

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Úprava aktivních koaxiálních reprosoustav pro účely
akustických měření**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel DVOŘÁK**

Osobní číslo: **E14B0135P**

Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**

Název tématu: **Úprava aktivních koaxiálních reprosoustav pro účely akustických měření**

Zadávací 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 koncepci a konstrukci dostupných aktivních monitorů s koaxiálními reproduktory.
2. Navrhněte a realizujte potřebné změny aktivních výhybek reprosoustav pro jejich použití jako bodových akustických zdrojů.
3. Změřte parametry upravených reprosoustav.

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.

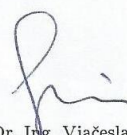
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Oldřich Tureček, Ph.D.**
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **6. června 2018**


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




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na úpravu aktivní výhybky do koaxiálního reproduktoru pro účely akustických měření. Cílem je realizace korekčních filtrů na digitálním signálovém procesoru a následné změření amplitudové frekvenční charakteristiky reprosoustavy. Práce je rozdělena do tří částí. V první kapitole jsou popsány parametry použitého koaxiálního reproduktoru. Druhá kapitola je zaměřena na popis původního stavu analogové výhybky, ze které tato práce vychází. V poslední části je popsána realizace výhybky digitálním signálovým procesorem a korekce amplitudové frekvenční charakteristiky vložением korekčních filtrů. Výsledná upravená reprosoustava je změřena v bezodrazové komoře.

Klíčová slova

Koaxiální reproduktor, aktivní výhybky, digitální signálový procesor

Abstract

This bachelor thesis is focused on adjusting the active crossover to the coaxial loudspeaker for the purposes of acoustic measurements. The aim of my final paper is to implement the correction filters on the digital signal processor and to measure the amplitude frequency response of the speaker. The bachelor thesis is divided into three parts. The first chapter deals with the parameters of the coaxial speaker. The second chapter is focussed on describing the original state of the analogue crossover. The last part describes realization of the crossover with digital signal processor and the correction of amplitude frequency characteristic by inserting correction filters. The final modified loudspeaker is measured in the anechoic chamber.

Key words

Coaxial speaker, active crossover, digital signal processor

Prohlášení

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

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

.....
podpis

V Plzni dne 6.6.2018

Pavel Dvořák

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Oldřichu Turečkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 PŮVODNÍ STAV KOAXIÁLNÍ REPROSOUSTAVY	11
1.1 BLOKOVÉ SCHÉMA AKTIVNÍ KOAXIÁLNÍ REPROSOUSTAVY	11
1.2 PARAMETRY KOAXIÁLNÍHO REPRODUKTORU SEAS P17 REX/COAX	12
1.3 CHARAKTERISTIKA KOAXIÁLNÍ REPROSOUSTAVY	13
2 PŮVODNÍ STAV AKTIVNÍ VÝHYBKY	14
3 NOVÉ ŘEŠENÍ AKTIVNÍ VÝHYBKY	16
3.1 SIGNÁLOVÝ PROCESOR	16
3.2 PARAMETRY SABINE NAV4800	16
3.3 AMPLITUDOVÁ FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKA	17
3.4 BLOKOVÉ SCHÉMA STÁVAJÍCÍHO ŘEŠENÍ	19
3.5 REALIZACE KOREKČNÍCH FILTRŮ	19
ZÁVĚR	25
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	26

Úvod

Cílem této práce je úprava aktivních koaxiálních reprosoustav pro účely akustických měření. Reprosoustava je osazena koaxiálním reproduktorem Seas P17 REX/COAX. Jelikož tato reprosoustava slouží pro laboratorní akustická měření, je důležité zachovat symetrickou směrovou charakteristiku. Z toho důvodu není vhodná kompenzace na nižších frekvencích amplitudové frekvenční charakteristiky bass-reflexovou ozvučnicí.

Původní řešení bylo s výhybkou, která byla řešena analogově. To vychází z diplomové práce M. Čejky [2]. Z důvodu vytopení školní laboratoře došlo k poškození hardwaru a bylo potřeba zvolit jiné řešení. Ukázalo se, že nejvhodnější bude řešit výhybku digitálně, konkrétně digitálním signálovým procesorem Sabine NAV4800. Signálový procesor umožňuje velký počet vložených filtrů a tím i snazší korekci amplitudové frekvenční charakteristiky.

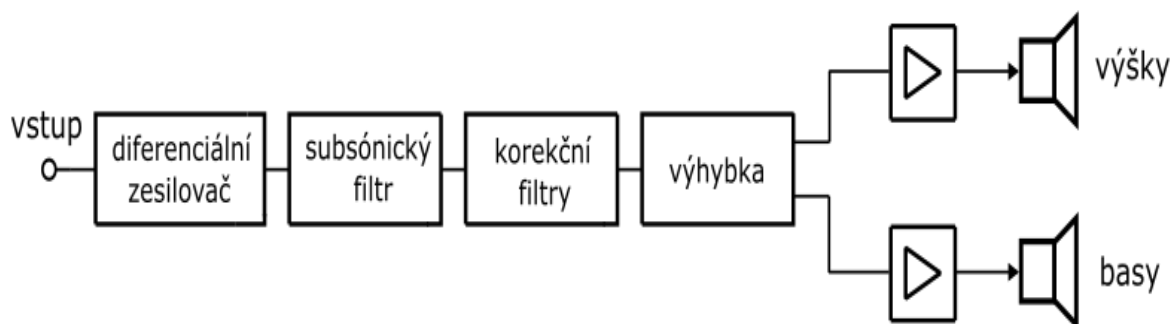
Snahou této práce bude dosáhnout co nejlepší možné korekce frekvenční charakteristiky a vytvoření přednastavení, které bude možno kdykoliv použít pro akustické měření na této reprosoustavě.

Seznam symbolů a zkratek

CMR	činitel potlačení souhlasného signálu
SDP	signálový digitální procesor
f_0	mezní frekvence filtru
Z	impedance
FFT	rychlá Fourierova transformace

1 Původní stav koaxiální reprosoustavy

1.1 Blokové schéma aktivní koaxiální reprosoustavy



Obrázek 1: blokové schéma systému

Vstupní část řetězce tvoří integrovaný diferenciální zesilovač IO SSM 2141 s vysokým činitelem potlačení souhlasného signálu. Za diferenciálním zesilovačem je zařazen subsonický filtr druhého řádu jehož mezní frekvence je 42 Hz. Korekce amplitudové frekvenční charakteristiky je zde realizována 2 korekčními filtry a výhybka je realizována obvody state-variable. Tyto bloky jsou konkrétně popsány v druhé kapitole. Za výhybkou jsou výkonové zesilovače. Pro buzení vysokotónového systému byl použit zesilovač s integrovaným obvodem LM3886. Ten dokáže při napájecím napětí $\pm 35\text{V}$ dodat do 8Ω zátěže přibližně 50W. Buzení basového systému je zajištěno můstkovým zesilovačem s integrovaným obvodem LM4780. Tento zesilovač je schopen v můstkovém provozu při napájecím napětí $\pm 35\text{V}$ odevzdat do zátěže 8Ω výkon 120W. Za zesilovači je ještě zapojen ochranný obvod proti stejnosměrnému napětí na výstupu. Ten je schopen detekovat stejnosměrné napětí přibližně od $\pm 3\text{V}$. Tento upravený a zesílený signál je přiveden na koaxiální reproduktor Seas P17 REX/COAX.

1.2 Parametry koaxiálního reproduktoru Seas P17 REX/COAX

Pro návrh aktivní výhybky byl použit koaxiální reproduktor Seas P17 REX/COAX. V následujících dvou tabulkách jsou popsány parametry výškového a basového reproduktoru.

- Výškový reproduktor

Tabulka 1: parametry výškového reproduktoru

Maximální dlouhodobý příkon	90 W
Maximální krátkodobý příkon	220 W
Impedance	6 Ω
Citlivost (1W/1m)	89 dB
Frekvenční rozsah	3000-25000 Hz
Rezonanční frekvence	1800 Hz
Průměr cívky	26 mm

- Basový reproduktor

Tabulka 2: parametry basového reproduktoru

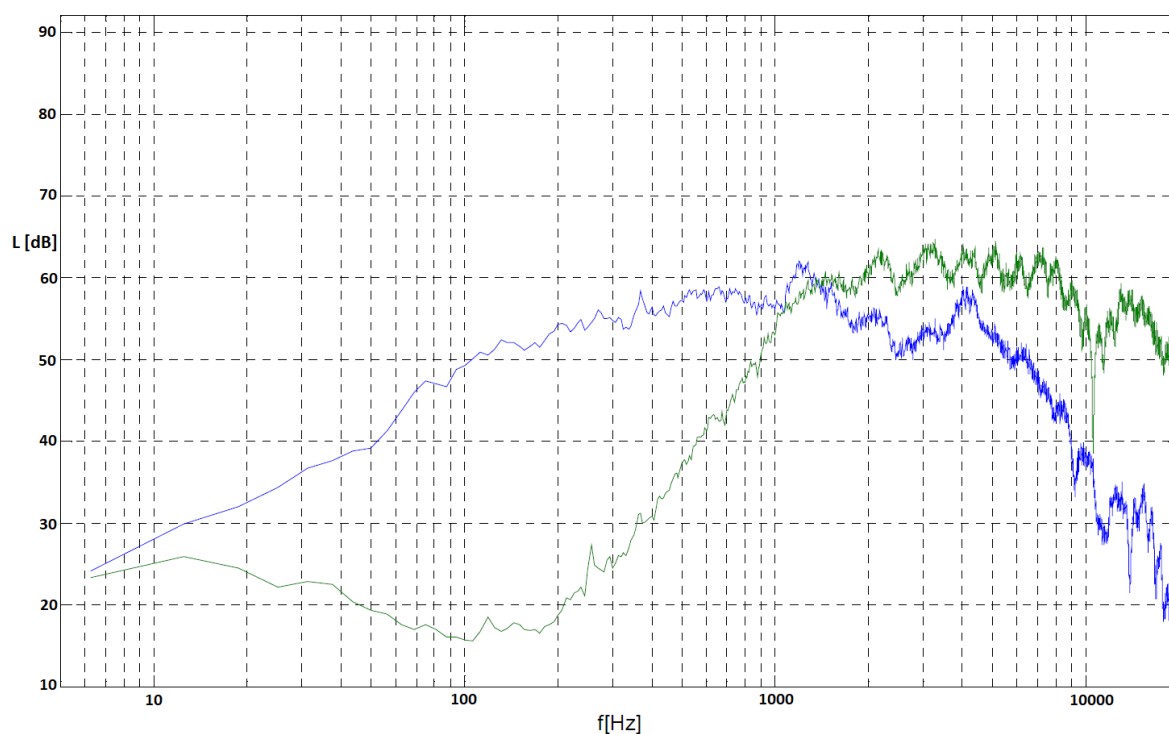
Maximální dlouhodobý příkon	100 W
Maximální krátkodobý příkon	250 W
Impedance	8 Ω
Citlivost (1W/1m)	89 dB
Frekvenční rozsah	40-3000 Hz
Průměr cívky	39 mm
Rezonanční kmitočet F_s	35 Hz
Činný odpor kmitací cívky R_e	6,1 Ω
Celkový činitel jakosti Q_{ts}	0,25
Ekvivalentní objem V_{as}	26,9 l



Obrázek 2: koaxiální reproduktor v bezodrazové komoře FEL

1.3 Charakteristika koaxiální reprosoustavy

Základem k tomu abychom mohli navrhovat nebo upravovat výhybku pro reprosoustavu je změřit amplitudovou frekvenční charakteristiku pro basový a výškový systém. Na obrázku 3 jsou změřené charakteristiky koaxiálního reproduktoru Seas P17 REX/COAX od [2].



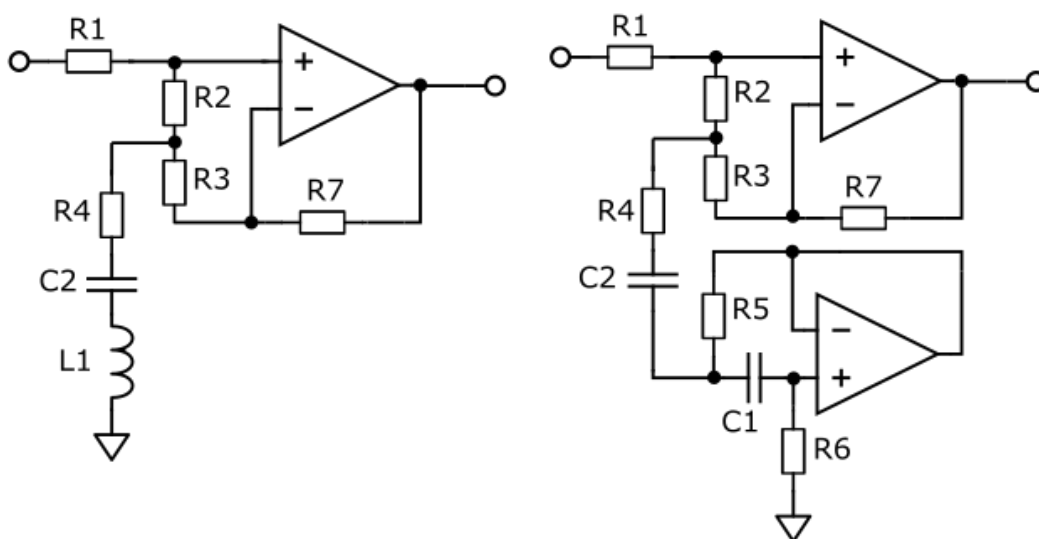
Obrázek 3: Amplitudové frekvenční charakteristiky koaxiálního reproduktoru Seas

2 Původní stav aktivní výhybky

Celkový popis aktivní výhybky vychází z [2]. Vstupní část tvoří integrovaný diferenciální zesilovač IO SSM 2141 s vysokým činitelem potlačení souhlasného signálu (CMR), vysokou rychlostí přeběhu ($9,5\text{V}/\mu\text{s}$) a nízkým zkreslením v oblasti akustického pásma.

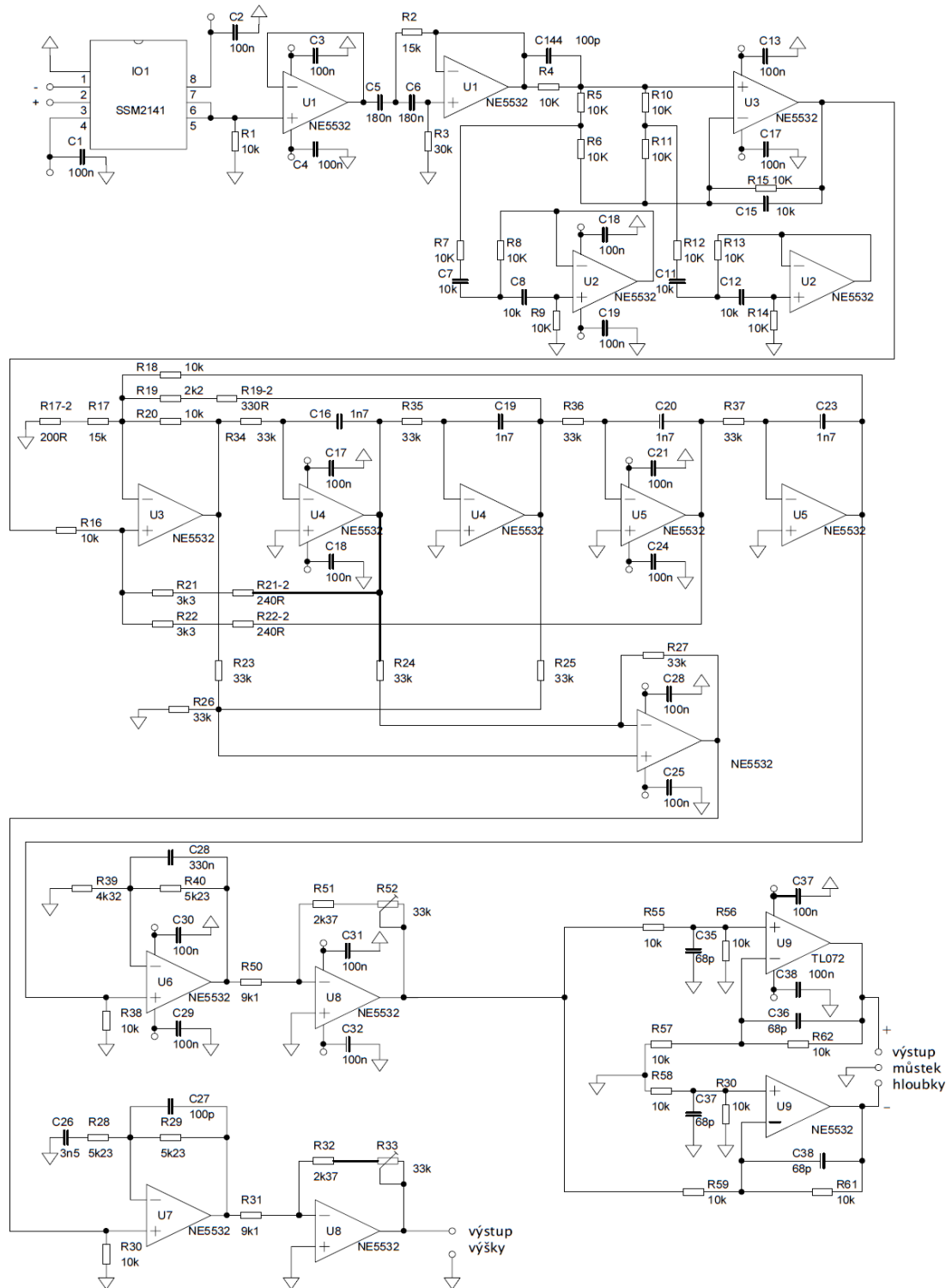
Kvůli výrobcem doporučenému frekvenčnímu rozsahu basového reproduktoru 40Hz až 3kHz je za předzesilovač zapojen subsonický filtr druhého řádu. Mezní frekvence subsonického filtru při použitých hodnotách součástek vyšla přibližně 42Hz.

Amplitudová frekvenční charakteristika byla korigována dvěma filtry a to na frekvencích přibližně 130Hz a 10kHz. Použitý filtr využívá rezonanční vlastnosti RLC obvodu. Kvůli náchylnosti k rušení a mechanickému provedení byla klasická cívka nahrazena syntetickou indukčností s operačním zesilovačem (obrázek 4). Na levé straně je znázorněno schéma filtru s klasickou cívkou a na pravé straně je schéma, kde je cívka nahrazena syntetickou indukčností.



Obrázek 4: Realizace syntetické indukčnosti

Použitý dělicí filtr je realizován obvodem state-variable. Jedná se o filtr 4. řádu typu Linkwitz-Riley. S hodnotami součástek $R=33k\Omega$ a $C=1,7nF$ bylo dosaženo požadované hodnoty 2837Hz. Výhoda tohoto filtru je, že dolní i horní propust jsou spolu ve fázi a jelikož je filtr 4. řádu, dochází k lepšímu oddělení obou pásem.



Obrázek 5: Celkové schéma výhybky

3 Nové řešení aktivní výhybky

3.1 Signálový procesor

Signálový procesor jako takový je využíván pro zpracování digitálně reprezentovaných signálů. Analogový signál na vstupu se pomocí A/D převodníku převede na digitální signál, který je zpracováván signálovým procesorem a poté se zpracovaný signál převede pomocí D/A převodníku zpět na analogový signál. Důvodem zavedení těchto procesorů je ten, že klasické analogové obvody sloužící ke zpracování signálů je složité navrhnout. Poté co jsou realizovány, je téměř nemožné je modifikovat.

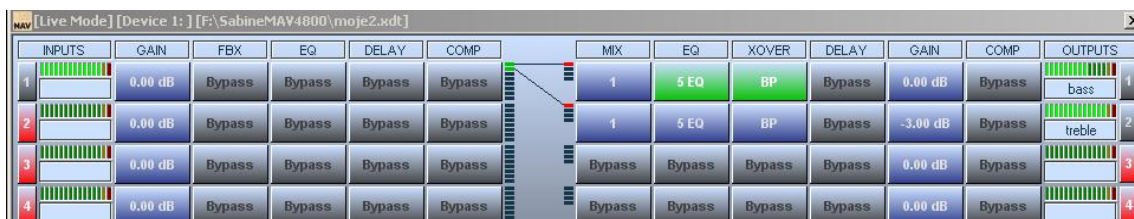
3.2 Parametry Sabine NAV4800

Signálový procesor Sabine NAV4800 má jak už název říká 4 vstupy a 8 výstupů, takže při maximálním využití může pracovat jako čtyřcestný stereo nebo osmicestý mono systém. Kmitočtový rozsah procesoru je 20 Hz až 20 kHz a dynamický rozsah 115 dB. Signálový procesor je dále vybaven 6 parametrickými filtry, výhybkami Bessel, Butterworth, Linkwitz-Riley s maximální strmostí 48 dB/oktávu, filtry typu horní propust (3 kHz až 20 kHz) a dolní propust (20 Hz až 1 kHz).



Obrázek 6: Digitální signálový procesor Sabine NAV4800

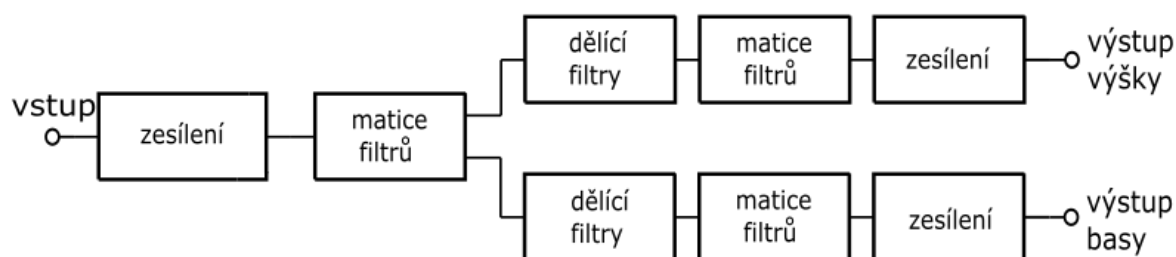
Nastavení parametrů je možné buď přímo na ovládacím panelu nebo na PC a to buď pomocí sériového portu RS-232 nebo přes Ethernetové rozhraní. K tomu abychom mohli ovládat DSP z počítače je potřeba software Sabine Navigator. Ovládání z počítače nám navíc umožňuje náhled a editaci kmitočtové charakteristiky a grafické nastavení filtrů.



Obrázek 7: Software Sabine navigator

Na obr.7 je zobrazeno prostředí softwaru. Na vstup je přiveden signál jehož síla je graficky vyobrazena progress barem. Zde je možné vstupní signál ovlivňovat. Daný vstup je poté možné propojit s různými výstupy. V tomto případě je propojen s výstupy jedna a dva. Jednotlivé výstupy už jsou poté směřovány na určité typy reproduktorů.

Pro názornost je přidáno blokové schéma (obrázek 8), které popisuje strukturu softwaru. Ve schématu jsou zobrazeny pouze ty bloky, které byly využity při řešení této práce.



Obrázek 8: blokové schéma softwaru Navigator Sabine

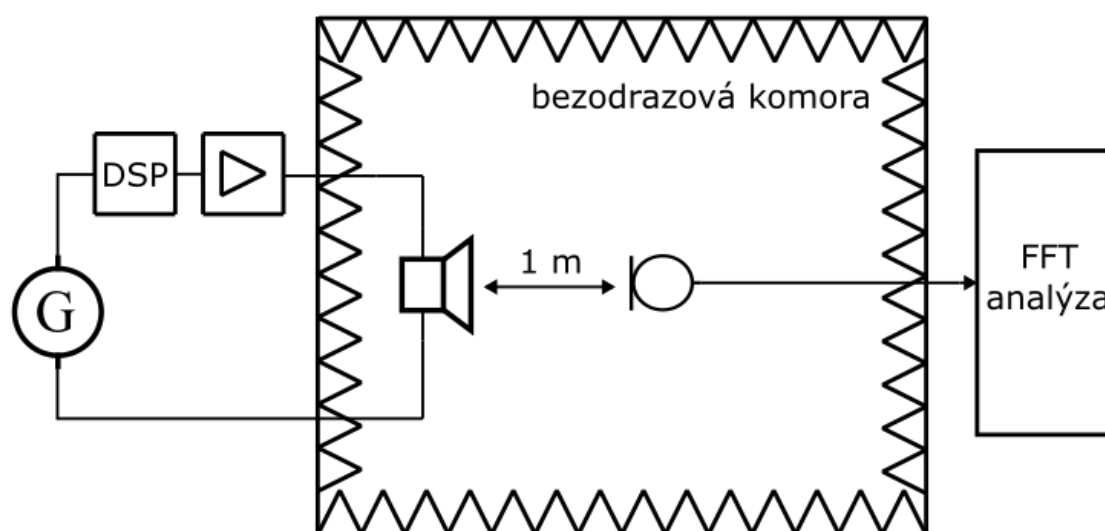
Samotný DSP je umístěn v reku, kde je ještě navíc výkonový zesilovač Yamaha P 7000S, což umožňuje praktické propojení.

3.3 Amplitudová frekvenční charakteristika

U této charakteristiky se měří amplituda akustického tlaku vyzářeného reproduktorem v závislosti na frekvenci při přivedeném specifikovaném napětí. Použitá úroveň signálu musí být dostatečně velká, aby měření nebylo ovlivněno nelinearitou. Nejčastěji se používá hladina 1 V. Úroveň hladiny akustického signálu je měřena mikrofonom, který je umístěn 1 m od reproduktoru.

Na reproduktor je přiváděn signál o výkonu 1 W, jehož šířka pásma je buď frekvenčně omezena pro daný typ reproduktoru nebo signál, který má šířku pásma celé slyšitelné pásmo (20 Hz – 20 kHz). Tento proces je opakován a výsledky jsou průměrovány. Výsledné vyjádření amplitudy akustického tlaku v závislosti na frekvenci se provádí buď rychlou Fourierovo transformací (FFT) nebo v 1/n – oktanových pásmech.

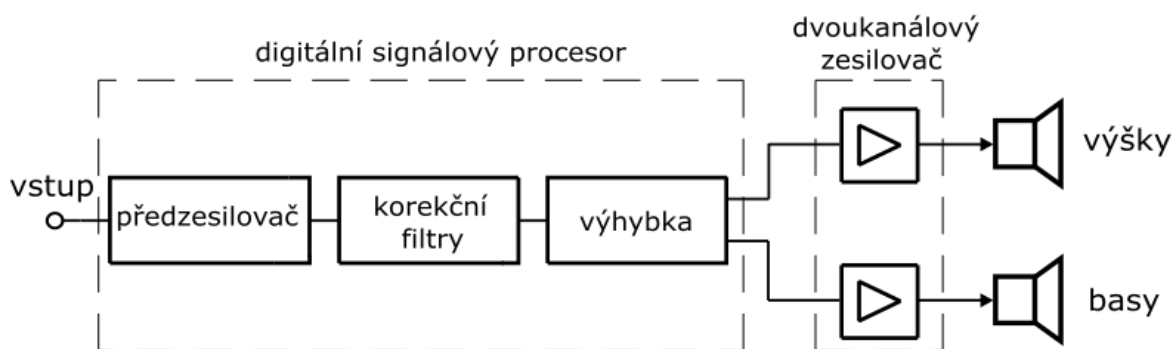
Amplitudová frekvenční charakteristika ideálního reproduktoru by měla být plochá a na všech frekvencích stejná, proto je snaha se tomuto kritériu co nejvíce přiblížit. Je dána v logaritmickém měřítku a udává nám nejvhodnější frekvenční pásmo pro určitý typ reproduktoru, ve kterém je relativně vysoká citlivost.



Obrázek 9: Schéma měření reproduktoru v bezodrazové komoře

Na obrázku 9 je znázorněno schéma zapojení měření. Byl použit ruční generátor, který byl připojen rovnou do digitálního signálového procesoru, vstupním signálem byl bílý šum. Výstupy DSP byly propojeny s výkonovým zesilovačem Yamaha P 7000S. Koaxiální reproduktor byl připojen tak, že kanál 1 na zesilovači zesiloval basový systém a kanál 2 zesiloval systém výškový. Jak už bylo popsáno výše, vzdálenost mikrofonu od koaxiálního reproduktoru byla 1m. Měření probíhalo v bezodrazové komoře FEL v Plzni. Výstupní signál z mikrofonu je přiveden na analyzátor zvuku. Výsledné data z měření jsou poté zobrazovány v softwaru Pulse Labshop.

3.4 Blokové schéma stávajícího řešení

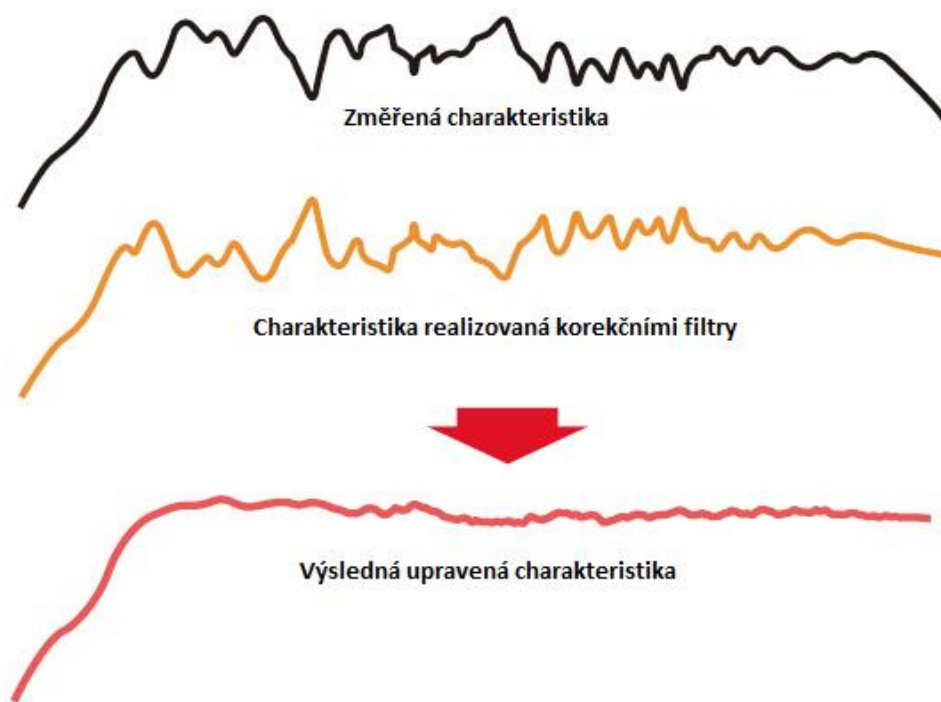


Obrázek 10: blokové schéma systému

Blokové schéma na obrázku 10 popisuje jak je celý systém koncipovaný. První tři bloky jsou obsaženy v digitálním signálovém procesoru. Tam probíhá úprava vstupního signálu a následné rozdělení signálu výhybkou pro výškový a basový systém. Jednotlivé výstupy jsou přivedeny na dvoukanálový výkonový zesilovač Yamaha P 7000S, kde jsou zesíleny. Jedná se o zesilovač, který je schopný dodat maximální výstupní výkon 700 wattů na kanál při impedanci 8Ω . V tomto bloku je oproti analogovému řešení velký rozdíl. U původního řešení byly hardwarově zhotoveny dva výkonové zesilovače s přesně daným zesílením, kdežto v novém řešení jsou výstupy připojeny na dvoukanálový zesilovač a každý kanál lze libovolně zesilovat. Zesílené výstupy jsou přivedeny na koaxiální reproduktor Seas P17 REX/COAX.

3.5 Realizace korekčních filtrů

Jak už bylo výše zmíněno, je snaha dosáhnout toho, aby se amplitudová frekvenční charakteristika použitého reproduktoru rovnala co nejvíce amplitudové frekvenční charakteristice ideálního reproduktoru, to znamená aby byla co nejvíce plochá a na všech frekvencích stejná. Realizace spočívá v tom, že se ke klasickým dělicím filtrům přidávají ještě filtry korekční.



Obrázek 11: příklad korekce amplitudové frekvenční charakteristiky

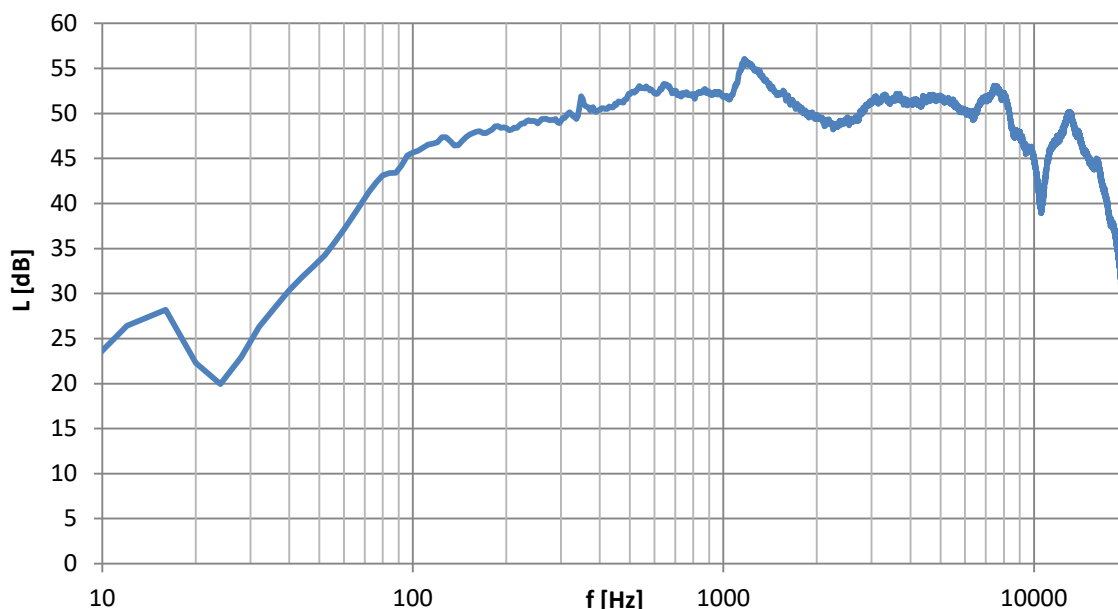
V softwaru Navigator Sabine je vkládání těchto filtrů snadnou záležitostí. Pro vložení je potřeba zadat tři parametry požadovaného filtru. Prvním parametrem je střední frekvence f_c . Ta byla určována ze změřené amplitudové frekvenční charakteristiky v softwaru Pulse Labshop, kde se pomocí kursorů odečetla horní frekvence f_2 a dolní frekvence f_1 z té části charakteristiky, kterou bylo třeba korigovat filtrem. Z těchto dvou hodnot se střední frekvence určila vztahem

$$f_c = \sqrt{f_1 \cdot f_2}. \quad (1)$$

Druhým parametrem je zesílení filtru, které je v jednotkách dB. O tom jestli bude zesílení kladné nebo záporné rozhoduje nelinearita ve změřené amplitudové frekvenční charakteristice. To znamená, že když na charakteristice bude pokles o 4dB tak na přidaném filtru bude zesílení 4 dB a tím bude pokles korigován. Třetím parametrem je zadání šířky filtru, tu je nutné zadávat v oktávách. Na obrázku 11 je znázorněn příklad korigování amplitudové frekvenční charakteristiky.

Jako první je na obrázku 12 zobrazena amplitudová frekvenční charakteristika koaxiálního reproduktoru změřena bez korekčních filtrů. Byly použity pouze dělicí filtry. Jelikož původní aktivní výhybka byla správně navržena, tak je stejný typ výhybky použit i v tomto řešení. Výhybka realizovaná na digitálním signálovém procesoru je tedy 4. řádu typu Linkwitz-Riely. Dělicí frekvence byla nastavena na 2850 Hz.

Ze změřené charakteristiky je nejvíce patrný pokles na frekvenci 10 kHz. Ten je daný vlastností použitého reproduktoru a nedává jinou možnost, než za pomoci filtru tento pokles co nejvíce minimalizovat. Další větší odchylky oproti průměrné hodnotě jsou v okolí 100 Hz, 1,3 kHz a v místě dělicí frekvence. Korekce se musí proto zaměřit na tyto místa.

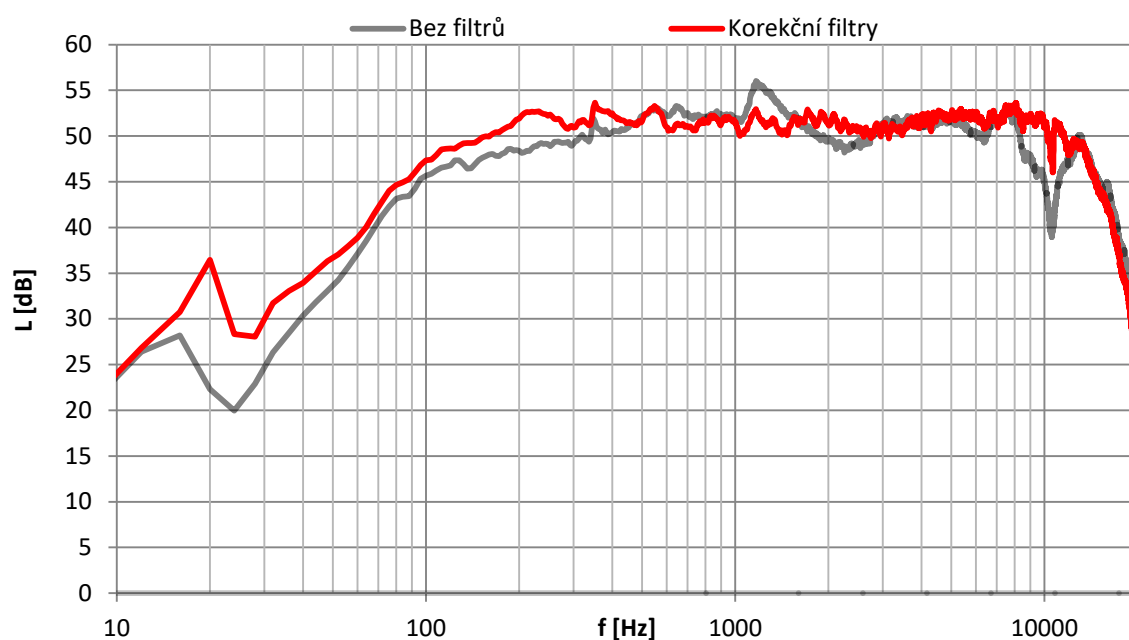


Obrázek 12: Amplitudová frekvenční charakteristika bez použití korekčních filtrů

Korekci v místě dělicí frekvence lze řešit tím, že se zmenší strmost jednoho dělicího filtru. Vhodnější je zmenšit strmost dělicího filtru pro basový systém a to z důvodu bezpečnosti. Protože kdybychom zmenšili strmost dělicího filtru pro výškový systém, tak by se na vysokotónový reproduktor kvůli malé strmosti dostávali nízké frekvence a mohlo by dojít ke zničení. Navíc nevýhodou tohoto řešení je, že pokud každý dělicí filtr bude jiného řádu, tak nebudou spolu ve fázi. Další z možností je změna dělicí frekvence.

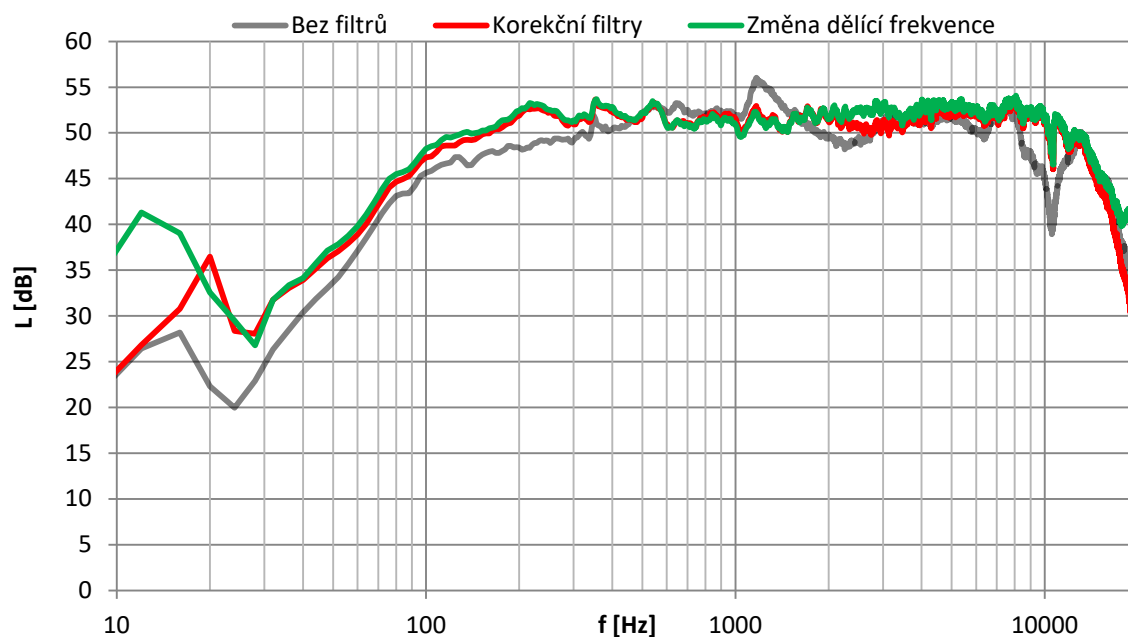
V softwaru Navigator Sabine lze celkovou vytvořenou výhybku i s korekčními filtry uložit a vytvořit takzvaný pre-set, který je poté možné otevřít a použít pro měření na tomto koaxiálním reproduktoru. Takovéto pre-sets byly vytvořeny celkem dva. První pre-set má dělicí filtry nezměněny. Jedná se tedy o filtry 4. řádu typu Linkwitz-Riley s dělicí frekvencí 2850 Hz. Korekce amplitudové frekvenční charakteristiky byla řešena přidáním 10 korekčních filtrů, které jsou popsány v tabulce 3 a 4.

Na obrázku 13 je porovnání amplitudové frekvenční charakteristiky použitého pre-setu (červeně) a amplitudové frekvenční charakteristiky bez korekčních filtrů (černě).



Obrázek 13: Amplitudová frekvenční charakteristika reproduktoru s korekčními filtry

V druhém pre-setu byly korekční filtry ponechány. Změnila se dělicí frekvence na 2250 Hz a strmost dělicího filtru pro basový systém byla zmenšena z 24 dB/okt na 18 dB/okt (obr.14). Toto nastavení bylo zhotoveno kvůli korekci poklesu na původní dělicí frekvenci. Jak je z grafu patrné tato amplitudová frekvenční charakteristika (zeleně) koriguje pokles nejlépe, ale pouze za cenu zmenšení strmosti dělicího filtru, proto je vhodnější použít první pre-set. Tento pre-set slouží spíše jako ilustrativní.



Obrázek 14: Amplitudové frekvenční charakteristiky reproduktoru

Celkem bylo vloženo deset korekčních filtrů. Basový systém je korigován celkem pěti filtry, zesílení filtrů se pohybovalo od -3 dB do 3 dB. U výškového systému byl použit stejný počet filtrů. I zesílení se pohybuje ve stejném rozmezí až na filtr, který koriguje zmíněný propad okolo frekvence 10 kHz, tam je zesílení 13 dB.

Korekční filtry pro basový systém

Tabulka 3: korekční filtry pro basový systém

	střední frekvence	zesílení	šířka pásma
1.	207 Hz	-2 dB	0,42 okt
2.	659 Hz	-3 dB	0,34 okt
3.	1193 Hz	-3 dB	0,59 okt
4.	1333 Hz	2 dB	0,68 okt
5.	2300 Hz	2 dB	0,65 okt

- Korekční filtry pro výškový systém

	střední frekvence	zesílení	šířka pásma
1.	4084 Hz	2 dB	0,42 okt
2.	6332 Hz	4 dB	0,34 okt
3.	7350 Hz	-3 dB	0,59 okt
4.	8949 Hz	3 dB	0,68 okt
5.	10600 Hz	13 dB	0,65 okt

Vložením těchto filtrů byla dosažena nejlepší korekce, která se na digitálním signálovém procesoru Sabine NAV4800 podařila vytvořit. Zvlnění amplitudové frekvenční charakteristiky se pohybovalo v rozmezí 3 dB až na pokles na frekvenci 10 kHz, kde se tento pokles podařilo minimalizovat.

Závěr

Cílem této bakalářské práce byla úprava aktivní výhybky pro koaxiální reprosoustavu osazenou reproduktorem Seas P17 REX/COAX. Tato reproduktorová soustava slouží k měřicím účelům v akustické laboratoři a také jako poslechový monitor.

Na digitálním signálovém procesoru byla realizována výhybka, jejíž parametry jsou stejné jako v původním analogovém řešení. Dělicí filtr byl typu Linkwitz-Riley čtvrtého řádu s dělicí frekvencí 2850 Hz. Pro korekci amplitudové frekvenční charakteristiky reprosoustavy byly vkládány korekční filtry v digitálním signálovém procesoru Sabine NAV4800. V tomto signálovém procesoru byly vytvořeny dva pre-sety, které je kdykoliv možné použít pro měření na této reprosoustavě. Oba pre-sety obsahují stejné korekční filtry, ale liší se pouze v dělicí frekvenci a strmostí dělicího filtru. Druhá předvolba má dělicí frekvenci 2250 Hz a pro basový systém je použit dělicí filtr třetího řádu místo čtvrtého, toto nastavení je realizováno kvůli poklesu frekvenční charakteristiky v okolí původní dělicí frekvence. Toto řešení sice zmíněný pokles koriguje nejlépe, ale změnou strmosti dělicího filtru už nebudou oba dělicí filtry ve fázi, proto je vhodnější použít první pre-set.

Celkem bylo použito deset korekčních filtrů, pět pro basový a pět pro výškový systém. Použitím těchto filtrů je docíleno toho, že výsledné zvlnění amplitudové frekvenční charakteristiky reproduktoru se pohybuje v rozmezí 3 dB kromě poklesu na frekvenci 10 kHz, který je zapříčiněn vlastností reproduktoru. Výsledná amplitudová frekvenční charakteristika v porovnání s původním analogovým řešením je lepší. To je zapříčiněno tím, že v digitálním signálovém procesoru bylo vloženo deset korekčních filtrů a v analogovém provedení pouze dva, kde byl autor limitován rozměrem hardwaru.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] SÝKORA, Bohumil. Reproduktory a reproduktorové soustavy trochu jinak. *Amatérské rádio*. 1995, č.5.
- [2] ČEJKA, Miroslav. *Návrh a realizace aktivní výhybky do poslechových monitorů*. Plzeň, 2010. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická.
- [3] SÝKORA, Bohumil. Aktivní výhybky pro reproduktorové soustavy. *Konstrukční elektronika A Radio*. 2005, ročník LIV, číslo 1. ISSN 1211-3557.

