



Aktivní třípásmové bedny s digitálním signálním procesorem MiniDSP a filtry FIR

Obsah

1	Úvod	3
2	Výběr reproduktorů	3
3	Proč aktivní reprobedny s DSP?	5
4	Provedení ozvučnice	5
5	Jaké zesilovače?.....	6
6	Měření kompletních reprosoustav a korekce problémů v poslechovém prostoru	8
7	Závěr	11

Aktivní třípásmové bedny s digitálním signálním procesorem MiniDSP a filtry FIR

1 Úvod

Nedávno jsem prakticky dokončil své druhé řešení aktivních digitálních reproduktorů v dipólovém provedení. Chybí jen přední rámeček s krycí tenkou černou látkou. Jak jsme si již v minulém povídání ukázali, výsledky mých prvních dipólových aktivních reprobeden REF15 byly výborné. Při měření a programování FIR filtrů pro ně jsem zjistil, že je vhodné pro zvýšení mezního kmitočtu a snížení zkreslení kolem vazební frekvence části středo-výškové změnit část výškovou a použít část basovou takovou, aby byla lepší z hlediska technických parametrů a hlavně taková, aby výsledný design reprobeden byl lepší. Proto se do každé bedny použili dva desetipalcové basové reproduktory s nižším rezonančním kmitočtem a vyšším lineárním zdvihem nad sebou, abychom dosáhly užší skříně reproduktorové soustavy, vyšších akustických tlaků a širšího frekvenčního pásma celé soustavy.

Zvolil jsem znovu dipólové řešení, protože REF15 mě svou kvalitou přednesu ohromily.

2 Výběr reproduktorů

Basový reproduktor vhodný pro dipól by měl mít velkou lineární výchylku a rezonanční kmitočet f_s alespoň na požadované frekvenci nebo lépe pod požadovaným mezním kmitočtem soustavy. Plocha membrány musí být dostatečně velká a separace dipólu taková, aby celková rychlost objemu vytlačeného vzduchu byla dostatečná k vytvoření požadovaného akustického tlaku (SPL).

Rychlou pomůckou pro kontrolu vhodnosti reproduktoru je hodnota VSP (Volume-separation produce), která je definovaná následovně:

$$VSP = N \times S_d \times X_{max} \times D ; [cm^4] \quad , \text{ konečná hodnota by měla být nejméně } 33300 \text{ cm}^4$$

N je počet reproduktorů

S_d [cm²] je plocha membrány reproduktoru

X_{max} [cm] je maximální lineární výchylka reproduktoru

D [cm] je separace dipólu. (při kruhové ozvučnici je to její poloměr, při pravoúhlé ozvučnici je to $\frac{1}{2}$ průměru ekvivalentní kruhové ozvučnice pro hranatou ozvučnici, pro H-ozvučnici je to 2 x její délka, pro U-ozvučnici je to její délka.

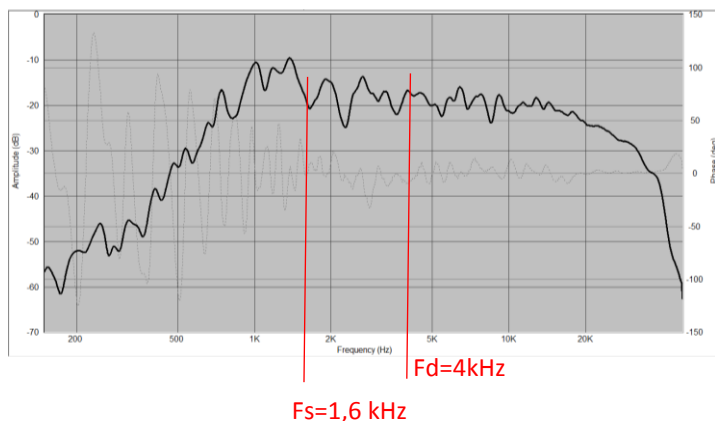
(Průměr ekvivalentní kruhové ozvučnice se musí spočítat a je to průměrná vzdálenost středu reproduktoru od všech okrajových bodů ozvučnice. Na webu jsou na to volně dostupné kalkulace.)

Původní basové reproduktory v REF16 byly 15", rezonanční kmitočet $f_s = 43$ Hz, lineární výchylku 6,25 mm a měly $VSP=33200 \text{ cm}^4$.

Nyní zvolené řešení s 10" reproduktory s lineární výchylkou 8,3 mm a $F_s = 32$ Hz, kdy jeden reproduktor má $VSP = 27200 \text{ cm}^4$, má tedy celkové VSP jedné bedny více než $54\,000 \text{ cm}^4$ a rezonanční kmitočet více než 10 Hz nižší.

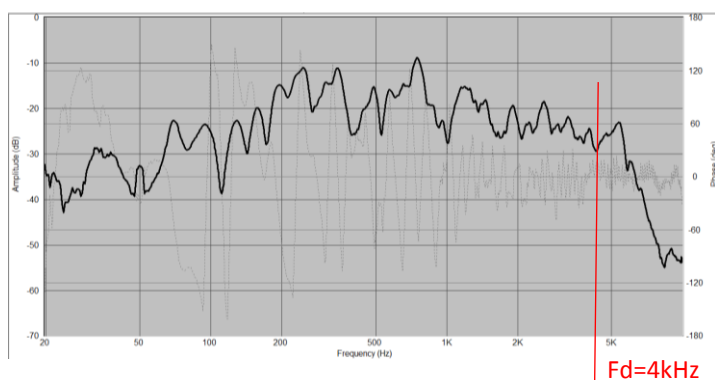
Původně zvolené výškové reproduktory měly $F_s = 1600$ Hz a hrály max. do cca 16 kHz. Dělicí kmitočet f_d se musel od středů posunout kvůli vysokému zkreslení kolem rezonančního kmitočtu výškového reproduktoru až na 4 kHz.

Výšky



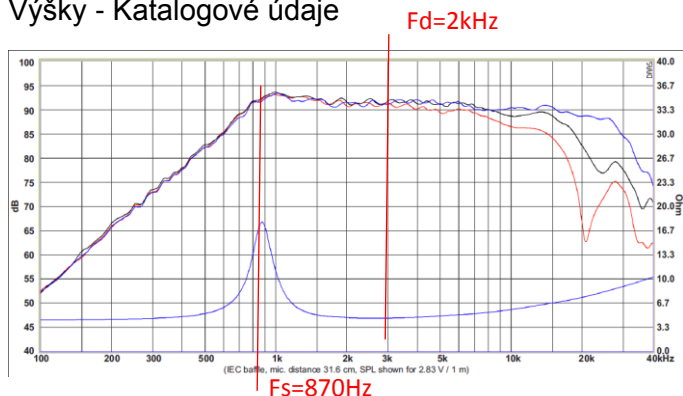
Protože středové reproduktory ale klesají již na 5 kHz, (viz obrázek níže), není výsledná fáze ani amplituda v okolí dělicího kmitočtu výhybky prvního řádu správná a konečná fáze i amplituda se bude muset korigovat v digitálním filtru.

Střed



Nové výškové reproduktory mají $F_s = 870$ Hz a hrají s mírným poklesem vysoko nad 20 kHz. Výhybka je kvůli udržení lineární fáze 1. řádu, tj. 6dB/oct a dělicí kmitočet je zvolen na 2 KHz a vyhovuje jak středovým, tak výškovým reproduktorům. V obou případech je více než o oktávu od dělicího kmitočtu charakteristika reproduktorů stále lineární. Výškový reproduktor tak na svém rezonančním kmitočtu způsobuje při 80 dB hlasitosti soustavy jen 0,28% zkreslení (neslyšitelné).

Výšky - Katalogové údaje

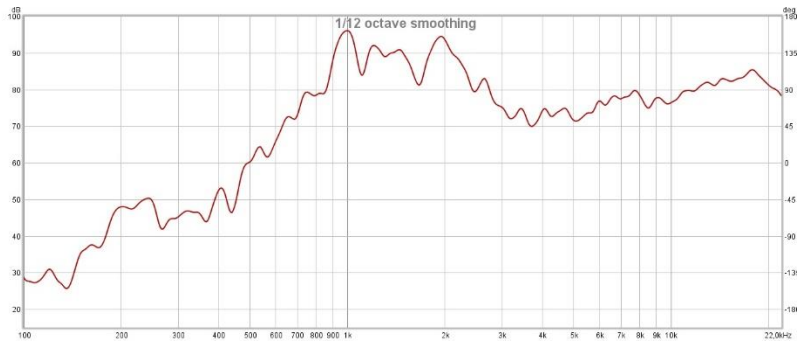


Modrá – měřeno v ose

Černá – měřeno 30° od osy poslechu

Červená - měřeno 60° od osy poslechu

Naměřená charakteristika výškového reproduktoru bez výhybky ve finální ozvučnici v poslechové místnosti v místě poslechu



3 Proč aktivní reprobedny s DSP?

Protože největší vliv na kvalitu poslechu má poslechová místnost, je to první důvod. Jak jste si již mohli výše všimnout, postavit reproduktorovou soustavu alespoň s lineární fází, když už ne s nulovou je s klasickými analogovými výhybkami velmi těžké a výsledek není nikdy dost dobrý. To je druhý důvod, protože zvolený typ digitálních filtrů (FIR) umožňuje nezávislé korekce amplitudy a fáze.

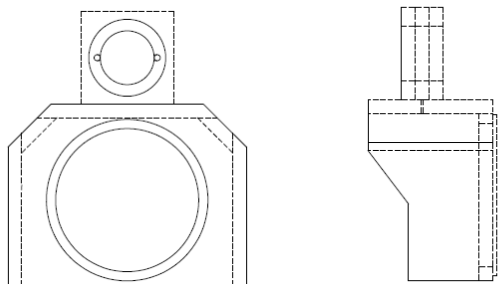
4 Provedení ozvučnice

Stojan pro část středů a výšek a pro zesilovače

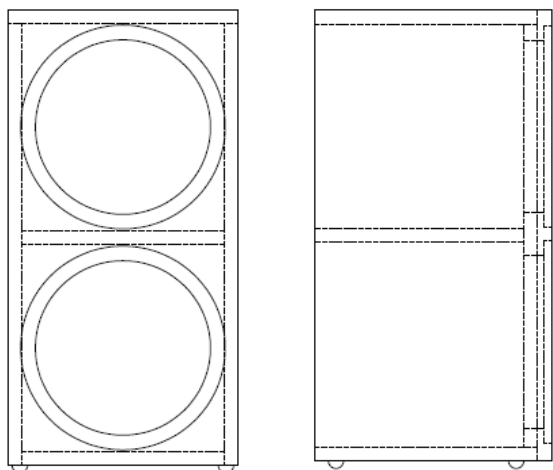


Detail části pro středy a výšky





Ozvučnice pro středy a výšky je napevno namontovaná do části pro středy a výšky vpředu a za ní je prostor pro vložení výkonných zesilovačů.

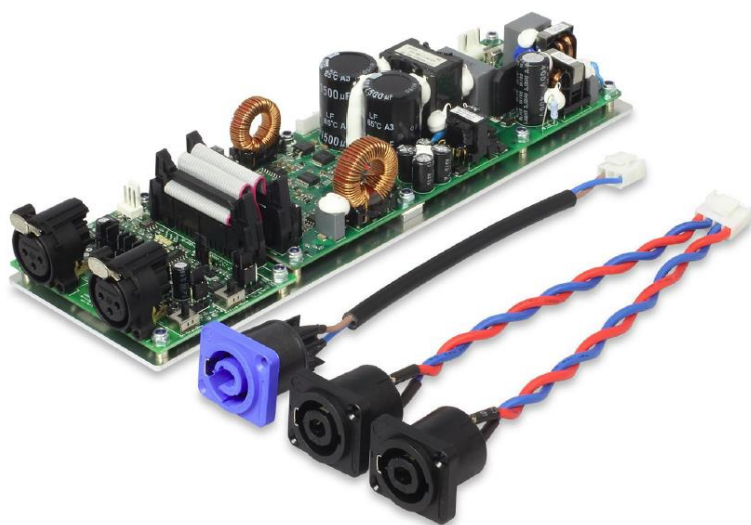


Basová část má samostatně stojící skříň, která se stojanu pro středy a výšky nikde nedotýká a stojí na podlaze ve spodní části stojanu (viz obrázek na titulní straně).

5 Jaké zesilovače?

Vzhledem k tomu, že jsem již více než rok používal hybridní zesilovač Tentlabs, který má elektronkový předzesilovač s nízkým zkreslením a transformátorovou vazbu mezi elektronkovým předzesilovačem a koncovým světově známým Hypex UCD spínaným stupněm (třída D), rozhodl jsem se rovněž pro koncové stupně ve třídě D.

Po delším vybírání jsem zvolil profesionální koncové stupně Pascal Série U-PRO2. Jedná se o kompaktní zesilovač se dvěma výkonovými stupni, zvládající extrémní dynamiku výkonového zatížení a má integrovanou napájecí část s korekcí fázového posuvu (PFC).

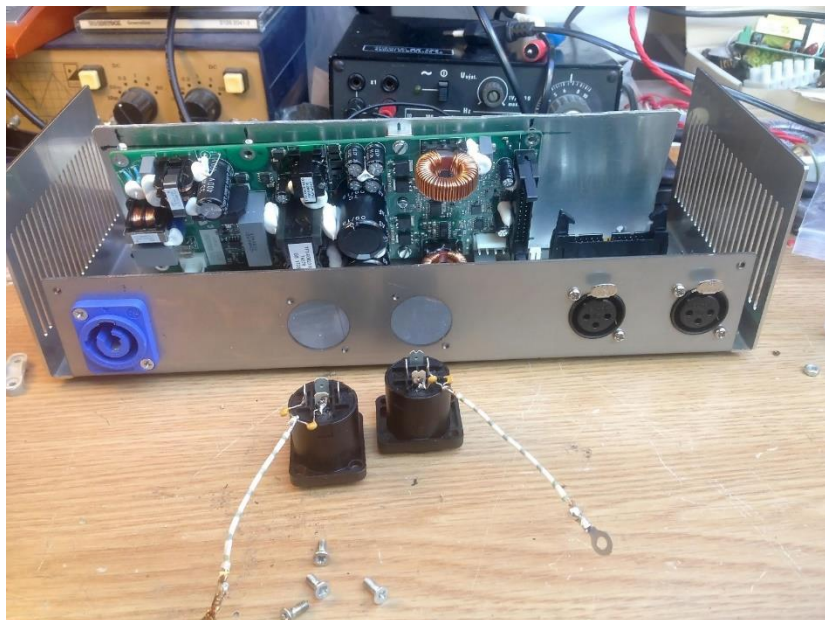


Značková technologie Pascal UMAC™ nesrovnatelné parametry pro audiofilů. Má nejvyšší dynamický rozsah a nejnižší zkreslení v porovnání s jakýmkoliv audio zesilovačem. Mají zároveň nejvyšší účinnost, minimalizující tak potřebu velkých chladičů. Oficiální tabulka parametrů je níže:

Power Ratings (RMS @ 1% THD @ 230Vac)				
	16 Ω	8 Ω	4 Ω	Peak
Channel 1	125 W	245 W	280 W	1000 W @ 4 Ω
Channel 2 (U-PRO2 only)	125 W	175 W	110 W	300 W @ 8 Ω
Output Circuitry	UMAC™ Class D - full bandwidth PWM modulator with ultra low distortion			
Output Voltage	70 V _p / 140 V _{pp} (unloaded)			
Amplifier Gain	26 dB			
Signal To Noise-Ratio	> 119 dB (A-weighted, 20 Hz - 20 kHz, 8 Ω load)			
THD+N (typical)	< 0.05 % (20 Hz - 20 kHz, 8 Ω load, 3 dB below rated power)			
Frequency Response	20 Hz - 20 kHz (+0/-0.25 dB (8 Ω load, 3 dB below rated power)			
Damping Factor	> 350, channel 1 / > 225, channel 2 (8 Ω load, 1 kHz and below)			
Protection Circuits	Short circuit protection, DC protection, under voltage protection, temperature protection, overload protection			
Readouts & Control options	Protect/Disable (mute), Temperature, Clip, Voltage, Auto Standby/Wake-up (3 timings)			
Power Supply	URECT™ universal mains switch mode power supply with Power Factor Correction (PFC) and integral standby converter			
Operation Voltage	Universal Mains, 85-265V			
Aux. Power for DSP	±15 V, +7.5 V, maximum total 9 watt available			
Standby Consumption	< 0.25 W (Green Energy Star & ErP 1275/2008/EC compliant)			
Dimensions	38 x 70 x 180 mm / 1.5 x 2.5 x 7.0 in			
Weight	U-PRO1: 220g / 0.49 lbs - U-PRO2: 229g / 0.50 lbs			

Tento modul se také z důvodů odrušení nežádoucího vyzařování umístil do plechové skříňky na které se umístily konektory pro vstupy, výstupy a napájení.

Tady vidíte zesilovač při montáži:

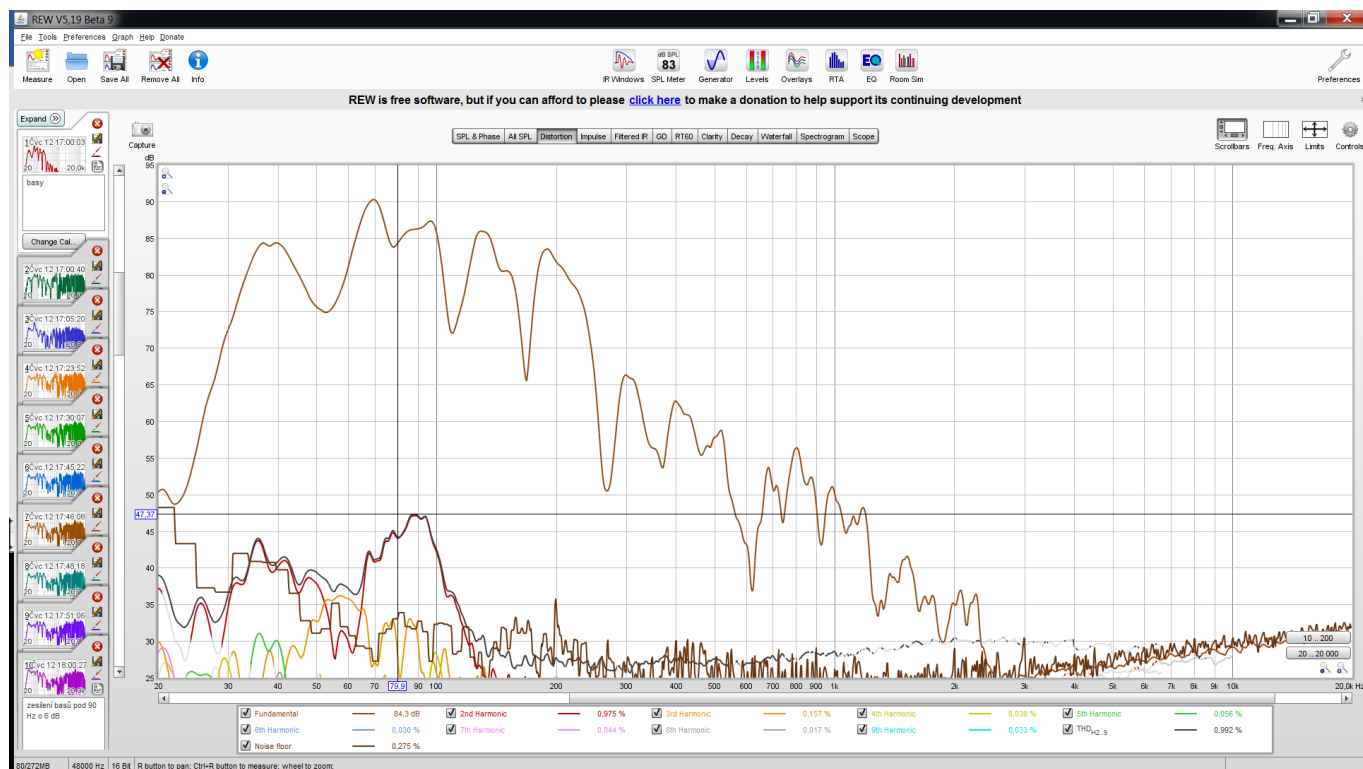


Tady už je zesilovač zkompleťovaný a připravený pro vložení do reprobedny.



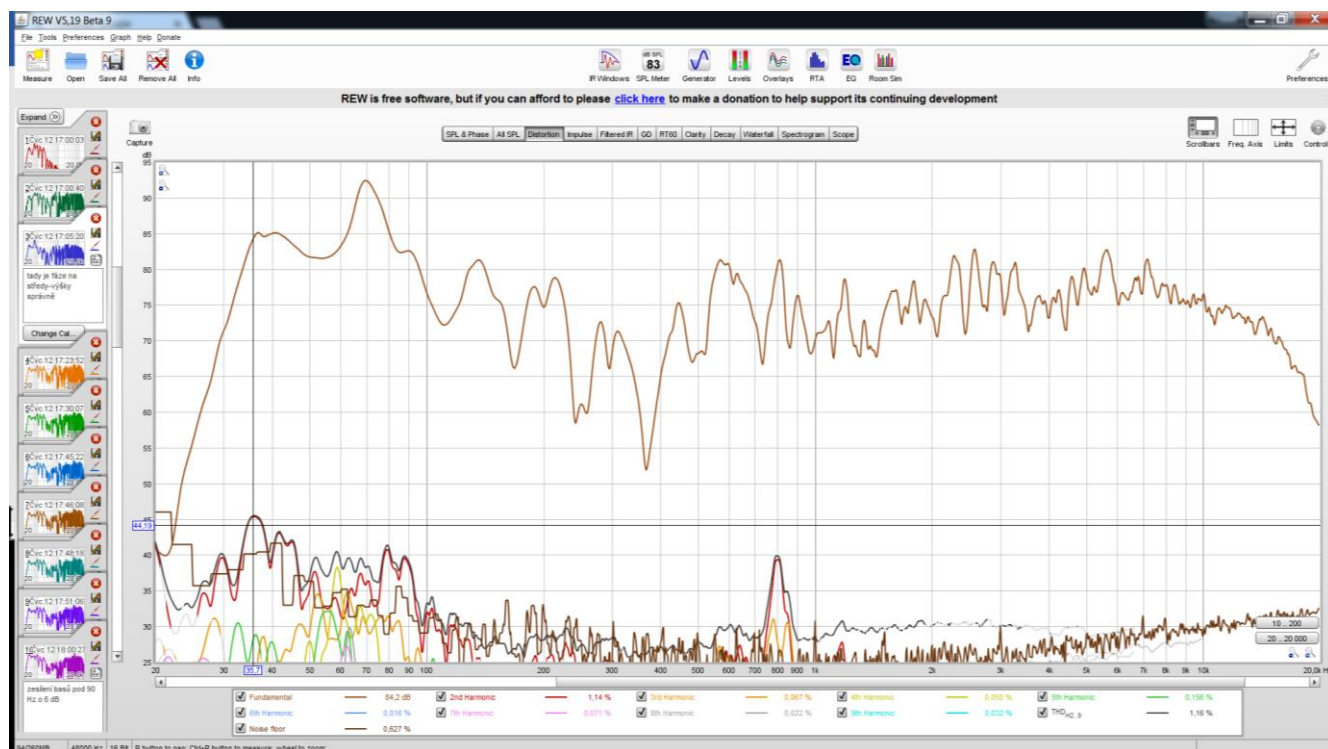
6 Měření kompletních reprosoustav a korekce problémů v poslechovém prostoru

REF210 – basová část samostatně



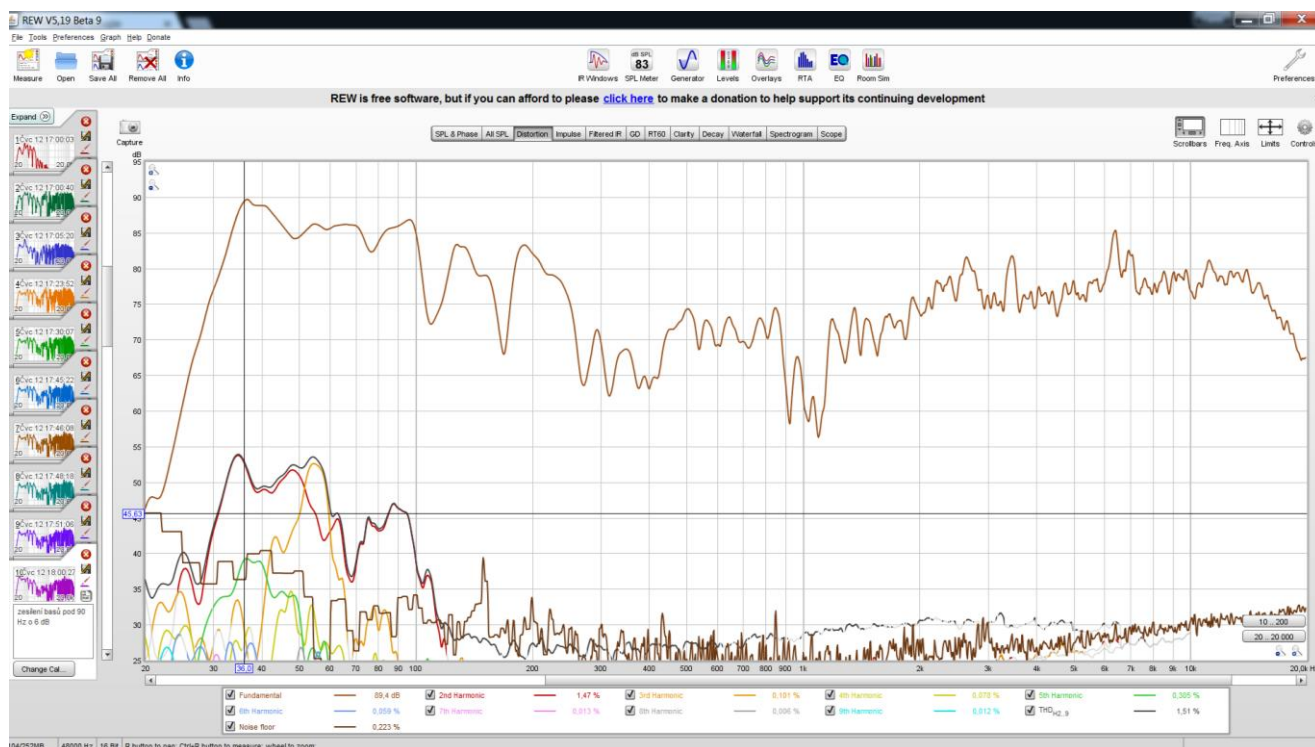
Nejvyšší zkreslení je na 35 Hz = 0,72%

První měření celé soustavy REF210 po naprogramování DSP pro korekci středo-výškové části.



Nejvyšší zkreslení je na 36 Hz = 0,601%.

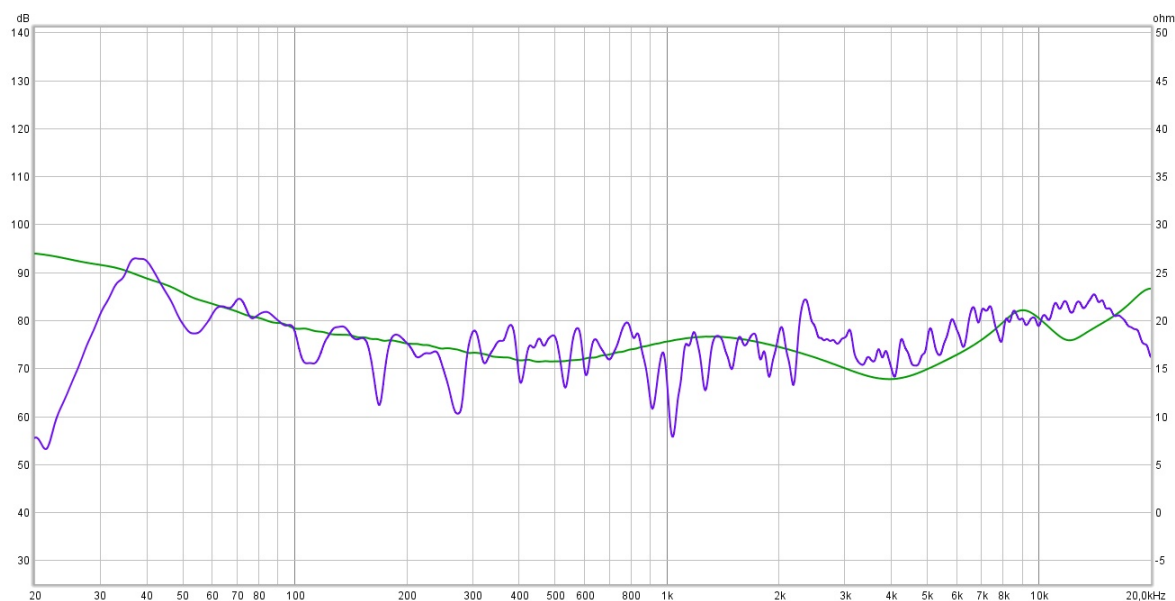
Zde je měření po dalších úpravách špiček na basové části:



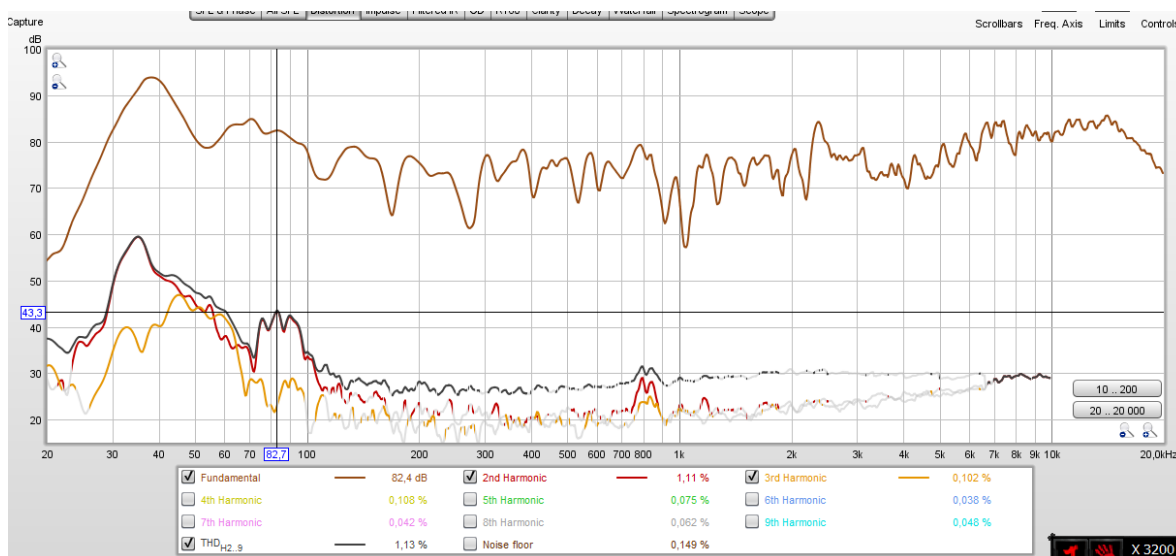
Konečné zkreslení na 54 Hz = 0,245%.

Systém i tak vyžadoval další korekce kvůli problémům v poslechové místnosti. Nakonec byla pro finální tvar charakteristiky zvolena křivka stejné hlasitosti pro 80 dB.

Tady je finální tvar přenosové charakteristiky v naší poslechové místnosti v bodě poslechu.



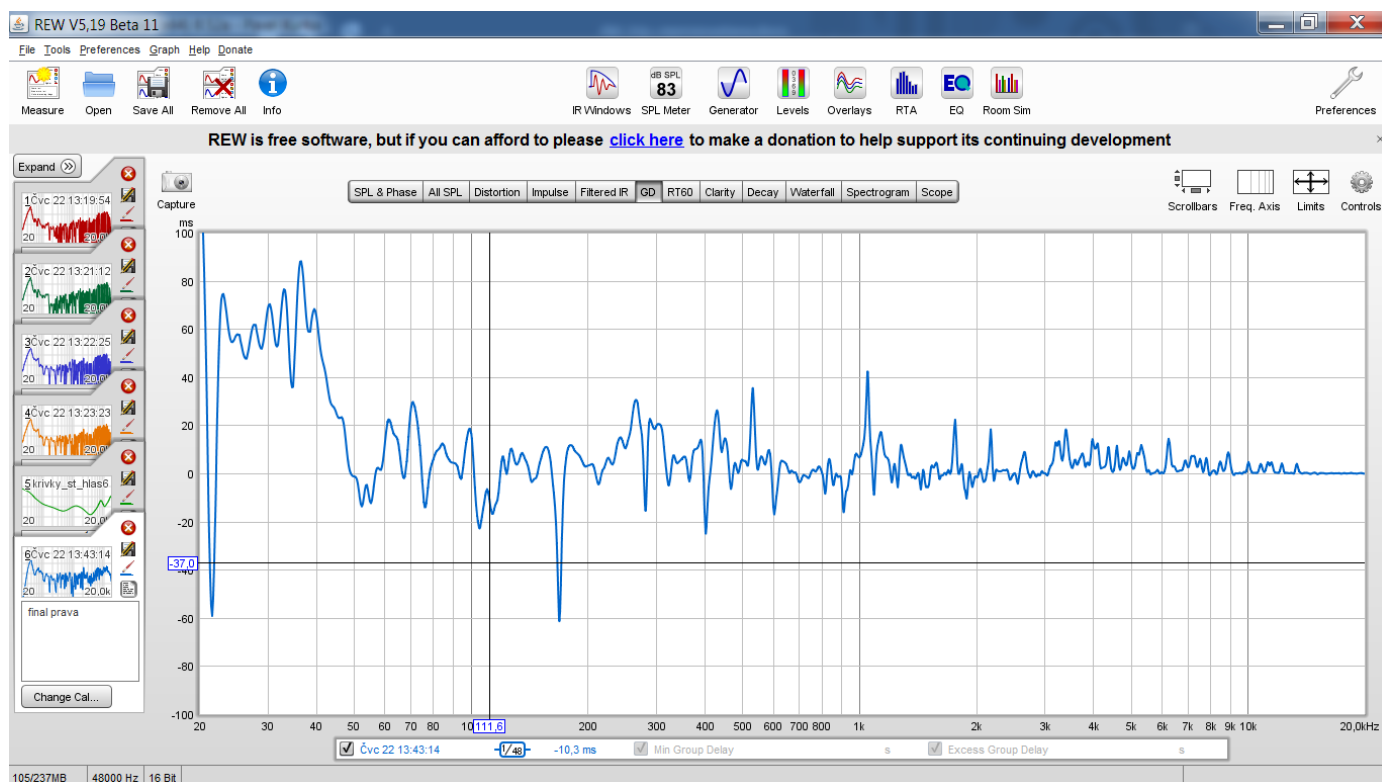
Zvýšením basů se zvýšilo i zkreslení na nejnižších basech. Je to ale stále na hranici slyšitelnosti, takže stále výborné.



Zkreslení na 82,7 Hz je 1,13% a na 35,1 Hz je 2,59 %. Tam už většinou žádná nahrávka použitelný signál nemá.

Pro kontrolu stavu fáze přes celé pásmo je vhodné využít graf skupinového zpoždění, protože tam kde je zpoždění 0, tak je i fáze nulová. Takovýto graf máte na obrázku dole. Graf vykazuje nějaké drobné výchylky od nuly, které jsou způsobené chováním poslechové místnosti a tvaru osluchnice, ale cca od 50 Hz se stále pohybuje kolem nuly. Na nižších kmitočtech už fáze utíká. Pro člověka je však fázová informace při frekvencích pod cca 150 Hz nerozeznatelná, takže vše je v pořádku a poruchy fáze neovlivní výslednou barvu zvuku.

Skupinové zpoždění s filtrací 1/48 oct. potvrzuje téměř lineární fázi přes celé pásmo.



7 Závěr

To vše byla doposud jen teorie. Jak asi každý uznáte, je nutné to slyšet. Budu tyto soustavy dále zkoušet i v jiných poslechových místnostech a budu se chystat na top – top dílo, tj. čtyř pásmové aktivní bedny s DSP s FIR filtry pro každé pásmo zvlášť.

Jste kdykoliv (pokud budu doma) vítáni v naší poslechové místnosti kde to můžete slyšet a je možné se také domluvit na jiném místě v rozumné vzdálenosti od Břeclavi. Pokud budu zdravý, tak se budu snažit i více jezdit.