



Gunthard Kraus, DG 8 GB

Das interessante Programm

Heute: **APLAC**

1. Ein kurzer Steckbrief

Einsatzgebiet:

APLAC ist ein Universalprogramm zur Analyse und Synthese aller denkbaren Schaltungen oder Systeme der Nachrichtentechnik, Elektronik und Physik im Zeit- oder Frequenzbereich. Einschließlich EM-Simulator nach der FDTD- Methode.

Wichtigste positive Eigenschaften:

Es fällt einem praktisch nichts ein, das mit APLAC nicht untersucht werden könnte.

Zur Spannweite der Anwendungsmöglichkeiten: in der Bauteile-Liste finden sich nicht nur alle bisher bekannten Elektronikkomponenten, sondern auch Modelle für Mechanik-Schwingungssysteme und Stoßdämpfer. Und das Manual liefert sogar ein Beispiel zur Simulation der HF-Energie-Absorption im menschlichen Schädel, wenn mit dem Handy telefoniert wird.

Das gefällt:

Sämtliche Manuals stehen kostenlos zum Download bereit und stellen komplette Lehr-

bücher dar. Alle bekannten Mikrowellenbauteile und Störstellen-Modelle (von Microstrip-Bend über den Interdigital-Kondensator und Lange-Koppler bis hin zum Zirkulator) sind auch in der kostenlosen Studentenversion freigegeben. Eine unglaublich umfangreiche Bibliothek an Funktionen und Möglichkeiten - nicht nur aus der Elektronik, sondern auch aus der Mathematik und Physik.

Gut und leicht zu bedienender Editor zum „Zeichnen“ des Stromlaufplanes.

Die Simulationsergebnisse stimmen bei erfahrenen Anwendern und bei Einbeziehung aller beteiligten Effekte exakt mit der Realität überein.

Das macht Mühe:

Das Programm ist ein Universalwerkzeug und deshalb nicht (wie etwa ANSOFT SERENADE) mit leicht zu bedienender Button-Steuerung ausgestattet. Es arbeitet mit eigener „APLAC-Language“, die vom Bediener erst das Erstellen mehrerer „Kontrollobjekte“ verlangt. Diese werden dann zu einem „Simulation-File“ zusammengefasst und ausgeführt. Im Klartext bedeutet das immer viel Schreibarbeit und getrennte Program-

mierung von Lösungsweg, Sweep-Vorgaben und Anzeige der Ergebnisse in Diagrammen, Textfiles oder Tabellen. Das Ganze stellt im Prinzip eine Mischung aus PSPICE- und ARRL-Radio-Designer-Kommandozeilen, sowie Elementen der Programmiersprache „C“ dar.

Dateityp und Dateigröße:

Download von ca. 45 Megabyte für alle Programmteile und Manuals erforderlich. Das ergibt nach der Installation einen Windows-Ordner mit etwa 65 MB.

Es konnten keine Probleme beim Betrieb unter WIN 95/98/ME/ 2000/NT oder mit schnellen Rechnern festgestellt werden.

Festgestellte Bugs oder grobe Rechenfehler:

Nur unbedeutende Kleinigkeiten oder Eigenwilligkeiten (z.B. beim Grafikaufbau oder beim Ausdruck), die aber stets direkt mit der „APLAC-Internet-Hotline“ per Email geklärt werden konnten. Angenehm ist, dass dort jede Anfrage (egal ob vom Studenten oder vom Industriebetrieb) völlig unparteiisch, freundlich, kompetent und kostenlos bearbeitet wird.

Verbesserungswünsche:

Intensive Fortführung des bereits begonnenen Ansatzes, die Eingabe-Arbeit durch sogenannte „Wizards“ (= kleine Zusatzprogramme mit grafischer Benutzerführung) wesentlich zu erleichtern.

Größerer zulässiger Simulationsumfang bei der kostenlosen Studentenversion (Siehe auch unter Beschränkungen).

Bedienerfreundlichkeit:

Wie schon angeklungen, ist eine sehr intensive Einarbeitungsphase erforderlich, bis die Anzahl der Fehlermeldungen nach dem Start einer Simulation zurückgeht. Perfekte Beherrschung folglich erst nach einiger Zeit und nur bei dauernder Nutzung. Trotzdem bleibt der Bedienungsaufwand höher als bei ähnlichen Produkten.

Hilfen:

Sehr umfangreiches PDF-Online-Manual in 7 Bänden mit ca. 1800 Seiten. Viele Beispiele

zur Schaltungs- und EM-Simulation als File auf der CD samt Besprechung im Manual. Sehr freundlicher und kostenloser Support über Internet bzw. Email.

Beschränkungen:

Die kostenlose Studentenversion beschränkt die Bauteil-Anzahl auf maximal 12 Komponenten, wobei jedoch Widerstände, Kondensatoren und Spulen nicht mitgezählt werden. Zusätzlich darf der bei der Simulation belegte Arbeitsspeicher eine bestimmte Größe nicht überschreiten, sonst wird abgebrochen.

Ein Ausweg für den eingearbeiteten Anwender ist in einem solchen Fall die Bitte um Überlassung einer kostenlosen 45 Tage-Test-Vollversion.

Beschaffungsmöglichkeiten:

Download der Studentenversion von <http://www.aplac.com> oder über die „Fundstelle Internet -CDs“ der UKW-Berichte.

2. Eine kurze Übersicht

APLAC (= Analysis program for linear active circuits) wurde in der Grundform schon im Jahr 1972 von Professor Marti Valtonen entwickelt. Seitdem gedeiht es auf dem Nährboden der Helsinki-Universität (und sicherlich

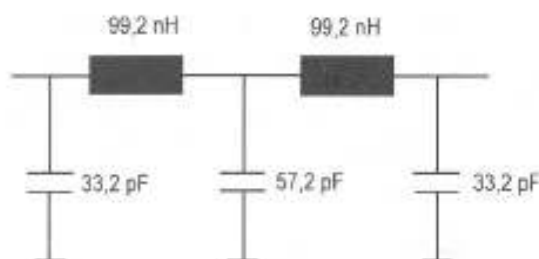


Bild 1: Diese Bauteilwerte liefert das Filterprogramm für einen 110 MHz-Tschebyschew-Tiefpass

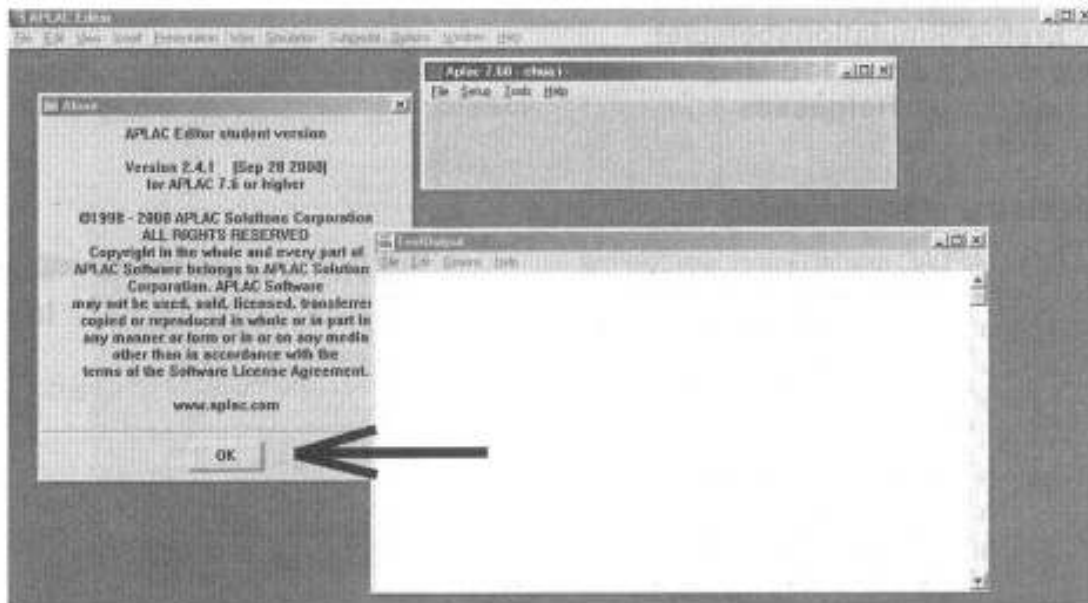


Bild 2: Durch "OK" an der angegebenen Stelle startet man den Editor. Die übrigen sichtbaren Simulatorfenster sollte man aber vorher schließen

auch innerhalb der NOKIA-Kultur des Landes) stetig weiter. Wie bereits erwähnt, fällt es mit seinem Konzept deutlich aus dem Rahmen der Konkurrenzprodukte, die sich meist auf bestimmte Simulationsgebiete spezialisieren und dann den Kunden mit ausgefeilter Bedienungstechnik verwöhnen.

APLAC will dagegen für jede Frage gewappnet sein und trägt sozusagen zusammen, was überhaupt auf der Welt an Simulations-Werkzeugen denkbar oder bekannt ist: vom PSPICE-Modul für lineare Schaltungssimulation über den Harmonic Balanced Simulator zur nichtlinearen Groß-Signalanalyse, vom Kommunikationssystem-Simulator über die Bestimmung von Rauschseitenbändern bei Oszillatoren bis hin zur EM-Simulation von Microstreifenleitungs-Antennen oder der HF-Absorption im menschlichen Schädel. Man entdeckt erst beim intensiven Studium der umfangreichen Manuals, was man alles damit machen könnte.

Eine solche Universalität muss natürlich erkaufte werden - in diesem Fall mit einer gerin-

geren Bedienerfreundlichkeit. Das bedeutet, dass man sich alles selbst zusammenstellen und auf den vorliegenden Anwendungsfall zuschneiden muss. Dazu dient die eigene „APLAC-Language“, die man erst nach längerer Zeit und wohl nie komplett im Kopf haben wird.

Beim Erstellen des erforderlichen Simulation Files geht es einem ähnlich wie bei der C-Programmierung: beim ersten Durchlauf jede Menge an Fehlermeldungen, die jedoch mit zunehmender Erfahrung immer schneller ausgemerzt werden können. Ist diese Hürde geschafft, freut man sich nicht nur an den exakten Ergebnissen, sondern auch die Vielfalt der Untersuchungs- und Darstellungsmöglichkeiten trösten einen sehr schnell über die umständlichere Bedienung hinweg.

Einige Simulationen sollen nun den richtigen Umgang mit der Software zeigen und gleichzeitig seine Leistungsfähigkeit demonstrieren.

2.1. Erstes Simulationsbeispiel: S-Parameter eines 110 MHz- Tschebyscheff-Tiefpasses

2.1.1. Schaltplan-Erstellung

Bevor man APLAC starten kann, werden mit einem der bekannten und kostenlosen DOS-Filterprogramme aus dem Internet (z. B. „fds“ oder „faisyn20“) die Bauteilwerte des gewünschten Tiefpasses bestimmt. Dabei sollen folgende Vorgaben gelten:

- „Ripple“ (= Welligkeit der Dämpfung im Durchlassbereich) = 0,1 dB,
- „Ripple“-Grenzfrequenz $f_g = 110$ MHz
- Spulenarme Ausführung
- Filtergrad $n = 5$
- Systemwiderstand $Z = 50 \Omega$

Das Ergebnis ist in **Bild 1** dargestellt.

Jetzt startet man APLAC und wird vom Bildschirm, wie in **Bild 2** dargestellt, empfangen. Darin ist schon markiert, wie der Schaltplan-Editor gestartet wird. Bitte gleich die auftauchende weiße Zeichenfläche formatfüllend zoomen.

Anschließend klickt man mit der rechten Maustaste irgendwo auf die freie Fläche des Bildschirms, es erscheint ein weiteres Menü und dort wählt man „Basic“. Dadurch wird die Liste mit den Grundbauteilen aufgerufen und man kann sich eine Spule unter dem Begriff „Ind“ auswählen (**Bild 3**). Sie hängt nach der Bestätigung mit der <ENTER>-Taste am Cursor und wird im Schaltbild abgesetzt. Das Ganze wiederholt man und hat dann bereits die beiden notwendigen Induktivitäten. Ein benutztes Bauteil ist zusätzlich auch unter „BASIC / RECENT“ aufgelistet und kann von dort geholt werden.

Nun holt man die drei Kondensatoren mit dem Begriff „Cap“. Sie werden jedoch jedes Mal nach dem Absetzen mit der Tastenkombination <CONTROL> + <R> um 90 Grad gedreht.

Weiter benötigt man dreimal das Massezeichen - es trägt im Basic-Bauteilvorrat den Namen „Ground“.

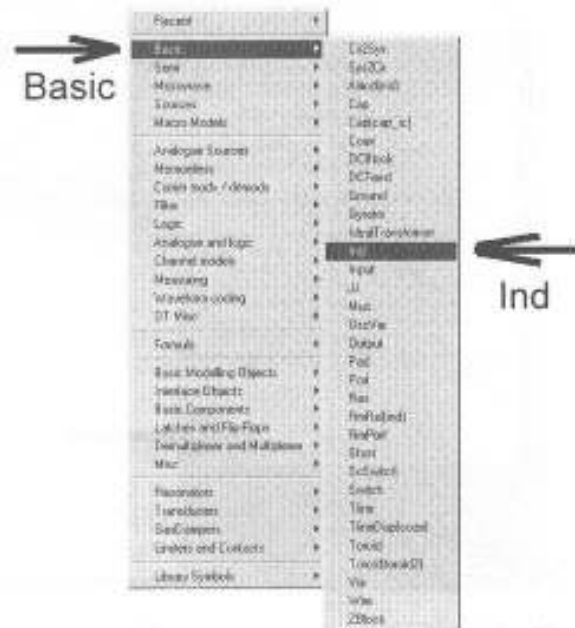


Bild 3: Diese Menüsammlung öffnet sich nach einem rechten Mausklick auf eine leere Stelle des Bildschirms. Dann wird an der markierten Stelle die Induktivität geholt

Abschließend klickt man doppelt auf das Schaltzeichen jedes Bauteils, trägt seinen Wert im Feld „Attributes“ ein und sollte dann nicht vergessen, die Nummerierung des Bauteils mit „Show Name“, sowie seine Wertangabe mit „Show all Attributes“ sichtbar zu machen. Bei der Angabe eines Wertes bitte stets den Dezimalpunkt (amerikanische Schreibweise) und kein Komma einsetzen!

Und nun die Verdrahtung: Sobald man mit der linken Maustaste irgendwo zweimal auf die freie Fläche des Schaltplans klickt, hängt am Cursor plötzlich eine „Drahtrolle“. Man klickt damit auf den Anschluss eines Bauteils und rollt dann den Draht ab bis zum gewünschten nächsten Anschluss.

Dabei darf und soll die Verbindung ruhig krumm und schief durch die Schaltung verlaufen, denn nach einem weiteren Klick mit der linken Maustaste verlegt der Editor die

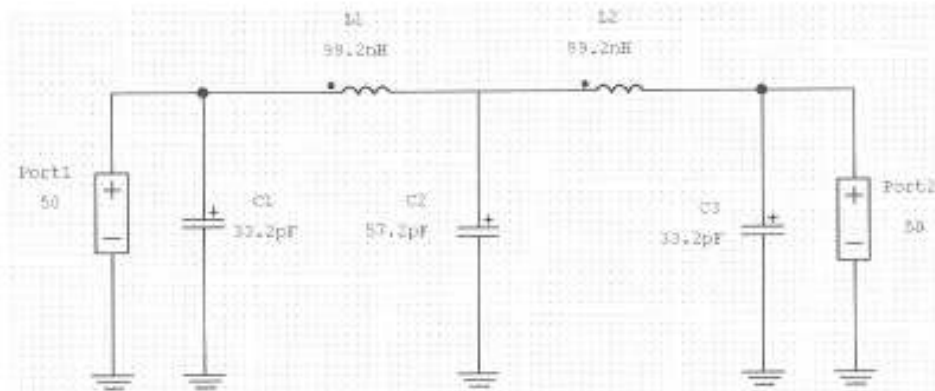


Bild 4:
So sollte der fertige Stromlaufplan aussehen

Leitungen selbständig sehr schön rechtwinklig!

Für die Ein- und Ausgänge holt man sich nach einem Klick mit der rechten Maustaste über „Basic“ einen „Port“ und setzt das Symbol auf der Eingangsseite ab. Das Ganze wird auf der anderen Seite für den Ausgangsport wiederholt. Schließt man die beiden Ports an die Schaltung und an Masse an, dann sollte man einen Stromlaufplan entsprechend **Bild 4** erhalten. (Bitte nach einem Doppelklick auf ein Symbol stets alle Eigenschaften sichtbar machen). Wer genau hinsieht, erkennt auch die Voreinstellung des Systemwiderstandes auf 50 Ω bei beiden Ports.

Schließlich sollte man die Schaltung formatfüllend zoomen, um die Details besser zu erkennen. Dazu geht man in das Menü „View“ und wählt „Zoom Whole Diagram“. Damit ist das Zeichnen der Schaltung bereits abgeschlossen.

Darüber hinaus kann man sich die simulierten Daten des Tiefpasses zusätzlich in ein S-Parameter-File im Touchstone-Format (mit der Endung „*.s2p“) schreiben lassen. Dazu klickt man auf das Symbol des Ausgangsports und trägt die entsprechende Aufforderung

STORE "LPF110MHz.s2p" GHZ MA

bei den Attributen (= in einer neuen Zeile nach dem Systemwiderstand von 50 Ω) ein.

2.1.2. Simulation der Schaltung

Dazu öffnet man erst einmal die „Object List Box“ (**Bild 5**) und klickt doppelt darauf. Im sich öffnenden Menü wird die Vorgabe „Isweep“ erst markiert und dann mit „Delete“ herausgelöscht, denn es handelt sich hier um einen „Interaktiven Windows-Sweep“, der hier nicht verwendet werden soll. Man ersetzt ihn durch ein neues Objekt vom Typ „Sweep“ und tippt darin folgende Vorgaben ein:

```
"110MHz-Tiefpass"
LOOP1001 FREQ LIN 100 kHz 0,3 GHz
WINDOW=0 Y "" "dB" -50 0
...
SHOW W=0 DB S (1,1)
+ DB S (2,1)
```

Erläuterung:

1. Zeile:

Der Begriff „110 MHz-Tiefpass“ wird als Name des Projektes bei jedem Diagramm und Ergebnisausdruck automatisch verwendet und mit ausgegeben.

2. Zeile:

Führe eine Simulation im Frequenzbereich durch und teile dabei den Bereich von 100 kHz bis 3 GHz linear in 1001 Simulationsschritte auf.

3. Zeile:

Lege für die Ergebnisausgabe ein „Window

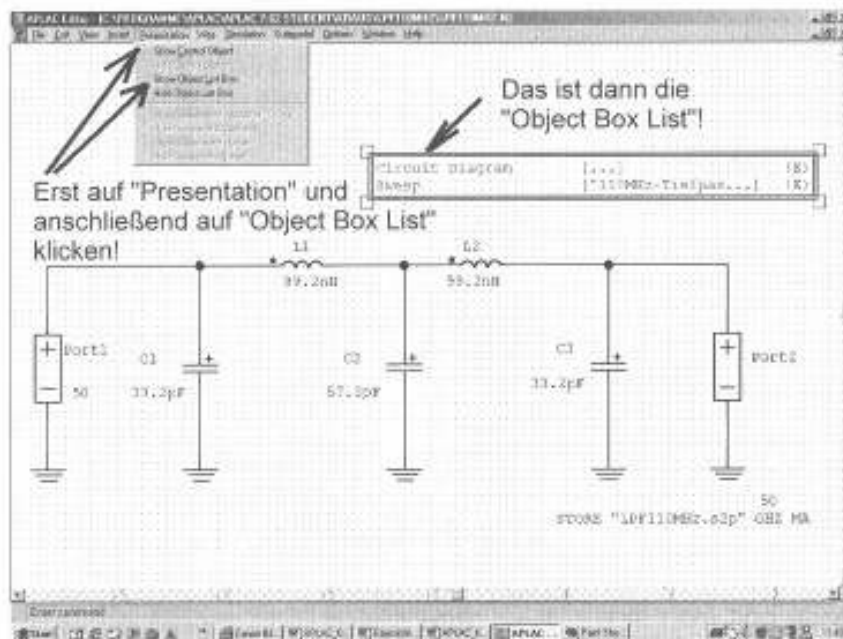


Bild 5:
Auf diese Weise wird die Object List Box dauerhaft auf den Bildschirm geholt. Zusätzlich wurde ein S-Parameter-File beim Ausgangsport P2 erzeugt

mit Nummer Null" an und sehe darin ein Plot-Diagramm vor, bei dem die senkrechte Achse von -50 bis 0 dB beziffert wird.

Achtung:

Die folgende Leerzeile trennt den Simulationsteil vom Ausgabeteil und darf deshalb nie vergessen werden!

5. Zeile:

Zeige in Window Nr. Null die Verläufe von S11 und S22 in dB.

Anschließend öffnet man nochmals das Menü „Presentation“. Hier geht es darum, das Sweep-File ebenfalls auf dem Bildschirm sichtbar zu machen. Deshalb klickt man auf „Show Control Object“, wählt „Sweep“ aus der Liste und schließt mit „OK“.

Zwei kleine Dinge sind noch vor dem Start der Simulation zu erledigen.

Erstens muß man das aktuelle Projekt unter einem passenden Namen in einem dafür geeigneten Verzeichnis abspeichern.

Zweitens wirft man noch einen letzten prüfenden Blick auf die Object Box List, denn das Sweep-File muss immer ganz unten in der Li-

ste stehen (sonst handelt man sich eine schwer verständliche Fehlermeldung ein...).

Bild 6 zeigt, wie hier alles aussehen sollte.

Sind alle Vorgaben korrekt, startet man den Simulator mit der Tastenkombination <Control + S>. Die Ergebnisse können in bekannter Windows-Manier bildschirmfüllend gezoomt werden und sind in **Bild 7** zu sehen.

Wer die berühmten „Tschebyscheff-Wellen“ bei S21 sehen möchte, der fahre mit dem Cursor auf den untersten Wert der senkrechten Skala. Er entdeckt dabei, dass am Cursor ein kleiner zusätzlicher Richtungspfeil auftaucht. Klickt man nun z.B. auf den Wert „-50 dB“, dann öffnet sich ein kleines Menü, in das man z.B. „-0.4 dB“ eintippen kann. Mit „OK“ bekommt man dann **Bild 8** zu sehen und damit auch den Beweis, dass das Filterprogramm richtig gerechnet hat.

Wer noch mehr Details sucht, der sollte sich unter den beiden Menüs „Scales“ und „Options“ umsehen; dort gibt es viele Möglichkeiten zur Veränderung der Ergebnisdigramme.

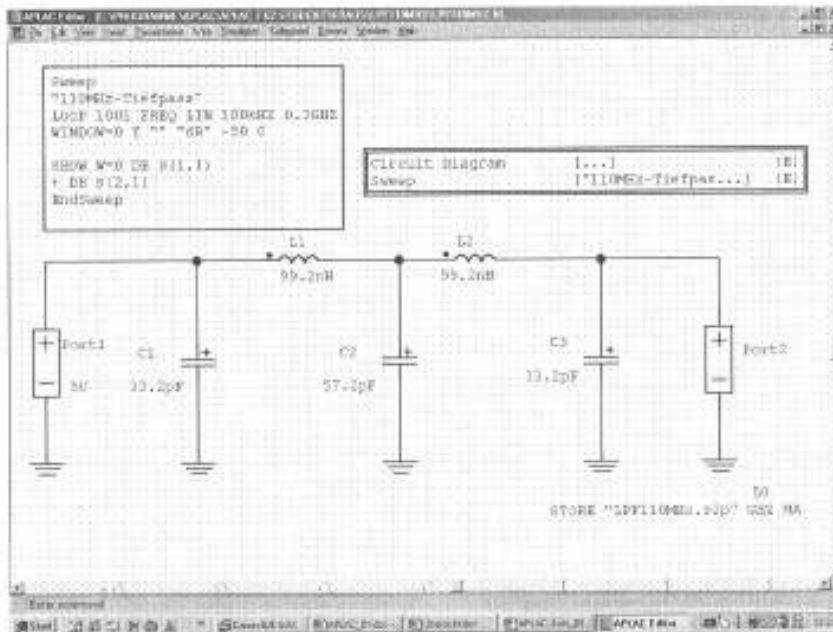


Bild 6: Nachdem das Sweep-File ebenfalls sichtbar gemacht und auf den letzten Platz der Object Box List geschoben wurde, kann die Simulation gestartet werden

2.2. Zweites Simulationsbeispiel: rauscharmer MMIC-Verstärker

Der vollständige Stromlaufplan eines GPS-Vorverstärkers (Mittenfrequenz: 1575,42

MHz) ist in **Bild 9** zu sehen. Die erforderliche Rauschanpassung wurde bereits durch zwei Mikrostreifen-Leitungen im Eingang vorgenommen. Die technische Ausführung der Platine erfolgt in bekannter Weise auf moder-

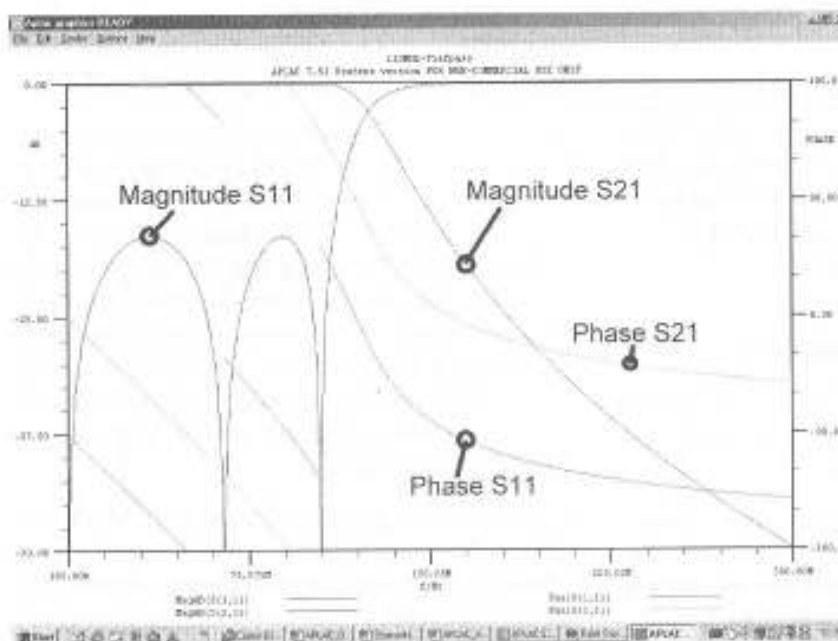


Bild 7: So präsentiert APLAC die Simulationsergebnisse für S11 und S22

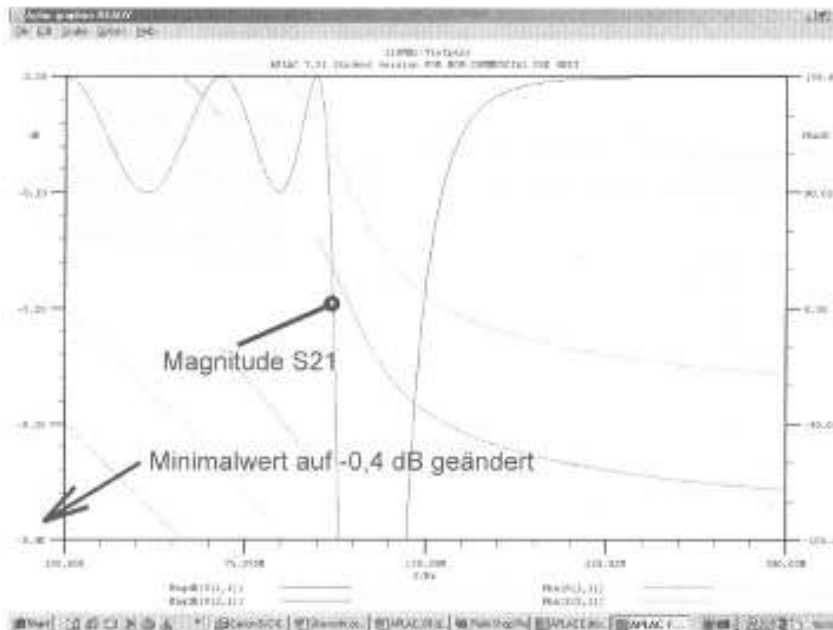


Bild 8:
Durch Veränderung
des Minimalwerts
an der senkrechten
Achse lassen sich
die „Tschebyscheff-
Wellen“ bei S21
deutlich sichtbar
machen

nen zweiseitig kaschierten Rogers-Leiterplatten-Material mit der Dicke von 0,813 mm (= 25 MIL). Die Unterseite bildet eine durchgehende Massefläche, wobei die Verbindung von Punkten mit Massepotential auf der Oberseite durch eine ausreichende Zahl von Durchkontaktierungen erfolgt.

So könnte ein kleiner APLAC-Aufgabenkatalog hierfür aussehen:

Das Verhalten der Schaltung im Frequenzbereich von 0,1 bis 10 GHz soll durch die S-Parameter und den Verlauf der Rauschzahl F (in dB) beschrieben werden. Zusätzlich soll kontrolliert werden, ob bei der Schaltung Stabilitätsprobleme zu erwarten sind.

2.2.1. Simulationsschaltbild

Das für die Simulation erforderliche Schaltbild zeigt **Bild 10**, es bedarf wohl noch einiger Erläuterungen.

1. Das Verstärker-IC wird durch einen „Nport“ (Two_Port) aus der „Makro-Bibliothek“ dargestellt, die wieder über einen rechten Mausklick auf die Bildschirmfläche zugänglich ist.

2. Bei seinen Attributen wird mit dem Eintrag „LOAD=m86563v5.s2p“ das aus der Homepage der Firma Agilent beschaffte S-Parameter-File eingebunden, welches auch die Rauschdaten enthält. Dieses File muss in den für unsere Schaltung gültigen Projektordner kopiert werden.

3. In der Object List Box ist deshalb ein „Prepare“-Object anzulegen (= „Prepare Noise“), das die Rauschsimulation vorbereitet.

4. Die für die Rauschanpassung verwendeten beiden Mikrostreifen-Leitungen werden zunächst als ideale Leitungen simuliert, die im Basic-Menü (= rechte Maustaste) als „Tline“ angeboten werden. Bei den Attributen ist natürlich die Angabe des Wellenwiderstandes erforderlich. Die elektrische Länge wird auf die zur Frequenz $FC=1575$ MHz gehörende Wellenlänge normiert (deshalb ist z.B. bei der ersten, 90 Grad langen Leitung der Eintrag „0,25“ nötig).

5. Auf der Ausgangsseite wird dem MMIC die Versorgungsspannung über eine kleine SMD-Drossel von 22 nH (Größe: 1206) und einen SMD-Widerstand von 10 Ω zugeführt.

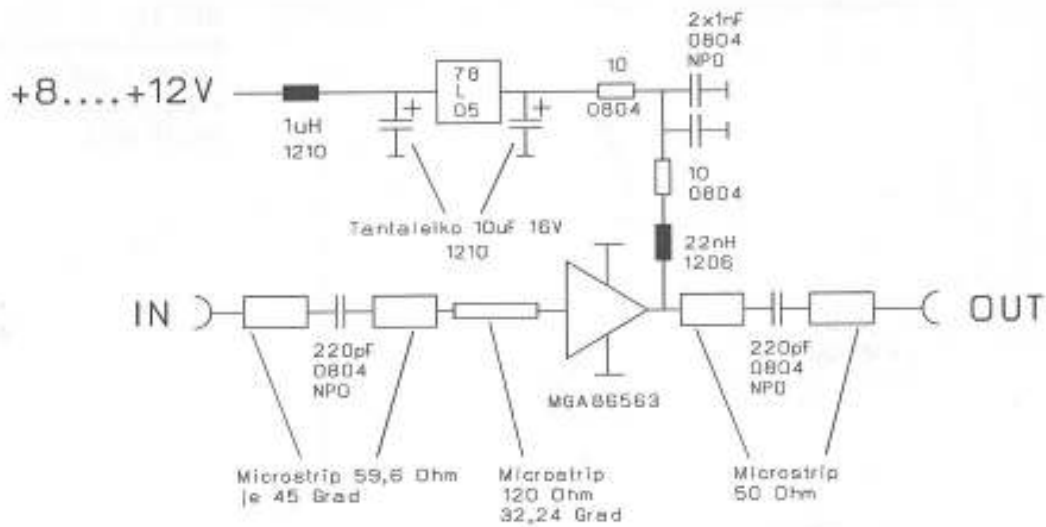


Bild 9: Hier ist der vollständige Stromlaufplan des rauscharmen GPS-Vorverstärkers zu sehen, dessen Eigenschaften mit APLAC untersucht werden sollen

Zusätzlich berücksichtigt werden die Eigenkapazität der Drosselspule mit 0,1 pF (= sie lässt sich aus der im Datenblatt angegebenen Eigenresonanzfrequenz berechnen) und die Kapazität des Lötspats von 0,2 pF, mit der Widerstand und Spule verbunden werden.

6. Die beiden Masse-Anschlüsse des MMICs müssen über eine möglichst große Zahl von Durchkontaktierungen mit der durchgehenden unteren Massefläche verbunden werden.

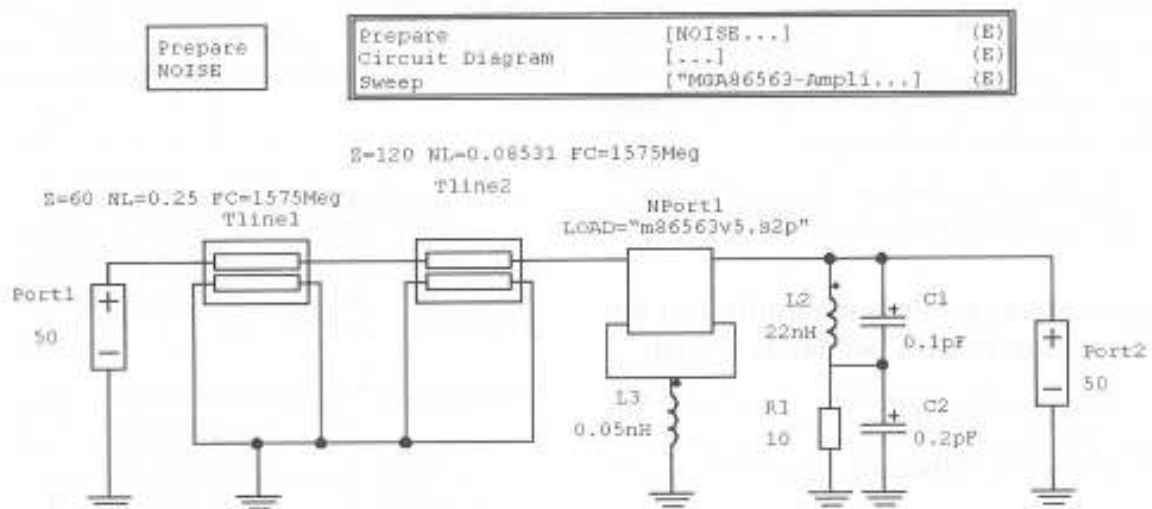


Bild 10: So sieht das APLAC-Simulationsschaltbild aus. Bei der Rauschanpassung am Eingang werden zunächst ideale Leitungen vorgesehen (zur Durchkontaktierung: siehe Text)

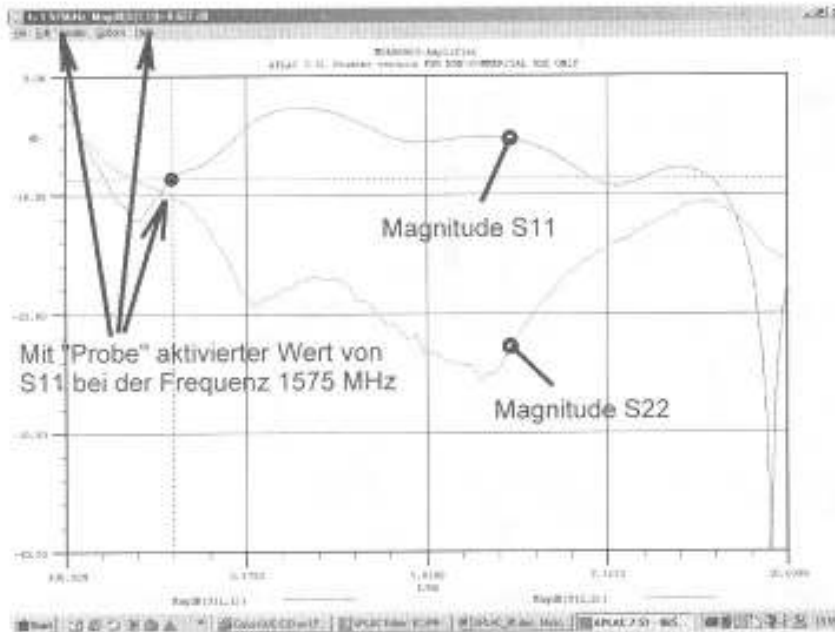


Bild 11:
 Simulierter Verlauf
 von S11 und S22 im
 Frequenzbereich
 bis 10 GHz

Die Induktivität dieser Durchkontaktierungen ist aber meist die Ursache der Schwingneigung und Instabilität solcher Verstärkerschaltungen, sie muss also auf den kleinsten möglichen Wert gedrückt werden!

Setzt man pro Durchkontaktierung bei 1 mm Platinendicke einen Wert von ca. 1 nH an, so ist folglich bei 10 Durchkontaktierungen auf jeder Seite eine Gesamtinduktivität von etwa 0,05 nH zu erwarten. Diese Induktivität findet sich als Bauteil L3 in der Schaltung, um damit die Stabilität zu kontrollieren.

7. Als Abschluss wird am Ein- und Ausgang jeweils ein 50 Ω -Port angebracht.

2.2.1. Sweep-File zur Simulation der S-Parameter und der Rauschzahl

Dieses (wie immer an letzter Stelle in der Object Box List angeordnete) File muss dann entsprechend **Tabelle 1** aussehen.

Erläuterung:

In der ersten Hälfte (vor der Leerzeile) steht zunächst die Schaltungsbezeichnung „MGA 86563-Amplifier“ (= sie wird nach der Simu-

lation in jedem Ergebnisdiagramm eingeblendet). Dann erfolgt die Aufforderung, im linear aufgeteilten Frequenzbereich von 100 MHz bis 10 GHz maximal 1001 Punkte zu simulieren (= der Höchstwert für die kostenlose Studentenversion).

In den folgenden drei Diagrammen (Window = 0 bis Window = 2) werden für die senkrechten Achsen stets dB-Teilungen einschließlich einem Gitter (Grid) zur Verbesse-

```
"MGA86563-Amplifier"
LOOP 1001 FREQ LIN 0,1 GHz 10 GHz
WINDOW=0 Y "" "dB" -40 0 GRID
WINDOW=1 Y "" "dB" 0 40 GRID
WINDOW=2 Y "" "dB" 0 4 GRID

SHOW W=0 Y MagdB(S(1,1))
+ Y MagdB(S(2,2))
+ W=1 Y MagdB(S(2,1))
+ W=2 Y NoiseFigure
+ Y MinNoiseFigure Marker=1
```

Tabelle 1: Aufbau des Sweep-Files

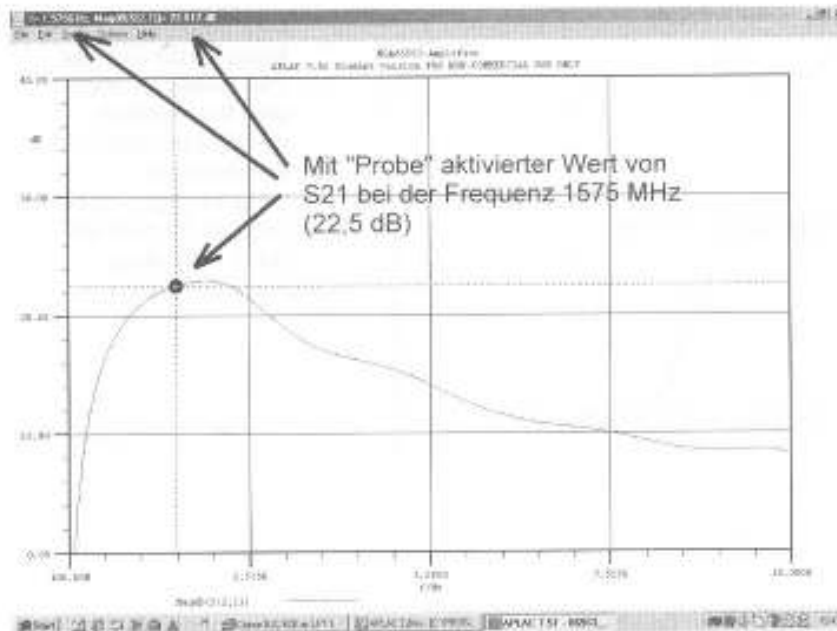


Bild 12:
Simulierter Verstärkungsverlauf bis 10 GHz, dargestellt über S21 der Gesamtschaltung

rung der Ablesbarkeit programmiert. Allerdings reicht der Anzeigebereich im ersten Diagramm (für S11 und S22 gedacht!) von -40 bis 0 dB, während in Window 1 für S21 ein Bereich von 0 bis +40 dB sinnvoller ist. Und für die Rauschzahl tut es natürlich eine Skala von 0 bis 4 dB.

Jetzt (nie vergessen!) folgt die berühmte Leerzeile.

Die weiteren Anzeigeanweisungen für die Diagramme sind wohl selbsterklärend. Lediglich in Window 2 wird nicht nur die Anzeige der tatsächlich erreichten Rauschzahl programmiert, sondern auch die der theoretisch minimal möglichen (=NFopt). Anschließend drückt man <Control + S> auf der Tastatur, um die Simulation zu starten.

2.2.2. Erste Simulationsergebnisse

Nach einiger Rechenzeit erscheinen die Ergebnisdigramme auf den Bildschirm. Durch Anklicken kann man das gewünschte Fenster in den Vordergrund holen und zoomen. Den Betrag der Eingangs-Reflektion S11 und der Ausgangsreflektion S22 zeigt **Bild 11**.

Speziell der Verlauf von S22 gibt keinen Grund zur Klage und wird zu hohen Frequenzen hin nur noch besser. S11 ist dagegen durch die Rauschanpassungs-Schaltung bestimmt und muss so akzeptiert werden. Zusätzlich kann mit der unter „Options“ versteckten Möglichkeit „Probe“ nun jeder Punkt einer Kurve angefahren und der zugehörige Wert am linken oberen Bildschirmrand eingeblendet werden.

Beim im **Bild 12** sichtbaren Verlauf von S21 wäre lediglich zu beanstanden, dass das Maximum der Verstärkung etwas zu hoch in der Frequenz liegt. Ein sehr schönes Ergebnis zeigt **Bild 13**, hier wurde die Rauschzahl zwischen 1 GHz und 2,5 GHz sehr nahe an den Minimalwert gebracht.

2.2.3. Stabilitätskontrolle

2.2.3.1. Grundsätzliches zur Stabilität

Die „schönste“ Schaltung hilft nichts, wenn sie zu „unkontrollierter Selbsterregung neigt“, also nach dem Aufbauen schwingt. In

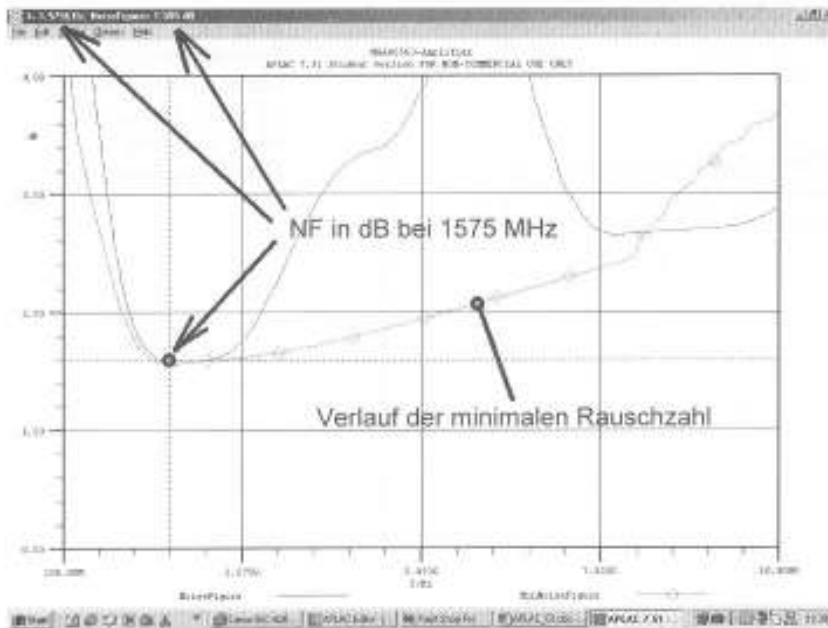


Bild 13:
Simulierter Verlauf
von tatsächlicher
und theoretisch
möglicher, minimaler
Rauschzahl.
Sehr erfolgreiches
Design für den Be-
reich von etwa
1 bis 2,5 GHz

der Fachliteratur und der Praxis sind hier verschiedene Kontrollen üblich, die alle die S-Parameter der Schaltung verwenden und damit bestimmte Vorschriften formulieren.

Die älteste und bekannteste Methode wird nun genauer betrachtet. Sie arbeitet mit den Stabilitätsfaktoren „K“ und „B1“

Diese beiden Größen hängen nur von den S-Parametern des verwendeten Zweitorts und nicht von den Port-Abschlüssen (= terminations) ab. Mit ihnen kann die Bedingung für „absolute Schwingfreiheit unter allen Bedingungen und Lastwiderständen bzw. Innenwiderständen“ (= unconditional stability) folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$K > 1 \quad \text{und} \quad B1 > \text{Null}$$

Beide Größen werden aus den S-Parametern folgendermaßen berechnet (aber das überlässt man natürlich einem Programm...):

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12} \cdot S_{21}|} \quad \text{und}$$

$$B1 = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |\Delta|^2 \quad \text{,wobei}$$

$$|\Delta| = |S_{11} \cdot S_{22} - S_{12} \cdot S_{21}| \quad \text{ist.}$$

Achtung:

APLAC benützt diesen Weg nicht mehr, sondern stellt insgesamt drei modernere, aber ganz unterschiedliche Kontrollfunktionen bereit:

Erste Möglichkeit:

In Anlehnung an die eben besprochene Methode (und vielleicht auch, weil das viele Leute noch so gewöhnt sind...), kann man folgende Variante durch Aufruf der Funktionen „S_K“ und „S_D“ verwenden:

Der Stabilitätsfaktor K muss größer als 1 UND die S-Matrix-Determinante $D = \Delta$ muss kleiner als 1 sein, wenn die Schaltung überall stabil („unconditionally stable“) sein soll,

Zweite Möglichkeit:

Man arbeitet nur mit einem einzigen Stabilitätsfaktor „ μ “ und kontrolliert über die Funktion „S_u“. Dann gilt:

Der Stabilitätsfaktor μ muss größer als 1 sein,

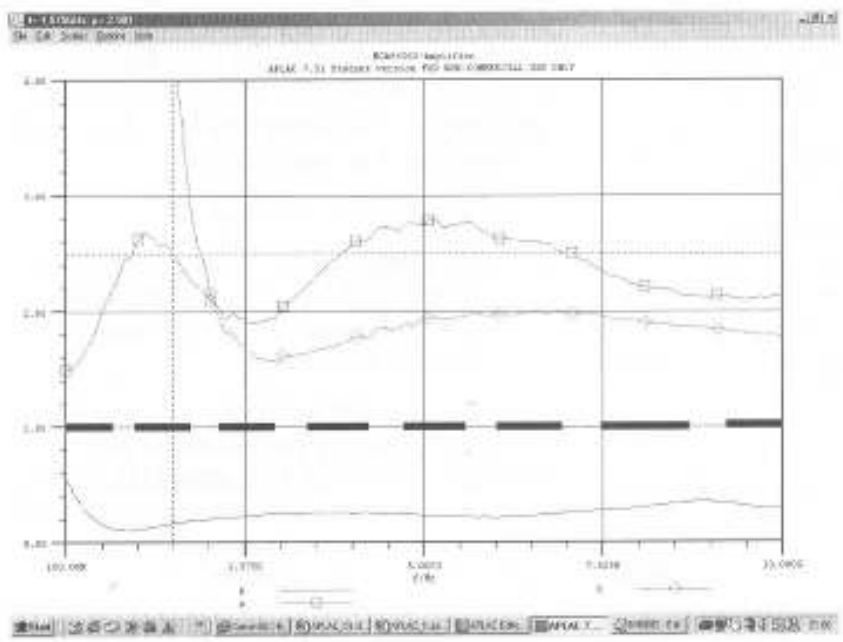


Bild 14:
Stabilitätssimulation.
 Die dicke gestrichelte
 Linie bei 1 markiert
 den Wert, den K bzw.
 nicht unterschreiten,
 D dagegen nicht
 überschreiten dürfen

wenn die Schaltung überall „unconditionally stable“ sein soll.

Dritte Möglichkeit:

Diese allermodernste Lösung wäre die Sache mit dem „Nyquist-Kriterium“. Sie wird als „Advanced stability analysis“ bezeichnet (Siehe APLAC User's Guide, Volume 2, Seite 3-26) und stellt die „Normalisierte Determinantenfunktion“ über den Aufruf „NDF“ in der komplexen Ebene dar. Sie behauptet:

Sobald der Ursprung (= „Nullpunkt“) dieser komplexen Ebene nicht vom NDF-Kurvenverlauf umschlungen wird, bleibt die Schaltung überall stabil.

Allerdings muss man dazu erst eine Analyse im Zeitbereich - z.B. mit einer AC-Quelle - vornehmen, denn allein mit den S-Parametern erhält man kein Ergebnis. Also wird diese Möglichkeit ausgelassen.

2.2.3.2. Stabilitätskontrolle über K und sowie über

Für das Verstärker-Projekt werden die Methoden 1 und 2 kombiniert. Beim Sweep-File

sind dazu natürlich einige Änderungen nötig:

a) Im Simulationsteil sieht man ein drittes Fenster für die drei Faktoren der Stabilitätskontrolle vor. Die Skalenteilung soll von 0 bis 4 reichen.

```

"MG86563-Amplifier"
LOOP 1001 FREQ LIN 0.1GHz 10GHz
WINDOW=0 Y "" "dB" -40 0 GRID
WINDOW=1 Y "" "dB" 0 40 GRID
WINDOW=2 Y "" "dB" 0 4 GRID
WINDOW=3 Y "" "" 0 4 GRID

SHOW W=0 Y MagdB(S(1,1))
+ Y MagdB(S(2,2))
+ W=1 Y MagdB(S(2,1))
+ W=2 Y NoiseFigure
+ Y MinNoiseFigure Marker=1
DISPLAY WINDOW 3 Y "D" S_D
+ Y "K" S_K MARKER=1
+ Y "μ" S_u MARKER=2
    
```

Tabelle 2: Sweep-File für die Stabilitäts-Kontrolle



b) Im Anzeigeteil sorgt man dafür, dass „D“, „K“ und „ μ “ nicht nur angezeigt, sondern auch unterschiedlich markiert werden.

In Tabelle 2 ist dieses Sweep-File zu sehen (die Erweiterungen sind fett markiert):

(Übrigens: In diesem Teil des Sweep-Files ist der Wechsel von der Anweisung „SHOW“ zu „DISPLAY“ beabsichtigt: „DISPLAY“ ist die komplette Funktion für alle Arten von Darstellungen, die mehr Rechenaufwand fordert, aber auch mehr Möglichkeiten bietet. „SHOW“ ist sozusagen die schnelle, abgespeckte Version mit begrenzten Fähigkeiten; sie reicht bei den Stabilitätsfaktoren nicht aus.

Das Ergebnis dieser Simulation zeigt **Bild 14**. Trotz der vorsichtshalber in die Schaltung übernommenen Durchkontaktierungs-Gesamtinduktivität von 0,05 nH bleibt die Schaltung im gesamten Frequenzbereich stabil (K und μ sind überall größer als 1, während D kleiner als 1 bzw. 0,5 ist).

2.2.3.3. Zusätzliche Kontrolle über die Stabilitätskreise

Sobald man es mit Schaltungen zu tun hat, die nur bei bestimmten Innen- oder Abschlusswiderständen zum Schwingen neigen (= „potentially instable devices“), reicht die Methode des vorigen Kapitels mit den drei Faktoren K, μ und D nicht aus. Man weiß lediglich, dass Schwingneigung auftreten kann, sobald K oder μ unter 1 sinken oder D größer als 1 wird - aber die kritischen Bedingungen kennt man noch nicht. Hier sind umfangreichere Analysen erforderlich, die als Ergebnis in Form von zwei Kreisen genau diese instabilen Bereiche der zugehörigen Reflektionsfaktoren im Smith-Diagramm zeigen.

Der eine Kreis zeigt die Abhängigkeit der Stabilität K vom Abschlusswiderstand (korrekt: vom zugehörigen Reflektionsfaktor Γ_{LOAD}), der zugehörige Fachausdruck lautet:

Stability K (Load Plane)

Der andere Kreis ergibt die Abhängigkeit der Stabilität K in Abhängigkeit vom Innenwiderstand der Speisequelle (besser: wieder vom zugehörigen Reflektionsfaktor Γ_{SOURCE}). Dort heißt der Fachausdruck:

Stability K (Source Plane)

Allerdings gelten diese beiden „Stabilitätskreise“ immer nur für *eine einzige Frequenz* und man muss die Simulation beim Frequenzwechsel wiederholen.

Damit lässt sich oft bei einer bestimmten Frequenz die Schaltung noch stabil bekommen, wenn der Innen- oder Lastwiderstand bekannt und konstant sind - obwohl die Stabilitätsfaktoren K, μ und D schon vor dem Fall „potentially instable“ warnen.

Bei der Auswertung der Kreise gilt eine recht simple Regel:

a. Wenn beide Kreise (für Γ_{SOURCE} oder Γ_{LOAD}) vollständig außerhalb des Smith-Diagramms verlaufen, ist die Schaltung garantiert und unbedingt stabil (= unconditionally stable).

b. Ebenso ist sie unbedingt stabil, wenn das Smith-Diagramm (für Γ_{SOURCE} oder Γ_{LOAD}) vollständig von einem Stabilitätskreis umgeben, d.h. umschlossen wird.

Das klingt etwas verrückt, hat aber folgenden Hintergrund: der Stabilitätskreis-Mittelpunkt liegt dann im Unendlichen und seine Kreisfläche bedeckt das ganze Universum - lässt aber das Smith-Diagramm noch frei.

Man kann sich zur besseren Anschauung dazu einen Globus vorstellen, bei dem man mitten in Deutschland eine Stecknadel hineinsticht, die den Mittelpunkt des Smithcharts darstellt. Auf der anderen Seite des Globusses - z.B. in Kalifornien - sticht man eine zweite Stecknadel hinein, die den Mittelpunkt des Stabilitätskreises bilden soll.

Wird fortgesetzt...