

Popis čtyřpásmového parametrického stereofonního korektoru.

(Upravený korektor UREI model 546.)

Verze tohoto textu: 25. listopadu 2025

Výroba korektoru: duben – srpen 2025

Luděk Ruffer

lruffer@volny.cz

Specifikace:

Vstup:	vstupní odpor 100 k Ω , odporově vázaný vstupní zesilovač
Maximální vstupní úroveň:	4,0 Vrms, tj. +14,2 dB při referenčním napětí 0,775 Vrms
Zisk vstupní části (společný):	plynule nastavitelný v rozsahu -10 až +20 dB
Frekvenční charakteristika:	± 1 dB, vše zapnuto, 20 Hz – 20 kHz
Výstup:	výstupní impedance <12 Ω při 1 kHz, kapacitně vázaný výstupní zesilovač
Zátěž výstupu:	$\geq 150 \Omega$, pro max. výstupní napětí 4,0 Vrms/1 kHz, tj. +14,2 dB do 150 Ω při referenci 0,775 Vrms
Harmonické zkreslení:	Menší než 0,4 % THD, 20 Hz – 20 kHz
Parametrické filtry:	<u>Šířka pásma</u> plynule nastavitelná v rozsahu od 1/4 oktávy do 3 oktáv. (Platí při zisku filtru nastaveném na maximum.)
	<u>Zisk filtrů</u> plynule nastavitelný v rozsahu -14 do +14 dB.
	<u>Spínače vyřazující každý filtr samostatně.</u>
	<u>Frekvenční rozsahy:</u>
	1 Nízké pásmo: 30 Hz – 330 Hz
	2 Nízko – střední pásmo: 110 Hz – 1.2 kHz
	3 Středně – vysoké pásmo: 390 Hz – 4,2 kHz
	4 Vysoké pásmo: 1,4 kHz – 15 kHz
Omezovací filtry:	<u>Omezení hloubek:</u> 16 Hz až 800 Hz v bodě -3 dB, plynule přestavitelné
	<u>Omezení výšek:</u> 500 Hz až 25 kHz v bodě -3 dB, plynule přestavitelné
Typ omezovacích filtrů:	horní a dolní propust typu Butterworth, útlum 12 dB/oktávu před/za bodem -3 dB.

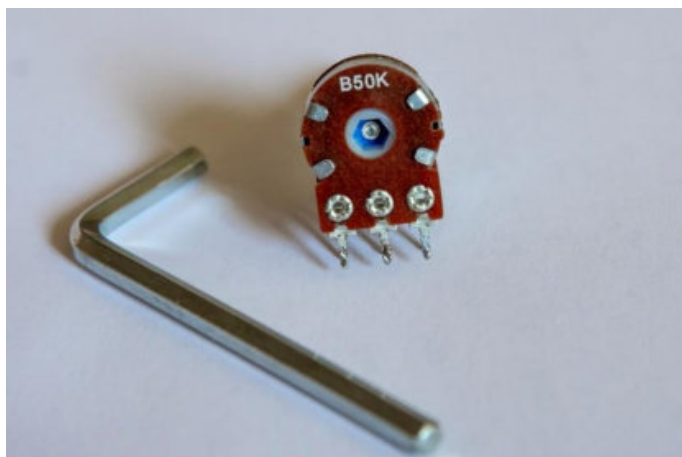
Úvod:

V časopise Amatérské Rádio 4/2025 (ono se teď jmenuje Praktická elektronika) se mě na stranách 10 až 13 zalíbil článek pana Ing. Jiřího Štefana „Stereofonní třípásmový parametrický ekvalizér“. Popisuje ekvalizér, který podle mých zjištění vychází z filtrů ekvalizéru firmy UREI model 545, ovšem je dost předělaný. Ekvalizér pana Štefana má jinak udělány vstupní a výstupní zesilovače, má vynechán Low-cut filtr a je jen třípásmový, zatímco ekvalizér 545 byl čtyřpásmový.

Co mě v článku pana Štefana zaujalo je, že jeho ekvalizér je stereofonní s ovládáním funkcí pro oba kanály jen jedním knoflíkem, zatímco i pozdější stereofonní ekvalizér UREI model 546 byly do jedné krabice vloženy dva monofonní ekvalizéry a každý kanál se ovládal zvlášť (toto provedení má ale i výhody, např. oba ekvalizéry se daly přepínačem zapojit za sebe, čímž z toho byl sice monofonní ekvalizér, ale např. s dvojnásobným ziskem), UREI model 545 byl jen monofonní.

U tohoto typu ekvalizéru se v pásmových filtrech pro řízení kmitočtu používají tandemové (dvojitě) potenciometry, takže pokud by se měly kmitočty ovládat jedním knoflíkem pro stereofonní provedení byly by potřeba čtyřnásobné potenciometry. Pan Štefan to vyřešil celkem elegantně: prodávají se tandemové potenciometry, které mají v zadní straně otvor a v něm je přístupná šestihránná dutina (imbus) o rozteči stran 4 mm spojená s hřídelí potenciometru. Já jsem použil 50 k Ω tandemový lineární potenciometr z GM electronic, odkaz na něj je:

<https://www.gme.cz/v/1494588/pc1622nk050-potenciometr> (uvidí se, jak tam dlouho bude), ovšem u GM není potenciometr zobrazen zezadu, takže tam otvor pro imbus není vidět. A tak sem dávám fotky použitého potenciometru zezadu a z boku (z boku je fotka z GMe):

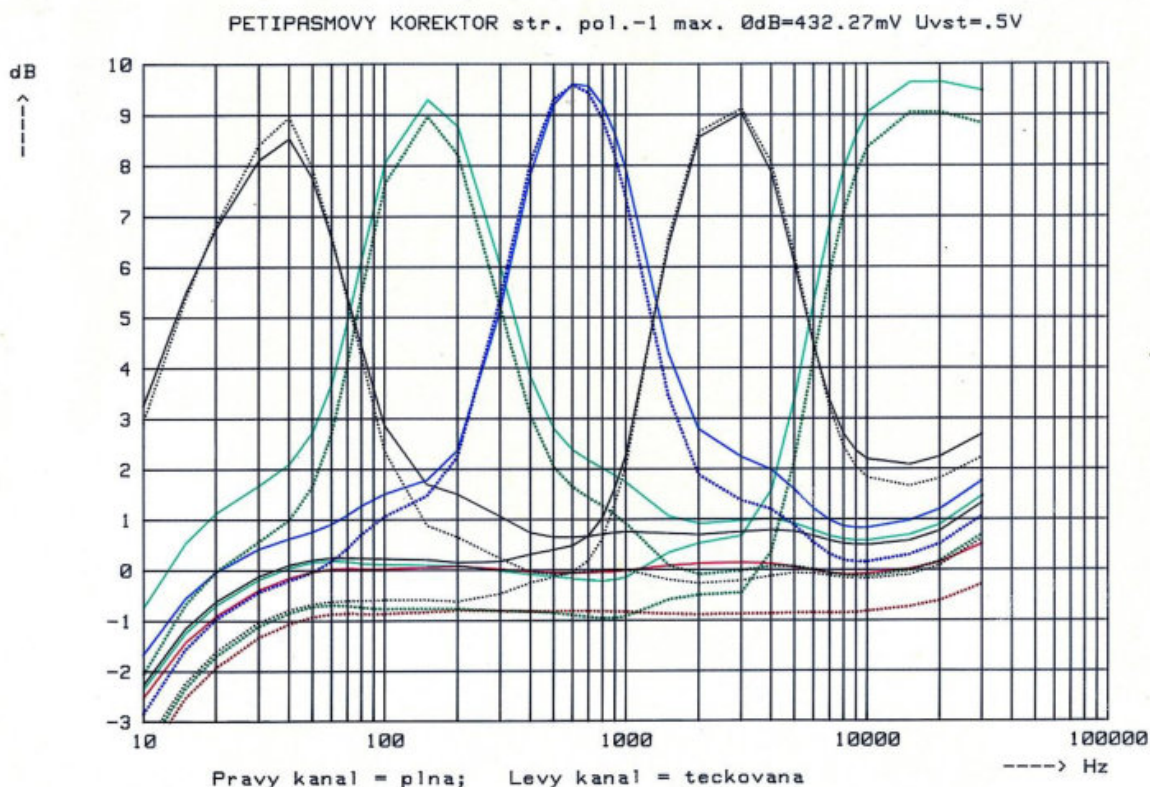


Na fotce potenciometru zezadu je i imbusový klíč 4 mm (běžně se prodává), který (kousek z něj uříznutý) je použitý na spojení dvou těchto potenciometrů zády k sobě, čímž vznikne potenciometr čtyřnásobný. U lineárních potenciometrů to takto jde udělat, logaritmické by takto spojit nešly, protože by oba potenciometry měly nestejný (opačný) průběh.

Vždycky jsem chtěl mít u svého (možná) Hifi zesilovače vícepásmový korektor a klasické zapojení regulace hloubek a výšek např. korektorem typu Baxandall se mě zdálo málo. V roce 1974 v tehdejší Radiovém konstruktéru číslo 5 vyšel na stranách 17 – 19 korektor pětípásmový s pevně danými kmitočty a šířkou regulovaných pásem, a (hlavně) bez cívek. Měl regulaci tehdy běžně dostupnými otočnými tandemovými potenciometry, ovšem já jsem si představoval regulaci potenciometry tahovými, aby byl přibližně vidět nastavený průběh. V té době jsem tandemové tahové potenciometry nesehnal, takže udělaný korektor s osazenými deskami a otočnými potenciometry připojenými stylem vrabčí hnízdo jsem jen vyzkoušel a změřil (i kmitočtový průběh), a uložil do tzv. šuplíku.

A když jsem v té době dával svůj zesilovač narychlo do pevné skřínky osadil jsem ho jen běžným regulátorem hloubek a výšek typu Baxandall a takto zůstal dodnes.

Potom, v roce 1983 jsem měl možnost provést mj. měření frekvenční charakteristiky, a tak sem pro zajímavost dávám v té době změřený průběh zmíněného korektoru z RK 5/1974. Byla měřena jen maxima nastavení jednotlivých kanálů, jsou kresleny černě, zeleně a modře. Při měření jednotlivých kanálů byl vždy měřený kanál nastaven na maximum a ostatní potenciometry byly nastaveny na střed. Kmitočet byl nastavován ručně po krocích v grafu viditelných. Červeně jsou kresleny průběhy při nastavení všech potenciometrů na střed, tedy rovný průběh:



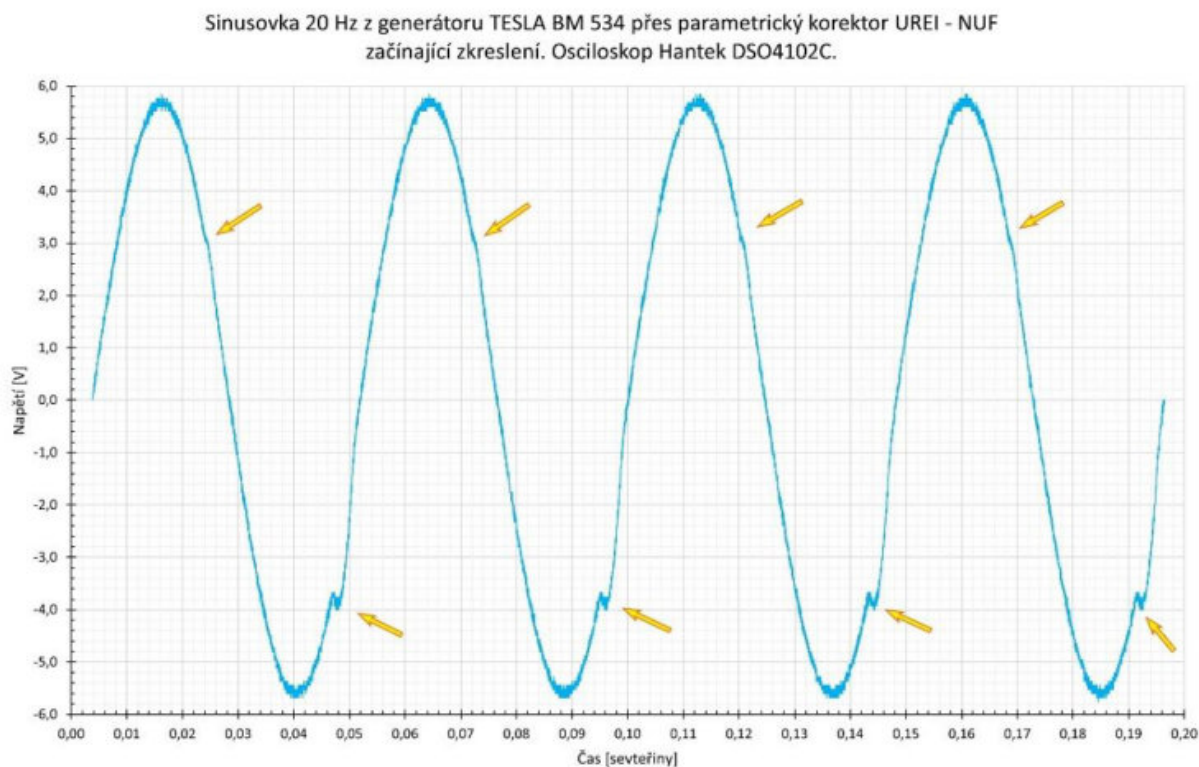
Měřeno bylo ústřednou HP skládající se z digitálního voltmetru s RMS konvertorem HP 3455 A, přepínače kanálů HP 3495 A a z plotteru HP 9872 A, řízeno to bylo počítačem HP 9845 B. Měřené střídavé napětí byla pravá RMS (efektivní) hodnota. Zdroj signálu byl nějaký ručně řízený generátor Tesla (asi BM 492 nebo BM 534, dnes už přesně nevím).

A teď, když jsem prohlížel korektor v AR 4/2025 rozhodl jsem se, že ho vyzkouším, i když má zase ovládání otočnými potenciometry, ovšem ovládá se jimi víc parametrů. U korektoru v AR 4/2025 se mě ale nelíbilo, že je jen třípásmový, a tak jsem na internetu hledal a našel zapojení jak modelu UREI 545 ze kterého pan Štefan v AR vychází, tak novějšího (cca rok 1980) modelu 546. Model 546 mě zaujal, jednak je čtyřpásmový, a druhak má tzv. omezovací filtry pro hloubky i výšky, když model 545 měl omezovací filtr jen pro hloubky.

Nejprve jsem podle modelu 546 udělal na vyzkoušení filtr sekce 1 pro hluboké kmitočty jako tzv. vrabčí hnízdo, a i s dnešními součástkami (např. dvojitý OZ NJM4580D místo původního čtyřnásobného HA-4741) to chodilo jedle. Tak jsem navrhl plošné spoje a korektor udělal tzv. na hotovo, ovšem s následujícími změnami proti modelu 546:

- 1) Na vstupní desce jsem sice udělal regulátor celkového zisku (původní IC50-A) a omezovací filtry (původní IC50-B), ale vstupní a výstupní zesilovače jsem udělal podle článku v AR 4/2025, tedy jen jednoduchý zesilovač.
- 2) Protože jsem neměl odvalu napájet IO mezním napětím ± 18 V jako firma UREI a ± 12 V z AR 4/2025 se mě zase zdálo zbytečně málo, zvolil jsem napájecí napětí ± 15 V, s ním ovšem filtry nemají regulaci zisku ± 15 dB jako UREI, ale „jen“ ± 14 dB což jsem akceptoval a ověřil měřením.

- 3) Korektory UREI i v AR 4/2025 používají jednu společnou indikaci špiček pro každý kanál, a to se mně také zdálo málo, protože je teoreticky možné, že přebuzení vznikne za některým filtrem, ale jedna indikace neukáže za kterým. Tak jsem udělal indikátory špiček zvlášť pro každý filtr i pro vstupní desku, ale vždy společné pro oba kanály, protože se kanály stejně regulují společně. Na indikátor je na každé desce použita jen polovina IO a druhá je nezapojená. Toto řešení jsem zvolil proto, že se mě jednak nelíbilo přetahovat zbytečné drátové propojky mezi deskami, a druhak jsem na indikátory špiček použil staré „šuplíkové“ Tesla MA1458.
- 4) Poslední změna vyplynula ze zkoušek celé sestavy, kdy pro nízké kmitočty (asi 20 – 80 Hz) od určité úrovně napětí a při nastavení na velkou šířku pásma začínal korektor zkreslovat. Toto zkreslování se nevyskytovalo při měření samotného filtru hloubek, ale začalo se vyskytovat až po připojení filtru sekce 2 na výstup filtru hloubek (sekce 1). Nepodařilo se mě zjistit, čím je zkreslení způsobeno, možná nějakou vazbou mezi filtry nebo jejich spojením (jsou spojeny stejnosměrně), ale to jsou jen dohady, teď nevím. Zkreslení mě překvapilo, u korektorů UREI jsem o tom nikde nic nenašel a divil bych se, kdyby to nedělaly (rád bych to vyzkoušel, ale korektor UREI kvůli tomu v nějakém bazaru kupovat nebudu), ani v AR o tom zmínka není, ovšem tam jsou filtry jednak trochu jinak zapojené (vychází z modelu UREI 545) a druhak mají jiné kmitočty. Nicméně a navíc z toho vyplynulo jednak omezení maximální šířky pásem filtrů ze čtyř oktáv na tři oktávy a druhak omezení max. velikosti vstupního napětí (UREI 546 má dopočtem z dokumentace max. vstupní napětí 15,47 Vrms, tento korektor jen 4,0 Vrms) a ještě jsem musel upravit zisky vstupního a výstupního zesilovače tak, že vstupní zesilovač signál zeslabuje na 1/3 a výstupní to zase dorovná. Je v tom samozřejmě větší hrozba infiltrace rušivých napětí do filtrů, ale z poslechu i z orientačních měření se mě zdá (ale nespím), že je to v pořádku a na jinou možnost, jak zkreslení potlačit jsem zatím nepřišel. Záznam začínajícího zkreslení z osciloskopu je na následujícím obrázku:



Fotografie vyrobeného korektoru a potisk předního panelu:

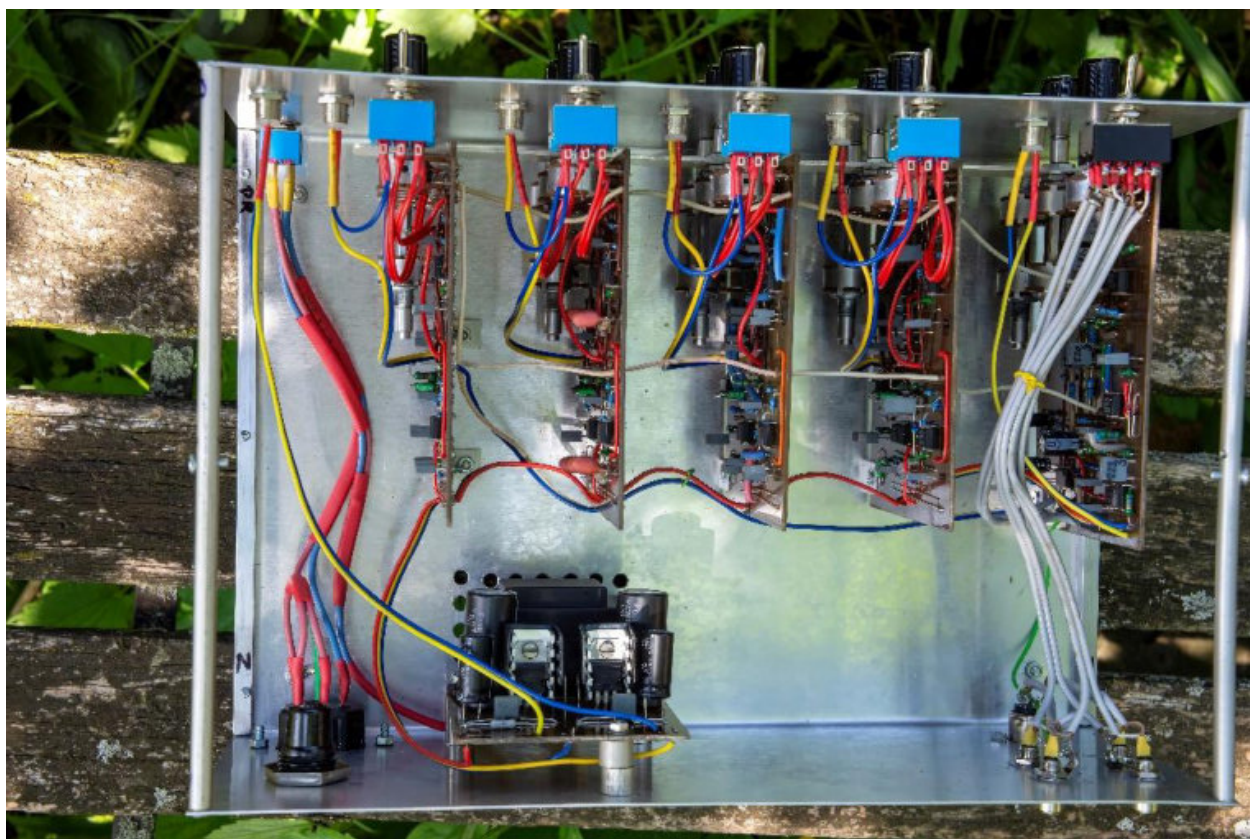
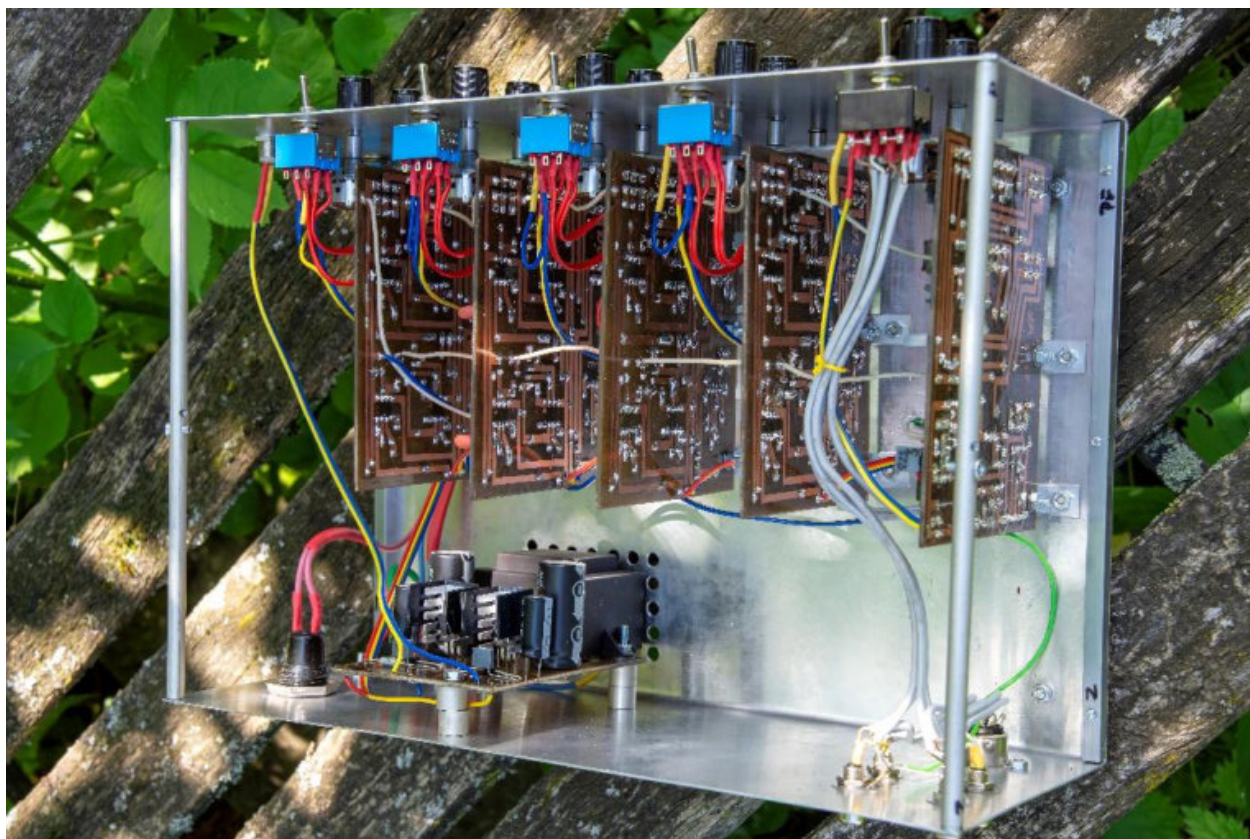
Hotový korektor zepředu vypadá takto:



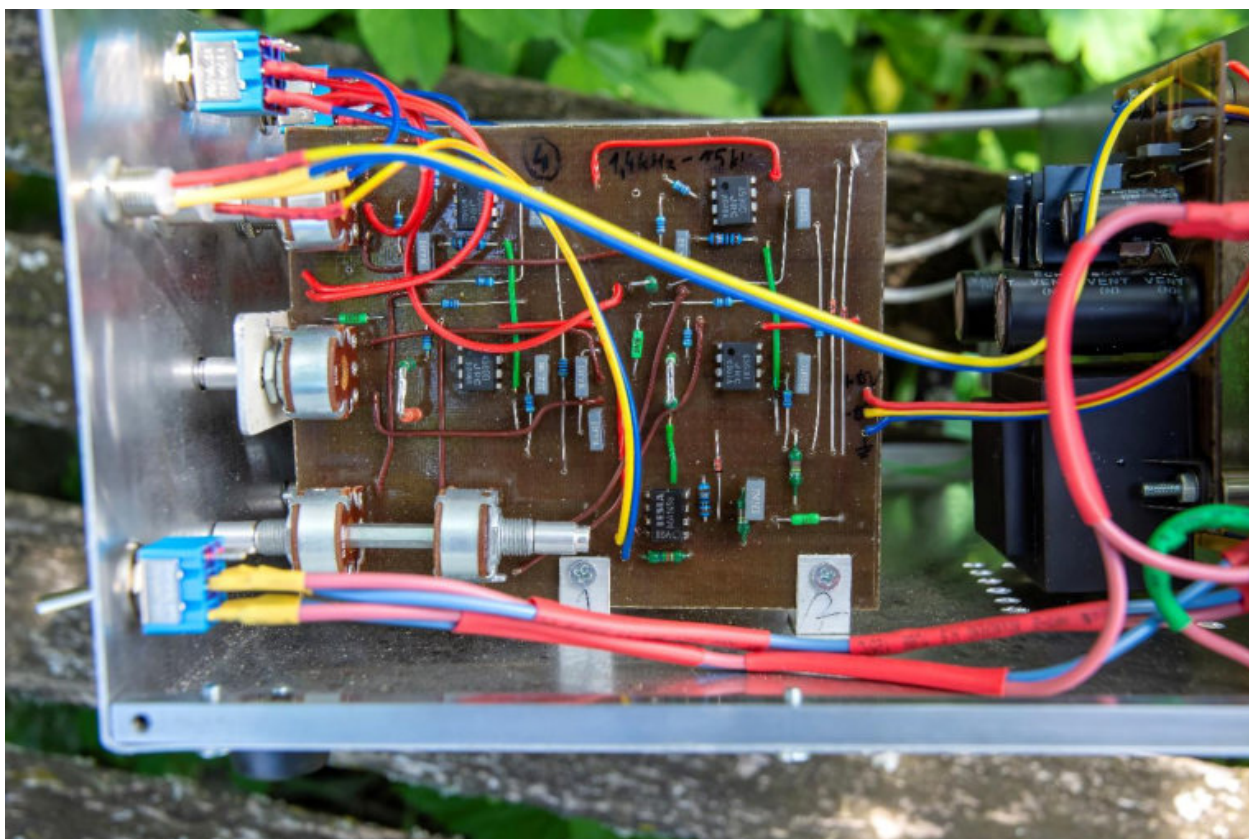
A zezadu:



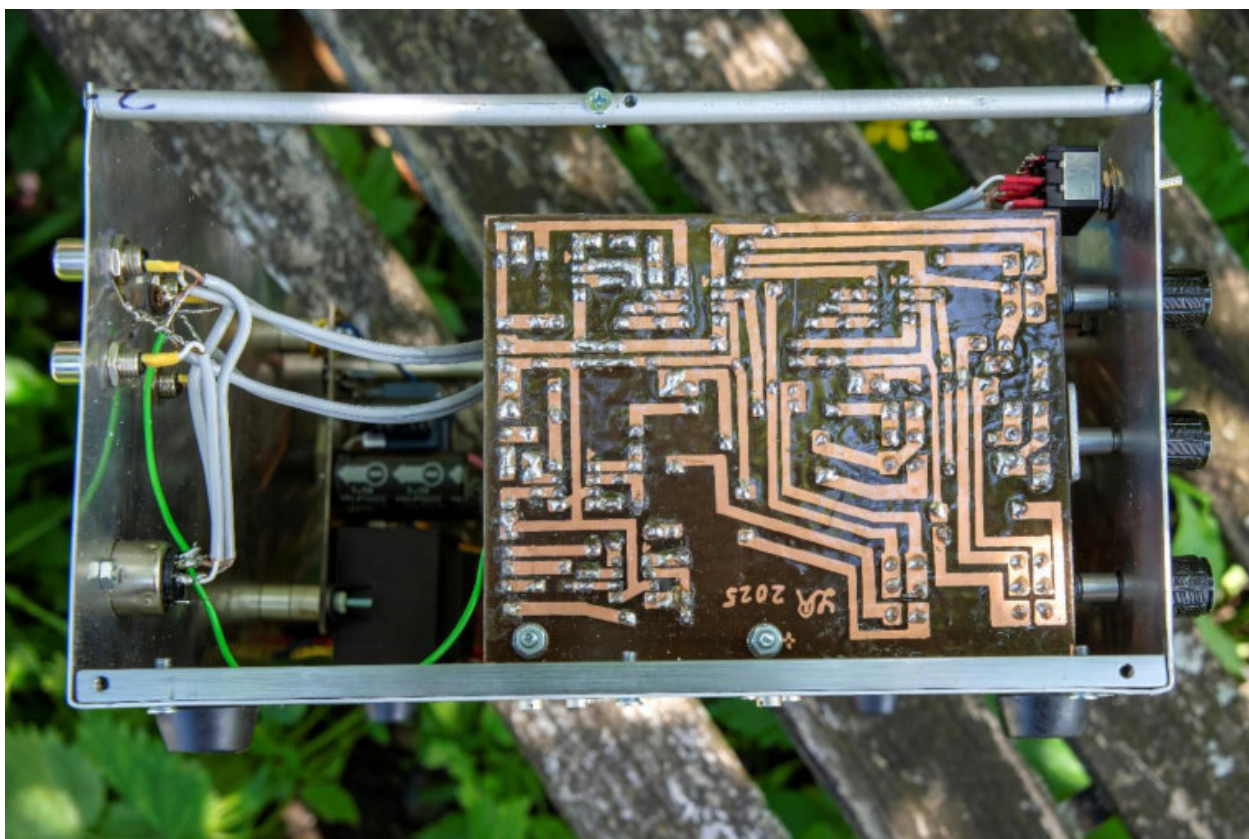
Několik pohledů do vnitř:



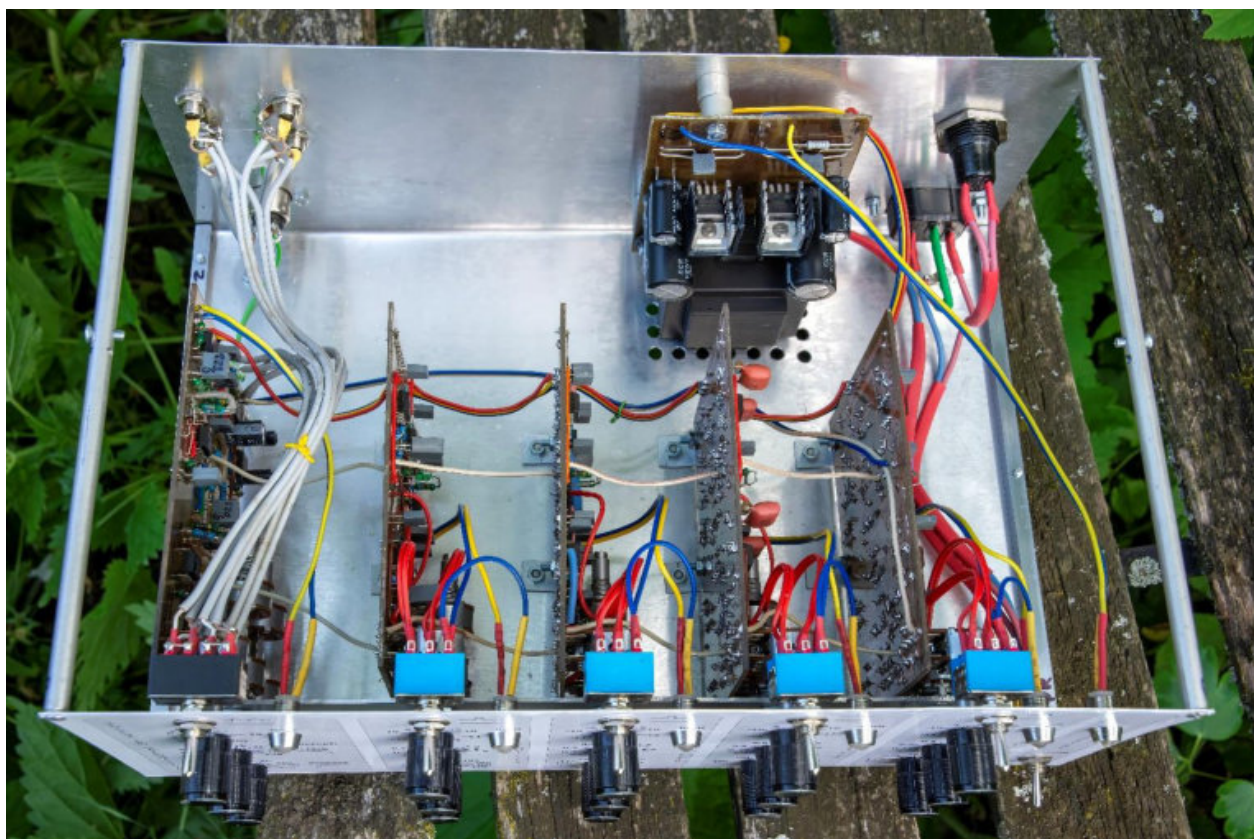
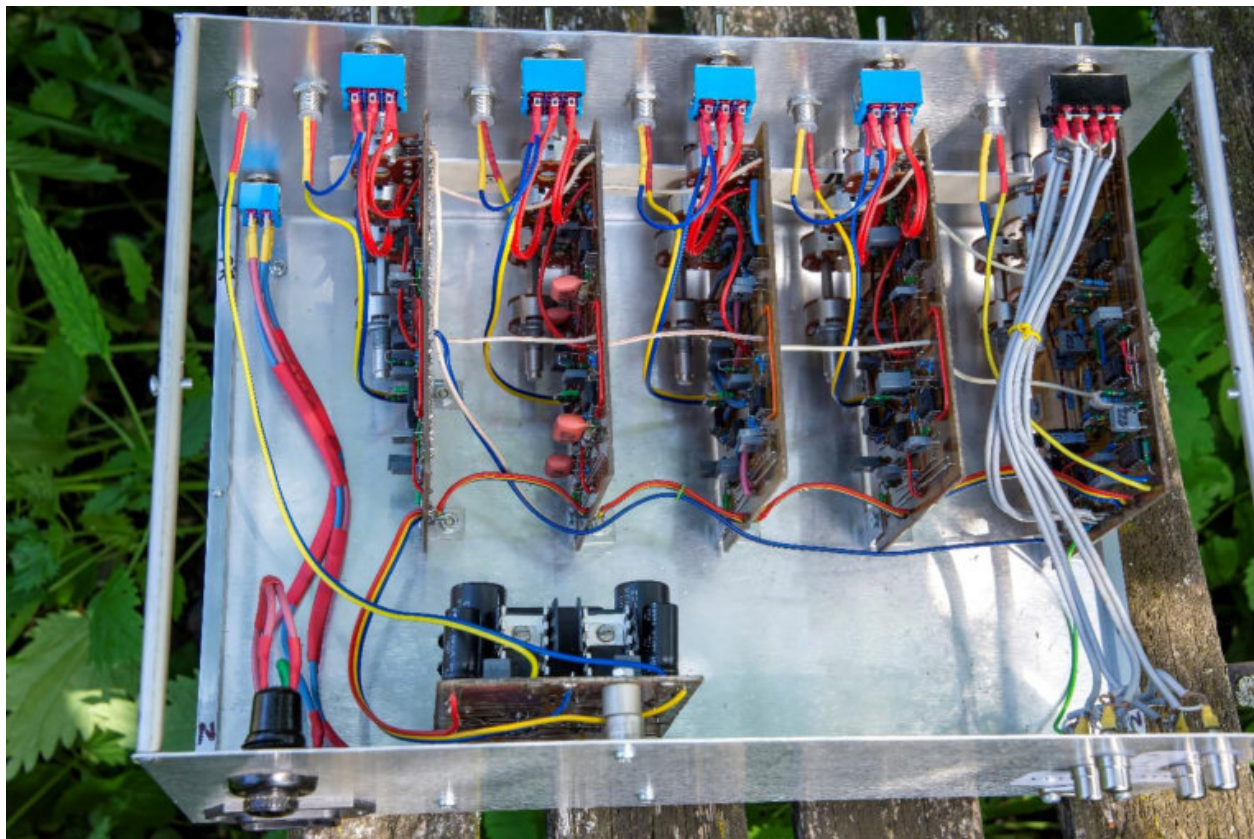
Pohled na filtr 4 (výšky) se spojením potenciometrů imbusem a síťový zdroj:



Pohled na plošný spoj vstupně-výstupní desky a zapojení vstupních konektorů:



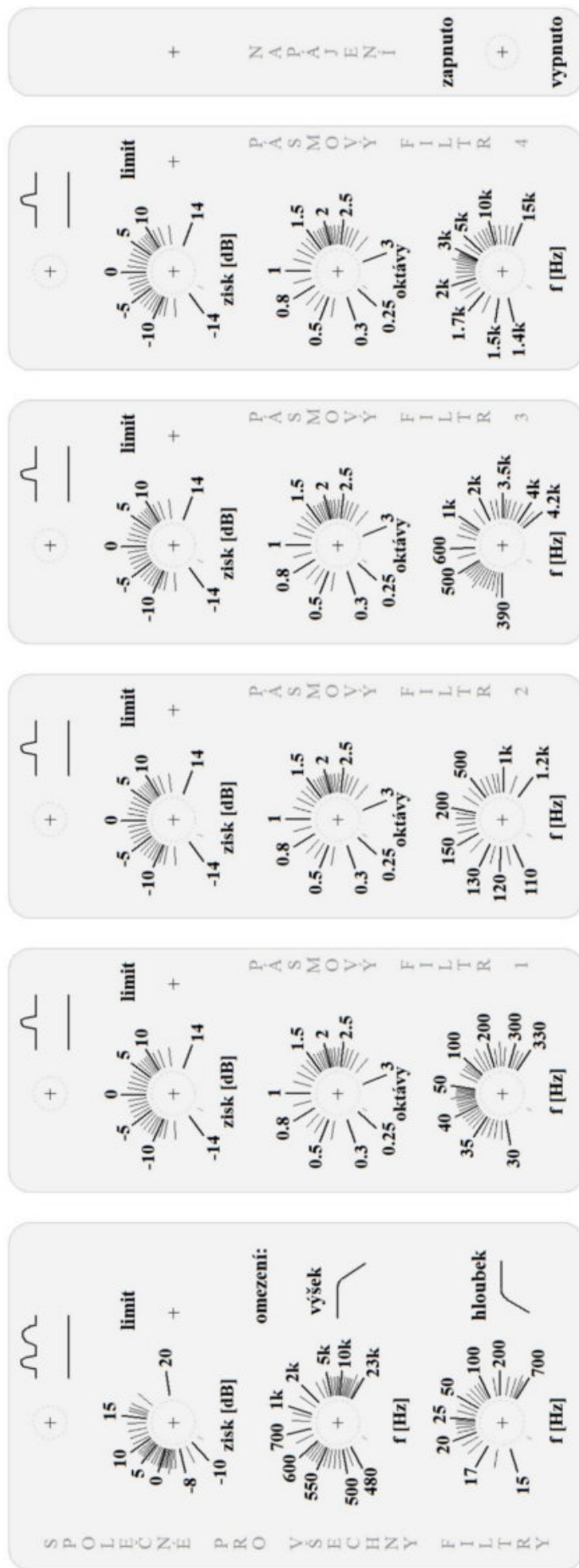
Další pohledy do vnitř:



Potisk předního panelu. Byl udělán v programu Galva verze 3.22 který je ze září 2020, ale zato je neplacený. V době psaní tohoto byl ke stažení na: <https://www.f5bu.fr/galva-download/> a příklady na <https://www.f5bu.fr/galva-about/>. Je to jakýsi speciální programovací jazyk, ale až na to, že francouzsky nějak neumím ani slovo a příkazy jsou francouzské, je celkem lehce pochopitelný. Jediný trochu problém jsem měl s tím, že u tisku se sice dá volit tiskárna, ale nemá žádnou ukázkou před tiskem, takže je to metoda zkusmá, a taky se mě stalo, že třeba při tisku do jakéholiv pdf tiskárny to prošlo, ale uložený pdf soubor jsem nikde nenašel...

Panel jsem vytiskl na samolepící lesklý papír pro laserové tiskárny (běžně se prodává), a potisk má rozměr 300 x 115 mm (označení rohu na tisku). Tiskl jsem ho na formát A4, ale ten má jen 297 mm, takže kousek scházel, já jsem výtisk trochu oříznul a scházející jsem dolepil. Díry jsem nevystřihoval předem protože moje výrobní tolerance děr v předním panelu se ukázaly dost velké a s tiskem se nějak nekryly, ale vyřezal jsem je ostrým vyřezávačem až po nalepení papíru na panel podle v něm vyrobených děr. Z toho důvodu jsou také dílky stupnic nakresleny až do dost malého průměru a bez kruhových výsečí, protože by měly zasahovat pod knoflíky čímž se nerovnoměrnosti opticky trochu odstraní. Panel je navržen na knoflíky o průměru 13 mm.

Poznámka: popis regulátorů šířky pásma v oktávách platí pro maximální zisk filtrů.

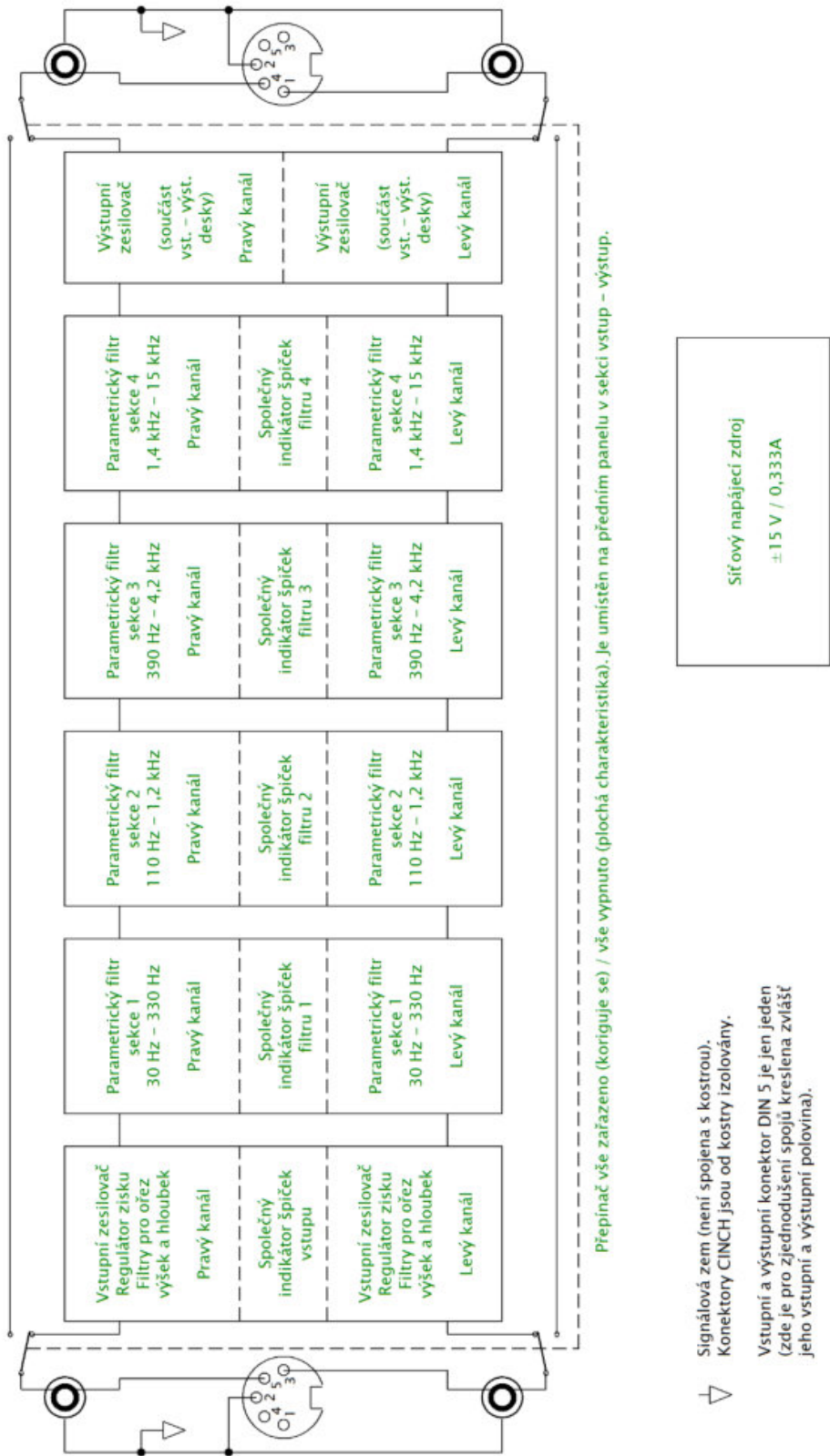


Stereo čtyřpásmový parametrický korektor (podle UREI model 546, upraveno)

Schéma zapojení a plošné spoje:

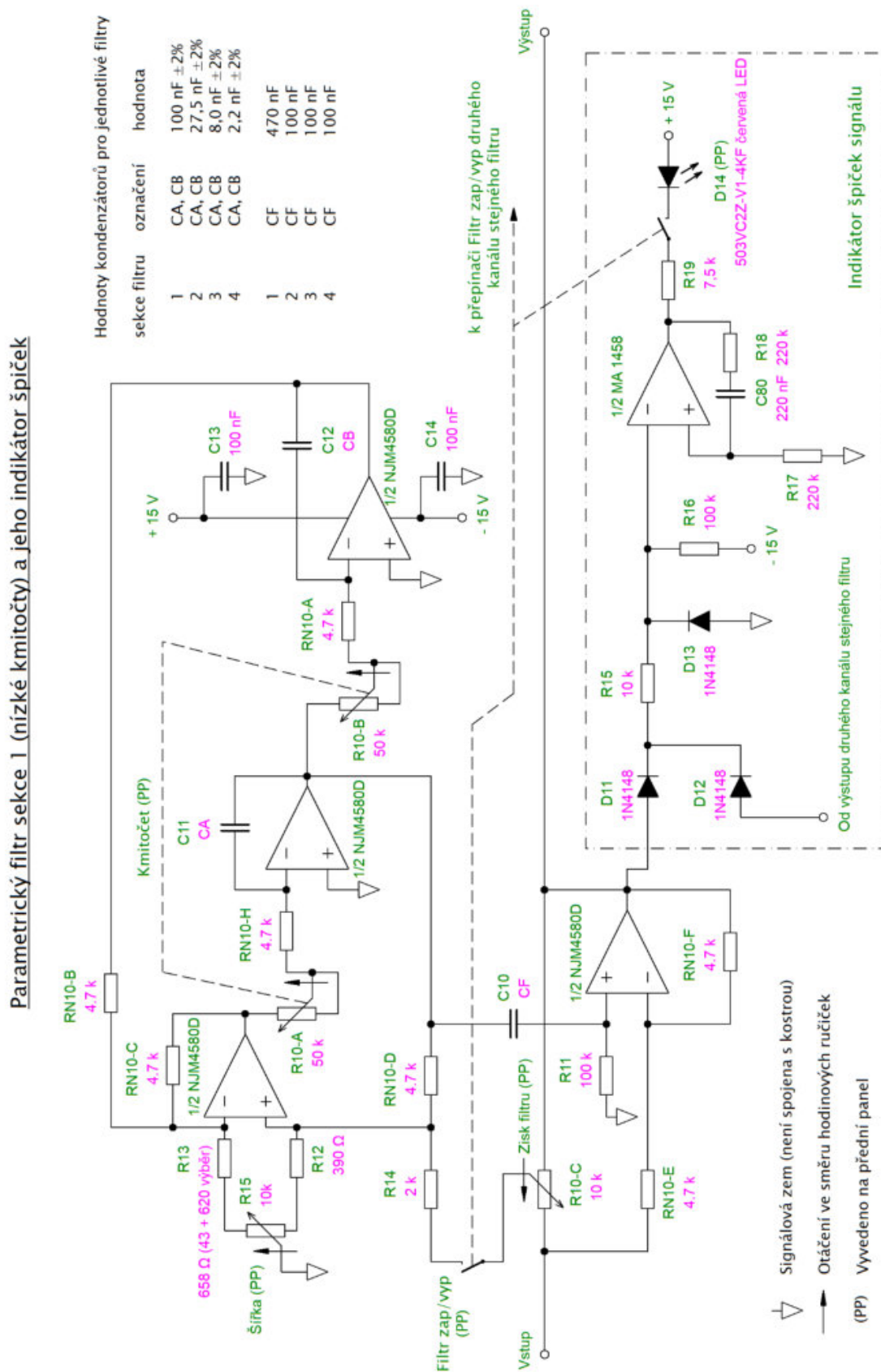
Blokové schéma:

Blokové schéma čtyřpásmového parametrického stereofoního korektoru, upraveno z UREI model 546.



Jeden parametrický filtr:

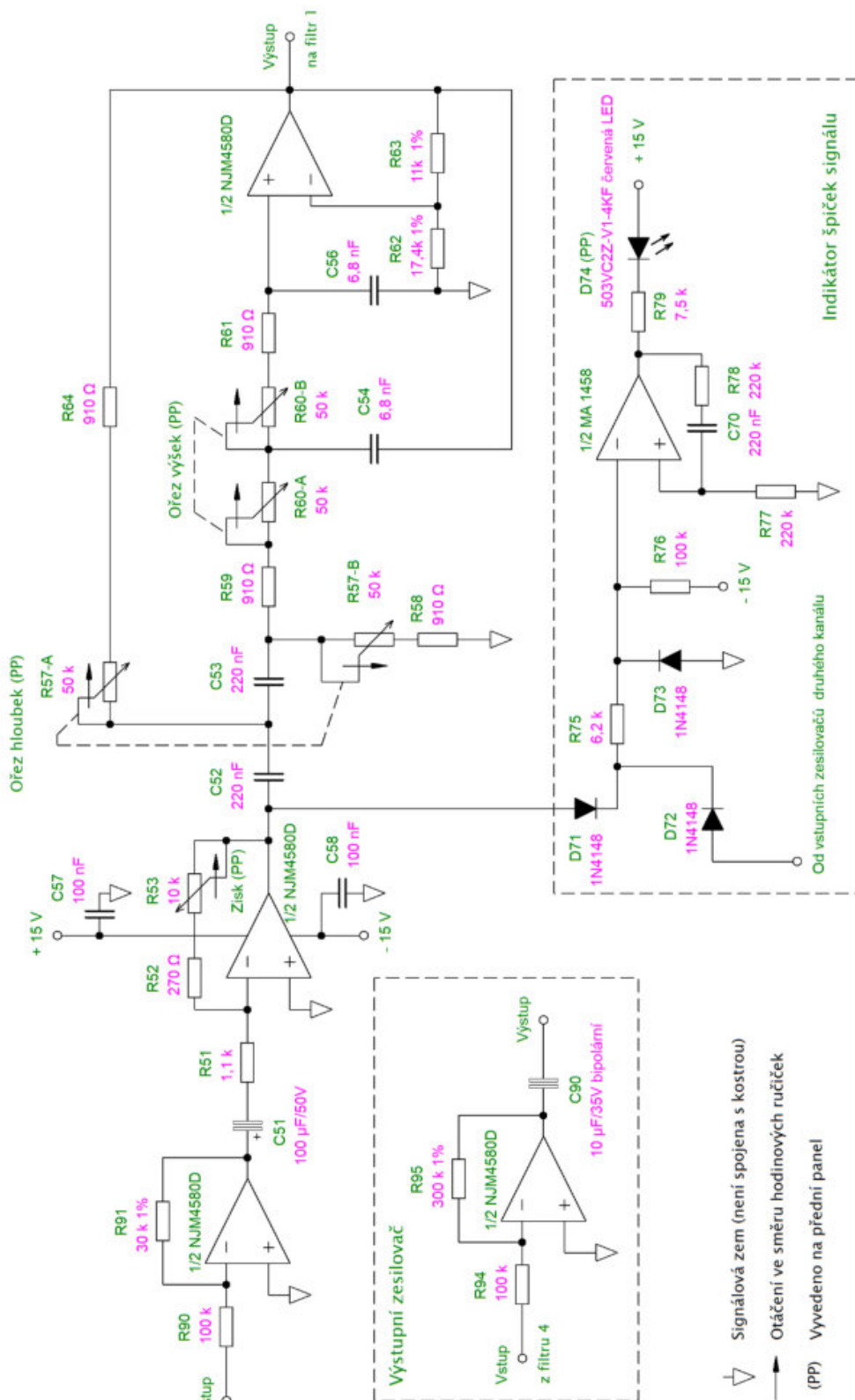
Desky jsou čtyři, zde je kreslen jen jeden filtr, filtry pro jiné kmitočty se liší jen kondenzátory uvedenými v tabulce u schématu. Na jedné desce jsou vždy dva stejné filtry pro oba kanály (tandemové potenciometry pro kmitočet jsou spojeny imbusem 4 mm) a jeden indikátor špiček společný pro oba kanály.



Vstupní – výstupní deska

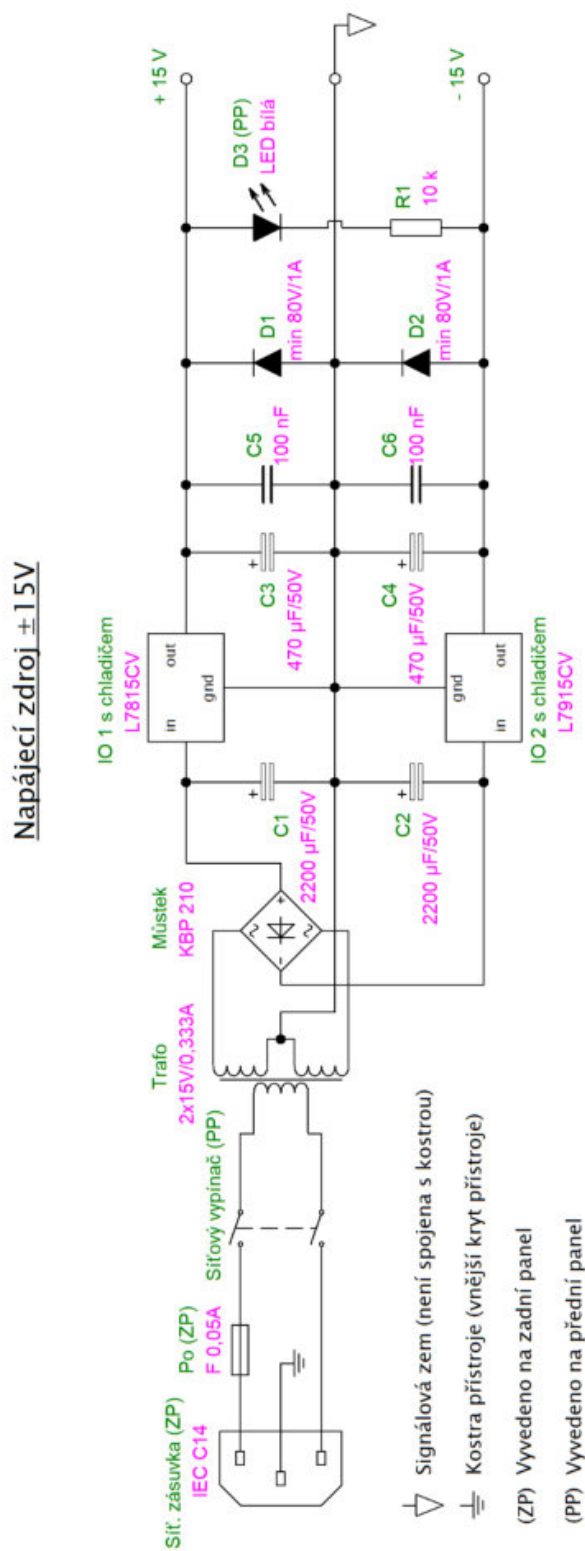
Deska je jedna, jsou na ní dva celky vstupního zesilovače s řízením zisku a s omezovacími filtry hloubek a výšek pro každý kanál (tandemové potenciometry pro omezení hloubek a výšek jsou pro oba kanály spojeny imbusem 4 mm), dva výstupní zesilovače a jeden indikátor špiček společný pro oba kanály.

Vstupně – výstupní deska



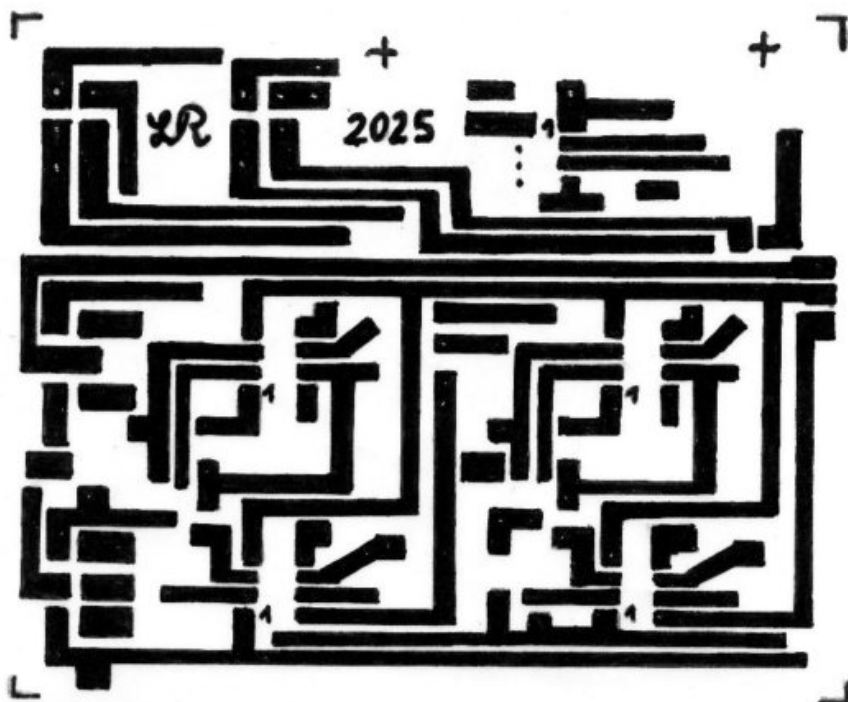
Síťový napájecí zdroj

Síťový zdroj je jeden, je umístěný na zadní stěně, uzemnění z napětí 230 V je (a z důvodů bezpečnosti musí být) spojeno s kostrou (skříní) přístroje, ale kvůli rušení NENÍ spojeno se signálovou zemí. Síťový transformátor je do plošných spojů, typu HAHN BV EI 481 1120, 2x15V/0,333A; 10 VA a byl koupen v GM electronic, v době psaní tohoto tam ještě byl na: <https://www.gme.cz/v/1490048/hahn-bv-ei-481-1120-transformator-do-dps>.



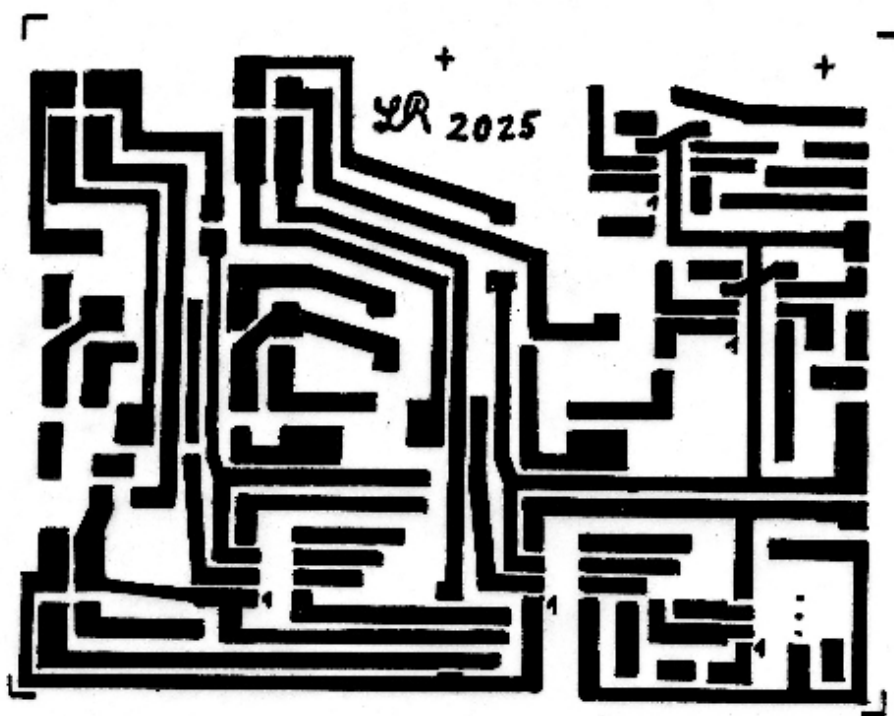
Plošný spoj parametrických filtrů a komparátoru špiček

V zařízení jsou 4 kusy, deska má od rohových značek rozměry 110 x 90 mm. Obrázek byl kreslen postaru tuší na pauzák a je to na něm vidět. Pohled je ze strany spojů.



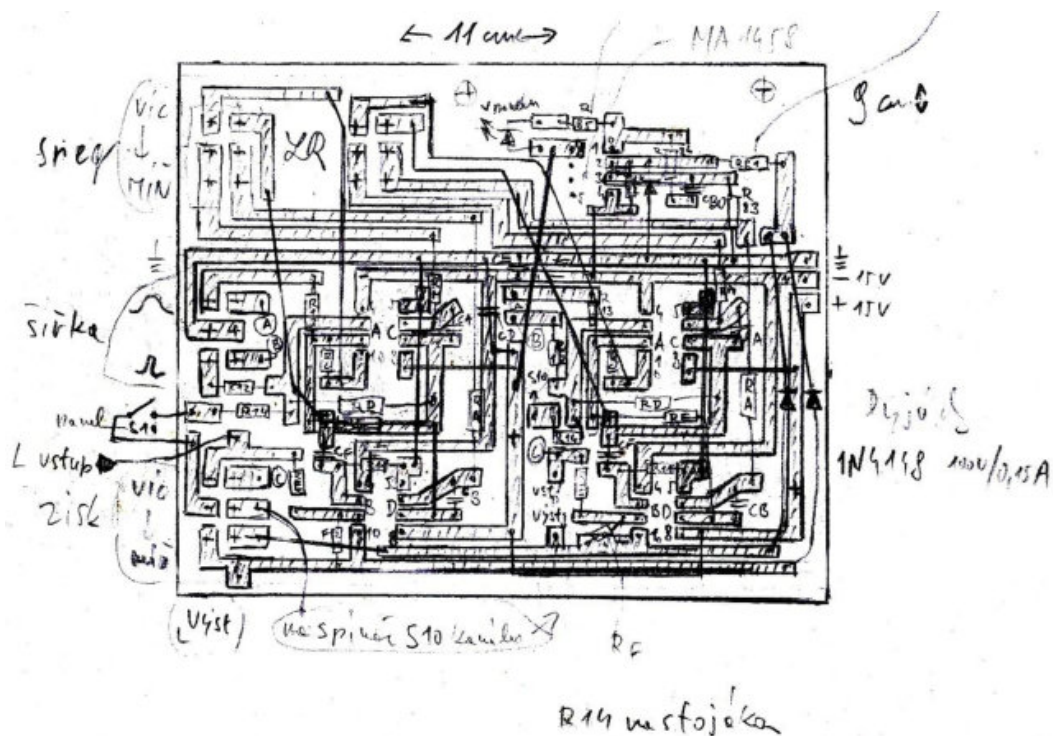
Plošný spoj vstupní – výstupní desky

V zařízení je 1 kus, deska má od rohových značek rozměry 115 x 90 mm. Obrázek byl kreslen postaru tuší na pauzák a je to na něm vidět. Pohled je ze strany spojů.



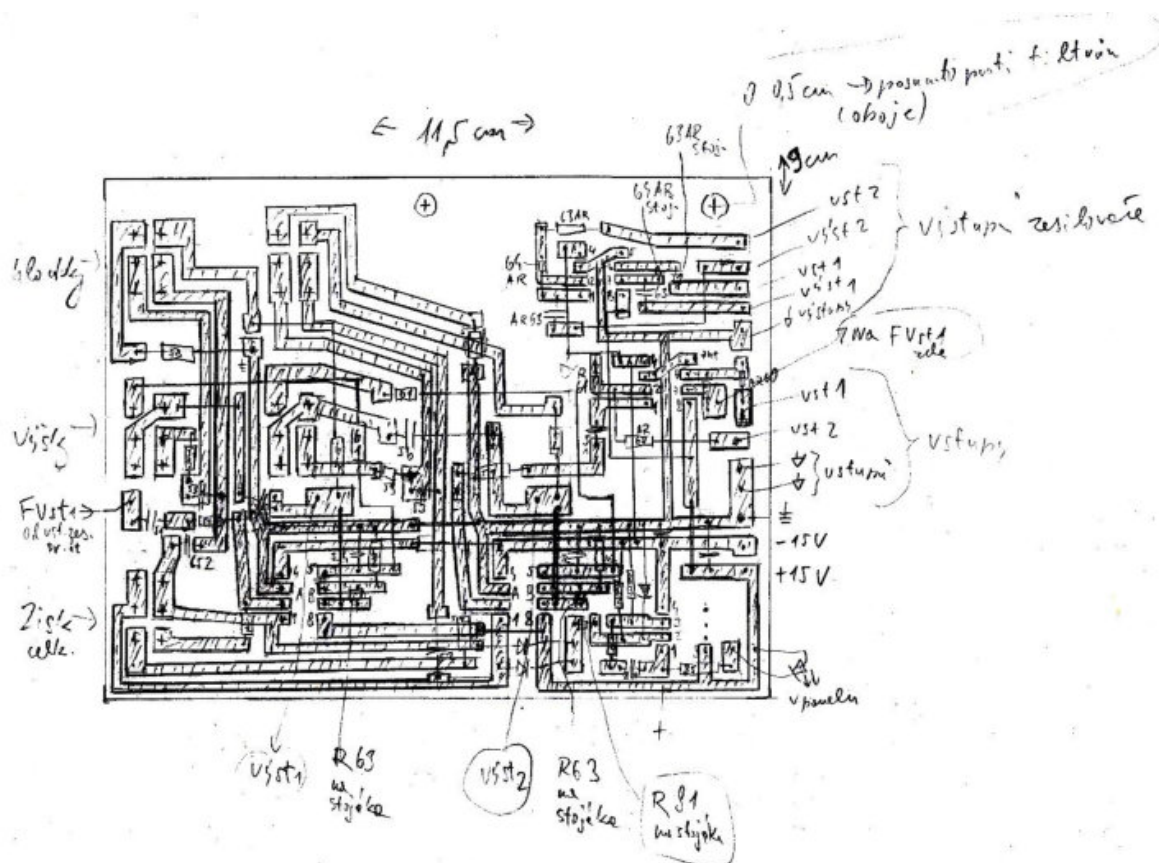
Osazovací „čmáranice“ (výkres se tomu říct nedá) parametrických filtrů a komparátoru špiček

Tady se omlouvám za tu čmáranici, nic lepšího nemám... Je to oskenovaný můj původní návrh plošného spoje, tak podle toho vypadá (bylo tam dost gumováno). Pohled je ze strany spojů.



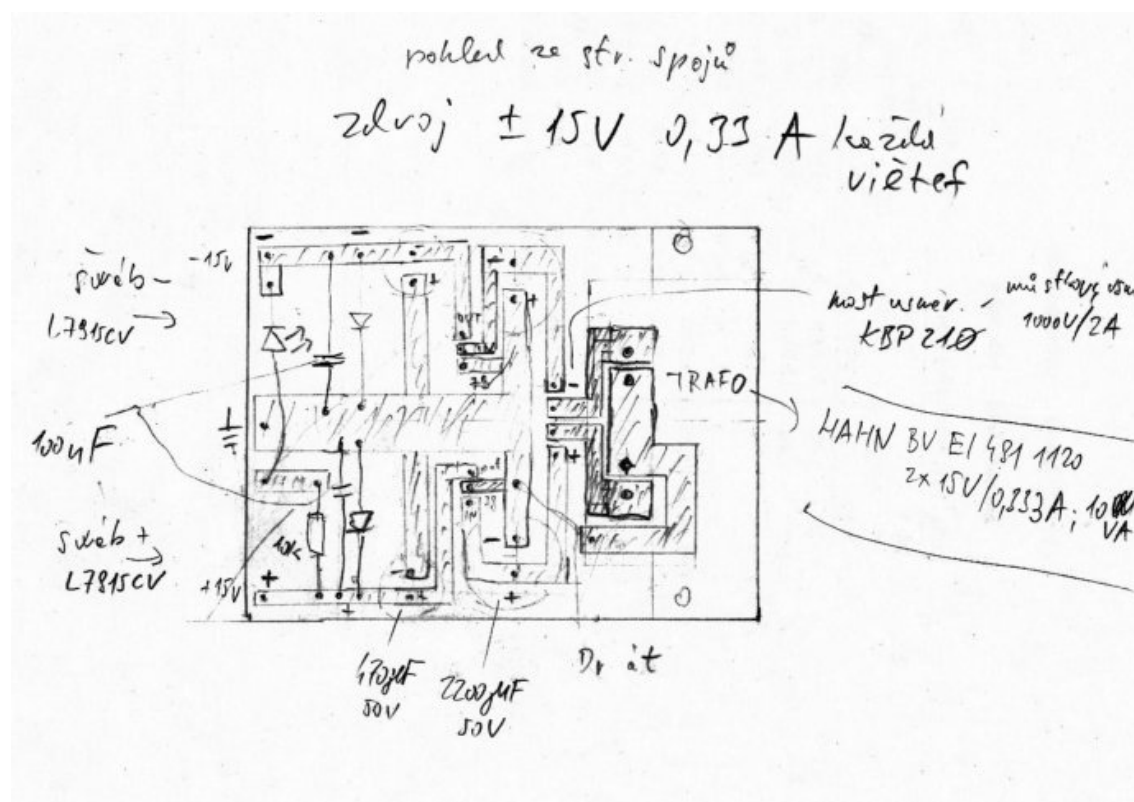
Osazovací „čmáranice“ (výkres se tomu říct nedá) vstupně – výstupní desky

Opět se omlouvám za tu čmáranici, je to jako předchozí obrázek. Pohled je ze strany spojů.



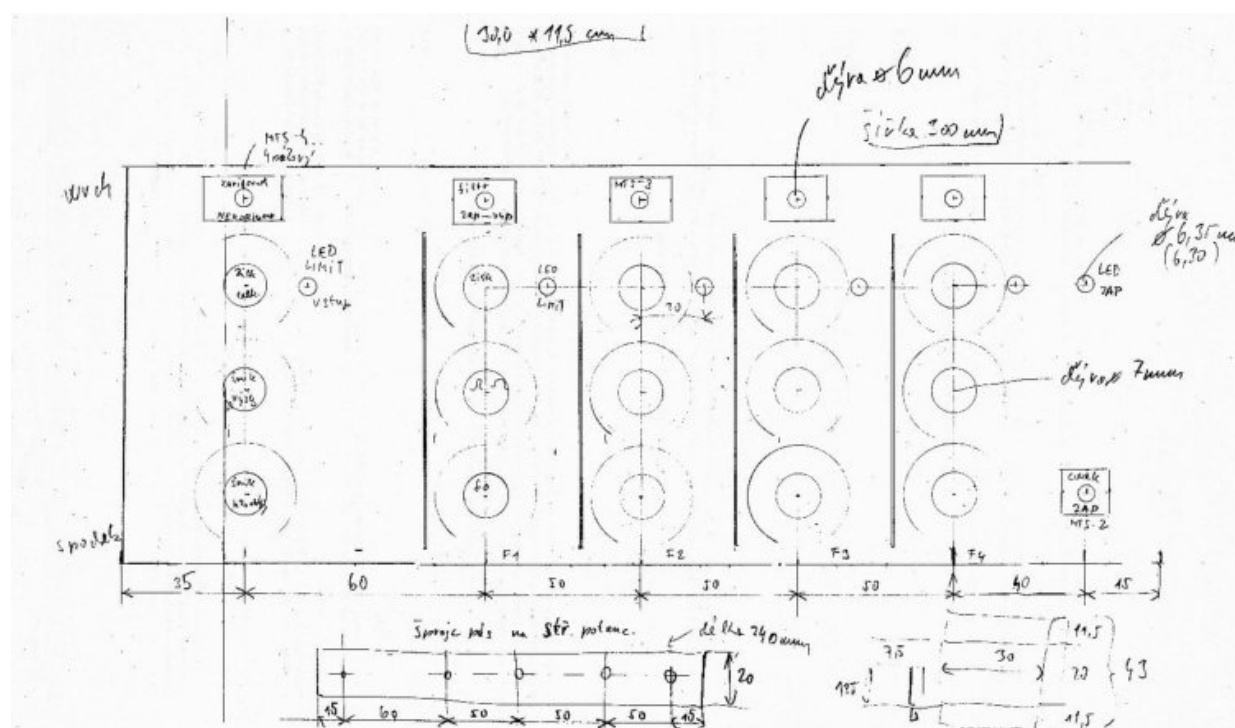
Osazovací „čmáranice“ (výkres se tomu říct nedá) síťového zdroje

A naposledy se omlouvám za tu čmáranici, je to jako předchozí dva obrázky. Zde ještě navíc nemám zvlášť kreslený plošný spoj, protože tento plošňák jsem neleptal, ale frézoval. Deska má rozměry 90 x 70 mm. Pohled je ze strany spojů.



Náčrt předního panelu

Je to tzv. od ruky, kóty byly několikrát měněny, takže náčrt NENÍ v žádném měřítku, ale kóty platí. Pohled je zepředu a přední panel má rozměr 300 x 115 mm. Pro zpevnění (šasi je z Al plechu tloušťky 0,8 mm, tlustší jsem nesehnal) jsou prostřední potenciometry spojeny „šprajc pásem“ z Al pásu tloušťky 2 mm aby moc „nekvedlaly“ a ve spodních i horních rozích jsou předozadní kovové výztuže, spodní jsou čtvercové a jsou do nich šrouby přichyceny boční strany horního krytu.

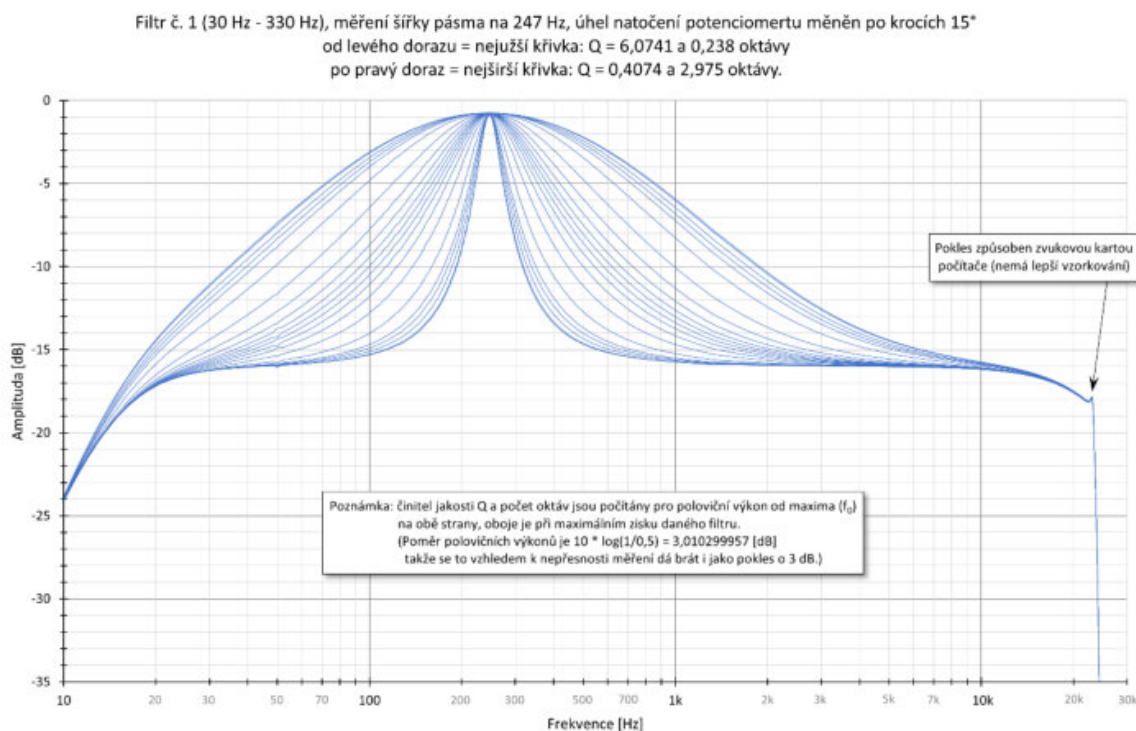


Změřené průběhy:

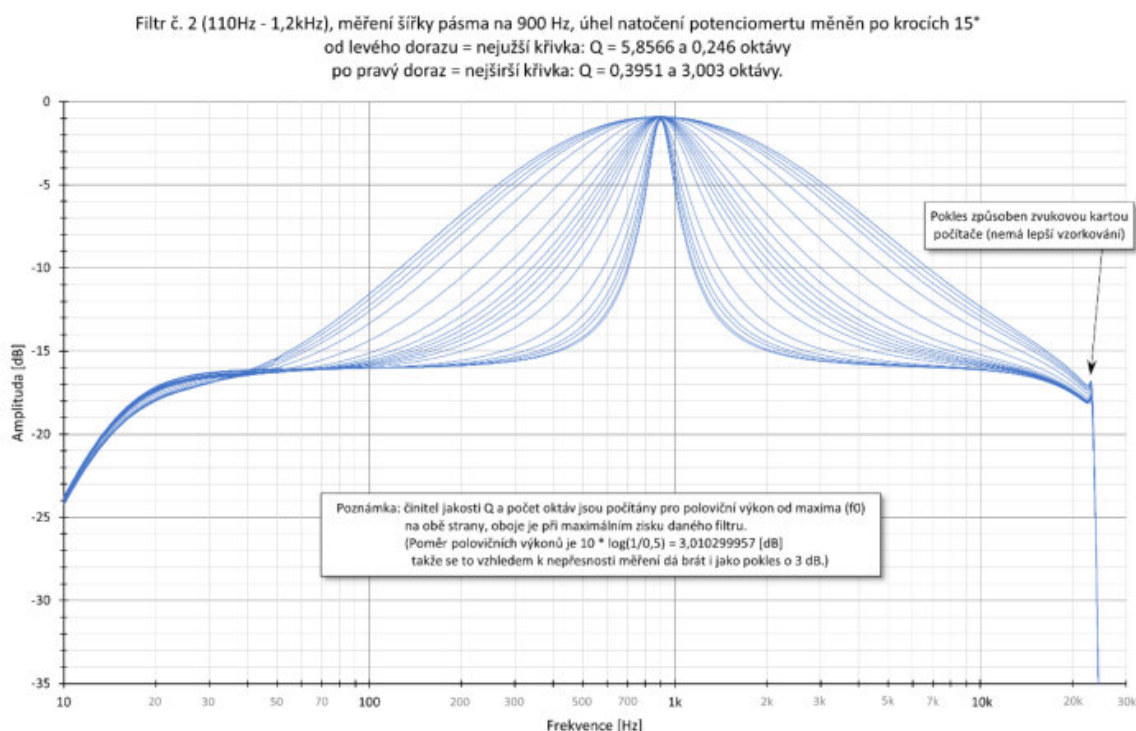
Všechny následující frekvenční průběhy byly měřeny programem HOLMImpulse v1.4.2.0 na mém počítači s Windows 11 a se zvukovou kartou na základní desce, z toho vyplývá maximální měřitelný kmitočet jen asi 25 kHz (karta nemá vyšší vzorkovací frekvenci), jak je ostatně viděti z následujících grafů. Program HOLMImpulse už vr. 2025 nejde stáhnout z jeho domovských stránek <http://www.holmacoustics.com> protože už nebyly funkční, ale stáhl jsem ho z: https://download.cnet.com/holmimpulse-64-bit/3000-2170_4-75910360.html?ex=RAMP-3079.0

Zde uvedené změřené průběhy regulace šířky pásma jsou jen pro nastavený maximální zisk, průběhy pro minimální nastavený zisk jsou zrcadlové – otočené dolů.

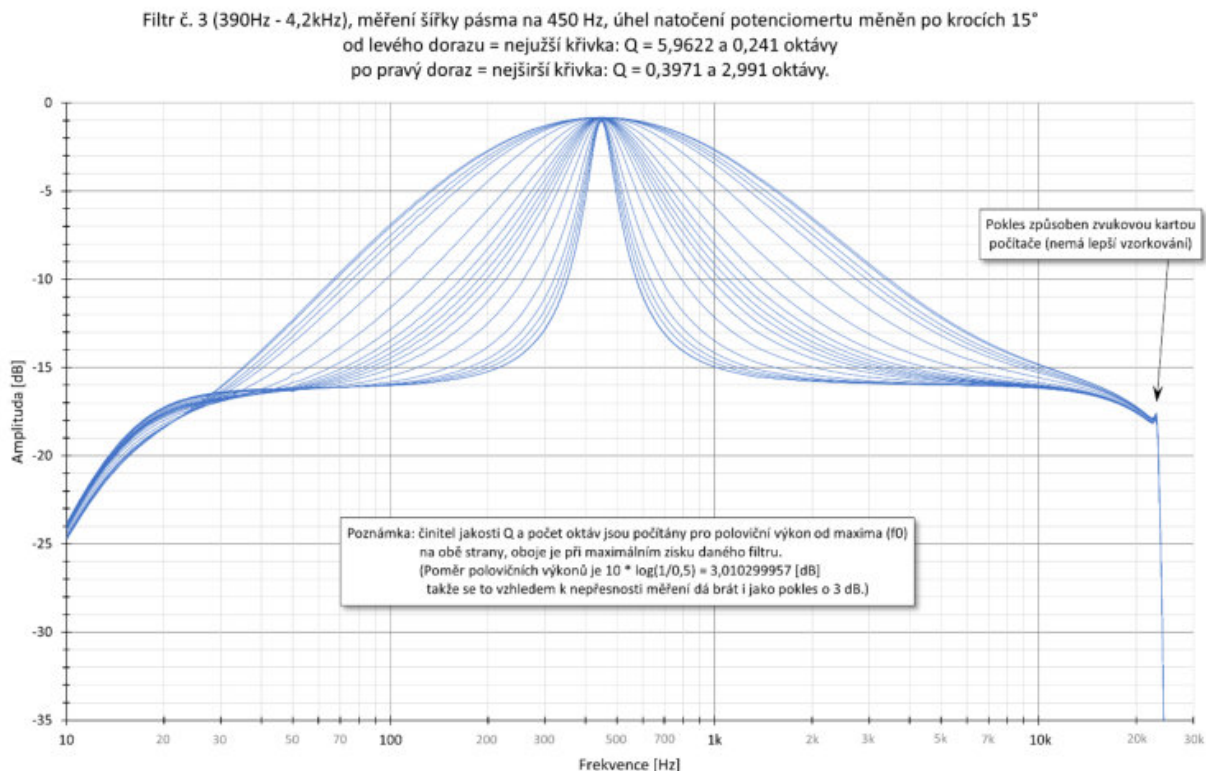
Průběh regulace šířky pásma filtru 1 na 247 Hz při max. nastaveném zisku filtru



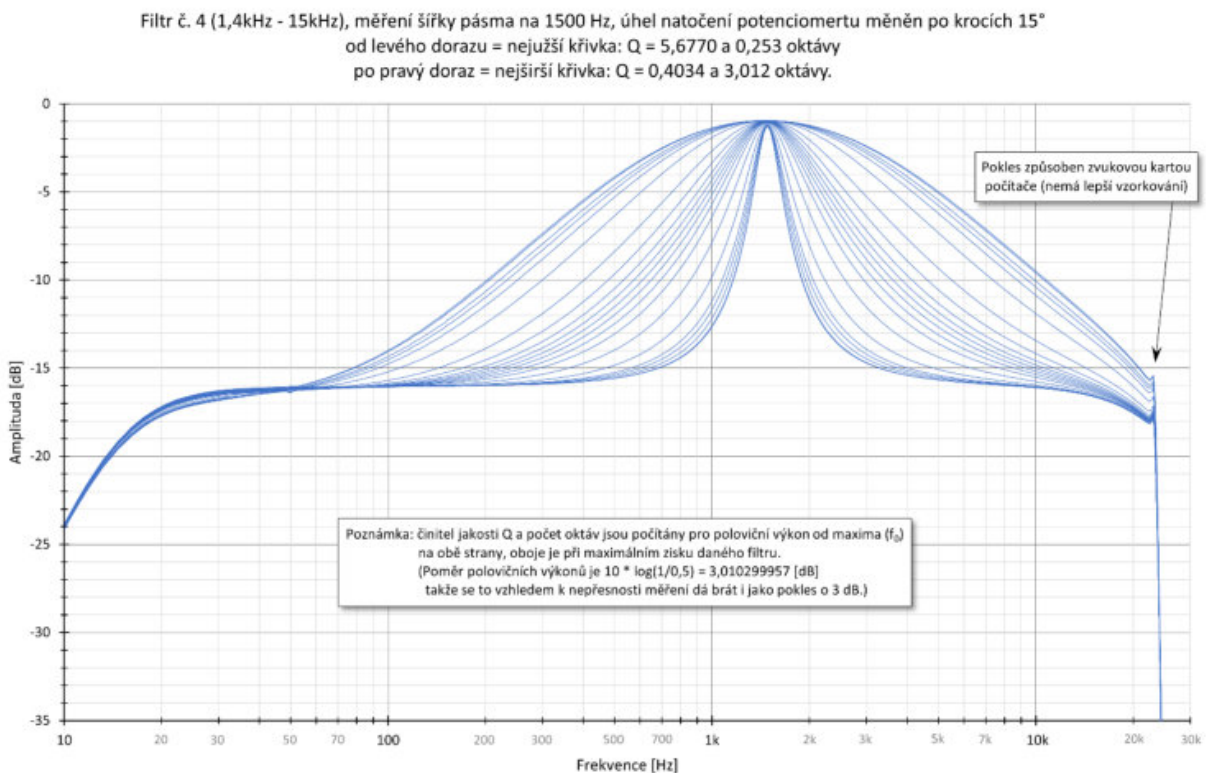
Průběh regulace šířky pásma filtru 2 na 900 Hz při max. nastaveném zisku filtru



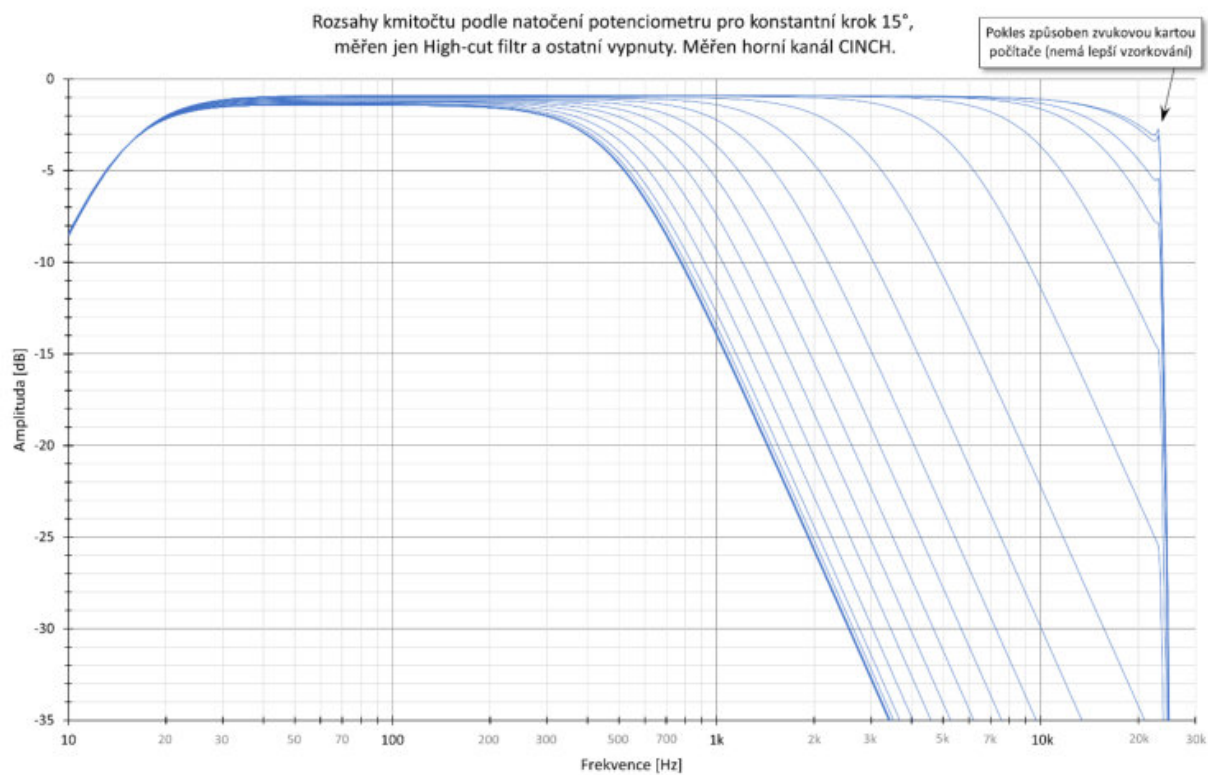
Průběh regulace šířky pásma filtru 3 na 450 Hz při max. nastaveném zisku filtru



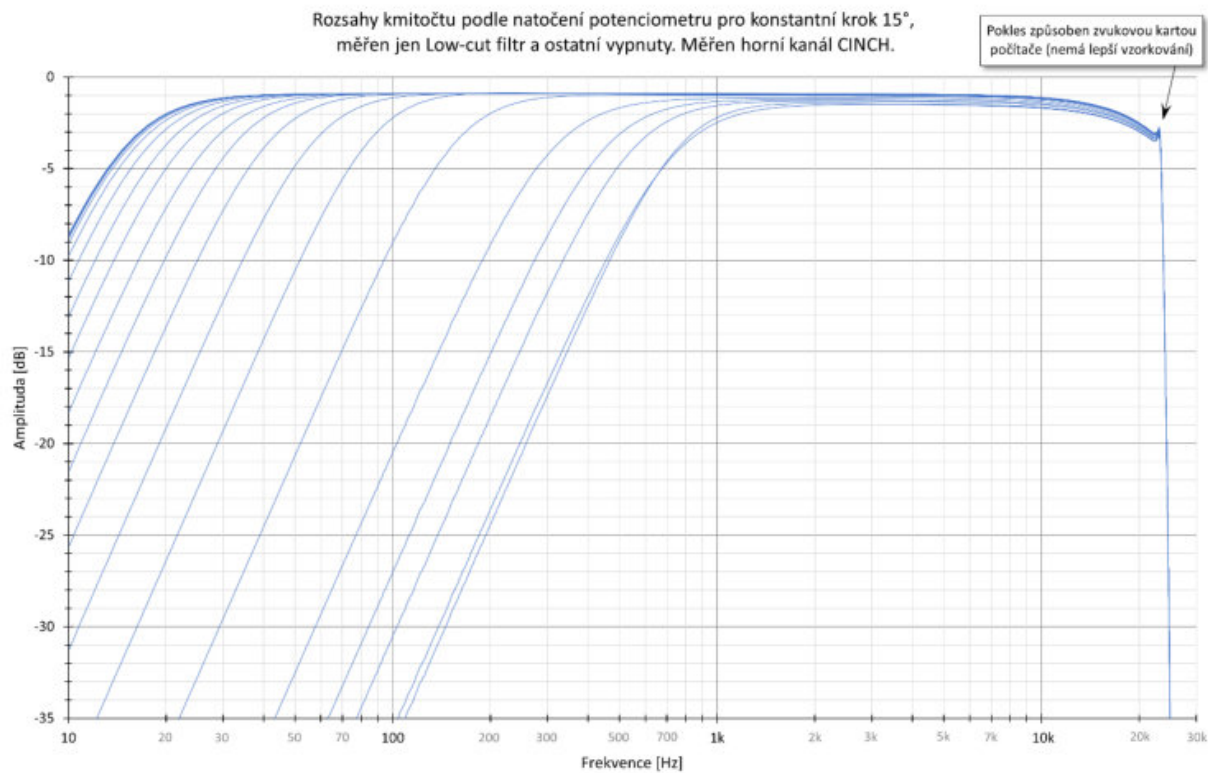
Průběh regulace šířky pásma filtru 4 na 1500 Hz při max. nastaveném zisku filtru



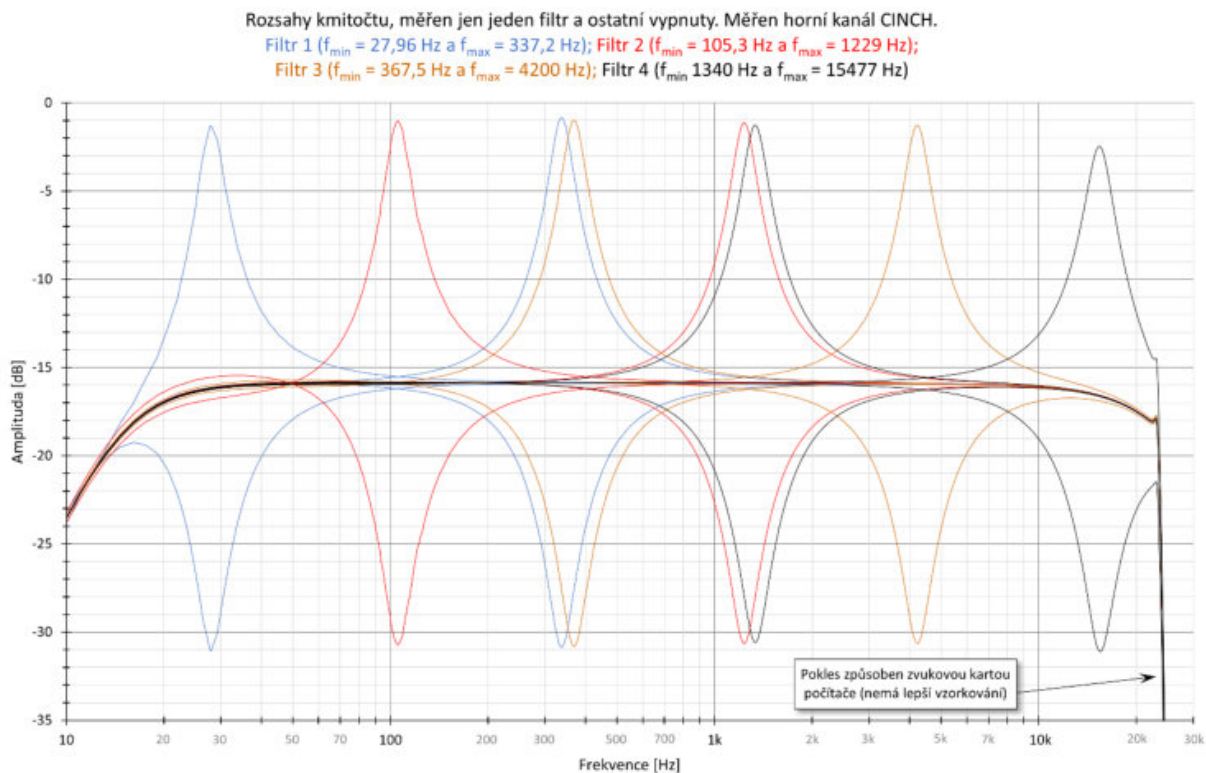
Průběh regulace ořezového filtru výšek (high – cut filtr)



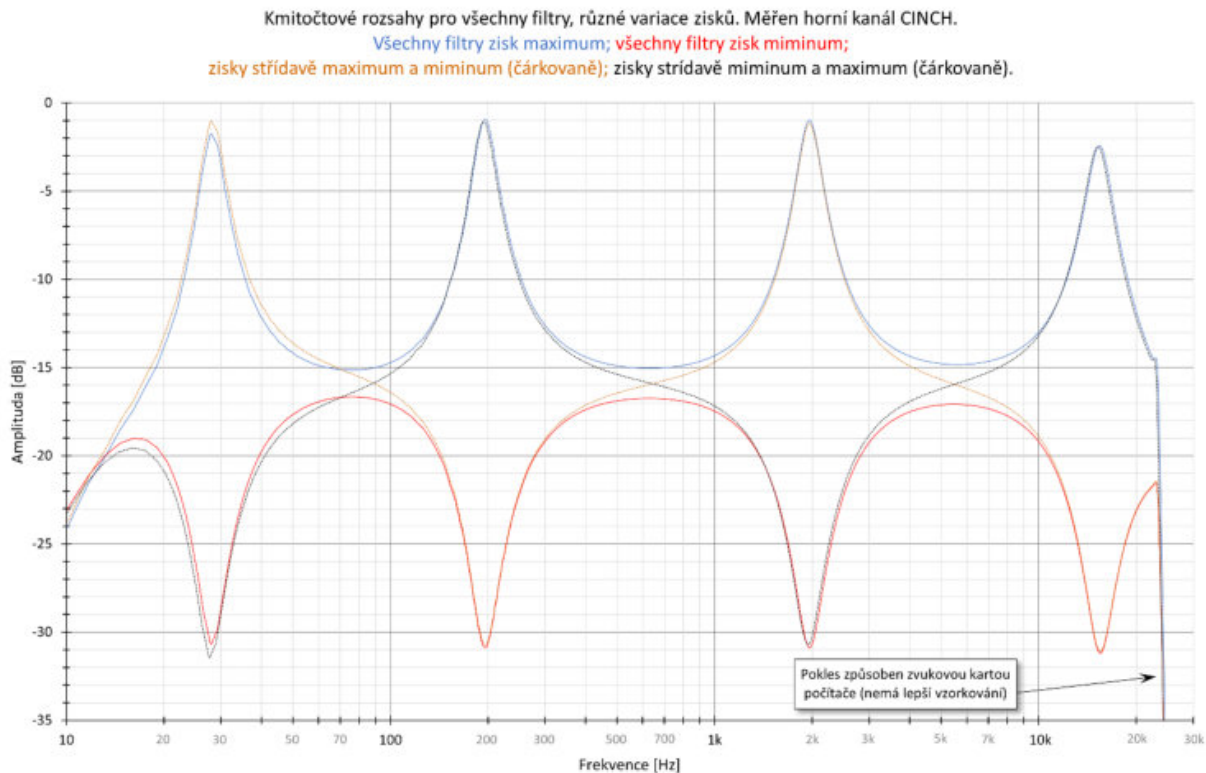
Průběh regulace ořezového filtru hloubek (low – cut filtr)



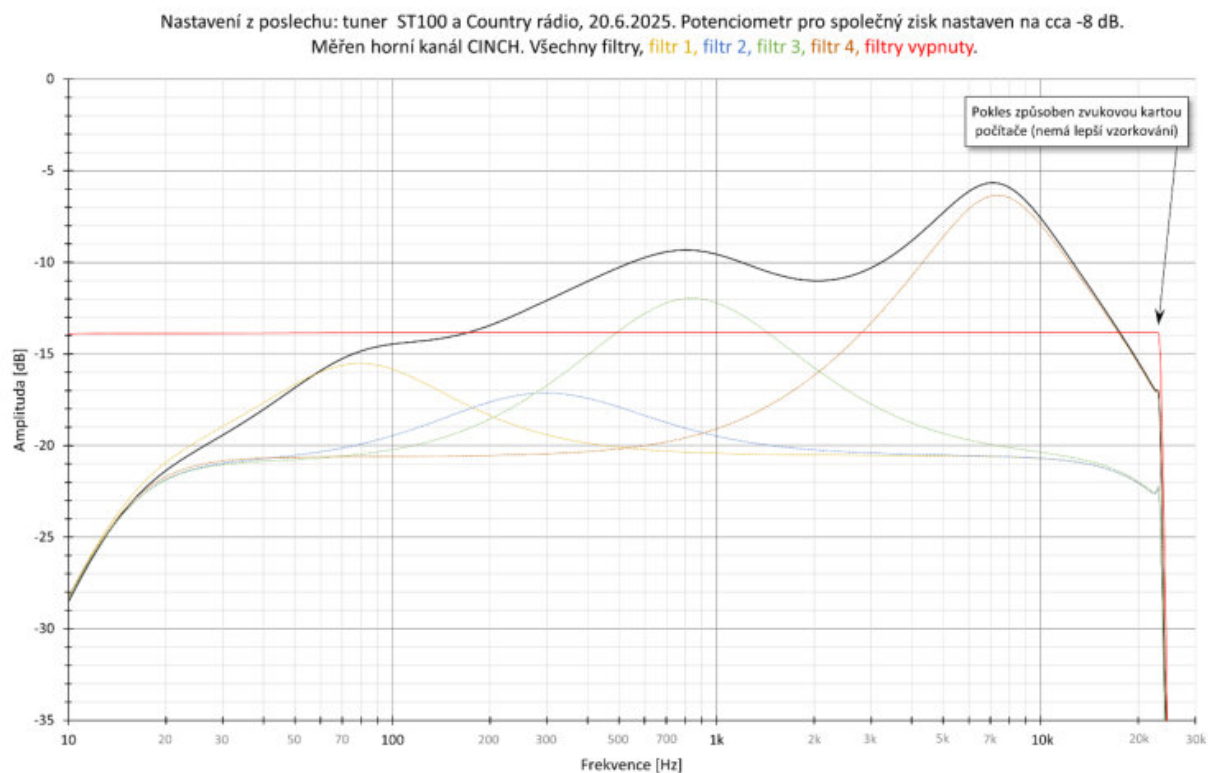
Maximální a minimální kmitočtové nastavení všech filtrů při nejužší šířce a max./min. zisku



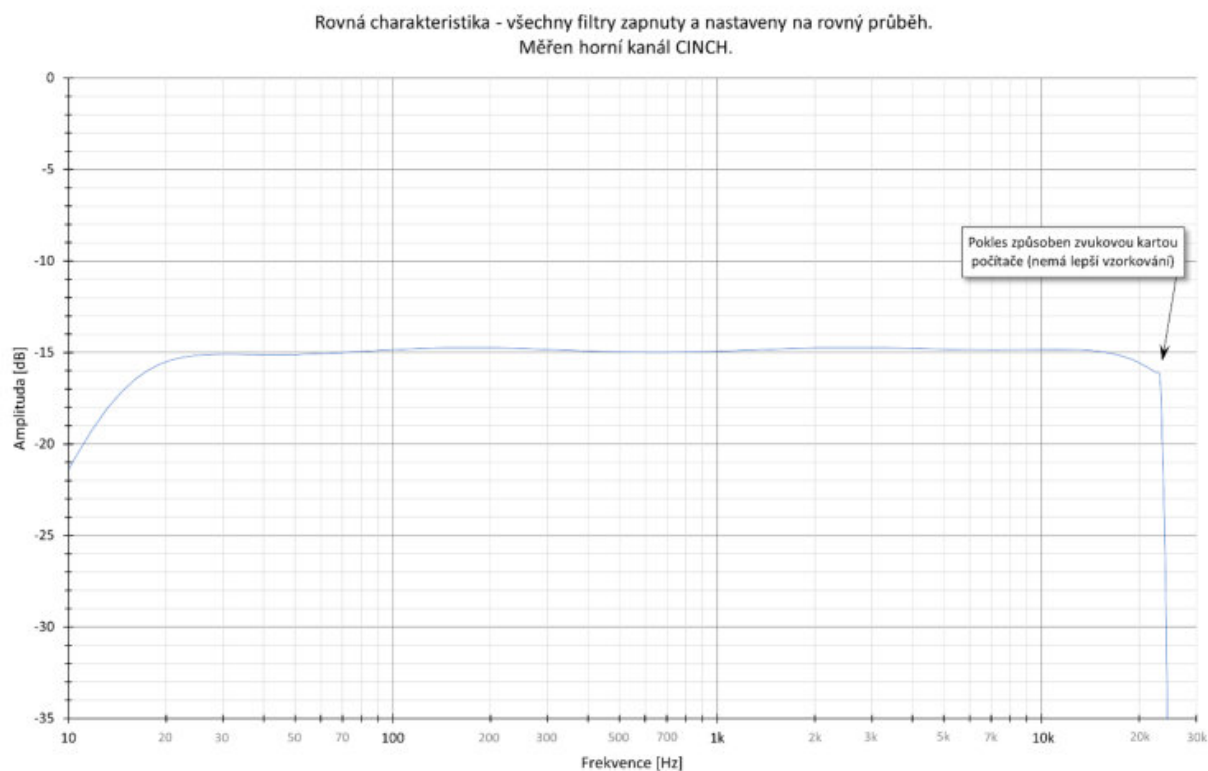
Variace nastavení filtrů při nejužší šířce pásma, zapnuty vždy všechny filtry



Nastavení z poslechu – při měření zapnuty: všechny filtry, každý filtr samostatně a vypnuty

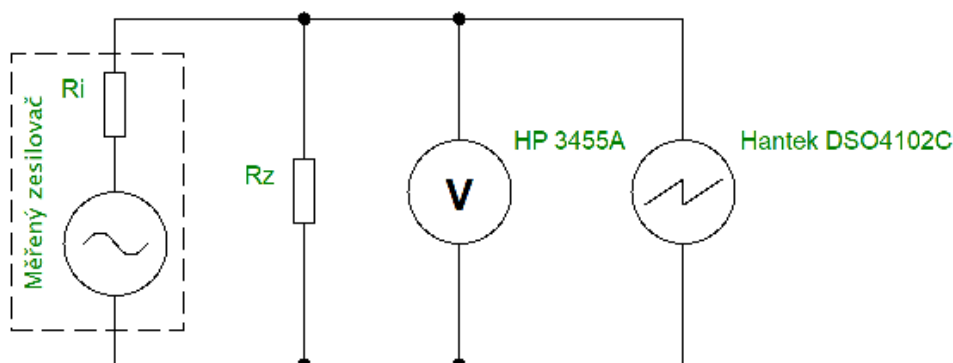


Charakteristika korektoru při nastavení na rovný průběh se všemi zapnutými filtry



Způsob měření výstupního odporu výstupního zesilovače

Výstupní odpor R_i byl měřen v zapojení:



Na výstup zesilovače, na kterém byl sinusový signál 1 kHz, byly postupně připojeny dva různé zatěžovací odpory R_z a napětí na nich bylo měřeno digitálním voltmetrem HP 3455A a kontrolováno osciloskopem Hantek DSO4102C. Voltmetr HP 3455A má podle dokumentace při měření RMS konvertorem vstupní impedanci $2\text{ M}\Omega \pm 1\%$ a osciloskop Hantek má vstupní impedanci $1\text{ M}\Omega$ a na paralelní kombinaci těchto vstupních odporů byly R_z korigovány, i když vzhledem ke změně odporu kterou to způsobí a přesnosti měření korekce není nutná.

Vnitřní odpor zesilovače se vypočítá podle vztahu ($\Delta U_{\text{výst}}$ a $\Delta I_{\text{přes } R_z}$ jsou rozdíly měřených napětí a proudů měřených na obou odporech R_z):

$$R_i = \frac{\Delta U_{\text{výst}}}{\Delta I_{\text{přes } R_z}}$$

Změřené a vypočítané hodnoty jsou v následující tabulce:

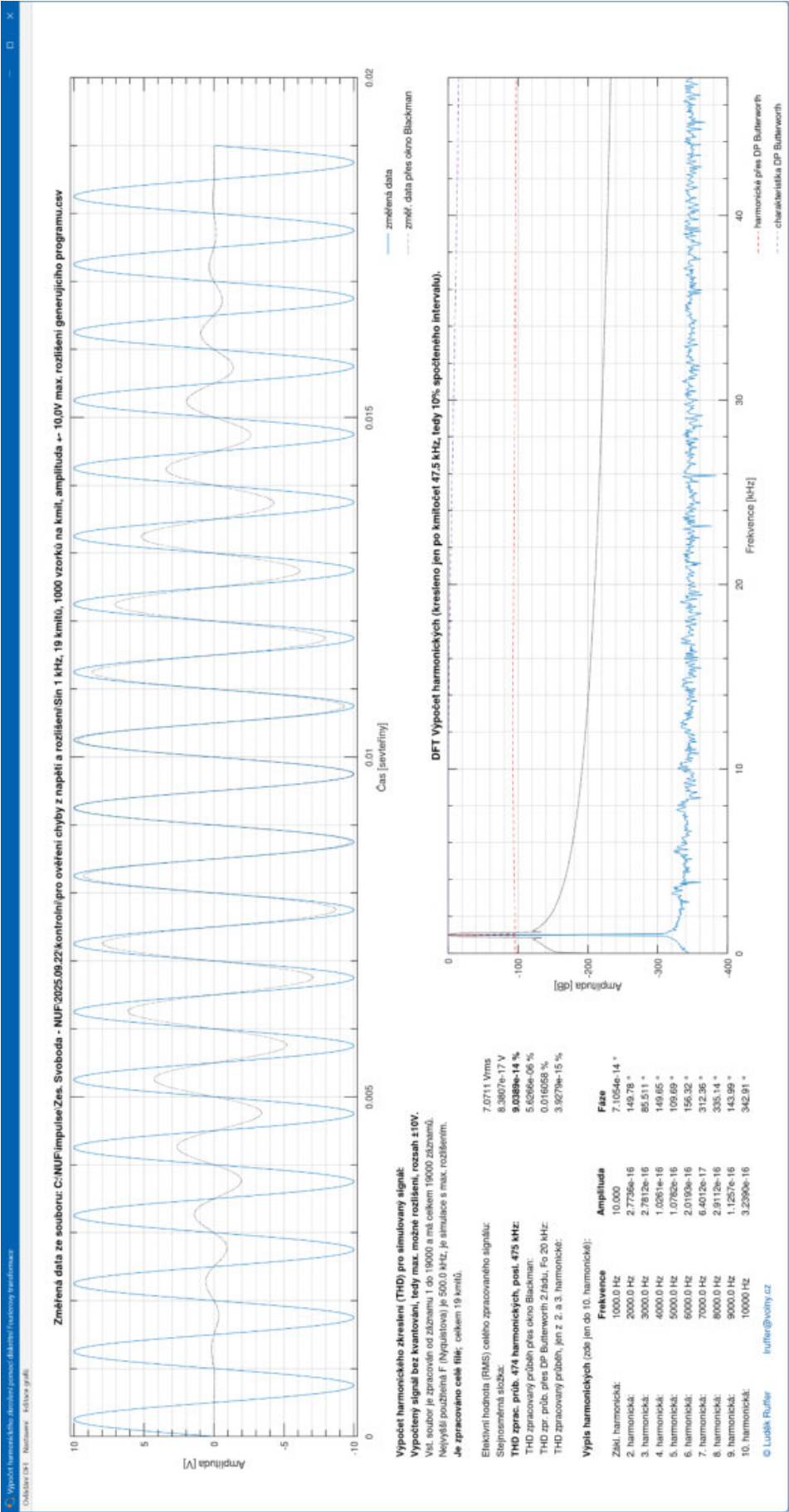
$U_{\text{výst}}$ [V _{rms}]	R_z [Ω]	R_z korigované [Ω]	I přes R_z [mA]	Vypočtené R_i [Ω]
3,102	46,97	46,966	66,047	11,77
3,718	270,88	270,77	13,7256	

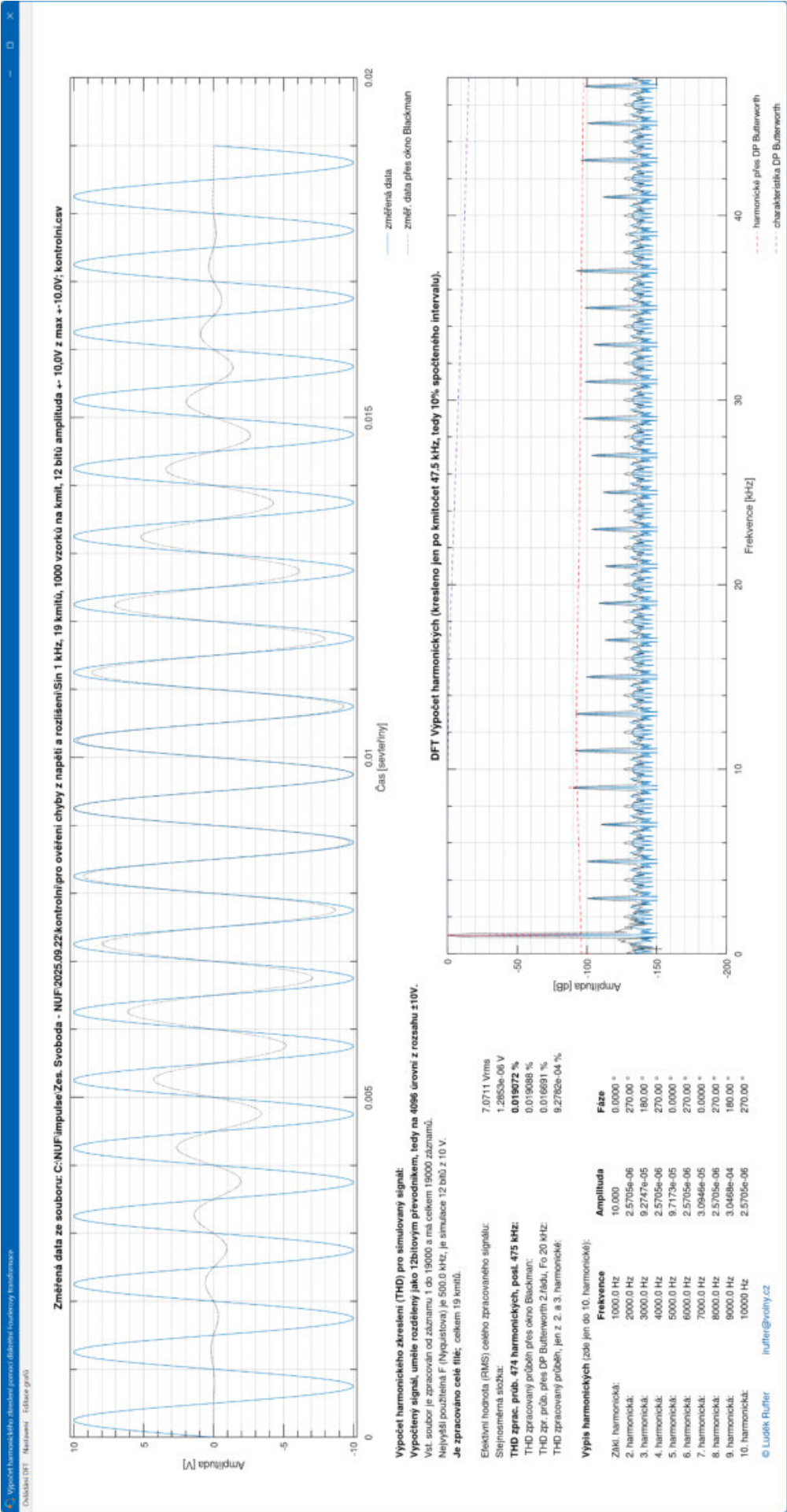
Měření harmonického zkreslení:

Protože měření harmonického zkreslení (THD) není úplně jednoduchá záležitost, je zde o tom trochu podrobnější pojednání. Měření dále vychází z myšlenky, že sinusový signál pro měření THD je generovaný generátorem a měří se digitálním osciloskopem se záznamem hodnot do souboru (v mém případě .csv) a z dat v těchto souborech se potom počítačovým programem (já jsem ho udělal v GNU Octave) pomocí FFT počítá THD. Generátor i osciloskop vnášejí do měření nějaké zkreslení. Generátor má svoje THD, u osciloskopu podstatná část zkreslení vzniká převodem v AD převodníku, a zkreslení bude různě velké podle toho, kolikabitový převodník je. Můj osciloskop Hantek DSO4102C má AD převodník jen 8bitový, což znamená, že signál je vzorkován (rozdělen) jen na 256 úrovní z maximálního rozsahu, v případě 12bitového převodníku je signál vzorkován na 4096 úrovní z rozsahu. Měřený signál samozřejmě bude vždy menší než vertikální rozsah osciloskopu, takže tato chyba vztažená k měřenému signálu bude větší. Z toho mě vyplynulo, že nejlepší bude měřit THD samotného generátoru a potom měřit THD zařízení se vstupním

signálem z generátoru a pro získání THD samotného zařízení odečíst změřené THD generátoru od celkového změřeného THD, tím by se tyto chyby měly zhruba eliminovat.

Jako ukázka chyb, které kvantováním vzniknou následují tři výpočty THD, první je vypočtený sinusový průběh bez kvantování a další dva jsou s umělým kvantováním na 8 a 12 bitů.

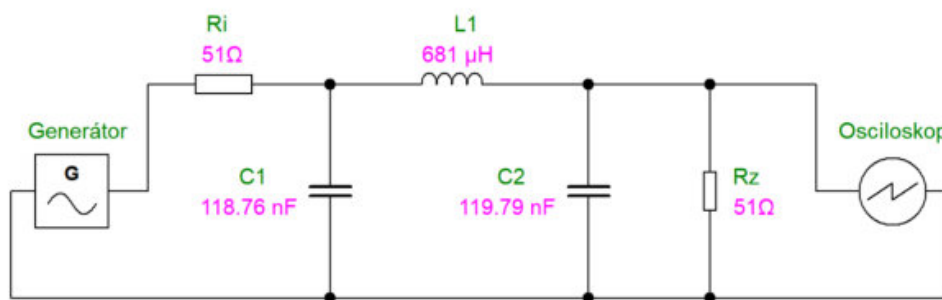




Také by obě zařízení měla mít přibližně stejné kmitočtové charakteristiky, protože harmonické se zde počítají pro celý měřený průběh. Tady jsem ze začátku trochu „narazil“, protože mě vycházelo THD samotného generátoru i větší než THD soupravy generátoru s korektorem, což je logicky „konina“. Chvilí (nějaké to měření) mě trvalo, než mě došlo, že korektor obsahuje neodpojitelné ořezové filtry hloubek a výšek (high a low-cut filtry) a že tyto filtry, respektive tady dělá tuto „neplechu“ jen ořezový filtr výšek. Je to proto, že high-cut filtr v korektoru způsobí (při nastavení na nejvyšší propustný kmitočet) ořez (neboli snížení úrovně) kmitočtů tak, jak je vidět na grafu dále, ale u měření THD samotného generátoru ořez není, takže se uplatní i harmonické za ním.

Abych tento problém alespoň zhruba potlačil a THD korektoru mohl jaksi změřit, udělal jsem pasivní (aby tam polovodiče nezaváděly další nelinearity) dolní propust typu Butterworth, přes kterou jsem měřil jen generátor, protože, jak vyplývá z předchozího textu, korektor už takovou propust trvale obsahuje. Generátor je mém případě generátor v osciloskopu Hantek DSO4102C, který sice není „žádná sláva“ ale na měření vyhoví, podle dokumentace má mít THD při 1 kHz -50 dBc a při 10 kHz -40 dBc. To přepočteno na mě bližší procenta je 0,316 % pro 1 kHz a 1 % pro 10 kHz.

Schéma použité dolní propusti je:

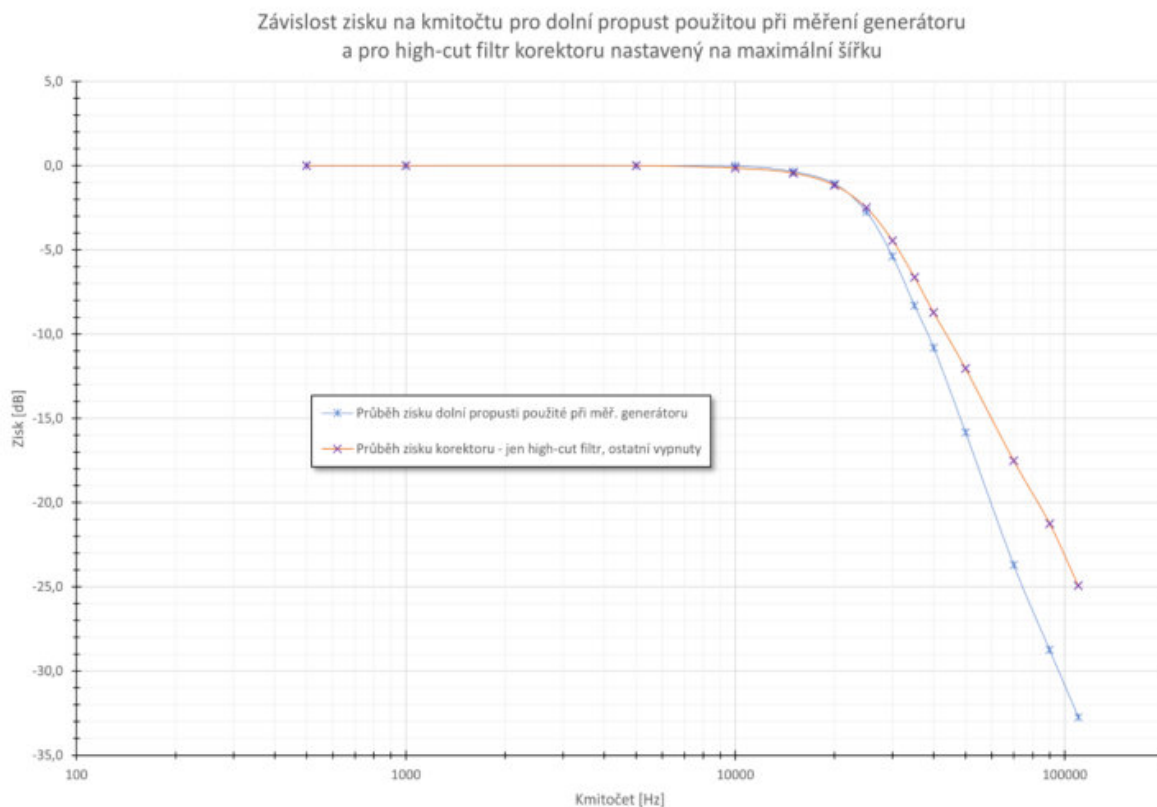


Generátor i osciloskop ve schématu jsou jeden přístroj: osciloskop s generátorem Hantek DSO4102C a DP byla ke generátoru připojena přímo (bez sondy), osciloskop byl připojen přes sondu 1x (není ve schématu kreslena). Odpory R_i a R_z mají být vnitřní odpory generátoru a osciloskopu, ale protože byla DP navržena na jejich hodnotu $53,5 \Omega$ a vstupní odpor osciloskopu je nejméně $1 \text{ M}\Omega$ a u generátoru jeho výstupní impedanci neznám, byly oba vytvořeny odpory o uvedených hodnotách.

Hodnoty součástek byly vypočteny programem na:

<http://sroll.net/ok1srd/technika/buttheworddolni/butterworth.php?frekvence=25000&impedance=75&stupen=2&B1=V%FDpo%E8et>

Protože zde dříve uvedený „Průběh regulace ořezového filtru výšek“ končí z důvodu omezení zvukovou kartou počítače na kmitočtu cca 25 kHz, což je pro tento případ hodně málo, změřil jsem průběh frekvenční charakteristiky jak korektoru, tak propusti Butterworth znovu měřením jejich napětí při daných kmitočtech a vynesl do následujícího grafu.



Z něho je viděti, že dolní Butterworthova propust má za bodem zlomu větší pokles než propust v korektoru, což může způsobit trochu menší harmonické zkreslení přes ni měřeného signálu generátoru (harmonické za poklesem budou mít logicky menší hodnotu), a tedy z rozdílu počítané THD korektoru by bylo trochu větší, ale to vzhledem k nepřesnostem měření zanedbávám. Z tabulek zisků se dá spočítat, že útlum high-cut filtru korektoru je asi 10,9 dB/oktávu (má být 12 dB/oktávu) a použité DP je asi 15,4 dB/oktávu.

Tabulky měření zisku popisované Butterworthovy dolní propusti a high-cut filtru korektoru pro jejich porovnání:

Průběh zisku dolní propusti použité při měř. generátoru

Kmitočet	U vstupní [V rms]	U výstupní [V rms]	Zisk [dB]
500 Hz	1,24	0,5200	0,00
1000 Hz	1,24	0,5200	0,00
5000 Hz	1,24	0,5200	0,00
10000 Hz	1,24	0,5200	0,00
15000 Hz	1,24	0,5000	-0,34
20000 Hz	1,24	0,4600	-1,06
25000 Hz	1,24	0,3800	-2,72
30000 Hz	1,24	0,2800	-5,38
35000 Hz	1,24	0,2000	-8,30
40000 Hz	1,24	0,1500	-10,80
50000 Hz	1,24	0,0840	-15,83
70000 Hz	1,24	0,0340	-23,69
90000 Hz	1,24	0,0190	-28,74
110000 Hz	1,24	0,0120	-32,74

Průběh zisku korektoru - jen high-cut filtr, ostatní vypnuty

Kmitočet	U vstupní [V rms]	U výstupní [V rms]	Zisk [dB]
500 Hz	1,40	1,2000	0,00
1000 Hz	1,40	1,2000	0,00
5000 Hz	1,40	1,2000	0,00
10000 Hz	1,40	1,1800	-0,15
15000 Hz	1,40	1,1400	-0,45
20000 Hz	1,40	1,0500	-1,16
25000 Hz	1,40	0,9000	-2,50
30000 Hz	1,40	0,7200	-4,44
35000 Hz	1,40	0,5600	-6,62
40000 Hz	1,40	0,4400	-8,71
50000 Hz	1,40	0,3000	-12,04
70000 Hz	1,40	0,1600	-17,50
90000 Hz	1,40	0,1040	-21,24
110000 Hz	1,40	0,0680	-24,93

Poznámka k následujícím výpočtům THD: protože Fourierova transformace použitá pro výpočet THD předpokládá periodický průběh zkoumaného signálu, musí být změřený signál ve většině případů na periodický upraven (tj. na celé kmity), což znamená úpravu tak, aby průběh začínal a končil ve stejném bodě (např. v průchodu nulou atp., přitom kde signál začíná není podstatné). Pokud nezačíná a nekončí ve stejném místě, může být spočítané THD i dost rozdílné proti skutečnosti, tj. větší (a možná) překvapivě i menší, protože neperiodicita způsobená tzv. „vocasem“ přidá harmonické, které v periodickém průběhu nejsou a výpočet THD mohou ovlivnit oběma směry.

Toto přibližně řeší zpracování neperiodického změřeného signálu přes tzv. okna, zde jsem použil okno typu Blackman. Okna signály na začátku a konci zpracovávaného průběhu různým způsobem plynule zeslabí až k nule, což tyto „vocasy“ potlačí. Ovšem při dobrém výběru period signálu je z nich spočítané THD o něco menší než THD počítané přes okna ze signálu bez úpravy na celé periody, takže výpočet THD přes Blackmanovo okno se k výpočtům THD korektoru zde nepoužívá. Ve výpočtech jen na ukázkou anebo pro případ, kdyby se výběr celých period nezdařil, tak aby byl výpočet aspoň nějaký.

Následují dvě tabulky se změřeným THD: v horní je THD celého korektoru kdy byl signál z generátoru měřen přes popisovanou dolní propust, v dolní je pro porovnání měření THD jen filtrů korektoru (vstupní deska korektoru byla odpojena odpájením) a v tomto případě byl signál z generátoru měřen samozřejmě přímo, bez dolní propusti.

Měřen celý korektor tak jak je zapojen, při jeho měření nebyla použita žádná DP a výstup korektoru byl zapojen přímo na osciloskop. Ovšem při měření generátoru pro výpočet THD generátoru byla použita popisovaná DP zapojená podle předchozího textu.

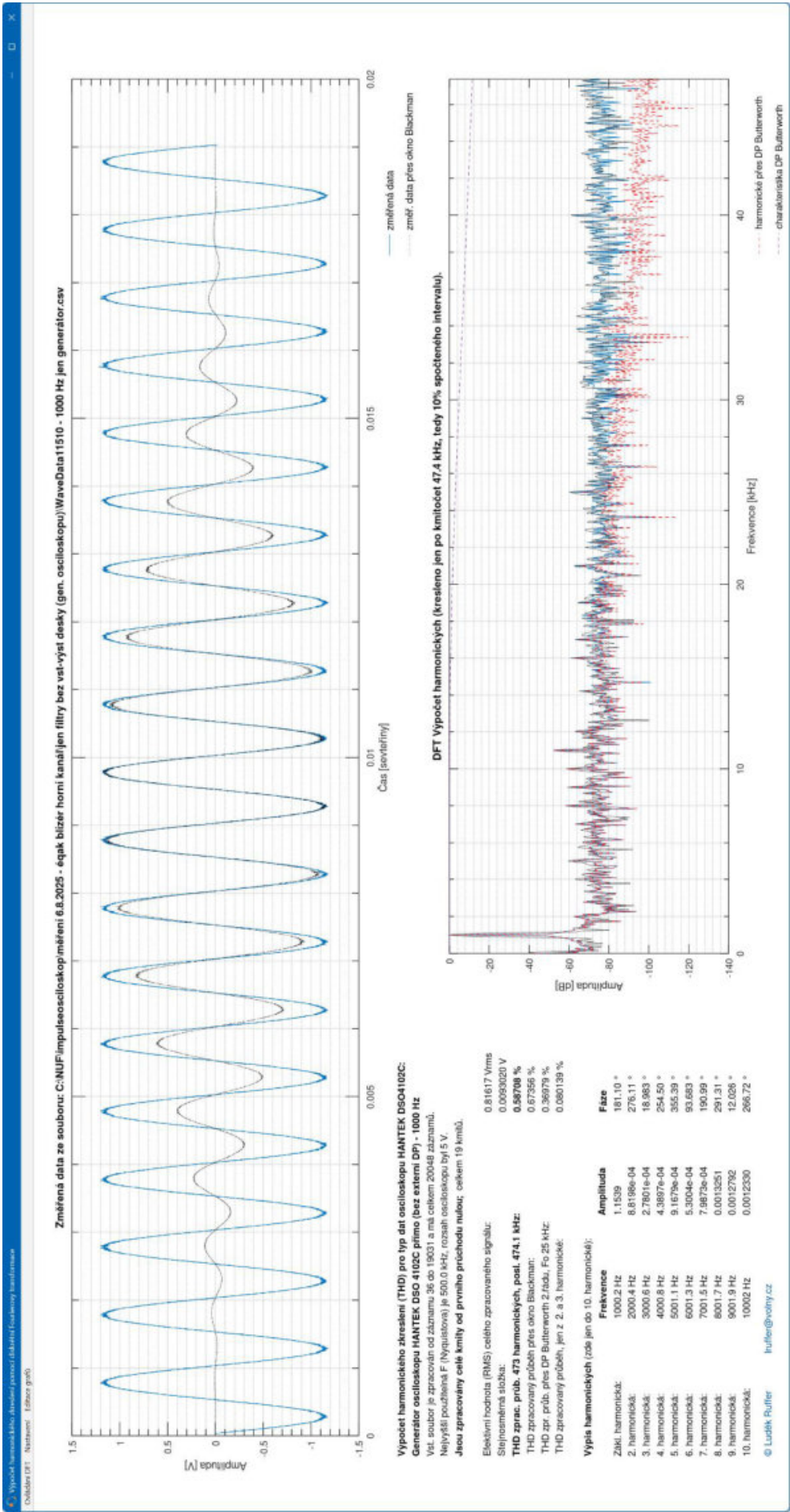
Kmitočet	THD generátor osciloskopu Hantek DSO4102C s DP typu Buterworth s jednou cívkou 680 μ H a F_s = cca 25 kHz	THD korektoru dle Urei 546, vyrovnaná charakteristika, vše zapnuto	THD jen korektoru, bez THD generátoru
20 Hz	0,326 %	0,635 %	0,309 %
25 Hz	0,336 %	0,542 %	0,206 %
50 Hz	0,367 %	0,587 %	0,220 %
100 Hz	0,359 %	0,568 %	0,210 %
500 Hz	0,373 %	0,607 %	0,234 %
1000 Hz	0,373 %	0,583 %	0,210 %
5000 Hz	0,404 %	0,579 %	0,175 %
10000 Hz	0,478 %	0,579 %	0,101 %
15000 Hz	0,374 %	0,506 %	0,132 %
20000 Hz	0,472 %	0,626 %	0,154 %
THD korektoru průměr:			0,195 %

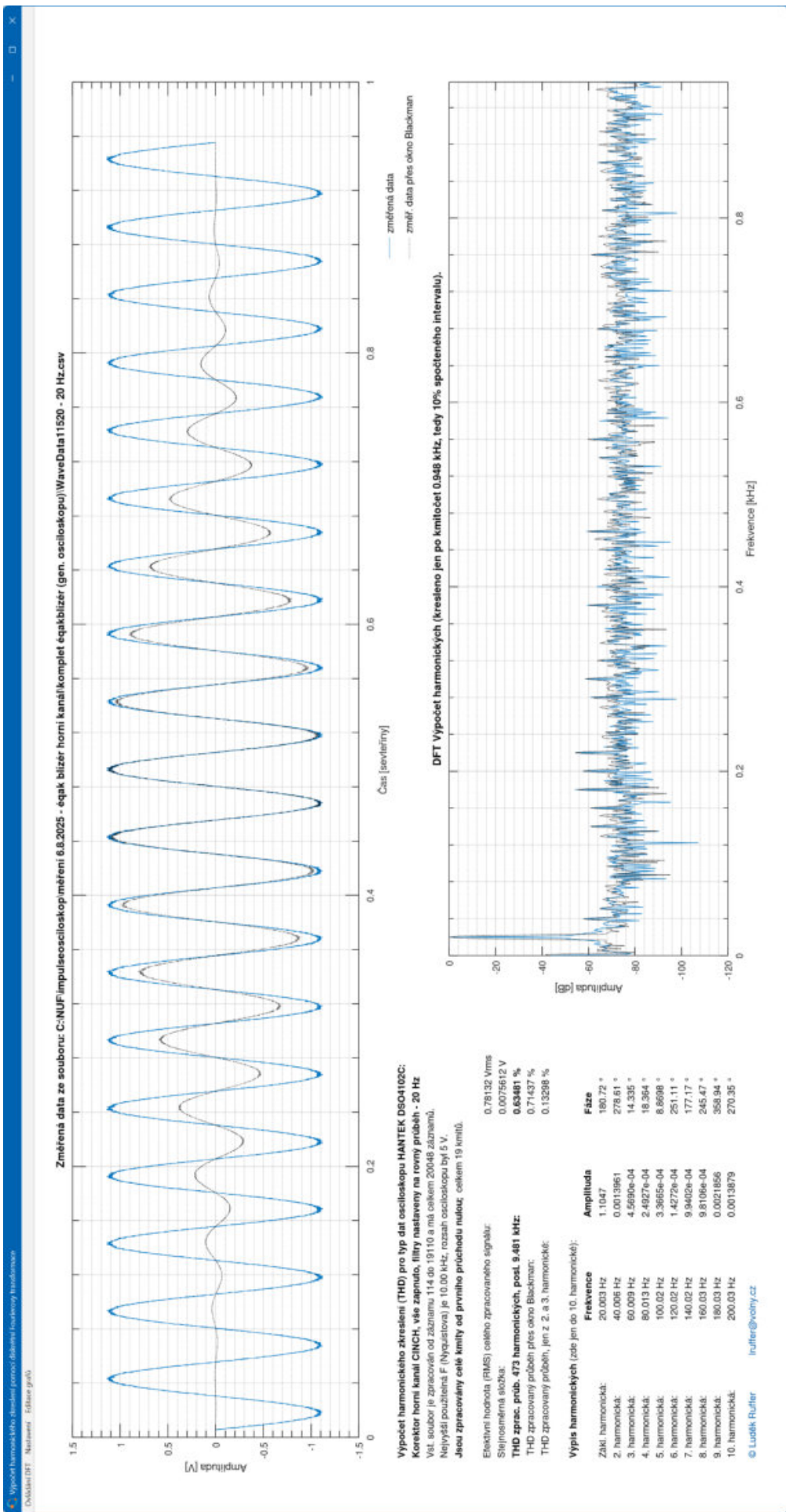
Měření JEN všechny čtyři filtry tak jak jsou zapojeny, bez vstupně-výstupní desky, jejíž výstup byl odpájen. Žádná DP nepoužita – vše bylo zapojeno přímo na osciloskop.

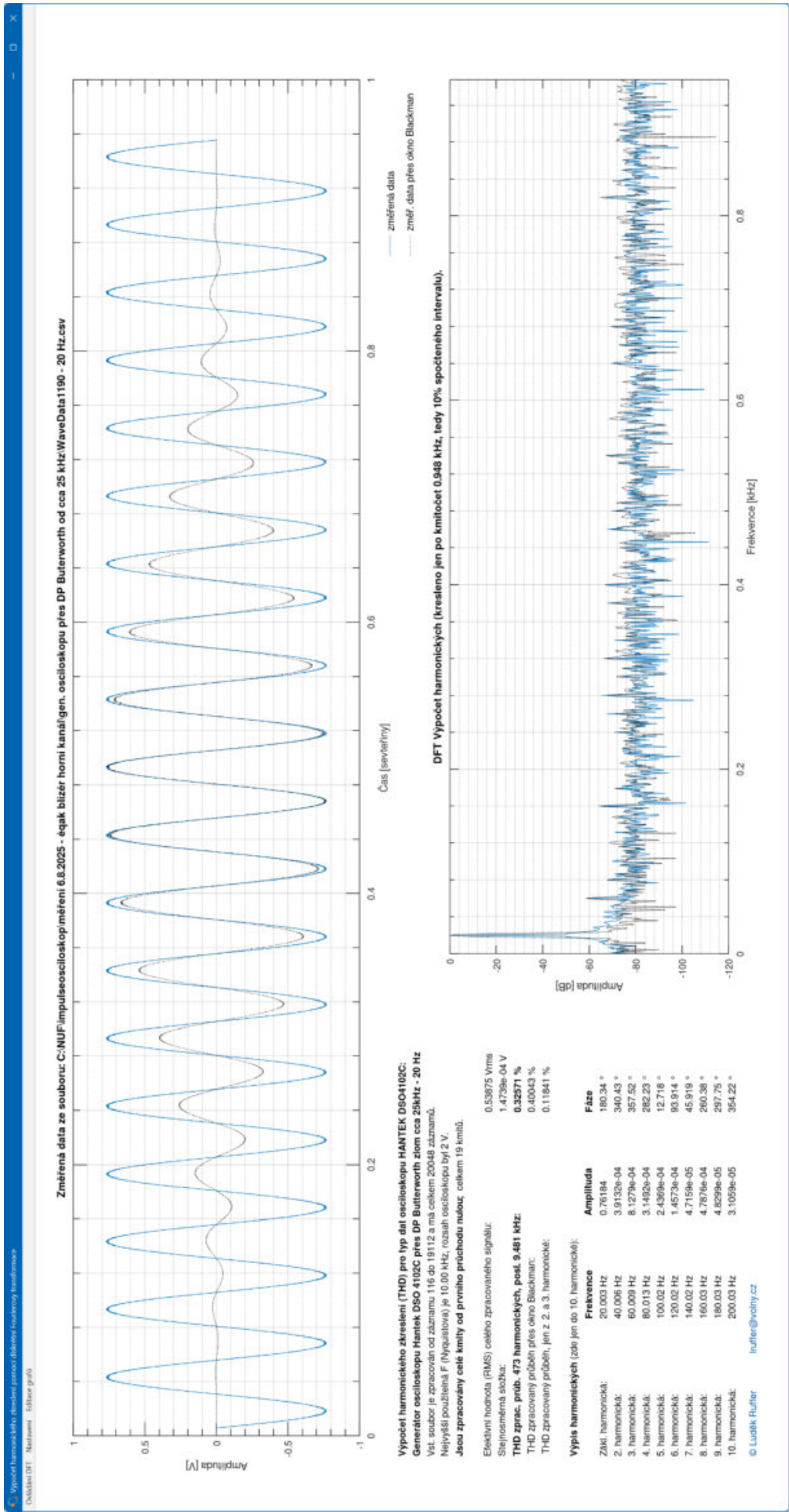
Kmitočet	THD generátor osciloskopu Hantek DSO4102C	THD JEN filtrů korektoru podle Urei 546, vyrovnaná charakteristika, bez vstupně-výstupní desky.	THD jen filtrů korektoru, bez THD generátoru
20 Hz	0,644 %	0,755 %	0,111 %
25 Hz	0,602 %	0,694 %	0,093 %
50 Hz	0,637 %	0,805 %	0,168 %
100 Hz	0,613 %	0,819 %	0,206 %
500 Hz	0,600 %	0,787 %	0,187 %
1000 Hz	0,587 %	0,874 %	0,287 %
5000 Hz	0,611 %	0,770 %	0,159 %
10000 Hz	0,612 %	0,760 %	0,148 %
15000 Hz	0,546 %	0,696 %	0,150 %
20000 Hz	0,629 %	0,716 %	0,087 %
THD korektoru průměr:			0,160 %

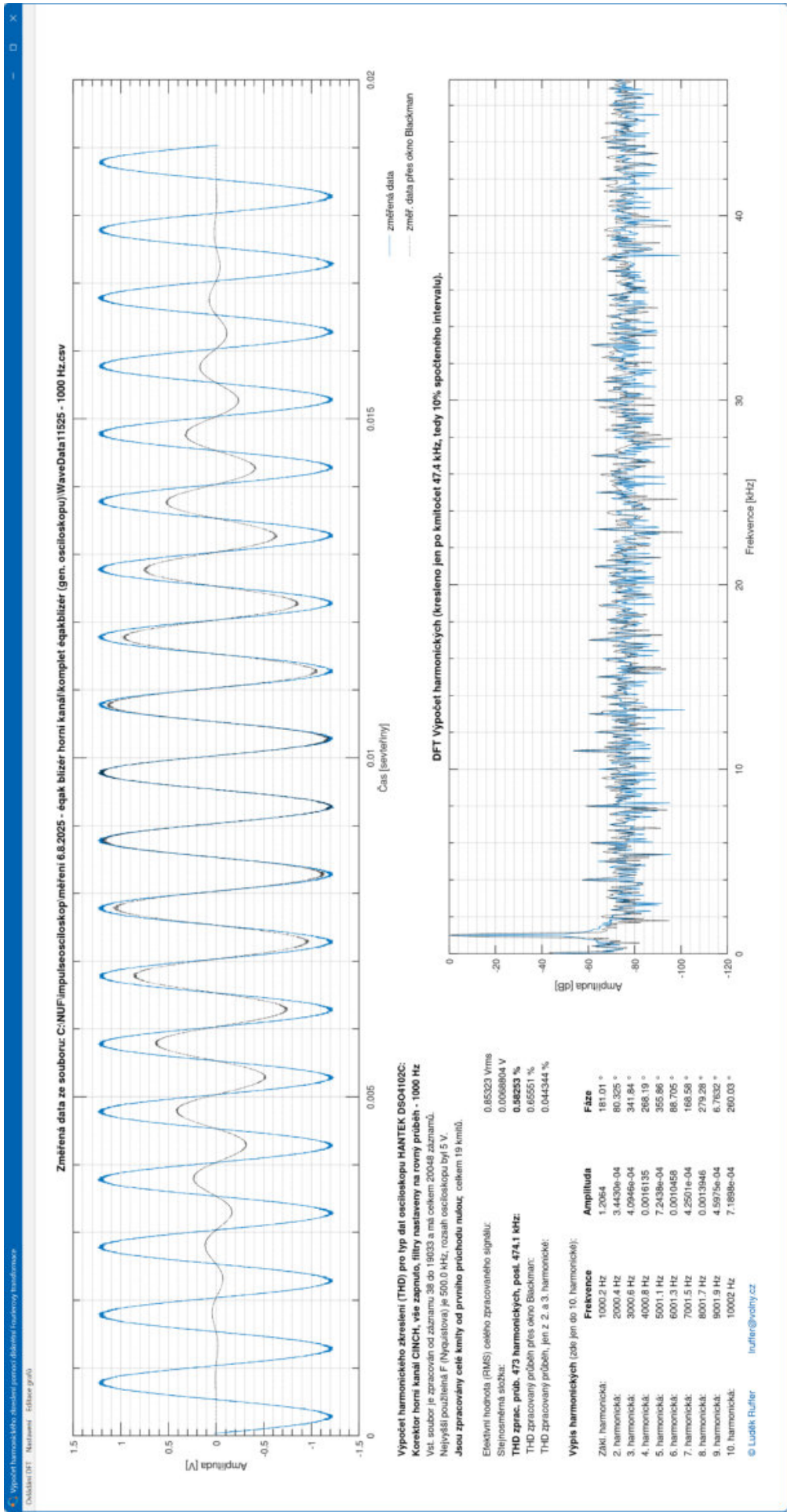
Protože výše popisovaná DP se samozřejmě dá udělat taky v prostředí Octave, doplnil jsem ji tam a vyzkoušel. Ovšem zde třeba u kmitočtů 10 až 20 kHz byly výsledky odlišné od měření přes fyzickou DP a úplně nevím proč, tak jsem je zde nepoužil. Je ale logické, že když je kmitočet zlomu dolní propusti 25 kHz a měří se např. kmitočet 20 kHz, tak bude propustí hodně utlumena už i druhá harmonická (40 kHz) a ještě víc také vyšší harmonické, takže THD neodpovídá. Ovšem nezdálo se mě (a nespál jsem), že by se toto nějak významně projevilo při měření přes fyzickou propust, takže zatím nevím...

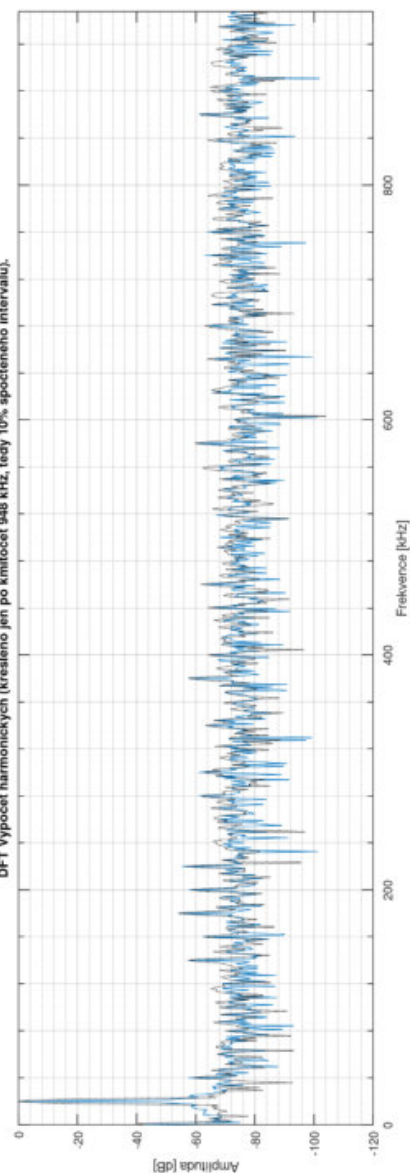
Zde uvádím jako příklad výpočet THD z měření generátoru osciloskopu na kmitočtu 1 kHz bez externí DP, kde je i výpočet THD přes DP počítanou v programu Octave a toto THD celkem sedí.











© Luděk Růžar
lru@volny.cz

0.13849 %

4401199

Dodatek autora:

Na závěr ještě poznámka k ceně korektoru takto vyrobeného: téměř vše, kromě několika vyjímk, které jsem měl doma, jsem pro výrobu korektoru kupoval. A asi proto, že už jsem dlouho nic nebastlil, mně výsledná cena dost nepříjemně překvapila. Po sečtení účtů z několika nákupů a včetně hliníkového plechu na šasi (kupoval jsem postupně) a přibližném odečtení součástek kupovaných jako rezerva a do zásoby jsem dospěl k velmi přibližné částce někde okolo 3000 Kč, čekal jsem o dost méně. No, co se dá dělat, nakonec jsem rád, že prodejny GM electronic ještě vůbec existují a nemusím nakupovat přes internet a platit k tomu ještě poštovné (ale když není jiná možnost tak přes internet samozřejmě nakupuji a taky záleží na tom, co vyjde levněji), nebo nakupovat z Číny s nejistým výsledkem co dostanu, navíc z Číny samozřejmě není možnost dobírky, takže po zaplacení předem.

Upozornění:

Použití čehokoliv z tohoto popisu je na Vaše vlastní nebezpečí, autor za to nepřebírá žádnou odpovědnost, a to ani za škody způsobené použitím, nebo nemožností použití postupů a zapojení zde popisovaných. Pokud s tímto prohlášením nesouhlasíte, nic z tohoto popisu nepoužívejte.

Luděk Ruffer

25. listopadu 2025