

μ' en μ'' bepaling met de nanoVNA,
niet met de “excel”-methode
maar nu m.b.v. nanovna-Saver.

Herman van Rees, PAOVRE

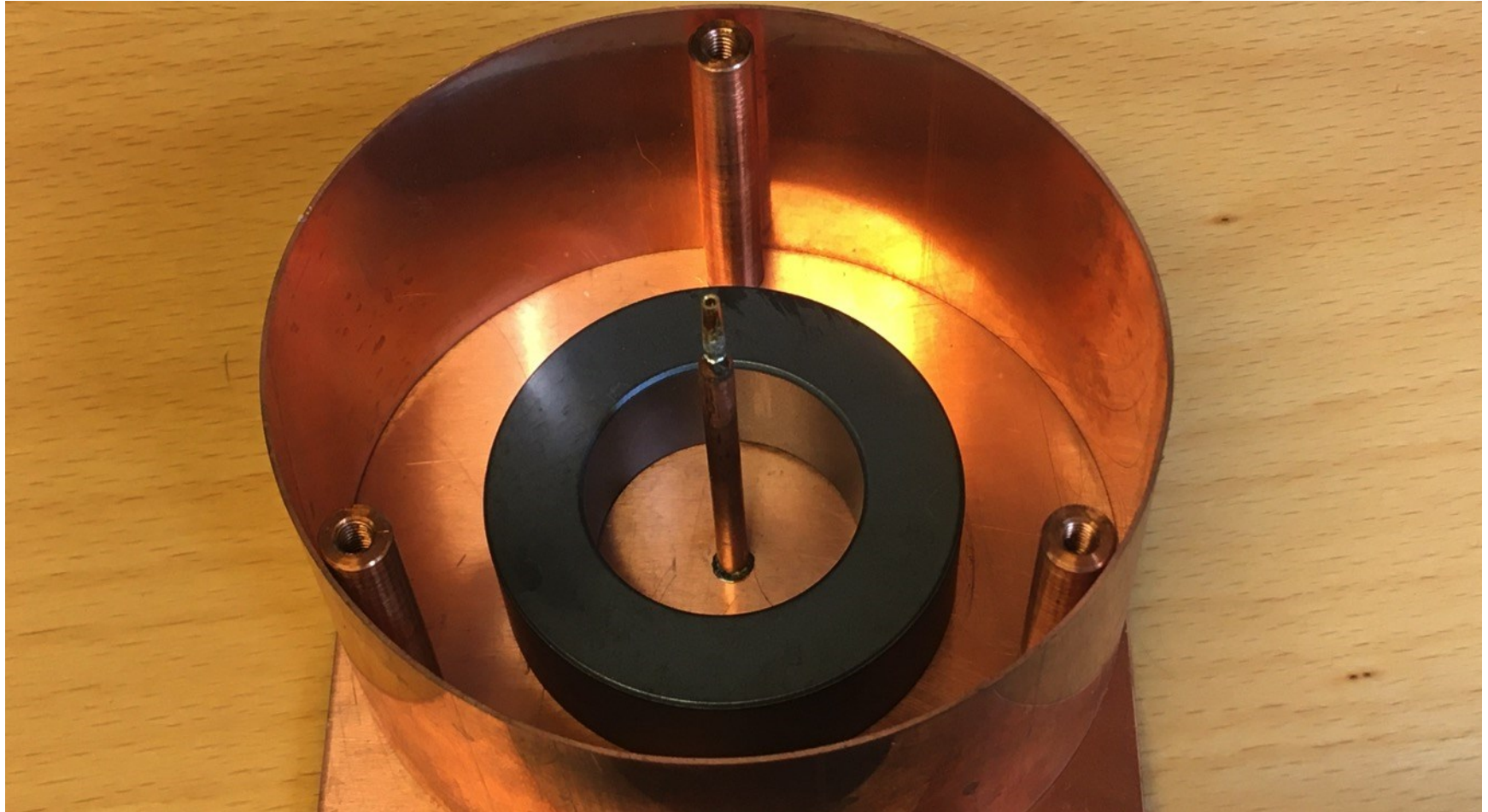
Wat heb je nodig?

- ✓ Nano vna
- ✓ PC met nieuwste versie van Saver .
- ✓ Gebruiks ervaring met Saver.
- ✓ Meetkamer
- ✓ 50 Ohm cal. weerstand

De meetkamer gemaakt door Henk PA0HKZ



Of het nou een grote ring....



Of een kleine ring betreft..



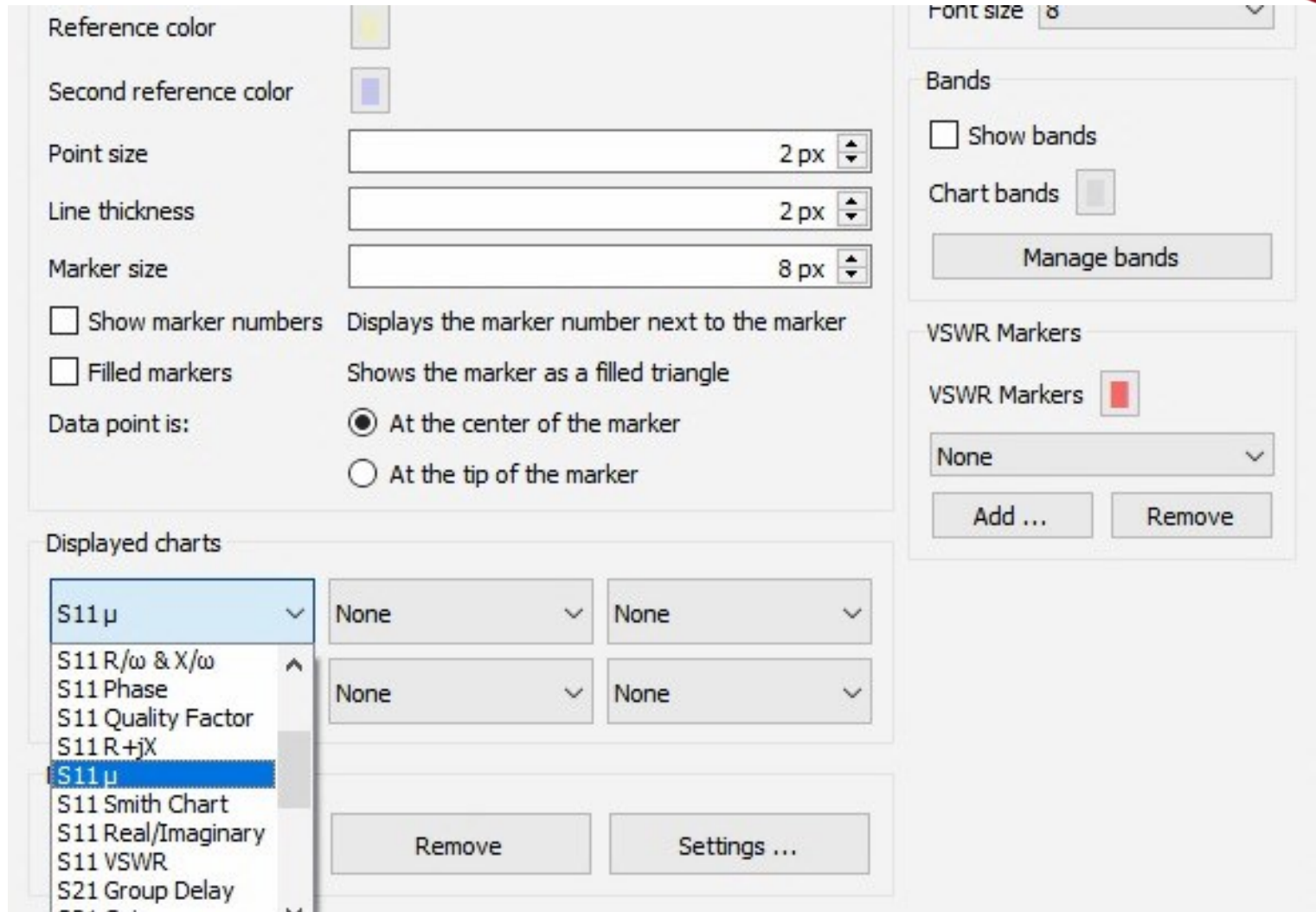
Wat moest je doen? (toen)

- ✓ Start en stopfrequentie instellen
- ✓ Kalibratie: open, short=meetkamer, load=50 Ω
- ✓ Ringkern plaatsen en S11 meten.
- ✓ S11 data exporteren in een <filenaam>.S1P file met nanovna Saver.
- ✓ S1P file importeren in Excel rekenblad.
- ✓ Maten ringkern invoeren en μ' , $\mu''=f(f)$ zijn bekend
- ✓ Plotprogramma laden met berekende waarden van μ' en μ''

Wat moet je nu doen?

- ✓ Start en stopfrequentie instellen.
- ✓ Kalibratie: open, short(=lege meetkamer), load=50 Ω (in Saver).
- ✓ Gem. Magn. Lengte en doorsnede van te meten ringkern invoeren. (in mm)
- ✓ Ringkern in meetkamer plaatsen.
- ✓ Resultaten direct op scherm zichtbaar!
- ✓ Schaalwaarden aanpassen.

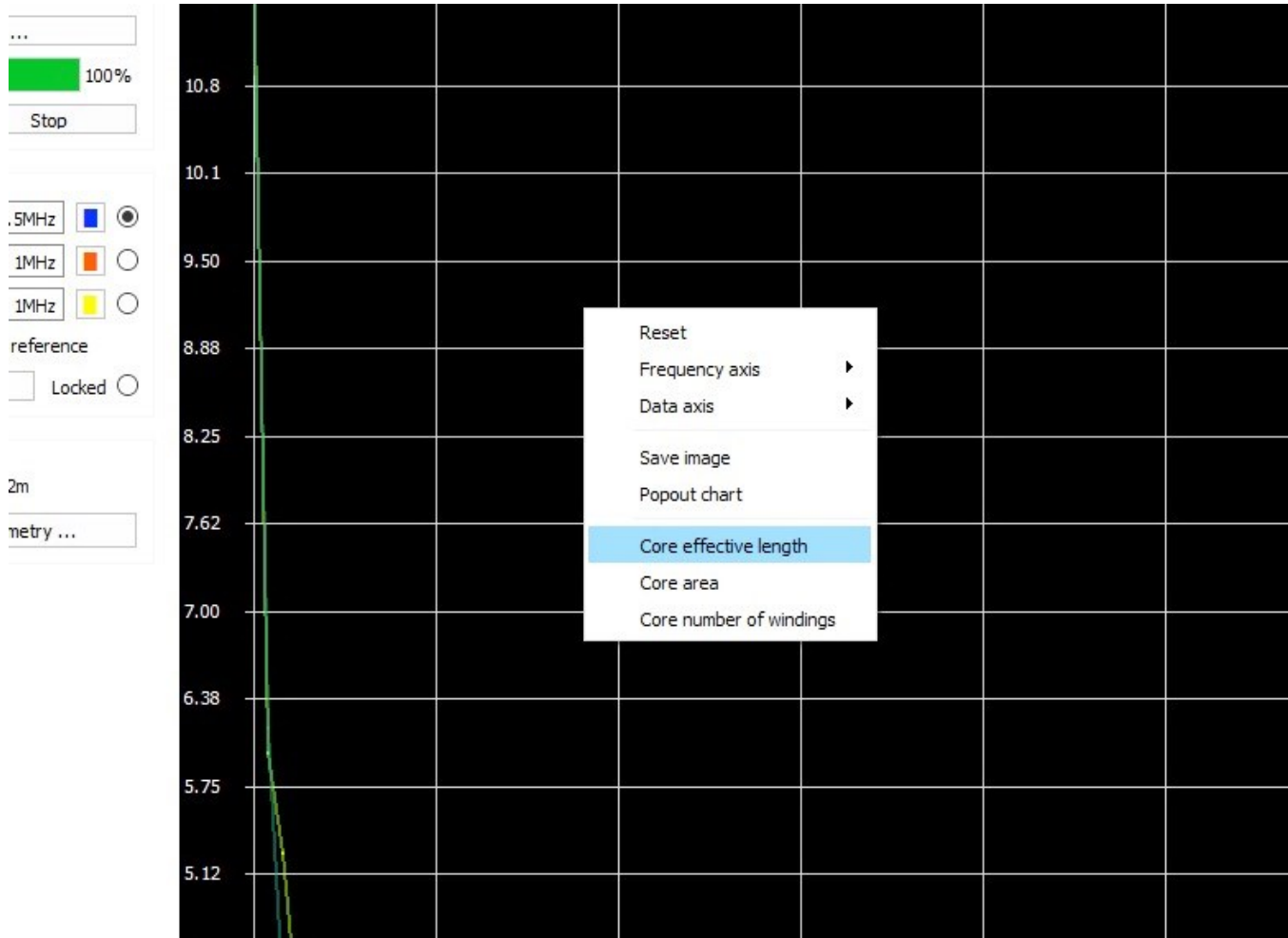
Meetmodus kiezen, S_{11} μ



The screenshot shows a software interface with several settings panels:

- Reference color:** Yellow swatch
- Second reference color:** Purple swatch
- Point size:** 2 px
- Line thickness:** 2 px
- Marker size:** 8 px
- Show marker numbers: Displays the marker number next to the marker
- Filled markers: Shows the marker as a filled triangle
- Data point is:**
 - At the center of the marker
 - At the tip of the marker
- Displayed charts:**
 - Chart 1: $S_{11} \mu$ (selected), None, None
 - Chart 2: None, None, None
 - Buttons: Remove, Settings ...
- Font size:** 8
- Bands:**
 - Show bands
 - Chart bands: [Swatch]
 - Manage bands
- VSWR Markers:**
 - VSWR Markers: [Red Swatch]
 - None
 - Add ... Remove

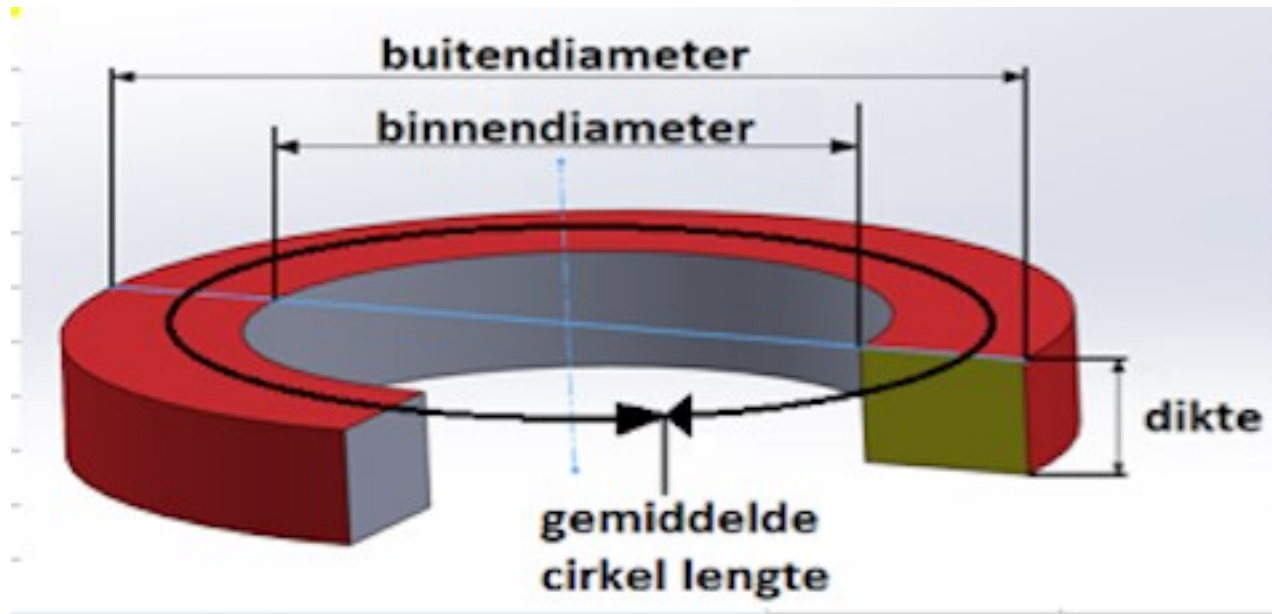
Rechts klikken op plotgebied en core length en area invullen



$$\text{core effective length} = (\text{binnendiameter} + \text{buitendiameter}) * \frac{\pi}{2}$$

$$\text{core area} = \text{dikte} * \frac{\text{buitendiameter} - \text{binnendiameter}}{2}$$

Alle maten in mm!



Wat zit er onder de motorkap?



Excel rekenblad, vervallen

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	A	0,000246		50016	0,99394	178,7596962		-0,99370289	0,021514456		0,001753296	3,87E-04	0,00623919	226,40	805,6
2	l=	0,1450		549515	0,96406	171,1954042		-0,95269936	0,147563928		0,010235379	4,10E-03	0,04279354	124,70	521,4
3	u_0	1,26E-06		1049015	0,94393	164,5562684		-0,90984886	0,251361451		0,015803908	7,58E-03	0,07289482	104,24	480,8
4				1548515	0,92553	158,1655814		-0,85913538	0,344228466		0,020792008	1,08E-02	0,09982626	96,43	463,0
5	export van nanovna sharp			2048015	0,90557	151,9043068		-0,79886018	0,42647447		0,026091581	1,36E-02	0,1236776	95,70	453,6
6	S1P file in formaat MAG + ANG			2547515	0,88439	145,7375456		-0,73091828	0,497897134		0,031589253	1,61E-02	0,14439017	98,14	448,6
7	formaat magnitude en hoek			3047015	0,86016	139,7922286		-0,65691231	0,555286718		0,037717816	1,81E-02	0,16103315	104,07	444,3
8	hoek is in graden!!! Exel in rad			3546515	0,83306	134,0955582		-0,57968973	0,598286223		0,044371945	1,97E-02	0,173503	112,58	440,2
9	verklaring kolommen			4046014	0,80343	128,7845529		-0,50326358	0,626279363		0,05140249	2,09E-02	0,18162102	122,99	434,6
10	D=freq			4545514	0,77331	123,9101802		-0,43142589	0,641783126		0,058287988	2,18E-02	0,18611711	133,78	427,2
11	E=MAG			5045014	0,74411	119,4366411		-0,36570008	0,648043758		0,064713897	2,25E-02	0,18793269	144,12	418,5
12	F=ANG			5544514	0,71675	115,3846382		-0,30726515	0,647546952		0,070509305	2,30E-02	0,18778862	153,41	408,6
13	H=a			6044014	0,69187	111,7185792		-0,25602512	0,642755989		0,075590802	2,34E-02	0,18639924	161,30	397,7
14	i=b			6543513	0,66967	108,3837797		-0,21120087	0,635493877		0,07997355	2,38E-02	0,18429322	167,72	386,5
15				7043014	0,64918	105,2657868		-0,17092586	0,626268806		0,083892901	2,42E-02	0,18161795	173,44	375,5
16	K=teller μ'			7542514	0,63127	102,4292315		-0,135587	0,616472425		0,087217658	2,45E-02	0,178777	177,75	364,3
17	L=noemer			8042013	0,61526	99,78430615		-0,10455757	0,6066313945		0,090110412	2,49E-02	0,17583104	181,20	353,6
18	M=teller μ''			8541513	0,60166	97,28959805		-0,07634114	0,5967955		0,092511039	2,52E-02	0,17307069	183,58	343,5
19	N=μ''			9041013	0,58908	94,9489865		-0,05081876	0,586878955		0,094683629	2,55E-02	0,1701949	185,61	333,6
20	O=μ'			9540513	0,57799	92,76572322		-0,02788948	0,577320516		0,096558864	2,58E-02	0,16742295	186,96	324,2
21				10040013	0,56812	90,66283975		-0,00657232	0,568085551		0,098199164	2,61E-02	0,16474481	187,97	315,4
22	kolom h: a=mag*cos(ang)			10539512	0,55878	88,65967376		0,013070479	0,558629869		0,099725466	2,64E-02	0,16200266	188,89	306,8
23	kolom i: b=mag*sin(ang)			11039013	0,55109	86,84326613		0,030347242	0,55025506		0,10096327	2,67E-02	0,15957397	188,91	298,6

Theorie

De impedantie als functie van de frequentie van een spoel is gegeven door :

$Z = r + j2\pi fL$ en L is gegeven door:

$$L = n^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu'_r \cdot A / l$$

n = aantal windingen, meetkamer: $n = 1$

$$\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$$

A doorsnede ringkern in m^2

l = gemiddelde lengte ringkern in m

in $Z = j2.\pi.f.L$ met $L = n^2.\mu_0.\mu_r.A/l$

is μ_r de enige onbekende dus:

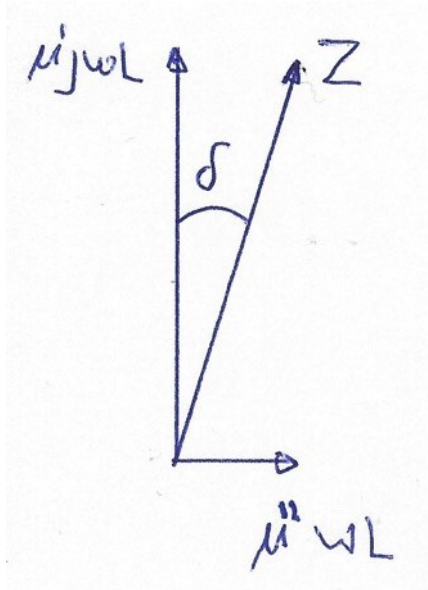
$$\frac{Z * l}{n^2 * \mu_0 * A * \omega} = \mu_r$$

Gedaante van μ_r :

$$\mu_r = \mu'_r - j \mu''_r$$

Verliesvrij kernmateriaal: $X_L = \mu' J \omega L$

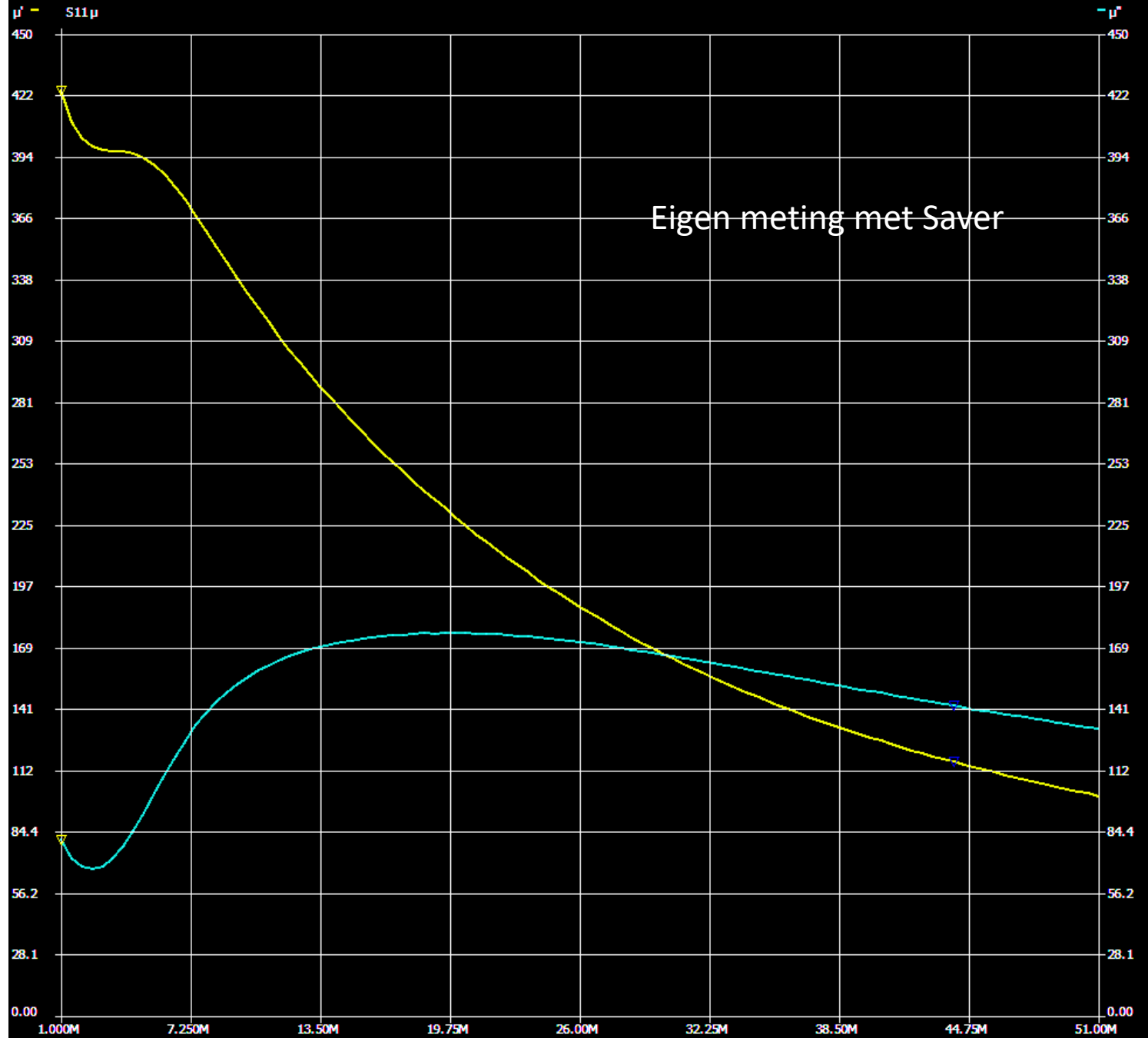
Met verliezen:

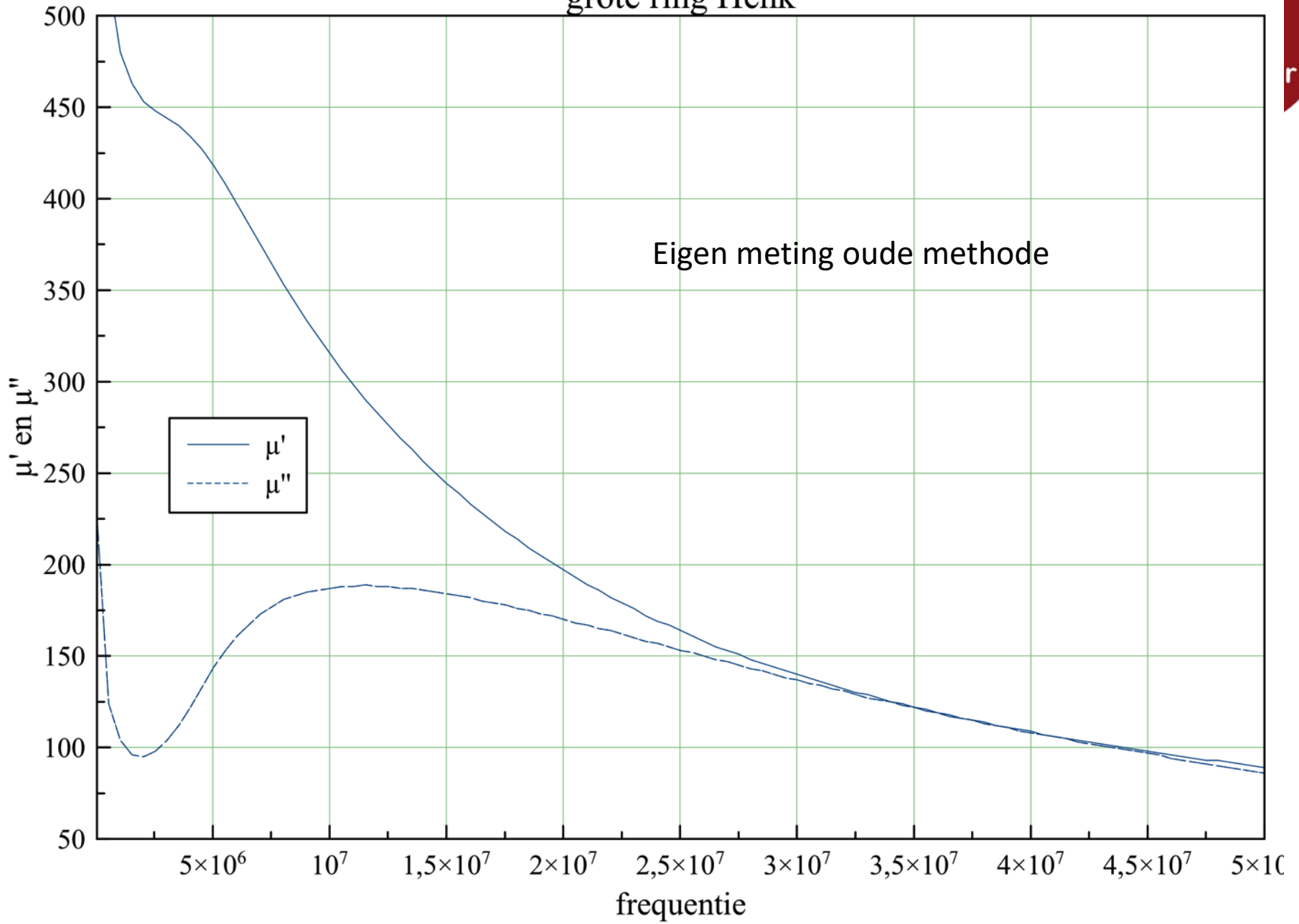


$$Z = J\omega L(\mu' - j\mu'') = \mu'J\omega L + \mu''\omega L$$

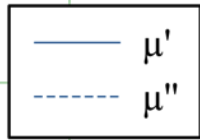
$$\tan(\delta) = \frac{\mu''_r * \omega L}{\mu'_r * \omega L} = \frac{\mu''_r}{\mu'_r}$$

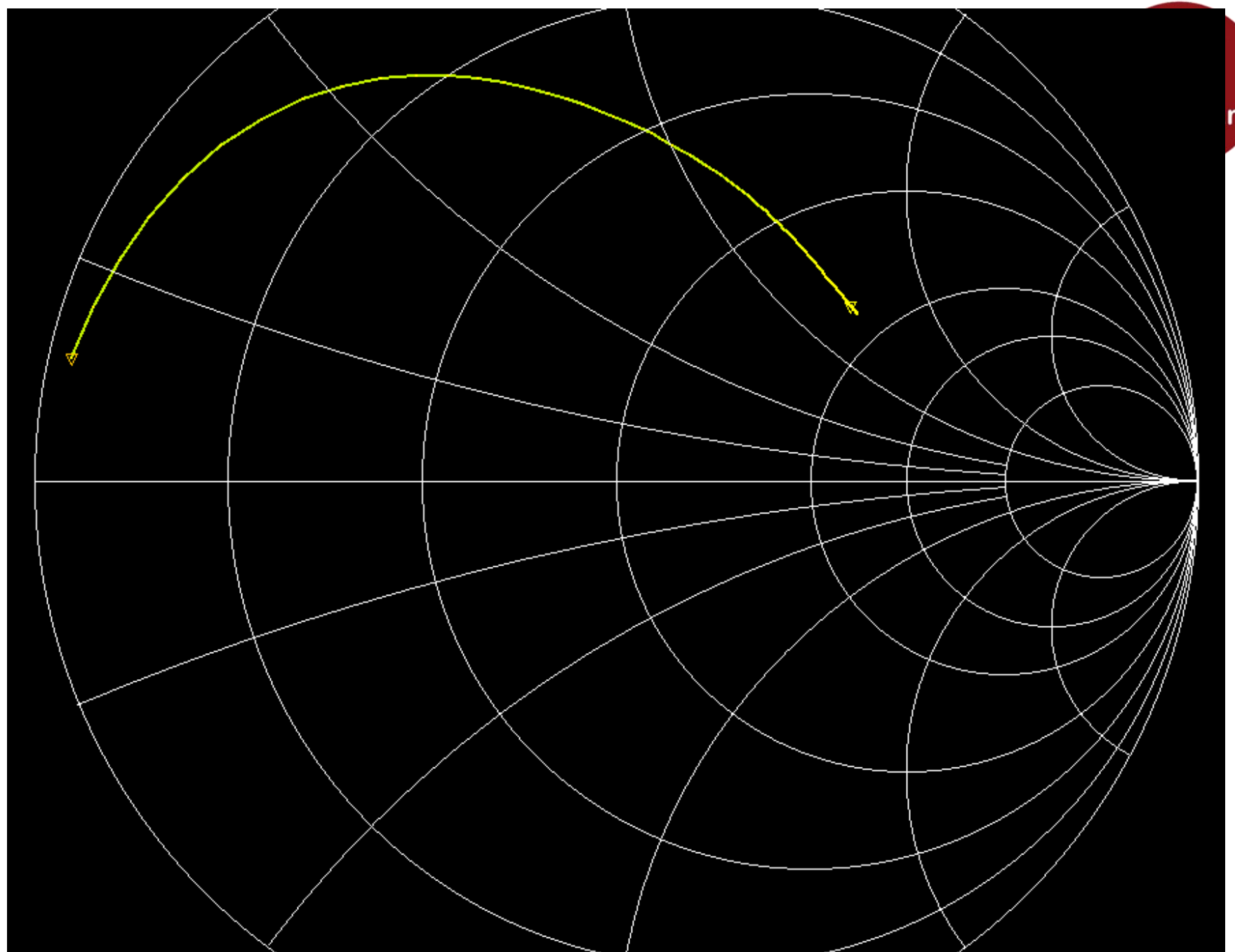






Eigen meting oude methode





Bij bovenstaande plaatjes afgelezen:

Rond 4 MHz is tang. delta $70/400=0,175$

Rond 45MHz ca. $140/113=1,24$

0,175 en 1,24 wijzen op een behoorlijk verlies.

Tang delta wordt meestal bij ongeveer $f=1\text{MHz}$ gespecificeerd.

Een waarde van b.v. 40 E-6 is verliesarm.

61

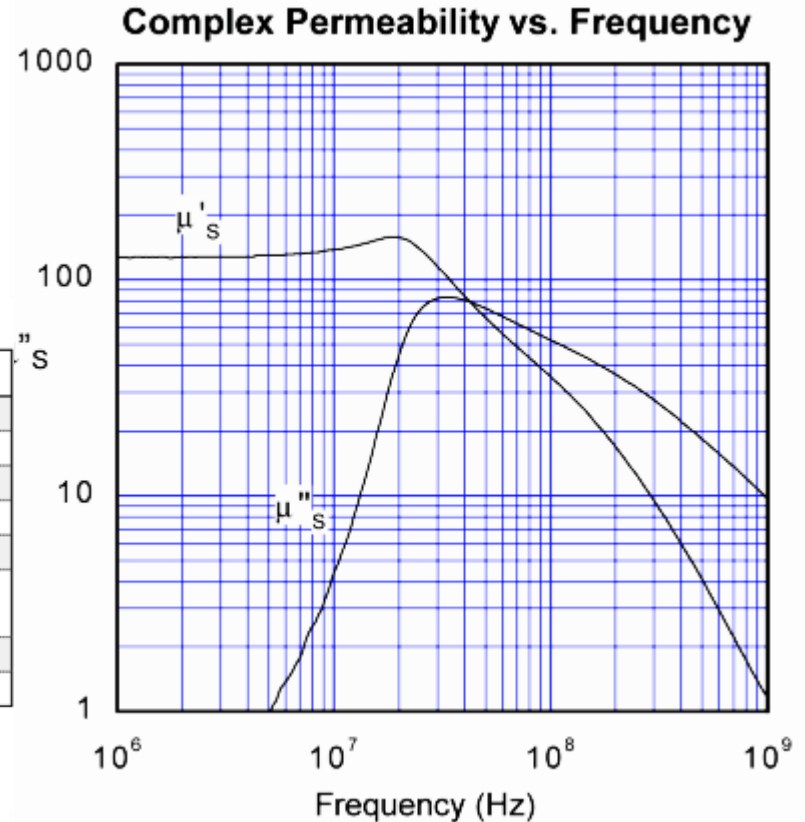
Material

A high frequency permivar NiZn ferrite designed for a range of inductive applications up to 25 MHz where low losses are required. It is also used in EMI noise suppression applications for frequencies above 200 MHz.

Specifications

Property	Unit	Symbol	Standard Test Conditions	Value
Initial Permeability		μ_i	Frequency=10 kHz; B<10 gauss	125 ± 20%
Saturation Flux Density	gauss	B_s	H =15 oersted	≈ 2400
Residual Flux Density	gauss	B_r		≈ 1000
Coercive Force	oersted	H_c		≈ 1.9
Loss Factor	10^{-6}	$\text{Tan}\delta/\mu_i$	Frequency=2.5 MHz; B=1 gauss	≤ 40
Temperature Coefficient of Initial Permeability (20-70°C)	%/°C			≤ 0.10
Volume Resistivity	Ω cm	ρ		≈ 1×10^7
Curie Temperature	°C	T_c		≥ 350

Note: values are typical and based on measurements of a standard toroid at 25 °C



Verliesvrij tot 100MHz

68 Material

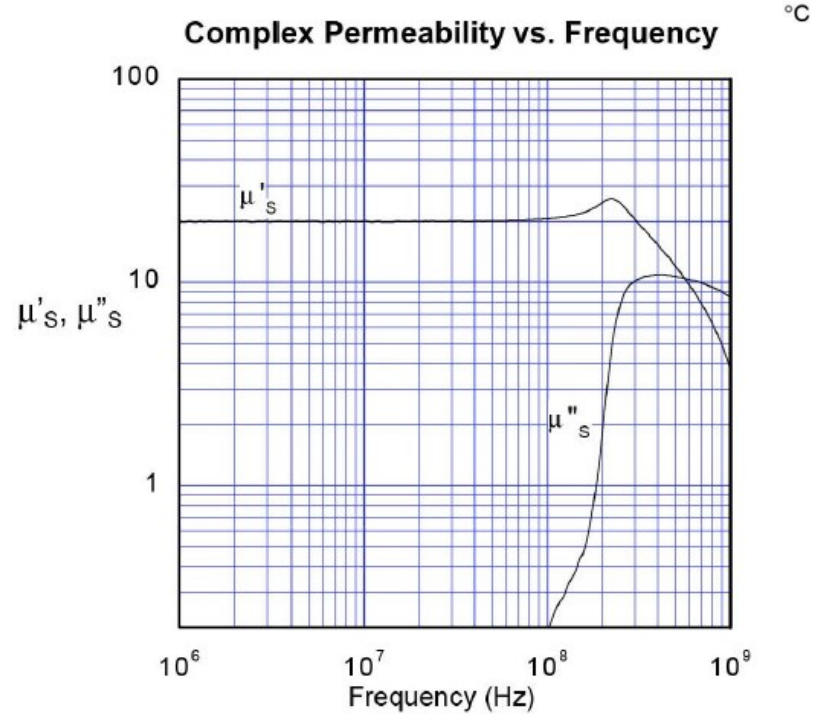
A permivar NiZn ferrite designed for high frequency applications (up to 100 MHz) including broadband transformers, antennas and high Q inductors.

Specifications

Property	Unit	Symbol	Standard Test Conditions	Value
Initial Permeability		μ_i	Frequency=10 kHz; B<10 gauss	$20 \pm 20\%$
Saturation Flux Density	gauss	B_s	H=40 oersted	≈ 2500
Residual Flux Density	gauss	B_r		≈ 700
Coercive Force	oersted	H_c		≈ 7
Loss Factor	10^{-6}	$\text{Tan}\delta/\mu_i$	Frequency=100 MHz; B=1gauss	≤ 500
Temperature Coefficient of Initial Permeability (20-70°C)	%/°C			≤ 0.15
Volume Resistivity	$\Omega \text{ cm}$	ρ		$\approx 10^7$
Curie Temperature	°C	T_c		> 500

Nk

Complex Permeability vs. Frequency



div. Materialen en hun gebruik afh. van F (bron amidon)

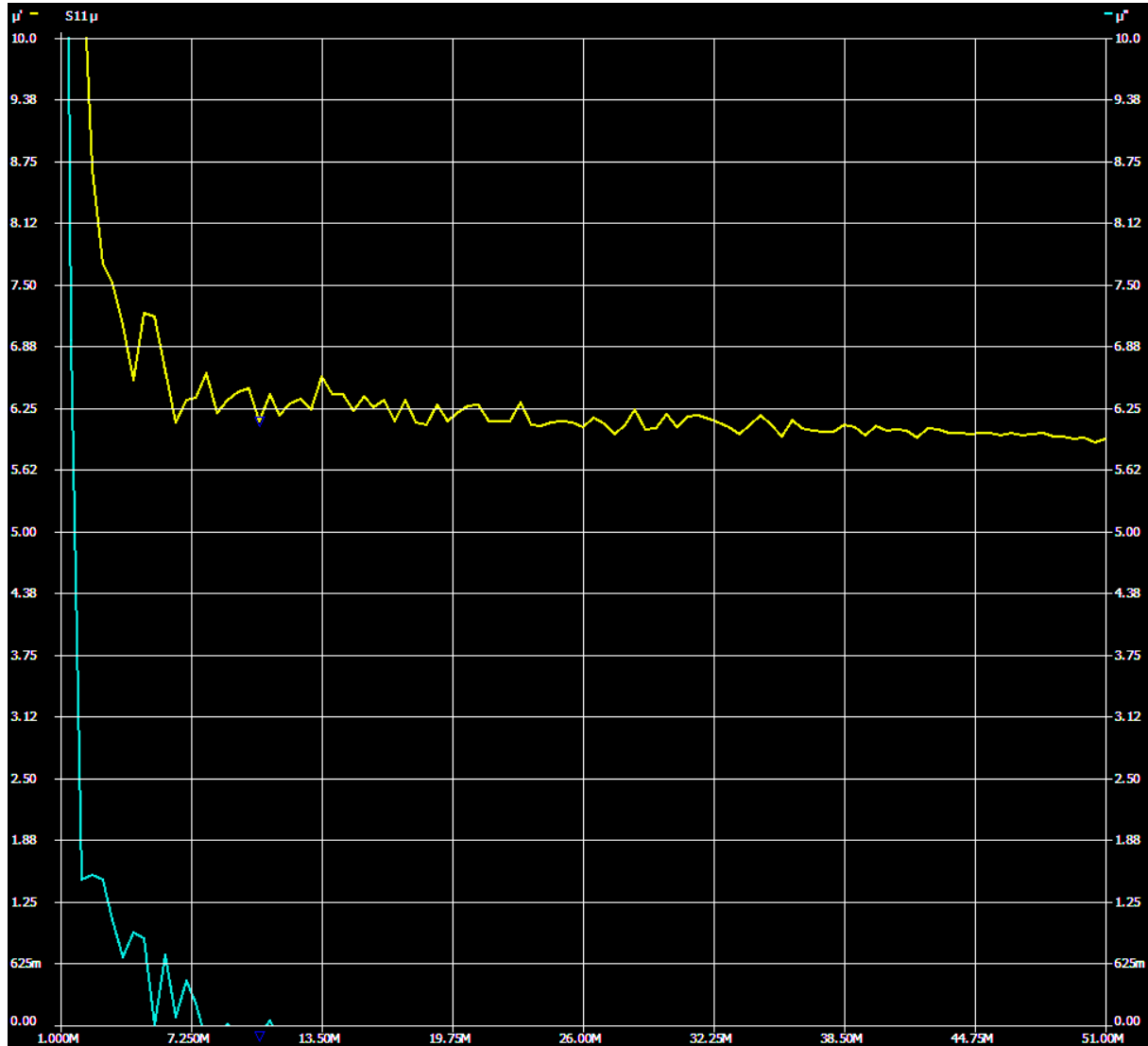


Material	Common mode choke frequency range (single turn)	Common mode choke frequency range (multiple turns)	Impedance transformer	1:1 Balun (Choke)
#31	3,5 - 100 MHz	1,5 - 50 MHz	-	1,5 - 30 MHz
#43	25 - 600 MHz	2 - 60 MHz	2 - 50 MHz	2 - 30 MHz
#52	150 - 1000 MHz	4 - 150 MHz	1 - 60 MHz	1 - 60 MHz
#61	200 - 2000 MHz	5 - 200 MHz	15 - 200 MHz	10 - 100 MHz
#77	200 kHz - 10 MHz	100 kHz - 10 MHz	0,5 - 8 MHz	1 - 8 MHz

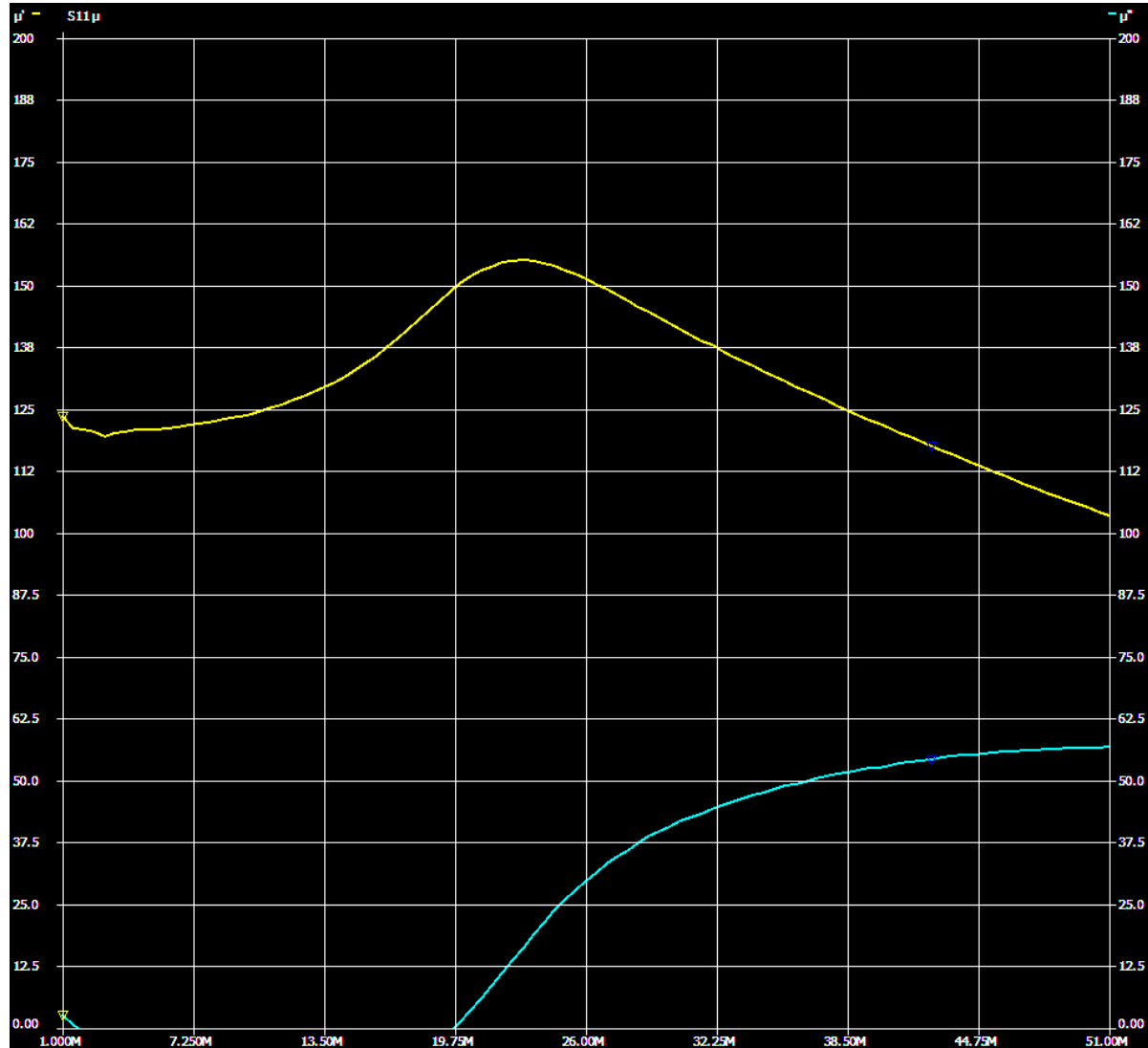
T50-6



T50-6



Een paars gekleurde ringkern



Samenvattend:

μ_r is reëel voor verliesvrij kernmateriaal.

μ_r is complex wanneer sprake is van verliezen.

In de praktijk altijd verliezen, \rightarrow complexe μ_r en Z van toepassing.

Frequentie gebied waarin kernmateriaal wordt toegepast afhankelijk van verloop μ_r en toepassing, filter, trafo of EMI onderdrukking.

AL waarde is frequentie afhankelijk als μ_r niet vlak verloopt.

Gebruik van A_L

$$Al = \frac{L}{n^2}$$

$$n = \sqrt{\frac{L}{Al}}$$

Voorbeeld

Nodig een inductie van $100\mu\text{H}$, $Al=250\text{nH}/n^2$

$$n = \sqrt{\frac{100000}{250}} = 20$$

De s1p file opbouw

$Z (a + jb)$ is in S11 formaat gegeven in de *.S1P file.

Het S11 formaat heet “ Touchstone” formaat.

Touchstone is een file formaat specificatie waarmee de SnP files beschreven worden. Zie

<https://groups.io/g/rfseminar/files> Daar

heb ik een concept standaard geüpload ter inzage.

ook voorbeeldfiles van S1P files

De relatie tussen S11 (touchstone formaat) en Z (a+jb) wordt gegeven door:

$$Z = 50 * \frac{1 + S11}{1 - S11}$$

De uitwerking van die complexe deling is in sheet 19 gegeven. Dat levert Z op.

Met het reële deel a en het complexe deel jb van Z kan vervolgens μ'' en μ' berekend worden, zie sheet 10 en 19.

De functie $S2Z(S11)$ in de DG8SAQ software zet de S11 parameter automatisch om in een reëel en imaginair deel van Z.

Die luxe hebben wij met de nanoVNA niet, vandaar het complexe rekenwerk.

Nog wat valkuilen:

Sharp exporteert in magnitude en graden

Excel rekent in radialen

Saver exporteert in $R + Jx$

S1p file met decimaalpunt, Excel met komma

Gevolg:

Aparte Excel voor sharp

Aparte Excel voor saver

Een grafiek maken?

De kolommen frequentie, μ' en μ'' uit Excel plotten.

Suggestie: MagicPlotStudent ¹⁾

Geen plot: -> μ' en μ'' uitlezen uit Excel per frequentie.

frequentie = kolom D; μ'' = kolom N; μ' = kolom O

Conversion touchstone format to komplex number $a + jb$

a and b are normalized to 50Ω and used in (1) and (2)

Output touchstone format of NanoVNA-Saver:

freq. [Hz] re im

The values in columns re en im are a and jb normalized to 50Ω with a and b known, calculate Z according to

$$Z = c + Jd = Z_0 \frac{1+S_{11}}{1-S_{11}} = Z_0 \frac{1+a+jb}{1-(a+jb)}$$

$$Z = Z_0 \frac{((1+a)+jb)((1-a)+jb)}{((1-a)-jb)((1-a)+jb)} = Z_0 \frac{1-a^2+2jb-b^2}{1-2a+a^2+2jb-jab-jb+jab+b^2}$$

$$= Z_0 \frac{1-a^2-b^2+2jb}{1-2a+a^2+b^2}$$

The real part c of Z is: $Z_0 \frac{1-a^2-b^2}{1-2a+a^2+b^2}$; The imaginary part d is: $Z_0 \frac{2b}{1-2a+a^2+b^2}$

Now the final calculations can be performed!

$$\mu_r'' = 50 \cdot \frac{1-a^2-b^2}{1-2a+a^2+b^2} \cdot \frac{l}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \mu_0 \cdot n^2 \cdot A} \quad (1)$$

$$\mu_r' = 50 \cdot \frac{2b}{1-2a+a^2+b^2} \cdot \frac{l}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \mu_0 \cdot n^2 \cdot A} \quad (2)$$

l =average length of toroid magnetic circuit; A = cross section of toroid;
 $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$; l [m] ; A [m^2]; $n^2=1$ in this test set-up

Dank voor uw aandacht.

Vragen?