и големите има по два токоизправителя — единият за захранване на катодната тръба, а другият за захранване на усилвателите и генератора за падащото напрежение. За захранване на анода за ускорението на електронния лъч са необходими доста високи напрежения, които често надвишават 1000 *в*. Тъй като на самия ускоряващ анод попадат сравнително малки електрони, той

не тегли голям ток от токоизправителя. Осцилографните тръби се захранват с няколко милиампера (1—5), като е достатъчно еднопътно изправяне.

Нормалните анодни напрежения са 500—800—1000—1200—1500 *v* в зависимост от употребената катодна тръба.

Захранването на останалите стъпала на осцилографа става от отделен токоизправител, който, особено за усилвателите, трябва да дава много изгладено напрежение — без бръмчене. Това се постига чрез двупътното изправяне и много добър филтраж след това. Намотката на трансформатора на анода на високоволтовия токоизправител е продължение от едната анодна намотка на двупътния токоизправител. Обикновено при осцилографите се заземява положителният полюс на високоволтовия изправител.

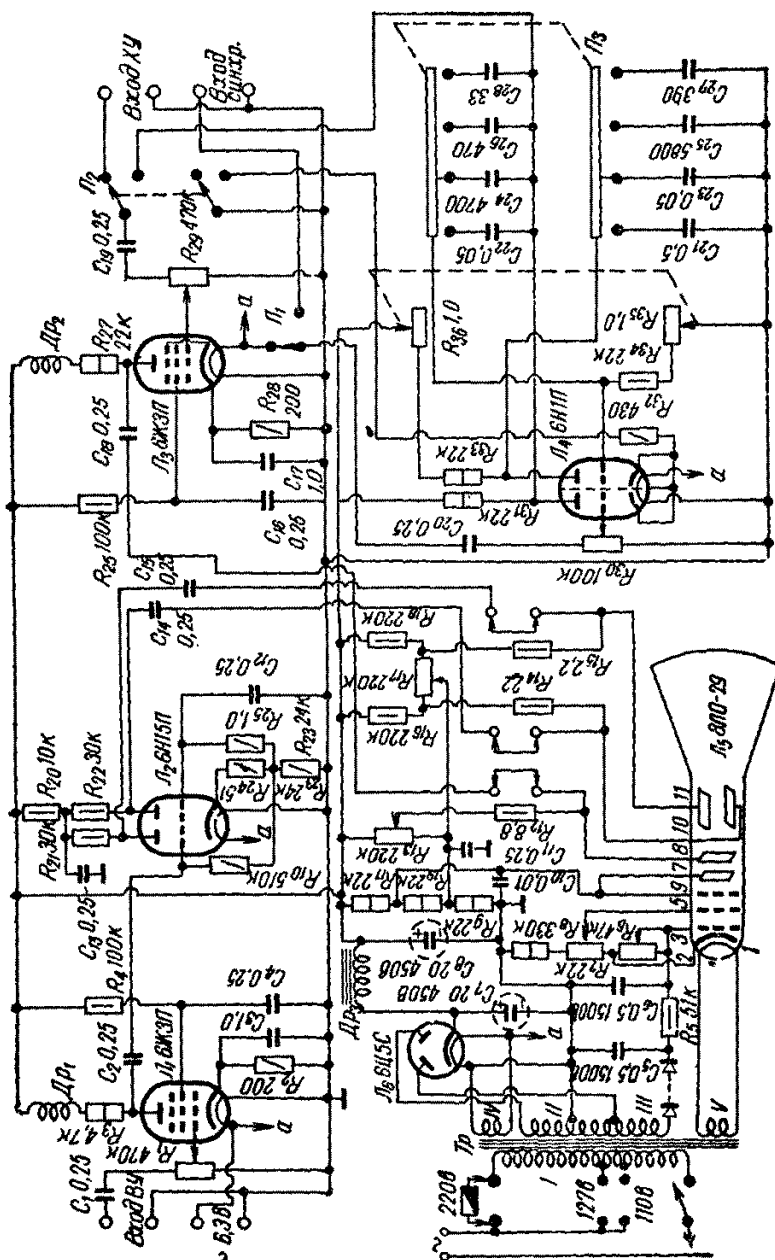
Както се каза по-горе, обикновено вторият (ускоряващ) анод на катодната тръба се заземява, а другите електроди на тръбата се правят отрицателни по отношение на „земя“. Ниският потенциал на отклоняващите плочки, относително „земя“ предпазва от появяването на високо напрежение на входните букси на осцилографа при подаване на изследваното напрежение направо на самите отклонителни плочки.

Пълна схема на осцилограф. На фиг. 7-15 е дадена схемата на малък любителски осцилограф с катодната тръба 8ЛО-29 с диаметър на екрана 80 *мм*. Освен това той съдържа още и следните лампи: L_1 (6ЖЗП) и L_2 (6Н15П) като усилвател във вертикална посока, L_3 (6ЖЗП) като усилвател в хоризонтална посока и L_4 (6Н1П) като генератор за падащо напрежение.

Ламповият генератор за падащо напрежение е свързан като несиметричен мултивибратор (L_4). Падащото напрежение се взема от анода на левия триод на лампата L_4 и през превключвателя P_2 и разделителния кондензатор C_{19} се подава на първата решетка на лампата L_3 . Синхронизиращото напрежение, което може да се регулира с помощта на потенциометъра R_{30} , се подава на решетката на същия триод на лампата L_4 . Синхронизацията на честотата на мултивибратора се осъществява или външно, или с честота 50 *хц* от мрежата. Във втория случай синхронизиращото напрежение 6,3 *v* се взема от намотката *IV* на мрежовия трансформатор *Tr*. Видът на синхронизацията се определя от положението на превключвателя P_1 .

Честотата на падащото напрежение може да се мени от 10 *хц* до 100 *кхц*. С помощта на превключвателя P_3 тя може да се изменя грубо в следните обхвати: 10—100 *хц*; 100 *хц* — 1 *кхц*; 1—10 *кхц*; 10—100 *кхц*. Финото регулиране на честотата в рамките на всеки обхват се прави с помощта на двойния потенциометър R_{35} — R_{36} (на една обща ос).

Усилвателят в хоризонтална посока, който усилва и падащото напрежение, е изпълнен с лампата L_3 . Високочестотният дросел Dp_2 изравнява честотната характеристика на усилвателя към по-високите честоти. В обхвата от 50 *хц* до около 600 *кхц* характеристиката е почти права линия. При около 1 *мгхц* усилването пада около два пъти. Входният кондензатор на хоризонталния усилвател е 30 *нф*.



Фиг. 7-15

Употребената в този осцилограф катодна тръба изисква симетричен изход на усилвателя във вертикална посока. Поради това този усилвател е двустъпален. Първото стъпало е изпълнено с лампата L_1 , като схемата е аналогична на тази от усилвателя в хоризонтална посока (L_3) с тази разлика, че анодното товарно съпротивление R_3 е само 4,7 ком. По този начин се разширява лентата на пропусканите честоти. Полученото в анода на лампата усилено изследвано напрежение се подава на решетката на фазоинверсното (фазообръщащото) стъпало, изпълнено с двойния диод L_2 . Коефициентът на усиляване на усилвателя във вертикална посока се регулира с помощта на потенциометъра R_1 , свързан към входните букси на усилвателя. Неравномерността на честотната характеристика е само 10% в обхвата от 50 хц до 600 кхц. Входният капацитет на усилвателя във вертикална посока е 25 пф.

Входното съпротивление и на двата усилвателя е 470 ком.

Общата консумация на осцилографа от мрежата е 50 вт. И двата токоизправителя (нисковолтовият и високоволтовият) имат общ мрежов трансформатор. Нисковолтовият токоизправител е изпълнен с лампата L_6 (6Ц5С). Високоволтовият токоизправител е изпълнен с полупроводниково (селеново) стълбче.

Вълномери

Както знаем, вълномерите биват хетеродинни и резонансни. Резонансните от своя страна се делят на *абсорбционни и гриддипмери*.

Хетеродинните вълномери се състоят от *вч* генератор с плавна настройка, детектор или смесител и индикатор. В детектора се получава биене (смесване) между честотата от *вч* генератора на вълномера и измерваната висока честота, като по този начин се получава една ниска честота, равна на разликата от двете смесвани високи честоти. Понякога получената ниска честота се усилява допълнително и тогава се подава на индикатора, който може да бъде телефонна слушалка. Когато двете високи честоти са равни, полученото при смесването им напрежение е равно на нула и в слушалката не се чува тон.

Като абсорбционен резонансен вълномер може да се използва и всеки *вч* трептящ кръг. За индикатор на резонанса служи магнитоелектрически милиампермер с изправител, скална лампа или неонов лампа (глимлампа), свързана последователно в трептящия кръг. При резонанс с честотата на някакъв *вч* резонансен кръг се получава максимален ток във *вч* трептящ кръг на вълномера, което се вижда от задействието на индикатора.

Резонансният вълномер от типа гриддип представлява един настройващ се *вч* трептящ кръг, свързан към някаква радиолампа (осцилатор). Измерваният трептящ кръг се приближава до настроенния резонансен кръг на вълномера и му въздейства (отнема енергия от него) вследствие на което спада решетъчният ток на лампата, отчитан на специален уред във вълномера.

От всички видове вълномери най-голямо приложение в радиолобителската практика намират гриддипмерите, защото имат много просто

устройство и дават възможност за определяне на резонансната честота на *вч* трептящи кръгове в покой.

Измервателният апарат гриддипмер е малък лампов осцилатор, чийто решетъчен ток се измерва от един чувствителен уред от магнитеоелектрическата система. Ако осцилаторът произвежда *вч* трептения, уредът показва някаква стойност на решетъчния ток на лампата. Ако бобината на гриддипа, която е монтирана извън кутията му, се приближи до някакъв настроен *вч* трептящ кръг и се изменя честотата на гриддипа, на едно място на скалата му се явява силно изразено намаление на решетъчния ток на неговата осцилаторна лампа. На това място честотата на гриддипа е равна на собствената честота на измервания трептящ кръг. Стрелката на уреда, свързан в решетъчната верига на лампата, в такъв случай се отклонява по-малко, тъй като измерваният *вч* кръг при резонанс отнема енергия от гриддипа и решетъчният ток намалява. Ценното при този начин на измерване е, че не е необходимо радиоапаратурата, в която е свързан измерваният *вч* трептящ кръг, да бъде в действие. По този начин измерването може да се проведе и когато измерваните *вч* трептящи кръгове са в покой.

Гриддипмерите имат сравнително малък брой елементи, малки са по размери и са много удобни за работа. Затова те намират много голямо приложение в радиолюбителската практика. Те са обикновено еднолампови осцилатори със самовъзбуждане. Както казахме, измененията на решетъчния ток на лампата се следят по стрелков измервателен уред. В редица случаи обаче стрелковият уред се заменя с оптичен индикатор на настройката (магическо око). По този начин гриддипът става още по-прост по устройство. Скалите им се разграфяват в килохерци и мегахерци. С тях може да се определя резонансната честота на *вч* трептящи кръгове от около 300 *кхц* до около 300 *мгхц*. За покриване на този голям обхват са необходими голям брой сменяеми бобини (около 10). За тази цел на кутията на апарата има 2 или 3 (според схемата) букси за включване на съответните бобини, които са снабдени със стойка с крачета — щекери.

За по-точно измерване е необходимо индуктивната връзка между измервания *вч* кръг и гриддипа да е възможно най-слаба, т. е. бобината на гриддипа не трябва да се приближава много до бобината на измервания *вч* кръг.

Често пъти гриддипмерите се правят с възможност за изключване на собствения им осцилатор. По този начин гриддипът се превръща в абсорбционен резонансен вълномер със съответния на гриддипа индикатор (милиампермер или око). При някои схеми се предвижда и възможност за *нч* модулиране на *вч* напрежение на гриддипа.

С помощта на гриддипмерите могат да се настройват обикновени, късовълнови и ултракъсовълнови предаватели и приемници, да се определят честотата и мястото на възникването на паразитни (нежелателни) самовъзбуждания в радиоапаратурите. Апаратът може да се направи по-универсален, ако се предвиди в него и възможност за модулация на *вч* напрежение на осцилатора.

В края на книгата е дадена схема за изработване на гриддипмер.

ПОЛУПРОВОДНИКОВИ ДИОДИ И ТРАНЗИСТОРИ

1. ПРИНЦИП НА ДЕЙСТВИЕ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВИТЕ ПРИБОРИ

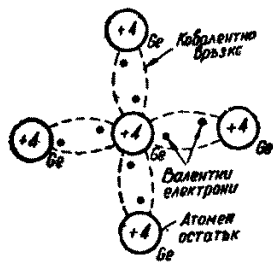
Полупроводниците са вещества с междинни свойства. Техните валентни електрони (вж. гл. I, т. Iа) са по-слабо свързани към ядрото, отколкото тези на изолаторите, но много по-силно в сравнение с валентните електрони на проводниците. Така например германият има 10^9 пъти по-добра проводимост от стъклото и 10^8 по-лоша в сравнение с медта.

Към групата на полупроводниците спадат елементите от четвърта група на Менделеевата таблица германий и силиций, които имат по четири валентни електрона.

Структура на полупроводниковия кристал и неговите свойства

Дълго време германият е бил смятан за метал. Това се е дължало на примесите, които съдържа той, и трудността да бъдат извлечени те от него. Действителните полупроводникови свойства на германия и силиция се забелязват, когато тези елементи се намират в идеално чисто състояние.

В един кристал германий, чиято структура е показана на фиг. 8-1, атомите са свързани помежду си в кристална решетка. Всеки атом посредством всеки един от своите *валентни електрони* се свързва с четири съседни атома в т. нар. *ковалентна връзка*. Всеки атом образува четири ковалентни връзки.



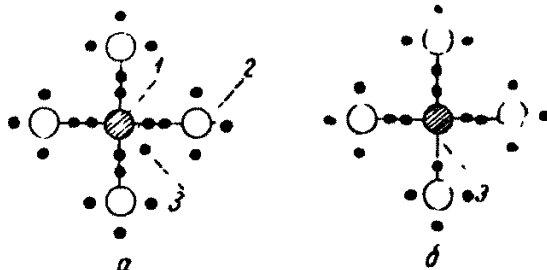
Фиг. 8-1

Ковалентната връзка между атомите при отсъствието на външни условия е устойчива. При известни условия обаче може да настъпи разрушаване на тази връзка. С разрушаването на една ковалентна връзка се получава свободен електрон, което означава повишаване на проводимостта. В чистия полупроводник проводимост може да се създаде посредством предаване на енергия отвън, която да разкъса ковалентната връзка на някои атоми и да образува свободни електрони.

Тази енергия може да бъде топлинна, светлинна и др. Проводимостта, създадена по този начин, се нарича *собствена проводимост* на полу-

проводника. С увеличаване на внесената енергия (при повишение на температурата) проводимостта нараства. При металите се наблюдава точно обратното — с повишаване на температурата проводимостта на метала намалява.

Най-важна роля за практическото използване на полупроводниците обаче играе *примесната проводимост*. Примесна проводимост се създава чрез вкарване в чистия полупроводник (германий или силиций) на известно количество примеси. Като примеси се използват елементи от трета и пета валенция (от трета и пета



Фиг. 8-2

група на Менделеевата таблица). При вкарване в идеално чистия полупроводник, прим германий (фиг. 8-2, а), на примеси от петвалентен елемент (антимон), всеки атом от примесния елемент (1) ще замести по един атом германий. Четири от електроните на примесния атом се свързват в ковалентни връзки с по един електрон от четири съседни атома германий (2). Петият електрон на валентния слой (3) на примеса остава свободен и е носител на електрически заряд. Примеси, чиито атоми имат по 5-валентни електрона, се наричат *донатори*. Германий с донаторни примеси се нарича германий тип „*n*“ („negative“), тъй като проводимостта му се обуславя от носителите на отрицателни електрически заряди — електроните. За донаторите се използват елементите антимон, арсен, фосфор, бисмут.

Ако атомите на примеса са от III валенция, т. е. имат по три валентни електрона, при заместване на един германиев атом (фиг. 8-2, б) с такъв на примеса (1) трите валентни електрона на примеса се свързват в ковалентни връзки с три електрона на съседни атоми германий (2). Една ковалентна връзка остава незапълнена. Тя се проявява като носител на положителен електрически заряд и образно носи название „*дупка*“ (3). Примеси с 3-валентни електрони на атома се наричат *акцептори*. Германий, който съдържа такива примеси, се нарича германий тип „*p*“ („positive“), тъй като неговата проводимост се определя от преобладаващите дупки.

Тривалентни елементи, използвани за примеси, са: алуминий, бор, галий, индий.

Примесната проводимост се получава с много по-малка енергия в сравнение със собствената. За разкъсване на една ковалентна връзка е необходима 0,7 електронволта енергия, а за получаване на свободен електрон при донаторен примес трябва 0,01 електронволта, т. е. 70 пъти по-малко.

Количеството на примесните атоми играе много важна роля при използването на полупроводниците. За практически цели на 100 милиона атома германий не трябва да се пада повече от 1 атом примес.

Собствената проводимост на идеалния полупроводник се характеризира с образуването на двойката електрон—дупка. Дупката се е създадена на мястото на откъсналия се електрон от ковалентната връзка. Броят на образуваните се по този начин собствени електрони и дупки е еднакъв. Под действието на външна енергия електрон от запълнена ковалентна връзка може да прескочи в някоя незапълнена връзка от съседен атом. На старото място на този електрон възниква дупка. Тя също може да бъде запълнена с друг електрон. Процесът е хаотичен. Той е свойствен за носителите на заряда — електрони и дупки, и характеризира тяхното движение в кристала. Под въздействието на външно електрическо поле движението се ориентира — електроните започват да се движат към положителния полюс на полето, а дупките — към отрицателния. Общият ток, който се получава в случая, се явява сума от електронния и дупчестия ток.

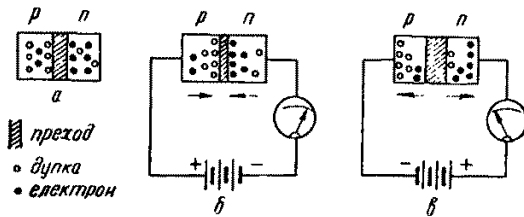
Особеност на носителите на електрически заряд в полупроводниците представлява също способността им да дифузират и рекомбинират.

При дифузията електроните и дупките в своето хаотично движение проникват от място с по-голяма плътност на зарядите към място с по-малка такава.

При рекомбинацията се прекратява съществуването на един свободен електрон и една дупка. През време на движението си в обема на полупроводника електронът и дупката като носители на противоположни електрически заряди могат да се свържат в ковалентна връзка и взаимно да се неутрализират.

Електронно-дупчест преход. Работа на диода

Основна роля в процесите, извършващи се в диодите и транзисторите, играят електронно-дупчестите преходи. Преход е мястото, в което област с p проводимост граничи с област с n проводимост (фиг. 8-3, *a*).

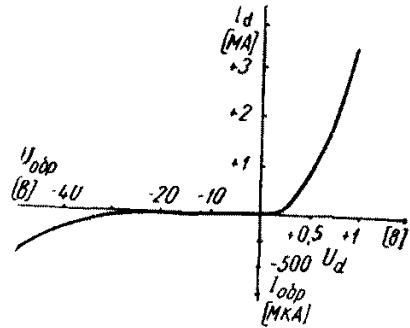


Фиг. 8-3

Свободните електрони, които съществуват в n област, дифузират в p област, а дупките — от p в n област. Близко до границите на допиране се създава слой, беден на свободни носители на електрически ток. Електрическото съпротивление, което противодейства на

преминаването на свободните носители на електрически заряди от обемите на двата типа полупроводник, се увеличава. Този, обеднял на носители слой, се нарича запиращ. Ако в двата края на слоя се подаде напрежение с поляритет, показан на фиг. 8-3, *б* (плюс на p областта, минус на n областта), запиращият слой намалява своята ширина, а с

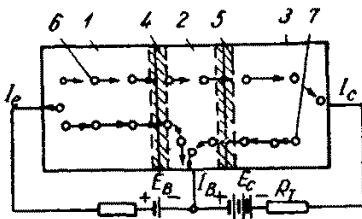
това и съпротивлението си. Преминалите дупки от p в n област се придвижват към отрицателния полюс на батерията. Електроните преминават в обратна посока. Означеното на фиг. 8-3, б включване на поляритета е в права посока. В тази посока става пропускане на електрическият ток. Една смяна на поляритета на батерията (фиг. 8-3, в) разширява запиращия слой и увеличава многократно съпротивлението на прехода. Протичането на ток през прехода практически се прекратява — имаме включване в обратна посока. На фиг. 8-4 е показана волтамперната характеристика на прехода, когато към него се приложи постоянно напрежение. Кривата, надясно от ординатната ос, съответствува на преход, включен в права посока. Наляво е означена характеристиката при обратно включване на прехода. От фигурата се вижда, че характеристиката има ясно изразени изправителни свойства. Тя е доста подобна на характеристиката на ламповия диод. Полупроводниковият диод всъщност представлява полупроводник, в който е създаден електронно-дупчест преход. Волтамперната характеристика на прехода представлява и волтамперната характеристика на диода.



Фиг. 8-4

Принцип на действие на транзистора

Полупроводниковият триод основава своето действие на съвместната работа на два електронно-дупчести прехода. Тези преходи се образуват с помощта на проводников кристал с последователно редуване на области с различна проводимост. В зависимост от редуването на областите съществуват транзистори от тип $p-n-p$ и от тип $n-p-n$ според съответния тип проводимост на редуващата област. Схемата на триод $p-n-p$ тип е показана на фиг. 8-5. Левият електрод се нарича емитер (1), а средният електрод (n тип) — база (2). Между двата прехода се образува $p-n$ преход — емитерен преход (4). Десният електрод, изготвен от материал p тип — колектор (3). Електроннодупчестият преход между този електрод и базата е колекторният преход (5). Емитерният преход се включва винаги в права посока, а колекторният — в обратна.



Фиг. 8-5

Приложеното към емитерния $p-n$ преход право напрежение способствува за преминаването на дупки (б) от емитера в базата, където в

непосредствена близост до емитерния преход се създава висока концентрация на дупки. Под влияние на разликата в концентрациите на дупки от приемитерната и приколлекторната област на базата дупките започват да дифузират към колектора. На колекторния $p-n$ преход е приложено напрежение, което спира основните носители на тока в базата — електроните, но способствува за преминаването в колектора на дупки, които се явяват в базата неосновни носители. По такъв начин всичките дупки, дошли до колекторния преход, ще бъдат изтеглени в колектора от полето, съществуващо върху този преход.

При дифузията си в базата от емитера към колектора известна малка част от дупките рекомбинират. Вследствие рекомбинацията колекторният ток I_c се явява винаги по-малък от емитерния I_e . Разликата между двата тока $I_e - I_c$ представлява базисният ток I_b .

При съвременните триоди базисният ток е от 0,3 до 10% от емитерния. Обикновено променливотоковият сигнал се подава между база и емитер. Напрежението на този сигнал е няколко десетки милivolта, но поради високочестотния емитерен преход предизвиква значителни изменения на емитерния ток.

В колекторната верига се включва товарно съпротивление R_T . Тъй като колекторният преход е високоомен, стойността на това съпротивление е сравнително голяма.

Усилването по ток на транзистора представлява отношението на изходния колекторен ток към входния. Ако за общ електрод приемем базата, то входен ток се явява емитерният. В случая коефициентът на усилване по ток ще бъде

$$\alpha = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_e}.$$

Колекторният ток е винаги по-малък от емитерния. От това следва че коефициентът на усилване по ток в този случай ще бъде по-малък от единица. Той се движи от 0,90 до 0,997.

Когато за общ електрод се използва емитерът, коефициента на усилване по ток ще намерим от равенството

$$\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}.$$

Базисният ток е многократно по-малък от колекторния. Поради това коефициентът на усилване по ток в този случай ще бъде значително по-голям. Обикновено стойността му се движи от 10 до 200.

Съществува следната връзка между коефициентите на усилване по ток α и β :

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \text{ и } \alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}.$$

Графически тази връзка е показана на фиг. 8-6. При производството и подбора на някои от транзисторите с цветна точка се означава коефициентът на усилване по ток. Международното значение на всеки цвят е показано на същата фигура.

2. ТИПОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВИ ПРИБОРИ

По своята конструкция и основни електрически качества полупроводниковите прибори (диоди и транзистори) се разделят на два основни типа: *точкови и плоскостни*.

Различните електрически свойства на приборите от двата типа се дължат на различните начини на изготвянето и конструкцията на преходния слой.

Точкови диоди

На фиг. 8-8 е показано принципно устройство на точков диод. Заостреният край на тънък проводник (2) има плътен контакт с повърхността на пластинка от германий *n* тип (1). След монтажа на диода за кратко време през контакта между острието и пластинката се пропуска силен електрически ток. Под действието на топлината, която се образува в този кратък период от време, част от електроните се откъсват от атомите на германия, намиращи се близо до точковия контакт. На съответните места се образуват дупки. В резултат на това неговият обем от германий *n* тип в непосредствена близост до контакта се превръща в германий *p* тип.

Точковите диоди са намерили особено голямо приложение във височестотната и импулсната техника. Използват се на честоти до няколкостотин мегахерца.

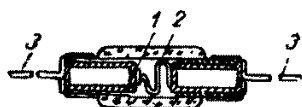
Произведените в България точкови диоди имат означения SFD 105, SFD 106, SFD 112 и др.

Подобно на точковия диод е конструиран и точковият транзистор. Той представлява точков диод с допълнителен точков контакт. Поради редица недостатъци точковият транзистор вече не се произвежда и употребява.

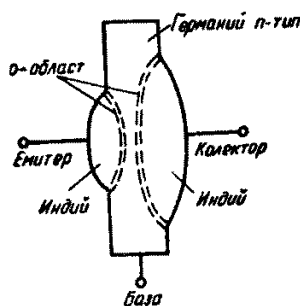
Плоскостни диоди и транзистори

Най-масовият метод за изготвяне на изправителни диоди и нискочестотни транзистори се състои във вплавяване на примесен елемент върху тънка пластинка от монокристален германий *n* или *p* тип. При диодите вплавяването се извършва от едната страна, а при транзисторите — от двете страни на плочката. Например за изготвяне на един нискочестотен транзистор *p-n-p* тип от двете страни на пластинка от монокристален германий *n* тип се поставят по две парченца индий. При нагряване в

пещ индий се разтапя и бавно разтваря част от германия. В процеса на охлаждане германият рекристализира от разтвора на индия. От двете



Фиг. 8-8



Фиг. 8-9

страни на пластинката от германий с n проводимост се получават две области германий с p проводимост (фиг. 8-9). Получените по този начин прибори са със голяма повърхност на преходите. Това позволява през тях да преминават значително по-големи токове.

Поради значителния капацитет на прехода плоскостните диоди обикновено се използват като изправители. За различни типове диоди изправеният ток се движи от 0,1 до няколкостотин ампера. Произведените у нас изправителни (плоскостни) диоди имат следните данни (виж и т. 3 от тази глава):

Таблица 8-1

Наименование	Макс. изправен ток (a)	Макс. обр. напрежение (φ)	Обратен ток (ma)
SFR 105	10	100	15
SFR 106	10	50	15

Видове транзистори¹

По своя начин на изготвяне и предназначение транзисторите се делят на нискочестотни и високочестотни. Същите тези типове в зависимост от мощността, която могат да разсейват, биват маломощни, средномощни и мощни.

Маломощни транзистори

Нискочестотни. Предназначени са предимно за усилване на слаби сигнали в обхвата на звуковите честоти. Изготвянето им става по гореописания начин. Полученият кристал се поставя в стъклена или метална капачка (обикновено цилиндрична). Изводите им са от мек и гъвкав проводник.

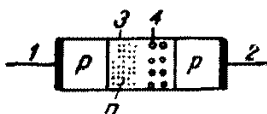
Максималният колекторен ток на маломощните транзистори е 100—200 ma , максималното колекторно напрежение е 20—25 в, а максималната разсеяна мощност — до 200 мвт.

Към маломощните нискочестотни транзистори спадат и българските транзистори SFT 351, SFT 352, SFT 353, SFT 321, SFT 322 и SFT 323.

Високочестотни. Максималната честота на работа на транзисторите зависи от времето на преминаване на носителите на заряда (дупки или електрони) през базата. Това време на преминаване се обуславя от дебелината на базисния слой и скоростта на движение на носителите. Във връзка с това пътищата за повишаване на максималната честота на работа на транзисторите са: а) получаване на транзистори с по-малка дебелина на базата; б) увеличение скоростта на движение на носителите на заряда през базисния слой; в) намаление на колекторния капацитет.

¹ По-нататък в изложението думата плоскостни няма да се употребява. Под названието транзистор ще се разбира само плоскостен транзистор.

Маломощните нискочестотни транзистори имат дебелина на базисния слой, не по-малка от 30—40 $\mu\text{к}$. Посредством грижлива технологическа обработка базисният им слой може да бъде намален на 15—20 $\mu\text{к}$. При тези транзистори не може да се получи по-голяма гранична честота от 10—15 мгхц . Такива са и българските транзистори SFT 306, SFT 307, SFT 308.



Фиг. 8-10

Транзистори, при които като средство за повишаване на максималната честота е използвано увеличението на скоростта на движение на носителите на зарядите, представляват *дрейфовите (дифузионните) транзистори*. Тези

транзистори се наричат дрейфови по принципа на действието си, а дифузионни — по метода на получаване на $p-n$ преходите.

За база при дрейфовия транзистор се използва пластинка германий с дебелина около 50 $\mu\text{к}$. Тази пластинка (фиг. 8-10) се състои от един слой с проводимост тип n в дебелина около 10 $\mu\text{к}$ и с малко специфично съпротивление (3). Останалата част от пластинката германий е практически без примеси и има високо специфично съпротивление (4). Колекторът (2) се вплавява откъм безпримесния слой, а емитерът (1) — от противоположната страна. Наличието на слоя с високо специфично съпротивление намалява капацитета база—колектор. При работа на транзистора дупките, инжектирани от емитера в n слоя, преминават през него, както и в обикновения плоскостен транзистор, по пътя на дифузията. Във втория безпримесен слой (в дрейфовата област), където няма или има съвсем малко носители на заряди, дупките ускоряват своето движение към колектора под въздействието на електрическото поле. Благодарение на това дрейфовият транзистор може да работи на високи честоти, достигащи до няколко десетки и стотици мегахерца. На този принцип работят повечето високочестотни транзистори, каквито са и българските SFT 317, SFT 319, съветските П401, П402 и др.

Мощни транзистори

Начинът на изготвяне на *мощните нискочестотни транзистори* по принцип не се различава от този на маломощните. При работа от тези транзистори се отделя значителна мощност (топлина), която в някои случаи може да достигне и до 100 вата. При това кристалът не трябва да се загрява над определена температура. Това изискване определя конструкцията на мощния транзистор. За да се отвежда лесно топлината, в повечето случаи колекторната област се монтира непосредствено на външната капачка. Самите транзистори се монтират плътно на монтажното шаси. Мога да им се поставят и допълнителни охлаждащи ребра. Изводите на мощните транзистори обикновено са твърди.

Транзистори, които при околна температура 25° С имат максимална разсеяна мощност между 0,2 и 1 вт , спадат към *средномощните*. Такива са и произведените у нас транзистори SFT 124, SFT 125, SFT 131.

Транзистори с разсеяна мощност над 1 *вт*, също при околна температура 25° С, спадат към мощните, каквито са и българските транзистори SFT 212, SFT 213, SFT 214. На всички горепосочени типове колекторът е свързан електрически с външната им обвивка.

Към мощните високочестотни транзистори спадат т. нар. мезатранзистори

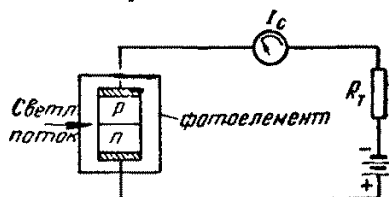
Полупроводникови фотоелементи

Проводимостта на полупроводниковия кристал силно зависи от светлинното облъчване. Установено е, че един квант светлина при дължина на вълната, по-къса от 1,6 *мк*, създава в германия една двойка електрон—дупка. Това свойство се оказва полезно за направата на полупроводниковите фотоелементи.

Полупроводниковите фотодиоди биват точкови и плоскостни. Принципно те имат същото устройство както обикновените диоди.

При тях фоточувствителна област се явява непосредствено *p—n* преходът. Токът през диода се променя под действието на светлината. Схемата на включване на плоскостен диод е показана на фиг. 8-11. Такъв диод има най-голяма чувствителност в областта на инфрачервените лъчи.

При германиевите плоскостни фототранзистори управляваният от светлината сигнал същевременно се и усилива. Светлинният поток облъчва базисния слой, който е без извод. Чувствителността на фототранзисторите е много по-голяма от тази на фотодиодите и достига 1 *а/лومن*.



Фиг. 8-11

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРИ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВИТЕ ДИОДИ И ТРАНЗИСТОРИ

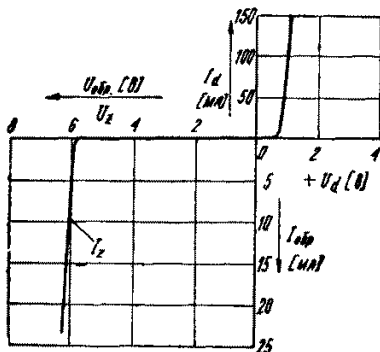
Характеристики на полупроводниковите диоди

Волтамперната характеристика на полупроводниковите диоди се определя от свойствата на електронно-дупчестия преход. Типична характеристика на полупроводников диод е показана на фиг. 8-4. При прилагане на постоянно напрежение на изводите на диоди в права посока през диода протича ток $+I_a$. С увеличение на прилаганото напрежение $+U_a$ се увеличава и пропусканият ток.

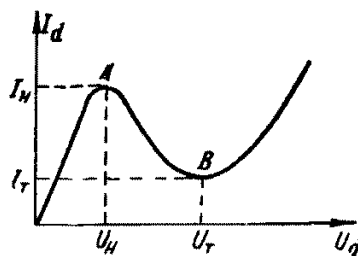
Началото на характеристиката в областта на ниските напрежения има криволинейен характер. С увеличение на напрежението характеристиката става праволинейна.

За различни типове диоди токът в права насока $+I_a$ при едно и също приложено напрежение $+U_a$, примерно $+1$ *в* е различен. Това е характерна величина на диода.

В обратна посока на включване характеристиката на диода се различава коренно. При подаване на обратно напрежение (плюс на n слой и минус на p слой) през диода остава да тече т. нар. обратен ток. За точковите диоди този ток е от порядъка на микроампери. За мощните изправителни диоди обратният ток може да стигне десетки милиампера. В определени граници този ток не зависи силно от приложеното обратно напрежение. Едно значително увеличение на обратното напрежение



Фиг. 8-12



Фиг. 8-13

довежда до постепенно, а след това до рязко увеличение на обратния ток. При по-нататъшното увеличение на обратния ток настъпва лавинен пробив на диода.

Характерна особеност на волтамперната характеристика в областта на обратните напрежения има при силициевите диоди — *стабилизатори на напрежение (цено-диодите)*. През обратно напрежение U_z , точно определено за даден тип диод, характеристиката променя рязко посоката си — става почти успоредна на оста на тока (фиг. 8-12). Съпротивлението на диода в тази област на характеристиката рязко намалява. Тази особеност на характеристиката на ценовите диоди в областа U_z се използва за стабилизиране на напрежение.

Полупроводникови диоди с много особена волтамперна характеристика са *тунелните диоди*. За разлика от всички останали диоди тунелните притежават в характеристиката си област с отрицателно съпротивление — участъка AB от фиг. 8-13. Тази особеност на тунелните диоди се дължи на *тунелния ефект*, който се наблюдава при много тънки запиращи $p-n$ преходи. При такива преходи се получава извънредно силна напрегнатост на полето, благодарение на което някои електрони преминават през прехода, въпреки че според законите на класическата механика няма възможност за това. Видът на характеристиката на тунелния диод му позволява той да се използва като генератор и усилвател.

Основни схеми на свързване на транзисторите

Когато транзисторът се свързва в радиотехническите устройства, единият от изводите му се явява входен, другият — изходен, а третият — общ спрямо входната и изходната верига. Като общ може да се използва всеки един от трите електрода. Това позволява да се осъществят три основни схеми на свързване на транзистора — схема с общ емитер, схема с обща база и схема с общ колектор (фиг. 8-14).

Схема с общ емитер. Тази схема намира най-широко приложение в практиката. Тя е аналогична на схемата на ламповия триод със заземен катод (фиг. 8-14, а). При тази схема има едновременно усилване на сигнала по ток и по напрежение.

Коефициентът на усилване по ток на усилвател, включен по схема с общ емитер, е средно 40—50, по напрежение — 50—60, а по мощност — 2000—3000 пъти. Входното съпротивление на усилвателната схема с общ емитер е 1—2 *ком*, а изходното — 40—100 *ком*.

Схема с обща база. Тя е аналогична на ламповата схема на триод със заземена решетка (фиг. 8-14, б). Товарът е включен между колектора и базата. Входящ ток е емитерният.

Коефициентът на усилване по ток при тази схема е винаги по-малък от единица. Коефициентът на усилване по напрежение е приблизително както този при схема с общ емитер. Усилването по мощност е около β пъти по-малко, отколкото при първата схема.

В сравнение със схемата с общ емитер входното съпротивление на тази схема намалява приблизително β пъти — става 50—100 *ом*, а изходното нараства съответно толкова пъти (1—2 *мгом*).

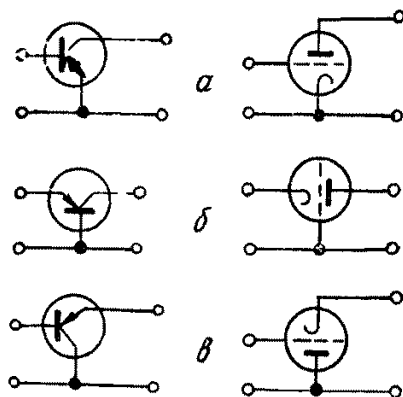
Напрежението на входния и изходния сигнал при схема с обща база за разлика от схемата с общ емитер се намират във фаза.

Схема с общ колектор. При тази схема източникът на входния сигнал е включен между базата и колектора. Схемата е аналогична на ламповата схема със заземен анод — катоден повторител (фиг. 8-14 в).

Коефициентът на усилване по ток на тази схема е приблизително същият както при схемата с общ емитер. Коефициентът на усилване по напрежение е винаги по-малък от единица. Коефициентът на усилване по мощност е по-малък в сравнение с другите две основни схеми.

Характерно за схемата с общ колектор е високото входно съпротивление (100—200 *ком*) и ниското изходно — от 1 до 10—15 *ком*. Благодарение на това схемата с общ колектор се използва за съгласуване на стъпала с високи изходни и ниски входни съпротивления.

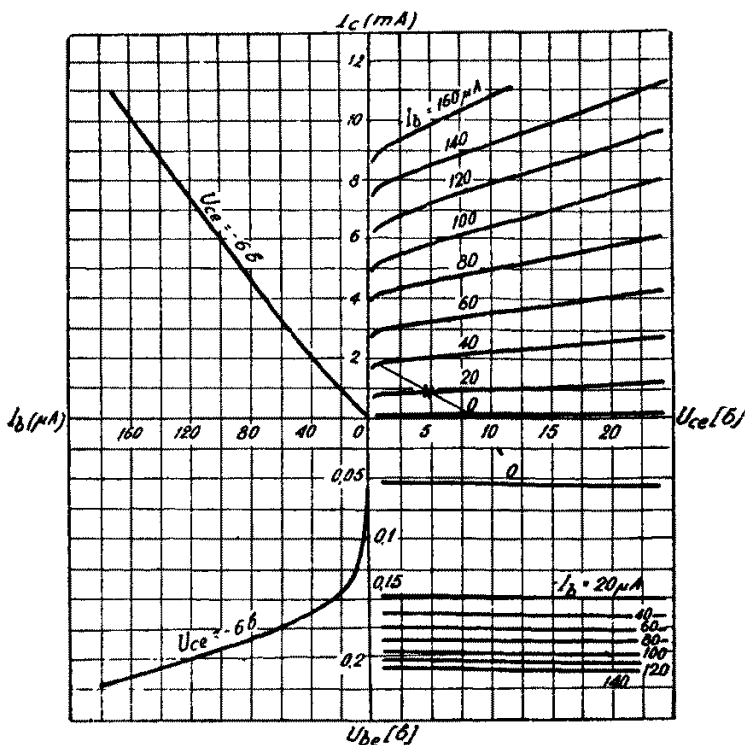
Входното и изходното напрежение на усилвателя съвпадат по фаза.



Фиг. 8-14

Графични статични характеристики на транзисторите

Между напреженията и токовете на отделните електроди на транзистора съществуват определени зависимости. Тези зависимости се виждат от статичните графични характеристики. Най-удобни за използване



Фиг. 8-15

и най-точни са характеристиките, получени при схема на свързване с общ емитер. Такива са характеристиките на фиг. 8-15 за транзистора SFT 352. Като параметри при снемането на характеристиките са избрани базисният ток и напрежението колектор—емитер.

Колекторните (изходните) характеристики на транзистора са изобразени в горния десен квадрант. Отделните линии са почти успоредни помежду си и съвсем слабо наклонени спрямо абсцисната ос. Това говори за едно сравнително високо изходно съпротивление:

$$R_{изх} = \frac{\Delta U_{ce}}{\Delta I_c}$$

Характеристиката на право предаване (зависимостта на колекторния ток от базисния ток) е изобразена наляво от колекторната харак-

теристика. Дадена е зависимостта само за една стойност на колекторното напрежение, тъй като промените на това напрежение слабо влияят на характеристиката.

От тази характеристика може да се пресметне коефициентът на усилване по ток:

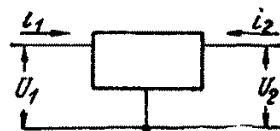
$$\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$$

Входната характеристика (зависимостта на базисния ток от напрежението U_{be}) е изобразена в долния ляв квадрант. Поради слабата зависимост на тази характеристика от колекторното напрежение е изобразена също само една характеристика. От характеристиката може да се отчете, че входното съпротивление на транзистора е нискоомно. С увеличение на базисния ток това съпротивление намалява.

От последното семейство *характеристики на обратна връзка* се вижда, че влиянието на колекторното напрежение върху базисното е малко.

Параметри на транзистора

В полупроводниковата техника много удобно се явява разглеждането на транзистора във вид на четириполюсник. Това позволява свойствата и качествата на кристалния триод да се охарактеризират посредством токовете и напреженията, които съществуват на неговите външни изводи и които са взаимно свързани. В случая транзисторът може да се разглежда като един линеен активен четириполюсник (фиг. 8-16). Поведението на тази схема може да се определи напълно със зависимостта между входните и изходните токове и напрежения. Уравненията на четириполюсника се получават, като се приемат за независими променливи две от величините и спрямо тях се вземе изменението на останалите величини.



Фиг. 8-16

Според избора на независимите променливи различаваме 6 вида системи уравнения и съответно 6 вида параметри на транзистора. За практически цели обаче се използват само три от тях, а именно Z , Y и H параметрите.

Уравненията на четириполюсника и физическото значение на параметрите са показани в таблица 8-2.

Параметрите Z се получават, когато за независими променливи се изберат токовете. Коефициентите пред токовете имат измерванията на съпротивления. Z параметрите се определят при работа на входа или изхода на транзистора на празен вход.

Ако независими променливи са входното и изходното напрежения, се получава системата Y параметри.

Множителите, стоящи пред съответните напрежения при тази система, имат измерение на проводимост. Тези множители — Y параметрите, се определят при работа на входа или изхода на транзистора

Система параметри	Уравнение	Физическо значение на параметрите
Z	$u_1 = Z_{11} \cdot i_1 + Z_{12} \cdot i_2$ $u_2 = Z_{21} \cdot i_1 + Z_{22} \cdot i_2$	$Z_{11} = \frac{u_1}{i_1}$ при $i_2 = 0$ — входно съпротивление при отворен изход $Z_{12} = \frac{u_1}{i_2}$ при $i_1 = 0$ — съпротивление на обратно предаване при отворен ход $Z_{21} = \frac{u_2}{i_1}$ при $i_2 = 0$ — съпротивление на право предаване при отворен вход $Z_{22} = \frac{u_2}{i_2}$ при $i_1 = 0$ — изходно съпротивление при отворен вход
Y	$i_1 = Y_{11} \cdot u_1 + Y_{12} \cdot u_2$ $i_2 = Y_{21} \cdot u_1 + Y_{22} \cdot u_2$	$Y_{11} = \frac{i_1}{u_1}$ при $u_2 = 0$ — входна проводимост при изход на късо $Y_{12} = \frac{i_1}{u_2}$ при $u_1 = 0$ — проводимост на обратно предаване при вход на късо $Y_{21} = \frac{i_2}{u_1}$ при $u_2 = 0$ — проводимост на право предаване (стръмност на транзистора) $Y_{22} = \frac{i_2}{u_2}$ при $u_1 = 0$ — изходна проводимост при вход на късо
H	$u_1 = H_{11} \cdot i_1 + H_{12} \cdot u_2$ $i_2 = H_{21} \cdot i_1 + H_{22} \cdot u_2$	$H_{11} = \frac{u_1}{i_1}$ при $u_2 = 0$ — входно съпротивление при изход на късо $H_{12} = \frac{u_1}{u_2}$ при $i_1 = 0$ — коефициент на обратно предаване при отворен вход $H_{21} = \frac{i_2}{i_1}$ при $u_2 = 0$ — коефициент на усилване по ток при изход на късо $H_{22} = \frac{i_2}{u_2}$ при $i_1 = 0$ — изходна проводимост при отворен вход

в режим на късо съединение. Стойността на отделните Y параметри зависи от честотата и режима, в който работи транзисторът.

При разглеждането на нискочестотните схеми голямо приложение са намерили H параметрите.

При тях за независими променливи се избират изходното напрежение $U_{\text{изх}}$ и входният ток $I_{\text{вх}}$.

Едни от H параметрите имат измерение на съпротивления, други на проводимост, а трети са без измерение, поради което тези параметри се наричат още смесени.

За трите основни схеми на свързване H параметрите имат различни стойности, които обаче се намират във взаимна връзка.

Изразени спрямо схема с общ емитер, някои H параметри при схема с обща база са $H_{11b} = \frac{H_{11e}}{1+H_{21e}}$; $H_{22b} = \frac{H_{22e}}{1+H_{21e}}$; $H_{21b} = \frac{H_{21e}}{1+H_{21e}}$.

H параметрите при схема с общ колектор по стойност не се отличават много от тези при схема с общ емитер.

Параметрите H се определят за даден режим и дадена честота, тъй като стойностите им зависят от режима на работа на транзистора.

Допълнителни характеристики на транзисторите

Параметрите на активния четириполюсник не обхващат някои специфични характеристики на транзистора, които се явяват типични и твърде важни за него. Такива характеристики са:

Обратният ток на транзистора; граничната честота; коефициентът на шума и др.

Обратният ток I_{cb0} характеризира колекторния преход и температурната зависимост на колекторния ток. Измерва се при отворена емитерна верига и при определено колекторно напрежение U_{cb} . За маломощните германиеви триоди този ток е от порядъка на микроампери, за мощните — от порядъка на милиампери. На силициевите триоди обратният ток може да бъде и части от микроампера.

Началният ток I_{ce0} се измерва между емитер и колектор при отворена база ($I_b=0$) и при определено напрежение U_{ce} . При подадено нормално напрежение той зависи, както и обратният колекторен ток I_{cb0} , много силно от температурата. За маломощните германиеви триоди стойността на този ток може да се движи от 20 микроампера до 500—600 микроампера.

За гранична честота на усилване на транзистора f_α при схема с обща база се приема тази, при която коефициентът на усилване по ток α намалява своята стойност с 3 дБ спрямо стойността си при честота 1000 херца (0,7 пъти от стойността на α при 1000 хц).

Граничната честота на транзистора при схема с общ емитер f_β е значително по-ниска от тази при схемата с обща база. Връзката между двете честоти е приблизително следната:

$$f_\beta = \frac{f_\alpha}{1+\beta}.$$

В някои случаи се работи и с граничната честота f_1 . Това е честотата, при която коефициентът на усилване по ток β става единица.

Коефициентът на шума на транзистора се определя като отношение на общата мощност на шума на изхода на транзистора (собствен

Данни за някои

Наименование	Употреба	Работни		
		обратен ток I_{CO} (мкА)	коэф. на усилв. β	гран. честота f_a (мгц)
SFT 321 SFT 322 SFT 323	Маломощни <i>нч</i> стъпала. В противотактни схеми до 0,5 <i>вт</i> $P_{изх.}$	15 15 15	32 50 85	1,3 1,6 2,6
SFT 351 SFT 352 SFT 353	<i>Нч</i> предусилвателни стъпала	15 15 15	30 50 80	1,2 1,6 2,4
SFT 124 SFT 125 SFT 130 SFT 131	Средномощни усил. <i>нч</i> стъпала. Противотактни схеми — до 2 <i>вт</i> $P_{изх.}$	20 20 20 20	50 120 50 120	1 2 1 2
SFT 212 SFT 213 SFT 214	Мощни крайни стъпала и импулсни схеми	1000 1000 1000	40 40 40	0,2 0,2 0,2
SFT 306 SFT 307 SFT 308 SFT 317 SFT 319	Високофреkwентни стъпала	10 10 10 15 15	28 40 70 100 50	3 7 13 $f_1=40$ $f_1=30$

Максимаанo допустими			Външен вид
колект. напр. U_{ce} (в)	колект. ток I_c (мА)	разс. мощност P_D (мвт)	
24 24 24	250 250 250	0,2 0,2 0,2	
24 24 24	150 150 150	0,2 0,2 0,2	
24 24 24 24	500 500 500 500	0,25 0,35 0,55 0,55	
30 40 60	3000 3000 3000	30 30 30	
18 18 18 20 20	100 100 100 10 10	0,15 0,15 0,15 0,15 0,15	

шум плюс шумът, постъпващ от входа) спрямо мощността, подавана на входа на транзистора от генератор на шум. Този коефициент зависи от типа на транзистора, честотата, на която работи и постояннотоковият режим. Българските нискофреkwотни транзистори, предназначени за безшумни предусилвателни стъпала SFT 351, SFT 352, SFT 353, имат коефициент на шум под 8 db. Обикновено подобен нисък коефициент на шум се получава при работа с ниско колекторно напрежение и малък колекторен ток.

Максимално допустими характеристики

Важна роля за правилната работа на транзистора играят *максималните му характеристики* — максимални напрежения, токове и мощности.

Превишаването на максималното напрежение между колектора и базения електрод довежда до пробив на колекторния преход. При схема с общ емитер стойността на колекторното напрежение U_{ce} зависи от омическото съпротивление, включено между база и емитер. С нарастване на това съпротивление допустимото напрежение U_{ce} се намалява. Напрежението U_{ce} има най-голяма стойност, когато съпротивлението R_{be} е нискоомно.

От стойността на напрежението U_{bc} , което се подава на входа на транзистора, зависи големината на колекторния ток, който също не трябва да превишава определени граници.

Увеличаването на колекторния ток I_c при определено колекторно напрежение над допустимите граници предизвиква превишаване на допустимата разсеяна мощност на колектора. Това предизвиква загряване на транзистора и евентуалната му повреда.

Транзисторите могат да работят до една определена максимална температура на кристала. За германиевите транзистори тази температура е 80—90° С, за силициевите — 150°. Температурата на кристала на транзистора зависи от околната температура, при която работи устройството — $T_{ок}$, от мощността, която се отделя в транзистора през време на работата — P_o , и от т. нар. термично съпротивление R_t . Това съпротивление зависи от конструкцията на транзистора и показва с колко градуса се повишава температурата на кристала спрямо околната температура при отделянето на един ват или миливат мощност в транзистора. Връзката между трите величини е следната:

$$P_o = \frac{T_{кр} - T_{ок}}{R_t}$$

Тъй като допустимата работна температура на кристала е постоянна, то с повишаване на околната температура разсейваната, а оттам и полезната мощност, която може да се получи от транзистора, намаляват.

В таблица 8-3 са дадени някои работни и максимално допустими характеристики на български германиеви транзистори.

4. ОСНОВНИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИ СХЕМИ С ТРАНЗИСТОРИ

Съображения за избор на работна точка

Избирането на режима на работа на транзистора зависи от изискванията, поставени пред стъпалото. Независимо от основната схема на свързване, както и при електронните лампи, режимът може да бъде клас А, АВ, В или С. При еднотактно стъпало за линейна работа се избира режим клас А. Изборът на работната точка на усилвателя, работещ в този режим, зависи преди всичко от амплитудата на усиливания сигнал. Работната точка трябва да бъде избрана така, че при максимален сигнал мигновените значения на колекторното напрежение или ток да не падат до нула или пък да преминават в нелинейна област. Други съображения, влияещи на избора на работната точка, могат да бъдат изисквания за минимално ниво на шумовете (което зависи от големината на захранващите напрежения и токове) и постоянството на параметрите. Последните могат да се влошат при големи колекторни напрежения и висока температура. Работната точка се избира така, че да не се превишават максимално допустимите ток, напрежение и разсейваната на колектора мощност.

Нека например използваме транзистора SFT 352 в схема на усилвател на напрежение. Характеристиките на транзистора са показани на фиг. 8-15. Избираме работна точка $I_c = 1$ ма и $U_{ce} = 5$ в. В такъв случай при захранващо напрежение $E_0 = 9$ в товарното съпротивление ще има стойност:

$$R_m = \frac{E_0 - U_{ce}}{I_c} = \frac{9 - 5}{1 \cdot 10^{-3}} = 4000 \text{ ом.}$$

Работната точка е избрана в средата на товарната права. Необходимият базисен ток за дадената работна точка е 20 мка.

Начини за установяване на режима

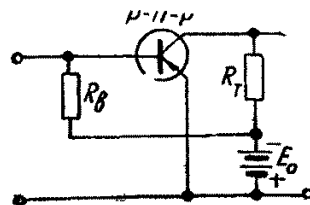
Режим на фиксиран поляризиращ ток. Установяването на избраната върху характеристиките на транзистора работна точка може да се осъществи по няколко начина.

Точното положение на работната точка се фиксира посредством създаването на определена базисен (поляризиращ) ток I_b , който зависи от стойността на съпротивлението R_b , включено между захранващия източник и базисния извод, както е показано на фиг. 8-17

$$R_b = \frac{E_0}{I_b} = \frac{E_0}{I_c} \cdot \beta.$$

За примера, посочен на фиг. 8-15,

$$R_b = \frac{9}{20 \cdot 10^{-6}} = 450 \text{ ком.}$$



Фиг. 8-17

Тъй като стойността на съпротивлението R_b зависи от коефициента на усилване по ток β при смяна на транзистора с друг β , работната точка ще промени своето положение — ще се установи друг режим на работа.

Силната зависимост на положението на работната точка от параметрите на транзистора е недостатък на схемата с фиксирано определяне на режима.

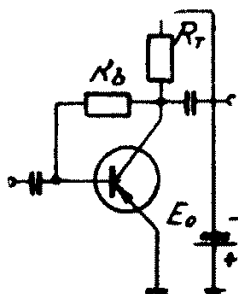
Автоматично регулиране на режима. Влиянието на разликата в характеристиките върху положението на работната точка се намалява посредством схемата за автоматичното регулиране на поляризиращия ток (фиг. 8-18). Съпротивлението R_b в случая се включва между базата и колектора и стойността му се определя от израза

$$R_b = \frac{U_c}{I_b} = \frac{U_c}{I_c} \beta.$$

За примера при

$$U_{ce} = 5 \text{ в}; \quad I_b = 20 \text{ мка};$$

$$R_b = \frac{5}{20 \cdot 10^{-6}} = 250 \text{ ком.}$$



Фиг. 8-18

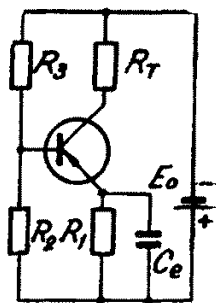
Ако напрежението на колектора нарасне, базисният ток също нараства. Увеличението на базисния ток предизвиква увеличение на колекторния ток. Напрежителният пад върху товарното съпротивление се увеличава и колекторното напрежение намалява. При намаление на колекторното напрежение се извършва регулиране в обратна посока. Посредством съпротивлението R_b се получава известна отрицателна обратна връзка, която намалява усилването на стъпалото.

Схемата на автоматичното регулиране на режима е ефикасна само при високоомно товарно съпротивление.

Температурно стабилизирани схеми

Основен фактор, който действа отрицателно върху стабилността на работната точка на транзисторите, е температурата. При схемата, показана на фиг. 8-17, с повишение на температурата колекторният ток започва да нараства. Това е един от основните недостатъци на схемата. При схемата с автоматично регулиране на режима, при високоомно R_m , този недостатък до известна степен е избягнат.

Най-стабилна в температурно отношение се оказва схемата от фиг. 8-19. За маломощни стъпала при подходящо подбиране на стойностите на елементите (съпротивленията R_1 , R_2 , R_3) колекторният ток може да остане постоянен в един широк температурен интервал. В зависимост



Фиг. 8-19

от предназначението на схемата съпротивлението R_1 се избира така, че при дадения колекторен ток I_c върху него да се получи падение на напрежението, равно на 0,05 до 0,5 от захранващото напрежение E_0 :

$$I_c \cdot R_1 = (0,05 \div 0,5) \cdot E_0.$$

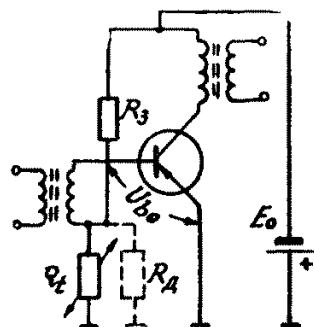
Съпротивленията R_2 и R_3 се определят от изразите:

$$R_3 = \frac{E_0(S-1)}{I_c - I_{cb0}};$$

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R_3 \cdot (S-1)}{R_3 \cdot S - (S-1)(R_1 + R_3)}.$$

Коефициентът на нестабилност S обикновено се избира от 2 до 8. Колкото по-малка стойност има той, толкова стабилността на схемата е по-добра. Включеният паралелно на съпротивление R_1 кондензатор C_c премахва отрицателната обратна връзка по променлив ток. В схемата на нискочестотни усилватели този кондензатор има стойност от 10 до 100 $\mu\text{кф}$, а във височестотните — обикновено е 50 000 пф . В схемата са употребени обикновени въглеродни съпротивления.

В мощните крайни стъпала за термостабилизирание на колекторния ток най-често се употребява схема с термистори (фиг. 8-20). Термисторът представлява термочувствително съпротивление. С повишаване на температурата стойността на съпротивлението му намалява и обратно. Термисторът се поставя на мястото на съпротивление R_2 от фиг. 8-19. С повишаване на температурата падението на напрежението върху термистора намалява. С това се намалява и преднапрежението U_{bc} на транзистора и колекторният ток остава неизменен. Паралелно на термистора може да се свърже и едно допълнително съпротивление R_d . С негова помощ се съгласува по-добре изменението на съпротивлението на термистора от температурата с необходимото изменение на базисното преднапрежение.



Фиг. 8-20

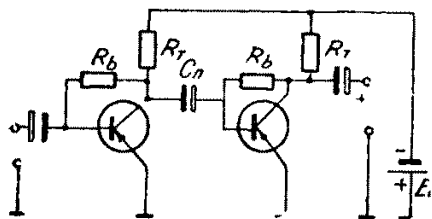
Нискочестотни усилвателни схеми

В нискочестотните усилватели транзисторът замества лампата във всички усилвателни стъпала (включително и в мощните с изходна мощност 100—150 вт).

Нискочестотните усилватели с транзистори по своето предназначение и устройство се разделят на маломощни усилватели на напрежение и усилватели на мощност.

Маломощните усилватели на напрежение се правят с активен товар или с трансформатор, служещ за товарно съпротивление и съгласуване.

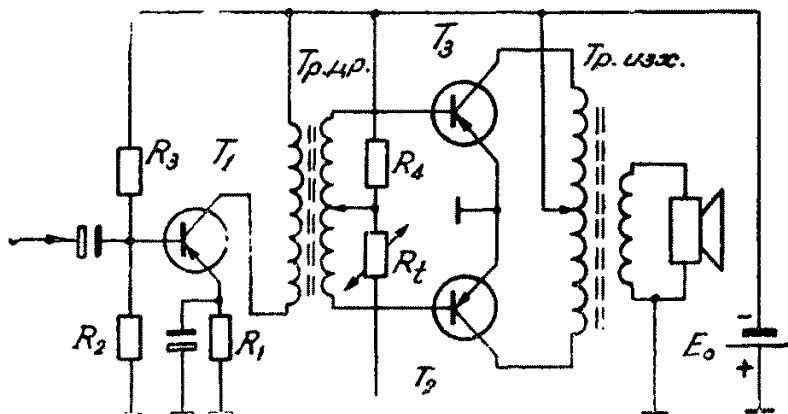
Стъпалото с RC връзка (фиг. 8-21) обикновено се използва в пред-усилвателните стъпала. Тъй като товарното му съпротивление е шунтирано по променлив ток с нискоомното входно съпротивление на следващия транзистор, усилването на това стъпало по напрежение не е голямо — 10—20 пъти. Съгласуване на товарите със следващото стъпало не се осъществява.



Фиг. 8-21

Нискоомното входно съпротивление на транзисторите оказва голямо влияние върху избора на прехвърлящия кондензатор C_n . За да не се получи голямо „изрязване“ на ниските честоти, прехвърлящите кондензатори се избират с голям капацитет: 5—10 $\mu\text{кф}$. Обикновено за целта се използват нисковоолтови електролитни кондензатори.

Усилвателят с трансформаторна връзка може да се използва като драйверно стъпало за захранване на противотактно крайно стъпало (фиг. 8-22). Тогава трансформаторът му се конструира така, че да създава две равни напрежения с противоположни фази, които се подават във входовете на двата крайни транзистора. Посредством трансформаторната връзка се постига и известно съгласуване на по-високото

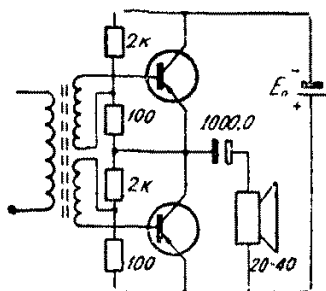


Фиг. 8-22

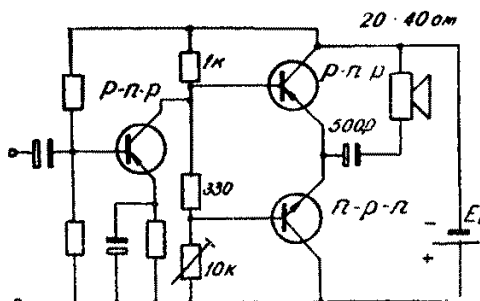
изходно съпротивление на драйверовия транзистор с ниското входно съпротивление на следващия транзистор. Това спомага за постигането на голямо усилване по напрежение.

Двутактните схеми на крайни стъпала с транзистори намират много по-голямо приложение в сравнение с ламповите. Това важи особено за усилватели с батерийно захранване, където е необходимо стъпалото да

има висок к. п. д. Най-често се употребява противотактно стъпало, подобно на класическата лампова схема, с изходен и драйверен трансформатор (фиг. 8-22). В зависимост от необходимата изходяща мощност и съпротивление на звуковата бобинка (шпулката) на високоговорителя



Фиг. 8-23



Фиг. 8-24

рителя се избира подходящо преводно отношение на намотките на изходния трансформатор. Захранващото напрежение на схемата E_0 не трябва да бъде по-голямо от половината от максималното колекторно напрежение на транзисторите. Параметрите на двата транзистора не трябва да се различават повече от 30%.

При по-високоомен високоговорител (20—40 ом) може да се употреби двутактната схема от фиг. 8-23. Както се вижда, тук е избягнат изходният трансформатор, а високоговорителят е свързан в общата точка на двата транзистора посредством електролитен кондензатор. Драйверният трансформатор има две отделни вторични намотки.

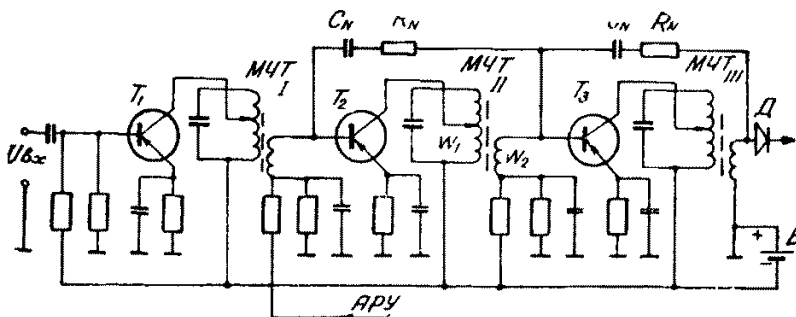
Напълно безтрансформаторна противотактна схема е показана на фиг. 8-24. В случая в крайното стъпало са включени един $p-n-p$ и един $n-p-n$ транзистори. Възбуждането става непосредствено от предния транзистор. Високоговорителят е същият, както при фиг. 8-23.

Малки нелинейни изкривявания в едно противотактно стъпало, работещо в клас В, в какъвто клас работят всички гореописани схеми, се получават, когато на двата транзистора се създаде малък начален колекторен ток. Този ток се създава от напрежителния делител R_1, R_4 от фиг. 8-22 и подобния делител от фиг. 8-23. Условието за еднаквост на параметрите на транзисторите важи в още по-голяма степен при безтрансформаторните усилватели.

Високочестотни усилвателни схеми

В схемите на високочестотните усилватели намират приложение специалните високочестотни транзистори. Обикновено те се използват в схема с общ емитер, при която се получава значително по-голямо усилване. В случай на много високи честоти се употребява и схема с обща база.

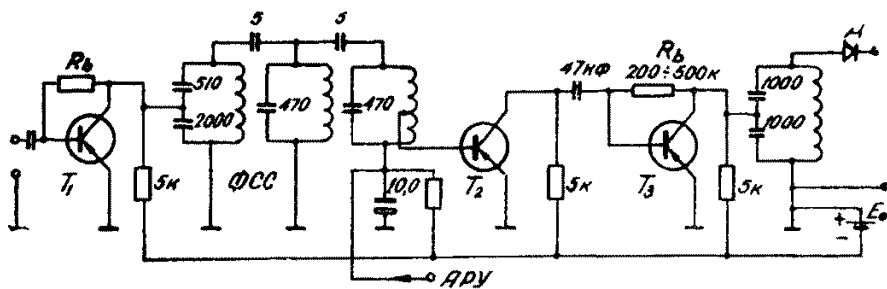
Характерни високочестотни усилватели са лентовите, използвани особено широко в радиоприемниците. При показания на фиг. 8-25 лентов усилвател в колекторната верига на всеки от транзисторите има включен в. ч. трептящ кръг, настроен на междинна честота. Връзката



Фиг. 8-25

със следващото стъпало е трансформаторна, с което се осъществява добро съгласуване и максимално усилване на входния сигнал. Елементите C_N и R_N служат за неутрализиране на вътрешната обратна връзка на транзистора и за стабилизиране работата на усилвателя. Режимът на стъпалата е температурно стабилизиран.

Освен тази т. нар. *схема с разпределена селективност* се използва и *схема със съсредоточена селективност* (фиг. 8-26). Селектив-



Фиг. 8-26

ността от нея се получава чрез сложния капацитивно свързан резонансен филтър, включен след първия транзистор. Усилването по напрежение се постига от следващите стъпала, едното от които е с RC връзка. Поради нискоомните товарни съпротивления влиянието на вътрешната обратна връзка се намалява и неутрализация не се прилага. Това е едно голямо удобство за масовото производство.

Транзисторни генератори на синусоидални трептения

Генераторите на синусоидални трептения се разделят на два типа: *генератори с обратна връзка* и *генератори с отрицателно съпротивление*.

В схемите на генератори с обратна връзка се използват плоскостни транзистори. В схемите на генератори с отрицателно съпротивление се употребяват тунелни диоди.

Най-широко разпространение са получили генераторите с транзистори.

За честоти, по-ниски от граничната честота на усилване на транзистора, се използва схемата с общ емитер. Когато честотата на генериране е близка или по-висока от граничната честота на усилване на транзистора, се употребява схемата с обща база.

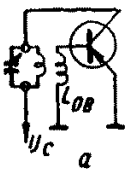
Схеми на генератори

Схема с индуктивна обратна връзка (схема на Майснер). Генератор по схема на Майснер е показан на фиг. 8-27 (*a* — схема с общ емитер и *б* — схема с обща база). Трептящият кръг и при двете схеми е включен в колекторната верига.

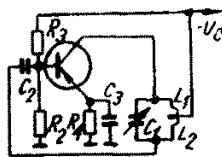
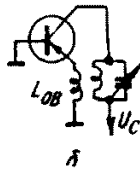
Бобината на обратната връзка в зависимост от схемата на включване на транзистора се свързва към базата или емитера.

Триточкова индуктивна схема (схема на Хартлей). Тази схема е показана на фиг. 8-28. Транзисторът работи в схема с общ емитер. Веригата на обратната връзка посредством капацитета C_3 е свързана към базата. Аналогично на ламповата триточкова схема и тук се прави извод на бобината за обратна връзка. Посредством напрежителния делител в базата и емитерното съпротивление се определя работната точка.

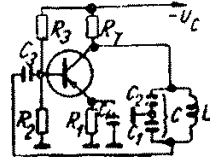
Триточкова капацитивна схема (осцилатор на Колпитц). Както се вижда от фиг. 8-29, трептящият кръг се състои от бобината L и се-



Фиг. 8-27



Фиг. 8-28



Фиг. 8-29

рично свързаните кондензатори C_1 и C_2 . Едната част от кръговия ток по веригата на обратната връзка през кондензатора C_3 се подава на базата.

Съпротивленията R_1 , R_2 , R_3 и R_E определят работната точка. При тази схема честотата на осцилатора се определя от израза

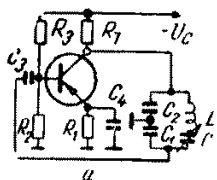
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} + \frac{1}{C_1 \cdot C_2 H_{11\beta} \cdot H_{22\beta}}}$$

където C е общият капацитет на серийно свързаните C_1 и C_2 .

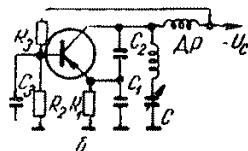
За да има осцилации, трябва да бъде изпълнено условието

$$\frac{C_2}{C_1} > \frac{H_{11b}}{H_{22b}}$$

Генератор по схема Клап. Ако осцилаторът на Колпитц се направи със серийн трептящ кръг, се получава осцилаторната схема на Клап



Фиг. 8-30



Фиг. 8-31

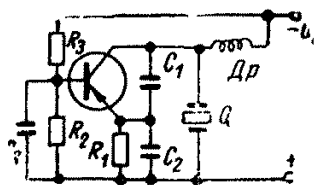
(фиг. 8-30, *a* за схема с общ емитер). Характерното за схемата е, че определящият честотата трептящ кръг зависи главно от серийно свързаните L и C . Капацитетите C_1 и C_2 (аналогично на ламповата схема) са големи в сравнение с C и са свързани паралелно с изхода на транзистора. По този начин се постига висока честотна стабилност при изменения на параметрите на транзистора вследствие температурни промени и изменение на захранващите напрежения.

Схемата на Клап при свързване с обща база е показана на фиг. 8-30, *б*.

Генератор за УКВ обхват. Осцилаторната схема на този обхват може практически да се конструира само в схема с обща база.

На фиг. 8-31 е показана принципната схема на един УКВ осцилатор в схема с обща база. Напрежението на обратната връзка се връща на емитера. За ниски честоти обратната връзка не се нуждае от обръщане на фазите на 180° , тъй като входното и изходното напрежение са във фаза. При високи честоти обаче настъпва отклонение във фазата на тези напрежения, което трябва

да се компенсира от веригата на външната обратна връзка. Компенсиращият елемент се състои от кондензатора C_R , който е свързан серийно с входното съпротивление на транзистора и паралелно свързаната с него бобина L_1 . Тази бобина се прави с изменяема индуктивност, за да могат да се изравняват различията във фазовите отклонения на стръмността при различни бройки транзистори.



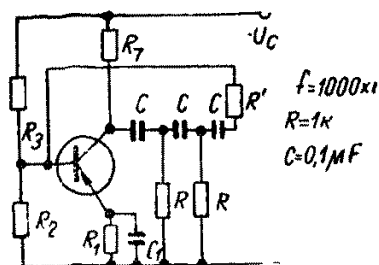
Фиг. 8-32

Кварцови осцилатори. На фиг. 8-32

е показан един кварцов осцилатор, който работи с кварц като серийн трептящ кръг. Схемата съответствува на показаната на фиг. 8-29 схема на Колпитц осцилатор. Кварцът замества колекторния трептящ кръг.

За да се постигне добра стабилност, кондензаторите C_1 и C_2 трябва да се вземат по възможност по-големи.

RC генератори. При тези генератори възбуждането се получава посредством дефазиращи RC елементи. На фиг. 8-33 е показана принципната схема на един RC генератор. Работната точка се подбира посредством елементите R_1, R_2, R_3 за работа в линейната част на характеристиката. Принципът на схемата е еднакъв с този на ламповите схеми. Стойността на RC елементите се избира така, че условието за самовъзбуждане да се изпълни само за една честота. Честотата на генериране се пресмята от формулата



Фиг. 8-33

$$f = \frac{1}{2\pi C \cdot \sqrt{6 \cdot R^2 + 4 \cdot R \cdot R_3}}$$

Правила при работа с диодите и транзисторите

Особеността на полупроводниковите прибори да не позволяват нагриване над определена температура и силната зависимост на параметрите им от тази температура изискват и специалното им разположение на монтажното шаси.

Преди всичко транзисторите не трябва да се разполагат в близост до силно топлоизлъчващи елементи — мрежови трансформатори, лампи, нагриващи се съпротивления и др.

Всички транзистори, които ще работят при по-големи мощности, се монтират върху металически шасита, които лесно отвеждат топлината. Монтажът на транзистора върху шасито трябва да се извърши така, че да осигури добра термическа връзка между транзистора и шасито.

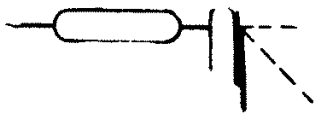
Транзисторите, на които колекторът е изведен на обвивката им, например SFT 212, се монтират със специални електроизолационни шайби, поставени между корпуса на транзистора и шасито.

За да не се получава брум в усилвателите, транзисторите не трябва да се монтират в близост до скални крушки. По същата причина не трябва да се олющва черната боя, с която са покрити стъклените транзистори.

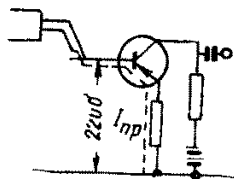
Огъването на изводите на диодите и транзисторите в мястото на присъединяването им към тялото на прибора може да скъса извода или да разпука тялото. Когато е необходимо да огънем извода в някоя посока, това трябва да правим на подходящо място, по проводника, но не и в основата му. Желателно е при това огъването да се извършва с плоски клещички (фиг. 8-34). Тъй като изводите на транзисторите са разположени много близо един до друг, при натискане или други при-

чини може да се предизвика късо съединение между тях. Поради това наложително е поне два от трите извода да бъдат облечени в разноцветни изолационни тръбички.

Спойка. За да се предпазят транзисторите от електрически претоварвания, желателно е спойката им върху шаси да се извършва при



Фиг. 8-34



Фиг. 8-35

изключени захранващи напрежения на схемата. Ако това е невъзможно и транзисторът трябва да се запои при работеща схема, то най-напред запояваме електродите във входната верига — първо базата, след това емитера и накрая — колектора.

Ако даден извод на транзистора или диода се монтира в точката, където се запояват и изводи от други елементи, и това става последователно, то задължително е изводът на полупроводниковия прибор да се запои последен. В противен случай съществува опасност от прегряване при монтажа на другите елементи.

Ако от електрическа и конструктивна гледна точка се налага транзисторът да се запои с много къси краища, се вземат мерки за изкуствено охлаждане. За тази цел запояваният извод се захваща с плоски клещички между тялото на диода или транзистора и точката на спойка. Клещите охлаждат електрода и не позволяват загряването му над допустимата температура.

Спойката трябва да се прави бързо и без излишно бавене на поялника върху нея.

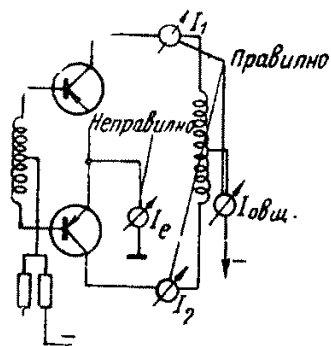
Често пъти за повреди на транзисторите при спойка може да бъде причина нередовността на електрическия поялник. Случва се кожухът или крайникът на поялника да се съедини по някакъв начин (вложена изолация и др.) посредством нагревателния проводник с една от фазите. По такъв начин между крайника на поялника и земя съществува мрежово напрежение. Ако схемата, с която работим, е заземена по някакъв начин (заземено захранване, допир с измервателни апаратури и др.), при работа с такъв неизправен поялник ще протекат токове, които могат да изкарат от строя транзистори и диоди (фиг. 8-35). Желателно е преди започване на работа да проверяваме утечното съпротивление между кожуха на поялника и мрежата. При наличие на някаква утечка при спойка трябва да изключваме поялника от мрежа и да не заземяваме по какъвто и да е начин шасито.

Особености при измерване на постояннотоковия режим на транзисторите

Режимът на включения в схемата транзистор се установява посредством измерване на напреженията между съответните му изводи и токовете, течащи през тях. Напреженията между електродите в повечето от случаите не превишават 12—15 в (има и крайни стъпала, които работят при напрежение 30—50 в). Колекторният ток се движи за маломощните усилватели на напрежение до 2—3 ма. За средно мощните усилватели той е от порядъка на няколко десетки милиампера. За мощните крайни стъпала може да бъде и амperi.

Важна роля за правилното измерване на напреженията играе вътрешното съпротивление на волтмера. Правилно измерване на постоянните напрежения на електродите на транзисторите се извършва с високоомен волтмер—с вътрешно съпротивление над 10 000 ом/в. Колекторните вериги на транзисторите са високоомни и измерването с нискоомен волтмер не е достатъчно точно.

Измерване на токовете се извършва правилно, когато милиампермерът се включи във високоомна верига—колекторната (фиг. 8-36). Включването му в нискоомна верига (емитерната) изменя режима на стъпалото вследствие влиянието на вътрешното съпротивление на уреда и затова не се допуска.



Фиг. 8-36

УКВ ТЕХНИКА

1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА УЛТРАКЪСИТЕ ВЪЛНИ

Ултракъси вълни или, както често ги бележат съкратено УКВ, се наричат радиовълните с честота над 30 мгхц (дължина на вълната под 10 м). Прието е обхватът на ултراكъсите вълни да се разделя на няколко подобхвата: метрови вълни, дециметрови вълни, сантиметрови вълни, милиметрови вълни и микровълни. Това разделяне е до голяма степен условно, тъй като не съществува рязка граница между отделните подобхвати както от гледна точка на съоръженията за предаване и приемане на тези вълни, така и от гледна точка на разпространението им в пространството. Разделянето на УКВ обхвата и честотните граници на отделните подобхвати са дадени в табл. 9-1.

Таблица 9-1

Подобхват	Дължина на вълната	Честота (мгхц)
Метрови вълни	10 м — 1 м	30—300
Дециметрови вълни	1 м — 10 см	300—3000
Сантиметрови вълни	10 см — 1 см	3000—30 000
Милиметрови вълни	1 см — 1 мм	30 000—300 000
Микрорадиовълни	1 мм — 0,3 мм	300 000—1 000 000

Най-характерният белег на ултراكъсите вълни се заключава в това, че последните представляват електромагнитни трептения с извънредно висока честота. Така например, на дължина на вълната $\lambda = 2,07$ м (средата на първия любителски УКВ обхват) съответствува честота 145 мгхц. Това означава, че електроните в проводника, по който тече ток с тази честота, за една секунда извършват 145 милиона трептения. При по-късите вълни броят на трептенията става още по-голям, докато се стигне до милиметровите вълни и микрорадиовълните, при които трептенията се измерват със стотици милиарди за една секунда. Затова ултراكъсите вълни значително се различават по свойства от късите и дългите вълни.

Като правило ултراكъсите вълни не се отразяват от йоносферата, а само претърпяват известно пречупване в нея и се изгубват в междупланетното пространство. Всъщност точно това обстоятелство е послужило като основен критерий при определяне на границата между късите и ултراكъсите вълни, тъй като най-късите вълни, които йоносферата при нормални условия все още може да отразява, имат дъл-

жина от порядъка на $\lambda = 10$ м. Дифракцията¹ при УКВ е слабо изразена, тъй като дължината на вълната става много малка в сравнение с размерите на препятствията. По тези две причини далечината на сигурната УКВ връзка се ограничава на няколко десетки километра от предавателя, освен в случаите, когато се използват специални методи на разпространение.

Други характерни особености на ултракъсите вълни са способността им лесно да се отразяват от добре проводящи плоскости (метални повърхнини) и силно да се поглъщат при разпространение в полупроводяща среда. Радиоприемът на УКВ не се влияе от атмосферните разряди, които създават силни смущения на по-дълговълновите обхвати.

Изброените особености на ултракъсите вълни в едни случаи се явяват като недостатъци, а в други случаи като преимущества и определят областта на използване на тези вълни в съвременната радиотехника.

Тъй като УКВ обхватът е извънредно широк, в него могат да се поместят грамадно количество канали за връзка. По тази причина ултракъсите вълни са единствено пригодни за целите на телевизията, която изисква предаването на много широка лента (няколко мегагерца), и за широколентовото ЧМ радиоразпръскване. Същото важи и за многоканалната импулсна радиовръзка, при която на една носеща вълна се предават няколко телефонни разговора. Обстоятелството, че ултракъсите вълни по правило не се разпространяват на далечни разстояния, още повече увеличава капацитивните възможности на УКВ обхвата, тъй като позволява много станции да работят на един и същ канал, без да си пречат една на друга.

Способността на ултракъсите вълни добре да се отразяват от метални повърхнини се използва широко за изготвянето на силно насочени антени. Насоченото предаване и приемане значително увеличава района на действие на УКВ предавателите, облекчава изискванията към мощността им и намалява взаимните смущения. Насоченото предаване и приемане на УКВ, както и способността на ултракъсите вълни да се отразяват от различни предмети, са легнали в основата на радиолокацията. Ултракъсите вълни са намерили широко приложение и в радиорелейните (радиотранслационни) линии, посредством които могат да се предават висококачествени радиоразпръсквателни и телевизионни програми на грамадни разстояния. Особено голямо приложение обаче получи УКВ техниката в последните няколко години във връзка с бурното развитие на ракетната техника, космонавтиката и радиоастрономията.

Последните години се характеризират и с все по-засилващ се интерес към ултракъсите вълни от страна на радиолобителите. В по-напредналите в техническо отношение страни съществуват силно развити любителски УКВ движения и постиженията на много отделни УКВ любители са показател за извънредно висока техническа и операторска вещина. Съдействието, което радиолобителите оказаха на изследова-

¹ Дифракция се нарича способността на радиовълните да заобикалят (обхождат) екраниращите препятствия, които лежат по пътя на разпространението им.

телските институти през Международната геофизична година при изучаване разпространението на ултракъсите вълни, беше високо оценено от научните кръгове в редица документи на МГГ.

2. ЕЛЕМЕНТИ НА АПАРАТУРИТЕ ЗА УЛТРАКЪСИ ВЪЛНИ

Явления, свързани с повишаването на честотата

Често се случва радиолюбителите, които не са запознати с УКВ техниката, да гледат на нея като на свят, в който всичко е „с главата надолу“ и където обикновените закони и правила на електрониката постоянно биват нарушавани по трудно разбираеми причини. По-задълбоченото изучаване на ултракъсите вълни обаче показва, че и тук тези закони и правила са напълно валидни, само че тук изникват на преден план явления, с които до този момент не сме се съобразявали. Паразитни връзки, време за прелитане на електроните, разпределени капацитети, индуктивност на изводите, излъчване от свързващите вериги — всичко това се наблюдава и на по-ниските честоти, но едва в областта на ултракъсите вълни тези паразитни явления се проявяват с пълна сила и неутрализирането им става по-трудна и отговорна задача.

Основната причина за изброените вредни ефекти се крие в обстоятелството, че за много високите честоти дължината на вълната става съизмерима с геометричните размери на детайлите. Така например при честота 420 мгхц (втория любителски УКВ обхват) лампата 6L6 е висока около 0,15 λ , а едно съпротивление от 1 *вт* има дължина $\frac{1}{20}$ от дължината на вълната. При тази честота една междустъпална свързваща верига може да се държи като резонираща антенна система и да излъчва високочестотната енергия, вместо да я подава към следващото стъпало. Металните шасита с големи размери престават да се държат като електрически неутрални проводящи плоскости и по тяхната повърхност се появяват максимуми на ток или напрежения. Някои метални заграждения престават да действуват екраниращо и се превръщат в резониращи кухини. Борбата срещу тези вредни явления се води по пътя на използване на миниатюрни детайли и миниатюризация на самата конструкция, съчетано с правилно разположение на частите и максимално скъсяване на съединителните проводници.

С увеличаването на честотата се увеличава и излъчването от всеки проводник, по който тече високочестотен ток. Това е загуба на енергия, което е еквивалентно на влошаване *Q*-фактора на веригата. Освен това паразитното излъчване напъхва *вс* енергия в съседния монтаж и може да предизвика появата на паразитни трептения. За борба с този ефект най-често се прилага щателно екраниране на частите, проявяващи склонност към паразитно излъчване.

При ултракъсите вълни особено силно се проявява скин-ефектът (повърхностният ефект). В резултат на скин-ефекта съпротивлението на проводниците се увеличава значително, увеличават се загубите в топлина и се влошава *Q*-факторът на кръговете. За намаляване на тези загуби

във високочестотните вериги се използват дебели проводници, а в потговорните случаи — медни тръби. По-нататъшно намаление на съпротивлението се постига чрез посребряване на проводниците.

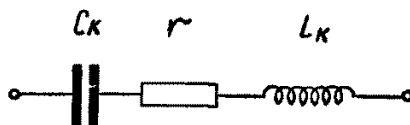
С увеличаването на честотата се увеличават диелектричните загуби в изолаторите, затова в УКВ съоръженията трябва да се използват само висококачествени изолационни материали. Най-добрият изолатор на УКВ е въздухът. Употребата на твърди изолатори в местата с висок *вч* потенциал трябва да се избягва винаги, когато това е възможно. От твърдите изолационни материали за УКВ са подходящи високочестотните керамики стеатит, калит и др, доброкачествената слюда, микалексът и специалните пластмаси: полистирол, полиетилен и тефлон.

Части за УКВ апаратурите

Съпротивления. Във високочестотната част на УКВ апаратурите не трябва да се използват жични съпротивления, понеже те имат голяма собствена индуктивност и импедансът им се изменя много силно с изменението на честотата. Жичните съпротивления, специално тези, навити със стъпка между навивките, са по-подходящи за *вч* дросели. Обикновените силитни съпротивления също показват намаление на стойността си при повишаване на честотата. Честотната зависимост е толкова по-силно изразена, колкото по-голямо е по размери съпротивлението и колкото по-голяма е неговата номинална стойност. Така едно съпротивление 1 *ком* с мощност 0,5 *вт* почти не променя стойността си до около 100 *мгхц*, докато едно съпротивление от 1 *мгом* със същата мощност при честота 100 *мгхц* има действително съпротивление около 70 *ком*, т. е. едва 7% от номиналната стойност. Най-подходящи за монтаж в УКВ апаратурата са съпротивленията от типа МЛТ и ВС. Те имат много малка индуктивност и собственият им капацитет е от порядъка на 0,5 *пф*.

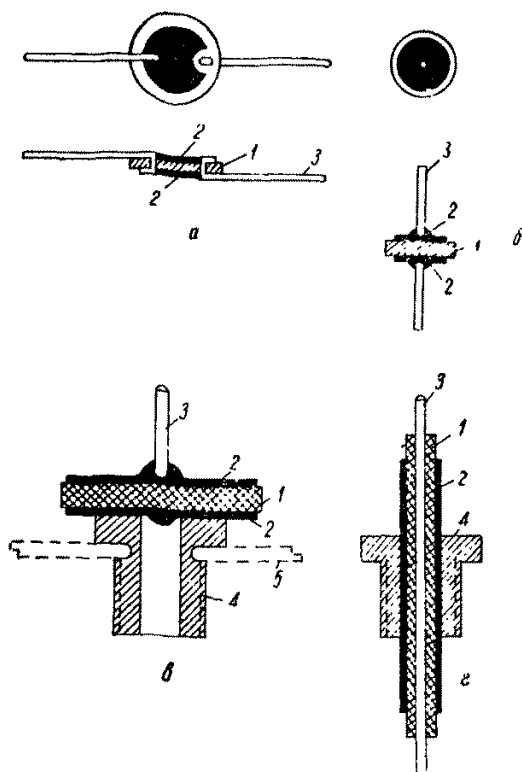
Кондензатори. Всеки кондензатор може да се представи с еквивалентната схема, дадена на фиг. 9-1, в която C_k е капацитетът на кондензатора, r е съпротивлението, съответстващо на диелектричните загуби, а L_k — собствената индуктивност на кондензатора. Последният параметър е от изключителна важност при УКВ конструкциите. Стойността на L_k определя честотата на собствен резонанс на кондензатора и с това — максималните честоти, до които може да се използва кондензаторът.

В УКВ конструкциите се употребяват различни типове постоянни и променливи кондензатори. Постоянните кондензатори участвуват в схемите като блокиращи елементи или като елементи на трептящите кръгове. От различните промишлени типове постоянни кондензатори за УКВ могат да се използват някои керамични и слюдени конденса-



Фиг. 9-1

тори с малки размери и къси изводи. За честоти до 200 мгхц най-подходящи са дисковите керамични кондензатори — КДК, с капацитет до 1000 пф (фиг. 9-2, а, б), За по-високите честоти се използват специални



Фиг. 9-2

Таблица 9-2

Вид на кондензаторите	$f_{\text{макс}}$ (мгхц)
Миниатюрни слюдени от типа КСО-1 и КСО-2	до 200
Дискови керамични КДК-1 и КДК-2	200—300
Дискови керамични КДК-3	2000
Къси керамични тръбни кондензатори от типа КТК-1 и КТК-2	200—300
Дълги керамични тръбни кондензатори от типа КТК-3, КТК-4 и КТК-5	70—100

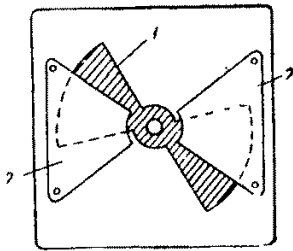
блокировъчни кондензатори (фиг. 9-2, в), а за филтриране на захранващите вериги най-подходящи са т. нар. проходни кондензатори (фиг. 9-2, г). Такива кондензатори могат да се използват до около 2000 мгхц. Употребата на книжни и други долнокачествени кондензатори на УКВ е абсолютно недопустима. В табл. 9-2 са дадени ориентировъчните стойности на честотите, до които могат да се използват различните видове постоянни кондензатори.

Променливите кондензатори, използвани на УКВ, трябва да бъдат с малки размери и малък начален капацитет. Най-добри са въздушните кондензатори с лят или фрезозан ротор и посребрена повърхност на плочите. В качеството на полупроменливи кондензатори могат да се използват керамични квечове. Кондензаторите с добър триещ се контакт на ротора могат да се използват до около 70 мгхц. За по-високи честоти се употребяват кондензатори с два статора. Най-подходящи за симетрични схеми са кондензаторите „Бъртфлай“ (фиг. 9-3).

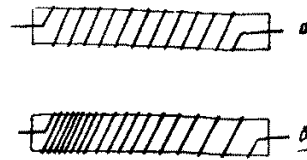
Бобини. Найдобрият материал за УКВ бобини е дебелата посребрена медна жица или медна тръбичка. За честоти до 70—80 мгхц бобините се навиват върху керамична или полистиролова

основа или се правят въздушни. За по-високи честоти се използват само въздушни бобини. За кръгове на автогенератори най-подходящи

са бобините, изготвени чрез впичане на сребро върху керамично тяло. За да се намали собственият им капацитет, бобините за УКВ се правят с по-голяма стъпка.



Фиг. 9-3



Фиг. 9-4

Дросели. Високочестотните дросели са важен елемент на УКВ апаратурите. Обикновено те се изпълняват като еднослойни цилиндрични бобини с малък диаметър. Много важно условие за правилното функциониране на дроселите за УКВ е техният собствен капацитет да бъде колкото се може по-малък. Затова дроселите се навиват с постоянна или прогресивна стъпка (фиг. 9-4). Дължината на проводника, от който е навит дроселът, не трябва да надвишава четвърт дължина на вълната.

Трептящи кръгове за УКВ

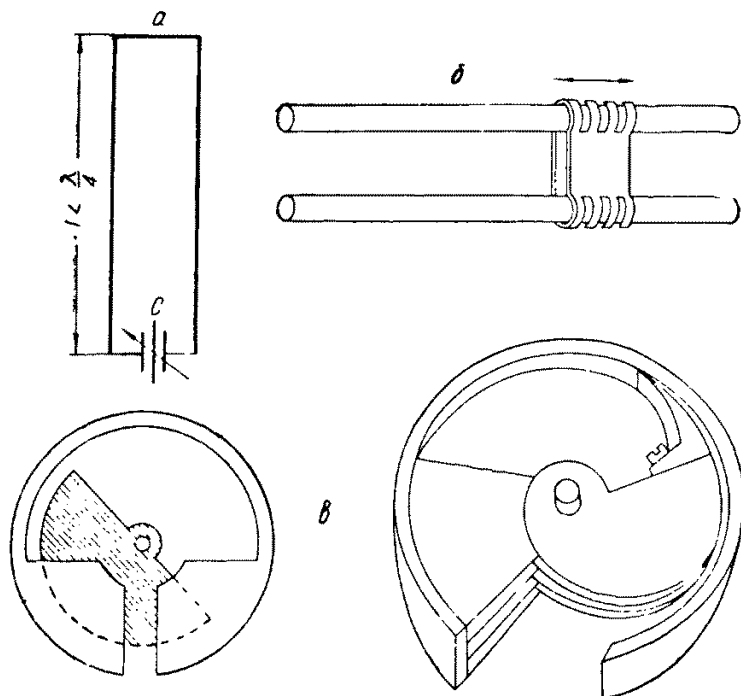
На УКВ се използват три вида трептящи кръгове: *кръгове със съсредоточени параметри*, *кръгове с разпределени параметри* и *кръгове от преходен тип*.

Кръговете със съсредоточени параметри не се отличават съществено от тези за къси вълни и елементите им могат да се изчислят по следните формули:

$$L = \frac{25\,330}{f^2 \cdot C}; \quad C = \frac{25\,330}{f^2 \cdot L}; \quad f = \frac{159}{\sqrt{LC}};$$

тук f е честотата на кръга в *мгхц*, L е индуктивността в *мкхн* и C е капацитетът в *пф*. В капацитета на кръга трябва да се включва и паразитният капацитет на схемата, който представлява сумата от монтажния капацитет, междуелектродните капацитети на лампата, включени към кръга, и собственият капацитет на бобината. При изготвянето на кръгове за по-високи честоти са необходими по-малки капацитети. Намаляването на C обаче е ограничено от паразитния капацитет, следователно единственият път за увеличаване на честотата е да се намалява индуктивността L . Това от своя страна довежда до влошаване на Q -фактора на кръга и до спадане на резонансното съпротивление на последния. Затова кръговете със съсредоточени параметри могат да се използват само за честоти до около 200 *мгхц*.

Кръговете с разпределени параметри представляват отрязъци от двупроводни симетрични или коаксиални линии. Установено е, че отрязък с дължина $\frac{1}{4}\lambda$, който в единия си край е затворен накъсо, има свойствата на паралелен трептящ кръг. Ако отрязъкът е с дължина



Фиг. 9-5

$\frac{1}{2}\lambda$, той се държи като сериен трептящ кръг. При отворени на края линии редът на резонансите е обратен — за $\frac{1}{4}\lambda$ отрязък имаме сериен, а за $\frac{1}{2}\lambda$ — паралелен резонанс.

Резонансните линии притежават висок качествен фактор и голямо резонансно съпротивление. Освен това те се отличават с голяма механическа стабилност. Тези качества ги правят много удобни за използване като трептящи кръгове в обхвата на метровите и дециметровите вълни. Най-широка употреба имат четвъртвълновите затворени линии. Настройката им се извършва или с плъзгане на закъсняващата шина по дължината на линията (фиг. 9-5, б), или посредством малък кондензатор, включен в началото на линията (фиг. 9-5, а).

Кръговете от преходен тип се употребяват за честоти до 2000 мгхц. Тези кръгове са така устроени, че осигуряват едновременно изменение на капацитета и самоиндукцията. Няколко различни конструкции на кръгове от преходен тип са показани на фиг. 9-5, в. В любителската

практика такива кръгове се използват много рядко, тъй като имат сложна конструкция и най-важното им преимущество — покриването на широк честотен обхват, е без значение при тесните любителски обхвати.

Лампи за УКВ

Обикновените усилвателни и генераторни лампи работят лошо или въобще не могат да работят в обхвата на ултракъсите вълни. Причините за влошаване работата на електронните лампи при повишаване на честотата са няколко: на първо място, обикновените лампи имат големи входни и изходни капацитети, които влошават съотношението $\frac{L}{C}$

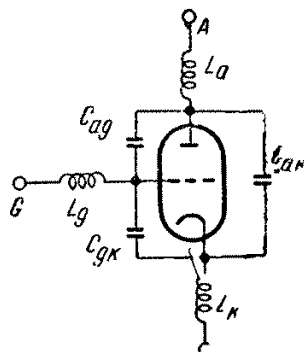
и оттам — резонансното съпротивление на кръговете, включени към тези лампи. Големи са и проходните им капацитети, в резултат на което при триодите се получава обратно прехвърляне и самовъзбуждане. Затова при работа с триоди винаги се налага да се извършва неутрализация или да се работи по схема със заземена решетка.

Друга причина за лошата работа на лампите на УКВ е индуктивността на електродните изводи. Фиг. 9-6 показва еквивалентната схема на един триод при работа на УКВ. L_g , L_k и L_a са съответно индуктивностите на решетъчния, катодния и анодния извод. Наистина стойностите на тези индуктивности са много малки, но за свръхвисоките честоти L_g , L_k и L_a започват да се държат като малки дросели и силно влошават работата на лампата.

С повишаването на честотата се увеличават и диелектричните загуби в ламповата конструкция. Тези загуби предизвикват допълнително загряване на балона и другите диелектрици и намаляват входното съпротивление на лампата.

Още по-бързо нарастват с повишаване на честотата и загубите, дължащи се на скин-ефекта. В по-мощните генераторни лампи това довежда до повишаване температурата на изводите и може да причини спукване на стъкления балон.

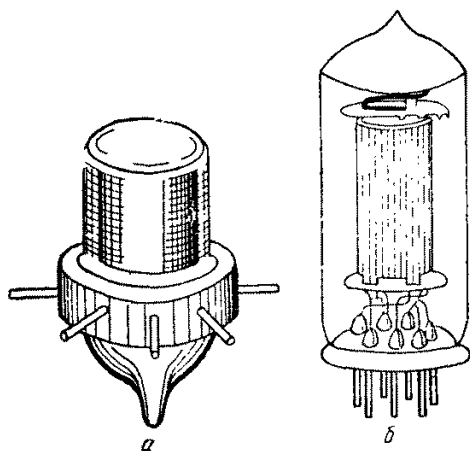
При много високите честоти започва да се проявява и един ефект, за който не се държи сметка при работа на по-ниски честоти — това е времето за прелитане на електроните. На ултракъси вълни времето за прелитане на електроните от катода до решетката или до анода на лампата започва да става съизмеримо с периода на трептенията. С други думи, при много високите честоти лампата престава да бъде безинертен прибор. Инертността на електронните процеси в лампата довежда до вредно фазово изместване между входящото напрежение и анодния ток, вследствие на което се влошава формата на аноднотоковия импулс и се



Фиг. 9-6

появява значителна постоянна съставна на решетъчния ток. В резултат на всичко това силно се намалява входното съпротивление на лампата и се увеличават топлинните загуби за сметка на полезната мощност, давана от лампата.

Съвременната електроника е създала множество лампи, специално предназначени за работа на УКВ, при които в една или друга степен



Фиг. 9-7

е намадено вредното влияние на изброените по-горе фактори. Общ характерен белег на лампите на УКВ са малките размери на конструкцията. Едно просто изчисление показва, че ако се намалят размерите на всички електроди в една лампа два пъти, нейните усилвателни характеристики (включително и стръмността) остават непроменени, докато индуктивността на изводите, междуелектродните капацитети и времето за прелитане на електроните се намаляват също два пъти. Повишава се и максималната работна честота. Вижда се, че по пътя на миниатюризацията могат да се създават подобри лампови

конструкции за УКВ. Недостатък на този принцип е, че намаляването на геометричните размери на електродите намалява способността на последните да разсейват топлината и лампата не може да работи в мощни стъпала.

Тенденцията към намаляване на междуелектродните капацитети и индуктивностите на изводите доведе до създаването на миниатюрните „палчикови“ лампи и лампите тип „жельд“. Една лампа от типа „жельд“ с максимална работна честота 600 мхц е показана на фиг. 9-7, а.

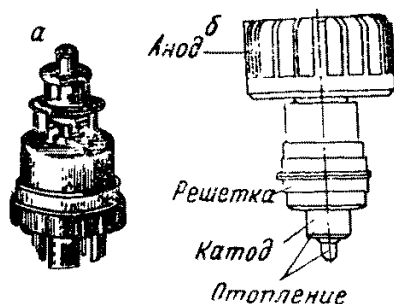
Палчиковите лампи (фиг. 9-7, б) превъзхождат по параметри „жельдите“ и са намерили много широко разпространение в УКВ апаратурите. За по-нататъшно намаление на индуктивността на изводите много често се правят по няколко извода на един електрод. Така например една от най-модерните лампи за УКВ ЕС88, предназначена за работа като усилвател със заземена решетка, има 5 извода на решетката.

В областта на дециметровите вълни се използват лампи с дискови изводи на електродите, често наричани „маякови“ лампи (фиг. 9-8, а). Дисковата форма на изводите намалява тяхната индуктивност почти до нула. Специалната конструкция на електродите намалява до минимум междуелектродните капацитети и времето за прелитане на електроните.

Външно лампата е оформена така, че да позволява удобно съгласуване с коаксиална резонансна линия.

В качеството на генераторни лампи за УКВ много често се използват двойни тетроди и пентоди, включени по противотактна схема. Тъй като двете системи имат обща екранна решетка, високочестотните екранни токове на отделните системи текат в противоположни посоки през общия извод на решетката и взаимно се унищожават, без да създават падение на напрежението върху индуктивността на извода. Това подобрява работата на лампата и повишава устойчивостта ѝ срещу паразитно възбуждане. Общият извод на катодите в двойните лампи също води до анулиране на ефекта от индуктивността на извода. Това позволява да се намали мощността, необходима за възбуждане на лампата. Най-типични представители на двойните генераторни тетроди за УКВ са лампите ГУ-32 и ГУ-29.

Широка употреба като генераторни лампи за дециметровия обхват са намерили т. нар. метало-керамични лампи. Външният вид на една метало-керамична лампа е даден на фиг. 9-8, б. Ребрестият радиатор е закрепен за анода и служи за увеличаване на допустимата загубна мощност на последния. Конструкцията позволява непосредствено включване на лампата към коаксиална линия — резонатор. Тези лампи обикновено изискват принудително въздушно охлаждане.



Фиг. 9-8

3. ПРИЕМНИЦИ ЗА УЛТРАКЪСИ ВЪЛНИ

По своите основни принципи модерните приемни устройства за УКВ малко се различават от аналогичните им устройства за къси вълни. Особеностите на УКВ приемниците се проявяват най-вече във високочестотната част и по-специално в първите лампови стъпала на приемника.

Параметри на приемниците за УКВ

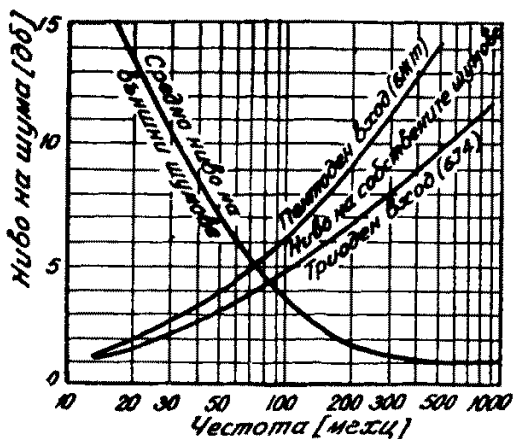
Чувствителност. Един от най-важните параметри на приемника за УКВ е чувствителността. Този параметър добива първостепенно значение за приемниците, предназначени за далечни връзки на УКВ, и в много случаи чувствителността на приемника е ключът за успеха на любителската операторска дейност на УКВ.

Колкото и чудно да е на пръв поглед, проблемът за чувствителността на приемника за УКВ е съвсем различен от аналогичния му проблем при късовълновия приемник. На къси вълни реалната чувствителност на приемника се определя не толкова от неговите електрически показатели, колкото от нивото на външните шумове. Основен из-

точник на тези външни шумове са слънчевите излъчвания, създаващи йонизираните слоеве в земната атмосфера. Към тях трябва да се прибавят галактическите шумове и шумовете, дължащи се на електрически заряди в атмосферата. Всички тези „природни радишумове“ определят минималното ниво, под което приемането на радиосигнали е

изключително трудно. Един късовълнов приемник от средна класа притежава достатъчно чувствителност за достигане на това ниво.

С повишаването на честотата нивото на космическите шумове рязко намалява и в обхвата на ултракъсите вълни тези шумове почти напълно изчезват (фиг. 9-9) По тази причина максималната реална чувствителност на приемника престава да бъде функция на различните типове външни шумове, които не могат да бъдат контролирани, и започва да се определя от нивото на вътрешните (собствените) шумове на при-



Фиг. 9-9

емника. Затова една от главните задачи на УКВ специалистите през последните години беше създаването на специални схеми и лампи, предназначени да внасят най-малко шумове в работата на УКВ приемниците.

Колкото по-малко шуми приемникът, толкова по-слаби сигнали ще може да приема той, или с други думи, колкото по-ниско е шумовото число на приемника, толкова по-голяма е неговата чувствителност. Шумовото число е най-важният параметър на УКВ приемниците и се дава в единици kT_0 или в децибели.

Стабилността е също така важен фактор за качествената работа на УКВ приемника. Тук под стабилност подразбираме честотната стабилност и стабилността против самовъзбуждане. И едната, и другата се постигат по-трудно при свръхвисоките честоти, затова те трябва да бъдат предмет на особени грижи от страна на конструктора.

Избирателност. Въпреки че УКВ обхватите и особено любителските далеч не са толкова „населени“, колкото късовълновите обхвати, избирателността е важен параметър на УКВ приемника, тъй като е пряко свързана с ширината на лентата, пропускана от приемника. При далечните връзки на УКВ, когато силата на сигнала е части от микроволта, се налага използването на извънредно тясна лента, за да се получи приемливо съотношение сигнал/шум. Затова обезпечаването на висока и по възможност регулируема избирателност се явява задължително условие за качествената работа на УКВ приемника за далечни връзки

Други параметри, като *икономичност на захранването, минимално тегло и минимален обем*, които не са толкова важни за стационарните приемници, стават съществени и определящи при конструирането на портативни приемници.

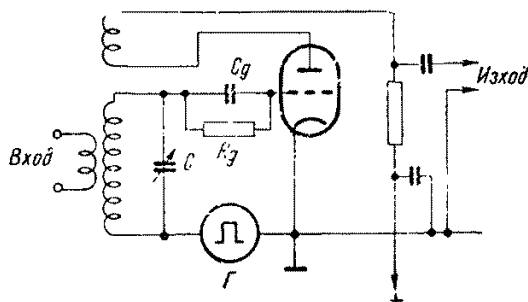
В любителската практика за работа на УКВ се използват предимно суперхетеродинни приемници, тъй като само те изпълняват изискванията за висока чувствителност, стабилност и избирателност. Употребяват се и свръхгенеративни приемници — те имат проста конструкция и леко захранване, обаче отстъпват на суперхетеродинните по гореизброените качества, затова се използват само от начинаещите любители за приемане на близки станции.

Свръхрегенеративни приемници за УКВ

Приемниците, построени по свръхрегенеративна схема, са регенеративни приемници, работещи в режим на прекъсващи се генерации. Както е известно, обикновеният регенеративен приемник (линеен приемник с обратна връзка) е най-чувствителен, когато той се намира съвсем близко до прага на самовъзбуждането. Усилването в този случай добива твърде големи стойности, обаче режимът на стъпалото е много нестабилен и най-малките промени в захранващите напрежения предизвикват възникване на генерации или рязко спадане на усилването. В режим на генерации усилването е много по-стабилно, обаче приемането на телефонни сигнали е силно изкривено в резултат на биенията между носещата честота на предавателя и честотата на автогенерациите.

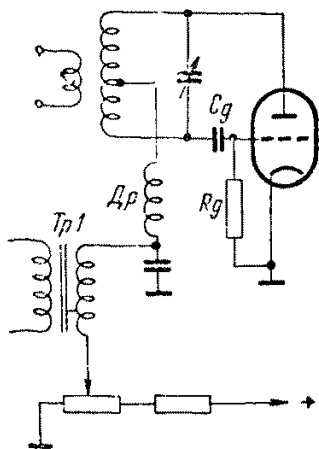
При свръхрегенеративните приемници регенеративното стъпало работи в режим на самовъзбуждане, като трептенията се прекъсват периодически с помощта на спомагателен генератор, който запуща и отпушва лампата на стъпалото. Честотата, с която се прекъсват и възобновяват генерациите, е надзвукова, така че биенията между честотите на приемания сигнал и автогенерациите също лежат в ултразвуковата област и не могат да бъдат чути от човешкото ухо. Благодарение на това приемането на телефонни сигнали е чисто и в същото време много стабилно. Усилването, което може да даде едно свръхрегенеративно стъпало, е много голямо и може да достигне до стотици хиляди пъти.

Като правило свръхрегенеративните приемници се използват само за приемане на телефония и модулирана телеграфия. Те имат малка избирателност и силен собствен шум. При появяване на носеща честота този шум изчезва.

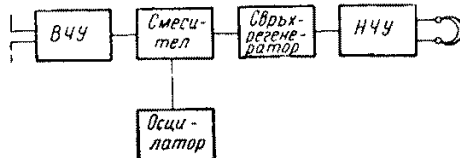


Фиг. 9-10

Принципната схема на едно свърхрегенеративно стъпало е показана на фиг. 9-10. G е генераторът на импулси с надзвукова честота, който запущва и отпушва регенеративното стъпало. Най-често функциите на свърхрегенератора, генератора на прекъсващи импулси и детектора се изпълняват от една лампа. Схемата на такова свърхрегенеративно стъпало е показана на фиг. 9-11. Това е един осцилатор, свързан по капацитивна триточкова схема. Времеконстантата на групата $R_g C_g$ определя честотата на прекъсване на генерациите. Стойностите на R_g и C_g се подбират така, че последната е от порядъка на няколкостотин килохерца. Детектирането се извършва в решетъчната верига на



Фиг. 9-11



Фиг. 9-12

лампата (решетъчен детектор). Нискочестотният сигнал се подава от анода на лампата през $vч$ дросел на трансформатора Tr_1 , към чиято вторична намотка се свързва нискочестотният усилвател.

Свърхрегенеративното стъпало е източник на силен смущаващ сигнал, понеже то работи в режим на генерации. Този сигнал се излъчва от приемната антена и може да предизвика силни смущения в съседните приемници. За избягване на този ефект пред свърхрегенератора се поставя $vч$ усилвателно стъпало, което ограничава проникването на смущаващия сигнал в антената.

Най-простият свърхрегенеративен приемник може да се конструира с две лампи: *свръхрегенеративен детектор* и *нискочестотен усилвател*. Такъв приемник е много удобен за портативни цели, когато теглото и икономичността на захранването са условия от първостепенна важност. Друго преимущество на този приемник е, че той дава възможност лесно да бъде превръщан в маломощен предавател. За целта е достатъчно чрез просто превключване да се намали стойността на съпротивлението R_g до няколко килоома. В този случай генерацията става непрекъсната и стъпалото работи като осцилатор на същата честота, на която е бил настроен приемникът. Нискочестотният усилвател може да служи за модулатор.

В любителската практика е намерила приложение и комбинацията на суперхетеродинния приемник със свърхрегенеративния приемник. Блоквата схема на един суперсвръхрегенератор е показана на фиг. 9-12. Усилените високочестотни сигнали се преобразуват и полученият сигнал

с междинна честота се детектира в едно свръхрегенеративно стъпало. Тъй като междинната честота е много по-ниска от входящата, свръхрегенеративното стъпало работи доста стабилно. Този приемник има добра чувствителност и не излъчва смущаващ сигнал, обаче и той не е годен за приемане на немодулирани сигнали.

Суперхетеродинни приемници за УКВ

По своята блокова схема суперхетеродинните приемници за УКВ не се различават от късовълновите приемници. И тук най-често се използва двойно преобразуване на честотата, за да се удовлетворят взаимно противоречивите изисквания за висока избирателност по съседен и по огледален канал. Що се касае до принципните схеми, различия се появяват само във високочестотната част на приемника и те са свързани с основното изискване към УКВ приемника — получаването на малко шумово число. Да разгледаме накратко особеностите на отделните високочестотни стъпала в един суперхетеродинен приемник за УКВ.

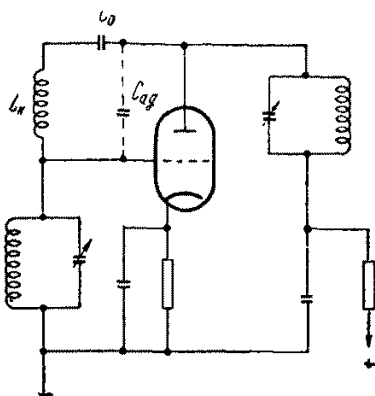
Високочестотен усилвател. Най-големи шумови напрежения в приемника се създават в смесителното стъпало. За да може да конкурира тези шумове, полезният сигнал, подаван към смесителя, трябва да бъде достатъчно силен. Затова в УКВ приемниците винаги се използва висококачествен усилвател. Последният спомага също така за повишаване избирателността по огледален канал и отстранява излъчването на смущаващи сигнали от приемника, тъй като прекратява почти напълно техния достъп до антената.

Пентодните усилватели, въпреки че имат голям коефициент на усиление, се използват само за честоти до 100 мгхц. Тяхната употреба е ограничена от извънредно високите им собствени шумове, дължащи се на хаотичното разпределение на токовете между анода и екранната решетка. Подходящи лампи за пентодни усилватели на УКВ са: 6AK5, 6Ж1П, 6Ж9П, 6К1Ж, D3A, E180F и др.

Най-широка употреба като *вч* усилватели имат триодите, работещи по схема със заземен катод, със заземена решетка или двете заедно. Триодните усилватели със заземен катод имат твърде нисък коефициент на шума и сравнително голямо усиление. Основният им недостатък се състои в наличието на голям капацитет анод—решетка, в резултат на което тези усилватели лесно се самовъзбуждат. За отстраняване на този ефект се прилага неутрализация на паразитния капацитет C_{ag} (фиг. 9-13). Неутрализиращата бобина L_N и капацитетът C_{ag} образуват паралелен трептящ кръг, който резонира на работната честота и с високото си резонансно съпротивление изолира решетъчната и анодната верига една от друга. В усилвателите със заземен катод могат да се използват всякакви модерни триоди, като 6C1Ж, 6C3П, EC92, PC86 и др.

Триодните усилватели със заземена решетка (фиг. 9-14) намират широка употреба в областта на свръхвисоките честоти. Тези усилватели имат ниско шумово число и много проста конструкция. Сигналът се подава на катода на лампата, а решетката, която по висока честота е

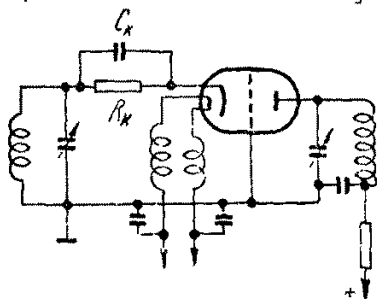
заземена, служи като екран между входния и изходния кръг. Усилвателите със заземена решетка имат ниско входно съпротивление и малко усилване, обаче работят много стабилно и затова се употребяват за много високи честоти (над 500 мгхц). Подходящи лампи за такива усилватели са всички модерни палчикови триоди и особено триодите с няколко извода на управляващата решетка, като 6С2П, 6С4П, ЕС86, ЕС88 и други.



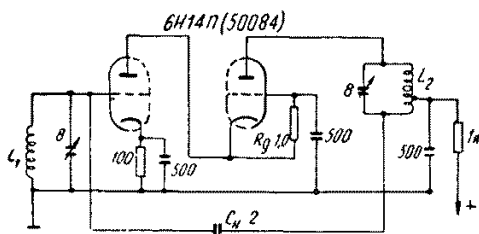
Фиг. 9-13

Както се каза вече, основен недостатък на усилвателя със заземена решетка е неговото ниско входно съпротивление и свързаното с това малко усилване по мощност. Усилвателят със заземен катод е свободен от тези недостатъци, обаче работи неустойчиво и е склонен към самовъзбуждане. Полезните качества на двата типа усилватели са комбинирани сполучливо в тъй наречения „каскаден усилвател“. Схемата на един такъв усилвател е дадена на фиг. 9-15. Първото стъпало е свързано по схемата със заземен катод. Това му осигурява високо входно съпротивление и голямо усилване по мощност.

Второто стъпало работи по схема със заземена решетка и дава устойчиво усилване на сигнала по напрежение. Тъй като анодният товар на първото стъпало е силно шунтиран от ниското входно съпротивление



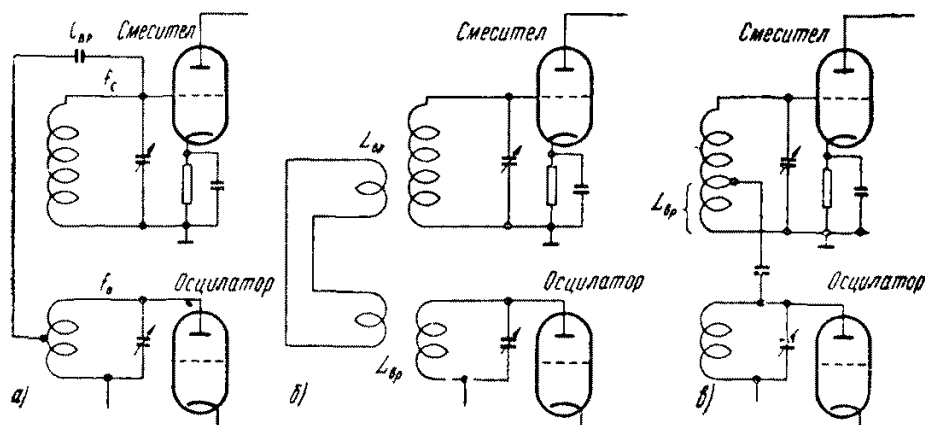
Фиг. 9-14



Фиг. 9-15

на усилвателя със заземена решетка, неговото усилване по напрежение е близко до единица и опасност от самовъзбуждане чрез capacitата анод—решетка не съществува. Коефициентът на шума на каскодните усилватели е много малък и се определя от шумовите качества на първата лампа. В същото време усилването по мощност е твърде голямо. Понастоящем се произвеждат двойни триоди, специално предназначени за каскодни усилватели. Такива са 6Н14П, 6Н23П, ЕСС84, ЕСС88 и др.

Смесително стъпало. Шумовете, създавани от многорешетъчните смесителни лампи, широко използвани за дълги, средни и къси вълни, са толкова големи, че тяхната употреба в областта на ултракъсите вълни е невъзможна. За смесители в обхвата на метровите вълни се употребяват главно триоди и по-рядко пентоди. Работи се изключи-



Фиг. 9-16

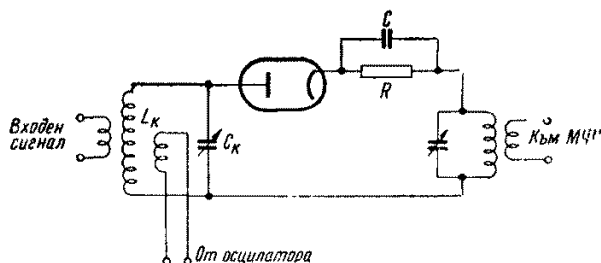
телно в режим на събирателно смесване, т. е. полезният сигнал и сигналът от хетеродина се подават на една и съща управляваща решетка. Функциите на смесителя и хетеродина се изпълняват от две отделни лампи, като изключение правят само концертните ЧМ приемници, в които се употребяват самоосцилиращи смесители. Връзката между смесителя и хетеродина може да бъде капацитивна, индуктивна или автотрансформаторна (фиг. 9-16, а, б и в).

Усилвателните свойства на решетъчния смесител се определят от така наречената стръмност на преобразуване, чиято стойност съставлява около 30% от статичната стръмност на лампата. С повишаването на честотата работата на решетъчния смесител рязко се влошава и за честоти над 300 мгхц се използват изключително диодни смесители. Диодните смесители имат твърде нисък коефициент на шума и сравнително високо входно и изходно съпротивление. Основният им недостатък е, че при тях липсва усилване на полезния сигнал по мощност и напрежение. Напротив, диодният смесител отслабва приложения към неговия вход сигнал. На фиг. 9-17 е показана схемата на един диоден смесител.

Подходящи лампи за решетъчни смесители са триодите ЕС92, ЕС(С)85, ЕС(С)81, 6Н15П, 6Н3П и 6Ж1П (триодно свързване) и пентодите ЕФ80, Е180Ф, 6Ж9П и др.

Осцилатори. Стабилността на първия осцилатор в УКВ приемник определя в основни линии честотната стабилност на приемника като цяло. Затова тук се използват стабилизиране на захранващите напре-

жения, температурна компенсация на кръговете и се полагат особени грижи за механичката стабилност на монтажа. На фиг. 9-18, 2 е показан един осцилатор с плавна настройка, работещ направо на хетеродинната честота. Много често обаче за получаване на максимално висока стабилност се използва стабилизиращия на честотата с кварц.



Фиг. 9-17

Схеми на кварцови осцилатори са описани в следващата точка (фиг. 9-18 и фиг. 9-20). Обикновено осцилаторът работи на по-ниска честота, а желаната честота за смесителя се получава посредством стъпала за умножаване. В приемниците с кварцово стабилизиран първи осцилатор първата междинна честота се получава променлива. Настройката на желаната станция се извършва посредством втория осцилатор, който работи стабилно, понеже е на сравнително ниска честота.

Най-често любителският приемник за УКВ се конструира като конвертор (приставка) към обикновен късовълнов приемник. Конверторът съдържа високочестотния усилвател и първия преобразовател. Сигналят с първа междинна честота се подава от изхода на конвертора до входа на приемника с помощта на коаксиален кабел.

4. ПРЕДАВАТЕЛИ ЗА УЛТРАКЪСИ ВЪЛНИ

Радиопредавателят е вторият основен елемент на любителската УКВ радиостанция. От неговата работа зависи до голяма степен успехът на любителската операторска дейност на УКВ, затова към конструирането на УКВ предавателите трябва да се подхожда със съответното внимание и подготовка. Широко разпространеното у нас схващане, че за работа на УКВ е подходящ всеки автогенератор, който работи над 30 мГц и „пали крушка“, е крайно погрешно и вредно.

Първото и основно изискване към УКВ предавателя е стабилност на честотата. Любителската практика показва, че стабилният предавател и нискошумовият селективен приемник са ключът за далечните връзки на ултракъси вълни. Високата стабилност на предавателя позволява силно да се стесни лентата на пропускане на приемника, без да се страхуваме, че сигналят в резултат на честотна нестабилност ще се изплъзне от тази лента. Колкото по-тясна е лентата на приемника, толкова по-малък е неговият шум и толкова по-слаби сигнали са в състояние да го задействуват нормално. Затова модерните любителски предаватели на УКВ се строят по същия начин, както и

късовълновите предаватели — със стабилен (кварцов или плавен) осцилатор, работещ на по-ниска честота, поредица от умножители, които повишават честотата на осцилатора до необходимата работна честота, и крайно стъпало — усилвател на мощност. Едноламповите предаватели — автогенератори, са крайно нестабилни и са извънредно чувствителни към механични сътресения, температурни изменения и изменения в захранващите напрежения. Излъчването на основната честота е съпроводено с излъчвания на множество странични честоти, а при работа на телефония се получава паразитна честотна модулация. По тези причини едностъпалните предаватели на УКВ могат да се употребяват само от начинаещите радиолюбители за връзки на малки разстояния в комбинация с широколентовите свръхрегенеративни приемници.

Както казахме, качественият любителски предавател за УКВ е многостъпален и най-често с кварцова стабилизация на честотата. По своята скелетна схема той не се отличава от късовълновия любителски предавател, затова тук ще разгледаме накратко само особеностите, свързани с практическото конструиране на любителските УКВ предаватели.

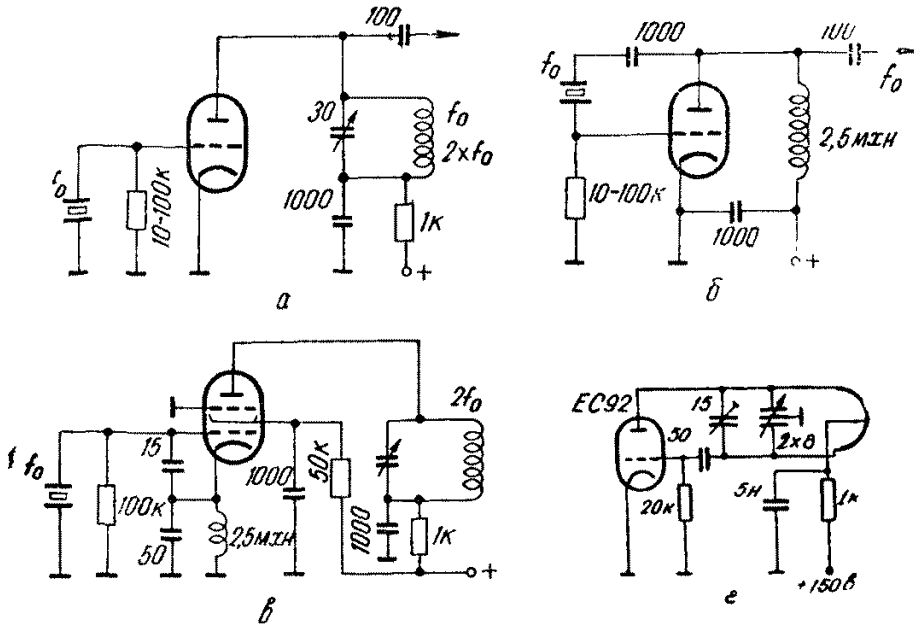
Осцилатори

Честотната стабилност на осцилатора определя стабилността на предавателя като цяло, затова любителят трябва да пристъпва към монтажа и настройката на осцилатора с особена осторожност. Тук трябва да се използват най-качествени детайли и рационален монтаж. Това означава, че частите, вложени в осцилаторното стъпало, трябва да са с висок Q -фактор (с малки загуби), с колкото се може по-малък температурен коефициент и да се монтират така, че честотно-определящите елементи да бъдат далеч от нагряващи се части и детайли. Монтажът трябва да се отличава и с висока механическа стабилност.

Що се касае до схемата на осцилатора, могат да се използват два варианта: осцилатор с плавна настройка (VFO) и осцилатор с кварцова стабилизация на честотата. Осцилаторите с плавна настройка се изпълняват обикновено по схема Сларп на сравнително ниска честота (максимум 4 мгхц). Тези осцилатори трябва да се изработват много грижливо, защото всяка най-малка промяна в честотата се умножава в следващите умножителни стъпала и може да се получи така, че от един относително стабилен осцилатор да получим една доста нестабилна изходяща честота. Затова осцилаторите с плавна настройка са получили малко разпространение. Разрешаването на основния проблем — стабилност на честотата, при любителски условия най-просто и най-евтино става с употребата на кварцови осцилатори. Освен това тези осцилатори позволяват прилагането на някои схеми, които спестяват едно умножително стъпало и значително облекчават конструкцията на предавателя.

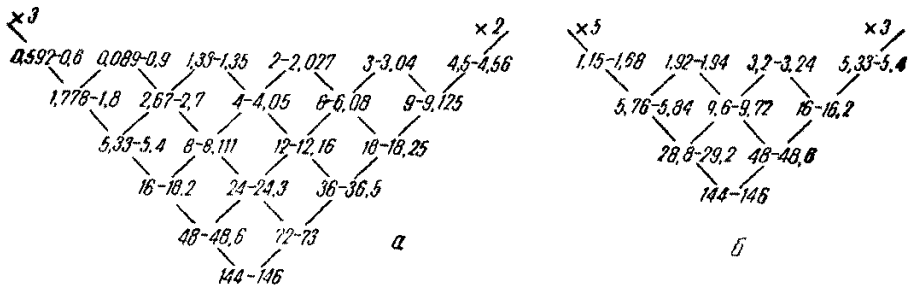
Трите основни схеми на кварцови осцилатори са дадени на фиг. 9-18, а, б, в. За схемите на фиг. 9-18, а и б са подходящи лампите EC91, EC92, $\frac{1}{2}$ ECC81, $\frac{1}{2}$ 6Н15П, RL12Т1, Т2, $\frac{1}{2}$ ECC40 и др.,

а за фиг. 9-18, в — 6Ж1П, 6Ж4, 6АК5, EF50, EF80, RV12P2000, LV1 и др. В любителската практика най-често се използват кварцове на 6, 8, 9, 12 и евентуално 24 и 36 мгц, които след умножаване съот-



Фиг. 9-18

ветно 24, 18, 16, 12, 6 и 4 пъти дават 144 мгц. Най-трудната задача при направата на един кварцов осцилатор е намирането на кварц с подходяща работна честота. В шахматните таблици на фиг. 9-19, а и

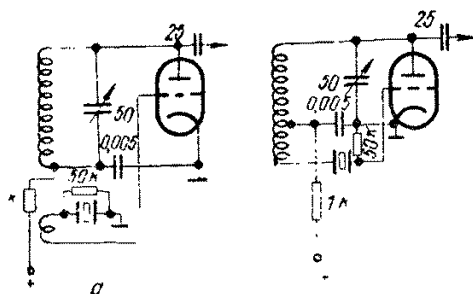


Фиг. 9-19

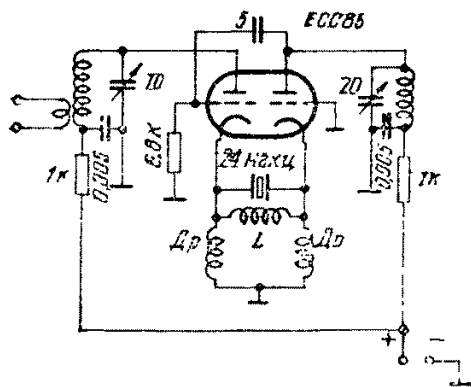
б са дадени честотите, които след съответно умножаване дават хармонична в любителския обхват 144—146 мгц. От тези таблици може да се види и пътят, по който се достига до крайната честота. В пър-

вата таблица придвижването в посока надясно-надолу съответствува на утroyване на честотата, а в посока наляво-надолу — на удвояване на честотата. Ако имаме например един кварц на 6 мгхц, виждаме, че до 144 мгхц можем да стигнем по няколко пътя: единият води през 12, 24, 48 мгхц, т. е. схемата на умноженията ще бъде $f_0 \times 2 \times 2 \times 2 \times 3$. Друг път е: 6—18—36—72—144 мгхц или по схемата $f_0 \times 3 \times 2 \times 2 \times 2$.

Освен обикновените кварцови осцилатори в последно време добиха голяма популярност т. нар. „обертон-осцилатори“, в които кварцът трепти не на основната си честота, а на някоя нечетна хармонична (обикновено трета или пета). Наистина тези осцилатори не са толкова стабилни, колкото при работа на основната честота на кварца, обаче те имат това преимущество, че



Фиг. 9-20



Фиг. 9-21

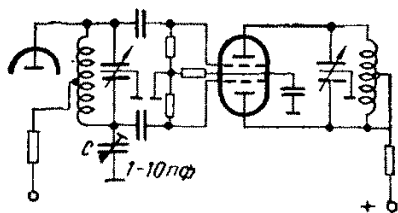
кварцодържателя трябва да резонира на честота, малко по-малка от честотата на кварца, която в случая е 24 мгхц.

Умножителни стъпала

Кварцове за честоти над 20 мгхц се произвеждат трудно и се намират доста рядко, понеже за по-високите честоти кварцовата пластинка става извънредно тънка и крехка. Това налага използването на кварцов осцилатор, работещ на сравнително ниска честота, и последващо умножение на честотата. Умножителните стъпала работят в клас С и

дават веднага три или пет пъти по-висока честота и спестяват едно умножително стъпало. Най-разпространените схеми на обертон-осцилатори са показани на фиг. 9-20 а и б. Преимуществата на обертон-осцилаторите могат да се видят от схемата на фиг. 9-21, която позволява да се получи изходящ сигнал с честота 144 мгхц, като се използва само един двоен триод от типа ECC81 или ECC85. Тази лампа обединява функциите на кристален осцилатор, катоден повторител и удвоител на честотата. Бобината L заедно с капацитета на лампата и

са обикновено удвоители или утроители на честотата. Упеторяването се използва рядко, понеже при него енергетическите показатели на стъпалото стават много ниски. Удвоителите и утроителите могат да бъдат по несиметрична схема с една лампа, докато упеторителите се правят винаги по симетрична схема с две лампи (пуш-пул).



Фиг. 9-22

Тъй като в ламповите каталози почти никога не се дават типови режими за работа на лампите като умножители на честота, добре е при конструирането на любителския УКВ предавател да се придържаме към следното правило: удвоителят с триод изисква възбуждащо напрежение от порядъка на 50—60% от анодното напрежение, а удвоителят с пентод — същия процент от екранното напрежение. Утроителят с триод из-

исква възбуждане 65—75% от анодното, а пентодният утроител — 65—75% от екранното напрежение.

Отрицателното преднапрежение за умножителите може да бъде както фиксирано — от специален изправител, така и автоматично — за сметка на постоянната съставна на решетъчния ток. В последния случай лампите получават преднапрежение само при наличие на възбуждане, затова манипулацията се изтегля от осцилатора или предните стъпала в последното стъпало.

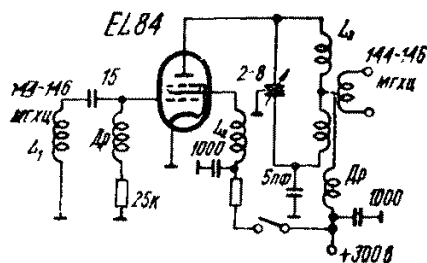
В повечето случаи крайното стъпало на УКВ предавателите е изпълнено по симетрична схема (пуш-пул), следователно налага се някъде между осцилатора и предното стъпало да се премине от несиметрична към симетрична схема. Това се извършва в едно от умножителните стъпала. На фиг. 9-22 е показана най-често употребяваната схема на симетриране. Симетриращият кондензатор C трябва да има капацитет, равен на изходния капацитет на лампата, към която е включен кръгът. При това положение кръгът е балансиран по отношение на заземената средна точка и към краищата му може да се включи следващото симетрично стъпало.

Най-подходящи лампи за умножителното стъпало са пентодите с висока стръмност и малки междуелектродни капацитети.

Крайно стъпало и драйвер

Една от най-тежките задачи при настройката на УКВ предавателя е възбуждането на крайното стъпало. Загубите на енергия в изолацията между крачетата на цокъла и лампата, в паразитните индуктивности и капацитети и т. н. за честоти от порядъка на 144 *мгхи* и нагоре са доста големи. Затова е необходимо да се осигури поне 6—7 пъти по-голяма мощност за възбуждане на крайната лампа от тая мощност, посочвана в каталозите от заводите производители. Така например за пълното възбуждане на генераторния тетрод ГУ-32 по каталожни данни

са необходими около 0,18 *вт*, докато на практика за тази цел ще ни бъдат необходими около 1,5 *вт* високочестотна енергия. Мощности от този порядък трудно могат да бъдат получени от едно умножително стъпало, освен ако проблемът не бъде решен чрез употребата на специална помощна лампа за последния умножител. Това решение е по-скъпо и по-неикономично от енергетическа гледна точка, затова в повечето случаи след последния умножител на честотата се вмъква един линейен усилвател, чиято единствена задача е да даде достатъчна мощност за нормалното възбуждане на крайното стъпало. Това стъпало, наричано „драйвер“, може да се изпълни с една по-маломощна лампа, работеща в режим клас С. Ако крайното стъпало е монтирано отделно, неговият възбудител сам по себе си ще представлява един маломощен предавател, удобен за портативни цели и захранване от батерии.



Фиг. 9-23

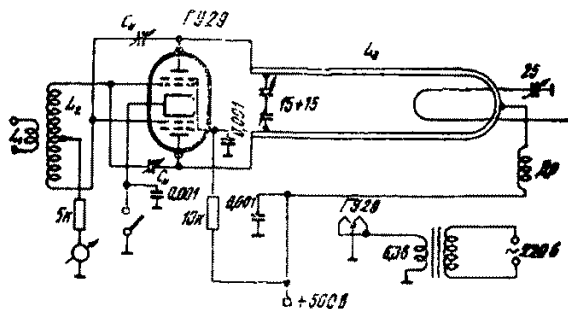
От триодите за драйверни стъпала най-подходящи са такива като 6Н15П, 12АТ7, FCC85, а от пентодите — 6Ж1П, EF80, EL83, EL84 и др. На фиг. 9-23 е показан един драйвер с EL84, в който се извършва и преминаването от несиметрична към симетрична схема.

Крайното стъпало на предавателя, както и драйверът, е един усилвател на мощност, работещ в клас С. Неговата задача е да повиши мощността на сигнала, постъпващ от възбудителя, до ниво, достатъчно за излъчване от антената. Това ниво се определя от предварителните изисквания и материалната възможност на любителя. Любителската и професионалната практика са наложили като най-добро разрешение употребата на противотактна схема за крайното стъпало, тъй като при това свързване се намалява два пъти изходният капацитет на лампите. Това е твърде важно за УКВ предавателите. За целта са конструирани специални двойки генераторни лампи (най-често двойни тетроди), които благодарение на високите си експлоатационни показатели са намерили широка употреба като крайни лампи за любителските УКВ предаватели. Такива лампи са съветските ГУ32 и ГУ29, американските 832А, 829В и АХ9903 и европейските QQE03/12, QQE03/20 и QQE06/40. Всички тези лампи изискват малка мощност за възбуждане, имат относително голяма изходна мощност, лесно се неутрализират или изобщо не изискват неутрализация (829В, QQE06/40), имат малки размери и удобно разположение на електродите, което облекчава монтажа.

Анодният кръг на крайното стъпало за 144 *мгхц* се прави със съсредоточени параметри само при по-маломощните предаватели (до 30 *вт*). При по-големи мощности в качеството на трептящи кръгове се употребяват отрязъци от двупроводни линии.

На фиг. 9-24 е дадена схемата на едно крайно стъпало за 144 *мгхц* с двойния генераторен тетрод ГУ29.

При конструирането на предавателя трябва да се ръководим от следното: стъпалата на УКВ предавателя се подреждат „в една линия“. При това осцилаторът се монтира най-далече от частите, които се



Фиг. 9-24

загриват, а следващите стъпала се инсталират в логическа поредица, съобразявайки се с изискванията за максимално скъсяване на съединителните вериги. Екранировка между стъпалата не е необходима. Само при удвоителите със стръмни пентоди е необходимо да се раздечат колкото е възможно кръговете в решетката и анода и бобините им да се монтират взаимно перпендикулярно, за да се избегне появянето на автогенерации по схемата „настроен анод—настроена решетка“, и всички заземления трябва да се правят за всяко стъпало само в една точка, и то по най-късия път.

5. АНТЕНИ ЗА УЛТРАКЪСИ ВЪЛНИ

Антената като всяко електрическо устройство може да се характеризира с няколко основни параметра, които служат като отправна точка при разглеждане на различните антенни съоръжения.

Параметри на антените

Диаграма на насоченост. Една напълно ненасочена антена се нарича изотропен излъчвател. Такава антена излъчва еднакво добре във всички посоки и ако бъде поставена в центъра на една сфера, тя ще „осветява“ вътрешната ѝ повърхност равномерно. Изотропният излъчвател е само едно математическо понятие, понеже в действителност не съществува антена, която да излъчва равномерно във всички посоки. Всяка реална антена притежава известна насоченост. Под насоченост на предавателната антена се подразбира способността ѝ да концентрира излъчваната енергия в определена посока, а когато става дума за приемна антена, под насоченост следва да се разбира способността ѝ да приема по-добре в определена посока. За степента на насоченост на дадена антена може да се съди по нейната диаграма на насоченост, която представлява геометрично място на точките от пространството, които имат еднаква напрегнатост. Ако снемането на диаграмата на една антена става в хоризонтална равнина, казваме, че това е хоризонтална диаграма на насоченост. По аналогичен начин се опре-

дея и вертикалната диаграма на насоченост. На фиг. 9-25 са показани две такива диаграми.

Различните антени имат различни диаграми на насоченост и за да се създаде една база за сравняване помежду им, е въведено понятието „ширина на диаграмата“. В практиката е прието за ширина на диаграмата да се взема ъгълът θ , заключен между посоките, в които напрегнатостта спада на 0,7 от максималната.

Коефициентът на полезно действие η_A показва каква част от вкараната в антената енергия се излъчва в пространството, затова той е равен на отношението на излъчената мощност $P_{изл}$ към подадената мощност P или

$$\eta_A = \frac{P_{изл}}{P}$$

Полувълновият дипол има нищожни загуби, затова се приема, че неговият КПД е равен на единица. КПД на по-сложните антени е по-малък и може да достигне до $0,6 \div 0,8$.

Усилване на антената (печалба по мощност). Това е най-важният параметър на една антена за УКВ и той трябва да бъде разбран много добре. Усилването на антената е едно понятие, което дава представа за това, колко се увеличава напрегнатостта на полето, създавано от една насочена антена, в сравнение с напрегнатостта на полето, създавана от друга, еталонна антена. Количествена представа за това понятие може да се получи, ако се сравни мощността P , вкарана в насочената антена и създаваща в приемния пункт напрегнатост E_1 , с мощността P_0 , която е необходимо да се въведе в стандартната антена, за да се получи същата напрегнатост на полето. Следователно усилването на антената G може да се изрази с отношението

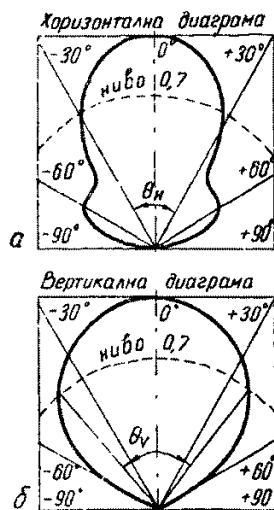
$$G = P_0 / P$$

Прието е това отношение да се дава в децибели.

Терминът усилване на антената е условен, тъй като в действителност антената не усилва енергията, вкарана в нея, а само я концентрира в една посока, създавайки ефекта на многократно увеличение мощността на предавателя. Затова по-точно би било, ако вместо понятието „усилване на антената“ се използва понятието „печалба по мощност“. На практика се използват и двата термина.

При определяне усилването на антената е прието в качеството на еталонна антена да се използва *полувълновият дипол*.

Съпротивление на излъчване. Антената може да се разглежда като един консуматор на *вн* електрическа енергия. Затова мощността, подавана към нея, ще бъде $I^2 R$. Тук R е едно фиктивно съпротивле-

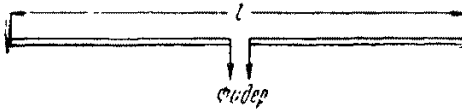


Фиг. 9-25

не, наречено съпротивление на излъчване. Максимално прехвърляне на енергия в антената ще имаме, когато нейното съпротивление на излъчване е равно на вълновото съпротивление на фидера.

Полувълнов дипол

Един от основните елементи на антената за УКВ, както и на антените въобще, е полувълновият дипол. В територията на антените диполът се приема за елементарен излъчвател. Като реална антена полувълновият дипол има просто устройство и леко измерващи се параметри, затова той се е наложил като удобна еталонна антена, с която сравняваме другите антени при определяне на техните качества. Почти всички основни параметри на антените се определят



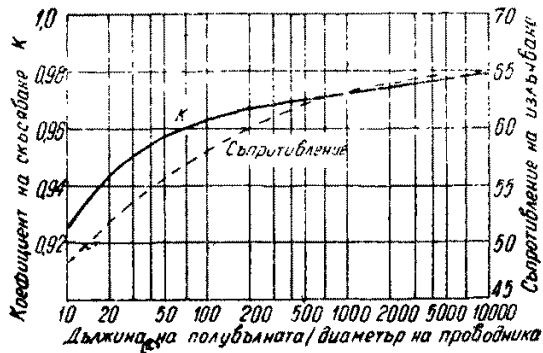
Фиг. 9-26

на базата на сравняването с полувълновия дипол.

На фиг. 9-26 е показан един полувълнов дипол. Трябва да се отбележи, че неговата дължина не е точно равна на половин дължина на вълната, а винаги е малко по-малка.

Коефициентът, с който трябва да умножим дължината на полувълната, за да получим необходимата геометрична дължина на дипола, се нарича коефициент на скъсяване. Стойността на този коефициент може да се определи от графиката на фиг. 9-27, където той е даден във функция от съотношението

$\frac{\text{дължина на полувълната}}{\text{диаметър на проводника}}$



Фиг. 9-27

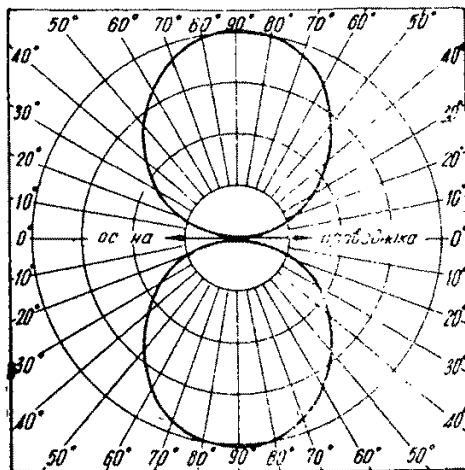
Само когато проводникът е безкрайно тънък, има нулево съпротивление и се намира в средата с диелектрична константа, равна на единица, дължината на дипола ще съвпадне с дължината на полувълната. Колкото е по-дебел проводникът, от който е изготвен диполът, толкова по-къса ще бъде антената за една и съща работна честота.

Диаметърът на проводника оказва влияние и върху друг съществен параметър на антената — съпротивлението на излъчване. Стойността на съпротивлението на излъчване при полувълновия дипол зависи от много фактори, най-важните от които са: височината над земята, отдалечеността от други предмети и съотношението дължина/диаметър на проводника. Ако един дипол е направен от безкрайно тънък про-

водник и се намира в празното пространство, той ще има съпротивление на излъчване $73,13 \text{ ом}$. Реалните диполи имат по-малко съпротивление, което е резултат от влиянието на споменатите вече фактори. Специално за диполите на УКВ влиянието на земята може да се пренебрегне, стига антената да е на височина няколко дължини на вълната. По-съществено е при тях съотношението дължина на полувълната диаметър на проводника. На фиг. 9-27 може да се види как това съотношение изменя съпротивлението на излъчване. За повечето диполи, направени от жича, съпротивлението на излъчване е около 65 ом , а за тези от тръби или пръчки — между 55 и 60 ом .

Хоризонталната диаграма на излъчване на полувълновия дипол има формата на осморка, разположена напречно на оста на антената (фиг. 9-28), следователно максималното излъчване е перпендикулярно на направлението на проводника.

Вертикалната диаграма има формата на окръжност, чийто център съвпада с оста на дипола. Следователно пространствената диаграма на насоченост ще представлява един тороид с нулев отвор.



Фиг. 9-28

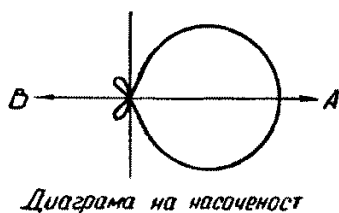
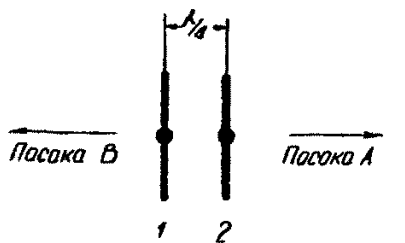
Многоелементни антени

Полувълновият дипол е основен елемент на почти всички УКВ антени. Неговата собствена диаграма на насоченост обаче е далеч незадоволителна. За да се получат еднопосочно излъчване (приемане) и тясна диаграма на насоченост, а оттам и висок коефициент на усиление на антената, в състава на последната се въвеждат нови елементи, които съобразно предназначението си носят името *рефлектори* и *директори*.

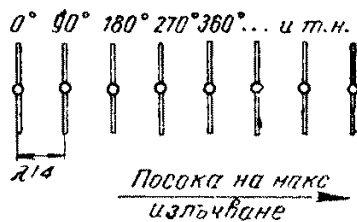
Принципът, на който действуват многоелементните антени, е следният: ако в близост на един полувълнов дипол (вibratora 2), както е показано на фиг. 9-29, поставим един проводник с приблизително същата дължина (1), в последния под влияние на излъчването от vibratora 2 ще се възбуди силен ток, който ще предизвика вторично излъчване. Това вторично излъчване се наслажда върху първичното, в резултат на което напрегнатостта на полето в посоката А се увеличава, а в посоката В силно спада. Следователно елементът 1 се държи като отражател на енергията, излъчвана от 2, и може да бъде наречен *ре-*

флексор. Условието, на което трябва да отговаря един елемент, за да се държи като рефлектор, е токът в него да изпреварва по фаза тока на първичния излъчвател. На практика това се постига, като се изменя дължината на паразитния елемент. Обикновено рефлекторът е с около 5% по-дълъг от вибратора.

По-нататъшното стесняване на диаграмата на насоченост се постига, като пред вибратора се поставят нови паразитни елементи, в които възбудените токове изостават по фаза



Фиг. 9-29



Фиг. 9-30

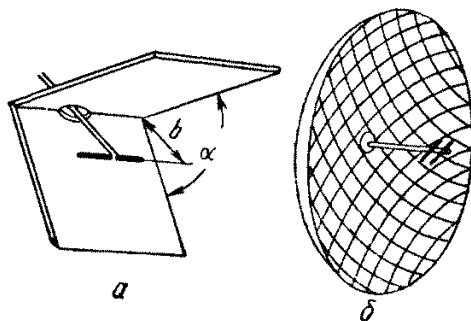
от тока на вибратора. Това се постига със скъсяване на елементите, които в случая се държат като насочвачи на енергията, излъчвана от вибратора, и се наричат *директори*. На фиг. 9-30 са дадени конфигурацията на елементите и диаграмата на излъчване на една многоелементна антена.

Колкото по-близо до вибратора е разположен пасивният елемент, толкова по-добре изпълнява той функциите си на вторичен излъчвател, тъй като възбуденият ток е по-силен. Прекомерното приближаване на пасивните елементи обаче понижава рязко съпротивлението на излъчване на вибратора, в резултат на което се влошава КПД на антената. Затова взаимното разположение на вибратора и на пасивните елементи трябва да бъде резултат на разумен компромис.

Антените, съставени от един полувълнов вибратор и няколко пасивни елемента, се отличават с голяма простота в конструктивно и електрическо отношение и са най-широко разпространеното антенно съоръжение между любителите. Тези антени са известни под името Яги-антени или антени тип „вълнов канал“.

Рефлекторни антени

Колкото повече навлизаме в областта на свръхвисоките честоти, толкова повече методите за концентриране и насочване на излъчването на радиовълните се приближават до методите за фокусиране и насочване на светлинните лъчи. Така за по-високите любителски обхвати (420 мгхц и нагоре) се използват рефлекторни антени, които по конструкция и действие напомнят светлинните фарове и прожектори. Рефлекторната антена се състои от един излъчвател (обикновено полувълнов дипол), поставен във фокуса на едно метално огледало (рефлектор). В зависимост от формата на огледалото рефлекторните антени биват с *плоски рефлектори* и с *параболни рефлектори* (фиг. 9-31, а и б).



Фиг. 9-31

Параболчните антени са намерили най-широко приложение в професионалните линии за връзка и радионаблюдение. Особено голямо приложение те имат в радиоастрономията, където играят ролята на гигантски радиотелескопи, в системите за космически връзки и в радиорелейните линии за връзка посредством тропосферно разсейване. Съвременната техника е създала параболчни антени с диаметър 60 метра и повече, които концентрират енергията в сноп с разтвор, по-малък от 1° .

Захранване и съгласуване на антените

Фидери. Антенният фидер представлява двупроводна дълга линия чието предназначение е да канализира високочестотната енергия, циркулираща от антената към входа на приемника (при приемане) или от изхода на предавателя към антената (при предаване). От правилния избор и доброто съгласуване на фидера зависи каква част от енергията на предавателя ще постъпи в антената, или каква част от „уловената“ от антената енергия ще се подаде към входа на радиоприемника.

Антенните фидери, които се използват в практиката на УКВ любителите, биват два типа: симетрични (плоска двупроводна линия — фиг. 9-32, а) и несиметрични (коаксиални кабели — фиг. 9-32, б). Основните параметри на фидерните линии са следните:

а) *Вълново съпротивление.* Това е входното съпротивление на фидера за високочестотните токове, при положение че насрещният край на фидера е съгласуван с товара. Вълновото съпротивление почти не зависи от честотата и се определя от диаметрите на проводниците, образуващи линията, и от разстоянието между тях, както следва:

за симетричен фидер $Z_{\phi} = 276 \lg \frac{2s}{d}$

за несиметричен фидер $Z_{\phi} = 138 \lg \frac{D}{d}$

където d' е диаметърът на жилото в мм;

D — вътрешният диаметър на оплетката (екрана) на коаксиалния кабел в мм;

s — разстоянието между двете жила на симетричната двупроводна линия в мм.

Не трябва да се забравя, че тези изрази важат за фидери, при които изолацията между двата проводника е въздух. При изолация от твърд диелектрик горните изрази трябва да се умножат с $\frac{1}{\sqrt{\epsilon}}$, където ϵ е диелектричната константа на материала. Полиетиленът, който е най-често срещаният изолатор във фидерите, има $\epsilon \approx 2,3$.

б) *Затихване*. Част от високочестотната енергия, която се пренася от фидера, се губи безвъзвратно във вид на топлина. Тези загуби са обусловени от скинефекта в проводниците и утечните токове в изолацията, следователно те нарастват с увеличаване на честотата. Високочестотните загуби предизвикват затихване на сигнала, преминаващ през фидера. Това затихване обикновено се дава в децибели на метър дължина от линията. Когато затихването е дадено в неperi, то лесно може да бъде превърнато в децибели, като се знае, че $1 \text{ nep} = 8,686 \text{ db}$.

в) *Коефициент на скъсяване*. Скоростта на разпространение на електромагнитната енергия в една двупроводна линия с въздушен диелектрик е приблизително 300 000 км/сек. В една линия с твърд диелектрик обаче скоростта на разпространение е $\frac{1}{\sqrt{\epsilon}}$ пъти по-малка. В резултат на това за времето, отговарящо на един период на ν трептене, токът ще измине по-късо разстояние, отколкото ако се разпространяваше в свободното пространство. Отгук следва важният практически резултат, че дължината на вълната във фидерите с твърд диелектрик е $\frac{1}{\sqrt{\epsilon}}$ пъти по малка от дължината на вълната при разпростра-



Фиг. 9-32

нение в свободното пространство. Числото, което показва колко пъти се скъсява дължината на вълната във фидера, се нарича коефициент на скъсяване.

В таблица 9-3 са дадени основните електрически параметри на фидерните кабели, произвеждани от нашата промишленост.

Таблица 9-3

Марка на фидерния кабел	Вълново съпротивление (ом)	Затихване (дб/м)		Коефициент на скъпяване
		при 100 мкхц	при 300 мкхц	
РКШ-1	77	0,110	0,20	0,666
РКШ-2	92	0,090	0,15	0,666
РКШ-3	74	0,017	0,07	0,666
РКШ-6	52	0,016	0,05	0,666
РКШ-19	51	0,056	0,20	0,666
РКШ-20	77	0,022	0,09	0,666
РКШ-28	52	0,022	0,09	0,666
РКШ-29	50	0,030	0,11	0,666
РКШ-47	52	0,022	0,09	0,666
РКШ-48	50	0,017	0,07	0,666
РКШ-49	70	0,035	0,13	0,666
Симетрична фидерна линия	240	0,180	—	≈0,810

Съгласуване и симетриране. Максимално предаване на енергия между антената и фидера съществува в случая, когато вълновото съпротивление на фидера е равно на съпротивлението на излъчване на антената. Тъй като последното зависи от конструкцията на антената и може да има различни стойности, а вълновото съпротивление на кабелите не може да се мени, необходимо е да се включи в края на фидера откъм антената някакво устройство за изравняване на съпротивленията. Такива устройства се наричат *съгласуващи*, а самият процес на изравняване на импедансите се нарича *съгласуване* на антената с фидера. Наред със съгласуването често се налага да се извършва и симетриране на антенно-фидерната система. Това важи за случаите, когато една симетрична антена се захранва с несиметричен фидер (коаксиален кабел) или обратно, и цели да предотврати протичането на балансиращи токове, които влошават диаграмата на излъчване.

На фиг. 9-33 са показани най-често използваните методи за съгласуване и симетриране на антенно-фидерните системи. Свързването, показано на фиг. 9-33, а, се използва за съгласуване на симетрична антена със симетричен фидер. Четвъртвълновата линия, която тук се използва като импедансен трансформатор, трябва да има вълново съпротивление

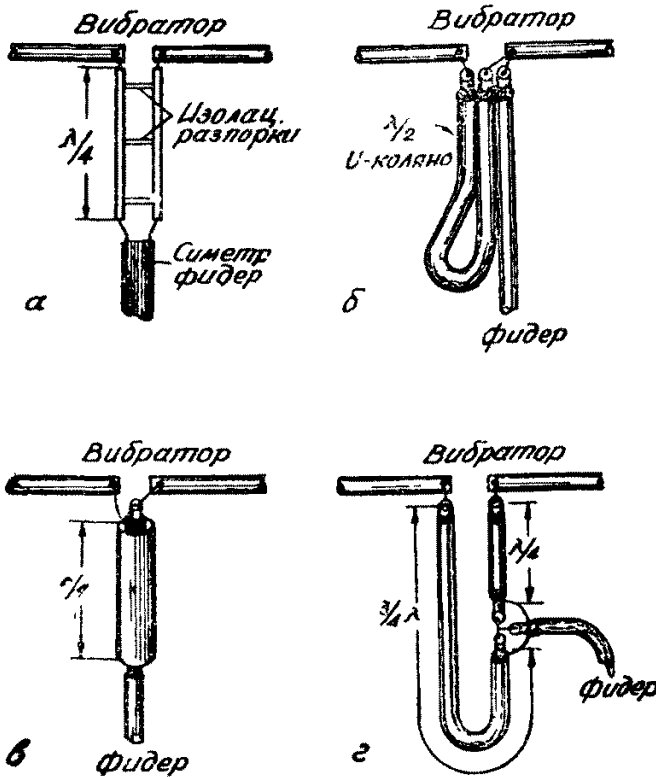
$$Z_0 = \sqrt{Z_{\Phi} \cdot Z_A} \text{ (ом)},$$

където Z_{Φ} и Z_A са съответно вълновото съпротивление на фидера и съпротивлението на излъчване на антената в оме.

Когато е необходимо да се извърши само симетриране без трансформиране на импедансите (съпротивлението на излъчване на антената е равно на вълновото съпротивление на фидера), се използват свързванията, показани на фиг. 9-33, в и г. Симетриращата чаша (9-33, в) обхваща последната $\lambda/4$ дължина на фидера и разстоянието между вътрешната ѝ стена и оплетката на кабела се поддържа постоянно с

помощта на един или два пръстеновидни изолятора. Оплетката на кабела се запоява към металната чаша в мястото, където фидерът минава през дъното на чашата.

Свързването, показано на фиг. 9-33, б, изпълнява едновременно ролята на симетриращо устройство и на импедансен трансформатор. U-ко-



Фиг. 9-33

ляното повишава импеданса на кабела 4 пъти, така че позволява съгласуването например на един сгънат дипол ($Z_A=240 \text{ ом}$) с коаксиален фидер, имащ вълново съпротивление от порядъка на $Z_\phi \approx 60 \text{ ом}$.

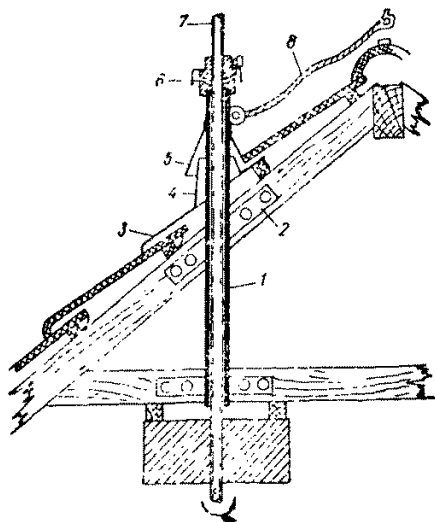
Не трябва да се забравя, че дължините на кабелите от фиг. 9-33, б и г трябва да бъдат съобразени с коефициента на скъсяване на вълната във фидерите със твърд диелектрик (виж таблица 9-3).

Конструиране на УКВ антени

Изпълнението на антенната конструкция дава широко поле за проявяване на индивидуалния вкус, техническата сръчност и изобретателност на радиолюбителя. Антената на любителската станция трябва да

отговаря на следните основни изисквания: да има висок коефициент на усилване, да бъде проста за изчисление и изпълнение, да бъде лека и повратлива, с което да осигурява възможност за лесно изменение насоката на максимално излъчване, за да има леко захранване, да бъде устойчива на вятъра и атмосферните влияния и да бъде евтина. На всички тези изисквания в най-голяма степен отговарят многоелементните Яги-антени.

Мачти и носещи конструкции. Мачтата има предназначение да държи антената на определена височина над земята, а в някои случаи и да я върти. Изпълнението на мачтите, предназначени да поддържат УКВ антени, е сравнително лека задача, тъй като последните имат малко тегло и механическите усилия, на които е подложена мачтата, са далеч по-малки от тия при късовълновите антени. Мачтите биват с приземна или покривна конструкция. На фиг. 9-34 е показана покривна мачтова конструкция, която е особено удобна за случаите, когато любителската станция е инсталирана в таванско помещение. Трегерите имат за задача да носят елементите на антената, а супортите поддържат нормалното положение на трегерите. В качеството на трегери обикновено се използват дуралуминиеви тръби, по-рядко дуралови винкели и още по-рядко дървени пръти.



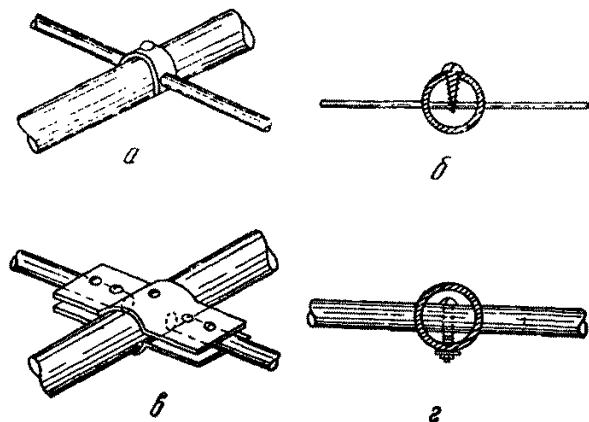
Фиг. 9-34

Закрепването на елементите към трегера става по различни начини. На фиг. 9-35 са показани четири различни варианта за закрепване. Първите два са особено ефикасни за закрепване на елементи с малък диаметър.

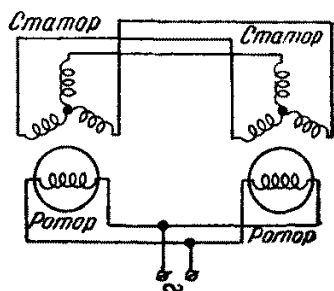
Въртене на антените. Механизмът за въртене на антената се определя от местните условия и възможностите на любителя. Най-простият метод за въртене може да се реализира, ако носещата тръба на антената влиза директно в помещението на станцията. Най-често антената е отдалечена от работното място на любителя — в този случай може да се употреби външен механичен привод, който позволява с помощта на междинни ролки да се постигне пренасяне на движението по произволна начупена линия.

Най-доброто разрешение на въпроса за въртене на антената е, разбира се, използването на специален електромотор — ротатор. Неговото свързване към антенната конструкция може да стане или на върха на мачтата, непосредствено под антената, или в основата на мачтовата конструкция, като въртящият момент се предава от вертикалната носеща тръба на антената.

Индикаторите на посоката в антените с електрически привод обикновено са също електрически. Обикновено се използват кръгов потенциометър, чиято ос се върти с антената, и волтмер, разграбен в посоки. Безспорно най-добрите индикатори са селсините. На фиг. 9-36 е показан начинът за свързване на двата селсина.



Фиг. 9-35



Фиг. 9-36

4-елементна Яги-антена за начинаещи

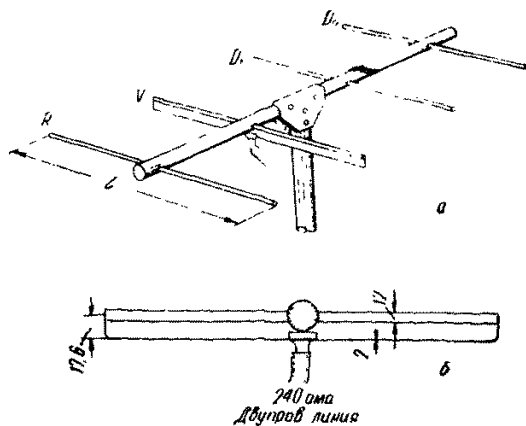
Тази антена е проста по устройство и може да се препоръча като първа конструкция на насочена антена за двуметровия любителски обхват. Печалбата по мощност, която може да се реализира с нея, е

Таблица 9-4

Елемент	l (мм)	Отстояние от вибратора (мм)
Рефлектор R	1013	406
Вибратор V	973	—
I директор D_1	920	406
II директор D_2	915	812

около 6,3 пъти (8 децибала). Размерите на елементите и разстоянията между тях са дадени в таблица 9-4. Елементите са от алуминиева тръба с диаметър 6 мм. Последният не е критичен. Критични са обаче диаметрите на проводниците, от които е изготвен вибраторът (фиг. 9-37).

Горният проводник е алуминиева, месингова или медна тръба, а долният — медна жица с диаметър 2 мм.



Фиг. 9-37

В качеството на трегер може да се използва прът от здраво дърво, предварително импрегниран в гореща парафинова баня.

РАДИОКОНСТРУКТОРСТВО

1. ИНСТРУМЕНТИ И МАТЕРИАЛИ,
ИЗПОЛЗВАНИ В РАДИОПРАКТИКАТА

Инструменти и приспособления

За изработка на радиоапаратури е необходимо на масата за механически монтаж да има една стиска (менгеме) и по възможност електрическа бормашина със стойка. Добре е също така да има монтирана и малка абкант-машина за огъване на шасита от ламарина. Един ръчен шмиргелов апарат е също така необходим. Добра работа ще върши и едва малка ръчна обушарска преса за занитване на кухи нитове (кабзи), кабелни ушенца и др. В някои случаи е необходима и стабилна ножица за рязане на ламарина, монтирана на масата.

За изсичане на различни отвори в метални шасита е необходим комплект от открити ръчни щанци с диаметри 10, 15, 20, 25, 30, 32, 35 и 40 мм.

За изработка на радиоапаратурите са необходими следните механични инструменти:

1. Чукове — разни размери, както и дървен и гумен чук.
2. Комплект отвертки — всички размери.
3. Комплект гаечни ключове — малки размери.
4. Комплект глухи ключове — малки размери (M2 до M5).
5. Комплект пили за метал и дърво — кръгла, полуобла, плоска, квадратна и триъгълна.
6. Комплект часовникарски пилочки.
7. Комплект метчици — M2; M2,6; M3; M4; 1/18" и 3/16" с върток.
8. Комплект флашки — същите рамери с върток.
9. Ножовка.
10. Лъкче за резба със съответна дъсчица и стяга.
11. Комплект бургии за метал от 1 до 12 мм.
12. Комплект клещи.
13. Микрометър от 0 до 25 мм.
14. Ръчни шлосерски стиски.
15. Шублер.
16. Чертилка.
17. Център (шлосерски).
18. Ръчна ножица за рязане на ламарина.
19. Шабер.

20. Стоманена линийка 30—50 см.
21. Дървен метър.
22. Малка наковалня за маса.
23. Масльонка.
24. Ножче.
25. Стоманен пергел.
26. Малък французки ключ.
27. Секач за метал.
28. Длета за дърво — плоски и полуобли — разни размери.
29. Ренде за дърво.
30. Ръчно трионче за дърво.
31. Четки разни.
32. Пинцети разни видове: прави, криви, тъпи и остри.
33. Стоманен ъгъл.
34. Стоманено шило.

Всички машини и апарати в радиоработилницата се захранват почти изключително с еднофазен ток. Тъй като при монтажа на апаратурите понякога се получават къси съединения, добре е в самата работилница да има автоматични предпазители, за да не се губи време за смяната на обикновено далеч разположените предпазители. На масата за електрическите монтаж трябва да има всички напрежения, срещани в радиоапаратурите: 110, 127, 150, 220 и 240 в, изведени от контакти на подходящо табло. Означението на напрежението трябва да е четливо и трайно, за да не се допускат грешки. Различните променливи напрежения се получават с помощта на трансформатор с мощност 200 до 1000 вa в зависимост от големината на работилницата.

На масата трябва да има няколко контакта (3—5) за нормалното напрежение на дадено населено място, които служат за включване на електрическия поялник, различните измервателни прибори, радиоапаратурите и др.

Включването и изключването на всички напрежения в радиоработилницата трябва да стават с помощта на един главен ключ, монтиран обикновено до автоматичните предпазители. Добре е да се монтира една контролна глимлампа.

На всяко работно място в работилницата трябва да има по един малък електрически поялник 80—100 вт, поставен на подходяща спойка. Освен това е необходим и един по-голям електрически поялник с мощност около 500 вт.

За провеждане на обикновени електрически измервания за всяко работно място са необходими следните апарати:

1. Веригопрверител с вградена батерийка.
2. Комбиниран измервателен уред (авометър, мултицет).

За навиване на вч бобини и трансформатори са необходими две навивачни машини — едната за бобините, а другата за трансформаторите.

При монтажа на радиоапаратурите са необходими и други специални измервателни прибори, които разгледахме в глава осма.

Материали

Материалите, които се употребяват при изработка на радиоапаратурите, са много разнообразни. Те се разделят на метални и изолационни.

За изработка на шасита, кутии и др. се употребява декапирана стоманена ламарина с дебелина от 0,8 до 1,5 мм. За да се предпази от ръждясване, шасито трябва да бъде боядисано след окончателната му механична изработка. По-подходящ материал за тази цел е алуминият с дебелина от 1 до 2 мм. Той се обработва много по-лесно и не е необходимо да се боядисва. Алуминият е незаменяем за изработка на различни екраниращи кутии. Освен алуминий често се употребява и дуралуминий, който е по-здрав от него.

За изработка на пружиниращи пластинки, контактни пера и други подобни се употребяват твърд месинг, алпака (ново сребро) или фосфорен бронз. В радиопрактиката голямо приложение намира месингът във вид на пръчки.

За изработка на ламели за нискочестотни и мрежови трансформатори, дросели и др. се употребява силициева ламарина с дебелина от 0,3 до 0,5 мм.

Медта се употребява във вид на най-разнообразни видове проводници, едножични и многожични, с различни размери.

Калаят се употребява във вид на различни припои.

Изолационните материали, които се употребяват за изработка на радиоапаратури, се разделят на неорганически и органически.

Към неорганическите спадат слюдата, мраморът, азбестът, различните високочестотни керамики, порцеланът и др.

Към органическите спадат различните видове електротехнически хартии и картони, гумата, колофонът, бакелитът, гетинаксът (пертинаксът), текстолитът, полистиролът, полихлорвинилът, целулоидът, игелитът, восъкът, парафинът, церезинът, шеллакът, ебонитът, плексигласът, дървото, туткалът, различните видове тъкани, лакове, бои, смоли, битуми и много други.

Както се вижда, за монтажа на радиоапаратурите се употребяват почти всички видове материали, познати в техниката.

2. ИЗЧИСЛЕНИЕ И ПРАВИЛА ЗА ИЗРАБОТКА НА ЕЛЕМЕНТИ ОТ РАДИОТЕХНИЧЕСКИ ВЕРИГИ

Жични съпротивления

Много често при изработка на любителски радиоапаратури се налага някои от елементите им да се изработват с подръчни материали.

Жичните съпротивления са един от елементите, които трябва да се изработват от радиолюбителите. Това е необходимо, тъй като жичните съпротивления с желаните стойности и мощности не винаги се произвеждат. Те се навиват спираловидно със съпротивителен провод-

ник на подходящо изолационно тяло от керамика, слюда, гетинакс, азбест и пр. Жичните съпротивления най-често са еднослойни и са предназначени да поглъщат значителна електрическа мощност (4, 6, 8, 10, 12 и повече вата).

Стойността на жичните съпротивления се изчислява по познатата формула

$$R = \rho \frac{l}{q} \text{ (ом)},$$

където l е дължината на проводника в m ;

q — напречното сечение на проводника в mm^2 ;

ρ — специфичното съпротивление на материала, от който е направен проводникът, в $\frac{ом \cdot mm^2}{m}$.

Специфичното съпротивление ρ на съпротивителните проводници е, както следва:

- | | | |
|------------------|------|---------------------------|
| 1) Нихром — | 1,1 | $\frac{ом \cdot mm^2}{m}$ |
| 2) Константан — | 0,48 | " |
| 3) Манганин — | 0,4 | " |
| 4) Ново сребро — | 0,32 | " |
| 5) Никелин — | 0,42 | " |
| 6) Реотан — | 0,5 | " |

Оразмеряването на жичните съпротивления, навити върху цилиндрично тяло, става с помощта на формулите

$$d = 0,14 \sqrt{\frac{\rho \cdot B \cdot D}{R}} \text{ (мм)}$$

$$l = \frac{800 \cdot R \cdot d^2}{\rho} \text{ (мм)},$$

където B е частта от тялото, на която се навива проводникът, в mm ;

D — диаметърът на тялото в mm .

Жичните съпротивления трябва да се навиват много стегнато. Изводните им краища се изработват чрез занитване или силно притягане на проводника с някаква метална гривна. Съпротивителните проводници с изключение на никелина не могат да се запояват.

Променливи кондензатори

За изработката на късовълнови и ултракъсовълнови радиоапаратури са необходими променливи кондензатори със сравнително малък капацитет — $50 \div 100 \text{ пф}$. Такива кондензатори се намират трудно и затова е необходимо да ги изчислим и изработим сами.

Капацитетът на такъв кондензатор с две плочки се изчислява по формулата

$$C = 0,088 \cdot \epsilon \frac{S}{d} \text{ (пф)},$$

а за кондензатор с n плочки важи формулата

$$C = 0,088 \cdot \epsilon \frac{S}{d} (n-1) (n\phi),$$

където S е лицето на една плочка в $см^2$;

d — разстоянието между две плочки в см;

ϵ — диелектричната проницаемост на материала (диелектрика), който се намира между плочките на кондензатора; за въздуха $\epsilon = 1$.

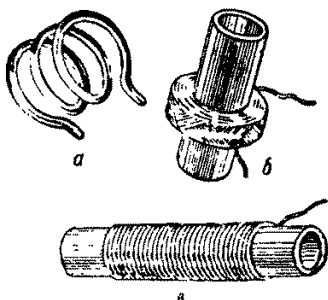
Плочките на кондензатора се изрязват от алуминиева или месингова ламарина. По-подходяща е месинговата ламарина тъй като плочките могат да се запоят към оста на ротора. Изолацията между статора и ротора трябва да е толкова по-качествена, колкото по-висока е честотата. За целта може да се употреби плексиглас или полистирол.

Високочестотни бобини

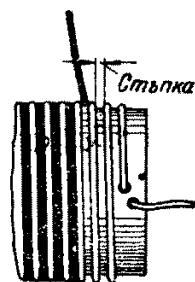
Докато почти всички елементи на радиоапаратурите се намират готови, почти винаги става нужда да се изработват *вч* бобини. В радио-практиката се срещат три вида бобини (фиг. 10-1): въздушни — *а*; с кръстосана (универсална) плетка — *б*, и еднослойни — *в*.

Въздушните бобини са обикновено за обхвата на УКВ. Те се изработват от дебел (> 1 мм) меден, често посребрен проводник. Навиват се на подходящо тяло, което след това се измъква.

Еднослойните бобини се навиват на подходящо тяло от гетинаксова тръба, бакелит, тролитул и други подобни. Те могат да бъдат със или без феромагнитна сърцевина. Когато е необходимо бобината да се



Фиг. 10-1

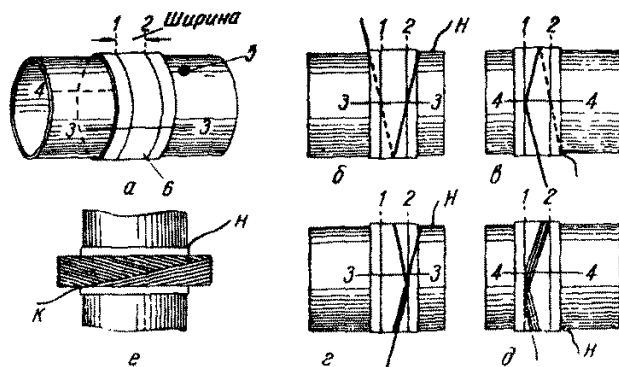


Фиг. 10-2

навие с някаква стъпка, то става с помощта на втори проводник със съответната за стъпката дебелина (фиг. 10-2). След като бобината се навие, спомагателният проводник се развива.

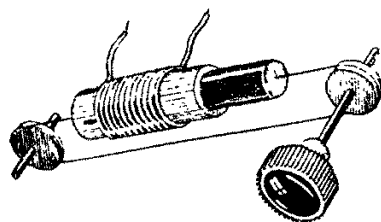
Най-трудно става навиването на *вч* бобини с кръстосана плетка. Най-добре е те да се навият със специална за тази цел машина. Такава машина обаче не винаги е на разположение на радиолюбителя. В такъв случай навиването при по-голямо внимание може да стане и

на ръка, както е показано на фиг. 10-3. На тялото, на което трябва да се навие бобината, се залепва с лепило едно хартиено пръстенче б (фиг. 10-3, а), чиято ширина е малко по-голяма от ширината на бобината. След това на хартиеното пръстенче се начертават с молив две



Фиг. 10-3

успоредни окръжности на разстояние една от друга, равно на ширината на бобината. Напреки на окръжностите се начертават от противоположните страни две прави линии 3 и 4, които са необходими за правилното навиване и броене на навивките. За закрепване на началото на проводника се пробива в тялото малка дупка 5. След това започваме навиването, като внимаваме проводникът да мине през пресечните точки на окръжността 2 и правата 3 (фиг. 10-3, б), след което се навива косо, така че да мине през пресечната точка на 1 и 4 (фиг. 10-3, в). След това проводникът се насочва към пресечната точка на 2 и 3, там, където е започната първата навивка. По този начин първата навивка е готова. След това извиваме проводника така, че втората навивка да върви плътно до първата (фиг. 10-3, г), като на противоположната страна проводникът се извива отново. По този начин се навива цялата бобина, като се внимава всяка следваща навивка да се допира до предишната. Необходимо е освен това да се внимава при извиването на проводника последният да не излиза извън окръжностите 1 и 2 и винаги извивките да са срещуположни (фиг. 10-3 д). Най-трудното при този начин на навиване е полагането на първите 8—10 навивки. За да може проводникът на първите навивки да се задържи добре на хартиеното пръстенче, трябва да намажем последното с ацетоново лепило. По този начин се получава готовата бобина (фиг. 10-3, е), която след това може да залеем с парафин. Ако е не-



Фиг. 10-4

обходимо, бобината заедно с хартиеното пръстенче може да се издърпа от тялото, на което е навита.

При някои УКВ апаратури вместо *C*-настройка се употребява *L*-настройка. В такъв случай може да се използва конструкцията от фиг. 10-4.

Скални механизми

При скалните механизми най-често въртеливото движение на променливия кондензатор трябва да се превърне в праволинейно движение (ход) на стрелката на скалата. Това движение обикновено се осъществява с помощта на един диск и корда.

Необходимият диаметър на диска се изчислява по формулата

$$D = \frac{2l}{\pi} \text{ (мм)},$$

където *l* е ходът на стрелката в мм.

3. ИЗЧИСЛЕНИЕ НА РАДИОАПАРАТУРИ

Метод на приблизително изчисление на любителски късовълнов радиопредавател

Любителските предаватели за радиовръзки на големи разстояния са късовълнови. Както е известно, те имат следните употребявани от радиолюбителите у нас обхвати:

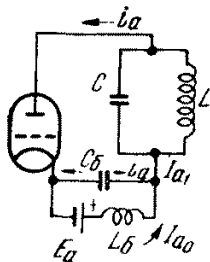
- I — 80 м (3,50—3,60 мгхц).
- II — 40 м (7,00—7,10 мгхц).
- III — 20 м (14,00—14,40 мгхц).
- IV — 15 м (21,00—21,45 мгхц).
- V — 10 м (28,00—29,30 мгхц).

Преди да се заеме с конструкцията на даден предавател, радиолюбителят трябва да уточни схемата му и да направи някои основни изчисления. Първото нещо, което трябва да се установи, е мощността на предавателя и неговите работни обхвати (честоти). След това трябва да се установи типът на лампите и да се избере работният режим на генераторите и усилвателите. При избора на лампите трябва да се има предвид и максималната честота, за която те са конструирани.

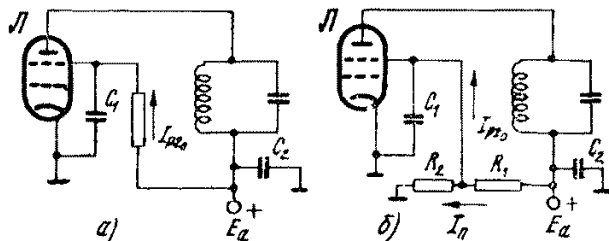
Радиолюбителските късовълнови предаватели са със сравнително малка мощност (до няколкостотин вата), поради което за тях обикновено се използват многорешетъчни лампи (лъчеви тетроди или пентоди). Те имат сравнително голямо усилване по мощност ($\kappa = 100$ до 200) и много малък паразитен капацитет решетка¹—анод, при което обикновено не е необходима неутрализация. За разлика от нискочестот-

¹ Първа (управляваща) решетка.

ните усилватели, които работят с аperiодичен товар, високочестотните усилватели и генератори работят като резонансни усилватели с включен в анода им паралелен кръг, настроен на дадена резонансна честота. За хармоничните на тази резонансна честота кръгът представлява късо съединение, благодарение на което е възможно да се работи с едно-



Фиг. 10-5



Фиг. 10-6

тактова схема при усилватели клас В и С. Както е известно, при радиопредавателите се използват само класовете В и С, тъй като при клас А изходната мощност е най-малка. Ако се избере клас С, трябва да се уточни дали ще се работи в буферен, ненапрегнат, критичен (граничен) или пренапрегнат режим.

Основни изчисления. На фиг. 10-5 е дадена най-често срещаната схема за последователно свързване на източника за постоянен ток E_a към анодния кръг на генераторна или усилвателна лампа. Капацитетът на блокиращия кондензатор $C_б$ се изчислява по формулата

$$C_б = 200 C_1 \text{ (нф)},$$

където C_1 е сборът на капацитета анод—катод $C_{ак}$ на лампата и съответният монтажен капацитет C_m в нф. Практически $C_б$ е 3000—5000 нф.

Необходимата индуктивност на блокиращия дросел $L_б$ се изчислява по формулата

$$L_б = 0,4 \lambda \text{ (мкхн)},$$

където λ е дължината на най-дългата вълна от обхватите в м.

За нормалната работа на генераторните и усилвателните лампи екраниращата им решетка трябва да получи напрежение U_{p_1} (около 20—80% от E_a), а защитната им решетка — напрежение U_{p_2} (около 2—6% от U_a) спрямо катода. И двете решетки се блокират към катода с по един кондензатор с капацитет 1000—10 000 нф, които се монтират на самия цокъл на лампата. За захранване на екраниращата решетка се употребяват две схеми: с последователно съпротивление R_{p_1} (фиг. 10-6, а) и с делител на напрежението $R_1—R_2$ (фиг. 10-6, б). Стойността на съпротивлението R_{p_1} се определя по формулата

$$R_{p_1} = \frac{U_a - U_{p_1}}{I_{p_10}} \text{ (ом)},$$

където $I_{p,0}$ е големината на постоянната съставна на тока, който тече през екраниращата решетка, в a .

При критичен режим при лъчеви тетроди и пентоди токът $I_{p,0}$ се определя по приблизителната формула

$$I_{p,0} = (0,15 \div 0,25) I_{a0} (a),$$

където I_{a0} е постоянната съставна на анодния ток в a .

Също при критичен режим при пентодите токът $I_{p,2}$ се определя по приблизителната формула

$$I_{p,2} = (0,01 \div 0,06) I_{a0} (a).$$

За да се получи достатъчно стабилно (неизменно) напрежение $U_{p,2}$ при делител на напрежението е необходимо да бъде (фиг. 10-6, б).

$$I_n = (3 \div 5) I_{p,0} (a).$$

Връзката между отделните стъпала в КВ предаватели е най-често автотрансформаторна (фиг. 10-7). Капацитивното съпротивление на блокиращия кондензатор C_6 , трябва да бъде около 100 пъти по-малко от входното съпротивление $R_{вх}$ на лампата, като

$$R_{вх} = \frac{U_p}{I_{p1}} (ом),$$

където U_p е възбуждащото променливо напрежение на решетката във v ;

I_{p1} — първата хармонична на решетъчния ток в a .

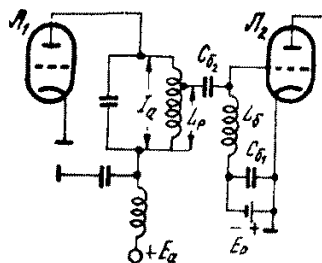
Индуктивността на блокиращия дросел L_6 се определя по приблизителната формула (фиг. 10-7)

$$L_6 = 50 L_p (мкхн),$$

където L_p е тази част на бобината L_a в $мкхн$, която определя величината на възбуждащото напрежение U_p .

Практически при проектирането на любителски КВ предавател се започва от необходимата изходна мощност, която той трябва да има. След това се избират подходящи лампи от таблиците (характеристиките) за радиолампите, в които за предавателните лампи са дадени режимите им за получаване на исканата мощност. За точното постигане на работните обхвати обаче трябва много точно да се изчислят данните на елементите на задаващите генератори.

Задаващ генератор. За изчислението на задаващия генератор е необходимо преди всичко да се знаят честотните обхвати на предавателя, видът на обратната връзка (автотрансформаторна, капацитивна или трансформаторна.) При КВ предаватели се употребяват само генератори с автотрансформаторна или капацитивна обратна връзка.



Фиг. 10-7

Честотата на генерираните *вч* трептения се определя по формулата

$$f_0 = \frac{159\,000}{\sqrt{LC}} \text{ (хц)},$$

където L е индуктивността на кръга в *мкхн*;

C — общият капацитет на кръга в *пф*.

На фиг. 10-8, *а* е дадена познатата схема на задаващ генератор с автотрансформаторна (индуктивна) обратна връзка, а на фиг. 10-8, *б* — схемата на задаващ генератор с капацитивна обратна връзка.

Коефициентът на обратната връзка $K_{вр}$ при автотрансформаторната обратна връзка се определя по формулата

$$K_{вр} = \frac{L_{кр}}{L_{ак}}.$$

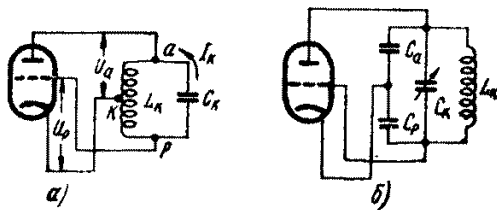
Най-често броят на навивките между точките катод k и решетка p е $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{4}$ от общия брой на навивките анод a и катод k на бобината.

Коефициентът на обратната връзка $K_{вр}$ при капацитивната обратна връзка се определя по формулата

$$K_{вр} = \frac{C_a}{C_p}.$$

От точното изчисление на елементите на *вч* трептящ кръг на задаващите генератори зависи до иай-голяма степен добрата и сигурна работа на КВ предавател. Ето защо ще разгледаме подробно как се изчисляват тези елементи при автотрансформаторна и капацитивна обратна връзка.

Превключването на предавателя от една на друга вълна става чрез промяна на капацитета на кондензатора (с променлив капацитет) или чрез промяна на индуктивността (с вариометър) на трептящия кръг. При любителските КВ предаватели се прилага едновременна настройка



Фиг. 10-8

на *вч* кръгове във всичките им стъпала. Следователно видът на настройката на задаващия генератор се определя от начина на настройката на останалите стъпала, като решаващ е начинът на настройката на крайното стъпало на предавателя. Във всеки случай обаче е необходимо да се определят минималната и максималната стойност на капацитета, респ. на индуктивността на трептящия кръг.

За изчисление на *вч* трептящи кръгове на задаващите генератори са необходими следните данни:

1. Обхват $\lambda_{мин}$ до $\lambda_{макс}$ (M).

2. Минималната стабилност на честотата на генератора $\frac{\Delta\omega}{\omega_0}$, като $\omega_0 = 2\pi f_0$ е основната честота, а $\Delta\omega$ е възможното отклонение от нея.

При любителските КВ предаватели клас В имаме $\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = +2,5 \cdot 10^{-4}$, а при клас С — $\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \pm 5 \cdot 10^{-4}$.

3. Изменението ΔC_{a0} на основния капацитет C_{a0} , в чиято стойност влизат всички капацитети на кръга. Обикновено $\Delta C_{a0} = 0,1-0,5$ пф.

4. Еквивалентното съпротивление R_e на трептящия кръг на генератора:

$$R_e = \frac{U_a^2}{I_{a1}^2} \text{ (ом)},$$

където U_a е променливотоковата съставна на напрежението на анода на лампата във ν ;

I_{a1} — първата хармонична на анодния ток в a .

5. Коефициентът на обратната връзка $K_{вр}$.

Елементите на ν трептящи кръгове на задаващите генератори с автотрансформаторна и капацитивна обратна връзка се изчисляват по следващите общи формули:

Необходимият качествен фактор на ν трептящ кръг се изчислява по формулата

$$Q = \frac{R_e \cdot \Delta C_{a0}}{10^3 \lambda_{\max} \left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0} \right)}.$$

Капацитетът на кръга за най-дългата вълна (най-ниската честота) за даден обхват се изчислява по формулата

$$C_{к \max} = 530 \frac{Q \cdot \lambda_{\max}}{(1 + K_{вр})^2 \cdot R_e} \text{ (пф)}.$$

Допустимото изменение на капацитета на кръга се изчислява по формулата

$$\Delta C_k = 0,1 \Delta C_{a0}.$$

Коефициентът на покритие на обхвата се изчислява по формулата

$$K_{об} = \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}}.$$

Капацитетът на кръга за най-късата вълна (най-високата честота) за даден обхват се изчислява по формулата

$$C_{к \min} = \frac{C_{к \max}}{K_{об}^2}.$$

Само за задаващите генератори с автотрансформаторна обратна връзка (фиг. 10-8, а) важат и формулите:

Пълната индуктивност на бобината от ν кръг се изчислява по формулата

$$L_k = \frac{R_e \cdot \lambda_{\max}}{1880 \cdot Q} (1 + K_{вр})^2.$$

Индуктивността на бобината, свързана в анодния кръг на лампата, се изчислява по формулата

$$L_a = \frac{R_e \cdot \lambda_{\text{макс}}}{1880 \cdot Q} (1 + K_{\text{вр}}).$$

Индуктивността на бобината, свързана в решетъчния кръг на лампата, се изчислява по формулата

$$L_p = K_{\text{вр}} \cdot L_a.$$

За покриване на даден обхват и при двата вида обратна връзка е необходим променлив кондензатор с максимален ($C_{\text{макс}}$) и минимален ($C_{\text{мин}}$) капацитет, както следва:

$$C_{\text{макс}} - C_{\text{мин}} \geq C_{k \text{ макс}} - C_{k \text{ мин}}.$$

Само за задаващите генератори с капацитивна обратна връзка (фиг. 10-8, б) важат и следващите формули:

Началният капацитет на кръга, без да се има предвид минималният капацитет на променливия кондензатор, се изчислява по формулата

$$C_0 = \frac{C_{\text{макс}} - K_{\text{об}}^2 C_{\text{мин}}}{K_{\text{об}}^2 - 1}.$$

Максималният капацитет на кръга се изчислява по формулата

$$C_{k \text{ макс}} = C_0 + C_{\text{макс}}.$$

Общият капацитет C_0 на капацитивния делител, състоящ се от последователно свързаните кондензатори C_a и C_p , се изчислява по формулата

$$C_0 = \frac{1}{C_a} + \frac{1}{C_p}.$$

Капацитетът на кондензатора, свързан между анода и катода на лампата, се изчислява по формулата

$$C_a = C_0 \sqrt{\frac{\omega L_k \cdot Q}{R_e}}.$$

Капацитетът на кондензатора, свързан между решетката и катода на лампата, се изчислява по формулата

$$C_p = \frac{C_a}{K_{\text{вр}}}.$$

Метод за приблизително изчисление на суперхетеродинен приемник

Избор на междинната честота. Преди да започнем проектирането на даден приемник, трябва да ни са известни преди всичко видът на приемника, видът на модулацията (амплитудна или честотна) и работните обхвати. След това трябва да се спрем на схемата, като установим и вида на преобразуването на честотите в него: еднократно или двойно.

В приемниците с двойно преобразуване на честотата след входния кръг следва първият преобразовател на честотата. В анодната верига на този преобразовател се свързва първият *мч* филтър, настроен на първата междинна честота, която се избира висока (1,2—5 *мгхц*). Тази междинна честота постъпва след това (понякога допълнително усилена) на входа на втория преобразовател на честотата, понижаващ междинната честота (472—460 *кхц*). По-нататък следват стъпалата за усиление на втората междинна честота, детекторът и усилвателят на ниска честота. Първата, високата междинна честота облекчава борбата с огледалния канал и позволява да се опрости схемата на втория кръг. Втората, ниската междинна честота позволява да се получи по-голямо усиление и добра избирателност по съседния канал.

В случаите, когато се поставят високи изисквания към избирателността по огледалния канал, би трябвало да се избере схема с двойно преобразуване. Ако обаче това изискване може да се изпълни при еднократно преобразуване на честотата посредством подобряване качеството (*Q*-фактора) на *вч* трептящи кръгове, трябва да се предпочете пред двойното преобразуване.

Двойното преобразуване на честотата има недостатъка, че се получават много пищения вследствие на интерференции, както и че схемата много се усложнява. Освен това се поставят и високи изисквания по отношение постоянството на честотата на хетеродините, така че към нея се прибегва само когато е необходима голяма избирателност по огледалния канал.

За получаването на по-голяма стабилност на осцилаторната честота трябва да се употреби преобразовател с отделен хетеродин (осцилатор).

Количеството на усилвателните стъпала в професионалните радиоприемници е, както следва: в усилвателя на високата честота — не повече от три; в усилвателя на междинната честота — не повече от четири-пет и в усилвателя на ниската честота — не повече от три.

Любителските приемници са с по-проста схема. В тях има най-много едно *вч* усилвателно стъпало, едно-две *мч* усилвателни стъпала и едно *нч* усилвателно стъпало.

При избора на лампите за приемника трябва да се ръководим от основното правило, че по възможност в него трябва да има възможно най-малко различни типове лампи, като е желателно те да бъдат от една и съща серия. Освен това е необходимо да се има предвид и най-високата честота, при която лампите работят нормално.

Правилният избор на междинната честота играе голяма роля за добрата работа на радиоприемника. При избора на междинната честота трябва да се ръководим от следните съображения:

1. Междинната честота не трябва да се намира в някои от работните обхвати на приемника.

2. Междинната честота не трябва да съвпада с честотата на никакъв по-мошен предавател. На това условие отговарят следните честоти: 110, 115, 463, 472, 620, 630, 1200, 1600, 1900, 2200, 4500, 6500, 8400 и 10 700 *кхц*.

С увеличаване на междинната честота се постига следното:

1. Увеличава се избирателността по огледалния канал.
2. Разширява се ширината на пропусканата лента.
3. Намалява се входното съпротивление на лампите, което силно шунтира *вс* трептящи кръгове, към които са свързани.
4. Влошава се устойчивостта на усилвателя на междинната честота.
5. Намалява се усилването на отделните стъпала.

При намаляване на междинната честота се постигат обратни резултати.

Ако трябва да се постигне висока избирателност по огледалния канал, избира се по-висока междинна честота, а ако трябва да се постигне по-висока избирателност по съседния канал, трябва междинната честота да е по-ниска.

За да се получи филтраж на междинната честота на изхода на детектора, необходимо е да се спази условието

$$f_{\text{мч}} \geq 10F_{\text{макс}},$$

където $F_{\text{макс}}$ е най-високата модулационна честота.

Ширина на пропусканата лента. Тя се определя в зависимост от вида на модулацията, както следва:

1. При амплитудна модулация

$$2\Delta f = 2F_{\text{макс}}.$$

2. При амплитудна манипулация

$$2\Delta f = 0,8nN,$$

където n е номерът на висшата хармонична (обикновено 2—3);

N — скоростта на телеграфирането в стандартна дума с пет букви (250—300 думи в минута).

3. При честотна модулация, изменяща се синусоидално, ширината на честотния спектър на сигнала е:

$$2\Delta f = 2F_{\text{макс}} (1 + \psi_m + \sqrt{\psi_m}),$$

където $\psi_m = \frac{\Delta f_{\text{макс}}}{F_{\text{макс}}}$ е индексът на модулацията, като

$\Delta f_{\text{макс}}$ — максималната амплитуда на изменението на честотите.

Обикновено индексът на модулацията е

$$\psi_m = \frac{75}{15} = 5.$$

4. При честотна манипулация, изменяща се правоъгълно, ширината на честотния спектър на сигнала е:

$$2\Delta f = 2F \sqrt{\frac{200}{\pi} \psi_m + \psi_m^2},$$

където $F = 0,4nN$.

Ако приемникът е предназначен да приема сигнали с различна модулация, то ширината на пропусканата лента се изчислява за всеки вид сигнал поотделно, като за конструкцията на приемника се избира

най-голямата, или приемникът се конструира за два вида ширина на пропусканата лента, като превключването се прави в *мч* усилвател.

Коефициент на усилване по *вч* и *мч*. За нормалната работа на един радиоприемник е необходимо на детектора му да се получи *мч* напрежение с определена стойност, което от своя страна зависи от стойността на *вч* напрежение на изхода на *мч* усилвател. Следователно при дадено напрежение на входа (антената) на приемника E_A , което изразява зададената чувствителност на приемника, е необходимо следното приблизително общо усилване на приемника:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{вч}} \cdot K_{\text{мч}} = \frac{U_{\text{д вх}}}{\sqrt{2} \cdot E_A},$$

където $K_{\text{вч}}$ е общото усилване във *вч* стъпала;

$K_{\text{мч}}$ — общото усилване в *мч* стъпала;

$U_{\text{д вх}}$ — амплитудната стойност на *мч* напрежение на входа на детектора; взема се от таблица 10-1.

Т а б л и ц а 10-1

Детектиране на АМ-сигнали		Детектиране на ЧМ-сигнали	
Вид на детектора	$U_{\text{д вх}}$ (в)	вид на детектора	$U_{\text{д вх}}$ (в)
Диоден	2—5	дискриминатор	2—4
Решетъчен	0,1—0,2	дробен детектор	0,05—0,1

При приемниците с еднократно преобразуване на честотата е необходимо коефициентът на усилване по междинната честота $K_{\text{мч}}$ да бъде 50—1000 пъти по-голям от коефициента на усилване по високата честота $K_{\text{вч}}$. Коефициентът на усилване по междинната честота се определя по формулата

$$K_{\text{мч}} = \sqrt{\frac{K_{\text{пр}}}{a}},$$

където $a = \frac{K_{\text{вч}}}{K_{\text{мч}}} = 0,001 \div 0,02$.

За приемници с чувствителност до 50 *мкв* коефициентът a се взема от 0,01—0,02, а за приемници с по-голяма чувствителност (над 50 *мкв*) a се взема от 0,001—0,01.

Коефициентът на усилване по високата честота е:

$$K_{\text{вч}} = a \cdot K_{\text{мч}}.$$

Коефициентът на усилване по високата честота за друг обхват е:

$$K_{\text{вч}} = \frac{K_{\text{пр}}}{K_{\text{мч}}}.$$

Обикновено общото усилване в приемниците $K_{\text{пр}}$ в зависимост от чувствителността им е от 20 000 до 1 300 000, при което $K_{\text{вч}} = 5 \div 160$ и $K_{\text{мч}} = 1000 \div 11 000$.

При приемници с двойно преобразуване на честотата от усилвателя на втората междинна честота зависи ширината на пропусканата лента и избирателността на съседния канал. Поради това коефициентът на усилване на втората междинна честота $K_{2 \text{ мч}}$ се взема 7—20 пъти по-

голям от коефициента на усилване на първата междинна честота $K_{1\text{ мч}}$
 Коефициентът на усилване на втората междинна честота е:

$$K_{2\text{ мч}} = \sqrt[3]{\frac{K_{\text{пр}}}{b \cdot c}},$$

където

$$b = \frac{K_{1\text{ мч}}}{K_{2\text{ мч}}} = 0,05 \div 0,15$$

$$c = \frac{K_{\text{вч}}}{K_{2\text{ мч}}} = 0,005 \div 0,015.$$

Коефициентът на усилване на първата междинна честота е

$$K_{1\text{ мч}} = b \cdot K_{2\text{ мч}}.$$

Коефициентът на усилване по високата честота е

$$K_{\text{вч}} = a \cdot K_{2\text{ мч}}.$$

Коефициентът на усилване по високата честота за друг обхват е

$$K_{\text{вч}} = \frac{K_{\text{пр}}}{K_{1\text{ мч}} \cdot K_{2\text{ мч}}}.$$

Обикновено усилването в приемниците с двойно преобразуване на честотата се разпределя, както следва:

1. Усилвател по високата честота — $5 \div 11$.
2. Усилвател на първа междинна честота — $50 \div 110$.
3. Усилвател на втора междинна честота — $500 \div 1100$.

Коефициент на усилване по нч. Коефициентът на усилване на нискочестотния усилвател се изчислява в зависимост от необходимата амплитуда на нч напрежение на входа на крайното стъпало, която от своя страна се изчислява по формулата:

$$U_p = \frac{n}{S} \sqrt{\frac{P(1+\alpha^2)}{\eta_{\text{тр}} \cdot \alpha \cdot R_1}} (\theta),$$

където $\eta_{\text{тр}}$ е КПД на изходния трансформатор; $\eta_{\text{тр}} = 0,8 \div 0,9$;
 P — зададената изходна мощност във *вт*;

$\alpha = \frac{R_a}{R_1}$; за триоди $\alpha = 3 \div 5$; за пентоди и лъчеви тетреси

$$\alpha = 0,08 \div 0,12.$$

S — стръмността на лампата в *ма/в*;

R_1 — вътрешното съпротивление на лампата в *ком*;

R_a — анодното товарно съпротивление за дадена крайна лампа в *ком*.

n — коефициент, който зависи от вида на крайното стъпало; взема се от таблица 10-2.

Общият коефициент на усилване на нч усилвателни стъпала се изчислява по формулата

$$K_{\text{нч}} = \frac{U_p}{U_{\text{д изх}}},$$

Таблица 10-2

Крайно стъпало	n
Еднотактово	44,6
Противотактово А (за една лампа)	31,6
Противотактово АВ (за една лампа)	40,0

където $U_{д\text{ изх}}$ е амплитудната стойност на *нч* напрежение на изхода на детектора във *v*.

Изходното *нч* напрежение на амплитудния детектор се изчислява по формулата

$$U_{д\text{ изх}} = m \cdot K_d \cdot U_{д\text{ вх}}(v),$$

където $K_d = 0,5 \div 0,8$ е коефициент на прехвърлянето в детектора;

m — дълбочината на модулацията; обикновено $m = 0,9$.

Изходното *нч* напрежение при честотните детектори е:

1. За дискриминатор — $U_{д\text{ изх}} = 1 \div 2$ *v*.

2. За дробен детектор — $U_{д\text{ изх}} = 0,3 \div 5$ *v*.

Ако приемникът е предназначен да приема сигнали с амплитудна и честотна модулация, за изчисление на общия коефициент на усилване на *нч* усилвател $K_{нч}$ се взема най-малката стойност за $U_{д\text{ изх}}$.

Общият коефициент на усилване по *нч* $K_{нч}$ при противотактни крайни стъпала се изчислява само за едната лампа (верига) на фазоинверсното стъпало.

В случай че се предвижда и възможност за възпроизвеждане от електрически грамофон, общият коефициент на усилване по *нч* $K_{нч}$ се изчислява за по-малката от двете стойности на *нч* напрежения: от изхода на детектора ($U_{д\text{ изх}}$) и от ел. грамофонна мембрана.

Общият коефициент на усилване по *нч* при многостъпалните *нч* усилватели е

$$K_{нч} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \dots K_n,$$

където $K_1, K_2 \dots K_n$ са коефициентите на усилване на отделните стъпала.

В случай че в *нч* усилвател е употребена отрицателна обратна връзка, така изчисленият необходим коефициент $K_{нч}$ следва да се увеличи 3—4 пъти.

Входни *вч* трептящи кръгове. Коефициентът на покритие за целия диапазон на даден приемник се определя по формулата

$$K_{\partial} = \frac{f_{\partial\text{ макс}}}{f_{\partial\text{ мин}}},$$

където $f_{\partial\text{ макс}}$ и $f_{\partial\text{ мин}}$ са максималната и минималната честота за диапазона.

Ако приемникът има *n* обхвата, които покриват този диапазон, то можем да определим коефициента на покритие за един обхват по формулата

$$K'_{\partial} = \frac{\lambda_{\text{макс}}}{\lambda_{\text{мин}}} = \sqrt[n]{K_{\partial}} \leq 3.$$

При малък брой обхвати коефициентът K'_{∂} е по-голям, с което се увеличава плътността на настройката на всеки обхват, т. е. честотите са разпределени по-гъсто по скалата, с което се затруднява избирането на отделните предаватели.

За да се осигури малко припокриване на обхватите, коефициентът K_{∂} трябва да се увеличи:

$$K_{\partial} = (1,04 \div 1,06) K'_{\partial}.$$

Капацитетът на променливия кондензатор на кръга C_k се избира от таблица 10-3 в зависимост от максималната честота на диапазона.

Таблица 10-3

f (мгхц)	0,15—1,5	1,5—6	6—30	Над 30 (и УКВ)
$C_{k \text{ макс}}$ (пф)	440—500	150—250	50—150	30—50
$C_{k \text{ мин}}$ (пф)	10—15	8—12	6—10	3—7

Индуктивността на бобината от трептящия кръг за всеки обхват се изчислява по формулата

$$L_k = \frac{25\,300 (K_{об}^2 - 1)}{(C_{k \text{ макс}} - C_{k \text{ мин}}) \cdot f_{об \text{ макс}}^2} \text{ (мкхн)},$$

като $f_{об \text{ макс}}$ е в мгхц и C_k в пф.

Индуктивността на свързващата бобина $L_{св}$ при индуктивна връзка на антената с трептящия кръг се изчислява по формулата

$$L_{св} = \frac{16 \div 100}{f_{об \text{ мин}}} \text{ (мкхн)},$$

като при по-къса антена числителят е от 16 до 50, а при по-дълга — от 50 до 100.

Капацитетът на свързващия кондензатор $C_{св}$ при капацитивна връзка на антената с трептящия кръг се изчислява главно в зависимост от разстройката на кръга по формулата

$$C_{св} = \frac{4000}{f_{д \text{ макс}} V Q L_k} \text{ (пф)},$$

където Q е качественият фактор на кръга; обикновено $Q = 80—200$.

Хетеродинни (осцилаторни) кръгове. Индуктивността на бобината на хетеродина L_x се определя в зависимост от индуктивността на входната бобина L_k по формулата

$$L_x = n \cdot L_k \text{ (мкхн)},$$

където n се определя по отношението

$$n = \frac{f_{мч}}{f_{ср}},$$

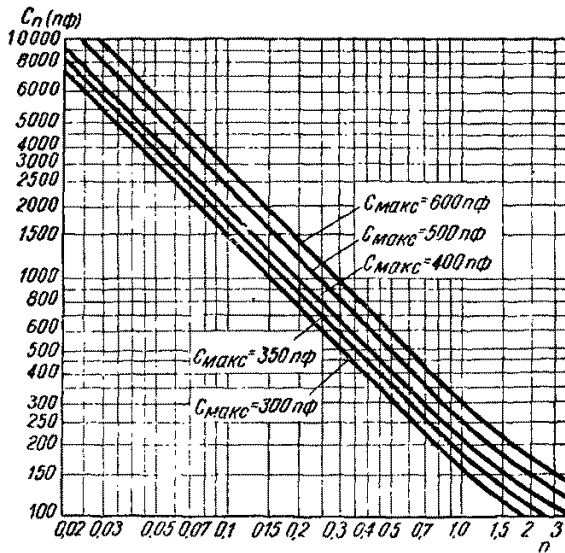
където $f_{мч}$ е избраната междинна честота;

$$f_{ср} \text{ — средната честота на обхвата; } f_{ср} = \frac{f_{\text{макс}} + f_{\text{мин}}}{2}.$$

Както е известно, при средните и дългите вълни последователно на хетеродинния трептящ кръг се свързва един кондензатор, наречен падинггов кондензатор C_n , чиято стойност се отчита по графика на фиг. 10-9 в зависимост от величината n . При късите вълни кондензаторът C_n трябва да бъде с капацитет 4000—5000 пф, поради което

той най-често става излишен, тъй като е много голям в сравнение с капацитета на настройващия променлив кондензатор.

Междинночестотни кръгове. Най-същественото при изчислението на *мч* кръгове е правилното определяне капацитета на паралелните кондензатори. Той не трябва да е много голям, тъй като ще се на-



Фиг. 10-9

мали коефициентът на усилване на *мч* усилвател. От друга страна, капацитетът на кондензаторите не трябва да е много малък, тъй като при смяна на лампа се изменя формата на резонансната крива на *мч* филтри. Поради тези причини трябва да се избере най-подходящият капацитет, задоволяващ горните изисквания. Той се определя по формулата

$$C = (1,25 \div 2,5) \frac{f_{\text{мч}}}{\Delta f} \Delta C \text{ (пф)},$$

където $f_{\text{мч}}$ е междинната честота в кхц;

Δf — ширината на пропусканата лента в кхц;

$\Delta C = 0,2 (C_{\text{вх}} + C_{\text{изх}})$,

при което $C_{\text{вх}}$ и $C_{\text{изх}}$ са входният и изходният капацитет на лампата в пф.

При концертните радиоприемници капацитетът C се избира от 100 до 220 пф, а при любителските и професионалните приемници той е от 200 до 800 пф.

След като се уточни капацитетът на паралелните кондензатори на *мч* кръгове, се изчислява индуктивността на бобините им по формулата

$$L = \frac{2,53 \cdot 10^{10}}{f_{\text{мч}}^2 C} \text{ (мкхн)}.$$

Изчисление на някои основни елементи. Стойността на съпротивлението R_k , свързано в катода на една радиолампа за получаване на автоматично отрицателно преднапрежение, се изчислява по формулата

$$R_k = \frac{10^3 \cdot U_p}{I_k} \text{ (ом)},$$

където U_p е необходимото отрицателно решетъчно преднапрежение във v ;

I_k — катодният ток на лампата в *ма*.

При триодни лампи катодният ток I_k е равен на анодния ток I_a на лампата. При пентоди и лъчеви тетроди катодният ток е сборът от анодния ток I_a и екранния ток I_{p2} на лампата.

Както е известно, при автоматично получаване на преднапрежение чрез съпротивлението R_k в катода на лампата последното се шунтира с един кондензатор C_k , чиято стойност се определя по формулата

$$C_k \geq \frac{2 \cdot 10^6}{f_{\min} \cdot R_k} \text{ (мкф)},$$

където f_{\min} е минималната честота, която трябва да се усилва, в *хц*
 R_k — стойността на катодното съпротивление в *ом*.

Стойността на съпротивлението R_{p2} , през което се захранва екранната решетка на пентодните лампи, се изчислява по формулата

$$R_{p2} = \frac{E_a - U_{p2}}{I_{p2}} \text{ (ком)},$$

където E_a е анодното захранващо напрежение във v ;

U_{p2} — необходимото захранващо напрежение за екранната решетка във v ;

I_{p2} — токът на екранната решетка в *ма*.

Капацитетът на кондензатора C_{p2} , който се свързва от екранната решетка към шаси, се изчислява по формулата

$$C_{p2} \geq \frac{2 \cdot 10^6}{f_{\min} \cdot R_{p2}} \text{ (мкф)}.$$

Капацитетът на свързващия (прехвърлящия) кондензатор $C_{св}$ между две *ни* усилвателни стъпала се изчислява по формулата

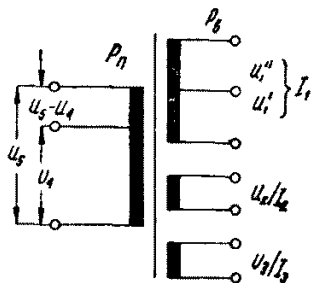
$$C_{св} = \frac{0,16 \cdot 10^6}{f_{\min} \cdot R_p} \text{ (мкф)},$$

където R_p е решетъчното съпротивление (утечката) на втората лампа в *ом*.

4. ИЗЧИСЛЕНИЕ НА ЕЛЕМЕНТИ ОТ РАДИОТЕХНИЧЕСКИТЕ ВЕРИГИ

Изчисление на мрежови трансформатори

Общи сведения. Мрежовите трансформатори намират приложение в токозахранващата част на радиоуредбите. Те трансформират променливото напрежение на ел. мрежа за променлив ток в необходимите



Фиг. 10-10

напрежения за захранване на уредбите. Мрежовият трансформатор има два вида намотки: първична и вторична. Те от своя страна се разделят по на няколко отделни намотки. Първичната намотка обикновено се състои от една намотка със съответни изводи за различни мрежови напрежения. Вторичната намотка обикновено се състои от една или две намотки от анодно напрежение в зависимост от това, дали има еднопътно или двупътно изправяне, намотка за отопляване на усилвателните лампи. Има и много видоизменения, като например първичната намотка

може да бъде само за едно мрежово напрежение без изводи за останалите. Намотката за токоизправителната лампа може да липсва, ако вместо нея се употреби полупроводников токоизправител и пр.

При изчисляване на мрежовите трансформатори трябва да се определят:

1. Мощността на трансформатора, видът на трансформаторната ламела, дебелината на пакета с ламелите и броят на ламелите.
2. Броят на навивките за всяка намотка и дебелината на съответните проводници.
3. Дали изчислените навивки, включително и съответните изоляции, се събират на трансформатора.

Изчисление мощността на трансформатора. За изчисляването на един мрежов трансформатор трябва да знаем напреженията на всяка отделна намотка и максималния ток, който протича през тях, като честотата на мрежовото напрежение е 50 хц.

За тази цел начертаваме принципната схема на трансформатора, като на всяка от вторичните намотки означаваме напрежението и силата на тока, а на първичната — само напреженията (фиг. 10-10). След това изчисляваме съответната мощност за всяка вторична намотка поотделно, като умножаваме стойностите на напрежението и силата на тока. Така получените мощности събираме и получаваме общата мощност P_n на вторичната намотка:

$$P_n = U_1 \cdot I_1 + U_2 \cdot I_2 + U_3 \cdot I_3 \text{ (вт)},$$

където U е във в, а I в а.

Ако освен тези намотки вторичната намотка има и други, прибавя се и тяхната мощност.

Мощността на намотката за анодното напрежение при двупътен токоизправител се намира, като се умножи напрежението само на едната ѝ половина по силата на тока, тъй като в даден момент ток тече само в едната половина. Например, ако намотката е $2 \times 300 \text{ в}$, а токът е 50 ма , получава се $P = 300 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 15 \text{ вт}$.

За да се получи мощността на първичната намотка P_n , трябва да увеличим P_v с 10% поради загубите, които се явяват в трансформатора:

$$P_n = 1,1 \cdot P_v \text{ (вт)}.$$

От тази мощност лесно може да се изчисли и силата на тока, който ще тече през първичните намотки:

$$I_4 = \frac{P_n}{U_4} \text{ (а)};$$

$$I_5 = \frac{P_n}{U_5} \text{ (а)}.$$

Изчисление сечението на желязната сърцевина. Необходимото сечение на желязната сърцевина Q_c се изчислява по формулата

$$Q_c = \sqrt{\frac{P_n \cdot G \cdot 10^6}{f \cdot B \cdot I_s}} \text{ (см}^2\text{)},$$

където P_n е първичната мощност на трансформатора във вт ;

G — отношението на тежестта между желязото и медта в трансформатора, което се взема нормално $1,5$;

f — честотата на мрежовото напрежение, която е 50 хц ;

B — магнитната индукция в гауси; за най-употребяваните трансформаторни ламарини $B = 10\,000$ гауса;

I_s — допустимата плътност на тока в медните проводници; обикновено $1,5 \div 2,5 \text{ а/мм}^2$, като се взема нормално 2 а/мм^2

Ако заместим във формулата за Q_c със средните стойности, получаваме:

$$Q_c = \sqrt{1,5 P_n} \text{ (см}^2\text{)}.$$

Тази формула позволява бързо и сравнително точно изчисляване на необходимото сечение на желязната сърцевина.

След като определим сечението на желязната сърцевина, избираме подходяща ламела от таблица 10-4, в която са дадени Ш-образни ламели, които се произвеждат у нас. Цифрата след буквата Ш означава размера l_c на ламелата (фиг. 10-11).

Върху желязната сърцевина на подходяща макара (фиг. 10-12) се навиват всички намотки на трансформатора. При Ш-образните ламели:

$$Q_c = l_c \cdot d_c \text{ (см}^2\text{)},$$

където l_c и d_c са съответните размери на пакета от ламелите в см .

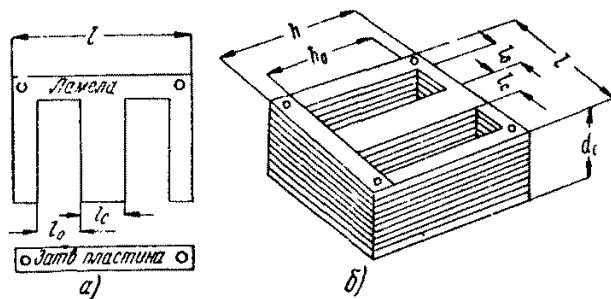
От тази формула може да се определи дебелината на пакета с ламелите d_c , като се знаят сечението Q_c и размерът l_c на ламелата, която сме избрали :

$$d_c = \frac{Q_c}{l_c} \text{ (см).}$$

Таблица 10—4

l_c (мм)	Прозорец			Средна дължина на l частка l_M (см)	Средна дължина на l магнитна силова линия l_M (см)	Ширина l (мм)	Обща височина h (мм)
	l_0 (мм)	h_0 (мм)	$Q_c = l_0 h_0$ (см ²)				
12	6	18	1,08	6,50	6,68	36	30
16	8	24	1,92	8,90	8,85	48	40
20	10	30	3,00	11,14	11,14	60	50
24	12	36	4,32	13,37	13,38	72	60
28	14	42	5,88	15,60	15,6	84	70
32	16	48	7,68	18,00	17,8	96	80
36	18	54	9,72	20,10	20,1	108	90
40	20	60	12,00	22,28	22,28	120	100
44	22	66	14,52	24,51	24,51	132	110
50	25	75	18,75	27,86	27,86	150	125
56	28	84	23,52	31,20	31,20	168	140
64	32	96	30,73	35,60	35,60	192	160

Както е известно, желязната сърцевина се прави от отделни тънки 0,5 мм ламели от трансформаторна ламарина, които от едната страна



Фиг. 10-11

са изолирани чрез оксидиране на трансформаторната ламарина. Те се нареждат така, че въздушната междина на всяка ламела да се пада последователно на едната и другата страна.

Броят на необходимите ламели се изчислява по формулата :

$$n_l = \frac{d_c}{d_l} \text{ (бр),}$$

където d_d е дебелината на една ламела в мм;
 d_c — дебелината на пакета в мм.

Полученото число за n_d се закръглява до следващото по-голямо цяло число.

Преди да се измери дебелината на даден пакет, необходимо е да се стегне предварително на менгеме, тъй като в противен случай резултатът ще бъде много неточен.

Изчисляване на намотките. Броят на навивките за дадено напрежение се изчислява по формулата

$$w = \frac{10^8 \sqrt{2} \cdot U}{2\pi f \cdot B \cdot Q_c} \text{ (нав.)}$$

Ако заместим в горната формула $f=50$ хц и $B=10\,000$ гауса, ще получим

$$w = \frac{45 \cdot U}{Q_c} \text{ (нав.)}$$

Следователно лесно можем да определим броя на навивките за всяко желано напрежение. За улесняване на работата намираме една постоянна величина w_v за броя на навивките за 1 в напрежение. След това, за да намерим броя на навивките на всяка намотка, достатъчно е да умножим тази величина със съответното напрежение на намотката. От горната формула намираме:

$$w_v = \frac{w}{U} = \frac{45}{Q_c} \text{ (нав/в)}$$

При изчисляване броя на навивките на първичната намотка с отклонения за различни мрежови напрежения трябва да се има предвид, че за да се получи следващото напрежение, трябва само да се прибави разликата между него и предишното. Например, ако сме изчислили навивките на намотката за 110 в, за 150 в трябва да прибавим само навивки за $150 - 110 = 40$ в. За 220 в трябва да прибавим още навивки само за $220 - 150 = 70$ в.

За компенсиране на загубите между първичната и вторичната намотка необходимо е да се увеличи броят на получените навивки на всички вторични намотки с 10%, т. е. да се умножи полученото число на броя на навивките с 1,1.

Когато се изчислява броят на навивките, резултатите се закръгляват до цели навивки. Например, ако за отоплителната намотка се получат 43,7 навивки, резултатът се закръглява на 44 навивки и т. н.

Мрежовите трансформатори за радиоапаратурите се навиват с медни емайлирани проводници. Диаметърът на проводниците без изолацията за всички намотки се изчислява по формулата

$$d = 0,8 \sqrt{I} \text{ (мм)}, \text{ при което } I \text{ е в а;}$$

$$d = 0,025 \sqrt{I} \text{ (мм)}, \text{ при което } I \text{ е в ма.}$$

Тези формули важат при $I_s = 2$ а/мм².

При $I_s = 1,5$ $a/m.m^2$: $d = 0,9 \sqrt{I_{(a)}} = 0,027 \sqrt{I_{(ма)}} (м.м.)$;

При $I_s = 2,5$ $a/m.m^2$: $d = 0,7 \sqrt{I_{(a)}} = 0,022 \sqrt{I_{(ма)}} (м.м.)$.

В таблица 10-5 се дадени размерите на медните емайлирани проводници (ПЕЛ) съгласно с БДС 3272—61.

Таблица 10-5

d (мм)	D (мм)	d (мм)	D (мм)	d (мм)	D (мм)
0,05	0,065	0,33	0,37	0,90	0,96
0,06	0,075	0,35	0,39	0,93	0,99
0,07	0,085	0,38	0,42	0,96	1,02
0,08	0,095	0,41	0,45	1,00	1,07
0,09	0,105	0,44	0,49	1,04	1,12
0,10	0,120	0,47	0,52	1,08	1,16
0,11	0,130	0,49	0,54	1,12	1,20
0,12	0,140	0,51	0,56	1,16	1,24
0,13	0,150	0,53	0,58	1,20	1,28
0,14	0,160	0,55	0,60	1,25	1,33
0,15	0,170	0,57	0,62	1,30	1,38
0,16	0,180	0,59	0,64	1,35	1,43
0,17	0,190	0,62	0,67	1,40	1,48
0,18	0,200	0,64	0,69	1,45	1,53
0,19	0,210	0,67	0,72	1,50	1,58
0,20	0,225	0,69	0,74	1,56	1,64
0,21	0,235	0,72	0,77	1,62	1,71
0,23	0,255	0,74	0,80	1,68	1,77
0,25	0,275	0,77	0,83	1,74	1,83
0,27	0,30	0,80	0,86	1,81	1,90
0,29	0,33	0,83	0,89	1,88	1,97
0,31	0,35	0,86	0,92	1,95	2,04

След като се изчисли диаметърът d на проводниците без изолацията, намира се от таблица 10-5 диаметърът D с изолацията. В нормалните трансформатори с мощност до 300 *вт* се употребяват проводници с диаметър до 1,5 вкл. с лакова изолация. По-дебелите проводници са с памучна изолация.

В случай че в таблицата няма проводник с размер, точно равен на получения при изчислението, взема се следващият по-голям размер, а не по-малкият. При даване на данни за навиване на трансформаторите диаметрите на проводниците се посочват без изолацията (d).

Проверка, дали се събират намотките. Проверката, дали се събират намотките, се прави въз основа на данните, получени от изчисленията. Навиването на намотките става обикновено на макарата със странични чела. Проводникът се навива на макарата внимателно, като всяка навивка опира до съседната. По този начин може да се определи броят на навивките за всеки ред от всяка намотка по формулата

$$w_p = \frac{n_x}{D} \text{ (нав./ред),}$$

където h_k е ширината на намотката в *мм*: обикновено h_k е с 2—3 *мм* по-малко от h_0 .

Броят на редовете навивки за всяка намотка е

$$m = \frac{w}{w_p} \text{ (редове нав.)},$$

където w е броят на навивките за дадената намотка.

Полученото число за m се закръглява в цели цифри, а когато се получи по-малко от единица, взема се $m=1$.

Мястото, което ще заемат всички намотки, се определя по формулата

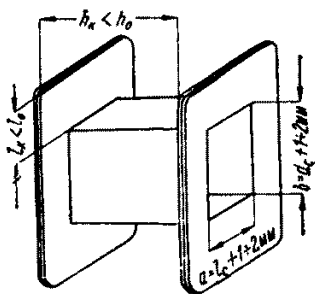
$$l = 1,25 (m_1 \cdot D_1 + m_2 \cdot D_2 + m_3 \cdot D_3 + \dots + m_n \cdot D_n) \dots \text{ (мм)},$$

където 1,25 е коефициент за неплътност при навиването за мястото, което се взема от изводите, и за изолацията между отделните редове навивки и между първичната и вторичната намотка.

При двупътното изправяне съответният член $m \cdot D$ трябва да се умножи с 2, тъй като фактически има две намотки.

Така полученият резултат за l трябва да е най-малко равен на l_k , но желателно е да е по-малък от него. Обикновено l_k е с 1—2 *мм* по-малък от l_0 (фиг. 10-12).

Ако се окаже, че l е по-голямо от l_k и следователно намотките не могат да се съберат в трансформатора, необходимо е да се увеличи дебелината на пакета d_c , с което се намаляват навивките на волт, или въобще да се смени ламелата с по-голям размер. И при двата случая обаче трансформаторът трябва да се изчисли наново.



Фиг. 10-12

Изчисление на мрежови автотрансформатори

Автотрансформатори се наричат трансформатори с една намотка. Те намират широко приложение в радиотехниката. Използват се и като захранващи трансформатори за радиопередателите, като им се добавят само евентуално допълнителни намотки за отопление на радиолампите.

Различаваме два вида автотрансформатори: понижаващи (фиг. 10-13, а) и повишаващи (фиг. 10-13, б). Първият вид служи за понижаване на дадено променливо напрежение, напр. от 220 *v* да се получат 150 *v*, а вторият — за повишаване на напрежението, напр. от 110 *v* да се получат 220 *v*.

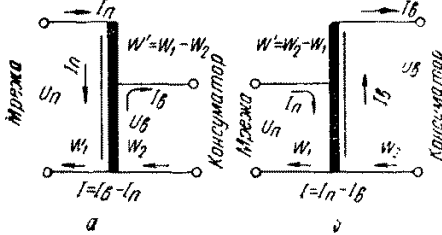
При понижавания автотрансформатор коефициентът на трансформацията е

$$k = \frac{U_n}{U_a} = \frac{w_2}{w_1} < 1.$$

При повишаващия автотрансформатор коефициентът на трансформацията е

$$k = \frac{U_B}{U_n} = \frac{\omega_2}{\omega_1} > 1.$$

При натоварване на понижаващия автотрансформатор токът на първичната страна на намотката ω_1 тече през цялата намотка, а този на консуматора — само през една част от първичната страна на намотката ω_2 (фиг. 10-13, а).



Фиг. 10-13

При натоварване на повишаващия автотрансформатор токът на първичната страна на намотката ω_1 тече само през една част на цялата намотка докато този на консуматора тече през цялата намотка ω_2 (фиг. 10-13, б).

Тези основни положения трябва да се имат предвид при изчислението на автотрансформаторите, което по принцип е същото както при нормалния трансформатор.

Мощността във вторичната намотка P_B при двата вида автотрансформатори, както и мощността на автотрансформатора P_{AT} , е:

$$P_B = P_{AT} = U_B \cdot I_B \text{ (вт).}$$

Например при понижаващия автотрансформатор $I = I_B - I_n$ или $I_B = I + I_n$, от което следва:

$$P_{AT} = U_B \cdot I_B = U_B (I + I_n) = U_B \cdot I + U_B \cdot I_n \text{ (вт),}$$

при което I е резултиращият ток във вторичната намотка.

От горното равенство следва, че мощността на автотрансформатора се състои от две съставни:

1. $P_T = U_B \cdot I \text{ (вт).}$
2. $P_{HT} = U_{HB} \cdot I_n.$

Трансформираната мощност P_T е тази мощност, за която трябва да се изчисли желязната сърцевина на автотрансформатора.

След като се преобразува горната формула за понижаване, респективно за повишаване на напрежението, се получават формулите:

$$\text{за понижавания автотрансформатор } P_T = P_{AT} (1 - k) \dots \text{ (вт);}$$

$$\text{за повишаващия автотрансформатор } P_T = P_{AT} \left(1 - \frac{1}{k}\right) \dots \text{ (вт), при}$$

което k е коефициентът на трансформацията.

При практическото изчисляване на автотрансформатора трябва да се увеличи мощността му P_{AT} с 10%, т. е. да се умножи с 1,1 поради загубите в автотрансформатора.

Следователно формулите ще добият следния окончателен вид:

$$\text{за понижавания автотрансформатор } P_T = 1,1 \cdot P_{AT} (1 - k) \dots \text{ (вт);}$$

$$\text{за повишаващия автотрансформатор } P_T = 1,1 \cdot P_{AT} \left(1 - \frac{1}{k}\right) \dots \text{ (вт).}$$

Сечението на желязната сърцевина на автотрансформатора се изчислява по същата формула както при обикновените мрежови трансформатори:

$$Q_c = \sqrt{1,5P_T} \text{ (см}^2\text{)}.$$

Броят на навивките на волт при $B = 10\,000$ гауса е също

$$\omega = \frac{45}{Q_c} \text{ (нав/в)}.$$

Следователно броят на навивките на съответните намотки е

$$\omega_1 = \omega \cdot U_n \text{ (нав.)};$$

$$\omega_2 = \omega \cdot U_B \text{ (нав.)}.$$

При изчисляване на навивките трябва да се има предвид, че навивките на по-малката намотка винаги участвуват и при по-голямата, т. е.: при понижаващ автотрансформатор $\omega_1 = \omega_2 + \omega'$, при което $\omega' = \omega_1 - \omega_2$.

при повишаващ автотрансформатор $\omega_2 = \omega_1 + \omega'$, при което $\omega' = \omega_2 - \omega_1$.

Токът, който автотрансформаторите от двата вида черпят от мрежата, като се вземат предвид загубите, е

$$I_n = \frac{1,1 \cdot P_{AT}}{U_n} \text{ (а)},$$

а токът, който черпи консуматорът при автотрансформаторите от двата типа, е

$$I_B = \frac{1,1 \cdot P_{AT}}{U_B} \text{ (а)}.$$

Токът I , който тече през общата част на намотките, като се вземат предвид загубите, се определя по формулите:

за понижаващ автотрансформатор $I = \frac{1,1 \cdot P_T}{U_B}$, при което $I = I_B - I_n$ (а).

за повишаващ автотрансформатор $I = \frac{1,1 \cdot P_T}{U_n}$, при което $I = I_n - I_B$ (а).

Диаметърът на проводниците се изчислява както при обикновените мрежови трансформатори:

$$d = 0,8 \sqrt{I_{(a)}} \text{ (мм)}.$$

При изчисляване диаметрите на проводниците се взема предвид токът, който действително протича през намотките. Следователно при понижаващия автотрансформатор диаметърът на проводника за намотката ω_1 се изчислява според силата на тока I , а диаметърът на проводника за намотката ω' — според силата на тока I_n . При повишаващия автотрансформатор диаметърът на проводника за намотката ω_1 се изчислява според силата на тока I , а диаметърът на проводника на намотката ω' — според силата на тока I_B .

Проверката, дали се събират намотките на желязната сърцевина, се прави както при обикновените мрежови трансформатори.

Изчисляване на изходни трансформатори

За изчисляване на изходните трансформатори за еднотактово крайно стъпало е необходимо да се дадат или да се отчетат от таблиците за радиолампите следните данни:

1. Полезната променливотокова мощност P на крайната лампа. Тя се отчита от таблиците за радиолампите. Ако не е дадена, а е известен режимът на работа, ще се определи приблизително по формулите:

за пентоди $P = 0,5 \cdot I_a \cdot U_a$ (*вт*);

за триоди $P = 0,25 \cdot I_a \cdot U_a$ (*вт*).

При тези стойности на променливотоковата мощност крайните лампи работят с допустим коефициент на изкривяване ($k \leq 10\%$).

2. Вътрешното съпротивление на крайната лампа R_i . Това съпротивление се отчита от таблиците или се определя от $\frac{I_a}{U_a}$ характеристики за съответната работна точка по формулата

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \text{ (ком)}, \text{ при } -U_p = \text{конст.}$$

3. Товарното съпротивление R_a се отчита от таблиците или се определя по формулите:

за пентоди $R_a = 0,1 \cdot R_i$ до $0,2 \cdot R_i$ (*ком*);

за триоди $R_a = 2 \cdot R_i$ до $3 \cdot R_i$ (*ком*).

4. Импедансът на звуковата бобинка на високоговорителя Z е даден за съответния високоговорител или се изчислява по формулата

$$Z = 1,25 \cdot R_{\text{ом}} \text{ (ом)},$$

където $R_{\text{ом}}$ е омическото съпротивление на звуковата бобинка в *ом*.

5. Постоянният аноден ток на крайната лампа I_a се отчита от таблиците за радиолампите.

6. Най-ниската звукова честота $f_{\text{мин}}$, която трябва да допусне трансформаторът.

Изчисляване на изходните трансформатори се започва с определяне на необходимото сечение на желязната сърцевина по формулата

$$Q_c = \sqrt{\frac{10^6 \cdot P \cdot G}{f_{\text{мин}} \cdot B \cdot I_s}} \text{ (см}^2\text{)},$$

където P е изходната променливотокова (полезна) мощност във *вт*;
 G — отношението между теглото на желязото и на медта на трансформатора; обикновено $G = 1,5$.

$f_{\text{мин}}$ — най-ниската честота в *ц*, която трансформаторът трябва да пропусне;

I_s — плътността на тока през проводниците в а/мм^2 ; тази плътност при изходните трансформатори се взема между 1,5 и 2 а/мм^2 според допустимото загряване и омическото падение на напрежението;

B — магнитната индукция в гауси; тя се избира с оглед на минимум нелинейни изкривявания; съгласно магнетизиращата крива най-подходяща стойност на изходните транс-

форматори е 5000—6000 гауса; при по-малки апарати се взема обаче и 10 000; за специални ламарини може да се вземе до 20 000 и повече.

Сечението на желязната сърцевина се получава като сечение на чистото желязо. При набора на ламелите сечението се увеличава с 10% поради изолацията на ламелите:

$$Q'_c = 1,1 \cdot Q_c \text{ (см}^2\text{)}.$$

Необходимият брой на ламелите се определя от Q'_c по познатия начин, като се има предвид, че една ламела е дебела 0,35 мм.

Видът на ламелите се избира от таблица 10-4.

Отношението между навивките на първичната и на вторичната намотка се изчислява с оглед на добро напрежение по познатата формула

$$k = \frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{R_a}{Z}}.$$

Като се имат предвид загубите, получава се

$$k = \frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{R_a}{Z}} \cdot \eta,$$

където R_a е товарното съпротивление на лампата в ом;

Z — импедансът на звуковата бобина в ом;

η — КПД на трансформатора; обикновено 0,7—0,9.

Броят на навивките на първичната намотка се определя по формулата

$$U_{\sim} = 4,44 \cdot 10^{-8} \cdot B \cdot Q_c \cdot w_1 \cdot f_{\text{мин}} \text{ (в)},$$

където U_{\sim} е променливото напрежение на първичната намотка, което се изчислява от променливотоковата мощност и товарното съпротивление на лампата, както следва:

$$U_{\sim} = \sqrt{P \cdot R_a} \text{ (в)}.$$

Навивките на волт са

$$w_v = \frac{w_1}{U_{\sim}} = \frac{10^8}{4,44 \cdot B \cdot Q_c \cdot f_{\text{мин}}} \text{ (нав./в)}.$$

При $B = 5000$ гс, както най-често се работи, и $f_{\text{мин}} = 50$ хц, отношението се опростява, както следва:

$$w_v = \frac{90}{Q_c} \text{ (нав./в)}.$$

Когато се дават данни за *мн* напрежение, което е необходимо да се получи на вторичната намотка на трансформатора, както е при усилвателите (30, 60 и 120 в), не е необходимо да се изчислява отношението по израза за нагаждането, а броят на навивките на вторичната намотка се изчислява по израза за w_v .

Диаметърът на проводниците без изолацията за всички намотки се изчислява по познатите формули.

$$\text{При } I_s = 2 \text{ а/мм}^2: d = 0,8 \sqrt{I_{(a)}} \text{ (мм)}; d = 0,025 \sqrt{I_{(ма)}} \text{ (мм)}.$$

$$\text{При } I_s = 1,5 \text{ а/мм}^2: d = 0,9 \sqrt{I_{(a)}} \text{ (мм)}; d = 0,027 \sqrt{I_{(ма)}} \text{ (мм)}.$$

За първичната намотка токът I може да се вземе равен на I_a , а вторичната трябва да се изчисли по формулата

$$I_b = \sqrt{\frac{P}{Z}} \quad (a).$$

Диаметърът на проводниците се закръглява нагоре според таблицата за медните емайлирани проводници (табл. 10-5).

При така изчислената дебелина на проводника трансформаторът ще работи с допустимия коефициент на полезното действие. За обикновените трансформатори КПД е:

$$\begin{aligned} \text{при } P &= 100 \div 250 \text{ вт} & \eta &= 0,9; \\ \text{при } P &= 60 \div 100 \text{ вт} & \eta &= 0,85; \\ \text{при } P &\text{ до } 60 \text{ вт} & \eta &= 0,7 \div 0,8. \end{aligned}$$

Проверката, дали се събират намотките, се извършва както при мрежовите трансформатори.

Тъй като през първичната намотка на еднотактовите изходни трансформатори тече обикновено и постоянен ток (анодният ток I_a на крайната лампа), необходимо е да се предвиди въздушна междина. Тя се постига чрез нареждане на Ш-образните ламели в една посока и поставяне на хартия или на картонче с дебелина l_b между тях и затварящите пластинки.

Дължината на въздушната междина се определя по формулата

$$l_b = \frac{1,25 \left(0,4 \pi \cdot w_1 \cdot I_a - \frac{B \cdot l_m}{\mu} \right)}{B} \quad (\text{см}),$$

където B е допустимата магнитна индукция в гауси (обикновено 4000); μ — при тези стойности за B се движи между 2000 и 3500 според качествата на ламарината;

l_m — средната дължина на една магнитна силова линия в см (табл. 10-4).

Изходните трансформатори за противотактови крайни стъпала се изчисляват по начина за еднотактово крайно стъпало, като изходящата променливотокова мощност P и товарното съпротивление P_{aa} (между анодите на двете крайни лампи) се вземат от данните за крайното противотактово стъпало.

Като първична намотка се означава цялата намотка между двата анода (от анод до анод на двете крайни лампи).

Действащото вътрешно съпротивление на източника (лампите) при противотактовото стъпало е равно на сбора от свързаните последователно вътрешни съпротивления на лампите, определени за дадената работна точка от таблиците или от диаграмите:

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \quad (\text{ком}).$$

При противотактовите изходни трансформатори въздушна междина не се изчислява, защото поради срещуположното свързване на лампите полетата на двата анодни тока се унищожават и сърцевината не се предмагнетизира. Ето защо в изходните трансформатори за противо-

тактовите крайни стъпала не се предвижда въздушна междина, т. е. ламелите се нареждат кръстосано както при мрежовите трансформатори.

Изчисление на нискочестотни дросели

За изглаждане (филтраж) на изправеното постоянно напрежение са необходими нискочестотни дросели със сравнително голяма индуктивност — от порядъка на 10 до 30 *хн*. Такава индуктивност може да се получи само при *нч* дросели с желязна сърцевина. За сърцевините им се употребяват нормалните трансформаторни ламели съгласно табл. 10-4. Дебелината на ламелите за *нч* дросели с желязна сърцевина обикновено е 0,5 *мм*.

През намотката на *нч* дросели обикновено тече постоянен ток, който може да предизвика магнитно пренасищане на желязната сърцевина на дросела. Тази опасност се избягва, като се остави въздушна междина l_b в сърцевината на дросела (фиг. 10-14). Междината обикновено е 0,1—0,5 *мм*. Практически тя се постига, като Ш-образните ламели се нареждат в една посока и преди да се сложат върху тях затварящите пластинки, между пакета с Ш-образните ламели и пакета със затварящите пластинки се поставя хартия или картонче с дебелина $\frac{l_b}{2}$.

Тези дросели трябва да имат определена индуктивност при даден максимален постоянен ток, протичащ през тях. Освен това те трябва да имат определено омическо съпротивление, което е особено важно при филтражните дросели.

Индуктивността на намотката на *нч* дросели с желязна сърцевина се изчислява по формулата

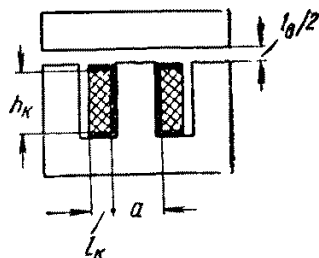
$$L = \frac{1,26 \mu \cdot Q_c \cdot w^2 \cdot 10^{-8}}{l_m} \text{ (хн)},$$

където l_m е дължината на една магнитна силова линия от табл. 10-4 в *см*;

w — броят на навивките на намотката на дросела;

Q_c — сечението на желязната сърцевина в *см*².

Ако през намотката на дросела не протича постоянен ток, то в горната формула магнитната проницаемост се взема $\mu=400$. Ако обаче през намотката протича и постоянен ток I , то сърцевината е преднамагнитена. В такъв случай магнитната проницаемост μ се изчислява в зависимост от ампернавивките $a\omega_0$ за преднамагнитване на сърцевината, отнесени към 1 *см* магнитна силова линия с помощта на графика от фиг. 10-15. Ампернавивките $a\omega_0$ за преднамагнитването се изчисля-



Фиг. 10-14

ват по формулата

$$a\omega_0 = \frac{I \cdot \omega}{l_m} \quad (a \text{ нав./см}),$$

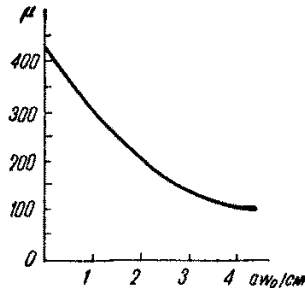
където I е в *ма*.

Много често е необходимо да се определи броят на навивките на дросел с предварително определена индуктивност L . В случай че дроселът е без преднамагнитване, т. е. през намотката му не протича постоянен ток, броят на навивките се изчислява по формулата

$$\omega = 450 \sqrt{\frac{L \cdot l_m}{Q_c}} \quad (\text{нав.}).$$

Таблица 10-6

$a\omega_0, \text{см}$	k
0,5	0,8
1	0,65
1,5	0,53
2	0,45
3	0,32
4	0,24



Фиг. 10-15

При преднамагнитване на сърцевината вследствие на протичане през нея на постоянен ток I зададената стойност за L става по-малка, поради което е необходимо предварително да се умножи с коефициента k :

$$L' = k \cdot L \quad (\text{хн}).$$

Коефициентът k се отчита от табл. 10-6 в зависимост от закръглените ампернавивки $a\omega_0$ за пренамагнитване на сърцевината, отчетени от графика на фиг. 10-15.

В случай че при определяне на ампернавивките $a\omega$, за 1 см дължина на магнитната силова линия се получи стойност, по-голяма от 4, то е необходимо в сърцевината на дросела да се остави въздушна междина по пътя на магнитните силови линии. Дължината на въздушната междина се изчислява по формулата

$$l_B = (10 \cdot l_m + I \cdot \omega) \cdot 10^{-3} \quad (\text{см}).$$

При Ш-образните сърцевини фактически ще трябва да се остави въздушна междина между ламелите и затварящите пластинки, равна на половината от изчислената стойност за l_B (фиг. 10-14), тъй като в магнитната верига има две последователно свързани междини.

Индуктивността на намотката на дросел с въздушна междина може да се изчисли по формулата

$$L = \frac{1,3 \cdot Q_c \cdot \omega^2 \cdot 10^{-8}}{\frac{l_m}{\mu} + l_B} \quad (\text{хн}),$$

като магнитната проницаемост при дросел без преднамагнитване се взема 400, а с преднамагнитване се отчита от графика на фиг. 10-15.

Диаметърът на проводника без изолация се определя по формулата

$$d = 0,025 \sqrt{I_{(ма)}} \text{ (мм)}.$$

Получената стойност за d се закръглява до следващия стандартен размер от табл. 10-5, от която се отчита и диаметърът с изолацията D .

Омическото съпротивление на намотката на дросела се определя по формулата

$$R_n = \frac{2 \cdot 10^{-4} \cdot \omega \cdot l_n}{d^2} \text{ (ом)},$$

където l_n е средната дължина на една навивка в $см$, която се взема от табл. 10-4.

Проверката, дали ще се събере намотката в макарата, се прави по формулата

$$h_k \cdot l_k \geq (1,25 \div 1,5) \cdot D^2 \cdot \omega,$$

където h_k и l_k са размерите на макарата в $мм$ съгласно фиг. 10-12, измерени вътрешно.

При навиване на навивките на редове се взема коефициентът 1,25, а при навиване без редове — 1,5. Намотката на обикновените дросели за филтраж на изправеното напрежение може да се навие и не на редове, като се спазва само горе-долу известен порядък.

Лявата страна на равенството трябва да е равна на дясната или по-голяма. В противен случай навивките на дросела няма да могат да се съберат в макарата.

Изчисление на високочестотни дросели

Дроселите за висока честота се свързват в дадена верига, за да спрат променливи токове с определена честота. Те трябва да имат необходимата индуктивност при минимален собствен капацитет.

Всички дросели работят добре в сравнително тесен вълнов обхват — от λ_0 до $1,5\lambda_0$, в краен случай от $0,8\lambda_0$ до $2,5\lambda_0$, като λ_0 е работна вълна на дросела, която съвсем приблизително може да се изчисли по формулата

$$\lambda_0 = 3,2 \cdot l,$$

където l е дължината на проводника в $м$.

Целият късовълнов диапазон е значително по-широк от посочените по-горе най-благоприятни вълнови обхвати за дроселите. Поради това, за да се получат най-добри резултати, необходимо е за всеки работен обхват, да има отделен дросел, навит с проводник, чиято дължина е 3—3,5 пъти по-малка, отколкото е минималната вълна на съответния обхват. Този начин обаче е неудобен и затова най-често се използва един единствен дросел за всички работни обхвати.

Собственият капацитет на дросела се явява свързан към съответния *вч* трептящ кръг, с което се увеличава минималният капацитет на кръга, като се намалява работният му обхват. Поради това е необходимо дроселите да се навиват на тънки дълги тела. Дроселите с по-голям брой навивки, напр. тези за средни и дълги вълни, са многослойни. За да се намали собственият им капацитет, те се навиват на отделни секции, свързани последователно.

Дроселите за вълни, по-къси от 50 м, са еднослойни и се навиват на тяло с диаметър 10—15 мм с проводник с диаметър 0,1—0,15 мм. За да се намали собственият им капацитет, те се навиват на 3—4 последователно свързани секции, разстоянието между които е 3—4 мм. За вълни, по-къси от 15 до 20 м, дроселите се навиват със стъпка.

Дроселите за вълни, по-дълги от 50 м, са многослойни, разделени на 3—5 секции, навити с проводник 0,1—0,5 мм на разстояние 4—6 мм една от друга. Всяка секция е навита с кръстосана (универсална) плетка с ширина 3—4 мм, вътрешен диаметър 5—10 мм и външен диаметър 10—15 мм.

Дроселите за УКВ са еднослойни въздушни (без тяло), навити със стъпка.

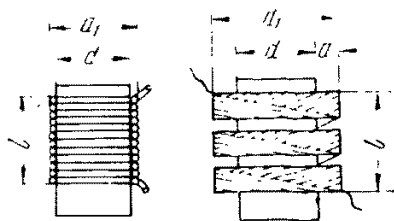
Ако е необходимо, както се каза по-горе, дроселът да работи в широк вълнов диапазон, той трябва да бъде навит с проводник, чиято дължина е 2—2,5 пъти по-къса от най-късата вълна на диапазона. За вълни, по-къси от 50 м, дроселът е еднослоен секционирани, при което ширината на секциите постепенно се увеличава, считано от края, намиращ се на *вч* потенциал. Ако такъв дросел трябва да работи и на по-дълги вълни от 50 м, той се прави комбиниран — към него се добавят и една-две многослойни секции.

При по-точни изчисления самоиндукцията L на *вч* дросели при дадена най-висока работна честота f за даден обхват може да се определи от таблица 10-7.

В случай че *вч* дросел е с феромагнитна сърцевина, получената от таблица 10-7 стойност за L следва да се намали с 20—30%.

Таблица 10-7

f (мгхц)	L (мкхн)
до 0,5	$1 \div 10 \cdot 10^3$
1	$250 \div 1500$
5	$80 \div 400$
10	$30 \div 150$
20	$15 \div 80$
50	$4 \div 25$
100	$1,5 \div 8$



Фиг. 10-16

На фиг. 10-16 са дадени два *вч* дросела с феромагнитна сърцевина — еднослоен (а) и многослоен с кръстосана плетка (б). Дължината на намотката l е обикновено 1,2—2,5 пъти по-голяма от диаметъра на тялото d .

Броят на навивките на еднослойните дросели (фиг. 10-16, а) се определя по формулата

$$\omega = \frac{6,7}{d} \sqrt{L(d+2,22l)} \quad (\text{нав.}),$$

където l и d са в *см.*

Броят на навивките на многослойните секционирани дросели (фиг. 10-16, б), като се спазят отношенията $a = (0,3 \div 0,6)d$ и $l = (1,5 \div 3)d$, се определя по формулата

$$\omega = \frac{6,12}{d+a} \sqrt{L(d+3l+4,33a)} \quad (\text{нав.}),$$

където d , a и l са в *см.*

По тази формула се получават сравнително точни резултати, когато разстоянието между отделните секции е доста по-малко от ширината на самите секции. В противен случай броят на навивките е малко завишен.

Диаметърът на проводника с изолацията се изчислява по формулата

$$D = \frac{10 \cdot l}{\omega} \quad (\text{мм}).$$

Получената стойност за D се приравнява към най-близката до нея стандартна величина.

Собственият капацитет на *вч* дросели се изчислява приблизително по формулата

$$C = (0,6 \div 0,7) \cdot d_1,$$

където d_1 е външният диаметър на дросела в *см* (фиг. 10-16).

Изчисление на *вч* трептящи кръгове

От правилното изчисление и изпълнение на *вч* трептящи кръгове зависи до голяма степен добрата работа на предавателите и приемниците.

Както е известно, един трептящ кръг се състои от бобина и кондензатор, свързани последователно или паралелно, поради което се наричат последователни (серийни) и паралелни трептящи кръгове.

Елементите на трептящите кръгове, както е известно, имат загуби. Всички загуби в трептящия кръг се обединяват в едно съпротивление R_s , което се нарича загубно съпротивление. При последователните трептящи кръгове това съпротивление е свързано последователно с L и C . При паралелните кръгове се различават два варианта:

1. Загубното съпротивление R_s лежи паралелно към кръга. То включва всички загуби в кръга и съпротивлението на радиолампата, към която кръгът е включен.

2. Загубното съпротивление R_s е свързано последователно с L . В него са включени загубите на бобината и кондензатора (загубите при въздушните кондензатори често се пренебрегват). Този вариант се използва по-често.

Капацитетът на един трептящ кръг не се състои само от кондензатора на кръга. Той се състои от сбора на следните капацитети:

$$C_k = C + C_{вх} + C_m + C_L + C_d \text{ (} n\phi \text{)},$$

където C е капацитет на настройващия кондензатор в $n\phi$;

$C_{вх}$ — входният капацитет на лампата; той е 5—10 $n\phi$;

C_m — монтажният капацитет, включващ и капацитета на ключа за вълни, той е общо 5—10 $n\phi$;

C_L — собственият капацитет на бобината; за къси вълни той е от 3 до 5 $n\phi$, а за средни и дълги вълни — 15—20 $n\phi$;

C_d — капацитет на донастройващия кондензатор (тример); той е обикновено около 30 $n\phi$.

Ако трептящият кръг е свързан в анода на една лампа, тогава вместо входния ѝ капацитет $C_{вх}$ се взема изходният — $C_{изх}$.

Следователно максималният и минималният общ капацитет на кръга при затворено и отворено положение на променливия кондензатор се определя по формулите:

$$C_{k \text{ макс}} = C_{\text{макс}} + C_{вх} + C_m + C_L + C_d \text{ (} n\phi \text{)};$$

$$C_{k \text{ мин}} = C_{\text{мин}} + C_{вх} + C_m + C_L + C_d \text{ (} n\phi \text{)},$$

където $C_{\text{макс}}$ е максималният капацитет на променливия кондензатор в $n\phi$;

$C_{\text{мин}}$ е минималният капацитет на променливия кондензатор в $n\phi$.

Резонансната честота f_0 на един трептящ кръг зависи само от стойностите на L и C и се определя по познатата формула на Томсон:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C_k}} \text{ (} x\phi \text{)},$$

където L е в xH , а C_k — във ϕ .

За радиотехнически изчисления по-удобни са следните формули

$$f_0 = \frac{10^6}{2\pi\sqrt{L \cdot C_k}} \text{ (} kx\phi \text{)};$$

$$f_0 = \frac{159}{\sqrt{L \cdot C_k}} \text{ (} m\phi \text{)};$$

$$f_0^2 = \frac{25\,330}{L \cdot C_k} \text{ (} m\phi \text{)},$$

където L е в $m\phi H$, а C_k — в $n\phi$.

Индуктивността на бобината на трептящите кръгове трябва да се изчислява при най-високата честота $f_{\text{макс}}$ за съответния обхват при минималния общ капацитет за кръга $C_{k \text{ мин}}$:

$$L = \frac{25\,330}{f_{\text{макс}}^2 \cdot C_{k \text{ мин}}} \text{ (} m\phi H \text{)},$$

където $f_{\text{макс}}$ е в $m\phi$, а $C_{k \text{ мин}}$ — в $n\phi$.

Резонансните свойства на $вч$ трептящи кръгове, т. е. техните избиращателност и стойност на напрежението, зависят от качествения им фак-

тор (Q -фактора) и фактора на загубите d . Те се определят по формулите

$$Q = \frac{1000}{R_3} \sqrt{\frac{L}{C_k}};$$

$$d = \frac{1}{Q},$$

където L е в $мкхн$, C_k — в $пф$, а R_3 — в $ом$.

Един трептящ кръг е толкова по-добър, колкото по-голям е качественият му фактор. От формулата за Q се вижда, че качественият фактор е толкова по-голям, колкото по-малко е загубното съпротивление R_3 , т. е. колкото по-качествени са елементите му. Качественият фактор на *вч* трептящи кръгове практически е от 80 до 200.

От любителските късовълнови приемници целият късовълнов диапазон от 10 $м$ до 80 $м$ (29,3—3,60 $мгхц$) се разделя на 5 обхвата: 10, 15, 20, 40 и 80 $м$. За всеки обхват се предвижда отделен трептящ кръг. По този начин са необходими променливи кондензатори с по-малък капацитет — от 100 до 150 $пф$. Въпреки това обаче понякога се налага някои от обхватите да се разтегнат, т. е. при превъртане на променливия кондензатор да се покрие само малък участък от обхвата.

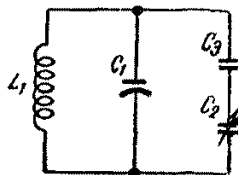
Най-често прилаганата схема за разтягане на даден обхват е дадена на фиг. 10-17. Разтягането се постига с помощта на кондензатора C_3 , свързан последователно с променливия кондензатор C_2 . Кондензаторът C_1 служи за увеличаване общия начален капацитет на кръга. Кондензаторът C_3 пък ограничава максималния капацитет на кръга. По този начин благодарение на кондензаторите C_1 и C_3 се увеличава началният капацитет $C_{\text{макс}}$ на кръга, което довежда до значително намаляване на покривания обхват.

Ако искаме да разтегнем няколко участъка от късовълновия обхват, може да използваме една и съща бобина L_1 , като с помощта на двоен превключвател за всеки участък превключваме по един кондензатор C_1 и C_3 . Този начин обаче има недостатъка, че чувствителността на приемника не е еднаква за всеки участък. Най-добре е за всеки участък със същия превключвател да се превключва и по една отделна бобина.

Изчислението на елементите на кръга за разтегнати обхвати става по следния ред (фиг. 10-17):

1. Изчисляваме или определяме предварително минималния общ капацитет $C_{\text{мин}}$ за кръга, който е обикновено от 20 до 35 $пф$.
2. Изчисляваме необходимата индуктивност L на бобината на кръга при най-високата честота $f_{\text{макс}}$ за нормалния (неразтегнат) обхват.
3. Изчисляваме максималния и минималния общ капацитет на кръга на дадения разтегнат обхват:

$$C_{k \text{ макс}} = \frac{25 \ 330}{f_{\text{мин}}^2 \cdot L} \text{ (пф)};$$



Фиг. 10-17

$$C_{к\ мин} = \frac{25\ 330 \cdot}{f_{\max}^2 \cdot L} \text{ (нф)}.$$

Оттук можем да определим необходимото изменение на общия капацитет на кръга за покриване на разтегнатия обхват:

$$\Delta C_k = C_{к\ \max} - C_{к\ \min} \text{ (нф)}.$$

4. Изчисляваме капацитета на последователния кондензатор C_3 :

$$C_3 = \frac{\Delta C_k (\Delta C_2 + 2C_{2\ \min}) + \sqrt{\Delta C_k (\Delta C_2 + 2C_{2\ \min})^2 + 4 (\Delta C_2 - \Delta C_k) \cdot (\Delta C_2 + C_{2\ \min}) \cdot \Delta C_k \cdot C_{2\ \min}}}{2 (\Delta C_2 - \Delta C_k)} \text{ (нф)},$$

където $C_{2\ \min}$ е началният (минималният) капацитет на променливия кондензатор C_2 в нф;

$$\Delta C_2 = C_{2\ \max} - C_{2\ \min} \text{ в нф}.$$

5. Капацитетът на паралелния кондензатор C_1 за дадения разтегнат обхват се изчислява по формулата

$$C_1 = C_{к\ \min} - \frac{C_{2\ \min} \cdot C_2}{C_{2\ \min} + C_2} \text{ (нф)}.$$

Кондензаторите C_1 и C_3 за разтягане на обхватите трябва да имат малки загуби, да бъдат много устойчиви по отношение на капацитета и да имат много малък температурен коефициент, т. е. при загряване почти да не изменят капацитета си.

За тази цел има конструирани специални компенсиращи керамични кондензатори, които при нагряване не изменят капацитета си.

Разтягането на обхватите в края на скалата е много голямо и неравномерно. Поради това е необходимо да се осигури разтягане на обхвата само на около $\frac{3}{4}$ (75%) от дължината на скалата. Затова е необходимо да се спазят следните отношения:

За 10-метровия обхват: $C_{к\ \max} = 1,2 \cdot C_{к\ \min}$;

за останалите късовълнови обхвати: $C_{к\ \max} = 1,1 \cdot C_{к\ \min}$.

Ако за всеки разтегнат обхват се употребява отделна бобина, минималният общ капацитет на кръга $C_{к\ \min}$ трябва да се вземе 25 нф за $f_{\max} = 30$ мгхц, а за $f_{\min} = 2$ мгхц — 100 нф.

Изчисление на вч бобини

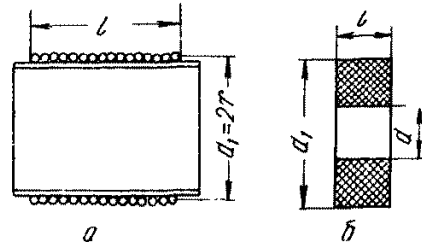
Висококачествените бобини, които се употребяват в радиотехниката, биват въздушни с феромагнитна сърцевина, като те могат да бъдат със или без екран. Освен това различаваме еднослойни и многослойни вч бобини (фиг. 10-18).

Висококачествените бобини обикновено се навиват на подходящо тяло, но при много къси вълни, особено при УКВ, когато навивките са от 2 до 5, бобините могат да се навият направо с дебел, обикновено посребрен проводник, без да се използва някакво тяло. Практически бобините с индуктивност до около 30 мкхн са еднослойни, навити със стъпка (разредено). Бобините с индуктивност от 30 до около 500 мкхн

са еднослойни, навити сбито без стъпка. Над тази стойност за L -бобините са многослойни, навити обикновено с кръстосана (универсална) плетка. В таблица 10-8 са посочени данните за бобини с еднослойна разредеца и сбита намотка.

Таблица 10-8

Диаметър D на бобината (мм)	L (мкхн)	
	разредена	сбита
6	1,8	—
10	4	30
19	10	50
20	20	100
25	30	150
30	—	500



Фиг. 10-18

За еднослойни бобини, навити върху цилиндър (фиг. 10-18, а), важи приблизително формулата:

$$L = \frac{r^2 \cdot w}{2,54 (9 \cdot r + 10 \cdot l)} \text{ (мкхн)}.$$

Броят на навивките е:

$$w = \sqrt{\frac{2,54 \cdot L (9 \cdot r + 10 \cdot l)}{r^2}} \text{ (нав.)},$$

където r е радиусът на бобината в см;

l — дължината на бобината в см.

Тези изрази са в сила за нормална форма бобини, при които радиусът r е приблизително равен на дължината на бобината l .

За различни отношения между радиуса и дължината (дълги бобини или къси с голям диаметър) при изчисляване на L можем да си послужим с формулата

$$L = 0,04 \frac{r^2 \cdot w^2 \cdot k}{l} \text{ (мкхн)},$$

където коефициентът k зависи от формата на бобината; той е даден в таблица 10-9 като функция на отношението между радиуса на бобината r и нейната дължина l .

Таблица 10-9

r/l	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	1,0	1,5	2,0
k	0,92	0,89	0,80	0,85	0,75	0,69	0,53	0,43	0,36
r/l	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	10,0	15,0	—
k	0,32	0,28	0,24	0,23	0,21	0,2	0,12	0,085	—

Броят на навивките при тези бобини се определя по формулата

$$\omega = \sqrt{\frac{L \cdot l}{0,04 \cdot r^2 \cdot k}} \quad (\text{нав.}).$$

За многослойни бобини, навити върху цилиндър, важат приблизително формулите:

$$L = \frac{0,315 \cdot r^2 \cdot \omega^2}{3 \cdot d_1 + 9 \cdot l + 10 \cdot a} \quad (\text{мкхн});$$

$$\omega = \sqrt{\frac{L(3 \cdot d_1 + 9 \cdot l + 10 \cdot a)}{0,315 \cdot r^2}} \quad (\text{нав.}),$$

където a е общата дебелина на всички слоеве в $см$;

d_1 — диаметърът на бобината, мерен до външната обиколка (външния ред навивки) в $см$.

По тези формули се изчисляват и бобини с кръстосана (универсална) плетка.

Бобини с феромагнитна сърцевина. Индуктивността им се изчислява както за въздушни бобини, само че получената индуктивност L се умножава с магнитната проницаемост μ на материала, от който е направена сърцевината:

$$L_c = \mu \cdot L \quad (\text{мкхн}),$$

където L е индуктивността на същата бобина, изчислена без сърцевина, в $мкхн$.

Магнитната проницаемост за различните материали е различна. Употребяваните у нас феромагнитни сърцевини са с магнитна проницаемост $\mu = 1,45$.

Екрани на бобините. Металните екрани предпазват бобините от влиянието на външни полета (индукция от съседни бобини и проводници). Те намаляват индуктивността на бобините. Намаляването на индуктивността при цилиндрични екраниращи кутии (или приблизително такава форма), става приблизително по формулата

$$L_e = L \left(1 - \frac{D^3}{D_e^3}\right) \dots \quad (\text{мкхн}),$$

където L_e е индуктивността на бобината с екранираща кутия в $мкхн$;

L — индуктивността на бобината без екран в $мкхн$;

D — най-големият диаметър на бобината в $мм$;

D_e — вътрешният диаметър на екраниращата кутия в $мм$.

Качествен фактор на бобините. Качественият фактор (Q -факторът) на една бобина се изразява с отношението между индуктивното съпротивление на бобината и нейното загубно съпротивление:

$$Q = \frac{\omega L}{R_3},$$

където ωL е индуктивното съпротивление на бобината;

R_3 — загубното съпротивление на бобината.

Качественият фактор на съвременните високочестотни бобини се движи между 20 и 250.

Реципрочната стойност на качествения фактор

$$d = \frac{1}{Q} = \frac{R_3}{\omega L}$$

се нарича фактор на загубите.

Загубното съпротивление на бобините е съставено от омическото съпротивление на проводника, с който е навита бобината, и няколко други по-малки величини, които при приблизителни изчисления могат да бъдат пренебрегнати. Следователно, за да бъде една бобина по-качествена, необходимо е да бъде навита с проводник с по-малко съпротивление. За това допринасят и феромагнитните сърцевини, тъй като при тях необходимата индуктивност се постига с по-малък брой навивки. Затова бобините с феромагнитна сърцевина имат по-добър качествен фактор. Това обаче важи само за честоти до около 30 *мгхц*. Над тази честота загубите от сърцевината надделяват, поради което бобините за УКВ са въздушни.

Качественият фактор на бобините с феромагнитна сърцевина се изчислява по формулата

$$Q_e = \mu \cdot Q,$$

където Q е качественият фактор на бобината без сърцевина.

Екраниращите кутии влошават качествения фактор на бобината, както следва:

$$Q_e = Q \left(\frac{D^3}{D_e^3} \right).$$

5. СХЕМИ НА АПАРАТУРИ ЗА КОНСТРУКТОРСКА ДЕЙНОСТ

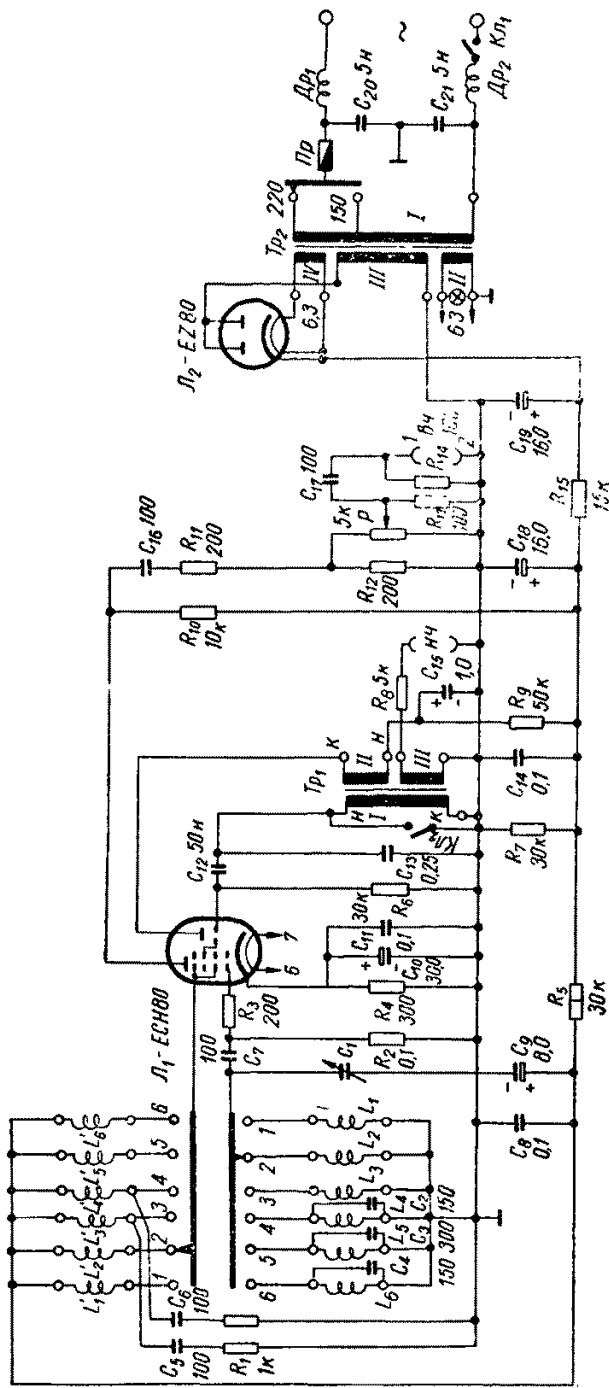
Високочестотен сигналгенератор

На фиг. 10-19 е дадена схемата на любителски *вч* сигналгенератор. Той има две лампи, като токоизправителната лампа 6Х4 може да се замени с германиев диод Д-ГЦ27 (Д7Ж), като в такъв случай намотката IV на мрежовия трансформатор Tr_2 става излишна.

Генераторът има следните шест обхвата:

1. 20,7—5,45 *мгхц* (14,5—55 *м*).
2. 6—1,58 *мгхц*.
3. 1670—440 *кхц*.
4. 850—310 *кхц*.
5. 310—200 *кхц*.
6. 200—110 *кхц*.

Модуляционният трансформатор се навива на сърцевина от обикновен изходен трансформатор с ϕ около 3 *см*³. Намотката I има 850 *нав.*, намотката II — 400 *нав.* и намотката III — 500 *нав.* Всичките намотки се навиват от проводник 0,12—0,15. Въздушната междина l_b е 0,3 *мм*, като се поставя картонче с дебелина $l_b:2=0,15$ *мм*. От *нч* букси може да се взема модуляционно *нч* напрежение за проверка на *нч*



Фиг. 10-19

част на радиоприемниците. Честотата на модулационното напрежение се определя чрез изменение на стойностите на кондензаторите C_{13} и C_{12} .

Високочестотното напрежение се взема от буксите 1 и 2. Необходимо е елементите R_{11} , R_{12} , R_{13} , R_{14} , P , C_{16} и C_{17} да бъдат общо добре екранирани.

Бобините се навиват на шест бакелитови тела с железни сърцевини, производствено на Слаботоковия завод. Бобините L_1 и L'_1 се навиват с едноредова навивка със стъпка, като навивките на L'_1 се разполагат между навивките на L_1 . Останалите 5 бобини се навиват с кръстосана (универсална) намотка, като разстоянието между всеки две бобини (L_2 и L'_2 , L_3 и L'_3 и т. н.) е 1 мм. Бобините имат следния брой навивки:

L_1	— 17 навивки от проводник	0,8	— емайл
L'_1	— 11 " " "	0,2	— емайл — коприна
L_2	— 39 " " "	0,2	— " "
L'_2	— 18 " " "	0,15	— " "
L_3	— 142 " " "	0,2	— " "
L'_3	— 55 " " "	0,15	— " "
L_4	— 180 " " "	0,15	— " "
L'_4	— 70 " " "	0,1	— " "
L_5	— 260 " " "	0,1	— " "
L'_5	— 100 " " "	0,1	— " "
L_6	— 520 " " "	0,1	— " "
L'_6	— 160 " " "	0,1	— " "

Генераторът се монтира в метална кутия. Градуирането на скалата става по принципа на биене, като *вч* сигнал от изработения от нас генератор се подава заедно със сигнала от един точен (еталонен) *вч* генератор на входа на един *нч* усилвател. Когато честотите от двата генератора станат равни, тонът от високоговорителя на усилвателя изчезва.

Гриддипмер

На фиг. 10-20 е дадена схемата на малък гриддипмер, при който милиамперът е заменен с индукторна лампа (око). При положение 2 на превключвателя $K_{л2}$ гриддипмерът спира да осцилира и се превръща в абсорбиционен вълномер.

Обхватът на гриддипмера е от 7,5 до 150 мгхц, който се покрива с помощта на *вч* бобини L , които имат следните данни:

L_1	за обхват	7,5—13,5 мгхц	с 35 навивки от проводник	0,4 мм
L_2	" "	13,5—24	" " 22 " " "	0,7 "
L_3	" "	24—42	" " 13,5 " " "	0,7 "
L_4	" "	42—47	" " 7,5 " " "	0,8 "
L_5	" "	56—96	" " 3,5 " " "	0,8 "
L_6	" "	93—153	" " изработена от медна шина 1×55 мм	във вид на примка с дълж. 70 мм.

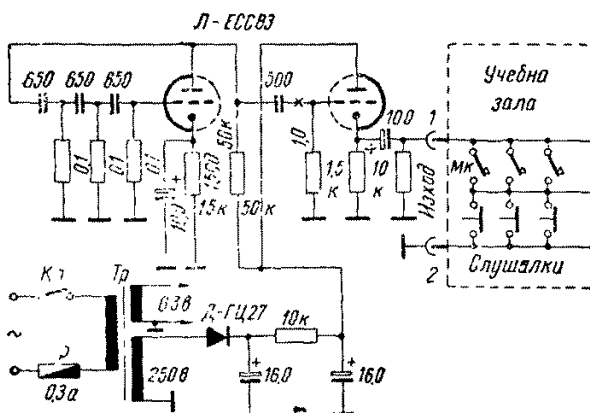
Лампов волтмер

На фиг. 10-21 е дадена схемата на универсален любителски лампов волтмер за постоянни и променливи напрежения от 1 в до 1000 в с честотен обхват за променливите напрежения от 20 хц до около 150 мгхц. Входното му съпротивление е 4 мгом. Стрелковият измервателен уред е от магнитоелектрическата система с обхват 2 ма.

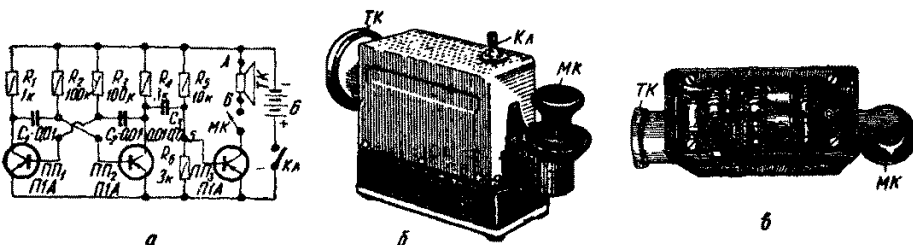
Пробникът е изпълнен във вид на метална гилза, като за тази цел може да се използва обвивката на повреден електролитен кондензатор.

Зумери за изучаване на Морзовата азбука

На фиг. 10-22 е дадена схемата на малък RC-тонгенератор, предназначен за Морзова манипулация в радиоклубовете. Получената ниска



Фиг. 10-22



Фиг. 10-23

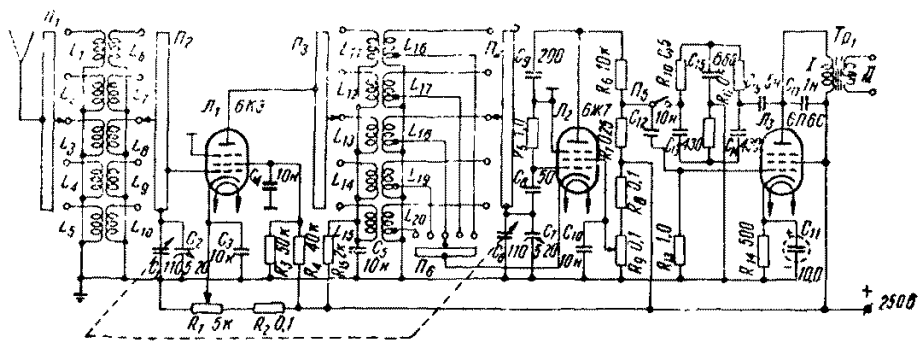
честота от буксите 1 и 2 се подава на разпределителното табло. Ако е необходима по-голяма изходна мощност, нч сигнал се подава на крайно стъпало с лампа EL84.

На фиг. 10-23, а е дадена схемата на малък транзисторен зумер, който е вграден в една кутия заедно с манипулаторния ключ *МК* и телефонния капсул *ТК*. В кутията е поместена и батерията *Б*.

На фиг. 10-23, б е даден външният вид на зумера, а на фиг. 10-23, в — зумерът, гледан отдолу.

КВ приемник 1-V-1

На фиг. 10-24 е дадена схемата на линеен късовълнов приемник 1-V-1. Той има 5 обхвата от 10 до 200 м. Бобините му се навиват според таблица 10-10.



Фиг. 10-24

Таблица 10-10

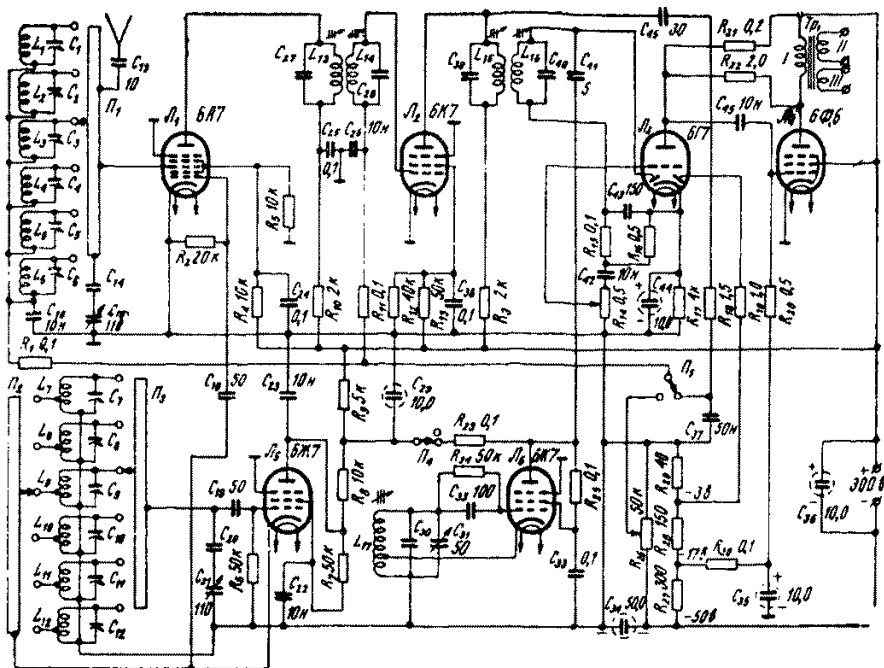
Обхват (м)	Бобина	Брой навивки	Отвод от нав.	Проводник (мм)	Дължина на намот. (мм)	Бобина	Брой навивки	Бобина	Брой навивки
10—19	L_6 и L_{16}	4	1	1,0	8	L_1	3	L_{11}	4
19—34	L_7 и L_{17}	9	2	0,5	8	L_2	5	L_{12}	8
34—62	L_8 и L_{18}	20	4	0,3	10	L_3	7	L_{13}	12
62—112	L_9 и L_{19}	36	6	0,2	Кръст.	L_4	10	L_{14}	20
112—200	L_{10} и L_{20}	72	8	0,2	,	L_5	12	L_{15}	30

За захранване на приемника е необходим токоизправител с филтрирано напрежение 250 в/55 ма.

КВ суперхетеродинен приемник

На фиг. 10-25 е дадена схемата на суперхетеродинен късовълнов приемник. Той има шест разтегнати обхвата, които покриват любителските КВ обхвата от 10 до 160 м. Бобините му се навиват според таблица 10-11. Междинната честота е 468 кхц. Филтрите за междинната честота са обикновено заводски.

В приемника има и втори осцилатор (Π_6), който е необходим за слухово приемане на телеграфни радиостанции, работещи с незатихващи



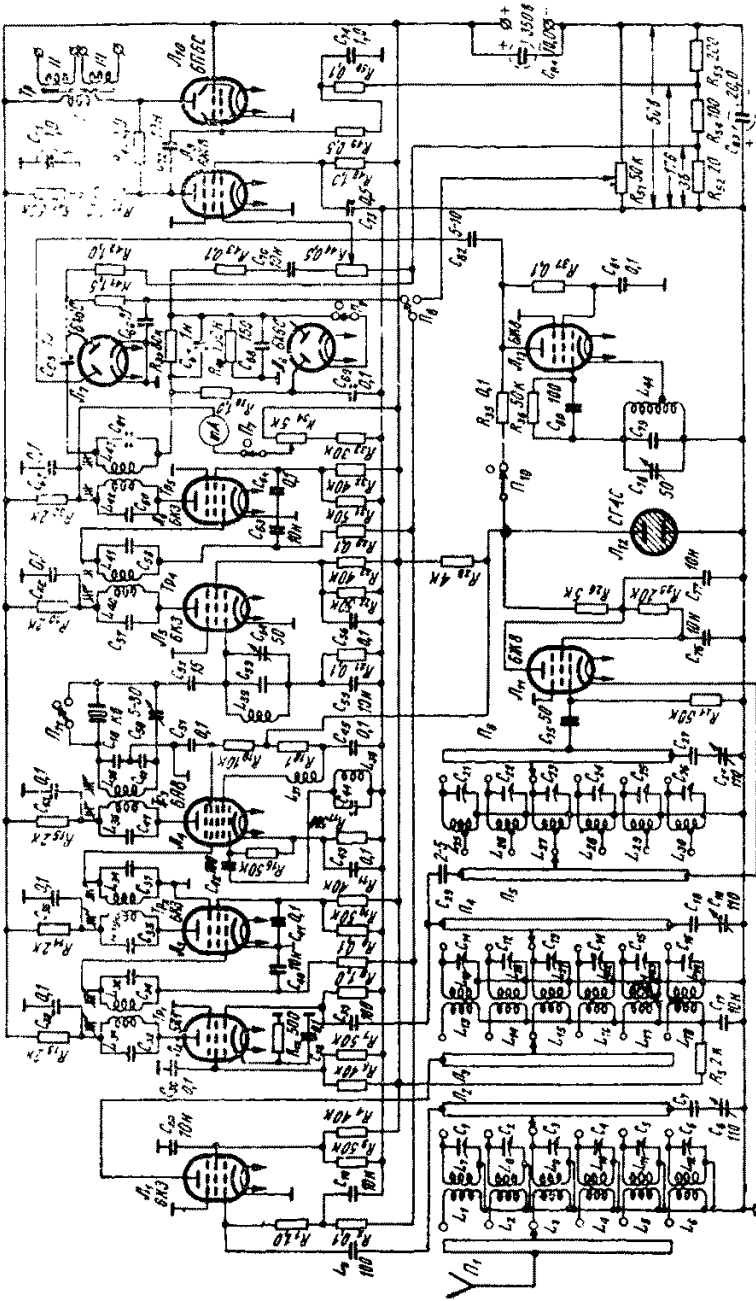
Фиг. 10-25

колебания. Биенето се постига с помощта на кондензатора C_{50} . Бобината L_{17} се навива на тяло с диаметър 11,5 мм с желязна сърцевина. Тя има 280 навивки от литцедрат, навити на четири секции по 70 навивки на разстояние 1,5 мм една от друга. Всяка секция е широка по 3 мм. Отводът се прави между първата и втората секция, смятано от заземяния край.

За захранване на приемника е необходим токоизправител с филтрирано напрежение 300 в/70 ма.

Таблица 10-11

Обхват (м)	Входна бобина	Брой навивки	Проводник (мм)	Осцил. бобина	Брой навивки	Отвод от нав.	Проводник (мм)
10	L_1	4	1,0	L_7	4	2	1,0
15	L_2	5	1,0	L_8	5	2	1,0
20	L_3	9	0,5	L_9	9	3	0,5
40	L_4	20	0,3	L_{10}	18	4	0,3
80	L_5	40	0,2	L_{11}	36	6	0,2
160	L_6	2×50	0,2	L_{12}	2×40	20	0,2



Фиг. 10-26

КВ суперхетеродинен приемник с двойно преобразуване

На фиг. 10-26 е дадена схемата на суперхетеродинен КВ приемник с двойно преобразуване на честотата. Той има 6 разтегнати обхвата, които покриват любителските КВ обхвати от 10 до 160 м. Първата междинна честота, която е 1600 кхц, се получава с помощта на осцилаторната лампа L_{11} и смесителната лампа L_2 .

Втората междинна честота, която е 110 кхц, се получава с помощта на смесителната лампа L_4 . Осцилаторната честота на втория осцилатор се определя от стойностите на елементите на трептящия кръг $L_{38}C_{44}$. Тя трябва да бъде 1710 (1600+110) кхц. В анода на лампата L_4 е свързан кварцов филтър, настроен на 110 кхц. Ако не разполагаме с кварц точно за 110 кхц, то трябва да сменим втората междинна честота според наличния кварц, което ще доведе и до съответната смяна на честотата на втория осцилатор.

Милямпермерът mA служи като индикатор на настройката. Той има чувствителност 2—3 ма.

Бобините за междинночестотните филтри за 1600 кхц се изработват, както е показано на фиг. 10-27, а. Те имат по 62 навивки от литцендрат, навити а по две секции (2×31), и са с железни сърцевини. Паралелните кондензатори са по 150 пф.

Бобините за междинночестотните филтри за 110 кхц се изработват, както е показано на фиг. 10-27, б. Те имат по 795 навивки от литцендрат, навити по на 3 секции (3×265), и са с железни сърцевини. Паралелните кондензатори са по 180 пф.

Останалите бобини се навиват, както е дадено на таблица 10-12.

Таблица 10-12

Обхват	Бобина	Брой навивки	Преводник (жж)	Бобина	Брой навивки	Отвод от нав.	Преводник (жж)	Бобина	Брой навивки	Бобина	Брой навивки
10	L_7 и L_{19}	4	1,0	L_{25}	4	2	1,0	L_1	3	L_3	4
15	L_8 и L_{20}	5	1,0	L_{26}	5	2	1,0	L_2	3	L_{14}	4
20	L_9 и L_{21}	9	0,5	L_{27}	9	3	0,5	L_3	5	L_{15}	8
40	L_{10} и L_{22}	20	0,3	L_{28}	18	4	0,3	L_4	7	L_{16}	12
80	L_{11} и L_{23}	40	0,2	L_{29}	36	6	0,2	L_5	10	L_{17}	20
160	L_{12} и L_{24}	2×50	0,2	L_{30}	2×40	20	0,1	L_6	12	L_{18}	30

Бобината за втория осцилатор L_{38} има същите данни, както и бобините от мч филтри за 1600 кхц. Бобината за обратната връзка L_{37}

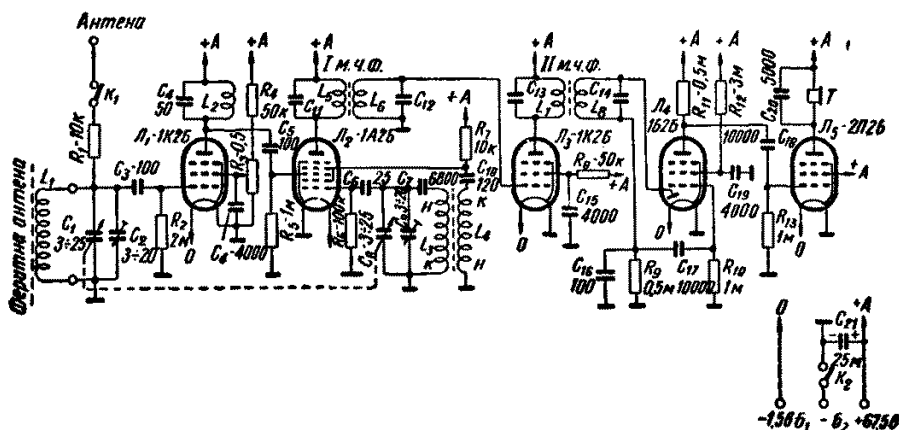
се навива с 15 навивки от проводник 0,1 на тялото на L_{38} и на разстояние около 3 мм от нея.

В приемника има и трети осцилатор (L_{13}), който е необходим за слухово приемане на телеграфни радиостанции. Биенето се постига с помощта на кондензатора C_{78} . Бобината L_{44} има същите данни, както и бобините от мч филтри за 110 кхц, като се донавиват допълнително 60 навивки. По този начин първоначалният край на бобината се дава на катода на L_{13} , а донавитият край се дава на земя.

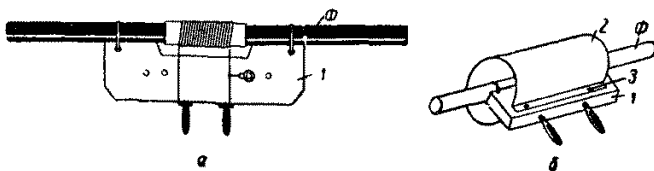
За захранването на приемника е необходим токоизправител с филтрирано напрежение 350 в/100 ма.

Приемници за лов на лисици

Лампов приемник за 3,5 мгхц (80 м). На фиг. 10-28 е дадена схемата на лампов приемник за лов на лисици на 3,5 мгхц. Бобината L_1 е навита на феритна пръчка, за да се получи остра насоченост на



Фиг. 10-28

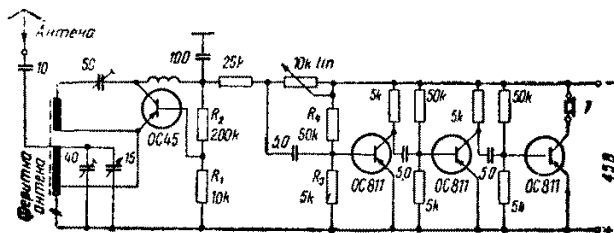


Фиг. 10-29

приемането. Тя има 25 до 30 навивки от проводник ПЕЛ 0,8 според качеството на феритната пръчка и капацитета на променливия кондензатор C_1 . Феритната антена е построена, както е показано на фиг. 10-29, а. Плочката 1 е от плексиглас с дебелина около 8 мм. Феритната антена е екранирана с екран 2 с диаметър около 40 мм от месингова лама-

рина 0,1—1 мм. Екранът се стяга с помощта на 4 винта 3, за които е нарязана резба в плексигласа (фиг. 10-29, б).

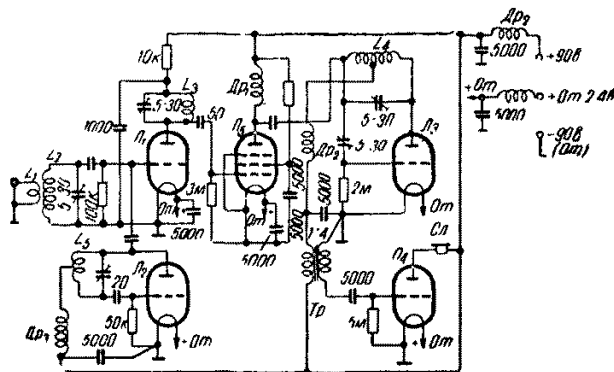
Срещуположните винтове не трябва да се допират, защото ще се получи намотка на късо. Феритната антена се закрепва извън кутията на приемника подобно на вълномерите. Освен феритната антена има и



Фиг. 10-30

сгъваема широва антена с дължина 60—70 см. Приемникът се монтира в алуминиева кутия с приблизителни размери 120×150×50 мм, като дебелината на ламарината е 2 мм.

Бобините L_2 и L_3 са навити на тяло с диаметър 10 мм с желязна сърцевина. Те имат по 70 навивки от проводник ПЕЛ 0,35. Върху L_3 изолирано е навита бобината L_4 , която има 25 навивки също от ПЕЛ 0,35.



Фиг. 10-31

Първият и вторият междинночестотен филтър (I мчф и II мчф) са обикновени мч филтри за 468 кхц, производство на Слаботоксовия завод.

Двойният променлив кондензатор $C_1—C_8$ се изработва, като всяка секция има по 2 статорни и 2 роторни пластинки.

За захранващите батерии B_1 и B_2 има предвидена отделна кутия.

Транзисторен приемник за 3,5 мгхц. На фиг. 10-30 е дадена схемата на малък транзисторен приемник за лов на лисици на 3,5 мгхц.

Феритната антена има същото устройство, както и при предния приемник.

Лампов приемник за 144 мгхц. На фиг. 10-31 е дадена схемата на суперхетеродинен приемник за лов на лисици на 144 мгхц. Бобиите имат данните от таблица 10-13.

Лампите L_1 — L_4 са триоди на метеорологични сонди (на Молчанов), а лампата L_5 е от типа RV2,4P700. Те обаче могат да се заменят с батерийни лампи от серията „1“ с отоплително напрежение 1,5 в. В такъв случай ще се намали и анодното напрежение на 67,5 в. С това приемникът ще стане и по-лек.

Таблица 10-13

Бобина	φ		Провод-ник (мм)	Изолация	Дължина на намот-ката (мм)	Забележка
	Тяло (мм)	Брой навивки				
L_1	17	1	3	няма	—	една върху друга
L_2	12	4	3	"	30	
L_3	12	4	3	"	25	—
L_4	8	18	0,8	лак	16	без стъпка
L_5	8	20	0,8	"	19	"
Dr_1	8	50	0,2	коприна	20	последните 10 навивки със стъпка
Dr_2	8	50	0,2	"	16	"
Dr_3	8	50	0,2	"	16	"

Осцилаторът работи на честота 104 мгхц, като в такъв случай междинната честота е 40 мгхц.

Междуламповият трансформатор е навит на миниатюрна сърцевина от слухов апарат и има съотношение на навивките около 500:2000.

Настройващият кондензатор е от въздушния тип донастройващи кондензатори, на чийто ротор е закрепен гетинаксов назъбен диск за въртене с пръст.

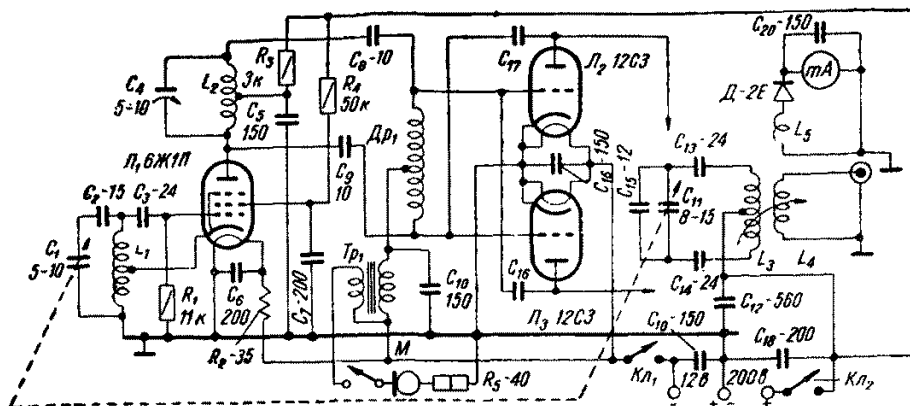
Приемникът се монтира в алуминиева кутия. Отоплителната батерия B_1 е съставена от четири елемента СЕЛ-2, свързани две по две паралелно и след това последователно, като по този начин се получава напрежение 3 в. То се намалява на 2,4 в с помощта на едно съпротивление 1 ом, свързано последователно във веригата.

Предавател за лов на лисици

На фиг. 10-32 е дадена схемата на предавател за лов на лисици на 144 мгхц. Неговата мощност е около 2 вт и може да се използва на разстояние около 5 км в пресечена гориста местност.

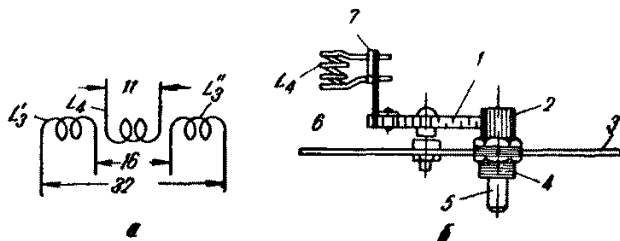
Задаващият генератор е изпълнен с лампата L_1 . Решетъчният и трептящ кръг L_1 — C_1C_2 се настройва на основната честота 144 мгхц, като тя може да се мени в обхвата 144—146 мгхц с помощта на C_1 . Анодният трептящ кръг L_2 — C_4 е настроен на средната честота на

обхват 145 мкци. Стъпалото за мощност е противотактно с лампите Π_2 и Π_3 . Бобината за връзка с антената L_4 е поместена симетрично между двете половини на L_3 (фиг. 10-33, а). На фиг. 10-33, б е дадено



Фиг. 10-32

устройството за въртене на бобината L_4 . Модулационният трансформатор Tr_1 е обикновен трансформатор от радиоприемник. Милиампермерът mA служи като индикатор на настройката.



Фиг. 10-33

Кондензаторът C_1 има само две плочки на разстояние 1 мм. На таблица 10-14 са дадени данните за бобините на предавателя.

Таблица 10-14

Бобина	Брой навивки	Посребрен проводник (мм)	Стъпка (мм)	Отвод
L_1	4	2	2	от 3-та нав.
L_2	5	2	2	от средата
L_3	2+2	3	3	от средата
L_4	4	2	1	—
L_5	2	2	2	—

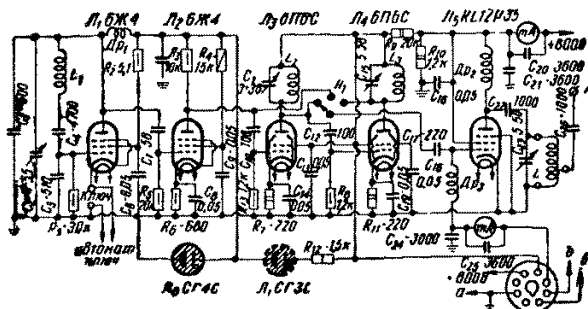
Дроселът Dr_1 е навит на керамично или тролитулово тяло с диаметър 5 мм и дължина 40 мм. Той се навива на две половини с проводник с дължина $2 \times 0,5$ мм и диаметър 0,3 мм. В двата края на дросела има прогресивна стъпка. Изводите му се правят от посребрен проводник с диаметър 1,2 мм.

Антената на предавателя е щирова.

За захранване на предавателя са необходими 12,6 в/а и 200 в/50 ма

КВ предавател 40 вт

На фиг. 10-34 е дадена схемата на КВ предавател 40 вт с обхвати за 20, 40, 80 и 160 м, като, разбира се, могат да се добавят и обхвати



Фиг. 10-34

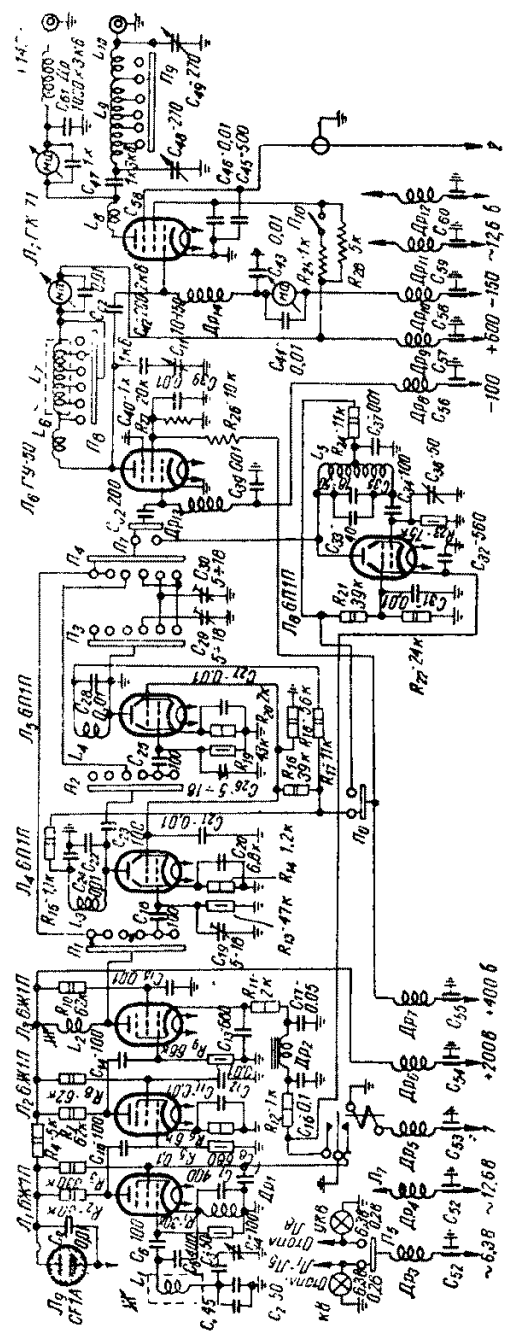
за 10 и 15 м. Той има задаващ генератор (L_1), буферно стъпало (L_2), първи (L_3) и втори (L_4) удвоител на честотата и крайно стъпало (L_5).

За всеки от обхватите има отделна бобина L . Бобините L_1 , L_2 и L_3 са едни и същи за всички обхвати. Бобините се навиват според таблица 10-15.

Таблица 10-15

Бобина	Брой навивки	Проводник (мм)	Тяло ϕ (мм)
$L-20$ м	8	3	Въздушна — 50
$L-40$ м	11	3	
$L-80$ м	40	1	
$L-160$ м	105	0,5	
L_1	46	0,25	15
L_2	30	1	20
L_3	18	1	20

Дроселът Dr_1 е навит на тяло с диаметър 11 мм. Той има 420 навивки от проводник 0,2 с кръстосана плетка. Дроселът Dr_2 е навит секционизирано на тяло с диаметър 12 мм. Дроселът има 250 навивки



Фиг. 10-36

Таблица 10-16

Бобина	Брой на- винки	Дължина на намотката (мм)	Проводник (мм)	Отвод	Диаметър на тръбата (мм)
L ₁	70	—	0,1	—	15
L ₂	55	4 (кръстосана)	0,15	—	15
L ₃	22	35	1	—	15
L ₄	12	25	1	—	15
L ₅	12	25	1	от 6-та	15
L ₆	4	15	1	—	15
L ₇	40	едноредна без стъпка	1	от 28-ма и 15-та	25
L ₈	7	10	1 — никел	от 9-та	70
L ₉	17	със стъпка 2 мм	6 — тръба	от 2,5	9,9
L ₁₀	16	*, * 3 мм	2	—	60

Бобината L_1 се навива в затворена феромагнитна сърцевина (топфкерн) с външен диаметър 21 мм и желязна сърцевина 10 мм. Бобината L_2 се навива без тяло и е с диаметър 8 мм. Бобините L_3 и L_4 са монтирани в правоъгълни алуминиеви кутии с размери $30 \times 30 \times 60$ мм, а бобината L_7 — в кутия с размери $50 \times 50 \times 100$ мм.

Предавателят се захранва от четири токоизправителя, монтирани на една вертикална стойка. Два от тях — токоизправителят за преднапрежението и изправителят, захранващ задаващия генератор — са с лампи 5Ц4С. Токоизправителят на преднапрежението е натоварен с обикновен делител. Последователно с този делител е включена намотката на реле, контактите на което при отсъствие на преднапрежение (ток през делителя не тече) прекъсва веригата за захранване на първичната намотка на трансформатора, който дава напрежение 600 и 1400 в.

Токоизправителят, захранващ предпоследното стъпало, екранната решетка на лампата на крайното стъпало и през намаляващо съпротивление всички останали стъпала с напрежение 400 в, е с лампа 5Ц3С.

Токоизправителят, даващ 1400 в, е с газотрони от типа 872-А. Филтрирането на изправеното напрежение се извършва от филтър с две звена. Във високоволтовия изправител има превключвател, позволяващ намаляване на анодното напрежение два пъти, т. е. на 700 в.

Всички токоизправители са натоварени с балансни съпротивления, през които става изправване на филтровите кондензатори, с което се отстранява възможността за злополука с оператора от високото напрежение след изключването на предавателя. Куплунгите, съединяващи отделните блокове, са закрепени на задните стени на кутиите на тези блокове.

Предавателят се монтира на три отделни блока:

- 1) вч блок — задаващ генератор, усилватели и крайно стъпало;
- 2) модулатор;
- 3) токоизправители.

ИЗПОЛЗУВАНА ЛИТЕРАТУРА

- Смиренин Б. — Справочник по радиотехнике. Москва, 1950.
- Жеребцов И. П. — Радиотехника. Москва, 1954.
- Дробов С. А. — Радиопередающие устройства. Москва, 1951.
- Китаев Е. В. и Гревцев Н. Ф. — Курс общей электротехники. Госэнергоиздат, 1950.
- Иванов С. — Физика, ч. II. Техника, 1957.
- Боянов Й. — Электронни и йонни лампи, Техника, 1960.
- Маринов Ю. — Радиотехника, Техника, 1961.
- Рачев Д., Ников А. и Чобанов Д. — Радиочасти в практиката на радиолюбителя. Медицина и физкултура, 1959.
- Баркан В. Ф. и Жданов В. К. — Радиоприемные устройства, ГИОП, Москва, 1956.
- Бъчваров Н. — Практическо ръководство по радиотехника. Медицина и физкултура, 1961.
- Хинков П. и Панчев В. — Междиниочестотни усилватели. Медицина и физкултура, 1960.
- Кърмаков Е. и Алексеев Г. — Настройка на суперхетеродинни приемници. Медицина и физкултура, 1960.
- Боровски Б. — УКВ приемници за ЧМ. Медицина и физкултура, 1961.
- Баев Г. — Радиотехника (задочен курс). Медицина и физкултура, 1962.
- Хинков П. и Атанасов А. — Справочник по полупроводникови диоди и транзистори. Медицина и физкултура, 1962.
- Марков А. и Сакалян К. — Любительски транзисторни приемници. Медицина и физкултура, 1960.
- Илиев М. — Измервания в радиотехниката. Народна просвета, 1954.
- Бурдейни Ф., Казански Н., Камалаячич А. и Шульгин К. — Справочник на късовълновика. ДОСО, 1955.
- Ников А. и Данаилов С. — Любительски КВ предаватели и приемници. Медицина и физкултура, 1956.
- Шульгин К. — Конструирование любительских КВ приемников, Госэнергоиздат, 1951.
- Фролов А. — Справочник конструктора радиовещательных приемников. Госэнергоиздат, 1951.
- Шуцкой К. — Проектирование радиоприемников АМ и ЧМ сигналов. Госэнергоиздат, 1958.
- Лабутин В. — Книга радиомастера, Госэнергоиздат, 1961.
- Справочник радиолюбителя — Гос. издатель технической литературы, 1957.
- Ogg. W. I., Johnson H. G., VHF Handbook, Wilton, Conn.
- Сифоров В. И. — Радиоприемник сверхвысоких частот. Москва, 1957.
- Жеребцов Н. И. — Техника метровых волн. Москва, 1959.
- Чистяков Н. И., Сидоров В. М., Мельников В. С. — Радиоприемные устройства. Москва, 1958.
- Куликовский А. А., Болошин И. А., Потрясай В. Ф. — Основы учебного проектирования радиоприемников. Москва, 1956.
- Линде Д. П. — Основы расчета ламповых генераторов СВЧ. Москва, 1959.
- Лоу Эндрес, Зевелс, Вельдхауэр, Ченг — Основы полупроводниковой электроники (перевод с английского). Москва, 1958.
- Полупроводниковые триоды в радиотехнических схемах (перевод с английского). Москва, 1958.
- Rambousek A., Amaterska technika velmi kratkych vln, Praha, 1961.
- „Radioamater“, Beograd, Julij, 1956.

СЪДЪРЖАНИЕ

Предговор	3
Глава първа	
Основи на електротехниката	
1. Електростатика	5
а. Строеж на веществото	5
б. Основни понятия в електротехниката	6
Наелектризиране на телата. Електрически товар	6
Електрическо силово поле	6
Електрически потенциал и потенциална разлика	7
Електрически ток. Електропроводимост	8
Електрически капацитет	9
2. Постоянен ток и закони за постоянния ток	11
а. Същност и условия за протичане на постоянен ток	11
б. Сила на електрическия ток	12
в. Действие на електрическия ток	13
Топлинно и химическо действие	14
Магнитно действие	14
г. Закони за постоянния ток	14
Закон на Ом	14
Закони на Кирхоф	16
д. Работа и мощност на постоянния ток	19
Закон на Джаул—Ленц	20
е. Термоелектрически явления	21
ж. Източници на постоянен ток	22
Галванични елементи	22
Акумулатори	24
3. Магнетизъм и електромагнетизъм	26
а. Постоянни магнити — свойства и приложение	26
б. Магнитно поле на постоянен ток	27
Електромагнити	27
в. Електромагнитна индукция	29
4. Променлив ток и закони за променливия ток	31
а. Същност и параметри на променливия ток	31
б. Закони за променливия ток	32
в. Мощност на променливия ток	33
5. Трансформатори	34
6. Електроакустични прибори	36
Микрофон	36
Радиослушалки и високоговорители	37
7. Общи сведения за измервателните инструменти	38
Глава втора	
Електровакуумни прибори	
1. Електронна емисия	43
2. Термокатоди. Видове	44
Католи от чисти метали	45
Активирани католи	45
Окисни католи	45

Католи с пряко отопление	45
Католи с непряко отопление	46
3. Двухелектродна лампа (диод)	46
Предназначение на диода	46
Устройство на диода	47
Действие на диода	47
Токови вериги в диода	48
Характеристики на диода	48
Параметри на диода	49
Вътрешно съпротивление на диода	50
4. Триелектродна лампа (триод)	51
Предназначение на триода	51
Устройство на триода	51
Действие на триода	52
Токови вериги в триода	53
Характеристики на триода	53
Параметри на триода	54
Вътрешно уравнение на триода	56
5. Четириелектродна лампа (тетрод)	56
Устройство на тетрода	56
Действие на тетрода	57
Характеристики на тетрода	57
Параметри на тетрода	59
6. Петелектродна лампа (пентод)	59
Устройство и действие на пентода	59
Характеристики и параметри на пентода	60
7. Лъчев тетрод	61
8. Шестелектродна лампа (хексод)	61
Устройство и действие	62
9. Седемелектродна лампа (хептод)	62
Устройство и действие	62
10. Осемелектродна лампа (октод)	63
11. Комбинирани лампи	64
12. Газоразрядни прибори	65
Стабилитрон — устройство и действие	65
13. Електроннолъчеви тръби	67
Електронен прожектор	68
Отклонителна система	69
Екран	69

Глава трета

Основи на радиотехниката

1. Елементи на радиотехническите вериги	71
а. Омическо съпротивление	71
Свойства на омическите съпротивления	71
Класификация и качествени показатели	72
Устройство на омическите съпротивления	73
б. Индуктивно съпротивление	73
Свойства на индуктивното съпротивление	74
Устройство и качествени показатели на бобините	75
Приложение на бобините	77
в. Капацитивно съпротивление	78
Свойства на капацитивното съпротивление	78
Технически кондензатори — класификация и качествени показатели	79
2. Трептящи кръгове	81
Предназначение и устройство	81
Процеси при свободни трептения	82

Собствена честота на трептящия кръг	83
Принудително трептящи кръгове	84
Последователен трептящ кръг	85
Паралелен трептящ кръг	88
Настройка на трептящите кръгове	90
Свързване на трептящите кръгове	93
Трептящи кръгове с разпределени параметри	95
Класификация и характерни свойства на антените	96
3. Електромагнитни вълни — класификация и разпространение	97
4. Лампови усилватели	98
Принципно действие и качествени показатели	98
Режими на работа на ламповите усилватели	102
Особености на ламповите усилватели	104
5. Генериране на високочестотни трептения	106
Лампов генератор със самовъзбуждане	106
Схеми на лампови автогенератори	108
6. Модулиране на високочестотен сигнал	110
Решетъчна модулация	114
7. Детекция на модулирани сигнали	115
Диодна детекция	115
Решетъчна детекция	116
Общи сведения за честотната детекция	117
8. Преобразуване на високочестотен сигнал	117

Глава четвърта

Радиоприемници

1. Предназначение и класификация	120
2. Линейни радиоприемници	121
Двулампов приемник 0-V-1	121
Трилампов двукръгов приемник 1-V-1	123
Настройка на линейен приемник	123
3. Суперхетеродинни приемници	125
а. Принципи на суперхетеродинния приемник	125
Блокова схема	125
б. Устройство на суперхетеродинния приемник	128
Входно устройство	128
Високочестотен усилвател	128
Преобразовател на честотата	130
Хетеродин	133
Междинчестотен усилвател	134
Детекторно (демодулаторно) стъпало	137
Автоматично регулиране на усилването	139
Индикатор на настройката	140
в. Симфония — описание и принципа схема	142
Технически показатели	142
Принципа схема	143
г. Качествени показатели на суперхетеродинните приемници и измерването им	146
д. Настройка на суперхетеродинен приемник	157
Настройка на <i>мч</i> канал	158
Настройка на <i>вч</i> част	162
е. Приемане на ЧМ сигнали. УКВ приставка	168
ж. Приемане на телеграфни сигнали	170
4. Транзисторни приемници	171
Регенеративен приемник	171
Джобен рефлексен приемник Рекорд 3	173
Суперхетеродинен приемник за къси и средни вълни	174

Глава пета

Захранване на радиоапаратурите

1. Способи за захранване на радиоапаратурите	176
2. Токоизправители	177
Схеми на лампови токоизправители	177
Принцип на действие на ламповите токоизправители	178
Избор на токоизправителна лампа	179
Общи сведения за полупроводниковите токоизправители	179
Схеми на полупроводникови токоизправители	180
Принцип на действие на полупроводниковите токоизправители	180
3. Схеми за удвояване на напрежението	182
4. Филтриране (изглаждане) на изправеното напрежение	183

Глава шеста

НЧ усилватели

1. Общи сведения за нч усилватели	184
2. Параметри на нч усилватели	185
3. Нискочестотни предусилвателни стъпала	187
4. Крайни стъпала	188
5. Отрицателна обратна връзка	191
6. Схеми на усилватели	193
Усилвател 25 <i>вт</i>	193
Усилвател 60 <i>вт</i>	195

Глава седма

Радиоизмервания

1. Общи сведения за измервателните апарати в радиотехниката	198
2. Методи на радиоизмерванията	199
Измерване честотата на радиопредаватели	201
Измерване мощността на радиопредаватели	203
Измерване дълбочината на модулацията на радиопредаватели	203
3. Радиоизмервателни апарати	204
Лампови волтмери	204
Високочестотни сигналгенератори	209
Нискочестотни сигналгенератори	212
Апарати за измерване на съпротивления и кондензатори	215
Апарати за измерване на индуктивност	218
Осцилографи	219
Вълномери	224

Глава осма

Полупроводникови диоди и транзистори

1. Принцип на действие на полупроводниковите прибори	226
Структура на полупроводниковия кристал и неговите свойства	226
Електронно-дупчест преход. Работа на диода	228
Принцип на действие на транзистора	229
2. Типове полупроводникови прибори	232
Точкови диоди	232
Плоскостни диоди и транзистори	232

Видове транзистори	233
Маломощни транзистори	233
Мощни транзистори	234
Полупроводникови фотоелементи	235
3. Характеристики и параметри на полупроводниковите диоди и транзистори	235
Характеристики на полупроводниковите диоди	235
Основни схеми на свързване на транзисторите	237
Графични статични характеристики на транзисторите	238
Параметри на транзистора	239
Допълнителни характеристики на транзисторите	241
Максимално допустими характеристики	244
4. Основни радиотехнически схеми с транзистори	245
Съображения за избор на работна точка	245
Начини за установяване на режима	245
Температурно стабилизиращи схеми	246
Нискочестотни усилвателни схеми	247
Високочестотни усилвателни схеми	249
Транзисторни генератори на синусоидални трептения	251
Схеми на генератори	251
Правила при работа с диодите и транзисторите	253
Особености при измерване на постояннотоковия режим на транзисторите	255

Глава девета

УКВ техника

1. Общи сведения за ултракъсите вълни	256
2. Елементи на апаратурите за ултракъси вълни	258
Явления, свързани с повишаването на честотата	258
Части за УКВ апаратурите	259
Трептящи кръгове за УКВ	261
Лампи за УКВ	263
3. Приемници за ултракъси вълни	265
Параметри на приемниците за УКВ	265
Свърхрегенеративни приемници за УКВ	267
Суперхетеродинни приемници за УКВ	269
4. Предаватели за ултракъси вълни	272
Осцилатори	273
Умножителни стъпала	275
Крайно стъпало и драйвер	276
5. Антени за ултракъси вълни	278
Параметри на антените	278
Полувълнов дипол	280
Многоелементни антени	281
Рефлекторни антени	283
Захранване и съгласуване на антените	283
Конструиране на УКВ антени	286
4-елементна Яги-антена за начинаещи	288

Глава десета

Радиоконструкторство

1. Инструменти и материали, използвани в радиопрактиката	290
Инструменти и приспособления	290
Материали	292
2. Изчисление и правила за изработка на елементи от радиотехнически вериги	292
Жични съпротивления	292

Променливи кондензатори	293
Високочестотни бобини	294
Скални механизми	296
3. Изчисление на радиоапаратури	296
Метод на приблизително изчисление на любителски късовълнов радиопредавател	296
Метод за приблизително изчисление на суперхетеродинен приемник	301
4. Изчисление на елементи от радиотехническите вериги	310
Изчисление на мрежови трансформатори	310
Изчисление на мрежови автотрансформатори	315
Изчисление на изходни трансформатори	318
Изчисление на <i>n</i> ч дросели	321
Изчисление на <i>в</i> ч дросели	323
Изчисление на <i>в</i> ч трептящи кръгове	325
Изчисление на <i>в</i> ч бобини	328
5. Схеми на апаратури за конструкторска дейност	331
Високочестотен сигналгенератор	331
Гридимпер	333
Лампов волтмер	335
Зумери за изучаване на Морзовата азбука	335
КВ приемник 1-V-1	336
КВ суперхетеродинен приемник	336
КВ суперхетеродинен приемник с двойно преобразуване	339
Приемници за лов на лисици	340
Предавател за лов на лисици	342
КВ предавател 40 <i>вт</i>	344
КВ предавател 200 <i>вт</i>	345
Използувана литература	348

Издателството моли читателите да дават бележки и преценки както по съдържанието на книгата, така и по нейното художествено и техническо оформление, като съобщават своя точен адрес, професия и възраст.

Молим също така библиотечните работници да уведомяват периодично издателството за търсенето на книгата и да събират читателски отзиви.

Всички материали да се изпращат на адрес: София, бул. Руски 6, Държавно издателство „Техника“.

УЧЕБНИК ЗА РАДИОЛЮБИТЕЛЯ

А. Атанасов, А. Сокачев, В. Терзиев, И. Ганев и Н. Маслев

* * *

Художник на корицата: *К. Станчев*
Художествен редактор: *Мария Димитрова*
Технически редактор: *Д. Мечкова*
Коректор: *Н. Шопова*

* * *

Дадена за набор на 20. IX. 1965 г. Подписана за печат на 10. I. 1966 г.

Печатни коли: 22,25 Издателски коли: 22,25

Формат: 65×92/16 Тираж: 17 025

Темат. № доп. 15 Издат. № 4793 Лит. група I-3

Цена 1,12 лв.

* * *

Държавно издателство „Техника“ — София
Държавна печатница „Димитър Благоев“ — Пловдив

Цена 1,12 лв.