



Gunthard Kraus, DG 8 GB

## Das interessante Programm

Heute: **Ansoft Designer SV 2.2**

Teil 2, Fortsetzung aus Heft 1/2006

### 4. Analyse einer Verstärkerstufe

Nach dem erfolgreichen Filterentwurf im ersten Teil soll nun betrachtet werden, wie man mit dem „Designer“ beim Entwurf einer rauscharmen Vorverstärkerschaltung für das 23-cm-Band vorgeht. Natürlich alles in kleinen Schritten, damit es nachvollziehbar bleibt und als Vorlage für eigene Arbeiten dienen kann.

#### 4.1. Analyse der erhältlichen S-Parameter

Eine aktive Schaltung wird durch ihre vier Parameter  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$  und  $S_{22}$ , sowie ihre Rauschzahl „NF“ recht genau beschrieben. Zusätzlich gibt der Stabilitätsfaktor „k“ Auskunft darüber, ob man mit einer Schwingneigung rechnen muss. Also beginnt man die Arbeit mit den S-Parametern, wie man sie im Internet findet. Zuvor muß man aber wissen, welchen Transistor oder HEMT man über-

haupt einsetzen will - und da hilft eine Suchmaschine für das Internet sowie der Suchbegriff „LNA design“ weiter, um erst mal etliche Application Notes und die Arbeit anderer Leute zu studieren.

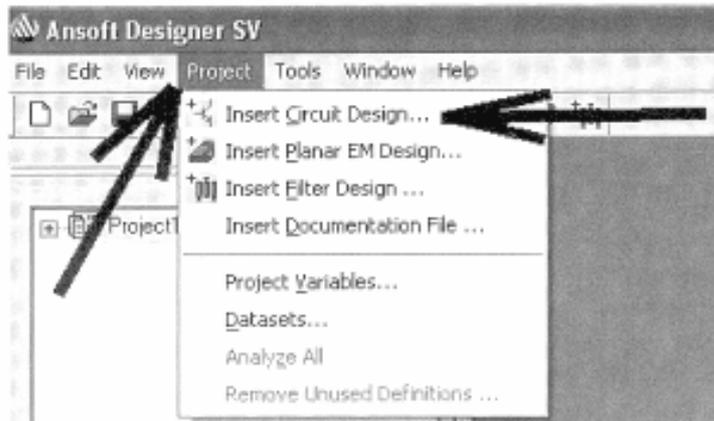
#### 1. Schritt:

Hat man sich für ein bestimmtes Bauteil entschieden, liefert die Eingabe des gewünschten Typs in die Suchmaschine meist nicht nur das Datenblatt, sondern bei HF-Bauteilen auch die S-Parameter und etliche Lieferanten.

Es gibt auf dem Markt immer wieder sehr preisgünstige HEMTs und aus diesem Angebot soll der ATF-33143 (AGILENT) eingesetzt werden. Das S-Parameter-File und die Rauschparameter sehen folgendermaßen aus (siehe **Tabelle 1**).

(Zur Erinnerung:

Im ersten Block werden die S-Parameter in der Reihenfolge „ $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{22}$ “ im Frequenzbereich von 0,5 bis 12 GHz aufgelistet. Jeder einzelne Parameter wird nacheinander in der Form „Magnitude + Angle“ dargestellt.



**Bild 24:** Im Menü „Project“ muss „Insert Circuit Design“ angeklickt werden, um eine Schaltung zu zeichnen und dann zu analysieren

Im zweiten Block finden sich die Rauschparameter. Da findet man in jeder Zeile nach der Frequenzangabe die minimal mögliche Rauschzahl in dB, gefolgt von den zugehörigen Werten für „Magnitude + Angle“ der speisenden Quelle - also nichts anderes als S11 eines „Oneports“. Und die letzte Angabe stellt das Verhältnis des Wirkanteils der optimalen Quellenimpedanz zum Systemwiderstand von 50 Ohm dar. Wer nun den minimalen

```

! ATF-33143 S PARAMETERS
! Vd=4V Id=80 mA LAST UPDATED 10-15-01
# ghz s ma r 50
0.5 0.86 -76.9 14.93 132.1 0.037 55.4 0.26 -126.6
0.9 0.77 -115.9 10.77 109.1 0.051 43.9 0.34 -155.5
1 0.76 -123.2 10 104.8 0.053 42.1 0.35 -160.5
1.5 0.72 -151.7 7.18 87.4 0.063 36 0.39 -180
2 0.72 -171.1 5.51 74.3 0.071 32.1 0.43 166.6
2.5 0.72 170.1 4.45 62.6 0.077 28.1 0.45 158.7
3 0.73 157.4 3.7 52.9 0.084 24.6 0.47 151.2
4 0.74 135.9 2.79 35.4 0.099 16.4 0.49 138.7
5 0.75 116.6 2.28 17.7 0.114 5.7 0.5 124.7
6 0.77 97.6 1.91 -0.7 0.126 -6.9 0.52 108.3
7 0.79 80 1.6 -18.6 0.133 -20.6 0.54 91
8 0.82 64.5 1.35 -34.4 0.136 -32 0.57 75.3
9 0.84 50.5 1.18 -48.6 0.141 -42.1 0.61 63.1
10 0.86 36.4 1.06 -63.7 0.15 -54 0.64 51.5
11 0.88 21.6 0.94 -79.8 0.151 -67.3 0.67 38
12 0.9 7.4 0.81 -95.5 0.148 -80.2 0.71 22
13 0.91 -4.9 0.68 -110 0.138 -92 0.74 6.4
14 0.91 -15.5 0.59 -122 0.132 -100.8 0.76 -5.6
15 0.92 -27.4 0.53 -134.5 0.131 -110.8 0.79 -15.5
16 0.93 -40.5 0.48 -147.4 0.131 -121.5 0.81 -25.4
17 0.94 -52.3 0.43 -161.2 0.128 -134 0.82 -37.6
18 0.93 -61.3 0.37 -171.9 0.119 -142.9 0.84 -49.5

0.5 0.3 0.4 28.2 0.08
0.9 0.35 0.31 44.1 0.07
1 0.36 0.3 47.4 0.07
1.5 0.4 0.23 79.1 0.05
2 0.46 0.22 117 0.05
2.5 0.52 0.26 157.7 0.04
3 0.58 0.29 171.1 0.04
4 0.69 0.39 -157.2 0.044
5 0.8 0.46 -132.4 0.07
6 0.9 0.52 -109.4 0.13
7 1.02 0.57 -88.8 0.25
8 1.12 0.63 -70.5 0.42
9 1.21 0.66 -54.1 0.63
10 1.32 0.76 -40.4 0.83

```

**Tabelle 1:**  
Das S-Parameter-File und die Rauschparameter des ATF-33143



**Bild 25:** Bitte auf „FR4“ doppelt klicken, um die Platinendaten umzustellen

Rauschzahlwert für 23 cm Wellenlänge = ca. 1300 MHz abschätzt, dem läuft sozusagen das Wasser im Mund zusammen: Theoretisch wäre da 0,4 dB möglich ...).

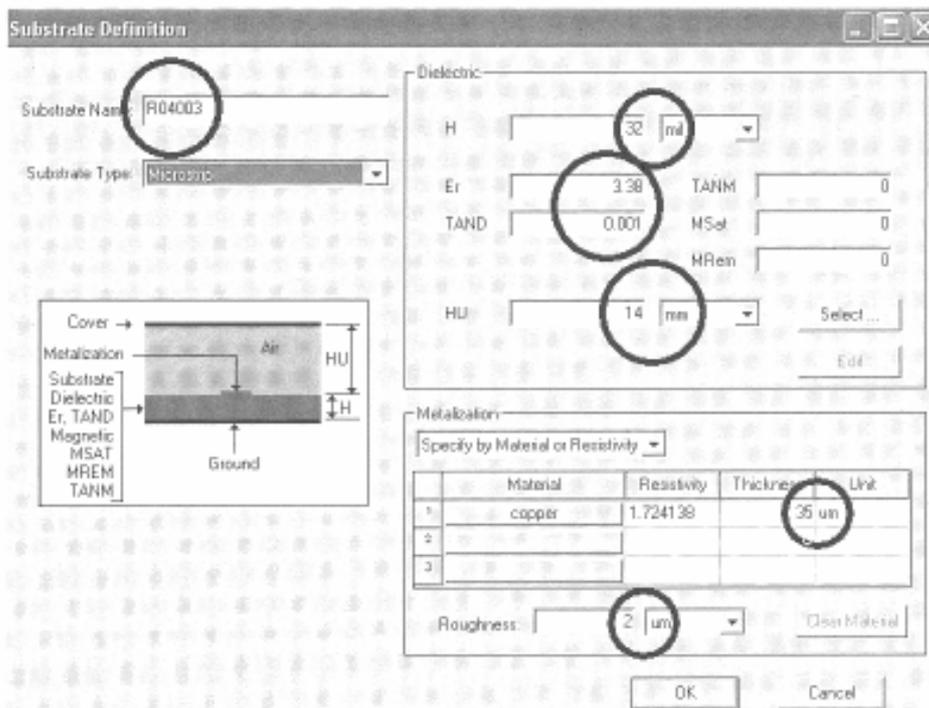
**2. Schritt:**

Ein neues Projekt wird gestartet und anschließend im Projektmenü der Punkt „Insert

Circuit Design“ gewählt (**Bild 24**). Dadurch taucht automatisch die Auswahl-Liste für den Platinenwerkstoff auf dem Bildschirm auf. Darin wählt man einfach aus der oberen Hälfte der Liste ein beliebiges Mikrostreifenleitungsmaterial - z.B. „MS FR4 (Er=4,4) 0.030 inch, 0.5oz copper“ - und klickt auf „Open“. Jetzt kann man nicht nur das aktuelle Projekt in einem geeigneten neuen Ordner und unter einem geeigneten File-Namen (hier: „ATF10136\_01“) speichern, sondern man sollte auch gleich das entsprechende S-Parameter-File des HEMTs von Schritt 1 in diesen Ordner hineinkopieren.

**3. Schritt:**

Im „Project Manager“ – Window macht man gleich mit der Maus die gesamte Menüstruktur sichtbar und klickt dann unter „Data“ doppelt auf „FR4“ (**Bild 25**). Damit kommt man an das Platinenmenü heran und ändert darin (jeweils nach einem Klick auf den zugehörigen „Edit“-Button):



**Bild 26:** Mit all diesen Änderungen wird aus FR4 nun „R04003“

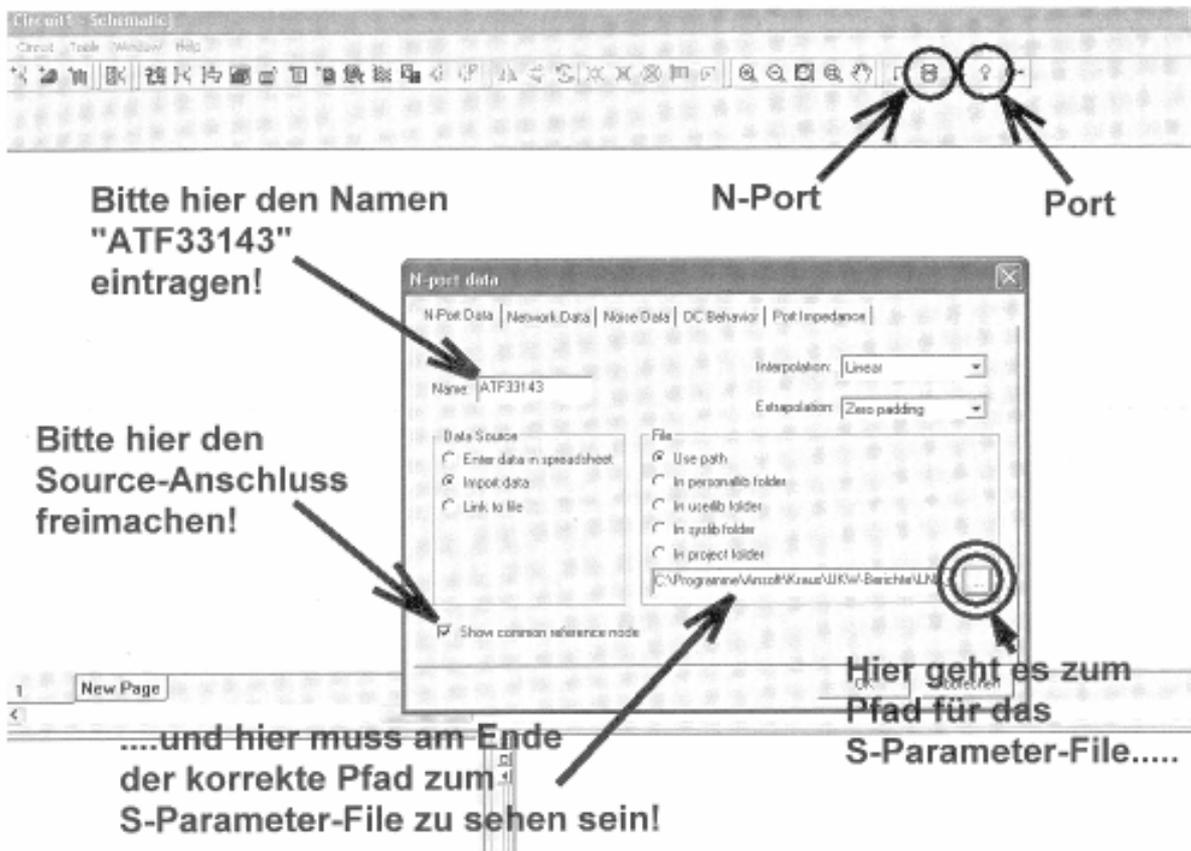


Bild 27: Bitte beim N-Port alles einstellen und anschließend genau kontrollieren

a) bei der Kupfer-Metallisierung auf Dicke („Thickness“) 35  $\mu\text{m}$ ; Rauigkeit („Roughness“) 2  $\mu\text{m}$ ;

b) beim Platinenwerkstoff auf Platinendicke  $H=32\text{mil}$ ; Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r=3.38$ ; Verlustfaktor  $TAND=0.001$ ; Deckelabstand  $HU=14\text{mm}$ ; Substrat Name R04003

Das ist alles in **Bild 26** sehr schön zu sehen und man bestätigt mit „OK“.

#### 4. Schritt:

Jetzt geht es richtig zur Sache. Zuerst benötigt man zweimal einen „Microwave-Port“ (= erst

das Port-Schaltzeichen über den passenden Button holen, absetzen und dann nach ei-

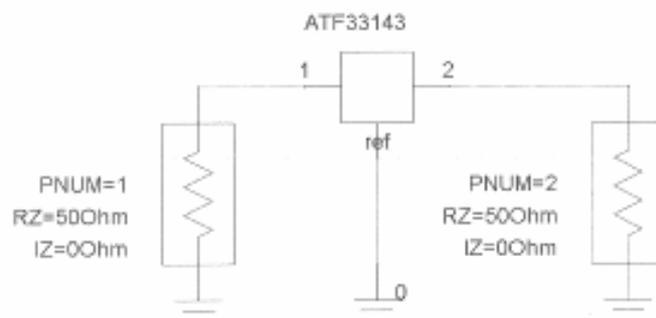
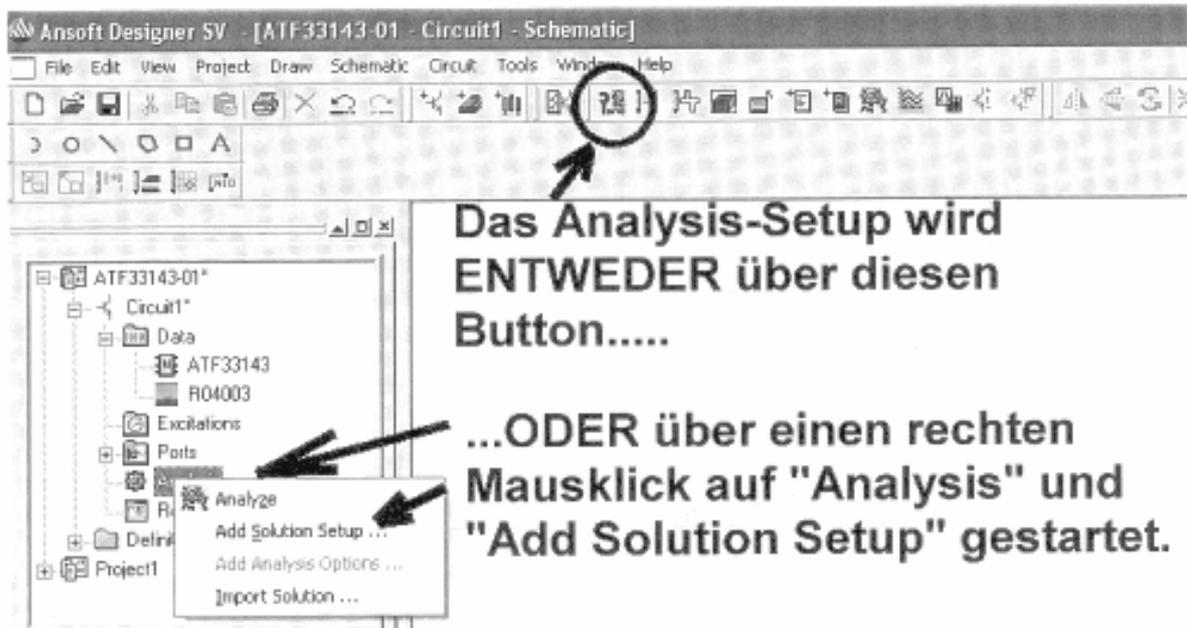


Bild 28: Stimmen alle Details? Dann kann man weiter zur Simulation schreiten



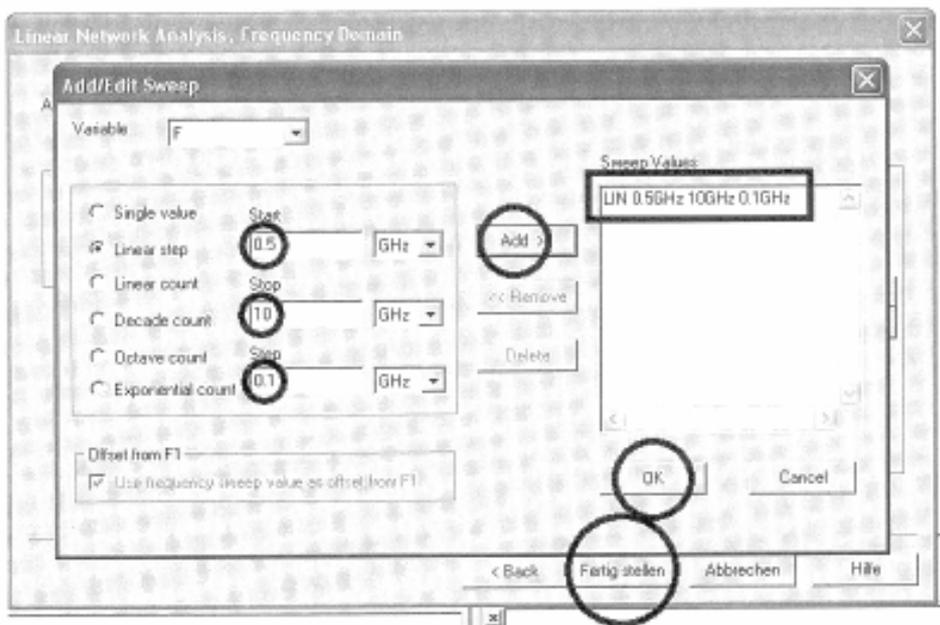
Das Analysis-Setup wird ENTWEDER über diesen Button.....

...ODER über einen rechten Mausklick auf "Analysis" und "Add Solution Setup" gestartet.

**Bild 29:** Zuerst muss der Sweep programmiert werden. Zum erforderlichen Analysis-Setup führen aber zwei Wege !

nem Doppelklick auf dieses Schaltzeichen im Property Menü auf „Microwave Port“ umstellen...). Dann kommt der ATF33143 als

„N-port“ dran und in **Bild 27** sieht man, wie es weiter geht. Zuerst sorgt man dafür, dass man später an den Source-Anschluss des



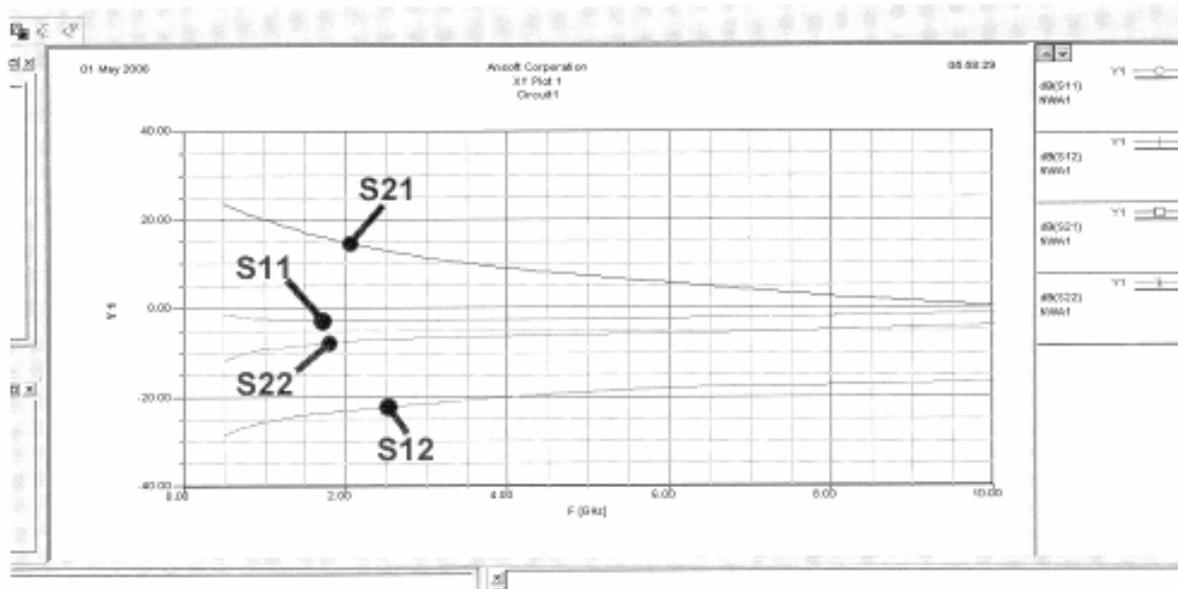
**Bild 30:** Zur Sweep-Programmierung bitte sorgfältig alle Einträge vornehmen und erst mit OK, dann mit „Fertig stellen“ abschließen



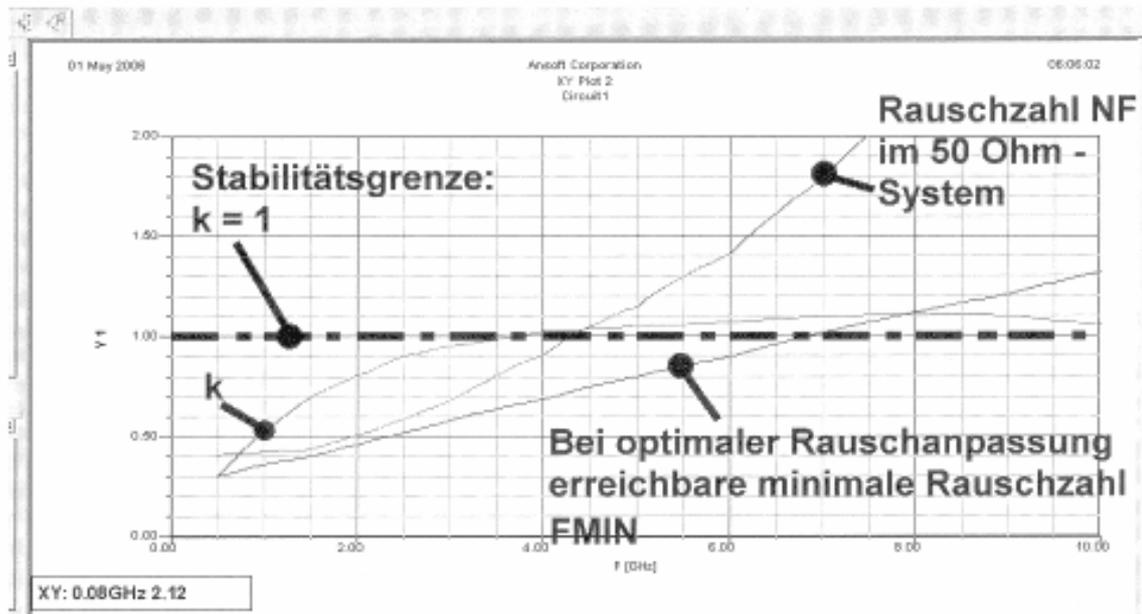
**Bild 31:** Damit man überhaupt etwas zu sehen bekommt, muss man erst wieder einen „Report“ programmieren

HEMTs herankommt. Außerdem bekommt das Projekt den Namen „ATF33143“. Erst jetzt öffnet man den Pfad zum gespeicherten

S-Parameter-File von Schritt 1 und binden es korrekt ein. Nach einem sorgfältigen Vergleich mit Bild 27 schließt man das Menü und



**Bild 32:** Bei dieser Darstellung tauchen: S11 / S21 / S12 / S22 für den Bereich 0,5 bis 10 GHz auf



**Bild 33:** Das interessiert natürlich brennend: minimal mögliche und tatsächliche Rauschzahl im 50 Ohm-System; dazu noch die Stabilitätsinformation

der Zweiport „hängt“ damit sofort am Cursor. Man setzt ihn ab, schließt ihn links und rechts an die Ports an und erdet noch den Sourceanschluß (das Erdungssymbol findet sich zwischen den Portsymbolen in der oberen Menüleiste). Den krönenden Abschluß bildet ein Doppelklick auf den noch anonymen N-Port: es soll nämlich die Bezeichnung im Schaltplan sichtbar gemacht werden. Im auftauchenden Property-Menü gibt es eine Karteikarte „Property Displays“ und ein Druck auf den Button „Add“ (gefolgt von OK) liefert den endgültigen und gewünschten Anblick nach **Bild 28**.

#### 5. Schritt:

Nun programmiert man einen Sweep und startet das zugehörige Setup-Menü (**Bild 29**). Darin klickt man auf „NEXT“, wenn die Einträge bereits „Linear Network Analysis“ und „Frequency Domain“ lauten. Ein Klick auf „Add“ im nächsten Menü ermöglicht die Programmierung eines linearen Sweeps von 0,5 bis 10 GHz in Schritten von 0,1 GHz (**Bild 30**). Nach „Add“, „OK“ und „Fertigstellen“ kann

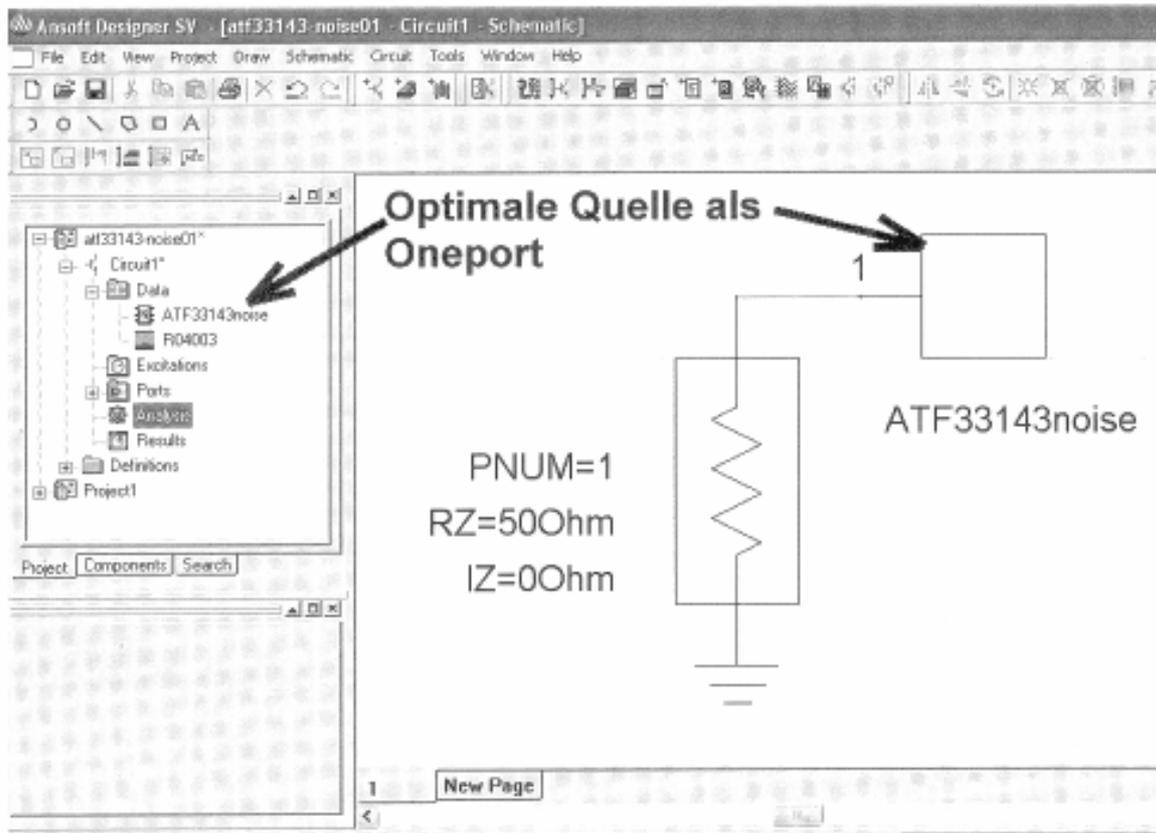
man mit einem Druck auf den „Analyse“-Button („mit den Zahnrädchen drauf!“) in der oberen Menüleiste die Simulation starten.

#### 6. Schritt:

Wie immer ist der Bildschirm zuerst leer, da man erst festlegen muss, was man zu sehen wünscht. Also öffnet man (siehe **Bild 31**) das „Create Report“ – Menü, wählt „Rectangular Plot“ und kann anschließend eine Auswahl treffen. Fängt man mit den „S-Parameters“ an, holt man nacheinander S11, S12, S21 und S22 in die Taskliste. „Done“ bringt die Ergebnisse nach **Bild 32** auf den Schirm.

#### 7. Schritt:

Zusätzlich interessiert das Rauschverhalten und die Stabilität im vorgesehenen Frequenzbereich. Also wiederholt man „Create Report“ aus Schritt 6, wählt diesmal „Stability“ und darin „k“ als Absolutwert (= function „abs“). Zusätzlich kann man aus der Rubrik „Noise“, sowohl „FMIN“, als auch „NF“ - aber diesmal beide in dB! - im gleichen Diagramm darstellen lassen. Beim Ergebnis ändert man noch, nach einem Doppelklick auf einen der



**Bild 34:** So simuliert man den für minimales Rauschen nötigen S11-Verlauf der Quelle

Zahlenwerte links an der senkrechten Diagrammchse, die Teilung (= „scaling“): der Bereich von 0 bis 2 ist ausreichend. Wie letztendlich des Ergebnis aussehen soll, zeigt **Bild 33**.

Nach diesem Ergebnis kann man nun über die grundsätzlichen Eigenschaften der Schaltung und ihre Verbesserung nachdenken. Man sieht nämlich sehr gut, dass im Bereich bis 4 GHz die erzielte Rauschzahl NF zwar unter 1 dB bleibt, der Stabilitätsfaktor  $k$  jedoch unter 1 rutscht und die Schaltung instabil ist und deshalb wohl irgendwo schwingen wird.

#### 4.2. Rauschanpassung bei 1300 MHz

Hierfür ist etwas Vorarbeit notwendig. Die im Touchstone-File des Bauteils mitgelieferten

Rauschparameter liefern zwar die Information, welche Quellenimpedanz für minimales Rauschen nötig ist, jedoch muss man selbst herausbringen, mit welcher Schaltung sich das am Besten verwirklichen lässt!

In der Praxis sind zwei verschiedene Methoden üblich:

Im ersten Fall arbeitet man nach dem Prinzip der Leistungsanpassung. Hier gilt die Regel, dass bei einem komplexen Lastwiderstand der Innenwiderstand der Quelle konjugiert komplex sein muss, um die höchste Leistung aus der Quelle zu holen. Wird, wie im vorliegenden Fall, ein bestimmter Impedanzverlauf des Innenwiderstandes über der Frequenz vorgegeben, gehört folglich dazu eben ein konjugiert komplexer Verlauf der Last. Also muss man aus den



```

!ATF-33143 source parameters for minimum
noise
! Vd=4V Id=80 mA
# ghz s ma r 50
0.5      0.4      28.2
0.9      0.31     44.1
1        0.3      47.4
1.5      0.23     79.1
2        0.22     117
2.5      0.26     157.7
3        0.29     171.1
4        0.39     -157.2
5        0.46     -132.4
6        0.52     -109.4
7        0.57     -88.8
8        0.63     -70.5
9        0.66     -54.1
10       0.76     -40.4
    
```

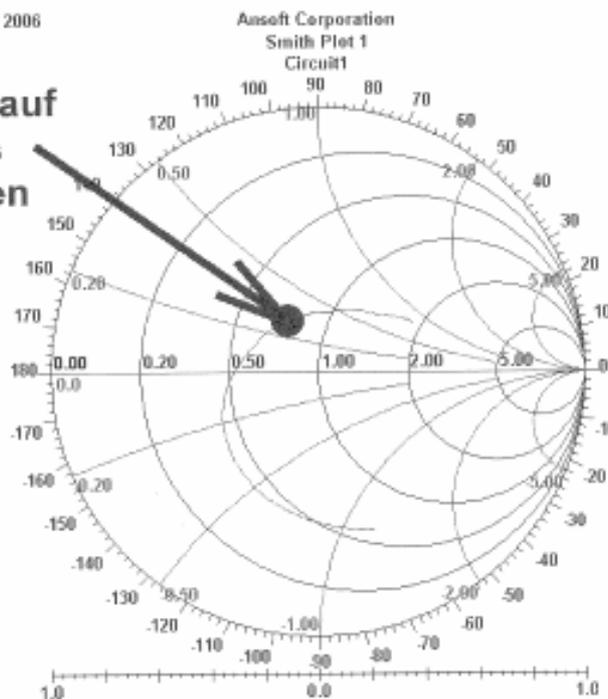
**Tabelle 2: S-Parameter-File, das modifiziert und auf S11 reduziert wurde**

ATF33143-Rauschparametern heraus ein neues S-Parameter-File erstellen, bei dem die Vorzeichen aller Blindanteile umgekehrt werden. Der Trick dabei ist nun, dass die Reihenschaltung dieses neuen „Oneports“ mit der vorliegenden Anpassungsschaltung bei der gewünschten Frequenz genau 50 Ohm ergeben muss. Praktisch ausgedrückt, bedeutet das:

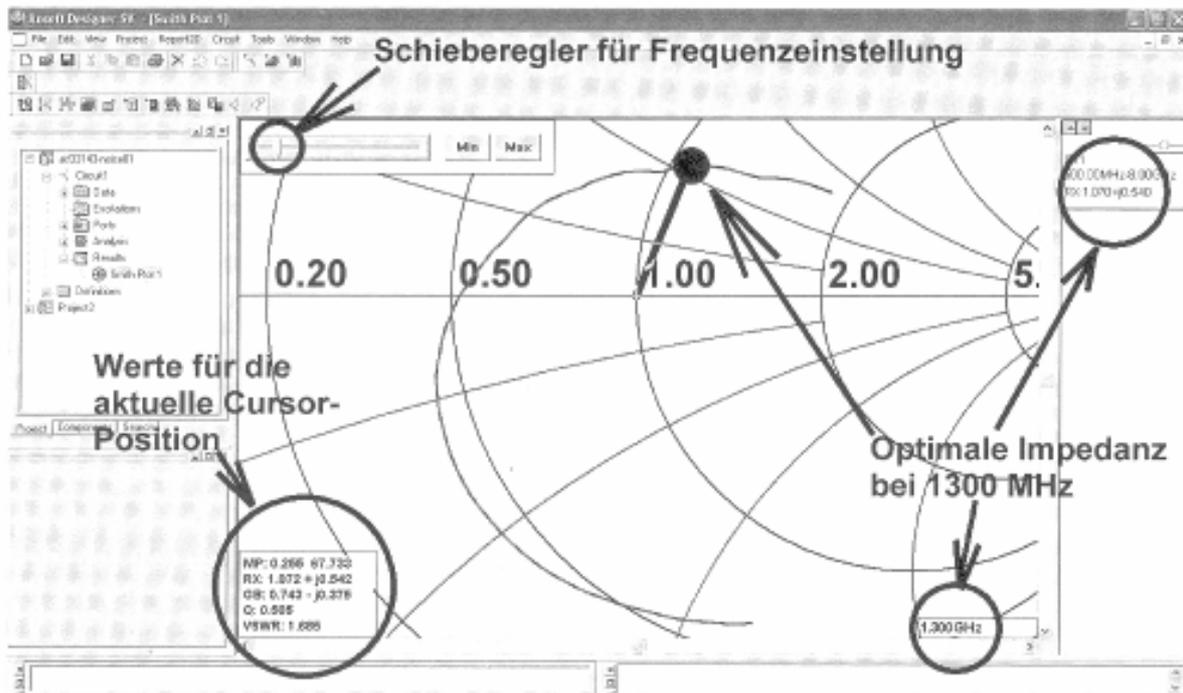
Das Anpassungsnetzwerk muss folglich solange geändert werden, bis bei der Frequenz von 1300 MHz die S11-Kurve dieser Reihenschaltung exakt durch den Mittelpunkt des Smithcharts verläuft!

Nur in diesem Fall hat man einen Eingangswiderstand von 50 Ohm, was genau die geforderte Leistungsanpassung an die 50 Ohm der Signalquelle ergibt. Der Autor gibt gern zu, dass er mit dieser Methode zwar schon gearbeitet hat, aber nie wirklich begeistert davon war.

**Impedanzverlauf für minimales Eigenrauschen**



**Bild 35: Aus diesem Verlauf kann man die Informationen für die Anpassungsschaltung holen**



**Bild 36:** Bei „Mark all Traces“ wird vom Diagramm-Mittelpunkt aus ein Zeiger bis zum Kurvenpunkt der gewählten Frequenz eingeblendet

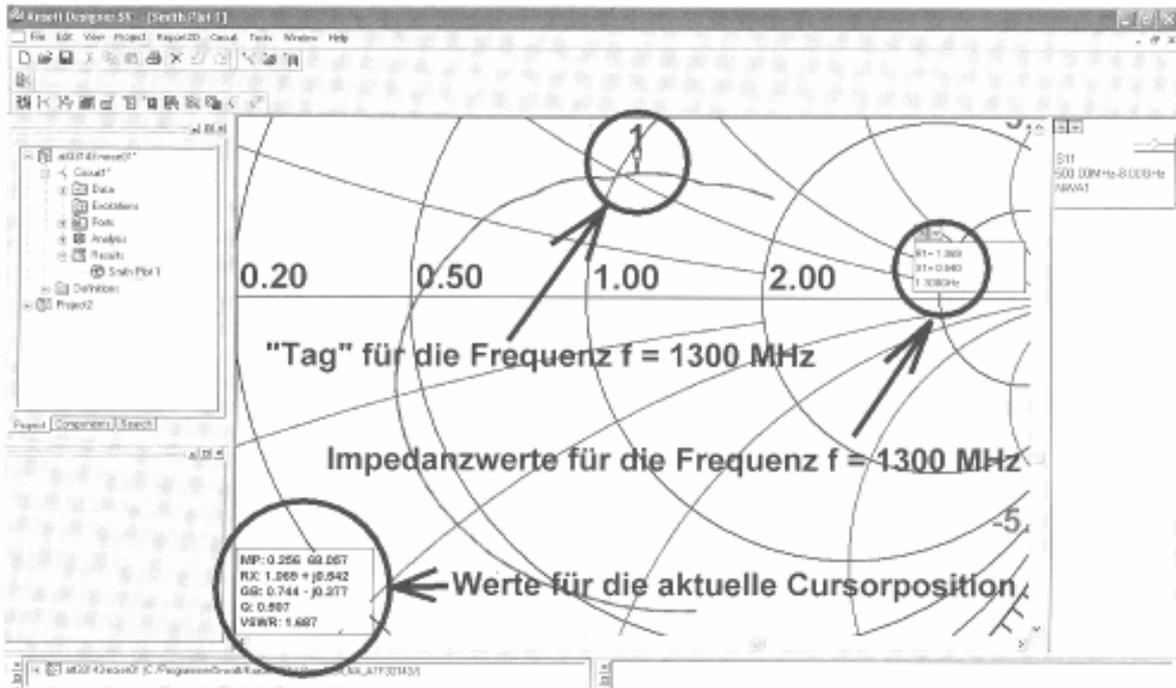
Der zweite Fall ist angenehmer: Man nimmt an, dass man selbst am Gate des HEMTs steht und nach links zur Quelle schaut. Die geforderte optimale Quell-Impedanz betrachtet man nun als S11 eines „Twoports“, der bereits automatisch an seinem Ausgang mit den 50 Ohm der Signalquelle abgeschlossen wurde. Diese Überlegung packt man in ein selbstgeschriebenes kleines S-Parameter-File, das nur den geforderten S11-Verlauf für minimales Rauschen enthält und damit die Anpassungsschaltung als „Oneport“ sieht.

Also nimmt man einen beliebigen Texteditor und löscht aus dem kompletten S-Parameter-File des ATF33143 bis auf die beiden Werte „Magnitude and Angle von S11 bei der optimalen Source-Impedanz“ alles Übrige heraus. Das Ergebnis sieht entsprechend **Tabelle 2** aus und wird unter „ATF33143noise.S1P“ abgespeichert.

Nun wird die komplette Prozedur aus Kapitel 4.1 wiederholt:

Man öffnet ein neues Projekt, platziert darin einen „Microwave Port“ und schließt das erstellte „Oneport-File“ „ATF33143noise.S1P“ an diesen Port an. Auch dessen Bezeichnung wird sichtbar gemacht und bevor man „Analyse“ drückt, muss man **Bild 34** vor sich haben.

Bitte aufpassen: das Simulationsergebnis (...es ist nichts anderes als S11 im Frequenzbereich von 0,5 bis 10 GHz) lässt man sich zusätzlich im Smithchart ausgeben. Dazu muss man nochmals „Create Report“ starten und gleich anschließend diese Umstellung vornehmen. In **Bild 35** sieht man nun den für minimales Rauschen nötigen S11-Verlauf in Abhängigkeit von der Frequenz im Smithchart - aber es fehlt die Frequenzangabe! Diese ist nicht vergessen worden, sondern



**Bild 37:** Beim „Tag“-Modus werden Frequenzmarken dauerhaft eingeblendet; eine entsprechende Marke kann hier die Frequenz 1300 MHz gesetzt werden

man hat hier wieder einige Möglichkeiten zur Auswahl; man muss lediglich festlegen, was man zu sehen wünscht.

#### Erste Möglichkeit:

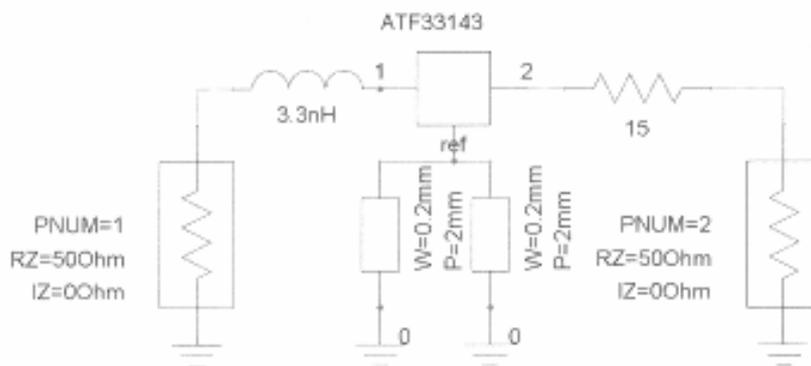
Man klickt mit der rechten Maustaste auf das Diagramm, wählt „Zoom in“ und markiert dann durch „Ziehen mit der gedrückten linken Maustaste“ den Ausschnitt, in dem die S11-Kurve verläuft. Anschließend wird nochmals auf die rechte Maustaste und dann auf „Mark all Traces“ geklickt. Nun kann man entweder mit den Cursor-Links-Rechts-Tasten auf die gewünschte Frequenz von 1300 MHz fahren, ODER den Schieberegler mit der Maus soweit verstellen, bis diese Frequenz angezeigt bzw. beim Kurvenverlauf markiert wird, ODER mit der linken Maustaste direkt auf die Kurve klicken, um die Frequenz von 1300 MHz zu treffen. Das Ergebnis ist in **Bild 36** sehr schön gezeigt.

#### Zweite Möglichkeit:

Nach dem rechten Mausklick auf das Diagramm zoomt man wieder zuerst und wählt anschließend „Data Marker“ im gleichen Menü. Sofort verändert die Impedanzkurve ihre Farbe und eine Marke („Tag“) läßt sich auf ihr mit der Maus auf verschiedene Frequenzen einstellen. Hat man den Wert 1300 MHz getroffen, reicht ein linker Mausklick und dieser Punkt wird als „Tag“ dauerhaft eingeblendet. Mit der „Escape“-Taste verläßt man anschließend wieder den „Tag“-Einstellmodus. Zu dieser Methode gehört **Bild 37**.

#### Wichtig zu wissen:

- Die erste Möglichkeit kann man über „rechte Maustaste / Exit Marker Mode“ wieder löschen.
- Zur Rückkehr aus der zweiten Möglichkeiten gehört der Pfad „rechte Maustaste / Delete all Tags“.



**Bild 38:**  
**Auf ein Neues:**  
**Simulation der**  
**Schaltung mit**  
**Rauschanpassung**  
**und Stabilitäts-**  
**verbesserung**

c) Zum Vollbild kann man über „rechte Maustaste / Fit all“ zurückkehren.

d) Im linken unteren Eck der Arbeitsfläche wird immer ein Feld mit interessanten Werten für die aktuelle Cursorposition eingeblendet. Wenn man also mit der Maus den Cursor auf irgend einen Punkt im Smithchart fährt, wird dafür untereinander ausgegeben:

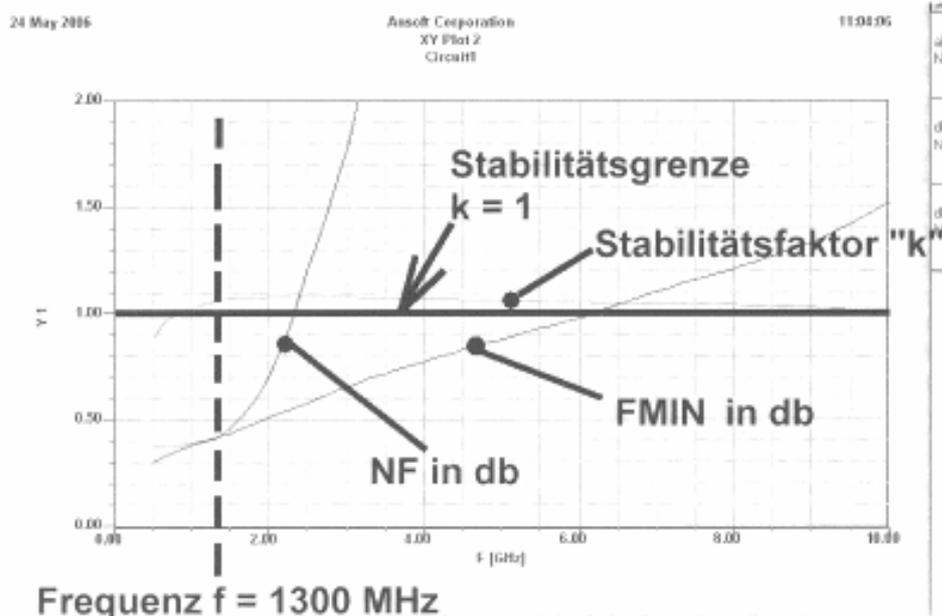
Der „Measuring Point“ MP als Magnitude und Angle von S11

Die zugehörige normierte Impedanz (als Reihenschaltung)

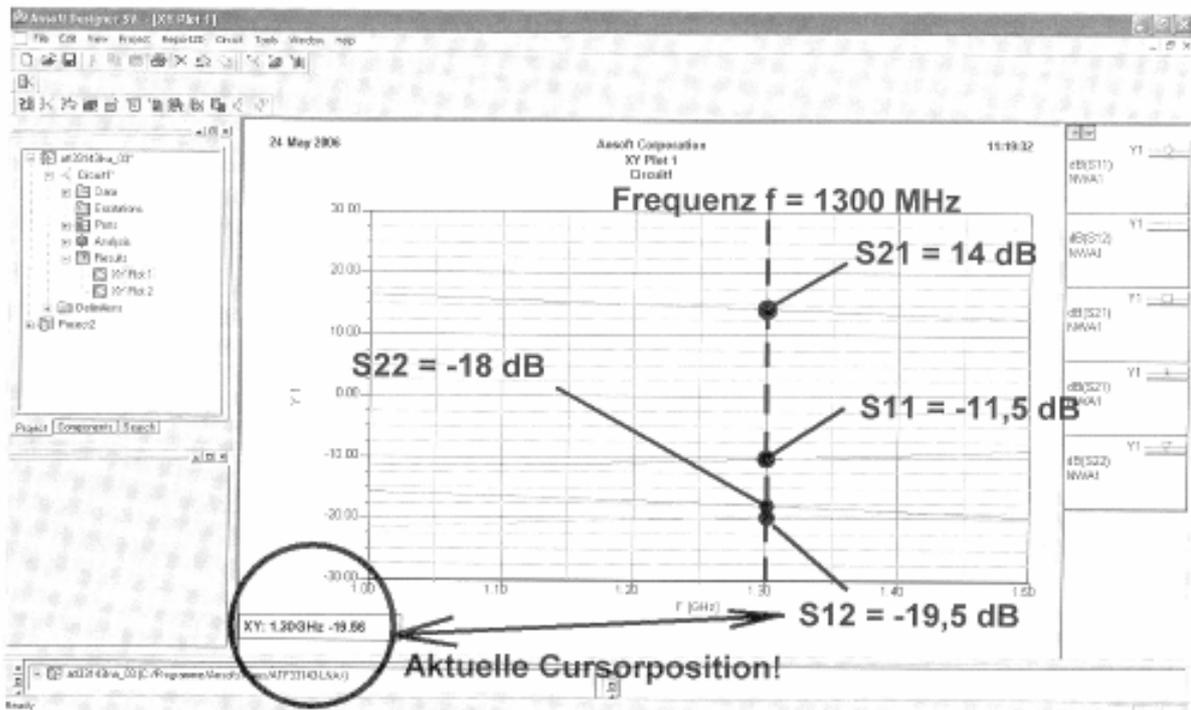
Der zugehörige normierte Leitwert (als Parallelschaltung)

Die Güte Q

Das Stehwellenverhältnis VSWR



**Bild 39:**  
Hier haben sich doch einige Verbesserungen ergeben: bei 1300 MHz ist man beim minimal möglichen Rauschen angekommen und ab 700 MHz ist die Schaltung stabil



**Bild 40: Erfreuliche Werte bei den S-Parametern, minimales Rauschen bei der Betriebsfrequenz und eine stabile Schaltung: das ist schon erstaunlich gut für den ersten Entwurf!**

Schon eine noble Sache....

Nun soll die Simulation ausgewertet werden. Die beiden eben besprochenen Möglichkeiten liefern für  $f = 1300$  MHz denselben Wert:

$$X_{\text{normiert}} = 1,069 + j0,54$$

(mit 50 Ohm multipliziert, ergibt das:

$$X = 53,4 \Omega + j27 \Omega)$$

Die praktische Umsetzung ist sehr einfach:

Beim geforderten Realteil von  $53,45 \Omega$  belässt man es beim Quellwiderstand  $Z = 50 \Omega$  und beim Blindwiderstand greift man zum Taschenrechner:  $j27 \Omega$  gehören bei 1300 MHz zu einer Induktivität von 3,3 nH, die man zwischen die Quelle und den Gate-Anschluss des HEMTs einfügen muss. (Allerdings kann sich der Autor eine kleine Bemerkung nicht verkneifen: diesen Reihen-Induktivitätswert von 3,3 nH hätte

„PUFF“ ganz einfach durch einen Klick auf das Gleichheitszeichen ausgegeben, wenn man den Cursor auf „S11“ gestellt hätte).

### 4.3. Rauschanpassung mit Stabilitätsverbesserung

Um die Stabilität zu erhöhen, greift man zu zwei bekannten und bewährten Methoden:

a) Zwischen Source-Anschluß und Masse wird eine kleine Induktivität eingefügt. Und weil alle Mikrowellentransistoren den Source-Anschluß doppelt herausführen, gibt das in der Simulation einfach die Parallelschaltung von zwei solchen kleinen Spulen. In der Praxis greift man aber lieber zu zwei kurzen Mikrostreifen-Leitungsstücken, denn die kosten weniger, müssen nicht bestückt werden und weisen bei sorgfältiger Platinenfertigung nur minimalste Serienstreuungen auf. Hier sind



es zwei Stücke mit einer Breite von 0,2 mm und einer Länge von 2 mm.

b) In die Drain-Leitung wird ein kleiner Widerstand (hier: 15  $\Omega$ ) eingebaut.

Die komplette Simulationsschaltung ist in **Bild 38** zu sehen. Diese erstellt man natürlich nicht nochmals komplett neu, sondern verwendet die bereits untersuchte Schaltung von Bild 28, speichert diese unter einem neuen Namen und fügt alle neuen Bauteile ein. Ein Sweep von 500 MHz bis 10 GHz liefert anschließend die in **Bild 39** dargestellten Verläufe für den Stabilitätsfaktor „k“ als Absolutwert, die minimal mögliche Rauschzahl „F<sub>MIN</sub>“ und die tatsächlich erreichte Rauschzahl „F“ in dB.

Die Rauschanpassung stimmt nun bei 1300 MHz genau, denn die Rauschzahl „F“ tangiert dort den Idealwert „F<sub>MIN</sub>“. Auch der Stabilitätsfaktor „k“ liegt jetzt im Frequenzbereich von 700 MHz bis 10 GHz über 1 und somit ist die Schwinggefahr der Schaltung stark vermindert.

Zur besseren Beurteilung wurden noch S11 bis S22 simuliert und dann der Bereich zwischen 1 und 1,5 GHz herausgezoomt. Die genauen Werte für 1300 MHz sind darin eingetragen (**Bild 40**) und man kann mit dem Ergebnis dieses frühen Entwurfs doch ganz zufrieden sein.

Wie würde es bei der Entwicklung weitergehen? Da ist zunächst die Erweiterung des stabilen Bereichs bis zur unteren und oberen Grenze angesagt und die Erfahrung zeigt, dass dies leider etwas auf Kosten der Rauschzahl geht (meist muss man dann mit

einer Verschlechterung von F um etwa 0,1 dB leben). Ebenso fehlen noch alle Elemente, die zur praktischen Platine gehören: die SMD-Pads der verwendeten Bauteile, die Verbindungsleitungen zwischen benachbarten Bauteilen, die dazugehörigen Steps zwischen SMD-Pad und Verbindungsleitung, die Durchkontaktierungen zur unteren Masse-Ebene usw...

Zum Glück werden alle diese Modelle vom ANSOFT-Designer auch in der Studentenversion ohne Einschränkung zur Verfügung gestellt, aber irgendwann nimmt das Simulationsschaltbild einen unübersichtlichen Umfang an. Aber: der Entwickler schwächelt meist früher als die Software!

## 5. Zusammenfassung

Eine völlig neue Welt mit unglaublichen Möglichkeiten für denjenigen, der seine HF- und Mikrowellen-Schaltungen schon vor der Realisierung bis ins Detail kennenlernen und bereits am Rechner alle Tücken in den Griff bekommen möchte. Dafür ist allerdings ein nie endender Lernprozess zum Ausschöpfen aller mitgelieferten Möglichkeiten nötig.

Aber: für diese vielen Werkzeuge ist keinerlei finanzielle Ausgabe nötig und so kann man ANSOFT für dieses Programmpaket nur von Herzen Dankeschön sagen.

*Kontakt zum Autor über den Leserservice der "UKW-Berichte".*

## ANZEIGE

### Mikrowellen-CAD-Software

#### PUFF Version 2.1

- weiterhin lieferbar! -

DOS-Software auf Diskette  
engl. Original-Handbuch

Art.Nr. 03407 € 22,-



 **UKW-Berichte**  
Telecom & Software

UKW-Berichte, Eberhard L. Smolke  
Jahnstr. 7, D-91083 Bayersdorf  
Tel. 09133-77980, Fax 09133-779833  
Email: info@ukwberichte.com  
www.ukw-berichte.de