

Regálová reprosoustava [Monacor SPH 200KE + Monacor DT107]

Určení: Dvoupásmová regálová reprosoustava určená pro jakostní poslech

Datum realizace: Září – říjen 2009

Orientační cena: 8000kc/kus

Technická data: Bassreflexová ozvučnice, (šxvxxh) 330x490x490, Vnitřní objem 40l, Zatížitelnost 100W, Citlivost 88dB, Kmitočtový rozsah 40Hz-20kHz (+-10dB), Harmonické zkreslení při 1VA max 0,4%, Impedance 8ohm, MDF deska 40mm + 6 vrstev speciálního krycího laku, Váha 28kg. Bassreflexový nátrubek: 70x170

Autor: Ing. Tomáš Kavalír, FEL-ZCU, kavalir.t@seznam.cz, <http://ok1gth.nagano.cz>

Úvod

Po přestěhování do nového bytu jsem uvažoval o koupi Hi-Fi reproduktorových reprosoustav. S rozpočtovým stropem okolo 15000kc jsem ale nenarazil na vhodnou reprobednu, která by splňovala mé nároky na velmi malé harmonické zkreslení a dobré dynamické vlastnosti použitých měničů. Jelikož mám dlouholeté zkušenosti se stavbou především reproduktorových soustav pro systémy PA, tak jsem se rozhodl pro vlastní návrh i realizaci svépomocí. Dalším důvodem pro bylo i to, že mám možnost slušného měření v bezodrazové komoře, za což velice děkuji kolegům z fakulty. Na vlastním projektu mi velice pomohl i můj kamarád Tomáš Vopat z truhlářství [Vopat Kraslice](#), které díky kvalitnímu zázemí umožnilo vznik tohoto projektu.

Reproduktory

Při prvotním plánování více než rok na zpět jsem měl v úmyslu použít reproduktory od výrobců specializujících se na PA systémy (Fane, B&C, PD) a udělat takové větší středobasové sekce se slušnou citlivostí osazené 10-12 palcovými měniči. Jak ale šel čas, tak jsem postupně začal chápat, že vše není jen o vysoké citlivosti a zatížitelnosti reprosoustav a že pro domácí kvalitní poslech se vyžadují naprosto odlišné vlastnosti, než jaké jsou důležité pro plošné zvučení. Toto jsem si ověřil i po praktické stránce poslechem na některých profesionálních HiFi reprobednách. Velice mě učaroval zvuk relativně malých středobasových měničů s kevlarovými membránami, které zajišťují malou hmotnost kmitacího systému a zároveň potřebnou tuhost s nízkým harmonickým zkreslením. Původně jsem byl rozhodnut pro reproduktory firmy SEAS, ale typ s kevlarovou membránou vhodných vlastností jsem v nabídce nenašel. Nakonec jsem i přes značnou podezíravost šáhl po reproduktorech od firmy Monacor jejich nejvyšší třídy a jak se nakonec ukázalo, byl to krok správným směrem. Jako středobasový měnič jsem vybral typ SPH200KE o rozměru 8 palců, který i přes poměrně nízkou cenu okolo 2000kc je precizně udělán a i po zvukové stránce rozhodně neurazí. Kvalitu měniče potvrdilo i měření harmonického zkreslení, kdy na kmitočtu 100Hz u finálního provedení ozvučnice bylo cca 0,2% (1VA). Pro výškovou sekci byl zvolen měnič Monacor DT107 s textilní membránou.

Ozvučnice

Od samého počátku jsem uvažoval, že reprobedny budou součástí obývacího pokoje a budou součástí nábytku (nebudou se převážet). Dále jsem vycházel z principu, že v jednoduchosti je síla a o to méně se toho dá zkazit při vlastním návrhu a realizaci. Sloupové reprosoustavy jsem zamítl, protože to už by opět bylo nad rámec finančního stropu, navíc pro mou poslechovou místnost 4x6m jsou po akustické stránce vhodnější regálové soustavy o

rozhodném objemu. Začal jsem vlastní simulací ve Winisd a LSPCAD, abych si udělal představu o přibližném objemu a typu ozvučnice. Původně jsem chtěl udělat uzavřenou ozvučnici, protože jsem se bál rušivého „dýchání“ bassreflexu a sekundárního vyzařování nátrubkem v pásmu středních kmitočtů. Ale po prostudování TS parametrů (výhodné $Q_{TS}=0,38$) jsem nakonec zvolil bassreflexovou ozvučnici s nátrubkem na zadní straně. Optimální objem vychází okolo 40l. Další podmínkou byla maximálně tuhá a dokonale těsná ozvučnice, u které jsem navíc z důvodu omezení difrakce na hraně požadoval vysoké zaoblení. Vhodným a dostupným materiálem je MDF deska, která se navíc dobře frézuje. Zvolil jsem tloušťku 40mm. Praxe ukázala, že konstrukce je maximálně tuhá a ani při nejvyšších hlasitostech nejsou patrné žádné známky kmitání ozvučnice natož parazitních zvuků způsobených „drnčením“ ozvučnice. Oba měniče jsou osazeny do roviny přední desky vhodným vyfrézováním. Celá ozvučnice je sesazena na „kolíky“ a důkladně lepena ze všech stran. Nebyly použity žádné šrouby kromě uchycení měničů. Pro potlačení stojatého vlnění byl použit tlumící materiál Basotec ve formě jehlánků a tlumící rouno přilepené na vnitřní stěny. Vzdálenost středobasového a výškového měniče byla zvolena s ohledem na dělicí kmitočet a fázi cca 17cm ($5/4\lambda$). Na výrobu ozvučnice byla zakoupena celá MDF deska 2740x1820 o hmotnosti cca 140kg, ze které byly vyrobeny 4 kusy stejné ozvučnice. Na závěr byla ozvučnice dokonale obroušena, ofrézovaná, vykytována tak, aby působila uceleným dojmem. Nakonec bylo profesionálně nastříkáno 6 vrstev speciálního laku v barvě černá matná.

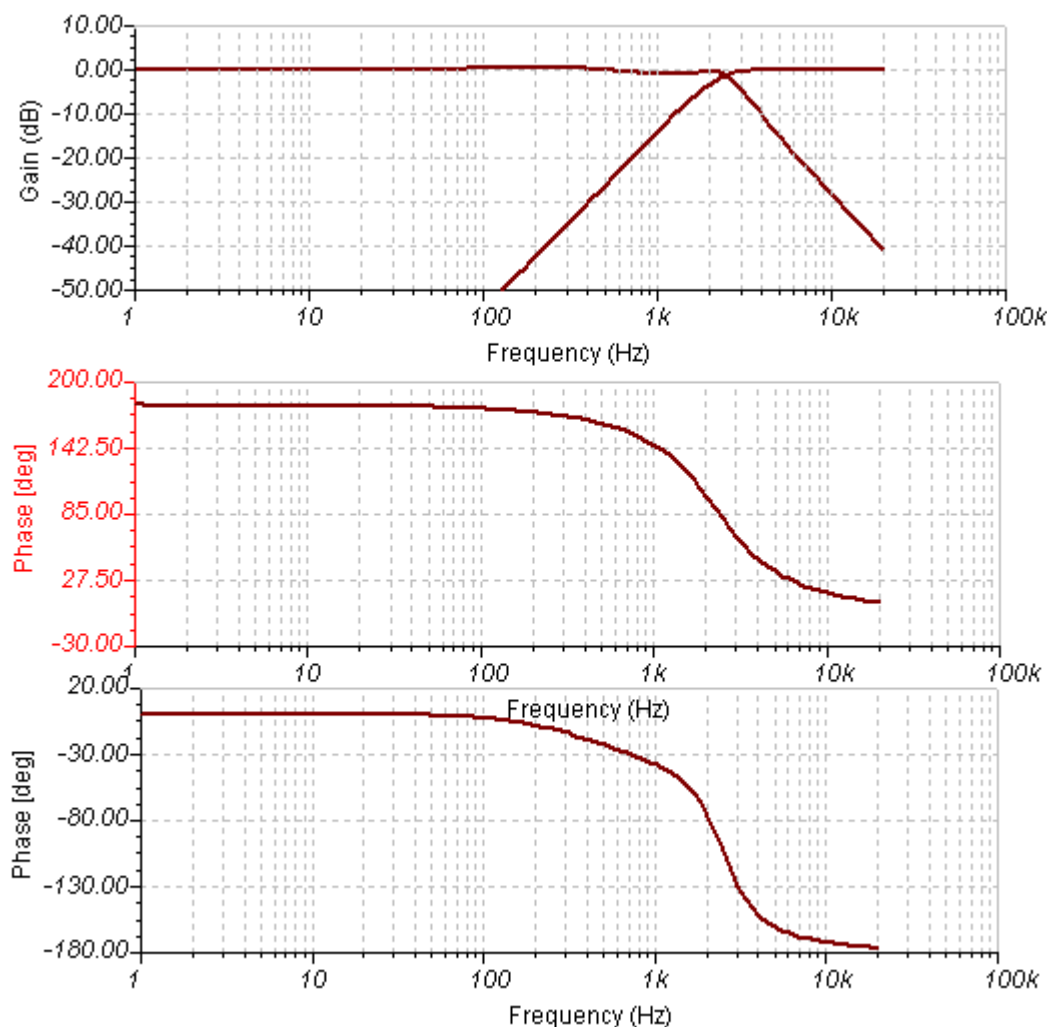
Výhybka

Pro návrh výhybky jsem použil simulačních programů PS spice a Tina. Pro podrobnější analýzu jsem spočítal a sestavil náhradní elektrické schéma reproduktoru pomocí mechanicko-elektrické analogie (přes gyrační konstantu B_l). Výhybka byla zvolena druhého řádu s kompenzací indukčnosti u středobasového reproduktoru. Tuto výhybku jsem optimalizoval, aby vhodně vyšel jak dělicí kmitočet, tak aby i měniče byly ve fázi na dělicím kmitočtu. Cívky jsem navinul na kostřičky a změřil RLC můstkem. Kondenzátory jsem použil svitkové na 160V. Podrobnější informace o návrhu a konstrukci výhybky mohu poslat e-mailem.

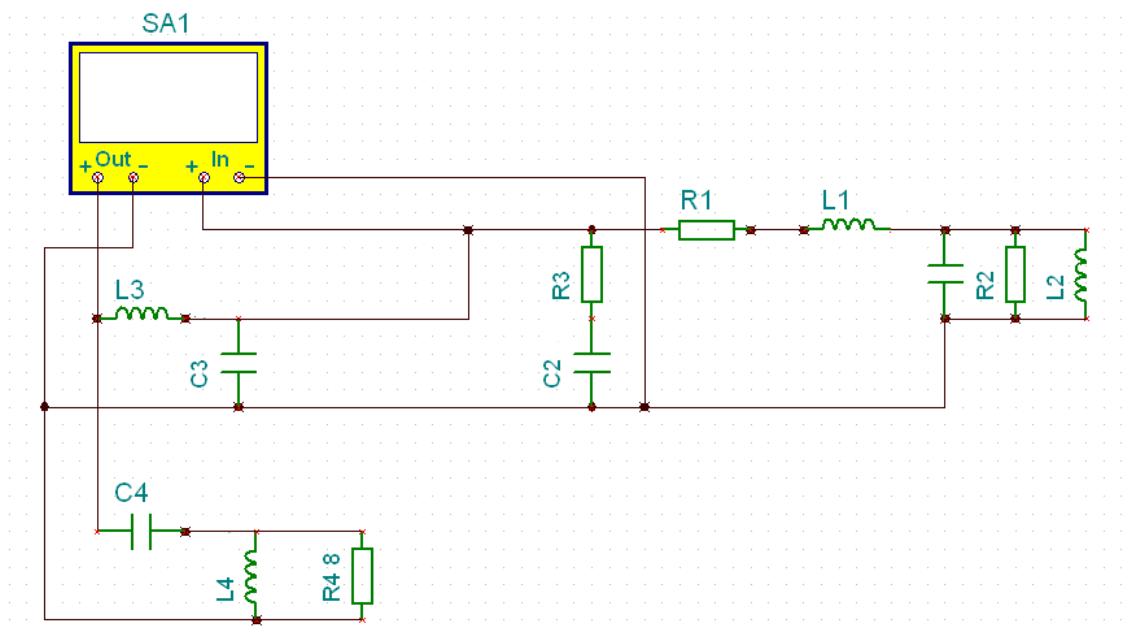
Zhodnocení

Na začátek uvedu, že neumím a ani nechci používat barvitě přívlastky bohatě popisující kvalitu reprobeden po zvukové stránce. Postupem času jsem zjistil, že jsou pro mě daleko důležitější naměřené parametry, které jednoznačně dokáží popsat základní elektrické vlastnosti reproduktorové soustavy a za druhé dlouhodobé subjektivní testy a porovnání s jinými typy reproduktorových soustav. Jsem dost velkým kritik a často se tak snažím na všem odhalit nějakou chybu a je jedno jestli se jedná o vlastnoručně vyrobený výrobek nebo drazě zakoupený profesionální. Reprobedny jsme změřili v bezodrazové komoře pomocí měřicího mikrofonu Brüel & Kjær a měřicího systému Brüel & Kjær PULSE. Kmitočtová charakteristika sice nevyšla tak vyrovnaná, jak ji známe ze špičkových aktivních monitorů, ale musíme si uvědomit, že výrobci těchto monitorů zároveň optimalizují nejen vlastní reprobednu, ale i korekční obvody v elektrické části právě za účelem maximálně vyrovnané kmitočtové charakteristiky. Z naměřených výsledků je vidět, že výhybka je dobře navržena a šířka pásma je 40 – 20kHz (+10dB) a 100 – 15kHz (+3dB). Reprodukory jsou určeny pro umístění v rozích místnosti a je pak patrný nárůst citlivosti v dolním pásmu. Citlivost je měřena v ose výškového měniče ve vzdálenosti 1m při 1VA a je cca 88dB. Harmonické zkreslení bylo měřeno také při 1VA pro 3 různé kmitočty. Byly uvažovány produkty až do 5

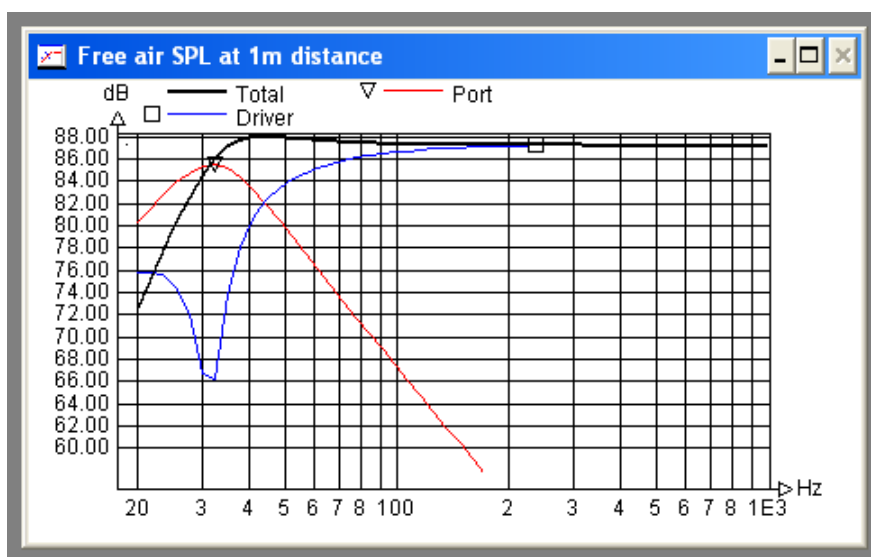
řádu. Uvedené zkreslení je včetně budícího zesilovače určeného pro PA systémy od firmy YAMAHA. Zkreslení pro 100Hz = 0,21%, 1000Hz = 0,45% a pro 4000Hz = 0,16%. Doloženo měřícím protokolem. Po zvukové stránce chvilku trvalo než se podařilo najít optimální místo umístění reprobeden v poslechové místnosti. Reprobedny vykazují poměrně špičkové dynamické vlastnosti, což se poznalo hned při prvním poslechu. I když jsem zvyklý používat hlubokotonovou jednotku pro kvalitní přednes i ve spodním spektru kmitočtů (v druhém bydlíšti používám B&C 15PS100 ve 200 litrové ozvučnici s 400W fetovým zesilovačem), tak u těchto poměrně malých regálových soustav nemám potřebu přemýšlet o doplnění kvalitním subwooferem a je až s podivem, jak dokáží zahrát i ve spodním pásmu. Při poslechu na tyto reprobedny jsem objevil jiný svět hudby a velice si libuji především v ostrosti a detailech, které jsem na jiných reprobednách u svých oblíbených nahrávek neslyšel. Stereofonní báze je dostatečně široká a reprobedny jsou vhodné jak pro blízký, tak i vzdálený poslech. Svou povahou se hodí především pro akustickou hudbu a strunné nástroje. Ale není problém si poslechnout i rockovou hudbu a jiné žánry. Zatím se mi nepodařilo najít nějaké nedokonalosti, na které bych se mohl soustředit a poslech hudby se tak pro mě stává uklidňující a ne noční můrou ☺. Reprobedny provozuji se zesilovačem o výkonu 2x100W(eff), který má dostatečný špičkový výkon pro pokrytí krátkodobých špiček, aby nedošlo ke zbytečnému snížení jinak výborných dynamických vlastností měničů. Děkuji kolegům z fakulty za dobré rady a především Tomášovi Vopatovi za pomoc při stavbě ozvučnice...



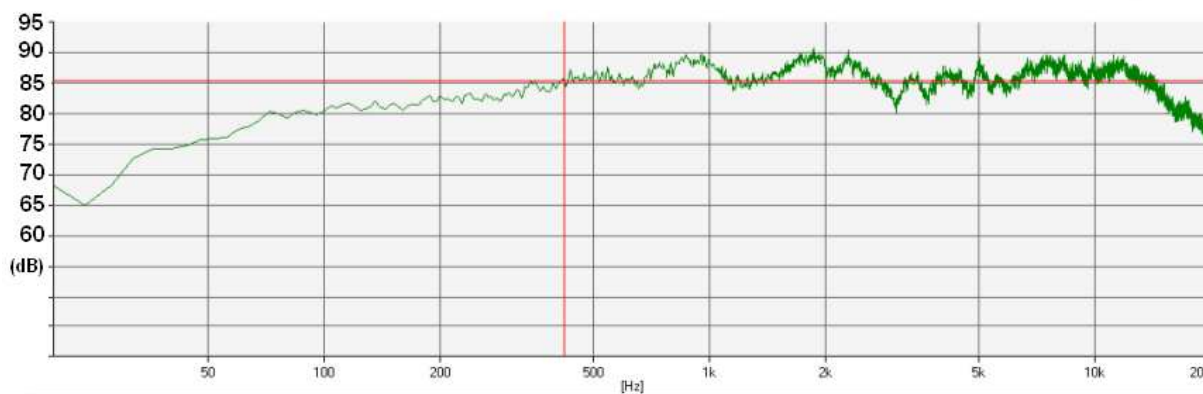
Obr.1 Odsimulovaná a optimalizovaná výhybka s dělicím kmitočtem 2,7kHz.



Obr.2 Schéma výhybky a náhradní schéma středobasového reproduktoru.



Obr.3 Průběh vypočtené frekvenční charakteristiky z LSPCADu.

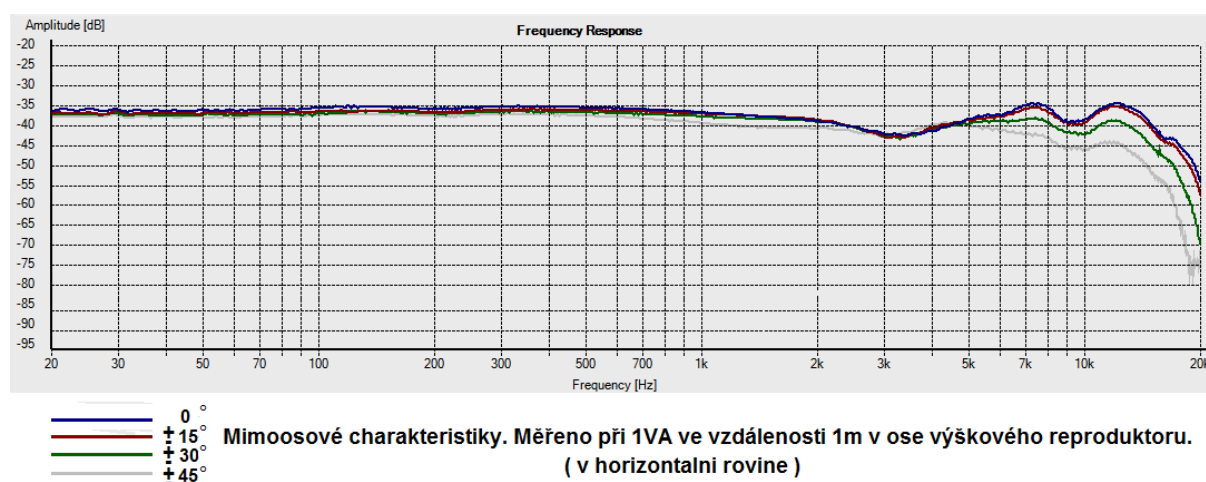


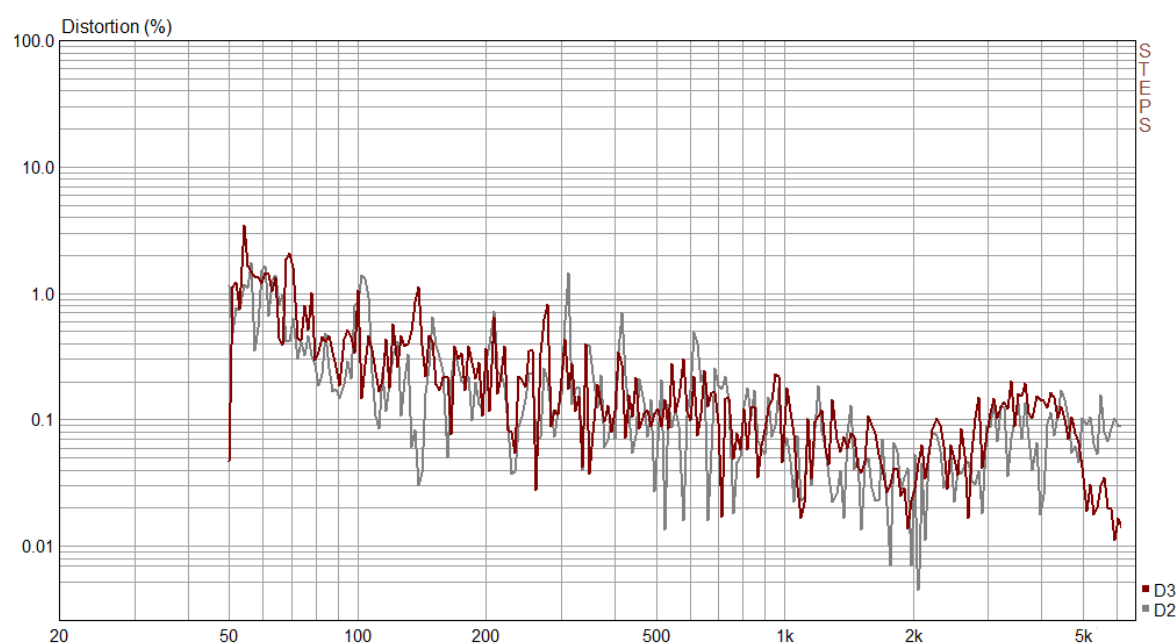
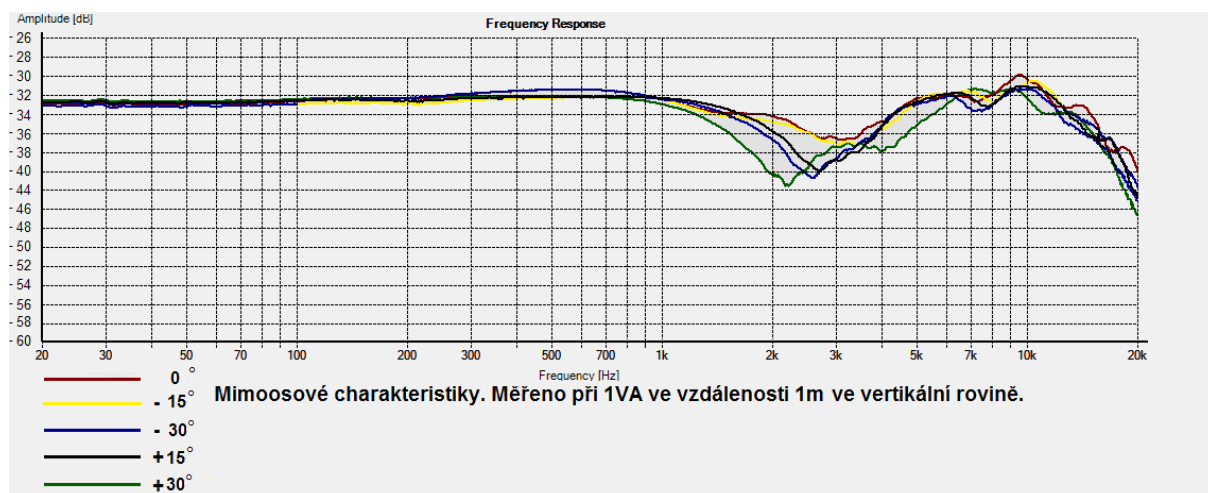
Obr.4 Změřená kmitočtová charakteristika 0-20kHz při 1VA/1m.

Dodatek 2010:

Pro další optimalizaci reproduktorové soustavy jsem doma rozchodil základní elektroakustické měření vycházející z metody MLS (Maximum Length Sequence). Vyhodnocení tak probíhá v časové oblasti v tzv. impulsní odezvě, kdy pro zjištění impulsní odezvy tohoto systému lze použít téměř libovolný signál, jehož autokorelační funkce se blíží potřebnému jednotkovému impulsu s co nejkratší dobou trvání. Vhodným nastavením „délky okna“ tak lze uvažovat pouze přímou vlnu bez odrazu a následnou transformací do frekvenční oblasti lze přibližně zobrazit tvar frekvenční amplitudové charakteristiky téměř neovlivněné odrazy. Pro měření jsem použil běžně dostupný mikrofon MCE 2500. Odměřil jsem amplitudové charakteristiky obou měničů včetně mimoosových charakteristik a následně „optimalizoval“ dělící kmitočet výhybky. Použitá metoda měření není vhodná pro měření v dolním kmitočtovém pásmu a praktická použitelnost výsledků je od několika 100Hz podle rozměrů místnosti. Odměřené harmonické zkreslení reproduktorové soustavy je pouze orientační, protože bylo měřeno v reálné obývací místnosti, kde se neubráníme parazitním rezonancím např. nábytku, skříní... Dá se tak předpokládat, že skutečné harmonické zkreslení bude nižší. I tak je THD na velmi slušné úrovni. Z amplitudových měření je dále patrný mírný propad v okolí 3,5kHz způsobený pravděpodobně difrakcí na hraně a ne úplně vhodně zvolenou výškovou kalotou, protože stejný propad byl vidět i při měření samotného výškového reproduktoru osazeného v ozvučnici. Výrazné zlepšení nastalo při měření kaloty umístěné ve volném prostoru. Případné narovnání charakteristiky je možné korigovat opět na signálové úrovni třeba ekvalizérem. Baffle step patrný z měření amplitudové charakteristiky v ose soustavy v bezodrazové komoře nebyl kompenzován, protože mám korekci provedenou na signálové úrovni. Směrové vlastnosti odpovídají rozměrům reproduktorové soustavy a použitým měničům. Celkově výsledek odpovídá vynaloženému úsilí a po zvukové stránce reproduktorová soustava rozhodně neurazí.

Bassreflexový nátrubek: 70x170





Měření harmonického zkreslení (2 a 3 harmonickou) při 1VA ve vzdálenosti 20cm od čelní desky.

