

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukce širokopásmového akustického zdroje

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Josef FOŘT**
Osobní číslo: **E14B0337P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Konstrukce širokopásmového akustického zdroje**
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Prostudujte požadavky normy ISO 354 na širokopásmový akustický zdroj použitelný pro měření v dozvukové komoře FEL.
2. Navrhněte koncepci širokopásmového akustického zdroje jako náhrady za používaný typ Yamaha S115.
3. Navržený zdroj realizujte a ověřte jeho parametry.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Oldřich Tureček, Ph.D.
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: 10. října 2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 7. června 2018



Doc. Ing. Jirí Hammerbauer, Ph.D.
děkan

V Plzni dne 10. října 2017



L.S.



Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřená na návrh a konstrukci širokopásmového akustického zdroje, který bude sloužit jako náhrada za používaný akustický zdroj Yamaha S115.

Klíčová slova

Širokopásmový akustický zdroj, dozvuková místnost, Yamaha S115, návrh ozvučnice, návrh dvoupásmové reproduktorové výhybky

Abstract

This bachelor thesis is focused on the design and construction of a broadband acoustic source that will serve as a substitute for the used acoustic source Yamaha S115.

Key words

Full-range sound source construction for measurement in reverberation chamber, Yamaha S115, speaker design, reverberation room, design two-way speaker switch

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 8.6.2018

Josef Fořt

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
1 ÚVOD	10
2 POŽADAVKY NORMY ISO 354	11
2.1 HLUKOVÉ POZADÍ V DOZVUKOVÉ KOMOŘE	11
3 STÁVAJÍCÍ ŘEŠENÍ YAMAHA S115	14
4 NÁVRH NOVÉ REPROSOUSTAVY	16
4.1.1 <i>Basový reproduktor</i>	16
4.1.2 <i>Výškový reproduktor</i>	17
4.2 NÁVRH OZVUČNICE.....	17
4.3 NÁVRH REPRODUKTOROVÉ VÝHYBKY.....	21
4.3.1 <i>Kompenzace indukčnosti kmitačky basového reproduktoru</i>	23
4.3.2 <i>Kompenzace indukčnosti výškového reproduktoru</i>	24
4.3.3 <i>Vyrovnaní citlivosti basového a výškového reproduktoru</i>	24
4.3.4 <i>Výkonové ztráty na útlumových rezistorech</i>	25
ZÁVĚR	27
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	28
SEZNAM PŘÍLOH	1
PŘÍLOHY	2

Seznam symbolů a zkratek

- SPL_{max}... maximální akustický tlak [dB]
SPL... charakteristická citlivost reproduktoru [dB]
P... Příkon reproduktoru [W]
f... frekvence [Hz]
L... Hladina akustického tlaku [dB]
Leq... Ekvivalentní hladina akustického tlaku [dB]
L_{max}... maximální hladina akustického tlaku [dB]
c... rychlost šíření zvuku [m/s]
 λ ... vlnová délka lambda [m]
L1... indukčnost filtru dolní propust [mH]
C1... kapacita filtru dolní propust [uF]
L4... indukčnost filtru horní propust [mH]
C4... kapacita filtru horní propust [uF]
Z... impedance reproduktoru [Ω]
Re... stejnosměrný odpor kmitací cívky [Ω]
R1... rezistor kompenzující indukčnost kmitačky basového reproduktoru [Ω]
C2... Kondenzátor kompenzující indukčnost kmitačky basového reproduktoru [uF]
L2... indukčnost kmitací cívky [mH]
R7... rezistor kompenzující indukčnost výškového reproduktoru [Ω]
R6... impedance výškového reproduktoru [Ω]
C5... Kondenzátor kompenzující indukčnost výškového reproduktoru [uF]
L5... indukčnost výškového reproduktoru [mH]
R4... rezistor děliče snižující citlivost výškového reproduktoru [Ω]
R5... rezistor děliče snižující citlivost výškového reproduktoru [Ω]
A... Útlum [dB]
I... celkový proud [A]
R... odpor výškového reproduktoru [Ω]
I_{r4}... proud tekoucí rezistorem R4 [A]
I_{r5}... proud tekoucí rezistorem R5 [A]
I_{r6}... Proud tekoucí rezistorem R6 [A]
Pr4... výkonové ztráty rezistoru R4 [W]
Pr5... výkonové ztráty rezistoru R5 [W]

Vg1...zdroj signálu reproduktorové soustavy

Vm1...voltmetr v basové větvi

Vm2...voltmetr ve výškové větvi

T-S... Thiele/Small parametry

1 Úvod

Úkolem této bakalářské práce je navrhnout koncepci širokopásmového akustického zdroje, který se bude používat v dozvukové komoře FEL pro měření zvukové pohltivosti. Navržený reprobox bude sloužit místo stávajícího akustického zdroje Yamaha S115. Po prostudování parametrů Yamahy S115 byly vybrány basový a výškový reproduktor a podle těchto reproduktorů navržena a následně zkonstruována ozvučnice a reproduktorová výhybka.

2 Požadavky normy ISO 354

Reprobox bude používán pro měření v dozvukové komoře. Pro měření doby dozvuku se používá metoda přerušovaného šumu. Buzení místnosti signálem před dozvukovým poklesem musí být natolik dostatečné, aby dolní hladina vyhodnocovaného rozmezí byla nejméně 10 dB nad hladinou akustického tlaku pozadí, dále je potřeba přičíst dalších 60 dB nad hladinu akustického tlaku pozadí, při kterých se měří doba dozvuku a dalších 10dB do maximálního SPL [5].

Mezní akustický tlak Yamahy S115 je vypočtený z citlivosti a výkonu podle vztahu (1).

$$SPL_{\max} = SPL + 10 \log P = 99 + 10 \log 250 = 123 \text{ dB}_{\max} \quad (1)$$

Kmitočtovým rozsahem metody se rozumí měření v třetinooktávných pásmech s následujícími kmitočty [5].

Tabulka č. 1 *Kmitočtový rozsah metody*

f[Hz]	100	125	160	200	250	315	400	500	630
	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000

2.1 Hlukové pozadí v dozvukové komoře

Vliv hlukového pozadí budovy na dozvukovou komoru je znázorněn v grafech na obrázcích č. 1 a č. 2. Hodnoty akustického tlaku potřebné pro měření s odstupem 80dB nad hlukovým pozadím jsou pro jednotlivá kmit. pásma uvedeny v tabulce č. 2.

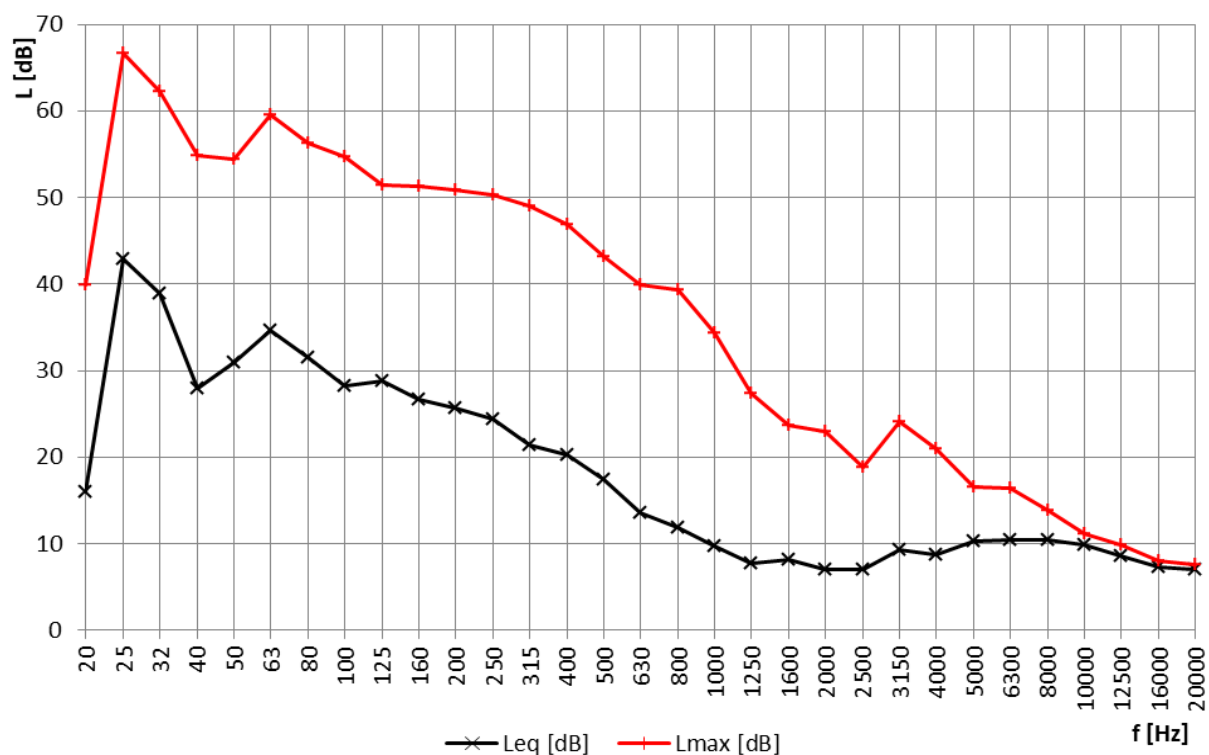
Příklad výpočtu hodnoty SPL pro frekvenci 100Hz.

$$SPL = L_{\max} + 80 \text{ dB} = 54,7 + 80 = 134,7 \text{ dB} \quad (2)$$

Tabulka č. 2 Hodnoty SPL při určitých frekvencích

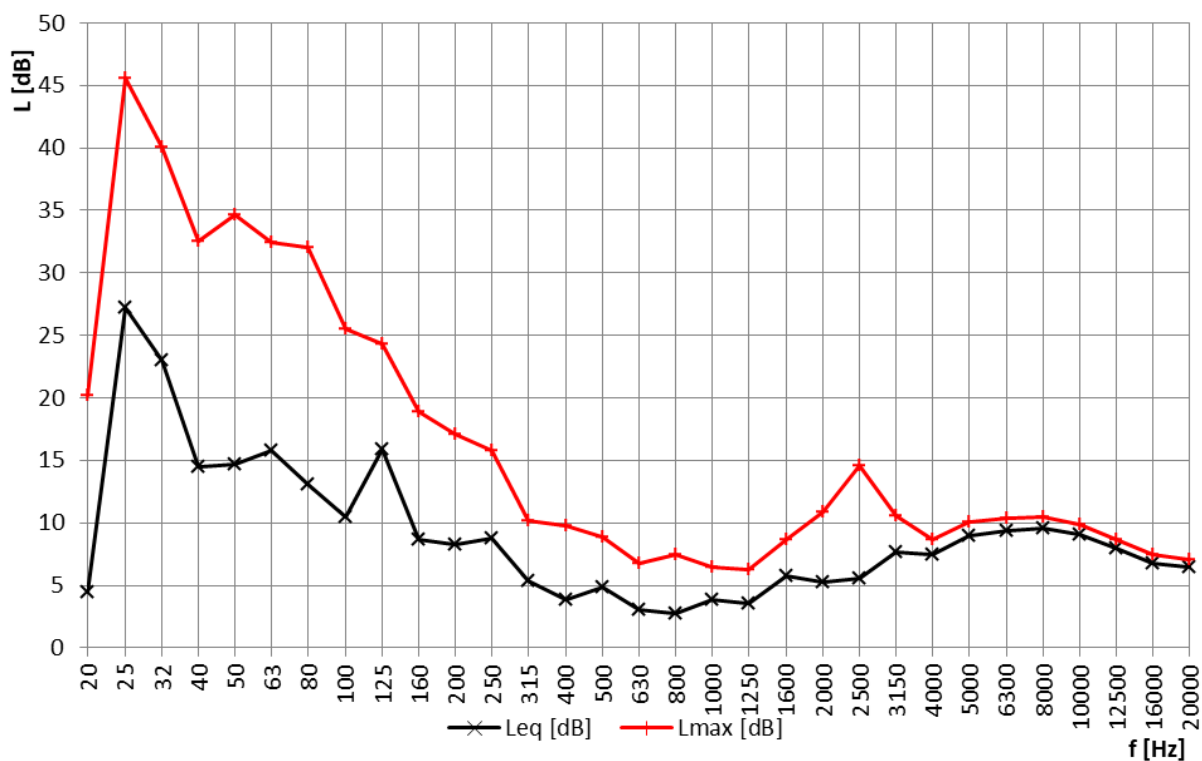
f[kHz]	0,1	0,125	0,16	0,2	0,25	315	0,4	0,5	0,63	0,8	1	1,25
SPL [dB]	135	131	131	131	130	129	127	123	120	119	114	107
f[kHz]	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20
SPL [dB]	104	103	99	104	101	97	97	94	91	90	88	88

První měření bylo provedeno mezi 9-10 hodinou dopoledne, což znamená, že hluk budovy se negativně promítne do výsledků měření, avšak v těchto hodinách se měření normálně provádějí (Obrázek č. 1).



Obrázek č. 1 Hlukové pozadí mezi 9-10 hodinou

Druhé měření je z pozdních večerních hodin a to od 22 do 23 hodin. Hluk je sice podstatně nižší, ale v těchto hodinách se v dozvukové komoře moc neměří (Obrázek č. 2).



Obrázek č. 2 Hlukové pozadí mezi 22-23 hodinou

Vyhodnocování dozvukových křivek pro každé kmitočtové pásmo (Tabulka č. 2) začíná 5dB pod počáteční hladinou akustického tlaku. Rozmezí vyhodnocování musí být 20 dB. Dolní mez vyhodnocovaného rozmezí musí být nejméně 10 dB nad celkovým šumem pozadí měřícího systému [5].

3 Stávající řešení Yamaha S115

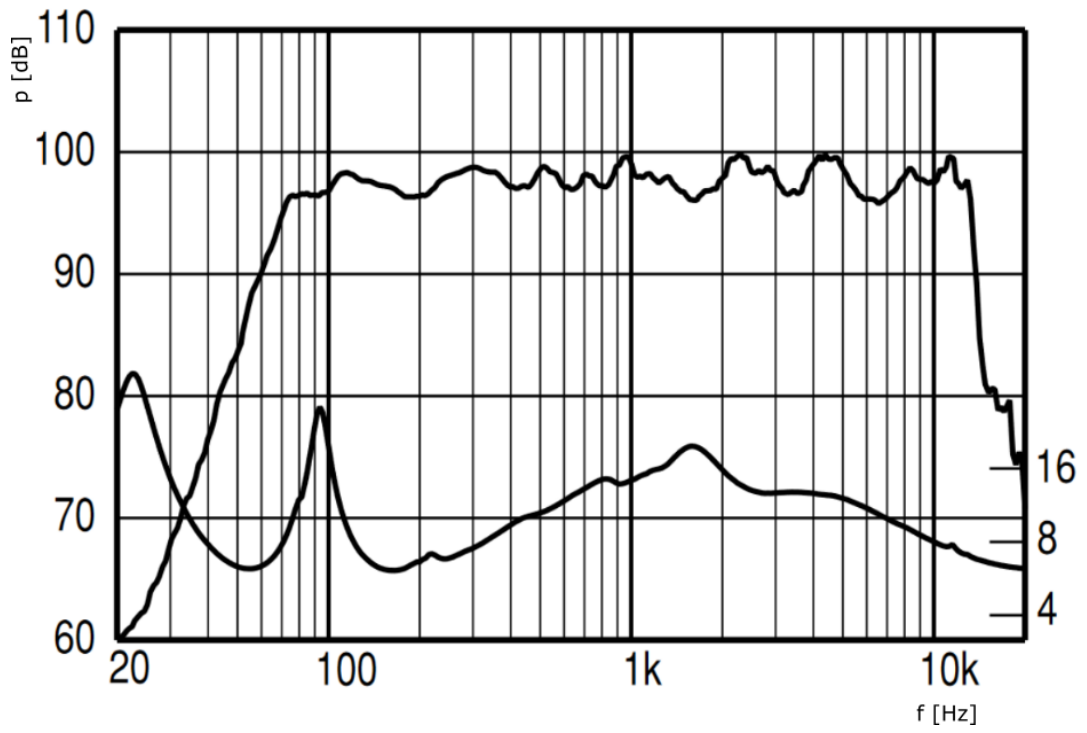
Yamaha S115 je pasivní dvoupásmový reprobox s maximálním akustickým tlakem 123 dB vypočteným podle vztahu (1). Dělicí frekvence výhybky mezi basovým a výškovým reproduktorem je 1,7 kHz. Směrnost zvukovodu výškového reproduktoru je 90° H x 40° V, což znamená, že tento reprobox není všesměrový. Měření probíhá v difúzním poli a tak akustický zdroj by měl být všesměrový. Když použijeme směrový zdroj, zkusíme využít odraz od co nejvíce stěn, tedy rohu a té difuzity zvukového pole. Tento postup je vyzkoušený empiricky.

Parametry:

- Typ: 2 pásmový
- Výkon: 250 W
- Výkon RMS: 250 W
- Citlivost: 99 dB
- Impedance: 8 Ohm
- Basový reproduktor: 15 "
- Výškový reproduktor: 2 "
- Frekvenční rozsah: 55 Hz - 16 kHz
- Hnízdo 36 mm: Ano
- Šířka: 489 mm
- Výška: 719 mm
- Hloubka: 377 mm
- Hmotnost: 29,4 kg
- Barva: Černá

Kompletní parametry reproboxu Yamaha S115 jsou uvedeny v katalogovém listu [6].

Grafy amplitudové frekvenční charakteristiky a impedanční charakteristiky udávané výrobcem jsou na obrázku č. 3.



Obrázek č. 3 Frekvenční amplitudová charakteristika Yamahy S115 [6]

4 Návrh nové reprosoustavy

Cílem této bakalářské práce je návrh širokopásmového akustického zdroje. To znamená reprodukovat frekvenční pásmo od 100 Hz do 20 kHz. Dosáhnout tohoto požadavku jedním reproduktorem je zcela nemožné. Řešením je dvoupásmová reprodukce, která spočívá v rozdělení akustického pásma mezi basový a výškový reproduktor [1]. Dalším požadavkem na výslednou amplitudovou charakteristiku je co nejmenší zvlnění v požadovaném frekvenčním pásmu. Reproductory byly vybrány na základě požadované mezní hladiny akustického tlaku.

Hladina mezního akustického tlaku pro vybraný basový reproduktor je dána vztahem (3), kde SPL je citlivost basového reproduktoru a P je příkon reproduktoru.

$$SPL_{\max} = SPL + 10 \log P = 99 + 10 \log 350 = 124,5 \text{ dB} \quad (3)$$

4.1.1 Basový reproduktor

Určuje vnitřní objem skříně, celkovou účinnost soustavy a maximální standardní příkon pro nezkreslenou reprodukci. V mém případě byl na základě požadované mezní hladiny akustického tlaku vybrán hlubokotónový reproduktor 12PLB76 8/ohm od výrobce B&C speakers. Kompletní specifikace parametrů [4].

Specifikace:

Nominální průměr 12"

Zatížitelnost 350W

Impedance 8 Ω

Citlivost (1W/1m) 99dB

Frekvenční rozsah 50 – 2000kHz

Průměr cívky 76mm

Rezonanční kmitočet F_s 50Hz

Činný odpor kmitací cívky R_e 5,3 Ω

Celkový činitel jakosti Q_{ts} 0,32

Ekvivalentní objem V_{as} 75l

Účinnost: 3,8%

Maximální výchylka membrány X_{max} ± 5 mm

4.1.2 Výškový reproduktor

Výškový reproduktor je schopen pracovat od frekvence 1,5 kHz. Při návrhu dělicí frekvence je u těchto reproduktorů třeba dát pozor na nízké frekvence, protože tyto frekvence vysokotónový reproduktor ohrožují. Jako nejlepší kompromis mezi výškovými reproduktory byl vybrán typ DE980TN 8/ohm od stejného výrobce jako basový reproduktor. Kompletní specifikace parametrů [7].

Specifikace:

Zatížitelnost 110W

Impedance 8Ω

Citlivost 108,5 dB

Frekvenční rozsah 500 – 18kHz

Doporučená dělicí frekvence 102kHz

Průměr cívky 75mm

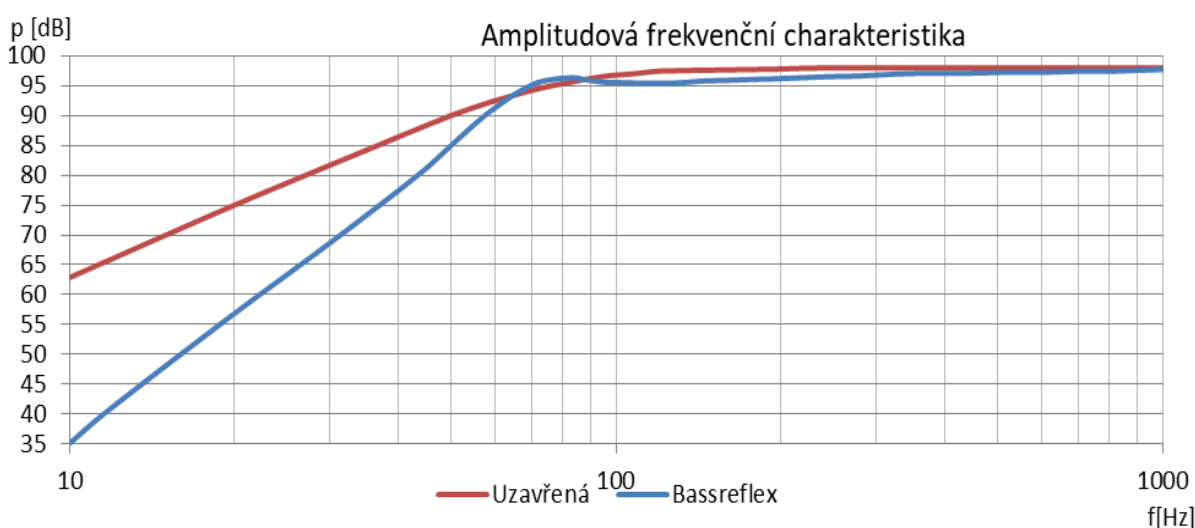
Materiál membrány Titan

Materiál magnetu Neodymium

4.2 Návrh ozvučnice

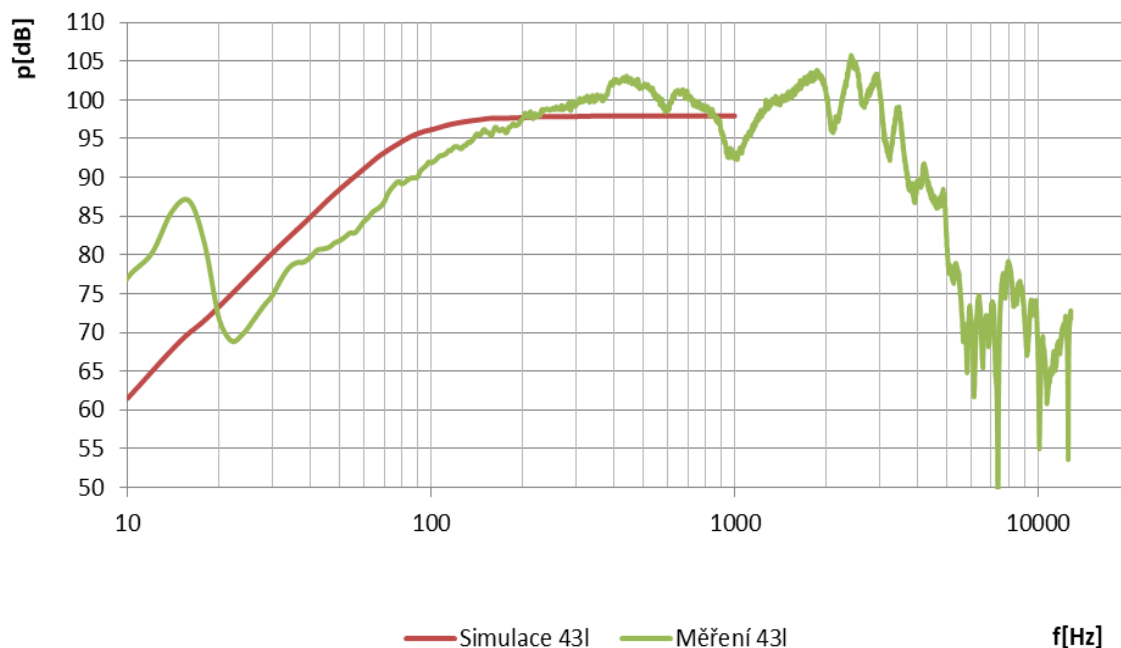
Po výběru reproduktorů přichází na řadu rozhodnout, která ozvučnice bude lépe vyhovovat výsledným požadavkům. Po zadání T-S parametrů do simulačního programu poskytnutým vedoucím práce p. Turečkem, vychází pro uzavřenou ozvučnici jako nejrozumnější objem ozvučnice 60 litrů. Při tomto objemu je frekvence ozvučnice 69,6 Hz. Pokud bychom chtěli tuto frekvenci snížit tak to bude za cenu zvětšení objemu a jelikož například při objemu 80 litrů je citlivost na nižších frekvencích jen nepatrně větší tak se toto zvětšení z praktického hlediska nevyplatí.

U simulace pro bassreflexovou ozvučnici bylo potřeba kromě objemu ozvučnice zjistit také průměr a délku nátrubku. Jako nejlepší volba se zdá ozvučnice s objemem 42 litrů průměrem nátrubku 150mm a průměrem 147mm. Aby bylo možné oba průběhy amplitudové frekvenční charakteristiky porovnat, bylo zapotřebí oba průběhy dát do společného grafu. Z tohoto porovnání se jeví jako jednoznačná volba uzavřená ozvučnice, protože bassreflexová ozvučnice má lepší citlivost jen od 65 Hz do 85 Hz. Porovnání je názorně vidět na obrázku č. 4.



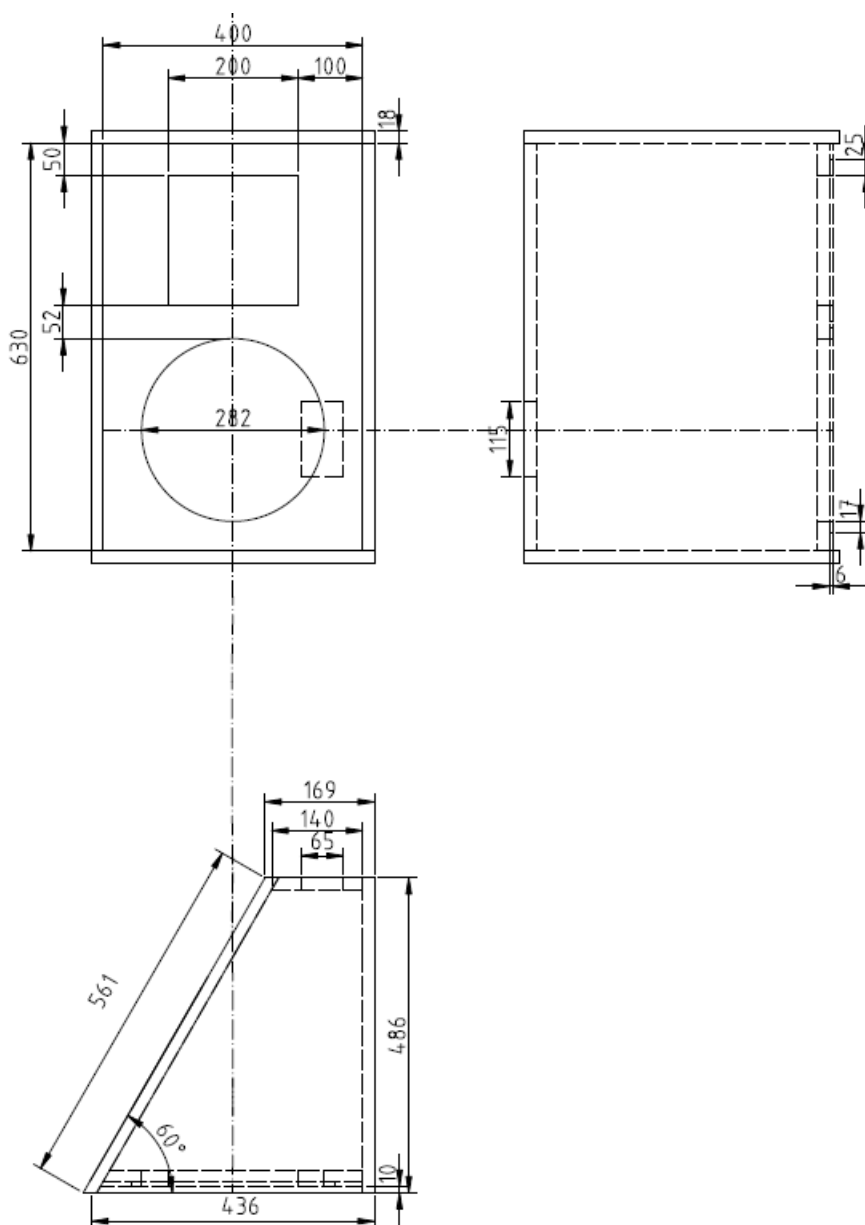
Obrázek č. 4 Simulovaná amplitudová frekvenční charakteristika

Pro zjištění dělicí frekvence mezi basovým a vysokotónovým reproduktorem byla zvolena metoda zabudování basového reproduktoru do menší již zhotovené ozvučnice. Ta má vnitřní objem 43 litrů. Následně byla na tomto reproboxu umístěném v dozvukové komoře naměřena amplitudová frekvenční charakteristika a porovnána s výsledkem simulačního programu.



Obrázek č. 5 Porovnání simulace a měření v ozvučnici 43 litrů

Jako materiál pro konstrukci ozvučnice byla vybrána buková překližka. Má dobré vlastnosti z hlediska tuhosti, což se projeví na vyšší ceně i hmotnosti než u jiných typů překližek. Protože síla použité bukové překližky je 18mm je zapotřebí reproduktorovou skříň vystužit, aby se po následné manipulaci nepoškodila. Přední strana bude zesílena o dalších 6mm. Jak zvukovod výškového reproduktoru tak basový reproduktor budou zapuštěny o již zmíněných 6mm kvůli případným difracím. Výstupy nebo žebrování má i další potřebnou vlastnost a to je předělení velkých ploch. Těmito plochami se totiž šíří zvuková vlna a může vzniknout stojaté vlnění. Jak již bylo psáno tak objem ozvučnice byl zvolen 60l. To je však čistý objem, který je potřeba zachovat a tak výsledný objem musí být navýšen o “věci “ nacházející se uvnitř bedny. Celkový objem je pak 77 litrů. Náčrtek celého reproboxu je na obrázku č.6.



Obrázek č.6 Náčrtek ozvučnice

Tlumicí materiál uvnitř ozvučnice bude nalepen na všech stěnách kromě přední, kde se díky vysokofrekvenčnímu reproduktoru se zvukovodem a basovému reproduktoru moc místa na tlumicí materiál nenachází. Touška tlumicího materiálu byla zvolena 4cm. Jako materiál byl vybrán Basotect, což je melaninová pěna od výrobce Basf .

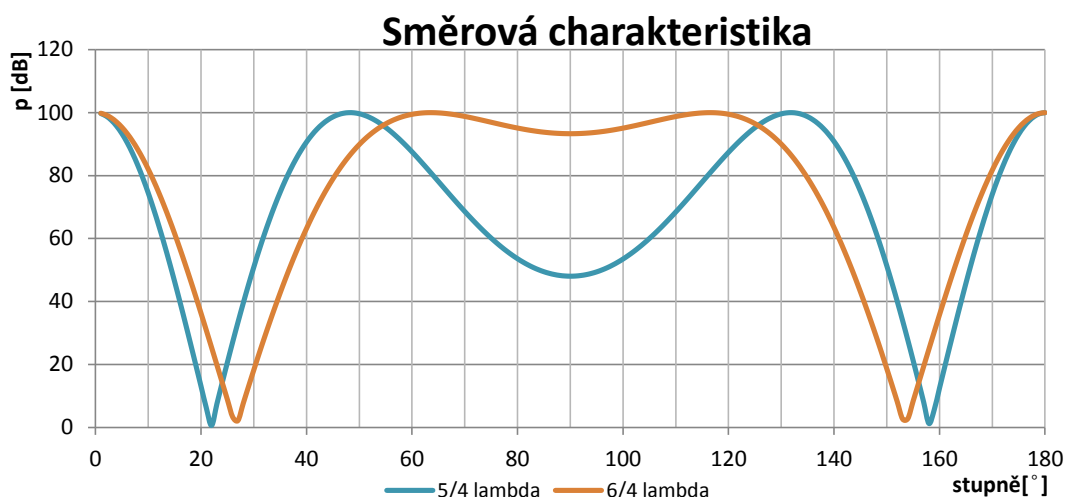
Vhodnou povrchovou úpravou reproduktorové ozvučnice je odolný lakový nátěr. Propojení reproboxu se zdrojem signálu bude řešeno dvěma čtyřpinovými konektory Speakon.

Problematika vzdálenost středů vysokotónového a basového reproduktoru umístěných v čelní stěně má celkem zásadní vliv na směrovou charakteristiku. Jako nejlepší vzdálenost se bere vzdálenost určená vztahem (4)[3].

$$d = \frac{425}{f_d} \quad (4)$$

Tento vztah je určen pro 5/4 vlnové délky na dělicím kmitočtu f_d . Ne vždy je však možné této vzdálenosti konstrukčně dosáhnout a tak se musí volit jiná vzdálenost. Po odsimulování směrové charakteristiky se jeví jako nejlepší vzdálenost 0,285 m při 6/4 lamdy na dělicí frekvenci 1800Hz. Porovnání směrové charakteristiky pro 5/4 lambda a 6/4 lambda je na obrázku č. 7.

$$f = \frac{c * \frac{6}{4} * \lambda}{d} = \frac{340 * \frac{6}{4}}{0,285} = 1789,4Hz \quad (5)$$



Obrázek č.7 Porovnání směrové charakteristiky pro 5/4 a 6/4 lambda

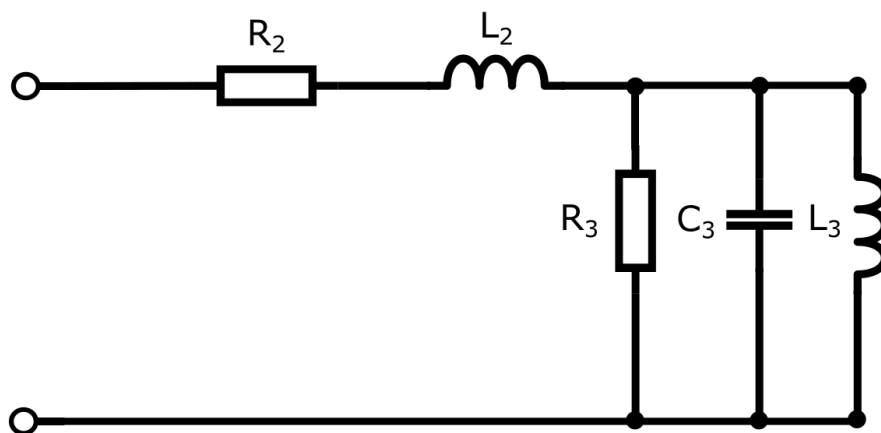
4.3 Návrh reproduktorové výhybky

Úkolem bakalářské práce je zkonstruovat širokopásmový akustický zdroj. Jeho akustické pásmo nelze pokrýt jedním reproduktorem a proto je zapotřebí zvolit dvoupásmovou reprodukci složenou z basového a výškového reproduktoru. Frekvenční pásmo je tedy nutné rozdělit na nižší frekvence pro basový reproduktor a vyšší pro výškový. Tímto rozdělením dosáhneme potlačení špatných vlastností a naopak vyniknou

jejich přednosti. Pro basový reproduktor se používá filtr, který propouští pásmo do určité frekvence, tedy dolní propust. Pro výškový reproduktor se používá horní propust, která propustí pásmo od určitého kmitočtu. Tímto určitým kmitočtem je dělicí frekvence, kterou je potřeba zvolit podle vlastností jednotlivých reproduktorů[1].

V mém případě byl orientačně zvolen dělicí kmitočet 2000Hz. Skutečná hodnota dělicího kmitočtu bude upřesněna na základě měření skutečného stavu. K nalezení správných hodnot výhybky pro basový a výškový reproduktor byla použita metoda výpočtu podle vzorců[3]. Tyto hodnoty jsou však pouze informativní a tak se tyto hodnoty použijí jako prvotní přiblížení průběhu dolního a horního filtru a po sestavení schématu výhybky v simulačním programu dochází k úpravě hodnot podle požadavku na její charakteristiku. Strmost výhybky výškové i basové větve byla zvolena 12dB/oktávu.

Pro simulaci reproduktorové výhybky je potřeba znát náhradní schéma reproduktoru. Toto schéma je včetně vztahů pro výpočet prvků nacházejících se obvodu převzato z [1].



Obrázek č.8 Náhradní schéma elektrodynamického reproduktoru

$$R_2 = 5,3\Omega \quad (6)$$

$$L_2 = 1,2\text{mH} \quad (7)$$

$$R_3 = \frac{(B \cdot l)^2}{r_m} = \frac{18,6^2}{3,2} = 109\Omega \quad (8)$$

$$C_3 = \frac{m_m}{(B \cdot l)^2} = \frac{0,051}{18,6^2} = 14,7\text{mF} \quad (9)$$

$$L_3 = C_m \cdot (B \cdot l)^2 = 193 \cdot 10^{-6} \cdot (18,6)^2 = 66\text{mH} \quad (10)$$

Výpočet hodnot pro filtr typu dolní propust - basový reproduktor.

$$L_1 = \frac{Z}{2 * \pi * f} * \sqrt{2} = \frac{8}{2 * \pi * 2000} * \sqrt{2} = 1,2mH \quad (11)$$

$$C_1 = \frac{1}{4 * \pi * f * Z} * \sqrt{2} = \frac{1}{4 * \pi * 2000 * 8} * \sqrt{2} = 4,97 \mu F \quad (12)$$

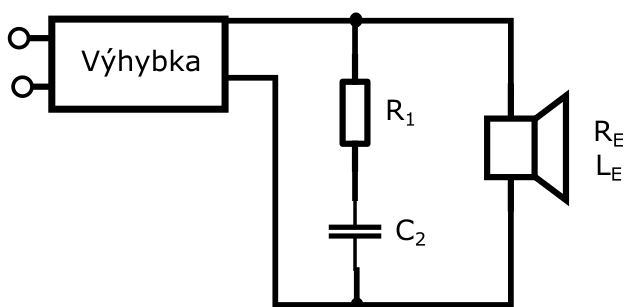
Výpočet hodnot pro filtr typu horní propust- výškový reproduktor

$$L_4 = \frac{Z}{2 * \pi * f} * \sqrt{2} = \frac{8}{2 * \pi * 2000} * \sqrt{2} = 1,2mH \quad (13)$$

$$C_4 = \frac{1}{4 * \pi * f * Z} * \sqrt{2} = \frac{1}{4 * \pi * 2000 * 8} * \sqrt{2} = 4,97 \mu F \quad (14)$$

4.3.1 Kompenzace indukčnosti kmitačky basového reproduktoru

Protože frekvenční závislost impedance připojených reproduktorů znehodnocuje výhybku je potřeba impedanci vykompenzovat. Schéma zapojení je na obrázku č. 9.

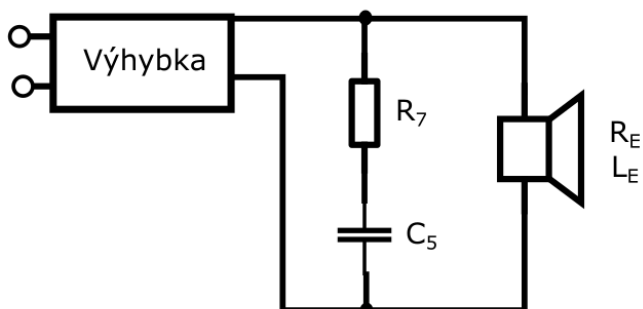


Obrázek č. 9 Kompenzace indukčnosti basového reproduktoru [3].

$$R_1 = R_E = 5,3\Omega \quad (15)$$

$$C_2 = \frac{L_2}{(R_1)^2} = \frac{1,2 * 10^{-3}}{5,3^2} = 42,7 \mu F \quad (16)$$

4.3.2 Kompenzace indukčnosti výškového reproduktoru



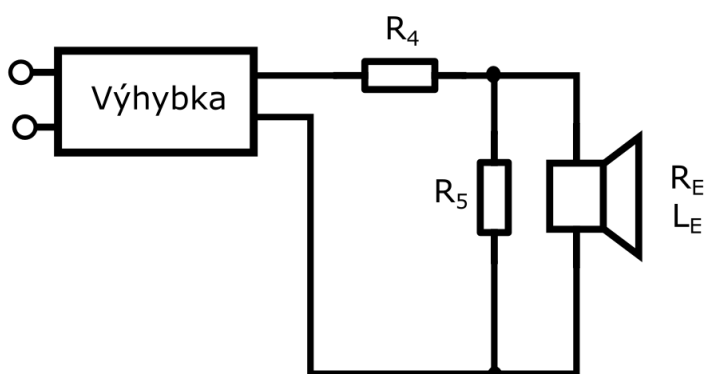
Obrázek č. 10 Kompenzace indukčnosti výškového reproduktoru [3]

$$R_7 = R_6 = 8\Omega \quad (17)$$

$$C_5 = \frac{L_5}{(R_6)^2} = \frac{0,1 * 10^{-3}}{8^2} = 1,56\mu F \quad (18)$$

4.3.3 Vyrovnání citlivosti basového a výškového reproduktoru

Reproduktory mají obvykle rozdílné citlivosti a tak je potřeba tuto rozdílnou citlivost vykompenzovat, protože jinak by reproduktor s vyšší citlivostí hrál hlasitěji. Citlivost basového reproduktoru uváděná v katalogovém listu je 99 dB a hodnota citlivosti výškového reproduktoru je podle katalogového listu 108,5 dB. To je rozdíl 9,5 dB a tuto velikost je potřeba pomocí odporového děliče mezi výhybkou a výškovým reproduktorem zmenšit. Hodnoty reproduktorů se zjistí pomocí známých vzorců převzatých z [3].



Obrázek č. 11 Vyrovnání citlivosti basového a výškového reproduktoru [3].

$$R_5 = 10^{\frac{A}{20}} \frac{R_6}{1 - 10^{\frac{A}{20}}} = 10^{\frac{-9,5}{20}} \frac{8}{1 - 10^{\frac{-9,5}{20}}} = 4\Omega \quad (19)$$

$$R_4 = R_6 - \frac{1}{\frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6}} = 8 - \frac{1}{\frac{1}{3,9} + \frac{1}{8}} = 5,4\Omega \quad (20)$$

$$\text{Skutečný útlum } A = 20 \log \frac{\frac{R_5 * R_6}{R_5 + R_6}}{R_4 + \frac{R_5 * R_6}{R_5 + R_6}} = 20 \log \frac{\frac{3,9 * 8}{3,9 + 8}}{5,1 + \frac{3,9 * 8}{3,9 + 8}} = -9,4\text{dB} \quad (21)$$

Kombinace útlumového členu a reproduktoru bude zatěžovat výhybku velikostí $R_{zátě}$.

$$R_{zátě} = R_4 + \frac{R_5 * R_1}{R_5 + R_1} = 5,1 + \frac{3,9 * 8}{3,9 + 8} = 7,7\Omega \quad (22)$$

4.3.4 Výkonové ztráty na útlumových rezistorech

Celkový proud tekoucí do výškové větve je podle vztahu (23) 7A.

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{400}{8}} = 7\text{A} \quad (23)$$

Proudy tekoucí útlumovými rezistory byly vypočítány přes proudový dělič.

$$I_{R4} = I = 7\text{A} \quad (24)$$

$$I_{R5} = I * \frac{R_6}{R_6 + R_5} = 7 * \frac{8}{8 + 3,9} = 4,7\text{A} \quad (25)$$

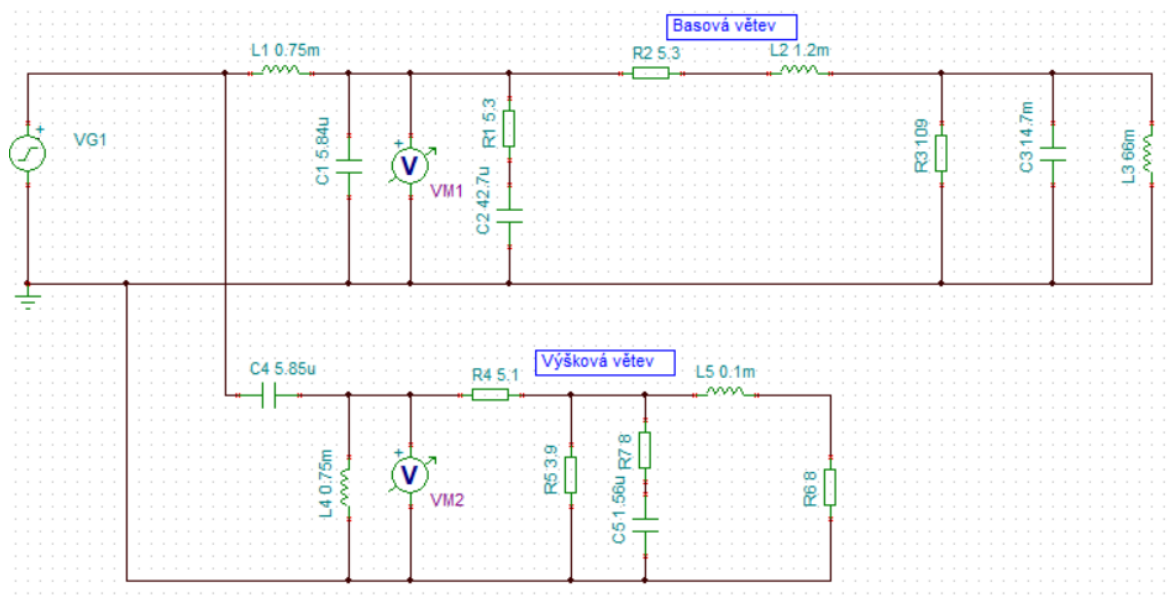
$$I_{R6} = I * \frac{R_5}{R_5 + R_6} = 7 * \frac{3,9}{3,9 + 8} = 2,3\text{A} \quad (26)$$

Následně byly z těchto proudů určeny výkonové ztráty na jednotlivých rezistorech.

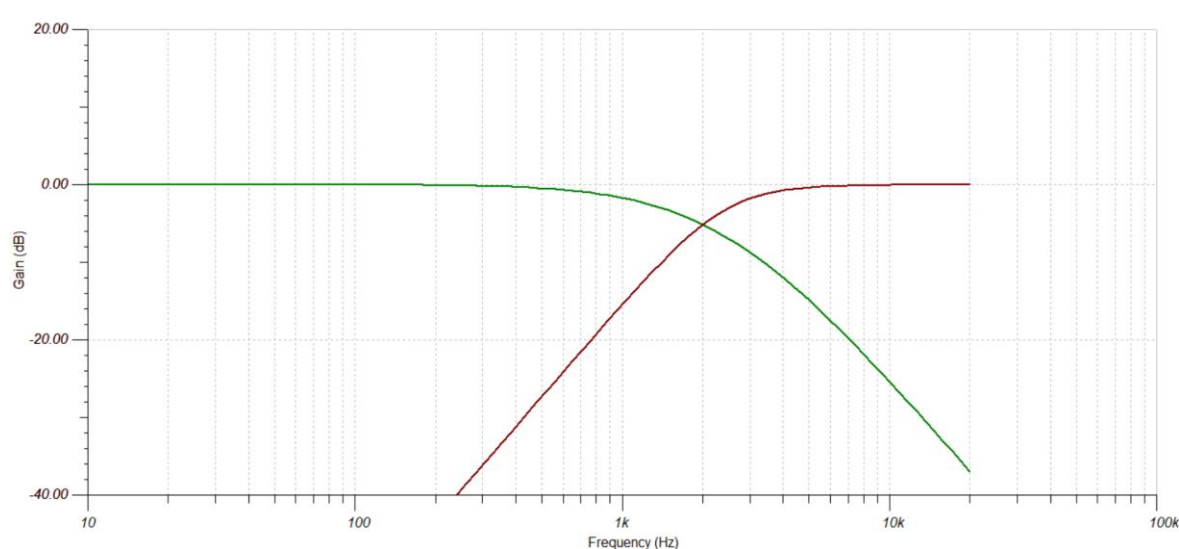
$$P_{R4} = R_4 * I_{R4}^2 = 5,1 * 7^2 = 250\text{W} \quad (27)$$

$$P_{R5} = R_5 * I_{R5}^2 = 3,9 * 4,7^2 = 87,99\text{W} \quad (28)$$

Schéma pro simulaci reproduktorové výhybky z vypočítaných orientačních hodnot je zobrazeno na obrázku č. 12. Horní část schématu je tvořena z výhybky pro basový reproduktor, kompenzace indukčnosti kmitačky a náhradního obvodu basového reproduktoru. Spodní část obvodu je složena z výhybky pro basový reproduktor, tlumícího odporového děliče a odporem výškového reproduktoru.



Obrázek č. 12 Náhradní schéma pro simulaci dvoupásmové výhybky



Obrázek č. 13 Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktorové výhybky

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a realizovat širokopásmový akustický zdroj jako náhradu za stávající akustický zdroj Yamaha S115. Náhrada bude sloužit pro měření v dozvukové komoře FEL.

Pro požadovaný mezní akustický tlak potřebný v dozvukové komoře byly vybrány basový reproduktor 12plb76 od firmy B&C a výškový reproduktor od stejného výrobce DE980TN. Protože reprobox je ve výrobním procesu u truhláře musím vycházet pouze z odsimulované amplitudové frekvenční charakteristiky. Z charakteristiky je zřejmé, že by reprobox měl vyhovovat frekvenčnímu rozsahu 100 Hz až 20kHz (Obrázek č. 4). Na základě této simulace basového reproduktoru byl zvolen uzavřený typ ozvučnice s objemem 60 litrů. Ozvučnice bude vyrobena z bukové překližky o tloušťce 18mm a čelní stěna bude zesílena slepením původní 18mm a přídavné 6mm překližky. Navíc bude na vnitřní straně čelní stěny mezi reproduktory přidána zpevňující výstuž. Basový reproduktor a zvukovod výškového reproduktoru budou zapuštěny do čelní stěny kvůli případným difracím.

V příloze č. 2 je červenou přerušovanou čarou naznačen basový reproduktor. Plnou červenou čarou zvukovod s výškovým reproduktorem. Tento náčrtek slouží pouze pro ilustraci, že nebude problém s fyzickými rozměry obou reproduktoru vůči šikmé stěně a nevznikne tak problém při montáži.

Reproduktorová výhybka byla pouze navržena a odsimulována s vypočítanými hodnotami prvků a orientační dělicí frekvencí 2000Hz. Přesné hodnoty součástek a dělicí frekvence budou upřesněny až po skutečném měření a upravení schématu.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] SÝKORA, Bohumil. Reprodukory a reproduktorové soustavy trochu jinak. *Amatérské rádio*. 1995, č.5.
- [2] Smetana, Ctirad. Praktická Elektroakustika. Praha SNTL 1981
- [3] Toman, Kamil. Reprodukory a Reprosoustavy. Karviná. Dexon, 2001
- [4] B&C speakers. Specifikace In: prodance.cz [online].[cit. 7. 6. 2018].
Dostupné z: <http://www.prodance.cz/data/attachments/12PLB76.pdf>
- [5] ČSN EN ISO 354: Akustika- Měření zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti. 2003
- [6] Yamaha. Manual In: yamahaproaudio.com [online].[cit. 7.6. 2018].
dostupné z
http://download.yamaha.com/api/asset/file?language=en&site=countrysite-master.prod.wsys.yamaha.com&asset_id=8769
- [7] B&C speakers. Specifikace In: prodance.cz [online].[cit. 7. 6. 2018]
Dostupné z: <http://www.prodance.cz/data/attachments/BC/de980tn.pdf>

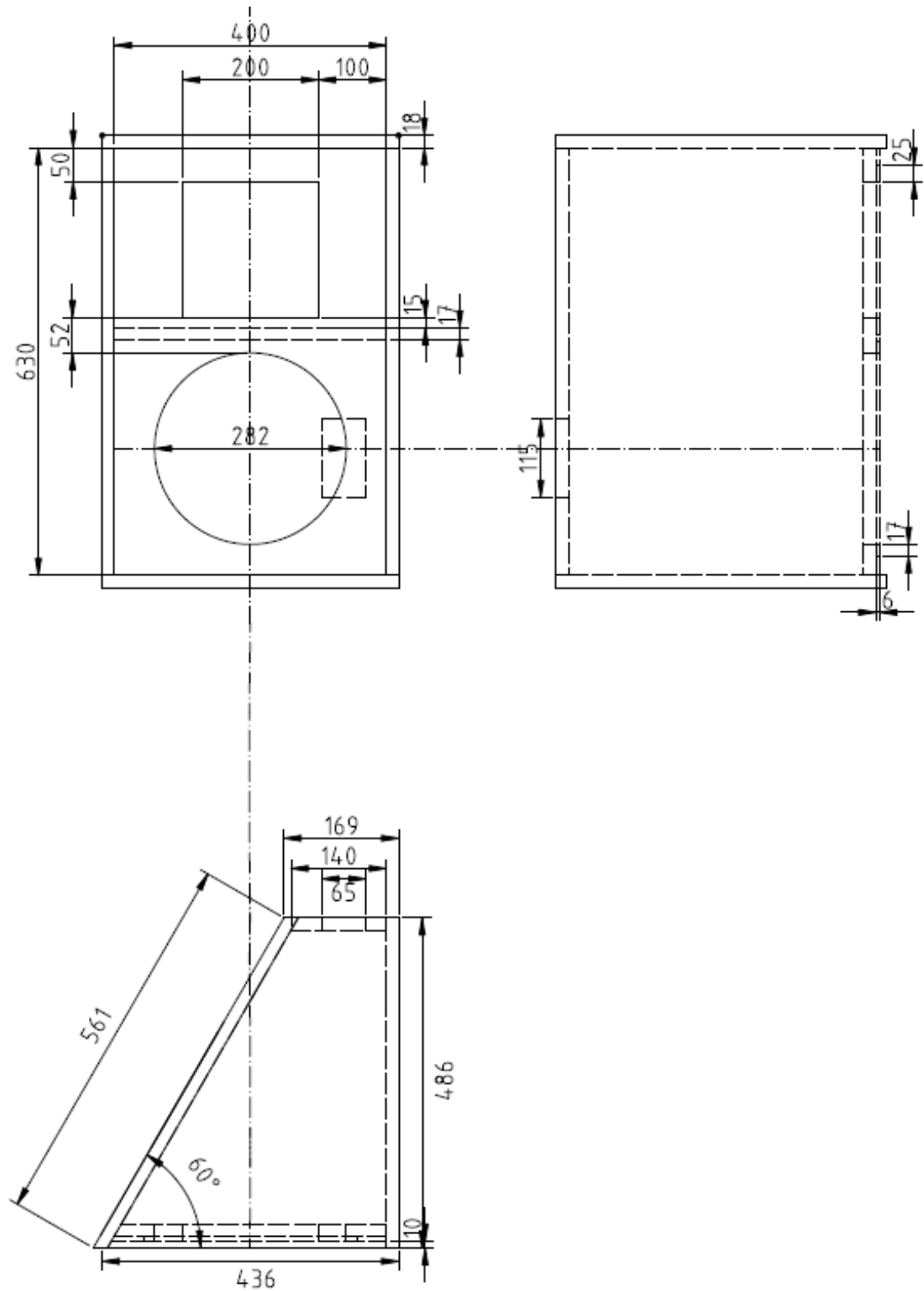
Seznam příloh

Příloha č.1 Náčrtek ozvučnice

Příloha č. 2 Rozmístění reproduktorů v ozvučnici

Přílohy

Příloha č. 1 Zvětšený náčrtek ozvučnice



Příloha č. 2 Rozmístění reproduktorů v ozvučnici

