

## ЕЛЕКТРОДИНАМИЧНИЯТ ВИСОКОГОВОРИТЕЛ, КАТО КОМПЛЕКСЕН ТОВАР НА АУДИО УСИЛВАТЕЛЯ

Пламен Ангелов Ангелов  
Бургаски свободен университет

## ELECTRODYNAMIC LOUDSPEAKER AS A COMPLEX LOAD OF THE AUDIO AMPLIFIER

Plamen Angelov Angelov  
Burgas Free University

**Abstract:** It is known that the professional audio amplifiers operate with dynamic input signal. Output speaker connected to the amplifier is a complex load with pronounced resonant properties. This can cause overloading of the output stage and unstable amplifier. In some cases their inductance of the speaker can suppress transient loads and even prevent breakthrough. For accurate assessment of the impact of the complex load on the amplifier performance should be considered the equivalent resonance model.

**Keywords:** louspeaker model, equivalent circuitm resonance.

### 1. Състояние на проблема

Известно е, че по своята същност професионалните аудио усилватели работят с динамични входни натоварвания. Високоговорителя свързан в изхода на усилвателя е комплексен товар с ясно изразени резонансни свойства. Това може да предизвика претоварване на крайното стъпало и нестабилна работа на усилвателя. В някой случай собствената индуктивност на високоговорителя може да потисне кратковременни натоварвания и дори да предпази от пробив [4]. За коректна оценка на влиянието на комплексния товар върху работата на усилвателя трябва да се отчете неговата еквивалентна заместваща схема [2], [3].

### 2. Основни параметри описващи електродинамичния високоговорител

Основните параметри, описващи електродинамичния високоговорител са неговите Tiel/Small каталожни данни [5]. С помощта на тези параметри се определя и честотното изменение на високоговорителя на база еквивалентна заместваща схема – фиг.1. За да определят всички параметри се използват познатите изрази [1]:

$$(1) \quad R_2 = \frac{(B.L)^2}{R_{ms}}, \quad L_2 = C_{ms} \cdot (B.L)^2, \quad C_2 = \frac{M_{ms}}{(B.L)^2}$$

където:

$R_2$  е съпротивлението по постоянен ток на избрания високоговорител;

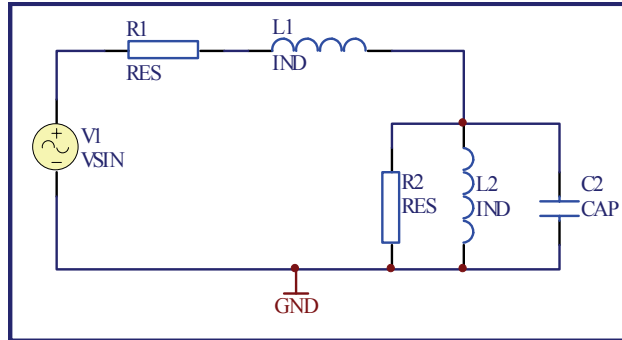
$L$  – собствената индуктивност на високоговорителя;

$B.L$  – коефициентът на електромеханична връзка;

$C_{ms}$  – гъвкавостта на механичната система на високоговорителя;

$M_{ms}$  масата на подвижната система на високоговорителя;

$R_{ms}$  – механичните загуби на високоговорителя [2].



Фиг. 1. Еквивалентна заместваща схема на високоговорител

Паралелният двуполусник  $R_2$ - $L_2$ - $C_2$  се преобразува в последователен с изразите:

$$(2) \quad R_s = \frac{G_2}{G_2^2 + B_2^2}, \quad X_s = \frac{B_2}{G_2^2 + B_2^2},$$

$$G_2 = \frac{1}{R_2}, \quad B_2 = \frac{1}{X_{L2}} - \frac{1}{X_{C2}}$$

Тогава еквивалентната схема се преобразува във вида, показан на фиг.2.

При определяне стойностите на  $R_s$  и  $X_s$  е по-удобно в техните математически изрази да се включат стойностите за резонансното съпротивление  $\rho_2$  и резонансната честота  $f_0$ . С използването на тези параметри се получава относителното съпротивление на веригата – „ $n$ ” и относителната честота „ $k$ ” с изразите:

$$(3) \quad \rho_2 = \sqrt{\frac{L_2}{C_2}}, \quad n = \frac{R_2}{\rho_2}, \quad f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_2 \cdot C_2}}, \quad k = \frac{f}{f_0}$$

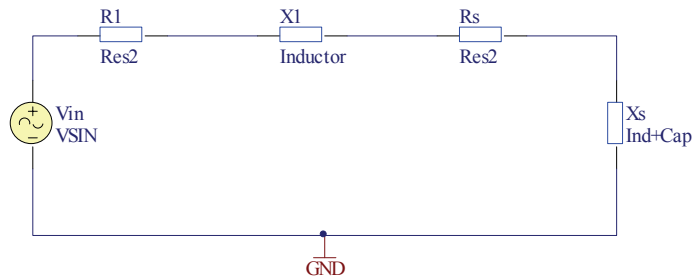
Тогава за серийните еквивалентни преобразувания се получават изразите:

$$R_s = \frac{G_2}{G_2^2 + B_2^2} = \frac{\frac{1}{R_2}}{\frac{1}{R_2^2} + \left( \frac{1}{X_{L2}} - \frac{1}{X_{C2}} \right)^2} = R_2 \frac{1}{1 + n^2 \cdot (\kappa^{-1} - \kappa)^2}$$

(4)

$$X_s = \frac{B_2}{G_2^2 + B_2^2} = \frac{\frac{1}{X_{L2}} - \frac{1}{X_{C2}}}{\frac{1}{R_2^2} + \left( \frac{1}{X_{L2}} - \frac{1}{X_{C2}} \right)^2} = R_2 \frac{n^{-1} \cdot (\kappa^{-1} - \kappa)}{1 + n^2 \cdot (\kappa^{-1} - \kappa)^2}$$

;



Фиг. 2. Преобразуване на паралелен в последователен двуполусник

След преобразуване на паралелния в последователен двуполусник се извършва сумиране на активните и реактивни съставки на получената последователна верига (фиг.2):

$$R = R_1 + R_s = R_1 + R_2 \frac{1}{1 + n^2 \cdot (\kappa^{-1} - \kappa)^2}$$

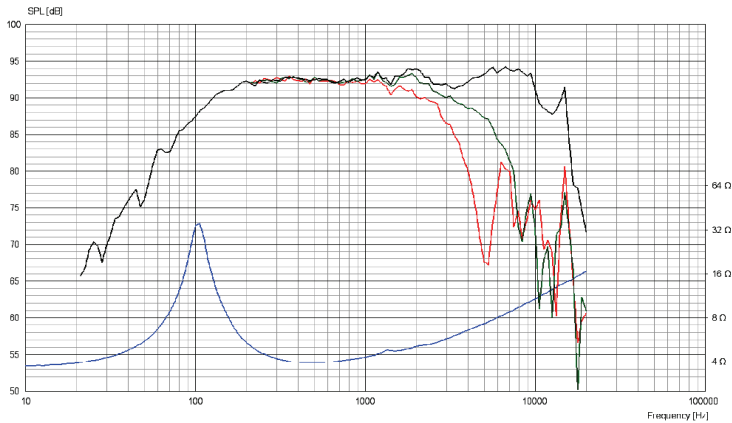
$$(5) \quad X = X_1 + X_s = X_{L1} + R_2 \frac{n^{-1} \cdot (\kappa^{-1} - \kappa)}{1 + n^2 \cdot (\kappa^{-1} - \kappa)^2}$$

$$z_{load} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

### 3. Оценка на комплексното натоварване

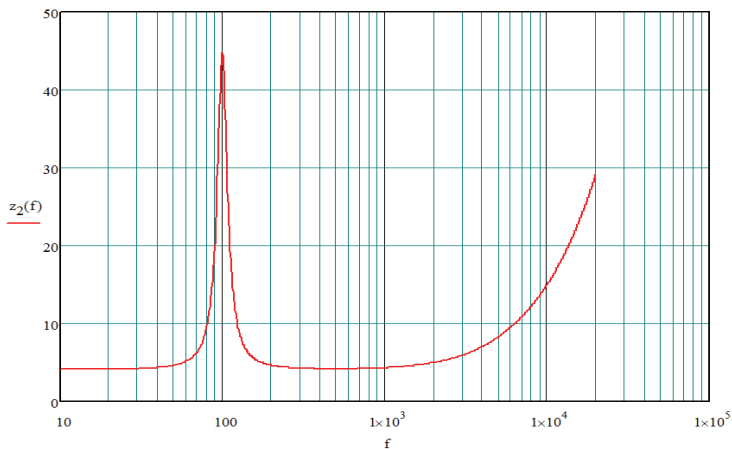
Изразите, описващи модела на високоговорителя се използват за оценка на комплексното натоварване [3]. Функционалната зависимост на импеданса на високоговорителя от работната честота е показано на фиг.3. При оценка на Hi-Fi аудио

усилвател, това изменение води до допълнителна несиметрия в работата на стъпалото, а от там и в промяна на параметрите на изходния сигнал. За да се постигне коректна оценка на аудио усилвателя е необходимо отчитане на честотното изменение на товара [4], [6].



Фиг. 3. От справочна информация за високоговорител 15M/4624G00 [7]

За тази цел е избран високоговорител Discovery – 15M/4624G00 [7], от където се отчитат стойностите за  $R_s$  и  $X_s$ . Тези стойности се използват за провеждане на числен експеримент на база израз.5. Това налага числено изследване на импедансната характеристика на товара.



Фиг. 4. Численият експеримент показва, че резултата е идентичен с препоръките от производителя – Discovery – 15M/4624G00 [7]

Изследването се извършва с помощта на програмен продукт MathCAD, при следните параметри: съпротивление за постоянен ток на избрания високоговорител  $R_{dc}=3,2\Omega$ ; собствена индуктивност на бобината на високоговорителя  $L_0=230\mu\text{H}$ ; Коефициент на електромеханична връзка –  $B.L=5,3\text{Tm}$ ; гъвкавост на механичната система на високоговорителя –  $C_{ms}=0,41\text{mm/N}$ ; маса на подвижната система на високоговорителя –  $M_{ms}=6,2\text{g}$ ; механични загуби на високоговорителя –  $R_{ms}=0,69\text{kg/s}$ . Тези стойности се заместват в изрази 1.7. при което се получават стойностите на параметрите:  $L_2=12\text{mH}$ ,  $C_2=220,7\mu\text{F}$ ;  $R_2=40,71\Omega$ .

Полученият резултат от изследването показва че импедансната характеристика на високоговорителя напълно съвпада с препоръките на производителя от фиг.3. Това означава, че заместващият електрически модел описва адекватно избраният високоговорител. Изводът е, че изведените математически зависимости могат да бъдат предпоставка за определяне на активната изходната мощност върху товара:

$$(6) \quad P_l = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{2 \cdot z_{load}^2} R = \frac{U_{lm}^2}{2} \frac{R}{R^2 + X^2}$$

Чрез израза за изходната мощност се извежда и максималното напрежение върху товара:

$$(7) \quad U_{lm} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_l \cdot (R^2 + X^2)}{R}}$$

Замествайки полученият резултат за активната и реактивната компонента на товара (израз.5.) в израз.7. за големината на изходното напрежение се получава:

$$(8) \quad U_{lm} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_l \cdot \left( (R_1 + R_2 \frac{1}{1+n^2 \cdot (\kappa^{-1} - \kappa)^2})^2 + (X_{L1} + R_2 \frac{n^{-1} \cdot (\kappa^{-1} - \kappa)}{1+n^2 \cdot (\kappa^{-1} - \kappa)^2})^2 \right)}{R_1 + R_2 \frac{1}{1+n^2 \cdot (\kappa^{-1} - \kappa)^2}}}$$

където:

$U_{lm}$  – максимална напрежението върху товара;

$P_l$  – ефективна изходна мощност на съпалото.

Изведеният израз показва зависимостта на изходното напрежение с промяна на работната честота. Така се съгласува изходното съпротивление на крайното съпало в желаната честотна област.

**Изводи:**

- При оценка на Hi-Fi аудио усилвател, това изменение води до допълнителна несиметрия в работата на стъпалото, а от там и в промяна на параметрите на изходния сигнал. За да се постигне коректна оценка на аудио усилвателя е необходимо отчитане на честотното изменение на товара [4], [6].
- Полученият резултат от численото изследване показва че импедансната характеристика на високоговорителя напълно съвпада с препоръките на производителя от фиг.3. Това означава, че заместващият електрически модел описва адекватно избраният високоговорител;
- Изведеният израз.8. показва зависимостта на изходното напрежение с промяна на работната честота. Тази зависимост ясно показва динамичното натоварване на аудио усилвателя. Отчитането на този параметър води до съгласуване изходното съпротивление на крайното стъпало в желаната честотна област.

**Използвана литература:**

- [1] Сираков Е. „Макро модел на нискочестотно озвучително тяло тип band-pass” сп. Акустика 2008, ISSN 1312-4897. (стр.42-53). Национална секция по акустика към Българската асоциация за обществен контрол и управление на шума. Институт по механика към Българска Академия на Науките.
- [2] Julian R., (1989) An Empirical Model for Loudspeaker Motor Impedance, Convention of Audio engineering society, ,(part.S-2, pp.1-10) Convention Paper 2776
- [3] Pl. Angelov., Modification method to determining the output parameters in the audio power stage with complex load. XLVII INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE INFORMATION, COMMUNICATION AND ENERGY SYSTEMS AND TECHNOLOGIES, 28 – 30 June, 2012, Veliko Tarnovo, BULGARIA (pp.521-524 ).
- [4] Valacas, J., Spyridoulis, S., Lioliousis, C. (1998). The influence of program material on the nonlinear behavior of audio power amplifiers driving complex loads. Convention of IEEE Transactions on consumer electronics, Vol. 44 Issue.1.ISSN: 0098-3063 (pp.1-9).
- [5] Laurin S., Reihard K. “DETERMINING MANUFACTURE VARIATION IN LOUDSPEAKERS THROUGH MEASUREMENT OF THIELE/SMALL PARAMETERS” AES 125th Convention, San Francisco, CA, USA, (pp.1-4) 2008 October 2–5
- [6] Philips A., Measuring the True acoustical Response of Loudspeakers ISBN: 0-7680-1319-4, (pp.3-9), Visteon Corporation, SAE International World Congress Detroit, Michigan 2004
- [7] Discovery 15M/4624G00. Scan Speak 2012, N.C. Madsensvej 1 6920 Videbaek, Denmark, www.scan-speak.dk