

ТРИЛЕНТОВО ОЗВУЧИТЕЛНО ТЯЛО ОТ Hi-Fi КЛАС ТИП ОТГ1—03

к.т.н. н.с. инж. Д. Полянев, н.с. инж. С. Христов, н.с. инж. М. Минков

Разделянето на звуковия спектър на подбхвати, които се възпроизвеждат от отделни високоговорители, е един от методите за повишаване качеството на електроакустичните системи. За сметка на повишената сложност и по-високата цена трилентовите озвучителни тела притежават редица предимства пред двулентовите. Въвеждането на специален високоговорител, който да възпроизвежда сигналите със средни честоти, поставя в по-облекчен режим както нискочестотния, така и височестотния високоговорител. Нискочестотният високоговорител трябва да удовлетворява изискванията за ненасочено излъчване само за сравнително ниски честоти. Височестотният високоговорител, освободен от задължението да преобразува сигналите със средни честоти, функционира в облекчен топлинен и електродинамичен режим, което позволява да се увеличи експлоатационната му паспортна мощност. Увеличава се и възможността за по-правилен избор на разделителните честоти, така че да се получи най-добро звучене на озвучителното тяло.

Конструкцията на озвучителното тяло ОТГ1—03 е показана на фиг. 1. То е изградено от дървена кутия 1, нискочестотен високоговорител 2, средночестотен високоговорител 3, височестотен високоговорител 4, фазоинвертирац отвор (басрефлекс) 5, проводник със съединител 6 и разделителен филтър 7 (не се вижда на фигурата).

Дървената кутия се изработва от плочи от дървесни частици (талашит) с дебелина 18—20 mm. На лицевата повърхност е нанесено черно лаково покритие. За нискочестотен високоговорител се използва тип ВКН 1221 с номинален импеданс 4 Ω , който е достатъчно популярен както у нас, така и в редица други европейски страни. Средночестотният високоговорител тип ВКС 5231, използван в ОТГ1—03, е куполен с номинален импеданс 8 Ω . Той е сравнително ново изделие, което в скоро време ще се появи по магазините на търговската ни мрежа, и има много добри параметри за трилентови системи от Hi-Fi клас. Използуваният височестотен високоговорител тип ВЛД 40 — 4 Ω , е също много популярен с превъзходните си електроакустични показатели. Басрефлексният отвор е оформен от пластмасова тръба с вътрешен диаметър 75 mm и дължина 260 mm. Изходният проводник е с дължина 5 m и завършва с двунездов съединител тип „втори говорител“. Разделителният филтър е изграден от 3 звена, представляващи филтри от втори ред, и едно звено — филтър от трети ред. Към него е монтирана схема за защита на лентовия височестотен високоговорител от претоварване. Обемът на озвучителното тяло е запълнен със звукопоглъщащ материал — полиестерна вата.

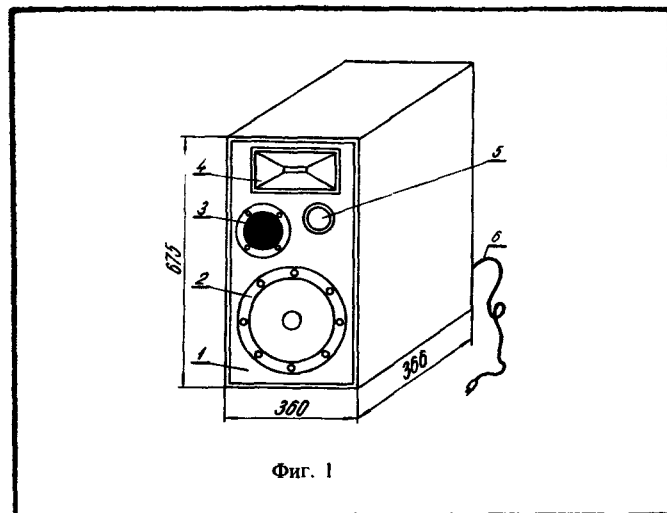
Избор на разделителни честоти. Разделянето на звуковия спектър на подбхвати се осъществява от разделителния филтър и поради това разделителните честоти се приемат като параметри на филтъра. В действителност разделителните честоти се определят (избират) от съображения, обусловени от параметрите на високоговорителите. При неправилен избор може да се намали

паспортната мощност на озвучителното тяло, да се увеличат внасяните от него нелинейни изкривявания и пр. Желателно е първата разделителна честота f_{p1} да бъде по-ниска от 800 Hz, т. е. да се намира в честотна област, в която човешкото ухо има по-висок праг на чувемост (по-малка чувствителност). В областта около разделителната честота излъчват и двата високоговорителя, при което неизбежните интерферентни явления могат да променят характера на звуковата картина. Ако ухото е много чувствително, неминуемо то ще възприеме промяната като влошаване на качеството на възпроизвеждане. При много малка стойност на f_{p1} съществува опасност от претоварване на средночестотния високоговорител, което може да доведе до разрушаването му или до поява на големи нелинейни изкривявания за сигнали с честота, малко по-висока от f_{p1} . Оптималната разделителна честота за конкретния случай съобразно параметрите на ВКН 1221 и ВКС 5231 е $f_{p1} = 600$ Hz. Втората разделителна честота f_{p2} трябва да се намира също извън областта на максималната чувствителност на човешкото ухо — над 4000 Hz. Разбира се, трябва да се вземат пред вид и параметрите на средночестотния високоговорител — да не се избере f_{p2} по-висока от горната му гранична честота. В случая, като се вземат пред вид параметрите на ВКС 5231 и ВЛД 40, оптимална се оказва честотата $f_{p2} = 4000$ Hz.

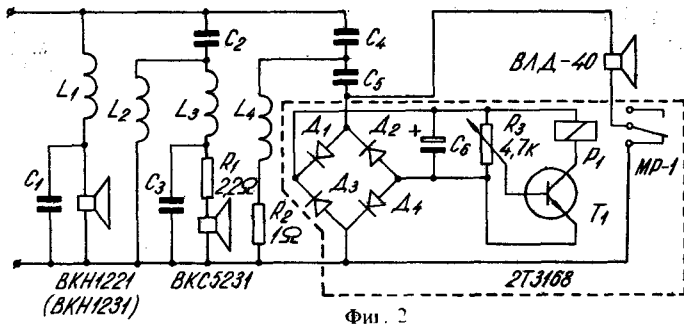
Разделителен филтър. Принципната му схема е дадена на фиг. 2. При зададени разделителни честоти елементите му C_1 , C_2 , L_1 и L_2 се изчисляват от зависимостите:

$$C = \frac{1}{2\sqrt{2} \pi f_p Z_{ax}}, \quad L = \frac{Z_{ax}}{\sqrt{2} \pi f_p},$$

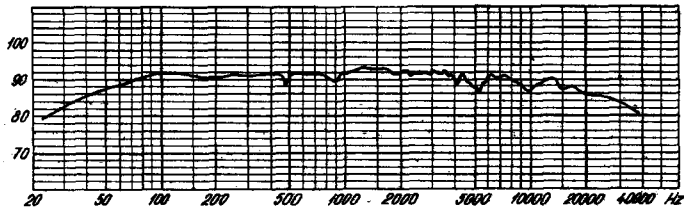
където Z_{ax} е входният импеданс на съответния високоговорител за съответната разделителна честота f_p . Елементите C_1 и L_1 се изчисляват за $Z_{ax} = 4 \Omega$ и $f_{p1} = 600$ Hz; елементите C_2 и L_2 — за $Z_{ax} = 8 \Omega$ и $f_{p1} = 600$ Hz; елементите C_3 и L_3 — за $Z_{ax} = 8 \Omega$ и f_{p2}



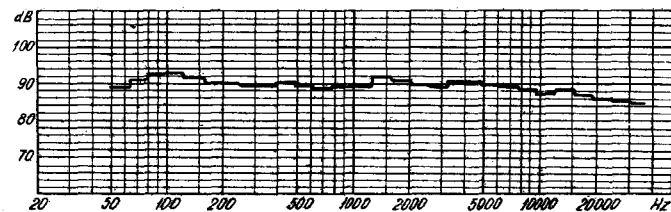
Фиг. 1



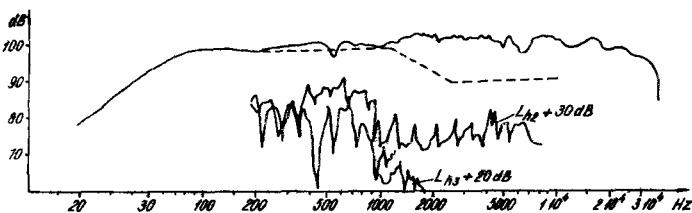
Фиг. 2



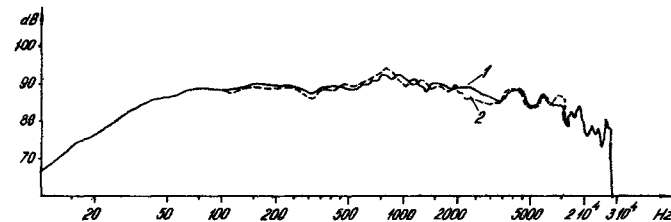
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

= 4000 Hz; елементите C_4 , C_5 и L_4 за $f_{p2} = 4000$ Hz и $Z_{ex} = 4 \Omega$, като се използват зависимостите:

$$C_4 = \frac{1}{(1+m)2\pi f_p Z_{ex}}, \quad C_5 = \frac{1}{2\pi f_p Z_{ex}},$$

$$L_4 = \frac{(1+m)Z_{ex}}{2\pi f_p}, \quad m = 0,6 \div 0,8.$$

Получените стойности за капацитетите на кондензаторите се закръгляват до най-близките стандартни стойности. След реализирането на филтъра се извършва донастройка с цел отстраняване на някои нежелани резултати, които най-често се дължат на специфичния характер на входния импеданс на високоговорителите. Получените оптимални стойности за елементите на филтъра са:

$$C_1 = 50 \mu\text{F}; \quad C_2 = 22 \mu\text{F}; \quad C_3 = 10 \mu\text{F}; \quad C_4 = 6 \mu\text{F};$$

$$C_5 = 4 \mu\text{F};$$

$$L_1 = 2,35 \text{ mH}; \quad L_2 = 1,3 \text{ mH}; \quad L_3 = 0,29 \text{ mH}; \quad L_4 = 0,1 \text{ mH}.$$

Необходимите стойности на индуктивностите могат да се получат, ако се използва основа от немагнитен материал с цилиндрична форма. Най-подходящо е използването на пластмасова тръба с външен диаметър 22 mm и височина 20 mm. При това условие бобините се реализират по следния начин:

L_1 — 235 навивки от меден проводник ПЕТ1В с диаметър 1,2 mm; L_2 — 200 навивки от ПЕТ1В — 0,8 mm, L_3 — 95 навивки от ПЕТ1В — 0,9 mm, L_4 — 60 навивки от ПЕТ1В — 0,9 mm.

Схемата на защитата на високочестотния високоговорител ВЛД 40 от претоварване е показана на фиг. 2, оградено с пунктир. Тя е изградена от следните елементи: диоди $D_1 - D_4$, кондензатор C_6 , донастройващ резистор R_3 , транзистор T_1 и реле P_1 тип РР71е12. Понеже контактите на релето не могат да издържат максималния ток, протичащ през високочестотния високоговорител, контактната система на релето е заменена с микропревключвател МР-1.

Действието на схемата е следното: напрежението на изхода на филтъра на високочестотния високоговорител се изправя от мостовата изправителна схема от диодите $D_1 - D_4$. Кондензаторът C_6 изглажда напрежението, а донастройващият резистор R_3 образува делител в базата на транзистора T_1 , който работи като ключ. При достигане на определеното напрежение на базата на T_1 , което се задава от донастройващия резистор, транзисторът се отпушва и задействува релето, включено в колекторната му верига. При това се прекъсва веригата на високочестотния високоговорител и по този начин се защитава високоговорителят от претоварване.

Основни параметри на озвучителното тяло

Паспортна мощност. Съвременните тенденции при конструиране на озвучителни тела се характеризират със стремеж за увеличаване на паспортната им мощност. В този си стремеж някои производители, водени от рекламни съображения, дефинират нереално големи номинални или паспортни мощности за озвучителните тела. Произвежданите от българската промишленост озвучителни тела се обявяват с по-малка паспортна (номинална) мощност от действителната. Гарантираната паспортна мощност за ОТГ1-03 е 50 W. На практика това озвучително тяло може да се включва към усилвател с номинална изходна мощност до 80-100 W без опасност от претоварване на озвучителното тяло.

Номинален честотен обхват. Производителят му гарантира от 32 Hz до 32 kHz. В действителност и по този основен показател за висококачествените озвучителни тела съществува значителен резерв. Изследванията на високочестотния лентов високоговорител показва, че той излъчва ефективно сигнали с честота, значително по-висока от 40 kHz (в повечето случаи до

60 kHz), В. ОТГ1—03 ВЛД 40 с нищо не ограничава излъчването на сигнали с висока честота. Следователно горната граница на номиналния честотен обхват на ОТГ1—03 фактически трябва да се приеме над 40 kHz. Долната му гранична честота е по-ниска от 32 Hz (между 25 и 28 Hz).

Неравномерност на честотната характеристика. На фиг. 3 е показана честотната характеристика на ОТГ1—03, снета в звукозаглушена (безехова) камера със синусоидален сигнал на разстояние 1 m по оста на озвучителното тяло. От нея се отчита най-добре малката неравномерност — в областта от 100 Hz до 20 kHz тя е не повече от 6 dB. Изискването за Hi-Fi клас е ± 4 dB в обхвата от 100 Hz до 8 kHz. Малката неравномерност на честотната характеристика на ОТГ1—03 в широк честотен обхват е предпоставка за високо качество на възпроизвеждане. Поради ограничените възможности на измервателната апаратура честотната характеристика в обхвата над 20 kHz е снета, като са измерени отделни нейни точки, показани на фиг. 3.

На фиг. 4 е показана честотната характеристика на ОТГ1—03, снета в условия на свободно звуково полупространство с помощта на шумов сигнал. Измерванията са проведени за честотни обхвати с широчина $\frac{1}{3}$ октава. Неравномерността на тази честотна характеристика в обхвата от 100 Hz до 20 kHz е не повече от ± 3 dB (общо 6 dB).

Нелинейни изкривявания. Основен критерий за оценка на нелинейността на озвучителните тела е коефициентът на хармонични изкривявания. За изделия от Hi-Fi клас той се измерва при работна мощност, която създава звуково налягане 96 dB на разстояние 1 m. Изисквания се предявяват само за обхвата от 250 Hz до 8 kHz. Измерванията се провеждат до 1000 Hz при посочената мощност, от 1 до 2 kHz — при $\frac{1}{2}$ от нея, и от 2 до 8 kHz — при $\frac{1}{4}$ от нея. На фиг. 5 е показана честотната характеристика на ОТГ1—03 заедно с честотните характеристики на втория и третия хармоник. С пунктирна линия е означена допустимата граница на изкривяванията. Вижда се, че изкривяванията на ОТГ1—03 са много по-малки от допустимите за Hi-Fi клас, и то в значително по-широк честотен обхват. Това е също предпоставка за високото качество на възпроизвеждането.

Характеристика на насоченост. По начало озвучителните тела излъчват насочено—т.е. създаването от тях звуково налягане има различна стойност в различните точки на звуковото поле. Най-голямо е звуковото налягане по оста. Установено е, че при определени високоговорители и конструкция на озвучителното тяло, характеристиката на насоченост зависи от честотата на излъчвания сигнал (за сигнали с висока честота звуковото налягане встрани от оста е по-малко, отколкото

за сигнали с ниска честота). В този случай се казва, че диаграмата на насоченост е по-остра. От съвременните висококачествени озвучителни тела се изисква да създават почти еднакво звуково налягане в определена част от озвучаваното пространство. Обикновено се контролира изменението на звуковото налягане в хоризонталната равнина, която минава през работната ос на озвучителното тяло. Изисква се звуковото налягане по направленията $+15^\circ$ от оста да не се различава с повече от ± 4 dB от налягането по оста. Ако това условие не е изпълнено, слушател, който е седнал встрани от оста на озвучителното тяло, ще възприема звукова картина твърде различна от възприеманата по оста. Встрани от оста звуковото налягане за сигналите с висока честота ще бъде значително по-малко от това за сигналите с ниски и средни честоти, докато по оста те ще имат почти еднаква стойност.

Озвучителното тяло тип ОТГ1—03 има добра пространствена характеристика. Създаваната от него звукова картина встрани от оста почти не се различава от звуковата картина по оста. На фиг. 6 е показана честотната характеристика на ОТГ1—03 по оста (крива 1) и на $\pm 15^\circ$ от оста (крива 2). Вижда се, че разликата между нивата на звуковото налягане по оста и на 15° от нея не превишава 3 dB.

Като вариант на ОТГ1—03 се произвежда ОТГ1—04 с номинален импеданс 8 Ω . Всички качествени показатели на ОТГ1—04 и ОТГ1—03 са еднакви. Различават се използваните високоговорители — нискочестотният е ВКН 1231 с номинален импеданс 8 Ω , а високочестотният е ВЛД40 — 8 Ω . Различни са и елементите на разделителния филтър. Те имат следните стойности: $C_1 = 50 \mu\text{F}$; $C_2 = 22 \mu\text{F}$; $C_3 = 10 \mu\text{F}$; $C_4 = 4 \mu\text{F}$; $C_5 = 4 \mu\text{F}$; $L_1 = 3,0 \text{ mH}$; $L_2 = 1,2 \text{ mH}$; $L_3 = 0,29 \text{ mH}$; $L_4 = 0,25 \text{ mH}$.

Конструктивните данни на бобините са:

- L_1 — 300 навивки ПЕТ1В с диаметър 1,2 mm;
- L_2 — 200 навивки ПЕТ1В с диаметър 0,69 mm;
- L_3 — 95 навивки ПЕТ1В с диаметър 0,9 mm;
- L_4 — 80 навивки ПЕТ1В с диаметър 0,9 mm.

Високите качествени показатели на ОТГ1—03 и ОТГ1—04 определят и предназначението им — да се комплектуват към стереофонични електроакустични системи от Hi-Fi клас за домашно озвучаване. Номиналната изходна мощност на усилвателя от тази система може да бъде до 80—100 W.

При субективни прослушвания на различни музикални произведения, възпроизведени от ОТГ1—03 и ОТГ1—04, всички слушатели дадоха много висока оценка на озвучителните тела. Използувани бяха електроакустичните системи „Студио 2—2“ и „Соната—2“. За тонизточници бяха използвани грамофон с динамична доза, комплектуван към системите, и магнитофон от Hi-Fi клас.