

ДВУЛЕНТОВО ОЗВУЧИТЕЛНО ТЯЛО ОТ Hi-Fi КЛАС ТИП ОТГ1-02

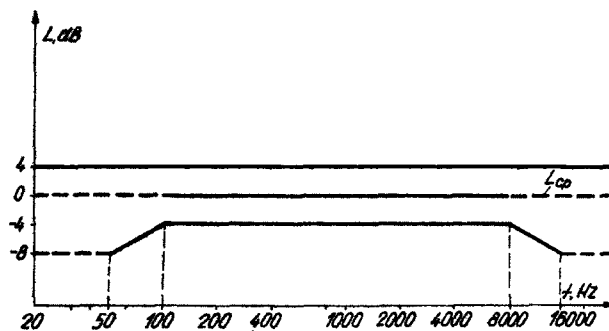
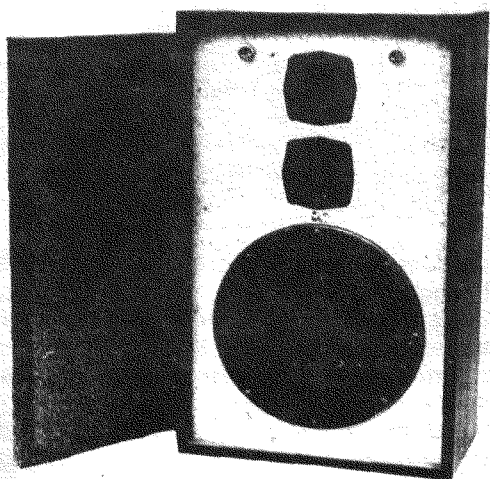
к.т.н.инж. Д. Попянев

УДК 681.84

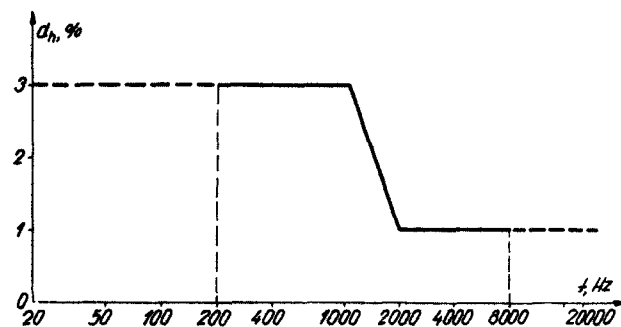
Озвучителното тяло тип ОТГ1—02 представлява вариант на ОТГ1—01, с което читателите са запознати. С новия вариант се цели да се създаде озвучително тяло с по-голяма паспортна мощност, т. е. с по-голяма реална натоваряемост с музикални програми, съдържащи високочестотни компоненти с високо ниво. Озвучителното тяло ОТГ1—02 отговаря на всички изисквания на международно възприетите норми и на българските стандартизационни документи за озвучителни тела от Hi-Fi клас.

ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ОЗВУЧИТЕЛНИТЕ ТЕЛА ОТ Hi-Fi КЛАС

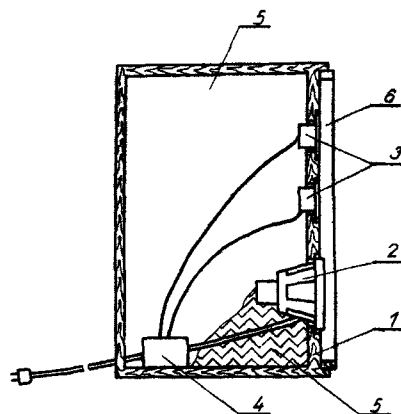
Независимо от популярността на нормите за изисквания към изделия от Hi-Fi клас, целесъобразно е те да се уточнят конкретно за озвучителните тела. В нашата страна се съблюдават изискванията, регламентиранни в два документа — стандарта на ФРГ за минимални изисквания към Hi-Fi апаратура DIN45500 и стандарта на СИВ за Hi-Fi озвучителни тела. Различията между двата документа са незна-



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

чителни, като в случаите на различие се приема по-високото изискване.

Номинален честотен обхват — долна гранична честота не по-висока от 50 Hz и горна гранична честота не по-ниска от 16 000 Hz. За гранични честоти на честотния обхват се приемат честотите, за които нивото на звуковото налягане е по-ниско с 8 dB от нивото на средното звуково налягане, усреднено в обхвата 100—8000 Hz.

Неравномерност на честотната характеристика в номиналния честотен обхват. Изискванията са различни за целия честотен обхват и за част от него. В обхвата 100÷8000 Hz се допуска отклонение не повече от ± 4 dB спрямо нивото на средното звуково налягане в този обхват. За честотните обхвати от 50 до 100 Hz и от 8000 до 16 000 Hz се допуска допълнително понижаване на звуковото налягане до 4 dB. На фиг. 1 е дадено толерансното поле, в което трябва да се вмества честотната характеристика на дадено озвучително тяло от Hi-Fi клас. В изискванията не е уточнено как да се процедира в случаите, когато граничните честоти са извън тези граници. Дали трябва да се продължат наклонените линии със същия наклон преди 50 Hz и след 16 000 Hz, дали да се продължат с хоризонтални прави линии, или с линии с друг наклон (напр. 3 dB/oct.). У нас е възприето да се продължи с хоризонтални прави линии, както е показано на фиг. 1 с прекъснатата линия.

Нелинейни изкривявания. Възприето е нелинейните свойства на озвучителните тела да се оценяват посредством коефициента на хармонични изкривявания. В обхвата от 250 до 1000 Hz коефициентът на хармоничните изкривявания не трябва да превишава 3%. От 1000 до 2000 Hz той трябва да намалява плавно от 3% към 1% или да бъде по-малък от тези стойности. В областта на ниските честоти (под 250 Hz) и в областта на високите честоти (над 8000 Hz) коефициентът на хармонични изкривявания не се нормира и не се контролира. На фиг. 2 са дадени максимално допустимите стойности на коефициента на хармонични изкривявания в графичен вид.

В различните честотни обхвати коефициентът на

хармонични изкривявания се измерва при различна мощност. Във връзка с това трябва да се пояснят и следните две понятия:

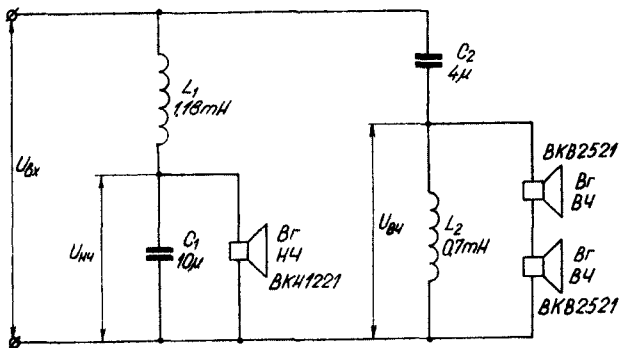
— номинално ниво на звуковото налягане — нивото на средното звуково налягане за обхвата от 100 до 8000 Hz, равно на 96 dB на разстояние 1 m от озвучителното тяло;

— работна мощност — електрическата мощност, подавана на входа на озвучителното тяло, при която то създава номинално ниво на звуковото налягане.

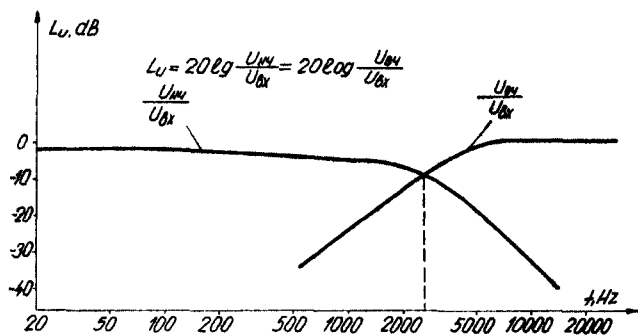
Коефициентът на хармонични изкривявания се измерва при работната мощност в обхвата 250—1000 Hz, в обхвата 1000—2000 Hz — при половината от работната мощност, а от 2000 до 8000 Hz — при една четвърт от работната мощност.

Насоченост на излъчването. Нивото на звуковото налягане на 15° от работната ос на озвучителното тяло да не се различава с повече от 4 dB от нивото на оста.

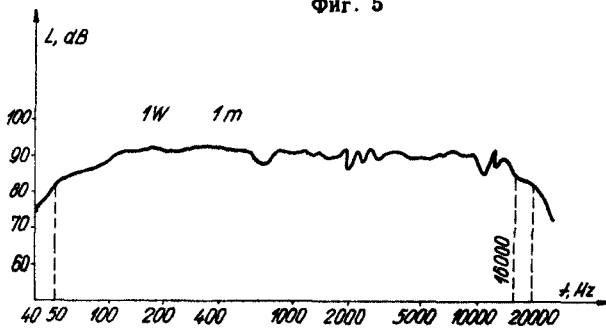
Характеристична чувствителност. Изисквания по



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

този показател не се нормират, но при по-висока чувствителност номиналното ниво на звуковото налягане ще се създава при по-малка мощност. Следователно и изкривяванията ще бъдат по-малки.

Паспортна мощност. Това е електрическата мощност на шумов сигнал, чието въздействие озвучителното тяло трябва да издържи в продължение на 100 часа, без да настъпят механични или електрически повреди. Шумовият сигнал е съставен от компоненти, които изменят амплитудата си по определена зависимост. Повечето производители са възприели термина Power handling capacity. Той означава капацитет на натоваряемост по мощност и има същото съдържание, както паспортната мощност. Паспортната мощност трябва да бъде по-голяма от работната мощност на озвучителното тяло, но не по-малка от 10 W.

КОНСТРУКЦИЯ НА ОЗВУЧИТЕЛНОТО ТЯЛО

На фиг. 3 е даден напречен разрез на ОТГ1—02. То е изградено от кутия 1, заграждаща обем V, нискочестотен високоговорител 2, високочестотни високоговорители 3, електрически разделителен филтър 4, звукопоглъщащ материал 5 и рамка с декоративен плат 6.

Кутията се изработва от плоскости от пресовани дървесни частици с дебелина 18 mm. Външните ѝ размери са 420×630×245 mm, а вътрешният обем е 42 dm³.

Нискочестотният високоговорител е с номинален диаметър $\varnothing 315$ mm (фактически $\varnothing 312$ mm) тип ВКН1221. Номиналният му импеданс е 4 Ω , резонансната честота — под 25 Hz, паспортната мощност — 40 W. Останалите му показатели отговарят на дадените по-горе изисквания за озвучителни тела от Hi-Fi клас.

За високочестотни високоговорители са използвани 2 броя от куполния високоговорител, тип ВКВ2521, с паспортна мощност 20 W. Горната му гранична честота е над 16 kHz — обикновено 18—20 kHz. Останалите параметри удовлетворяват изискванията за Hi-Fi озвучителни тела. Използуваните в ОТГ1—02 високочестотни високоговорители са с номинален импеданс 4 Ω и са свързани последователно (т. е. еквивалентният им номинален импеданс е 8 Ω). Мембраната им е предпазена от въздействието на звуковото налягане в обема на тялото от самата конструкция на високоговорителя.

Електрическият разделителен филтър е изграден от две звена — нискочестотен и високочестотен филтър. Всяко звено съдържа по два реактивни елемента и осигурява стръмност на срязване в областта на непропускане 12 dB/oct. Електрическата схема на филтъра е дадена на фиг. 4.

Изборът на подходяща схема и конструкция на разделителния филтър е една от най-важните задачи, които трябва да реши конструкторът при проектиране на озвучително тяло. Преди всичко правилно трябва да се избере разделителната му честота. Човешкото ухо е най-чувствително в обхвата от 800 до 4000 Hz. В областта на разделителната честота е възможна появата на интерференчни и други явления, които да окажат смущаващо въздействие върху слушателя и да понижат качеството на възпроизвежданата картина. Колкото е по-чувствително ухото, толкова по-ясно ще възприеме смущаващите ефекти. Затова почти всички специалисти са единодушни — разделителната честота трябва да бъде извън обхвата 800—4000 Hz. Но при двулентовите озвучителни тела това е почти невъзможно. Ако се приеме разделителна честота под 800 Hz, високочестотният високоговорител не може да понесе електрическото натоварване, тъй като номиналният му честотен обхват обикновено е с долна гранична честота над 2000 Hz. Ако се приеме разделителна честота над 4000 Hz, съществува опасност от насочено излъчване на нискочестотния високоговорител за честотите над 2500—3000 Hz. Затова се налага компромисно решение. Филтърът на ОТГ1—02 е с разделителна честота 3000 Hz \pm 500 Hz.

Много важен проблем е изравняването на честотната характеристика на озвучителното тяло, особено в областта на разделителната честота на филтъра. Тук съществува опасност както от падани, така и от върхове в честотната характеристика. Налага се да се уточнят някои понятия. Разделителна честота f_p на един филтър се нарича честотата, за която напрежението в двата му изхода са равни помежду си, т. е. честотата за която на двата високоговорителя (нискочестотния и високочестотния) се подават равни по големина напрежения.

В идеалния случай е необходимо честотните характеристики на двата високоговорителя (нискочестотния и високочестотния) да бъдат хоризонтални прави линии, а чувствителностите им да бъдат еднакви. В този случай, за да се получи равномерна честотна характеристика на озвучителното тяло, нивото на подаването на двата високоговорителя електрическо напрежение за разделителната честота f_p трябва да бъде с 3 dB по-ниско от входното напрежение. При тези условия между разделителната честота f_p и елементите L и C на филтъра съществува зависимостта

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [1]$$

Ако в областта на разделителната честота единият или и двата високоговорителя имат по-ниска чувствителност отколкото за останалите честоти, то нивото на напрежението при разделителната честота трябва да се понижава само с 1—2 dB. В обратния случай, когато чувствителностите на двата високоговорителя при разделителната честота са по-високи, става необходимо напрежението за f_p да се понижава с 4—5 dB спрямо входното. Честотите, за които нивото на напрежението на съответния изход на филтъра се понижава с 3 dB спрямо входното напрежение, се наричат разделителни честоти за съответния филтър и се бележат с f_{pn} (за нискочестотния филтър) и f_{ps} (за високочестотния филтър). При тези условия за първия случай са в сила неравенствата:

$$f_{pn} > f_p, \quad f_{ps} < f_p \quad [2]$$

Във втория случай неравенствата са обратни:

$$f_{pn} < f_p, \quad f_{ps} > f_p \quad [3]$$

Означението f_p е запазено за честотата, при която напреженията на двата изхода на филтъра са равни помежду си.

При определяне разделителните честоти на филтъра за ОТГ1—02 е взето пред вид, че високоговорителите имат по-висока чувствителност в областта на разделителната честота и е реализиран случаят, който се изразява с неравенство [3]. На фиг. 5 са дадени честотните характеристики на пропускане на нискочестотния и високочестотния филтър, изграждащи филтъра на ОТГ1—02. От тях се вижда, че $f_{pn} = 1000$ Hz, $f_{ps} = 4000$ Hz, а разделителната честота $f_p = 2900$ Hz.

При определяне стойностите на елементите, изграждащи филтъра, са взети пред вид и редица други съображения, които няма да бъдат изтъквани тук.

Звукопоглъщащата материя в обема на озвучителното тяло може да бъде дунапен или ямболенови нишки. Предназначението ѝ е да поглъща енергията на задната звукова вълна и да не допуска образуването на стоящи звукови вълни в обема на озвучителното тяло.

Използуваният декоративен плат е оптически непрозрачен (през него не се виждат високоговорителите), но акустически е прозрачен — пропуска звуковите вълни почти без загуби.

ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ НА ОТГ1—02

Номинален честотен обхват. Долната гранична честота е под 50 Hz, като за различните образци варира в много тесни граници — от 45 до 48 Hz. Тя зависи главно от резонансната честота f_{om} на високо-

говорителя, монтиран към затворения обем на озвучителното тяло, и се определя от зависимостта:

$$f_{om} = \frac{1}{2\pi\sqrt{m_a c_{ae}}}, \quad [4]$$

където m_a е динамичната акустична маса на високоговорителя;

c_{ae} — еквивалентната акустична гъвкавост на високоговорителя и затворения обем.

Гъвкавостта c_{va} на обема V на озвучителното тяло се определя от зависимостта:

$$c_{va} = \frac{V}{\psi p_s}, \quad [5]$$

където ψ е константа, която за въздуха е 1,4; p_s — статичното атмосферно налягане.

Еквивалентната акустична гъвкавост c_{ae} се определя от акустичната гъвкавост c_a на високоговорителя и акустичната гъвкавост c_{va} на обема чрез формулата:

$$c_{ae} = \frac{c_a c_{va}}{c_a + c_{va}} \quad [6]$$

Като се вземат пред вид зависимостите [5] и [6] за резонансната честота на озвучителното тяло, се получава:

$$f_{om} = f_o \sqrt{1 + \frac{c_a}{c_{va}}} = f_o \sqrt{1 + \frac{c_a}{V} \psi p_s}, \quad [7]$$

където f_o е резонансната честота на високоговорителя и

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{m_a c_a}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{m_a c_a}} \quad [8]$$

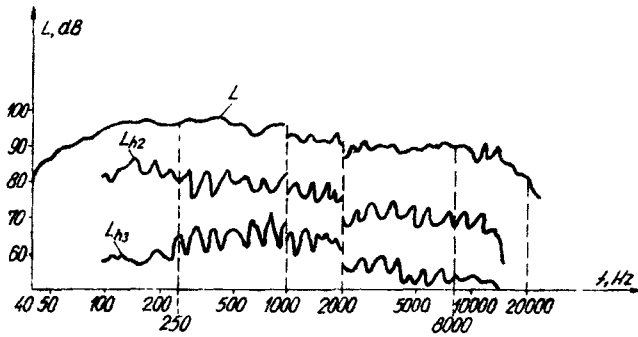
За да бъде ниска резонансната честота на озвучителното тяло, е необходимо обемът V да бъде достатъчно голям. Намаляването на гъвкавостта на високоговорителя c_a води до повишаване на f_o , а следователно и на f_{om} . За отбелязване е, че коефициентът ψ също може да се изменя. Така например с напълването на обема на тялото със звукопоглъщащ материал ψ може да се намали до стойност 1.

Високоговорителят ВКН1221 има ниска и повтаряща се резонансната честота. Неговата гъвкавост c_a има почти постоянна стойност за различните образци. Останалите величини от [7] са константи. Тези условия създават предпоставката за стабилна резонансната честота на озвучителното тяло ($f_{om} = 65 \div 70$ Hz), което гарантира повтаряемост на долната гранична честота.

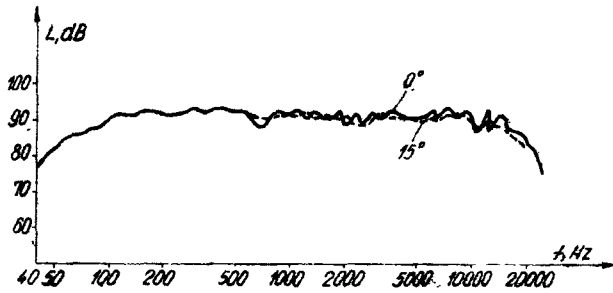
Горната гранична честота на озвучителното тяло се определя главно от горната гранична честота на високочестотния високоговорител. В случая производителят гарантира 16 kHz, но практически тя е $18 \div 20$ kHz (има образци с горна гранична честота 22 kHz).

Неравномерност на честотната характеристика. Неравномерността на ОТГ1—02 отговаря на изискванията за клас Hi-Fi, като в обхвата 50—16 000 Hz е по-малка от 12 dB, а в обхвата 100—8000 Hz е по-малка от 8 dB. В областта на разделителната честота няма нито върхове, нито падини, не се установяват и интерференчни явления. Това показва, че разделителният филтър е оразмерен правилно.

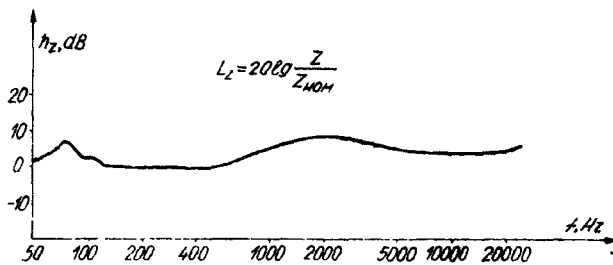
$$d_n = \sqrt{d_{n2}^2 + d_{n3}^2}, \quad [9]$$



Фиг. 7



Фиг. 8



На фиг. 6 е дадена честотната характеристика на озвучително тяло ОТГ1—02, снета на разстояние 1 m от работния му център при подаване на напрежение със синусоидална форма, съответстващо на мощност 1 W. От нея може да се отчете неравномерността в различните обхвати. Върхове и падени, по-тесни от 1/8 октава, не се вземат пред вид.

Нелинейни изкривявания. На фиг. 7 е дадена честотната характеристика на ОТГ1—02 заедно с честотните характеристики на втория и третия хармоник. Характеристиките са снети при ниво на средното звуково налягане, съответстващо на изискванията за озвучителни тела от Hi-Fi клас. Затова при 1000 и 2000 Hz има стъпално намаляване на нивото с 3 dB. Нивото на втория хармоник L_{h2} е повдигнато с 30 dB, а нивото на третия хармоник L_{h3} е повдигнато с 20 dB. Това се прави винаги, за да се регистрират по-отчетливо хармониците. Ако вторият хармоник се изравни с основната характеристика, изкривяванията, дължащи се на него, са 3%. Ако третият хармоник се изравни с основната характеристика, изкривяванията от него са 10%. За всяка честота коефициентът на хармониците d_n се определя от зависимостта:

където d_{n2} и d_{n3} са коефициентите на хармонични изкривявания съответно от втория и третия хармоник.

От фиг. 7 се вижда, че в целия контролируем обхват коефициентът на хармонични изкривявания има по-малки стойности от допустимите за Hi-Fi клас. В обхвата 250—1000 Hz d_n не надвишава 2%, а в обхвата над 2000 Hz $d_n < 0,8\%$. ОТГ1—02 има малък коефициент на хармоничните изкривявания (под 1%) не само до 8 kHz, но до горната гранична честота — 18÷20 kHz.

Насоченост на излъчването. На фиг. 8 са дадени честотните характеристики на озвучителното тяло, снети по оста (0°) и на 15° от оста (15°). Вижда се, че в целия честотен обхват разликата между двете характеристики не надвишава 2—3 dB. Това се дължи на много добрата пространствена характеристика на куполния високоговорител. По този важен параметър ОТГ1—02 е значително над изискванията за Hi-Fi техника.

Характеристична чувствителност. Производителят гарантира на ОТГ1—02 характеристична чувствителност $0,5 \text{ PaW}^{-0.5}$. От приведените честотни характеристики се вижда, че тя е не по-малко от $0,6 \text{ PaW}^{-0.5}$.

Паспортна мощност. Нискочестотният високоговорител и двата куполни високоговорителя позволяват да се гарантира паспортната мощност на ОТГ1—02 40 W. В експлоатационни условия озвучителното тяло бе подложено продължително време на въздействието на музикална програма със средна мощност 45—50 W и върхова мощност над 60 W. Изпитанията показаха, че ОТГ1—02 може да се натоварва с такава електрическа мощност без опасност от поява на механични или топлинни повреди. Последователното свързване на двата куполни високоговорителя допринася за повишаване възможността за електрическо натоварване на озвучителното тяло. Тази допустима електрическа натоварваемост прави озвучителното тяло подходящо за комплектоване към комплектите от Hi-Fi клас „Студио“ и „Соната“, както и към други системи с номинална изходна мощност, не по-голяма от 50 W.

Входен електрически импеданс. Входният импеданс на озвучителните тела зависи от честотата. На фиг. 9 е показана честотната характеристика на входния импеданс на ОТГ1—02. Първият максимум в характеристиката се получава при честота f_{om} , а минимумът след тази честота определя номиналния входен импеданс, който в случая е 4Ω . Вторият максимум се получава в областта на разделителната честота f_p на филтъра. Твърде опасен е минимумът след f_p , тъй като може да се окаже с много малка стойност, което би довело до претоварване на усилвателя. За избягване на тази опасност в ОТГ1—02 двата високочестотни високоговорителя са свързани последователно, при което за високи честоти минималната стойност на импеданса е над 6Ω .

Масата на ОТГ1—02 е 19 kg.

ДСО „РЕСПРОМ“, респективно завод „Гр. Николов“ — Благоевград, усвои в редовно производство озвучителното тяло ОТГ1—02.