

# Smith Chart in de nanoVNA

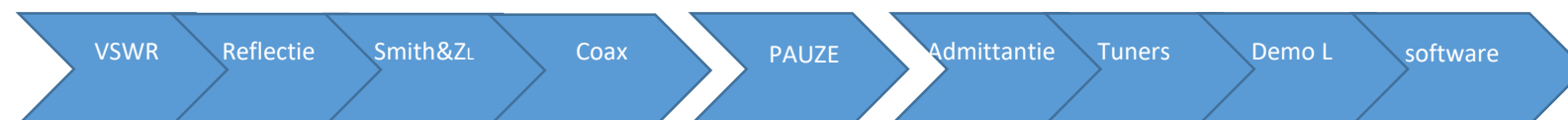
toepassingen voor de radioamateur

Door:  
Arie Kleingeld  
PA3A

- Wat zendamateurs meten: VSWR curve
- VSWR en de Reflecties (hoe zat dat ook alweer)
- Smith Chart in de (nano)VNA; wat die laat zien
  - Waar zitten reflecties en de VSWR in de Smith Chart
  - Smith Chart: wat zie je daarin meer dan in de SWR curve?
  - Waarom is de Smith Chart zo opgebouwd
  - Demo met L, C, R
- Pauze
- Toepassing in het direct tunen van antennes en andere zaken
  - Effecten van L en C op impedanties zichtbaar in de Smith Chart
  - L – tuner + Demo van tunen SWR=3 naar SWR=1
  - Pi – tuner
  - T- tuner
- Online - oefentool

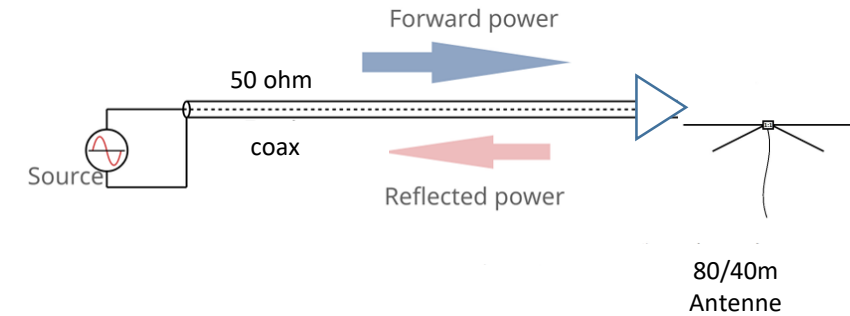
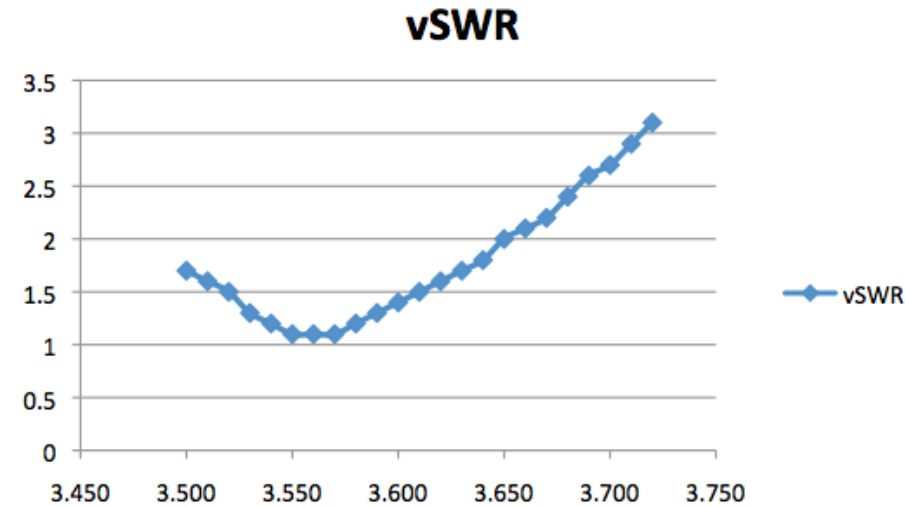
Meer info over metingen met de VNA:

<https://pa3a.nl/nanovna-metingen-and-smith-chart-articles/>

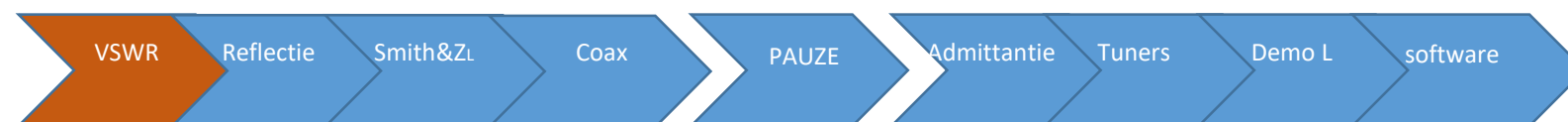


# Antenne meting

- Zendamateurs meten vrijwel altijd de SWR  
Wat zien wij eraan?
- Een curve:



- Standing Wave Ratio (staande golf verhouding - SGV)
- Maat voor hoeveelheid gereflecteerde spanning door de Load  
(en dus voor gereflecteerd vermogen)



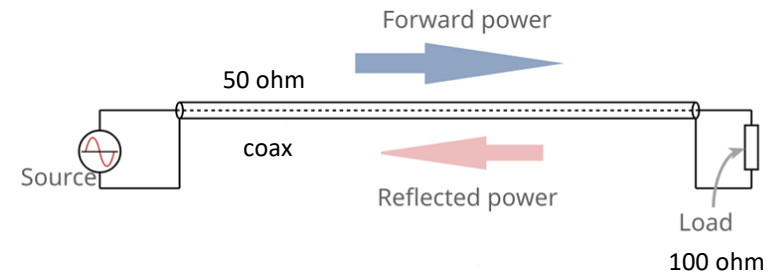
# SWR en Reflectie horen bij elkaar

- De bekendste formule:

$$SWR = \frac{Z_{load}}{Z_{kabel}} \text{ of } \frac{Z_{kabel}}{Z_{load}}$$

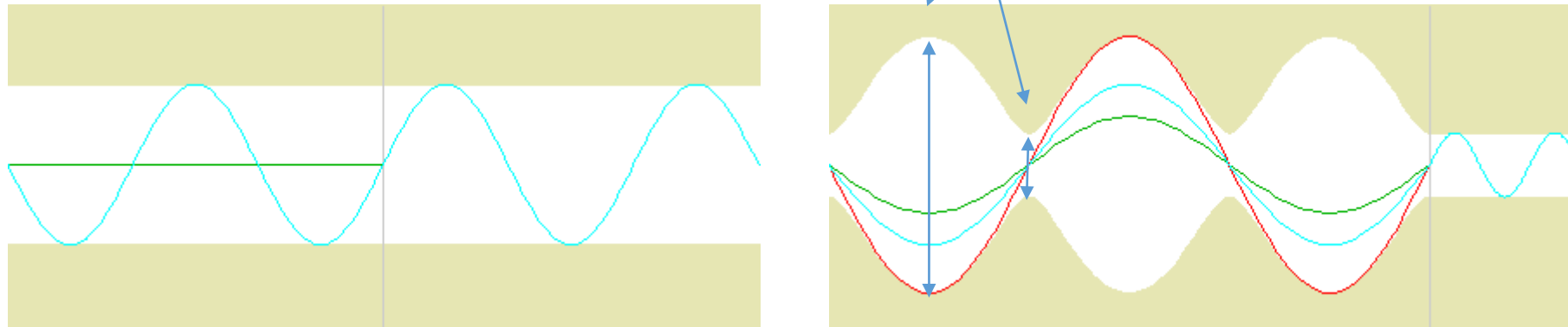
b.v.  $Z_{load} = 100 \text{ ohm}$  , dan  $SWR = 100 / 50 = 2$

Welke andere  $Z_{load}$  (naast  $100 \text{ ohm}$ ) geeft b.v. ook  $SWR = 2$ ?  $Z_{load} = ??$



- $SWR = 1 : 1$        $\gg$     % reflectie = ??
- $SWR = 1 : \text{oneindig}$      $\gg$     % reflectie = ??
- $SWR = 1 : 3$        $\gg$     % reflectie = ??      (komen we op terug)
- Zijn er nog meer  $Z_{load}$ 's die  $SWR = 2$  geven? (hierover verderop meer...)
- Wel goed om alvast te weten: we praten over de gereflecteerde **spanning** (**V<sub>SWR</sub>**)

# Reflecties



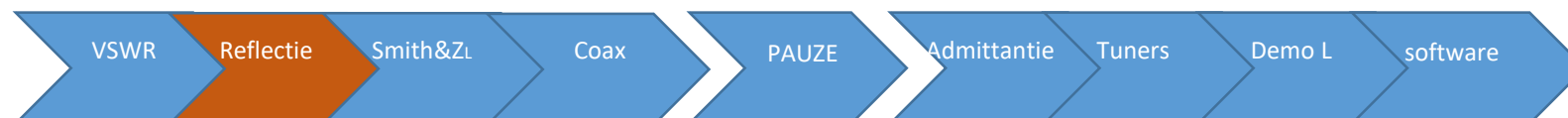
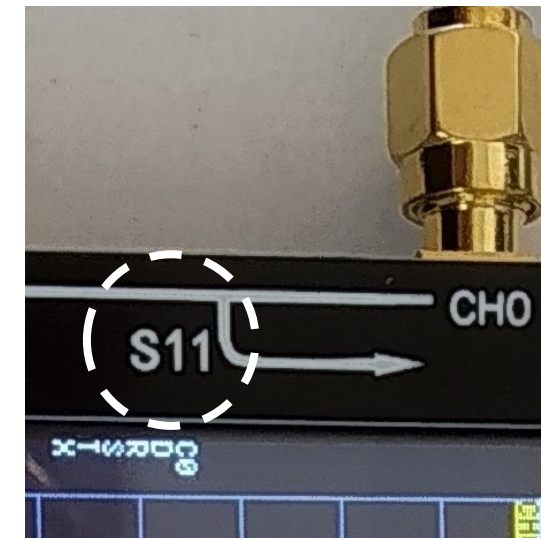
SWR gaat over REFLECTIES dus

- Er bestaat de zgn. **Reflectie coëfficiënt RC** (of ook wel 'S<sub>11</sub>')  
Dit is het **percentage reflecteerde spanning** als gevolg van misaanpassing en volgt o.a. uit het (relatief onbekende) verband tussen reflectie en Z<sub>L</sub>:

$$RC = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

Z<sub>L</sub> = Load impedantie

Z<sub>0</sub> = karakteristieke impedantie van de kabel (meestal 50 ohm)



$$RC = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

Even rekenen (voorbeeld)  
coax is 50 ohm

- Coax aan einde kortsluiten ( $Z_L = 0$ ), dan is volgens de formule:  $RC = -50 / 50 = -1$   
d.w.z.  $RC = \mathbf{100\% \text{ reflectie in tegenfase}}$  (het min-teken)

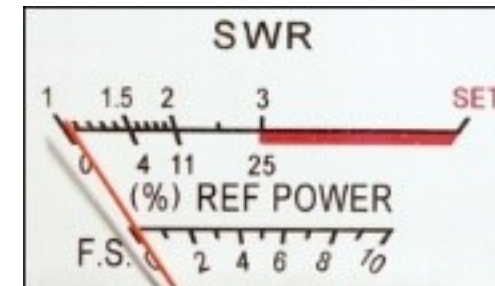
Open coax ( $Z_L = 100.000$ , oneindig veel):  $RC = 99.950 / 100.050 \approx 1$   
d.w.z.  $RC = \mathbf{100\% \text{ reflectie in fase}}$

- Stel  $Z_L = 150$  en  $Z_0 = 50$  (SWR = 1 : 3)  
 $RC = 150 - 50 / 150 + 50 = 100 / 200 = 0,5 = \mathbf{50\% \text{ reflectie}}$

Dit is **Spanningsreflectie** dus het **Gereflecteerd Vermogen** = 25%  
(  $P = U^2 / R$  )

En nu de **Smith Chart**....

Schaal van een  
27Mc SWR meter

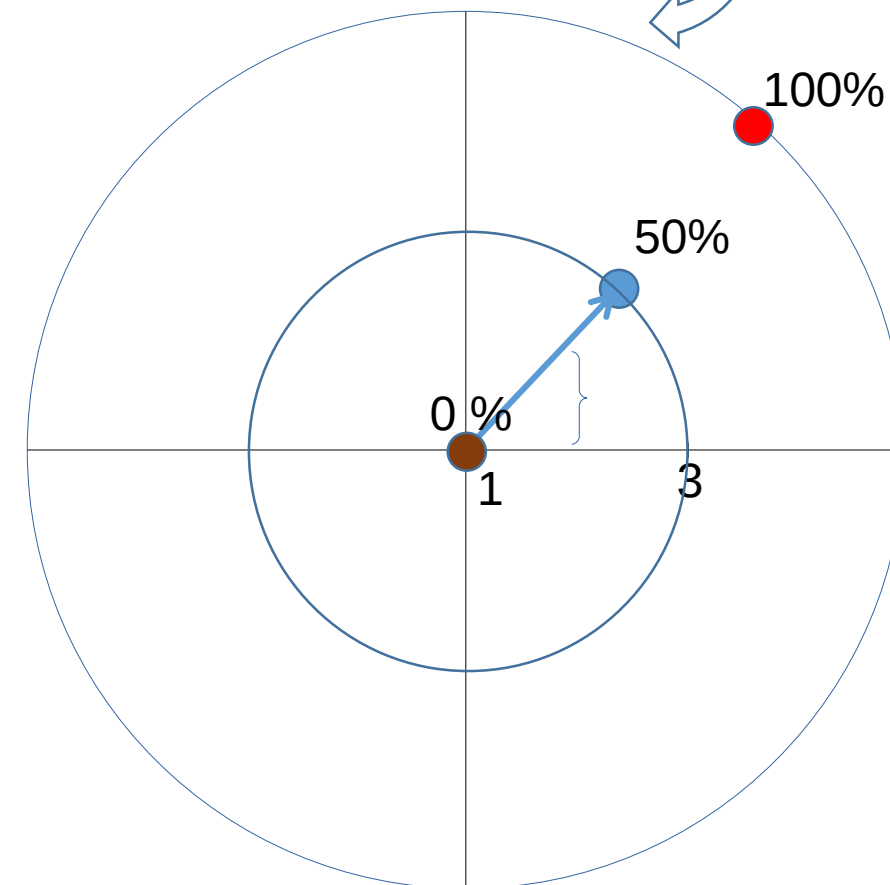
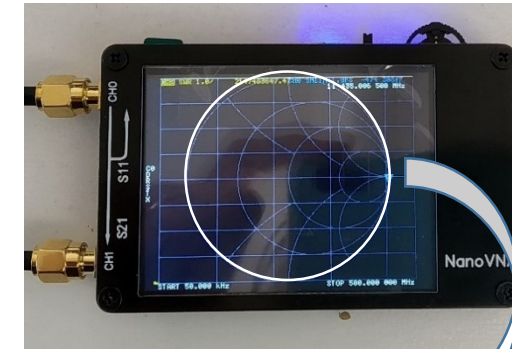


# Smith Chart: *dat gaat over reflecties*

- In de Smith Chart (een rond vlak) zie je:
  - percentage reflectie
  - faseverschuiving
    - Punt in **midden** van de cirkel: 0% reflectie
    - Punt op **buitenkant** cirkel: 100% reflectie
    - Punt **midden in**: **Lengte pijl** = 50% reflectie

Alles in dit voorbeeld onder een hoek ca. 45 graden
- Reflectie Coëfficiënt  $RC = 50\%$  (het blauwe punt)
  - Draai de pijl rechtsom naar de horizontale as, bij de punt van de pijl lees je de SWR af.
  - En.... **Alle reflecties van 50%, onder welke hoek dan ook**, hebben **dezelfde SWR!!**  
(Dank U Wel Mr. Smith)

Belangrijke vraag is nu:  
Welke  $Z_{load}$  is er aangesloten die hoort bij de blauwe dot?



# Wat heeft Mr. Smith nu gedaan?

- Alle mogelijke  $Z_{\text{Load}}$ 's omgezet (reëel en complex) naar een reflectiepercentage plus hoekverdraaiing uit de reeds genoemde formule

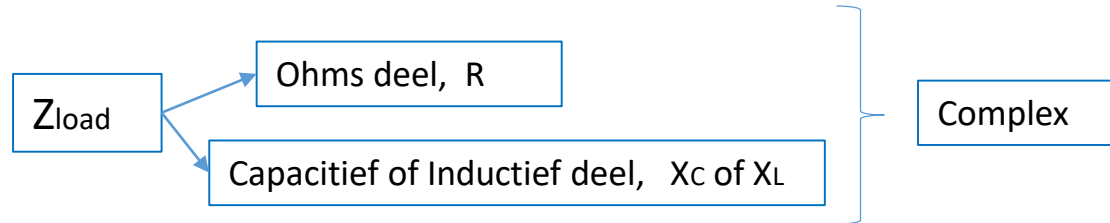
$$RC = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

$Z_0$  is een gegeven = impedantie van de kabel  
 $Z_L$  kan alle waarden hebben,  
ohms, inductief, capacitief of combinatie  
(dat laatste noemen we 'complex')

- Wiskundig blijkt dat dit allemaal cirkelvormige figuren maakt in de Chart
- Deze Chart wordt tot op heden nog steeds gebruikt. Hij zit niet voor niets in de nanoVNA.

# Sidestep: Wat is de $Z_{load}$

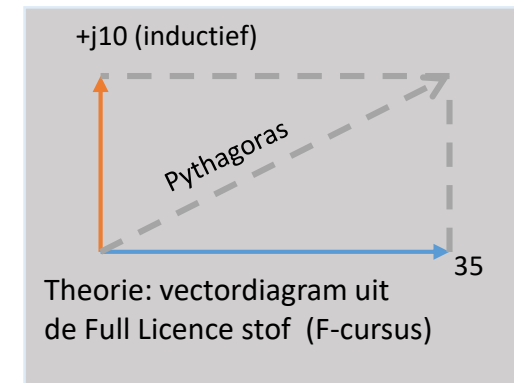
(even terug naar de F/N-cursus)



- $X_L = 10 \text{ ohm}$  inductief  $\rightarrow +j 10 \text{ ohm}$
- $X_C = 10 \text{ ohm}$  capacitief  $\rightarrow -j 10 \text{ ohm}$

Antenne met impedantie:  $35 + j 10 \text{ ohm}$

35 ohm heet 'Reële' deel,  $j10 \text{ ohm}$  'Imaginaire' deel

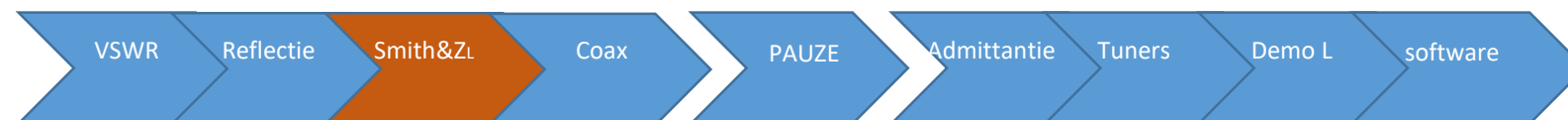


- De Smith Chart is *genormaliseerd* op de  $Z_{kabel}$  (dwz *op schaal*), meestal dus 1:50
  - dus  $50 + j 25 \text{ ohm}$   $\rightarrow$  Smith Chart :  $1 + j 0,5 \text{ ohm}$
  - dus  $100 \text{ ohm}$   $\rightarrow$  Smith Chart :  $2 \text{ ohm}$

## Oefening:

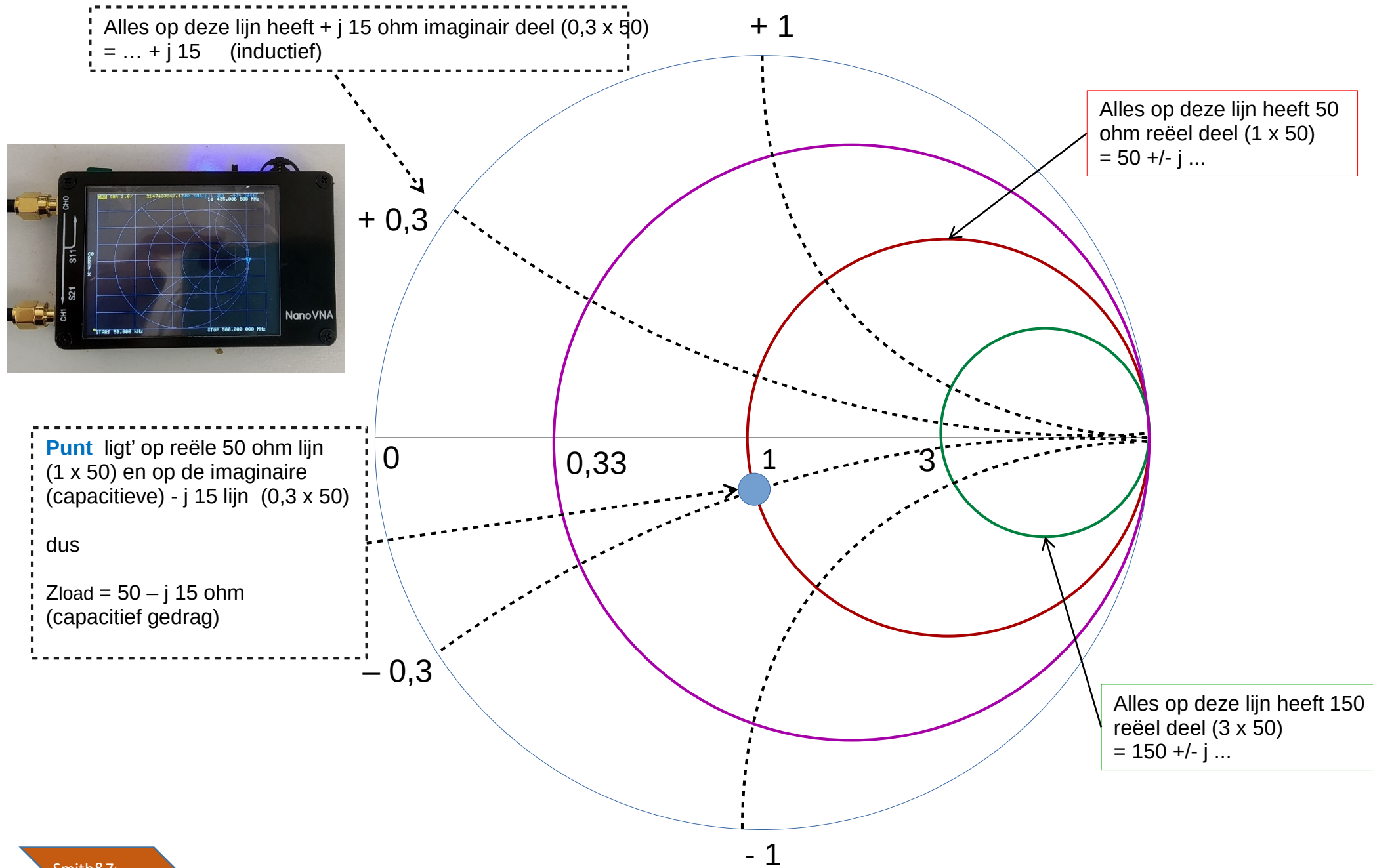
- dus  $300 - j 100 \text{ ohm}$  is dan ... - j .... ohm in de Smith Chart
- Is dit capacitief of inductief?

(  $300 - j 100$  is dus een **COMPLEX** getal, met **REËEL** deel 300 en **IMAGINAIR** (capacitief) deel  $-j 100$  )



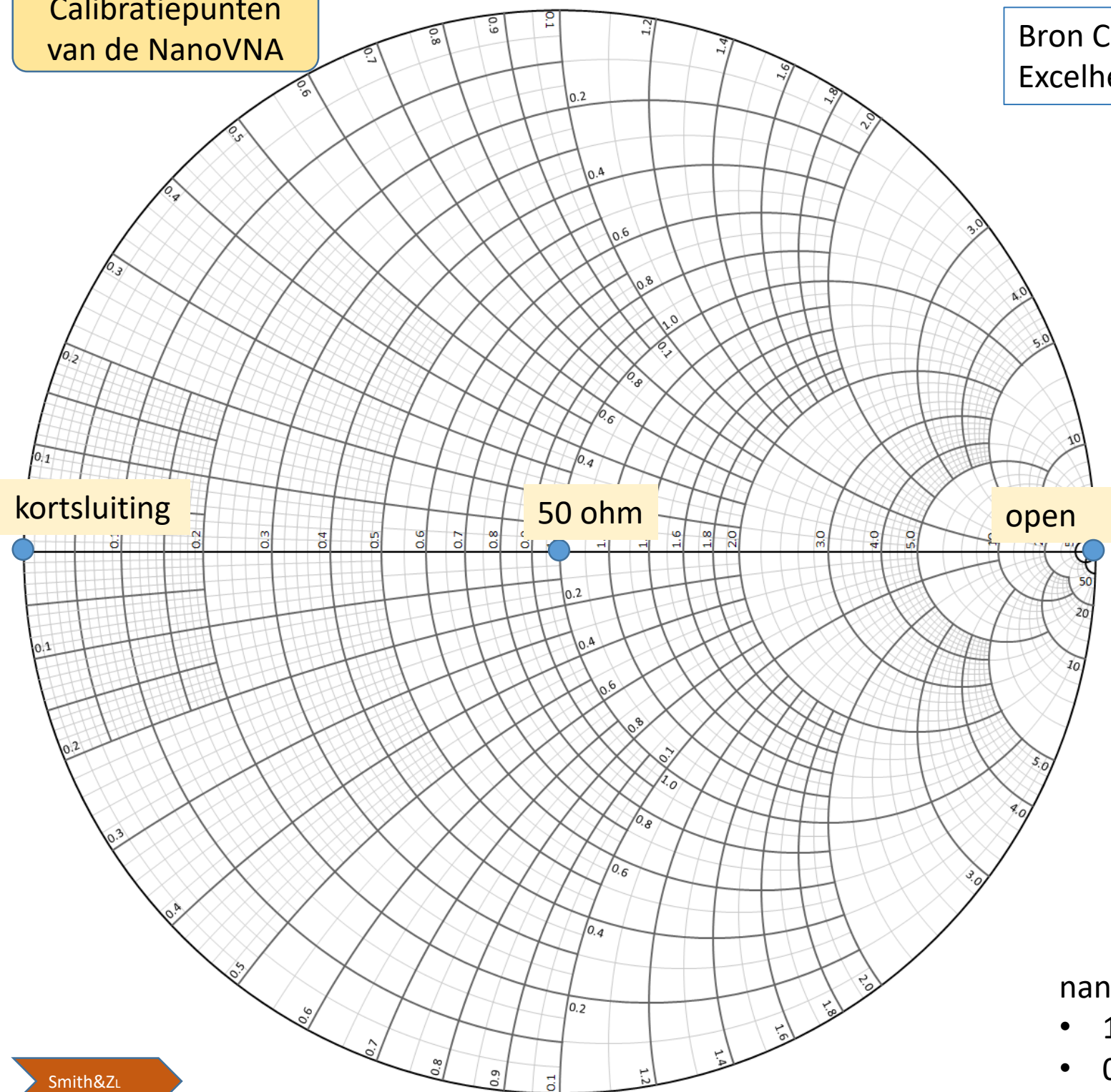


# De $Z_{\text{load}}$ plotten op de Smith Chart



Calibratiepunten  
van de NanoVNA

Bron Chart:  
Excelhero.com



Smith&ZL

De Smith Chart

... op fijnere schaal

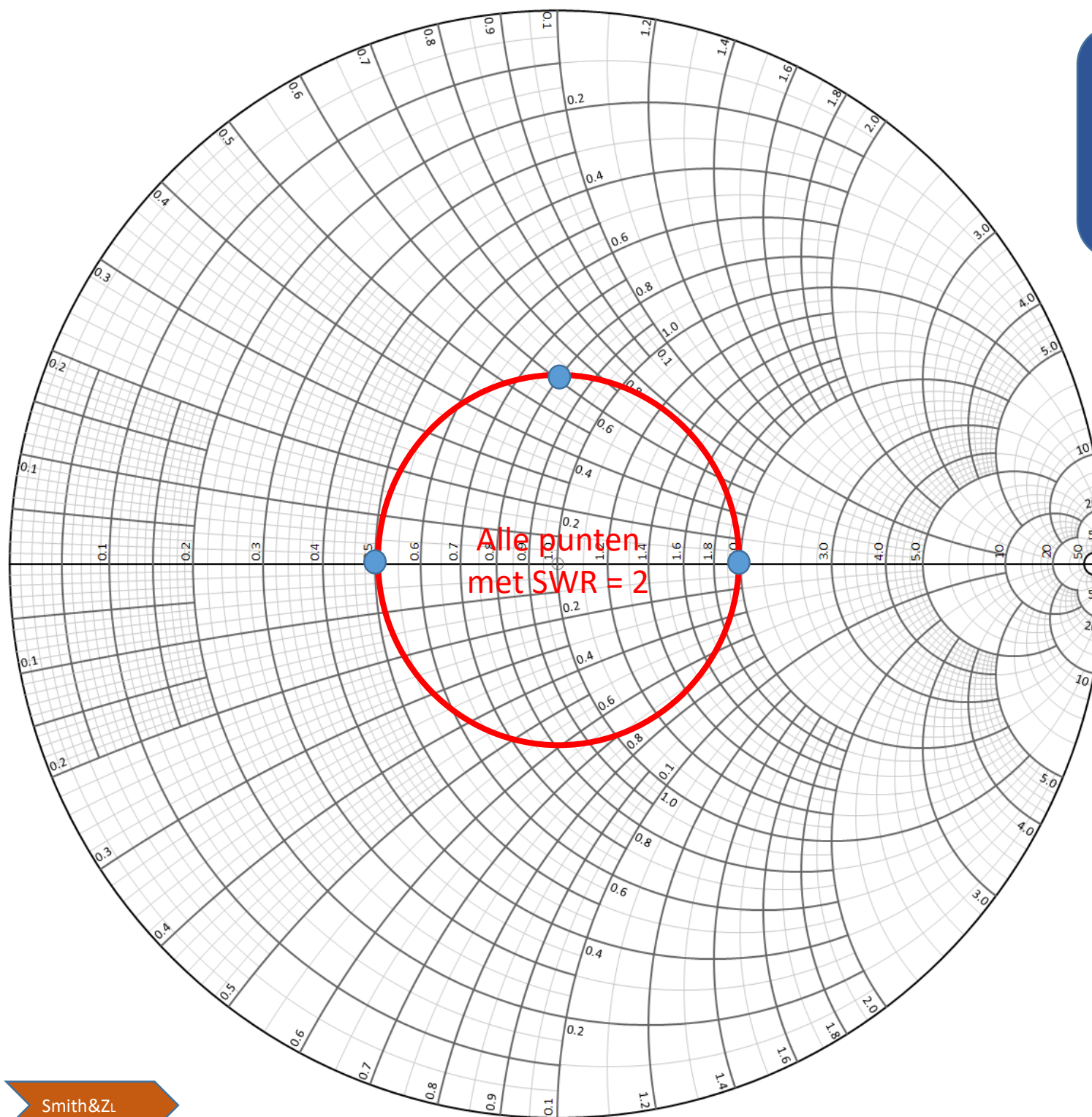
... en nog in de  
basisvorm (zoals op  
de NanoVNA).

De rest komt nog...

Je kunt in ieder  
geval allerlei  
impedanties  
inplotten

nanoVNA calibratie op:

- 100% reflectie: open of kortgesloten
- 0% reflectie: 50 ohm load



Punten met gelijke SWR liggen op een cirkel rond het centrum

B.v. SWR = 2  
Daaronder vallen o.a.  
100 ohm en 25 ohm

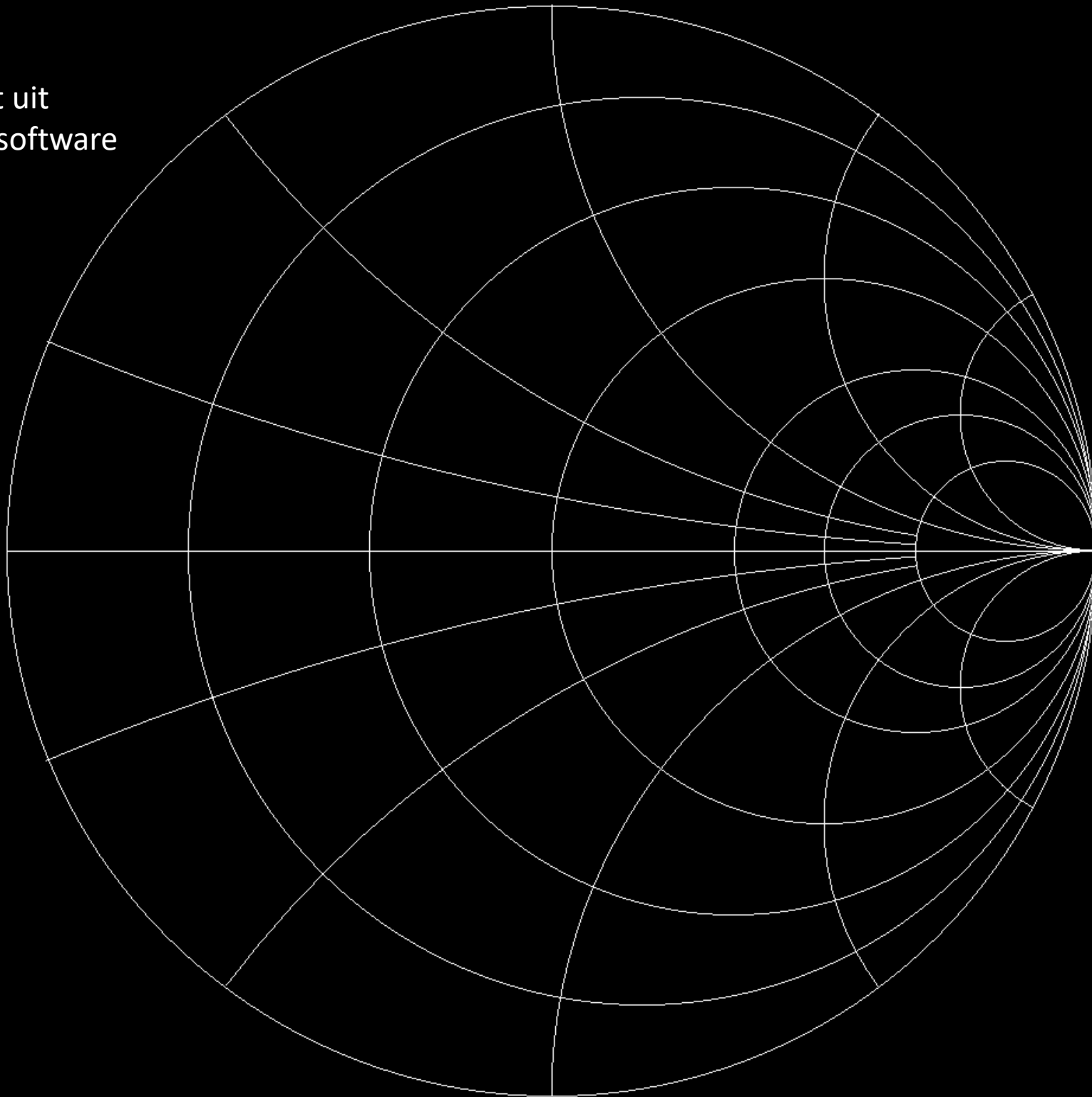
Er zijn dus heel veel punten met SWR = 2, maar nu zie je ook meteen of het een echt ohms punt is of dat er capaciteit / inductiviteit bij zit.

Het punt:  $40 + j 30$  ohm heeft ook SWR = 2

(  $40 = 0.8 \times 50$   
 $30 = 0.6 \times 50$  )

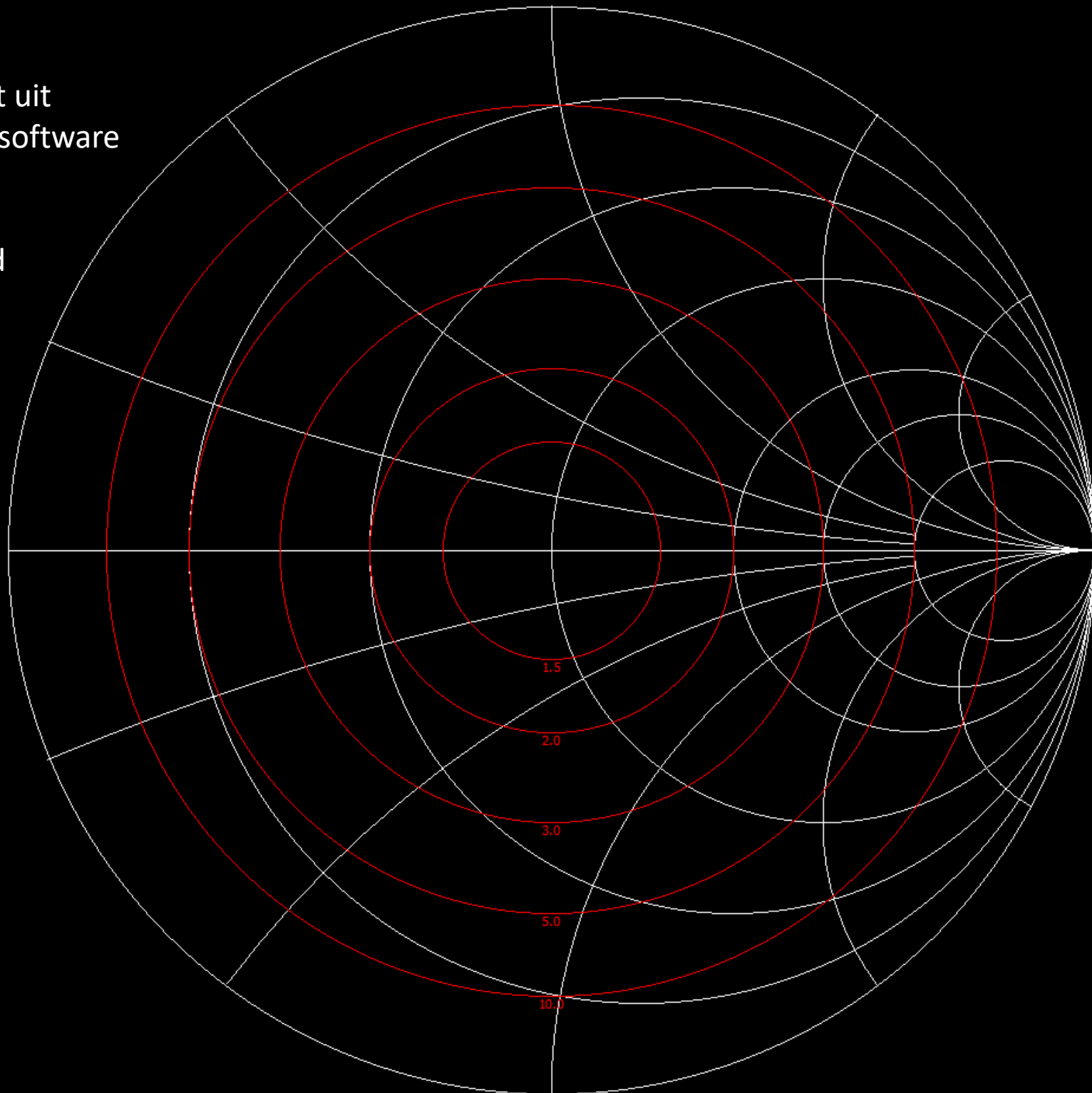


# Smith Chart uit Nanosaver software

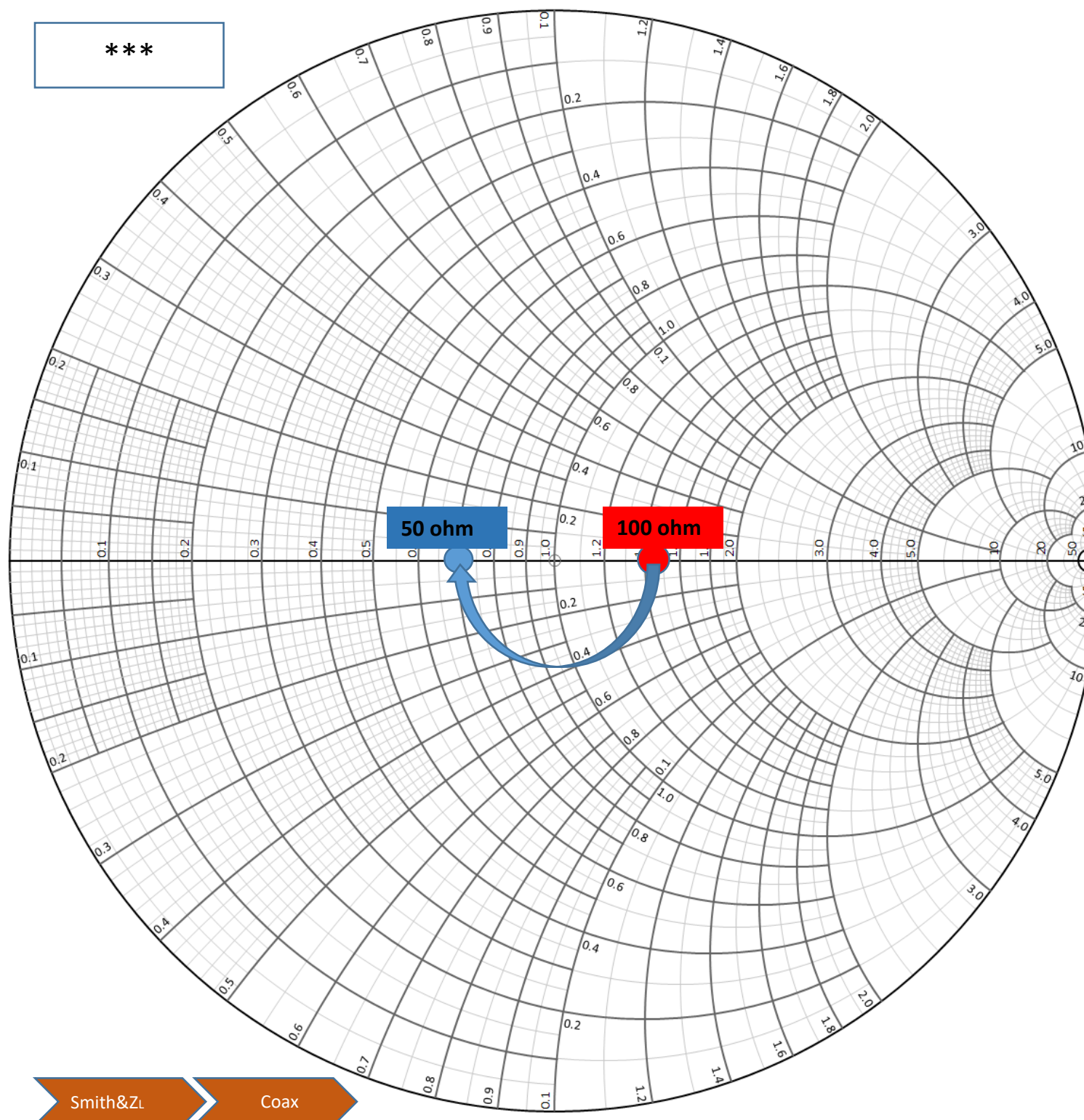


Smith Chart uit  
Nanosaver software

SWR cirkels  
toegevoegd



\*\*\*



## Smith Chart en de kwart golf transformator:

Transformatie van 100 ohm  
naar 50 ohm;  
doen we met  $\frac{1}{4}$  golflengte  
**70 ohm kabel**  
(= F-examenvraag)

DUS HET CENTRUM VAN  
DE SMITH CHART STELT  
NU 70 OHM VOOR.

Van 100 ohm (b.v. quad antenne) naar 50 ohm d.m.v. een kwartgolf coax van ongeveer 70 ohm.

Stel de coaxkabel  $Z_0$  is 70 ohm:

Dus **100 ohm** =  $100/70 = 1,43$

Dus **50 ohm** =  $50/70 = 0,71$

Merk op:

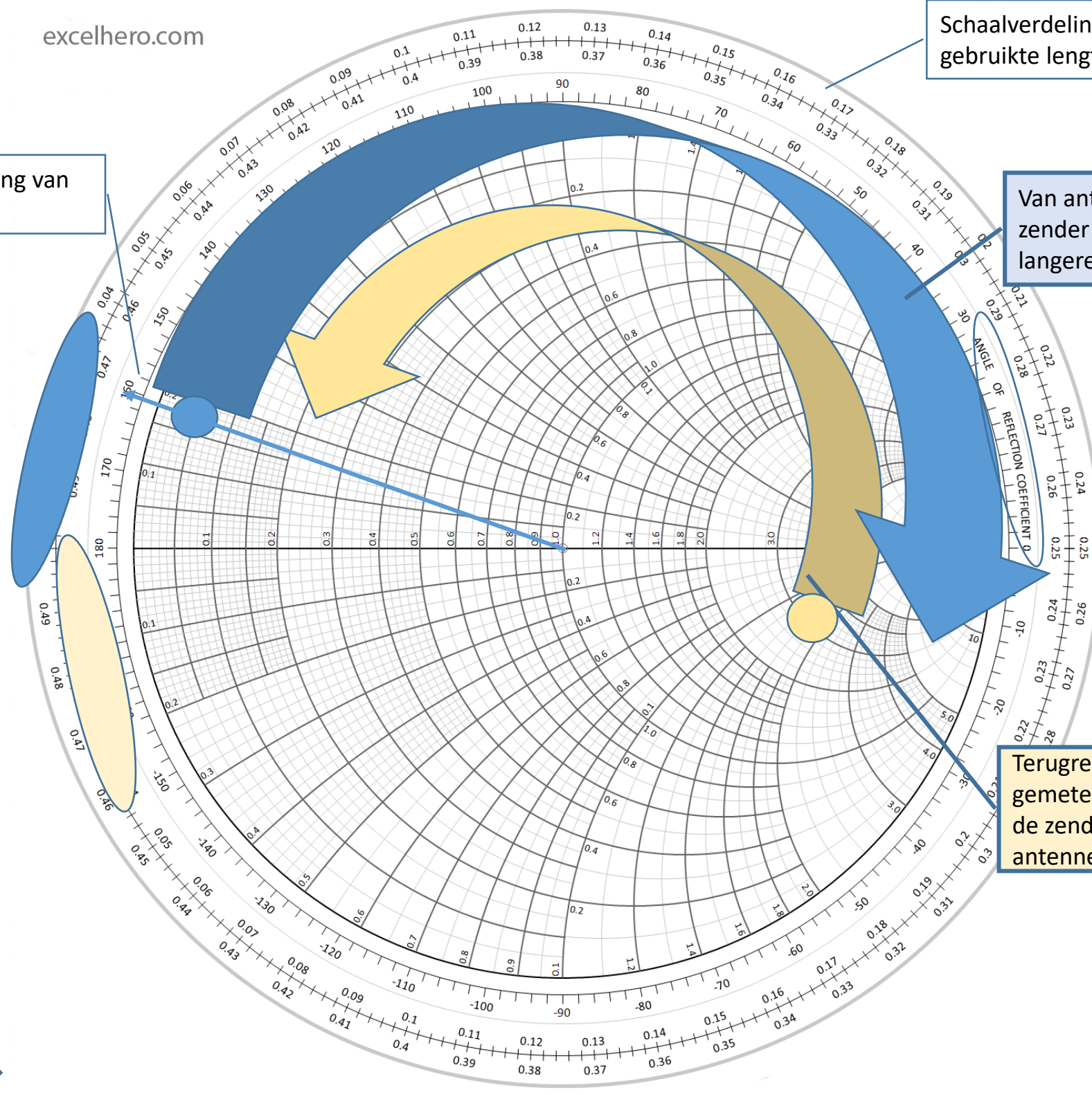
- Systeem is 70 ohm
- SWR in beide punten is gelijk
- Halve slag draaien om punt 1.0 (70 ohm) is een kwart golf (90 graden in de transmissielijn)
- Na een halve golf (één heel rondje) zijn we weer terug waar we zijn begonnen!!
- Onderweg (op de pijl) zie je de impedanties die je tegenkomt als je de transmissielijn van 0 steeds ietsje langer maakt naar een kwart golf. (ALLES x 70 ohm!)

Hoek verdraaiing van de reflectie

Schaalverdeling voor gebruikte lengte coax

Van antenne naar zender met steeds langere coax

Terugrekenen van gemeten waarde bij de zender naar de antenne impedantie





## TL Details van AC6LA

(<https://ac6la.com/tldetails1.html>)

**Transmission Line Details - v2.0.1**

Enter values directly, or click spinners, or click and hold spinners.

Freq · VF · Len · WL Conversions Print

1. Choose Transmission Line, Modify Parameters if Desired.

Type	Nom. Zo	Nom. VF	K0	K1	K2	T-Line Model Internal Variables
Belden 8267 (RG-213/U)	50	0.66	0.256179	0.154587	0.003135	R 51.908 mΩ/ft L 77.994 nH/ft G 1.011 μS/ft C 30.809 pF/ft Matched Loss 0.470 dB/100ft

2. Set Frequency, R, X.

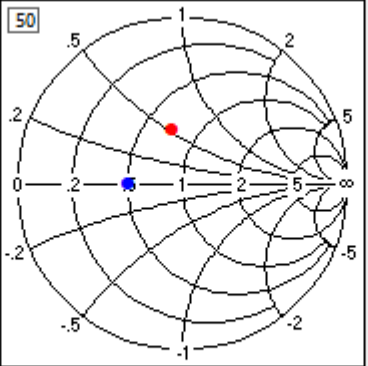
7 MHz   Band  25  0  ☐ At Input ☒ At Load

3. Set Line Length and Input Power.

Length  Units  Electrical Length Modulo 1/2 Wavelength 0.1068 λ 38.45 ° 15.258 ns Input Watts  Plot Matched Line Loss

Results

	At Input ●	At Load ●
R	35.837	25.000
X	25.770	0.000
Z	44.141	25.000
SWR (True)	1.997	2.013
SWR (50)	1.977	2.000
True Zo	50.316 -j 0.362	VF 0.6559



Loss

	dB	W
Cond.	0.044	1.006
Diel.	0.002	0.050
C. + D.	0.046	1.056
Refl.	0.034	0.780
Total	0.080	1.835
Power at Load		98.165

% of Total Loss

	55	3	43
Cond.	55	3	43
Diel.			
Refl.			

Plot |Zo| Plot VF Prime Center  Close

Show: ☒ SWR ☐ Rho ☐ Return Loss



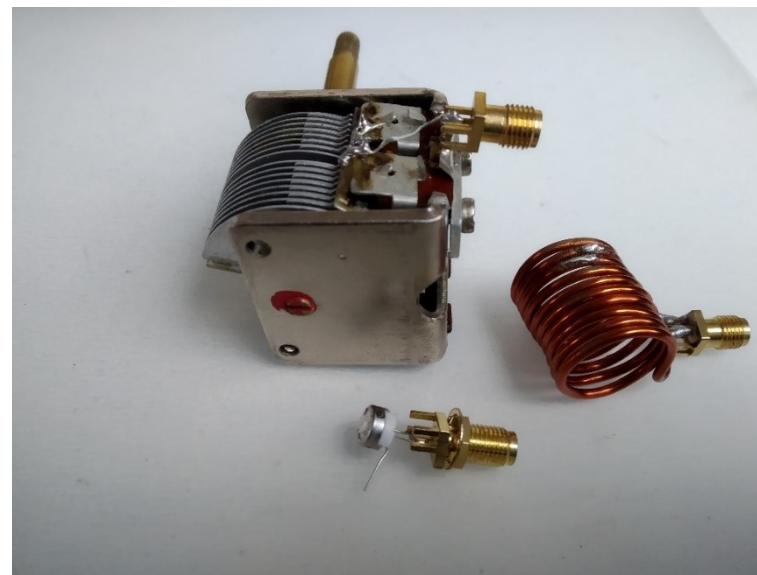
# Conclusies m.b.t. Smith Chart (tot nu toe)

- Hoe lang de kabel ook is: overal dezelfde SWR (verliesvrije kabel verondersteld)
- Een tuner kan soms een antenne niet tunen, maar met veranderde kabel lengte wel omdat de aangeboden impedantie verandert met de lengte van de kabel. De Smith Chart laat grafisch zien hoeveel.
- Reflectie wordt uitgedrukt in Reflectie Coëfficiënt ( $S_{11}$ ) en is het percentage gereflecteerde *spanning* onder een bepaalde hoek. Percentage gereflecteerd vermogen is het percentage van de Reflectie Coëfficiënt in het kwadraat.
- Hoe dicht punt bij de '1' (het midden) ligt = des te minder reflectie = des te lager de SWR.
- Er zijn heel veel formules en verbanden over reflectie met kabels en loads.

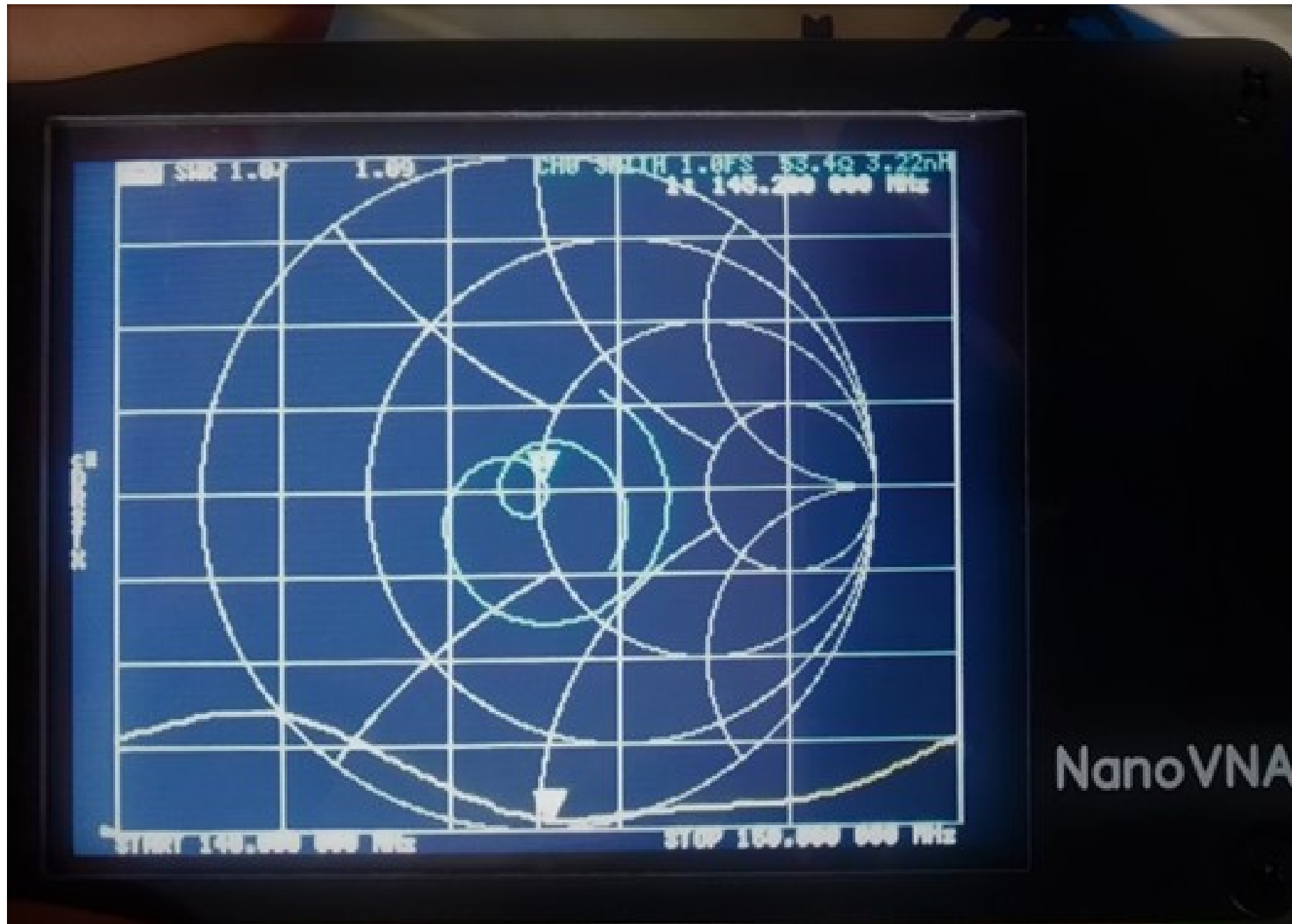
**De zendamateur onthoudt er voor het examen maar één:  $SWR = Z_{load} / Z_{kabel}$**

# Spelen met de NanoVNA (1)

- Werk met op 50 ohm gekalibreerde NanoVNA
  - Kies verschillende frequenties
  - Sweep eens een antenne
  - Open stukje coax eraan
  - Willekeurige andere weerstand eraan
  - Condensator of Spoel eraan
  - Combinaties van weerstand en coaxkabels op verschillende frequenties.
- 
- DEMO met Smith Chart:  
spoel, condensator, weerstand

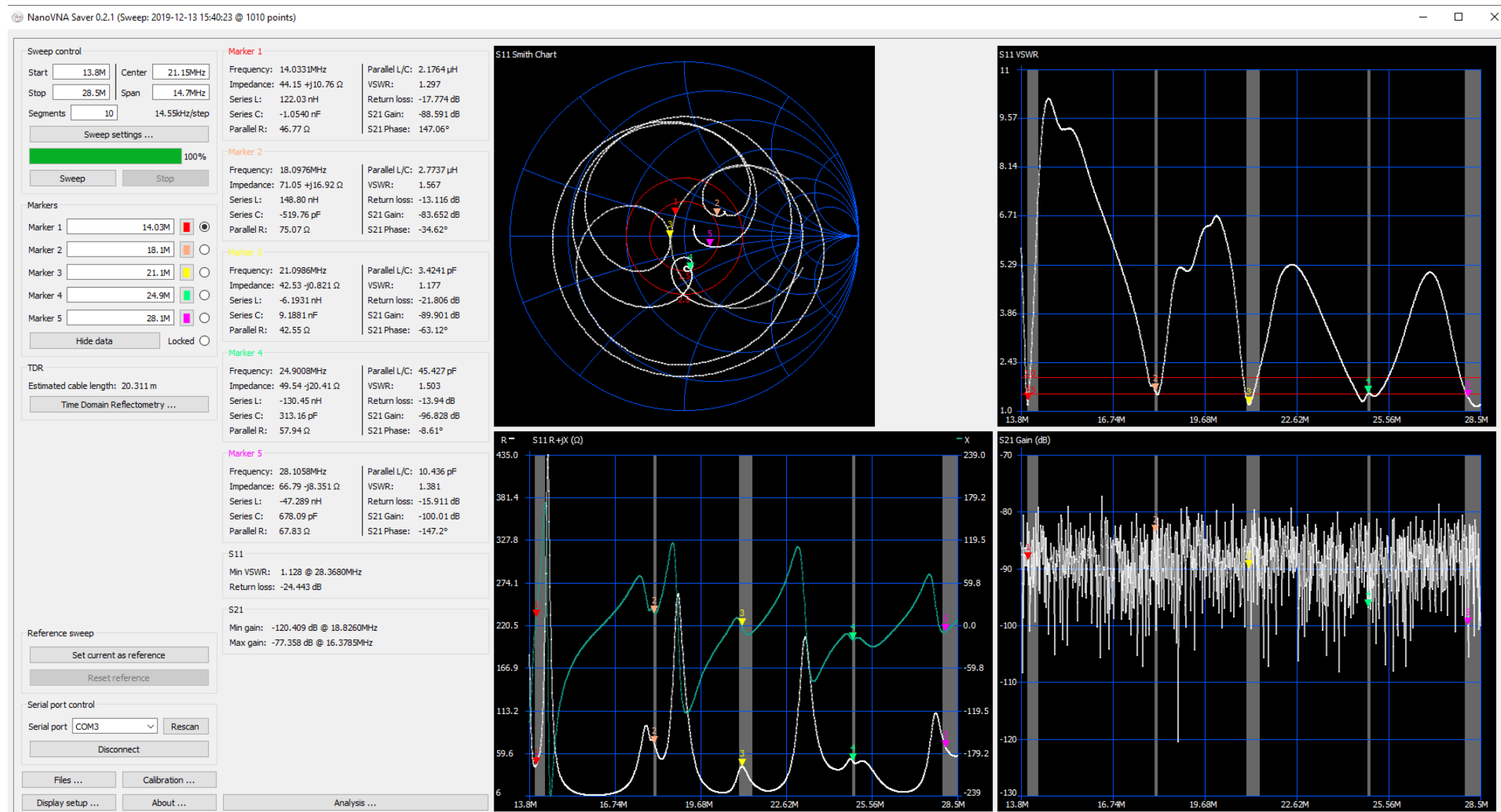


2m/70cm vertical: 140MHz-150MHz (@PA3A)



# Screenshot NanoVNA Saver: 5 banden antenne MA5B @PA3A

## Markers in de diverse amateurbanden. (Software nanoVNA saver 0.2.1)



Uitvergroting op de volgende slides

MA5B sweep

‘Smith Chart waanzin’ 😊

Markers

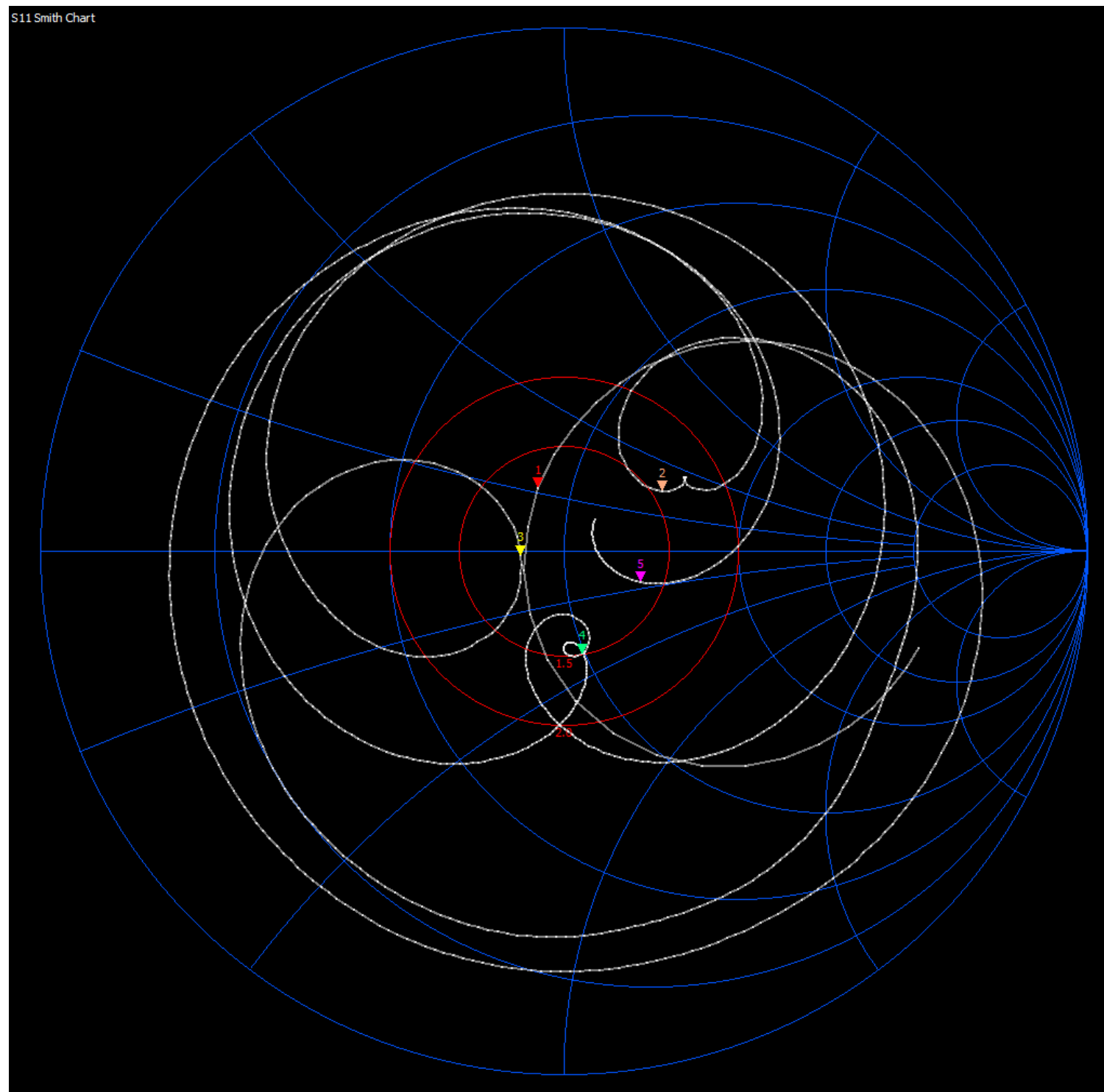
Marker 1	14.03M	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
Marker 2	18.1M	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
Marker 3	21.1M	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
Marker 4	24.9M	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
Marker 5	28.1M	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/>

Sweep control

Start

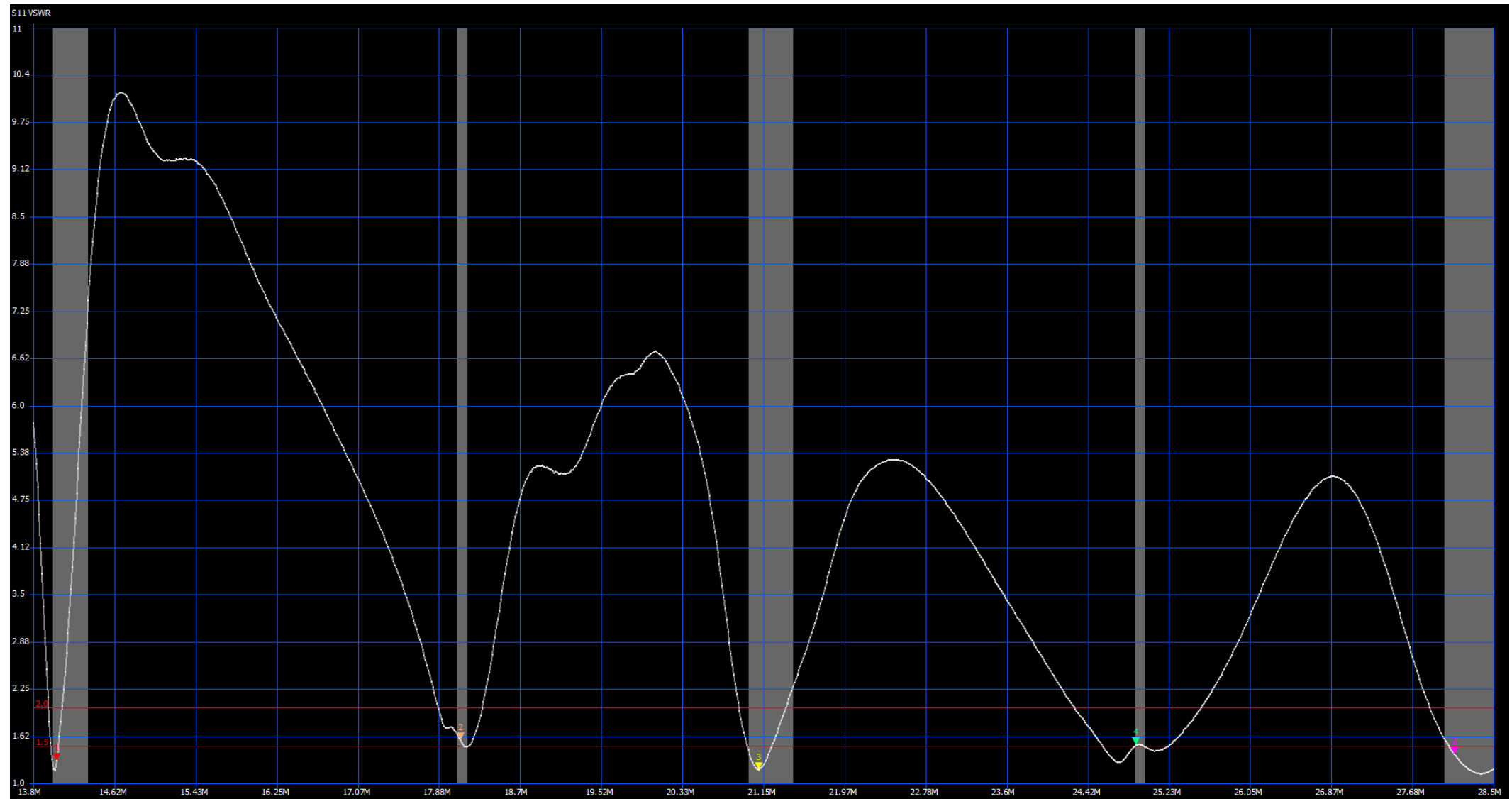
Stop

Segments  14.55kHz/step



MA5B VSWR

Zendamateur 'common sense'



# Wie was Smith

Phillip Hagar Smith

Lexington, Massachusetts

1905 – 1987

Elektrotechnisch ingenieur bij Bell Telephone Laboratories

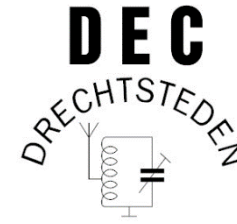


Bron: Smithchart.org

1939: Een kaart gemaakt (Smith Chart) gemaakt als een soort ***rekenliniaal*** voor het omrekenen van de complexe parameters van een transmissielijn, de reflectiecoëfficiënt en impedanties.

Kortom: Zonder formules en computer van alles grafisch uitrekenen

## Pauze, in deel 2:



- Het ontwerpen van een aanpassingsnetwerk met een Smith Chart (bijvoorbeeld een tuner ...)
  - Impedantie & Admittantie  
(‘ADMITTANTIE’ is het omgekeerde van Impedantie, zoals ‘GELEIDING’ het omgekeerde is van weerstand)
  - De Smith Chart met dit alles erop geplot
  - Een antenne tunen met de Smith Chart  
(is dus: een willekeurige impedantie omzetten naar 50 ohm)
- Makkelijke gratis online tooling op internet





# Geleiding: waar kennen we dit van?

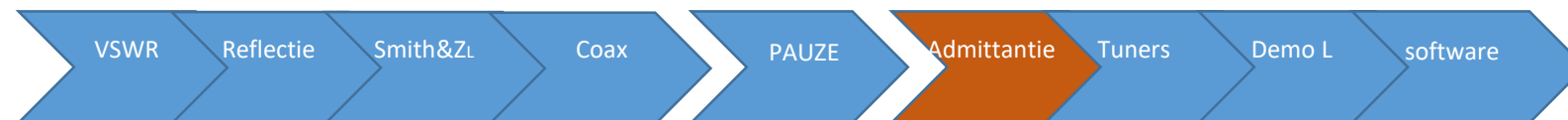
- Parallel zetten van weerstanden
- In feite zet je geleidingen parallel die je kunt optellen
- De totale geleiding is alle geleidingen bij elkaar

$$\frac{1}{R_{\text{total}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Met een parallel weerstand  
voegen we geleiding toe

Dit geldt ook voor spoelen en  
condensatoren  $X_L$  en  $X_C$

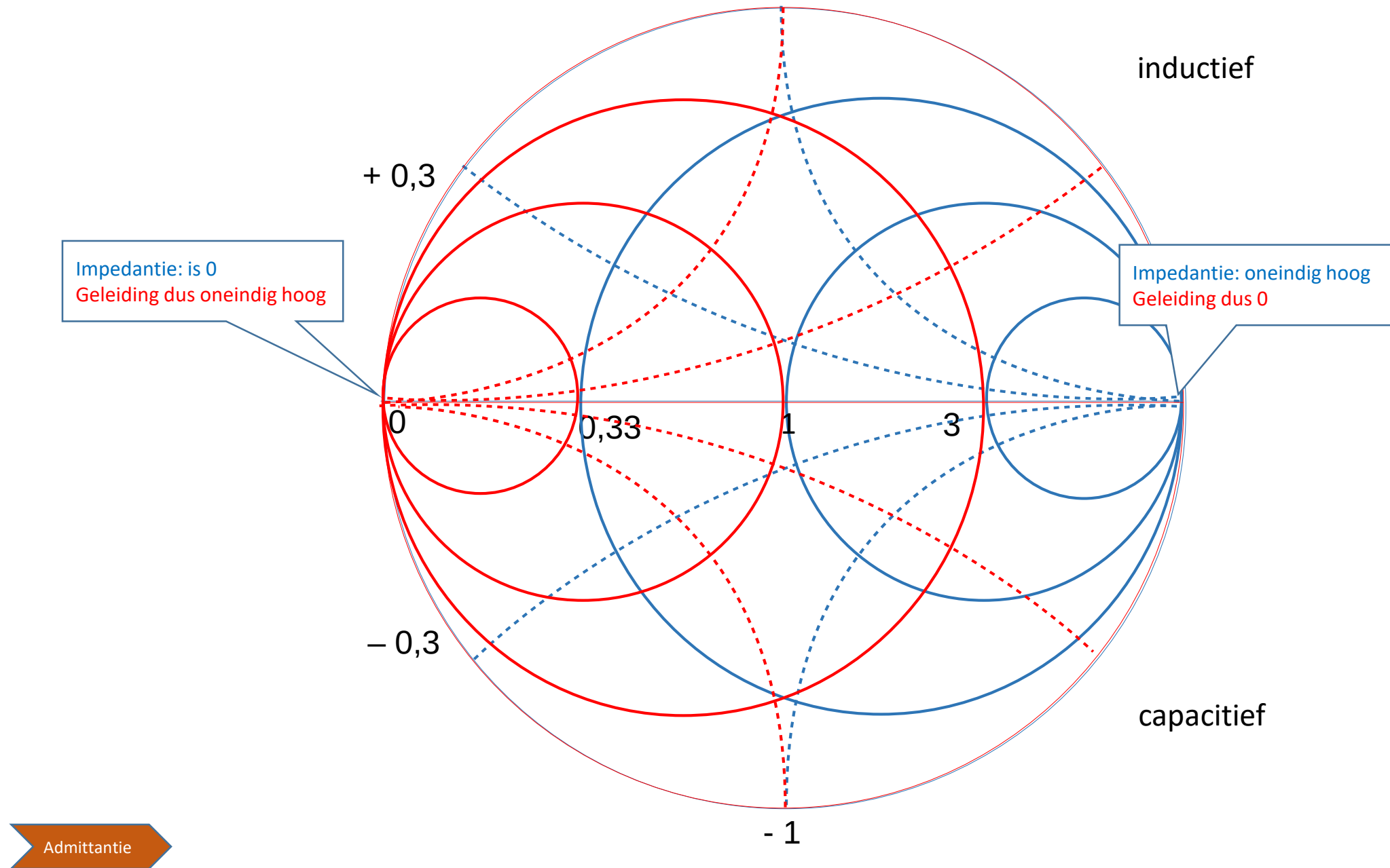
- Dit geldt voor alle Impedanties
- De geleiding van **Impedantie (Z)** heet **Admittantie ( $Y = \frac{1}{Z}$ )**



Impedantie in de Smith Chart met de impedantielijnen

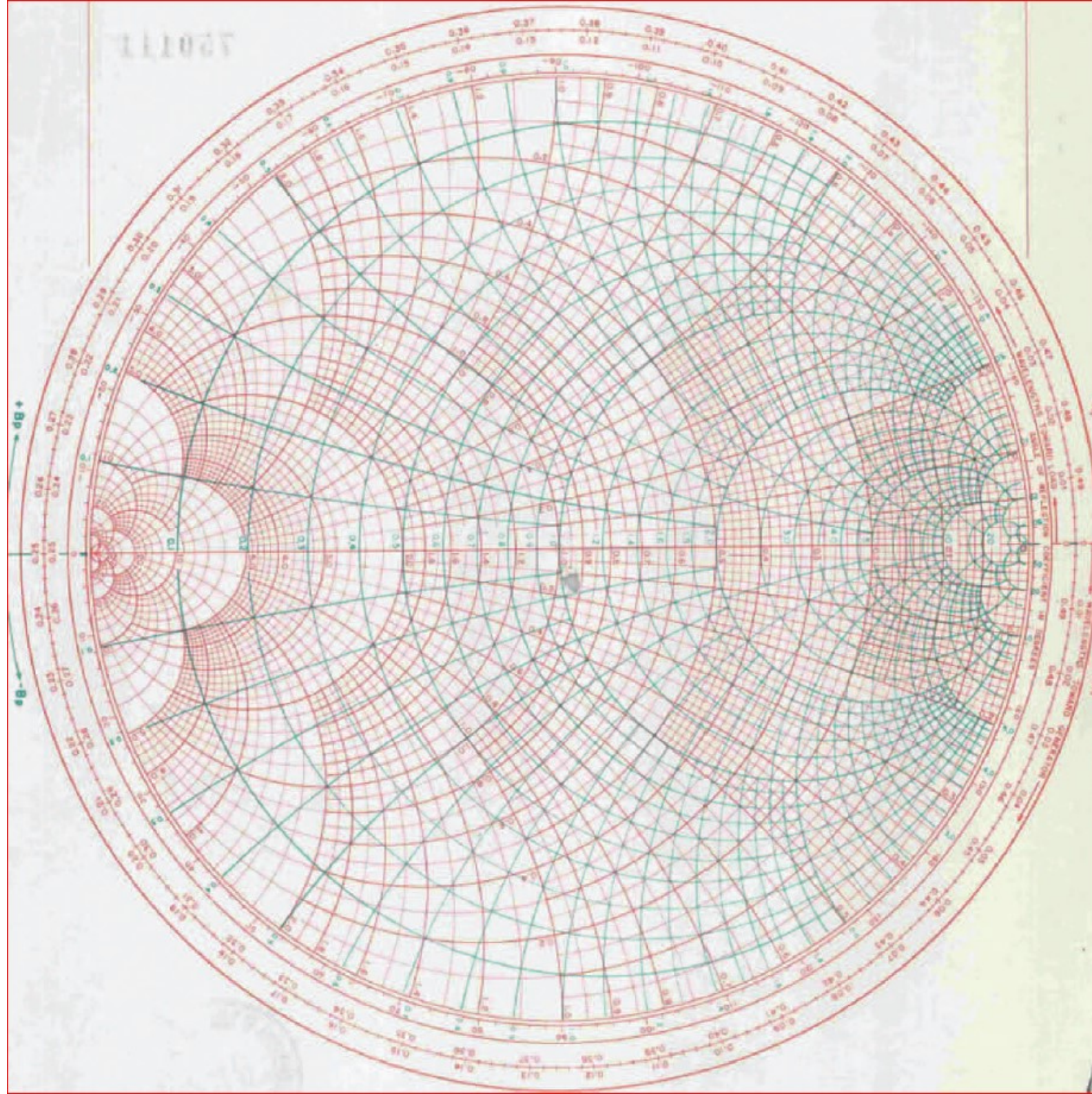
en

Admittantie in de Smith Chart (de geleiding dus) met de admittantielijnen



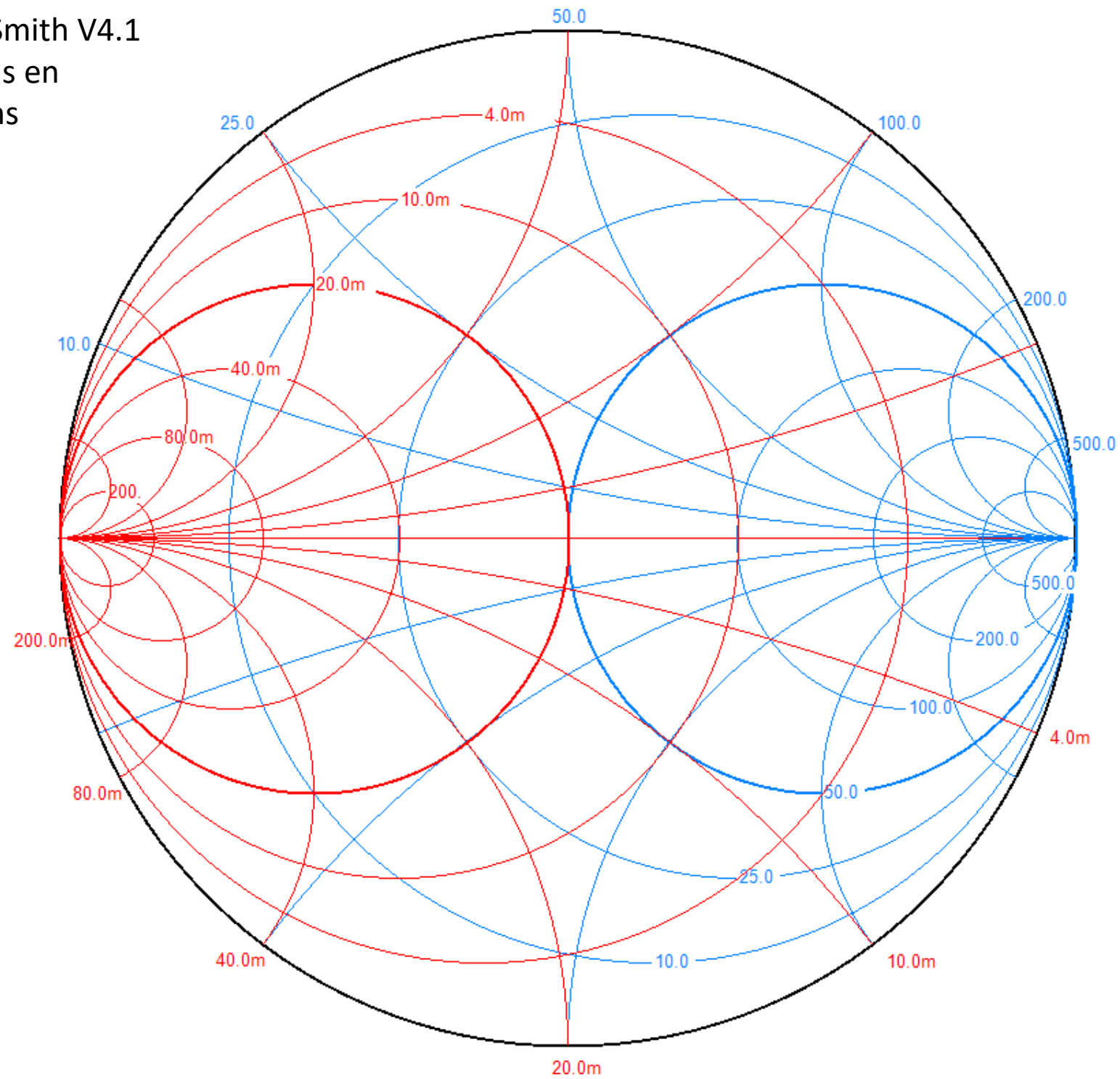
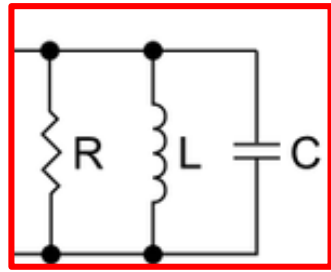
Oud  
kopietje

Admittantie





Bron: Smith V4.1  
In ohms en  
siemens



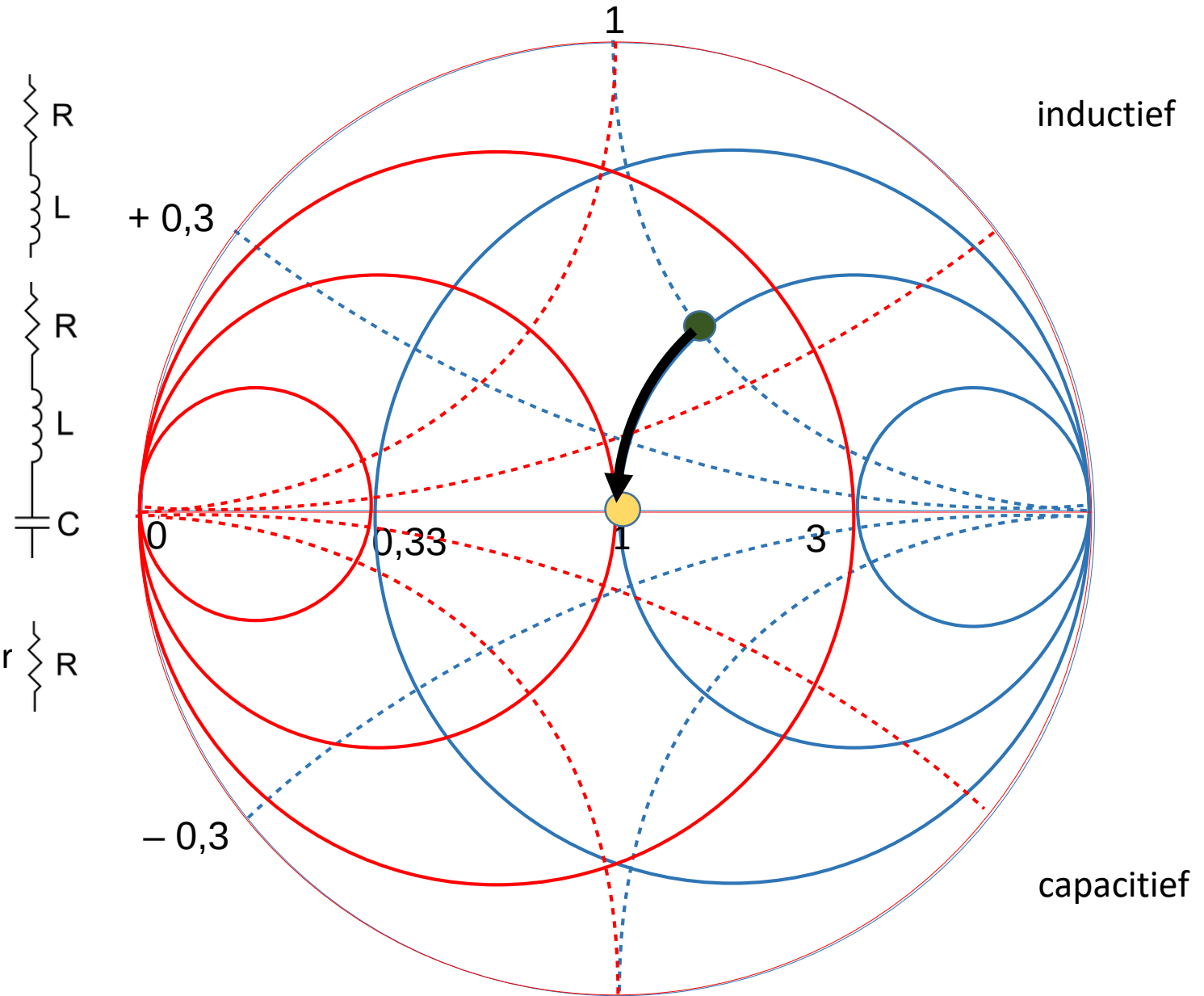
# Tuner: TRUC 1 met de Smith Chart ...nu komt het...

Condensator in serie: Richting capacitef langs de serie/weerstandslijnen

Stel een  $Z: 50+j50$  ohm  
 $1 + j1$  in de chart  
**SWR = 1 : 2.6**

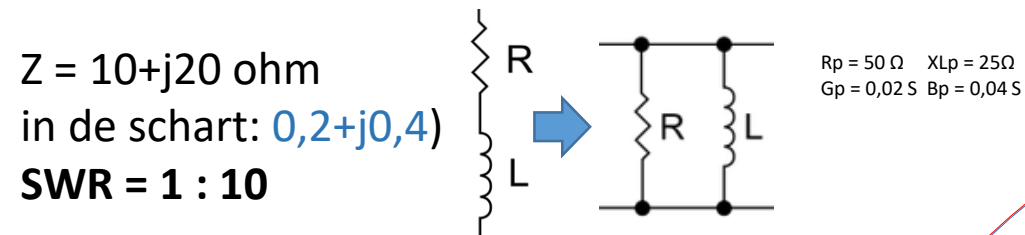
De  $+j50$  ohm uitstemmen  
met een condensator met  
 $-j50$  ohm in serie  
(= serie resonantie)  
Dan kom je op 50 ohm

In de Smith Chart:  
**Linksom naar beneden** over  
de **weerstandlijnen**  
(‘serielijnen’) **richting**  
**capacitieve deel** van de  
chart.



# Tuner: TRUC 2 met de Smith Chart

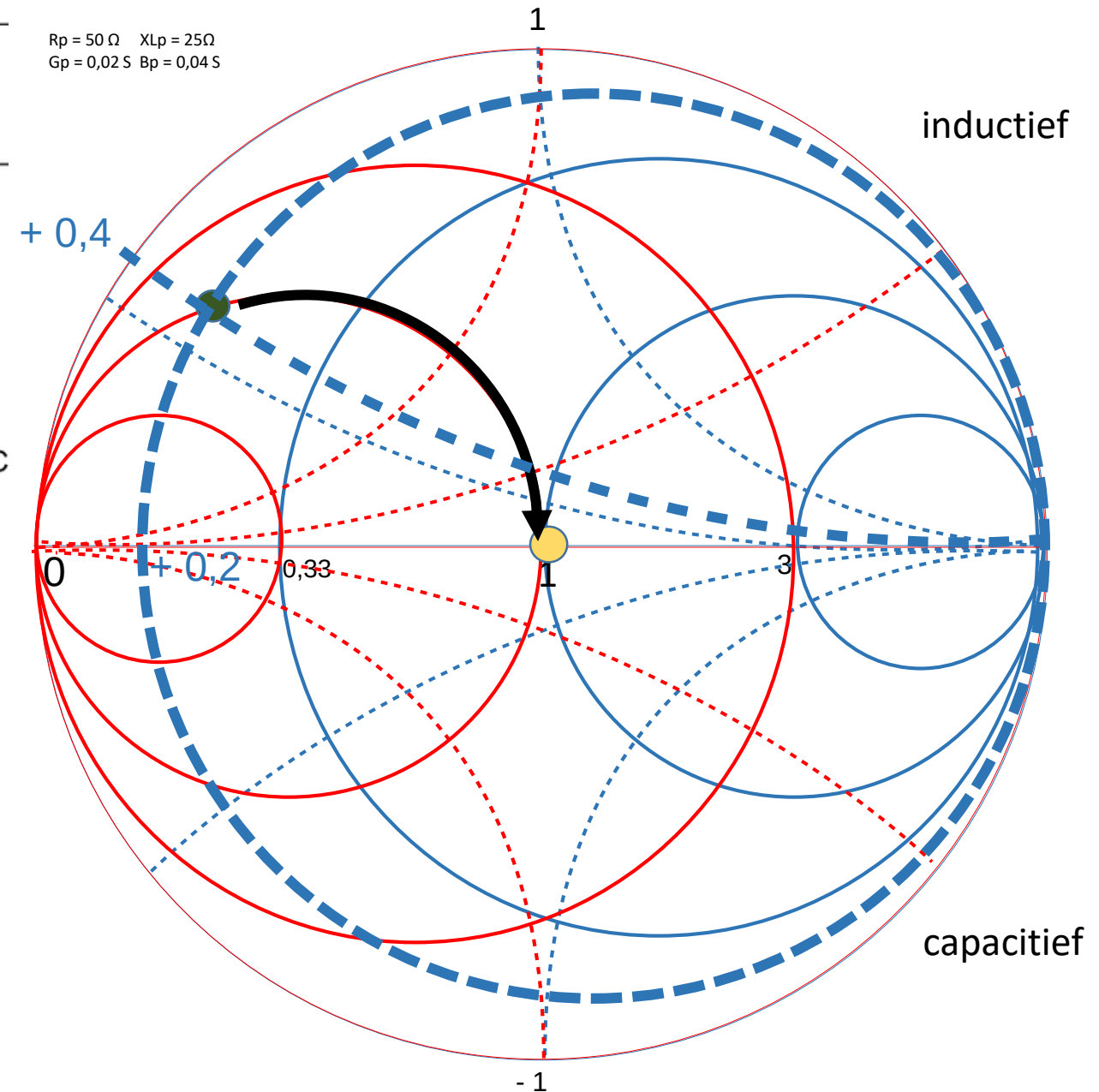
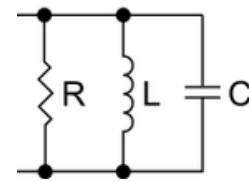
Condensator parallel: Richting capacitef langs de rode geleidingslijnen



We gaan dit aanpassen met een condensator in parallel (toevoegen van capacitieve geleiding)

In de Smith Chart:  
Rechtsom over de rode **geleidingslijnen** ('parallel lijnen') richting capacitieve deel van de chart.

We hebben nu met één simpele C parallel  $10 + j20$  ohm omgezet naar  $50 \text{ ohm}$ !



De andere kant op kan ook.  
Met spoelen 'loop' je over de  
zelfde cirkels...  
maar dan **naar boven, richting  
het inductieve deel.**

**mits het punt op die cirkels ligt  
die door het getal 1 (=50 ohm)  
gaan.**

**Dit zijn de 50 ohm lijn (blauw) en de  $1/50 \text{ ohm} = 20 \text{ milli siemens}$  lijn (rood)**



# Samenvatting:

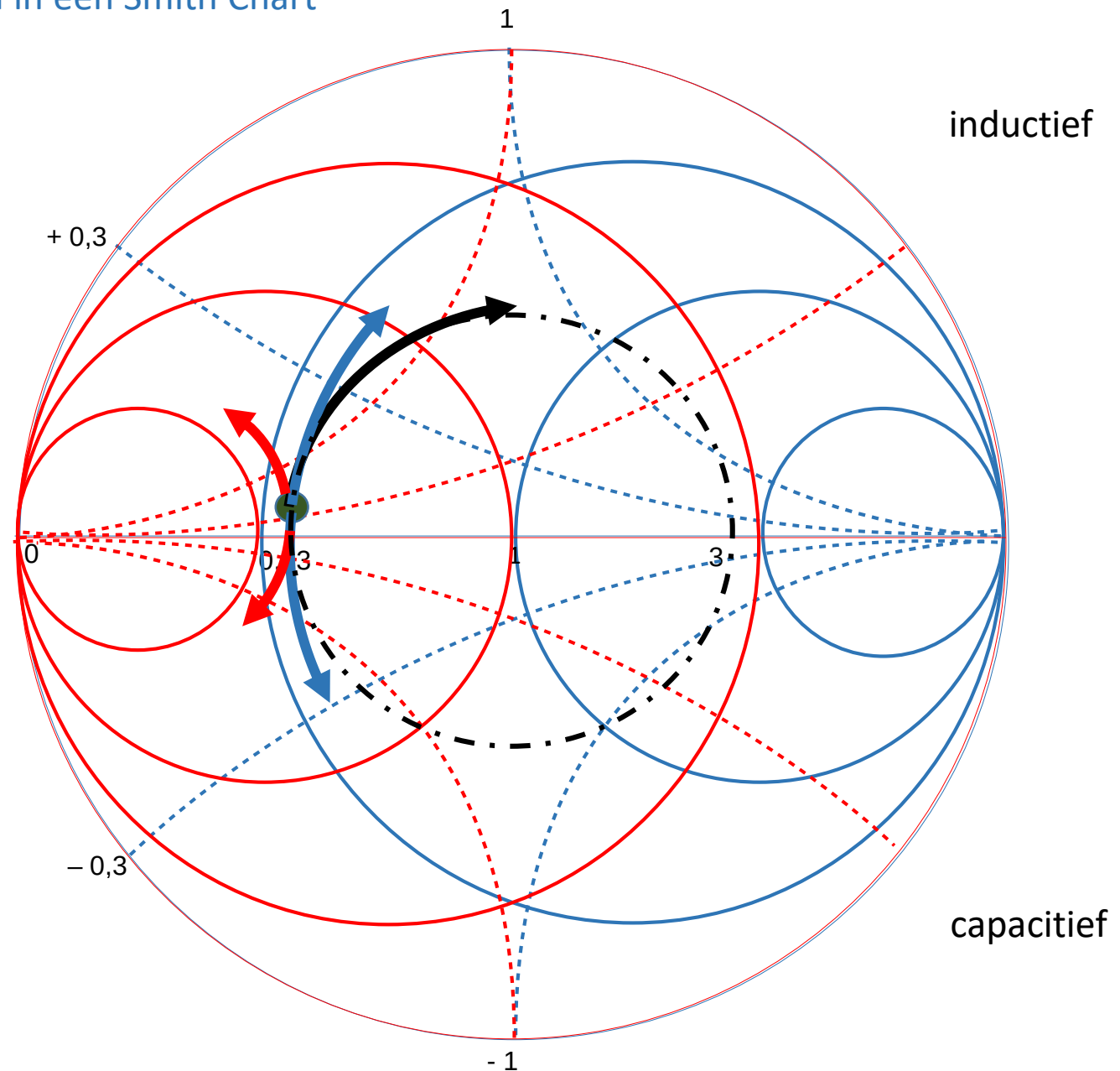
## Toevoegen van componenten in een Smith Chart

Gegeven een willekeurige impedantie.

transmissielijn in serie:  
Rechtsom over de zgn.  
Constante SWR cirkel  
(cirkel rond het midden)

Parallel L of C:  
Langs de rode  
geleidingslijnen

Serie L of C:  
Langs de blauwe  
weerstandslijnen





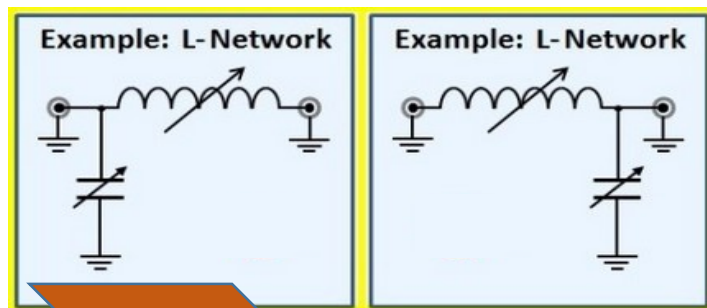
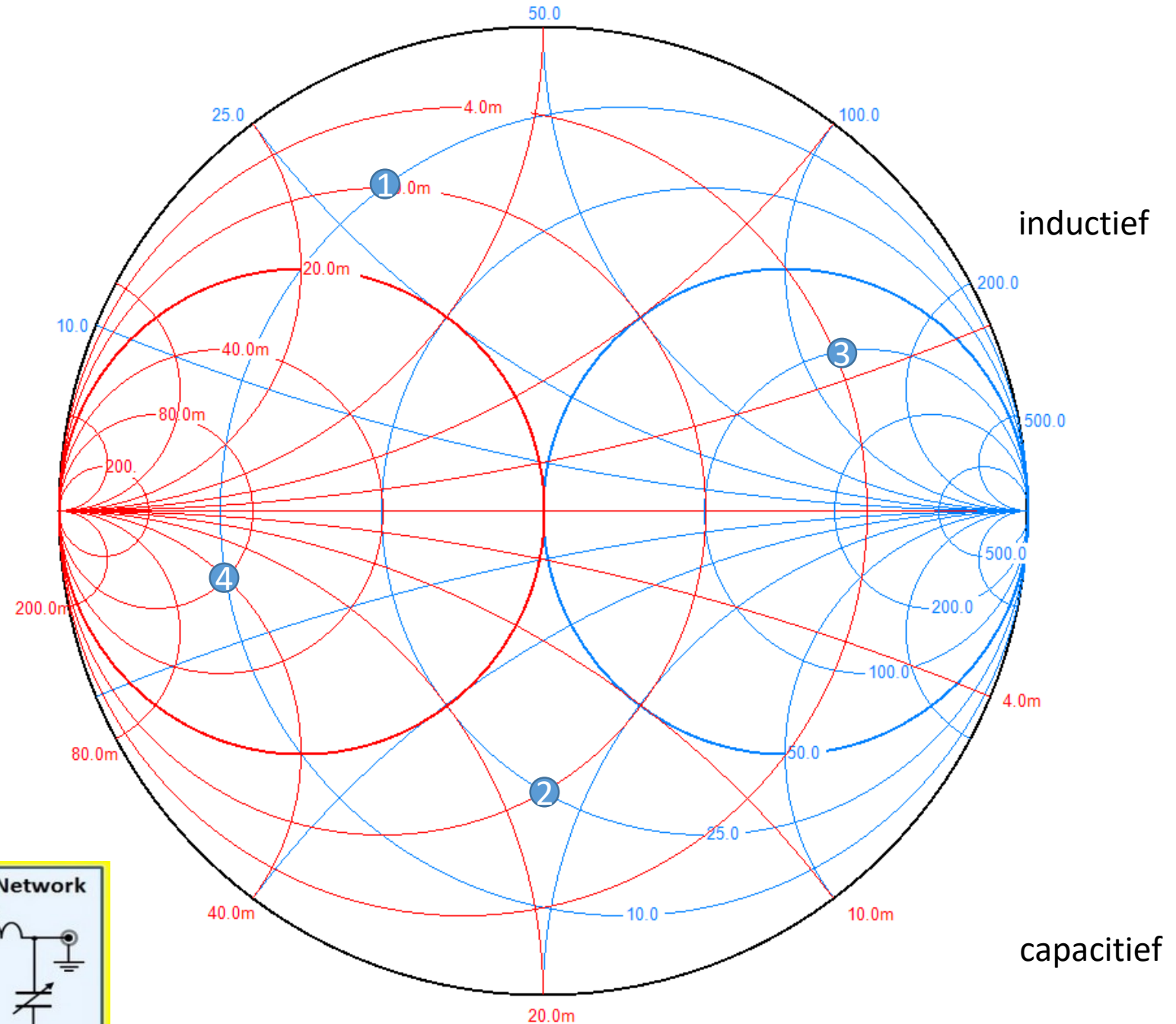
Vraag:

Hoe krijgen we punt  
1 t/m 4 naar 50 ohm

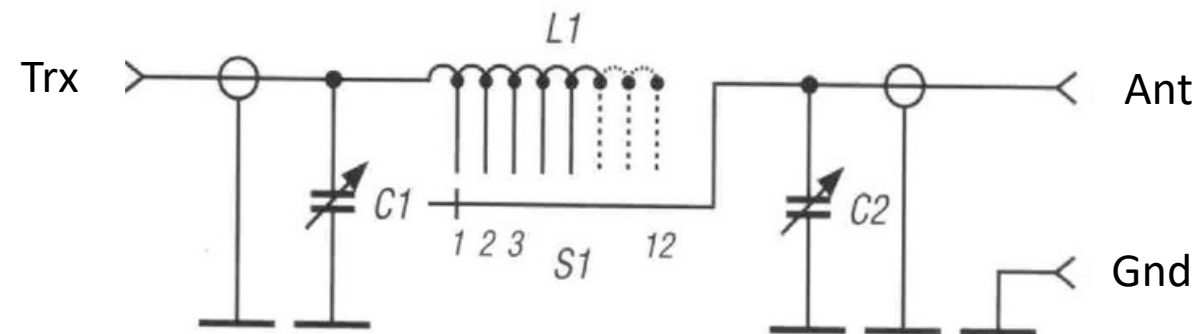
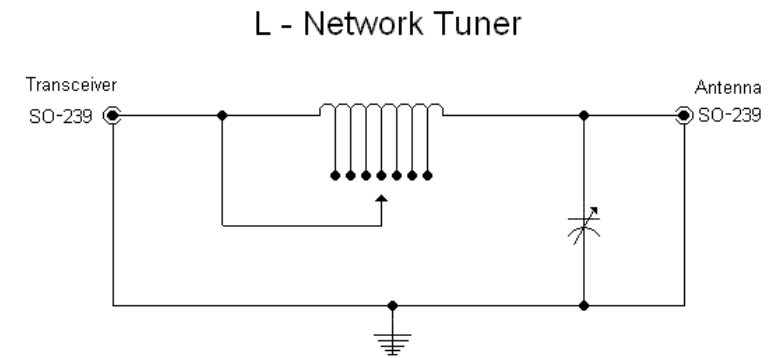
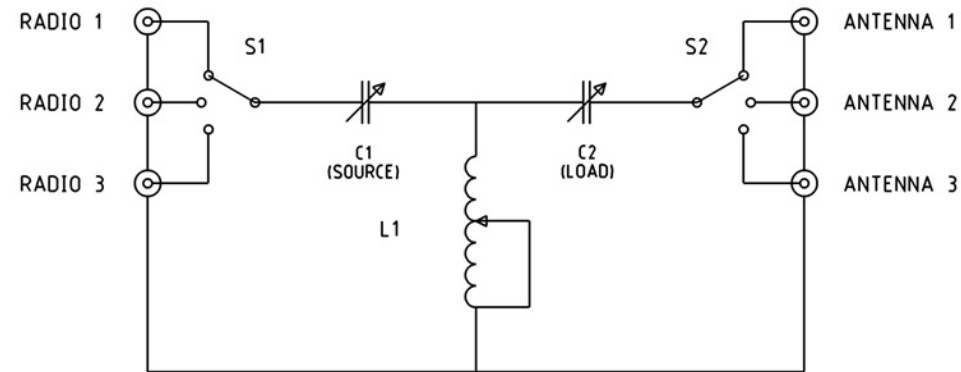
Tip 1:  
Zorg dat je eerst op  
een van de twee  
cirkels door '1' komt.

Tip 2:  
Probeer een  
Low-Pass  
configuratie te krijgen:  
serie-L en parallel-C  
of  
parallel-C en serie-L

(Dit kan nl. altijd)



## Verschillende simpele aanpasnetwerken → zgn. Tuners



## Oplossing 1

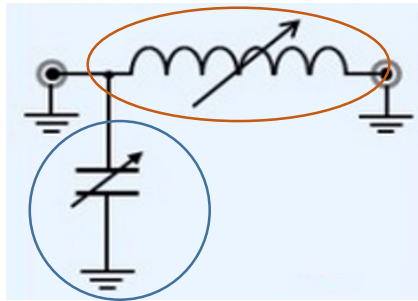
Met **L-netwerk**:

Met **Parallel C**

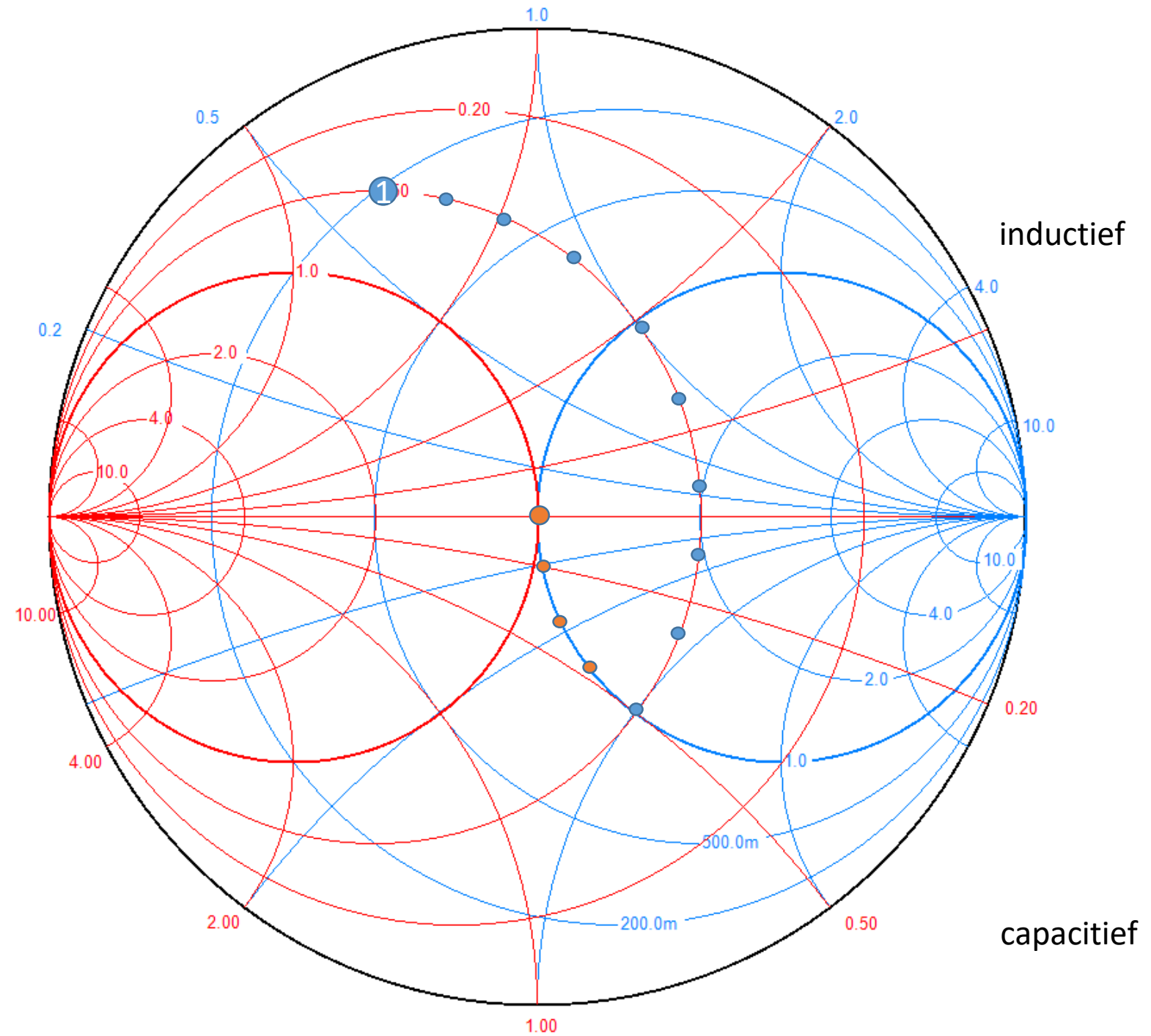
En

**Serieel L**

(in low-pass)



Met eerst parallel C  
en daarna serieel L  
is er slechts één  
oplossing.



## Oplossing 1

Met **PI-netwerk**:

Met **Parallel C**

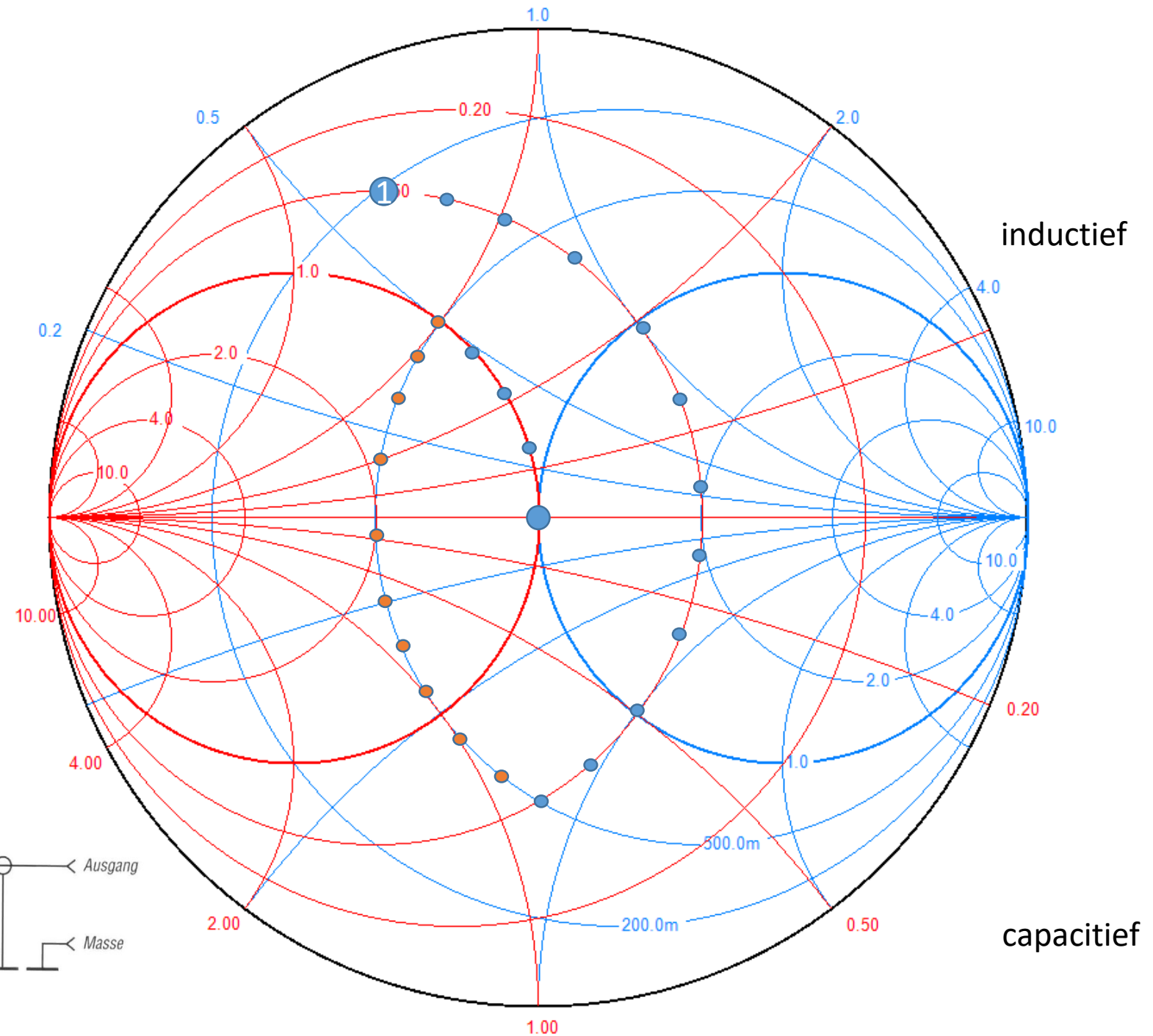
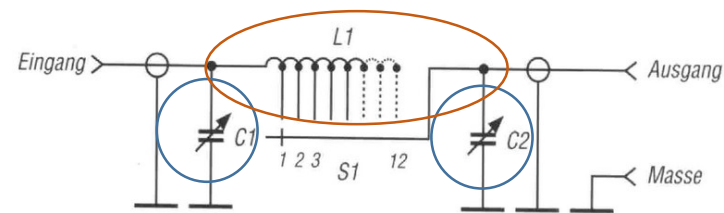
En

**Serieel L**

En

**Parallel C**

Dit is een mogelijke  
oplossing;  
er zijn meer combinaties  
mogelijk



## Oplossing 1

Met **T-netwerk**:

Met **Serie C**

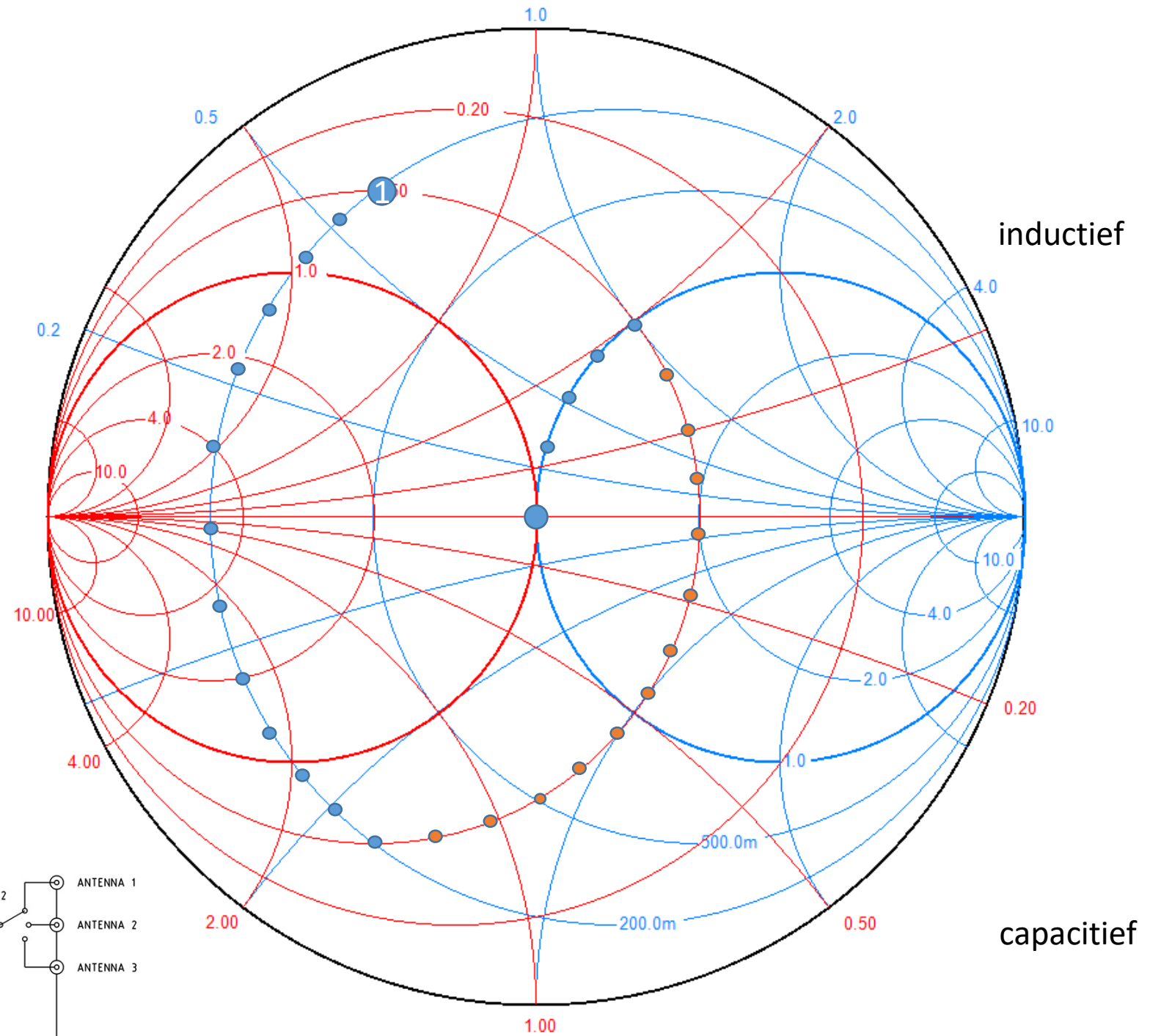
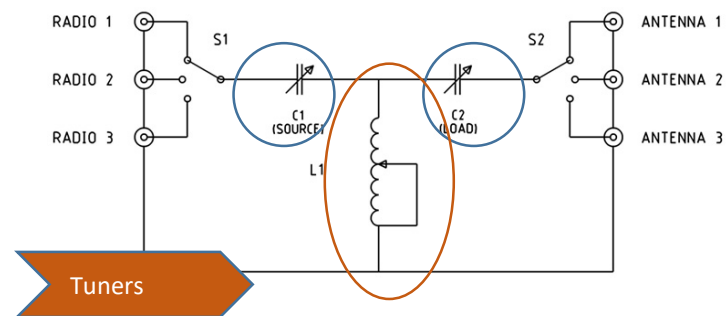
En

**Parallel L**

En

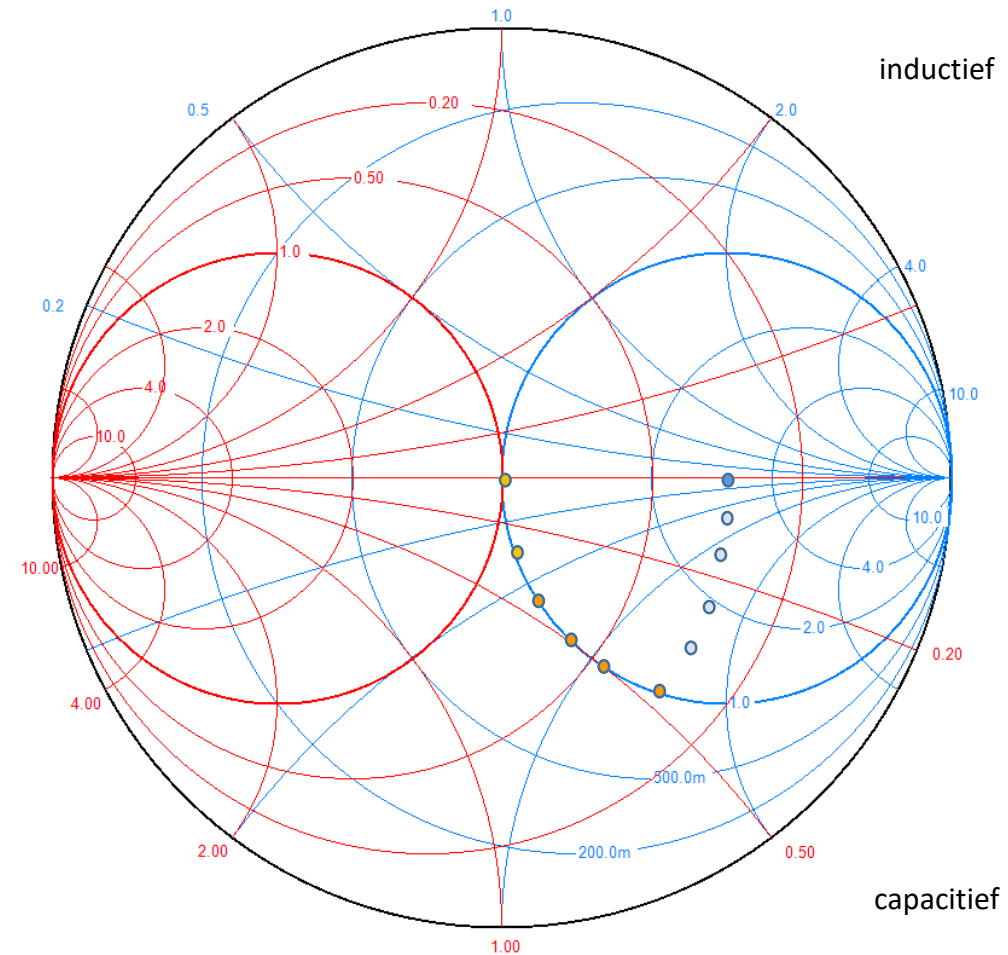
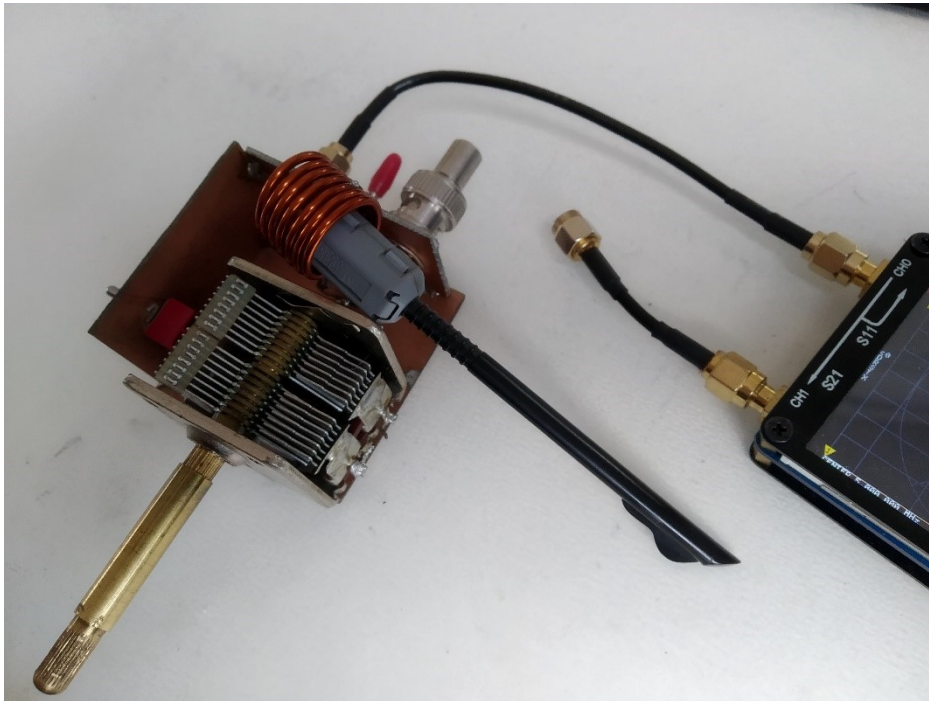
**Serie C**

Ook nu zijn vele combinaties mogelijk.



# Demo

- 150 ohm (SWR = 3) aanpassen naar 50 ohm (SWR = 1)
- m.b.v. tuner met L-netwerk en de nanoVNA





# L en C– netwerk

source: certifytech.tripod.com

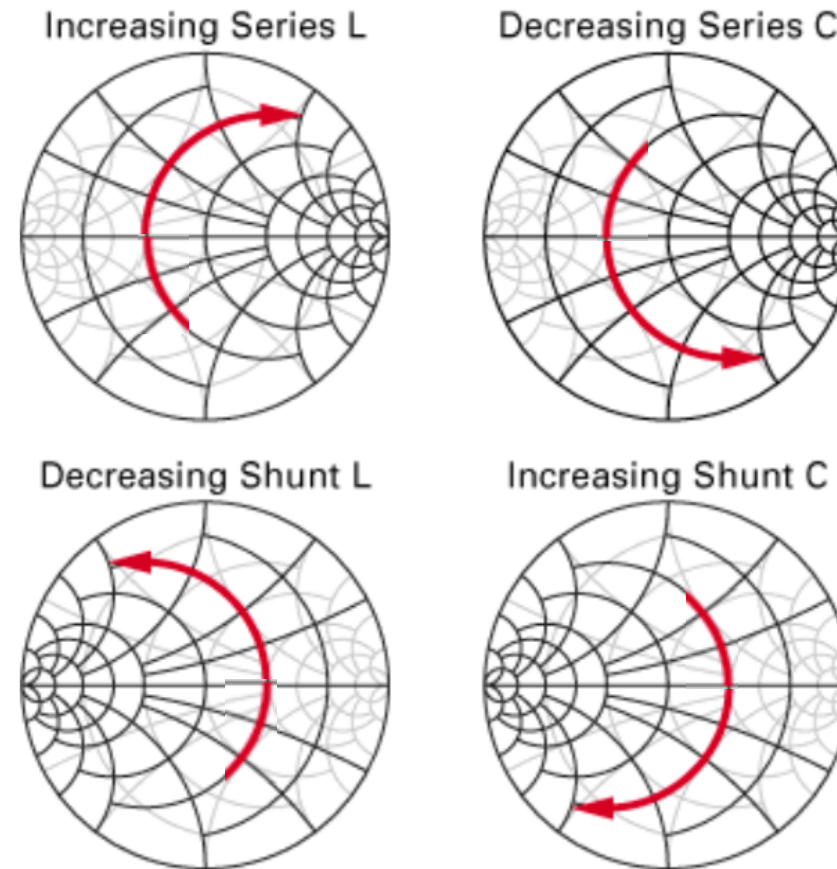
<http://certifytech.tripod.com/references/electronic/electronics/impedance.html> modified

Een hulp plaatje??

Hier naast staat een waar plaatje echter:

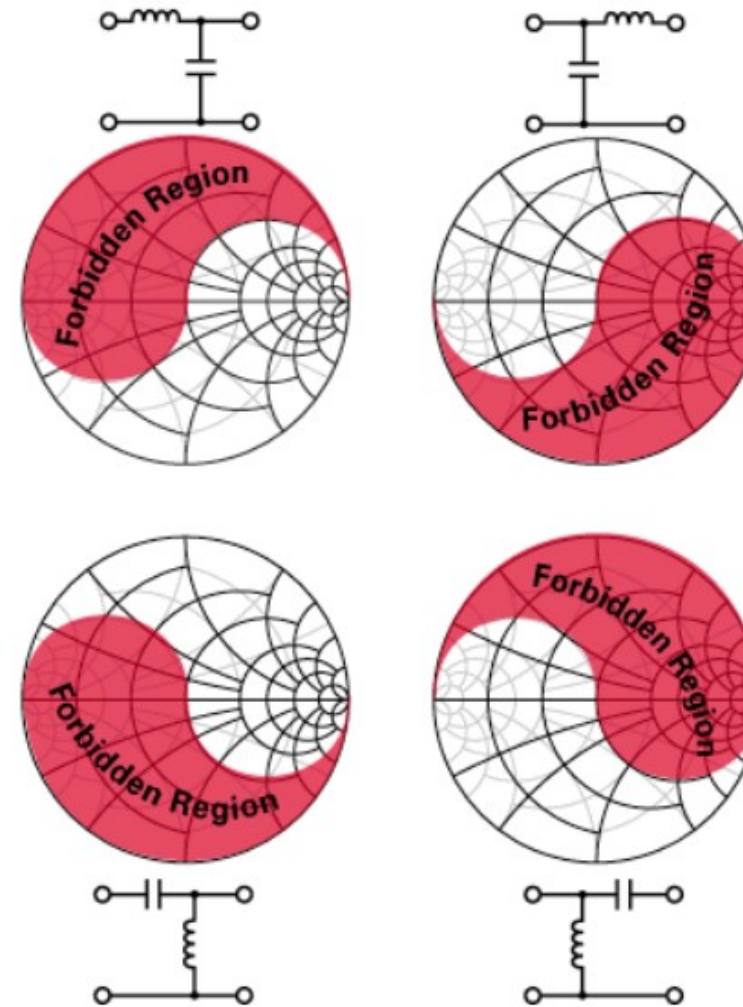
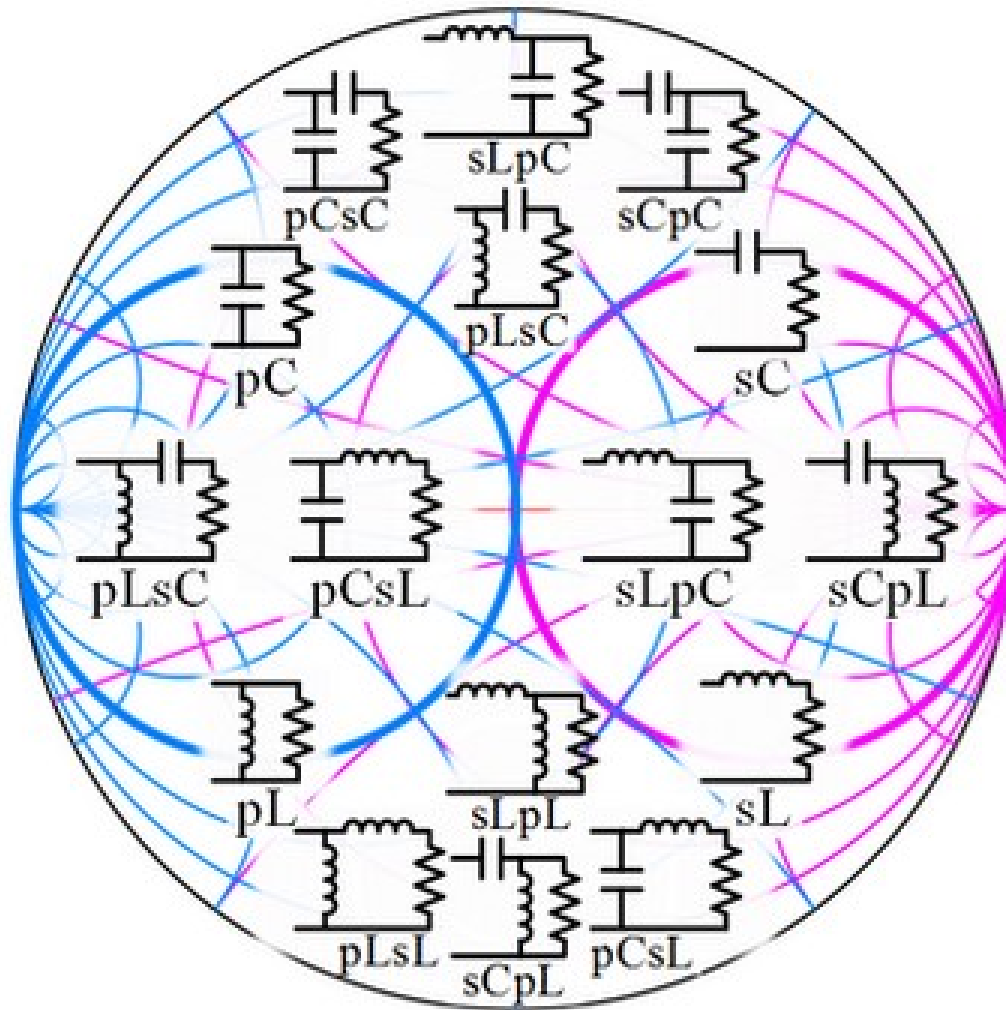
Kans op verwarring is groot

Niet makkelijk te onthouden



Nog meer matching plaatjes met twee componenten.

**BLIJF WEG** BIJ DIT SOORT PLAATJES, JE HEBT HIER NIETS AAN.



Sources:

[https://www.researchgate.net/publication/324837507\\_An\\_Ultrasonic\\_Through-Metal-Wall\\_Power\\_Transfer\\_System\\_with\\_Regulated\\_DC\\_Output](https://www.researchgate.net/publication/324837507_An_Ultrasonic_Through-Metal-Wall_Power_Transfer_System_with_Regulated_DC_Output)  
<http://home.sandiego.edu/~ekim/e412f04/e412lab06.pdf>



# Online hulpmiddelen

- Website RF mentor:  
Account aanmaken op  
<https://www.rfmentor.com>  
Daarna Smith Chart kiezen

**Laagdrempelig** en een aanrader om te oefenen/spelen en serie/parallel effecten van componenten blijvend te onthouden.

- Smith Chart software:



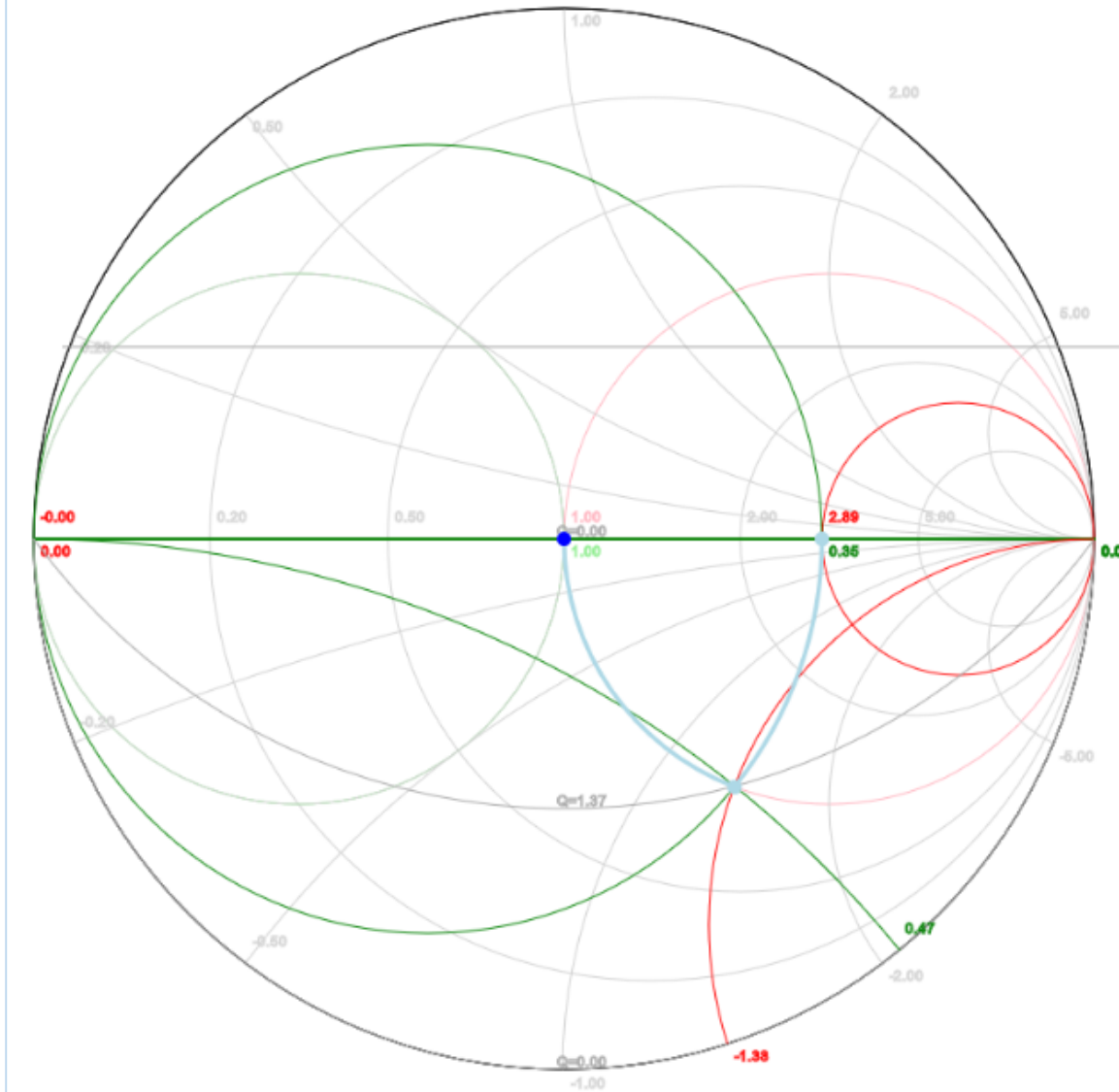
- SimSmith: [http://www.ae6ty.com/Smith\\_Charts.html](http://www.ae6ty.com/Smith_Charts.html)

(Van SimSmith is een prachtige serie tutorials op Youtube !!)

- Smith: <https://www.fritz.dellsperger.net/smith.html>
- PASAN: [http://www.science4all.nl/?Electronics\\_Pasan](http://www.science4all.nl/?Electronics_Pasan)

# Drag-n-Match Smith Chart Matching

[Add Circuit](#)
[Ser Cap](#)
[Ser Ind](#)
[Ser Res](#)
[Ser TL](#)
[Sht Cap](#)
[Sht Ind](#)
[Sht Res](#)
[Sht Short TL](#)
[Sht Open TL](#)
[Delete Item](#)

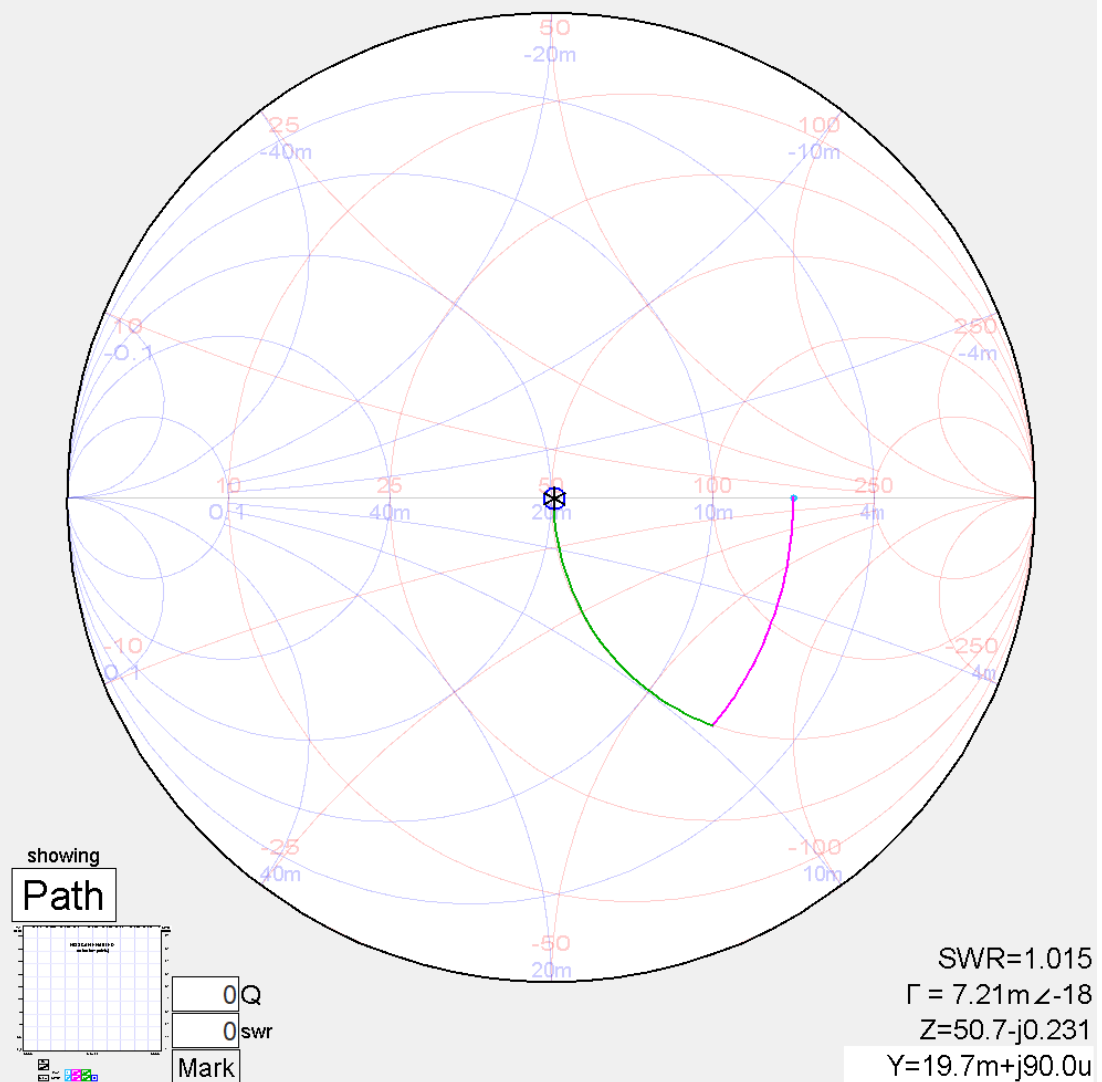
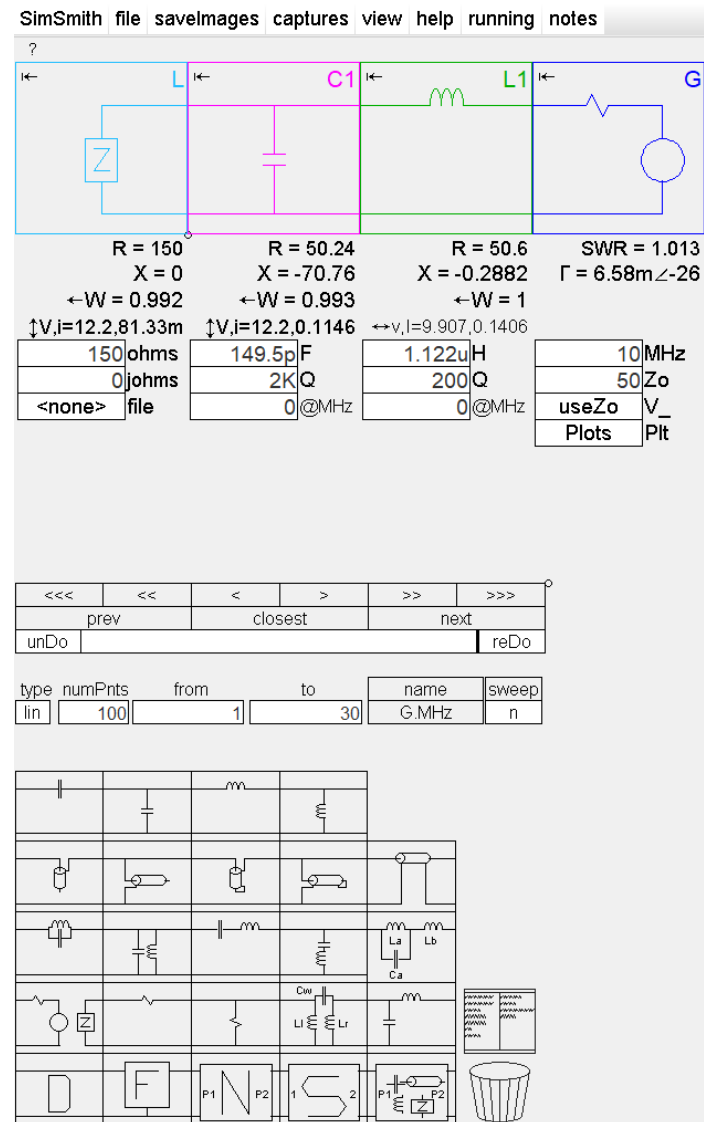


Element	Value	Gamma (mag,ang)	Impedance (r,jx)	Admittance (g,jb)
Starting Gamma	(0.49@ -0.00°)	(0.49@ -0.00°)	(2.89,j0.00)	(0.35,j0.00)
Shunt Capacitor	151.14 pF	(0.57@ -55.40°)	(1.00,j-1.38)	(0.35,j0.47)
Series Inductor	1095.87 nH	(0.00@ -0.00°)	(1.00,j-0.00)	(1.00,j0.00)

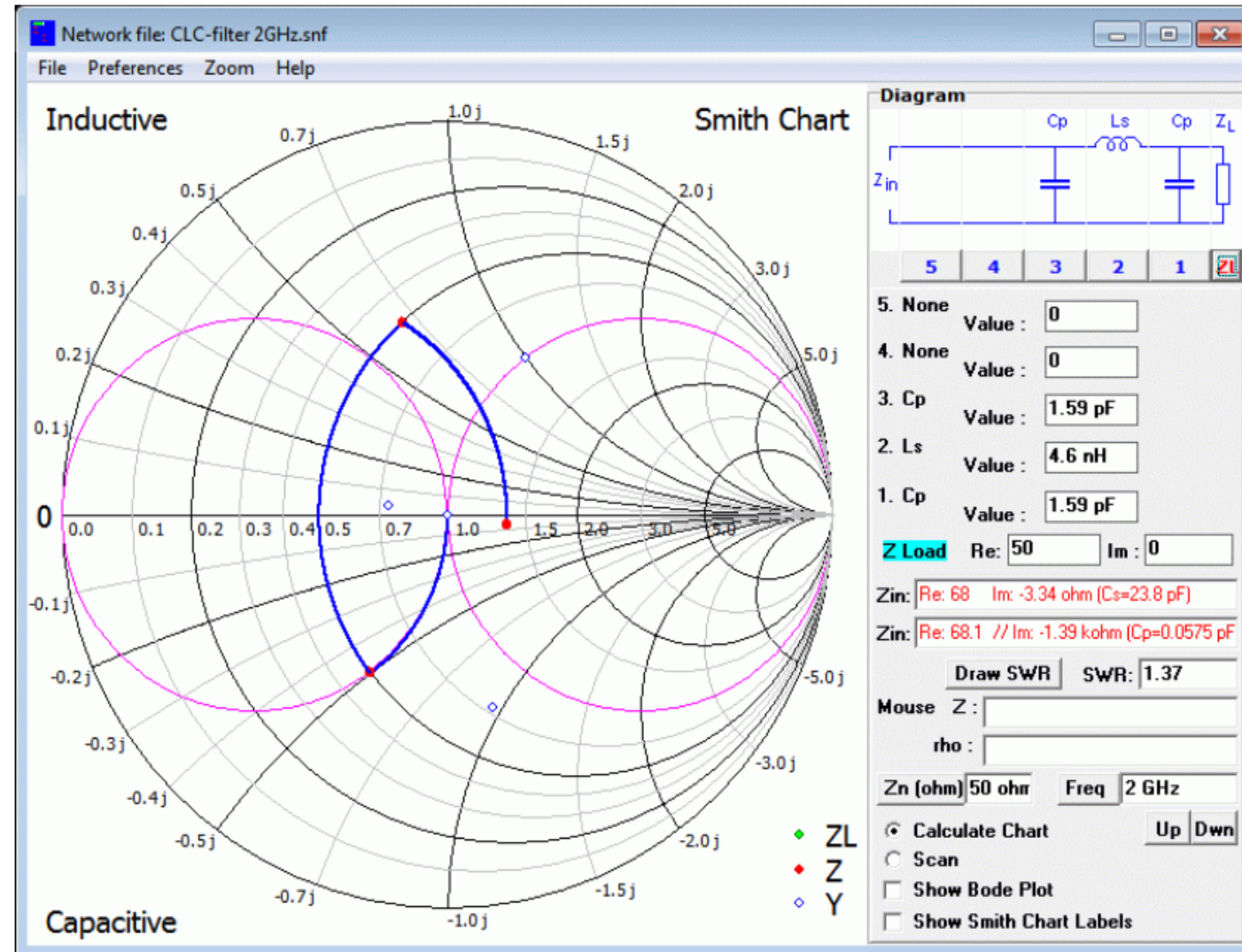
Subscription:

RF  
Mentor  
  
Smith  
Chart

# SimSmith



# Pasan



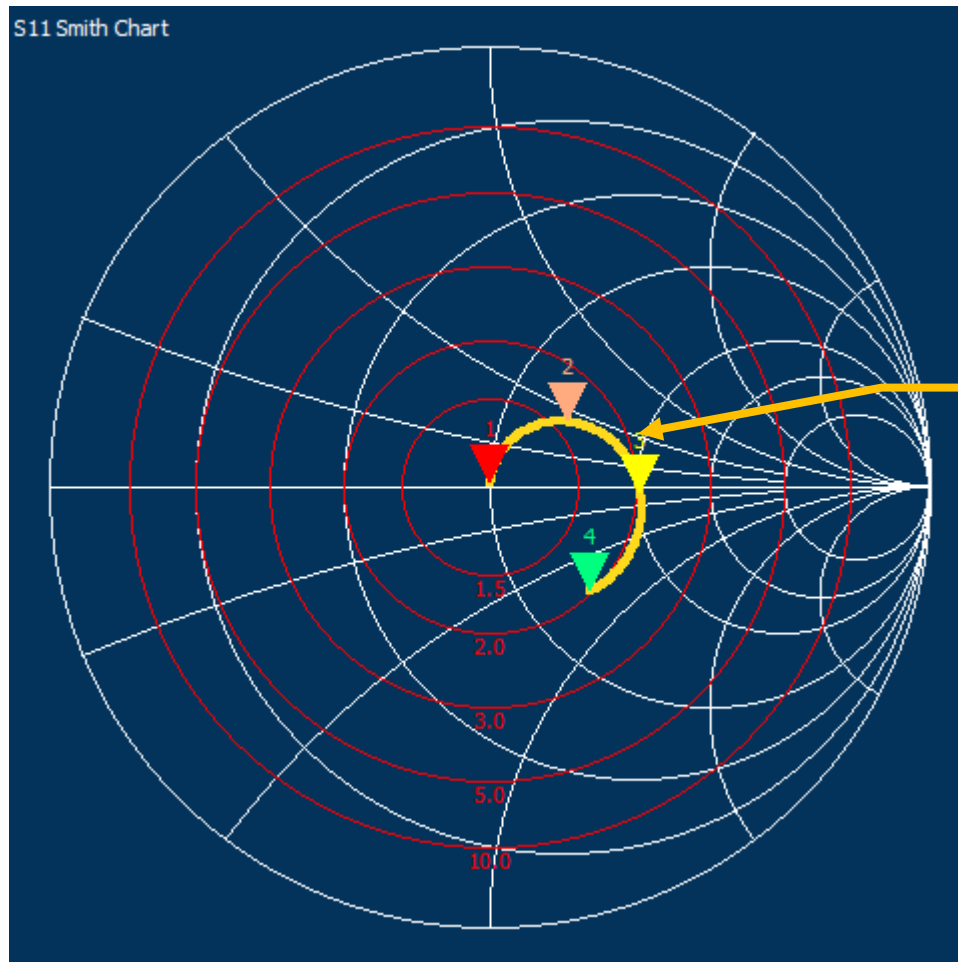
# Leuke special case:

Metten van een **50 ohm** weerstand voor frequenties 1 – 150 MHz

Gevalletje van verkeerde coaxkabel aangesloten...

- geen 50 ohm maar **75 ohm** tv coax,
- Ca. 40 cm lang

marker	Freq (MHz)
1	1
2	50
3	100
4	150



- In ideale geval *cirkelvormig* door punten 50 ohm en ca 112 ohm (1/4 golf trafo)
- Lengte variatie: op verschillende frequenties heeft de kabel een andere lengte in graden.
- Iets minder een cirkel door de niet zo ideale wereld
- Geen constante SWR varieert – oscilleert door de 75 ohm kabel

## OM MISVERSTANDEN TE VOORKOMEN.

- De Smith Chart is een plot van de gemeten Reflectie Coëfficiënt van een Load die is aangesloten op een transmissielijn. De Smith Chart Zo is de Zo van de transmissielijn, in amateurkringen meestal 50 ohm.
- De Reflectie Coëfficiënt is de VERHOUDING tussen **de spanningen** van gereflecteerde signaal van de Load ( $U_{refl}$ ) en het signaal van de zender dat naar die Load is gestuurd ( $U_{fwd}$ ).  
Deze wordt in formules 'Gamma' (Griekse hoofdletter  $\Gamma$ ) genoemd  
en is gelijk aan  $U_{refl} / U_{fwd}$ .  
De fasehoek in de chart is het gemeten fase verschil tussen de  $U_{refl}$  en  $U_{fwd}$ .
- Voor de impedantie cirkels die over de reflectie in de Smith Chart zijn getekend:  
dit zijn de reflectie veroorzakende impedantiewaarden  $R+jX$  voor ieder reflectiepunt in de Smith Chart.

Het is nog maar even benadrukt:

De hoekverdraaiing van de reflectie coëfficiënt in de Smith Chart (verschil tussen twee spanningen) is een andere dan de hoekverdraaiing tussen spanning en stroom door gemeten  $R+jX$ .

## SWR gerelateerde formules

Wat een feest ☺ !

$$SWR = \frac{|V_{\max}|}{|V_{\min}|} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$$SWR = \frac{R_L}{R_0} \text{ or } \frac{R_0}{R_L}$$

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

satoms.com

Where:

$$VSWR = (1 + 10^{RL/20}) / (10^{RL/20} - 1)$$

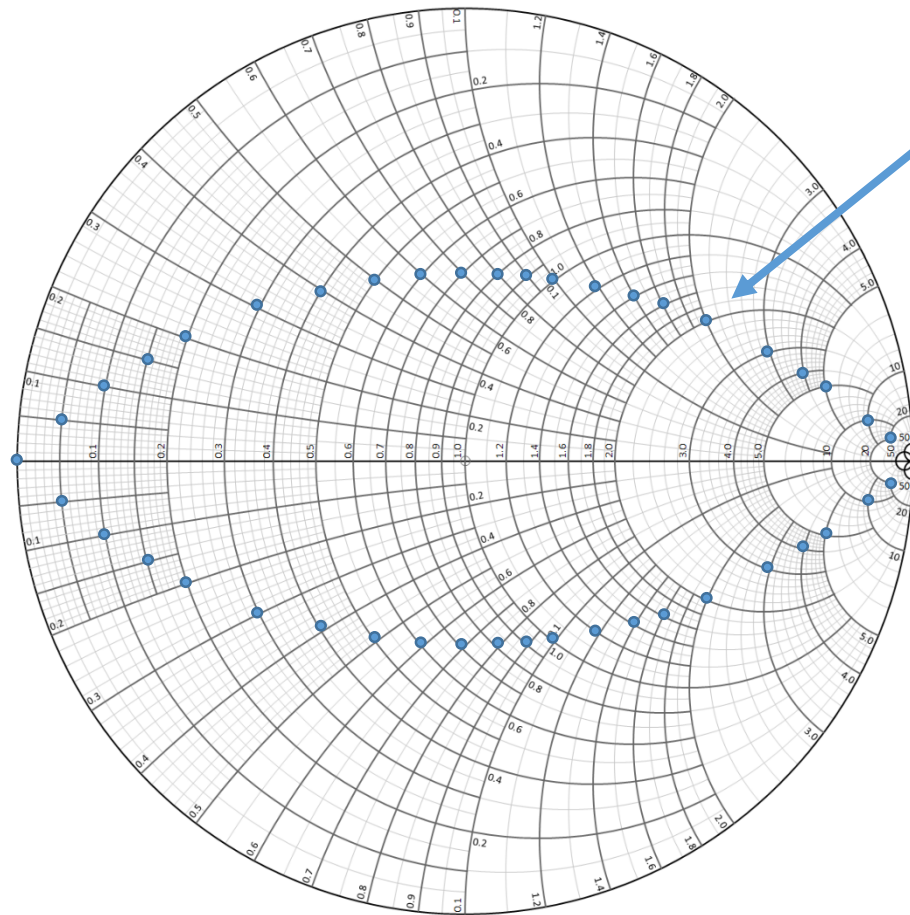
$R_0$  = line impedance

$R_L$  = load resistance

$$SWR = \frac{1 + \sqrt{P_r/P_f}}{1 - \sqrt{P_r/P_f}}.$$

Interessant voor een amateur:  
Over welke bandbreedte werkt de aanpassing nog goed?

- De Q-cirkels in de Smith Chart van 0 tot veel → de plaatsen waar  $X/R = \text{constant}$



- Getekend:  $Q = 1$ , dus  $|X| = R$  in de Smith Chart
- Je kunt ze (laten) plotten voor alle verschillende waarden van Q. Ook dit zijn trouwens weer delen van cirkels.

Op te merken:

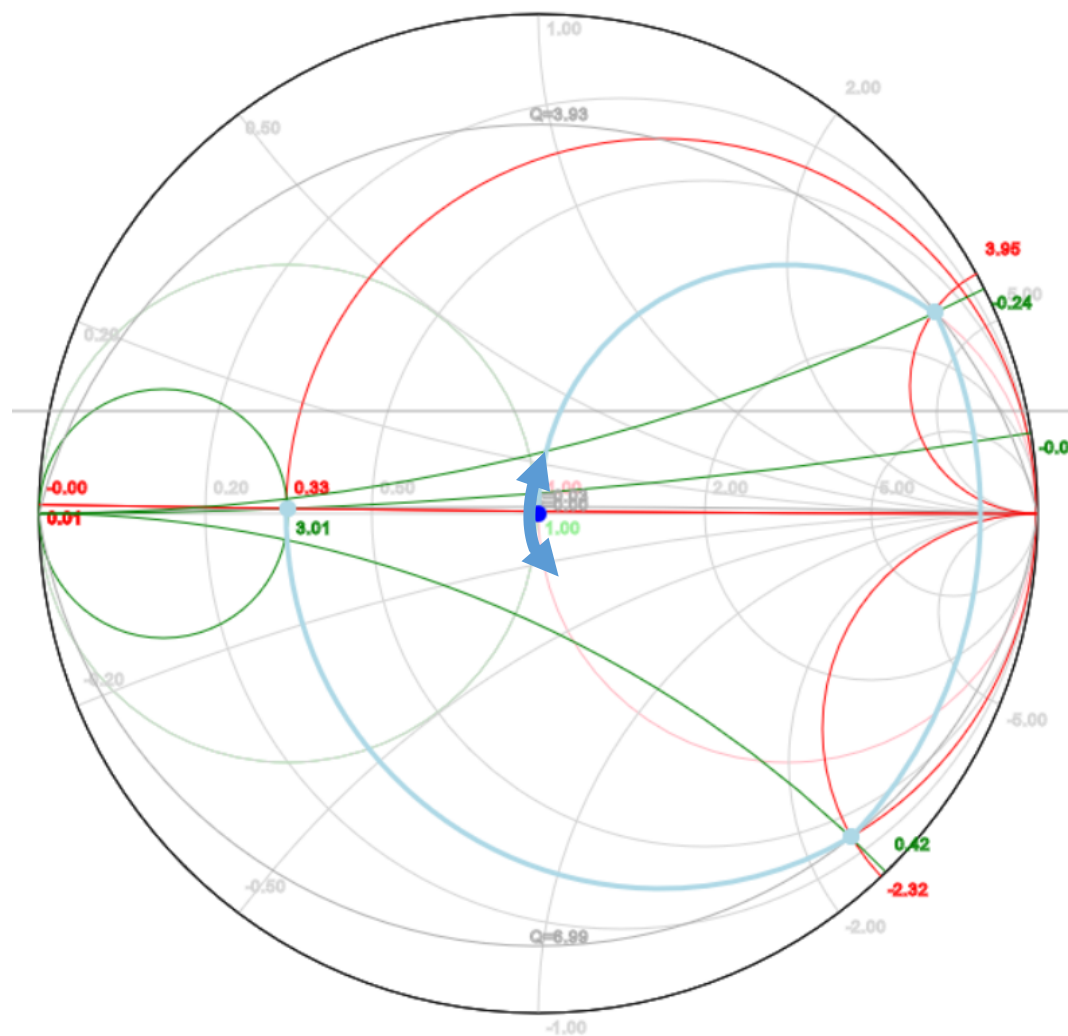
- Deze Q in de Smith Chart is NIET simpel de Q van een LC-kring
- Het is hier een hulpmiddel voor de bandbreedte van de aanpassing
- Deze bandbreedte wordt in grote mate bepaald door de impedanties aan beide zijden van de tuner en de 'plekken die je aan doet' bij het matchen.



## Twee voorbeelden met t-tuner C-L-C: $16 \rightarrow 50$ ohm

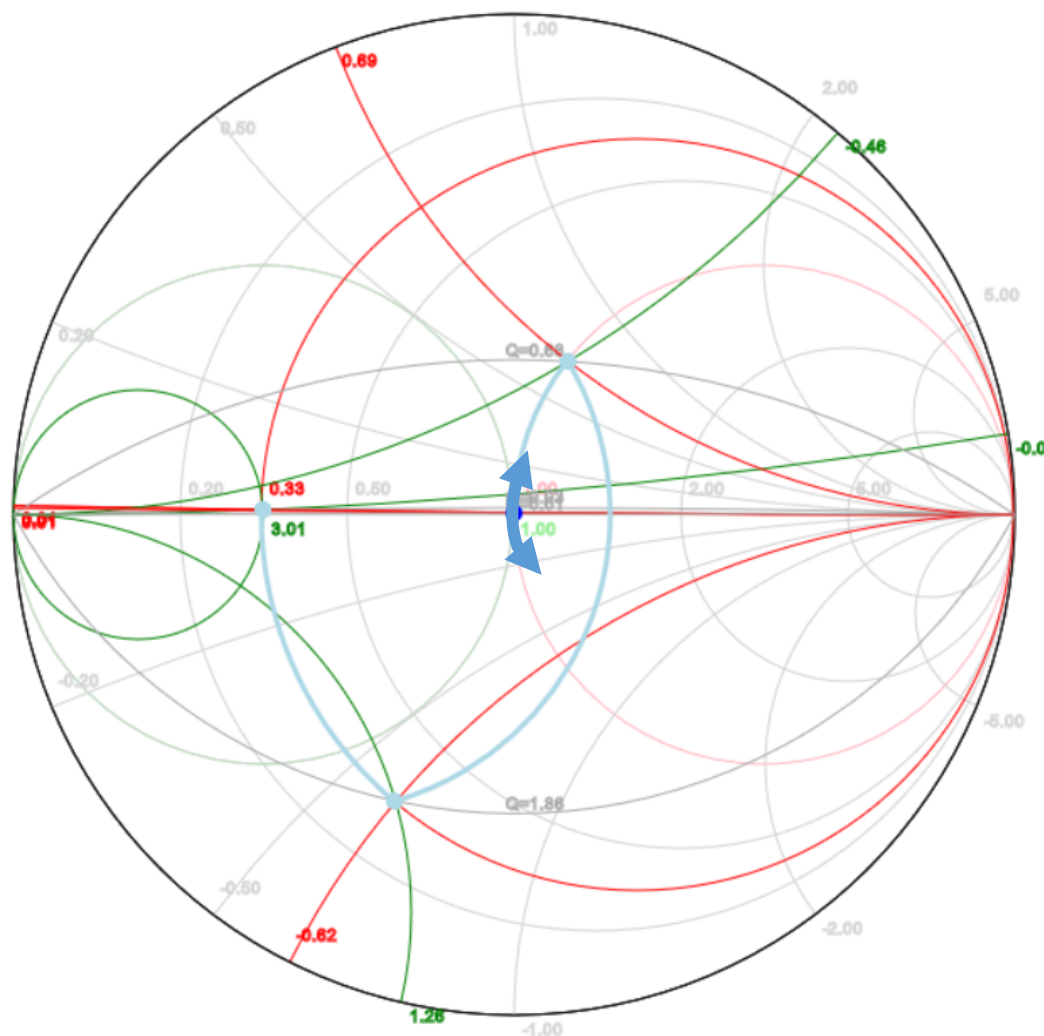
Geval 1: tunen langs de 'buitenkant'

Laatste C waarde: 80pF, pijltje geeft variatie aan van ca. 8 pF. Afstemming is erg 'touchy'



Geval 2: tunen dichterbij het 'midden'

Laatste C waarde: 450pF, pijltje geeft aan variatie aan van ca. 300 pF



Meer info over metingen met de nanoVNA:

<https://pa3a.nl/nanovna-metingen-and-smith-chart-articles/>

## Bronnen:

Plaatjes van de Smith Chart:

<http://certifytech.tripod.com/references/electronic/electronics/impedance.html>

[https://www.researchgate.net/publication/324837507\\_An\\_Ultrasonic\\_Through-Metal-Wall\\_Power\\_Transfer\\_System\\_with\\_Regulated\\_DC\\_Output](https://www.researchgate.net/publication/324837507_An_Ultrasonic_Through-Metal-Wall_Power_Transfer_System_with_Regulated_DC_Output)

<http://www.excelhero.com/blog/2010/08/excel-high-precision-engineering-chart-1.html>

<http://home.sandiego.edu/~ekim/e412f04/e412lab06.pdf>

Informatie:

<https://Smithchart.org>

Software, tevens plaatjes van de Smith Chart:

<https://www.fritz.dellsperger.net/smith.html> (Smith V4.1 , trial versie)

<https://github.com/mihtjel/nanovna-saver/releases> (nanoVNAsaver v0.2.1)