

Odolný LNA pro 1296 MHz s E-PHEMT prvkem

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

Zde uvedený článek se zabývá návrhem a realizací vysoce odolného předzesilovače pro radioamatérské pásmo 1296 MHz (23 cm), který zároveň vykazuje poměrně rozumné šumové vlastnosti. Stejnou filozofii návrhu s identickou součástkou lze aplikovat i pro nejbližší vyšší kmitočtové pásmo, tj. pro pásmo cca 2400 MHz (13 cm). Zde popsaný LNA využívá speciální integrovaný obvod – zesilovač od firmy Avago (MGA 61563) založený na součástce na principu E-PHEMT. Tento IO je určen pro širokopásmové aplikace v rozmezí cca 0,1 do 6 GHz. Vlastní LNA obsahuje obchozí (bypass) relé a výstupní interdigitální filtr (pásmová propust) realizovaný jako motiv na plošném spoji.

Za poslední dobu bylo v časopisech s radioamatérskou tematikou publikováno poměrně velké množství různých návrhů anténních předzesilovačů s různými parametry a více či méně zdařilým návrhem. Většina těchto návrhů je určena pro radioamatérské pásmo 144 MHz, kde je ze všech VKV a UKV pásem pravděpodobně nejvyšší početnost aktivních radioamatérů. Pro pásmo 432 MHz je publikovaných konstrukcí již výrazně méně, ale přesto především na internetu nalezneme celou řadu dobrých a vyzkoušených zapojení. Zcela jiná situace je u pásma 1296 MHz, které až do nedávné doby bylo doménou především několika málo „mikrovlňných specialistů“ a kdy toto pásmo již můžeme považovat skutečně za mikrovlňné a některé věci, které nám dobře fungovaly na nižších kmitočtových pásmech, zde fungovat nemusí. Souvisí to především s faktem, že vzhledem k délce vlny a velikostí reálných obvodů, případně součástek, již často na tyto obvody musíme pohlížet jako na obvody s rozprostřenými parametry. U těchto obvodů nelze oddělit elektrickou a magnetickou složku energie a soustředit ji do prostorově malých částí obvodu. Zároveň se projevuje konečná rychlost šíření elektromagnetického pole. Napětí a proudy v jejich jednotlivých částech tak jsou nejen funkcí času, ale i geometrických souřadnic. Zároveň je to také důvod, proč se v těchto kmitočtových pásmech (a vyšších) používají součástky velmi malých rozměrů, protože pak na tyto „geometricky malé“ součástky můžeme do určité míry pohlížet jako na obvody se soustředěnými parametry se všemi důsledky.

Těmto faktům následně musíme přizpůsobit i metodiku návrhu mikrovlňných zařízení a pokud chceme být při návrhu mikrovlňných obvodů úspěšní, tak se dnes pravděpodobně neobejdeme bez použití speciálních simulačních programů. Jako hlavní nejčastěji používané zástupce v oblasti RF simulačních programů se můžeme v praxi setkat především s Microwave Office (MWO), Ansoft Designer (AD), případně s Advance Design System (ADS). K těmto programům existují vhodné výukové materiály a tyto programy jsou velmi často používány v technické návrhové praxi. Nevýhodou může být značná rozsáhlost, vysoká cena (až v řádu stovek tisíc Kč), nutnost dobrých teoretických znalostí a poměrně dlouhá doba, než se naučíte dané programy efektivně využívat.

Jak bylo řečeno v úvodu, zde popsaný LNA je osazen speciálním integrovaným obvodem od firmy Avago MGA 61563 [1]. Jedná se o poměrně moderní součástku špičkových parametrů, založenou na principu tranzistoru E-PHEMT. Tato zkratka znamená: „Enhancement-Mode Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor“ a lze ji přibližně přeložit jako: vylepšený pseudomorfní tranzistor s vysokou pohyblivostí. Tyto tranzistory jsou nejčastěji realizovány na substrátu GaAs a jedná se o plem řízené mikrovlňné unipolární tranzistory, jejichž kanál je realizován tenkou polovodičovou vrstvou s vysokou koncentrací elektronů a s vysokou pohyblivostí. Vložením tenké vrstvy GaInAs mezi dotovanou oblast AlGaAs a čistý GaAs vznikne tzv. pseudomorfní HEMT (PHEMT). Oblast heteropřechodu je omezena jen na tuto vrstvu, v níž mají elektrony ještě vyšší pohyblivost než v čistém GaAs (HEMT). [2] Tyto vlastnosti vedou k výraznému

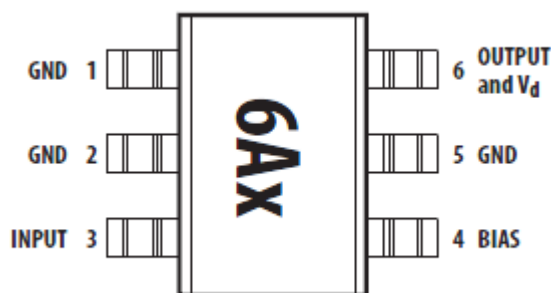
zvýšení mezních kmitočtů a následně i ke zlepšení šumových vlastností těchto moderních tranzistorových struktur.

Uvedený integrovaný obvod MGA 61563 je určen pro relativně široké pásmo kmitočtů 0,1 – 6 GHz a jedná se o nízkošumový zesilovač s vysokou odolností. Vlastní integrovaný obvod v sobě již obsahuje obvod řízení předpětí tranzistoru, vlastní E-PHEMT prvek, obvody pro přizpůsobení výstupu a především zpětnovazební obvody, které zajišťují, že je celý zesilovač bezpodmínečně stabilní v celém použitelném pásmu.

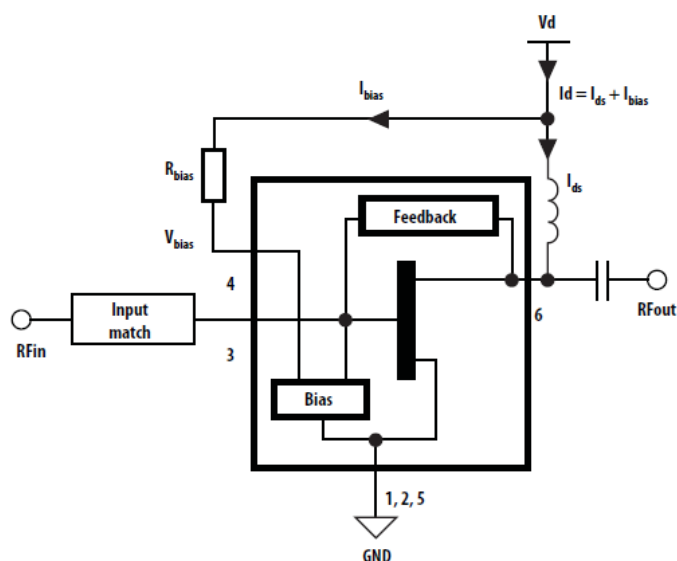
Základní parametry zesilovače jsou:

- napájení 3 nebo 5 V
- vysoká linearita
- nízké šumové číslo NF max 1,2 dB
- pouzdro SOT 363
- 28 dBm OIP3
- zisk cca 15 dB

Nevýhodou může být právě pouzdro SOT 363, protože jeho rozměry jsou pouze cca 2,2x2,4 mm a toto pouzdro obsahuje celkem 6 vývodů. Zároveň je nutné si uvědomit, že se jedná z principu funkce o unipolární tranzistor a že k poškození tenké izolační vrstvy díky velmi malé vstupní kapacitě stačí i malé hodnoty přepětí s malou energií náboje. Je bezpodmínečně nutné při letování použít mikropájku s uzemněným hrotem a pokud možno pracovat na uzemněné vodivé podložce. Na ruce je vhodné mít tzv. „uzemňovací náramek“. Uvedený integrovaný obvod je možné zakoupit například zde [3]. Na Obr.1 je zobrazeno zapojení vývodů a na Obr.2 je zobrazeno vnitřní zapojení MGA 61563.

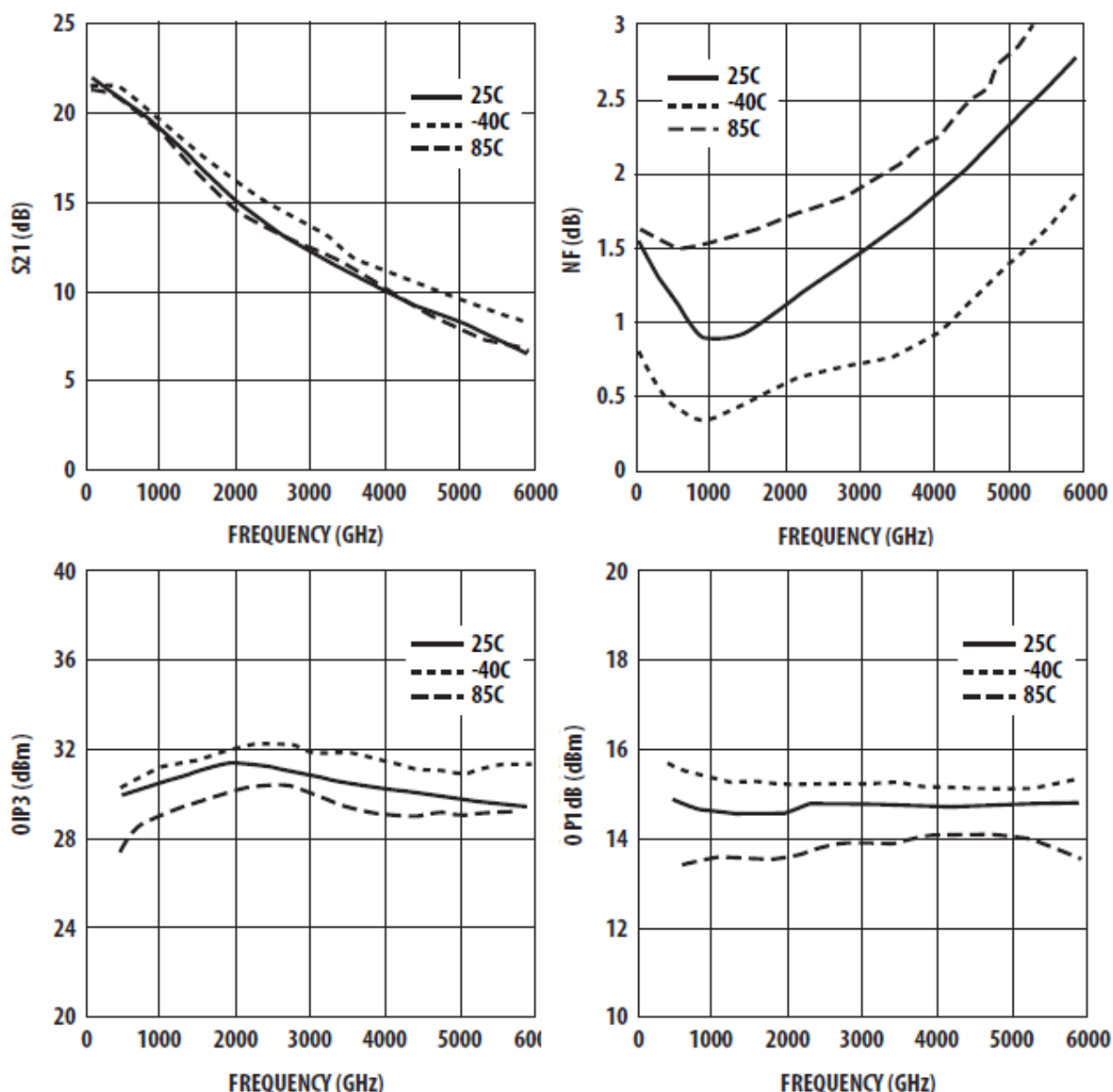


Obr.1 Zapojení vývodů MGA 61563 (převzato z datasheetu)



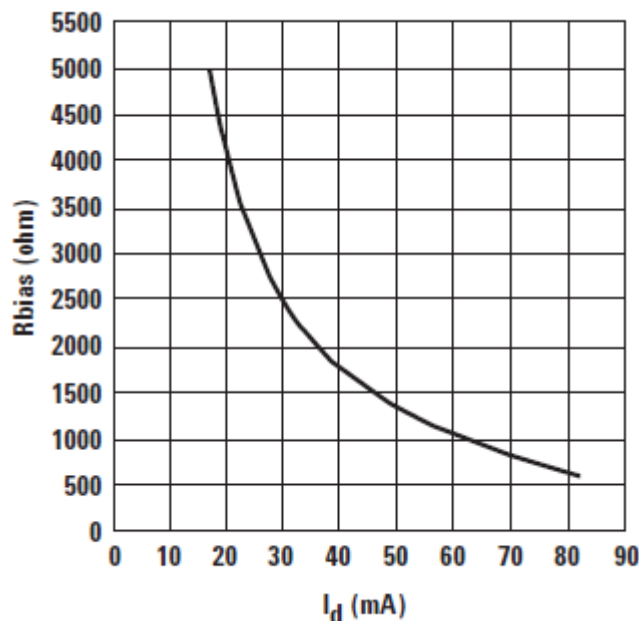
Obr.2 Vnitřní zapojení MGA 61563 (převzato z datasheetu)

K uvedenému integrovanému obvodu je k dispozici poměrně dobře zpracovaný katalogový list, jehož součástí jsou i změřené S-parametry pro dané napájecí napětí a daný klidový proud. Na Obr.3 jsou zobrazeny naměřené parametry v pásmu 0,1– 6 GHz pro napájecí napětí 5 V a klidový proud 40 mA, udávající velikost zisku S_{21} (dB), velikost šumového čísla NF (dB), velikost výstupního bodu zahrazení OIP3 (dBm) a velikost výstupní jednodéciblové komprese OP1dB (dB). Z uvedeného měření šumového čísla je také dobře patrné, že kdybychom dokázali snížit teplotu polovodičového prvku do minusových hodnot o několik desítek $^{\circ}\text{C}$, došlo by k výraznému snížení celkového šumového čísla. Toto „podchlazování“ u ultra nízkošumových vstupních jednotek je ve speciálních aplikacích běžně používanou metodou, jak výrazně zlepšit šumové číslo. Důvody jsou čistě fyzikální a souvisí mimo jiné i se zvýšením pohyblivosti nosičů u použitého prvku. V profesionální praxi se k ochlazování používá například tekutý dusík.



Obr.3 Hodnoty S_{21} , NF, OIP3, OP1dB (převzato z datasheetu)

Na Obr.4 je zobrazena závislost mezi klidovým proudem a hodnotou předřadného odporu. Pokud bychom zvolili jinou hodnotu napájecího napětí, je nutné v zapojení tento odpor upravit podle zobrazené závislosti. Pozor, nesmí dojít k dlouhodobému překročení hodnoty cca 60 mA, jinak hrozí poškození zesilovače.



Obr.4 Závislost klidového proudu na odporu předpětí (převzato z datasheetu)

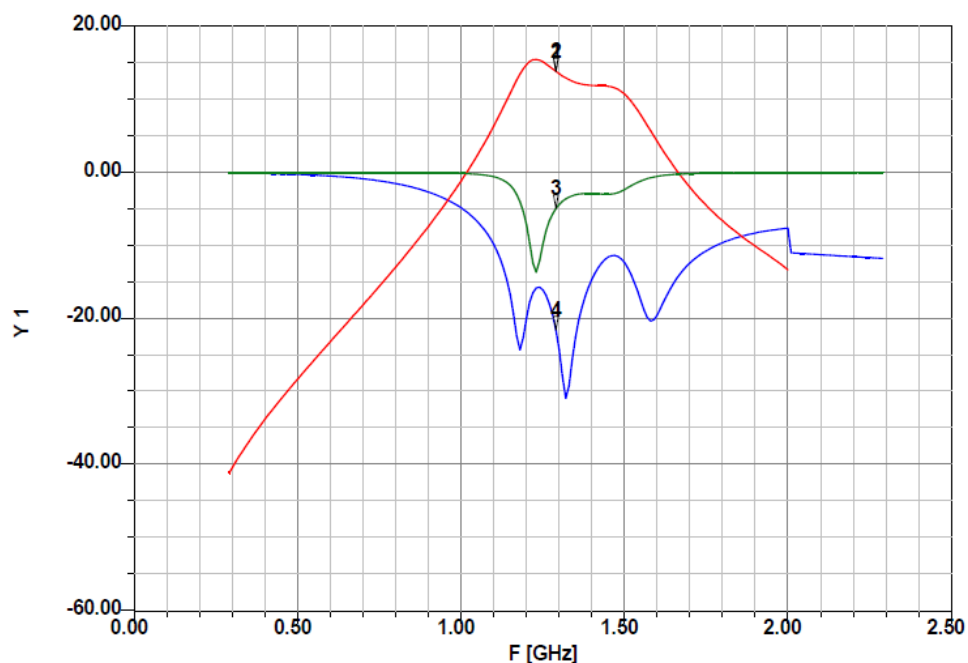
Návrh zapojení:

Pro potřeby návrhu byl zvolen simulační program Ansoft Designer SV a v tomto programu byl vytvořen kompletní elektrický model uvedeného předzesilovače a byl navržen i samotný interdigitální filtr. Za materiál substrátu plošného spoje byl zvolen dostupný „kvalitnější“ FR4 tloušťky 1,5 mm, který je možné zakoupit například zde [4] a který je určen pro VF malovýkonové aplikace. V programu byl vytvořen model tranzistoru s „nainportovanými“ S-parametry a šumovými parametry pro optimální šumové přizpůsobení. Zapojení použité pro simulaci v AD je zobrazeno na Obr.5. Pomocí Schmitova diagramu byl navržen vstupní přizpůsobovací obvod tvořený mikropáskovým vedením definované impedance, mikropáskovým vedením nakrátko a sériovým kondenzátorem. Tato konfigurace vstupního obvodu, oproti doporučenému použití v katalogovém listu, by měla zaručit větší odolnost proti statické elektřině a zároveň již tvoří jakýsi vstupní selektivní obvod pro potlačení vzdálených mimopásmových signálů.

11 Nov 2012

Ansoft Corporation
XY Plot 32
Export_Filter1

11:26:16

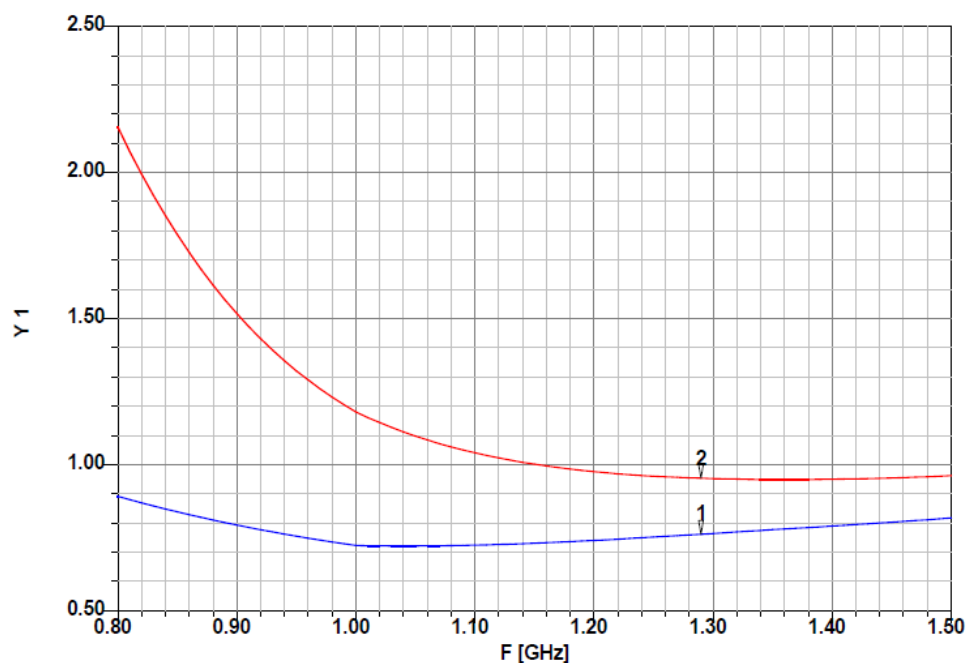


Obr.6 Průběh S21, S11 a S22

11 Nov 2012

Ansoft Corporation
XY Plot 52
Export_Filter1

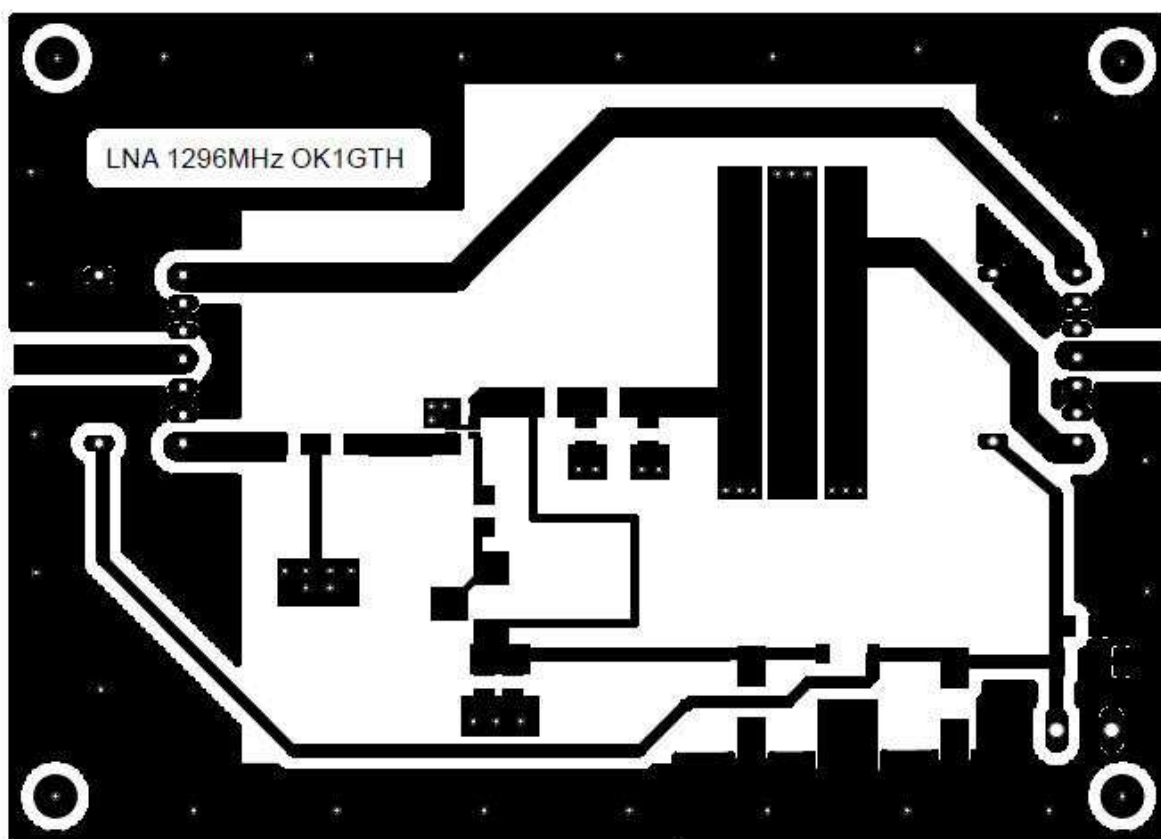
12:30:24



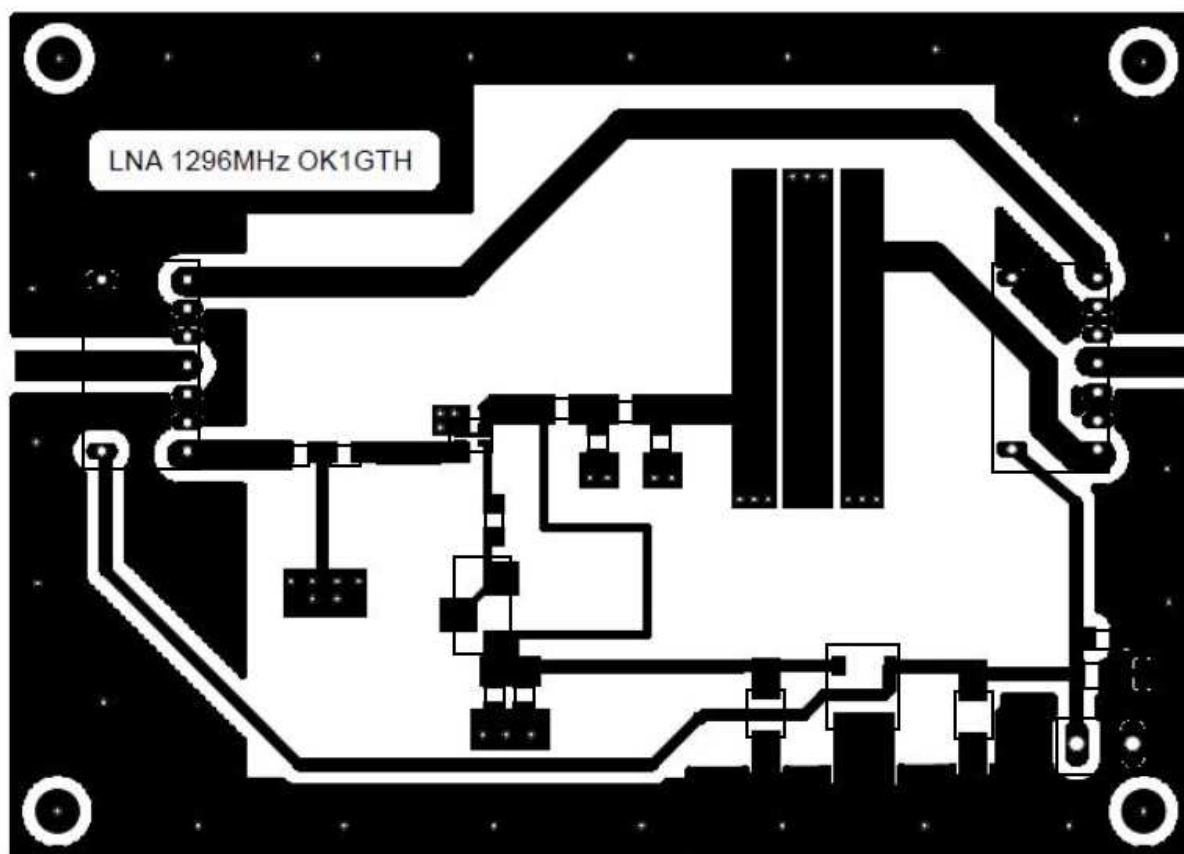
Obr.7 Průběh šumového čísla NF a Fmin.

Praktická realizace:

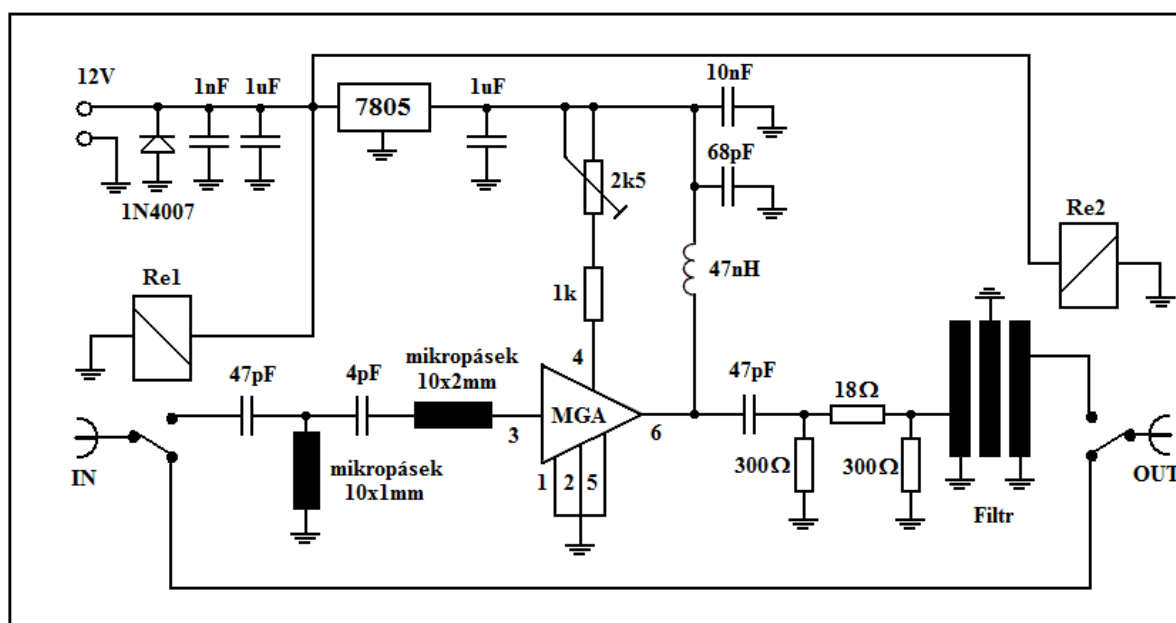
Následně podle této simulace byl vytvořen motiv plošného spoje, na kterém byla realizována potřebná mikropásková vedení tvořící mimo jiné vstupní přizpůsobení a vlastní interdigitální filtr. Motiv oboustranného plošného spoje je zobrazen na Obr.8, kdy spodní strana je tvořená měděnou vrstvou. Osazovací schéma je na Obr.9. Celková velikost plošného spoje je 75 x 105 mm. Rozměr byl zvolen tak, aby tento plošný spoj bylo možné umístit do hliníkové krabičky KH113. Ale pozor, je nutné zaručit dobré vodivé spojení po celém obvodu se stěnami krabičky a především dobré impedanční připojení vstupních – výstupních konektorů N. Z tohoto hlediska je vhodnější použít pocínovanou kovovou krabičku stejných rozměrů. Velmi nutné jsou tzv. „prokovky“ spojující zemní rovinu na horní i spodní straně a musí jich být dostatečné množství. Celkové schéma předzesilovače včetně podpůrných obvodů a obchodů relé je zobrazeno na Obr.10. Relé jsou použita vysokofrekvenční s definovanou impedancí 50 Ω a konkrétně typ G6Y od firmy Omron. Velikost SMD součástek pro povrchovou montáž je standardní 1206. Stabilizátor 7805 je v pouzdře DPACK. Trimr pro nastavení klidového proudu je zvolen pro klasickou montáž. Osazení integrovaného obvodu MGA 61563 doporučuji provést pod mikroskopem, ale pokud máte pevnou ruku a pořádnou lupu je možné ho přiletovat i bez použití mikroskopu. Ještě jednou pozor na statickou elektřinu, obvody PHEMT jsou vysoce náchylné na zničení.



Obr.8 Motiv plošného spoje s výstupním filtrem



Obr.9 Osazovací schéma LNA

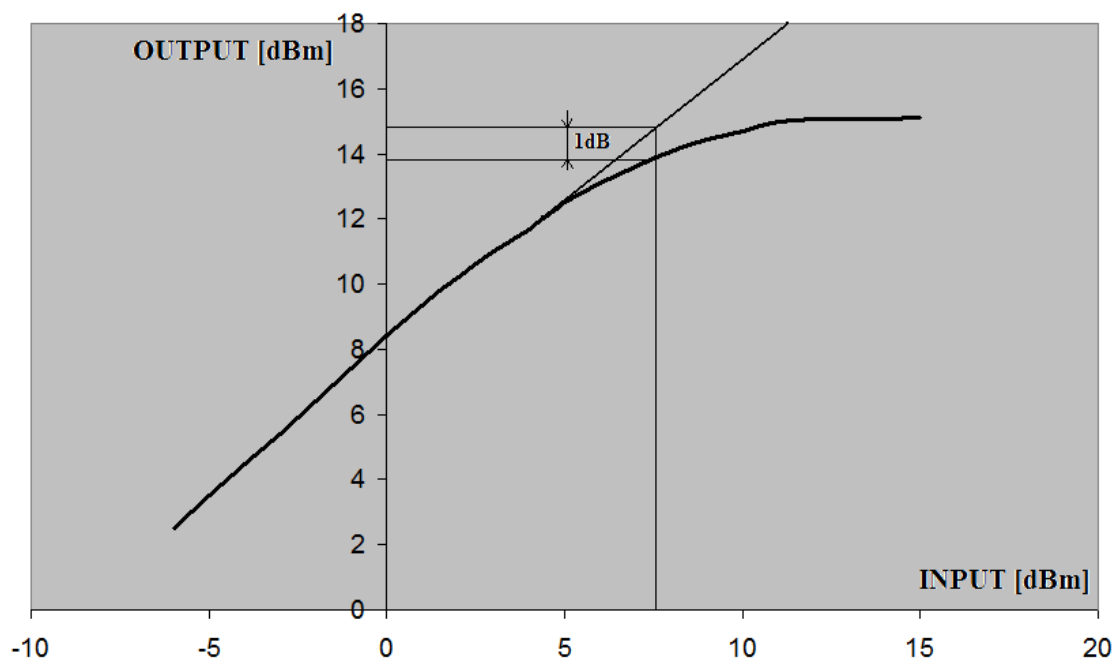


Obr.10 Celkové schéma LNA pro 23 cm včetně útlumového členu 3 dB

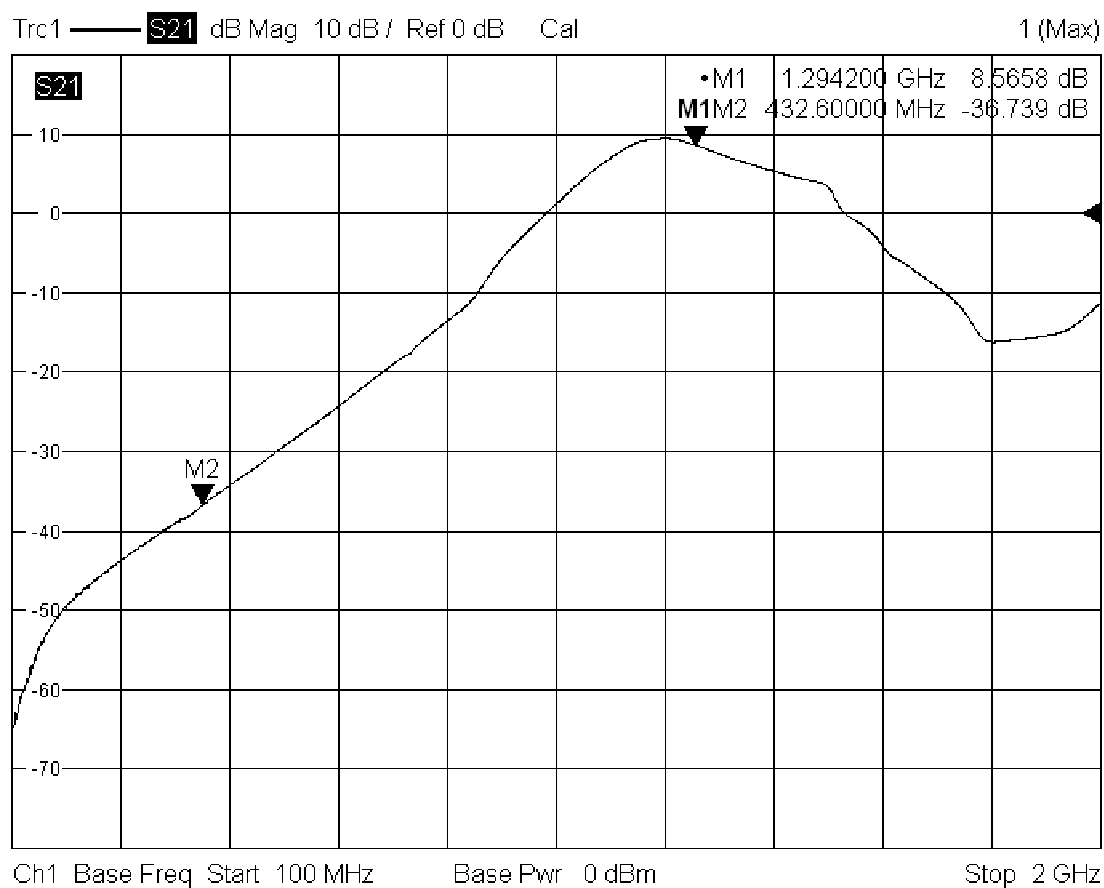
Závěr a naměřené výsledky:

Uvedený předzesilovač pro 1296 MHz byl podroben základnímu měření. Vzhledem k provedení plošného spoje na materiálu FR4 jsou hodnoty mírně horší, než teoreticky dosažitelné při použití kvalitnějšího VF substrátu. Je také patrný poměrně veliký vložný útlum interdigitálního filtru cca 3-4 dB, ale vzhledem k tomu, že je umístěn až za samotným LNA nám to příliš nevádí. Celkový zisk LNA je cca 8 – 9 dB včetně zařazeného útlumového členu

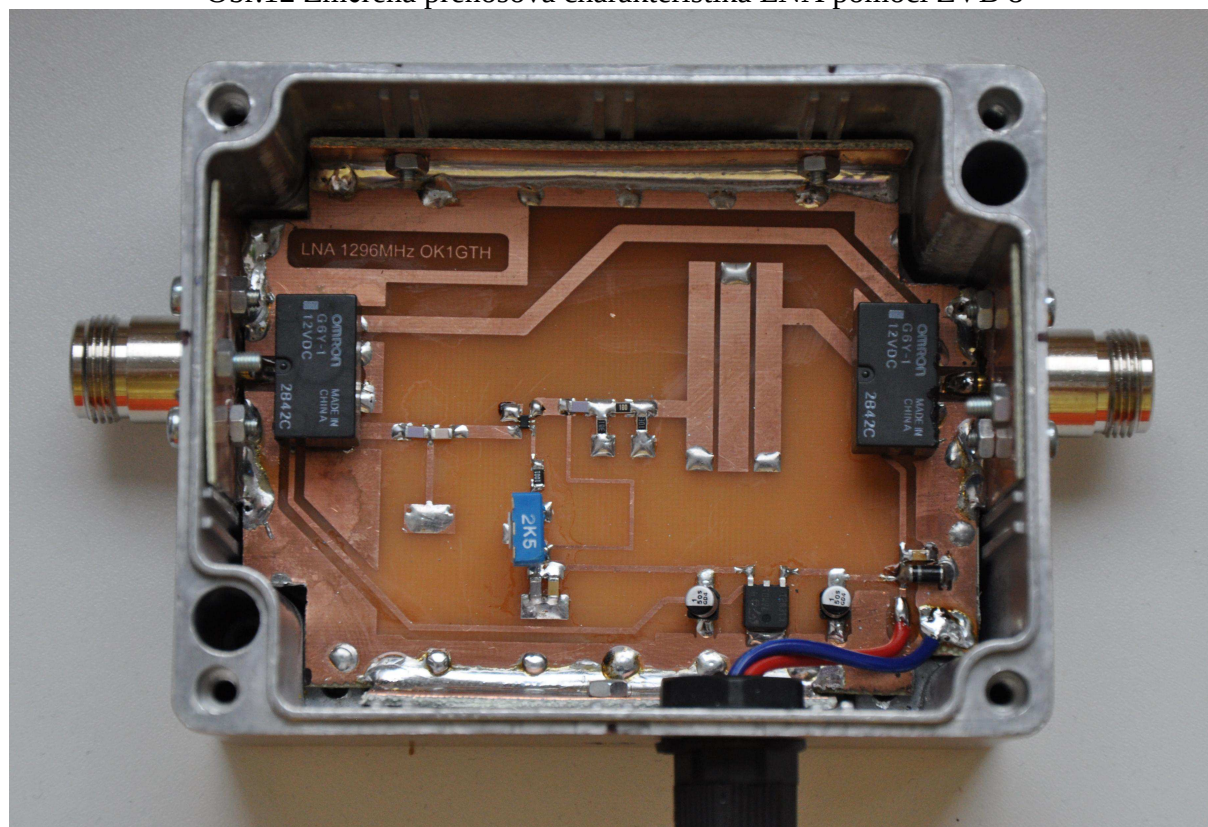
3 dB. Je tak možné o tuto hodnotu zisk celého LNA dodatečně zvýšit. Ale vzhledem k reálnému použití při radioamatérských závodech bude pravděpodobně i tento zisk plně dostačující pro pokrytí ztrát například v koaxiálním kabelu atd. Vstupní hodnota RL je cca 10 dB, vstupní PSV tedy menší než 1,8. Celkový průchozí útlum při vypnutém LNA je cca 0,8 dB. Vzhledem k provedení LNA se dá předpokládat, že šumové číslo bude menší než cca 1,5 dB. Kvalitní měřič šumového čísla na našem pracovišti bude k dispozici na přelomu roku 2012/2013, a následně bude NF ověřeno měřením. Pro ověření linearity a vysoké odolnosti byla změřena na hotovém LNA jednodecibelová komprese zisku. Výsledky jsou patrné z následujícího grafu na Obr.11. Vstupní bod jednodecibelové komprese zisku IP1dB je přibližně +7,5 dB. Zároveň bylo ověřeno, že vstupní bod zahrazení IIP3 je přibližně + 12dB a výstupní OIP3 přibližně + 28 dB. Hodnoty to jsou na LNA pro dané pásmo nadprůměrné a je možné podobnou konfiguraci použít například ve vstupních obvodech odolných transvertorů pro 1296 MHz. Na Obr. 12 je změřená přenosová charakteristika v pásmu 0,1 – 2 GHz. Na Obr.13 je zobrazeno finální provedení LNA v hliníkovém odlitku KH113 a na Obr.14 je vidět měřicí pracoviště při měření jednodecibelové komprese zisku. V případě zájmu je možné dodat uvedený LNA jako hotový a nastavený výrobek. Všem, kdo se pustí do stavby uvedeného LNA přeji hodně úspěchů. 73! de OK1GTH



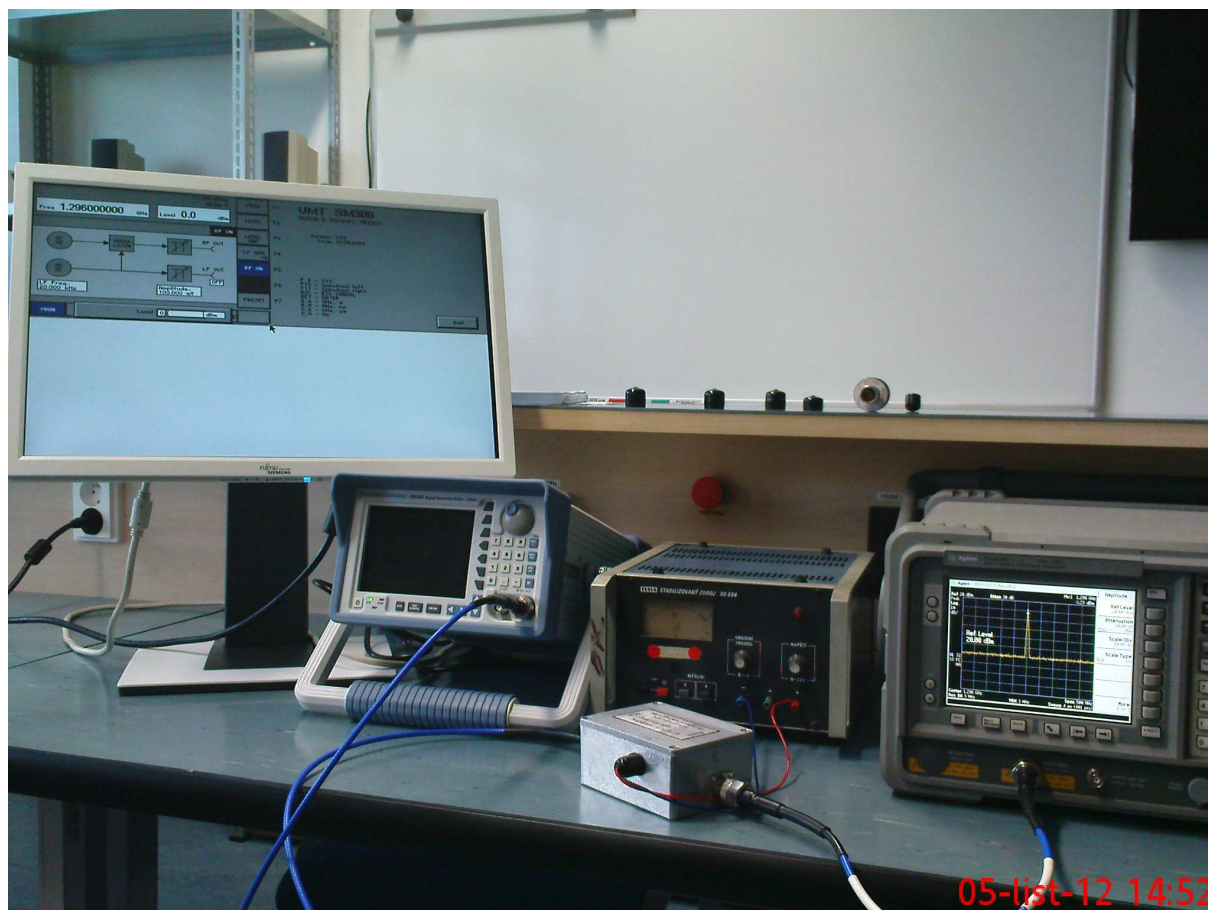
Obr.11 Měření jednodecibelové komprese zisku LNA



Obr.12 Změřená přenosová charakteristika LNA pomocí ZVB 8



Obr.13 Finální provedení LNA pro 1296 MHz



Obr.14 Měřící pracoviště při měření komprese zisku LNA

Odkazy:

- [1] <http://www.avagotech.com/docs/AV02-1471EN>
- [2] CAREY, E.; LIDHOLM, S. *Millimeter-Wave Integrated Circuits*. Boston: Springer Science, 2005, ISBN 0-387-23665-1.
- [3] <http://cz.farnell.com>
- [4] <http://www.gme.cz/fotosenzitivni-plosne-spoje-oboustranne>