

Alle begin...

...speelt verder met de spoel

Eric Bogers (Elektor)

In de laatste aflevering van dit jaar zullen we zien wat voor leuke dingen we met spoelen kunnen doen... Geloof u ons niet? Lees verder en laat u van het tegendeel overtuigen!



Nogmaals: de spoel als wisselstroomweerstand

Net als een condensator gedraagt ook een spoel zich als wisselstroomweerstand – maar dan ‘omgekeerd’. Laten we ter illustratie eens een serieschakeling van een spoel en een weerstand bekijken. We nemen een spoel met een zelfinductie van 10 mH en een weerstand van 50 Ω, bij een frequentie van 1 kHz. Bij deze frequentie bedraagt de impedantie van de spoel:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 1000 \text{ Hz} \cdot 0,01 \text{ H} = 62,8 \Omega$$

Ook nu mogen we deze impedantie niet ‘zomaar’ bij de weerstand optellen – dat moet weer vectorieel gebeuren:

$$X_{\text{tot}} = \sqrt{X_L^2 + R^2} = \sqrt{(62,8 \Omega)^2 + (50 \Omega)^2} = 80,3 \Omega$$

Tussen stroom en spanning bestaat (net als bij de condensator) een faseverschil; deze fasehoek bedraagt hier

$$\varphi = \arctan \frac{X_L}{R} = \arctan \frac{62,8 \Omega}{50 \Omega} = 51,5^\circ$$

We zullen u niet lastigvallen met de berekening van de parallelschakeling van een spoel en weerstand; met dezelfde onderdelenwaarden komen we uit op een totale impedantie van 39,1 Ω bij een fasehoek van -38,5° (reken u maar na).

Hoog- en laagdoorlaatfilters

Hoog- en laagdoorlaatfilters kunnen niet alleen met condensatoren en weerstanden worden geconstrueerd, maar ook met spoelen en weerstanden (**figuur 1**).

Voor de frequentie- en fasekarakteristiek geldt hetzelfde als voor met condensatoren en weerstanden opgebouwde filters. Bij de kantelfrequentie is de impedantie gelijk aan de weerstand:

$$R = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \rightarrow f_{\text{kantel}} = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$$

Eigenlijk ligt het voor de hand om in filterschakelingen spoelen met condensatoren te combineren. En dat is precies wat we straks gaan doen. Maar eerst iets anders.

Compensatie van het blindvermogen

Een reuze aardige toepassing is compensatie van het blindvermogen. Maar dan moeten we natuurlijk eerst wel weten wat dat blindvermogen is...

Het vermogen dat door een ohmse ('gewone') weerstand wordt opgenomen, wordt in die weerstand in warmte omgezet. Het vermogen dat door een condensator of een spoel wordt opgenomen, wordt door die componenten daarentegen opgeslagen in de vorm van een elektrische lading of een magnetisch veld; die opgeslagen vermogen wordt bij de eerstvolgende gelegenheid weer afgestaan. Over een langere periode beschouwd nemen capaciteiten en zelfinducties dus helemaal geen vermogen op. In formulevorm gegoten (die mag u wat ons betreft meteen weer vergeten):

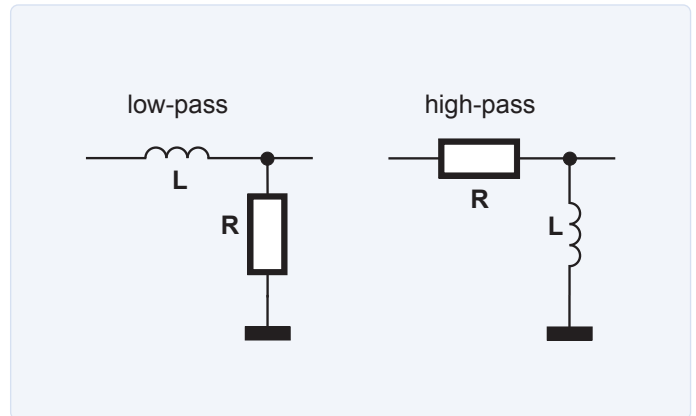
$$p = \int_0^{2\pi} U_0 \cdot \sin \varphi \cdot I_0 \cdot \cos \varphi = U_0 \cdot I_0 \cdot \sin^2 \varphi \Big|_0^{2\pi} = 0$$

$$p = \int_0^{2\pi} U_0 \cdot \sin \varphi \cdot I_0 \cdot -\cos \varphi = U_0 \cdot I_0 \cdot -\sin^2 \varphi \Big|_0^{2\pi} = 0$$

De reden hiervan moet worden gezocht in het feit dat stroom en spanning niet in fase zijn, maar juist 90° in fase verschoven zijn. Dat betekent dat het vermogen nu eens positief is en dan weer negatief – en over een hele periode geïntegreerd gelijk is aan nul. Bij een ohmse weerstand daarentegen zijn stroom en spanning steeds in fase zodat het vermogen te allen tijde positief is. Daarom ook kan het vermogen dat door een ohmse weerstand wordt opgenomen in een andere vorm worden afgegeven – bijvoorbeeld in de vorm van warmte – en sprekt men in dit verband van *werkelijk vermogen*. Datgene wat zelfinducties en capaciteiten tijdelijk opnemen, wordt daarentegen *blindvermogen* of *reactief vermogen* genoemd; in formules wordt daarvoor het symbool Q gebruikt.

Een schakeling waarin naast ohmse componenten ook capaciteiten en/of zelfinducties voorkomen, neemt zowel werkelijk vermogen als blindvermogen op. Omdat deze vermogenscomponenten niet dezelfde fase hebben, mogen we die niet 'gewoon' optellen; daarvoor geldt onderstaande formule (**figuur 2**).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$



Figuur 1. RL-filters.

Hierin is S het schijnbaar vermogen; om dit van het werkelijke vermogen te onderscheiden wordt S niet uitgedrukt in watt (W) maar in voltampère (VA). Voor het werkelijke vermogen en het blindvermogen kunnen we nu schrijven:

$$P = S \cdot \cos \varphi$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi$$

Op het typeplaatje van een elektromotor wordt vaak een $\cos \varphi$ -waarde vermeld, zodat uit het schijnbaar vermogen het werkelijke vermogen kan worden afgeleid. Veronderstel dat voor een bepaalde motor een spanning van 230 V wordt opgegeven, een stroom van 2 A en een $\cos \varphi$ van 0,8. Voor het werkelijke vermogen vinden we dan

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 230 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} \cdot 0,8 = 368 \text{ W}$$

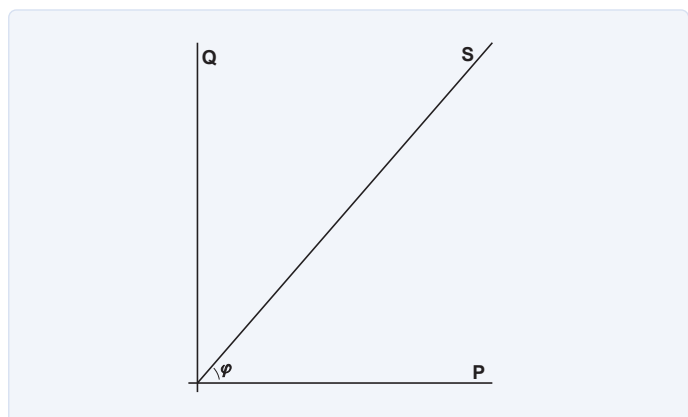
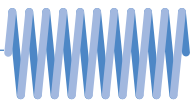
En aangezien geldt

$$\sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi = 1 \rightarrow \sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \sqrt{1 - (0,8)^2} = 0,6$$

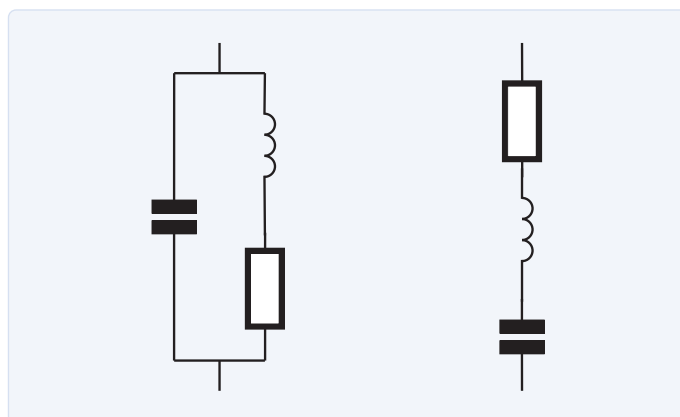
vinden we voor het blindvermogen:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = 230 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} \cdot 0,6 = 276 \text{ VA}$$

Nu denkt u wellicht, als gebruiker van die motor, dat dat blindvermogen u worst zal zijn – de stroommeter in de meterkast (die eigenlijk helemaal geen stroom meet maar vermogen) meet immers uitsluitend het werkelijke vermogen. Maar ten gevolge van dat blindvermogen loopt er wel zinloos stroom door de leidingen, die navenant gedimensioneerd moeten zijn; bovendien veroorzaakt die 'nutteloze' stroom maar al te werkelijke verliezen in de leidingweerstand. Reden genoeg dus om het blindvermogen te compenseren. Daartoe hoeven we slechts een correct gedimensioneerde condensator parallel aan of in serie met de gebruiker te schakelen (**figuur 3**).



Figuur 2. Schijnbaar vermogen, werkelijk vermogen en blindvermogen.



Figuur 3. Parallelcompensatie (links) en seriecompensatie (rechts).

We bekijken eerst de parallelcompensatie (die overigens meestal de voorkeur verdient). Het blindvermogen wordt volledig gecompenseerd als het blindvermogen van de condensator even groot is als dat van de spoel. In dat geval namelijk geeft de condensator zijn blindvermogen af aan de spoel en omgekeerd, en gedraagt het geheel zich (van buitenaf beschouwd) als een ohmse belasting (bij de betreffende frequentie natuurlijk). Voor de stroom door de condensator geldt:

$$I = \frac{Q_c}{U} = \frac{276 \text{ VA}}{230 \text{ V}} = 1,2 \text{ A}$$

Voor de impedantie betekent dit:

$$X_c = \frac{U}{I} = \frac{230 \text{ V}}{1,2 \text{ A}} = 191,67 \Omega$$

En zodoende geldt voor de capaciteit:

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_c} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 191,67 \Omega} = 16,6 \mu\text{F}$$

Door deze maatregel neemt de totale stroom af van 2 A tot 1,6 A, terwijl de weerstand van de schakeling als geheel toeneemt van 115 Ω tot 143,75 Ω . (De totale weerstand neemt toe? Jazeker, dat komt voor rekening van de tegengestelde fasehoek van capaciteit en zelfinductie.)

We stelden dat parallelcompensatie meestal de voorkeur verdient. Als we in het bovenstaande voorbeeld seriecompensatie zouden toepassen, zou de condensator een waarde moeten krijgen van 46,1 μF – bijna driemaal zo groot dus. Parallelcompensatie is daarom in de praktijk goedkoper te realiseren. Bovendien neemt bij seriecompensatie de totale stroom toe in plaats van af. 

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

Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur of 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

