

ÚLOHY NA CVIČENIE 20.4.2006

A. Uvažujte Vami zvolený elektrodynamický reproduktor v zatvorenej ozvučnici:

1. Aký má byť objem ozvučnice, aby sústava mala optimálnu šírku pásma? Aké sú rezonančná frekvencia a medzná frekvencia ampl. frekvenčnej charakteristiky (pri ktorej má char. pokles o 3dB)?
2. Aký má byť objem ozvučnice, aby sústava mala maximálnu účinnosť (je myslená tým maximálna dosiahnuteľná účinnosť pre daný reproduktor)? Aké sú rezonančná frekvencia a medzná frekvencia ampl. frekvenčnej charakteristiky?
3. Aké napätie je potrebné priviesť na vstup sústavy, aby bol na vstupe príkon 1W?
4. Aký je akustický tlak (resp. hladina ak. tlaku) vo vzdialenosti 1m od sústavy pri príkone 1W?
5. Aká je maximálna výchylka reproduktora sústavy pri maximálnom elektrickom príkone (short aj long term). Porovnajete túto výchylku s predpokladanou výchylkou reproduktora, ak by bol v „nekonečnej ozvučnici“ a na vstup by sme priviedli maximálny elektrický príkon a s maximálnou dovolenou výchylkou reproduktora.
6. Aký je maximálnou výchylkou limitovaný elektrický príkon a akustický výkon?
7. Ako sa zmenia všetky vyššie vypočítané hodnoty za predpokladu, že je nenulový vnútorný odpor zdroja (napr. $R_g=1\text{Ohm}$)?

B. Simulácia reproduktorovej sústavy v zatvorenej ozvučnici pomocou makromodelu BassUnit/Def_BassUnit

Napište skript v programe AkAbak na simuláciu reproduktorovej sústavy v zatvorenej ozvučnici pomocou makromodelu BassUnit/Def_BassUnit a porovnajete vyššie vypočítané hodnoty s hodnotami , odčítanými z vhodných charakteristík pri simulácii sústavy v programe AkAbak za nasledujúcich zjednodušujúcich predpokladov:

- o membrána je simulovaná ako ideálny piest
- o odpor cievky je frekvenčne nezávislý
- o je zanedbaný vplyv reaktancie cievky
- o je zanedbaný vplyv smerovosti vysielať piestom
- o sústava je umiestnená v počiatku súradnicovej sústavy a neuvažujeme s vplyvom difrakcií (ohyb vlnenia) v okolí ozvučnice ani odrazov od najbližších stien
- o neuvažujeme s predradeným elektrickým hornopriepustným filtrom

V písomnom vypracovaní pri každom z odčítaných údajov uveďte, z akej charakteristiky bol údaj odčítaný.

C. Simulácia vplyvu „zreálnenia“ sústavy a skutočných pomerov pri vysielať zvuku na amplitúdovú frekvenčnú charakteristiku:

- o zaveďte vplyv reaktancie cievky
- o zaveďte vplyv frekvenčnej závislosti odporu a reaktancie cievky
- o zaveďte vplyv reálnej membrány
- o zaveďte vplyv smerovosti (
- o zaveďte vplyv difrakcií
- o zaveďte vplyv odrazov minimálne od jednej steny

V písomnom vypracovaní opíšte zmenu oproti pôvodnej ideálnej charakteristike z časti B a zdôvodnite ju (resp. pokúste sa ju zdôvodniť).

RIEŠENIE

ÚLOHA A

Uvažujem (resp. mal som zadaný) elektrodynamický reproduktor model Seas CD22RN4X H1192 s nasledovnými parametrami:

Nominal Impedance	8 Ohms	Voice Coil Resistance	6.1 Ohms
Recommended Frequency Range	20 - 2500 Hz	Voice Coil Inductance	3.47 mH
Short Term Power Handling *	250 W	Force Factor	11.4 N/A
Long Term Power Handling *	100 W	Free Air Resonance	20 Hz
Characteristic Sensitivity (2.83V, 1m)	87 dB	Moving Mass	41.6 g
Voice Coil Diameter	39 mm	Air Load Mass In IEC Baffle	2.02 g
Voice Coil Height	20 mm	Suspension Compliance	1.5 mm/N
Air Gap Height	6 mm	Suspension Mechanical Resistance	1.67 Ns/m
Linear Coil Travel (p-p)	14 mm	Effective Piston Area	230 cm ²
Maximum Coil Travel (p-p)	21 mm	VAS	108 Litres
Magnetic Gap Flux Density	0.9 T	QMS	3.28
Magnet Weight	0.64 kg	QES	0.26
Total Weight	2.20 kg	QTS	0.24

Dec 2005-1

*IEC 268-5

W22-202

Úloha A1

Aby sústava mala optimálnu šírku pásma, je potrebné dosiahnuť hodnotu celkového činiteľa akosti sústavy:

$$Q_{TC} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

vtedy z rovnice:

$$\frac{Q_{TC}}{Q_{TS}} = \sqrt{\alpha + 1}$$

a zo známej (katalógovej) hodnoty činiteľa akosti Q_{TS} dostaneme hodnotu konštanty α :

$$\alpha = \left(\frac{Q_{TC}}{Q_{TS}} \right)^2 - 1 = \frac{1}{2 \cdot 0.24^2} - 1 \doteq 7.68$$

ktorú použijeme na výpočet potrebného objemu ozvučnice:

$$V_{AB} = \frac{V_{AS}}{\alpha} = \frac{108 \text{ lit.}}{7.68} \doteq 14 \text{ lit.}$$

Sústava bude mať amplitúdovú frekvenčnú charakteristiku v tvare optimálne plochej AFCH Butterworthovho filtra 2. rádu. Rezonančná frekvencia sústavy a medzná frekvencia AFCH sú v tomto prípade zhodné, čo potvrdzuje výpočet podľa vzťahov:

$$f_c = f_s \sqrt{\alpha + 1} = 20 \sqrt{7.68 + 1} \doteq 59 \text{ Hz}$$

$$f_{-3dB} = f_c \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{2Q_{TC}^2} - 1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{2Q_{TC}^2} - 1\right)^2}} + 1 = f_c \doteq 59 \text{ Hz}$$

Úloha A2

Aký má byť objem ozvučnice, aby sústava mala maximálnu účinnosť (je myslená tým maximálna dosiahnuteľná účinnosť pre daný reproduktor)? Aké sú rezonančná frekvencia a medzná frekvencia ampl. frekvenčnej charakteristiky?

Aby sústava mala optimálnu šírku pásma, je potrebné dosiahnuť hodnotu celkového činiteľa akosti sústavy:

$$Q_{TC} \doteq 1.1$$

Vtedy zo známej (katalógovej) hodnoty činiteľa akosti Q_{TS} dostaneme hodnotu konštanty α :

$$\alpha = \left(\frac{Q_{TC}}{Q_{TS}}\right)^2 - 1 = \left(\frac{1.1}{0.24}\right)^2 - 1 \doteq 21$$

Ktorú použijeme na výpočet potrebného objemu ozvučnice:

$$V_{AB} = \frac{V_{AS}}{\alpha} = \frac{108 \text{ lit.}}{21} \doteq 6 \text{ lit.}$$

Sústava bude mať amplitúdovú frekvenčnú charakteristiku v tvare mierne zvlnenej AFCH Čebyševovho filtra 2. rádu. Rezonančná frekvencia sústavy je v tomto prípade vyššia, než medzná frekvencia AFCH, čo potvrdzuje výpočet:

$$f_c = f_s \sqrt{\alpha + 1} = 20 \sqrt{21 + 1} \doteq 94 \text{ Hz}$$

$$f_{-3dB} = f_c \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{2Q_{TC}^2} - 1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{2Q_{TC}^2} - 1\right)^2}} + 1 = 94 \sqrt{\left(\frac{1}{2 \cdot 1.1^2} - 1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{2 \cdot 1.1^2} - 1\right)^2}} + 1 \doteq 71 \text{ Hz}$$

Úloha A3

Vstupnému príkonu sústavy P_E zodpovedá napätie:

$$E_G = (R_G + R_{EVC}) \sqrt{\frac{P_E}{R_{EVC}}}$$

Ktoré sme dostali z rovnice:

$$P_E = \left(\frac{E_G}{R_G + R_{EVC}}\right)^2 \cdot R_{EVC}$$

Ak predpokladáme, že $R_G = 0$ a $P_E = 1 \text{ W}$, vtedy platí:

$$E_G = \sqrt{P_E \cdot R_{EVC}} = \sqrt{1 \cdot 6.1} \doteq 2.47 \text{ V}$$

Maximálnemu príkonu 100 W zodpovedá vstupné napätie 24,7 V.

Úloha A4

Na určenie akustického tlaku (resp. hladiny ak. tlaku) vo vzdialenosti 1m od sústavy pri príkone 1W môžeme použiť napr. vzťah:

$$p = \sigma_{p,(CB)|_{1m,1W}} \cdot \frac{\sqrt{P_E}}{r} \quad [\text{Pa}]$$

Tlakovú citlivosť sústavy, ktorá je totožná s tlakovou citlivosťou vlastného reproduktora (uvažovaného v nekonečnej ozvučnici) môžeme určiť pomocou TS parametrov nasledovne:

$$\sigma_{p,(CB)|_{1m,1W}} = 7,9 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{f_C^3 \cdot V_{AT}}{Q_{EC}}} = 7,9 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{f_S^3 \cdot V_{AS}}{Q_{ES}}} \doteq 0.4554 \quad [\text{PaW}^{-1/2}\text{m}]$$

Hľadaný akustický tlak teda bude:

$$p = \sigma_{p,(CB)|_{1m,1W}} \cdot \frac{\sqrt{P_E}}{r} = 0.4554 \cdot \frac{\sqrt{1}}{1} \doteq 0.4554 \text{ Pa}$$

Zodpovedajúca hladina akustického tlaku:

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{p}{p_{ref}} = 20 \log_{10} \frac{0.4554}{2 \cdot 10^{-5}} \doteq 87.15 \text{ dB}$$

Úloha A5

Aká je maximálna výchylka reproduktora sústavy pri maximálnom elektrickom príkone (short aj long term). Porovnajte túto výchylku s predpokladanou výchylkou reproduktora, ak by bol v „nekonečnej ozvučnici“ a na vstup by sme priviedli maximálny elektrický príkon a s maximálnou dovolenou výchylkou reproduktora.

Prípad reproduktora v nekonečnej ozvučnici

Pre maximálnu výchylku reproduktora v nekonečnej ozvučnici platí:

$$x_{D,\max} = \sqrt{P_{E,\max}} \cdot \sigma_{x(IB)} \cdot |X(j\omega)|_{\max} \quad [\text{m}]$$

Výchylková citlivosť reproduktora v nekonečnej ozvučnici:

$$\sigma_{x(IB)} = \frac{10,65 \cdot 10^{-4}}{S_D} \cdot \sqrt{\frac{V_{AS}}{f_S \cdot Q_{ES}}} = \frac{10,65 \cdot 10^{-4}}{0.023} \cdot \sqrt{\frac{0.108}{20 \cdot 0.26}} = 6.67 \text{ mmW}^{-1/2}$$

Keďže $Q_{TS} = 0.24$ je $|X(j\omega)|_{\max} = 1$. Pre $P_{E,\max} = 100 \text{ W}$ bude maximálna hodnota výchylky:

$$x_{D,\max} = \sqrt{100} \cdot 6.67 \cdot 10^{-3} \doteq 67 \text{ mm}$$

a pre $P_{E,\max} = 250 \text{ W}$ bude maximálna hodnota výchylky:

$$x_{D,\max} = \sqrt{250} \cdot 6.67 \cdot 10^{-3} \doteq 105 \text{ mm}$$

Maximálna výchylka reproduktora v nekonečnej ozvučnici pri maximálnom elektrickom príkone (dlhodobom aj krátkodobom) vysoko prekračuje maximálnu povolenú výchylku reproduktora, ktorá je 10.5 mm.

Prípád reproduktora v zatvorenej ozvučnici

Výchylka reproduktora v zatvorenej ozvučnici pri maximálnom elektrickom príkone je daná vzťahom:

$$x_{D,\max} = \sqrt{P_{E,\max}} \cdot \frac{1}{\alpha + 1} \cdot \sigma_{x(IB)} \cdot |X_{CB}(j\omega)|_{\max}$$

Prípád návrhu s optimálnou šírkou pásma

Pre $Q_{TC} = 1/\sqrt{2}$ je $|X_{CB}(j\omega)|_{\max} = 1$ a $\alpha = 7.68$. Pri maximálnom dlhodobom elektrickom príkone $P_{E,\max} = 100$ W bude maximálna hodnota výchylky:

$$x_{D,\max} = \sqrt{100} \cdot \frac{1}{7.68 + 1} \cdot 6.67 \cdot 10^{-3} \doteq 7.7 \text{ mm}$$

a pri $P_{E,\max} = 250$ W (maximálny krátkodobý elektrický príkon) bude maximálna hodnota výchylky:

$$x_{D,\max} = \sqrt{250} \cdot \frac{1}{7.68 + 1} \cdot 6.67 \cdot 10^{-3} \doteq 12.2 \text{ mm}$$

Pri maximálnom krátkodobom elektrickom príkone môže výchylka reproduktora prekročiť povolenú maximálnu hodnotu a môže dôjsť k poškodeniu závesu membrány a cievky.

Prípád návrhu s maximálnou účinnosťou

Pre $Q_{TC} = 1.1$ je $\alpha = 21$ a

$$|X_{CB}(j\omega)|_{\max} = \frac{2Q_{TC}^2}{\sqrt{4Q_{TC}^2 - 1}} = \frac{2 \cdot 1.1^2}{\sqrt{4 \cdot 1.1^2 - 1}} = 1.235$$

Pre $P_{E,\max} = 100$ W bude maximálna hodnota výchylky:

$$x_{D,\max} = \sqrt{100} \cdot \frac{1}{21 + 1} \cdot 6.67 \cdot 10^{-3} \cdot 1.235 \doteq 3.75 \text{ mm}$$

a pre $P_{E,\max} = 250$ W bude maximálna hodnota výchylky:

$$x_{D,\max} = \sqrt{250} \cdot \frac{1}{21 + 1} \cdot 6.67 \cdot 10^{-3} \cdot 1.235 \doteq 5.93 \text{ mm}$$

V tomto prípade maximálna výchylka reproduktora neprekračuje povolenú maximálnu hodnotu. Reprodukter je ozvučnicou dostatočne mechanicky tlmený.

Úloha A6 Maximálnou výchylkou limitovaný elektrický príkon a akustický výkon

Sú to hodnoty príkonu a výkonu, ktoré platia pre pásmo frekvencií, kde reproduktor kmitá s maximálnou výchylkou. V závislosti od celkového činiteľa kvality reproduktora resp. sústavy je to buď jednosmerný príkon/výkon, alebo príkon/výkon v úzkom pásme frekvencií spravidla v okolí rezonančnej frekvencie.

Prípád reproduktora v nekonečnej ozvučnici

Pre reproduktor v nekonečnej ozvučnici určíme maximálnou výchylkou limitovaný elektrický príkon zo vzťahu:

$$P_{ER,\max} = \frac{\pi \cdot \rho_0 \cdot c_0^2}{V_{AS}} \cdot \frac{f_S \cdot Q_{ES} \cdot V_{D,\max}^2}{|X(j\omega)|_{\max}^2}$$

kde

$$V_{D,\max} = S_D \cdot x_{D,\max} = 0.023 \cdot 0.0105 = 2.415 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

je maximálna objemová výchylka reproduktora, vypočítaná ako objem valčeka vzduchu, ktorého základňou je efektívna plocha membrány a výška je maximálna výchylka reproduktora.

Keďže celkový činiteľ kvality reproduktora je $Q_{TS} = 0.24$, z AFCH výchylky vieme, že jej maximálna hodnota je $|X(j\omega)|_{\max} = 1$.

Po dosadení ostatných konštánt a katalógových hodnôt dostaneme pre maximálnu výchylkou limitovaný elektrický príkon reproduktora hodnotu:

$$P_{ER,\max} = \frac{\pi \cdot \rho_0 \cdot c_0^2}{V_{AS}} \cdot \frac{f_S \cdot Q_{ES} \cdot V_{D,\max}^2}{|X(j\omega)|_{\max}^2} = \frac{\pi \cdot 1.187 \cdot 343^2}{0.108} \cdot \frac{20 \cdot 0.26 \cdot (2.415 \cdot 10^{-4})^2}{1^2} \doteq 1.23 \text{ W}$$

Maximálnou výchylkou limitovaný akustický výkon bude:

$$P_{AR,\max} = \frac{4 \cdot \pi^3 \cdot \rho_0}{c_0} \cdot \frac{f_S^4 \cdot V_{D,\max}^2}{|X(j\omega)|_{\max}^2} = \frac{4 \cdot \pi^3 \cdot 1.187}{343.3} \cdot \frac{20^4 \cdot (2.415 \cdot 10^{-4})^2}{1^2} = 0.004 \text{ W}$$

Prípád reproduktora v zatvorenej ozvučnici a návrhu s maximálnou šírkou pásma

Pre reproduktor v zatvorenej ozvučnici a $Q_{TC} = 1/\sqrt{2}$ platí:

$$|X_{CB}(j\omega)|_{\max} = 1$$

$$\alpha = 7.68$$

Vtedy bude:

$$P_{ER(CB),\max} = \frac{\pi \rho_0 c_0^2}{V_{AS}} (\alpha + 1)^2 \frac{f_S Q_{ES} V_{D,\max}^2}{|X_{(CB)}(j\omega)|_{\max}^2} = P_{ER,\max} \cdot (\alpha + 1)^2 = 1.23 \cdot (7.68 + 1)^2 = 92.7 \text{ W}$$

$$P_{AR(CB),\max} = \frac{4 \pi^3 \rho_0}{c_0} \cdot (\alpha + 1)^2 \cdot \frac{f_S^4 V_{D,\max}^2}{|X_{(CB)}(j\omega)|_{\max}^2} = P_{AR,\max} \cdot (\alpha + 1)^2 = 0.004 \cdot (7.68 + 1)^2 = 0.3 \text{ W}$$

Prípád reproduktora v zatvorenej ozvučnici a návrhu s maximálnou účinnosťou

Pre reproduktor v zatvorenej ozvučnici s $Q_{TC} = 1.1$ platí:

$$|X_{CB}(j\omega)|_{\max} = 1.235$$

$$\alpha = 21$$

Vtedy bude:

$$P_{ER(CB),\max} = \frac{P_{ER,\max} \cdot (\alpha + 1)^2}{|X_{(CB)}(j\omega)|_{\max}^2} = \frac{1.23 \cdot (21 + 1)^2}{1.235^2} = 391 \text{ W}$$

$$P_{AR(CB),\max} = \frac{P_{AR,\max} \cdot (\alpha + 1)^2}{|X_{(CB)}(j\omega)|_{\max}^2} = \frac{0.004 \cdot (21 + 1)^2}{1.235^2} = 1.34 \text{ W}$$

V oboch prípadoch maximálnou výchylkou limitovaný elektrický príkon teoreticky dosahuje resp. prekračuje katalógové hodnoty maximálneho elektrického príkonu, čo znamená, že tlmenie ozvučnicou je postačujúce.

Úloha A7 Vplyv vnútorného odporu zdroja elektrického signálu

Vnútorný odpor zdroja (výkonového zosilňovača) ovplyvňuje prvotne elektrický činiteľ kvality reproduktora QES a druhotne všetky tie parametre reproduktora, ktoré závisia od elektrického činiteľa kvality. Platí:

$$Q_E = Q_{ES} \cdot \left(1 + \frac{R_s}{R_{EVC}}\right) = Q_{ES} \cdot \left(1 + \frac{1}{6.1}\right) \doteq 1.164 Q_{ES} = 0.30264$$

Zmení sa celkový činiteľ kvality:

$$Q_T = \frac{Q_E \cdot Q_{MS}}{Q_E + Q_{MS}} = \frac{0.30264 \cdot 3.28}{0.30264 + 3.28} = 0.28$$

V úlohe A1:

$$\alpha = \left(\frac{Q_{TC}}{Q_T}\right)^2 - 1 = \frac{1}{2 \cdot 0.28^2} - 1 \doteq 5.38$$

$$V_{AB} = \frac{V_{AS}}{\alpha} = \frac{108 \text{ lit.}}{5.38} \doteq 20 \text{ lit.} \Rightarrow \text{nárast o 6 lit.}$$

$$f_C = f_{-3dB} = f_s \sqrt{\alpha + 1} = 20 \sqrt{5.38 + 1} \doteq 50 \text{ Hz} \Rightarrow \text{pokles o 9 Hz}$$

V úlohe A2:

$$\alpha = \left(\frac{Q_{TC}}{Q_T}\right)^2 - 1 = \left(\frac{1.1}{0.28}\right)^2 - 1 \doteq 14.43$$

$$V_{AB} = \frac{V_{AS}}{\alpha} = \frac{108 \text{ lit.}}{14.43} \doteq 7.5 \text{ lit.} \Rightarrow \text{nárast o 1.5 lit.}$$

$$f_C = f_s \sqrt{\alpha + 1} = 20 \sqrt{14.43 + 1} \doteq 78.6 \text{ Hz} \Rightarrow \text{pokles o 16 Hz}$$

$$f_{-3dB} = f_C \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{2Q_{TC}^2} - 1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{2Q_{TC}^2} - 1\right)^2 + 1}} = 78.6 \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{2 \cdot 1.1^2} - 1\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{2 \cdot 1.1^2} - 1\right)^2 + 1}}$$

$$\doteq 78.6 \cdot 0.76 = 59.5 \text{ Hz} \Rightarrow \text{pokles o 12 Hz}$$

V úlohe A3

Ak predpokladáme $R_G = 1$:

$$E_G = (R_G + R_{EVC}) \sqrt{\frac{P_E}{R_{EVC}}} = (1 + 6.1) \sqrt{\frac{1}{6.1}} \doteq 2.875 \text{ V}$$

V úlohe A4:

$$\sigma_{p,(CB)_{lm,1W}} = 7,9 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{f_S^3 \cdot V_{AS}}{Q_E}} = 7,9 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{20^3 \cdot 0.108}{0.303}} \doteq 0.4219 \text{ PaW}^{\frac{1}{2}} \text{ m}$$

$$p = \sigma_{p,(CB)_{lm,1W}} \cdot \frac{\sqrt{P_E}}{r} = 0.4219 \cdot \frac{\sqrt{1}}{1} \doteq 0.4219 \text{ Pa}$$

Zodpovedajúca hladina akustického tlaku:

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{p}{p_{ref}} = 20 \log_{10} \frac{0.4219}{2 \cdot 10^{-5}} \doteq 86.48 \text{ dB} \Rightarrow \text{pokles o } 0.67 \text{ dB na } W^{1/2} \text{ el. príkonu}$$

V úlohe A5:

Vnútorý odpor zdroja cez elektrický činiteľ kvality ovplyvňuje najmä výchylkovú citlivosť reproduktora, ktorá pre uvažovaný prípad $R_G = 1 \Omega$ bude:

$$\sigma_{x(IB)} = \frac{10,65 \cdot 10^{-4}}{S_D} \cdot \sqrt{\frac{V_{AS}}{f_S \cdot Q_E}} = \frac{10,65 \cdot 10^{-4}}{0.023} \cdot \sqrt{\frac{0.108}{20 \cdot 0.303}} = 6.18 \text{ mmW}^{-1/2}$$

Prípad reproduktora v nekonečnej ozvučnici

Maximálna výchylka reproduktora v nekonečnej ozvučnici pri maximálnom elektrickom príkone a $R_G = 1 \Omega$ tak môže nadobudnúť hodnotu

$$\text{Pre } P_{E,\max} = 100 \text{ W} \Rightarrow x_{D,\max} = \sqrt{100} \cdot 6.18 \cdot 10^{-3} \doteq 61.8 \text{ mm}$$

$$\text{Pre } P_{E,\max} = 250 \text{ W} \Rightarrow x_{D,\max} = \sqrt{250} \cdot 6.18 \cdot 10^{-3} \doteq 97.7 \text{ mm}$$

Maximálna výchylka reproduktora je menšia, než v prípade $R_G = 0$. Stále však vysoko prekračuje maximálnu povolenú výchylku reproduktora, ktorá je 10.5 mm.

Prípad reproduktora v zatvorenej ozvučnici

Vychádzame zo známeho vzťahu:

$$x_{D,\max} = \sqrt{P_{E,\max}} \cdot \frac{1}{\alpha + 1} \cdot \sigma_{x(IB)} \cdot |X_{CB}(j\omega)|_{\max}$$

v ktorom nenulový vnútorný odpor zdroja ovplyvňuje výchylkovú citlivosť a hodnoty α alebo $|X_{CB}(j\omega)|_{\max}$. V prípade, že chceme zachovať cieľovú hodnotu činiteľa kvality Q_{TC} sa pri zmene R_G mení hodnota konštanty α .

$$\text{Pre } Q_{TC} = 1/\sqrt{2} \quad \text{a} \quad R_G = 1\Omega \Rightarrow |X_{CB}(j\omega)|_{\max} = 1 \quad \text{a} \quad \alpha = 5.38$$

$$\text{Pre } P_{E,\max} = 100 \text{ W} \Rightarrow x_{D,\max} = \sqrt{100} \cdot \frac{1}{5.38+1} \cdot 6.18 \cdot 10^{-3} \doteq 9.7 \text{ mm}$$

$$\text{Pre } P_{E,\max} = 250 \text{ W} \Rightarrow x_{D,\max} = \sqrt{250} \cdot \frac{1}{5.38+1} \cdot 6.18 \cdot 10^{-3} \doteq 15.3 \text{ mm}$$

$$\text{Pre } Q_{TC} = 1.1 \quad \text{a} \quad R_G = 1\Omega \Rightarrow |X_{CB}(j\omega)|_{\max} = 1.235 \quad \text{a} \quad \alpha \doteq 14.5$$

$$\text{Pre } P_{E,\max} = 100 \text{ W} \Rightarrow x_{D,\max} = \sqrt{100} \cdot \frac{1}{14.5+1} \cdot 6.18 \cdot 10^{-3} \cdot 1.235 \doteq 4.92 \text{ mm}$$

$$\text{Pre } P_{E,\max} = 250 \text{ W} \Rightarrow x_{D,\max} = \sqrt{250} \cdot \frac{1}{14.5+1} \cdot 6.18 \cdot 10^{-3} \cdot 1.235 \doteq 7.78 \text{ mm}$$

V tomto prípade sa maximálna výchylka reproduktora zväčšila, než v prípade $R_G=0$. Mechanické tlmenie reproduktora sa zhoršilo zmenou elektrického parametra!!!

V úlohe A6:

$$P_{ER(IB),\max} = \frac{\pi \cdot \rho_0 \cdot c_0^2}{V_{AS}} \cdot \frac{f_s \cdot Q_E \cdot V_{D,\max}^2}{|X(j\omega)|_{\max}^2} = \frac{\pi \cdot \rho_0 \cdot c_0^2}{V_{AS}} \cdot \frac{f_s \cdot Q_{ES} \cdot V_{D,\max}^2}{|X(j\omega)|_{\max}^2} \cdot \left(1 + \frac{R_G}{R_{EVC}}\right) =$$

$$= 1.23 \cdot \left(1 + \frac{1}{6.1}\right) = 1.44 \text{ W}$$

$$\text{Pre } Q_{TC} = 1/\sqrt{2} \Rightarrow |X_{CB}(j\omega)|_{\max} = 1 \quad \text{a} \quad \alpha = 5.38$$

$$P_{ER(CB),\max} = P_{ER(IB),\max} \cdot (\alpha + 1)^2 = 1.44 \cdot (5.38 + 1)^2 = 58.4 \text{ W}$$

$$\text{Pre } Q_{TC} = 1.1 \Rightarrow |X_{CB}(j\omega)|_{\max} = 1.235 \quad \text{a} \quad \alpha = 14$$

$$P_{ER(CB),\max} = \frac{P_{ER(IB),\max} \cdot (\alpha + 1)^2}{|X_{(CB)}(j\omega)|_{\max}^2} = \frac{1.44 \cdot (14 + 1)^2}{1.235^2} \doteq 212 \text{ W}$$

ÚLOHA B

Skript sústavy pre požiadavku optimálnej šírky pásma

```

Def_BassUnit 'BUI'
SD=230cm2 |Piston
fs=20Hz Vas=108L Qms=3.28
Qes=0.26 Re=6.1ohm
Xms=2.1cm Vb=14L
|Performance in sealed enclosure:
| fc          Qtc          fD          f3
| 59.0Hz      0.711          638.6Hz     58.7Hz
| Lwmax       Pelmax         UoRms       t60          Ripple
| 109.9dB     374.9W         47.82V      27.93ms     0.6mdB

System 'SI'
BassUnit 'Bu1' Def='BUI' Node=1=0
x=0 y=0 z=0 HAngle=0 VAngle=0
NoDir

```

Skript sústavy pre požiadavku maximálnej účinnosti

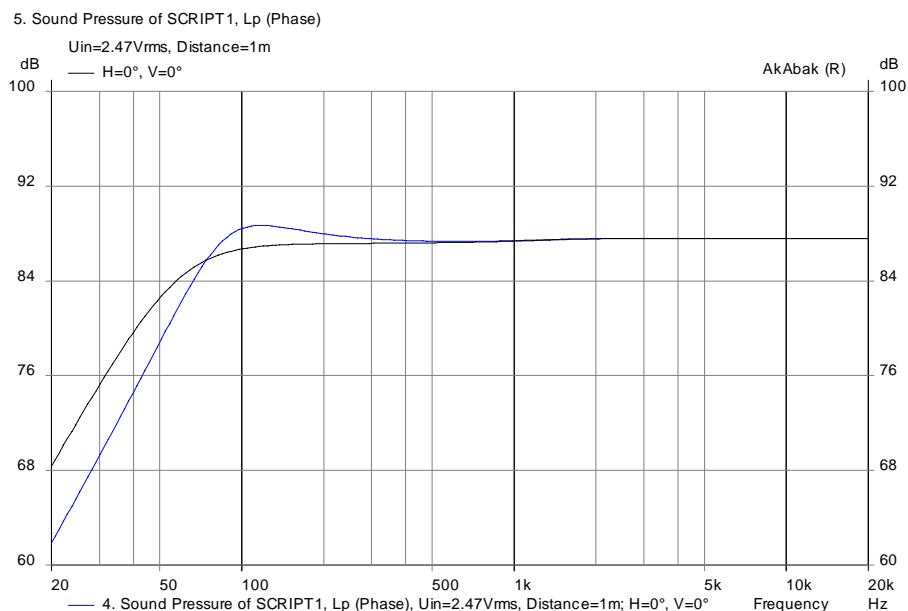
```
Def_BassUnit 'BU2'  
SD=230cm2 /Piston  
fs=20Hz Vas=108L Qms=3.28  
Qes=0.26 Re=6.1ohm ExpoLe=0.618  
Xms=2.1cm  
Vb=6L  
/Performance in sealed enclosure:  
/ fc Qtc fD f3  
/ 87.2Hz 1.05 638.6Hz 67.1Hz  
/ Lwmax Pelmax UoRms t60 Ripple  
/ 115.2dB 1.2kW 87.32V 35.43ms 1.5dB  
  
System 'S2'  
BassUnit 'Bu2' Def='BU2' Node=1=0  
x=0 y=0 z=0 HAngle=0 VAngle=0
```

Akustický tlak v osi sústavy

Akustický tlak v osi sústavy na obrázku zodpovedá očakávanému (hornopriepustný filter 2. rádu). Je to teoretický prípad, ktorý dostaneme iba vďaka zjednodušujúcim podmienkam:

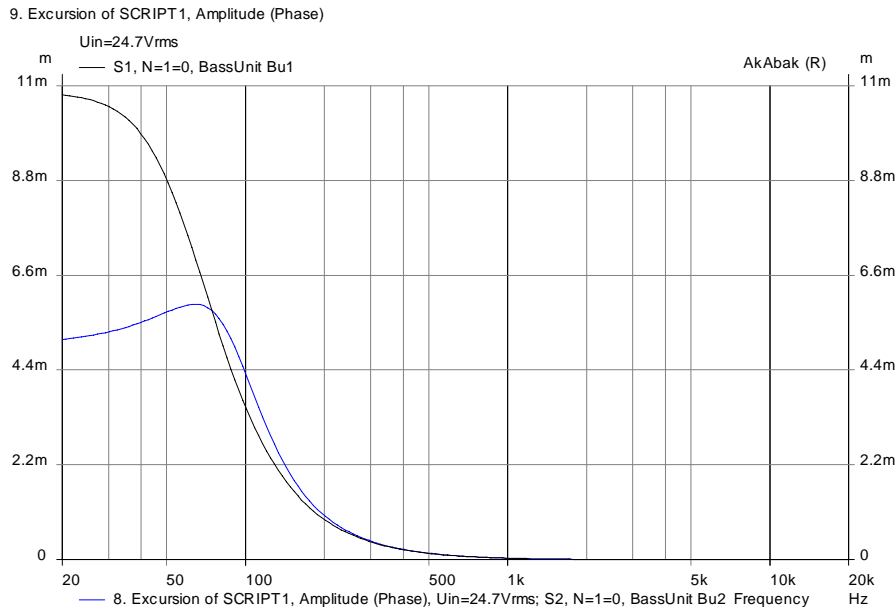
- o membrána je simulovaná ako ideálny piest ($SD=230\text{cm}^2$ /Piston)
- o odpor cievky je frekvenčne nezávislý ($ExpoRe=0$)
- o je zanedbaný vplyv reaktancie cievky ($Le=0$)
- o je zanedbaný vplyv smerovosti vysielania piestom (kľúčové slovo *NoDir*)
- o sústava je umiestnená v počiatku súradnicovej sústavy ($x=0$ $y=0$ $z=0$ $H\text{Angle}=0$ $V\text{Angle}=0$) a neuvažujeme s vplyvom difrakcií v okolí ozvučnice ani odrazov od najbližších stien (chýbajú kľúčové slovo *dEdge=...* a *Reflection*)

Na obrázku je akustický tlak pre oba prípady – návrh s optimálnou šírkou pásma (čierna) a maximálnou účinnosťou (modrá). Vstupné napätie bolo nastavené tak, aby zodpovedalo príkonu 1 W a uvažovaná vzdialenosť od reproduktora je 1 m – hladina akustického tlaku v pásme prepúšťania filtra zodpovedá tlakovej citlivosti reproduktora (cca 89 dB).



Výchylka (kmitajúceho systému) reproduktora

Na obrázku je priebeh výchylky membrány a cievky reproduktora v zatvorenej ozvučnici pre prípad optimálnej šírky pásma (čierna) a maximálnej účinnosti (modrá). Výpočet v AkAbaku bol realizovaný za predpokladu, že na vstupe sústavy je príkon 100 W (24,7 V). Z priebehov sa dá odčítať očakávaná maximálna hodnota výchylky pri maximálnom príkone, ako aj frekvencia(e), pri ktorej k tomu môže dôjsť?

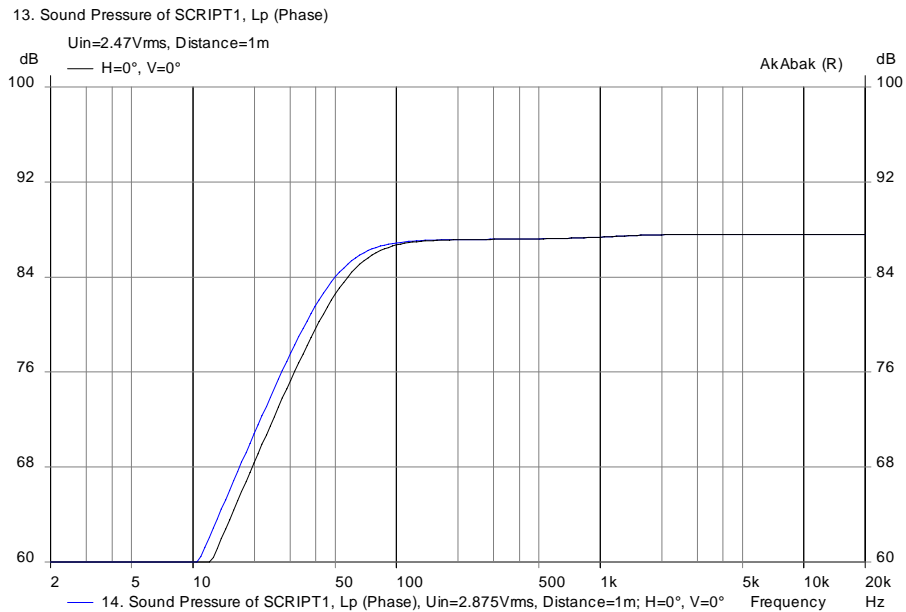


Akustický tlak v osi sústavy pre nenulový odpor $R_G (=1\Omega)$

Vplyv nenulového odporu zdroja elektrického signálu na „tlakovú“ prenosovú funkciu sústavy so zatvorenou ozvučnicou je ilustrovaný na príklade návrhu s optimálnou šírkou pásma. Vychádzame z toho, že odpor R_G zmení elektrický činiteľ kvality (Q_{ES}) a tým aj celkový činiteľ kvality reproduktora (Q_{TS}). Ak chceme zachovať cieľovú požiadavku – optimálnu šírku pásma ($Q_{TC}=1/\sqrt{2}$), musíme oproti pôvodnému návrhu zmeniť objem skrinky (viď príslušný výpočet). Táto zmena je v označená červeným v nasledujúcom fragmente skriptu.

```
Def_BassUnit 'BU1'
SD=230cm2 |Piston
fs=20Hz Vas=108L Qms=3.28
Qes=0.26 Re=6.1ohm
Rg=1ohm Xms=2.1cm
Vb=19.5L
|Performance in sealed enclosure:
| fc          Qtc    fD          f3
| 51.1Hz      0.708  638.6Hz    51.0Hz
| Lwmax      Pelmax UoRms t60      Ripple
| 107.5dB    211.1W 38.71V 32.01ms    61.9udB
```

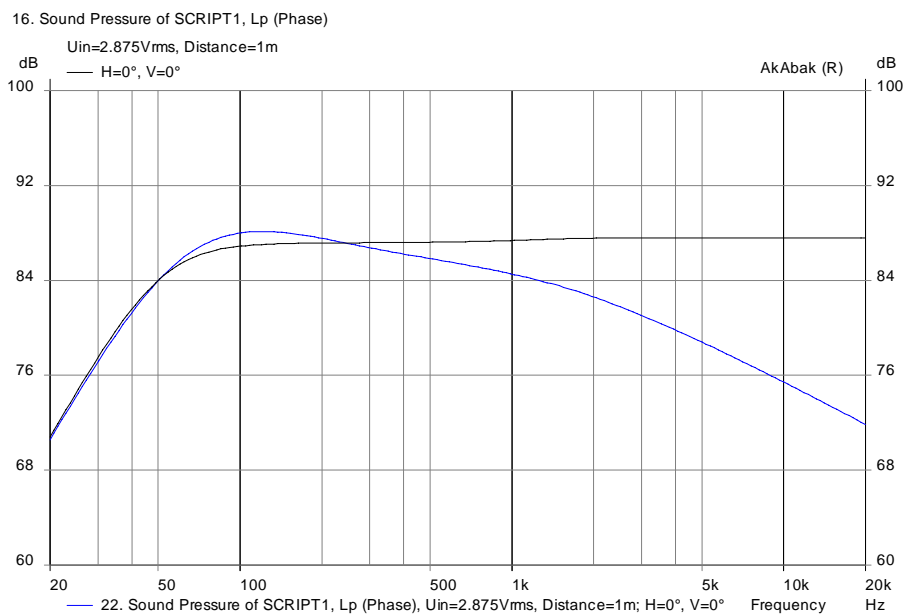
Na obrázku môžeme porovnať hladiny akustického tlaku pre oba prípady (čierna: $R_G=0$, modrá: $R_G=1\Omega$). Z obrázku je zrejmé, že s nenulovým odporom zdroja došlo k miernemu rozšíreniu šírky pásma sústavy. Citlivosť sa nezmenila, ale na dosiahnutie 1 W príkonu je potrebné vyššie vstupné napätie (pozri výpočet a obrázok).



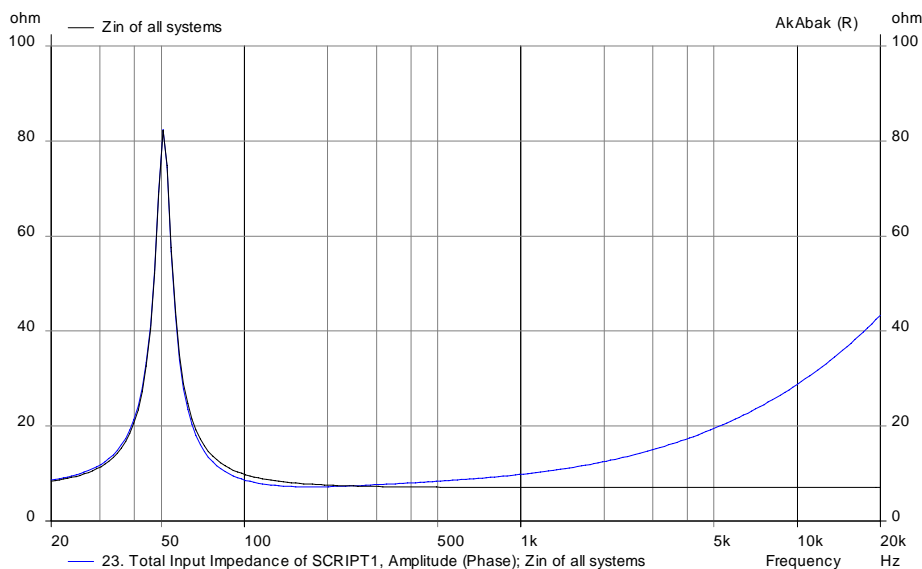
ÚLOHA C

Vplyv reaktancie cievky:

Def_BassUnit 'BU1a'
 SD=230cm² |Piston
 fs=20Hz Vas=108L Qms=3.28
 Qes=0.26 Re=6.1ohm **Le=3.47mH**
 Rg=1ohm Xms=2.1cm
 Vb=19.5L
 /Performance in sealed enclosure:
 | fc Qtc fD f3
 | 51.1Hz 0.708 638.6Hz 51.0Hz
 | Lwmax Pelmax UoRms t60 Ripple
 | 107.5dB 211.1W 38.71V 32.01ms 61.9udB



18. Total Input Impedance of SCRIPT1, Amplitude (Phase)



Vplyv reaktancie cievky je ilustrovaný na príkladoch priebehu hladiny akustického tlaku vstupnej elektrickej impedancie. Na nasledujúcich obrázkoch sú priebehy s uvažovaním cievky zobrazené modrou farbou. Reaktancia cievky spôsobí najprv mierny pokles celkovej impedancie, čo sa na priebehu hladiny akustického tlaku prejaví jej miernym nárastom. Potom celková impedancia prudko rastie, čo sa prejaví poklesom hladiny akustického tlaku.

V skripte je vplyv reaktancie cievky zavedený kľúčovým slovo $Le=...$ v časti *Def_BassUnit* (zvýraznené červenou farbou).

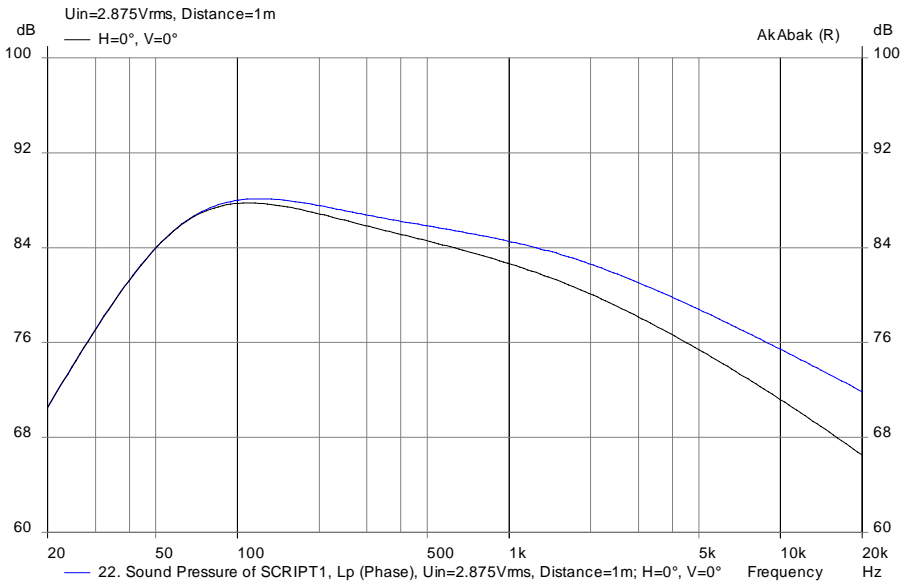
Vplyv frekvenčnej závislosti odporu a reaktancie cievky

$$Re(f) = Re \cdot (1 + f/fre)^{ExpoRe}$$

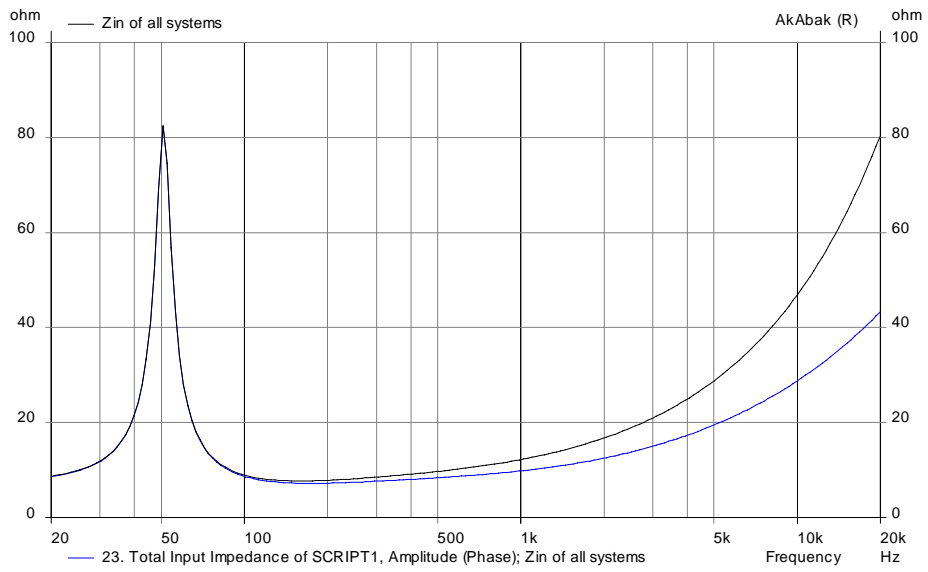
Typically $fre=2kHz \dots 20kHz$ and $ExpoRe = 1$.

```
Def_BassUnit 'BU1a'
SD=230cm2 |Piston
fs=20Hz Vas=108L Qms=3.28
Qes=0.26 Re=6.1ohm fre=2.0kHz ExpoRe=1 Le=3.47mH ExpoLe=0.618
Rg=1ohm Xms=2.1cm
Vb=19.5L
|Performance in sealed enclosure:
| fc Qtc fD f3
| 51.1Hz 0.708 638.6Hz 51.0Hz
| Lwmax Pelmax UoRms t60 Ripple
| 107.5dB 211.1W 38.71V 32.01ms 61.9udB
```

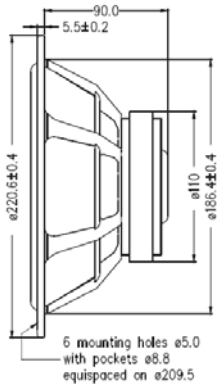
24. Sound Pressure of SCRIPT1, Lp (Phase)



25. Total Input Impedance of SCRIPT1, Amplitude (Phase)



Vplyv modelu reálnej membrány



Def_BassUnit 'BU1a'

$SD=230\text{cm}^2$ $dD1=8\text{cm}$ $tD1=5\text{cm}$ |Cone

$fp=300.0\text{Hz}$

$fs=20\text{Hz}$ $Vas=108\text{L}$ $Qms=3.28$

$Qes=0.26$ $Re=6.1\text{ohm}$ $fre=2.0\text{kHz}$ $ExpoRe=1$ $Le=3.47\text{mH}$ $ExpoLe=0.618$

$Rg=1\text{ohm}$ $Xms=2.1\text{cm}$

$Vb=19.5\text{L}$

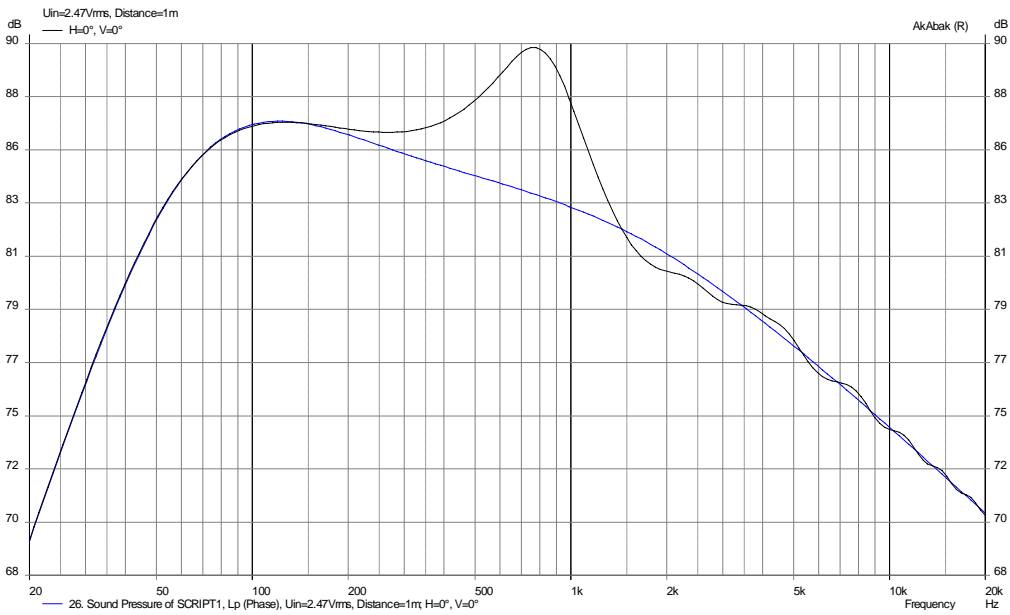
|Performance in sealed enclosure:

| f_c Q_{tc} f_D f_3
| 51.1Hz 0.708 638.6Hz 51.0Hz

| L_{wmax} P_{elmax} U_{oRms} t_{60} $Ripple$

| 107.5dB 211.1W 38.71V 32.01ms 61.9udB

31. Sound Pressure of SCRIPT1, Lp (Phase)



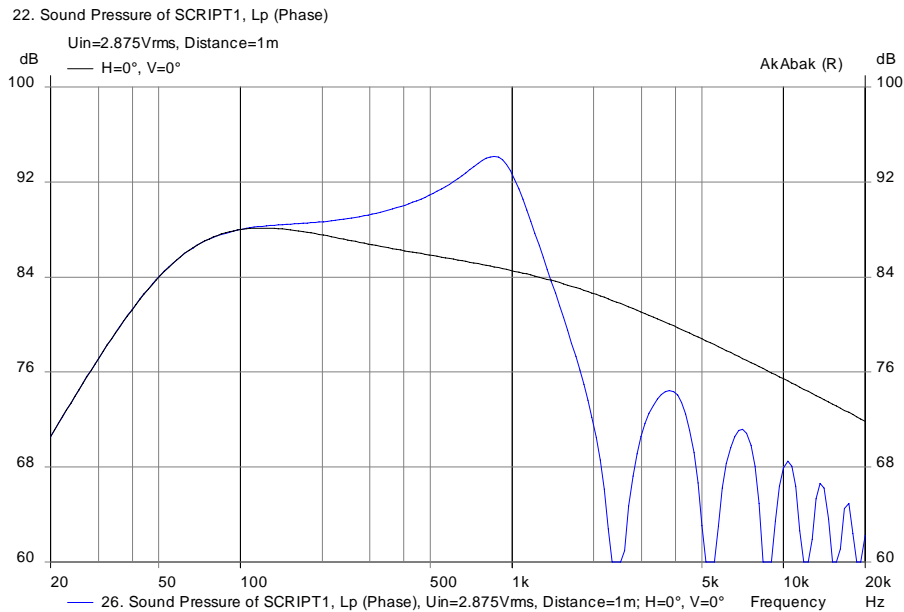
Vplyv smerovosti

System 'S1'

BassUnit 'Bu1' Def='BU1' Node=1=0

$x=0$ $y=0$ $z=0$ $H\text{Angle}=0$ $V\text{Angle}=0$

/NoDir

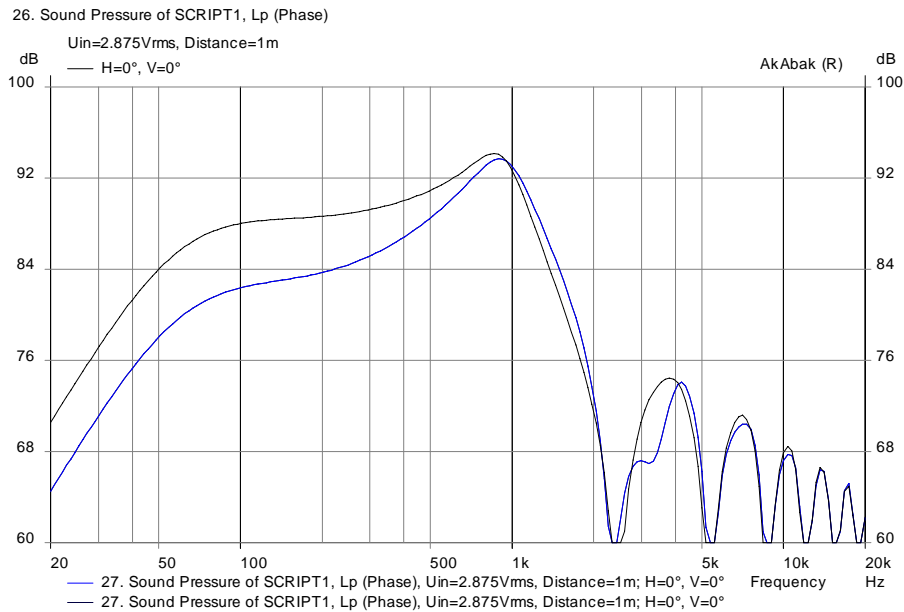


Vplyv difrakcií

Vplyv difrakcií je zavedený kľúčovým slovom $dEdge=20cm$ v hlavnej časti skriptu. Znamená to, že pri výpočte akustického tlaku bude uvažované s vplyvom ohybu generovaného zvukového vlnenia okolo čela ozvučnice, ktoré je uvažované v tvare štvorca s dĺžkou strany $dEdge$.

```
Def_BassUnit 'BU1'
dD=17.11cm dD1=8cm tD1=5cm |Cone
fs=20Hz Vas=108L Qms=3.28
Qes=0.26 Re=6.1ohm Le=3.47mH ExpoLe=0.618
Rg=1ohm Xms=2.1cm
Vb=20L
|Performance in sealed enclosure:
| fc      Qtc    fD      f3
| 50.6Hz  0.701  638.6Hz 51.0Hz
| Lwmax   Pelmax  UoRms  t60    Ripple
| 107.3dB 202.2W 37.89V 31.69ms 0
```

```
System 'SI'
BassUnit 'Bu1' Def='BU1' Node=1=0
x=0 y=0 z=0 HAngle=0 VAngle=0
dEdge=20cm
```

Vplyv odrazov od minimálne jednej steny

Vplyv odrazov od okolitých stien je zavedený definíciou *Def_Reflector* a kľúčovým slovom *Reflection* v hlavnej časti skriptu. Nasledujúcim skriptom je ilustrovaná situácia, keď sa akustické vlnenie odráža od zadnej steny, vzdialenej od ústia reproduktora o 1 m (*Wall=1.0m*), os vysielania je kolmo na stenu (*HAngle=0 VAngle=0*) a stena má takmer dokonale odrazivý povrch (*AbsorbCoeff=0,01*). Interferencia odrazeného vlnenia s priamou vlnou spôsobí zvlnenie hladiny akustického tlaku pred vysielacou sústavou, čo je zrejmé z obrázku.

```

Def_BassUnit 'BU1'
SD=230cm2 dD1=8cm tD1=5cm |Cone
fp=300.0Hz
fs=20Hz Vas=108L Qms=3.28
Qes=0.26 Re=6.1ohm fre=2.0kHz ExpoRe=1 Le=3.47mH ExpoLe=0.618
Rg=1ohm Xms=2.1cm
Vb=19.5L
|Performance in sealed enclosure:
| fc Qtc fD f3
| 51.1Hz 0.708 638.6Hz 51.0Hz
| Lwmax Pelmax UoRms t60 Ripple
| 107.5dB 211.1W 38.71V 32.01ms 61.9udB
  
```

```

Def_Reflector Wall=1.0m
HAngle=0 VAngle=0
AbsorbCoeff=0.01
  
```

```

System 'S1'
BassUnit 'Bu1' Def='BU1' Node=1=0
x=0 y=0 z=0 HAngle=0 VAngle=0
dEdge=20cm Reflection
  
```

27. Sound Pressure of SCRIPT1, Lp (Phase)

