dämpfung ist 23dB (VSWR<1,1) und der Stabilitätsfaktor K ist größer als 1,6 im Frequenzbereich von 0,5GHz bis 1,5Ghz. Die gemessene Rauschzahl ist kleiner als 0,4dB bei 1300MHz.

5. Conclusions

It has been shown that unconditionally stable, easy to build LNAs with HEMTs can be constructed for 23cm. They provide a very low noise figure. These LNAs can be cascaded in any number and provide ultimate performance for tropo or EME.

These preamps have a noise figure, which are 0.1 to 0.2dB better than of those preamps equipped with a ATF10136 described in [1]. Figure 17 indicates that a typical LNAH-1.3-FHX35HP will be around 0.1dB better than a typical LNA-1.3-101. The best one out of 5 prototypes of the LNAH-1.3-FHX35E type achieved a noise figure of 0.3dB, but a typical exemplar would measure more likely around 0.35dB noise figure. Stability factor K is excellent with a minimum of 1.4 at 1.3GHz. Perfect broadband stability is achieved from 6 to 12GHz. This range usually denotes a critical range for all source inductive feedback type circuits.

To make the results fully comparable to the 1992 Thorn EME conference measurements, the noise figure measurements for these preamps have been normalized by means of two reference amplifiers, which have been measured at the 1992 Thorn EME conference. In fact that HP346A noise source at DF9CY's QRL indicated an even 0.06dB lower noise figure when calibrated to its stated ENR. But these numbers were judged to be not feasible and instead the normalization to the THORN values was preferred as more realistic.

5. Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, daß auf 23cm unbedingt stabile LNA's mit HEMT-FET's gebaut werden können, die eine extrem niedrige Rauschzahl mit absoluter Stabilität vereinen. Diese Vorverstärker sind im Mittel ungefähr 0,15db besser in der Rauschzahl als der in [1] beschriebene Vorverstärker mit dem ATF10136. Außerdem wurde eine Breitbandstabilität auch im kritischen Breich von 6 bis 12GHz erreicht.

Bild 17 zeigt einen Vergleich der verschiedenen Modelle. Ein typischer LNAH-1.3-FHX35HP ist ungefähr 0,1dB besser als ein typischer LNA-1.3-101. Der beste von 6 Prototypen eines LNAH-1.3-FHX35E erreichte eine Rauschzahl von nur 0,3dB, obwohl der typische Wert eher bei 0,35dB liegen dürfte. Um solide Vergleiche mit den Messungen auf der EME Konferenz in Thorn 1992 zu erlauben, wurde die eingestellte ENR am HP8970B mit Hilfe von zwei in Thorn gemessenen Referenzverstärkern auf die ENR der Quelle, die in Thorn verwendet wurde, normalisiert. Damit sind die obigen Messungen mit den Messungen in Thorn voll vergleichbar. Hätte man dagegen die im Kalibrationsprotokoll der jetzt verwendeten HP346A angegebene ENR eingestellt, wären die Meßwerte nochmal 0,06dB kleiner gewesen. Das hätte einen relativ unwahrscheinlichen Wert von 0,24dB für das beste Exemplar bedeutet. Daher wurde entschieden, daß die vorliegende Quelle zu 'gut' mißt und stattdessen die in Thorn benutzte Quelle als Normal genommen. Solche Abweichungen von 0,06dB sind innerhalb der Meßgenauigkeit, da die ENR-Eichung solcher Quellen nur auf typ. 0,15dB (Maximaler Fehler 0,23dB) genau sind.

6. References

[1] **R. Bertelsmeier, DJ9BV**, "Low Noise Preamp for 1.3GHz", DUBUS 4/1991, pp. 37-50

7. Acknowledgements

I have to thank Klaus Eichel, **DL6SES**, from TSS for lending the SUPERCOMPACT-PC-Software; Axel Bünning, **DF1XB** for producing the layouts from my PS-output; Rainer Jäger, **DC3XY** for providing kits for these preamps; Christoph Petermann, **DF9CY** for measuring the noise figures; Toshihiko Takamizawa, **JE1AAH** for delivering some valuable parts; and last but not least Dieter Briggmann, **DC6GC** for measuring the S-parameters. Without their help this work would not have been possible.

7. Danksagung

Ich danke K. Eichel, **DL6SES**, von TSS für die Überlassung von SUPERCOMPACT, Rainer Jäger, **DC3XY**, für die Zusammenstellung der Kits, Dieter Briggmann, **DC6GC**, für die Messungen an den Prototypen, Christoph Petermann, **DF9CY**, für die Rauschzahlmessungen, Toshihiko Takamizawa, **JE1AAH**, für die Bereitstellung spezieller Teile, und Axel Bünning, **DF1XB**, für die Erstellung der Layouts.

Baugruppen für 24GHz

(Modules for 24GHz)

Michael Kuhne, DB6NT

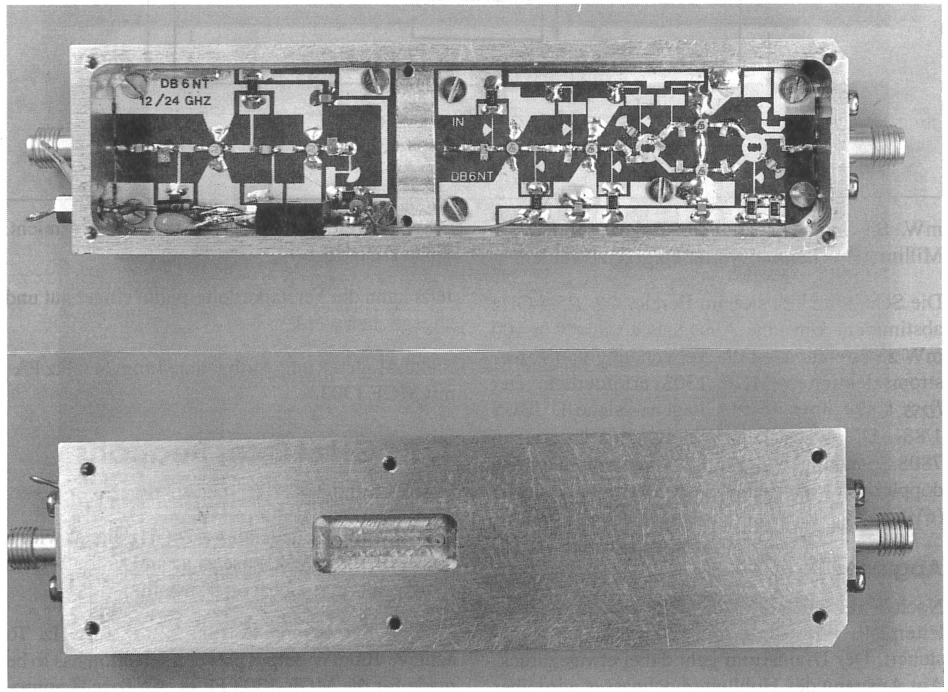
Kurzfassung: Es werden einige 24GHz Module vorgestellt, die für 24GHz Transverter oder Baken benutzt werden können. Dazu gehören ein 24GHz-LO, ein 24GHz Leistungsverstärker, ein dreistufiger 24GHz HEMT-Verstärker sowie ein Verdoppler von 23 auf 46GHz.

Abstract: Some modules which may be useful for 24GHz stations are introduced. These are a 24GHZ LO with 100mW output power useful for beacons, a 24GHz power amplifier with 65mW output, a three stage HEMT amplifier and a doubler from 23 to 46GHz.

1. 24 GHz Bake - LO für Millimeterwellentransverter

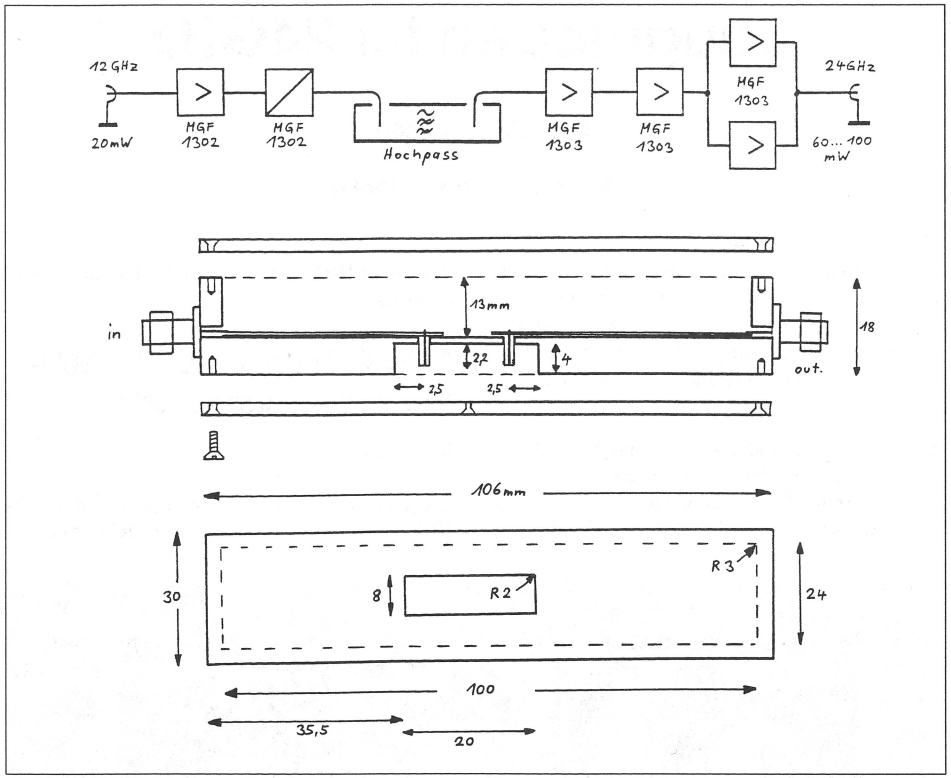
Bilder 1, 2.

Die hier beschriebene Baugruppe liefert ein 24 GHz Signal mit einem Ausgangspegel von ca. 100



Bild/Figure 1: 24GHz LO

Bild/Figure 2: 24GHz LO - Diagram



mW. Sie kann als 24 GHz Bake oder LO für Millimeterwellentransverter eingesetzt werden.

Die Schaltung läßt sich im Bereich 22...25.5 GHz abstimmen. Um eine Ausgangsleistung von 100 mW zu erreichen, ist die Verwendung von vorher stromselektierten MGF 1303 erforderlich. Der I_{DSS} sollte über 45 mA liegen - siehe DUBUS 1/88-. Die Verstärkerschaltung wird über einen 7808 Spannungsregler mit 8 V versorgt. Der Verdoppler wird über einen Vorwiderstand betrieben (6V).

Abgleich

Nach dem Einbau der voll bestückten Verdopplerleiterplatte wird diese mit 12 GHz/20mW angesteuert. Der Drainstrom geht dabei etwas zurück. Am Ausgang des Hohlleiterhochpasses wird über ein SEMI-RIGID-Kabel die 24 GHz Leistung gemessen und mit kleinen Abstimmfähnchen optimiert. Es werden zwischen 10 und 20 mW erreicht. Siehe DUBUS 1/92.

Jetzt kann die Verstärkerleiterplatte eingebaut und abgeglichen werden.

Siehe Abgleich und Aufbauanleitung 24 GHz PA mit MGF 1303.

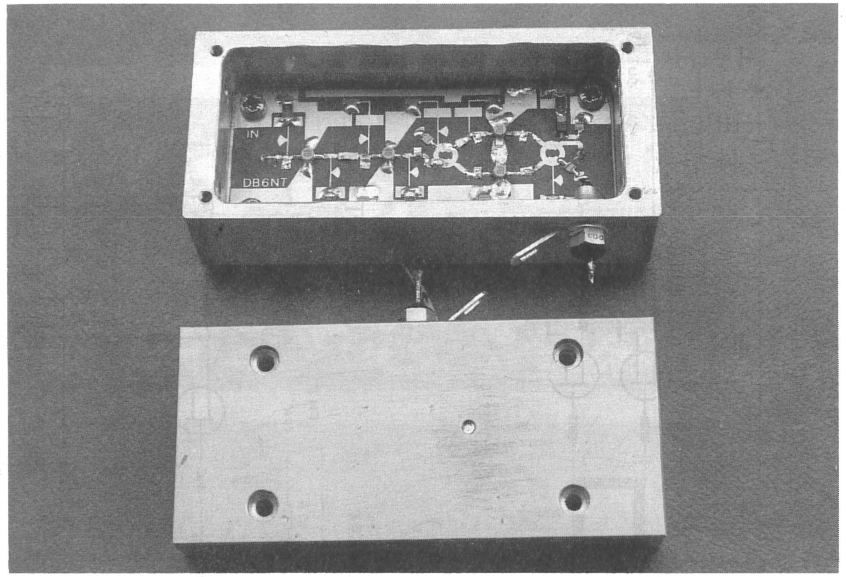
1. 24 GHz LO for Beacons

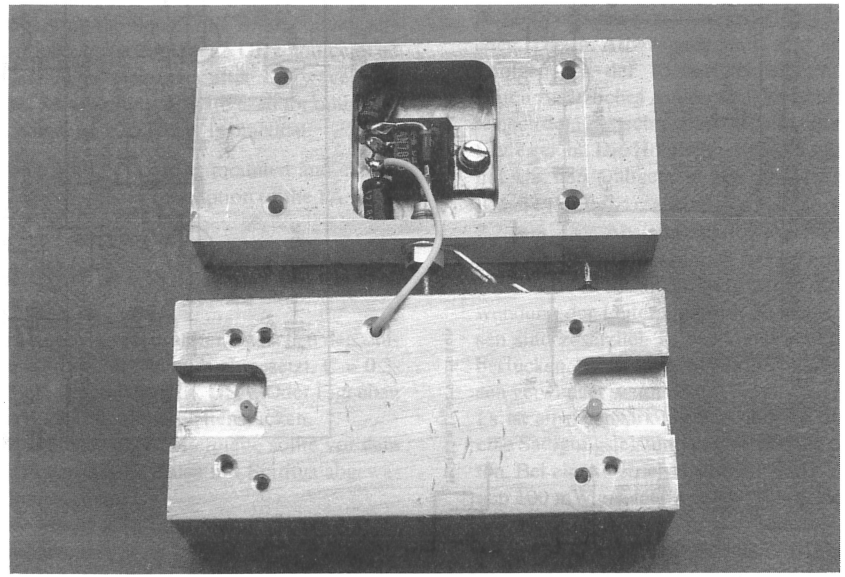
Figures 1 and 2.

The LO-module generates a 24GHz signal with a power of 100mW. It's useful as an LO for 24GHz transverter or as a beacon transmitter.

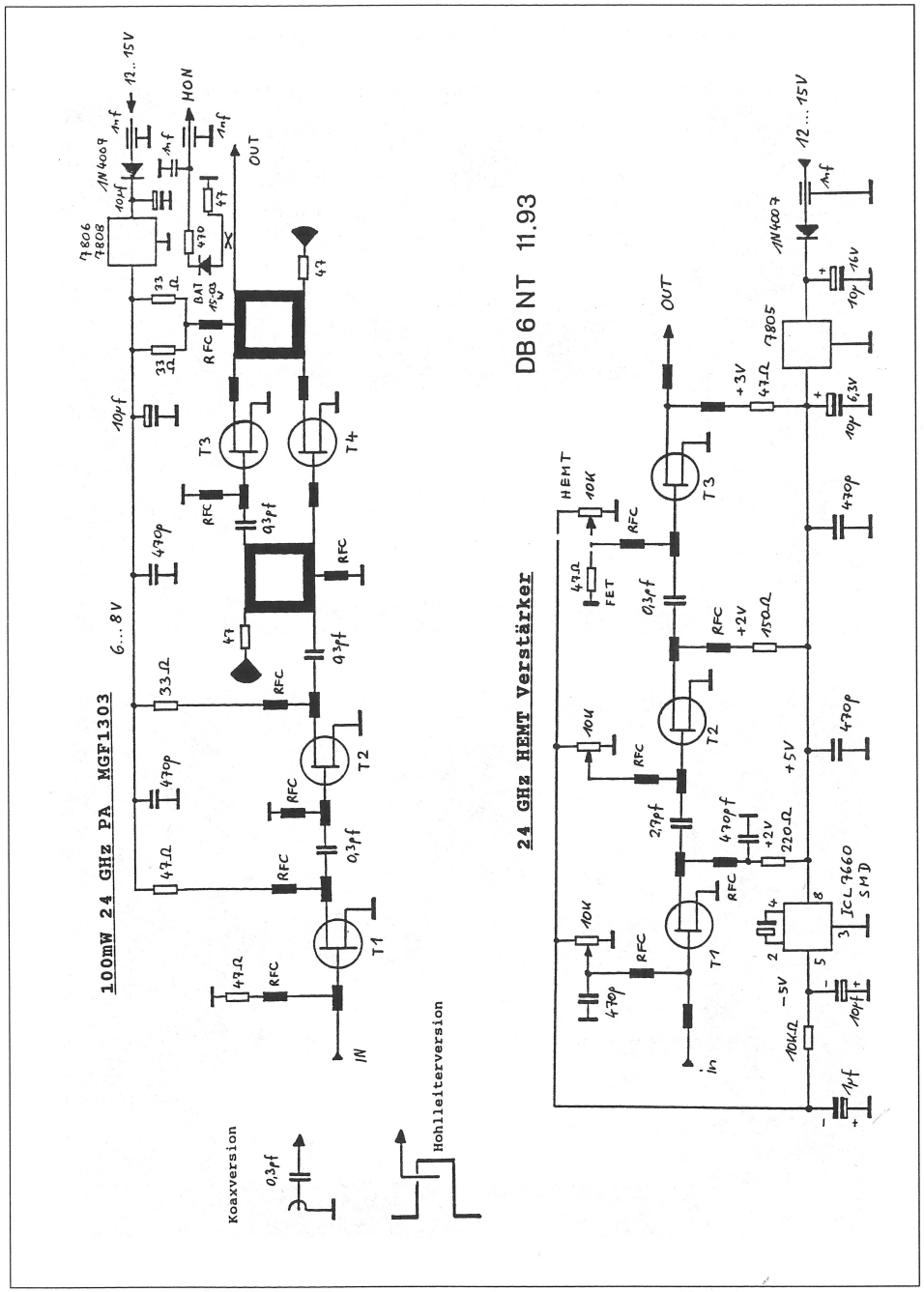
This module is tunable from 22 to 25.5GHz. To achieve 100mW output power a selection has to be made for the MGF-1303 FETs. An I_{DSS} is appropriate. The power amplifier has a 8V supply. The doubler gets 6V by menas of a dropping resistor.

Bild/Figure 3: 24GHz PA mit MGF1303 in Hohlleiter



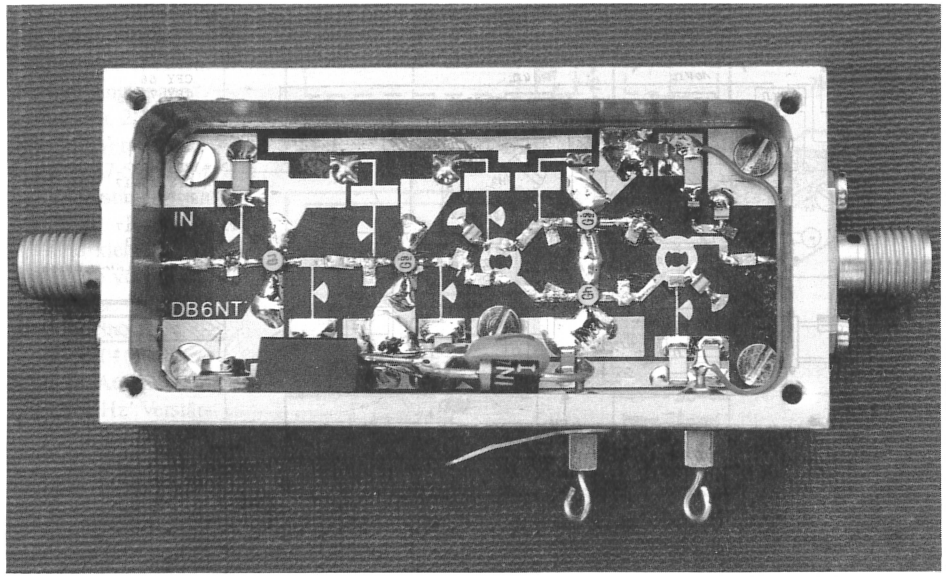


Bild/Figure 4: 24GHz PA mit MGF1303 in Hohlleiter



Bild/Figure 5: Circuit Diagram/Schaltung für 24GHz Amps

Bild/Figure 6: 24GHz PA mit MGF1303 in Koax



Adjustment

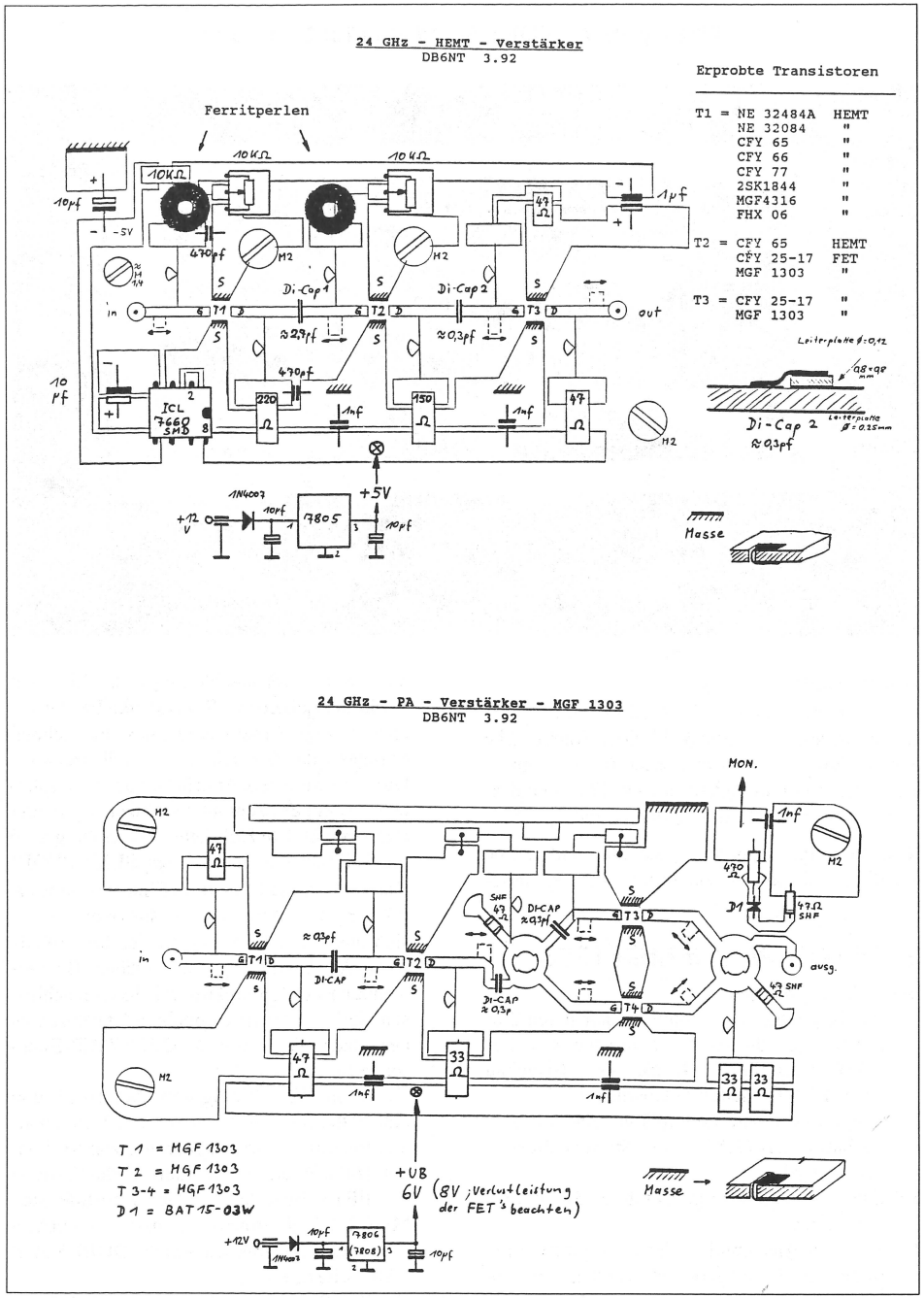
After mounting the doubler PCB the doubler circuit is driven by a 20mW 12 GHz source. The output signal is measured after the waveguide highpass. Small tuning tabs are used for optimisation. A power of 10...20mW is practical.

Now the amplifier board is mounted and can be tuned - see chapter in description of the PA-module.

2. 24 GHz PA mit MGF1303

Bilder 3, 4, 5, 6, 7 und 8.

1. Als Koppelkondensatoren zwischen den Stufen werden "di-cap" C's eingesetzt. C = 0.2-0.5 pF. Hersteller: DLI, USA. Oder Eigenbau aus 0.12 Teflonleiterplattenstücken.
2. Die vollbestückte Leiterplatte sollte vor dem Einbau in das Gehäuse mit Spiritus abgewaschen werden.
3. Die Montage erfolgt durch 5 Stück M2-Schrauben.
4. Vor dem Anschrauben der Leiterplatte sollte diese gerade ausgerichtet werden, um eine plane Montage zu gewährleisten. Auf der Unterseite der Platine wird der Mittelteil mit Wärmeleitpaste (Wärmeableitung), die Ein- und Auskoppelseiten mit Sekundenkleber bestrichen. Dieser Arbeitsgang muß sehr schnell erfolgen, da der Kleber schnell trocknet. Durch zusätzliches Andrücken der Leiterplatte nach dem Festschrauben wird ein optimaler Sitz erreicht. Die Hohlleitereinkopplung wird mit UT 085 (abgemanteltes SEMI-REGID Kabel) 1,7mm ∅ realisiert. Einkoppeltiefe ca. 2,2 mm. Der Abstand zur Rückwand ergibt sich aus den Abmessungen der Leiterplatte sowie den Ausfräsungen im Gehäuse. Bei Verwendung der Leiterplatte mit Koaxanschlüssen sind zusätzlich Koppelkondensatoren zu bestücken. Es sollten MICROSTRIP-Buchsen verwendet werden.
5. Es ist eine Verstärkung von über 16 dB und eine Sättigungsleistung von 60 mW zu erwarten. Bei einer Betriebsspannung von 8V können 100 mW erreicht werden. Verlustleistung der FET's beachten! In der Endstufe sind MGF 1303 mit großem Drainstrom 45 mA zu verwenden. Ausmessen! - siehe DUBUS Heft 1/88, Seite 8, Fig. 11.
6. Der Richtkoppler am Ausgang der Schaltung wird mit einer SMD-Diode BAT 15-03W (Sie-

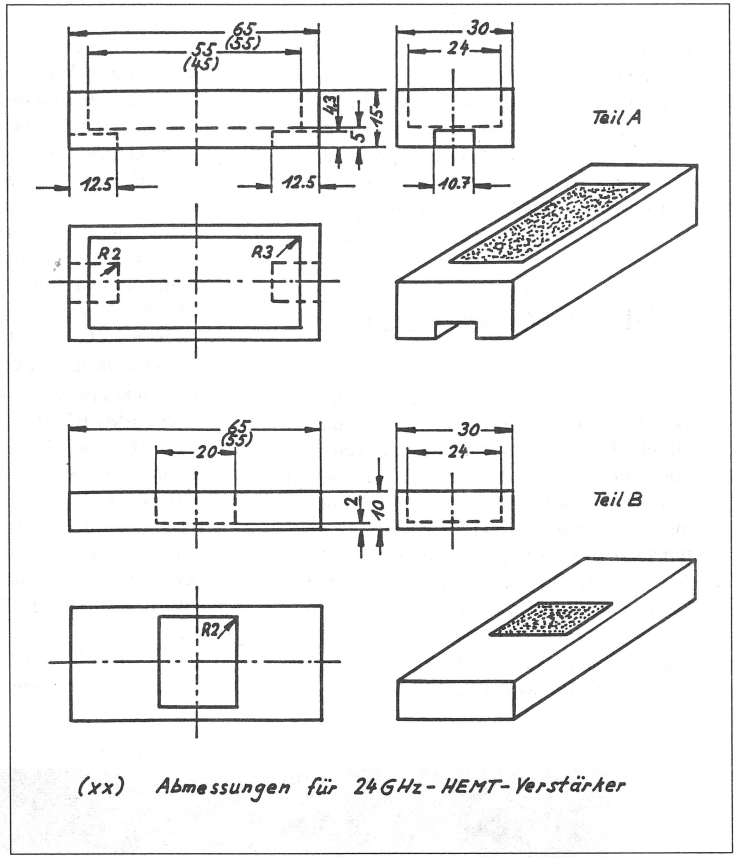


Bild/Figure 7: Parts Layout für 24GHz Verstärker

mens) bestückt. Die Diode wird "Überkopf" eingelötet, um keine Gehäuseinduktivitäten zu erhalten. Ausgangsspannung ca. 250 mV - Evtl. Verstärker.

7. Die 47-50 OHM Widerstände an den Kopplern sind kleine SHF-Typen von Firma Rohrer GmbH München Tel. 089/2016960
8. Der Aufbau von 24 GHz Verstärkern erfordert viel SHF-Erfahrung und Geduld. Jedes "dB" muß sich durch "Fähnchen schieben" und Einbringen von MOS-Schaumstoff sowie Kupferstreifen geholt werden!
9. Es gelten die Baubeschreibungen in DUBUS Heft 1/88 sowie Dorsten 1988, Weinheim 1992, Dorsten 1993, DC0DA.

Bild/Figure 8: 24GHz PA, Gehäuse



2. 24GHz Power-Amplifier

Figures 3 , 4, 5, 6, 7 and 8.

1. Coupling caps between stages are dicap (0.2...0.5pf) from DLI, USA. Probably home-made caps made from small pieces of substrate material wikll work also.
2. Clean finished PCB before mounting with alcohol.
3. Use 5 pcs of M2 screws for fastening.
4. Flatten PCB before mounting. Use thermal compound for the middle part and cyanacrylate glue for the ends. Mount PCB fast enough and press tight before screwing. Waveguide coupler is made from UT-085 semirigid. Depth of probe is about 2.2mm. The distance to the back is defined by the PCB and the machined nuts in the box. If you use connectors you have to mount additional coupling caps and to take special microstrip SMS-connectors.
5. You can expect about 16dB of gain and 60mW output power. With a supply voltage of 8V 100mW output power can be achieved, but FETs are running at their dissipation limit. Select only FETs with an I_{DSS} > 45mA - see DUBUS 1/88, p.8, Fig. 11.
6. The directional coupler at the output feeds a power detector with an Siemens BAT15-03W SMD-diode. Mount the diode 'overhead' to

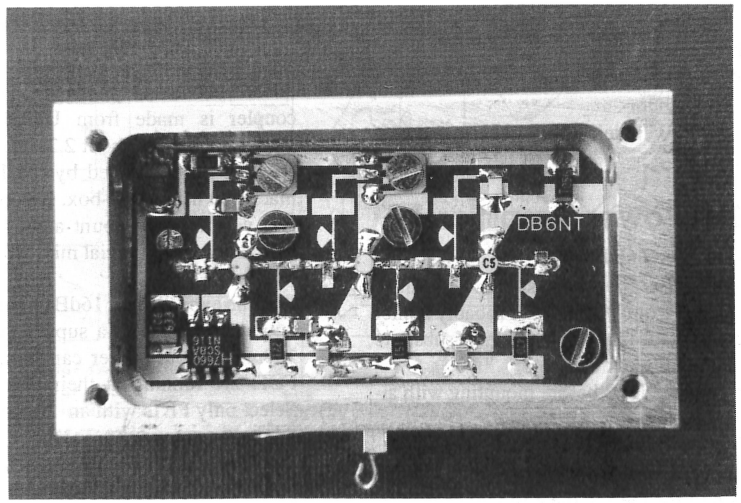
minimize parasitics. Output voltage is about 250mV.

7. 50Ω resistors at the couplers are small SHF-types from Rohrer, Munich, Tel.089/ 2016960.
8. The construction of 24GHz amplifiers requires patience and some experience. Each 'dB' or mW has to be 'squeezed' by positioning tuning tabs or absorber material!
9. For further details look at the descriptions in DUBUS 1/88 or DUBUS TECHNIKIII, p. 343-359.

3. 24GHz HEMT-Verstärker

Bilder 5, 7, 9 und 11.

1. Die Leiterplatte ist mit einem Spannungsinverter ICL7660 in SMD ausgerüstet, um die HEMT-Transistoren mit einer negativen Gatevorspannung zu versorgen. Für alle Stufen sind SMD-Potis vorgesehen. Die Platine ist mit FLR 016/026 FUJITSU Power-Transistoren auch als Leistungsverstärker einsetzbar.
2. Als Koppelkondensatoren zwischen den Stufen werden "di-cap" C's eingesetzt. C2= 0.2-0.5 pF C1=2,7pF Hersteller: DLI, USA. Oder Eigenbau aus 0.12 Teflonleiterplattenstücken. (Evtl. 2,7pF Bauform 0603)
3. Die vollbestückte Leiterplatte sollte vor dem Einbau in das Gehäuse mit Spiritus abgewaschen werden.
4. Die Montage erfolgt durch 3 Stck M2-Schrauben und eine M1,4 Schraube am Einkoppelpunkt der Leiterplatte.
5. Vor dem Anschrauben der Leiterplatte sollte diese gerade ausgerichtet werden, um eine plane Montage zu gewährleisten. Auf der Unterseite der Platine wird der Mittelteil mit Wärmeleitpaste, die Ein- und Auskoppelseiten mit Sekundenkleber bestreichen. Dieser Arbeitsgang muß sehr schnell erfolgen, da der Kleber schnell trocknet. Durch zusätzliches Andrücken der Leiterplatte nach dem Festschrauben wird ein optimaler Sitz erreicht. Die Hohlleitereinkopplung wird mit UT 085 (abgemanteltes SEMI-RIGID Kabel) mit 1,7mm∅ realisiert. Einkoppeltiefe ca. 2,2 mm. Der Abstand zur Rückwand ergibt sich aus den Abmessungen der Leiterplatte sowie den Ausfräsungen im Gehäuse. Bei Verwendung der Leiterplatte mit Koaxanschlüssen sind zusätzlich Koppelkondensatoren zu bestücken. Es sollten MICROSTRIP-Buchsen verwendet werden.
6. Durch die hohe Verstärkung der HEMT's ist eine Schwingneigung zu erwarten. Diese kann



Bild/Figure 9: 24GHz HEMT Verstärker in Hohlleiter

durch Einkleben von Ferritperlen und anderen Dämpfungsstoffen beseitigt werden.

7. Der Aufbau von 24 GHz Verstärkern erfordert viel SHF Erfahrung und Geduld. Jedes "dB" muß sich durch "Fähnchen schieben" und Einbringen von MOS-Schaumstoff sowie Kupferstreifen geholt werden!
8. Es ist eine Verstärkung von über 20 dB und eine Rauschzahl kleiner 5dB zu erwarten. Mit NE326/324 wurden Rauschzahlen von <3dB erreicht.
9. Es gelten die Baubeschreibungen in DUBUS Heft 1.88 sowie Dorsten 1988 --- Weinheim 1992 ---Dorsten 1993 DC 0 DA.

3. 24 GHz HEMT-Amplifier

Figures 5, 7, 9 and 10.

1. An ICL7660 voltage inverter supplies the negative gate voltage for the HEMTs. You can use FLR016/026 in this PCB for application as a power amplifier.
2. Coupling caps between stages are dicap (0.2...0.5pf) from DLI, USA. Probably home-made caps made from small pieces of substrate material wikll work also.
3. Clean finished PCB before mounting with alcohol.
4. Use 3 pieces M3 screw and one M1.4 at the input for mounting the PCB into the box.
5. Flatten PCB before mounting. Use thermal compound for the middle part and cyanacrylate glue for the ends. Mount PCB fast enough and press tight before screwing. Waveguide coupler is made from UT-085 semirigid. Depth of probe is about 2.2mm. The distance to the back is defined by the PCB and the machined nuts in the box. If you use connectors you have to mount additional coupling caps and to take special microstrip SMS-connectors.
6. There is some tendancy for oscillation because of the high gain of the HEMTs. Use ferrite beads and absorber material to dampen these oscillations.
7. The construction of 24GHz amplifiers requires patience and some experience. Each 'dB' or mW has to be 'squeezed' by positioning tuning tabs or absorber material!
8. A gain of 20dB and a noise figure of less than 5dB can be achieved. With NE326/324 noise figures of <3dB were achieved.

4. 23,5 auf 47GHz Verdoppler

Bilder 11, 12 und 13.

Der Diodenverdoppler (Bild 11) arbeitet mit Schottky- oder Varaktordioden im Beamlead-Gehäuse. Die Schaltung ist in einem Alugehäuse (Bild 12) eingebaut und besteht im wesentlichen aus einer Leiterplatte (RT/duroid 5870 mit 0.125mm Stärke) sowie einer im Gehäuse eingebrachten 4mm Bohrung, die einen Rundhohlleiter bildet.

Bei einer Ansteuerung von 100mW auf 23,5GHz konnte unter Verwendung von zwei parallel geschalteten HP Dioden HSCH-5312 (Bild 13) eine Ausgangsleistung von mehr als 5mW gemessen werden (R_A ~ 100Ω).

Mit der Varaktordiode A92220-5 (GaAs) der russischen Firma ELECS Ltd. konnten mehr als 12mW erreicht werden (R_A ~ 5k).

Bild/Figure 10: 24GHz HEMT, Verstärkung