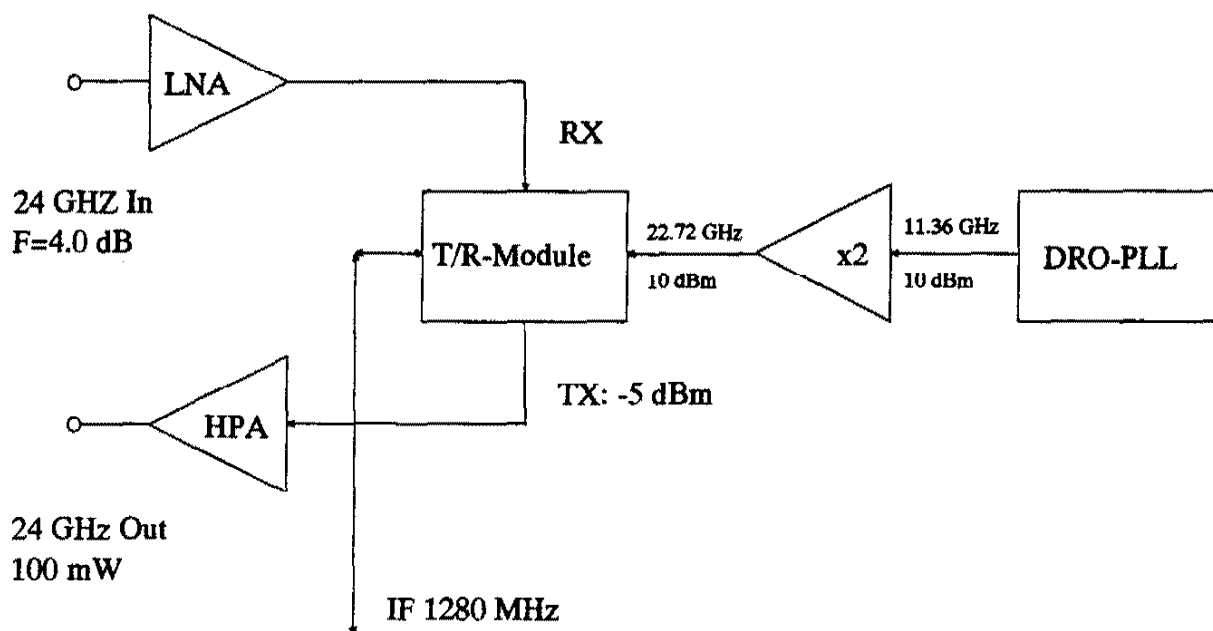


# 24 GHz Transverter with HEMT's

Toshihiko Takamizawa, JE1AAH  
Parktown 21-502 946-16  
Kitahassaku-cho Midori-ku  
Yokohama 226, Japan

(Part I)

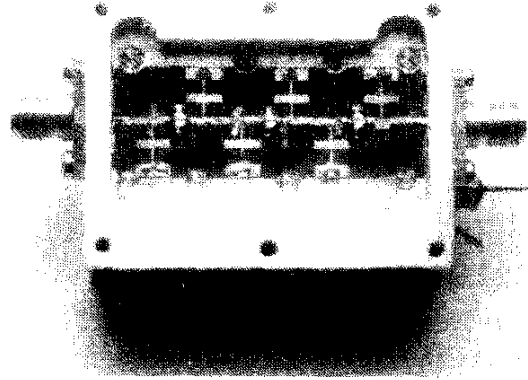
**Abstract:** Trying to provide a professional design a 24 GHz Transverter has been developed, which consists of separate modules of LNA; HPA, T/R-Module, LO-Doubler and DRO-PLL-LO. It delivers 100 mW output and has a noise figure of less than 5 dB. The key features are 50Ω interfaces between the modules, use of HEMT's for best noise figure and gain performance and high power output by utilizing Power-GaAs-FET's. Each single module is enclosed in a machined aluminium box and can be individually tuned and measured. All necessary filters are of the stripline variety avoiding any mechanical work. PCB's are not fabricated by chemical etching but can be cut directly on the teflon substrate with a small knife.



Bild/Figure 1: Block Diagram of 24 GHz Transverter

The overall design is patterned after my 5.7 and 10 GHz transverter design, which has been described before.

**Kurzfassung:** Nachdem ich meinen 5,7/10GHz Doppeltransverter fertiggestellt hatte, wollte ich auch einen 24 GHz Transverter mit modernen GaAs-FET's, d.h. HEMT's und Power-GaAs-FET's entwickeln, da diese Bauteile in Japan leicht verfügbar sind. Der Transverter hat 100 mW Ausgangsleistung und eine Rauschzahl von kleiner 5 dB. In der Philosophie folgt das Design seinen Vorgängern. Das bedeutet zum einen konsequente 50Ω Koaxial/Modultechnik, wobei jedes Modul in einer eigenen, gefrästen Aluminium-Box eingebaut ist. Alle Boxen haben ein Standardformat. Die Modultechnik gestattet die Verifikation der Eigenschaften auf entsprechenden Meßeinrichtungen. Weiterhin werden HEMT's für niedriges Rauschen und hohe Verstärkung sowie Power-GaAs-FET's für zuverlässigen Linear-Betrieb auf 24 GHz eingesetzt. Es gibt keine mechanisch abstimmbaren Filter, sondern alle notwendigen Filter sind fest abgestimmt und als Micro-Stripline gefertigt. Dieses ist wegen der hohen ZF von 1,28 GHz möglich. Die Leiterplatten sind nicht geätzt, sondern mit einem Messer aus dem Teflon-Material geschnitten.



Bild/Figure 2: 24 GHz LNA

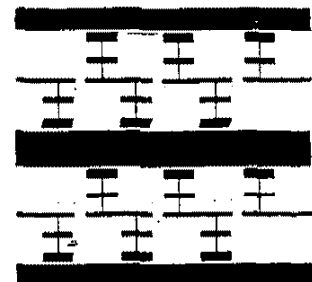
## 1. 24 GHz LNA

### 1.1 Design

The 24 GHz-LNA is a three stage circuit with FHX06LG HEMT's in all stages. Coupling is provided by quarterwave slits in the connecting 50Ω Microstriplines. Details for this method of coupling can be seen in Figure 6. The circuit diagram is shown in Figure 4. Tuning is provided after assembly and not in the design itself. DC-supply is provided by a LM317 regulator, which provides 3 V and a ICL7660 inverter for the negative gate voltage.

### 1.2 Construction

Etching of PCB<sup>1</sup> is performed by taping graphical tape onto the teflon board and cutting along the edges. Interstage coupling is provided by cutting a slit of 0.05 mm into the microstripline (Figure 6). A good measuring stereoscope<sup>2</sup> can be used for this purpose. Figure 6 shows

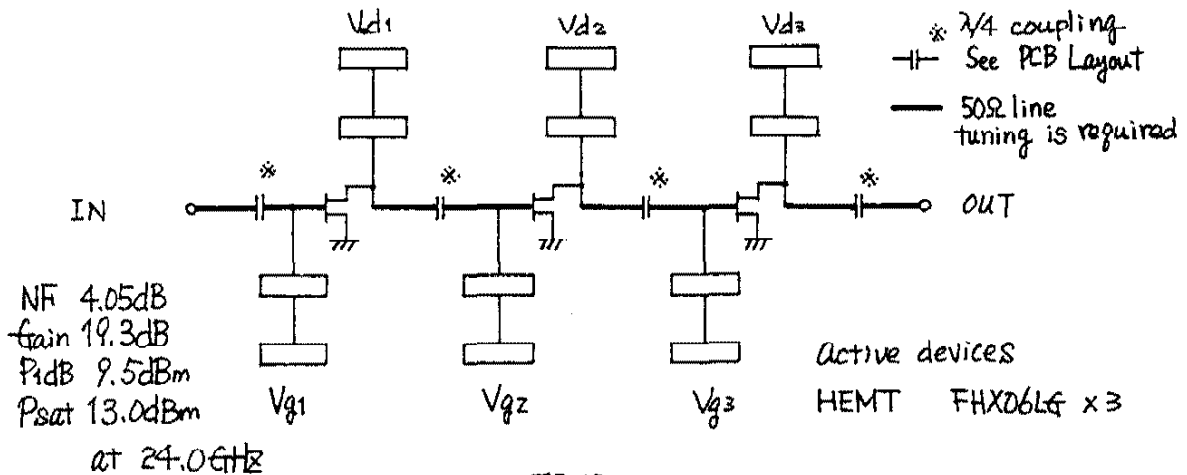


Bild/Figure 3: Artwork

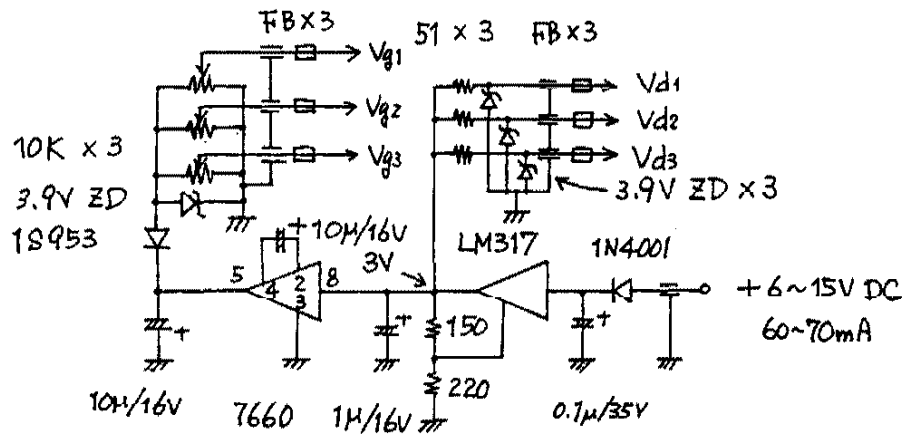
<sup>1</sup> The teflon board is from ARLON Cu-Clad 250GT-0102-0505 with 0.25 mm Thickness and Er = 2.5  
<sup>2</sup> I got a high quality optical gauge from a friend working at IBM. It's used for controlling the accuracy of printers for the mainframes 3090 or 4381. I can measure down to 0.05 mm with this instrument. So, ask your friends, hi!

4-18-91  
JE1AAH

# 24 GHz LNA



## Bias



Bild/Figure 4: 24 GHz LNA Circuit Diagram

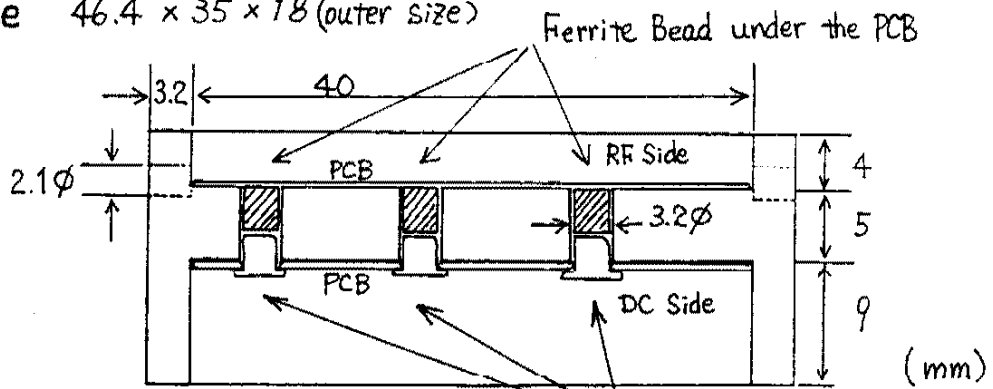
the artwork for the quarter wave bias chokes also. The completed PCB has to be mounted into the aluminium cabinet. This can be seen from Figure 5. The lines from the bias circuit PCB are running trough feed-through caps and ferrite beads. The standard aluminium case can be seen from Figure 9.

## 1.3 Results

The results are very encouraging and can compete with professional amplifiers made for this band. Voltages on the HEMT's are 2 - 2.4 V and currents are from 12 - 20 mA. Noise figure is 4.05 dB on 24 GHz and gain is 19.3 dB (Figure 7). There is room for improvement however as I have measured 10 dB gain on a single stage prototype amplifier. So my goal is to achieve 30 dB gain with a 3-stage amp.

Feed through 1nF

Case 46.4 x 35 x 18 (outer size)



Milling size

40x20x4 (RF side)

40x25x9 (DC side)

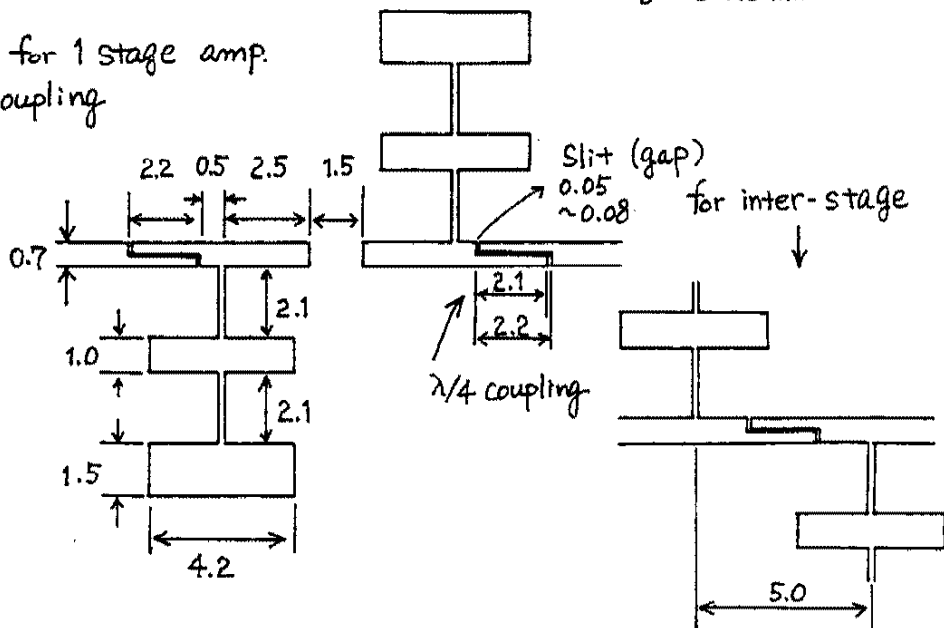
Feed through cap. (solder type)

Bild/Figure 5: 24 GHz LNA: Mounting of PCB

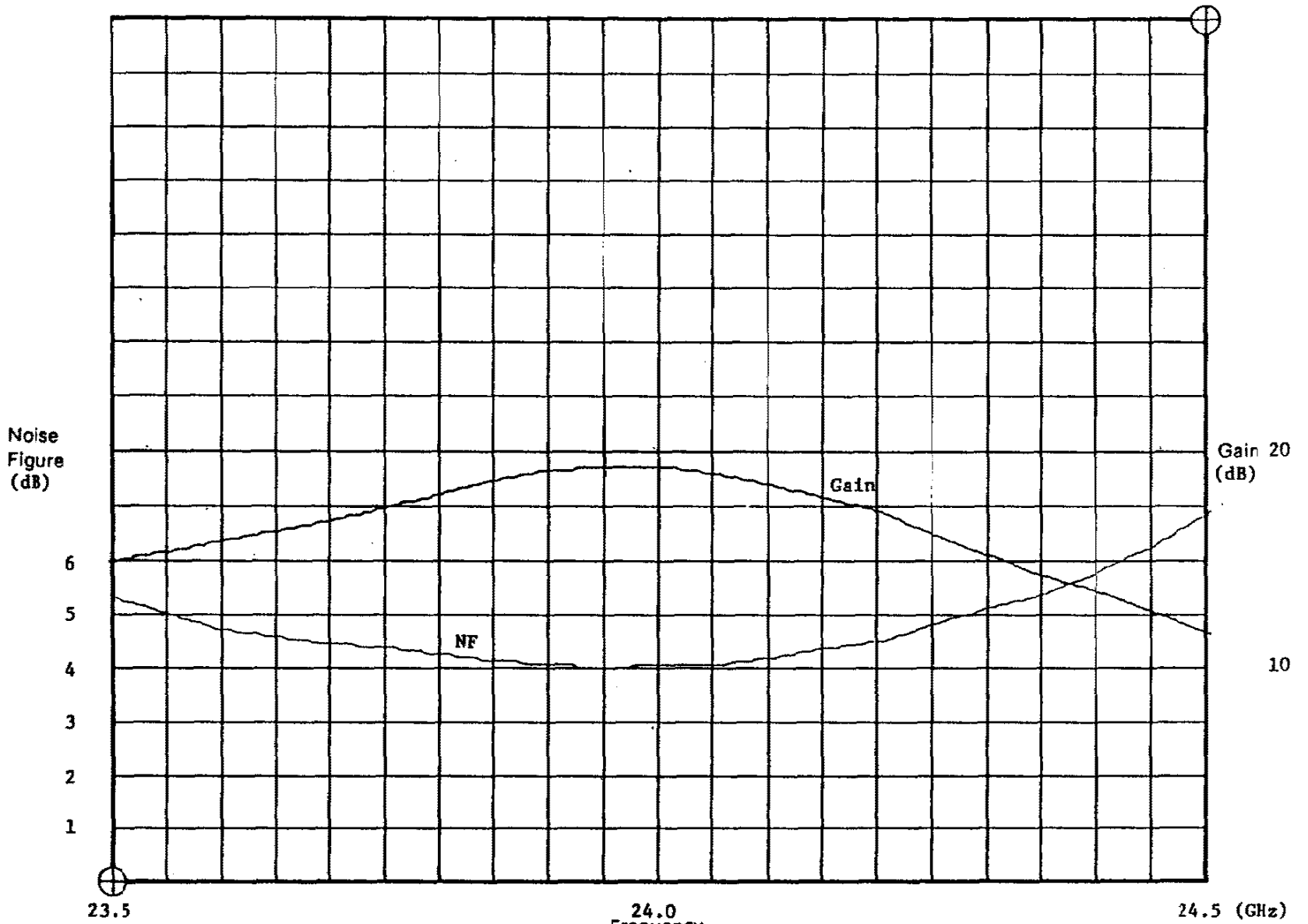
PCB dimension (mm)

Er 2.5  
t 0.25 mm

Basic unit for 1 stage amp.  
using  $\lambda/4$  coupling



Bild/Figure 6: 24 GHz LNA: Interstage Coupling Method



Bild/Figure 7: 24 GHz LNA Gain&Noise Figure

Gain:19.3dB  
NF:4.05dB  
at 24.0GHz

Y-Y Recorder Graph  
by HP8970B + 346C

Sample: MWA-2405L-2040

LNA

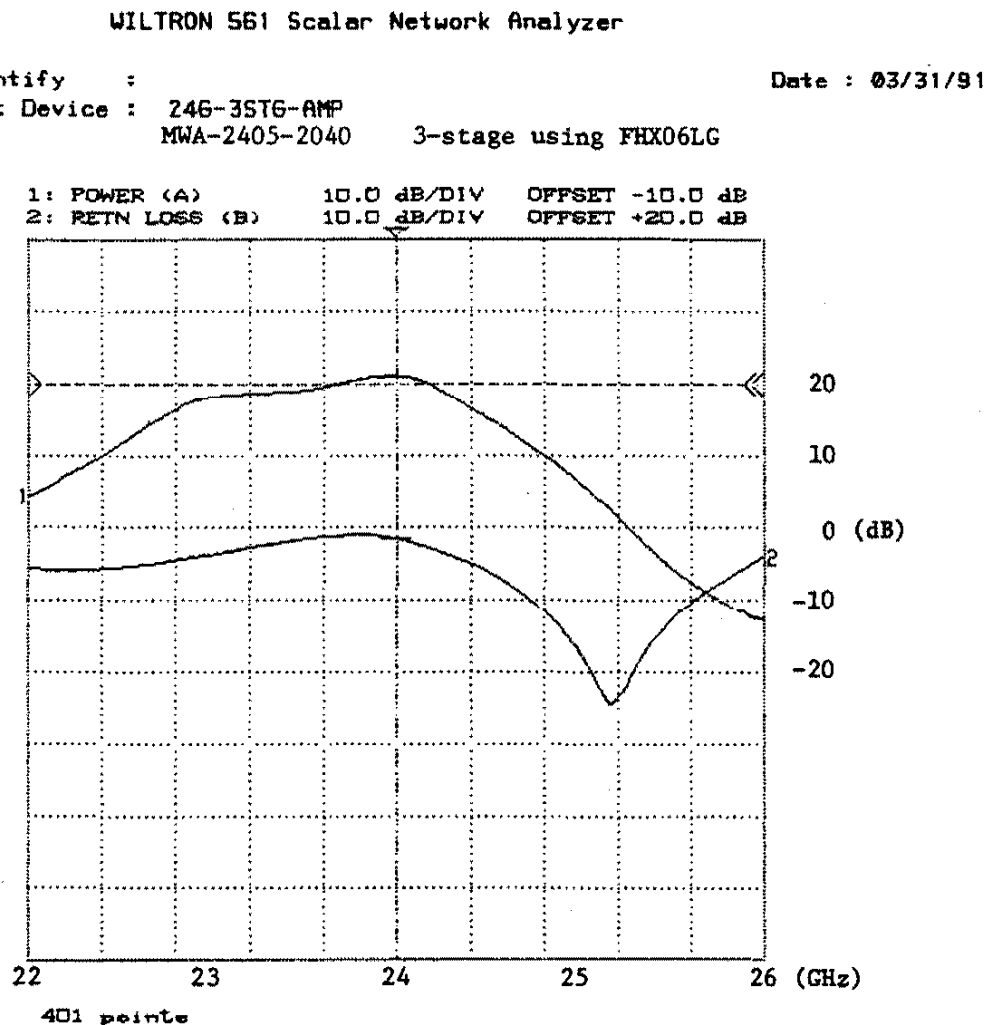
## 1. 24 GHz RX-Verstärker

### 1.1 Design

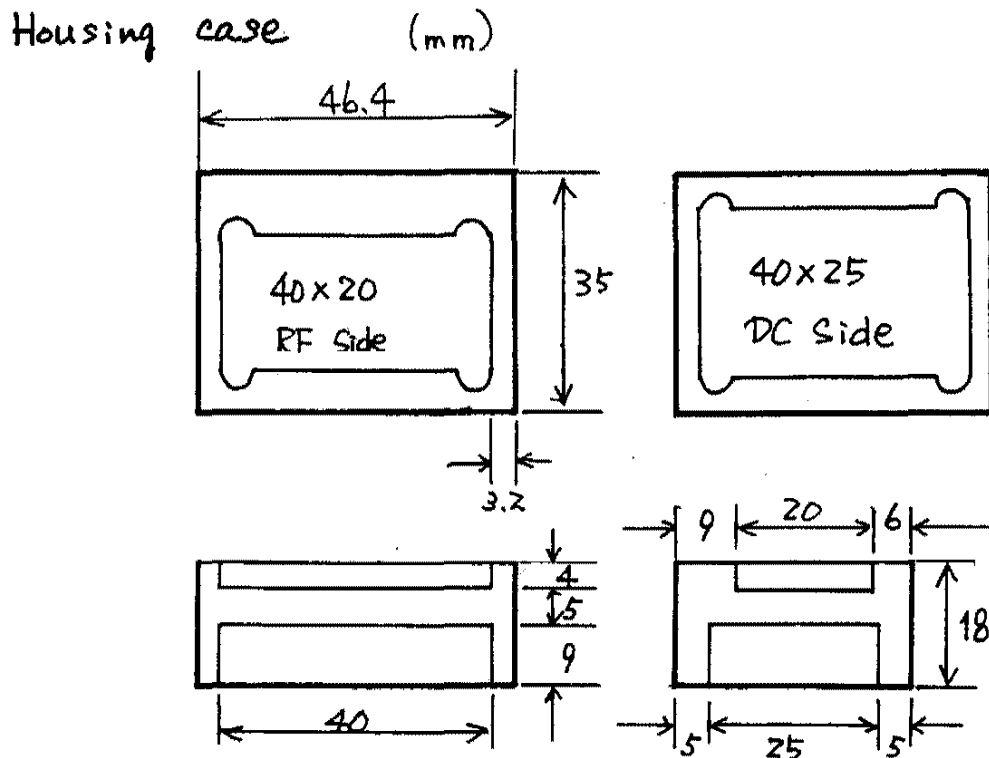
Der 24 GHz RX-Verstärker (LNA) hat drei Stufen und ist mit dem HEMT FHX06LG bestückt. Dieser Low-Cost HEMT ist bis 18 GHz charakterisiert, arbeitet aber noch zufriedenstellend auf 24 GHz. Die Kopplung zwischen den Stufen wird mit Viertelwellen-Schlitten erreicht (Bild 6). Das Schaltbild für den LNA zeigt Bild 4. Im Design sind keine Stichleitungen zum Abstimmen vorgesehen. Das geschieht nach dem Aufbau mit 'Fähnchen'. Die Gleichspannungsversorgung besteht aus einem 3 V Regler mit dem LM317 und dem üblichen ICL7660 für die negative Vorspannung.

### 1.2 Konstruktion

Die Platine wird mit maßhaltigen Klebestreifen (z.B. Klebeband zur Erstellung von Layouts) beklebt und die Mikrostriplines mit dem Messer (Skalpell) ausgeschnitten. Bild 6 zeigt, wie man die Kopplungsschlitten



Bild/Figure 8: 24 GHz LNA Gain&Return Loss



Bild/Figure 9: Standard Aluminium Box for Modules

ze in die Mikrostripline schneidet. Dazu ist ein Stereoskop<sup>1</sup> mit einer eingeblendeten Meßskala notwendig. Die fertige Leiterplatte<sup>2</sup> wird in das Alu-Gehäuse nach Bild 5 eingebaut. Die DC-Leitungen werden durch Durchführungs-Kondensatoren und Ferritperlen geführt. Die Abmessungen der Standard-Alu-Box sind aus Bild 9 zu entnehmen.

### 1.3 Meßwerte

Die Meßwerte sind sehr ermutigend. Der Rauschfaktor beträgt 4,05 dB bei 19,3 dB Verstärkung. Das wurde mit einem HP8970B mit Mikrowellen-Vorsatz und einer HP346C Rauschquelle gemessen. Die Ströme in den HEMT's liegen zwischen 12 und 20 mA, während die Spannungen bei 2 bis 2,4 V liegen.

Es gibt sicherlich noch Verbesserungsmöglichkeiten. Insbesondere kann die Verstärkung noch höher sein, da ich in einem einstufigen Prototyp-Verstärker 10 dB Verstärkung bei einer ähnlichen Rauschzahl erreicht habe. Mein Ziel sind folglich 30 dB Verstärkung für den LNA.

## 2. 24 GHZ HPA

### 2.1 Design

The design of the HPA follows closely the design of the LNA. In fact the layout are the same except the interstage coupling. This is performed by small cap's instead. Circuit diagram is displayed in Figure 10.

1 Ich besitze ein optisches Prüfinstrument, das für die Justage von Druckerköpfen bei IBM eingesetzt wird. Ich bekam es von einem Freund geschenkt und kann damit 0,05 mm auflösen.

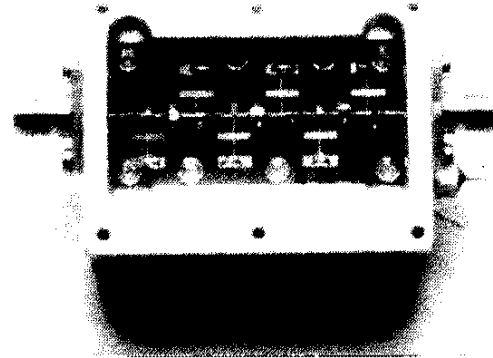
2 Das Basismaterial ist ARLON Cu-Clad 250GT-0102-0505. Die Dicke beträgt 0,25 mm und das Er ist 2,5.

First stage works with a HEMT FHX06LG running at 3.6 Volts (Over ratings!) and 30 mA. Second stage is equipped with FLR014FH and runs at 10 Volts with 40 mA. Third stage utilizes FLR024FH and runs at 10 Volts and 50 mA.

Der FLR014 specified on 18 GHz with 6.5 dB gain and  $P_{1dB}$  of 19.5 dBm. The FLR024 provides 5.5 dB gain at  $P_{1dB}$  of 22.5 dBm. Both are MES-FET's, not HEMT's.

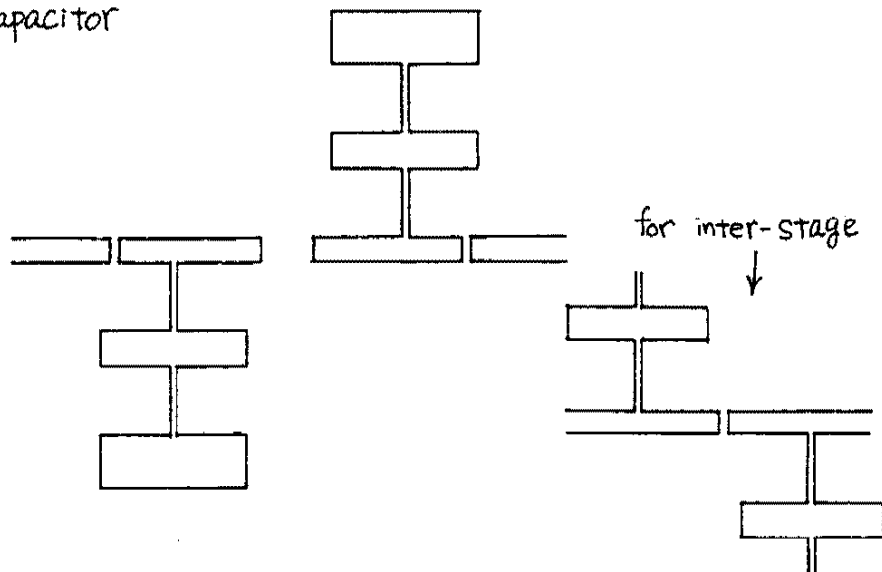
## 2.2 Construction

Construction also follows closely the LNA. Interstage coupling is provided by 0.75 pF chip C from Murata (GRM39/See Figure 11). It's size is 1.6 x 0.8 mm. Housing is alu-box of figure 10.



Bild/Figure 10: 24 GHz HPA

using chip capacitor



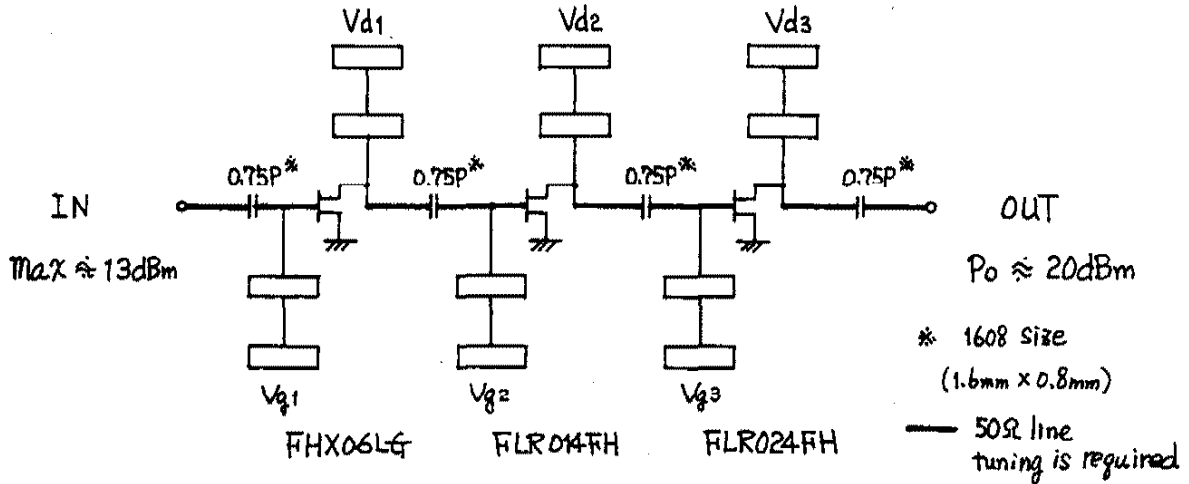
Standard PCB Size is 40 x 20 (mm) for 3stage amp. etc.

Bild/Figure 11: 24 GHz HPA: Interstage Coupling

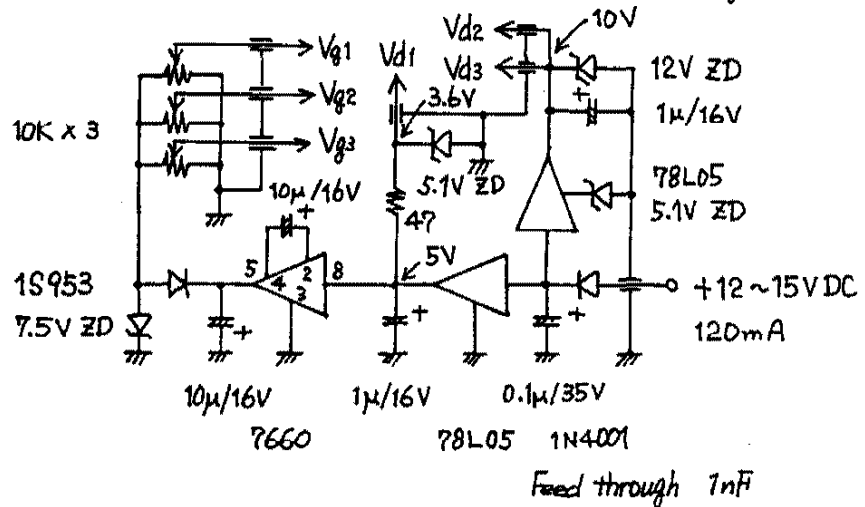


4-18-'91  
JE1AAH

# 24 GHz HPA



## Bias



- $P_{sat}$  20.0dBm (Gain 18dB at this level)
- $P_{1dB}$  17.0dBm
- Gain 23.0dB (Small signal gain up to 16~17dBm  $P_o$  level)

Bild/Figure 12: 24 GHz HPA Circuit Diagram

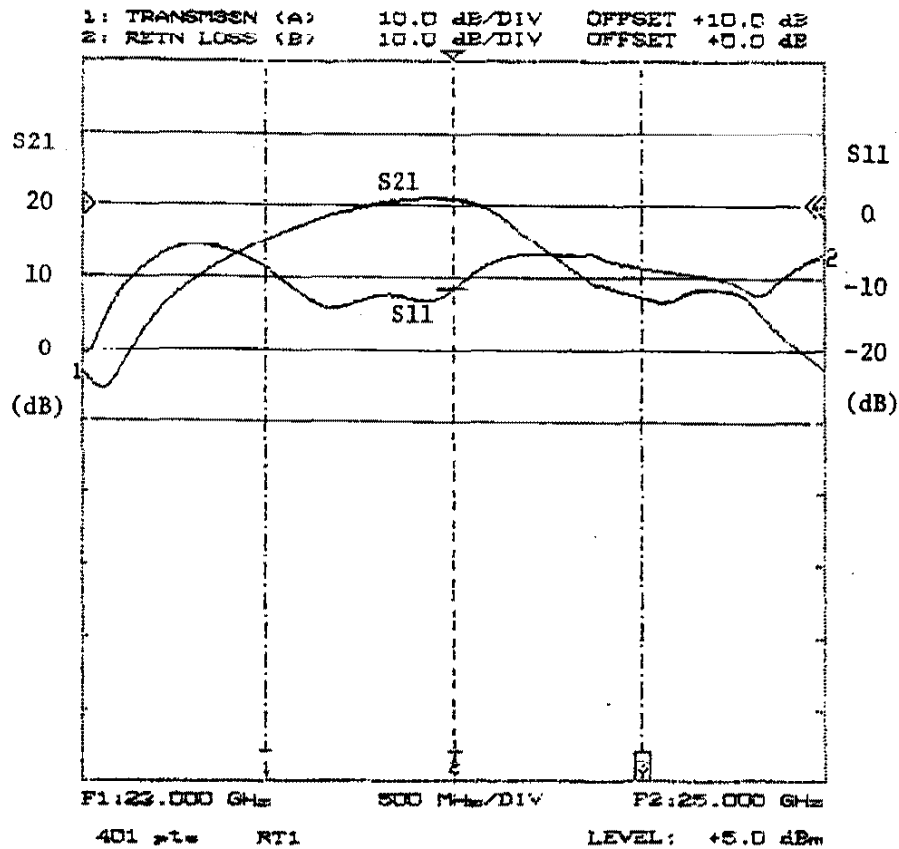
## 2.3 Results

Performance is 22 dB gain at  $P_{1dB}$  of 17 dBm. Low level gain is 23 dB and at 20 dBm output gain drops to 18 dB. Gain and input return loss can be seen from Figure 12.

WILTRON 562 Scalar Network Analyzer

Identify :  
 Test Device : MWA-2405H-20

Date : 05/12/91  
 Source : 8350B



Bild/Figure 13: 24 GHz HPA Gain & return Loss

## 2. Leistungsverstärker

### 2.1 Design

Das Design ist ähnlich dem LNA, aber die Stufen sind verschieden bestückt. Die erste Stufe läuft mit dem HEMT FHX06LG bei 3,6 V und 30 mA. Die zweite Stufe ist mit dem FLR014FH bestückt, der bei 10 V und 40 mA arbeitet. Die dritte Stufe arbeitet mit dem FLR024FH und wird mit 10 V und 50 mA betrieben.

Der FLR014 ist bei 18 GHz mit 6,5 dB Verstärkung bei 19,5 dBm Ausgangsleistung spezifiziert. Der FLR024 ist bei 18 GHz mit 5,5 dB Verstärkung bei 22,5 dBm Ausgangsleistung angegeben.

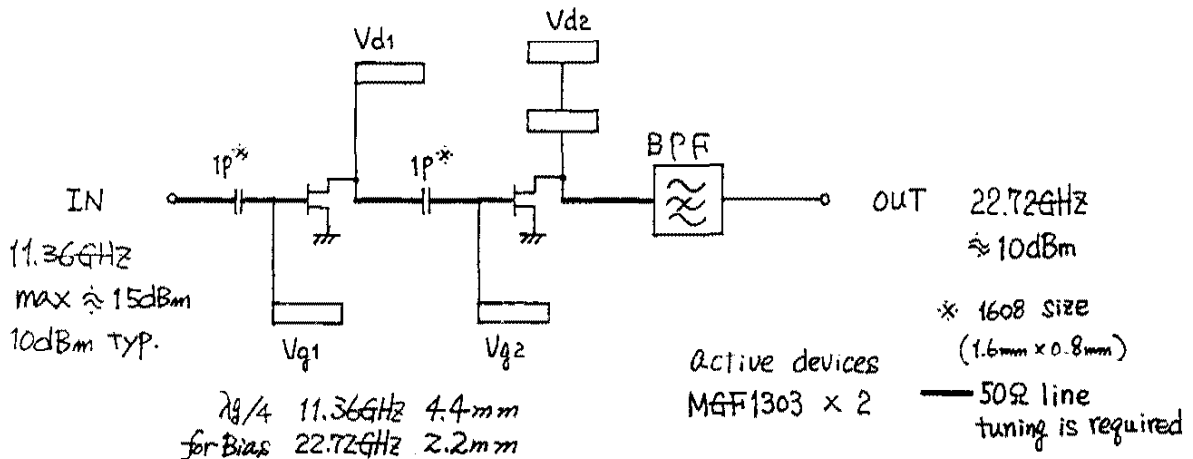
### 2.2 Konstruktion

Die Konstruktion erfolgt wie beim LNA. Nur die Kopplung zwischen den Stufen wird mit 0,75 pF Chip-Kondensatoren (Murato GRM39/Bild 11) ausgeführt. Die Größe dieser Kondensatoren ist 1,6 x 0,8 mm.

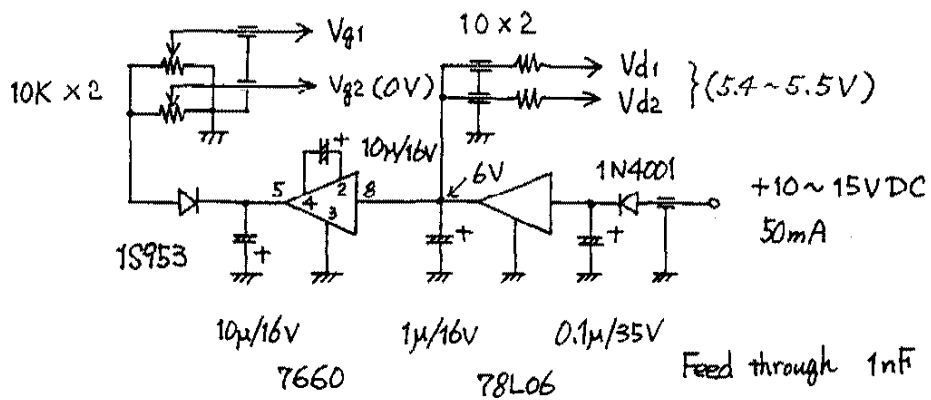
4-18-91

JE1AAH

11.36GHz → 22.72GHz Multiplier Unit

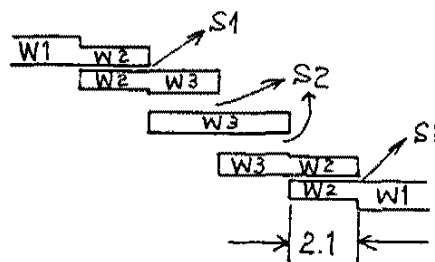


Bias



BPF

$f_c$  22.72 GHz  
 B/W 500MHz  
 $t = 0.25$  mm  
 $\epsilon_r = 2.5$



dimension of BPF

Width of line  
 W1 0.7 mm  
 W2 0.5 mm  
 W3 0.6 mm  
 Slit  
 S1 0.06 mm  
 S2 0.91 mm

\* Expl. result

$P_{in}$  11.36GHz 11.1dBm (≈ 13mW)  
 $P_{out}$  22.72GHz 9.5dBm (≈ 8.9mW)

Length of  $\lambda_g/4$   
 2.1 mm

Bild/Figure 14: Circuit Diagram LO-Doubler

### 2.3 Meßwerte

Bild 12 zeigt die Verstärkung mit 23 dB im Kleinsignalbetrieb. Der 1 dB Kompressionspunkt wird bei 17 dBm erreicht. Bei 20 dBm Ausgangsleistung ist die Verstärkung nur noch 18 dB.

## 3. 11.4 GHz LO-Doubler

### 3.1 Design

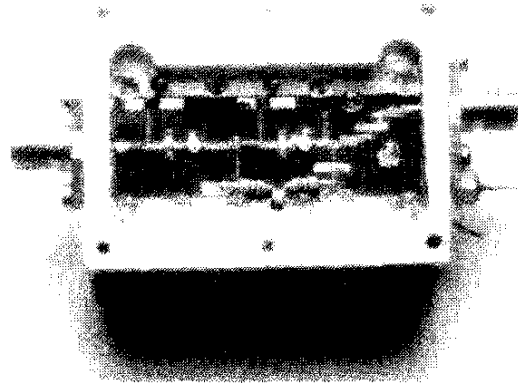
The LO-doubler provides two stages and a bandpass filter at the output (Figure 13). The stages are equipped with MGF1303. The bandpass filter is a 3-element side-couple filter with an insertion loss of 5 dB at a bandwidth of 500 MHz at a center frequency of 22.72 GHz. The same filter with different tuning is used on the T/R-module also.

### 3.2 Construction

Construction is with LNA and HPA: Cut and try.

### 3.3 Results

Output power is 10 dBm with 10 dBm input power. Gain is just 1. MGF's are running at 5.4V. Spurious level is about - 30 dB down.



Bild/Figure 15: LO-Doubler

## 3. 11,4 GHz Verdoppler

### 3.1 Design

Der Verdoppler von 11,36 GHz auf 22.72 GHz arbeitet mit 2 Stück MGF1303. Im Ausgang ist ein 3-Element Mikrostripline Bandfilter, das auf einer Mittenfrequenz von 22.72 eine Bandbreite von ca. 500 MHz und 5 dB Verlust hat. Das gleiche Filter wird auch im T/R-Modul für den RX und TX verwendet.

### 3.2 Konstruktion

Die Konstruktion ist wie üblich: Schneide und versuche es.

### 3.3 Meßwerte

Der Verdoppler hat 10 dBm Ausgangsleistung bei ebenfalls 10 dBm Eingangsleistung. Die MGF's werden mit 5.4 V betrieben. Die Nebenwellen sind mit ca. 30 dB unterdrückt.

The description will be continued in DUBUS 3/1991.

Die Beschreibung wird in DUBUS 3/1991 fortgesetzt.

# 24 GHz Transverter with HEMT's

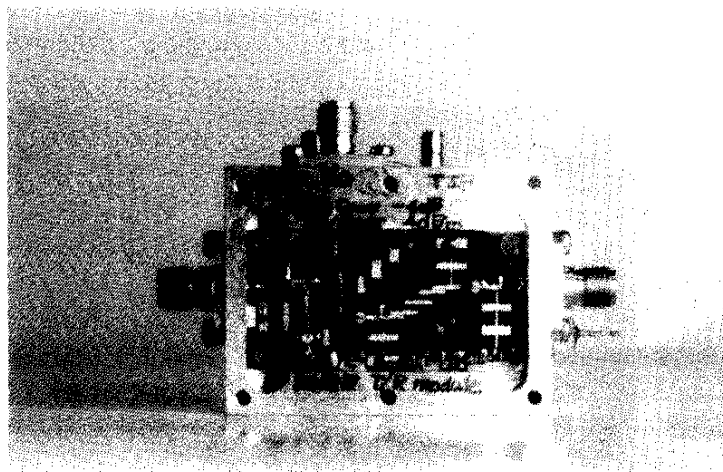
Toshihiko Takamizawa, JE1AAH  
Parktown 21-502 946-16  
Kitahassaku-cho Midori-ku  
Yokohama 226, Japan

(Part II)

## 1. 24 GHz T/R-Module

### 1.1 Design

The 24 GHz T/R-Module (Figure 1) uses active mixers for RX and TX with HEMT's, and a stripline bandpass filter for the TX-chain. Active mixers are preferred, because some trials with 1SS105 diode mixers indicated a conversion loss of 12 - 14 dB. The 24 GHz Bandpass filter is a 3 element side coupled



Bild/Figure 1: 24 GHz T/R-Module

filter on teflon board.. Figure 4 indicates a loss of 6 dB and a bandwidth of 500 MHz. This type of filter is integrated for the TX-chain and used in an extra cabinet for the RX-side. Details of the T/R-module circuit can be seen from Figure 2. The artwork is shown in Figure 5.

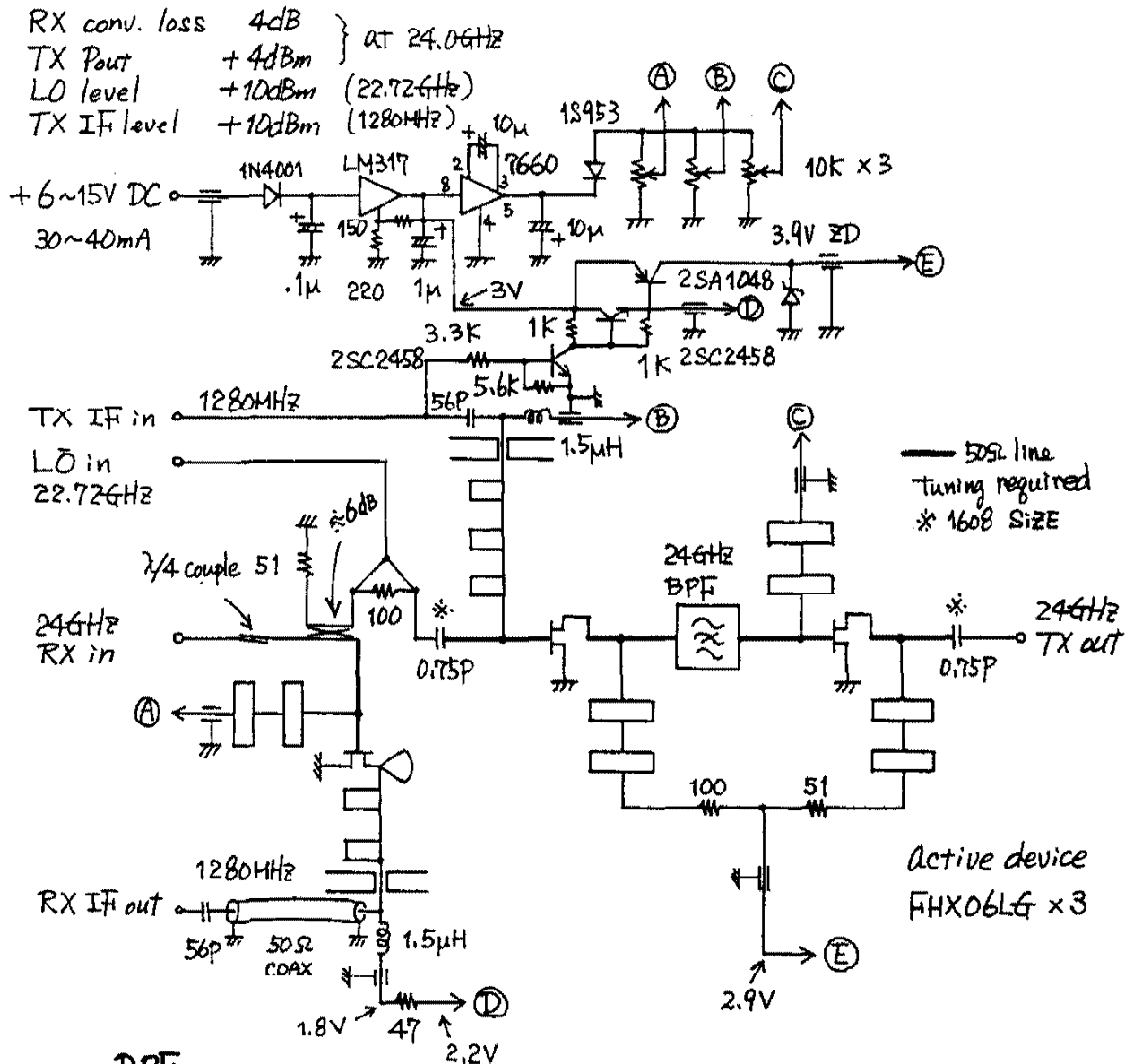
### 1.2 Construction

Because of a misunderstanding of the editor the fabrication technique of the PCB should be clarified. In fact is an chemical etching process, but there is no photographic technique involved. Instead the pattern is directly taped to the board. This tape is available in sizes from 0.05 to 4

mm. As an example the construction of a  $\lambda/4$  coupling slit is demonstrated in Figure 4. A knife is only used for error correction of inadequate etching time.

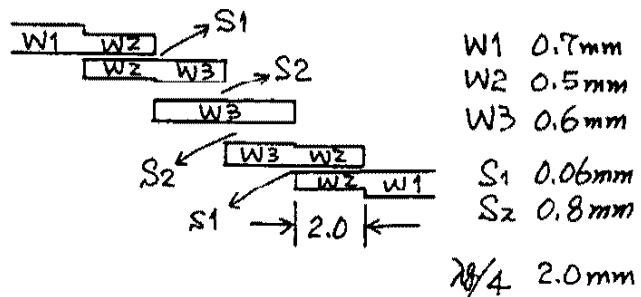
\* Sorry, I mixed the explanations of Toshi in the first part of the article. DJ9BV, Editor.

# 24 GHz T/R Module



## BPF

$f_c$  24.0GHz  
 B/W 500MHz  
 $\epsilon_r$  2.5  
 $t$  0.25mm



Bild/Figure 2: 24 GHz T/R-Module Circuit Diagram

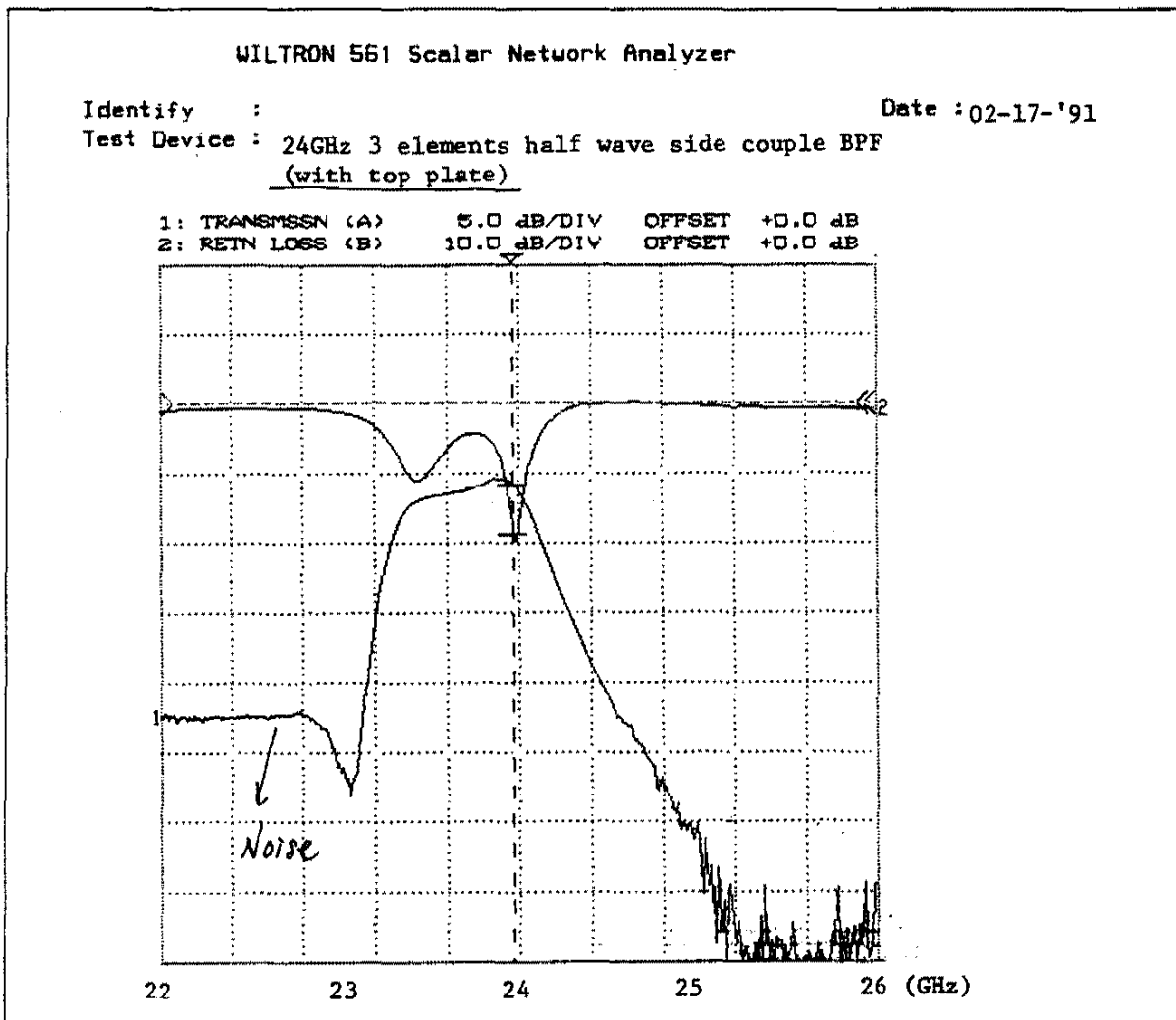
The cabinet of the T/R-module is a standard aluminium box Of 20 x 40 mm size, which seems rather small for such a complex circuit.

### 1.3 Results

Performance data on 24 GHz are as follows:

RX Conversion loss: 3.5 dB  
TX Output Power: 4.5 dBm  
LO Input Power: 10 dBm @ 22.72 GHz  
IF Input Power: 10 dBm @ 1280 MHz  
TX Spurious Level: < - 40 dBc

Figure 6 shows output spectrum of the 24 GHz transverter over the full range. It seems to be exceptionally clean for such a microwave circuit. Close in performance is shown in figure 7.

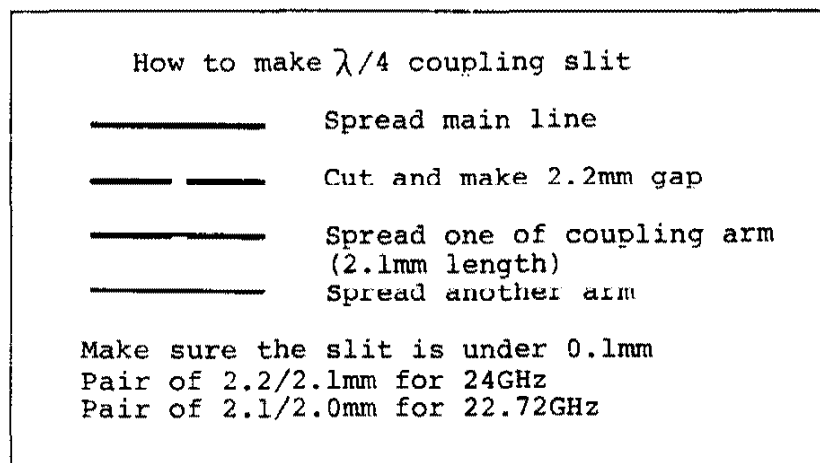


Bild/Figure 3: 24 GHz BPF Gain&Return Loss

## 1. 24 GHz T/R Modul

### 1.1 Design

Das T/R-Modul (Bild 1) benutzt aktive Mischer mit FHX06 HEMT's für den Sende- und Empfangszweig. Nach Versuchen mit Diodenmischern (1SS105), die eine Durchgangsdämpfung von 12 - 14 dB zeigten,



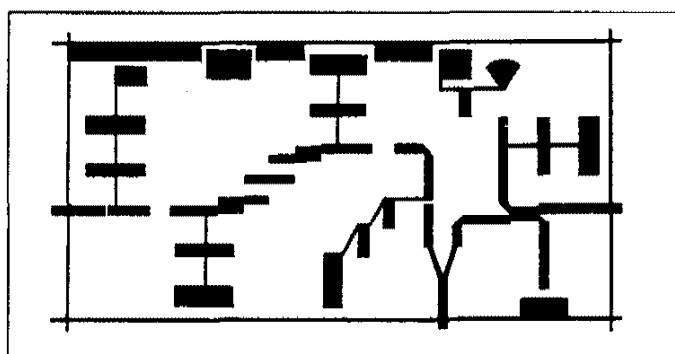
erwiesen sich die aktiven Mischer als problemloser. Das 24 GHz Bandfilter im Sendezweig ist ein 3-poliges seitengekoppeltes Striplinefilter auf dem Teflonsubstrat. Bild 4 zeigt eine Durchgangsdämpfung von 6 dB bei einer Bandbreite von 500 MHz. Die Details der Schaltung sind in Bild 2 zu erkennen. Das Layout zeigt Bild 5.

Bild/Figure 4: Etching Technique for Slits

### 1.2 Konstruktion

Wegen einer mißverständlichen Beschreibung im letzten

Heft folgt noch mal eine kurze Darstellung des Herstellungsprozesses der gedruckten Schaltung. Die Schaltung wird mit 'Tapes' auf das Teflonboard aufgebracht und dann chemisch geätzt. Das ist für mich einfacher als ein photographisches Verfahren. Diese 'Tapes' gibt es in Breiten von 0.05 bis 4 mm. Als Beispiel wird in Bild 4 die Herstellung eines  $\lambda/4$  Kopplungsschlitzes gezeigt. Ein Skalpell wird nur zur Korrektur von Fehlern, die durch falsche Ätzzeit entstehen, benutzt.



Bild/Figure 5: T/R-Module Artwork

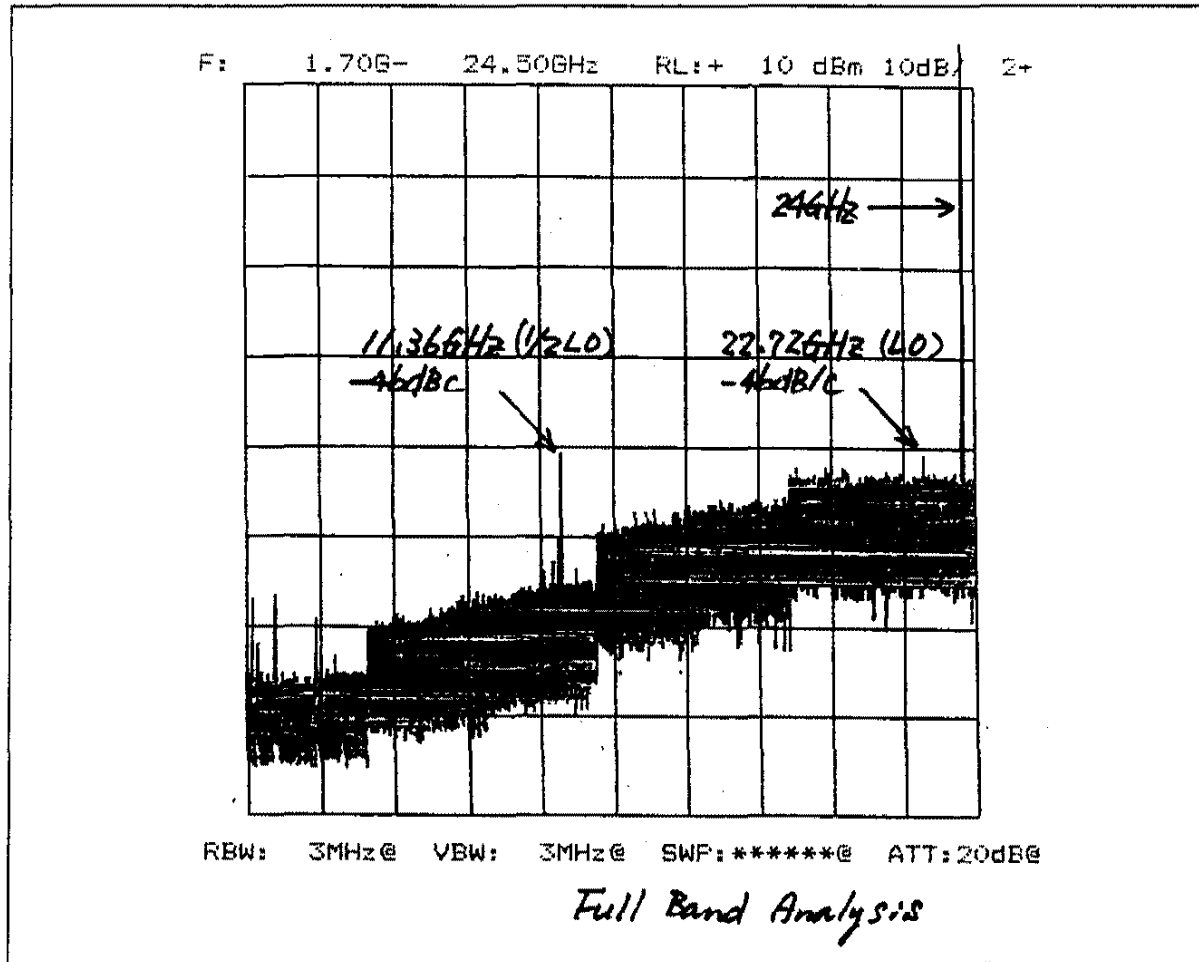
### 1.3 Meßwerte

Die Meßwerte des T/R Moduls auf 24 GHz zeigt die folgende Tabelle:

RX Mischdämpfung:	3.5 dB	
TX Ausgangsleistung:	4.5 dBm	
LO Eingangsleistung:	10 dBm	
ZF Eingangsleistung:	10 dBm	auf 1280 MHz
TX Nebenwellen:	< -40 dBc	

Das Ausgangsspektrum des Transverters zeigt Bild 6 über den vollen Bereich von 1,7 GHz bis 24,5 GHz. Die Nahbereichsnebenwellen zeigt Bild 7.





Bild/Figure 6: Output Spectrum

## 2. 11.36 GHz LO

### 2.1 Design

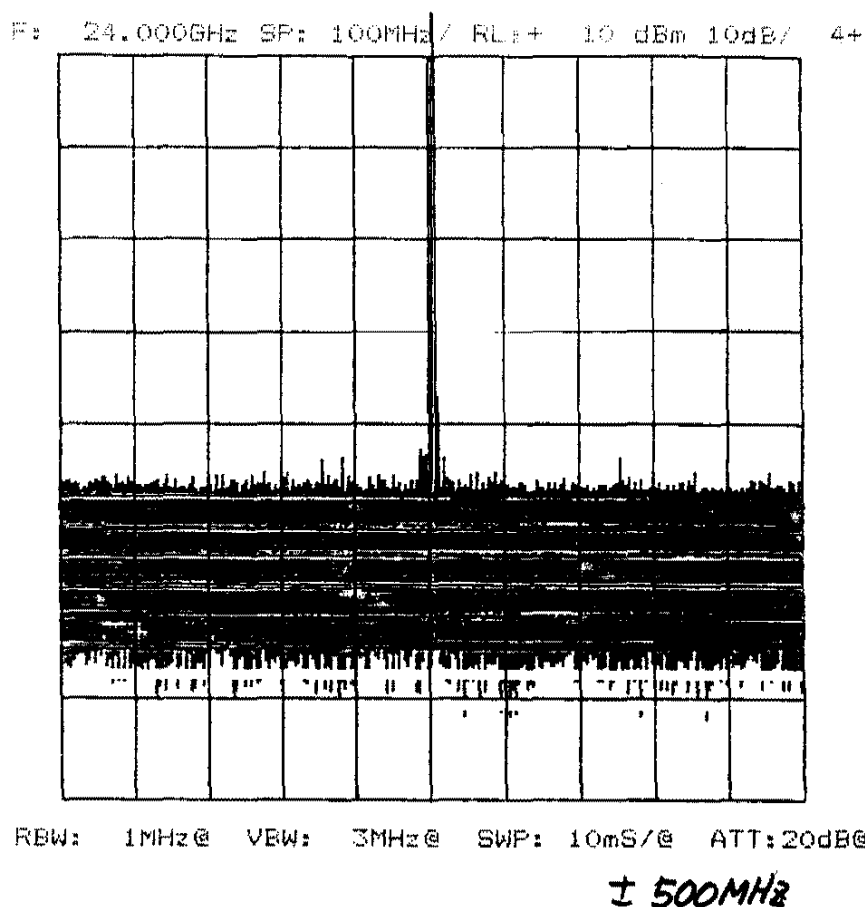
Because of availability problems the development of the 11.36 GHz PLL has been delayed. It will follow in Part III at the end of 1991.

To have the transverter ready I decided to construct a x 10 multiplier for my 1136 MHz PLL-oscillator, which has been used successfully in the 10 GHz and 5.7 GHz transverters. The circuit diagram is shown in Figure 8. After a x 5 multiplier and a stripline bandpass an amplifier with a MGF1402 raises the level for the last doubler stage with a MGF 1403. Three bandpass-filters in microstripline technique are involved for maximum spectral purity and no tune operation.

The 5.76 GHz filters can be seen in Figure 9 and Figure 10. The 11.36 GHz filter is shown in Figure 111.

### 2.2 Construction

The module is shown in figure 12. PCB-Layout is shown in Figure 13.



Bild/Figure 7: Output Spectrum Close In  $\pm$  500 MHz

## 2.3 Results

Phase noise of the oscillator is not very good because of the high multiplication factor of 20. This suffices for NFBM but may be a bit noisy for SSB. Spurs on the output signal can be seen in Figure 14, which shows the 12.8 MHz sidebands of the basic PLL on 1136 MHz.

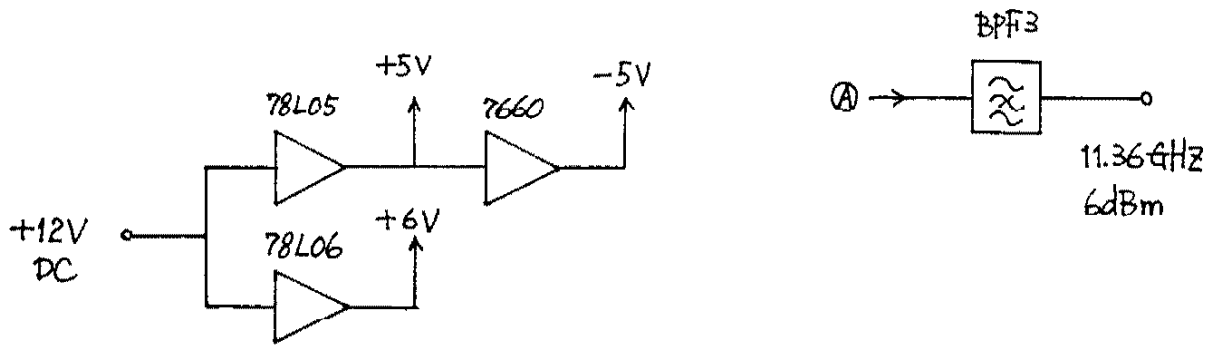
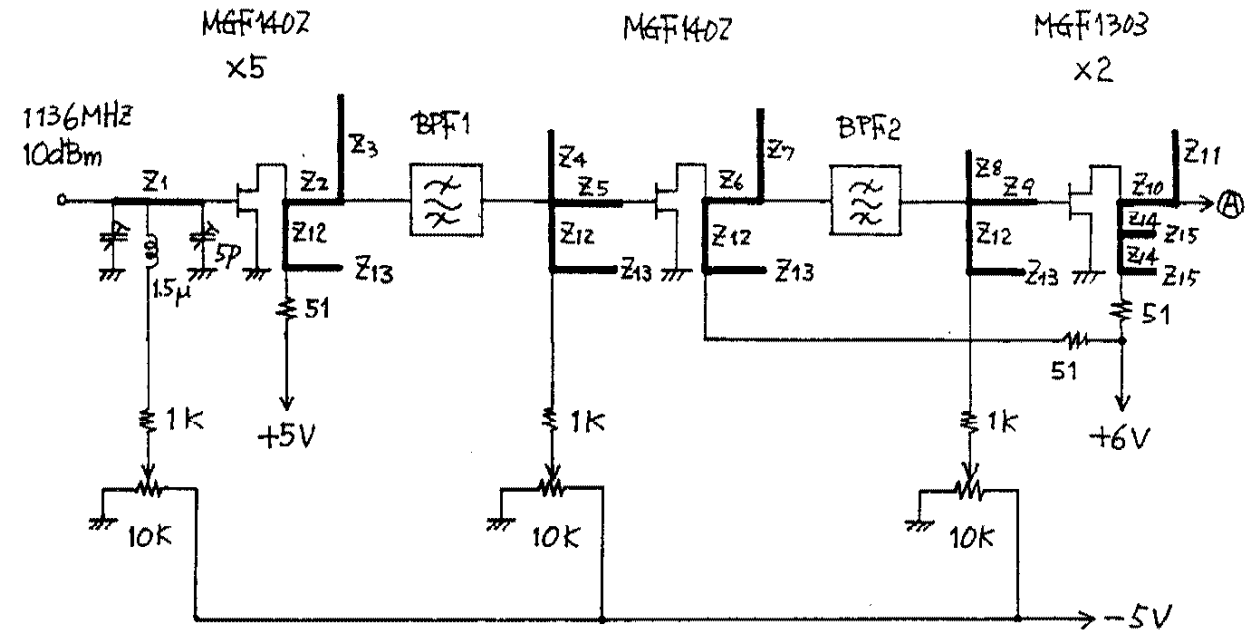
## 2. 11,36 GHz LO

### 2.1 Design

Da es Beschaffungsprobleme gab, wurde die Entwicklung des 11,36 GHz DRO-PLL's verzögert. Diese Beschreibung folgt in Teil III Ende 1991.

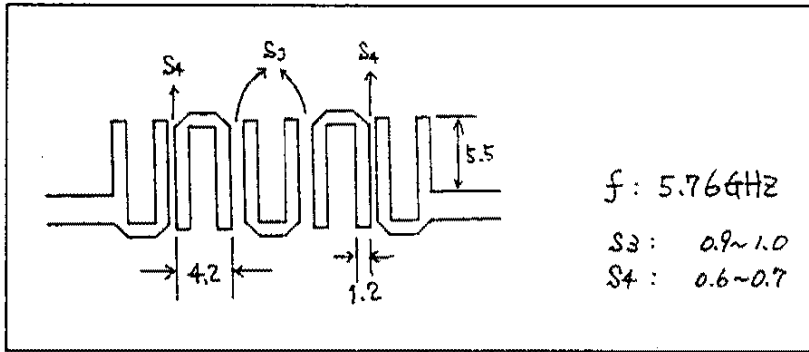
Um schon mal den Transverter betreiben zu können, habe ich einen Verzehnfacher konstruiert, der mit dem 1136 MHz PPL-Oszillator, wie er in meinem 10 GHz Transverter verwendet wird, ein 11,36 GHz Signal erzeugt. Das Schaltbild zeigt Bild 8. Nach einer Verfünf-facher-Stufe folgen ein Microstriplinc-

# 11.36GHz Multiplier



	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	Z13	Z14	Z15	
imp.	50	—————→										120	40	120	40	(ΩL)
length	17.0	2.5	11.6	5.9	4.2	2.5	11.6	7.2	6.1	2.8	2.8	9.2	8.9	4.6	4.5	(mm)

Bild/Figure 8: x10 Multiplier Circuit Diagram



Bild/Figure 9: 5.76 GHz Bandpass

Bandfilter, eine Linearstufe, wieder ein Filter und dann ein Verdoppler mit nschgeschaltetem Filter auf 11,36 GHz.

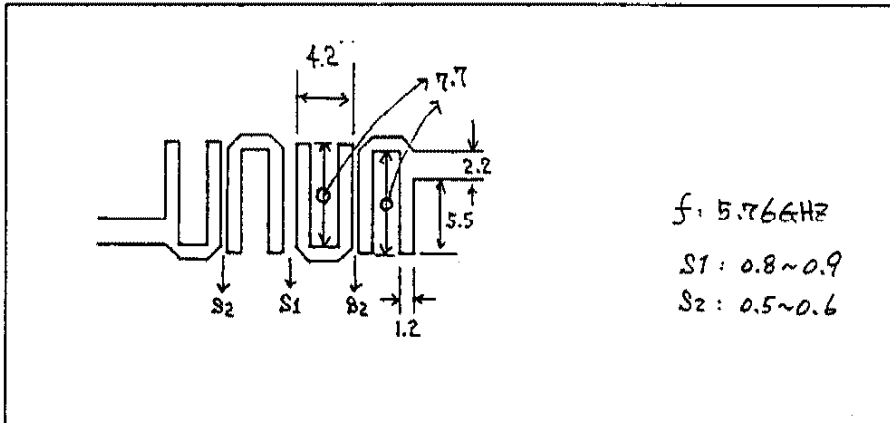
Der Aufbau der 5,76 GHz Filter wird in Bild 9 und 10 gezeigt. Das 11,36 GHz Filter zeigt Bild 11.

## 2.2 Konstruktion

Das fertige Modul im Aluminium-Gehäuse zeigt Bild 12.

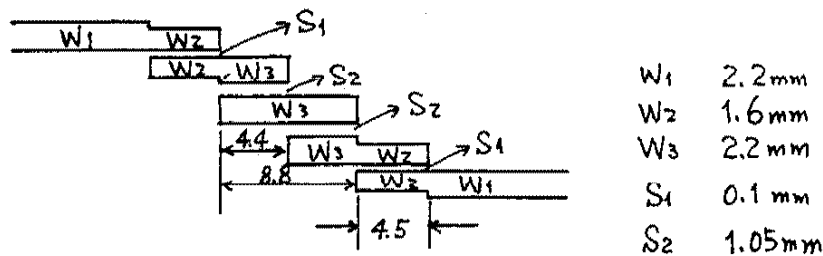
## 2.3 Meßwerte

Da der Multiplikationsfaktor mit 20 sehr hoch liegt, wird das Phasenrauschen des 1136 MHz PLL's nochmal um mindestens 26 dB schlechter. Daher ist dieses LO-Signal eher für NFBM-Betrieb als für SSB-



Bild/Figure 10: 5.76 GHz Bandpass

Betrieb geeignet. Das Ausgangssignal auf 24 GHz zeigt Bild 13.

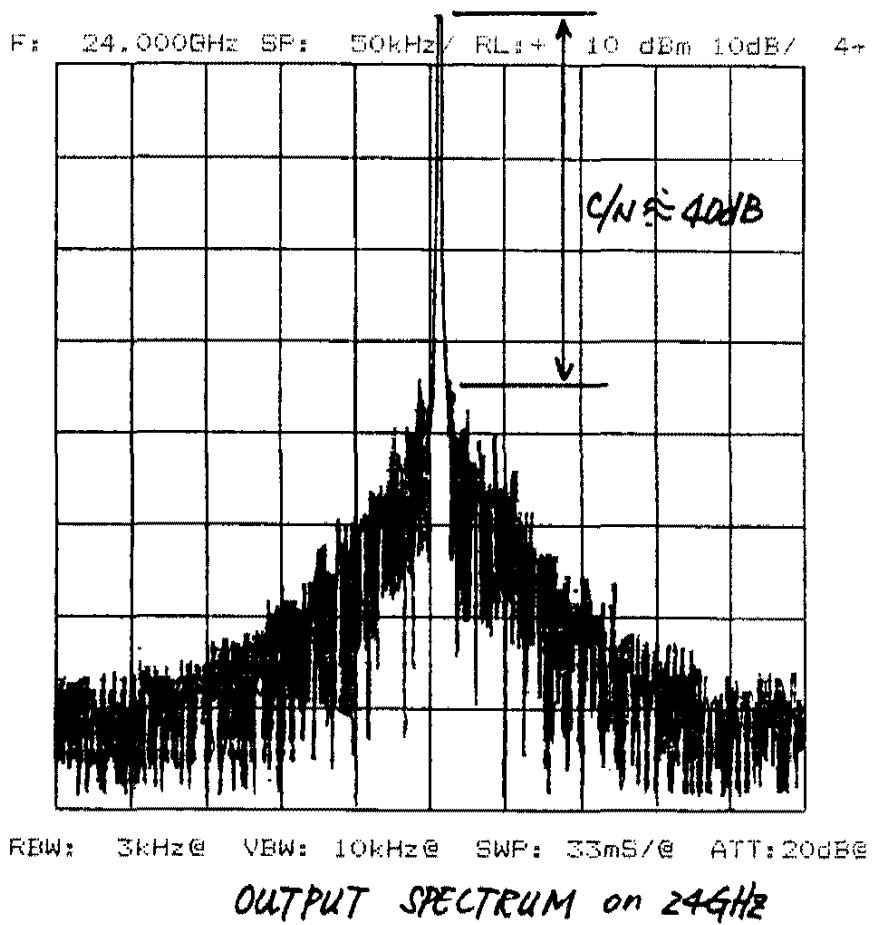


$3\text{dB B/W } 500 \text{ MHz}$   
 $f_c 11.36 \text{ GHz}$

Bild/Figure 11: 11.36 GHz Bandpass



Bild/Figure 12: x10  
Multiplier



Bild/Figure 13: Output Phase Noise on 24 GHz