



# **Komunikačná akustika**

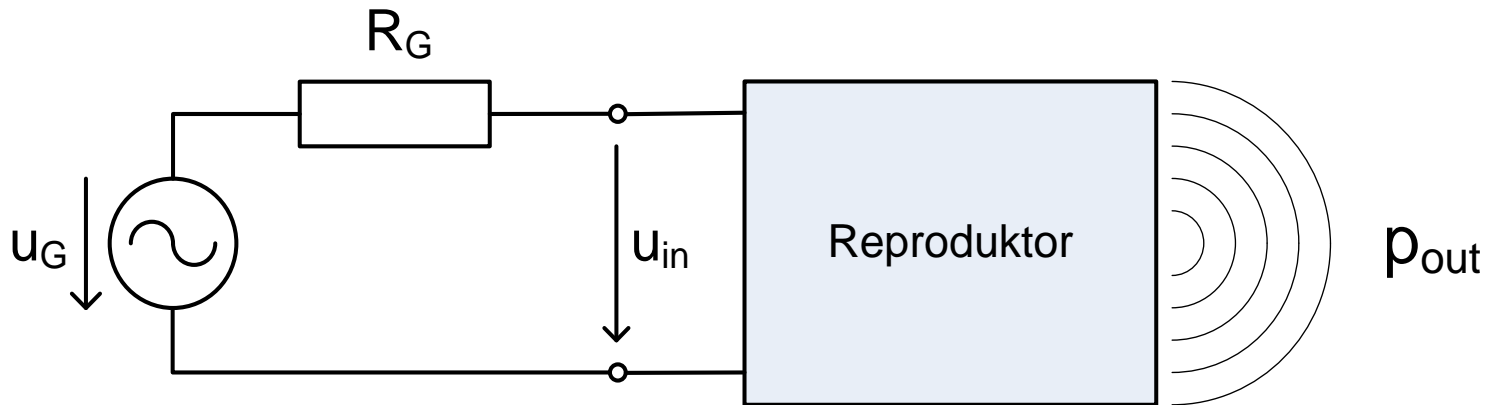
## **L03: Reprodukory**

**prof. Ing. Jozef Juhár, PhD.**

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

# Reproduktor = elektroakustický menič + akustický vysílač

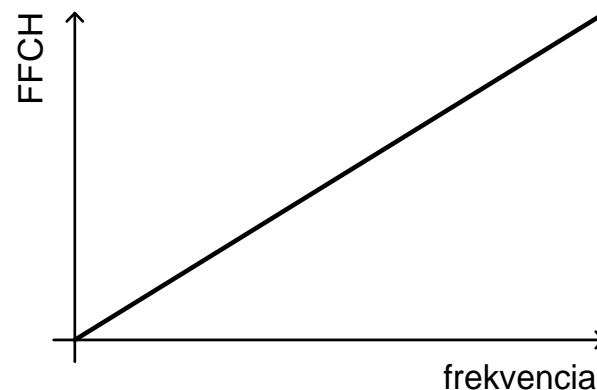
- základnou požiadavkou, kladenou na reproduktor je verná reprodukcia akustického signálu
- prenosová sústava – elektrický signál na vstupe – akustický signál na výstupe



$$p_{renos} = \frac{p_{out}}{u_{in}}$$

# Požiadavky na „ideálny“ prenos

- konštantná amplitúdová frekvenčná charakteristika
- lineárna fázová charakteristika
- impulzová odpoveď (prechodová charakteristika) bez zvlňenia
- minimálne nelineárne skreslenie
- ...
- **žaden reproduktor nespĺňa tieto požiadavky absolútne = veľké množstvo typov**



# Rozdelenie reproduktorov

(podľa spôsobu vysielania)

- **Priamovysielaajúce**

- Membrána reproduktora je priamo naviazaná na prostredie, do ktorého vysiela akustické vlnenie

- **nepriamovysielaajúce (tlakové)**

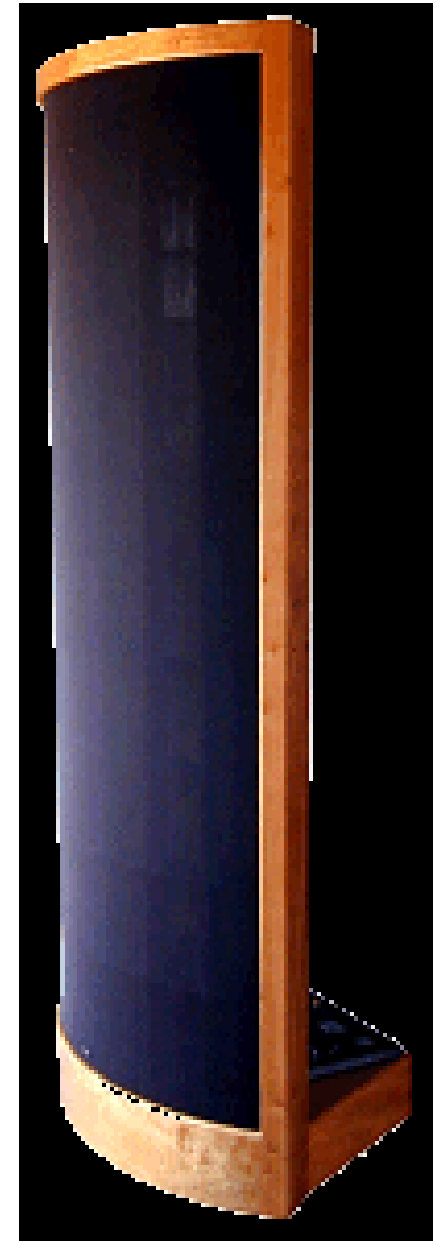
- Medzi membránou reproduktora a prostredím, do ktorého je vysielať akustické vlnenie, je vložený akustický medzičlánok, ktorý zlepšuje impedančné prispôsobenie membrány a prostredia a zvyšuje tak účinnosť akustického vysielača



# Rozdelenie reproduktorov

(podľa typu elektromechanického meniča)

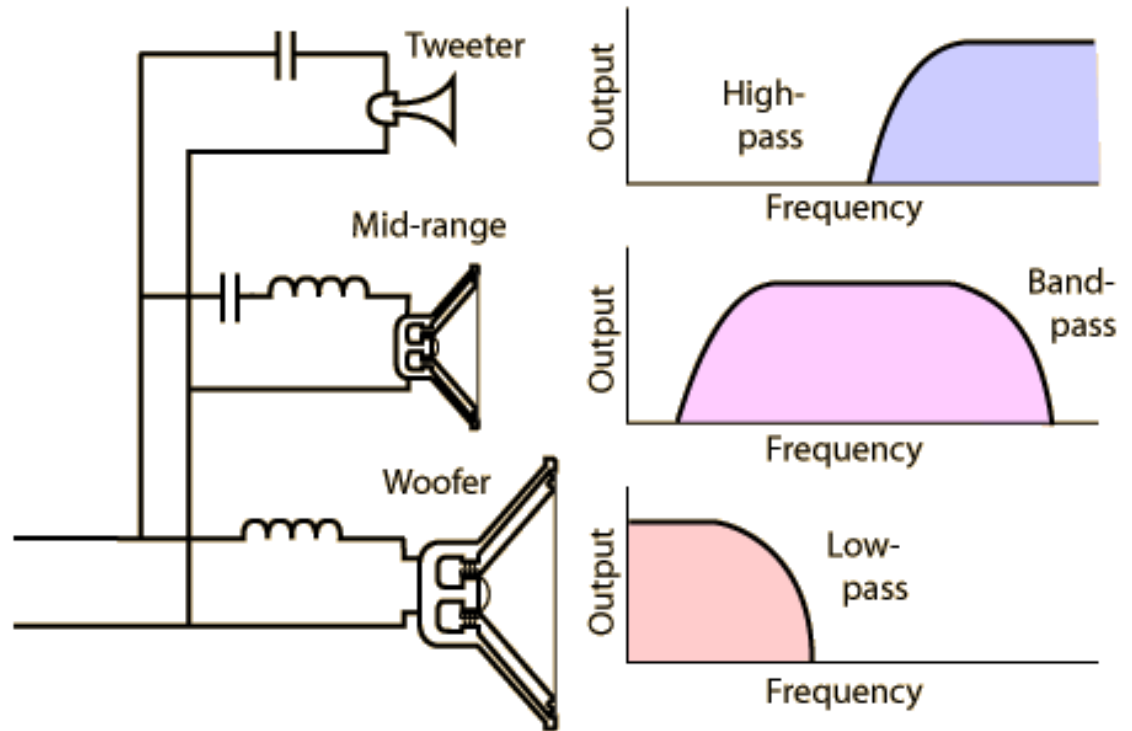
- **elektrodynamické cievkové**
- elektrodynamické páskové
- elektrostatické
- piezoelektrické
- iné



# Rozdelenie reproduktorov

(podľa prenášaného pásma frekvencií)

- nízkotónové
- stredotónové
- vysokotónové
- širokopásmové
- iné



# Nízkotónový reproduktor (woofer) a jeho typické parametre



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 <sup>2</sup>
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

# Stredotónový reproduktor (midrange) a jeho typické parametre



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 <sup>2</sup>
Maximum Coil Travel (p-p)	-	VAS	5 Litres
Magnetic Gap Flux Density	1.1 T	QMS	2.42
Magnet Weight	0.25 kg	QES	0.74
Total Weight	0.66 kg	QTS	0.56

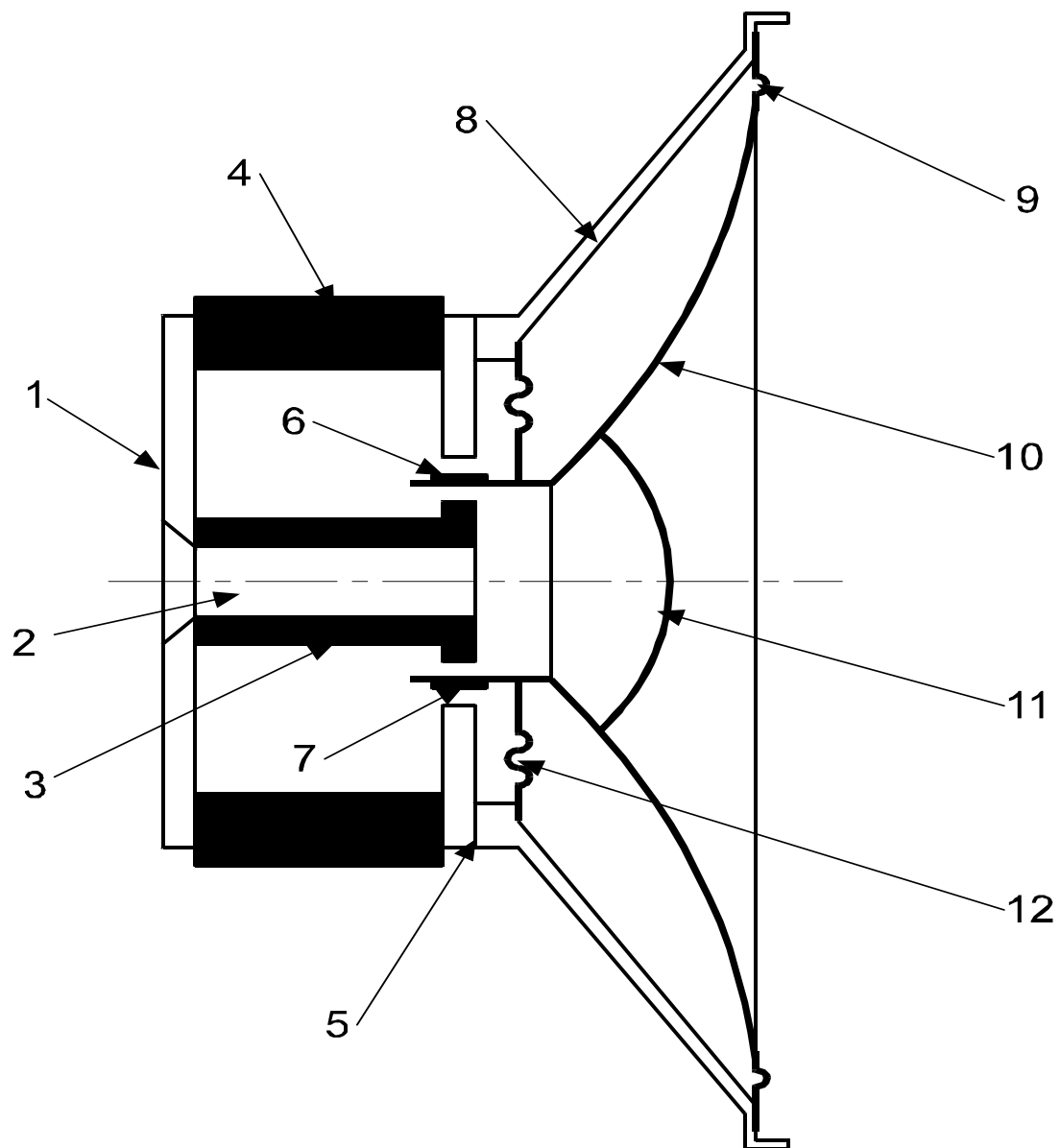


# Vysokotónový reproduktor (tweeter) a jeho typické parametre



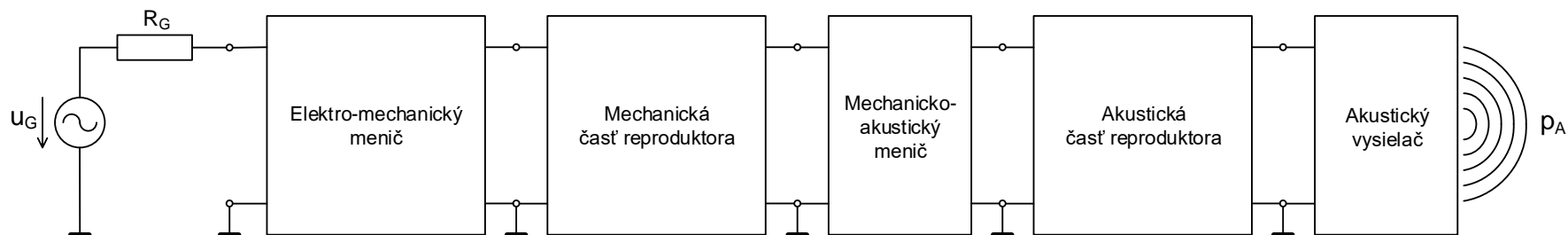
Nominal Impedance	6 Ohms	Voice Coil Resistance	4.6 Ohms
Recommended Frequency Range	2000 - 25000 Hz	Voice Coil Inductance	0.05 mH
Short Term Power Handling *	200 W	Force Factor	3.5 N/A
Long Term Power Handling *	90 W	Free Air Resonance	700 Hz
Characteristic Sensitivity (2.83V, 1m)	91 dB	Moving Mass	0.33 g
Voice Coil Diameter	26 mm	Effective Piston Area	7.0 cm <sup>2</sup>
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

# Elektrodynamický reproduktor



- 1 - predná platňa
- 2 - otvor
- 3 - pólové nástavce
- 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



- elektrodynamický elektromechanický menič:
  - magnetický obvod (permanentný magnet, pólové nástavce, predná a zadná platňa)
  - cievka;
- mechanický obvod
  - teleso membrány a cievky
  - pružné zavesenie membrány a cievky:
    - strediaca membrána - pavúka (spider)
    - poddajné zavesenie na okrajoch (surround)
- akustický vysielateľ – plocha membrány v tvare:
  - zrezaného kužeľa
  - guľového vrchlíka (konvexný alebo konkávny)

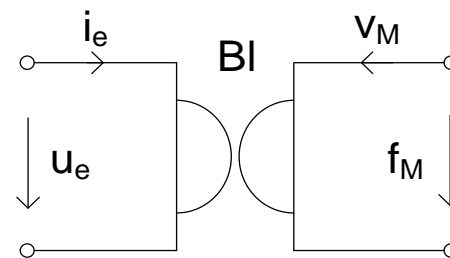
# Elektromechanický menič ako lineárna dvojbrána



“Kaskádna“ matica konštant dvojbrány

$$\begin{pmatrix} f_M \\ v_M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varphi_{11} & \varphi_{12} \\ \varphi_{21} & \varphi_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_e \\ i_e \end{pmatrix}$$

# Ideálny elektrodynamický elektromechanický menič



$$\begin{bmatrix} f_M \\ v_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & (Bl) \\ (Bl)^{-1} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_e \\ i_e \end{bmatrix}$$

$$\frac{f_M}{v_M} = (Bl)^2 \frac{i_e}{u_e} \Rightarrow Z_M = (Bl)^2 \frac{1}{Z_E} \Rightarrow Z_M \cdot Z_E = (Bl)^2$$

# Mechanická časť reproduktora a elektromechanická analógia

Mechanické sústavy **posuvné** so **sústredenými parametrami**

## Mechanické prvky

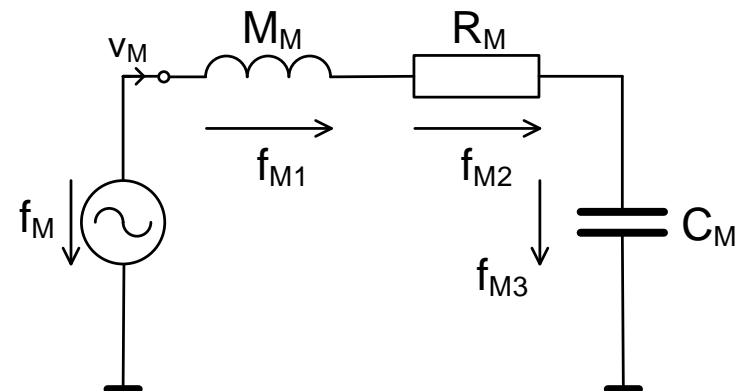
- akustický odpor  $R_M$
- akustická hmotnosť  $M_M$
- akustická poddajnosť  $C_M$

## Mechanické veličiny a zdroje

- Mechanická sila  $\rightarrow$  zdroj konštantnej mechanickej sily ( $f_M$ )
- mechanická rýchlosť  $\rightarrow$  zdroj konštantnej mechanickej rýchlosti ( $v_M$ )

**Analógia Ohmovho zákona v mechanických sústavách (mechanická impedancia)**

$$Z_M = \frac{f_M}{v_M} = \begin{cases} R_M \\ j\omega M_M = sM_M \\ \frac{1}{j\omega C_M} = \frac{1}{sC_M} \end{cases}$$



# Akustická časť reproduktora a elektro-akustická analógia

**Akustické systavy so sústredenými parametrami !!!**

**Akustické prvky**

- akustický odpor  $R_A$
- akustická hmotnosť  $M_A$
- akustická poddajnosť  $C_A$

**Akustické veličiny a zdroje**

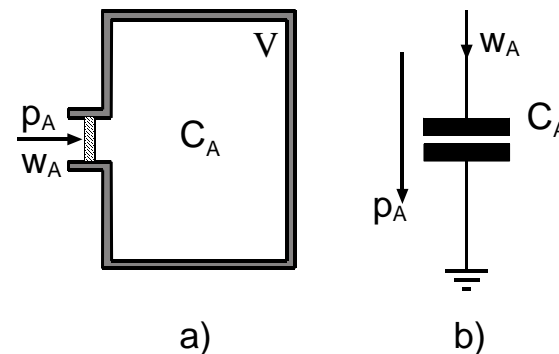
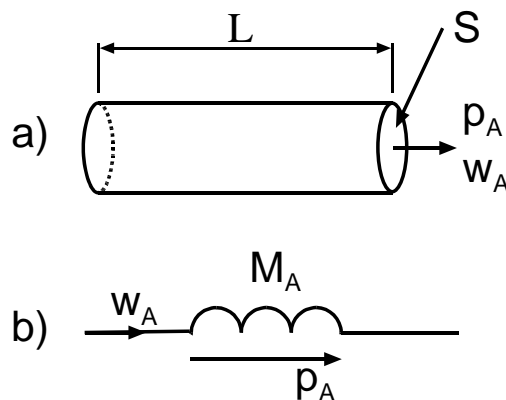
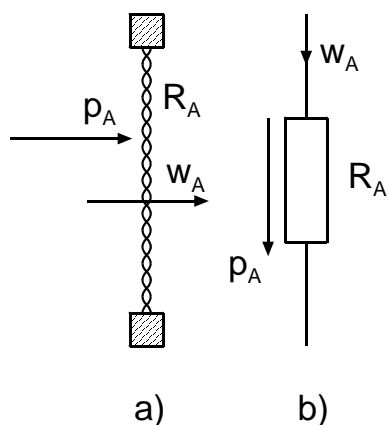
- akustický tlak  $\rightarrow$  zdroj konštantného akustického tlaku ( $p_A$ )
- akustická objemová rýchlosť  $\rightarrow$  zdroj konštantnej objemovej rýchlosti ( $w_A$ )

**Analógia Ohmovho zákona v akustických systémoch (akustická impedancia)**

$$Z_A = \frac{p_A}{w_A} = \begin{cases} R_A \\ j\omega M_A \quad (sM_A) \\ \frac{1}{j\omega C_A} \quad \left(\frac{1}{sC_A}\right) \end{cases} \quad [Nsm^{-5}; \Omega_A]$$

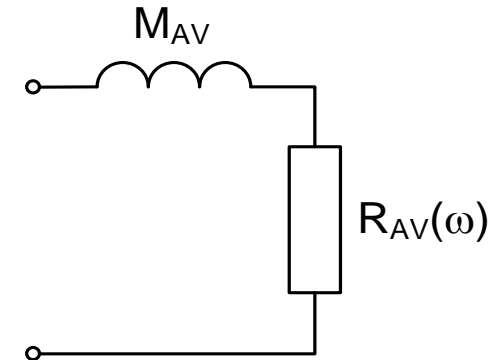
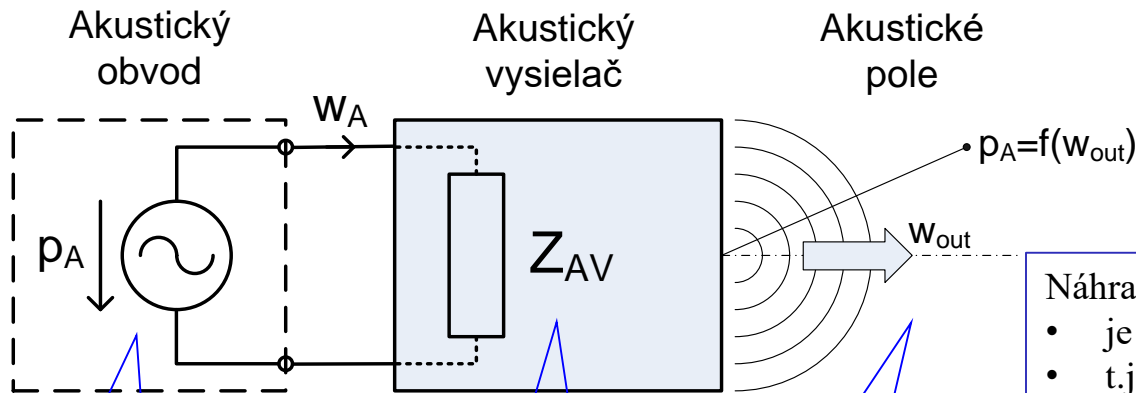
**akustická objemová rýchlosť  $w_A [m^3s^{-1}]$**

- je rýchlosť toku prostredia v ktorom sa šíri zvuková vlna cez jednotku plochy



# Akustický vysielateľ z pohľadu elektro-mechanicko-akustických analógií

Je to rozhranie medzi kmitajúcim telesom, generujúcim akustický tlak a objemovú rýchlosť a akustickým poľom, do ktorého sa šíri vysielané zvukové vlnenie



Zdroj akustického tlaku predstavuje z pohľadu elektro-mechanicko-akustických analógií výstup „nejakého“ akustického obvodu

Pre akustický obvod je akustický vysielateľ zaťažovacou impedanciou – tzv. vysielacia (vyžarovacia) impedancia (radiation impedance)

Akustický tlak v akustickom poli závisí od akustickej objemovej rýchlosti, „tečúcej“ do vysielacej impedancie

Náhradná schéma platí, keď akustický vysielateľ:

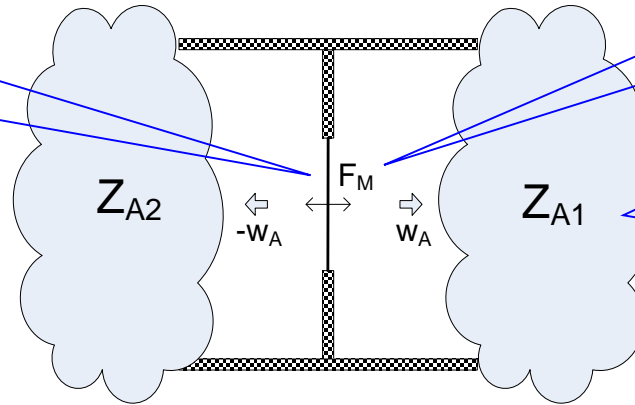
- je tzv. „malým akustickým obvodom“,
- t.j. je akustickou sústavou so sústredenými parametrami,
- t.j. je oveľa menší než vlnová dĺžka zvukového vlnenia.
- napr. keď:  $2\pi R < \lambda$  t.j. keď:  $kR < 1$  (R je polomer piesta)

Akustická vysielacia impedancia piestového vysielateľa (v nekonečnej stene) je sériovým zapojením vysielacieho odporu a hmotnosti, pre ktoré platí:

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

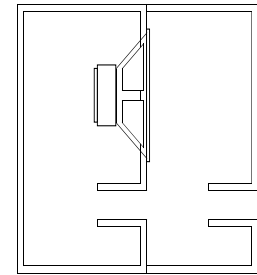
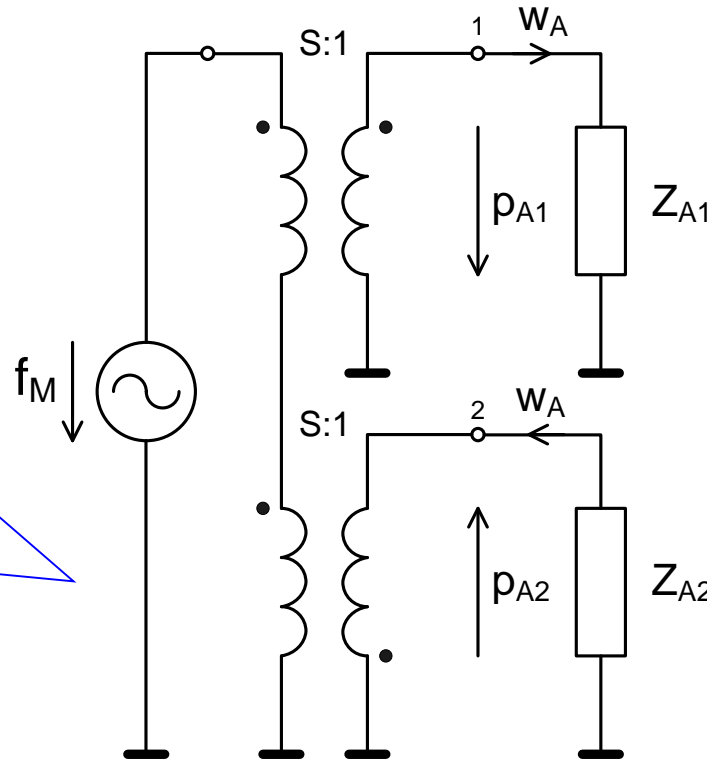
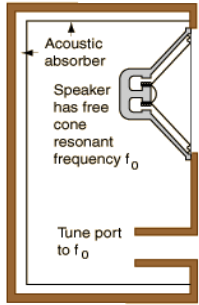
$$M_{AV} = \frac{\rho_0}{S} \cdot \frac{8R}{3\pi}$$

Uvažujme ideálny (nehmotný, dokonale tuhý, ...) kmitajúci piest plochy  $S$ , umiestnený ako na obr.



Predpokladáme, že piest je rozkmitaný pôsobením vonkajšej striedavej mechanickej sily  $F_M$ .

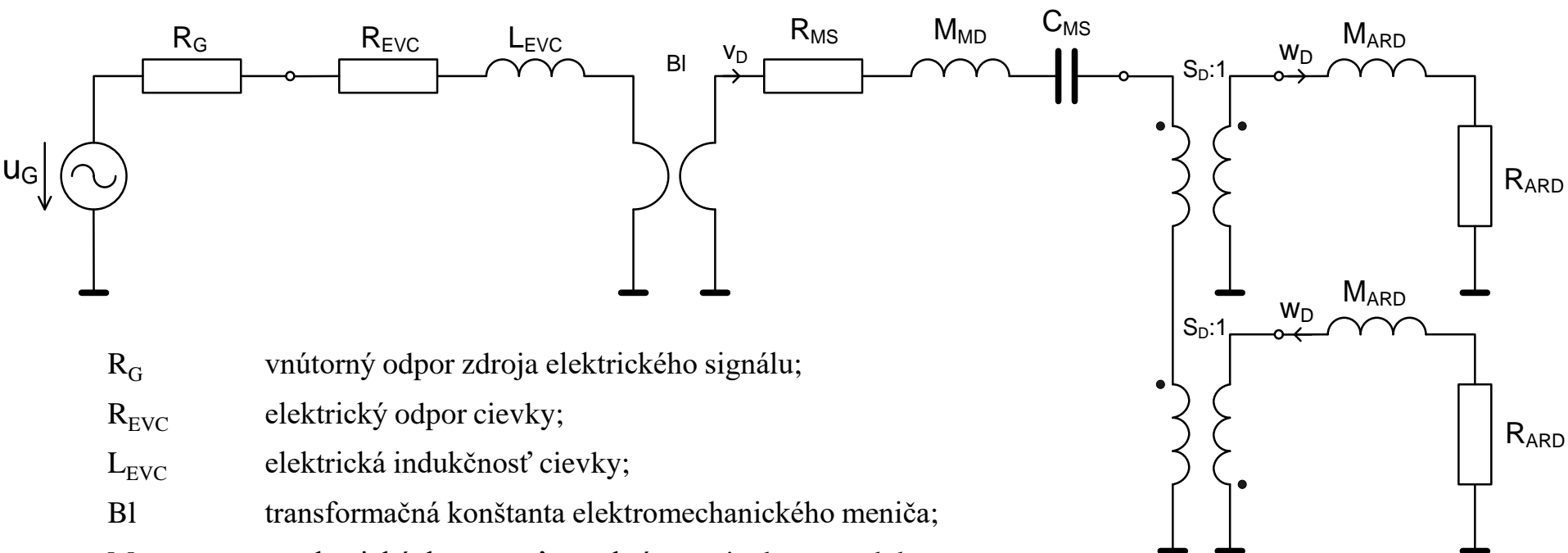
Akustická impedancia reprezentuje možný akustický obvod, ktorým môže byť zaťažená predná aj zadná strana piesta



Ak berieme do úvahy akustické obvody pred a za kmitajúcim piestom a piest ako mechanicko-akustický menič, potom analogická schéma piesta, oddeľujúceho akustické obvody pred piestom od akustických obvodov za piestom je ako na obr.



# Úplná náhradná schéma elektrodynamického, priamovysielaajúceho reproduktora



- $R_G$  vnútorný odpor zdroja elektrického signálu;
- $R_{EVC}$  elektrický odpor cievky;
- $L_{EVC}$  elektrická indukčnosť cievky;
- $BI$  transformačná konštanta elektromechanického meniča;
- $M_{MD}$  mechanická hmotnosť membrány a cievky reproduktora;
- $C_{MS}$  mechanická poddajnosť reproduktora;
- $R_{MS}$  mechanický odpor trenia membrány, telesa cievky a pružného závesu;
- $R_{ARD}$  akustický vysielačný odpor reproduktora;
- $M_{ARD}$  (membrány) reproduktora;
- $S_D$  efektívna vysielačná akustická plocha membrány reproduktora (transformačná konštanta mechanicko-akustického meniča).

# Analýza vlastností reproduktora v nekonečné ozvučnici

- Zameraná na:
  - elektrické vlastnosti
    - vstupná (elektrická) impedancia
  - prenosové vlastnosti (analýza pri „malých“ signáloch)
    - prenosová funkcia
    - menovitá účinnosť
    - charakteristická citlivosť
  - výkonové vlastnosti (analýza pri „veľkých“ signáloch)
    - výchylka reproduktora
    - maximálnou výchylkou limitovaný el. príkon
    - maximálnou výchylkou limitovaný ak. výkon

# Thiele-Small (TS) parametre reproduktora

- Sú to parametre odvodené z náhradnej schémy reproduktora
- Umožňujú praktický a veľmi rýchly odhad vlastností reproduktora
- Majú významnú úlohu pri návrhu reproduktorovej sústavy
- Už niekoľko desaťročí je nepísaným štandardom uvádzať ich v dátových listoch reproduktorov.

rezonančná frekvencia:  $f_S = \frac{1}{2\pi\sqrt{M_{MS} C_{MS}}}$   $M_{MS} = M_{MD} + 2S_D^2 M_{ARD}$

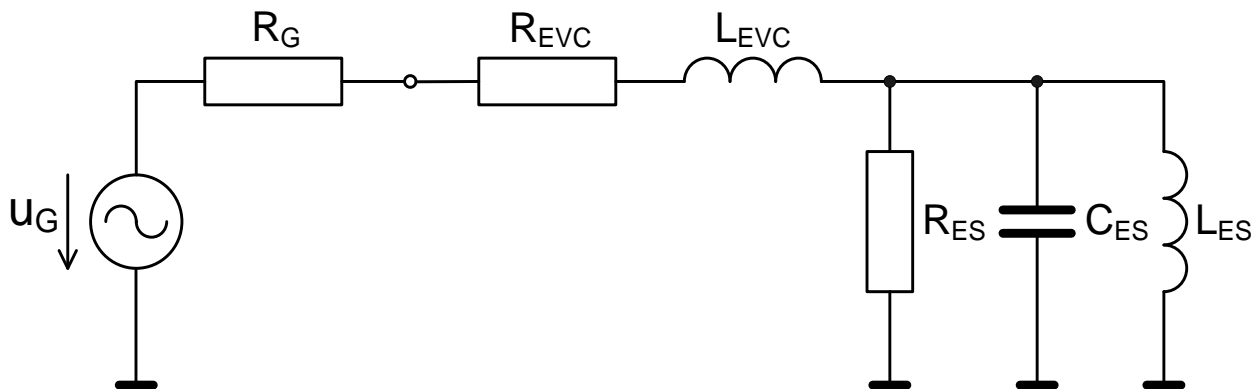
mechanický činiteľ kvality:  $Q_{MS} = \frac{1}{R_{MS}} \sqrt{\frac{M_{MS}}{C_{MS}}}$

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

celkový činiteľ kvality:  $Q_{TS} = \frac{Q_{ES} \cdot Q_{MS}}{Q_{ES} + Q_{MS}}$

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

# Elektrická náhradná schéma reproduktora



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

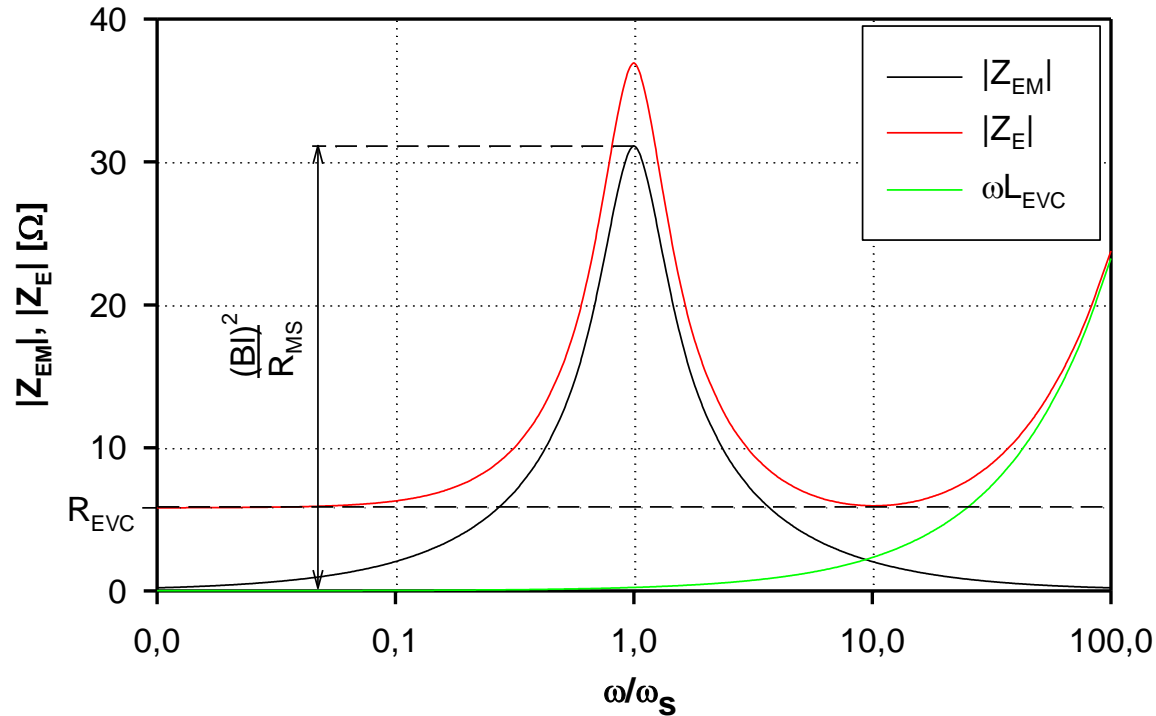
$$C_{ES} = \frac{M_{MS}}{(Bl)^2}$$

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

$$Z_E(s) = R_{EVC} + sL_{EVC} + \frac{1}{\frac{1}{R_{ES}} + \frac{1}{sL_{ES}} + sC_{ES}}; \quad s = j\omega$$

$$Z_E(s) = R_{EVC} + sL_{EVC} + \frac{(Bl)^2}{R_{MS}} \cdot \frac{s_N / Q_{MS}}{s_N^2 + s_N / Q_{MS} + 1}; \quad s_N = \frac{s}{\omega_S}$$

# Frekvenčná závislosť modulu elektrickej impedancie reproduktora



Na elektrickej impedancii reproduktora sa podieľa:

- elektrický odpor cievky  $R_{EVC}$  – v celom frekvenčnom pásme
- paralelný elektrický rezonančný obvod ( $R_{ES}, L_{ES}, C_{ES}$ ) – v pásme nízkych frekvencií (v okolí rezonančnej frekvencie)
- reaktancia cievky ( $\omega L_{EVC}$ ) – začína sa výraznejšie prejavovať zhruba od 10-násobku rezonančnej frekvencie

# Akustický tlak v akustickom poli reproduktora

Uvažujeme malé signály t.j. lineárnu oblasť kmitania reproduktora.

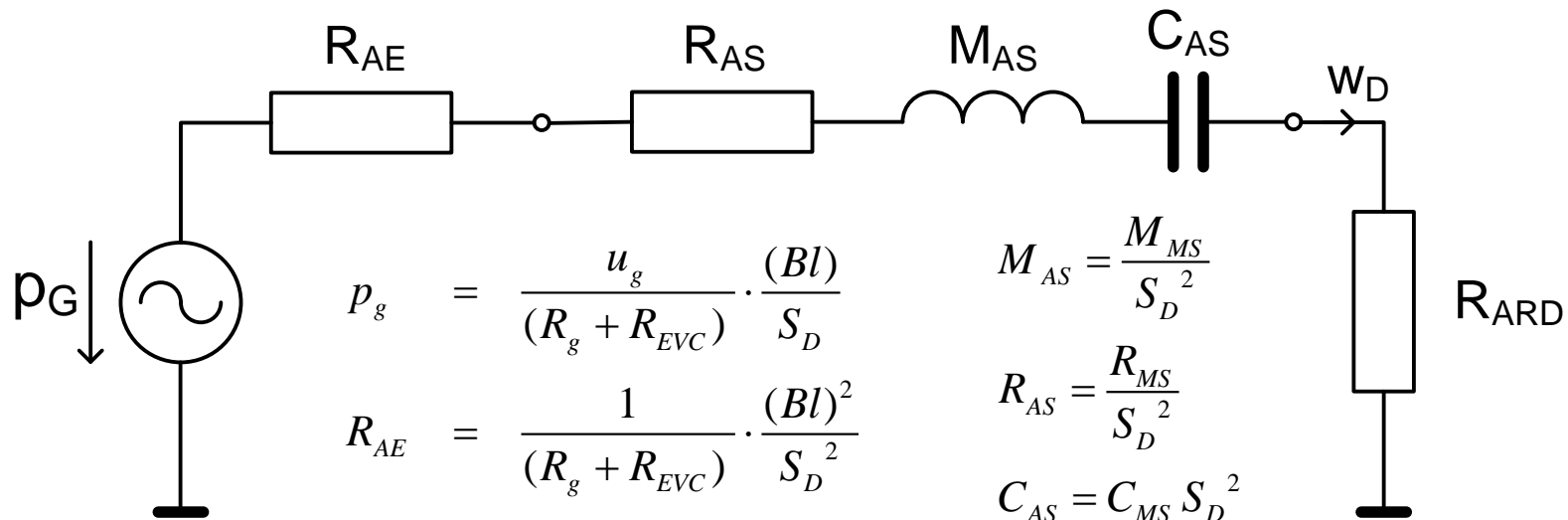
Ďalej uvažujeme **pásmo akustických frekvencií**, kedy rozmery reproduktora sú oveľa menšie než vlnová dĺžka vysielaného zvukového vlnenia, t.j. platí:

$$2\pi R_D \ll \lambda \quad (R_D \text{ je polomer piesta})$$

Vtedy je  $kR_D \ll 1$ , takže reproduktor považujeme za **zdroj guľovej zvukovej vlny**.

Zároveň je  $f \ll \frac{c_0}{2\pi R_D}$ , kedy vplyv **indukčnosti cievky** a **vysielacieho odporu** je **zanedbateľný**.

Vychádzame z akustickej náhradnej schémy, získanej úpravou úplnej elektro-mechanicko-akustickej schémy reproduktora.



# Akustický tlak v akustickom poli reproduktora

Pre akustický tlak v tzv. blízkom poli reproduktora platí:

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

kde  $r$  je vzdialenosť od ústia reproduktora.

$$p_{OUT}(s) = \underbrace{\frac{\rho_0}{2\pi} \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{u_g \cdot (Bl) \cdot S_D}{(R_g + R_{EVC}) \cdot M_{MS}}}_{\text{amplitúda akustického tlaku } p_0} \cdot \underbrace{\frac{s^2 M_{AS} C_{AS}}{s^2 M_{AS} C_{AS} + s C_{AS} R_{AT} + 1}}_{\text{prenosová funkcia akustického tlaku } G(s)}$$

$$p_0 = 7.9 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\sqrt{P_E}}{r} \cdot \sqrt{\frac{f_S^3 V_{AS}}{Q_{ES}}} \quad [\text{Pa; W, m, Hz, m}^3]$$

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

$$R_{AT} = R_{AS} + R_{AE}$$

Celkový akustický odpor akustickej náhradnej schémy – zahrňuje elektrické a mechanické odpory reproduktora

# Celkový činiteľ kvality reproduktora

- celkový činiteľ kvality reproduktora je činiteľ kvality rezonančného obvodu, na ktorom sa okrem mechanických reaktančných prvkov ( $M_{MS}$ ,  $C_{MS}$ ) podieľajú všetky odporové prvky (mechanické aj elektrické)
- celkový činiteľ kvality tak možno rozdeliť na dve časti, na **mechanický činiteľ kvality**, ktorý je činiteľom kvality „čistého“ mechanického sériového rezonančného obvodu, a na tzv. **elektrický činiteľ kvality**

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

- elektrický činiteľ kvality závisí od dvoch odporov, od vnútorného odporu zdroja signálu  $R_G$  a od elektrického odporu cievky  $R_{EVC}$
- keďže od celkového činiteľa kvality závisí tvar amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky, je zrejmé, že na tvar AFCH bude mať vplyv nielen odpor cievky, ale aj vnútorný odpor zdroja



# Prenosová funkcia reproduktora ako hornopriepustný filter 2. rádu

$$G(s) = \frac{b_2 s_N^2}{a_2 s_N^2 + a_1 s_N + a_0} \Rightarrow \begin{cases} b_2 = 1 \\ a_2 = 1 \\ a_1 = \frac{1}{Q_T} \\ a_0 = 1 \end{cases}$$

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

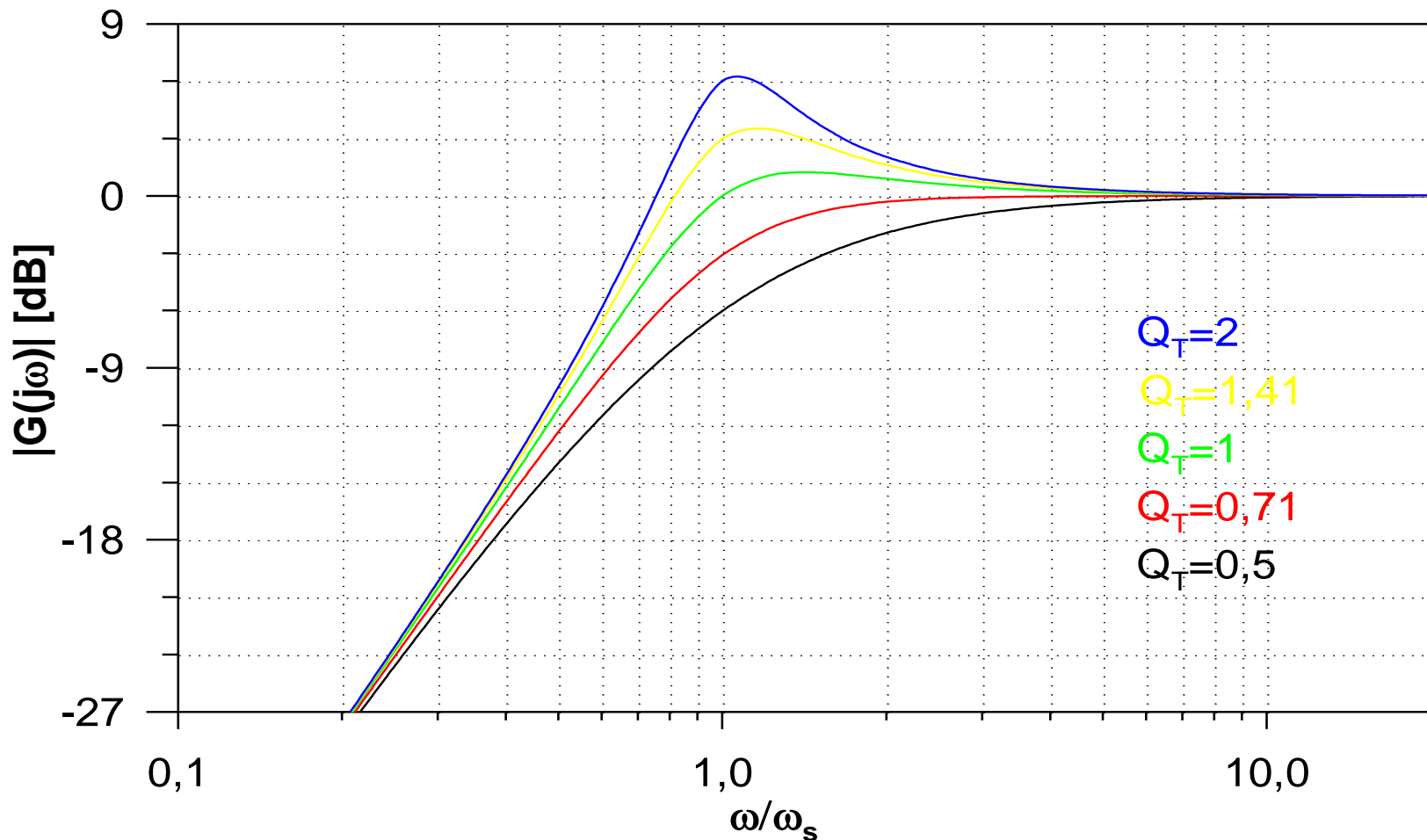
Jediný „nastaviteľný“ koeficient prenosovej funkcie – závisí od neho tvar charakteristiky

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

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

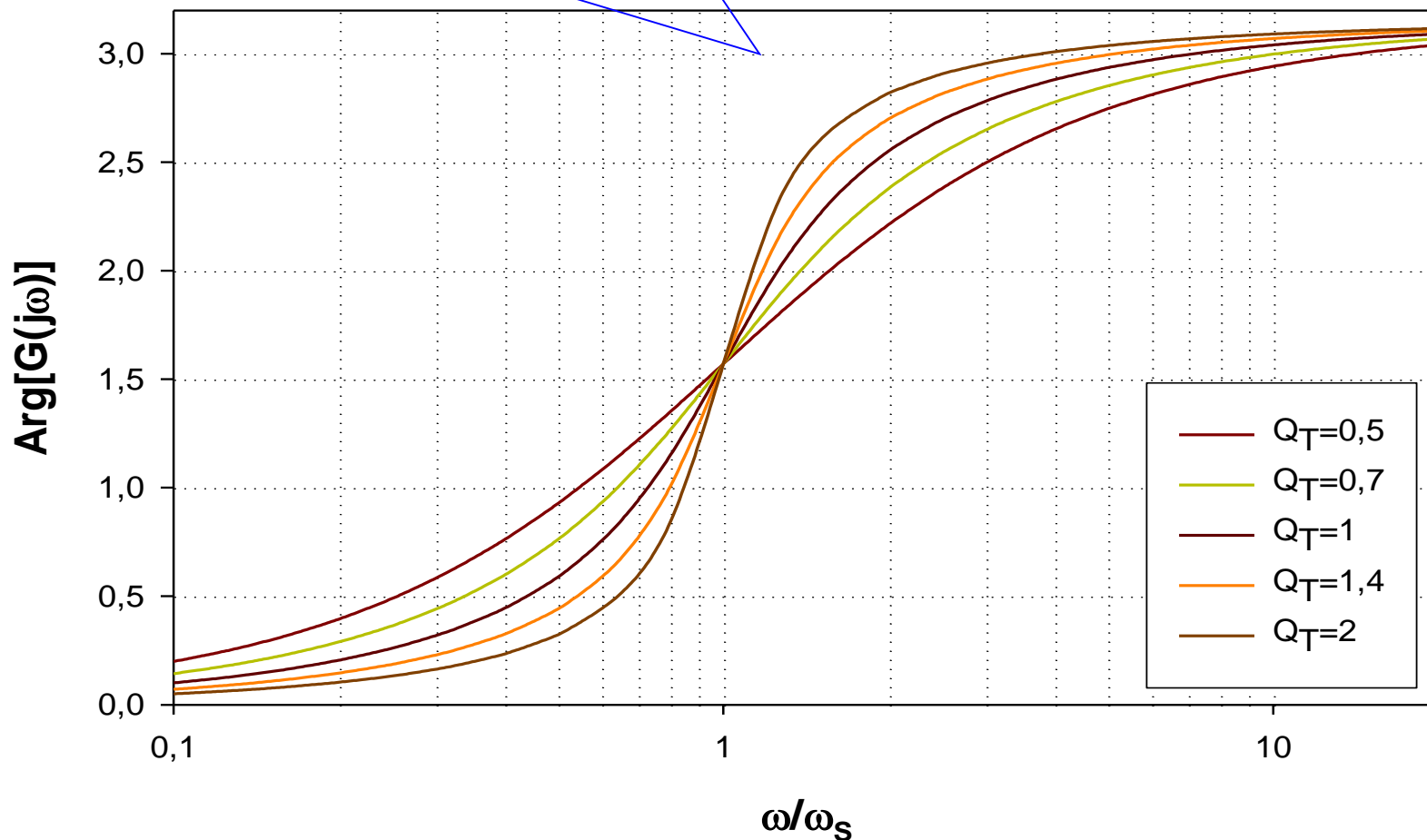
# Amplitúdová frekvenčná charakteristika reproduktora

- detaily charakteristiky:
  - medzná frekvencia
  - zvlnenie charakteristiky v okolí rezonančnej frekvencie
  - sklon charakteristiky v pásme pod medznou frekvenciou
  - vzťah medzi medznou frekvenciou a rezonančnou frekvenciou



# Fázová frekvenčná charakteristika reproduktora

Linearita fázovej charakteristiky závisí od celkového činiteľa kvality reproduktora !!!



# Charakteristická tlaková citlivosť

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

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

Rýchly odhad amplitúdy akustického tlaku z charakteristickej tlakovej citlivosti:

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

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

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

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

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

**Referenčná hodnota citlivosti má číselne 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

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

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

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

Hladina akustického tlaku sa zvýši o:

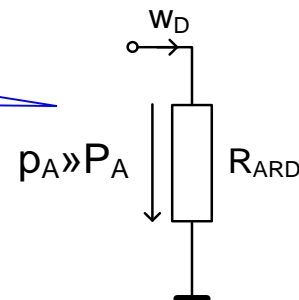
- 3dB, ak sa elektrický príkon zdvojnásobí
- 10dB, ak sa elektrický príkon zdesaťnásobí

Hladina akustického tlaku sa zmenší o:

- 6dB, ak sa vzdialenosť zdvojnásobí
- 20dB, ak sa vzdialenosť zdesaťnásobí

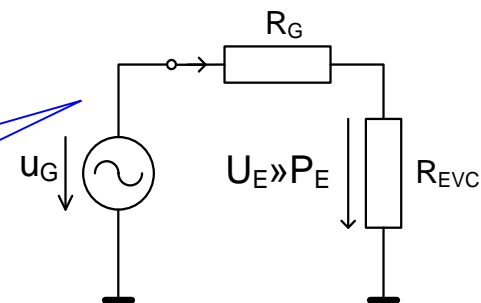
# Menovitá účinnost reproduktora: Pomer činného akustického výkonu k menovitému elektrickému príkonu:

Akustická objemová rýchlosť, „tečúca“ do vysielacieho odporu membrány určuje **činný akustický výkon**



$$\eta = \frac{P_A}{P_{E,Nom}} = \frac{|w_{D,0}|^2 \cdot R_{ARD}}{\left[ \frac{u_G}{R_G + R_{EVC}} \right]^2 \cdot R_{EVC}}$$

Elektrický prúd, tečúci do odporu cievky určuje **menovitý elektrický príkon**



Po dosadení a úprave:

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

# Lineárna výchylka (membrány) reproduktora

$$x_D(s) = \frac{1}{S_D} \cdot \frac{w_D(s)}{s} = \frac{u_G \cdot (Bl)}{\underbrace{(R_G + R_{EVC})}_{\text{amplitúda výchylky } x_{D0}}} \cdot \frac{C_{AS}}{S_D^2} \cdot \frac{1}{\underbrace{s^2 \cdot M_{AS} \cdot C_{AS} + s \cdot C_{AS} \cdot R_{AT} + 1}_{\text{prenosová funkcia výchylky } X(s)}}$$



# Výhylková citlivost'

Je to amplitúda výhylky membrány reproduktora na 1W elektrického príkonu (ak  $R_G=0$ ).

$$x_{D0} = \frac{u_G \cdot (Bl)}{(R_G + R_{EVC})} \cdot \frac{C_{AS}}{S_D^2} = \sqrt{2P_E} \cdot \underbrace{\frac{C_{MS} \cdot (Bl)}{\sqrt{R_{EVC}}}}_{\text{výhylková citlivost' } \sigma_{x(IB)}}$$

$$\sigma_{x(IB)} = \frac{C_{MS} \cdot (Bl)}{\sqrt{R_{EVC}}} = \frac{1}{c_0 \sqrt{2\pi\rho_0}} \cdot \frac{1}{S_D} \sqrt{\frac{V_{AS}}{f_S \cdot Q_{ES}}} = \frac{10,65 \cdot 10^{-4}}{S_D} \cdot \sqrt{\frac{V_{AS}}{f_S \cdot Q_{ES}}} \quad \left[ \text{mW}^{-\frac{1}{2}} \right]$$

# Výhylková prenosová funkcia a amplitúdová frekvenčná charakteristika

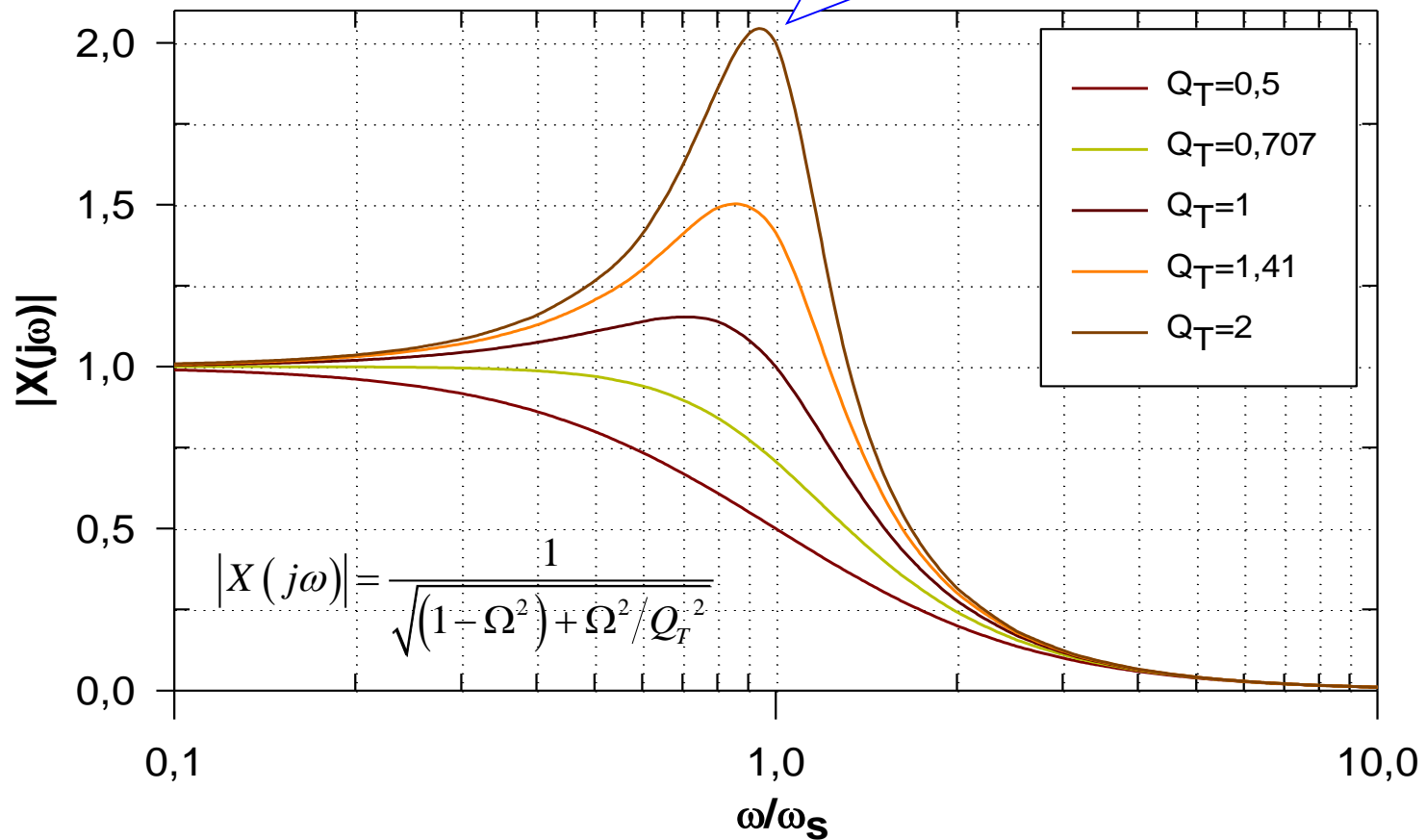
$$X(s) = \frac{1}{s^2 \cdot M_{AS} \cdot C_{AS} + s \cdot C_{AS} \cdot R_{AT} + 1}$$

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

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

# Frekvenčná charakteristika amplitúdy výchylky

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



# Kontrolné otázky

1. Analýza reproduktora pri malých signáloch je:
  - a) Analýza v lineárnej oblasti činnosti reproduktora
  - b) Analýza v nelineárnej oblasti činnosti reproduktora
2. Vymenujte akustické prvky akustickej sústavy so sústredenými parametrami
3. Vymenujte päťicu TS parametrov reproduktora
4. Aké typy reproduktorov poznáte
5. Čo je rezonančná frekvencia reproduktora

