

Smith Chart in de nanoVNA



- Wat zendamateurs meten: VSWR curve
- VSWR en de Reflecties (hoe zat dat ook alweer)
- Smith Chart in de nanoVNA; 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

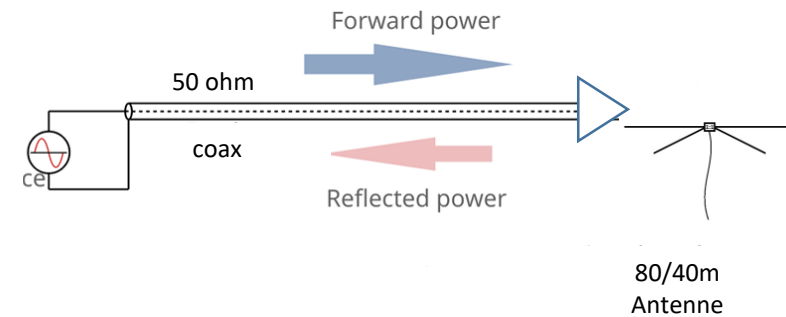
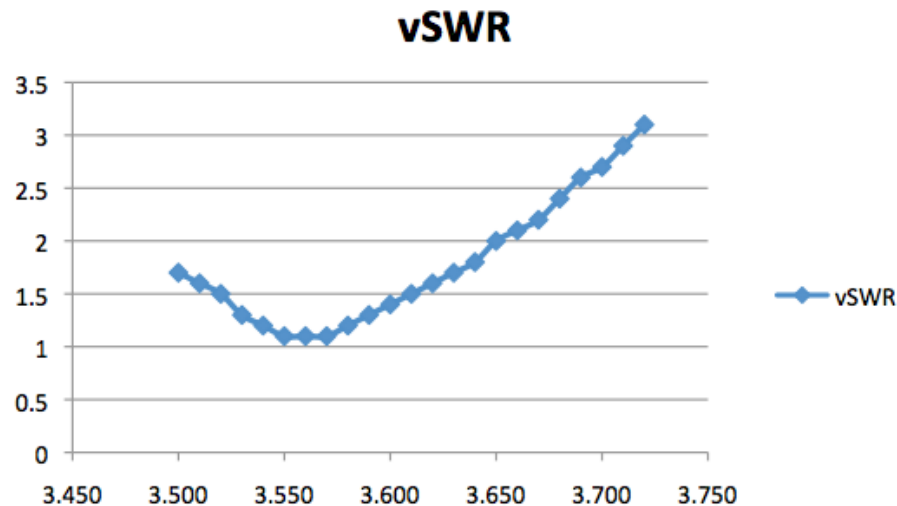
Pauze

- 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
 - Pi – tuner
 - T- tuner
- Online - tool

Arie Kleingeld
PA3A

Antenne meting

- Zendamateurs meten vrijwel altijd de SWR of heet dat VSWR? Wat zien wij eraan?
- Een curve:



SWR :

- 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

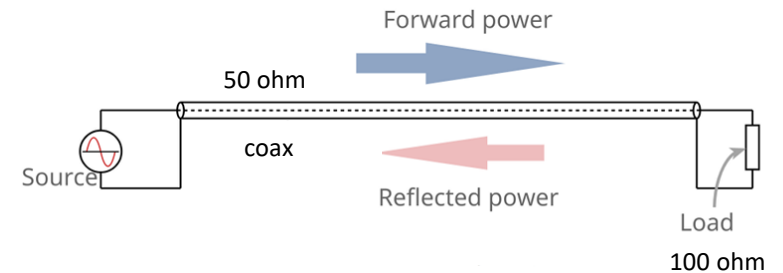
- De bekendste formule:

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

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

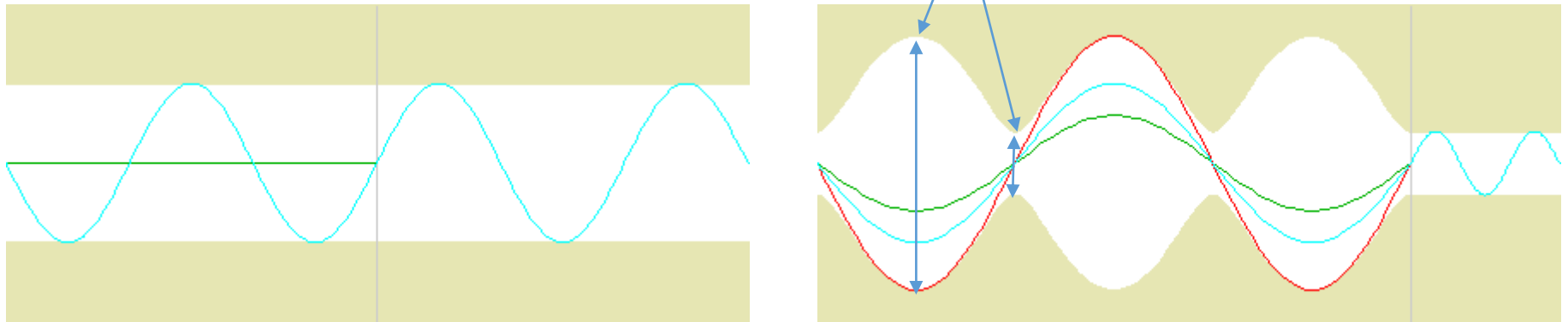
Welke andere Z_{load} (naast 100 ohm) geeft b.v. ook $SWR = 2$? $Z_{load} = ??$

- $SWR = 1 : 1$ \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_{SWR})**



Reflecties

De SGV is de verhouding tussen deze twee amplituden



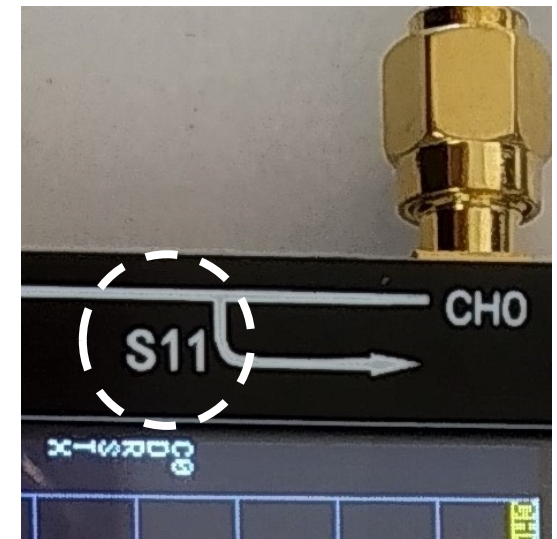
SWR gaat over REFLECTIES dus

- 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)

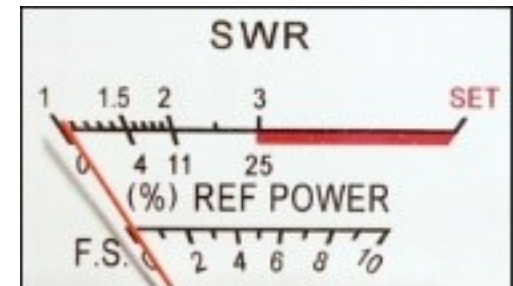
Open coax ($Z_L = 100.000$, oneindig veel): $RC = 99.950 / 100.050 \approx 1$
d.w.z. $RC = \mathbf{100\% \text{ reflectie in fase}}$

- 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....

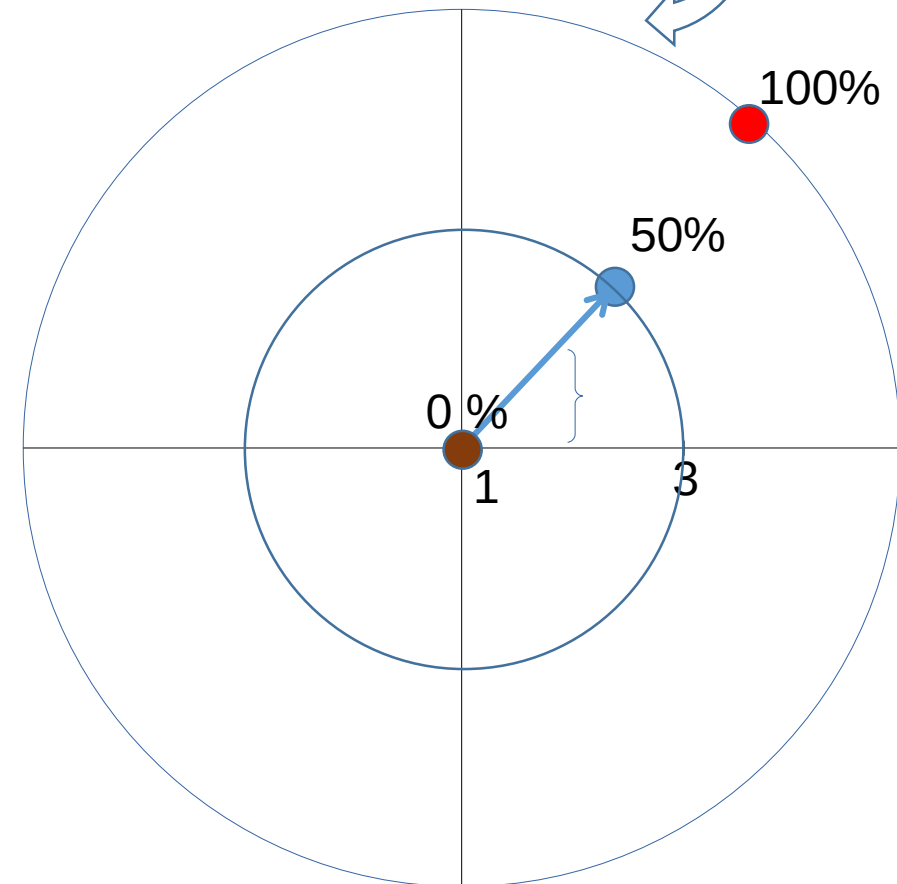
Schaal van een
SWR meter



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

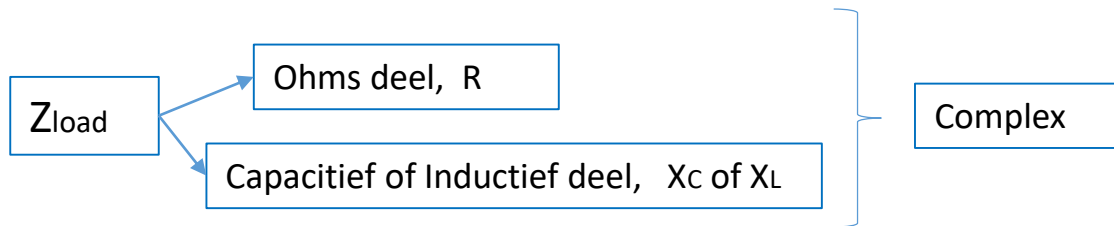
$$RC = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

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.

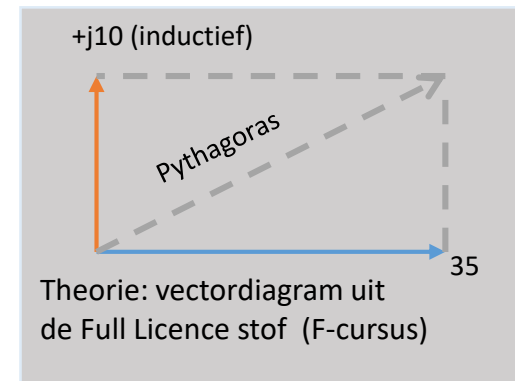
Sidestep: Wat is de Z_{load}

(even terug naar de F/N-cursus)



- $X_L = 10$ ohm **inductief** $\rightarrow +j 10$ ohm
- $X_C = 10$ ohm **capacitief** $\rightarrow -j 10$ ohm

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



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

Oefening:

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

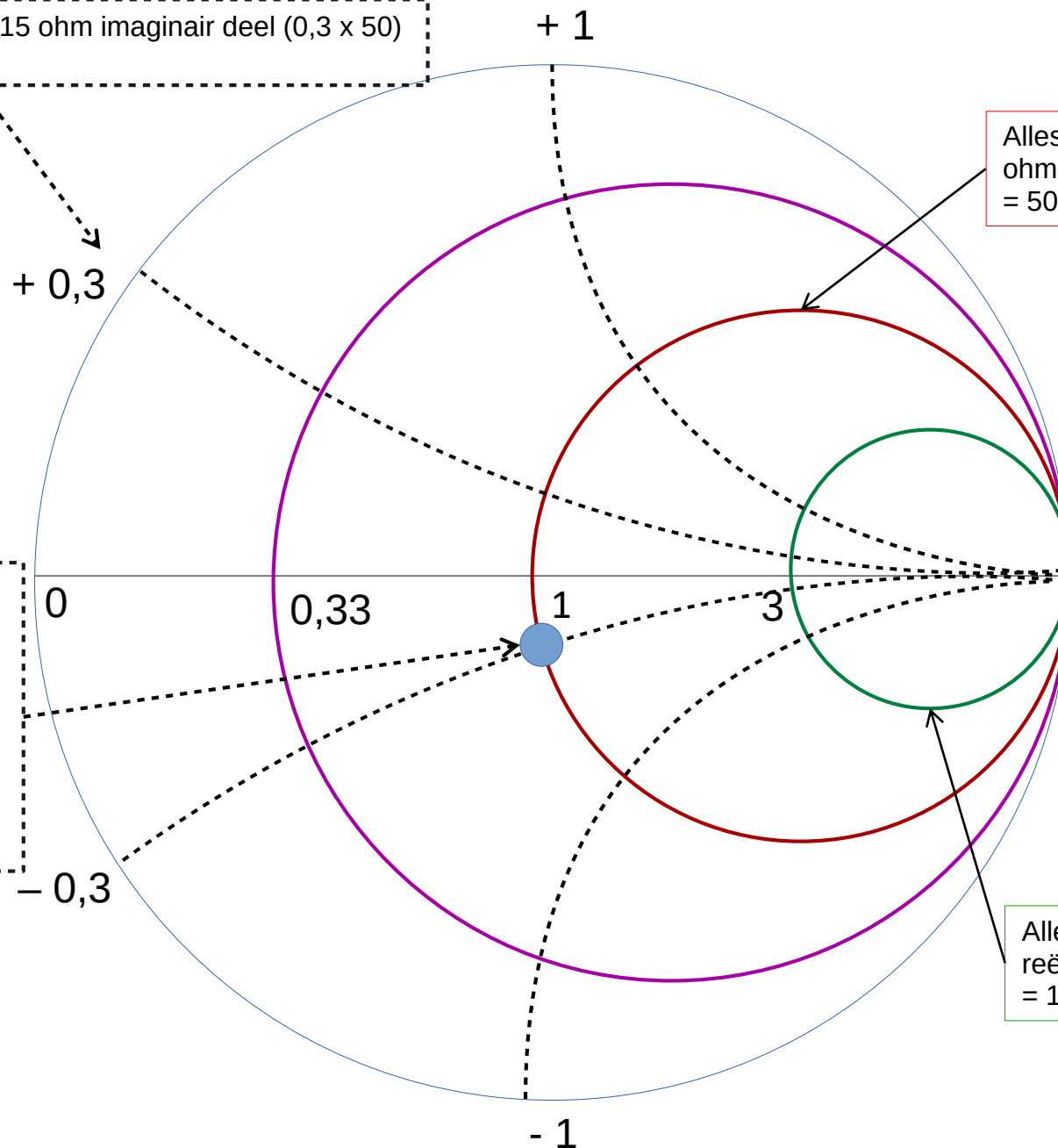


($300 - j 100$ is dus een **COMPLEX** getal, met **REËEL** deel 300 en **IMAGINAIR** (capacitief) deel $-j 100$)

De Z_{load} plotten op de Smith Chart

Alles op deze lijn heeft + j 15 ohm imaginair deel ($0,3 \times 50$)
= ... + j 15 (inductief)

Alles op deze lijn heeft 50 ohm reëel deel (1×50)
= $50 \pm j \dots$

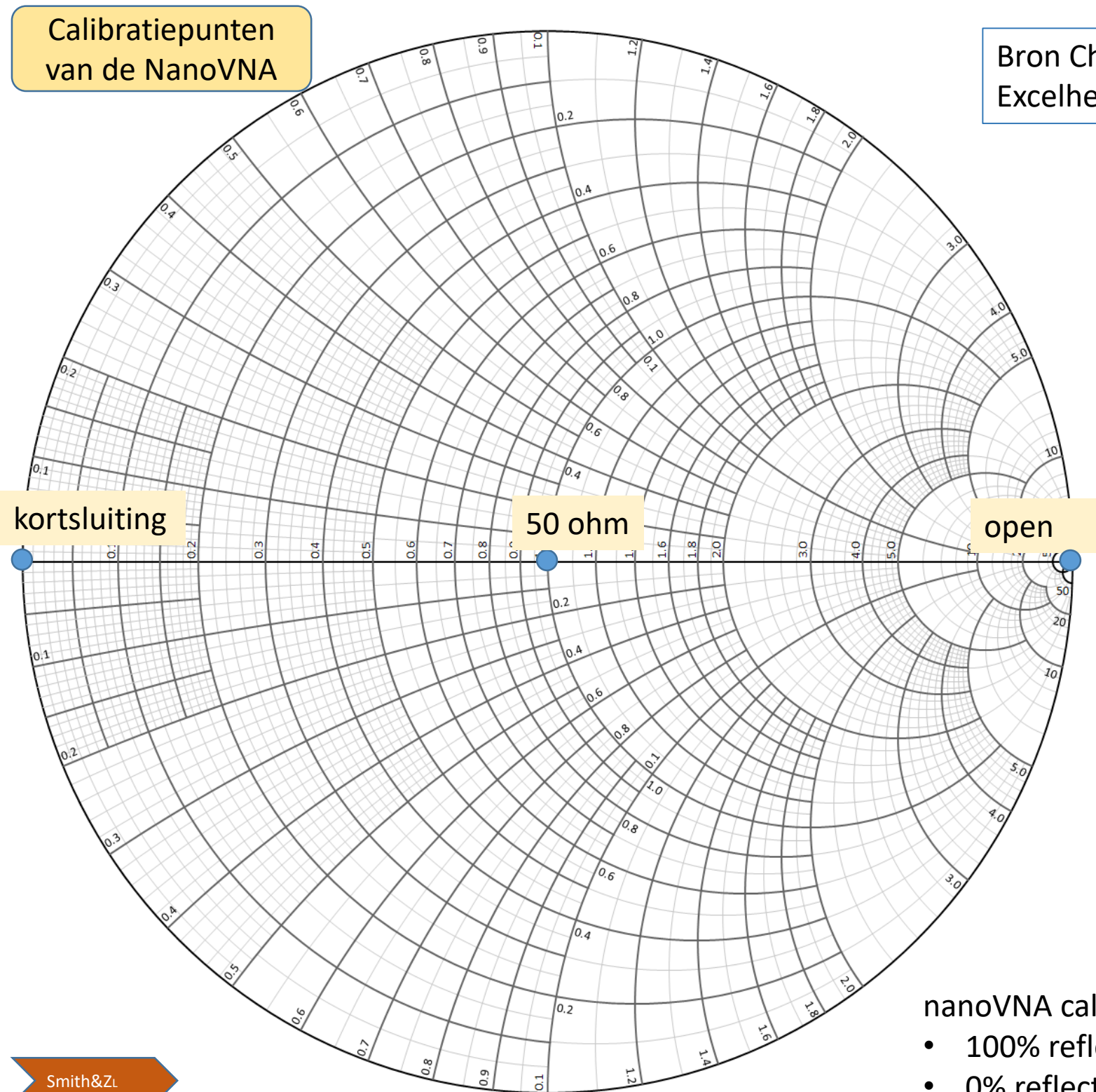


Punt ligt op reële 50 ohm lijn (1×50) en op de imaginaire (capacitieve) - j 15 lijn ($0,3 \times 50$)

dus

$Z_{load} = 50 - j 15$ ohm
(capacitief gedrag)

Alles op deze lijn heeft 150 reëel deel (3×50)
= $150 \pm j \dots$



De Smith Chart

... op fijnere schaal

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

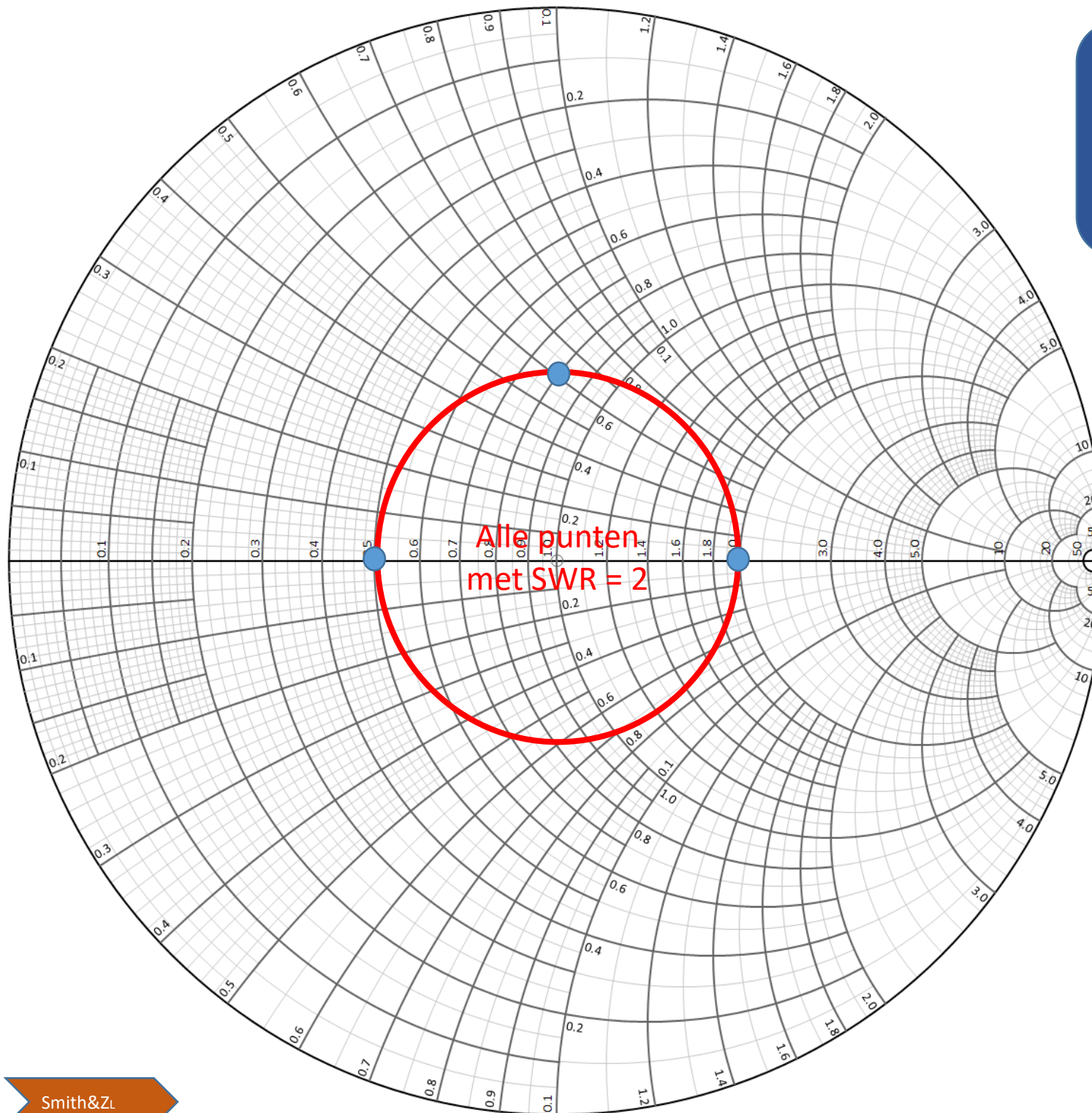
De rest komt nog...

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



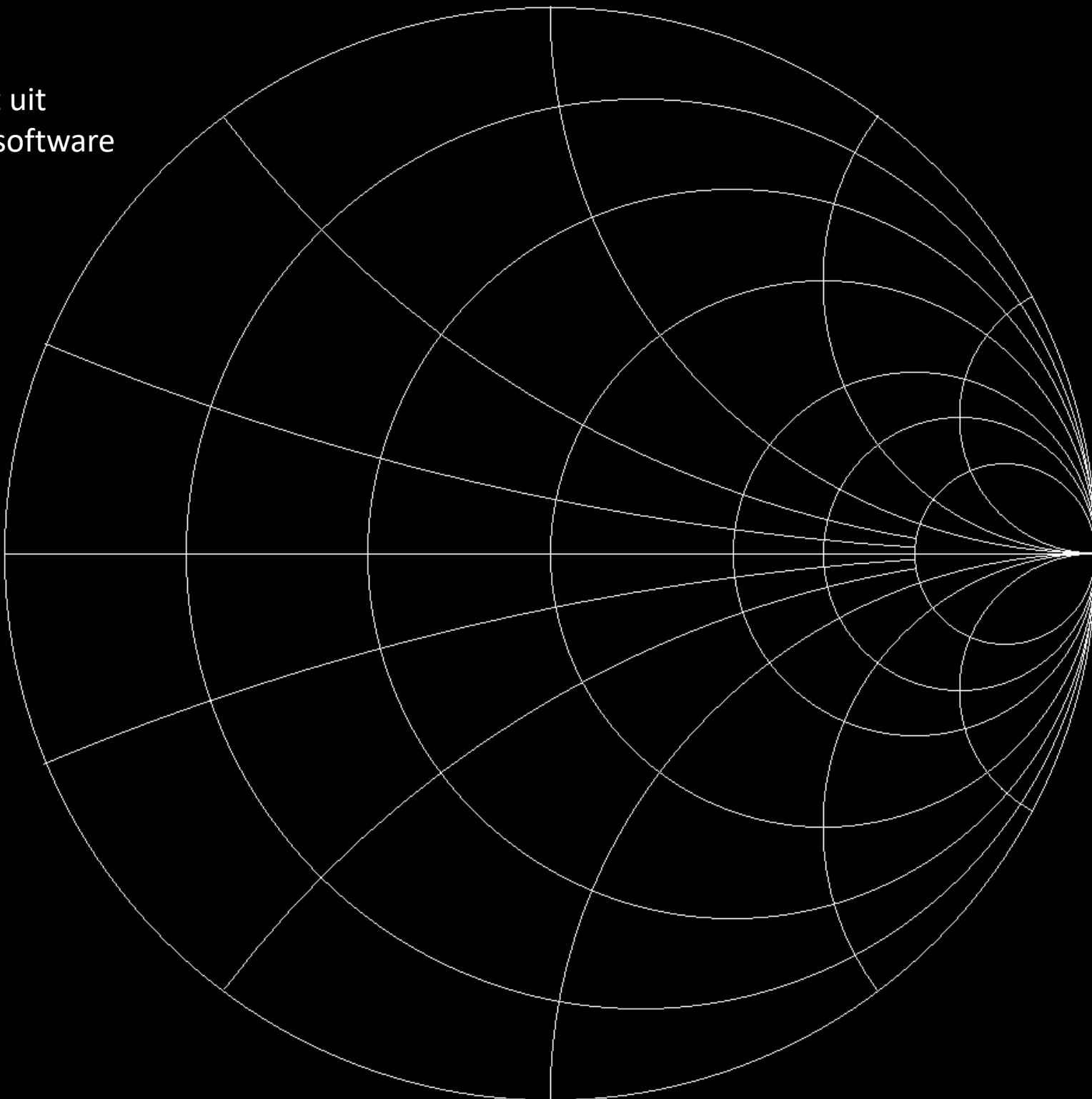
B.v. SWR = 2
Daaronder vallen o.a.
100 ohm en 25 ohm

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

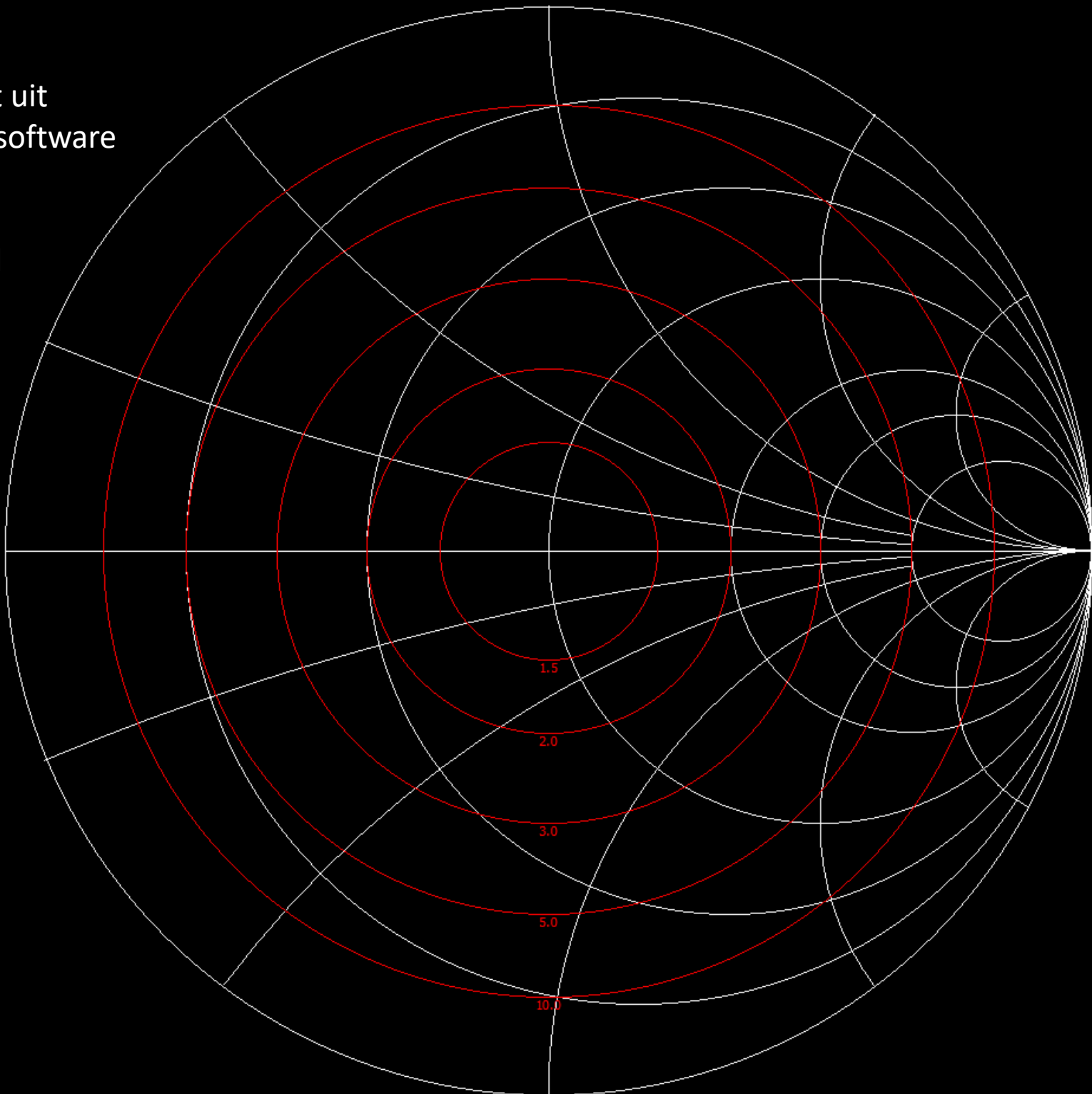
$$\begin{aligned} 40 &= 0.8 \times 50 \\ 30 &= 0.6 \times 50 \end{aligned}$$

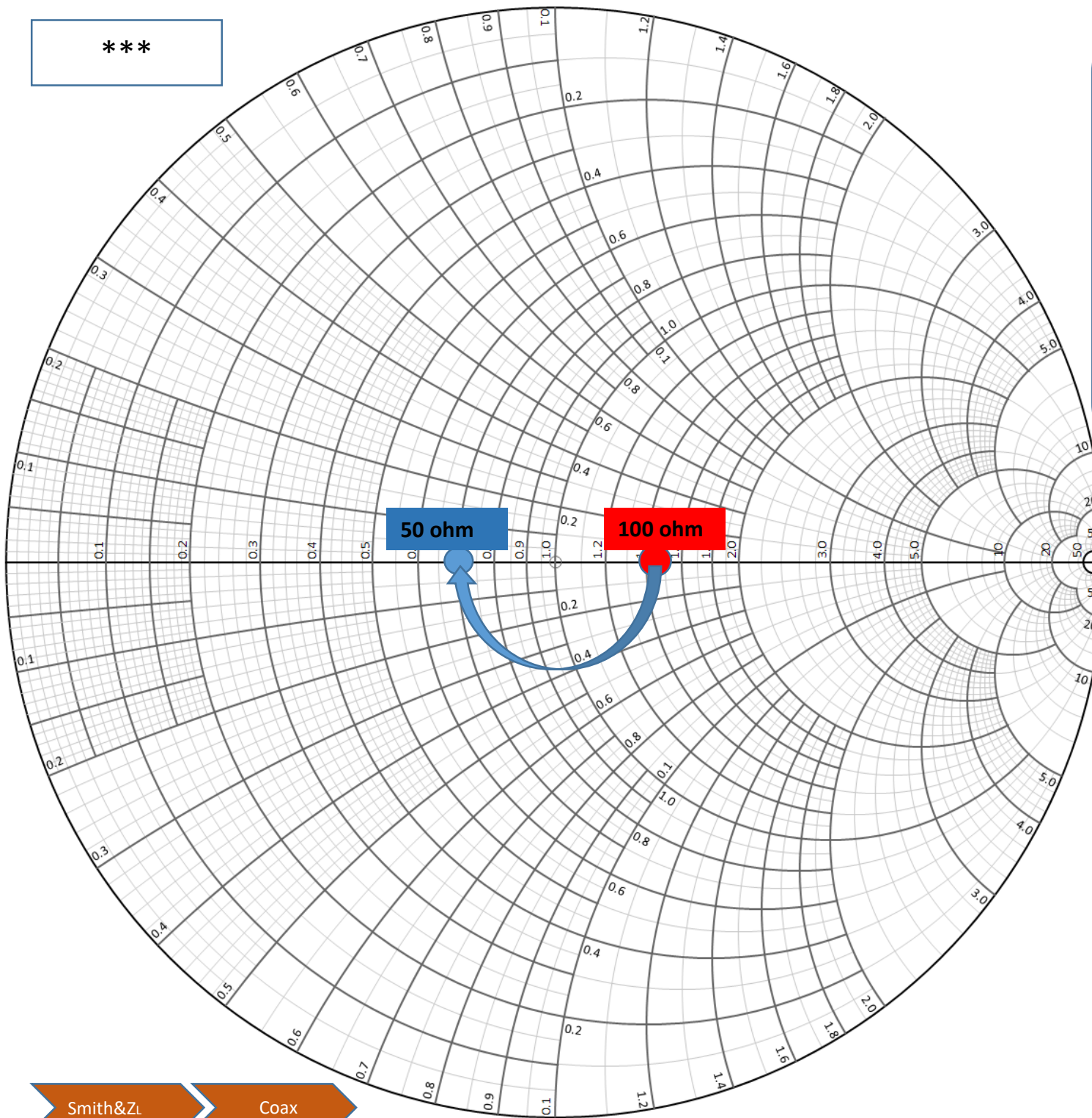
Smith Chart uit Nanosaver software



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 (= 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** = $50/70 = 0,71$

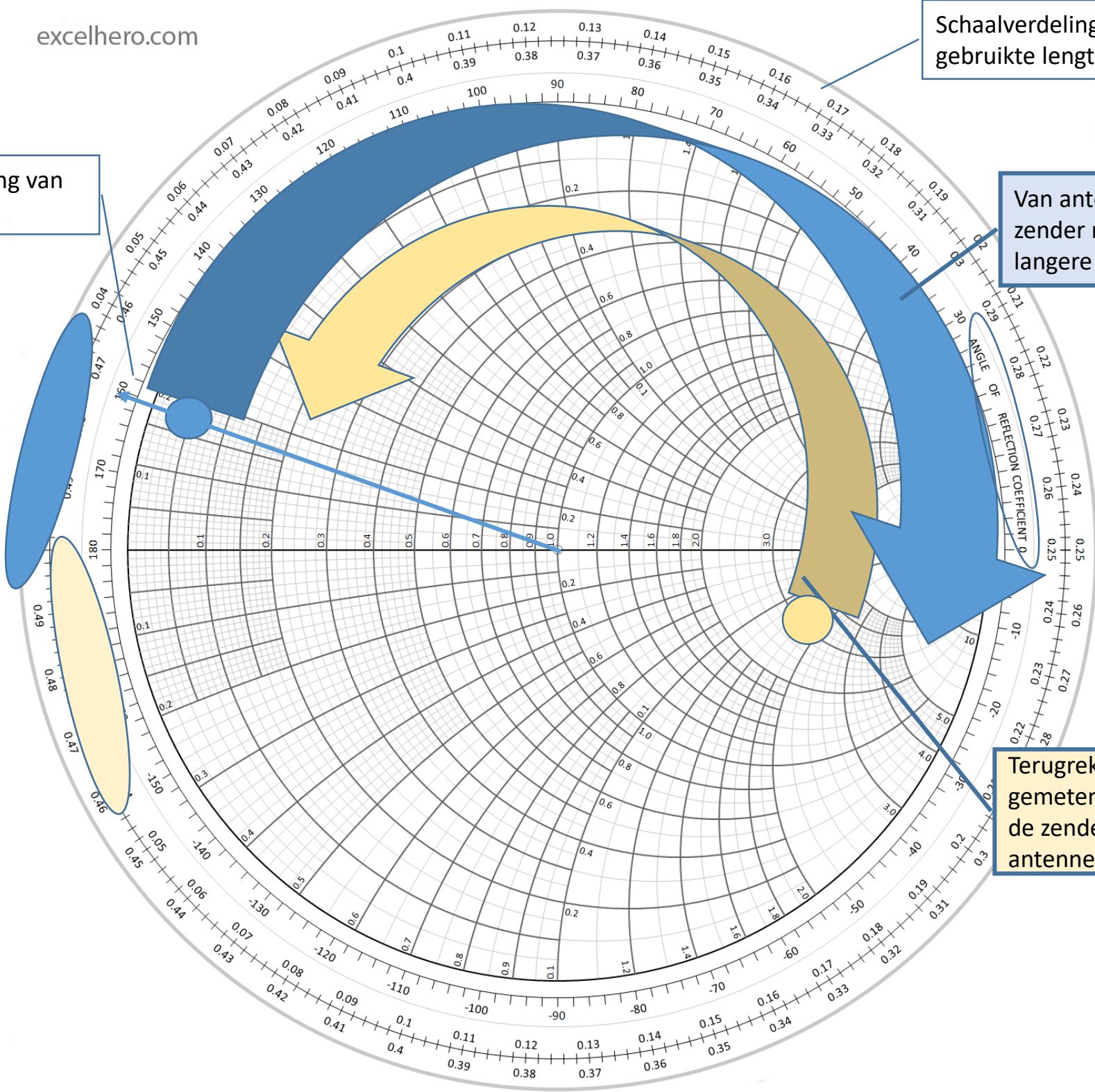
Merk op:

- 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!)

Schaalverdeling voor gebruikte lengte coax

Hoek verdraaiing van de reflectie

Van antenne naar zender met steeds langere coax



Terugrekenen van gemeten waarde bij de zender naar de antenne impedantie



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

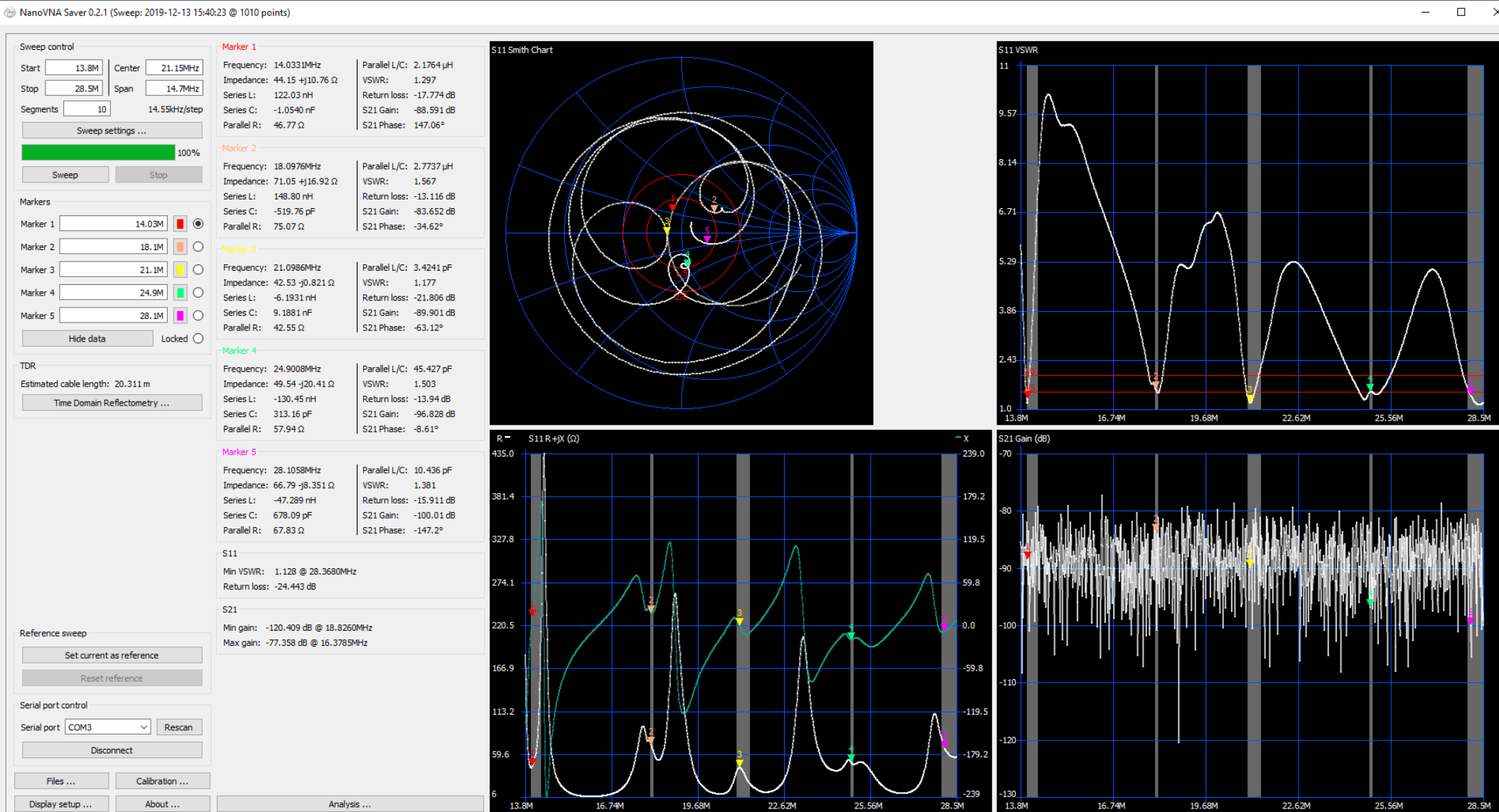
- Werk met op 50 ohm gekalibreerde NanoVNA
- Kies frequenties van b.v. 1 MHz tot 30 MHz
- Open stukje coax eraan
- Willekeurige andere weerstand eraan
- Condensator of Spoel eraan
- Combinaties van weerstand en coaxkabels op verschillende frequenties.

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



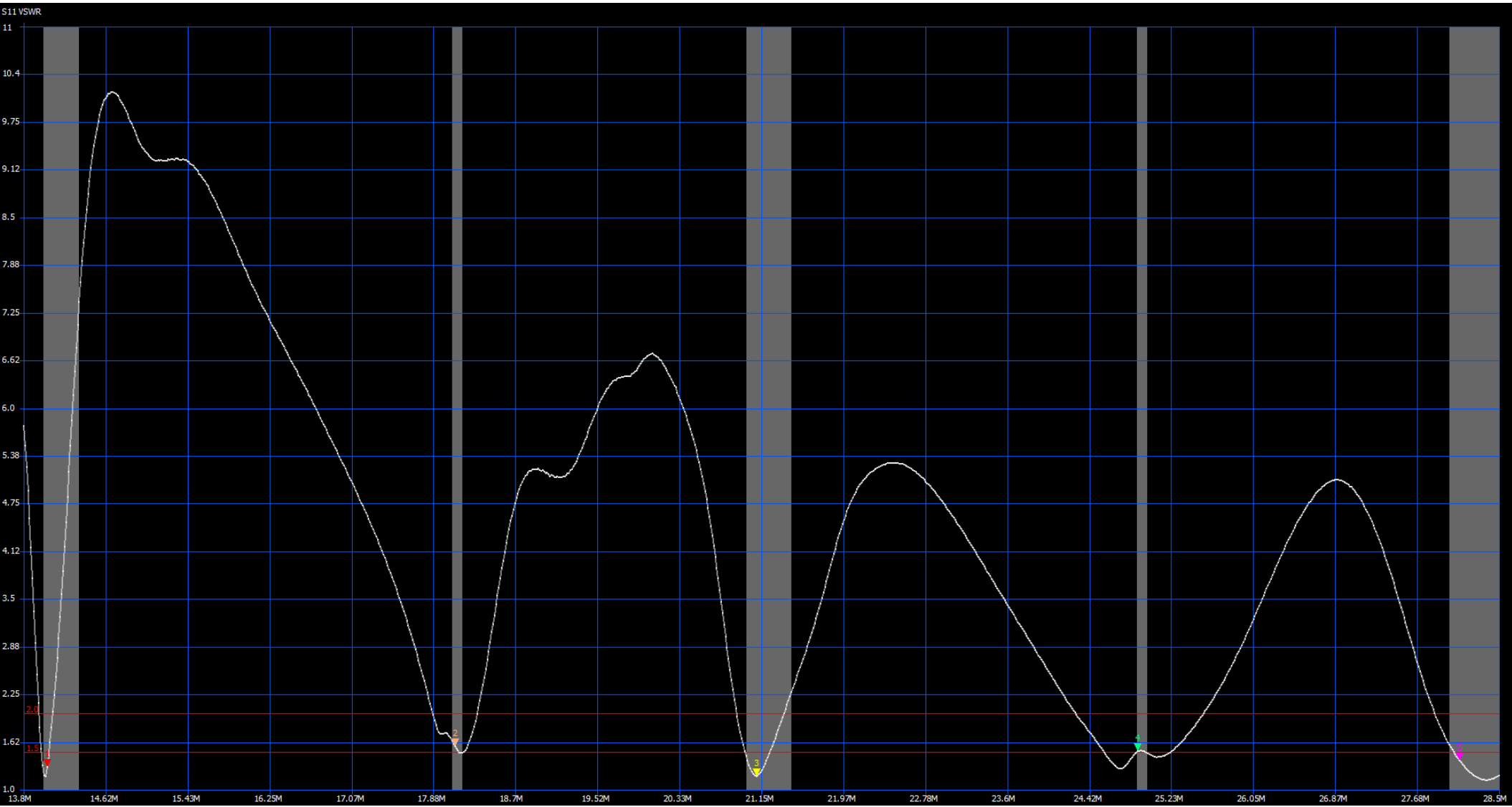
Screenshot NanoVNA Saver: 5 banden antenne MA5B @PA3A

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



Uitvergroting op de volgende slides

MA5B VSWR



MA5B sweep

S11 Smith Chart

Markers

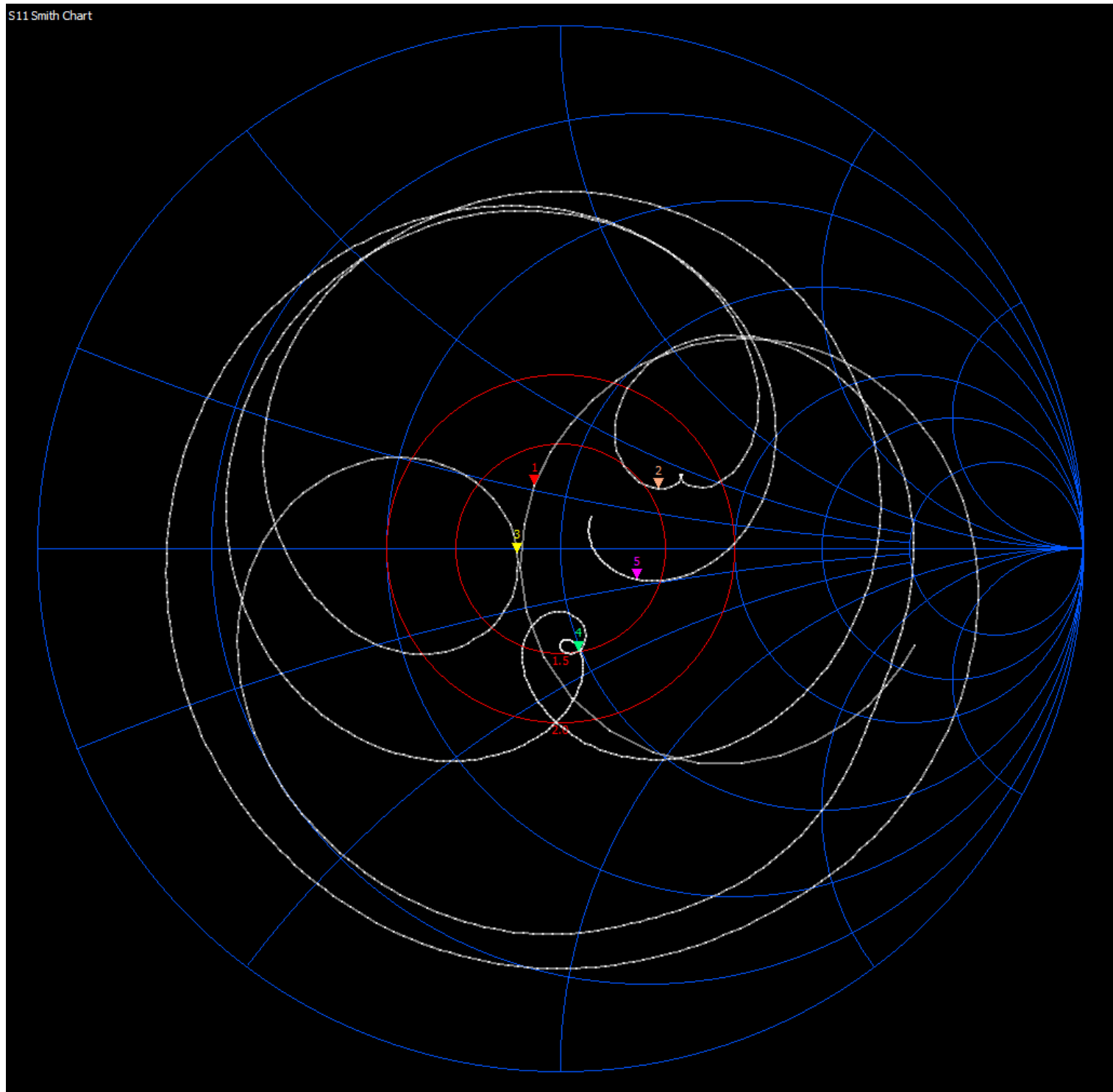
Marker 1	<input type="text" value="14.03M"/>	<input checked="" type="checkbox" value="red"/>	<input type="radio"/>
Marker 2	<input type="text" value="18.1M"/>	<input checked="" type="checkbox" value="orange"/>	<input type="radio"/>
Marker 3	<input type="text" value="21.1M"/>	<input checked="" type="checkbox" value="yellow"/>	<input type="radio"/>
Marker 4	<input type="text" value="24.9M"/>	<input checked="" type="checkbox" value="green"/>	<input type="radio"/>
Marker 5	<input type="text" value="28.1M"/>	<input checked="" type="checkbox" value="magenta"/>	<input checked="" type="radio"/>

Sweep control

Start

Stop

Segments 14.55kHz/step



Wie was Smith

Phillip Hagar Smith
Lexington, Massachusetts
1905 – 1987



Bron: Smithchart.org

Elektrotechnisch ingenieur bij Bell Telephone Laboratories

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 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 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 de andere 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

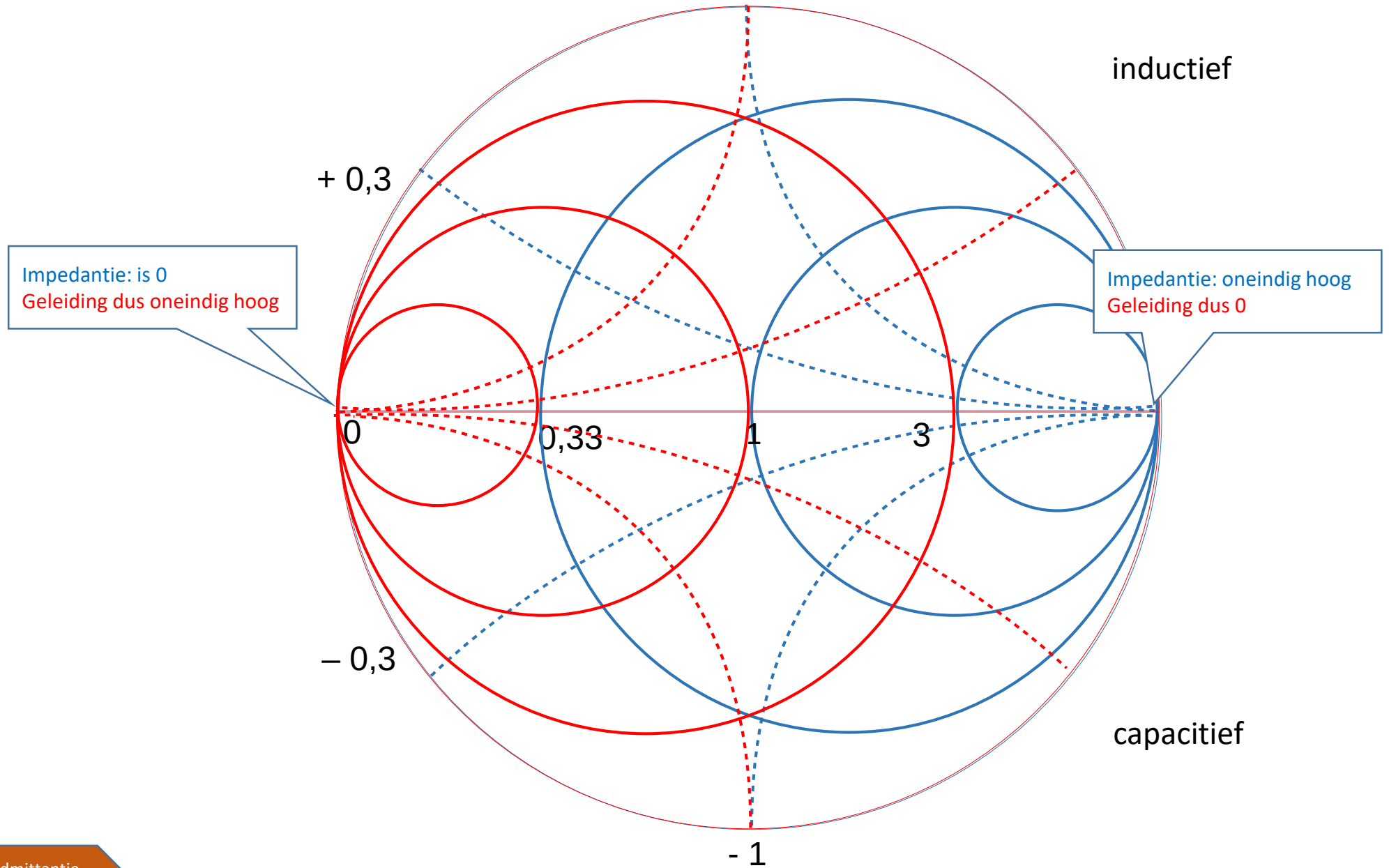
Dit geldt voor alle Impedanties

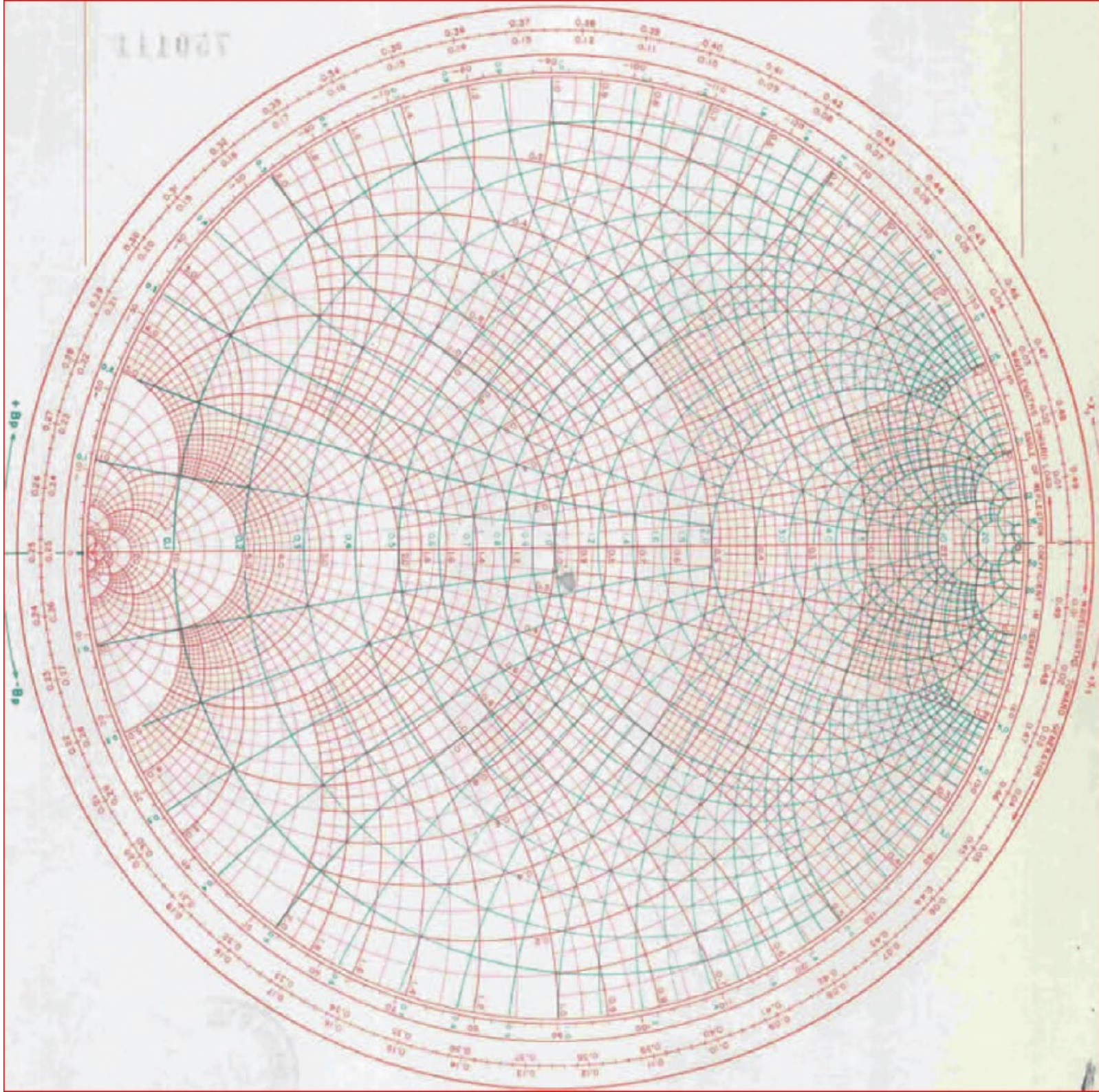
De geleiding van **Impedantie** (Z) heet **Admittantie** ($Y = \frac{1}{Z}$)

Impedantie in de Smith Chart met de impedantielijnen

en

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

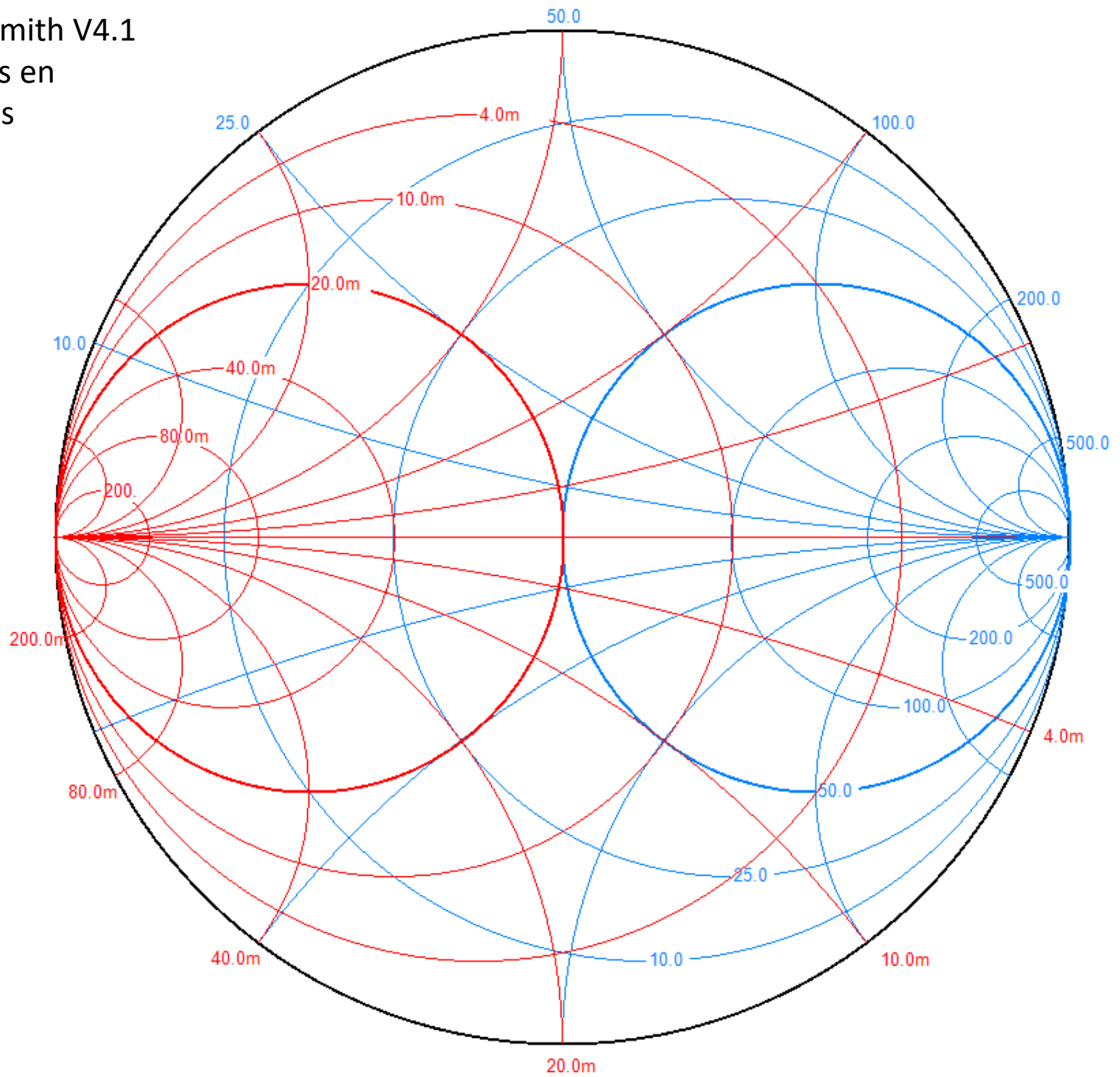




Oud
kopietje

Admittantie

Bron: Smith V4.1
In ohms en
siemens



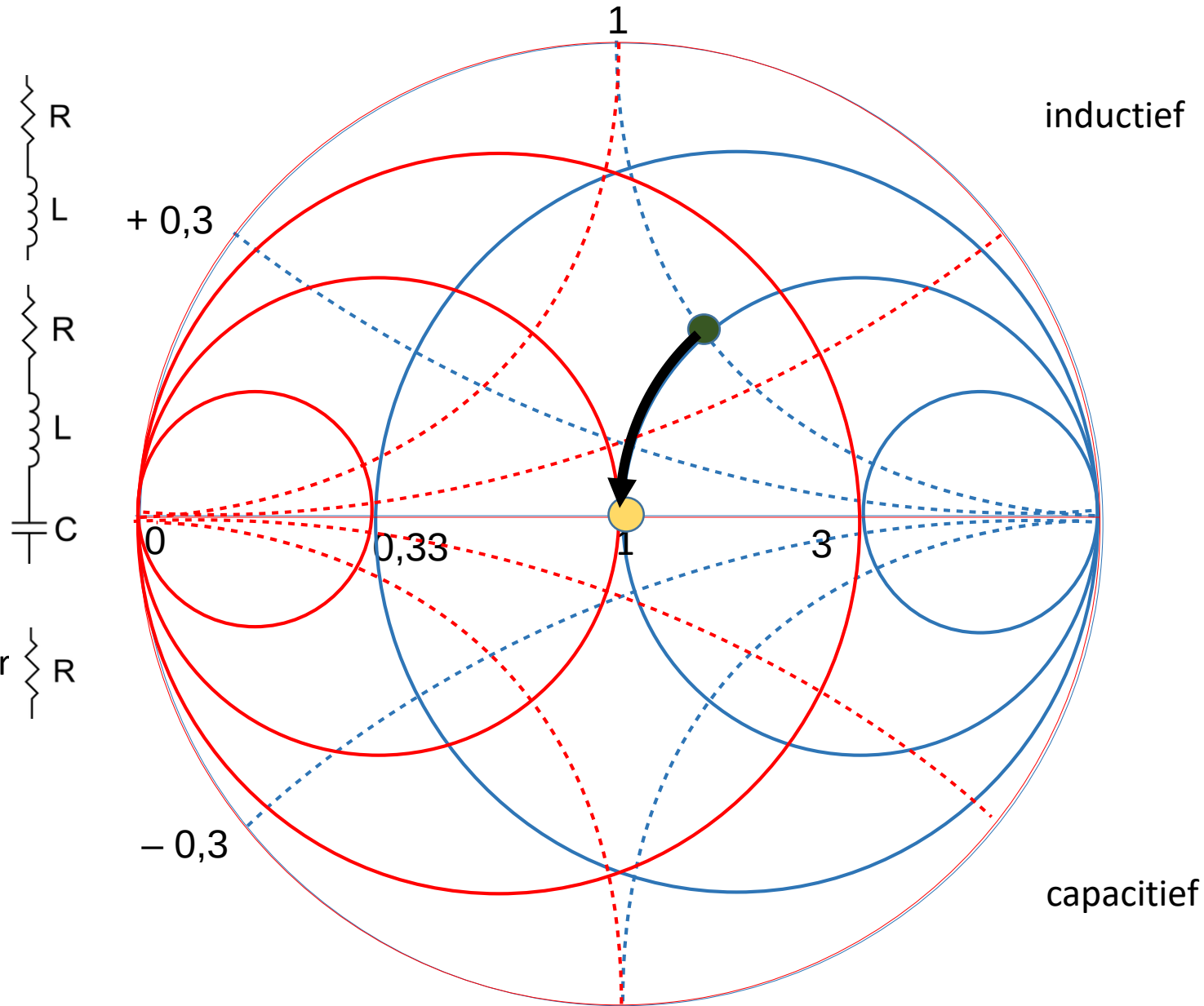
Tuner: TRUC 1 met de Smith Chart

Condensator in serie: Richting capacitief langs de 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

$$Z = 10 + j20 \text{ ohm}$$

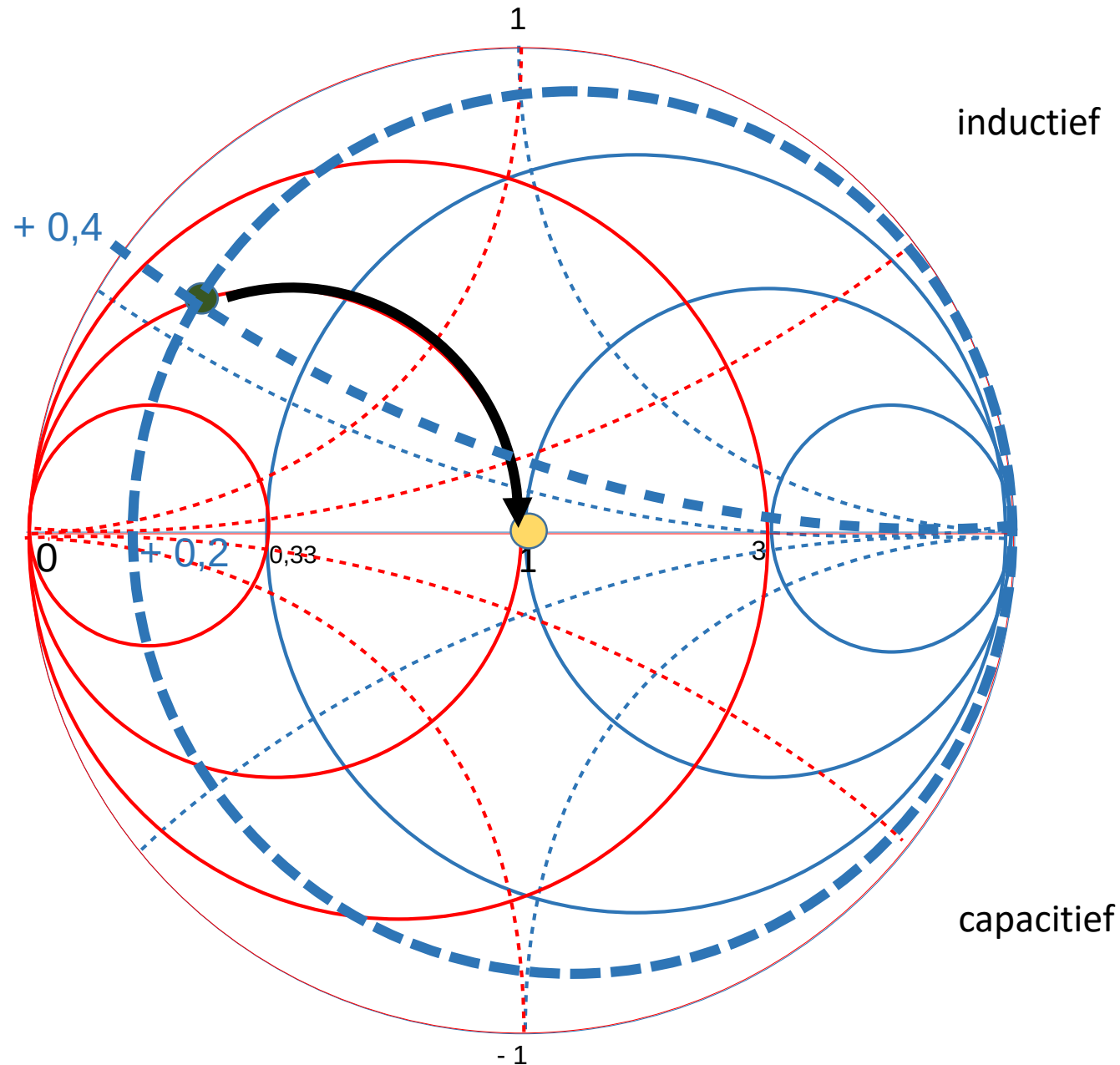
in de schart: $0,2 + j0,4$

$$\text{SWR} = 1 : 10$$

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 $10 + j20$ ohm omgezet naar 50 ohm!



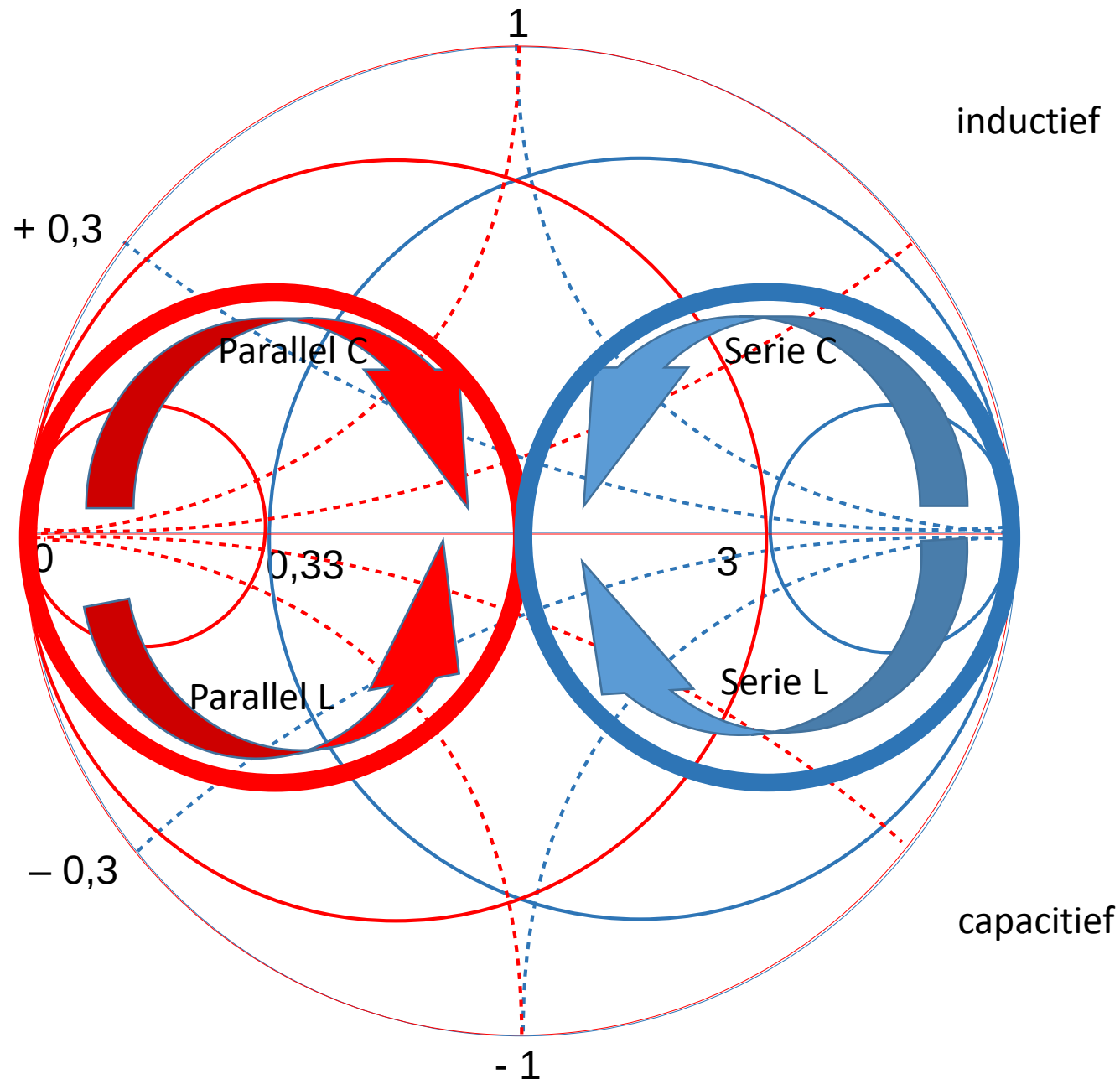
We hebben gezien dat we enkele impedanties konden 'tunen' naar het 50 ohm punt met slechts één enkele condensator.

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 $1/50 \text{ ohm} = 20 \text{ mili siemens}$ lijn (rood)



Samenvatting:

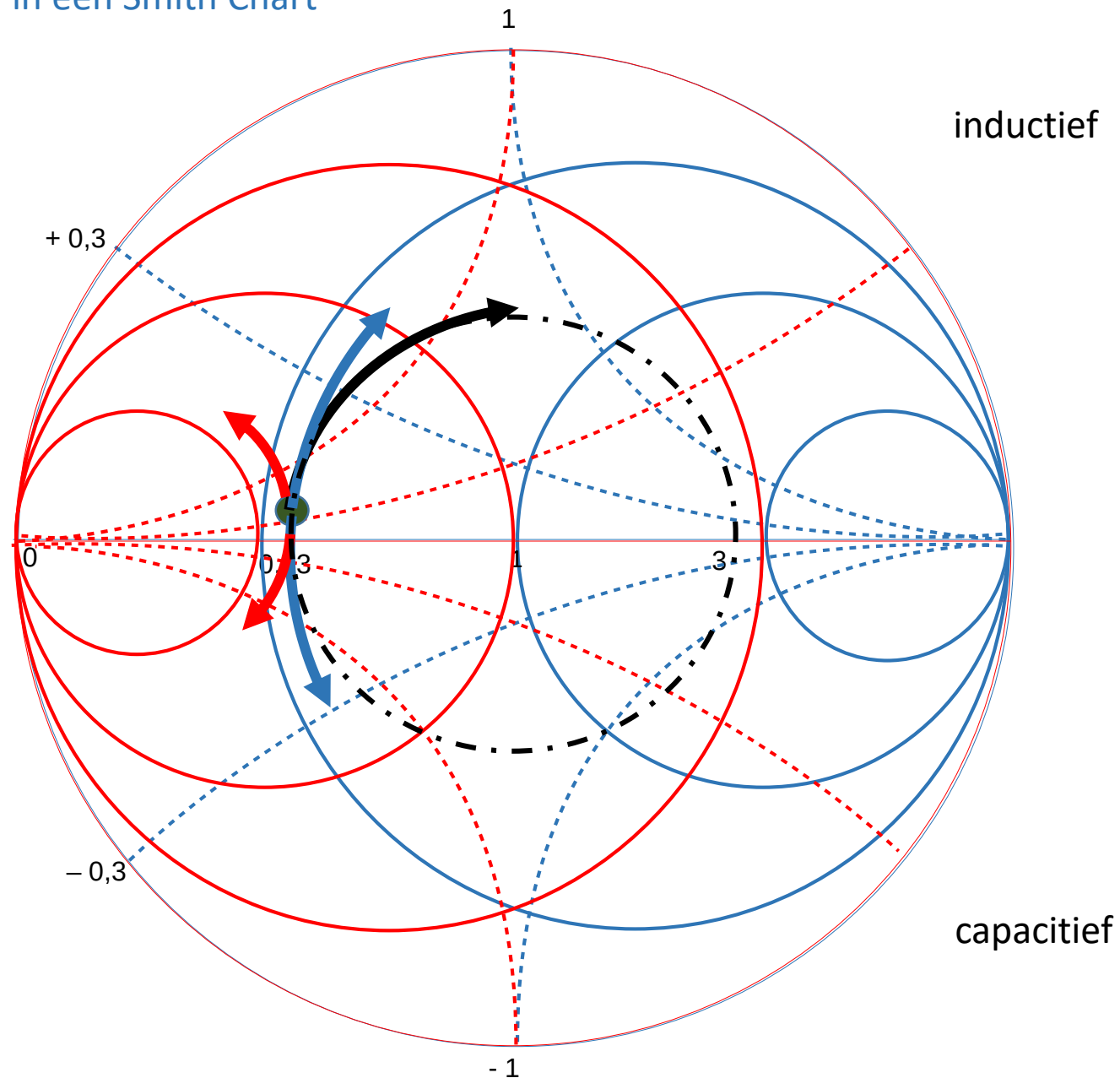
Toevoegen van componenten in een Smith Chart

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



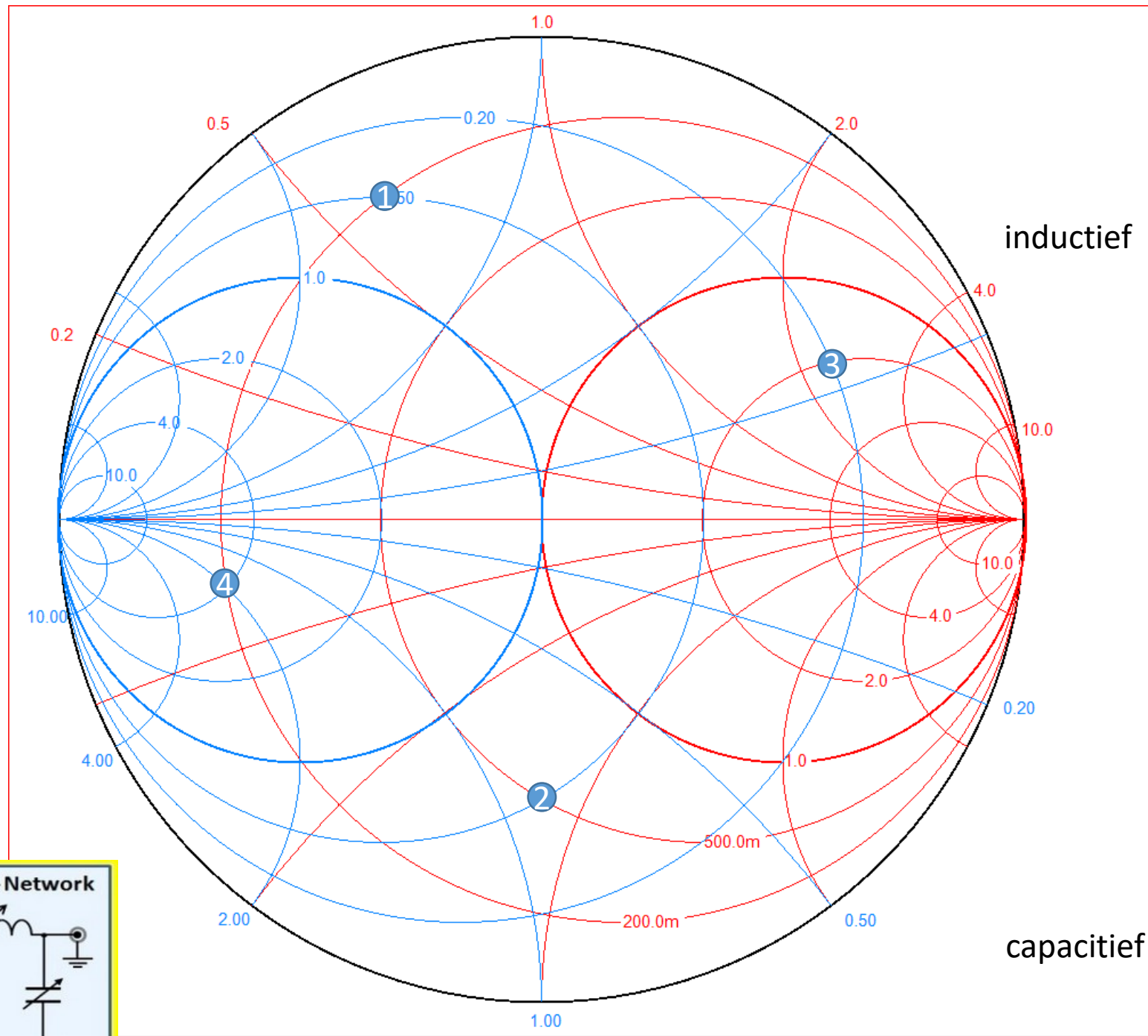
Vraag:

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

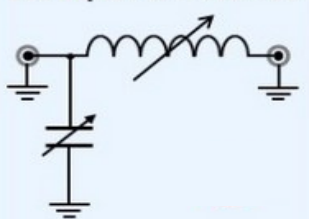
Tip 1:
Zorg dat je eerst op een van de twee cirkels door '1' komt.

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

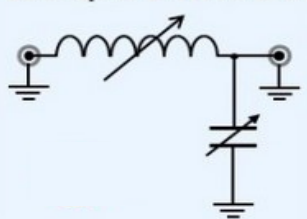
(Dit kan nl. altijd)



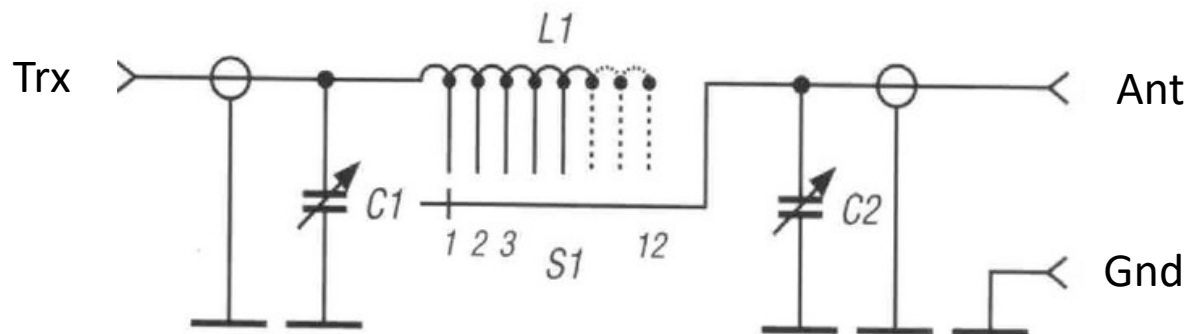
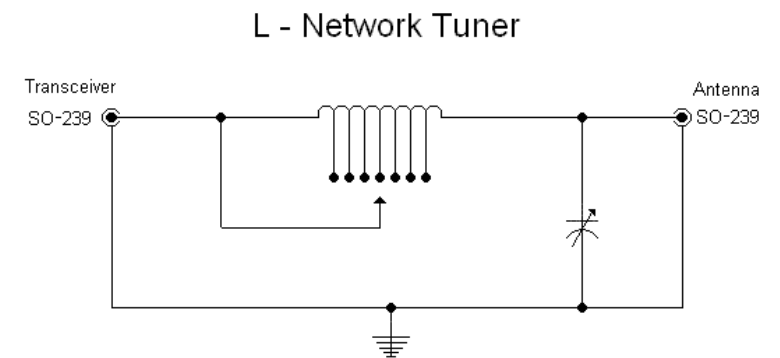
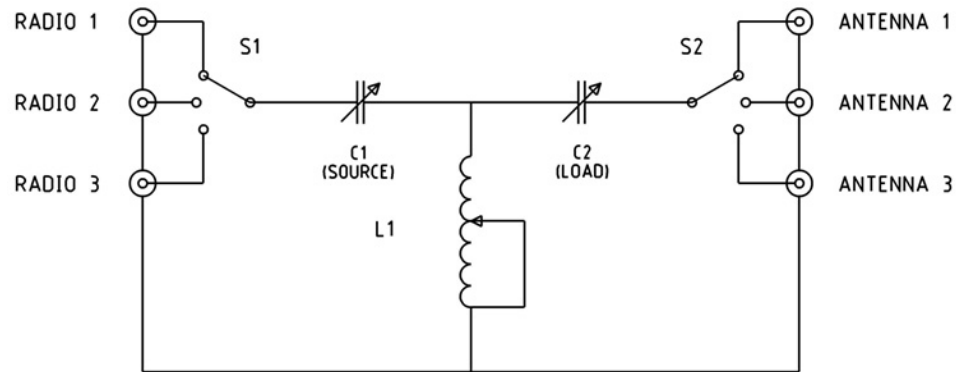
Example: L-Network



Example: L-Network



Verskillende simpele aanpasnetwerken → zgn. Tuners



Oplossing 1

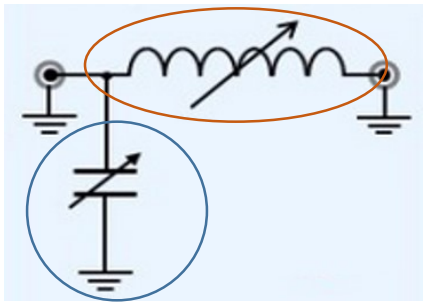
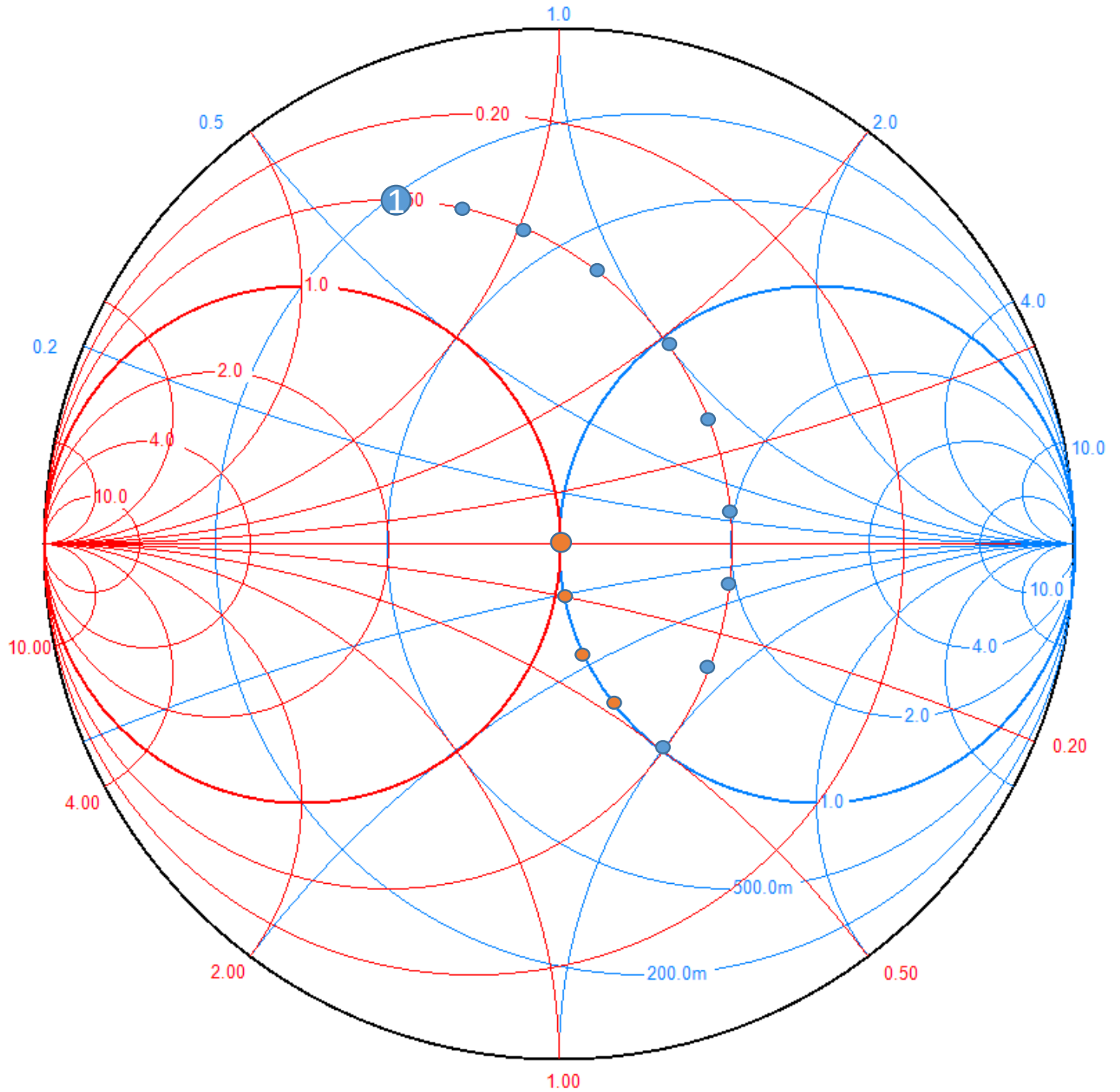
Met **L-netwerk**:

Met Parallel C

En

Serieel L

(in low-pass)



Oplossing 1

Met T-netwerk:

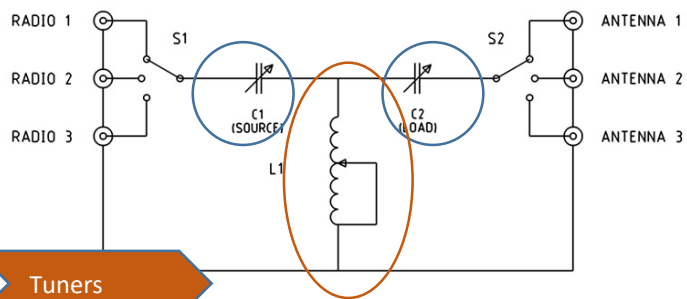
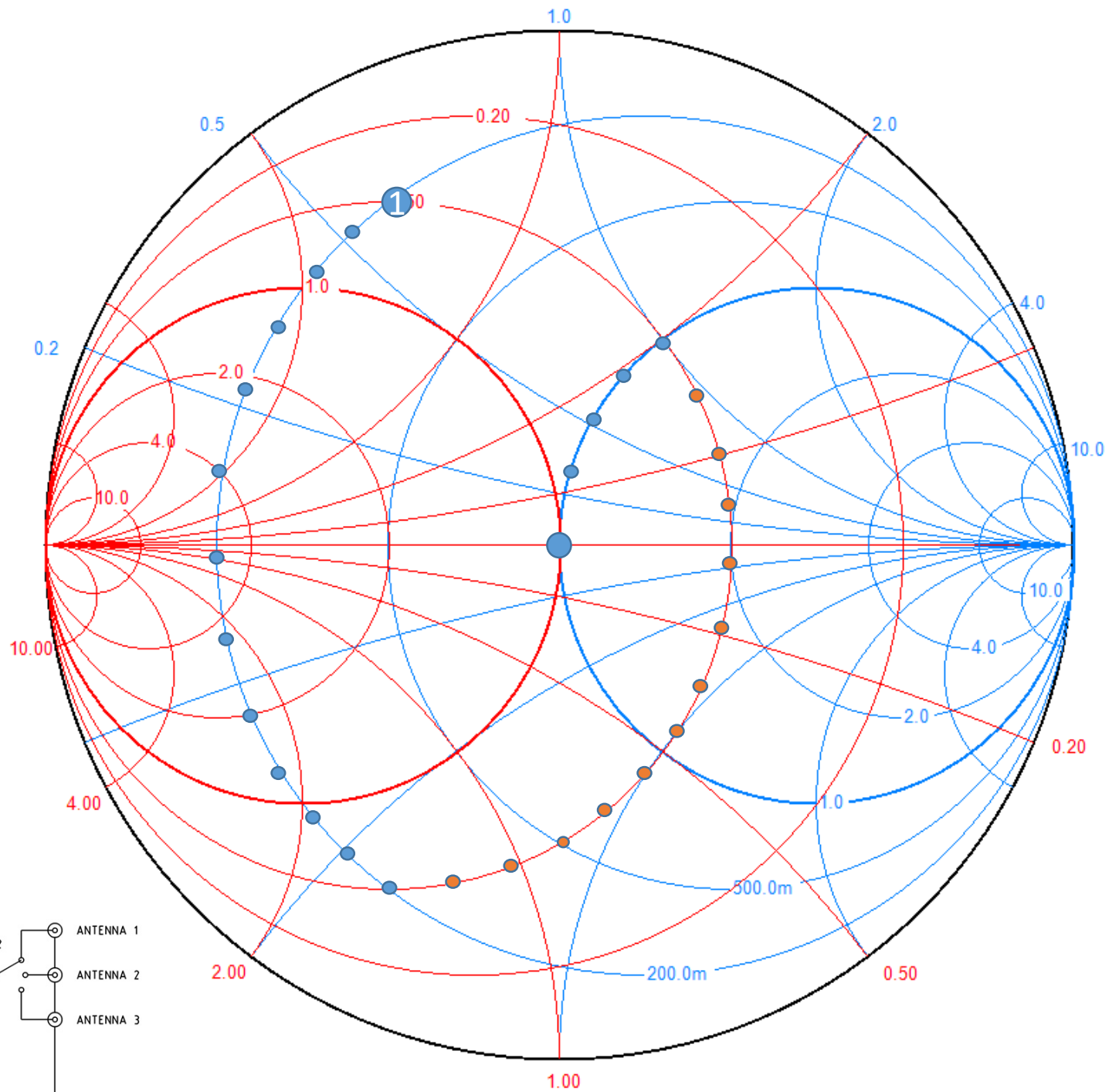
Met Serie C

En

Parallel L

En

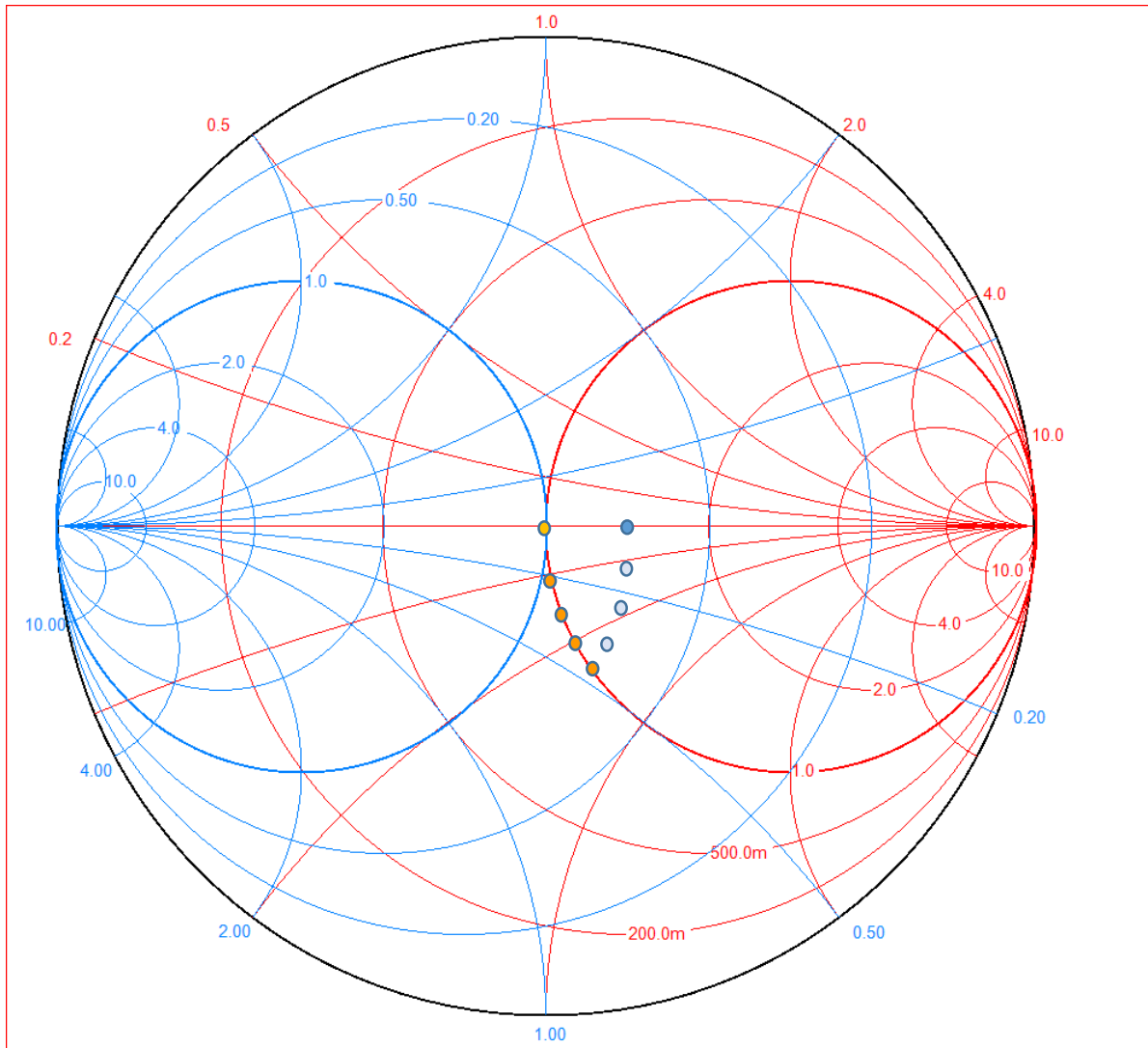
Serie C



Demo

75 ohm aanpassen naar 50 ohm

m.b.v. tuner met L-netwerk en de nanoVNA

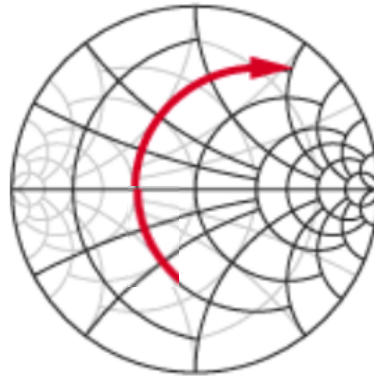


L en C– netwerk

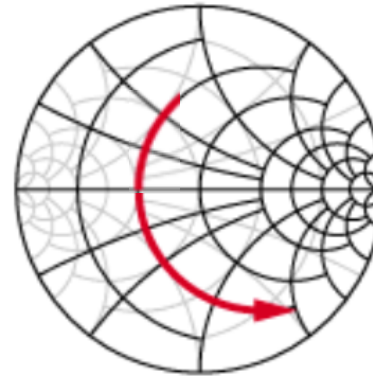
source: certifytech.tripod.com

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

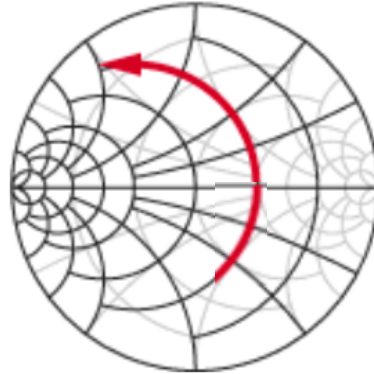
Increasing Series L



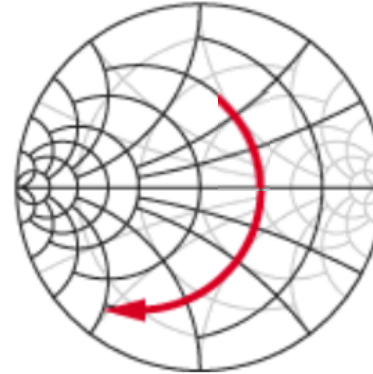
Decreasing Series C



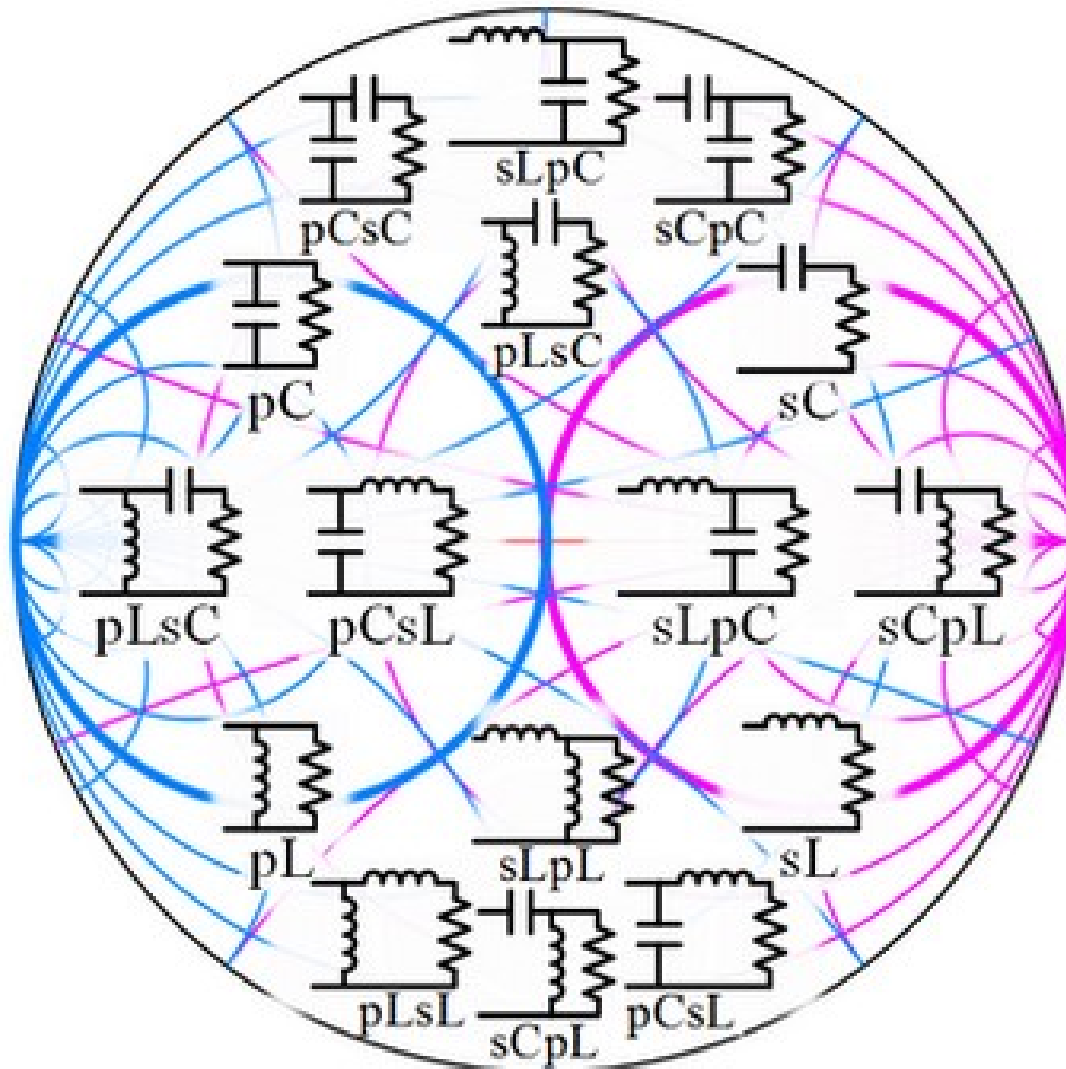
Decreasing Shunt L



Increasing Shunt C



Matching met twee componenten in L



Rfmentor hulpmiddelen

Account aanmaken op

<https://www.rfmentor.com>

Daarna Smith Chart kiezen

BIJLAGE

- NanoVNA Info
- Bronnen

nanoVNA info

Goed nanoVNA **manual** (er zijn er meer):

<https://groups.io/g/nanovna-users/files/NanoVNA-User-Guide-English-reformat-Dec%209-19.pdf>

Info over de nanoVNA: <https://groups.io/g/nanovna-users/wiki/home>

Pc-software nanovnasaver: <https://github.com/mihtjel/nanovna-saver/releases>

Voor Windows, Linux en Mac OS zie: <https://github.com/mihtjel/nanovna-saver>

STATUS MAART 2020

De **nanoVNA-H** (H staat voor 'Hugen') is op dit moment de nanoVNA met de beste specs en is geoptimaliseerd.

Link van de producent: https://www.alibaba.com/product-detail/Hugen-NanoVNA-H-New-item-Original_62342877955.html

Dit is type H-printversie 3.4 met een 2.8 inch scherm.

De **nanoVNA-H4** is 4 inch schermversie (\$10 duurder) met printversie H 3.4 als 'engine' in het RF deel. Heeft andere firmware door het gebruik van het 4 inch scherm en grotere batterij. Huidige versie (feb 2020) van de 4 inch print is 4.2

Link: https://www.alibaba.com/product-detail/4-2-version-1950mAh-battery-Original_62455845943.html?spm=a2700.12839234.0.0.7eff3e5fdQYtdX

De **nanoVNA-V2** (ook Gabriel-versie genoemd) is uit sinds eind februari 2020. Andere hardware layout en andere firmware. Bereik tot 3 GHz.

Geleverd zonder batterij, omhulsel en meetkabels.

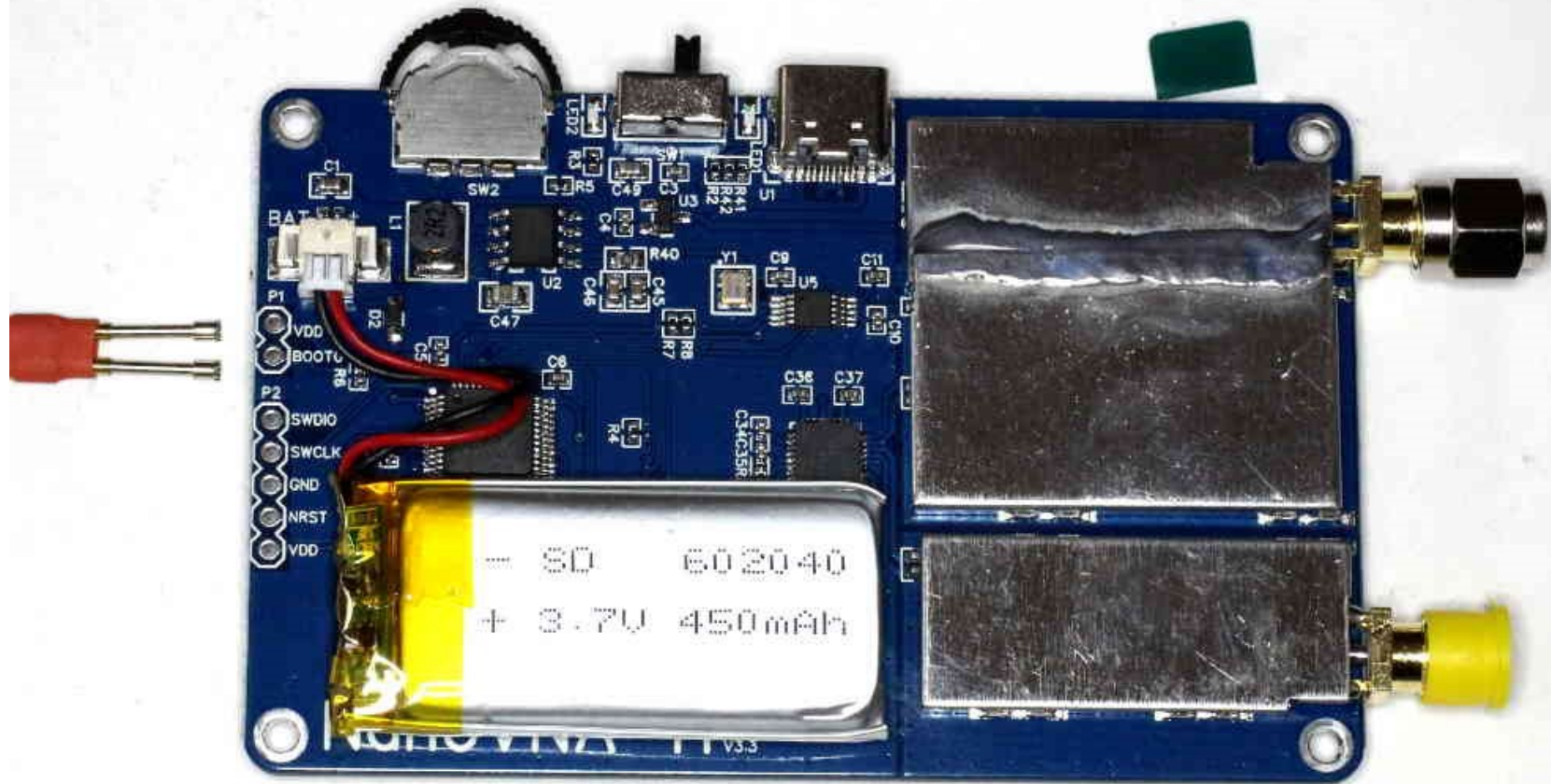
De **nanoVNA-F** is een heel andere versie van de nanoVNA (ander ontwerp)

nanoVNA-H3 (Hugen) laatste printversie 3.4

Measurement frequency: 10KHz -1.5GHz

RF output: 0dbm (± 2 dbm)

Measurement range: 70dB (50kHz-300MHz), 60dB (300M-900MHz), 40dB(0.9G-1.5GHz)



nanoVNA-H4 (Hugen)
laatste printversie 4.2

RF-deel is zelfde als 2.8" versie 3.4

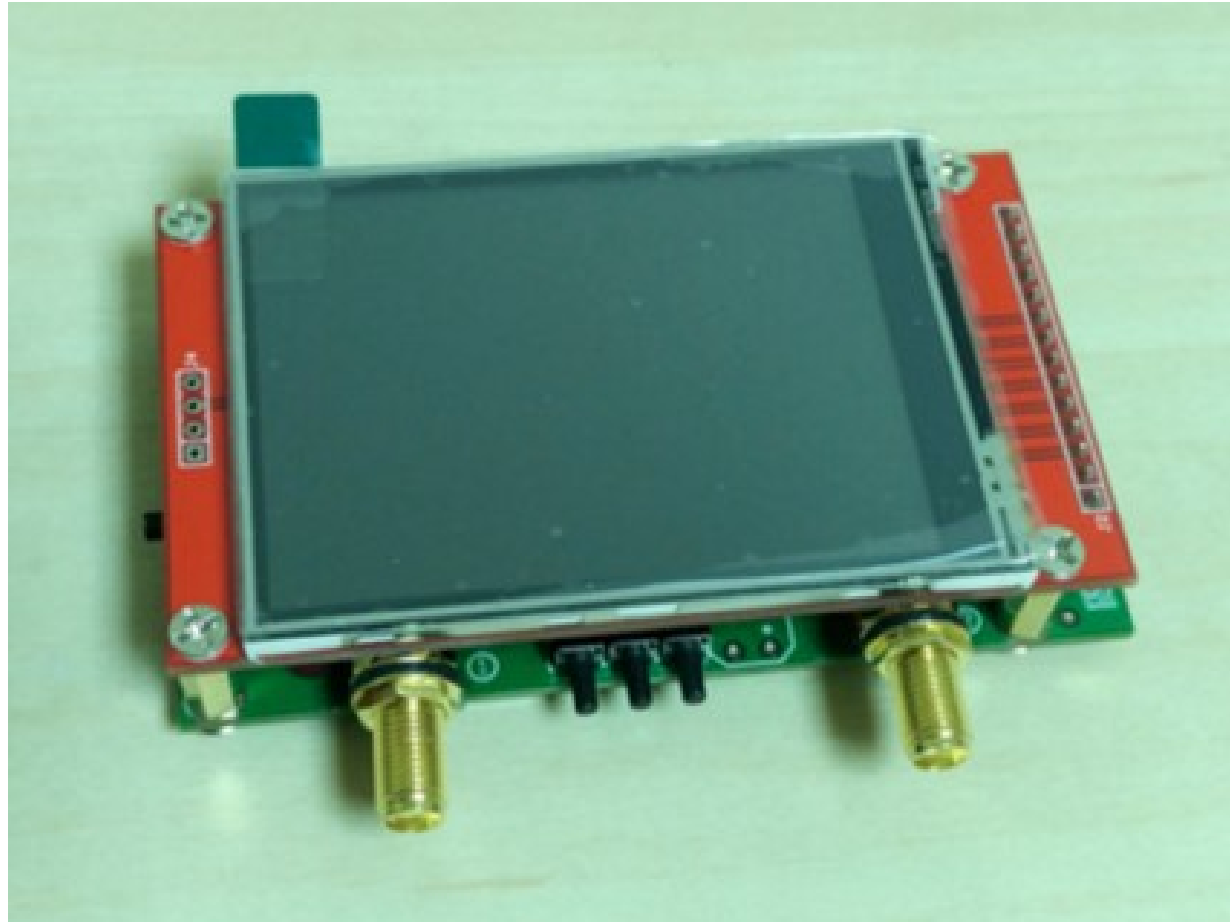


NanoVNA V2.2 (Gabriel) eerste productie

Final specifications:

System dynamic range (calibrated): 70dB (to 1.5GHz), 60dB (to 3GHz)

S11 noise floor (calibrated): 50dB (to 1.5GHz), 40dB (to 3GHz)



Wordt zonder batterij en meetkabeltjes verzonden.

NanoVNA-F (BH5HNU)

height 75mm

130mm

PORT 1
S11

PORT 2
S21

NanoVNA-F
Vector Network Analyzer

4.11V S11 SWR 1.0/ 1.59 S21 LOGMAG 10dB/ +82.13dB
S11 SMITH 1.0FS 32.2Ω 6.73nH S21 PHASE 90°/ +57.83°
1: 139,000,000 MHz
START 100,000,000 MHz STOP 200,000,000 MHz

	50k~300MHz	300~600MHz	600~1000MHz
S11 Dynamic Range	>60dB	>50dB	>40dB
S11 SWR	<1.005	<1.01	<1.02
S21 Dynamic Range	>70dB	>70dB	>60dB

FX nano



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>

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)