

## Realizace dolní propusti pro 144MHz.

Ing. Tomáš Kavalír, OK1GTH [kavalir.t@seznam.cz](mailto:kavalir.t@seznam.cz), <http://ok1gth.nagano.cz>

V poslední době je patrný značný nárůst používání výkonových zesilovačů s tranzistory nebo elektronkami o výstupním výkonu až jednoho kW v pásmech VKV. Profesionálně vyráběné výrobky musejí splňovat náročné požadavky dané normou, která mimo jiné stanovuje úroveň potlačení vyšších harmonických produktů. Proto konstruktéři těchto zařízení již pravděpodobně při vlastním návrhu zesilovače uvažovali i s výstupním filtrem zpravidla typu dolní propust, případně použili takový druh zapojení, který již z principu funkce má dostatečné potlačení vyšších harmonických. Naprosto odlišná situace bývá u amatérských konstrukcí, kdy se autoři těchto zesilovačů většinou spokojí s tím, že ze zesilovače "něco leze". Realizace výstupního filtru tak bývá oddalována na neurčito a leckdy se s ní ani nepočítá. Tento článek by tak mohl být určitou pomocí pro konstruktéry, jak lze snadno navrhnout a zhotovit vhodný výstupní filtr.

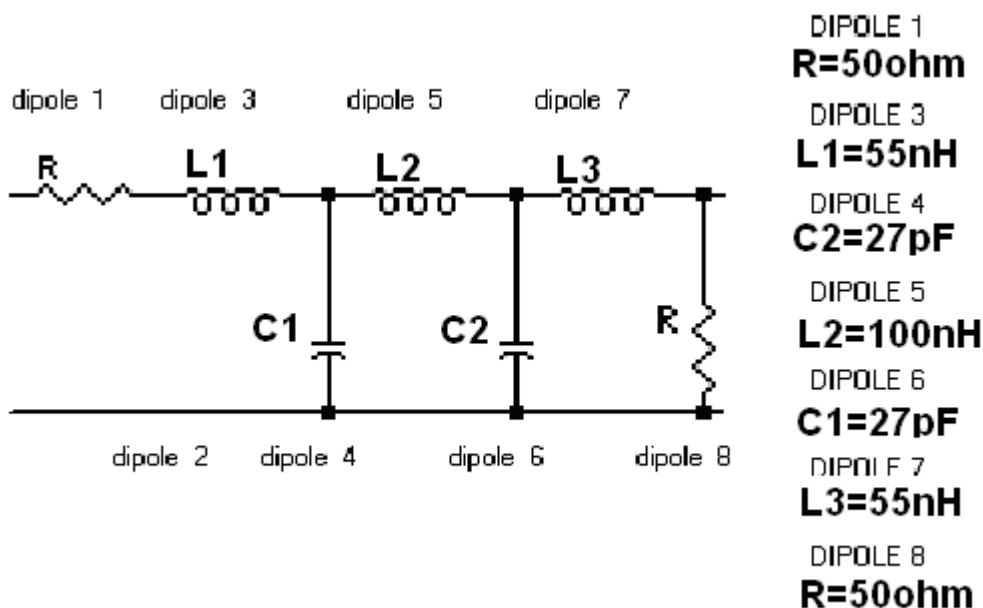
Realizovat takovýto výstupní filtr pro nízké výkony je celkem jednoduchou záležitostí. Lze použít standardní keramické bezvývodové kondenzátory určené pro montáž SMT. Problém nastane, pokud chceme navrhnout kvalitní dolní propust, která přenesese dlouhodobě výstupní výkon zesilovače 1kW. Kritickou součástí jsou především kondenzátory, na které se kladou veliké nároky. Především musí vykazovat nízké dielektrické ztráty v dielektriku, dostatečnou elektrickou pevnost a minimální parazitní indukčnost. Dále filtr musí vykazovat dlouhodobou mechanickou a elektrickou stálost, aby nedocházelo k rozladování filtru. Filtr navíc musí být i dostatečně robustní, aby dokázal rozptýlit ztrátový výkon způsobený průchozím (vložitým) útlumem.

Při tomto letmém pohledu vidíme, že realizace dolní propusti není až tak jednoduchá, jak by se mohlo z počátku zdát. V amatérských konstrukcích výstupních filtrů tak většinou na pozici kondenzátorů nalzáme kousky koaxiálních kabelů vhodné délky, které vykazují potřebnou kapacitu desítek pF. Takto vyrobené kondenzátory jsou poměrně vhodné, ale bohužel je problém s opakovatelností výroby takového filtru a náročné je i mechanické provedení a uchycení součástek. Daleko vhodnější je tak vyrobit speciální konstrukční kondenzátory, tvořené vysoustruženými disky, mezi kterými je teflonová folie vhodné tloušťky zajišťující potřebnou vzdálenost a tím i výslednou kapacitu. Hezky zpracovaný článek na výrobu takového dolní propusti pro 144 případně 430MHz nalezneme na těchto webových stránkách [1]. V mé konstrukci jsem použil řešení, které se běžně používá v profesionální praxi, kdy kondenzátory jsou tvořeny motivem na plošném spoji s teflonovým substrátem. Takovéto kondenzátory vykazují přímo ideální vlastnosti. Především mají velmi nízkou parazitní indukčnost danou bezvývodovou konstrukcí, dále umožňují snadnou montáž do hliníkového odlitku a tím i odvod ztrátového tepla. Díky použití teflonového substrátu má takovýto kondenzátor i nízké ztráty v dielektriku a vysokou elektrickou pevnost až několik desítek kV/mm...

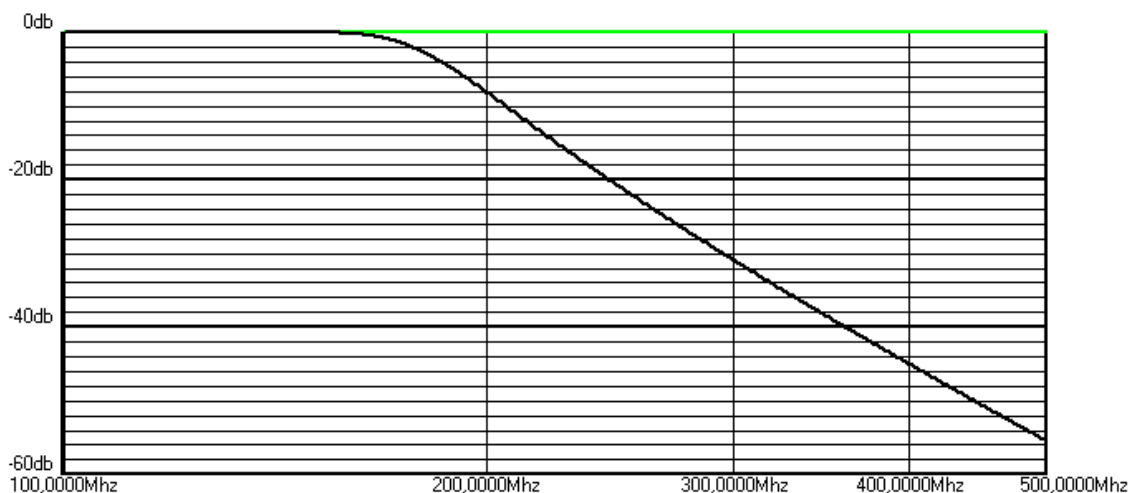
Než začneme s vlastním návrhem konkrétního řešení výstupního filtru, je nutné specifikovat, jaké vlastnosti by tento filtr měl mít:

- Především by měl vykazovat velmi nízký průchozí útlum cca 0,1dB na 144MHz.
- Měl by dlouhodobě (24h) přenést vř. výkon cca 1kW PEP na 144MHz.
- Útlum odrazu by měl být lepší než 30dB z obou stran, aby bylo zajištěno dobré přizpůsobení (PSV lepší než cca 1,07).
- Potlačení 3. harmonické, tj. cca 432MHz lepší než 40dB.
- Maximální potlačení větší než 50dB od cca 500MHz.
- Vstupní i výstupní impedance 50ohm nesymetricky.

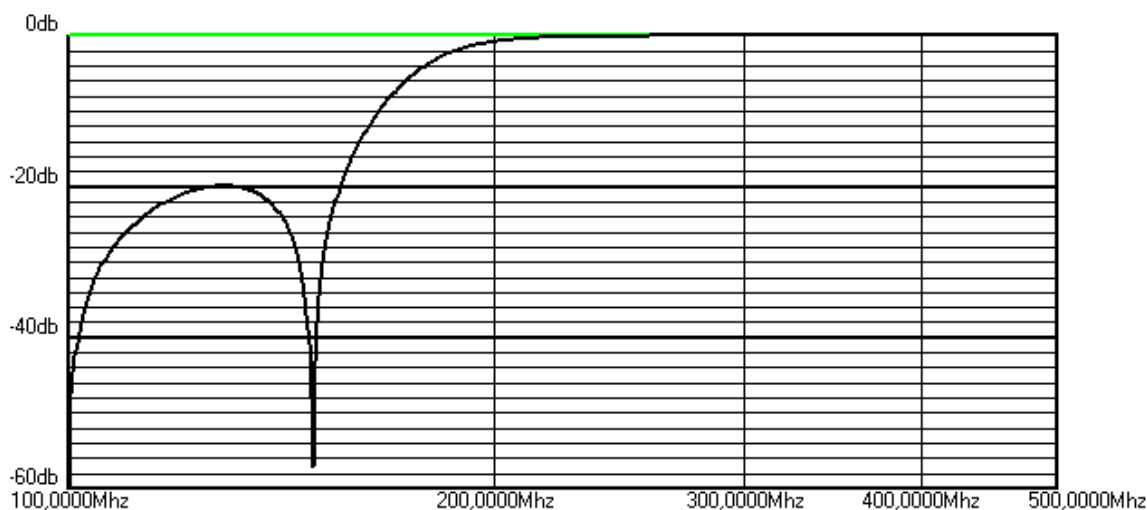
Pro návrh takovéhoho filtru bylo použito simulačního programu Filter Design V4.4. [2]. Aby byla splněna podmínka dostatečného potlačení vyšších harmonických produktů, musí být dolní propust navržena alespoň pětiobvodová. Pro vlastní návrh byla zvolena Chebyshevova transformace, vstupní i výstupní impedance je normovaná na  $50\Omega$ . Z důvodu snazší realizovatelnosti byla zvolena varianta s dvěma kondenzátory a třemi cívkami. Na obr.1. vidíme elektrické schéma výsledného filtru. Postupnými iteracemi a optimalizací dojdeme k následujícím hodnotám jednotlivých prvků filtru  $L1=L3=55\text{nH}$ ,  $L2=100\text{nH}$  a  $C1=C2=27\text{pF}$ . Na obr.2 je „odsimulovaná“ útlumová charakteristika v pásmu 100-500MHz a na obr.3 je teoretický průběh útlumu odrazu v pásmu 100-500MHz.



Obr.1 Elektrické schéma dolní propusti pro 144MHz.



Obr.2 Útlumová charakteristika v pásmu 100-500MHz.



Obr.3 Průběh útlumu odrazu v pásmu 100-500MHz.

Pro vlastní realizaci kondenzátorů byl použit teflonový oboustranně plátovaný materiál TACONIX-TLX9-0310 tloušťky 0,787mm. Tento vf. kuprexit, vhodný pro aplikace až do 12GHz, je možné zakoupit například zde [3]. Pro zvýšení mechanické pevnosti a rovnoměrnému rozložení elektrického potenciálu byla vrchní deska navíc přelátována měděným plechem tloušťky 1mm. Takto vyrobený kondenzátor vykazuje elektrickou pevnost větší než 10kV a díky bezvývodové konstrukci i minimální parazitní indukčnost. Toto řešení umožňuje poměrně kvalitní odvod ztrátového tepla díky mechanickému spojení se zadní deskou hliníkového odlitku, který zároveň pracuje jako chladič. Cívky byly vyrobeny z měděného drátu tloušťky 2mm se smaltovou izolací. Cívky jsou ke kondenzátorům rovnou přiletovány pomocí cínu s obsahem stříbra. Byly použity kvalitní konektory typu N s pozlaceným kolíkem a teflonovým dielektrikem. I přes velmi nízký průchozí útlum, který se u takto provedeného filtru pohybuje na hranici okolo 0,1dB, způsobuje při průchozím výkonu 1kW výkonovou ztrátu na tomto filtru cca 20W. Proto bylo na obal filtru použito masivního hliníkového odlitku s nízkým tepelným odporem a dobrou elektrickou vodivostí. Obal filtru je navíc téměř dokonale hermeticky utěsněn. Pro stanovení rozměrů kondenzátorů bylo použito vzorce pro výpočet kapacity:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{D} \text{ [F]}$$

Po úpravě a dosazení pro teflon  $\epsilon_r = 2,5$  a tloušťky kondenzátoru 0,78mm vychází kapacita kondenzátoru cca 2,84pF/cm<sup>2</sup>. Pro potřebnou kapacitu 27pF tak vychází rozměr deskového kondenzátoru cca 45 x 22mm. Motiv tohoto kondenzátoru je vyleptán na horní straně plošného spoje. Spodní vrstva je ponechána beze změny pro lepší rozložení potenciálu a větší stykovou plochu s hliníkovým odlitkem. Počet závitů a rozměr cívek byl určen z tabulek pro stanovení rozměrů a počet závitů jednovrstvé válcové cívky. Cívka 55nH je tvořena 2 závitů měděného 2mm drátu na průměru 8mm a cívka 100nH je tvořena 4 závitů také měděného 2mm drátu na vnitřním průměru 8mm. Vlastní plošný spoj je na několika místech přišroubován šroubky M3 s hliníkovým odlitkem. Pro zlepšení odvodu tepla a zvýšení vodivosti je nanášena tenká vrstva teplovodivé pasty s obsahem stříbra.

Filtr je po sestavení nutné odměřit a nastavit. V dnešní době je nejjednodušší použít spektrální analyzátor s vestavěným tracking generátorem. Filtr nastavíme změnou rozměrů cívek na nejmenší průchozí útlum, případně pokud máme možnost měřit i útlumy odrazu, tak nastavíme zároveň nejlepší přizpůsobení. Takto zhotovený filtr by měl vykazovat stejné

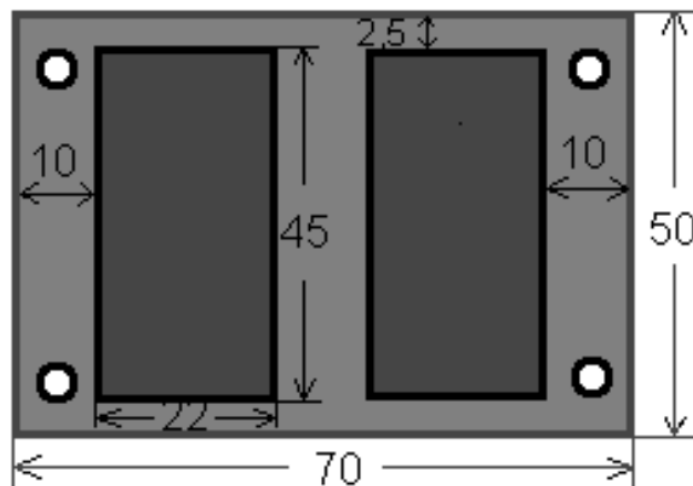
vlastnosti z obou stran. Na obr.4 a 5 je vidět finální provedení včetně mechanických rozměrů. Na obr.6 a 7 je vidět odměřená útlumová charakteristika a průběh útlumu odrazu v pásmu 100-500MHz vektorovým analyzátozem Rhode-Schwarz ZVB8. Na obr.8 je kompletní provedení filtru pro 144MHz.

### Závěr:

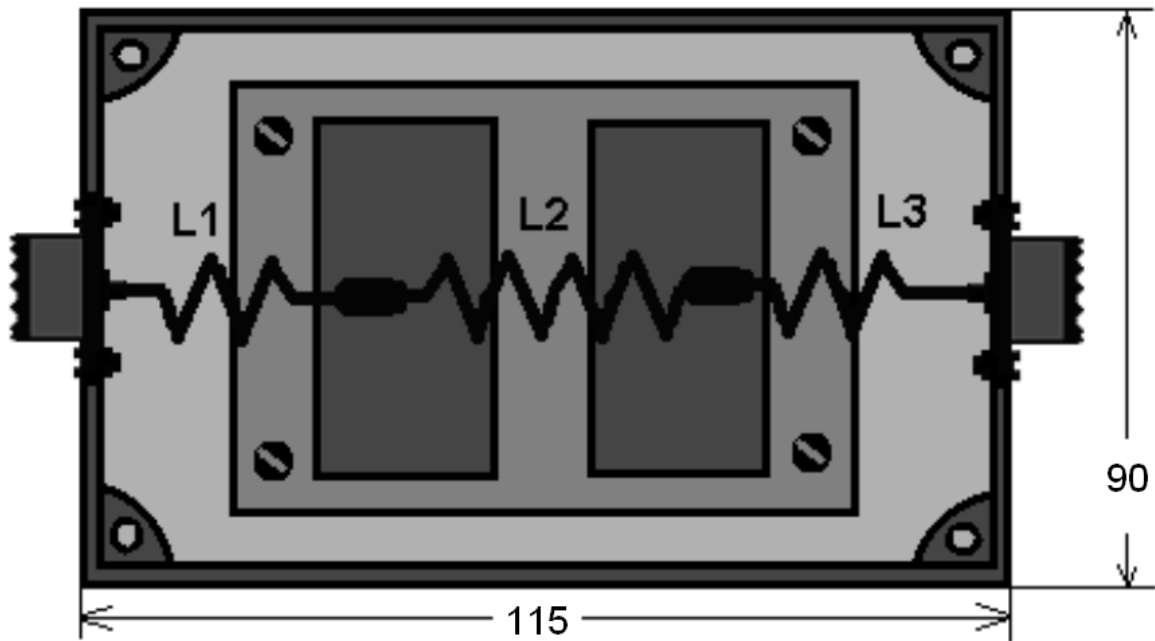
Uvedený filtr byl vyhotoven v počtu cca 10 kusů a bez problémů ho v našem klubu používáme během 24h závodů ve spojení s výkonovými zesilovači osazenými GS35b. Pozor na provoz s případným zhoršeným PSV, protože pak již narůstají ztráty a může dojít ke zničení filtru vlivem přepětí i při výkonech menších než 1kW. Jak ukázala zkušenost z poslední doby, povedlo se jeden filtr „zničit“ provozem s namrzlou anténou, která krátkodobě vykazovala zhoršené PSV (cca  $PSV=3$ ) při výkonu necelých 800W. Po otevření filtru byly patrné stopy po hoření obloku mezi deskou kondenzátoru a stěnou hliníkového odlitku na vzdálenost asi 5mm. Nedalo mi to a filtr jsem podrobil důkladnější analýze včetně teoretické simulace v simulačních programech. Při standardní situaci, kdy vstupní i výstupní impedance je blízká 50ohm je uprostřed filtru napětí na deskách kondenzátorů cca 1kV při výkonu 1kW. Pokud jsem uměle zhoršil PSV zátěže, tak byl patrný nárůst napětí na C1 a C2 a již při  $PSV=3$  bylo toto napětí téměř 6-násobně vyšší! A to reálná situace může být i mnohem horší. Nepoužívejte proto filtr s anténou, která má PSV vyšší než cca 1,5. Také nezkoušejte tento typ filtru konstruovat na bázi standardního materiálu (FR4), protože tento materiál má příliš vysoké ztráty a hoří i při podstatně nižším výkonu. Tento článek by mohl být určitým vodítkem, jak obdobným způsobem realizovat filtry pro jiná kmitočtová pásma a jiných vlastností. Bez problémů lze takto navrhnout i výstupní filtr např. pro 432MHz. Po dohodě je možné dodat vyleptaný plošný spoj případně celý oživený a nastavený výstupní filtr.

### Reference:

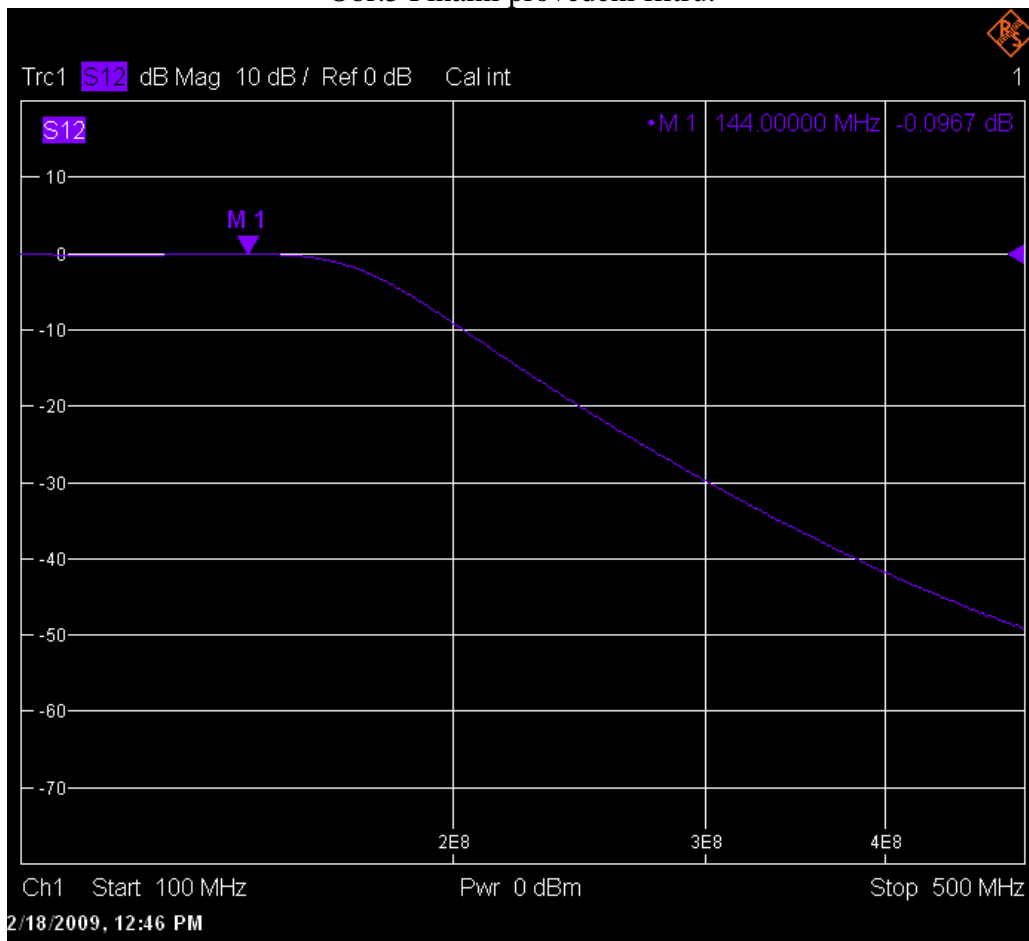
- [1] <http://www.ok2kkw.com/00003016/dp144/dp144.htm>
- [2] <http://www.aade.com/filter32/download.htm>
- [3] <http://www.ges.cz>



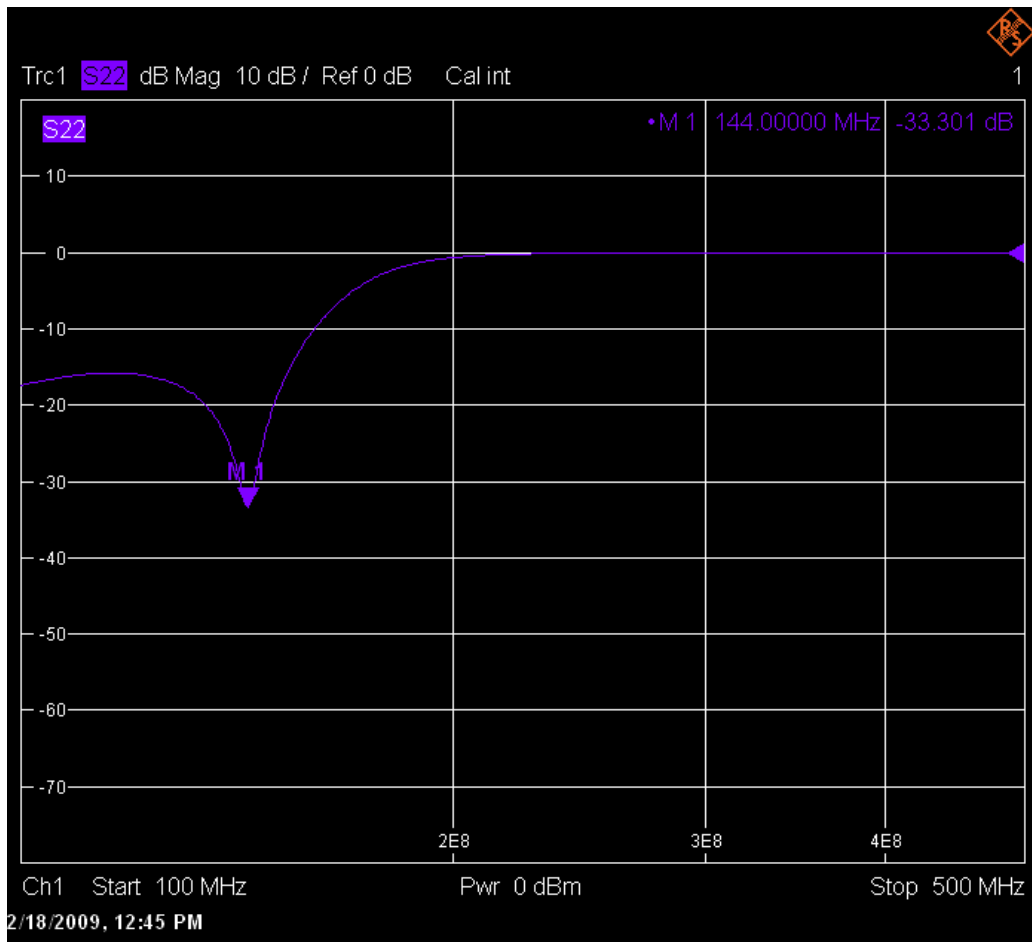
Obr.4 Provedení motivu tištěného spoje.



Obr.5 Finální provedení filtru.



Obr.6 Odměřená útlumová charakteristika. Marker M1 =144MHz / -0,097 dB.



Obr.7 Odměřený průběh útlumu odrazu filtru. Marker M1 = 144MHz / 33dB.



Obr.8 Finální provedení filtru DP pro 144MHz.