

10. ОЗВУЧИТЕЛНИ ТЕЛА

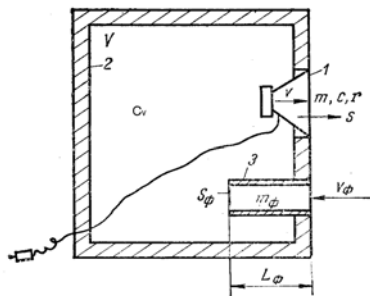
10.1. Определение. Акустичен екран. Видове озвучителни тела.

Озвучителното тяло представлява звукоизлъчвател, който може да възпроизвежда ефективно целия чуваем честотен обхват или голяма част от него и представлява комплекс от акустично оформление (кутия), един или няколко високоговорителя и електрически разделителен филтър.

Нека разгледаме работата на един високоговорител и да изясним необходимостта от поставянето му върху кутия.

Когато един високоговорител с директно излъчване работи, той създава в пространството две звукови вълни - едната с предната страна на мембраната си, а другата - с нейната задна страна. Тези две звукови вълни са в противофаза, защото когато мембраната се движи напред, с предната си страна тя създава стъстяване на въздуха, а със задната си страна в същия момент създава разреждане. Когато излъчването на предната и задна звукови вълни става в една и съща област на пространството, във всяка точка на това пространство звуковото налягане представлява алгебричната сума от двете вълни, и когато те са противофазни се изваждат (получава се така нареченото акустично късо съединение), в резултат на което звуковото налягане има минимална стойност или е равно на нула. Когато размерите на високоговорителя станат сравними с половината от дължината на вълната за излъчваното колебание, разликата в пътищата на предната и задна звукови вълни довежда до допълнително дефазирание на 180° , т.е. общото дефазирание става 360° или двете вълни са във фаза. При това резултатното звуково налягане се удвоява, или нараства с 6dB. При ново нарастване на честотата, когато разликата в пътищата стане равна на дължината на вълната на звуковото колебание отново двете вълни са в противофаза и общото звуково налягане става равно на нула и т.н. с редуващи се минимума и максимуми. За избягването на този ефект се прилагат няколко метода:

Първият метод изисква разделянето на пространството на две части с помощта на безкрайна твърда преграда (екран), в отвор на която е монтиран високоговорителя така, че с предната си част да излъчва в едното полупространство, а със задната си част - в другото полу-пространство. Това решение наистина би премахнало акустичното късо съединение, но за съжаление в природата няма базкрайни екрани, и всеки реален такъв има крайни размери. Все пак, ако тези размери могат да бъдат направени достатъчно големи, така, че задната звукова вълна да изминава толкова дълъг път, че да затихне почти напълно, целта би била постигната. Такава възможност, обаче, се удава рядко (например, в киното).



Фиг.10.1

Разновидност на този метод е използването на отворена отзад кутия (както при радиоприемниците и телевизионните приемници). В този случай акустичното късо съединение остава за най-ниските честоти, а за по-високите честоти се получават описаните по-горе минимума и максимуми. За намаляване на дълбочината на минимумите и височината на максимумите високоговорителят се монтира асиметрично на челната повърхност на кутията. При това задната звукова вълна изминава различен път, в зависимост от това от къде минава, и пристига в точката на слушане с различни фази, а това довежда до известно намаляване на неравномерността на честотната характеристика.

Монтирането на високоговорителя върху затворена кутия на пръв поглед кардинално решава въпроса с акустичното късо съединение. Наистина, ако стените на кутията са достатъчно твърди, задната звукова вълна не може да проникне във външното пространство и условия за съществуване на акустично късо съединение не съществуват. За сметка на това, обаче, затворения обем със своята гъвкавост участва в трептящата система на високоговорителя, повишавайки неговата резонансна честота, а както е известно ефективността на излъчване на високоговорителя под резонансната честота е много ниска. Това довежда до повишаване на долната гранична честота на ефективния честотен обхват на озвучителното тяло със затворен обем.

Известно понижаване на долната гранична честота може да постигне с помощта на така нареченото акустично оформление с фазоинвертор или бас-рефлекс. Названието фазоинвертор доста точно отговаря на принципа на действие на този вид озвучителни тела. При тях задното излъчване на високоговорителя за най-ниските честоти се дефазира на 180° (инвертира се) с помощта на акустична система, включваща гъвкавостта на обема на тялото и масата на въздуха в една тръба, свързваща обема на тялото и околното пространство (фиг.10.1). При това звуковото налягане на предната и задната полувайна се сумира и довежда до повишаване на ефективността на преобразуване за тези честоти. За по-високите честоти, където дефазирането е различно от 180° , акустичното съпротивление на тръбата е достатъчно голямо и задната вълна не може да проникне в околното пространство и да увеличи неравномерността на честотната характеристика. Подобен е принципът на действие на озвучителните тела с пасивна мембрана, като при тях дефазирането и излъчването на задната звукова вълна в околното пространство става с помощта на специална мембрана, подобна на тази на високоговорителя, но без звуковата бобина, центриращата шайба и магнитната система. Ефективността на пасивната мембрана е по-ниска от тази на фазоинвертора, но параметрите и се регулират в по-широки граници и не съществува опасност от появата на призвуци, дължащи се на завиждането на въздуха в тръбата. В замяна на това пасивната мембрана е критична по отношение на точността на изработка.

Дефазирането на задната вълна и нейното излъчване във фаза с предната се използва и при озвучителните тела с акустичен лабиринт. При тях дефазирането става за сметка на удължаване на пътя на задната вълна с помощта на нагъната тръба или специално оформяне на корпуса. За съжаление, акустичният лабиринт пропуска и звуковите вълни с по-висока честота, за които условието за дефазиране на 180° не е спазено. Това довежда до повишаване на неравномерността на честотната характеристика.

10.2.Обща теория на озвучителните тела.

Нека разгледаме по-подробно теорията на озвучителните тела с фазоинвертор. Трябва да се отбележи, че тази теория включва и озвучителните тела със затворен обем като частен случай.

Както вече казахме, честотната характеристика на озвучителното тяло представлява зависимостта на създаваното звуково налягане от честотата на входния сигнал. В областта на ниските честоти, където може да се приеме, че мембраната се движи като бутало, и че насочеността на излъчване практически не зависи от честотата, осевата честотна характеристика съвпада с честотната характеристика на коефициента на полезно действие на системата.

Акустичната мощност на всеки един излъчвател се определя от обемната скорост $J_{об}$ на неговата повърхност и от активната съставка на съпротивлението на излъчване $R_{изл.}$:

$$P_{ак} = |Q_{об}|^2 R_{изл.} \quad (10.1)$$

Обемната скорост представлява произведението на колебателната скорост и площта на излъчвателя:

$$Q_{об.} = vS \quad (10.2)$$

Съпротивлението на излъчване $R_{изл.}$ зависи от свойствата на средата, в която се излъчва звуковата вълна, и от свойствата на акустичното оформление на високоговорителя. За разглежданото акустично оформление – фазоинвертор – съпротивлението на излъчване на високоговорителя и фазоинверсията отвор е:

$$R_{изл.} = \frac{\pi f^2 \rho}{c}, \quad (10.3)$$

където:

f – честота на излъчваното звуково колебание;

c – скорост на звука;

ρ – плътност на въздуха.

Тъй като обемната скорост на изхода на фазоинвертора $J_{обф.и.}$ се създава от тилната страна на мембраната на високоговорителя, тя има обратен знак спрямо обемната скорост на предната повърхност на мембраната $J_{обм.}$. Като вземем предвид това, акустичната мощност, излъчвана от озвучителното тяло с фазоинвертор е:

$$P_{ак} = \frac{\pi f^2 \rho}{c} |Q_{обм.} - Q_{обф.и.}|^2 \quad (10.4)$$

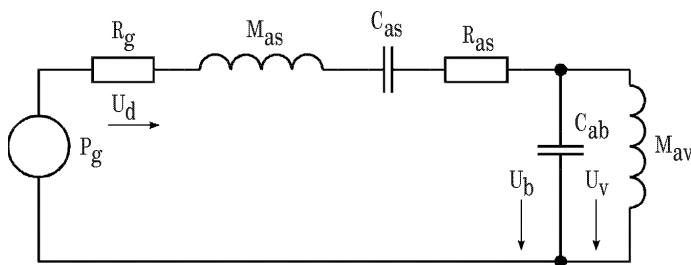
Ако за източник на сигнал служи усилвател на мощност с изходно напрежение на празен ход E_g и изходно съпротивление R_i , то входната електрическа мощност на озвучителното тяло е:

$$P_{ел.} = \frac{E_g^2}{(R_c + R_i)^2} R_c \quad (10.5)$$

тук R_c е постояннотоковото съпротивление на звуковата бобина на високоговорителя.

Като вземем пред вид (10.4) и (10.5), за коефициента на полезно действие ще получим:

$$\eta = \frac{P_{ак.}}{P_{ел.}} = \frac{\pi f^2 \rho (R_c + R_i)^2}{c E_g^2 R_c} |Q_{обм.} - Q_{обф.и.}|^2 \quad (10.6)$$



Фиг.10.2

Следователно, за да намерим честотната характеристика на озвучителното тяло, трябва да определим обемните скорости $J_{обм.}$ и $J_{обф.и.}$. Това може да стане с помощта на електрическата заместваща схема на озвучителното тяло, която в опростен вид е показана на фиг.10.2.

Тъй като се интересуваме от акустичния изход на озвучителното тяло, в заместващата схема фигурират акустичните елементи. Така например, захранващия усилвател на мощност е преобразуван в генератор на звуково налягане с изходна величина p_g :

$$p_g = \frac{E_g B l}{(R_i + R_c) S_M} \quad (10.7)$$

Тук B е индукцията във въздушната междина на магнитната система; l е дължината на проводника на звуковата bobина, обхванат от магнитните силови линии; S_M е площта на мембраната.

Тази формула се отнася за озвучително тяло с електродинамичен нискочестотен високоговорител, но почти всички съвременни нискочестотни високоговорители са от този тип.

Сумата от вътрешното съпротивление на генератора и активното съпротивление на звуковата bobина, трансформирана в акустичен аналог е:

$$Z_a = \frac{B^2 l^2}{(R_i + R_e) S_M^2} \quad (10.8)$$

Опростяването на заместващата схема се изразява в следното:

- Акустичните маси на подвижната система на високоговорителя, на присъединената маса въздух от предната и задна страна на мембраната са обединени в една - M_{as} .

- Акустичните съпротивления на излъчване на мембраната и басрефлекса са изпуснати поради много малката си стойност, обусловена от малкия коефициент на полезно действие на високоговорителите с директно излъчване, който е в границите на 0.1-4%.

- Акустичната маса на въздуха във фазоинверторния проход и присъединената маса въздух близо до изходния отвор също са обединени в една - M_{av} .

- Не са взети пред вид активните съпротивления на загубите в тръбата, в евентуални процепи в кутията и в самата кутия, поради малката им стойност.

Останалите елементи на схемата са:

- c_{as} е акустичната гъвкавост на окачването на трептящата система на високоговорителя.

- R_{as} е активното съпротивление на загубите в трептящата система на високоговорителя.

- c_{ab} е акустичната гъвкавост на въздуха в кутията.

Ако определим интересуващите ни обемни скорости (отговарящи на съответните токове в електрическия еквивалент) от така получената заместваща схема и ги заместим в (6), можем да получим израза за КПД:

$$\eta = \left(\frac{\rho}{4\pi c} \right) \left(\frac{B^2 l^2}{R_e M_{as} S_M^2} \right) \left[\frac{1}{1 + y_1 \left(\frac{f_s}{f} \right)^2 + y_2 \left(\frac{f_s}{f} \right)^4 + y_3 \left(\frac{f_s}{f} \right)^6 + y_4 \left(\frac{f_s}{f} \right)^8} \right] \quad (10.9)$$

Тук f_s е резонансната честота на високоговорителя в свободно пространство.

Коефициентите y_1, y_2, y_3, y_4 се дефинират от изразите:

$$y_1 = \frac{1}{Q_i^2} - 2 - 2 \frac{V_{as}}{V} - 2 \left(\frac{f_b}{f_s} \right)^2; \quad (10.10)$$

$$y_2 = \left(1 + \frac{V_{as}}{V} \right)^2 + \left(\frac{f_b}{f_s} \right)^2 \left[4 + 2 \frac{V_{as}}{V} + \left(\frac{f_b}{f_s} \right)^2 - \frac{2}{Q_i^2} \right];$$

$$y_3 = \left(\frac{f_b}{f_s}\right) \left[\frac{1}{Q_t^2} \left(\frac{f_b}{f_s}\right)^2 - 2 - 2\frac{V_{as}}{V} - 2\left(\frac{f_b}{f_s}\right)^2 \right] \quad 10.10$$

$$y_4 = \left(\frac{f_b}{f_s}\right)^4$$

Тук означенията са следните:

f_b - резонансна честота на басрефлекса - т.е. честотата на която масата на въздуха в тръбата резонира с гъвкавостта на обема на кутията.

f_s - резонансна честота на високоговорителя - т.е. честотата, на която масата на трептящата система резонира с гъвкавостта на окачването. Този параметър обикновено се дава в справочниците, или може да бъде определен от импедансната характеристика на високоговорителя в свободно пространство.

Q_t - общ (тотален) качествен фактор на високоговорителя, представляващ отношението на реактивната част на акустичното съпротивление на високоговорителя при резонанс към общото му активно съпротивление. Дава се справочниците.

V - вътрешния свободен обем на кутията.

V_{as} - въздушният обем, чиято гъвкавост е равна на гъвкавостта на окачването на високоговорителя. Също може да бъде намерен в справочниците.

$$V_{as} = \rho c^2 C_{as} \quad (10.11)$$

Ако не се интересуваме от абсолютната стойност на КПД, а само от неговата честотна характеристика, то нейната форма се определя от последния множител на израза (10.9). Той съвпада с израза за честотната зависимост на пропускането на високочестотен филтър от 4-ти ред, което позволява при анализа на честотната характеристика на озвучителното тяло с басрефлекс да ползуваме изводите, известни от електротехниката. От там е известно, че формата на честотната характеристика зависи от стойността на коефициентите y . Например, ако всички коефициенти y са равни на 0, КПД щеше да бъде константа, не зависеща от честотата. В действителност това не може да бъде изпълнено, защото системата уравнения има само три променливи - $Q_t, V_{as}/V$ и f_b/f_s (тези величини са наречени променливи в смисъл, че могат да се избират или регулират при конструирането и изработката на озвучителното тяло). При изменението на тези три величини е възможно чрез подбор на стойностите на y_1, y_2, y_3 и y_4 да се формира практически всякаква форма на честотната характеристика, с изключение на честотната независимост. В областта на най-ниските честоти, където $f_s/f > 1$ честотната характеристика на озвучителното тяло се определя от стойностите на коефициентите пред по-високите степени на това отношение, докато в областта на ефективния честотен обхват, където $f_s/f < 1$, формата на честотната характеристика зависи главно от y_1 . Максимално гладка се нарича честотната характеристика, в чийто аналитичен израз болшинството от коефициентите y е равно на 0, включително и y_1 . Между множеството възможни характеристики, най-голям практически интерес представляват гладките и почти гладки характеристики, съответстващи на филтрите от типа квази-Бътъруърд от втори и трети ред, и тези на Бътъруърд и Чебишев от четвърти ред.

Характеристиката, гладка с точност до втори ред има аналитичен израз от вида:

$$\eta_0(f) = \frac{1}{1 + y_2 \left(\frac{f_s}{f}\right)^4 + y_3 \left(\frac{f_s}{f}\right)^6 + y_4 \left(\frac{f_s}{f}\right)^8} \quad (10.12)$$

Тук коефициентът $y_1=0$. Това условие може да се изпълни за всеки високоговорител, чийто Q - фактор е по-малък от 0.707. Освен това, параметрите на високоговорителя трябва да удовлетворяват следното условие:

$$\frac{1}{2Q_t^2} = 1 + \frac{V_{as}}{V} + \left(\frac{f_b}{f_s}\right)^2 \quad (10.13)$$

От този тип е честотна характеристика на озвучително тяло със затворен обем. Тъй като за този тип озвучителни тела отношението $f_b/f_s=0$, изразът за честотната характеристика се опростява допълнително и добива вида:

$$\eta_0(f) = \frac{1}{1 + y_2 \left(\frac{f_s}{f}\right)^4} \quad (10.14)$$

Долната гранична честота, при която КПД на високоговорителя спада два пъти (3dB) спрямо своята асимптотична стойност е:

$$f_3 = f_s \sqrt{1 + \frac{V_{as}}{V}} \quad (10.15)$$

Характеристиката от типа квази-Бътъруърд се описва от уравнението:

$$\eta_0(f) = \frac{1}{1 + y_3 \left(\frac{f_s}{f}\right)^6 + y_4 \left(\frac{f_s}{f}\right)^8} \quad (10.16)$$

Тук на нула са равни коефициентите y_1 и y_2 . Решение на това уравнение съществува при $Q_t < 0.563$. В зависимост от избраните променливи параметри могат да се получат различни коефициенти y_3 и y_4 и следователно цяло семейство характеристики от типа Бътъруърд от трети ред. Обща особеност на тези характеристики е гладката, без пикове и провали форма на честотната характеристика в целия разглеждан честотен обхват и факта, че долната гранична честота и честотата на настройка на басрефлекса лежат над резонансната честота на високоговорителя.

Характеристиката от типа Бътъруърд от четвърта степен има следния аналитичен израз:

$$\eta_0(f) = \frac{1}{1 + \left(\frac{f_s}{f}\right)^8} \quad (10.17)$$

Този израз се получава при условие, че $y_1 = y_2 = y_3 = 0$. Това условие може да се изпълни само при една комбинация от стойности на параметрите:

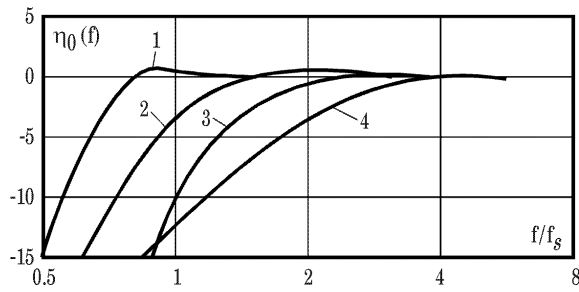
$$Q_t = 0.383; \quad V_{as}/V = 1.414; \quad f_b/f_s = 1$$

При това долната гранична честота съвпада с резонансната честота на високоговорителя и с честотата на настройка на басрефлекса.

Този тип честотна характеристика е максимално гладка и се получава тогава, когато Q -факторът на високоговорителя е равен на 0.383, обемът на кутията е 1.414 пъти по-голям от обема, еквивалентен на гъвкавостта на високоговорителя и басрефлексият проход е така подбран по дължина и диаметър, че неговата резонансна честота съвместно с обема е равна на резонансната честота на високоговорителя в свободно пространство.

Характеристиката на Чебишев от четвърти ред се получава, когато коефициентите y_1 и y_3 са отрицателни, а y_2 и y_4 са положителни. Тези условия могат да бъдат изпълнени при $Q_t > 0.383$; $f_b < f_s$; $V_{as}/V < 1.414$.

Този тип характеристики също са семейство и се характеризират с малък



Фиг. 10.3

отскок в ефективния честотен обхват, като при това долната гранична честота и честотата на настройка на басрефлекса лежат под резонансната честота на високоговорителя в свободно пространство. На фиг.10.3 са показани примерни характеристики от четирите типа. Освен разгледаните честотни

характеристики могат да бъдат реализирани и други типове, включително и съответстващи на филтри на Бътървурд и Чебишев от по-висок ред чрез включването последователно на озвучителното тяло, представляващо филтър от четвърти ред на още един електрически филтър.

Абсолютната стойност на КПД се получава, като вземем пред вид, че за ефективния честотен обхват, множителя, определящ честотната характеристика практически е равен на 1. Тогава :

$$\eta = \frac{\rho}{4\pi c} \frac{V^2 l^2}{R_c M_{as} S_M^2} \quad (10.18)$$

Ако преработим израза, определяйки акустичната маса и коефициента на електромеханична връзка и означавайки $V_{as}/V=a$, а с $f_3/f_s = b$ ще получим:

$$\eta = \frac{2\pi^3 f_3^3 V \alpha}{c^3 Q_i \beta^3} \quad (10.19)$$

Вижда се, че КПД на озвучителното тяло е право пропорционален на обема на кутията и на куба на долната гранична честота. Следователно, ако при един и същ обем разширим ефективния честотен обхват с една октава надолу, КПД на озвучителното тяло ще се намали с 9dB. При намаляване на обема на кутията два пъти при запазване на същата долна гранична честота, КПД на озвучителното тяло се намалява два пъти. Това означава, че по какъвто и начин да се решава задачата за намаляване на обема на озвучителното тяло, в крайна сметка за поддържането на една и съща излъгвана акустична мощност при една и съща долна гранична честота, входната мощност се увеличава толкова пъти, колкото се намалява обема на кутията.

10.3. Конструирание на озвучителни тела

Оразмеряването на фазоинвертора се основава на определянето на акустичната маса на въздуха в тръбата, която заедно с гъвкавостта на въздуха във вътрешния обем на кутията резонира на честота f_b . Отношението на дължината на тръбата към площта на входния отвор може да бъде определено от следната формула:

$$\frac{L_v}{S_v} = \frac{3097}{f_b^2 V} \quad (10.20)$$

Размерността на величините е: f_b - в Hz; V - m^3 ; L_v/S_v - в 1/m.

Практически дължината на тръбата е малко по-малка от определената по формула (10.20), защото в нея се включват и присъединените маси въздух от двете страни на тръбата и за това от тази стойност трябва да се извади поправката:

$$\Delta L = 1,7 \sqrt{\frac{S_v}{\pi}} \quad (10.21)$$

Площта на тръбата не може да бъде много малка, защото от една страна се намалява ефективността на фазоинвертора, а от друга страна е възможна появата на призвучи като свистене и фучене, вследствие на завихрянето на въздуха. За това обикновено площта S_v за проход с кръгло сечение се приема да бъде от 0.25 до 1 от ефективната площ на мембраната на високоговорителя (последната обикновено е близка до площта на мембраната без гънката). Стремешът е площта на тръбата да се направи колкото е възможно по-близка до горната граница, но трябва да се има пред вид, че с увеличаването на площта трябва да се увеличава и

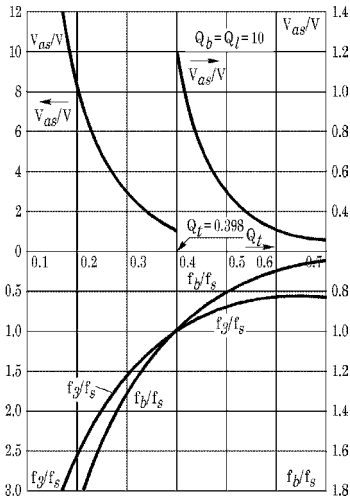
дължината, за да се запази отношението L_v/S_v . Освен това, прекалено дългата тръба в горната част на нискочестотния обхват престава да се държи като система със съсредоточени параметри, което може да доведе до увеличаването на неравномерността на честотната характеристика.

Формата на сечението на басрефлексия проход оказва влияние върху присъединената маса въздух и от там върху неговата дължина, което води до необходимост от прилагането на корекционни коефициенти на формата. Колкото повече формата на сечението се различава от кръг или квадрат, толкова по-голяма е необходимата корекция. При форма на сечението с много голямо отношение на страните се увеличава и опасността от завихряне на въздуха, за която беше споменато по-горе. За това проход с такава форма на сечението се използва много рядко, само тогава, когато няма друга възможност.

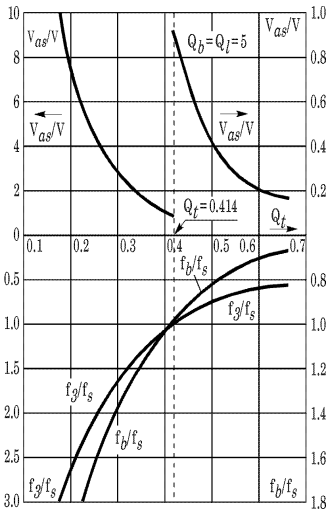
Качественият фактор на фазоинвертора зависи от активните загуби вътре в кутията. Изведените до тук формули се отнасят за акустично оформление без загуби, при което качествения фактор би бил равен на безкрайност. Такъв идеален случай в практиката не съществува. Освен това, ако в кутията няма звукопоглъщащ материал, който увеличава загубите в обема, има опасност от получаването на стоящи вълни. Това би предизвикало подчертаване на някои честоти. От друга страна, поставянето на голямо количество звукопоглъщащ материал довежда до "предемпфане" на обема и известно намаляване на ефекта от басрефлекса.

Оразмеряването на акустичното оформление от типа фазоинвертор се състои в намирането на f_b , отношенията V_{as}/V , f_3/f_s и L_v . Освен с помощта на формули, това може да стане и по номограми, както показаната на фиг.10.4, която е валидна при качествения фактор на басрефлекса равен на 10 или което съответствува на един слой от звукопоглъщащ материал (най-добре полиестерна вата) с дебелина 10-20 милиметра

закрепен по вътрешната страна на стените на кутията. Това е най-често срещания случай. В редки случаи се използва предемпфан обем с качествения фактор около 5 и тогава се използва номограмата на фиг.10.5.



Фиг.10.4



Фиг.10.5

По горе беше споменато, че при демпфането на обема се намалява качественият фактор на басрефлекса и бяха дадени номограми при стойности на Q_b 5 и 10 (не трябва да се смесва качественият фактор на басрефлекса с качествените фактори на високоговорителя). Качественият фактор на басрефлекса зависи от загубите в акустичното оформление (кутията). Най-голям дял в тези загуби има триенето в процепи и отвори в стените на кутията. За това при изработката на последната трябва да се обръща особено внимание на доброто уплътняване. За проверка на уплътняването трябва да се запуши добре басрефлексия отвор и при натискане на мембраната на нискочестотния високоговорител трябва да се усеща съпротивлението на въздуха в обема, а при освобождаването и тя трябва да се връща бавно. Дори и при най-прецизно изпълнение на кутията все пак остават утечки на въздуха през мембраната на високоговорителя – при някои високоговорители има отвори в шапката (куполообразната средна част на мембраната, защитаваща въздушната междина на магнитната система от попадане на прах и други замърсители), при други се получава утечка от недобро залепване на гънка или шапка и т.н. В зависимост от качеството на изпълнение Q_b се движи от 3 до 30, при което за добре изпълнените кутии тази стойност е от 10 до 30, а при запълване на обема с вата спада до 5.

Начини за регулиране на качествения фактор

Както се вижда от изложеното по-горе, твърде често при конструирането на озвучителните тела се налага регулирането на качествения фактор на високоговорителите. Връзката между тоталния качествен фактор Q_t , механичният качествен фактор Q_M и електрическият Q_E се дава от изразът:

$$\frac{1}{Q_t} = \frac{1}{Q_M} + \frac{R_E}{Q_E(R_E + R_G)} \quad (10.22)$$

Вижда се, че има два подхода за регулиране на качествения фактор.

Първият подход се състои в промяната на механичните загуби в трептящата система на високоговорителя. Най-често се налага намаляването на качествения фактор. Това може да стане или чрез обработка на окачането (главно гънката) със специални обмазки, или чрез поставянето в близост до мембраната на така наречения "панел за акустично съпротивление". Първият начин не позволява много широк диапазон на регулиране на качествения фактор, понеже довежда и до намаляване на чувствителността. Предимството му е, че едновременно с намаляване на качествения фактор намалява и изкривяванията, внасяни от високоговорителя, но пък той не позволява връщане към първоначалното положение, ако се окаже, че не е постигнат необходимият ефект. Вторият начин изисква поставянето колкото може по-близо до мембраната на високоговорителя от задната и страна на полупропусклива преграда, създаваща допълнително акустично съпротивление при движението на мембраната. Практически това става, като се закрият отворите в шасито с перфориран лист от пластмаса, алуминий или друг подобен материал. Отворите на перфорацията трябва да бъдат колкото е възможно по-ситни. Допълнително демпфане се постига чрез поставянето върху листа на един или няколко слоя тъкан. Недостатък на този метод е известно повишаване на резонансната честота на високоговорителя, както и невъзможността предварително да се изчисли промяната на качествения фактор, при което се налага експериментално да се търси оптималната перфорация или демпфаш материал.

Вторият подход за регулиране на качествения фактор се базира на силното влияние на изходното съпротивление на усилвателя върху него. Този начин е универсален и позволява регулиране на качествения фактор в широки граници. Недостатък на метода е, че регулирането е валидно са-

мо при работа на конкретен високоговорител с точно определен усилвател, т.е. той е приложим главно при активните озвучителни тела.

Необходимото изходно съпротивление на усилвателя се определя по формулата:

$$R_G + R_E \left[\frac{Q_i Q_M}{(Q_M - Q_i) Q_E} - 1 \right] \quad (10.23)$$

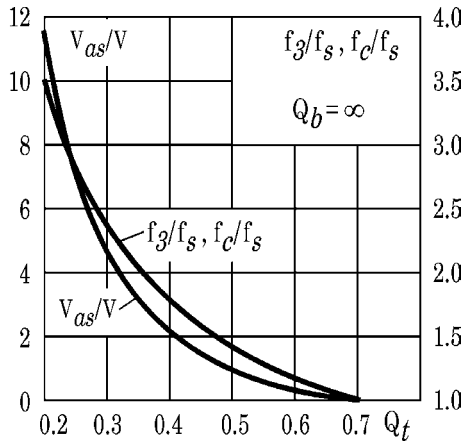
Тук Q_M и Q_E са измерените стойности, а Q_t е необходимата стойност на качествените фактори на високоговорителя.

Тогава, когато необходимата стойност на изходното съпротивление на усилвателя е по-голяма от неговата стойност, задачата се решава чрез просто свързване последователно на високоговорителя на резистор с необходимата стойност. Когато се използват високоговорители с голяма стойност на качественият фактор (това се получава, когато магнитната система е слаба), необходимата корекция е към намаляване на Q_t . Такава корекция може да бъде реализирана с помощта на усилвател с отрицателно изходно съпротивление. Като имаме пред вид, че съпротивлението на високоговорителя за целия работен честотен обхват обикновено не е по-ниско от постояннотоковото съпротивление на звуковата bobина R_E , можем да кажем, че условието за стабилна работа на усилвателя е:

$$R_E + R_G > 0 \quad (10.24)$$

Необходимата стойност на $R_G < 0$ се постига чрез прилагането на положителна обратна връзка по ток (обратна връзка, при която върнатото на входа напрежение е пропорционално на изходния ток). За целта последователно на високоговорителя към маса се свързва малко съпротивление и пада на напрежение върху него са подава на входа на усилвателя в качеството на напрежение на обратна връзка.

Оразмеряването на озвучително тяло със затворен обем може да бъде направено с помощта на номограмата показана на фиг.10.6



Фиг.10.6

Начинът на работа с нея е подобен на този при номограмите от фиг.10.4 и 10.5. Частичното запълване на обема на кутията (до 20%) със звукопоглъщащ материал (обикновено полиестерна вата) спомага за подтискането на стоящите вълни, които биха довели до повишаване на неравномерността на честотната характеристика. Освен това, поради изменянето на закона за свиването и разреждане на въздуха в звукопоглъщащия материал се получава увеличаване на ефективния обем на кутията, което довежда до понижаване на долната гранична честота при същия обем. Прекомерното запълване на обема довежда

до обратния ефект - намаляване на ефективния обем поради изместването на въздуха от звукопоглъщащия материал при едновременното повишаване на активните загуби.

В областта на ниските честоти съществено влияние върху честотната характеристика оказва и формата на кутията. Експериментално е доказано, че най-гладка честотна характеристика в областта на ниските честоти се получава при сферична форма на кутията. За съжаление, тази форма изисква сложна технология за изработването ѝ, което я оскъпява. За това най-голямо разпространение е получила третата по качества в това отношение форма, а именно паралелепипеда, при който високоговорителят е разполо-

жен извън центъра на симетрия на лицевата стена. Тази форма на кутията представлява разумен компромис между технологичност на изработката и качествени показатели. В последно време, с развитието на технологията все по-често на пазара се появяват озвучителни тела с форма на цилиндър (кръгов или елиптичен), на който високоговорителя е монтиран на околната повърхнина. Това е едно решение, което е почти толкова добро, колкото и сферата (разликата в неравномерностите на озвучителните тела с двете форми е в границите на 1dB). Най-неуспешна за озвучително тяло е формата на цилиндър, като високоговорителя е разположен на основата на цилиндъра. Също неуспешна е и кубичната форма с говорител, разположен в центъра на симетрия на една от стените.

Формата на озвучителното тяло оказва съществено влияние и върху неравномерността на честотната характеристика в областта на високите честоти. Причина за това е отражението на звука от ръбовете и други елементи на лицевата повърхност на кутията тогава, когато техните размери станат съизмерими с дължината на звуковата вълна. Поради разликата в изминатия път, пряката и отразената вълна пристигат в точката, където е разположен слушателя с различна фаза и при сумирането си довеждат до увеличаване или намаляване на нивото на звука в тази точка и по този начин влияят върху неравномерността на честотната характеристика. За намаляване на този вреден ефект се избягва оформянето на остри ръбове по кутията и лицевите елементи като решетки, рингове и др.

Материалът, от който е изработена кутията също оказва влияние върху честотната характеристика, вследствие на неговата по-голяма или по-малка звукопроницаемост. Тя зависи от дебелината на стената, от механичните загуби в материала и от неговата склонност да се разтрептява и да изпада в резонанс на определени честоти, като при това излъчва звук с произволна фаза. При сумирането на този звук с излъчения директно от високоговорителя се получава, както и в предния случай, увеличаване или намаляване на нивото на звука в точката на слушане.

Във връзка с това стремежът да се използва за изработка на кутията материал като музикална дървесина е вреден поради факта, че собствените резонанси на такива материал само увеличават неравномерността на честотната характеристика. При някои по-люксови озвучителни тела се използват материали като мрамор, керамика и др., които съчетават голяма твърдост с добри механични загуби, но са твърде скъпи и трудни за обработка. Най-успешен материал за изработка на кутии за озвучителни тела, съчетаващ достатъчна твърдост и механични загуби с прилична цена са плоскостите от дървесни частици (ПДЧ) или така наречения талашит. Сглобяването на кутиите от този материал става най-често с помощта на сглобката наречена "нут и перо" или с помощта на чуждо парче, при което трябва да се обърне внимание на доброто залепване и уплътняване на сглобките. При озвучителни тела със сравнително малка мощност е възможно кутията да се изработи от пластмаса, като за предпочитане е вътрешните слоеве на пластмасата да бъдат разпенени.

Подбораът на високоговорители става най-напред по паспортна мощност. Този вид мощност е мярка за надеждността на високоговорителите и методиката за нейната проверка е такава, че независимо от това, дали високоговорителя е нискочестотен, средночестотен или високочестотен, неговата паспортна мощност трябва да бъде равна на паспортната мощност на озвучителното тяло. Трябва да се отбележи, че ако в озвучителното тяло средночестотните и високочестотни високоговорители се използват в честотна лента, по-тясна от обявената от производителя за дадения високоговорител, мощността, която му се подава може да бъде по-висока, като нейната стойност може да бъде определена с помощта на стандартната крива на статистическото разпределение на мощностите по честота при въз-

произвеждането на усреднена говорна и музикална програма (така наречената IEC - крива).

Обикновено нискочестотните високоговорители възпроизвеждат честотния обхват от долна гранична честота до 2-4kHz. В случаите, когато озвучителното тяло е трилентово, средночестотният високоговорител поема част от тази лента и тогава е достатъчно нискочестотният високоговорител да възпроизвежда честотите до 500-800Hz. Във всички случаи тези високоговорители са освободени от необходимостта да възпроизвеждат високите честоти, а в някои случаи и средните, като в замяна на това са повишени изискванията към възпроизвеждането на ниските честоти.

Паспортната мощност на този вид високоговорители практически съвпада с тяхната максимална синусоидална мощност, защото върхът на IEC - кривата се пада в този честотен диапазон, на честота 270Hz.

Средночестотните високоговорители трябва да възпроизвеждат честотния диапазон от 500-800Hz до 4-5, рядко до 8kHz. При тях изискването е в работния честотен обхват да имат неравномерност на честотната характеристика по-малка от 4dB. За намаляване на насочеността на излъчването, диаметърът на този вид високоговорители е не по-голям от 130mm, като често те са куполни с още по-малък диаметър. Тяхната максимална синусоидална мощност е 40 до 60% от паспортната им мощност.

Високочестотните високоговорители възпроизвеждат честотната лента от 2kHz до горната гранична честота. Пак с цел намаляване на насочеността на излъчване техният диаметър е малък, те все по-рядко биват конусни, а обикновено са куполни, понякога лентови и при някои типове пиезоелектрически високоговорители от високополимерно пиезофолио, с цилиндрична излъчваща повърхност. Максималната им синусоидална мощност е около 20% от паспортната им мощност.

10.4.Теснолентови суббасови високоговорителни системи

С появяването на цифровия звукозапис възникна необходимостта от компактни високоговорителни системи, възпроизвеждащи качествено най-нискочестотния звуков обхват. В описаните по-рано озвучителни тела с басрефлекс и със затворен обем, нискочестотният високоговорител възпроизвежда сравнително широка честотна лента, при което максималната акустична мощност на системата се ограничава от максималната възможна амплитуда на мембраната на високоговорителя, при която той възпроизвежда сигнала с допустими нелинейни изкривявания. Тази максимална амплитуда се получава при най-ниските честоти, защото за излъчването на една и съща акустична мощност амплитудата нараства обратно пропорционално на честотата.

Увеличаването на нелинейните изкривявания при увеличаване на амплитудата на колебание на мембраната се дължи главно на две причини:

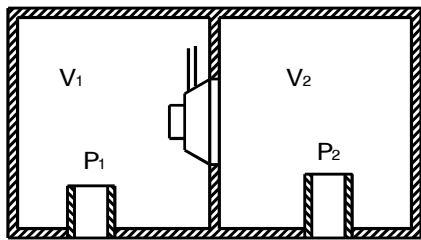
-Нелинейността на окачването на трептящата система на високоговорителя, което се изразява в това, че при големи амплитуди силата на противодействието на еластичните елементи-гънка и центрираща шайба - се увеличава или което значи че гъвкавостта на окачването проявява зависимост от амплитудата, вследствие на което за едно и също нарастване на приложената сила, отместването на мембраната е много по-голямо при ниските амплитуди, отколкото при големите.

-Неравномерното разпределение на напрегнатостта на магнитното поле извън работната въздушна междина, вследствие на което при големи амплитуди звуковата бобина попада в поле с по-малка напрегнатост. Очевидно това довежда до зависимост на коефициента на електромеханична връзка B_l (B е напрегнатостта на магнитната индукция, а l е дължината на проводника, обхванат от магнитните силови линии) от амплитудата и от там и получената електродинамична сила $F=Bli$ (i е силата на тока,

протичащ през проводника на звуковата (бобина) зависи от тази амплитуда.

В определени граници увеличаването на изкривяванията при повишаване на излъчваната акустична мощност може да бъде намалено чрез използването на високоговорители с по-голяма площ на мембраната. Това е така, защото КПД на високоговорителя е право пропорционално на квадрата на площта на мембраната, което води до съответното намаляване на амплитудата на колебание на мембраната за една и съща излъчвана акустична мощност. За съжаление, по-голямата площ на мембраната увеличава и обема, еквивалентен на гъвкавостта на мембраната. Последният по дефиниция представлява затворения обем, който възбуден през площ, равна на площта на мембраната би имал същата гъвкавост, както окачането на високоговорителя. Това увеличаване на V_{as} води до увеличаване на необходимия обем и следователно до по-големи габарити на озвучителното тяло, необходими за постигане на същата долна гранична честота.

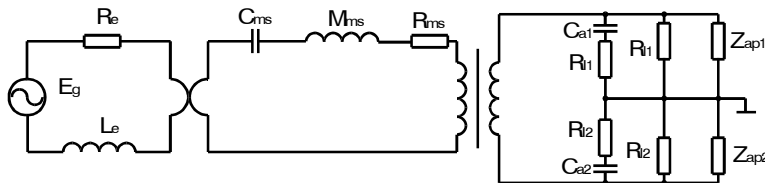
В последно време, благодарение на появилите се нови теоретични разработки стана възможно конструирането на теснолентови суббас излъчватели, които възпроизвеждат ниските честоти с много по-малки изкривявания поради на по-малкия ход на мембраната. Това се получава благодарение на използването на един или няколко Хелмхолцови резонатора, поставени пред и зад мембраната на високоговорителя, което дава усилване на звука Q -пъти за честотата на настройка на тези резонатори (Q е качественият фактор на резонатора). Някои от тези системи притежават естествено ограничаване за по-високи честоти. Това естествено ограничаване позволява използването на електрически разделителни филтри с по-малка стръмност, а те въвеждат по-малки фазови изкривявания. От друга страна, акустичният филтър намалява изкривяванията на системата, защото



Фиг.10.7

обикновеният електрически филтър не пропуска изкривяванията на усилвателя, но не може да повлияе на изкривяванията, породени след него т.е. тези на високоговорителя, докато акустичният филтър, обхващайки и акустичната част, премахва и евентуални изкривявания, породени от високоговорителя.

Работата на повечето такива системи зависи изключително от параметрите на високоговорителя и кутията. Чувствителността към вариациите на параметрите се увеличава в зависимост от разряда на цялата система, като за системите от по-висок ред леки отклонения в стойностите на тези параметри могат да предизвикат големи промени в работата на цялата система.



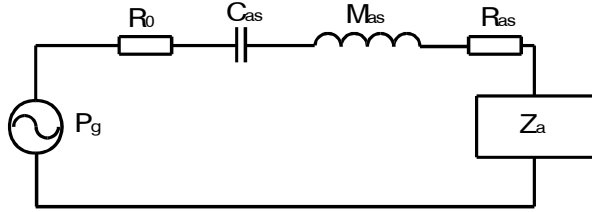
Фиг.10.8

Нека разгледаме обобщения чертеж на такъв излъчвател, даден на фиг.10.7. Всички други разновидности могат да бъдат

получени от тази конфигурация. Трябва да отбележим, че акустичните изходи могат да бъдат както тръби (така са показани на чертежа), така и пасивни мембрани, без това да се отрази на изводите. Еквивалентната схема на този излъчвател е показана на фиг.10.8. Тази схема е смесена-в нея има електрическа част, механична част и акустична част, както и два

трансформатора, извършващи съответните преходи – от токове и напрежения в механични скорости и сили и от там – в акустични скорости и звуково налягане.

Тъй като ние се интересуваме от акустичните резултати, ще превърнем всички елементи в акустични аналози. Получената схема е показана на фиг.10.9, като акустичната част от предната схема не търпи промени и е означена с обобщен акустичен импеданс Z_a , който ще бъде



Фиг.10.9

схема е пренебрегната индуктивността на звуковата бобина, тъй като тя е с много малка стойност и практически не оказва влияние при разглежданите ниски честоти. При горното преобразуване захранващия генератор на напрежение е преобразуван в еквивалентен генератор на звуково налягане със стойност:

$$P_g = \frac{E_g B l}{(R_g + R_E) S_0} \quad (10.25)$$

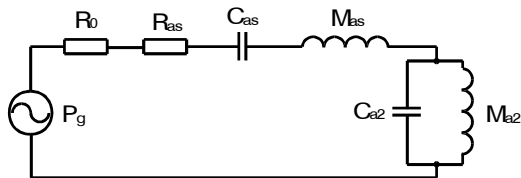
Съответно електрическото активно съпротивление, образувано от последователно свързаните изходно съпротивление на захранващия усилвател и активното съпротивление на звуковата бобина е преобразувано в акустично активно съпротивление:

$$R_0 = \frac{B^2 l^2}{(R_g + R_E) S_0^2} \quad (10.26)$$

Тук S_0 е площта на мембраната на високоговорителя
 R_g е изходното съпротивление на усилвателя,
 R_E е постояннотоковото съпротивление на звуковата бобина.

Системите могат да бъдат класифицирани в зависимост от реда на еквивалентния лентов филтър и по това дали са симетрични или несиметрични.

Системи от четвърти ред



Фиг.10.10

отговаряща на обикновено озвучително тяло с басрефлекс. Разликата между двете схеми е в това, че сега не се сумират предното и задно излъчване (задно просто няма, защото задния акустичен изход е затворен), а остава само предното. За по-голяма общност на разглеждането не обозначаваме елементите на задния обем отделно на схемата, а ги включваме в елементите на високоговорителя, като влиянието им върху параметрите на последния се изразява в намаляване на гъвкавостта на окачването му (гъвкавостта на затворения обем е последователно свързана с тази на окачването на високоговорителя). Това от своя страна довежда до промяна

дефиниран при различните случаи на настоящото разглеждане, като винаги ще пренебрегваме неговите съставки, дължащи се на утечка (неуплътняване) на обемите, както и загубите от триене вътре в тях, при което ще приемаме, че $R_{L1}=R_{L2}=\infty$ и $R_{I1}=R_{I2}=0$. Освен това, при тази

Системата от четвърти ред се получава от обобщената кутия, когато се затвори плътно задния акустичен изход. Еквивалентната схема, която отговаря на този случай е показана на фиг.10.10. Прави впечатление, че тази схема е идентична на схемата,

на резонансната честота и качественият фактор. Промяната на резонансната честота е :

$$\omega'_0 = \omega_0 \sqrt{\frac{V + V_{as}}{V}} \quad (10.27)$$

Тук ω'_0 е кръговата резонансна честота на високоговорителя, монтиран върху заден обем V ,

ω_0 е кръговата резонансна честота на високоговорителя, монтиран на безкраен екран.

V_{as} е обемът, еквивалентен на гъвкавостта на окачването на високоговорителя.

Промяната на качествения фактор се изразява в промяна на механичния такъв, като електрическият не се променя. Новият механичен качествени фактор е :

$$Q'_M = Q_M \sqrt{\frac{V + V_{as}}{V}} \quad (10.28)$$

Тогава новият тотален качествени фактор се определя по формулата :

$$Q'_t = \frac{Q'_M Q_E}{Q'_M + Q_E} \quad (10.29)$$

Функцията, описваща честотната характеристика на звуковото налягане е :

$$P_s = \frac{kAs^2}{Bs^4 + Cs^3 + Ds^2 + Es + 1} \quad (10.30)$$

Тук $s = j\omega$ е комплексната честота, а коефициентите в уравнението са :

$$A = C_{as} P_g; B = T_s^2 T_2^2; C = \frac{T_2^2 T_s}{Q_t}; D = T_2^2 + T_{2s}^2 + T_s^2; E = \frac{T_s}{Q_t} \quad (10.31)$$

$$k = \frac{j\rho c}{2\pi}; T_s^2 = C_{AS} M_{AS}; T_2^2 = C_{A2} M_{A2}; T_{2s}^2 = C_{AS} M_{A2}$$

P_g и Q_t бяха дефинирани по-горе.

Напомниме, че :

$$P_g = \frac{E_g B l}{R_E S_D}; Q_t = \frac{T_s}{C_{AS} R_{AT}}; R_{AT} = R_{AS} + R_0; R_0 = \frac{(B l)^2}{(R_E + R_g) S_D^2}$$

За да се изпълни условието за максимално плоска характеристика приравняваме на нула всички коефициенти в знаменателя с изключение на този пред най-високата степен на честотата и като решим получената система уравнения получаваме :

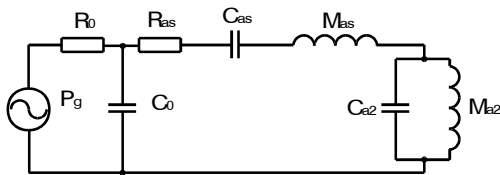
$$T_s = T_2; Q_t = 0,38; M_{A2} = 1,414 M_{AS} \quad (10.32)$$

При максимално гладките характеристики за кутиите от този тип се получава максимално усилване при минимална широчина на пропусканата лента. При промяна на качествения фактор произведението усилване-широчина на лентата остава постоянно. Особено е, че при увеличаване на качествения фактор на високоговорителя се намалява усилването, при което се разширява честотната лента на пропускане, а също така се увеличава и неравномерността в тази лента, като при увеличаване на Q_t до 1,25 неравномерността в лентата на пропускане достига 3 dB. Увеличаването на качествения фактор при необходимост може да стане най-лесно чрез увеличаване на R_g . Подобно разширяване на честотната лента при намаляване на чувствителността се получава и при увеличаване на масата на въздуха в тръбата на акустичния вход при запазване на времекопектантата на предния обем (за целта този обем трябва да се намалява при увеличаване на масата на въздуха в тръбата).

Интересно е, че в тръбата се получава резонанс, (подобен на този в тръбите на орган) на честота, по-висока от лентата на пропускане, което повдига нивото на излъчвания на тази честота звук, като понякога неговото ниво е само със 7 dB по-ниско от това в лентата на пропускане. Това явление може да се избегне при използването на пасивна мембрана вместо тръба, или чрез използването на електрически филтър.

Демпфането на предния обем довежда до увеличаването на неравномерността в лентата на пропускане без да даде никакви предимства и затова трябва да се избягва.

Системи от пети ред.



Фиг.10.11

Такава система се получава, когато последователно на високоговорителя се включи електрически елемент индуктивност. След преобразуването и в акустичен елемент, тя се превръща в гъвкавост. Еквивалентната схема на такава система е показана на фиг.10.11, където гъвкавостта, еквивалентна на елемента индуктивност е означена като C_0 .

Системата от пети ред се характеризира с наклон на срязване от трети ред за нискочестотния филтър (той оформя срязването от към високите честоти) и типичния за затворена кутия наклон от втори ред за високочестотния филтър (оформящ срязването от към ниските честоти). Така получената честотна характеристика е несиметрична. За отбелязване е, че срязването от трети ред се получава с помощта на електрическа схема само от първи ред.

Функцията на честотната характеристика на системата е:

$$P_{(s)} = \frac{kAs^2}{Bs^5 + Cs^4 + Ds^3 + Es^2 + Fs + I} \quad (10.33)$$

Където:

$$\begin{aligned} A &= C_{AS} P_g; B = T_s^2 T_2^2 T_0'; C = T_s^2 T_2^2 + \frac{T_2^2 T_0' T_s}{Q_M} \\ D &= T_s^2 T_0' + \frac{T_2^2 T_s}{Q_E} + T_2^2 T_0' + T_{2S}^2 T_s' + \frac{T_2^2 T_s}{Q_M} \\ E &= \frac{T_0' T_s}{Q_M} + T_s^2 + T_2^2 + T_{2S}^2; F = \frac{T_s}{Q_E} + T_0' + \frac{T_s}{Q_M} \end{aligned} \quad (10.34)$$

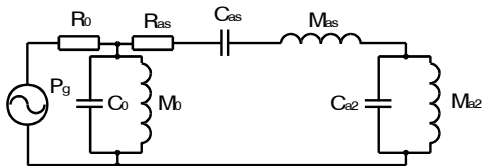
Освен това:

$$C_0 = \frac{S_D^2 L_E}{(Bl)^2}; T_0' = C_0 R_0; Q_E = \frac{T_s}{C_{AS} R_0}; Q_M = \frac{T_s}{C_{AS} R_{AS}} \quad (10.35)$$

Като решим системата от коефициенти за да получим характеристика, съответстваща на Бътървурт, получаваме:

$$T_0' = 0,19 T_s; Q_E = 0,55; T_2 = 0,69 T_s; M_{b2} = 0,52 M_{AS} \quad (10.36)$$

И тук при увеличаване на качественият фактор на високоговорителя се забелязва намаляване на усилването и разширяване на лентата на пропускане.



Фиг.10.12

За разлика от четвърторедните системи отсъства "органният" резонанс на тръбата на акустичния изход. При намаляване на предния обем и едновременно запазване на стойността на T_2 (увеличава се T_{2S}) се забелязва увеличаване на широчината на пропусканата честотна лента при

едновременно намаляване на чувствителността, като при намаляване на предния обем с 66% спрямо изчисления за Бътървуртова характеристика

лентата се разширява до малко повече от две октави като чувствителността спада с близо 10 dB.

Системи от шести ред

Има два вида системи от шести ред-симетрична (наклон и на нискочестотния и на високочестотния филтри е от трети ред) и несиметрична (четвърти ред наклон за високочестотния филтър и втори ред за нискочестотния).

Симетричната система от шести ред се получава от системата от пети ред чрез добавяне на кондензатор последователно на високоговорителя. Този кондензатор при преобразуването на схемата в акустичен аналог се превръща в маса, при това паралелно свързана на елементите на високоговорителя и гъвкавостта, съответстваща на индуктивността от системата от пети ред. Така получената еквивалентната схема на симетрична система от шести ред е дадена на фиг.10.12.

Изразът за честотната характеристика е:

$$P(s) = \frac{kAs^3}{Bs^6 + Cs^5 + Ds^4 + Es^3 + Fs^2 + Gs + 1} \quad (10.37)$$

Където:

$$A = \frac{C_{AS} Q_E P_g}{C_{AS} Q_0 T_0 P_g}; B = T_S^2 T_2^2 T_0^2; C = \frac{T_S^2 T_2^2 T_0}{Q_0} + \frac{T_0^2 T_2^2 T_S}{Q_M}$$

$$D = T_S^2 T_0^2 + T_{0S}^2 T_0^2 + T_2^2 T_{2S}^2 + T_2^2 T_S^2 + T_0^2 T_2^2 + \frac{T_2^2 T_S T_0 Q_0}{Q_M} \quad (10.38)$$

$$E = \frac{T_S^2 T_0}{Q_0} + \frac{T_{2S}^2 T_0}{Q_0} + \frac{T_0^2 T_S}{Q_M} + \frac{T_2^2 T_0}{Q_0} + \frac{T_2^2 T_S}{Q_M}$$

$$F = T_S^2 + T_2^2 + T_0^2 + T_{0S}^2 + T_{2S}^2 + \frac{T_S T_0 Q_0}{Q_M}; G = \frac{T_0}{Q_0} + \frac{T_S}{Q_M}$$

Освен това:

$$T_0^2 = C_0 L_0; L_0 = \frac{(Bl)^2 C_E}{S_D^2}; Q_0 = \frac{T_0}{C_E R_E}; T_{0S}^2 = C_{AS} L_0 \quad (10.39)$$

Като решим уравненията съгласно условията за характеристика на Бътъруърт, получаваме:

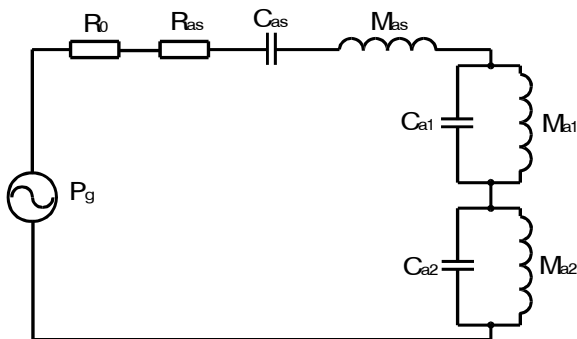
$$T_0 = T_2 = T_S; Q_0 = 0,26; T_{2S} = 2,02 T_S; T_{0S} = 0,6 T_S \quad (10.40)$$

Интересен факт е отсъствието на качественият фактор на високоговорителя в горните условия. Неговото влияние се изразява само в нарастването на ефективността при нарастване на този качествен фактор.

При сравнение на честотната характеристика на високоговорителя, закрепен върху акустичен екран на характеристиката на излъчвателя, вижда се че на ниво минус 8 dB печалбата е приблизително една терца по-ниска долна гранична честота.

При тези системи произведението $L_0 C_0$, T_0^2 , настройката на предната кутия T_2^2 са равни на резонанса на излъчвателя (T_S^2).

Качественият фактор на електрическата схема Q_0 оказва влияние върху широчината на пропусканата честотна лента и



Фиг.10.13

стръмността на склоновете на срязване, като при увеличаване на този качествен фактор се увеличават и двата параметъра. Оптимална стойност на Q_0 е около 1.

Като се променя предния обем, при едновременно запазване на времеконстантата (увеличаване на M_{A2} и намаляване на C_{A2}) се разширява честотната лента, намалява се чувствителността и се увеличава неравномерността, като при намаляване на обема с 50% спрямо определения за Бътърфуртова характеристика се получава разширяване с около една терца при намаляване на чувствителността с 10 dB и увеличаване на неравномерността с около 4 dB.

Обобщено, когато се увеличава Q_E на високоговорителя трябва да се увеличават T_{2S}^2 и Q_0 за да се компенсира.

Несиметричната система от шести ред се получава когато са отворени и двата акустични изхода-и предния, и задния. Тази система е много ефективна-осигурява с 6 dB повишаване на изходния сигнал при същата или по-малка амплитуда на колебание на мембраната.

Заместващата схема е показана на фиг.10.13, а изразът за честотната характеристика е:

$$P(s) = -iks(U_2 - U_1) = \frac{kAs^4}{Bs^6 + Cs^5 + Ds^4 + Es^3 + Fs^2 + Gs + I} \quad (10.41)$$

Където:

$$A = (T_1^2 - T_2^2)C_{AS}P_g; B = T_S^2T_1^2T_2^2; C = \frac{T_1^2T_2^2T_S}{Q_i}$$

$$D = T_1^2T_2^2 + T_{1S}^2T_2^2 + T_1^2T_{2S}^2 + T_S^2T_2^2 + T_S^2T_1^2; E = \frac{T_1^2T_S}{Q_i} + \frac{T_2^2T_S}{Q_i} \quad (10.42)$$

$$F = T_S^2 + T_1^2 + T_2^2 + T_{1S}^2 + T_{2S}^2; G = \frac{T_S}{Q_i}$$

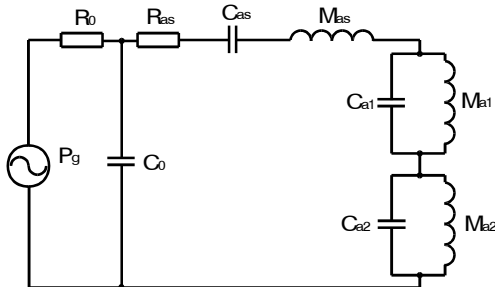
Освен това:

$$T_1^2 = C_{A1}M_{A1}; T_{1S}^2 = C_{AS}M_{A1} \quad (10.43)$$

Тук също е възможно получаването на по-широка пропускана лента за сметка на чувствителността, но настройката е сравнително по-сложна, защото се постига чрез изменение на настройката на предната и задна кутии без изменение на масата на акустичните изходи (т.е. T_{1S}^2 и $T_{2S}^2 = \text{const.}$) Задният обем е увеличен, докато предния е намален и така произведението $T_1.T_2 = \text{const.}$ Тази процедура не може да бъде повтаряна до безкрайност и широчината на пропусканата лента в този вид системи може да бъде увеличавана само до определена стойност.

Системи от седми ред.

При двойно отворената система (несиметрична система от шести ред) е желателно да имаме стръмност от трети ред за склона на нискочестотния филтър по същите причини, както и при системата от четвърти ред - "органните" резонанси на акустичните изходи. Тук този проблем дори е по-сериозен поради наличието на две тръби. Изискваното затихване отново се осигурява с помощта на серийно свързана бобина. Заместващата схема е показана на



Фиг.10.14

фиг.10.14, а изразът на честотната характеристика е:

$$P(s) = \frac{kAs^4}{Bs^7 + Cs^6 + Ds^5 + Es^4 + Fs^3 + Gs^2 + Hs + I} \quad (10.44)$$

Където:

$$A = (T_1^2 + T_2^2)C_{AS}P_g; B = T_s^2 T_1^2 T_2^2 T_0'; C = T_s^2 T_1^2 T_2^2 + \frac{T_1^2 T_2^2 T_s T_0'}{Q_M};$$

$$D = T_s^2 T_1^2 T_0' + T_s^2 T_2^2 T_0' + \frac{T_1^2 T_2^2 T_s}{Q_E} + T_1^2 T_2^2 T_0' + \frac{T_1^2 T_2^2 T_s}{Q_M} + T_{1s}^2 T_2^2 T_0' + T_1^2 T_{2s}^2 T_0'$$

$$E = T_s^2 T_1^2 + T_s^2 T_2^2 + T_1^2 T_2^2 + T_{1s}^2 T_2^2 + T_{2s}^2 T_1^2 + \frac{T_1^2 T_s T_0'}{Q_M} + \frac{T_2^2 T_s T_0'}{Q_M};$$

$$F = \frac{T_1^2 T_s}{Q_E} + T_s^2 T_2^2 + T_1^2 T_0' + T_{1s}^2 T_0' + \frac{T_2^2 T_s}{Q_E} + \frac{T_1^2 T_s}{Q_M} + \frac{T_2^2 T_s}{Q_M} + T_2^2 T_0' + T_{2s}^2 T_0';$$

$$G = T_s^2 + T_1^2 + T_2^2 + T_{1s}^2 + T_{2s}^2 + \frac{T_0' T_s}{Q_M}; H = \frac{T_s}{Q_M} + \frac{T_s}{Q_E} + T_0'$$

Честотната характеристика на тези системи е най-широка и обхваща повече от две октави, като неравномерността в лентата на пропускане е много малка. Чувствителността е с два до 3 dB по-висока от тази на единично отворените системи при същата или по-малка амплитуда на отклонение на мембраната. За съжаление не може да бъде намерена проста процедура за преобразуване на система от шести ред в такава от седми, както това беше при преминаването на система от система от четвърти ред към такава от пети ред. Конструирването на такива системи се извършва с помощта на компютър по метода на последователните приближения.

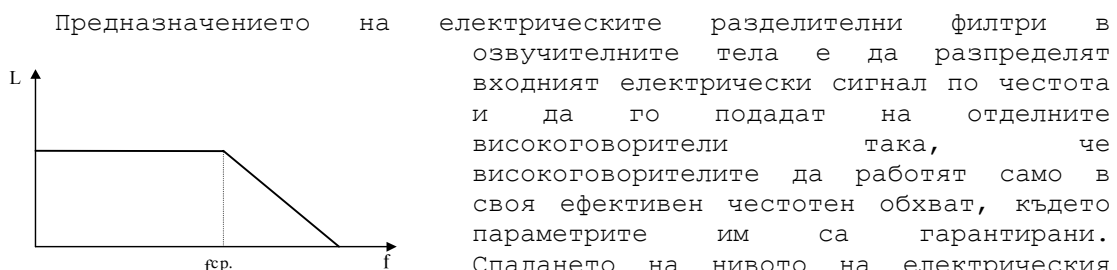
Системи от осми ред.

Аналогично на получаването на симетричната система от шести ред, при добавянето на един последователен кондензатор към системата от седми ред получаваме система от осми ред. При това наклона на срязване получава стръмност 24 dB/Oct.

Ефективността на тази система е по-висока от тази на системите от по-нисък ред, но основен неин недостатък е силното спадане на електрическия импеданс в близост с горната гранична честота - до два пъти по-нисък от постояннотоковото съпротивление на звуковата бобина. По-високата ефективност позволява до известна степен да се избегне този недостатък чрез свързване на едно последователно активно съпротивление.

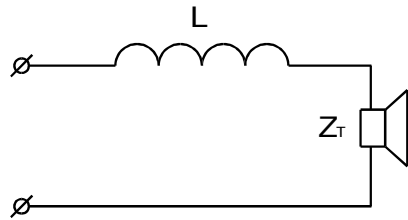
По-нататъшно развитие на тези системи представляват системите с три камери, но тяхното оразмеряване е възможно само с помощта на компютър, поради факта, че не съществува еднозначно решение на функцията, описваща честотната характеристика и връзката между параметрите се описва с помощта на неравенства.

10.5. ФИЛТРИ ЗА ОЗВУЧИТЕЛНИ ТЕЛА



Фиг.10.15

сумирането на акустичния



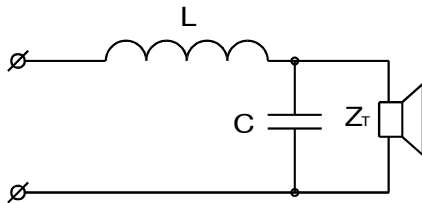
Фиг.10.16

сигнал от двата високоговорителя да се гарантира равномерна честотна характеристика на озвучителното тяло в тази честотна област. От теорията на акустичните антени е известно, че при сумирането на звуковото налягане, създавано от повече от един източника, работещи синфазно, резултантното звуково налягане е :

$$p_{\text{общо}} = p_{\text{отд.}} \sqrt{n} \quad (10.45)$$

където n е броя на едновременно работещите източници.

Когато $n=2$, по формулата се получава повишаване на резултантното ниво с $\sqrt{2}$ пъти или 3 dB.

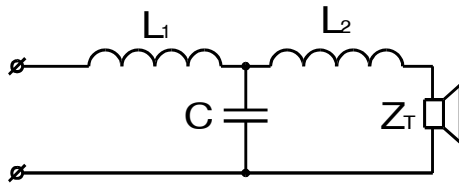


Фиг.10.17

В озвучителните тела обикновено се използват пасивни L-C разделителни филтри от първи, втори или трети ред, като изключение правят озвучителните тела с вградени усилватели за отделните високоговорители 256 (звукови монитори).

В зависимост от пропусканата честотна област, филтрите, използвани в

озвучителните тела биват нискочестотни, високочестотни



Фиг.10.18

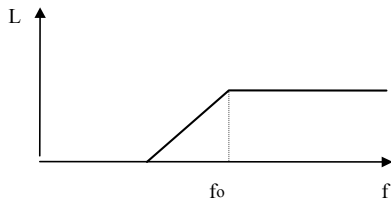
и лентови. Нискочестотните филтри пропускат сигналите с честота от нула до някаква честота, наречена честота на срязване и не пропускат сигналите с по-висока от тази честота. Това, разбира се, важи само за идеалните филтри, а при реалните сигналите с честота от областта на непропускане намаляват плавно своето ниво с увеличаване на честотата и това ниво става нула при честота равна на безкрайност. Стръмността на спадане на това ниво се нарича стръмност на срязване на филтъра и зависи от неговия ред, като колкото по-висок е реда на филтъра, толкова по-стръмно е срязването. Честотната характеристика на един нискочестотен филтър е показана на фиг.10.15, схемата на такъв филтър от първи ред е показана на фиг.10.16, схемата на нискочестотен филтър от втори ред е показана на фиг.10.17, а на фиг. 10.18 е показана схемата на нискочестотен филтър от трети ред. Формулите, по които се определят стойностите на елементите са следните:

За филтър от първи ред:

$$L = \frac{Z}{2\pi f_0} |H| \quad (10.46)$$

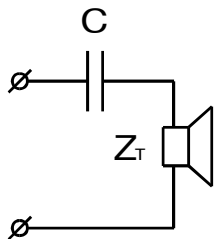
За филтър от втори ред:

$$L = \frac{\sqrt{2}Z}{2\pi f_0} |H| \quad (10.47)$$



Фиг.10.19

показана на фиг.10.17, а на фиг. 10.18 е показана схемата на нискочестотен филтър от трети ред. Формулите, по които се определят стойностите на елементите са следните:



Фиг.10.20

$$C = \frac{\sqrt{2}}{4\pi Z f_0} |F| \quad (10.48)$$

И за филтри от трети ред:

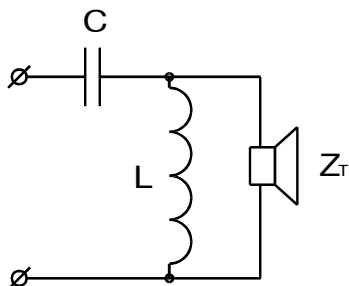
$$C = \frac{2}{3\pi Z f_0} |F| \quad (10.49)$$

$$L_1 = \frac{3Z}{4\pi f_0} |H|$$

$$L_2 = \frac{Z}{4\pi f_0} |H|$$

(10.50)

Стръмността на спадане на честотната характеристика след честотата на срязване f_0 при филтрите от първи ред е 6 dB/oct, при филтрите от втори ред тя е 12dB/oct и при филтрите от трети ред тази стръмност е 18 dB/oct.



Фиг.10.21

Високочестотните филтри пропускат сигналите с честота по-висока от честотата на срязване и не пропускат сигналите с честота по-ниска от нея. Примерната честотна характеристика на един високочестотен филтър е показана на фиг.10.19. Стръмността на срязване в зависимост от реда на филтъра е както при нискочестотните филтри. Схемите на високочестотни филтри от първи, втори и трети ред са показани съответно на фиг.10.20, фиг.10.21 и фиг.10.22, а формулите за

оразмеряване на елементите на филтъра са:

За филтър от първи ред:

$$C = \frac{1}{2\pi Z f_0} |F| \quad (10.51)$$

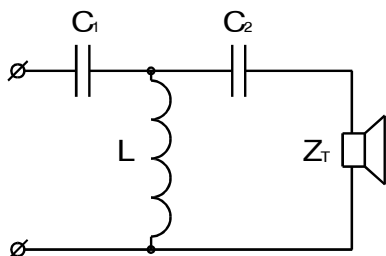
За филтър от втори ред:

$$C = \frac{\sqrt{2}}{4\pi f_0 Z} |F| \quad (10.52)$$

$$L = \frac{\sqrt{2}Z}{2\pi f_0} |H| \quad (10.53)$$

И за филтър от трети ред:

$$L = \frac{3Z}{8\pi f_0} |H| \quad (10.54)$$



Фиг.10.22

$$C_1 = \frac{1}{3\pi f_0 Z} |F|$$

$$C_2 = \frac{1}{\pi f_0 Z} |F|$$

(10.55)

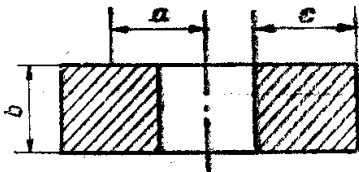
Лентовите филтри (филтрите на средночестотния високоговорител) се състоят от едно нискочестотно и едно високочестотно филтрови звена, свързани последователно, като при това високочестотното звено е настроено за долната срязваща честота на лентата, подавана на средночестотния високоговорител, а нискочестотното звено е настроено на

горната срязваща честота на тази лента. Формулите за оразмеряване на тези звена са както дадените по-горе.

При свързването на високоговорителите към филтъра, подаваното на тях напрежение е дефазирано спрямо входното, като при нискочестотните филтри изходното напрежение закъснява спрямо входното, а при високочестотните то избързва спрямо него. При това ъгълът на дефазирание зависи от редът на филтъра- при филтрите от първи ред този ъгъл за срязващата честота е 45° , при филтрите от втори ред е 90° , а при филтрите от трети ред е 135° . За това при филтрите от втори ред се налага високоговорителите имащи една и съща разделителна честота да бъдат включени противоположно един на друг- при двулентовите озвучителни тела нискочестотния и високочестотен високоговорители са включени с взаимно обратен поляритет, а при трилентовите-нискочестотния и високочестотен високоговорители са включени с еднакъв поляритет, а средночестотния-с обратен. Поляритета на високоговорителите е означен на изводните пера с точка до едното перо или знак +. Ако такова означение липсва или е изтрито, то поляритета лесно може да бъде определен с помощта на източник на постоянно напрежение 1,5V, който се свързва за кратко време към изводните клеми на високоговорителя и се следи в каква посока ще се придвижи мембраната. Ако тя се придвижи напред, там където е бил свързан положителния полюс на токоизточника се означава поляритет + на високоговорителя (или точката при другото означение).

След оразмеряването на елементите на филтъра се подбират най-близките стандартни стойности на кондензаторите и се уточняват необходимите стойности на индуктивността на бобините. При филтрите за озвучителни тела се използват главно бобини без феромагнитна сърцевина, понеже последната при големи токове се насища и довежда до повишени изкривявания. Оразмеряването на такива бобини може да стане с помощта на формулата:

$$L = \frac{320a^2n^2}{6a+9b+10c} \cdot 10^{-8}, \text{H} \quad (10.56)$$



Фиг.10.23

където a е средния радиус на намотката, b е височината на тялото, върху което е навита бобината, c е височината на намотката (разликата между външния диаметър на бобината и диаметъра на тялото, върху което е навита тя).

Най-голяма индуктивност при минимални размери се получава при квадратна форма на намотката. Оразмеряването на такива бобини може да стане с помощта на формулата:

$$a = \sqrt[3]{\frac{d_{из.}^4 L 10^7}{25,5}} \quad (10.57)$$

където $d_{из.}$ е диаметърът на проводника с изолацията.

Диаметърът на проводника се подбира с оглед плътността на тока да не надвишава $3,5\text{A}/\text{mm}^2$.

Броят навивки е:

$$n = \frac{a^2}{d_{из.}^2} \quad (10.58)$$