

**Hochfrequenztechnik**  
**Klausur TEL12NT Dezember 2014**  
**Duale Hochschule Karlsruhe**  
**Dozent: Prof. Dr.-Ing. Gerald Oberschmidt**

Hilfsmittel/ Bemerkung:

- 2 Blatt DIN A4
- Taschenrechner (Casio wie vorgeschrieben)
- Stift, (leeres) Papier, Geodreieck/ Lineal, Zirkel
- Aufgaben mit (\*) sind anspruchsvoll und ggf. nicht für jederman.

Ihr Name:

Ihre Immatrikulationsnummer:

Nr.	Punkte	Ihr Ergebnis
1	20	
2	20	
3	20	
Ges.	60	

## 1 Antennen und Wellenausbreitung (20 Punkte)

Zwei unterschiedliche Handies Nokia 9300 und Sony Ericsson W800i sind zu vergleichen. Alle beiden Handies bedienen drei GSM-Bänder (GSM-900, -1800 und -1900).

Bei den folgenden Betrachtungen sind sowohl Ähnlichkeiten als auch Unterschiede gleichermaßen heraus zu arbeiten.

- (a) Vergleichen Sie die unterschiedlichen Konzepte der Handies und der auch der Antennen, zunächst nur in Aufbau, Material, Geometrie, Lage etc.

**Lösung:** Prinzipiell sind beide Antennenkonzepte sehr ähnlich, wobei die NOKIA-Antenne keine Massefläche aufweist (ungrounded), die Antenne des SONY aber auf ihrer Rückseite eine Masse-Metall-Fläche hat. Insgesamt ist die SONY-Antenne etwas kleiner (geringeres Volumen).

Bei der NOKIA-Antenne ist es eher der strahlende Schlitz, bei der SONY Antenne sind es metallisierte Leiterbahnen, die als strahlende Elemente fungieren. Beide Antennen sind an vergleichbaren Positionen im Handy untergebracht. Die Antennen ist in beiden Fällen so angebracht, dass die Hauptkeule beim Telefonieren vom Kopf weggerichtet ist.

- (b) Vergleichen Sie die passiv gemessenen Parameter der Antennen miteinander (also Anpassung, Gewinn und Effizienz)!

**Lösung:** Die SONY-Antenne weist insb. im GSM-900 Band eine wesentlich bessere Anpassung auf, auch im 1800/1900MHz-Band ist die Anpassung merklich besser.

Das NOKIA-Handy ist eines der erster Nokia-Communicator und deswegen in den Betriebsarten Open und Close zu betrachten. In der Anpassung unterscheiden sich die beiden Betriebsarten kaum.

Auch die Abstrahlung erfolgt beim SONY-Handy wesentlich breitbandiger und vor allem wird eine höhere Leistung abgestrahlt (höherer Gewinn) über den gesamten  $\theta$ -Bereich.

Das liegt vor allem daran, dass das SONY-Handy überhaupt eine etwas ausgeprägtere Richtcharakteristik hat, was nicht unbedingt ein Vorteil sein muss.

Besonders im 900 MHz-Band ist die Effizienz der NOKIA-Antenne merklich geringer, der Gewinn damit auch niedriger.

- (c) Beschreiben Sie, was mit den Begriffen TRP und TIS gemeint ist und wie es gemessen wird!

**Lösung:**

**TRP** meint die Total Radiated Power, also die über alle Raumwinkel aufintegrierte abgestrahlte Leistung. Dieses ist ein vollständiges Integral.

**TIS** ist die Total Isotropic Sensitivity. Dieses ist ein Mittelwert, der angibt, bei welcher im Mittel eingestrahlten Leistung eine bestimmte Bitfehlerrate unterschritten wird, in einigen Raumrichtungen kann das Handy durchaus besser oder schlechter empfangen, dieses hängt von der Empfangscharakteristik der Antenne ab.

Die Messung ist aufwändig, denn es ist die Abgestrahlte Leistungsdichte bzw. die Empfindlichkeit in allen oder mindestens sehr vielen Raumrichtungen zu messen. Dazu wird das Handy bei der TRP-Messung in Sendebetrieb gesetzt und es wird die Leistungsdichte gemessen und dann aufintegriert.

Bei der Empfindlichkeitsmessung erfolgt das Gleiche nur anders herum, es wird die Empfindlichkeit des Handies in jeder Raumrichtung bestimmt, und dann daraus ein Mittelwert bestimmt.

- (d) Vergleichen Sie die aktiv gemessenen Parameter (also SAR, TIS und TRP) der Antennen miteinander!

**Lösung:** Im 900 MHz-Band ist das SONY-Handy in der Abstrahlung um 1-3 dB besser, in der Empfindlichkeit sogar um über drei, der Unterschied wird noch ausgeprägter im 1800 MHz Band, wo der Unterschied über 3,5 dB erreichen kann (TIS und TRP). Im 1900 MHz Band holt NOKIA auf dem unteren gemessenen Kanal auf, fällt aber in der Bandmitte und an den Rändern wieder deutlich zurück.

Dieses sieht man auch an den SAR-Werten, die NOKIA komplett einhält, während SONY bei den Earpiece-Messungen im 1800 und 1900 MHz Band die Grenzwerte leicht übersteigt. Dieses liegt natürlich an der schlechteren Gesamtleistung des NOKIA-Handies.

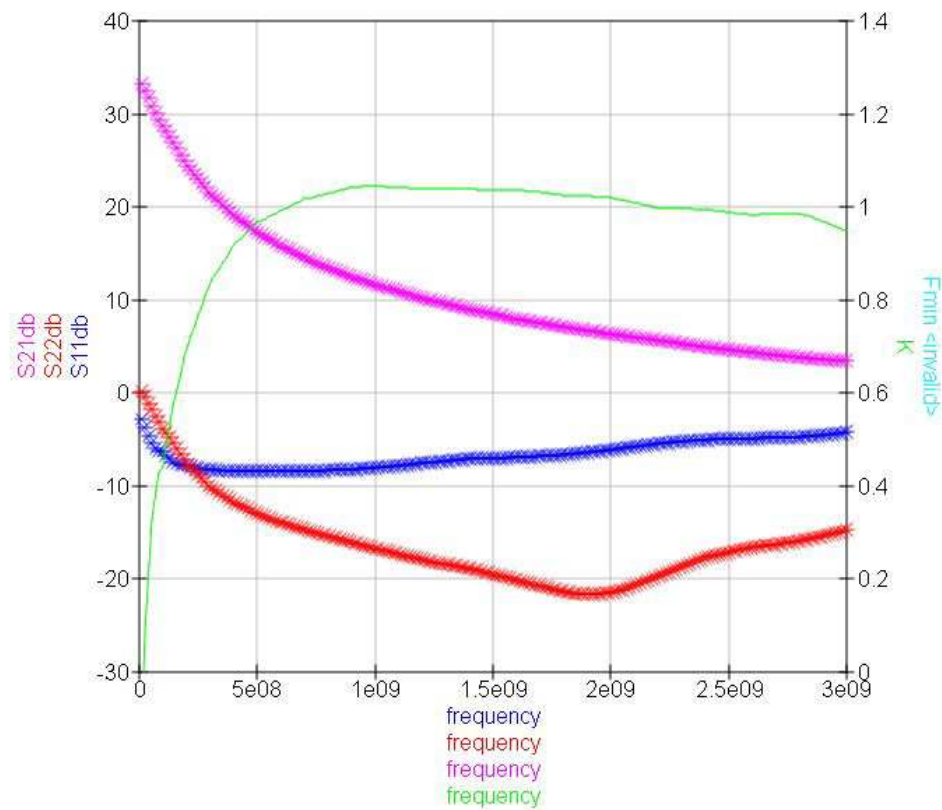
- (e) Geben Sie Ihre persönliche Einschätzung zu den Antennen in beiden Handies ab!

**Lösung:** In nahezu allen Belangen und Frequenzbereichen ist die NOKIA-Antenne schlechter, sie ist größer und dennoch elektromagnetisch weniger leistungsfähig. Einziger Vorteil mag sein, dass sie ohne metallische Massefläche auskommt, was ein leichter Kosten und Gewichtsvorteil sein kann.

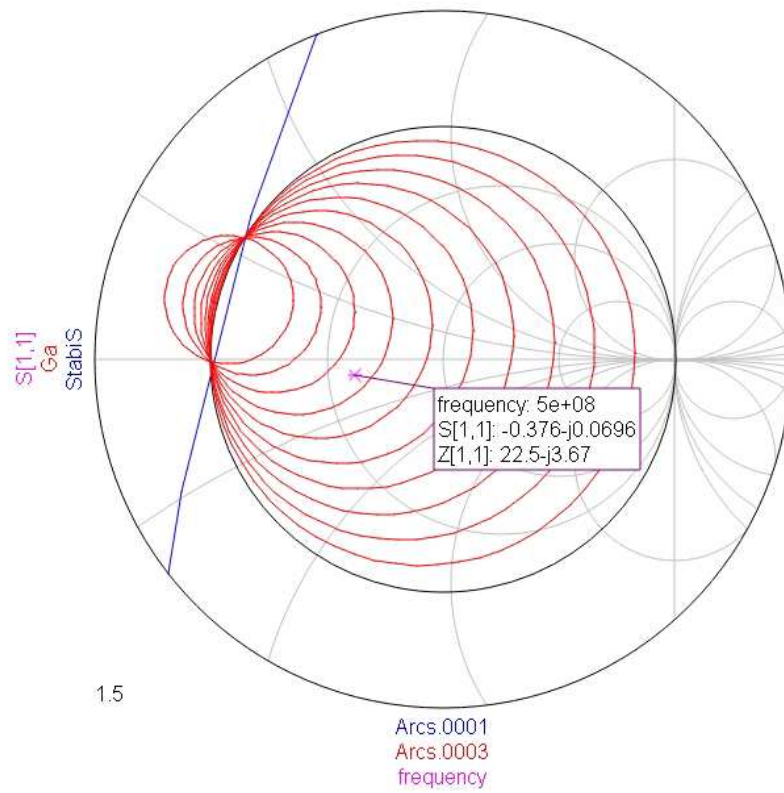
## 2 Verstärker und Smith-Diagramm (20 Punkte)

Lösen Sie die folgenden Aufgaben wo nötig grafisch im Smith-Diagramm und vergessen Sie nicht, dieses beizulegen! Tipp: Diese Aufgabe ist mit Sorgfalt erheblich leichter zu lösen als mit Kreativität!

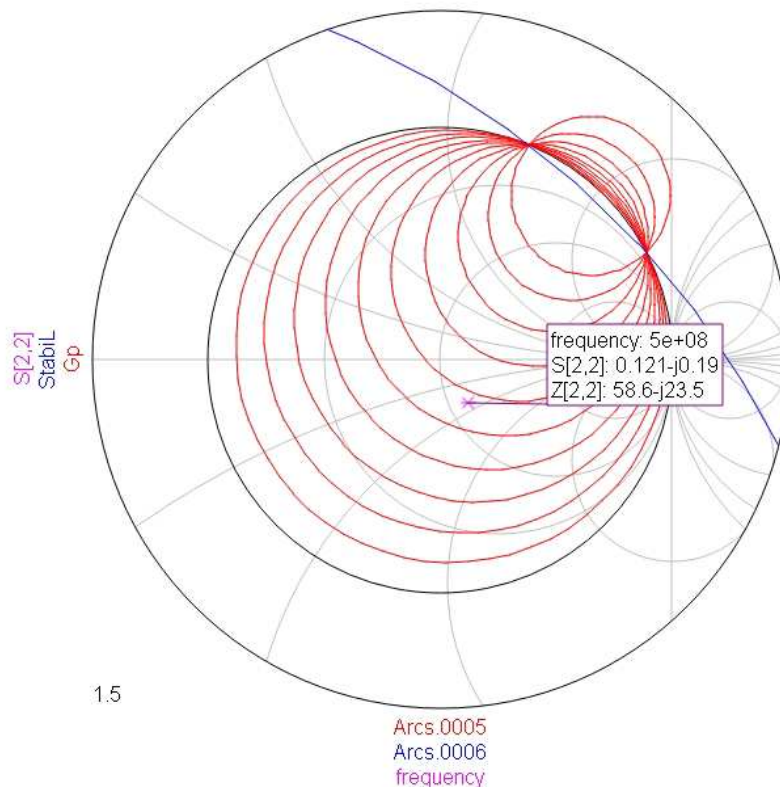
Belegen Sie Ihre Aussagen auch durch Skizzen oder Markierungen in den Smith-Diagrammen. Folgende Informationen in grafischer Form können über einen Transistor gewonnen werden:



(a)



(b)



(c)

Abbildung 1: S-Parameter und Stabilitätsparameter des Transistors BFG591 über den interessierenden Frequenzbereich (a), Betrachtung des Stabilitätskreises (blau) und der Gewinnkreise am Eingang (b) und Ausgang (c) mit zugehörigem S-Parameter bei 500 MHz.

Es soll ein Verstärker bei 500 MHz entworfen werden, die gezeichneten Gewinnkreise sind für  $G = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100$  gegeben. Die Spezifikation des Verstärkers ist in etwa wie folgt:

- Möglichst einfacher Aufbau,
- Gewinn von mehr als 17 dB,
- Anpassung auf beiden Seiten von besser als 5 dB

(a) Äußern Sie sich zur Stabilität und geben Sie bei der Betriebsfrequenz stabile bzw. instabile Bereich an! Erläutern Sie, was Stabilität überhaupt bedeutet und welches Maß Sie zur Beurteilung verwenden!

**Lösung:** Der Verstärker ist bei der Betriebsfrequenz nur bedingt stabil, der stabile Bereich ist jeweils vom  $50 \Omega$  Punkt (Ursprung des SD) bis zum jeweiligen Stabilitätskreis.

Erst ab etwa 700 MHz wird der Verstärker absolut stabil, denn erst ab hier wird der Stabilitätsfaktor  $K > 1$ . Ab 2,2 GHz fällt der Stabilitätsfaktor wieder unter 1, so dass auch hier nur bedingte Stabilität vorliegt.

Stabilität bezeichnet die Schwingneigung des Verstärkers, absolute Stabilität heißt, dass jeder beliebige passive Abschluss zu einem nicht schwingenden Verhalten führt, während bei bedingter Stabilität Forderungen an die Abschlüsse zu stellen sind.

- (b) Wählen Sie ein Anpassnetzwerk, so einfach wie möglich, dass die o.g. Spezifikation erfüllt! Was sind dann die Betriebsparameter, zeichnen Sie entsprechend die komplexen Eingangsreflexionsfaktoren in das beiliegende SD ein und bestimmen Sie mit Hand und Zirkel Betrag und Phase!

**Lösung:** Am einfachsten ist nichts zu tun, wie auch Abb.(a) hervorgeht, sind schon alle Forderungen bei direktem Anschluss von  $50\ \Omega$  erfüllt. Dieses spiegeln auch die Kreise im SD wider. Die Verstärkung/ Gewinn liegt zwischen 50 und 60, also bei 17 dB und mehr, Anpassungen liegen vor.

Zur Lösung siehe das SD, bzw. Ergebnisse sind

$$S_{11} = 0,382 \times e^{-j169^\circ}, \quad |.| = -8.36\ dB$$

$$S_{22} = 0,225 \times e^{-j53,6^\circ}, \quad |.| = -13\ dB$$

- (c) Mit welchem Problem ist zu rechnen, wenn der Verstärker für sich alleine verkehrsfähig, also fehlertolerant, sein soll? Was ist zu tun?

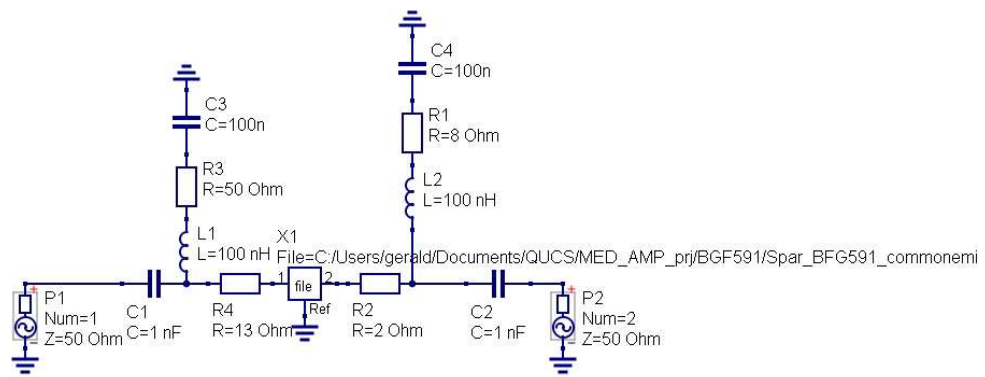
**Lösung:** Der Verstärker ist auch bei der Betriebsfrequenz nur bedingt stabil. Man wird zur Stabilisierung noch resistive Elemente einfügen müssen, die zwar Gewinn kosten, aber den Verstärker absolut stabil machen.

- (d) Geben Sie das Vorspannungsnetzwerk an, kommentieren Sie, welche Elemente Sie einsetzen und dimensionieren Sie diese überschlägig! Geben Sie natürlich ein generisches Schaltbild an.

**Lösung:**

- DC-Blocks (Caps) in Serie zu Basis und Kollektor, die Kapazität sollte größer als 1 nF sein, damit der Blindwiderstand bei Betriebsfrequenz unter  $1\ \Omega$  bleibt.
- HF-Spule zur Verbindung zu den Vorspannungsnetzwerken, die sollte hochohmig sein, bei der Betriebsfrequenz, 100 nH würden schon auf  $300\ \Omega$  führen und damit hoch genug sein.
- ggf. Blocker C hinter den Spulen zur Masse (100 nF wäre OK)
- Wahrscheinlich zur Stabilisierung noch Resistive Elemente in dem Kollektor-Vorspannungsweig.

Eine, wenn auch nicht ganz zufriedenstellende Lösung ist in folgender Abbildung gezeigt.



**S parameter simulation**

SP1  
 Type=lin  
 Start=40 MHz  
 Stop=3GHz  
 Points=200

~~**S parameter simulation**~~

SP2  
 Type=const  
 Values=[129 MHz]

Equation

Eqn1  
 $S_{11db} = dB(S_{1,1})$   
 $S_{21db} = dB(S_{2,1})$   
 $S_{22db} = dB(S_{2,2})$   
 $K = \text{StabFactor}(S)$

Equation

Eqn2  
 $\text{Stab}S = \text{StabCircle}S(S)$   
 $Ga = \text{GaCircle}(S, \text{linspace}(10, 100, 10))$   
 $Gp = \text{GpCircle}(S, \text{linspace}(10, 100, 10))$   
 $\text{Stabil}L = \text{StabCircle}L(S)$

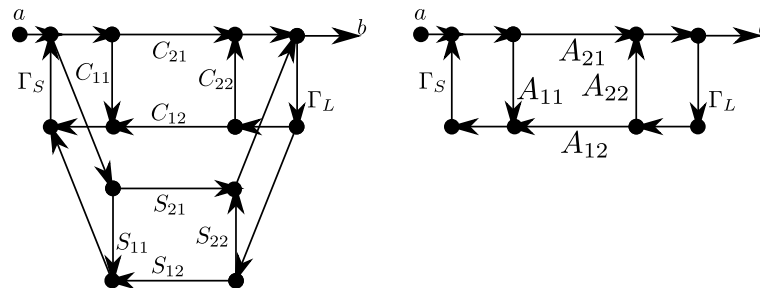
Abbildung 2: Mögliche Lösung (Kleinsignal ESB) für den Verstärker.





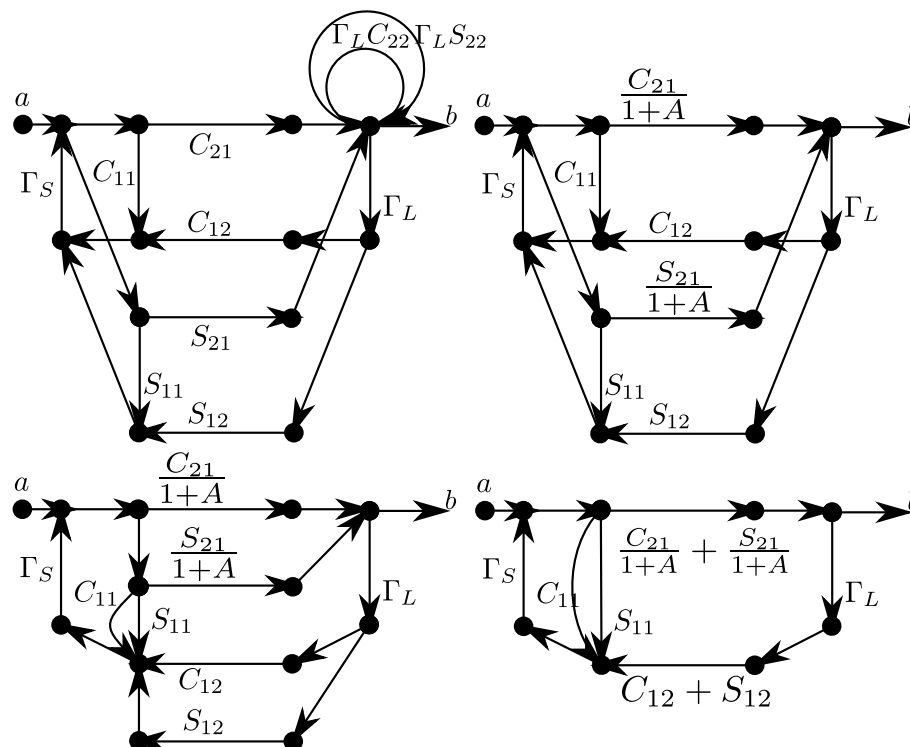
### 3 Signalfussgraphen (20 Punkte)

Zwei Zweitore  $\overline{\overline{S}}$  und  $\overline{\overline{C}}$  sind parallel geschaltet.



- (a) Nutzen Sie die Methode der Signalfussgraphen, um die Streuparameter des Ersatz-Zweitores  $\overline{\overline{A}}$  zu bestimmen! Sie können in der Rechnung sinnvolle Abkürzungen verwenden, nicht im Endergebnis.

**Lösung:**



Die Lösung ist in der Abbildung gezeigt, zuerst werden die hinteren Rückkoppelungsschleifen aufgelöst, dazu wird die Abkürzung  $A = \Gamma_L(S_{22} + C_{22})$  eingeführt.

Dann sieht man, dass die horizontalen Grafen eigentlich parallel liegen und nur addiert werden müssen. Die eingangsseitigen vertikalen Grafen liegen dann, wenn man die Knoten auseinander nimmt ebenso parallel. Es ist also nur zu addieren.

Die nach rechts gehenden Grafen haben die Skalierung mit  $1/(1 + A)$  in sich, von der man weiß, dass sie einzig aus den parallelen (und damit zu addierenden) ausgangsseitigen Reflexionsfaktoren  $S_{22} + C_{22}$  entstehen. Es folgt also

$$\overline{\overline{A}} = \begin{pmatrix} S_{11} + C_{11} & S_{21} + C_{21} \\ S_{12} + C_{12} & S_{22} + C_{22} \end{pmatrix}$$

- (b) Überprüfen Sie Das Ergebnis für zwei angeschlossenen Leerläufe, geben Sie dazu die Streuparameter der Ursprungs-Zweitore  $\overline{\overline{S}}$  und  $\overline{\overline{C}}$  zunächst an! Kann das Ergebniss stimmen? Lösen Sie den Widerspruch auf! (Wenn Sie mit (a) Probleme hatten, können Sie hier neu starten)

**Lösung:**

Es gilt natürlich

$$\overline{\overline{S}} = \overline{\overline{C}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0(1) \end{pmatrix}$$

und damit hat der Ersatzvierpol ein  $A_{11} = 2$ , was ja nicht sein kann, da es der Energieerhaltung widerspricht.

Der Widerspruch liegt einfach daran, dass zwei Zweitore nicht einfach so zusammengebaut werden können, sondern mindestens ein T-Stück erforderlich ist, das seinerseits Streuparameter hat, die Leistung teilt und damit sinnvolle Ergebnisse liefert.