



Elektroakustika

L08: Ozvučnice reproduktorov

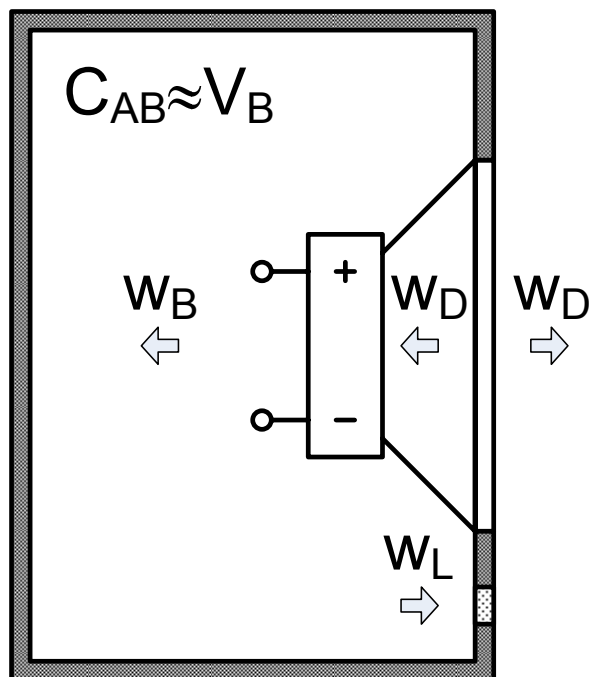
doc. Ing. Jozef Juhár, PhD.

<http://voice.kemt.fei.tuke.sk>

Úloha ozvučnice

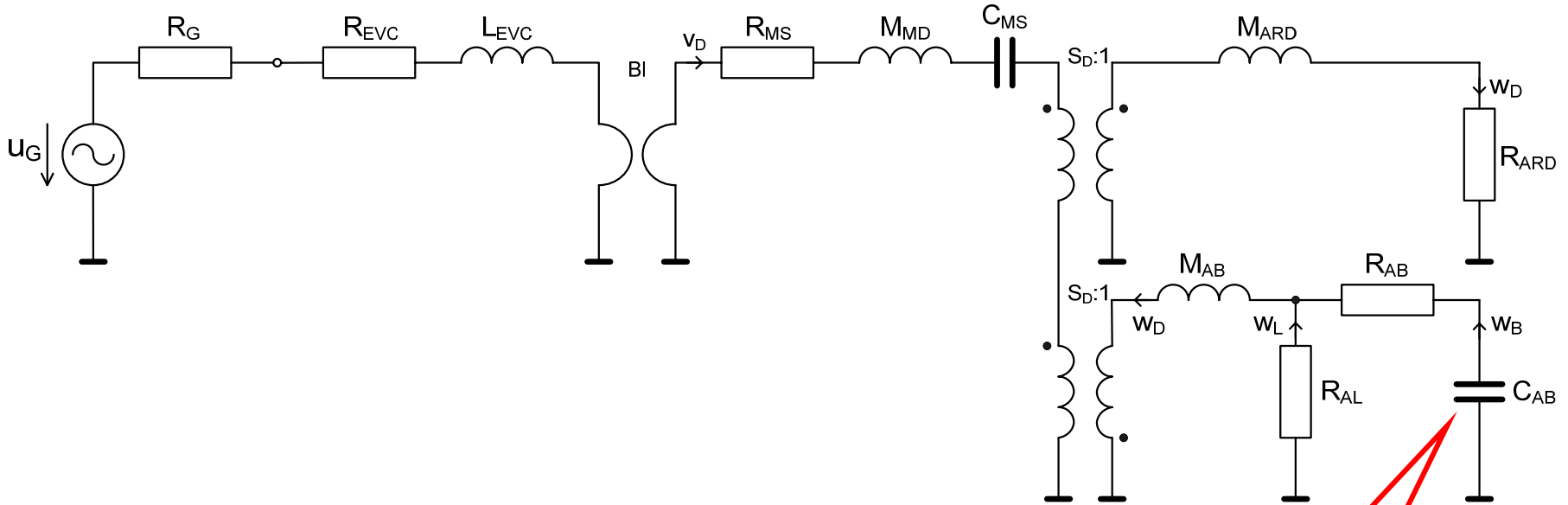
- Akustický skrat u „otvoreného“ priamovysielaajúceho reproduktora.
- Úloha ozvučnice:
 - posunutie akustického skratu smerom k nižším frekvenciám (mimo „užitočné“ frekvenčné pásmo)
 - úplné odstránenie akustického skratu
 - „spracovanie“ akustického skratu na prospech prenosovej funkcie reproduktora
- Typy ozvučníc
 - jednoduché ozvučnice (dosková, otvorená skriňová)
 - zatvorená ozvučnica
 - otvorená ozvučnica (basreflexová, typu „transmission line“)
 - špeciálne viackomorové ozvučnice a ozvučnice so zvukovodmi

Reproduktor v zatvorenej ozvučnici



- zatvorená ozvučnica je veľmi dobrou realizáciou nekonečnej ozvučnice – oddelenie akustických priestorov pred a za membránou
- objem ozvučnice predstavuje akustickú poddajnosť – akustický prvok, s vplyvom ktorého musíme pri realizácii ozvučnice počítať
- návrh ozvučnice = návrh skrinky konkrétneho objemu !!!

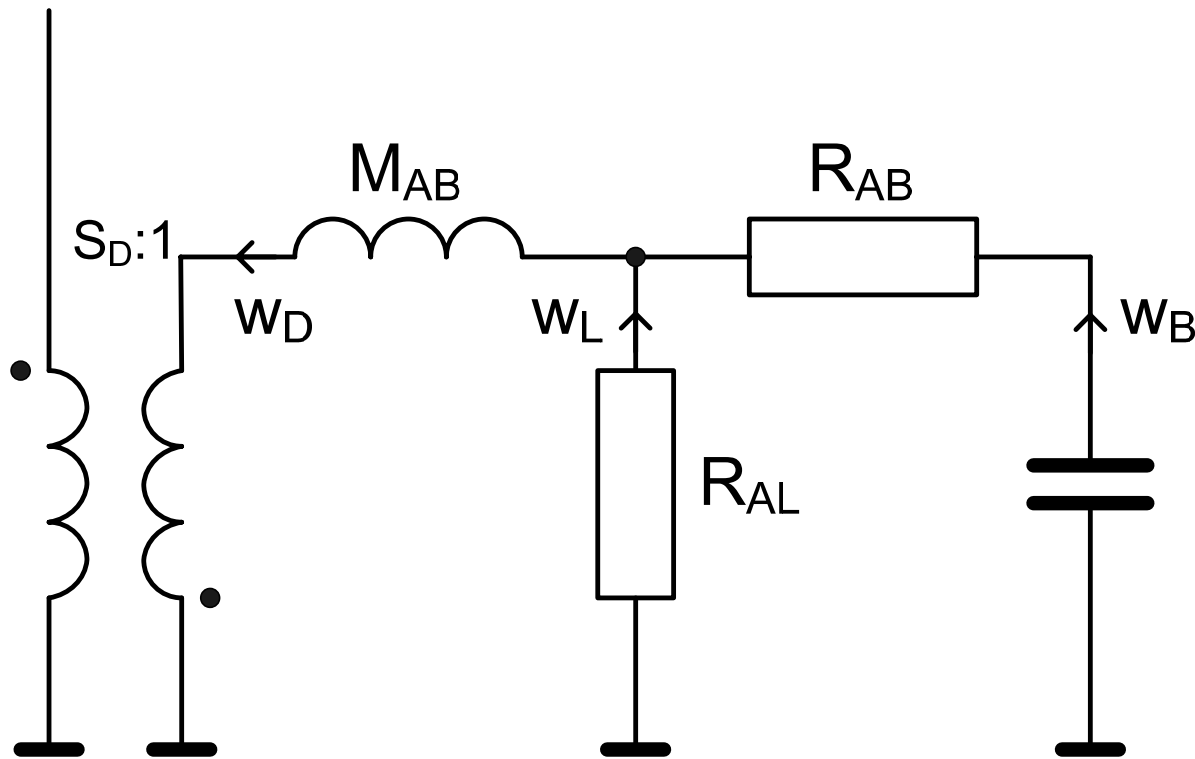
Elektro-mechanicko-akustická náhradná schéma sústavy



- hlavným prvkom na zadnej strane membrány reproduktora v zatvorenej ozvučnici je akustická poddajnosť C_{AB} , ktorá v náhradnej schéme reprezentuje „dutinu“ skrinky objemu V_{AB}

$$C_{AB} = \frac{V_{AB}}{c_0^2 \cdot \rho_0}$$

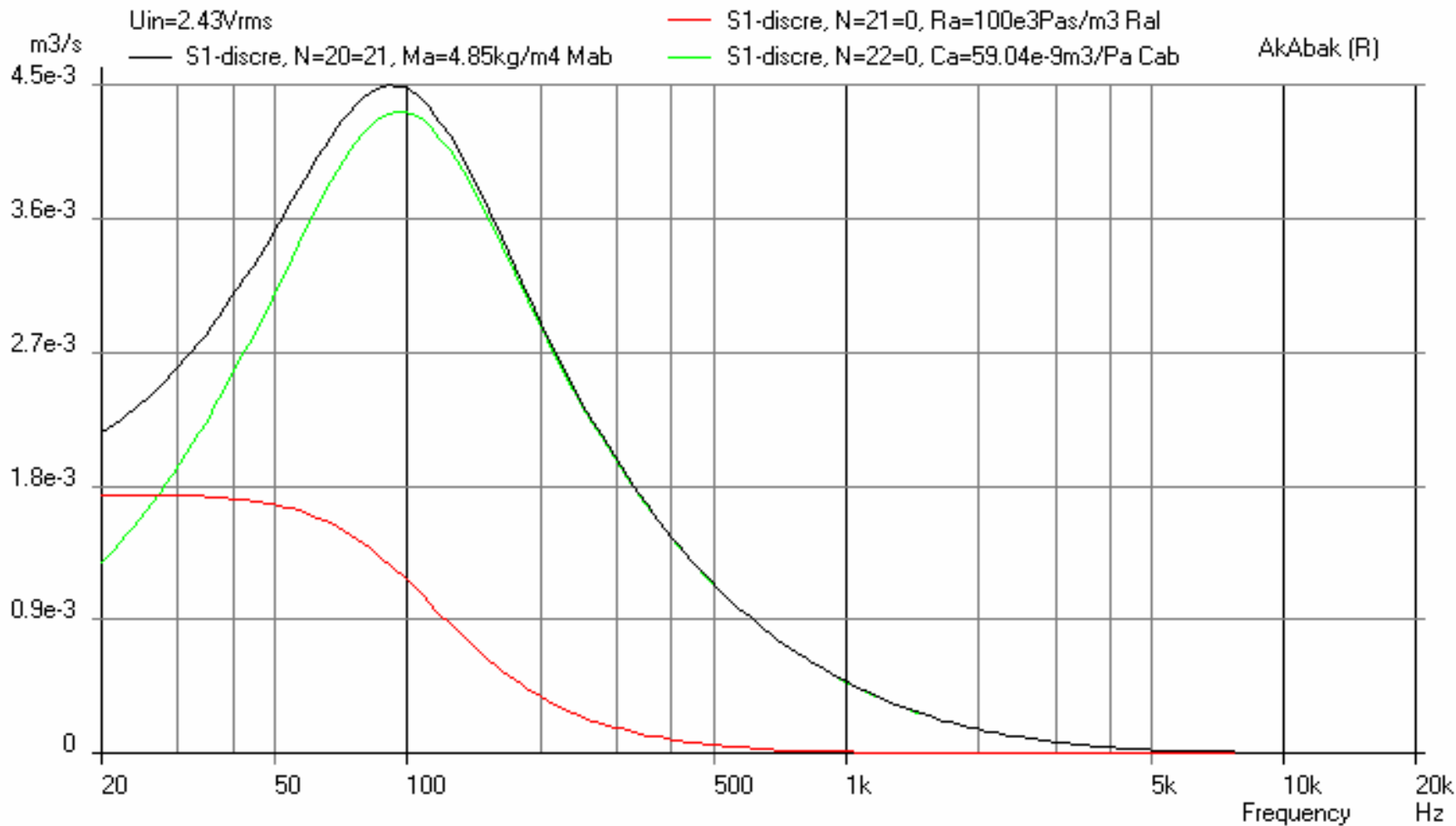
Náhradná schéma ozvučnice - detail



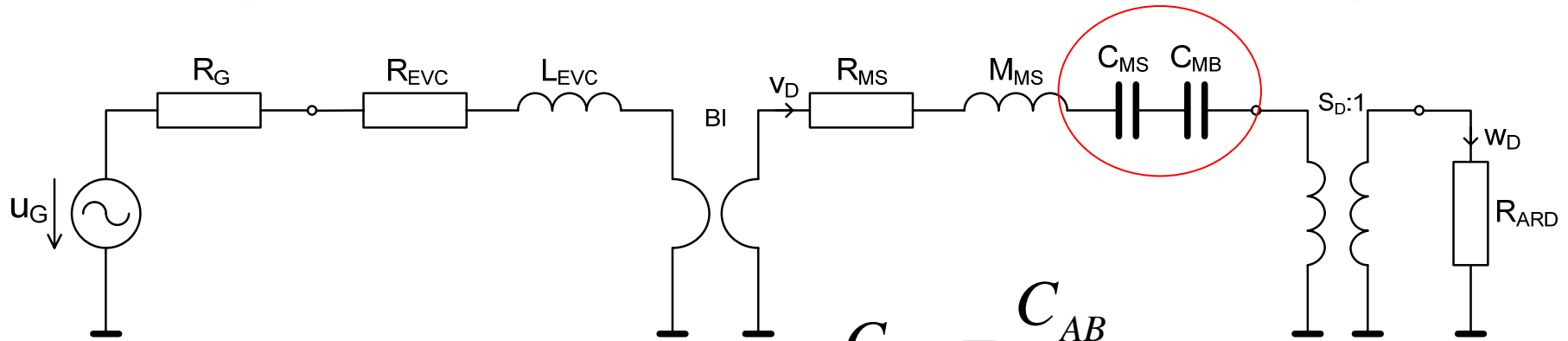
- M_{AB} – akustická hmotnosť, ktorú si môžeme predstaviť ako „vysielaciu“ hmotnosť zadnej strany membrány (smerom do skrinky)
- R_{AB} – akustický odpor, reprezentujúci straty v objeme ozvučnice
- R_{AL} – akustický odpor, reprezentujúci „únikové“ straty (netesnosti skrinky)

Objemové rychlosti v ozvučnici

13. Vol-Velocity of L08-09CB, Amplitude (Phase)



Zjednodušená náhradná schéma sústavy



$$M_{ARD} \doteq M_{AB}$$

$$R_{AL} \rightarrow \infty$$

$$R_{AB} = 0$$

$$C_{MB} = \frac{C_{AB}}{S_D^2}$$

$$\frac{1}{C_{MC}} = \frac{1}{C_{MS}} + \frac{1}{C_{MB}}$$

- akustická poddajnosť, reprezentujúca objem zatvorenej ozvučnice, sa zobrazí na mechanickej strane ako mechanická poddajnosť, ktorá je zapojená do série so „systémovou“ poddajnosťou reproduktora
- reproduktor s ozvučnicou tvoria systémový „neoddeliteľný“ celok, ktorý sa v podstate správa ako reproduktor v nekonečnej ozvučnici so „zmenenou“ systémovou poddajnosťou – „tuhším“ kmitacím systémom

Rezonančná frekvencia (CB)

zatvorená ozvučnica

nekonečná ozvučnica

$$f_C = \frac{1}{2\pi\sqrt{M_{MS} \cdot C_{MC}}}$$

$$f_S = \frac{1}{2\pi\sqrt{M_{MS} \cdot C_{MS}}}$$

$$\frac{f_C}{f_S} = \sqrt{\frac{C_{MS}}{C_{MC}}} = \sqrt{1 + \frac{C_{MS}}{C_{MB}}}$$

- zatvorenou ozvučnicou bude ovplyvnená rezonančná frekvencia sústavy

Mechanický činiteľ kvality (CB)

zatvorená ozvučnica

$$Q_{MC} = \frac{1}{R_{MS}} \sqrt{\frac{M_{MS}}{C_{MC}}}$$

nekonečná ozvučnica

$$Q_{MS} = \frac{1}{R_{MS}} \sqrt{\frac{M_{MS}}{C_{MS}}}$$

$$\frac{Q_{MC}}{Q_{MS}} = \sqrt{\frac{C_{MS}}{C_{MC}}} = \sqrt{1 + \frac{C_{MS}}{C_{MB}}}$$

- zatvorenou ozvučnicou bude ovplyvnený mechanický činiteľ kvality sústavy

Elektrický činitel' kvality (CB)

zatvorená ozvučnica

$$Q_{EC} = \frac{R_{EVC}}{(Bl)^2} \sqrt{\frac{M_{MS}}{C_{MC}}}$$

nekonečná ozvučnica

$$Q_{ES} = \frac{R_{EVC}}{(Bl)^2} \sqrt{\frac{M_{MS}}{C_{MS}}}$$

$$\frac{Q_{EC}}{Q_{ES}} = \sqrt{\frac{C_{MS}}{C_{MC}}} = \sqrt{1 + \frac{C_{MS}}{C_{MB}}}$$

- zatvorenou ozvučnicou bude ovplyvnený elektrický činitel' kvality sústavy

Celkový činitel' kvality (CB)

zatvorená ozvučnica

$$\frac{1}{Q_{TC}} = \frac{1}{Q_{MC}} + \frac{1}{Q_{EC}}$$

nekonečná ozvučnica

$$\frac{1}{Q_{TS}} = \frac{1}{Q_{MS}} + \frac{1}{Q_{ES}}$$

$$\frac{Q_{TC}}{Q_{TS}} = \sqrt{\frac{C_{MS}}{C_{MC}}} = \sqrt{1 + \frac{C_{MS}}{C_{MB}}}$$

- zatvorenou ozvučnicou bude ovplyvnený celkový činitel' kvality sústavy

Konštanta α

$$\frac{f_C}{f_S} = \frac{Q_{EC}}{Q_{ES}} = \frac{Q_{MC}}{Q_{MS}} = \frac{Q_{TC}}{Q_{TS}} = \sqrt{1 + \frac{C_{MS}}{C_{MB}}}$$

$$C_{MS} = \frac{V_{AS}}{c_0^2 \rho_0 S_D^2}$$

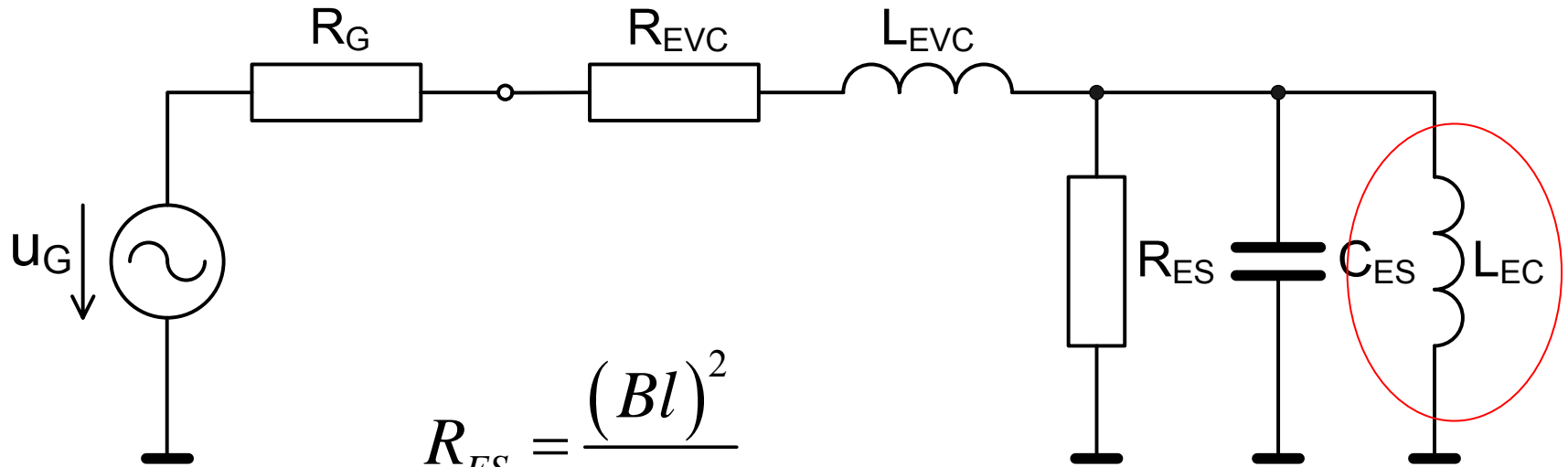
$$C_{MB} = \frac{V_{AB}}{c_0^2 \rho_0 S_D^2}$$

$$\frac{C_{MS}}{C_{MB}} = \alpha = \frac{V_{AS}}{V_{AB}}$$

$$\frac{f_C}{f_S} = \frac{Q_{EC}}{Q_{ES}} = \frac{Q_{MC}}{Q_{MS}} = \frac{Q_{TC}}{Q_{TS}} = \sqrt{1 + \alpha}$$

- pomer ekvivalentného objemu ku objemu ozvučnice – slúži na rýchly odhad potrebného objemu ozvučnice, resp. rýchly odhad vlastností sústavy pri zvolenom objeme ozvučnice

Elektrická náhradná schéma sústavy (CB)



$$R_{ES} = \frac{(Bl)^2}{R_{MS}}$$

$$C_{ES} = \frac{M_{MS}}{(Bl)^2}$$

$$L_{EC} = (Bl)^2 C_{MC}$$

Elektrická impedancia (CB)

- ...

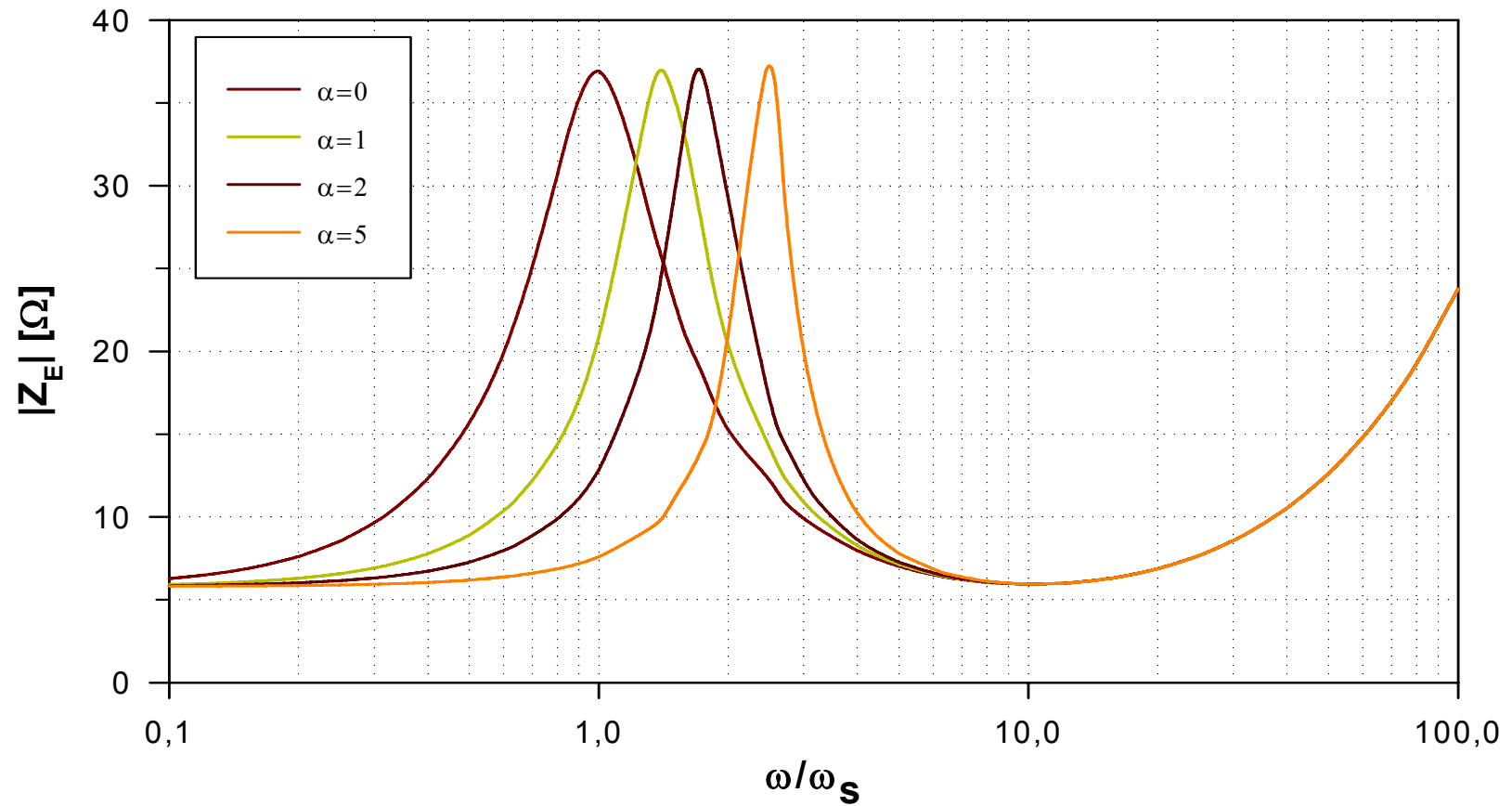
Nekonečná ozvučnica:

$$Z_{E(IB)} = R_{EVC} + s L_{EVC} + \frac{(Bl)^2}{R_{MS}} \cdot \frac{s_N / Q_{MS}}{s_N^2 + s_N / Q_{MS} + 1}$$

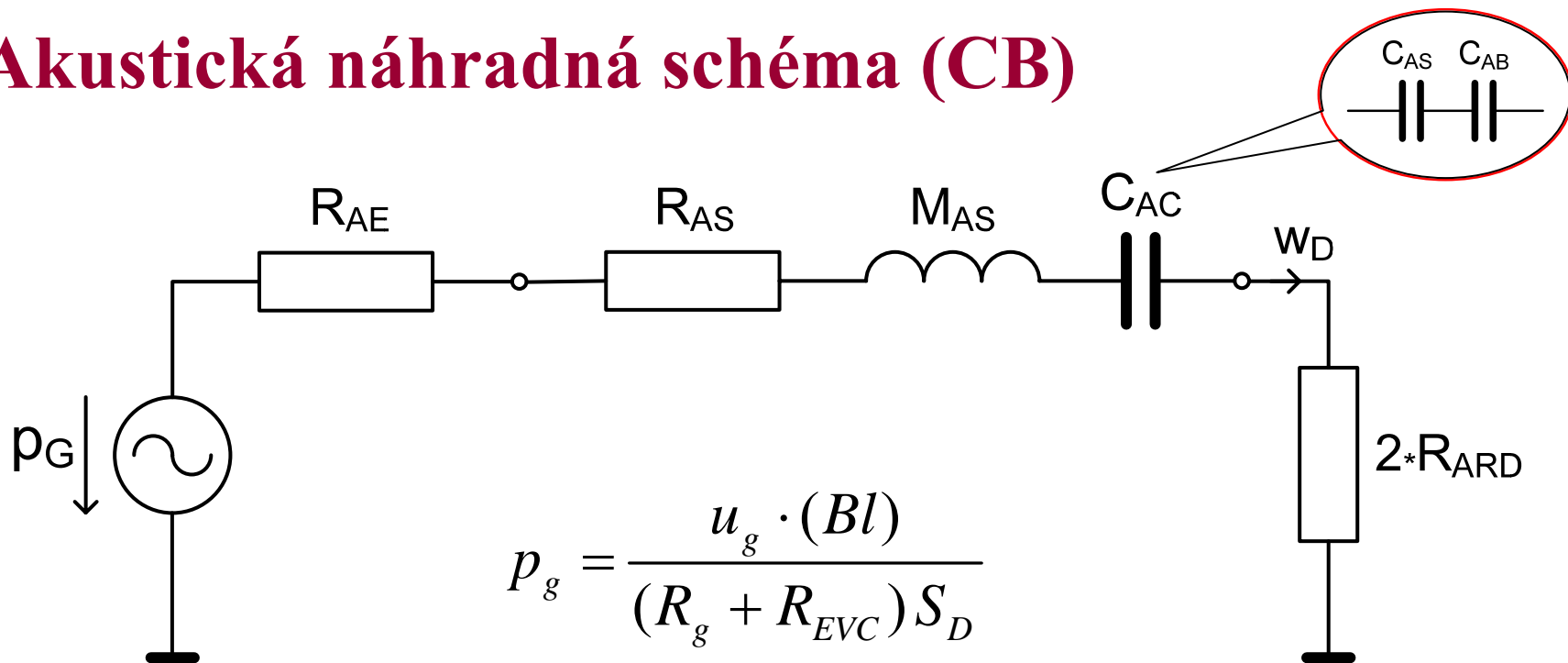
Zatvorená ozvučnica:

$$Z_{E(CB)} = R_{EVC} + s \cdot L_{EVC} + \frac{(Bl)^2}{R_{MS}} \cdot \frac{s_N / Q_{MS}}{s_N^2 + s_N / Q_{MS} + (\alpha + 1)}$$

Elektrická impedancia (CB)



Akustická náhradná schéma (CB)



$$p_g = \frac{u_g \cdot (Bl)}{(R_g + R_{EVC}) S_D}$$

$$R_{AE} = \frac{(Bl)^2}{(R_g + R_{EVC}) S_D^2}$$

- vynechávame indukčnosť a vysielač odpór – zaujíma nás frekvenčné pásmo, v ktorom je ich vplyv zanedbateľný
- transformujeme všetky prvky do akustickej oblasti
- na výslednú schému aplikujeme Théveninovu poučku ("prúdový" zdroj sa zmení na "napätový")

Akustický tlak v akustickom poli sústavy (CB)

$$p(s) = \frac{\rho_0}{2\pi r} s w_D(s) = p_m \cdot G(s)$$

$$p_m = \frac{\rho_0}{2\pi r} \cdot \frac{U_g \cdot (Bl) \cdot S_D}{(R_g + R_{EVC}) M_{MS}} \quad - \quad \text{amplitúda akustického tlaku}$$

$$G_{CB}(s) = \frac{s^2 M_{AS} C_{AC}}{s^2 M_{AS} C_{AC} + s C_{AC} R_{AT} + 1} \quad - \quad \text{prenosová funkcia sústavy}$$

Akustický tlak a menovitá tlaková citlivosť (CB)

$$p_{m,CB} = \frac{\sqrt{P_E}}{r} \cdot \sigma_{p(CB)|1m,1W}$$

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

$$\sigma_{p,(CB)|1m,1W} = \sigma_{p,(IB)|1m,1W}$$

- menovitá tlaková citlivosť reproduktora v zatvorenej ozvučnici je rovnaká, ako citlivosť reproduktora v nekonečnej ozvučnici !!!
- amplitúda akustického tlaku v akustickom poli sústavy CB bude teoreticky rovnaká, ako amplitúda akustického tlaku, generovaná reproduktorom v nekonečnej ozvučnici

Prenosová funkcia sústavy (CB)

Reproduktor v zatvorenej ozvučnici:

$$G_{CB}(s) = \frac{s_C^2}{s_C^2 + s_C/Q_{TC} + 1}$$

$$s_C = \frac{s}{\omega_C} \quad - \quad \text{normovaný operátor}$$

Hornopriepustný filter:

$$G(s) = \frac{b_2 s^2}{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}$$

$$b_2 = 1$$

$$a_2 = 1$$

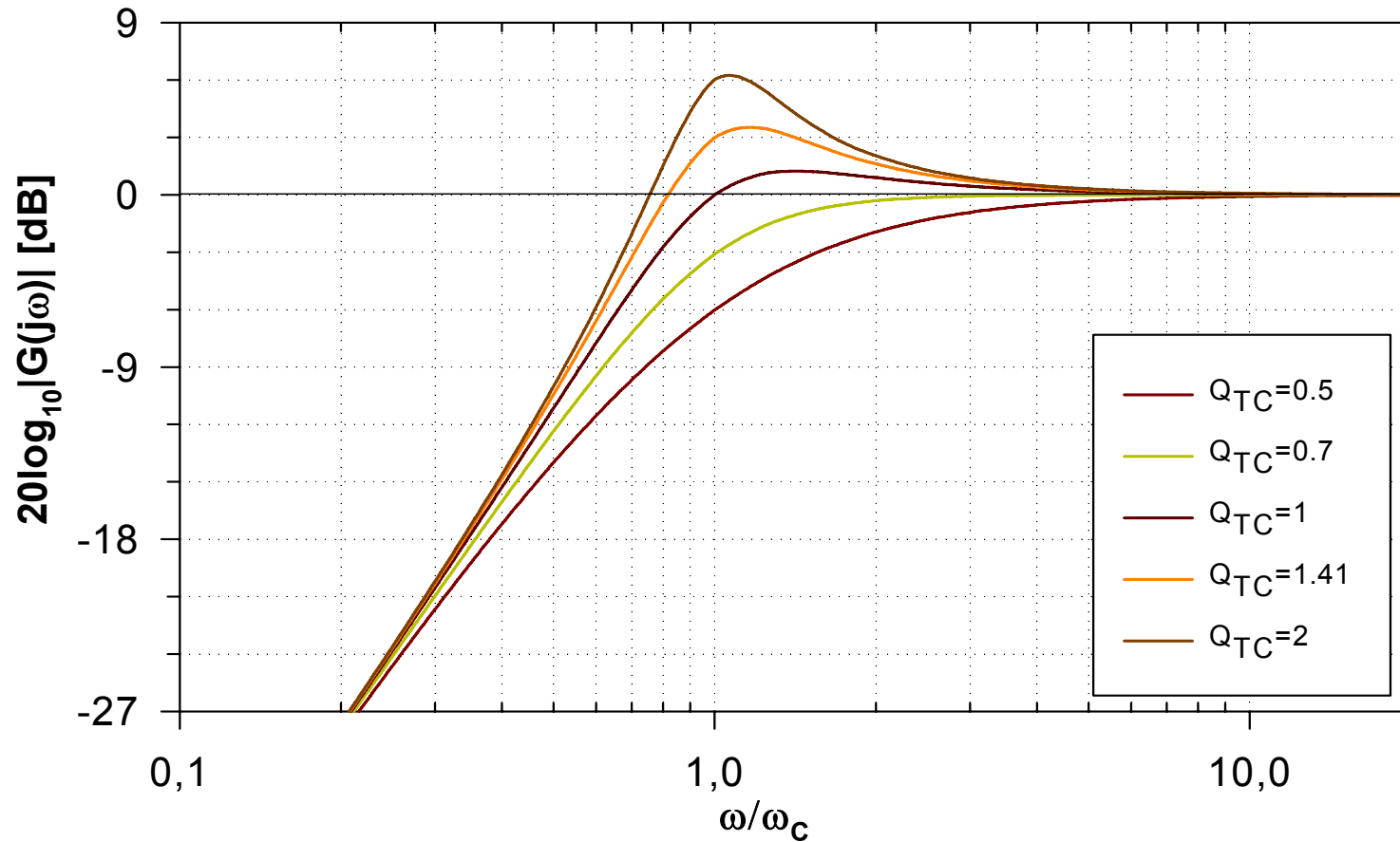
$$a_1 = \frac{1}{Q_{TC}}$$

$$a_0 = 1$$

- prenosová funkcia reproduktora v zatvorenej ozvučnici je funkciou hornopriepustného filtra druhého rádu, ktorého jediný „nastaviteľný“ parameter je činiteľ akosti Q_{TC}
- na rozdiel od reproduktora v nekonečnej ozvučnici, u ktorého je podobný parameter (Q_{TS}) „nastavený“ výrobcom, je v tomto prípade **parameter Q_{TC} nastaviteľný vhodnou voľbou objemu ozvučnice**

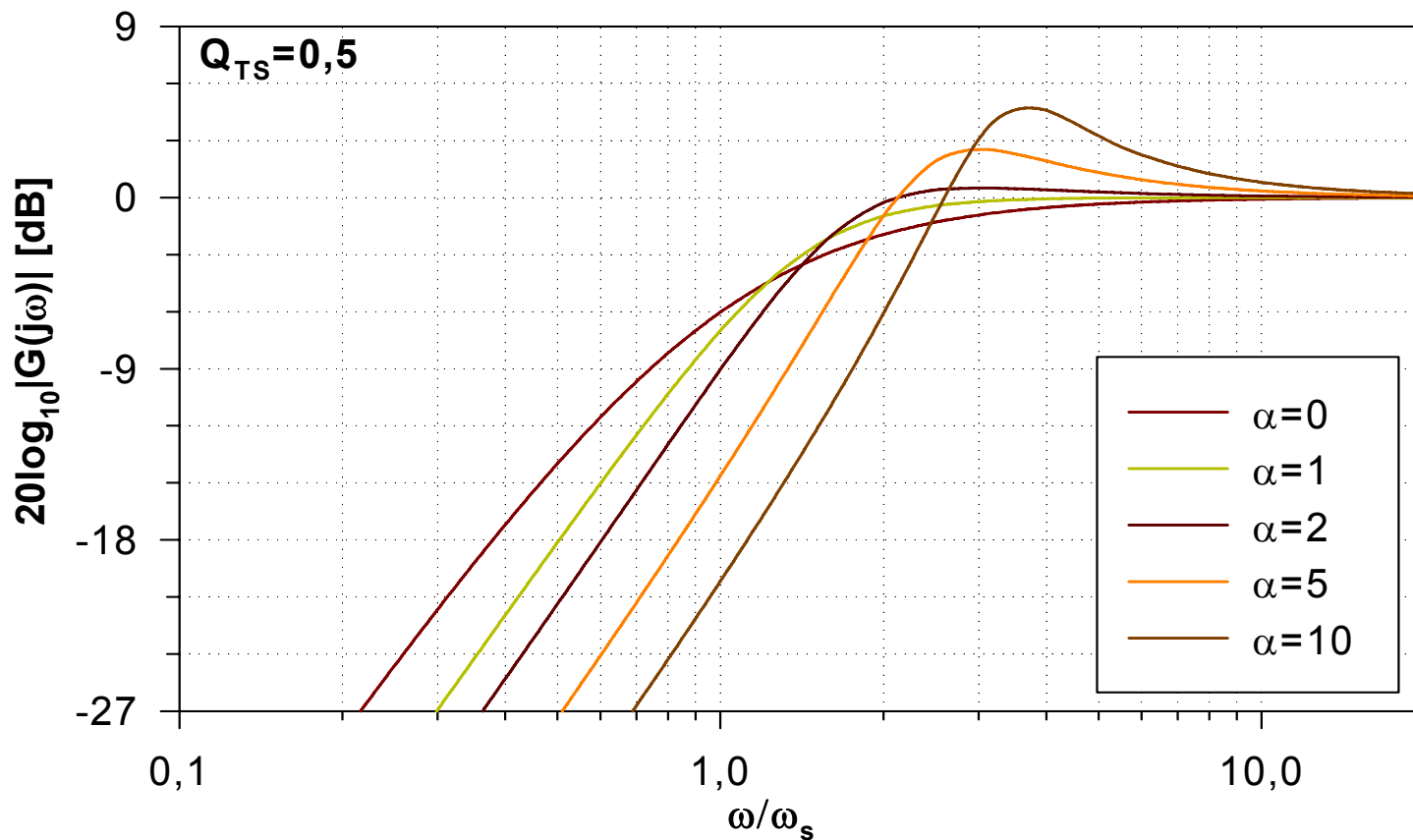
Amplitúdová frekvenčná charakteristika 1 (CB)

$$G_{CB}(s) = \frac{s_C^2}{s_C^2 + s_C/Q_{TC} + 1}$$

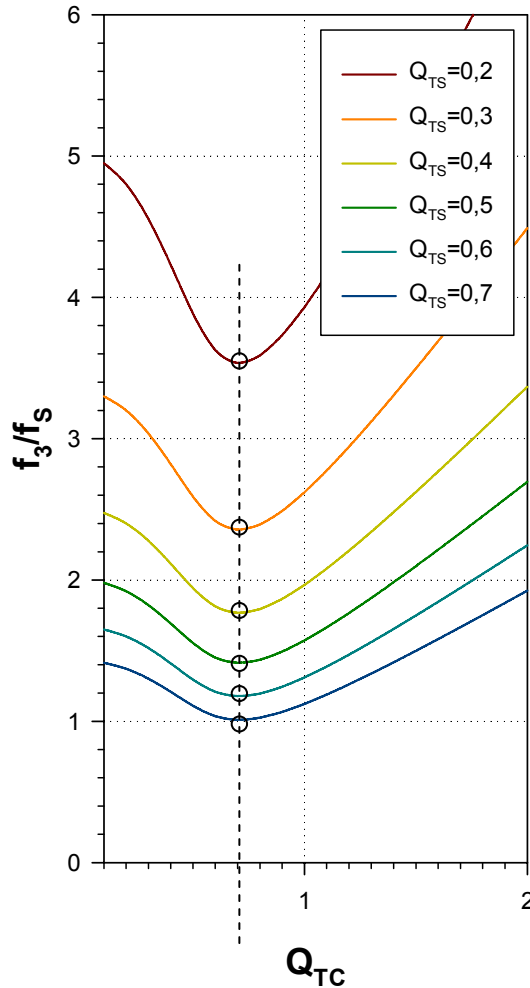


Amplitúdová frekvenčná charakteristika 2 (CB)

$$G_{CB}(s) \Big|_{R_G=0} = \frac{s_N^2}{s_N^2 + s_N/Q_{TS} + \alpha + 1}$$



Ako závisí medzná frekvencia AFCH od Q_{TC}



$$f_{3(CB)} = f_s \frac{Q_{TC}}{Q_{TS}} \cdot \sqrt{\frac{1}{2Q_{TC}^2} - 1 + \sqrt{\left(\frac{1}{2Q_{TC}^2} - 1\right)^2 + 1}}$$

$$\text{pre } Q_{TC} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow f_{3(CB),\min} = \frac{f_s}{\sqrt{2} \cdot Q_{TS}}$$

- reproduktor v zatvorenej ozvučnici má minimálnu (najnižšiu) medznú frekvenciu pri $Q_{TC}=0.707$
- je to teoreticky najnižšia dosiahnuteľná medzná frekvencia pre reproduktor s danými hodnotami f_s a Q_{TS}
- jej hodnotu vieme vypočítať podľa vyššie uvedeného vzťahu

Príklad

- Uvažujeme reproduktor s nasledovnými parametrami:
 - $f_s=37\text{Hz}$
 - $Q_{TS}=0.32$
 - $V_{AS}=32\text{lit.}$
- Chceme navrhnuť zatvorenú ozvučnicu tak, aby sústava CB mala najväčšiu šírku pásma smerom k nízkym frekvenciám (t.j. najnižšiu medznú frekvenciu)

Riešenie

Cieľový parameter : $Q_{TC} = \frac{1}{\sqrt{2}}$

1. Vypočítame α : $\alpha = \left(\frac{Q_{TC}}{Q_{TS}}\right)^2 - 1 = \left(\frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0.32}\right)^2 - 1 \doteq 3.88$

2. Vypočítame V_{AB} : $V_{AB} = \frac{V_{AS}}{\alpha} = \frac{32}{3.88} \doteq 8.2 \quad [\text{lit}]$

3. Medzná frekvencia bude : $f_{3(CB),\min} = \frac{f_s}{\sqrt{2} \cdot Q_{TS}} = \frac{37}{\sqrt{2} \cdot 0.32} = 81.8 \quad [\text{Hz}]$

Menovitá účinnosť sústavy (CB)

$$\eta_{N(CB)} = \eta_{N(IB)} = 9,6 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{f_S^3 V_{AS}}{Q_{ES}}$$

Vidíme, že menovitá účinnosť reproduktora sa pridaním zatvorenej ozvučnice nezmení, tj. závisí iba od parametrov reproduktora a nie od parametrov ozvučnice. Tento záver je však platný iba vtedy ak platí predpoklad ideálnej ozvučnice s dokonale pohltivými vnútornými stenami. V praxi sa steny ozvučnice obkladajú tlmiacim materiálom a vnútro ozvučnice sa plní pórovitým materiálom s nízkou hustotou, ktorého úlohou je zabrániť odrazom a vzniku stojateho vlnenia. Vhodnou voľbou reproduktora, objemu ozvučnice a tlmiaceho materiálu možno skutočnú účinnosť sústavy oproti menovitej zlepšiť až o 15%, nevhodnou voľbou však tiež mierne zhoršiť.

Skutočná účinnosť sústavy (CB)

$$\eta_{N(CB)} = k_{\eta} f_{3(CB)}^3 V_B$$

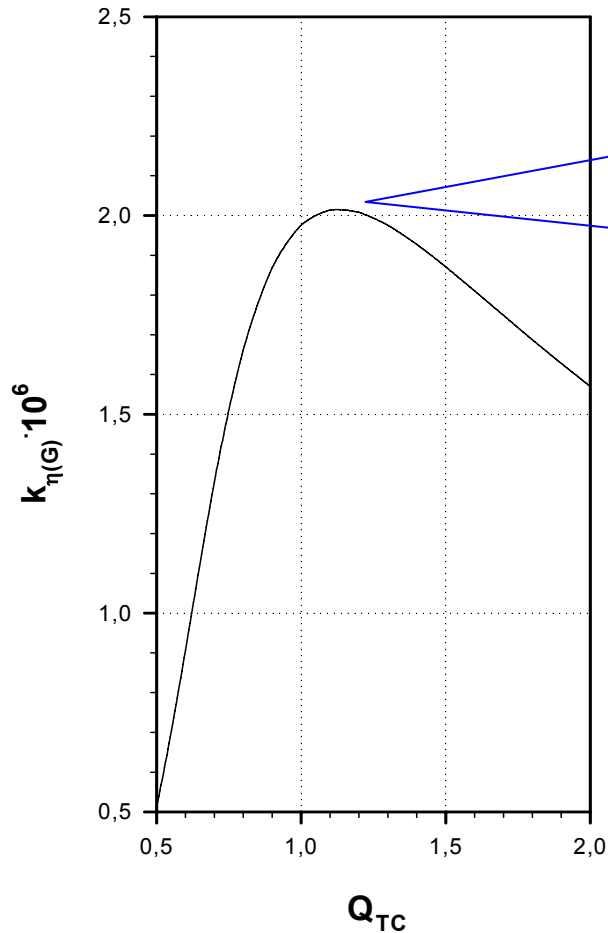
k_{η} – koeficient účinnosti (efficiency factor)

$f_{3(CB)}$ – medzná (skutočná) frekvencia sústavy

V_B – skutočný objem ozvučnice

Skutočný objem ozvučnice môže byť menší než vypočítaný, pretože pri vyplnení vnútra ozvučnice pórovitým materiálom sa v ozvučnici zväčší hustota prostredia, v ktorom sa šíri zvuková vlna, čím sa zmenší akustická poddajnosť, ktorú reprezentuje. Aby poddajnosť vrátila na pôvodnú hodnotu, je potrebné skutočný objem ozvučnice zmenšiť

Koeficient účinnosti sústavy (CB)



Koeficient účinnosti sústavy CB závisí od celkového činiteľa akosti Q_{TC} . Nadobúda maximálnu hodnotu pre $Q_{TC} = 1,1$. **Je to jedno z cieľových kritérií pri návrhu zatvorenej ozvučnice.**

$$Q_{TC} \doteq 1.1 \Rightarrow k_{\eta, \max} \doteq 2.0 \cdot 10^{-6}$$

Príklad

- Uvažujeme reproduktor s nasledovnými parametrami:
 - $f_s=37\text{Hz}$
 - $Q_{TS}=0.32$
 - $V_{AS}=32\text{lit.}$
- Chceme navrhnúť zatvorenú ozvučnicu tak, aby sústava CB mala potenciálne najväčšiu účinnosť

Riešenie

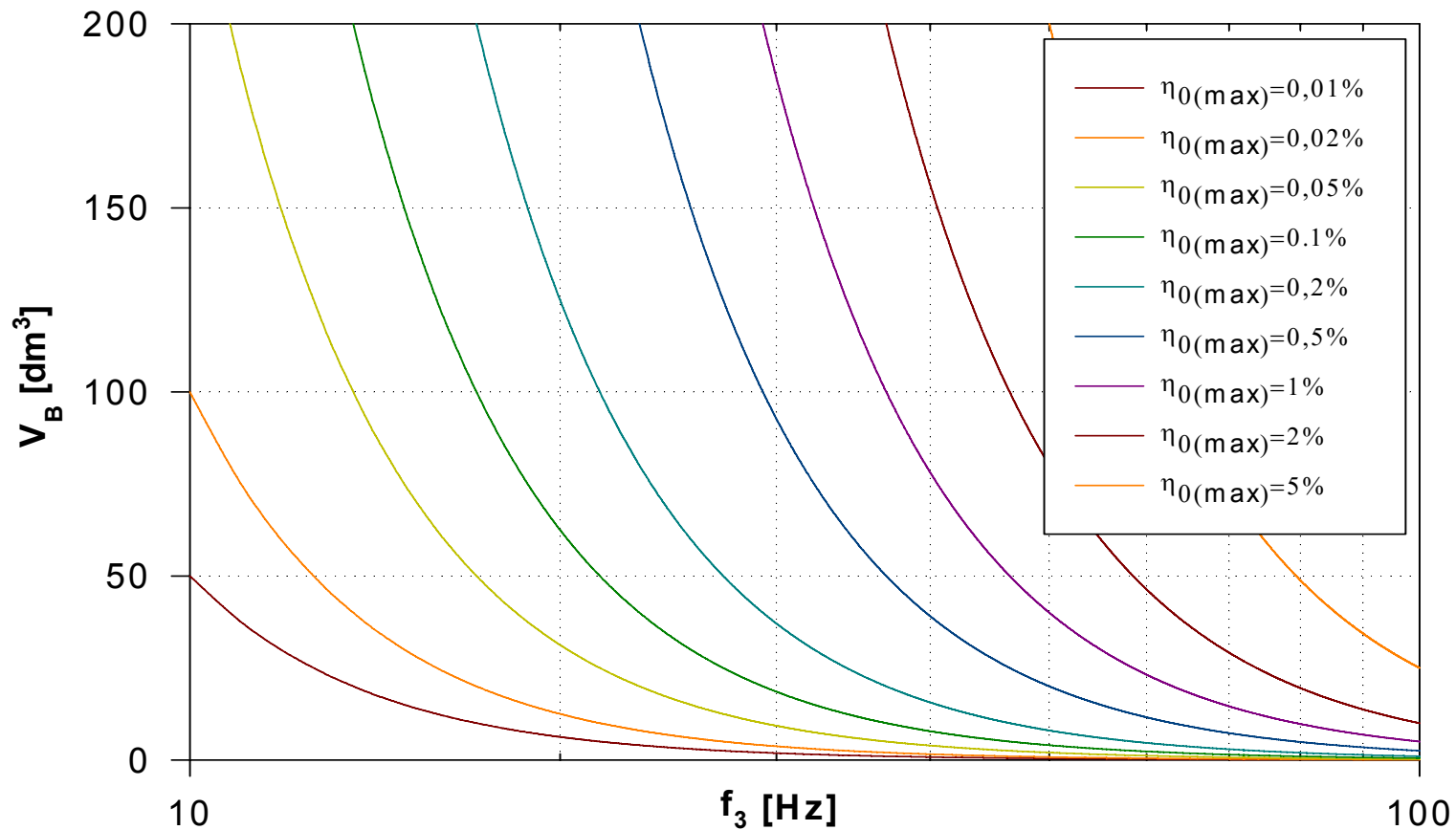
Cieľový parameter: $Q_{TC} = 1.1$

1. Vypočítame α :
$$\alpha = \left(\frac{Q_{TC}}{Q_{TS}} \right)^2 - 1 = \left(\frac{1.1}{0.32} \right)^2 - 1 \doteq 10.82$$

2. Vypočítame V_{AB} :
$$V_{AB} = \frac{V_{AS}}{\alpha} = \frac{32}{10.82} \doteq 2.96 \quad [\text{lit}]$$

Maximálna účinnosť, šírka pásma a objem ozvučnice

$$\eta_{N,\max(CB)} = 2,0 \cdot 10^{-6} \cdot f_{3(CB)}^3 \cdot V_B \quad [-; \text{Hz}, \text{m}^3]$$



Maximálna účinnosť, šírka pásma a objem ozvučnice

- Obrázok (grafické závislosti) na predchádzajúce snímke hovorí o fyzikálnych (technologických) medziach sústav CB v súvislosti s dosiahnuteľnou medznou frekvenciou a účinnosťou a potrebným objemom skrinky
- Napr.:
 - a. Ak chceme realizovať sústavu s medznou frekvenciou 30Hz a objemom ozvučnice 50lit., z grafu vyplýva, že maximálna dosiahnuteľná účinnosť je v rozmedzí 0,2% až 0,5%.
 - b. Ak chceme realizovať sústavu s účinnosťou minimálne 0.5% a medznou frekvenciou max. 40Hz, z grafu vyplýva, že bude potrebný minimálne objem ozvučnice okolo 40lit.

Výchylka reproduktora (CB)

$$x_{D(CB)} = \sqrt{P_E} \cdot \sigma_{x(CB)} \cdot X_{(CB)}(s)$$

Výchylková citlivosť reproduktora (CB):

$$\sigma_{x(CB)} = \frac{1}{\alpha + 1} \sigma_{x(IB)} = k_{x(CB)} \sigma_{x(IB)} \quad [\text{mW}^{-1/2}]$$

Výchylková funkcia reproduktora (CB):

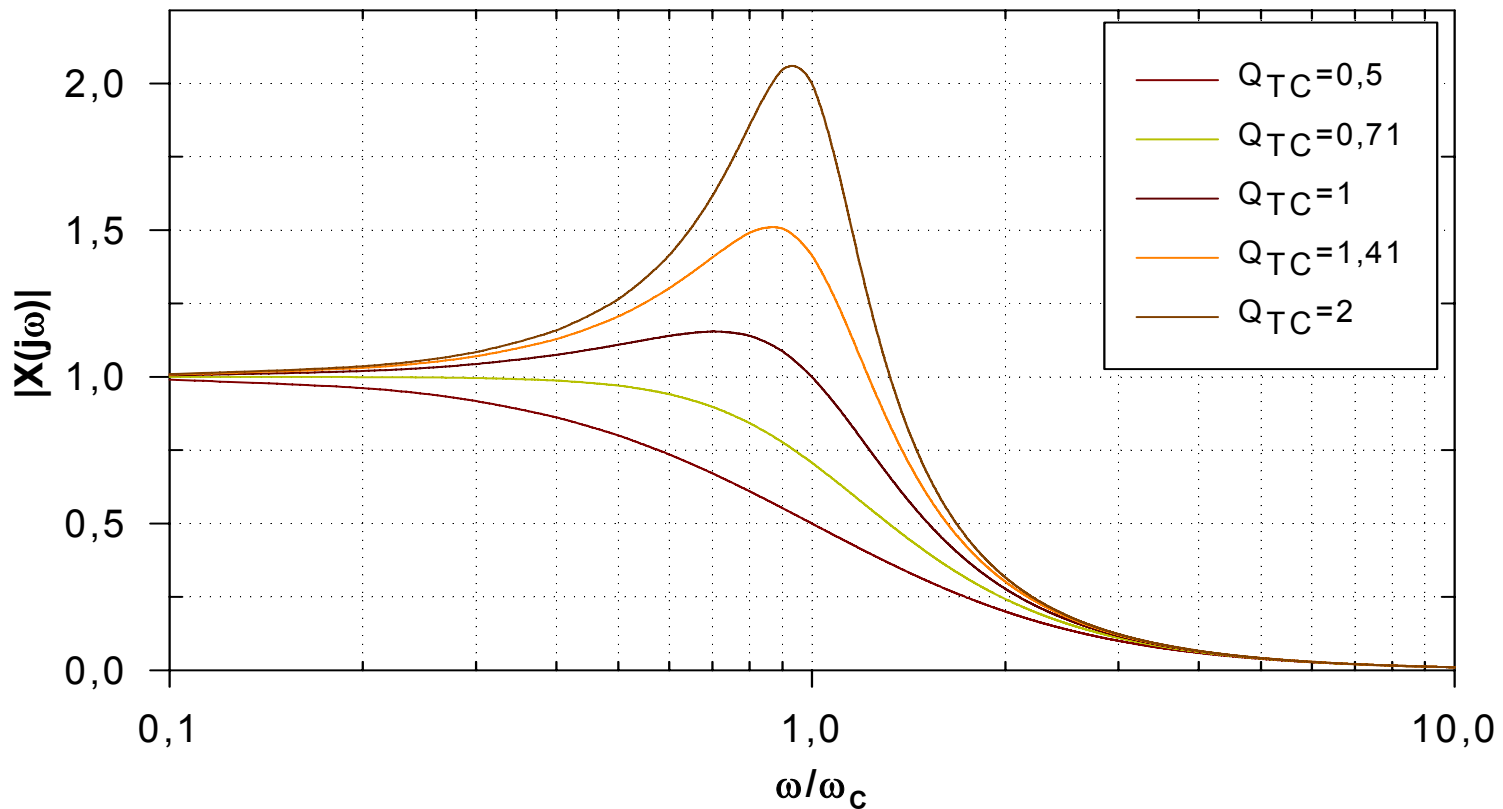
$$X_{(CB)}(s) = \frac{1}{s_C^2 + s_C / Q_{TC} + 1} \quad s_C = \frac{s}{\omega_C}$$

Výchylka reproduktora

- výchylka reproduktora v zatvorenej ozvučnici závisí od frekvencie podobne, ako reproduktor v nekonečnej ozvučnici
- amplitúda výchylky je $(\alpha+1)$ krát menšia, než u reproduktora v nekonečnej ozvučnici
- je to vďaka akustickej poddajnosti ozvučnice, ktorá znižuje celkovú poddajnosť sústavy – reproduktor sa stáva „tuhším“
- dôsledkom zmenšenia výchylky reproduktora je menšie nelineárne skreslenie pri maximálnom výkone
- poddajnosť ozvučnice taktiež chráni reproduktor pred poškodením

Frekvenčná charakteristika výchyľky reproduktora v zatvorenej ozvučnici 1

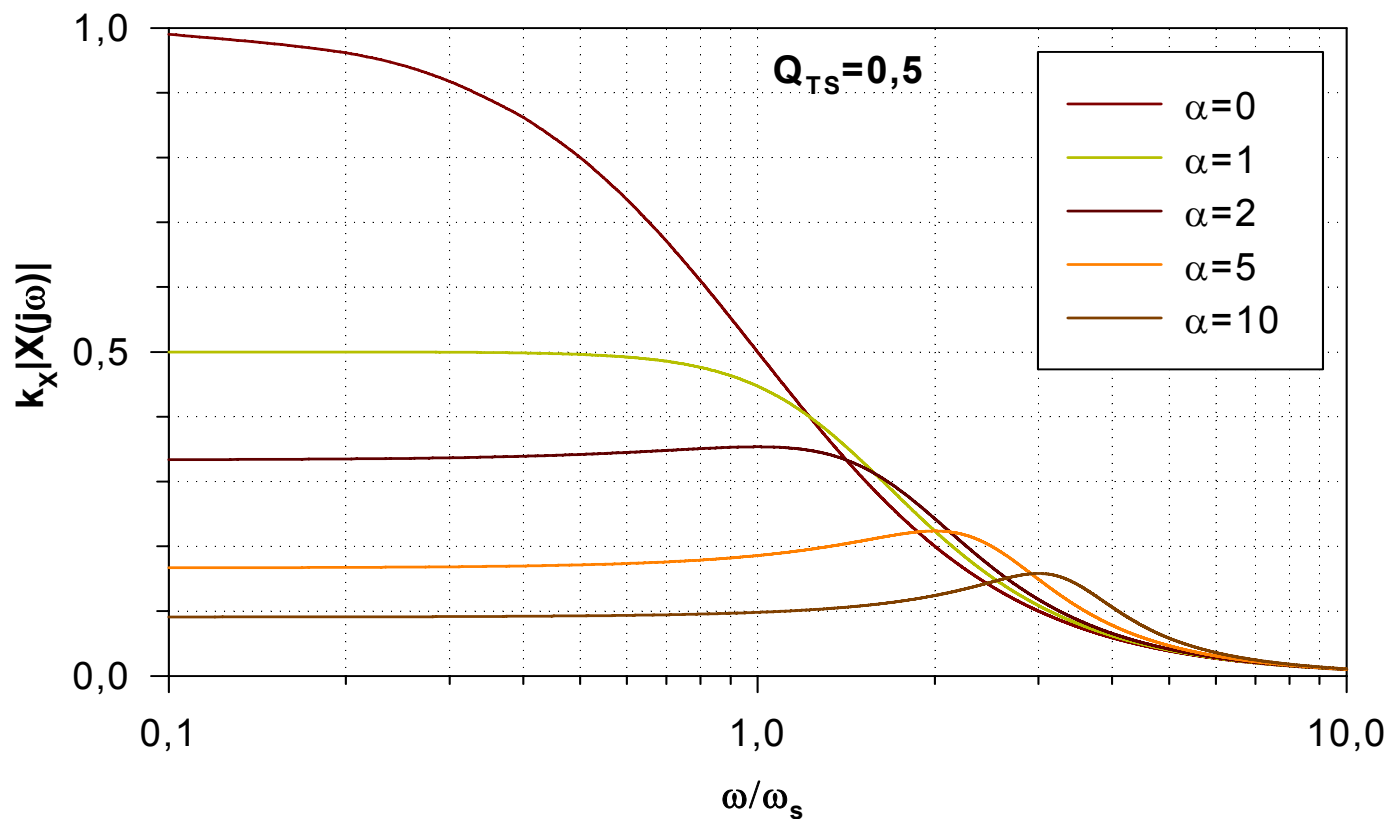
$$X_{(CB)}(s) = \frac{1}{s_C^2 + s_C/Q_{TC} + 1} \Rightarrow \left| X_{(CB)}(j\Omega_C) \right| = \frac{1}{\sqrt{(\Omega_C^2 - 1)^2 + \Omega_C^2/Q_{TC}^2}}$$



Frekvenčná charakteristika výchylky reproduktora v zatvorenej ozvučnici 2

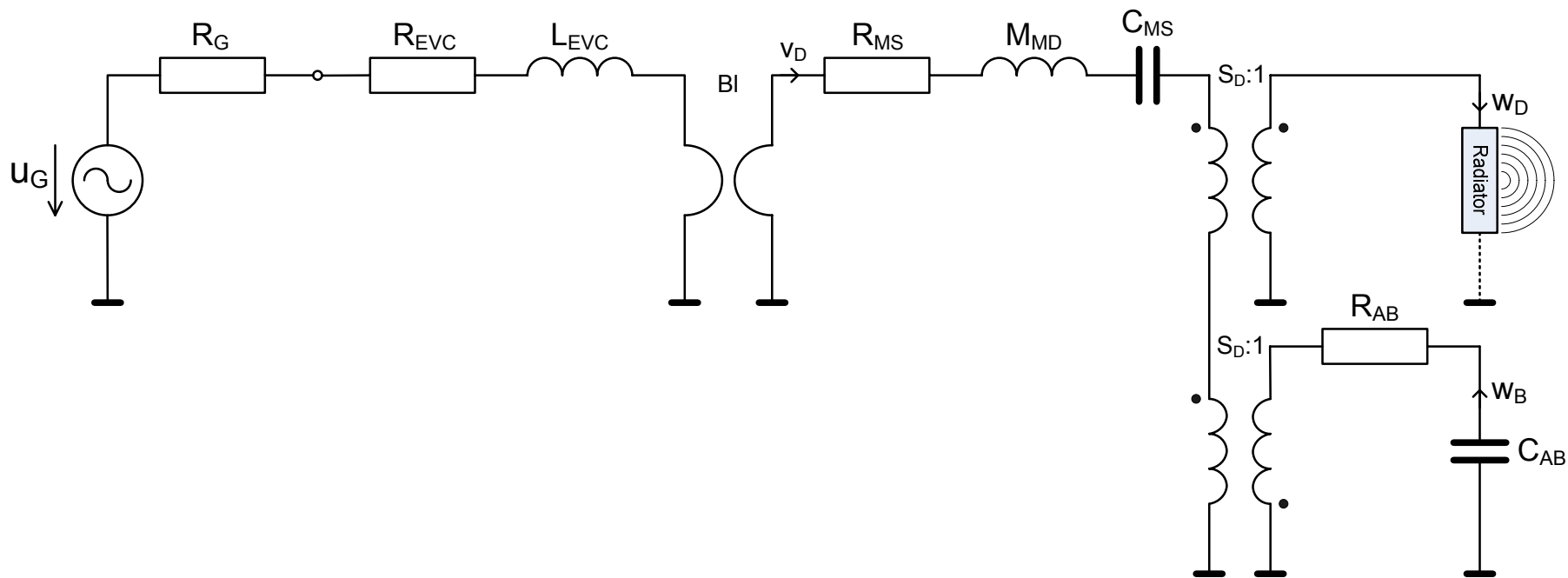
$$k_{x(CB)} = \frac{1}{\alpha + 1}$$

$$|X_{(CB)}(j\Omega)| = \frac{\alpha + 1}{\sqrt{(\Omega_s^2 - \alpha - 1)^2 + \Omega_s^2 / Q_{TS}^2}}$$



Reproduktor v zatvorenej ozvučnici

Kombinovaná náhradná schéma s prvkom „Radiator“



Skript

| Seas Prestige ER18RNX
| Revc=5.9Ohms; Levc=0.67mH; Bl=7.2N/A; Mmd=14g;
| Mmrd=0.92g; Rms=2.2Ns/m; Cms=1.3mm/N;
| Fs=37Hz; Qts=0.32; Qms=1.58; Qes=0.39; Sd=136cm²;
| Vas=32lit.; ymax=6mm; sens=88.5dB; Pe(lt)=80W

Def_Const

{roh=1.18; c0=344; Sd=0.0136; Rd=sqrt(Sd/pi);
Mard=(roh*8*Rd)/(3*pi*Sd);
Vas=0.032; Qts=0.32; Qtc=1.1; alfa=sqr(Qtc/Qts)-1;
Vab=Vas/alfa; Cab=Vab/(roh*c0²);
}

System 'S2-Radiator' |Radiator na prednej strane membrany

Resistor 'Rg' Node=1=2 R=0.001ohm

Resistor 'Revc' Node=2=3 R=5.9ohm

Coil 'Levc' Node=3=4 L=0.67mH

Gyrator 'Gyl' Node=4=0=5=0 Bl=7.2Tm

MechResistance 'Rms' Node=5=6 Rm=2.2Ns/m

MechMass 'Mmd' Node=6=7 Mm=14g

MechCompliance 'Cms' Node=7=8 Cm=1.3e-3m/N

Coupler 'front' Node=8=9=10

SD={Sd} |Piston

Radiator 'Rad1' Def='front' Node=10

x=0 y=0 z=0 HAngle=0 VAngle=0

Coupler 'back' Node=9=0=0=20

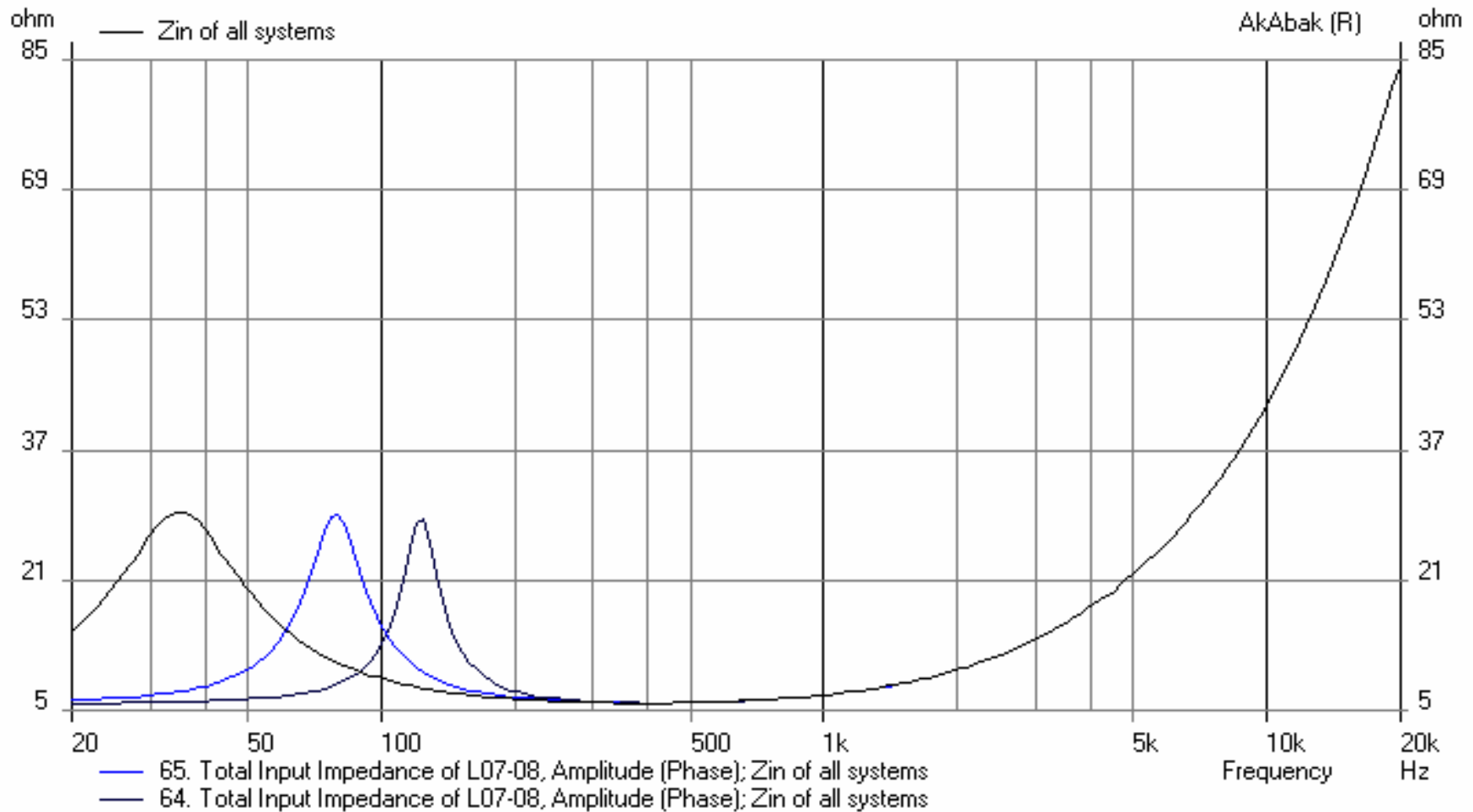
SD={Sd} |Piston

AcouMass 'Mab' Node=20=21 Ma={Mard}

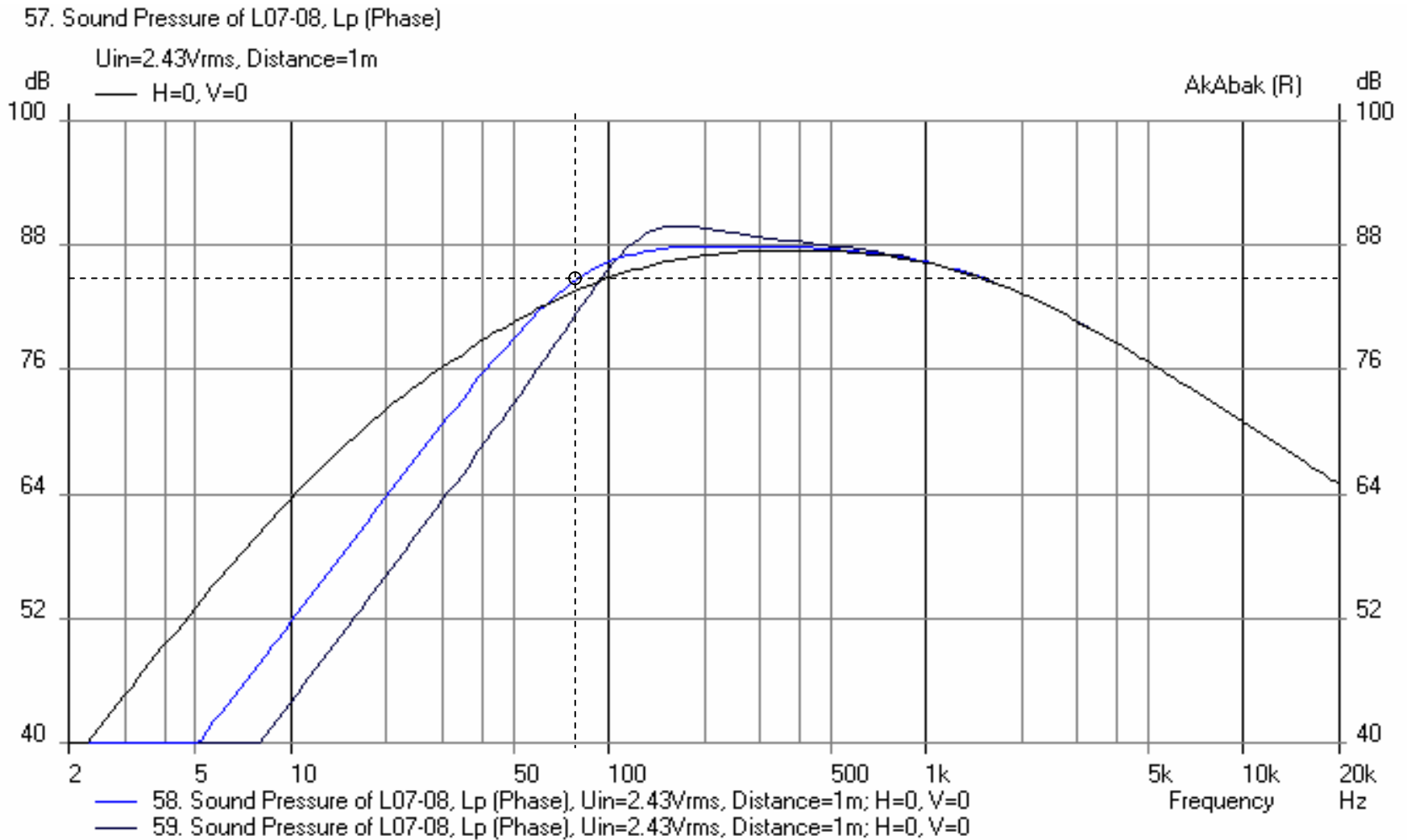
AcouCompliance 'Cab' Node=21=0 Ca={Cab}

Vplyv objemu skrinky na vstupnú impedanciu (piestová membrána, $Q_{TC}=Q_{TS}$; 0.707; 1.1)

66. Total Input Impedance of L07-08, Amplitude (Phase)

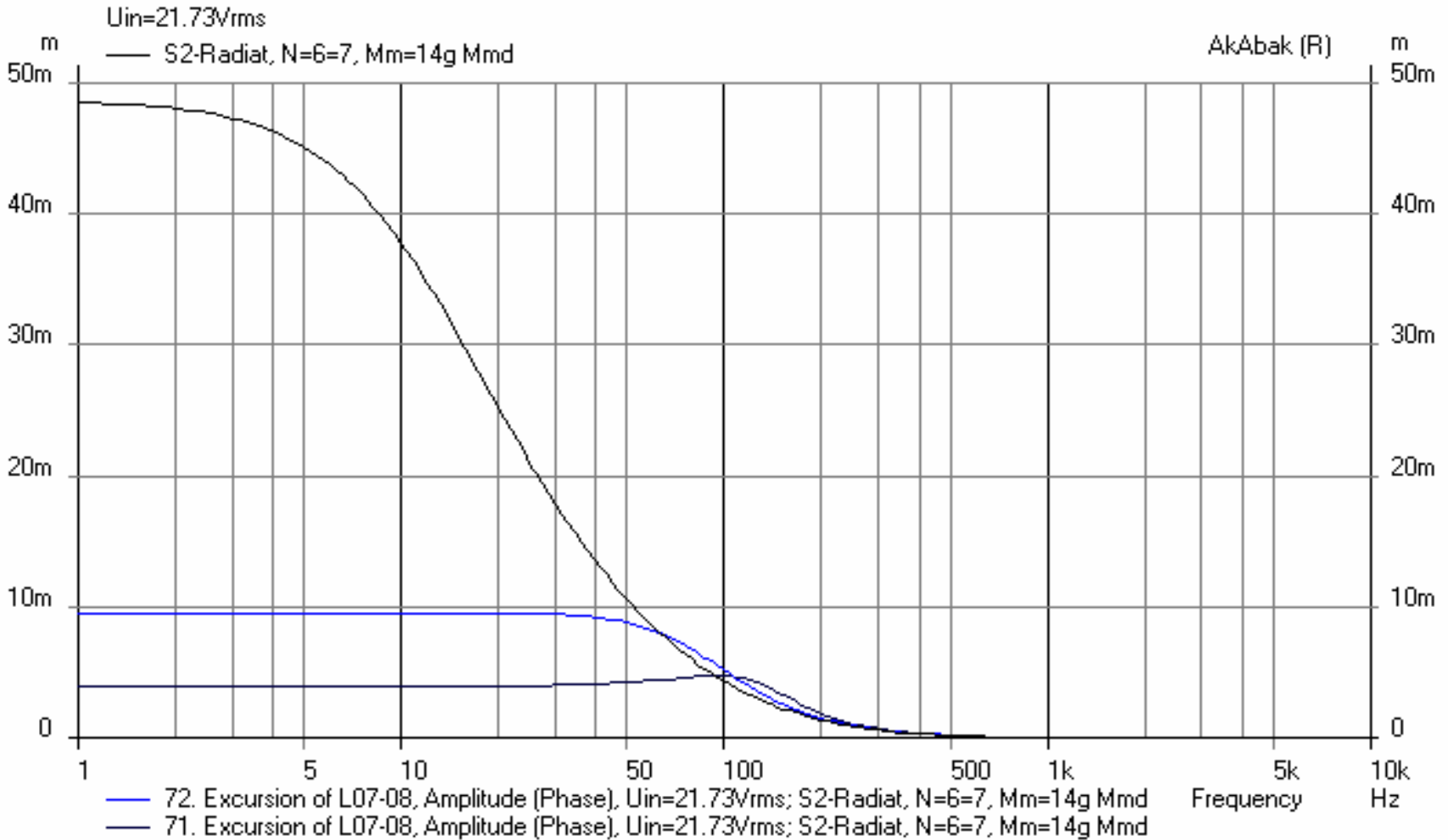


Vplyv objemu skrinky na akustický tlak (piestová membrána, $P_E=1\text{W}$, $Q_{TC}=Q_{TS}$; 0.707; 1.1)



Vplyv objemu skrinky na výchylku membrány (piestová membrána, $P_E=80W$, $Q_{TC}=Q_{TS}$; 0.707; 1.1)

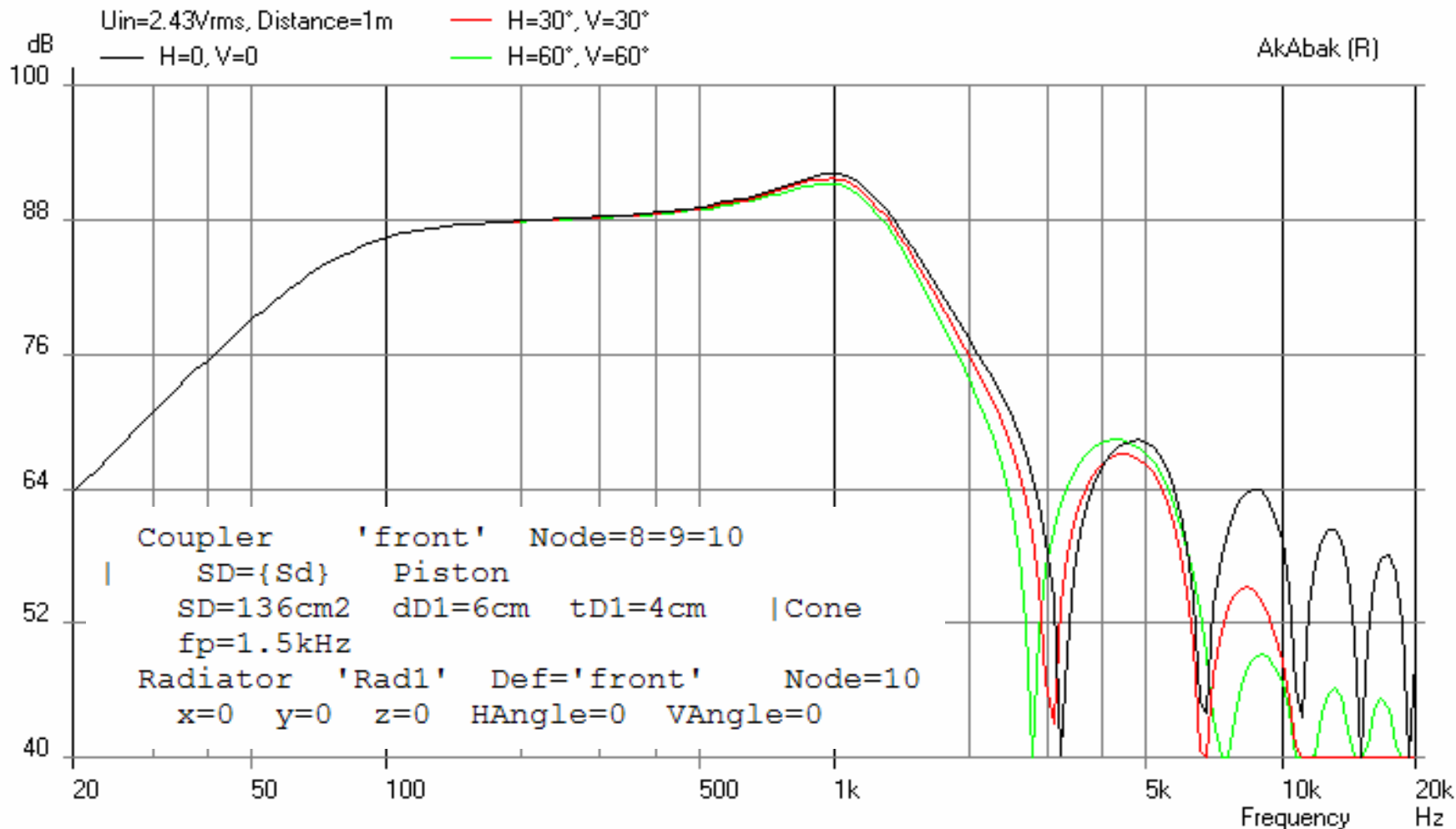
73. Excursion of L07-08, Amplitude (Phase)



Akustický tlak

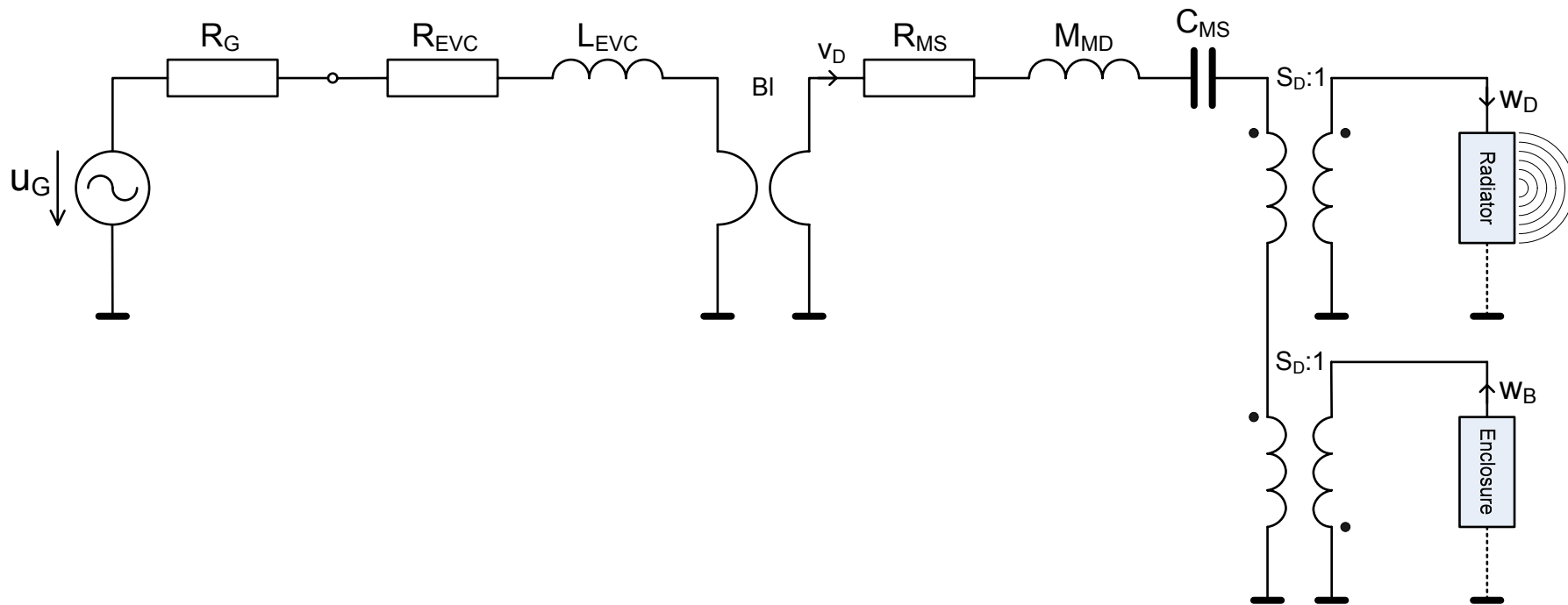
(kónická membrána, $P_E=1\text{W}$, $Q_{TC}=0.707$, $\alpha=3.9$, $V_{AB}=8.2\text{lit.}$, $f_{-3\text{dB}}=82\text{Hz}$)

75. Sound Pressure of L07-08, Lp (Phase)



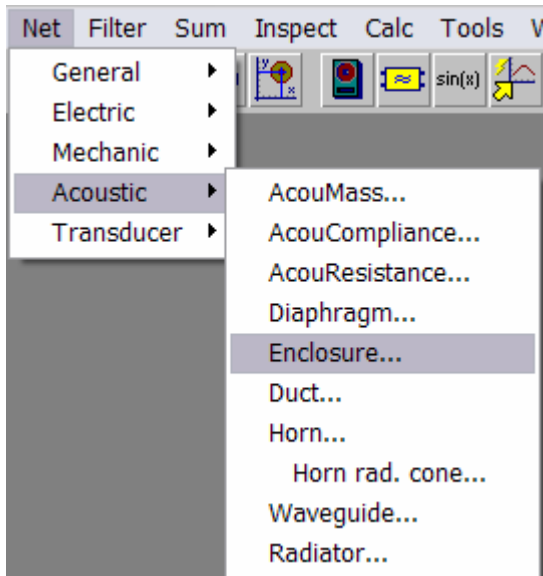
Reproduktor v zatvorenej ozvučnici

Kombinovaná náhradná schéma s prvkami „Radiator“ a „Enclosure“



•

Makromodel „Enclosure“



Enclosure

Copy and close

Element identification
E1

Node
s
20

Eff. volume of enclosure
 V_b
8.3L
m3,...,in3,L

Enclosure quality factor/fb
 Q_b/f_o
m3,...,in3,L

Rectangular ...or.... Non rectangular

Depth or length of enclosure if rectangular
 L_b
m,...,in

Effective cross section area of enclosure
 S_b
136cm2
m2,...,in2

Vented enclosure

Enclosure form
 Long Deep

Position of vent radiation center...

Helmholtz resonance
 $f_b...$
..Hz..

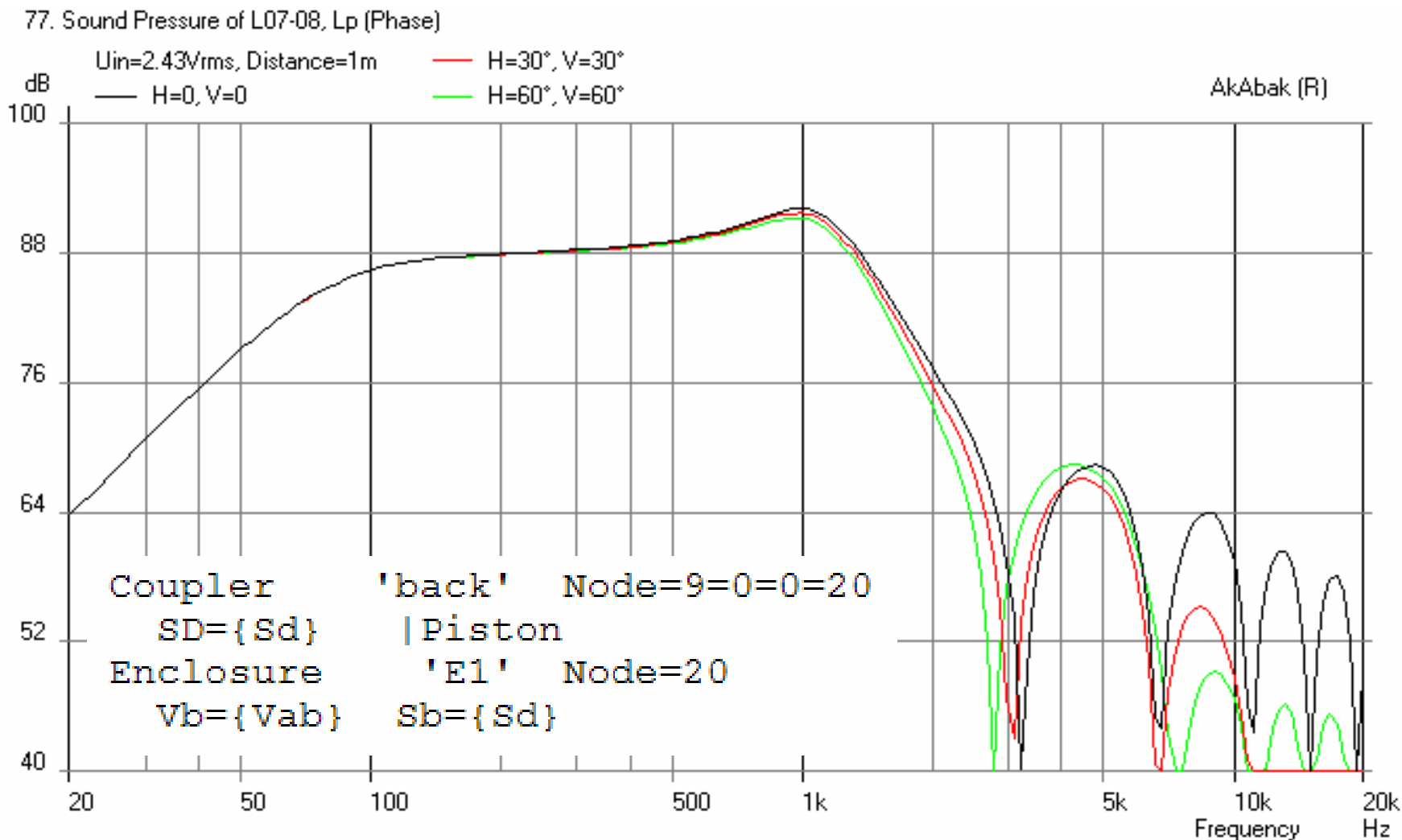
Vent cross section
 $dD...$
m,...,in

Vent quality factor/fb
 QD/f_o

Control of visc., thermal exch.
 $Visc$
1
Default: Visc=1
Off: Visc=0

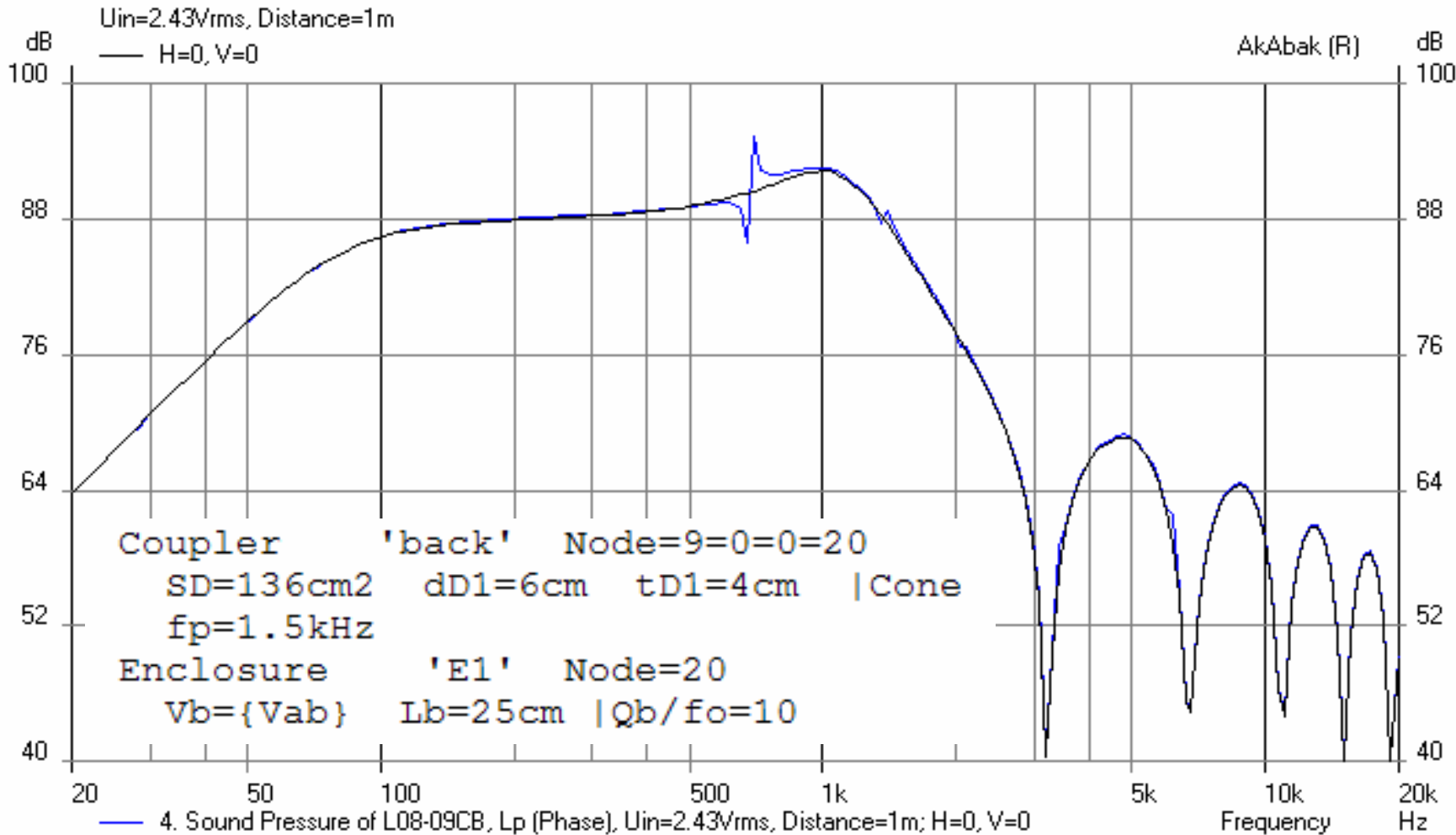
Akustický tlak – „Enclosure“ na zadnej strane membrány

(kónická membrána, $P_E=1\text{W}$, $Q_{TC}=0.707$, $\alpha=3.9$, $V_{AB}=8.2\text{lit.}$, $f_{-3\text{dB}}=82\text{Hz}$)



Akustický tlak – „Enclosure“ na zadnej strane membrány (kónická membrána, $P_E=1\text{W}$, $Q_{TC}=0.707$, $\alpha=3.9$, $V_{AB}=8.2\text{lit.}$, $f_{-3\text{dB}}=82\text{Hz}$) vplyv odrazu vlny od protiľahlej steny v skrinke

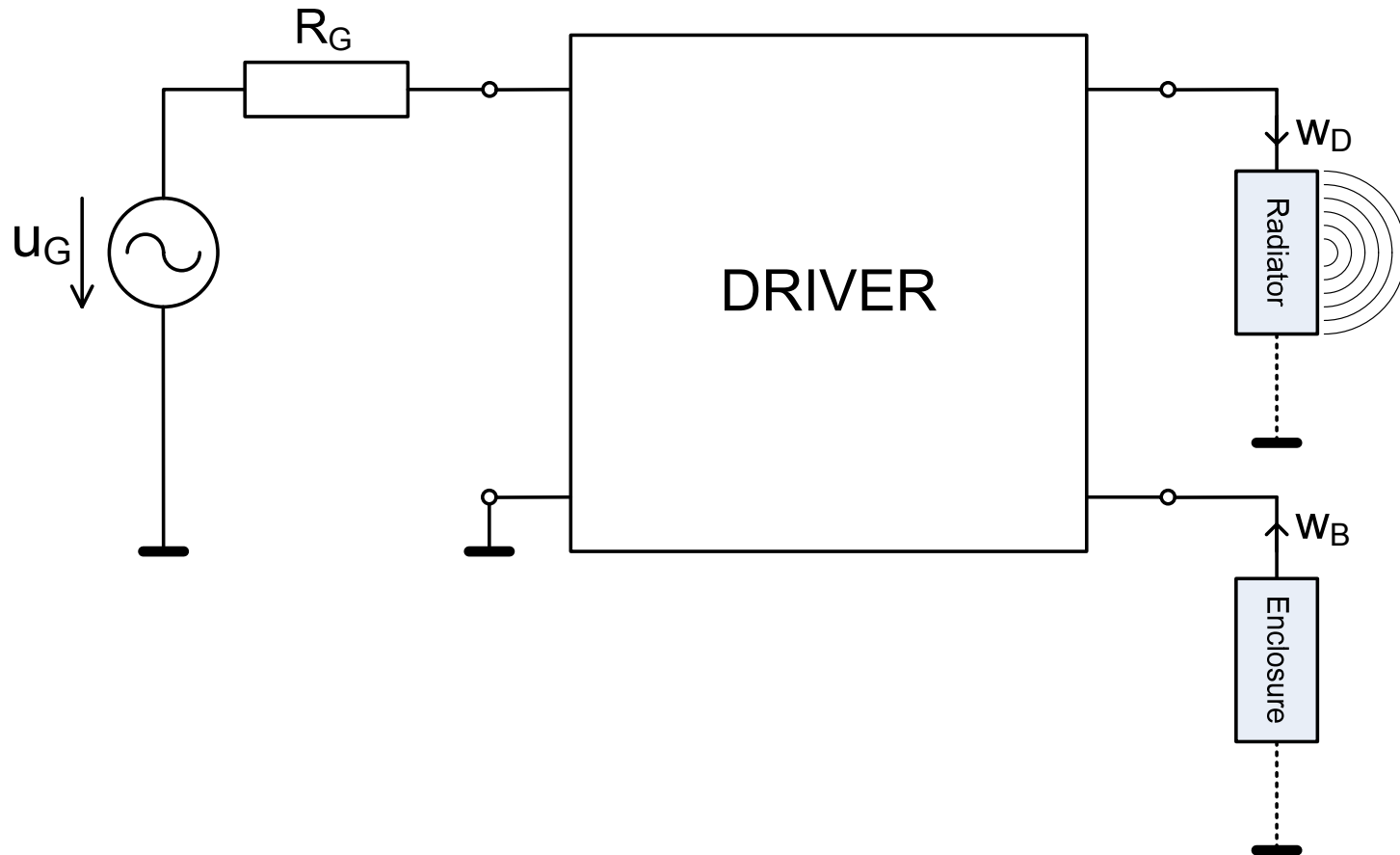
3. Sound Pressure of L08-09CB, Lp (Phase)



Reproduktor v zatvorenej ozvučnici

Kombinovaná náhradná schéma s prvkami „Driver“, „Radiator“ a „Enclosure“

• ...



Skript

| Seas Prestige ER18RNX
| Revc=5.9Ohms; Levc=0.67mH; Bl=7.2N/A; Mmd=14g; Mmrd=0.92g;
| Rms=2.2Ns/m; Cms=1.3mm/N; Sd=136cm²
| Fs=37Hz; Qts=0.32; Qms=1.58; Qes=0.39; Vas=32lit.
| ymax=6mm; sens=88.5dB; Pe(lt)=80W

Def_Const

```
{roh=1.18; c0=344; Sd=0.0136;  
Vas=0.032; Qts=0.32; Qtc=0.707; alfa=sqr(Qtc/Qts)-1;  
Vab=Vas/alfa;  
}
```

Def_Driver 'DRV1'

```
SD=136cm2 dD1=6cm tD1=4cm |Cone  
fp=1.5kHz  
fs=37Hz Vas=32L Qms=1.58 Qes=0.39  
Re=5.9ohm fre=2.0kHz ExpoRe=1 Le=0.67mH ExpoLe=0.5
```

System 'S4-Driver'

```
Resistor 'Rg' Node=1=2 R=10mohm  
Driver 'D1' Def='DRV1' Node=2=0=10=20  
Radiator 'Rad1' Def='D1' Node=10  
x=0 y=0 z=0 HAngle=0 VAngle=0  
Enclosure 'E1' Node=20  
Vb={Vab} Sb={Sd} |Lb=25cm
```

Def_Driver

Identification
BU1

Copy and close

Resonance frequency	Electrical quality	Mechanical quality	Voice coil -resistance	-Inductance	Equ. vol. to compliance
fs...	Qes...	Qms...	Re...	Le...	Vas...
37Hz	0.39	1.58	5.9ohm		
...Hz...			...ohm...		
			fre=2.		

Diaphragm dimension
SD...
136cm2
m2...,in2

Cone
Inner diaph. dD1=6cm
Cone depth tD1=4cm
Mass-reduction fp=1.5kHz

Environment
Meas_Dipole

EM parameters:
Mms = 14.962g
Vas = 32L
Cms = 1.237e-3m/N

TS parametre fs, Qes, Qms a Vas majú alternatívu – EM parametre, ktoré možno zvoliť kliknutím pravým tlačidlom myšky

Driver Network Element

Element identification
D1

Reference to definitions for obtaining parameters (Def=)

DRV1	IDef_Driver
DRV1	IDef_Driver

Nodes

Electric side	Acoustic side
s	u
0	0
t	v
0	0

Def_TwoCoilsDriver

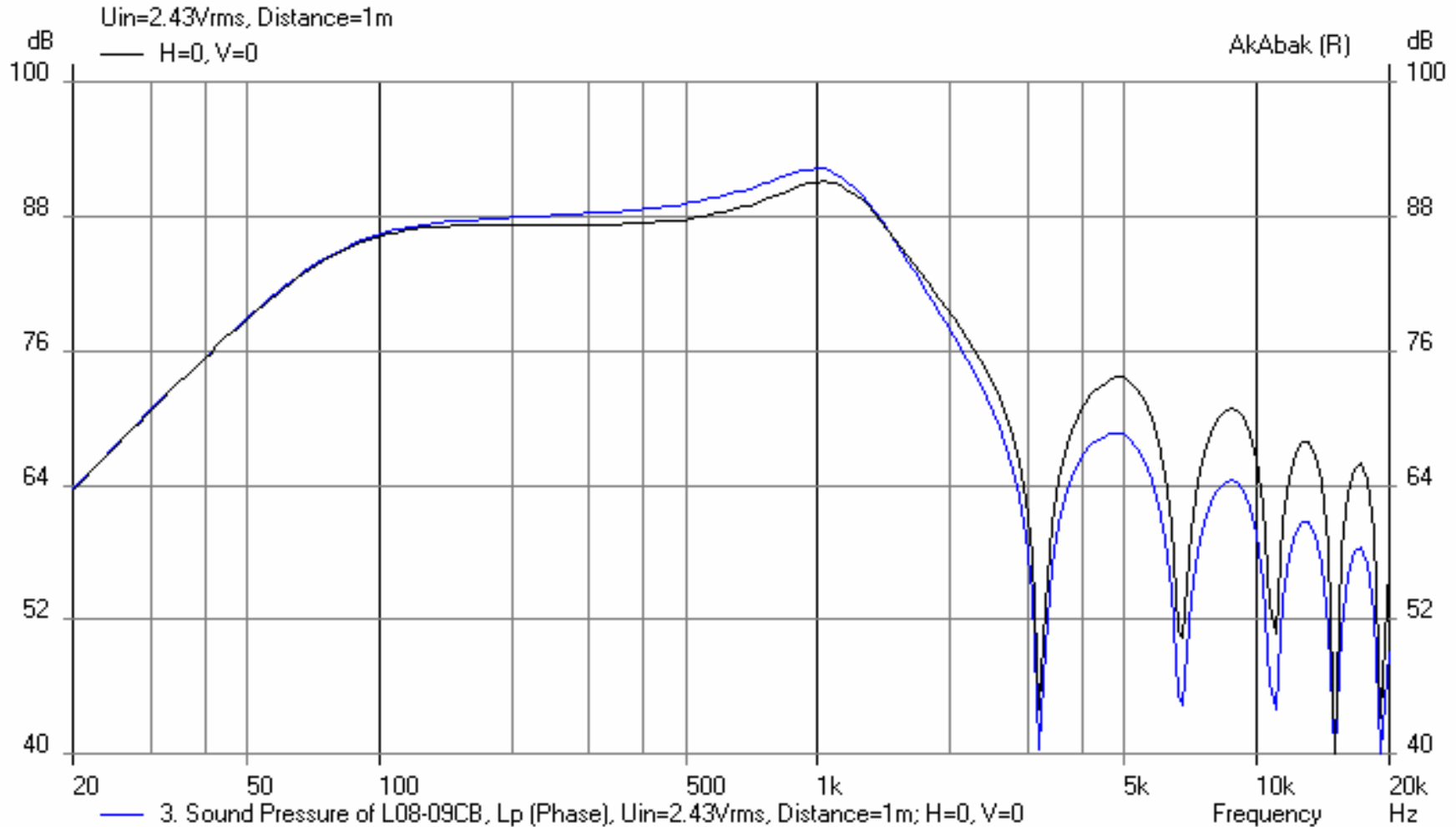
Copy and close

Akustický tlak – Driver, Radiator, Ecllosure

(kónická membrána, $P_E=1\text{W}$, $Q_{TC}=0.707$, $\alpha=3.9$, $V_{AB}=8.2\text{lit.}$, $f_{-3\text{dB}}=82\text{Hz}$)

akustický tlak s „diskrétnou“ náhradnou schémou

8. Sound Pressure of L08-09CB, Lp (Phase)



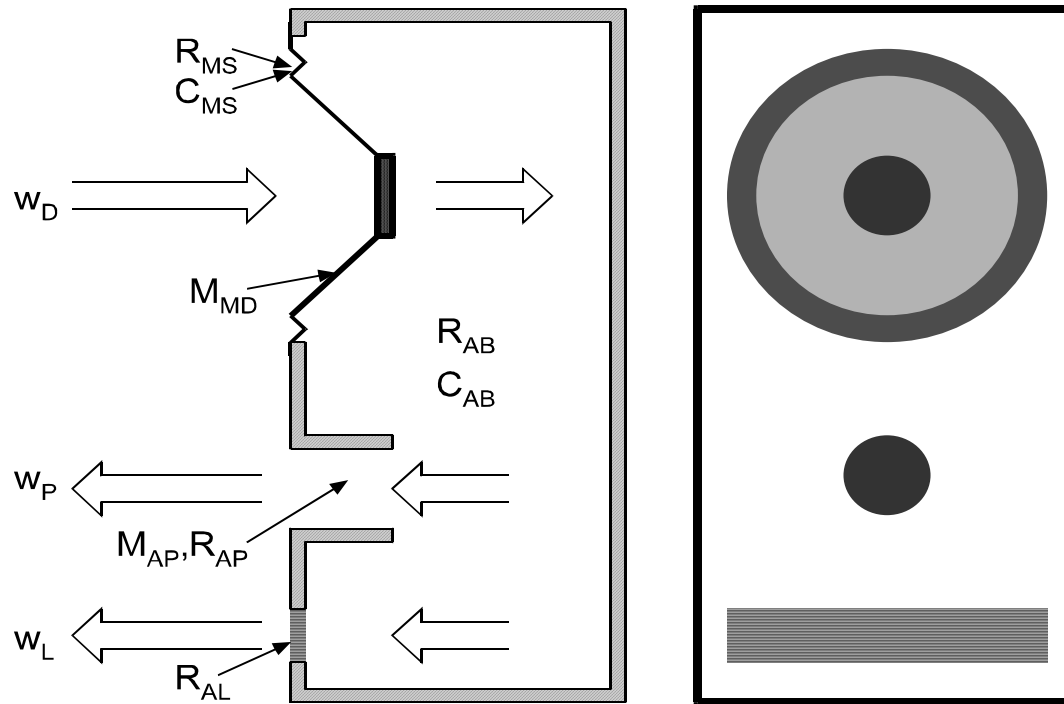
- rozdiel medzi hladinami akustického tlaku pri simulácii sústavy pomocou „diskrétnej“ náhradnej schémy a makromodela „Driver“ je v rozdiel medzi vypočítanými a skutočnými TS parametrami reproduktora
- v prípade „diskrétnej“ náhradnej schémy sú použité prvky s hodnotami, prevzatými z katalógového listu
- v prípade náhradnej schémy s makromodelom „Driver“ sú použité TS parametre, prevzaté tiež z katalógového listu – z týchto parametrov sú v programe vypočítané hodnoty EM prvkov, ktoré sú už trochu odlišné od hodnôt uvedených v katalógovom liste (pozri dialógové okno Def_Driver)

Reproduktor v basreflexovej ozvučnici

Reproduktor v basreflexovej ozvučnici

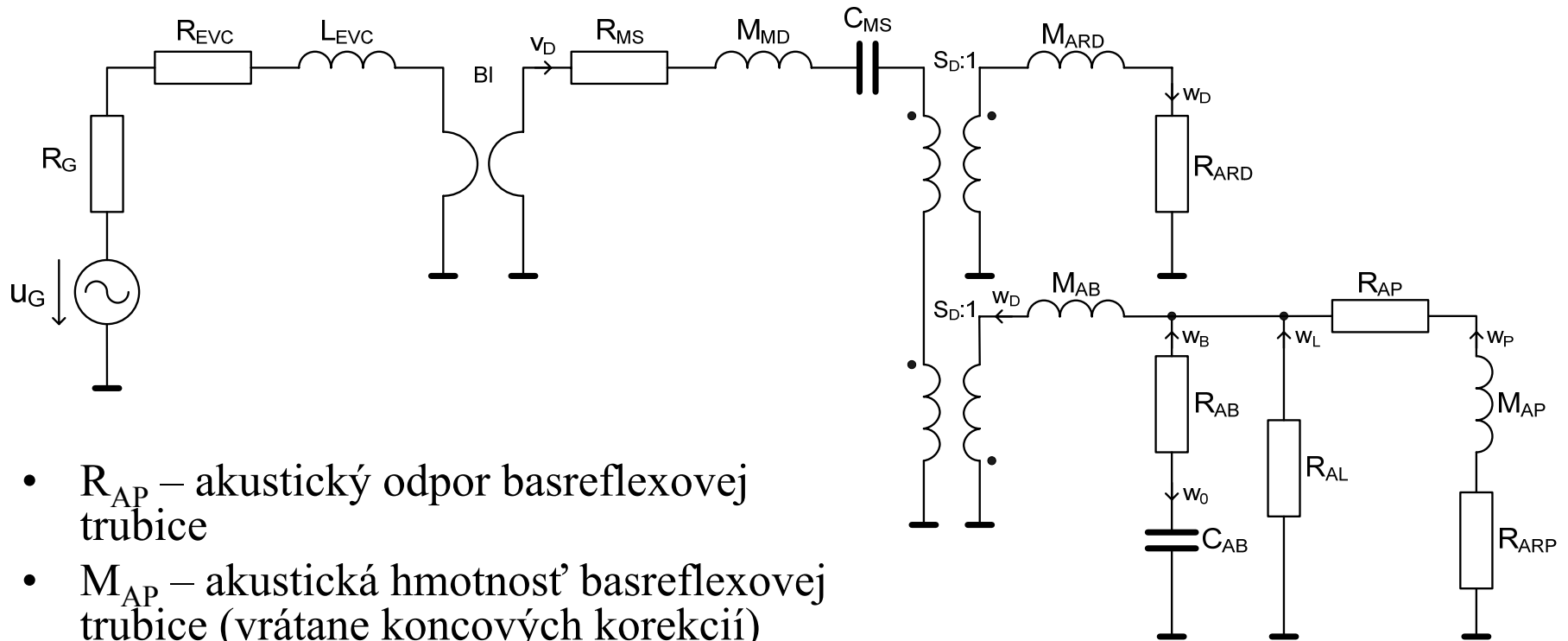
- sústava s dvoma zdrojmi zvuku:
 - aktívnym zdrojom zvuku je reproduktor, vysielajúci akustickú energiu prednou stranou membrány
 - pasívnym zdrojom zvuku je basreflexový otvor (port, vent), ktorým sa vysiela časť akustickej energie zadnej strany membrány
- basreflex môže byť realizovaný:
 - jednoduchý otvor v stene ozvučnice,
 - trubica, ktorá spája dutinu ozvučnice s vonkajším priestorom
- pri vhodne zvolenom reproduktore a správne navrhutej a skonštruovanej ozvučnici môže basreflexový otvor
 - zvýšením celkovej akustickej energie, vyžiarenej v okolí dolnej medznej frekvencie, výrazne prispieť k rozšíreniu prenášaného pásma smerom k nízkym frekvenciám
 - zároveň zmenšením výchylky reproduktora znížiť celkové nelineárne skreslenie reproduktora.

Náčrtok sústavy a objemové rýchlosti v akustickom poli



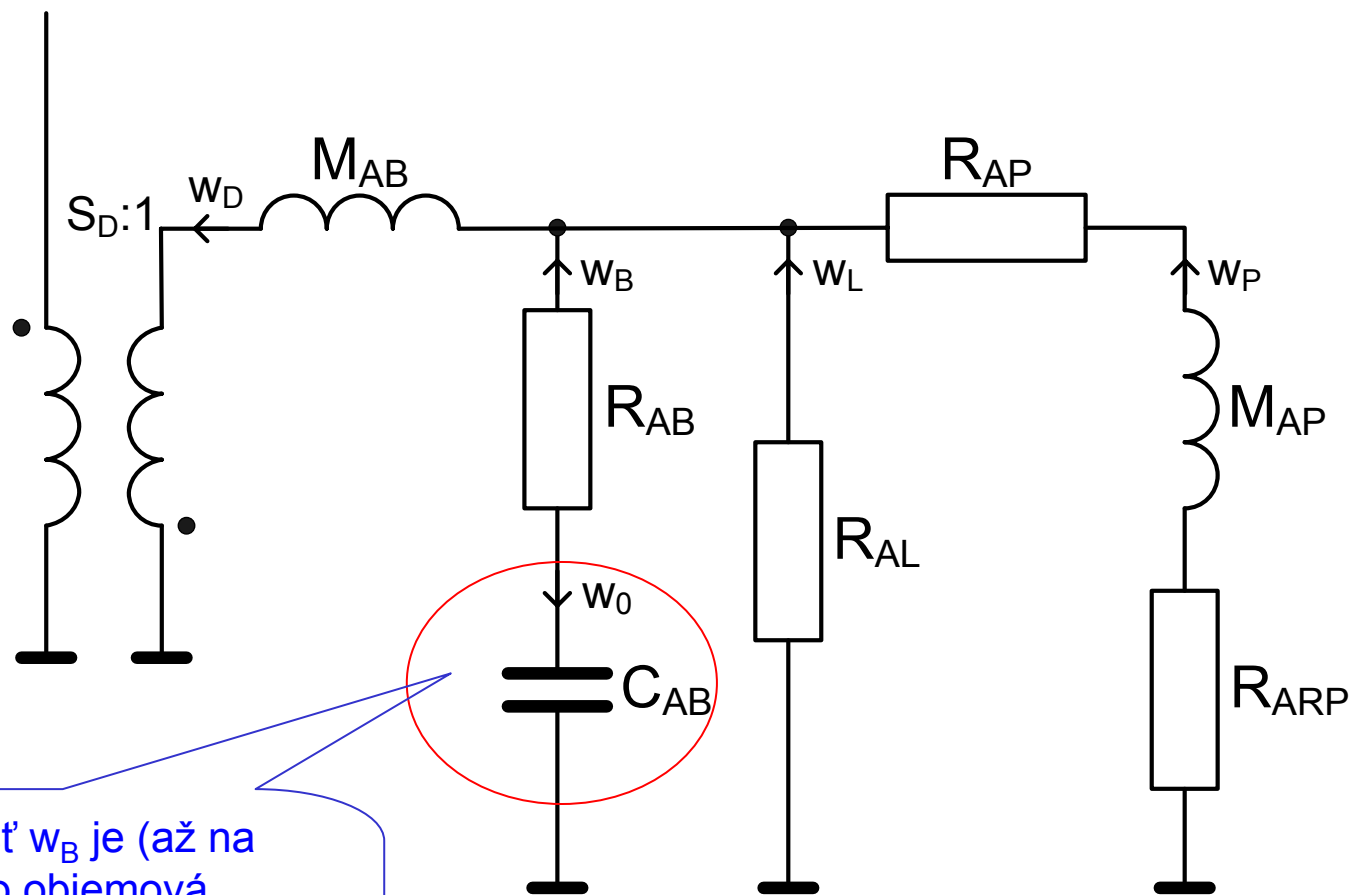
$$\left. \begin{aligned} w_0 &= -w_D + w_P + w_L \\ w_D &= w_B + w_P + w_L \end{aligned} \right\} \Rightarrow \boxed{w_0 = -w_B}$$

Náhradná schéma sústavy VB (Vented Box)



- R_{AP} – akustický odpor basreflexovej trubice
- M_{AP} – akustická hmotnosť basreflexovej trubice (vrátane koncových korekcií)
- R_{ARP} – akustický vysielač odpor akustickej trubice
- akustická vysielačia hmotnosť je súčasťou hmotnosti M_{AP}

Náhradná schéma ozvučnice (VB)



Objemová rýchlosť w_B je (až na fázu) rovnaká, ako objemová rýchlosť w_0 , generovaná sústavou do priestoru. Dostaneme ju z náhradnej schémy.

| Seas Prestige ER18RNX
 | Revc=5.9Ohms; Levc=0.67mH; Bl=7.2N/A;
 | Mmd=14g; Mmrd=0.92g;
 | Rms=2.2Ns/m; Cms=1.3mm/N; Sd=136cm²
 | Fs=37Hz; Qts=0.32; Qms=1.58; Qes=0.39; Vas=32lit.
 | ymax=6mm; sens=88.5dB; Pe(lt)=80W

Def_Const

```
{roh=1.18; c0=344; Sd=0.0136; Rd=sqrt(Sd/pi);
Mard=(roh*8*Rd)/(3*pi*Sd);
Vas=0.032; Qts=0.32;Fs=37;
QL=10; alfa=2.5;h=1.25;
Vab=Vas/alfa; Cab=Vab/(roh*c0^2);
Fb=Fs*h;Lp=0.18;Rp=0.025;Sp=pi*Rp^2;
Map=(roh/Sp)*(Lp+(16*Rp)/(3*pi));
RaL=QL*sqrt(Map/Cab);
}
```

* diskretne prvky

System 'S1-Discrete'

```
Resistor 'Rg' Node=1=2 R=0.001ohm
Resistor 'Revc' Node=2=3 R=5.9ohm
Coil 'Levc' Node=3=4 L=0.67mH
```

```
Gyrator 'Gy1' Node=4=0=5=0 Bl=7.2Tm
```

Skript - náhradná schéma s diskrétnymi prvkami

```
MechResistance 'Rms' Node=5=6 Rm=2.2Ns/m
MechMass 'Mms' Node=6=7 Mm=15.84g
MechCompliance 'Cms' Node=7=8 Cm=1.3e-3m/N
```

```
Coupler 'front' Node=8=9=10
```

```
SD={Sd} |Piston
```

```
AcouMass 'Mard1' Node=10=11 Ma={Mard}
```

```
Impedance 'Rard' Node=11
```

```
Z={{(roh*w^2)/(2*pi*c0)}
```

```
Coupler 'back' Node=9=0=0=20
```

```
SD={Sd} |Piston
```

```
AcouMass 'Mab' Node=20=21 Ma={Mard}
```

```
AcouResistance 'Rab' Node=21=22 Ra=1Pas/m3
```

```
AcouCompliance 'Cab' Node=22=0 Ca={Cab}
```

```
AcouResistance 'RaL' Node=21=0 Ra={RaL}
```

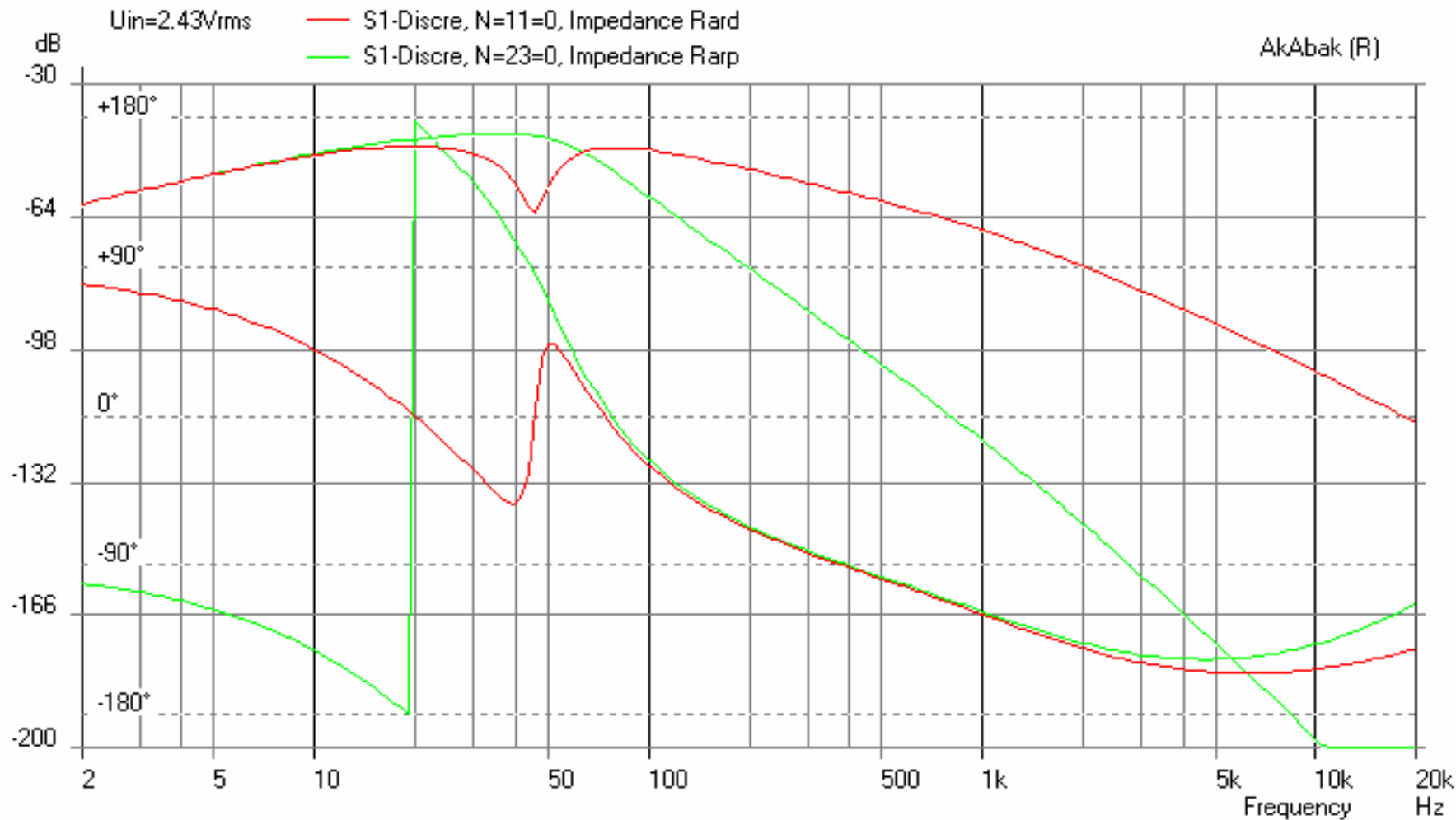
```
AcouMass 'Map' Node=21=23 Ma={Map}
```

```
Impedance 'Rarp' Node=23=0
```

```
Z={{(roh*w^2)/(2*pi*c0)}
```

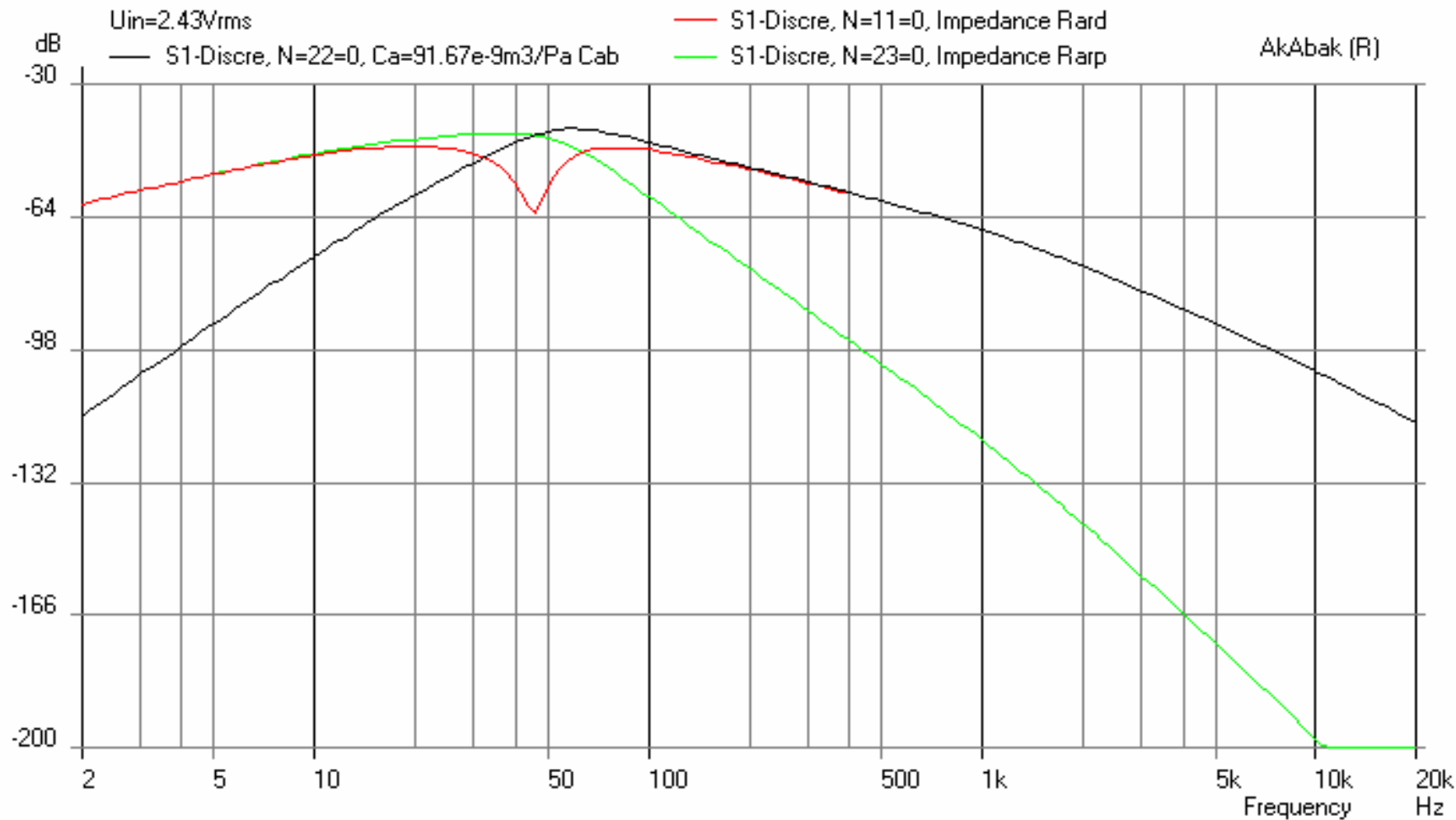
Objemové rychlosti w_{AD} a w_{AP}

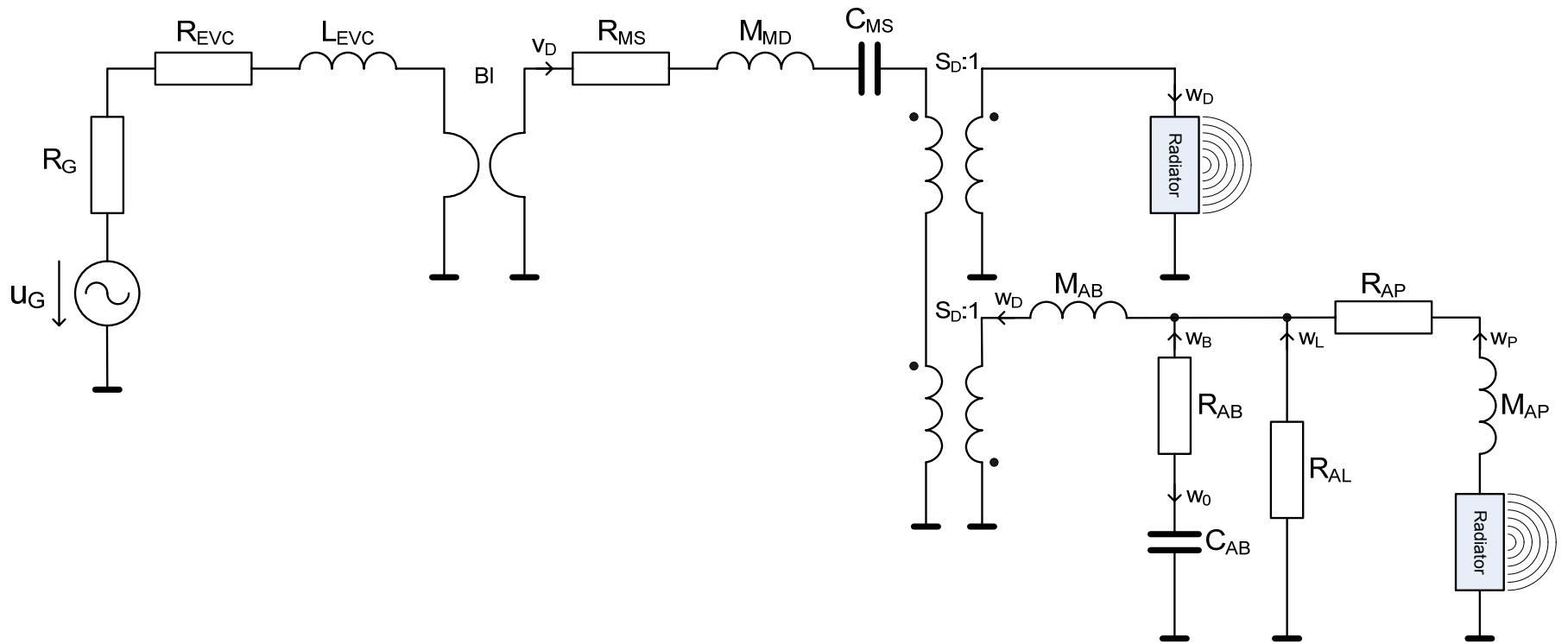
8. Vol-Velocity of L08-09VB, Level (Phase)



Objemové rychlosti w_{AD} , w_{AP} a w_{AB}

7. Vol-Velocity of L08-09VB, Level (Phase)



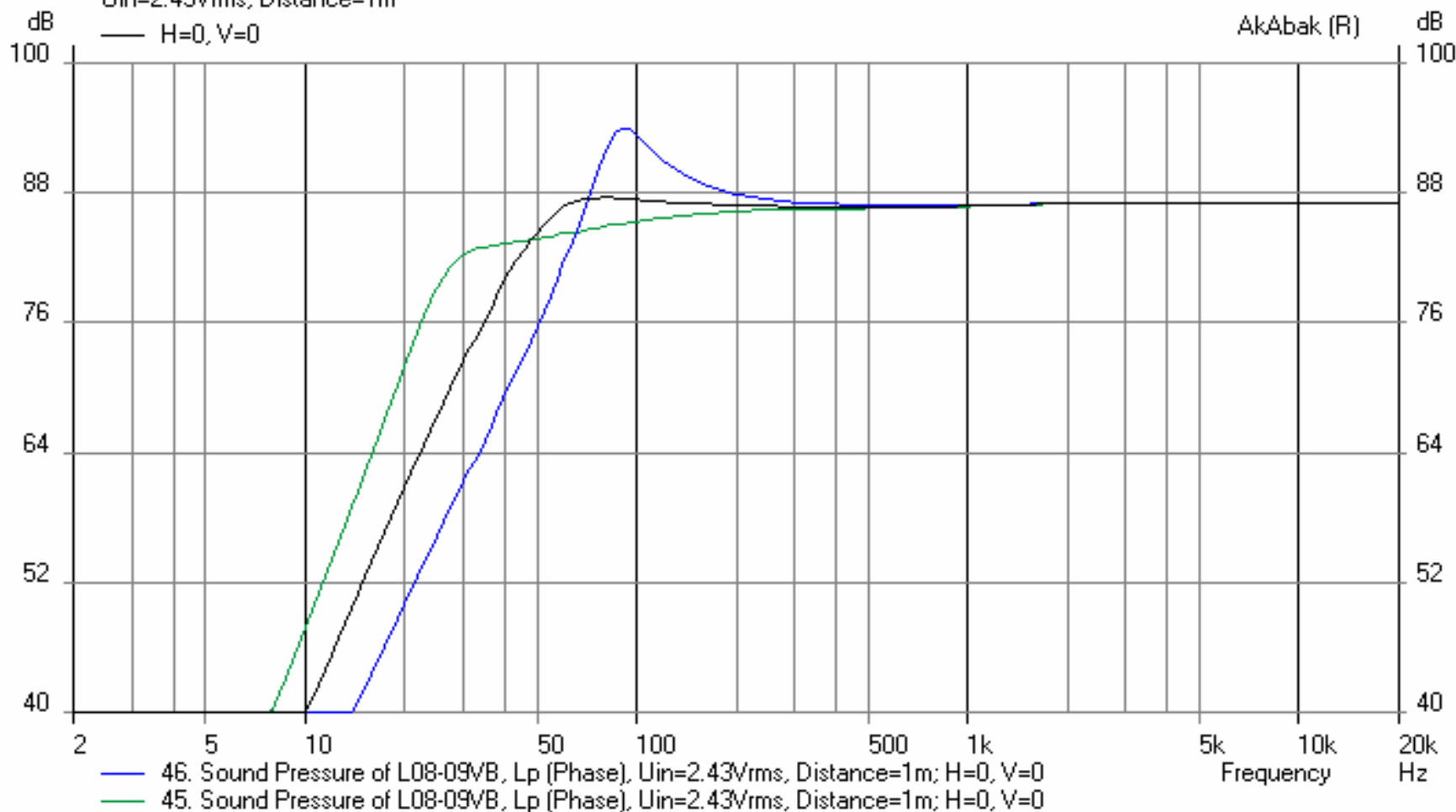


Rôzne „naladenie“ sústavy (VB)

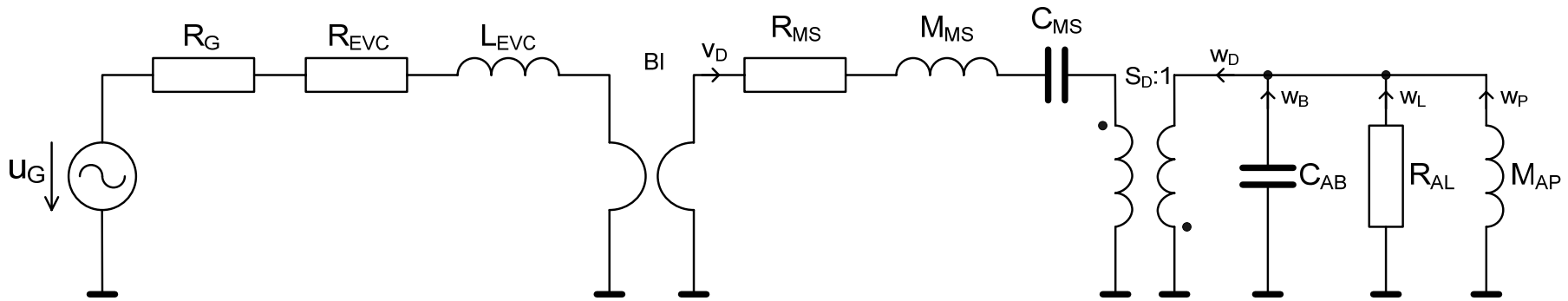
44. Sound Pressure of L08-09VB, Lp (Phase)

$U_{in}=2.43V_{rms}$, Distance=1m

— H=0, V=0



Upravená a zjednodušená náhradná schéma sústavy



$$M_{ARD} = M_{AB} \quad \Rightarrow \quad M_{MS} = M_{MD} + (M_{ARD} + M_{AB}) S_D^2$$

$$R_{AB} = 0; \quad R_{AP} = 0; \quad R_{ARD} \rightarrow 0; \quad R_{ARP} \rightarrow 0$$

$$M_{AP} = \frac{\rho_0}{S_P} \cdot \left(l_P + \frac{8 d_P}{3 \pi} \right) = \frac{\rho_0}{S_P} \cdot \left(l_P + \frac{4 d_P}{3 \pi} \right) + M_{ARP} \quad \Rightarrow \quad M_{ARP} = \frac{\rho_0}{S_P} \cdot \frac{4 d_P}{3 \pi}$$

TS parametre ozvučnice

rezonančná frekvencia: $f_B = \frac{l}{2\pi\sqrt{M_{AP}C_{AB}}}$

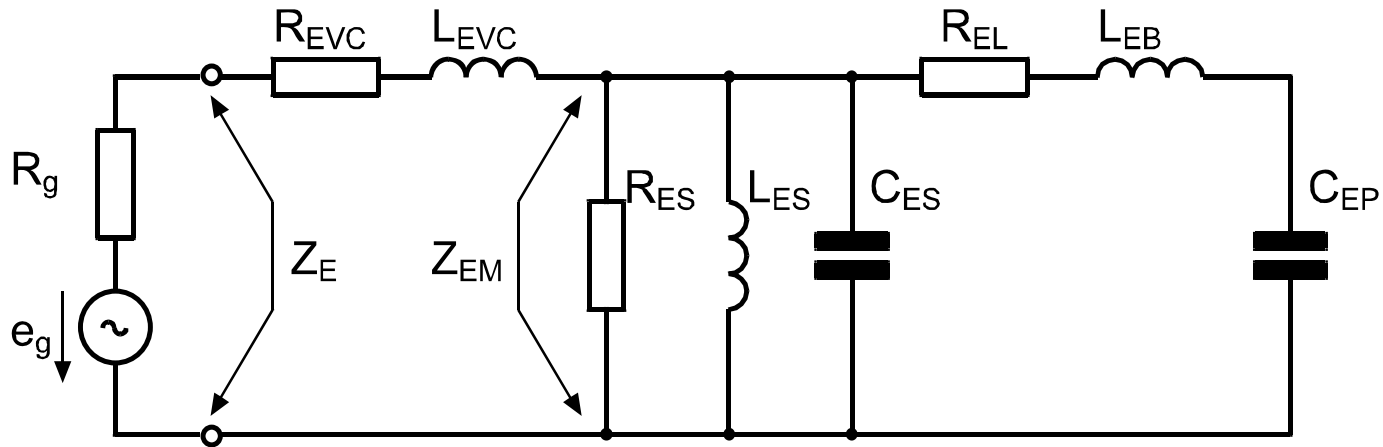
činiteľ kvality: $Q_L = R_{AL}\sqrt{\frac{C_{AB}}{M_{AP}}}$

Návrhové konštanty sústavy

$$\alpha = \frac{C_{AS}}{C_{AB}} = \frac{V_{AS}}{V_{AB}}$$

$$h = \frac{f_B}{f_S}$$

Náhradná elektrická schéma sústavy



$$R_{ES} = \frac{(Bl)^2}{R_{MS}}$$

$$L_{ES} = (Bl)^2 \cdot C_{MS}$$

$$C_{ES} = \frac{M_{MS}}{(Bl)^2}$$

$$R_{EL} = \frac{(Bl)^2}{R_{ML}} = \frac{(Bl)^2}{S_D^2 \cdot R_{AL}}$$

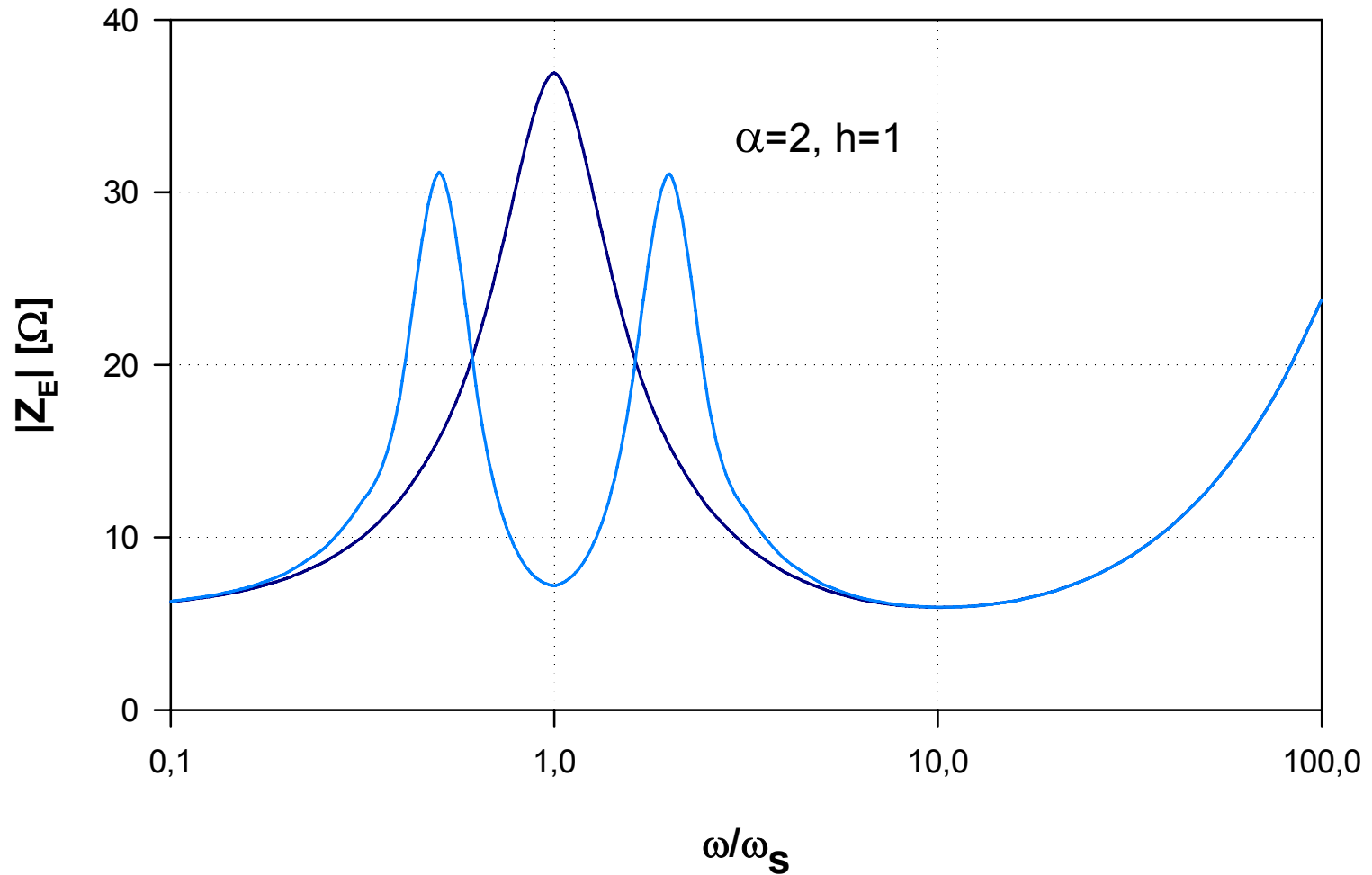
$$L_{EB} = (Bl)^2 \cdot C_{MB} = \frac{(Bl)^2 \cdot C_{AB}}{S_D^2}$$

$$C_{EP} = \frac{M_{MP}}{(Bl)^2} = \frac{S_D^2 \cdot M_{AP}}{(Bl)^2}$$

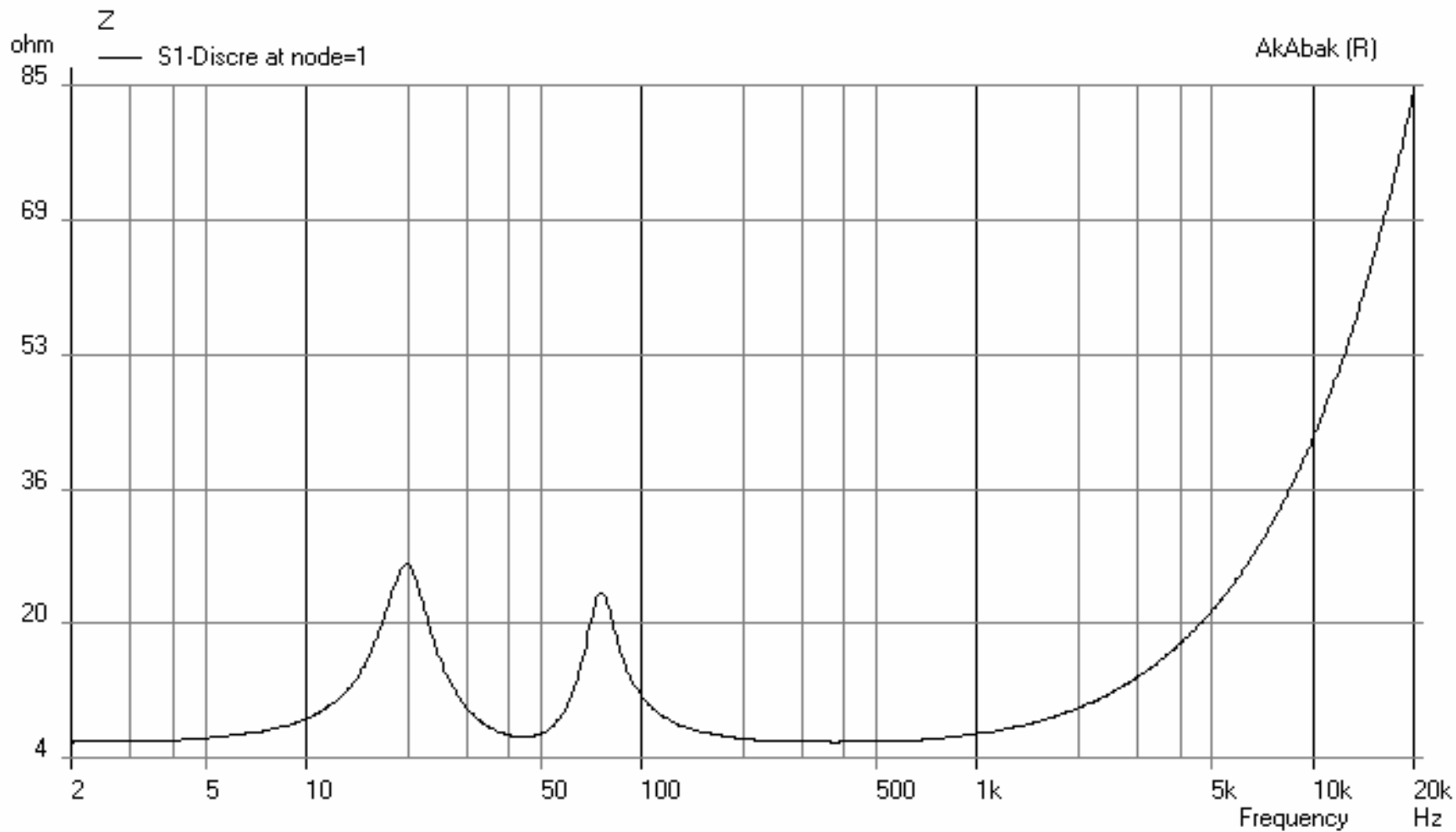
Elektrická impedancia sústavy

$$Z_E = R_{EVC} + sL_{EVC} + \frac{1}{\underbrace{\frac{1}{R_{ES}} + \frac{1}{sL_{ES}} + sC_{ES}}_{Z_{EM}} + \frac{1}{R_{EL} + sL_{EB} + \frac{1}{sC_{EP}}}}$$

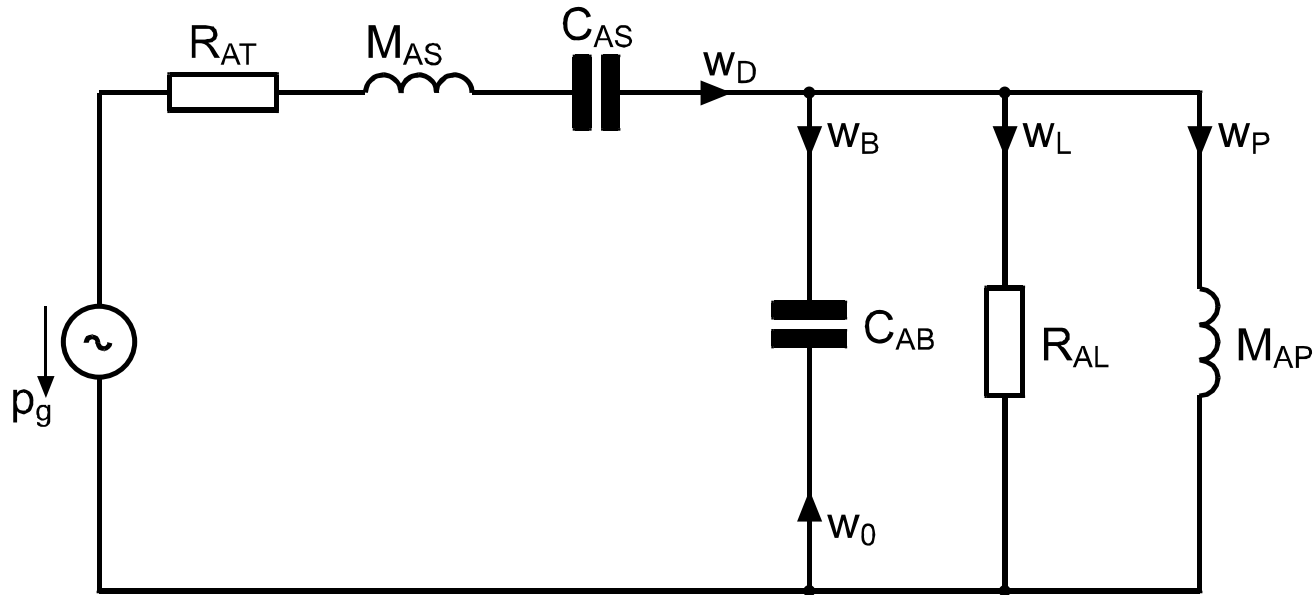
Elektrická impedancia sústavy



1. Impedance of L08-09VB, Amplitude (Phase)



Akustická analogická schéma sústavy



$$p_G = \frac{e_G \cdot (Bl)}{(R_G + R_{EVC}) \cdot S_D}$$

$$R_{AT} = \frac{(Bl)^2}{(R_G + R_{EVC}) \cdot S_D^2} + \frac{R_{MS}}{S_D^2}$$

$$M_{AS} = \frac{M_{MS}}{S_D^2}$$

$$C_{AS} = S_D^2 \cdot C_{MS}$$

Objemová rýchlosť v akustickom poli sústavy

$$w_B(s) = p_G \cdot \frac{\frac{s \cdot C_{AB}}{\frac{1}{R_{AL}} + \frac{1}{s \cdot M_{AP}} + s \cdot C_{AB}}}{R_{AT} + s \cdot M_{AS} + \frac{1}{s \cdot C_{AS}} + \frac{1}{\frac{1}{R_{AL}} + \frac{1}{s \cdot M_{AP}} + s \cdot C_{AB}}}$$

$$= \frac{U_G \cdot (Bl)}{(R_G + R_{EVC}) \cdot S_D} \cdot \frac{\frac{s \cdot C_{AB}}{\frac{1}{R_{AL}} + \frac{1}{s \cdot M_{AP}} + s \cdot C_{AB}}}{R_{AT} + s \cdot M_{AS} + \frac{1}{s \cdot C_{AS}} + \frac{1}{\frac{1}{R_{AL}} + \frac{1}{s \cdot M_{AP}} + s \cdot C_{AB}}}$$

Akustický tlak v akustickom poli sústavy

$$p_0(s) = \frac{\rho_0}{2\pi r} \cdot s \cdot w_B(s) = p_{0,m} \cdot G_{VB}(s)$$

$$p_0(s) = \frac{\rho_0}{2\pi r} \cdot \frac{U_G \cdot (Bl) \cdot S_D}{(R_G + R_{EVC}) \cdot M_{MS}}$$

$$G_{VB}(s) = \frac{N(s)}{D(s)}$$

Akustický tlak v akustickom poli sústavy (VB)

- je rovnaký ako v prípade reproduktora v nekonečnej ozvučnici:

$$p_{0,m} = \frac{\rho_0}{2\pi r} \cdot \frac{E_G \cdot (Bl) \cdot S_D}{(R_G + R_{EVC}) \cdot M_{MS}} = \frac{\sqrt{P_E}}{r} \cdot \underbrace{\frac{\sqrt{2\pi\rho_0}}{c_0} \sqrt{\frac{f_S^3 V_{AS}}{Q_{ES}}}}_{\sigma_{p|W,1m}} \quad [\text{Pa}]$$

$$\sigma_{p|W,1m} = 7.9 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{f_S^3 V_{AS}}{Q_{ES}}} \quad [\text{PaW}^{-1/2}\text{m}]$$

Prenosová funkcia sústavy (VB)

$$G_{VB}(s) = \frac{M_{AS} \cdot \frac{s \cdot C_{AB}}{\frac{1}{R_{AL}} + \frac{1}{s \cdot M_{AP}} + s \cdot C_{AB}}}{R_{AT} + s \cdot M_{AS} + \frac{1}{s \cdot C_{AS}} + \frac{1}{\frac{1}{R_{AL}} + \frac{1}{s \cdot M_{AP}} + s \cdot C_{AB}}} = \frac{N(s)}{D(s)}$$

Prenosová funkcia sústavy (VB) ako hornopriepustný filter 4. rádu)

$$G_{VB}(s) = \frac{s_0^4}{s_0^4 + a_1 s_0^3 + a_2 s_0^2 + a_3 s_0 + 1}$$

$$s_0 = \frac{s}{\omega_0}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_B \omega_S} = \omega_S \sqrt{h}$$

$$a_1 = \frac{Q_L + h \cdot Q_T}{\sqrt{h} \cdot Q_L \cdot Q_T}$$

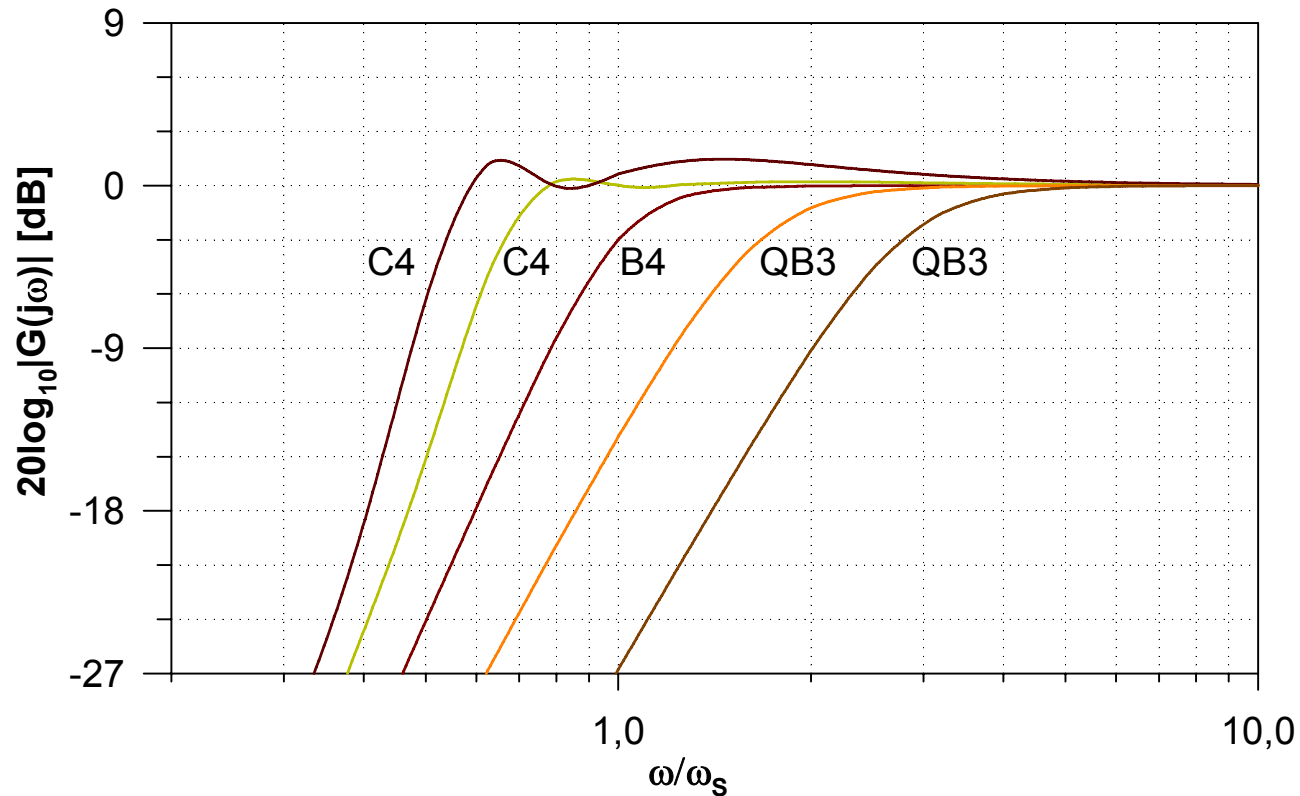
$$a_2 = \frac{h + (\alpha + 1 + h^2) \cdot Q_L \cdot Q_T}{\sqrt{h} \cdot Q_L \cdot Q_T}$$

$$a_3 = \frac{h \cdot Q_L + Q_T}{\sqrt{h} \cdot Q_L \cdot Q_T}$$

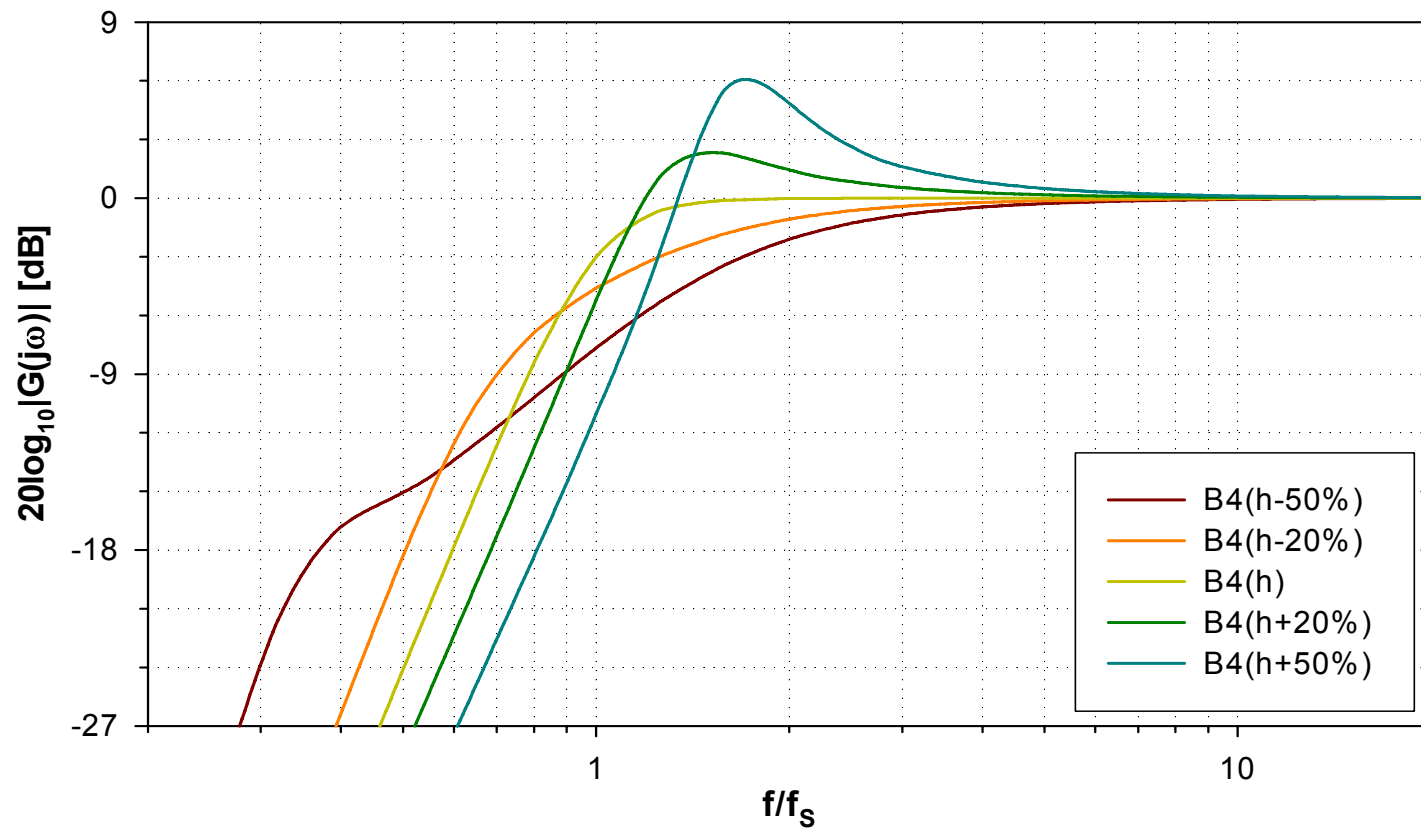
Amplitúdová frekvenčná charakteristika sústavy

$$|G(j\Omega_0)| = \frac{\Omega_0^4}{\sqrt{\Omega_0^8 + A_1\Omega_0^6 + A_2\Omega_0^4 + A_3\Omega_0^2 + 1}}; \quad \Omega_0 = \frac{\omega}{\omega_0}$$

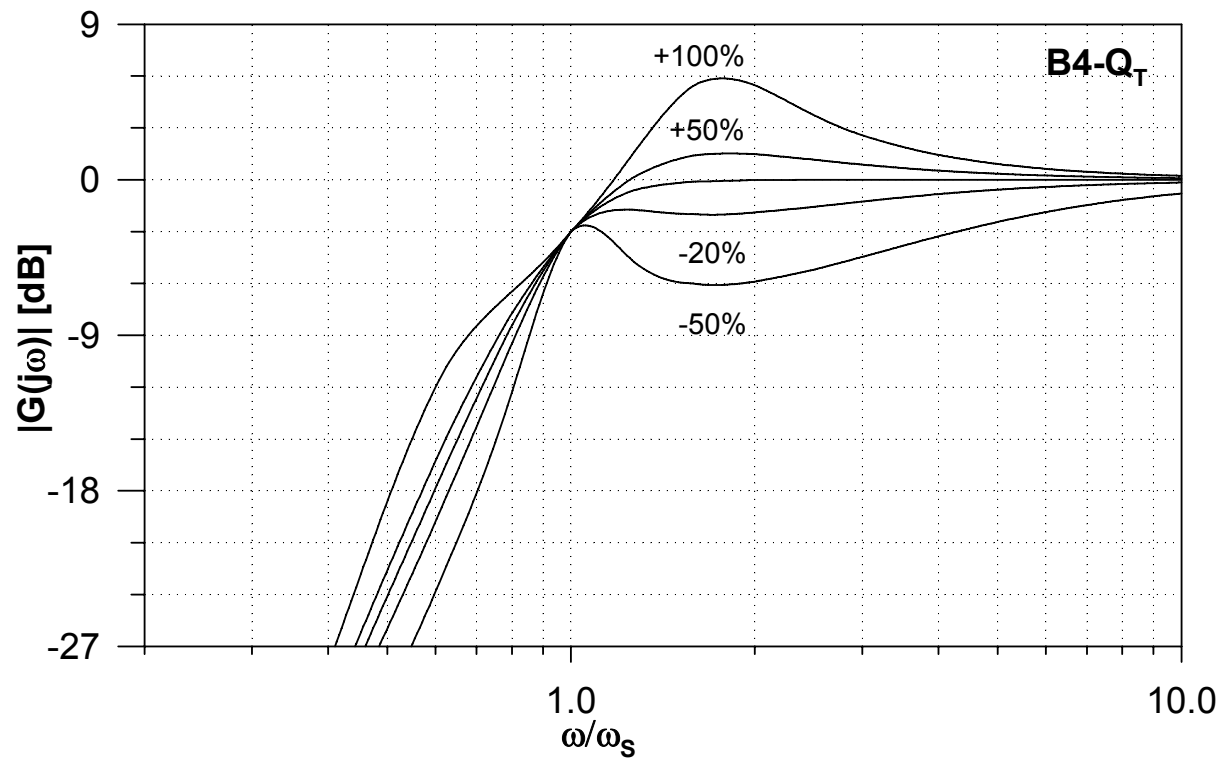
$$A_1 = a_1^2 - 2a_2; \quad A_2 = a_2^2 + 2 - 2a_1a_3; \quad A_3 = a_3^2 - 2a_2$$



Citlivosť basreflexových sústav na rozptyl parametra h



Citlivosť basreflexových sústav na rozptyl parametra Q_T



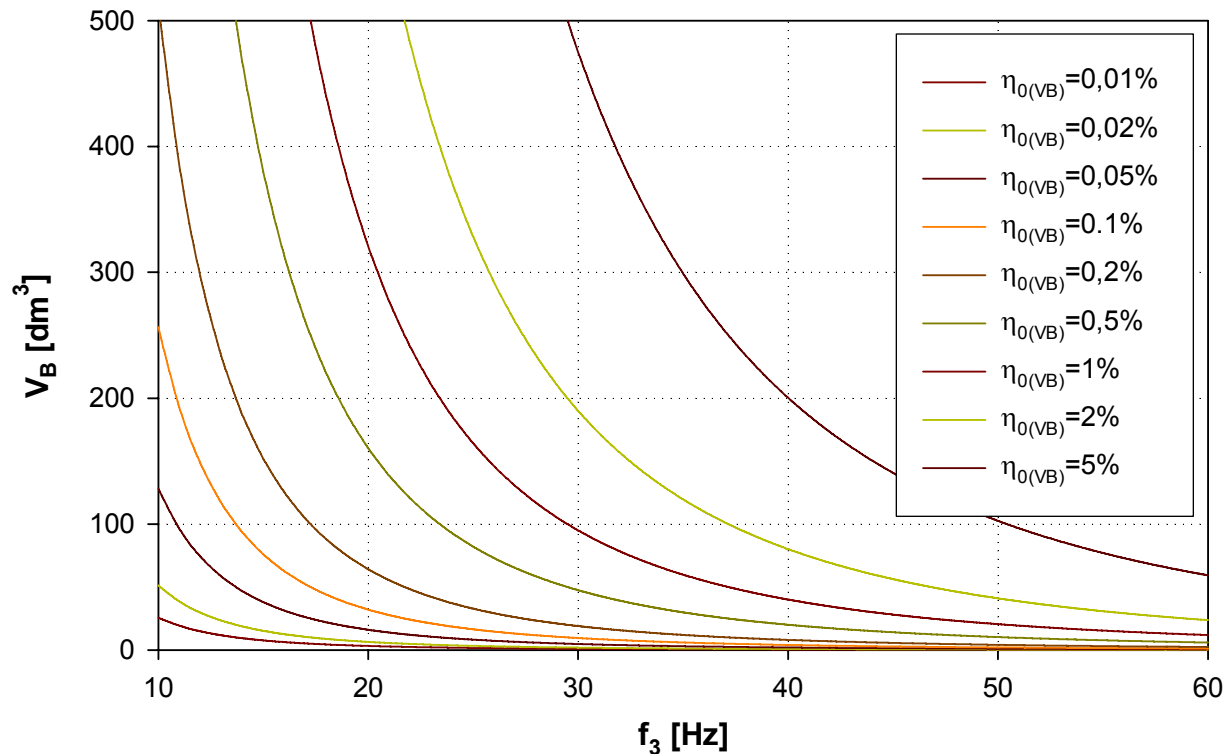
Menovitá účinnosť basreflexovej sústavy

- Teoreticky je menovitá účinnosť basreflexovej sústavy identická s účinnosťou samotného reproduktora;
- Prakticky však účinnosť basreflexovej sústavy závisí aj od spôsobu konštrukcie ozvučnice a z toho vyplývajúcich celkových strát
- Skutočná účinnosť môže byť väčšia ale aj menšia, než teoreticky predpokladaná

$$\eta_{N(VB)} = \eta_{N(IB)} = \frac{4 \cdot \pi^2}{c_0^3} \cdot \frac{f_S^3 \cdot V_{AS}}{Q_{ES}} \cong 9.6 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{f_S^3 \cdot V_{AS}}{Q_{ES}}$$

Maximálna účinnosť basreflexovej sústavy

$$\eta_{N(VB),\max} = 3.9 \cdot 10^{-6} \cdot f_{3(VB)}^3 \cdot V_B \quad \left[-; Hz, m^3 \right]$$



Každá sústava, ktorá má dolnú medznú frekvenciu $f_{3(VB)}$ a objem V_B , bude mať menovitú účinnosť menšiu, než je hodnota $\eta_{N(VB),\max}$, odčítaná z grafu

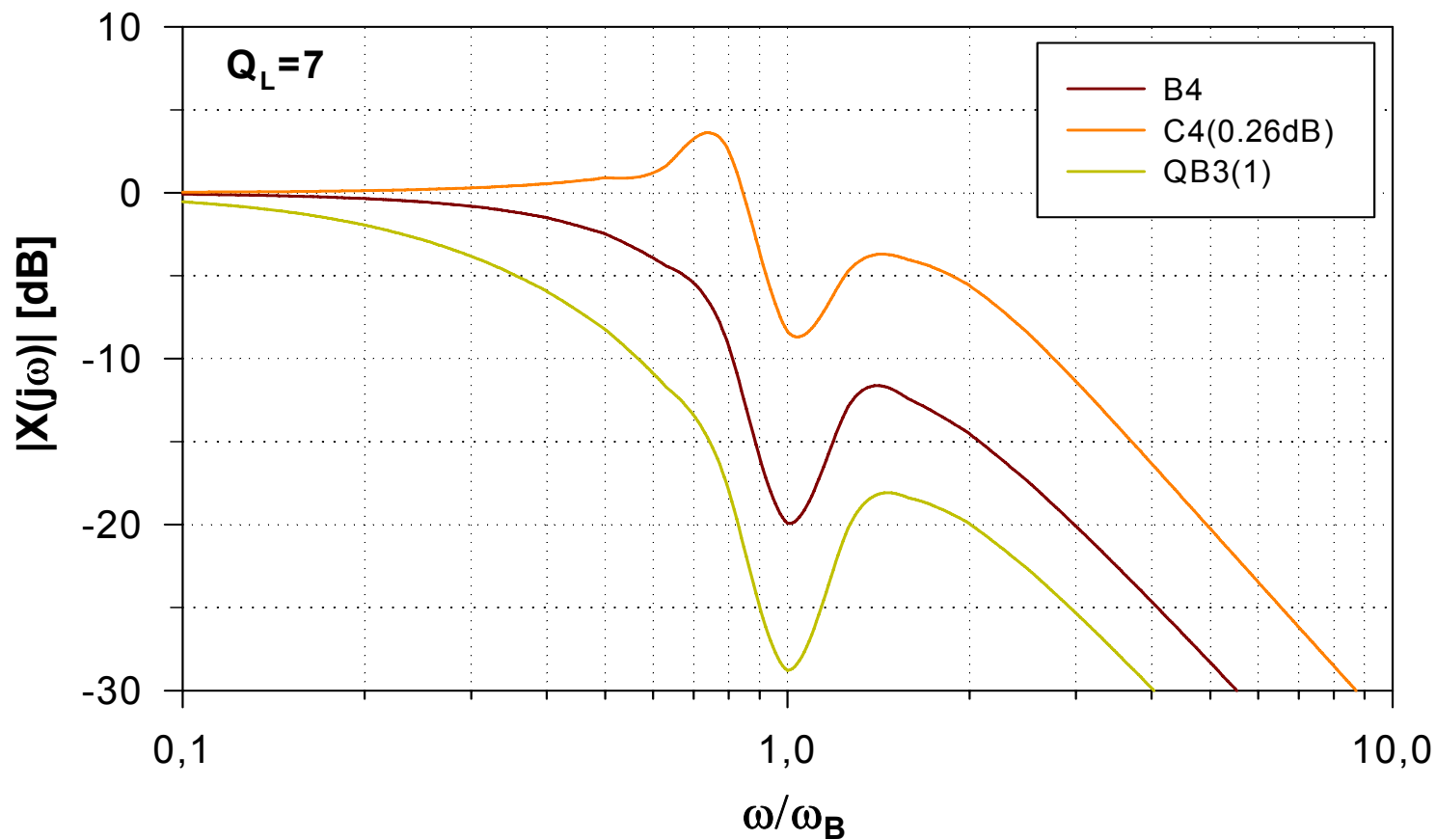
Lineárna výchylka membrány

$$x_D(s) = \sqrt{P_E} \cdot \sigma_{x(VB)} \cdot X_{(VB)}(s)$$

$$\sigma_{x(VB)} = \sigma_{x(IB)} = \frac{C_{AS} \cdot (Bl)}{S_D^2 \cdot \sqrt{R_{EVC}}}$$

$$X_{(VB)}(s) = \frac{b_1 s_0^2 + b_2 s_0 + 1}{s_0^4 + a_1 s_0^3 + a_2 s_0^2 + a_3 s_0 + 1}; \quad b_1 = \frac{1}{h}$$
$$b_2 = \frac{1}{\sqrt{h} \cdot Q_L}$$

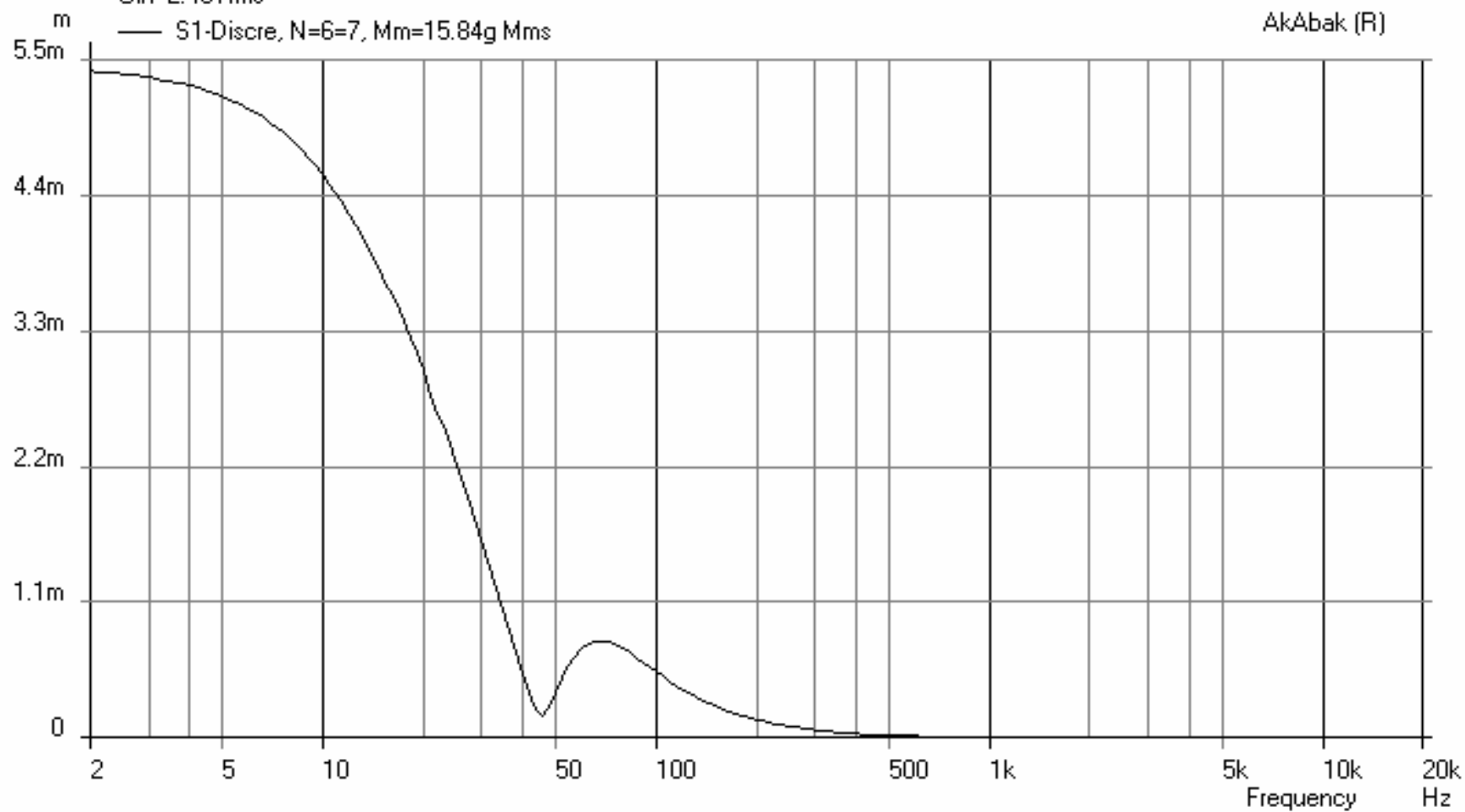
Prenosová funkcia výchylky membrány - AFCH



2. Excursion of L08-09VB, Amplitude (Phase)

$U_{in}=2.43V_{rms}$

— S1-Discre, N=6=7, Mm=15.84g Mms



Návrh basreflexovej sústavy (VB)

1. Návrh vhodnej ozvučnice pre zvolený reproduktor a cieľové kritérium, ktorým je obvyčajne tvar AFCH (medzná frekvencia, zvlnenie charakteristiky a pod.)
 - Vstup: TS parametre reproduktora, f_{-3dB} , R_{dB}
 - Výstup: objem ozvučnice, rozmery br. trubice (V_{AB} , l_p , d_p)
 2. Návrh vhodného reproduktora pre zvolenú ozvučnicu a cieľové kritérium - tvar AFCH (medzná frekvencia, zvlnenie charakteristiky a pod.)
 - Vstup: objem ozvučnice, rozmery br. trubice (V_{AB} , l_p , d_p), f_{-3dB} , R_{dB}
 - Výstup: TS parametre reproduktora
 3. Návrh vhodného reproduktora a ozvučnice pre zvolené cieľové kritérium – tvar AFCH (medzná frekvencia, zvlnenie charakteristiky a pod.)
 - Vstup: f_{-3dB} , R_{dB}
 - Výstup: TS parametre reproduktora, objem ozvučnice, rozmery br. trubice (V_{AB} , l_p , d_p)
- Pozn: pre zvolený vstup nenájdeme vhodný výstup – nutná korekcia požiadaviek!

Návrh basreflexovej sústavy (VB)

- manuálny numerický výpočet – prácny a časovo náročný postup
- grafická resp. tabuľková metóda – čiastočná automatizácia rutinných výpočtov
- použitie špecializovaných programových (softvérových) prostriedkov - CAD

Aproximácie prenosovej funkcie sústavy

V súčasnosti existuje asi 15 typov aproximácií, ktoré vedú k realizovateľným basreflexovým reproduktorovým sústavám. Princiipiálne ich môžeme rozdeliť do dvoch základných kategórií:

1. aproximácie s elektronickou podporou, ktoré sú charakteristické tým, že na dosiahnutie požadovanej frekvenčnej charakteristiky sa reproduktorová sústava kombinuje s predradeným elektrickým filtrom;
2. aproximácií bez elektronickej podpory, u ktorých predradený elektrický filter nie je potrebný.

Ďalej sa budeme zaoberať aproximáciami bez elektronickej podpory, ktoré sú medzi výrobcami obľúbenejšie. Tieto možno rozdeliť taktiež do dvoch skupín:

- a) s optimálne plochou charakteristikou
- b) so zvlnenou charakteristikou v pásme prepúšťania (charakteristikou čebyševovského typu)

Aproximácie s optimálne plochou frekvenčnou charakteristikou sú reprezentované šiestimi kategóriami:

- A) SBB4 (Super Fourth-Order Boom Box) []
- B) SC4 (Fourth-Order Sub-Chebychev)
- C) QB3 (Quasi Third-Order Butterworth)
- D) Diskrétné aproximácie, ktoré sa tak nazývajú preto, že existujú len pre jednu hodnotu Q_{TS} :
 - B4 (Fourth-Order Butterworth)
 - BE4 (Fourth-Order Bessel)
 - IB4 (Butterworth Inter-Order)

Najznámejšie aproximácie čebyševovského typu sú reprezentované troma typmi:

- E) C4 (Fourth-Order Chebychev)
- F) BB4 (Fourth-Order Boom Box)
- G) SQB3 (Super Third-Order Quasi-Butterworth)

Jednotlivé aproximačné kategórie sa líšia napr. typom reproduktora, pre ktorý sú realizovateľné (požiadavka na Q_{TS}), dosiahnuteľnou dolnou medznou frekvenciou, potrebným ladením ozvučnice (Helmholtzovho rezonátora) a z toho vyplývajúcej požiadavky na objem skrinky a veľkosť trubice.

Aproximácia B4

$$|G(j\Omega_0)|^2 = \frac{\Omega_0^8}{\Omega_0^8 + 1} \Rightarrow A_1 = A_2 = A_3 = 0$$

$$\left. \begin{array}{l} a_2 = 2 + \sqrt{2} \\ a_1 = a_3 = \sqrt{2a_2} \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} h = 1 \Rightarrow f_B = f_S \\ q = 1 \Rightarrow f_{-3dB} = f_S \end{array}$$

Q_L	α	h	Q_T	q
∞	1.414	1	0.383	1
20	1.286	1	0.390	1
10	1.163	1	0.398	1
7	1.061	1	0.405	1
5	0.932	1	0.414	1
3	0.653	1	0.439	1

Aproximácia QB3

$$|G(j\Omega_0)|^2 = \frac{\Omega_0^8}{\Omega_0^8 + B^2\Omega_0^2 + 1} \Rightarrow A_3 = B^2; A_2 = A_1 = 0$$

1. Zvolíme $B > 0$

2. Riešime algebraickú rovnicu:

$$\left. \begin{array}{l} A_1 = a_1^2 - 2a_2 = 0 \\ A_2 = a_2^2 + 2 - 2a_1a_3 = 0 \\ A_3 = a_3^2 - 2a_2 = B^2 \end{array} \right\} \Rightarrow a_2^4 - 12a_2^2 - 8B^2a_2 + 4 = 0$$

3. Vyberieme $a_2 > 2 + \sqrt{2}$ a vypočítame:

$$a_1 = \sqrt{2a_2}$$

$$a_3 = \frac{a_2^2 + 2}{2a_1}$$

4. Vypočítame α, h, q, Q_T

Aproximácia C4/SC4

$$|G(j\omega)|^2 = \frac{\Omega_0^8}{\Omega_0^8 + A_1\Omega_0^6 + A_2\Omega_0^4 + A_3\Omega_0^2 + 1}; \quad \Omega_0 = \frac{\omega}{\omega_0}$$

$$\omega_0 = \left(\frac{64\varepsilon^2}{1 + \varepsilon^2} \right)^{\frac{1}{8}} \cdot \omega_N; \quad \omega_N = \frac{\omega_{-3dB}}{2} \sqrt{2 + \sqrt{2 + 2\sqrt{2 + \frac{1}{\varepsilon^2}}}}$$

$$A_1 = -0.25 \left(\frac{64\varepsilon^2}{1 + \varepsilon^2} \right)^{\frac{3}{4}}; \quad A_2 = 1.25 \left(\frac{64\varepsilon^2}{1 + \varepsilon^2} \right)^{\frac{1}{2}}; \quad A_3 = -2 \left(\frac{64\varepsilon^2}{1 + \varepsilon^2} \right)^{\frac{1}{4}}$$

Zvlnenie (R_{dB}) frekvenčnej charakteristiky:

$$\varepsilon = \sqrt{10^{\frac{R_{dB}}{10}} - 1} \Rightarrow R_{dB} = 10 \cdot \log_{10} (1 + \varepsilon^2)$$

Pri výpočte sa používa parameter k : $k = \tanh \left[\frac{1}{4} \sinh^{-1} \left(\frac{1}{\varepsilon} \right) \right]$

Aproximácia C4/SC4

1. Zvolíme si zvlnenie fr. charakteristiky $\Rightarrow \varepsilon = \sqrt{10^{\frac{R_{dB}}{10}} - 1}$

2. Vypočítame parameter k: $k = \tanh \left[\frac{1}{4} \sinh^{-1} \left(\frac{1}{\varepsilon} \right) \right]$

3. Vypočítame D: $D = \frac{k^4 + 6 \cdot k^2 + 1}{8}$

4. Vypočítame a_1, a_2, a_3 : $a_3 = \frac{k \cdot \sqrt{4 + 2\sqrt{2}}}{\sqrt[4]{D}}$

$$a_2 = \frac{1 + k^2 (1 + \sqrt{2})}{\sqrt{D}}$$

$$a_1 = \frac{a_3}{\sqrt{D}} \cdot \left[1 - \frac{1 - k^2}{2\sqrt{2}} \right]$$

5. Vypočítame α, h, q, Q_T

Návrh sústavy (VB): Výpočet základných parametrov sústavy

Cieľ: α, h, Q_{TS} a f_{-3dB}

Poznáme: a_1, a_2, a_3, Q_L

1. Nájdeme najväčší pozitívny reálny koreň rovnice:

$$|G(j\omega_{-3dB})|^2 = \frac{\Omega_0^8}{\Omega_0^8 + A_1\Omega_0^6 + A_2\Omega_0^4 + A_3\Omega_0^2 + 1} = \frac{1}{2}$$

$$\Omega_0^2 = d$$

$$d^4 - A_1d^3 - A_2d^2 - A_3d - 1 = 0 \Rightarrow d_{1,2,3,4}$$

Výpočet základných parametrov sústavy

2. Zo vzťahov pre a_1 a a_3 elimináciou premenných dostaneme:

$$\left. \begin{aligned} r^4 - c_1 \cdot r^3 + c_2 \cdot r - 1 &= 0 \\ c_1 &= a_1 \cdot Q_L \\ c_2 &= a_3 \cdot Q_L \\ r &= \sqrt{h} \end{aligned} \right\} \Rightarrow r_{1,2,3,4}$$

Rovnicu riešime a vyberieme pozitívny reálny koreň.

Výpočet základných parametrov sústavy

3. Zo hodnôt d a r vypočítame hľadané parametre nasledovne:

$$h = \frac{f_B}{f_S} = r^2 \quad \Rightarrow \quad f_B = f_S \cdot h = f_S \cdot r^2$$

$$\frac{\omega_{-3dB}}{\omega_0} = \sqrt{d} \quad \Rightarrow \quad q = \frac{f_{-3dB}}{f_S} = r\sqrt{d} \quad \Rightarrow \quad f_{-3dB} = f_S \cdot \sqrt{h} \cdot \sqrt{d} = f_S \cdot r \cdot \sqrt{d}$$

$$Q_T = \frac{hQ_L}{a_1\sqrt{h}Q_L - 1} = \frac{r^2Q_L}{a_1rQ_L - 1}$$

$$\alpha = \frac{V_{AS}}{V_{AB}} = h \left(a_2 - \frac{1}{Q_L Q_{TS}} - h \right) - 1 = r^2 \left(a_2 - \frac{1}{Q_L Q_{TS}} - r^2 \right) - 1 \quad \Rightarrow \quad V_{AB} = \frac{V_{AS}}{\alpha}$$

Ak existuje viac než jeden pozitívny reálny koreň r , vyberie sa taký, pomocou ktorého dostaneme kladné hodnoty α a Q_{TS} .

Ak existuje viac než jeden pozitívny reálny koreň d , výber závisí od hodnoty koreňa r :

$$r < 1 \quad \Rightarrow \quad d \leq r^2$$

$$r > 1 \quad \Rightarrow \quad d \geq r^2$$

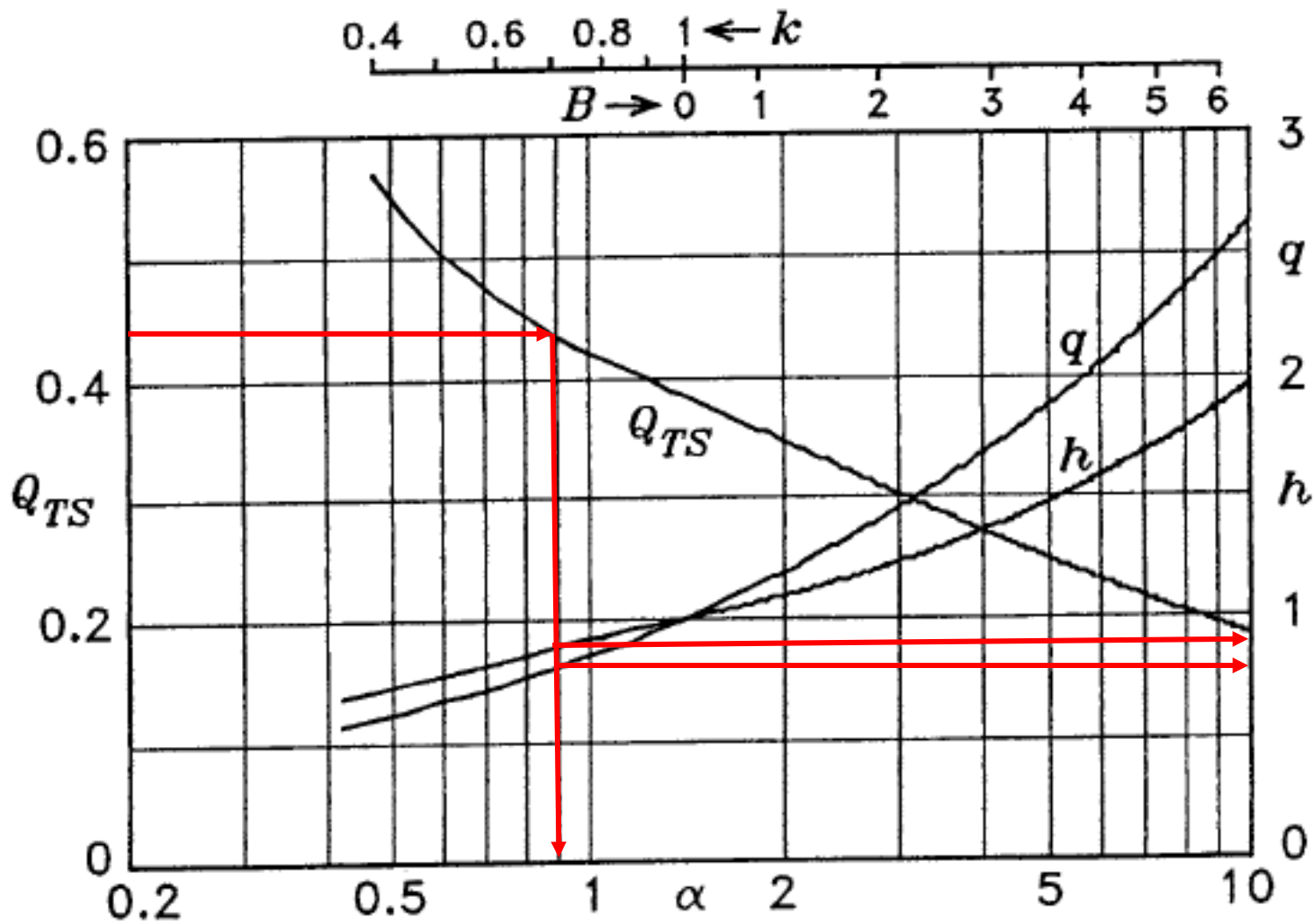
Výpočet základných parametrov sústavy

4. Ak $Q_L \rightarrow \infty$:

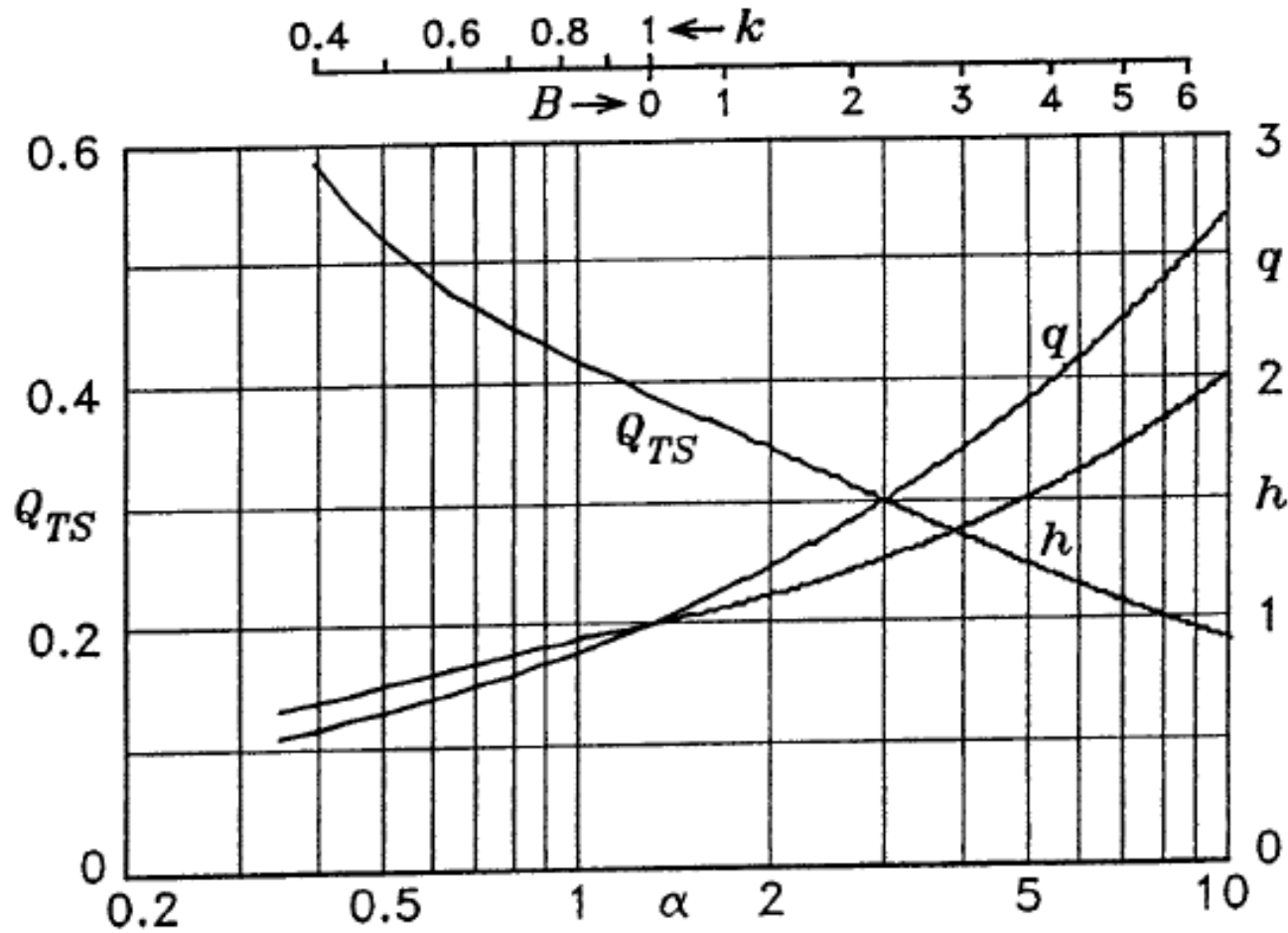
$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \frac{1}{\sqrt{h} \cdot Q_T} \\ a_2 &= \frac{\alpha + 1 + h^2}{h} \\ a_3 &= \frac{\sqrt{h}}{Q_T} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} h &= \frac{a_3}{a_1} \\ \alpha &= a_2 \cdot h - h^2 - 1 \\ Q_T &= \frac{1}{\sqrt{a_1 \cdot a_3}} \end{aligned}$$

Grafická metóda návrhu VB

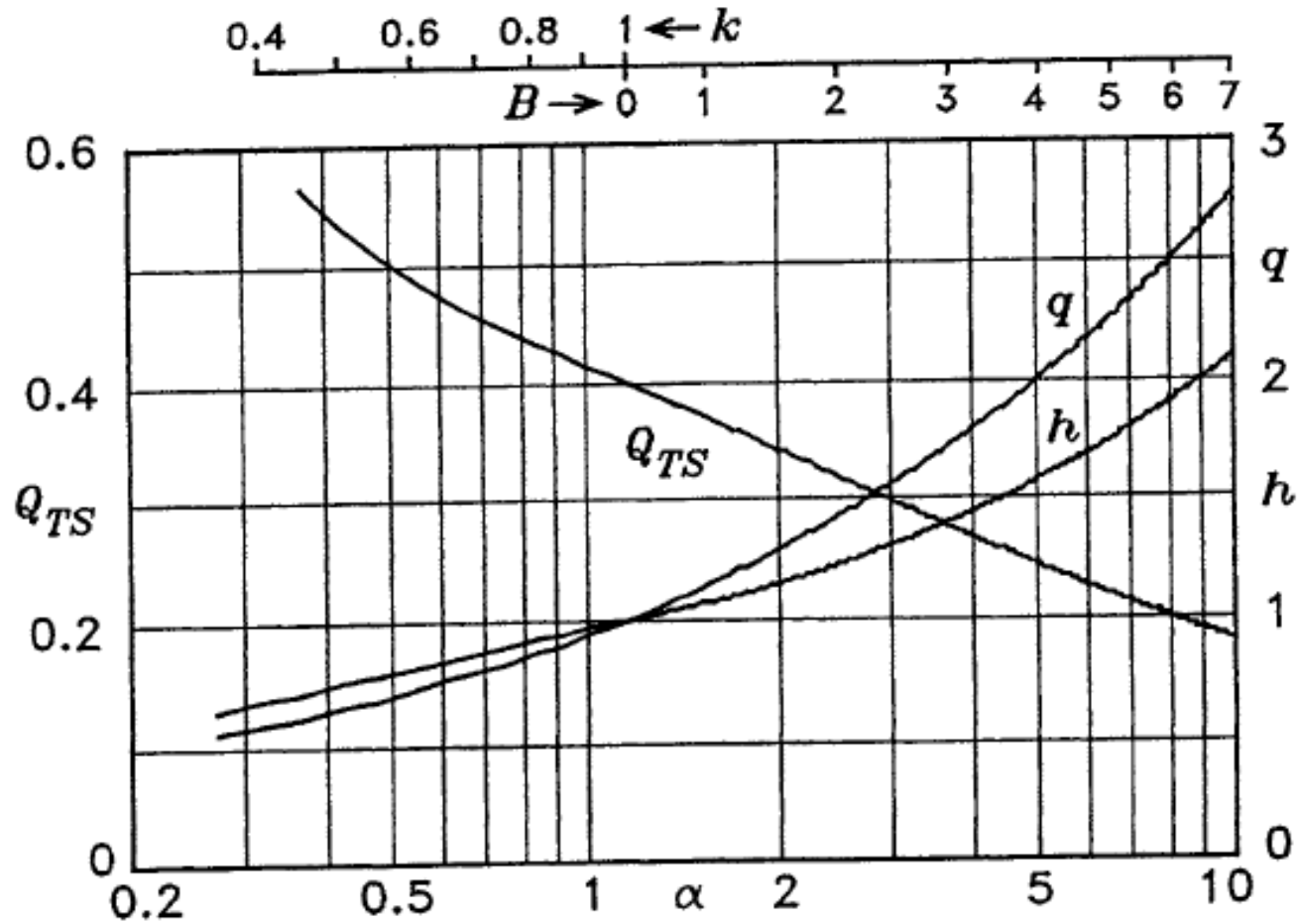
$$Q_L = \infty$$



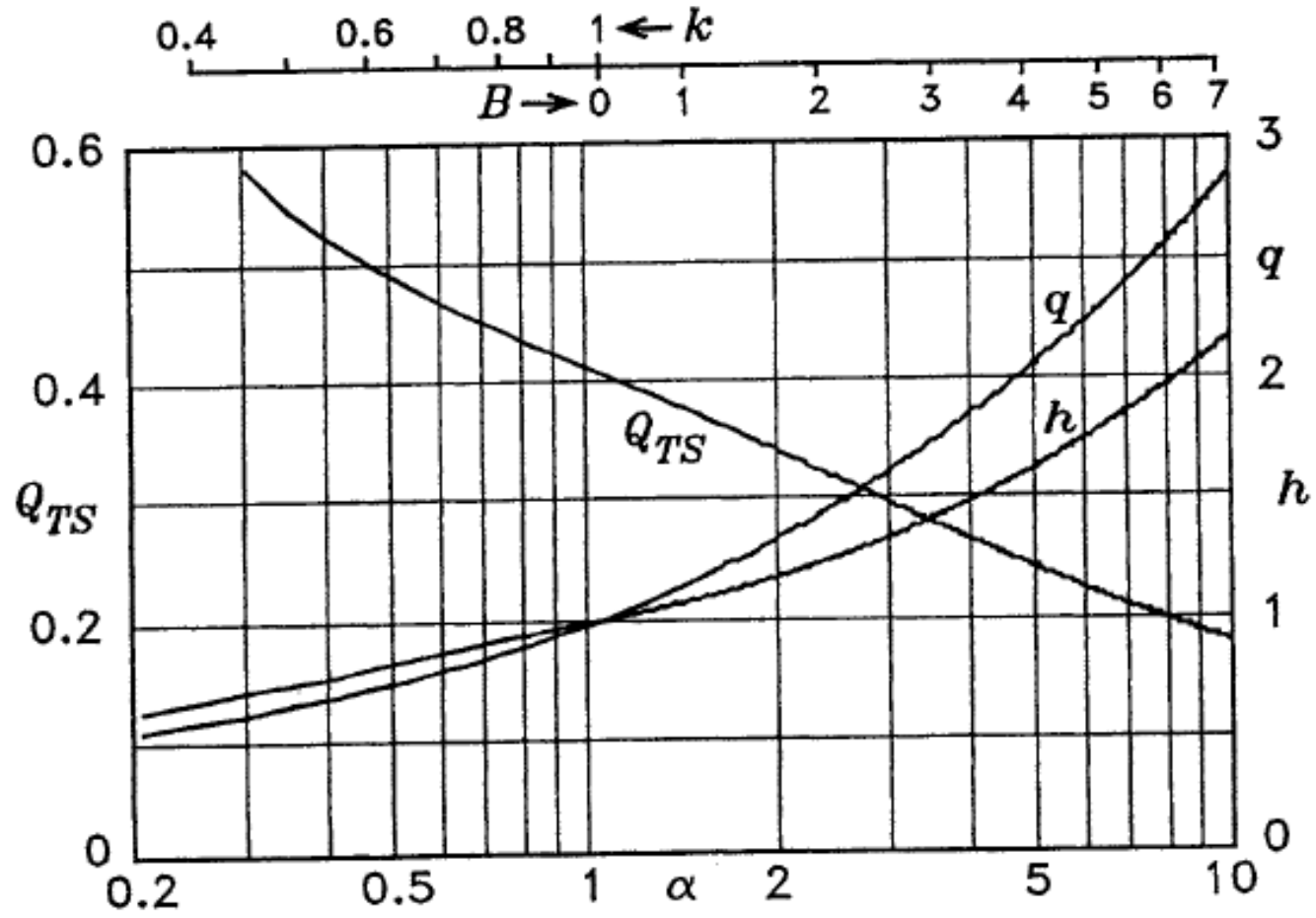
$$Q_L = 20$$



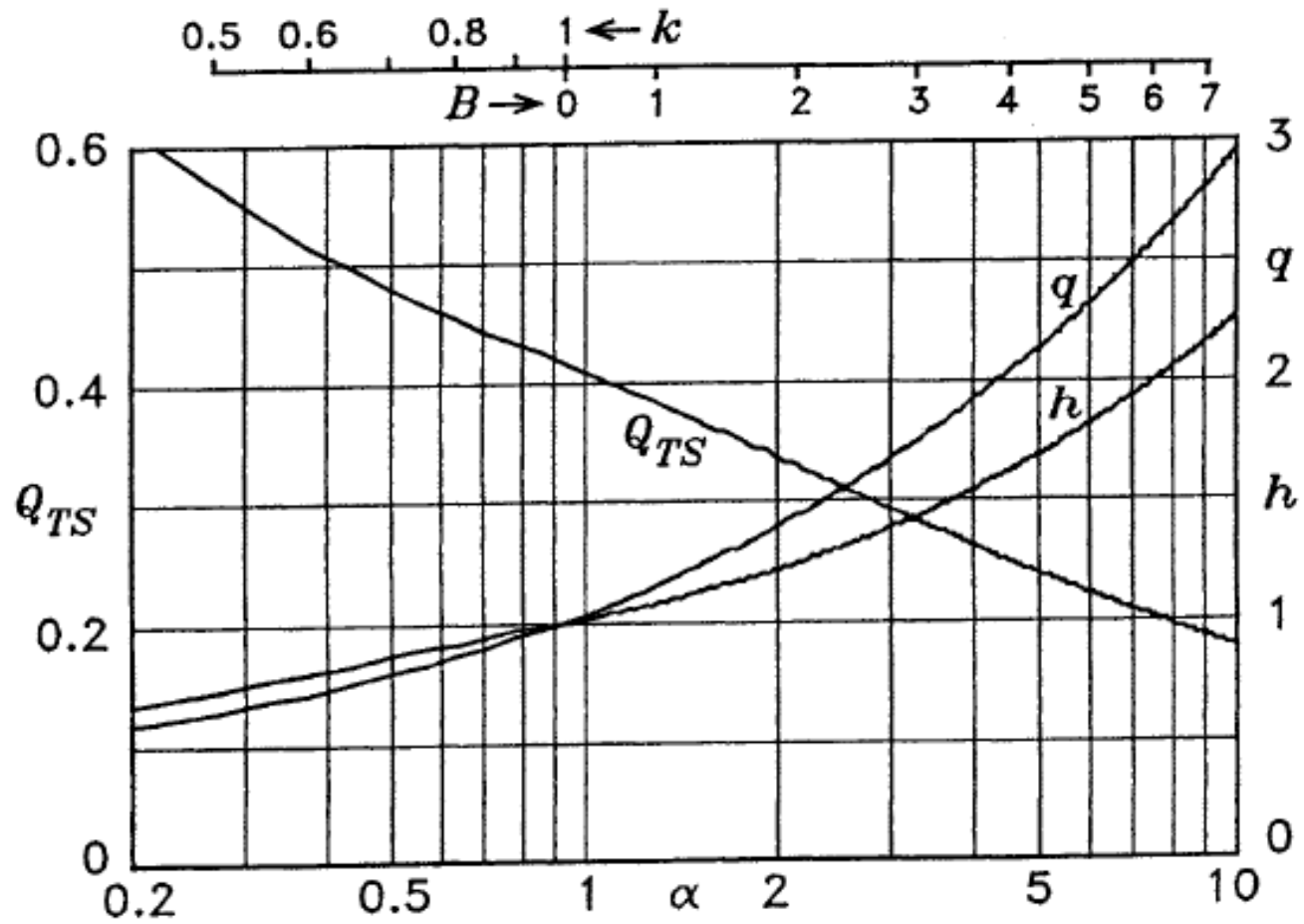
$$Q_L = 10$$



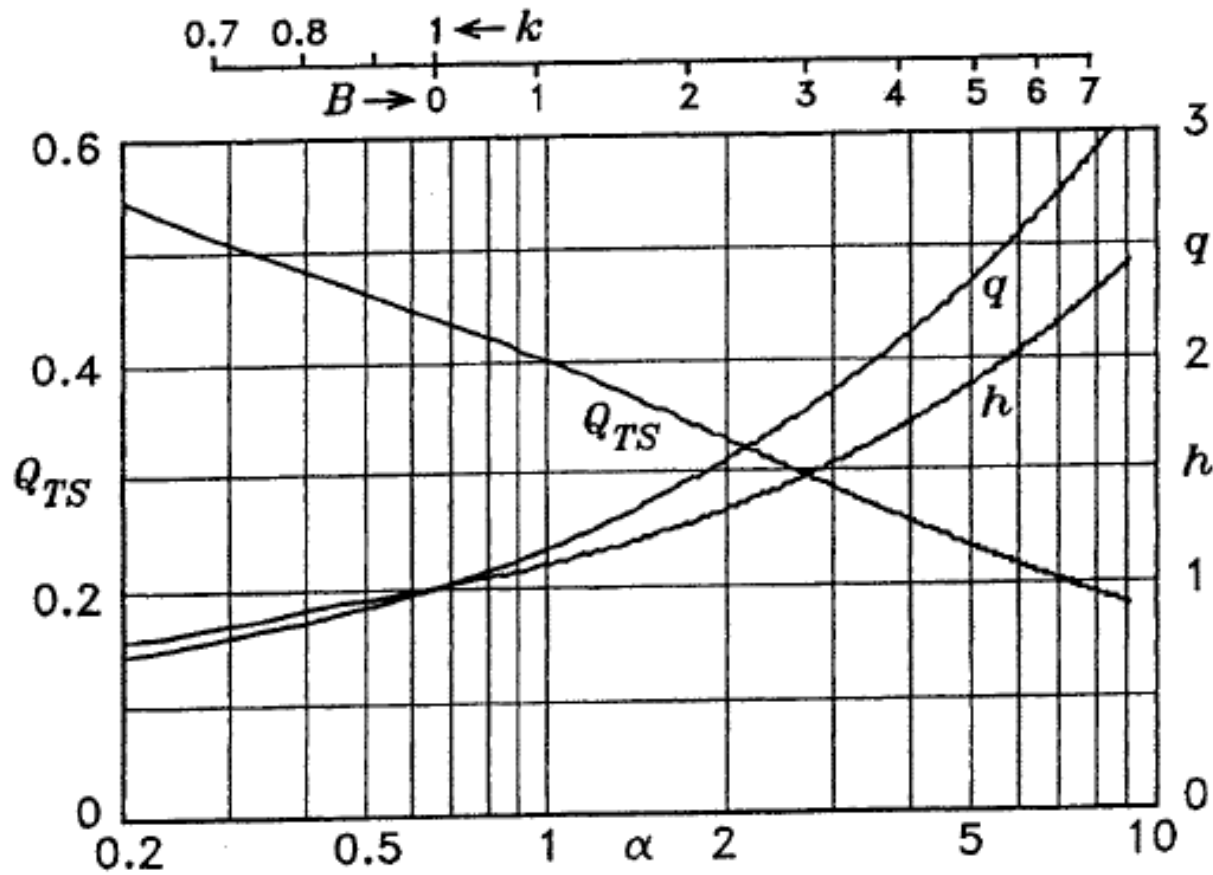
$$Q_L = 7$$



$$Q_L = 5$$



$$Q_L=3$$



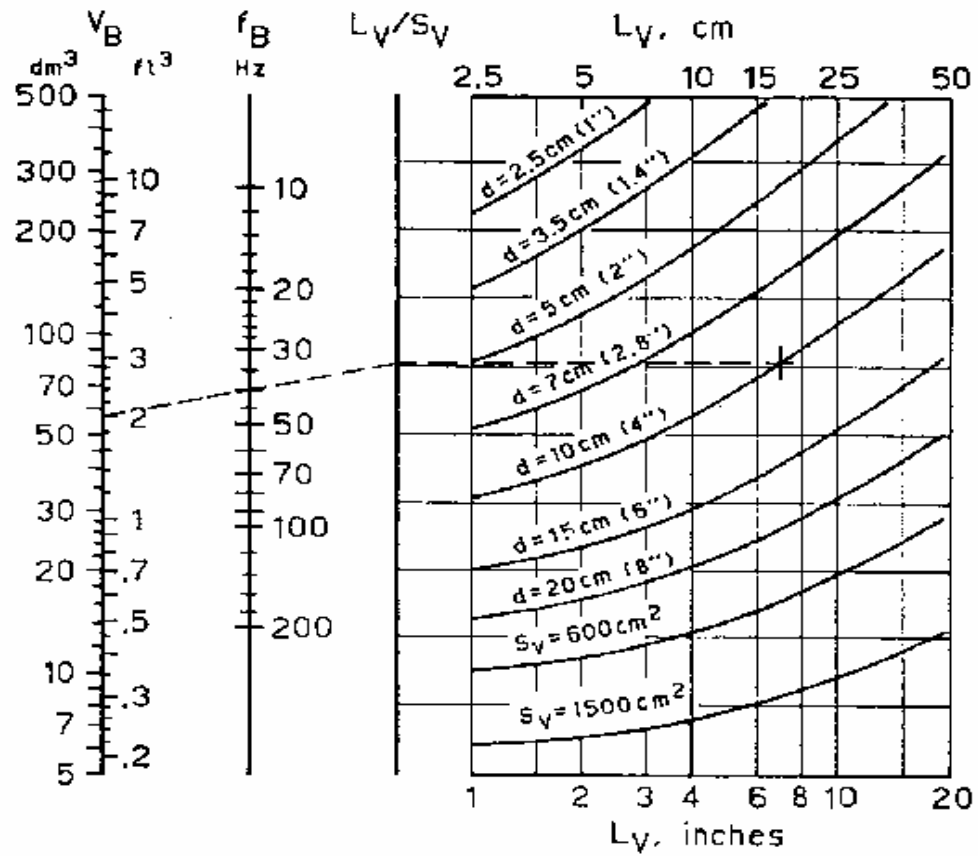


Fig. 21. Nomogram and chart for design of ducted vents.

Výpočet dĺžky basreflexovej trubice

• ...

$$M_{AP} = \frac{\rho_0}{N_p \cdot S_p} \cdot (l_p + k_{end} \cdot D_p)$$

⇓

$$l_p = \frac{c_0^2}{16\pi} \cdot \frac{D_p^2}{f_B^2 V_{AB}} \cdot N_p - k_{end} \cdot D_p$$

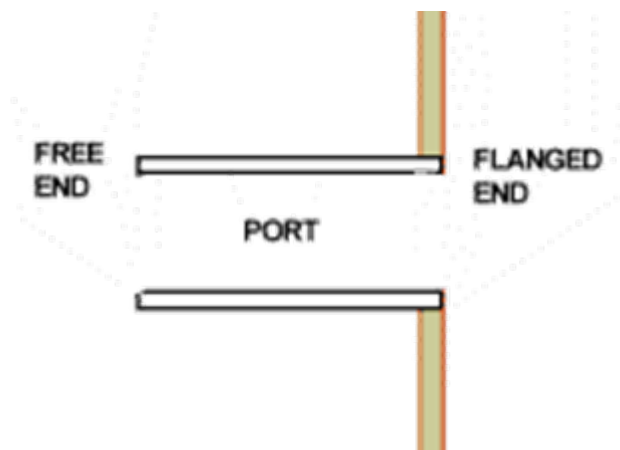
kde:

D_p – priemer trubice

l_p – dĺžka trubice

N_p – počet trubic

k_{end} – tzv. koncová korekcia



Minimálna vysielacia plocha basreflexovej trubice

• ???

$$1. \quad D_{P,\min} \geq \sqrt{f_B \cdot V_D} \quad [\text{m;Hz,m}^3]$$

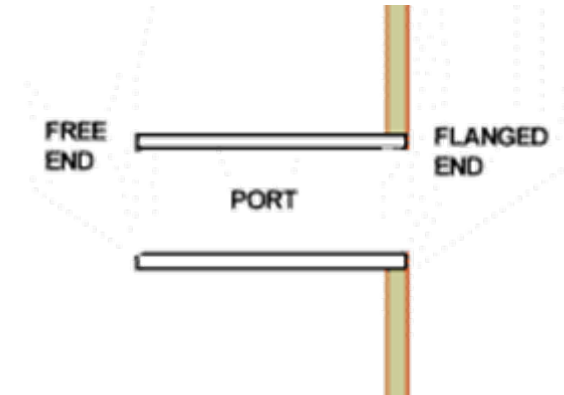
$$2. \quad D_{P,\min} \geq \sqrt{411.25 \frac{V_D}{N_P \sqrt{f_B}}} \quad [\text{m;Hz,m}^3]$$

kde :

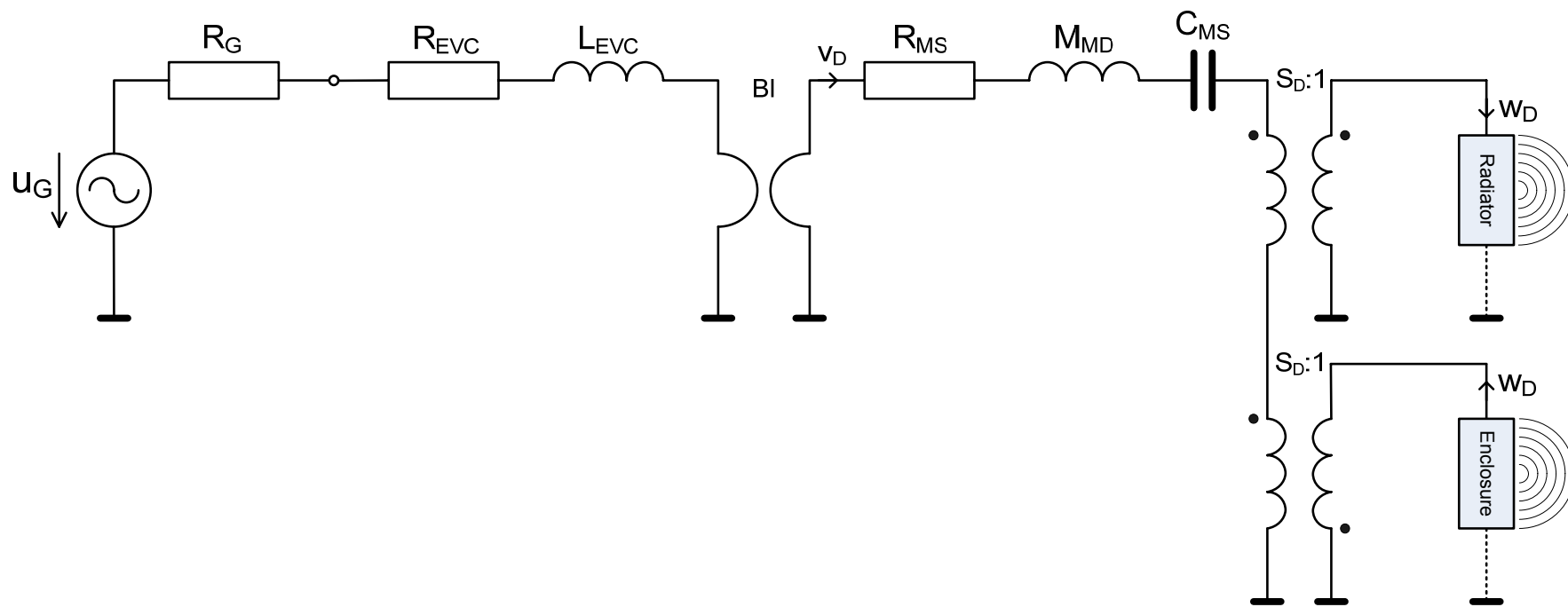
$$V_D = S_D \cdot x_{\max,p-p} \quad [m^3] \quad - \quad \text{maximálna objemová výchylka reproduktora}$$

Konstanta koncových korekcií

- Flanged End: $k_{\text{flanged}} = 0.425$
- Free End: $k_{\text{free}} = 0.307$



- Napr:
- both ends were flanged: $k_{\text{end}} = 0.425 + 0.425 = 0.850$
- one flanged, one free: $k_{\text{end}} = 0.425 + 0.307 = 0.732$
- both ends were free: $k_{\text{end}} = 0.307 + 0.307 = 0.614$
- Normally, $k_{\text{end}} = 0.732$ is assumed
- In practice, it's best to use ports that are slightly longer than predicted by the above equations, then adjust their length until the correct tuning is achieved. It is much easier to shorten a port than to lengthen it!



Skript – náhradná schéma sústavy VB s makromodelmi Radiator a Enclosure

| Seas Prestige ER18RNX
| Revc=5.9Ohms; Levc=0.67mH; Bl=7.2N/A;
| Mmd=14g; Mmrd=0.92g;
| Rms=2.2Ns/m; Cms=1.3mm/N; Sd=136cm²
| Fs=37Hz; Qts=0.32; Qms=1.58; Qes=0.39;
| Vas=32lit.
| xmax=6mm; sens=88.5dB; Pe(lt)=80W

Def_Const
{roh=1.18; c0=344; Sd=0.0136; Rd=sqrt(Sd/pi);
Vas=0.032; Qts=0.32;Fs=37;
QL=10; alfa=2.5;h=1.25;
Vab=Vas/alfa; Fb=Fs*h;Lp=0.18;Rp=0.025; }

System 'S3-Enclosure' |Enclosure a Radiator
Resistor 'Rg' Node=1=2 R=10mohm
Resistor 'Revc' Node=2=3 R=5.9ohm
Coil 'Levc' Node=3=4 L=0.67mH

Gyrator 'Gy1' Node=4=0=5=0 Bl=7.2Tm

MechResistance 'Rms' Node=5=6 Rm=2.2Ns/m
MechMass 'Mmd' Node=6=7 Mm=14g
MechCompliance 'Cms' Node=7=8 Cm=1.3e-3m/N

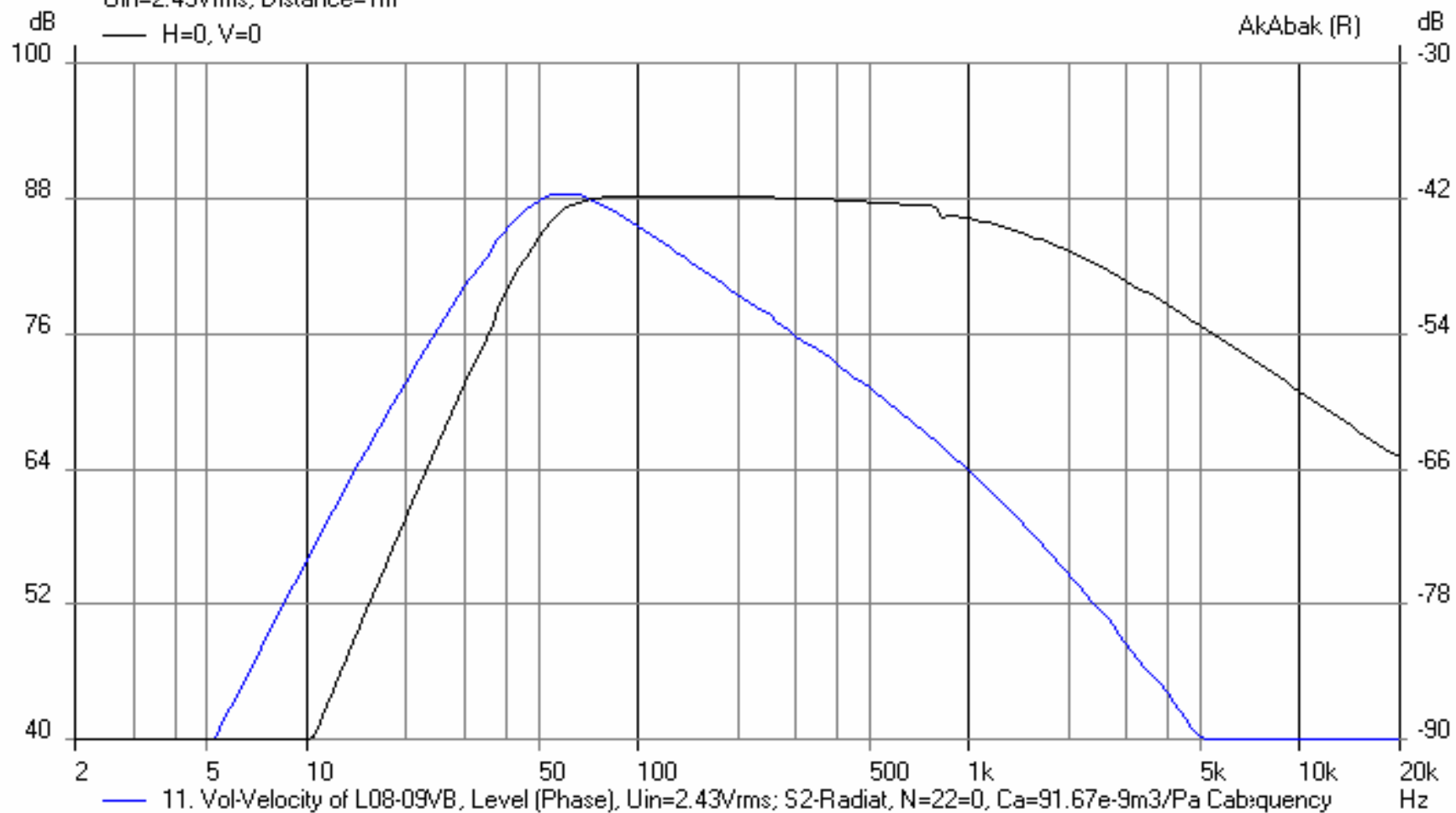
Coupler 'front' Node=8=9=10
SD={Sd} |Piston
Radiator 'Rad1' Def='front' Node=10
x=0 y=0 z=0 HAngle=0 VAngle=0

Coupler 'back' Node=9=0=0=20
SD={Sd} |Piston
Enclosure 'E1' Node=20
Vb=12.8L Sb={Sd}
fb=46Hz dD=5cm QD/fo=0.2 Visc=0
x=0 y=0 z=0 HAngle=0 VAngle=0

21. Sound Pressure of L08-09VB, Lp (Phase)

Uin=2.43Vrms, Distance=1m

— H=0, V=0

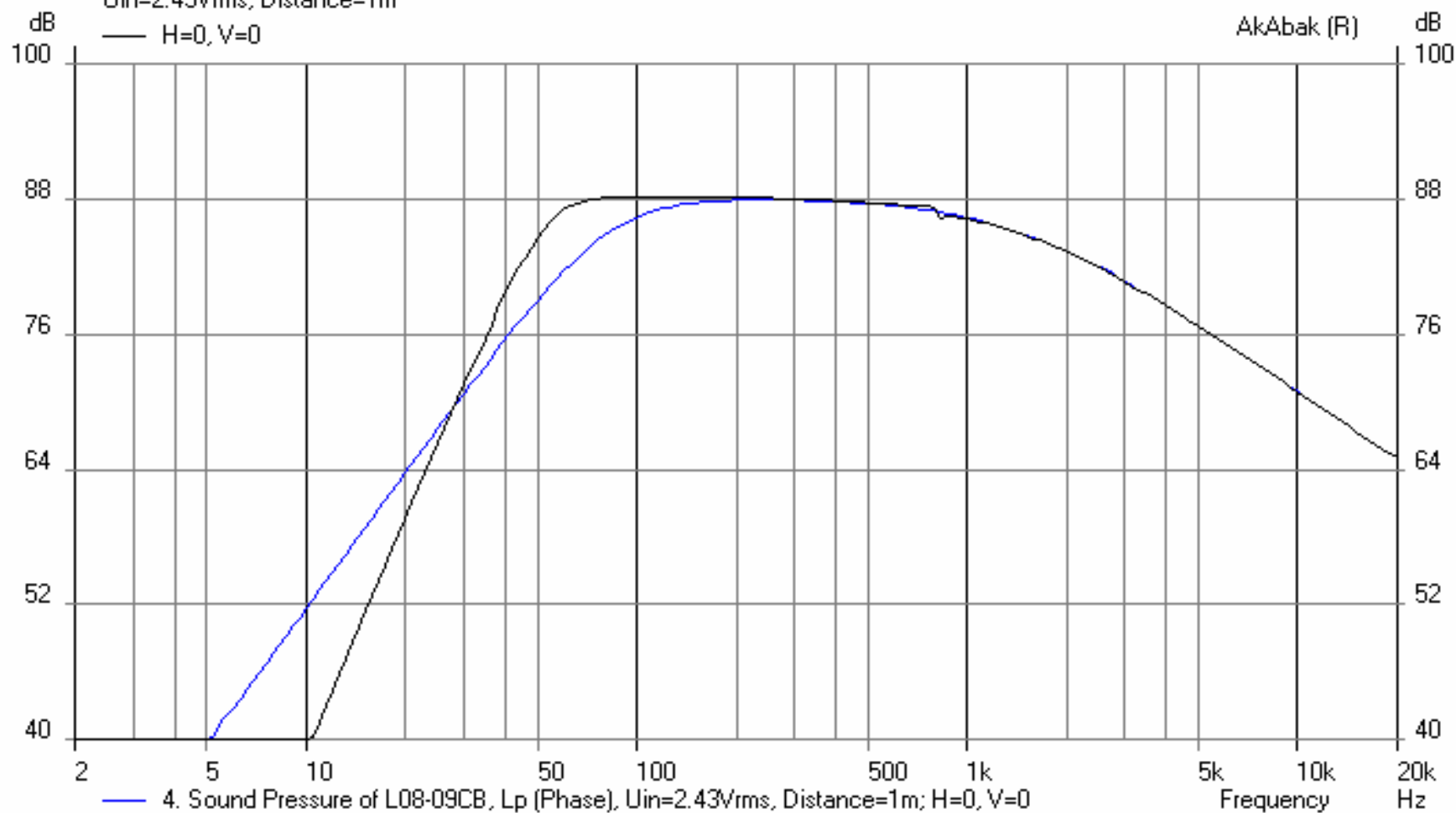


Porovnanie CB a VB

21. Sound Pressure of L08-09VB, Lp (Phase)

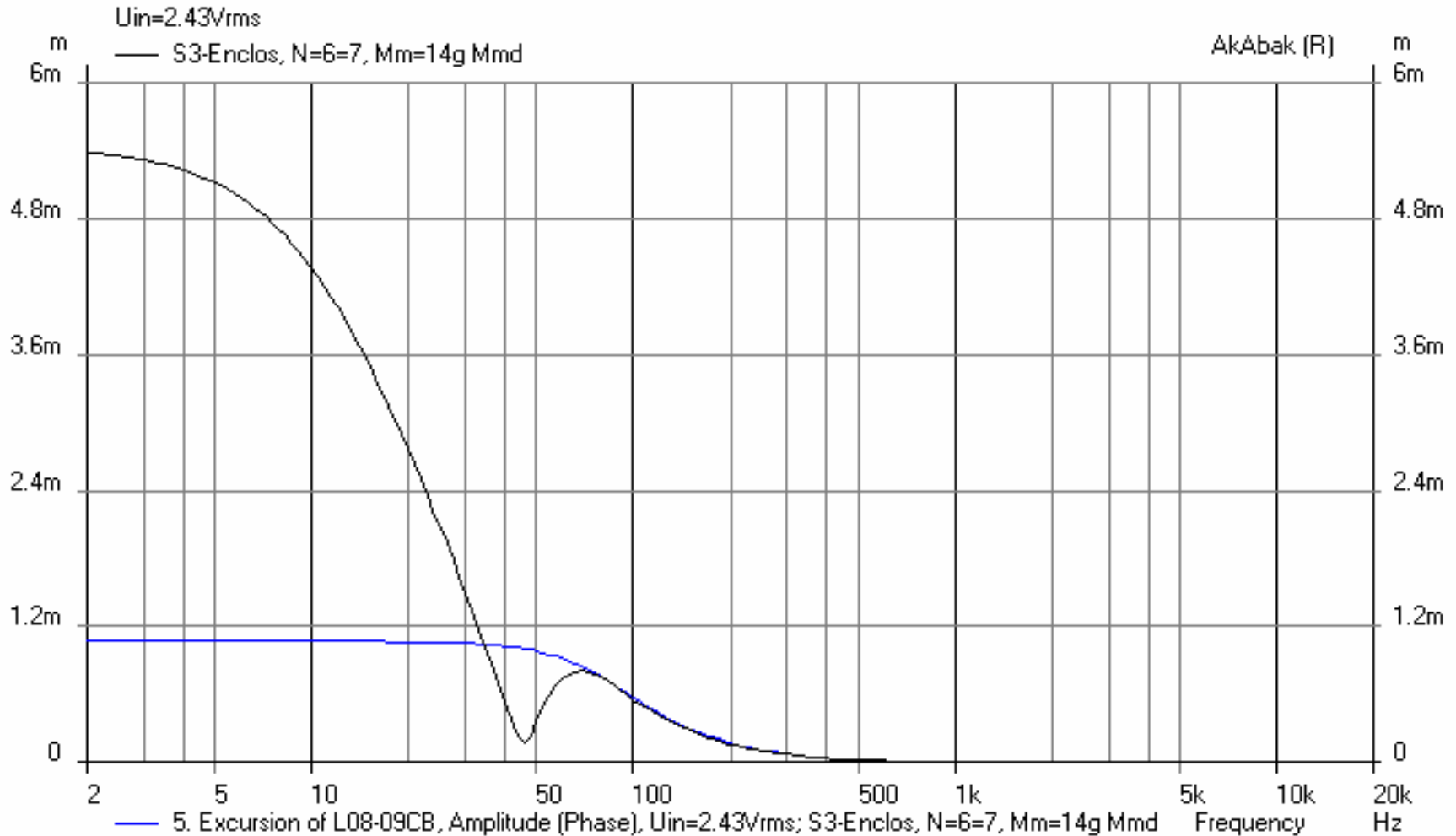
$U_{in}=2.43V_{rms}$, Distance=1m

— H=0, V=0



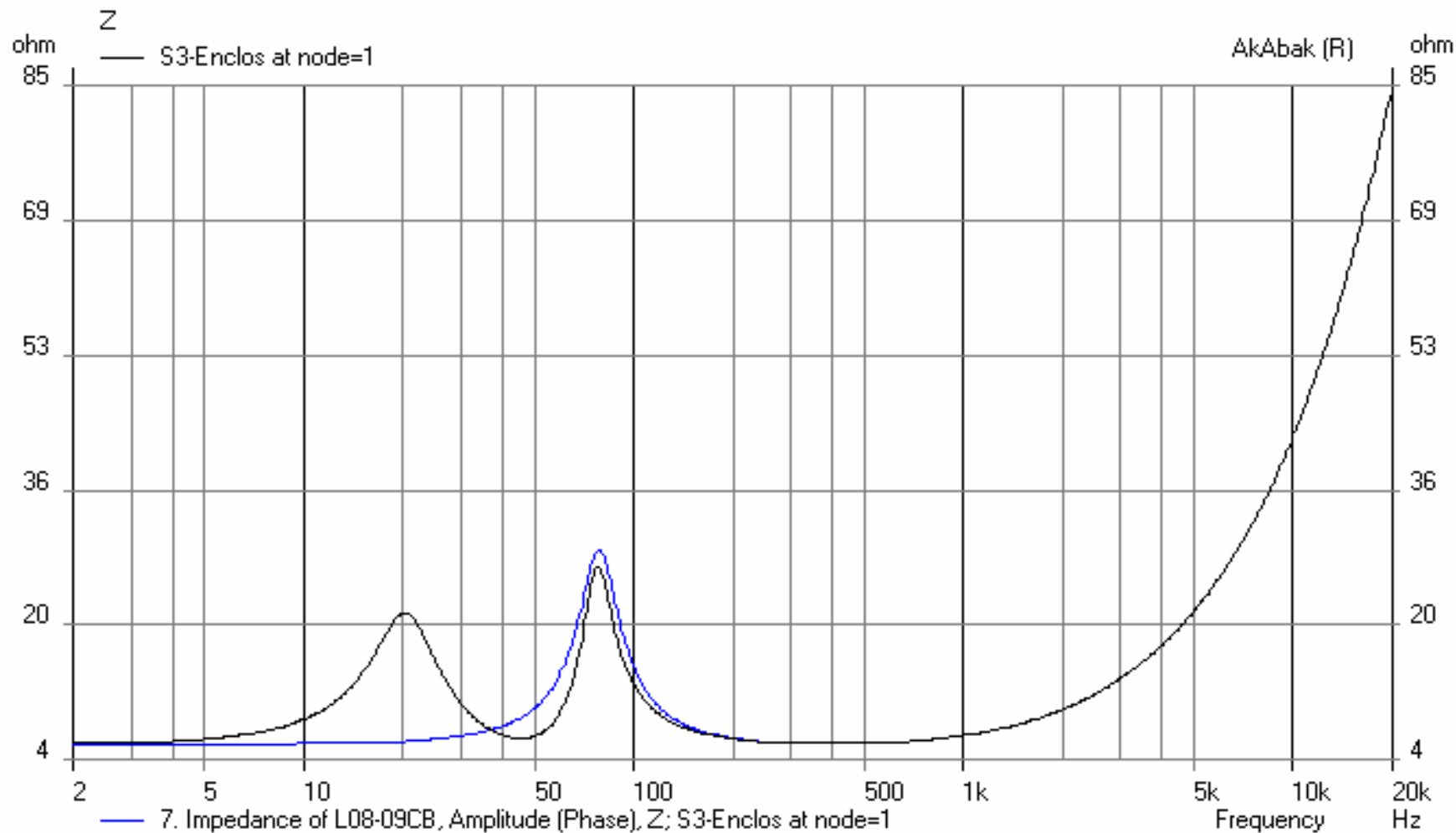
Porovnanie CB a VB

23. Excursion of L08-09VB, Amplitude (Phase)



Porovnanie CB a VB

24. Impedance of L08-09VB, Amplitude (Phase)

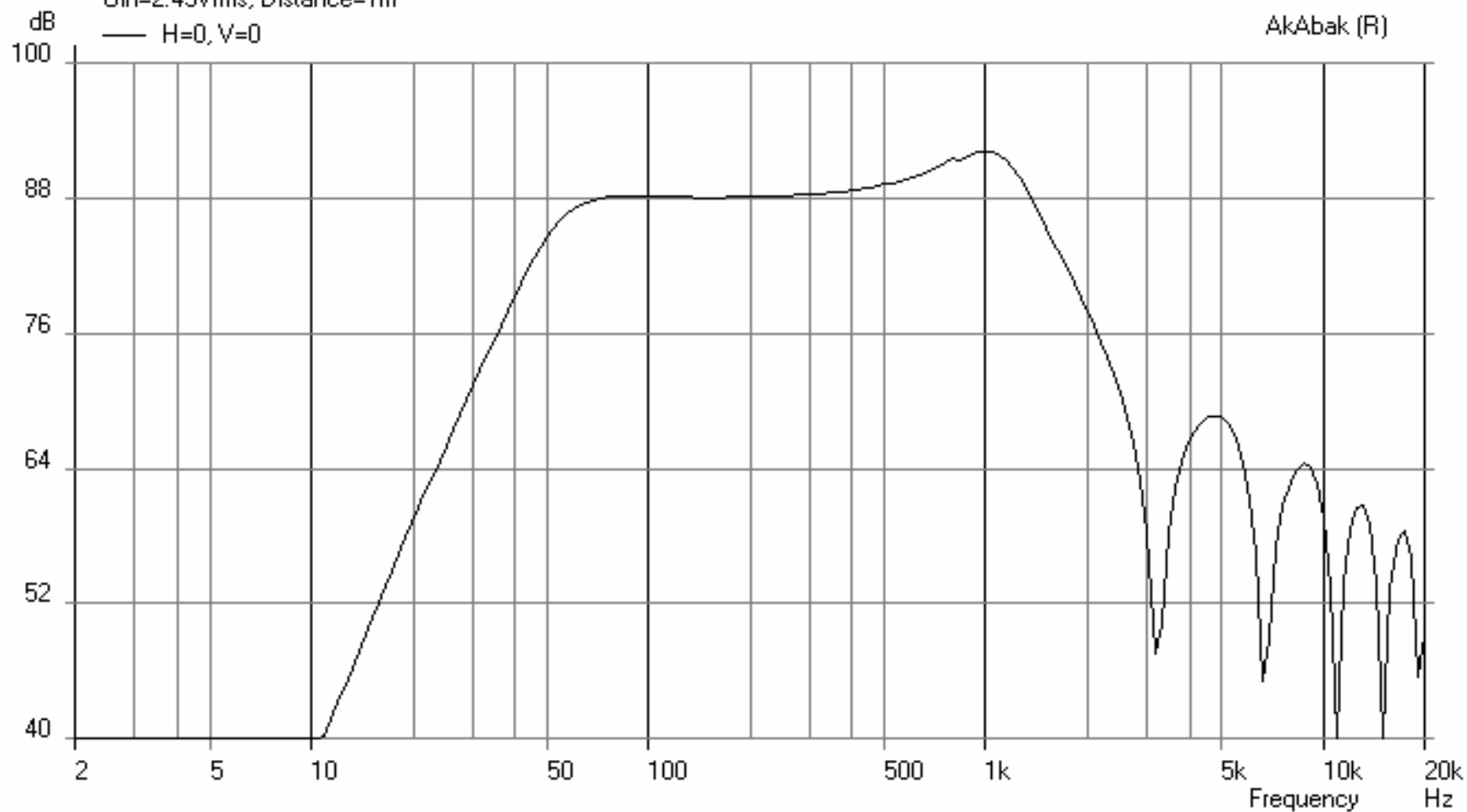


Kónická membrána

30. Sound Pressure of L08-09VB, Lp (Phase)

Uin=2.43Vrms, Distance=1m

— H=0, V=0



Def Net Filter Sum Inspect Calc

Diaphragm...
Radiation position...
Helmholtz...

1. Def_Import...
2. Def_ListeningPoint...
3. Def_Reflector...

4. Def_OpAmp...
 5. Def_Transistor...
 6. Def_Element (dll)...
-
7. Def_Driver...
 8. Def_TwoCoilsDriver...
 9. Def_PiezoDriver...
- A. Def_MeasRadiator...
- B. Def_BassUnit... Ctrl + B**
- C. Def_Speaker...

BassUnit

Definition Def_BassUnit / Calculator

Resonance frequency fs...	Electrical quality Qes...	Mechanical quality Qms...	Voice coil resistance Re...	Voice coil inductance Le...	Equ. vol. to compliance Vas...	Diaphragm dimension SD...
37Hz	0.39	1.58	5.9ohm	0.67mH	32L	136cm2
...Hz...			..ohm.. fre=2.0kHz	H... ExpoLe=0.618	m3,...in3	m2,...in2 Cone

Excursion max. Xms	Generator resistance Rg	Mass-load factor mb	Enclosure volume Vb	Quality factor/ frequency Qb/fo	Helmholtz resonance fb...
6mm		1	12.8L	1000	46Hz
m,...in	..ohm..	0.95...1	m3,...in3,L	<input checked="" type="checkbox"/> Vented	..Hz..

Reflex Box System

fsb	Qtr	Directivity frequ. fD	f3	
37Hz	0.313	830Hz	49Hz	
Lw max. 4-pi-sr	Pel max.	Uo max. rms	Reverb. -60dB	Ripple
86.38dB	1.32W	2.79V	58.3ms	95.34mdB

<input type="checkbox"/> HP-Filter	on/off
Quality factor Qe	Pole - frequency fe
	..Hz..

Identification
BU1

Alignments... Diagram... Evaluate From script Copy to clipboard and close

Definition Def_BassUnit / Calculator

Resonance Electrical Mechanical Voice coil Voice coil Equ. vol. to Diaphragm

Vented Cabinet Alignments

Alignment table fsb: 37Hz Qtsbg: 0.313 Qb/fo: --- QB4 a2 = 4.476

Qb/fb	Vb [L]	f3 [Hz]	Lwmax [dB]	Qe	fe [Hz]	fb [Hz]	t60 [ms]	Ripple [dB]
0.691	12	52	86.4			44.6	45	
0.181	12.5	54	86.4			46.3	43	
0.101	13.1	57	86.4			48.2	41	
0.069	13.7	59	86.4			50.3	39	
0.051	14.4	62	86.4			52.7	37	
0.04	15.2	65	86.4			55.3	35	
0.033	16.3	68	86.4			58.3	34	
0.027	17.5	71	86.4			61.6	32	

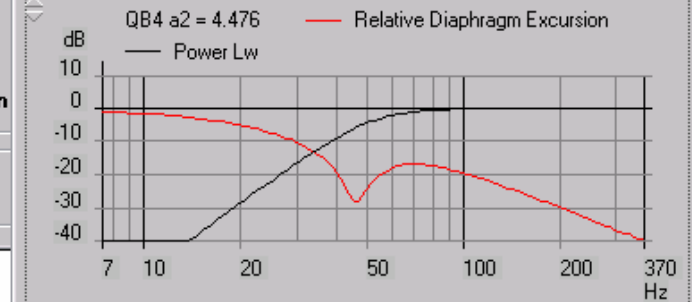
Query (Select only alignments with...)

Enclosure volume Vb	HP-filter quality factor Qe	Cut-off frequency f3	Max. SPL 1m, 4-pi-sr SPLmax	Enclosure quality/ fb Qb/fo
< []	< []	< []	< []	< []
m3,...,in3,L		..Hz..	dB	
<input type="checkbox"/> Alignment list	<input type="checkbox"/> Diagram	<input type="checkbox"/> Copy alignment to Def_BassUnit Calculator		
Lw in a 4-pi-sr. room				

Alignment family

- Quasi-Butterworth
- Chebyshev
- Butterworth-Thomson
- High-pass filtered

Def_BassUnit Calculator / Diagram



Reflections on/off

Repaint

Left wall Right wall Floor

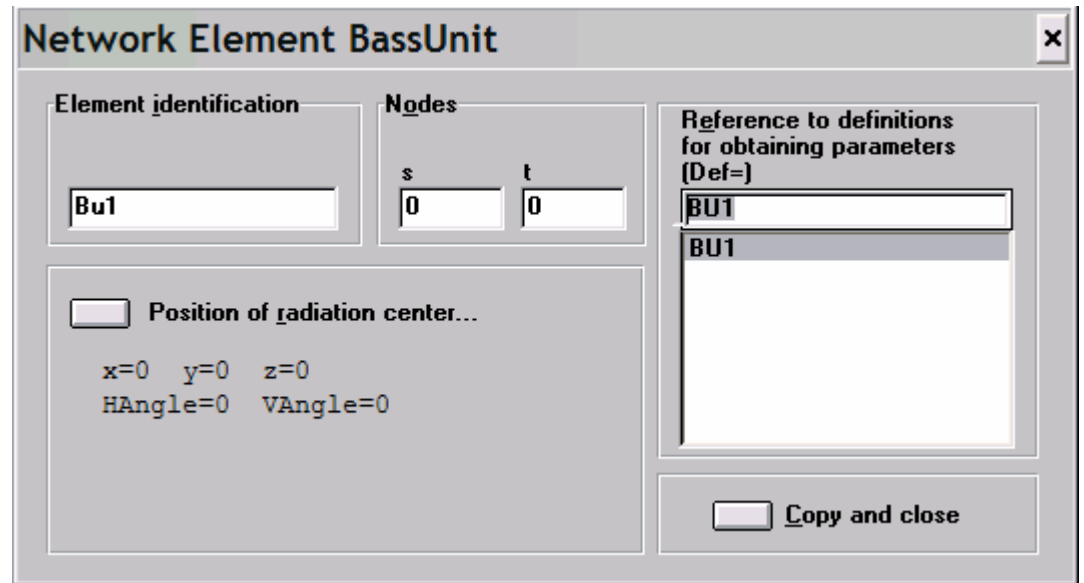
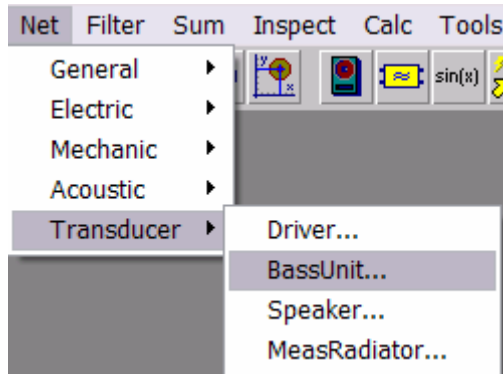
Zoom

m,...,in

fb=46.0Hz

ance in vented enclosure:

Qtr	fD	f3		
0.313	830.4Hz	48.8Hz		
Pelmax	UoRms	t60	Ripple	
1.3W	2.79V	58.3ms	95.3mdB	



| Seas Prestige ER18RNX
| Rvc=5.9Ohms; Lvc=0.67mH; Bl=7.2N/A; Mmd=14g; Mmrd=0.92g;
| Rms=2.2Ns/m; Cms=1.3mm/N; Sd=136cm²
| Fs=37Hz; Qts=0.32; Qms=1.58; Qes=0.39; Vas=32lit.
| ymax=6mm; sens=88.5dB; Pe(lt)=80W

Def_BassUnit 'BU1'

SD=136cm² dD1=6cm tD1=4cm |Cone

fp=1.5kHz

fs=37Hz Vas=32L Qms=1.58

Qes=0.39 Re=5.9ohm fre=2.0kHz ExpoRe=1 Le=0.67mH ExpoLe=0.618

Xms=6mm

Vb=12.8L fb=46.0Hz

|Performance in vented enclosure:

| fsb Qtr fD f3

| 37.0Hz 0.313 830.4Hz 48.8Hz

| Lwmax Pelmax UoRms t60 Ripple

| 86.4dB 1.3W 2.79V 58.3ms95.3mdB

System 'vb-BassUnit'

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

x=0 y=0 z=0 HAngle=0 VAngle=0

BassUnit

32. Sound Pressure of L08-09VB, Lp (Phase)

$U_{in}=2.43V_{rms}$, Distance=1m

— H=0, V=0

