

90W Transistor-PA für 1,3GHz

(A 90W Transistor PA for 1.3GHz)

Dieter Briggmann, DC6GC

Kurzbeschreibung: Ein Linearverstärker mit dem ERICSSON PTB-20174 Gegentakt-Transistor liefert auf 1,3GHz eine Ausgangsleistung von 90W bei einer Steuerleistung von 13W und einem Wirkungsgrad von 57%.

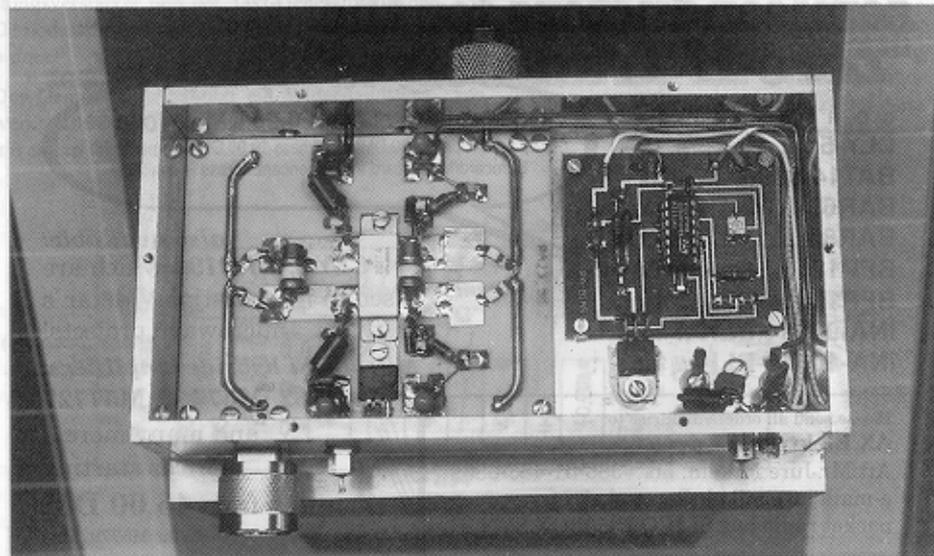
Abstract: A linear power amplifier with the ERICSSON PTB-20174 Push-Pull transistor delivers about 90W output with 13W drive power and about 57% efficiency on 1.3GHz.

1. Einführung

In der DUBUS 4/96 stellte Konrad Hupfer, DJ1EE eine Transistor-PA für 23cm mit Transistoren von

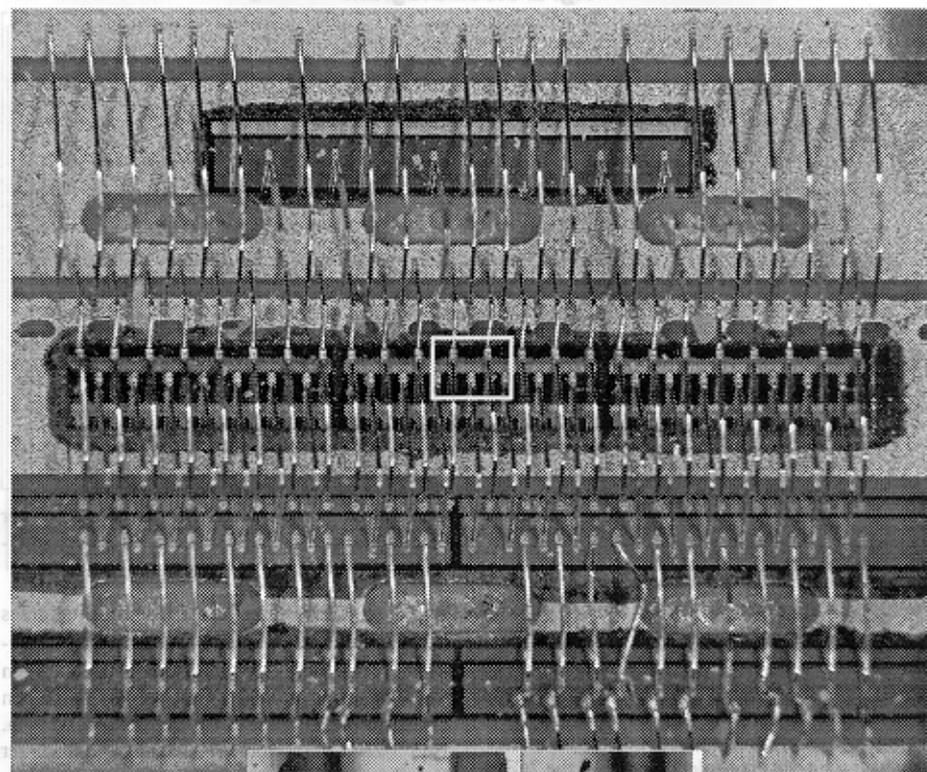
Motorola und MA/COM vor und beschrieb die Wirkungsweise der Gegentaktschaltung. Mittlerweile sind ähnliche Transistoren von Ericsson auf dem Markt, die gegenüber den genannten den Vorteil haben, daß sie „billiger“ sind und einen besseren Wirkungsgrad zulassen. Billig ist vielleicht etwas zuviel gesagt, denn billig sind die Transistoren nicht:

Ein Exemplar PTB 20174 kostet ca. 530 DM und es tut weh, wenn sich ein Transistor unter den Händen des bastelnden OM verabschiedet.



90 W PA for 23 cm

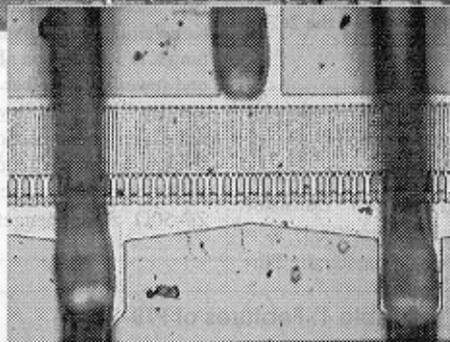
Fig. 1: Inside the PTB 20174



Man bekommt allerdings auch viel(e) Halbleiter für sein Geld, wie die Aufnahme des Innenlebens des Ericsson-Transistors in Bild 1 zeigt.

Die Endstufe wurde auf einem Platinenmaterial mit $\epsilon_r=3,38$ und $h=0,81\text{mm}$ realisiert.

Wie der Tabelle 1 zu entnehmen ist, konnte eine Ausgangsleistung von ca. 90W mit einem Wirkungsgrad von $\eta=57\%$ bei einer Steuerleistung von 13,8W erreicht werden. Diese Steuerleistung lieferte ein Yaesu FT-736R.



1. Introduction

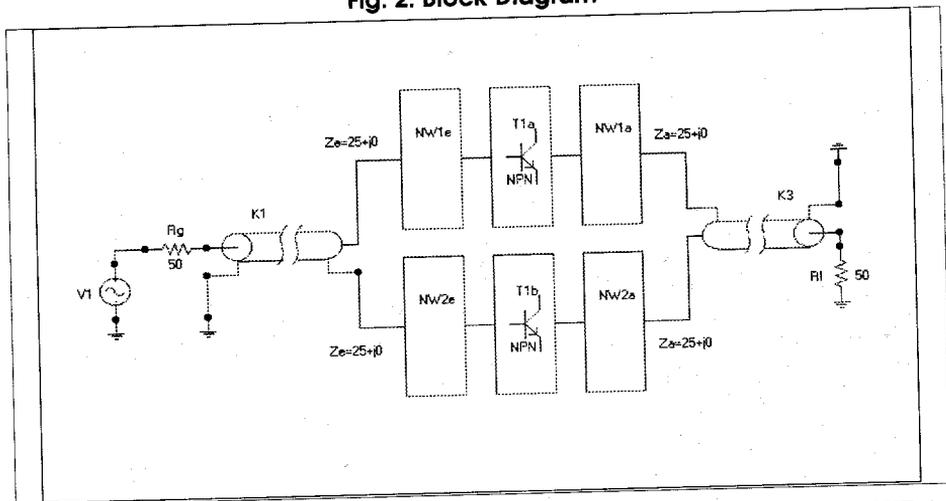
In DUBUS 4/96 (1/1) Konrad Hupfer, DJ1EE, introduced a PA for 1.3GHz based on Push-Pull transistors from MA/COM and MOTOROLA. These transistors are either very expensive or not available.

In the meantime a similar transistor from

ERICSSON, the PTB-20174 is available and moderate in pricing. Moderate in this case means that the transistors costs about DM 530,- (US\$ 300.00). This price, which may be not hamlike may give some headache, if this transistor is killed during operation or initial tuning.

Fig. (3a): Boun Function

Fig. 2: Block Diagram



But as shown in Fig. 1, you will get a lot of transistors for the money.

Table 1 shows, that the manufactureres data on 1490MHz can be verified on 1270MHz too. Output power is in excess of 90W with quite good linearity and an excellent efficiency of 57% when driven with a drive power of about 14W. This value is considerable better than with those obsolete modules (<30%) and even better than what can be achieved with those obsolete tubes like the 2C39.

2. Schaltung

Die Schaltung der Gegentakt-Endstufe basiert auf der bereits erwähnten PA von DJ1EE /1/.

Die Transformationsnetzwerke (NW1e, NW2e und NW1a, NW2a) sind für den Transistor PTB20174 und das Substrat (Rogers 4003, $\epsilon_r = 3,38$) neu berechnet worden und passen die Ein-

und Ausgangsimpedanzen ZIN bzw. ZOUT der beiden Transistoren an einen Quell- bzw. Lastwiderstand von jeweils 25 Ω an.

Bild 2 zeigt das Prinzip der Endstufe. Ein kurzes ($< 1/4 \lambda$) Stück Koaxleitung K1 dient der Symmetrierung und der Erzeugung der gegenphasigen Schwingungen (s. Bild 3), mit denen die beiden Transistoren T1a und T1b angesteuert werden. Bild 3 zeigt die Symmetrierschaltung mit kurzer Koaxleitung. Die Spannung am Eingang der Leitung K1 (3. Zeile von oben) erscheint gegenphasig und jeweils mit halber Amplitude an den Widerständen RL1 (1. Zeile von oben) und RL2 (zweite Zeile von oben). Analog werden die Ausgangsschwingungen nach Durchlaufen der Anpaßnetzwerke über ein kurzes Stück Koaxleitung mit $Z_0 = 50 \Omega$ zusammengefaßt. Die Funktionsweise

Table 1: Features of PTB-20174

Data	Power Gain (dB)	Output Power (W)	Efficiency (%)	Bias Current (mA)
Manufacturer @ 1490 MHz	8.3(typ.)	> 90	56	250
Measurements @ 1270 MHz	8.1	> 90	57	300

Fig. 3: Balun Circuit with short coaxial line

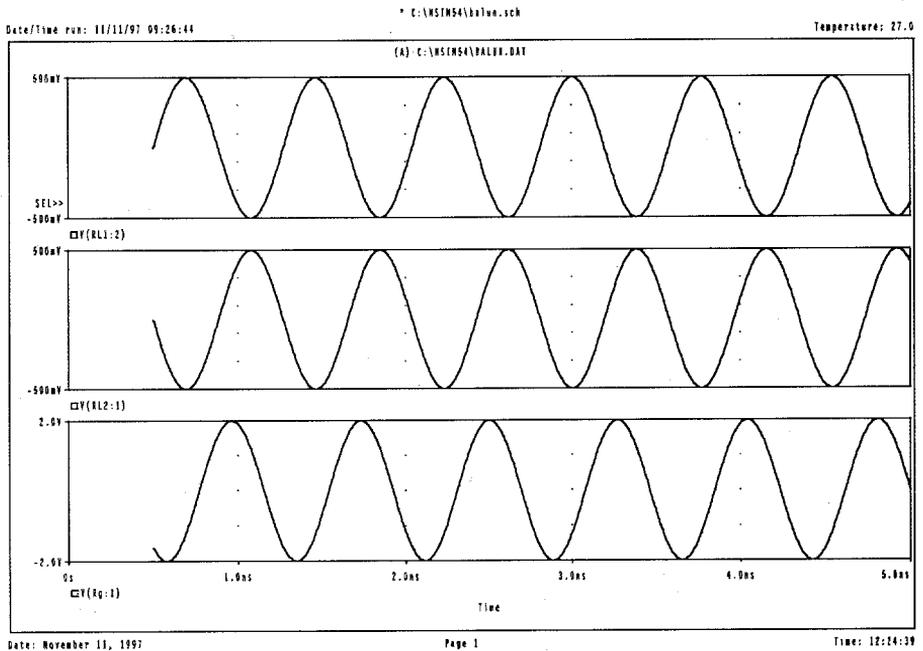
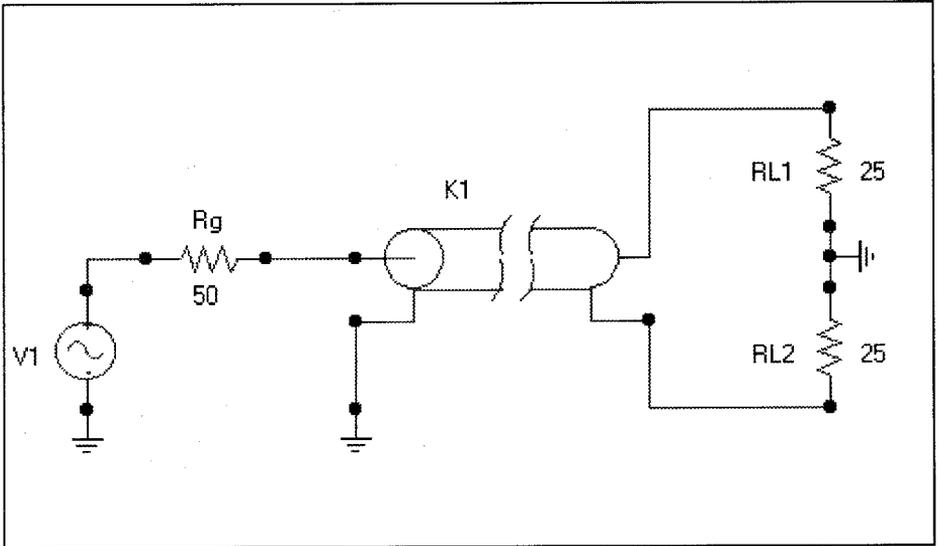
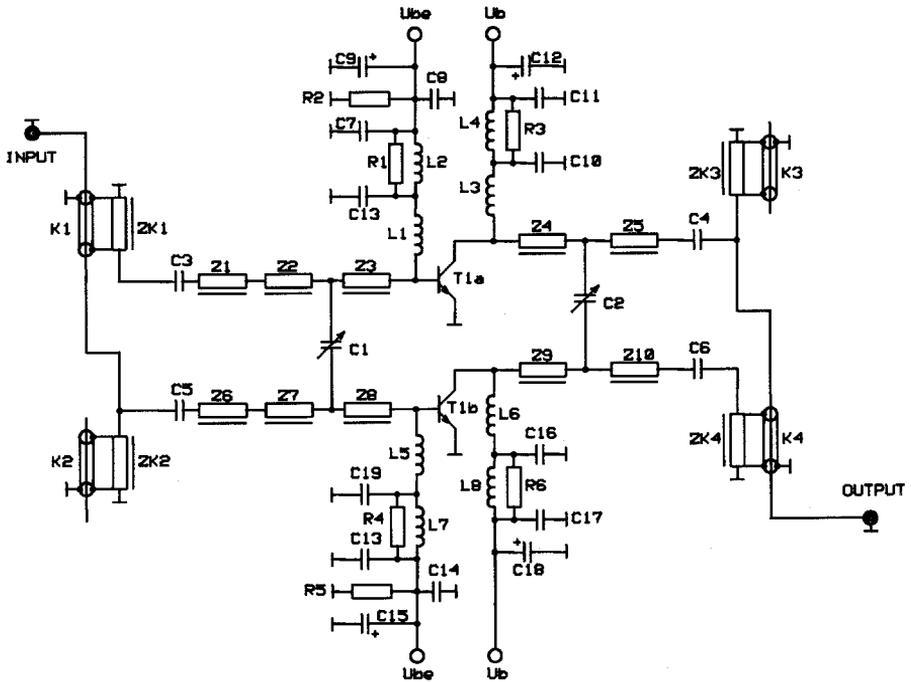


Fig. (3a): Balun Function

Fig. 4: Circuit Diagram

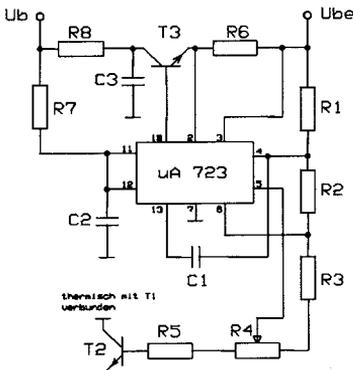


dieser Symmetrierschaltung kann in /3/ nachgesehen werden.

Die detaillierte Schaltung der PA ist in Bild 4 wiedergegeben. Gegenüber dem Prinzip des Bildes 2 fällt auf, daß zur Symmetrierung zwei Koax-

leitungen eingesetzt werden. Der Grund hierfür ist, daß der am Eingang mit Masse verbundene Außenleiter der Symmetrierleitung K1 zur mechanischen Fixierung auf einen Streifenleiter ZK1 aufgelötet wird. Dieser Streifenleiter mit aufgelö-

Fig. 5: Bias Circuit



Parts for Bias-Board

Des.	Part
T2, 3	Transistor BD243
R1, 4, 7	Resistor, 1k
R2	Resistor, 18k
R3	Resistor, 8k2
R5	Resistor, 150Ω
R6	Resistor, 2Ω/0.5W
R8	Resistor, 47Ω/5W
C1	Capacitor, 1nF/100V
C2, 3	Capacitor, 100nF/50V

Fig. 6: PCBs for PA and Bias Circuit

tem Koaxleiter würde nur einen Eingang des Verstärkers, nämlich T1a belasten. Zur Wiederherstellung der Symmetrie wird an den zweiten Eingang, der mit dem Innenleiter von K1 verbunden ist, zusätzlich der Außenleiter einer zweiten Koaxleitung K2 angeschlossen. Damit die vier Koaxleitungen K1- K4 die Anpaßschaltungen NW1, NW2 nicht verstimmen, werden sie auf am Ende kurzgeschlossene Streifenleitungen ZK1 - ZK4 der Länge $l/4\lambda$ ($l=23$ cm) aufgelötet. Diese Leitungen haben die Eigenschaft, einen Kurzschluß am Ende in einen Leerlauf an den Anfang (sehr große Eingangsimpedanz) zu transformieren.

Wählt man für die Streifenleitungen einen Wellenwiderstand von $Z_0 = 38\Omega$, so ergibt sich für das verwendete Platinenmaterial mit $\epsilon_r^{eff}(Z_0) = 2,8$ eine Länge von $l = 35,3$ mm. Damit ist auch die Länge $l = 35,3$ mm für die 50Ω -Koax-Symmetrierleitungen festgelegt.

Bild 6 zeigt die Platine für die Endstufe und die Platine für die Vorstromerzeugung (bias). Der Temperaturfühler (Transistor T2) liegt mit seinem Kollektor thermisch und elektrisch direkt auf "Masse", daher wird hier der PN-Übergang Kollektor-Basis genutzt. Der Transistor BD 243 muß isoliert auf dem Gehäuseboden (Glimmerscheibe) montiert werden. Die Vorspannungsschaltung wird mit einer Spannung von 12...14V betrieben und erlaubt darüber auch die Umschaltung zwischen Senden und Empfang.

2. Circuit Description

Basically the circuit of this PA stems from Konrad Hupfer, DJ1EE. The transformation networks (NW1e, NW2e and NW1a, NW2a) have been recalculated to accommodate the transistor PTB 20174 and the substrate Rogers 4003 with an

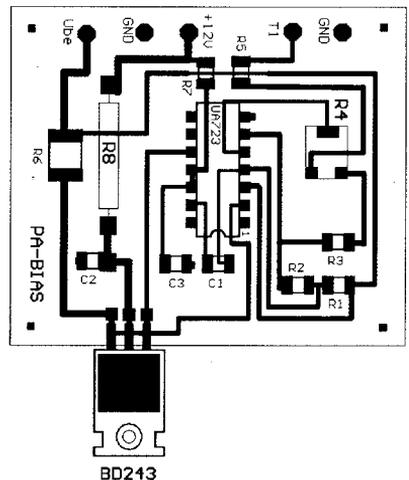
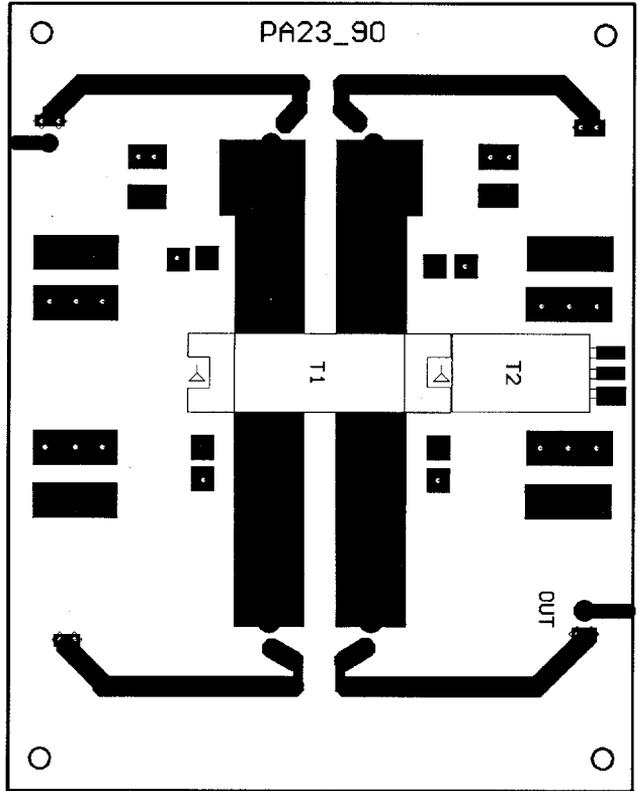


Fig. 7: Output Power P_o and Current I_c vs. Drive Power

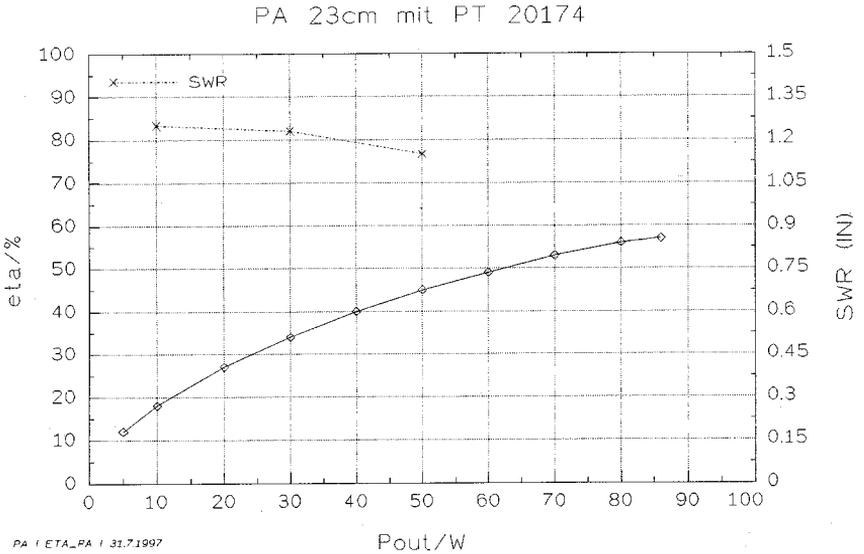
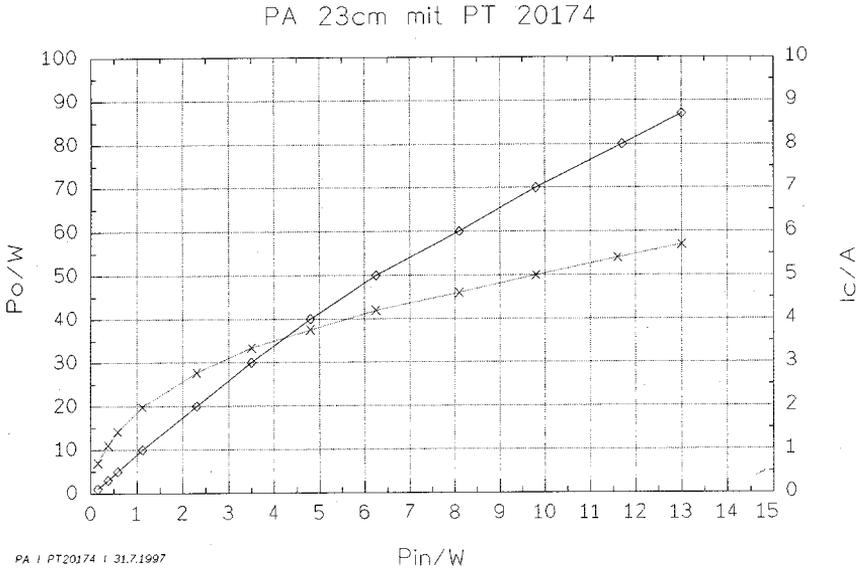


Fig. 8: Efficiency and Input-VSWR vs. Output Power

$\epsilon_r=3.38$. The block diagram can be seen from Fig. 2. Short pieces of semirigid function as baluns to drive the transistor in push-pull and combine the output. Fig. 3 and 3a show the function of these baluns. Voltage V1 is divided by half and fed in antiphase to RL1 and RL2.

The circuit diagram of the PA is shown in Fig. 4. The baluns are soldered to quarterwave microstriplines ZK1 and ZK2. To preserve symmetry additional lines ZK2 and ZK3 together with additional coaxial lines K2 and K3 have to be introduced. This scheme provides a fully balanced configuration which works even if the load impedances of the transistor are not the same. The quarterwave microstriplines have a length of 35.3 mm and hence the coaxial lines.

The bias circuit is shown in Fig. 6. A temperature sensor with T2 senses the temperature of the PTB-20174 and serves as a reference voltage for the bias regulator with the 723. This circuit provides a temperature compensated and low impedance source for the base current. You should operate the bias circuit with 12..14V. The voltage can be used as a T/R-switching.

3. Konstruktion

Dimensionierung und Abmessung der Bauelemente sind aus Bild 6 und Tabelle 2 ersichtlich. Die Endstufe wird mit einer Betriebsspannung von $U_b = 26$ V betrieben, mit dem Potentiometer R4 ein Kollektorruhestrom von ca. 300 mA (ohne Steuerleistung) eingestellt. Der Trimmkondensator C1 wird direkt neben das Gehäuse des Transistors T1 auf die beiden Streifenleiter gelötet. Die Schraube ist ca. 1 mm hineinzudrehen. Trimmkondensator C2 hat einen Abstand von 18 mm von der Kollektorseite, die Schraube schließt mit dem Körper ab (kleine Kapazität).

Die Symmetrierleitungen sind aus Semirigid-Koaxleitung mit Teflon-Dielektrikum und $d = 2,2$ mm gefertigt. Vorsicht beim Knicken.

Der Eingangstrimmer wird auf minimale Reflexion und der Ausgangstrimmer auf optimalen Wirkungsgrad abgestimmt. Abgleich und Inbetriebnahme der PA sind ausführlich in Heft 4/96 beschrieben.

Verwenden Sie nur Netzteile mit Strombegrenzung, geben Sie niemals ohne Betriebsspannungen HF- Steuerleistung auf die Endstufe, prüfen Sie mit einem Oszilloskop (an den Kollektoren des Transistors T1), ob die Endstufe im Kurzwellen-

11/06/97

Compact Software Inc. - Microwave Harmonica 7.0

14:41:38

C:\EXAMPLES\SHOWSC.CKT

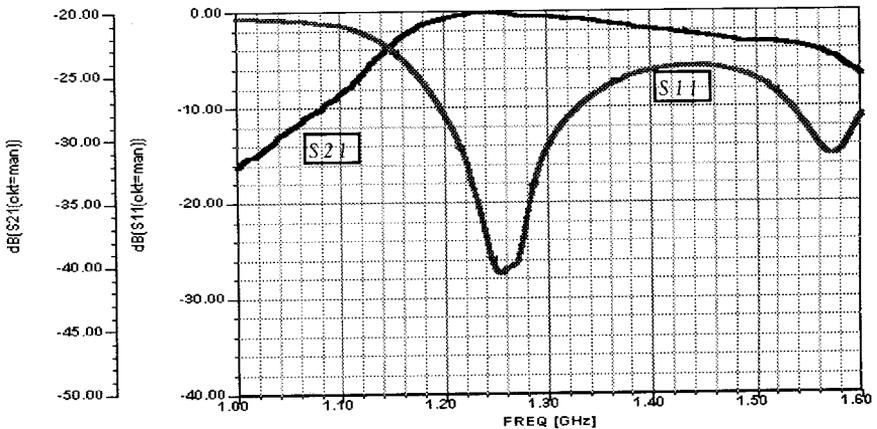


Fig. 9: Measurement of S21 and S11 for small power (<1mW)

Table 2: Parts List for PA (Fig. 4)

Bez./Des.	Art/Sort	Wert/Value	Hersteller / Manuf.	Bauform / Size
R1, 4	Resistor	10 Ω / 0.25W		
R2, 5	Resistor	18 Ω /0.25W		
R3, 6	Resistor	12 Ω		
C1, 2	Cap	11pF/60-0715-10011	Tronser/Jo hanson	
C3, 5	Cap	18 pF	ATC	100B
C4, 6	Cap	22 pF	ATC	100B
C7, 13	Cap	1.5nF	Ker	
C8, 14, 11, 17	Cap	0.1 μ F, MKL		
C10, 16, 13, 19	Cap	33 pF	ATC	100B
C9, 12, 15, 18	Cap	10 μ F/35V Elco		
L1, 5	Inductor	3 t., 0.6mm CuEI, D=4 mm	HB	
L2, 7	Inductor	12 t., 0.6mm CuEI on R1,4	HB	
L3, 6	Inductor	2 t., 0.6mm CuEI, D=4 mm	HB	
L4, 8	Choke	VK200	VALVO	
K1, 2, 3, 4	Semirigid	UT086 (D=2.2 mm), Z=50 Ω , L=35.3mm		
Z1, 6	Microstripline	Z=13 Ω , L=9.6 mm	PCB	
Z2, 7	Microstripline	Z=15 Ω , L=13.4 mm	PCB	
Z3, 8	Microstripline	Z=15 Ω , L=4 mm	PCB	
Z4, 9	Microstripline	Z=15 Ω , L=18 mm	PCB	
Z5, 10	Microstripline	Z=15 Ω , L=8.2 mm	PCB	
T1	RF-Transistor	PTB20174	ERICSSON	
T2, 3	Transistor	BD243 or BD201		TO-202
PA90	PCB	Rogers 4003, 0,81mm, 0,035mm Cu	DC3XY	

bereich "wild" schwingt. Die Endstufe darf bei Steuerleistungen von 0...15W keinerlei Schwingneigung zeigen.

Der Transistor T1 braucht einen "großen" Kühlkörper mit einem Wärmewiderstand von höchstens 0,5°K/W und muß mit diesem unter Vermeidung von Wärmewiderständen verbunden werden. Der Transistor selbst hat einen Wärmewiderstand von 0,6°K/W. Beim Muster liegt ein plan geschlif-

fener Kupferblock von 6mm Höhe zwischen Transistor und Aluminium-Kühlkörper (Abb. 10). Dieser Kupferblock dient zum Verteilen der Wärme, die relativ konzentriert auftritt und ist 'lebenswichtig' für den Transistor. Rechnet man für die Montage 0,1°K/W ergibt sich ein gesamter Wärmewiderstand von 1,2°K/W. Bei 90 W Ausgangsleistung und 50% Wirkungsgrad bedeutet das eine Temperaturerhöhung des Transistorkristalls von

$90 \cdot 1,2 = 108^\circ\text{C}$ gegenüber der Umgebung. Der Kühlkörper hätte dann bei $T_U = 25^\circ\text{C}$ eine Temperatur von 79°C und der Transistorkristall von 133°C . Ein Lüfter für Dauerbetrieb ist in jedem Fall empfehlenswert. Empfehlenswert ist der SK418 Kühlkörper von Fischer mit einer Länge von 200mm. Er hat einen Wärmewiderstand von $0,3^\circ\text{K/W}$.

Für T1 und T2 ist ein geeigneter Ausschnitt in die Platine zu sägen. Die geöffneten Augen werden mit Nieten zur Masse-Ebene durchkontaktiert, wie auch PIN 7 des uA 723.

3. Construction

The photograph, Fig. 6 and table 2 show the components layout. Variable trimmer C1 is soldered directly to the bases. C2 has a distance of about 18 mm to the collector. C1 is tuned to 1mm inside, C2 is on minimum.

Be careful with the semirigid lines. For initial operation connect a **current-limited** power supply with an output voltage of 26V. Adjust for a bias current of 300mA. Adjust C1 for maximum return loss and C2 for maximum output with moderate drive power of about 5W. Check with an oscillo-

scope (at the collector circuit), that there is no oscillation on HF (3...50MHz).

A well designed heat sink has to be used for this PA. With full output a thermal power of about 80W has to be sinked. The heat sink should have a thermal resistance of less than $0,5^\circ\text{K/W}$. For example a Fischer type SK418 with a length of 200mm provides a thermal resistance of $0,3^\circ\text{K/W}$. For effective heat distribution a heat spreader made from 6mm thick piece of copper is flanged to the transistor.

A blower may be worthwhile. The temperature of the heatsink can reach a temperature of nearly 80°C with full output and 100% duty cycle.

4. Meßergebnisse

Alle Meßergebnisse sind für eine Frequenz von $f = 1270\text{ MHz}$ (uplink AMSAT Phase III) gültig. Soll die Endstufe bei 1300 MHz betrieben werden, ist ein geringes Nachstimmen mit C1 notwendig.

Bild 7 gibt Auskunft über die Ausgangsleistung P_o in Abhängigkeit von der Steuerleistung P_{in} und den zugehörigen Kollektorstrom I_C . Bei einer Eingangsleistung von 13W steht eine Ausgangsleistung von 90W bei einem Kollektorstrom von ca. 6A zur Verfügung.

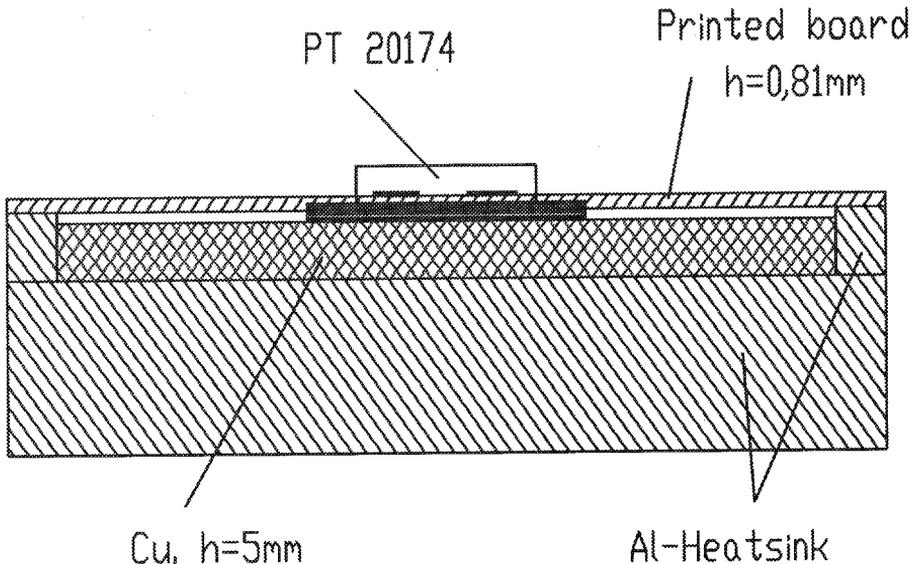


Fig. 10: Mounting Details of Heatspreader

Nach Bild 8 ergibt sich hieraus ein Wirkungsgrad von 57%, das entspricht einem Kollektorwirkungsgrad von etwa 49%. Das Eingangs-SWR konnte im Leistungsbereich von 10W bis 50W ermittelt werden, bei 50W Ausgangsleistung gilt $VSWR = 1,15$, das entspricht einem Reflexionsfaktor von -23dB und ist in guter Übereinstimmung mit dem Reflexionsfaktor, der bei Kleinsignalaussteuerung zu $S_{11} = -26\text{dB}$ bestimmt wurde (Bild 9). Für den Kleinsignalverstärkungsfaktor ist ein Wert von $9,5\text{dB}$ ablesbar, der gemäß Bild 7 auch für Ausgangsleistungen bis ca. 2W stimmt.

Bild 9 zeigt den Übertragungsfaktor S_{21} und Eingangreflexionsfaktor S_{11} der PA bei Kleinsignalbetrieb (1mW).

Für die Übertragungsmessung wurde ein 30dB - Dämpfungsglied an den Ausgang geschaltet. Den Absolutwert S_{21} erhält man durch Addition von 30dB zum Betrag der Y-Achse dB(S_{21}).

4. Measurement Results

The PA has been measured at 1270MHz (PhaseIII uplink frequency on 23cm). Operation on 1300MHz requires only minor retuning of C1.

Fig. 7 shows the the dependency of output power P_o and collector current I_C and drive power P_{in} . At a drive level of 13.8W an output power of 90W at a collector current of 6A can be achieved.

Fig. 8 shows an efficiency of 57% at this power level.

The input VSWR is less than 1.15. Fig. 9 shows the return loss and gain at small power.

5. Danksagung/Acknowledgements

Ich bedanke mich bei Herrn Friedrich von der Firma Richardson Electronics GmbH, Puchheim, für die freundliche Unterstützung bezüglich der aktiven Hardwarekomponenten.

I have to thank Mr. Friedrich from the German branch of Richardson Electronics, who did kindly help with the delivery of the ERICSSON components.

6. Teile/Parts

Die Leiterplatten sind bei Rainer Jäger, DC3XY, Breslauer Str. 4, D-25479 Ellerau, Tel. :04106-73430, Fax.: 04106-761288 zu beziehen.

PCB's you can get from DC3XY, address as above.

7. Literatur/References

/1/ Konrad Hupfer, DJ1EE, "100W Transistor Linear on 1.3GHz", DUBUS 4/96, pp. 5...12

/2/ ERICSSON, "Datasheet PTB-20174", DUBUS 1/97, pp. 40...42

/3/ Zinke, Brunswig, "Lehrbuch der Hochfrequenztechnik", Springer Verlag 1986, 3. Auflage, Band I, S. 177ff