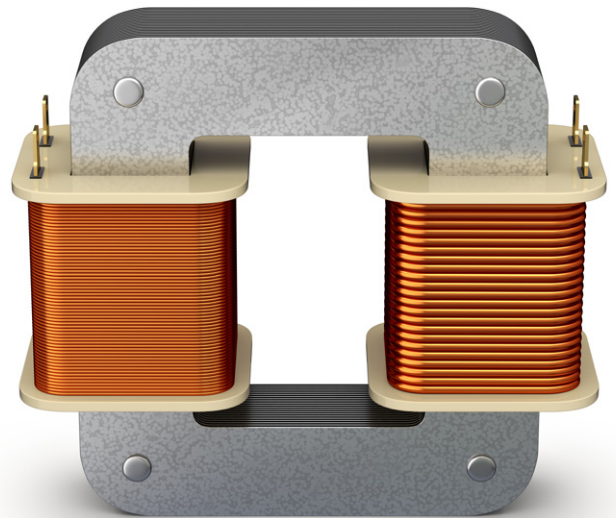


Alle begin...

...gaat compenseren en transformeren

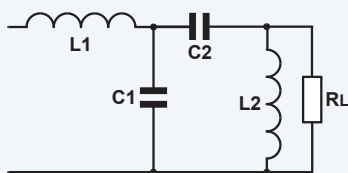
Eric Bogers (Elektor)

Met deze aflevering sluiten we het hoofdstuk “spoelen” af. We werpen een laatste blik op wisselfilters en bespreken de belangrijkste aspecten van transformatoren.

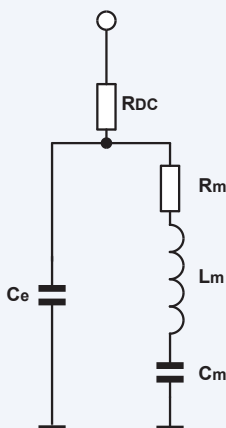


Impedantiecompensatie

We keren nog even terug naar het banddoorlaatfilter waarmee we de vorige aflevering [1] hebben afgesloten – zie **figuur 1**. U ziet dat we daar geen luidspreker als belasting hebben ingetekend, maar een weerstand; want alleen met een constante afstuitweerstand



Figuur 1. Banddoorlaatfilter.



Figuur 2. Impedantiecompensatie.

gedraagt een filter zich ‘volgens het boekje’ – en de impedantie van een luidspreker is allesbehalve constant. Twee factoren gooien hier roet in het eten: in de eerste plaats de impedantiepiek bij de resonantiefrequentie en in de tweede plaats de toename van de impedantie bij hogere frequenties (ten gevolge van de zelfinductie van de spreekspoel).

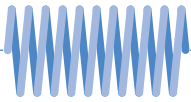
Wanneer zo’n stoorfactor tenminste twee octaven van de overnamefrequentie van het filter verwijderd is (corresponderend met een verdubbeling of halvering van de frequentie) hoeft u zich verder niet veel zorgen te maken. Als dat echter niet het geval is, kloppen de uitgangspunten voor de berekening van het filter niet meer en zal dit niet correct functioneren. Gelukkig is het mogelijk dit effect te compenseren; **figuur 2** toont een bruikbaar compensatienetwerkje. Dit netwerk bestaat uit twee delen: links condensator C_e die de zelfinductie van de spreekspoel moet compenseren, en rechts een resonantiekring die de resonantiepiek compenseert. Wanneer de stoorfactor voldoende ver van de overnamefrequentie verwijderd is, hoeft daarvoor niet te worden gecompenseerd en kan het betreffende deel van het netwerk vervallen.

Voor de dimensionering van de onderdelen geldt:

R_{DC} = gelijkstroomweerstand van de luidspreker

$$C_e = \frac{1000 \cdot L_e}{R_{DC}^2} \quad [\mu F, \text{mH}]$$

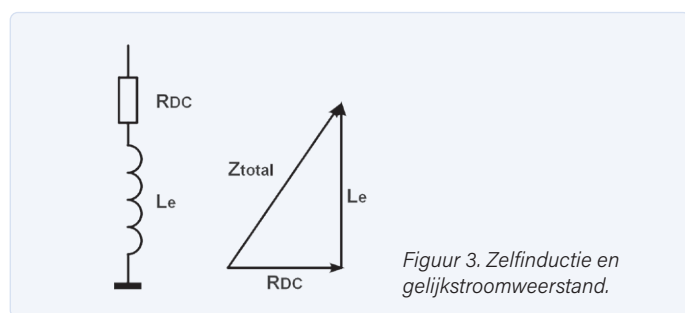
$$R_m = \frac{R_{DC} \cdot Q_e}{Q_m} - R_{loss}$$



$$L_m = \frac{159 \cdot R_{DC} \cdot Q_e}{f_s} \quad [\text{mH}]$$

$$C_m = \frac{159000}{f_s \cdot R_{DC} \cdot Q_e} \quad [\mu\text{F}]$$

De waarde van de grootheden R_{DC} , Q_m , Q_e en f_s kan worden bepaald met speciale meetprogramma's zoals Kirchner ATB. R_{DC} is de gelijkstroomweerstand van de luidspreker en f_s de middenfrequentie van de resonantiepiek. R_{loss} is de verliesweerstand van de spoel en L_e diens zelfinductie.



Maar hoe moeten we L_e bepalen? Bij hogere frequenties mag de luidspreker worden beschouwd als een serieschakeling van een zelfinductie en een gelijkstroomweerstand, zoals geschetst in **figuur 3**. Bij een voldoende hoge frequentie kunt u uit het impedantiendiagram de waarde van de totale impedantie Z_{total} aflezen. Voor de zelfinductie L_e geldt dan:

$$L_e = \frac{\sqrt{Z_{\text{tot}}^2 - R_{DC}^2}}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

In het voorbeeld van figuur 3 bedraagt de totale impedantie bij 10 kHz 42 Ω , terwijl R_{DC} gelijk is aan 7 Ω . We berekenen dan een zelfinductie van 0,66 mH die gecompenseerd moet worden met een condensator van ongeveer 10 μF .

Transformatoren

Met transformatoren (of trafo's, zoals ze doorgaans worden genoemd) kunnen wisselspanningen omhoog of omlaag worden getransformeerd. Wanneer de netspanning omlaag moet worden getransformeerd spreken we meestal van nettrafo's; wanneer signaalspanningen moeten worden getransformeerd spreken we (u raadt het al) van signaaltrafo's. De werking van deze twee 'soorten' transformatoren is echter precies hetzelfde.

Signaaltrafo's worden vaak niet gebruikt om signaalspanningen omhoog of omlaag te transformeren maar slechts om (deel)schakelingen galvanisch van elkaar te scheiden, bijvoorbeeld om te voorkomen dat er een aardlus ontstaat. In zo'n geval spreken we wel van een 'trafo-gesymmetreerde' verbinding.

Figuur 4 toont enkele vertegenwoordigers van het genus

'transformator'. Rechts is een deel van een ringkerntrafo te zien; hier zijn de windingen op een ringvormige ijzerkern gewikkeld. Dit soort trafo's munt uit door een zeer gering strooiveld, reden waarom men ze graag in eindversterkers toepast.

Linksboven is een printtrafo te zien – een trafo dus die rechtstreeks op een print kan worden gesoldeerd. Ter isolatie en om mechanische beschadiging te voorkomen is deze trafo in kunststof ingegoten.

Linksonder tenslotte zien we twee audio-signaaltrafo's, hier eveneens voor printmontage. Audiotrafo's zijn vaak voorzien van een afscherming van blik, om te voorkomen dat magnetische strooivelden worden opgepikt. Dat is bij de voorbeelden in figuur 4 echter niet het geval.

In **figuur 5** ziet u het schemasymbool van een transformator. Wanneer u hierbij aan twee spoelen moet denken, dan hebt u het bij het rechte eind: een transformator bestaat uit twee (of meer) spoelen die op een gemeenschappelijke kern zijn gewikkeld. In principe kan die kern uit een massief brok ijzer bestaan, maar daarmee zouden we ons onaanvaardbare wervelstroomverliezen op de hals halen. Bij 50Hz-trafo's (lees: nettrafo's) bestaat de kern daarom uit dunne plaatjes dynamoblik die ten opzichte van elkaar zijn geïsoleerd. Voor hogere frequenties wordt ijzerpoeder met een isolerende vulmassa vermengd en in de gewenste vorm geperst. Op die manier worden ferrietkernen verkregen. Bij zeer hoge frequenties is geen kern meer nodig en kan men twee luchtspoelen gebruiken.

Een transformator werkt als volgt: op de primaire wikkeling wordt een wisselspanning gezet; er loopt dan een wisselstroom door die wikkeling die een wisselend magnetisch veld opwekt. Dit wisselende magnetische veld induceert in de secundaire wikkeling op zijn beurt weer een wisselspanning. Tussen primaire en secundaire wikkeling bestaat geen elektrisch geleidende verbinding: ze zijn galvanisch gescheiden.

De benamingen 'primaire' en 'secundaire' zouden de indruk kunnen wekken dat een trafo slechts in één richting functioneert – maar niets is minder waar: het is zonder meer mogelijk een spanning op de secundaire wikkeling te zetten en vervolgens de getransformeerde spanning van de primaire wikkeling af te nemen. Daarbij moeten we er echter op letten dat de ijzerkern niet door een te hoge spanning in (magnetische) verzadiging wordt gestuurd. Wanneer we bijvoorbeeld een 12V-trafo (dus een trafo die normaliter de 230V-netspanning omlaag transformeert naar 12 V) in omgekeerde richting aansluiten, zal gegarandeerd de zekering eruit vliegen (of de trafowikkeling doorbranden) omdat er ten gevolge van magnetische verzadiging van de kern een veel te grote stroom zou gaan lopen. Het is echter zonder meer mogelijk een spanning van 12 V op de secundaire wikkeling te zetten, zodat van de primaire wikkeling een spanning van 230 V kan worden afgenomen – zogenaamde omvormers werken volgens dit principe.

De verhouding tussen het aantal primaire windingen en het aantal secundaire windingen wordt de transformatieverhouding genoemd. Er geldt:

$$T = \frac{W_1}{W_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

De verhouding tussen ingangs- en uitgangsspanning is gelijk aan de verhouding tussen het aantal primaire en secundaire windingen: voor de verhouding tussen ingangs- en uitgangsstroom geldt precies het omgekeerde. Dat ligt natuurlijk ook voor de hand omdat immers moet gelden:

$$P_1 = P_2$$

Het vermogen in de secundaire wikkeling is niet exact even groot als dat in de primaire wikkeling – een trafo is geen ideale component zodat er altijd enige verliezen optreden. Die verliezen zijn doorgaans echter zo gering dat we die in de meeste berekeningen mogen verwaarlozen.

Bij nettrafo's worden meestal geen woorden vuil gemaakt aan de transformatieverhouding: hier wordt alleen de spanning opgegeven die op de secundaire wikkeling staat wanneer op de primaire wikkeling de netspanning van 230 V wordt gezet.

Veel nettrafo's hebben meerdere secundaire wikkelingen, deels met verschillende uitgangsspanningen. Het is mogelijk om die secundaire wikkelingen in serie te schakelen, maar daarbij moeten we de fase en de belastbaarheid (maximale stroom) in de gaten houden. Als we meerdere secundaire wikkelingen parallel willen schakelen, dan moeten die dezelfde spanning leveren en een (vrijwel) gelijke belastbaarheid hebben. Bovendien moet de fase in de parallelgeschakelde wikkelingen gelijk zijn.

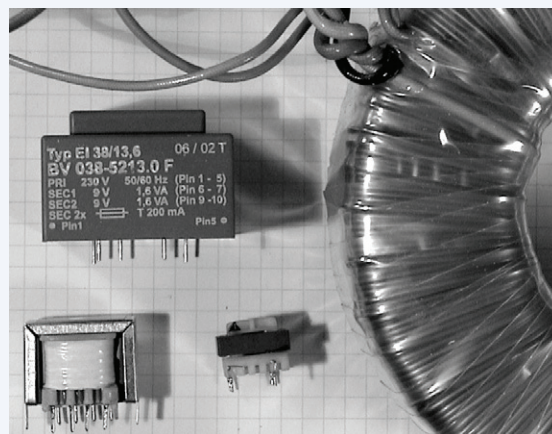
Daarnaast bezitten nettrafo's vaak meerdere primaire wikkelingen. Dat is gedaan om de apparaten waarin ze zijn ingebouwd te kunnen aanpassen aan verschillende netspanningen in verschillende landen.

Het is eigenlijk nooit mogelijk om een 230V-nettrafo op een spanning van 400 V aan te sluiten: de trafo zou in magnetische verzadiging worden gestuurd waardoor ofwel de apparaatzekering ofwel de primaire wikkeling zelf doorbrandt. Dat is de reden dat verkeerd geïnstalleerde draaistroom-contactdozen alom gevreesd worden. Omgekeerd is het echter wel mogelijk om 400V-trafo's in elektronische apparatuur in te bouwen; die trafo's hebben geen problemen met 230 V, maar leveren dan natuurlijk wel een navenant lagere uitgangsspanning.

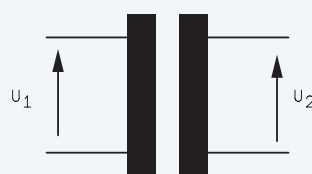
Hiermee sluiten we het onderwerp “spoelen” af; volgende keer komen (eindelijk!) de halfgeleiders aan de orde. ◀

210626-02

De artikelreeks “Alle begin...” is gebaseerd op het boek “Basiscursus elektronica” van Michael Ebner, dat bij Elektor is verschenen.



Figuur 4. Diverse net- en signaaltrafo's.



Figuur 5. Schemasympool van een transformator.

Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de redactie van Elektor via redactie@elektor.com.

Een bijdrage van

Idee en illustraties: Michael Ebner

Tekst en redactie: Eric Bogers

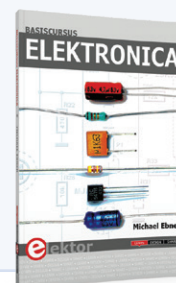
Layout: Giel Dols



GERELATEERDE PRODUCTEN

> **Boek:**
Basiscursus elektronica
www.elektor.nl/13950

> **E-boek:**
Basiscursus elektronica
www.elektor.nl/18232



WEBLINK

[1] “Alle begin...”, Elektor Magazine januari/februari 2022: <http://www.elektormagazine.nl/210564-02>