

HEMT LNA for 13cm

Rainer Bertelsmeier, DJ9BV

Abstract: The design of unconditionally stable low noise amplifiers (LNA) on microwave bands (> 1GHz) is not an easy task, if MES-FETs or MOD-FETs are used. This is because of the inherent instability of those devices. As an amateur first an unconditional stable LNA design on 2.3GHz is introduced together with measurements of prototypes.

Kurzfassung: MES- und MOD Fet's sind auf 2,3GHz nicht stabil. Im folgenden wird ein LNA für 13cm beschrieben, der durch zusätzliche Maßnahmen unbedingt stabil ist ($K > 1$) und zudem eine sehr niedrige Rauschzahl von 0,5dB hat.

1. Introduction

The grounded source requires a bias circuit to provide the negative voltage for the gate. A special active bias circuit (Fig. 2) was developed which provides regulation of voltage and current for the FET and allows for independent adjustment of these parameters. In fact PNP-transistor T1 operates in a feedback loop with the FET and forces a constant current through the FET by using D2,D3

as a reference voltage, sensing the drain current of the FET at the emitter of T1 and controlling the gate voltage of the FET. P2 serves for current adjustment (5... 20mA). IC 1 serves as a variable voltage regulator (2.2...3.4V). IC2 generates the negative voltage. The circuit provides reverse bias protection for the gate and cannot provide more than 4V on the drain even if P1 (Drain Voltage Adjustment) fails (open circuit). A small (25x35mm) PCB (Fig. 1) can be soldered vertically onto the RF-Board. The DC-connections of the RF-Board mechanically fit on the output pins of the bias board. Table 1 (Appendix A) provides the parts list of the bias circuit.

1. Einführung

Die geerdete Source erfordert eine negative Spannung auf dem Gate. Eine spezielle Vorspannungsschaltung (Bild 2) regelt Strom und Spannung im FET unabhängig von den Exemplarstreuungen und der Temperatur. Dazu dient der PNP-Transistor T1, der mit dem FET in einer Gegenkopplungsschaltung arbeitet. Er erzwingt einen konstanten Strom durch den FET, indem er den Strom an R5/P2 mißt

		K-Factor @ F [GHz]				
		1	2	4	6	10
ATF10136	Avantek	0.32	0.51	0.94	1.02	1.06
NE71085	NEC	N/A	0.19	0.36	0.59	0.95
FHX06	Fujitsu	0.13	0.26	0.35	0.63	0.95
ATF35076	Avantek	0.13	0.17	0.33	0.51	0.73
MGF4316	Mitsubishi	0.10	0.27	0.53	0.60	0.90
MGF1302	Mitsubishi	0.11	0.15	0.42	0.68	1.26

Table 1: K-Factor of MES-FETs and MOD-FETs

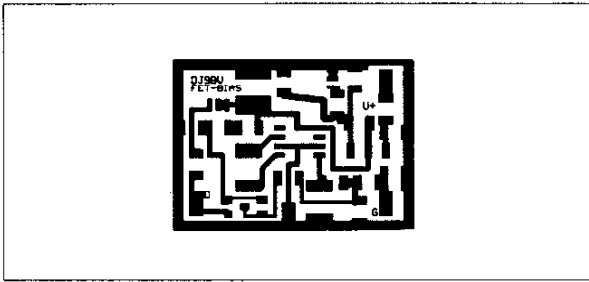


Figure 1: PCB for Bias Circuit

und den Spannungsabfall an R5/P2 durch Regeln der negativen Gatespannung konstant hält. D2, D3 dienen als Referenzspannung. Die Drainspannung kann mittels P1 eingestellt werden, ohne daß sich der Strom ändert. IC2 erzeugt die negative Spannung. D4 isoliert das Gate von positiven Spannungen. C4 sorgt für eine Regelzeitkonstante von 10msec. Der Strom läßt sich von 5...20mA und die Spannung von 1.5 .. 2.9V einstellen.

2. Circuit description

The input circuit (Fig. 4) is made as a quarter wave

line which matches the real part of the optimum source impedance for minimum noise figure. A parallel open stub tunes the reactive part. A quarter wave bias line with low frequency loading by R1 provides gate bias.

The output circuit is made from a series transmission line and an open stub at the drain. R2 and R3 provide loading for frequencies higher and lower than 2.3GHz.

The source inductance is very small but improves stability on the operating frequency. This inductance allows for a lower value for R2 thus providing a smaller noise figure.

For stability in the LNA a mixture of lossy drain, inductive source feedback and low frequency resistive loading for the gate bias is utilized. Without R1/C3 and LPout/R3 low frequency stability would not be achieved ($K < 1$ for $f < 1.7\text{GHz}$).

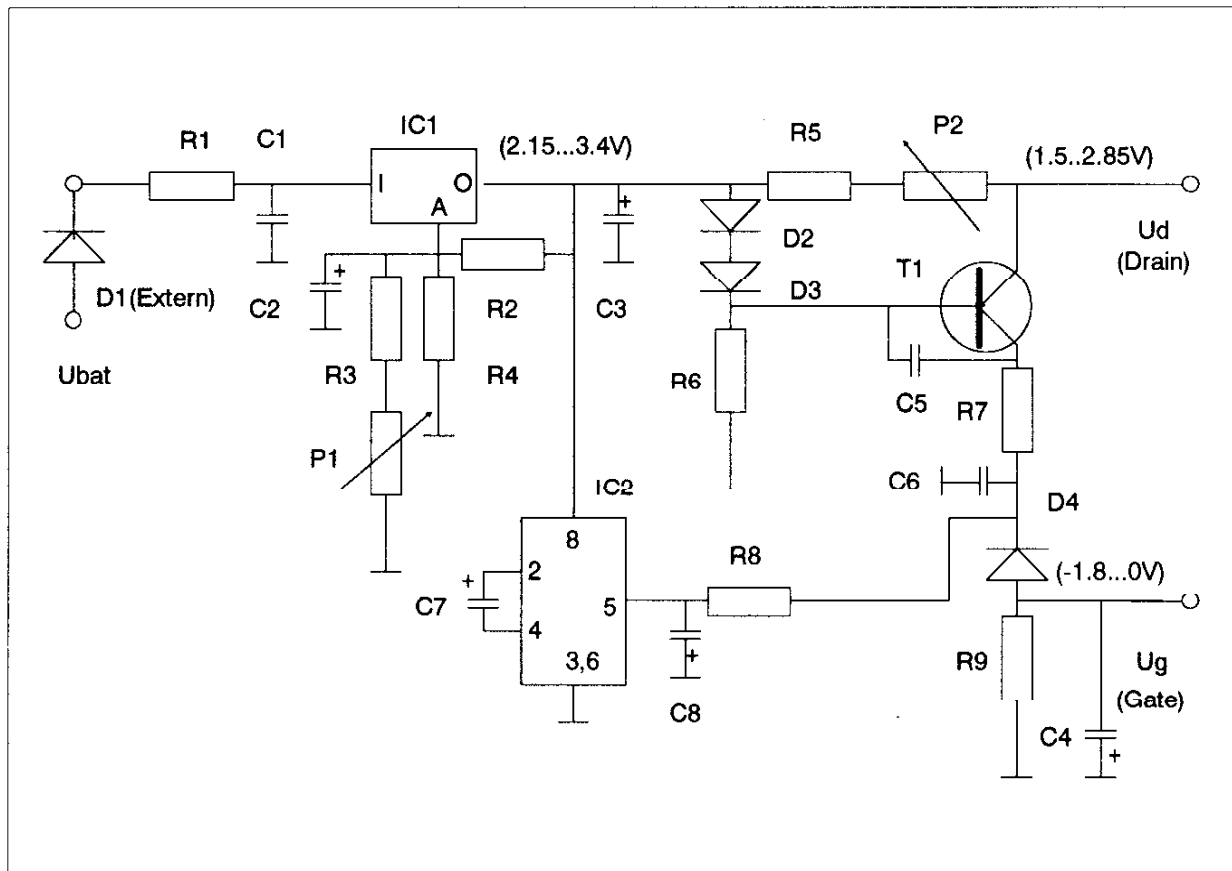


Figure 2: Bias Circuit for Grounded Source FETs

2. Schaltung

Als Eingangskreis dient eine $\lambda/4$ -Leitung mit einer offenen Stichleitung zur Anpassung. Die Source ist mit einer kleinen Induktivität gegengekoppelt und galvanisch mit Masse verbunden. Der Ausgang ist mit einer Serien-Leitung und einer offenen Stichleitung ausgebildet. Viertelwellenleitungen dienen zur Zuführung der Gate- und Drainspannung.

Um unbedingte Stabilität zu erreichen, wird der Ausgang mit R2 und R3 gedämpft. Zum gleichen Zweck ist auch eine kleine Source-Induktivität vorgesehen. R1/C3 sorgt für eine Belastung bei tiefen Frequenzen (<1,5GHz).

3. Construction

Construction follows micro-stripline techniques on PTFE boards (Fig. 3) of 35x72mm to fit into standard cabinets made from tinfoil. The parts list can be seen in Table 2 (Appendix A).

Input and output connectors can be soldered directly onto the PCB from the backside. SMA and N-connectors are suitable. The bias board must be soldered vertically onto the RF-board. The output pads of the bias board should fit onto the lugs for U_g and U_d on the RF-board.

Proper grounding of the sources of the FET is

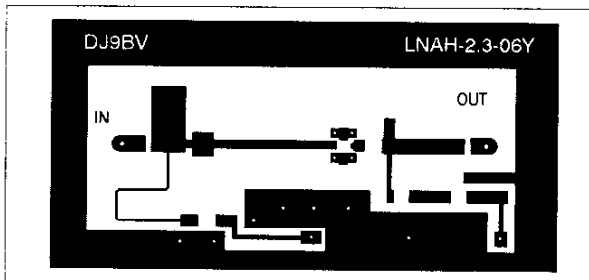


Figure 3: PTFE-PCB of LNAH-2.3-F06Y

important. Professional plated through holes were not available. Instead soldered wire throughs (0.8mm CuAg) should be used at the indicated

positions. Two wire throughs are required on each side because of the higher inductance of wire throughs. Improper grounding will result in instability above 10GHz!

3.1 Initial Setup

For initial setup P1 on the bias board has to be set to minimum and P2 to its maximum value. The LNA should be loaded with 50Ω loads on in- and output. After applying 12V on the U_{BAT} terminal, check for correct DC-operation. By turning P2 the drain current should be adjusted to 12mA. P1 should be adjusted for 2.9V at the U_d -Pin for the FHX06. The optimum U_{DS} for the FHX06 is around 2V.

With a noise figure meter¹ the input tuning, drain current and drain voltage can be optimized for lowest noise figure.

3. Konstruktion

Die Platine (Bild 3) wird bestückt und in ein Weißblechgehäuse (35x74x30mm) eingelötet. Die Eingangs- und Ausgangsbuchsen (N oder SMA) werden direkt auf die Platine gelötet. Die Regelschaltung wird senkrecht auf die HF-Platine gelötet. Die Anschlüsse passen auf die entsprechenden Anschlüsse auf der HF-Platine.

Die Source-Anschlüsse des FHX06 werden an den markierten Stellen mit 0,8mm CuAg durchkontaktiert.

3.1 Inbetriebnahme

Nach Anlegen der Betriebsspannung wird die Spannung am Emitter von T1 mittels P1 auf 2.9V eingeregelt. Mittels P2 wird der Strom auf 12mA eingeregelt (An R4 messen).

Falls ein Rauschzahlmeßgerät vorhanden ist können Strom, Spannung und evtl. der Parallel-Stub im Eingang für niedrigste Rauschzahl optimiert werden. Auch ohne Abstimmung ist die Rauschzahl kleiner als 0,6dB.

¹ Because of poor input return loss of those LNAs a 5 dB ENR noise source with very low difference between the ON- and OFF-impedance (for example the HP346A) must be used for accurate measurements. Never use a mediocre 15 dB source (for example the HP346B, AIL7618 or 7615) to measure GaAs-FET LNAs, because this will result in a large measurement error (+0.3dB) [1].

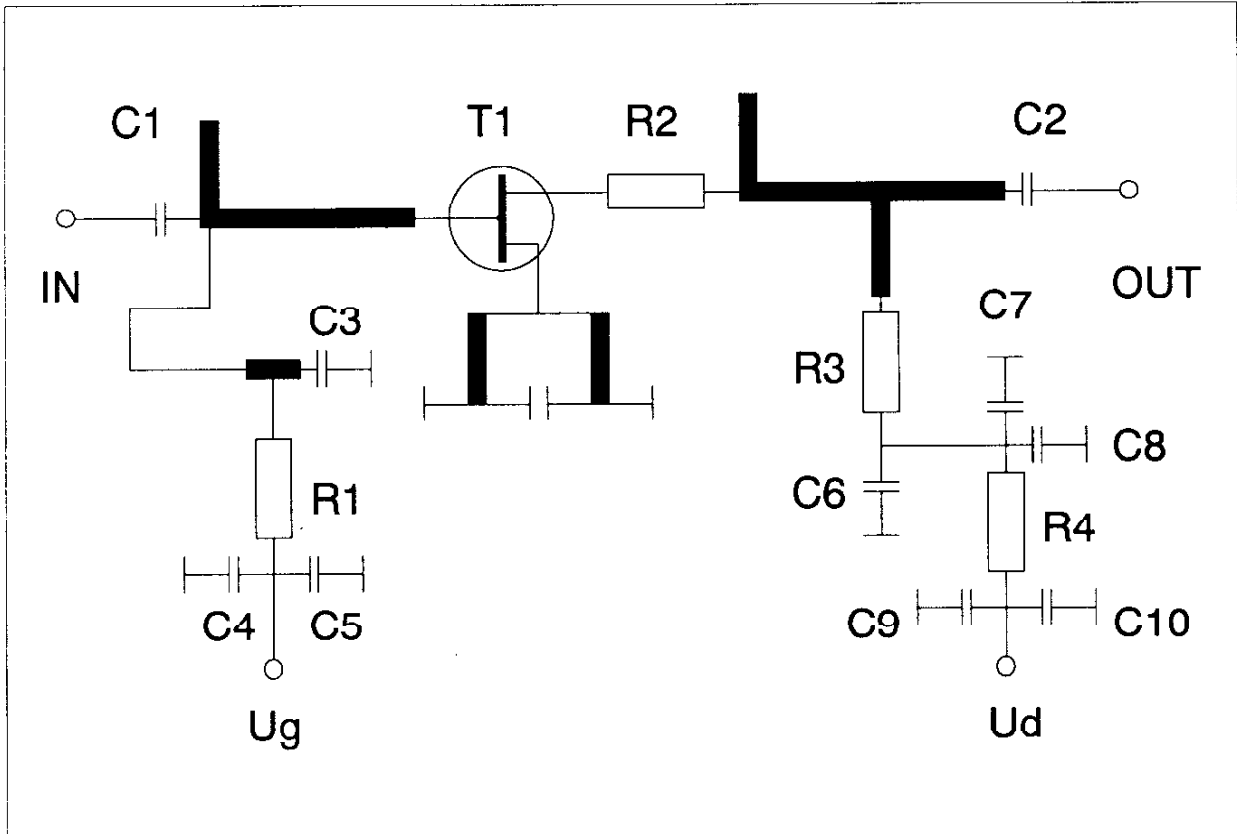


Figure 4: Circuit Diagram of LNAH-2.3-FHX06Y

4. Measurement Results

Figures 5 to 7 show the results measured on a typical LNA. Figure 5 shows the magnitude of the S-Parameters versus frequency. Gain is 14.0dB at 2.32GHz. Input return loss is 2.8dB and output return loss is 29dB. Figure 6 shows the stability factor which is greater than 1 from 1.5 to 3GHz. **Therefore this LNA is unconditionally stable!** Noise figure in the range from 2000 to 2500MHz has been measured with a HP8970S microwave measurement system and a HP346A noise source (Figure 7). A minimum value of less than 0.5dB¹ (<35K) was achieved after optimisation of bias current. The noise figure minimum is centered exactly at 2.3GHz.

4. Meßwerte

Die Bilder 5-7 zeigen die Meßwerte eines typi-

schen LNA's. Die Verstärkung beträgt 14.0dB bei 2,32GHz, die Eingangs-Rückflußdämpfung ist ca. 3dB. Die Ausgangs-Rückflußdämpfung ist 29dB (VSWR<1,1) und der Stabilitätsfaktor K ist größer als 1 im Frequenzbereich von 1,5GHz bis 3Ghz. **Damit ist der LNA unbedingt stabil!** Die Rauschzahl ist im Minimum bei 2300MHz mit 0,5dB².

5. Conclusions

It has been shown that unconditionally stable LNAs with HEMTs (MOD-FETs) with very low noise figure can be built for 13cm with the aid of CAD-Software. These LNA's can be cascaded in any number and provide ultimate performance for EME.

The results compare well with MES-FET LNAs. For them a noise figure of 0.6 dB has been reported on 13cm [3].

1 On the 5th EME Conference in Thorn, 1992, three preamps of this design measured 0.37, 0.42 and 0.52 dB.
 2 Auf der EME-Konferenz in Thorn, 1992, wurden drei Verstärker dieser Art mit Rauschzahlen von 0,37, 0,42 und 0,52dB auf 2,32GHz gemessen.

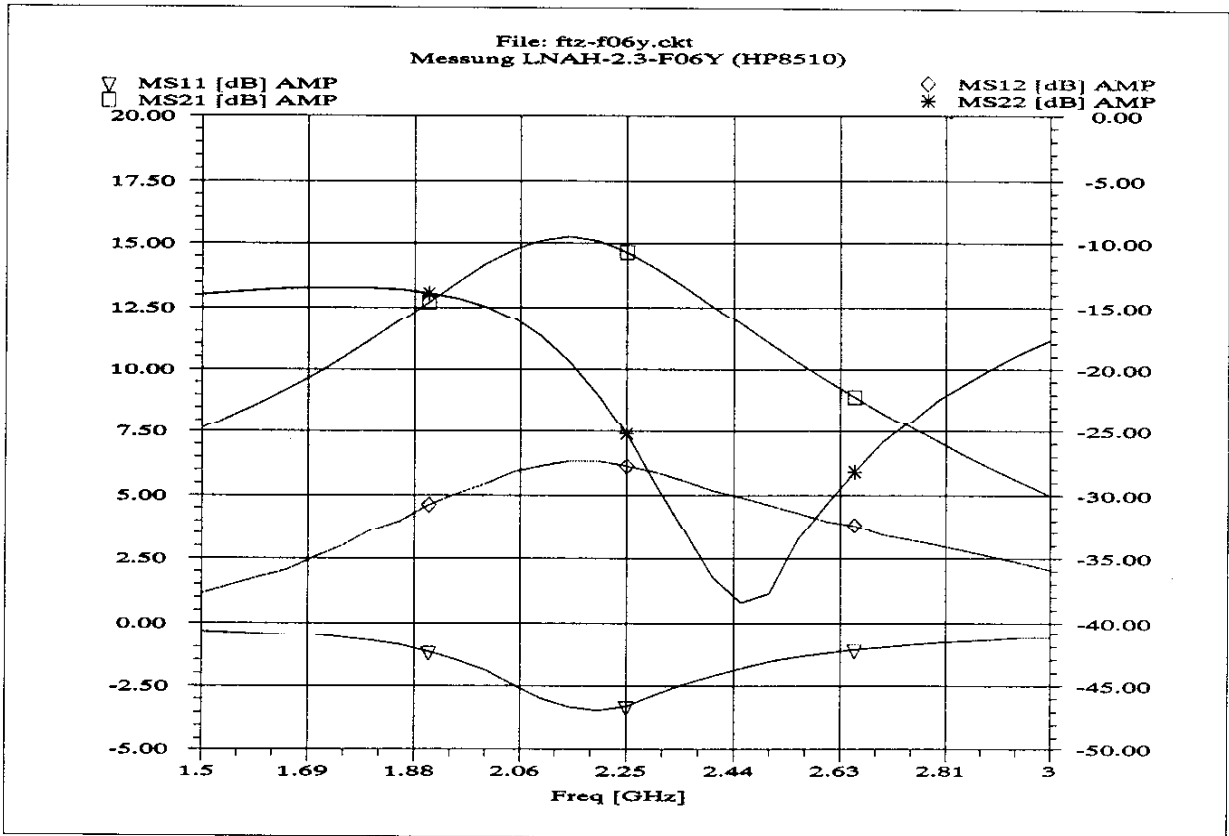


Figure 5: Measured S-Parameters of LNAH-2.3-F06Y

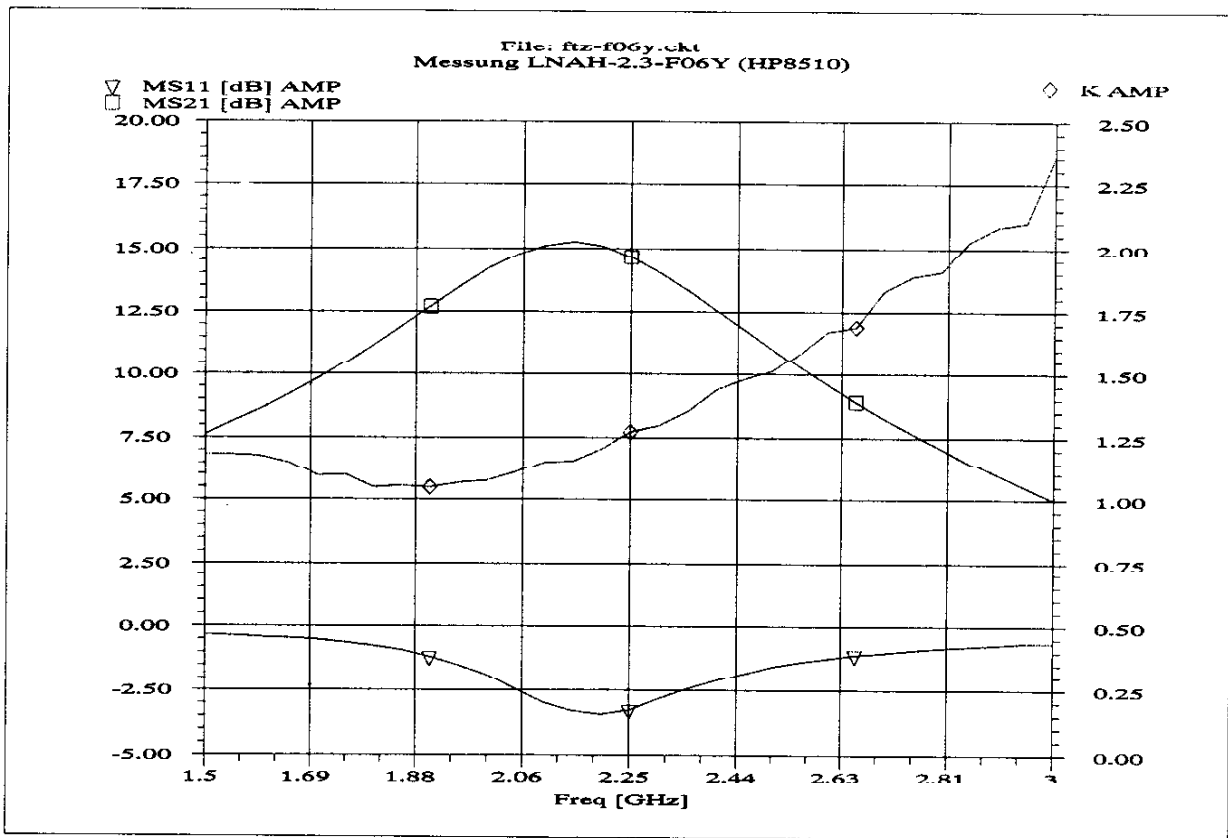


Figure 6: Measured K-Factor of LNAH-2.3-F06Y

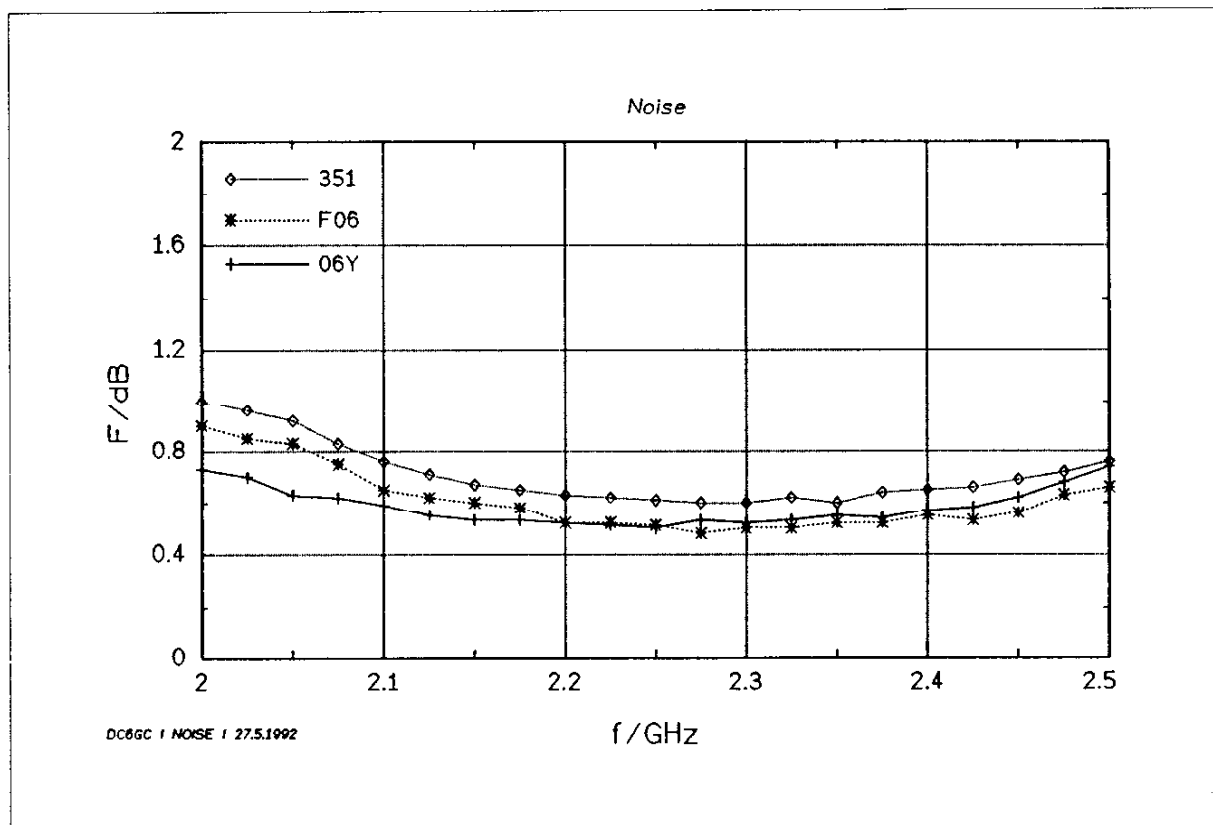


Figure 7: Measured Noise Figure of LNAH-2.3-2.3-F06Y

5. Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, daß auf 13cm unbedingt stabile LNA's mit HEMT-FET's gebaut werden können, die eine extern niedrige Rauschzahl mit Stabilität vereinen.

6. References

- [1] R. Bertelsmeier, DJ9BV, "How to Use a Noise Figure Meter", DUBUS 4/1990, pp. 11-30
- [2] R. Bertelsmeier, DJ9BV, "Low Noise Preamp for 1.3GHz", DUBUS 4/1991, pp. 37-50
- [3] Al Ward, WB5LUA, "Simple Low Noise Microwave Preamplifiers", QST May 1989, pp. 31-34

7. Acknowledgements

I have to thank Klaus Eichel from TSS for lending

the SC-Software; Christoph Petermann, DF9CY, for measuring noise figure and S-parameters; Axel Bünning, DF1XB, for etching the prototype boards from my POSTSCRIPT-outputs on paper; and last but not least Dieter Briggmann, DC6GC, for measuring S-parameters of FETs on low frequencies and measuring noise figure versus frequency for the 2.3 GHz LNAs. Without their help this work would have been not possible.

7. Danksagung

Ich danke K. Eichel von TSS für die Überlassung von SUPERCOMPACT, Christop Petermann, DF9CY, und Dieter Briggmann, DC6GC, für die Messungen an Prototypen und Axel Bünning, DF1XB, für die Erstellung der Platinen.

Appendix A: Parts Lists

Part-No.	Type	Value	Manufact.	Manuf.-Code
C1,6	SMD-C	0.1uF	Sie	1206
C2,4	SMD-Elko	1uF/16V	Sie	1206
C3,7,8	SMD-Elko	10uF/16V	Sie	1210
C5	SMD-C	0.01uF	Sie	0805
T1	Si-PNP	BC807	Sie	
IC1	Regulator	LM317	Na	LM317LZ
IC2	Inverter	LTC1044	LT	LTC1044SN8
D1	Si-Diode	1N4007	Mo	
D2,3,4	Si Diode	1N4148	Mo	
P1	SMD-Pot	1k	Vi	4312
P2	SMD-Pot	100	Vi	4312
R1	SMD-R	10	Sie	1206
R2,3	SMD-R	220	Sie	1206
R4	SMD-R	680	Sie	1206
R5	SMD-R	33	Sie	1206
R6	SMD-R	1.2k	Sie	1206
R7	SMD-R	4.7k	Sie	1206
R8	SMD-R	10k	Sie	1206
R9	SMD-R	22k	Sie	1206
PCB	Board	Epoxy 25x35mm	DC3XY	Bias Board

All Parts except D1 and LM317LZ are SMD

Table 1: Parts List for Bias Board

Part-No.	Type	Value	Manufact.	Manuf.-Code
C1	SMD-C	4.7pF	TA,ATC	500CHA4R7CGL
C2,6	SMD-C	100pF/NP0	Sie	0805
C3	SMD-C	5.6pF/NP0	Sie	0805
C4,7	SMD-C	1000pF/NP0	Sie	0805
C5,8	SMD-C	0.01uF	Sie	0805
T1	HEMT-FET	FHX06	Fu	FHX06LG
R1,3	SMD-R	47	Sie	1206
R2	SMD-R	33	Sie	1206
R4	SMD-R	10	Sie	1206
Bu1,2	Coaxial Conn.	N or SMA		
PCB	PTFE-Board	35x72x0.79mm, ER=2.55	DC3XY: Tel. (++49)410673430	LNA-2.3-06Y
G	Box (Tinplate)	35x74x30mm	Schu	

Table 2: Parts List for LNAH-2.3-F06Y