METINGEN MET DE NANOVNA

Deel 4: Identificeren van ringkernen door Arie Kleingeld PA3A

Inleiding

In mijn shack staat een IKEA bakje met het opschrift 'Ringkernen'. Deze zit vol met kernen en ferrietstaven in soorten en maten die ik in de loop van 44 jaar zendamateurisme bij elkaar heb geharkt voor allerlei doelen. Sommige van die types ken je gewoon. Dat zijn die paarse, de 4C6 of tegenwoordig 4C65 types. Dat waren degene die je bij het VERON Servicebureau kocht om laagfrequent inpraten te bestrijden bij je buren. Ik kan je vertellen dat ik nu heel andere kernen daarvoor gebruik, maar toen kon je je niet zo in verdiepen in die materie als tegenwoordig en ook was de 'keuze nog niet reuze'.

In de bak liggen kernen van verschillende kleuren en daarmee kun je soms wel opzoeken met welk type je te maken hebt. Nu is het zo dat zwart en beige ook heel regelmatig voor komen, zonder enig opschrift en van sommige kernen is de kleur niet meer zo goed te zien (blauwachtig paars of paarsachtig blauw, crème of toch wit). In dit deel wil ik o.a. de nanoVNA inzetten om de identificatie van de kernen zo zeker mogelijk te maken.

Zonder meteen de meetinstrumenten te pakken zien we dat ringkernen een aantal uiterlijke 'eigenschappen' hebben als je ze sec bekijkt:

1. Grootte (diameter buitenkant, hoogte, diameter van het gat)
2. Kleurcodering of een laklaagje eromheen (paar tienden van een mm dik)

Metingen

Gebruikte spullen:

De bedoeling is om zo praktisch mogelijk te gaan meten zonder een compleet meetlab in te richten. We gebruiken voor dit artikel uiteraard de nanoVNA én een schuifmaat. Verder maak ik gebruik van de mini Ring Core Calculator (een gratis downloadbaar programma). Het is een mooi stukje software met veel gegevens van verschillende kernen die netjes gesorteerd zijn en nog wat handige rekentools die je goed kunt gebruiken.

Je hebt Meten en Nameten:

Zonder meer de makkelijkste metingen zijn ‘nametingen’. Als je weet wat voor kern je hebt en je meet het na, ben je tevreden als je in de buurt zit met je uitkomsten. Anders is het als je NIET weet wat voor kern je voor je hebt en je moet er nog achter komen. Dat eist een wat uitgebreider aanpak omdat sommige kernen qua eigenschappen in eerste instantie sterk op elkaar lijken.

Uitdagingen:

Fabrikanten publiceren specificaties op basis van metingen met slechts één wikkeling. Dit houdt verband met het vermijden van de capaciteit tussen meerdere wikkelingen en het zo kort mogelijk houden van de wikkeldraad. De lengte van het draad alleen zorgt al voor een faseverschuiving, immers een stuk draad is een bepaalde hoeveel golflengten lang. Dus meten met een korte wikkeldraad en op een zo laag mogelijke frequentie, zonder dat de impedantiemeting onbetrouwbaar wordt, is het devies.

Een tweede uitdaging heeft te maken met een plaatje van specs uit het handboek van Ferroxcube (zie referentie). Er zijn héél veel verschillende kernen. In onderstaand voorbeeld staan de gegevens van 4C65 materiaal. Voorheen met een paarse kleur, tegenwoordig zijn ze vaak wit gecoat (met een klein paars stipje erop als je boft).

Ferroxcube

Material specification 4C65

4C65 SPECIFICATIONS

Low permeability NiZn ferrite for use in RF tuning, wideband and balun transformers.

SYMBOL	CONDITIONS	VALUE	UNIT
μ_i	25 °C; ≤10 kHz; 0.25 mT	125 ±20%	
B	25 °C; 10 kHz; 3000 A/m	≈ 380	mT
	100 °C; 10 kHz; 3000 A/m	≈ 340	
$\tan\delta/\mu_i$	25 °C; 3 MHz; 0.25 mT	$\leq 80 \times 10^{-6}$	
	25 °C; 10 MHz; 0.25 mT	$\leq 130 \times 10^{-6}$	
ρ	DC; 25 °C	$\approx 10^5$	Ωm
T_C		≥ 350	°C
density		≈ 4500	kg/m^3

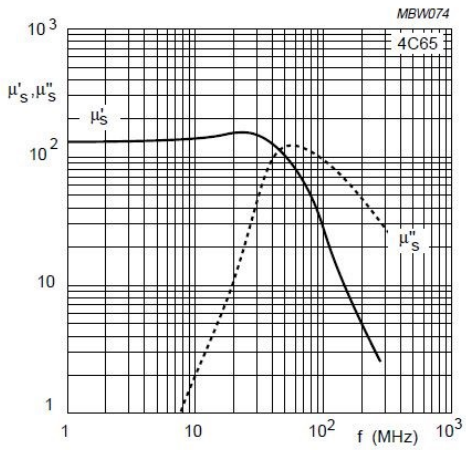


Fig.1 Complex permeability as a function of frequency.

We kunnen hier drie belangrijke meetpunten uithalen om een kern te identificeren:

a) De μ_i , of wel de initiële μ.
De μ_i is de relatieve permeabiliteit van het materiaal en wordt gemeten op een lage frequentie <10kHz (je hebt dan te maken met vrijwel pure zelfinductie en nauwelijks met verliezen). Voor 4C65 is dat 125 (+/- 20%).

b) De frequentie waarbij μ'_s en μ''_s aan elkaar gelijk zijn.
Kijkend naar de grafiek: μ'_s is hier een directe maat voor de berekening van de zelfinductie L en de reactantie XL bij variërende frequentie. Voor de lage frequenties is dit dus gelijk aan de initiële waarde μ_i. De μ''_s is een maat voor het berekenen van de verliezen en deze worden uitgedrukt in een weerstandswaarde R. Waar de twee µ's gelijk zijn (en dus waar R = XL) wordt het ferrimagnetische resonantiepunt genoemd (referentie ON9CVD website). Dat is voor 4C65 ongeveer 45 MHz. Je moet dus goed hoogfrequent kunnen meten om met dit punt niet een aantal flink MHz hoger of lager uit te komen.

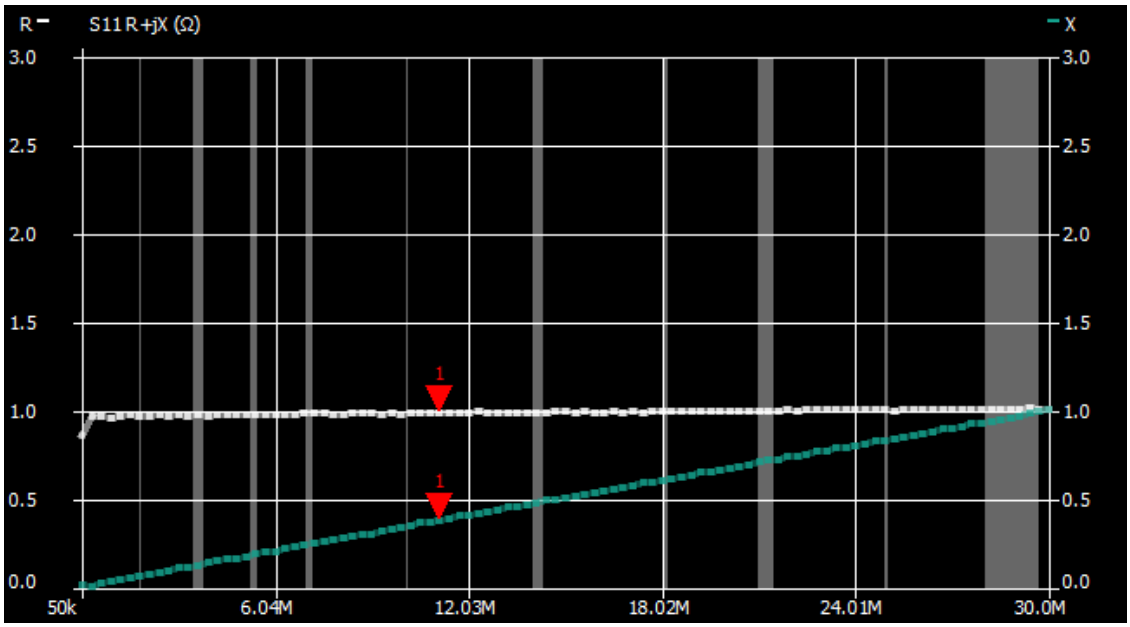
c) De waarde van de twee µ's in het ferrimagnetische punt.
Dat is hierboven het snijpunt van de grafieken met een waarde ongeveer gelijk aan 110.

Voor de achtergrond van deze meetpunten en μ'_s en μ''_s verwijs ik naar de artikelen en websites van Owen Duffy en Bob van Donselaar en het artikel van Mathieu Melenhorst die dat heel duidelijk uitleggen (zie referenties), en uiteraard is het Soft Ferrites and Accessories Data Handbook 2013 van Ferroxcube een fijne bron. De laatste bevat talloze grafieken en getallen van verschillende kernmaterialen.

Meten van lage impedantie waarden.

Door de metingen bij relatief lage frequenties kunnen de gemeten impedantiewaarden vrij laag zijn, immers XL = 2πfL. De vraag is hoe nauwkeurig de nanoVNA dat nog kan meten. Professionele gebruikers van VNA's melden dat ze tussen 5 en 500 ohm goed meten en daarbuiten behoorlijk kunnen afwijken. In deel 2 van deze artikelenreeks is dat voor de nanoVNA voldoende aangetoond voor hoge impedantiewaarden. Er is daarin ook een manier getoond om daar omheen te werken. We zullen dit nu checken voor een relatief lage waarde.

We doen een S11 R + jX meting met een gewone 'ouderwets soldeerbare' 1 ohm weerstand. Dat ziet dat er dan als volgt uit (plaatje uit nanoSAVER).



We zien dat over het gehele HF gebied de waarde van 1 ohm goed wordt weergegeven (tussen 0,97 en 1,01 ohm) en dat er een lineair oplopende reactantie is. In nanoSAVER kun je aflezen dat het om ongeveer 5nH gaat, redelijk gewoon voor een doorsnee weerstand. We trekken daarom de

voorzichtige conclusie dat je met paar procent meettolerantie tot 1 ohm nog voldoende goed kunt meten.

De praktijk

Om een ringkern te identificeren bepalen we:

1. De kleur (mogelijk hiermee een inkoppertje als de kleur in een tabelletje staat)
2. Afmetingen van de kern OD (outside diameter), ID (inside diameter) en H (hoogte)
3. Zelfinductie waarde per 1 wikkeling bij een lage frequentie gemeten (je hebt dan de AL)
4. Berekenen van μ_i: uitrekenen met behulp van één van de tools van de Mini Ring Core Calculator. De werking daarvan zie je zo meteen bij de meting van kern 1. De μ_i geeft in ieder geval een eerste goede indicatie over met welk ringkernmateriaal je te maken hebt.
5. Het ferrimagnetische resonantiepunt bepalen waar XL = R (oftewel waar $\mu''_s = \mu'_s$). Dit kan met name bij ferrieten helpen de juiste kern te vinden omdat de μ_i's soms nauwelijks van elkaar verschillen en met toleranties van ± 20% zijn gespecificeerd.
6. Bepalen van de waarde van de μ's in het ferrimagnetische resonantiepunt en het verloop bij verschillende frequenties.

Als je al deze metingen tegen de specs van de fabrikant houdt, en het lijkt er sterk op, dan zou je met je identificatiemetingen je kernmateriaal gevonden kunnen hebben.

Kern 1

We beginnen eenvoudig (nou ja… eenvoudig) met een min of meer bekende en veel gebruikte ringkern in HF-land, een rode T200-2. Deze is van ijzerpoeder. Van dit soort kernen is bekend dat je weinig kernverliezen hebt in het werkgebied dus dat bij een S11 R+jX meting de weerstand R veel lager in waarde is dan de reactantie X.

1. De kleur: Rood (logisch)
2. OD = 51,0 mm ; ID = 32,0 mm ; H = 14,3 mm ; dun rood laklaagje (0,1 mm dik?)

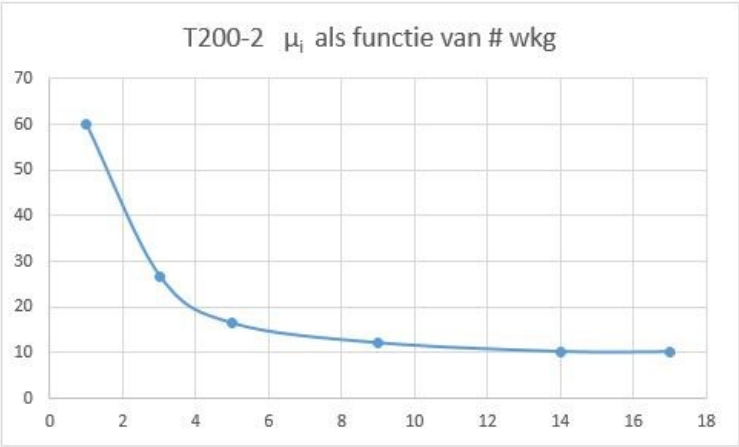
Tot zover gaat het goed, dit zijn kleur en maten van een T200-2 volgens de gegevens in de Ring Core Calculator.

3. Nu komt het erop aan om het aantal nH voor 1 wikkeling (= AL-waarde) te meten. Dat blijkt een uitdaging want de impedantiewaarde voor 1 wikkeling is vrij laag en er is nog meer aan de hand, dat zo zal blijken.

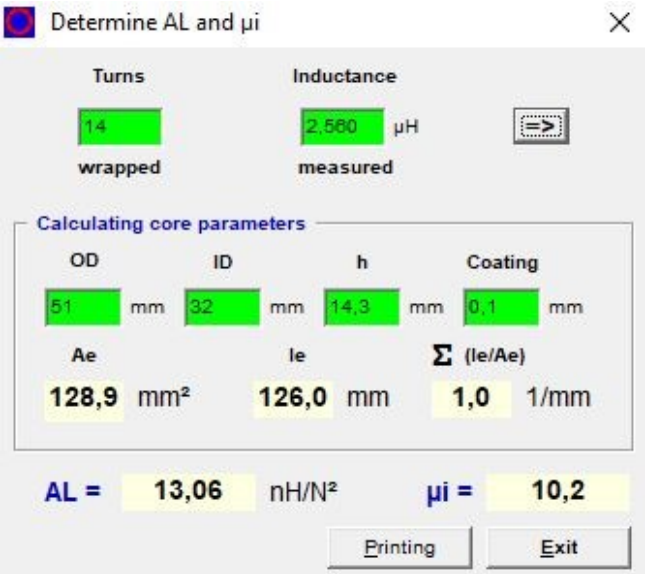
Eerst maar eens meten via S11 door de kern met verschillende aantallen wikkelingen aan te sluiten. De AL en μ_i blijken niet zo 1-2-3 op de verwachte waarden uit te komen. Reden is dat de lage μ_i van de kern ervoor zorgt dat het magnetische veld uit de kern lekt. Daarom meten we met verschillende aantallen wikkelingen waarbij we proberen met de wikkelingen de gehele kern rond te komen. Met 1 wikkeling kan dat niet, maar met 4 of meer gaat dat al makkelijker. De uitkomsten m.b.v. de nanoVNA zijn dan verrassend goed. Zie het volgende tabelletje met grafiek. We komen dan uit in de buurt van μ_i = 10, dat in de specs staat voor type-2 materiaal.

T200 - 2

wkg	L (nH)	AL nH/N²	μ
1	77	77	59,9
3	310	34,4	26,8
5	526	21	16,4
9	1251	15,5	12,1
14	2560	13,1	10,2
17	3760	13	10,1



De waarden uit bovenstaande tabel kun je vinden met behulp van de "Determine AL and μi" tool in de Ring Core Calculator. Zet de gegevens van de kern in de groene velden. Dus de afmetingen van de kern, het aantal gebruikte wikkelingen bij de meting en de gemeten zelfinductie uit nanoSAVER op een niet al te hoge frequentie (zeg tussen 50 en 150 kHz) Het resultaat zie je in de afbeelding. De tool rapporteert o.a. AL en μ_i.
Al met al vinden we keurig de μ_i, zij het door meerdere metingen te doen die in ieder geval voldoende inzicht geven.

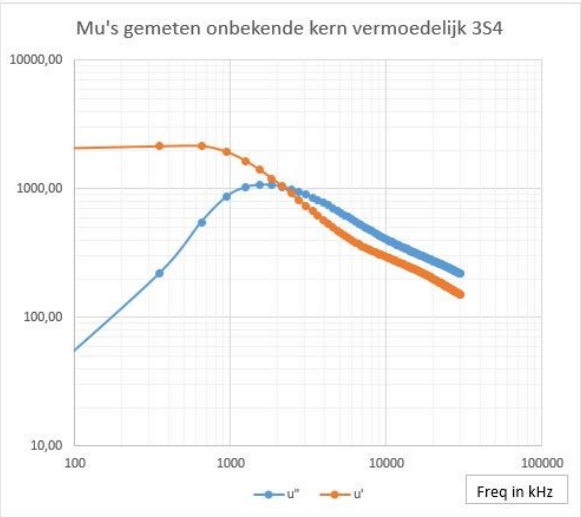


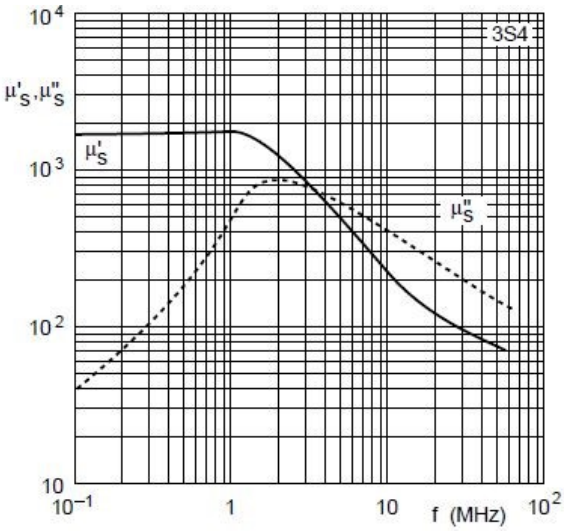
Het vinden van het ferrimagnetisch punt heeft voor deze kern geen zin, aangezien de verliesweerstand R zeker niet in de buurt gaat komen van de reactantie X voor dit kern materiaal. Je kunt dit zelf constateren door de S11 R+jX meting te doen. We laten het hier dus verder bij. De rode kleur en een gemeten μ_i van 10 is voldoende bewijs.

Kern 2

De kern is zwart en ongeveer 35mm diameter. Type en materiaal te bepalen. We gaan door de stappen heen.

1. De kleur: zwart; daar kunnen we niet veel mee, is waarschijnlijk ferriet. Zit geen laklaag omheen.
2. OD = 35,3 mm ; ID = 22,8 mm ; H = 15,0 mm
3. Gemeten zelfinductie voor één wikkeling (=AL): 2,7 μH op frequenties tussen 50kHz en 175 kHz; (met een paar wikkelingen meer kom je op hetzelfde resultaat)
4. Berekening van de μ_i met de ring core calculator tool: ca. 2100
5. Ferrimagnetische resonantiepunt: 2,15 MHz (Vanuit S11 meting R+jX)
6. Waarde van de μ's bij het snijpunt: ca. 1000 en het verloop zie je verder in de grafiek.





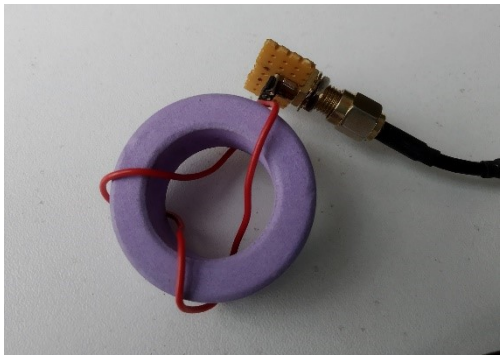
Het kernmateriaal lijkt dan op: 3S4, dat officieel te boek staat met μ_i = 1700 ± 20%. Dus de gemeten 2100 is aan de rand, want er zijn ook andere types met de gemeten waarden. De reden om voor 3S4 te kiezen is het verloop van de μ's, dat is vrijwel gelijkvormig aan de Ferroxcube specificatie. Links zie je de Excel grafiek van de meting, rechts het plaatje van Ferroxcube. Maar als iemand een ander passend plaatje kan vinden, ook goed. Het gaat niet altijd om de naam, maar wel om de eigenschappen.

Het uitrekenen van de grafiek van de μ's is als volgt gedaan:

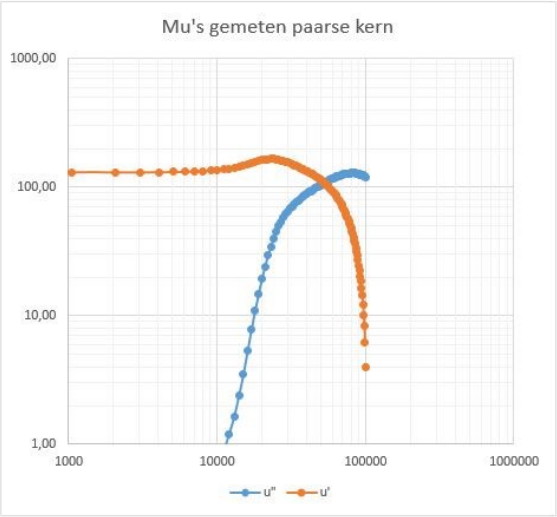
- Meet de kern met één wikkeling via S11, dat kan hier met één wikkeling omdat ik met verschillend aantal wikkelingen dezelfde waarden kreeg voor AL en μ_i
- Exporteer de meting in een S1P file en open deze in Excel
- Reken in Excel de S11 waarden om naar R en X. Je krijgt dan de gegevens S11 R+jX uit nanoSAVER in tabelvorm (voor formules zie kader 1)
- Reken de waarden R en X om naar de twee μ's met gebruik van AL en μ_i (formules in kader 2)
- Zet de μ' en μ" in een grafiek met logaritmische schaal

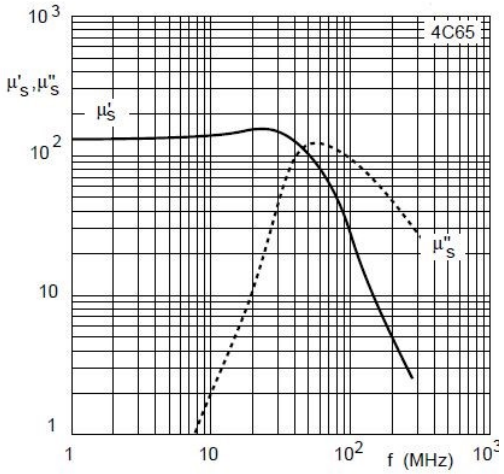
Het viel niet mee om een kernmateriaal uit de lange rij uit te zoeken. Van Fair Rite kun je er zomaar een stuk of 10 vinden en dito bij Amidon. Van Ferroxcube heb ik ze maar niet geteld. Uiteindelijk dus gekozen voor 3S4 op basis van het verloop van de μ's. Kwestie van veel plaatjes en getallen vergelijken.

Kern 3



Terugkomend op het begin van dit artikel, kies ik als derde kern één van de ongeveer paarse kernen van ongeveer 35mm, 'vermoedelijk' van het type 4C65.
We gaan door dezelfde procedure als bij de vorige kernen. Bij steeds meer wikkelingen (stuk of 3 tot 5) gaat de gemeten μi al snel richting 125. Dat is op zich een goed teken want dat getal staat ook in de specs.
De problematiek van lekkende flux speelt hier dus ook een beetje. Tegelijkertijd kun je niet te veel wikkelingen gebruiken omdat je voor het vinden van het snijpunt van de μ's in het VHF gebied terecht komt en gaat de parasitaire capaciteit en de lengte van de wikkeldraad wel degelijk meespelen. De resultaten van de meting waren als volgt: zie de grafieken.





De twee grafieken lijken veel op elkaar. Voor mijn eigen meting ben ik bij 100 MHz opgehouden. Sowieso is dit toch al wat hoog, gezien de simpele meetopstelling.
Er is wel een manier om het beter te meten met één enkele wikkeling. Dan zou je de kern moeten hangen in een aan beide uiteinden afgesloten metalen koker waarbij middendoor die ene wikkeling gaat en eindigt tegen de geleidende tegenoverliggende platte wand. De stroom loopt dan via de binnenwand van de koker rondom terug naar de aansluiting en dan heb je één volledig dekkende wikkeling. Ik houd me aanbevolen voor een aanbieding van iemand die zo'n ding voor me maakt, zodat ik het eens kan proberen. ☺ Mijn gegevens staan op QRZ.com.

Tot slot

Over het meten van impedantiewaarden láger dan 1 ohm. Dat kan met een omweg toch vrij nauwkeurig met de nanoVNA en is vergelijkbaar met de manier waarop we in deel 2 van deze reeks zeer hoge impedantiewaarden konden meten. Hoe dat gaat, en hoe het in de praktijk uitwerkt, komt in het volgende deel 5 van deze serie aan de orde.

73,

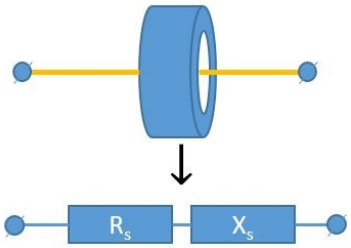
Arie Kleingeld PA3A

Kader 1.

Formules voor berekenen van S11 = Sr + jSi naar Rs + Xs

$$Rs = 50\frac{1-(Si^2+Sr^2)}{(1-Sr)^2+Si^2}$$

$$Xs = \frac{100Si}{(1-Sr)^2+Si^2}$$



Kader 2.

Omrekenen van gemeten R en X van de ringkernimpedantie naar μ-waarden

$$\mu'' = \frac{Rs * \mu_i}{2\pi f L}$$

$$\mu' = \frac{Xs * \mu_i}{2\pi f L}$$

L = gemeten zelfinductiewaarde bij het bepalen van μ_i. Bij 1 wikkeling is dit gelijk aan AL.

Referenties:

Owen Duffy: A method for estimating the impedance of a ferrite cored toroidal inductor at RF (https://owenduffy.net/files/EstimateZFerriteToroidInductor.pdf)

Bob van Donselaar, ON9CVD: Ferrieten in HF-toepassingen Deel 1 (Electron september 2001)

Bob van Donselaar website: http://home.scarlet.be/on9cvd/Ferriet.html

Mathieu Melenhorst: Spoelen en kernmateriaal (https://www.hftechnology.nl/downloads/14-01-hftechnology-ferriet-nieuwsbrief.pdf)

FerroxCube: Soft Ferrites and Accessories Data Handbook 2013 (https://www.ferroxcube.com/en-global/download/download/11)

Amidon: Specifications – Tech Data (http://www.amidoncorp.com/specs/)

J.J. Carr: Toroïde spoelen zelf berekenen en maken (Elektuur 6-94)

Software:

Mini Ring Core Calculator V1.3 van DL5SWB / DG0KW