

Smith Chart Booster

Een herhaal lezing over de Smith Chart

10 april 2022

Arie Kleingeld
PA3A



Smith Chart Booster

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/>

VSWR

Reflectie

Smith&ZL

Coax

PAUZE

Admittantie

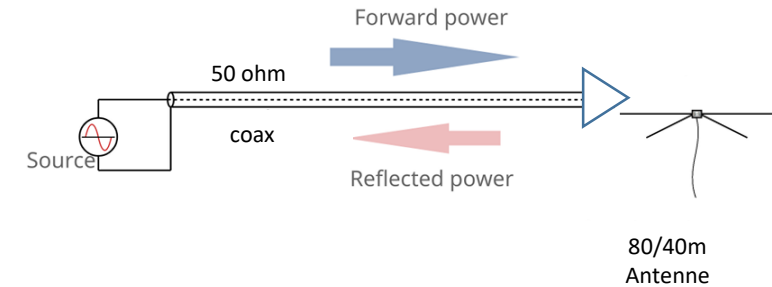
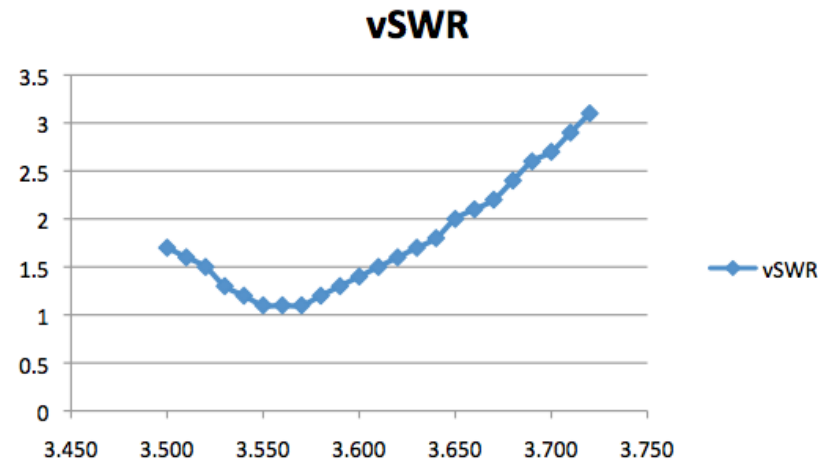
Tuners

Demo L

software

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)

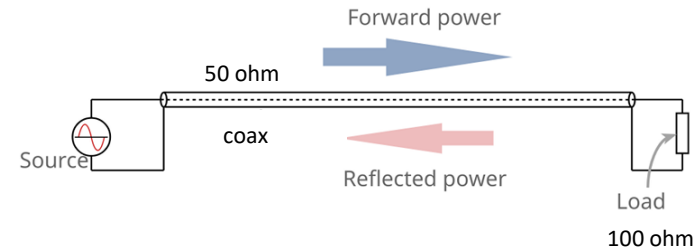
SWR en Reflectie horen bij elkaar

- De bekendste formule:

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

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

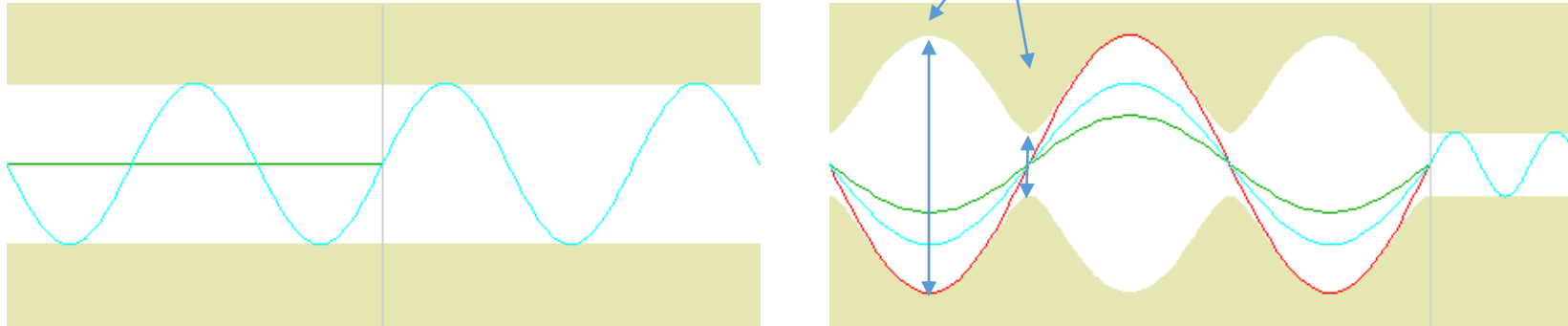
Welke andere Z_{load} (naast 100 ohm) geeft b.v. ook $SWR = 2$? $Z_{load} = ??$



- $SWR = 1 : 1$ >> % reflectie = ??
- $SWR = 1 : oneindig$ >> % reflectie = ??
- $SWR = 1 : 3$ >> % 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_{SWR}**)

Reflecties

De SGV is de verhouding tussen deze twee amplituden



SWR gaat over REFLECTIES dus

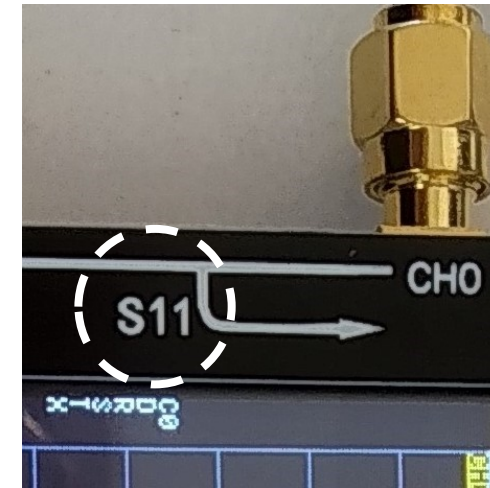
- Er bestaat de zgn. **Reflectie coëfficiënt RC** (of ook wel 'S₁₁')

Dit is het **percentage reflecteerde spanning** als gevolg van misaanpassing en volgt o.a. uit het (relatief onbekende) verband tussen reflectie en Z_L:

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

Z_L = Load impedantie

Z₀ = 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)

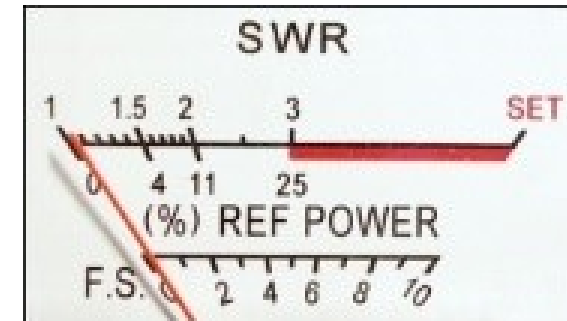
Open coax ($Z_L = 100.000$, oneindig veel): $RC = 99.950 / 100.050 \approx 1$
d.w.z. $RC = \mathbf{100\% \text{ reflectie in fase}}$

- 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



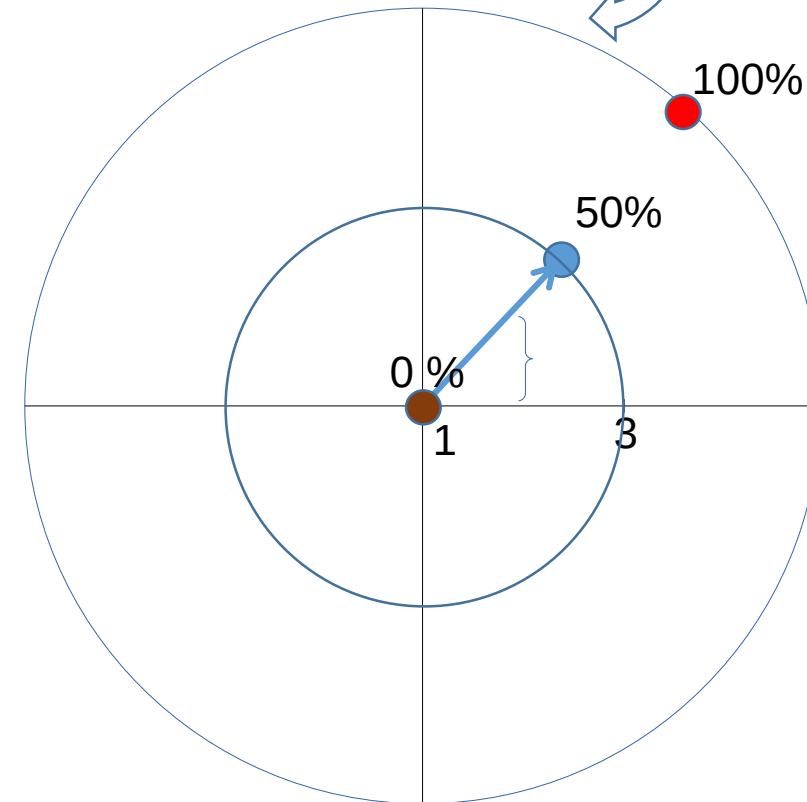
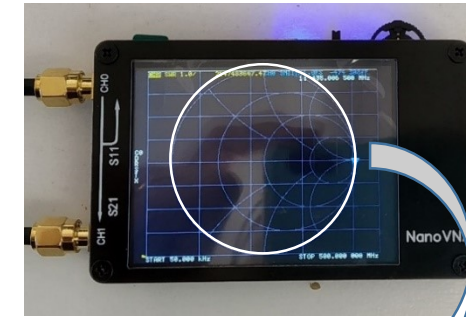
Smith Chart: dat gaat over *reflecties*

- 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 rechtsonder 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_{Load} 's omgezet (reëel en complex) naar een reflectiepercentage plus hoekverdraaiing uit de reeds genoemde formule

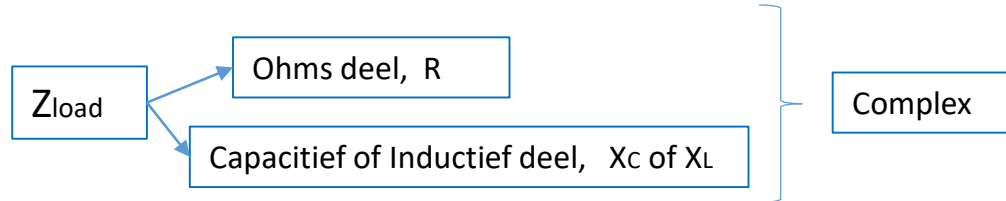
$$RC = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

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 $\rightarrow -j 10 \text{ ohm}$

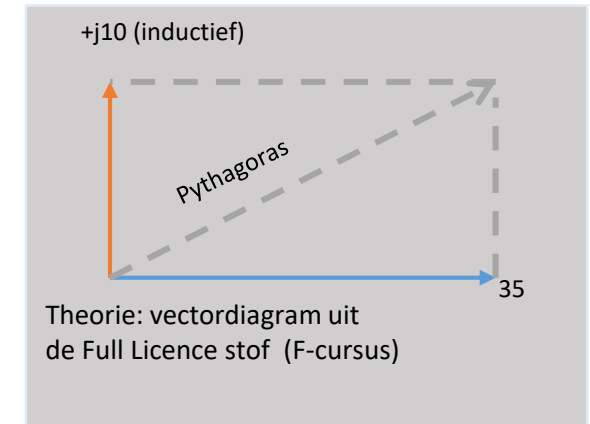
Antenne met impedantie: $35 + j 10 \text{ ohm}$
 35 ohm heet 'Reële' deel, $j10 \text{ ohm}$ 'Imaginaire' deel

- 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 ohm $\rightarrow$ Smith Chart : 2 ohm

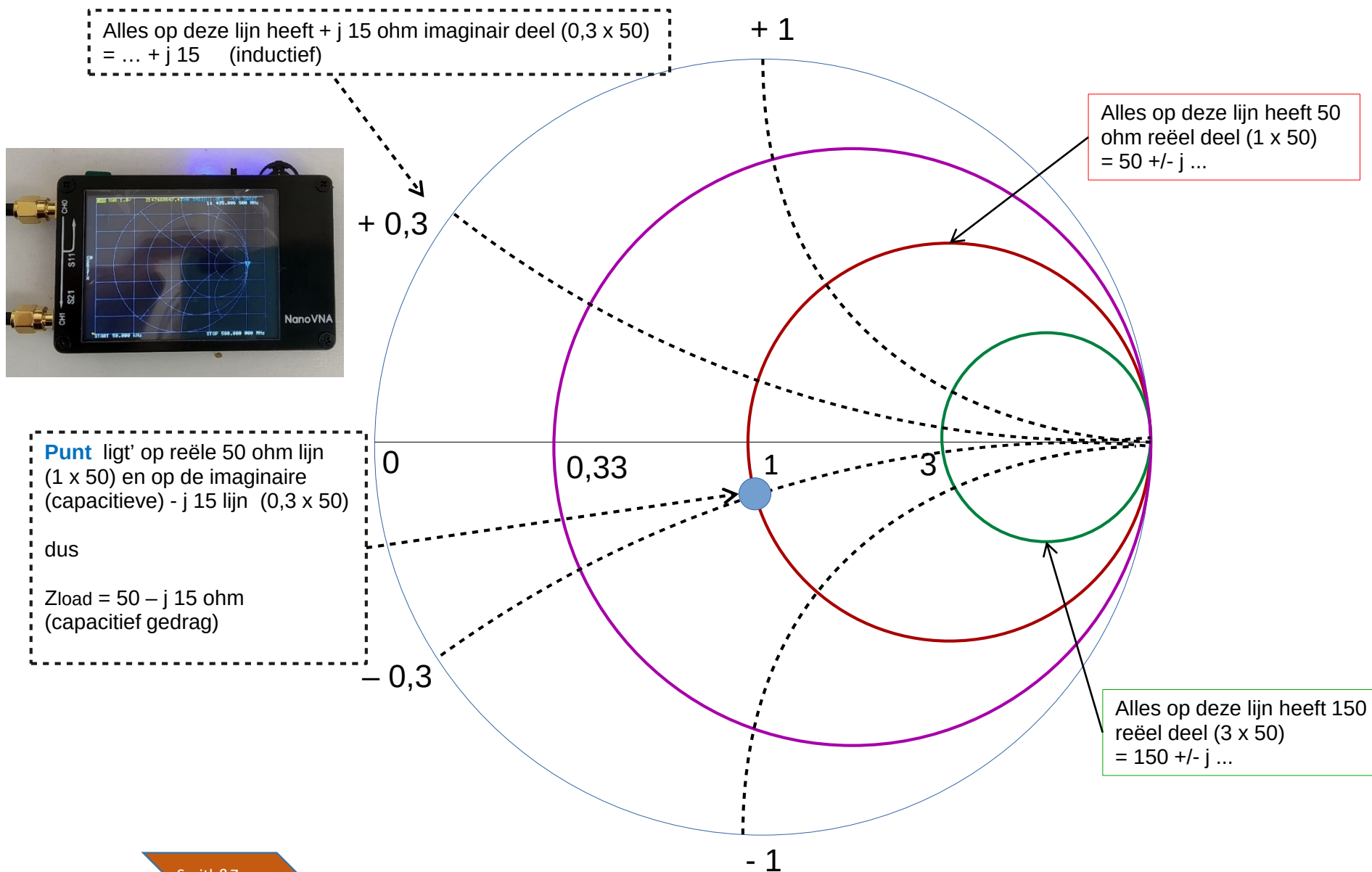
Oefening:

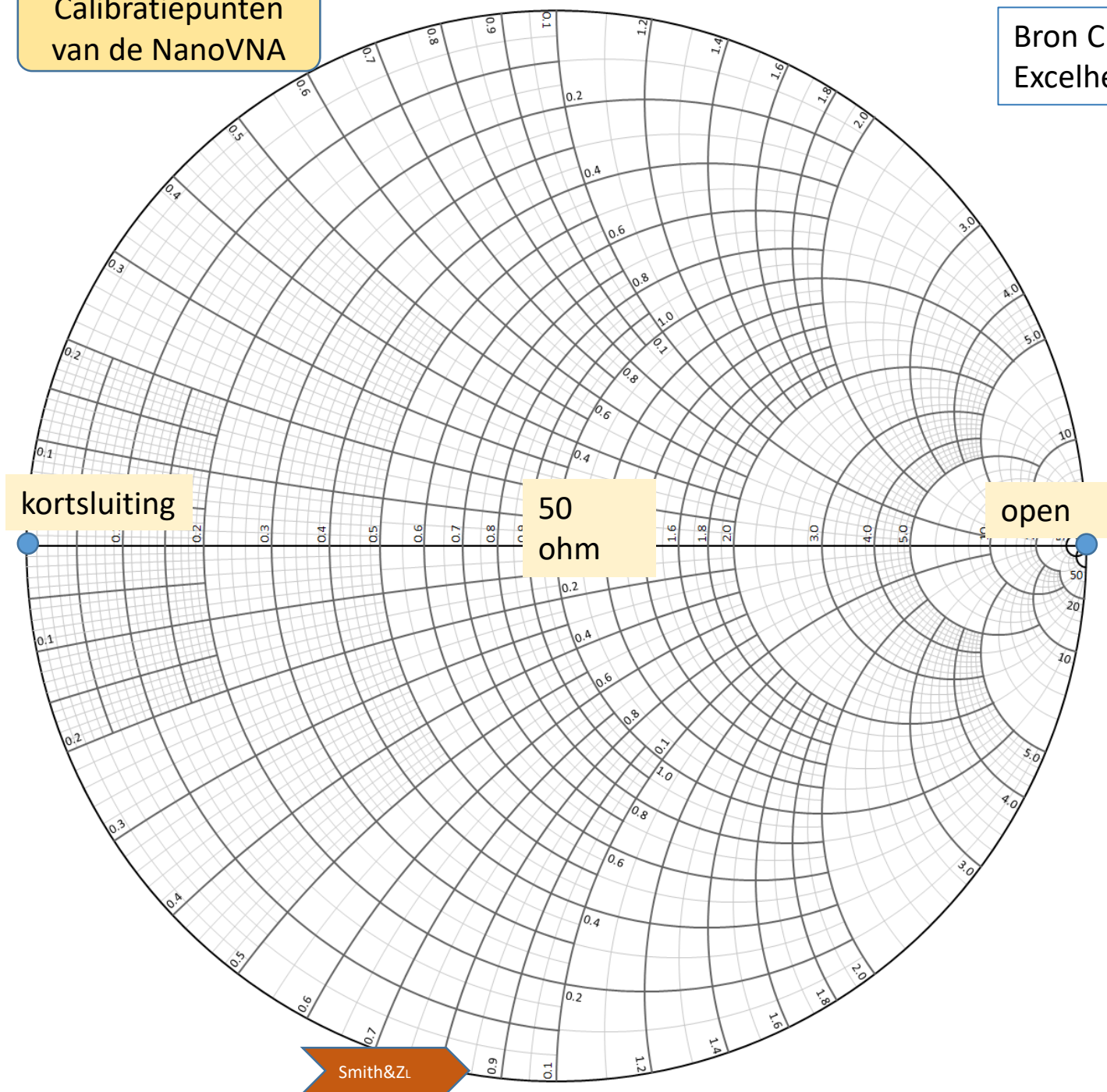
- dus $300 - j 100 \text{ ohm}$ is dan ... - j ohm in de Smith Chart
- Is dit capacitief of inductief?

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



De Z_{load} plotten op de Smith Chart





De Smith Chart

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

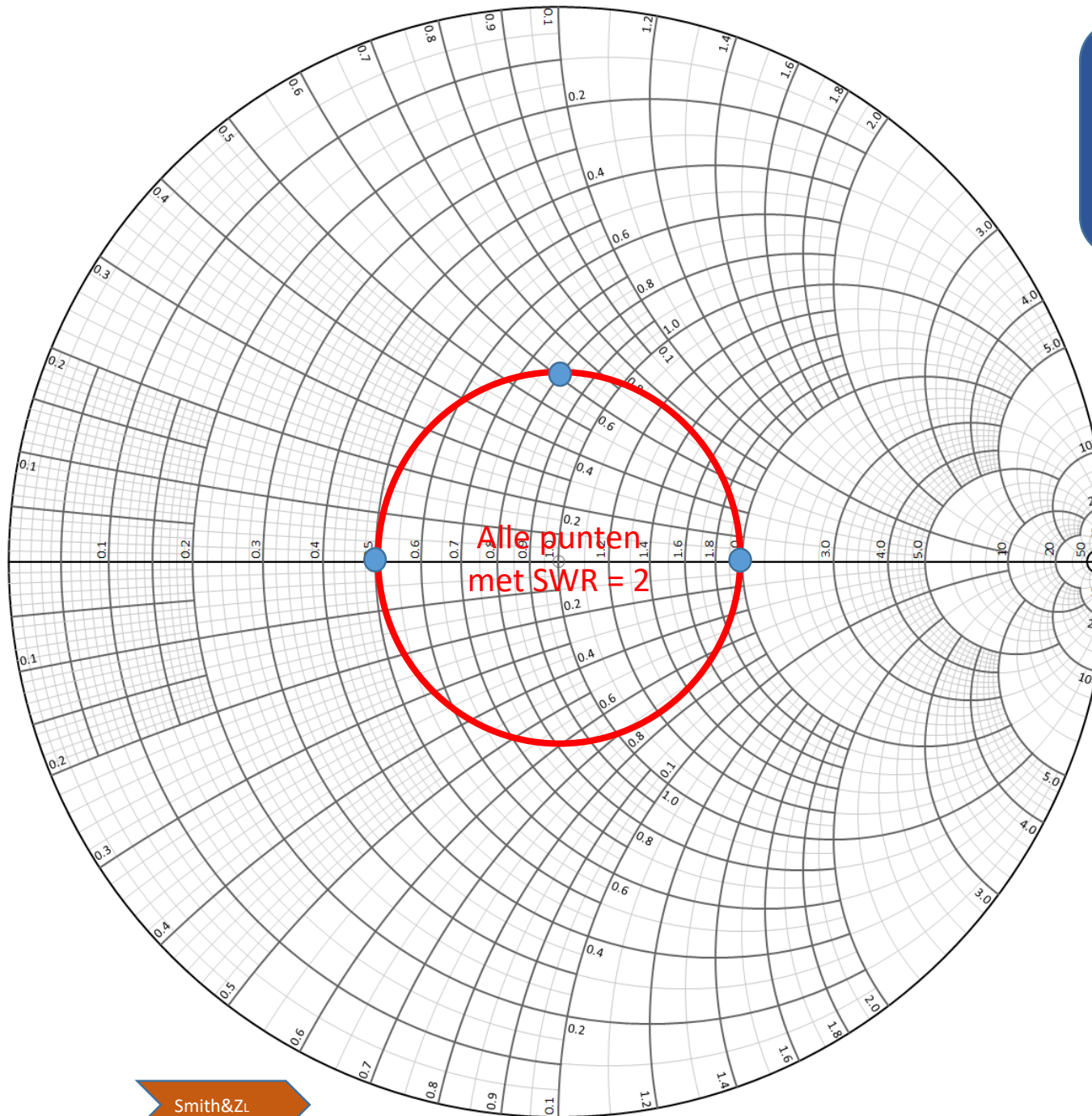
De rest komt nog...

Je kunt in ieder geval allerlei impedanties inplotten zoals:

De 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

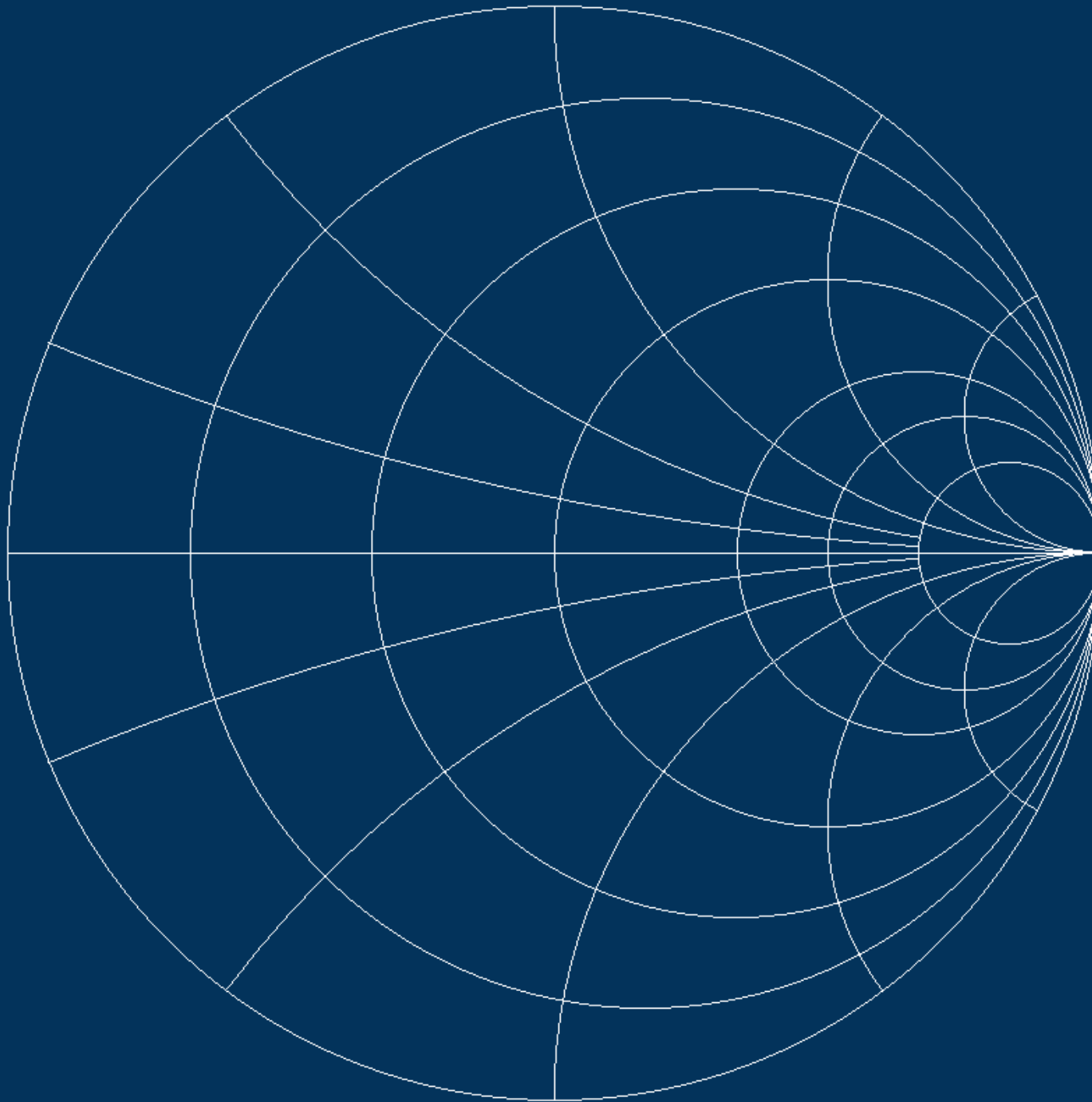
Er zijn dus heel veel
punten met SWR = 2,
maar nu zie je ook
meteen of het een echt
ohms punt is of dat er
capaciteit / inductiviteit
bij zit.

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

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

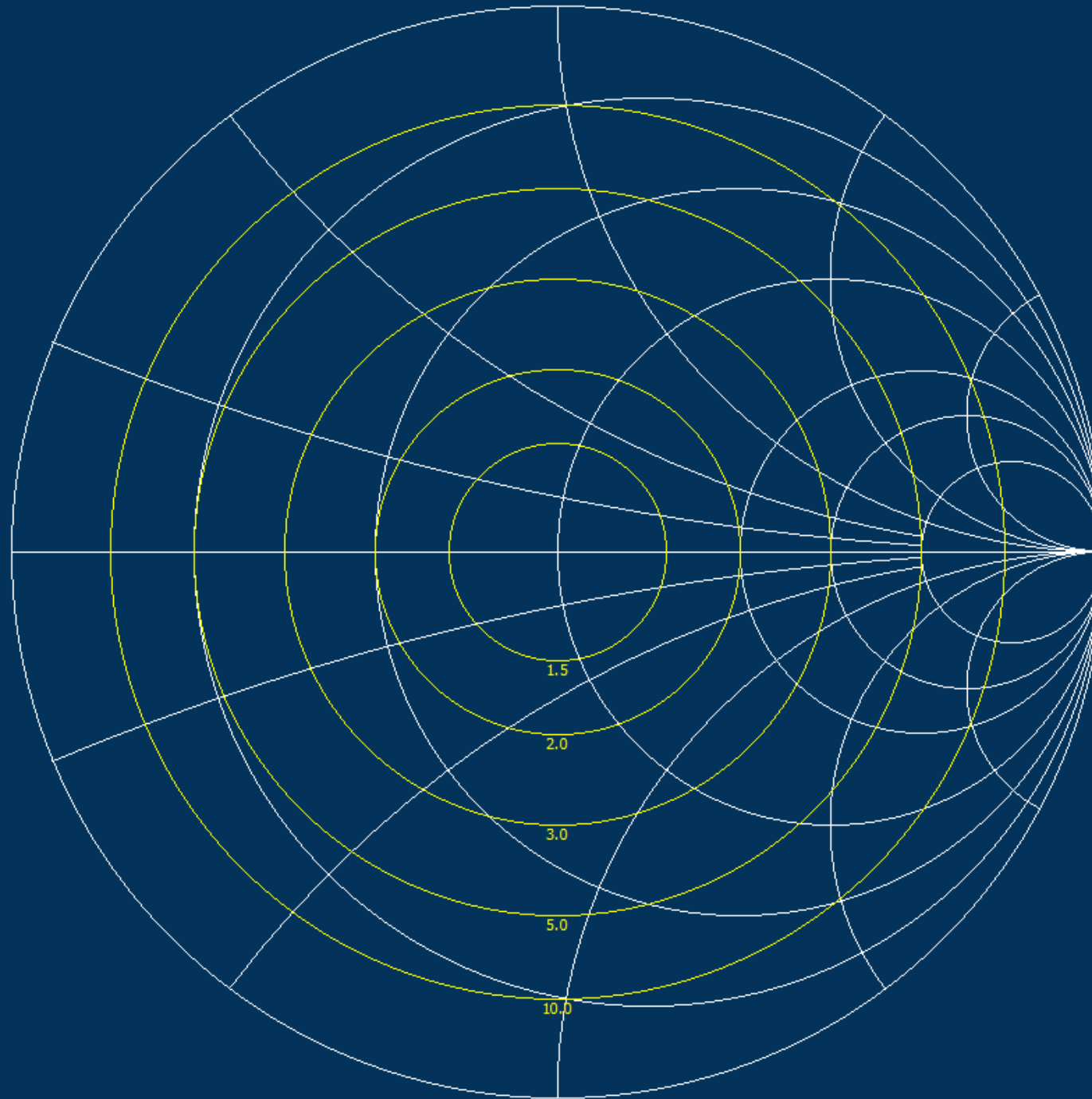
Smith Chart uit
Nanosaver software

S11 Smith Chart

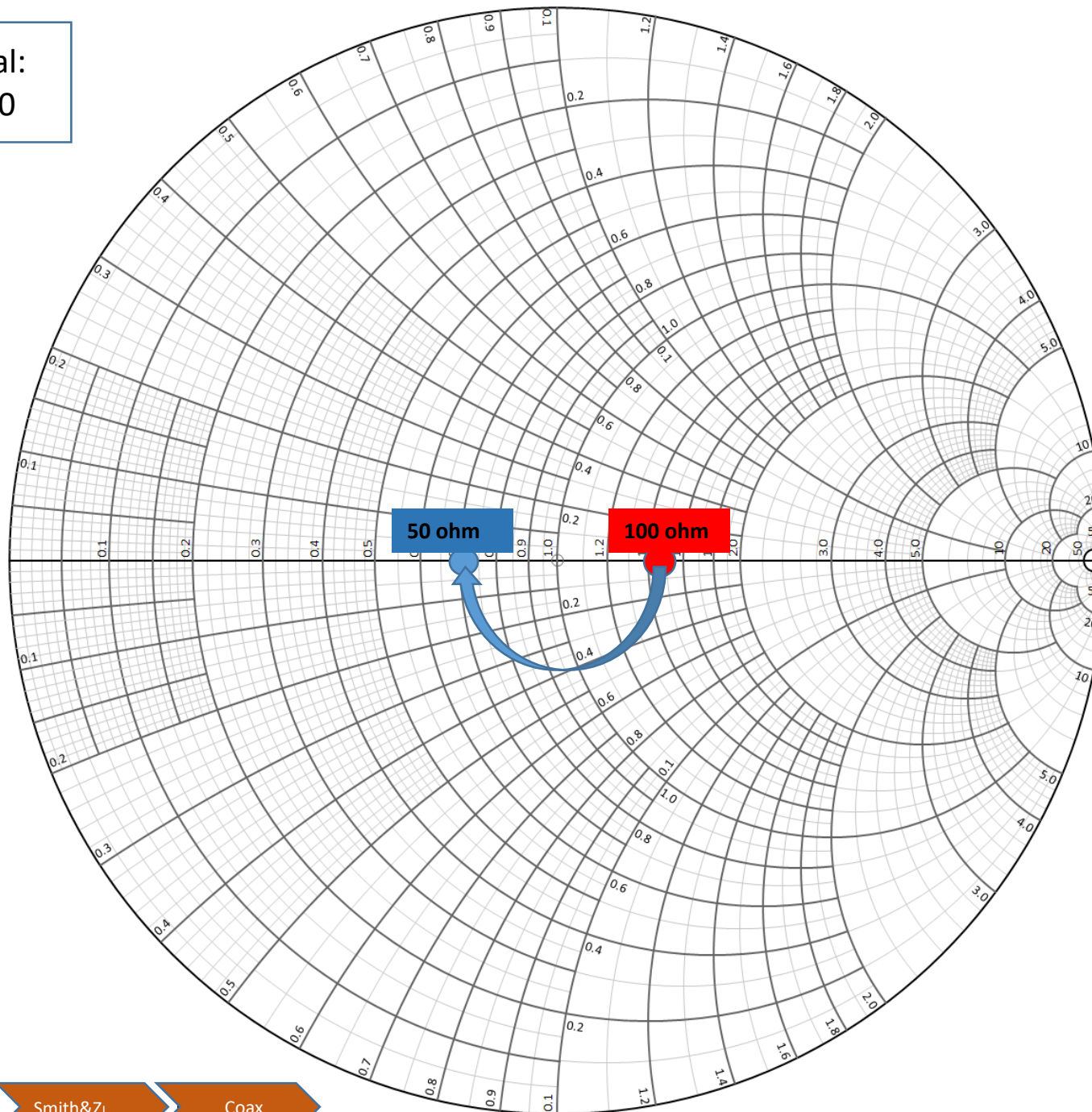


Smith Chart uit
Nanosaver software

SWR cirkels
toegevoegd



Schaal:
1 : 70



Smith&ZL

Coax

Smith Chart en de kwart golf transformator:

RF
Seminar

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:

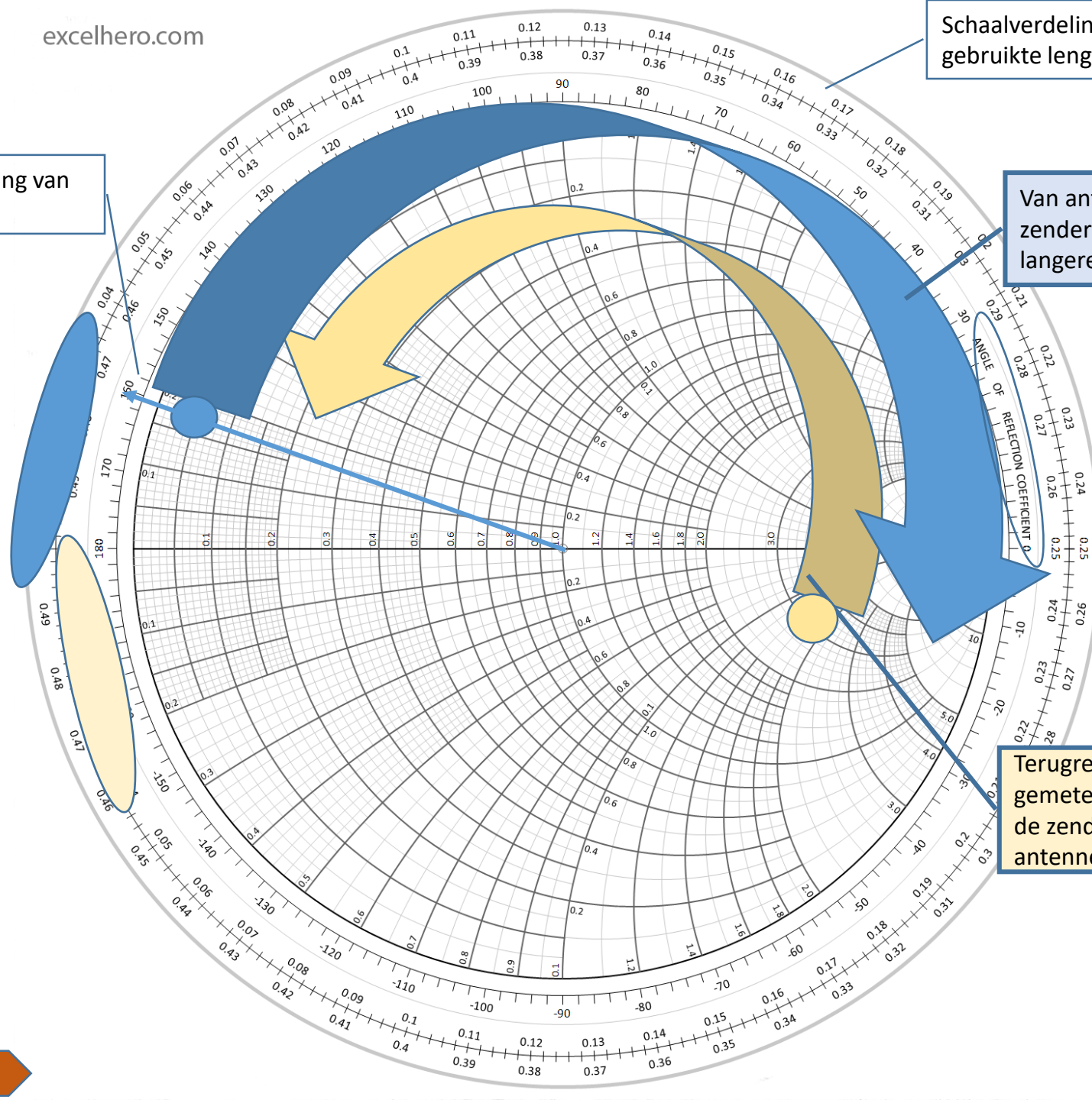
- Systeem is 70 ohm
- SWR in beide punten is gelijk
- Halve slag draaien (180 graden) om punt 1.0 (70 ohm) is een kwart golf afstand (nl. 90 graden heen en 90 graden terug in de transmissielijn)
- Let op: Na een halve golf (180° heen plus 180° terug = 360° vertraging van de reflectie = één heel rondje) 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 natuurlijk!)

Hoek verdraaiing van
de reflectie

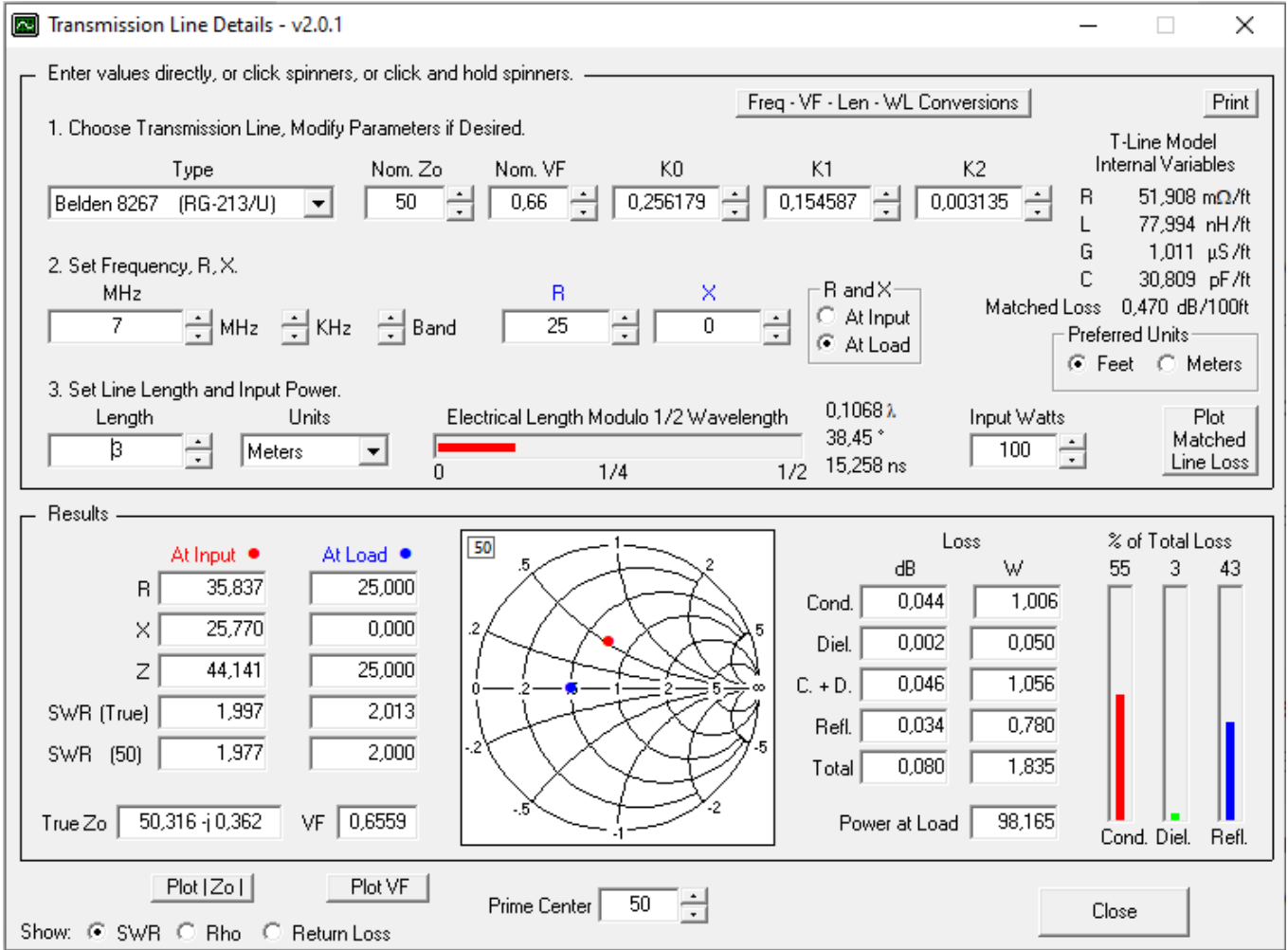
Schaalverdeling voor
gebruikte lengte coax

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>)



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 ...niet al te breed
- 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



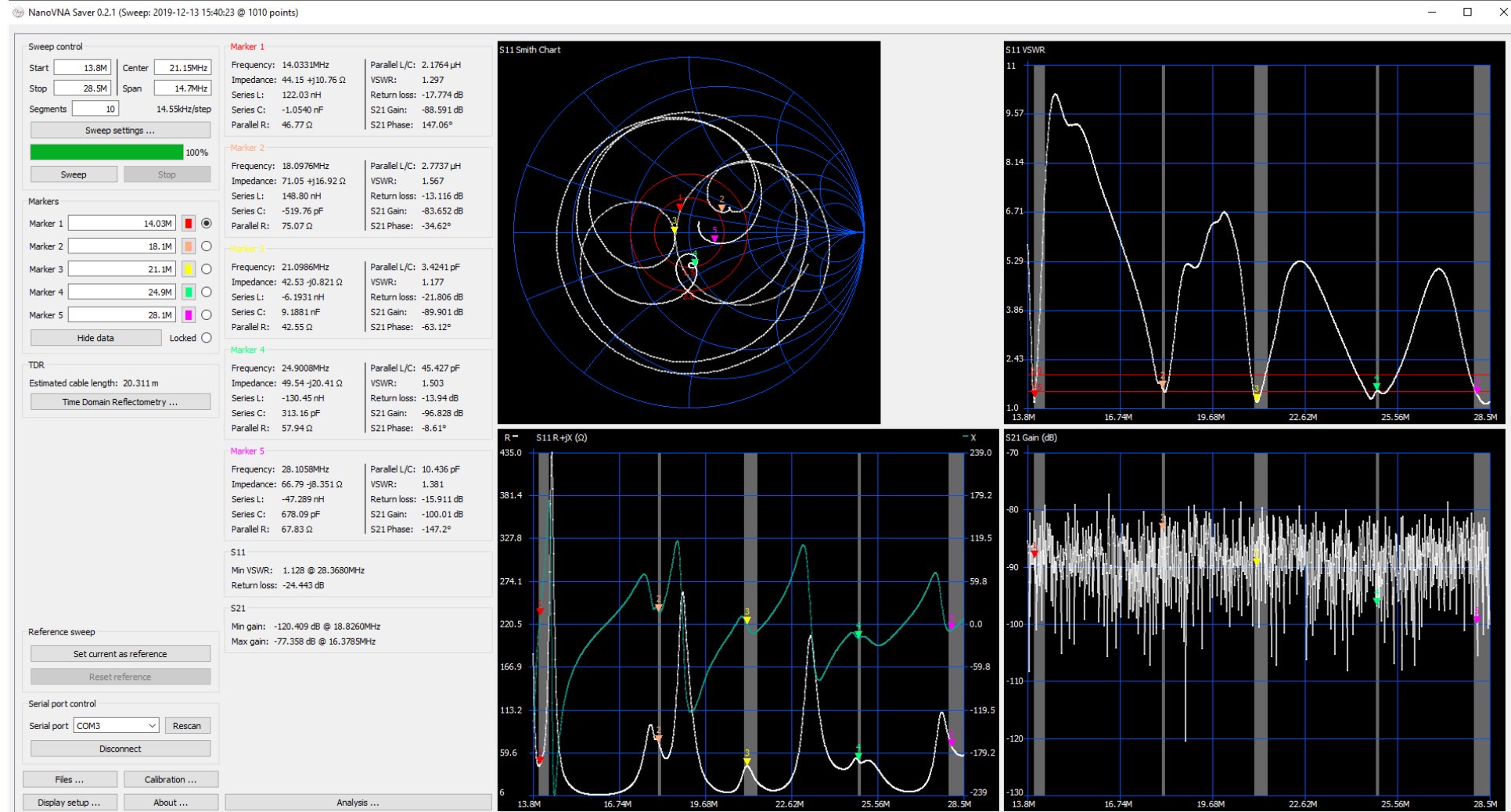
DEMO

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



sidestep

Screenshot NanoVNA Saver: 5 banden antenne MA5B @PA3A Markers in de diverse amateurbanden. (Software nanoVNA saver 0.2.1)



Uitvergroting op de volgende slides

sidestep

MA5B sweep

'Smith Chart **waan**zin'



Markers

Marker 1	14.03M	☐	☐
Marker 2	18.1M	☐	☐
Marker 3	21.1M	☐	☐
Marker 4	24.9M	☐	☐
Marker 5	28.1M	☐	☒

Sweep control

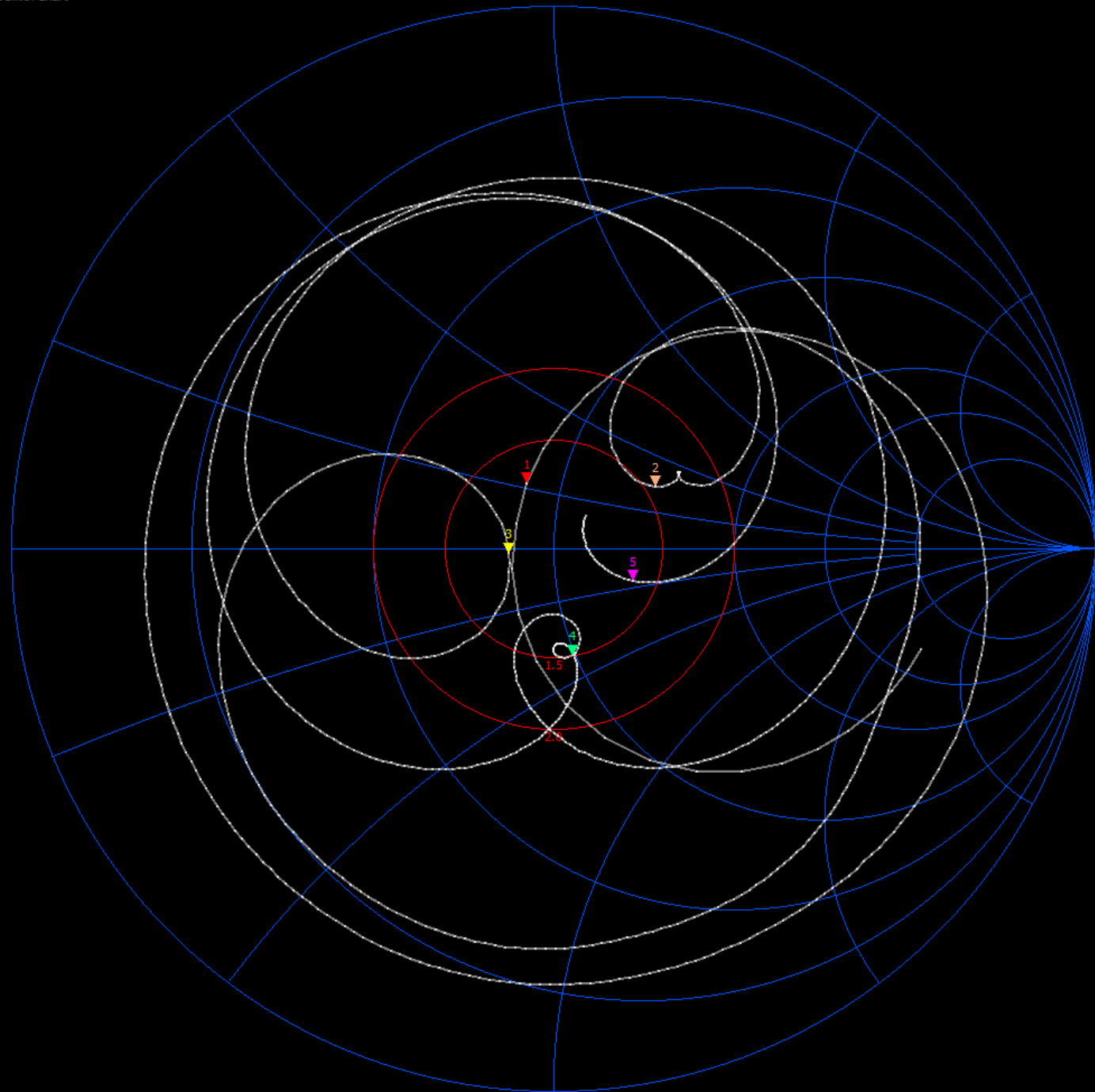
Start

Stop

Segments 14.55kHz/step

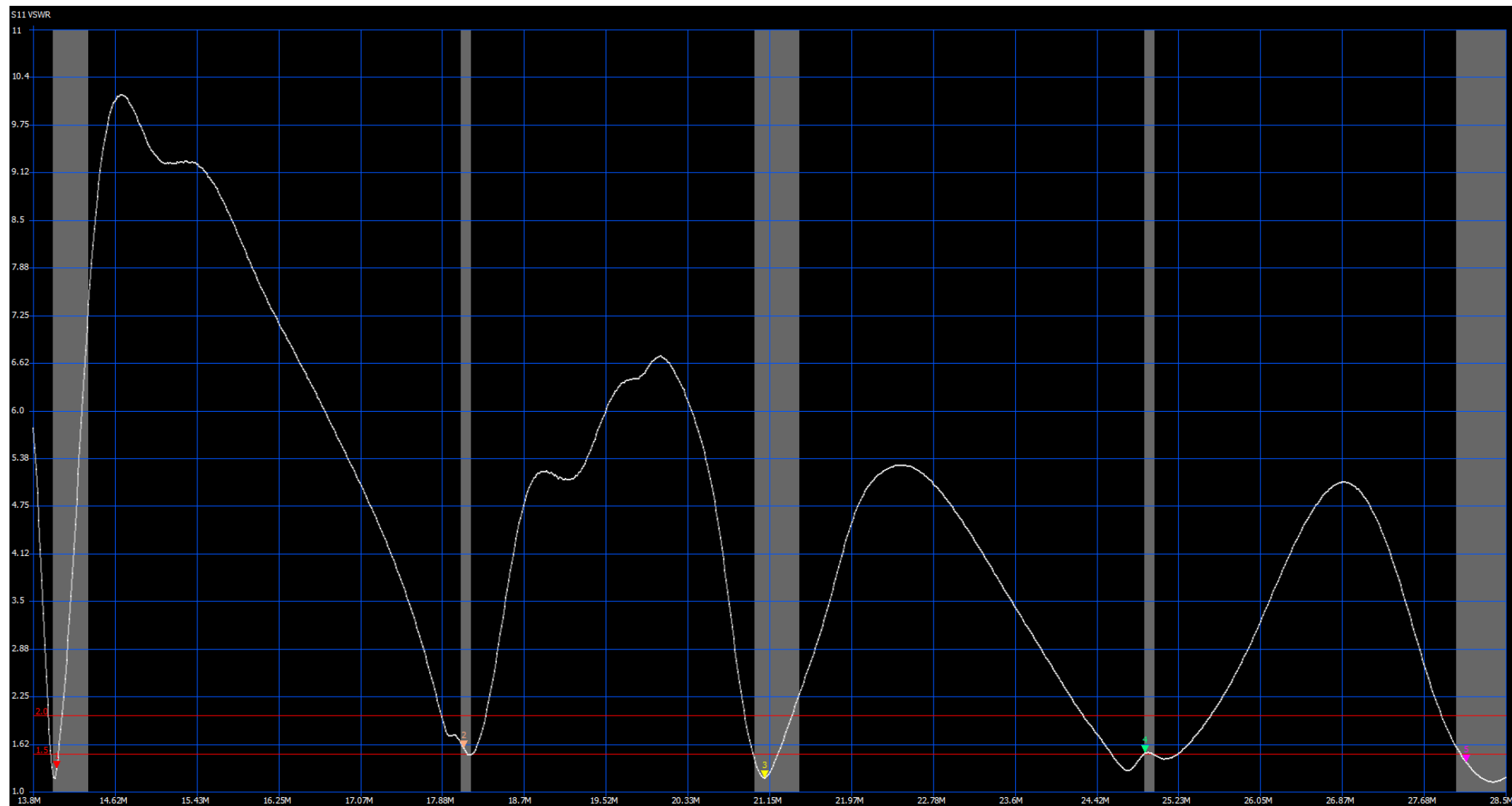
sidestep

S11 Smith Chart



MA5B VSWR

Zendamateur 'common sense'



sidestep

Wie was Smith

Phillip Hagar Smith

Lexington, Massachusetts

1905 – 1987

Elektrotechnisch ingenieur bij Bell Telephone Laboratories



Bron: Smithchart.org

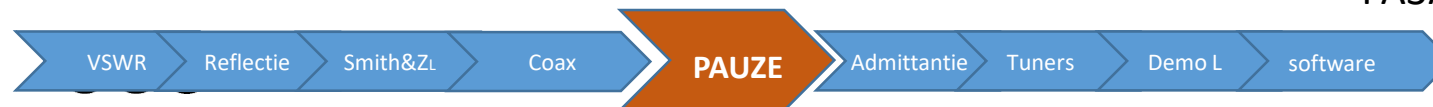
1939: Een kaart gemaakt (Smith Chart) gemaakt als een soort ***rekenliniaal*** voor het omrekenen van de complexe parameters van een transmissielijn, de reflectiecoëfficiënt en impedanties.

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

Arie Kleingeld
PA3A



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

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

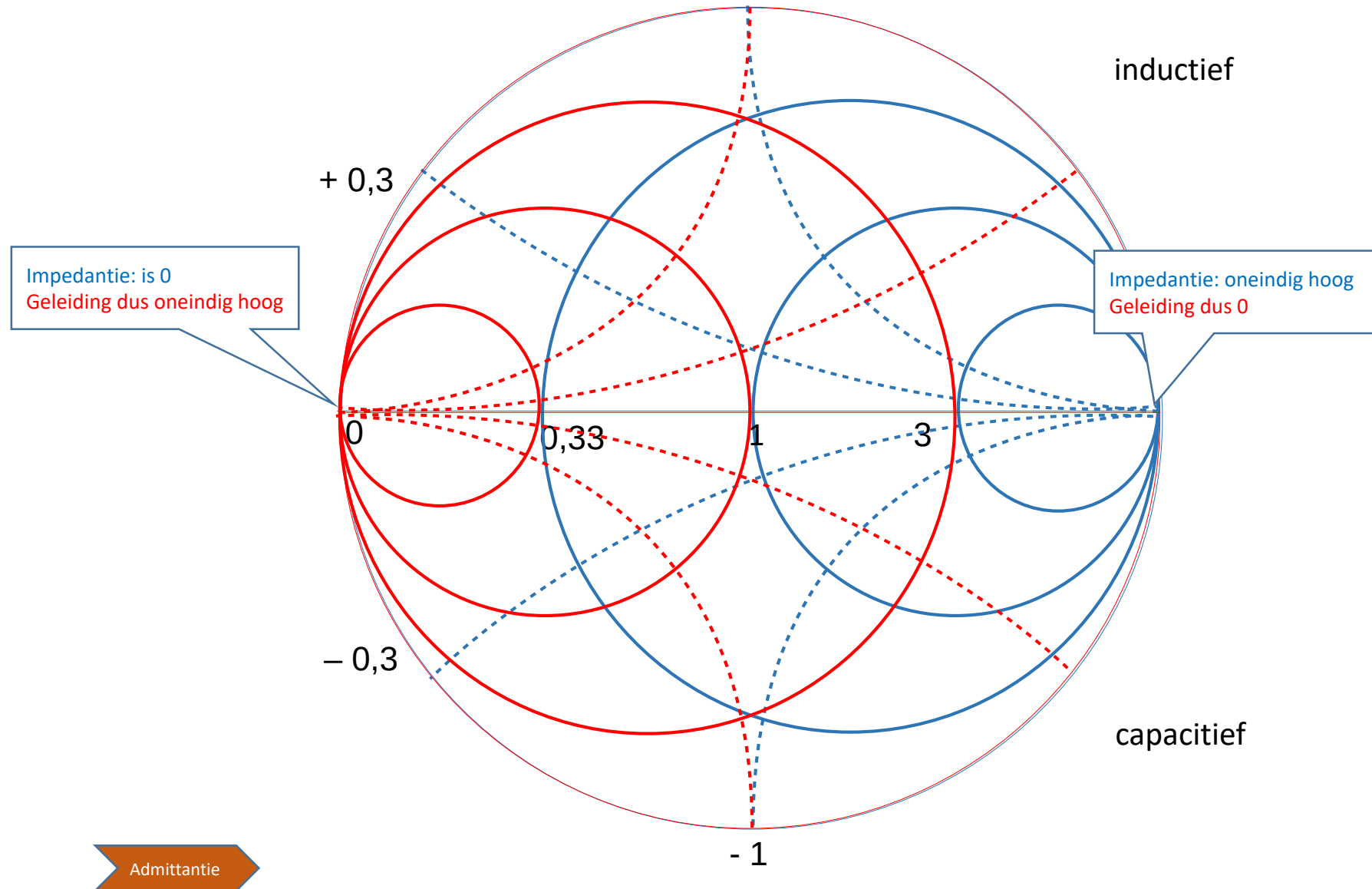
Met een parallel weerstand
voegen we geleiding toe

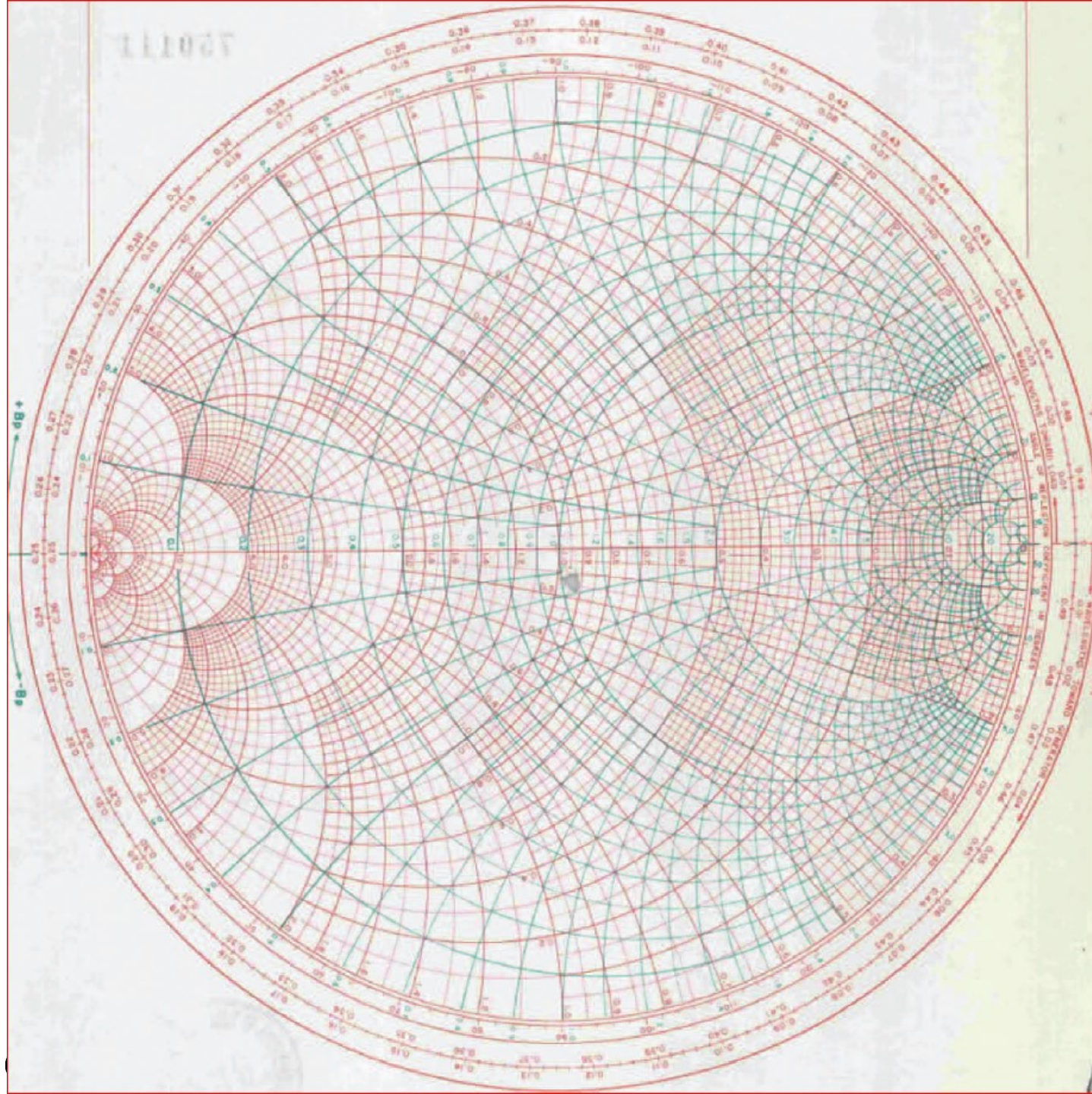
Dit geldt ook voor spoelen en
condensatoren X_L en X_C

- 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

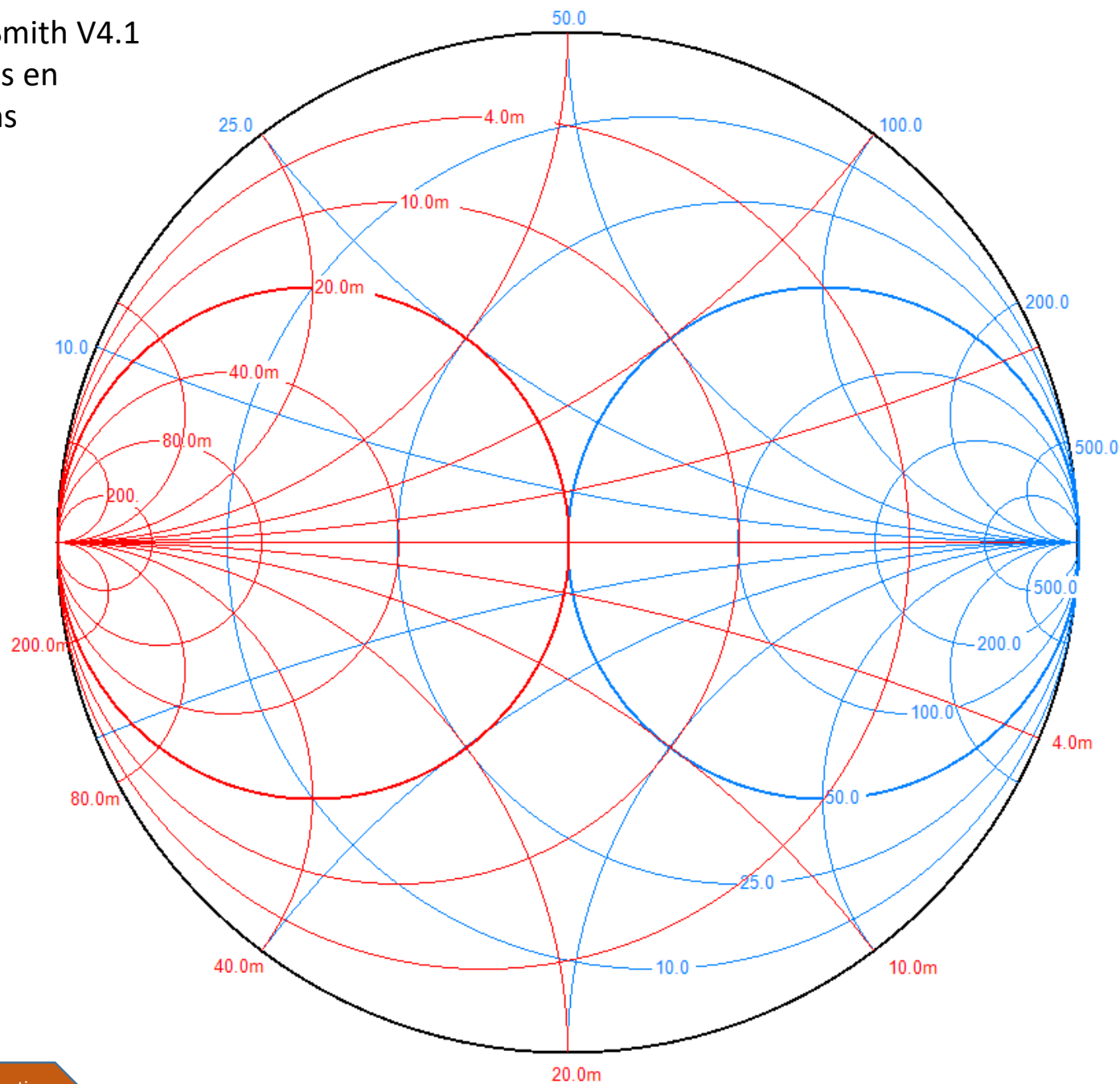




Oud
kopietje

Admittantie

Bron: Smith V4.1
In ohms en
siemens



Opmerking:
Een punt in de Chart kan nu op twee manieren worden
gelezen:
 $R_s + jX_s$ ohm (serie)
 $G_p + jB_p$ siemens (parallel)

Dus bijvoorbeeld serie R en L kan hiermee omgezet
worden in parallel R en L waarbij ohms = 1/siemens

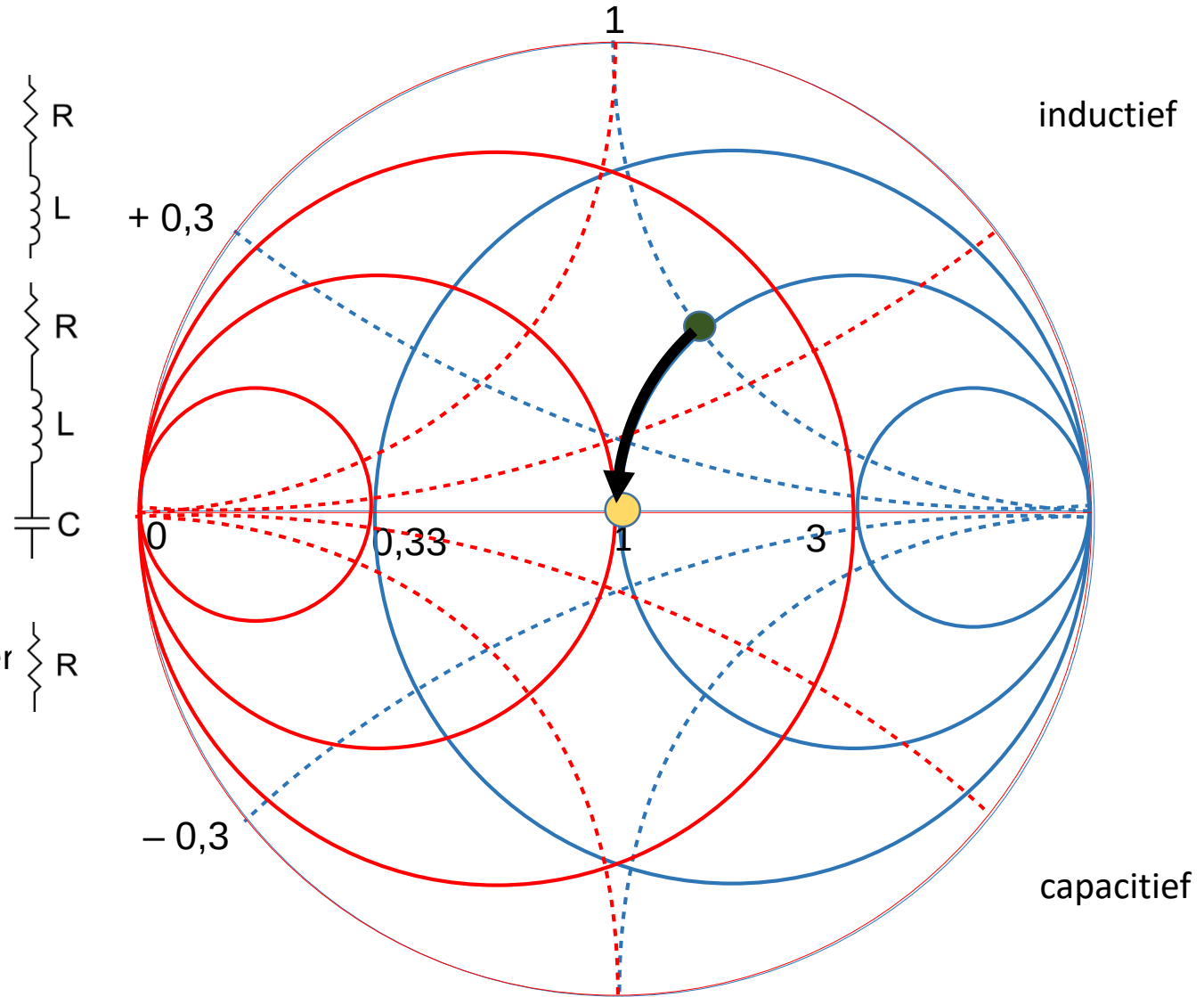
Tuner: TRUC 1 met de Smith Chart ...nu komt het...

Condensator in serie: Richting capacitef langs de serie/weerstandslijnen

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

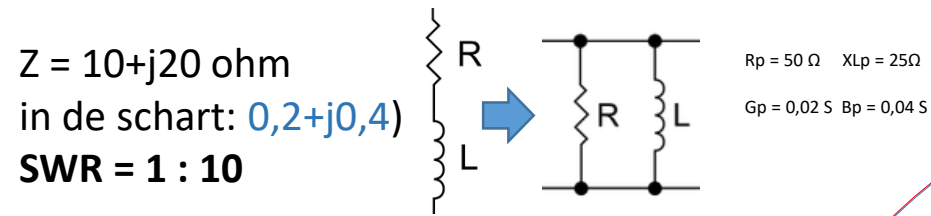
De +j50 ohm uitstemmen
met een condensator met
-j50 ohm in serie
(= serie resonantie)
Dan kom je op 50 ohm

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



Tuner: TRUC 2 met de Smith Chart

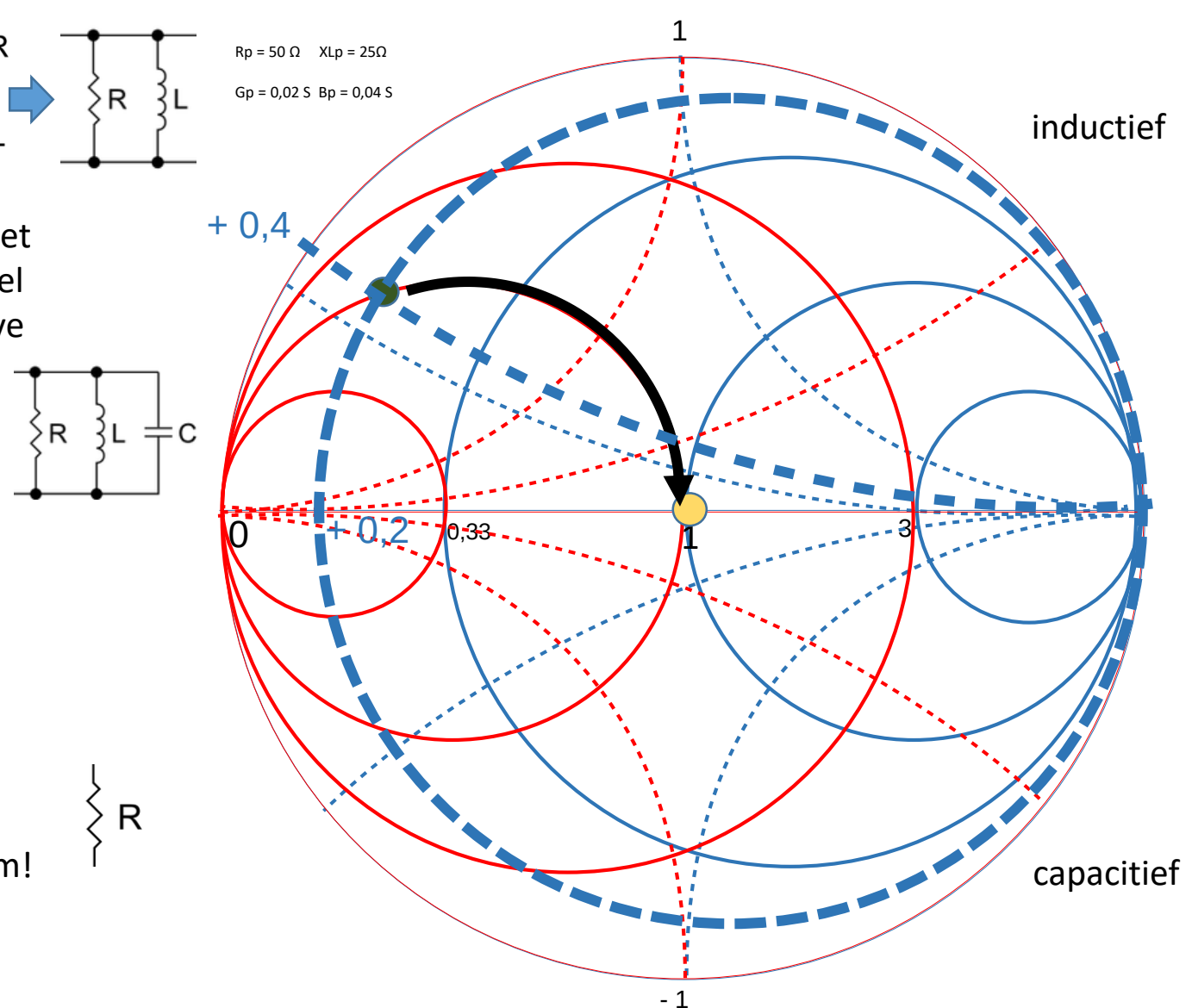
Condensator parallel: Richting capacitef langs de rode geleidingslijnen



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

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

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



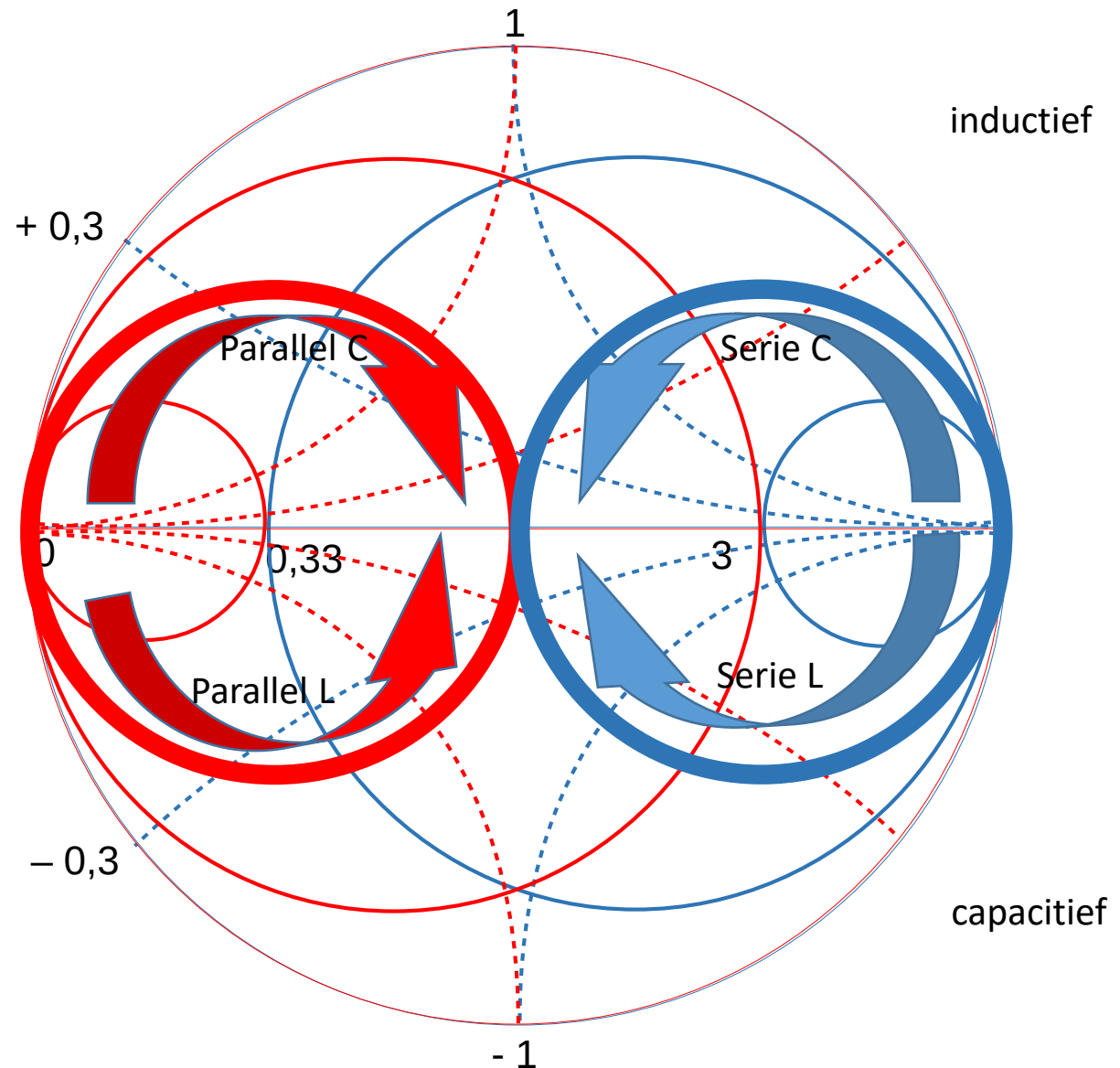
We hebben gezien dat we enkele impedanties konden 'tunen' naar het 50 ohm punt met slechts één enkele condensator.

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

Dit is dus eigenlijk simpel....

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:

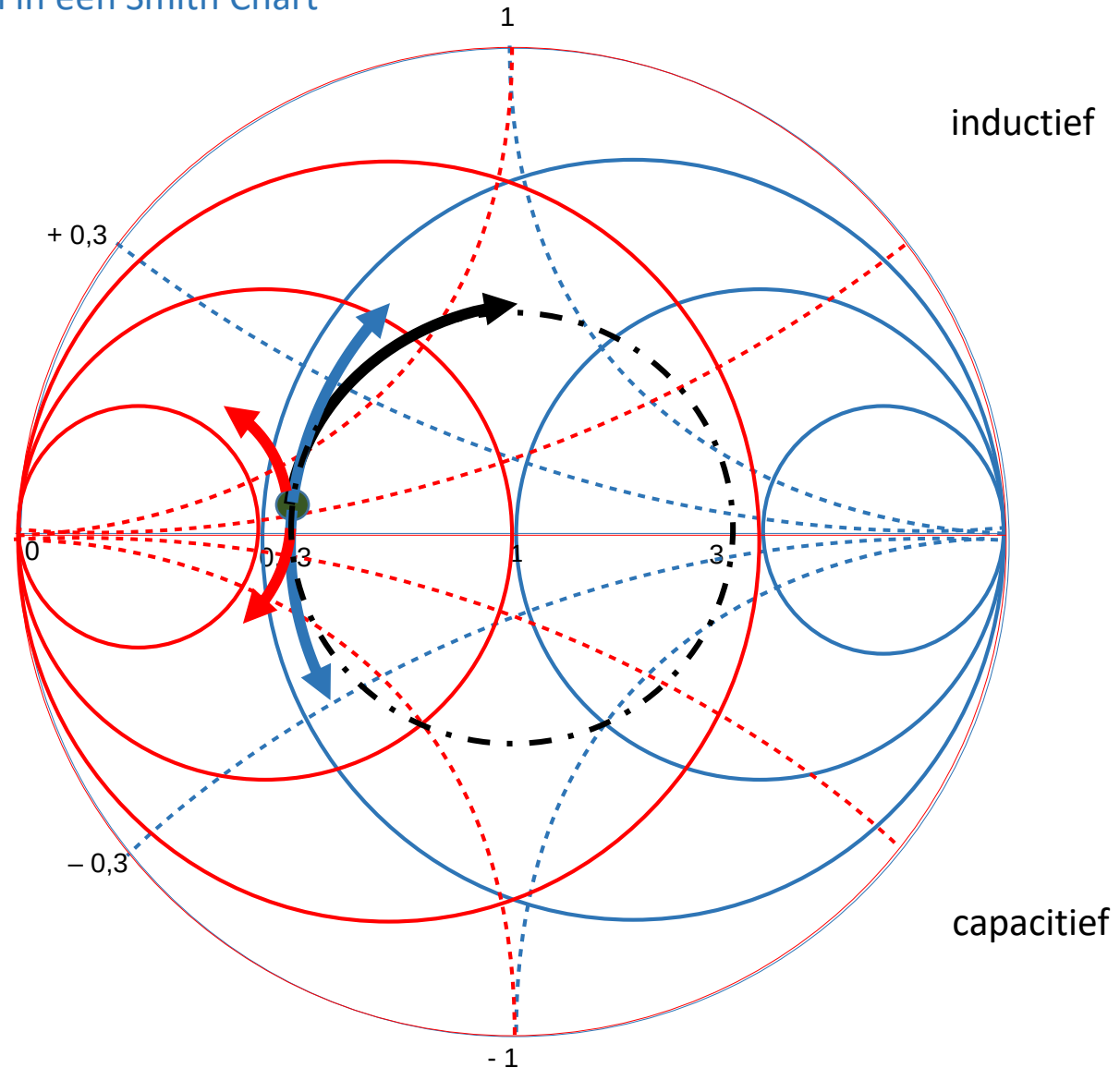
Toevoegen van componenten in een Smith Chart

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

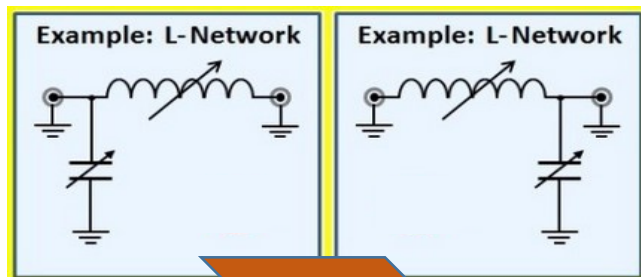
Tip 1:

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

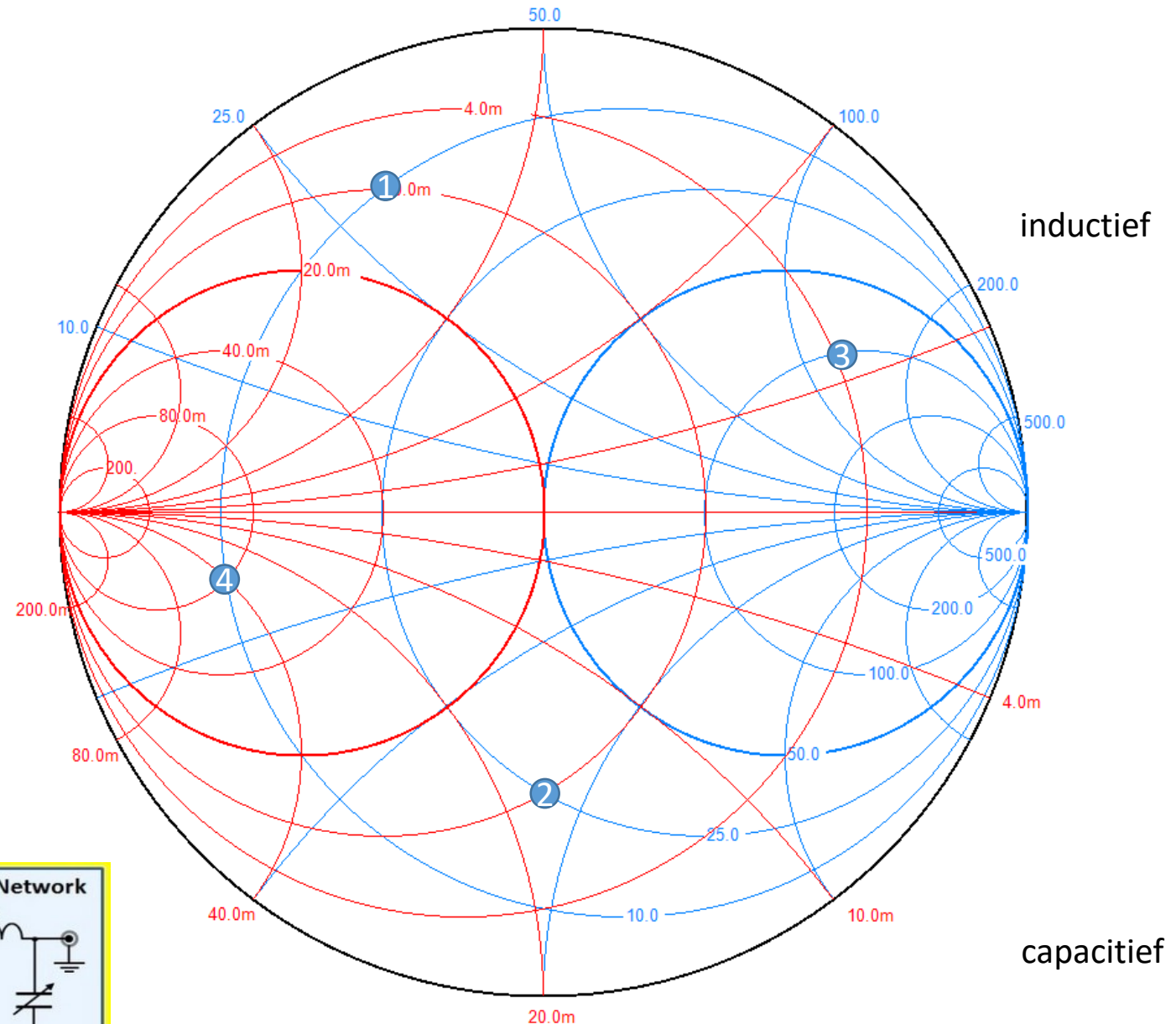
Tip 2:

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

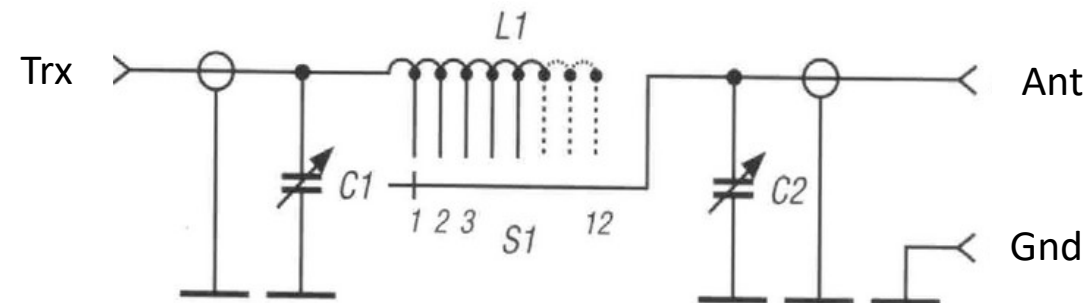
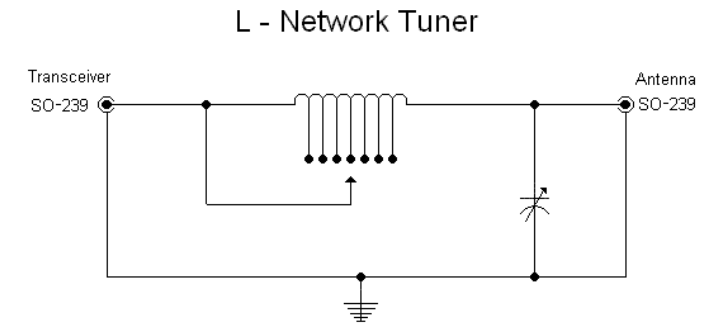
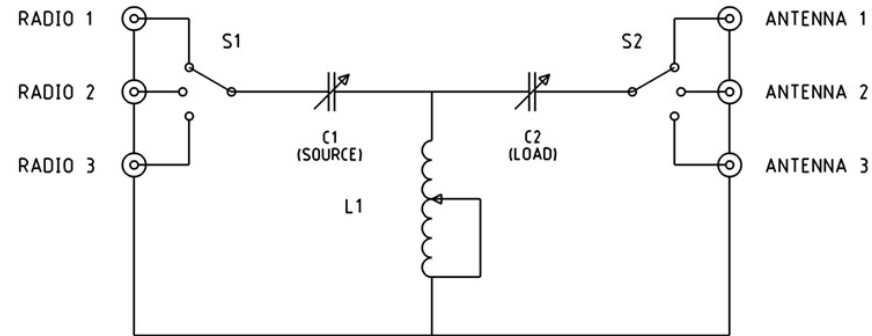
(Dit kan nl. altijd)



Tuners



Verschillende simpele aanpasnetwerken → zgn. Tuners



Oplossing 1

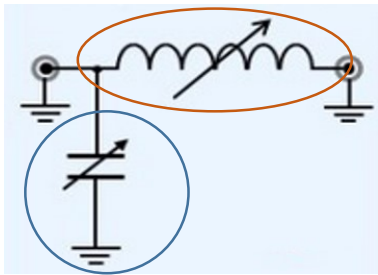
Met **L-netwerk**:

Met Parallel C

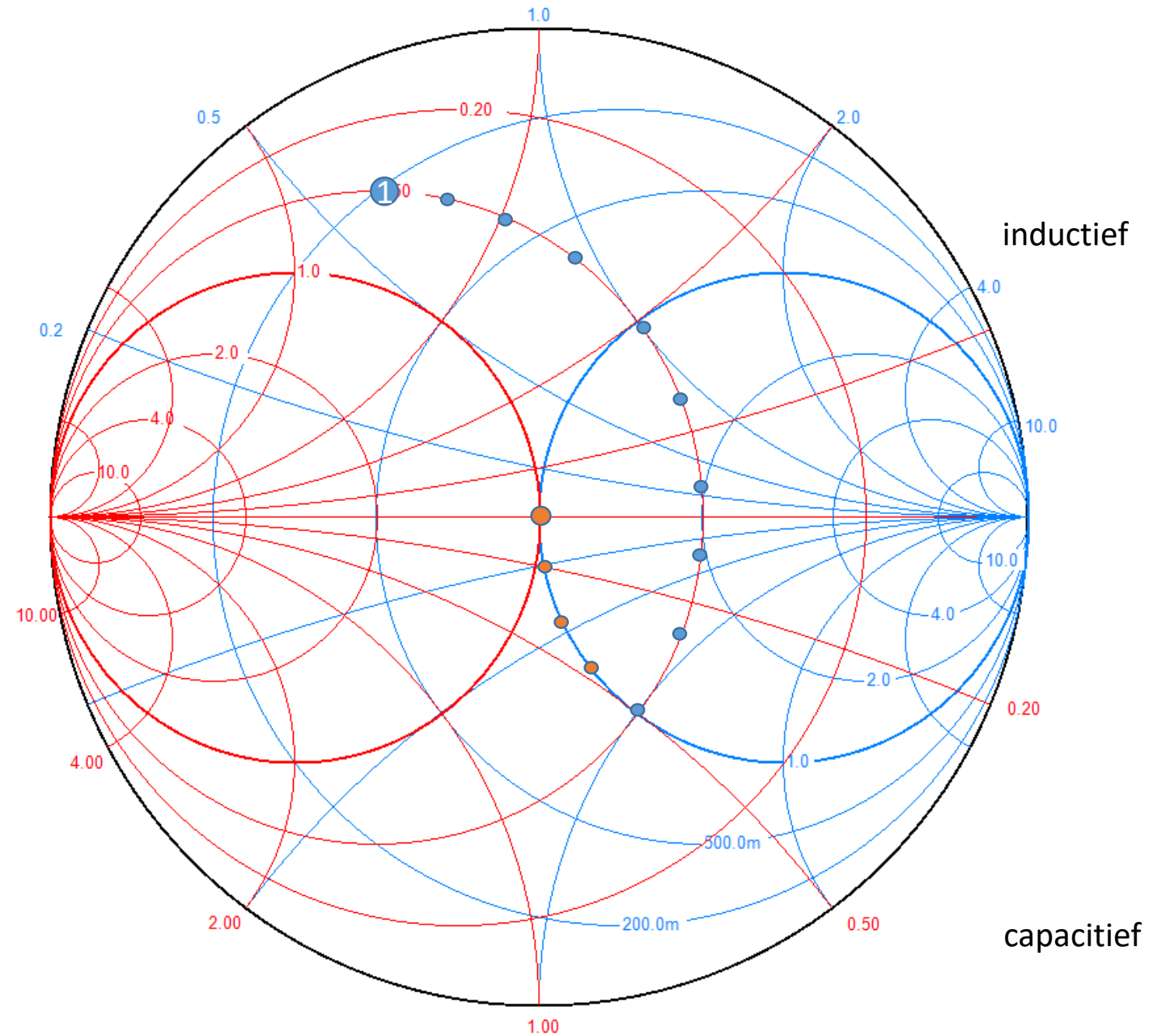
En

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**

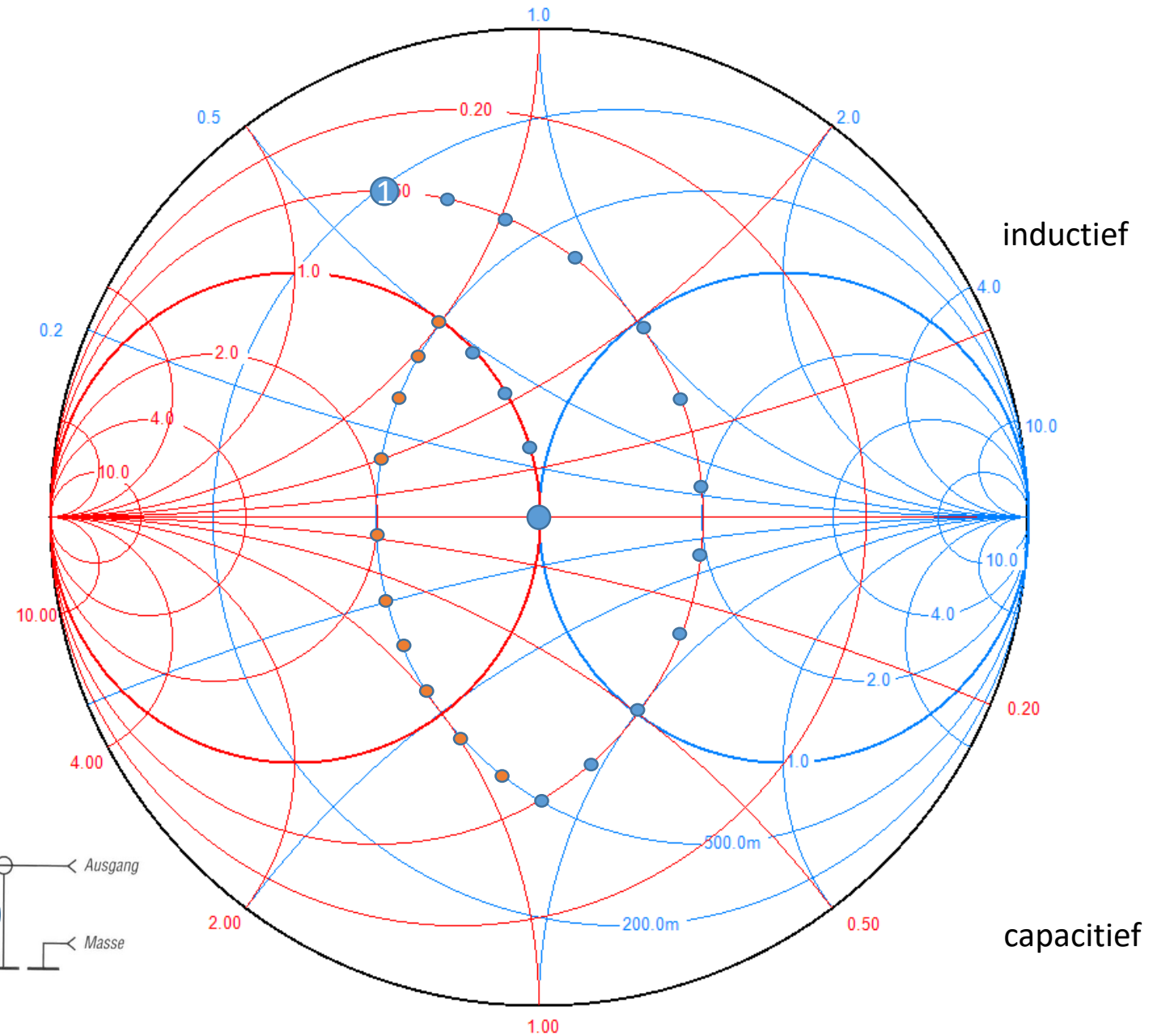
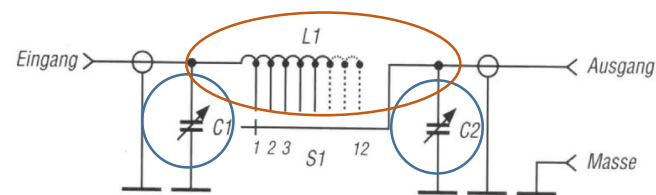
En

Serieel L

En

Parallel C

Dit is een mogelijke
oplossing



Oplossing 1

Met **T-netwerk**:

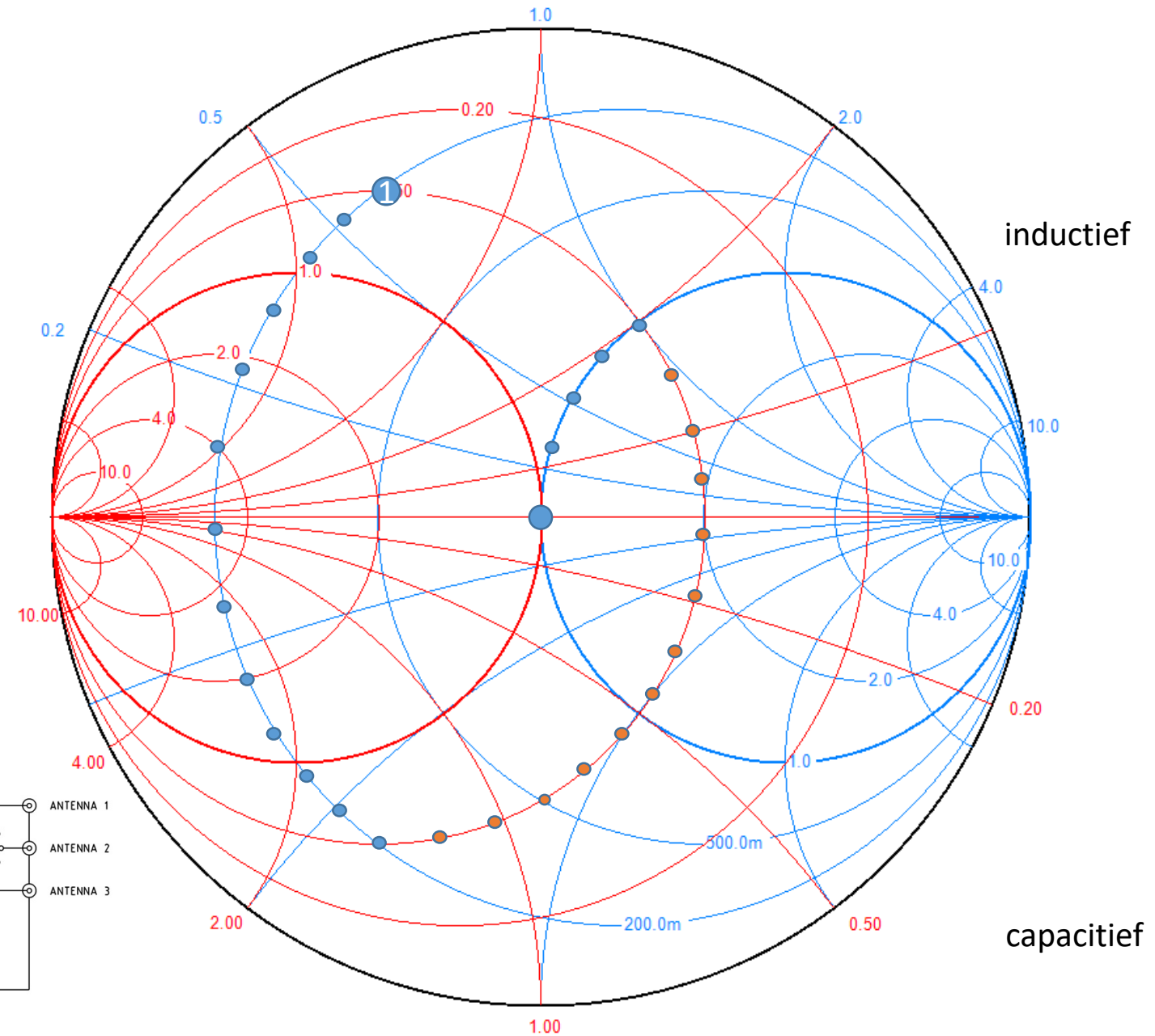
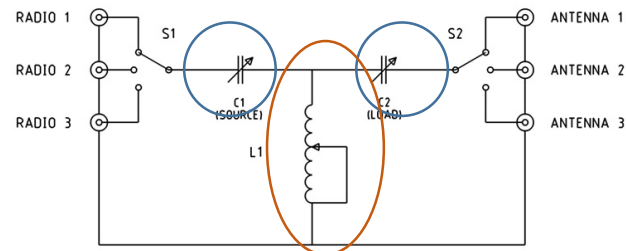
Met **Serie C**

En

Parallel L

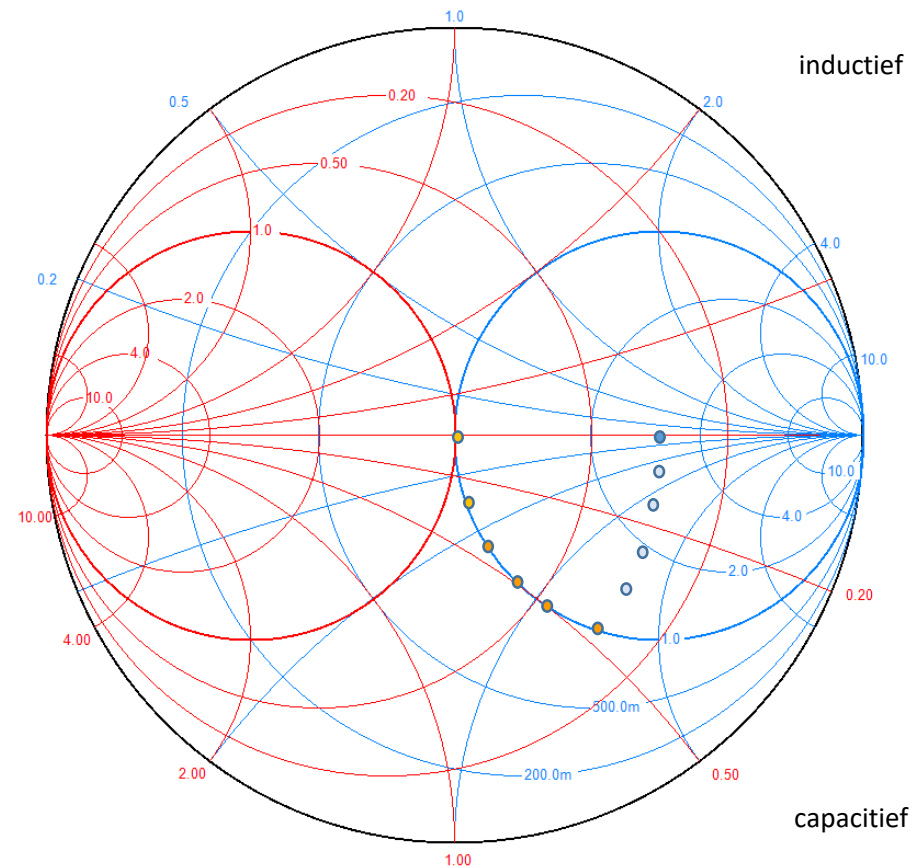
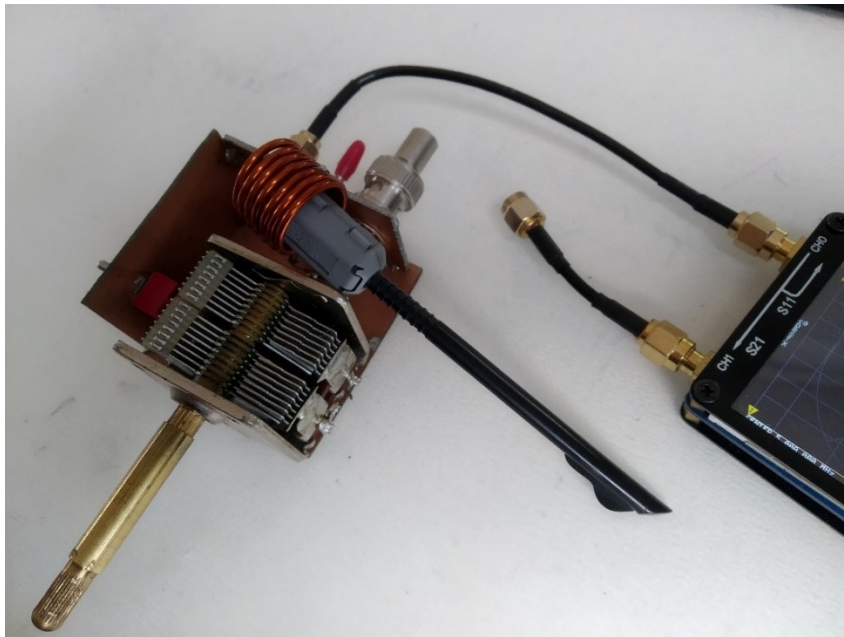
En

Serie C



Demo

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

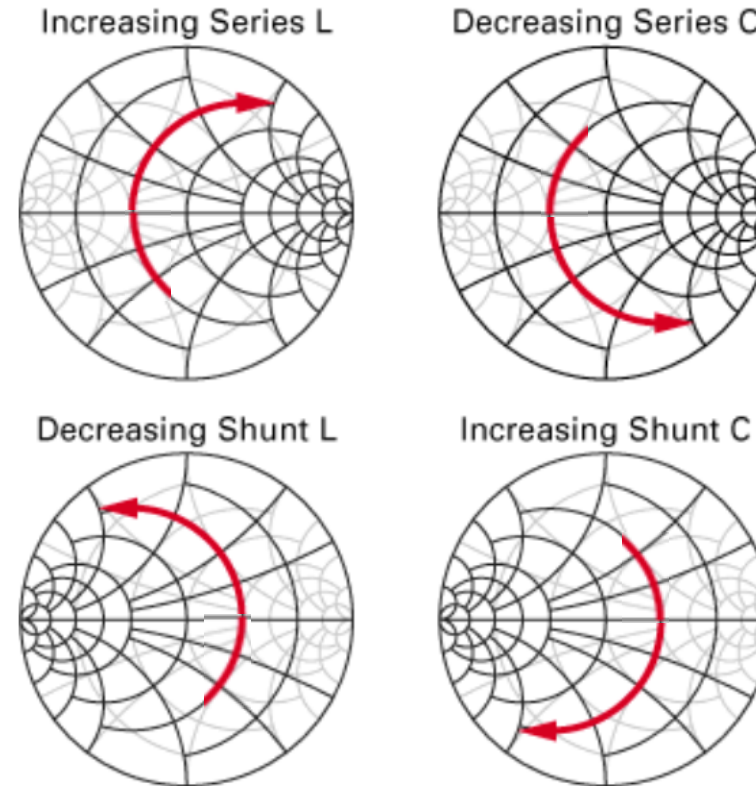


L en C– netwerk

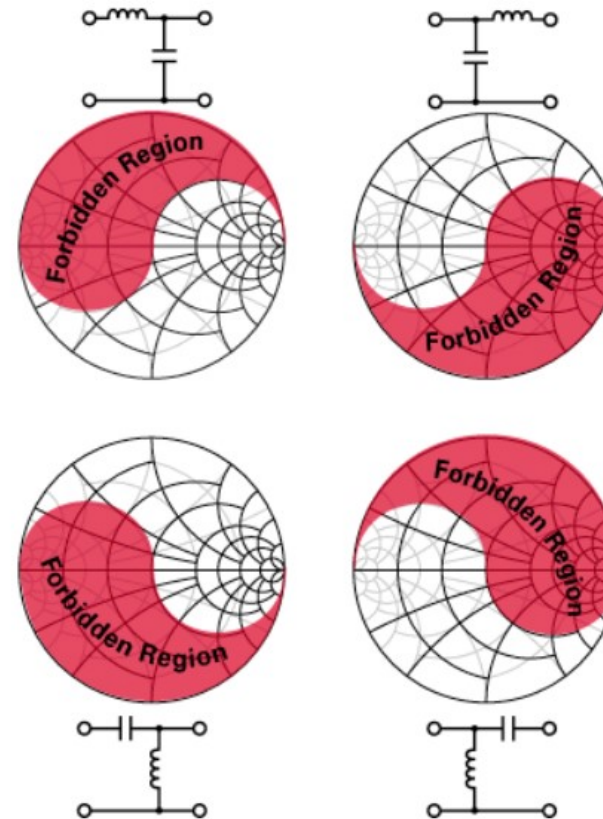
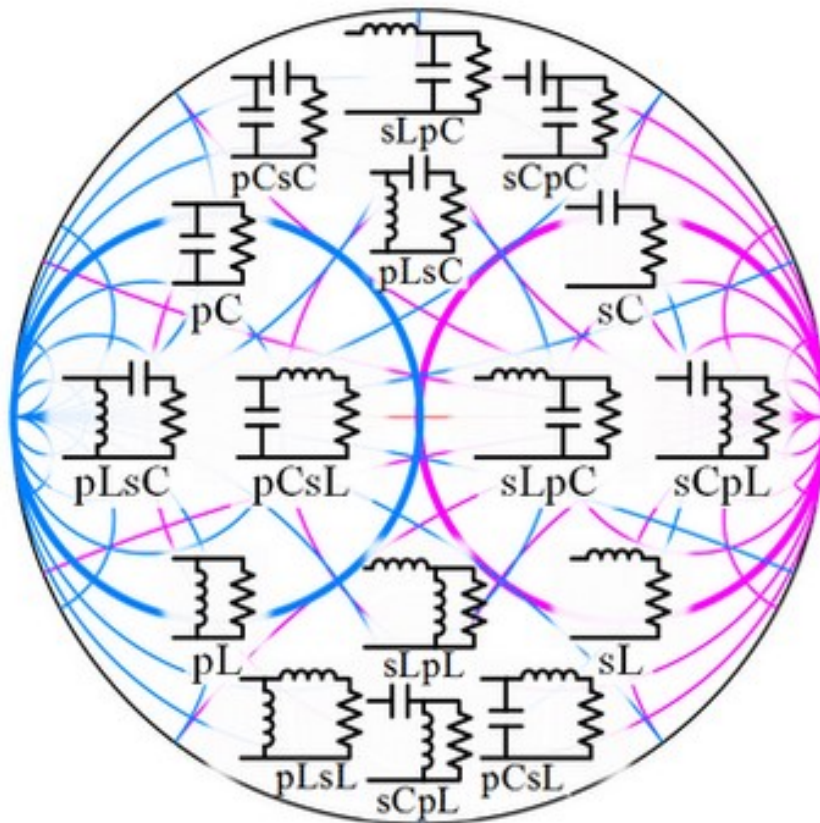
source: certifytech.tripod.com
<http://certifytech.tripod.com/references/electronic/electronics/impedance.html> modified

Een waar plaatje echter:

Kans op verwarring is groot
Niet makkelijk te onthouden



- Matching met twee componenten
- **BLIJF WEG** BIJ DIT SOORT PLAATJES



Sources:

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 effecyen van componenten blijvend te onthouden.

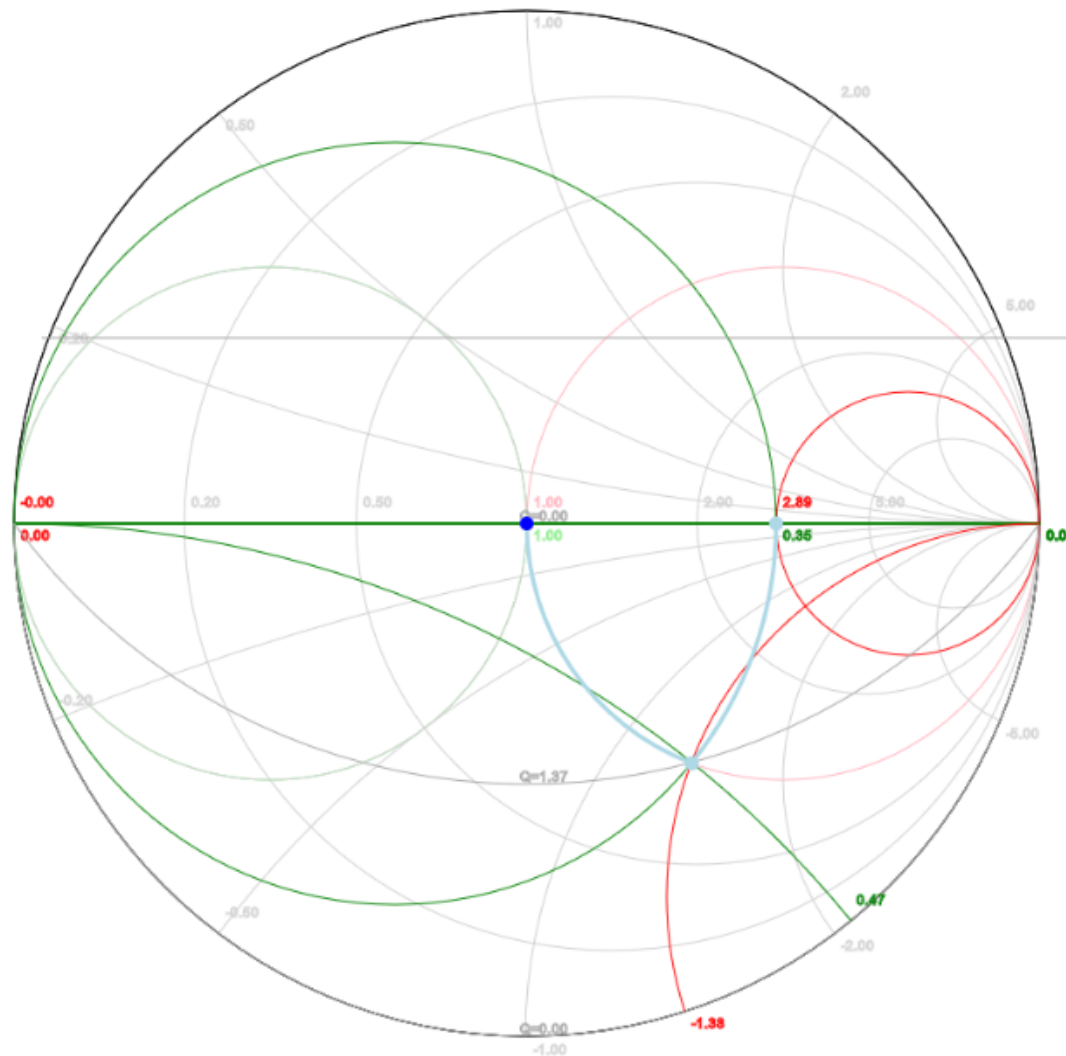
- Smith Chart software:

- SimSmith: http://www.ae6ty.com/Smith_Charts.html



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

- PASAN: http://www.science4all.nl/?Electronics_Pasan
- Smith: <https://www.fritz.dellsperger.net/smith.html>



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)

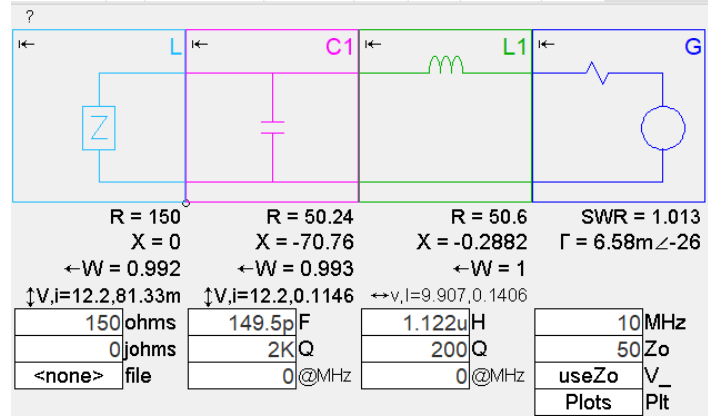
Subscription:

RF
Mentor

Smith
Chart

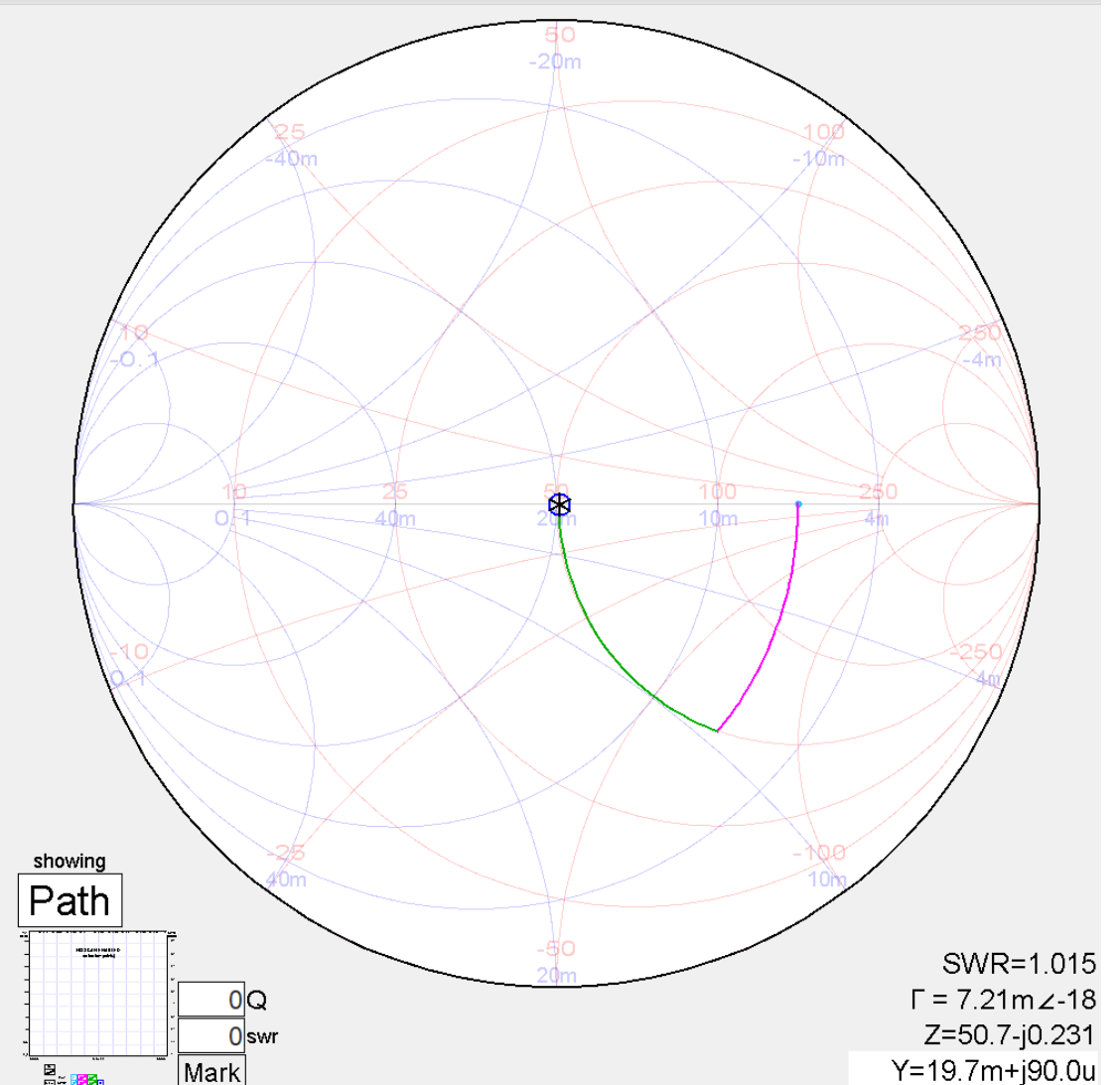
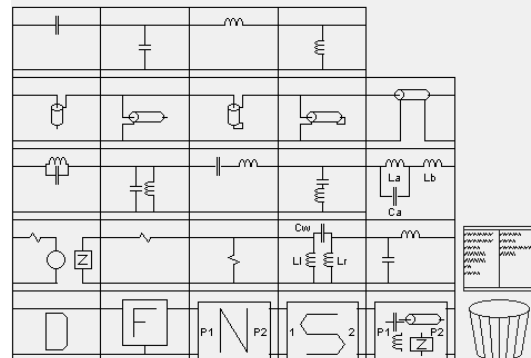
SimSmith

SimSmith file savelimages captures view help running notes

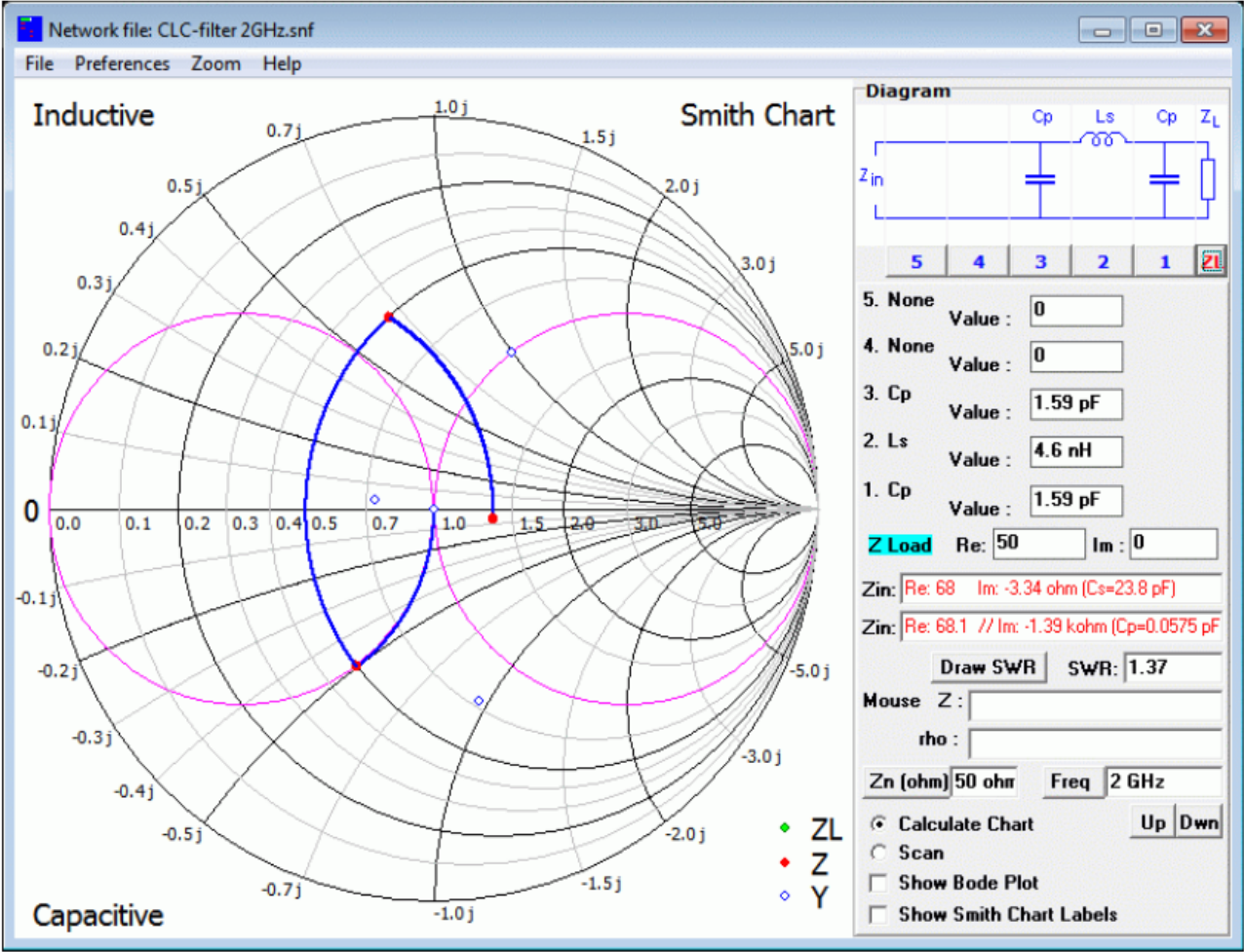


<<< << < > >> >>>
 prev closest next
 unDo reDo

type	numPnts	from	to	name	sweep
lin	100	1	30	G.MHz	n



Pasan



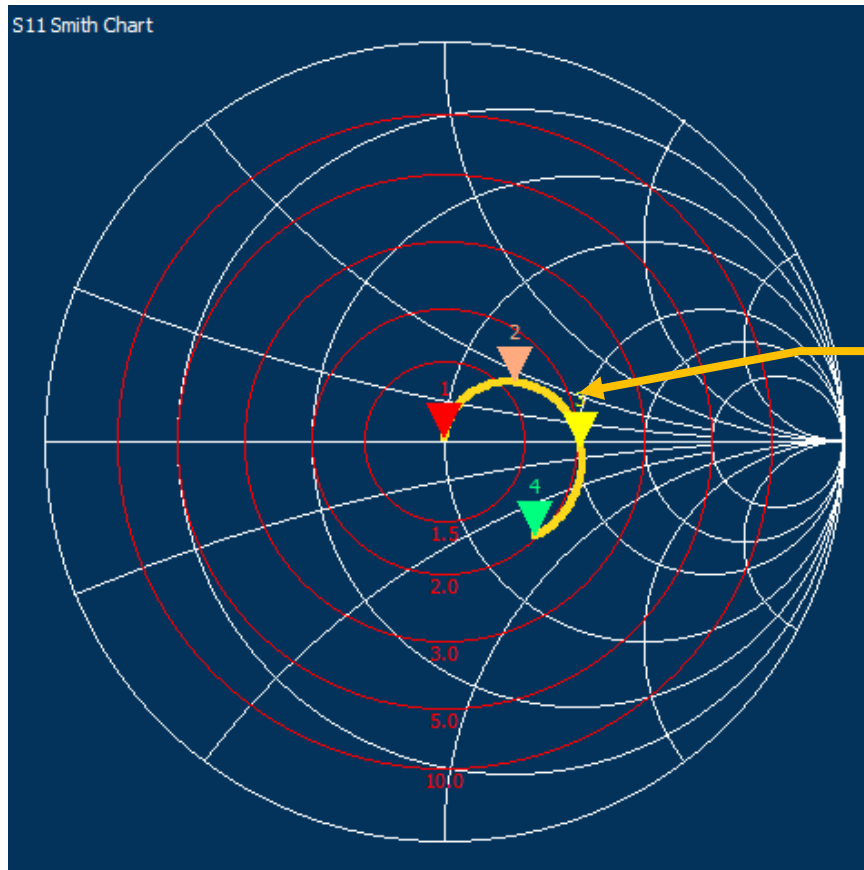
Leuke special case:

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 Γ) 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:

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

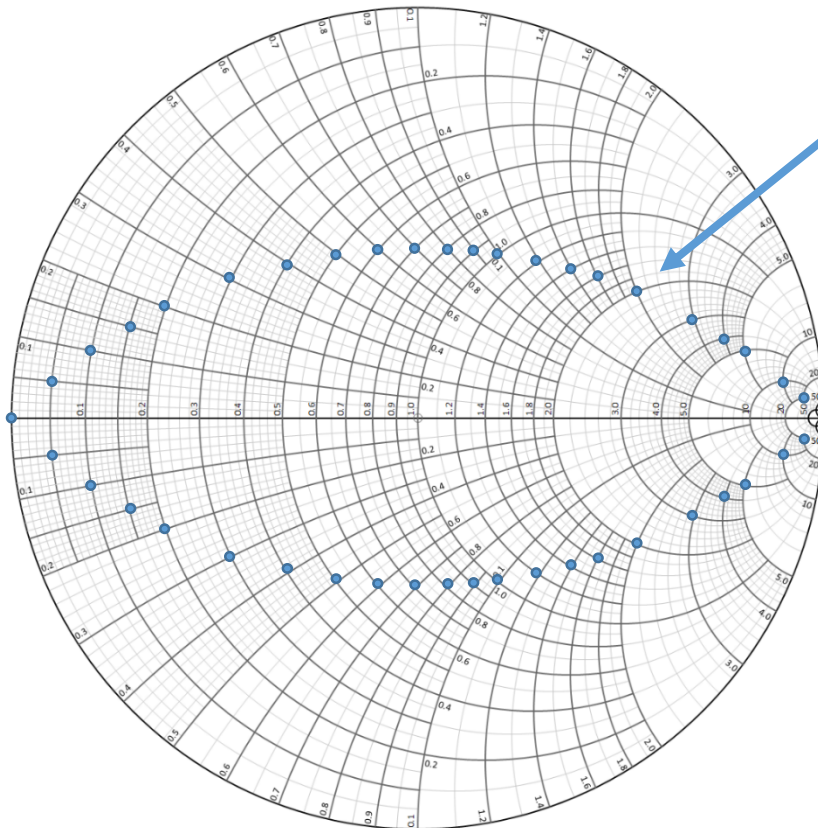
R_0 = line impedance

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.

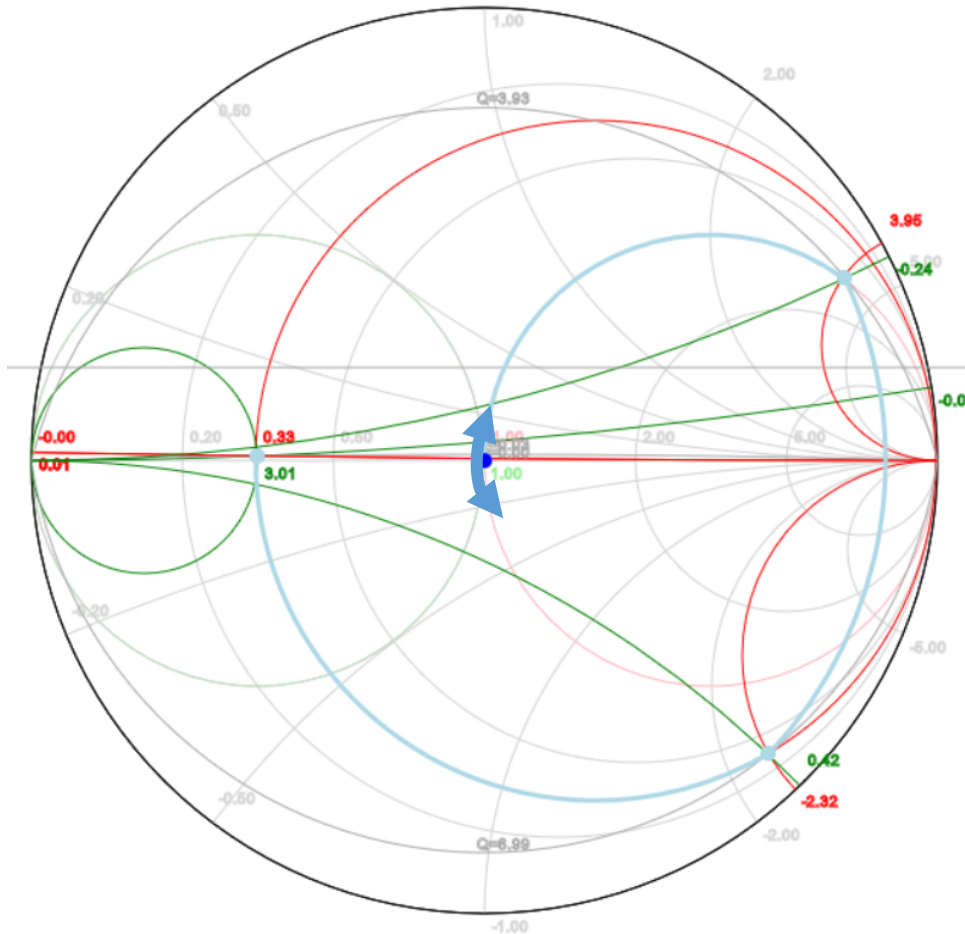
Op te merken:

- 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

Twee voorbeelden met T-tuner C-L-C: $16 \rightarrow 50 \text{ ohm}$

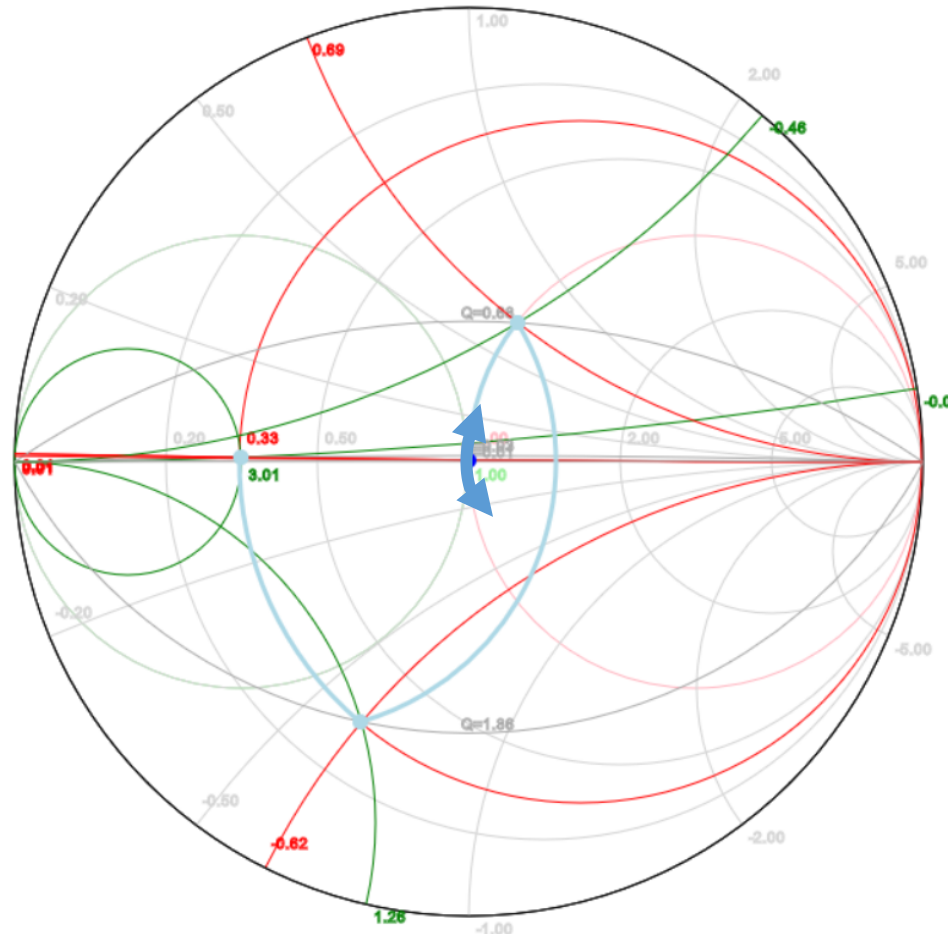
Geval 1:

Laatste C waarde: 80pF, pijltje geeft variatie aan van ca. 8 pF



Geval 2:

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

<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:

http://www.science4all.nl/?Electronics_Pasan (Pasan)

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

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