

Odolné LNA pro 144 a 432MHz

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

Uvedený článek si klade za cíl seznámit čtenáře s realizací poměrně jednoduchých a přesto dobře použitelných LNA pro pásma 144 a 432MHz osazených pásmovým filtrem a především překlenovacími (by-pass) relé. Vlastní návrh pochází od známého konstruktéra YU1AW [1]. Tento návrh byl odzkoušen a optimalizován s použitím simulačního prostředí Ansoft Designer. Zároveň byla navržena i oboustranná deska plošných spojů. Volným pokračováním tohoto článku bude i univerzální ovládací jednotka, která umí ovládat až 4 různé LNA, koaxiální relé a až 5 koncových stupňů.

Na téma realizace LNA neboli nízkošumových předzesilovačů pro pásma VKV a UKV bylo popsáno mnoho stran papírů a bylo vydáno určitě několik desítek článků nejen v radioamatérských časopisech. Proč tedy vzniknul další článek s podobnou tematikou? Navíc, když se ani nejedná o nějaké high - end provedení s extrémně nízkým šumem, případně extrémně vysokou odolností nebo jiným parametrem, který by výrazně převyšoval již publikované konstrukce? A přesto si myslím, že tento článek má smysl a že může široké radioamatérské obci něco nabídnout. Hlavní devizou popisovaných LNA je totiž jednoduchost, univerzálnost a poměrně snadná realizace i v amatérských podmínkách bez vysokých nároků na měřicí techniku.

Než se pustíme do vlastní stavby LNA je nutné si uvědomit jednu podstatnou věc. Pokud se nebudeme zabývat příjmem extrémně slabých signálů v prostředí s minimálním okolním šumem (typicky EME), kde použití LNA má jistě smysl (ale tam se musíme stejně podívat po LNA naprosto jiné konfigurace s jiným aktivním prvkem). Především platí známá poučka, že nejlepší LNA je kvalitní koaxiální kabel. Pokud bychom si totiž udělali detailnější rozbor vlivu LNA na celkovou odolnost přijímacího řetězce a například ještě šumovou analýzu, tak zjistíme, že zařazením byť i velmi odolného LNA si celkově pohoršíme a především snížíme odolnost celého přijímacího řetězce a to tím více, čím větší zisk nastavíme. Toto je velmi zjednodušeně řečeno. Odolnost celého řetězce bude vždy dána jeho nejslabším článkem, což ve většině případů bude TRX, případně transvertor. Proto snaha o co největší odolnost LNA v řádu OIP3 +40dB s nastaveným ziskem 20dB zařazeného před reálný TRX se vstupním IIP3 -5 až -10dB nám mnoho radosti neudělá a stačí jediná bližší stanice a moc si toho nezaposloucháme díky celkovému zhoršení bodu zahrazení celého řetězce. Jiná situace samozřejmě je, pokud budeme pracovat v prostředí, kde je velké množství jiných služeb a tím silných mimopásmových signálů, kde je nutné použít odolný předzesilovač (navíc ideálně s nějakým filtrem na výstupu), abychom zamezili přebuzení tohoto zesilovače právě mimopásmovými signály a zamezili například různým křížovým intermodulacím atd. Pokud se podíváme na špičkové závodní stanice, tak ty převážně používají odolné (a také patřičně drahé) transvertory ve spojení s kvalitním KV TRX, kdy celková odolnost takovéto sestavy je klidně o řád lepší než samotný komerční VKV/UKV TRX. Pro posuzování vlivu odolnosti, šumové analýzy a dalších věcí je ideální volně dostupný software AppCAD [2]. Podrobnější rozbor by vydal na samostatný článek a možná se k tomuto tématu někdy vrátím. Závěrem tedy jen to, že pokud už je nutné používat LNA (například pro nahrazení ztát v koaxiální svodu, filtru, relátkách, konektorech) tak se ziskem nastaveným na nízkou úroveň potřebnou pro pokrytí těchto ztrát. Je samozřejmé, že zisk budeme nastavovat až za LNA, například pomocí útlumového článku konfigurace PI, nikoliv před ním, protože bychom si o tuto hodnotu zhoršili šumové číslo.

Před výběrem konfigurace LNA jsem vycházel z těchto předpokladů, které by měl LNA splňovat:

- LNA se zařazeným filtrem pro separaci mimopásmových signálů
- vhodnost zapojení jak pro 144 tak i pro 432MHz
- dobrá dostupnost tranzistoru a rozumná cena
- dobrá linearita a odolnost, kdy IIP3 by mělo být lepší než +5dB v obou pásmech (OIP3 lepší než +25dB)
- zisk v rozmezí 15 – 25dB, dobré vstupní přizpůsobení S11- RL lepší než 10dB
- dostupné modely tranzistoru (Spice model, S-parametry, NF) pro simulaci zapojení

Po prozkoumání několika zapojení, přicházejících v úvahu, vyšlo nejlépe podle výše uvedených kritérií zapojení známého konstruktéra YU1AW s tranzistorem BFP196P. Tento tranzistor se ale hůře shání a tak jsem ho i podle doporučení na výše uvedených webových stránkách zaměnil za tranzistor podobných parametrů BFG540W/X. Tento konkrétní typ je možné zakoupit například u firmy Farnell [3]. Pozor, je skutečně nutné použít tento typ s označením W/X, které má správné zapojení vývodů. Jiné typy by měly odlišné zapojení a musel by se upravit motiv plošného spoje.

Dnešní elektronika a také radiotechnika se vyznačuje tzv. virtuální inženýrstvím. V dřívějších dobách vše začalo tím, že konstruktér vzal papír, tužku případně nějaký počítačový nástroj a navrhnul s potřebnými znalostmi prototypové zapojení, které se následně vyrobilo a u kterého se ověřily jeho vlastnosti. Zpravidla byl nutný další krok pro následnou optimalizaci zapojení a opět bylo nutné dělat další prototypy. Dnešní doba je specifická tím, že na trhu se objevují velmi složitá zapojení a konstrukce, jejíž vývoj by byl klasickými postupy velmi zdoluhavý, případně až nereálný. Proto se dnes vývoj většiny elektronických zapojení řeší složitými elektrickými modely a nastupují mocné simulační programy, pomocí kterých je možné vlastní zapojení virtuálně odzkoušet, „odměřit“ podstatné parametry a následně celé zapojení optimalizovat ke správné funkci. Samozřejmě je možné provádět i speciální testy, které by v klasické elektronice byly jen stěží představitelné (impulzní odezvu systému, analýzu v časové i frekvenční oblasti, šumové výpočty, spolehlivostní analýzy, kriteria stability atd.). Podobně jsem na to šel i u těchto LNA, kdy jsem sestavil napřed náhradní model celého LNA včetně tranzistoru a všech podstatných součástí a poté celé zapojení „odsimuloval“. Následně jsem z tohoto náhradního schématu vytvořil „layout“ plošného spoje se všemi důležitými komponenty, které jsem zahrnul do simulace. Výsledky jsou v příložených grafech. Na obr.1. je výsledek simulace přenosové charakteristiky celého LNA vyjádřený jako parametr S21 a na obr.2 je výsledek šumové analýzy včetně vstupního filtru. Byla provedena i kontrola stability a zapojení je dobře navržené a je stabilní v celém rozsahu.

Velkou výhodou zde popisovaných LNA je, že součástí zapojení a motivu desky plošných spojů jsou i tzv. obcházející (by-pass) relé, které mají definovanou vstupní – výstupní impedanci a nikterak nám nezhoršují parametry LNA. Použil jsem vf. relé ARE1312 (do 2,6GHz) od firmy Panasonic, které je možné také zakoupit u firmy Farnell. Tato relé jsou navíc poměrně rychlá a tím nám přirozeně chrání vstupní tranzistor v LNA a není tak nutné používat sekvencer z důvodu ochrany LNA. Pozor, ale samozřejmě je dále vhodné řešit sekvenci spínání výstupního koaxiálního relé, zvláště v případě používání polovodičových PA. Správným časováním také prodloužíme životnost koax. relé, kdy pak nedochází k opalování kontaktů a tahání oblouku. Celé zapojení je uděláno tak, že v režimu příjem (RX) je posíláno k LNA napájecí napětí 12V, které nám zároveň přepíná i dvě malá relé umístěná na plošném spoji a která nám připojují LNA do přijímací cesty. Při vysílání (TX) ovládací jednotka přeruší toto napětí a LNA se samovolně stanou průchozí a zároveň nám chrání

vstupní tranzistor. Toto řešení má několik podstatných výhod. Především je možné používat poměrně cenově dostupná ruská koaxiální relé (například REV14), která mají velmi špatnou izolaci mezi porty (cca 30-35dB) a tím by jinak při vyšších vysílacích výkonech spolehlivě LNA díky malé izolaci zničila. Ve všech ostatních parametrech jsou ale tyto relé velmi dobrá a spolehlivě přepínají výkony v řádu jednotek kW. Další podstatnou výhodou je, že je možné pouhým odpojením napětí ověřit funkčnost LNA a v případě poruchy tak pokračovat s průchozím LNA. Stejně tak je rovnou možné vyzkoušet, jestli má LNA v daných příjmových podmínkách přínos a jestli je nutné ho používat. Vlastní zapojení ovládací jednotky bude ve volném pokračování tohoto článku.

Při vlastním výběru konstrukce LNA byla dána přednost linearitě a dynamickému rozsahu LNA před šumovým číslem. Tím je i jasně dáno určení tohoto LNA pro běžná spojení a pro použití v závodech, kde je poměrně vysoká vlastní úroveň rušení. Pro aplikace, kde se vyžaduje nízký vlastní šum je tento typ předzesilovače nevhodný a pravděpodobně sáhne po LNA osazeného nízkošumovým prvkem na bázi HEMT nebo heterostruktury HBT. Na pozici aktivního prvku je u této konstrukce použit celkem průměrný bipolární tranzistor BFG provedení pro povrchovou montáž v pouzdře SOT343, které je ještě poměrně snadno pájitelné. Zcela netradičně a v rozporu s „dobrými mravy“ je použit filtr již na vstupu LNA. Toto řešení nám sice ještě dále zhoršuje šumové číslo o hodnotu průchozímu útlumu tohoto filtru, ale naštěstí reálná hodnota útlumu je někde kolem 0,2dB a tak finální šumové číslo LNA se bude pohybovat někde na rozmezí 1,3-1,5dB. Tímto filtrem autor zároveň zajišťuje přizpůsobení vstupní brány tranzistoru a navíc potlačí mimopásmové signály. Celkové schéma LNA je na obr.3

Konstrukce LNA

Celý LNA je umístěn na oboustranném plošném spoji z klasického materiálu FR4. Konstrukce kombinuje součástky pro klasickou montáž se součástkami určenými pro povrchovou montáž. Součástky pro klasickou montáž jsou umístěny z důvodu lepšího přístupu také ze strany součástek pro povrchovou montáž. Spodní strana desky plošného spoje je zemní rovina. Na spodní straně desky plošného spoje musíme malým vrtáčkem v místě, kde jsou vyvedeny vývody klasických součástek, které nejsou spojené se zemí, vysoustružit nevodivé ostrůvky. Stejně tak doporučuji na určených místech udělat „prokovky“, které nám spojují horní a dolní desku. Stačí použít tenké kousky měděného drátku (licny) a z obou stran ho přiletovat. Osazovací plán plošného spoje je uveden na obr.4 a 5. a motiv plošného spoje na obr.6 a 7. Celý plošný spoj je v krabici umístěn na distančních sloupcích. Vstupní – výstupní konektory typu N jsou zaletovány přímo do mikropásku na plošném spoji. Více je patrné z příložených fotografií. Na výstupu z LNA jsou připravené pozice pro SMD odpory velikosti 1206, ze kterých je možné navrhnout vhodný útlumový člen a nastavit si tak vhodný zisk. Všechny součástky pro povrchovou montáž jsou velikosti 1206. Napájecí napětí pro LNA je 12 – 15V/140mA, které je pro napájení aktivního prvku stabilizováno 10V stabilizátorem 7810 v pouzdře TO220. Vzhledem k výkonové ztrátě není nutno tento prvek chladit. Tlumivky TL1 pro přívod napájení do kolektoru tranzistoru byly vytvořeny již přímo na plošném spoji ve formě meandru a jsou odlišné pro 144 i 432MHz verzi. Více je patrné ze schématu a osazovacího plánu. Velikost plošného spoje je pro oba LNA stejná (103x50mm) a byla zvolena tak, aby ho bylo možné umístit do hliníkové vodotěsné krabičky KH-113 [4]. Na obr.10 je vidět finální provedení obou LNA po montáži do hliníkové krabičky. Přívod napájení je proveden externím kablíkem přes vodotěsnou průchodku. Pro trvalou montáž ve venkovním prostředí doporučuji celý LNA umístit ještě do další vodotěsné plastové krabičky například i s výkonovým koaxiálním relé. Konkrétní hodnoty součástek jsou uvedeny v následující tabulce.

Součástka	144MHz	432MHz
C1, C2	2,5 – 15pF	1 – 5pF
C3	33pF	12pF
C4	10nF	1nF
C5	6,8pF	3,9pF
C6, C7	1uF	1uF
C8	20nF	20nF
C9	680pF	1nF
R1	1k Ω	1k Ω
R2	47k Ω	47k Ω
R3	82 Ω	82 Ω
D1	1N4007	1N4007
Re1, Re2	ARE1312	ARE1312
Tl2	68uH	68uH

Navíjecí předpis cívek

Cívky ve vstupním filtru pro 144MHz jsou navinuty CuAg drátem o průměru 1mm. Vnitřní průměr cívky je 8mm a délka cívky je přibližně 18mm. Obě cívky mají 9 závitů. Varianta LNA pro 432MHz má cívky navinuté stejným vodičem o stejném vnitřním průměru. Délka cívek je přibližně 5mm a cívky mají 2 závitů.

Měření LNA

Oba zde popisované LNA jsem podrobil základnímu měření. Stabilita je dobrá a za celou dobu jsem nezaznamenal jakékoliv náznaky kmitání a to i při nepříznivém vstupu. Klidový proud tranzistorem by v dané konfiguraci měl být přibližně 20mA a napětí U_{ce} přibližně 8V. Zisk obou LNA se pohyboval mezi 15 – 20dB v obou pásmech. Průchozí útlum při vypnutém LNA v průchozím režimu je pod 0,4dB. S-parametry LNA byly měřeny pomocí vektorového analyzátoru RS - ZVB8 a přenosové parametry S21 jsou uvedeny v grafech na obr.9 a 8. Vstupní S11 vyjádřený jako RL byl změřen v pásmu 144MHz lepší než 20dB a v pásmu 432MHz lepší než 11dB, což jsou na LNA výborné hodnoty. Dále byla měřena linearita a intermodulační zkreslení pomocí dvojtonové zkoušky. Byly použity dva precizní generátory RS s nízkým zkreslením a pro vyhodnocení spektrální analyzátor. Použité přístroje pro měření LNA jsou vidět na obr.11. Pro potřeby měření linearity byla změřena a do grafu vynesena závislost vstupního signálu na výstupním a zároveň byl nalezen bod komprese. Dále byly z měření intermodulačního zkreslení vypočítány body průsečíků bodu zahrazení. U LNA pro 144MHz byl vstupní bod zahrazení $IIP3=+10dB$ (což odpovídá $OIP3=+30dB$) a u 432MHz verze bylo naměřeno $IIP3=+9dB$ (což odpovídá $OIP3=+27dB$). Obě hodnoty jsou velmi dobré a ukazují, že odolnost LNA je vysoká. Všem, kdo se pustí do stavby přeji hodně úspěchů. Po dohodě je možné dodat nastavené a oživené LNA uvedených vlastností pro obě pásma. 73! de OK1GTH

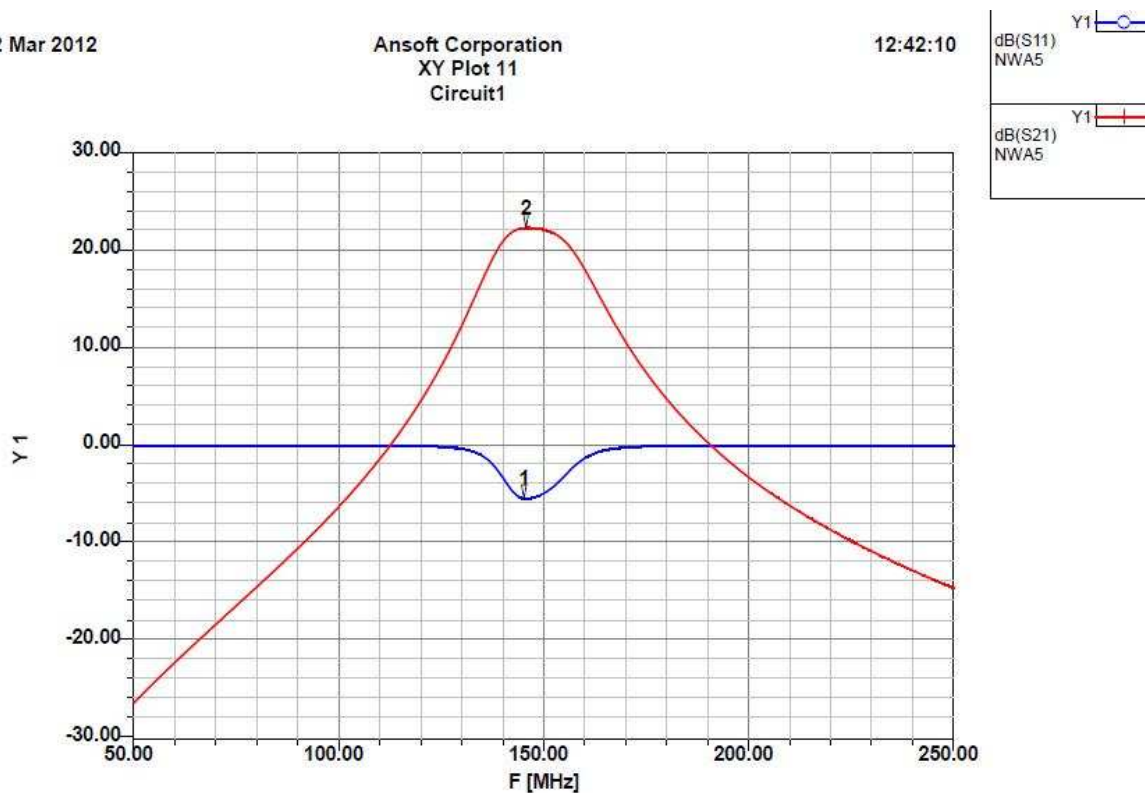
Odkazy:

- [1] http://www.qsl.net/yu1aw/LNA/low_noise.htm
- [2] <http://www.hp.woodshot.com/>
- [3] <http://cz.farnell.com/>
- [4] <http://www.ges.cz/cz/kh-113-GES07203793.html>

22 Mar 2012

Ansoft Corporation
XY Plot 11
Circuit1

12:42:10



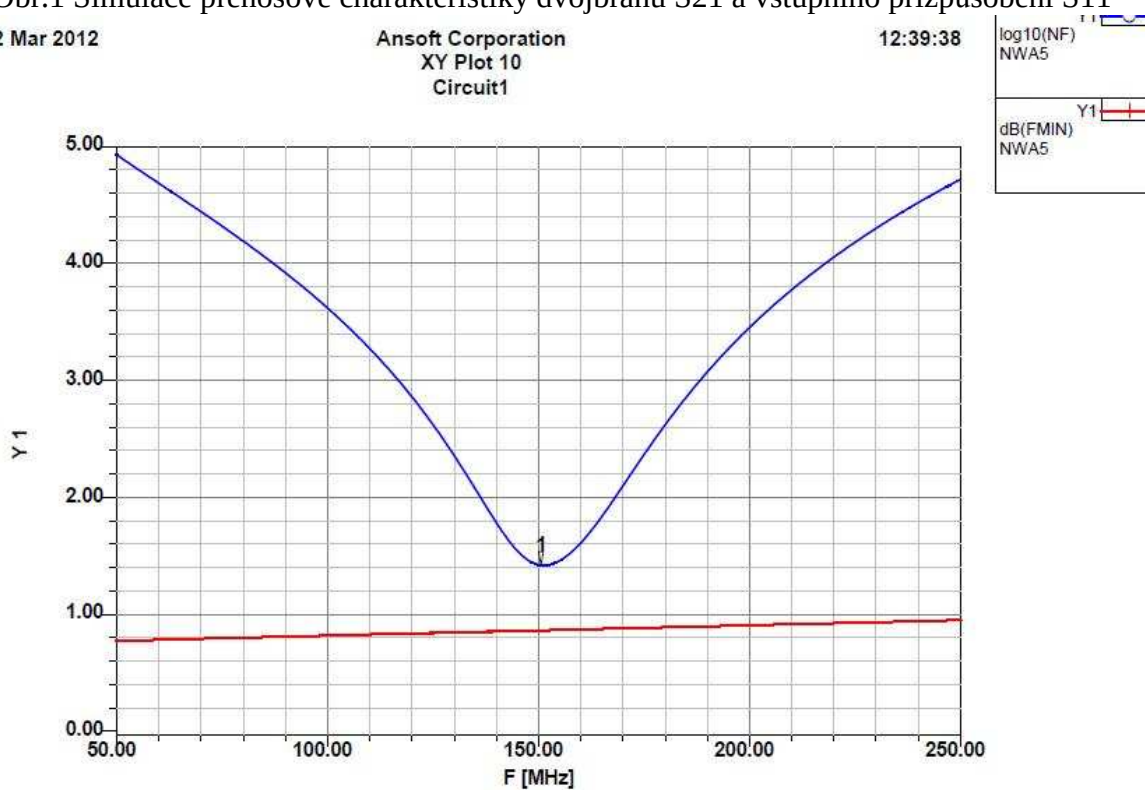
X1= 145.20MHz
Y1= -5.45
X2= 145.70MHz
Y2= 22.23

Obr.1 Simulace přenosové charakteristiky dvojbranu S21 a vstupního přizpůsobení S11

22 Mar 2012

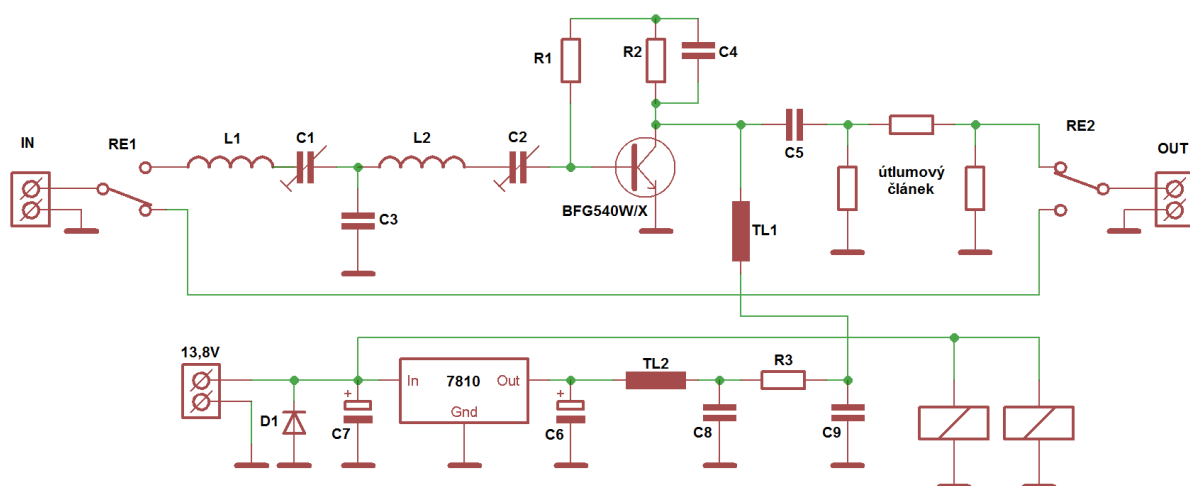
Ansoft Corporation
XY Plot 10
Circuit1

12:39:38

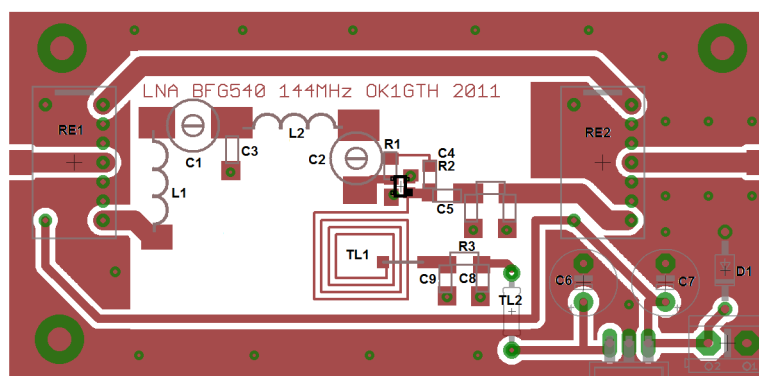


X1= 150.60MHz
Y1= 1.44

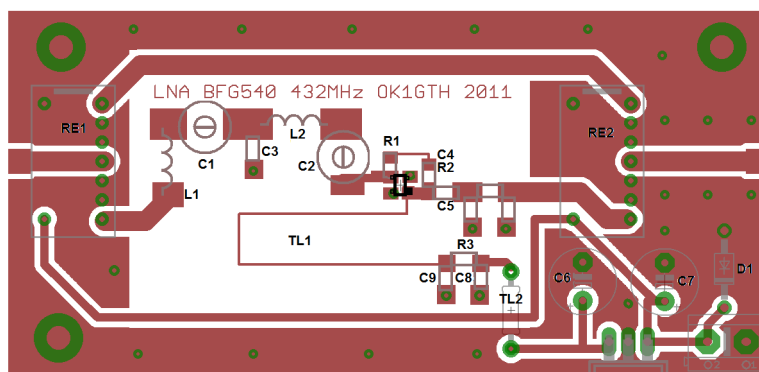
Obr.2 Simulace šumového čísla včetně vstupního filtru



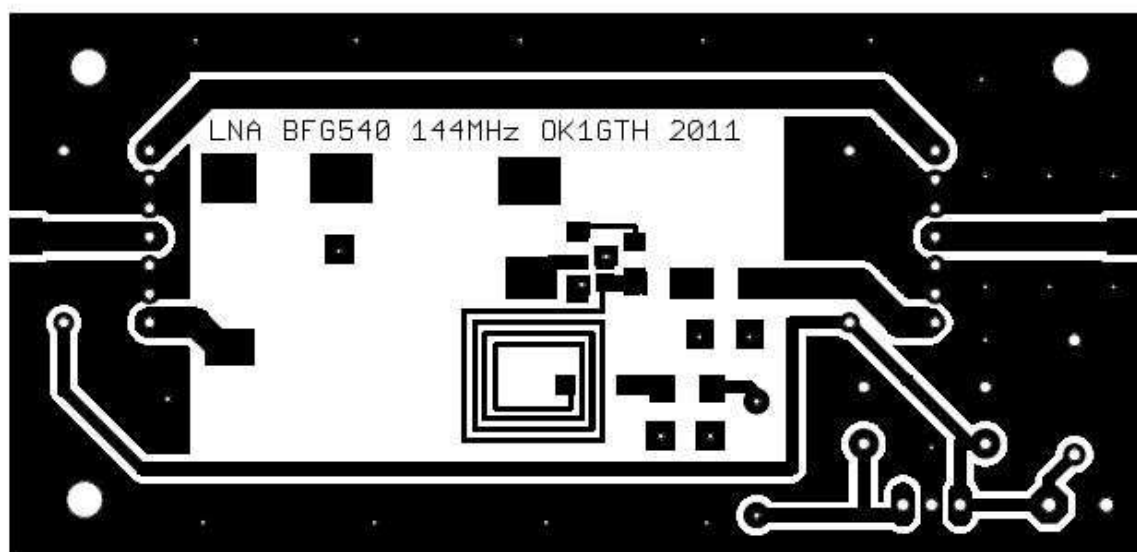
Obr.3 Celkové schéma LNA pro 144 a 432MHz



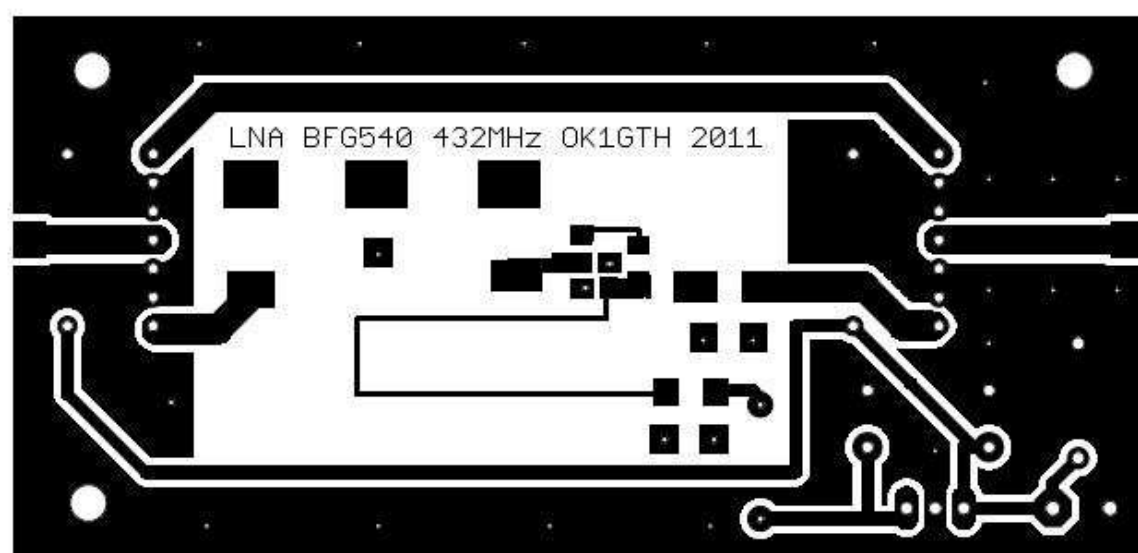
Obr.4 Osazovací popis LNA pro 144MHz



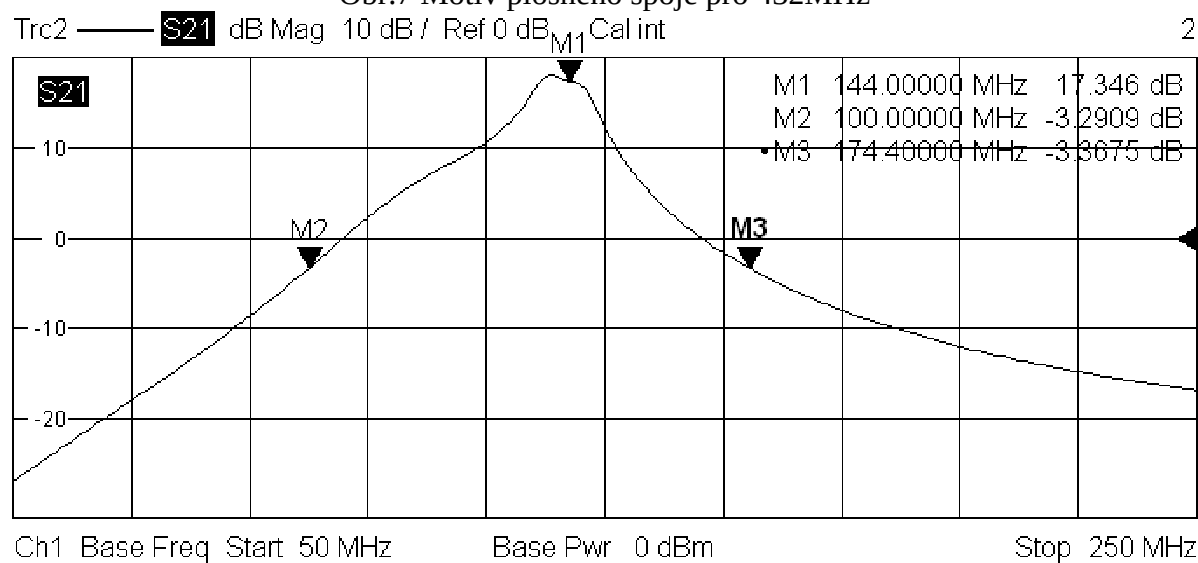
Obr.5 Osazovací popis LNA pro 432MHz



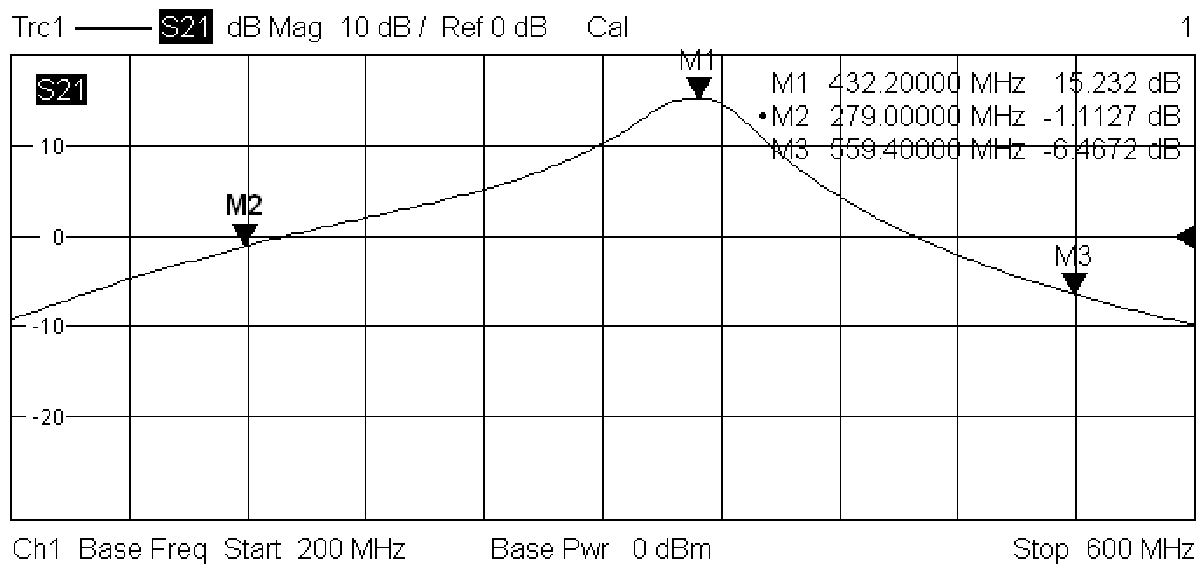
Obr.6 Motiv plošného spoje pro 144MHz



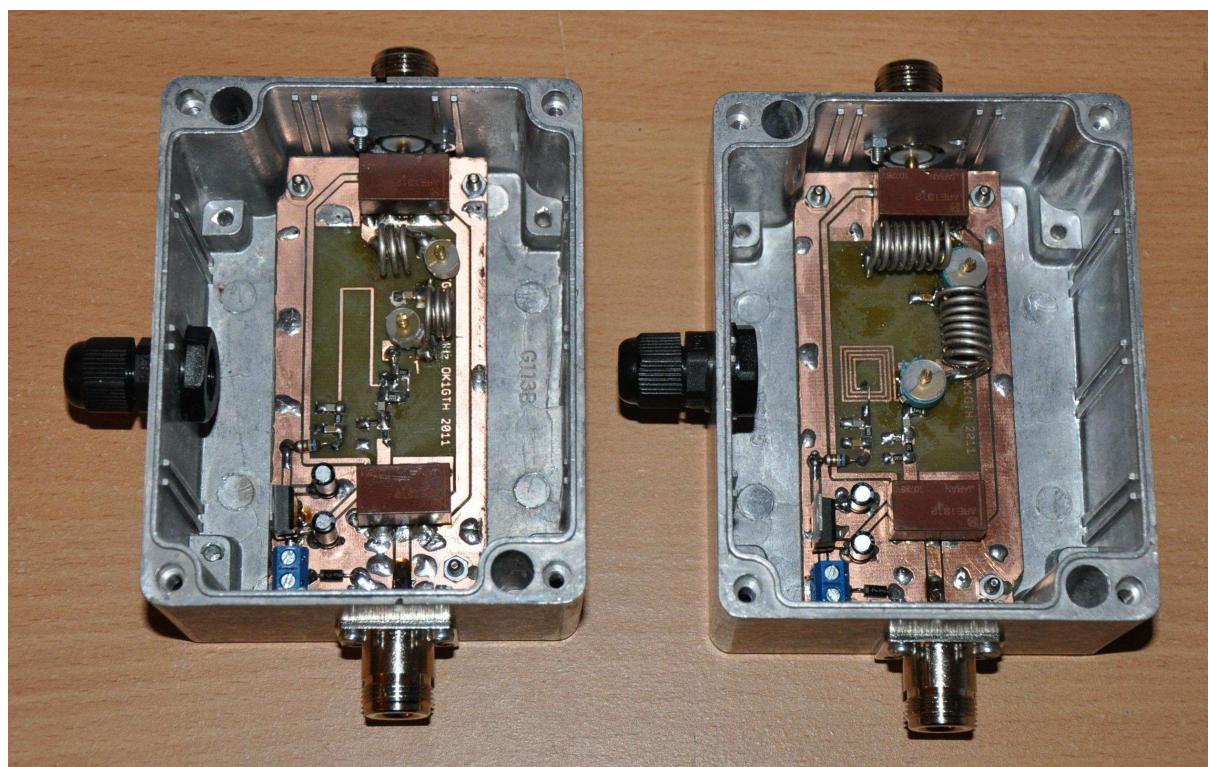
Obr.7 Motiv plošného spoje pro 432MHz



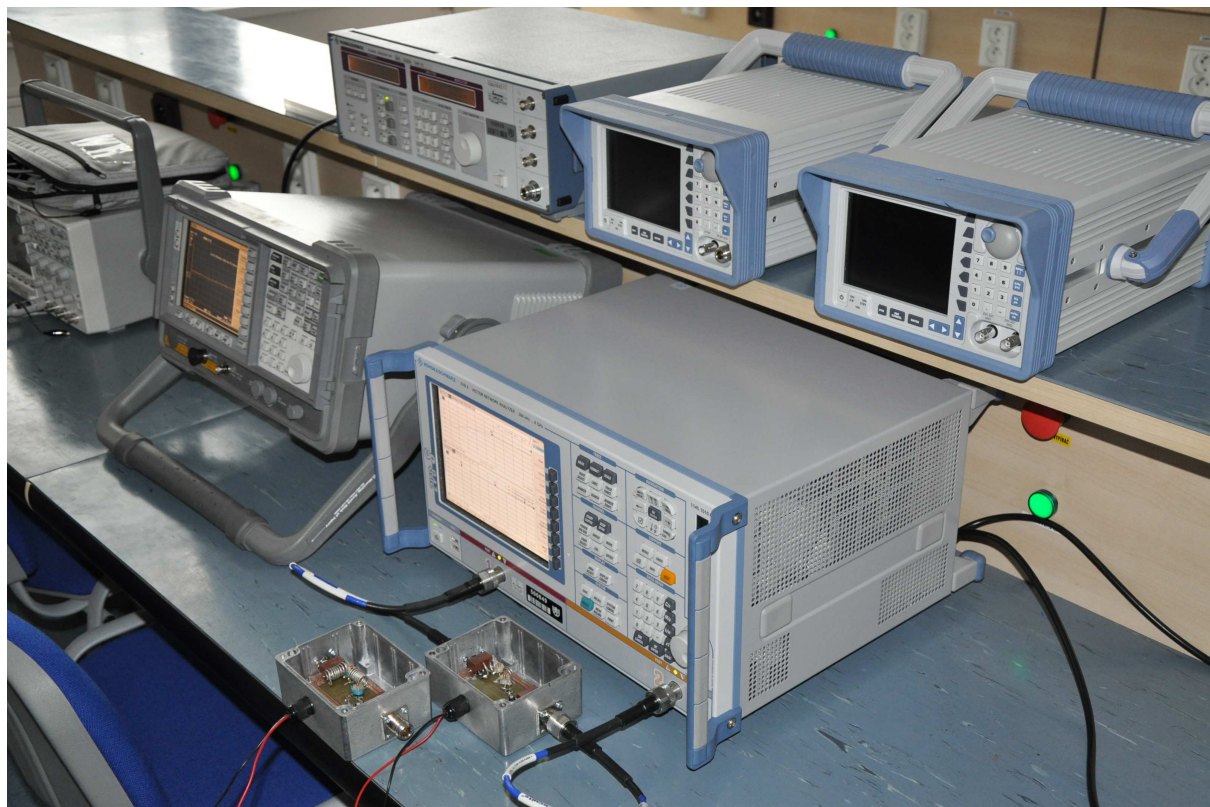
Obr.8 Změřená přenosová charakteristika LNA pro 144MHz



Obr.9 Změřená přenosová charakteristika LNA pro 432MHz



Obr.10 Finální provedení LNA pro 144 a 432MHz



Obr.11 Měřící přístroje použité pro měření LNA