

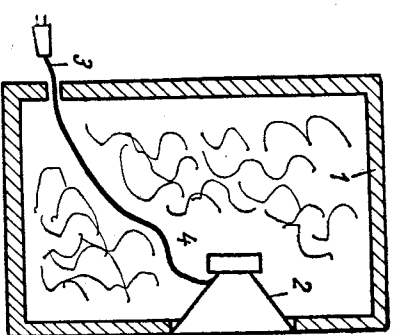
ГЛАВА ЧЕТВЪРТА
КОНСТРУИРАНЕ НА ОЗВУЧИТЕЛНИ ТЕЛА
ЗА ДОМАШНО ПОЛЗВАНЕ

4.1. ЕДНОЛЕНТОВИ ОЗВУЧИТЕЛНИ ТЕЛА

Принципната конструкция на еднолентово озвучително тяло със затворен обем е дадена на фиг. 4.1.

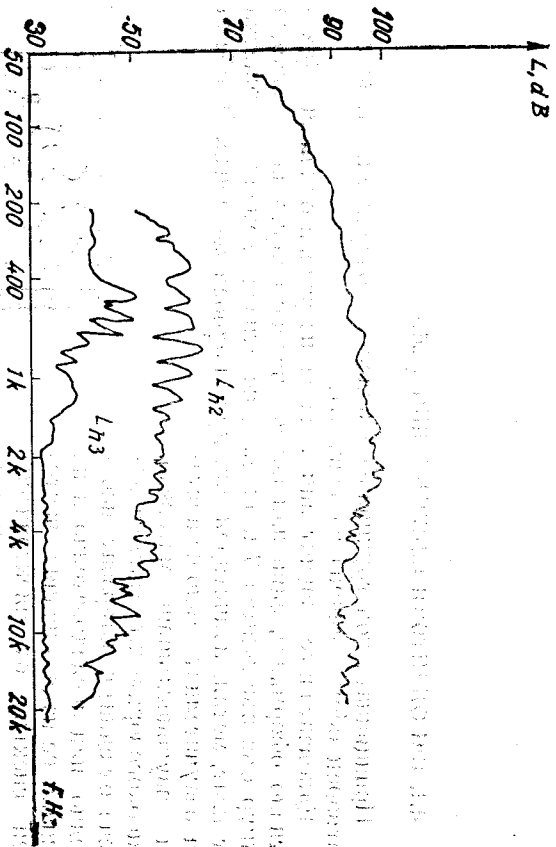
Еднолентовите озвучителни тела са изградени от кутия 1 (акустично оформяне), един или повече високоговорители 2, изведен шнур със съединител 3 и диев декоративен елемент — решетка от плат, метал, полистирол или друг подобен материал. В обема на озвучителното тяло се поставя звукопоглъщащ материал. Високоговорителите (ако са повече от един) се свързват паралелно или последователно и на всички се подава целият честотен спектър от електрически сигнали, съответстващи на възпроизвежданата музикална или говорна програма.

За практическа реализация на еднолентови озвучителни тела се използват широколентови високоговорители, които обикновено не отговарят на изискванията за Hi-Fi клас. Затова еднолентовите озвучителни тела се характеризират със сравнително ниски качества показателни и се причисляват към категорията озвучителни тела за обща употреба. Използват се предимно за комплетиране към радиоприемни устройства, телевизийни приемници, грамофони и усилватели в моно- и стереокъплярните от втори и трети клас. Най-често еднолентовите озвучителни тела имат сравнително голяма чувствителност за сметка на по-тесен че-



Фиг. 4.1

стотен обхват и по-големи нелинейни изкривявания. Поради високата им чувствителност те създават сравнително високо ниво на звуковото налягане при консумиране на малка електрическа мощност. Затова се използват към устройства с малка изходна



Фиг. 4.2

мощност. Тези озвучителни тела са обикновено с нетолям обем и често могат да се вместят между книгите в библиотеката. Основното при тях е ниската им цена.

Промисленото производство и асортиментът на произвежданите еднолентови озвучителни тела не са големи. В нашата страна се произвежда само озвучително тяло тип О1М2-07, което принадлежи към този клас. Основните му параметри са: паспортна мощност 6 W, номинален честотен обхват от 100 до 15 000 Hz, при неравномерност на честотната характеристика не повече от 14 dB, характеристична чувствителност, не по-малка от 0,6 Pa W^{-0,5}, коефициент на хармонични изкривявания, не по-голям от 3%. Номиналният му импеданс е 4 Ω. Честотната му характеристика, снета при 4 W на 1 m по оста, е дадена на фиг. 4.2, където са дадени и характеристиките на втория и третия хармоник. Посочените да-

раметри на озвучителното тяло са фактически измерени. Паспортната мощност може да се приеме за 8 W. Пред високоговорителя е поставена решетка от декоративен плат.

С произвежданите български широколентови високоговорители могат да се конструират и изработят в домашни условия еднолентови озвучителни тела със затворен обем, с които да се подобрят звученето на притежавано радиотехническо устройство — радиоприемник, телевизionen приемник, грамофон и др. Озвучително тяло със затворен обем ще възпроизвежда много по-добре музиканите програми, отколкото монтираният към кутията високоговорител. Дори и при използване на същия високоговорител ще се получи по-добър ефект.

За озвучителните тела, които са обект на изчисление в книгата и не се произвеждат у нас (нямат промишлено типово означение), е възприето следното означение: първа цифра — брой на лентите; ОТ — озвучително тяло; две цифри, показващи паспортната мощност; цифра, определяща поредния номер от даден тип.

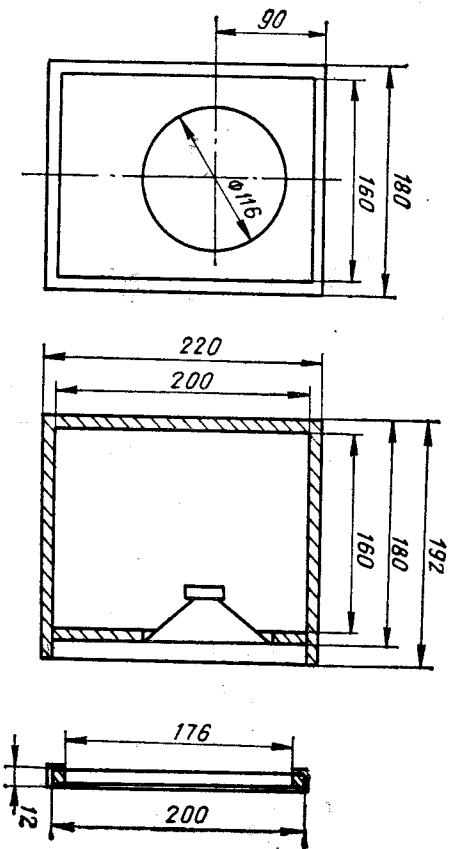
Еднолентово озвучително тяло тип 10Т6-1. Използува се кръгъл високоговорител с номинален диаметър $\varnothing 125$ mm тип ВК0822. По дадените в гл. I данни на високоговорителя може да се избере обем на озвучителното тяло и да се определи какви ще бъдат параметрите му. По-добре е обаче да се зададе резонансната му честота, която при озвучителните тела със затворен обем гарантира в значителна степен долната гранична честота. Ако се приеме за задволигелна долната гранична честота (на ниво — 10 dB) да бъде 80 Hz, тогава резонансната честота на озвучителното тяло може да се приеме 100 Hz. За еквивалентната гъвкавост на обема и на високоговорителя се получава $c_{ж\omega} = 0,48 \cdot 10^{-3} \text{ mN}^{-1}$. За гъвкавостта на обема се получава $c_{ж\omega} = 0,96 \cdot 10^{-3} \text{ mN}^{-1}$, а обемът е $V = 5,4 \text{ dm}^3$.

В действителност обемът може да бъде и малко по-малък, тъй като в него ще се постави звукопоглъщащ материал, в резултат на което се намалява ϕ , а оттам и обемът V . Размерите на кутията на озвучителното тяло са дадени на фиг. 4.3*. При тези размери обемът на кутията ще бъде $V = 5,12 \text{ dm}^3$. Той е достатъчен за получаване на избраната долна гранична честота. За звукопоглъщащ материал може да се използва ямболена вата, минерална вата, изкуствен памук и други подобни материали. В това озвучително тяло е достатъчно да се постави 50 g звукопоглъщащ материал.

Кутията може да се изработи от шперплат с дебелина 10 mm

* Всички размери на кутията на озвучителните тела са в mm.

или от плочи от дървесни частици (талашит) с дебелина 8—10 mm. Външната повърхност трябва да се фурнирова, а може и да се оцвети с черна лакова боя. Принципната конструкция на кутията е дадена на фиг. 4.3. Отворът за високоговорителя на лицевата



Фиг. 4.3

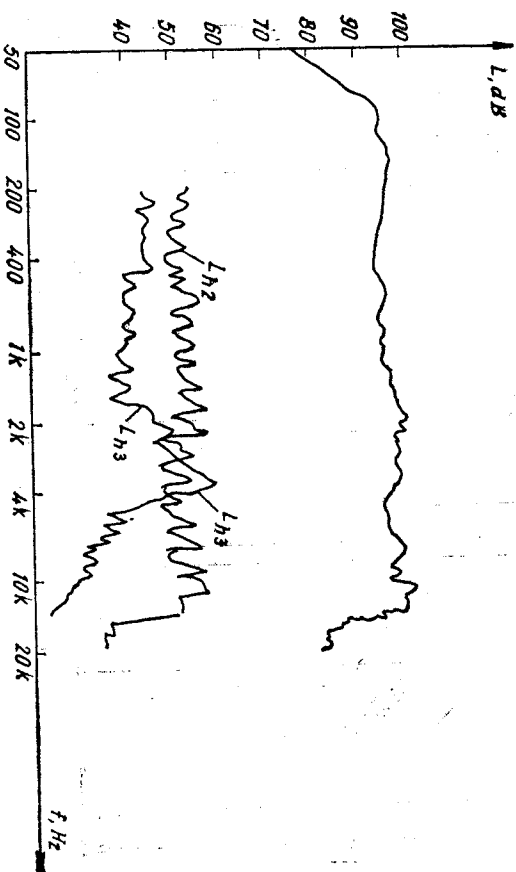
та повърхност на кутията трябва да се разположи несиметрично по височината. Това спомага за изглаждане на честотната характеристика на озвучителното тяло. Лицевата част на кутията трябва да се оцвети с черна лакова боя. Със същата боя трябва да се оцвети и видимата лицева повърхност на шасито на високоговорителя (ако не е оцветена от завода-производител). Това се налага от естетични съображения — да не прозира през декоративната решетка блестящи метални частици или неравности-те по повърхността на кутията.

Високоговорителят трябва да се закрепил лицево (от външната страна на кутията) с ралидни (самонарязващи) винтове. Между високоговорителя и кутията трябва да се постави материал, който да осигури звуконепроницаемост. Може да се използва лента от гума или мек накуствена материя. Най-добре е обаче да се постави болкиг трайноеластичен, който намира широко приложение в строителството.

Декоративната лицева решетка може да се оформи като дървена рамка, върху която е добре огънат плат. Закрепяването му става към задната страна на рамката, но без да се натрупват по

няколко слоя плат един върху друг. Той може да се залепи към рамката или да се закове с машинка за теглод. За декоративен плат може да се използва тренира, за предпочитане черна. Изводният проводник трябва да бъде $2 \times 0,5$ mm² или с по-голямо сечение, с дължина около 5 m и да завършва на двуцифров съединител. В отвора на кутията, през който преминава изводният проводник, трябва да се постави също болкиг, за да се уплътни.

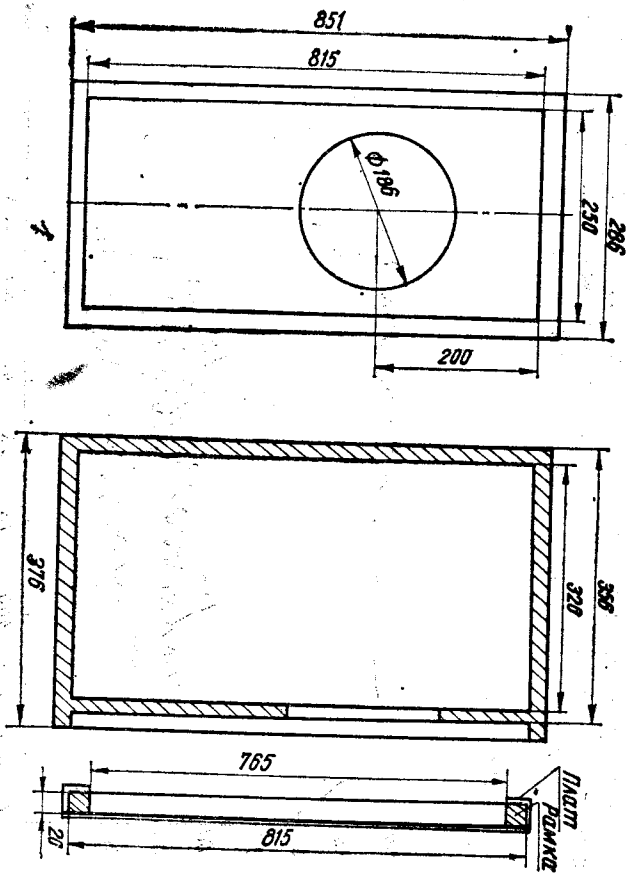
Паспортната мощност на озвучителното тяло е 6 W и то може да се комплектува към усилватели с номинална изходна мощност до 10 W без опасност от претоварване. Разбира се, усилвателят трябва да е разчетен за номинален товар 4 Ω , неговото изходно съпротивление трябва да бъде много малко. Номиналният честотен обхват на озвучителното тяло ще бъде от 80 до 15 000 Hz при неравномерност на честотната характеристика до 12 dB. Коэффициентът на хармонични изкривявания е малък — отговаря на изискванията за озвучителни тела от Hi-Fi клас.



Фиг. 4.4

На фиг. 4.4 е показана честотната характеристика на озвучително тяло тип 10T6-1 заедно с честотните характеристики на втория и третия хармоник. Измерванията са проведени със синусоидален сигнал.

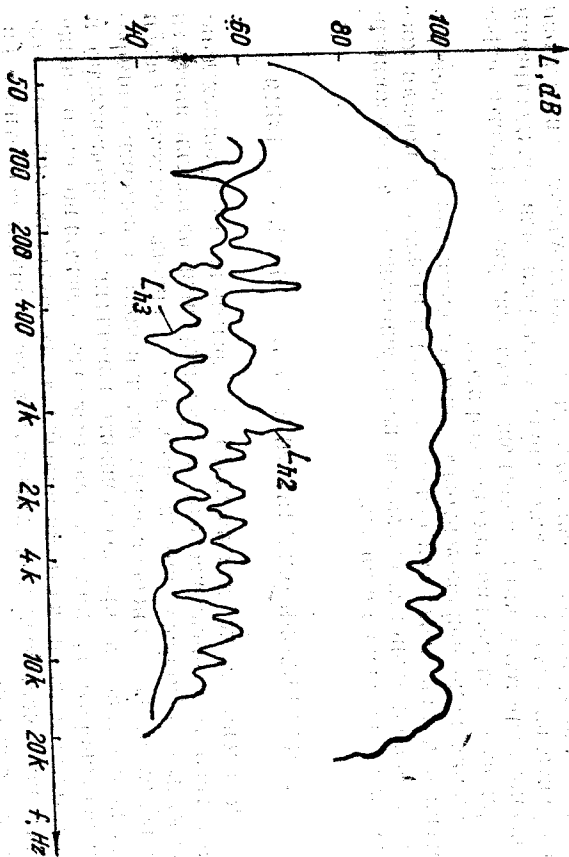
Еднолентово озвучително тяло тип 10Т20.1. За комплектване към по-мощни радиотехнически устройства за обща употреба може да се конструират озвучителни тела с един високоволт-ворител, но с по-голяма мощност. Подходящ за такива озвучителни тела е широколентовият високоволт-ворител с номинален диаметър $\varnothing 200$ mm тип ВК201Б4. Гъвкавостта на високоволт-ворителя, а звукоизлъчващата му повърхност е сравнително голяма. За създаване на озвучително тяло, което ефективно да преобразува сигнала с ниска честота, ще бъде необходим сравнително голям обем. Према се озвучителното тяло да бъде с резонансна честота $f_0 = 85$ Hz. От това условие се определя необходимата вивалентна гъвкавост $c_{вк} = 0,232 \cdot 10^{-3} \text{ mN}^{-1}$. Гъвкавостта на обема е $c_{вк} = 0,52 \cdot 10^{-3} \text{ mN}^{-1}$. Обемът на озвучителното тяло се получава $V = 42 \text{ dm}^3$.



Фиг. 4.5

Този обем е голям и кутията трябва да бъде голяма със значително висока цена. Като се използва звукопоглъщащ материал, може да се намали обемът поради намаляване на ψ . Ако процесът в озвучителното тяло стане изотермичен, тогава $\psi = 1$ и обемът

може да се намали до 30 dm^3 . На практика не се запълва целият обем със звукопоглъщащ материал и затова може да се приеме $\psi = 1,1 - 1,2$, при което за обема се получава $V = 33 - 36 \text{ dm}^3$. Поради малките загуби в трептящата система на високоволт-ворителя и високия му качествен фактор озвучителното тяло ще има четката характеристика с подем в областта на резонансната му честота. Долната му гранична честота ще бъде около 70 Hz. Паспортната мощност на това озвучително тяло ще бъде 20 W, като то може да се комплектува към усилвателни устройства с номинална входна мощност до 30 W без опасност от повреди поради претоварване. Номиналният му честотен обхват е от 70 до 12 500 Hz при неравномерност на честотната характеристика 14 dB. Характеристичната му чувствителност е не по-малка от 0,7 Pa W^{-0.5}. Поради по-големите размери на кутията и по-голямата мощност на озвучителното тяло, при която налягането в обема ще бъде по-голямо, се налага кутията да се изработи от плоча от



Фиг. 4.6

дървесни частници (галашифт) с дебелина 18 mm. Високоволт-ворител се закрепва несиметрично по направлението на височината, за да се получи по-голяма честотна характеристика на озвучителното тяло. На фиг. 4.5 е показана конструкцията на кутията.

В обема на кутията трябва да се постави 150—200 g звукопогълщащ материал или (ако не се определи масата му) — да се напълни добре обемът, но без да се натъква.

Честотната характеристика на озвучителното тяло с характеристиките на втория $L_{н2}$ и третия $L_{н3}$ хармоник е дадена на фиг. 4.6. Тези характеристики са снетни при подаване на високоговорителя на мощност 4 W, при което нивото на средното звуково налягане е 97 dB. За високоговорителите с по-голяма паспортна мощност е за предпочитане коефициентът на хармоничните им изкривявания да се определи при условия, близки до условията, при които се провежда измерването за озвучителни тела от Н-Н-1 клас.

Озвучително тяло със същите параметри, но с номинален импеданс 8 Ω може да се реализира, като се използва високоговорител тип ВК201В8.

Казаното за кутията, закрепването на високоговорителя, одветването и др. при 10Т6-1 трябва да се има предвид и при изпълнение на това озвучително тяло.

По излюстрирания начин може да се конструират еднолентови озвучителни тела и с редица други български или чуждестранни високоговорители, като се познават или измерят основните параметри на използвания високоговорител.

Обикновено широколентовите високоговорители имат електрически и първостепенен фактор с големи стойности, поради което са неподходящи за създаване на озвучителни тела с фазоинвертор или с пасивна мембрана.

4.2. ДВУЛЕНТОВИ ОЗВУЧИТЕЛНИ ТЕЛА — ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

Посочено бе, че изискванията за ефективно възпроизвеждане на сигналите с ниска честота са противоречиви на изискванията за ефективно преобразуване на сигналите с висока честота. Освен широколентовите високоговорители, при които е намерено компромисно решение на противоречивите изисквания, се произвеждат и високоговорители, които да преобразуват ефективно само сигналите от определен честотен подобхват на звуковия спектър — това са нискочестотните, средночестотните и високочестотните високоговорители.

Интермодулационните изкривявания и изкривяванията, дължащи се на доплеровия ефект, могат да се избегнат само като сигналите се на доплеровия ефект, могат да се избегнат само като сигналите

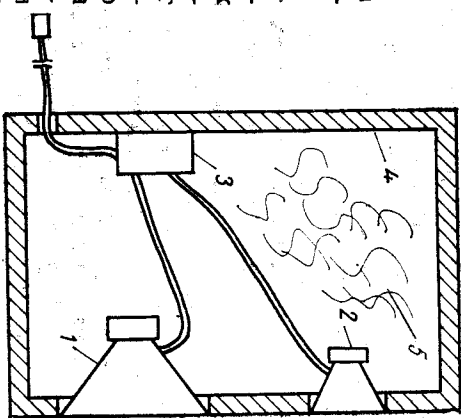
1 Доплеров ефект — изменение честотата на излъчвания сигнал при движение на излъчвателя със скорост v . Изменението зависи от отношението на скоростта v към скоростта на разпространение на звука c .

налите с ниска и висока честота се излъчват от различни високоговорители. При това трябва да се има предвид следното: интермодулационните изкривявания са продукт на нелинейност на системата и ако преобразувателят се направи една абсолютно линейна система, интермодулационните изкривявания се свеждат до нула. Не така стои обаче въпросът за изкривяванията, дължащи се на доплеровия ефект — те са продукт на движението на излъчващата система и не зависят от това, дали системата е линейна или не. При една абсолютно линейна система изкривявания от доплеров ефект пак ще има, защото даден високочестотен сигнал се излъчва от същата мембрана, която трепти, движи се и под действието на нискочестотен сигнал. Така се стига до заключението, че висококачествените озвучителни тела трябва да се изграждат от два или повече високоговорителя, излъчващи сигналите само от определен подобхват на звуковия спектър.

На фиг. 4.7 е показана принципната конструкция на двулентово озвучително тяло.

Възпроизвеждането на сигналите с ниска честота се определя главно от използвания нискочестотен високоговорител и от вида на акустичното му оформление. Ако то е затворен обем — от големината на този обем, респ. от големината на гъвкавостта на обема. Ако е затворен обем с фазоинвертор или с пасивна мембрана — от съотношението на параметрите, което определя един или друг вид честотна характеристика. Обемът на озвучителното тяло се запълва със звукопогълщащ материал.

Възпроизвеждането на сигналите с висока честота се определя почти единствено от високочестотния високоговорител, като известно влияние може да окаже намирацията се пред него декоративен елемент. За избягване влиянието на нискочестотния високоговорител върху високочестотния звуковото налягане в обема не трябва да действува върху трептящата система на високочестот-



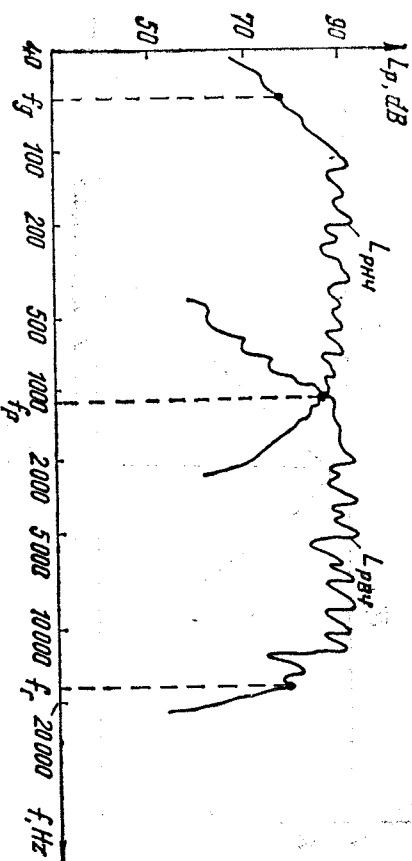
Фиг. 4.7

ния високоговорител. Това се постига, като последният се изолира от обема на озвучителното тяло — ако е високоговорителят с конусна мембрана, трябва да се затвори в собствен обем от 1—2 dm³, ако е куполен или лентов високоговорител, трябва да се вземат мерки за добро уплътняване между елементите на конструкция му. Ако звуковото налягане в обема действува върху трептящата система на височестотния високоговорител, тя ще трепти в такт с изменението на звуковото налягане в обема, т. е. в такт с трептенията на нискочестотния високоговорител, и към тези трептения ще се наслагват височестотните трептения, породени от действието на излъчвания сигнал. При тези условия изкривяванията от долтеров ефект си остават. Ефектът от разделилното на звуковия спектър и възпронизвеждането му от отделилния високоговорител ще бъде незначителен. Освен това, ако звуковото налягане в обема действува върху лентичката на лентовия високоговорител, ще предизвика деформации в нея, от което ще се появят допълнителни изкривявания.

Основен въпрос при двулентовите озвучителни тела е въпросът за съгласуване излъчването на двата високоговорителя, така че честотната характеристика да се получи с много малка неравномерност. Друг важен въпрос е импедансът на озвучителното тяло да не става по-малък от 80% от обявената номинална стойност.

Едно сполучливо решение би се получило, ако характеристикните чувствителности на двата високоговорителя са равни, а ефективните им честотни обхвати са ограничени, така че да се застъпят, без да се припокриват. За честотата f_p , за която двете честотни характеристики се пресичат, всеки високоговорител трябва да създава звуково налягане, чието ниво е с 3 dB по-ниско от нивото на средното му звуково налягане, както е показано на фиг. 4.8. Честотата f_p се нарича разделителна честота. При тези условия двата високоговорителя може да се свържат паралелно (или последователно), като честотната характеристика на озвучителното тяло ще бъде идеална. Но в този случай на двата високоговорителя се подава целият честотен спектър от електрически сигнали, т. е. на входа на височестотния високоговорител постъпват и сигналите с ниска честота, а на входа на нискочестотния — и сигналите с висока честота. Независимо че не излъчват във външния обем си висока честота, двата високоговорителя консумират електрическа енергия. Това означава, че височестотният високоговорител трябва да може да издържа (толгино и механично) въздействието на сигналите с ниска честота, без да се разрушава. Друг недостатък на това решение е, че половината от отда-

ваната мощност се изразходва, като се превръща в топлина в звуковата bobина на високоговорителя, който не излъчва в дадения подобхват. Импедансът на високоговорителите трябва да бъде два пъти по-голям при паралелно свързване или два пъти

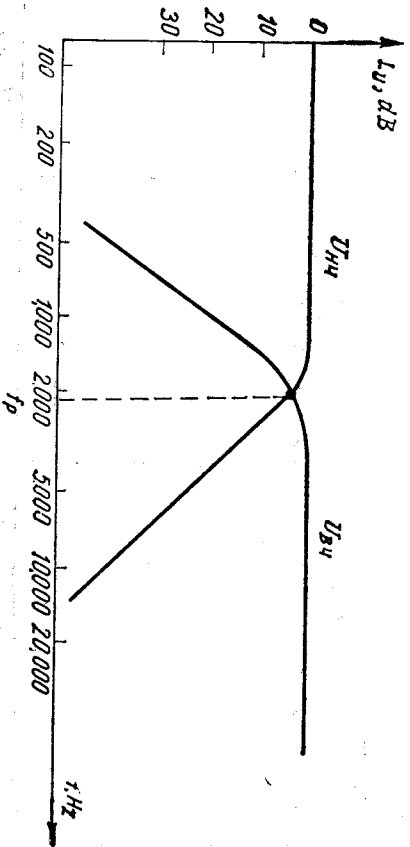


Фиг. 4.8

по-малък при последователно свързване от номиналния импеданс на озвучителното тяло. На практика е трудно да се реализират високоговорители, чиито честотни характеристики да бъдат близки до дадените на фиг. 4.8. Освен това височестотните високоговорители в никакъв случай не могат да издържат въздействието на сигналите с ниска честота. Като се вземе предвид и намалената ефективност на преобразуването, се стига до заключение, че това решение не е целесообразно. Затова се налага спектрално разделяне на електрическият сигнал, който се подава към високоговорителите. За целта се използват електрически разделителни филтри. С помощта на електрическите филтри електрическа енергия се подава само на този високоговорител, който излъчва в дадения подобхват.

При конструиране на филтрите също се приема, че двата високоговорителя имат равни характеристични чувствителности и в обхватите, в които функционират, трябва да им се подават равни по големина напрежения. За разделителната честота нивото на напрежението на всеки от високоговорителите трябва да бъде с 3 dB по-ниско от нивото в обхвата, в който функционират. Честот-

ната характеристика на напрежението, подавано на входа на всеки от високоговорителите, трябва да има вида, даден на фиг. 4.9. В честотния обхват на пропускане на филтъра неговият входен електрически импеданс е равен на електрическия импеданс на



Фиг. 4.9

Високоговорителя, включен като товар на филтъра. Върн от обхвата на пропускане входният импеданс на филтъра нараства постепенно и достига много големи стойности. Но обхватът на непропускане за единия филтър е честотен обхват на пропускане за другия филтър. За получаване на импедансно съгласуване с усилвателя двата високоговорителя обикновено са с равни по стойност входни импеданси; номиналният импеданс на озвучителното тяло ще има същата стойност. Тук е необходимо да се направи пояснение — номиналният импеданс на единия от високоговорителите може да бъде и по-голям от номиналния импеданс на другия, обаче за номинален импеданс на озвучителното тяло се приема по-малката стойност. Това е така, защото за номинална се приема най-малката стойност на импеданса в целия звуков обхват. В отделни подобрения импедансът може да има значително по-големи стойности, стига това да не се отрази неблагоприятно върху честотната характеристика на озвучителното тяло. Например, ако нискочестотният високоговорител е с номинален импеданс 8 Ω , а високочестотният — 4 Ω , номиналният импеданс на озвучителното тяло ще бъде 4 Ω .

4.3. ДВУЛЕНТОВИ ОЗВУЧИТЕЛНИ ТЕЛА С РАЗДЕЛИТЕЛЕН ФИЛТЪР ОТ ПЪРВИ РЕД

Най-лекият начин за създаване на двулентово озвучително тяло е да се използва високочестотен разделителен филтър от първи ред само по отношение на зхранването на високочестотния високоговорител с електрическа енергия, а на нискочестотния високоговорител се подава целият спектър от електрически сигнали на изхода на усилвателя. Електрическата схема на свързване на озвучителното тяло е дадена на фиг. 4.10а, а честотната характеристика на подаваното на високоговорителите електрическо напрежение — на фиг. 4.10б.

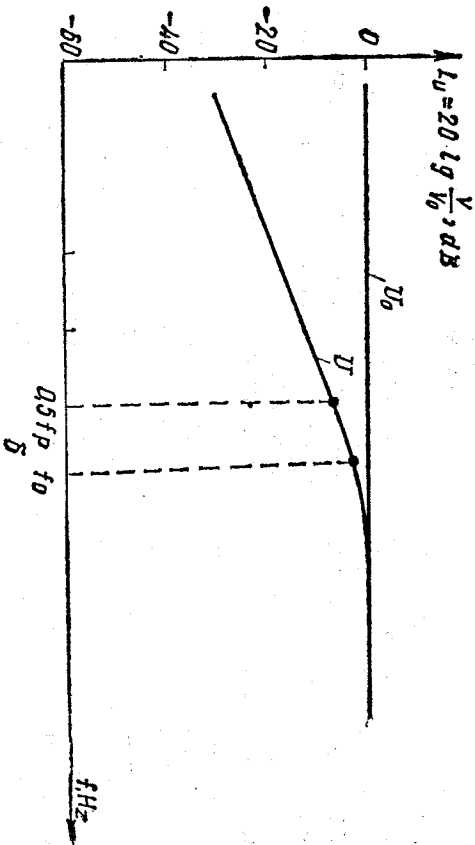
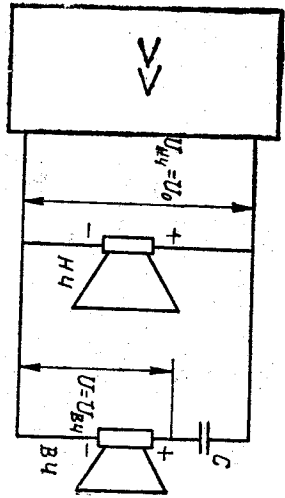
Двулентово озвучително тяло с високочестотен разделителен филтър от първи ред може да намери практическа реализация само при спазване на следните три основни изисквания: разделителната честота на високочестотния филтър да съвпада с честотата, след която излъчването на нискочестотния високоговорител започва да намалява;

входният импеданс на нискочестотния високоговорител за разделителната честота на високочестотния филтър да бъде с приблизително два пъти по-голяма стойност от номиналната стойност на импеданса на същия високоговорител;

номиналният импеданс на високочестотния високоговорител да бъде два пъти по-голям от номиналния импеданс на нискочестотния или поне стойността на входния импеданс на високочестотния високоговорител за разделителната честота да бъде два пъти по-голяма от стойността на номиналния импеданс на нискочестотния високоговорител.

Второто и третото изискване се налагат от факта, че в честотния обхват над f_p двата високоговорителя са свързани паралелно и ако те не са изпълнени, съществува опасност входният импеданс на озвучителното тяло да се получи значително по-малък от обявената номинална стойност, вследствие на което може да се претовари и повреди усилвателят. В повечето случаи се приема решението, при което номиналният импеданс на високочестотния високоговорител е два пъти по-голям от този на нискочестотния. Например за озвучително тяло с номинален импеданс 4 Ω се приема нискочестотният високоговорител да бъде с номинален импеданс 4 Ω , а високочестотният — 8 Ω . Необходимо е да се има предвид обаче, че при това решение ефективността на високочестотния високоговорител се намалява — при поддържане на входната на озвучителното тяло на постоянно по-големина напрежение в целия честотен обхват високочестотният високоговорител ще

консумира два пъти по-малка мощност от нискочестотния. В същото време нискочестотният високоговорител консумира електрическа мощност и над f_p , без да я преобразува в акустична. За получаване на равномерна честотна характеристика нивото на харак-

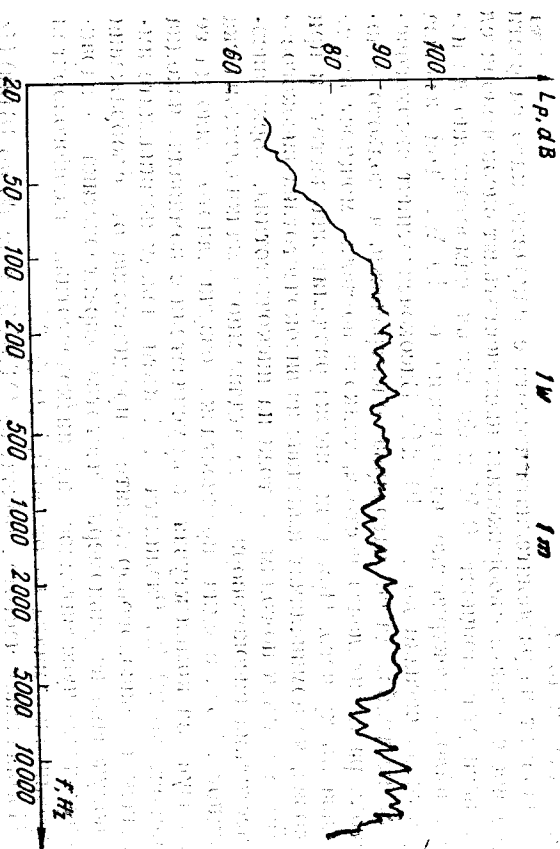


Фиг. 4.10

теристичната чувствителност на високочестотния високоговорител трябва да бъде с 2—3 dB по-високо от това на нискочестотния. По същество тези изисквания налагат да се избере сравнително висока разделителна честота от 6 до 8 kHz, а в някои случаи и до 12 kHz.

Двата високоговорителя трябва да бъдат синфазно свързани — означеният с „+“ край на двата високоговорителя да се свърже към една и съща точка на филтъра. Както бе установено във втора глава, фазовата разлика на напрежението върху товара на високочестотния филтер от първи ред спрямо входното напрежение клони към нула в честотния обхват на пропускане на филтъра. За самата разделителна честота тя е 45° . Ако двата високоговорителя не са свързани синфазно, създаването от тях звуковия полета ще бъдат противофазни и ще се унищожат — това се отнася за областта на разделителната честота и над нея. Докъдето излъчва и нискочестотният високоговорител.

Двулепиво озвучително тяло тип OTM-01. То се използва за комплектуване към стерефоничния радиоприемник тип



Фиг. 4.11

РС301. Купката му се изработва от пластмаса и има съвременен дизайн. Освен това е реализиран басрефлексен отвор с тръба, която подобрява излъчването на сигналите с ниска честота. Честотната характеристика с хармоничите на OTM-01 е дадена на фиг. 4.11. Номиналният импеданс на OTM-01 е 8Ω , като се из-

ползуват високоговорител тип ВЕ1523-1А8 с номинален импеданс 8 Ω и високоговорител тип ВВ1015 с импеданс 15 Ω. Разделителният кондензатор е с капацитет 4 μF.

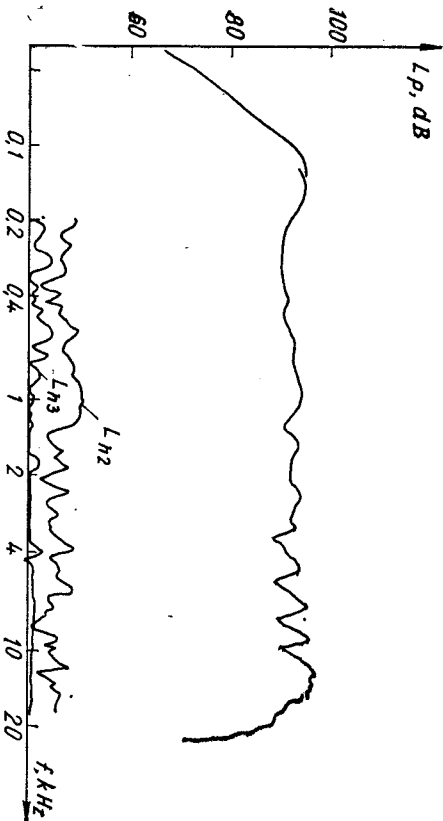
Двулемново озвучително тяло тип ОТМ-02. Произвежда се в същото акустично оформление, в което се произвежда и ОТМ-01. Използуват се озаче други високоговорители. Ниско-честотният високоговорител тип ВКН0922 е с номинален диаметър 160 mm. Паспортната мощност на озвучителното тяло е 10 W. То се комплектува към стереофоничния радиоприемник тип РС201, чиято изходна мощност е 10 W на канал. Високоговорителът тип ВКН0922 е с номинален импеданс 4 Ω. За високочестотен се използва високоговорителът тип ВВ1015. Кондензаторът на високо-честотния филтър е с капацитет 2 μF, при което разделителната честота се получава около 5 kHz — входният импеданс на ВВ1015 при 5 kHz е 16 Ω.

Изборът на разделителната честота е направен, като са взети предвид следните съображения: нискочестотният високоговорител е с паспортна мощност 20 W и би могъл самостоятелно да понесе цялото електрическо натоварване от 10 W. Той излъчва ефективно сигнали до 8—10 kHz. Високочестотният високоговорител не трябва да се натоварва електрически, а колкото е по-висока разделителната честота, толкова по-малка мощност ще се отдава върху него. При тази висока разделителна честота и при условие, че номиналният импеданс на високочестотният високоговорител е 4 пъти по-голям от този на нискочестотния, върху високочестотния високоговорител се отдава много малка електрическа мощност. Това е една предпоставка озвучителното тяло да се използва за комплектуване към усилватели с номинална изходна мощност до 20 W. Разликата от 4 пъти между номиналните импеданси на високоговорителите е продиктувана от съображения за получаване на равномерна честотна характеристика — характеристиката чувствителност на нискочестотния високоговорител е сравнително малка — около 0,5 Pa W^{-0,5}.

Номиналният честотен обхват на ОТМ-02 е от 80 до 16 000 Hz при неравномерност на честотната характеристика 12 dB, но фактически то преобразува ефективно сигнали в обхвата от 63 до 18 000 Hz. Характеристичната му чувствителност е по-голяма от 0,4 Pa W^{-0,5} (достига до 0,5—0,6 Pa W^{-0,5}). Коэффициентът на хармонични изкривявания е по-малък от 3% в целия честотен обхват. Честотната характеристика на ОТМ-02 с хармоничните е показана на фиг. 4.12.

Двулемново озвучително тяло тип ОТМ-03. То е също изделено от промишленото производство. Характеризира се с много

малкия си обем от 4,8 dm³, но въпреки това паспортната му мощност е 20 W. Нискочестотният високоговорител тип ВКН0823 е с номинален диаметър 125 mm, а високочестотният е тип ВВ108. Номиналният импеданс на озвучителното тяло е 4 Ω. Но-



Фиг. 4.12

миналният му честотен обхват е от 80 Hz до 16 000 Hz при неравномерност на честотната характеристика 12 dB. Чувствителността му е 0,4 Pa W^{-0,5}, а коэффициентът на хармонични изкривявания — по-малък от 3% в целия честотен обхват. Електрическата схема на свързване на високоговорителите е идентична с тази на фиг. 4.10 a. Кондензаторът във филтъра е с капацитет C=2 μF. Разделителната честота е 8 kHz — входният импеданс на ВВ108 е 10 Ω при тази честота.

Изчисляването на параметрите на ОТМ-03 се провежда в следната последователност:

определя се коэффициентът $\alpha=1,3$;
 определя се резонансната честота $f_0=91$ Hz;
 определя се електрическият качествен фактор $Q_e=0,76$;
 определя се гънният качествен фактор при $R_f=0-Q_r=0,59$.
 Качественият фактор на озвучителното тяло се получи много малък и честотната му характеристика няма да бъде максимално плоска, а ще започне да понижава нивото си при честоти, значаително по-високи от резонансната. За повишаване на качествен фактор е необходимо озвучителното тяло да се захранва от усилвател, чиято изходно съпротивление е по-голямо от нула. Точ-

ната му стойност се определя от изискването пълният качествен фактор на озвучителното тяло да бъде 0,707, като се използва зависимостта

$$R_1 = R \left(\frac{Q_e^2}{Q_r^2} - 1 \right) = 1,2 \Omega, \quad (4.1)$$

където $R = 3,6 \Omega$ е активното съпротивление на звуковата бобина, $Q_e = 0,98$ е необходимата стойност за Q_e , за да се получи $Q_r = 0,707$, която се определя от (3.17).

Следователно за предпочитане е озвучителното тяло тип ОТМ1-03 да се захранва от усилвател с изходно съпротивление 1,2 Ω .

Ако усилвателят е с изходно съпротивление, равно на нула, от (3.29 а) се получава $f_s = 112$ Hz.

Честотата, за която нивото на звуковото налягане се понижава с 6 dB, се определя от (3.29 б) — $f_6 = 78$ Hz.

Разликата между f_s и f_6 е много голяма, поради полетатия вид на характеристиката звуковото налягане се понижава с малка стърмност.

Ако се вземат необходимите мерки за увеличаване на Q_T до 0,707, се получава $f'_s = 91$ Hz, $f'_6 = 70$ Hz.

Честотата f'_s е по-ниска от f_s с 21 Hz, но f'_6 е по-ниска от f_6 само с 8 Hz. Следователно с увеличаване на качественния фактор се намалява честотата, за която нивото на характеристиката се понижава с 3 dB, но честотата, за която нивото на характеристиката се понижава с 6 dB, се намалява в по-малка степен.

За увеличаване на качественния фактор на озвучителното тяло бе препоръчано да се използва усилвател с $R_i = 1,2 \Omega$. Трябва да се има предвид обаче, че върху това съпротивление се губи значителна част от изходната мощност на усилвателя. С други думи, повишаването на качественния фактор с цел повишаване нивото на характеристиката на озвучителното тяло при f_s е за сметка на загуба на електрическа високочестотна енергия. Ако усилвателят е с ограничени възможности, това означава, че максималното ниво на звуковото налягане ще се понижи спрямо случая $R_i = 0$.

Увеличаването на качественния фактор може да се постигне и по друг начин — като се използва магнитна система с по-малък магнит, така че да се намали B_l . В този случай ще се намали k , п. д. на високоговорителя, ще се понижи нивото на характеристиката му чувствителност с 1 — 2 dB, но все пак от икономична гледна точка е за предпочитане — влагат се по-евтини материали във високоговорителя и не се превръща част от изход-

ната енергия на усилвателя в топлина върху едно допълнително съпротивление.

От направения анализ се налага изводът, че установените съотношения и изисквания не бива да се абсолютизират, не бива да се приемат сяко. След като се направят изчисленията, да се направи и обстоен анализ на получените резултати, като особено задълбочено се анализира влиянието на онези параметри, които са получени с известно отклонение от предписаните стойности. Да се пренеми с цената на какво може да се внесе корекция, която да доведе стойностите на всички параметри до предписаните. Ако получените резултат оправдава цената на корекцията, тогава може да се пристъпи към нейната реализация.

Може ли озвучителното тяло тип ОТМ1-03 да се реализира с фазинвертор?

Отговор на този въпрос ще дадат изчисленията.

Определя се пълният качествен фактор $Q_T = 0,42$, като се приема, че $R_i = 0$.

Тъй като обемът на озвучителното тяло е избран, а с това и коефициентът α е фиксиран, от графиките на фиг. 3.15 се определя

$$x_s = 1,2; h = 1,1; Q_T = 0,38; f_s = 72 \text{ Hz}; f_6 = 66 \text{ Hz}.$$

Получените данни показват, че може да се реализира фазинвертор. При това честотата, за която нивото на характеристиката се понижава с 3 dB, се получава достатъчно ниска — 72 Hz.

Фазинверторът трябва да се настрои на честота 66 Hz — резонансната честота на масата в тръбата на фазинвертора с гъвкавостта на обема.

Необходимо е обаче пълният качествен фактор да се намали на 0,38.

При тези параметри на озвучителното тяло честотната му характеристика в областта на ниските честоти ще съответствува на максимално плоска характеристика на високочестотен филтър квази-Батърворт от трети ред. Ако качественният фактор не може да се понижи до стойност 0,38, а останалите параметри запазят стойностите си, честотната характеристика на озвучителното тяло ще има подем в областта на f_s , по характер тя ще бъде нещо междинно между максимално плоска характеристика на филтър квази-Батърворт от трети ред и максимално плоска характеристика на филтър на филтър на Батърворт от четвърти ред.

Необходимо е да се изчислят параметрите на фазинвертора — сечение и дължина на тръбата.

Съгласно с [1] отношението между дължината и площта на сечението на тръбата се определя от зависимостта

$$\frac{l_{\phi}}{S_{\phi}} = \frac{3097}{f_{\phi}^2 V} = 148. \quad (4.2)$$

Приема се тръба с диаметър $D_{\phi} = 30$ mm и се определя площта на сечението ѝ $S_{\phi} = 7,1 \cdot 10^{-4}$ m². За дължината на тръбата се получава $l_{\phi} = 105,2$ mm.

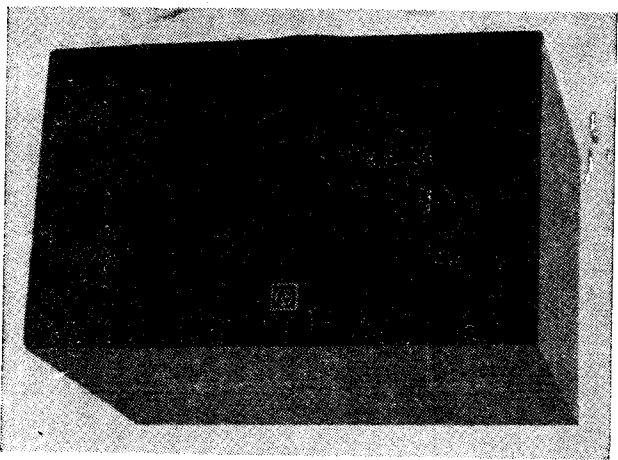
Получава се реализуеми за озвучителното тяло размери на тръбата на фазоинвертора — вътрешната дълбочина на кутията е 190 mm.

На фиг. 4.13 е даден външният вид на озвучителното тяло, а на фиг. 4.14 — честотната му характеристика с хармоничите.

При зададената стойност на прълния честотен фактор на озвучителното тяло или малко по-голяма от нея може да се реализира честотната характеристика, съответстваща на равновълнова характеристика на филтър на Чебишев от четвърти ред. Приема се $Q_T = 0,45$. От графиките на фиг. 3.15 се определят обобщените параметри: $\alpha = 0,66$; $x_3 = 0,88$; $h = 0,92$.

За параметрите на озвучителното тяло се определя: $V = 9,4$ dm³; $f_3 = 53$ Hz; $f_{\phi} = 55$ Hz.

Честотата, за която звуковото налягане се понижава с 3 dB, е 53 Hz. Това е много съществено подобрение, тъй като долната гранична честота на озвучителното тяло се получи по-ниска от 50 Hz, а това означава, че то може да се причисли към издължената от Hi-Fi клас. Цената, с която се заплаща това подобрение, не е ниска — почти двойно увеличаване на обема.

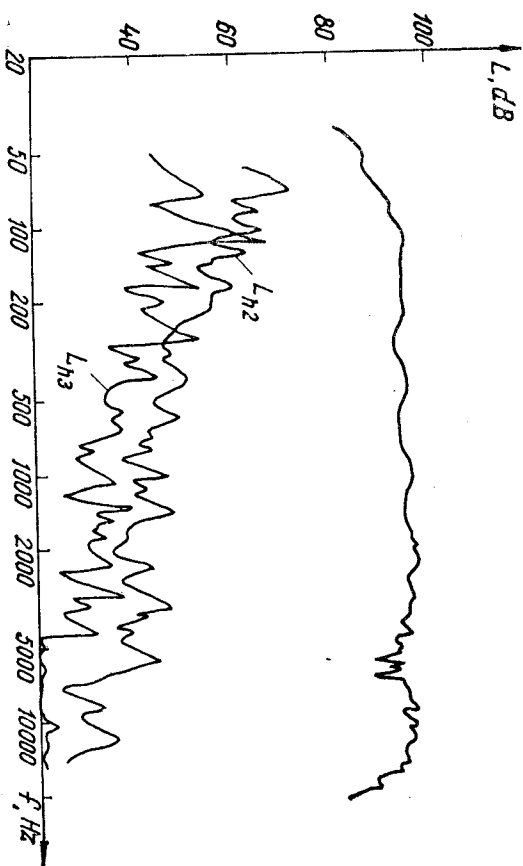


Фиг. 4.13

За получаване на новата резонансна честота на фазоинвертора се определя $\frac{l_{\phi}}{S_{\phi}} = 102$.

Ако се запази сечението на тръбата, за дължината ѝ ще се

получи много малка стойност. Затова се приема тръба с диаметър $D_{\phi} = 40$ mm, чието сечение има площ $S_{\phi} = 1,25 \cdot 10^{-3}$ m². За дължината на тръбата се получава $l_{\phi} = 128$ mm. Вътрешната дълбочина на кутията трябва да бъде поне 200 mm, за да може да се реализира фазоинверторът.

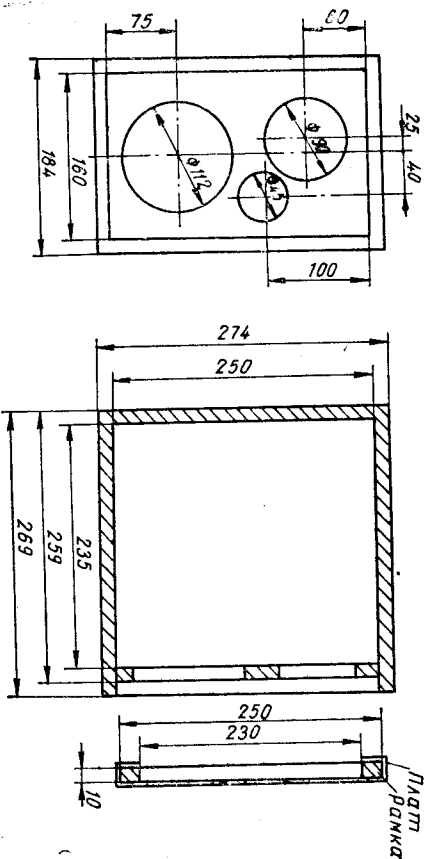


Фиг. 4.14

На фиг. 4.15 е показана конструкцията на кутията на озвучителното тяло. Поради неголемите размери е предвидено кутията да се изработи от плочи от дървесни частици с дебелина 12 mm. Реализирането на двугленови озвучителни тела с филтър само към високочестотния високоговорител срещу редица затруднения. Не винаги може да се намери високочестотен високоговорител, чиято чувствителност е с ниво 2—3 dB по-високо от това на нискочестотния. При равни чувствителности трябва да се комбинират високоговорители с еднакви номинални импеданси, но съществуват опасност от получаване на малък еквивалентен импеданс. Освен това нискочестотният високоговорител може да има широк ефективен честотен обхват и да излъчва до 12—15 kHz, от което може да се получат нежелани интерференции. В такива случаи се налага спектрално ограничаване на напрежението, което се подава на нискочестотния високоговорител. Сравнително лесно

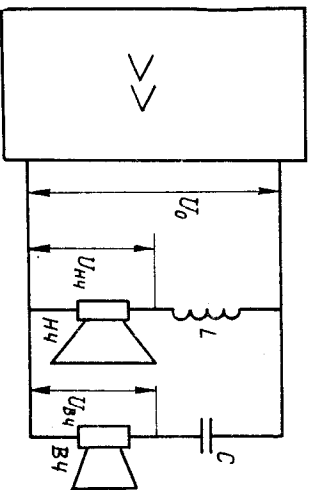
3000 Hz

се решава този въпрос, като се използвава нискочестотен филтър от първи ред. Електрическата схема на свързване на двулентово озвучително тяло с разделителен филтър, съставен от нискочестотен звено от първи ред и височестотно звено от първи ред, е



Фиг. 4.15

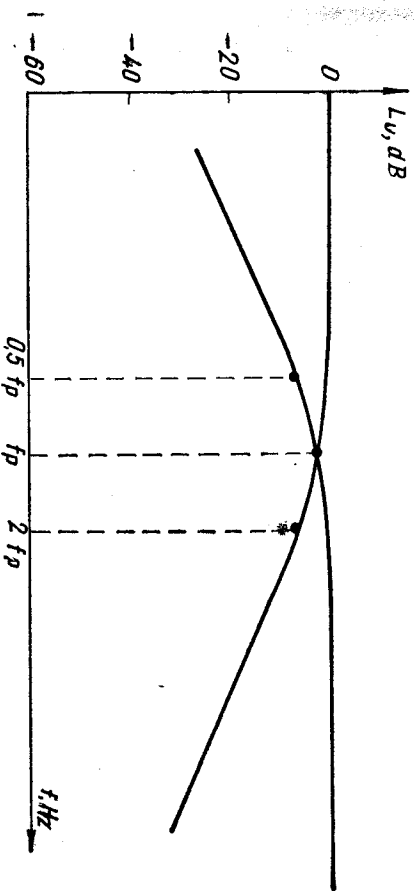
показана на фиг. 4.16. На фиг. 4.17 са показани честотните характеристики на нивото на подаването на всеки от високото-рителите напрежение.



Фиг. 4.16

При използване само на височестотен разделителен филтър понятието разделителна честота има относителен смисъл — показва само честотата, от която се включва да функционира и ви-

сокочестотният високочестотен филтър. Поради това нейният избор е по-свободен — основното изискване е импедансното съгласуване. При използване на нискочестотен и високочестотен филтър понятието разделителна честота става по-определено — не само



Фиг. 4.17

показва, че от тази честота се включва да функционира високочестотният високочестотен филтър, но от тази честота започва изключването на нискочестотния високочестотен филтър. При тези условия нейният избор е подчинен на редни изисквания. Трябва да се има предвид, че от правилния избор на разделителната честота зависи до голяма степен качеството на възпроизвежданата от озвучителното тяло музикална програма.

При избора на разделителна честота трябва да се вземат предвид параметрите на конкретните високочестотни филтри, с които ще се реализира озвучителното тяло. На първо място, трябва да се вземе предвид номиналният честотен обхват на всеки от тях. Ако нискочестотният високочестотен филтър излъчва ефективно до 3000 Hz, разделителната честота трябва да бъде по-малка от тази стойност. Ако високочестотният високочестотен филтър има номинален честотен обхват от 2500 Hz, разделителната честота трябва да бъде по-висока от тази граница. Тук е необходимо да се обърне внимание на това, че високочестотният високочестотен филтър може да излъчва ефективно и по-ниски, но не може да понесе голямо ниво или механично въздействие на сигналите с по-ниска честота и затова произволителът му е определил тази граница. По принцип нискочестотните и средночестотните високочестотни филтри не трябва да се

използват при по-ниски честоти от обявената от производителя им долна граница на номиналния честотен обхват. След това трябва да се вземат предвид диаграмите на насоченост на високочестотните. Ако не се разполага с тях, се прави преценка в зависимост от размерите или по-точно размера на високочестотния високочестотен филтър. Например високочестотният с диаметър 315 мм започва да излъчва твърде насочено от 2500 — 3000 Hz, докато високочестотният с диаметър 125 мм излъчва 5 — 6 kHz с приемлива насоченост. Обикновено при двуполетови озвучителни тела се приема разделителната честота да бъде между 2000 и 4000 Hz. Този избор не е много подходящ. Установено е, че точно в този обхват човешкото ухо е много чувствително и лесно възприема наличието на смущаващи интерференции или други явления в областта на разделителната честота. Според съвременните схващания разделителната честота трябва да бъде по-ниска от 800 — 1000 Hz или по-висока от 4000 — 5000 Hz. Ако се приеме ниска разделителна честота 1000 Hz, високочестотният високочестотен филтър трябва да има много широк номинален честотен обхват — от 1000 до 20 000 Hz. Ако се приеме висока разделителна честота, има опасност високочестотният високочестотен филтър да започне да излъчва насочено. От значение е за избора на разделителната честота и възможността за топлинно и механично натоварване на високочестотния високочестотен филтър. Ако високочестотният високочестотен филтър е с голяма паспортна мощност, а високочестотният — с по-малка, за съвместното им използване се налага високочестотният високочестотен филтър да се използва в по-тесен обхват от номиналния му. Става ясно, че изборът на разделителна честота не е лек проблем. Той се решава най-сполучливо, като за всеки конкретен случай се изработят идентични модели, но с различни филтри (различаващи се по f_p) и се проведе субективно прослушване. Избира се този филтър, с който озвучителното тяло звучи най-добре.

За разделителна честота на филтъра се приема честотата, за която нивото на изходното напрежение се понижава с 3 dB спрямо нивото в областта на пропускане. За разделителна честота f_p на озвучителното тяло се приема честотата, при която нивата на двете изходни напрежения (нискокостотния и високочестотния) се изравняват. Обикновено двете честоти съпадат, при което честотната характеристика на озвучителното тяло е най-равномерна. В действителност, ако в областта на разделителната честота честотните характеристики на двата високочестотни са прави линии с еднакво ниво и за самата разделителна честота им се подаде с 3 dB по-ниско напрежение, резултатната характеристика ще бъде

права линия. На практика обаче тези идеални условия рядко се осъществяват. Затова изискването за понижаване нивото на напрежението с 3 dB при разделителната честота трябва да се приеме твърде условно. С f_{pn} се означава разделителната честота на високочестотното звено, а с f_{ps} — на високочестотното. Ако нивото на честотната характеристика дори и на единия от високочестотните е по-високо в областта на разделителната честота, препоръчва се да се допусне по-голямо от 3 dB понижаване на нивото на напрежението за разделителната честота. Това е възможно, ако $f_{ps} > f_p$ и $f_{pn} < f_p$. Ако в областта на разделителната честота има падина в честотната характеристика дори на един от високочестотните, препоръчва се по-малко от 3 dB понижаване на нивото на напрежението при разделителната честота. Това е възможно, ако $f_{ps} < f_p$ и $f_{pn} > f_p$.

Двулетово озвучително тяло тип 20T10-1. Реализира се от високочестотните: високочестотен тип ВК138-А4 и високочестотен тип ВВ108. Високочестотният ВК138-А4 излъчва ефективно до 15 kHz и затова се налага ограничаване с филтър. Номиналният импеданс на високочестотния е 4 Ω , поради което високочестотният високочестотен филтър е избран с импеданс 8 Ω .

Избор на акустично натоварване. Избира се озвучително тяло със затворен обем $V = 10 \text{ dm}^3$.

Избор на разделителна честота. Поради неголемите размери на високочестотния високочестотен филтър се избира $f_p = 3500 \text{ Hz}$. Неществава опасност от претоварване на високочестотния високочестотен филтър, защото той е с два пъти по-голям импеданс.

Определене елементите на филтъра. За разделителната честота е измерен импедансът на високочестотния: на ВВ108 е 8 Ω , а на ВК138А4 — 5,2 Ω . Капацитетът на кондензатора е $C = 5,6 \text{ }\mu\text{F}$.

Приема се стандартна стойност $C = 4,7 \text{ }\mu\text{F}$.

Преизчислява се разделителната честота $f_p = 4150 \text{ Hz}$.

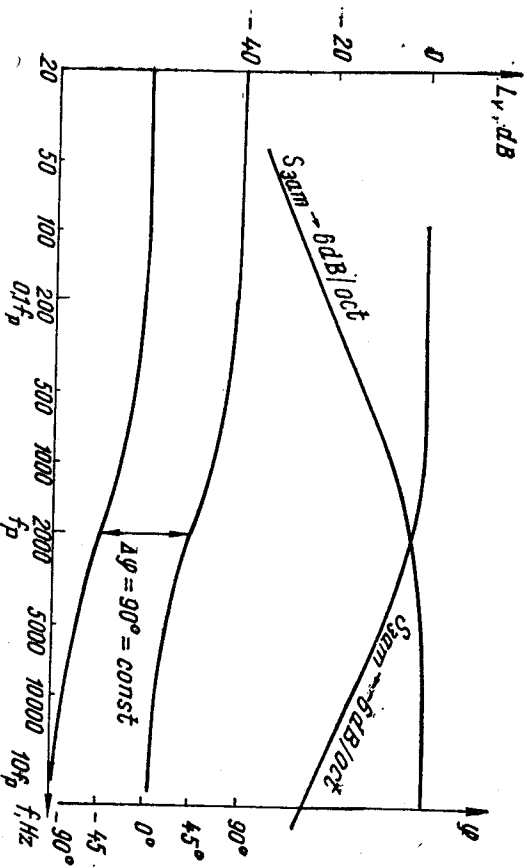
За тази честота импедансът на ВК138А4 е 5,4 Ω .

Определен се индуктивността $L = 0,21 \text{ mH}$.

За малки загуби в активното съпротивление на бобината трябва да се изработи от меден проводник с диаметър 1 mm. От табл. 2.1 чрез интерполиране се определя броят на навивките $n = 62$.

При анализа на разделителни филтри от първи ред се установи, че фазовата разлика между изходните и входните напрежения е различна по знак за високочестотния и високочестотния филтри. При използване на двата филтъра като звена на един филтър от значение е каква ще бъде фазовата разлика между из-

ходните напрежения едно спрямо друго, тъй като входното напрежение е еднакво и за двете звена. Ако се вземе разликата между фазовите разлики, определени с (2.21) и (2.10), ще се установи, че фазовата разлика между двете изходни напрежения е

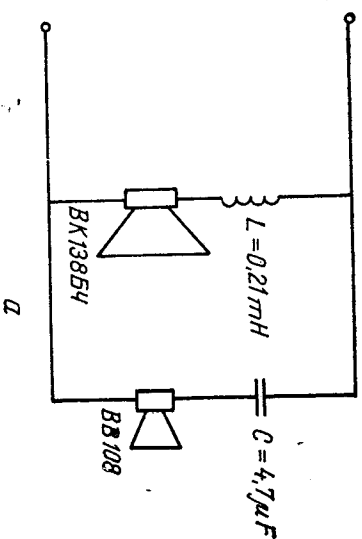


Фиг. 4.18

постоянна и равна на 90° . Това се вижда и от фиг. 4.18. Високочестотните се свързват по принцип сифазно, но в еднаква степен е допустимо и противофазното свързване, тъй като и в двата случая напреженията върху високоговорителите са дефазирани на 90° помежду си. Тези съждения са верни при условие, че двата филтъра са натоварени с активен товар, но както се посочи в първата глава, входният импеданс на високоговорителя е силно честотно зависим и има комплексен характер, от което се внасят допълнителни фазови разлики. Сифазното или противофазното свързване на високоговорителите се определя именно от тези допълнителни дефазирания и се установява предимно опитно. В случай е по-добре високоговорителите да се свържат сифазно.

При определяне елементите на филтъра също бе прието, че входният импеданс на високоговорителите е чисто активен. От това се допуска известна грешка, но за филтрите от първи ред тя не е голяма. Грешката ще бъде по-малка, ако при изчисленията се използва стойността на модула на импеданса за f_p , който

трябва да се измери. Ако не се разполага с данните за импеданса, може да се използва стойността на номиналния импеданс, но да се има предвид, че грешката е по-голяма. Електрическата схема на свързване на високоговорителите в озвучителното тяло е дадена на фиг. 4.19а.



Фиг. 4.19 а

Параметрите на озвучителното тяло се определят в следния

ред:

определя се коефициентът $\alpha = 0,71$;

определя се резонансната честота $f_0 = 89$ Hz;

определя се електрическият качествен фактор $Q_e = 0,94$;

определя се пълният качествен фактор $Q_T = 0,73$; стойността

на Q_T е по-голяма от 0,707 и в честотната характеристика ще се

получи лек подъем;

от (3.29а) при $R_1 = 0$ се определя $f_s = 86$ Hz;

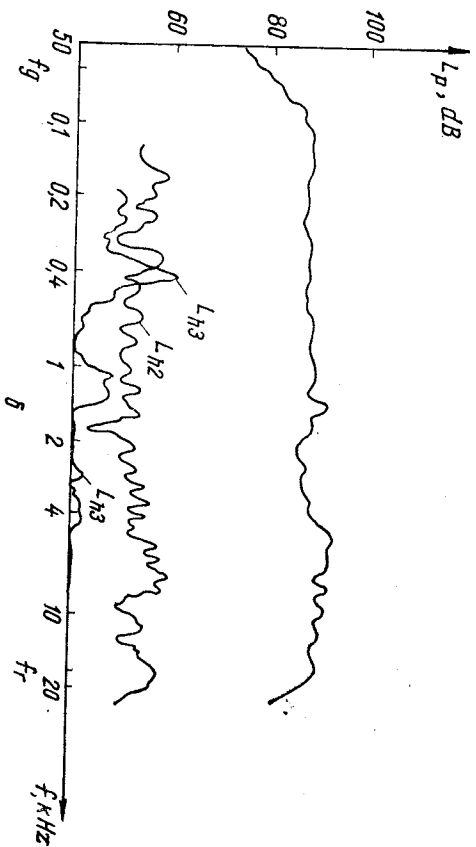
от (3.29б) се определя $f_6 = 67$ Hz.

Може да се приеме, че честотната характеристика се понижавя

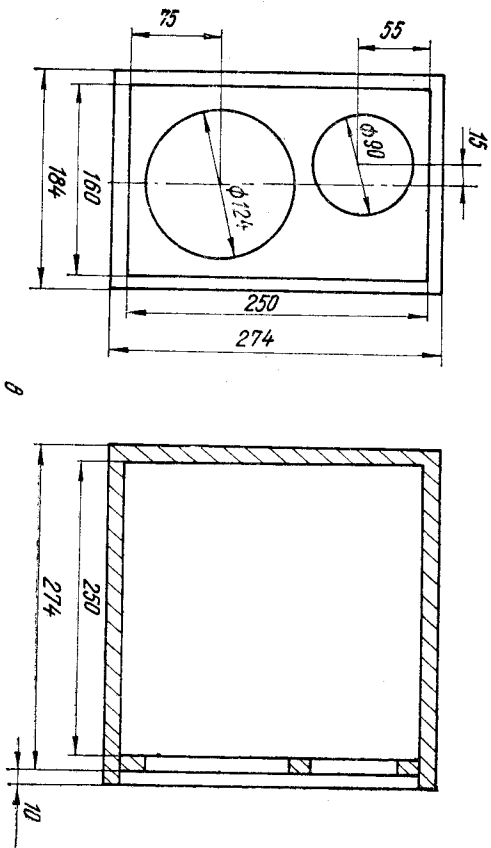
на ниво -8 dB при $f = 63$ Hz.

Следователно номиналният честотен обхват ще бъде от 63 до 18 000 Hz при обща неравномерност на честотната характеристика 12 dB. На фиг. 4.19б е дадена честотната характеристика с хармоничите на озвучителното тяло. Ласпортната му мощност е 10 W, а коефициентът на хармонични изкривявания — по-малък от 3% в целия честотен обхват. Конструкцията на кутията е дадена на фиг. 4.19в.

За разширяване на честотния обхват към ниските честоти озвучителното тяло може да се изгради с фазоинвертор. Изчислението се провежда в следния ред:



Фиг. 4.19 б



Фиг. 4.19 а

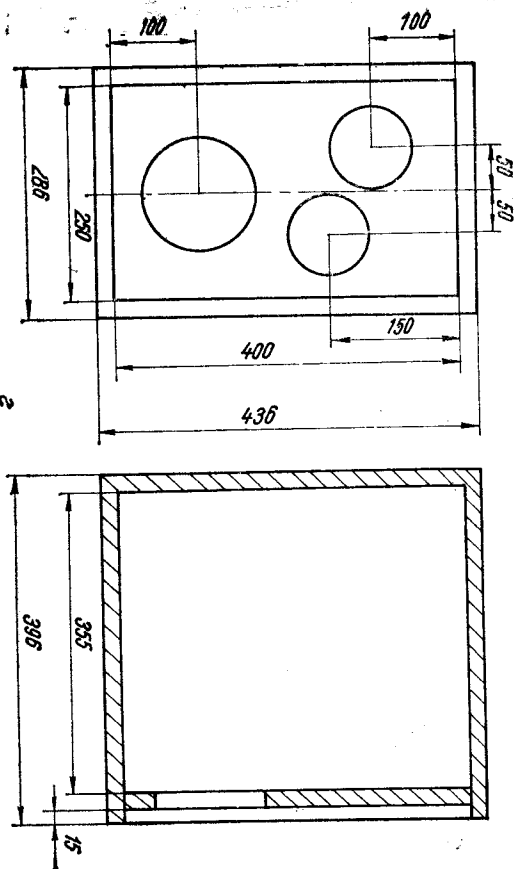
Приема се $R_s = 0$, а $Q_L = 5$ и за $Q_T = 0,59$ от графиките на фиг. 3.15 се отчита: $\alpha' = 0,2$; $x'_3 = 0,72$; $n' = 0,68$.

За параметрите на озвучителното тяло се получава $V' = 35,5 \text{ dm}^3$, $f'_3 = 50,5 \text{ Hz}$.

За сметка на значително увеличаване на обема се получи достатъчно ниска долна гранична честота. Честотната характеристика на озвучителното тяло ще съответствува на равномерна характеристика на филтър на Чейшев от четвърти ред с характерното стъръно спадане към ниските честоти.

Ако полученният обем е неприемлив, а при малкия обем е неприемлив честотният обхват на озвучителното тяло, трябва да се търси високоговорител с по-ниска собствена резонансна честота. Резонансната честота на фазоинвертора е $f_{\phi} = 46 \text{ Hz}$.

Съгласно (4.2) се определя $\frac{l_{\phi}}{S_{\phi}} = 41,5$.



Фиг. 4.19 в

Приема се тръба с диаметър $D_{\phi} = 80 \text{ mm}$ и се определя площта на сечението $S_{\phi} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$.

Определя се дължината на тръбата $l_{\phi} = 207,5 \text{ mm}$. Дълбочината на кутията (вътрешно) трябва да бъде не по-малка от 230 mm.

Конструкцията на кутията е дадена на фиг. 4.19 г. Дебелината на използваните плочи от дървесни частици трябва да бъде 18 mm

4.4. ТРИЛЕНТОВИ ОЗВУЧИТЕЛНИ ТЕЛА С РАЗДЕЛИТЕЛЕН ФИЛТЪР ОТ ПЪРВИ РЕД

Разделянето на звуковия спектър на три подобхвата, които да се възпроизведат от специални за тези обхвати високоговорители, предпазата редица предимства, отразяващи се благоприятно върху качеството на възпроизвеждане. Подобрено качество спрямо двулентовите озвучителни тела се дължи главно на следните фактори:

наличието на високоговорител, който възпроизвежда само сигналите със средни честоти, т. е. този честотен обхват, в който човешкото ухо е най-чувствително;

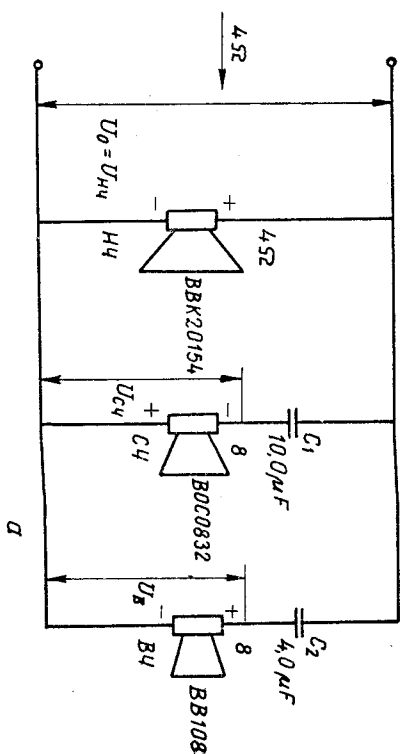
възможността двете разделятелни честоти f_{p1} и f_{p2} да бъдат вън от обхвата, в който човешкото ухо е най-чувствително, т. е. $f_{p1} < 800 \text{ Hz}$, $f_{p2} > 4000 \text{ Hz}$;

отношението между граничните честоти на обхвата, възпроизвеждан от даден високоговорител, е по-малко, а това намалява вероятността за поява на интермодуляционни изкривявания и изкривявания от долгеров ефект.

Освен това средночестотният високоговорител поема върху себе си топлинното и механичното въздействие на част от сигналите и по този начин облекчава нискочестотния, но главно високочестотния високоговорител. Това създава възможност за увеличаване на паспортната мощност на озвучителното тяло, а също така и за използване на високочестотен високоговорител, който излъчва до много високи честоти — например от 5 до 22 kHz. Най-простата реализация е трилентово озвучително тяло само с високочестотни разделятелни филтри от първи ред.

На фиг. 4.20 а е показана принципната електрическа схема на свързване на високоговорителите на трилентово озвучително тяло към усилвателя чрез разделятелни кондензатори. За високите честоти трите високоговорителя са свързани в паралел. Основен проблем тук е свързване на импедансите. Той се решава, като средночестотният и високочестотният високоговорител се избират с номинален импеданс, два пъти по-висок от номиналния импеданс на нискочестотния високоговорител. Например за нискочестотния високоговорител $Z_{нч} = 4 \Omega$, за средночестотния и високочестотния —

$Z_{сч} = 8 \Omega$ и $Z_{вч} = 8 \Omega$. Освен това се взема предвид честотната зависимост на импеданса на високоговорителите. При посочените числени стойности за високите честоти импедансът трябва да се получи 2 Ω . Обаче за високите честоти импедансът на високо-



Фиг. 4.20 а

говорителите нараства. Така за f_{p1} е измерено $Z_{нч} = 6 \Omega$, а $Z_{сч} = 12 \Omega$ и импедансът на озвучителното тяло става точно $Z_{от} = 4 \Omega$, колкото е номиналният му импеданс. За f_{p2} : $Z_{нч} = 9 \Omega$, $Z_{сч} = 16 \Omega$ и $Z_{вч} = 16 \Omega$ и за импеданса на озвучителното тяло се получава $Z_{от} = 4,2 \Omega$. За всички останали честоти $Z_{от}$ има по-големи стойности.

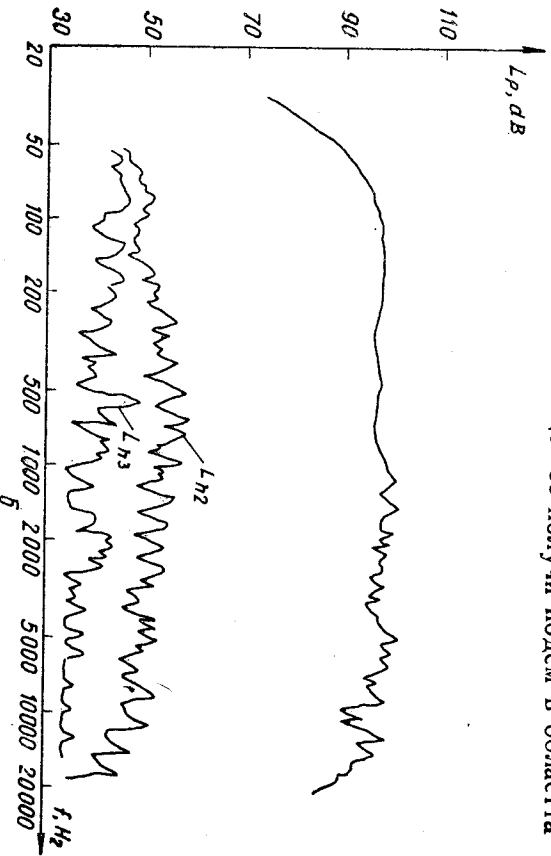
Вторият основен проблем е изравняване на честотната характеристика на озвучителното тяло. Тук трябва да се има предвид, че за средните честоти излъчва и нискочестотният високоговорител, а за част от високите честоти излъчва и средночестотният. Разликата между импедансите спомата за изравняване на честотната характеристика — в обхватите на препокриване би се по-лучил подем при равни номинални импеданси.

Капацитетът на кондензаторите се определя от (2.25 а). Трилентово озвучително тяло тип ОТМ-09. Изградено е от следните извежда от българската промишленост. Изградено е от следните високоговорители: нискочестотен ВВК20154 с номинален импеданс 4 Ω , средночестотен тип ВОО0832 с номинален импеданс 8 Ω и високочестотен тип ВВ108 с номинален импеданс също 8 Ω . Електрическата схема на свързване е илюстрирана с дадената на фиг.

420 а — стойностите на елементите от фигурата се отнасят за това озвучително тяло. Капацитетите на разделителните кондензатори са $C_1 = 10 \mu\text{F}$ и $C_2 = 4 \mu\text{F}$. За разделителните честоти, като се вземе предвид измерената стойност на импеданса на високоговорителите за тези честоти, се получава $f_{p1} = 1300 \text{ Hz}$, $f_{p2} = 4000 \text{ Hz}$.

Паспортната мощност на озвучителното тяло е 30 W, а коефициентът на хармоничните изкривявания — по-малък от 3%. Оземът му е $V = 14 \text{ dm}^3$.

Параметрите му се определят, като се вземат предвид параметрите на високоговорителя тип ВВК201Б4, дадени в първа глава: определя се коефициентът $\alpha = 6,2$; определя се резонансната честота $f_0 = 80 \text{ Hz}$; определя се електрическият качествен фактор $Q_e = 1,86$; определя се пълният качествен фактор $Q_T = 1,11$. При тази стойност на качествен фактор в честотната характеристика на озвучителното тяло ще се получи подем в областта



Фиг. 4.20 б

на резонансната честота. Честотната характеристика не е максимално плоска и това е благоприятно за получаване на по-ниска долна гранична честота. От (3.29 а) се определя $f_s = 60,5 \text{ Hz}$, а от (3.29 б) се определя $f_6 = 51 \text{ Hz}$.

На фиг. 4.20 б е дадена честотната характеристика на озвучителното тяло,нета по оста при 4 W на 1 m. От нея се вижда, че долната гранична честота на озвучителното тяло е 50 Hz, а горната — 18 kHz, макар че произволителят обявява номинален честотен обхват от 63 Hz до 16000 Hz. Дадени са и характеристиките на втори L_{h2} и трети L_{h3} хармоници.

Трилитново озвучително тяло тип ЗОТ30-1. Целесъобразно ли е да се използва високоговорителят ВВК201Б4 за озвучително тяло с фазинвертор, като се запазят останалите два типа високоговорители? По принцип е целесъобразно, но трябва да се изменят параметрите на озвучителното тяло. Ще се разгледа един пример. За изходна величина се приема честотата $f_s = 55 \text{ Hz}$. Параметрите на озвучителното тяло се определят в следната последователност:

определя се $x_3 = 1,83$; от графиката $x_3(Q_T)$ на фиг. 3.15 се намира точката $x_3 = 1,83$ и се спуска перпендикуляр към абсцисната ос — намира се $Q_T = 0,27$;

определя се необходимата стойност на Q_e , като се приема, че Q_e не се изменя — $Q_e = 0,30$. Един от възможните начини за намаляване на качественния фактор е да се използва усилвател с отрицателно изходно съпротивление, определено от зависимостта:

$$R_f = R \left(\frac{Q_e}{Q_{ep}} - 1 \right),$$

$$R_f = -1,75 \Omega;$$

при $Q_T = 0,27$ се намира $\alpha = 2,6$ и се определя необходимият обем $V = 33 \text{ dm}^3$;

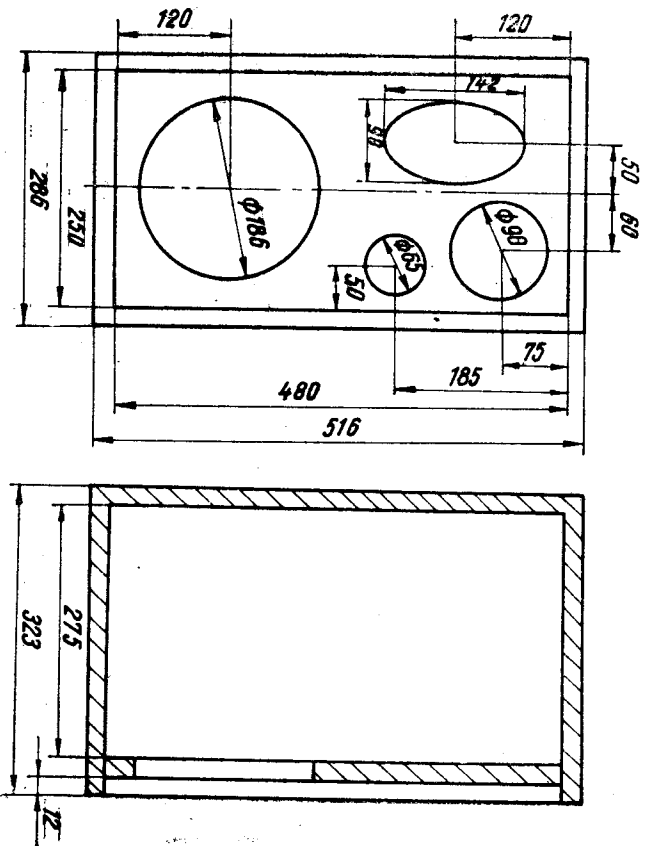
честотната характеристика на озвучителното тяло ще съответства на максимално плоска характеристика на филтър квази-Батърворт от трети ред. Тези криви не са много стръмни и разделителната честота на озвучителното тяло на ниво —8 dB ще се получи между 45 и 50 Hz.

от графиките на фиг. 3.15 за $Q_T = 0,27$ се отчита $h = 1,53$ и се определя резонансната честота на фазинвертора $f_\phi = 46 \text{ Hz}$.

Съгласно с (4.2) се определя $\frac{l_\phi}{l_\phi} = 44,6$.

Приема се тръба с диаметър $D_\phi = 60 \text{ mm}$ (вътрешно) и се определя площта на сечението й — $S_\phi = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$. Определя се дължината на тръбата $l_\phi = 125 \text{ mm}$.

Дълбочината на кутията (вътрешно) трябва да бъде не по-малка от 250 mm. Необходимо е използваните плочи от дървесни частици да бъдат с дебелина 18 mm. Конструкцията на озвучителното тяло е дадена на фиг. 4.20 в.



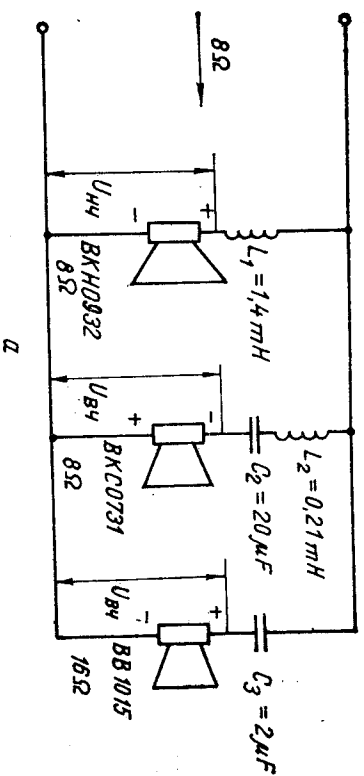
Фиг. 4.20 в

Триленното озвучително тяло тип ЗОТ-20-1

Озвучително тяло с по-малък обем може да се получи, като се използва комбинация от следните високоговорители: ниско-честотен тип ВКН0932, средночестотен тип ВКС0731 и високо-честотен тип ВВ1015. Данните за тези високоговорители са дадени в първа глава.

Приема се разделителен филтър от първи ред, съдържащ нискочестотни и високочестотни звена, даден на фиг. 4.21 а. Номиналният входен импеданс на озвучителното тяло ще бъде 8 Ω. Избор на разделителни честоти. Средночестотният високоговорител има долна гранична честота 800 Hz. С цел да се осигу-

ри производствен резерв и да се предотвратят евентуални дефекти, които могат да се появят като резултат от производствените толеранси на използваните във филтрите елементи, се приема $f_{p1} = 1000$ Hz. Горната гранична честота на същия високоговорител е 5000 Hz. От същите съображения се приема $f_{p2} = 4500$ Hz.



Фиг. 4.21

Средночестотният и нискочестотният високоговорител са с номинален импеданс 8 Ω, но поради използването и на нискочестотни филтри общият импеданс няма да превиши 8 Ω. Високочестотният високоговорител е избран с номинален импеданс 15 Ω от съображения за получаване на равномерна честотна характеристика — неговата чувствителност е по-голяма от тази на останалите два високоговорителя.

Определене стойностите на елементите на филтъра. Съгласно (2.25 а) се определят capacitетите на кондензаторите за избраните разделителни честоти $C_2 = 20 \mu F$, $C_3 = 1,96 \mu F$. При изчисленията се използват измерените стойности на модула на импеданса съответно на високоговорител тип ВКС0731 при f_{p1} и на високоговорител тип ВВ1015 при f_{p2} — $Z_{T2} = 8 \Omega$ и $Z_{T3} = 18 \Omega$.

Първата стойност свързада със стандартна, а за втората се приема $C_3 = 2 \mu F$ и се преизчислява разделителната честота $f_{p2} = 4420$ Hz.

Съгласно (2.13) се определят индуктивностите на бобините $L_1 = 1,40$ mH и $L_2 = 0,3$ mH. При тези изчисления също се използват измерените стойности на импедансите — $Z_{T1} = 8,8 \Omega$ на високоговорител тип ВКН0932 при f_{p1} и $Z_{T2} = 8,4 \Omega$ на високоговорител тип ВКС0731 при f_{p2} .

Двете бобини са свързани последователно с високочестотните и затова активното им съпротивление трябва да бъде малко — ще се изработват от меден проводник с диаметър 1 mm. От табл. 2.1 се определя броят на навивките им — $n_1 = 170$ и $n_2 = 74$.

Изчисляване на акустичното оформяне. Приема се система на озвучително тяло със затворен обем, като $V = 10 \text{ dm}^3$.

Последователно за озвучителното тяло се определят:

коэффициентът $\alpha = 1,83$;

резонансната честота $f_0 = 84 \text{ Hz}$;

електрическият качествен фактор $Q_e = 1,07$;

пълният качествен фактор $Q_T = 0,76$.

Получи се $Q_T > 0,707$, което означава, че в честотната характеристика ще има максимум в областта над резонансната честота, т. е. честотната характеристика на озвучителното тяло няма да бъде максимално плоска, няма да съответствува на характеристиката на филтъра на Батърворт от втори ред.

От (3.29 a) се определя $f_s = 78 \text{ Hz}$, а от (3.29 б) — $f_6 = 58 \text{ Hz}$. Долната гранична честота на озвучителното тяло, на ниво -8 dB може да се приеме 55 Hz , което е много добър резултат.

При редни от изчисленияте примери на озвучително тяло със затворен обем се получават качествен фактор, по-голям от 0,707, поддържа подем. Стриктното провеждане на изчисленията изисква да се определи честотата, при която се получава максимумът и след това да се определи стойността на този максимум. Като се намери първата произволна на (3.28 б) и се приравни на нула, може да се намери нормираната честота x_{max} , при която характеристиката ще има максимум. Получава се

$$x_{max} = \sqrt{\frac{2Q_T^2}{2Q_T^2 - 1}} \quad (4.3)$$

За изчисления пример се получава $f_{max} = 610 \text{ Hz}$, $x_{max} = 7,2$.

От (3.28 б) се определя $G_{max} = 1,04$.

От (3.28 в) се получава $L_{max} = 0,3 \text{ dB}$.

Следователно за честота $f_{max} = 610 \text{ Hz}$ характеристиката ще има максимум от 0,3 dB.

При максимално плоска характеристика нивото на характеристика за $f = 610 \text{ Hz}$ би било $\approx 0 \text{ dB}$, т. е. общото повишаване на нивото на характеристиката при тази честота е 0,3 dB. Подразбира се, че това е напълно приемливо за практическа реализация.

Конструкцията на кутията на озвучителното тяло е дадена на фиг. 4.21 б. Обемът не е голям и дебелината на плочите от дървесни частици е достатъчно да бъде 10 mm. В обема трябва да се постави около 80 g звукопоглъщащ материал. На фиг. 4.21 в е дадена честотната характеристика по оста при 4 W на 1 m и честотните характеристики на втория L_{22} и третия L_{33} хармоник. Паспортната мощност на изчисленото озвучително тяло е 20 W, а номиналният му честотен обхват от 50 до 18 000 Hz при неравномерност на характеристиката му, не по-голяма от 12 dB. Характеристичната му чувствителност е над 0,5 PaW^{-0,5}, а коэффициентът на хармоничите — по-малък от 3%.

Трилемново озвучително тяло тип 30T20-2. То е модификация на 30T20-1 — ще бъдат използвани същите високочестотни и същият филтър, като ще се изменят акустичното оформяне. То ще представлява озвучително тяло с фазоинвертор.

Избира се честотата, при която нивото на честотната характеристика се понижава с 3 dB — $f_s = 50 \text{ Hz}$.

Определя се $x_s = 1,00$.

Приема се $Q_L = 5$ и определянето на параметрите се извършва от графиките, дадени на фиг. 3.15.

Върху графиката $x_s(Q_T)$ се намира точката, съответстваща на стойността 1,00, и се спуска перпендикуляр към абсцисната ос.

Определя се:

$Q_T = 0,41$; $\alpha = 1,0$; $h = 1,0$.

Обемът на озвучителното тяло е $V = 18,3 \text{ dm}^3$.

Резонансната честота на фазоинвертора е $f_\phi = 50 \text{ Hz}$.

Определят се размерите на фазоинверсната тръба, като отношението между дължината и сечението $\frac{l_\phi}{S_\phi} = 90$.

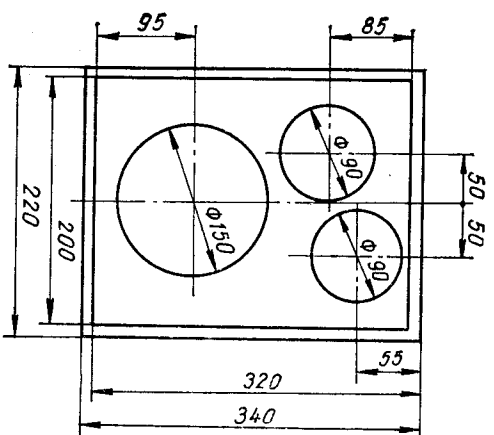
Приема се тръба с диаметър $D_\phi = 40 \text{ mm}$ и се определя дължината на тръбата $l_\phi = 113 \text{ mm}$.

При избора на сечението на тръбата на фазоинвертора трябва да се има предвид следното съображение: ако отношението

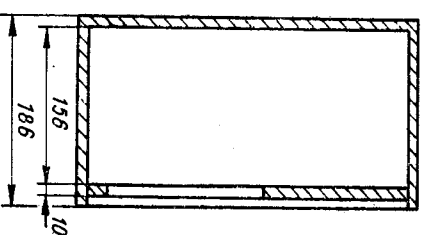
$\frac{l_\phi}{S_\phi}$ е малко, трябва да се приеме тръба с по-голям диаметър, ако

това отношение е голямо — диаметърът на тръбата трябва да бъде малък. За тръби за фазоинверторите на озвучителните тела много подходящи са тръбите от PVC, които се използват в строителството. Те имат гладка повърхност и vynсят малки загуби, а това е едно от изискванията за фазоинверторите.

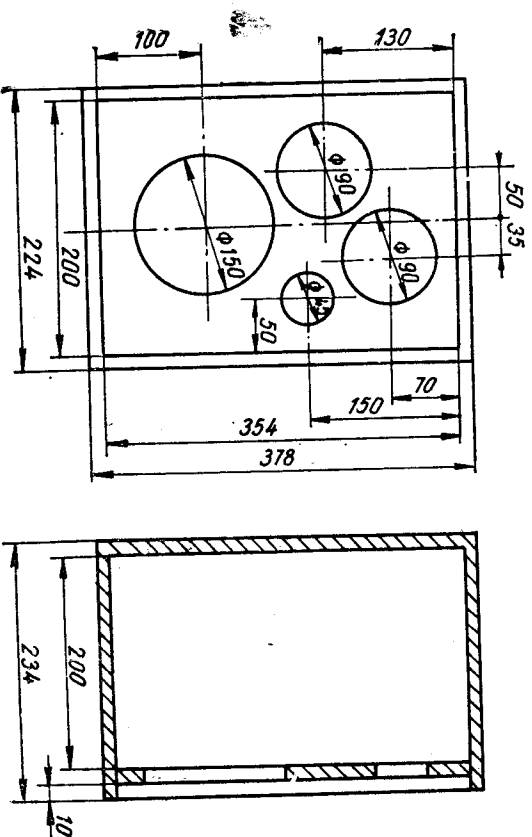
Полученият резултат за честотната характеристика на озвучителното тяло е много добър — номиналният му честотен обхват



Фиг. 4.21 б



на ниво — 8 дВ спрямо средното, ще бъде от 42—45 до 18 000 Hz. Останалите му параметри са както при ЗОТ20—1. Но показателите на това озвучително тяло могат да се постигнат, ако се реализират изчислените параметри. Получената стой-



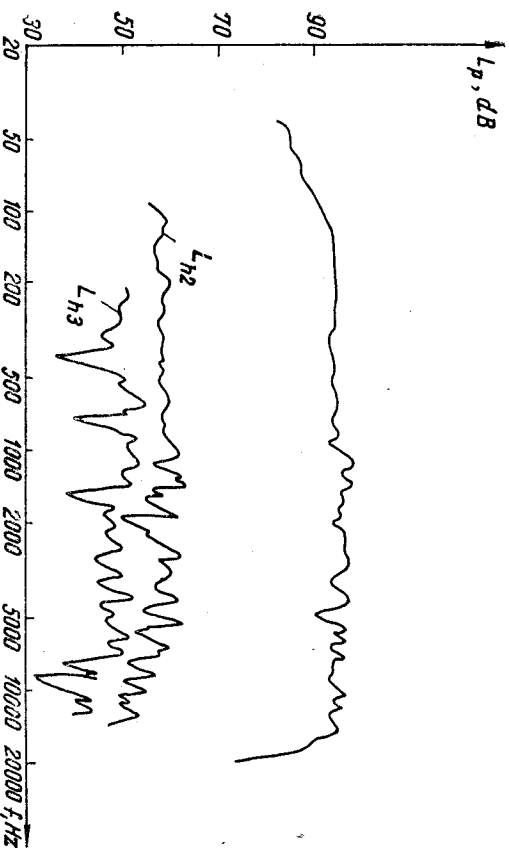
Фиг. 4.22

ност за качествения фактор е по-малка от тази на високоговорителя. Посочено бе, че при произведен вече високоговорител най-леко това се постига чрез използване на усилвател с отрицателно изходно съпротивление. Стойността му за случай е $R_i = -1,84 \Omega$.

На фиг. 4.22 е показана конструкцията на кутията на озвучителното тяло. В обема трябва да се постави около 60 г звукопоглъщащ материал.

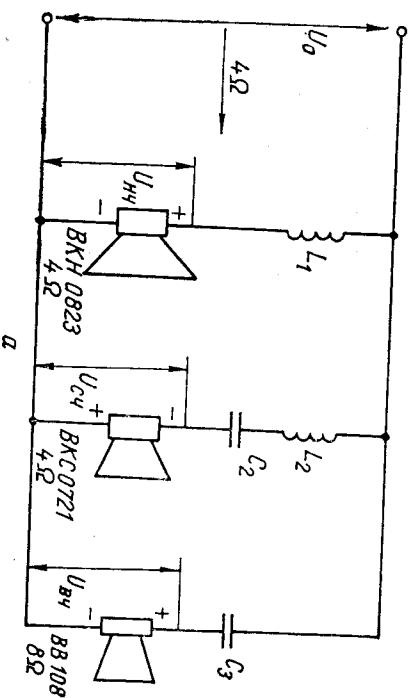
Триленгово озвучително тяло тип ЗОТ20-3

Създаването на озвучителни тела с много малък обем изисква използването на високоговорители с много малка звукоизлъчваща повърхност. Триленгово озвучително тяло с много малки размери може да се реализира, като се използва нискоестотният високоговорител тип ВКН0823 в комбинация със средноестотен



Фиг. 4.21 а

тип ВКС0721 и високочестотен тип ВВ108. Първите два високоговорителя са с номинален импеданс $4\ \Omega$, а последният — $8\ \Omega$. Озвучителното тяло ще бъде с номинален импеданс $4\ \Omega$. Високочестотният тип ВВ108 е избран с импеданс $8\ \Omega$ поради по-голя-



Фиг. 4.23 а

мата му чувствителност, така че честотната характеристика на озвучителното тяло да се получи достатъчно равномерно. Данни за тези високоговорители са дадени в първа глава.

Избира се електрически разделителен филтър от първи ред с нискокочестотни и високочестотни звена. Електрическата му схема е дадена на фиг. 4.23 а.

Избор на разделителни честоти. Конусните средночестотни и високочестотни високоговорители по принцип издържат по-големи електрически натоварвания и затова съответната разделна честота може да се приеме равна или малко по-висока от долната им гранична честота. Все пак, когато се използва филтър от първи ред трябва да се има предвид, че стръмноста на характеристиката му в областта на препускане е само $6\ \text{dB/oct}$. Това означава, че непрежението на сигналите, чиято честота е $1/3$ или $2/3$ от октавата по-ниска от разделителната, ще бъде сравнително високо. Ако не съществува опасност от претоварване, могат да се появят нелинейни изкривявания, които не се контролират от производителите във от номиналния честотен обхват. Поради тези съображения ще бъдат приети разделителните честоти $f_{p1}=1200\ \text{Hz}$ и $f_{p2}=4500\ \text{Hz}$, като точните им стойности

ще се определят след изчисляване на кондензаторите и приемане на стандартни стойности.

Определяне стойностите на елементите на филтъра. Модулите на импедансите на високоговорителите при разделителните честоти имат следните стойности: $Z_{T1}=4.5\ \Omega$ — на ВКН0823 при $1200\ \text{Hz}$, $Z_{T2}=4\ \Omega$ — на ВКС0721 при $1200\ \text{Hz}$, $Z_{T3}=4.2\ \Omega$ — на ВКС0721 при $4500\ \text{Hz}$, $Z_{T4}=9\ \Omega$ — на ВВ108 при $4500\ \text{Hz}$.

Капацитетите на кондензаторите се определят от (2.25 а): $C_2=33.3\ \mu\text{F}$. Приема се $C_2=33\ \mu\text{F}$. Разликата между изчислената и прететата стойност е много малка, поради което $f_{p1}=1200\ \text{Hz}$. Определя се $C_3=3.92\ \mu\text{F}$. Приема се $C_3=4\ \mu\text{F}$ и се определя $f_{p2}=4420\ \text{Hz}$.

Индуктивностите на бобините се определят от (2.13): $L_1=0.6\ \text{mH}$ и $L_2=0.145\ \text{mH}$.

Бобините трябва да се навият от меден проводник с диаметър $1\ \text{mm}$. От табл. 2.1 се определя броят на навивките им: $n_1=110$, $n_2=51$.

Акустично оформление. Озвучителното тяло се оформя като акустична система със затворен обем $V=8\ \text{dm}^3$.

Изчисленията се извършват в следния ред:

определя се коефициентът $\alpha=0.78$;

определя се резонансната честота на озвучителното тяло $f_0=80\ \text{Hz}$;

определя се електрическият му качествен фактор $Q_e=0.66$;

определя се пълният качествен фактор $Q_T=0.525$.

Получи се малка стойност за Q_T , което означава, че честотната характеристика на озвучителното тяло няма да бъде максимално плоска, а нивото ѝ ще започне да се понижава от сравнително високи честоти.

Определя се честотите $f_s=110\ \text{Hz}$ и $f_g=90.6\ \text{Hz}$.

Получените резултати са крайно незадоволителни за трилентно-то тяло, което да възпроизвежда много добре сигналите със средни и високи честоти, а да възпроизвежда много лошо ниските честоти. Необходимо е да се увеличи качественният фактор на озвучителното тяло до стойност $Q_T=0.707$. Приема се, че увеличението ще стане чрез допълнително съпротивление към изхода му.

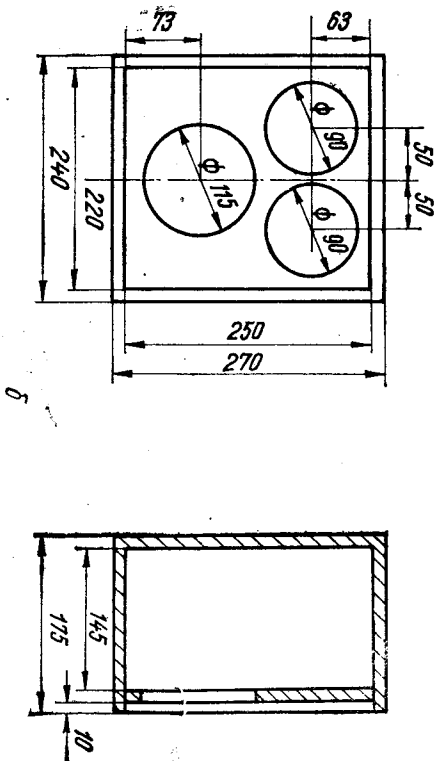
Определя се необходимата стойност на $Q'_e=0.96$.

За стойността на R_i се получава $R_i=3.3\ \Omega$.

Пената, с която се заплаща разширяването на честотния обхват, е много висока — значителна част от изходната мощност на усилвателя се разсейва върху допълнителното съпротивление.

При тези условия се получава $f_3=84$ Hz и $f_6=61$ Hz.

Долната гранична честота, на ниво -8 dB, ще бъде не по-висока от 60 Hz. Номиналният честотен обхват ще бъде от 60 до 18 000 Hz, при неравномерност на честотната характеристика



Фиг. 4.23 6

че повече от 12 dB, паспортната му мощност — 20 W, чувствителността — 0,5 PaW^{-0,5}, а коэффициентът на хармонични изкривявания — не по-голям от 3% в целия обхват.

На фиг. 4.23 6 е показана конструкцията на кутията за ЗОТ20-3. Особената ѝ форма се дължи на необходимостта да се вместят високоговорителите на липсваща панел. В обема трябва да се постави 50–60 g звукопоглътящ материал.

Триленното озвучително тяло тип ЗОТ20-4. То е модификация на ЗОТ20-3. Установи се, че високоговорителят тип ВКН0823 не функционира оптимално в посоченото озвучително тяло при избрания вариант на затворен обем. Затова ще бъде изчислен вариант с фазоинвертор. Приема се, че обемът се запазва $V=8$ дм³, т. е. $\alpha=0,78$. Електрическата схема на свързване и елементите на филтъра остават както при ЗОТ20-3. Приема се, че $Q_T=5$ и за изчисленията се ползват графиките от фиг. 3.15. Върху графиката $\alpha(Q_T)$ се намира точката, съответстваща на $\alpha=0,78$, и от нея се спуска перпендикуляр към абсцисната ос. Определя се $Q_T=0,43$. Веднага се установява, че Q_T е по-голям от пълния качествен фактор на високоговорителя и

озвучителното тяло трябва да се захранва от усилвател с $R_i > 0$. Необходимата стойност е $R_i=0,18 \Omega$.

Определят се останалите параметри на озвучителното тяло също от фиг. 3.15: $x_3=0,8$; $h=0,92$; $f_3=48$ Hz; $f_\phi=55$ Hz.

Стойността на $Q_T=0,43$ е по-голяма от 0,414, а това означава, че озвучителното тяло ще има честотна характеристика, която съответствува на характеристиката на високочестотен филтър на Чебишев от четвърти ред. Затова се получи толкова малка стойност за честотата f_3 . Номиналният честотен обхват на това озвучително тяло ще бъде, на ниво -8 dB спрямо средното, от 40 до 18 000 Hz.

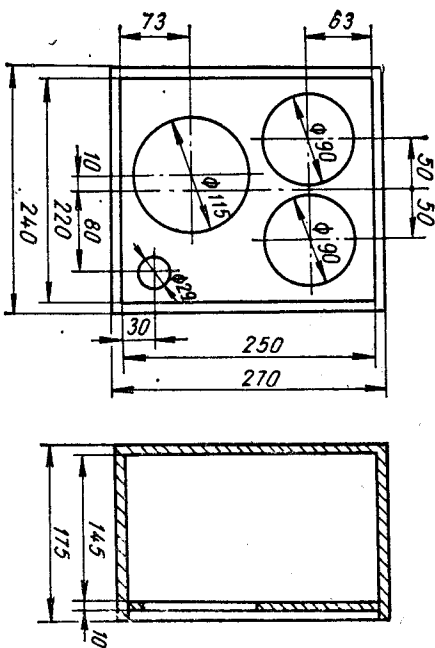
Конструктивно изчисляване на фазоинвертора:

От (4.2) се определя $\frac{l_\phi}{S_\phi} = 128$. Поради големата стойност на

отношението l_ϕ/S_ϕ се избира тръба с малък диаметър — $D_\phi=25$ mm и се определя $l_\phi=64$ mm.

Конструкцията на кутията е дадена на фиг. 4.24.

Резултатите от двата изчислени варианта могат да се обобщат — по-добри показатели ще има триленното озвучително тяло с фазоинвертор при $Q_T=0,43$.



Фиг. 4.24

От анализа на извършените изчисления може да се направи и едно полезно за конструкторите на високоговорители заключение — високоговорителите с малки размери трябва да имат по-висок пълен качествен фактор около 0,5.

4.5. ДВУЛЕНТОВИ ОЗВУЧИТЕЛНИ ТЕЛА С РАЗДЕЛИТЕЛЕН ФИЛТЪР ОТ ВТОРИ РЕД

В областта на затихване филтрите от първи ред внасят затихване със стръмност 6 dB/oct. В честотен обхват с широчина около 1 oct ($\pm 0,5$ oct от двете страни на разделителната честота) излъчват и двата високоговорителя. Възможни са интерференции между сигналите, излъчени от единия и другия високоговорител. В честотната характеристика може да се появят върховете и падани. За предотвратяване на нежелани явления в областта на разделителната честота се използват филтри, които в обхвата на непропускане внасят затихване със стръмност 12 dB/oct — това са филтрите от втори ред. Като единични звена те бяха анализирани подробно във втора глава.

Съчетанието от един нискочестотен и един високочестотен филтър от втори ред образува разделителен филтър за двулентово озвучително тяло. Честотата, при която напреженията върху двата високоговорителя стават равни, се нарича разделителна честота на озвучителното тяло или по-точно — разделителна честота на филтъра като цяло. Обикновено разделителните честоти на двете филтрови звена съвпадат с разделителната честота на филтъра, т. е.

$$f_{\text{нч}} = f_{\text{вч}} = f_{\text{р}}. \quad (4.4)$$

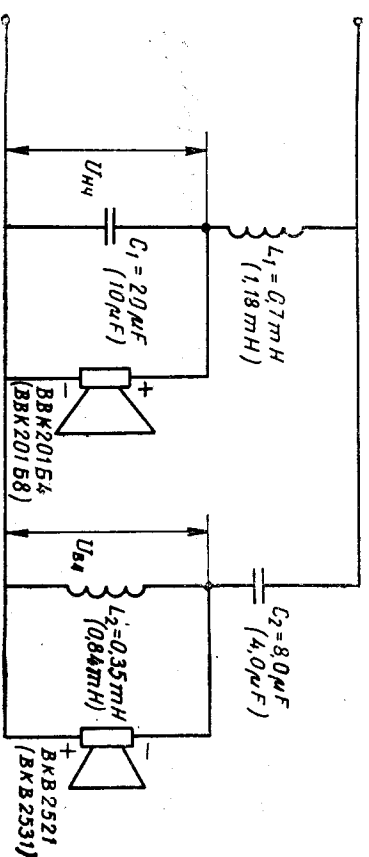
Разбира се и тук както при филтрите от първи ред равенство (4.4) трябва да се приема условно — зависи от конкретните показатели на използваните високоговорители.

В нашата страна се произвеждат немалък брой двулентови озвучителни тела, в които е използван филтър от втори ред. Повечето от тях отговарят на изискванията за озвучителни тела от Hi-Fi клас. По принцип видът на филтъра зависи от качествата на озвучителното тяло — не се оправдава за озвучително тяло с ниски качествени показатели да се използва сложен скъп филтър.

Двулентово озвучително тяло OTС1-01. Създадено е от нискочестотния високоговорител ВВК201Б4 и куполния високочестотен високоговорител ВКВ2521 в обем от 28 дм³. Условно е за редовно производство. Двата високоговорителя са с номинален импеданс 4 Ω, т. е. озвучителното тяло също е с номинален импеданс 4 Ω. Данните за високоговорителите са дадени в първа глава — те отговарят на всички изисквания за изделия от Hi-Fi клас, следователно озвучителното тяло също трябва да отговаря на тези изисквания, то трябва да се конструира, като се вземат предвид тези изисквания.

Разделителният филтър е изграден от две звена (нискочестотно и високочестотно) от втори ред. Схемата на свързване е дадена на фиг. 4.25.

Избор на разделителна честота. Нискочестотният високо-



Фиг. 4.25

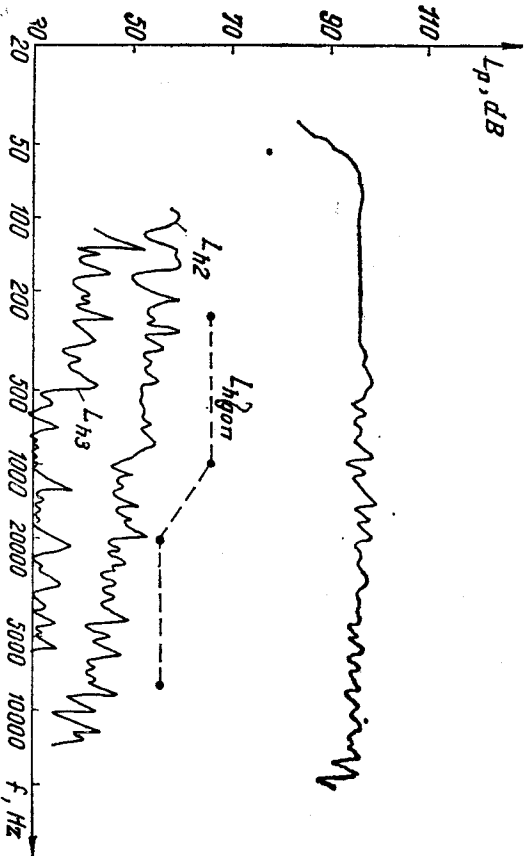
говорител излъчва ефективно до 6—8 kHz. При честота 4 kHz нивото на излъчването му на 15° от оста се понижава с 2—3 dB, а изискванията за Hi-Fi клас са не повече от 4 dB. Коэффициентът на хармонични изкривявания в обхвата над 1000 Hz е по-малък от 1%. Това е предпоставка за избор на по-висока разделителна честота. В същото време високочестотният високоговорител може да функционира нормално над 2 kHz при филтър със стръмност 12 dB/oct. Затова разделителната честота е избрана 2 kHz.

Определение елементите на филтъра. Приема се честотните характеристики на филтровите звена да бъдат максимално плоски. Следователно елементите им ще се определят от (2.57), (2.58), (2.77) и (2.78). След изчисляване на стойностите е направена донастройка на филтъра, при която са отчетени влиянията на реактивния характер на входния импеданс на високоговорителите. Получените резултати са дадени на схемата от фиг. 4.25.

Изчисляване на акустичното оформление. При зададен обем на озвучителното тяло изчисленията се провеждат, като се определи коефициентът $\alpha = 3,1$ и след това останалите параметри, с които ще се получи оптималният ход на честотната характеристика.

Резонансната честота на озвучителното тяло е $f_0 = 61$ Hz. Електрическият и пълният качествен фактор са $Q_e = 1,28$ и $Q_T = 0,88$.

Пълният качествен фактор на ОТС1-01 се получава по-голям



Фиг. 4.26

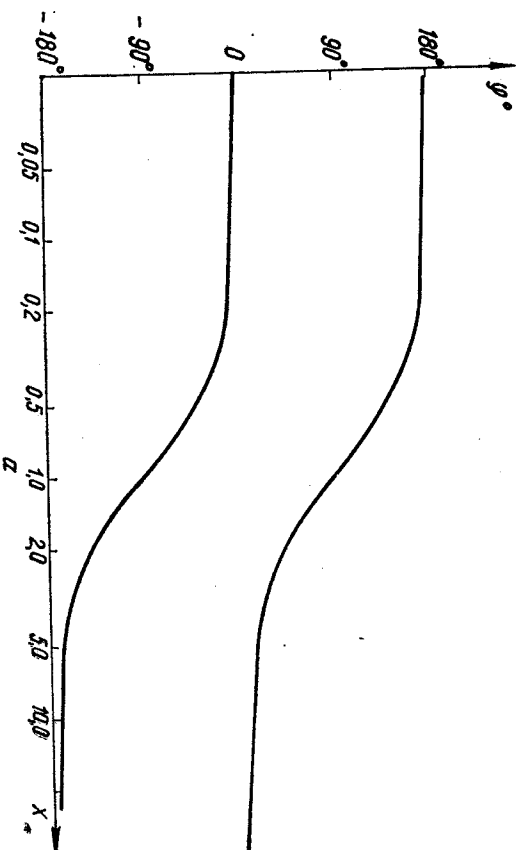
от 0,707 и неговата честотна характеристика в областта на ниските честоти ще бъде с малко по-високо ниво от максимално плоската характеристика.

Честотите f_3 и f_6 имат следните стойности: $f_3 = 52$ Hz; $f_6 = 45$ Hz.

Получава се задоволителен резултат. На фиг. 4.26 е дадена честотната характеристика на озвучителното тяло, снета при условията за измерване на хармонични изкривявания на озвучителни тела от Ni-Fi клас, като са дадени вторият L_{h2} и третият L_{h3} хармоник.

Основните показатели на ОТС1-01 са: паспортна мощност 20 W, номинален честотен обхват от 50 до 18000 Hz при неравномерност, не по-голяма от 12 dB, характеристична чувствителност, не по-малка от 0,4 PaW^{-0,5}, и коефициент на хармонични изкривявания — в съответствие с изискванията за Ni-Fi клас. В същото акустично оформление и със същите показатели се

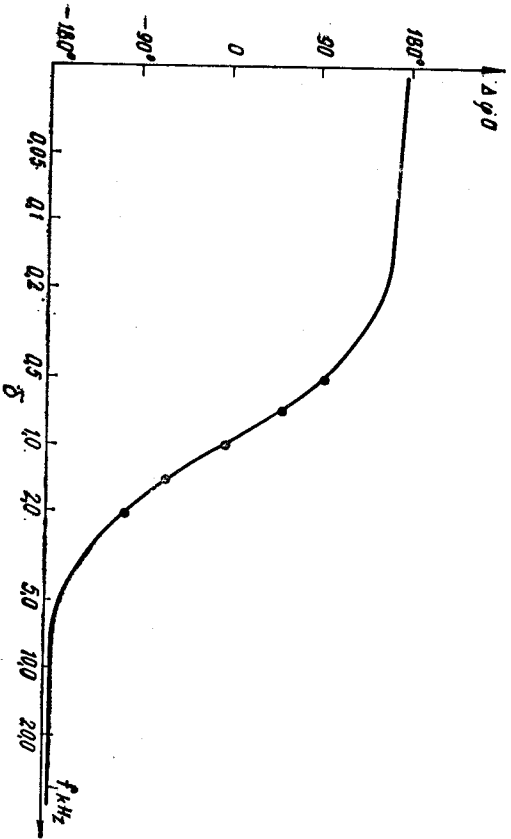
пронавежда и озвучително тяло с номинален импеданс 8 Ω, като са използвани високоговорителите тип ВВК201Б8 и тип ВВВ2531. Разделителният филтър и схемата на свързване са същите, а стойностите на елементите на филтъра са означени на фиг. 4.25 а в скоби.



Фиг. 4.27 а

При анализа на филтрите от втори ред във втора глава се установи, че за разделителната честота нискочестотният филтър дефазира напрежението на изхода спрямо входното на -90° , а високочестотният — на $+90^\circ$. Разликата между двете фазови разлики е 180° . Тази разлика се запазва постоянна в целия честотен обхват. Това може лесно да се установи, като се вземе разликата между зависимостите (2.59) и (2.79). На фиг. 4.27 а е дадена зависимостта на фазовата разлика от честотата. Следователно, ако двата високоговорителя се свържат синфазно, те ще излъчват противофазно в целия честотен обхват. В резултат на това в областта на разделителната честота ще се появи падина в честотната характеристика на озвучителното тяло. Този недостатък може да се избегне, като двата високоговорителя се свържат противофазно. В този случай те ще излъчват синфазно в областта на разделителната честота — фазовата разлика между напреженията, подавани на високоговорителите, ще се измени, както е

показано на фиг. 4.27 б. Необходимо е да се поясни — фазовата разлика между високоговорителите е определена по отношение на едноименните полюси на високоговорителите.
Какво ще се спечели, ако ОТС1-01 се реализира с фазоинвертор?



Фиг. 4.27 б

При определената стойност на α се приема $Q_L=5$ и от фиг. 3.15 се определя оптималната стойност на качествения фактор на озвучителното тяло $Q_T=0,29$.

При тези стойности на α и Q_T резонансната честота на фазоинвертора трябва да бъде $f_{\phi}=58,5$ Hz. Честотите $x_8=1,6$ и $f_8=48$ Hz.

Долната гранична честота на ОТС1-01 с фазоинвертор на ниво -8 dB ще бъде около 40 Hz, т. е. ще бъде с около 5 Hz по-ниска, отколкото при озвучителното тяло със затворен обем. За целта обаче ще трябва да се намали качественият фактор на 0,29. Това е възможно, ако се измени типът на използвания нискочестотен високоговорител или се замени магнитната система на ВКВ201Б4 с друга, която създава по-голям магнитен поток. По принцип това е също нов тип високоговорител. Без да се изменя високоговорителят, качественият фактор може да се нама-

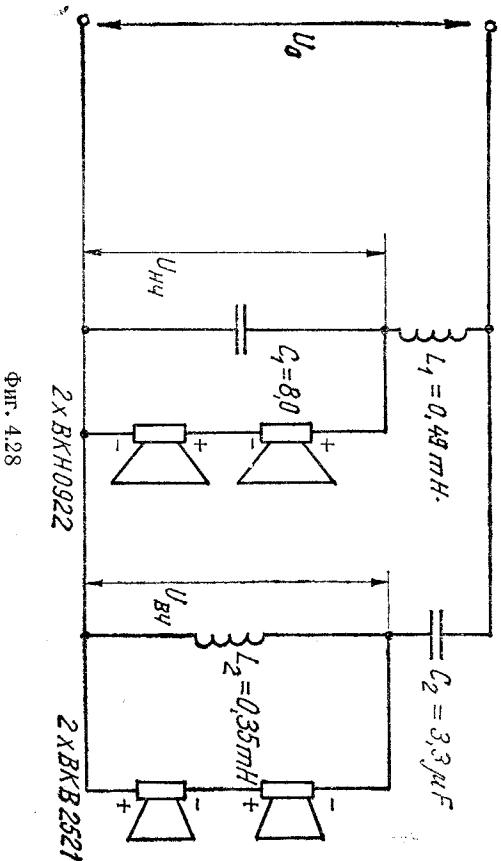
ли, като се използва усилвател с отрицателно изходно съпротивление.

Изчисляване на фазоинвертора. Определя се $l_{\phi}/S_{\phi}=33$, приема се $D_{\phi}=60$ mm и се определя $l_{\phi}=94$ mm.

Двуленливо озвучително тяло тип ОТС1-03. То представлява малка по-сложна акустична система. Изградено е от два нискочестотни високоговорителя тип ВКН0922 и два високочестотни високоговорителя тип ВКВ2521. Използувани са по два високоговорителя за възпроизвеждане на всеки от подобхватите, за да се получи по-голяма паспортна мощност, а също и по-голяма чувствителност.

Разделителният филтър и схемата на свързване е дадена на фиг. 4.28. Едноименните високоговорители са свързани последователно, тъй като са с номинален импеданс 4 Ω , а озвучителното тяло е с номинален импеданс 8 Ω .

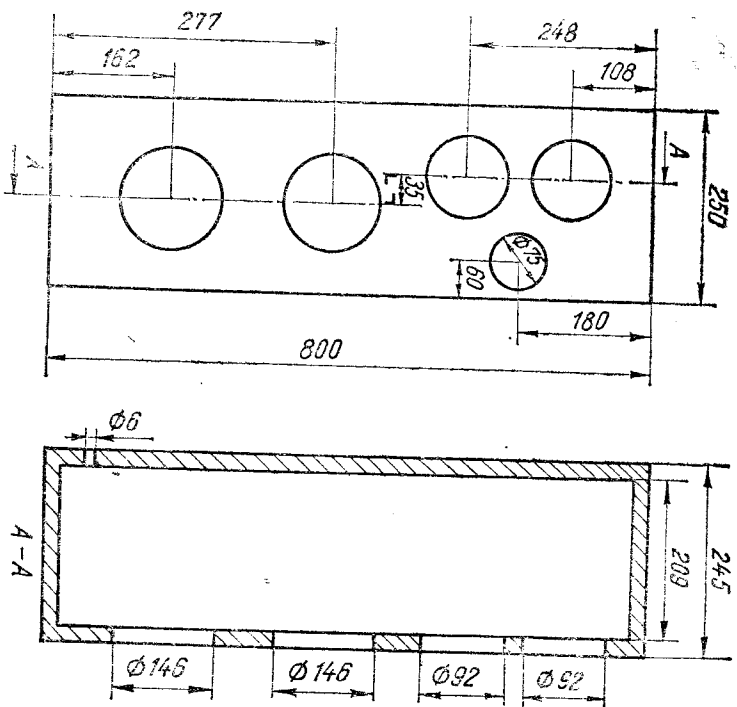
Избор на разделителна честота. Нискочестотният високоговорител излъчва ефективно до 5 kHz, като нивото на 15° се понижава с не повече от 2 dB спрямо нивото по оста. Коэффициентът на хармониците му отговаря на изискванията за Hi-Fi



Фиг. 4.28

клас. Разделителната честота може да бъде и по-висока. Все пак куполният високоговорител излъчва по-ненасочено сигналите с честота 4—5 kHz. Затова разделителната честота на филтъра се приема $f_p=3500$ Hz.

Изчисляване елементите на филтъра. Честотната характеристика на двете филтрови звена трябва да бъде максимално плоска, поради което ще се използват зависимостите (2.57), (2.58), (2.77) и (2.78). За товарно съпротивление на филтъра се приема



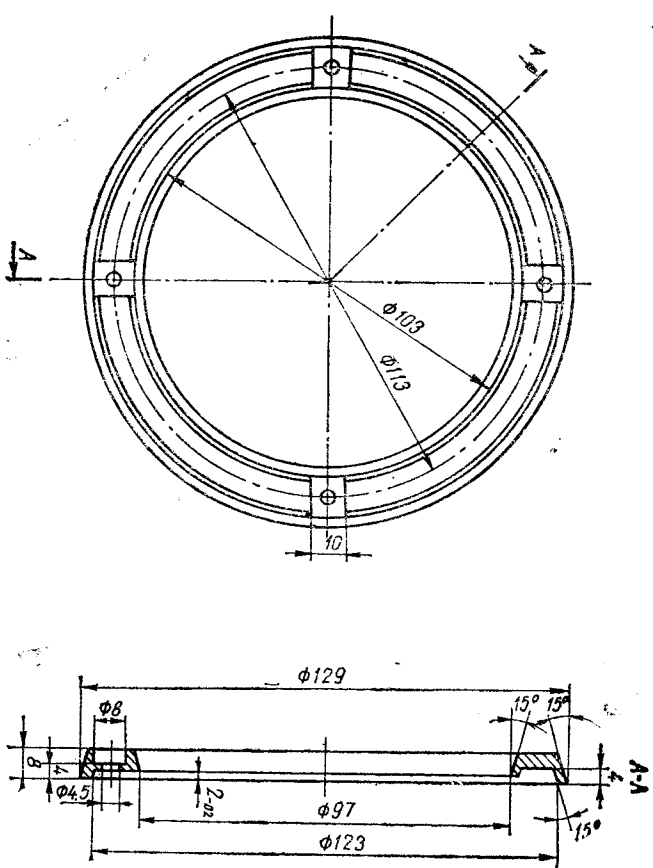
Фиг. 4.29

номиналните импеданси на последователно свързаните високоволторители и се определя $C_1=4,03 \mu\text{F}$. Приема се $C_1=4,0 \mu\text{F}$. Определя се $L_1=0,51 \text{ мН}$.

Елементите на високочестотното звено имат същите стойности: $L_2=0,51 \text{ мН}$ и $C_2=4 \mu\text{F}$.

След настройка на филтъра с включени в изхода му високоволторители елементите му са коригирани и точните стойности са дадени на схемата от фиг. 4.28.

Акустично оформяне. ОТС1-03 е оформено като озвучително тяло с фазоинвертор за подобряване излъчването на ниските честоти. За фазоинвертор се използва тръба от РУС с диаметър $D_\phi=60 \text{ мм}$ и дължина $l_\phi=120 \text{ мм}$.

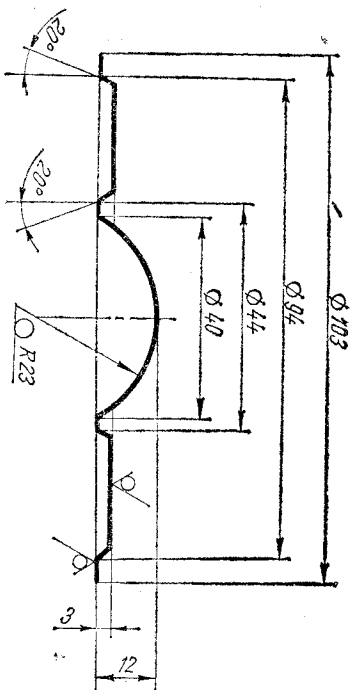


Фиг. 4.30

На фиг. 4.29 е показана конструкцията на кутията му. За отбелязване е, че пред високоволторителите не е поставена обща решетка от плат, а лицевият панел е открит. Поради това лицевият панел също трябва да бъде фурнирован и обработен както останалите външни повърхности на кутията. Пред всеки високоволторител е поставена мегална релефна решетка, закрепена с мощта на декоративен пръстен. На фиг. 4.30 е показана конструкцията на пръстена, използван пред високоволторител тип ВКВ2521, а на фиг. 4.31 е показана конструкцията на решетките. За високоволторител ВКН0922 трябва да се използват аналогични елементи съобразно размерите.

Основните показатели на ОТС1-03 са: паспортна мощност 40 W; номинален честотен обхват от 50 до 16000 Hz; при не-

равномерност на честотната характеристика не повече от 12 dB, характеристична чувствителност — по-голяма от 0,4 PaW^{-0.5} и коефициент на хармонични изкривявания — в съответствие с изискванията за Hi-Fi клас.



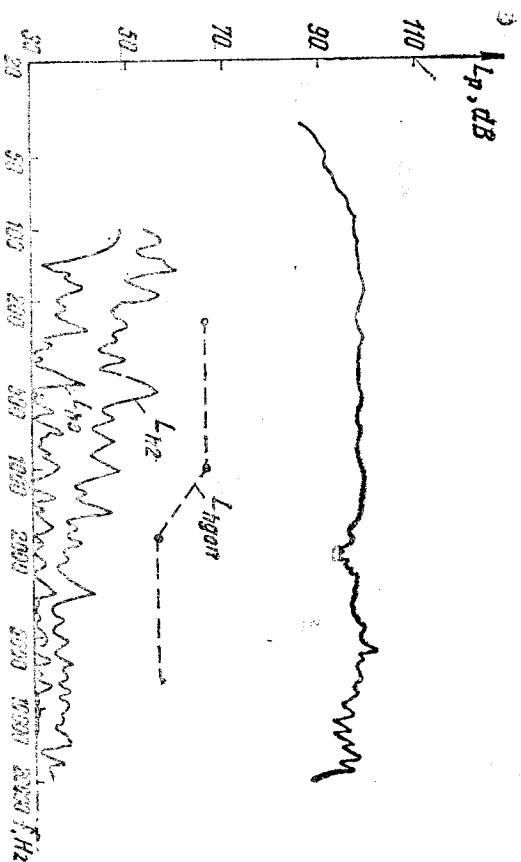
Фиг. 4.31

На фиг. 4.32 е показана честотната характеристика по оста на OTС1-04 на разстояние 1 m при мощност 4 W и характеристики те на хармоничните му, снети при различни мощности в различните подобхвати в съответствие с изискванията за измерване на коефициенти на хармоничните за Hi-Fi клас.

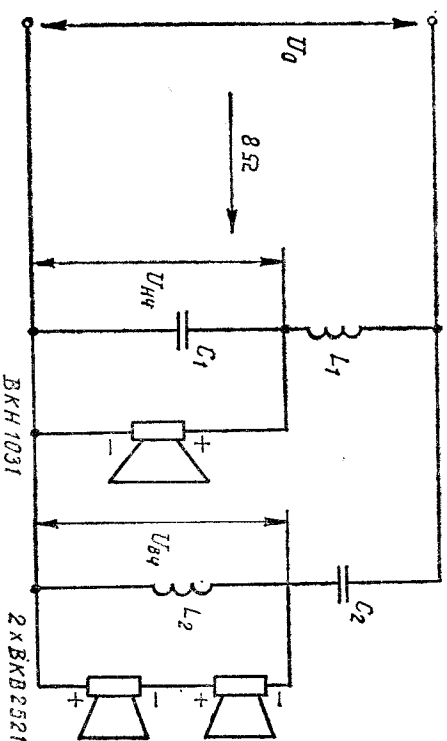
Двуленливо озвучително тяло тип OTС1-02. Конструирано е на базата на нискочестотен високоговорител тип ВКН1031-1 брой, и куплен високочестотен високоговорител тип ВКВ2521-2 брой. Данните за тези високоговорители са дадени в първа глава. Използват се два броя от високоговорителя тип ВКВ2521, защото нискочестотният високоговорител има по-голяма чувствителност и по-голяма паспортна мощност. Импедансното съгласуване е осигурено, като двата високочестотни високоговорителя са с импеданс 4 Ω и са свързани последователно, а нискочестотният високоговорител е с импеданс 8 Ω. Номиналният импеданс на озвучителното тяло е 8 Ω. Разделителният филтър и схемата на свързване на високоговорителите са дадени на фиг. 4.33.

Избор на разделителна честота. Нискочестотният високоговорител е с по-големи размери от ВКН0922. За предпочитане е разделителната честота да се приеме 3000 Hz.

Определена елементите на филтъра. Използват се зависимостите за получаване на максимално плоска характеристика и се



Фиг. 4.32

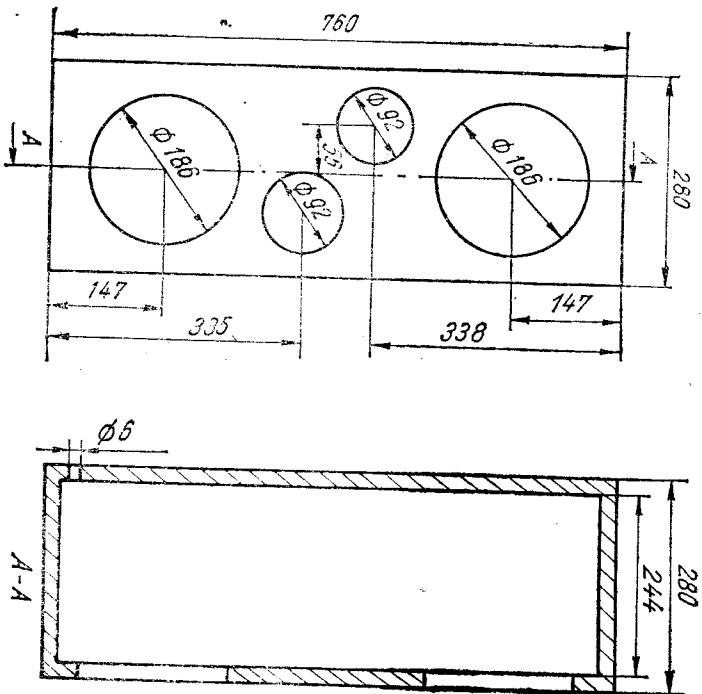


Фиг. 4.33

определя $C_1 = 4,66 \mu\text{F}$. Приема се $C_1 = 5,0 \mu\text{F}$. Определя се $L_1 = 0,94 \text{ mH}$. С приемане на по-голям кондензатор за C_1 разделителната честота на нискочестотното звено ще се получи малко по-ниска. Же-

лателно е за високочестотното звено да се получи малко по-ви-сока. Затова се приема $S_2=4$ мФ и $L_2=0,8$ мН.

Акустично оформяне. ОТС-02 е оформено като озвучител-но тяло с пасивна мембрана. Обемът на озвучителното тяло е 36 дм³. За пасивна мембрана се използва мембрана от същия високочестотен материал, т. е. $S_n=S$. Гъвкавостта на окачване на пасивната мембрана е равна на тази на високочестотния, тъй като се използва и трептиката за предотвратяване на нежелани из-къчвания при трептенето и. От $S_n=S$ следва $\delta=\alpha$.



Фиг. 4.34

Према се $Q_o=Q_L=7$.

Следователно изчисленията могат да се проведат, като се ползват графиките, дадени на фиг. 3.21.

База за изчисленията е зададеният обем.

Определя се коефициентът $\alpha=1,8$ и от фиг. 3.21 се отчита $Q_T=0,36$; $x_s=1,31$; $h=1,40$; $g=0,74$.

Като се вземе предвид, че $f_r=28$ Hz, се получава: честотата $f_s=36,5$ Hz;

резонансната честота на пасивната мембрана $f_n=20,7$ Hz; резонансната честота на обема на озвучителното тяло $f_o=39,2$ Hz.

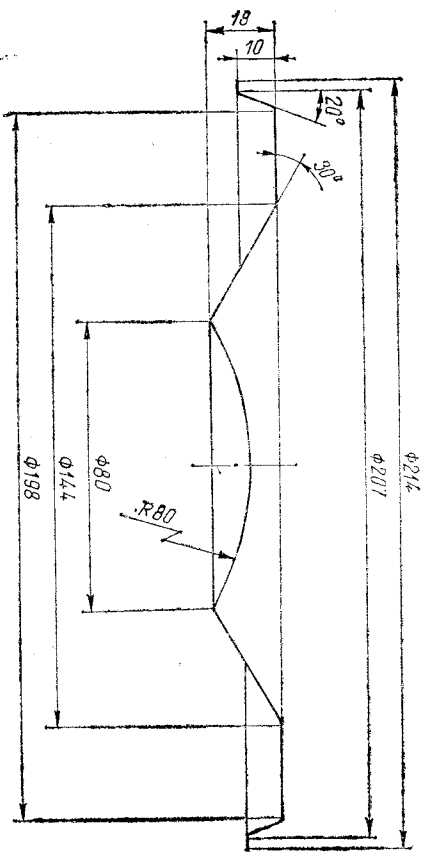
Първият качествен фактор на озвучителното тяло се получи точно равен на съответния на високочестотния.

Динамичната маса на пасивната мембрана се определя съглас-но с (3.72) $m_n=40$ g.

Следователно към пасивната мембрана трябва да се добави допълнителна маса $m_{дон}=26$ g.

С това пасивната мембрана е настроена за изчисления режим. Резонансната честота на пасивната мембрана с обема на озвучителното тяло трябва да бъде $39,2$ Hz. С измерването и се установява правилността на настройката.

Конструкцията на кутията на ОТС-02 е дадена на фиг. 4.34. На фиг. 4.35 е дадена конструкцията на декоративната решетка,



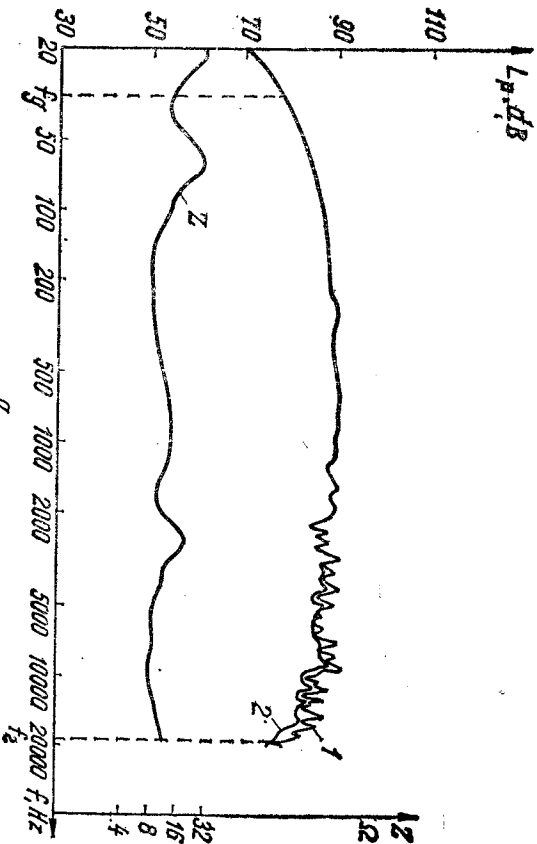
Фиг. 4.35

която трябва да се постави пред високочестотен ВКН1031 и пред пасивната мембрана, а пръстенът може да бъде подобен на да-дения на фиг. 4.30. Пред високочестотните тип ВКВ2521 се по-ставят декоративните елементи, дадени на фиг. 4.30 и фиг. 4.31.

Основните показатели на ОТС1-02 са: паспортна мощност 40 W; номинален честотен обхват от 35 до 16 000 Hz при неравномерност на честотната характеристика не повече от 12 dB, характеристична чувствителност: не по-малка от 0,5 PaW^{-0,5} и коефициент на хармонични изкривявания — значително по-малък от допустимите стойности за Hi-Fi клас.

На фиг. 4.36а е дадена честотната характеристика на ОТС1-02, снета при мощност 1 W на разстояние 1 m по оста (крива 1) и на 15° от оста (крива 2). На фиг. 4.36 б са дадени честотните характеристики на общото звуково налягане, на втория и третия хармоник, снети при условията за измерване на d_s на озвучителни тела от Hi-Fi клас.

Двулетното озвучително тяло тип ЗОТ40-1. Това озвучително тяло може да се реализира от същите високоговорители и същия филтър както ОТС1-02, но се избира вариант със затворен обем. Целта е да се намали обемът на озвучителното тяло,



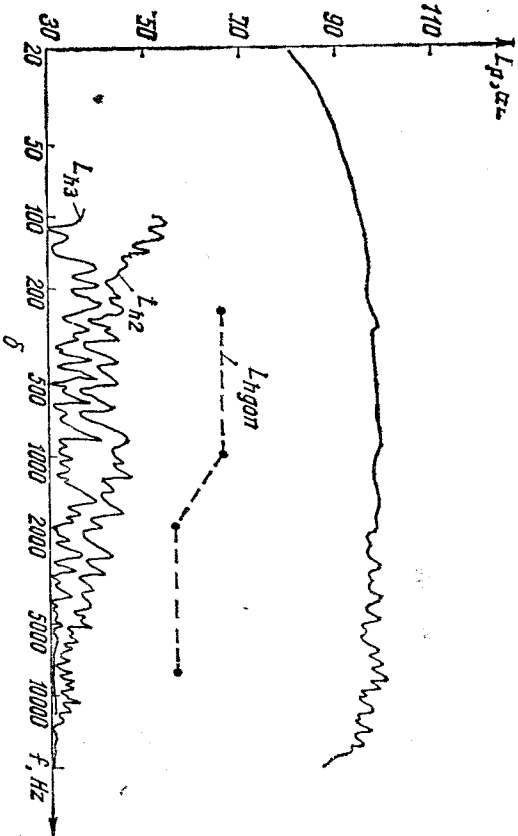
Фиг. 4.36 а

тъй като пасивната мембрана заема площ върху лицевия панел и определя по-големи размери (височина) на озвучителното тяло. Като се премахне пасивната мембрана, обемът може да се намали до $V=25 \text{ dm}^3$.

Акустичното изчисление се провежда, като се изчислят параметрите на озвучителното тяло:

$$\text{коефициентът } \alpha = 2,56;$$

$$\text{резонансна честота на озвучителното тяло } f_0 = 53 \text{ Hz};$$



Фиг. 4.36 б

електрически качествен фактор $Q_e = 0,78$;
плътен качествен фактор $Q_r = 0,61$.

Получената стойност $Q_T < 0,707$ означава, че честотната характеристика на озвучителното тяло няма да бъде максимално плоска, а ще бъде с по-ниско ниво от нея за областта на ниските честоти.

Определит се честотите $f_3 = 61 \text{ Hz}$ и $f_6 = 44,6 \text{ Hz}$.

Честотната характеристика на озвучителното тяло не е оптимална, но независимо от това, то ще възпроизвежда добре сигналите с ниска честота. Може да се приеме, че долната му граница на честота на ниво -8 dB ще бъде под 42 Hz. Разбира се, резултатът е по-лош, отколкото при ОТС1-02, но друго не можеше и да се очаква — пасивната мембрана изиграва ролята си.

Качественият фактор на ЗОТ40-1 може да се увеличи до желаната стойност — например до $Q_T = 0,707$.

Това може да стане най-лесно, като се използва усилвател с $R_i > 0$. В случай обаче съществува и друго решение — да се на-

мали обемът на озвучителното тяло. Постъпва се по следния начин:

определи се необходимата стойност на $Q_e = 0,95$ за получава-
не $Q_T = 0,707$;

решава се (3.26) по отношение на α и се получава $\alpha = 4,39$;

определи се необходимият обем $V = 14,6 \text{ dm}^3$;

при новите стойности на параметрите се получава: резонанс-
на честота $f_0 = 65 \text{ Hz}$, честотите $f_3 = 65 \text{ Hz}$ и $f_6 = 49 \text{ Hz}$.

Номиналният честотен обхват на озвучителното тяло се стесни,
но се намали неговият обем.

Озвучителното тяло със затворен обем с нискочестотен висо-
коговорител тип ВКН1031 бе изчислено в два варианта. При еди-
ния от тях честотната му характеристика е максимално плоска,
а при втория се различава от този ход. Различията обаче не са
големи, честотната характеристика променя своя ход — тя е с по-
ниско ниво от максимално плоската, но граничната честота се по-
лучава по-ниска. Трябва да се има предвид обаче, че с намаля-
ването на обема се намалява и к. п. д. на високоговорителя, т. е.
понижава се средното ниво на характеристиката.

Двуленливо озвучително тяло тип 20Т40-2. На базата на
електрическото решение на предшните две озвучителни тела —
комбинация от високоговорители и разделителен филтър — може
да се изчисли озвучително тяло с фазоинвертор. Приема се, че
озвучителното тяло ще се захранва от усилвател с $R_i = 0$ и

$Q_T = 5$, от което следва, че изчислението ще се извърши,
като се използват графиките от фиг. 3.15.

За $Q_T = 0,358$ се отчита: $\alpha = 1,95$; $x_3 = 1,22$; $h = 1,15$.

За обема на озвучителното тяло се получава $V = 33 \text{ dm}^3$.

Честотата е $f_3 = 34 \text{ Hz}$.

Резонансната честота на фазоинвертора е $f_{\phi} = 32 \text{ Hz}$.

За сметка на увеличаване на обема честотата на сръзване f_3
се понижки на 34 Hz . Може да се приеме, че долната гранична че-
стота на озвучителното тяло, на ниво -8 dB , ще бъде 30 Hz .

Както е възприето да се казва — получи се чудесен бас. При го-
ва обемът от 33 dm^3 може да се причисли към приемливите за
домашни условия.

Приема се фазоинверторът да се реализира от пластмасова
тръба. Размерите ѝ се определят в следния ред:

определя се отношението между дължината и площта на се-

чението $\frac{l_{\phi}}{S_{\phi}} = 63$;

поради голямата стойност на отношението трябва да се приемем мал-

ка площ на сечението на тръбата, за да се получи приемлива

дължината и $D_{\phi} = 50 \text{ mm}$;

определя се $l_{\phi} = 123 \text{ mm}$.

Честотната характеристика на изчисленото озвучително тяло
ще съответства на максимално плоска характеристика на фил-
тър квази-Батърворт от трети ред.

При конструиране на озвучително тяло от NiFi клас трябва
често реномираните производители определят параметрите на ви-
сокоговорителя, изхождайки от изискванията на озвучителното
тяло. След това конструират високоговорител, който да отговаря
на тези изисквания. Такъв подход в настоящата книга е изпи-
шен, тъй като възможността за конструиране на нови високогвори-
тели не е в рамките на възможностите на читателя. Възможни
са обаче модификации на съществуващи високоговорители, при
които да се получат различни параметри.

Например високоговорителят тип ВКН1031 може да се изра-
боти с друг вид гумени гънки и да се получат следните пара-
метри:

$f_p = 43 \text{ Hz}$; $m = 22 \text{ g}$; $c = 0,625 \cdot 10^{-3} \text{ mN}^{-1}$; $V_c = 27 \text{ dm}^3$,

$Q_{mp} = 3,00$; $Q_{ep} = 0,6$; $Q_{mp} = 0,5$.

Този високоговорител може да се използва в озвучително
тяло тип 20Т40-2, при което се отчитат следните параметри за
 $R_i = 0$:

$\alpha = 0,42$; $x_3 = 0,78$; $h = 0,82$.

За параметрите на озвучителното тяло се получава:

$V = 64 \text{ dm}^3$; $f_3 = 33,5 \text{ Hz}$ и $f_{\phi} = 35,2 \text{ Hz}$.

Честотната характеристика на това озвучително тяло съответ-
ства на равновълнова характеристика на филтър на Чебишев от
четвърти ред и загова честотата на сръзване е по-ниска от резо-
нансната честота на високоговорителя.

За фазоинвертора се получава $\frac{l_{\phi}}{S_{\phi}} = 39$.

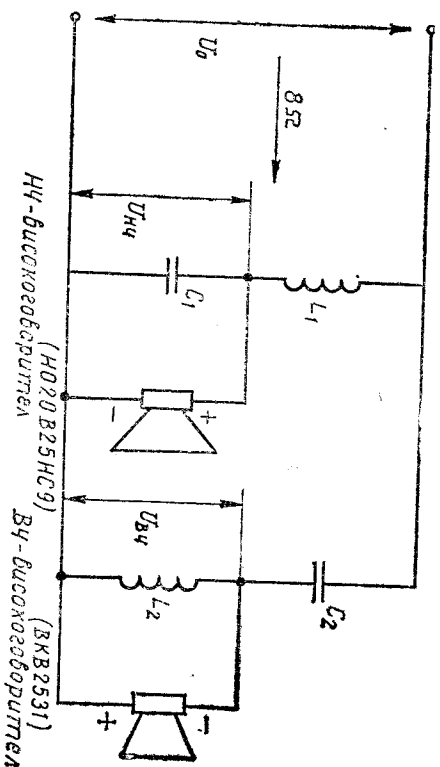
Приема се $D_{\phi} = 60 \text{ mm}$ и за дължина на тръбата се получава
 $l_{\phi} = 110 \text{ mm}$.

Долната гранична честота на озвучителното тяло, на ниво
 -8 dB , може да се приеме 32 Hz , а номиналният му честотен
обхват — от 32 до 18000 Hz . Обемът му е с 93% по-голям от
необходимия за високоговорителя с резонансна честота 28 Hz , но
е приемлив за използване в домашни условия. Предимство за
озвучителното тяло е лесното реализиране на фазоинвертора.

С този пример се показва, че при оптимално проектиране на
озвучителни тела е възможно да се получат много широк често-

тен обхваят на възпронзвекдане и от високоговорителите, които имат не много добри параметри. В случая разликата между резонансните честоти на двата високоговорителя е 15 Hz или относително 54 %, докато честотите на срязване f_s са почти равни. Към това трябва да се прибави и разликата между обемите с 93 %. Твърде често понижаването на резонансната честота на даден високоговорител е поставя като самоцел, без да се свързва с останалите параметри на високоговорителя. По-правилно е успоредно с намаляване на резонансната честота да се намаляват и съответните качествени фактори на високоговорителя.

Двуленитово озвучително тяло тип 20T25-1. За нискочестотен високоговорител ще се използва типът HD20B25H2C9, а за високочестотен — типът ВКВ2531. Двата високоговорителя са много подходящи за съвместна работа — нискочестотният е с паспортна мощност 25 W, а високочестотният — 20 W, но от 2000 Hz, а при разделителна честота 3—4 kHz може да понесе 25—30 W. От честотните характеристики на високоговорителите се установява, че при мощност 1 W те поддържат ниво в подобхватите си 86 ± 2 dB. Освен това отговарят на изискванията



Фиг. 4.37

та за Hi-Fi клас по отношение на коефициентите на хармонични изкривявания.

Електрическо изчисление на озвучителното тяло. Схемата на филтъра е дадена на фиг. 4.37.

Избор на разделителна честота. Поради посочените вече съображения се приема $f_s = 3400$ Hz.

Изчисляване елементите на филтъра. Определят се от изискването за получаване на максимално плоска честотна характеристика — използват се зависимостите (2.57), (2.58), (2.77) и (2.78). Кондензаторът $C_1 = 4,15$ μ F. Према се $C_1 = 4$ μ F.

$$L_1 = 0,526 \text{ mH},$$

$$C_2 = C_1 = 4 \mu\text{F}; L_2 = 0,526 \text{ mH}.$$

След настройване на филтъра, натоварен с високоговорителите, се получава стойностите: $C_1 = 4$ μ F; $L_1 = 0,81$ mH; $C_2 = 3,0$ μ F; $L_2 = 0,35$ mH.

Акустично изчисление на озвучително тяло. Данни за параметрите и показателите на двата високоговорителя са дадени в първа глава. Необходимо е да се определи типът на озвучителното тяло — приема се да се реализира с фазинвертор.

Изчисленията се провеждат от графиките на фиг. 3.15. За $Q_T = 0,47$ се отчита $\alpha = 0,58$; $x_s = 0,85$; $h = 0,89$.

При тези параметри на озвучителното тяло честотната му характеристика ще съответства на характеристиката на филтъра на Чебишев от четвърти ред.

Обемът V_c съответстваещ на гъвкавостта на високоговорителя, е $V_c = 95$ dm³.

Обемът на озвучителното тяло се получава $V = 164$ dm³. Той е трудно приемлив за домашни условия.

Честотата на срязване е $f_s = 23$ Hz.

Резонансна честота на фазинвертора е $f_\phi = 24$ Hz.

За размерите на фазинвертора се получава $\frac{l_\phi}{S_\phi} = 32,7$.

Према се $D_\phi = 100$ mm и се определя $l_\phi = 256$ mm.

Размерите на тръбата на фазинвертора са в съответствие с големите размери на озвучителното тяло.

Обемът на озвучителното тяло 20T25-1 с фазинвертор може да се намали, като се намали качественият му фактор. Ако се намали обемът, без да се намалява качественият фактор, честотната характеристика на озвучителното тяло ще съответства на филтъра квази-Батърворт от трети ред, но ще има значителен подем, т. е. няма да бъде максимално плоска.

Двуленитово озвучително тяло тип 20T20-1. За създаването му се използват следните високоговорители: ВКН0822 — нискочестотен — 4 Ω , ВКВ2521 — високочестотен — 4 Ω .

С оглед да се получи по-висок качествен фактор на нискочестотния високоговорител могат да се заменят гънките му с друг

тип, които имат по-малки механични загуби, при което се получава

$$Q_{Mr}=2,60, Q_{sp}=0,58, Q_{Tр}=0,48.$$

Останалите параметри на високоговорителя се запазват.

Електрическо изчисление. Схемата на разделителния филтър е идентична с дадената на фиг. 4.37.

Избор на разделителна честота. Малките размери на ниско-честотния високоговорител позволяват да се избере по-висока разделителна честота. Използването на високочестотен разделителен филтър от втори ред позволява разделителната честота да бъде близка до долната гранична честота за високоговорител тип ВКВ2521 — 2000 Hz. Приема се $f_p=3000$ Hz.

Изчисляване на елементите на филтъра. При изчисляване на разделителни филтри от втори ред неотклонно се следва изискването за получаване на максимално плоска характеристика. Използват се зависимостите (2.57), (2.58) (2.77) и (2.78). Приема се, че товарът на филтровите звена е равен на номиналния импеданс на високоговорителите $Z_T=R_T=4 \Omega$.

$$C_1=9,35 \mu F. \text{ Приема се } C_1=C_2=10 \mu F.$$

$$L_1=L_2=0,3 \text{ mH}.$$

Точните стойности се установяват след реализиране на филтровите звена и натоварването им със съответните високоговорители. Получава се: $C_1=12 \mu F$; $C_2=8 \mu F$; $L_1=0,3 \text{ mH}$; $L_2=0,25 \text{ mH}$.

Акустично проектиране. Приема се, че озвучителното тяло ще се захранва от усилвател с $R_i=0$, при което пълният му качествен фактор ще бъде равен на този на високоговорителя. При тези условия е много благоприятно да се реализира озвучително тяло с фазоинвертор.

Приема се $Q_e=Q_T=5$ и изчисленията се извършват, като се ползват графиките от фиг. 3.15. За $Q_T=0,48$ се отчита

$$\alpha=0,55; x_2=0,81; h=0,92.$$

При тези стойности на параметрите на озвучителното тяло честотата му характеристика ще съответства на характеристиката на високочестотен филтър на Чебишев от четвърти ред.

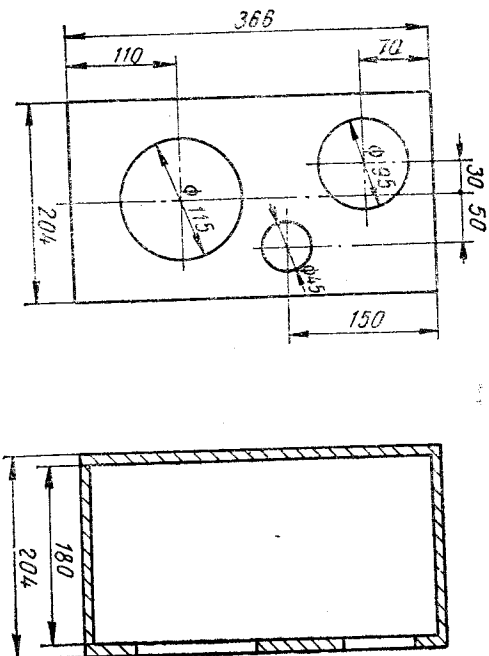
За обема на озвучителното тяло се получава $V=11,1 \text{ dm}^3$. Честотата на срязване е $f_3=48,6 \text{ Hz}$.

Резонансната честота на инвертора е $f_p=55,2 \text{ Hz}$.

Размерите на фазоинвертора се определят, както и в предшестващите примери $\frac{1}{S_{\phi}}=92$.

Избира се малка стойност за S_{ϕ} , тъй като и обемът на озвучителното тяло е малък — тръба с диаметър $D_{\phi}=40 \text{ mm}$. За дължина на тръбата се получава $l_{\phi}=114 \text{ mm}$.

На фиг. 4.38 е показана конструкцията на озвучителното тяло



Фиг. 4.38

тип 20Т20-1, а на фиг. 4.39 — честотните му характеристики. В обема на озвучителното тяло тръба да се постави звукопогълтателен материал — около 100 g.

Ефективният честотен обхват на изчисленото озвучително тяло е от 40 до 18 000 Hz при обща неравномерност на честотната характеристика, не по-голяма от 12 dB. Характеристичната му чувствителност е не по-малка от 0,4 PaW^{-0,5}. Коэффициентът на хармонични изкривявания и диаграмата на насоченост отговарят на изискванията за Н1-Н1 клас. Паспортната му мощност е 20 W, а номиналният импеданс — 4 Ω.

Същото озвучително тяло може да се реализира със затворен обем тип 20Т20-2. Неговите параметри, при условия, че обемът остане $V=11,1 \text{ dm}^3$, ще бъдат:

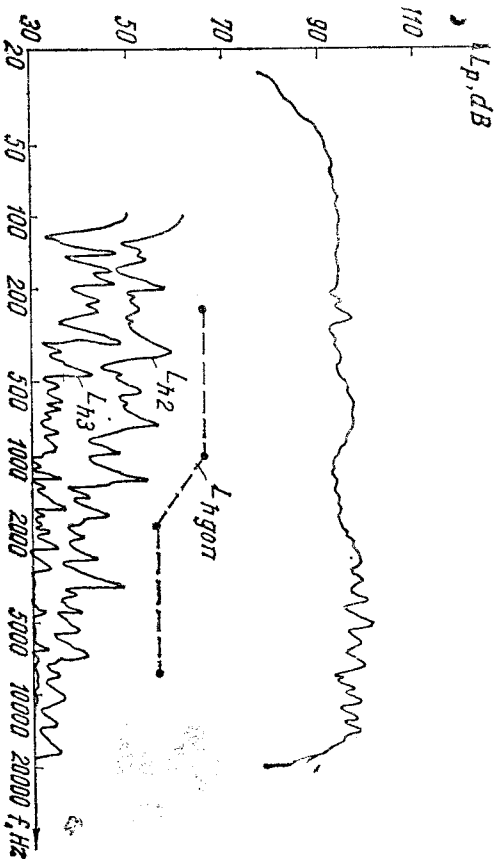
коэффициентът $\alpha=0,55$;

резонансната честота $f_p=74,2 \text{ Hz}$;

електрически качествен фактор $Q_e=0,72$, а $Q_T=0,565$;

честота $f_3=97 \text{ Hz}$, а честотата $f_6=66 \text{ Hz}$.

Разликата е много голяма — при един и същи обем и напъ-
лно илгични високоговорители, само в резултат на поставянето
на оптимално размерен фазоинвертор честотата на срязване f_s
се понижи с цяла октава — от 97 Hz на 48,6 Hz.



Фиг. 4.39

По електрически път (чрез увеличаване на R_i) може да се
увеличи Q_T до 0,707, при което за честотите f_s и f_0 ще се получи
 $f_s=74$ Hz и $f_0=57$ Hz.

Двуленгово озвучително тяло тип 20T20-3. За реализира-
нето му се използват следните типове високоговорители:
нискочестотен ВКН0932, с номинален импеданс 8 Ω ;
височестотен ВКВ2531, с номинален импеданс 8 Ω .

Номиналният импеданс на озвучителното тяло ще бъде също
8 Ω .

Необходимите данни за високоговорителите са дадени в пър-
ва глава.

Електрическо изчисление. Разделителният филтър ще бъде
реализиран съгласно схемата, дадена на фиг. 4.37.

Избор на разделителна честота. Параметрите и показателни-
те на високоговорителите позволяват да се избере разделителна-
та честота в обхвата от 2000 до 4000 Hz. Приема се $f_p=2800$ Hz.

Изчисляване на елементите на филтъра. Приема се, че то-
варът на филтровите звена е равен на номиналния импеданс на

високоговорителите $Z_T=R_T=8 \Omega$. Използват се отново зависи-
мостите (2.57), (2.58), (2.77) и (2.78).

$$C_1=C_2=5 \mu F,$$

$$L_1=L_2=0,64 \text{ мН}.$$

След реализиране на филтъра и свързване на използваните
високоговорители за товар на съответните филтрови звена стой-
ностите на елементите на филтъра се уточниха на:

$$C_1=6 \mu F; C_2=4 \mu F; L_1=0,64 \text{ мН}; L_2=0,35 \text{ мН}.$$

Капацитетът на C_1 ще се реализира от паралелното свързване на
два кондензатора — $C_1=4 \mu F$, тип МБГП-2 и $C_1=2 \mu F$, тип
КМГТ-96. Ако се приеме бобините да се изпълнят от меден про-
волник с диаметър 1 mm, за определяне на броя на навивките
се използва табл. 2.1. Получава се $n_1=114$ нав., $n_2=80$ нав.

Акустично проектиране. Приема се да се реализира озвучи-
телно тяло със затворен обем, което да се захранва от усилва-
тел с пренебрежимо малко вътрешно съпротивление — $R_i=0$.

Приема се обем на озвучителното тяло $V=28 \text{ дм}^3$.

Определя се резонансната честота на озвучителното тяло $f_0=$
 $=64$ Hz.

Определя се електрическият качествен фактор $Q_e=0,84$.

Определя се пълният качествен фактор $Q_T=0,64$.

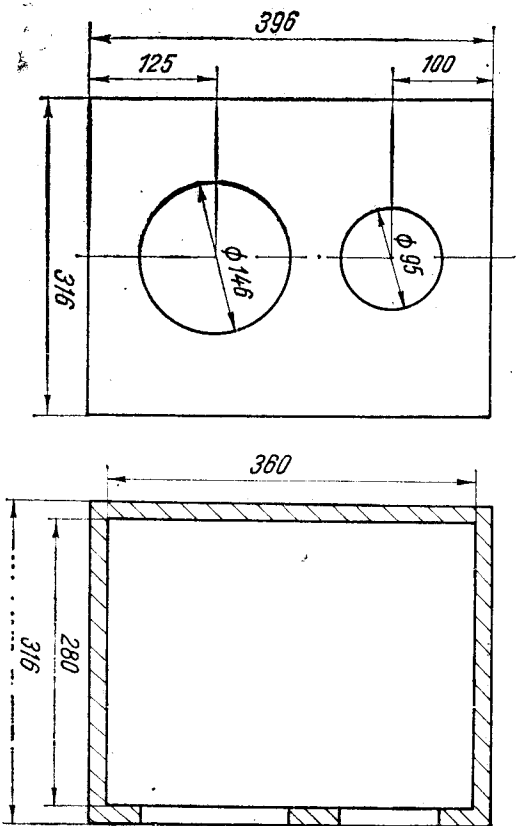
Определя се честотите $f_s=70$ Hz и $f_0=52$ Hz.

Номиналният честотен обхват на изчисленото озвучително тя-
ло ще бъде от 50 до 18000 Hz при неравномерност на честотна-
та характеристика, не по-голяма от 12 dB. Паспорната му мощ-
ност е 20 W, а чувствителността му — 0,5 Pa W^{-0,5}. Коэффициен-
тът на хармонични изкривявания и диаграмата на насоченост ще
отговарят на изискванията за Hi-Fi клас.

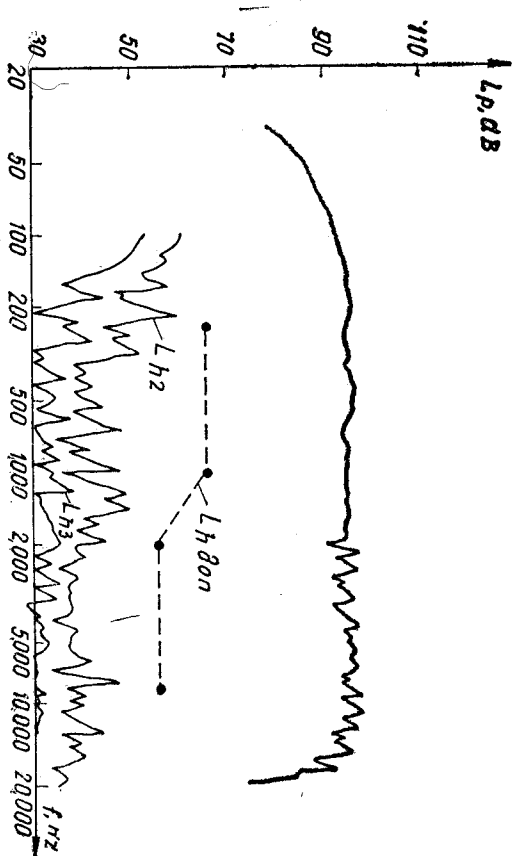
В озвучителното тяло трябва да се постави 150 g звукопо-
глъщащ материал. Както бе посочено, това ще доведе до уве-
личаване на твърдостта на обема или до намаляване на коэффи-
циента ϕ . В крайна сметка ще се разшири номиналният честотен
обхват към ниските честоти. Възможно е да се намали обемът
на около 22 дм³ и да се запазят изчислените параметри.

На фиг. 4.40 е дадена конструкцията на кутията за озвучи-
телно тяло 20T20-3. Пред високоговорителите се поставят ин-
дивидуални пръстени с метални решетки вместо обща решетка
от плат. Може да се използват същите елементи както за
ОГС1-03. На фиг. 4.41 са дадени честотните характеристики на
озвучителното тяло, снети при условията за измерване на коэффи-
циента на хармоничните за озвучителни тела от Hi-Fi клас.

Двулементно озвучително тяло тип 20Т40-3.
 Озвучително тяло с по-голяма паспортна мощност и неоглям обем може да се получи, като се използвава следната комбинация от високоговорители:



Фиг. 4.40



Фиг. 4.41

Височестотен — 2 броя от тип ВКНО822, с номинален импеданс 4 Ω ;
 Височестотен — 2 броя от тип ВКВ2521, с номинален импеданс 4 Ω .

Електрическо проектиране. Еднотипните високоговорители се свързват последователно и се получава еквивалентен номинален импеданс 8 Ω . Електрическата схема на разделителния филтър и свързването на високоговорителите е както на фиг. 4.28.

Избор на разделителна честота. Озвучителното тяло е изградено от по два еднакви високоговорителя, за да се увеличи паспортната му мощност. Изборът на разделителна честота трябва да се подчини на същото съображение. По принцип нискочестотните високоговорители издържат по-големи краткотрайни претоварвания. Приемането на по-висока разделителна честота ще постави височестотните високоговорители в по-благоприятен термичен и механичен режим. Затова се приема $f_r = 4000$ Hz.

Изчисляване на елементите на филтър. Товарът на филтърните звена е равен на удвоената стойност на номиналния импеданс на всеки от използваните високоговорители $Z_T = R_T = 2Z_{ном} = 8 \Omega$. Изчисленията се провеждат за получаване на максимално плоски характеристики на филтърните звена.

$$C_1 = C_2 = 3,5 \mu F, \\ L_1 = L_2 = 0,45 \text{ mH.}$$

След настройка на филтърта при реални условия се получава:

$$C_1 = 5,0 \mu F; C_2 = 3,0 \mu F; L_1 = 0,51 \text{ mH}; L_2 = 0,35 \text{ mH.}$$

Капацитетът 5 μF може да се получи от паралелното свързване на два кондензатора — $C_1' = 4 \mu F$, тип МБГП-2 и $C_1'' = 1 \mu F$, тип КМГТ-96, а капацитетът 3 μF — от паралелното свързване на два кондензатора от типа КМГТ-96 с капацитета $C_2' = 2 \mu F$ и $C_2'' = 1 \mu F$.

Броят на навивките на bobините за получаване на изчислената индуктивност се определя от табл. 2.1: $n_1 = 101$ нав. и $n_2 = 80$ нав.

Акустично проектиране. Приема се акустичната система да бъде озвучително тяло със затворен обем $V = 20 \text{ dm}^3$. За изчисленията се пренебрегва влиянието между двата нискочестотни високоговорители — все едно, че всеки от тях функционира в собствен обем $V_1 = 10 \text{ dm}^3$. Резултат на взаимодействието-възпроизвеждането на ниските честоти се подобрява, но подобренето ще остане като резерв. Ако съществува опасност от влошаване на параметрите вследствие на резултат от взаимодействие-

то, обемът може да се преради на две. Изчислената се провеждат както при озвучително тяло с един нискочестотен високоговорител.

Определя се коефициентът $\alpha=0,62$.

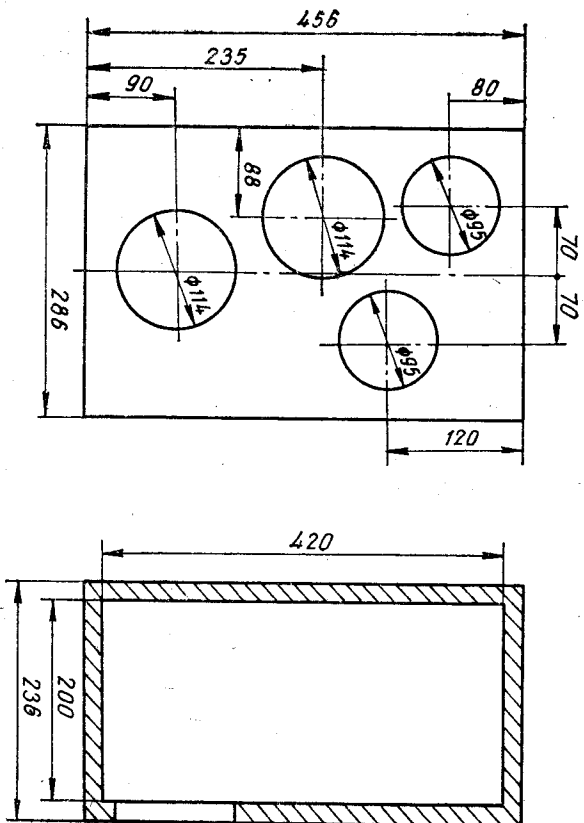
Определя се резонансната честота на озвучителното тяло $f_0=75$ Hz.

Определя се електрическият качествен фактор $Q_e=0,63$.

Определя се пълният качествен фактор $Q_T=0,52$.

Определя се честотите $f_s=110$ Hz и $f_e=72$ Hz.

Честотата на сръзване f_s и честотата f_e са сравнително високи. Това се дължи на малката стойност на качественния фактор, поради което честотната характеристика на озвучителното тяло не е максимално плоска, а нивото ѝ е значително по-ниско от това на максимално плоската характеристика. За коригиране на честотната характеристика е необходимо да се увеличи качественният



Фиг. 4.42

фактор на озвучителното тяло. Това може да се осъществи чрез увеличаване на изходното съпротивление на усилвателя, но е свързано със загуба на електрическа енергия. За предпочитане е да се коригира механичната конструкция на самия високоговорител.

например да се използва по-слабо импрегниран плат за гънките за окачване на трептящата система.

Ако системата се регулира така, че $Q_T=0,707$, без да се изменят останалите параметри, ще се получи

$$f_s=75 \text{ Hz, а } f_e=58 \text{ Hz.}$$

Този резултат вече е задоволителен.

Номиналният честотен обхват на озвучителното тяло е от 50 до 18 000 Hz при неравномерност на честотната характеристика не повече от 12 dB. Паспортната му мощност е 40 W, но поради високата разделителна честота и по-големите възможности за натоварване на високоговорителите ВКН10822 озвучителното тяло може да се комплектува към усилватели с номинална изходна мощност до 60 W. Диаграмата на насоченост и коефициентът на хармонични изкривявания отговарят на изискванията за Н1-Г1 клас. Характеристичната му чувствителност е не по-малка от 0,7 Pa W^{-0,5}.

На фиг. 4.42 е показана конструкцията на кутията за изчисленото озвучително тяло. За декоративни елементи пред високоговорителите трябва да се използват същите, които се използват и при озвучително тяло 20Т20-1. Всички лицеви повърхности трябва да се фурнироват и обработят. В обема трябва да се постави около 100 g звукопоглъщащ материал.

На фиг. 4.43 са дадени честотните характеристики на озвучителното тяло и хармоничните, снети при условията за измерване коефициента на хармонични изкривявания на озвучителни тела от Н1-Г1 клас.

Двуленново озвучително тяло тип 20Т40-4. Принципно то е идентично на 20Т10-3 — разликата е в това, че номиналният му входен импеданс е 4 Ω. Изградено е от два броя паралелно свързани нискочестотни високоговорители тип ВКН10832 с номинален импеданс 8 Ω и два броя паралелно свързани високочестотни високоговорители тип ВКВ2531 с номинален импеданс 8 Ω. Електрическата схема на филтъра и свързването на високоговорителите е дадено на фиг. 4.44. Необходимо е само да се изчислят елементите на филтъра за същата разделителна честота, като се вземе предвид, че $Z_T=R_T=\frac{Z_{\text{ном}}}{2}=4 \Omega$.

$$C_1=C_2=7 \mu F, L_1=L_2=0,90 \text{ mH.}$$

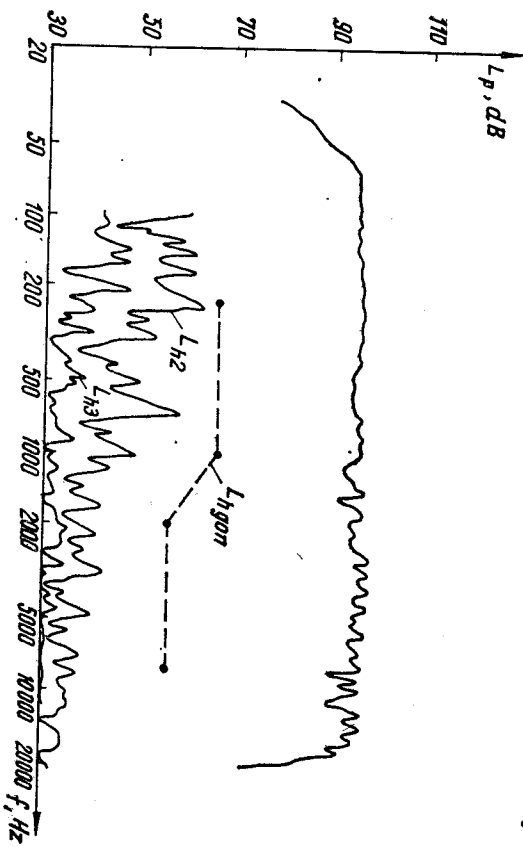
След практическа настройка на филтъра при реален товар сеполучава

$$C_1=10 \mu F, C_2=6 \mu F, L_1=0,95 \text{ mH, } L_2=0,48 \text{ mH.}$$

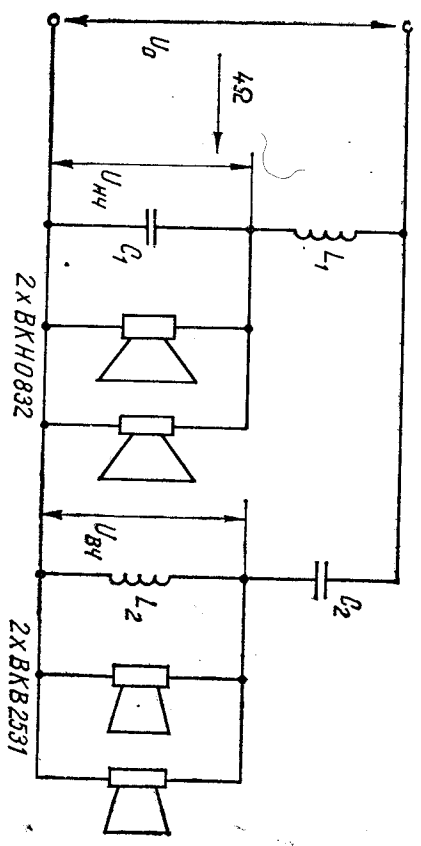
Всички параметри и показатели на 20Т40-4 ще бъдат еднакви с тези на 20Т40-3.

Двулентно озвучително тяло тип 20Т40-5.

Независимо от сравнително големите си размери, нискочестотният високоговорител тип ВКН1221 е много подходящ за създаване на висококачествени озвучителни тела, в това число и дву-



Фиг. 4.43

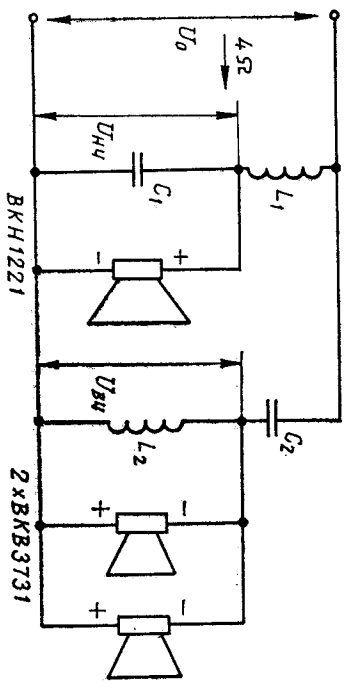


Фиг. 4.44

лентови. Необходимо е да се комплектува с подходящи високо-честотни високоговорители. Една сполучлива комбинация може да се създаде, като се използва един високоговорител тип ВКН1221 и два високоговорителя тип ВКВ3731. Необходимите данни за високоговорителите са дадени в първа глава. В системата е прието да се използват два броя високочестотни високоговорителя, за да може да се създаде озвучително тяло с паспортна мощност 40 W. Освен това двата типа високоговорители имат различна чувствителност — нивото на характеристикната чувствителност на ВКВ3731 е с около 3 dB по-ниско от това на ВКН1221. С използването на два броя ВКВ3731 общото ниво, което създават, ще бъде с 3 dB по-високо от това на единия и точно ще се изравни с нивото, създавано от ВКН1221.

Как трябва да се свържат високоговорителите? Нискочестотният високоговорител е с номинален импеданс 4 Ω и той ще определи номиналния импеданс на озвучителното тяло — 4 Ω. Следователно двата високочестотни високоговорителя ще се свържат паралелно. Двете филтрови звена ще бъдат от втори ред. Схемата на филтъра и свързването на високоговорителите е дадено на фиг. 4.45.

Избор на разделителна честота. Нискочестотният високо-



Фиг. 4.45

говорител е със сравнително големи размери, поради което започва да излъчва насочено при по-ниски честоти. Затова не е желателно разделителната честота да бъде по-висока от 3000 Hz. Долната гранична честота на високочестотните високоговорители е

1500 Hz, но не е желателно разделилелната честота да бъде по-ниска от 2000 Hz. Приема се средната стойност $f_p = 2500$ Hz.

Изчисляване на елементите на филтъра. Товарът на нискочестотното звено се приема равен на номиналния импеданс на високочестотния $Z_T = R_T = 4 \Omega$. Товарът на високочестотното звено е равен на половината от номиналния импеданс на ВКВ3731, т. е. $Z_T = \frac{Z_{нoк}}{2} = 4 \Omega$. Елементите се изчисляват от условията за получаване на максимално плоски характеристики и за двете звена:

$$C_1 = C_2 = 11,2 \mu F, \\ L_1 = L_2 = 0,36 мН.$$

След настройване на филтъра при реални за неговото функционирание условия се използва

$$C_1 = 16 \mu F, C_2 = 8 \mu F, L_1 = 0,56 мН, L_2 = 0,32 мН.$$

Капацитетът 16 μF може да се получи от паралелното свързване на един кондензатор с капацитет 15 μF , тип МБГП-2 и един кондензатор с капацитет 1 μF тип КМГП-96. Капацитет 8 μF може да се получи от паралелното свързване на два кондензатора с капацитет 4 μF тип МБГП-2.

Броят на навивките за бобините се определя от таблица 2.1, като се приема, че ще се изработят от меден проводник с диаметър 1 mm: $n_1 = 106$ нав; $n_2 = 77$ нав.

Акустично проектиране. Избира се акустична система на озвучително тяло със затворен обем. Акустичната гъвкавост на високоворителя тип ВКН1221 е голяма, т. е. еквивалентният обем съответствава на гъвкавостта на окачане е много голям $V_e = 380$ dm³. За озвучителното тяло трябва да се приеме също голям обем, но е ясно, че не може да се приеме също обема V_e . Приема се $V = 60$ dm³. Параметрите на озвучителното тяло се определят в следния ред:

Определя се коефициентът $\alpha = 6,3$.
Определя се резонансната честота на озвучителното тяло $f_0 = 67,5$ Hz.

Определя се електрическият качествен фактор $Q_e = 1,22$.
Първият качествен фактор на озвучителното тяло е $Q_T = 0,81$.
При тези стойности на първия качествен фактор честотната характеристика на озвучителното тяло няма да бъде максимално плоска, като нивото ѝ ще бъде по-високо от това на максимално плоската характеристика. За определена честота f_{max} характеристиката ще получи максимум.

Определят се честотите $f_s = 60$ Hz и $f_6 = 48$ Hz.

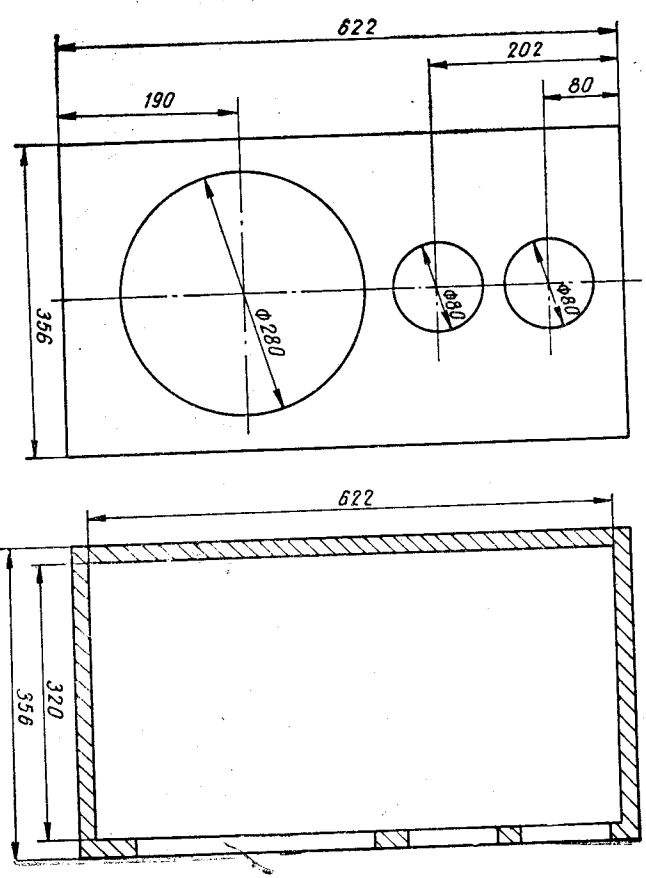
Честотата на сравняване f_s и честотата f_6 са по-ниски от резонансната честота на озвучителното тяло. Това се дължи на голямата стойност на първия качествен фактор — $Q_T > 0,707$.

Определя се честотата, за която честотната характеристика на озвучителното тяло получава максимум $x_{max} = 2,08$, а $f_{max} = 140$ Hz.

Нивото на характеристиката за x_{max} се определя от зависимостта (3.28 б) — $L_{max} = 0,35$ dB.

Нивото на максимума над средното ниво е пренебрежимо малко спрямо нивото на максимално плоска характеристика за същата честота 140 Hz — нивото L_{max} е само с 0,6 dB по-високо.

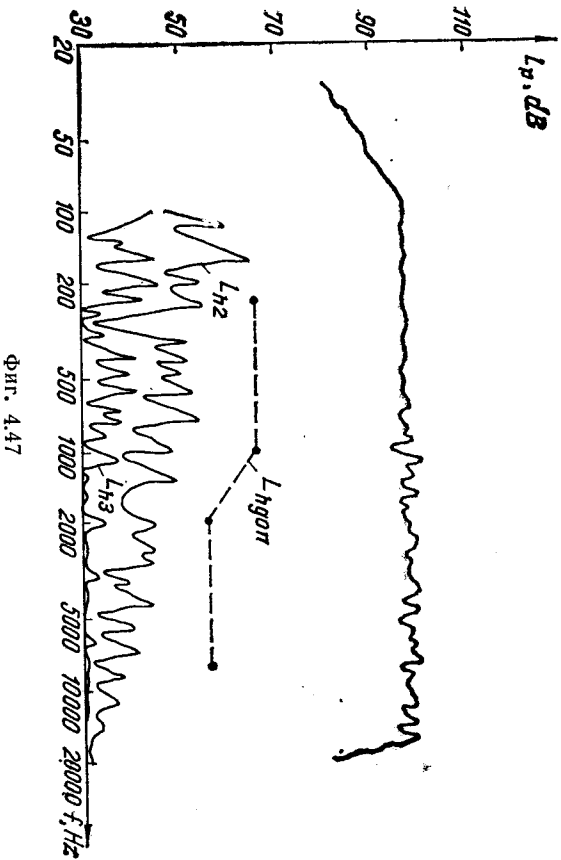
Номиналният честотен обхват на озвучителното тяло тип 20ГД40-5 при обща неравномерност на честотната му характеристика



Фиг. 4.46

12 dB, е от 45—50 Hz до 18 kHz. Коефициентът на хармонични изкривявания и диаграмата на насоченост отговарят на изискванията за Hi-Fi клас. Характеристичната му чувствителност е по-голяма от 0,8 Pa W^{-0,5} (нивото ѝ е по-високо от 92 dB). Не-

Зависимо от това, че паспортната му мощност е 40 W, озвучителното тяло 20T40-5 може да се комплектува към усилватели с номинална изходна мощност до 60 W—и двата типа използвани високоговорители понасят значителни краткотрайни претоварвания.



Фиг. 4.47

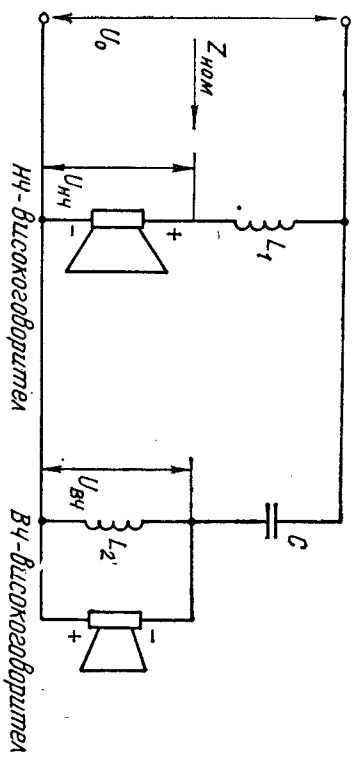
На фиг. 4.46 е дадена конструкцията на кутията за озвучителното тяло. Препоръчва се пред високоговорителите да се поставят индивидуални ръшетки с пръстени вместо обща ръшетка с влат.

На фиг. 4.47 са дадени честотната характеристика на озвучителното тяло и характеристиките на хармоничите, снети при условията за измерване коэффициента на хармоничите на озвучителни тела от Hi-Fi клас.

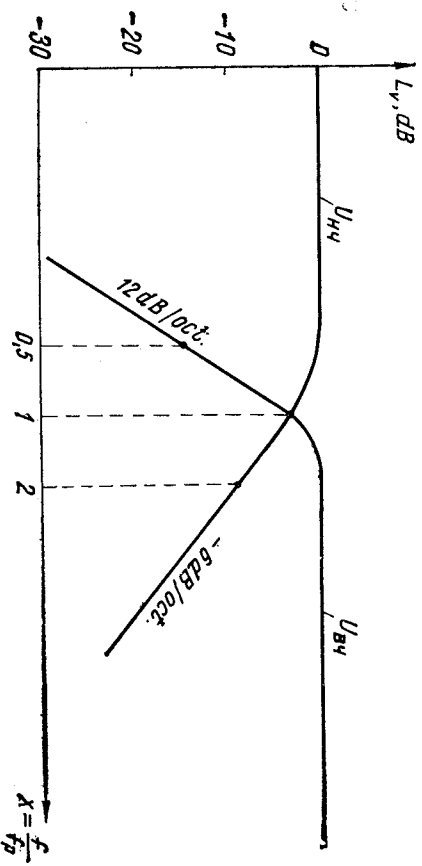
4.6. ДВУЛЕНТОВИ ОЗВУЧИТЕЛНИ ТЕЛА С РАЗДЕЛИТЕЛЕН ФИЛТЪР ОТ РАЗЛИЧЕН РЕД

Нискочестотното и височестотното звено на разделителен филтър за двулентово озвучително тяло може да бъдат от един и същи ред, но може да бъдат и от различен ред. Обикновено

нискочестотното звено на филтъра е от по-нисък ред, като разликата е един ред. Принципната схема на двулентово озвучително тяло с разделителен филтър от първи-втори ред е дадена на фиг. 4.48, а



Фиг. 4.48

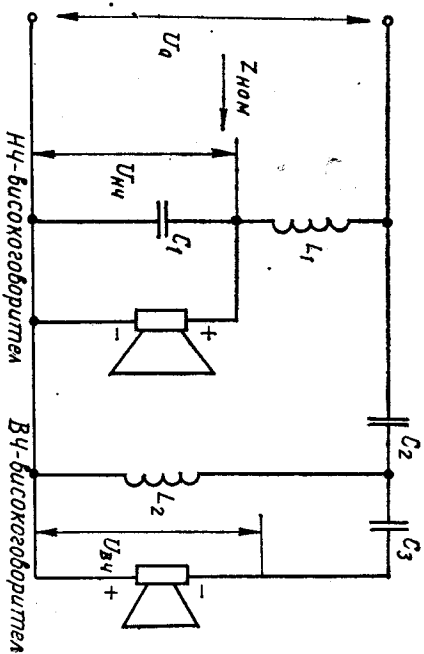


Фиг. 4.49

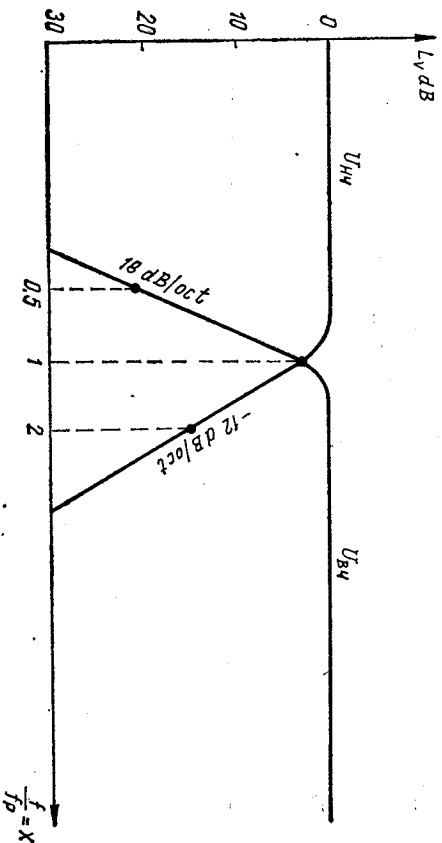
на фиг. 4.49 — честотните характеристики на изходните напрежения.

При анализа на разделителните филтри бе установено, че при разделителната честота изходното напрежение на нискочестотен филтър от първи ред е дефазизирано спрямо входното на -45° , а

находното напрежение на високочестотен филтър откритори ред— на 90° . Ако двата високочестотни филтъра се свържат синфазно към филтъра, входните им напрежения ще бъдат дефазирани едно спрямо друго на 135° , а ако бъдат свързани противофазно— на 45° . Затова на схемата от фиг. 4.48 е показано, че двата високочестотни филтъра са свързани противофазно.



Фиг. 4.50



Фиг. 4.51

На фиг. 4.50 е показана принципната схема на разделителен филтър от втори-трети ред, а на фиг. 4.51 — честотните характеристики на входните напрежения. При противофазно свързани високочестотните фазовата разлика между входните им напрежения е по-малка, отколкото при синфазно свързване.

Двуленливо озвучително тяло тип 20Г20-4

За реализирането му ще се използва комбинация от следните високочестотни филтъри: нискочестотен тип ВКН0932 и високочестотен тип ВКВ2531. Двата високочестотни филтъра са с еднаква паспортна мощност 20 W и имат приблизително еднаква чувствителност. Електрическо проектиране. Избира се разделителен филтър от първи-втори ред, чиято схема е дадена на фиг. 4.48.

Избор на разделителни честоти. Малките размери на нискочестотния високочестотен филтър позволяват да се избере по-висока разделителна честота— до 4—4,5 kHz. Използването на филтър от втори ред за високочестотния високочестотен филтър дава възможност да се избере по-ниска разделителна честота— до 2—2,5 kHz. Поради малката стръмност на затихване в областта на непропускане на нискочестотното звено на филтъра се препоръчва да се наберат близки, но различни разделителни честоти за двете звена на филтъра. Приема се разделителната честота на нискочестотното звено да бъде $f_{p1}=3200$ Hz, а на високочестотното звено— $f_{p2}=3600$ Hz.

Определение елементите на филтър. Индуктивността L_1 се определя от (2.13), а индуктивността L_2 и капацитетът на кондензатора C — от (2.77) и (2.78). Приема се, че филтърът е наварен с номиналните импеданси на високочестотните, т. е. $R_T=8 \Omega$ и за двете звена.

$$L_1=0,396 \text{ мН}, \quad L_2=0,5 \text{ мН}, \quad C=3,9 \mu\text{F}.$$

След реализиране на филтъра елементите му са уточнени, както следва: $L_1=0,68$ мН; $L_2=0,52$ мН; $C=3,3 \mu\text{F}$.

Броят на навивките на бобините за получаване на изчислените индуктивности, определени съгласно таблица 2.1, е $n_1=11,8$ нав, $n_2=10,2$ нав.

Акустично проектиране. Приема се акустичната система да бъде озвучително тяло с фазоинвертор. Приема се също, че коефициентът на загуба от усилвател с $R_i=0$, при което $Q_T=Q_{Tp}=0,523$. Изчислените параметри за озвучителното тяло при запазване на качествения фактор. Приема се, че загубите опреде-

дът $Q_p = Q_l = 5$, при което изчислената ще се проведе с по-мощта на граффиките от фиг. 3.15. За $Q_T = 0,523$ се отчита: $\alpha = 0,38$, $x_s = 0,70$, $h = 0,80$.

Обемът на озвучителното тяло трябва да бъде $V = 48 \text{ dm}^3$. Фазоинверторът трябва да се реализира с $f_{\phi} = 40 \text{ Hz}$. Честотата $f_s = 35 \text{ Hz}$.

Получи се много ниска честота на срез, т. е. долната гранична честота на озвучителното тяло ще бъде около 30 Hz . Трябало ще съответства на равновълнова характеристика на филтъра на Чебишев от четвърти ред. Затова f_s се получи по-ниска от резонансната честота на високоговорителя. Озвучителното тяло ще възпроизвежда много добре сигналите с ниска честота, но за сметка на значително голям обем в сравнение с малките размери на високоговорителя.

Независимо от големия обем, ако озвучителното тяло се оформи със затворен обем $V = 48 \text{ dm}^3$, ще се получи $f_s \approx 60 \text{ Hz}$ и $f_{\phi} \approx 45 \text{ Hz}$, т. е. значително по-висока от f_s при фазоинвертор. Ефектът от оптимално проектиран фазоинвертор е значителен.

Фазоинверторът ще бъде оформен, като се използва пластмасова тръба. Определя се отношението от дължината и сечението $\frac{l_{\phi}}{S_{\phi}} = 40,6$.

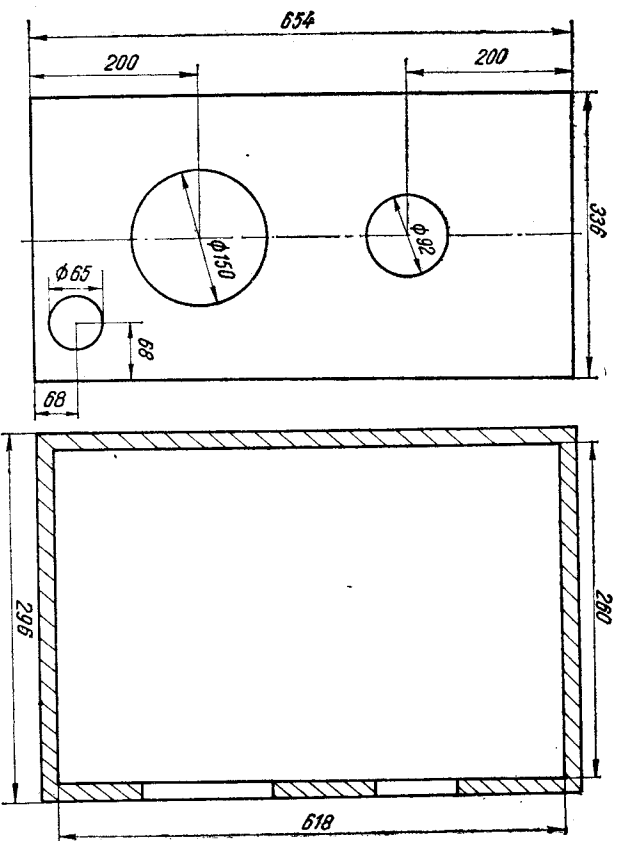
Избира се тръба с вътрешен диаметър $D_{\phi} = 60 \text{ mm}$ и за дължината на тръбата се получава $l_{\phi} = 115 \text{ mm}$.

Основните показатели на изчисленото озвучително тяло са: номинален импеданс 8Ω ; паспортна мощност 20 W ; номинален честотен обхват от 30 до $18\,000 \text{ Hz}$ при неравномерност на честотната характеристика не повече от 12 dB ; чувствителност, не по-малка от $0,4 \text{ Pa W}^{-0,5}$, коефициент на хармонични изкривявания и диаграма на насоченост — в съответствие с изискванията за Hi-Fi клас.

На фиг. 4.52 е дадена конструкцията на кутията за озвучително тяло 20T20-4. Декоративните елементи пред високоговорителите трябва да бъдат пръстен и решетка. Поради големите размери озвучителното тяло трябва да се изработва от плочи от дървесни частици с дебелина 18 mm . В обема му трябва да се постави около 200 g звукопоглътящ материал.

Двулемново озвучително тяло тип 20T40-6. За реализирането му ще се използват високоговорителите: нискочестотен тип ВКН1031 и високочестотен тип ВЛД408. Реалните чувствителности на двата високоговорителя са приблизително еднакви — $90 - 92 \text{ dB}$ при мощност 1 W на разстояние 1 m , имат еднаква

паспортна мощност — 40 W и номиналните им импеданси са 8Ω . Избор на разделителна честота. С цел да се намали опасността от претоварване на високочестотния високоговорител се избира $f_p = 3500 \text{ Hz}$. Нискочестотното звено на филтъра ще бъде



Фиг. 4.52

от втори ред, а високочестотното — от трети ред съгласно със схемата от фиг. 4.50.

Определяне елементите на филтъра. Изчисляват се от зависимостите (2.57), (2.58) и (2.88): за товар на филтровите звена се приема номиналният импеданс на съответния високоговорител, т. е. $Z_{T1} = Z_{T2} = R_T = 8 \Omega$. Приема се $m = 0,5$ и се определя $C_1 = 4 \mu\text{F}$, $L_1 = 0,52 \text{ mH}$, $C_2 = 3,75 \mu\text{F}$, $C_3 = 5,6 \mu\text{F}$, $L_2 = 0,182 \text{ mH}$.

След реализацията на филтъра елементите му бяха уточнени на следните стойности: $C_1 = 4 \mu\text{F}$; $L_1 = 0,7 \text{ mH}$; $C_2 = 3,3 \mu\text{F}$; $C_3 = 5 \mu\text{F}$; $L_2 = 0,31 \text{ mH}$.

Броят на навивките на бобините се определя от таблица 2.1: $n_1 = 120$ нав, $n_2 = 74$ нав.

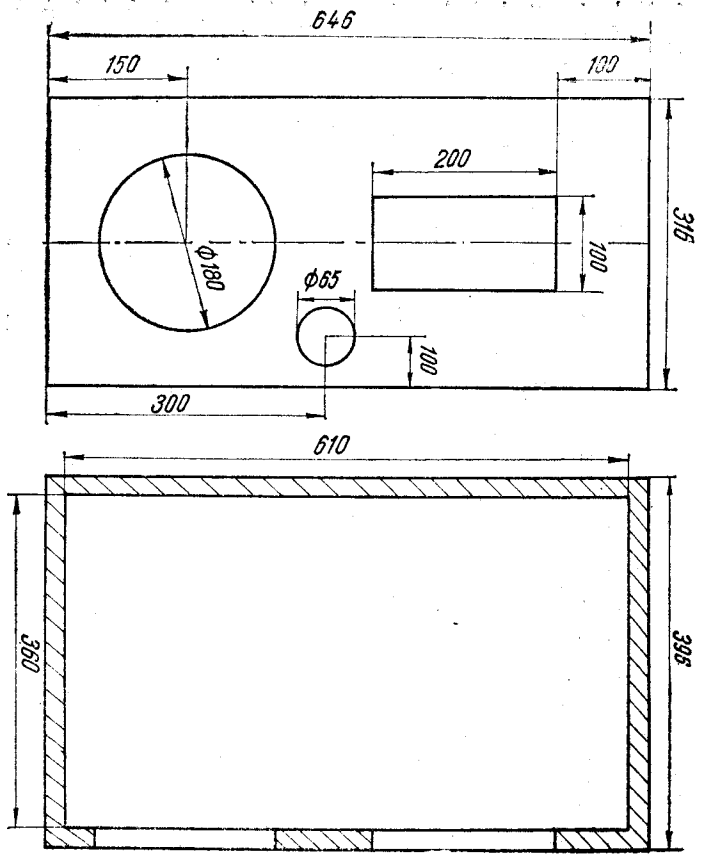
Акустично проектиране. Озвучителното тяло може да се изпълни в едно от изчислените акустични решения с високоговори-

тел ВКН1031—ОТС1-02, 20Т40-1 или 20Т40-2. Тук обаче ще се извършат изчисления за един вариант на високоговорителя тип ВКН1031, който е реализиран с друго окачване. Параметрите на този високоговорител са: резонансна честота $f_0 = 30$ Hz; динамична третяща маса $m_k = 22$ г; еквивалентна звукоизлъчваща повърхност $S = 1,76 \cdot 10^{-2}$ m²; гъвкавост на окачване $c_k = 1,27 \cdot 10^{-3}$ mN⁻¹; обем, съответстващ на гъвкавостта на окачване $V_c = 55$ dm³ и качествени фактори $Q_{nr} = 2,2$; $Q_{sp} = 0,4$; $Q_{tr} = 0,338$. Приема се акустична система озвучително тяло с фазоинвертор. Параметрите на озвучителното тяло да се определят така, че честотната му характеристика да съответства на максимално плоска характеристика на филтъра на Батърворт от четвърти ред. Приема се, че загубите в озвучителното тяло определят $Q_s = Q_T = 5$. При тези условия за изчисленията се използват графиките от фиг. 3.15. Отчита се, че за получаване на максимално плоска характеристика на Батърворт от четвърти ред е необходимо $Q_T = 0,414$, т. е. $Q_T > Q_{Tr}$. Следователно озвучителното тяло трябва да се запазва от усилвател с изходно съпротивление $R_i > 0$. Необходимо е качествен фактор е $Q_e = 0,5$. За получаване на този качествен фактор изходното съпротивление на усилвателя трябва да бъде $R_i = 1,76 \Omega$.

За $Q_T = 0,414$ от фиг. 3.15 се отчита $\alpha = 0,90$; $x_s = 1$; $h = 1$. Обемът на озвучителното тяло трябва да бъде $V = 61$ dm³. Честотата на сръза на озвучителното тяло ще бъде равна на резонансната честота на нискочестотния високоговорител $f_s = 30$ Hz. Резонансната честота на фазоинвертора също е равна на резонансната честота на високоговорителя $f_{\phi} = 30$ Hz. За определените конструктивните размери на фазоинверсия отвор се използва зависимостта (4.2) — $\frac{l_{\phi}}{S_{\phi}} = 56$. Приема се гръб с вътрешен диаметър $D_{\phi} = 60$ mm и се определя $l_{\phi} = 180$ mm. Основните показатели на изчисленото озвучително тяло са: номинален импеданс 8Ω ; паспортна мощност 40 W; ефективен честотен обхват на възпроизвеждане — от 28 до 32000 Hz, при равномерност на честотната характеристика не повече от 12 dB; чувствителност, не по-малка от $0,7$ Pa W^{-0.5}; диаграмата на насоченост и коефициентът на хармонични изкривявания отговарят на изискванията за Hi-Fi клас. Вижда се, че всички показатели на 20Т40-6 са по-високи от изискванията за озвучителни тела от Hi-Fi клас. Затова то може да се причисли към супер Hi-Fi клас.

Конструкцията на кутията е дадена на фиг. 4.53. В обема на

озвучителното тяло трябва да се постави около 200 г звукопоглъщащ материал. Подходящ материал за кутията е плочи от дървени частици с дебелина 18 mm. Може да се използват и по-дебели плочи, но по-тънки не се препоръчват.



Фиг. 4.53

Двуленгово озвучително тяло тип 20Т40-7. За реализирането му се използват следните типове високоговорители: нискочестотен тип ВКН1221 и високочестотен тип ВЛД404. Двата високоговорителя са с номинален импеданс 4Ω , паспортна мощност 40 W и чувствителност с ниво $92 - 93$ dB. Високите им качествени показатели са предпоставка за създаване на озвучително тяло от висок клас.

Електрическо проектиране. Избира се разделителен филтър от втори-трети ред съгласно със схемата от фиг. 4.50. При избора се има предвид, че лентовият високочестотен високоговорител не издържа въздействието на сигнали с ниска честота и е необходи-

мо затихването им да се осъществи с голяма стърмност. Ниско-честотният високоговорител може да функционира нормално и с филтър от първи ред, но се използва филтър от втори ред, за да се стесни обхвата, в който излъчват и двата високоговорителя.

Избор на разделителна честота. Приема се $f_p = 3500$ Hz, за да се предпази високочестотният високоговорител от евентуални претоварвания от сигнали с ниска честота. Не съществува опасност от насочено излъчване на нискочестотния високоговорител, което да енедопустимо за озвучителни тела от Hi-Fi клас.

Определение елементите на филтъра. Приема се, че филтровите звена са натоварени с активни съпротивления, чиято големина е равна на номиналните импеданси на високоговорителите — $Z_{T1} = Z_{T2} = R_T = 4 \Omega$. Приема се $m = 0,5$. Използват се зависимостите (2.57), (2.58) и (2.88).

$$C_1 = 8 \mu F; L_1 = 0,26 \text{ mH}; C_2 = 7,5 \mu F; C_3 = 11,2 \mu F, L_2 = 0,092 \text{ mH}.$$

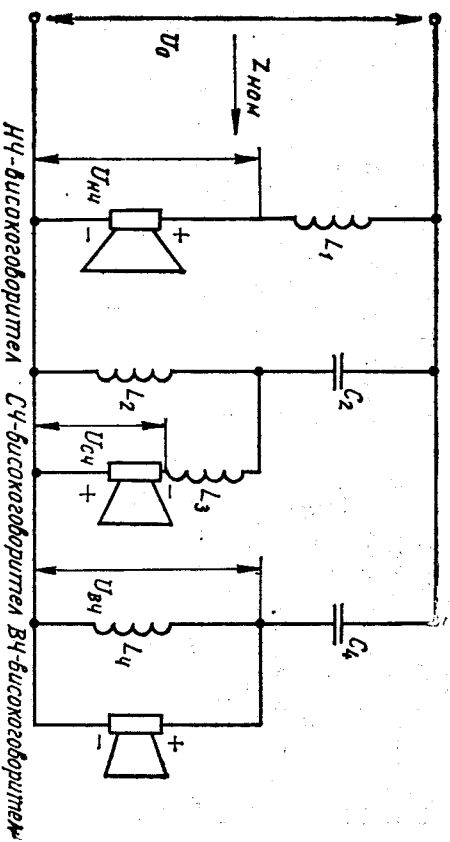
При реализиране на филтъра и използване за товар на съответните високоговорители за елементите на филтъра се получава: $C_1 = 10 \mu F$; $L_1 = 0,42 \text{ mH}$; $C_2 = 6 \mu F$; $C_3 = 15 \mu F$; $L_2 = 0,11 \text{ mH}$. Конструктивно бобините се изпълняват от меден проводник с диаметър 1 mm. Броят на навивките им се определя от таблици 2.1: $n_1 = 90$ нав, $n_2 = 40$ нав.

Акустично проектиране. Посочено бе, че е за предпочитане високоговорителят тип ВКН1221 да функционира в озвучително тяло съзавторен обем, тъй като получаването на оптимална честотна характеристика в озвучително тяло с фазоинвертор е свързано с много голям обем на озвучителното тяло или с много нисък качествен фактор на високоговорителя. Затова за озвучителното тяло 20T40-7 се приема затворен обем $V = 60 \text{ dm}^3$, съвпадащ с обема на озвучително тяло 20T40-5. При тези условия параметрите и показателите на 20T40 7 и на 20T40-5 ще бъдат еднакви, с изключение на ефективния честотен обхват на възпроизвеждане, който при 20T40-7 е до 32 kHz.

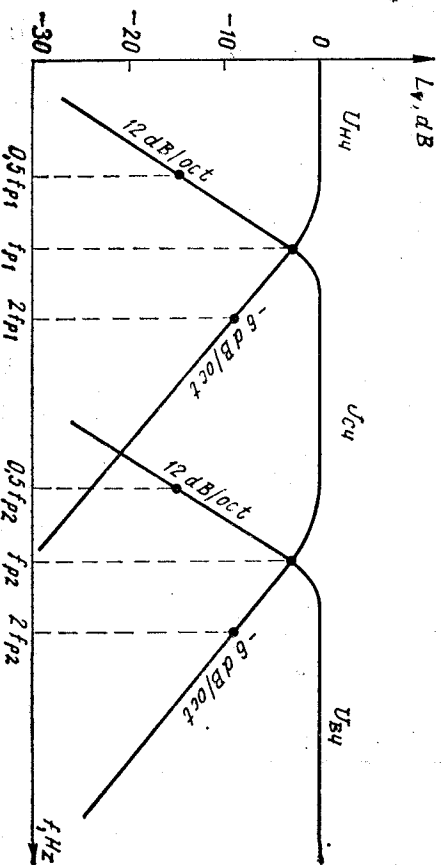
4.7. ТРИЛЕНТОВИ ОЗВУЧИТЕЛНИ ТЕЛА С РАЗДЕЛИТЕЛНИ ФИЛТРИ ОТ ПЪРВИ, ВТОРИ И ТРЕТИ РЕД

С трилентовите озвучителни тела, както бе посочено, се подобрява качеството на възпроизвежданата звукова картина. Разделенето на звуковия спектър на три подобхвата се осъществява с разделителни филтри, като отделните филтрови звена може да

бъдат от един и същи или от различен ред. Обикновено ниско-честотните звена са от по-нисък ред.
На фиг. 4.54 е дадена принципната схема на разделителен филтър за трилентово озвучително тяло. Индуктивността L_1 образува с нискочестотния високоговорител нискочестотен филтър

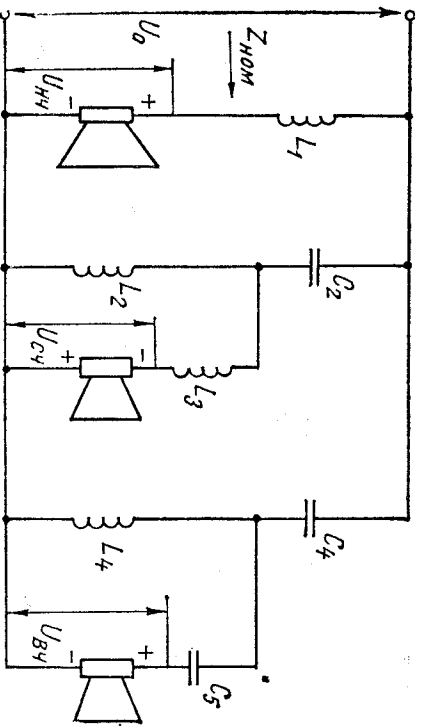


Фиг. 4.54



Фиг. 4.55

от първи ред, който ограничава постъпването към входа на ниско-
 честотния високоговорител на сигнали с честота, по висока от раз-
 делителната честота f_{p1} . Индуктивността L_2 , кондензаторът C_2 и
 средночестотният високоговорител образуват високочестотен фил-
 тър от втори ред, който ограничава постъпването на сигнали с
 честота, по-ниска от f_{p1} , към входа на средночестотния високого-
 ворител. Индуктивността L_3 и средночестотният високоговорител
 образуват нискочестотен филтър от първи ред, който ограничава
 постъпването към входа на средночестотния високоговорител на
 сигнали с честота, по-висока от втората разделителна честота f_{p2} .
 Индуктивността L_4 , кондензаторът C_4 и високочестотният висо-
 коговорител образуват високочестотен филтър от втори ред, кой-
 то ограничава постъпването към входа на високочестотния висо-
 коговорител на сигнали с честота, по-ниска от f_{p2} . На фиг. 4.55
 са дадени честотните характеристики на напреженията, подавани
 към съответните високоговорители. С $L_{HЧ}$ е означено нивото на
 напрежението на входа на нискочестотния високоговорител спря-
 мо напрежението на входа на филтъра, с $L_{СЧ}$ — на средночестот-
 ния и с $L_{ВЧ}$ — на високочестотния. От направения анализ за фазо-

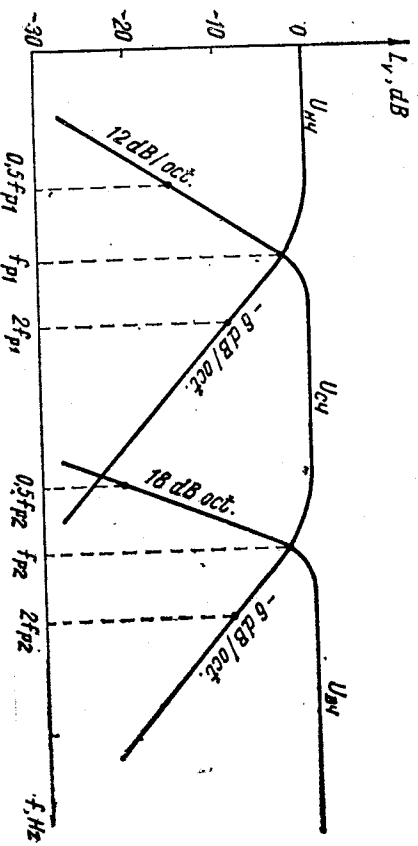


Фиг. 4.56

вите разлики между изходните и входните напрежения на съответни-
 те филтрови звена се установява, че приблизително синфазно излъч-
 ват в областта на разделителните честоти можда се получи, ако нис-
 кочестотният и високочестотният високоговорител се свържат син-

фазно, а средночестотният — противофазно за тях. На фиг. 4.54 е
 означен поляритетът на свързване на съответните високогово-
 рители.

На фиг. 4.56 е дадена принципната схема на разделителен



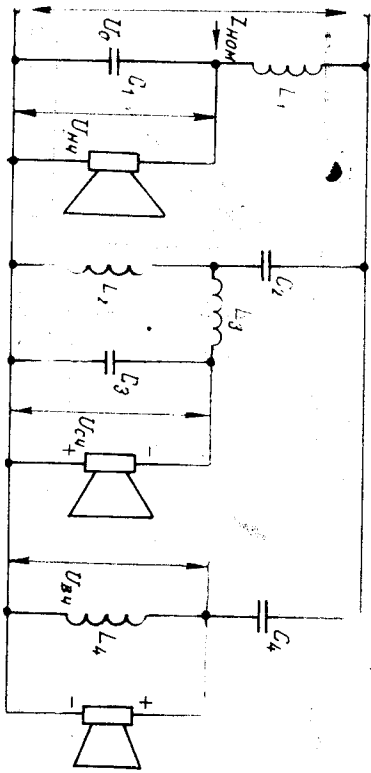
Фиг. 4.57

филтър за трилентово озвучително тяло, в който нискочестотно-
 то и средночестотното филтрово звено са идентични с тези на
 филтъра от фиг. 4.54. Кондензаторите C_4 и C_3 , индуктивността L_4
 и високочестотният високоговорител образуват високочестотен
 филтър от трети ред с разделителна честота f_{p2} . На фиг. 4.57 са
 дадени честотните характеристики на напреженията, подавани към
 съответните високоговорители. За получаване на приблизително
 синфазно излъчване в областта на разделителните честоти сред-
 ночестотният високоговорител трябва да се свърже противофазно
 спрямо останалите два.

На фиг. 4.58 е дадена принципната схема на разделителен
 филтър за трилентово озвучително тяло, в който индуктивност-
 та L_1 , кондензаторът C_1 и нискочестотният високоговорител обра-
 зуват филтър от втори ред с разделителна честота f_{p1} , а индук-
 тивността L_3 , кондензаторът C_3 и средночестотният високогово-
 рител образуват нискочестотен филтър от втори ред с разделител-
 телна честота f_{p2} . Останалите две филтрови звена са идентични
 със съответните им звена от филтъра, даден на фиг. 4.54. На схе-
 мата е означен поляритетът на свързване на високоговорителите
 за излъчване противофазното им излъчване в областта на разде-
 лителните честоти. На фиг. 4.59 са дадени честотните характе-

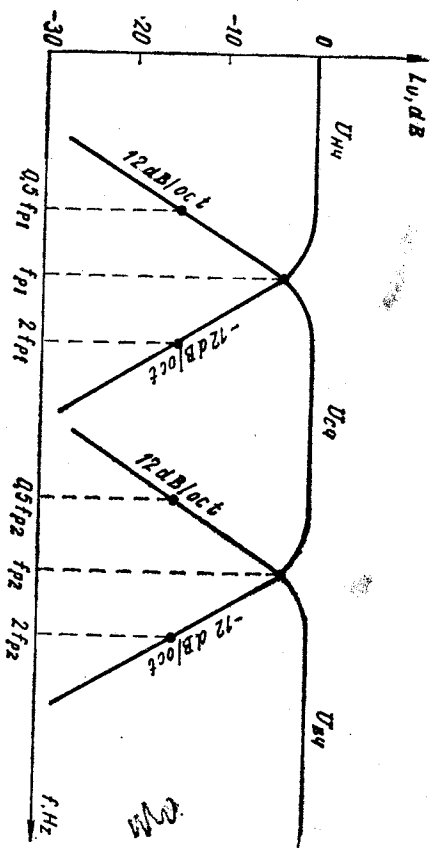
Ристигки на напреженијата, дејствуващи на входните клеми на съответните високоговорители.

Даденият на фиг. 4.60 разделителен филтър за трилентово озвучително тяло е идентичен с филтърта от фиг. 4.58, с изключение на високочестотното звено C_4, C_5, L_4 — високочестотен високоговорител, което е филтър от трети ред. На схемата е означен



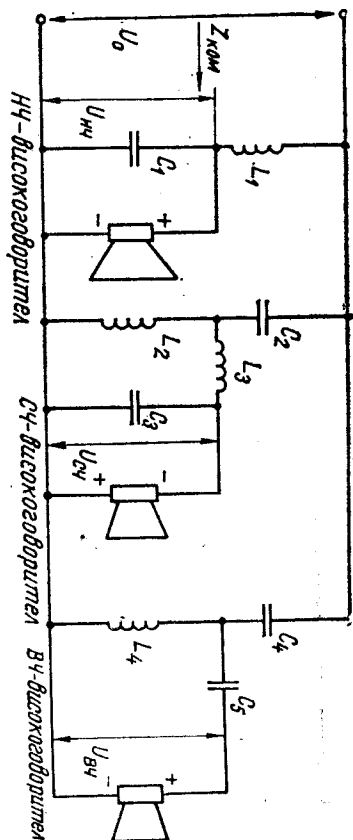
НУ-високоговорител SV-високоговорител BV-високоговорител

Фиг. 4.58

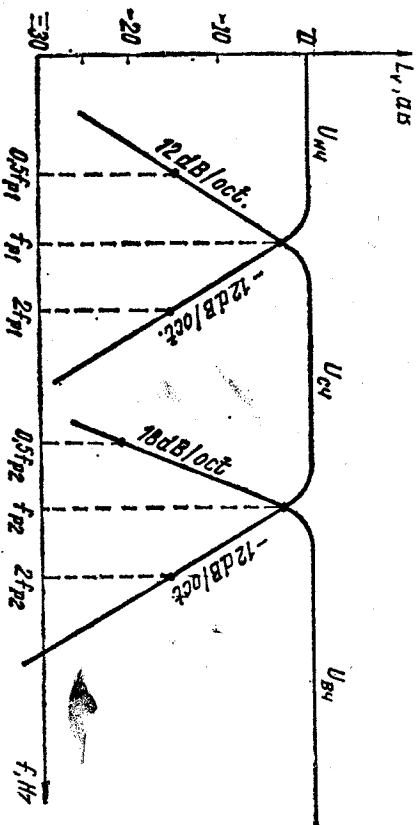


Фиг. 4.59

поляритетът на свързване на високоговорителите. На фиг. 4.61 са дадени честотните характеристики на напреженијата, които се установяват на входните клеми на съответните високоговорители. Възможните комбинации от филтрови звена за получаване на



Фиг. 4.60

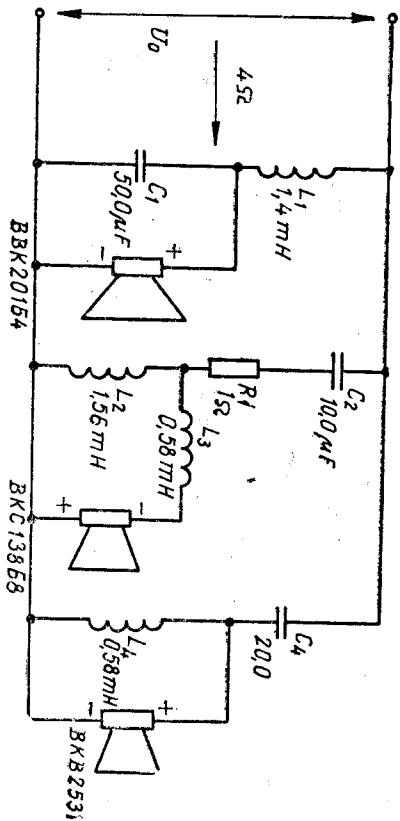


Фиг. 4.61

разделителни филтри за трилентови озвучителни тела са значаен ден брой, но дадените четири схеми се използват най-често в практиката.

Триленгово озвучително тяло тип ОТМ-11

Произвежда се от ДСО „РЕСПРОМ“ — завод „Гроздан Николов“ — Благоевград. Изградено е от следните високоговорители: нискочестотен тип ВКВ20154 с номинален импеданс 4 Ω , средно-



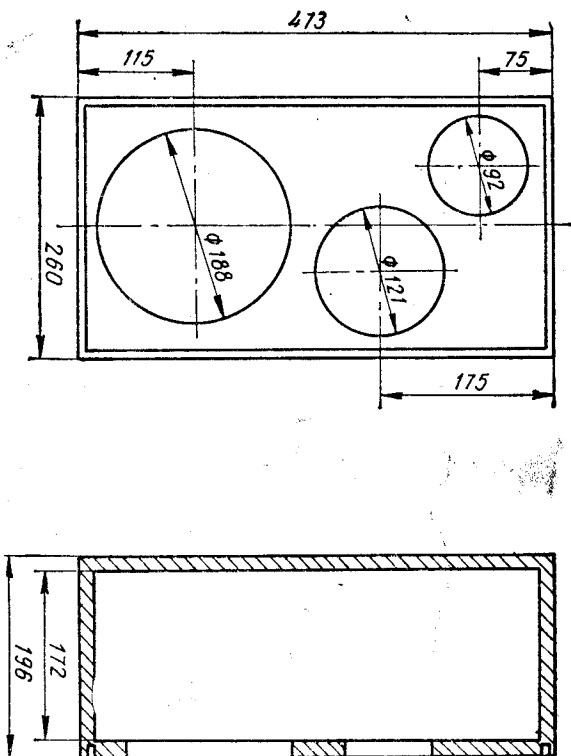
Фиг. 4.62

честотен тип ЗКС138Б8 с номинален импеданс 8 Ω и високочестотен тип ВКВ2531 с номинален импеданс 8 Ω . Разликата между импедансите е възприета с цел да се получи по-равномерна честотна характеристика.

Схемата на разделителния филтър е дадена на фиг. 4.62. Той е съставен от две нискочестотни звена (L_1 — C_1 —от втори ред, L_3 —от първи ред) и две високочестотни звена (L_2 — C_2 и L_4 — C_4) от втори ред. Разделителните честоти на филтъра са $f_{d1}=600$ Hz и $f_{d2}=3000$ Hz. Бобините са навити от меден проводник върху пластмасова тръба с диаметър 29 mm и височина 20 mm. За получаване на съответните индуктивности броят на навивките трябва да бъде: за L_1 —200 нав. от проводник с диаметър 1,3 mm; за L_2 —150 нав. от проводник с диаметър 0,51 mm; за L_3 —240 нав. от проводник с диаметър 0,7 mm, и за L_4 —150 нав. от проводник с диаметър 0,51 mm. Резисторът R_1 е със съпротивление 1,0 Ω /4 W и се поставя за изравняване на честотната характеристика.

На фиг. 4.63 е дадена конструкцията на кутията за озвучително тяло тип ОТМ-11. В обема и тръба да се постави около 150 g звукопоглъщащ материал.

Основните показатели на ОТМ-11 са: номинален импеданс—4 Ω ; паспортна мощност 30 W, но може да се комплектува към усилватели с номинална мощност до 50 W; ефективен честотен обхват на възпроизвеждане — от 45 Hz до 18—20 kHz при нерав-

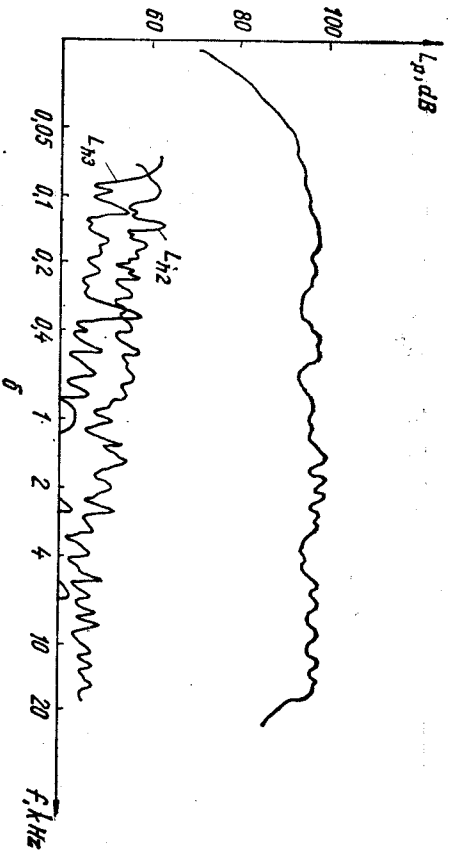


Фиг. 4.63

номерност на честотната характеристика не повече от 12 dB, характеристична чувствителност - 0,4 Pa W^{-0.5}; нелинейните му изкривявания, оценявани с коефициента на хармонични изкривявания, отговарят на изискванията за Hi-Fi клас; нивото на излъчване на $\pm 15^\circ$ от оста се понижава с по-малко от 4 dB в целия честотен обхват. Следователно ОТМ-11 въпреки малките си размери отговаря на всички изисквания за озвучителни тела от Hi-Fi клас. На фиг. 4.64 са дадени честотните му характеристики.

Триленгово озвучително тяло тип ОТГ-03. То се произвежда в завод „Гр. Николов“ — Благоевград. За създаването му са използвани следните типове високоговорители: нискочестотен тип ВКН1221 с номинален импеданс 4 Ω , средночестотен тип ВКС5231 с номинален импеданс 8 Ω и високочестотен тип ВЛД404 с номинален импеданс 4 Ω . Използувани са високоговорители с

различен номинален импеданс, за да се получи равномерна честотна характеристика. Ако средночестотният високоговорител е също 4Ω , в областта около 1500 Hz се получава връх в честотната характеристика, чието ниво превишава допустимите за Hi-Fi клас 4 дБ спрямо средното ниво.



Фиг. 4.64

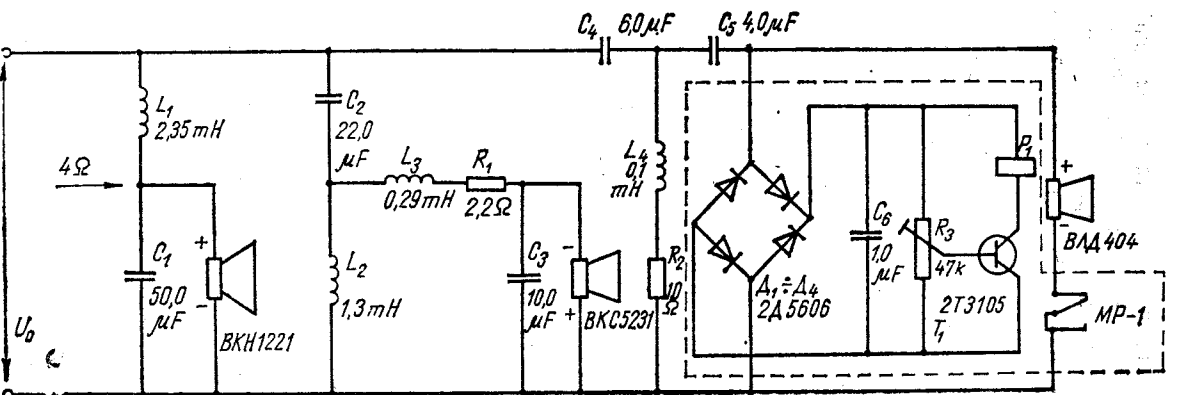
Схемата на разделителния филтър е дадена на фиг. 4.65. Той е съставен от три звена от втори ред и едно звено (C_4, C_5, L_4) от трети ред. Разделителните честоти на филтъра са $f_{p1} = 600\text{ Hz}$ и $f_{p2} = 4000\text{ Hz}$. Бобините са навити върху същата гърба както при OTM-11 . За получаване на съответните индуктивности трябва да се изгълнат: за L_1 — 235 нав. от проводник с диаметър $1,2\text{ mm}$; за L_2 — 200 нав. от проводник с диаметър $0,8\text{ mm}$; за L_3 — 95 нав. от проводник с диаметър $0,9\text{ mm}$, и L_4 — 60 нав. от проводник с диаметър $0,9\text{ mm}$.

Към филтъра е предвидена схема за защита на високочестотния високоговорител тип ВЛД404 от претоварване — зарпадена с пункитр на фиг. 4.65. Тя е съставена от следните елементи: диоди $D_1 \div D_4$, кондензатор C_6 , донстройващ резистор R_3 , транзистор T_1 , реле R_1 тип РР7ле12 и микропревключвател тип МР-1. Цялата контактна система на релето е свалена, а в непосредствена близост до котвата му е закрепен микропревключвател МР-1. При задействуване на релето котвата му превключва микропревключвателя. Това решение е избрано, тъй като контактите на релето не могат да превключват протичащия през високочестотния

високоговорител ток. Действието на схемата е следното: напрежението, което се подава на входа на високочестотния високоговорител, се подава и на входа на схемата за защита — мостовата изправителна схема, изградена от диодите $D_1 \div D_4$. Това напрежение се изправя и се подава към входа на транзистора T_1 . Кондензаторът C_6 служи като филтър, който не пропуска променлив сигнал към входа на транзистора. Донстройващият резистор R_3 образува делител в базата на транзистора T_1 , който работи в ключов режим. Когато напрежението на входа на транзистора достигне определена стойност, транзисторът се отгушва, в колекторната му верига протича достатъчно голям ток за задействуване на релето, включено в тази верига. Котвата на релето превключва микропревключвателя, който прекъсва веригата за захранване на високочестотния високоговорител. Като се изменя съпротивлението на R_3 , се регулира каква част от изправеното напрежение да се подаде на входа на транзистора, а с това се регулира при каква големина на напрежението на сигнала да се изключва високочестотният високоговорител.

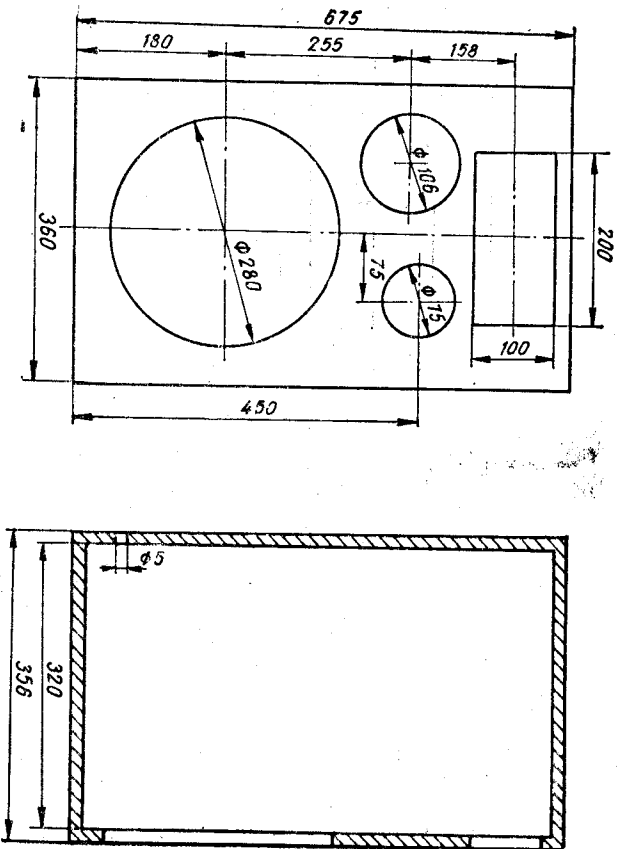
Конструкцията на кутията за озвучително тяло тип ОТП-03 е дадена на фиг. 4.66.

Основните показатели на трилентовото озвучително тяло тип ОТП-03 са: номинален импеданс — 4Ω ; паспортна мощност — 50 W , но може да се включва към усил-



Фиг. 4.65

Ватели с номинална изходна мощност до 80 W; номинален честотен обхват от 32 Hz до 32 kHz при неравномерност на честотната характеристика, не по-голяма от 12 dB; характеристична чувствителност, не по-малка от 0,6 Pa W^{-0,5}; коефициент на хар-

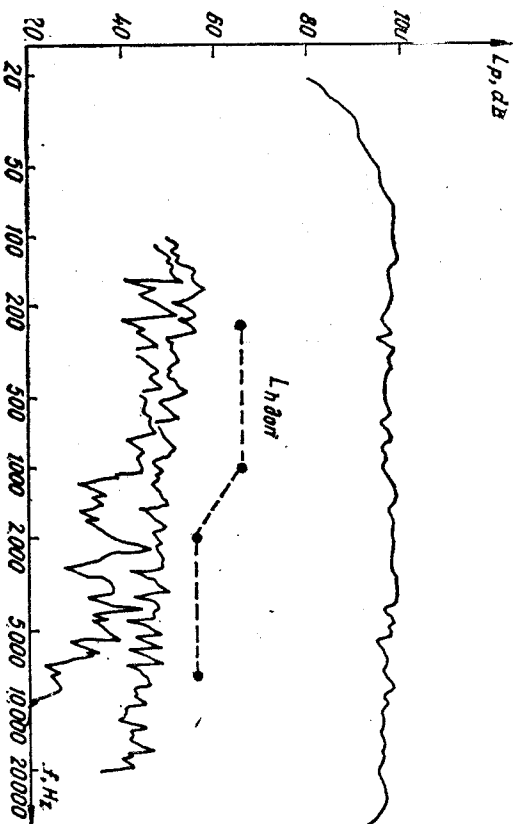


Фиг. 4.66

Монични изкривявания — значително по-малък от допустимите стойности за Hi-Fi клас; много добра характеристика на насоченост — в честотния обхват до 20 kHz нивото на звуковото налягане на $\pm 15^\circ$ от оста се понижава с не повече от 3 dB спрямо нивото по оста. За отбелязване е, че субективните оценки за звученето на OTГ1-03 са много високи. На фиг. 4.67 са дадени честотните характеристики на OTГ1-03.

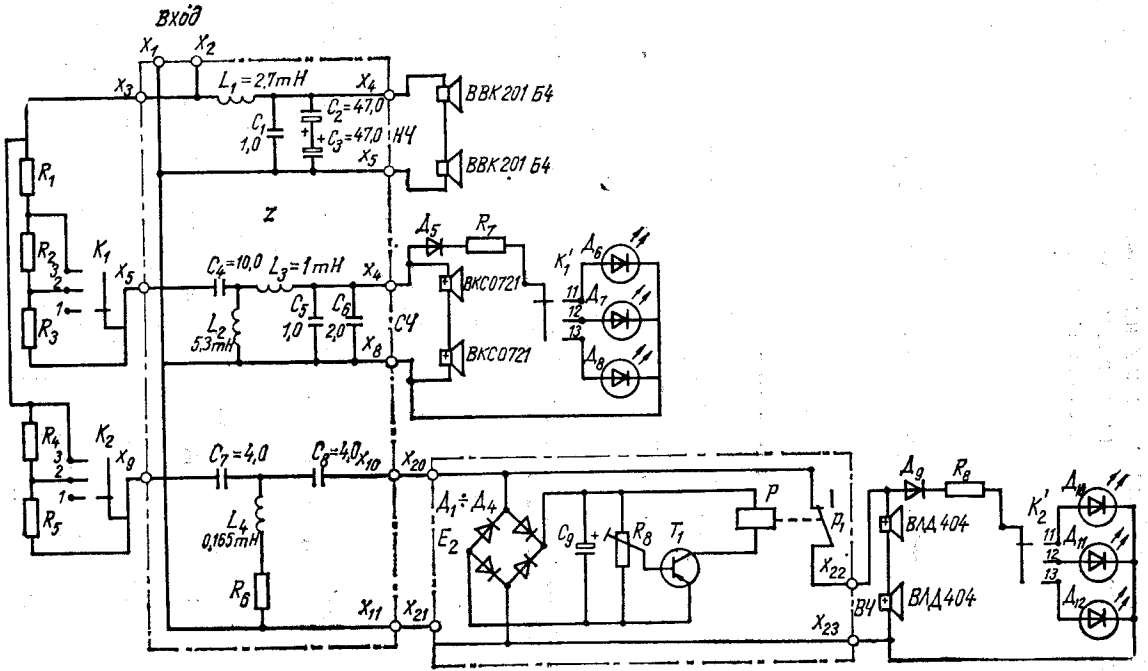
Триленното озвучително тяло тип OTГ1-03. Произвежда се от българската радиопромишленост. За увеличаване на паспорната му мощност всеки от трите подобхва на звуковия спектър се възраднозвежда от по два еднотипни високоговорителя. Нискочестотният високоговорител е тип ВВК201Б4, средно-

честотният — тип ВКС0721 и високочестотният — тип ВДД404. Всички високоговорители са с номинален импеданс 4 Ω . Средночестотният и високочестотният високоговорител имат малко по-голяма чувствителност от нискочестотния.



Фиг. 4.67

Разделителният филтър, чието принципила схема е дадена на фиг. 4.68, е изграден от три звена от втори ред и едно звено (C_7 , C_8 и L_4) от трети ред. Еднотипните високоговорители са свързани последователно, т. е. сумарният номинален импеданс е 8 Ω за всяко звено. Номиналният входен импеданс на озвучителното тяло е също 8 Ω . Разделителните честоти на филтъра са $f_{p1} = 1000$ Hz и $f_{p2} = 5000$ Hz. Конструктивното изпълнение на бобините е както при OTM-11, при което броят на съответните навивки трябва да бъде: $n_1 = 275$ нав. от проводник ПЕТ1-F с диаметър 1,2 mm — за L_1 ; $n_2 = 435$ нав. от проводник ПЕТ1-F с диаметър 0,67 mm — за L_2 ; $n_3 = 185$ нав. от същия проводник — за L_3 , и $n_4 = 80$ нав. от проводник ПЕТ1-F с диаметър 0,90 mm за L_4 . Кондензаторите с капацитет 1 и 2 μ F са тип КМГТ, с капацитет 4 и 10 μ F — тип МБГТ-2, а с капацитет 47 μ F — тип КЕАЦ — електронитни. Към филтъра е предвидена също защита от претоваряване на високочестотните високоговорители, която е аналогична на защитата на OTГ1-03.



Фиг. 4.68

Нивото на излъчваните сигнали от средночестотния и високо-честотния подобхват може да се регулира чрез превключвателите, свързани към разделителния филтър. При средно положение на превключвателите честотната характеристика на озвучителното тяло е равномерно, а в другите две положения нивото се изменя с ± 3 дБ. Във всяко положение претоварването на световната група високоговорители се сигнализира от светенето на светодиоди. По такъв начин е възможно да се подчертаят или потиснат сигналите от средночестотния или високочестотния подобхват.

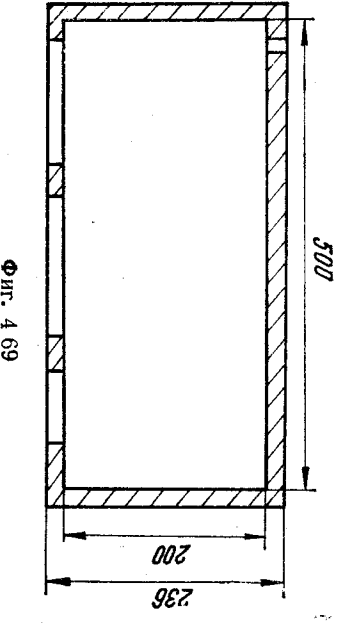
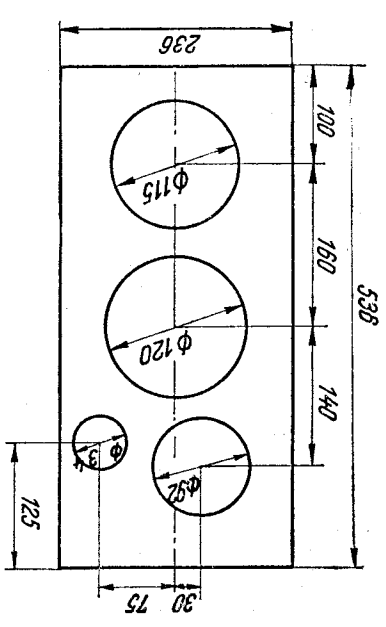
Основните показатели на трилентовото озвучително тяло тип OTT1-05 са: паспортна мощност — 80 W; номинален честотен обхват — от 40 Hz до 25 kHz, при неравномерност на честотната характеристика, не по-голяма от 12 дБ; характеристична чувствителност — не по-малка от 0,6 PaW^{-0,5}; коефициент на хармонични изкривявания — значително по-малък от допустимите стойности за Hi-Fi клас; диаграма на насоченост — отговаряща на изискванията за Hi-Fi клас.

Трилентово озвучително тяло тип ЗОТ25-1. Съчетание на малки размери на озвучителното тяло с добри електроакустични показатели може да се получи, като се използва следната комбинация от високоговорители: нискочестотен тип ВКН0832, средночестотен тип ВКС2531 и високочестотен тип ВКВ2531. Трите високоговорителя са с номинален импеданс 8 Ω и паспортна мощност 20 W. Тук се налага едно пояснение — високоговорителят ВКН0831 издържа въздействието на частта от музикален сигнал с обща мощност 20 W, която се съдържва в обхвата от 50 Hz до 4 kHz. Ако честотният обхват на сигнала, който се подава на ВКН0832, се стесни, мощността, отдавана на високоговорителя, се намалява. Това означава, че високоговорителят ВКН0832 може да издържа въздействието на музикален сигнал с обща мощност 25–30 W, ако на него се подават сигналите с честота до 1000–1500 Hz. Същото се отнася и за високоговорителя ВКВ2531, ако честотният обхват, който му се подава, се стесни от 5 до 20 kHz вместо от 2 до 20 kHz. Комбинацията от ВКН0832 и ВКВ2531 може да се използва за озвучително тяло с паспортна мощност 20 W. Средночестотният високоговорител тип ВКС2531 разтоварва частично и двата високоговорителя, поради което паспортната мощност на трилентовото озвучително тяло тип ЗОТ25-1 ще бъде 25 W.

Електрическо проектиране. Приема се нискочестотните звена на разделителния филтър да бъдат от първи ред, а високочестотните — от втори ред. Схемата на филтъра е дадена на фиг. 4.54.

Избор на разделителни честоти. Параметрите на използваните високоговорители позволяват разделителните честоти да се изберат в широк обхват. Все пак първата разделителна честота не трябва да бъде по-ниска от 800 Hz, за да се избягнат изкривяванията в областта на резонансната честота на ВКС2531. Приема се $f_{p1}=1000$ Hz и $f_{p2}=4000$ Hz.

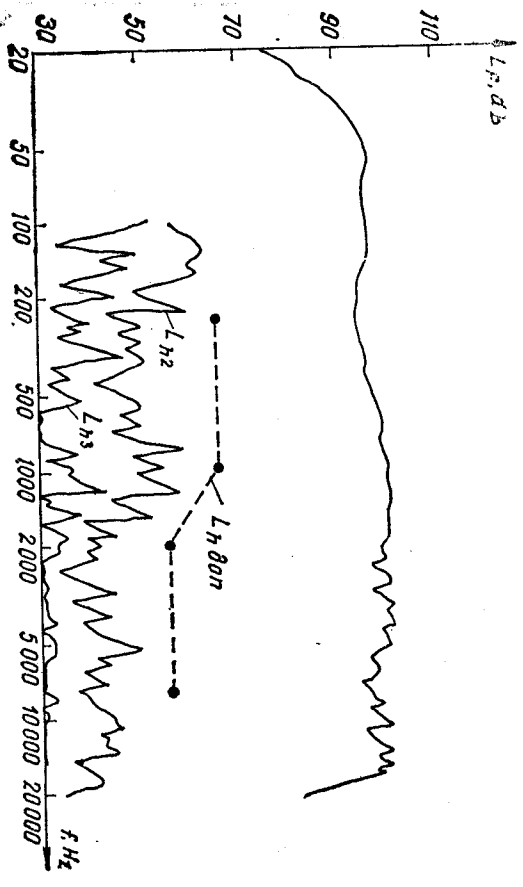
Изчисляване елементите на филтъра. Приема се, че трите филтрови звена са натоварени с активни съпротивления, чиято стойност е равна на номинални импеданс на високоговорителите — $R_T=8 \Omega$. Използват се зависимостите (2.13), (2.77) и (2.78): $L_1=1,27$ мН; $L_2=1,8$ мН; $C_2=14 \mu\text{F}$; $L_3=0,32$ мН; $L_4=0,45$ мН; $C_3=3,5 \mu\text{F}$.



Фиг. 4.69

След реализацията на филтъра елементите му се уточнява на следните стойности: $L_1=1,4$ мН; $C_2=10 \mu\text{F}$; $L_4=0,5$ мН; $L_2=1,1$ мН; $L_3=0,55$ мН; $C_3=3,3 \mu\text{F}$.

Кондензаторите са със стандартни капацитети, а бобините може да се реализират съгласно указанията, дадени във втора глава, като броят на навивките се определи от таблица 2.1. Акустично проектиране. То се извършва на базата на необходимите размери на озвучителното тяло за разполагане на висо-



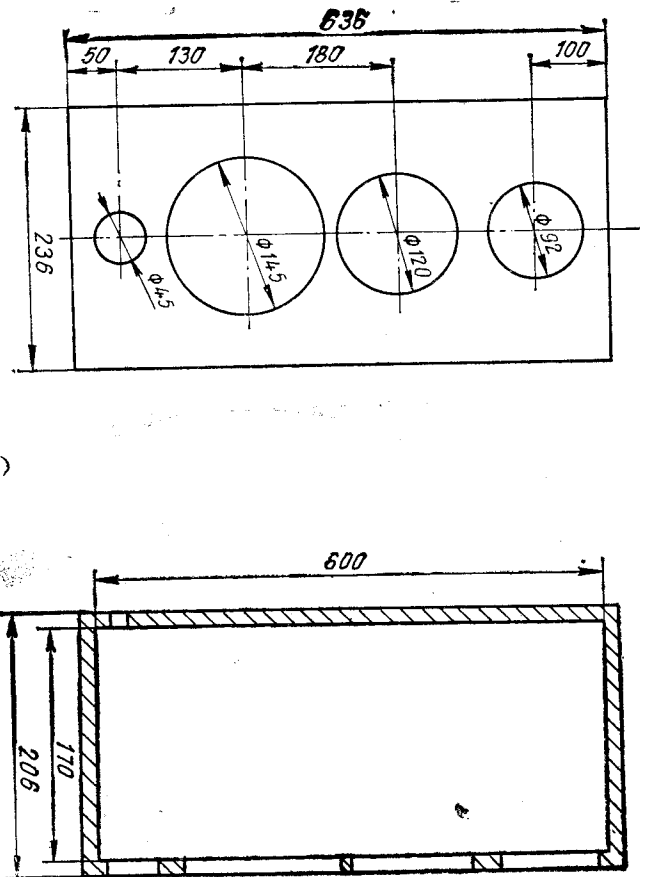
Фиг. 4.70

коговорителите върху лицевата му повърхност. Конструкцията на кутията е дадена на фиг. 4.69 и от нея се определя $V=20$ дм³. За коефициента α се получава $\alpha=0,31$. Приема се озвучителното тяло с фазинвертор, за което $Q_v=Q_L=5$. Изчисленията се извършват с помощта на графиките от фиг. 3.15. Определя се: $Q_T=0,54$; $x_3=0,65$; $h=0,74$.

Честотата на сравняване на озвучителното тяло е $f_s=39$ Hz. Резонансната честота на фазинвертора е $f_\phi=14,4$ Hz. Качественият фактор Q_T на озвучителното тяло трябва да бъде по-голям от този на високоговорителя. Необходимо е усилвателят да бъде с $R_i=0,8 \Omega$.

Фазинверторът може да се изпълни като трябва с диаметър $D_\phi=30$ мм. Определя се $l_\phi=80$, а $l_\phi=57$ мм.

Обема на озвучителното тяло трябва да се постави около 100 г звукопоглъщащ материал. Тук е необходимо да се има предвид следното: *звукопоглъщащият материал при озвучителните тела с фазоинвертор трябва да се постави така, че да*



Фиг. 4.71

не внася затихване на звуковите вълни, насочени от високоговорителя към фазоинверсния отвор, затова се препоръчва този материал да се прилепи по стените на кутията.

Ефективният честотен обхват на трилентното озвучително тяло тип ЗОТ25-1 ще бъде от 28—30 Hz до 18—20 kHz. То ще отговаря на всички изисквания за озвучителни тела от Hi-Fi клас. Чувствителността му е от 0,5 PaW^{-0,5}, а номиналният му импеданс 8 Ω.

На фиг. 4.70 са показани честотните характеристики на изчисленото озвучително тяло.

Трилентно озвучително тяло тип ЗОТ25-2. То е вариант на ЗОТ25-1, в който нискочестотният високоговорител е

ВКН0832 е заменен с тип ВКН0932. Използва се същият филтър със същите разделителни честоти както при ЗОТ25-1. Необходимо е само да се извърши акустично проектиране. Избира се същото озвучително тяло с фазоинвертор, като $Q_0 = Q_L = 5$, при което за изчисленията се използват графиките от фиг. 3.15. В този случай се приема да се реализира озвучително тяло, чиято честотна характеристика да съответствува на максимално плоска характеристика на филтъра на Батърворт от четвърти ред. Това е възможно само ако $Q_T = 0,414$, т. е. по-малка стойност от 0,523. От фиг. 3.15 се отчита

$$\alpha = 0,9; \quad x_3 = 1; \quad h = 1.$$

Обемът на озвучителното тяло е $V = 20,3 \text{ дм}^3$.

Честотата, при която нивото на честотната характеристика е с 3 dB по-ниско от максималното, е $f_3 = 50 \text{ Hz}$.

Резонансната честота на фазоинвертора е $f_{\phi} = 50 \text{ Hz}$.

За намаляване на качествения фактор от 0,523 на 0,414 е необходимо усилявателът, който захранва озвучителното тяло, да бъде с отрицателно изходно съпротивление $R_i = -2,8 \Omega$.

Према се фазоинверсната трябва с диаметър $D_{\phi} = 40 \text{ мм}$. Определя се $l_{\phi} = 39$ и $l_{\phi} = 49 \text{ мм}$.

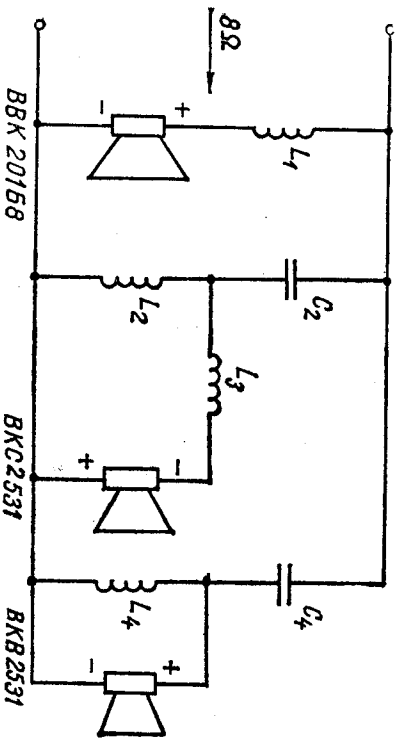
Конструкцията на кутията е дадена на фиг. 4.71.

Показателите на ЗОТ25-2 са идентични с тези на ЗОТ25-1, с тази разлика, че ефективният честотен обхват е от 40 Hz до 18—20 kHz.

Трилентно озвучително тяло тип ЗОТ35-1. За увеличаване паспортната мощност на озвучителното тяло трябва да се използват високоговорители с по-голяма паспортна мощност, поне за нискочестотния високоговорител това е задължително. Ако средночестотният и високочестотният високоговорител са с по-малки паспортни мощности, трябва да се стесни честотният спектър, който им се подава за възпроизвеждане, спрямо номиналния им честотен обхват. При това трябва да се увеличи долната гранична честота, за да се намалат сигналите с по-ниска честота, тъй като се увеличаване на честотата намалява енергията, която носи сигналите. Озвучителното тяло тип ЗОТ35-1 ще се проектира с паспортна мощност 35 W, като се използват високоговорителите: нискочестотен тип ВКВ201Б8, средночестотен тип ВКС2531 и високочестотен тип ВКВ2531. Последните два високоговорителя са с паспортна мощност 20 W и за да се използват в озвучително тяло с паспортна мощност 35 W, необходимо е долната гранична честота на възпроизвеждания от тях честотен обхват да бъ-

де поне с 1 октава по-висока от долната гранична честота на номиналния им честотен обхват.

Електрическо проектиране. Избира се филтър с нискочестотни звена от първи ред и високочестотни звена от втори ред. Схемата му е дадена на фиг. 4.72.



Фиг. 4.72

Избор на разделителни честоти. Поради посочените по-горе съображения се приема $f_{d1} = 1500$ Hz и $f_{p2} = 5000$ Hz.

Определените елементи на филтъра. За определени стойностите на съответните елементи се използват зависимостите (2.13), (2.77) и (2.78), като се приема, че всички филтрови звена са натоварени с активен товар $R_T = 8\Omega$.

$L_1 = 0,85$ мН; $L_2 = 1,2$ мН; $C_2 = 9,4$ μ F; $L_3 = 0,25$ мН;
 $L_4 = 0,36$ мН; $C_4 = 2,8$ μ F.

Входният импеданс на високоговорителите при разделителните честоти не е активен, поради което при реализирането на филтъра елементите му бяха уточнени на следните стойности:

$L_1 = 1,0$ мН; $L_2 = 0,74$ мН; $L_3 = 0,35$ мН; $L_4 = 0,4$ мН;
 $C_2 = 8$ μ F; $C_4 = 3,0$ μ F.

Капацитет 8 μ F може да се получи от паралелното свързване на два кондензатора тип МБГП-2 по 4 μ F, а 3 μ F — от паралелното свързване на два кондензатора тип КМППТ с капацитет 2 μ F и 1 μ F.

Бобините може да се навият върху пластмасова тръба (или пинндър от дърво) с диаметър 29 мм и височина 20 мм, като броят на навивките за получаване на съответните индуктивности е: $n_1 = 180$ нав. от проводник с диаметър 1,2 мм за L_1 ; $n_2 = 170$ нав. от проводник с диаметър 0,51 мм — за L_2 ; $n_3 = 114$ нав. от проводник с диаметър 0,8 мм — за L_3 и $n_4 = 140$ нав. от проводник с диаметър 0,51 мм.

Акустично проектиране. Нискочестотният високоговорител е подходящ за създаване на озвучително тяло с пасивна мембрана. Като база за проектирането трябва да се приеме обемът на озвучителното тяло, за да може да се разположат високоговорителите и пасивната мембрана на лицевата му повърхност. На фиг. 4.73 е дадена конструкцията на кутията за 30135-1, от която се определя $V = 50$ dm³. За пасивна мембрана трябва да се използва мембрана от същия високоговорител, при което $S_n = S$ и $\delta = \alpha$. Приема се, че загубите в обема определят $Q_v = Q_l = 7$. При тези условия изчислените се провеждат с помощта на графиките от фиг. 3.21.

Определя се коефициентът $\alpha = 1,74$.
От графиките на фиг. 3.21 се отчита:

$x_s = 1,28$; $h = 1,30$; $Q_T = 0,38$; $g = 0,76$.

За параметрите на озвучителното тяло се получава

$f_s = 38,4$ Hz; $f_n^* = 22,8$ Hz; $f_o = 39$ Hz.

Пълният качествен фактор на озвучителното тяло се получава по-малък от този на високоговорителя. За реализирането му е необходимо да се използва усилвател с отрядително вътрешно съпротивление. Какво би се получило, ако качественният фактор се запази — $Q_T = 0,51$, т. е. фактическият качествен фактор да бъде с 34% по-висок от изчисления? Съгласно [35] в областта около 50 Hz ще се получи повишаване на нивото на честотната характеристика с около 3 dB. Това е в рамките на допустимата неравномерност на честотната характеристика, но има опасност при възпроизвеждане на музикални програми да се подчертават сигналите с ниска честота, което се чува като „думкане“.

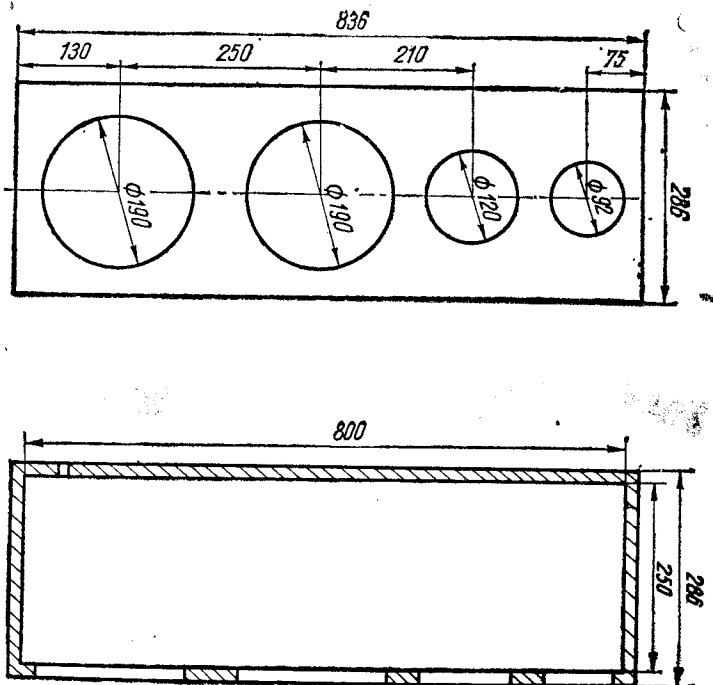
За получаване на изчислената резонансна честота на пасивната мембрана трябва да се увеличи масата и.

Необходимата обща маса на пасивната мембрана е $m_n = 31,5$ g. Допълнителната маса, която трябва да се прибави към пасивната мембрана, е $m_{доп} = 19$ g.

Желателно е да се измери резонансната честота на пасивната

мембрана с дължинелната маса, за да се установи дали резонансната ѝ честота е 22,8 Hz.

Изчисленото трилентно озвучително тяло тип ЗОТ35-1 е от Ni-F1 клас със следните показатели: номинален импеданс 8Ω;



Фиг. 4.73

паспортна мощност 35 W; ефективен честотен обхват на възрапно извездане от 35 Hz до 18–20 kHz, при неравномерност на честотната характеристика, не по-голяма от 12 dB; малки нелинейни изкривявания, добра пространствена характеристика.

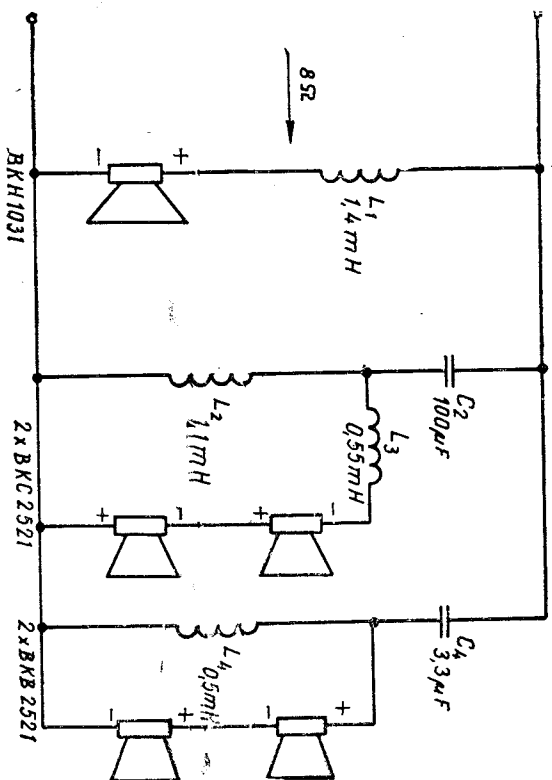
При същия обем, ако би се реализирало озвучително тяло с фазоинвертор, то би имало почти същите показатели, но необходимият качествен фактор е по-малък — $Q_T = 0,35$. Това може да се установи от фиг. 3.15 за $\alpha = 1,74$.

Трилентно озвучително тяло тип ЗОТ50-1. Паспортната мощност на озвучителното тяло ще бъде 50 W и затова се прие-

ма нискочестотният високоговорител да бъде тип ВКН1031, чиято паспортна мощност е 40 W, а номиналният му импеданс — 8Ω. За средночестотен високоговорител се избира два броя от типа ВКС2521, чиято паспортна мощност е 20 W, а номиналният импеданс 4Ω, а високочестотният — два броя от типа ВКВ2521, съвщо с паспортна мощност 20 W и номинален импеданс 4Ω. Пояснено бе, че с включването на средночестотен високоговорител в дадено озвучително тяло може да се увеличи паспортната му мощност. Именно това се използва при ЗОТ50-1.

Електрическо проектиране. Према се нискочестотните филтрови звена да бъдат от първи ред, а високочестотните — от втори ред. Единичните високоговорители трябва да се свържат последователно, за да се получи товар $R_T = 8Ω$ за всички филтрови звена, при което и номиналният импеданс на озвучителното тяло ще бъде 8Ω. Схемата на филтъра е дадена на фиг. 4.74.

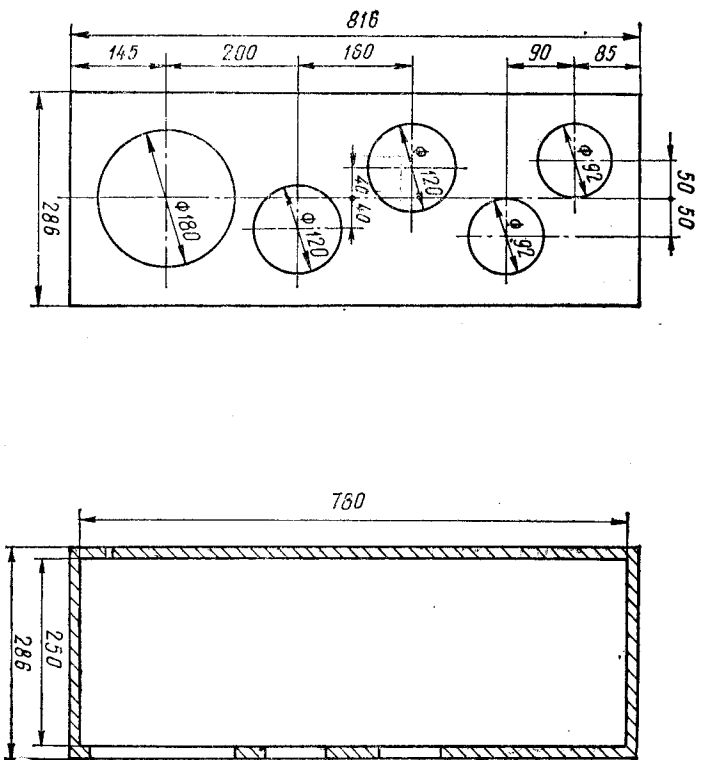
Избор на разделителни честоти. Према се $f_{\omega 1} = 1000$ Hz и



Фиг. 4.74

$f_{\omega 2} = 4000$ Hz, т. е. същите разделителни честоти както при ЗОТ25-1. Поради това, че и еквивалентните товари на съответните филтрови звена са равни, може да се използва филтърът за ЗОТ25-1 — на фиг. 4.74 са означени стойностите на елементите.

Акустично проектиране. Със същия нискочестотен високоговорител тип ВКН1031 бе проектирано двулентово озвучително тяло тип 20Т40-2, при което възпроизвеждането на ниските честоти се получи много добро. Полученият обем за озвучителното тяло е за-

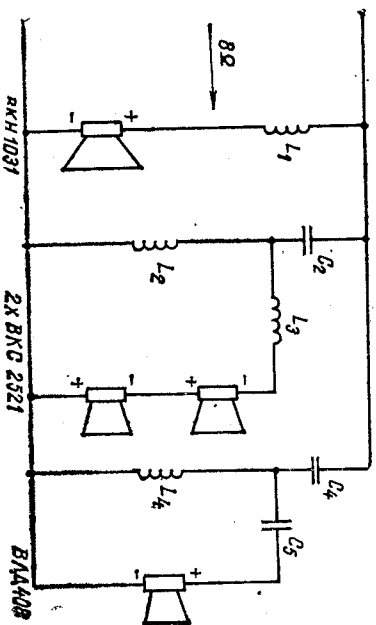


Фиг. 4.75

Доволютелен и позволява лицевата му повърхност да бъде достатъчна за разполагане на високоговорителите. Затова се приема същото акустично решение. На фиг. 4.75 е дадена конструкцията на кутията за 30Т50-1, която трябва да се изработи от ПДЧ (таляшнит) с дебелина 18—20 mm и да се фурнирова подходящо. В обема трябва да се постави около 200 g звукопоглътящ материал, който трябва да се прилепи по стените на кутията.

Триленното озвучително тяло тип 30Т50-1 може да се разглежда като усъвършенствуван вариант на двулентово озвучително тяло тип 20Т40-2. С прибавянето на два средночестотни висо-

коговорители се увеличава паспортната мощност и се подобрява субективно качеството на възпроизведената звукова програма. Триленното озвучително тяло тип 30Т50-2. В озвучителното тяло тип 30Т50-1 двата куполни високочестотни високо-



Фиг. 4.76

говорителя тип ВКВ2521 може да се заменят с един лентов високочестотен високоговорител тип ВЛД408, който има паспортна мощност 40 W и номинален импеданс 8Ω. Чувствителността му е с 2—3 dB по-висока от тази на ВКВ2531, така че замената е осъществима и няма да наруши баланса между нивата, създавани от различните групи високоговорители.

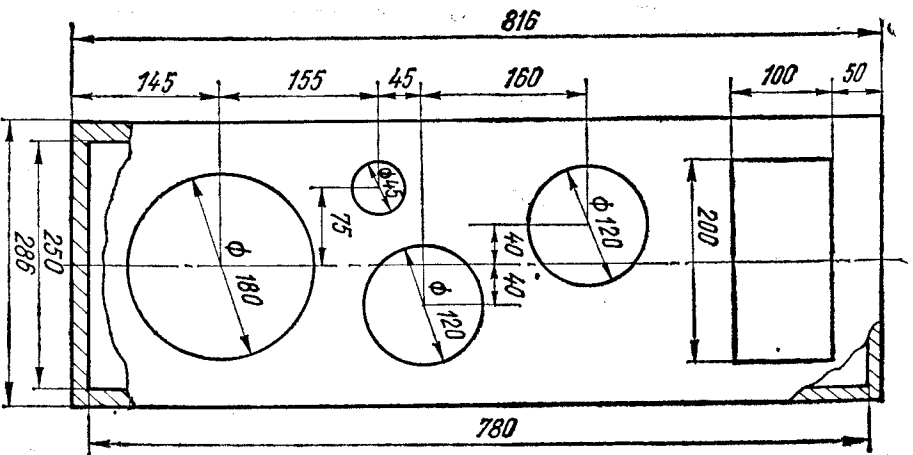
Електрическо проектиране. Нискочестотните звена на филтъра може да бъдат от първи ред, а високочестотните звена трябва да бъдат съответно от втори и трети ред. Схемата на филтъра е дадена на фиг. 4.76.

Избор на разделителни честоти. Приема се $f_{p1} = 1000$ Hz, а $f_{p2} = 6000$ Hz. Втората разделителна честота е избрана по-висока, отколкото при 30Т50-1, тъй като лентовият високоговорител по начало е чувствителен към претоварвания, а се поставя да функционира при малко по-тежки условия — паспортната мощност на озвучителното тяло е 50 W, а на високоговорителя — 40 W.

Определените елементите на филтъра. Необходимо е да се преизчислят L_3 и елементите на високочестотното звено от трети ред при $R_T = 8\Omega$. $L_3 = 0,21$ mH.

За определяне елементите на височестотното звено от трети ред се използват зависимостите (2.88), като се приема $m=0.5$.

$$C_4 = 2,2 \mu\text{F}; C_5 = 3,3 \mu\text{F}; L_4 = 0,106 \text{ мН.}$$



Трети габаритен размер - 286

Фиг. 4.77

При настройка на филтъра при реални условия на работа се оказва, че елементите му трябва да бъдат

$$L_5 = 0,22 \text{ мН}; L_4 = 0,18 \text{ мН}; C_4 = 2,2 \mu\text{F}; C_5 = 3,3 \mu\text{F}.$$

Кондензаторите са със стандартни капациети, а бобините може да се изпълнят както при ЗОТ35-1, при което броят на навивките трябва да бъде: $n_3 = 102$ нав. от проводник с диаметър 0,9 мм и $n_4 = 84$ нав. от проводник с диаметър 0,9 мм.

Акустично проектиране. Много добрите резултати, получени при акустичното проектиране на ЗОТ40-2, са достатъчно основание да се приеме същото акустично решение и за ЗОТ50-2. На фиг. 4.77 е показано разположението на високоговорителите върху лицевата повърхност на кутията, като останалите размери са както при кутията за ЗОТ50-1.

Ефективният честотен обхват на трилентовото озвучително тяло тип ЗОТ50-2 е от 25 Hz до 35—40 kHz, останалите му показатели са като на ЗОТ50-1.

Триленното озвучително тяло тип ЗОТ40-1. Използва се комбинация от следните високоговорители: нискочестотен тип ВКН1031, средночестотен тип ВКС5231 и високочестотен тип ВКВ3731. И трите високоговорителя са с номинален импеданс 8 Ω и издържат въздействието на музикален сигнал с обща мощност 40 W. Чувствителностите им са приблизително равни и честотната характеристика на озвучителното тяло ще бъде достатъчно равномерна.

Електрическо проектиране. Трите типа високоговорители са подобни на тези, използвани при ЗОТ50-1. Поради това се приема същото електрическо решение — приемат се същите разделителни честоти и се използва същият филтър, който се използва и при ЗОТ25-1. Схемата на свързване е дадена на фиг. 4.78.

Акустично проектиране. Трилентовото озвучително тяло тип ЗОТ40-1 се реализира с пасивна мембрана. За база при акустичното проектиране се приема обемът на озвучителното тяло — $V = 60 \text{ dm}^3$. Загубите в озвучителните тела при добро изпълнение почти винаги са еднакви и за това и тук се приема $Q_v = Q_L = 7$. Ще се използва мембраната на високоговорителя тип ВКН1031 и за пасивна мембрана, при което $S_v = S$ и $\delta = \alpha$. При тези условия изчислената могат да се извършат с помощта на графиките от фиг. 3.21.

Определя се коефициентът $\alpha = 1,07$.
От графиките на фиг. 3.21 се отчита:

$$Q_T = 0,44; x_3 = 1,02; h = 1,03; g = 0,76.$$

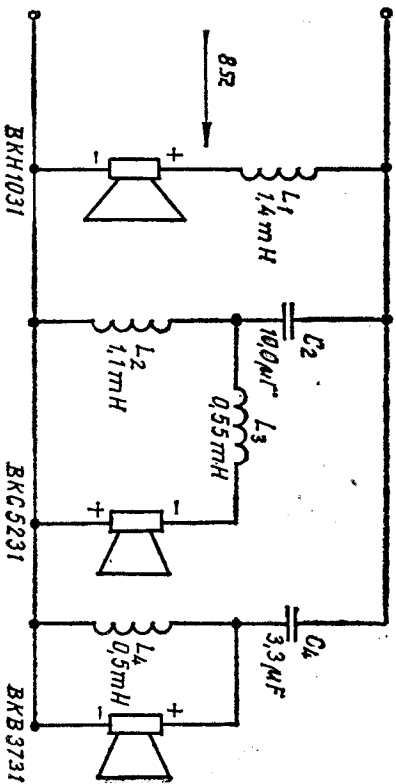
За параметрите на озвучителното тяло се получава:

$$\text{честотата на сряз } f_3 = 28,5 \text{ Hz};$$

$$\text{резонансна честота на пасивната мембрана } f_n = 21,2 \text{ Hz};$$

резонансна честота на обема $f_0 = 28,75$ Hz.

Необходимият прълен качествен фактор на озвучителното тяло се получи по-голям от съответния качествен фактор на високоговорителя. За точно постигане на изчислените параметри е не-



Фиг. 4.78

ходимо озвучителното тяло да се захранва през усилвател с $R_i = 1,7 \Omega$. Ако озвучителното тяло се захранва от усилвател с $R_i = 0$, нивото на честотата му характеристика в областта около 50 Hz ще бъде с 1—2 dB по-ниско от оптималното. Това няма да наруши баланса на възпроизвежданата програма.

За получаване на изчислителната резонансна честота динамичната маса на пасивната мембрана трябва да бъде $m_n = 38,5$ g.

Към пасивната мембрана трябва да се прибави допълнителна маса

$$m_{доп} = m_n - m + m_{a.s} = 38,5 - 22 + 8 = 24,5 \text{ g.}$$

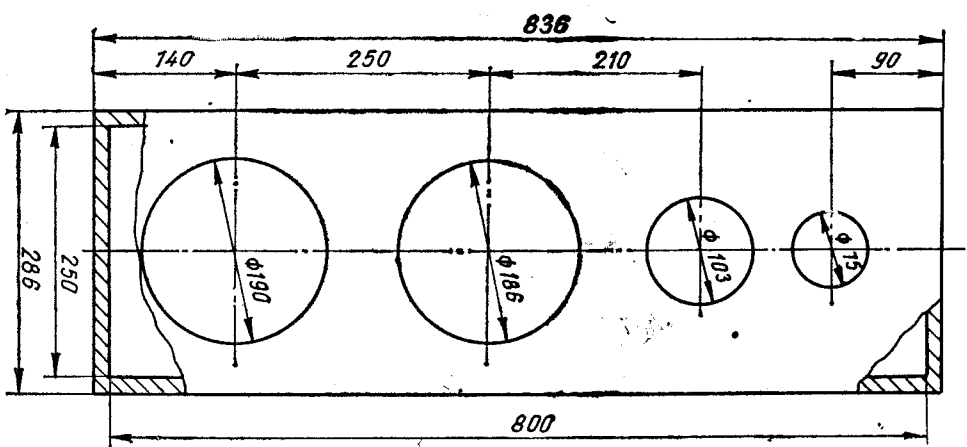
Конструкцията на кутята за ЗОТ40-1 е дадена на фиг. 4.79.

Ефективният честотен обхват на изчисленото трилентово озвучително тяло тип ЗОТ40-1 е от 25 Hz до 18—20 kHz, при неравномерност на честотата му характеристика не повече от 12 dB, а чувствителността му е 0,7 PaW^{-0.5}. Паспортната му мощност е 40 W, но използваните високоговорители и изборният режим на работата им дават основание да се препоръчва включването му към усилватели с номинална изходна мощност до 50—60 W. Има малки нелинейни изкривявания и добра пространствена ха-

рактеристика, поради което се категоризира като озвучително тяло от Н1-Г1.

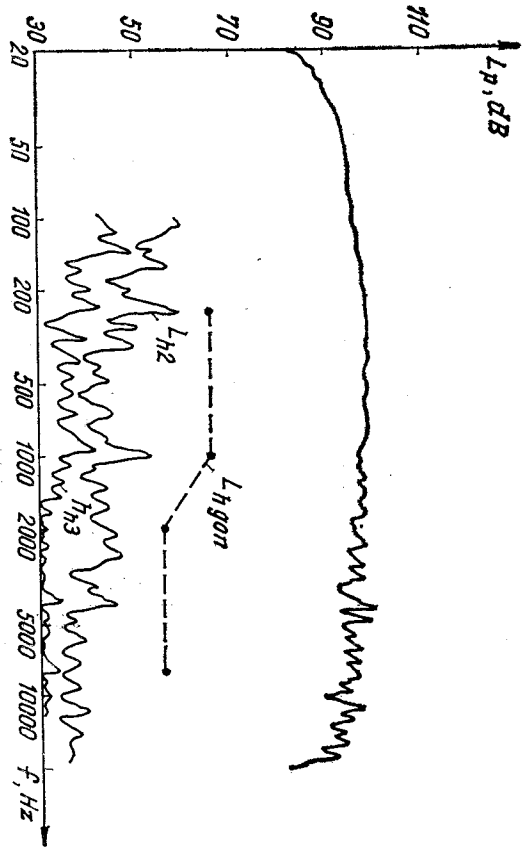
На фиг. 4.80 са дадени честотните му характеристики.

Трилентово озвучително тяло тип ЗОТ40-2. То представлява разновидност на ЗОТ40-1 — вместо куполния високочестотен ви-

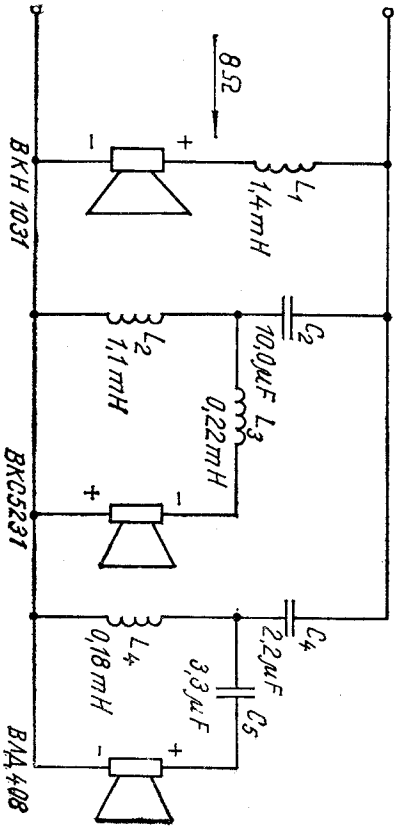


Трети габаритен размер—286

Фиг. 4.79



Фиг. 4.80

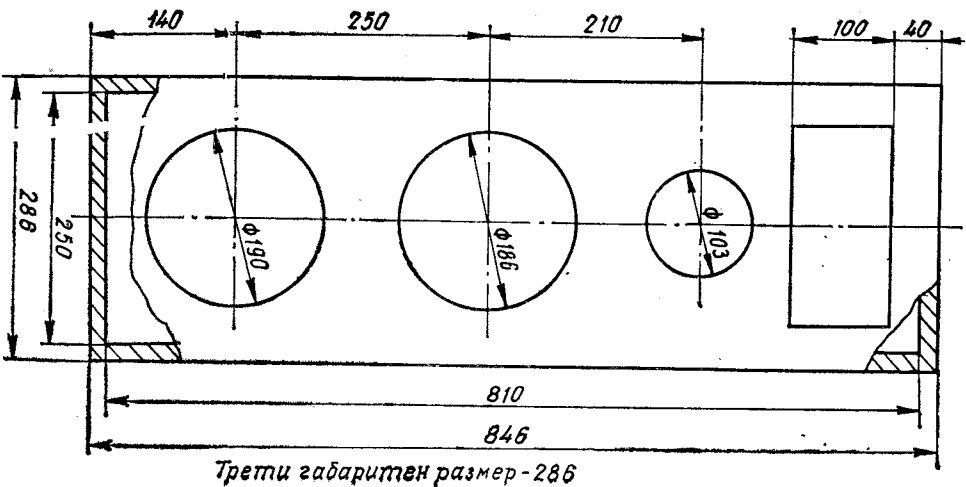


Фиг. 4.81

Сокоговорител тип ВКВ3731 се използвава лентовият високочестотен високоговорител тип ВД4408. Може да се разглежда и като вариант на озвучително тяло ЗОТ50-2, в което двата средночестотни високоговорителя тип ВКС5231 са заменени с един средно-

честотен високоговорител тип ВКС5231. Приема се същата структура на филтъра с $f_{p1} = 1000$ Hz и $f_{p2} = 6000$ Hz както за ЗОТ50-2 (фиг. 4.81).

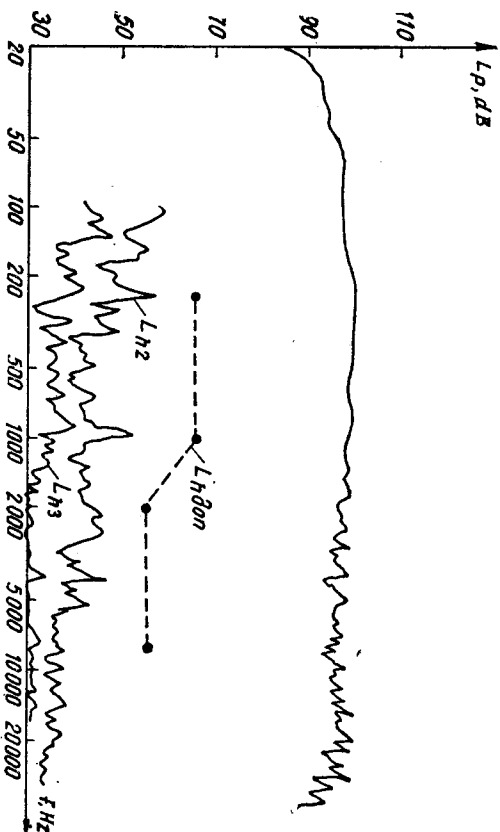
Акустичното решение на ЗОТ40-2 се приема еднакво с това на ЗОТ40-1 — полученото възпроизвеждане на ниските честоти е достатъчно добро за озвучителни тела от супер Hi-Fi клас.



Фиг. 4.82

С използването на високочестотния вискоговорител тип ВЛД408 се подобрява възпроизвеждането и на сигналите с висока честота. На фиг. 4.82 е дадена кутията за ЗОТ40-2.

На фиг. 4.83 са дадени честотните характеристики на изчисленото трилентово озвучително тяло тип ЗОТ40-2.



Фиг. 4.83

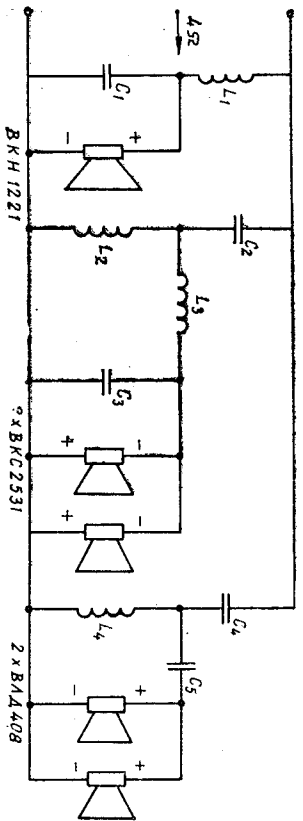
Трилентово озвучително тяло тип ЗОТ40-3. Нискочестотните вискоговорители с по-големи размери и ниска резонансна честота се характеризират с голям обем, който е еквивалентен на гъвкавостта на окачването. Поради това оптималното им функциониране е свързано с изискването за голям обем на озвучителното тяло. Независимо от това любителите на висококачествено възпроизвеждане на музиката в домашни условия отдават предпочитание на озвучителните тела с нискочестотен вискоговорител с големи размери. За реализирането на трилентово озвучително тяло тип ЗОТ40-3 ще се използва нискочестотният вискоговорител тип ВКН1221, който е с диаметър 310 mm. Възпроизвеждането на средните честоти ще се осъществява от два куполни вискоговорителя тип ВКС2531, а на високите честоти — от два лентови вискоговорителя тип ВЛД408.

Електрическо проектиране. Всички звена на разделителния филтър се приемат от втори ред, с изключение на високочестотното звено за лентовите високочестотни вискоговорители, кое-

то се приема от трети ред. Номиналният импеданс на нискочестотния вискоговорител е 4Ω , което определя номиналния импеданс на озвучителното тяло. Средночестотните и високочестотните вискоговорители са избрани с номинален импеданс 8Ω и при паралелното им свързване ще се получи еквивалентен импеданс от по 4Ω . При тези условия двата средночестотни и двата високочестотни вискоговорители ще създават с 3 dB по-високо ниво на звуковото налягане, отколкото би създавал по един от тези вискоговорители с номинален импеданс 4Ω , при условие, че на входа на озвучителното тяло се поддържа постоянно по-голямина напрежение със синусоидална форма. Следователно честотната характеристика на озвучителното тяло ще се подлучи равномерно, ако чувствителността на средночестотните вискоговорители е с 3 dB по-ниска от тази на нискочестотния вискоговорител. В действителност вискоговорител тип ВКС 2531 е с по-ниска чувствителност от ВКН 1221 с около 3 dB , но чувствителността на вискоговорителя тип ВЛД 408 е с $1-2 \text{ dB}$ по-ниска от тази на ВКН 1221 и нивото на честотната характеристика в областта на високите честоти ще бъде с $1-2 \text{ dB}$ по-високо от средното ниво. Разликата не е голяма, но ако все пак е нежелана, може да се коригира от усилвателя при възпроизвеждането. Необходимо е да се обърне внимание на следното: двата високочестотни (или средночестотни) вискоговорителя може да се избераат с номинален импеданс 4Ω и да се свържат последователно. Такова решение няма да обремени функционирането на озвучителното тяло, а ще го облекчи. Въпреки факта, че едно (или две) от филтровите звена е с номинален входен импеданс 8Ω , номиналният импеданс на озвучителното тяло си остава 4Ω — контролира се само минимума на импедансната характеристика на озвучителното тяло. Обаче звуковото налягане, което ще създават два вискоговорителя с номинален импеданс 4Ω , свързани последователно в озвучителното тяло с номинален импеданс 4Ω , е равно на звуковото налягане, което би създавал само единият от тях. Увеличава се два пъти само паспортната мощност, която биха могли да издържат двата вискоговорителя заедно. Например два вискоговорителя с паспортна мощност 20 W , свързани по този начин, могат да функционират нормално в озвучително тяло с паспортна мощност 80 W (а не 40 W). Принципната схема на разделителния филтър и свързването на вискоговорителите е дадено на фиг. 4.84.

Избор на разделителни честоти. Паспортната мощност на озвучителното тяло не е голяма — 40 W , т. е. средночестотните вискоговорители може да се използват и за възпроизвеждането

на по-ниски честоти. Затова се приема $f_{p1} = 850 \text{ Hz}$ и $f_{p2} = 5000 \text{ Hz}$.
Определените елементи на филтъра. Използват се зависимостите (2.57), (2.58), (2.77), (2.78) и (2.88), като се приема, че товарът на всички филтрови звена е $R_T = 4 \Omega$, а $m = 0,5$.



Фиг. 4.84

$C_1 = C_2 = 33 \mu\text{F}$; $L_1 = L_2 = 1,06 \text{ мН}$; $C_3 = 5,65 \mu\text{F}$; $L_3 = 0,18 \text{ мН}$;
 $C_4 = 5,35 \mu\text{F}$; $C_5 = 8 \mu\text{F}$; $L_4 = 64 \mu\text{H}$.

За получаване на максимално плоски характеристики на филтровите звена при натоварването им със съответните височини на телите и получаване на избраните разделителни честоти е необходимо елементите на филтъра да имат следните, опитно установени стойности:

$C_1 = 50 \mu\text{F}$; $C_2 = 20 \mu\text{F}$; $C_3 = 4 \mu\text{F}$; $C_4 = 4 \mu\text{F}$; $C_5 = 6 \mu\text{F}$;
 $L_1 = 1,3 \text{ мН}$; $L_2 = 1,0 \text{ мН}$; $L_3 = 0,25 \text{ мН}$; $L_4 = 0,08 \text{ мН}$.

Изчислените стойности на индуктивностите на бобините се получават, като се навият върху цилиндър от немагнитен материал с диаметър на основата 29 мм и височина 20 мм следният брой навивки:

$n_1 = 195$ нав. от проводник с диаметър 1,3 мм;
 $n_2 = 190$ нав. от проводник с диаметър 0,8 мм;
 $n_3 = 90$ нав. от проводник с диаметър 0,8 мм;
 $n_4 = 50$ нав. от проводник с диаметър 0,8 мм.

Акустично проектиране. Независимо от големия обем, еквивалентен на гъвкавостта на окачване на нискочестотния високоволторител, се избира озвучително тяло с фазоинвертор. Приема се обем $V = 100 \text{ дм}^3$, за да се получи по-ниска долната гранична честота и да не се изисква пъленят качествен фактор на озвучи-

телното тяло да бъде много малък. Приема се $Q_0 = Q_L = 5$ и се използват графиките от фиг. 3.15.

Определя се коефициентът $\alpha = 3,8$.
 От фиг. 3.15 за $\alpha = 3,8$ се отчита:

$Q_T = 0,28$; $x_s = 1,7$; $h = 1,5$.

Пълният качествен фактор на нискочестотния високоволторител тип ВКН 1221 е $Q_T = 0,28$, т. е. той е с 35 % по-голям от този за озвучителното тяло. Ако се реализират изчислените параметри, честотната характеристика ще съответствува на максимално плоска характеристика на филтър квази-Батърворт от трети ред. Пълният качествен фактор може да се намали, като се увеличи механичният загуби в самия високоволторител или като се използва усилвател с отрицателно вътрешно съпротивление. Ако пълният качествен фактор не може да се намали до изчислената стойност, тогава честотната характеристика няма да бъде максимално плоска, а в областта на ниските честоти ще се получи повишаване на нивото η . Съгласно [1] и [35] при разлика между качествените фактори от 35 % нивото на честотната характеристика ще се повиши с 3–5 дВ.

За параметрите на озвучителното тяло се получава:

честота на сръзване $f_s = 42,5 \text{ Hz}$;

резонансна честота на фазоинвертора $f_{\phi} = 37,5 \text{ Hz}$.

Приема се диаметърът на фазоинверсната тръба $D_{\phi} = 100 \text{ мм}$,

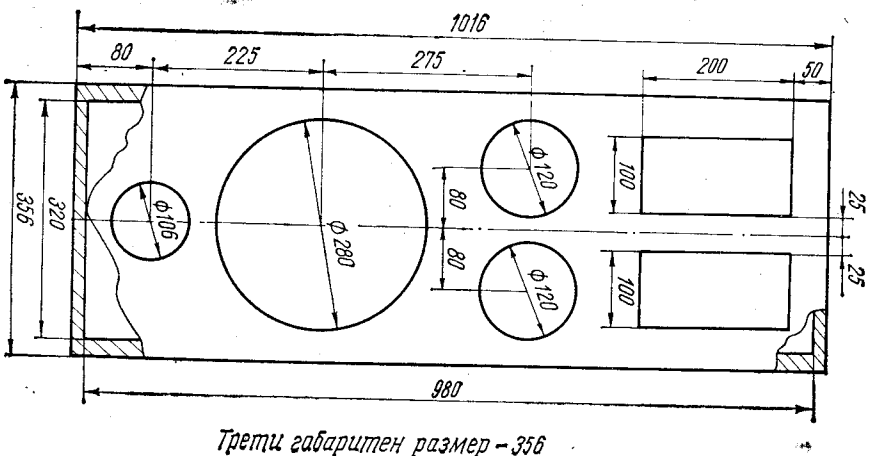
при което $S_{\phi} = 7,85 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ и се определя $\frac{l_{\phi}}{S_{\phi}} = 22$, а $l_{\phi} = 170 \text{ мм}$.

Конструкцията на кутията за ЗОТ40-3 е дадена на фиг. 4.85. Съобразно големите и размери трябва да се изработи от плочи от дървесни частици с дебелина 20–22 мм. В обема трябва да се постави около 300 г звукопоглътящ материал, който да се прилепи по стените на кутията.

Основните показатели на изчисленото озвучително тяло тип ЗОТ40-3 са: паспортна мощност — 40 W, ефективен честотен обхват на възпроизвеждане от 35 Hz до 40 kHz, при неравномерност на честотната характеристика не повече от 12 dB, чувствителност — 0,8 Pa $W^{-0,5}$, малки нелинейни изкривявания и добра пространствена характеристика. То може да се приписва към озвучителните тела от супер Hi-Fi клас.

Триленово озвучително тяло тип ЗОТ80-1. Нискочестотният високоволторител тип ВКН 1233 е с паспортна мощност 80 W и номинален импеданс 8 Ω . Комбинация от този високоволторител с два броя средночестотни високоволторители тип ВКС 5221 и два

Броя високочестотни високочестотни тип ВКВ 3721 ще представява озвучително тяло с паспортна мощност 80 W. Средночестотните и високочестотните високочестотни са с номинален импеданс 4 Ω и тяхното последователно свързване е задължи-



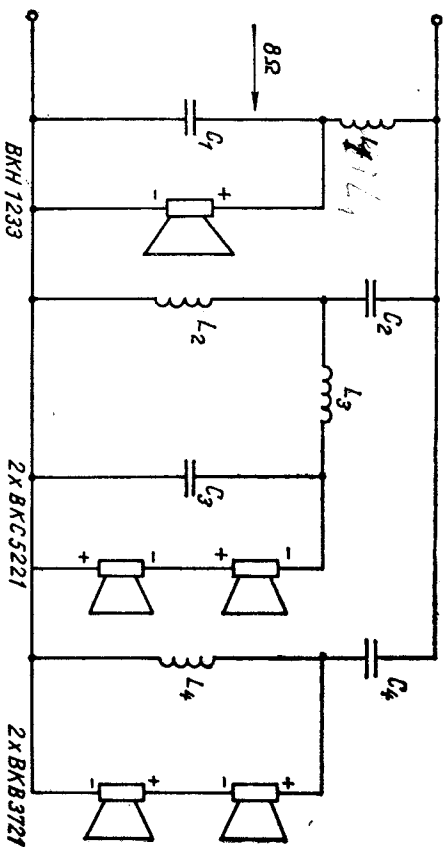
Фиг. 4.85

телно за получаване на номинален импеданс за озвучително тяло 8 Ω . При тези условия всеки от високочестотните и средночестотните високочестотни ще поеме съответната част от паспортна мощност 40 W. Независимо от това, че производителът

гарантира паспортна мощност по 20 W за тези високочестотни, установено е от практиката, че те понасят нагояване до 40—50 W. Създаването на звуковото налягане от двата средночестотни високочестотни ще бъде с 3 dB по-високо от нивото, създавано само от един високочестотен с импеданс 8 Ω . Същото се отнася и за високочестотните високочестотни.

Електрическо проектиране. Всички звена на разделителния филтър ще бъдат от втори ред, тъй като не съществува опасност от претоварване, която да налага използване на филтър от трети ред. Освен това не е желателно да се използва нискочестотно филтрово звено от първи ред за ВКН 1233, тъй като създаването на звуковото налягане от средночестотните високочестотни е достатъчно високо и може да се получи нежелателно допълнително повишаване на нивото на характеристиката. Същото се отнася и за средночестотните и високочестотните високочестотни. Принципатна схема на разделителния филтър е дадена на фиг. 4.86.

Избор на разделителни честоти. Средночестотните високочестотни позволяват значително нагояване. По принцип е же-



Фиг. 4.86

лателно първата разделителна честота да бъде между 600 и 800 Hz, ако средночестотните високочестотни позволяват това. Избира се $f_{p1} = 650$ Hz и $f_{p2} = 4500$ Hz.

Определяне елементите на филтъра. Изчисленията за всички

филтрови звена се извършват за товар $R_T = 8 \Omega$, като се използват зависимостите (2.57), (2.58), (2.77) и (2.78).

$$C_1 = C_2 = 21,5 \mu\text{F}; L_1 = L_2 = 2,78 \text{ мН}; C_3 = C_4 = 3,1 \mu\text{F}; \\ L_3 = L_4 = 0,4 \text{ мН}.$$

При реализиране и настройка на филтъра при реални условия елементите му бяха уточнени на следните стойности:

$$C_1 = 50 \mu\text{F}; C_2 = 20 \mu\text{F}; C_3 = 4 \mu\text{F}; C_4 = 3,3 \mu\text{F}; \\ L_1 = 2,70 \text{ мН}; L_2 = 2,8 \text{ мН}; L_3 = 0,6 \text{ мН}; L_4 = 0,45 \text{ мН}.$$

При реализиране на бобините може да се използва цилиндрична основа от немагнитен материал с диаметър на основата 29 мм и височина 20 мм. Необходимият брой навивки е:

$$n_1 = 280 \text{ нав. от проводник с диаметър } 1,2 \text{ мм}; \\ n_2 = 286 \text{ нав. от проводник с диаметър } 1,2 \text{ мм}; \\ n_3 = 140 \text{ нав. от проводник с диаметър } 1,2 \text{ мм}; \\ n_4 = 132 \text{ нав. от проводник с диаметър } 0,8 \text{ мм}.$$

Акустично проектиране. Озвучителното тяло със затворен обем с нискофестотен високоговорител тип ВКН 1233 няма да възпродизвежда достатъчно ефективно сигналите с ниска честота. Едно голямо и скъпо озвучително тяло, каквото е ЗОТ80-1, трябва да има много високи качества показатели, за да оправдае изразходваните средства и заеманото място в жилището. Ако се използва фазоинверсия, може да се получи завихряне на трептяния във фазоинверсия отвор въздух поради големата паспортна мощност на озвучителното тяло. Това ще се възприема като неприятно свистене при функциониране на пълна мощност. Затова се избира озвучително тяло с пасивна мембрана. За улеснение ще се използва пасивна мембрана от същия високоговорител, т. е. $S_n = S$ и $\delta = \alpha$. Приема се, че забубите в озвучителното тяло са нормални и $Q_v = Q_l = 7$. За изходна величина при проектирането се приема обемът на озвучителното тяло. От съображения за получаване на добро звучене и за осигуряване необходимото място за разполагане на всички високоговорители и пасивната мембрана на лицевата повърхност на озвучителното тяло се приема $V = 130 \text{ дм}^3$. При тези условия изчислената се извършват с помощта на графиките от фиг. 3.21 в следния ред:

Определя се коефициентът $\alpha = 2,36$.
От фиг. 3.21 за $\alpha = 2,36$ се отчита:

$$Q_l = 0,33; x_g = 1,42; h = 1,42; g = 0,76.$$

Определят се параметрите на озвучителното тяло: честота на срязване $f_g = 35,5 \text{ Нз}$; резонансна честота на пасивната мембрана $f_n = 19 \text{ Нз}$; резонансна честота на обема $f_v = 35,5 \text{ Нз}$.

Пълният качествен фактор на озвучителното тяло трябва да бъде 5 % по-малък от този на самия високоговорител. Корекция обаче не е необходима, тъй като разликата е в рамките на допустимите производствени толеранси. Освен това качественният фактор ще бъде с малко по-висок от оптималния, от което следва, че честотната характеристика ще повиши нивото си с 0,5 до 1 дВ в областта на ниските честоти, но това няма да влоши, а ще подобри качествата на озвучителното тяло. Дори се препоръчва изходното съпротивление на усилвателя да бъде по-голямо от нула — например $R_i = 0,5 \Omega$, за да се повиши качественният фактор на озвучителното тяло и да се получи повишаване на нивото на честотната характеристика в областта на ниските честоти с около 2 дВ.

Трептящата маса на пасивната мембрана за получаване на изчислената резонансна честота трябва да бъде $m_n = 76,5 \text{ г}$. Към мембраната трябва да се прибави допълнителна маса, която се определя от зависимостта

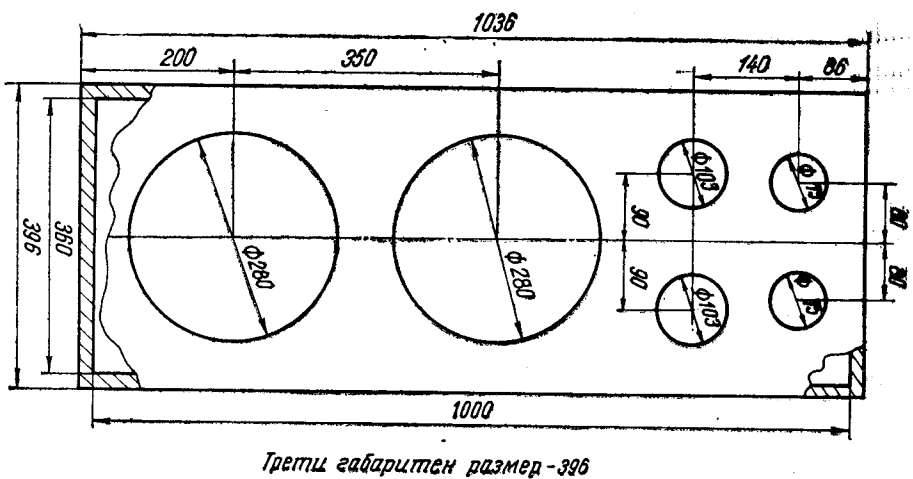
$$m_{\text{доп}} = m_n - m + m_{\text{заг. в.}} = 76,5 - 44 + 12 = 44,5 \text{ г}.$$

Желателно е да се измери резонансната честота на пасивната мембрана с допълнителната маса, а също и резонансната честота на обема, т. е. на монтираната към кутията на озвучителното тяло пасивна мембрана, при запущени отвори за високоговорителите.

Трябва да се има предвид, че амплитудата на пасивната мембрана ще бъде 2,2 пъти по-голяма от амплитудата на трептящата система на нискофестотния високоговорител. При големата паспортна мощност на озвучителното тяло съществува опасност гънките да ограничават трептенето на пасивната мембрана и да се внесат недопустими изкривявания при възпродизвеждането на сигналите с ниска честота.

На фиг. 4.87 е дадена констативната на кутията за ЗОТ80-1. Големият обем е получен за сметка на по-голямата височина. По принцип широчината на озвучителните тела трябва да бъде колкото е възможно по-малка, за да заемат те по малка част от жилищното помещение. Пространството над озвучителните тела е свободно и височината им се ограничава единствено от естетически съображения. Триленговото озвучително тяло ще възпродизвежда ефективно сигналите от 28—30 Нз до 18—20 кНз, при

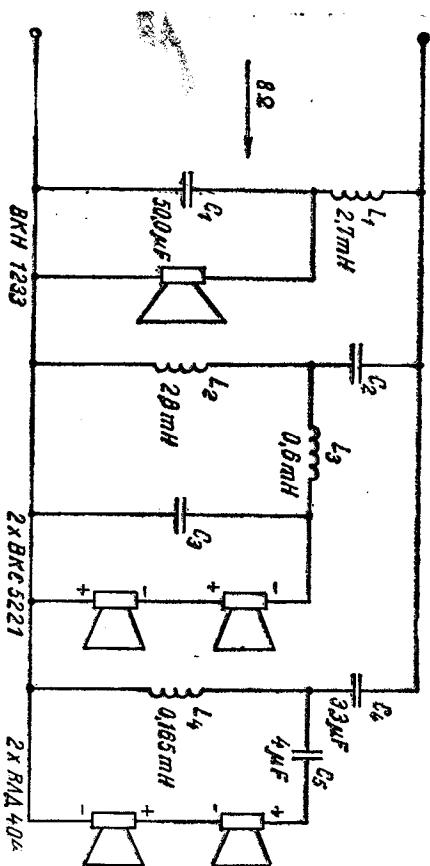
Неравномерност на честотната му характеристика, не по-голяма от 12 dB. Чувствителността му е 0,8 Pa W^{-0,5}. Внася много малки нелинейни изкривявания към възпроизвежданите музикални програми и има много добра пространствена характеристика. При



Фиг. 4.87

пълно натоварване може да създаде в жилищно помещение звуково налягане с ниво над 110 dB. Издържа значителни краткотрайни претоварвания.

Триленгово озвучително тяло тип 30T80-2. То е модификация на 30T80-1 — куполните високочестотни високоговорители тип ВКВ 3721 са заменени с лентови високочестотни високоговорители тип ВЛД 404. Приема се същото електрическо реше-



Фиг. 4.88

ние, т. е. $f_{p1} = 650$ Hz и $f_{p2} = 4500$ Hz. Налата се обаче да се използва филтър от трети ред за лентовите високоговорители. Схемата на филтъра е дадена на фиг. 4.88. Необходимо е да се определят само елементите за филтровото звено от трети ред, като се използва зависимостта (2.88) при $m = 0,5$:

$$C_4 = 2,95 \mu\text{F}; C_5 = 4,42 \mu\text{F}; L_4 = 0,141 \text{ mH}.$$

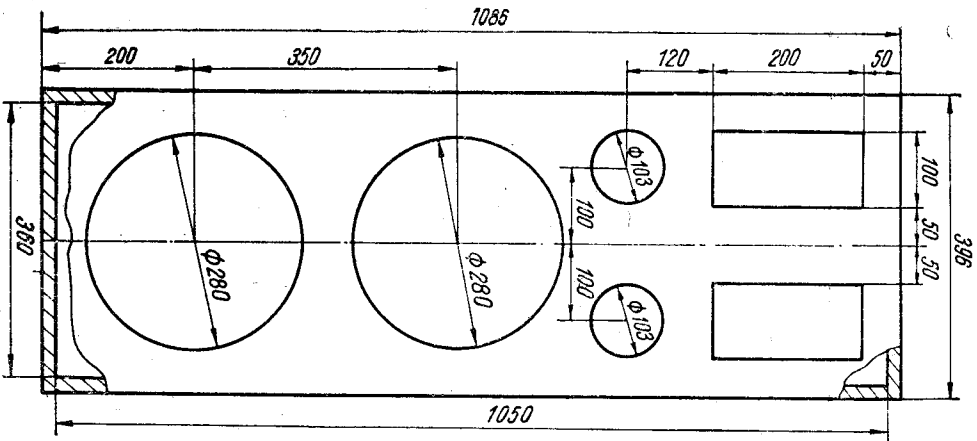
При реализацията на филтъра се получи:

$$C_4 = 3,3 \mu\text{F}; C_5 = 4 \mu\text{F}; L_4 = 0,165 \text{ mH}.$$

За изработване на бобината е необходимо да се навият $n_4 = 80$ нав. от проводник с диаметър 0,9 mm върху тръба от немагнитен материал с външен диаметър 29 mm и височина 20 mm.

Приема се същото акустично оформление както при 30T80-1. На фиг. 4.89 е дадено разположението на високоговорителите върху лицевия панел на кутията.

Показателите на триленговото озвучително тяло тип 30T80-2 са същите, както на 30T80-1 с тази разлика, че ефективният честотен обхват на възпроизвеждане се разширява до 40 kHz.



Трети габаритен размер - 396

Фиг. 4.89

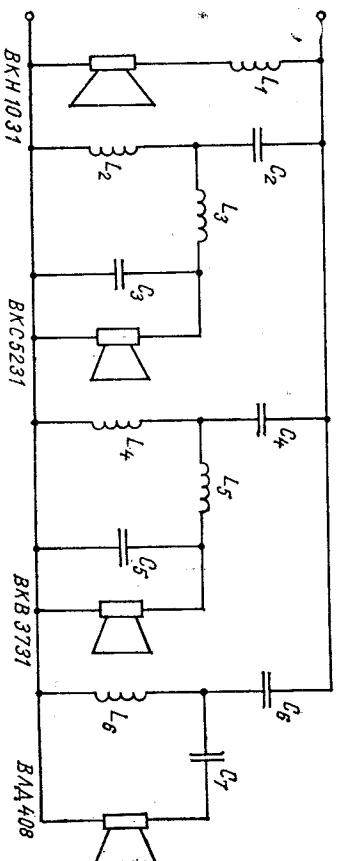
4.8. ЧЕТИРИЛЕНТОВИ ОЗВУЧИТЕЛНИ ТЕЛА

Четирилентовите озвучителни тела се конструират с цел да се получи по-голяма паспортна мощност и по-високо качество на възпроизвеждане. Четвъртият високоговорител се поставя да въз-

произвежда онзи честотен подобхват, който или не се възпроизвежда, или сигналите от този обхват претоварват някой от високоговорителите. В последно време се създават специални супервисочестотни високоговорители, които възпроизвеждат сигнали с честота от 10—15 kHz до 40 kHz, а в някои случаи и до 100—120 kHz. Тези високоговорители се поставят като четвърти в трилентовото озвучително тяло, за да възпроизвеждат сигналите с честота над 16 kHz. В някои случаи четвъртият високоговорител се поставя с цел да се облекчи функциониранието на ниско-честотния високоговорител и възпроизвежда сигналите с честота от 300—400 Hz до 1000—2000 Hz.

Четирилентовото озвучително тяло тип 40Т60-1. Четирилентовото озвучително тяло с паспортна мощност 60 W се получава, като се използва комбинация от следните високоговорители: ниско-честотен тип ВКН 1031, средночестотен тип ВКС 5231, средно-височестотен тип ВКВ 3731 и височестотен тип ВЛД 408. Тъй като всеки от високоговорителите ще възпроизвежда само част от номиналния си честотен обхват, за който е обявена паспортната му мощност, ще може да издържа без повреда частта от обща паспортна мощност за озвучителното тяло 60 W.

Електрическо проектиране. Разделителният филтър ще съдържа общо 6 филтрови звена. Фдното от тях задължително трябва да бъде от трети ред — за високоговорителя ВЛД 408.



Фиг. 4.90

Първото филтрово звено (за високоговорителя тип ВКН 1031) може да бъде от първи ред. Всички останали филтрови звена трябва да бъдат от втори ред. Принципната схема на филтъра и свързането на високоговорителите е дадено на фиг. 4.90.

Избор на разделителни честоти. Претоварването е по-критично за високоговорителите ВКВ 3731 и ВЛД 408, поради което на тях се предоставят по-тесни подобхвати за възпроизвеждане. Према се $f_{11} = 1000 \text{ Hz}$, $f_{p2} = 4000 \text{ Hz}$ и $f_{p3} = 10000 \text{ Hz}$.

Определяне елементите на филтъра. Товарът на всички филтрови звена е $R_T = 8 \Omega$. Използват се зависимостите (2.13), (2.57), (2.58), (2.77), (2.78) и (2.88) за $m = 0,5$. Използват се резултатите от изчисленията на филтрите за ЗОТ25-1 и ЗОТ80-1.

$$L_1 = 1,4 \text{ мН}; \quad L_2 = 1,1 \text{ мН}; \quad C_2 = 10 \text{ }\mu\text{F};$$

$$L_3 = 0,52 \text{ мН}; \quad C_3 = 3,3 \text{ }\mu\text{F};$$

$$L_4 = 0,50 \text{ мН}; \quad C_4 = 3,3 \text{ }\mu\text{F}.$$

Изчисляват се следните елементи:

$$L_5 = 0,18 \text{ мН}; \quad C_5 = 1,4 \text{ }\mu\text{F};$$

$$C_6 = 1,32 \text{ }\mu\text{F}; \quad C_7 = 1,98 \text{ }\mu\text{F};$$

$$L_6 = 0,063 \text{ мН}.$$

При реализирането на филтъра се получава следните стойности:

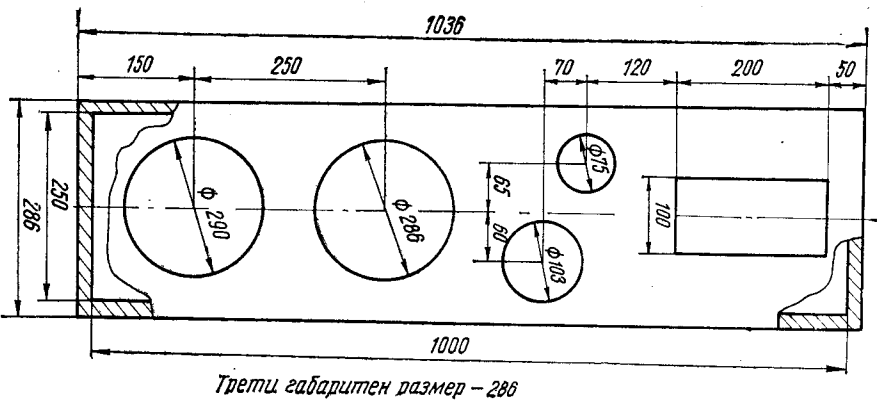
$$C_5 = 1 \text{ }\mu\text{F}; \quad C_6 = 1,5 \text{ }\mu\text{F};$$

$$C_7 = 2,2 \text{ }\mu\text{F};$$

$$L_5 = 0,25 \text{ мН}; \quad L_6 = 0,08 \text{ мН}.$$

Акустично проектиране. Резултатите от акустичното проектиране на ЗОТ40-1 са много добри и ще се използват и за изчисляването триенатово озвучително тяло тип ЗОТ60-1, което може да се разглежда като модификация

на ЗОТ4С-1 — прибавен е още един високочестотен високоговорител. На фиг. 4.91 е дадена кутията за ЗОТ60-1, като е зададен обемът от 60 dm³. Трябва да се има предвид, че при мощност 60 W пасивната мембрана ще трепти с големи амплитуди. Ефективният честотен обхват на възпроизвеждане на ЗОТ60-1



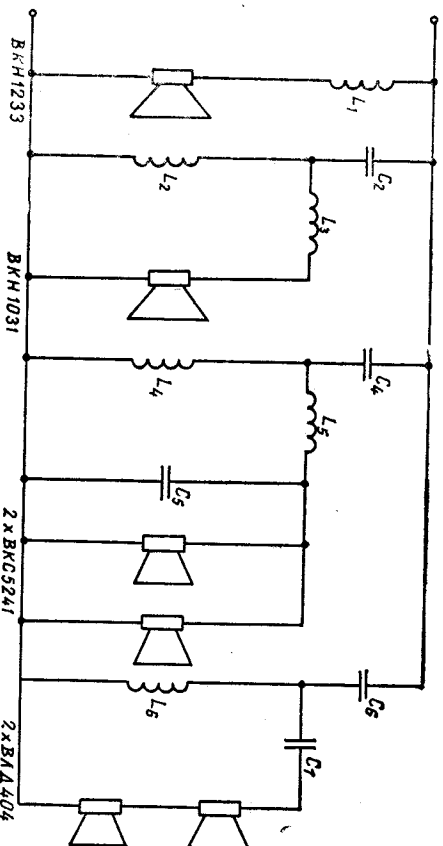
Фиг. 4.91

Трети габаритен размер — 286

е от 25 Hz до 40 kHz, паспортната му мощност е 60 W, а останите показатели са като на ЗОТ40-1.

Четириенатово озвучително тяло тип ЗОТ100-1. Озвучително тяло с паспортна мощност 100 W може да се реализира от комбинация в четириенатова система на следните високоговорители: нискочестотен тип ВКН 1233, втори нискочестотен тип ВКН 1031, средночестотен тип ВКС 5211 — два броя, и високочестотен тип ВЛД 404 — два броя.

Електрическо проектиране. Двама нискочестотни високоговорители са с номинален импеданс 8 Ω. Най-добре е нискочестотната част на филтровите звена да бъде от първи ред, а високочестотната на ВКН 1031 — от втори ред. Средночестотните високоговорители са с номинален импеданс 16 Ω и за да се получи равна честотна характеристика на озвучителното тяло, трябва да се свържат паралелно, при което еквивалентният им импеданс ще бъде 8 Ω. Подходящо е захранването им да стане през средночестотен филтър, на който и двете звена са от втори ред. Високочестотните високоговорители са с номинален импеданс 4 Ω и трябва да се свържат последователно, за да се получи еквивалентен импеданс 8 Ω. Захранването им трябва да стане задължи.



Фиг. 4.92

телно през филтър от трети ред. Принципната схема на разделителния филтър е дадена на фиг. 4.92.

Избор на разделителни честоти. Нискочестотните високоговорители са по един, а от другите типове са по два броя. Висо-

Когорителт тип ВКН 1031 е с паспортна мощност 40 W, а е включен само един в озвучителното тяло от 100 W. Следователно на него трябва да му се подава относително тесен честотен обхват за възпроизвеждане — не повече от две октави. От тези съображения се избира $f_{p1} = 500$ Hz, $f_{p2} = 1500$ Hz и $f_{p3} = 6000$ Hz.

Определените елементите на филтъра. Товарът на всички филтрови звена е $R_T = 8 \Omega$. Приема се $m = 0,5$ и се използват штираните вече зависимости:

$$L_1 = 2,54 \text{ мН}; L_2 = 3,6 \text{ мН}; C_2 = 28 \text{ }\mu\text{F}; L_3 = 0,85 \text{ мН};$$

$$L_4 = 1,2 \text{ мН}; C_4 = 9,3 \text{ }\mu\text{F}; L_5 = 0,225 \text{ мН};$$

$$C_5 = 1,75 \text{ }\mu\text{F}; C_6 = 1,7 \text{ }\mu\text{F}; C_7 = 2,55 \text{ }\mu\text{F}; L_6 = 0,08 \text{ мН}.$$

Стойностите на елементите на разделителния филтър, функциониращ при реални условия, са:

$$L_1 = 3,8 \text{ мН}; L_2 = 3,0 \text{ мН}; C_2 = 24 \text{ }\mu\text{F};$$

$$L_3 = 1,3 \text{ мН}; L_4 = 1,4 \text{ мН}; C_4 = 4 \text{ }\mu\text{F};$$

$$L_5 = 0,3 \text{ мН}; C_5 = 2 \text{ }\mu\text{F};$$

$$L_6 = 0,1 \text{ мН}; C_6 = 2 \text{ }\mu\text{F}; C_7 = 2 \text{ }\mu\text{F}.$$

Бобините може да се навият върху цилиндър с диаметър на основата 29 мм и височина 20 мм, при което необходимият брой навивки е:

$$n_1 = 350 \text{ нав. от проводник с диаметър } 1,2 \text{ мм};$$

$$n_2 = 300 \text{ нав. от проводник с диаметър } 1,2 \text{ мм};$$

$$n_3 = 200 \text{ нав. от проводник с диаметър } 0,8 \text{ мм};$$

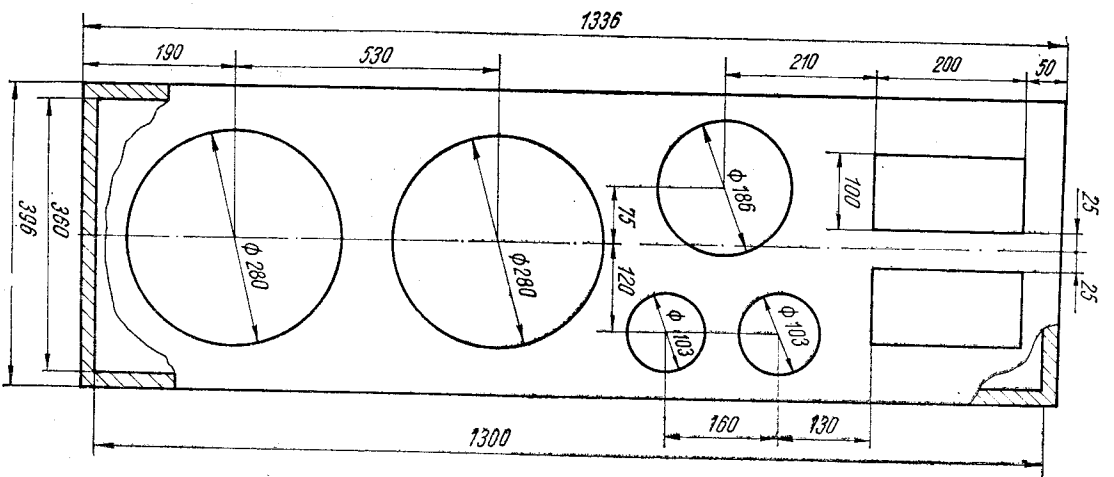
$$n_4 = 212 \text{ нав. от проводник с диаметър } 0,8 \text{ мм};$$

$$n_5 = 96 \text{ нав. от проводник с диаметър } 0,9 \text{ мм};$$

$$n_6 = 60 \text{ нав. от проводник с диаметър } 0,9 \text{ мм}.$$

Акустично проектиране. Акустичното оформление на озвучителното тяло тип ЗОТ80-1 осигурява много добро възпроизвеждане на сигналите с ниска честота и е подходящо и за четирилентовото озвучително тяло тип 4ОТ100-1. Обемът му е достатъчен, за да се разположат високоговорителите и пасивната мембрана върху лицевата повърхност. Конструкцията на кутията за 4ОТ100-1 е дадена на фиг. 4.93. Нискочестотният високоговорител тип ВКН 1031 трябва да се затвори в собствен обем от 6—8 дм³ за предпазване на мембраната му от въздействието на звуковото налягане в обема, създавано от ВКН 1233.

Четирилентовото озвучително тяло тип 4ОТ100-1 ще възпроизвежда ефективно и с незабележими изкривявания сигналите



Трети габаритен размер - 316

Фиг. 4.93

с честота от 28—30 Нз до 40 кНз. Разделността на звучене на отделните музикални инструменти при външноизвеждане на оркестрови изпълнения ще се възприема ясно от слушателите.

4.9. ПРАКТИЧЕСКО ИЗПЪЛНЕНИЕ НА РАЗДЕЛИТЕЛНИ ФИЛТРИ ЗА ОЗВУЧИТЕЛНИ ТЕЛА

Изработването на филтрите не е трудна работа и може да се извърши при домашни условия.

Изработка на бобина с определена индуктивност. Бобините трябва да се навият на няколко слоя върху немагнитна основа с цилиндрична форма. За предпочитане е да се използват пластмасови тръби с диаметър около 40 мм и височина около 20 мм. Необходимият брой навивки се изчислява от (2.17) или се използвава табл. 2.1, ако диаметърът на проводника е 1 мм. Бобините за филтрите трябва да се изработват от меден изолiran проводник, като за нискочестотните филтри диаметърът трябва да бъде не по-малък от 1 мм, за средночестотните — 0,5—0,7 мм и за високочестотните — 0,31÷0,4 мм. При навиване на всеки слой трябва да се нанася лепило. За предпочитане е да се използват ограничителни шайби и навивките да се нареждат плътно една до друга. След изработката бобината трябва да се завърже с шнур или лента, за да не се размотае.

Изработка на монтажната платка. Може да се използва ва платка от нефолиран гетинакс, листов полистирол или друг листов немагнитен материал, а монтажът да бъде обемн. За предпочитане е обаче да се използва едностранно фолиран гетинакс, за да се осъществи печатен монтаж. Поради малкия брой връзки фолиевата картина се създава сравнително лесно.

Закрепване на елементите. Ако се използват кондензатори с цилиндрична форма и неголеми размери, закрепването им става с изводите им. Кондензаторите с по-големи размери и форма на паралелепипед (като напр. от типа МБГТ) трябва да се закрепват с допълнителна скоба или с винтове, ако имат уши за закрепване.

Бобините трябва да се притиснат към платката с шайба с диаметър, приблизително равен на вършиния диаметър на бобината и да се закрепят с винт и гайка от немагнитен материал.

Електрическата връзка (заповяването) едва ли може да предизвика трудности и не се нуждае от указания.

Закрепването на платката към кутията на озвучителното тяло става с винтове за дърво в 4 точки, разположени близо до ъг-

лите на платката. Между платката и кутията задължително трябва да се постави една шайба от гума или друг мек материал. Платката трябва да бъде достатъчно здрава, а закрепването ѝ към кутията — достатъчно сигурно, тъй като масата на бобините на филтрите е голяма и съществуват реална опасност от счупване на платката по време на транспорта. Закрепването на филтрите към кутията се извършва през отворите за високоговорителите, тъй като кутията на съвременните озвучителни тела са компактни. Обикновено филтърът се закрепва зад нискочестотния високоговорител или между него и средночестотния високоговорител.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградова, Э. Конструирование громкоговорителей со сложными частотными характеристиками. М., Энергия, 1978.
2. Вълчев, Йв. Електроакустика. С., Техника 1975.
3. Фрусеи, М. Громкоговорители и их применение. М., Энергия, 1976.
4. Йофев, В., В. Корольков, М. Сапожков, Справочник по акустике. М., Связь, 1979.
5. Малаков, Сл. Электроакустични преобразуватели. С., Музика, 1977.
6. Павловская, В., А. Качерович, А. Лукьянов, Акустика и электроакустическая аппаратура. М., Искусство, 1977.
7. Полянев, Д. Нискочестотен високоговорител за Hi-Fi цели. — Радио и телевизия, електроника, 1971, кн. 9.
8. Полянев, Д. Озвучително тяло със затворен обем и ниска резонансна честота. Авторско свидетелство № 22022, МПК 10К19/00, с приор. от 19. IV. 1975. телство № 24000783 с приор. от 1. IV. 1977.
9. Полянев, Д. Озвучително тяло с пасивен излъчвател. Авторско свидетелство № 24000783 с приор. от 1. IV. 1977.
10. Полянев, Д. Входен електрически импеданс на Г-образни LC-разделителни филтри за озвучителни тела. — Електроника и радиотехника, 1979, кн. 6.
11. Полянев, Д. Несиметрични електрически разделителни филтри от втори ред за озвучителни тела. — Радио, телевизия, електроника, 1979, кн. 5.
12. Полянев, Д. Практическо изчисляване на електрически разделителни филтри от втори ред за двуендовни озвучителни тела. — Радио, телевизия, електроника, 1979, кн. 6.
13. Полянев, Д. Нискочестотен високоговорител от Hi-Fi клас тип ВВК 200 — Радио, телевизия, електроника, 1979, кн. 10.
14. Полянев, Д. Куполен високочестотен високоговорител от Hi-Fi клас. — Радио, телевизия, електроника, 1978, кн. 5.
15. Полянев, Д. Двуендовно озвучително тяло от Hi-Fi клас тип ОГГ1-02. — Радио, телевизия, електроника, 1979, кн. 2.

16. Попянев, Д. Практическо изчисляване на електрически разделителни филтри от втори ред за триъгълни озвучителни тела. — Радио, телевизия, електроника, 1982, кн.

17. Попянев, Д. Триъгълно озвучително тяло от Hi-Fi клас тип OTM1-11. — Радио, телевизия, електроника, 1982, кн.

18. Попянев, Д. Върху едпа възможност за намаляване резонансната честота на озвучително тяло със затворен обем. Михайловград, национална конференция по акустика с международно участие „Акустика 81“.

19. Попянев, Д. Високоговорители и озвучителни тела. С., Техника, 1981.

20. Попянев, Д., К. Д. Влахов. Битова звукотехника. С., Техника, 1981.

21. Ненов Г., Д. Попянев, Радиотехника. С., Техника, 1981.

22. Сапожков, М. Електроакустика, М., Связь, 1978.

23. Кинп, Г. Руководство по акустиките. Превод от английски. Д., Энергия, 1981.

24. Allison, R. F. Low-Frequency Response and Efficiency Relationships in Direct-Radiator Loudspeaker Systems. JAFS, vol. 13, No. 1, January 1965.

25. Brociner, V. D. R. von Recklinghausen. Interrelation of Speaker and Amplifier Design. JAFS, vol. 12, No. 2, April 1964.

26. Brociner, V. Speaker Size and Performance in Small Cabinets. Audio, March 1970.

27. Clarke, T. L., Augmented Passive Radiator Loudspeaker Systems part 1. JAFS, vol. 29, No. 6, June 1981; Part II, JAFS, vol. 19, No. 7/8, July August 1981.

28. Keeler, D. B. A New Set of Sixth-Order Vented-Box Loudspeaker System Alignments. JAFS, vol. 23, No. 5, June 1975.

29. Margolis, G., R. H. Small. Personal Calculator Programs for Approximate Vented-Box and Closed-Box Loudspeaker Design. JAFS, vol. 29, No. 6, June 1981.

30. Newman, R. J. A Loudspeaker System Design Utilizing a Sixth-Order Butterworth Response Characteristic. JAFS, vol. 21, No. 6, July/August 1973.

31. Novak, J. F. Performance of Enclosures for Low-Resonance High-Compliance Loudspeakers. JRE Transactions on Audio, vol. AU 7, No. 1, January/February 1959.

32. Olson, H. F. Direct Radiator Loudspeaker Enclosures. JAFS, vol. 17, No. 1, January 1969.

33. Small, R. H. Closed-Box Loudspeaker Systems, Part I: Analysis. JAFS, vol. 20, No. 10, December 1972; Part II: Synthesis. JAFS, vol. 21, No. 1, January/February 1973.

34. Small, R. H. Vented-Box Loudspeaker Systems, Part I: Small Signal Analysis. JAFS, vol. 21, No. 5, June 1973; Part II: Large-Signal Analysis. JAFS, vol. 21, No. 6, July/August 1973; Part III: Synthesis. JAFS, vol. 21, No. 7, September 1973; Part IV: Appendices. JAFS, vol. 21, No. 8, October 1973.

35. Small, R. H. Passive-Radiator Loudspeaker Systems, Part I: Analysis. JAFS, vol. 22, No. 8, October 1974; Part II: Synthesis. JAFS, vol. 22, No. 9, November 1974.

36. Thiele, A. N. Loudspeakers in Vented Boxes: Part I. JAFS, vol. 19, No. 5, May 1971; Part II, JAFS, vol. 19, No. 6, June 1971.

СЪДЪРЖАНИЕ

Предговор	5
Глава първа. Електродинамични високоговорители	7
1.1. Определение и класификация	7
1.2. Устройството и принцип на действие на електродинамичните високоговорители	8
1.3. Електрически параметри на електродинамичните високоговорители	12
1.4. Електроакустични характеристики на високоговорителите	19
1.5. Видове електродинамични високоговорители	23
1.6. Измерване на основните параметри на електродинамичните високоговорители	43
Глава втора. Електрически разделителни филтри за озвучителни тела	47
2.1. Определения и основни параметри	47
2.2. Видове разделителни филтри	50
2.3. Разделителни филтри от първи ред	51
2.4. Разделителни филтри от втори ред	66
2.5. Разделителни филтри от трети ред	83
Глава трета. Основна теория на озвучителните тела	86
3.1. Акустично оформление на високоговорителите	86
3.2. Озвучително тяло със затворен обем	90
3.3. Озвучително тяло с фазоинвертор	98
3.4. Озвучително тяло с пасивна мембрана	113
3.5. Основни сведения и параметри на озвучителните тела	128
3.6. Влияние на вида на акустичното оформление върху честотната характеристика на озвучителните тела	141
Глава четвърта. Конструиране на озвучителни тела за домашно ползване	145
4.1. Еднолетови озвучителни тела	145
4.2. Двухлетови озвучителни тела — общи сведения	152
4.3. Двухлетови озвучителни тела с разделителен филтър от първи ред	157
4.4. Триъгълни озвучителни тела с разделителен филтър от първи ред	174
4.5. Двухлетови озвучителни тела с разделителен филтър от втори ред	188
4.6. Двухлетови озвучителни тела с разделителен филтър от раздвоен ред	218
4.7. Триъгълни озвучителни тела с разделителни филтри от първи, втори и трети ред	226
4.8. Четриъгълни озвучителни тела	266
4.9. Практическо изпълнение на разделителни филтри за озвучителни тела	272