

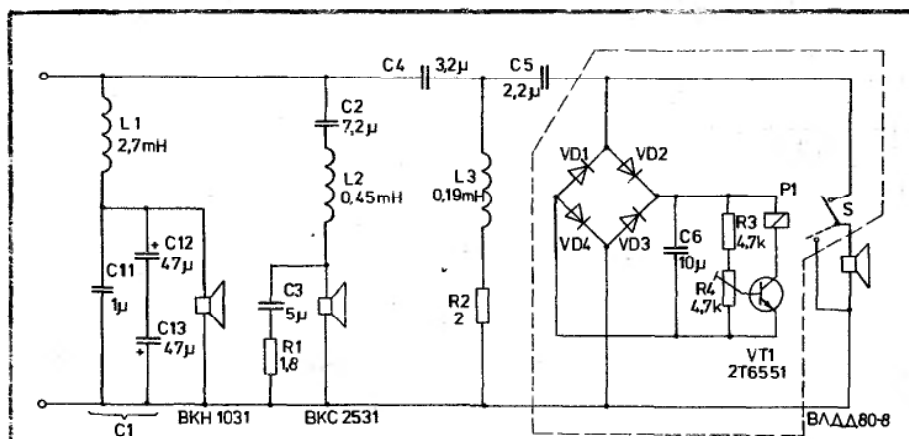
Ст. н. с. к. т. н. инж. Димитър Полянев

Високо качество на възпроизвеждане на звукови картини може да се осъществи само като се използват сравнително сложни излъчващи акустични системи, в които са използвани два или повече високоговорители за възпроизвеждане на честотните подобхвати, на които е разделен звуковият спектър. Този факт е обусловен от някои физични закономерности, възпрепятстващи качествено възпроизвеждане само от един високоговорител. За ефективно възпроизвеждане на сигналите с ниски честоти трептящата система на високоговорителя трябва да бъде със сравнително голяма площ, със сравнително голяма маса и да трепти със значителна амплитуда, която е съизмерима с дължината на звуковата вълна за сигналите с високи честоти. Ако сигналите с високи честоти се излъчват от високоговорителя, който излъчва сигналите с ниски честоти и извършва големи амплитуди, излъчването на сигналите с високи честоти ще става от различни точки в пространството, намиращи се на разстояние, съизмеримо или равно на дължината на звуковата им вълна. При това точката, от която се излъчват сигналите с високи честоти, се премества в процеса на самото излъчване под въздействието на сигналите с ниска честота. Това е причина за появяване на изкривявания от Доплеров ефект, които може да се предотвратят само като се използват различни високоговорители за възпроизвеждането на сигналите с ниски и високи честоти. Пространствената характеристика на високоговорителите зависи от отношението между размерите на високоговорителя и дължината на излъчваната звукова вълна, като с увеличаване на това отношение излъчването става по-насочено, което не е желателно. За излъчване на сигнали с високи честоти трябва да се използват високоговорители с малка звукоизлъчваща повърхност. Ефективното възпроизвеждане на сигналите с ниски честоти изисква високоговорителите да бъдат с голяма звукоизлъчваща повърхност. Това противоречиво изискване може да се избегне само като се раздели излъчването на звуковия спектър между два или повече високоговорители, специално конструирани за качествено възпроизвеждане на сигналите от определен честотен подобхват на звуковия обхват.

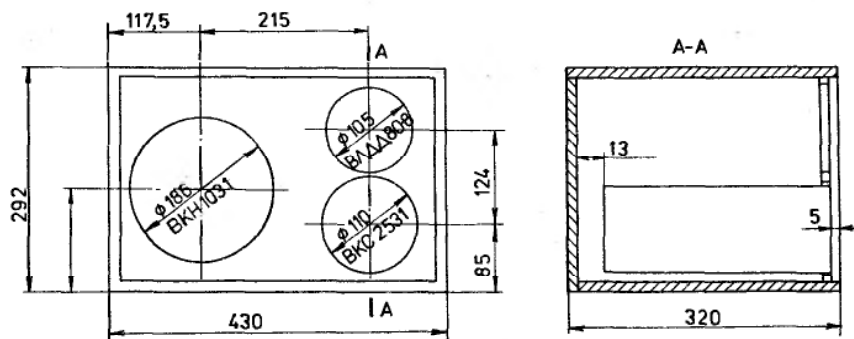
Естествено възниква въпросът, на колко подобхвата трябва да се раздели звуковият обхват, т. е. колко високоговорители трябва да се използват в една акустична система, за да се получи високо качество на възпроизвеждане на звуковите картини. Нормално е да се очаква, че колкото повече високоговорители се използват в една акустична система, толкова по-качествено ще бъде възпроизвеждането. Разделянето на звуковия спектър на голям брой подобхвати и използването на голям брой високоговорители за възпроизвеждането им поставят нови проблеми, чието неправилно решаване може да доведе до влошаване на възпроизвеждането вместо очаквано-

то подобряване. Основен проблем е правилното конструирание на разделителния филтър. Като оптимални за доброто качество на възпроизвеждането може да се приемат акустичните системи, в които звуковият спектър е разделен на 4 или 3 подобхвата. Потвърждение на това твърдение се получава лесно от един преглед на каталозите на водещите в тази област фирми в световен мащаб.

С произвежданите от нашата промишленост високоговорители може да се реализира трилентово озвучително тяло със сравнително високи параметри при не много голям обем. При конструирание или при избиране за закупуване на озвучително тяло основните пара-



Фиг. 1



Фиг. 2

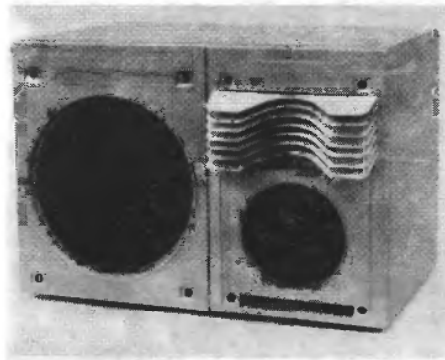
метри, които определят избора, са обемът, номиналният входен импеданс и номиналната (максималната) мощност. За озвучително тяло с неголям обем се приема 25—30 dm³ (литра). Номиналният импеданс на товара на повечето от произвежданите усилватели е 4 или 8 Ω. Према се номиналният входен импеданс на озвучителното тяло да бъде 8 Ω, т. е. то ще може да се комплектува както към усилвателите с номинален товарен импеданс 8 Ω, така и към тези с 4 Ω, като при последните номиналната изходна мощност може да се намали с 25 до 50%. Целесъобразно е номиналната мощност на озвучителното тяло да бъде 50 W, а максималната — 100 W, за да може да се комплектува към по-широка гама от усилватели — всички с номинална изходна мощност до 50 W. Останалите параметри трябва да осигуряват в максимална възможна степен високо качество на възпроизвеждането.

Избиране на високоговорители. Високоговорителите трябва да бъдат с номинален импеданс 8 Ω и да допускат натоварване, съответстващо на частта от мощността, която се отдава върху съответния високоговорител при възпроизвеждане на определената част от звуковия обхват в конкретното озвучително тяло. Освен това високоговорителите трябва да бъдат с приблизително еднаква чувствителност, за да се гарантира получаването на равномерна честотна характеристика. Те трябва да внасят минимални нелинейни изкривявания.

Нискочестотен високоговорител. Върху нискочестотния високоговорител се отдава по-голямата част от консумираната от дадено озвучително тяло мощност, поради което неговата номинална мощност трябва да бъде близка до номиналната мощност на озвучителното тяло. Освен това от нискочестотния високоговорител се изисква да има ниска резонансна честота и малка стойност на пълния качествен фактор, за да се осигури качественото възпроизвеждане на сигналите с ниски честоти с възможност за реализиране на акустична система с басрефлекс (фазоинвертор) или с пасивна мембрана. На посочените изисквания най-добре отговаря нискочестотният високоговорител тип ВКН1931, който е с номинален диаметър 200 mm. Неговите основни параметри и показатели са: номинална мощност 40 W, номинален импеданс 8 Ω, характеристична чувствителност 0,4 P₀W^{-0,5} (86 dB при 1 W на 1 m), резонансна честота 28 Hz, номинален честотен обхват 50—4000 Hz и пълнен качествен фактор Q=0,358. В трилентови озвучителни тела нискочестотните високоговорители възпроизвеждат обхвата до 500—1000 Hz, т. е. значително по-тесен от номиналния. При консумиране от озвучителното тяло на номиналната си мощност от 50 W на нискочестотния високоговорител ще се отдава не повече от 30—35 W. Високоговорителят ще може да понесе тази мощност без никаква опасност от претоварване и повреджване.

Средночестотен високоговорител. На-

шата промишленост произвежда 3—4 типа средночестотни високоговорители, а от тях куполни само 2 типа. При този „асортимент“ подходящ за изгражданата акустична система е куполният средночестотен високоговорител тип ВКС2531 с основни показатели: номинална мощност 20 W, номинален импеданс 8 Ω, характеристична чувствителност 0,35 P₀W^{-0,5} (85,5 dB при 1 W на 1 m) и номинален честотен обхват от 800 до 4000 Hz. Номиналната мощност на



Фиг. 3

високоговорителя е сравнително малка и използването му в проектираното озвучително тяло е възможно само ако се стесни честотният обхват, който ще възпроизвежда, и то в областта на ниските честоти, при които трептящата му система трепти с по-голяма амплитуда; сигналите с ниски честоти притежават и по-голяма енергия. Разделителната честота трябва да се приеме не по-ниска от 1000 Hz. Чувствителността на ВКС2531 е по-ниска от необходимата, но това е само формално — произвежданите образци са с чувствителност 0,4—0,5 P₀W^{-0,5} (86—88 dB при 1 W на 1 m).

Високочестотен високоговорител. Нашата страна произвежда също ограничена номенклатура от високочестотни високоговорители. Най-подходящ за висококачествени озвучителни тела с по-голяма номинална мощност е лентовият високочестотен високоговорител тип ВЛДД80—8. Неговите основни показатели са: номинална мощност 80 W, номинален импеданс 8 Ω, характеристична чувствителност 0,6 P₀W^{-0,5} (89 dB при 1 W на 1 m) и номинален честотен обхват от 3 до 40 kHz. Показателите му се съгласуват много добре с тези на останалите два високоговорителя, като само чувствителността му е малко по-висока. Като се вземе предвид, че другите два високоговорителя се произвеждат с по-висока от обявената чувствителност, може да се очаква, че честотната характеристика на озвучителното тяло ще бъде с много малка неравномерност.

Избиране на акустично натоварване. Видът на акустичното натоварване — затворен обем, басрефлекс или пасивна мембрана, оказва съществено влияние върху ефективността на възпроизвеждане на сигналите с ниски честоти. Това се определя от акустичното взаимодействие между нискочестотния високоговорител и обема на озвучителното тяло.

Приема се обемът да бъде V=28 dm³ (литра). Гъвкавостта на окачването на нискочестотния високоговорител [1] е c₀=1,45 mm/N, на което съответствува еквивалент на окачването обем V_c=64 dm³ (литра). Резонансната честота f₀ на високоговорителя, монтиран към затворения обем, се определя [2] от зависимостта

$$f_0 = f_p \sqrt{1 + \alpha} = 50,75 \text{ Hz},$$

където

$$\alpha = \frac{V_c}{V} = 2,285; f_p — \text{резонансна честота}$$

на високоговорителя, монтиран на акустичен екран.

Еквивалентният качествен фактор Q_e се определя от зависимостта

$$Q_e = Q \sqrt{1 + \alpha} = 0,648.$$

Ако се допусне за долната гранична честота f₀ нивото на звуковото налягане да се понижи с 6 dB спрямо нивото при честоти над 200 Hz, за честотата f₀ може [2] да се получи

$$f_0 = 40,6 \text{ Hz}.$$

Следователно долната гранична честота на озвучителното тяло със затворен обем ще бъде 40 Hz. Възпроизвеждането на сигналите с ниски честоти може да задоволи в достатъчна степен и любителите на високото качество на възпроизвеждането.

Акустичното натоварване на озвучителното тяло може да се реализира и като фазоинвертор (басрефлекс). За изчисляването му може да се използват методът и номограмите, дадени в [2]. Определя се, че долната гранична честота може да се понижи до 30 Hz, но ако се използва обем от 35 dm³ (литра).

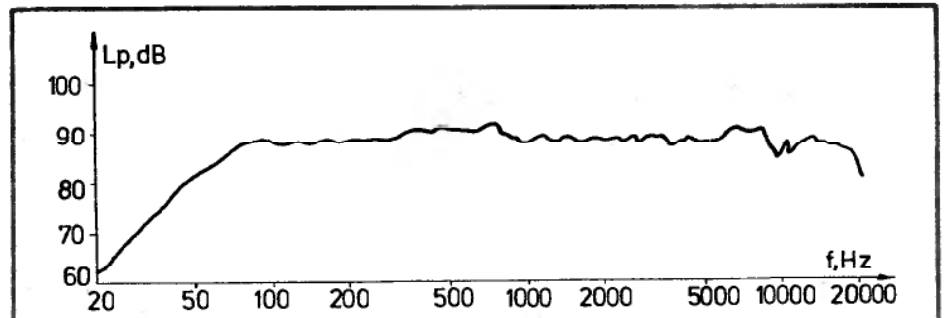
Разделителни честоти. Избирането на разделителните честоти е много съществен момент от проектирането на едно озвучително тяло и по-специално на неговия филтър. Необходимо е да се съчетаят някои принципни препоръки с параметрите и показателите на конкретно избраните високоговорители. Препоръчва се първата разделителна честота да бъде 500—800 Hz, но в конкретния случай тази препоръка не може да се изпълни. По съображения, които вече бяха дискутирани, се приема f_{p1}=1000 Hz. Втората разделителна честота f_{p2}, разделяща звуковия спектър между средночестотния и високочестотния високоговорител, се препоръчва да бъде над 4000 Hz. В случая тази препоръка може да бъде изпълнена — приема се f_{p2}=4700 Hz. Тя се намира извън обявените номинален честотен обхват на средночестотния високоговорител, но фактически ефективният му честотен обхват е до 7—8 kHz, поради което възпроизвеждането до 4700 Hz е осигурено. Високочестотният високоговорител ще работи в облекчен енергиен режим, а това ще допринесе за повишаване на надеждността му в експлоатационни условия.

Разделителен филтър. При зададени разделителни честоти изчисляването на елементите на филтъра не представлява проблем — използват се зависимостите, дадени в [2]. Необходимо е обаче да се

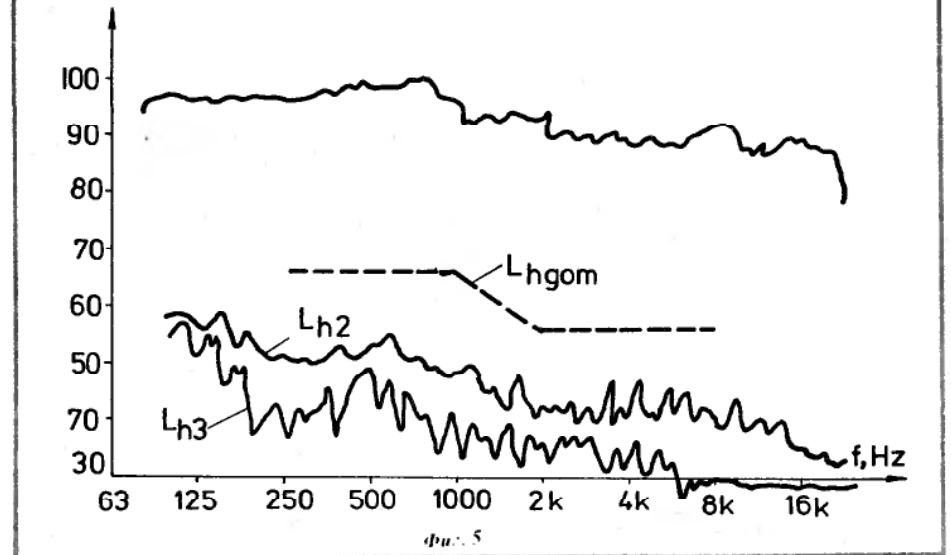
има предвид, че определените от зависимостите стойности на елементите са точни само за активен товар на филтъра. За съжаление входният импеданс на високоговорителите има комплексен характер със сложна зависимост от честотата. Това налага да се донастрои филтърът с реалния му товар — избраните високоговорители. Това вече не е лека задача и решаването ѝ изисква опит и квалификация. Съществува опасност от неправилна настройка и влошаване възпроизвеждането от озвучителното тяло. На фиг. 1 е дадена електрическата схема на филтъра. Тя е получена след старателно донастройване на филтъра при реален товар. Независимо от стеснения честотен обхват, който възпроизвежда лентовият високочестотен високоговорител, съществува опасност от претоварването му и съответно от повреждането му. Поради това е предвидена електронна защита за този високоговорител, чиято електрическа схема е дадена на фиг. 1 — частта, заградена с прекъснатата линия.

Високочестотният високоговорител се захранва през микропревключвателя тип МР-1, монтиран в непосредствена близост до котвата на релето P тип РР71е12, чиято контактна система е демонтирана. При постъпване на сигнал с по-високо ниво изправеното от диодите $V1 \div V4$ напрежение става достатъчно голямо, за да отпусне работещия в ключов режим транзистор $VТ1$. Транзисторът се отпуска само ако изправеното напрежение превиши една прагова стойност. С отпускането на транзистора се задейства релето $P1$, което превключва микропревключвателя, т. е. изключва високочестотния високоговорител. Прагът на задействане може да се измени чрез промяна на съпротивлението на тример-потенциометъра P_4 , определящ базовия ток на транзистора. Вместо да изключи високоговорителя, релето може да включи последователно на него резистор със стойност $10 \Omega/10 W$.

Конструкция. С оглед намаляване на обема на озвучителното тяло и съгласуването му с комплекта звуковъзпроизвеждаща апаратура (рак-система) не е спазен традиционният начин на разполагане на високоговорителите върху лицевия панел на озвучителното тяло. Средночестотният и високочестотният високоговорител са разположени до нискочестотния високоговорител (фиг. 2). При тази конструкция е необходимо двете озвучителни тела в една система да бъдат различни — „ляво“ и „дясно“, които са огледален образ едно спрямо друго. Това се налага, за да се осигури разстояние между линиите $A-A$ не помалко от 120 cm, необходимо за получаване на стереоефект. При поставяне на озвучителните тела непосредствено до апаратурата линиите $A-A$ трябва да се намират от външната страна, за да се осигури разстояние между тях поне 120 cm. Ако озвучителните тела се поставят в помещението независимо от комплекта апаратура, те трябва да се разполо-



Фиг. 4



Фиг. 5

жат така, че разстоянието между линиите $A-A$ да бъде 1,2 до 2 m. В този случай озвучителните тела може да се поставят и върху по-тъсната си страна, но разстоянието между осите им трябва да бъде 1,2 до 2 m. Препоръчва се кутията на озвучителното тяло да се изработи от ПДЧ с дебелина 16 mm. Дадените на фиг. 2 размери са достатъчни за изработването ѝ, като се вземе предвид, че дълбочината ѝ е 320 mm външно. Озвучителното тяло може да се реализира в домашни условия. Дълбочината на кутията може да бъде и по-малка, но с намаляването ѝ нараства долната гранична честота, т. е. влошава се възпроизвеждането на сигналите с ниски честоти. При дълбочина 320 mm долната гранична честота е 35 Hz, а при дълбочина 250 mm нараства на 55 Hz. Пред високоговорителите може да се постави обикновена рамка с декоративен плат. Широчината на рамката може да бъде 20 ÷ 25 mm, а дебелината — 12 mm. Всички високоговорители се закрепват направо върху кутията с винтове за дърво, като за уплътняване се използват пръстени от микропореста каучукова смес или синтетичен пеноматериал с широчина 10 mm и дебелина 2 до 4 mm; може да се постави и болкит. При тези условия се реализира озвучително тяло със затворен обем.

Съществува възможност озвучителното тяло да се реализира и като фазоин-

вертор (басрефлекс). За целта средночестотният високоговорител не се закрепва върху кутията, а върху рамката и корпусът му трябва да отстои от повърхността на кутията на $10 \div 15$ mm, магнитната му система се намира в отвора на кутията. Към този отвор се закрепва тръба с външен диаметър 110 mm и дължина $200 \div 270$ mm (в зависимост от дълбочината на кутията). Тази конструкция на фазоинвертора не осигурява максимално оползотворяване на енергията на задната звукова вълна, в резултат на което долната гранична честота не се понижава до 30 Hz, а достига до 35 Hz за дълбочина 320 mm и 45 Hz за дълбочина 250 mm.

Конструкцията с фазоинвертор е разработена и внедрена в завод „Гр. Николов“ — Благоевград с типово означение ОТЗНЖ5633-01 Hi-Fi и търговско наименование „РЕСПРОМ 101 Hi-Fi“ или „ТОНАКС 05“. В това озвучително тяло лицевите елементи се изработват от полистирол, а средночестотният високоговорител се закрепва върху лицевата плоча. Пред високочестотния високоговорител е поставена акустична разсейваща леща за намаляване на насочеността на излъчването му при високите честоти. Външният вид на ОТЗНЖ5633-01 Hi-Fi е показан на фиг. 3.

Показатели на озвучително тяло ОТЗНЖ5633-01 Hi-Fi. На фиг. 4 е показана честотната му характеристика, измерена

в условия на свободно звуково поле, реализирани в звукозаглушена камера, при 1 W на 1 m. От нея може да се отчете:

— номинален честотен обхват на възпроизвеждане от 45 до 20 000 Hz (в действителност до 25 000 Hz, но измерването е ограничено от генератора);

— неравномерност на честотната характеристика

в номиналния честотен обхват 11 dB,

в обхвата 100 ÷ 4000 Hz -2 и +3 dB;

— характеристична чувствителност $0,52 P_0 W^{-0.5}$ (88 dB, 1 W на 1 m).

На фиг. 5 е показана честотната характеристика на хармониците. Тя е снета при следните условия:

— в обхвата 250 ÷ 1000 Hz при ниво на средното звуково налягане 96 dB,

— в обхвата 1000 ÷ 2000 Hz — 93 dB,

— в обхвата 2000 ÷ 8000 Hz — 90 dB.

С начупена прекъсната линия са означени нивата на максималните допустими стойности на коефициента на хармоничните изкривявания. С L_{h2} и L_{h3} са означени нивата съответно на втория и третия хармоник. Вижда се, че изкривяванията са много по-малки от допустимите съгласно международните стандарти за озвучителни тела от Hi-Fi клас.

Това е гаранция за висококачественото възпроизвеждане на музикалните програми.

Номиналната мощност на озвучителното тяло е 50 W, а максималната му краткотрайна мощност е 100 W.

Пространствената му характеристика отговаря на изискванията за Hi-Fi клас — понижаването на звуковото налягане на $\pm 15^\circ$ е по-малко от 4 dB в обхвата до 8000 Hz.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попянев, Д. Ф. Електроакустични преобразуватели. София, Техника, 1988 г.

2. Попянев, Д. Ф. Конструирание на озвучителни тела. София, Техника, 1984 г.