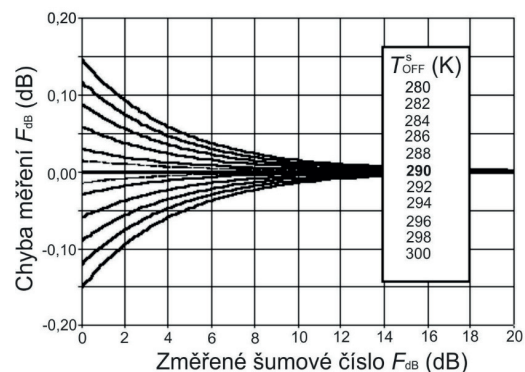


ale ne změny šumového čísla měřeného dvojbranu jako takového s teplotou. V pramenu [10-4] je uveden graf (obr. 10-11) vystihující velikost chyby měření v závislosti na teplotě okolí.

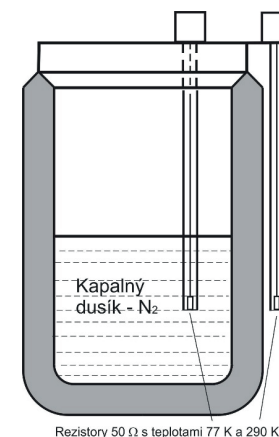
Moderní měřiče šumového čísla umí korekci na aktuální teplotu T_A provést automaticky. Firma Keysight Technology nabízí ke svým přístrojům kalkulátor „nejistoty“ měření šumového čísla (Noise Figure Uncertainty Calculator)[10-9], který umožňuje objektivizovat někdy až „zázračné“ hodnoty změřených šumových čísel.

Existují i jiné metody měření šumového čísla, které jsme používali v dobách, kdy moderní měřiče nebyly k dispozici. Zdrojem šumu jsou 50Ω rezistory, jeden na teplotě vroucího kapalného dusíku 77 K a druhý na teplotě T_A (obr. 10-12, [10-7]). ENR je v tomto případě $ENR = (T_A - T_{N_2}) / T_A = (290 - 77) / 290 = 0,73$ a šumový činitel jsme vypočítali jako $F = 0,73 / (1 - Y)$, kde Y je poměr výkonů změřených v obou stavech na výstupu dvojbranu⁷. Tento přístup se dodnes používá pro okamžitou kalibraci některých typů radiometrů.



Obr. 10-11. Velikost chyby měření šumového čísla v případech, kdy $T_{OFF} \neq 290$ K [10-4]

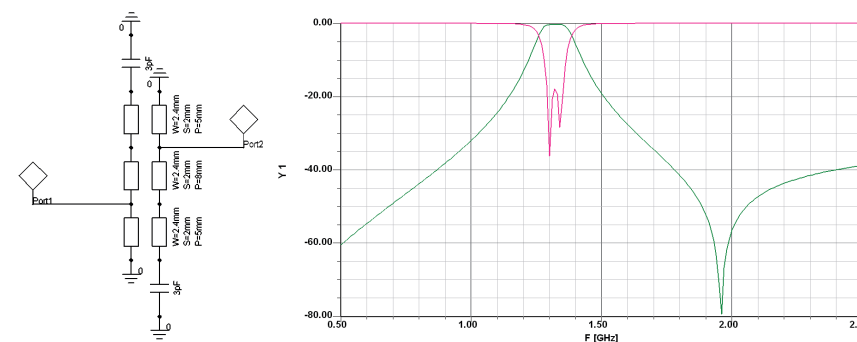
⁷ Y je v tomto případě menší než jedna.



Obr. 10-12. Otevřená polystyrénová nádoba s kapalným dusíkem pro měření šumového čísla pomocí různě teplých rezistorů

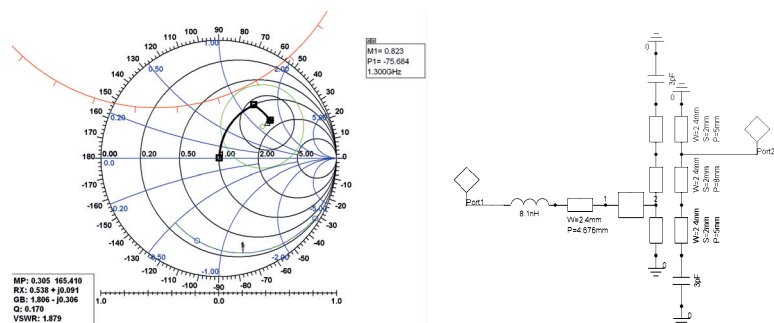
10.1.4 Nízkošumový zesilovač pro pásmo 1,3 GHz

Návrh dvoustupňového zesilovače s pásmovou propustí mezi stupni a s prvním stupněm šumově přizpůsobeným byl proveden v prostředí Ansoft Designer. Uvádíme jej jako příklad návrhu. Oba stupně jsou osazeny pHEMT ATF-55143 $V_{ds} = 2$ V, $I_d = 10$ mA. LNA je navržen na substrátu Duroid 5880 s $\epsilon_r = 2,2$ a tloušťkou 31 mil (0,79 mm).

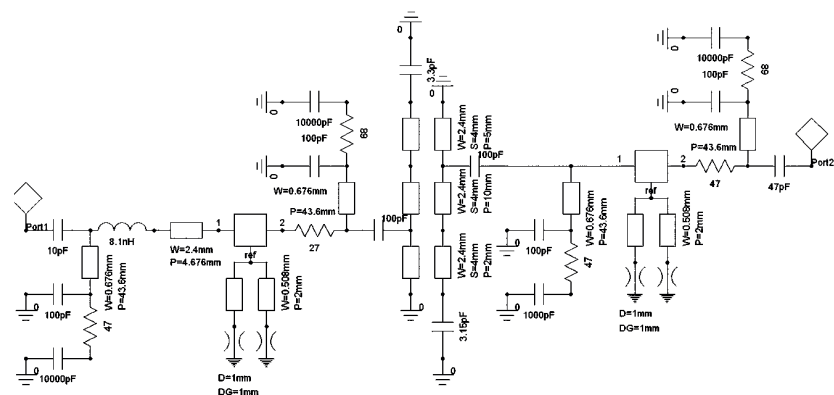


Obr. 10-13. Pásmová propust navržená ze dvou vázaných mikropásků doladěných kapacitou

Samostatně navržená pásmová propust je na obr. 10-13. Na obr. 10-14 je řešení šumového přizpůsobení prvního tranzistoru.⁸ Celkové schéma modelu zesilovače, včetně napájecích obvodů, je na obr. 10-15. Výsledky simulací základních parametrů ukazuje obr. 10-16.

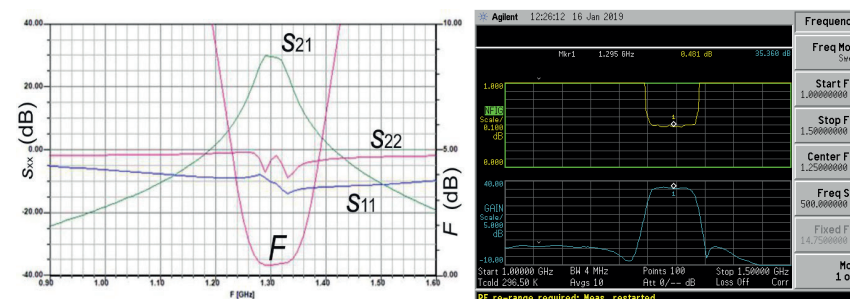


Obr. 10-14. Šumové přizpůsobení prvního tranzistoru pomocí induktoru 8 nH a mikropásky 50 Ω/10°. Červená kružnice je kružnicí stability v rovině generátoru.



Obr. 10-15. Celkové schéma modelu dvoustupňového zesilovače včetně napájecích obvodů v simulátoru

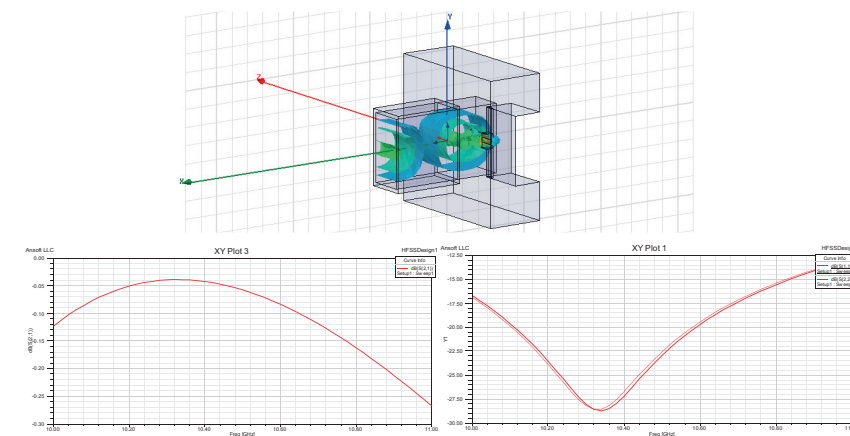
⁸ Červená kružnice stability v rovině generátoru vymezuje oblast impedancí, při nichž nedojde k odtlumení vstupu zesilovače tak, že by mohl být nestabilní.



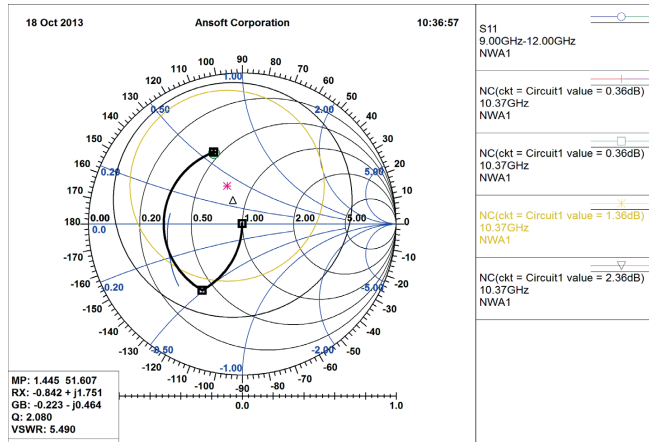
Obr. 10-16. Simulované a změřené parametry LNA pro 1296 MHz

10.1.5 Nízkošumový zesilovač pro pásmo 10 GHz

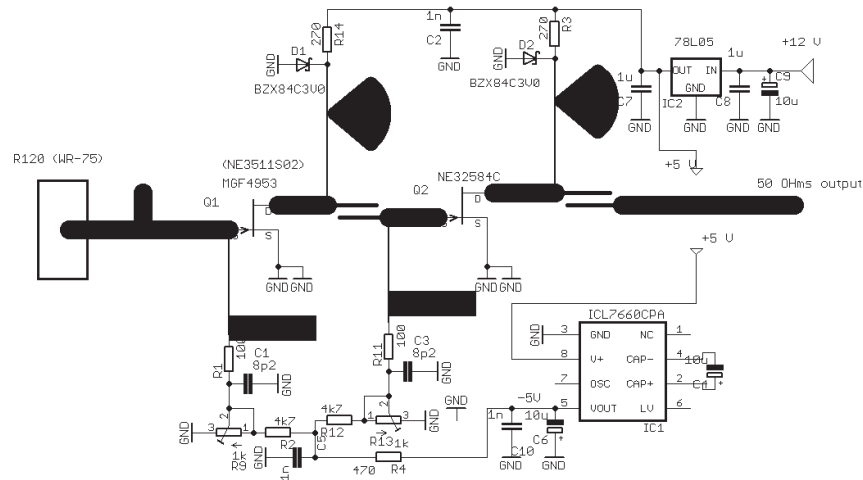
Pro dosažení vysoké citlivosti je LNA pro pásmo 10,4 GHz řešen s vlnododovým vstupem. Přechod z vlnododu na substrát s prvním tranzistorem jsme simulovali v prostředí ANSYS HFSS a základní výsledky již optimalizovaného řešení jsou na obr. 10-17. Zesilovač je dvoustupňový, na vstupu s pHEMT NE3511S02 a na druhém stupni s NE32584C, oba v pracovním bodě $V_{ds} = 2$ V a $I_d = 10$ mA.



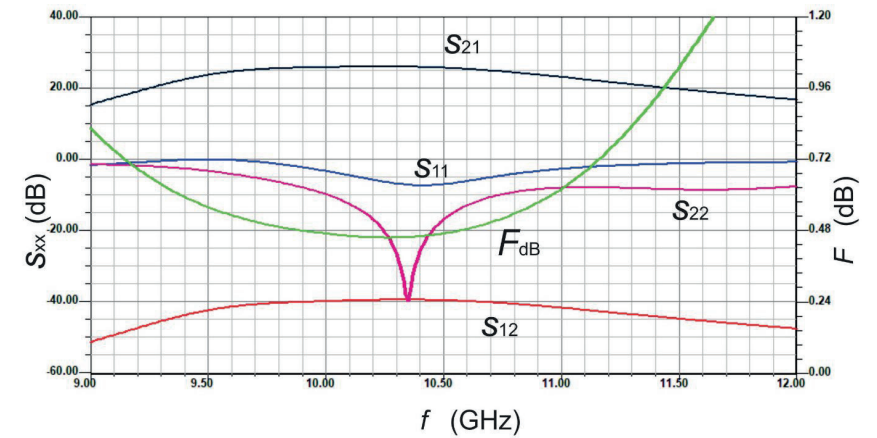
Obr. 10-17. Nahoře je simulovaný přechod z vlnododu R120 na substrát. Vlevo dole je výkonový přenos přechodu a vpravo dole jsou činitele odrazu na vstupu vlnododu a na výstupu vazby z vlnododu.



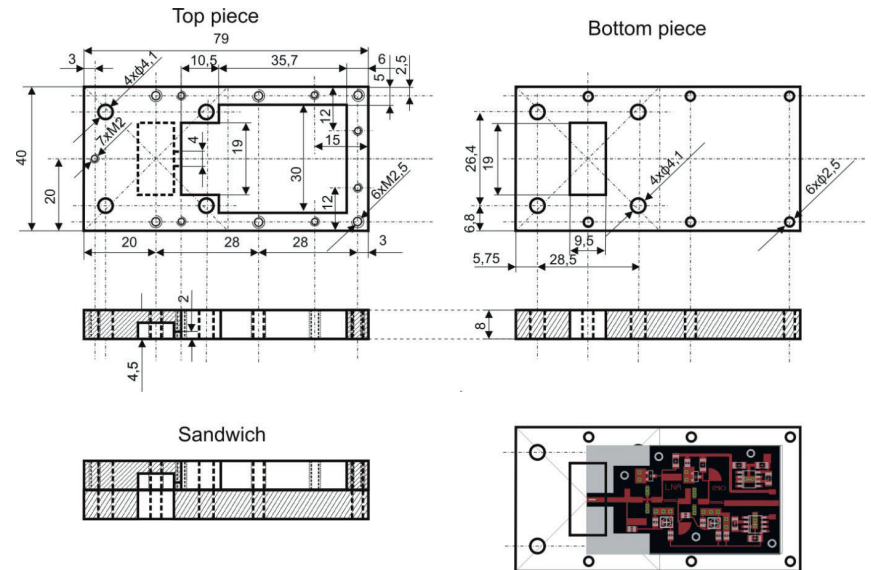
Obr. 10-18. Šumové přizpůsobení prvního pHEMTu NE3511S02 pomocí příčného pahýlu 50Ω/50° a podélného úseku 50 Ω/64°



Obr. 10-19. Celkové schéma LNA pro pásmo 10,4 GHz

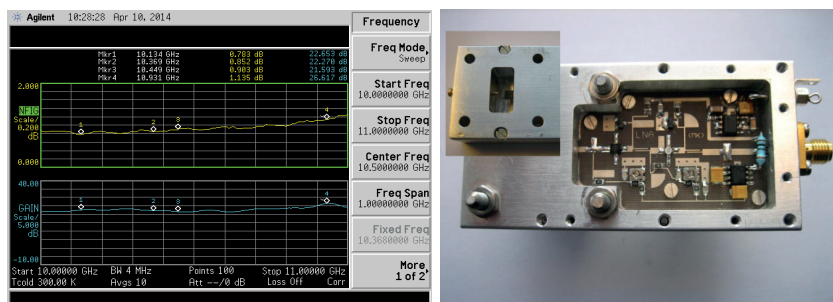


Obr. 10-20. Simulované parametry LNA



X-Band LNA (MK)

Obr. 10-21. Konstrukční řešení LNA pro 10,4 GHz



(a)

(b)

Obr. 10-22. (a) Změřené parametry LNA: $F = 0,8$ dB a $A = 22$ dB.
(b) Provedení LNA pro 10 GHz

Šumové přizpůsobení je naznačeno na obr. 10-18. Na obr. 10-19 je celkové schéma a na obr. 10-20 jsou simulované parametry zesilovače v Ansoft Designer. Obr. 10-21 ukazuje provedení zesilovače včetně vlnododového vstupu. Na obr. 10-22(a) jsou změřené šumové číslo a zisk a fotografie provedení zesilovače je na obr. 10-22(b).

Literatura

- [10-1] KASAL, M. *Moderní metody generace a zpracování signálů nukleární magnetické rezonance*. Vědecké spisy VUT v Brně, Habilitační a inaugurační spisy, sv. 1. Brno: VUTIUM, 1998. ISBN 9788021411661.
- [10-2] MINI CIRCUITS. *RF Frequency Mixers* [online]. [cit. 18.01.2023] Dostupné z: <https://www.minicircuits.com/WebStore/Mixers.html>
- [10-3] HEWLETT PACKARD. *Low Cost Mixer for the 10.7 to 12.8 GHz Direct Broadcast Satellite Market. AN 1136* [online]. [cit. 18.01.2023] Dostupné z: http://www.hp.woodshot.com/hprfhel/4_downld/lit/diodelit/an1136.pdf
- [10-4] AGILENT TECHNOLOGIES. *Noise Figure Measurement Accuracy: The Y-Factor Method. Application Note AN 57-2* [online]. [cit. 18.01.2023] Dostupné z: <https://www.testworld.com/wp-content/uploads/noise-figure-measurement-accuracy-the-y-factor-method.pdf>

- [10-5] LOW NOISE FACTORY. [online] [cit. 18.01.2023] Dostupné z: <https://www.lownoisefactory.com/products/>
- [10-6] BRYERTON, E. W., MORGAN, M. a POSPIESZALSKI, M. W. Ultra Low Noise Cryogenic Amplifiers for Radio Astronomy. *In: 2013 IEEE Radio and Wireless Symposium*. Austin (TX, USA): IEEE, 2013, s. 358–360. DOI: 10.1109/RWS.2013.6486740
- [10-7] KASAL, M., HÚSEK, V. a HALÁMEK, J. A Simple Method of Measuring the Noise Figure of the NMR Spectrometer. *Radioengineering*. 1993, 2(2), 5–8. ISSN 1210-2512.
- [10-8] KEYSIGHT TECHNOLOGIES. *Fundamentals of RF and Microwave Noise Figure Measurements. Application Note 5952-8255* [online]. [cit. 18.01.2023] Dostupné z: <https://www.keysight.com/zz/en/assets/7018-06808/application-notes/5952-8255.pdf>
- [10-9] KEYSIGHT TECHNOLOGIES. *Noise Figure Uncertainty – Calculator* [online]. [cit. 18.01.2023] Dostupné z: <https://rfmw.em.keysight.com/NFUcalc>