

Vermogenselektronica

Peter van Duijsen

31 augustus 2020

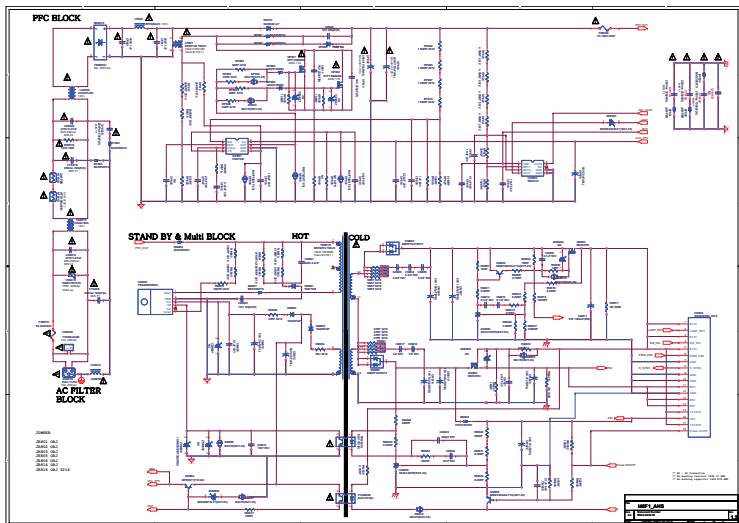
Table of contents

- 1 Flyback
- 2 Magnetica
- 3 Opgave
- 4 Volgende week

Magnetica?

B en H

46" LED Televisie



46" LED Televisie

Geintje, maar je zal nu meer gaan herkennen!
Aan het eind van de les zoek je de gekoppelde spoelen

Wat zijn B H A

Wat moet je weten om magnetica beter te begrijpen.

MMF

stroom i door n windingen draad
magneto-magnetic-force

$$mmf = n \cdot i \quad (1)$$

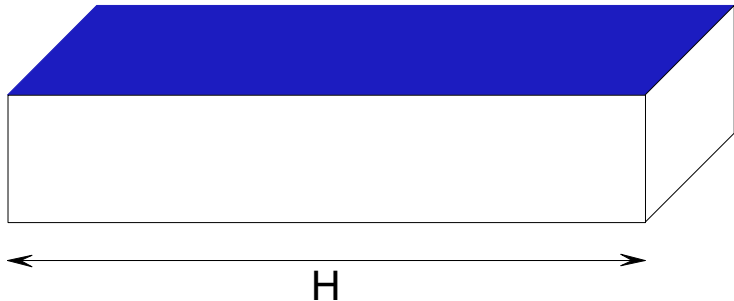
H

Magnetische intensiteit H in *Ampere · meter*, oftewel *Am*

$$H \cdot l = n \cdot i = mmf \quad (2)$$

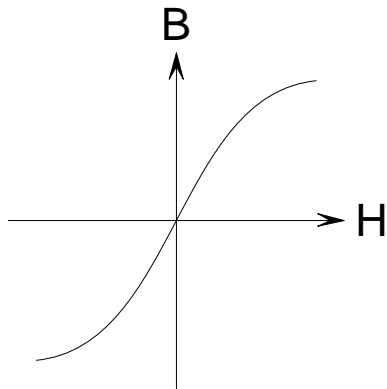
lengte

H altijd voor een lengte



Figuur: Magnetische veldsterkte H staat over het materiaal.

BH curve



Figuur: B kan je aflezen als functie van H met $B = \mu_0 \mu_r H$, waarbij $\mu_r = \frac{\Delta B}{\Delta H}$ afneemt naarmate H groter wordt.

Relatie B en H

Als we de hysteresis klein veronderstellen, zien we tussen B en H een eenduidige relatie

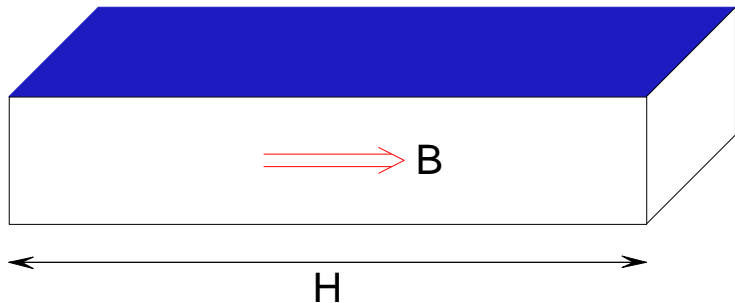
$$B = \mu_0 \mu_r H \quad (3)$$

B

B aflezen in de BH curve voor een gegeven H .
 B in *Tesla* of *Gauss* ($1[\textit{Tesla}] = 10000[\textit{Gauss}]$)

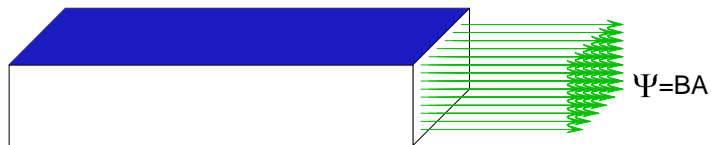
Met behulp van de inductie B en de doorsnede van het materiaal A kunnen nu de zogenaamde veldlijnen, oftewel de Flux berekend worden.

$$\Psi = B \cdot A \quad (4)$$



Figuur: Magnetische fluxdichtheid B is in het materiaal.

Magnetische Flux

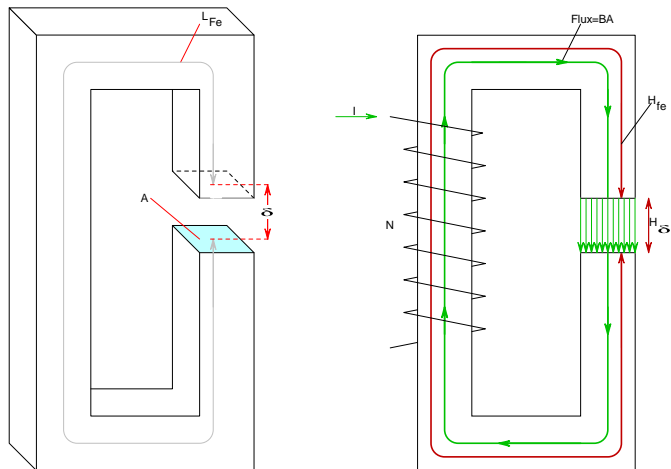


Figuur: Magnetische Flux Ψ gaat door het gehele materiaal en komt er ook uit.

Energie in Spoel

$$W = \frac{1}{2}L\tilde{I}^2 \quad (5)$$

Wat zit waar



Figuur: Kern met mechanische en magnetische grootheden.

Energie in de spoel

$$W = \frac{1}{2} \int \vec{H} \cdot \vec{B} dV \approx \underbrace{\frac{1}{2} \int \vec{H}_{Fe} \cdot \vec{B}_{Fe} \cdot V_{Fe}} + \underbrace{\frac{1}{2} \int \vec{H}_{\delta} \cdot \vec{B}_{\delta} \cdot V_{\delta}} \quad (6)$$

Grootheden

Hierin is

I Spoelstroom [A]

N Aantal wikkelingen [.]

A Kerndoorsnede [mm^2]

l_{Fe} Effectieve kernlengte[mm]

δ Lengte van de luchtspleet[mm]

Φ Magnetische Flux[Weber]

B Magnetische Fluxdichtheid[Tesla]

H_{Fe} Magnetische veldsterkte in de kernA/m

H_{δ} Magnetische veldsterkte in de luchtspleet[A/m]

Magnetische Flux overal gelijk

$$\vec{B} \approx \vec{B}_{Fe} \approx \vec{B}_{\delta} \quad (7)$$

Magnetische Flux

met: $\vec{B} = \mu_0 \mu_r \cdot \vec{H}$, $V_{Fe} = I_{Fe} \cdot A$ en $V_\delta = \delta \cdot A$:

$$W \approx \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} \left(\frac{I_{Fe}}{\mu_r} + \delta \right) \cdot A \quad (8)$$

μ_r bedraagt in ferriet circa 1000...4000. De effectieve magnetische kernlengte is alleen met I_{Fe}/μ_r te berekenen.

Magnetische Flux

Daarom kunnen we bij gebruikelijke kernafmetingen stellen dat de energie hoofdzakelijk in de luchtspleet opgeslagen is. Een goede benadering is dan ook:

$$W \approx \frac{1}{2} \frac{B^2 \cdot A \cdot \delta}{\mu_0} \quad (9)$$

Let op

Let op!

Spoelen hebben dus een luchtspleet, omdat daarin de energie zit opgeslagen.

De luchtspleet heeft dan ook een bepaald volume nodig om de benodigde energie $\frac{1}{2}L\hat{I}^2$ op te slaan. De maximale flux B bedraagt bij normale ferrietsoorten circa $B_{max} \leq 0.3T$. Het benodigde luchtspleetvolume bedraagt:

$$V_{\delta} = A \cdot \delta \geq \frac{L\hat{I}^2 \cdot \mu_0}{B_{max}^2} \quad (10)$$

met $B_{max} = 0.3T$

Met dit volume kan een overeenkomstige kern uit een databoek gekozen worden.

AL

Het aantal wikkelingen kan met hulp van de inductantie-coëfficiënt A_L berekend worden.

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}} \quad (11)$$

$$L = N^2 A_L \quad (12)$$

Magnetische Flux

Ter controle: maximaal optredende fluxdichtheid B . Hiervoor kijken we naar de kleinste doorsnede van de kern A_{min} .

$B \leq 0.3$ Tesla.

$$B = \frac{L \cdot \hat{I}}{N \cdot A_{min}} = \frac{N \cdot A_L \cdot \hat{I}}{A_{min}} \stackrel{!}{\leq} 0.3[T] \quad (13)$$

A_{min} : de minimale kerndoorsnede voor de berekening van de maximale flux, staat op de datasheet van de ferrietkern aangegeven.

Draad diameter

De stroomdichtheid S van de spoel kan tussen 2 en $5A/mm^2$ gekozen worden

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot I}{\pi \cdot S}} \quad (14)$$

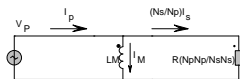
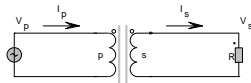
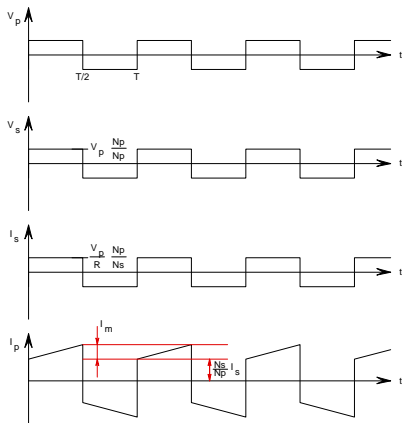
waarbij $S = 2 \dots \underline{3} \dots 5 \frac{A}{mm^2}$ en I de stroom in Amperé.

Berekening Transformator

Ingangsstroom I_p ,

$$I_p = I_M + \frac{N_s}{N_p} I_s \quad (15)$$

Magnetiseringsstroom I_M zo klein mogelijk: kern zonder luchtspleet

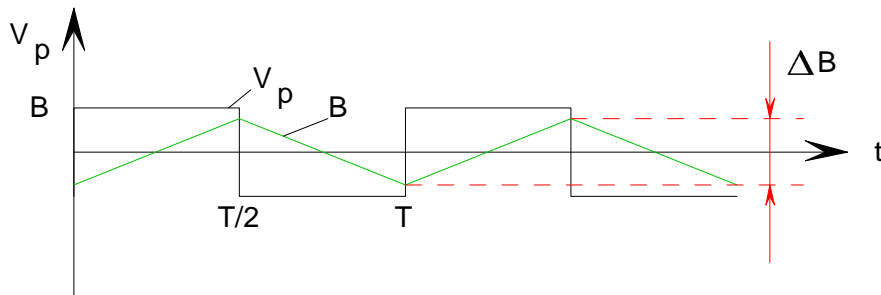


Magnetiseringsstroom

De magnetiseringsstroom is evenredig met Φ en B .

Wet van de Inductie:

$$v = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad (16)$$



Figuur: Ingangsspanning en de magnetische fluxdichtheid.

Wikkelingen

Minimale aantal wikkelingen voor N_p :

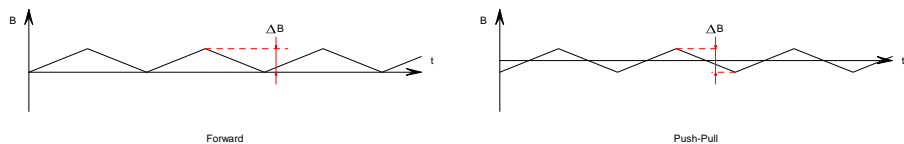
$$N_p^{min} \geq \frac{v_1 \cdot T/2}{\Delta B \cdot A_{min}} \quad (18)$$

waarbij $\Delta B \approx 0.2 \dots 0.3 T$.

flyback en Forward

Opmerking

Bij single ended forward converters wordt de kern in slechts een richting gemagnetiseerd, terwijl deze bij push-pull converters in beide richtingen wordt gemagnetiseerd.



Figuur: Magnetische fluxdichtheid voor een Forward(links) en een Push-Pull(rechts) omvormer.

Draad diameter Transformator

Voor de Push-Pull omvormer:

$$I_p^{eff} \approx \frac{P_{out}}{v_{in}} \text{ en } I_s^{eff} = \frac{P_{out}}{U_{out}} \quad (19)$$

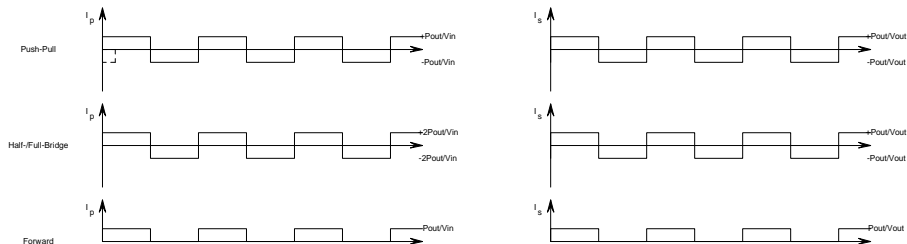
Voor de Halve-, Volle-Brug omvormers:

$$I_p^{eff} \approx \frac{2P_{out}}{v_{in}} \text{ en } I_s^{eff} = \frac{P_{out}}{v_{out}} \quad (20)$$

Voor de Forward omvormer:

$$I_p^{eff} \approx \frac{\sqrt{2}P_{out}}{v_{in}} \text{ en } I_s^{eff} = \frac{\sqrt{2}P_{out}}{v_{out}} \quad (21)$$

Omvormer stroom



Figuur: Primaire en secundaire stroom voor een Push-Pull(boven), Halve-/Volle-Brug omvormer(midden) en Forward(onder) omvormer.

Magnetische Flux

Magnetiseringsstroom I_M verwaarlozen.

Stroomdichtheid S net als bij spoelen tussen de 2 en 5[A/mm]

$$A_{draad} = \frac{I}{S} \quad (22)$$

$$d_{draad} = \sqrt{\frac{I \cdot 4}{S \cdot \pi}} \quad (23)$$

waarbij $S = 2 \dots \underline{3} \dots 5 \text{A/mm}$.

Wikkelruimte

Op de datasheet staat de beschikbare wikkelruimte meestal als *Winding Area* W_A aangegeven.

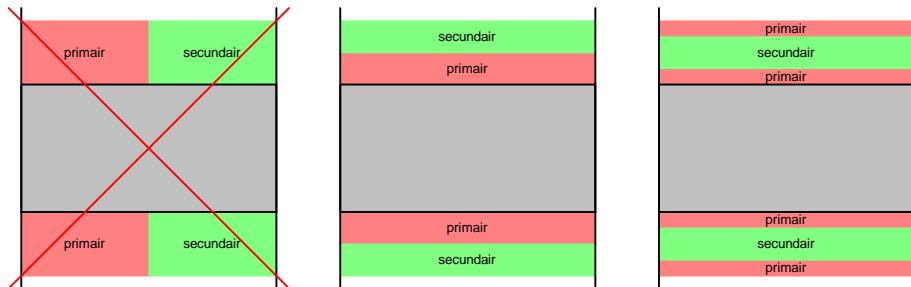
Lagen

Koppeling

(links) slecht,

(midden) goed,

(rechts) een factor vier beter dan (midden).



Figuur: Verschillende wikkelingsmethoden.

Aantal wikkelingen

*Aantal primaire wikkelingen niet veel hoger dan N_{1min}
anders hoge koperverliezen*

Litze

Hoge frequenties

Bij hoge frequenties en grote draaddiameter moet het skin-effect meegewogen worden.

Bij frequenties $> 20\text{kHz}$ en draaddoorsneden van $> 1\text{mm}^2$, koperfolie of litzedraad gebruiken.

Magnetische kernen

Verskillende soorten soorten kernen, bijvoorbeeld E, I, ETD, U, Pot kernen en daarnaast de ringkernen.

ETD staat voor *Economic Transformer Design*



Figuur: Verschillende kernen
Vermogenslektronica

Magnetische Materiaal

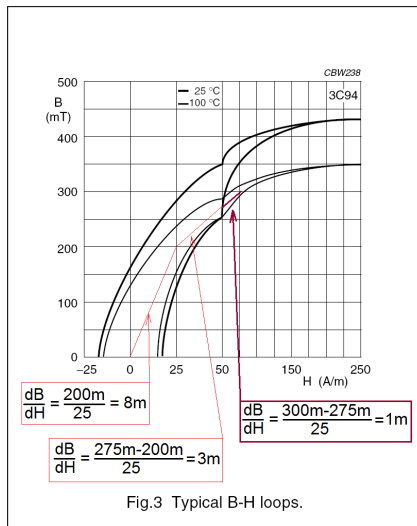
Ferroxcube (afgesplitst van Philips) 3Cxx, 3Fxx, Epcos (afgesplitst van Siemens) Nxx

Schatten hoe ver de kern in verzadiging gaat.

Stroom I aantal wikkelingen N en de effectieve lengte l_{Fe} van de kern.

$$H = \frac{N \cdot I}{l_{Fe}} \quad (24)$$

BH curve van Ferroxcube 3C94 ferriet.



Temperatuur

Belangrijke factor temperatuur van de kern.

Verzadiging is afhankelijk van de temperatuur.

In de omvormer zie je dit effect terug als het afnemen van de inductiviteit van de spoel. Daardoor kan een stroom door de spoel bij gelijkblijvende spanning ineens veel groter worden.

$$\frac{di}{dt} = \frac{U}{L} \quad (25)$$

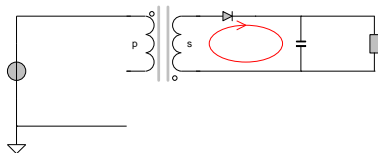
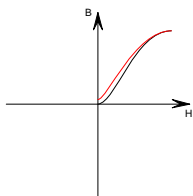
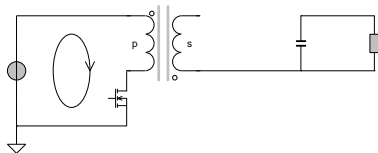
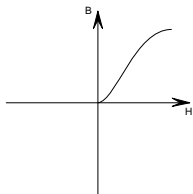
Door deze snellere stroomstijging en daardoor hogere stroom, worden ook de verliezen weer hoger, waardoor de kern nog meer opwarmt.

Verliezen

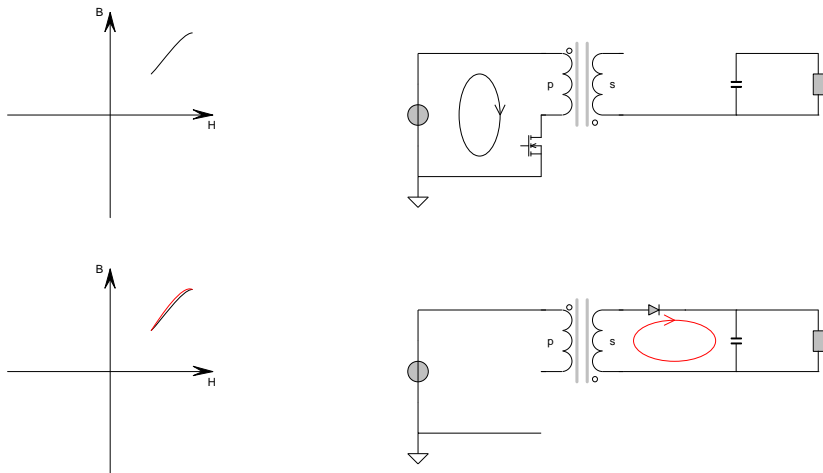
Ook van belang is de hysteresis van het materiaal. Hierdoor ontstaan de verliezen in de kern zelf, die tot opwarming kunnen leiden. Simpel gezegd is het oppervlak van de hysteresis-loop een maat voor de verliezen.

Flyback

Waarom is die kennis over het materiaal zo belangrijk?
BH-karakteristiek doorlopen is afhankelijk van het type omvormer.

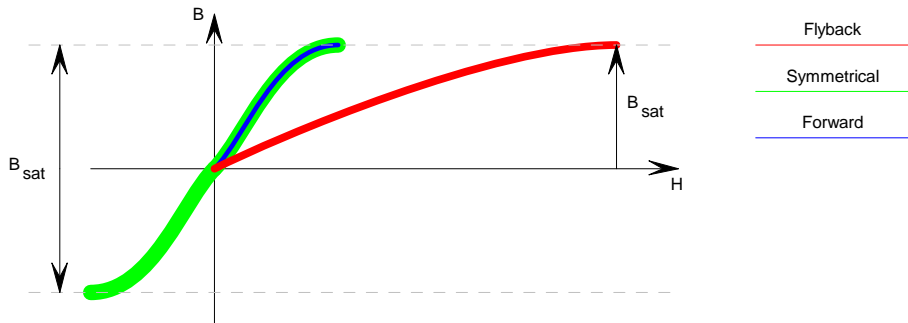


DC instelling



Figuur: DC instelling bij de BH curve bij een Flyback converter.

Symmetrische omvormer



Figuur: BH curve bij de verschillende omvormers.

Opgave

Maak een schakelende voeding met de volgende parameters:

- $V_{in} = 300V$ DC
- $V_{out} = -12...0...12V$ DC $I_{out} = 1A$
- $V_{out} = 5V$ DC $I_{out} = 2A$
- Schakelfrequentie $F_s = 50kHz$

- Teken schema en bereken de waarde voor L in het geval van continue bedrijf.
- Teken de ingangsstroom
- Teken de spoelstroom
- Teken de diodestroom
- Teken de spanning over de Mosfet
- Selecteer een kern en bereken het aantal wikkelingen

Volgende week

- Flyback