

# КОМПЕНСИРАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ДВУЛЕНТОВА ВИСОКОГОВОРИТЕЛНА СИСТЕМА

Екатеринслав Събев Cupakov

Георги Костадинов Евстимиев

ВМЕИ - Варна

Високоговорителните системи остават най-несъвършената и същевременно най-важната част от аудиосистемите.

При анализа на фазовата и импедансната характеристика на високоговорителна система може да се констатира: модулът на импеданса в честотния диапазон често се променя до 2 - 5 и повече пъти от номиналната стойност, фазовата разлика между напрежението и тока от усилвателя на мощност също често се променя в границище 45 - 90 градуса.

Peak-to-peakната съставяща на модула на високоговорителите ограничава на практика няколко кратко пълното използване на усилвателя на мощност, увеличават се нелинейните искривявания, влошава се качеството на аудио сигнала.

Целта на работата е компенсиране на модула на импеданса до номиналната стойност в целия честотен диапазон и синфазност на тока и напрежението от усилвателя на мощност при двулентова високоговорителна система.

На практика всички съвремени високочастствени акустични системи са съставени от няколко високоговорители (обикновено два или три), всеки от които работи в своя честотен диапазон.

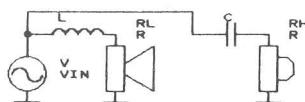
През елементите на филтриите протичат значителна по големина токове. Важна особеност в случая е, че товарът е високоговорител, чийто входен импеданс има номинална стойност 4 или 8 ома и силно зависи от честотата. [1]

Много автори [2, 3, 5 и пр.] предлагат т.н. LC филтри на Бътърърт за ниски и високи честоти съответно за нисковолнения и високоволнения високоговорител при двулентовите озвучителни тела.

Филтрите на Бътърърт се характеризират с гладка АЧХ в лентата на пропускане и монотонен спад в лентата на задържане.

На Фиг.1 е показан разделителен филтър от първи ред за двулентова тонколона. Нискочестотният филтър е реализиран с една бобина с индуктивност L, а високочестотният - с кондензатор с капацитет C.

Известно е за нискочестотния филтър, че:



Фиг. 1

$$\frac{\sqrt{P_p}}{\sqrt{P}} = \frac{\sqrt{U_p^2}}{\sqrt{U^2}} = \frac{\sqrt{R^2}}{\sqrt{[R^2 + (\omega p \cdot L)^2]^2}} = Q \quad (1)$$

$$L = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot f_p} \cdot \frac{1}{Q}; \quad Q = \sqrt{\frac{Q^2}{1 - Q^2}} \quad (2)$$

Аналогично за високоочестотния филтър:

$$\frac{\sqrt{P_p}}{\sqrt{P}} = \frac{\sqrt{U_p^2}}{\sqrt{U^2}} = \frac{\sqrt{R^2}}{\sqrt{[R^2 + (1/\omega p \cdot C)^2]^2}} = Q \quad (3)$$

$$C = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot R} \quad Q = \sqrt{\frac{Q^2}{1 - Q^2}} \quad (4)$$

При извеждане на формулите (1, 2, 3 и 4) е приемо, че високоговорителите имат еднакъв номинален импеданс и той е само активен [2, 5].

При коефициент  $q=0.7071$  за разделителната честота  $f_p$ , електрическата мощност  $P_p$  за нискоочестотния и високоочестотния високоговорители ще се подават 0.5 от мощността (1) и (3). Замествайки  $q=0.7071$  във формулите за  $L$  и  $C$  получаваме:

$$L = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot f_p} \quad C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot R} \quad (5)$$

Формулите (5) за определяне на  $L$  и  $C$  са обикновено цитирани в литературата за разделителните филтри от първи ред за дувалентово озвучително тяло [2, 5 и др.]

В честотната област от 1 до 5 kHz най-често симетрично на разделителната честота и нискоочестотния и високоочестотния високоговорители са по ефективни с от 2 до 14 dB в сравнение с звуковото налягане, което създават в лентата на пропускане.

При оразмеряване на филтрите по формулите (5) създаваното от озвучителното тяло звуково налягане за честоти близки до разделителната честота, ще превишава средно<sup>квадратичната</sup> стойност, което ще доведе до значителна неравномерност на АЧХ.

Практическият метод на "пробата и грешката" при проектиране на разделителните филтри изисква сложна измервателна апаратура и специализирано акустическо обработено със специални звукопогъщащи материали, помещение за измерване, значителен опит и т.н..

По правилно, лесно и точно според нас е да се анализират характеристиките на високоговорителите и да се подбере подходящ коефициент  $q=0.2 - 0.7$  (Фиг.2).

При дефиниране на основните параметри на усилвателите на мощност се приема че товарът е активно съпротивление.

Висококачествените усилватели на мощност, към които се включват озвучителните тела, отчитат комплексния характер на последните като се преоразмеряват крайните транзистори и се включват специални схеми за защита при комплексен характер на товара. Влошава се работата на транзисторите на усилвателя на мощност, преповарването му включва защитата. При ламповите усилватели с изходен трансформатор има опасност от значително повишаване на променливото напрежение в първичната намотка на изходния трансформатор, кое то при максимална мощност може да доведе до пробив.

Комплексният характер на импеданса довежда до дефазиране на изходния ток от усилвателя на мощност спрямо изходното напрежение. Фазовата разлика често е в границите от -60 до +60 градуса. Това е значителна степен претоварва усилвателя на мощност. Поради тази причина към крайните транзистори на усилвателя на мощност се включват специални схеми за защитата им от вторичен пробив, резултат от дефазирането на изходния ток спрямо изходното напрежение.

Естествено най-добрата препоръка е усилвателят на мощност да се експлоатира не при максимална мощност, а при една нормална мощност, която обикновено е десетократно по-малка.

Допълнителното претоварване на усилвателя на мощност за дадена честотна област и "облекчаването" му за друга следствие на реалната импедансна характеристика на акустичната система, довежда до промяна на качеството на звукоизхода картина.

Не случајно музикантите и ценители на качеството казват: "свири акустичната система, отделните високоговорители, а не дадения изпълнител или инструмент".

Причините за комплексния характер на входния електрически импеданс са две: първо - комплексният импеданс на високоговорителите [1, 7, 8] и второ - пасивните електрически LC филтри.

Компенсирането на комплексния импеданс на високоговорителите може успешно да се реализира и това да доведе до номиналната активна стойност с подходяща акустична обработка и методи, както и включването на подходящи електрически вериги. [1]

Пасивните електрически филтри влияят на импедансната характеристика на акустичната система. (фиг. 4)

С цел да се получи равномерна АЧХ на звуковото налягане при звуковите тонколони, е нужно да се избере подходяща стойност на коефициент q [2] и [4].

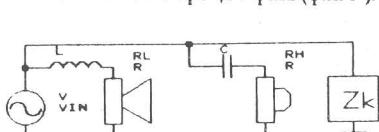
При коефициент  $q=0.7071$  (Бътъръпт) импедансът е постоянен за целия честотен обхват. Тази стойност е подходяща за високоговорители с линейна АЧХ и служи само за база за сравнение.

При стойност  $q > 0.7$  съпротивлението за честоти, близки до разделящата честота, става по малко от номиналната стойност  $R$  и това не е единствената причина  $q > 0.7$  да не се използва на практика. (фиг.4)

С цел да се осигури равномерна АЧХ на звуковото налягане подходящата стойност за коефициента  $q$  ( $0.2 < q < 0.7$ ) довежда до значително увеличаване на импеданса за разделящата честота и честоти, близки до нея. (фиг.2, фиг.4)

Импедансната честотна характеристика и фазочестотната характеристика на изходния ток са дадени на фиг. 4 и фиг.3.

За компенсиране на неравномерностите на импедансната и фазовата характеристика може да се използва компенсираща верига (фиг. 5).



Фиг.5

$$\frac{1}{Z_{in}} = \frac{1}{R} = \frac{1}{j\omega L + R} + \frac{1}{j\omega C + R} + \frac{1}{Z_K} \quad (6)$$

$$\frac{1}{Z_K} = \frac{1}{R} - \frac{1}{j\omega L + R} - \frac{1}{j\omega C + R} \quad (7)$$

След елементарни преобразувания получаваме:

$$Z_K = \frac{R \cdot (L/C + R^2)}{L/C - R^2} + \frac{1}{j\omega C} \cdot \frac{R}{(L/C - R^2)} + j\omega C \cdot \frac{R^2}{(L/C - R^2)} \quad (8)$$

Това са последователно свързани  $R_K$ ,  $C_K$  и  $L_K$ !

$$Z_K = R_K + \frac{1}{j\omega C_K} + j\omega L_K \quad (9)$$

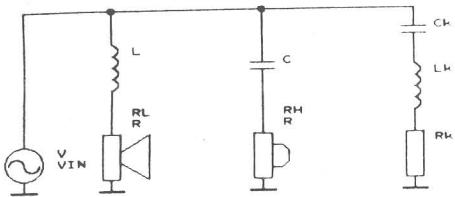
При следните формули за определяне стойностите на компонентите на компенсиращата верига:

$$R_K = R \cdot \frac{1}{1 - 2q^2} = R \cdot \frac{L/C + R^2}{L/C - R^2} \quad (10)$$

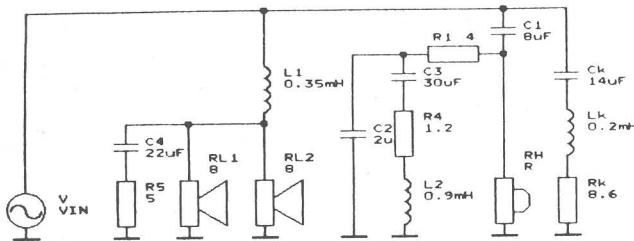
$$C_K = C \cdot \frac{1 - 2q^2}{q^2} = C \cdot \frac{L/C - R^2}{R^2} \quad (11)$$

$$L_K = L \cdot \frac{q^2}{1 - q^2} = L \cdot \frac{R^2}{L/C - R^2} \quad (12)$$

На фиг. 6 е дадена схемата на увулентов еднозвенен филтър с компенсираща верига:



Фиг. 6



Фиг. 7

На фигура 7 е показана електрическата схема на една практическа реализация на гвулентова високоговорителна система с филтър от първи ред при  $q = 0.517$  ( $Q=0.6$ ) с компенсация на импеданса. Кондензаторът  $C_1$   $8\text{ }\mu\text{F}$  е филтър за високочестотния куполен високоговорител ВКВ2521. Бобината  $L_1$  с индуктивност  $0.35\text{ mH}$  е филтър за нисковолните електродинамични високоговорители  $2 \times 10\text{GD}30\text{B}$  с импеданс  $2 \times 8\text{ ома}$  ( $4\text{ ома}$ ), свързани успоредно.

Кофициентът  $q=0.517$  (- $6\text{dB}$ ) е избран съобразно АЧХ на създаваното от високоговорителите звуково налягане в областта на избраната разделителна честота  $f_p = 3\text{ kHz}$ . Кофициентът  $q=0.5$  е известен като кофициент на Linkwitz - Reley.[3] Групата  $R_5$ ,  $C_4$  компенсира индуктивността на високоговорителите  $2 \times 10\text{GD}30\text{B}$ , а  $R_1$ ,  $C_2$  индуктивността на високоговорителя ВКВ2521. Групата  $R_1$ ,  $C_3$ ,  $R_4$  и  $L_2$  компенсира внесения импеданс от високочестотния високоговорител ВКВ2521 на основната му резонансна честота  $f_p=950\text{ Hz}$  [1]. Групата компоненти  $L_K$ ,  $R_K$  и  $C_K$  компенсира импедансната характеристика на гвулентовия LC филтър съобразно избрания кофициент  $q=0.517$  и се изчислява по формулите (10, 11 и 12).

Получените резултати за импедансната характеристика са в съответствие с компютърния анализ. Отклонението за  $R_{in}$  5-10% са следствие от избора на стандартни стойности за кондензаторите и т.н. Същото може да се каже и за фазата на изходния ток - той е синфазен

спрямо изходното напрежение в целия честотен диапазон. При реалния експеримент има слабо изразен пик в импедансната характеристика на резонанса на озвучителното тяло на 50 - 60 Hz, следствие на не дотам успешните мерки за акустическо демпфиране.

Литература:

- 1.Евстатиев Г.К., Ек.С.Сирakov "Компенсация на електрическия импеданс на електродонамичен високоговорител" Дни на науката-Варна '94.
- 2.Полянеб Д.Ф."Конструиране на озвучителни тела", София, издателство "Техника", 84.
- 3.Gonzalez R."Real-world two-way crossover a design metod" S.B.2/1992.
- 4.Macaulay J.P."Big bass-smoll box" E.W+W.W 2/1994.
- 5.Крилев В., Г.Соловков "Разделителни филтри за озвучителни тела", Р.Т.Е., бр. 1 / 1994.
- 6.Кореньков А.Н., П.Е.Товстик "Вынужденные колебания и излучение плоской сотовой диафрагмой громкоговорителя", Техническая Акустика 1993, тл. II, вып. 3.
- 7.Адошина И.А., А.Г.Войшишилло"Высококачественные акустические системы и излучатели", Москва, Радио и связь, 1985.



Фиг. 4



Фиг. 3



Фиг. 2