Achtergrond VNWA

Henk de Koning PA0HKZ

GPSDO
Lock
0:P30 S41 EL62 AZ178
1:P13 S28 EL22 AZ265
2:P16 S 0 EL11 AZ 25
3:P 9 S37 EL31 AZ 87
Page
RS/USB
10 MHz
1 PPS
Ant
Int

0 10 20 30 40 50 60
0 III 10
10
II
0
30
20
10

Historie

Scalair

- Wobbelaar breedbandig 30 dB
- Sweeper breedbandig 50 dB
- Spectrum analyzer smalbandig 90 dB

Mijn eerste echte wobbelaar. SG24/TMR3

Spectrum Analyzer

Vectorieel

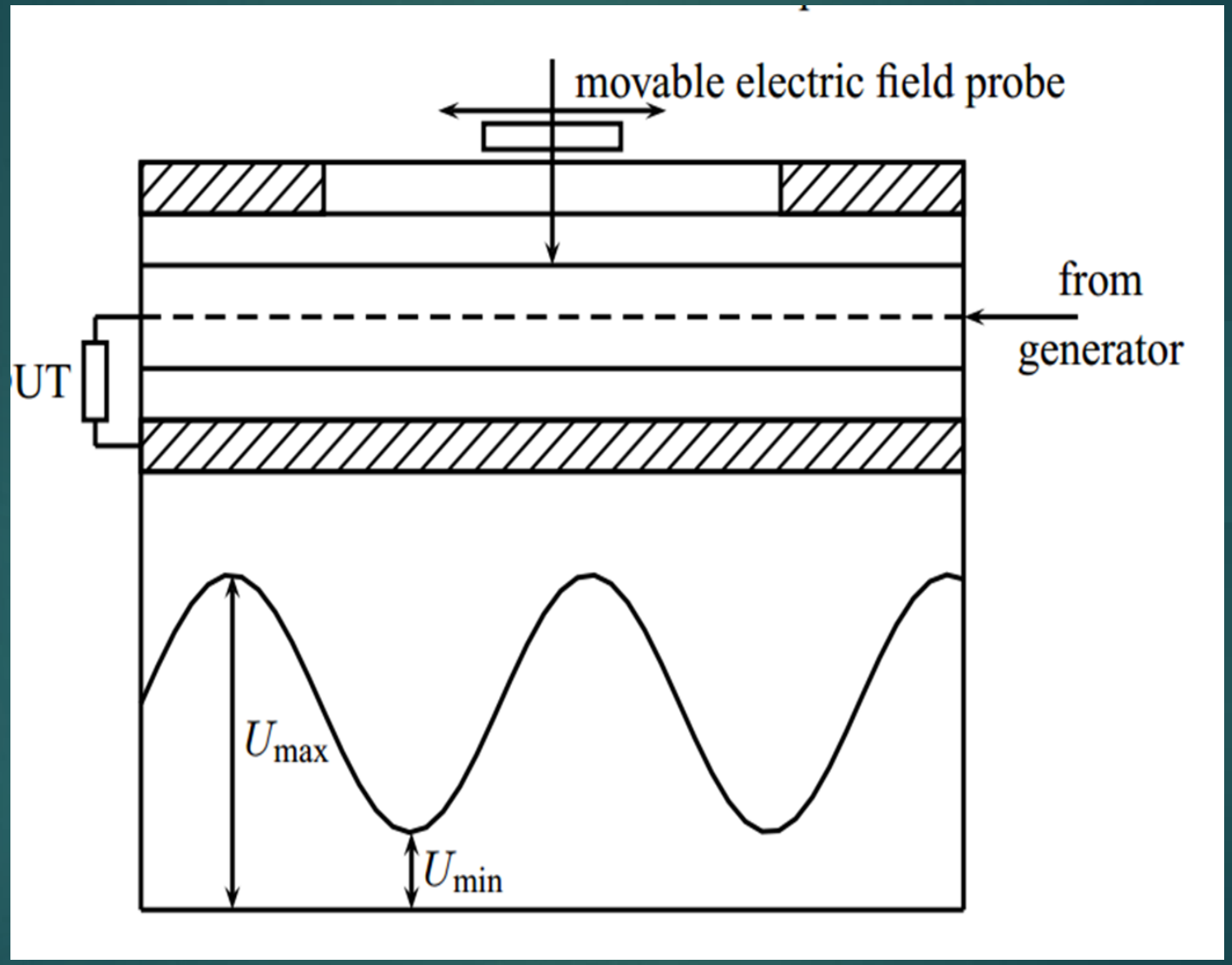
- Slotted Line
- Admittantiemeter
- Vectorvoltmeter
- Vectorimpedantie meter
- Antenne Analyser
- Vector Netwerk Analyser

WAYNE KERR
I.N.31- 230
Autobalance Universal Bridge B642
Meter Sensitivity
Auto
Calibrate
Zero
FSD
G Term
C Term
Range
Trim
Polarity
On
Supply
Polarity
Trim
E
I
External Standards

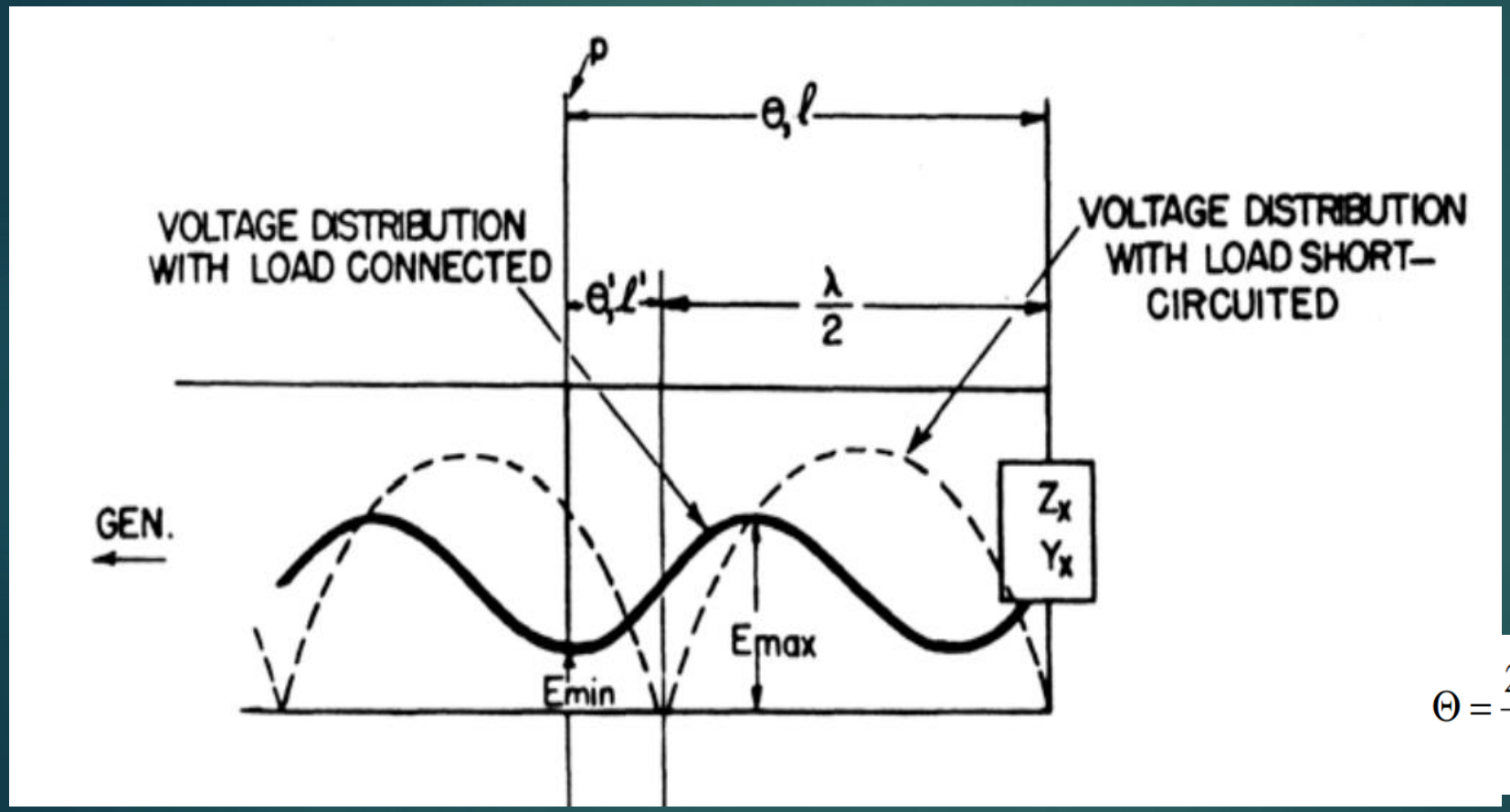
Moderne meter tot 100 kHZ

Slotted line

Staande golfmeter HP 415

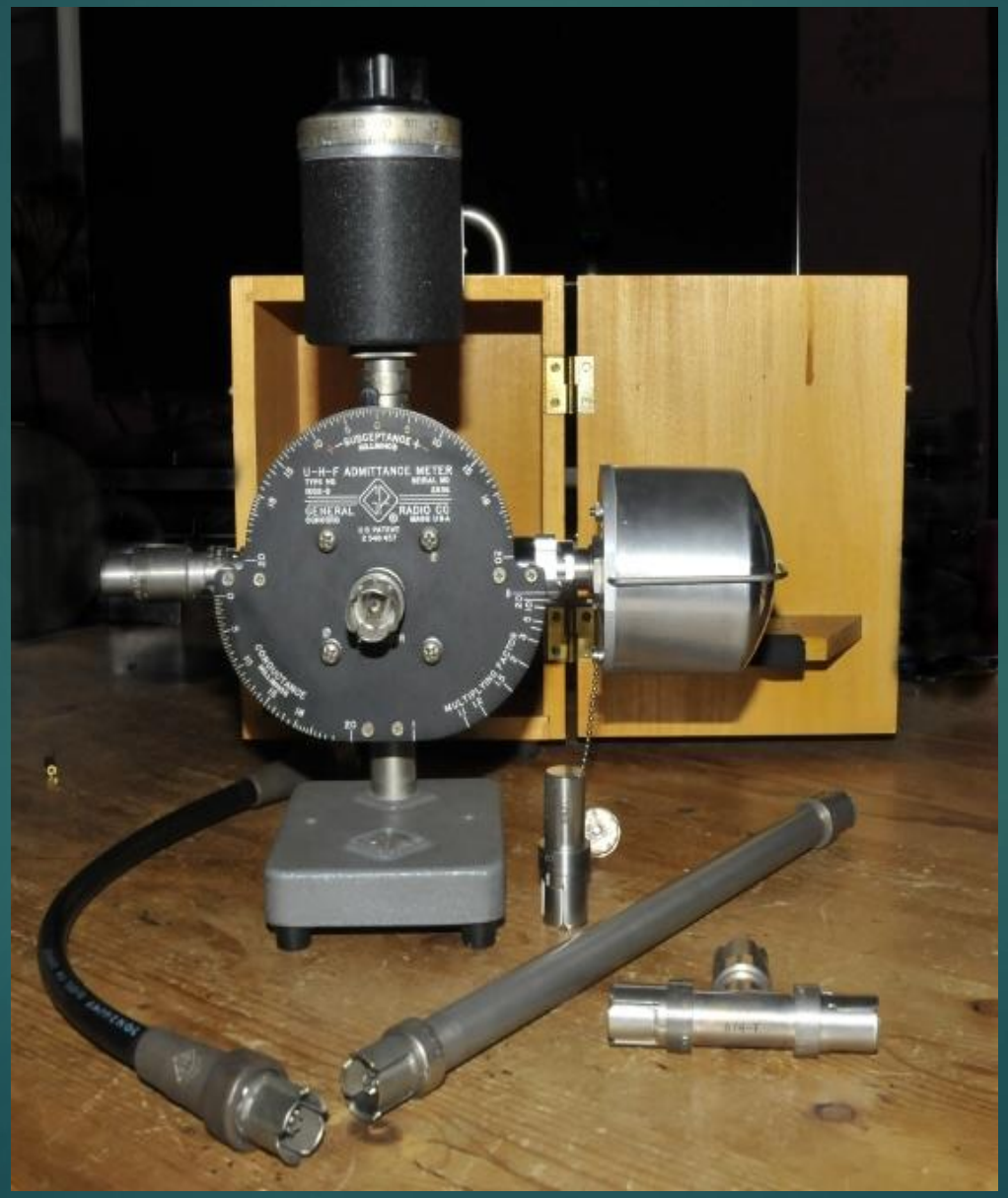

movable electric field probe
from
generator
UT
U_{max}
U_{min}

Fasehoek bepalen:



$$\Theta = \frac{2\pi l}{\lambda}\sqrt{\varepsilon_r} \quad \text{in radians}$$

GR-1602B VHF/UHF admittance meter



R&S ZG diagraph

1958

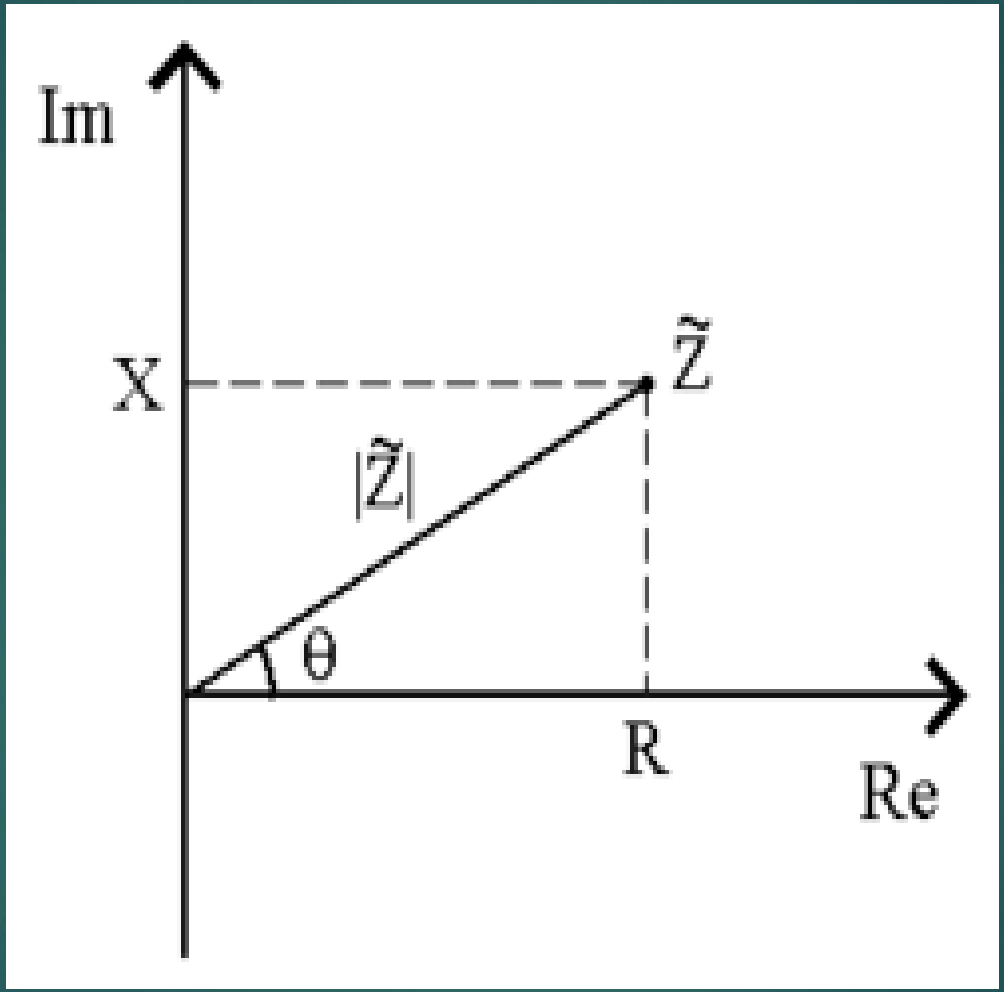
62 Kg !!

320 gram

De Smith Chart

Smith Chart

- Ach wat aardig, het is gewoon een bi-lineaire Moebius transformatie!


Im
X
$\tilde{Z}$
$|\tilde{Z}|$
θ
R
Re

Reflexiecoefficient Γ en VSWR of staandegolf-verhouding

- Γ is defined as the ratio of the electrical field strength E of the reflected wave over the forward traveling wave:

$$\Gamma = \frac{E \text{ of reflected wave}}{E \text{ of forward traveling wave}} \tag{1}$$

- The VSWR is defined as the ratio of maximum to minimum measured voltage:

$$\text{VSWR} = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \tag{2}$$

Impedantie, weerstand en reactantie

De complexe impedantie is de som van weerstand en reactantie

$$Z = R + j\,X$$

Admittantie, conductantie en suspectantie

De **admittantie** Y is gedefinieerd als het omgekeerde van de impedantie Z:

$$Y = \frac{1}{Z}$$

De eenheid van admittantie is de siemens.

Het verband tussen de geleidbaarheid of conductantie G, de susceptantie B en de admittantie is:

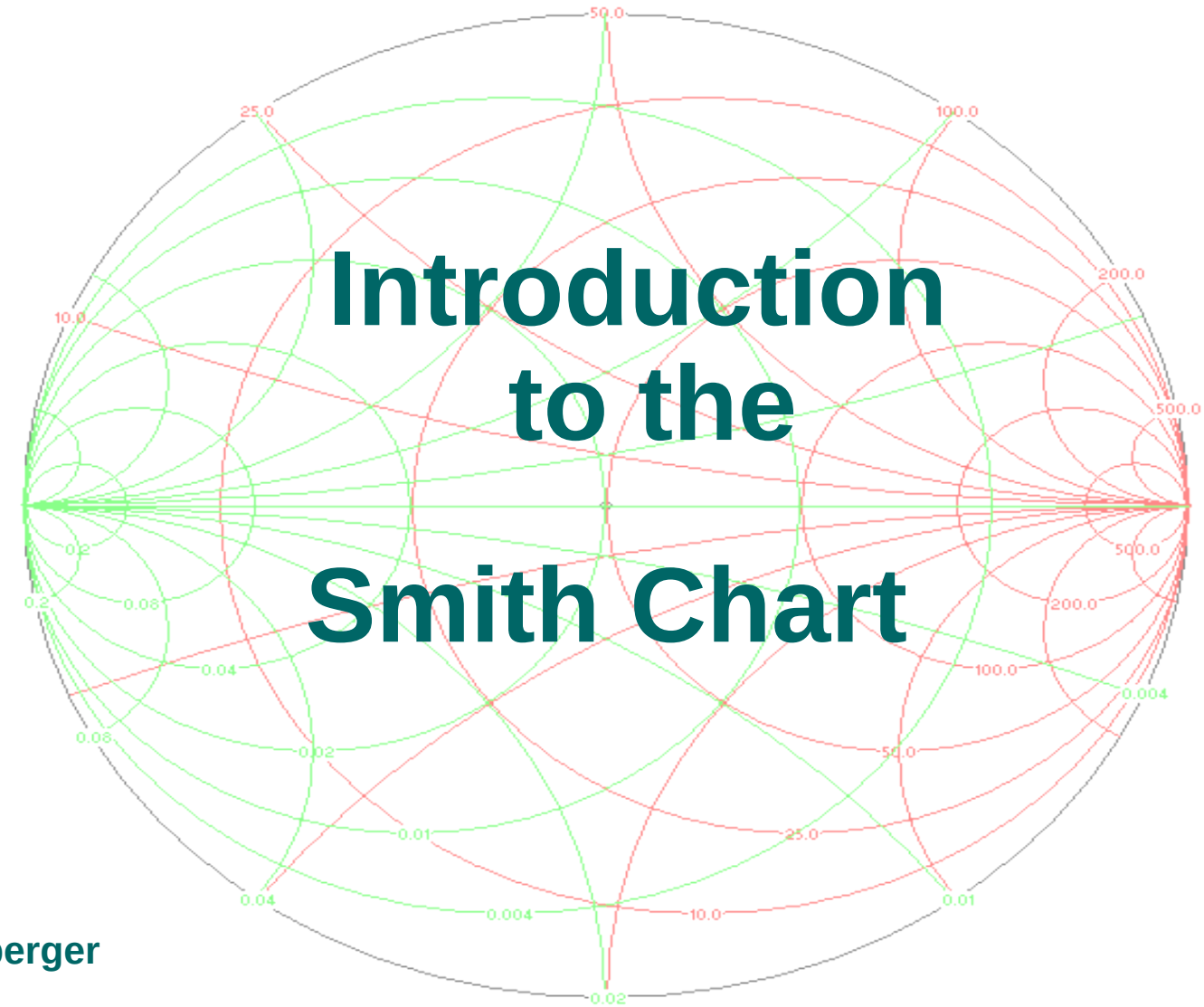
$$Y = G + jB$$

Schakelt men n admittanties $Y_1, Y_2, \ldots, Y_n$ parallel, dan geldt voor de vervangende admittantie Y_p:

$$Y_\mathrm{p} = \sum_{k=1}^{n} Y_k$$

Schakelt men de n admittanties in serie, dan geldt voor de vervangende admittantie Y_s:

$$\frac{1}{Y_\mathrm{s}} = \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{Y_k}$$



Introduction to the Smith Chart

Prof. F. Dellsperger

From theory of lines:

$$\underline{\Gamma} = \frac{\underline{Z} - Z_0}{\underline{Z} + Z_0} = \frac{\frac{\underline{Z}}{Z_0} - 1}{\frac{\underline{Z}}{Z_0} + 1} \qquad \text{(vgl. 1)}$$

Γ : **complexe Reflectie Coëfficient** $= |\Gamma| \angle \theta$

Z : **complexe Impedantie** $= R + jX$

Z_0 **:Normaal impedantie (meestal reëel)**

Genormaliseerde Z = $\underline{z}$ = r + jx

$$\underline{z} = \frac{\underline{Z}}{Z_0} = \frac{R}{Z_0} + j\frac{X}{Z_0} = r + jx \qquad \text{(vgl. 2)}$$

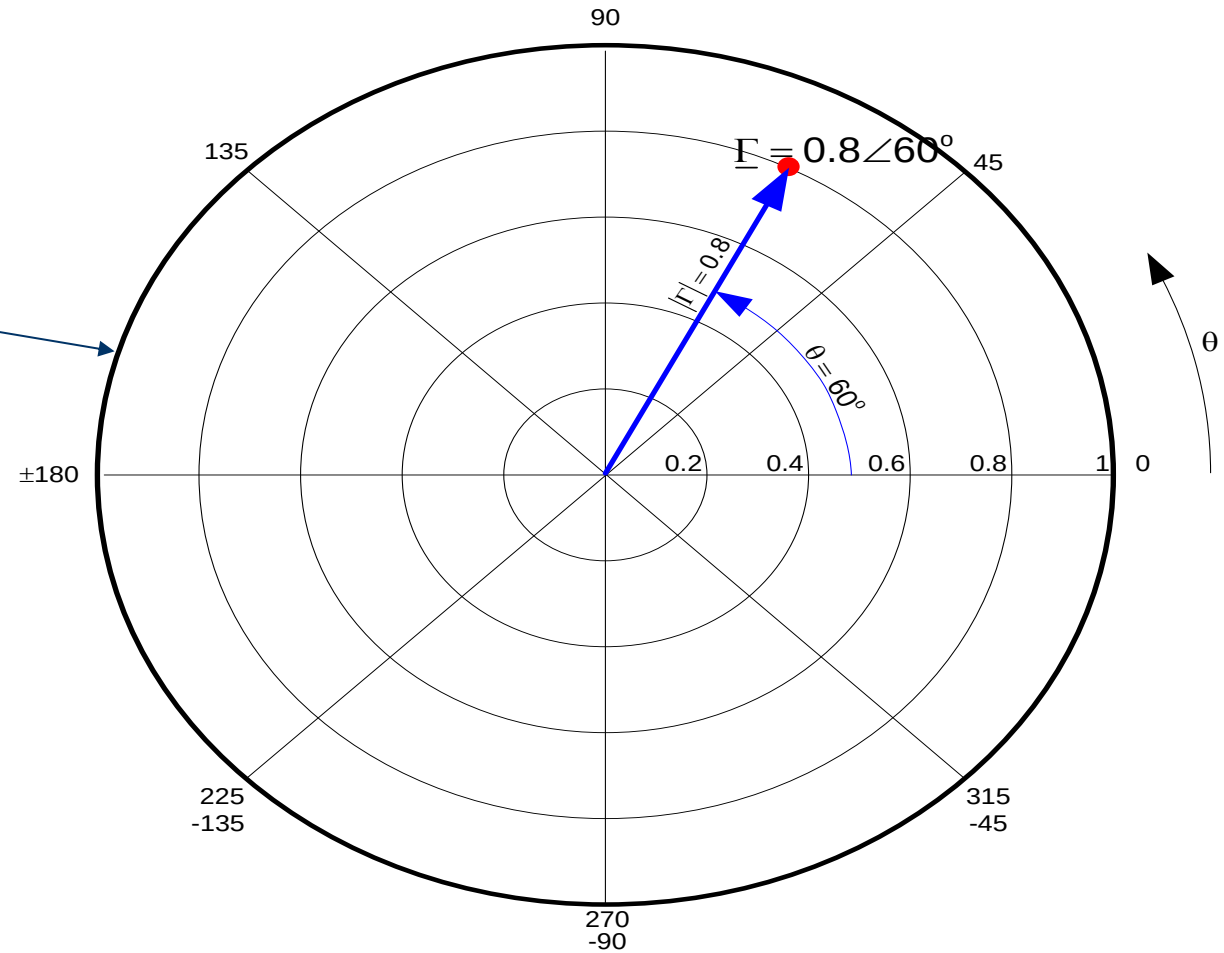
$$\underline{\Gamma} = \frac{\underline{z} - 1}{\underline{z} + 1} = \frac{r + jx - 1}{r + jx + 1} \qquad \text{(vgl. 3)}$$

De Reflectie-coëfficient Polair weergegeven:

$$\underline{\Gamma} = |\Gamma| \angle \theta$$

$$|\Gamma| = 1$$

$$0 \le |\Gamma| \le 1$$



Volgens vlg.1, hoort bij iedere reflectie-coëfficient ook een complexe impedantie $\underline{Z}$, en volgens vlg.3 een complexe genormaliseerde impedantie $\underline{z}$.

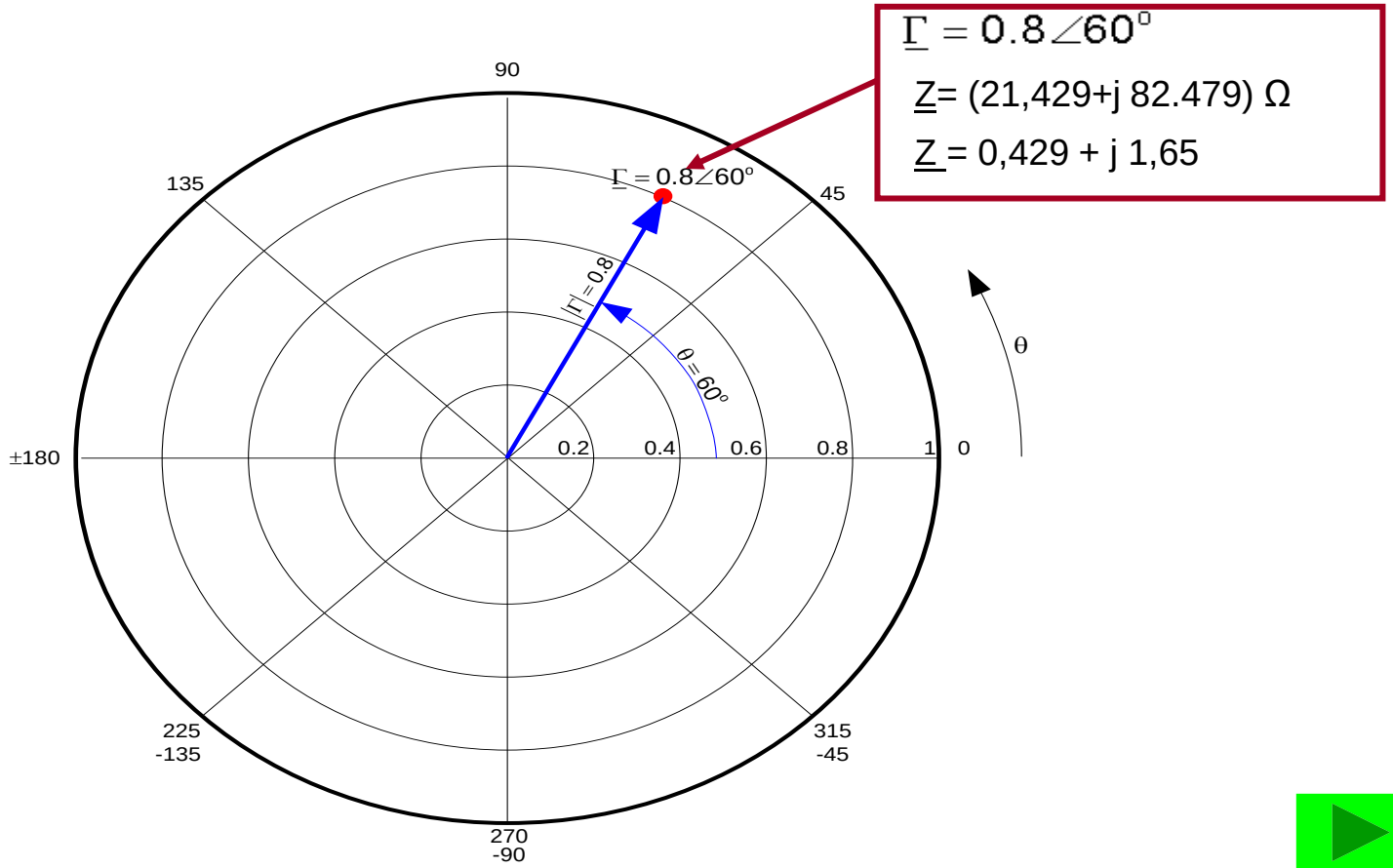
Voor $\underline{\Gamma} = 0.8\angle 60^\circ$ en $Z_0 = 50\Omega$ is volgens Vlg 1. en Vlg 3. :

$$\underline{Z} = Z_0 \frac{1+\underline{\Gamma}}{1-\underline{\Gamma}} = 50\Omega \frac{1+0.8\angle 60^0}{1-0.8\angle 60^0}$$

$\underline{Z}$= (21,429 + j 82,479) Ω

$$\underline{z} = \frac{1+\underline{\Gamma}}{1-\underline{\Gamma}} = \frac{1+0.8\angle 60^0}{1-0.8\angle 60^0}$$

$\underline{Z}$ = 0,429 + j 1,65



Drie speciale punten :

Kortsluiting: R=0, X=0, (r=0, x=0)

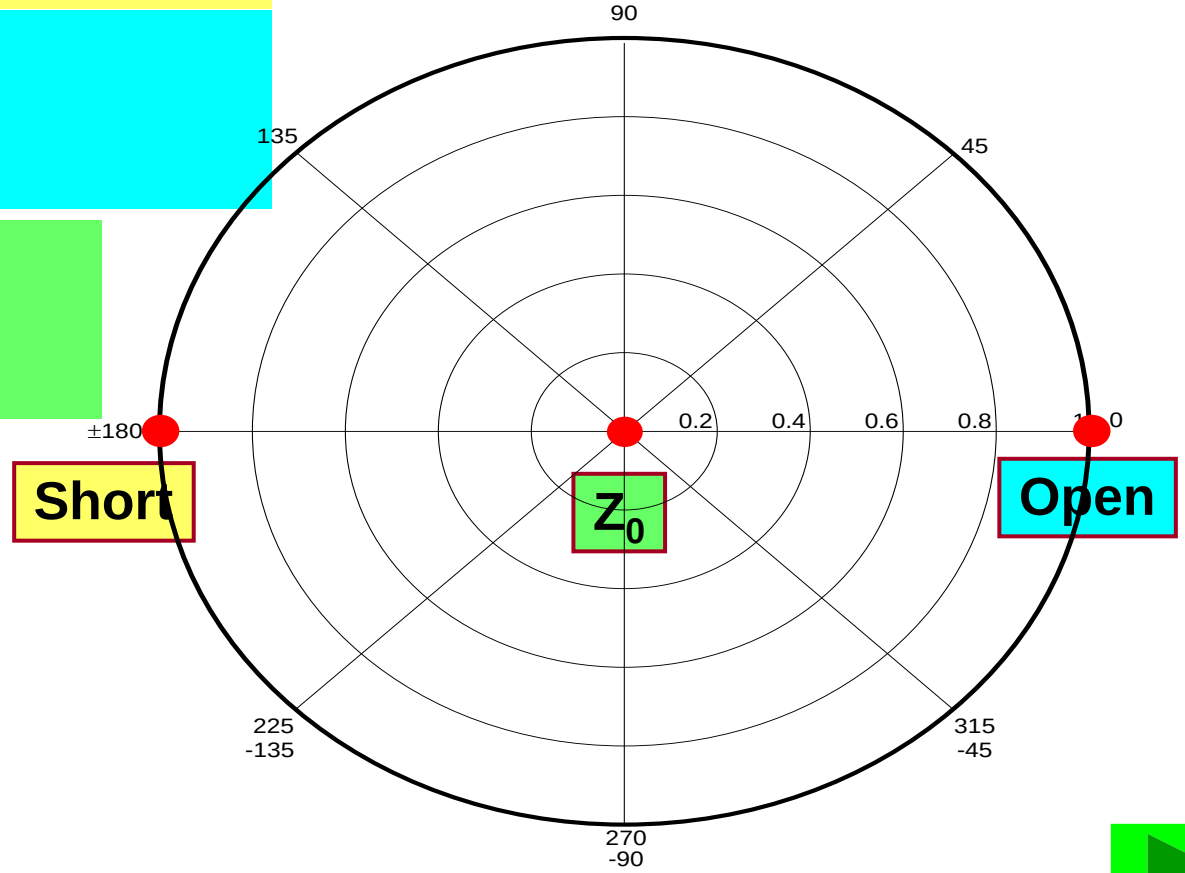
$$\underline{\Gamma} = \frac{-1}{1} = -1 = 1\angle 180^{\circ}$$

Open : R=∞, X=0, (r=∞, x=0)

$$\underline{\Gamma} = 1 = 1\angle 0^{\circ}$$

$\underline{Z} = Z_0$: R=50, X=0, (r=1, x=0)

$$\underline{\Gamma} = 0$$

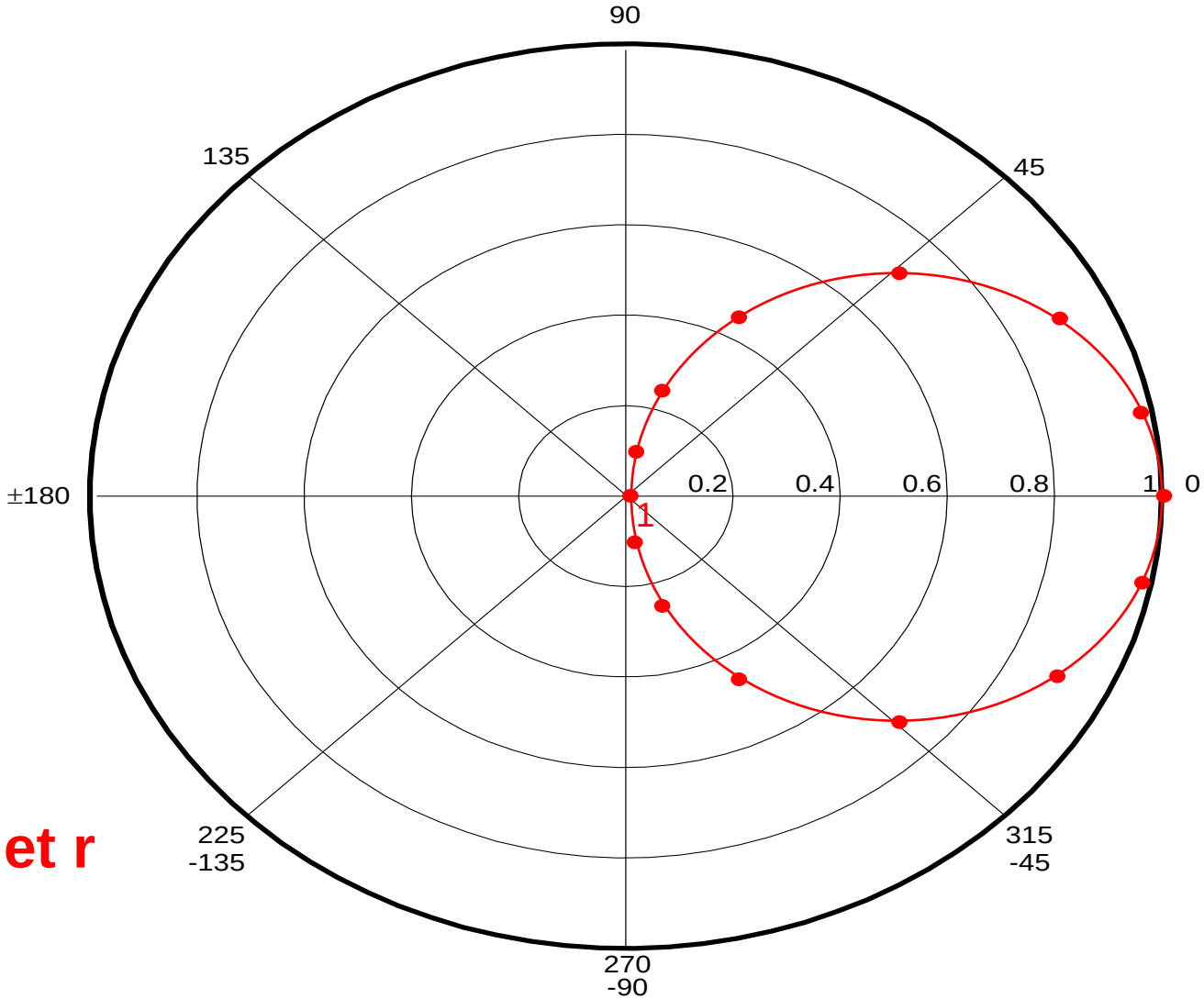


Teken de locus voor **r = 1** **(R=Z_0) en** **$-\infty<x<+\infty$**

$$\underline{\Gamma} = \frac{r + jx - 1}{r + jx + 1} = \frac{jx}{2 + jx}$$

r = 1

x = $+\infty$



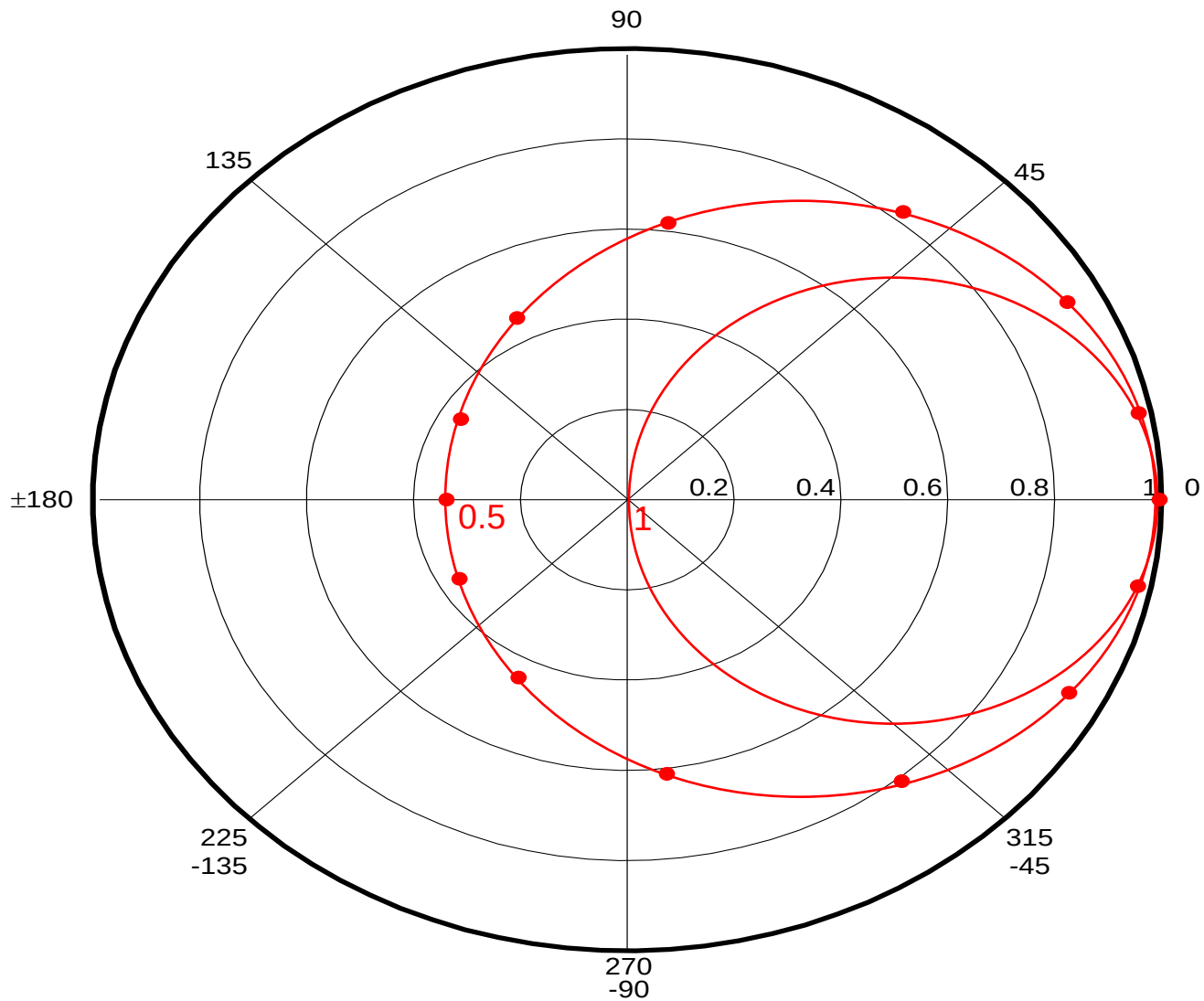
We krijgen een constante-r-cirkel met r = 1

Teken de locus voor r = 0.5 (R=0.5Z_0) en -∞<x<+∞

$$\underline{\Gamma} = \frac{r + jx - 1}{r + jx + 1} = \frac{-0.5 + jx}{1.5 + jx}$$

r = 0.5

x = +∞



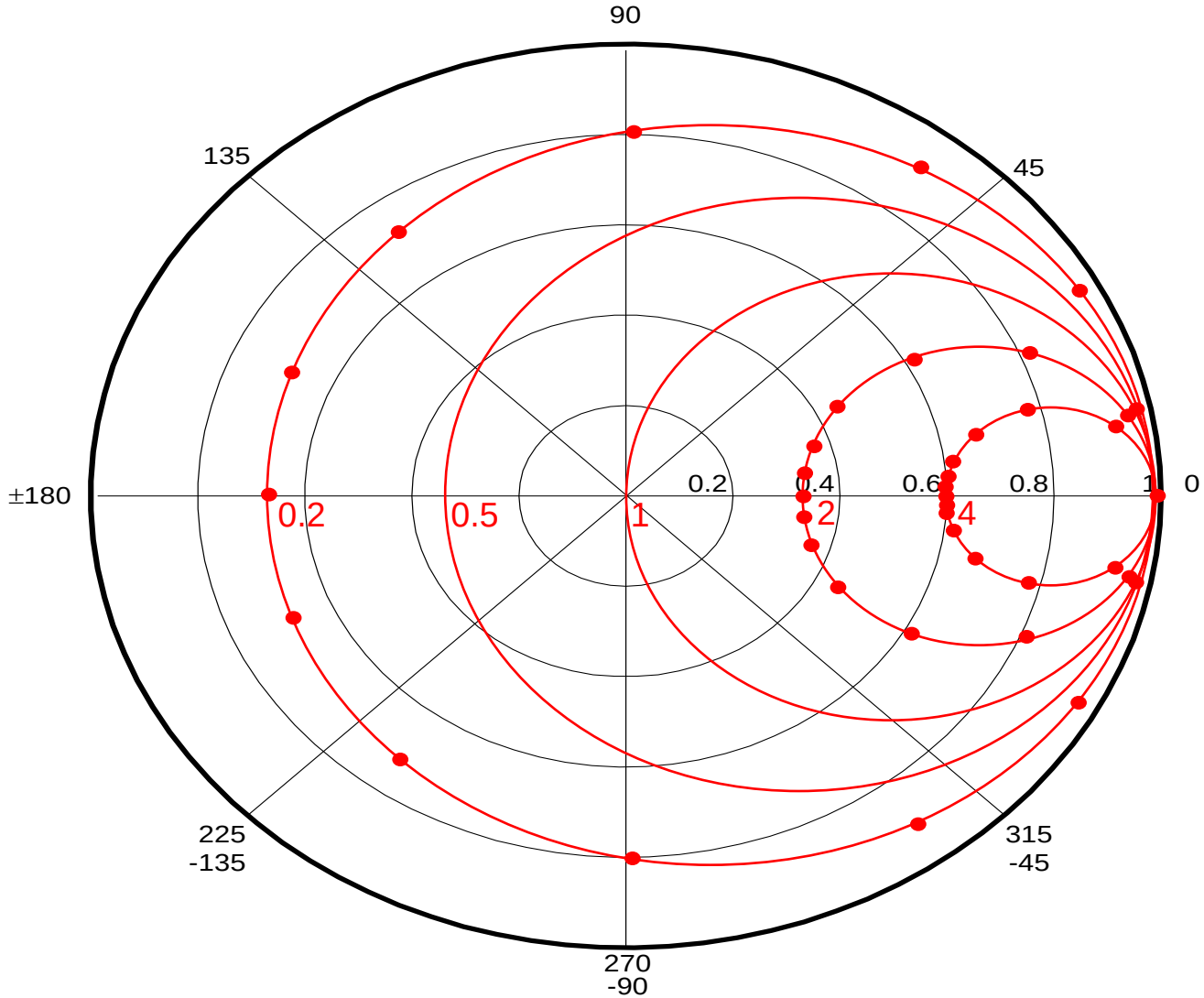
We krijgen een constante-r-circle met r = 0.5

Teken de locus voor r = 0.2, 2, 4 en -∞<x<+∞

$$\underline{\Gamma} = \frac{r + jx - 1}{r + jx + 1}$$

r = 4

x = +∞



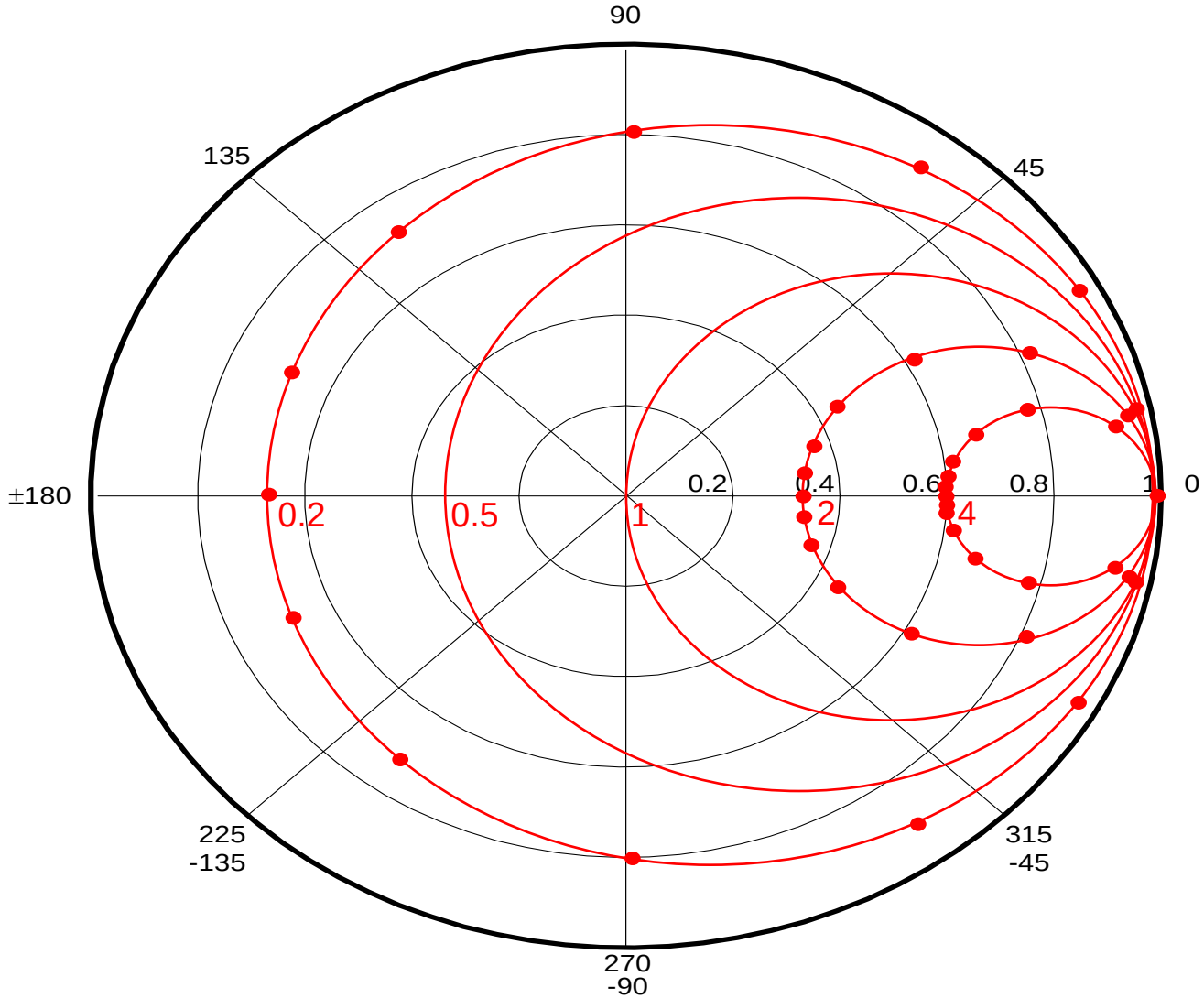
Meer constante-r-cirkels

Teken de locus voor **r = 0.2, 2, 4** **en** **-∞<x<+∞**

$$\underline{\Gamma} = \frac{r + jx - 1}{r + jx + 1}$$

r = 4

x = +∞



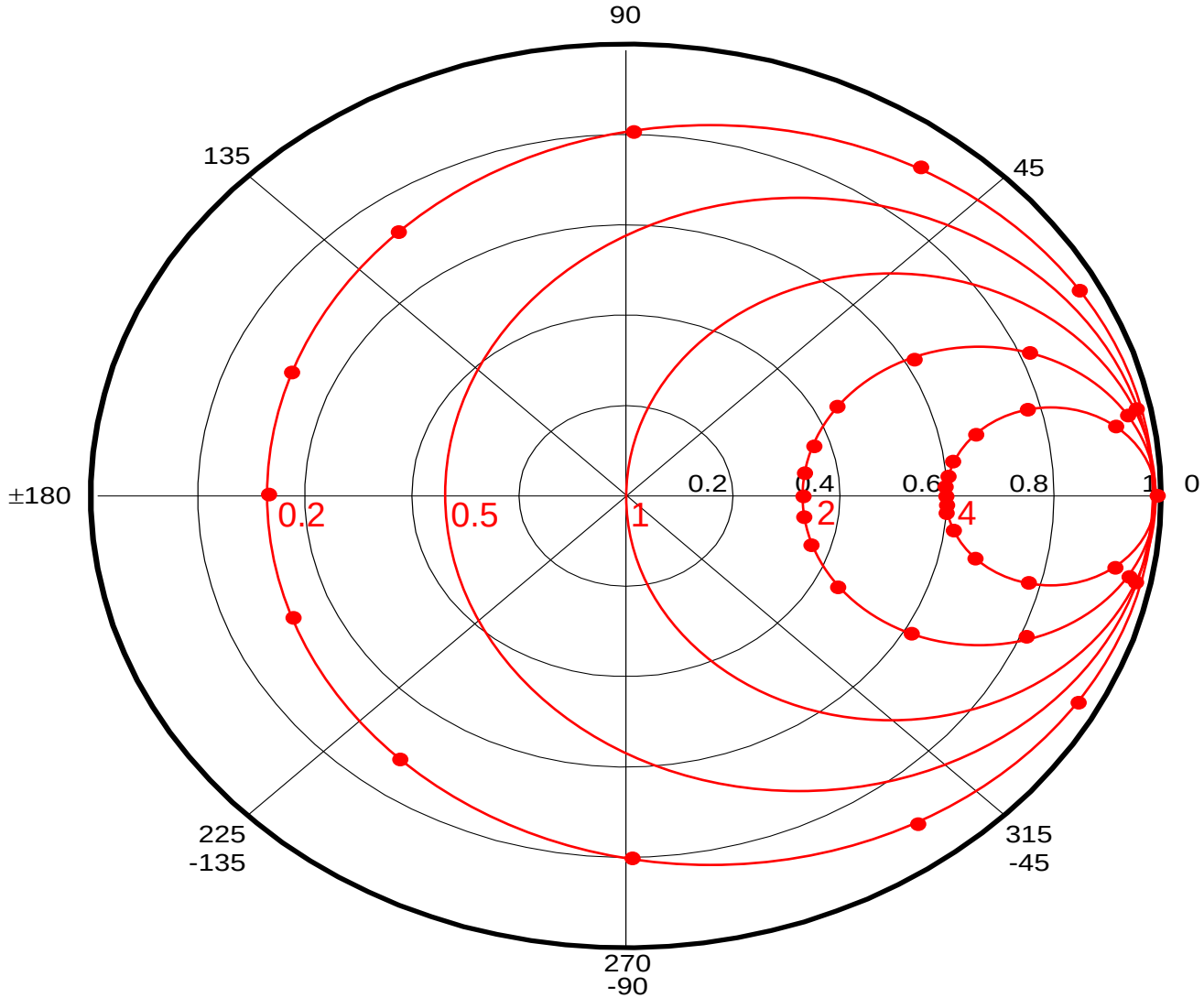
Meer constante-r-cirkels

Teken de locus voor **r = 0.2, 2, 4** **en** **-∞<x<+∞**

$$\underline{\Gamma} = \frac{r + jx - 1}{r + jx + 1}$$

r = 4

x = +∞



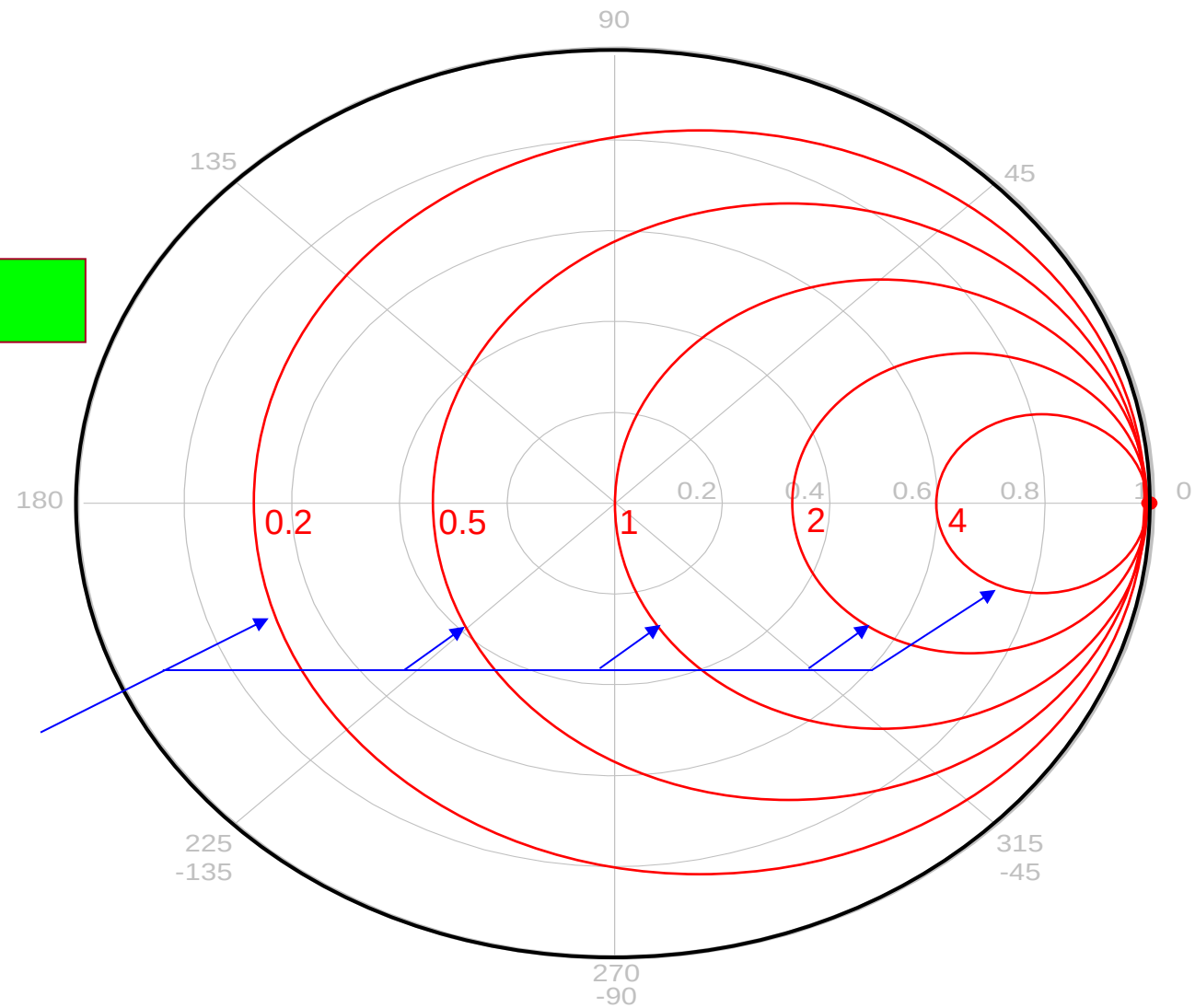
Meer constante-r-cirkels

Locus voor **r = 0.2, 0.5, 1, 2, 4** **en** **-∞<x<+∞**

$$\underline{\Gamma} = \frac{r + jx - 1}{r + jx + 1}$$

r = 0.2, 0.5, 1, 2, 4

-∞<x<+∞



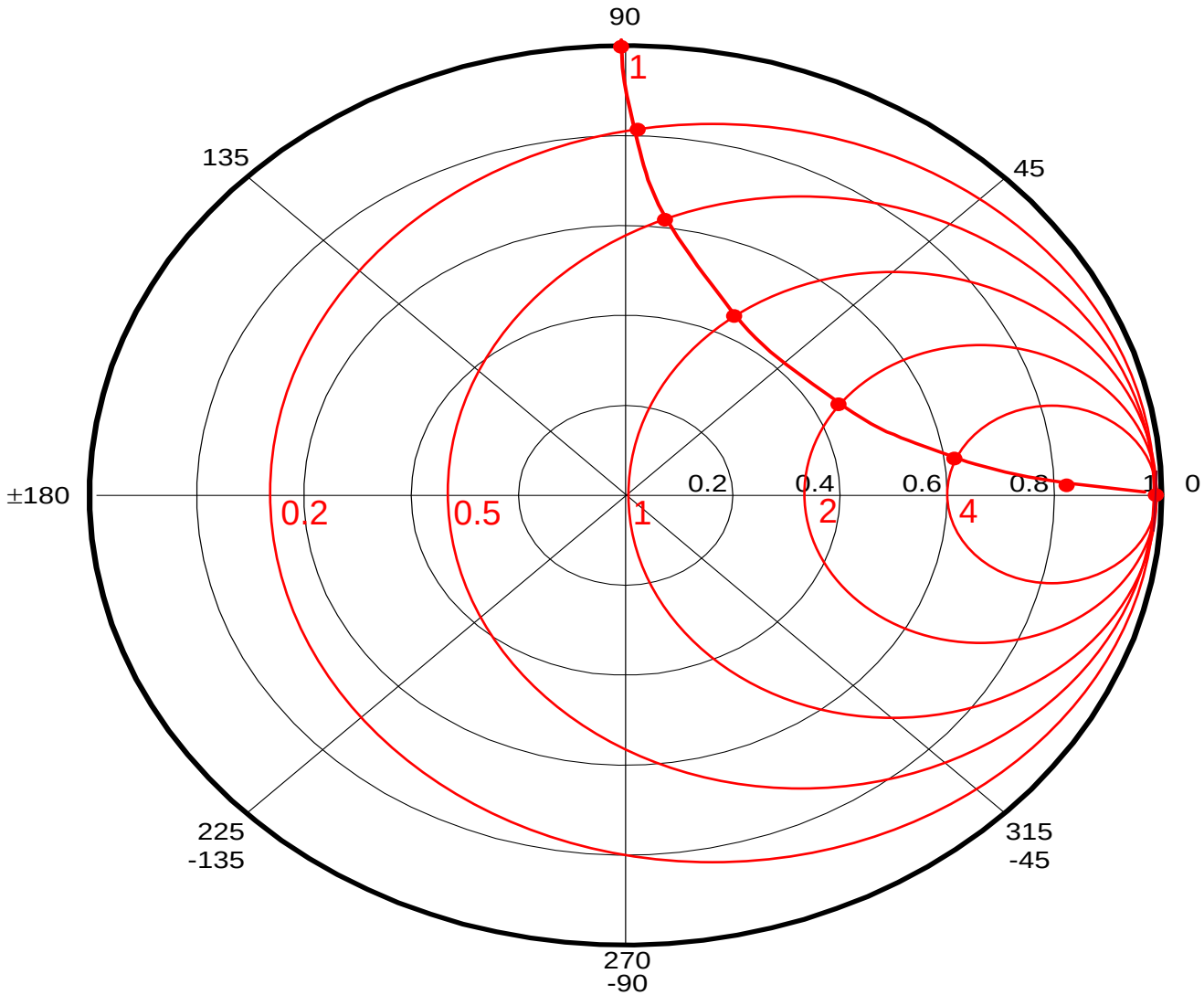
Locus van constant reël deel impedantie

Teken de locus voor x = 1 ($X=Z_0$) en 0<r<+∞

$$\underline{\Gamma} = \frac{r + jx - 1}{r + jx + 1} = \frac{r + j1 - 1}{r + j1 + 1}$$

x = 1

r = +∞



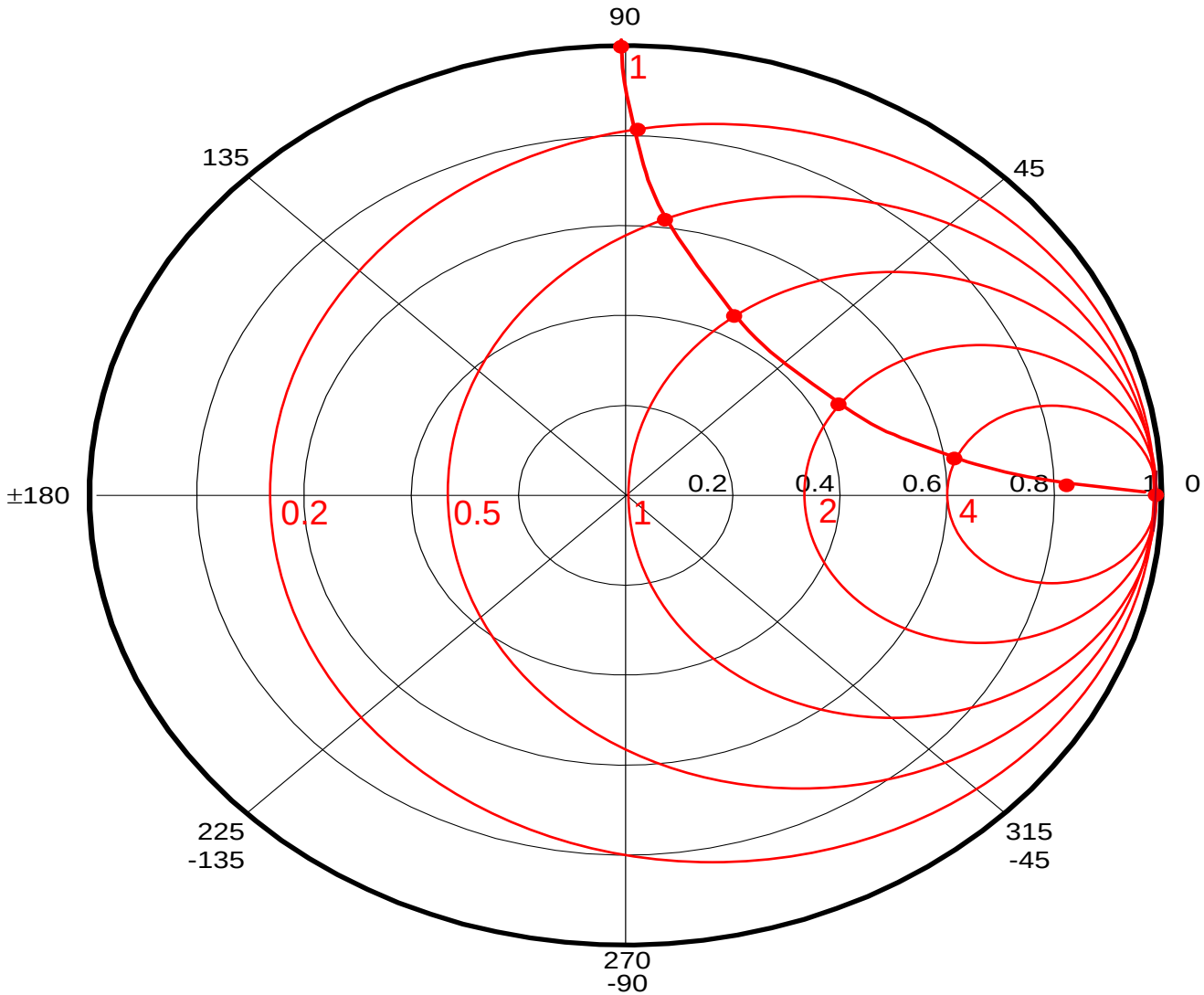
We krijgen een constante-x-cirkel voor x = 1

Teken de locus voor x = 1 (X=Z_0) en 0<r<+∞

$$\underline{\Gamma} = \frac{r + jx - 1}{r + jx + 1} = \frac{r + j1 - 1}{r + j1 + 1}$$

x = 1

r = +∞



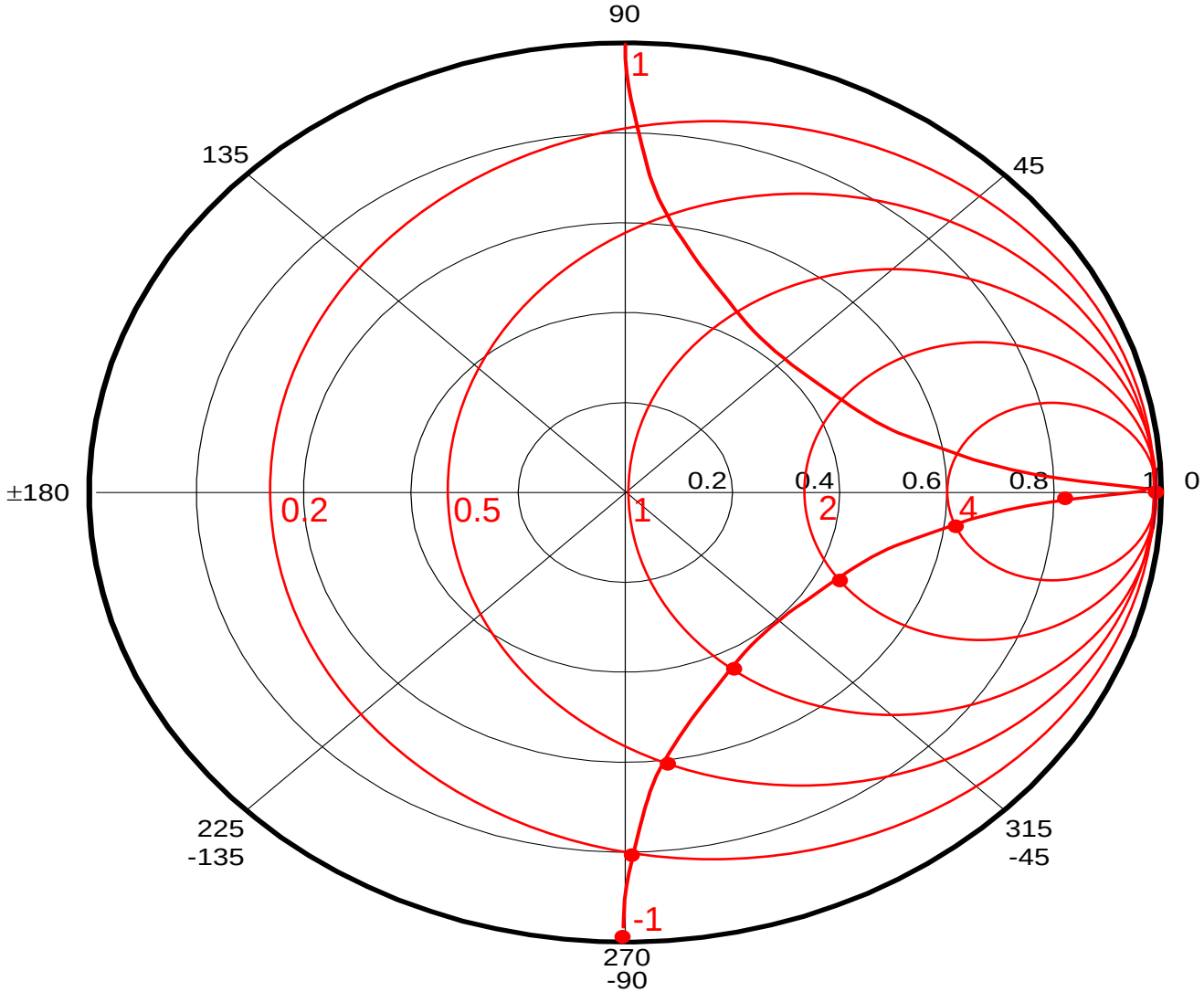
We krijgen een constante-x-cirkel voor x = 1

Teken de locus voor **x = -1** **(X = -Z_0) en** **0<r<+∞**

$$\underline{\Gamma} = \frac{r + jx - 1}{r + jx + 1} = \frac{r - j1 - 1}{r - j1 + 1}$$

x = -1

r = +∞



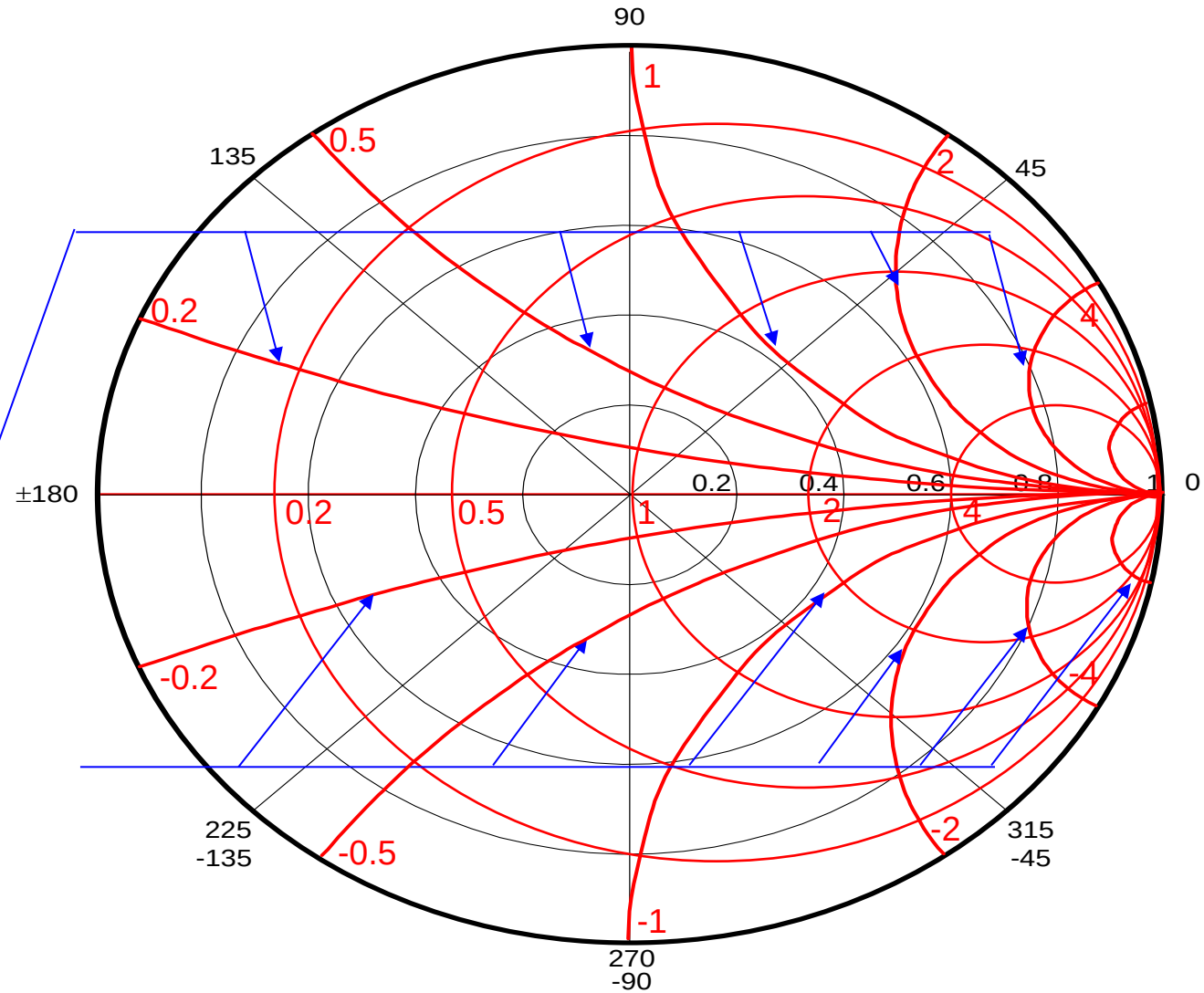
We krijgen een constante-x-cirkel voor x = -1

Teken de locus voor **x = ±0.2, ±0.5, ±2, ±4, ±10** **en** **0<r<+∞**

$$\Gamma = \frac{r + jx - 1}{r + jx + 1}$$

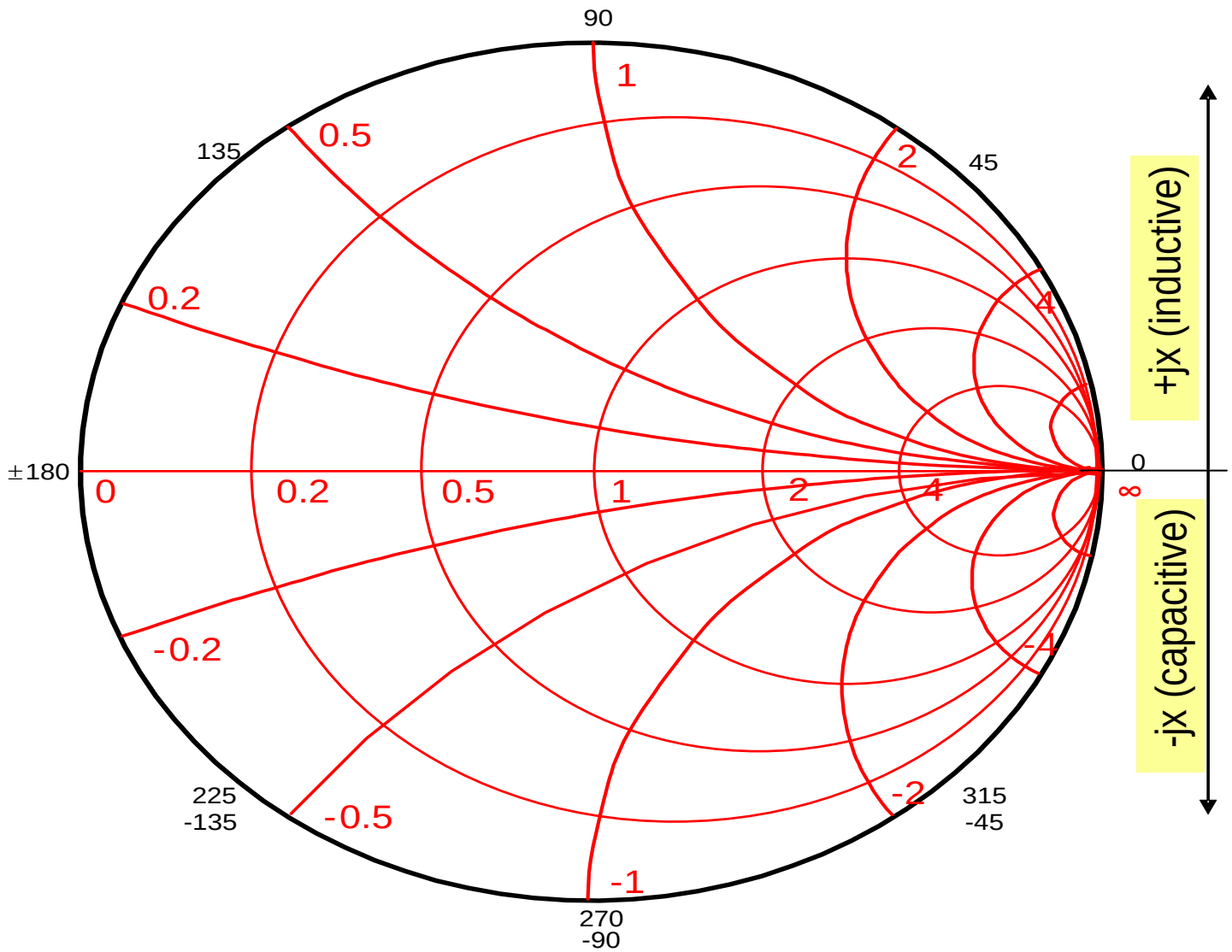
x = -10

r = 0<r<+∞



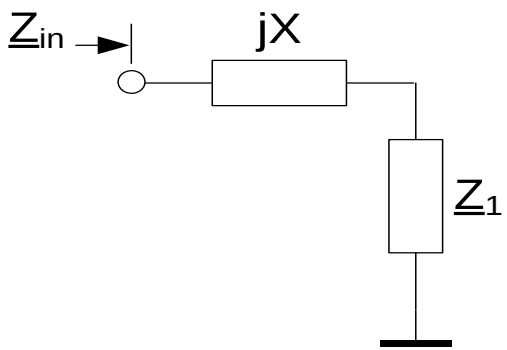
Locus voor constant imaginair deel van de impedantie

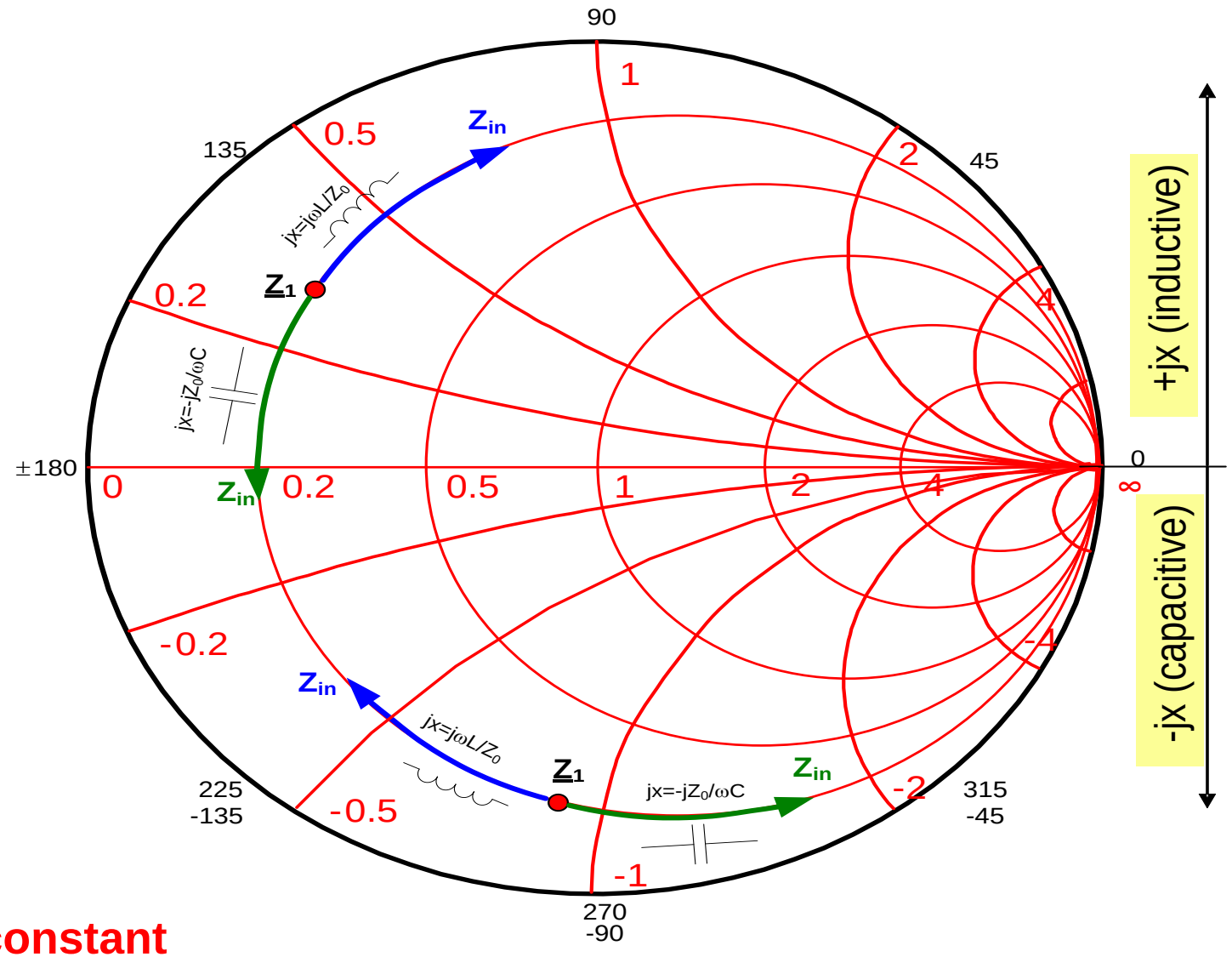
Impedantie vlak



Impedantie vlak

Serie L of C





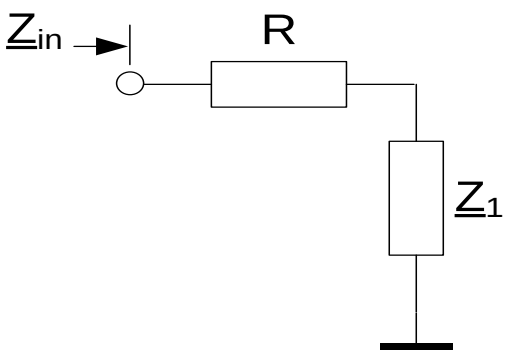
$$\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1$$

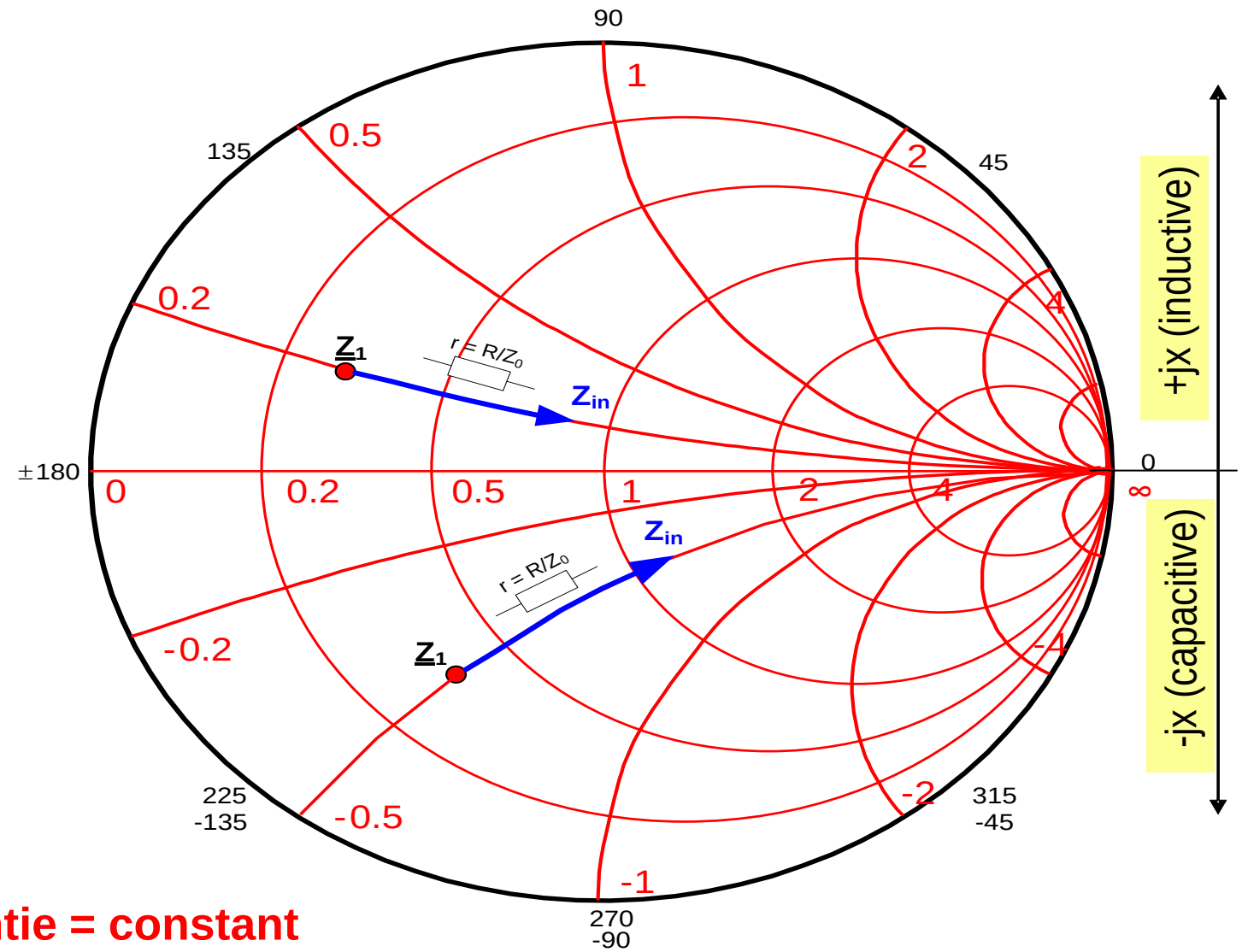
$$\underline{Z}_{in} = R + j(X_1 \pm X)$$

Reëel deel impedantie = constant

Impedantie vlak

Serie R





$$\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1$$

$$\underline{Z}_{in} = (R_1 + R) + jX_1$$

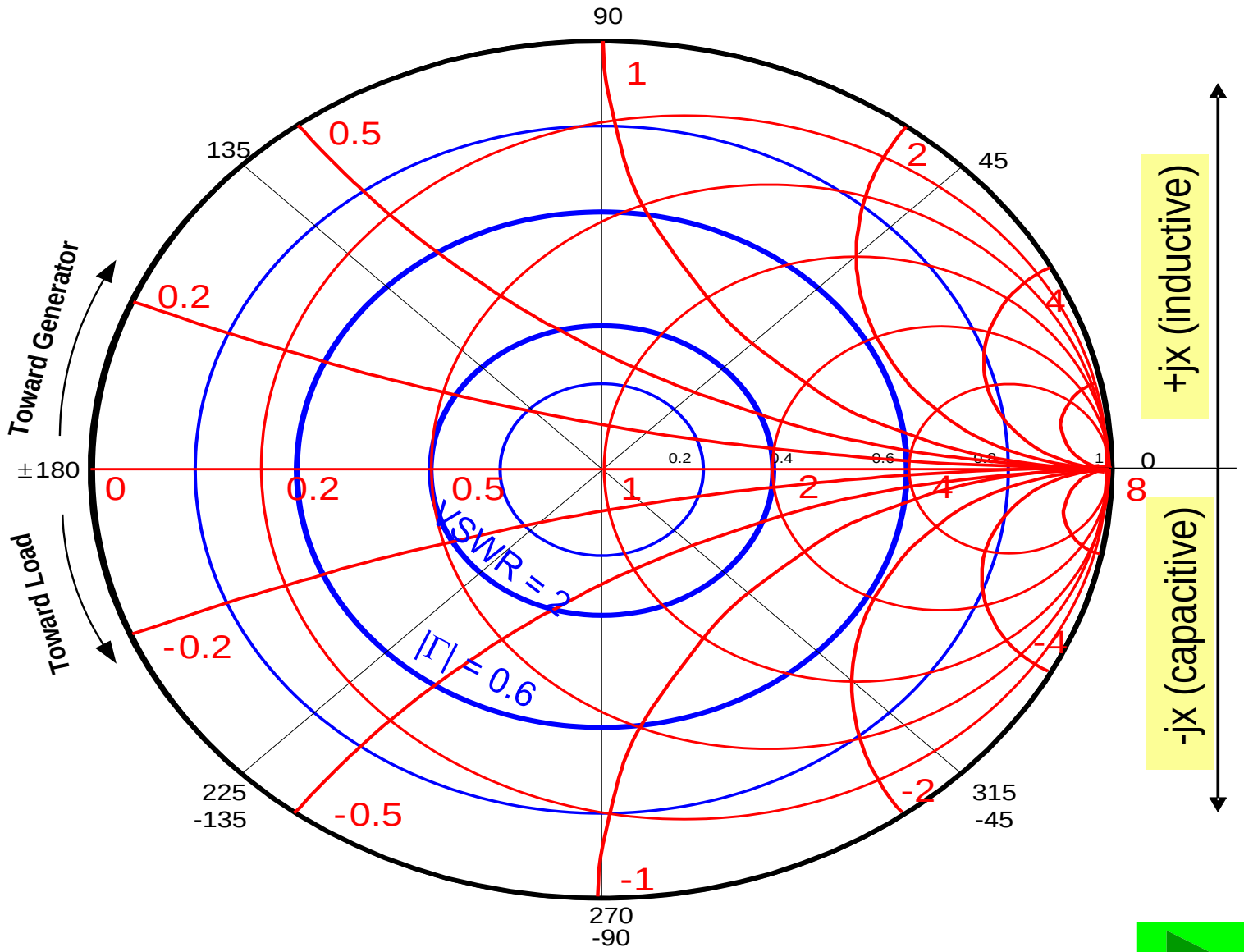
Imaginaire deel impedantie = constant

Smith-Chart

Impedantie vlak

Cirkels met

constante |Γ| en VSWR

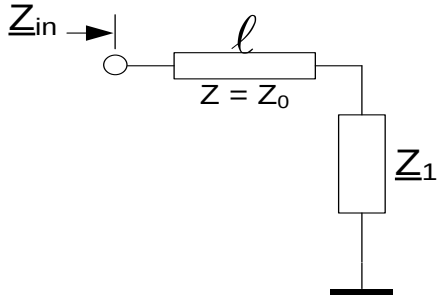


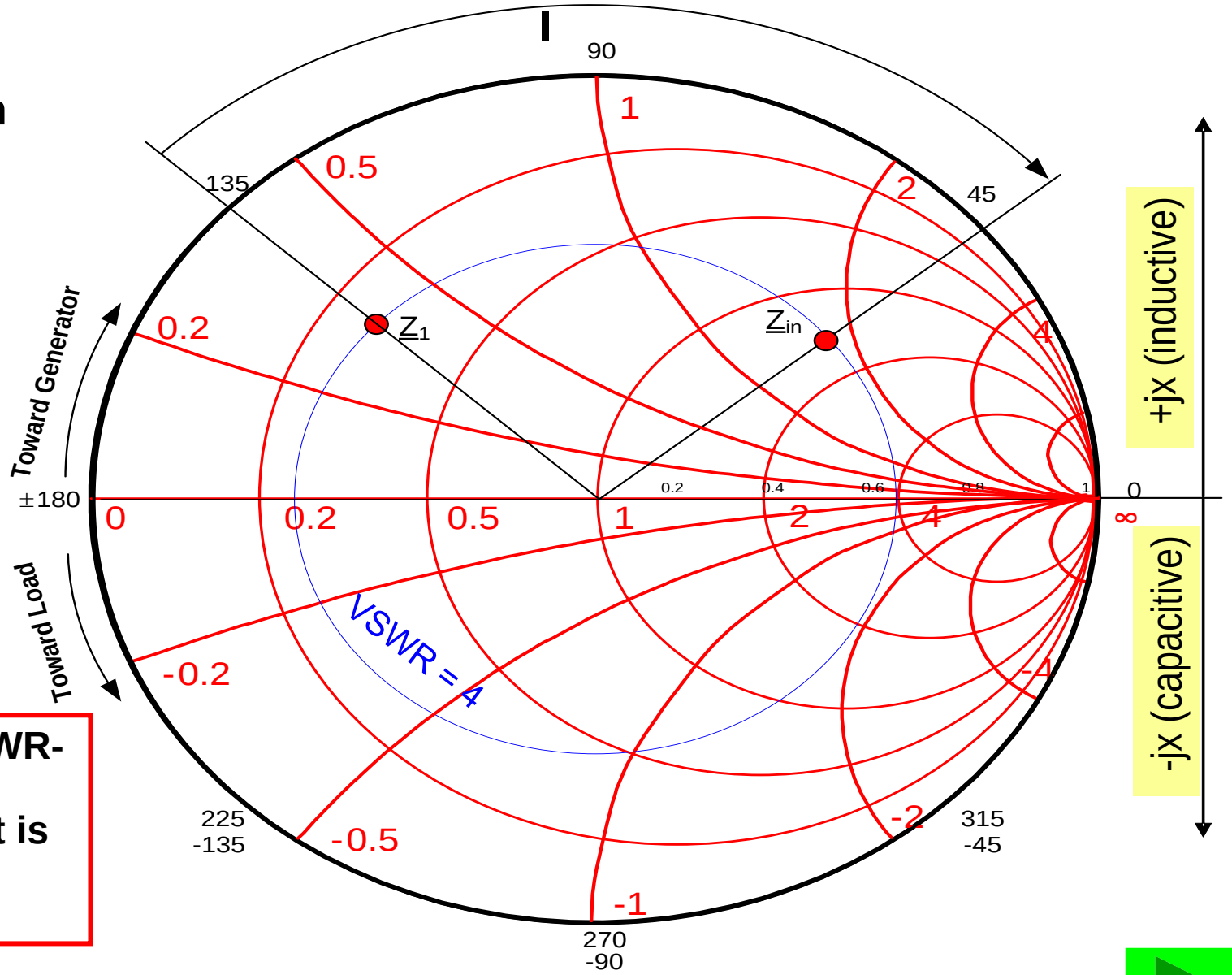
$$\mathrm{VSWR} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$$

Impedantie vlak

Serie transmissie lijn

met $Z = Z_0$





Het middelpunt van een VSWR-cirkel is het midden van de Smith-Chart als Smith-Chart is normaliseerd op de lijnimpedantie.

Admittantie chart:

$$\underline{\Gamma} = \frac{Y_o - \underline{Y}}{Y_o + \underline{Y}} = \frac{1 - \frac{\underline{Y}}{Y_o}}{1 + \frac{\underline{Y}}{Y_o}}$$ Vgl. 4

Γ : complex Reflection Coefficient $= |\Gamma| \angle \theta$

Y : complex Admittance $= G + jB$

Y_o : Normalizing Admittance (usually real)

$Y_o = 1/Z_o$

Genormaliseerd Y= y

$$\underline{y} = \frac{\underline{Y}}{Y_o} = \frac{G}{Y_o} + j\frac{B}{Y_o} = g + jb$$ Vgl. 5

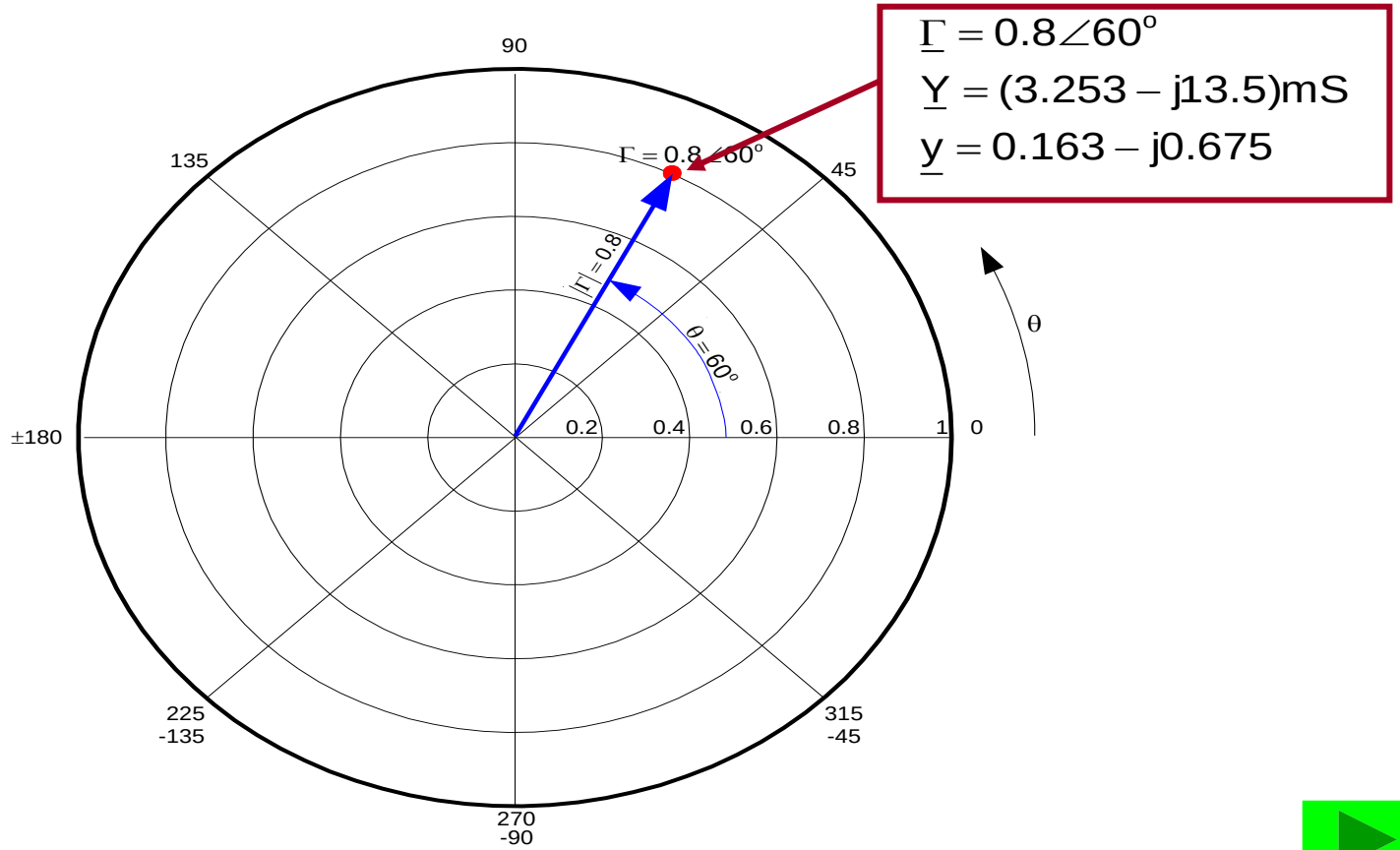
$$\underline{\Gamma} = \frac{1 - \underline{y}}{1 + \underline{y}} = \frac{1 - g - jb}{1 + g + jb}$$ Vgl. 6

Volgens Vlg 4., moet iedere reflectie-coëfficient ook een bijbehorende complexe admittantie Y, en volgens Vlg.6 een complexe genormaliseerde admittantie y hebben.

$\underline{\Gamma} = 0.8\angle 60^\circ$ **en** $Z_0 = 50\Omega$ **Igens Vlg. 1 en 3.**

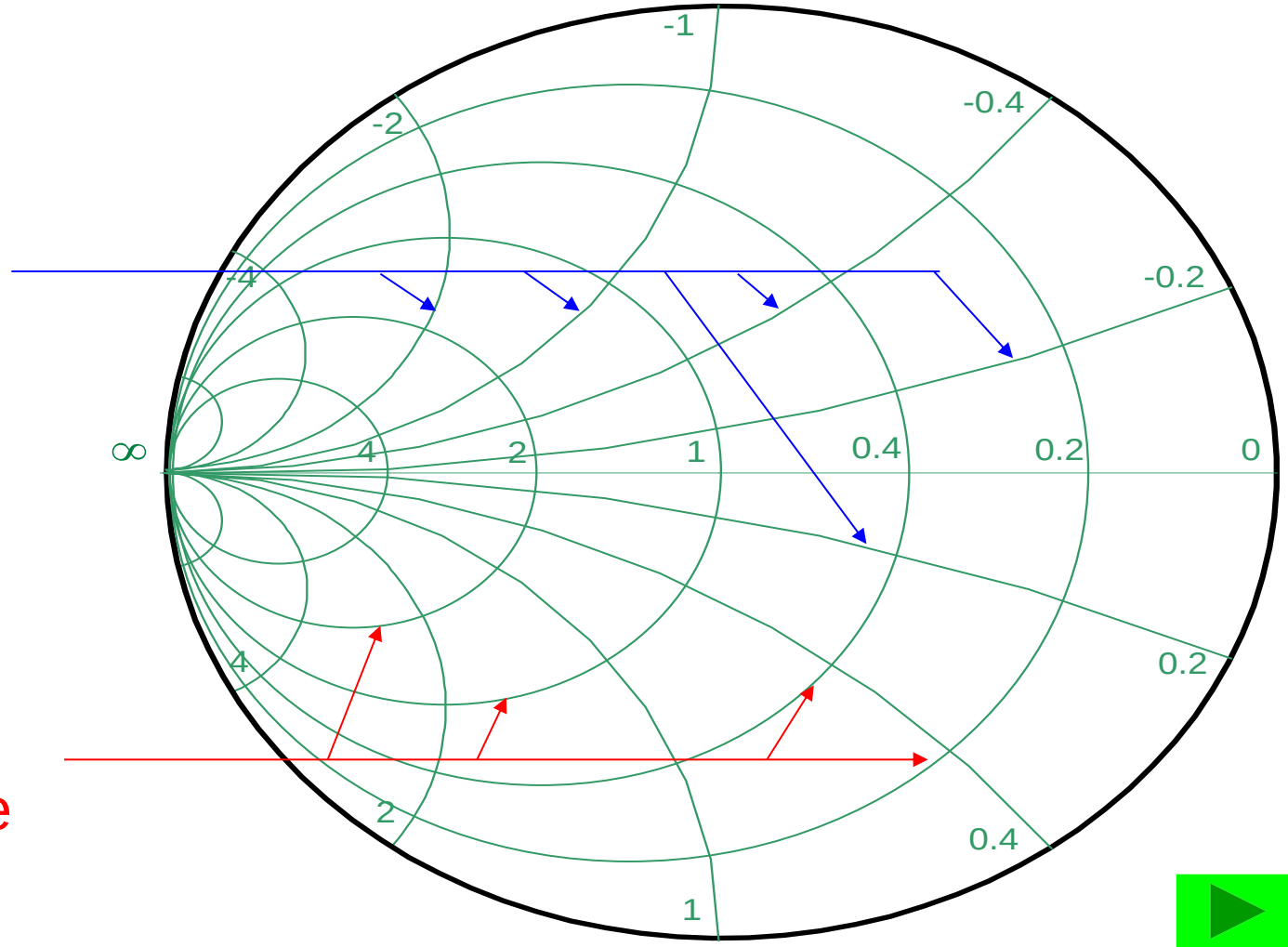
$$\underline{Y} = Y_0 \frac{1-\underline{\Gamma}}{1+\underline{\Gamma}} = 20\,\text{mS}\frac{1-0.8\angle 60^\circ}{1+0.8\angle 60^\circ}$$
$$= (3.253 - j13.5)\text{mS}$$

$$\underline{y} = \frac{1-\underline{\Gamma}}{1+\underline{\Gamma}} = \frac{1-0.8\angle 60^\circ}{1+0.8\angle 60^\circ}$$
$$= 0.163 - j0.675$$



Volgens dezelfde procedure als met het impedantie vlak krijgen we cirkels met constante conductantie g en bogen met constante susceptantie b.

Admittantie vlak

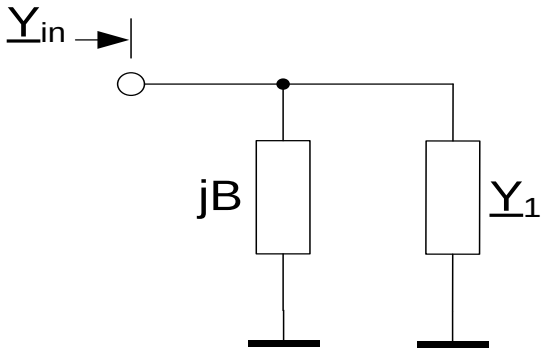


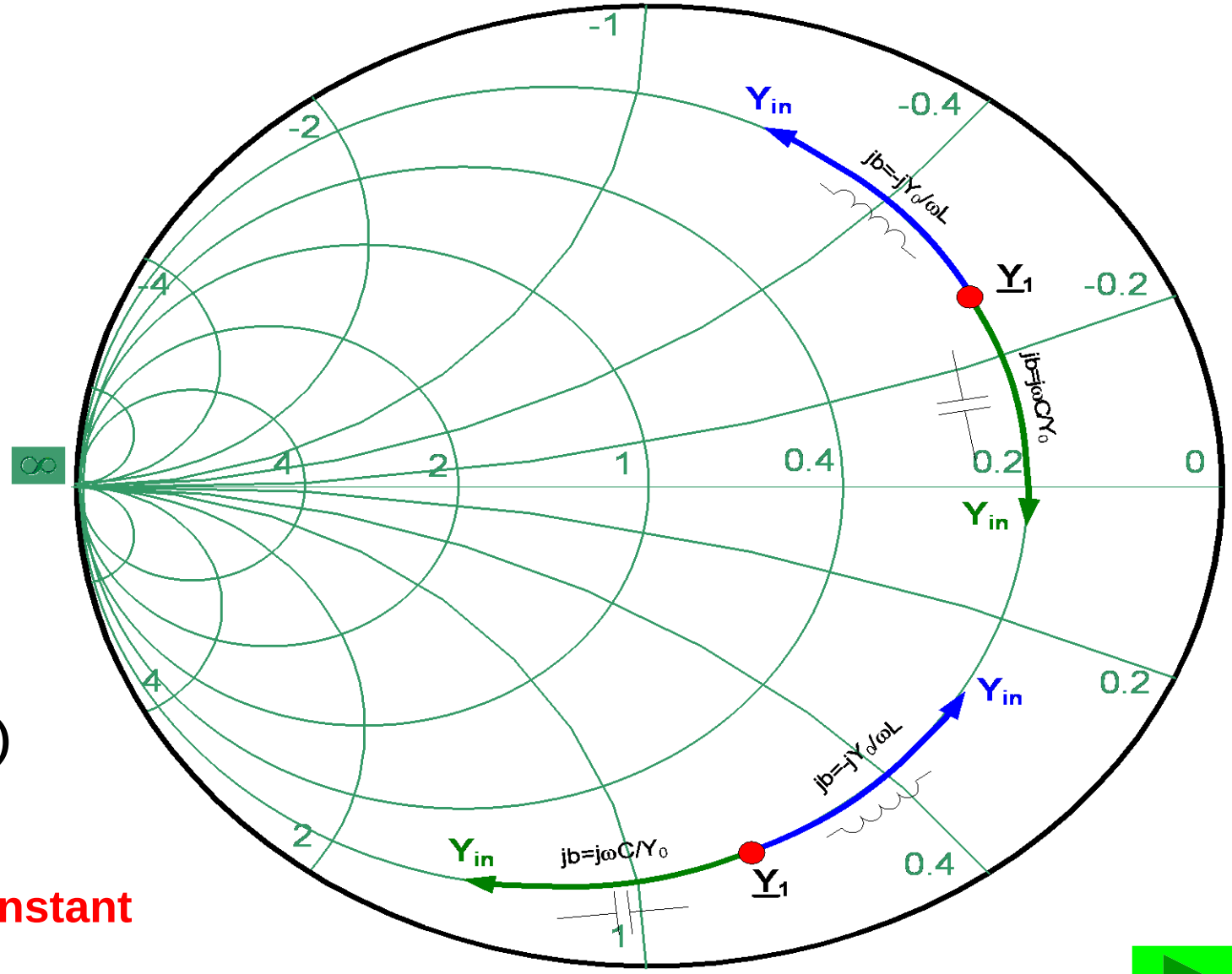
Locus met constant imaginair deel van de admittantie

Locus met constant reëel deel van de admittantie

Admittantie vlak

Parallel L of C





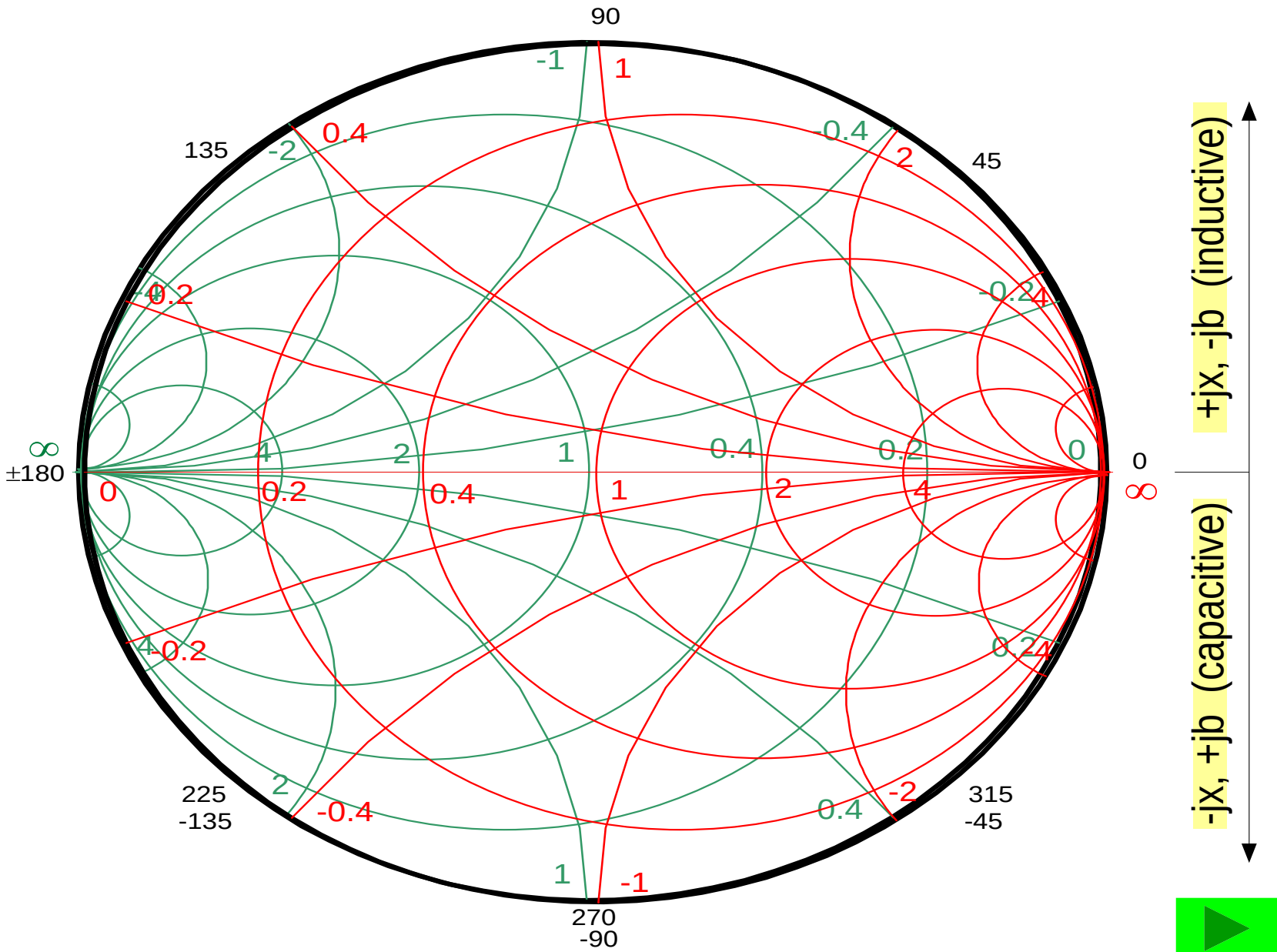
$$\underline{Y}_1 = G_1 + jB_1$$

$$\underline{Y}_{in} = G + j(B_1 \pm B)$$

Reëel deel admittantie = constant

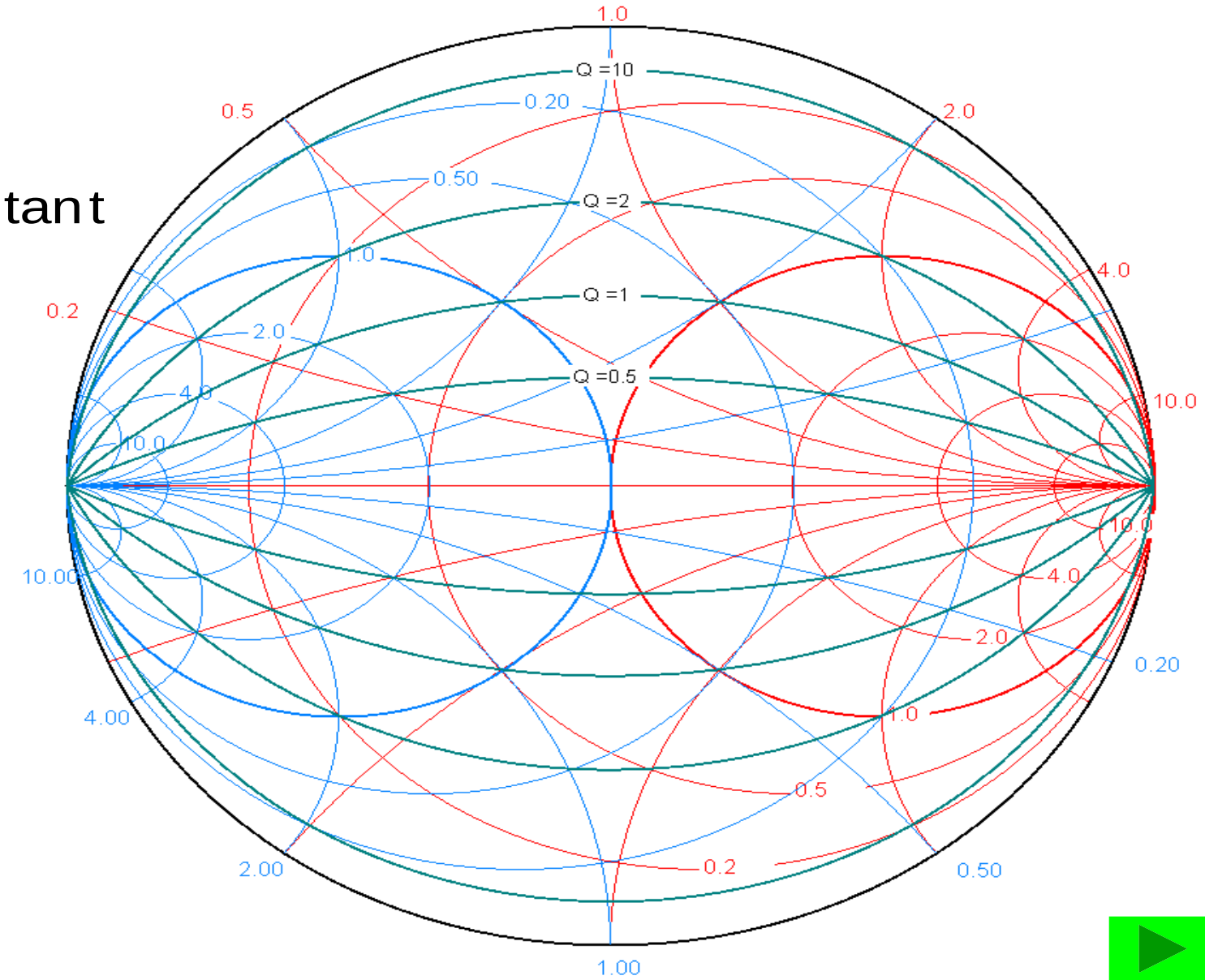
Imittantie chart

Impedantie en admittantie over elkaar



Constante-Q cirkels

$$Q = \frac{X}{R} = \frac{G}{B} = \text{constant}$$



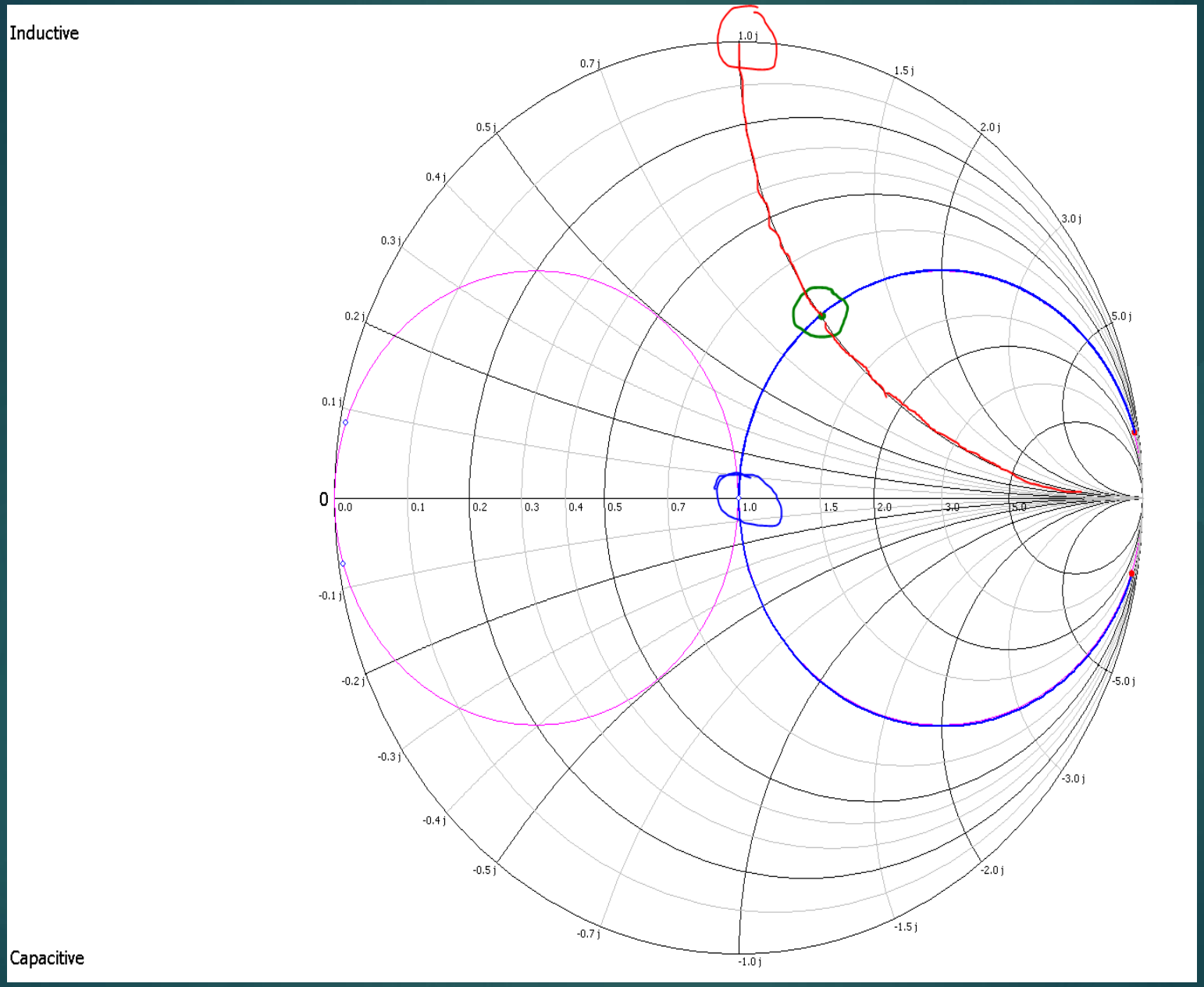
Punten plotten op de Smith Chart

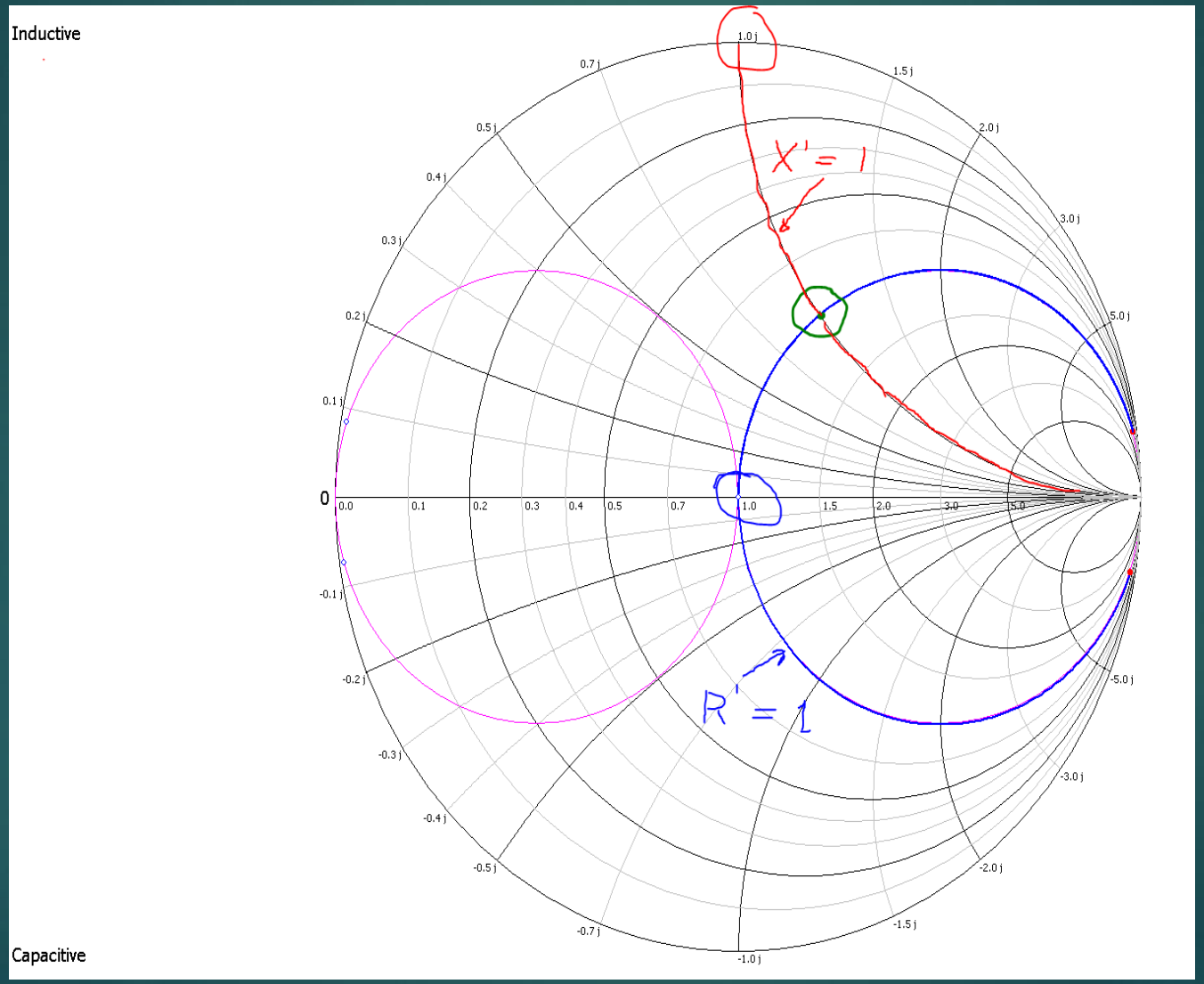
- Z_{load} normaliseren (delen door Z_o)
- R^i opzoeken
- X^i opzoeken
- Snijpunt plotten

Voorbeeld

- $Z_l = (50 + j\,50)\ \Omega$
- $Z_o = 50\ \Omega$

- $Z_l^i = (1 + j\,1)\ \Omega$

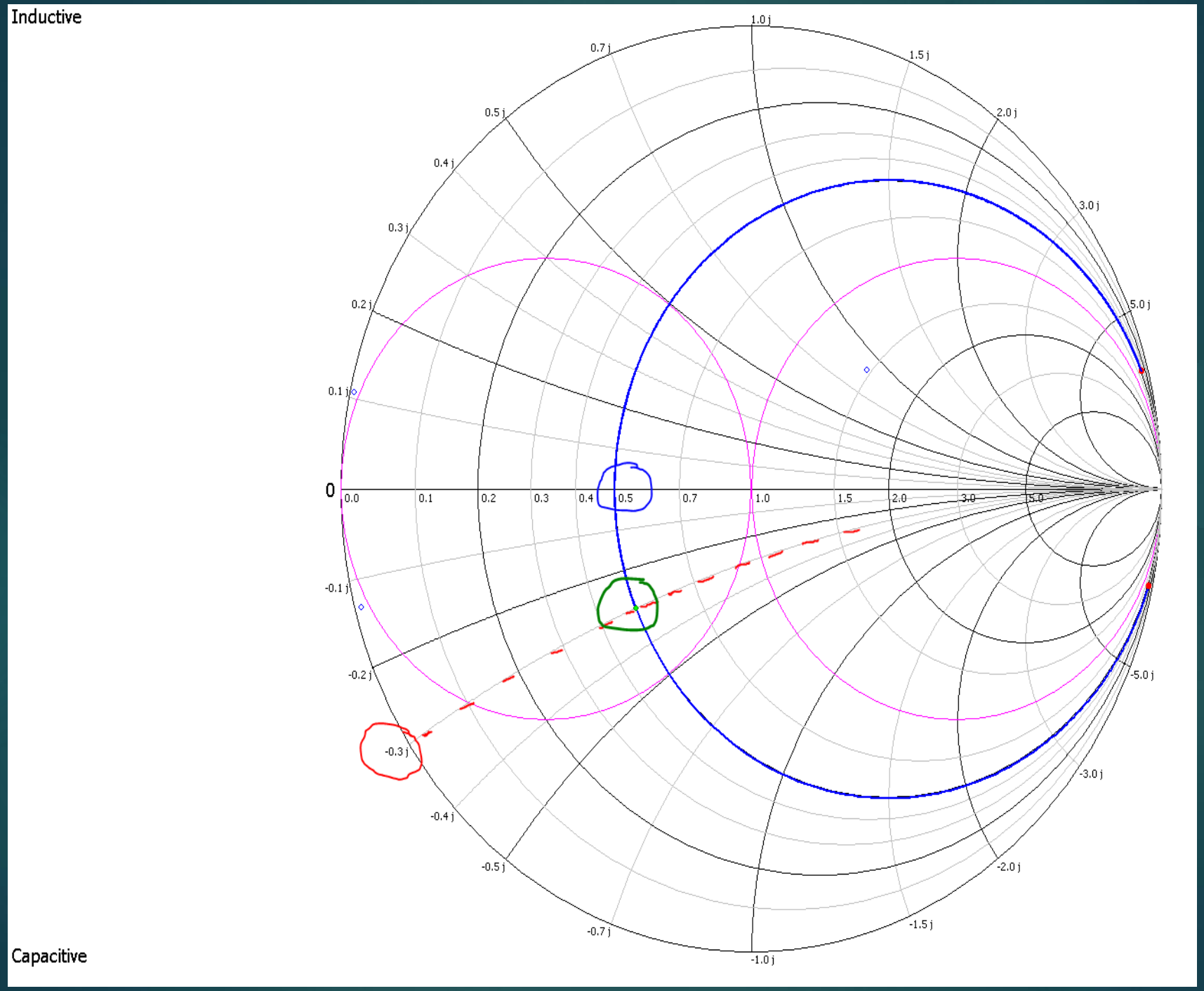

Inductive
Capacitive
0
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.7
1.0
1.5
2.0
3.0
5.0
0.1 j
0.2 j
0.3 j
0.4 j
0.5 j
0.7 j
1.0 j
1.5 j
2.0 j
3.0 j
5.0 j
-0.1 j
-0.2 j
-0.3 j
-0.4 j
-0.5 j
-0.7 j
-1.0 j
-1.5 j
-2.0 j
-3.0 j
-5.0 j


Inductive
Capacitive
0
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.7
1.0
1.5
2.0
3.0
5.0
0.1 j
0.2 j
0.3 j
0.4 j
0.5 j
0.7 j
1.0 j
1.5 j
2.0 j
3.0 j
5.0 j
-0.1 j
-0.2 j
-0.3 j
-0.4 j
-0.5 j
-0.7 j
-1.0 j
-1.5 j
-2.0 j
-3.0 j
-5.0 j
X' = 1
R' = 1

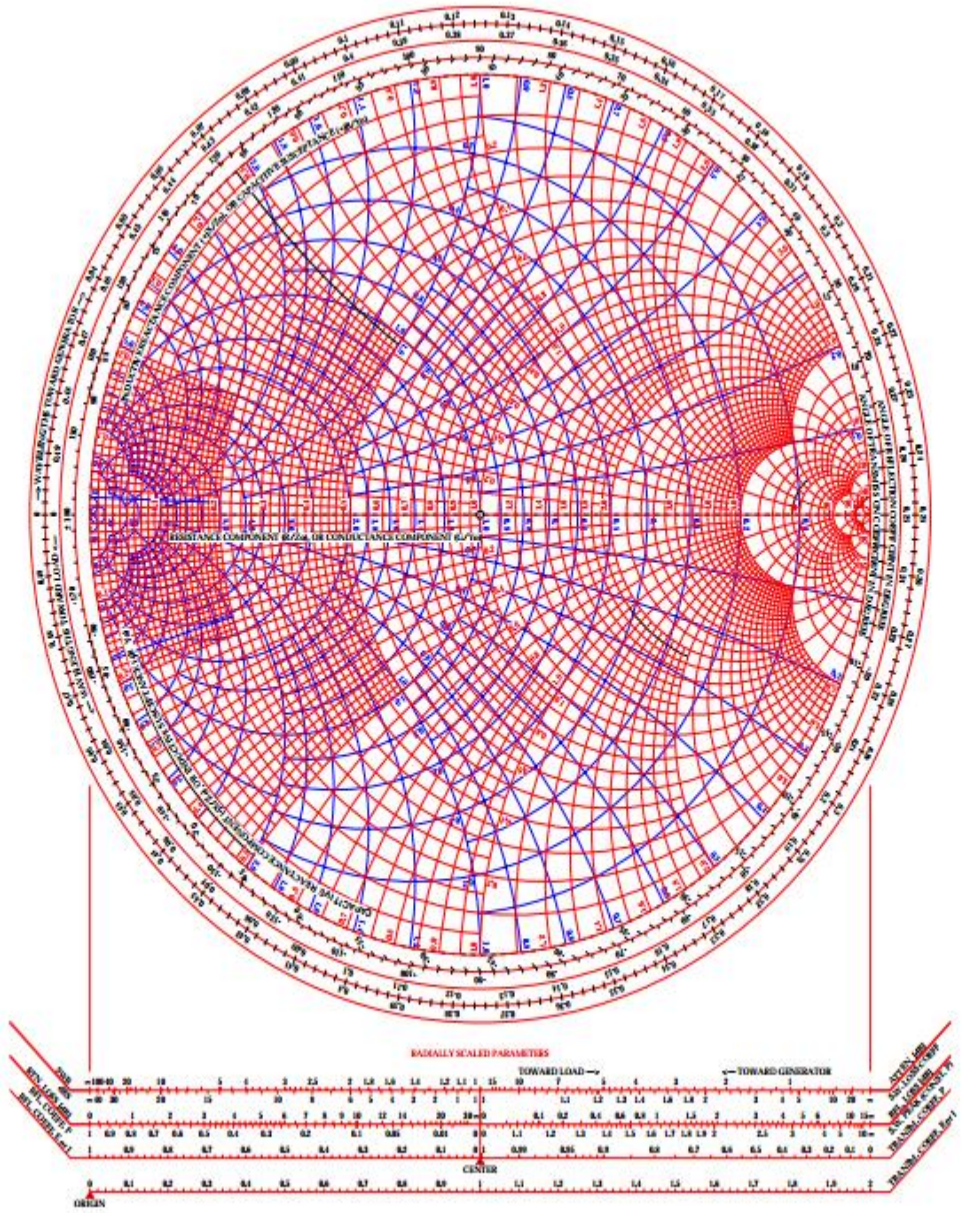
Voorbeeld

- $Z_l = (25 - j\,15)\ \Omega$
- $Z_o = 50\ \Omega$

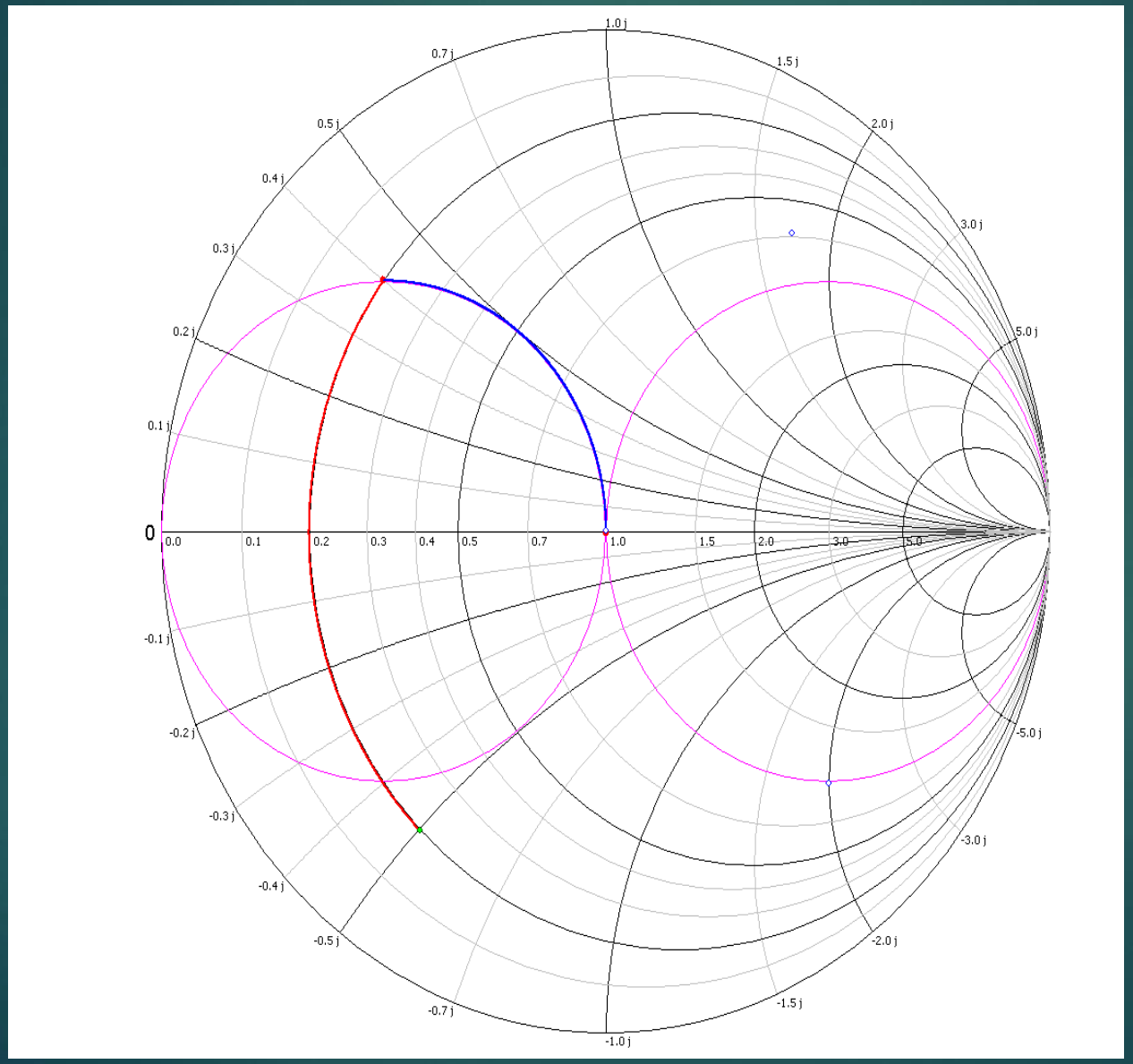
- $Z_l^i = (0{,}5 - j\,0{,}3)\ \Omega$


Inductive
1.0 j
0.7 j
1.5 j
0.5 j
2.0 j
0.4 j
3.0 j
0.3 j
0.2 j
5.0 j
0.1 j
0
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.7
1.0
1.5
2.0
3.0
5.0
-0.1 j
-0.2 j
-5.0 j
-0.3 j
-3.0 j
-0.4 j
-0.5 j
-2.0 j
-0.7 j
-1.5 j
-1.0 j
Capacitive

NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES



Aanpassing maken L , C



Z_{load} = (10 – j 25) 'Ω

Z_o = 50 'Ω

Z_l^i = (0,2 - j 0,5) 'Ω

Serie condensator

Paralel spoel

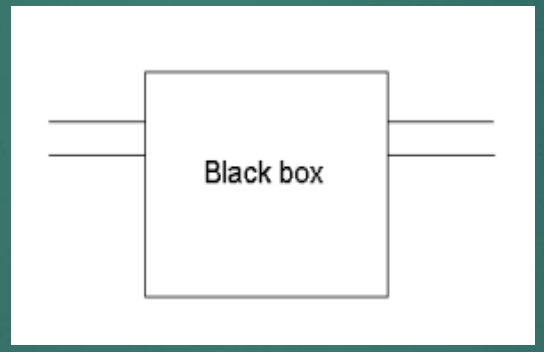
F = 3,6 MHz

C= 1700 pF

S- parameters

S Parameters

- Met S- Parameters kunnen we het gedrag van een “black box” beschrijven.

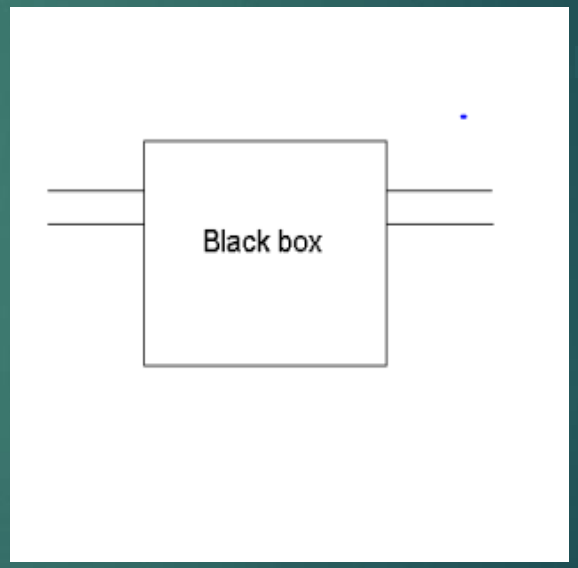


Met S-Parameters kunnen we een schakeling als een black box beschrijven

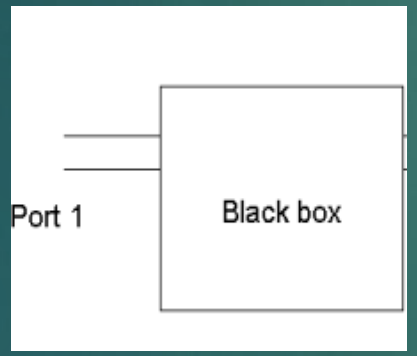
- We kunnen het gedrag van de blackbox beschrijven ongeacht de inhoud.

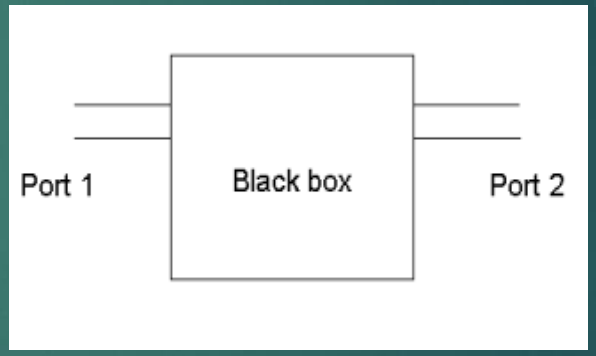
- De inhoud kan van alles zijn

- een antenne,
- een spoel,
- een stuk coax



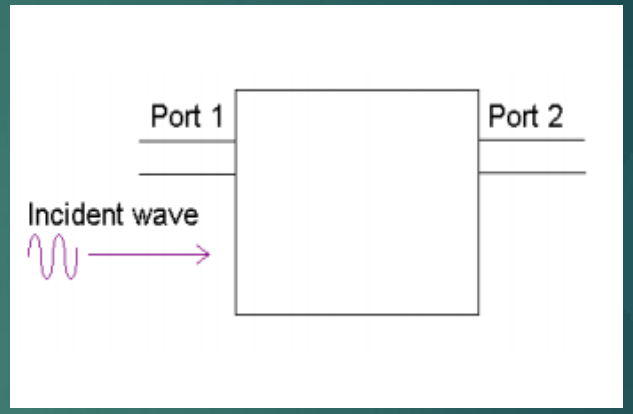
Twee eenvoudige netwerken, met 1 en 2 aansluitingen





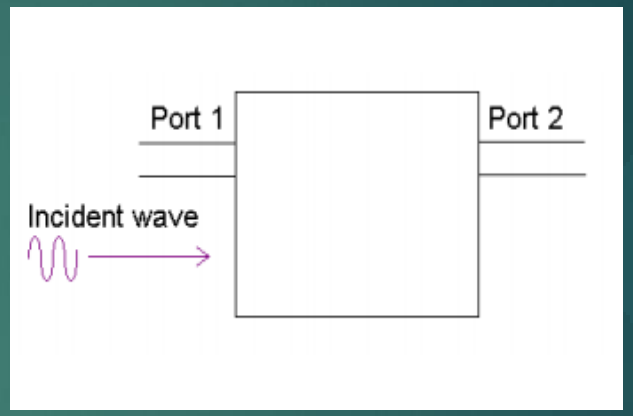
We meten S parameters door een signaal op 1 poort te zetten en dan te kijken wat er uit elke poort terug komt

- Vermogen, spanning en stroom worden beschouwd als golven, die in beide richtingen lopen.

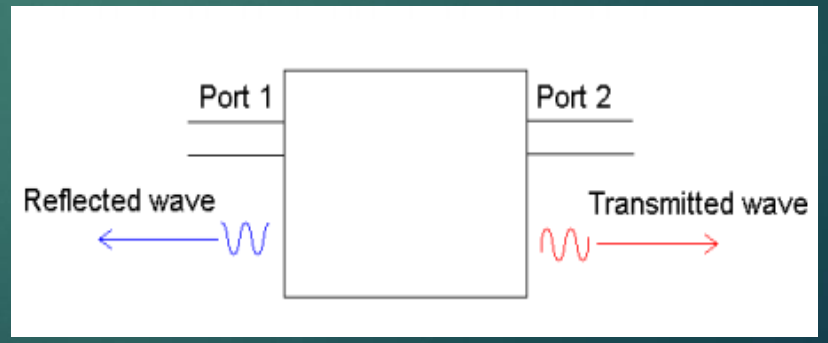


We meten S parameters door een signaal op 1 poort te zetten en dan te kijken wat er uit elke poort terug komt

- Vermogen, spanning en stroom worden beschouwd als golven, die in beide richtingen kunnen lopen.



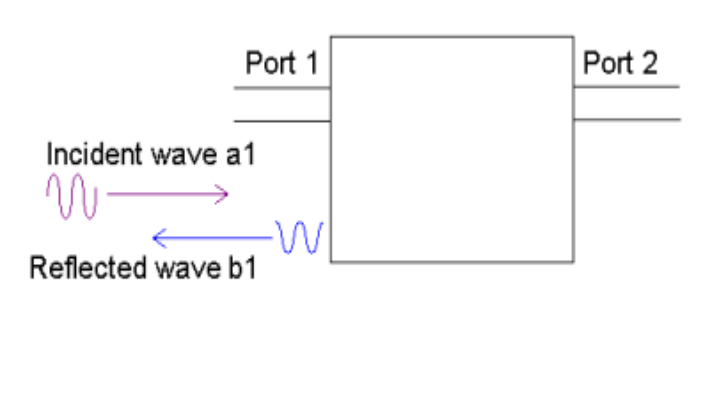
- Van een golf die verzonden wordt van poort 1 wordt een gedeelte gereflecteerd, de rest gaat naar andere poorten.



S_{11}, S_{21} enz. Waar staat dat voor?

- S_{11} verwijst naar het gereflecteerde gedeelte van het signaal van poort 1 in verhouding tot het toevoerde signaal

- Scattering parameter S_{11} is de verhouding van de twee golven b1/a1

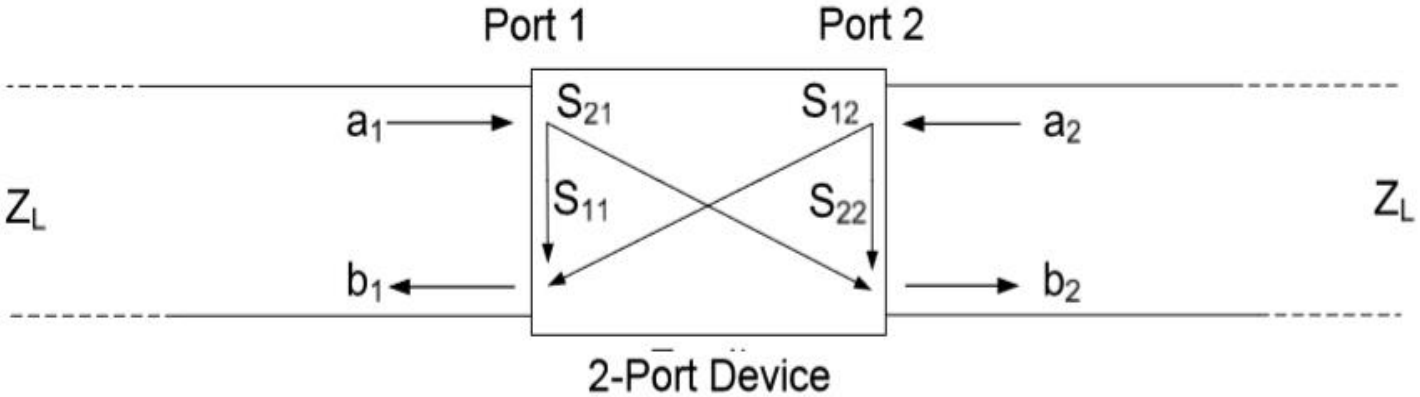


S_{11}, S_{21} enz. Waar staat dat voor?

- S_{21} verwijst naar het gedeelte van het signaal dat wordt ontvangen op poort 2 in verhouding tot het toevoerde signaal op poort 1

- Scattering parameter S_{21} is de verhouding van de twee golven b2/a1

General:
S-Parameters S_{ik}



Scattering parameters S_{11}, S_{21}, S_{12}, S_{22}
completely describe linear two port device!
=> useful for simulations

Hochschule Ulm

Who is afraid of S-parameters!

$$U = R \cdot I$$

Ohm

$$b = S \cdot a$$

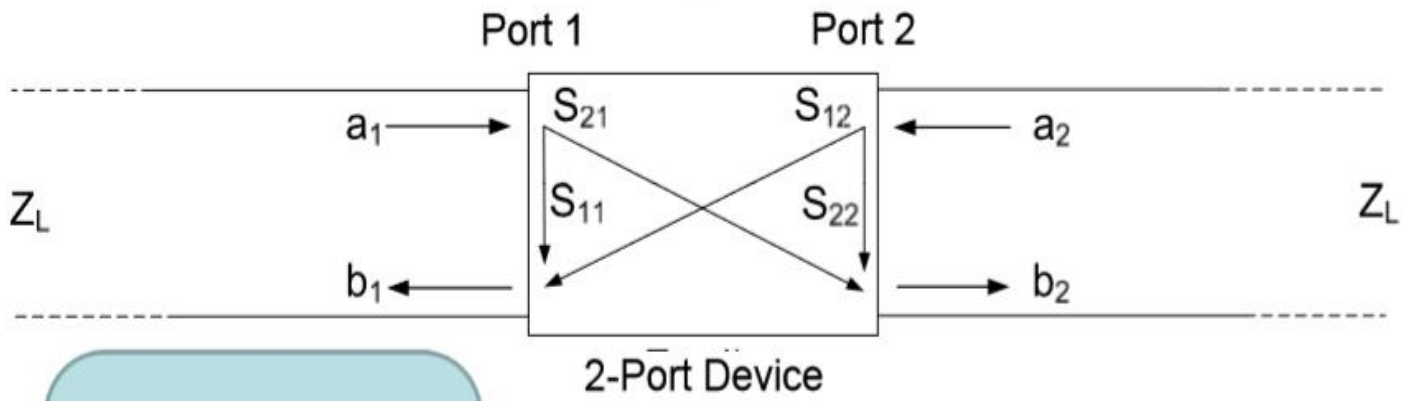
S-Par.

Response System Excitation

equivalent description

Hochschule Ulm

General:
S-Parameters S_{ik}



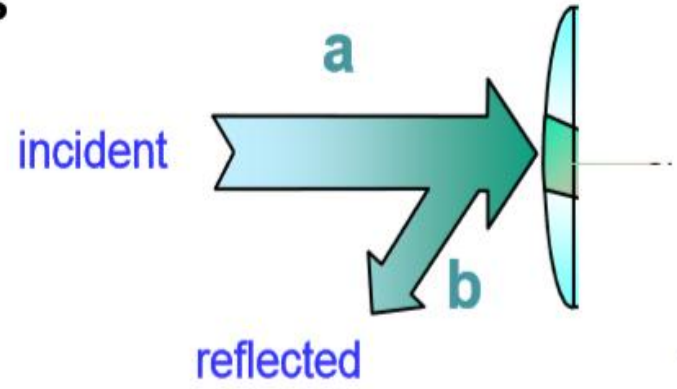
$$S_{ik} = \frac{b_i}{a_k}$$

$i,k = 1 \ldots$ number of ports

Hochschule Ulm

Complex Reflection Coefficient $S = b/a$
We call it Scattering Parameter now!

Optics



Scattering and absorption of waves at <u>*one*</u> port

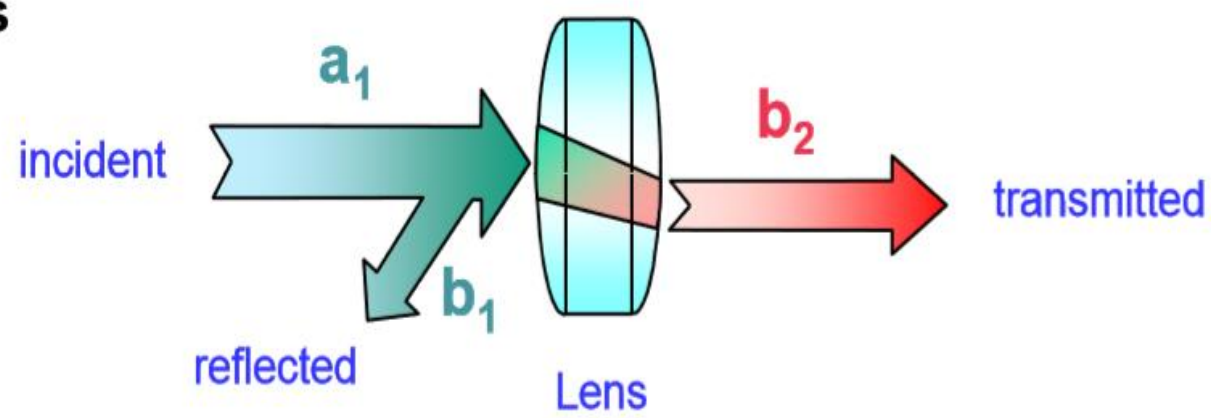
Elektrical

DUT : DEVICE UNDER TEST

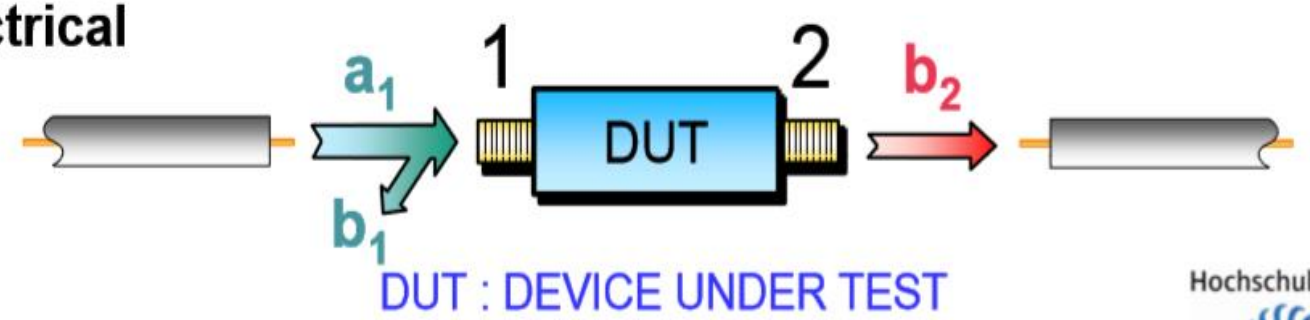
Hochschule Ulm

Scattering Parameters or short S-Parameters: Now two Ports!

Optics



Electrical



Hochschule Ulm

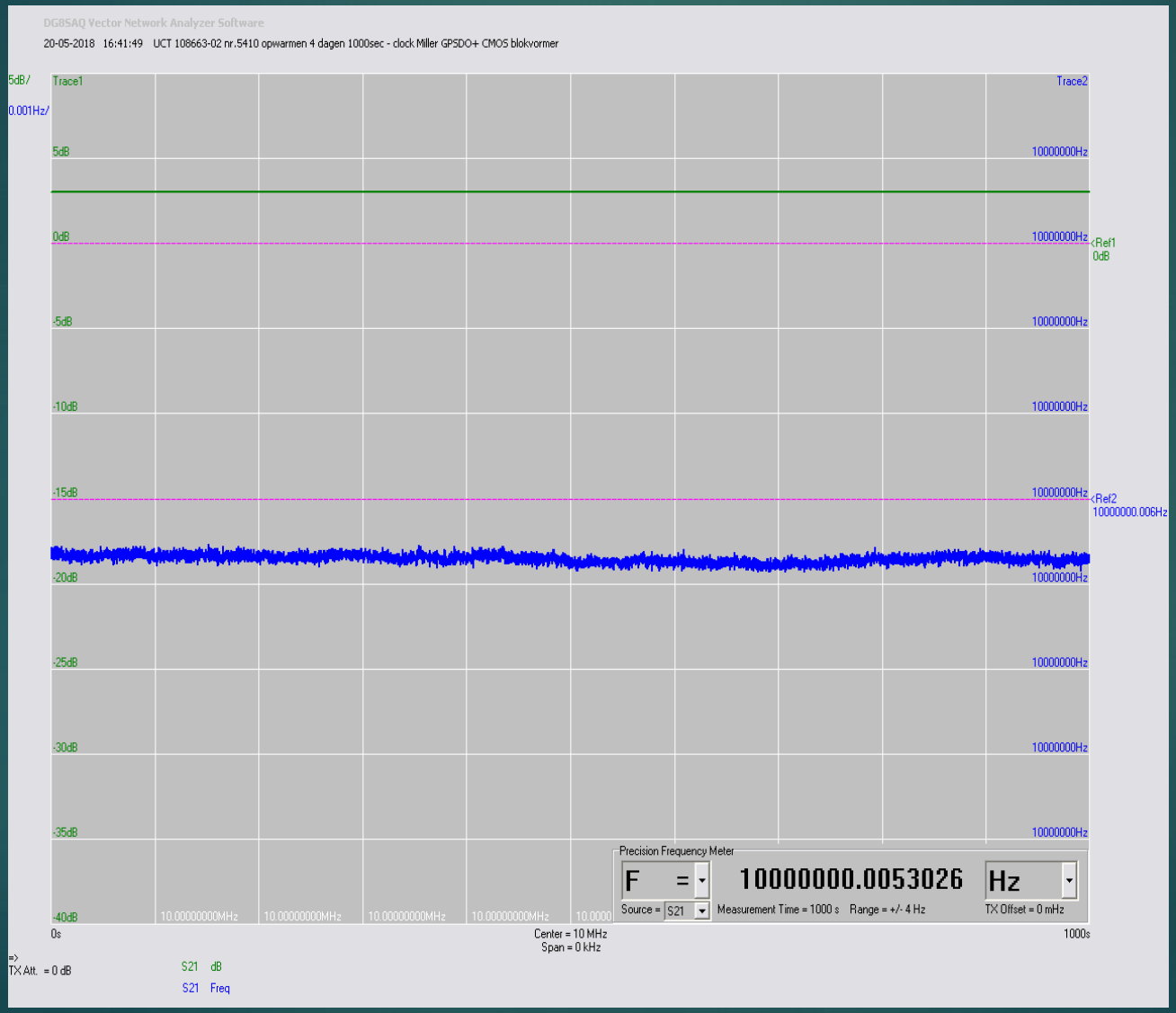
Metingen met de DG8SAQ VWNA

Frequentie meten

UCT 108663-2

5 dB/ div
groen

1 mHz/
div
blauw

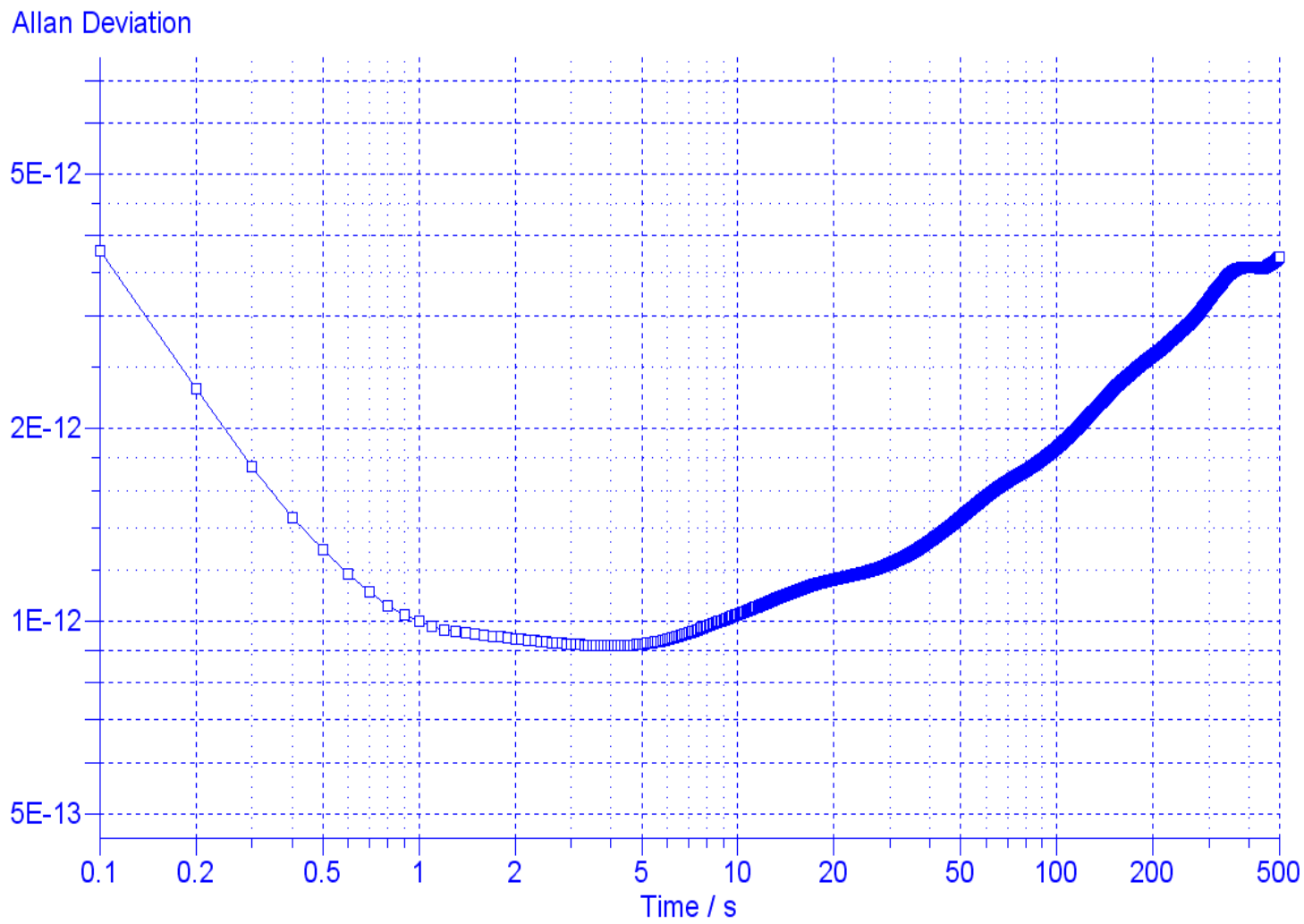


0 db S21

10 MHz
S21

DG8SAQ Vector Network Analyzer Software

20-05-2018 16:42:37 UCT 108663-02 nr.5410 opwarmen 4 dagen 1000sec - clock Miller GPSDO+ CMOS blokvormer

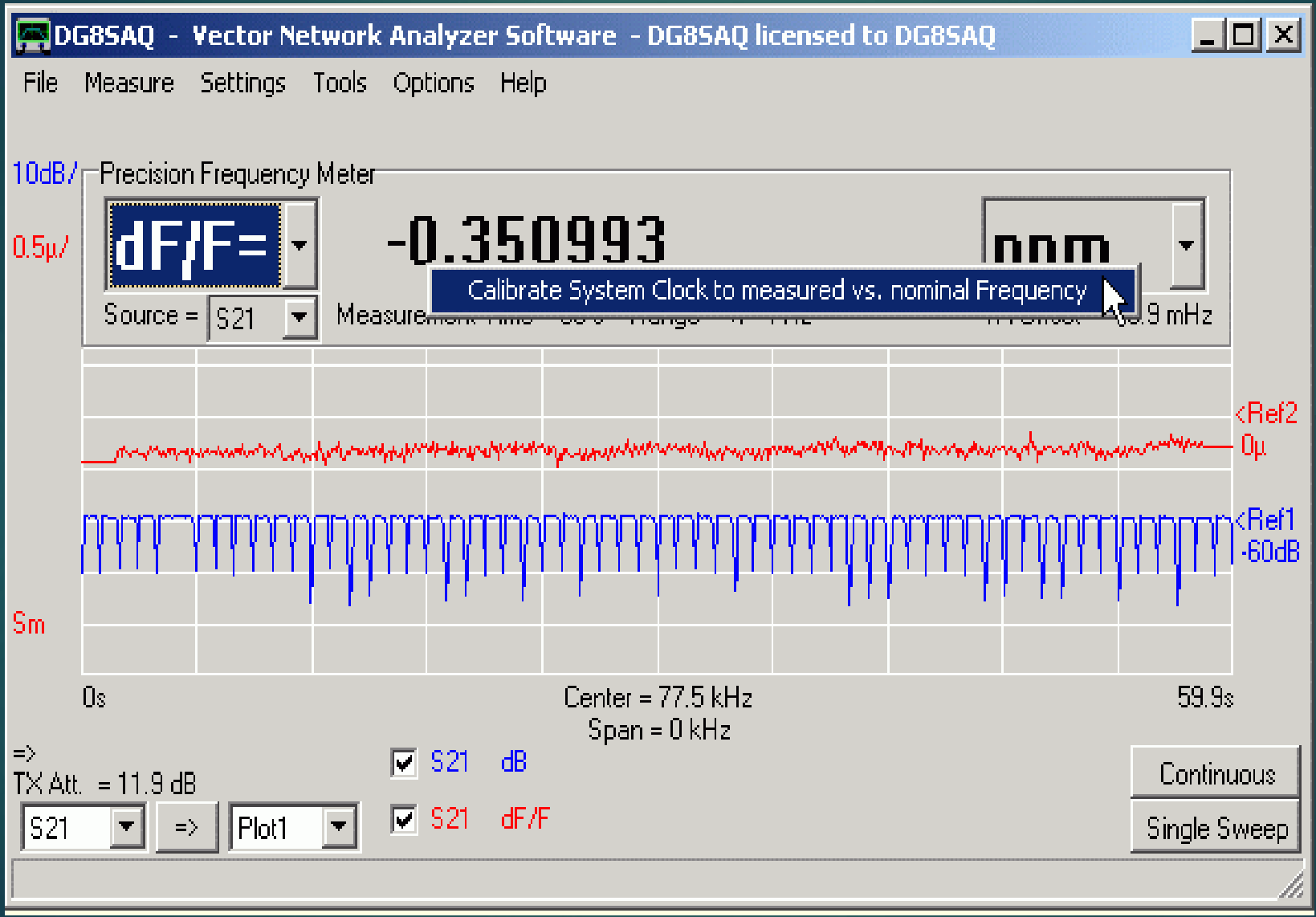


Goed

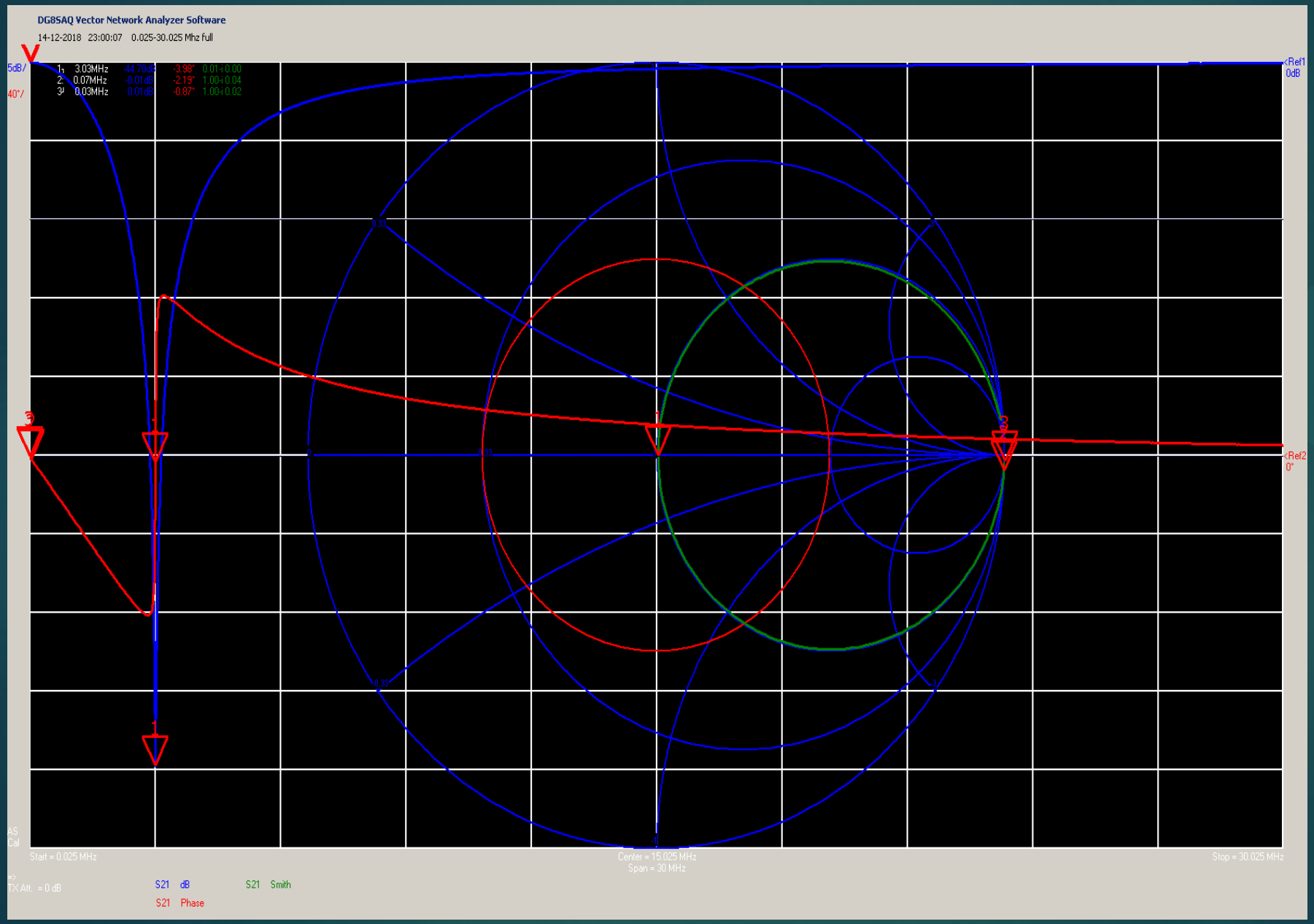
OCXO

ALLEN

DCF 77 meting



Resonantie LC parallelkring 3,03



Blauw S_{21}
5 dB/div.
Ref. 0 dB
Dip -44,7 dB

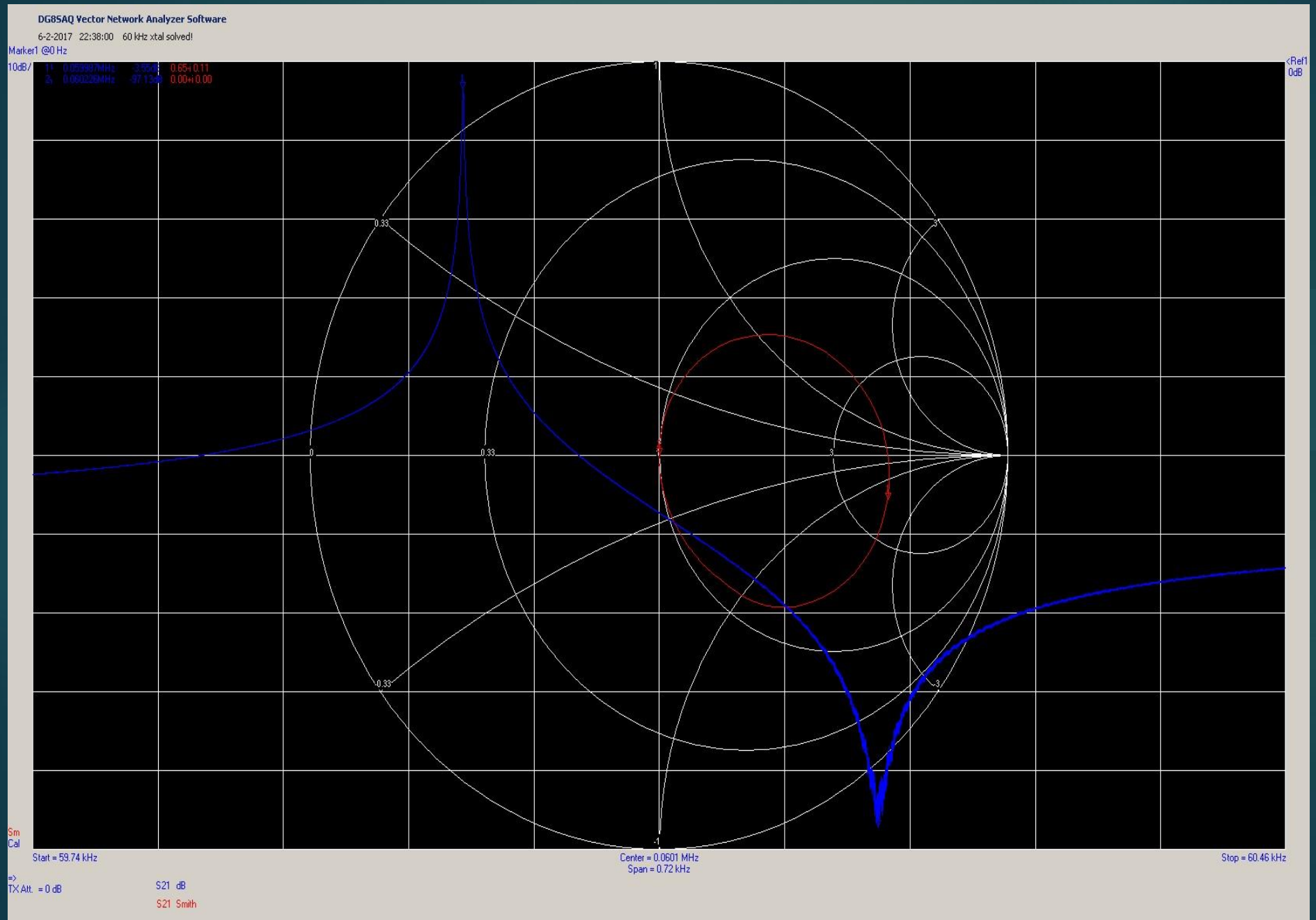
Rood S21
fase
40°/ div

Groen S21
Smith

Span 0,025-
30,025 MHz

Xtal Analyser

60 kHz kristal

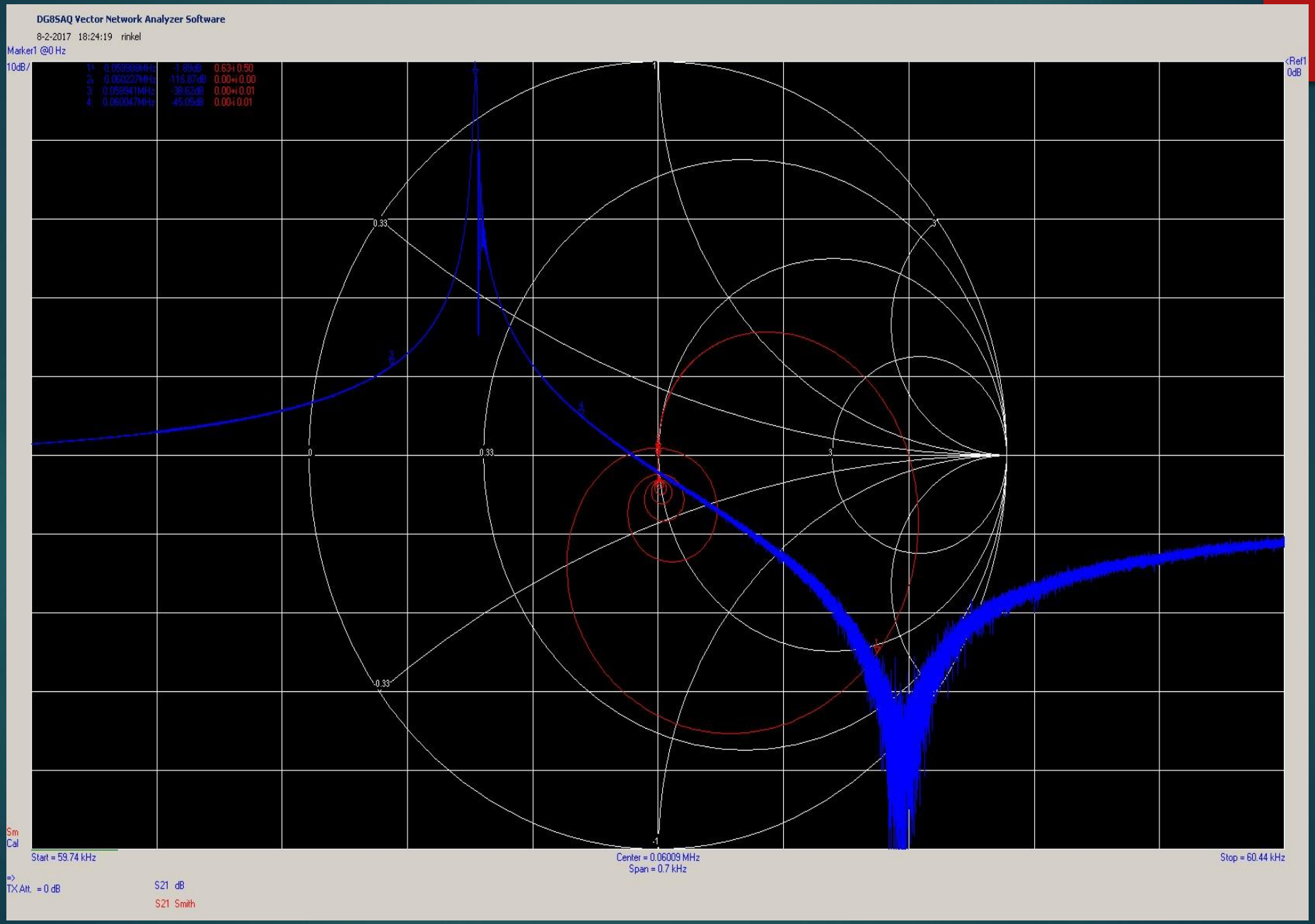


Ref 0 db

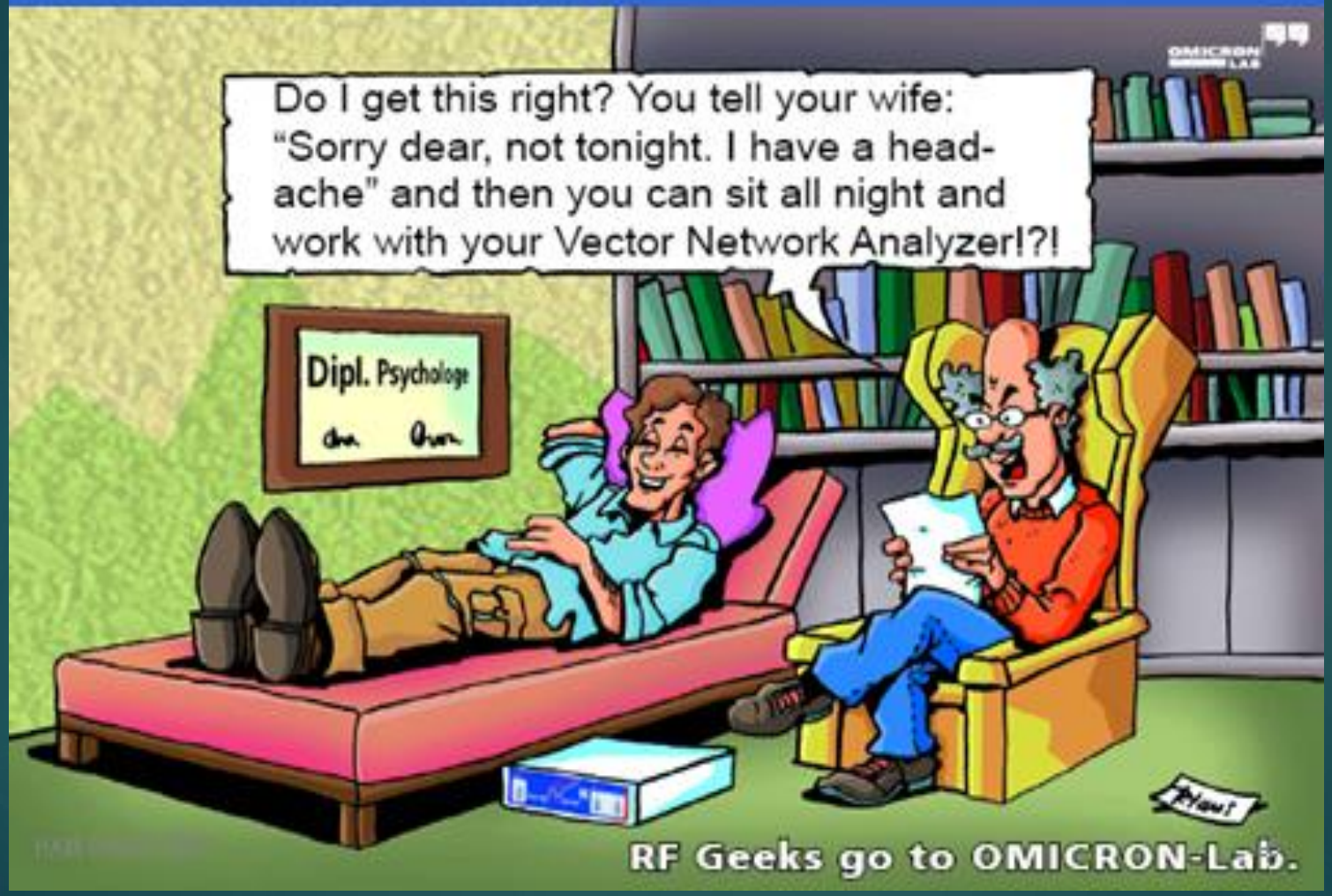
S21 10 dB/div

Start 59.74 kHz
Stop 60.46 kHz
Mid 60.10

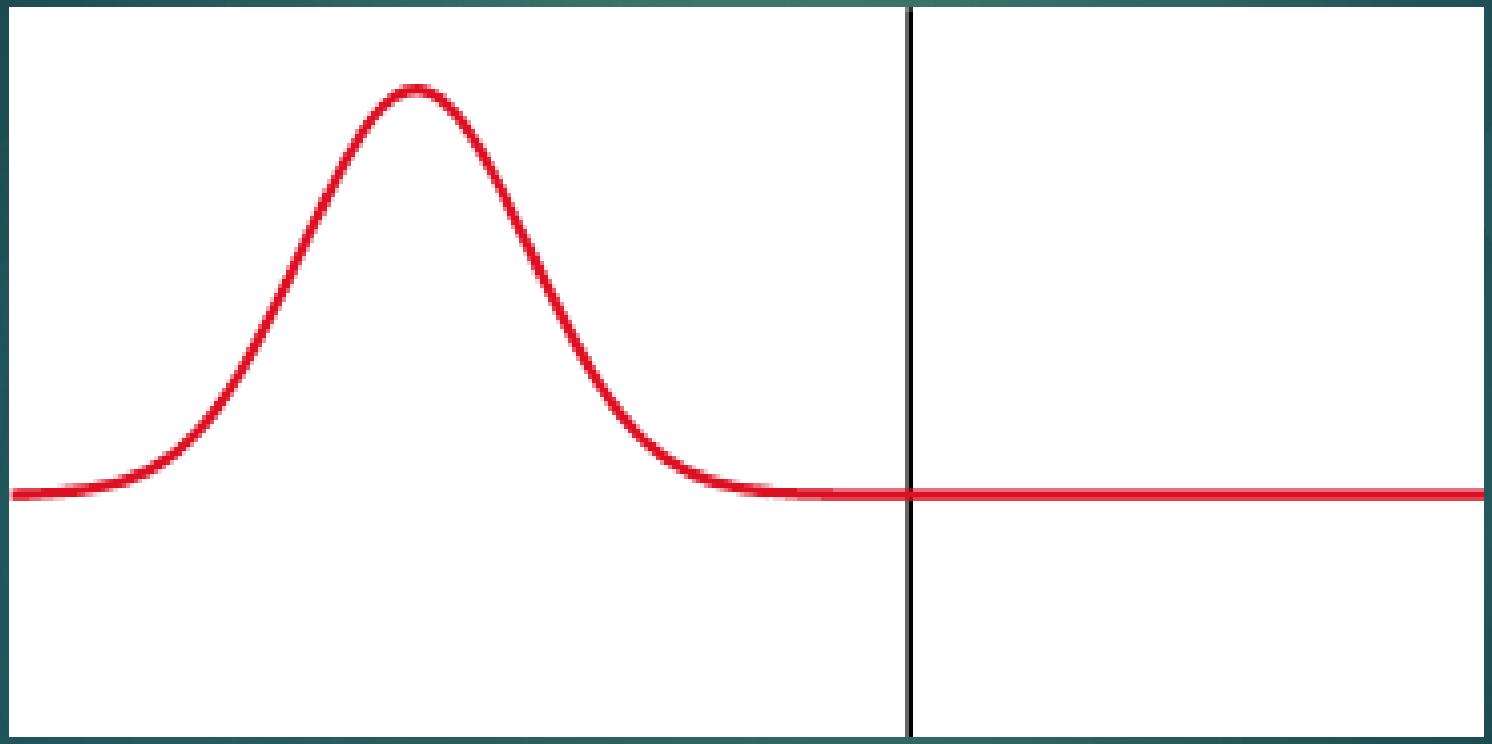
60 kHz kristal, rinkelend



Many thanks for your attention!



Reflectie



Conventies :

Weerstand R	$Z = R + j0$
Inductie L	$Z = 0 + jL\omega$
Capaciteit C	$Z = 0 - j\dfrac{1}{C\omega}$
Wat uitleg: Eigenlijk niets nieuws. Neem nu een weerstand met de aanduiding van j 0 dan betekent dat, dat er GEEN **inductieve reactantie** is. De weerstand =0 en de **+j** voor de reactantie Lw wijst naar een spanning die voorijlt op de stroom.	Hetzelfde dient gezegd voor de capaciteit. De 0 en de reactantie van de condensator door de **-j** verwijst naar de spanning die **naijlt** op de stroom of anders uitgedrukt, de stroom ijlt voor op de spanning.

We stellen vast dat de impedantie voor elk type onderdeel in een kring uit twee delen is samengesteld. Wetende dat:

1 - het reël deel, het resistief deel van de impedantie is.
2 - het imaginaire deel stelt het reactief deel van de impedantie voor.

We onthouden: **Z = R + jX** of **Z = R - jX**

Onze nieuwe kennis toegepast op de basiscomponenten :

We hebben een weerstand van 50 Ω, hoe stellen we dit voor als serieimpedantie ?

Het gaat om een zuivere weerstand dus is het imaginair deel 0. Dan: Z = R en dus
Z = 50 + j0

We hebben een condensator van 100 pF, de kring werkt op een frequentie van 50 MHz: wat is zijn notatie ?

Het gaat hier over een reactantie en daarom moeten we met de frequentie rekening houden. We zien dit in de term ω.

1 - Berekening van de reactantie van de condensator C

$$X = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{100\ 10^{-12} \times 2 \times \pi \times 50\ 10^{6}}$$

Dus X = 32 Ω, uitgedrukt als :

Z = 0 - j32

We beschikken over een spoel van 10 µH aangesloten op een wisselspanning van 50 MHz, wat is dan de notatie ?

We gaan op een zelfde manier te werk. We weten dat e X = Lω.

1 - berekenen we de reactantie van L

$$X = L\omega = 10\ 10^{-6} \times 2 \times \pi \times 50\ 10^{6} = 3140\ \Omega$$

dus **Z = 0 + j 3140**

Om onze kennis nog wat verder uit te dienen: stel we hebben een kring van **Z = 48 + j25**

Om onze kennis nog wat verder uit te diepen: stel we hebben een kring van **Z= 48 + j25**.

1 - Wat is de impedantie van deze kring ?

Eenvoudigweg Pythagoras toepassen en we vinden :

Z = wortel ($48^2 + 25^2$) = 54 Ω

2 - Welk is de fase tussen stroom en spanning en in welke zin ?

De zin wordt gegeven door het teken van het reactief deel. In dit geval ijlt de spanning voor op de stroom (een inductief gedrag).

Betreffende de defasering hebben we als tangens = X/R weze 25/48 = 0.52

Om nu de hoek te kennen moeten we ons rekentoestelletje gebruiken (de ouderwetse rekenlineaal mag ook !) . We zoeken de functie **arctangens**. en vinden : 27,5

3 - En het complement nu ?

om uitdrukkingen te vereenvoudigen. Als voorbeeld Z= 48 +j25. Het complement wordt nu 48 -J25.

Voorbeeld :

Stel dat we hebben :

$$Y = \frac{1}{48 + j25}$$

Om te vereenvoudigen kunnen we beide termen (boven en onder) met het complement vermenigvuldigen. Dit geeft :

$$Y = \frac{48 - j25}{(48 + j25)\,(48 - j25)}$$

$$Y = \frac{48 - j25}{48^2 + 25^2} = \frac{48 - j25}{2929}$$

Werkwijze : Het doel is om op een eenvoudige manier de impedantie en fase in een kring te berekenen, uitgaande van de werkfrequentie en de waarde van de onderdelen.

Principe n 1 :
We beginnen onze eerste analyse bij de eerste component, de belasting. Vervolgens voegen we de elementen één na één toe richting aansluiting. We voeren een sequentiële analyse uit.

Principe n 2 :
Wanneer we componenten in // toevoegen, werken we via admittanties (zoals bij // weerstanden). Dit betekent dat EERST die admitantie berekend wordt voor de toevoeging.

Principe n 3 :
Het omgekeerde van de impedantie is de **admittantie** genoteerd als Y waarde **1/Z** in Siemens
Het omgekeerde van de weerstand is de **conductantie** genoteerd als G waarde **1/R** in Siemens
Het omgekeerde van de reactantie is de **susceptantie** genoteerd als B waarde **1/X** in Siemens

Principe n 4 :

Om van Z naar Y of van Y naar Z over te stappen gaan we systematisch de formules toepassen wetende dat de complexe impedantie van de vorm **Z= R +jX of Z = R - jX**

Startend van Z = R +jX	$Y = \frac{R}{R^2 + X^2} - j\frac{X}{R^2 + X^2}$
Startend van Y = G + jB	$Z = \frac{G}{G^2 + B^2} - j\frac{B}{G^2 + B^2}$

Overgang van impedantie naar admittantie

De uitdrukkingen

Berekening van Z voor	R (1)	$Z = R + j0$
	C (2)	$Z = 0 - \frac{j}{C\omega}$
	L (3)	$Z = 0 + jL\omega$
Overgang van impedantie naar admittantie	van Z naar Y (4)	$Y = \frac{R}{R^2 + X^2} - j\frac{X}{R^2 + X^2}$
Overgang van admittance naar impedantie	van Y naar Z (5)	$Z = \frac{G}{G^2 + B^2} - j\frac{B}{G^2 + B^2}$

Werkwijze

1	Plaats de 1e component (de belasting) en bereken zijn impedantie $Z_1 = R_1 + jX_1$ door de formules (1-2-3)	
2	Voeg de 2e component toe Bereken zijn impedantie $Z_2 = R_2 + jX_2$ door de formules (1-2-3)	
3	**Vraag :**	
	in serie plaatsen?	in // plaatsen ?
	Voeg impedanties bij impedanties, weerstanden bij weerstanden, reactieve elementen bij reactieve elementen. $Z_t = Z1 + Z2 = R_t + jX_t$ met $Rt = R_1 + R_2$ en $X_t = X_1 + X_2$	Bereken Y1 door formule (4) Bereken Y2 door formule (4) Voeg de admitanties bij admitanties, conductanties bij conductanties en susceptanties bij susceptanties. $Y_t = Y_1 + Y_2 = G + jB$ met met $Gt = G_1 + G_2$ en $B_t = B_1 + B_2$
4	Ga terug indien nodig naar impedanties door formule (5)	
5	Voeg de tweede component toe en herbegin bij (2)	