

## Aanvulling Ferriet Info over de verschillende vormen van verliezen in ferriet

### 1) Magnetisatie (hysteresis) verliezen

De aangelegde veldsterkte buitenom de kern komt overeen met het aantal windingen x de stroom. Dit geeft een uitwendige veldsterkte H, uitgedrukt in A/m. Voorheen uitgedrukt in Oersted, die waarde kom je nog steeds tegen bij vasthouders aan oude normen. Dat zijn de pré-SI normen van voor ±1965!!

De omreken factoren van de oude veldsterkte norm:

$$1 \text{ A/m} = 0.01256637 \text{ Oersted} \quad (\text{de factor} = 4 \cdot \pi / 1000)$$

en andersom

$$1 \text{ Oe} = 79,57747 \text{ A/m.} \quad (\text{de factor} = 1000 / 4 \cdot \pi)$$

De effectieve magnetisatie (inductie) B in de kern is NIET lineair evenredig met H, maar kent een verzadigings waarde. B wordt meestal uitgedrukt in milli-Tesla. In veel formules moet je de waarde echter in T invullen ( = mT . 10<sup>-3</sup> ).

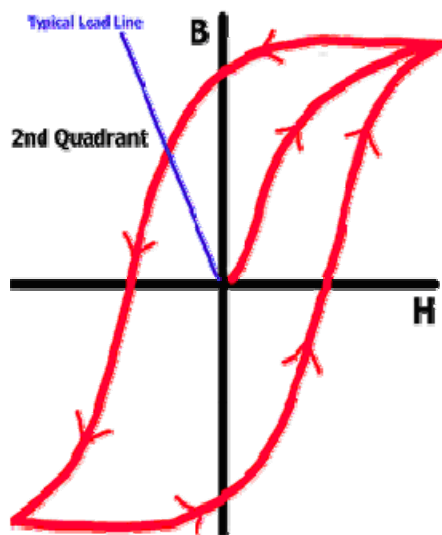
Bij sites die zich aan de "oude norm vasthouden" in Gauss.

De waarde in milliTesla x 10 = de waarde in Gauss, omgekeerd is 1 G = 0,1 mT.

Voor de fluxdichtheid (inductie) B geldt: 1 Tesla = 1 Weber/m<sup>2</sup> = 1 V.sec/m<sup>2</sup>

(In oude normen zie ook nog de Maxwell i.p.v. de Weber! 10<sup>8</sup> M = 1 Wb )

Het naderen van verzadiging (het niet lineair zijn) en het steeds ompolen van het veld geeft dit type verlies.



De grafische lus-vorm van B en H noemt men de BH kromme. De grootte van die lus (bijv. breed, bijna rechthoekig of smal, net een dunne ellips) is een maat voor de magnetisatie (vermogens) verliezen. Bij zeer lage veldsterkte, bijv. < 1 mT, het is meetbaar vanaf ± 0,3 mT, is dit verlies echter verwaarloosbaar. Wanneer de lus grafisch zeer smal is, noemt men het type ferriet zacht, er blijft (vrijwel) geen veld achter na 1 magnetisatie. Voor ferriet magneten moet de grafiek juist een zeer groot oppervlak hebben, men noemt het dan hard ferriet. Na 1 grote magnetisatie (alleen de weg 1x afleggen vanaf nul in het 1<sup>e</sup> kwadrant rechtsboven tot H weer nul is) blijft het veld dan gedeeltelijk wel aanwezig. Dat is het lijnstuk op de verticale as van B.

Het magnetisatie effect is in principe dus NIET lineair! Er kan daardoor minimaal een derde harmonische ontstaan bij oversturing!

Hierna enkele formules voor de maximum aan te leggen spanning E (in Vrms) = max. veld/magnetisatie overeenkomend met de max. B uit de datasheets.

LET OP in de datasheets, staat de B daar in Gauss of milliTesla?

Een aantal formule variatie voorbeelden:

In gauss	$E = 4,44 f N B A_e 10^{-8}$	$A_e$ in $cm^2$ en $B$ in G
In tesla	$E = 4,44 f N B A_e 10^{-9}$	$A_e$ in $mm^2$ en $B$ in mT
In tesla	$E = 4,44 f N B A_e 10^{-7}$	$A_e$ in $cm^2$ en $B$ in mT

$N$  = aantal windingen,  $f$  = frequentie in Hz,  $A_e$  effectief kernoppervlak.

Ook worden er formules gebruikt met de directe T (1000x groter) voor  $B$  en  $A_e$  in  $m^2$   
 Dan gaat het zo:

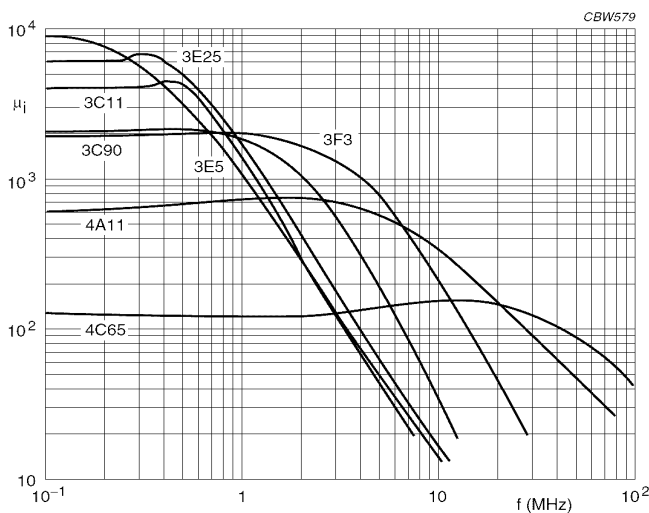
In tesla  $E = 4,44 f N B A_e$  hier  $A_e$  in  $m^2$  en  $B$  in T

Bovenstaande formules worden soms ook foutief toegepast met de Gauss / Tesla verwarring. Dat scheelt, zoals je kunt zien, een factor 10.

En nogmaals: is het kernoppervlak in  $cm^2$  of in  $mm^2$ ? En is  $B$  in T of mT of in G?

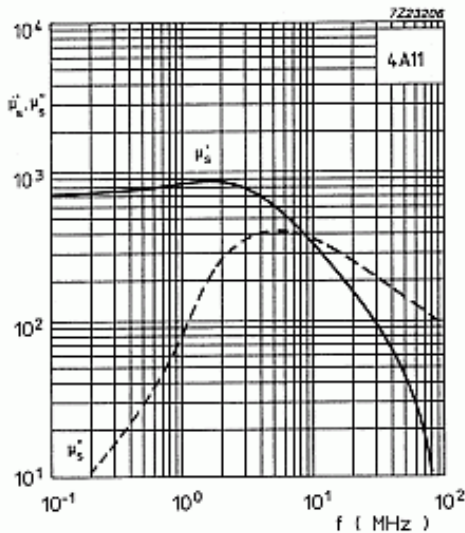
Voor HF power toepassing nooit boven de 20% (= 0,2 x) gaan van de maximum  $B$  die de fabrikant opgeeft. De factor  $4,44 \times 0,2$  geeft dan daarvoor in de plaats een waarde 0,89 in bovenstaande formules voor de max. toelaatbare HF spanning in onze trafo of balun.

Het "kern"punt:



Bovenstaand verliestype vindt plaats in het lineaire (vlakke)  $A_L$  deel en de limiet is omgekeerd evenredig met de frequentie! Dus des te lager de  $f$ , des te meer "indringdiepte", en des te eerder benader je het niet lineaire deel. In bovenstaande formules zie je dan ook de toelaatbare  $E$  mee omhoog gaat met de  $f$ . Een lage frequentie sinus is dus een groter probleem dan een impuls belasting!!! Vergelijk switch voedingen! Hogere schakel  $f \rightarrow$  kleinere trafo. Dit type verlies is alleen van belang om de minimale kerngrootte te bepalen bij de laagste frequentie.

## 2) Wervelstromen



Wervelstromen, in het Engels eddy-current, zijn geleidings of kortsluitstroom verliezen in de kristallen. Dit type verlies loopt juist op bij hogere frequenties en is eveneens verwaarloosbaar bij erg lage frequenties. Bij een bepaalde frequentie en daarboven gaan er plots in de ferriet kristallen kortsluitstromen lopen. Vergelijk dit effect met de kringstroom in de Alu schijf in een kWh meter, opgewekt door de spoel erboven. Die opgewekte kringstroom drijft de schijf aan. In ferriet geven die kringstromen warmte.

Omdat ieder type ferriet zijn eigen typische kristal grootte en geleidings  $\rho$  heeft is het "kantelpunt" waar de verliezen omhoog schieten en de  $A_L$  instort voor ieder type ferriet weer anders.

## 3) rest verliezen - "vage" kristal verliezen

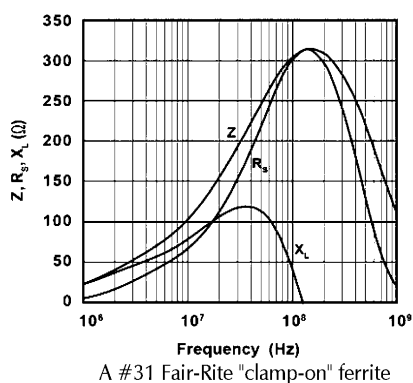
Rest (verzamel) verliezen zijn die verlies effecten die overblijven (bij lage veldsterkte en ook lage  $f$ ) en dus geen Hysteresis en ook geen Eddy-current type zijn.

## 2+3) We voegen de verliestypen 2+3 samen

Met het oplopen van de frequentie gaat niet alleen een zuiver zelfinductie deel de  $Z$  bepalen ( $= 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$ ), maar komt er ook een verlies ( $= R$ , weerstand) deel bij. Die twee kun je rekenkundig niet zomaar bij elkaar optellen en men gebruikt daar dezelfde vector methode voor als bij C-L-R berekeningen. Dus een zuiver (nu reëel) inductief deel en een imaginair verliesdeel. In de  $\mu$  ( $\mu$ ) grafieken zie je meestal het  $L$  aandeel als  $\mu_i'$  en het verlies deel als  $\mu_i''$ . Een enkele fabrikant geeft het  $\mu_i''$  deel niet eens op!

$$\mu_{\text{tot}} = \mu_i' + j \cdot \mu_i'' \quad \text{en} \quad Z_{\text{tot}} = \sqrt{((2 \cdot \pi \cdot f \cdot L)^2 + R^2)}$$

Het is niet eenvoudig om een juiste berekening te maken van de  $Z_{\text{tot}}$  en de verlies effecten. De stippellijn loopt meestal niet ver genoeg door in de grafieken. Je moet schatten en in gedachten de  $\mu_i'$  en  $\mu_i''$  lijnen doortrekken. Op de site van ON9CVD zie je voorbeeld berekeningen.



Bij nog hogere frequenties zakt het zelfinductie deel volledig in elkaar en blijft alleen het verliesdeel over.

Voor laagohmige breedbandige telecommunicatie / data trafo's moet dit verliesdeel echter niet te hoog worden.

MnZn materiaal blijft voor lagere frequenties toch prima bruikbaar. Voor uitsluitend hoge frequenties neem je liever NiZn.

Voor EMC en mantelstroom toepassingen is dit verliesdeel juist een bijkomende  $Z$  die meehelpt om de totale  $Z$  op nivo te houden bij

het oplopen van de frequentie. En het wegzakken van het zelfinductie deel. Daar mag het verliesdeel (moet het zelfs) groot zijn! Bij EMC toepassing is absorberen beter dan reflecteren, dan ook geen uitslinger effecten.

Dit verlies type heeft een groot negatief effect op de Q van een resonantiekering. Het verliesdeel daarom niet boven 5 à 7,5% laten komen van het  $A_L$  deel, want boven de 20% maakt dat het kernmateriaal al totaal waardeloos voor afgestemde kringen!! Het geeft een extreme demping van de Q. Noodgedwongen dan een stapeltje lagere  $A_L$  ringen gebruiken i.p.v. 1 hoge  $A_L$  ring! Of je moet overschakelen op poederijzer ringkernen.

Voorbeeld van de maximum f van enkele typen bij gebruik in resonantie toepassing: (Dit valt erg tegen, er zijn zelfs niet veel types geschikt voor een MG ferrietstaaf!)

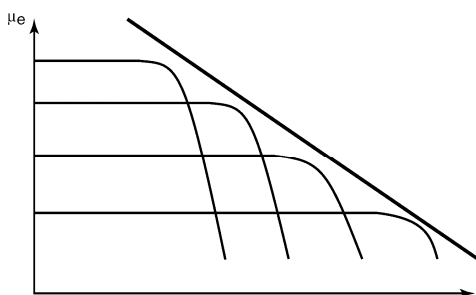
4C65 = 15 MHz !	4A11 = 700 kHz !	3F3 = 400 kHz
3C85 = 200 kHz	3C11 = 100 kHz	3E25 = 80 kHz
FT xx-61 = 15 MHz !	FT xx-43 = 850 kHz	FT xx-77 = = 200 kHz

Bij 4C65 en FTxx-61 liever niet boven de 3 MHz gebruiken!

Voor impedantie trafo's met lage Z kun je dit verliesdeel zien als een parasitaire belasting. Met lage Z belasting waardes is hier tot het  $A_L$  kantelpunt mee te leven. Voor vermogens toepassing geeft dit deel sterke opwarming = HITTE!

Bij spannings omzeters (de standaard MLB trafo's) is dit een probleem bij vermogens toepassing (kern groter maken, energie verdelen of ander materiaal kiezen....), bij stroom omzeters (mantelstroom baluns) er voor zorgen dat de  $Z_{tot}$  (=  $Z_L + Z_R$  aandeel samen) groot genoeg blijft en tegelijkertijd met een lage para-C. Bij standaard MLB trafo's voor alleen ontvangst toepassing (met 2 of 3 verschillende ringen samen) maakt het niet veel uit.

Ieder type ferriet heeft bij een bepaalde eigen frequentie een  $A_L$  -eindwaarde. Dit hangt af van de materiaal eigenschappen, voornamelijk de magnetische kristal grootte en geleiding, en dat hangt weer af van de chemische samenstelling. Er ontstaat bij en boven die frequentie een ferrimagnetische resonantie, waarbij de verliezen sterk oplopen (eddy-current) en de  $A_L$  sterkt ineen zakt. Wanneer de  $A_L$  erg hoog is (hoge zelfinductie waarde dus) is altijd de eindwaarde frequentie juist laag.



Wanneer door aangepaste bijmengsels de  $A_L$  omlaag gaat, gaat bijgevolg ook de maximum frequentie weer evenredig omhoog. In een verzamel grafiek met veel ferriet variaties zie je dat effect mooi. De schuine denkbeeldige eindwaarde lijn die je erachter zou kunnen trekken is de Snoek waarde, genoemd naar een van de ferriet onderzoekers van het Philips Nat-Lab. De factor  $A_L / \text{verlies} = \text{constante}$ .

- 4) Verliezen in de wikkelingen - koperverliezen - hier niet verder uitgewerkt.
- 5) Curie punt. Wanneer een kern te warm wordt is er een punt waarbij de  $A_L$  zeer snel instort. Dit is soms al ergens tussen de 100 en 300 graden C. Dan heb je plots helemaal geen zelfinductie meer! Maar juist FIK!! Dit (fik-)effect in de balun komt

voor bij multiband antennes (en tuners!) die een onverwacht punt hebben waar de Z omhoog schiet, en dus daarmee ook de HF spanning over de balun.

#### 6) Andere beperkende factoren bij elkaar

Te weinig wikkelingen bij lage frequentie = geeft een te lage zelfinductie.

Te veel wikkelingen bij te hoge frequentie - geeft te veel parasitaire C, het mantelsmoor effect werkt dan niet meer of je spannings balun zit aan de eindfrequentie van de overdracht.

Te los gewikkeld - dit geeft een grotere spreidings (lek) zelfinductie, geeft een te sterke inzakkende overdracht bij het oplopen van f. Dan bijv. dubbel wikkeldraad gebruiken. Bij een trafo: ledere aparte wikkeling moet de kern goed bedekken!

Kies een zo groot mogelijke  $A_L$  voor de laagste frequentie of meerdere gestapelde kernen. Denk aan verlies op de hoogste f en het benodigde lage aantal windingen op laagste frequentie. Is een compromis met lage para-C op hoogste frequentie.

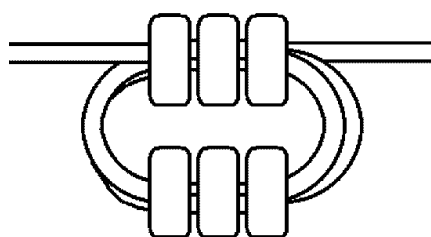
“Poederijzer” heeft een zelfinductie waarde die 10 tot 1000 x lager is dan die van ferriet. Ze bevatten soms ook een aandeel nikkel, tot wel 80%! Metaalpoederringen (met nikkel) en hogere  $A_L$  waarden en soms zeer lage Q werken NIET goed boven 10 kHz !! à 1 MHz. Dit type kern is dus voor lichtnet ontstoring en schakelvoedingen bedoeld. Ze hebben t.o.v. ferriet het voordeel van een 4 à 5x grotere verzadigings waarde en betere absorptie van ongewenste hogere harmonischen. De juiste (HF) poederijzer kernen met veel lagere  $A_L$  waarden hebben alleen als voordeel een veel lager verlies en veel hogere Q in resonantie kringen. Meestal heb je voor laagohmige baluns toch nog veel te veel wikkelingen nodig en is ferriet dus een betere keus.

DC door de wikkeling?? denk aan verzadiging!!, met een luchtspleet in de kern ==> gelijk een extreem lagere  $A_L$  daardoor.

Denk daar aan bij DC door smoorspoelen en trafo's in Tx eindtrappen. Je kunt makkelijk verzadiging krijgen. Hogere  $A_L$  geeft eerder verzadigings effecten dan lagere  $A_L$ .

EMC?? juist extra groot  $u_i''$  deel gewenst want  $Z_{tot} = Z_L + Z_{res}$

Combi ring setje met minstens 3 ringen? De MnZn kern met het wegzakkende  $A_L$  niet aan de buitenkant plaatsen, want dat geeft meer lekveld wanneer van die kern de werking wegvalt. Een erg hoge  $A_L$  ring (3E25) dus tussen twee lage  $A_L$  ringen (4C65) verpakken, dan altijd werkend (met lage L) kernmateriaal net onder de wikkelingen. Op erg lage f werkt dit net zo goed, maar de hoge  $A_L$  in het midden geeft dan een groter zelfinductie aandeel effect.



Dikke kabel? ==> twee ringsetjes naast elkaar! Dan meer kabel aandeel "in het ferriet" i.p.v. in de lucht.

Ook bij combi ringsets: het wegvallende MnZn houdt er soms eerder mee op voordat de NiZn voldoende vervangende Z geeft op de overname frequentie. Net als hiervoor: neem dan meerdere NiZn en 1x een MnZn ring ertussen.