



Vrije Universiteit Brussel

Faculteit Ingenieurswetenschappen

# Design van een hoogfrequente versterker en antenne

Hoogfrequente elektronica en antennes

Bert Follon, Egon Geerardyn



17 maart 2010

## Inhoudsopgave

<b>I</b>	<b>Versterker</b>	<b>2</b>
1	Opdracht	2
2	Stabiliteit	2
3	Stabiliteitscirkels	2
4	Gebruik van de unilaterale benadering	4
5	Berekening van maximale versterking	4
6	Bepaling van de constante gaincirkels	4
7	Matchingnetwerken	6
8	DC biasnetwerk	6
9	Simulaties	6
9.1	Ideale transmissielijnen . . . . .	6
9.2	Microstrip . . . . .	6
10	Lay-out	6
11	Metingen	6
11.1	Vergelijking metingen en simulaties . . . . .	6
<b>II</b>	<b>Antenne</b>	<b>7</b>
12	Dipool	7
13	Balun	7
14	Lay-out	7
15	Metingen	7

## Lijst van figuren

1	Stabiliteitscirkels . . . . .	3
2	Constante gaincirkels . . . . .	5

## Lijst van tabellen

De broncode en een digitale versie van het verslag zijn beschikbaar op [1].

## Deel I

# Versterker

### 1 Opdracht

We designen een single-stage common emitter-versterker met werkingsfrequentie  $f_0$  met als centrale NPN-transistor de BFR91A. Voor deze werkingsfrequentie werden de  $S$ -parameters gegeven in [3]:

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} -0.104 + 0.181j & 0.102 + 0.154j \\ 1.369 + 1.397j & 0.355 - 0.318j \end{bmatrix}$$

### 2 Stabiliteit

We controleren de nodige en voldoende voorwaarde voor stabiliteit van de versterker door middel van formules 11.71 en 11.72 van [4]. Dit is het Rollet-stabiliteitscriterium.

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}S_{21}|} > 1$$

$$|\Delta| < 1$$

$$\Delta = \det S = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$$

Aan deze voorwaarden is voldaan, zodat we kunnen besluiten dat de te realiseren versterker onconditioneel stabiel is.

### 3 Stabiliteitscirkels

Vermits de versterker onconditioneel stabiel is, zullen de stabiliteitscirkels ofwel de volledige Smith Chart omvatten ofwel buiten de Smith Chart vallen. **BESPREEK CIRKEL = 1** Met formules 11.68 en 11.69 uit [4], worden middelpunt  $C$  en straal  $R$  van de stabiliteitscirkels bepaald.

$$C_L = \frac{(S_{22} - \Delta S_{11}^*)^*}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} \quad R_L = \left| \frac{S_{12}S_{21}}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} \right|$$

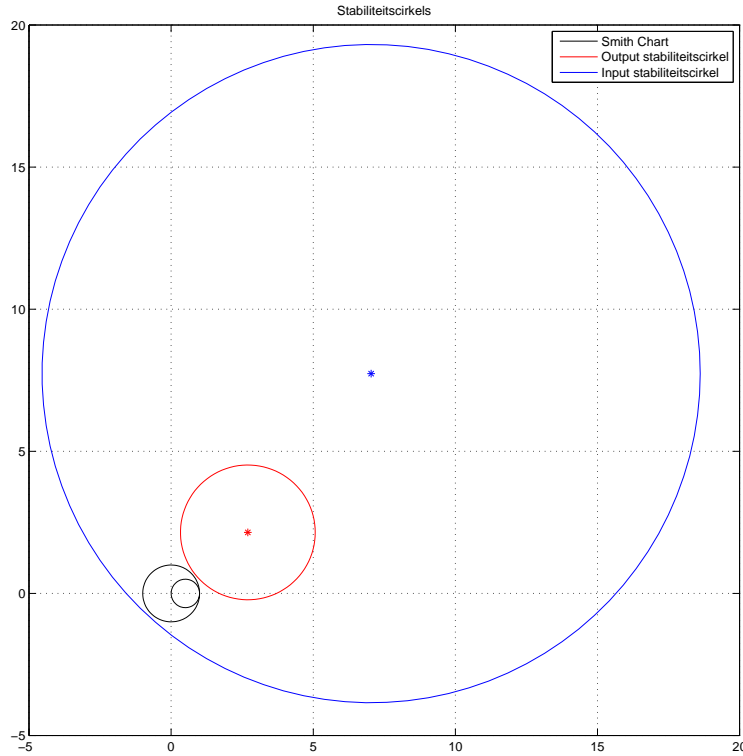
$$C_S = \frac{(S_{11} - \Delta S_{22}^*)^*}{|S_{11}|^2 - |\Delta|^2} \quad R_S = \left| \frac{S_{12}S_{21}}{|S_{11}|^2 - |\Delta|^2} \right|$$

Dit geeft aanleiding tot volgende waarden:

$$C_L = 2.70 + j2.15 \quad R_L = 2.37$$

$$C_S = 7.04 + j7.73 \quad R_S = 11.58$$

Op figuur 1 kunnen deze cirkels geïnspecteerd worden. Als extra controle, bekijken we welke zones van de Smith Chart stabiel zijn voor input en output. We volgen hier een analoge redenering als beschreven op pagina 614 van [4].



Figuur 1: Stabiliteitscirkels

**Voor de input** weten we dat indien de output perfect gematcht is ( $Z_L = Z_0$  en dus ook  $\Gamma_L = 0$ , oftewel in het midden van de Smith Chart), we formule 11.62a uit [4]

$$|\Gamma_{in}| = \left| S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L} \right| < 1$$

kunnen vereenvoudigen tot:

$$|S_{11}| < 1$$

als voorwaarde voor stabiliteit. Hieraan is voldaan zoals we kunnen zien uit de S-parameters van de transistor. Hierdoor weten we dat het gebied binnen de blauwe inputstabiliteitscirkel stabiel is.

**Voor de output** volgt analoog dat indien de input perfect gematcht is ( $Z_S = Z_0$  en dus ook  $\Gamma_S = 0$ , oftewel in het midden van de Smith Chart), we formule 11.62b uit [4]

$$|\Gamma_{out}| = \left| S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S} \right| < 1$$

kunnen vereenvoudigen tot:

$$|S_{22}| < 1$$

als voorwaarde voor stabiliteit. Hieraan is voldaan zoals we kunnen zien uit de S-parameters van de transistor. Hierdoor weten we dat het gebied buiten de rode outputsstabiliteitscirkel stabiel is.

## 4 Gebruik van de unilaterale benadering

Als verantwoording voor de unilaterale benadering, gebruiken we formule 11.86 uit [4] die slechts enkele tienden van een dB afwijking mag geven. We nemen hiervoor de grenswaarde van  $0.8dB$

$$-0.8dB < \frac{1}{(1+U)^2} < \frac{G_T}{G_{TU}} < \frac{1}{(1-U)^2} < 0.8dB$$

In deze formule is  $U$  de *unilateral figure of merit*:

$$U = \frac{|S_{12}||S_{21}||S_{11}||S_{22}|}{(1-|S_{11}|^2)(1-|S_{22}|^2)}$$

In numerieke waarden, geven deze vergelijkingen dus:

$$U \approx 0.04863$$

$$-0.8dB < 0.90940 < \frac{G_T}{G_{TU}} < 1.10484 < 0.8dB$$

$$-0.8dB < -0.825dB < \frac{G_T}{G_{TU}} < 0.866dB < 0.8dB$$

Vermits deze ongelijkheden ongeldig zijn, gebruiken we de bilaterale vormen. Maar vermits deze waarden niet te veel afwijken, zal een unilaterale benadering geen totaal foute waarden geven.

## 5 Berekening van maximale versterking

Aan de hand van [4] en [2] bepalen we de maximale versterking die mogelijk is met deze transistor voor de opgegeven werkingsfrequentie.

In appendix E van [2] werd bewezen dat bovenstaande uitdrukking voor een onconditioneel stabiele transistor ( $K > 1$ ) en simultane input- en outputmatching, de maximale versterking uitgedrukt kan worden als:

$$G_{Tmax} = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|} \left( K - \sqrt{K^2 - 1} \right)$$

## 6 Bepaling van de constante gaincirkels

Uit formules 5.96 en 5.100 van [5] kunnen we het middelpunt en de straal van de constante gaincirkels voor gain  $G_p$  bepalen.

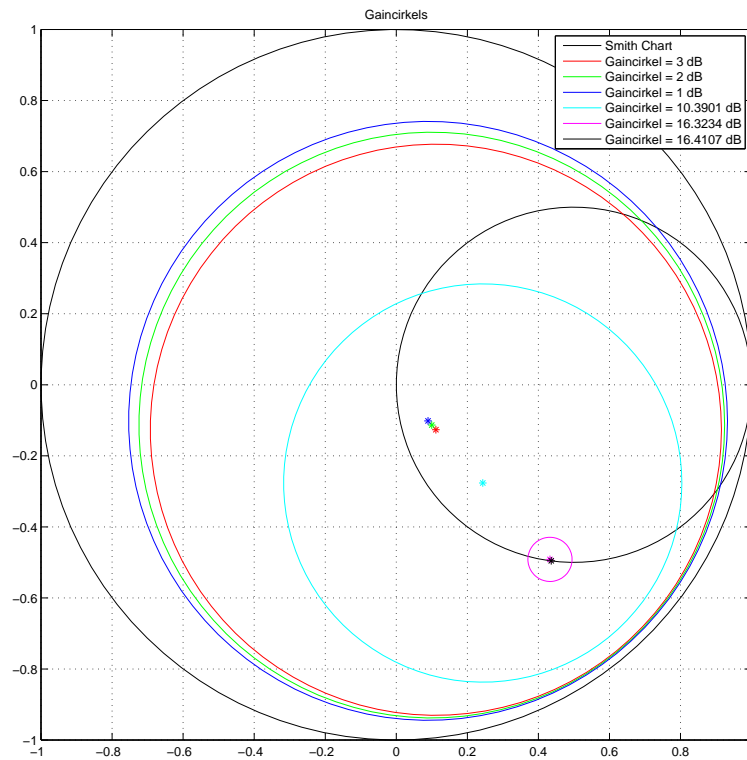
$$C = \frac{(S_{22}^* - S_{11}\Delta^*)}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2 + \frac{|S_{21}|^2}{G_p}}$$

$$R = \frac{\sqrt{|S_{12}S_{21}|^2 - 2K \left| S_{12}S_{21} \frac{|S_{21}|^2}{G_p} + \frac{|S_{21}|^2}{G_p} \right|}}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2 + \frac{|S_{21}|^2}{G_p}}$$

Voor een versterking van  $G_p = 3dB$  bekomen we volgende waarden:

$$C_L = 0.11 + j - 0.13 \quad R_L = 0.80$$

Op de Smith Chart worden deze constante gain cirkels voor enkele verschillende versterkingen weergegeven op figuur 2.



Figuur 2: Constante gaincirkels

## 7 Matchingnetwerken

## 8 DC biasnetwerk

## 9 Simulaties

### 9.1 Ideale transmissielijnen

### 9.2 Microstrip

## 10 Lay-out

## 11 Metingen

### 11.1 Vergelijking metingen en simulaties

#### Voor het verslag:

- Alle berekeningen + verwijzing formule
- Plots van ideale simulaties + simulatie in microstripversie
- Gebruikte Smith Charts voor matching van in- en uitgang

## Deel II

# Antenne

12 Dipool

13 Balun

14 Lay-out

15 Metingen

**Voor het verslag:**

- Alle berekeningen + verwijzing formule



## Referenties

- [1] Bert Follon Egon Geerardyn. GitHub VUB-HFE repository.  
<http://github.com/egeerardyn/VUB-HFE>.
- [2] G. Gonzalez. *Microwave Transistor Amplifiers - Analysis and Design*. Prentice Hall, Sydney, 1984.
- [3] Wendy Van Moer. Inleidingsles labo hoogfrequent elektronica en antennes, 2010.
- [4] D.M. Pozar. *Microwave Engineering*, chapter 5-11. Addison-Wesley, Reading, 1990.
- [5] Yves Rolain and Alain Barel. *Hoogfrequent elektronica en antennes*. VUB, 2010.