



Elektroakustika

L06: Reprodukory

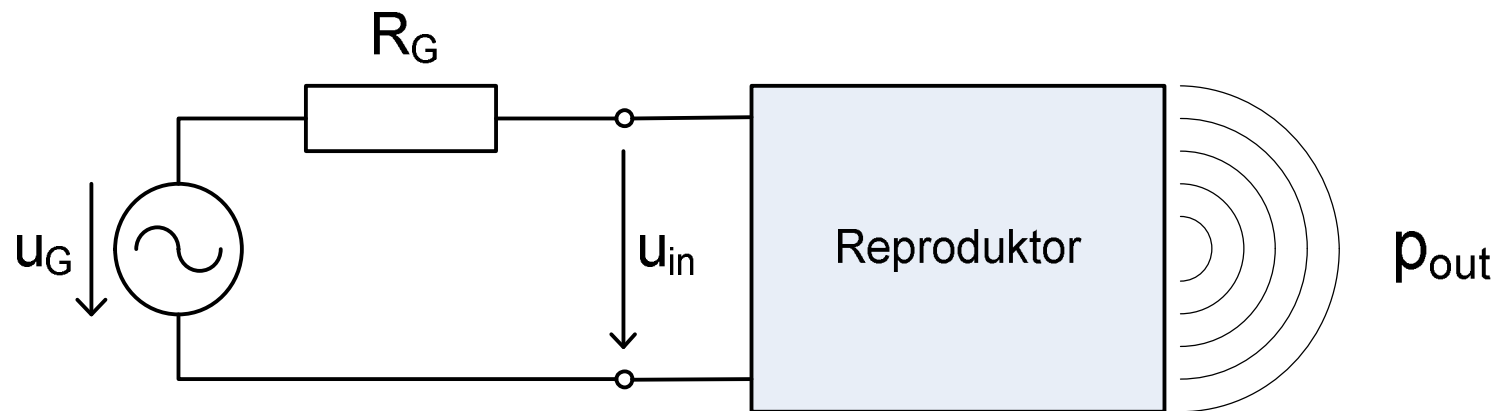
doc. Ing. Jozef Juhár, PhD.

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

Reproduktor = elektroakustický menič + akustický vysílač

É základnou požiadavkou, kladenou na reproduktor je verná reprodukcia akustického signálu

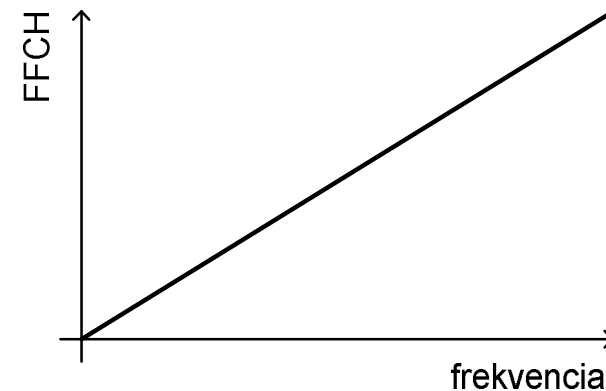
É prenosová sústava o elektrický signál na vstupe o akustický signál na výstupe



$$p_{\text{reynos}} = \frac{p_{\text{out}}}{u_{\text{in}}}$$

Požiadavky na špeciálny prenos

- É konštantná amplitúdová frekvencná charakteristika
- É lineárna fázová charakteristika
- É impulzová odpoveď (prechodová charakteristika) bez zvlňenia
- É minimálne nelineárne skreslenie
- É špeciálny úžitok
- É ...
- É špeciálny reproduktor nespĺňa tieto požiadavky absolútne = veľa množstvo typov



Rozdelenie reproduktorov

(pod a spôsobu vysielania)

É priamovysielaajúce

É nepriamovysielaajúce (tlakové)



Rozdelenie reproduktorov

(podľa typu elektromechanického meniča)

É elektrodynamické cievkové

É elektrodynamické páskové

É elektrostatické

É piezoelektrické

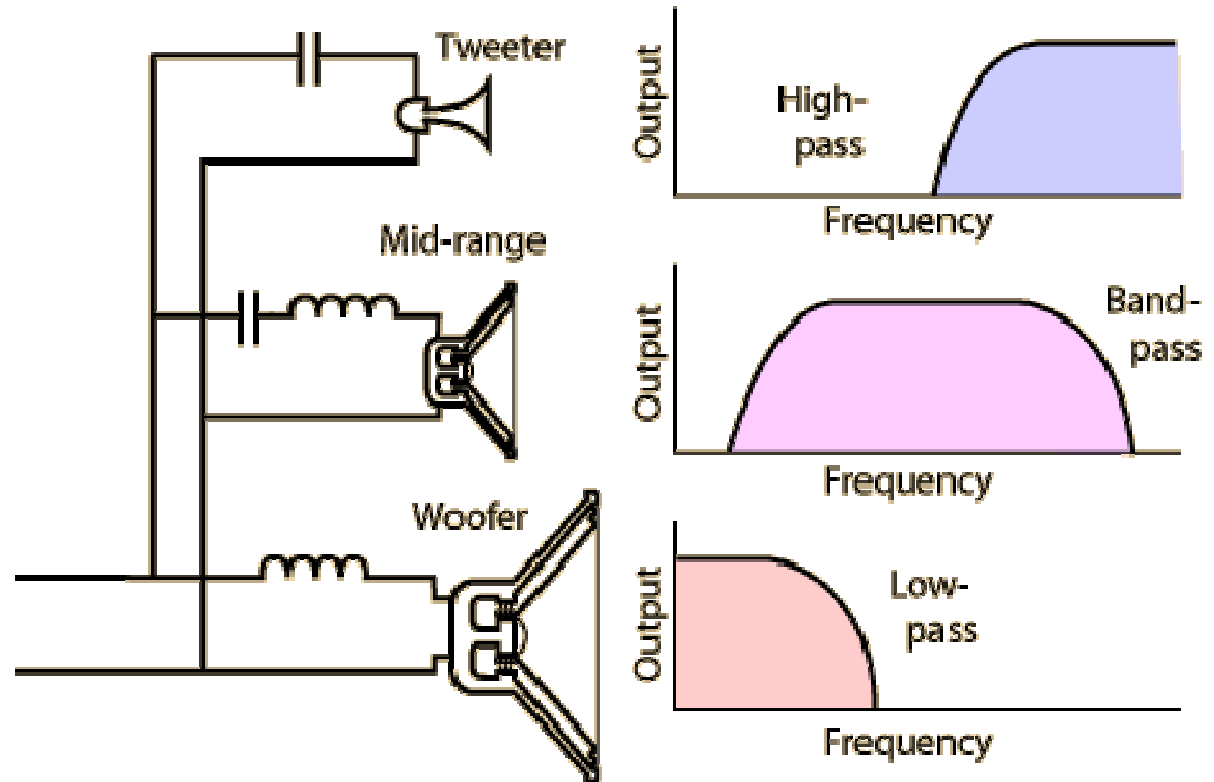
É iné



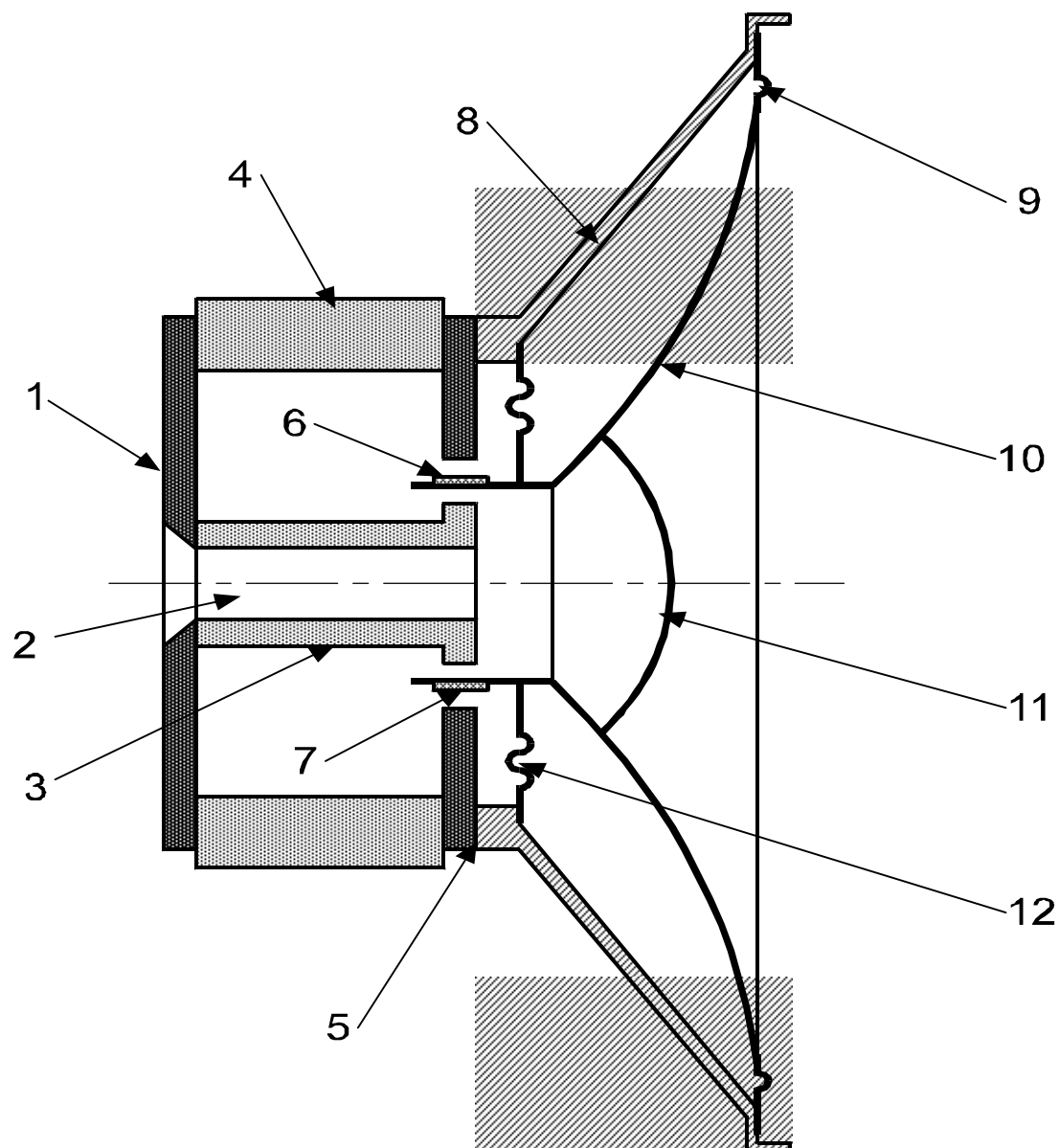
Rozdelenie reproduktorov

(podľa prenášaného pásma frekvencií)

- nízkotónové
- stredotónové
- vysokotónové
- širokopásmové
- iné



Elektrodynamický reproduktor



- 1 - predná platňa
- 2 - otvor
- 3 - pólové nastavce
- 4 - magnet
- 5 - zadná platňa
- 6 - cievka
- 7 - vzduchová medzera
- 8 - kôš
- 9 - surround
- 10 - membrána
- 11 - prachový kryt
- 12 - strediaca membrána

Podsystemy elektrodynamického reproduktora

É elektrodynamický elektromechanický mení :

ó magnetický obvod (permanentný magnet, pólové nástavce, predná a zadná plat a)

ó cievka;

É mechanický obvod

ó teleso membrány a cievky

ó pružné zavesenie membrány a cievky:

É strediaci membrána - pavúka (spider)

É poddajné zavesenie na okrajoch (surround)

É akustický vysiela ó plocha membrány v tvare:

ó zrezaného kufle a

ó gu ového vrchlíka (konvexný alebo konkávny)

Typické parametre nízkotónového reproduktora (woofer)



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

Typické parametre stredotónového reproduktora (midrange)



Nominal Impedance	8 Ohms	Voice Coil Resistance	6.3 Ohms
Recommended Frequency Range	400 - 5000 Hz	Voice Coil Inductance	0.31 mH
Short Term Power Handling *	400 W	Force Factor	4.2 N/A
Long Term Power Handling *	110 W	Free Air Resonance	68 Hz
Characteristic Sensitivity (2.83V, 1m)	86.0 dB	Moving Mass	4.58 g
Voice Coil Diameter	26 mm	Air Load Mass In IEC Baffle	0.24 g
Voice Coil Height	5.8 mm	Suspension Compliance	1.2 mm/N
Air Gap Height	4.0 mm	Suspension Mechanical Resistance	0.85 Ns/m
Linear Coil Travel (p-p)	1.8 mm	Effective Piston Area	55 cm ²
Maximum Coil Travel (p-p)	-	VAS	5 Litres
Magnetic Gap Flux Density	1.1 T	QMS	2.42
Magnet Weight	0.25 kg	QES	0.71
Total Weight	0.66 kg	QTS	0.56

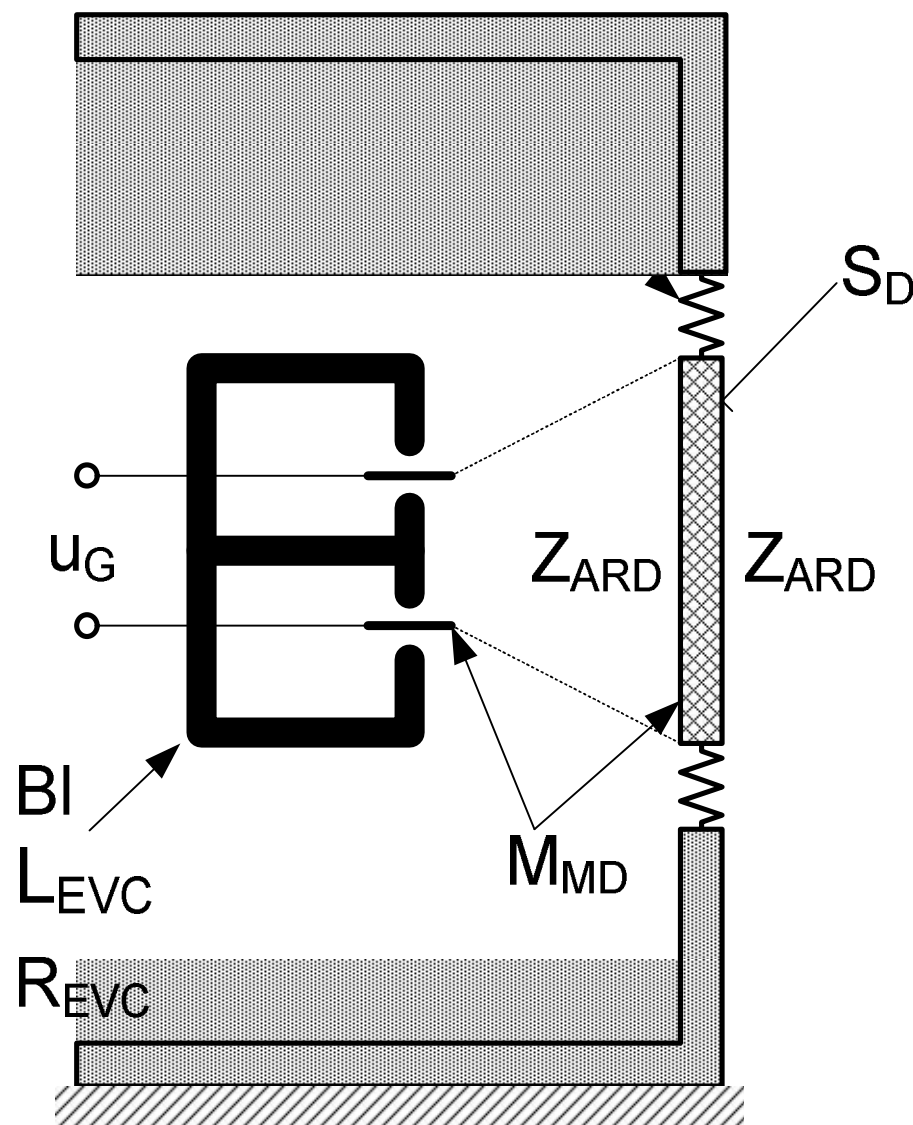
Typické parametre vysokotónového reproduktora (tweeter)



Nominal Impedance	6 Ohms	Voice Coil Resistance	4.6 Ohms
Recommended Frequency Range	2000 - 25000 Hz	Voice Coil Inductance	0.05 mH
Short Term Power Handling *	200 W	Force Factor	3.5 N/A
Long Term Power Handling *	90 W	Free Air Resonance	700 Hz
Characteristic Sensitivity (2.83V, 1m)	91 dB	Moving Mass	0.33 g
Voice Coil Diameter	26 mm	Effective Piston Area	7.0 cm ²
Voice Coil Height	1.5 mm	Magnetic Gap Flux Density	1.8 T
Air Gap Height	2.0 mm	Magnet Weight	0.34 kg
Linear Coil Travel (p-p)	0.5 mm	Total Weight	0.80 kg

Reproduktor v nekone nej ozvu nici (symbolický ná rt)

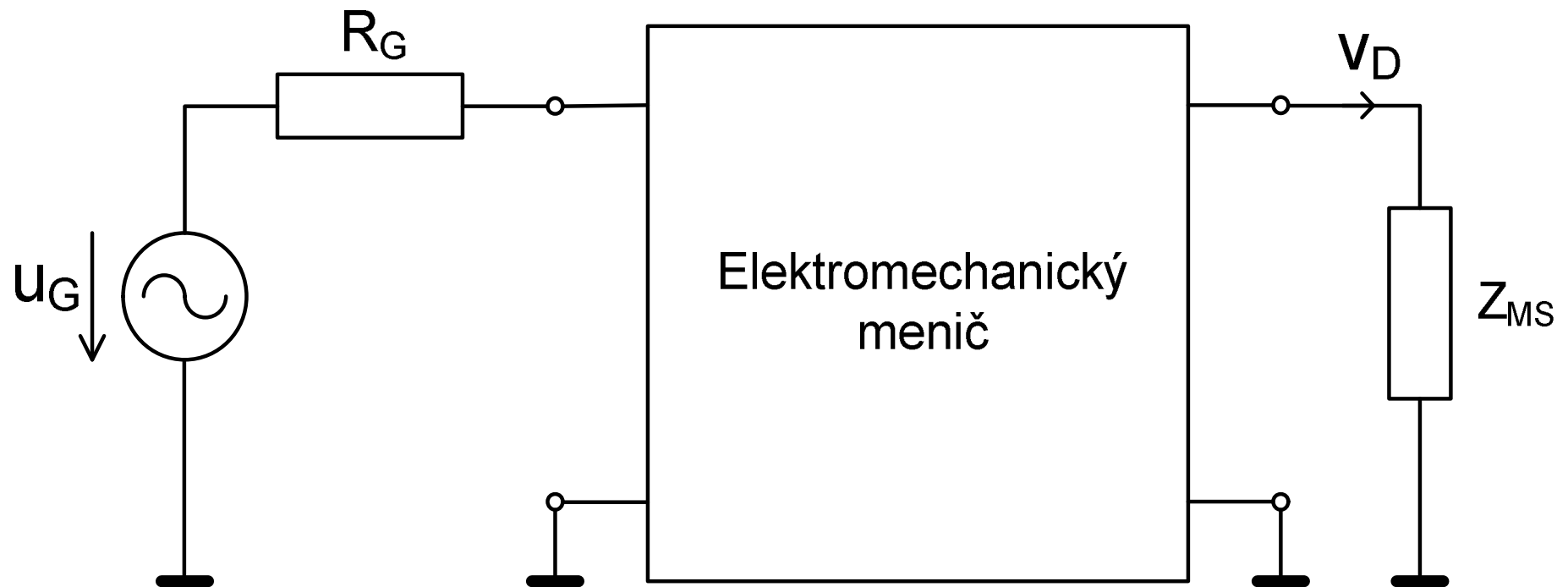
- É membrána reproduktora je nahradená ideálnym piestom
- É predná a zadná strana piesta šje za aflenáõ vysielacou impedanciou Z_{ARD}
- É šnekone náõ ozvu nica slúffi na dokonalé oddelenie akustických priestorov pred a za membránou



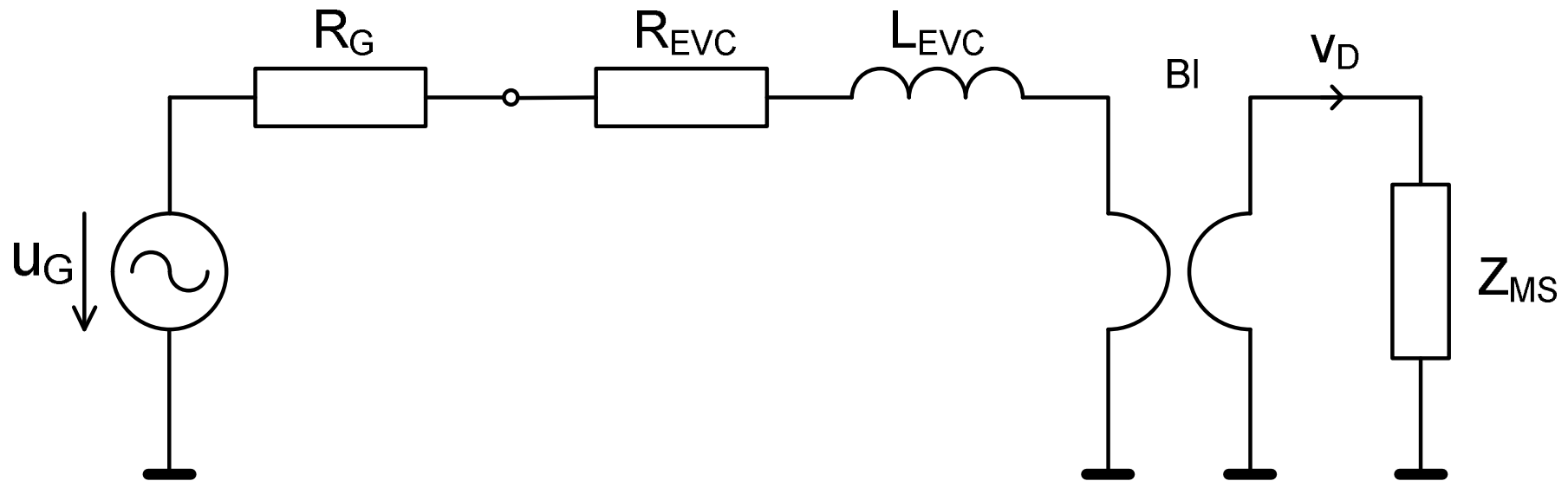
Elektrické, mechanické a akustické prvky elektrodynamického reproduktora v nekone nej ozvu nici

- R_G vnútorný odpor zdroja elektrického signálu;
- R_{EVC} elektrický odpor cievky;
- L_{EVC} elektrická induk nos cievky;
- B_l transforma ná kon-tanta elektromechanického meni a;
- M_{MD} mechanická hmotnos membrány a cievky reproduktora;
- C_{MS} mechanická poddajnos reproduktora;
- R_{MS} mechanický odpor trenia membrány, telesa cievky a pružného závesu;
- R_{ARD} akustický vysielačí odpor reproduktora;
- M_{ARD} akustická vysielačia hmotnos (membrány) reproduktora;
- S_D efektívna vysielačia plocha membrány reproduktora (transforma ná kon-tanta mechanicko-akustického meni a).

Elektrický podsystem reproduktora



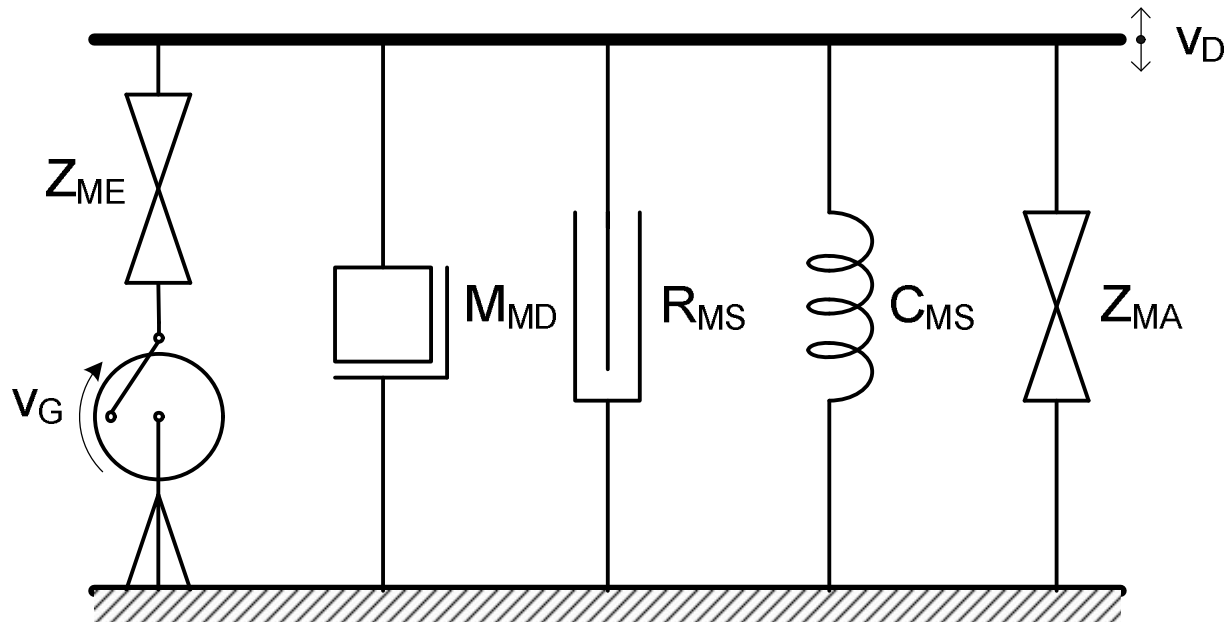
Elektrický podsystem reproduktora (náhradná schéma)



É mechanická impedancia Z_{MS} predstavuje mechanickú záťaž a frekvenciu elektrodynamického meniča, tvorenú mechanickými prvkami a akustickou štruktúrou reproduktora

É hlavnou veličinou na mechanickej strane náhradnej schémy mechanická rýchlosť v_D , pretože vstupné elektrické napätie sa mení a transformuje na rýchlosť (šprúdová veličina)

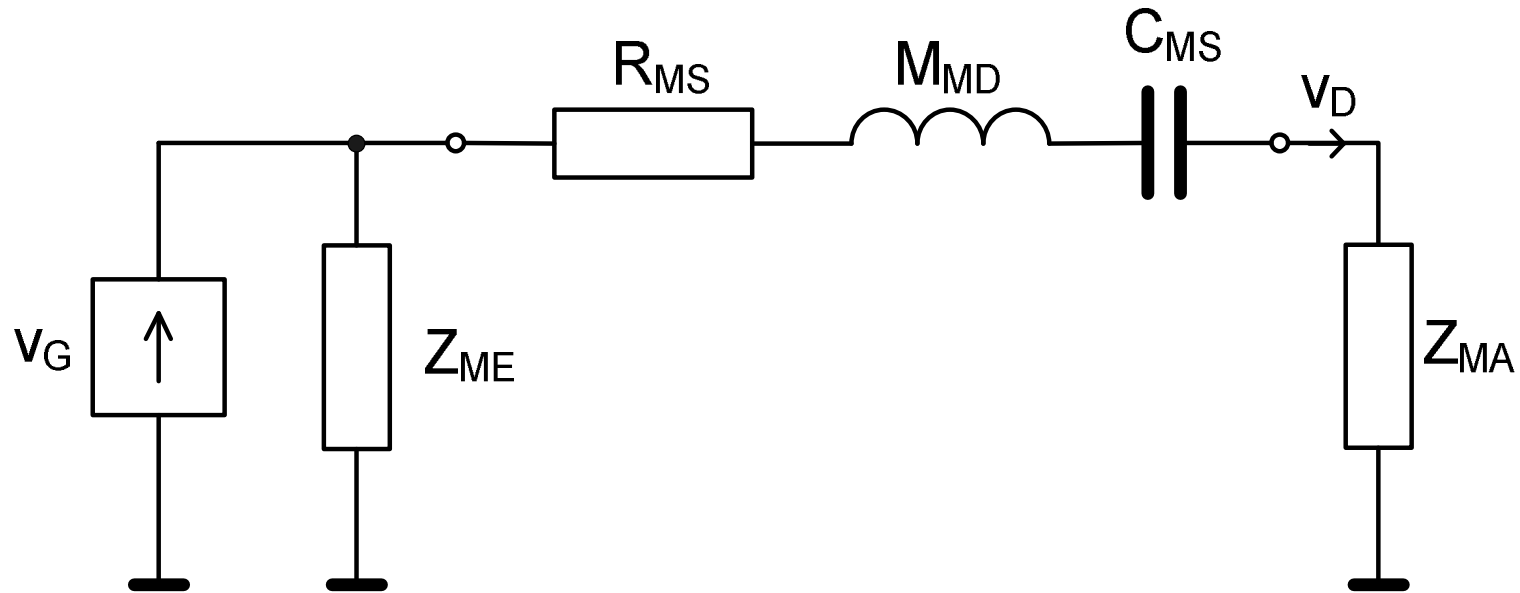
Mechanický podsystem reproduktora (symbolická schéma)



- É zdroj mechanickej rýchlosti v_G je obrazom elektrického napätia na vstupe elektrodynamického meniča a
- É mechanická impedancia Z_{ME} reprezentuje elektrické prvky, zobrazené na mechanickej strane

Mechanický podsystem reproduktora

(analogická schéma)



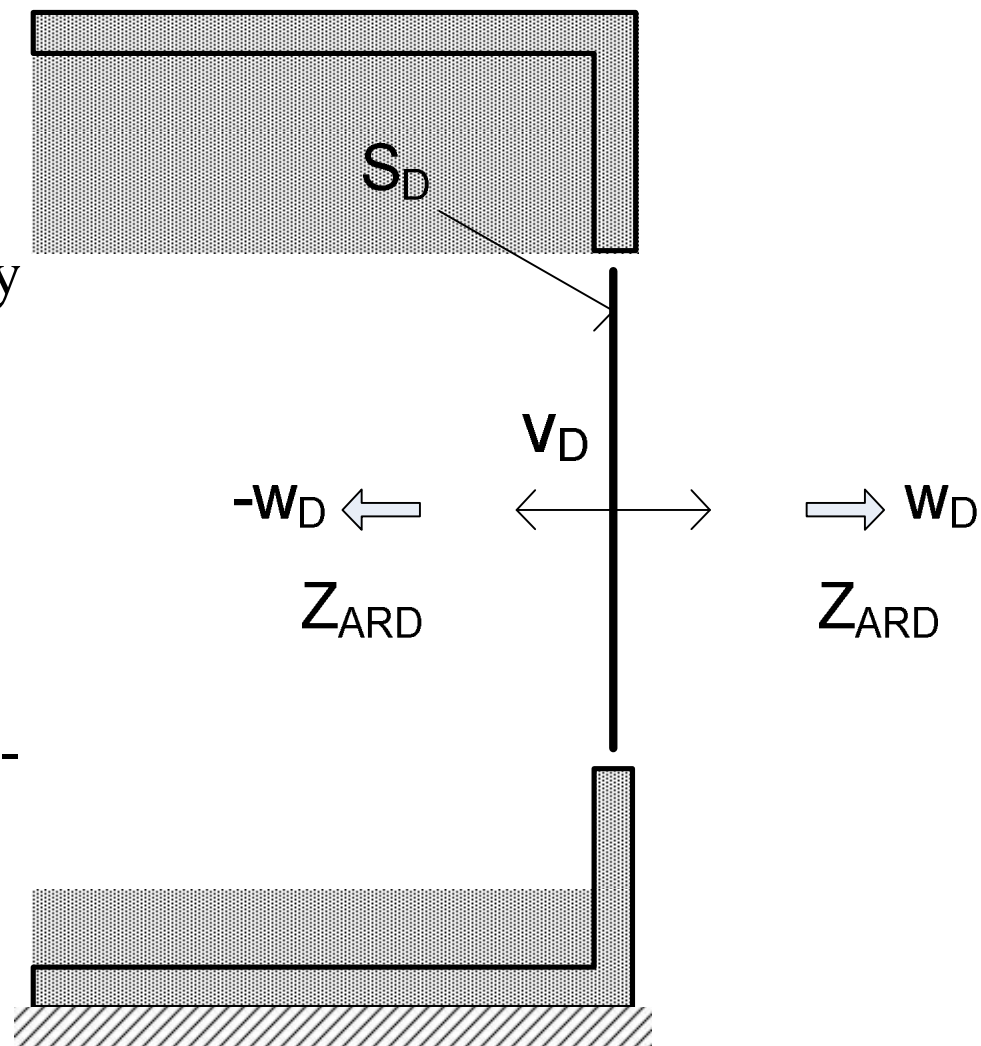
- É hlavnými prvkami mechanického podsystemu reproduktora sú mechanické prvky M_{MD} , R_{MS} , C_{MS} , ktoré kmitajú rovnakou rýchlosťou v_D , takže v analogickej schéme budú zapojené do série
- É mechanická impedancia Z_{MA} reprezentuje akustickú záťaž (vysielacie impedancie) zobrazenú na mechanickej strane cez ideálny mechanicko-akustický menič

Akustický podsystém reproduktora

(symbolická schéma)

É je ním ideálny (dokonale tuhý, nehmotný) piest plochy S_D , ktorý je zdrojom akustického vlnenia, generovaného do akustickej vysielacej impedancie Z_{ARD}

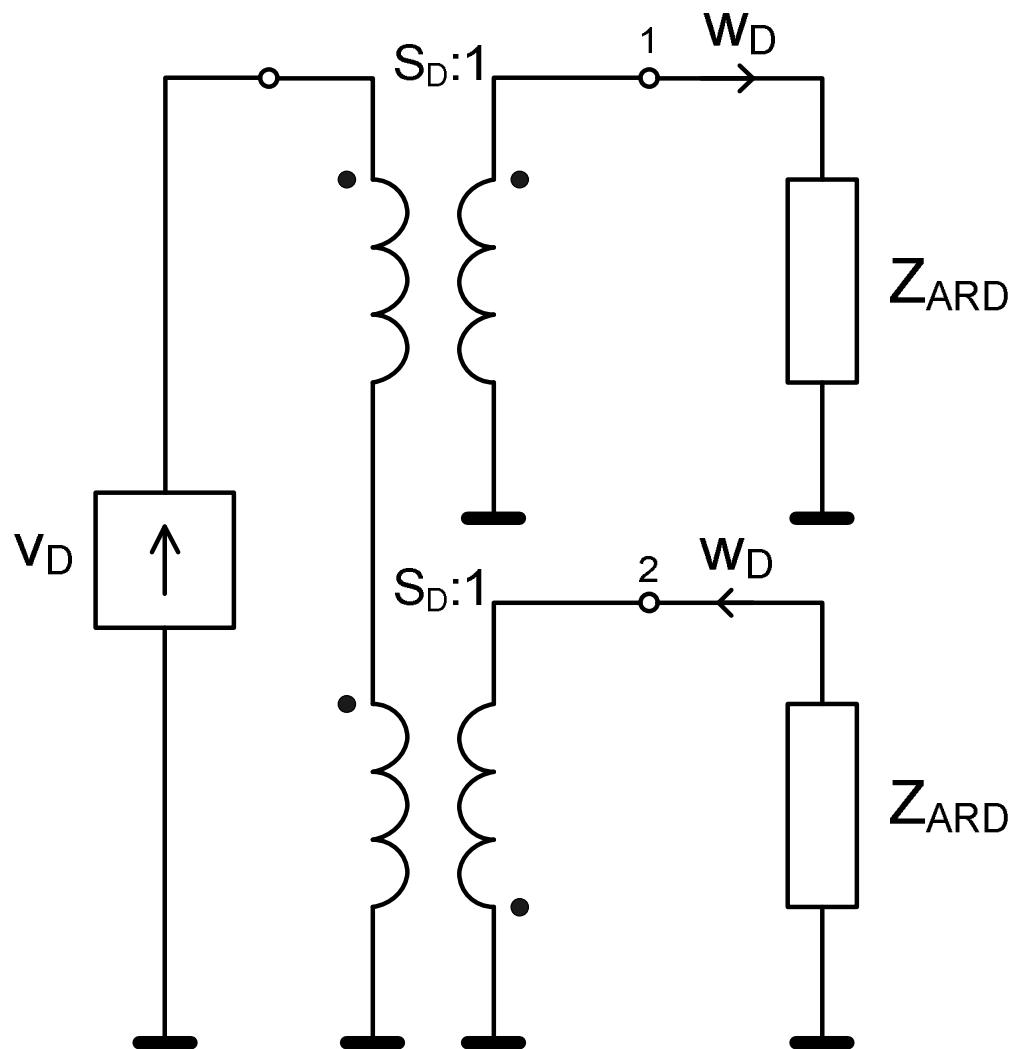
É piest má v analogickej schéme funkciu mechanicko-akustického mení a



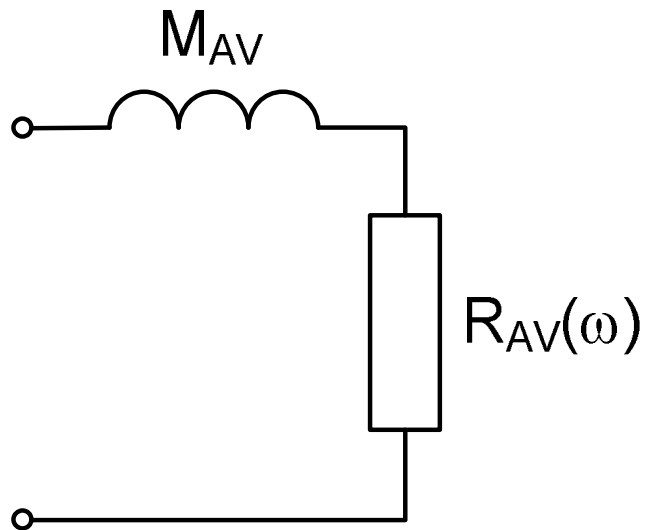
Akustický podsystem reproduktora

(analogická schéma)

É pretože piest vysiela prednou aj zadnou stranou do oddelených akustických priestorov, jeho náhradnou (analogickou) schémou je dvojitý mechanicko-akustický menič, u ktorého je opačná fáza akustických veličín realizovaná šotou enímô polaritou sekundárnej strany



Vysielacia impedancia piesta v nekone nej stene

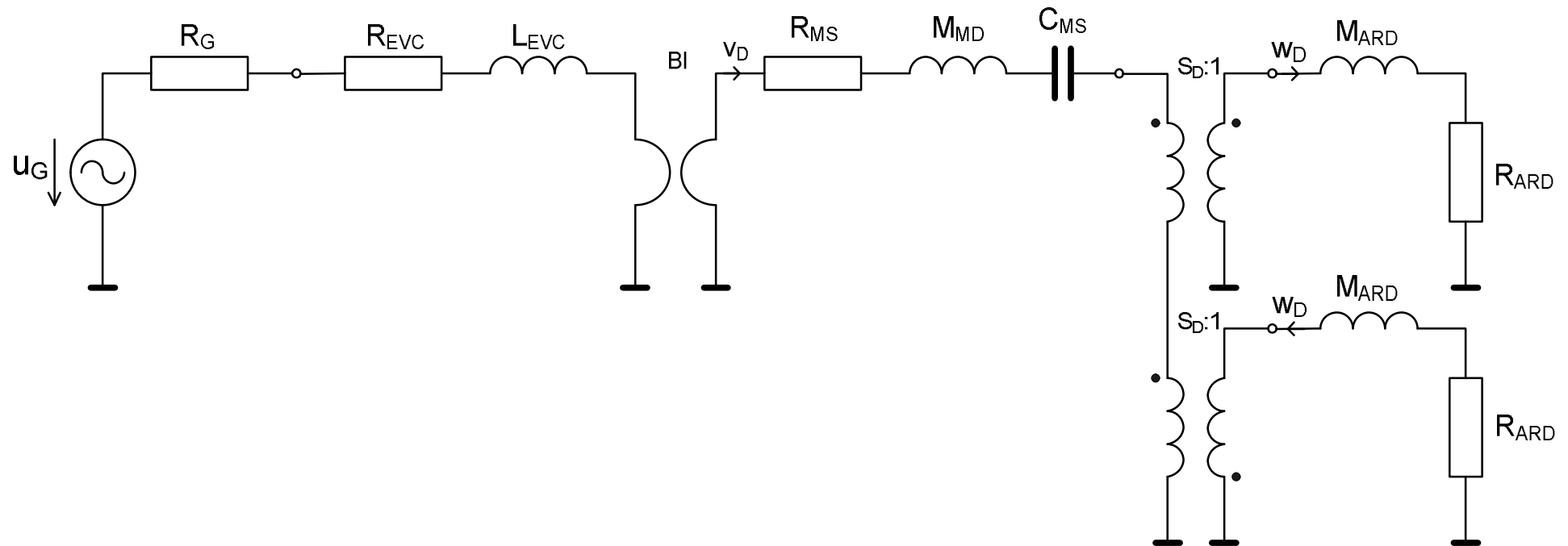


$$Z_{ARD} = R_{ARD}(\omega) + j\omega M_{ARD}$$

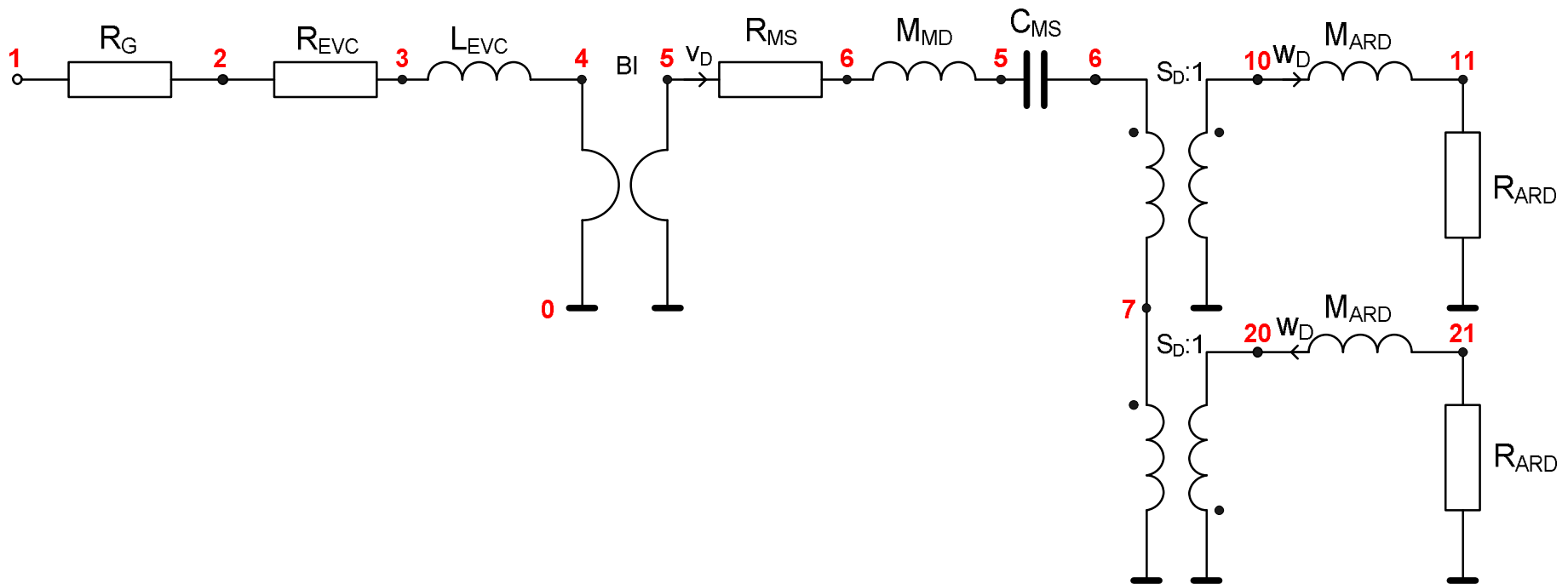
$$R_{ARD}(\omega) = \frac{\rho_0}{2\pi c_0} \omega^2$$

$$M_{ARD} = \frac{\rho_0}{S_D} \frac{8R_D}{3\pi} = \frac{8\rho_0}{3\pi^2 R_D}$$

Úplná náhradná schéma elektrodynamického, priamovysielaajúceho reproduktora



Úplná náhradná schéma reproduktora v nekone nej ozvu nici pre analýzu jeho vlastností (simuláciu) v programe AkAbak



Skript programu AkAbak

| 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);
}

System 'S1'

Resistor 'Rg' Node=1=2 R=10mohm
Resistor 'Revc' Node=2=3 R=5.9ohm
Coil 'Levc' Node=3=4 L=0.67mH

Gyator '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

Ratio={1/Sd}

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

Impedance 'Rard1' Node=11

$Z = \{(\text{roh} * w^2) / (2 * \text{pi} * c0)\}$

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

Ratio={1/Sd}

AcouMass 'Mard2' Node=20=21 Ma={Mard}

Impedance 'Rard2' Node=21

$Z = \{(\text{roh} * w^2) / (2 * \text{pi} * c0)\}$

Potential 'P1' Node=10

Analýza vlastností reproduktora v nekonečné ozvučnici

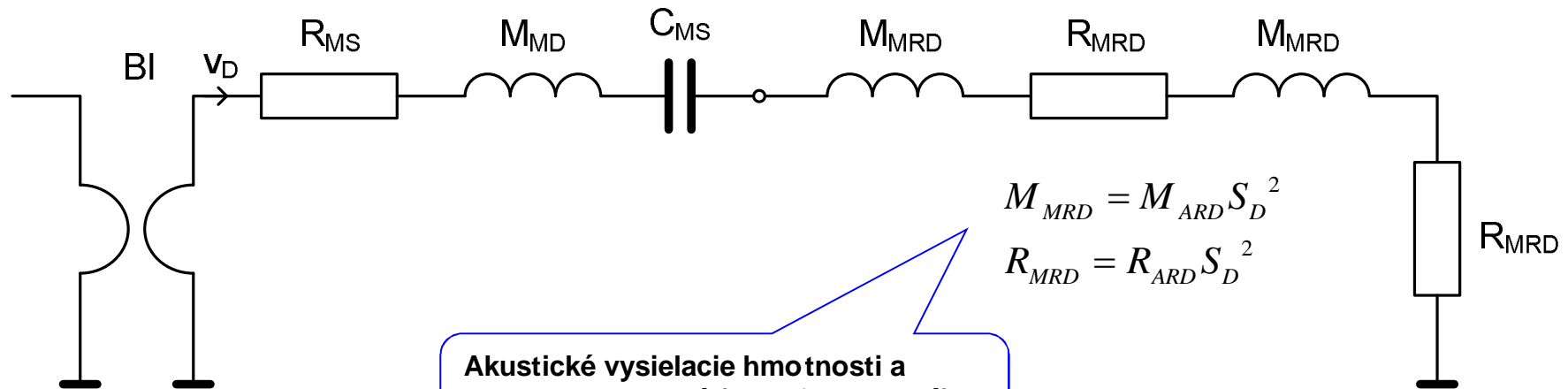
É Súbežne:

- ó Analytická analýza vlastností reproduktora
- ó Analýza pomocou programu AkAbak

É Zameraná na:

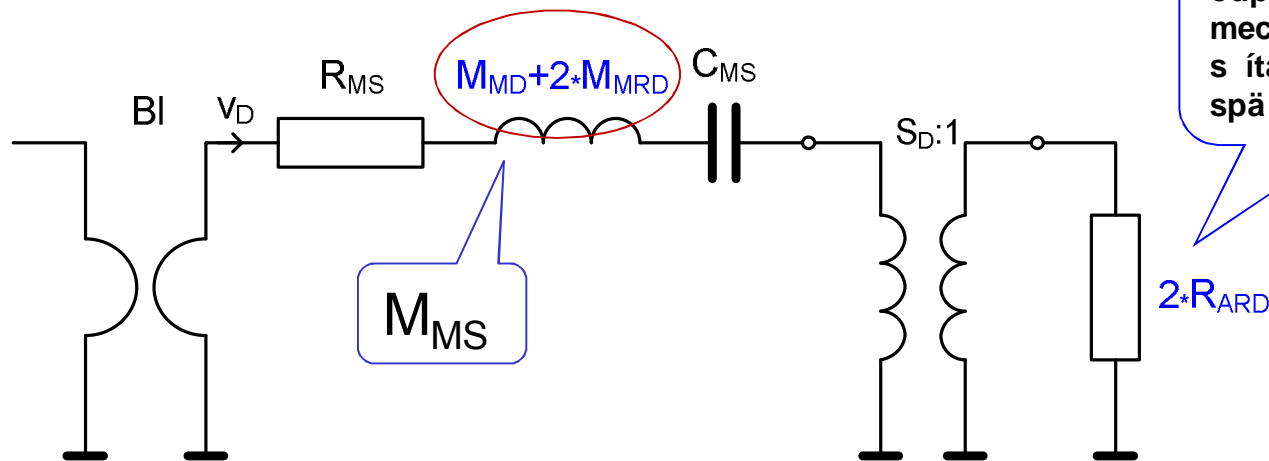
- ó elektrické vlastnosti
 - É vstupná (elektrická) impedancia
- ó prenosové vlastnosti (analýza pri šmalých signáloch)
 - É prenosová funkcia
 - É menovitá účinnosť
 - É charakteristická citlivosť
- ó výkonové vlastnosti (analýza pri švekových signáloch)
 - É výchylka reproduktora
 - É maximálnou výchylkou limitovaný el. príkon
 - É maximálnou výchylkou limitovaný ak. výkon

Úprava (zjednodu-enie) náhradnej schémy reproduktora pre ú ely analýzy vlastností reproduktora

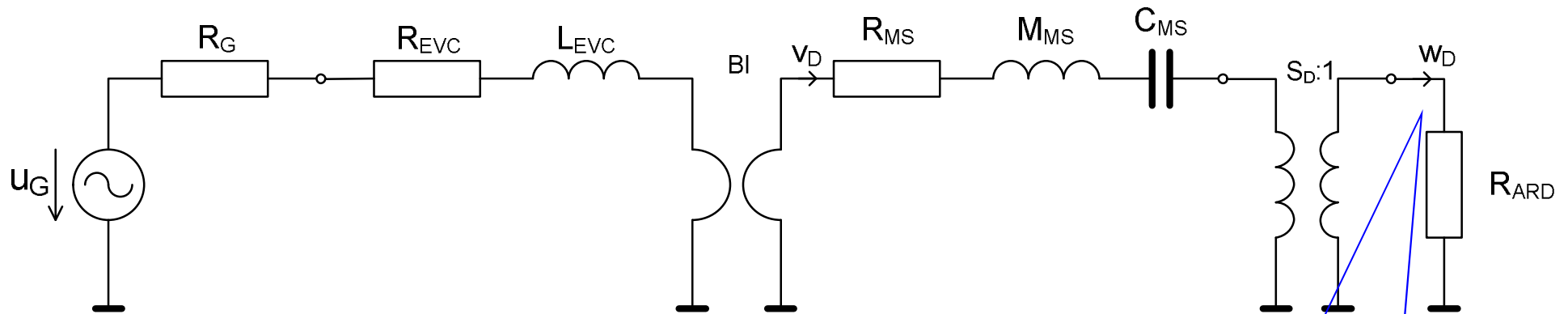


Akustické vysielacie hmotnosti a odpory, zobrazené (transformované) do mechanickej domény.

Akustické vysielacie odpory boli v mechanickej doméne s ítané a vrátené spä do akustickej.



Zjednodušená náhradná schéma elektrodynamického priamovysielačujúceho reproduktora

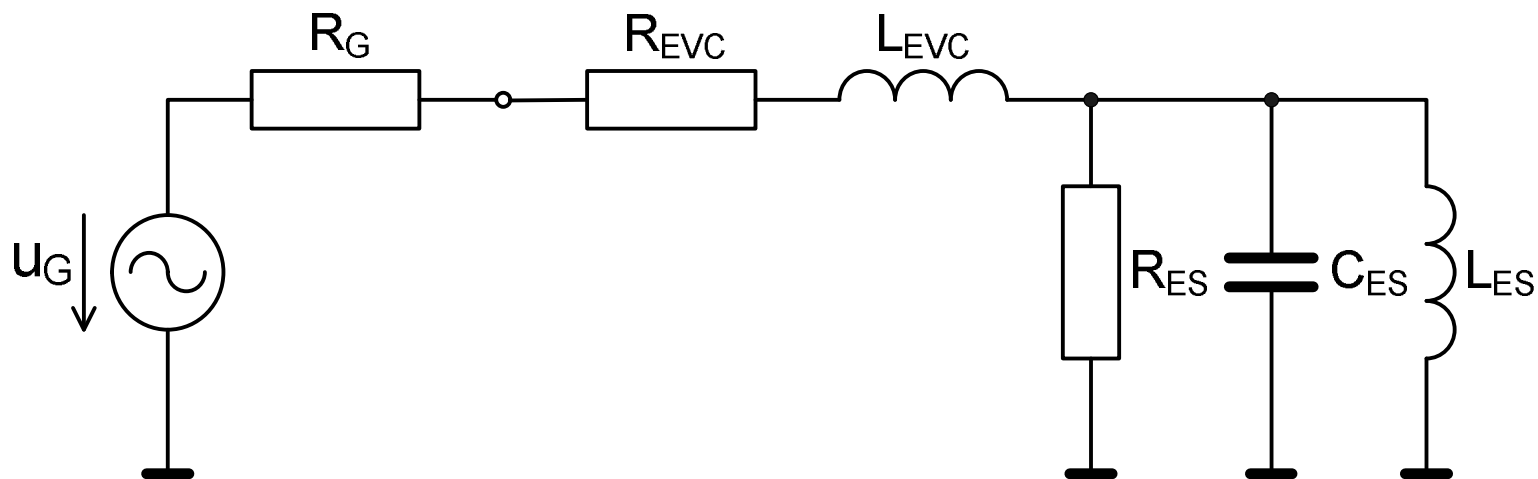


$$M_{MS} = M_{MD} + 2M_{MRD}$$

$$R_{ARD} \doteq 0$$

V tomto prípade je akustický vysielačový odpor umiestnený do tejto schémy iba symbolicky (kvôli úplnosti elektro-mechanicko-akustickej schémy) Ď v skutočnosti je v uvažovanom pásme frekvencií zanedbateľne malý.

Elektrická náhradná schéma reproduktora



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

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

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

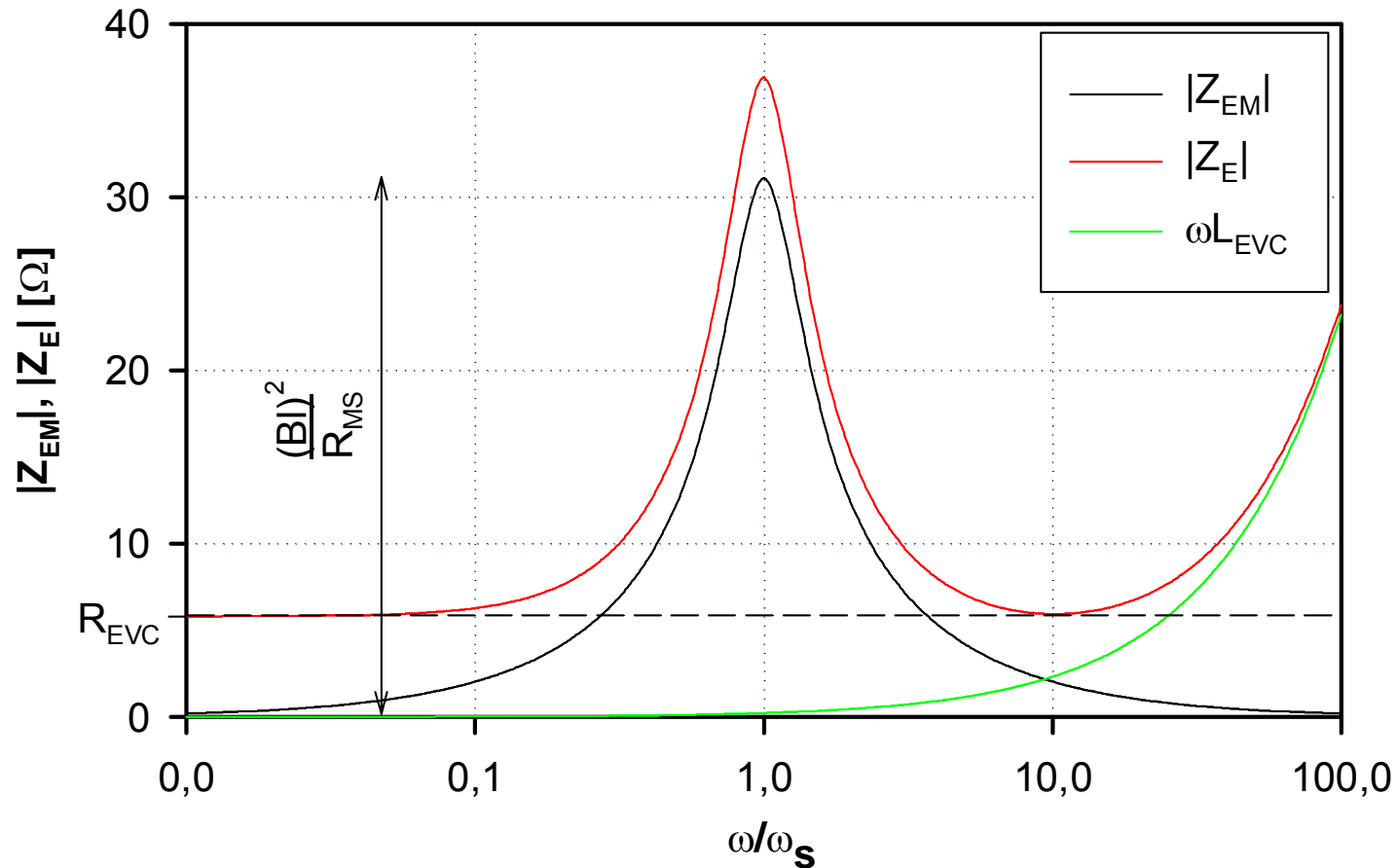
Elektrická impedancia

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

rezonan ná frekvencia = $\frac{1}{2\pi\sqrt{L_{ES}C_{ES}}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(Bl)^2 C_{MS} \frac{M_{MS}}{(Bl)^2}}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_{MS}M_{MS}}} \Rightarrow f_s$

inite kvality = $R_{ES}\sqrt{\frac{C_{ES}}{L_{ES}}} = \frac{(Bl)^2}{R_{MS}}\sqrt{\frac{M_{MS}}{(Bl)^2 C_{MS}}} = \frac{1}{R_{MS}}\sqrt{\frac{M_{MS}}{C_{MS}}} \Rightarrow Q_{MS}$

Frekvencná závislosť elektrickej impedancie reproduktora

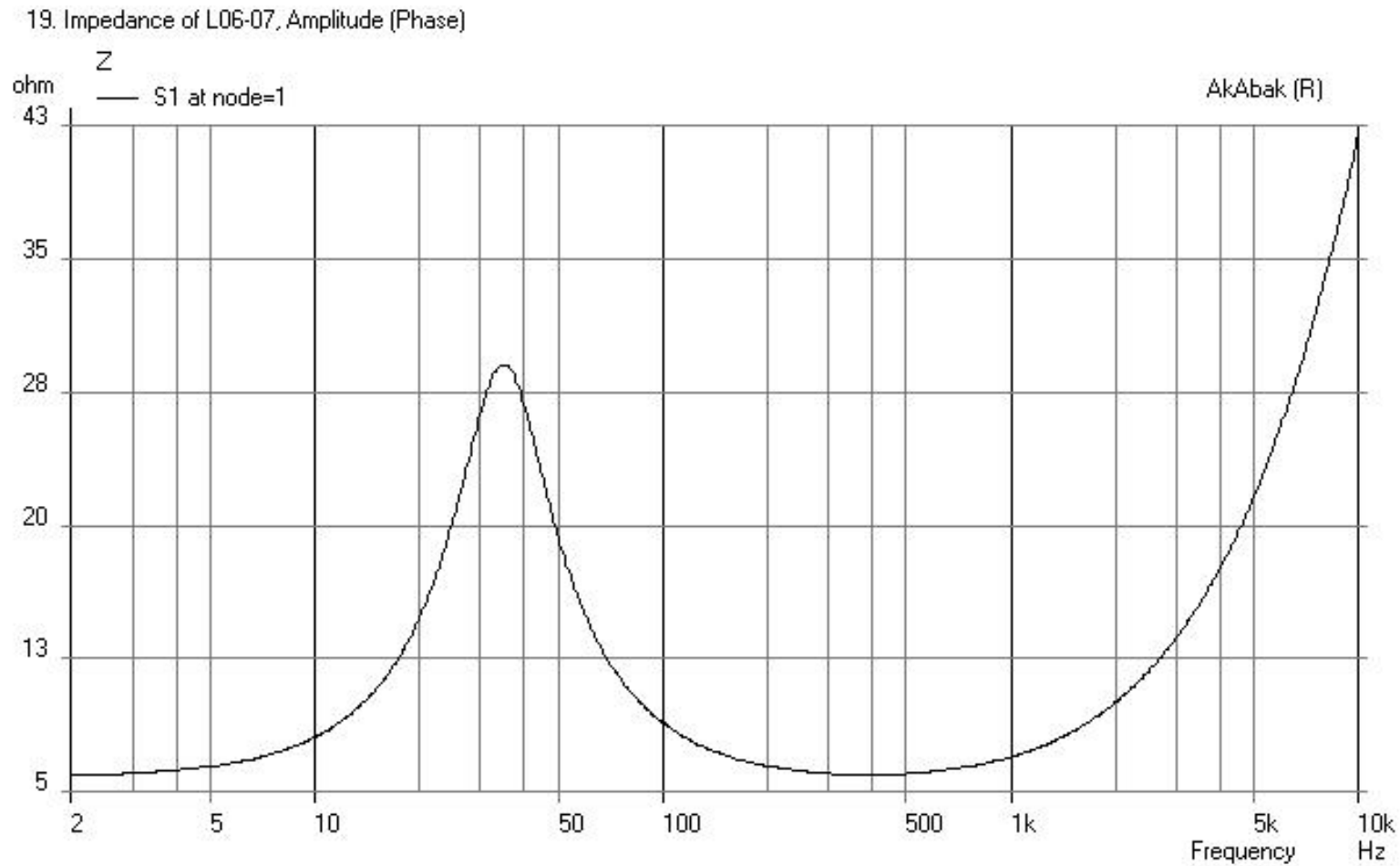


Ďalej sa na elektrickej impedancii reproduktora sa podieľa a:

- ó elektrický odpor cievky R_{EVC} ó v celom frekvencnom pásme
- ó paralelný elektrický rezonančný obvod (R_{ES}, L_{ES}, C_{ES}) ó v pásme nízkych frekvencií (v okolí rezonannej frekvencie)
- ó reaktancia cievky (ωL_{EVC}) ó zjavuje sa výraznejšie prejavovo zhruba od 10-násobku rezonannej frekvencie

Frekvencia závislos elektrickej impedancie reproduktora (simulácia v programe AkAbak)

É



Í Mechanická a elektrická impedancia

$$Z_{EM} = \frac{1}{\frac{1}{R_{ES}} + \frac{1}{sL_{ES}} + sC_{ES}} = \frac{1}{\frac{R_{MS}}{(BL)^2} + \frac{1}{sC_{MS}(BL)^2} + s\frac{M_{MS}}{(BL)^2}}$$

Normovaná funkcia pásmového priepustu 2. rádu

Po úprave:

$$Z_{EM} = \frac{(BL)^2}{R_{MS}} \cdot \frac{s_N / Q_{MS}}{s_N^2 + s_N / Q_{MS} + 1}; \quad s_N = \frac{s}{\omega_S} = \frac{s}{2\pi f_S}$$

$$|Z_{EM}(j\Omega)| = \frac{(BL)^2}{R_{MS}} \cdot \frac{\Omega / Q_{MS}}{\sqrt{(1 - \Omega^2)^2 + (\Omega / Q_{MS})^2}}; \quad \Omega = \frac{\omega}{\omega_S}$$

Rezonančná frekvencia a šmechanický inite kvality reproduktora

- É sériová mechanická impedancia je z elektrickej strany švidenáã ako paralelná (je to zrejmé z rezonan nej krivky elektrickej impedancie reproduktora)
- É šmechanickýã inite kvality je inite om kvality sériového mechanického rezonan ného obvodu, ktorý je z elektrickej strany švidenýã ako paralelný elektrický rezonan ný obvod

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

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

Oznamy

É Do konca semestra:

ó Cvi enie 30.4 ó hodnotená úloha s termínom vypracovania a odovzdania v zápo tovom týfdni

ó Cvi enie 14.5 (zápo tové cvi enie + závere ná konzultácia)

ó Predná-ky 4.5 a 11.5

É Predná-ka 4.5. ó semestrálny test na predná-ke

É Predná-ka 11.5 ó riadna predná-ka

É Termíny skú-ok ó budú vypísané do konca týfd a

Analýza prenosových vlastností sústavy (platí pre pásmo nízkych frekvencií)

É malé signály ó lineárna oblas kmitania reproduktora

É prenosová charakteristika reproduktora - pomer medzi výstupnou akustickou veli inou (akustický tlak, akustická objemová rýchlosť, akustický výkon) a vstupnou elektrickou veli inou (elektrické napätie, elektrický prúd, elektrický výkon)

É najastejšie - pomer výstupného akustického tlaku ku vstupnému napätiu

É v **uvažovanom pásme akustických frekvencií** (rozmery reproduktora menšie než štvrtina vlnovej dĺžky) reproduktor považujeme za **zdroj guovej zvukovej vlny** a vplyv **induktivity cievky** a **vysielacieho odporu** je **zanedbateľný**

Uvažované pásmo šnízkychõ frekvencií

Je vymedzené podmienkou:

rozmery reproduktora $< \frac{\lambda}{4}$

t.j. napr.: $2\pi R_D < \frac{\lambda}{4}$

$$2\pi R_D < \frac{c_0}{4f}$$

$$f < \frac{c_0}{8\pi R_D}$$

Ak napr.:

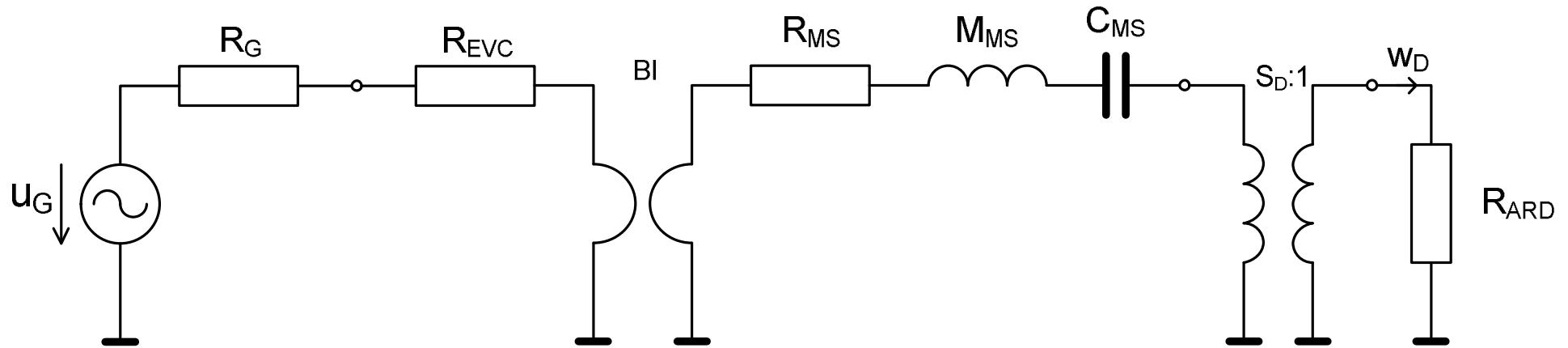
$$R_D = 10\text{cm}$$

"Nízke" frekvencie

budú plati do frekvencie:

$$f_{\max} < \frac{344}{8 \cdot \pi \cdot 0.1} \doteq 138\text{Hz}$$

Zjednodu-enie schémy (vynechanie induk nosti cievky)

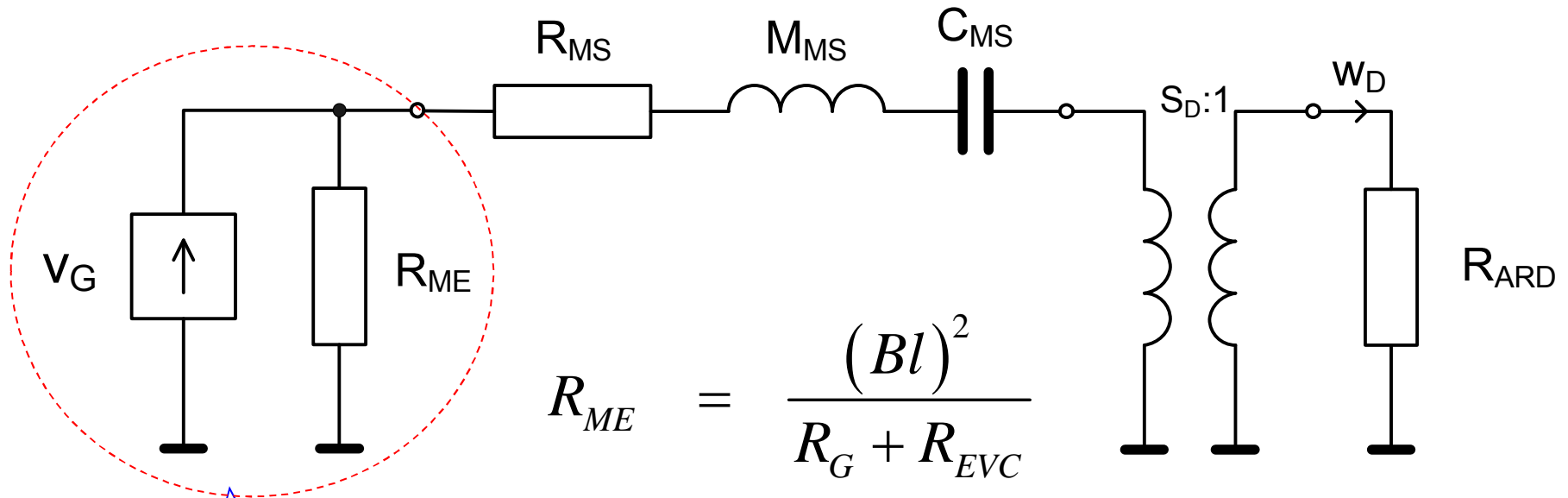


V blízkom poli reproduktora platí (r je vzdialenos od ústia reproduktora):

$$p_{out}(t) = \frac{\rho_0}{2\pi r} \cdot \frac{d w_D(t)}{d t} \quad \Leftrightarrow \quad p_{out}(s) = \frac{\rho_0}{2\pi r} s w_D(s)$$

Akustický tlak v priestore môžeme ur i z objemovej rýchlosti, ktorú vieme zisti z analogickej schémy !!!

Mechanicko-akustická analogická schéma

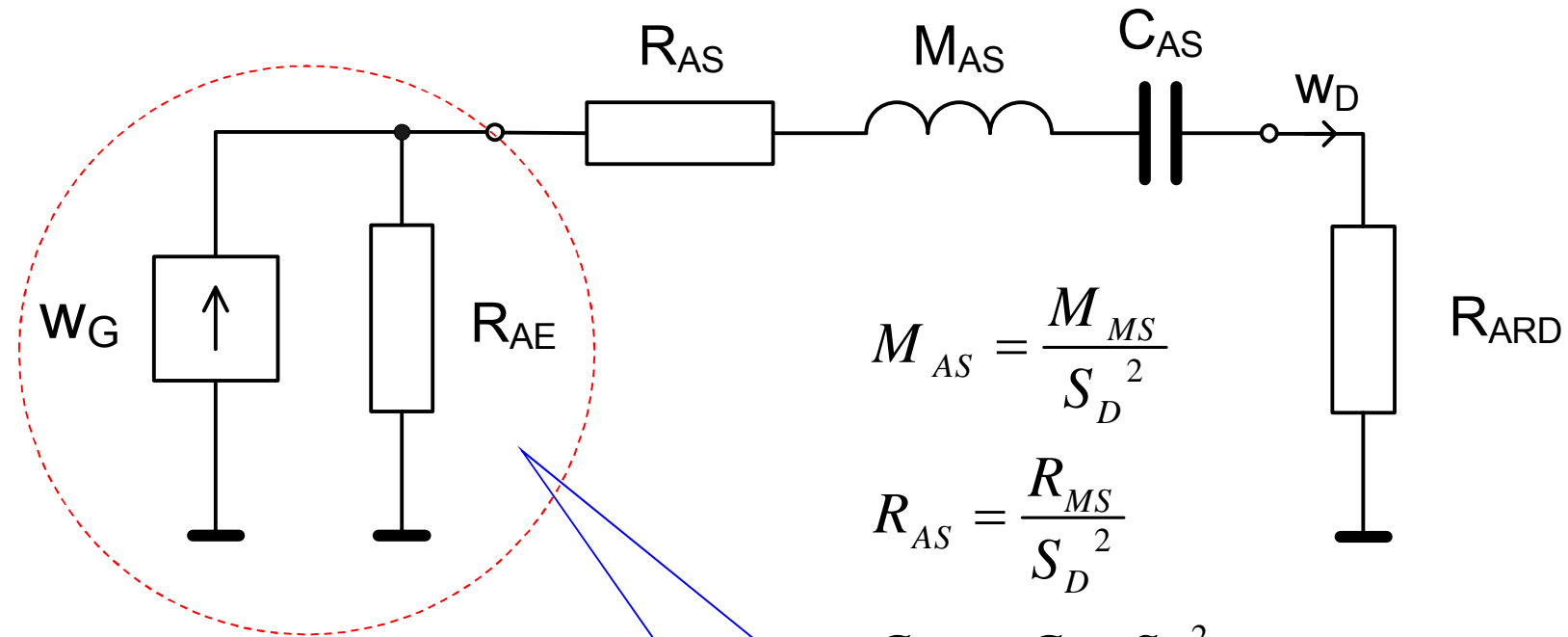


$$R_{ME} = \frac{(Bl)^2}{R_G + R_{EVC}}$$

$$v_G = \frac{u_G}{Bl}$$

Elektrická část náhradej schémy,
transformovaná (zobrazená) cez gyrátor na
mechanickú stranu

Akustická analogická schéma



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

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

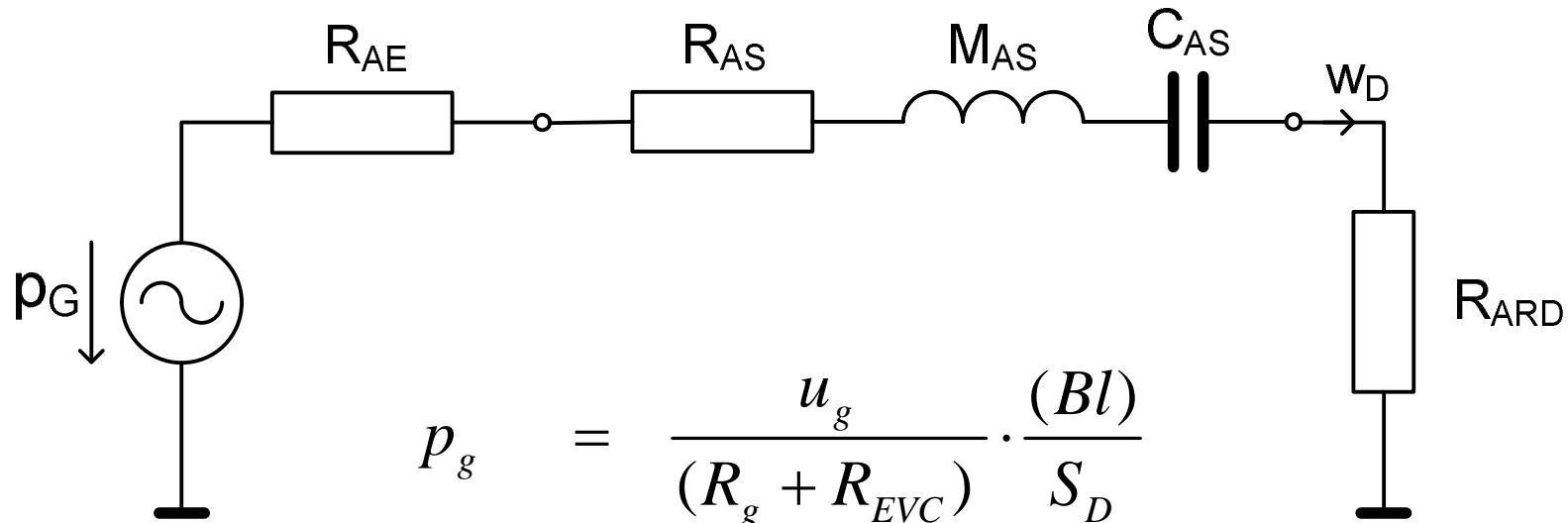
$$C_{AS} = C_{MS} S_D^2$$

$$W_G = v_G \cdot S_D = u_g \cdot \frac{S_D}{(Bl)}$$

$$R_{AE} = \frac{1}{(R_g + R_{EVC})} \cdot \frac{(Bl)^2}{S_D^2}$$

Elektrická část náhradnej schémy, transformovaná (zobrazená) cez gyrátor a coupler na akustickú stranu

Akustická náhradná schéma



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

$$R_{AE} = \frac{1}{(R_g + R_{EVC})} \cdot \frac{(Bl)^2}{S_D^2}$$

- 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")

Objemová rýchlosť v akustickom poli

$$w_D(s) = \frac{p_G}{R_{AS} + R_{AE} + sM_{AS} + \frac{1}{sC_{AS}}} = \frac{u_g \cdot \frac{1}{(R_g + R_{EVC})} \cdot (Bl) S_D}{\underbrace{R_{AS} + R_{AE} + sM_{AS} + \frac{1}{sC_{AS}}}_{R_{AT}}}$$

$$w_D(s) = \underbrace{u_g \cdot \frac{S_D}{(Bl)} \cdot \frac{R_{AE}}{R_{AT}}}_{w_{D,max}} \cdot \underbrace{\frac{sC_{AS}R_{AT}}{s^2M_{AS}C_{AS} + sC_{AS}R_{AT} + 1}}_{W_D(s)}$$

Celkový akustický odpor akustickej náhradnej schémy reproduktora

Amplitúda (konštantná časť) objemovej rýchlosti

Prenosová funkcia (frekvenčne závislá časť) objemovej rýchlosti

Prenosová funkcia a frekvenčná charakteristika objemovej rýchlosti v akustickom poli

Prenosová funkcia objemovej rýchlosti je v tvare **pásmového priepustu**

$$W_D(s) = \frac{s C_{AS} R_{AT}}{s^2 M_{AS} C_{AS} + s C_{AS} R_{AT} + 1} = \frac{s_N / Q_T}{s_N^2 + s_N / Q_T + 1}$$

$$s_N = \frac{s}{\omega_S} \quad - \quad \text{normovaný operátor}$$

$$Q_T = \frac{1}{\omega_S C_{AS} R_{AT}} \quad - \quad \text{tzv. celkový inite kvality}$$

Frekvencná charakteristika objemovej rýchlosti v akustickom poli

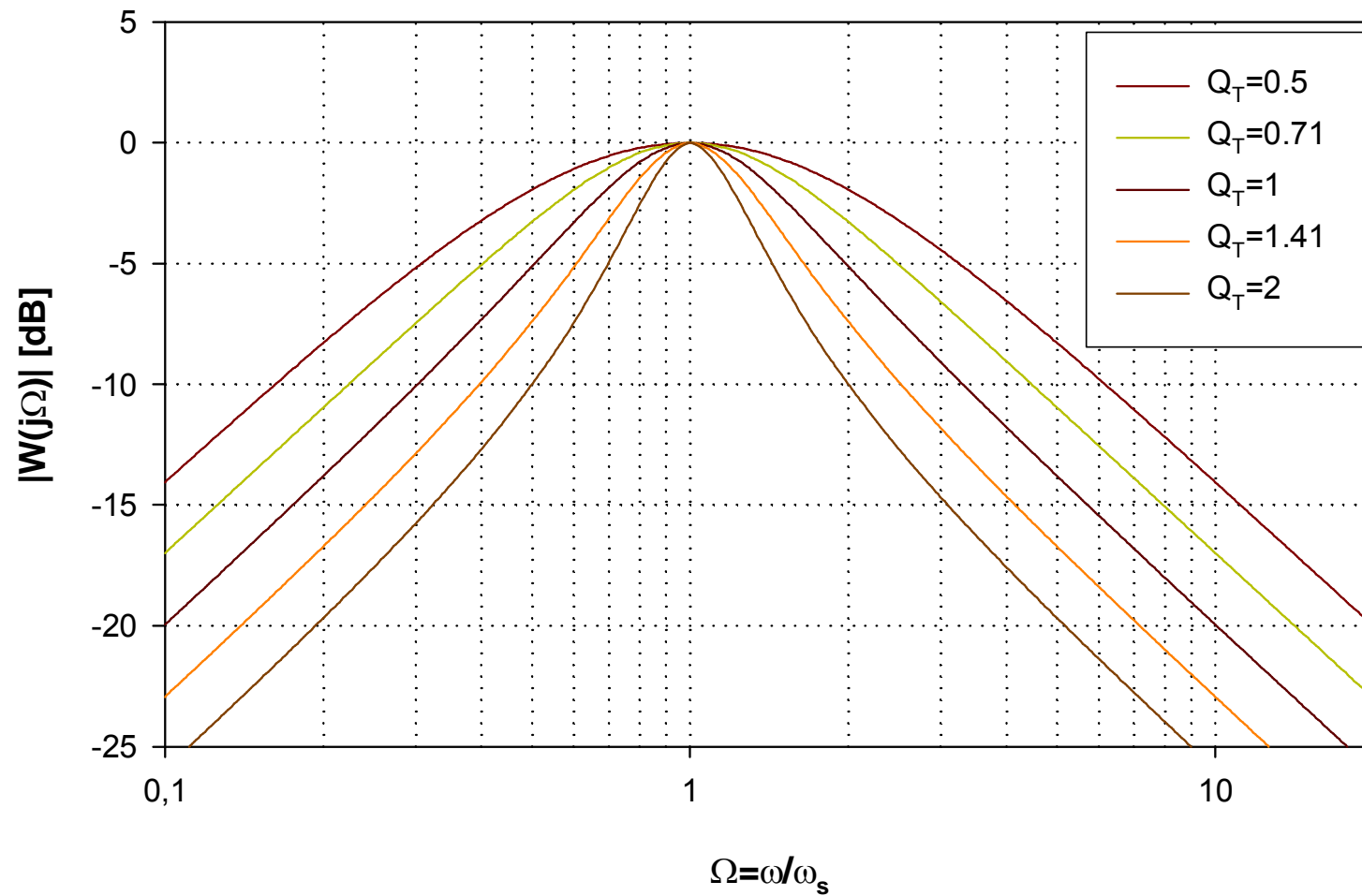
$$W_D(j\Omega) = |W_D(j\Omega)| \cdot e^{j \arg[W_D(j\Omega)]}$$

$$|W_D(j\Omega)| = \frac{\Omega/Q_T}{\sqrt{(1-\Omega^2)^2 + \Omega^2/Q_T^2}}$$

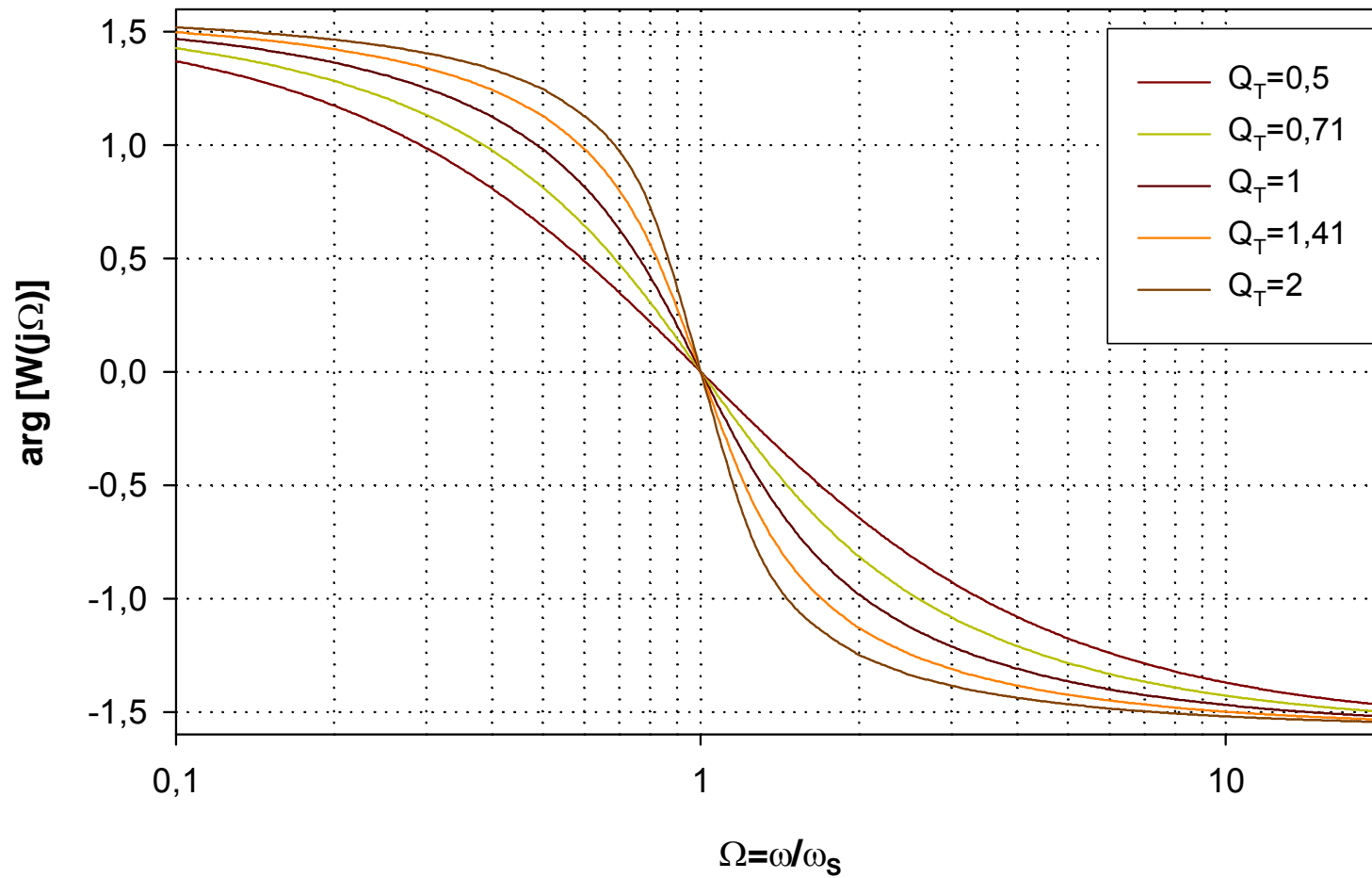
$$\arg[W(j\Omega)] = \operatorname{arctg} \frac{1-\Omega^2}{\Omega/Q_T}$$

$$\Omega = \frac{\omega}{\omega_s} \quad - \quad \text{normovaná uhlová frekvencia } \omega$$

Amplitúdová frekvencná charakteristika objemovej rýchlosti reproduktora

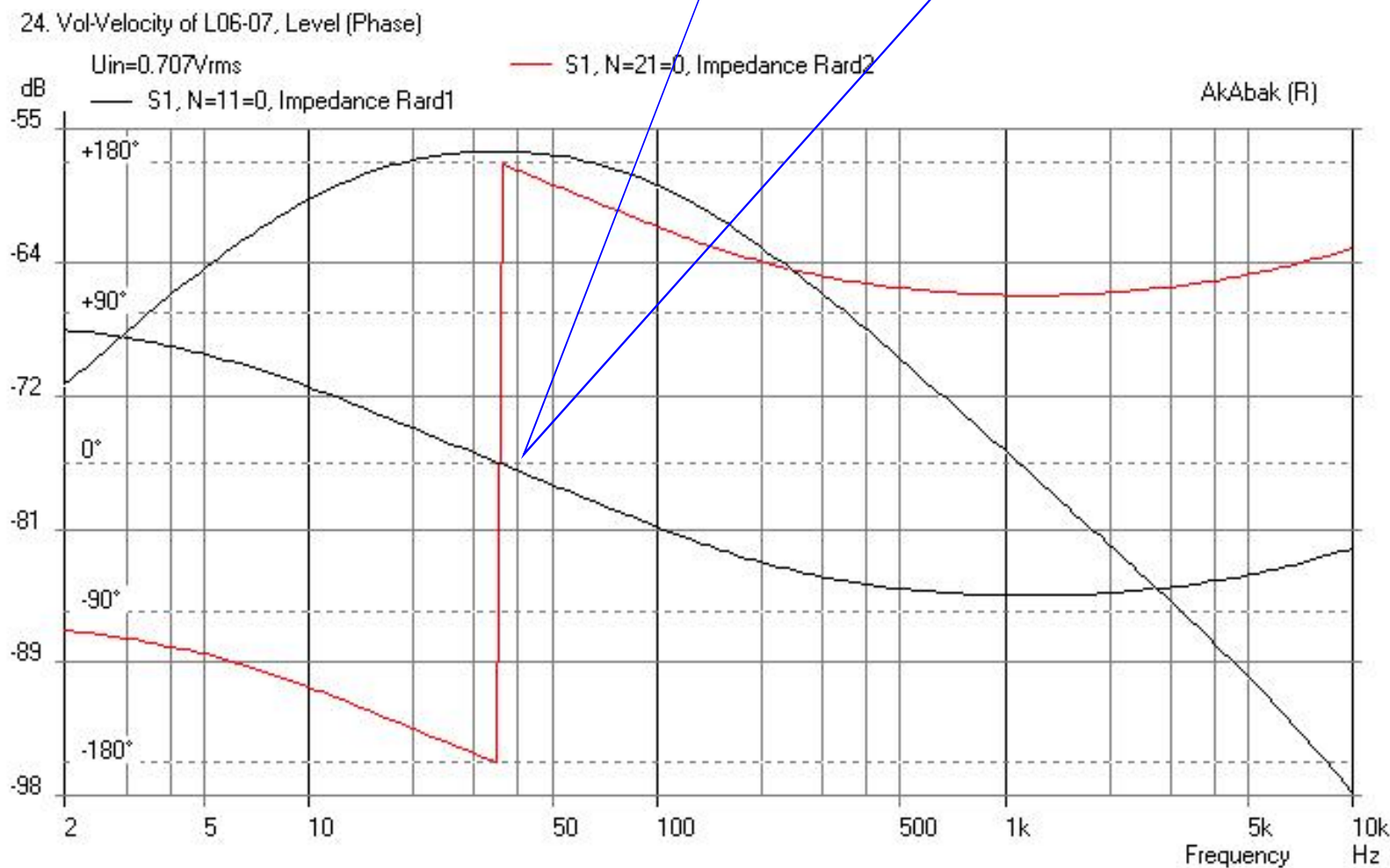


Fázová frekvencná charakteristika objemovej rýchlosti reproduktora



Objemová rýchlosť reproduktora v nekonečnej ozvonenici získaná simuláciou náhradnej schémy ($L_{EVC}=0$) v programe AkAbak

Fázy objemových rýchlostí prednej (čierna) a zadnej (červená) strany membrány sú posunuté o 180° – Vysielanie v protifáze !!!



Celkový inite kvality reproduktora

$$Q_T = \frac{1}{\omega_S C_{AS} R_{AT}} = \frac{1}{R_{MS} + \frac{(Bl)^2}{(R_g + R_{EVC})}} \sqrt{\frac{M_{MS}}{C_{MS}}}$$

$$\frac{1}{Q_T} = R_{MS} \sqrt{\frac{C_{MS}}{M_{MS}}} + \frac{(Bl)^2}{(R_g + R_{EVC})} \sqrt{\frac{C_{MS}}{M_{MS}}} = \frac{1}{Q_{MS}} + \frac{1}{Q_E}$$

É celkový inite kvality reproduktora je inite kvality rezonan ného obvodu, na ktorom sa okrem mechanických reaktan ných prvkov (M_{MS} , C_{MS}) podie ajú v-etky odporové prvky (mechanické aj elektrické)

É celkový inite kvality tak možno rozdeli na dve asti, na **mechanický inite kvality**, ktorý je inite om kvality š istéhoo mechanického sériového rezonan ného obvodu, a na tzv. **elektrický inite kvality**

Elektrický inite kvality reproduktora

$$Q_E = \frac{(R_g + R_{EVC})}{(Bl)^2} \sqrt{\frac{M_{MS}}{C_{MS}}} = \frac{R_{EVC}}{(Bl)^2} \left(1 + \frac{R_g}{R_{EVC}}\right) \sqrt{\frac{M_{MS}}{C_{MS}}} = Q_{ES} \left(1 + \frac{R_g}{R_{EVC}}\right)$$

$$Q_E = Q_{ES} \left(1 + \frac{R_g}{R_{EVC}}\right)$$

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

Elektrický inite kvality závisí od dvoch odporov, od vnútorného odporu zdroja signálu R_G a od elektrického odporu cievky R_{EVC} . Keďže inite a kvality závisí tvar amplitúdovej frekvennej charakteristiky, je zrejme, že na tvar AFCH bude mať vplyv nielen odpor cievky, ale aj vnútorný odpor zdroja.

Akustický tlak v akustickom poli reproduktora

$$p_0(s) = \frac{\rho_0}{2\pi r} s w_D(s) = \frac{\rho_0}{2\pi r} \cdot w_{D,\max} \cdot s \cdot W_D(s) = p_{\max} \cdot G(s)$$

$$p_{\max} = \frac{\rho_0}{2\pi r} \cdot w_{D,\max} \quad - \quad \text{amplitúda akustického tlaku}$$

$$G(s) = s \cdot W_D(s) \quad - \quad \text{prenosová funkcia reproduktora}$$

Prenosová funkcia reproduktora

Prenosová funkcia reproduktora je funkciou hornopriepustného filtra 2. rádu

$$G(s) = s \cdot W_D(s) = \frac{s^2 M_{AS} C_{AS}}{s^2 M_{AS} C_{AS} + s C_{AS} R_{AT} + 1} = \frac{s_N^2}{s_N^2 + s_N / Q_T + 1}$$

$$s_N = \frac{s}{\omega_S} \quad - \quad \text{normovaný operátor}$$

Prenosová funkcia reproduktora ako hornopriepustný filter 2. rádu

$$\left. \begin{aligned} G(s) &= \frac{b_2 s_N^2}{a_2 s_N^2 + a_1 s_N + a_0} \\ G(s) &= \frac{s_N^2}{s_N^2 + s_N/Q_T + 1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} b_2 &= 1 \\ a_2 &= 1 \\ a_1 &= \frac{1}{Q_T} \\ a_0 &= 1 \end{aligned}$$

Jediný nastaviteľný koeficient prenosovej funkcie \ddot{E} závisí od neho tvar charakteristiky

Frekvencia, ktorou je normovaný operátor s je tzv. charakteristickou frekvenciou filtra. V prípade reproduktora je to rezonančná frekvencia

$$a_1 \left\{ \begin{aligned} &= 2 && - \text{critically damped} \\ &\geq \sqrt{2} && - \text{second-order Bessel} \\ &= \sqrt{2} && - \text{second-order Butterworth} \\ &\leq \sqrt{2} && - \text{second-order Chebychev} \end{aligned} \right.$$

Frekvencná charakteristika reproduktora

$$G(j\omega) = G(s)\Big|_{s=j\omega} = |G(j\Omega)| \cdot e^{j \arg[G(j\Omega)]}$$

$$|G(j\omega)| = \frac{\Omega^2}{\sqrt{(\Omega^2 - 1)^2 + \Omega^2/Q_T^2}}$$

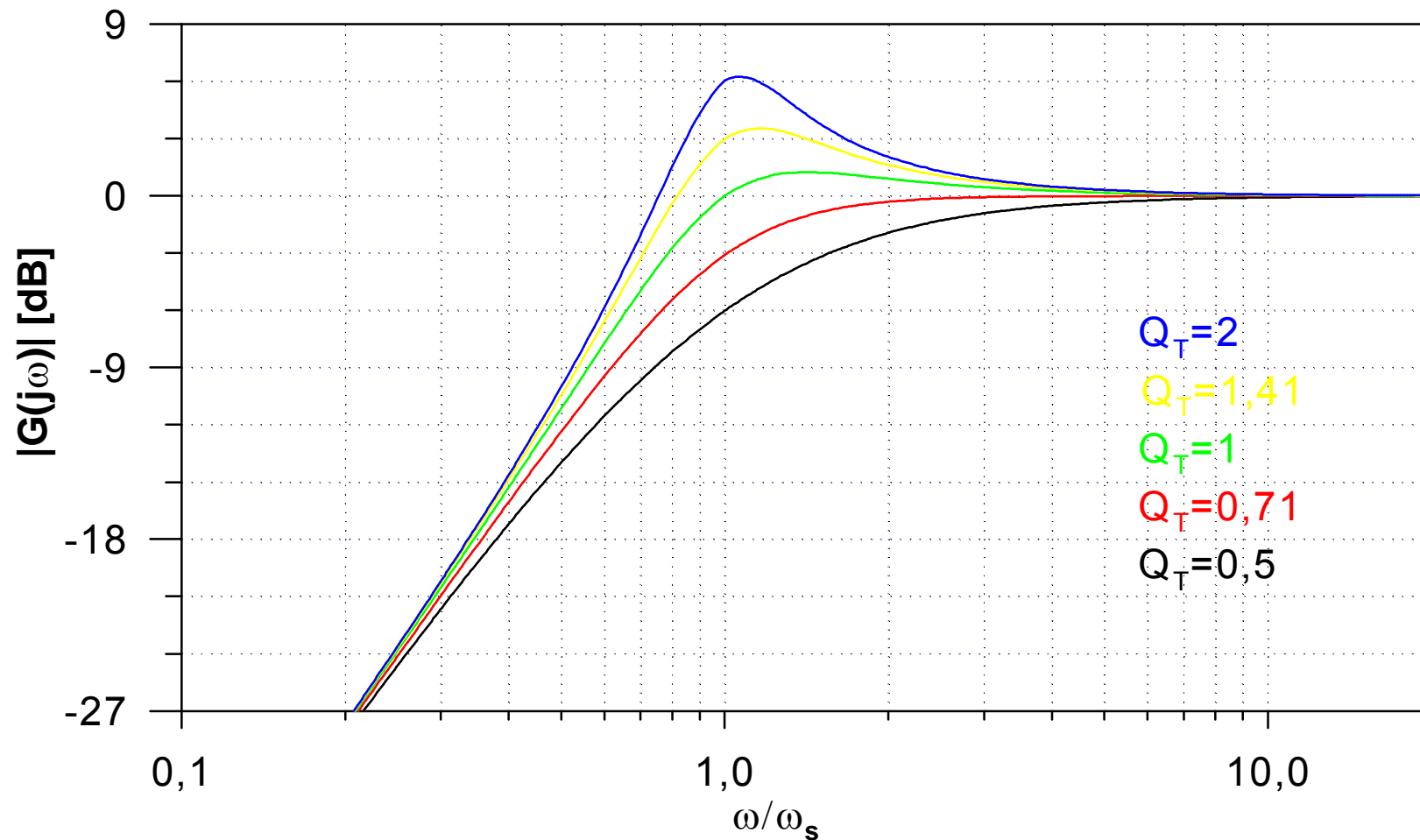
$$\arg[G(j\omega)] = -\operatorname{arctg} \frac{\Omega/Q_T}{\Omega^2 - 1}$$

$$\Omega = \frac{\omega}{\omega_s} \quad - \quad \text{normovaná uhlová frekvencia } \omega$$

Amplitúdová frekvencná charakteristika reproduktora

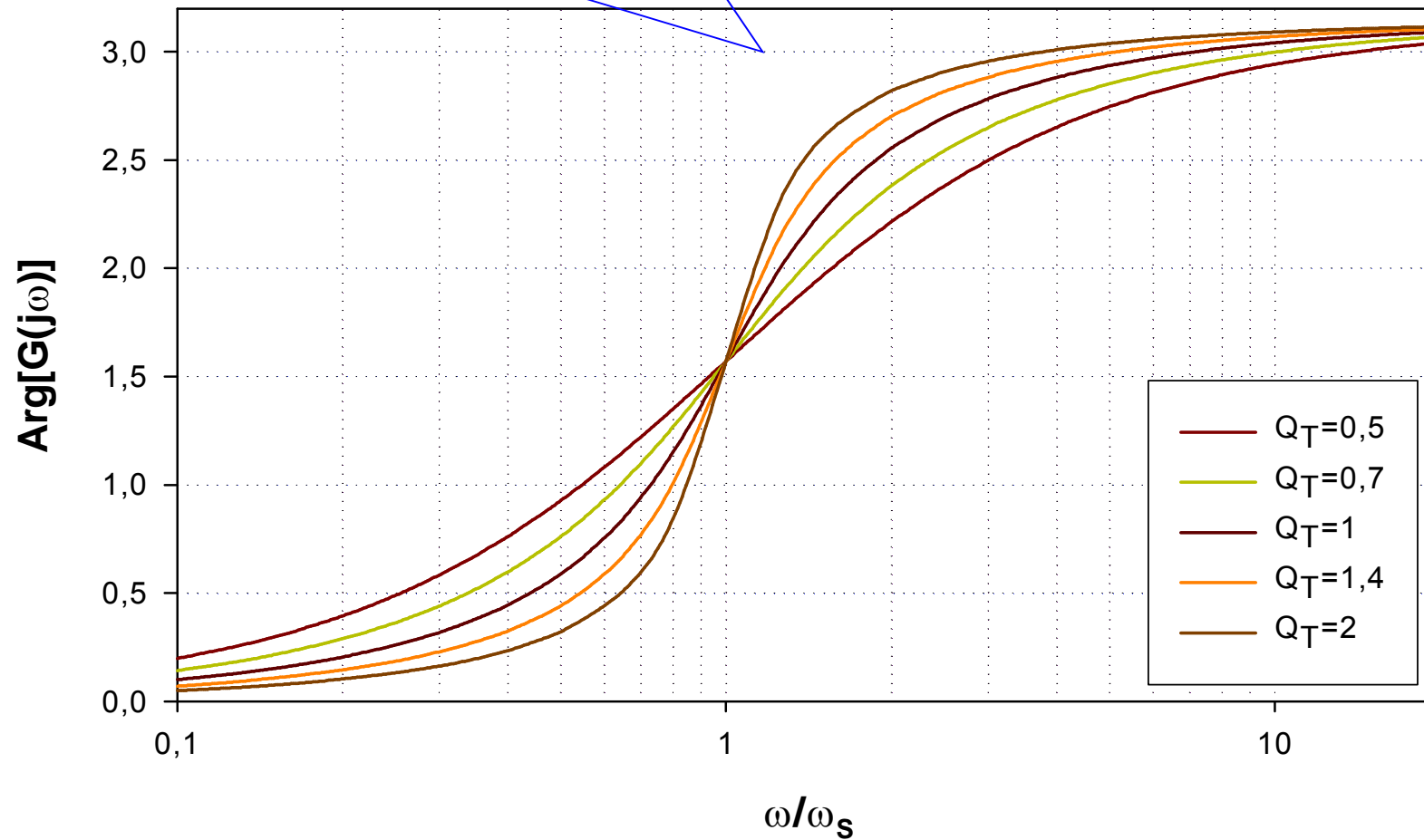
Ďalšie detaily charakteristiky:

- ó medzná frekvencia
- ó zvlhnenie charakteristiky v okolí rezonannej frekvencie
- ó sklon charakteristiky v pásme pod medznou frekvenciou
- ó vzťah medzi medznou frekvenciou a rezonančnou frekvenciou



Fázová frekvencná charakteristika reproduktora

Linearita fázovej charakteristiky závisí od celkového Q_T inerte a kvality reproduktora !!!



Thiele-Small (TS) parametre reproduktora

É sú to odvodené parametre

É umofl ujú praktický a ve mi rýchly odhad vlastností reproduktora

É majú významnú úlohu pri návrhu reproduktorovej sústavy

rezonan ná frekvencia:

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

mechanický inite kvality:

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

elektrický inite kvality:

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

celkový inite kvality:

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

ekvivalentý objem:

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

Akustický tlak v akustickom poli reproduktora

$$p_0(s) = \frac{\rho_0}{2\pi r} s w_D(s) = \frac{\rho_0}{2\pi r} \cdot w_{D,\max} \cdot s \cdot W_D(s) = p_{\max} \cdot G(s)$$

$$p_{\max} = \frac{\rho_0}{2\pi} \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{u_g \cdot (Bl) \cdot S_D}{(R_g + R_{EVC}) \cdot M_{MS}} \quad [\text{Pa}]$$

$$p_{\max} = \frac{\sqrt{2\pi} \rho_0}{c_0} \cdot \frac{\sqrt{P_E}}{r} \sqrt{\frac{f_S^3 V_{AS}}{Q_{ES}}} \quad [\text{Pa}]$$

$$p_{\max} = 7.9 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\sqrt{P_E}}{r} \sqrt{\frac{f_S^3 V_{AS}}{Q_{ES}}} \quad [\text{Pa}]$$

Charakteristická tlaková citlivos

Akustický tlak v osi reproduktora vo vzdialenosti 1m od jeho ústia pri elektrickom príkone 1W:

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

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

Rýchly odhad amplitúdy akustického tlaku z charakteristickej tlakovej citlivosti:

$$p_{\max} = \sigma_{p|1W,1m} \cdot \frac{\sqrt{P_E}}{r} \quad [\text{Pa}]$$

Hladina akustického tlaku a char. tlaková citlivosť v [dB]

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \frac{p}{p_{ref}} \quad [\text{dB}]$$

$$p_{ref} = 2 \cdot 10^{-5} \quad [\text{Pa}]$$

Charakteristická citlivosť v [dB] sa vypočíta podobne, ako hladina akustického tlaku.

Referenčná hodnota citlivosti má úplne rovnakú hodnotu, ako referenčná hodnota akustického tlaku.

$$L_\sigma = 20 \cdot \log_{10} \frac{\sigma_{p|1W,1m}}{\sigma_{p,ref}} \quad [\text{dB}]$$

$$\sigma_{p,ref} = 2 \cdot 10^{-5} \quad [\text{PaW}^{-1/2}\text{m}]$$

Rýchly odhad amplitúdy akustického tlaku z charakteristickej tlakovej citlivosti

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

$$20 \cdot \log_{10} \frac{p_{\max}}{p_{\text{ref}}} = 20 \cdot \log_{10} \frac{\sigma_{p|1W,1m}}{\sigma_{p,\text{ref}}} + 20 \cdot \log_{10} \frac{\sqrt{P_E}}{r}$$

$$L_p = L_\sigma + 10 \cdot \log_{10} P_E - 20 \cdot \log_{10} r$$

Hladina akustického tlaku sa zvýí o:

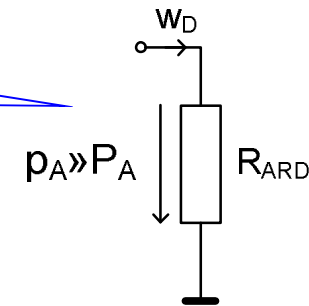
- 3dB, ak sa elektrický príkon zdvojnásobí
- 10dB, ak sa elektrický príkon zdesa násobí

Hladina akustického tlaku sa zmení o:

- 6dB, ak sa vzdialenos zdvojnásobí
- 20dB, ak sa vzdialenos zdesa násobí

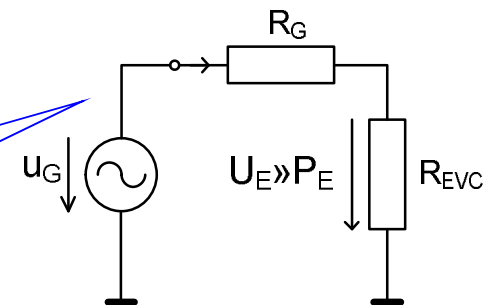
Menovitá účinnost reproduktora: Pomer ineho akustického výkonu k menovitému elektrickému příkonu:

Akustická objemová rychlost, která účinkuje do vysílacího odporu membrány určuje **inženýrský akustický výkon**



$$\eta = \frac{P_A}{P_{E,Nom}} = \frac{|w_{D,max}|^2 \cdot R_{ARD}}{\left[\frac{u_G}{R_G + R_{EVC}} \right]^2 \cdot R_{EVC}}$$

Elektrický proud, který účinkuje do odporu cívky určuje **menovitý elektrický příkon**



Po dosazení a úpravě:

$$\eta_{N(IB)} = \frac{\rho_0}{2\pi c_0} \frac{(Bl)^2 S_D^2}{R_{EVC} M_{MS}^2} = \frac{4\pi^2}{c_0^3} \frac{f_s^3 V_{AS}}{Q_{ES}} = 9,6 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{f_s^3 V_{AS}}{Q_{ES}}$$

Simulácia prenosovej funkcie reproduktora v programe AkAbak s pomocou prvku šRadiatorõ

É Prvok šRadiatorõ

ó je implementáciou vysielačej impedancie reproduktora a vzáhu:

...

ó umofl uje simulovať akustický tlak v priestore

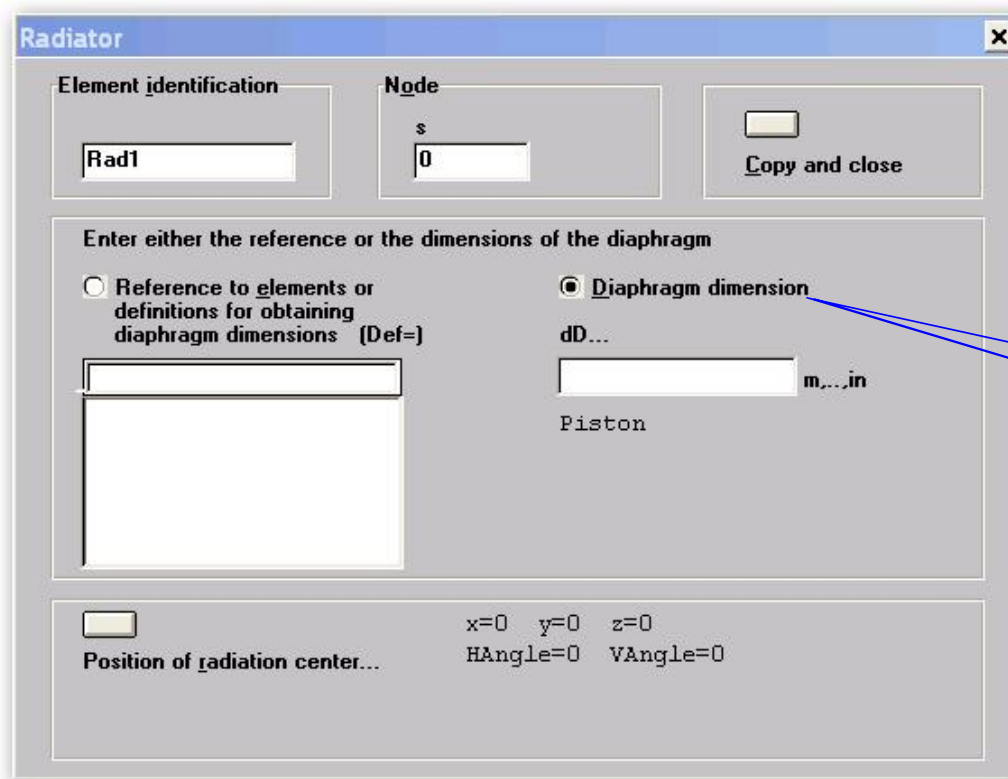
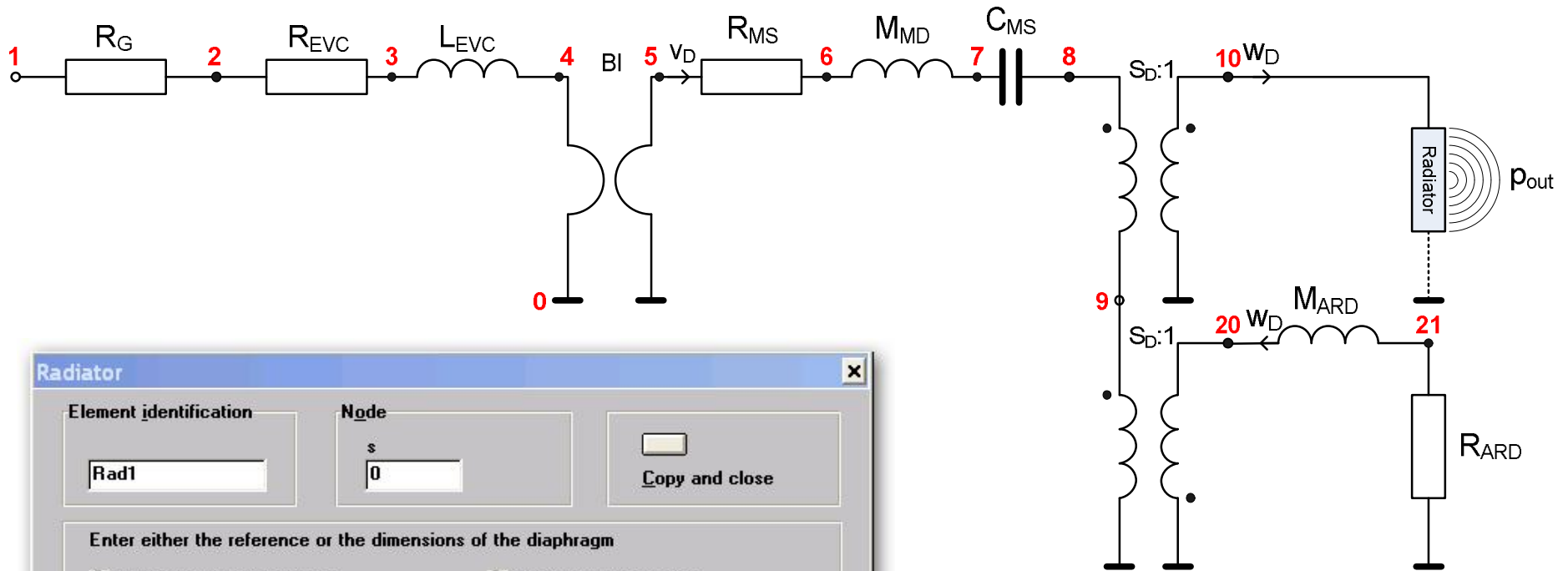
ó z pohľadu analogickej schémy ide o šdvojpólõ, ktorého jeden pól je automaticky uzemnený ...

É Použitie prvku šRadiatorõ si vyžaduje:

ó Úpravy v časti skriptu šCouplerõ

ó ...

Náhradná schéma reproduktora s prvkom šRadiatorů



Dialógové okno prvku šRadiatorů, ktorý musí by viazaný na model membrány šskuto nýchí rozmerov, alebo na prvok, ktorý takúto väzbu obsahuje

Skript s prvkom šRadiatorõ

```
| Seas Prestige ER18RNX  
| Revc=5.9ohms; Levc=0.67mH; B1=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);  
}
```

System 'S4' |Radiator na prednej strane membrany

```
Resistor 'Rg' Node=1=2 R=10mohm
```

```
Resistor 'Revc' Node=2=4 R=5.9ohm
```

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

```
Gyrator 'Gy1' Node=4=0=5=0 B1=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
```

```
Ratio={1/Sd}
```

```
Radiator 'Rad1' Node=10
```

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

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

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

```
Ratio={1/Sd} |Piston
```

```
AcouMass 'Mard2' Node=20=21 Ma={Mard}
```

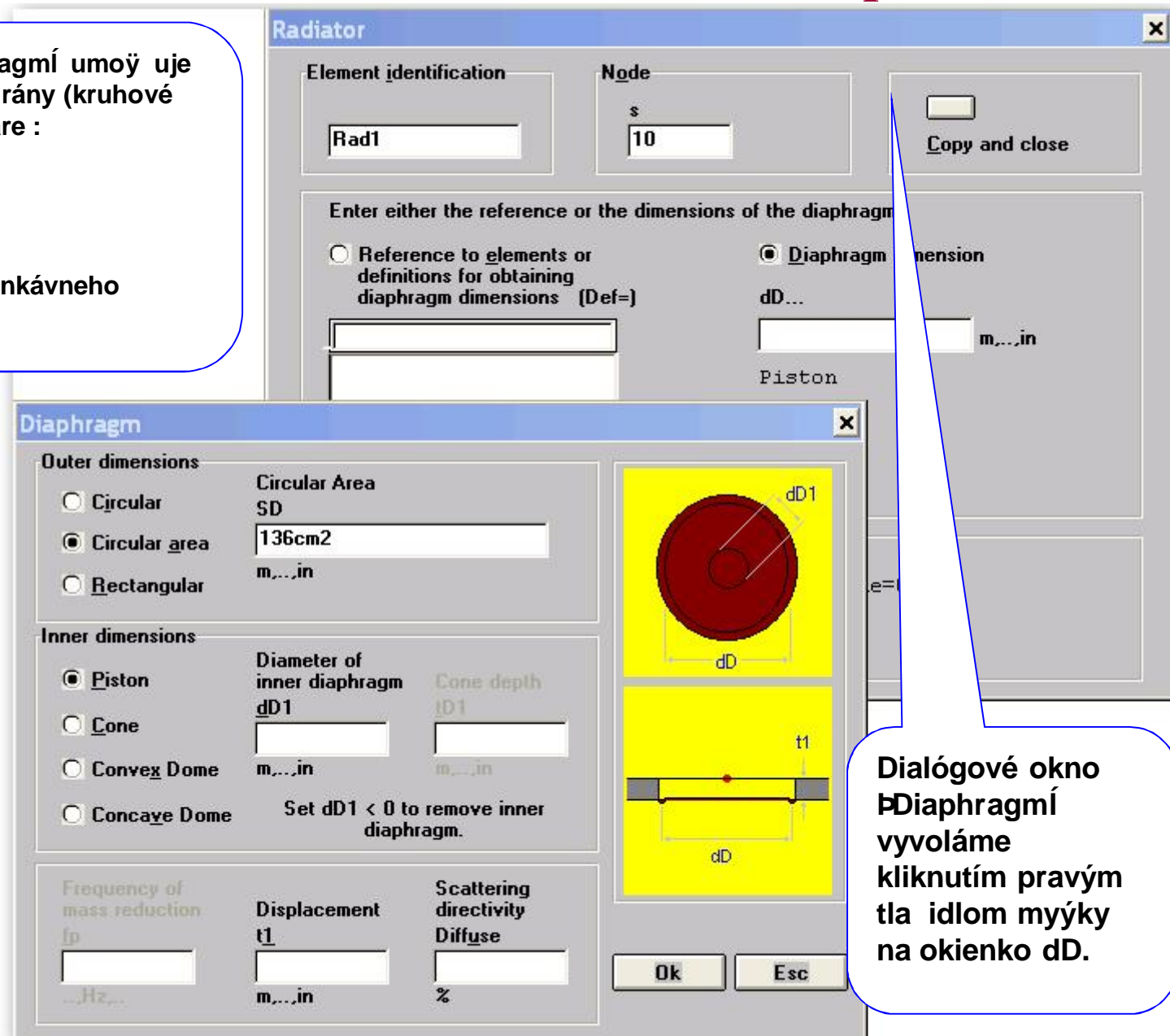
```
Impedance 'Rard2' Node=21=0
```

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

Radiator ó vzba na membrnu v tvare idelného piesta

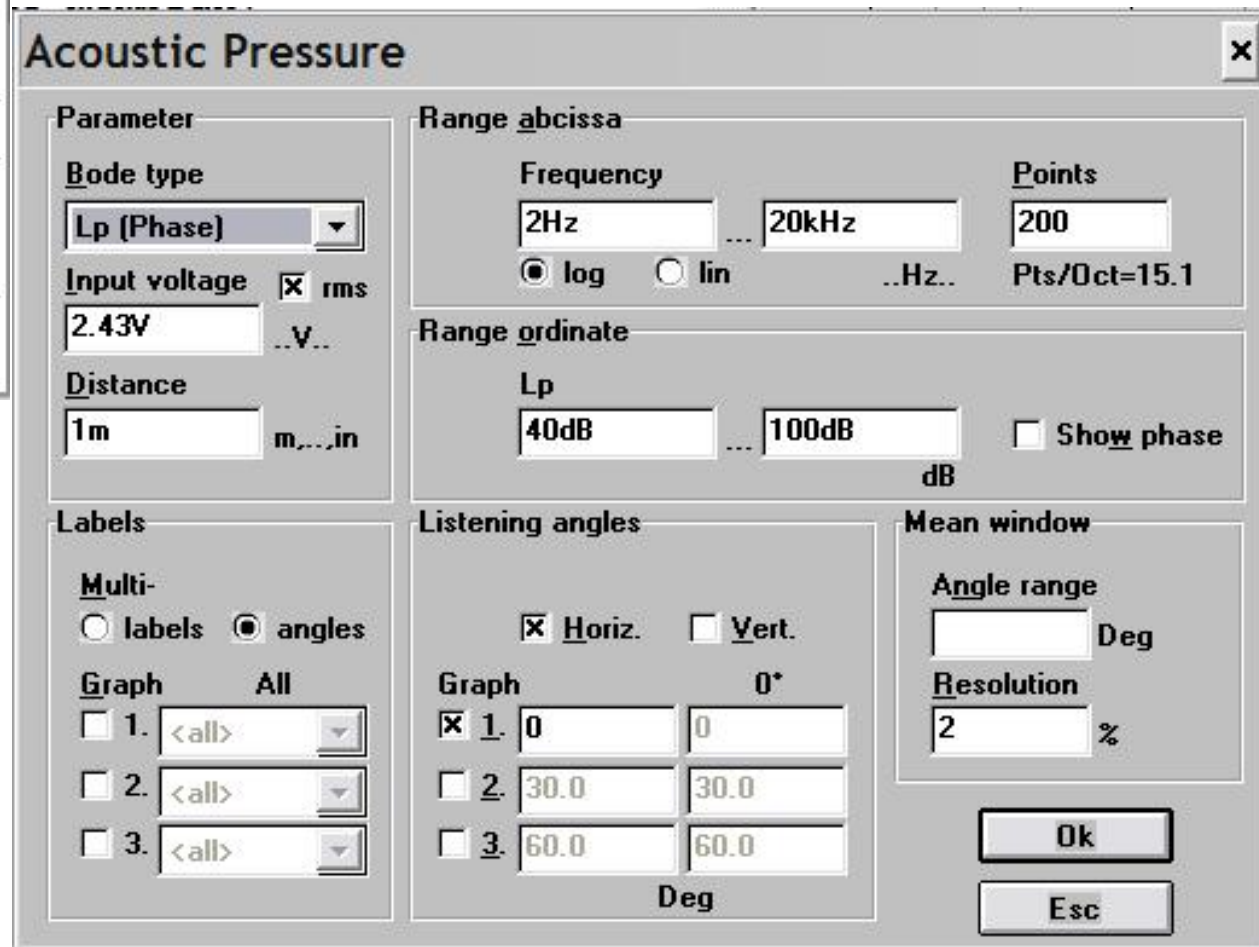
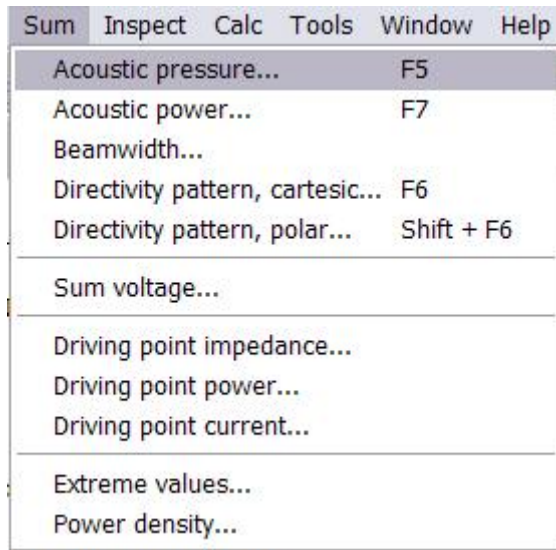
Dialógové okno **Diaphragm** umoy uje modelova relne membrány (kruhové alebo obdlynkove) v tvare :

- Piesta
- Zrezanho kuye a
- Konvexnho alebo konkvneho gu ového vrchlíka

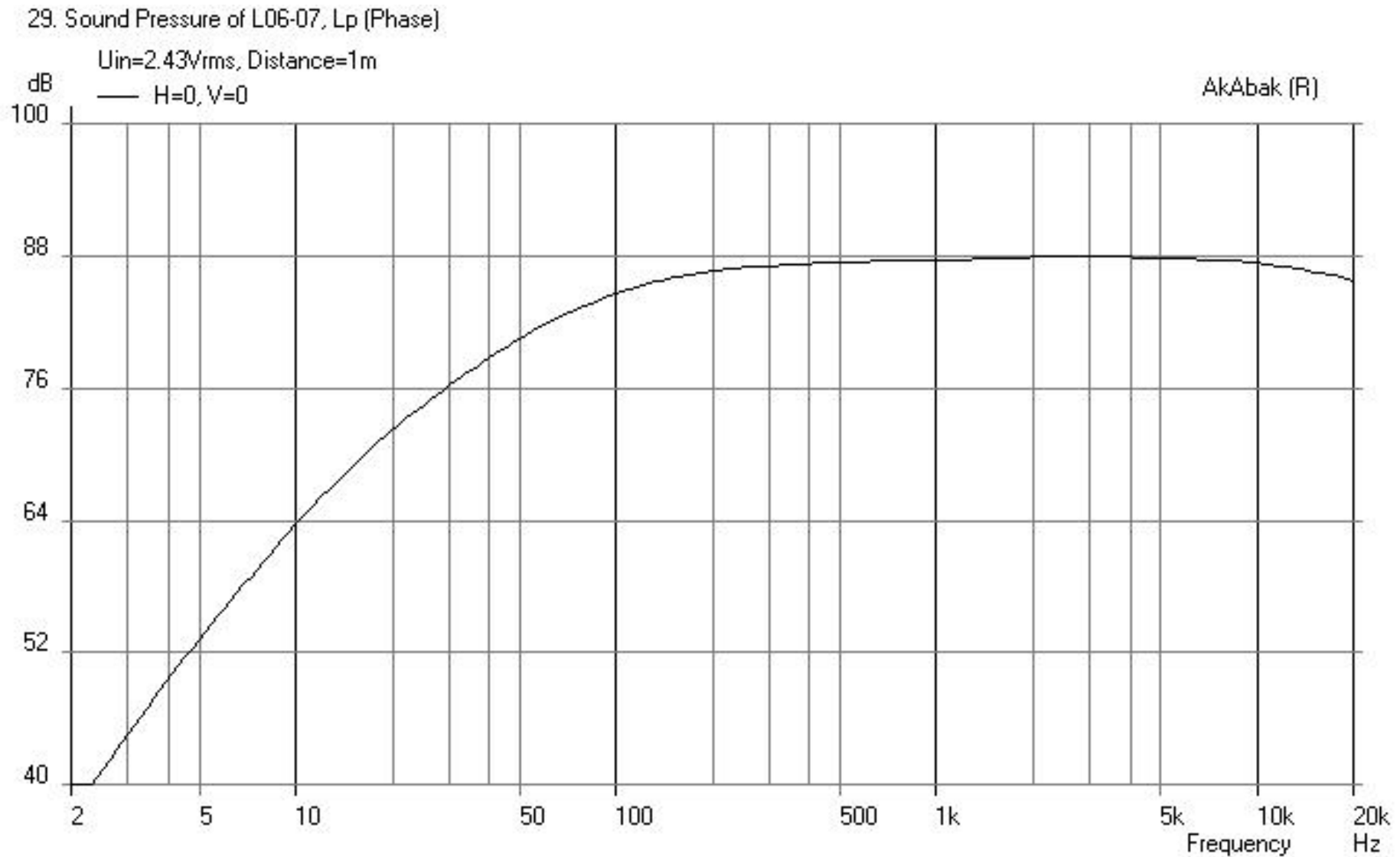


Dialógové okno **Diaphragm** vyvoláme kliknutím pravm tla idlom myky na okienko dD.

Dialógové okno pre spustenie simulácie akustického tlaku v akustickom poli reproduktora (Sum/Acoustic Pressure)



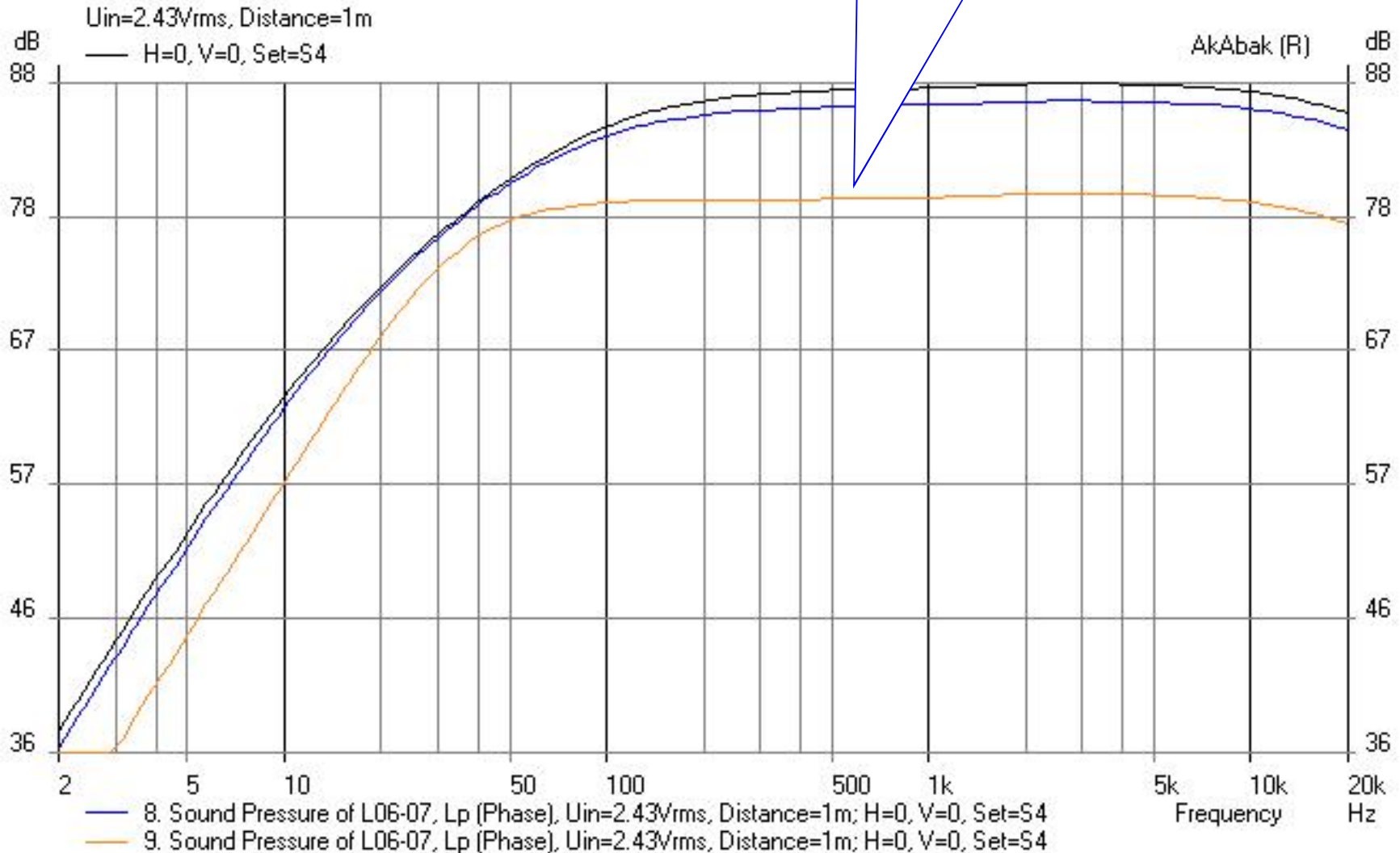
Akustický tlak v akustickom poli ó simulácia makromodelom šRadiatorõ (Sum/Acoustic pressure; v osi reproduktora, $R_G=0$, $L_{EVC}=0$, $PE=1W$)



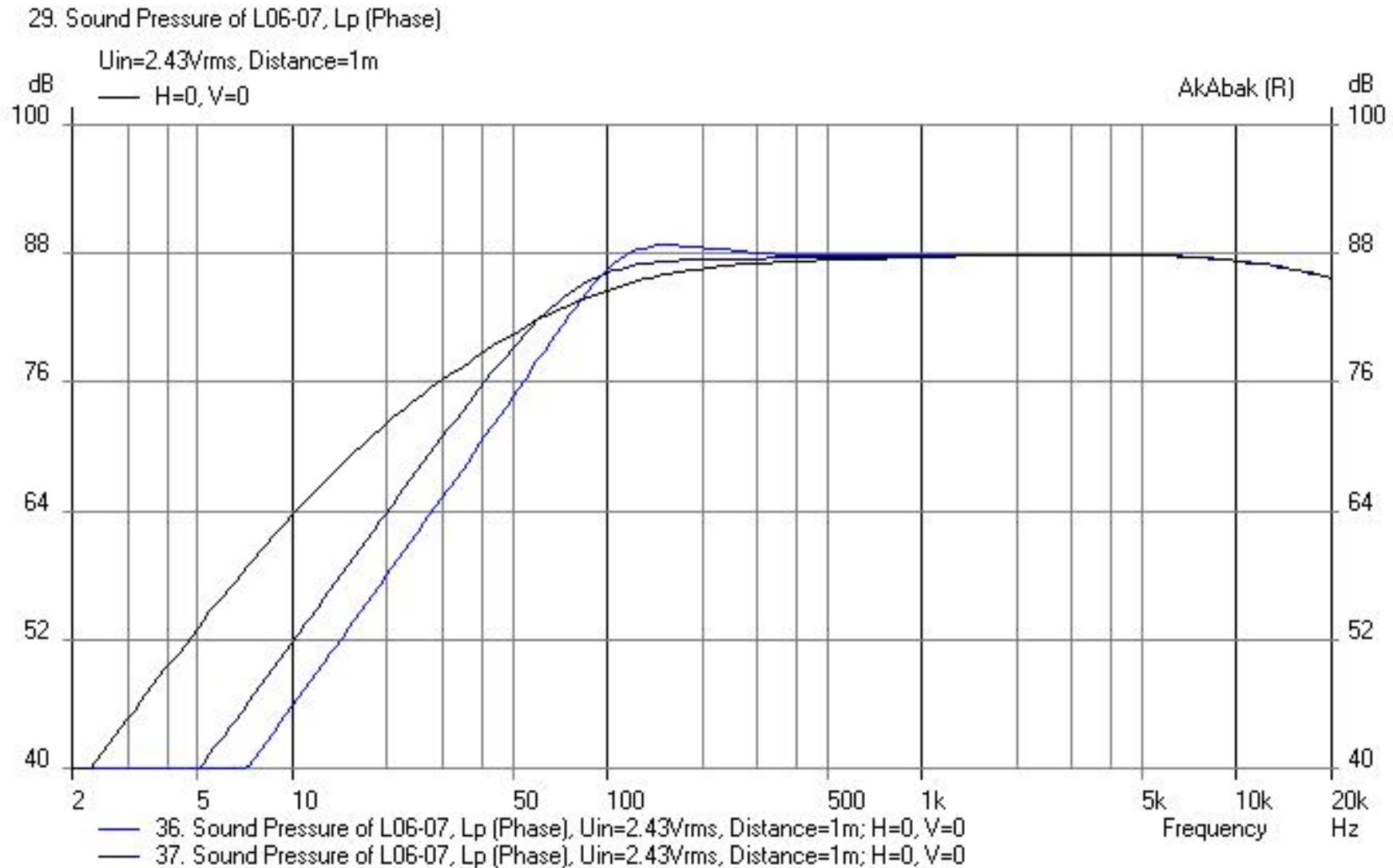
Vplyv vnútorného odporu zdroja ($R_G=1\text{m}\Omega$, 1Ω , 10Ω)

Extrémne ve ký vnútorný odpor zdroja znižuje citlivos reproduktora a mení tvar frekven nej charakteristiky

7. Sound Pressure of L06-07, Lp (Phase)



Vplyv poddajnosti reproduktora ($C_{MS2}=C_{MS}/5$; $C_{MS3}=C_{MS}/10$)



Smerová charakteristika piestovej membrány (Sum/Directivity pattern ó polar) v horizontálnej rovine pre frekvencie 100Hz, 1kHz a 10kHz

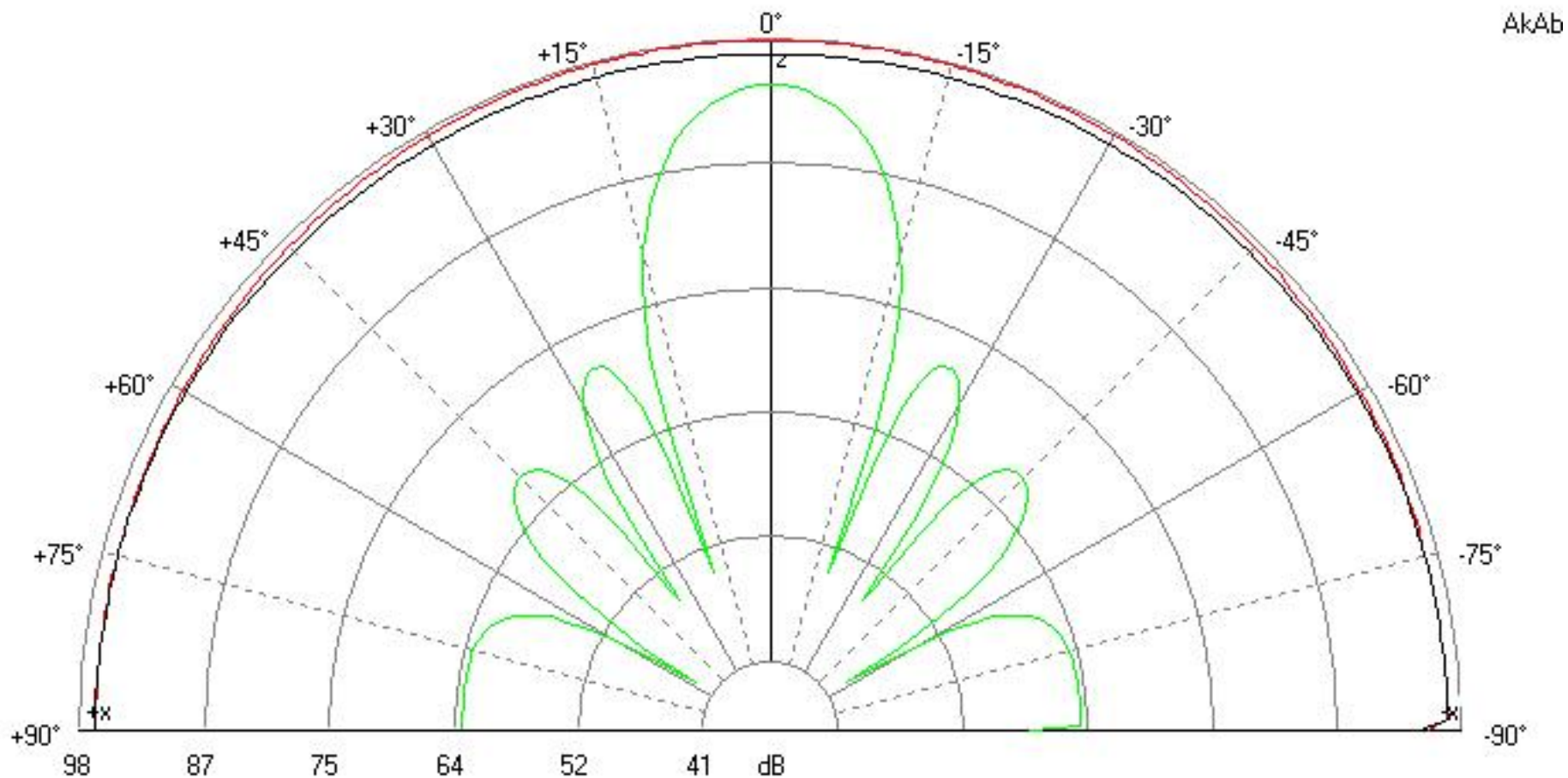
11. Polar of L06-07, Lp

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

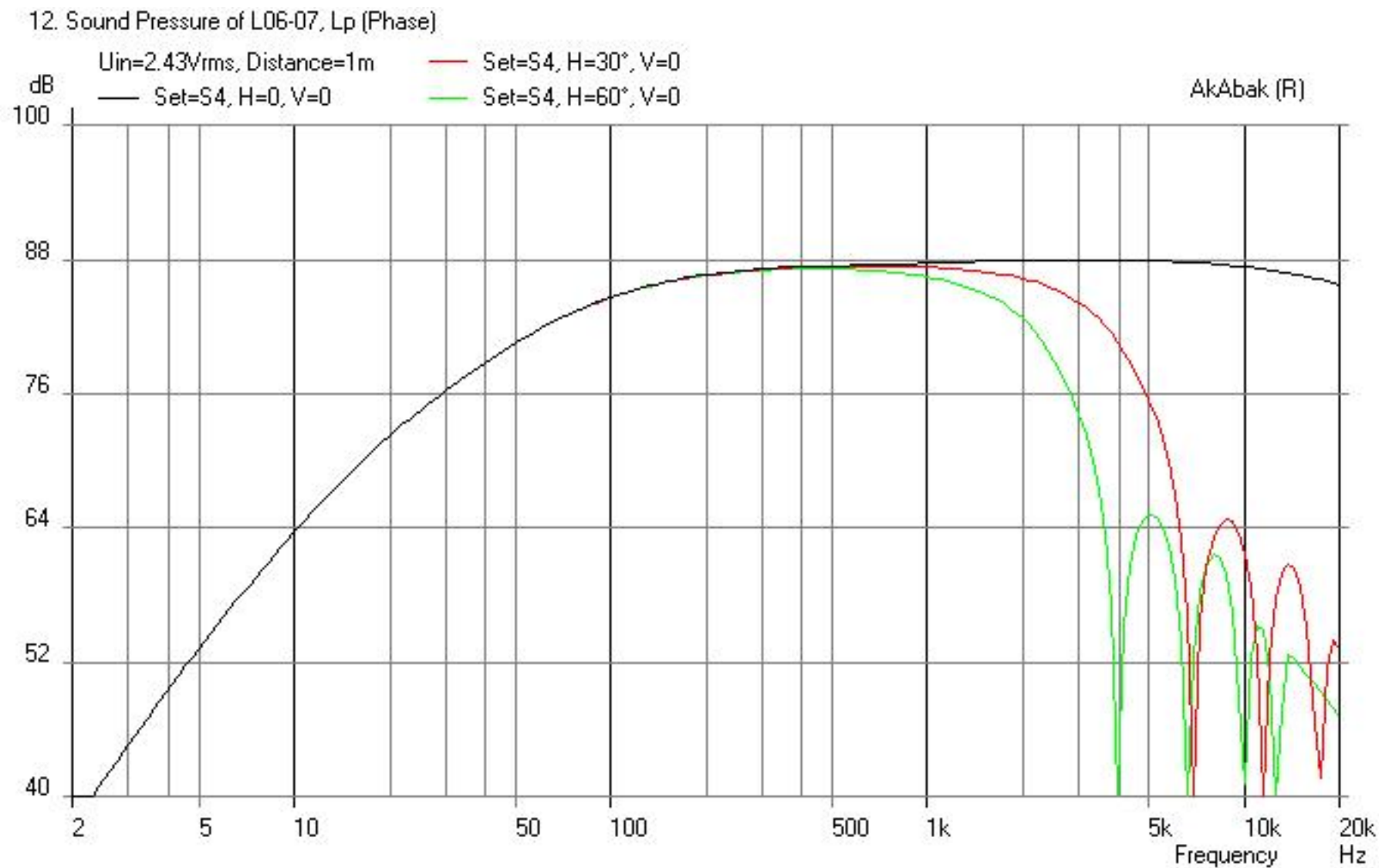
— Horiz. f=100Hz

— Horiz. f=1kHz

— Horiz. f=10kHz

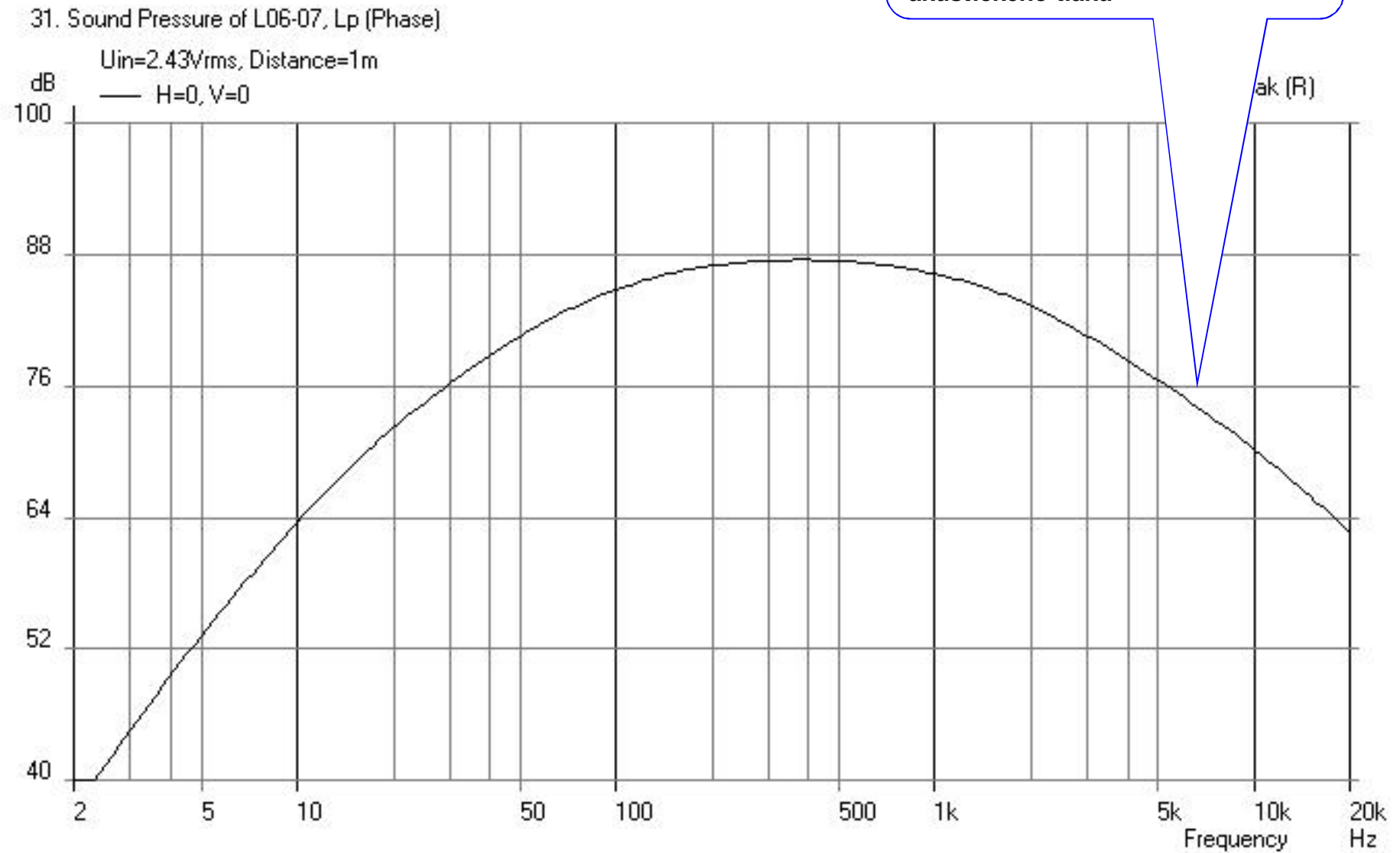


Vplyv smerovosti piesta na frekven n ú charakteristiku reproduktora



Akustický tlak v akustickom poli o simulácia makromodelom šRadiatorõ (Sum/Acoustic pressure; v osi reproduktora, $L_{EVC}=0.67\text{mH}$, $P_E=1\text{W}$, piestová membrána)

Reaktancia cievky, ktorá sa zväčšuje s rastúcou frekvenciou znižuje hladinu vysielaného akustického tlaku



Lineárna výchylka (membrány) reproduktora

$$x_D(t) = \int_0^t v_D(\tau) \cdot d\tau = \frac{1}{S_D} \cdot \int_0^t w_D(\tau) \cdot d\tau \quad \Rightarrow \quad x_D(s) = \frac{1}{S_D} \cdot \frac{w_D(s)}{s}$$

$$x_D(s) = \frac{u_G \cdot (Bl)}{(R_G + R_{EVC})} \cdot \frac{C_{AS}}{S_D^2} \cdot \frac{1}{s^2 \cdot M_{AS} \cdot C_{AS} + s \cdot C_{AS} \cdot R_{AT} + 1}$$

$$x_D(s) = \sqrt{2P_E} \cdot \sigma_{x(IB)} \cdot X(s)$$

Výchylková citlivos reproduktora

Prenosová funkcia výchylky

Výhylková citlivos

Amplitúda výhylky membrány reproduktora na 1W elektrického príkonu (ak $R_G=0$):

$$\sigma_{x(IB)} = \frac{C_{MS} \cdot (Bl)}{\sqrt{R_{EVC}}} = \frac{1}{c_0 \sqrt{2\pi \rho_0}} \cdot \frac{1}{S_D} \sqrt{\frac{V_{AS}}{f_S \cdot Q_{ES}}}$$

$$\sigma_{x(IB)} = \frac{10,65 \cdot 10^{-4}}{S_D} \cdot \sqrt{\frac{V_{AS}}{f_S \cdot Q_{ES}}} \quad \left[\text{mW}^{-\frac{1}{2}} \right]$$

Výchylková prenosová funkcia a amplitúdová frekvenčná charakteristika

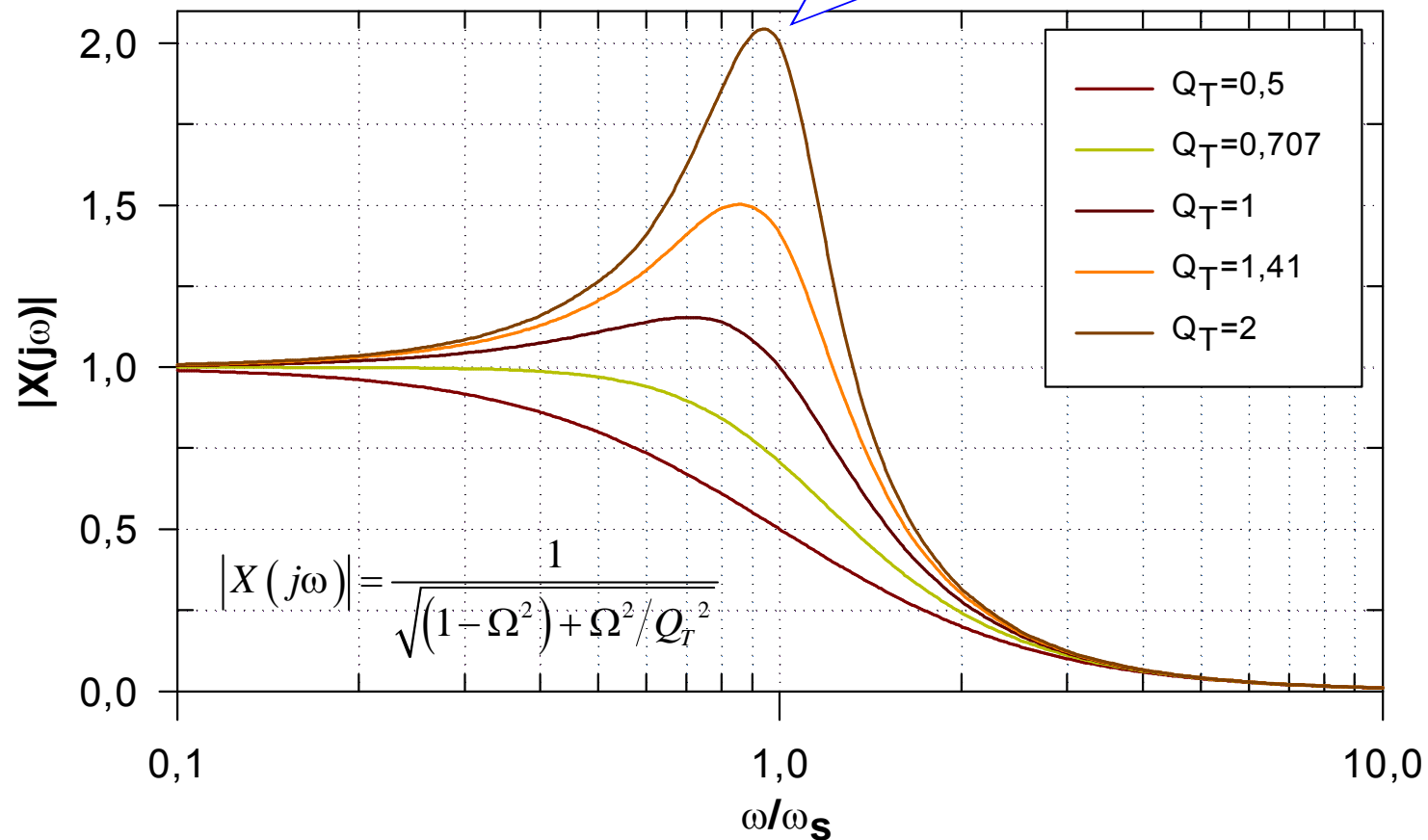
$$X(s) = \frac{1}{s^2 \cdot M_{AS} \cdot C_{AS} + s \cdot C_{AS} \cdot R_{AT} + 1}$$

$$X(s) = \frac{1}{s_N^2 + s_N / Q_T + 1}$$

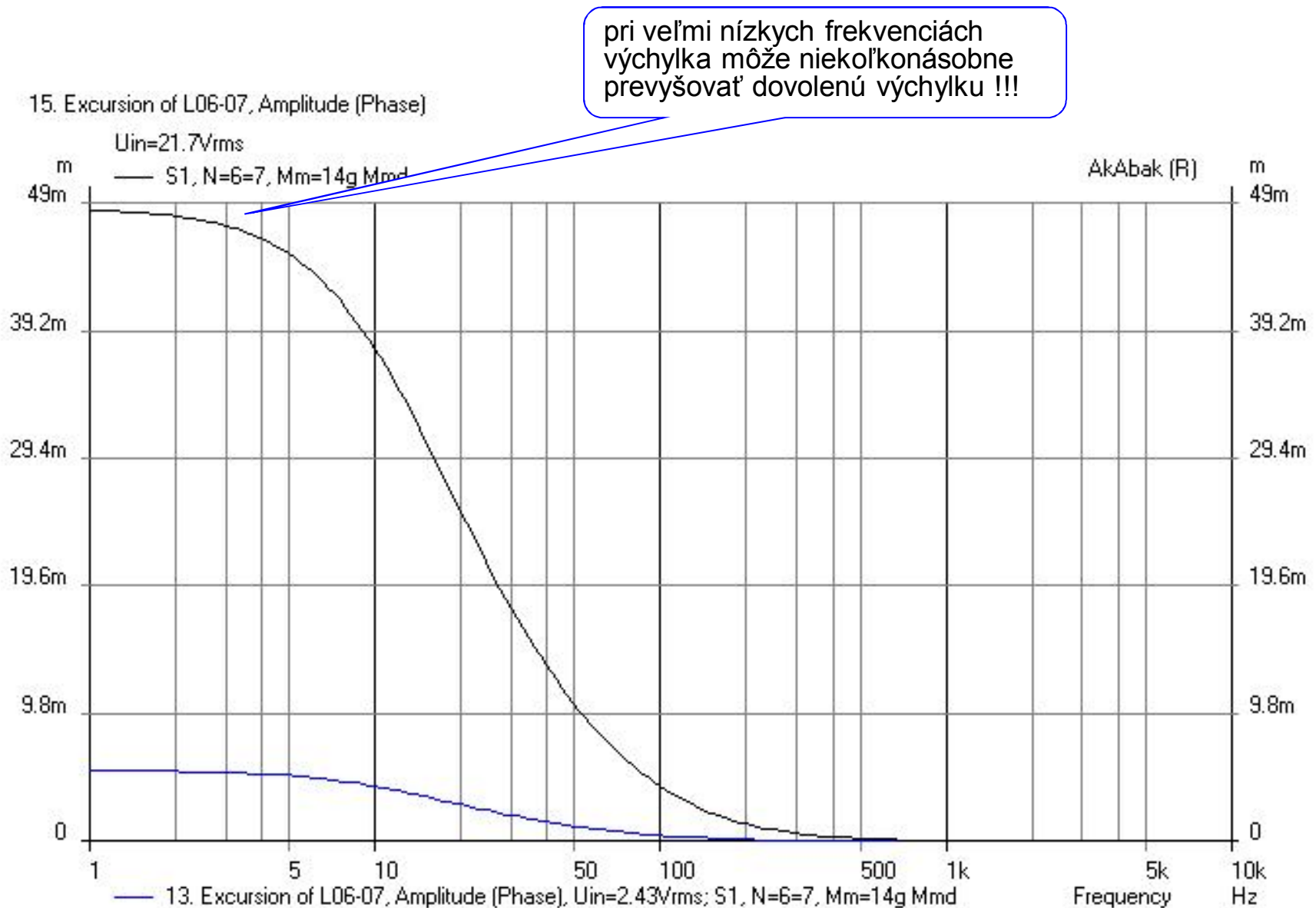
$$|X(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{(1 - \Omega^2)^2 + \Omega^2 / Q_T^2}}$$

Frekvencná charakteristika amplitúdy výchylky

Výchylka reproduktora v nekonečnej frekvencii môže mať teoreticky svoje maximum v blízkosti rezonančnej frekvencie, alebo sa môže asymptoticky blížiť k maximálnej hodnote. Závisí to od celkového tlmenia a kvality



Výchylka membrány reproduktora ($L_{EVC}=0$, $P_E=1W$ a $80W$)



Maximálnou výchylkou limitovaný elektrický príkon

Maximálnou výchylkou limitovaný elektrický príkon je hodnota príkonu, ktorá sa nesmie prekročiť v mieste (t.j. pri frekvencii) potenciálnej maximálnej výchylky

Maximálna hodnota výchylky, povolená výrobcom pre daný reproduktor

$$P_{ER,max} = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{x_{D,max}}{\sigma_{x(IB)} \cdot |X(j\omega)|_{MAX}} \right]^2$$

Maximálnu hodnotu funkcie odhadneme z priebehu výchylkovej prenosovej funkcie

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

Vzorec, ktorý dostaneme úpravou horného vzťahu – býva často uvádzaný v návodoch na návrh reproduktorových sústav.

$$V_{D,max} = S_D \cdot x_{D,max}$$

Tzv. maximálna objemová výchylka – niekedy je súčasťou katalógového listu

Maximálnou výchylkou limitovaný akustický výkon

Závisí od maximálnou výchylkou limitovaného elektrického příkonu a účinnosti reproduktora

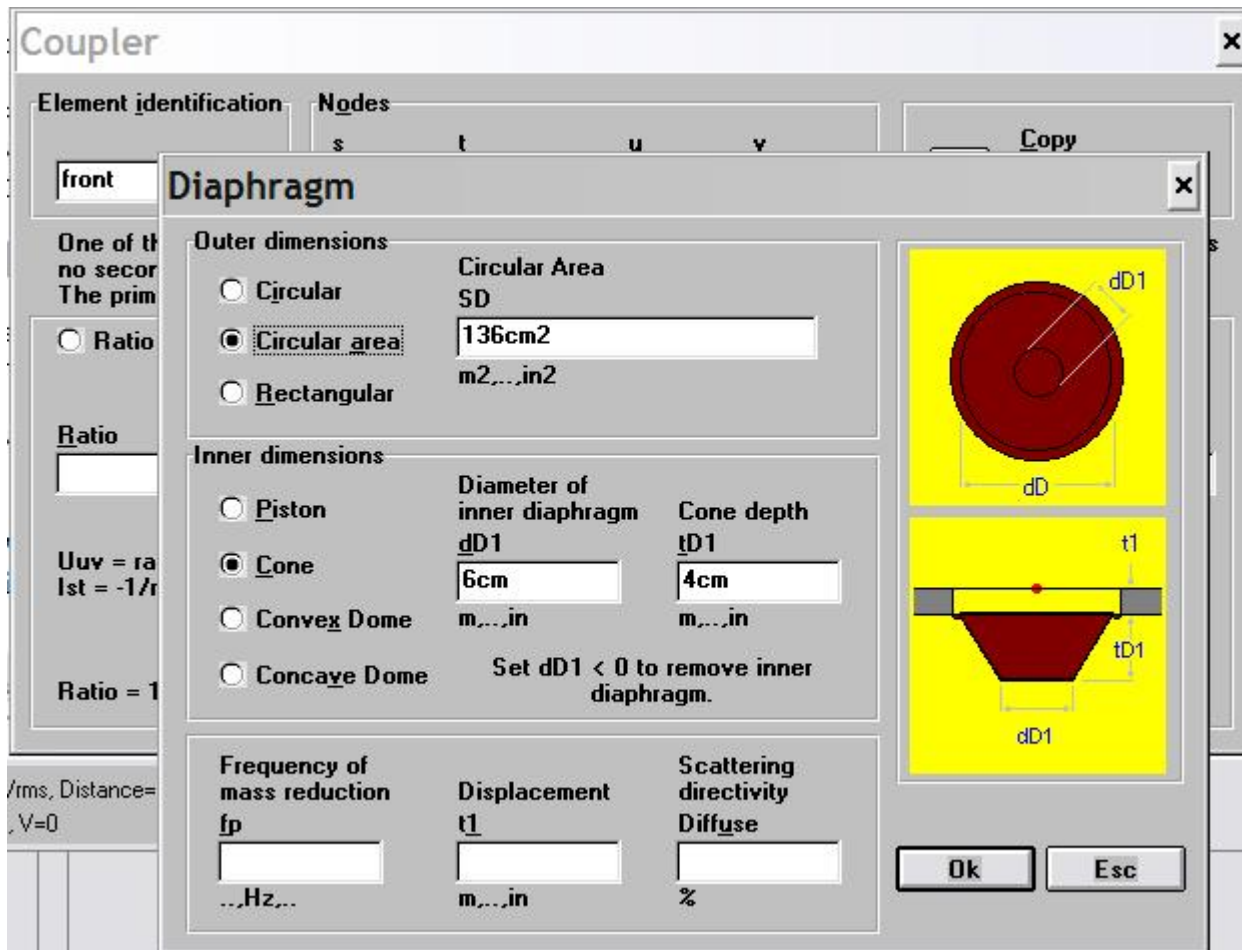
$$P_{AR,\max} = \frac{4 \cdot \pi^3 \cdot \rho_0}{c_0} \cdot \frac{f_S^4 \cdot V_{D,\max}^2}{|X(j\omega)|_{\max}^2}$$

$$P_{AR,\max} = 0,42 \cdot \frac{f_S^4 \cdot V_{D,\max}^2}{|X(j\omega)|_{\max}^2}$$

Vplyv reálneho tvaru membrány na AFCH akustického tlaku

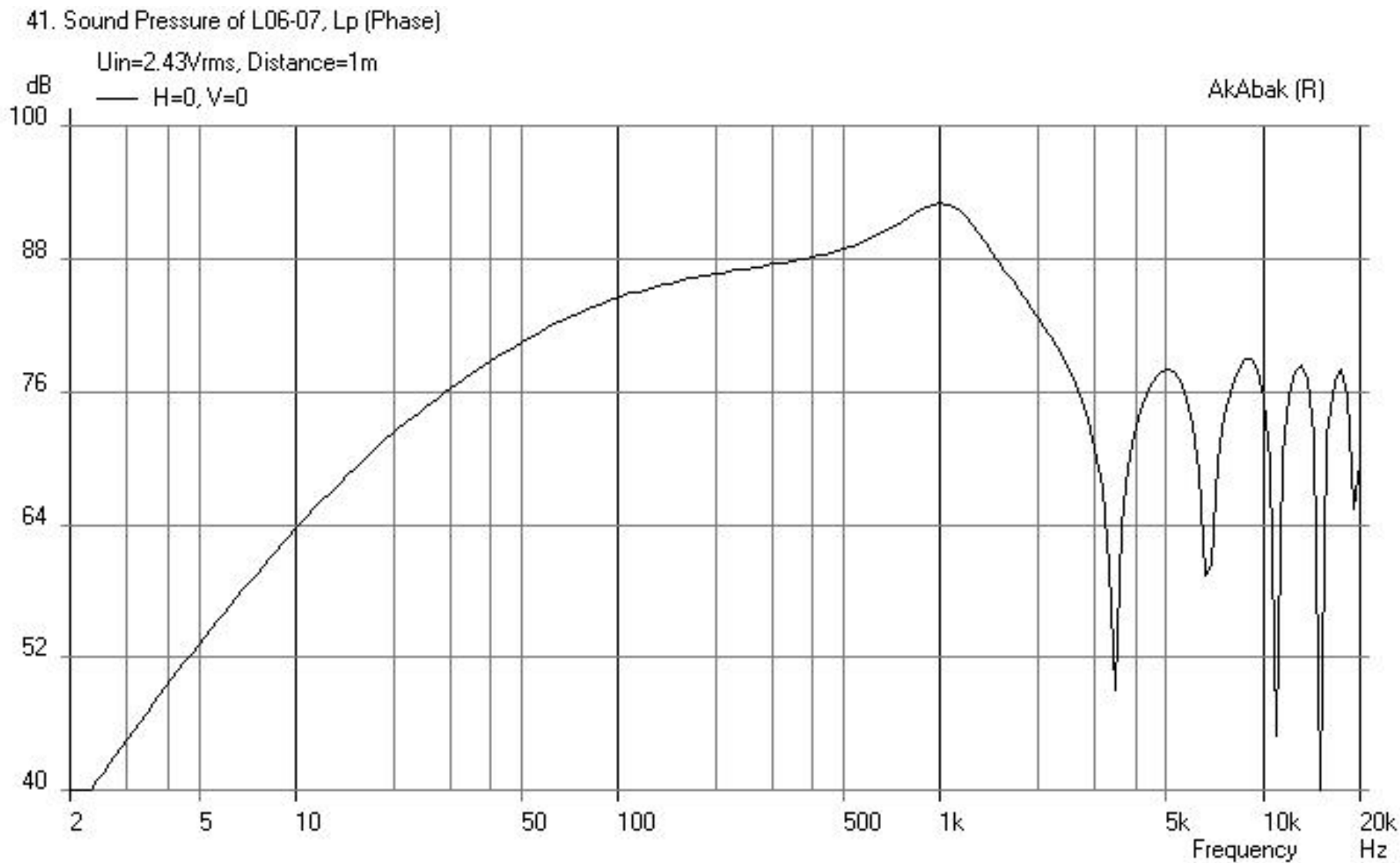
Ě zmena skriptu v časti šCouplerõ !!!

```
Coupler 'front' Node=8=9=10
SD=136cm2 dD1=6cm tD1=4cm |Cone
Radiator 'Rad1' Def='front' Node=10
x=0 y=0 z=0 HAngle=0 VAngle=0
```



$$f_P \doteq \frac{200}{dD}$$

Akustický tlak v akustickom poli ó simulácia makromodelom šRadiatorõ
(Sum/Acoustic pressure; v osi reproduktora, $L_{EVC}=0$, $P_E=1W$, kónická membrána)



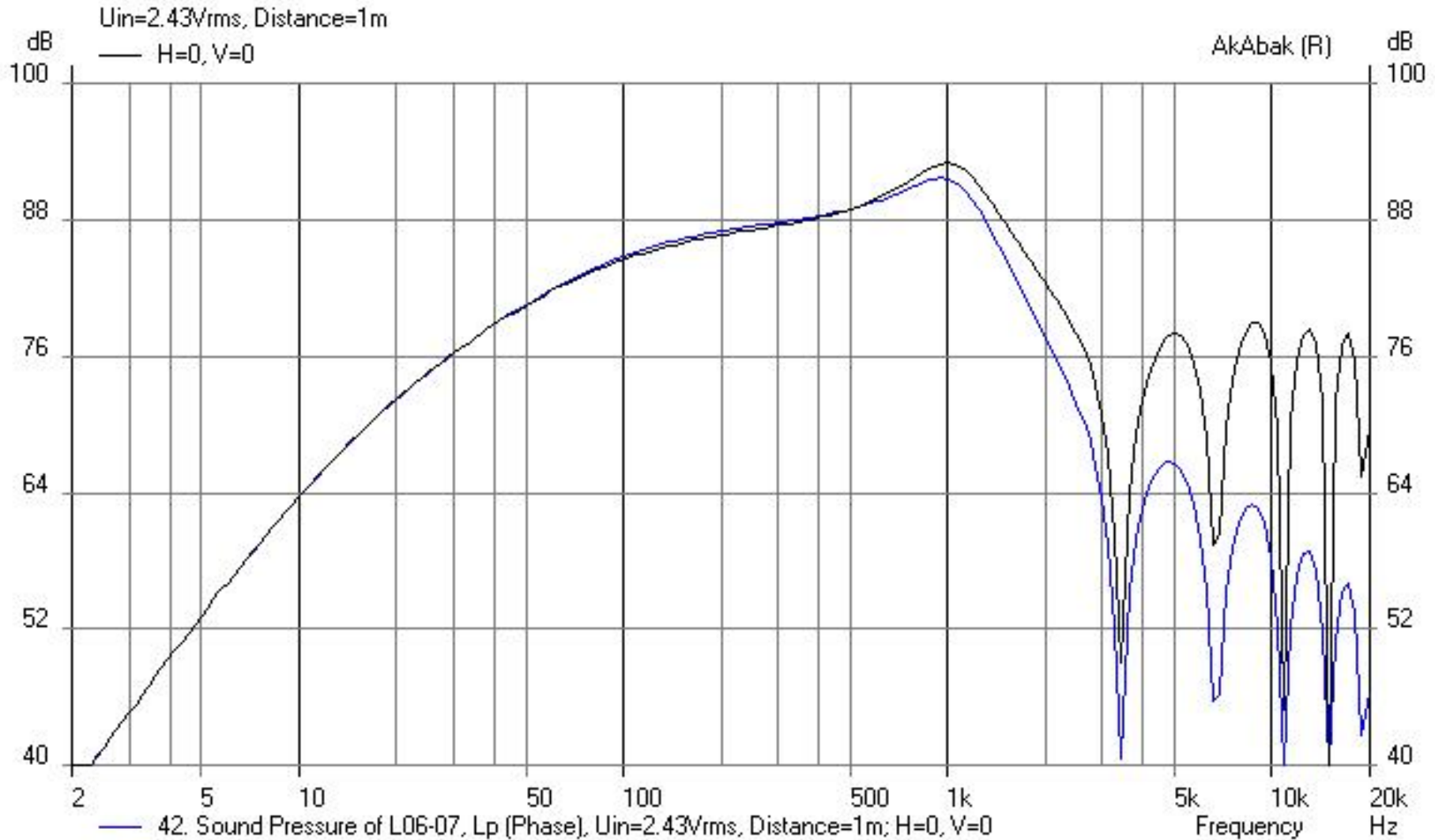
Vlastné kmity membrány

É ideálnou membránou by bola dokonale tuhá piestová membrána ó nerealizovate ná !!!

É reálne naj astej–ie pouflívané membrány majú tvar zrezaného kufle a (kónus) alebo gu ového vrchlíka ó ich typickou vlastnos ou sú vlastné kmity, ktoré sa prejavujú:
ó redukciou hmotnosti membrány, o spôsobuje nárast hladiny akustického tlaku (f_P ó frekvencia, pri ktorej k tomu dochádza)
ó zvlnením (deformáciou) charakteristiky pri vy—ích frekvenciách

Vplyv cievky (modrá)

41. Sound Pressure of L06-07, Lp (Phase)



Smerová charakteristika kónickej membrány

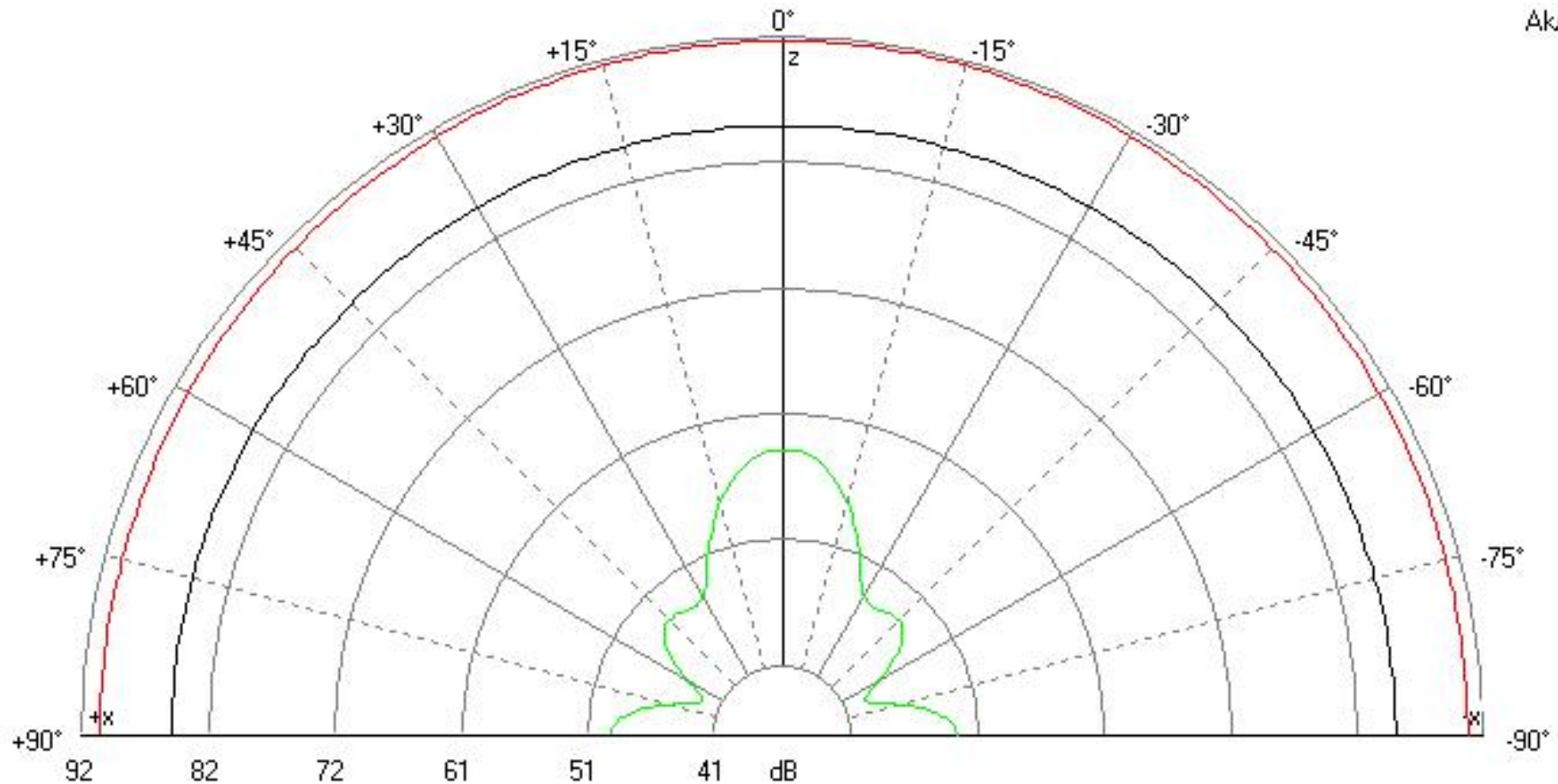
44. Polar of L06-07, Lp

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

— Horiz. f=100Hz

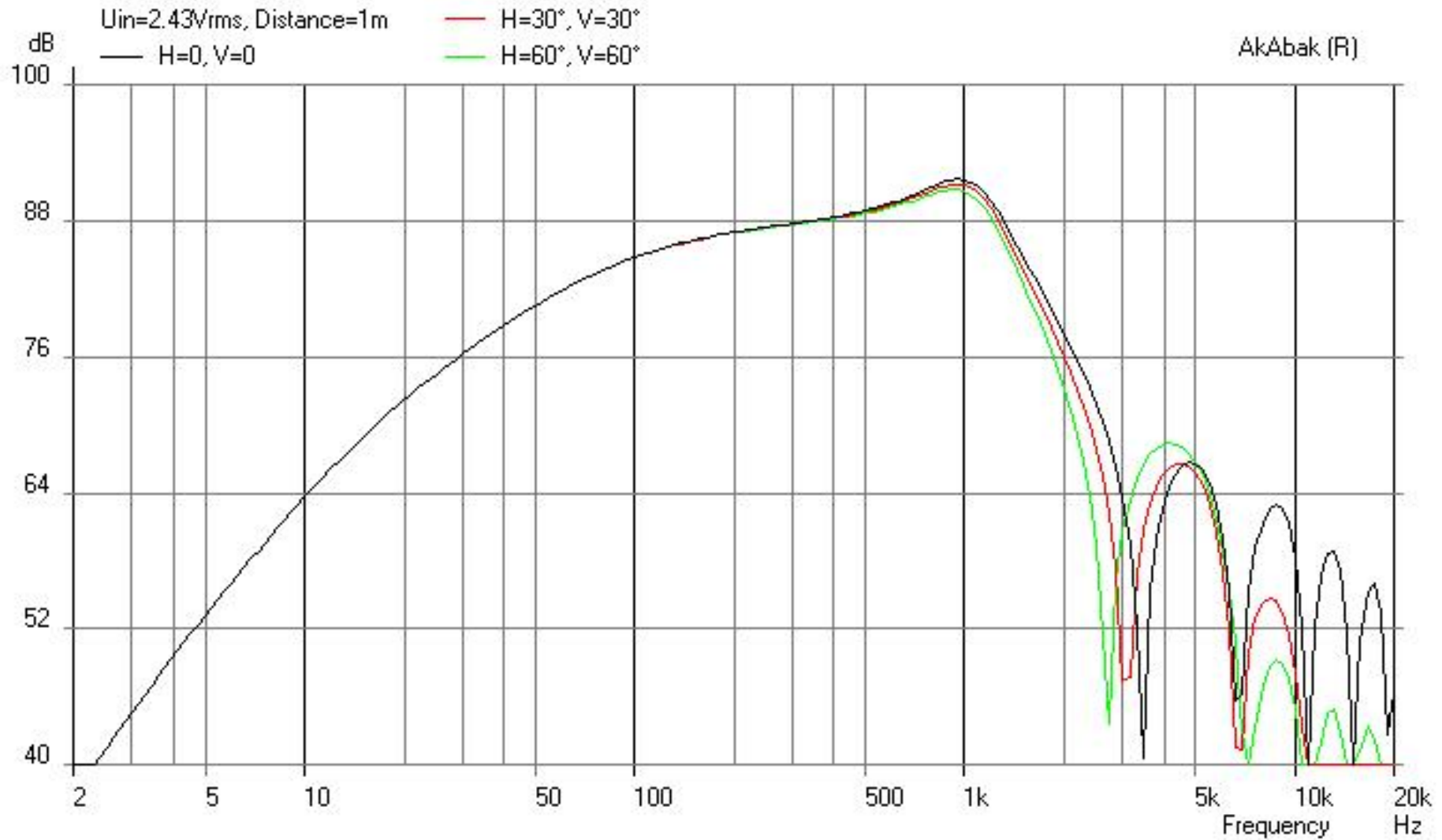
— Horiz. f=1kHz

— Horiz. f=10kHz



Vplyv smerovosti

43. Sound Pressure of L06-07, Lp (Phase)

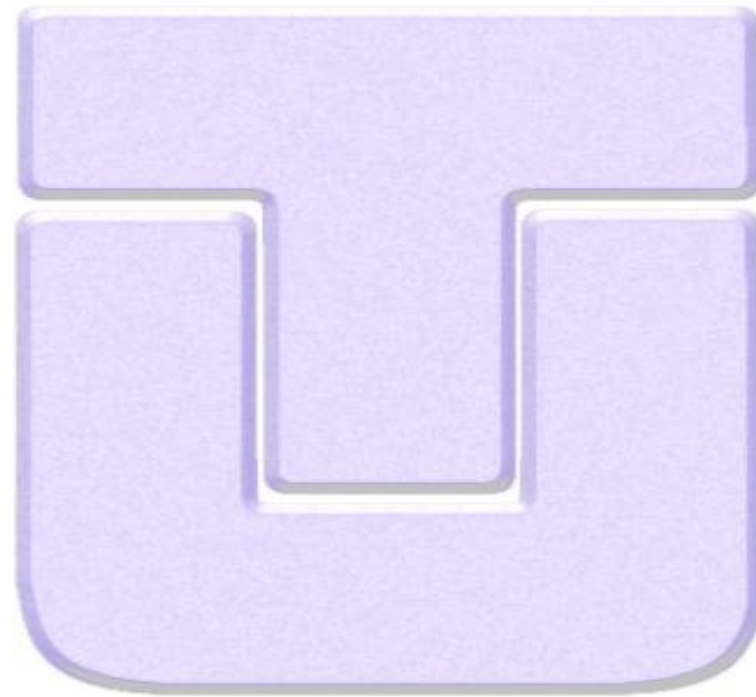


Kontrolné otázky

1. Analýza reproduktora pri malých signáloch je:
 - a) Analýza v lineárnej oblasti innosti reproduktora
 - b) Analýza v nelineárnej oblasti innosti reproduktora

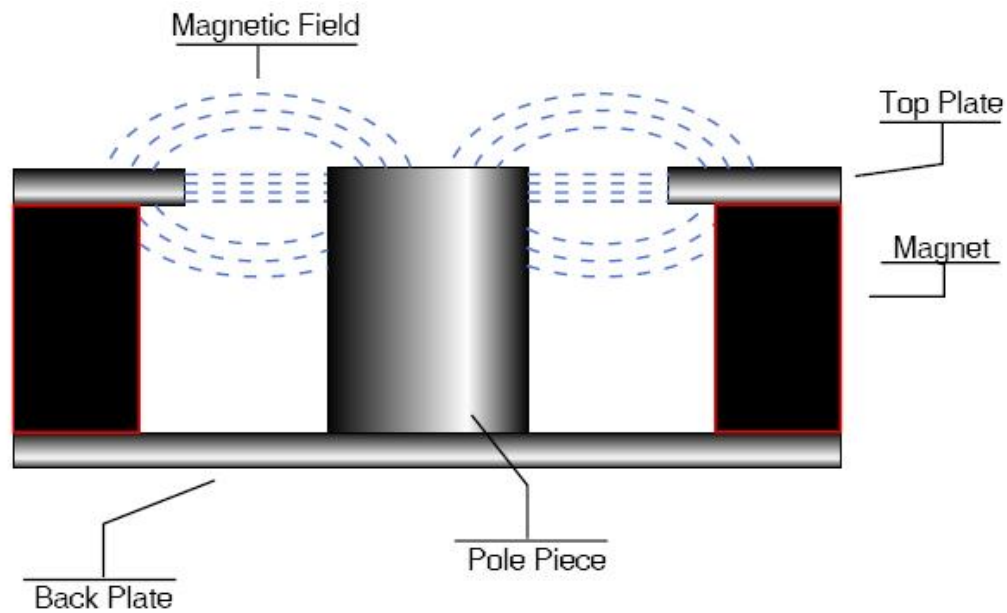
2. Vymenujte päťicu TS parametrov reproduktora

3. Medzná frekvencia reproduktora s rastúcim QTS
 - a) Rastie
 - b) Klesá

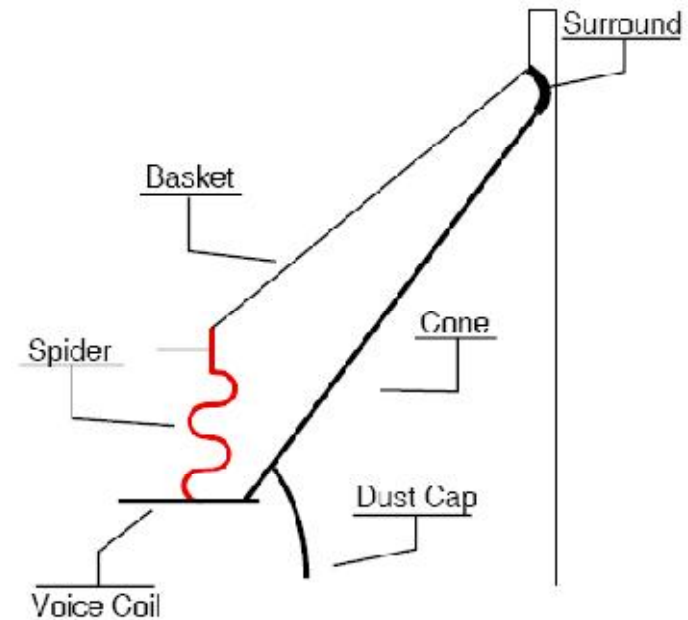


Zdroje nelineárneho skreslenia

É rozptylové magnetické pole

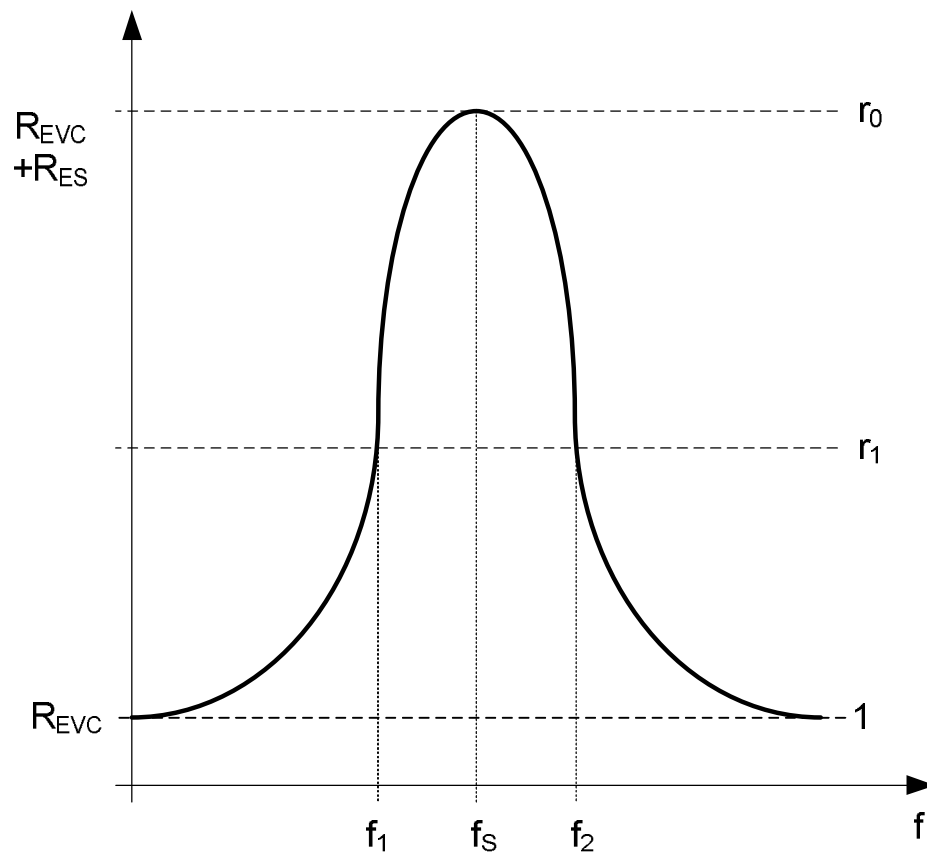


É materiálové nelinearity šspideraõ a šsurrounduõ



Meranieinite ov kvality z impedan nej charakteristiky

É í



1. Z impedan nej krivky od ítame:

R_{EVC} , R_1 , $R_{ES} + R_{EVC}$, f_s , f_1 a f_2

2. Vypo ítame r_0 a r_1 :

$$r_0 = \frac{R_{ES} + R_{EVC}}{R_{EVC}} \quad a \quad r_1 = \frac{R_1}{R_{EVC}}$$

3. Vypo ítame initele kvality:

$$Q_{MS} = \frac{f_s}{f_2 - f_1} \sqrt{\frac{r_0^2 - r_1^2}{r_1^2 - 1}}$$

$$Q_{ES} = \frac{Q_{MS}}{r_0 - 1}$$

$$Q_{TS} = \frac{Q_{MS}}{r_0}$$

4. Ak zvolíme R_1 tak, aby: $r_1 = \sqrt{r_0}$

$$Q_{MS} = \frac{f_s}{f_2 - f_1} \sqrt{r_0}$$

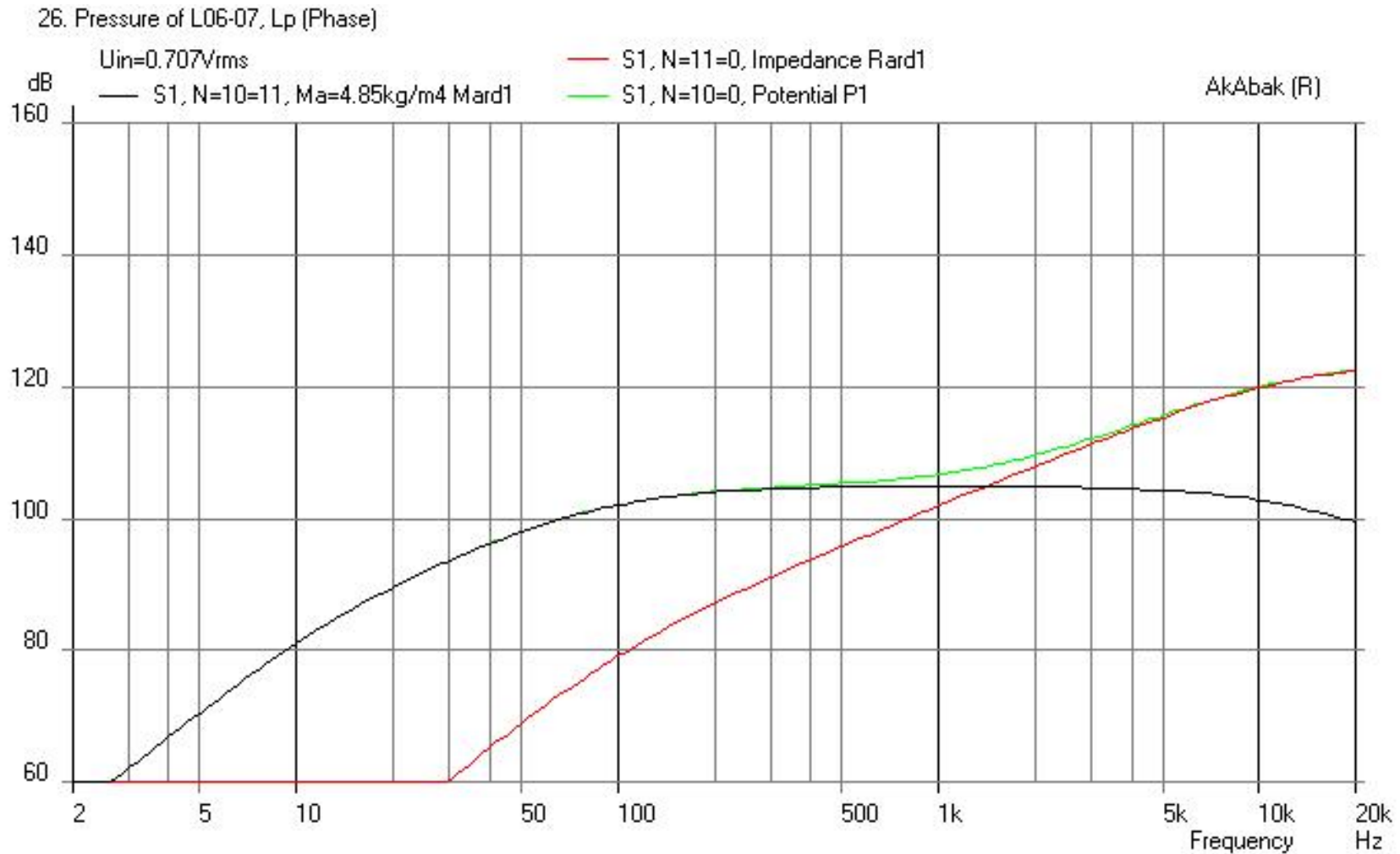
Meranie ekvivalentného objemu z impedan nej charakteristiky

1. Z impedan nej krivky od ítame rezonan nú frekvenciu f_{s1}
2. Na membránu reproduktora prilepíme závaŕie hmotnosti ΔM_M a zmeriame novú rezonan nú frekvenciu $f_{s2} < f_{s1}$

$$\left. \begin{array}{l} 1. f_{s1} = \frac{1}{2\pi \sqrt{M_{MS} \cdot C_{MS}}} \\ 2. f_{s2} = \frac{1}{2\pi \sqrt{(M_{MS} + \Delta M_M) \cdot C_{MS}}} \end{array} \right\} M_{MS}, C_{MS} \Rightarrow V_{AS} = c_0^2 \rho_0 C_{MS} S_D^2$$

Akustický tlak na vysielacej impedancii ($L_{EVC}=0$)

É neposkytuje vhodnú interpretáciu akustického tlaku, vyslaného do priestoru



Skript s prvkom šRadiatorõ

| 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);
}

System 'S2' |Radiator na prednej strane membrany

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

AcouMass 'Mard2' Node=20=21 Ma={Mard}

Impedance 'Rard2' Node=21

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

Radiator

Radiator [x]

Element identification:

Node:

Copy and close

Enter either the reference or the dimensions of the diaphragm

Reference to elements or definitions for obtaining diaphragm dimensions (Def=)

Diaphragm dimension

m...in

Position of radiation center... x=0 y=0 z=0 HAngle=0 VAngle=0

Radiation Position [x]

Mounting position and angle

Horizontal x	Vertical y	Axial z	Horizontal HAngle	Vertical VAngle
<input type="text" value="0"/> m...in	<input type="text" value="0"/> m...in	<input type="text" value="0"/> m...in	<input type="text" value="0"/> Deg.*	<input type="text" value="0"/> Deg.*

Reflection: no yes:

Diffraction: m...in

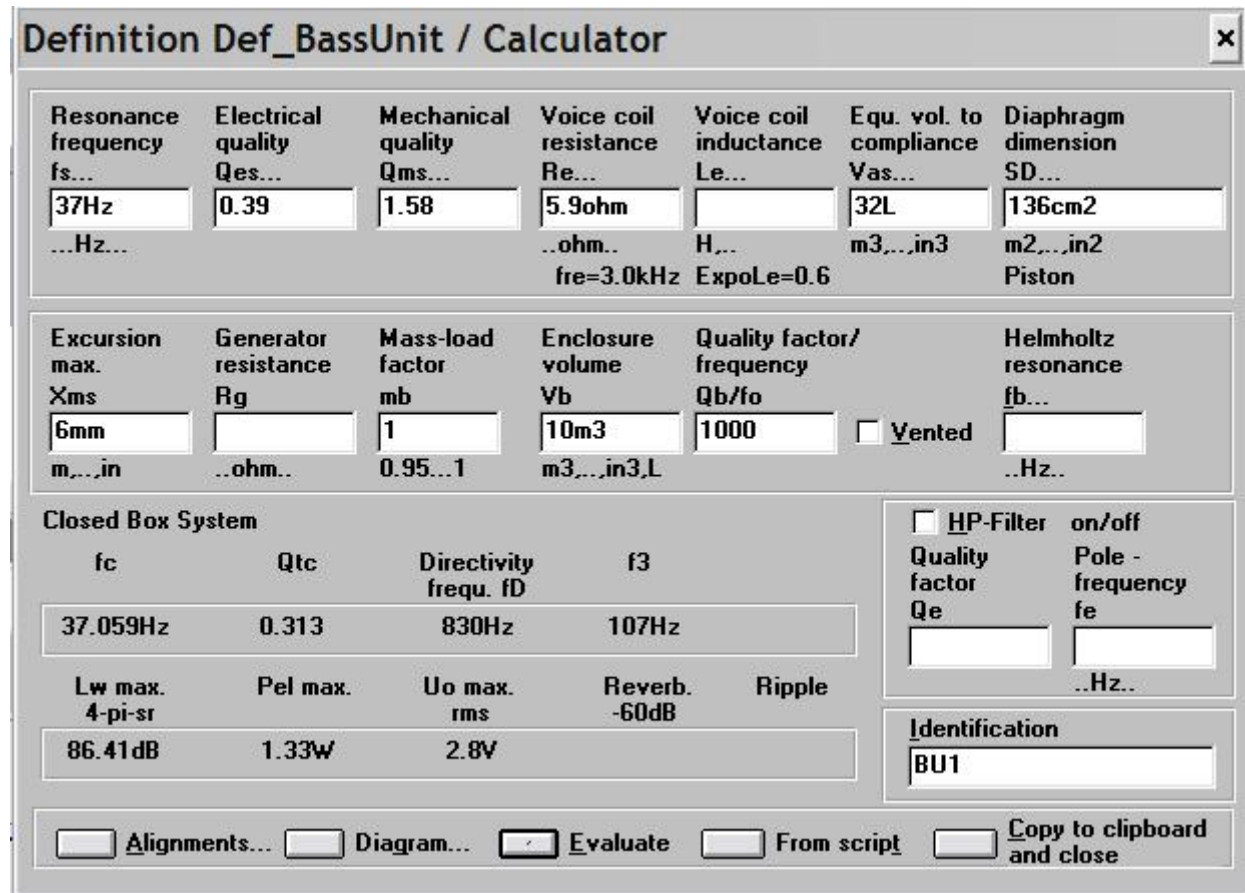
Displacement: m...in

No Radiation "NoRad" No Directivity "NoDir" Label numbers

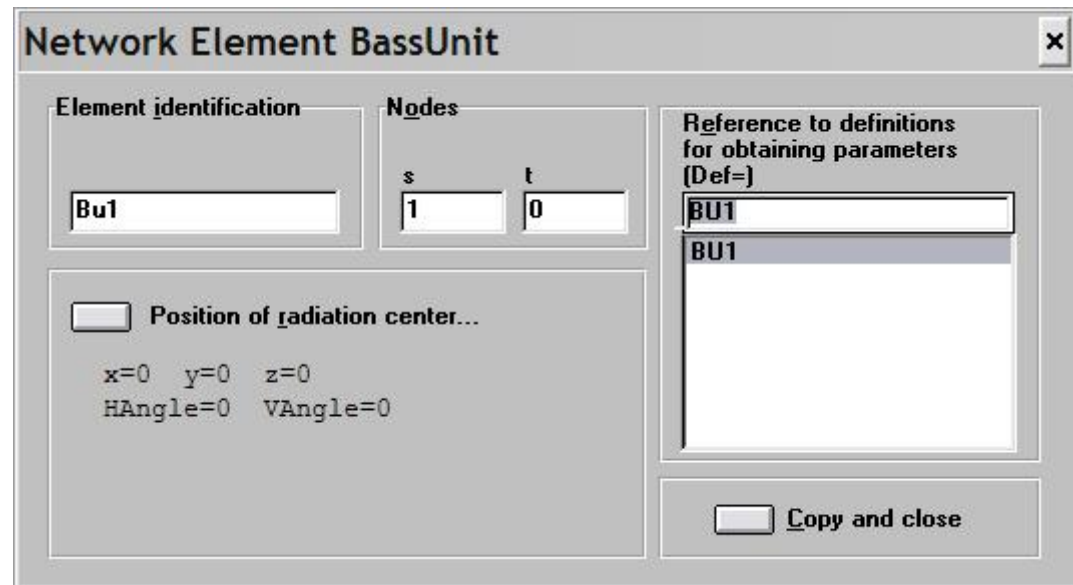
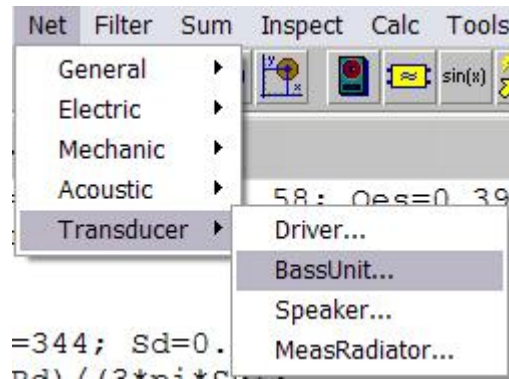
Mounting point is center of diaphragm (including displacement t1).

BassUnit

É ...



BassUnit - Dialog



Skript

Def_BassUnit 'BU1'

SD=136cm² |Piston

fs=37Hz Vas=32L Qms=1.58

Qes=0.39 Re=5.9ohm | fre=3.0kHz ExpoRe=1 ExpoLe=0.6

Xms=6mm

Vb=10m³

|Performance in sealed enclosure:

| fc Qtc fD f3

| 37.1Hz 0.313 830.4Hz 106.8Hz

| Lwmax Pelmax UoRms t60 Ripple

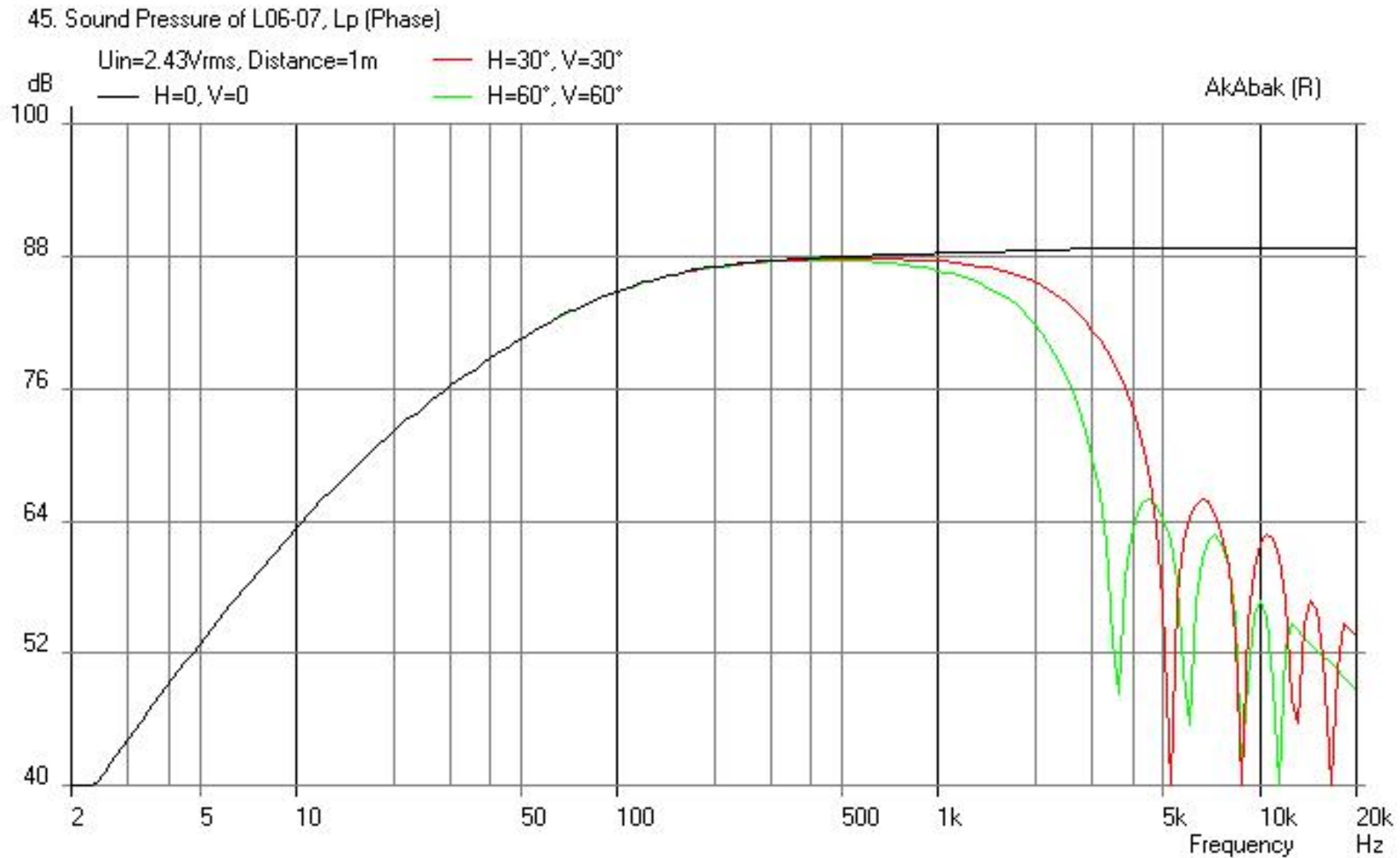
| 86.4dB 1.3W 2.8V 0 0

System 'S0'

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

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

Akustický tlak v akustickom poli ó simulácia makromodelom šBassUnitõ (Sum/Acoustic pressure; piest, $R_G=0$, $L_{EVC}=0$, $PE=1W$)



Akustický tlak v akustickom poli ó simulácia makromodelom šBassUnitõ (Sum/Acoustic pressure; cone, $R_G=0$, $L_{EVC}=0$, $PE=1W$)



Smerová charakteristika

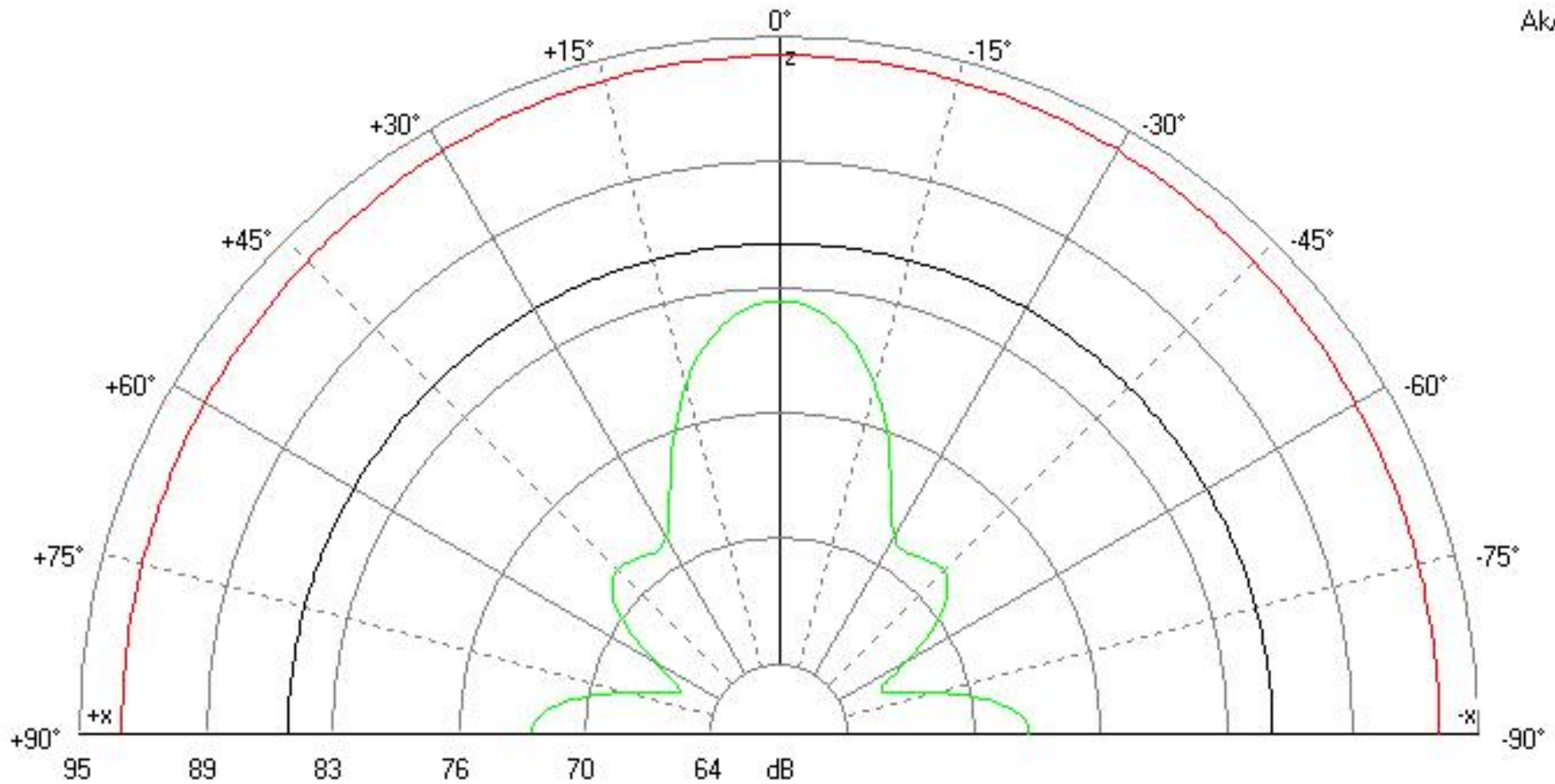
47. Polar of L06-07, Lp

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

— Horiz. $f=100Hz$

— Horiz. $f=1kHz$

— Horiz. $f=10kHz$



AkAb

Nelineárne chovanie cievky

É Nelineárne chovanie odporu
je spôsobené vírivými
prúdmi
É í

$$R_{EVC}(f) = R_{EVC} \cdot \left(1 + \frac{f}{f_S}\right)^{ExpoRe}$$

$$ExpoRe \in \langle 0, 3 \rangle$$

$$f_{RE} \in \langle 2 \text{ kHz}, 20 \text{ kHz} \rangle$$

$$X_{EVC} = (\omega L_{EVC})^g$$

$$g = \frac{1 + \left(\frac{\omega L_{EVC}}{R_{EVC}}\right)^{2 \cdot ExpoLe}}{1 + \left(\frac{\omega L_{EVC}}{R_{EVC}}\right)^2}$$

$$ExpoLe \in \langle 0, 3 \rangle$$

$f_{RE}=1500\text{Hz}$, $\text{ExpoRe}=1;2;3$, $\text{ExpoLe}=0.5;1.5;3$

