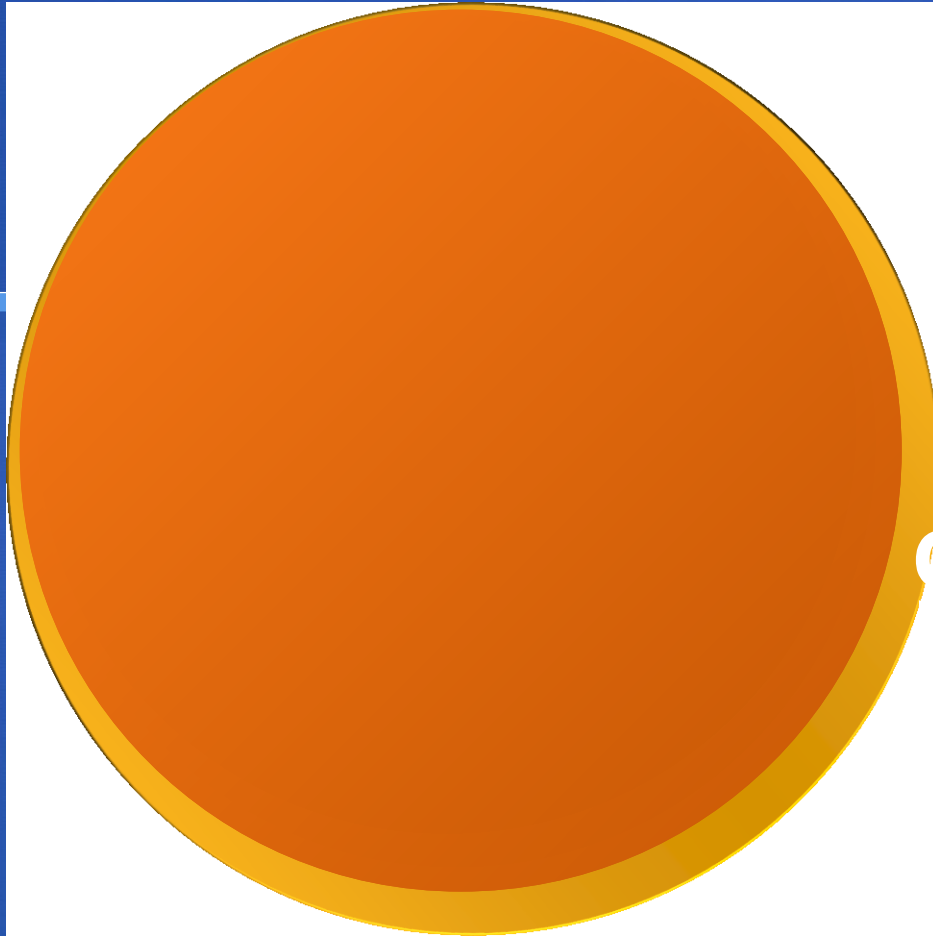
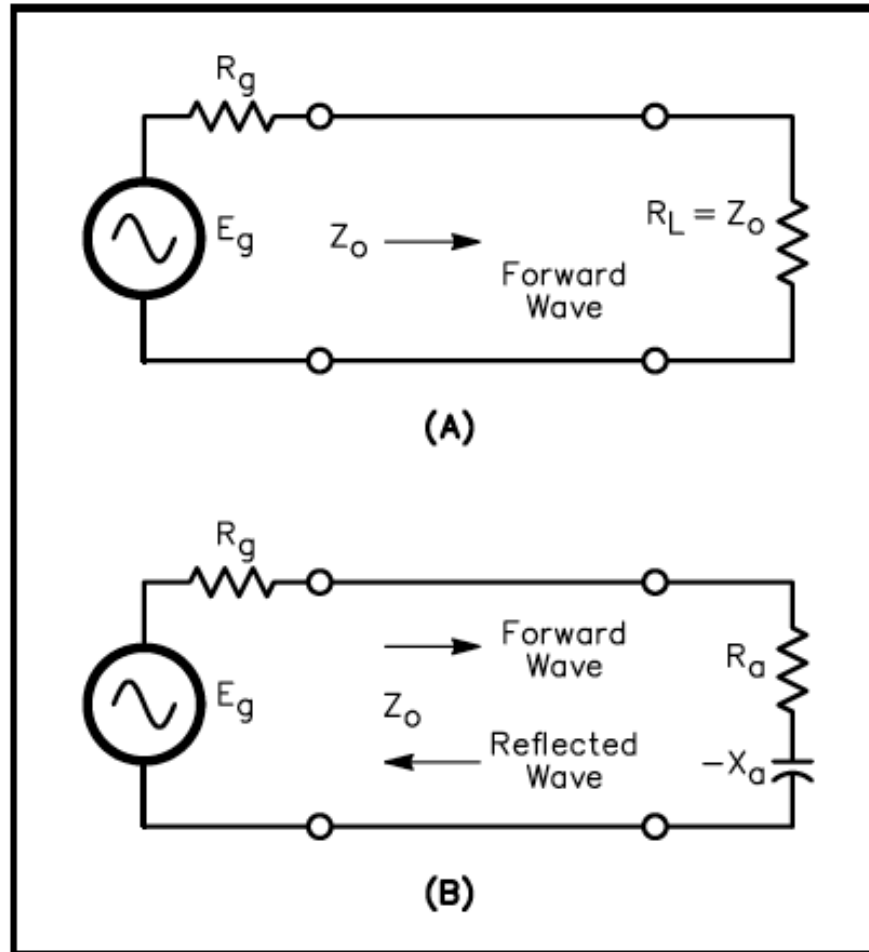




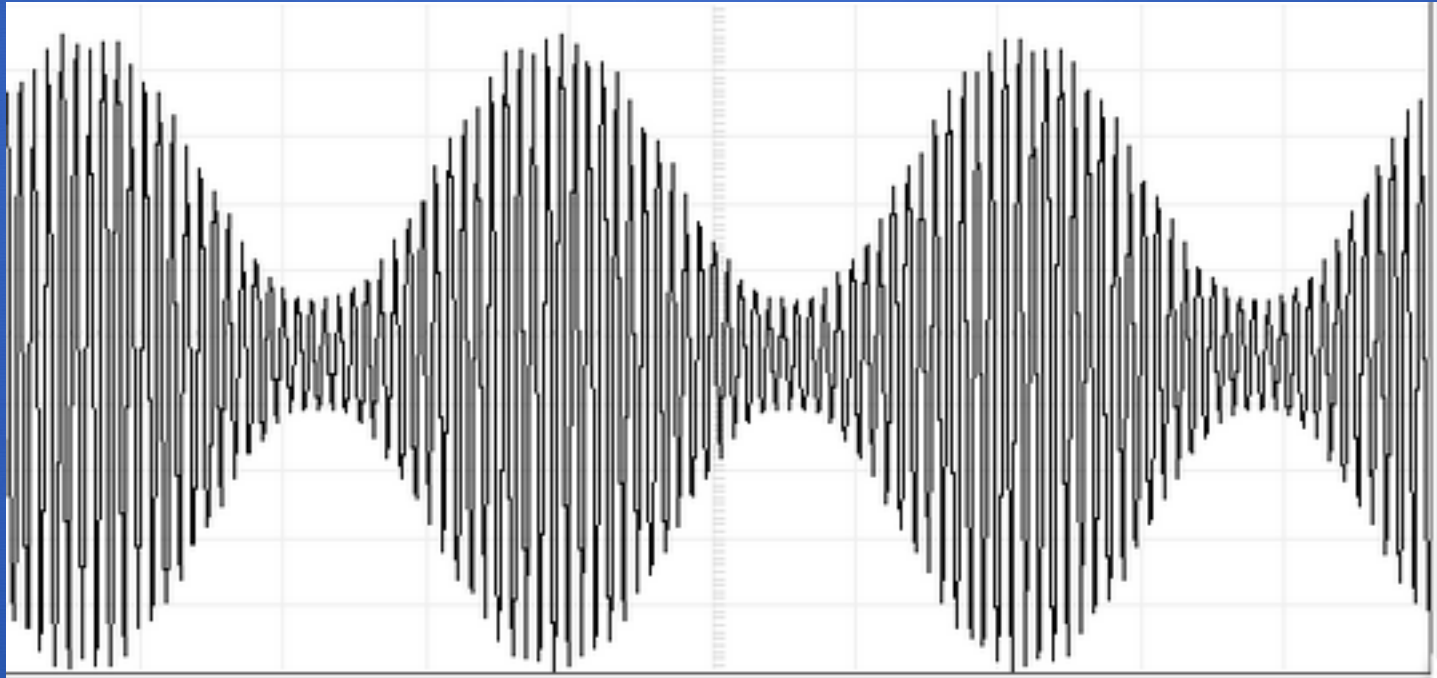
SWR metingen en gebruik daarbij van Smith Diagram

Voor VERON Afd Nijmegen
door Robert Langenhuisen, PAoRYL

Transmissielijn



Staande golven



TX

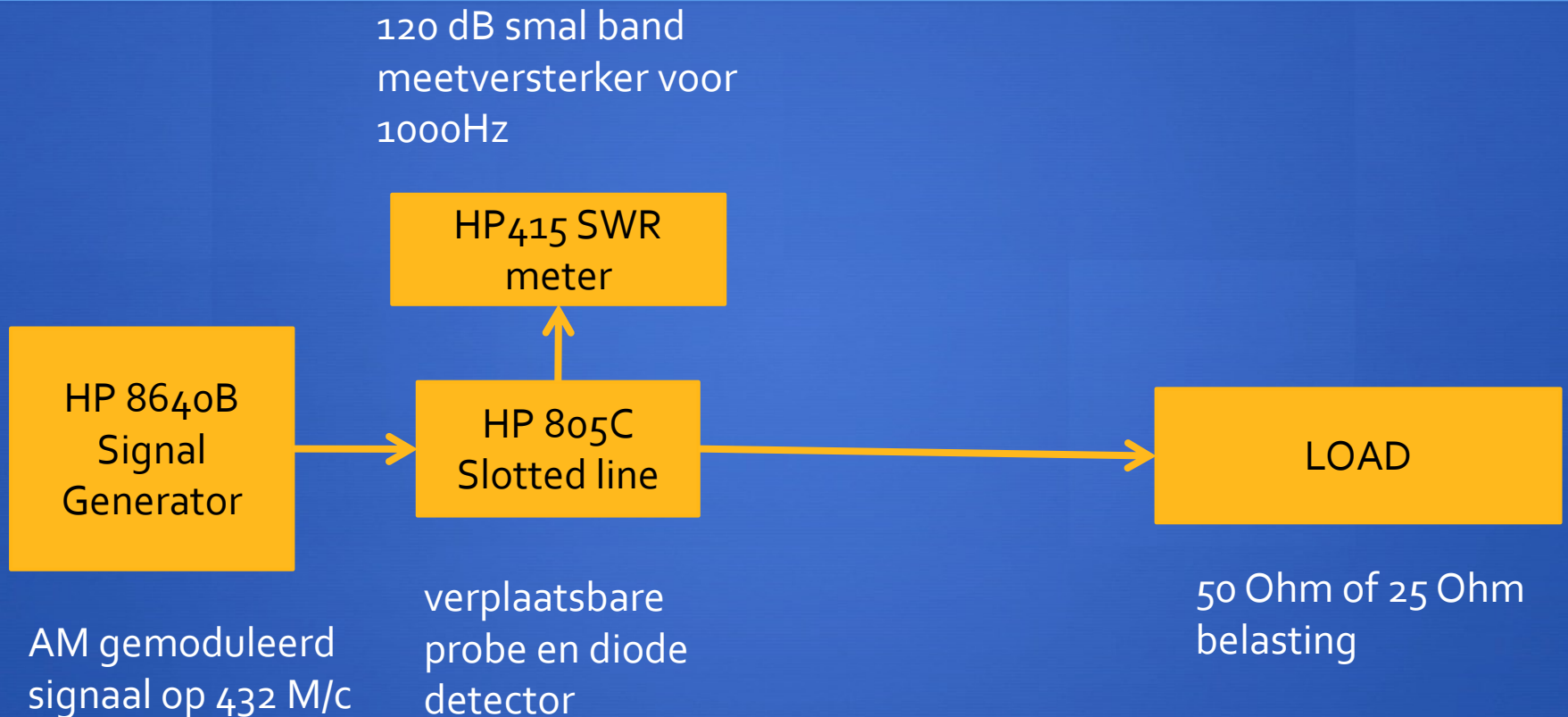
Transmissielijn

$$VSWR = V_{\max} / V_{\min}$$

Maar ook:

$$VSWR = \frac{Z_0}{R_L} \quad \text{or} \quad VSWR = \frac{R_L}{Z_0}$$

Meetopstelling 1



HP805 Slotted Line

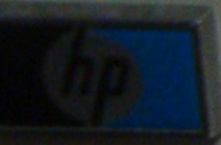




HEWLETT-PACKARD



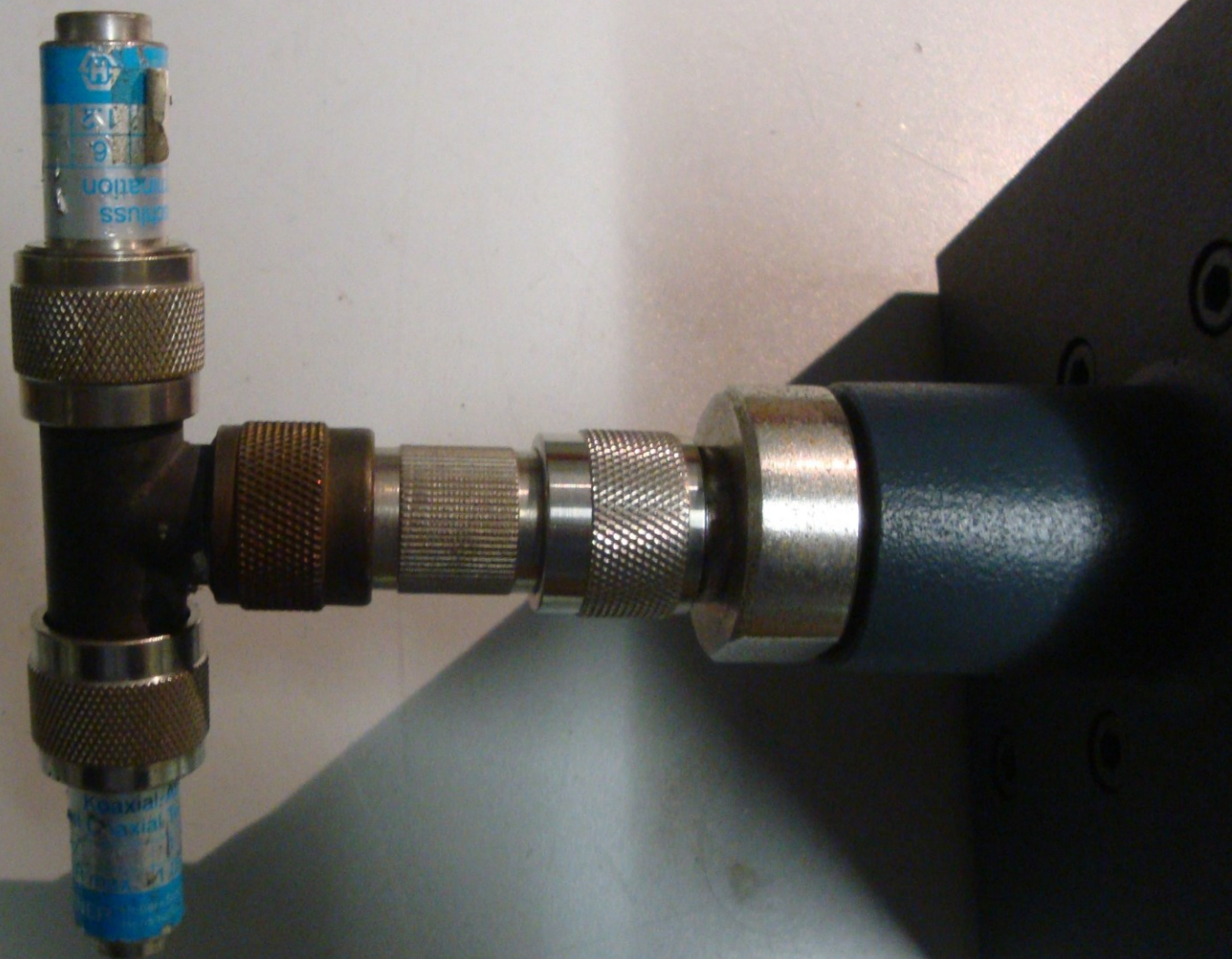
415E SWR METER



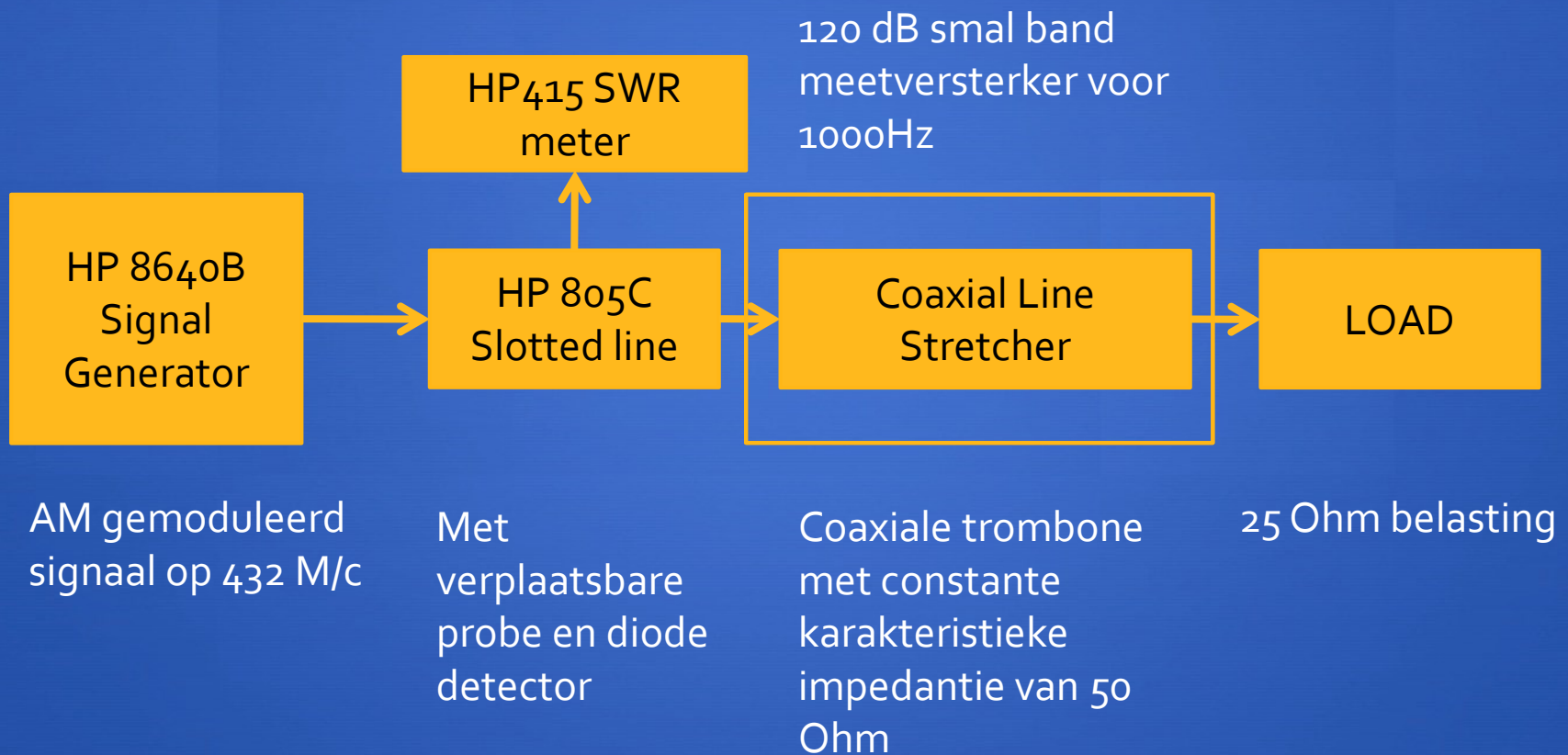
HEWLETT-PACKARD 415E SWR METER

Experiment 1

- Controleer SWR met 50 Ohm belasting
- Maak 25 Ohm belasting met T stuk en twee 50 Ohm loads en meet SWR
- Idem maar met PL tussenstukken



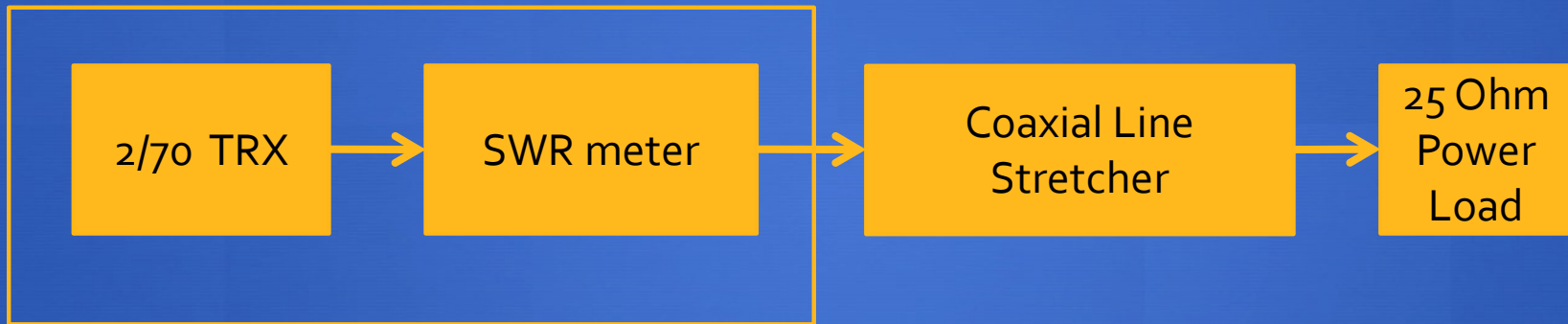
Meetopstelling 2



Experiment 2

- Meet SWR van $25\ \Omega$ load bij verschillende lengtes transmissielijn tussen load en slotted line
- Conclusie:
 - SWR is bij constante lijnimpedantie onafhankelijk van lengte van transmissielijn
- Controleer SWR van $25\ \Omega$ Power Load

Meetopstelling 3



Experiment 3

- Meet SWR bij verschillende lengtes coax tussen load en SWR meter
- Herhaal dat met verschillende SWR meters
- Trek je conclusies

RANGE
20W X 1
200W X 10



RANGE
20W X 1
200W X 10

D
DATE



SWR

PAUZE ?



Transmissielijn als impedantie transformator

$$Z_{\text{in}} = Z_0 \times \frac{Z_L \cosh(\eta \ell) + Z_0 \sinh(\eta \ell)}{Z_L \sinh(\eta \ell) + Z_0 \cosh(\eta \ell)}$$

Z_{in} is complexe ingangsimpedantie $R_{\text{in}} + jX_{\text{in}}$ van de lijn

Z_L is complexe belastingsimpedantie $R_a + jX_a$ aan eind van lijn

η is Complexe verlies coefficient $\alpha + j\beta$

α is verliesfactor bij aangepaste lijn in Nepers/lengte

β is faseconstante van de lijn in radialen per lengte eenheid

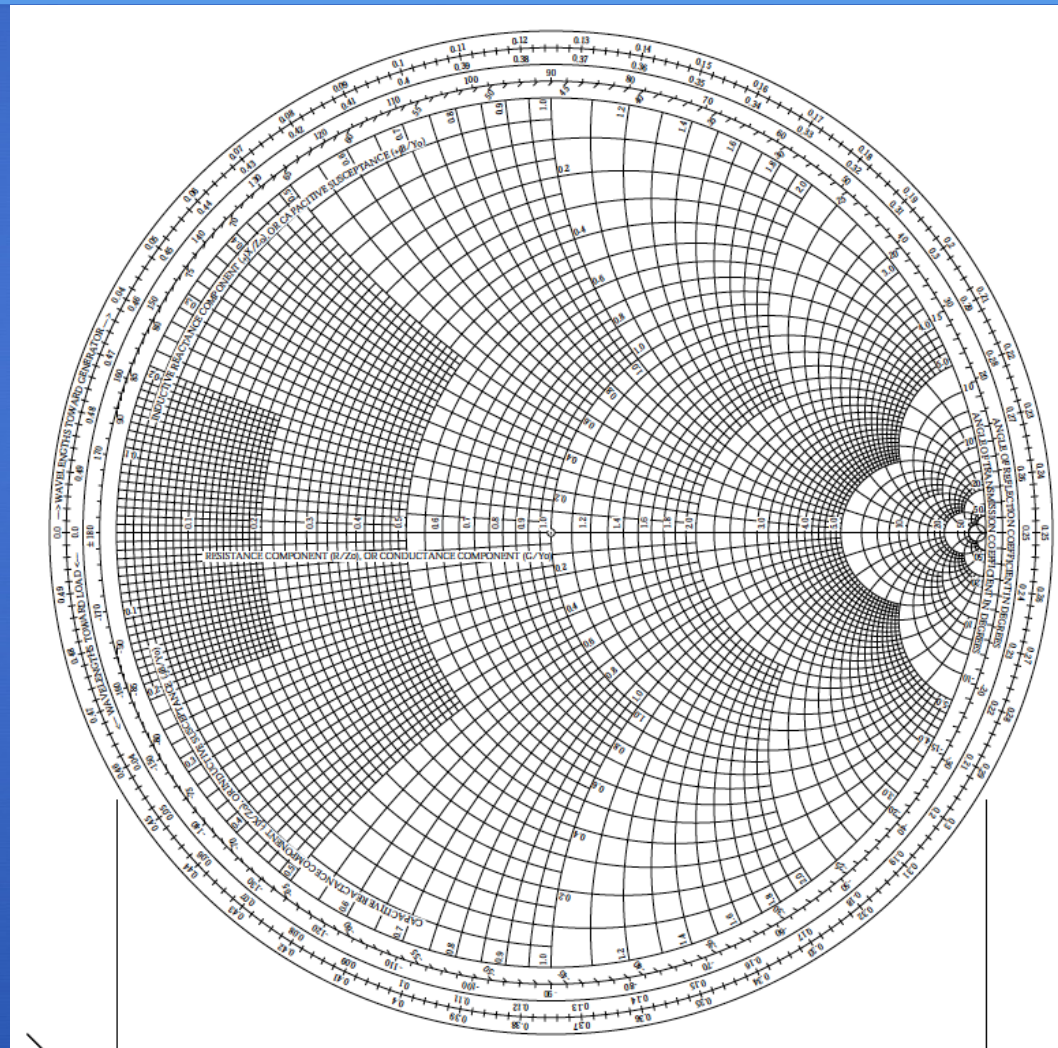
ℓ is lengte van de lijn (in zelfde lengte eenheden als hierboven)

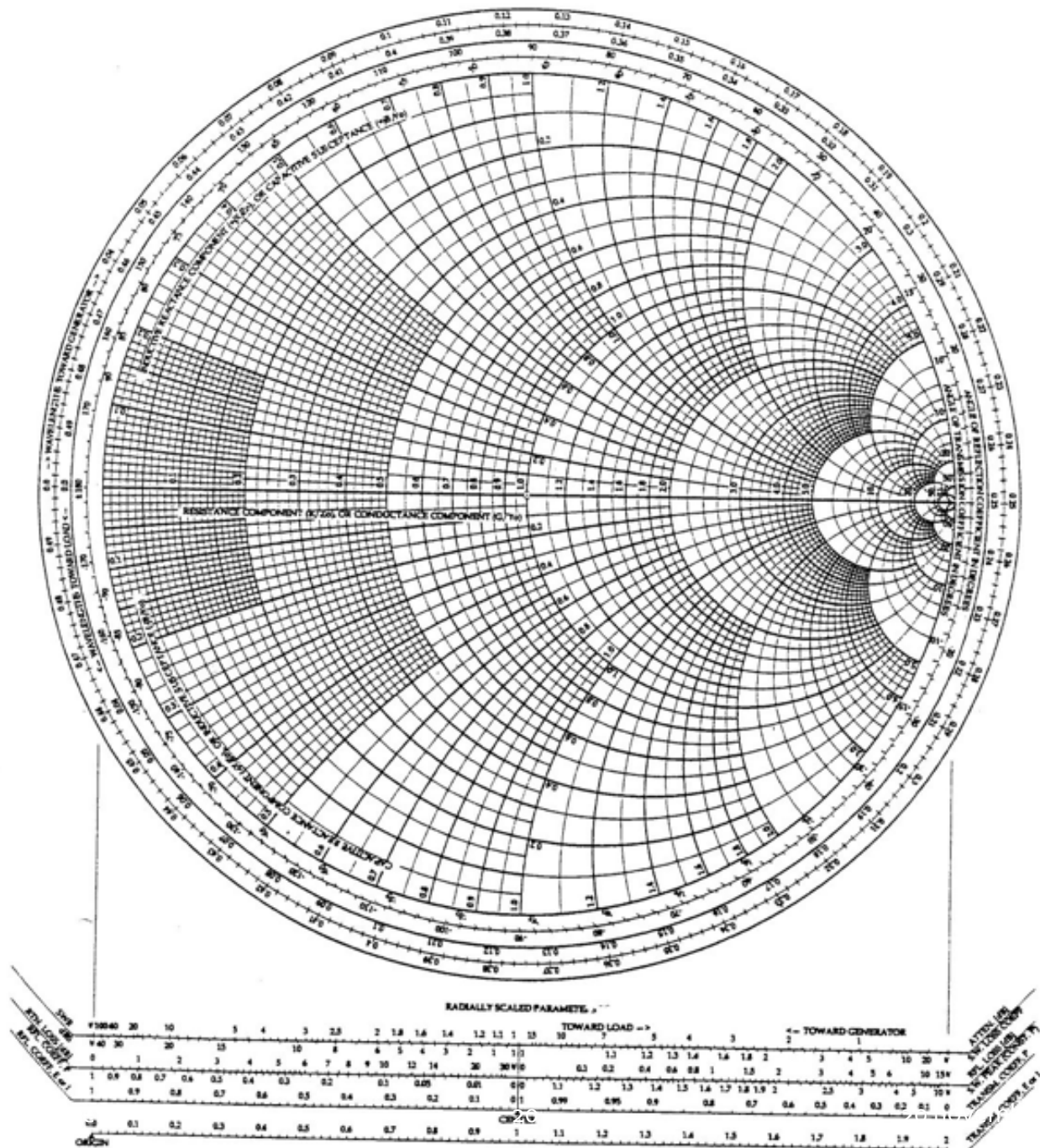
(1 neper = 8,688 dB)

De Smith Chart

- Sinds 1939 maakt Philip H. Smith met zijn grafische weergaves de transmissielijn formule inzichtelijk
- Geen rechte lijnen in grafiek maar gekromde lijnen vormen

Behalve voor een rechte lijn!



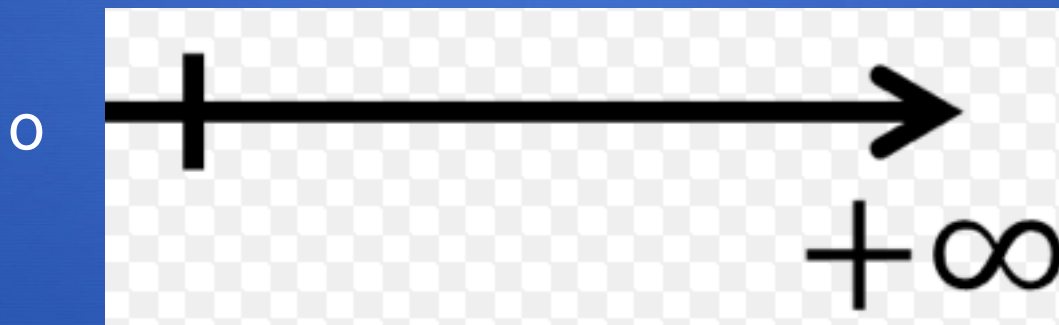


Gebruiksvoorbeelden van Smith Charts

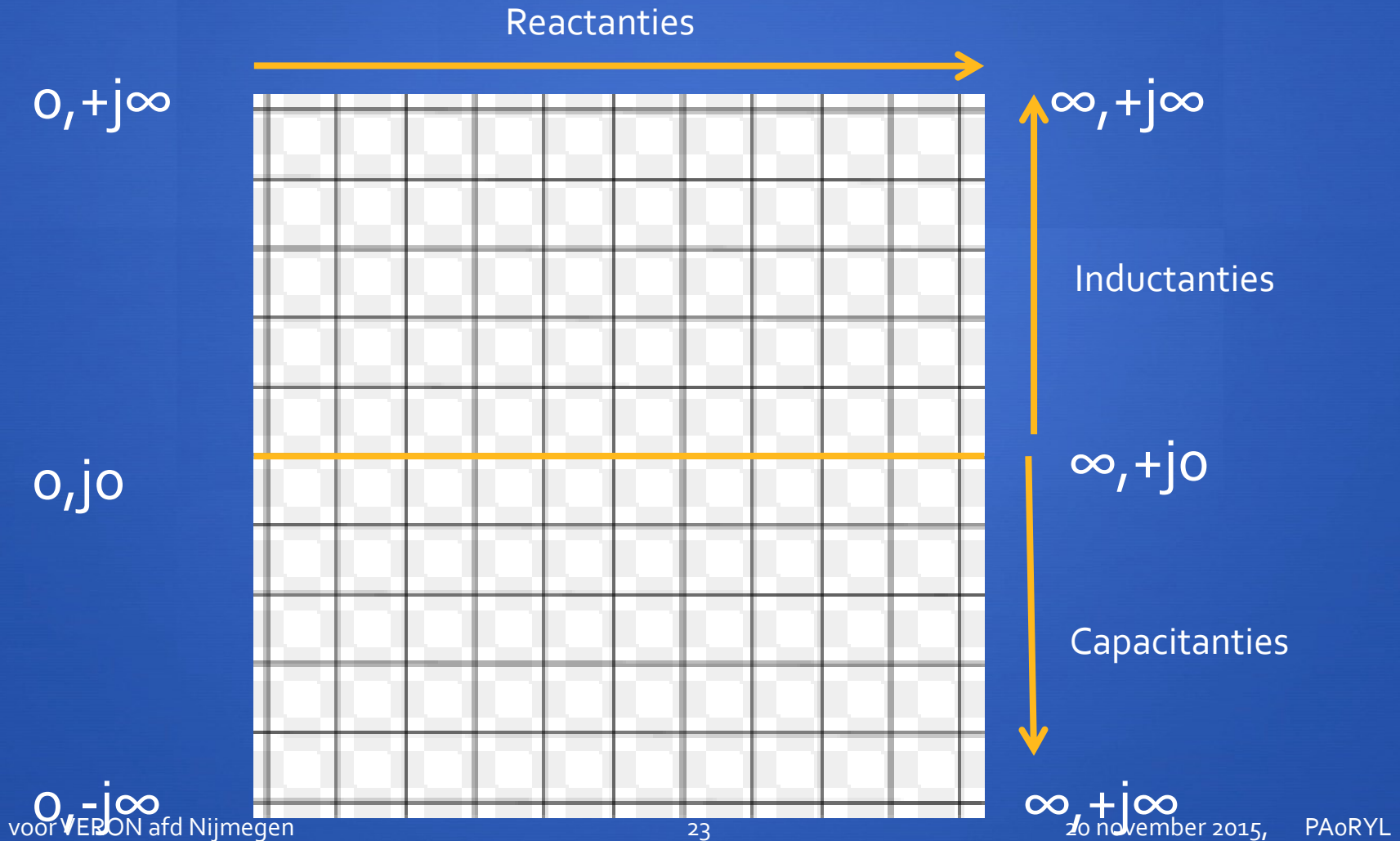
- Inzichtelijk maken wat er met transmissielijnen gebeurt
- Grafisch experimenteren zonder formules, soldeerbout kniptangen etc.
- Antenne aanpassingen ontwerpen
- Antenne impedantie bepalen bij bekende lijnlengte en gemeten impedantie
- SWR bepalen afhankelijk van impedantie
- Het in kaart brengen van de effecten van kabelverliezen

Grafische weergave van reële impedanties

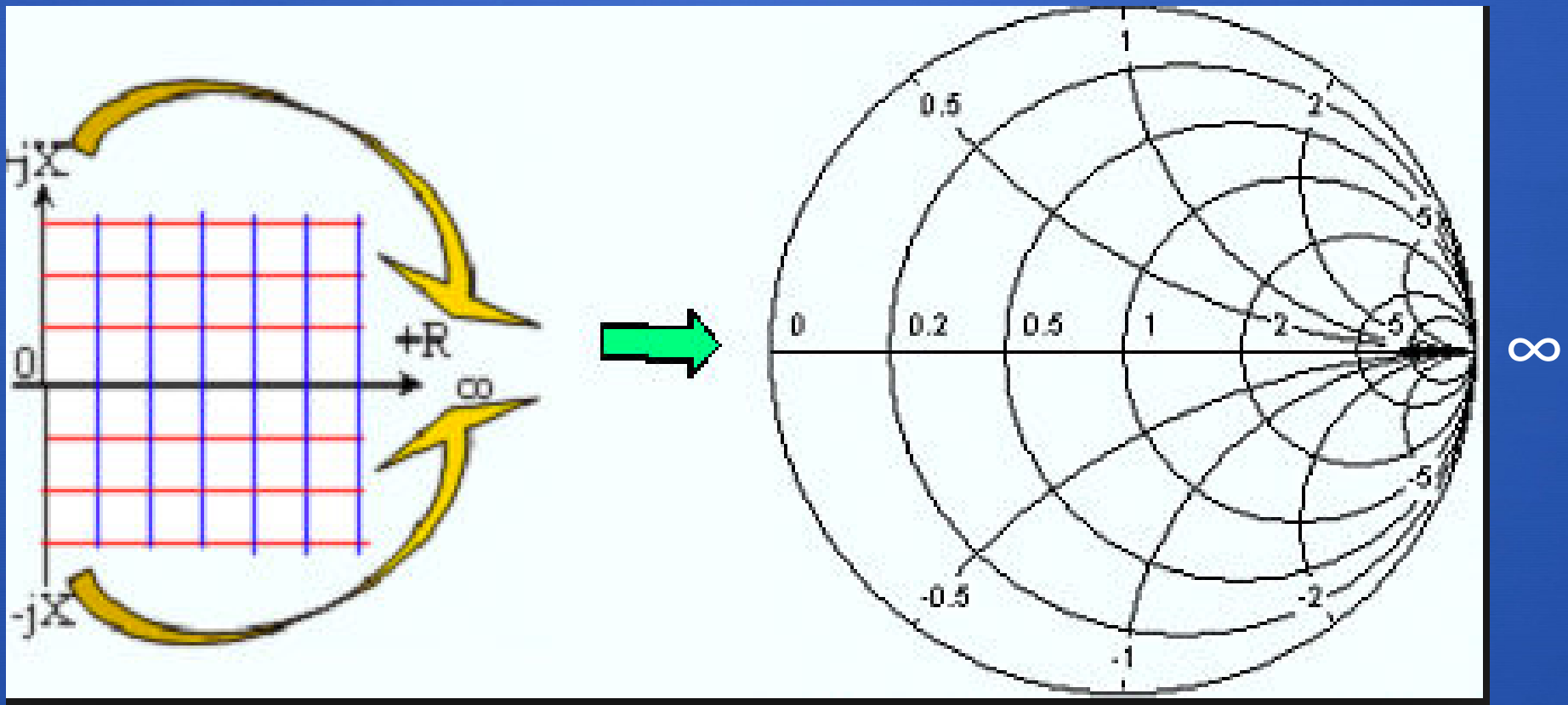
- Positief
- Liggen tussen 0 en oneindig
- Papier is wel geduldig maar niet oneindig groot
- Logarithmische weergave gaat niet helpen



Grafische weergave van complexe impedanties



Conversie naar Smith Chart



Smith Charts zijn genormaliseerd

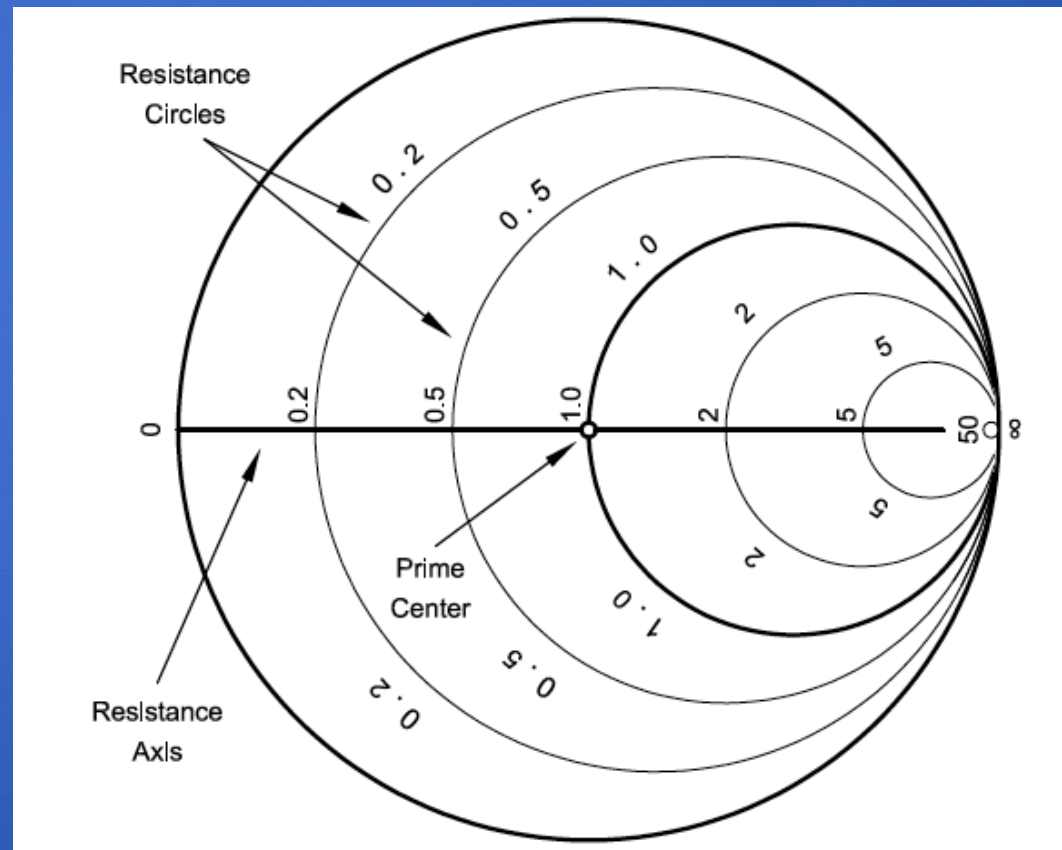
Weerstandscirkels

De waarde van aan de cirkels toegekende weerstand variëren van 0 aan de linkerkant tot oneindig aan de rechterkant.

De waarden zijn verhoudingen t.o.v. de waarde die toegekend is aan het centrale punt (1,0)

Deze waarden zijn dus 'genormaliseerd' t.o.v. de waarde die toegekend is aan het centrale punt (meestal is dat 50 Ohm)

De horizontale rechte lijn is de reële as



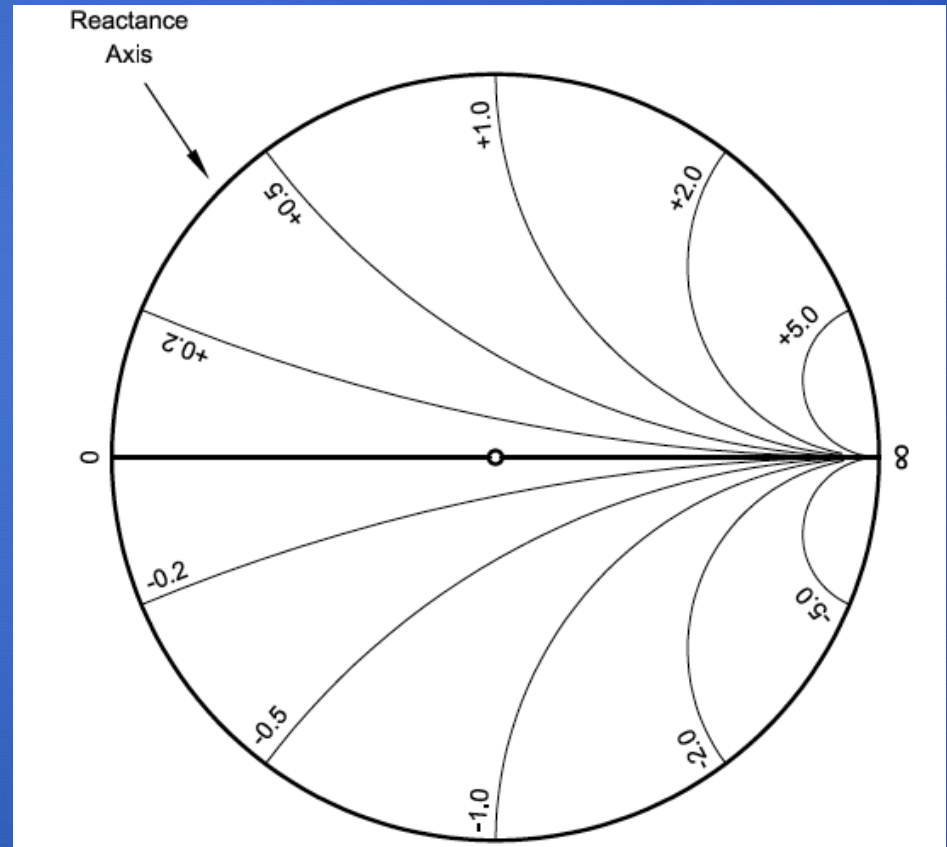
Reactantiecirkels

Deze kromme lijnen geven de genormaliseerde waarden aan van constante reactantie

De bovenste helft van de cirkel huisvest positieve (inductieve) reactanties

De onderste helft van de cirkel huisvest negatieve (capacitieve) reactanties

De buitenste cirkel is de reactantie as



Prime Center

- Heeft de genormaliseerde waarde van $1 + j0$
- Veelal wordt dit genormaliseerd t.o.v de karakteristieke impedantie van de transmissielijn (veelal 50 Ohm)
- Prime center representeert daarbij een impedantie van 50 Ohm + $0 j$ Ohm
- Als de transmissielijn afgesloten wordt met een impedantie gelijk aan 'Prime Center' dan is de SWR = 1

Open en kortgesloten lijn

- Een kortgesloten ($0 + j0 \Omega$) afsluiting bevindt zich uiterst links op de reële as
- Een open afsluiting ($\infty + j0 \Omega$) bevindt zich uiterst rechts op de reële as
- Een afsluiting met de (genormeerde) karakteristieke impedantie van de lijn bevindt zich in het middelpunt.

De Smith Chart

$$Z = R \pm jX$$

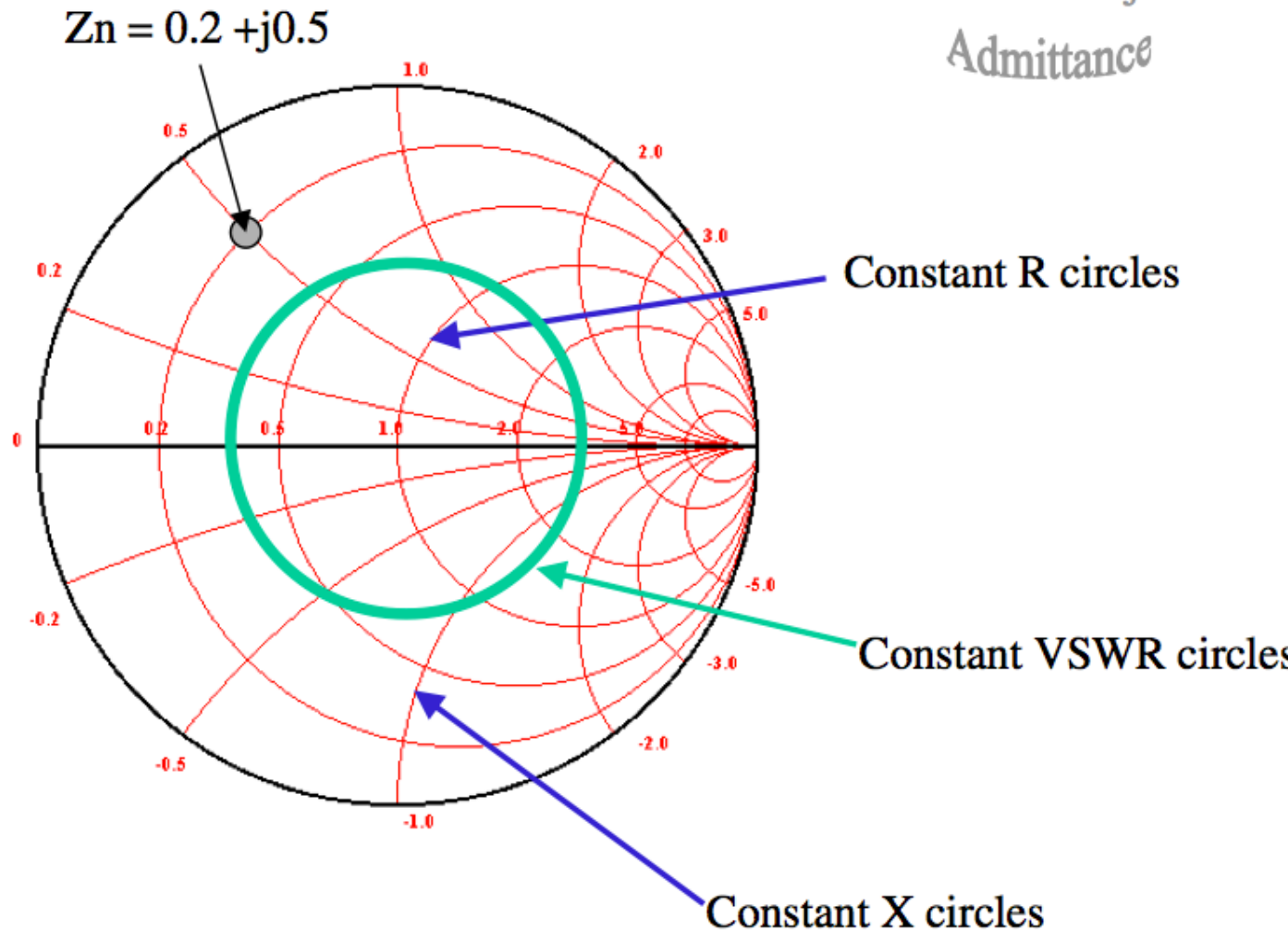
Impedance

The chart is normalized (Z_n) so that any characteristic impedance (Z_0) can be used.

$$Z_n = \frac{R}{Z_0} \pm j \frac{X}{Z_0}$$

$$Y = G \pm jB$$

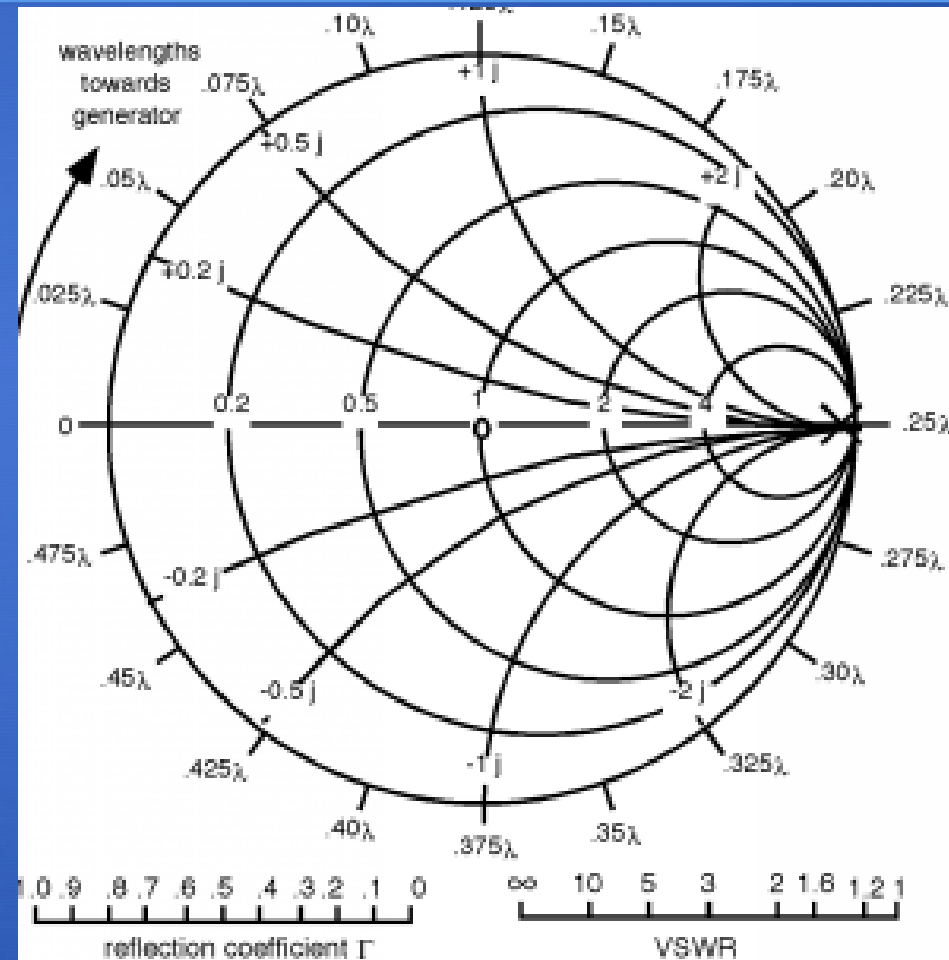
Admittance



Golflengte schaal

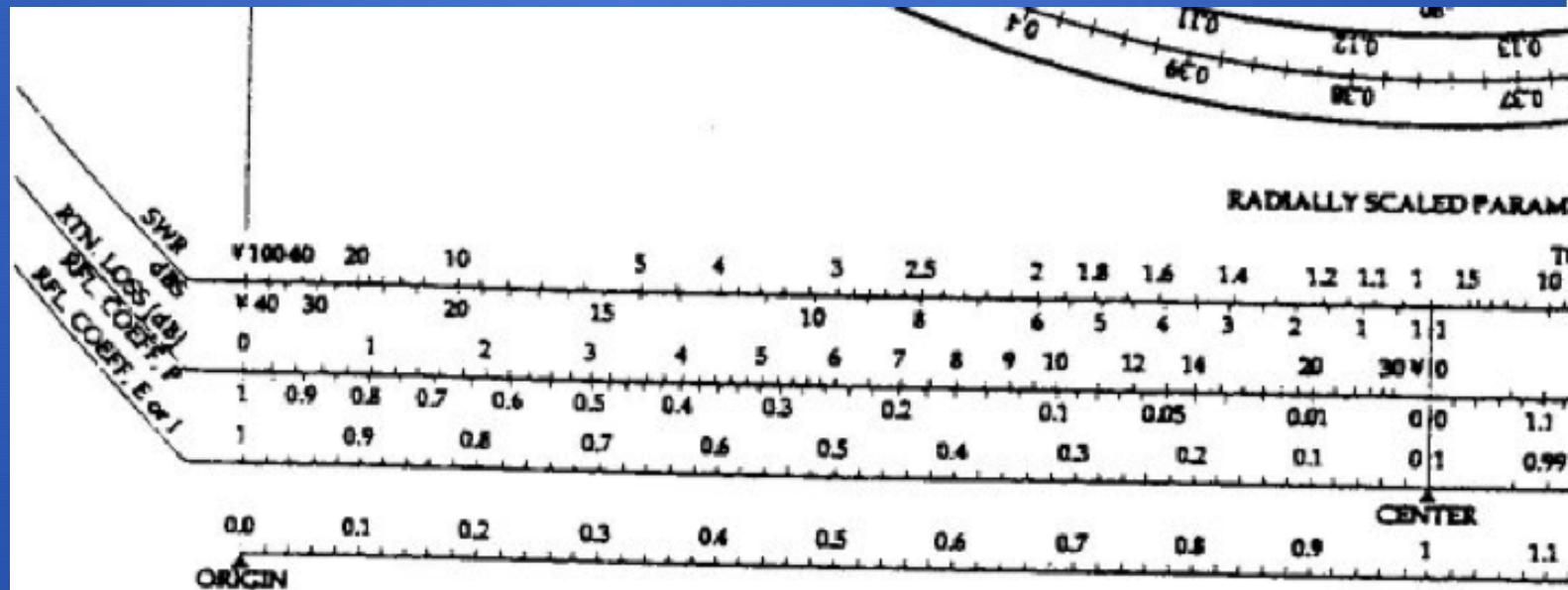
Aan de buitenkant bevinden zich twee
golflengte schalen met lengte $0,500 \lambda$:
TOWARDS GENERATOR die
rechtsom draait
TOWARDS LOAD die linksom draait

Extra's: radiale schalen (passer van zolder
halen)
Reflection Coefficient Γ
VSWR



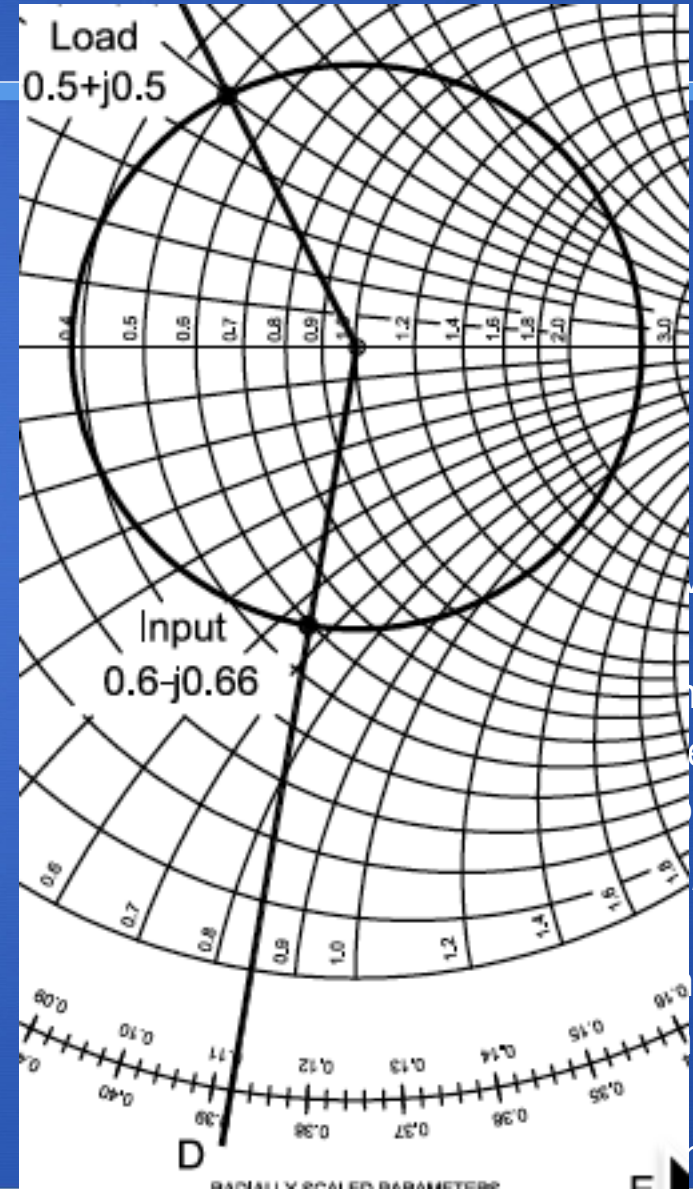
Linker schaal radiale schaal

- SWR
- Return Loss
- Reflection Coefficient



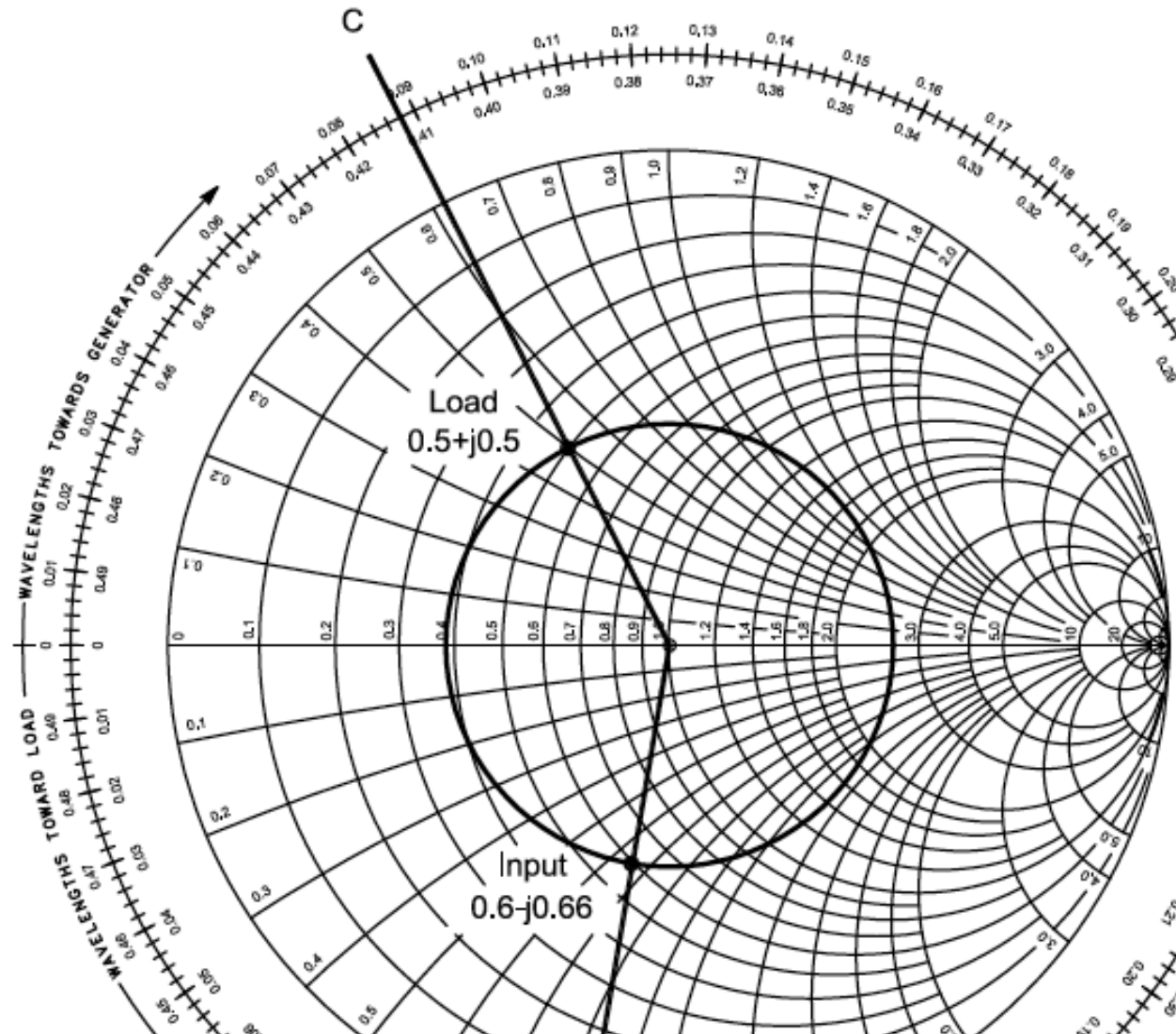
Impedantie transformatie (I)

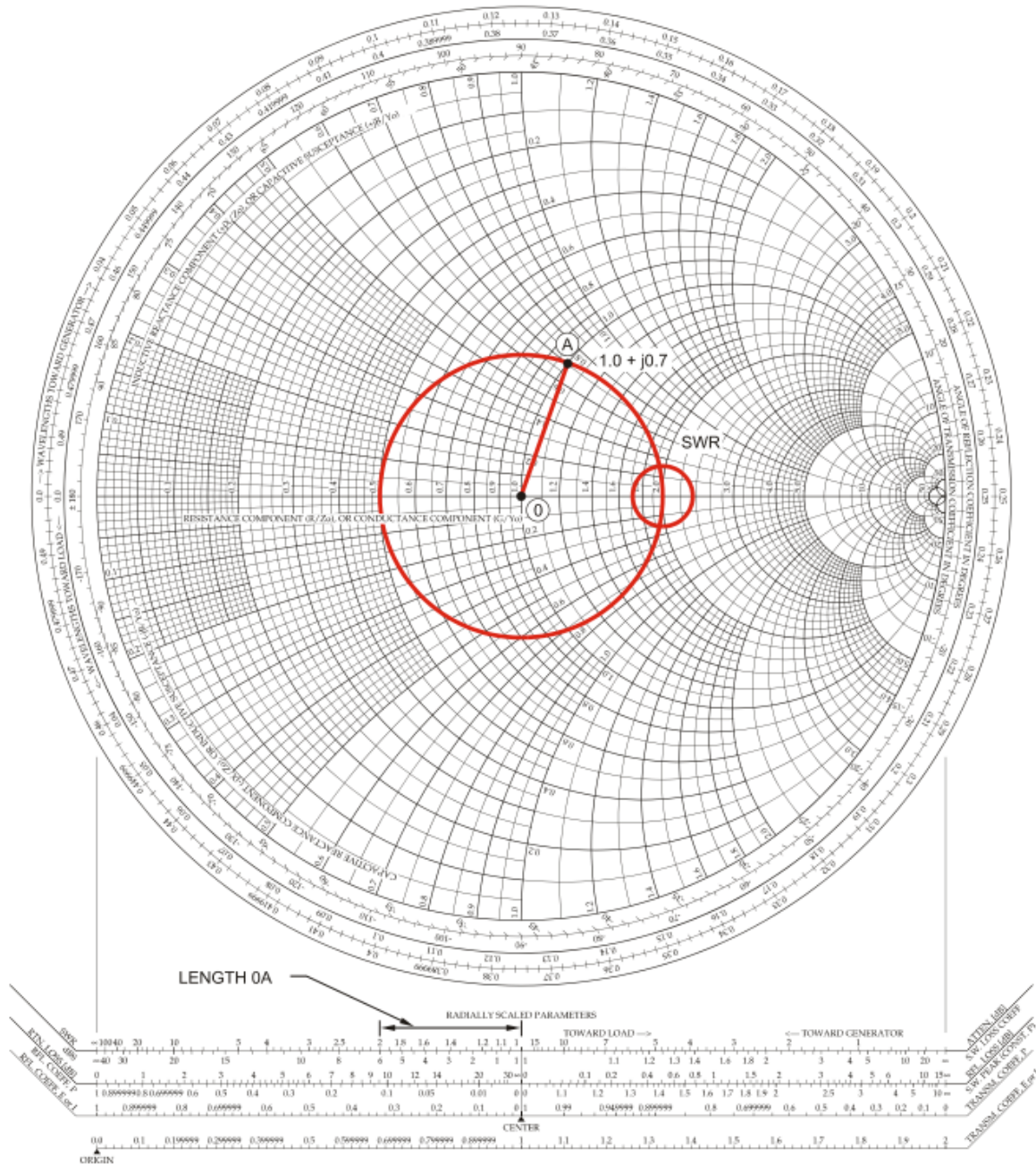
- Gemeten Impedantie $30-j33\Omega$
- Transmissielijn $0,3 \lambda$ lang
- Wat is antenne impedantie ??
 - 1. Zet impedantie om in relatieve coördinaten
 - $30/50 - j33/50 \Rightarrow 0,6-j0,66$
 - 2. trek lijn door Prime Center , meetpunt en Golflengte schaal en lees D af ($D \Rightarrow 0,112 \lambda$)
 - 3. Teken constante SWR cirkel door meetpunt



Impedantie transformatie (I)

- Draai $0,3 \lambda$ linksom over constante SWR cirkel
- $0,112 + 0,3 = 0,412 \Rightarrow C$
- Trek lijn van C naar Prime center
- Snijpunt met cirkel $\Rightarrow$ antenne impedantie
- $0,5$
- $+j0,5 \Rightarrow 0,5 * 50 + j0,5 * 50$
- $25 + j25 \text{ Ohm}$ (inductief)

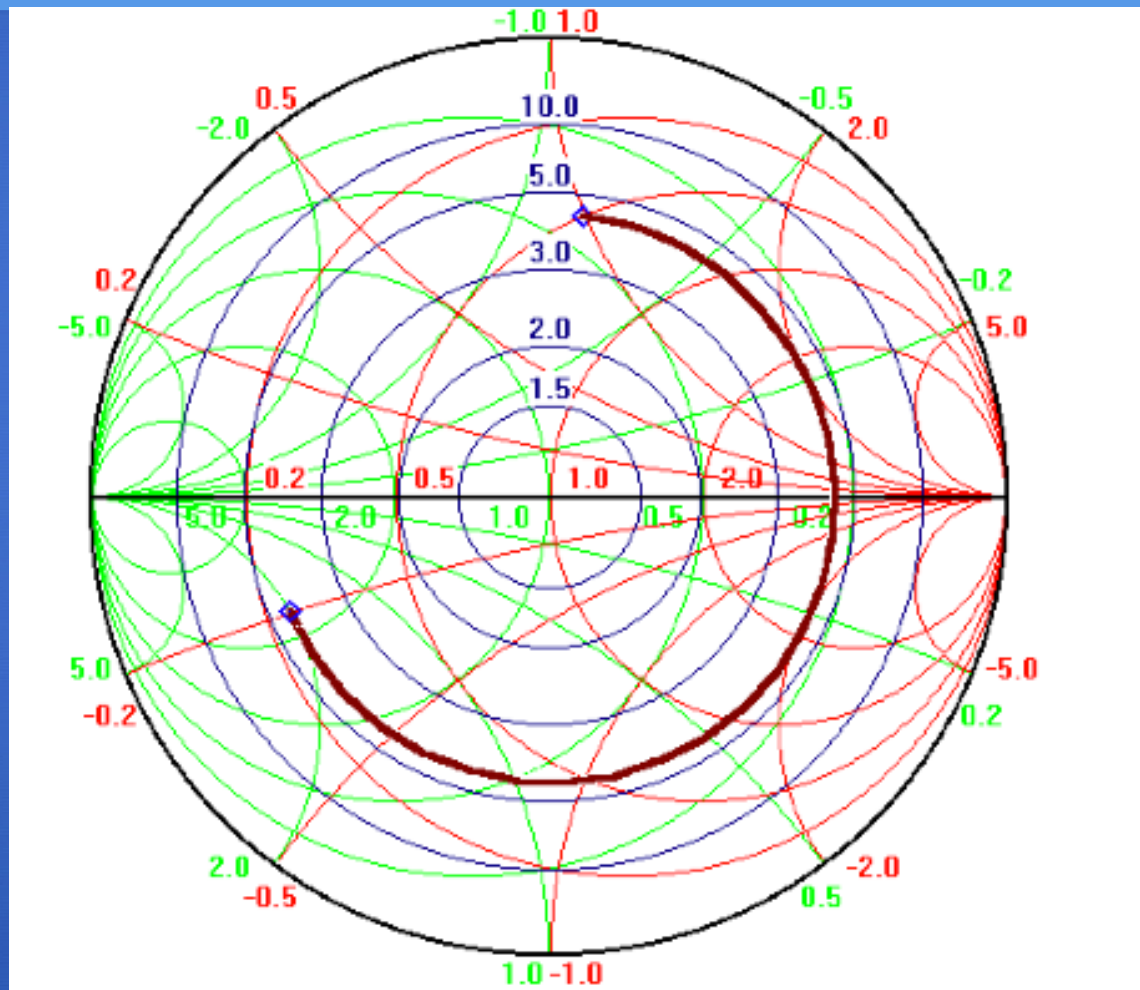




SWR Circles

Elke impedantie die gerepresenteerd wordt door elk willekeurig punt op een bepaalde SWR cirkel veroorzaakt dezelfde SWR

De SWR kan afgelezen worden waar de SWR cirkel de reële as kruist rechts van Prime Center



SWR vs Impedantie

- Bij een bepaalde load en verliesvrije transmissielijn
 - blijft de SWR gelijk maar verandert de impedantie als de afstand tussen load en meetpunt varieert
- Bij een bepaalde SWR reproduceert de impedantie zich elke halve golflengte
- Bij een bepaalde SWR
 - horen oneindig veel verschillende impedanties
 - Deze bevinden zich op de betreffende impedantiekring.

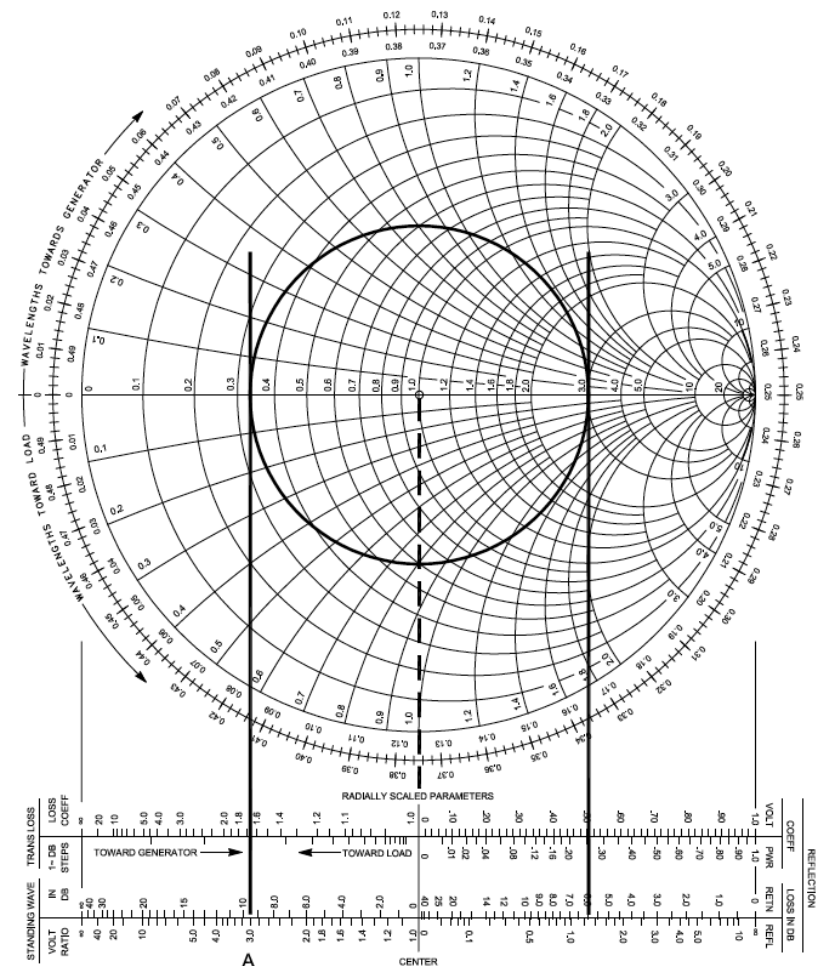
Van impedantie naar SWR

Plot Impedantie

Teken cirkel door geplote impedantie met als centrum Prime Center

Teken die radius af op SWR as

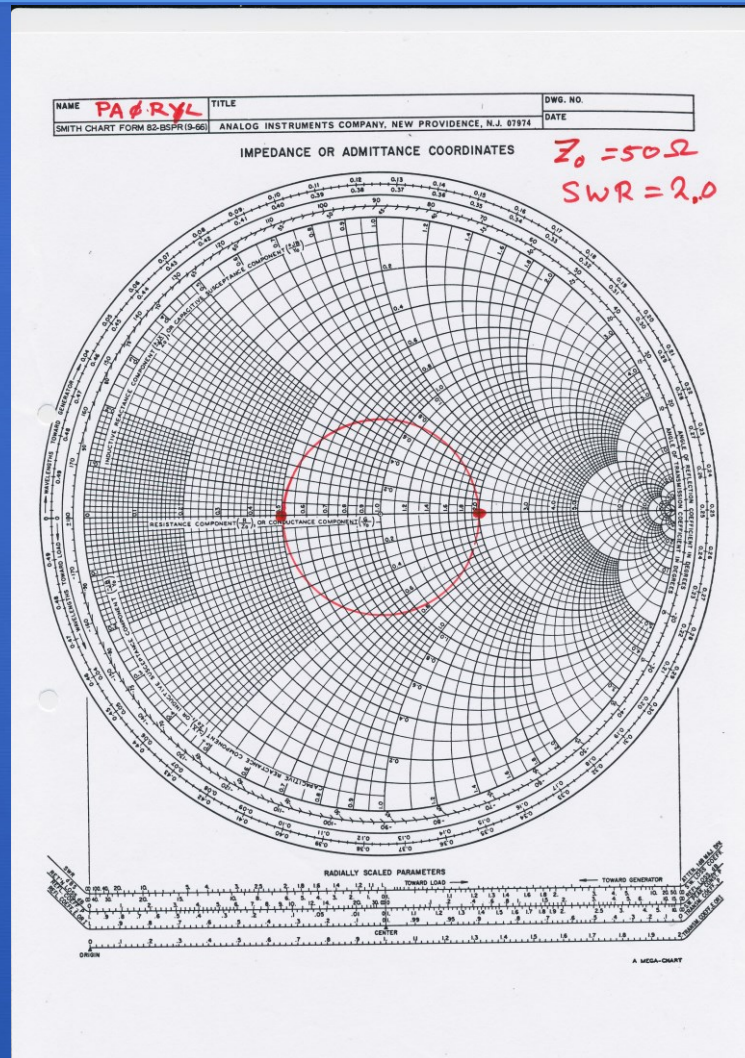
Lees SWR af



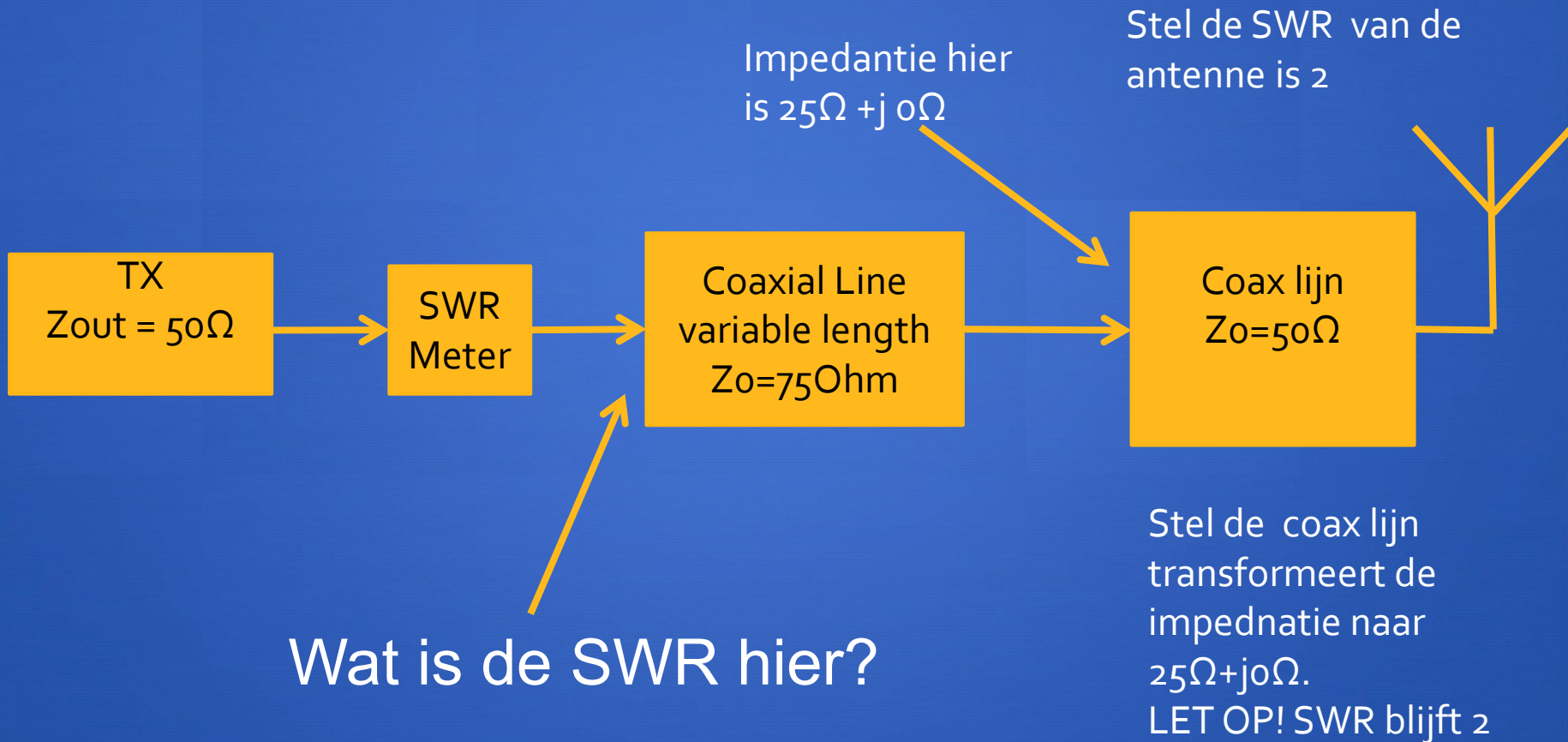
Het CB Dilemma

- SWR is onafhankelijk van lengte coax lijn volgens onze experimenten
- Er zijn CB'ers die beweren dat SWR afhankelijk van coax lijn is.

20 november 2015, PAoRYL



Gedachten Experiment 1



Uitvoering gedachtenexperiment

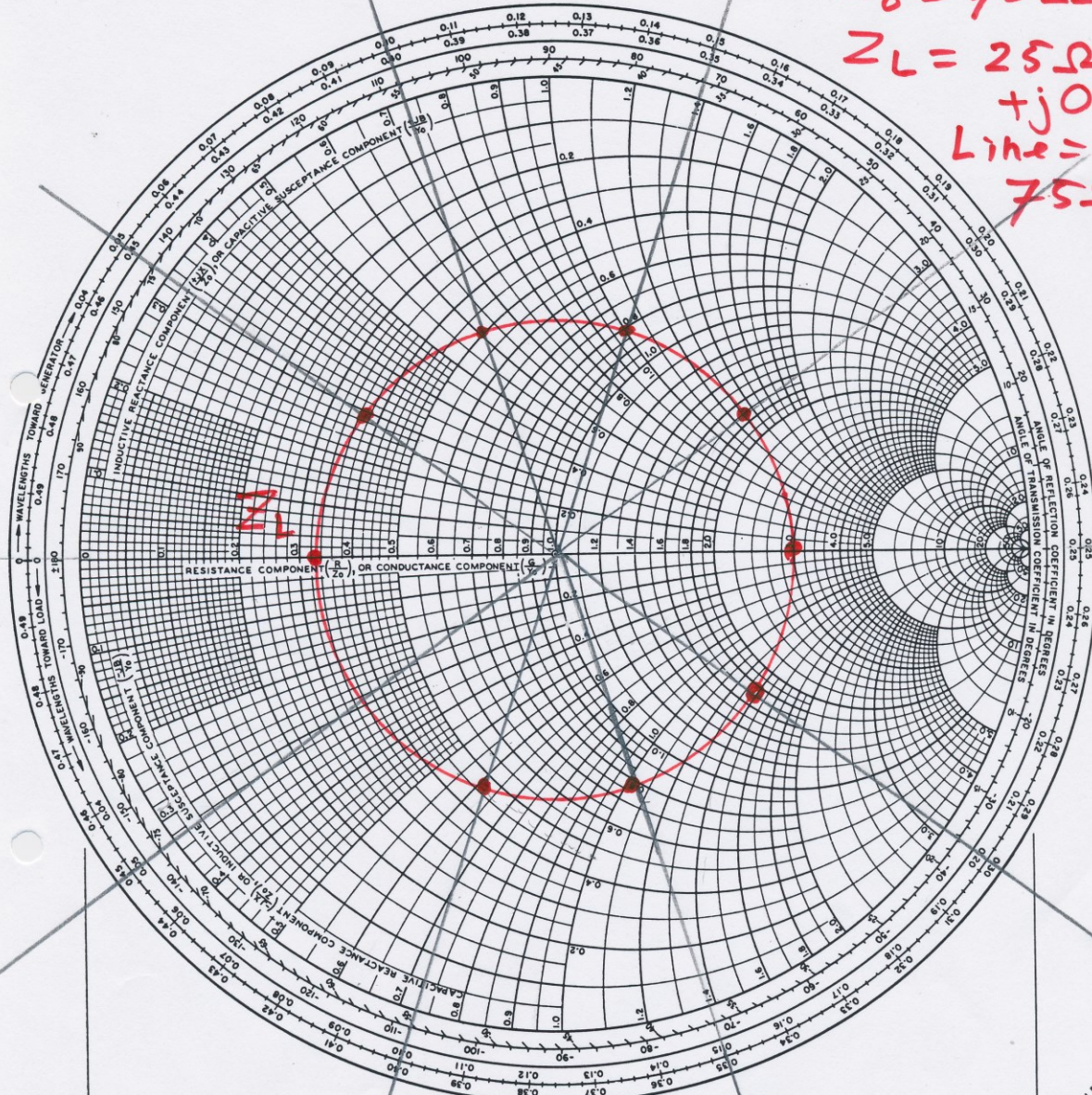
1

- Normaliseer Smith Chart op 75 Ohm
- Teken $Z_L = 25 \Omega + j0\Omega$ in Smith Chart $\Rightarrow 0.33 + j0$
- Teken constante SWR cirkel
- Lees impedanties af elke $0,05 \lambda$
- Normaliseer 2e Smith Chart op 50Ω
- Teken impedanties in
- Bepaal SWR om de 0.05λ

NAME PAØRYL	TITLE	DWG. NO.
SMITH CHART FORM 82-BSPR (9-66)	ANALOG INSTRUMENTS COMPANY, NEW PROVIDENCE, N.J. 07974	DATE

IMPEDANCE OR ADMITTANCE COORDINATES

$Z_0 = 75\Omega$
 $Z_L = 25\Omega$
 $+j0\Omega$
 $Line = 75\Omega$



Resultaat 75 Ω Smith Chart

	Norm@75 Ω			Norm@50 Ω		SWR
λ	Re	Im		Re	Im	
0	0.33	j0				
0.05	0,37	J0.29				
0.1	0.5	J0.61				
0.15	0.82	J1.0				
0.2	1.72	J1.3				
0.25	3	j0				
0.3	1.7	-j1.37				
0.35	0.79	-j1.0				
0.4	0.47	-j0.63				
0.45	0.375	-j0.29				

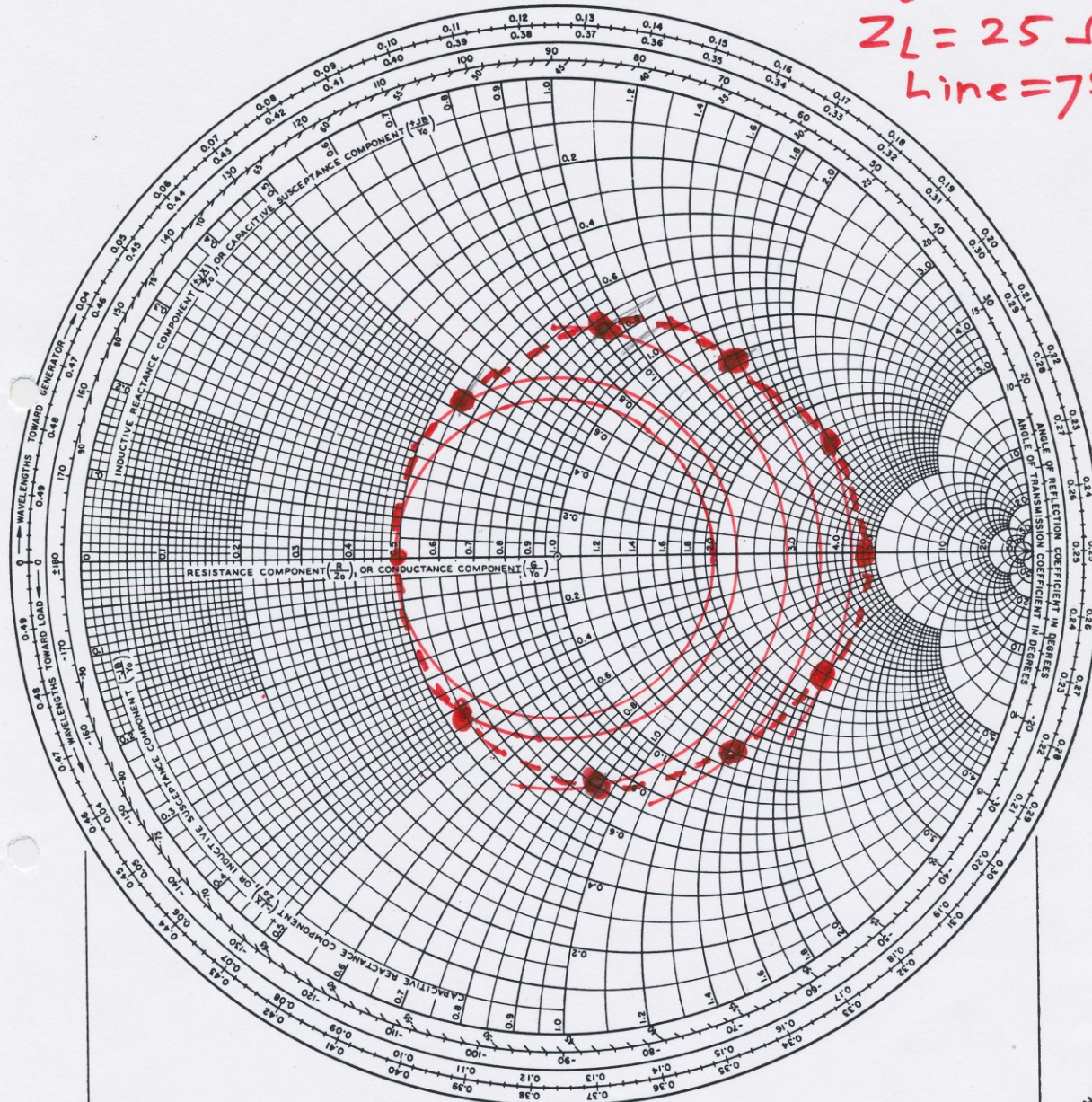
Omgezet naar 50Ω Smith Chart

	Norm@75Ω		Ω			SWR
λ	Re	Im	Re	Im		
0	0.33	j0	25	j0		2.0
0.05	0.37	j0.29	28	j22		
0.1	0.5	j0.61	37.5	j46		
0.15	0.82	j1.0	64	j75		
0.2	1.72	j1.3	129	j98		
0.25	3	j0	225	j0		4.5
0.3	1.7	-j1.37	128	-j102		
0.35	0.79	-j1.0	60	-j75		
0.4	0.47	-j0.63	36	-j47		
0.45	0.375	-j0.29	28	-j22		

NAME PAORYL	TITLE	DWG. NO.
SMITH CHART FORM 82-BSPR(9-66)	ANALOG INSTRUMENTS COMPANY, NEW PROVIDENCE, N.J. 07974	DATE

IMPEDANCE OR ADMITTANCE COORDINATES

$Z_0 = 50 \Omega$
 $Z_L = 25 \Omega$
 $Line = 75 \Omega$



RADIALLY SCALED PARAMETERS

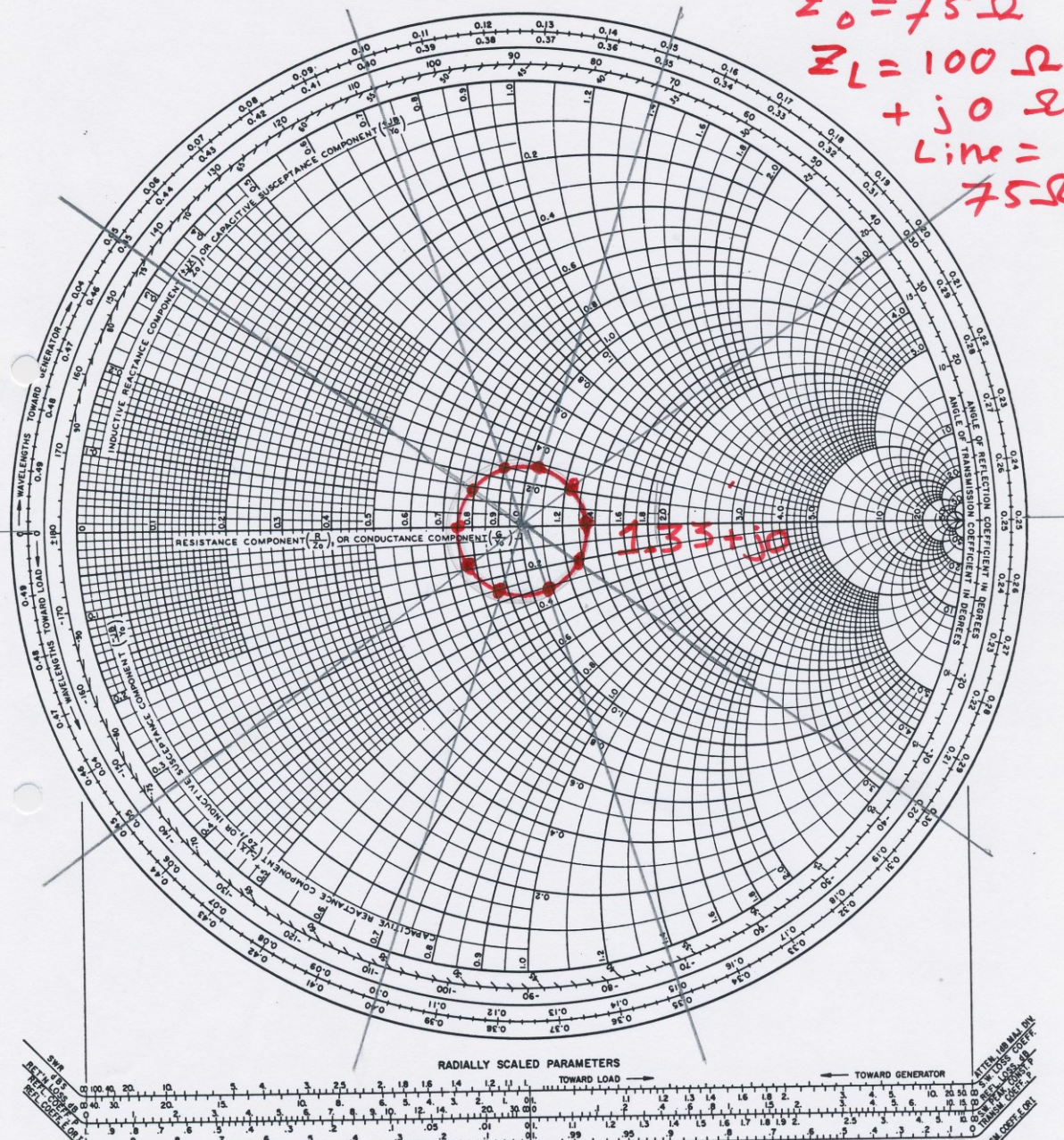
Verkregen SWR data

	Norm@75Ω		Ω		Norm@50Ω		
λ	Re	Im	Re	Im	Re	Im	
0	0.33	j0	25	j0	0.5	j0	
0.05	0,37	J0.29	28	j22	0.55	J0.44	
0.1	0.5	J0.61	37.5	j46	0.75	J0.91	
0.15	0.82	J1.0	64	j75	1.28	J1.5	
0.2	1.72	J1.3	129	j98	2.58	J1.95	
0.25	3	j0	225	j0	4.5	j0	
0.3	1.7	-j1.37	128	-j102	2,55	-j2.05	
0.35	0.79	-j1.0	60	-j75	1.19	-j1.55	
0.4	0.47	-j0.63	36	-j47	0.71	-j0.95	
0.45	0.375	-j0.29	28	-j22	0.56	-j0.44	

NAME PAØRYL	TITLE	DWG. NO.
SMITH CHART FORM 82-BSPR (9-66)	ANALOG INSTRUMENTS COMPANY, NEW PROVIDENCE, N.J. 07974	DATE

IMPEDANCE OR ADMITTANCE COORDINATES

$Z_0 = 75 \Omega$
 $Z_L = 100 \Omega$
 $+ j0 \Omega$
Line = 75Ω

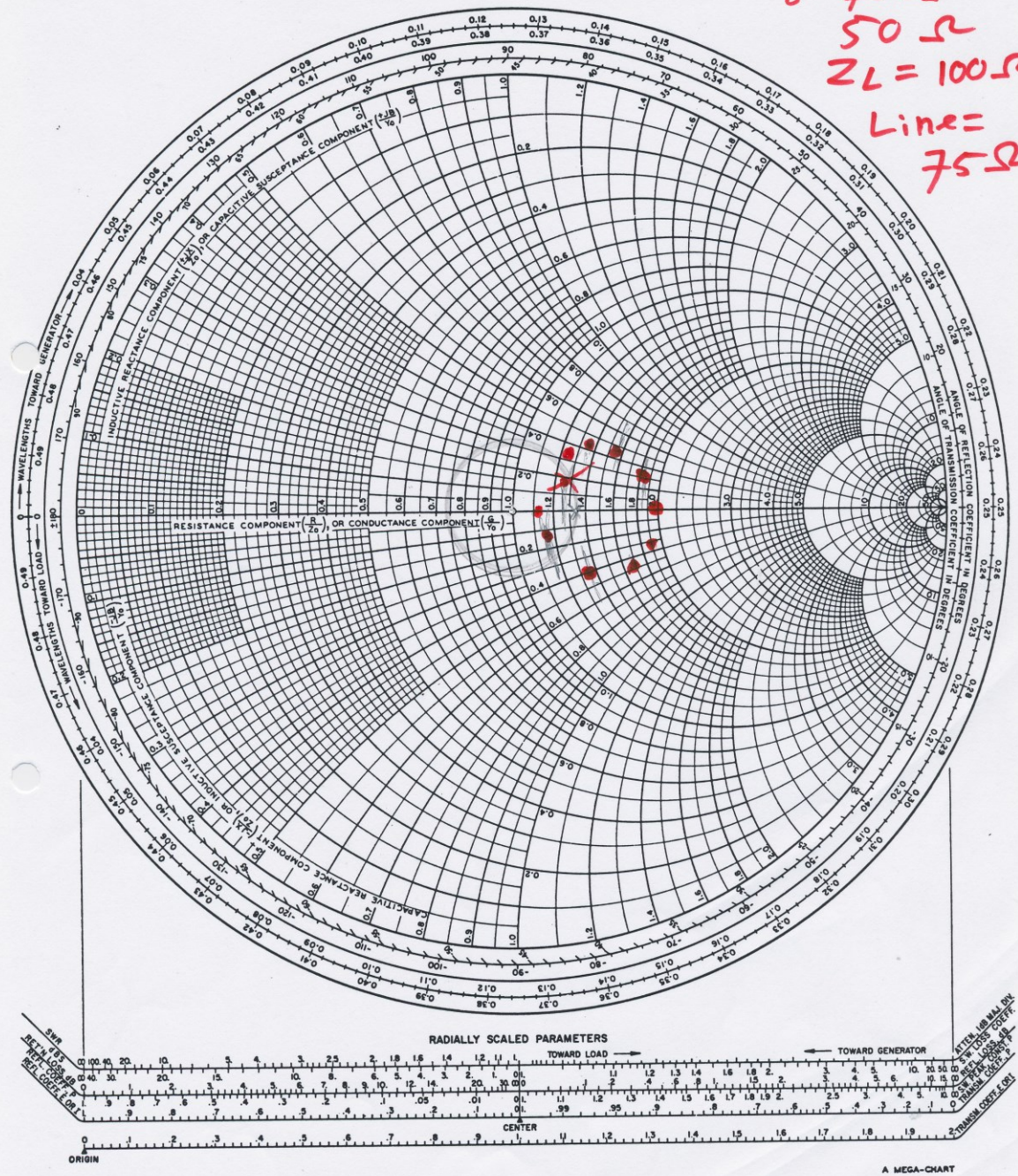


Gedachten- experiment 2

Load is 200Ohm +j0

IMPEDANCE OR ADMITTANCE COORDINATES

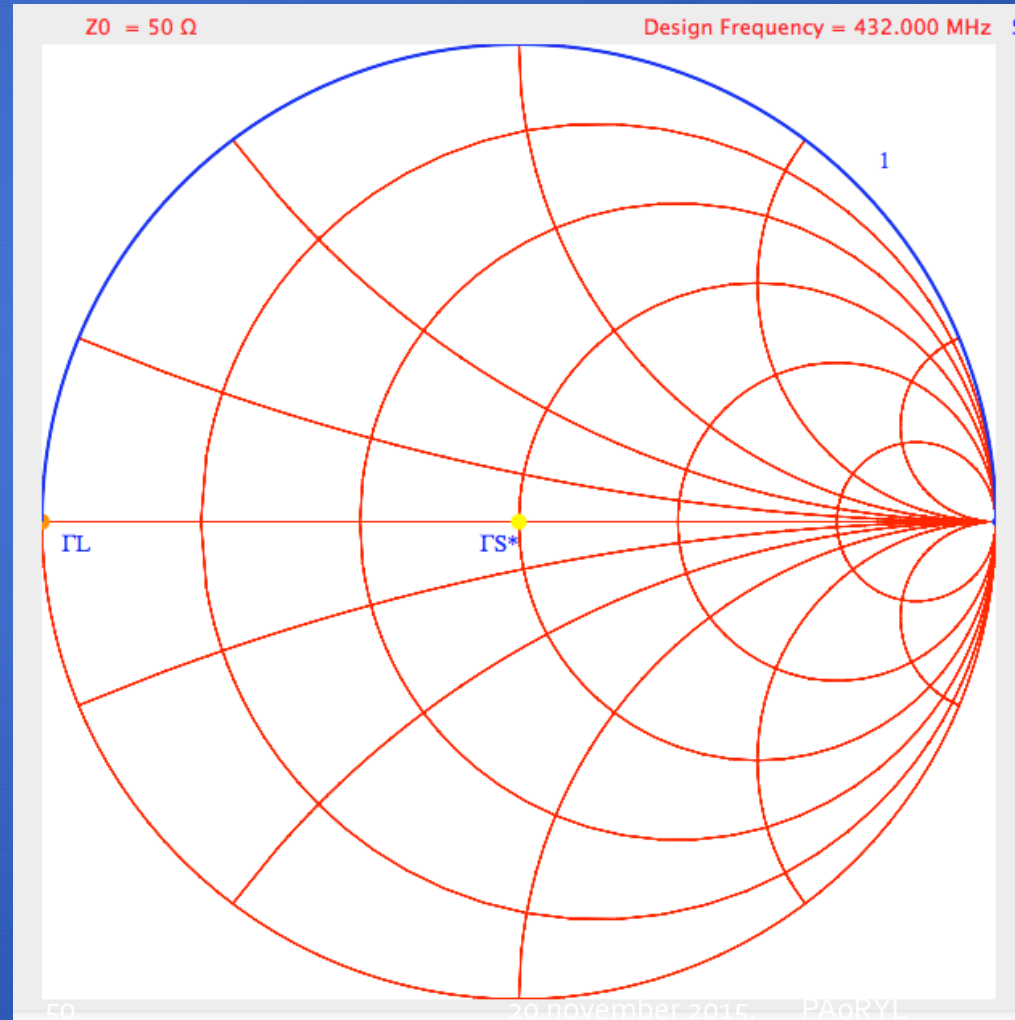
$Z_0 = 75 \Omega$
 50Ω
 $Z_L = 100 \Omega$
Line =
 75Ω



Vragen?

Hoe ziet de generator de Load?

- Load is $0\ \Omega$
- Lijn is $0,25\ \lambda$
- Generator ziet $\infty\ \Omega$
- Wat als Load open is?
- Wat als lijn $= \lambda/2$?



$$VSWR = \frac{Z_0}{R_L} \quad \text{or} \quad VSWR = \frac{R_L}{Z_0}$$

Reflection Coefficient and SWR

Als de lijn zuiver ohms is,
dan $X_0=0$ dus absolute
waarde van reflection
coefficient wordt:

$$\rho = \frac{Z_a - Z'_0}{Z_a + Z_0} = \frac{(R_a \pm jX_a) - (R_0 \mp jX_0)}{(R_a \pm jX_a) + (R_0 \pm jX_0)}$$

$$|\rho| = \sqrt{\frac{(R_a - R_0)^2 + X_a^2}{(R_a + R_0)^2 + X_a^2}}$$

$$|\rho| = \frac{SWR - 1}{SWR + 1}$$

$$SWR = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|}$$

Bij zuiver reële impedanties: $SWR = Z_a/Z_0$ of Z_0/Z_a



hp HEWLETT-PACKARD



415E SWR METER



hp HEWLETT-PACKARD



415E SWR METER



HEWLETT-PACKARD 415E SWR METER

POWER
LINE ☐ BATTERY ☐
ON ON

INPUT
XTAL IMPED ☐ BOLOMETER ☐
BIASED 4.5 MA

OFF TEST CHARGE

LOW HIGH 8.7 MA

RANGE - DB
EXPAND



LINE /
CHARGE

INPUT

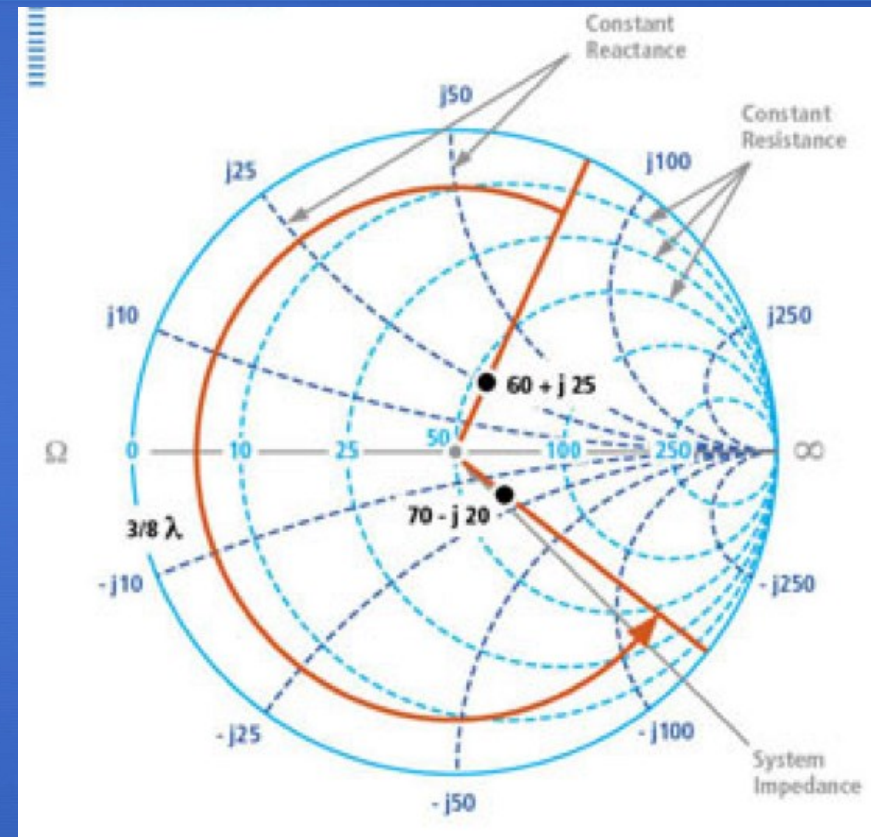
FREQ

BAND

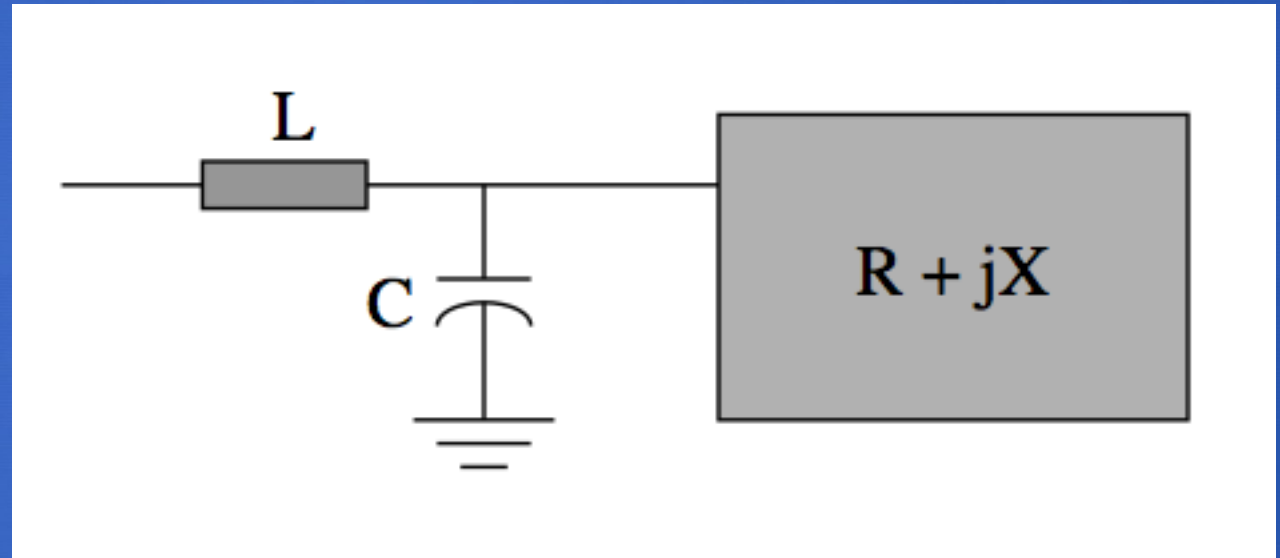
Lijn Impedantie transformatie

- Lijn van $3/8 \lambda$ 50 Ohm coax load tussen antenne en shack
- Impedantie in shack is $60 + j25 \Omega$
- Wat is impedantie van antenne?
- Ga 3.8λ linksom (towards load) vanaf meetpunt (shack)
- Kom uit bij $70 - j20 \Omega$
- Simpele Smith Chart methode vervangt

$$Z_{in} = Z_0 \times \frac{Z_L \cosh(\eta \ell) + Z_0 \sinh(\eta \ell)}{Z_L \sinh(\eta \ell) + Z_0 \cosh(\eta \ell)}$$



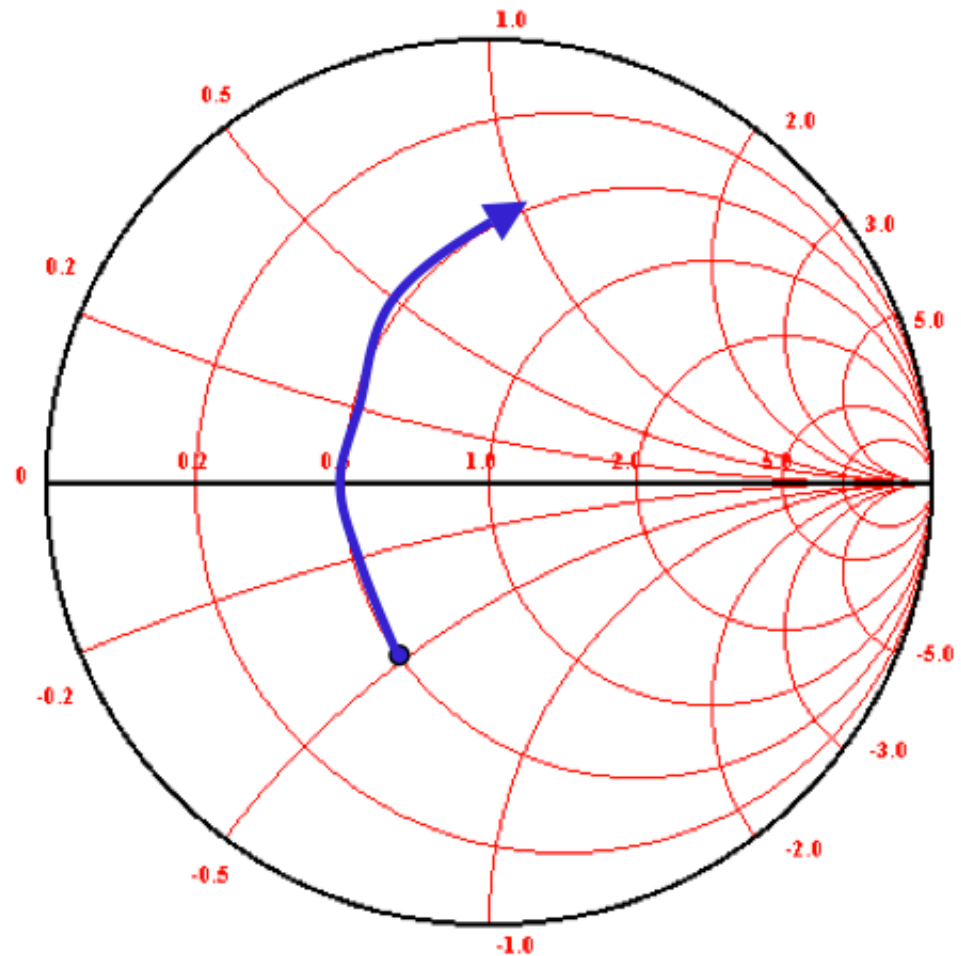
Aanpassingsnetwerk



- Met 1 of 2 reactieve componenten kan elke impedantie aangepast worden

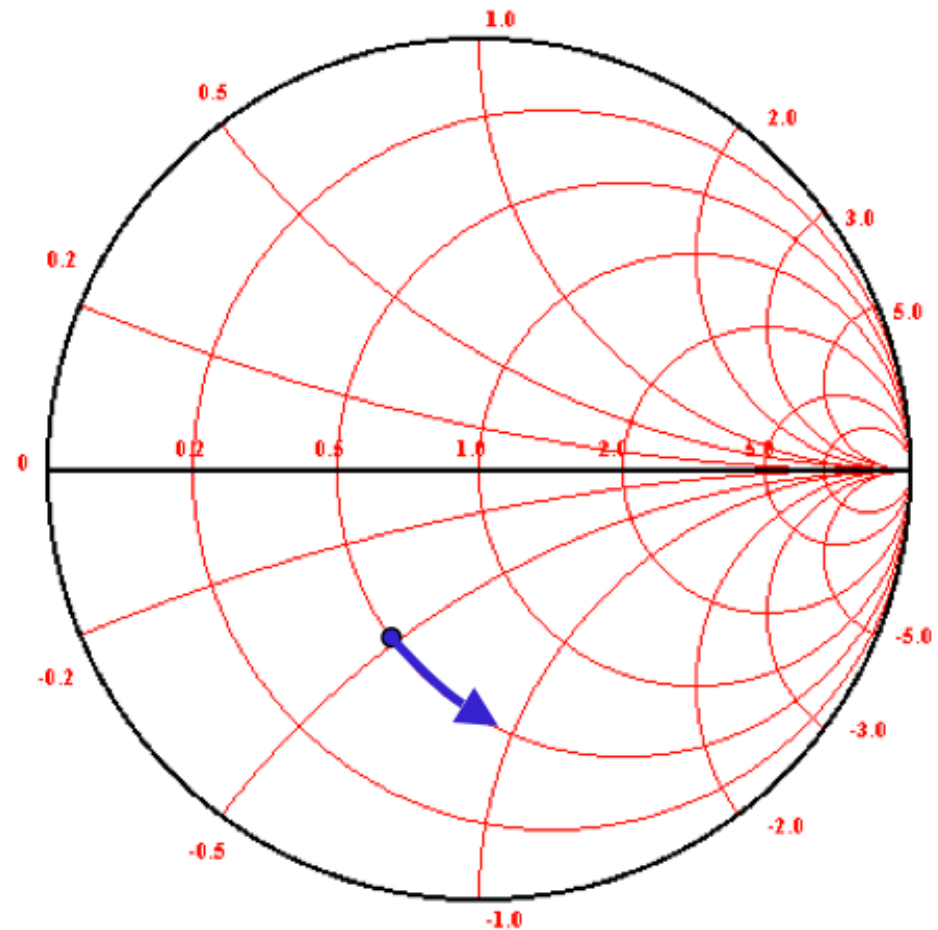
Spoel in serie

- Beweeg in het Smith Diagram met de wijzers van de klok mee langs een cirkel met constante weerstand



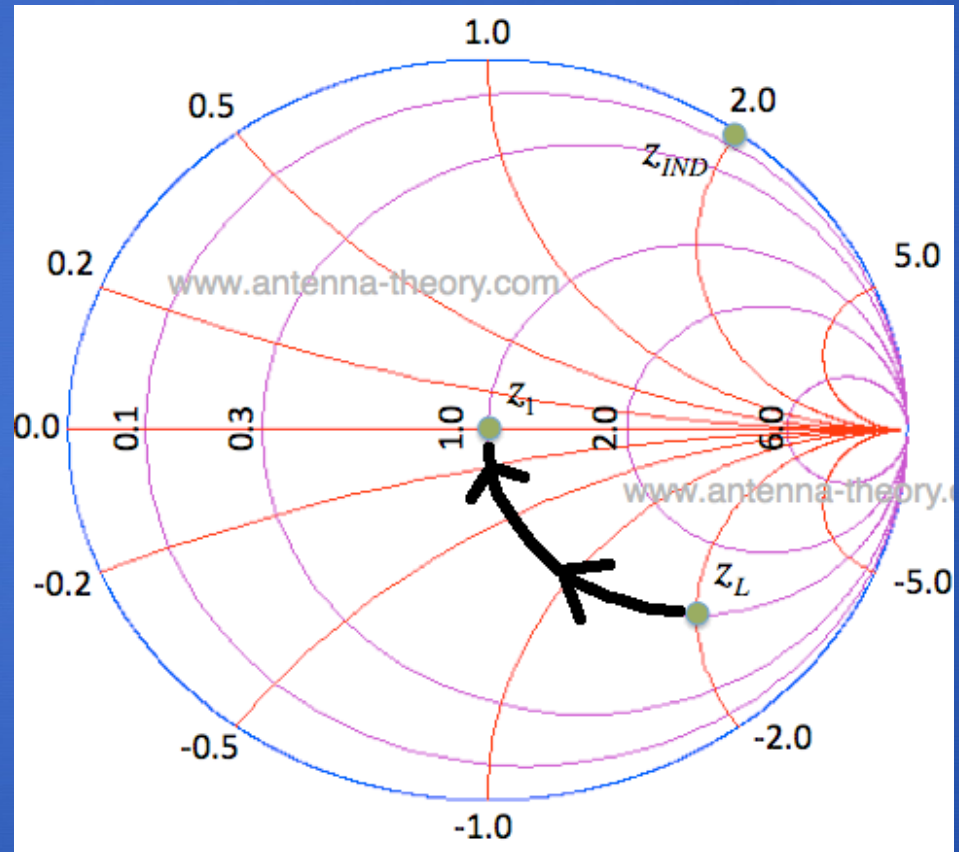
Condensator in serie

- Beweeg tegen de wijzers van de klok in langs cirkel met constante weerstand



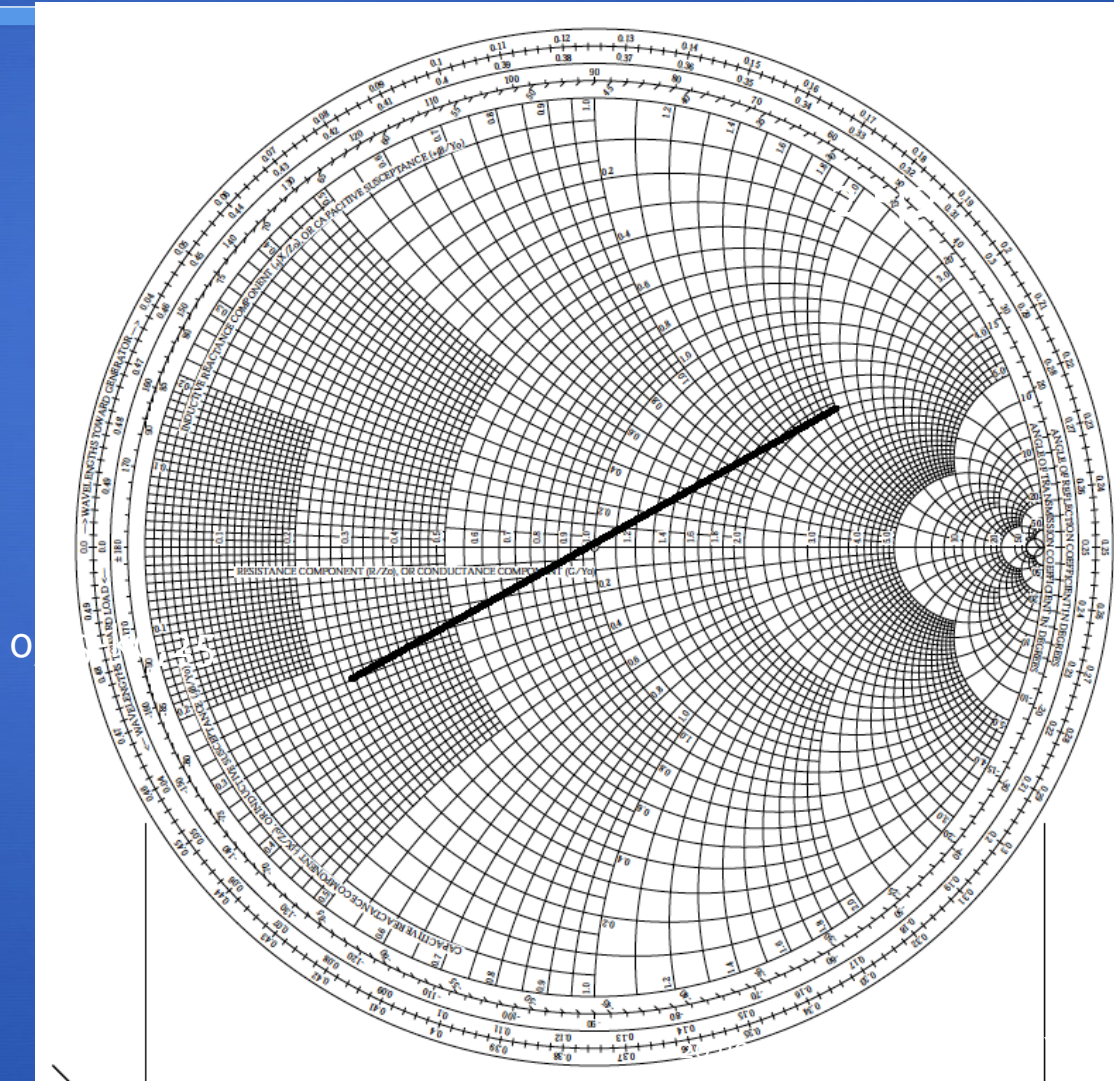
Capacitieve Antenne $Z = 50\Omega - j100\Omega$

- Genormaliseerd 1-2j
- Spoel van +2 j in serie
=> +j200 Ω
- Rechtsom voegt inductiviteit toe
- Linksom voegt capaciteit toe



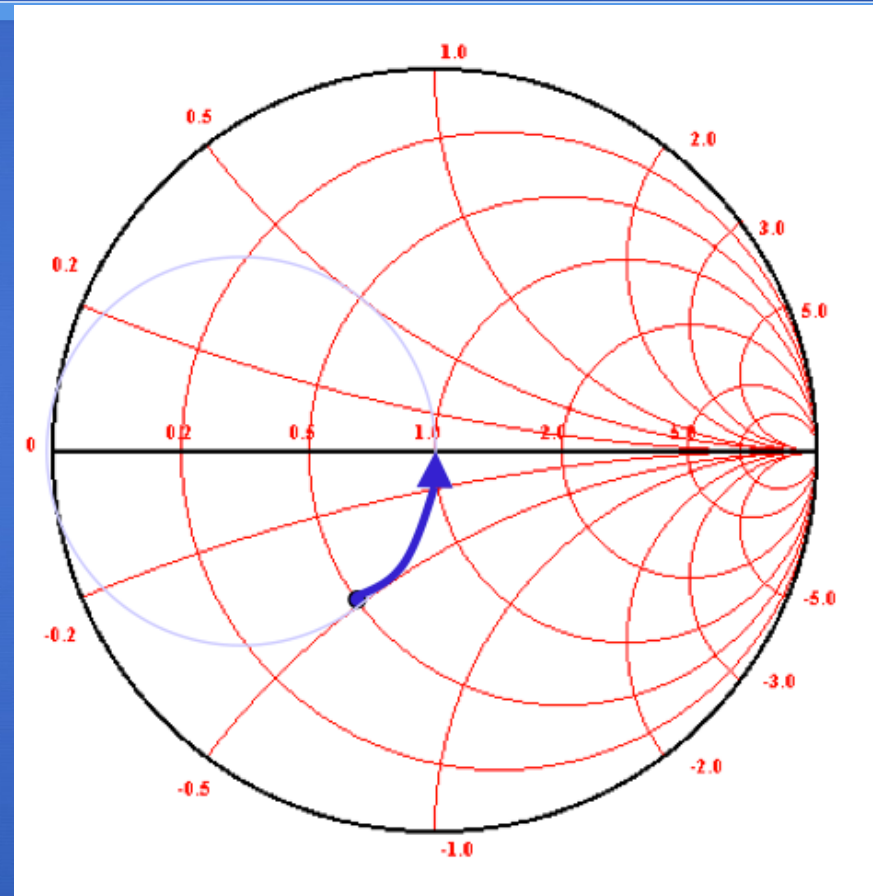
Impedantie converteren naar admitantie

- Impedantie $2+j2$
- $\Rightarrow$ admitantie $0,25 - j0,25$
- Let op: negatieve admitanties zijn inductiviteiten en positieve zijn capaciteiten



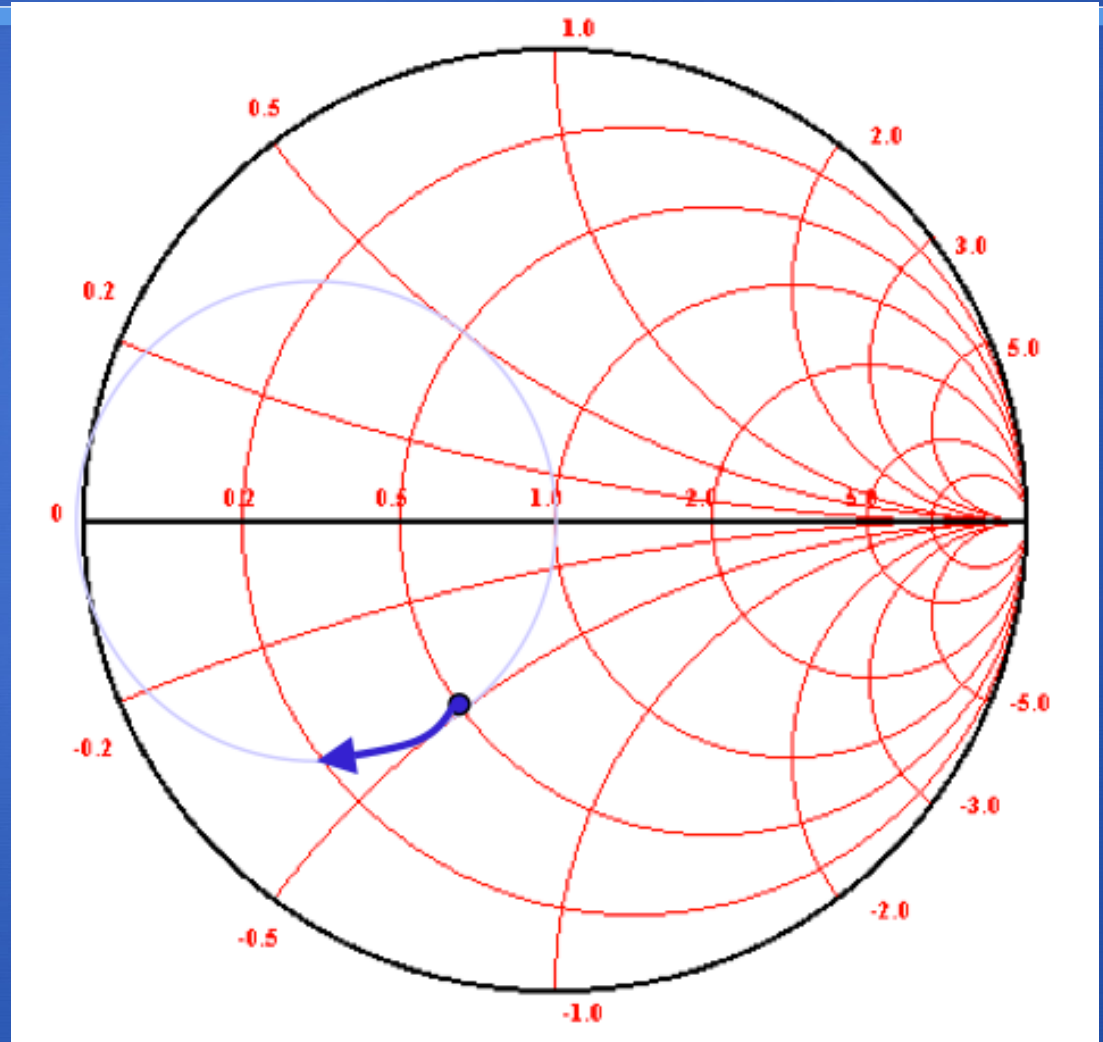
Parallel spoel

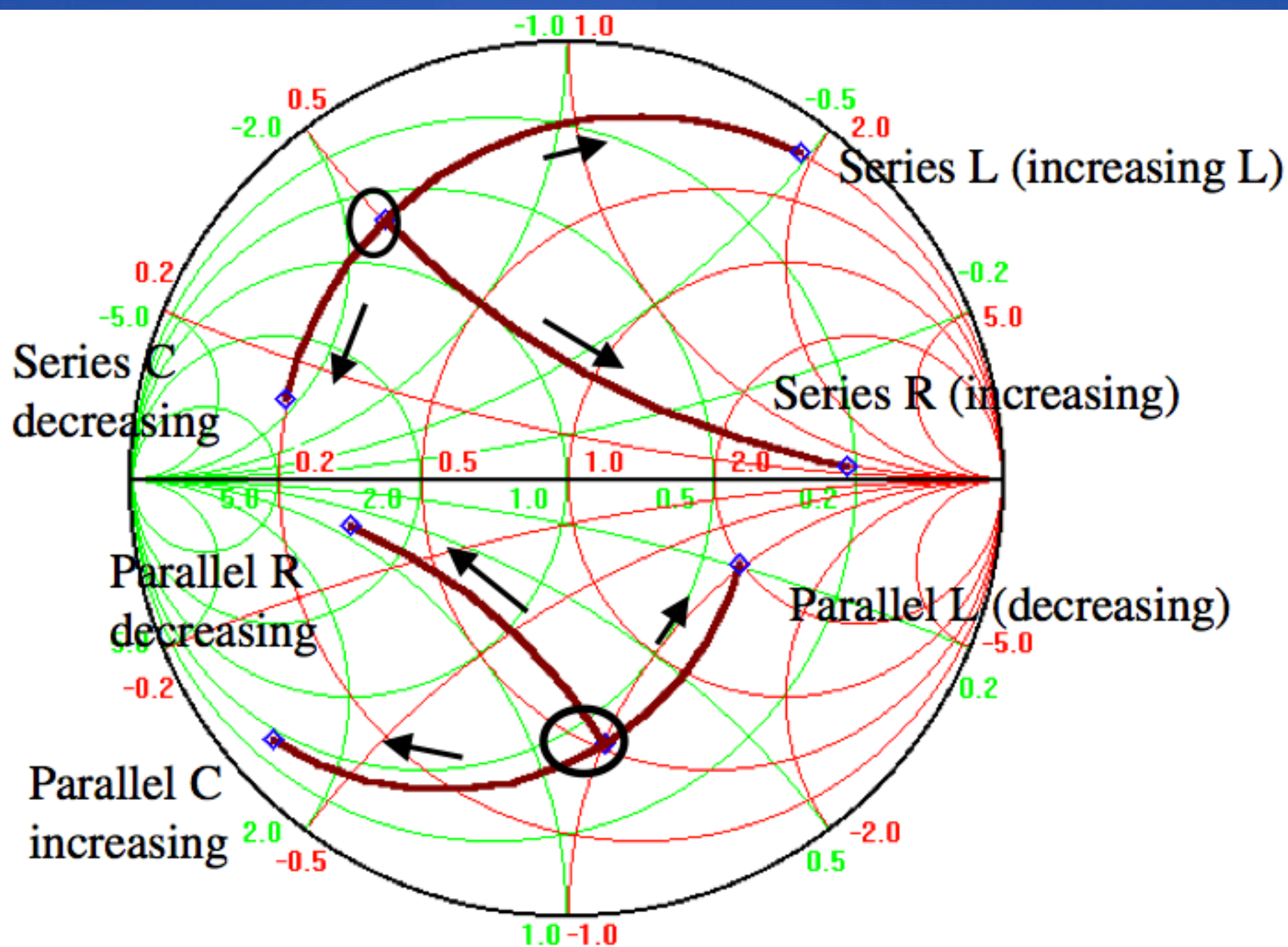
- Draait tegen de wijzers van de klok in over cirkel met constante geleidbaarheid



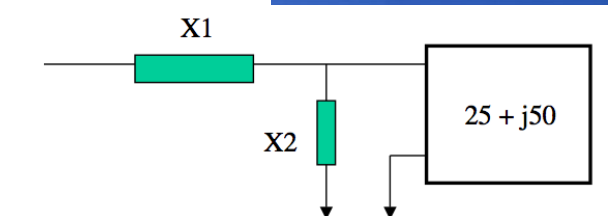
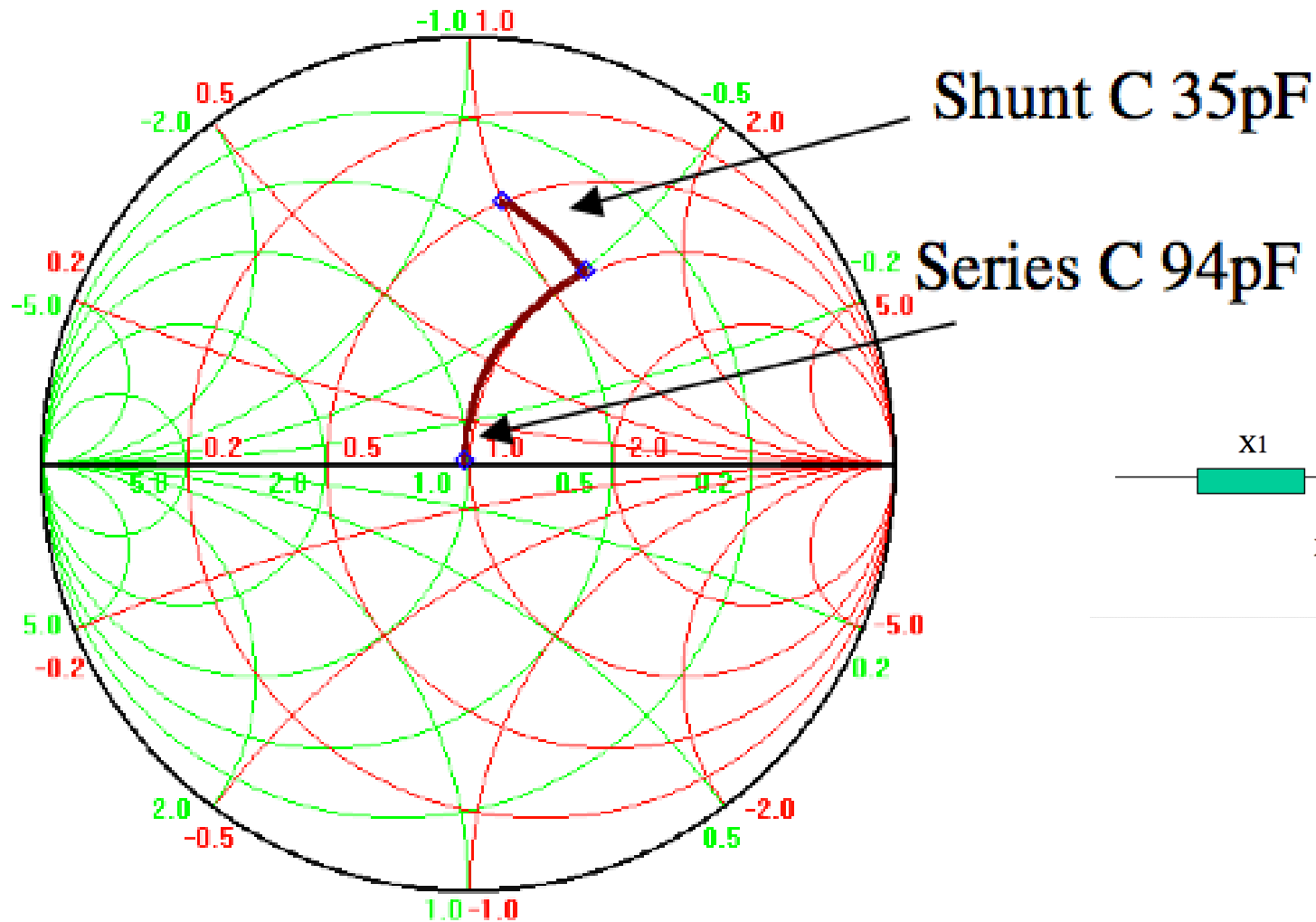
Condensator parallel

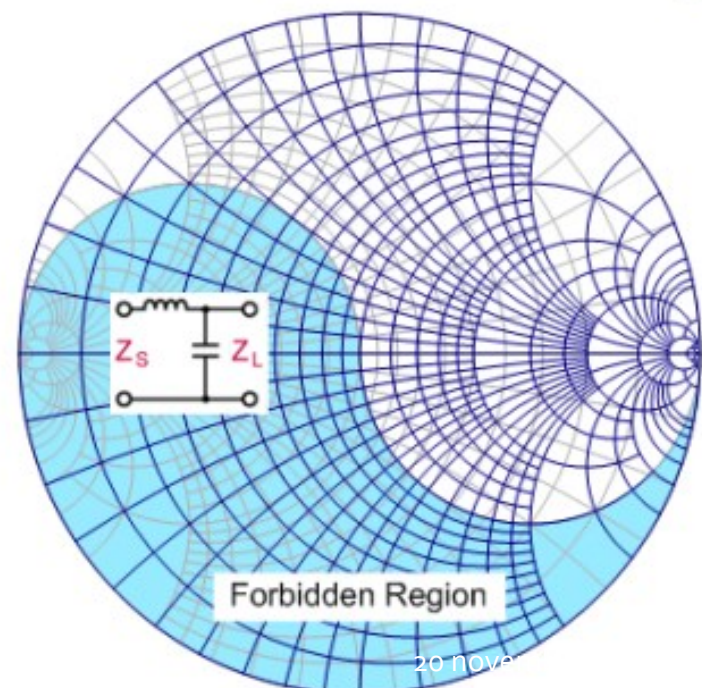
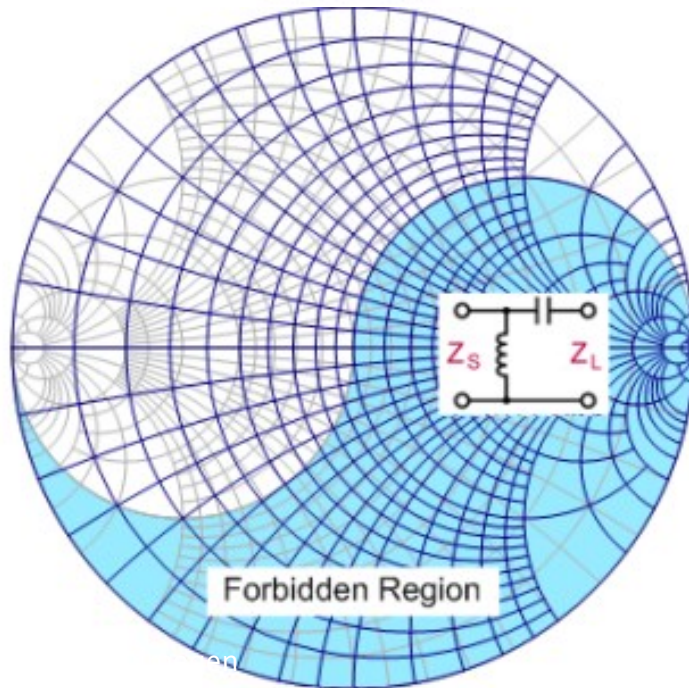
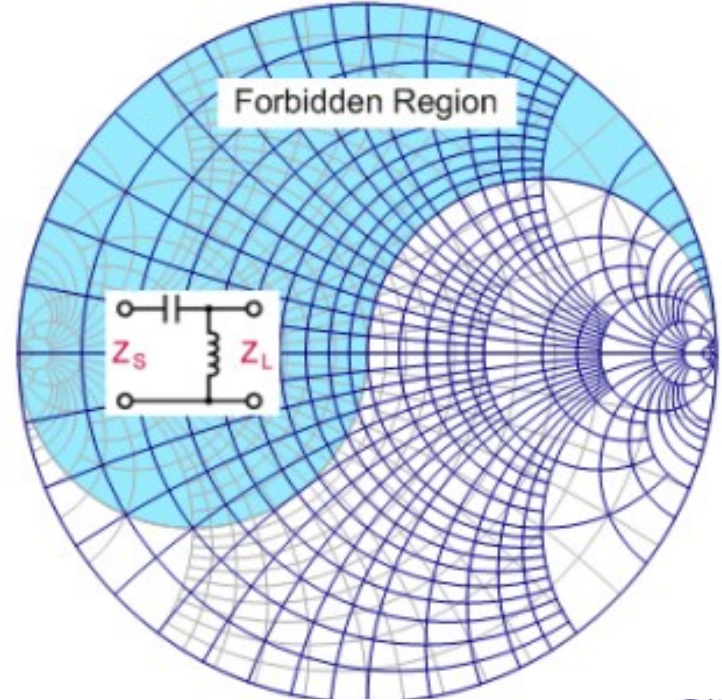
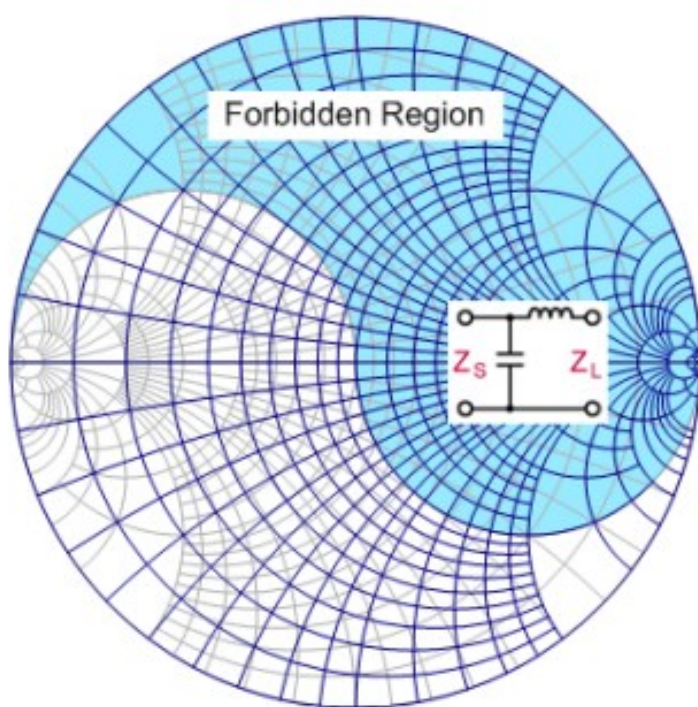
- Draait met de wijzers van de klok mee over cirkels met constante geleidbaarheid

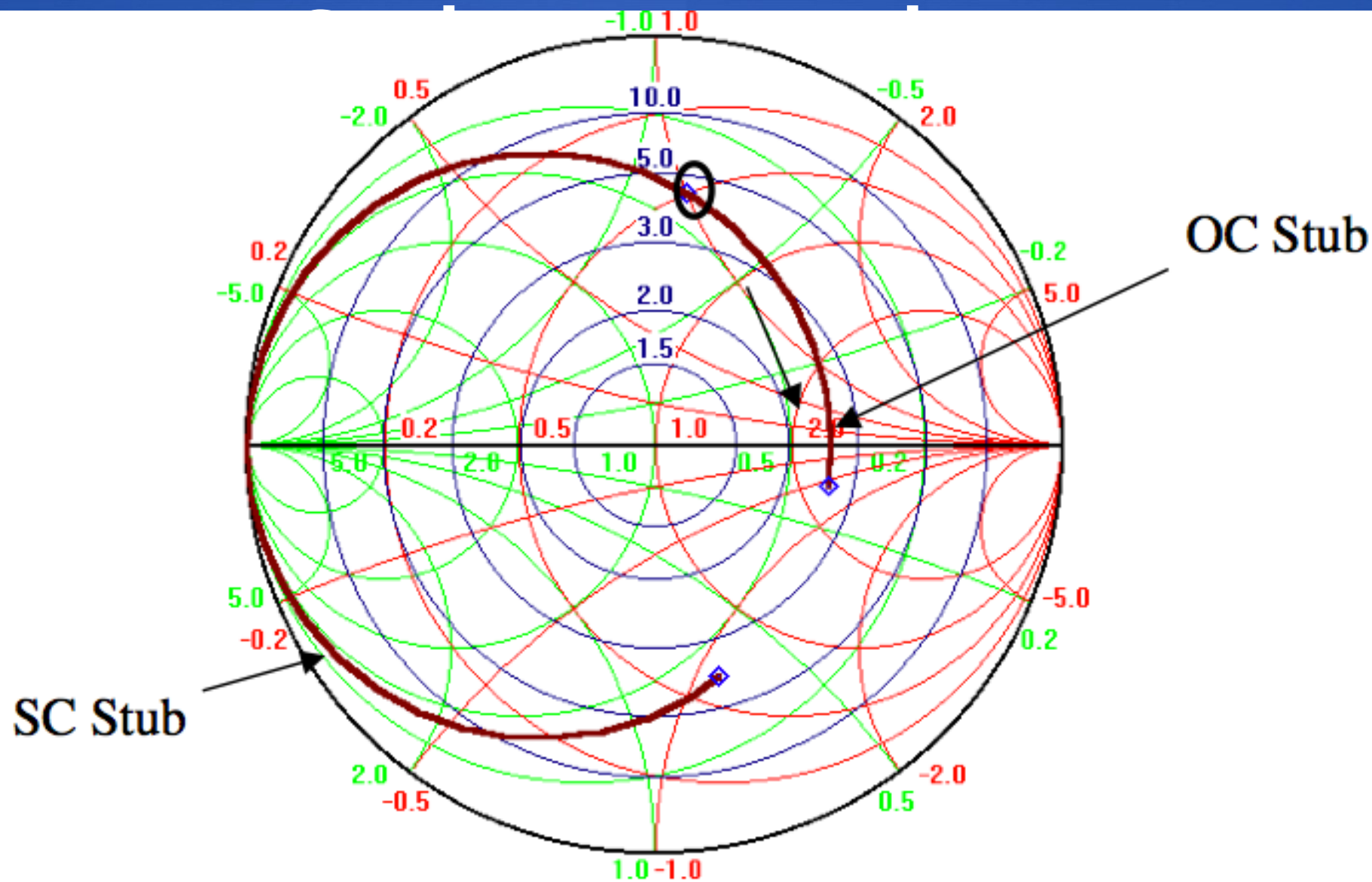




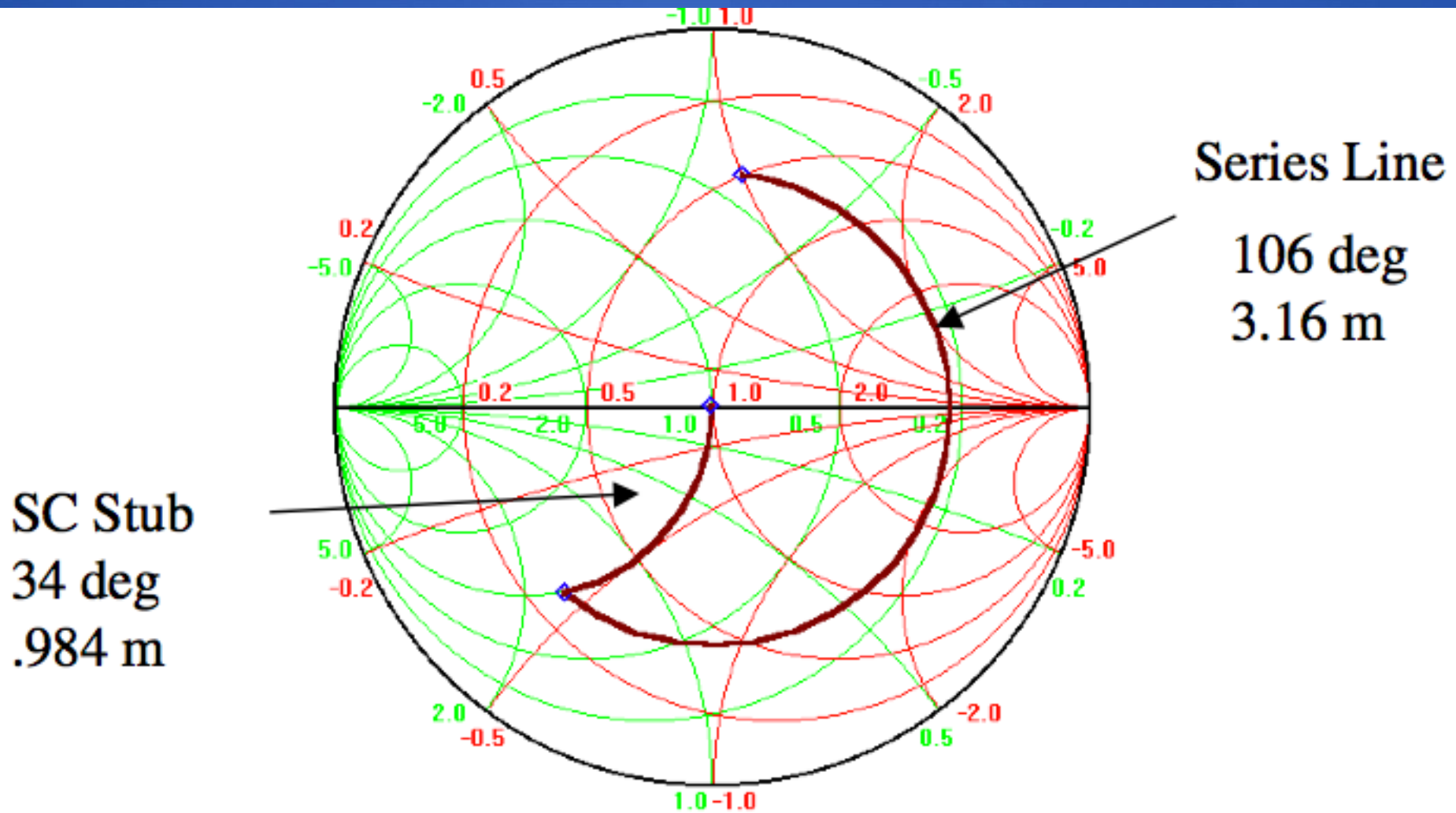
Aanpassing $25+j50$ @ 28MHz







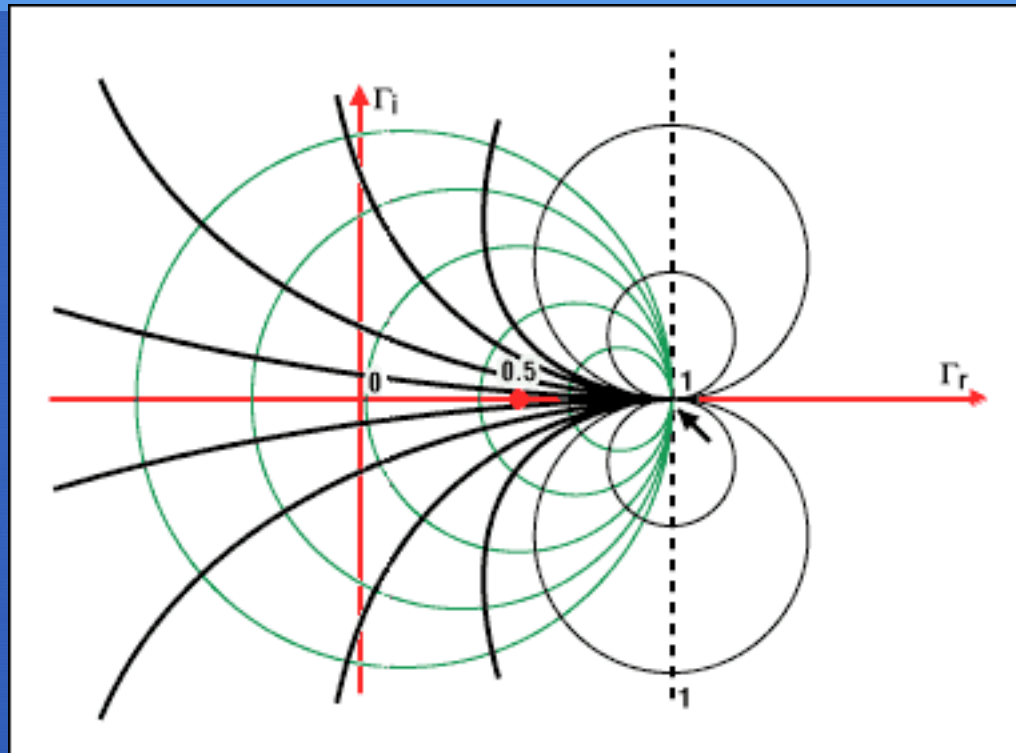
Matching with stubs only



Gebruik Smith Chart voor evaluatie van

- input reactantie of susceptantie van open of kortgesloten $\lambda/4$ lijnen
- Effecten van shunt of serie impedanties
- Aanpassingsnetwerken met discrete componenten of transmissielijnen
- Frequentieafhankelijke complexe impedantie
- S parameters

Mathematische achtergrond



Impedantie regio's

Inductantie $j\omega L$ heeft een positieve imaginaire waarde en ligt in bovenste impedantie helft

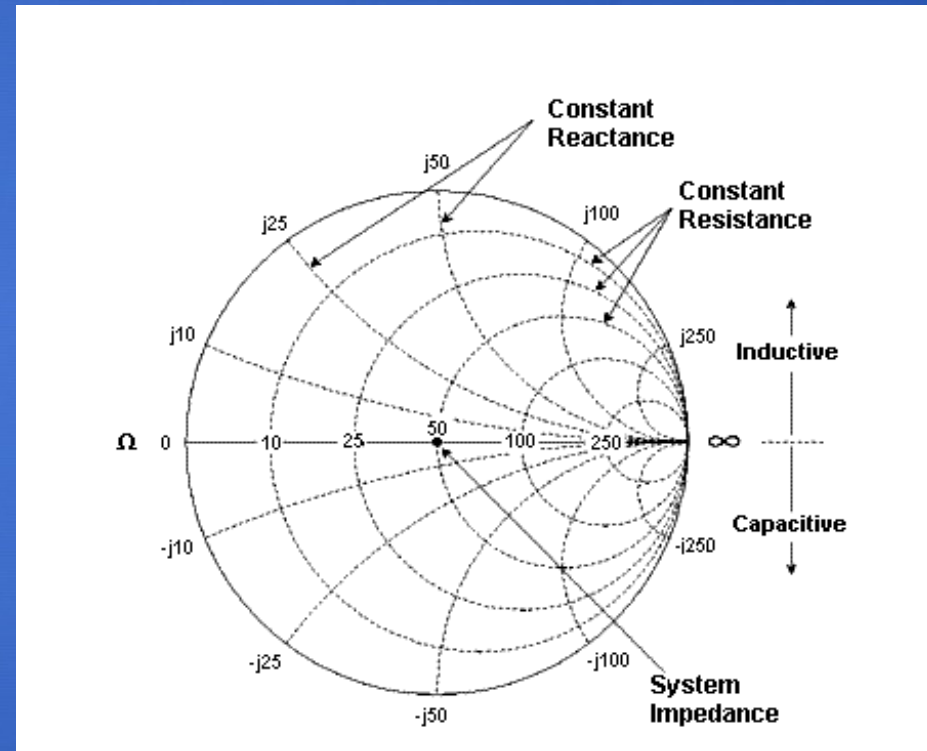
Capacitantes $1/j\omega C = j/j*\omega C = j/-\omega C = -j/\omega C$
En heeft dus een negatieve imaginaire waarde
en ligt in onderste impedantie helft

Puur reële impedanties (weerstand)
liggen op de horizontale scheidslijn tussen
inductieve en capacatieve regio's

De gestippelde cirkels die de horizontale as doorsnijden representeren impedanties met constante reële waarde

Het centrum van de kaart geeft de systeemimpedantie weer

De gestippelde bogen die tangential met de horizontale as lopen vergenwoordigen impedanties met constante reactanties



Susceptanties en conductanties

Er is ook een
gespiegelde kaart
(in blauw) dat geen
constante
weerstands en
reactantiecirkels
heeft maar cirkels
met constante
geleidbaarheid en
susceptantie

