



Gunthard Kraus, DG 8 GB

Design und Realisierung von Mikrowellenschaltungen

Teil 2

5. DIE HILFSMITTEL

Die notwendigen Einrichtungen der „Mikrowellen-Werkstatt“ sollen hier kurz umrissen werden, um auch dem Einsteiger die Gelegenheit zu geben, sich mit den wichtigsten Dingen vertraut zu machen. Mikrowellenschaltungen benehmen sich nicht nur anders als Kurzwellen- oder UKW-Schaltungen – sie benötigen

meist auch einen anderen mechanischen Aufbau. Feinmechanische Präzision ist hier oft Voraussetzung für gute elektrische Meßergebnisse.

5.1. Die Mechanischen Hilfsmittel

Über die Notwendigkeit, alles in SMD-Technik aufzubauen, haben wir schon in der Einleitung gesprochen. Die wichtigsten Hilfsmittel sind in **Bild 1** dargestellt:



Bild 1: Geeignete Hilfsmittel erleichtern die Arbeit



- Temperaturgeregelter LötKolben mit austauschbaren sehr schmalen Lötspitzen,
- Uhrmacherpinzette extrafein,
- Stereo-Lupe in Form einer Brille,
- SMD-Chip-Widerstands-Sortiment von 10 Ohm bis 1 Mega-Ohm, Bauelementgröße für Anfänger: 1206 (3 mm x 1,5 mm) Bauelementgröße für Fortgeschrittene: 0805 oder 0604 (2 mm x 1,25 mm bzw. 1,5 mm x 1 mm)
- SMD-Chip-Kondensator-Sortiment von 1 pF bis ca. 100 nF, wobei die Kondensatoren von 1 pF bis 220 pF in mikrowellengeeigneter Größe 0805 sein sollten (z.B. „Ultrastabil NP0“ von Philips/Valvo oder in der „COG – Klasse 1“ von Siemens),
- Rolle SMD-Lötzinn (100 g reichen!) mit 0,5 mm Drahtdurchmesser,
- schwenkbarer Feinmechaniker-Schraubstock mit Kugelgelenk oder Platinenhalter.

Für die mechanischen Arbeiten sind Ständer-

bohrmaschine, Schraubstock, Feilen und Gewindebohrer sowie eventuell eine kleine Drehmaschine ideal.

5.2. Elektronische Hilfsmittel

Die elektronischen Hilfsmittel sind z.B. Digital-Multimeter und mindestens ein regelbares Gleichspannungsnetzteil mit einstellbarer Strombegrenzung. Neu ist die Forderung nach einem PC – möglichst ab 386SX, mit Co-Prozessor und WINDOWS (warum WINDOWS?... Erklärung folgt).

An Mikrowellen-Meßgeräten sind hilfreich:

- a. Meßsender für den vorgesehenen Meßbereich ab 1 GHz aufwärts mit 50 Ohm Innenwiderstand. Die Meßsender dürfen ruhig aus der Röhren-Ära stammen, sollten aber mit einem guten Abschwächer über einen

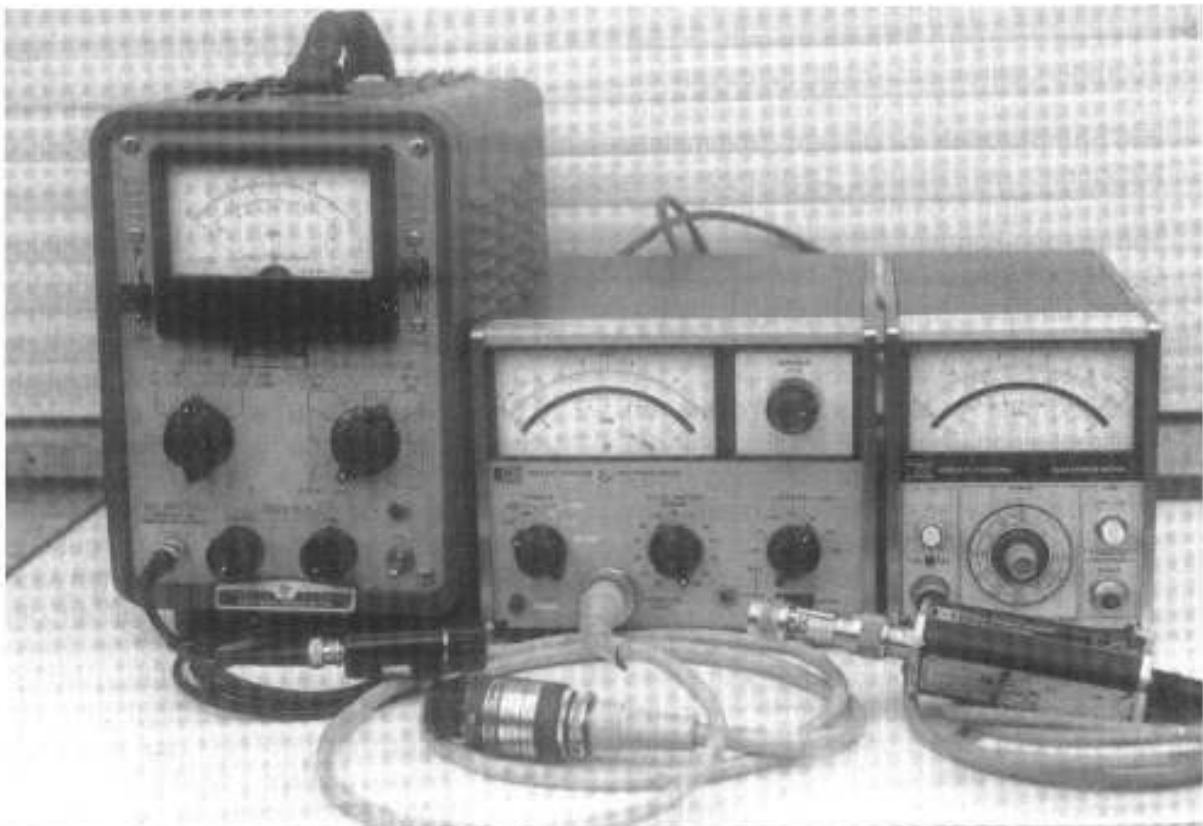


Bild 2: Beispiele älterer HF-Leistungsmeßgeräte



weiten Pegelbereich – z.B. 120 dB – ausgerüstet sein.

- b. Gerne eingesetzt werden die Wobblerserien von Hewlett-Packard, die in hohen Stückzahlen verkauft wurden, leicht gebraucht erhältlich sind und deren Unterlagen ebenfalls leicht beschaffbar sind. Diese Geräte lassen sich in der Position „CW“ auch als Meßsender betreiben.
- c. Mindestens ein, besser aber zwei Mikrowellen-Leistungsmessgeräte mit Meßkopf bis beispielsweise 12 GHz. Mit ihnen lassen sich sehr genau Eingangs- und Ausgangsleistungen und damit die Verstärkung oder Dämpfung eines Bausteines (also unser S-Parameter S21) ermitteln.

Bild 2 zeigt von links nach rechts Beispiele der am meisten verbreiteten Geräte.

- Das HP 430A (bis 430C) ist sicher die „Großmutter“ ganzer Generationen von Leistungsmessern. Obwohl bereits in den Fünfziger Jahren entwickelt, ist es ausreichend genau. Unschön ist die Tatsache, daß grundsätzlich mit diesem „Bolometer-Meßgerät“ nur kleinste Leistungen von etwa -20 dBm (20 mV an 50 Ohm gemessen werden können).
 - Die Nachfolgegeräte 431 bzw. 432 sind schon deutlich verbessert; die Meßköpfe sind temperaturkompensiert und der Nullpunkt kann korrigiert werden.
 - Das berühmte Powermeter 435 A enthält im Meßkopf einen Chopper-Verstärker für die winzige Ausgangsgleichspannung des Detektors. Mit einem Thermoelement statt eines Thermistors kann man nun bis zu -65 dBm messen.
- d. Ohne HF-Steckverbinder, Adapter und HF-Kabel verschiedener Länge kann man kaum arbeiten. Hier sollte man sich mit entsprechenden Materialien in „N-“ und „SMA“-Norm eindecken, wobei man gebrauchte oder korrodierte MIL-Qualität der hochglanzvernickelten Taiwan-Produkte vorziehen sollte. Natürlich kann hier manchmal ein leichtes Nachbiegen beim Reinigen erforderlich sein, um wieder sauberen Massekontakt sicherzustellen.
- Bis 18 GHz läßt sich mit SMA-Verbindern sehr gut arbeiten, man sollte allerdings folgendes beachten:
- Eine SMA-Verbindung wird in der Praxis nur einmal hergestellt und dabei die Überwurfmutter mit einem speziellen Drehmomentschlüssel mit 56 Ncm angezogen. Sie ist also nach Herstellerphilosophie keine oft lösbare Verbindung.
 - Deshalb sollte man beim Einsatz in Versuchsaufbauten (mit vielen Schraubvorgängen) sehr sorgfältig damit umgehen und sie regelmäßig auf Beschädigung kontrollieren und öfters reinigen.
- e. Ein kleines Sortiment an koaxialen Abschlußwiderständen, Kurzschlüssen und Dämpfungsgliedern mit Werten zwischen 3 dB und 30 dB darf nicht fehlen. Ausführungen in „N“ sind gut, aber voluminös, dagegen sind sie in „SMA“ wunderbar klein. Hier ist besonders auf gute Qualität zu achten, da man sonst später verzweifelt nach den Gründen für schlechte Anpassungswerte im Meßaufbau sucht.
- f. Für diejenigen, die auch Reflektionsfaktoren messen wollen, gibt es die nicht ganz preiswerten Richtkoppler mit 20 dB Auskoppeldämpfung und einer Richtschärfe (Directivity) von über 30 dB. Zum Glück tauchen diese Sachen meist mit N- oder SMA-Steckverbindern als Surplus-Material auf.
- g. Hier noch eine Bemerkung aus persönlicher Erfahrung: Man arbeitet lang, gut und voll Erfolg mit der bisher aufgeführten Ausstattung. Aber es kommt unaufhaltsam der Tag, an dem man meint, daß ohne Spektrum-Analysator mit einem Frequenzbereich z.B. bis 18 GHz nichts mehr geht. Nur der Preis schreckt ab! Hier gibt es jedoch zwei Möglichkeiten: entweder einen gebrauchten SA zu erwerben oder ein Gerät im Selbstbau nach Baubeschreibungen z.B. von J. Jirmann, DB1NV zu erstellen.



6. ANWENDUNGSPROJEKT „METEOSAT-KONVERTER“

- Ein konkretes Projekt gibt die Möglichkeit:
- ein System zu planen und Spezifikationen festzulegen,
 - Schaltungen zu entwerfen und mit Hilfe geeigneter Mikrowellen-Software (z.B. PUFF) zu analysieren,
 - den endgültigen Stromlaufplan zu entwickeln und eventuell mit einer CAD-Software (z.B. GEDDY-CAD-Shareware) in Platinen umzusetzen,
 - geeignete mikrowellentaugliche Gehäuse für die Baugruppen zu konstruieren und anzufertigen,
 - die einzelnen Bausteine sowie das Gesamtgerät zu vermessen und die Meßwerte zu dokumentieren.

Der Umgang mit den neuen Konstruktionshilfen bietet natürlich noch andere Möglichkeiten:

Die so nach und nach entstehenden Bausteine können dazu dienen, möglichst schnell auch mal etwas Anderes zusammenbauen zu können – man denke an eine 1296 MHz-Baugruppe oder eine Baugruppe für den GPS-Empfänger. Der zusätzliche Entwicklungsaufwand würde sich dann nur noch auf einige Stufen erstrecken, die „Umdimensioniert“ werden müßten. Dies geschieht in den meisten Fällen durch Aufruf der entsprechenden PUFF-Datei und der Eingabe neuer Design-Daten.

Weiterhin ist es möglich aus einzelnen, bereits entwickelten Schaltungsteilen eine Komplettschaltung zusammenzustellen, die dann auf einer Gesamtplatine Platz finden kann.

6.1. Die Rahmenbedingungen

In **Bild 3** ist der Übersichtsschaltplan des METEOSAT-Konverters dargestellt. Auffallend dabei ist lediglich, daß die beiden MMIC-Verstärker (Beschreibung folgt) darin identisch sind.

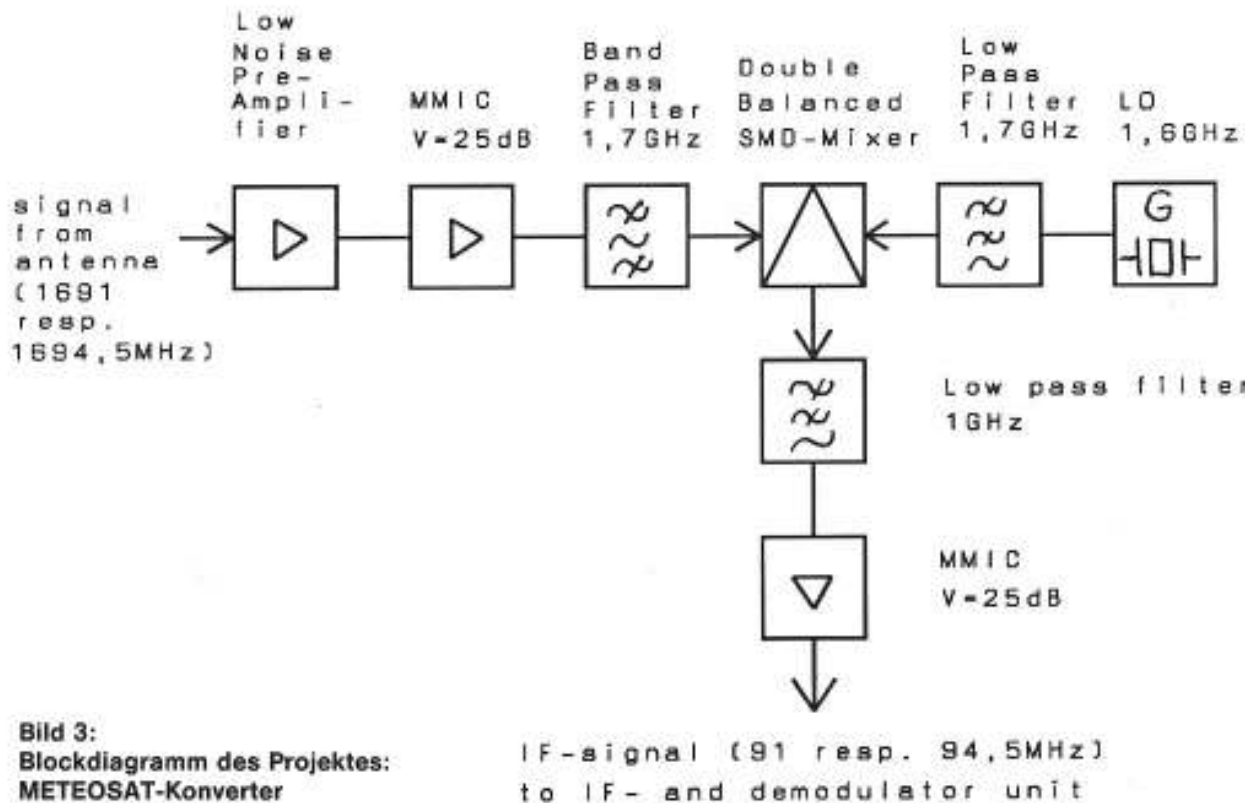


Bild 3:
Blockdiagramm des Projektes:
METEOSAT-Konverter

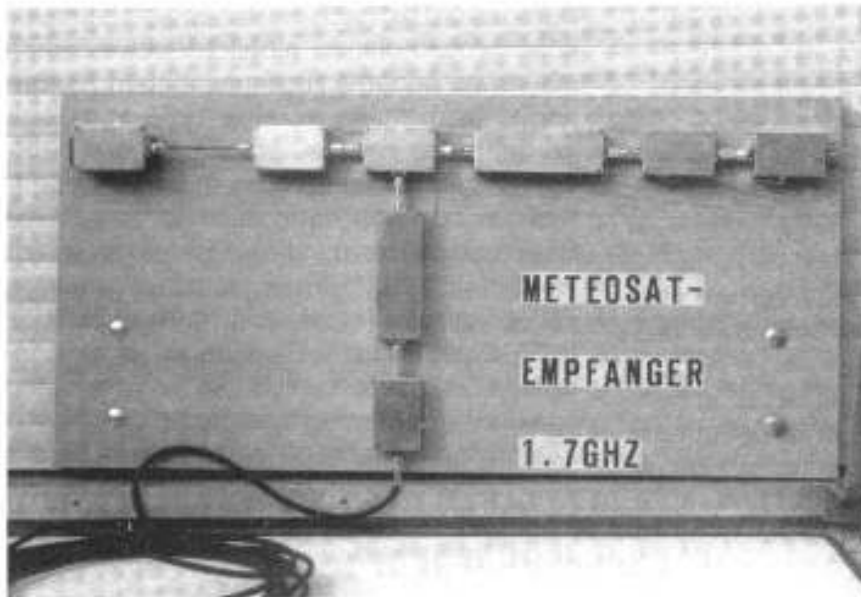


Bild 4:
Musteraufbau des
Konverter-Systems

Der Musteraufbau des kompletten Konverters ist in **Bild 4** gezeigt. In der Testanordnung war der Konverter in der Nähe eines Offset-Spiegels mit Selbstbau-Erreger untergebracht. Er wurde über das am Ausgang angeschlossene Koaxkabel mit etwa 10 m Länge ferngespeist.

Es gelten folgende Vorgaben für das Baustein-Konzept:

a. Die Einzelstufen sind in gefrästen Aluge-

häusen mit aufgeschraubtem Deckel untergebracht, weisen 50 Ohm Ein- bzw. Ausgangswiderstand auf und sind mit SMA-Buchsen an den Schmalseiten ausgerüstet.

b. Die kleinste Platinengröße ist 30 mm x 50 mm, dazu gehört eine Gehäusegröße von 35 mm x 55 mm x 15 mm Höhe. Kommt man damit nicht aus, so steigt die Platinengröße auf 30 x 95 mm und die Gehäusegröße auf



Bild 5:
Details des
Vorverstärker-Aufbaus



35 x 100 mm. Die Platinenbefestigung erfolgt mit 4 Schrauben M 2,5 x 8, wobei jede Schraube einen Abstand von 3 mm vom Platinenrand aufweist (das ergibt ein „Lochraster“ von 24 x 44 mm).

- c. Die Betriebsspannung gelangt über einen Durchführungskondensator an der Längsseite ins Gehäuseinnere zu einem SMD-Spannungsstabilisator (Typ 78L05).
- d. Der Innenleiter der SMA-Buchsen muß „wellenwiderstandsrichtig“ durch die Gehäusewand geführt und dann möglichst reflektionsarm mit einer 50 Ohm-Mikrostreifenleitung auf der Platine verbunden werden.

Bild 5 zeigt in Großaufnahme diese Details am Vorverstärker-Baustein.

6.2. Die erste Baugruppe: LNA für 1,7 GHz

6.2.1. Die Grundschialtung des LNA

Um eine geringe Gesamtrauschzahl zu erhalten, muß die Rauschzahl des Eingangsverstärkers so klein wie möglich gehalten werden – verbunden mit einem möglichst hohen Verstärkungsfaktor, damit sich die nachfolgenden Stufen nicht mehr stark auswirken können. Stand der Technik ist hier der GaAs-FET, wobei die Wahl aus Preisgründen auf den CFY 30 fiel. Aus seinem Datenblatt oder der „Halbleiterdaten-CD-ROM“ von Siemens entnimmt man, daß bei 1,7 GHz eine minimale Rauschzahl von 1 bis 1,2 dB möglich ist. Dazu gehört allerdings (siehe Bild 6, linkes Diagramm) bei 1,7 GHz ein „Quellwiderstand“ von $Z_s = 100 \text{ Ohm} + j150 \text{ Ohm}$.

Im rechten Diagramm von **Bild 6** ist für die Frequenz 4 GHz zu sehen, wie genau diese Transformation ausgeführt sein muß, damit das Rauschen klein bleibt. Man braucht sich dazu nur den Mittelpunkt der konzentrischen Kreise zu unserem Punkt $100 \text{ Ohm} + j150 \text{ Ohm}$ verschoben denken, um die Verhältnisse bei 1,7 GHz zu erhalten.

An dieser Stelle muß noch auf einen Punkt hingewiesen werden, der den Entwurf wesentlich beeinflussen kann: Weist der Erreger bei 1,7 GHz nicht genau einen Innenwiderstand von 50 Ohm auf, so verschiebt sich entsprechend unser Startpunkt der Transformationsschialtung. Dramatisch wird es dann, wenn die Antenne und der Verstärkereingang über Koaxkabel verbunden werden! In diesem Fall wandert der Startpunkt nämlich – abhängig von der Kabellänge – auf einem Kreis um den Diagramm-Mittelpunkt. Man kann sich leicht vorstellen, wie weit man dann plötzlich vom F_{\min} -Punkt wegkommen kann; das Verrückteste dabei ist, daß die Rauschzahl plötzlich periodisch zwischen 1 und 10 dB schwanken wird, wenn man die Kabellänge verändert.

Nachdem der Antennen-Innenwiderstand jetzt hoffentlich genau 50 Ohm beträgt, wird man versuchen, daraus am Gate des FET $100 \text{ Ohm} + j150 \text{ Ohm}$ zu machen. Das läßt sich auf mehrere Arten erreichen, man denke an Stichleitungen (Stubs), transformierende L/C-Netzwerke, in Reihe geschaltete Streifenleitungen usw. Nach dem Test der verschiedenen Möglichkeiten mit PUFF und ihrem Einfluß auf den Frequenzgang fiel die Wahl jedoch auf folgende Lösung:

Man transformiert zuerst den 50 Ohm-Widerstand der Antenne mit einer Lamda/Viertel-Streifenleitung auf 100 Ohm. Die Streifenleitung muß dafür einen Wellenwiderstand von

$$Z_{\text{strip}} = \sqrt{50 \text{ Ohm} \cdot 100 \text{ Ohm}} = 70,7 \text{ Ohm}$$

aufweisen. Die fehlenden $j150 \text{ Ohm}$ gehören bei 1700 MHz zu einer Spule mit 15 nH. Dafür gibt es wunderschöne winzige SMD-Induktivitäten der Größe 0805 (also 2 mm x 1,25 mm). Die Spulengüte wird mit „min. 50“ bei dieser Frequenz angegeben, reicht also voll aus.

Den Gate-Anschluß lassen wir natürlich nicht frei in der Luft hängen, sondern speisen in bekannter Weise die erforderliche Gleichspannung in eine weitere, am Ende kurzgeschlossene, hochohmige Lamda/Viertel-Leitung (mit mindestens 100 Ohm Wellenwiderstand) ein. Wegen der Transformation in einen

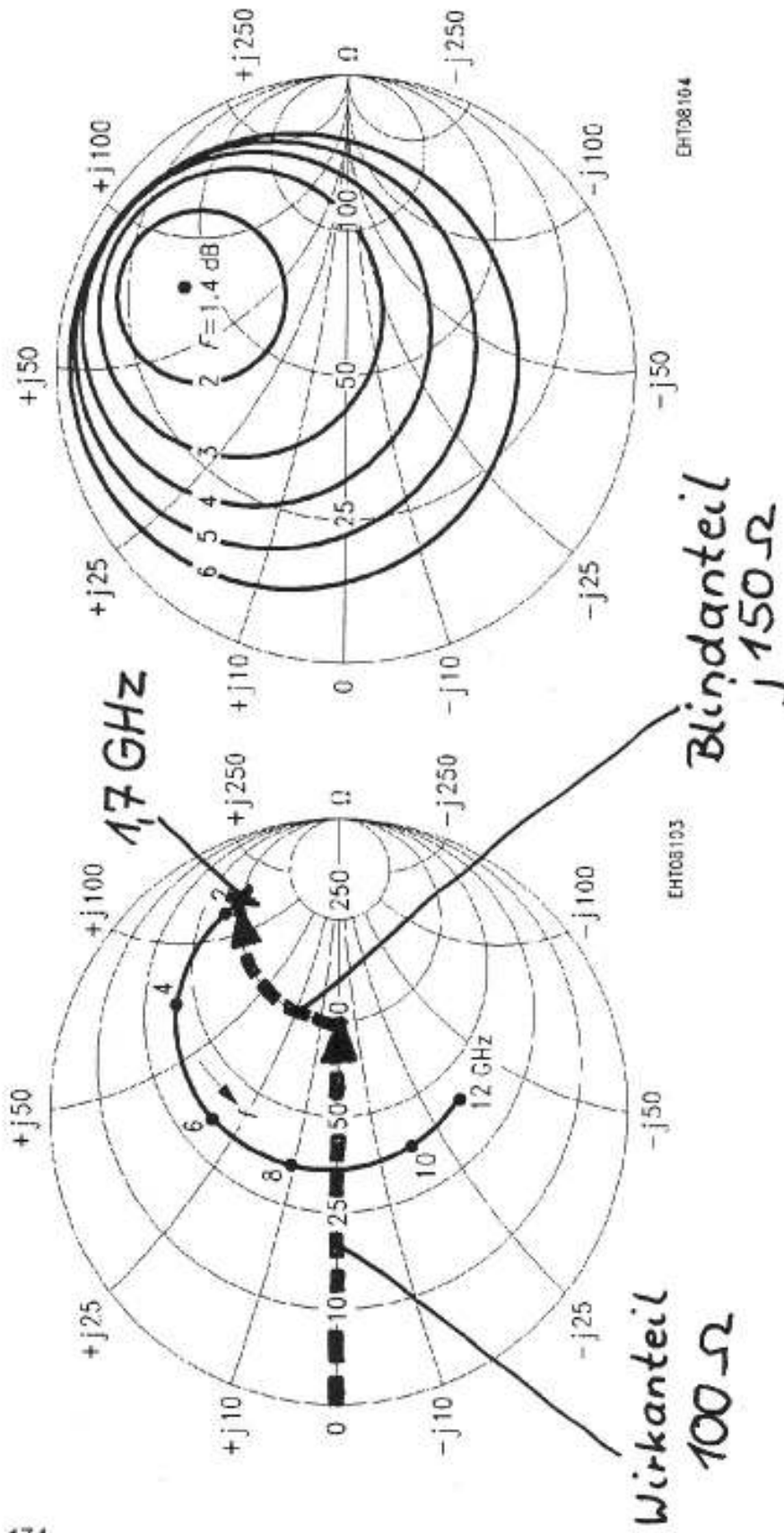


Bild 6: Diagramme

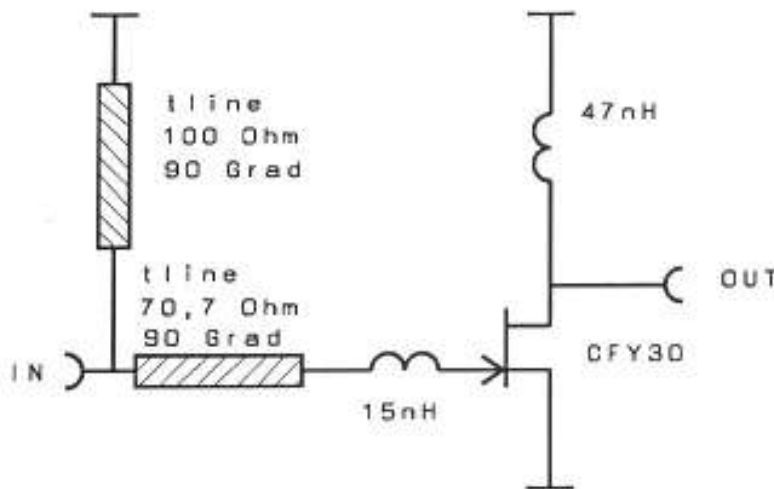


Bild 7:
Grundschaltung des LNA

Leerlauf merkt der FET hoffentlich nichts von unseren Maßnahmen.

Für höchste Verstärkung bekommt die Ausgangsseite des FETs eine Leistungsanpassung. Die Drain-Gleichspannung führt man deshalb über eine SMD-Induktivität zu, deren Blindwiderstand groß gegen den Innenwiderstand des FETs ist; gewählt wurden 47 nH, das ergibt $j470$ Ohm. Mit einer passenden Transformationsschaltung – z.B. wieder mit einer Streifenleitung – muß noch dafür gesorgt werden, daß der Reflektionsfaktor an der SMA-Ausgangsbuchse zu Null wird, dabei kann PUFF behilflich sein.

Somit kristallisiert sich langsam die Grundschaltung nach **Bild 7** heraus und man kann sich an eine erste Simulation mit PUFF wagen.

6.2.2. S-Parameter-Dateien

Für die Simulation einer gegebenen Schaltung benötigt man die S-Parameter der verwendeten Halbleiter. In unserem Beispiel sind das die Angaben zum empfohlenen Arbeitspunkt aus dem Datenblatt (z.B. Drainspannung 3,5 V, Drainstrom 15 mA) und für diesen Arbeitspunkt eine Datei mit den S-Parametern. An diese kommt man auf zwei Arten:

a. Man besorgt sich die entsprechenden Disketten mit S-Parametern aller gängigen

Halbleiter, hier also die der Siemens-HF-Transistoren. Die Daten für den entsprechenden Halbleiter, hier die CFY 30-Datei muß noch angepaßt werden, da die Daten meist im „Touchstone-Format“ (Kennzeichen: *.S2P) geliefert werden, das PUFF nicht lesen kann. Für Siemens-Daten gibt es ein auf der PUFF-Diskette mitgeliefertes Konvertierungsprogramm.

b. Es gibt auch Daten auf CD-ROM, z.B. von Siemens. Auf dieser CD-ROM ist im entsprechenden Datenblatt ebenfalls eine Tabelle mit S-Parametern enthalten. Auch diese Daten müssen angepaßt werden, am einfachsten in einer Textverarbeitung. Man lädt in die Textverarbeitung irgendeine, bei PUFF mitgelieferte „Device-Datei“ mit der Endung „*.dev“ und verwendet diese als Vorlage, wie eine solche Datei aufgebaut sein muß. Also ändert man einfach sämtliche Angaben für den CFY30 ab, wobei für die S-Werte immer gilt: erst Betrag, dann Phasenwinkel. Abschließend wird die Datei, hier unter dem Namen „CFY30.dev“, in das Verzeichnis \PUFF gespeichert.

Wichtig: Bei den meisten Touchstone-Dateien fehlen die Werte für die Frequenz „Null Hertz“. Sie müssen unbedingt anhand der übrigen Werte abgeschätzt und in der Tabelle nachgetragen werden! PUFF meldet sonst Fehler und streikt, wenn die Simulation bei Null Hertz beginnen soll.



Als Beispiel hier eine S-Parameter-Datei:

```
{CFY30 GaAs FET in SOT143 package}
{V DS = 3.5V, I D = 15mA, Z 0 = 50 Ohm}
{frequency f in GHz}
```

f	S11	S21	S12	S22
0	1 0	2.23 180	0.01 90	0.69 0
1	0.98 - 18	2.23 157	0.024 74	0.69 - 15
2	0.95 - 39	2.22 136	0.045 57	0.66 - 30
3	0.89 - 64	2.21 110	0.068 40	0.61 - 45
4	0.82 - 89	2.23 86	0.085 23	0.56 - 62
5	0.74 - 115	2.19 61	0.099 7	0.49 - 80
6	0.65 - 142	2.11 36	0.107 - 10	0.41 - 98
7	0.58 - 171	2.05 11	0.113 - 26	0.32 - 119
8	0.51 155	1.99 - 15	0.117 - 41	0.23 - 147
9	0.50 120	1.85 - 40	0.115 - 56	0.16 167
10	0.51 90	1.62 - 65	0.110 - 69	0.17 118
11	0.53 65	1.44 - 86	0.107 - 80	0.25 84
12	0.55 41	1.34 - 107	0.107 - 92	0.31 60
13	0.59 17	1.20 - 130	0.104 - 105	0.38 35
14	0.64 - 3	1.03 - 153	0.099 - 118	0.45 16
15	0.68 - 19	0.86 - 170	0.092 - 131	0.51 - 1

6.2.3. Das Platinenmaterial

Nun fehlen zur ersten Simulation nur noch die Daten zum verwendeten Platinenmaterial. Aus Preisgründen, und da wir noch unter 2 GHz arbeiten, wurde das „FR4“ Glasfaser-Epoxid-Material gewählt: beidseitig fotobeschichtet mit 1,5 mm Dicke und 35 µm Kupfereauflage.

Allerdings gab es erhebliche Anfangsschwierigkeiten:

- Vom Lieferanten war kein Wert für die Dielektrizitätskonstante für dieses Material zu erfahren. In der Fachliteratur fand sich der Wert „5,5“, woraufhin zum Test eine kleine Antenne für 1,7 GHz entworfen wurde. Zu unserer Verwunderung fand sich die Resonanzfrequenz bei fast 2 GHz, folglich konnte diese Angabe niemals stimmen. Daraufhin wurde die statische Kapazität der gelieferten großen Leiterplatte mit einer Kapazitätsmeßbrücke gemessen und dar-

aus die Dielektrizitätskonstante zu 4,8 ermittelt.

- Der nächste Versuch mit der 1,7 GHz-Antenne ergab immer noch untragbare Abweichungen, also wurde weiter nach den Gründen gesucht. Hier nun die Zusammenfassung der Ergebnisse:
- FR 4-Material besitzt bei tiefen Frequenzen eine Dielektrizitätskonstante von 4,8;
- Dieser Wert sinkt etwa ab 1 GHz aufwärts erst langsam, dann immer schneller ab; für 1,7 GHz liegt er bei nur noch 4,3.
- Ebenso steigen die Verluste ab 1 GHz langsam, dann immer schneller an. Für 1,7 GHz kann man mit einem Wert des Verlustfaktors von 0.015 rechnen.
- Die Dielektrizitätskonstante streut leider von Lieferung zu Lieferung um bis zu 3 Prozent. Bei kritischen Anwendungen, wie Resonatoren oder Antennen, muß bei jeder neuen Platinenmateriallieferung erst die Abweichung der Dielektrizitätskonstante bestimmt und bei der Vorgabe des Wertes

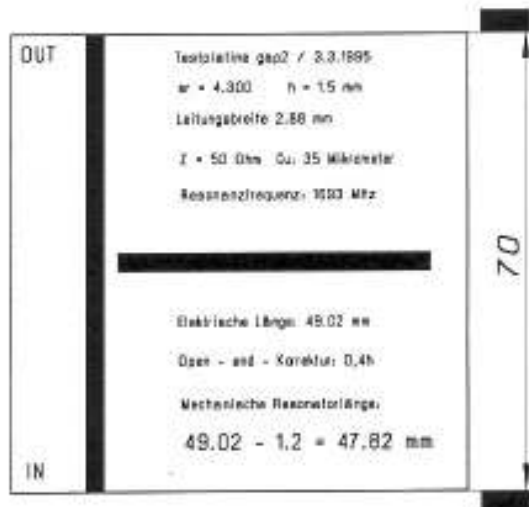


Bild 3: Antenne für 1,7 GHz als Versuchsanordnung

im PUFF-Layout prozentual berücksichtigt werden.

Wem das zu aufwendig ist, der sollte gleich auf ein anständiges Mikrowellen-Leiterplattenmaterial auf Teflon- oder Keramikbasis, wie RT-Duroid usw. umsteigen. Diese Materialien behalten ihre Eigenschaften praktisch unverändert bis über 10 GHz bei und man kann die Herstellerangaben ungeprüft in die PUFF-Simulation übernehmen.

Bleibt man dagegen bei FR 4, so ätzt man sich erst mal eine Versuchsschaltung beispielsweise nach dem Muster von **Bild 8**. In der Versuchsschaltung ist eine leerlaufende Stichleitung über einen kleinen Chipkondensator 0805 an eine durchgehende 50 Ohm-Leitung angekoppelt, die mit 50 Ohm abgeschlossen ist. Bei allen Lambda/Viertel-Resonanzen der Stichleitung bildet diese einen Kurzschluß und verschlechtert dadurch brutal den sonst guten Eingangsreflektionsfaktor. Gleichzeitig wirkt die Anordnung bei dieser Frequenz als Bandstopper. Mit diesen beiden Effekten kann dann rückwärts über die mechanische Länge der Stichleitung die, bei dieser Frequenz wirkungsvolle Dielektrizitätskonstante bestimmt werden.

6.2.4. Einstieg in PUFF

Jetzt kommen wir zu PUFF; die Vorgehensweise wird Schritt für Schritt erklärt:

1. PUFF durch Aufruf der Datei „PUFF.BAT“ starten.
Hoffentlich arbeitet dabei auch die „Code-seite 437“ (Befehl „chcp 437“) zur Umschaltung auf den amerikanischen Zeichensatz mit dem Ohm- und Grad-Zeichen. Falls nicht, müssen in der CONFIG.SYS die Zeile

```
DEVICE=C:\DOS\DISPLAY.SYS
CON=(EGA,,2)
```

```
und in der AUTOEXEC.BAT die Zeilen
C:\DOS\NLSFUNC
MODE CON CODEPAGE PREPARE=
((850 437)
C:\DOS\EGA.CPI)
```

MODE CON CODEPAGE SELECT=850 nachgetragen werden. Allerdings müssen die drei Zeilen in der AUTOEXEC.BAT möglichst weit an den Anfang gesetzt werden bzw. noch vor die Treiber für Keyboard, CD-ROM usw.

2. Taste **F3** drücken, um in das „Bauteile-Fenster“ zu gelangen.
3. Nacheinander werden nun die in der Schaltung benötigten Bauteile eingegeben.
Achtung:
 - Diskrete Bauteile beginnen immer mit „l(umped)“, gefolgt vom Bauteilwert.
 - Streifenleitungen beginnen mit „t(line)“, gefolgt vom Wellenwiderstand und der elektrischen Länge in Grad.
 - Aktive Bauteile werden mit „device *.dev“ eingetragen.

In **Bild 9** ist gezeigt, wie die fertige Liste für die Beispielschaltung auszusehen hat.

4. Anschließend drückt man Taste **F4** und gibt die Werte für Wellenwiderstand (50 Ohm), die Mittenfrequenz (1,693 GHz), die Dielektrizitätskonstante (4,3) und die Platinendicke (1,5mm) ein; für die Platinengröße wählt man 150 mm.

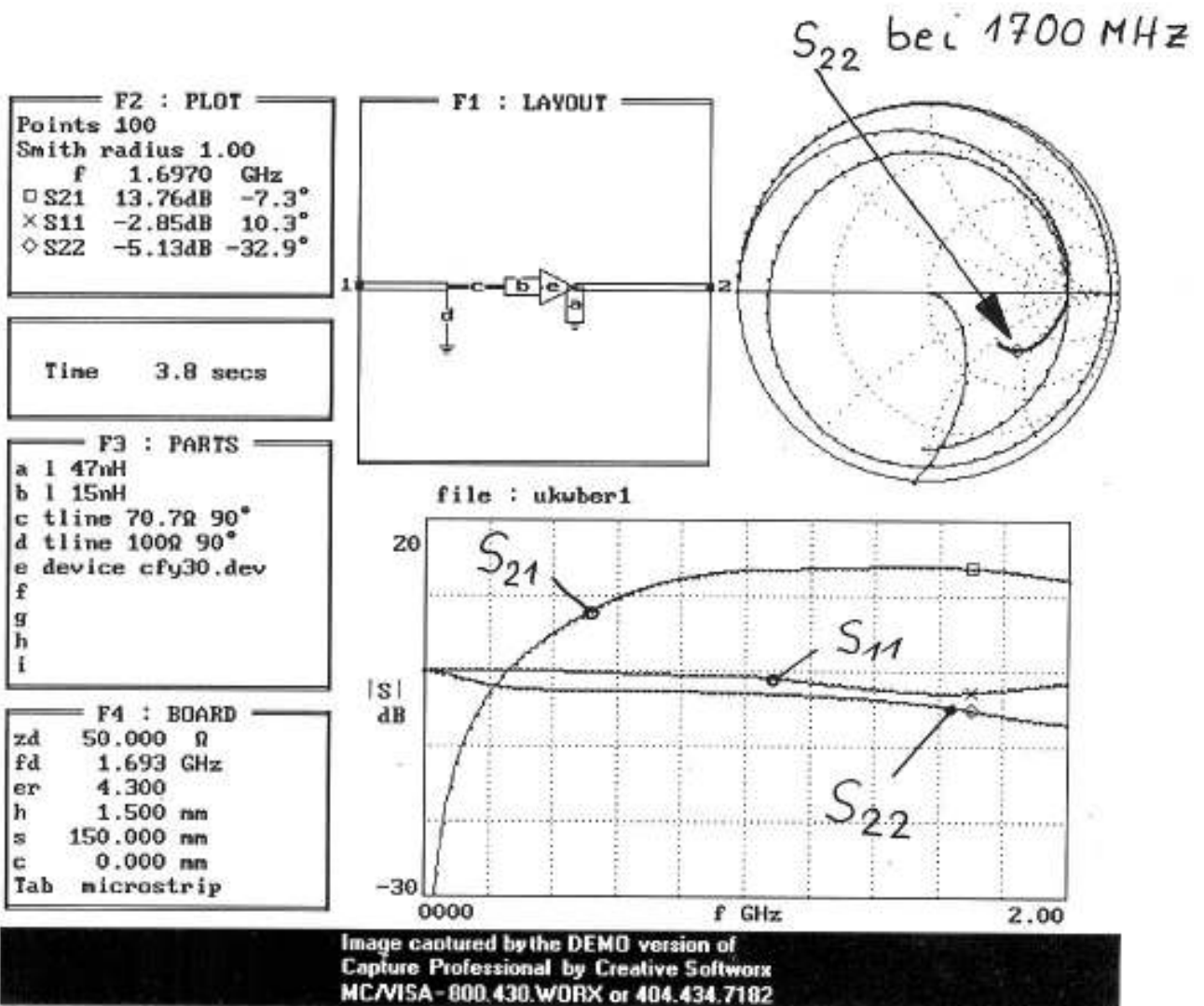


Bild 9: PUFF-Bildschirmausdruck

5. Mit der Taste F1 gelangt man in das Layout-Fenster, also zur Platine. Falls da noch ein altes Design zu sehen ist, wird es mit «CTRL e» gelöscht. Dann verschiebt man das „Startkreuz“ durch Drücken der Umschalttaste und der passenden Cursortaste etwas nach links, um Platz für die Schaltung zu gewinnen.

Drückt man nun die Taste „c“, so ist dieses Bauteil (es ist die 70,7 Ohm-Transformationsleitung) aktiv und kann mit der passenden Cursortaste plaziert werden.

So geht es weiter bis zum Ende, wobei:

- ein falsch positioniertes oder überflüssiges Bauteil einfach durch Betätigen der Umschalttaste und der „Cursortaste in Gegenrichtung“ wieder gelöscht werden kann;
- man auf der bereits „gezeichneten“ Schaltung jederzeit ohne Folgen mit dem Cursor herumfahren kann und
- am Ende die Verbindung zur Eingangsbuchse mit der Taste „1“,
- zur Ausgangsbuchse mit der Taste „2“ hergestellt wird.



Aber Vorsicht: der Cursor muß in der Schaltung auch wirklich am Eingangsbzw. Ausgangspunkt der Schaltung stehen, wenn man die entsprechende Taste drückt sonst legt man irgendeinen Schaltungspunkt an den Anschluß. Im schlimmsten Fall darf man die Schaltung mit «CTRL e» löschen und nochmals neu beginnen.

7. Durch Betätigen der Taste **F2** springt man in das Berechnungsprogramm. Zuerst gibt man z.B. 100 Berechnungspunkte vor und wählt nur die Größen S_{21} und S_{22} aus; bei den anderen S-Parametern braucht man nur den Index zu löschen damit sie „abgeschaltet“ sind. Mit der „Up-“ oder „Down-“ Cursortaste, gelangt man noch zu den Achsen des Diagrammes, in dem die Ergebnisse dargestellt werden. Bei der Frequenzachse tippt man beispielsweise „0“ und „2.0 GHz“ ein, der senkrechten Achse werden die Werte „-30dB“ und „+20dB“ zugewiesen.

Falls nun alles stimmt, erhält man nach Drücken von „p“ den Bildschirm nach **Bild 9**. Treten Probleme auf, vergleiche man die Werte aller Fenster des Ausdruckes mit denen des eigenen Bildschirms; so müßte sich der Fehler schon finden lassen. Man sieht die schön flache Verstärkungskurve, gegeben durch den Verlauf von S_{21} , die von 1 GHz fast bis 2 GHz reicht.

Jetzt fehlt allerdings noch die Leistungsanpassung am Ausgang. Deshalb sollte man einen Blick in das Smith-Diagramm des Ausdruckes werfen und sich den Verlauf von S_{22} anschauen. Die Kurve verläuft rechts unterhalb vom Mittelpunkt. Das bedeutet, daß der Innenwiderstand des FETs größer als 50 Ohm ist und einen kapazitiven Blindanteil aufweist.

Seine Transformation auf 50 Ohm läßt sich nun nur mit einer Streifenleitung durchführen, die

- deutlich mehr als 50 Ohm Wellenwiderstand hat und

- deutlich kürzer ist als 90 Grad, damit man in die Nähe des 50 Ohm-Punktes im Smith-Diagramm kommt.

Also trägt man mal probeweise in Feld F3 eine Streifenleitung mit $Z = 120$ Ohm und 30 Grad Länge ein, die man zwischen FET-Ausgang und Ausgangsklemme „2“ anbringt. Außerdem muß die 47nH-SMD-Drosselspule später noch irgendwie an den Drain-Anschluß des CFY 30 angeschlossen werden, bei der Größe 1206 im Vergleich zum FET ein Riesenteil. Deshalb benötigt man hier auch ein Stückchen Streifenleitung mit möglichst hohem Wellenwiderstand (das gibt mehr Induktivität) und ca. 5 mm Länge. Bei $Z = 135$ Ohm ist aber ziemlich Schluß, da dann die Breite der Leitung schon unter 0,3 mm sinkt. (Auch bei der Gate-Vorspannung für den Arbeitspunkt wählen wir deshalb für die Lambda/Viertel-Leitung diese 135 Ohm als Wellenwiderstand).

Jetzt wechselt man wieder ins Feld F1 zurück und nimmt in der Schaltung die eben aufgeführten Änderungen vor. Als nächstes braucht man nur noch zu plotten, das Ergebnis in den Diagrammen zu betrachten, im Feld F3 die Leitungslänge in Richtung von Punkt 2 zu korrigieren. Das Ganze wird einige Male zu wiederholen sein, bis man sich bei 1700 MHz möglichst weit dem Mittelpunkt (= 50 Ohm) im Smith-Diagramm nähert und gleichzeitig auf der waagrechten Achse befindet. Dann wird S_{22} ein Minimum aufweisen! Läuft die S_{22} -Kurve schließlich links vom 50-Ohm-Punkt vorbei, so muß man den Wellenwiderstand der Transformationsleitung nochmals etwas vergrößern, Läuft sie dagegen rechts vorbei, so muß er etwas verkleinert werden.

Hierzu noch eine Empfehlung: Man sollte sich den Mittelpunkt des Smith-Diagrammes „herauszoomen“, damit man solange tüfteln kann, bis die S_{22} -Kurve möglichst nahe an diesen Punkt herankommt und so genau bei 1693 MHz die bestmögliche Anpassung erreicht wird. Dazu braucht man nur den „Smith-Radius“ im Feld F2 bis auf 0,5 oder sogar 0,2 zu verkleinern, sollte jedoch zusätzlich die Anzahl der Plotpunkte (absolute

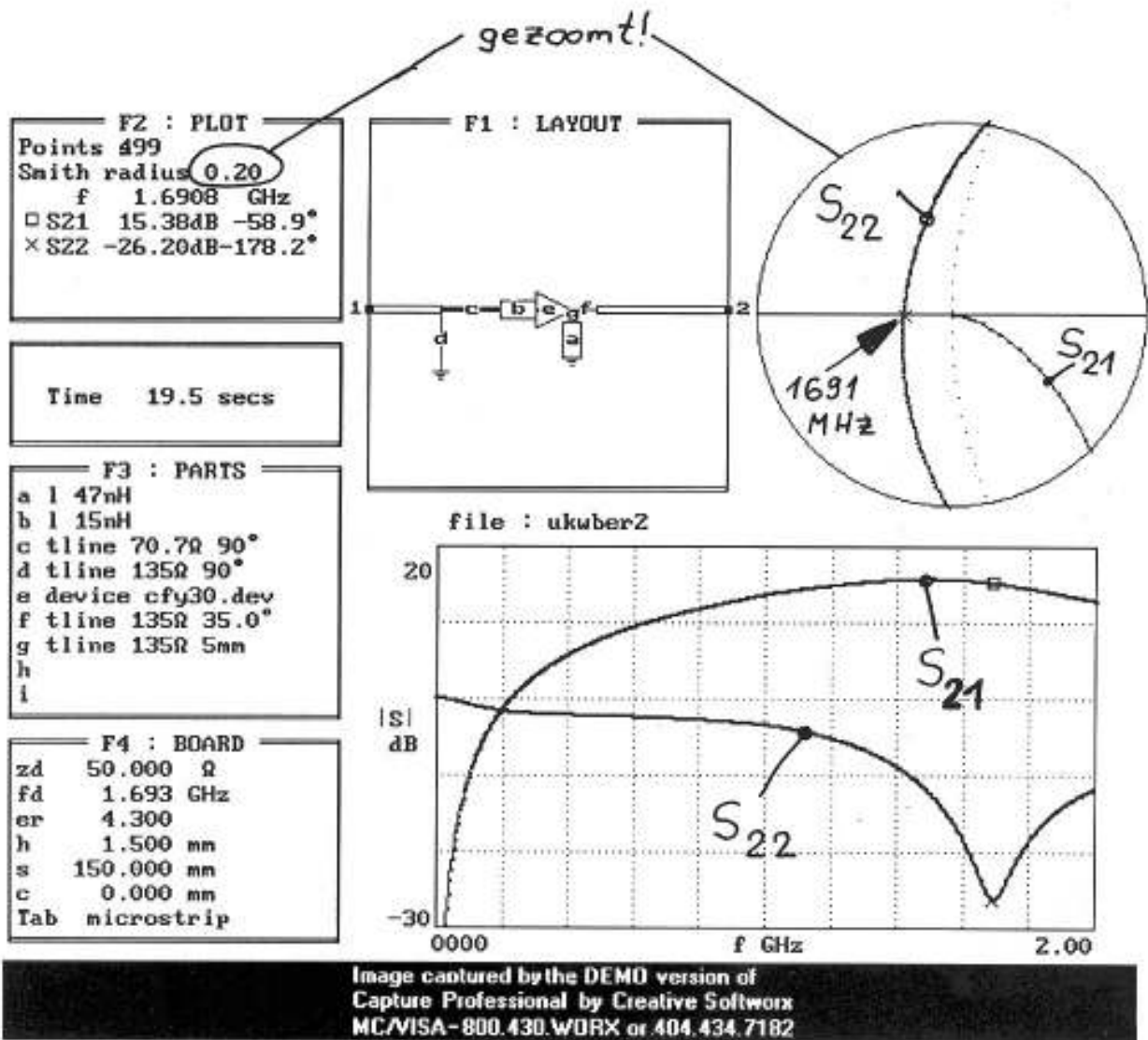


Bild 10: Daten der optimierten Schaltung

Grenze: 499) erhöhen. Hoffentlich hat Ihr PC einen Coprozessor, sonst dauert's bei aufwendigeren Schaltungen sehr lange mit der Rechnerei.

Bild 10 zeigt die Daten der so optimierten Schaltung.

Bevor es weitergeht, sollte eine lebenswichtige PUFF-Kontrolle nicht vergessen werden: Man ändert den überstrichenen Frequenzbereich in „0 bis 10 GHz“ und läßt nochmals plotten. Mit messerscharfem Auge sollte nun der Verlauf von S_{11} und S_{22} im unteren Fre-

quenzgang-Diagramm untersucht werden, denn die Werte von S_{11} und S_{22} dürfen nie und nirgends größer als 0 dB werden.

Das wären dann Reflektionsfaktorwerte größer 1 und dazu gehören leider negative Widerstandswerte beim Eingangs- wie auch Ausgangswiderstand. So etwas führt aber in den meisten Fällen dazu, daß der Verstärker schwingt.

Jetzt noch eine längst fällige Zwischenbemerkung zum **Ausdrucken des Bildschirms** (Print Screen-Funktion):



Es hat sich herausgestellt, daß von den auf der PUFF-Diskette mitgelieferten Druckertreibern nur die „EPSON-Version“ jederzeit bei allen Druckerversionen problemlos funktioniert. Ein besonderes Sorgenkind war bisher die Ausgabe auf HP-DESKJETS und LASERJETS – es fehlte immer ein Teil des Bildschirms und der Fehler ließ sich in keiner Weise beheben. Auch ein Brief an die Software-Autoren in Amerika brachte nur den köstlichen Schlußsatz im Antwortschreiben: „... let us know if you find a solution, because this is a common problem...“.

Das lange Suchen und Ausprobieren hat sich gelohnt, denn ich kann jetzt eine fast perfekte Lösung anbieten. Per Zufall fand ich auf einer CD-ROM meiner Kinder (111 WINDOWS-Spiele...) in einem Unterverzeichnis ein „Bildschirm-Einfang-Shareware-Programm“ namens „Capture“. Das war die Lösung des Problems und der Ausdruck wurde zum Kinderspiel:

Man installiert PUFF unter WINDOWS (als DOS-Anwendung mit dem Programm-Manager) und startet es von dort aus. Arbeitet man mit PUFF und drückt – wie gewohnt – die Taste «Printscreen», so wird der Bildschirm in die

Zwischenablage (= Clipboard) kopiert. Wechselt man zurück zu WINDOWS, ruft man „Capture“ auf und lädt die Zwischenablage in dieses Programm. Mit den vielen gebotenen Bearbeitungsmöglichkeiten ist nun das Invertieren (um den schwarzen Hintergrund zu beseitigen), die Umwandlung in ein Schwarzweißbild, das Ausgleichen der Halbtöne, ein Drehen der Darstellung und vieles Andere ein Vergnügen.

Das Endergebnis kann man als „BITMAP-File“ speichern und sofort mit dem WINDOWS-Systemdrucker des PCs ausdrucken. Ich ziehe es allerdings vor, das Bild in mein Textverarbeitungsprogramm (WINWORD 6.0) in einen „Grafikrahmen“ zu holen und dann die unteren 2 cm abzuschneiden, da dort der lästige Hinweis auf die Shareware-Version erscheint.

Die ersten PUFF-Bedienkommandos sollten nun vertraut sein. Leider fehlt im englischen Original-Handbuch eine Zusammenstellung aller möglichen Befehle und Operationen. Da man ohne dieses Nachschlagewerk recht hilflos dasteht, habe ich nachfolgend einen „alphabetischen Stichwortkatalog zur Bedienung von PUFF“ zusammengestellt.

6.2.5. Alphabetischer Stichwortkatalog zur Bedienung von PUFF

Stichwort Befehle

Tastenkombinationen

Abmessungen von Bauteilen oder Leitungen anzeigen lassen;

Ins Feld F3 wechseln, den Cursor auf die entsprechende Bauteilzeile fahren und «=» drücken; die Daten erscheinen dann im Informationsfeld;

Amerikanischen Zeichensatz laden (um an Ohmzeichen etc. heranzukommen...)

Vor Aufruf von PUFF.EXE: «cd c:\puff», dann «chcp 437» (Achtung: AUTOEXEC.BAT und CONFIG.SYS vorher ändern!)



Bauteil plazieren (im Layout F1)	Ins Feld F1 wechseln, den Cursor an die vorge-sehene Anschlußstelle fahren und das Bauteil durch Eintippen des richtigen Buchstabens (zu sehen in der Liste des Feldes F3!) selektie-ren. Dann durch Drücken der passenden Cur-sor-Richtungstaste das Bauteil plazieren.
Bauteil löschen (im Layout F1)	Ins Feld F1 wechseln, den Cursor auf den Anfang des Bauteils fahren und es mit der Tastenkombination » Shift + Cursor-Rich-tungstaste « löschen;
Bauteile-Wert eingeben (in Liste F3)	Ins Feld F3 wechseln, mit dem Cursor auf einen freien Platz der Liste fahren und eintip-pen: „ l(umped)“. Die Bauteile können einzeln, als Reihen- oder als Parallelschaltung eingegeben werden. Als Einheiten sind bei Ohmschen Widerständen entweder „Ohm, Kilo-Ohm, usw“ oder auf den Systemwider-stand normierte Werte („1z“, „0.3z“ usw) zuläs-sig. Blindelemente können dagegen direkt mit der korrekten Einheit (z.B. pF, mH) oder als imaginäre Widerstandswerte („+j10,“) oder als auf den Systemwiderstand normierte imagi-näre Widerstandswerte („-j5z“) angegeben werden. Beispiel für Reihenschaltung: „2+j4-j3z“
Bauteil-Liste F3 erweitern, weil die Punkte a...h nicht ausreichen	Auf F3 drücken, dann die Tab-Taste betätigen
Component-Sweep	Ein Bauteil aus der Bauteil-Liste kann in sei-nem Wert durch das Programm variiert wer-den, während die anderen Bauteile und die Frequenz konstant gehalten werden. So kann eine Schaltung optimiert werden. Dazu muß man erst in das Feld F3 gehen und vor den Bauteile-Wert ein Fragezeichen setzen. Beispiel: lumped ?10pF oder tline 50 ?90° Nach dem Wechsel ins Feld F2 werden an den Achsen des Frequenzgang-Diagrammes die „Sweep-Grenzen“ für die Variation des Bau-teils eingestellt, z.B. 5pF bis 15pF für den Kon-densator oder 70° bis 110° für die Stripline



Coupled lines (= gekoppelte Streifenleitungen) einsetzen	Eingabe im Bauteilfeld F3 mit „ clines “ oder nur „ cl “. Darauf folgen die Werte von „Even“- und „Odd“-Widerstand, falls der Wellenwiderstand der gekoppelten Leitungen vom Systemwiderstand abweicht . Anschließend muß noch die elektrische Länge angegeben werden. Stimmen die Wellenwiderstände von System und Koppelleitung überein , dann muß nur einer der beiden Widerstandswerte (egal, ob „Even“ oder „Odd“) eingetragen werden. PUFF berechnet dann den zweiten, fehlenden Wert und trägt ihn im *.puf-File nach.
Datei eines Entwurfes laden	Ins Feld F3 wechseln, « CTRL r », Dateinamen eingeben, dann «RETURN», (Achtung: Datei muß die Extension *.puf tragen. Diese Extension muß aber nicht angegeben werden).
Datei eines Entwurfes speichern	Ins Feld F2, dann « CTRL s », Dateinamen eintippen, «RETURN»
Dicke des Platinenmaterials verändern	Ins Feld F4 wechseln, dann unter Menüpunkt „h“ den neuen Wert eintippen;
Drucken des Layout-Entwurfs	Ins Feld F2 wechseln, dann « CTRL a » (Vergrößerungsfaktor p muß ggf. schon vorher mittels Textverarbeitung direkt im Circuit file *.puf nach Wunsch neu eingestellt worden sein!)
Druckertreiber laden	Vor dem Aufruf von PUFF.EXE: « cd c:\puff », dann z.B. « vga2pro.com » für IBM Proprinter; anschließend « puff.exe »;
Grad-Zeichen (°) für Winkeleingabe bei Bauteilen z.B. bei elektrischen Längen von Leitungsstücken	Im Feld F3 « Alt d »
Hilfe anfordern	Taste « F10 » drücken
Impulsantwort auslösen	Im Feld F2 « i »
MIKRO -Zeichen (z.B. für Mikro-Henry)	Im Feld F3 « Alt m »



Mikro-Stripline mit Dispersion und Dämpfung verwenden

tline! anstelle von **tline** eingeben.

Achtung: Vor dem Laden von PUFF muß mit einem Texteditor das entsprechende File (bzw. bei Neubeginn das SETUP-File) aufgerufen werden und dort die Platinendicke, die Dicke der Cu-Schicht, die Oberflächenrauigkeit und der Verlustfaktor für die vorgesehene Entwurfsfrequenz eingetragen und gespeichert werden. Beispiel: Werte bei FR 4-Material für die Frequenz 1700 MHz $\epsilon_r = 4.3$
loss tangent = 1.5 E-2
Platinendicke $s = 1.5$ mm
Leiterdicke = 0.035mm
Oberflächenrauigkeit = 0.001 mm

Nächsten Knoten im Layout anspringen

Im Feld F1 «**CTRL n**»

OHM-Zeichen

Im Feld F3 «**Alt o**»

Löschen eines Bauteils auf der Platine

Ins Feld F1 wechseln, den Cursor auf den Anfang des Bauteils fahren und es mit der Tastenkombination «**Shift + Cursor-Richtungstaste**» löschen;

Löschen der kompletten Schaltung auf der Platine

Ins Feld F1 wechseln, dann «**CTRL e**»

PARALLEL-Zeichen für diskrete Bauteilkombinationen

Im Feld F3 «**Alt p**»

Platine: Abstände der Portpins ändern

Ins Feld F4 wechseln, dann unter Menüpunkt „**c**“ den neuen Wert eintippen;

Platine: Außenmaße ändern

Ins Feld F4 wechseln, dann unter Menüpunkt „**s**“ den neuen Wert eintippen;

Platine: Dicke ändern

Ins Feld F4 wechseln, dann unter Menüpunkt „**h**“ den neuen Wert eintippen;

Platine: Dielektrizitätskonstante des Werkstoffes ändern

Ins Feld F4 wechseln, dann unter Menüpunkt „**er**“ den neuen Wert eintippen;



Platine: Masseverbindung bei einem Schaltungspunkt anbringen	Im Feld F1 « = »
Plotpunkte-Anzahl verändern	Ins Feld F2 wechseln, mit Cursor auf „Points“ fahren und von Hand die Anzahl der Rechenschritte (max. 499) eingeben
Plotvorgang starten (einschließlich Berechnung)	Im Feld F2 «p»
Plotvorgang nach einer Änderung starten und zusätzlich den alten Verlauf darstellen	Im Feld F2 «CTRL p»
Portpin an Layout anschießen	Ins Feld F1 wechseln; Cursor an den entsprechenden Endpunkt der Schaltung fahren, die Nummer des Portpins eintippen, dann «RETURN»
PUFF laden	Vorschlag: Batch-Datei „PUFF.BAT“ ins Stammverzeichnis c:. Ansonsten: «chcp 437», «cd c:\puff», «vga2pro.com», « puff»
PUFF verlassen	Zweimal hintereinander «ESC» drücken
SMITH-Diagramm: Ausschnitt-Radius verändern	Ins Feld F2 wechseln, mit Cursor auf „Smith radius“ fahren, dann den gewünschten Radius eintippen (es sind Werte zwischen Null und Unendlich zulässig. Werte kleiner als 1 ergeben eine „Ausschnitt-Vergrößerung“).
SMITH-Diagramm: auf „bildschirmfüllend“ umschalten	Ins Feld F2 wechseln, dann «Alt s» eingeben;
SMITH-Diagramm: Bildschirm ausdrucken	Taste «PRINTSCREEN» drücken (Achtung: klappt nur, sofern vor dem Start ein Drucker-treiber – z.B. VGA2PRO.COM – geladen wurde)
SMITH-Diagramm: von „bildschirmfüllend“ auf „kleine Darstellung“ mit getrennt dargestellter Frequenzgang-Kurve zurückschalten:	Im Feld F2 «ALT s»



SMITH-Diagramm: Frequenzmarken verschieben	Siehe unter „Frequenzmarke“. Verschiebung mit «page up» bzw. «page down» .
SMITH-Diagramm: Umschaltung von Widerstands- auf Leitwert-Darstellung	Ins Feld F2 gehen, dann die «Tab-Taste» betätigen
Sprungantwort auslösen	Im Feld F2 «s»
Startfrequenz für den Plotvorgang und die Berechnung verändern	Ins Feld F2 wechseln und die Cursortaste (up oder down) solange betätigen, bis der Cursor auf der Startfrequenz des unteren Diagrammes (für den Frequenzgang) steht. Neue Startfrequenz eintippen, dann neuen Plotvorgang mit «p» starten.
Stoppfrequenz für den Plotvorgang und die Berechnung verändern	Ins Feld F2 wechseln und die Cursortaste (up oder down) solange betätigen, bis der Cursor auf der Stoppfrequenz des unteren Diagrammes (für den Frequenzgang) steht. Neue Stoppfrequenz in GHz eintippen, dann neuen Plotvorgang mit «p» starten.
S-Parameter für Berechnung und Plotvorgang auswählen	Ins Feld F2 wechseln, mit der Cursortaste im Feld F2 nach unten fahren und den gewünschten Parameter nach dem Buchstaben „ S “ eintippen (z.B. S₁₁)

6.2.6. Erweiterung der Grundschaltung zum vollständigen Stromlaufplan

Um zu einer aufbaufähigen Schaltung zu kommen, müssen noch folgende Forderungen erfüllt werden:

- die Drain-Source-Gleichspannung muß +3,5 V, der Drainstrom 15 mA betragen
- das Gate muß für diesen Drainstrom gegen den Source-Anschluß ca. 0,35 V negativ vorgespannt werden
- der Source-Anschluß selbst muß für HF auf Massepotential liegen

- die Versorgungsspannung für den FET-Verstärker soll +5 V sein, sie wird mit einem SMD-Festspannungsregler (Typ 7805 / SMD) aus der „Fernspeisung mit +12 V“ gewonnen.

Bei der Arbeitspunkteinstellung über die Gate-Spannung gibt es nun 2 Möglichkeiten:

1. Man erzeugt mit einem SMD-Schaltregler (7660) eine negative Spannung von -5 V und speist damit über ein Einstellpoti sowie die bekannte Lambda/Viertel-Leitung das

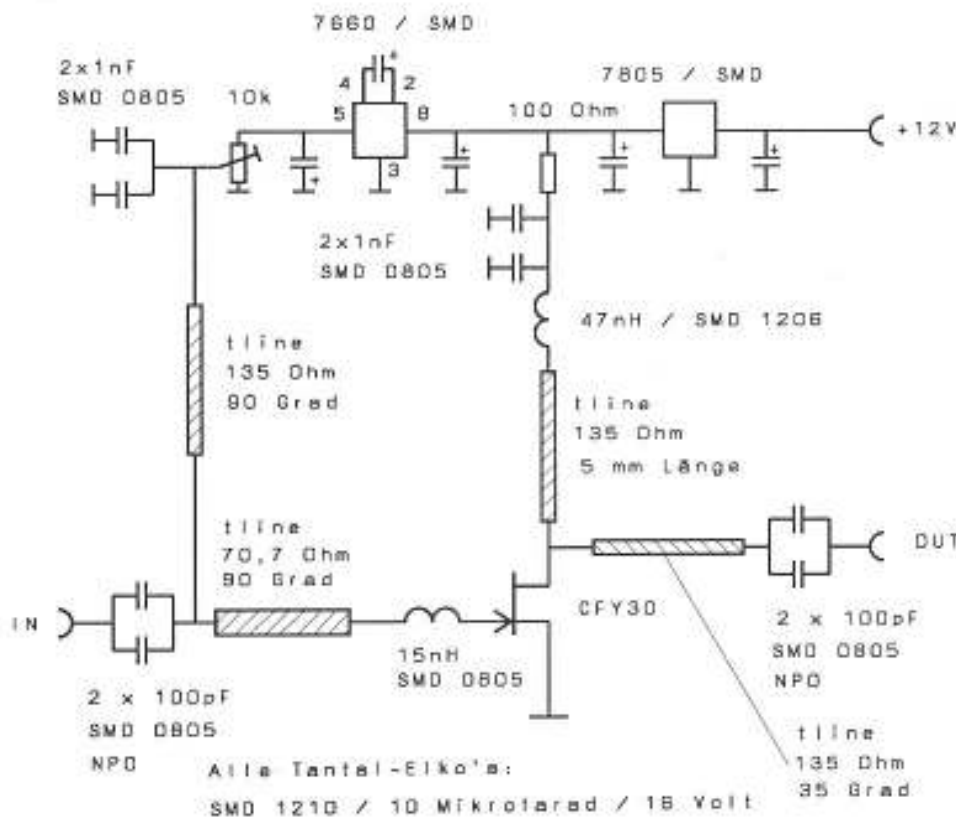


Bild 9:
Schaltplan mit
negativer Vorspan-
nungserzeugung

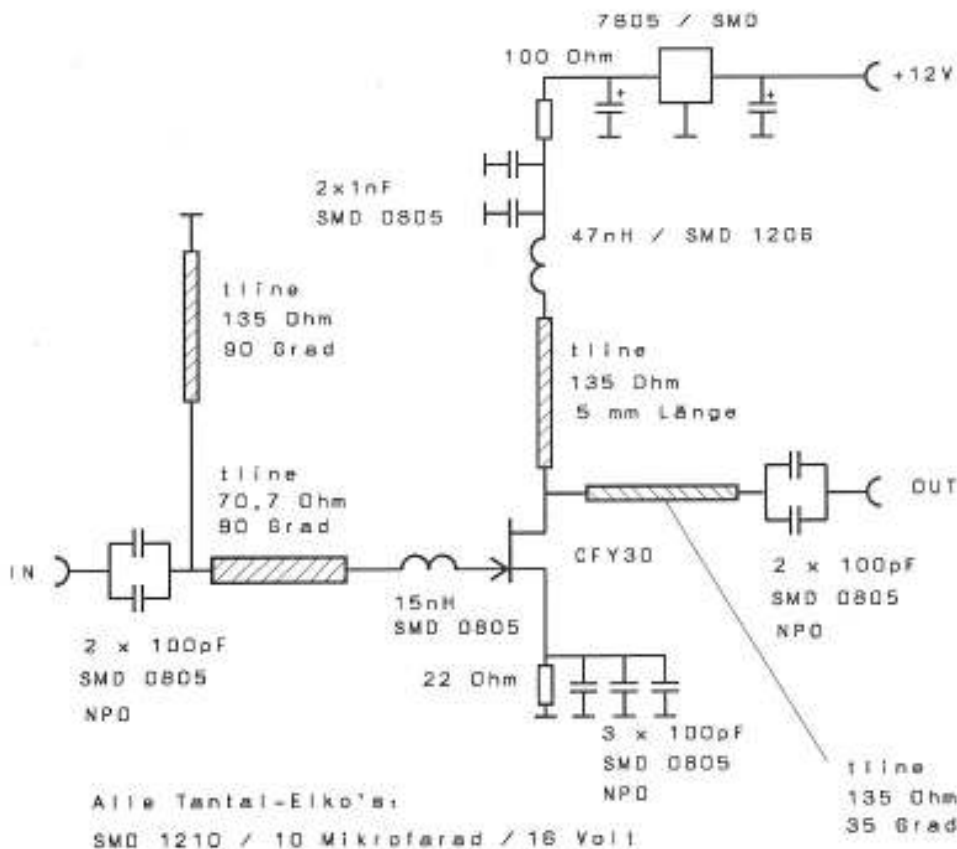


Bild 12:
Schaltung mit Source-
Widerstands-Lösung

Gate. Jetzt darf Source direkt mit Masse verbunden werden.

2. Man legt den Gate-Anschluß über die Lambda/Viertel-Leitung direkt auf Massepotential. Hier benötigt man aber in der Source-Zuleitung einen 22 Ohm-Widerstand, an dem die gewünschte negative Gatevorspannung entsteht. Dies ist die einfachere Lösung, sie macht jedoch erhebliche Schwierigkeiten bei der breitbandigen, niederohmigen Erdung des Source-An-

schlusses bis 2 GHz über geeignete Kondensatoren.

Um diese Einflüsse genau zu untersuchen, wurden einfach beide Möglichkeiten realisiert und anschließend vermessen.

Bild 11 zeigt die realisierte Schaltung mit negativer Vorspannung, **Bild 12** dagegen die Lösung mit Sourcewiderstand.

Wird fortgesetzt

ULTRA-KURZ...



„So werde ich Funkamateurl“

Unter diesem Titel ist ein sehr umfangreiches Werk in völlig aktualisierter und überarbeiteter Auflage erschienen.

Das Buch richtet sich an all diejenigen, die sich für die „Amateurfunk-Lizenzprüfung“ gründlich vorbereiten wollen. Aufgeteilt in mehrere Kapitel werden alle prüfungsrelevanten Themenkreise ausführlich behandelt. Am Ende eines jeden Kapitels sind Übungsfragen und -aufgaben abgedruckt, die dem Leser helfen sollen seinen Wissensstand zu überprüfen.

Das Buch ist kartoniert und umfaßt 214 Seiten mit 130

Abbildungen. Es ist für DM 36,- unter der ISBN 3-922238-15-7 im Buchhandel oder beim Verlag UKW-Berichte erhältlich.

Radioastronomie

Die **Gründung eines Radio Astronomy Clubs** zum Austausch von Informationen und zur Koordination von Aktivitäten wird vom Initiator Peter Wright angestrebt. Geplant sind außerdem ein Mitteilungsblatt und eine Computer-Mailbox.

Nähere Informationen sind erhältlich bei: Peter Wright, Angelika Gehrke Ziehenstr. 97 D-68259 Mannheim, Tel. 0621/794597