

Високочестотен лентов електродинамичен високоговорител тип ВЛД-12

Поради това, че с един високоговорител е невъзможно да се осигурят високи електроакустични показатели в целия звуков обхват, при конструирането на висококачествени озвучителни тела звуковият обхват се разделя на два или три подобхвата, като всеки от тях се възпроизвежда от един или няколко специални високоговорителя. Това обстоятелство показва, че всяко озвучително тяло за висококачествено възпроизвеждане притежава поне един високочестотен високоговорител. Изискванията спрямо високочестотните високоговорители могат да се формулират по следния начин:

1. Честотната характеристика да има неравномерност, по-малка 8 dB за честотите до 20 kHz.

2. Нелинейните изкривявания да бъдат по-малки от 2 %.

3. Преходните процеси да бъдат къси. Изпълнението на тези три изисквания гарантира минимална разлика между спектъра на подавания на високоговорителя електрически сигнал и създаването от него звуково налягане.

4. Пространствената характеристика да бъде ненасочена и да не се променя в голяма степен от честотата.

Като се вземе пред вид изискването от т. 1, се вижда, че високочестотните високоговорители трябва да излъчват

една и съща акустическа мощност в работния им честотен обхват.

5. Чувствителността да бъде еднаква с чувствителността на останалите високоговорители, които се използват в озвучителното тяло.

Понастоящем най-разпространените високочестотни високоговорители са електродинамичните високоговорители с директно излъчване. Главната причина за това е че тези високоговорители са най-евтини. Колкото се отнася обаче до техните електроакустични показатели, те трудно могат да удовлетворят изискванията за висококачествено възпроизвеждане. Неравномерността на тяхната честотна характеристика обикновено е твърде голяма (около 12 dB). Коефициентът на нелинейните изкривявания се получава от порядъка на 3%. Преходните процеси не са къси. Всичко това се дължи на обстоятелството, че трептящата система на електродинамичните високоговорители с директно излъчване представлява сложна система с разпределени параметри, която се задейства от сила, приложена във върха на конуса на мембраната. Колкото се отнася до пространствената характеристика, и тя до голяма степен е честотно зависима, тъй като, за да се получи необходимата чувствителност, се налага размерите на



мембраната да бъдат толкова големи, че в обхвата на високите честоти те стават съизмерими с дължината на излъчваната звукова вълна.

При високочестотните кондензаторни високоговорители неравномерността, нелинейните изкривявания и преходните процеси се получават значително по-малки, но при тях пространствената характеристика е също така честотно зависима. Освен това тяхното захранване е по-сложно, поради необходимостта от поляризиращо напрежение.

Високочестотните лентови високоговорители не притежават нито един от

посочените по-горе недостатъци. За да могат да се обяснят причините за това, е необходимо да се разгледа принципът на действия и конструкцията на този електроакустичен преобразовател.

Във въздушна медина с правоъгълна форма на една магнитна система е поставена тънка метална лентичка. При протичането на ток със звукова честота се получава електродинамична сила, която разпретпява лентичката. Вследствие на това в околното пространство се излъчват звукови вълни. Ако се направи сравнение с директноизлъчващите електродинамични високоговорители се вижда, че принципът за получаването на силата е един и същ, но че при лентовите високоговорители лентичката изпълнява функцията и на звукова бобина, и на мембрана. Този факт е твърде важен, тъй като електродинамичната сила е равномерно разпределена върху цялата лентичка и вследствие на това честотните и нелинейните изкривявания са малки, а преходните процеси — къси.

Излъчената акустическа мощност от една трептяща повърхност се определя от израза

$$P_a = v^2 f_a = \frac{I^2}{2} r_a,$$

където v , е скоростта на трепене на повърхността;

r_a — активното съпротивление на излъчването;

F — силата, която разпретпява повърхността;

f_a — механичното съпротивление на трептящата повърхност.

При лентовите високоговорители трептящата повърхност е равна на повърхността на лентичката. За да бъде излъчената акустическа мощност по-голяма, е необходимо:

1. Активното съпротивление на излъчването да бъде по-голямо. За тази цел е целесъобразно да се използва рупор, с който съпротивлението на излъчването на лентичката за работния честотен обхват на високоговорителя да се направи чисто активно и с максималната възможна стойност

$$r_a = S \rho_0 c_0,$$

където S е площта на лентичката;

ρ_0 — статичната плътност на въздуха;

c_0 — скоростта на разпространението на звуковите вълни във въздуха.

Поради това, че високоговорителят се използва само за възпроизвеждане на високи честоти, размерите на рупора се получават малки и конструкцията на високоговорителя не се усложнява значително.

2. Силата F да бъде по-голяма. Нейната стойност се определя от израза

$$F = BI,$$

където B е индукцията във въздушната медина на магнитната система;

I — дължината на лентичката;

I — интензивността на тока през лентичката.

При определянето на размерите на лентичката трябва да се има пред вид,

че от тях зависят размерите на въздушната медина на магнитната система, respectively големината на магнитната индукция. При големи размери на въздушната медина се получават значителни затруднения при осигуряването на по-големи стойности на магнитната индукция. Затова намеряването на един оптимум между размерите на лентичката и индукцията във въздушната медина е наложително.

В израза за електродинамичната сила участват и интензивността на тока. При дадена електрическа мощност P , за да се получи най-голям ток, е необходимо електрическото съпротивление на лентичката R да бъде най-малко:

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}}.$$

Като се вземе пред вид, че

$$R = \rho \frac{l}{a \cdot b},$$

където ρ е специфичното електрическо съпротивление на материала на лентичката;

l — дължината на лентичката;

a — ширината на лентичката;

b — дебелината на лентичката;

вижда се, че при определени размери на лентичката съпротивлението ѝ ще бъде най-малко, когато материалът, от който тя е направена, има най-малко специфично електрическо съпротивление.

3. Тъй като активното съпротивление на излъчването и електродинамичната сила са честотно независими, то за да бъде и излъчваната акустическа мощност честотно независима, е необходимо и механичният импеданс на лентичката да бъде честотно независим. Тъй като гъвкавостта на лентичката е много голяма, това означава, че масата на лентичката трябва да бъде толкова малка, че за горната гранична честота на възпроизвеждането f_a инерционното съпротивление на лентичката да бъде най-много равно на активното съпротивление на излъчването

$$c_m = 2 \cdot f_a \cdot \rho_m \cdot S \cdot b,$$

където ρ_m е специфичното тегло на материала на лентичката,

S — площта на лентичката,

b — дебелината на лентичката.

При дадена площ на лентичката, за да бъде инерционното съпротивление по-малко, е необходимо дебелината ѝ да бъде по-малка и металът, от който тя е направена, да има по-малко специфично тегло. Намалването на площта на лентичката не е целесъобразно, тъй като с това ще се намали активното съпротивление на излъчването.

От т. 2 и 3 следва: а) Най-подходящ материал за лентичката е този, който притежава малко специфично електрическо съпротивление и малко специфично тегло. От металите, които могат да се изтеглят на фолия, най-добре на тези условия отговаря алуминият. б) Изискванията по отношение на дебелината на лентичката са противоречиви. За да бъде електрическото съпротивление на лентичката малко,

трябва дебелината на лентичката да бъде голяма, а за да бъде масата на лентичката малка, трябва дебелината да бъде малка.

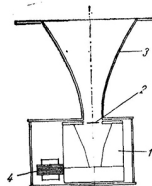
Поради това, че електрическото съпротивление на лентичката е много малко, за да се получи стандартна стойност на входния импеданс на високоговорителя, е необходимо да се използва нагаждащ трансформатор. Размерите на нагаждащия трансформатор се получават малки, тъй като долната гранична честота на високоговорителя е няколко килохерца.

От изложеното дотук се вижда, че високочестотният лентов високоговорител се състои от следните елементи:

- 1) магнитна система,
- 2) лентичка,
- 3) рупор,
- 4) нагаждащ трансформатор.

Принципната конструкция на такъв високоговорител е дадена на фиг. 1.

В следващата част на статията ще бъдат разглеждани съображенията при



Фиг. 1

конструирането на основните елементи на високочестотния лентов високоговорител тип ВЛД — 12.

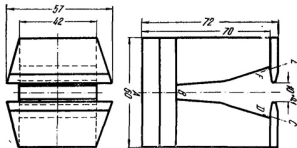
Магнитна система

Предварителни измервания показваха, че за да се получи чувствителност, по-голяма от $0.8 \text{ N m}^2/\text{W}$, каквото е чувствителността на произвежданите понастоящем електродинамични високоговорители, е необходимо въздушната медина на магнитната система да има размери $10 \times 57 \times 2 \text{ mm}$ (фиг. 2), а магнитната индукция в нея да бъде 0.4 T . Получаването на такава индукция в такава голяма въздушна медина изисква: а) вземането на мерки за намаляване на магнитните потоци на разсейване и б) постоянният магнит да се направи от магнитен материал с голяма магнитна енергия.

При използването на магнитен материал с малка магнитна енергия не може да се постигне добър резултат. Причините за това са: а) при увеличаване на размерите на постоянния магнит, с цел да се увеличи основният магнитен поток да увеличават и потоците на разсейването. При това може да се стигне до положението, че въпреки увеличаването на постоянния

магнит индукцията във въздушната междина да не нараства; б) при големи размери на постоянния магнит, въпреки използването на един и същи състав на магнитния материал, се получава намаляване на магнитната енергия на материала. Това се дължи на обстоятелството, че не може да се получи оптималната структура на кристалите на материала при отливането на постоянния магнит.

За материал за постоянния магнит бе избран конил 5, който в момента на



Фиг. 2

разработката на високочестотния лентов високоворител бе материалът с най-голяма магнитна енергия, който се произвежда от Завода за феромагнитни материали в Перник.

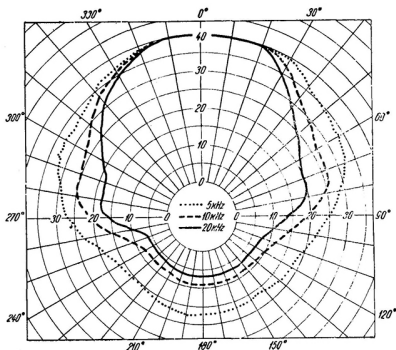
Намаляването на магнитните потоци на разсейването бе постигнато: а) чрез скосяването на формата на двата постоянни магнети. По този начин частите от магнитната система, които се намират под най-голям магнитен потенциал, са максимално отдалечени; б) чрез намаляване на ширината на постоянните магнети по отношение на горните полюсни наставки (42 mm на постоянните магнети срещу 57 mm на горните полюсни наставки).

Опасните сечения за магнитната система са сечението *AB* на долната полюсна наставка и сечението *CD* и *EF* на горните полюсни наставки. За материал на долната полюсна наставка бе избрана обикновена стомана (СТ-3). Тя притежава индукция на насичане 14—14,4 Т. Дебелината на полюсната наставка е оразмерена така, че индукцията в опасното сечение да бъде 1,2 Т. С оглед на по-голямата проводимост на долната полюсна наставка се изработва от два щанцовани детайла, които се залепват един към друг.

Размерите на горните полюсни наставки трябва да бъдат по-възможност по-малки, за да се получат по-малки магнитни потоци на разсейване. Това наложи за тях да се използва специално термично обработено антиремагнитно желязо, което притежава индукция на насичане около 1,8—2 Т.

Сглобяването на магнитната система се извършва чрез залепване на детайлите ѝ с епоксидна смола. Намагнитването на постоянните магнети се извършва със специално приспособление. Лентичка

Както бе отбелязано вече, най-подходящият материал за лентичката с



нича честота 2,5 kHz. Това означава, че за честоти, по-големи от 2,5 kHz, съпротивлението на излъчването на лентичката е чисто активно.

Формата на рупора определя и формата на пространствената характеристика на високоговорителя. Характерно за рупорите е, че тяхната пространствена характеристика не е насочена и не се променя много при изменение на честотата. От това следва, че четвъртото изискване по отношение на високочестотните високоговорители ще бъде изпълнено от лентовия високоговорител.

Трябва да се отбележи, поради различната големина на двата размера на сечението на рупора по-малка насоченост се получава в равнината, перпендикулярна на по-голямата страна. Това се вижда от фиг. 3 и 4, където са дадени измерените пространствени характеристики на високочестотния лентов високоговорител ВЛД-12 с терца розов шум със средна честота 5,10 и 20 kHz в равнини, перпендикулярни на голямата и малката страна на сечението на рупора.

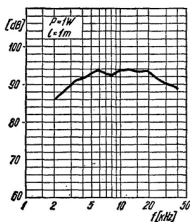
Като се знае формата на пространствената характеристика, очевидно е, че при монтаж трябва да се дава предпочитание на вертикалното разполагане на високоговорителя.

Нагаждащ трансформатор

Затруднението при конструирането на нагаждащия трансформатор възниква от това, че: а) товарът на трансформатора е много малък (съпротивлението на лентичката е 0,03 Ω); б) около магнитната система на високоговорителя има голямо разсейно поле.

За да се постигне висок коефициент на полезното действие при много малкото съпротивление на товара, е необходимо активните съпротивления на първичната и вторичната намотки да бъдат малки. Това означава, че броят на навивките трябва да бъде малък. Но за да се осигури необходимата индуктивност на първичната намотка, от която зависи неравномерността на честотната характеристика на трансформатора при ниските честоти (обхватът над долната гранична честота на високоговорителя — 2,5 kHz), трябва материалът на магнитопровода да има голяма начална магнитна проникваемост. Но поради това, че около магнитната система има голямо магнитно разсейно поле, съществува опасност да се получи постоянно подмагнитване на магнитопровода, вследствие на което да се влоши както честотната характеристика, така и нелинейните изкривявания. Затруднението се преодолява, като нагаждащият трансформатор се разполага в зоната около долната полюсна наставка, където разсейното магнитно поле е най-слабо. Това позволи в магнитопровод да се използва пакет от Ш 10/10 от трансформаторна ламарина с 4 АА, която има начална проникваемост $\mu_0 = 400$. Броят на навивките се получи много малък $W_1 = 44$ и с проводник с диаметър 0,51 mm и $W_2 = 2$ n от медна лента със сечение 0,5 \times 12 mm. Вследствие на това кпд на трансформатора се получи много висок ($\eta = 0,94$).

Получаването на трансформатор с малки размери има и това преимущество, че индуктивността на разсейване на двесте намотки е много малка и затова честотната характеристика на



Фиг. 5

трансформатора до 20 kHz няма почти никакво спадане.

Електроакустичните показатели на високочестотния лентов електродинамичен високоговорител ВЛД — 12 са:

Номинална мощност	12,5 W
Върхова мощност	18 W
Номинален импеданс	15 Ω
Честотен обхват	2,5–40 kHz
Неравномерност от 3 до 40 kHz	≥ 6 dB

≥ 8 dB от 2,5 до 40

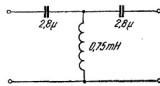
Чувствителност $\geq 0,8$ N/m²/V
Коефициент на нелинейните изкривявания

от 2,5 до 4 kHz	2 %
над 4 kHz	1 %
Размери	250 \times 124 \times 184 mm
Тегло	2,5 kg

На фиг. 5 е показана честотната характеристика на високоговорителя.

При използването на високоговорителя ВЛД-12 е задължително към него да се свързва разделителен филтър с гранична честота, не по-ниска от 2500 Hz, и стръмност, не по-малка от 18 dB на октава. Схемата на такъв филтър е дадена на фиг. 6. Разделителната честота е 2,5 kHz. Използването на филтър се налага от това, че ако на високоговорителя се подадат по-ниски честоти от 2,5 kHz, има опасност лентичката да се разтегли или скъса.

Необходимо е да се има пред вид и това, че номиналната мощност на висо-



Фиг. 6

костотните високоговорители фактически показва номиналната мощност на озвучителното тяло, в което те могат да бъдат използвани. Действителната мощност, която получава високочестотният високоговорител, е значително по-малка. Причината за това е, че при говорни и музикални програми мощността намалява с увеличаването на честотата. Например в озвучително тяло с номинална мощност 12,5 W и разделителна честота 2,5 kHz високочестотният високоговорител получава мощност около 1 W. С оглед на това максималната синусоидална мощност, която може да се подава на лентовия високоговорител ВЛД-12, е 2 W. При тази мощност е предписано да се измерват и нелинейните изкривявания на високоговорителя.

инж. Ив. Вълчев