

TECHNICKÁ UNIVERZITA KOŠICE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií

Elektroakustika

Dvojpásmová reproduktorová sústava s basreflexovou ozvučnicou

Šk. Rok: 2000/2001

Vypracoval: Baboľ Miroslav

Zadanie semestrálneho projektu z predmetu Elektroakustika

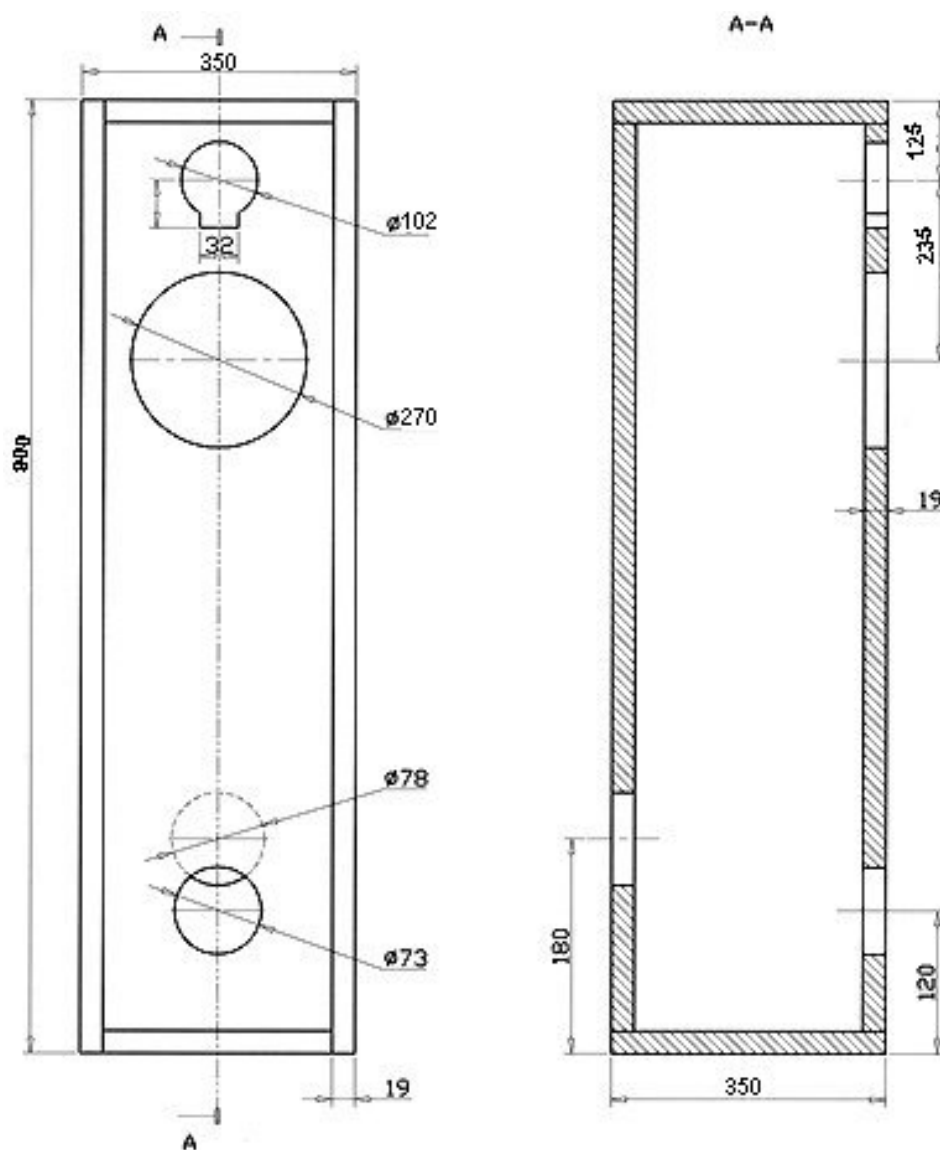
Navrhните a v programe AkAbak simulujte dvojpásmovú reproduktorovú sústavu s basreflexovou ozvučnicou alebo trojpásmovú reproduktorovú sústavu so zatvorenou ozvučnicou/basreflexovou ozvučnicou. Projekt má obsahovať:

1. Výber a parametre reproduktorov podľa katalógového listu.
2. Analýzu zvolených reproduktorov simuláciou ich "diskrétnych" náhradných schém v programe AkAbak a kontrolný výpočet ich TS parametrov.
3. Blokóvú schému zapojenia sústavy, voľbu typu filtrov pre elektrické výhybky, voľbu deliacej frekvencie a analýzu navrhovanej sústavy pomocou makromodelov BassUnit, Speaker a Filter.
4. Syntézu obvodového zapojenia elektrických filtrov a obvodov kompenzácie elektrických impedancií reproduktorov.
5. Návrh finálneho skriptu a simuláciu navrhnujej sústavy pomocou diskrétného zapojenia elektrických filtrov, obvodov kompenzácie elektrických impedancií reproduktorov a makromodelov Driver, Enclosure, Radiator pre nízkotónový a stredotónový reproduktor a Speaker pre vysokotónový reproduktor. V modeli vyžarovania uvažujte aj reálne umiestnenie reproduktorov a sústavy v priestore (odrazy) - makromodel Reflector.
6. Grafické výsledky simulácií – amplitúdové frekvenčné charakteristiky a impulzové/prechodové charakteristiky akustického tlaku v priestore, amplitúdové frekvenčné charakteristiky filtrov, frekvenčné charakteristiky modulu elektrickej impedancie sústavy,
7. Grafické prílohy projektu – diskrétne zapojenie náhradnej elektro-mechanicko-akustickej schémy reproduktorov (viď bod 2), blokové zapojenie sústavy (viď bod 3), celkové zapojenie sústavy (viď bod 5) a návrh skrinky ozvučnice, vrátane jej umiestnenia v priestore,
8. Diskusiu priebežných výsledkov aj finálneho riešenia

Úvod

Reproduktorová sústava s basreflexovou ozvučnicou je sústava s dvoma zdrojmi zvuku prvým je reproduktor, vyžarujúci akustickú energiu prednou stranou membrány, druhým je basreflexový otvor (port, vent), ktorým sa vyžaruje časť akustickej energie zadnej strany membrány. Druhý, pasívny zvukový zdroj môže byť realizovaný ako jednoduchý otvor v stene ozvučnice, alebo ako trubica, ktorá spája dutinu ozvučnice s vonkajším priestorom. Pri vhodne zvolenom reproduktore a správne navrhnutej a skonštruovanej ozvučnici môže basreflexový otvor výrazne prispieť ku zvýšeniu celkovej akustickej energie, vyžarovanej v okolí dolnej medznej frekvencie, čím sa rozšíri prenášané pásmo smerom k nízkym frekvenciám a zmenšením výchylky reproduktora sa zmenší celkové nelineárne skreslenie reproduktora.

Konštrukčný popis sústavy a umiestnenie v priestore



Obr. 0.1 Konštrukčný popis

Kapitola 1

1. Výber a parametre reproduktorov podľa katalógového listu.

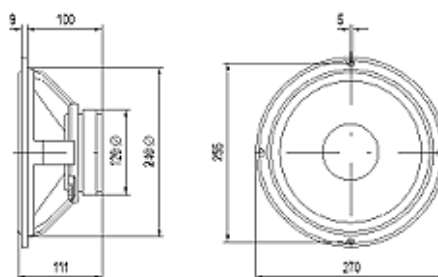
Zo širokej ponuky firiem ponúkajúcich predaj a servis reproduktorov a akustického materiálu som si vybral reproduktory z ponuky firmy BEYMA. www.beyma.com.

Basový reproduktor **10BR60**, ktorý je na Obr. 1.1 a jeho schematický náčrt na Obr. 1.2 . Parametre tohto reproduktora sú v Tab. 1.1.

Tento 10" nízko a stredotónový reproduktor bol skonštruovaný na dodávanie a reprodukciu nízkych a stredných frekvencií s vysokou citlivosťou a mimoriadne nízkym skreslením. Pri kombinácii výkonej magnetickej konštrukcie s košom reproduktora z liateho hliníka dosahuje tento model vysoký inštalovaný výkon a prispieva k zníženiu kompresie tepelnej energie.



Obr. 1.1



Obr. 1.2

SPECIFICATIONS		MOUNTING INFORMATION		MATERIALS		THIELE-SMALL PARAMETERS	
Nominal diameter	250 mm 10 in	Overall diameter	270 mm 10.62 in	Basket	Die Cast aluminium	Resonant Frequency, fs	45 Hz
Rated Impedance	8 ohms	Bolt circle diameter	255 mm 10.03 in	Cone	Paper	D.C. Voice Coil Resistance, Re	6.5 ohms
Power capacity	100 w RMS	Baffle cutout diameter:		Surround	Rubber	Mechanical Quality Factor, Qms	1.9
Program Power	200 Watts	-Front mount	240 mm 9.44 in	Voice coil	Copper	Electrical Quality Factor, Qes	0.62
Sensitivity	91.5dB 2.83v @1m @2π	-Rear mount	230 mm 9.05 in	Magnet	Ferrite	Total Quality Factor, Qts	0.47
Frequency range	30- 5000Hz	Depth	111 mm 4.37 in			Equivalent Air Volume to Cms, Vas	47 l

Recom. enclosure vol.	30-100 l 1.6-3.53 ft.3	Volume displaced by driver	2.5. 1 0.08 ft.3			Mechanical Compliance, Cms	230 μ m /N
Voice coil diameter	52 mm 2 in	Net weight	2.9 kg 6.38 lb			Mechanical Resistance, Rms	5.1 kg/s
Magnetic assembly weight	2.75 kg 6.1 lb.	Shipping weight	3.4 kg 7.48 lb			Efficiency, ho (%)	0.75%
BL factor	12.4N/A					Effective Surface Area, Sd(m²)	0.038 m ²
Moving mass, M_{MS}	0.050 kg					Maximum Displacement, X_{max}	6mm
Voice coil length	16 mm					Displacement Volume, V_d	240 cm ³
Air gap height	7 mm					Voice Coil Inductance, Le @ 1kHz	1.1 mH
X damage (peak to peak)	30 mm						

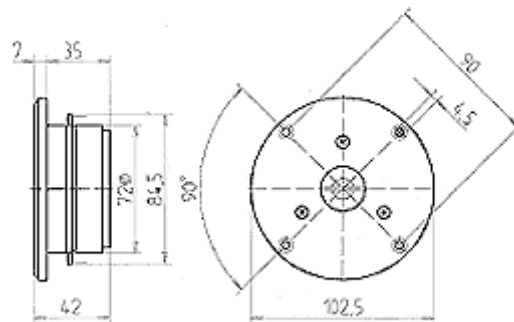
Tab. 1.1 Parametre basového reproduktora 10BR60

Výškový reproduktor **T2030**, ktorý je na Obr. 1.3 a jeho schematický náčrt je na Obr. 1.4. Parametre reproduktora sú v

Tab. 1.2.



Obr. 1.3



Obr. 1.4

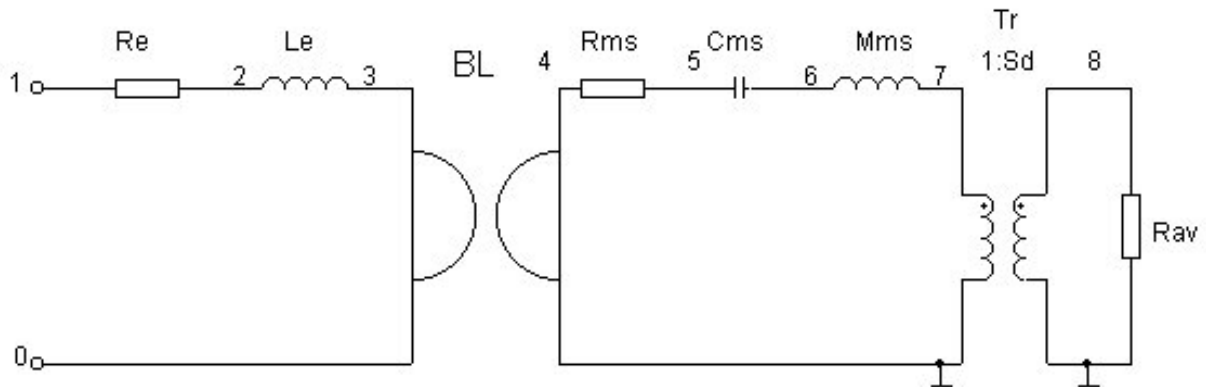
Tento kovový výškový reproduktor je navrhnutý na reprodukciu vysokých frekvencií v dvoj alebo trojpásmových reproduktorových sústavách. Vďaka hliníkovej membráne a prednej platni skonštruovanej z liateho hliníka dosahuje plochú frekvenčnú odozvu, vysokú účinnosť, široký a regulovateľný rozptyl.

SPECIFICATIONS		MOUNTING INFORMATION		MATERIALS		THIELE-SMALL PARAMETERS	
Nominal diameter	32 mm 1.25 in	Overall diameter	102 mm 3.9 in	Diaphragm	aluminium	Resonant Frequency, fs	1050Hz
Nominal Impedance	8 ohms	Bolt circle diameter	90 mm 3.54 in	Voice coil	aluminium	Mechanical Quality Factor, Qms	3.957
Power capacity	15 w RMS	Baffle cutout diameter:	75 mm 2.95 in	Former	Kapton	Electrical Quality Factor, Qes	1.567
Program Power	30 Watts	-Front mount	42 mm 1.65 in	Front cover	aluminium	Total Quality Factor, Qts	1.122
Efficiency	91.5dB 1w @1m	Depth	0.66 kg 1.45 lb	Magnet	Ferrite		
Frequency range	1.5-20kHz	Net weight	0.7 kg 1.54 lb				
Recommended crossover (minimum)	2kHz or higher 12dB/oct	Shipping weight					
Voice coil diameter	25.4 mm 1 in						
Magnetic assembly weight	0.525 kg 1.16 lb.						
BL factor	3N/A						
Dispersion	60°						
Voice coil length	16 mm						
D.C. Resistance	5 ohms						
Flux density	1.4 T						
Minimum impedance	6.2 ohms @ 2.5 kHz						

Tab. 1.2 Parametre výškového reproduktora T2030

2. Analýzu zvolených reproduktorov simuláciou ich "diskrétnych" náhradných schém v programe AkAbak a kontrolný výpočet ich TS parametrov.

Elektro-mechanicko-akustická analogická schéma reproduktora



Obr. 1.5

Kontrolný výpočet TS parametrov basového reproduktora 10BR60

Rezonančná frekvencia reproduktora:

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{M_{MS} \cdot C_{MS}}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0,05 \cdot 230 \cdot 10^{-6}}} = 46,9322\text{Hz}$$

Mechanický činiteľ kvality:

$$Q_{MS} = \frac{1}{R_{MS}} \cdot \sqrt{\frac{M_{MS}}{C_{MS}}} = \frac{1}{5,1} \cdot \sqrt{\frac{0,05}{230 \cdot 10^{-6}}} = 2,891$$

Elektrický činiteľ kvality:

$$Q_{ES} = \frac{R_E}{(Bl)^2} \cdot \sqrt{\frac{M_{MS}}{C_{MS}}} = \frac{6,5}{(12,4)^2} \cdot \sqrt{\frac{0,05}{230 \cdot 10^{-6}}} = 0,6239$$

Celkový činiteľ kvality:

$$Q_{TS} = \frac{Q_{MS} \cdot Q_{ES}}{Q_{MS} + Q_{ES}} = \frac{2,891 \cdot 0,6239}{2,891 + 0,6239} = 0,51315$$

Ekvivalentný objem:

$$V_{AS} = C_{MS} \cdot c_0^2 \cdot \rho \cdot S^2 = 230 \cdot 10^{-6} \cdot 345^2 \cdot 1,18 \cdot 0,038^2 = 0,04664\text{m}^3 = 46,64 \text{ l}$$

Menovitá účinnost:

$$\eta_{\text{NDM}} = \frac{4\pi^2}{c_0^3} \cdot \frac{f_s^3 \cdot V_{\text{AS}}}{Q_{\text{ES}}} = \frac{4\pi^2}{345^3} \cdot \frac{46,9322^3 \cdot 0,04664}{0,6239} = 7,42948 \cdot 10^{-3} = 0,74\%$$

Charakteristická citlivost reproduktora:

$$\sigma_{\text{P/1W,1m}} = \frac{\sqrt{2\pi\rho}}{c_0} \cdot \sqrt{\frac{f_s^3 \cdot V_{\text{AS}}}{Q_{\text{ES}}}} = \frac{\sqrt{2\pi \cdot 1,18}}{345} \cdot \sqrt{\frac{46,9322^3 \cdot 0,04664}{0,6239}} = 0,6938 \text{ PaW}^{-\frac{1}{2}} \text{ m}$$

$$\Gamma = 20 \cdot \log \sigma_{\text{p/1W,1m}} + 94 = 20 \cdot \log 0,6938 + 94 = 90,824 \text{ dB}$$

Akustický vyžarovací odpor:

$$R_{\text{av}} = \frac{c_0 \cdot \rho}{S_d} \cdot k^2 R^2 = \frac{c_0 \rho}{S_d} \cdot \frac{\omega^2 R^2}{c_0^2} = \frac{4\pi^2 \rho}{\pi R^2} \cdot \frac{f^2 R^2}{c_0} = \frac{4\pi \rho}{c_0} \cdot f^2 = \frac{\omega^2 \cdot \rho}{\pi \cdot c_0}$$

Skript elektro-mechanicko-akustickej schémy

Def_const

{c=345;roh=1.18;S=0.022;fs=45

RAV=((4*3.14159*roh*fs*fs)/c);}

system

Resistor 'Re' Node=1=2 R=6.5ohm

Coil 'Le' Node=2=3 L=1.1mH

Gyrator 'gyrator' Node=3=0=4=0

Bl=12.4Tm

MechResistance 'Rms' Node=4=5

Rm=5.1Ns/m

MechCompliance 'Cms' Node=5=6

Cm=0.23e-3m/N

MechMass 'Mms' Node=6=7

Mm=50g

Coupler 'Tr' Node=7=0=8

Ratio=26.316

| AcouResistance 'RAV' Node=8=0

| Ra=94.67Ns/m5

Impedance 'RAV' Node=8

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

Simulácie diskkrétnej náhradnej schémy v programe AkAbak

Extrémne hodnoty výkonu na rezistore R_E a prúdu tečúceho cievkou
Extreme Values:

Peak input voltage U_{in} : 1V
Frequency range: 20Hz ... 20kHz
Frequency points: 500
Max. diaphragm excursion (peak) -----
Max. current in coils and transformers (peak) -----

1. Sys1 2->3 L=1.1mH I_{max} : 0.149A
Max. voltage across capacitors (peak) -----
Max. power in resistors and voice coils -----

1. Sys1 1->2 R=6.5ohm R_E P_{max} : 72.294mW

Výkonové pomery na rezistore R_E
Power Density:

RMS input voltage U_{in} : 0.707V
Frequency range: 20Hz ... 20kHz
Frequency points: 500
Power in resistors and voice coils -----

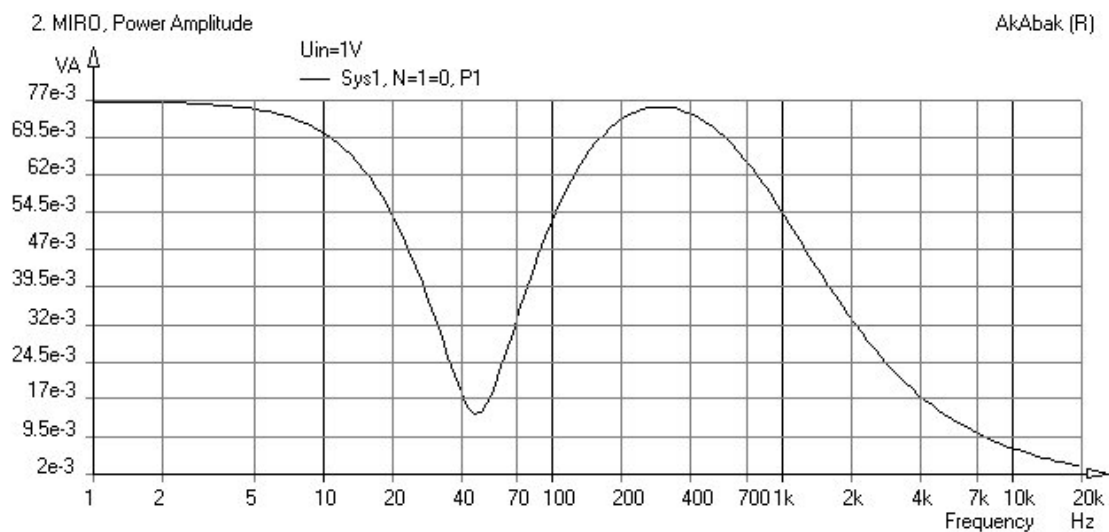
(Pink noise)

1. Sys1 1->2 R=6.5ohm R_E P: 27.351mW

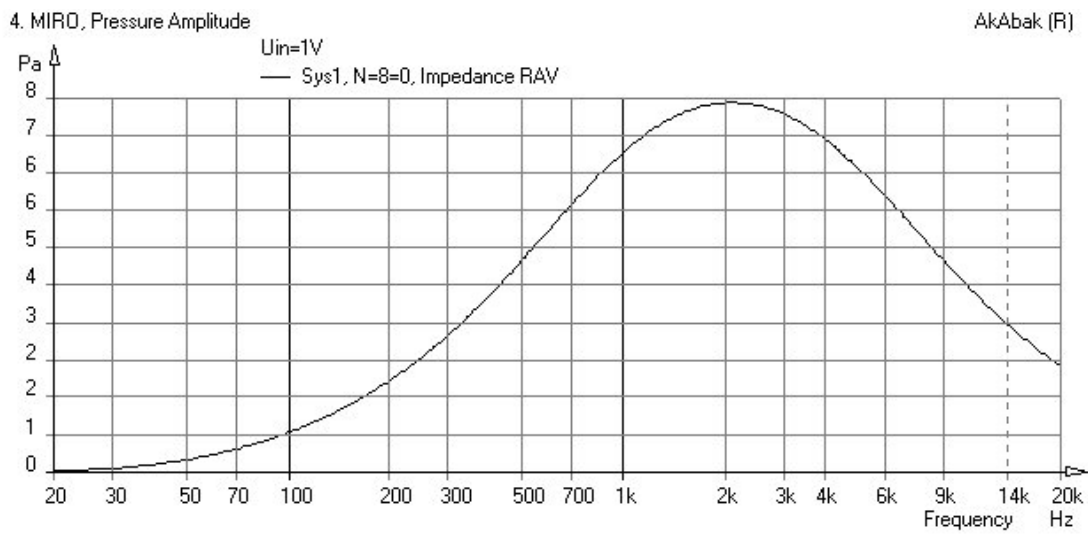
(Power distribution norm ICE 268)

1. Sys1 1->2 R=6.5ohm R_E P: 23.572mW

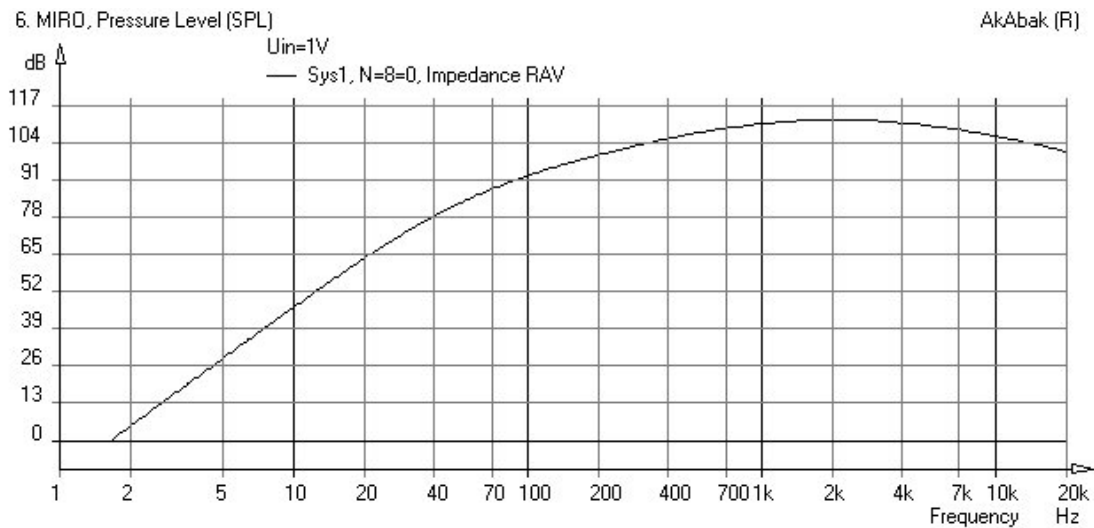
Amplitúda výkonu



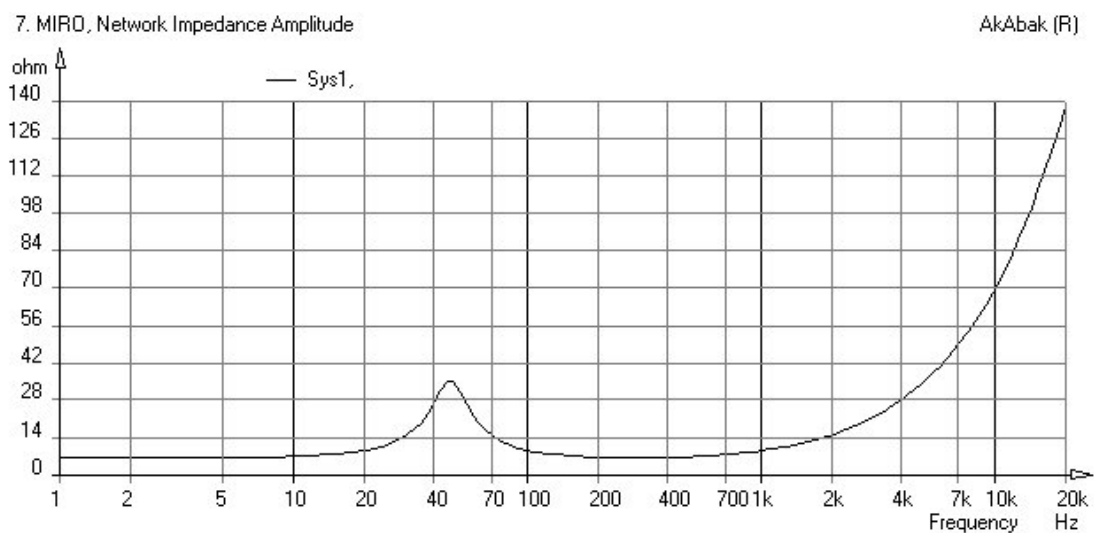
Akustický tlak



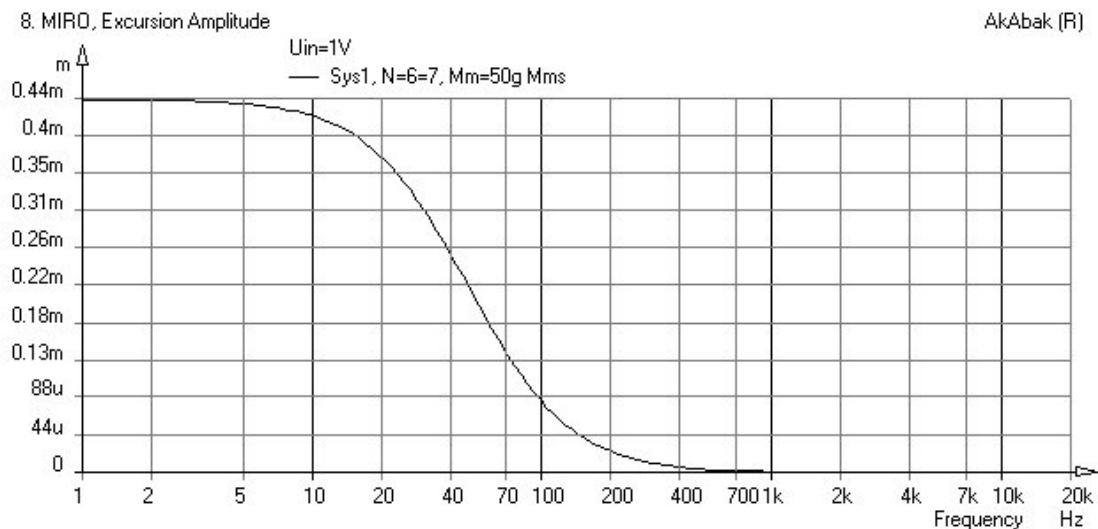
Hladina akustického tlaku



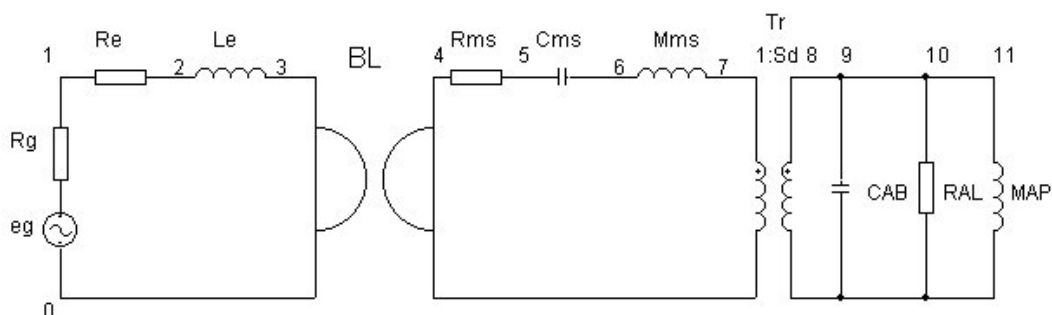
Charakteristická impedancia



Výchylka membrány



Požiadavky na basreflexovú trubicu



Obr. 1.6

Basreflexová trubica musí byť navrhnutá tak, aby spolu so skrinkou ozvučnice tvorila Helmholtzov rezonátor, naladený na rezonančnú frekvenciu f_B . Musí taktiež umožňovať prietok maximálnej požadovanej objemovej rýchlosti bez nadmerných viskózných strát alebo generovania rušivých šumov.

Druhá z predchádzajúcich dvoch požiadaviek môže byť zabezpečená zvolením takej plochy trubice, ktorá zabráni akustickej rýchlosti v trubici prekročiť špecifikovanú limitnú hodnotu. Táto limitná hodnota bola experimentálne odhadnutá na 5% z rýchlosti zvuku za predpokladu, že vnútorná plocha trubice je hladká a jej hrany sú dostatočne zaoblené. Takýto rýchlostný limit vo všeobecnosti zabezpečuje taktiež akceptovateľné straty (za predpokladu, že trubica nie je príliš „zatarasená“).

Pre akustickú rýchlosť neprekračujúcu hodnotu 4,5% z rýchlosti šírenia zvuku a triedu aproximácií C4-B4-QB3 tak možno stanoviť požiadavku:

$$S_p \geq 0,8 \cdot f_B \cdot V_D \quad [m^2; -, Hz, m^3]$$

$$D_p \geq \sqrt{f_B \cdot V_D} \quad [m; Hz, m^3]$$

kde S_p je plocha trubice resp. D_p je priemer trubice kruhového prierezu a:

$$V_D = x_D \cdot S_D \quad [m^3; m, m^2]$$

je objemová výchylka reproduktora. Keď máme stanovenú plochu trubice, z požiadavky na f_B určíme dĺžku trubice. Dá sa dokázať, že platí:

$$\frac{S_P}{l_P} = 3,318 \cdot 10^{-4} \cdot V_B \cdot f_B^2$$

Posledný vzťah je znázornený taktiež formou nomogramu na Obr. 1.8

Syntéza basreflexovej ozvučnice pre známy reproduktor

Uvažujem reproduktor firmy Beyma 10BR60 Woofer, pre ktorý chcem navrhnuť basreflexovú ozvučnicu. Z katalógového listu viem, že:

$$f_s = 45 \text{ Hz}$$

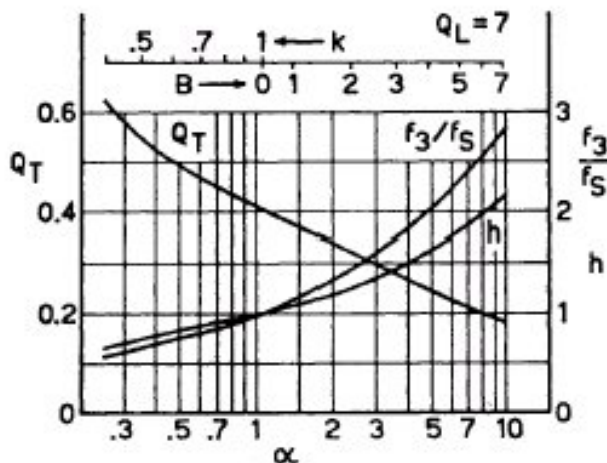
$$Q_{TS} = 0,47$$

$$V_{AS} = 47 \text{ dm}^3 = 0,047 \text{ m}^3$$

$$V_D = 240 \text{ cm}^3 = 0,000240 \text{ m}^3$$

$$\text{Výpočetom: } V_D = X_{MAX} \cdot S_D = 6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,038 = 2,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Zvolíme si $Q_L = 7$ a pre tento zvolený parameter si z Obr. 1.7 odhadneme nasledujúce parametre: $\alpha = 0,6$; $h = 0,9$; $f_3/f_s = 0,7$



Obr. 1.7 Grafické riešenie aproximačnej úlohy pri návrhu basreflexovej sústavy

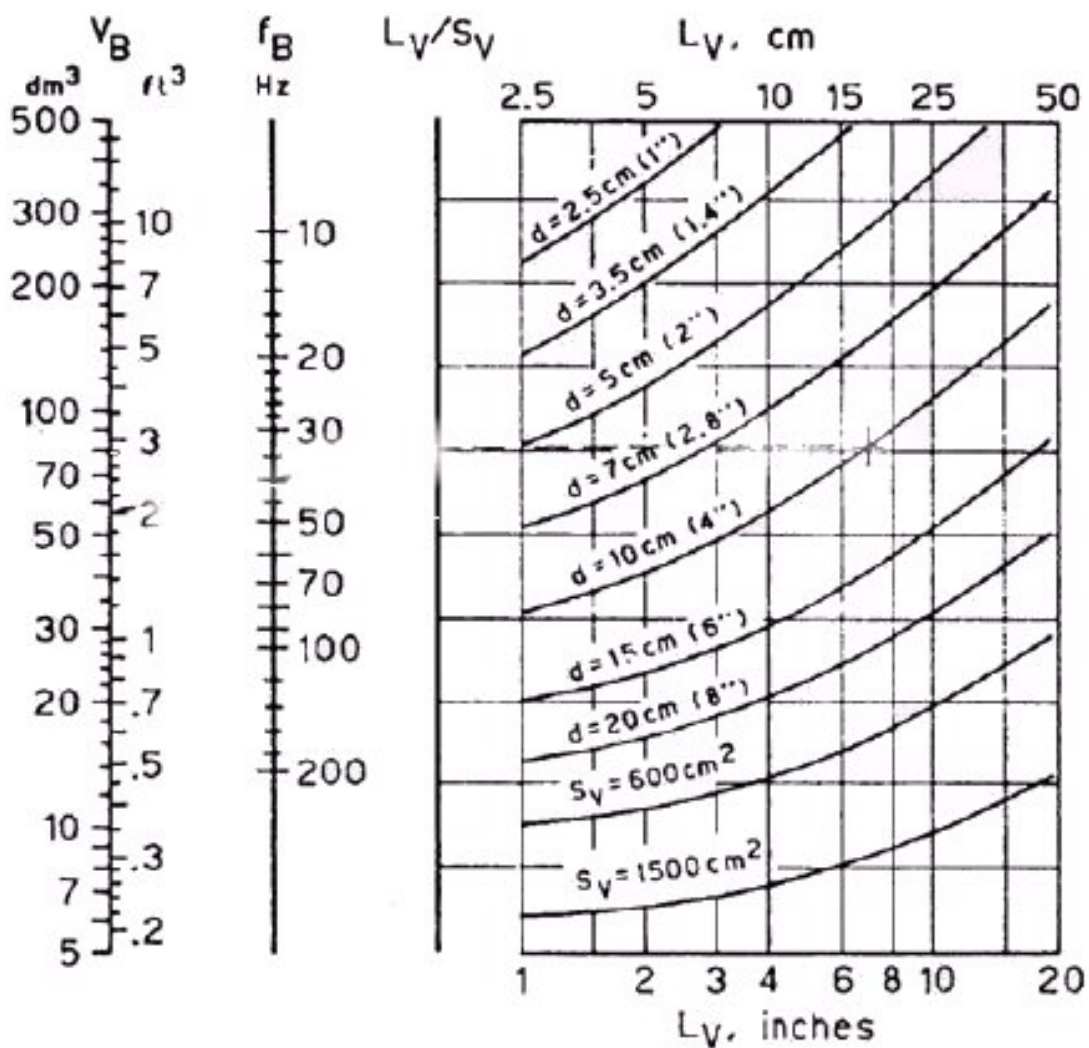
Zo získaných parametrov si vypočítame:

$$V_B = \frac{V_{AS}}{\alpha} = \frac{47}{0,6} = 78,33 \text{ dm}^3$$

$$f_B = h \cdot f_s = 0,9 \cdot 45 = 40,5 \text{ Hz}$$

$$f_3 = f_s \cdot \left(\frac{f_3}{f_s} \right) = 45 \cdot 0,7 = 31,5 \text{ Hz}$$

$$f_0 = \sqrt{f_B \cdot f_s} = \sqrt{40,5 \cdot 45} = 42,69 \text{ Hz}$$



Obr. 1.8 Nomogram pre návrh basreflexovej trubice

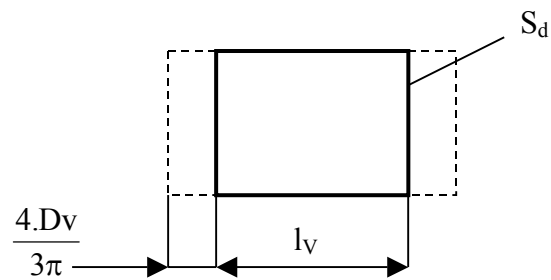
Z nomogramu na Obr. 1.8 si pomocou parametrov V_B a f_B určíme pomer l_V/S_V a na základe podmienky:

$$D_V \geq \sqrt{f_B \cdot V_D} = \sqrt{40,5 \cdot 2,4 \cdot 10^{-4}} = 0,0985 \text{ m} = 9,85 \text{ cm}$$

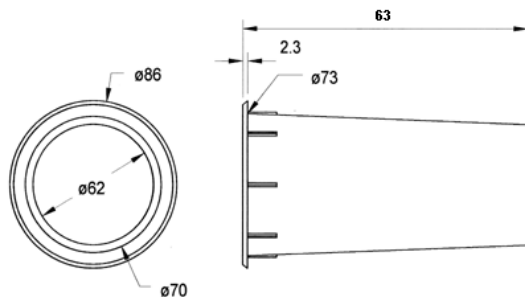
si zvolíme $D_V = 10 \text{ cm}$, ktorému zodpovedá dĺžka $l_V = 10 \text{ cm}$.

Koncové korekcie trubice:

$$\frac{4 \cdot D_v}{3\pi} = \frac{4 \cdot 10}{3\pi} = 4,244 \text{ cm}$$



Obr. 1.9 Koncové korekcie



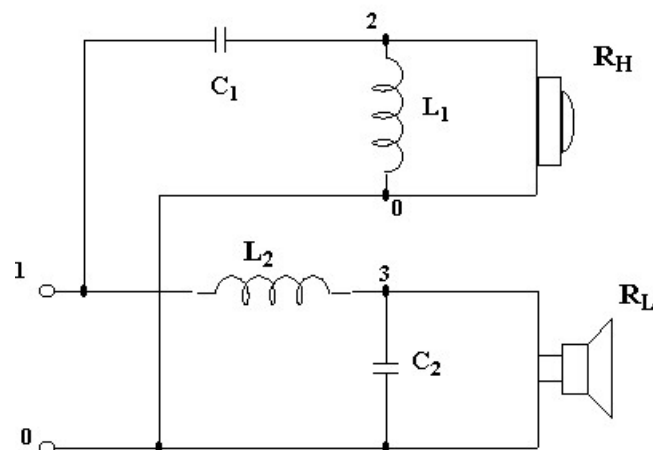
Návrh bassreflexovej trubice som urobil v programe AKABAK a výpočtom.

Výpočet v AKABAKU: $f_b=34.7\text{Hz}$ $V_b=110.57\text{L}$ $dD=7.3\text{cm}$ | $Len=6.289\text{cm}$

3. Blokovú schému zapojenia sústavy, voľbu typu filtrov pre elektrické výhybky, voľbu deliacej frekvencie a analýzu navrhovanej sústavy pomocou makromodelov BassUnit, Speaker a Filter.

Voľba typu filtrov pre elektrické výhybky:

Zvolil som si filtre typu Butthworth rádu 2 pre pokles 12dB/oct, s medznou frekvenciou $f_0=2\text{kHz}$, v závislosti od frekvenčného rozsahu basového a výškového reproduktora. Frekvencia 2kHz je doporučená pre zvolený typ výškového reproduktora.



Obr. 1.10 Butthworthov filter druhého rádu

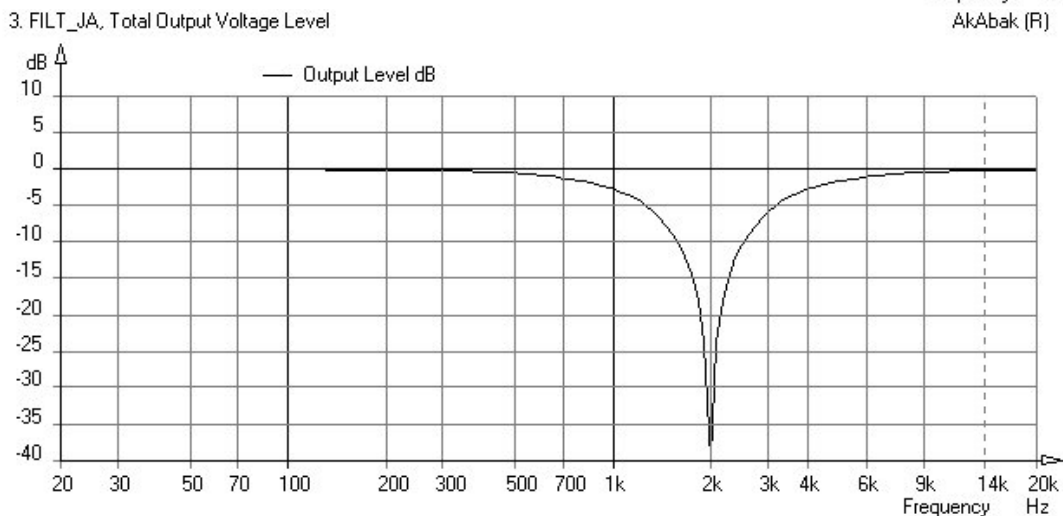
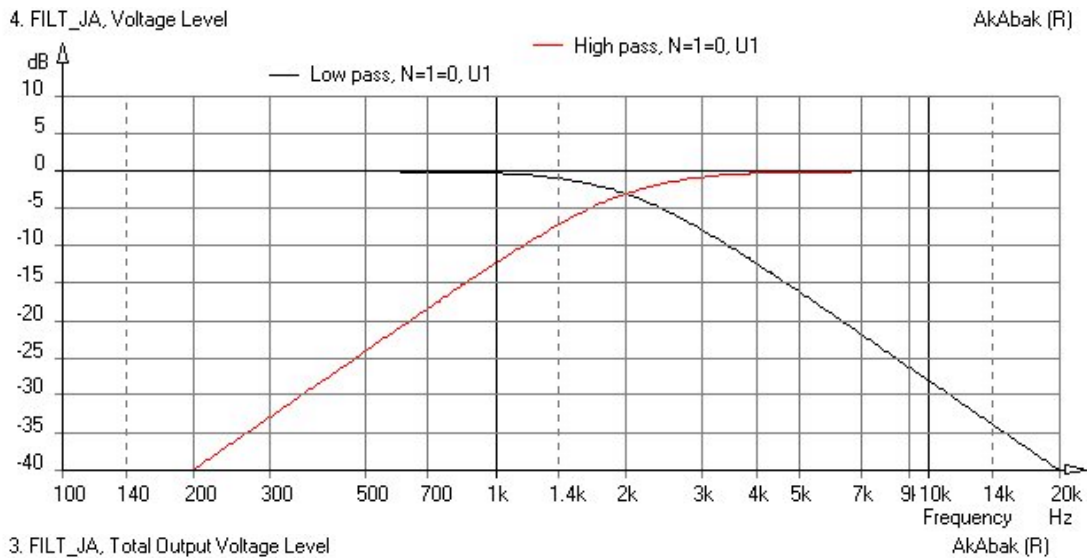
* AkAbak-Example-Script
* Butterworth-pass filter
* 2th order

Simulation:
Single: Menu: Inspect/Voltage Level
Sum: Menu: Sum/Sum Voltage

System 'Low pass'
Filter 'DP1'
fo=2kHz
{b0=1; a2=1; a1=1.414214; a0=1; }

System 'High pass'
Filter 'HP1'
fo=2kHz
{b2=1; a2=1; a1=1.414214; a0=1; }

Výsledky simulácií:



Syntéza zapojenia elektrických filtrov a obvodov kompenzácie elektrických impedancií reproduktorov:

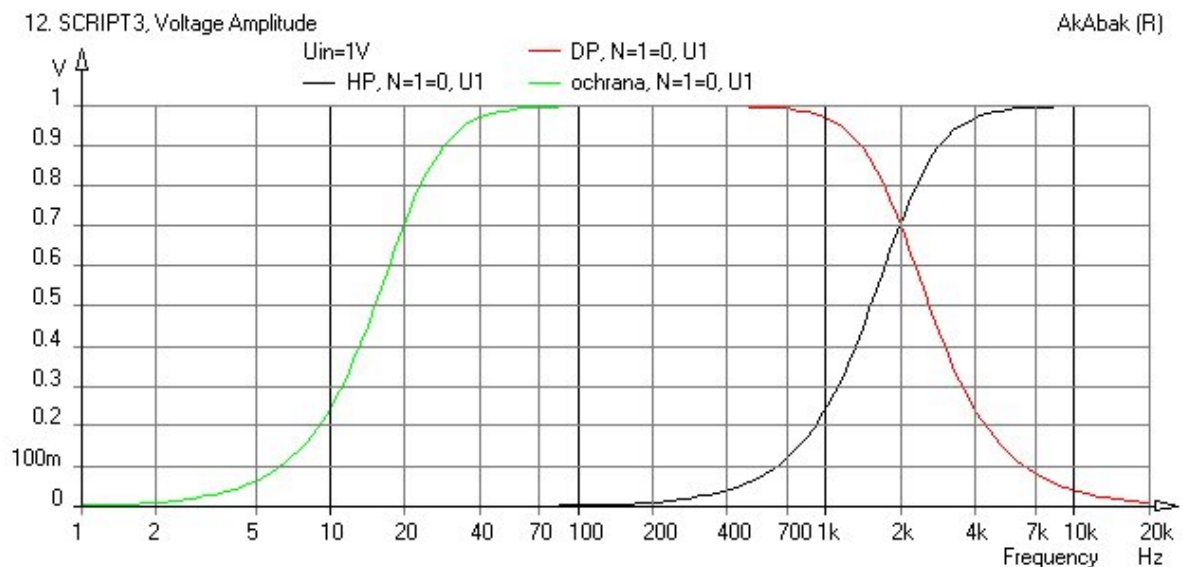
```
*****  
* Skript syntezy filtrov a ochr.odvodov  
*****
```

```
System 'DP'  
  Filter 'DP'  
  fo=2kHz  
  {b0=1; a2=1; a1=1.414214; a0=1; }  
System 'HP'  
  Filter 'HP'  
  fo=2kHz  
  {b2=1; a2=1; a1=1.414214; a0=1; }
```

```
System 'ochrana'  
  Filter 'OCHRANA'  
  fo=20Hz  
  {b2=1; a2=1; a1=1.414214; a0=1; }
```

```
System 'DP-LCR'  
|Damping: 0  
Coil   Node=1=2 L=0.9mH  
Capacitor Node=2=0 C=7.034uF  
Resistor 'RL' Node=2=0 R=8ohm  
System 'HP-LCR'  
|Damping: 0  
Capacitor Node=1=2 C=7.034uF  
Coil   Node=2=0 L=0.9mH  
Resistor 'RL' Node=2=0 R=8ohm  
System 'ochrana-LCR'  
|Damping: 0  
Capacitor Node=1=2 C=0.703mF  
Coil   Node=2=0 L=90.032mH  
Resistor 'RL' Node=2=0 R=8ohm
```

Výsledky simulácií:



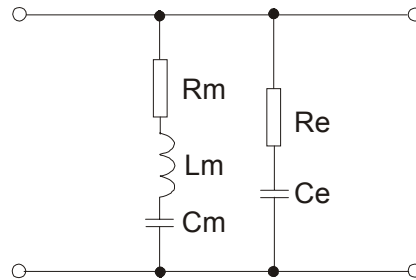
Zapojenie obvodov kompenzácie elektrických impedancií reproduktorov :

Tieto obvody slúžia na potlačenie nárastu elektrickej impedancie v rezonancii (R_m , L_m , C_m) a na potlačenie nárastu reaktancie cievky reproduktora (R_e , C_e). Pre nízkotónový reproduktor som použil iba zapojenie pre kompenzáciu nárastu reaktancie cievky.

Vysokotónový reproduktor má kompenzované aj rezonančné prevýšenie aj nárast reaktancie cievky reproduktora.

Basový reproduktor:
 |Bass:
 |Impedance compensation
 Capacitor Node=1=0 C=0.378F Rs=26.403ohm:

Výškový reproduktor:
 |Vyskac:
 Impedance compensation
 Resistor Node=1=2 R=5.292ohm
 Capacitor Node=2=0 C=0.345uF Rs=0.235ohm
 Capacitor Node=2=0 C=28.47uF Rs=4.659ohm Ls=0



Obr. 1.11

Skript pre kompenzáciu impedancie:

```
Def_BassUnit 'bass vented'
SD=380cm2 |Piston
fs=45Hz Vas=50L Qms=1.9
Qes=0.62 Re=6.5ohm Le=1.1mH ExpoLe=0
Rg=0.1ohm mb=0.95 Xmss=6mm
Vb=110.57L fb=34.7Hz Qb/fo=0.174
|Performance in vented enclosure:
| fsb Qtr fD f3
| 42.8Hz 0.498 496.8Hz 31.2Hz
| SPLmax Pelmax Uomax t60 Ripple
| 94.8dB 3.2W 6.49V 0.14s 51.6mdB

fb=34.7Hz Vb=110.57L dD=7.3cm | Len=6.289cm
```

```
Def_Speaker 'Speaker'
Meas_Dipole
dD=3.2cm |Piston
fs=1.05kHz Mms=0.3g Qms=3.957
Qes=1.567 Re=6.5ohm Le=1.1mH ExpoLe=0
Rg=0.1ohm mb=0.95
```

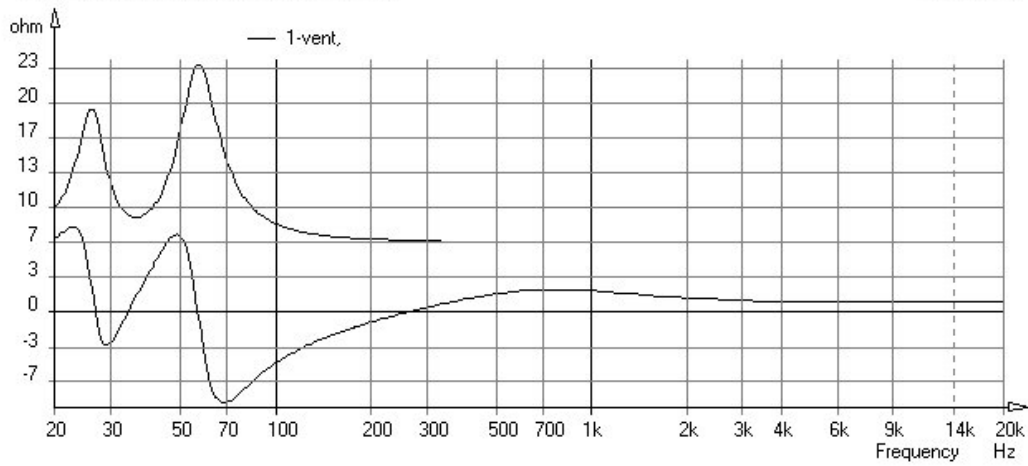
```
System '1-vent'
BassUnit 'bass1-v' Def='bass vented'
Node=1=0
x=0 y=9cm z=0 HAngle=0 VAngle=0
System '2'
Speaker 'speaker' Def='Speaker'
Node=0=1
x=0 y=32cm z=0 HAngle=0 VAngle=0
```

Výsledky simulácií:

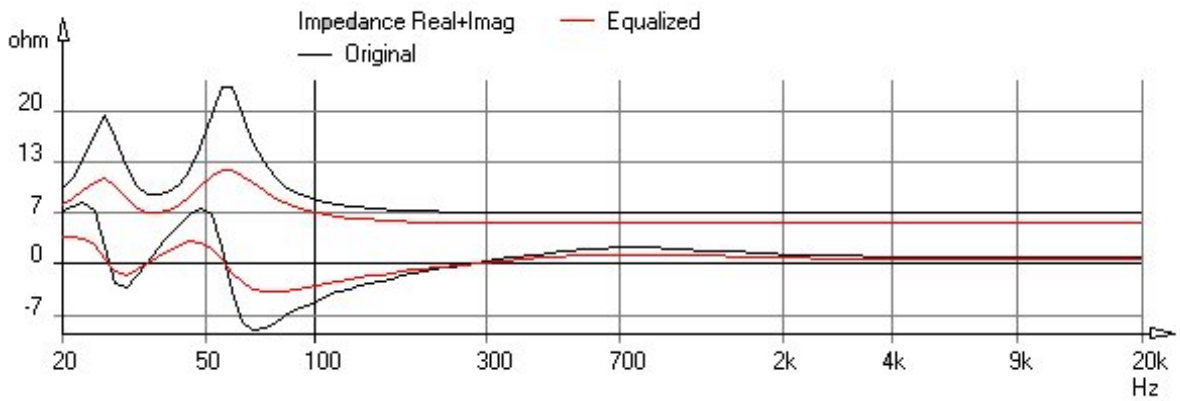
Neprispôsobená impedancia basového reproduktora:

2. MIRD2, Network Impedance Real+Imaginary

AkAbak (R)



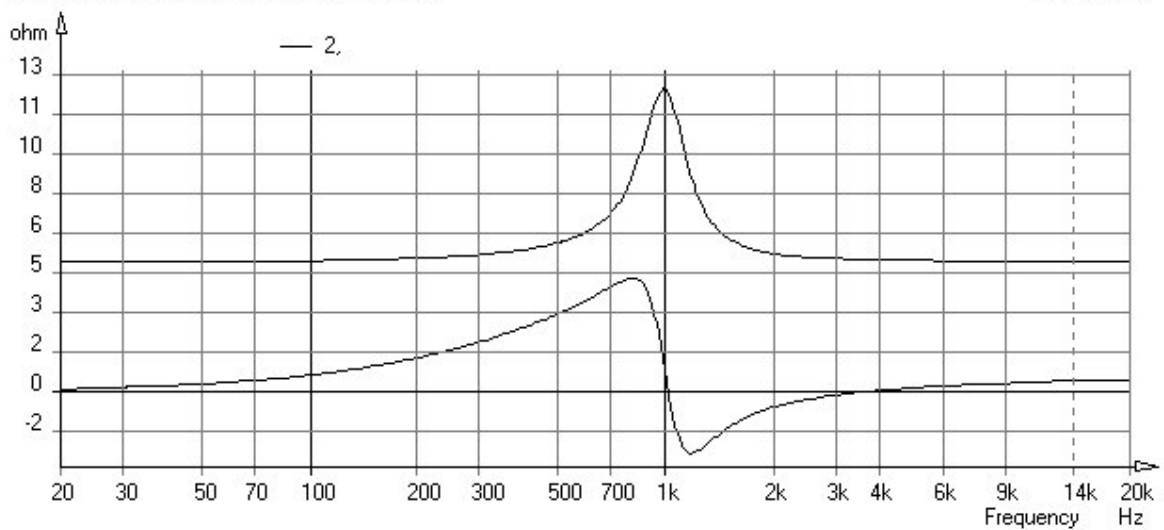
Prispôsobená impedancia basového reproduktora:



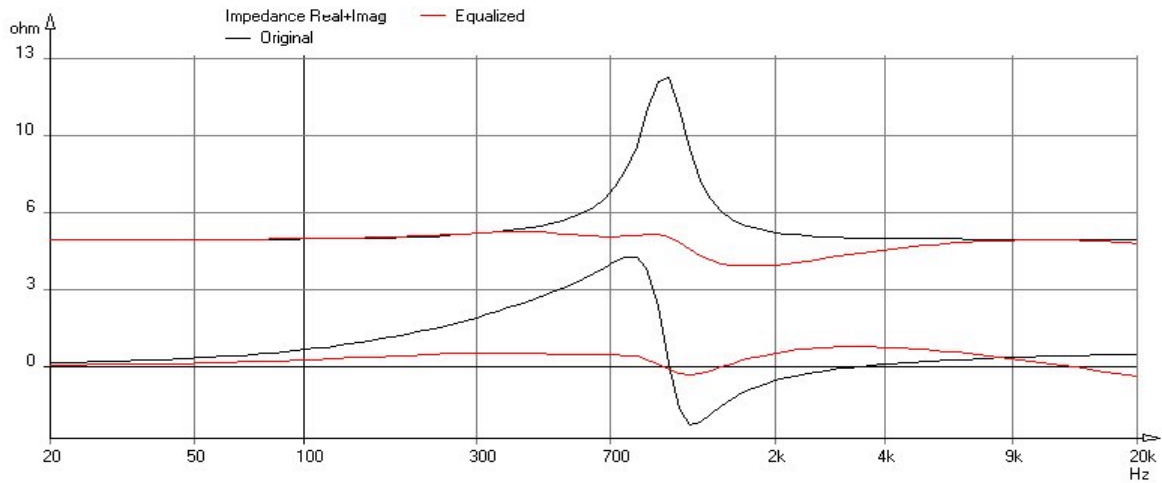
Neprispôsobená impedancia výškového reproduktora:

4. MIRD2, Network Impedance Real+Imaginary

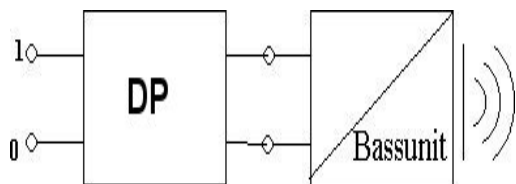
AkAbak (R)



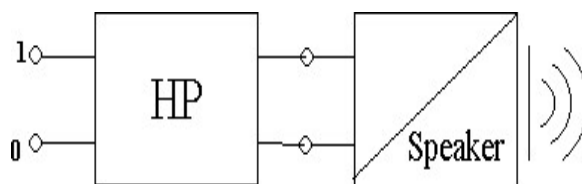
Prispôsobená impedancia výškového reproduktora:



Analýza sústavy pomocou makromodelov:



Obr. 1.12



Obr. 1.13

Skript pre analýzu sústavy pomocou makromodelov:

```
Def_BassUnit 'bass'
SD=380cm2 |Piston
fs=45Hz Vas=47L Qms=1.9
Qes=0.62 Re=6.5ohm Le=1.1mH ExpoLe=0
Rg=0.1ohm mb=0.95 Xmss=6mm
Vb=109.61L Qb/fo=0.1
|Performance in sealed enclosure:
| fc Qtc fD f3
| 51.1Hz 0.533 496.8Hz 72.6Hz
| SPLmax Pelmax Uomax t60 Ripple
| 97.9dB 6.9W 9.56V 17.66ms 0
```

```
Def_BassUnit 'bass vented'
SD=380cm2 |Piston
fs=45Hz Vas=50L Qms=1.9
Qes=0.62 Re=6.5ohm Le=1.1mH ExpoLe=0
Rg=0.1ohm mb=0.95 Xmss=6mm
Vb=110.57L fb=34.7Hz Qb/fo=0.174
|Performance in vented enclosure:
| fsb Qtr fD f3
| 42.8Hz 0.498 496.8Hz 31.2Hz
| SPLmax Pelmax Uomax t60 Ripple
| 94.8dB 3.2W 6.49V 0.14s 51.6mdB
fb=34.7Hz Vb=110.57L dD=7cm | Len=5.661cm
```

Def_Speaker 'Speaker'
 Meas_Dipole
 dD=3.2cm |Piston
 fs=1.05kHz Mms=0.3g Qms=3.957
 Qes=1.567 Re=6.5ohm Le=1.1mH ExpoLe=0
 Rg=0.1ohm mb=0.95

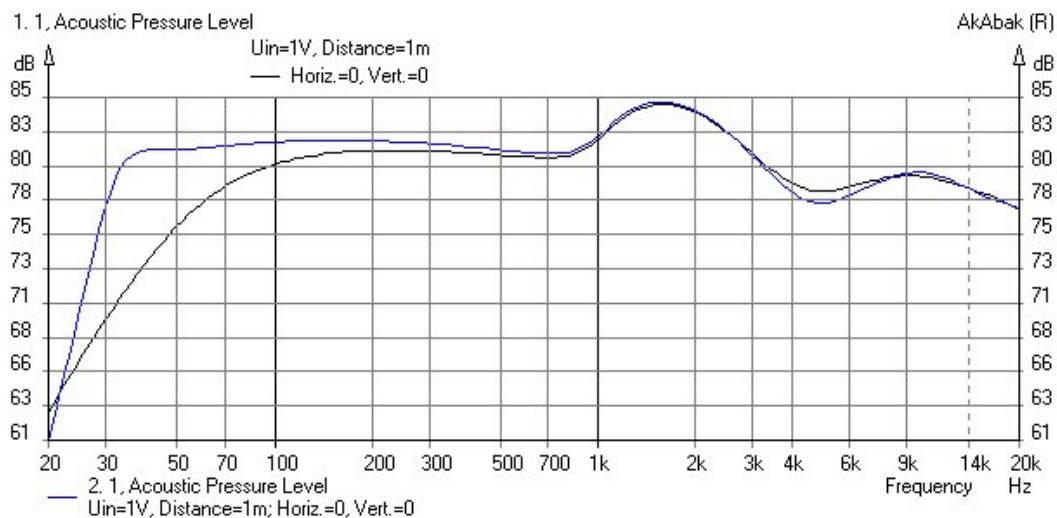
off System '1'
 Filter 'DP'
 fo=2kHz
 {b0=1;
 a2=1; a1=1.414214; a0=1; }
 BassUnit 'bass1' Def='bass'
 Node=1=0
 x=0 y=-11.25cm z=0 HAngle=0 VAngle=0

System '1-vent'
 Filter 'DP'
 fo=2kHz
 {b0=1;
 a2=1; a1=1.414214; a0=1; }
 BassUnit 'bass1-v' Def='bass vented'
 Node=1=0
 x=0 y=-11.25cm z=0 HAngle=0 VAngle=0

System '2'
 Filter 'HP'
 fo=2kHz
 {b2=1;
 a2=1; a1=1.414214; a0=1; }
 Speaker 'speaker' Def='Speaker'
 Node=0=1
 x=0 y=27.5cm z=0 HAngle=0 VAngle=0

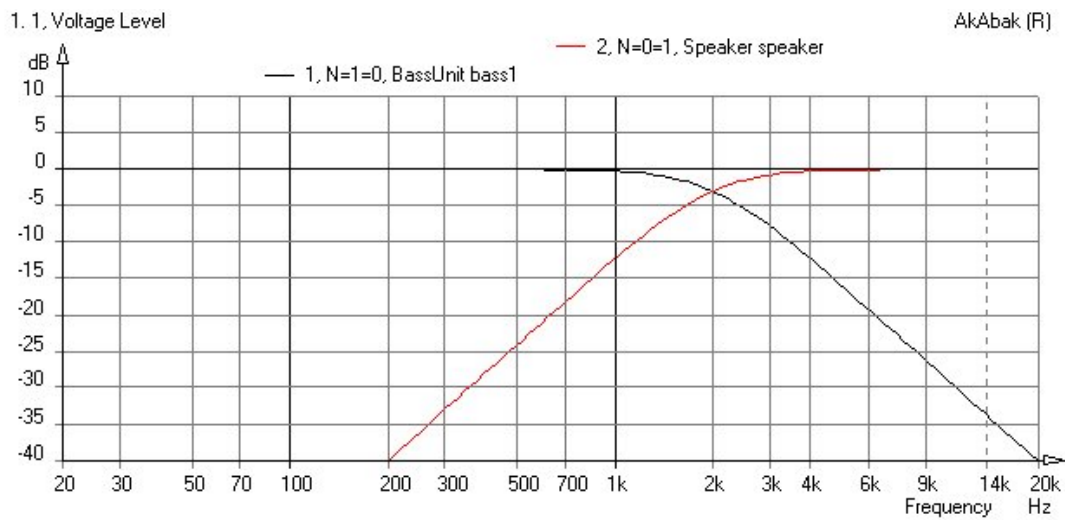
Výsledky simulácií:

Akustický tlak generovaný sústavou :

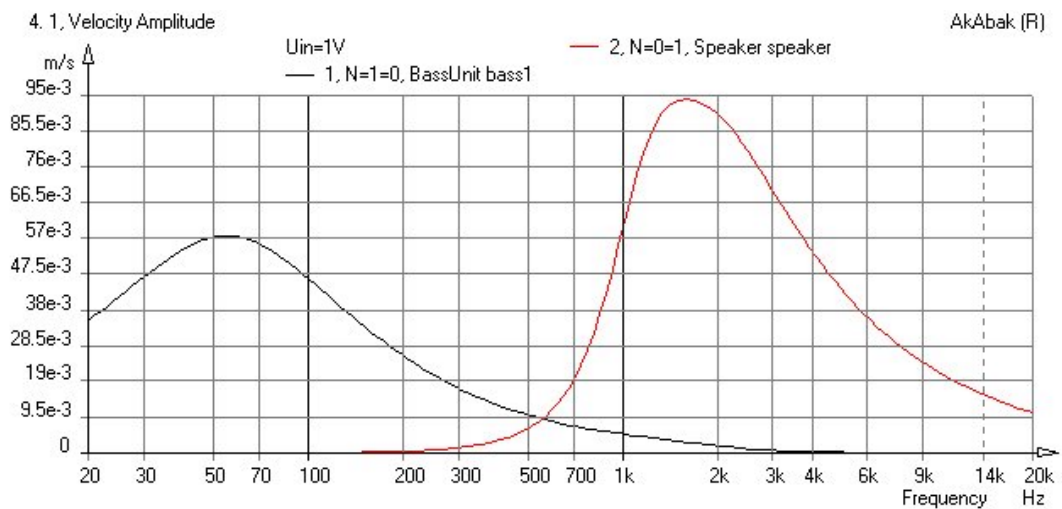


-porovnanie uzavretej a bassreflexovej ozvučnice

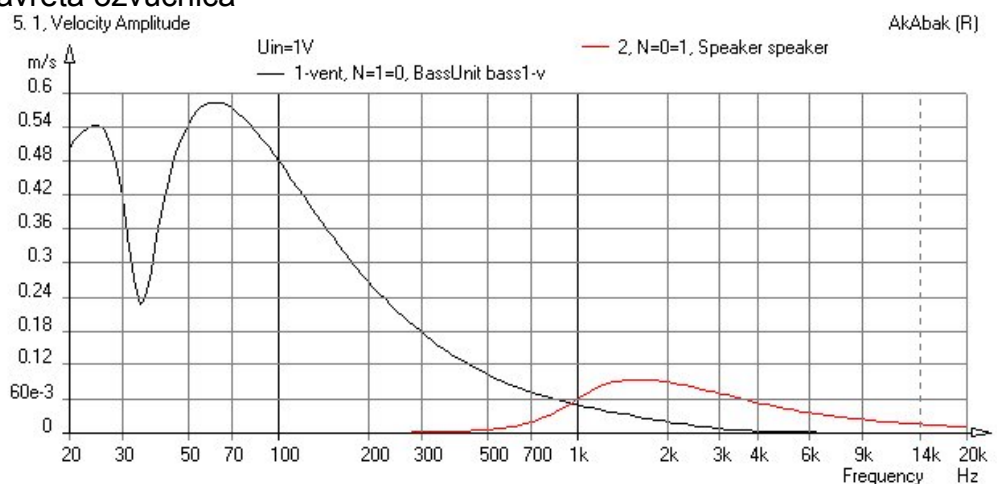
Amplitúdové frekvenčné charakteristiky filtrov :



Objemová rýchlosť generovaná sústavou:

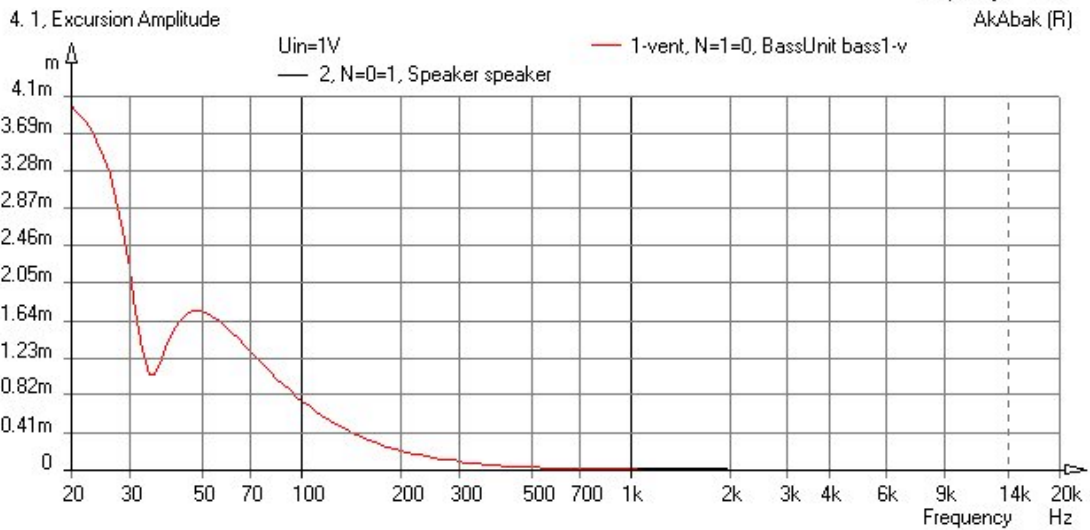
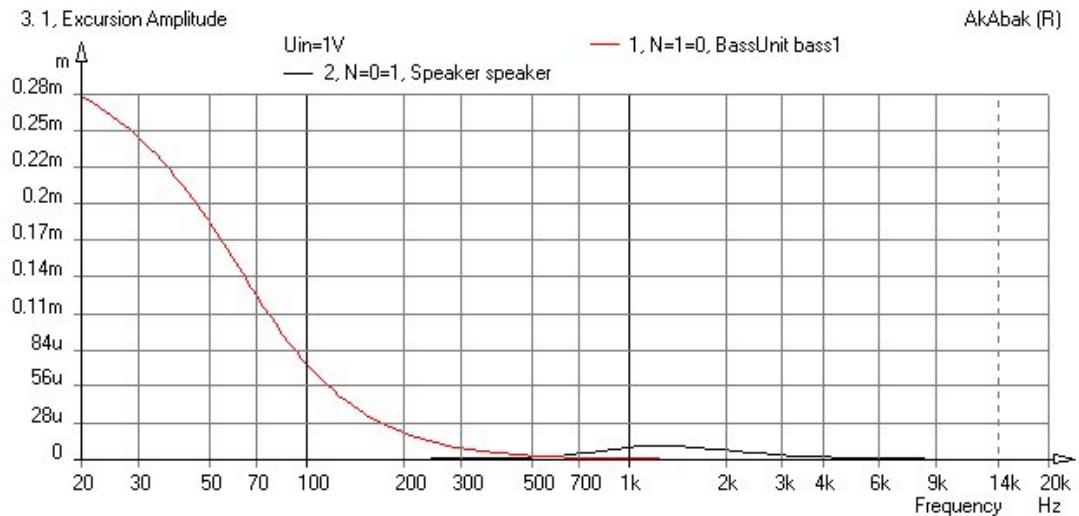


- uzavretá ozvučnica

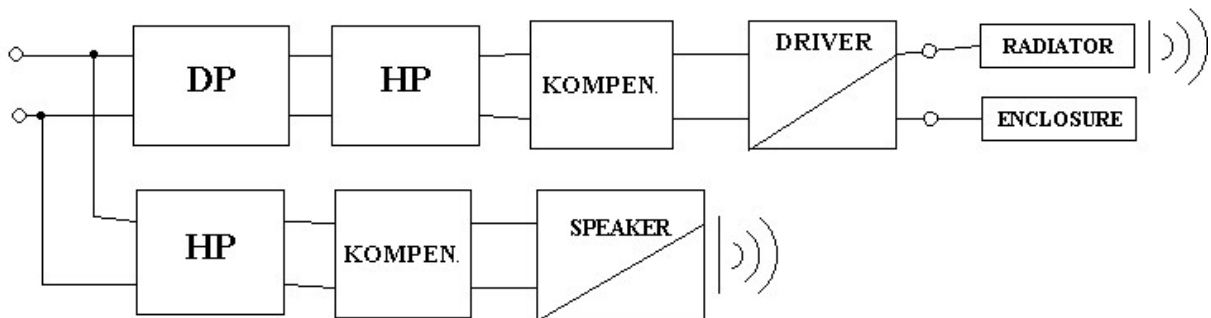


-basserflexová ozvučnica

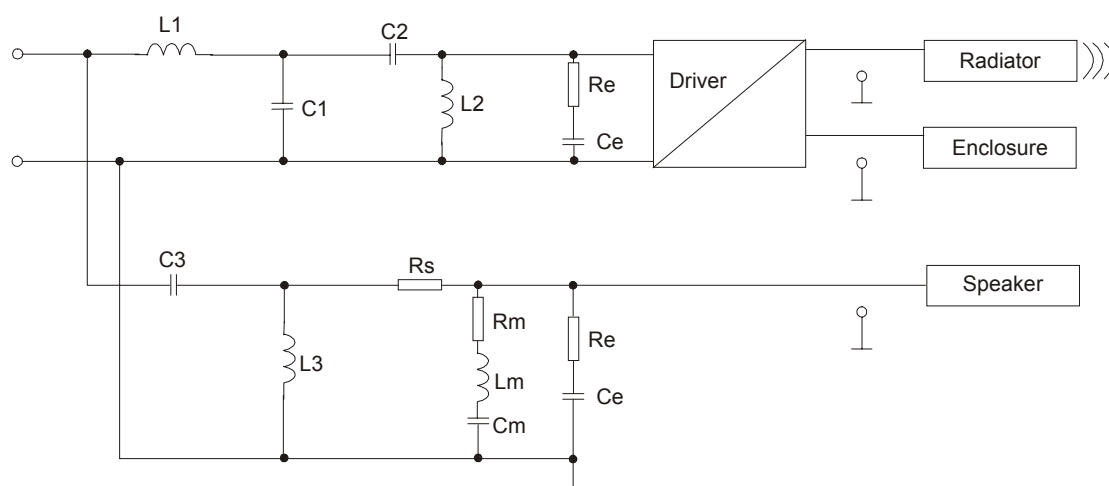
Mechanické výchylky kmitania membrán oboch reproduktorov:



4. Návrh finálneho skriptu a simuláciu navrhnutej sústavy pomocou diskretného zapojenia elektrických filtrov, obvodov kompenzácie elektrických impedancií reproduktorov a makromodelov Driver, Enclosure, Radiator pre nízkotónový a stredotónový reproduktor a Speaker pre vysokotónový reproduktor.



Obr. 1.14 Bloková schéma zapojenia výsledného zapojenia



Obr. 1.15 Výsledná schéma zapojenia pomocou diskretných súčiastok

Výsledný skript sústavy:

```

Def_Driver 'DRV'
  SD=380cm2 |Piston
  fs=45Hz Mms=50g Qms=1.9
  Qes=0.62 Re=6.5ohm Le=1.1mH ExpoLe=0.618
Def_Speaker 'speaker'
  Meas_Dipole
  dD=3.2cm |Piston
  fs=1.05kHz Mms=0.3g Qms=3.957
  Qes=1.567 Re=6.5ohm Le=1.1mH ExpoLe=0.618
  Rg=0.1ohm
Def_Reflector BottomCorner
  Left=60.0cm Bottom=1.8m Right=60.0cm
  HAngle=45.0° VAngle=0

System '1'
  |Damping: 0 DP f0=2kHz
  Coil Node=1=2 L=0.9mH
  Capacitor Node=2=0 C=7.034uF
  Resistor 'RL' Node=2=0 R=8ohm
  |Damping: 1 HP-ochr
  Capacitor Node=2=3 C=0.703mF
  Coil Node=3=0 L=90.032mH
  Resistor 'RL' Node=3=0 R=8ohm
  |Impedance compensation
  Capacitor Node=3=0 C=0.378F Rs=26.403ohm
  Driver 'drv1' Def='DRV'
  Node=3=0=4=5
  Enclosure 'Enclosue' Node=5
  Vb=110.57L Qb/fo=0.174 Lb=31.2cm Long
  fb=34.7Hz dD=7cm
  x=0 y=12cm z=0 HAngle=0 VAngle=0
  dEdge=7cm Reflection
  Radiator 'rad' Def='drv1'
  Node=4
  x=0 y=9cm z=0 HAngle=0 VAngle=0
  WEdge=35cm HEdge=90cm Reflection

```

System '2'

|Damping: 0 HP 2kHz

Capacitor Node=1=2 C=7.034uF

Coil Node=2=0 L=0.9mH

Resistor 'RL' Node=2=0 R=8ohm

|Impedance compensation

Resistor Node=2=3 R=5.292ohm

Capacitor Node=3=0 C=0.345uF Rs=0.235ohm

Capacitor Node=3=0 C=28.47uF Rs=4.659ohm Ls=0.807mH

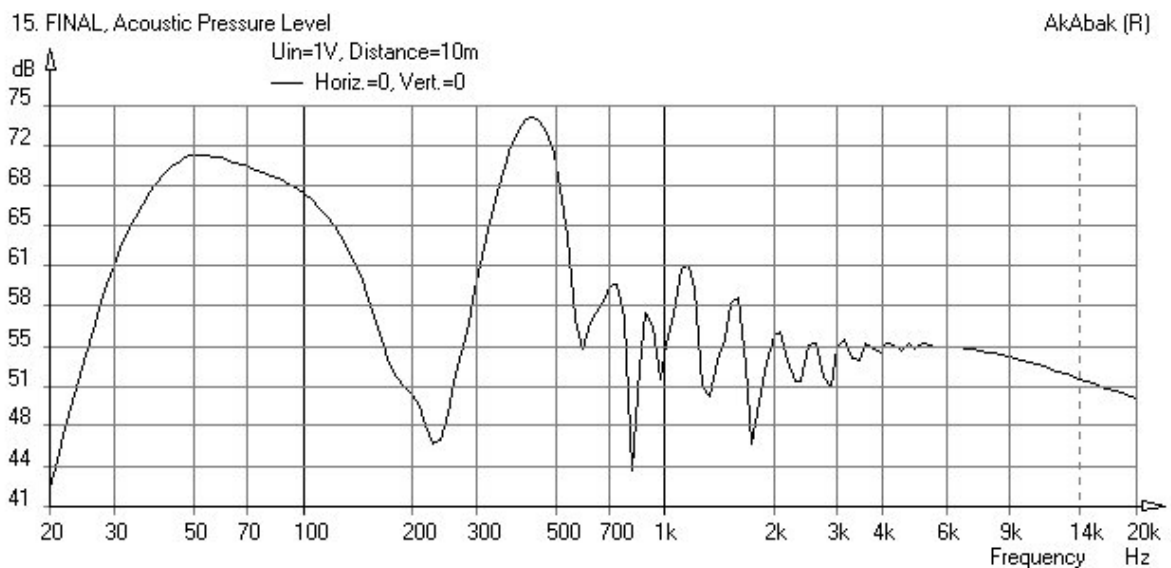
Speaker 'Speaker' Def='speaker'

Node=0=3

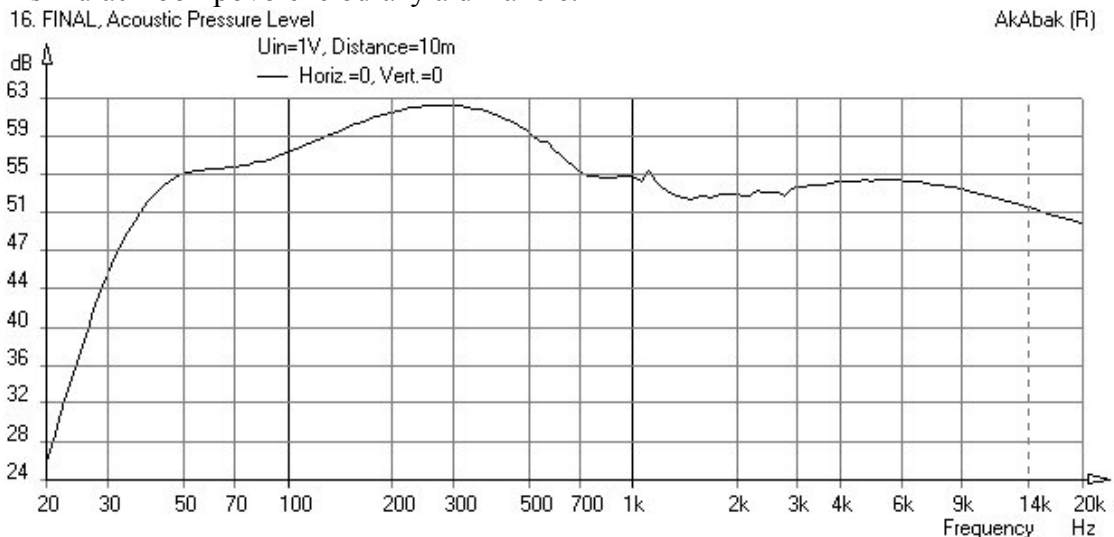
x=0 y=32cm z=0 HAngle=0 VAngle=0

Výsledky simulácií:

Výsledný akustický tlak sústavy :



-pri simulácii boli povolené odrazy a difrakcie.

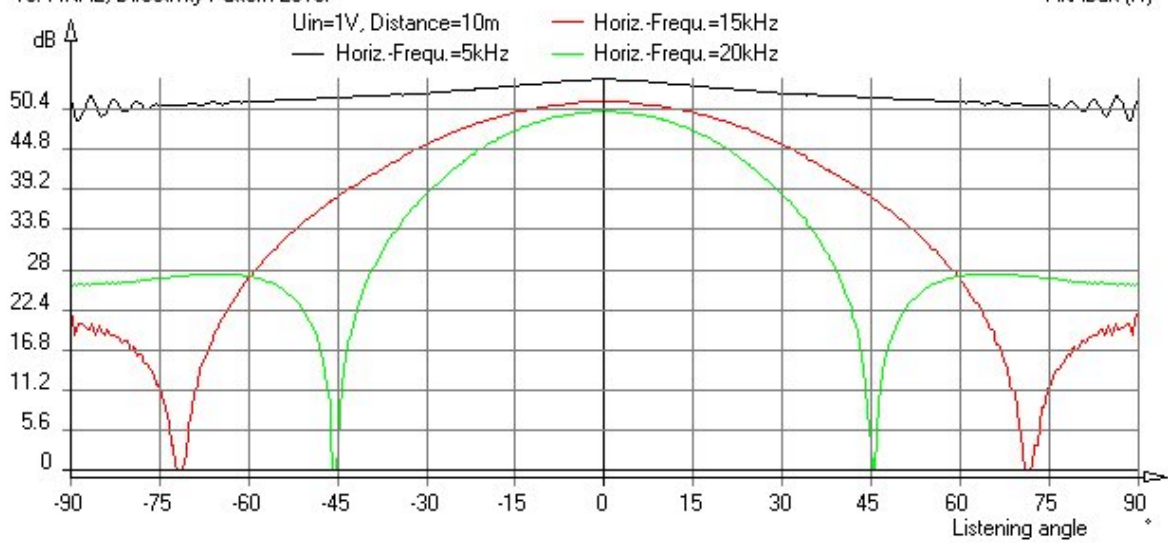


-bez odrazo a difrakcií

Smerová charakteristika sústavy:

19. FINAL, Directivity Pattern Level

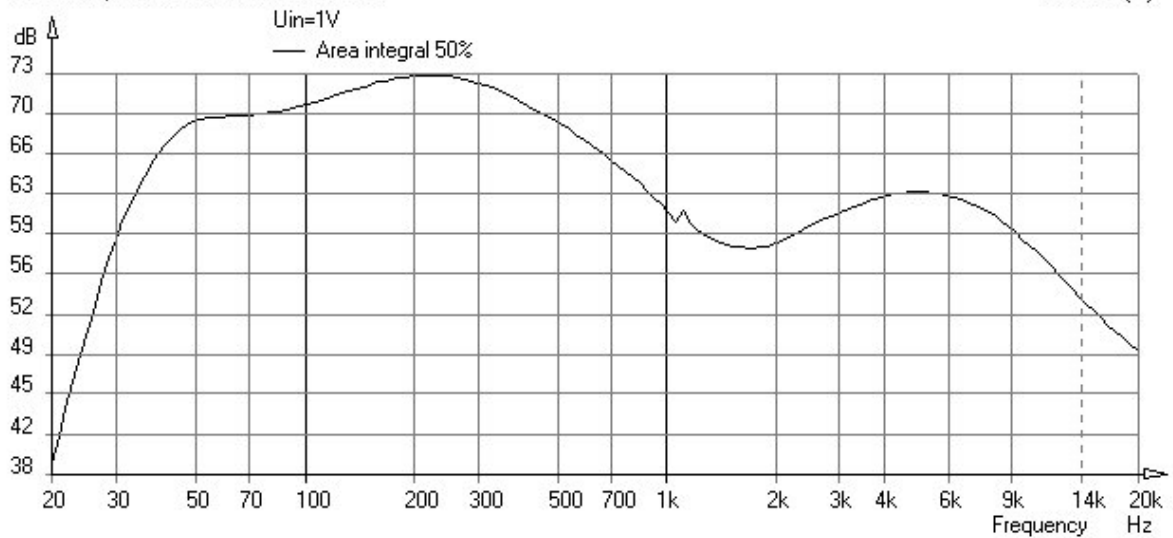
AkAbak (R)



Akustický výkon sústavy :

20. FINAL, Total Acoustical Power Level

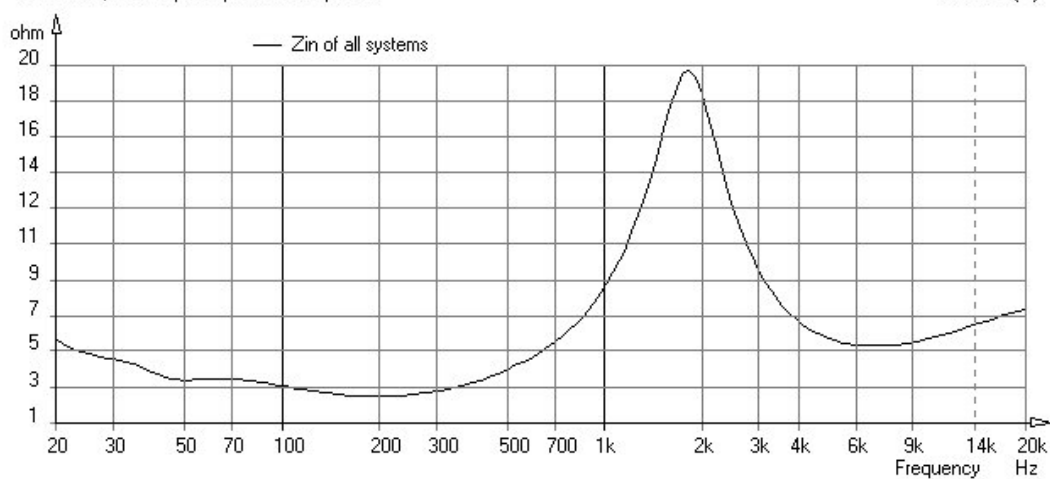
AkAbak (R)



Vstupná impedancia sústavy :

21. FINAL, Total Input Impedance Amplitude

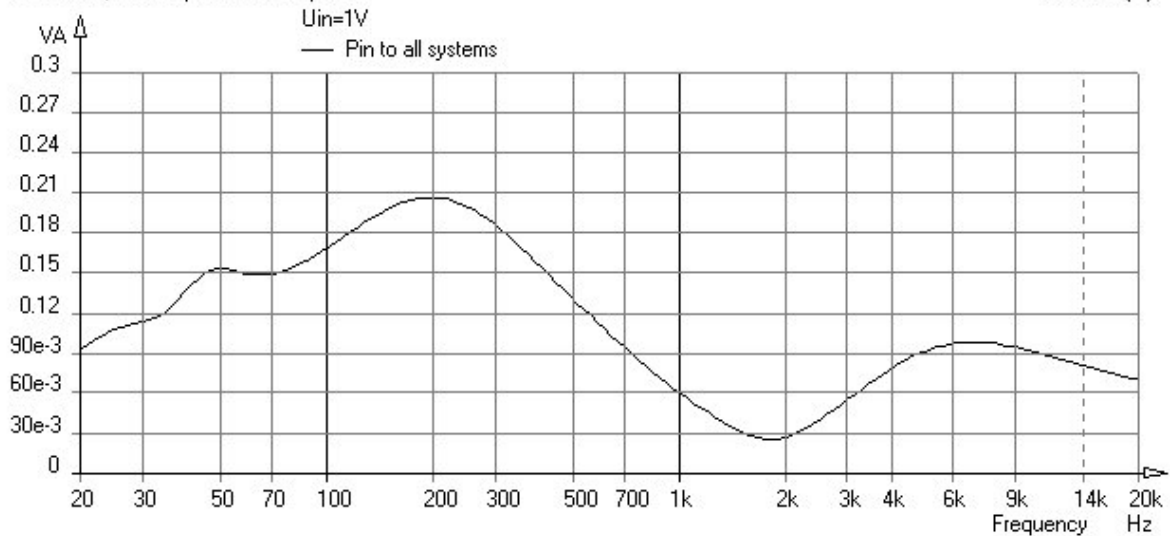
AkAbak (R)



Vstupný príkon sústavy :

22. FINAL, Total Input Power Amplitude

AkAbak (R)



5. Záver a zhodnotenie :

Výpočtami sme v bode 2 overili TS parametre bassového reproduktora udávané v katalógovom liste výrobcu. Zistili sme, že sa len málo líšia.

V syntéze basreflexovej trubice sme teoretickým výpočtom zistili rozmer trubice a charakteristické veličiny Helmolzovho rezonátora.

$V_b=78.33L$, $f_3=31.5\text{Hz}$, $f_0=42.69\text{Hz}$ priemer trubice $dD=10\text{cm}$, dĺžka $l=10\text{cm}$

Výpočet v AKABAKU: $f_b=34.7\text{Hz}$ $V_b=110.57L$ $dD=7.3\text{cm}$ | $l=6.289\text{cm}$ $f_3=31.2\text{Hz}$
Výpočty sa značne líšia preto, lebo som sa v AKABAKU snažil navrhnúť skrinku optimálneho objemu s čo najmenším zvlnením. Pre nulové zvlnenia boli len skrinky nereálnych rozmerov, preto som si zvolil skrinku $V_B=110,5L$ s $\text{Ripple}=0.05\text{dB}$

Navrhnutá reproduktorová sústava má ako vidieť zo závislosti pomerne dobré smerové vlastnosti aj keď so zvyšujúcou frekvenciou sa jej smerovosť zhoršuje.

Výsledný akustický tlak sústavy je vysoký aj keď vzhľadom na difrakcie a odrazy pomerne nestabilný. Výsledný akustický výkon sústavy je asi 73dB, čo umožňuje použitie reproduktorovej sústavy aj vo väčších priestoroch. Boli použité kvalitné reproduktory firmy BEYMA, vyrobené z vysoko kvalitných materiálov. Ich nevýhodou je vysoká cena.

Nevýhoda použitia v domácnosti je prejavenie sa odrazov v malých priestoroch.