

Nízkošumový předzesilovač s vysokou odolností pro 1296 MHz

Ing. Tomáš Kavalír, Ph.D., OK1GTH kavalir.t@seznam.cz, <http://ok1gth.nagano.cz>

Zde popsaný nízkošumový předzesilovač s vysokou odolností volně navazuje na sérii článků, popisujících nízko-šumové předzesilovače s vysokou odolností pro pásma 50 – 432 MHz [1] a myšlenkově vychází ze starší konstrukce LNA pro 23cm, která byla zveřejněna již v roce 2012 v časopise RA. Hlavním úkolem bylo popsat i v domácích podmínkách opakovatelně vyrobitelnou konstrukci za použití modernějších prvků, díky kterým dosahuje předzesilovač lepších parametrů při celkově jednodušším provedení. Díky tomuto je zaručena dlouhodobě vyšší spolehlivost předzesilovače.

Po zveřejnění článku, popisujícího realizaci kvalitních předzesilovačů s filtry a odchozími relátky [1] mi postupně přišlo několik emailů s žádostmi, jestli bych nezkusil realizovat a popsat podobný předzesilovač i pro pásmo 1296 MHz. Z mnoha důvodů (především časových, jak jinak), kdy jsem tento nesplněný bod odkládal, jsem se postupně vrátil k myšlence, že i toto dnes čím dál tím více populární pásmo (zřejmě nástupem třípásmových VKV/UKV TRXů), by si zasloužilo realizaci jakostního předzesilovače. Měl by vykazovat vysokou odolnost, nízké šumové číslo, dobré vstupní impedanční přizpůsobení a z mého hlediska by měl obsahovat kvalitní obchozí relé, díky kterým by snesl alespoň 10 W průchozího výkonu. Díky těmto relé, které zajišťují dostatečnou izolaci, je tak možné při vysílání odpojovat napájení a LNA je tak plně průchozí. Díky tomuto je možné snadno provádět vypnutí napájení test, jestli LNA správně funguje a sledovat jeho přínos a v případě extrémně silných signálů od blízké stanice v případě potřeby skokově snížit zisk celé přijímací cesty.

Na internetu můžeme najít mnoho populárních konstrukcí, které dosahují i výrazně nižších šumových čísel, ale jak je z praxe známo, tento údaj často není tím nejdůležitějším a v reálném provozu (samozřejmě existují výjimky například EME provoz) vyjde kolikrát lépe předzesilovač s dobrým pásmovým filtrem, dobrým vstupním impedančním přizpůsobením a především vysokou odolností, i když reálně vykazuje například horší šumové vlastnosti než optimalizované prvky na extrémně nízký šum (se všemi důsledky). Z hlediska historie jsem před mnoha lety (2012) zveřejnil podobnou konstrukci předzesilovače osazeného podobným integrovaným obvodem, ale jeho opakovatelnost výroby nebyla optimální a byl zde velký rozptyl parametrů například díky domácí výrobě plošných spojů fotocestou, kdy již toto mikrovlnné pásmo vyžaduje výrazně vyšší preciznost při výrobě a umístění do vhodné krabičky a to původní LNA nesplňoval. Stejně tak příliš vysoký průchozí útlum pásmového interdigitálního filtru a (jeho pracné nastavování) realizovaného na běžném plošném spoji FR4 (vysoké ztráty) nebyla správná cesta a předzesilovač reálně vykazoval mimo jiné příliš nízký zisk.

Zde popsaný předzesilovač opět využívá moderní integrovaný GaAs pHEMT monolytický obvod SPF 5043 od firmy QORVO [2], který je určen pro kmitočtové pásmo 50 MHz – 4 GHz. Tento obvod vykazuje velmi dobré parametry:

- napájení 3 V nebo 5 V
- vysoká linearita v celém rozsahu
- nízké šumové číslo NF 0,8 – 1 dB

- pouzdro SOT 343
- až 35 dBm OIP3, klidový proud cca 40-50 mA
- vysoký zisk cca 15 - 18 dB, maximální vstupní výkon cca 200 mW
- teplotní rozsah -65 °C až +150 °C
- širokopásmové vstupní přizpůsobení a teplotní kompenzace klidového proudu

Velikou výhodou tohoto monolitického obvodu je i „rozumné“ pouzdro SOT 343, které je možné ještě spolehlivě zapájet i v domácích podmínkách. Nevýhodou může být, jako u většiny těchto moderních obvodů, vysoká náchylnost na statickou elektřinu a krátkodobá přepětí na vstupu (pocitově mi ale přijdou robustnější než například populární PGA103+). Je nutné důsledně dodržovat základy práce z hlediska ESD a zabránit možnému přepětí na vstupu především při letování.

Novinkou tohoto LNA je použití velmi dobrých vysokofrekvenčních relé HF3-56, které jsou určené pro povrchovou montáž a které vykazují výborné parametry až do pásma 3 GHz jak z hlediska průchozího útlumu, izolace a přizpůsobení, tak především se dají spolehlivě použít pro průchozí výkon až v řádu desítek Wattů i v GHz pásmech. Jejich nevýhodou je pracnější letování díky miniaturním rozměrům pájecích plošek a vyšší cena. Většina plošného spoje je realizována opět na substrátu FR4, ale již je konstrukce plošného spoje optimalizovaná pro profesionální výrobu a obsahuje velké množství prokovek pro zajištění dobré „země“. Vlastní pásmový filtr je opět umístěn až na výstupu monolitického zesilovače, respektive až za variabilně osaditelným atenuátorem pro nastavení celkového zisku LNA. Tento filtr byl opět mnohonásobně optimalizován za pomoci simulačního specializovaného prostředí Ansoft Designer a je realizován jako vázaný interdigitální filtr typu pásmová propust. Vzhledem k opakovatelnosti výroby a snaze o snížení průchozího útlumu při zlepšení celkového potlačení filtru, byl nakonec zvolen jako nosný substrát špičkový mikrovlnný teflonový materiál Nelco NX9250 tloušťky 1,6 mm. Tento materiál je bohužel obtížně sehnatelný a jeho cena je velmi vysoká, ale parametry vykazuje výborné ve všech ohledech a je použitelný až do 10 GHz. Podobným způsobem je možné realizovat filtry i pro jiná kmitočtová pásma a vyměnitelným způsobem je v LNA měnit. Další výhodou tohoto řešení je, že po vynechání filtru (respektive jeho nahrazením by-pass destičkou) se z předzesilovače stane širokopásmový LNA a je možné vyměnitelným způsobem filtry předřazovat přímo na vstup LNA. Nevýhodou mohou být relativně malé rozměry pro zástavbu filtru, kdy je k dispozici plocha orientačně 45 x 35 mm. Celý profesionálně vyrobený plošný spoj má rozměry cca 90 x 50 mm a je určen pro zástavbu do hliníkové krabice 100 x 60 mm realizované na CNC z hliníkových profilů [3].



Obr. 1 Zapojení pouzdra a jeho provedení – převzato z [2]

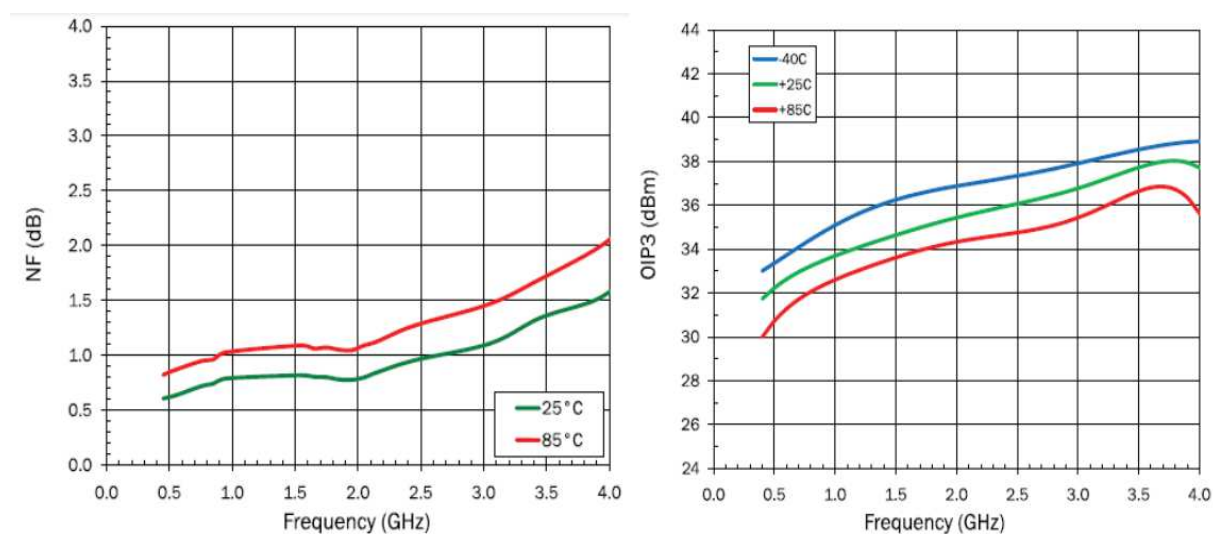
Typical Performance – V_D +5 V Broadband Application Circuit

Test Conditions: $V_D = +5$ V, $I_D = 46$ mA, OIP3 Tone Spacing = 1 MHz & P_{OUT} 0 dBm/tone, $T_{CASE} = 25^\circ\text{C}$, 50 Ω system

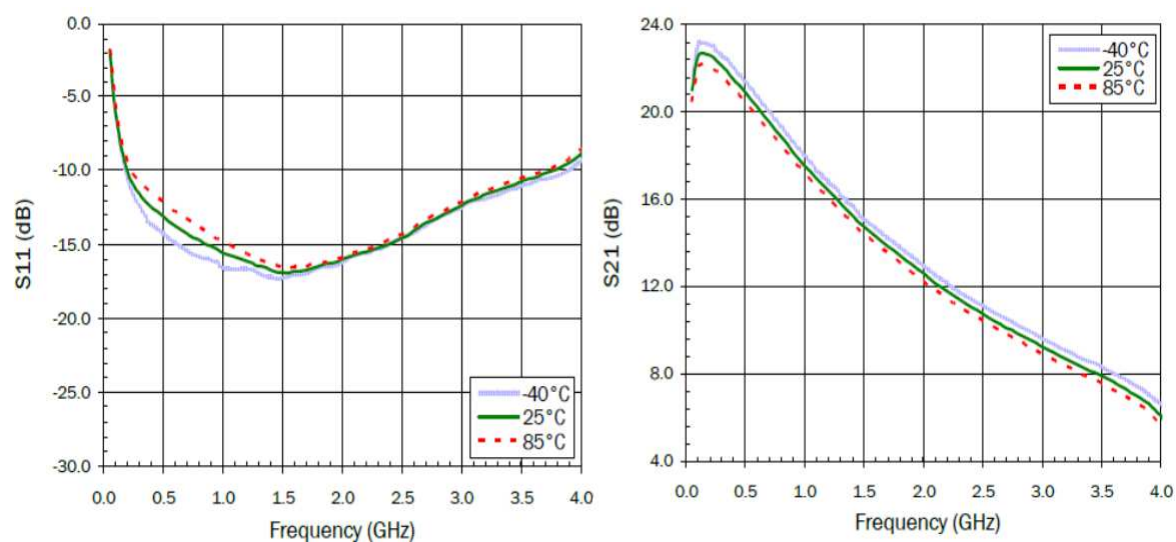
Parameter	0.1GHz*	0.4GHz	0.9GHz	1.5GHz	1.9GHz	2.2GHz	2.5GHz	3.5GHz	3.8GHz	Unit
Small Signal Gain	23.5	21.6	18.2	14.8	13.1	11.9	10.8	8.0	7.0	dB
Noise Figure	0.65	0.61	0.74	0.82	0.78	0.84	0.96	1.34	1.49	dB
OIP3	30.5	31.0	33.0	34.5	35.0	35.5	36.5	38.5	37.5	dBm
Output P1dB	na	22.5	22.6	22.7	22.7	23.0	22.8	23.1	22.8	dBm
Input Return Loss	-13.0	-12.5	-15.5	-18.0	-17.5	-17.0	-16.0	-11.5	-10.5	dB
Output Return Loss	-22.0	-17.5	-20.0	-18.0	-17.0	-17.0	-16.5	-16.0	-13.5	dB
Reverse Isolation	-27.0	-26.0	-23.5	-20.5	-19.0	-18.0	-17.5	-15.0	-15.0	dB

*Tested with Bias Tee @ 100 MHz

Obr. 2 Typické parametry obvodu SPF 5043 v pásmu 100 MHz – 4 GHz - převzato z [2]



Obr. 3 Průběh šumového čísla a parametru OIP3 v pásmu 500 MHz – 4 GHz - převzato z [2]



Obr. 4 Průběh S11 a S21, tj. vstupní přizpůsobení a přenos v pásmu 100 MHz – 4 GHz - převzato z [2]

Praktická realizace:

Jak bylo řečeno v úvodu, tak pro lepší výsledky z hlediska opakovatelnosti výroby, byl navržen oboustranný plošný spoj s ohledem pro profesionální výrobu na substrátu FR4, kdy vlastní vyměnitelný filtr je umístěn na teflonovém substrátu pro zlepšení parametrů z hlediska propustné charakteristiky a průchozího útlumu. Vzhledem k vysokému kmitočtu jsou zvoleny součástky pro povrchovou montáž a jsou kombinovány velikosti 1206 a 0805. Osazení by nemělo činit problémy a více pečlivosti je potřeba věnovat osazení VF relátek HF3, kdy je vhodné plošky potříť pájecím tukem pro snazší připájení a v případě „slití“ cínu mezi ploškami tento snadno odstraníme pomocí „odsávací“ licny. Nezapomeneme umístit drátovou propojku pro napájení relátek, která je úmyslně řešena takto „vzduchem“ (patrné z obrázku vnitřního provedení), protože pokud bychom pro propojení použili spodní vrstvu plošného spoje, tak bychom museli zajistit nevodivé oddělení od spodní hliníkové základny například vyfrézováním drážky. Stejně tak v případě potřeby přiletujeme propojovací by-pass koax 50 Ω nebo využijeme díky použití relé rozdělení (sloučení) RX – TX cesty. Dále vhodně zvolíme výstupní atenuátor, kterým nastavíme optimální zisk přijímací cesty. Vhodné hodnoty atenuátoru se většinou pohybují v rozmezí 3 – 6 dB, kdy nastavujeme celkový zisk LNA orientačně mezi 8-11 dB. Nakonec přiletujeme obvod SPF 5043, kdy dodržíme správné osazení (tečka je u výstupu). Z hlediska ochrany proti přepětí na vstupu je zde ploška, kam můžeme zkusit umístit například přepětovou ochranu, ale je potřeba uvážlivě vybírat především z hlediska parazitní kapacity, aby nedošlo k výraznému zhoršení dosažitelných parametrů.

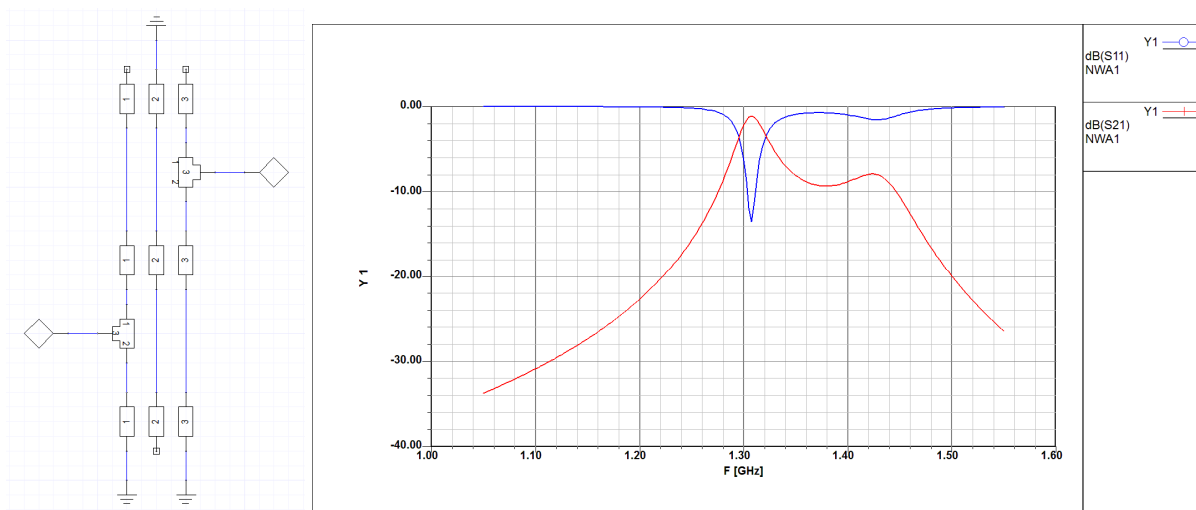
Po osazení a montáži do krabičky zkontrolujeme odebíraný proud, který by se měl pohybovat okolo 60-80 mA a změříme přenosovou charakteristiku S21 a vstupní míru přizpůsobení S11 pomocí VNA (většinou se zařazeným atenuátorem na výstupu, abychom nepřebudily detekční vstup VNA). Pokud je filtr lehce mimo předpokládané pásmo, můžeme se pokusit doladit pomocí cínových kapek v napěťové kmitně vázaných rezonátorů pro zvýšení vazební kapacity. Všem, kdo se pustí do stavby, přeji hodně radosti z navázaných spojení v pásmu 23 cm a v případě zájmu je opět možné dodat oba plošné spoje (LNA i filtr) pro realizaci LNA, případně kompletní realizovaný LNA podle popisu.

Odkazy:

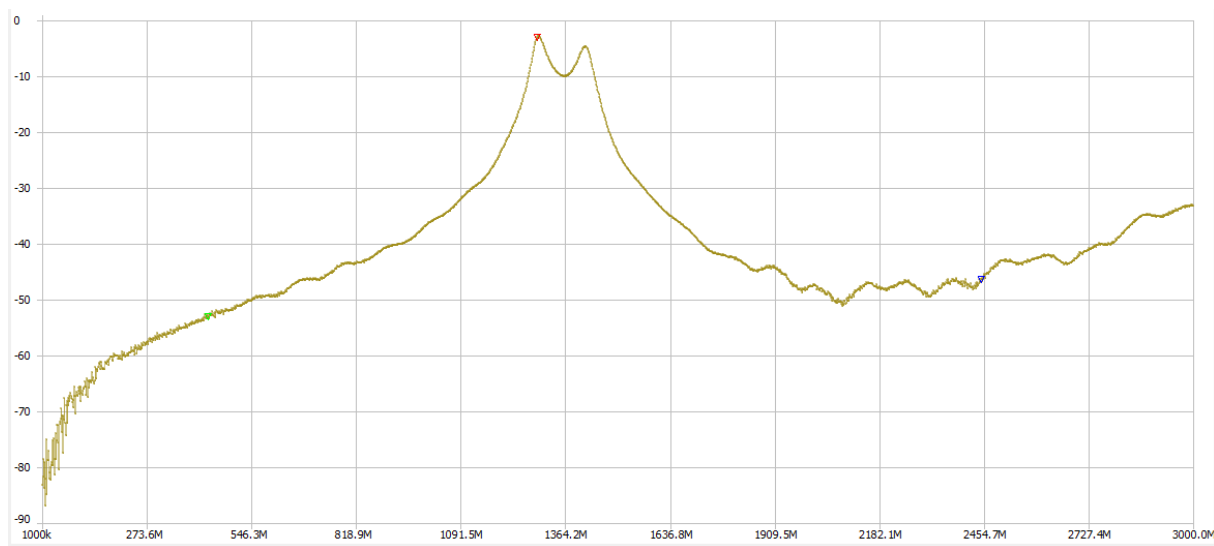
[1] <http://ok1gth.nagano.cz/pasmovejna.pdf>

[2] https://cz.mouser.com/datasheet/2/412/SPF5043Z_Data_Sheet-1500773.pdf

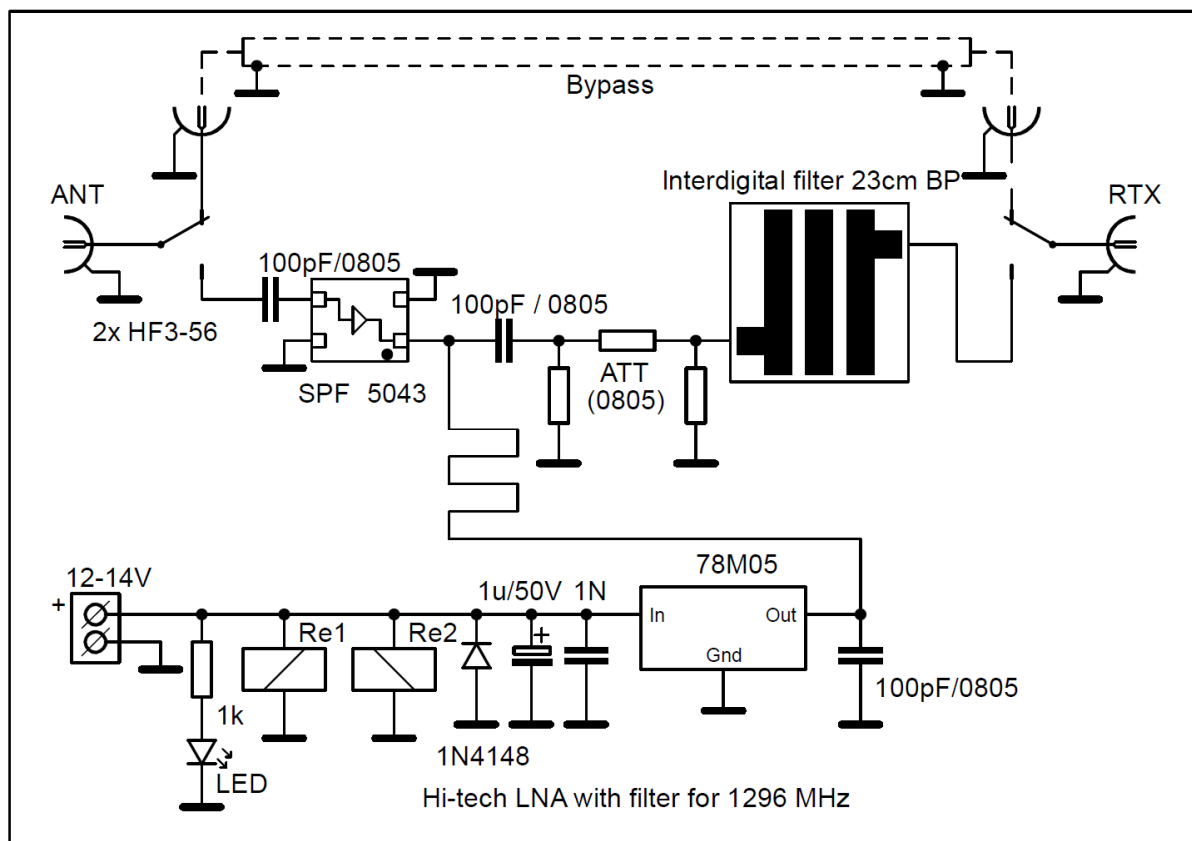
[3] <https://rfshop.cz/bazar.htm>



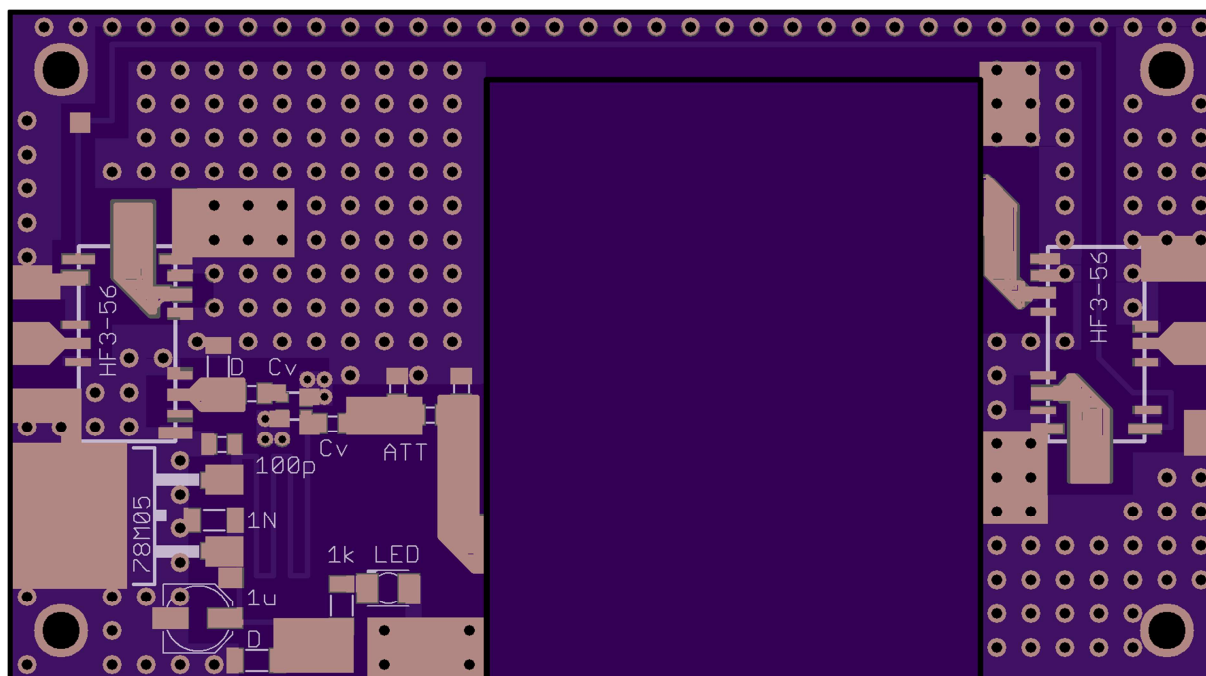
Obr. 5 Topologie filtru a „odsimulovaná“ charakteristika filtru pro 1296 MHz



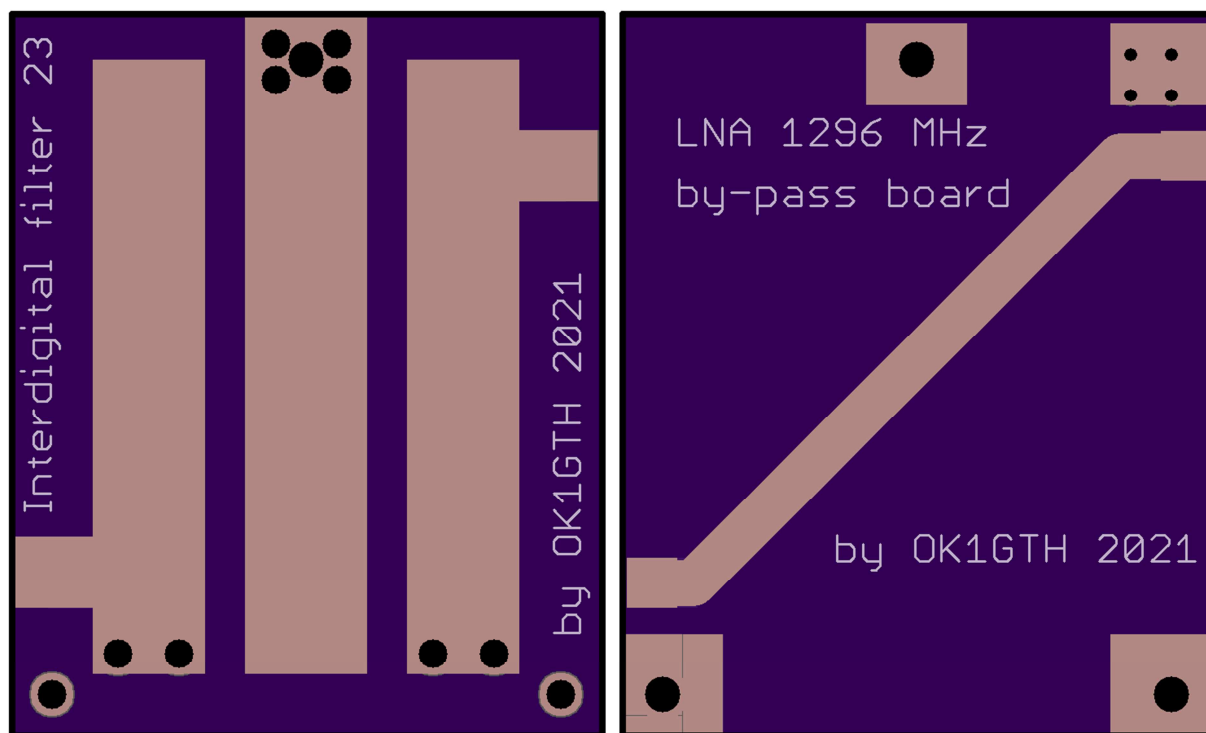
Obr. 6 Změřená přenosová charakteristika samotného filtru v pásmu 100 MHz – 3 GHz



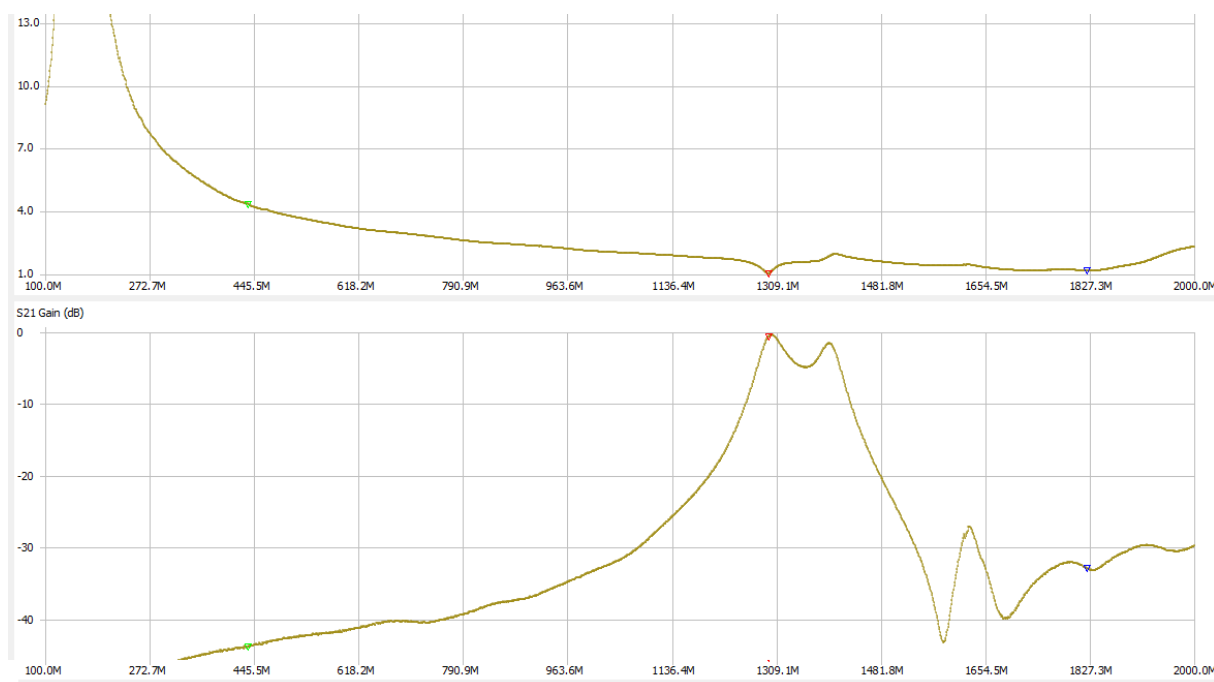
Obr. 7 Schéma zapojení nízkošumového předzesilovače s SPF 5043



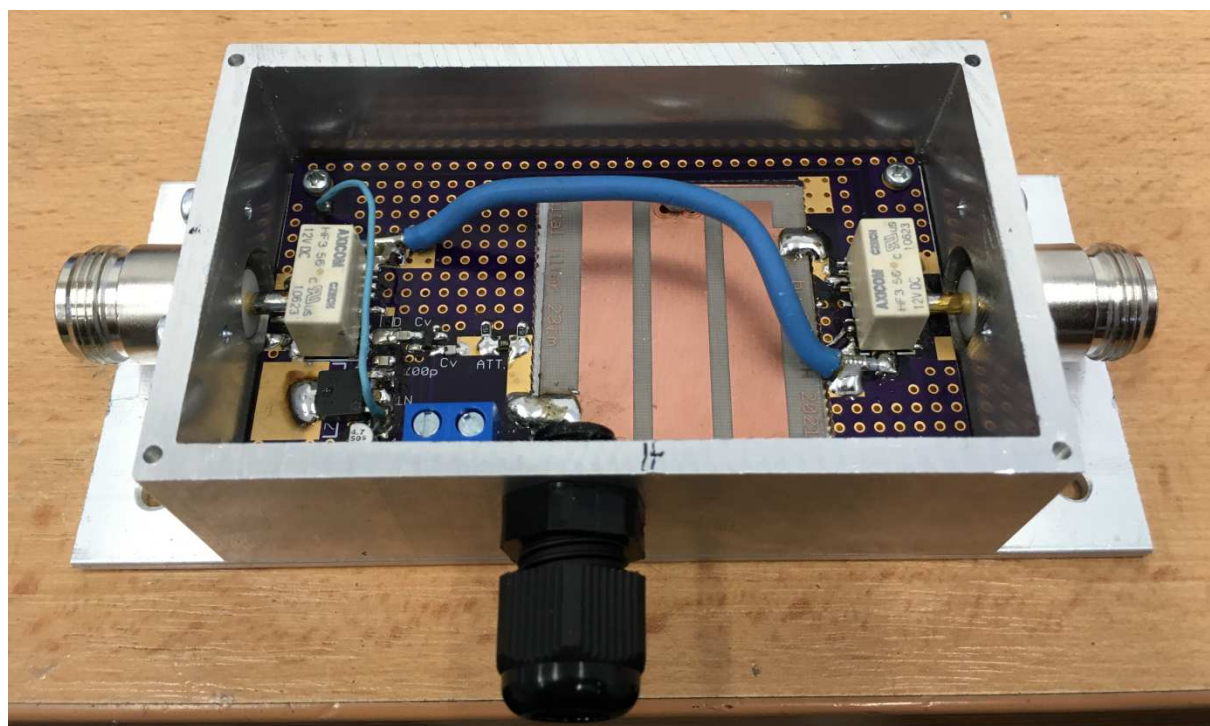
Obr. 8 Provedení plošného spoje s osazením součástek s oknem pro montáž filtru



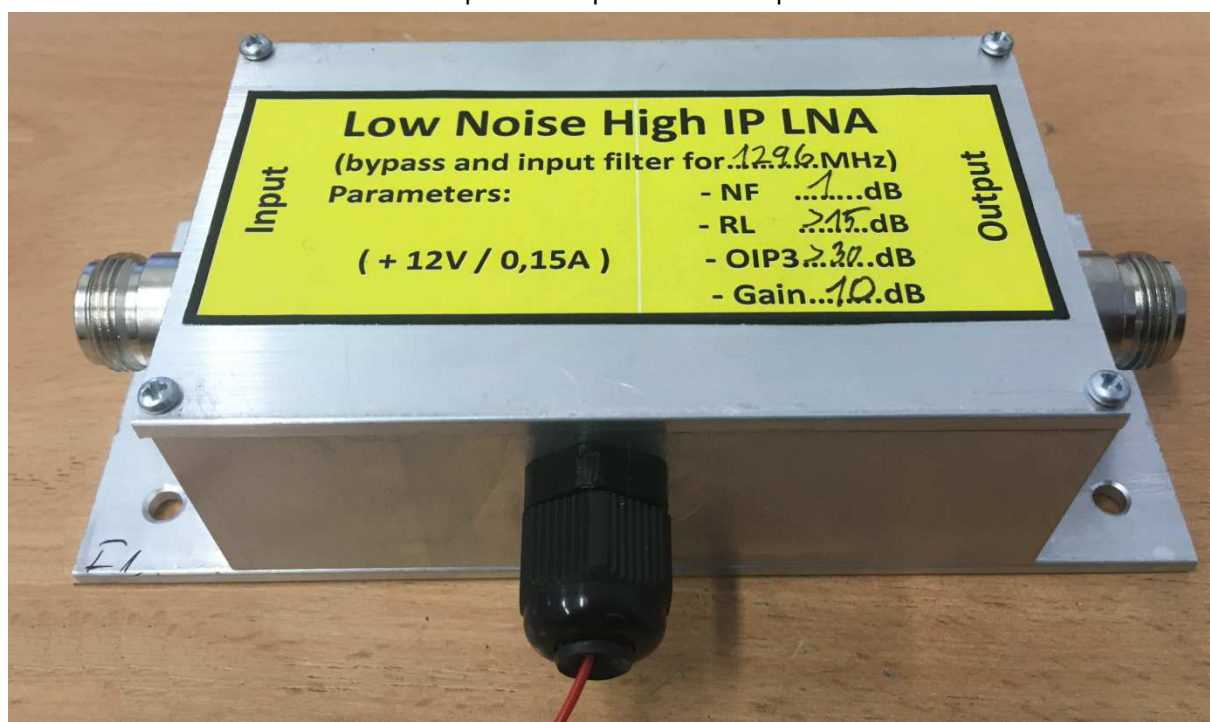
Obr. 9 Ukázka motivu filtru a „by-pass“ destičky



Obr. 10 Vstupní PSV a přenosová charakteristika LNA se zařazeným útlumem 13 dB v rozsahu 100 MHz – 2 GHz



Obr. 11 Vnitřní provedení předzesilovače pro 1296 MHz



Obr. 12 Finální provedení předzesilovače pro 1296 MHz