



Vrije Universiteit Brussel

Faculteit Ingenieurswetenschappen

Design van een hoogfrequente versterker en antenne

Hoogfrequente elektronica en antennes

Bert Follon, Egon Geerardyn

10 april 2010



Inhoudsopgave

I	Versterker	2
1	Stabiliteit	2
2	Stabiliteitscirkels	2
3	Gebruik van de unilaterale benadering	4
4	Berekening van maximale versterking	5
5	Bepaling van de constante gaincirkels	5
6	Matchingnetwerken	5
7	DC biasnetwerk	7
8	Simulaties	7
8.1	Ideale transmissielijnen	7
8.2	Microstrip	7
9	Lay-out	7
10	Metingen	7
10.1	Vergelijking metingen en simulaties	7
II	Antenne	10
11	Dipool	10
12	Balun	10
13	Lay-out	10
14	Metingen	10
III	Informatie	11
	Lijst van figuren	11
	Lijst van tabellen	11
	Referenties	11
	Bijlagen	11

Deel I

Versterker

In dit verslag wordt het designproces van hoogfrequente single-stage versterker besproken die gerealiseerd wordt in common emitter-opstelling.

Hierbij is de gebruikte NPN-transistor een BFR91A en werd het werkingspunt in [6] gespecificeerd zoals weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: DC werkingspunt transistor

Groep	Frequentie f_0	V_{ce}	I_c
1	1445 MHz	5 V	5 mA

Voor deze werkingfrequentie werden de S -parameters gegeven in [6]:

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

1 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.

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

$$|\Delta| < 1$$

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

Numeriek geeft dit:

$$K \approx 1.113 \quad |\Delta| \approx |0.096 - 0.256j| \approx 0.273$$

Aan de stabiliteitsvoorwaarden is voldaan, zodat men kan besluiten dat de te realiseren versterker onconditioneel stabiel is.

2 Stabiliteitscirkels

Vermits de versterker onconditioneel stabiel is, zullen de stabiliteitscirkels ofwel de volledige Smith Chart omvatten ofwel buiten de Smith Chart vallen. Toch wordt dit nogmaals gecontroleerd.

De stabiliteitscirkels geven de reflectiefactoren (en dus ook de matching-impedanties) aan waarvoor de hele schakeling nog net stabiel is voor de opgegeven werkingfrequentie. Onvoorwaardelijke stabiliteit zegt dus enkel dat indien de versterker voorzien wordt van passieve netwerken aan de in- en uitgang dat er geen oscillator op de werkingfrequentie gemaakt is. Wat echter niet aangetoond wordt met dit stabiliteitscriterium is de afwezigheid van oscillaties op andere frequenties!

Met formules 11.68 en 11.69 uit [4], worden middelpunt C en straal R van de stabiliteitscirkels bepaald.

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

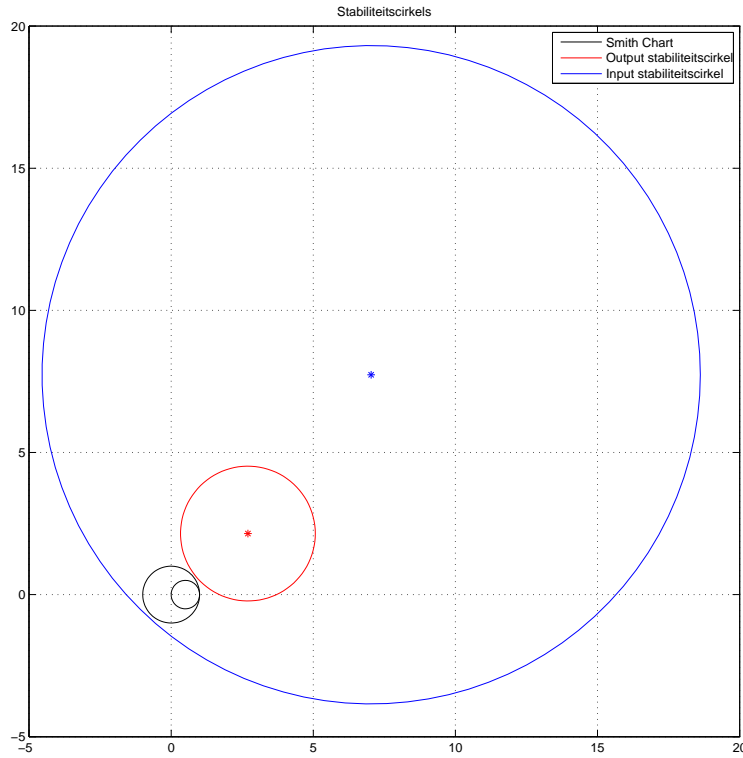
$$C_S = \frac{(S_{11} - \Delta S_{22}^*)^*}{|S_{11}|^2 - |\Delta|^2} \quad R_S = \left| \frac{S_{12}S_{21}}{|S_{11}|^2 - |\Delta|^2} \right|$$

Dit geeft aanleiding tot volgende waarden:

$$C_L = 2.70 + 2.15j \quad R_L = 2.37$$

$$C_S = 7.04 + 7.73j \quad R_S = 11.58$$

Op figuur 1 kunnen deze cirkels geïnspecteerd worden. Als extra controle, be-



Figuur 1: Stabiliteitscirkels

kijken 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].

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 outputstabiliteitscirkel stabiel is.

3 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:

$$U \approx 0.04863$$

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

$$-0.8 \text{ dB} < -0.412 \text{ dB} < \frac{G_T}{G_{TU}} < 0.433 \text{ dB} < 0.8 \text{ dB}$$

Vermits deze ongelijkheden geldig zijn, mag de unilaterale benadering gebruikt worden.

4 Berekening van maximale versterking

Aan de hand van [4] en [3] wordt de maximale transducergain op de gegeven werksfrequentie bepaald.

In appendix E van [3] werd bewezen dat bovenstaande uitdrukking voor een onconditioneel stabiele transistor ($K > 1$) en simultane input- en outputmatching, de maximale versterking uitgedrukt kan worden als:

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

5 Bepaling van de constante gaincirkels

Uit formules 5.96 en 5.100 van [5] kan men 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 enkele verschillende versterkingen G_p bekomt men in deze formule de waarden weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Constante gaincirkels

Versterking G_p	Middelpunt C	Straal R
3.000 dB	$0.111 - 0.127j$	0.804
2.000 dB	$0.100 - 0.113j$	0.824
1.000 dB	$0.089 - 0.102j$	0.843
10.390 dB	$0.243 - 0.277j$	0.561
16.323 dB	$0.433 - 0.492j$	0.062
16.411 dB	$0.436 - 0.495j$	0.000

Op de Smith Chart [1] in figuur 2 worden deze constante gain cirkels voor enkele verschillende versterkingen weergegeven op.

6 Matchingnetwerken

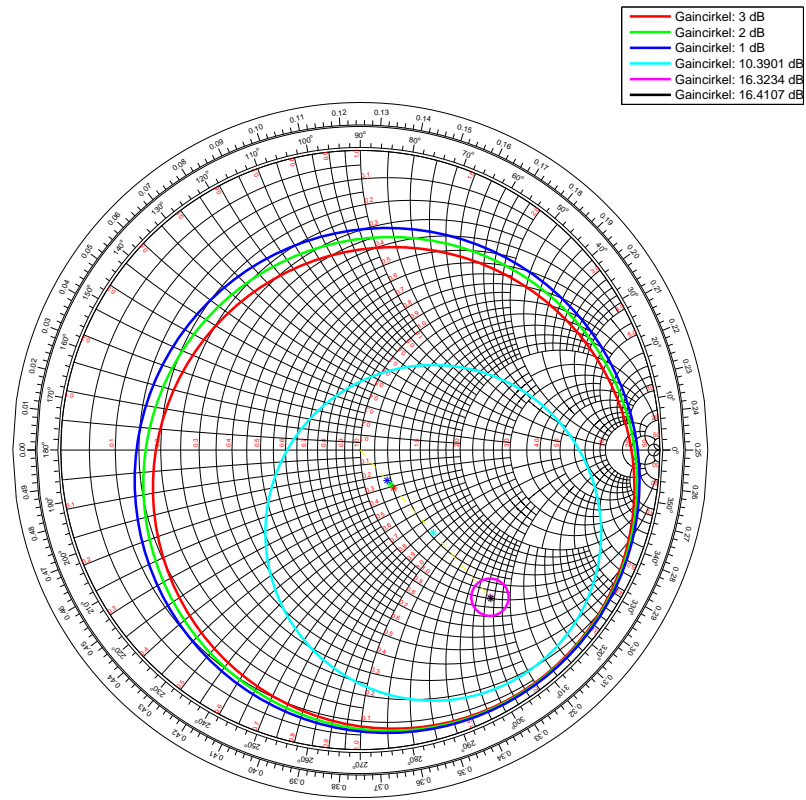
De matching gebeurt zowel voor ingang als uitgang gelijkaardig, vandaar ook dat er gekozen is om dit via MATLAB te implementeren in de functie `matcher`.

Zoals opgelegd in [6] wordt gebruikgemaakt van een variatie op de single stub matching zoals weergegeven in figuur 3.

Procedure invoegen

Voor de ingang en uitgang kunnen de bijhorende smith charts op respectievelijk figuur 4 en figuur 5 gevolgd worden. Deze zijn tevens in de bijlagen aanwezig voor de duidelijkheid.

De numerieke resultaten van deze matching wordt weergegeven in tabel 3.



Figuur 2: Constante gaincirkels

Tabel 3: Matchingnetwerken

Grootheid		Ingang	Uitgang	
Γ_1	★	$-0.104 - 0.181j$	$0.355 + 0.318j$	
Γ_2	★	$0.044 - 0.204j$	$0.227 + 0.419j$	
Y_2	★	$1.000 - 0.427j$	$1.000 + 1.084j$	S
Γ_3	★	$-0.692 + 0.722j$	$0.081 - 0.997j$	
Y_3	★	$-0.427j$	$+1.084j$	S
Γ_4	★	$-0.913 + 0.408j$	$-0.546 - 0.838j$	
Y_4	★	$-0.213j$	$+0.542j$	S
E_1	—	41.930	19.683	°
E_2	—	24.098	123.073	°
T	★	short	open	

7 DC biasnetwerk

Om het DC Bias-netwerk te designen kunnen vele verschillende soorten netwerken gebruikt worden. Hier werd de aanpak uit [3] gebruikt. Volgens deze bron is dit netwerk (figuur 6) goed geschikt door

-

8 Simulaties

8.1 Ideale transmissielijnen

8.2 Microstrip

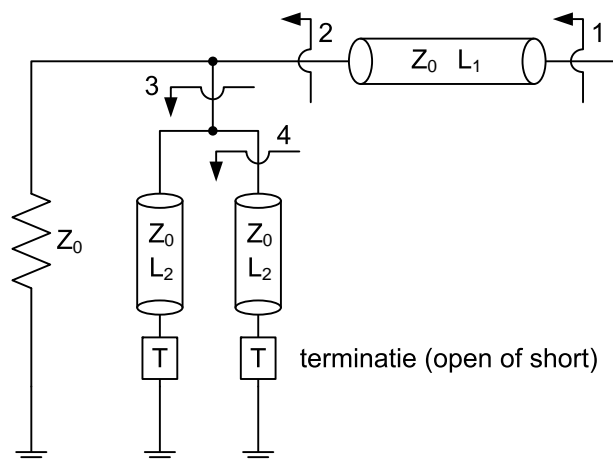
9 Lay-out

10 Metingen

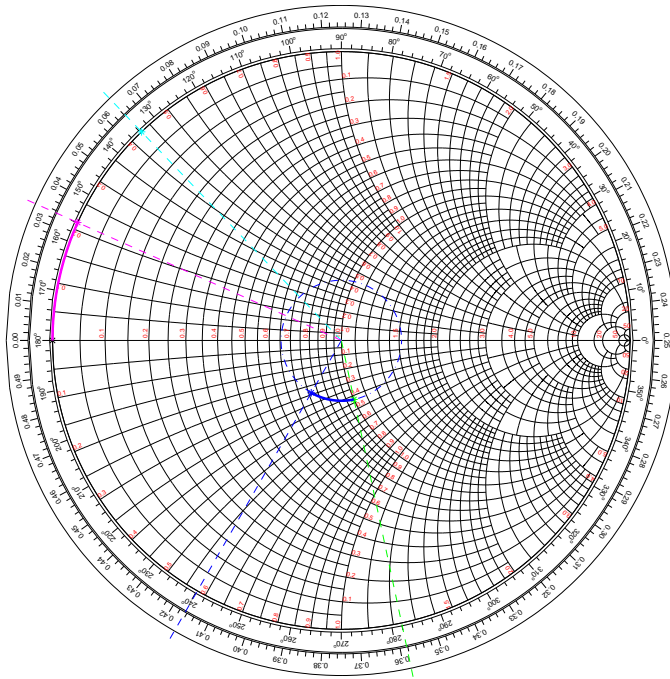
10.1 Vergelijking metingen en simulaties

Voor het verslag:

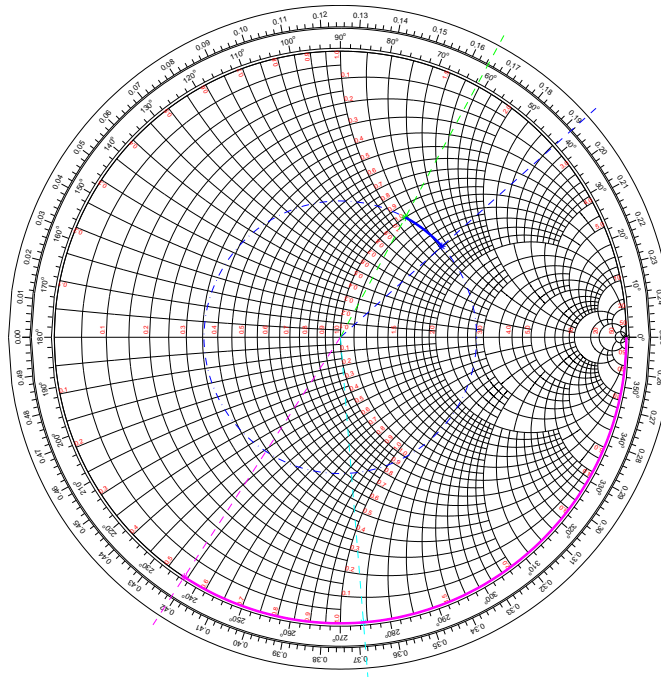
- Alle berekeningen + verwijzing formule
- Plots van ideale simulaties + simulatie in microstripversie
- Gebruikte Smith Charts voor matching van in- en uitgang



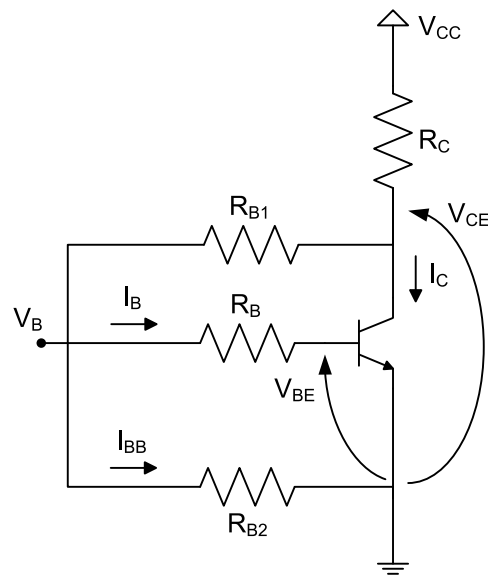
Figuur 3: Schakeling matchingnetwerken



Figuur 4: Smith Chart matchingnetwerk aan de ingang



Figuur 5: Smith Chart matchingnetwerk aan de uitgang



Figuur 6: Biasnetwerk

Deel II

Antenne

11 Dipool

12 Balun

13 Lay-out

14 Metingen

Voor het verslag:

- Alle berekeningen + verwijzing formule

Deel III

Informatie

Lijst van figuren

1	Stabiliteitscirkels	3
2	Constante gaincirkels	6
3	Schakeling matchingnetwerken	7
4	Smith Chart matchingnetwerk aan de ingang	8
5	Smith Chart matchingnetwerk aan de uitgang	9
6	Biasnetwerk	10

Lijst van tabellen

1	DC werkingpunt transistor	2
2	Constante gaincirkels	5
3	Matchingnetwerken	6

Referenties

- [1] Mohammad Ashfaq. MATLAB Smithchart. <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/324-smithchart>, 2006.
- [2] Egon Geerardyn and Bert Follon. GitHub VUB-HFE repository. <http://github.com/egeerardyn/VUB-HFE>, 2010.
- [3] G. Gonzalez. *Microwave Transistor Amplifiers: Analysis and Design*. Prentice Hall, Sydney, 1984.
- [4] D.M. Pozar. *Microwave Engineering*. Addison-Wesley, Reading, 1998.
- [5] Yves Rolain and Alain Barel. *Hoogfrequent elektronica en antennes*. VUB, 2010.
- [6] Wendy Van Moer. Inleidingsles labo hoogfrequent elektronica en antennes, 2010.

Bijlagen

Broncode De broncode en een digitale versie van het verslag zijn beschikbaar op [2].

Figuren Voor de duidelijkheid zijn enkele figuren zoals Smith Charts ook in de bijlagen aanwezig.

1. Figuur 2, zie ook pagina 6.
2. Figuur 4, zie ook pagina 8.

3. Figuur 5, zie ook pagina 9.

