

Magnetische Permeabilität

$$\mu_r = \mu_r' - j\mu_r''$$

RF WEBINAR 14 JUNI 2020

ROBERT LANGENHUYSEN

PAORYL

H en B

H symboliseert de Magnetische veldsterkte veroorzaakt door een stroom die door een naburige geleider (zeg spoel) loopt.

B is de magnetische flux dichtheid veroorzaakt door de som van

- de stroom in naburige geleiders
- vergroting door naburig magnetisch materiaal.

Permeabiliteit μ

μ geeft de vergroting van de magnetische flux aan die wordt teweeggebracht door magnetisch materiaal en geïnduceerd door de stroom die het H veld veroorzaakt.

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$$

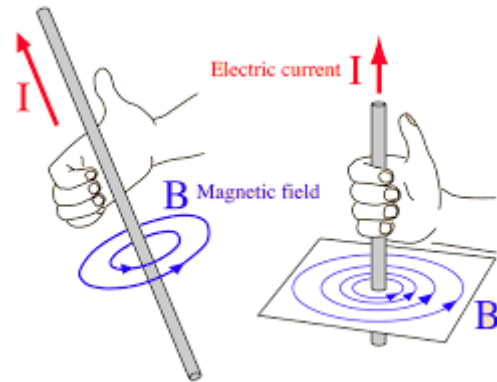
- Noot: Flux is aantal veldlijnen dat door een oppervlakte gaat

Magnetische Inductie

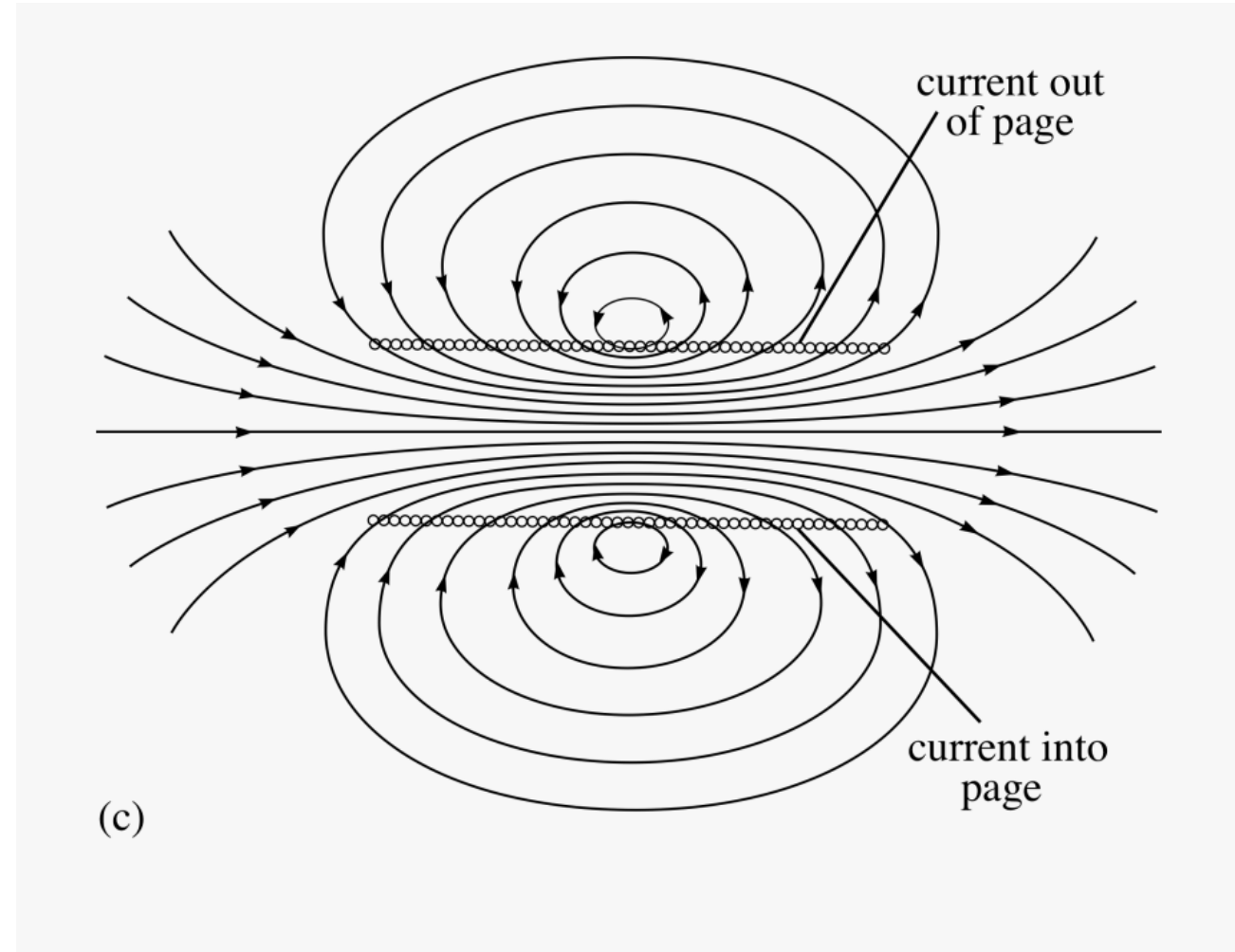
Dit is de eigenschap om magnetische veldlijnen op te wekken (induceren)

Voorbeelden

- Draad
- Spoel
- Toroid



Een kern met hoge permeabiliteit μ verhoogt de inductiviteit met die factor μ



De magnetische *permeabiliteit* μ

μ is de verhouding tussen de aangebrachte veldsterkte **H** en de *magnetische flux dichtheid (density)* **B**

$$\mu = B/H \Rightarrow B = \mu H$$

μ is de griekse letter m

- Multipliceren (vermenigvuldigen)
- Magnetization

Het geeft aan hoeveel meer magnetische veldlijnen aanwezig zijn t.o.v. het aantal H veldlijnen

H en B in vacuum

H wordt uitgedrukt in A/m

B (flux density) wordt uitgedrukt in Tesla of kg/s/A (of N/m/A)

$$B = \mu H$$

μ in vacuum geven we μ aan als μ_0

$$\mu_0 = B/H$$

μ_0 = magnetische permeabiliteit in vacuum

μ_0 en μ_r

μ in vacuum is gedefinieerd als μ_0

μ buiten vacuum kan groter of kleiner zijn dan μ_0

μ_r is de relatieve permeabiliteit van materiaal met permeabiliteit μ t.o.v. μ_0 dus:

$$\mu = \mu_r \mu_0$$

Hoe kun je μ_r bepalen?

- Impedantie van luchtspoel $Z = j\omega L$
- Impedantie van identieke spoel maar met kern met μ_r is: $Z_F = j\omega \mu_r L$
 - $Z_F/Z = \mu_r$
- Z_F van een bestaande spoel op een kern is makkelijk te meten
- Voor Z moeten we L berekenen volgens de formule:
- $L = \mu_0 N^2 / C$ Hierin is C een constante die van de spoelvorm afhangt
- Voor een toroid geldt:
- $C = 2\pi/h \cdot \ln(d_o/d_i)$
 - Taylor => $\ln x = (1-x) - (x-1)^2/2 + \dots$
 - Volgens: <http://www.qsl.net/in3otd/electronics/magnetics/theory.html>

Ringkern berekening voor de liefhebbers

Voor een gesloten magnetisch circuit met een $U_r > 10$ geldt:

- $L = N^2 \mu \cdot s / l$
- $\mu = \mu_0 \mu_r$
- $s = (D1 - D2) * h / 2\pi$
- $l = (D1 + D2) / 2$
- Alle maten in meters

Berekening volgens COIL32: wel zo makkelijk!

ENTER THE INPUT DATA:

Select units:

$N = 20$ – Number of turns

$L = 200$ – Measured inductance

$D_1 = 22$ – Outer diameter of ring

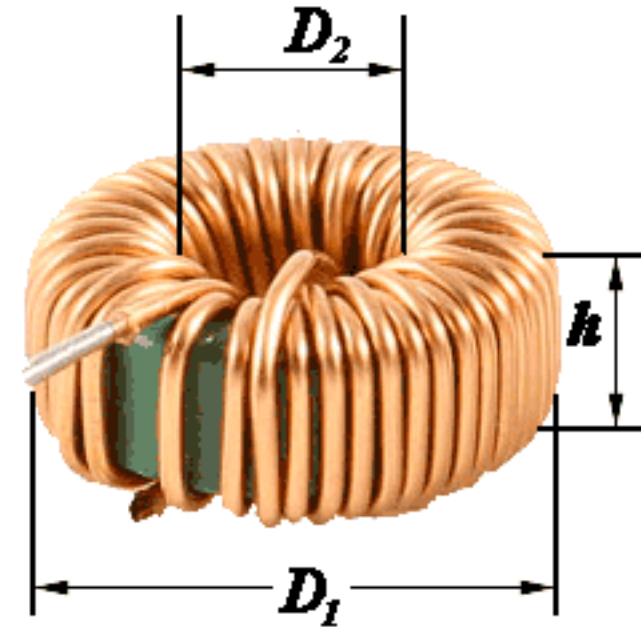
$D_2 = 11$ – Inner diameter of ring

$h = 5$ – Height of ring

RESULT:

$\mu = 722$ – Initial magnetic permeability

$A_L = 500$ – Inductance factor of the core [nH/N^2]



<https://coil32.net/online-calculators/determine-toroid-core-permeability.html>

Download CoiL32

Ga naar de site www.rfseminar.nl

Selecteer Topics -> “Spoelen berekenen met COIL32/COIL64”

Selecteer “ON LINE CALCULATORS”

Select “Determine Toroid Permeability”

Volg instructies

Vuistregel van ON9BOG

μ :

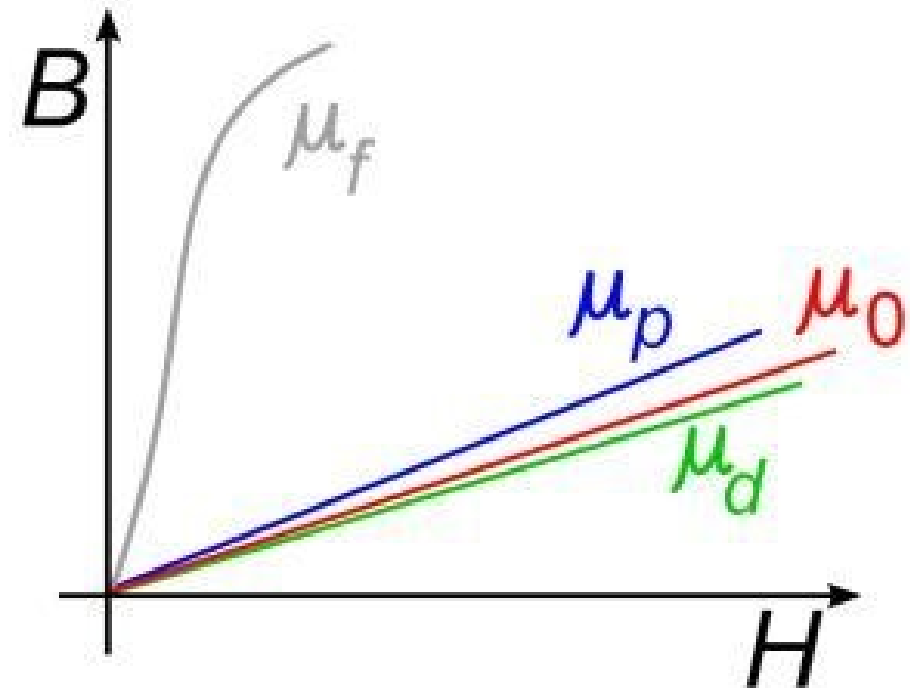
- Product μ en frequentie maximaal <3750
- B maximaal 10 mT (3C65 < 15 mT)

Verschillende soorten magnetisme

Para en Dia magnetisme

- Diamagnetische materialen worden afgestoten door een magneetveld ($\mu_r < 1$)
- Paramagnetische materialen worden door een magneetveld aangetrokken ($\mu_r > 1$)

Permeabilities of ferromagnets, paramagnets, free space, and diamagnets



μ is afhankelijk van diverse factoren

Magnetische veldsterkte

Temperatuur

Historie (hysteresis)

Frequentie

μ is complex

Complex betekent niet 'dat het ingewikkeld is' maar 'bestaand uit meerdere delen'.

- Reëel deel is in fase
- Imaginair deel is 90° uit fase

In het algemeen is μ een complexe grootte zodat B in fase verschoven kan zijn t.o.v. H

Omdat μ_r een complex getal is kunnen we het in componenten opdelen:

$$\mu_r = \mu_r' - j \mu_r''$$

$$\mu_r = \mu_r' - j\mu_r''$$

Z is impedantie zonder kern

Z_F = impedantie met kern

$$\mu_r = Z_F / Z$$

Dus $Z_F = \mu_r Z$

$$Z_F = (\mu_r' - j\mu_r'')j\omega L$$

$$Z_F = j\mu_r'\omega L - j j \mu_r''\omega L$$

$$Z_F = j\mu_r'\omega L + \mu_r''\omega L$$

$$\mu_r = \mu_r' - j\mu_r''$$

- $Z_F = j\mu_r' \omega L + \mu_r'' \omega L$
 - De verhouding Im/Re bepaalt Q
- **μ_r' bepaalt het imaginaire gedeelte**
 - Ofwel: Hoe goed gedraagt de spoel zich als spoel?
- **μ_r'' bepaalt het reële gedeelte van een spoel**
 - Ofwel: hoe verliesrijk is de spoel
- Voor ideale inductie moet μ_r' hoog zijn
- Voor dempende inducties moet μ_r'' hoog zijn

Permeabiliteit is afhankelijk van frequentie

Permeabiliteit $\mu_r' - j \mu_r''$ is complex

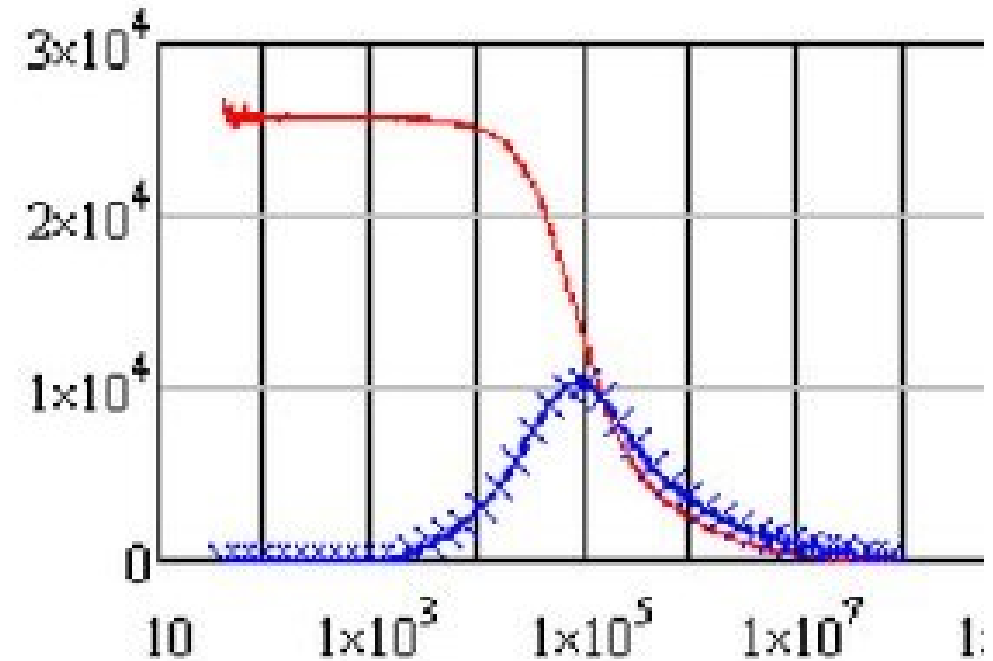
De permeabiliteit is afhankelijk van frequentie

Belangrijk voor HF

$$\mu_r = \mu_r' - j \mu_r''$$

μ_r' is in rood weergegeven

$j \mu_r''$ is in blauw weergegeven



Frequency (Hz)

— Real Permeability

⊗⊗⊗ Imaginary Permeability

Tip voor gebruik

Bestudeer frequentie afhankelijkheid van grafiek van complexe μ

Indien niet aanwezig: meet het met VNA en meetkamer

Denk aan verschuiving bij meerdere windingen

Bepaal Q in gewenst frequentiedomein $Q = \text{Im}/\text{Re}$

- Hoge Q voor afgestemde kringen en filters
- Lage Q voor demping van HF storingen