MESURES AVEC LA NANOVNA

Partie 4 : Mesurer les caractéristiques de tores inconnus et les identifier

Arie Kleingeld PA3A

Préface

Dans ma cabane se trouve un conteneur IKEA marqué "Ring cores". Celui-ci regorge de noyaux et de tiges de ferrite de toutes formes et tailles que je passe en revue. Ils sont le résultat de 44 ans de radio amateur, réunis à toutes sortes de fins. Vous reconnaissez immédiatement certains de ces types. Ce sont les types violet, 4C6 ou de nos jours 4C65. Ce sont ceux que vous avez achetés auprès du HamRadio Service Bureau pour lutter contre les interférences à basse fréquence avec vos voisins. Je peux vous dire que j'utilise maintenant des ferrites complètement différentes pour cela, mais à l'époque, vous ne pouviez pas vous familiariser avec cela autant qu'aujourd'hui et le choix n'était pas encore énorme non plus. Il y a des tores de différentes couleurs dans le plateau et vous pouvez parfois savoir à quel type vous avez affaire. Remarquable est que le noir et le beige se produisent très régulièrement, sans aucune inscription,

Dans cet article, je veux utiliser le nanoVNA pour identifier les cœurs, et c'est certainement possible. Sans atteindre immédiatement les instruments de mesure, nous voyons que les noyaux annulaires ont plusieurs "propriétés" externes. lorsque vous les inspectez : 1 . Taille (diamètre extérieur, hauteur, diamètre du trou) 2. Code couleur ou couche de laque autour (quelques dixièmes de mm d'épaisseur)

Des mesures

Conditions:

L'intention est de mesurer aussi pratiquement que possible sans mettre en place un laboratoire de mesure complet. Pour cet article, nous utiliserons bien sûr le nanoVNA et un pied à coulisse. J'utilise également le mini Ring Core Calculator (un programme téléchargeable gratuitement). C'est un bon logiciel avec beaucoup de données pour différents cœurs qui sont soigneusement triés, et il contient des outils de calcul pratiques que vous pouvez bien utiliser.

Il y a Mesurer et Remesurer :

Sans aucun doute, les mesures les plus faciles sont les "post-mesures". Si vous savez quel type de noyau vous avez et que vous le mesurez, vous êtes satisfait lorsque vous êtes proche de vos résultats. C'est totalement différent si vous ne savez PAS quel type de noyau vous avez devant vous et que vous ne le savez pas encore. Cela nécessite une approche un peu plus approfondie car certains cœurs ont des propriétés qui, à première vue, semblent très similaires.

Défis :

Les fabricants publient des spécifications basées sur des mesures avec un seul enroulement. Ceci est lié au fait qu'il évite la capacité entre plusieurs enroulements et maintient le fil d'enroulement aussi court que possible. La longueur du fil à elle seule provoque un déphasage, après tout un morceau de fil a une certaine longueur d'onde. Mesurez donc avec un fil de bobinage court et à la fréquence la plus basse possible. Sans cette précaution, la mesure de l'impédance pourrait vous donner des réponses peu fiables.

Un deuxième défi concerne une image des spécifications du manuel Ferroxcube (voir référence). Il existe de nombreux noyaux différents. L'exemple ci-dessous montre les données du matériau 4C65. Autrefois de couleur violette, elles sont aujourd'hui souvent enduites de blanc (avec un petit point violet dessus si vous avez de la chance).

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 100 °C; 10 kHz; 3000 A/m	≈ 380 ≈ 340	mT
$\tan\delta/\mu_i$	25 °C; 3 MHz; 0.25 mT 25 °C; 10 MHz; 0.25 mT	$\leq 80 \times 10^{-6}$ $\leq 130 \times 10^{-6}$	
ρ	DC; 25 °C	$\approx 10^5$	Ωm
T_C		≥ 350	°C
density		≈ 4500	kg/m³

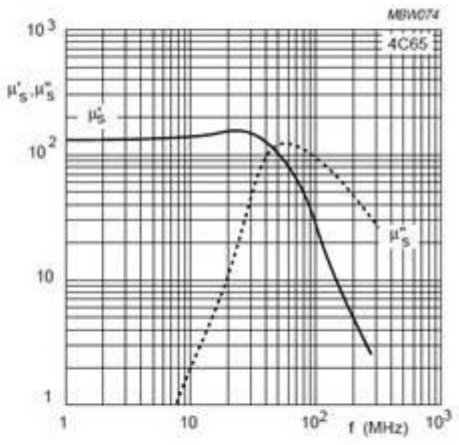


Fig.1 Complex permeability as a function of frequency.

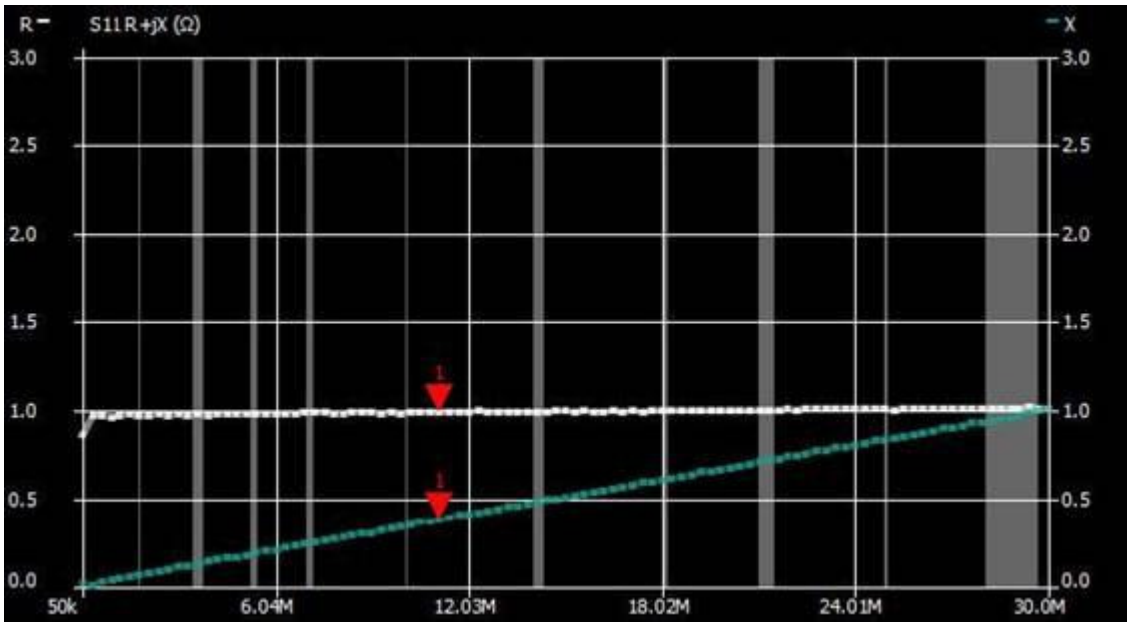
On peut en extraire trois points de mesure importants pour identifier une carotte :

1. Le μ_i, ou le μ initial. Le μ_i est la perméabilité relative du matériau, qui se mesure à basse fréquence <10kHz (on a alors affaire à une inductance quasi pure et à peu de pertes). Pour 4C65 c'est 125 (+/- 20%).
2. La fréquence à laquelle μ'_s et μ''_s sont égaux. En regardant le graphique : ici μ'_s est une mesure directe pour le calcul de l'auto-inductance L et de la réactance XL à différentes fréquences. Pour les basses fréquences, celle-ci est donc égale à la valeur initiale μ_i. Le μ''_s est une mesure pour calculer les pertes. Celles-ci sont exprimées en une valeur de résistance R. Là où les deux μ sont égaux (et donc où R = XL) le point de résonance ferrimagnétique est établi (référence site Internet ON9CVD). C'est environ 45 MHz pour 4C65. Il faut donc pouvoir utiliser faire une mesure haute fréquence pour ne pas augmenter ou diminuer considérablement le résultat à partir de ce point de MHz.
3. La valeur des deux μ au point ferrimagnétique. Ci-dessus, c'est à l'intersection des graphiques avec une valeur approximativement égale à 110.

Pour le contexte de ces points de mesure et μ'_s et μ''_s je vous renvoie aux articles et sites de Owen Duffy et Bob van Donselaar et l'article de Mathieu Melenhorst qui expliquent cela très clairement (voir références), et bien sûr , le 'Soft Ferrites and Accessories Data Handbook (2013)' de Ferroxcube est une excellente ressource. Ce dernier contient de nombreux graphiques et nombres de différents matériaux de base.

Mesure de basse impédance

Aux basses fréquences relatives, les valeurs d'impédance peuvent être assez faibles. Le nanoVNA sera-t-il capable de mesurer cela correctement ? Nous prendrons le chemin court. Nous effectuons une mesure S11 R + jX avec une résistance ordinaire "soudable à l'ancienne" de 1 ohm. Cela nous fournit alors l'image suivante (de nanoSAVER)



On voit que la valeur de 1 ohm s'affiche correctement sur toute la gamme HF (entre 0,97 et 1,01 ohm) et qu'il y a une réactance croissante linéairement. Dans nanoSAVER, vous pouvez lire qu'il s'agit d'environ 5 nH, ce qui est raisonnable pour une résistance simple moyenne. Nous pouvons donc prudemment conclure qu'avec une tolérance de mesure de quelques pour cent, vous pouvez toujours mesurer suffisamment bien jusqu'à 1 ohm.

En pratique

Pour identifier un tore rond, il faut vérifier plusieurs choses :
1. La couleur (éventuellement une donnée si la couleur est dans un tableau)
2. Les dimensions du noyau OD (diamètre extérieur), ID (diamètre intérieur) et H (hauteur)
3. La valeur d'auto-inductance pour 1 enroulement mesurée à basse fréquence (vous avez alors l'AL)
4. Calculer μ_i : Calculez ceci en utilisant l'un des outils du Mini Ring Core Calculator. Dont vous verrez immédiatement le fonctionnement dans la mesure du tore 1. Le μ_i au moins donne une première bonne indication de quel matériau toroïdal vous avez affaire.
5. Déterminez le point de résonance ferrimagnétique où XL = R (donc où $\mu''_s = \mu'_s$). Cela aide surtout à trouver le bon noyau avec des ferrites, car les μ_i diffèrent parfois peu les uns des autres et où des tolérances de ± 20 % sont spécifiées.
6. Déterminer la valeur des µ au point de résonance ferrimagnétique et la variation à différentes fréquences.
Si vous comparez toutes ces mesures aux spécifications du fabricant et qu'elles leur ressemblent beaucoup, vous avez peut-être trouvé votre matériau de base grâce à vos mesures d'identification. Essayons ça.

Noyau de ferrite 1

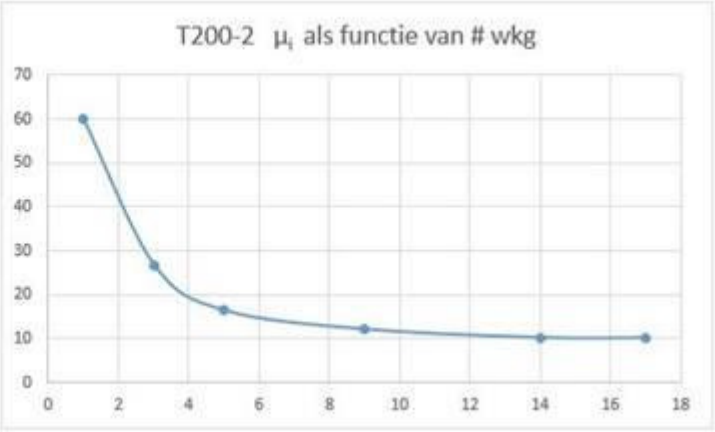
On commence simple (enfin… simple) avec un tore plus ou moins connu et largement utilisé en terre HF, un T200-2 rouge. Celui-ci est fait de poudre de fer. Ces types de noyaux sont connus pour avoir peu de pertes dans leur plage de fonctionnement, de sorte qu'avec une mesure S11 R + jX, la résistance R est bien inférieure à la réactance X.
1. La couleur : rouge (logique) 2. Les dimensions : OD = 51,0 mm ; DI = 32,0 mm ; H = 14,3 mm ; fine couche de laque rouge (0,1 mm d'épaisseur ?)
Jusqu'ici tout va bien, ce sont la couleur et les dimensions d' un T200-2 selon les données du Ring Core Calculator.
3. Il est maintenant temps de mesurer le nombre de nH pour 1 enroulement (= valeur AL). Cela s'avère être un défi car la valeur d'impédance pour 1 enroulement est assez faible et il s'avère qu'il y a plus à faire.

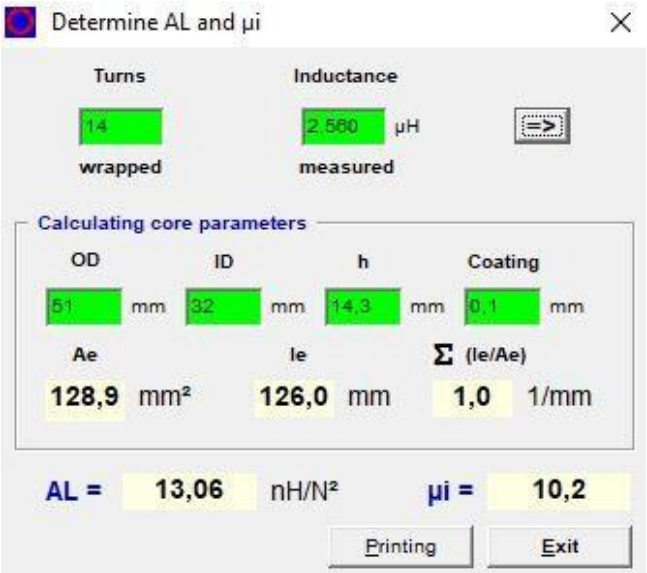
Mesurez d'abord via S11 à travers le noyau avec un nombre différent d'enroulements à connecter. L'AL et μ_i s'avèrent ne pas être aussi simples 1-2-3 que les valeurs attendues. La raison en est que le faible μ_i du noyau provoque une fuite du champ magnétique hors du noyau. C'est pourquoi nous mesurons avec différents nombres d'enroulements et nous essayons d'encercler tout le noyau. Ce n'est pas possible avec 1 enroulement, mais avec 4 ou plus c'est déjà plus facile.

Les résultats en utilisant le nanoVNA sont étonnamment bons. Voir le tableau et le graphique suivants. Nous nous retrouvons alors dans le voisinage de $\mu_i = 10$, qui dans les spécifications signifie un matériau de type 2.

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

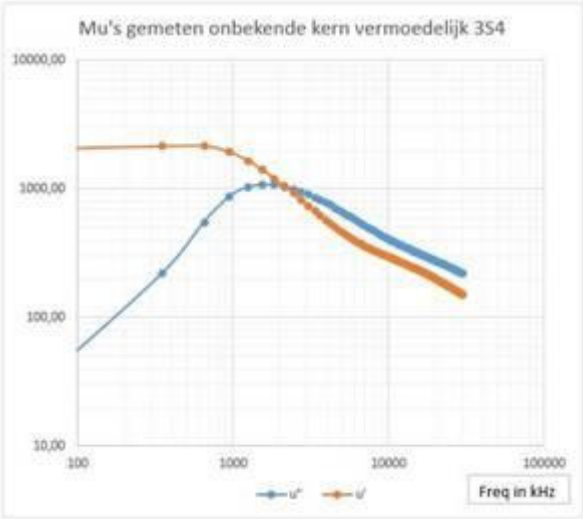


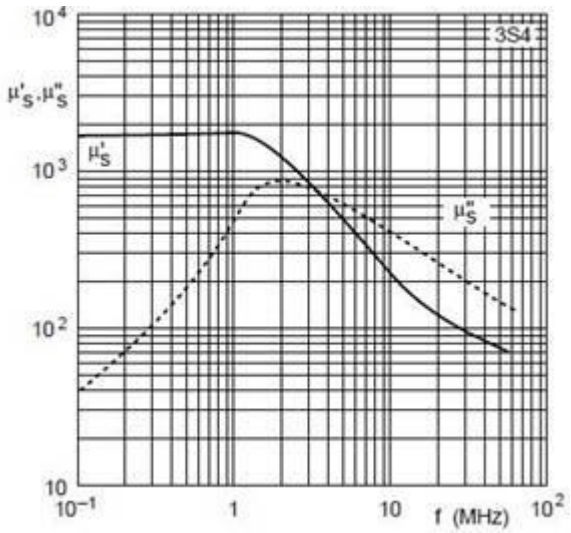


Les valeurs du tableau ci-dessus peuvent être trouvées à l'aide de l'outil « Déterminer AL et μ_i » dans le calculateur de tores annulaires.
Mettez les données du noyau dans les champs verts. Ainsi, les dimensions du noyau, le nombre d'enroulements utilisés pour la mesure et l'inductance mesurée à partir de nanoSAVER à une fréquence pas trop élevée (disons entre 50 et 150 kHz).
Vous pouvez voir le résultat dans l'image. L'outil rapporte, entre autres, AL et μ_i.
Dans l'ensemble, nous trouvons parfaitement le μ_i, bien que grâce à de multiples mesures, réalisables et fournissant un aperçu suffisant.
Trouver le point ferrimagnétique pour ce noyau n'a aucun sens puisque la résistance de perte R ne s'approchera certainement pas de la réactance X pour ce type de matériau de noyau. Vous pouvez le voir par vous-même par la mesure S11 R + jX. Nous allons donc en rester là. La couleur rouge et un $\mu_{i\,mesuré}$ de 10 sont des preuves suffisantes.

Noyau 2

Ce noyau est noir et d'environ 35 mm de diamètre. Type et matériel à déterminer. Nous allons suivre les étapes.
1. La couleur : noir ; on ne peut pas faire grand chose avec ça, c'est probablement de la ferrite. Il n'y a pas de revêtement autour.
2. DE = 35,3 mm ; ID = 22,8 mm ; H = 15,0 mm
3. Inductance mesurée pour un enroulement (= AL) : 2,7 µH à des fréquences comprises entre 50 kHz et 175 kHz ; (avec quelques enroulements de plus vous obtenez le même résultat)
4. Calcul du μ_i avec l'outil calculateur de noyau annulaire : env. 2100
5. Point de résonance ferrimagnétique : 2,15 MHz (à partir de la mesure S11 R + jX)
6. Valeur des µ au point d'intersection : env. 1000 et vous pouvez en outre voir le résultat dans le graphique.





Le matériau de base ressemble à : 3S4, qui est officiellement enregistré avec μ_i = 1700 ± 20 %. Ainsi, le 2100 mesuré est à la limite, car il existe également d'autres types avec ces valeurs mesurées. La raison du choix de 3S4 est le résultat des µ, qui sont presque conformes à la spécification Ferroxcube. À gauche, vous voyez le tableau Excel de la mesure, à droite l'image de Ferroxcube. Mais si quelqu'un peut trouver une autre image appropriée, c'est bien aussi. Cela ne fonctionne pas toujours à cause du nom, mais à cause des propriétés.
Le calcul du graphique des µ se fait comme suit :

Mesurez le noyau avec un enroulement via S11, ce qui est possible ici avec un enroulement car j'ai obtenu les mêmes valeurs pour AL et μ_i avec un nombre d'enroulements différent

Exporter la mesure dans un fichier S1P et l'ouvrir dans Excel

Convertissez les valeurs S11 en R et X dans Excel. Vous recevrez alors les données S11 R + jX de nanoSAVER sous forme de tableau (pour les formules voir ci-dessous)

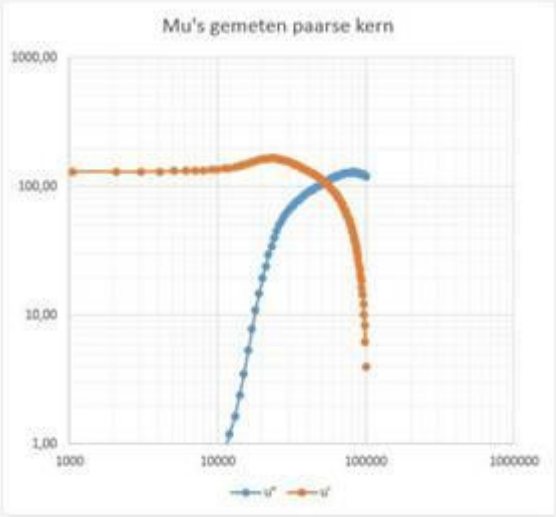
Convertir les valeurs R et X en deux µ en utilisant AL et μ_i (formules voir ci-dessous)

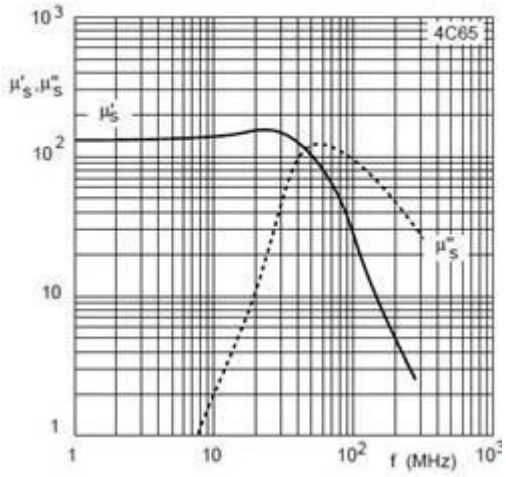
Tracer les μ'_s et μ''_s sur un graphique à échelle logarithmique

Il n'a pas été facile de sélectionner un matériau de base parmi la longue liste. Vous pouvez trouver environ 10 spécifications disponibles chez Fair Rite et idem chez Amidon. Je ne les ai pas comptés depuis Ferroxcube. Donc finalement, j'ai opté pour 3S4 en fonction de la conformité des µ . Il s'agit de comparer plusieurs images et nombres.

Noyau 3

Revenant au début de cet article, j'ai choisi comme troisième noyau l'un des noyaux un peu violets d'env. 35mm, "vraisemblablement" de type 4C65.
Nous suivrons la même procédure qu'avec les noyaux précédents. Avec de plus en plus d'enroulements (3 à 5), le $\mu_{i\ mesuré}$ se déplace rapidement vers 125. C'est en soi un bon signe car ce nombre est également dans les spécifications. Le problème des fuites de flux joue également un rôle ici. En même temps, vous ne pouvez pas utiliser trop d'enroulements car pour trouver l'intersection des µ . Vous vous retrouvez dans la zone VHF, puis la capacité parasite et la longueur du fil de bobinage jouent un rôle.
Les résultats de la mesure étaient les suivants :





Les deux graphiques sont remarquablement similaires. Pour ma mesure, je me suis arrêté à 100 MHz. C'est un peu élevé, compte tenu de la configuration de mesure simple.
Il existe un moyen de mieux mesurer cela avec un seul enroulement. Pour ce faire, vous devez accrocher le noyau dans un tube métallique fermé aux deux extrémités. Orientez le milieu d'un enroulement vers une extrémité plate et l'autre vers le mur plat opposé. Le courant retourne ensuite vers la paroi interne du tube tout autour de la connexion, puis vous avez un enroulement complètement couvrant. J'accepterai volontiers une offre de quelqu'un qui peut faire une telle chose pour moi, donc je peux essayer :-) Mes coordonnées sont sur QRZ.com et sur Linked In.

Une dernière remarque

A propos de la mesure des valeurs d'impédance inférieures à 1 ohm. Ceci est possible assez précisément avec un effort prudent et le nanoVNA. C'est un peu similaire à la façon dont nous avions des valeurs d'impédance très élevées que nous pouvions mesurer dans la partie 2 de cette série. Comment cela fonctionne pour les faibles impédances, et comment cela fonctionne dans la pratique, sera discuté dans la partie 5 de cette série.

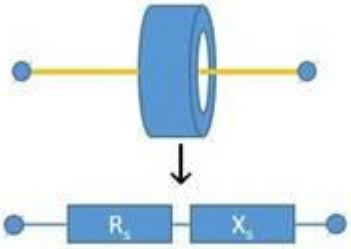
73,
Arie Kleingeld PA3A

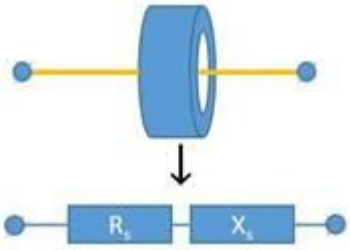
Calcul S11 = Sr + jSi à Z = Rs + jXs
$Rs=501-(Si2+Sr2)(1-Sr)2+Si2$
= 100 ◆ ◆ (1−) 2+ 2 _

Calculation S11 = Sr + jSi to Z = Rs + jXs

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

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





Calcul de R et X de l'impédance du noyau en μ-valeurs $\mu'' = Rs * \mu_i 2\pi f L$
$\mu' = Xs * \mu_i 2\pi f L$

L est l'inductance mesurée lors de la détermination de la valeur de μ_i. Pour 1 enroulement, cela équivaut à AL.

Calulating R and X of ringcore impedance to μ-values

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

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

L is the measured inductance when determining the value of μ_i.
For 1 winding, this equals AL.

Références:

1. Owen Duffy : Une méthode pour estimer l'impédance d' une inductance toroïdale à noyau de ferrite à RF
https://owenduffy.net/files/EstimateZFerriteToroidInductor.pdf
2. Bob van Donselaar (ON9CVD): Ferrites dans les applications HF Partie 1 (Electron septembre 2001)
3. Site Internet ON9CVD : http://home.scarlet.be/on9cvd/Ferriet.html
4. Mathieu Melenhorst : bobines et matériau de base
https://www.hftechnology.nl/downloads/14-01-hftechnology-ferriet-nieuwsbrief.pdf
5. FerroxCube : Manuel de données sur les ferrites souples et les accessoires 2013
https://www.ferroxcube.com/en-global/download/download/11
6. Amidon : Spécifications - Données techniques
http://www.amidoncorp.com/specs/
7. JJ Carr : Calcul et fabrication de vos propres bobines toroïdales (Elektor Electronics 6-94)
8. Logiciel: Mini Ring Core Calculator V1.3 par DL5SWB / DG0KW
http://www.dl0hst.de/mini-ringkern-rechner.htm