

mbo

Signaal 4

Spoelen en condensatoren

kenteq



COLOFON

©2024 Kenteq, Bilthoven

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand dan wel openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opname, of enige andere wijze, zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.

Kenteq
Soestdijkseweg Zuid 224
3721 AJ Bilthoven
uitgeverij@kenteq.nl

Inhoudsopgave

1	Spoelen	5
1.1	Spoelen	6
1.2	Constructie van de spoel	7
1.3	Spoel aangesloten op een gelijkspanning	8
1.4	Spoel aangesloten op een wisselspanning	10
1.5	Samenvatting	16
1.6	Antwoorden	17
1.7	Vragen Spoelen	18
2	Condensatoren	21
2.1	Toepassingen van condensatoren	22
2.2	Constructie van de condensator	22
2.3	Condensator aangesloten op een gelijkspanning	24
2.4	Parallelschakelen van condensatoren	27
2.5	Condensator aangesloten op een wisselspanning	28
2.6	Samenvatting	35
2.7	Antwoorden	38
2.8	Vragen Condensatoren	39
3	Weerstand en spoel in serie	43
3.1	Ohmse weerstand en ideale spoel	44
3.2	Vermogen	50
3.3	Samenvatting	57
3.4	Antwoorden	58
3.5	Vragen Weerstand en spoel in serie	59



1 Spoelen

Inleiding

Een spoel is een elektrische component die bestaat uit geleidende wikkelingen op een spoelvorm. Een spoel wordt in de elektrotechniek gebruikt voor verschillende doeleinden, afhankelijk van het type circuit waarin het wordt toegepast.



Spoelen

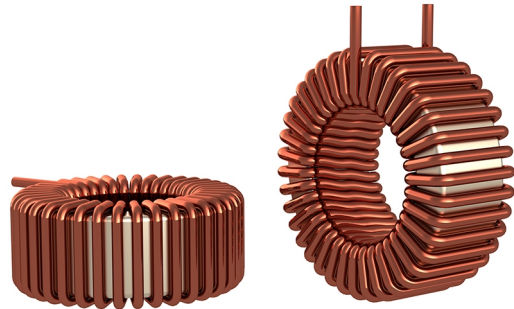
Leerdoelen

Je kunt:

- de constructie van een spoel beschrijven
- de invloed van het aantal windingen, de ohmse weerstand en de zelfinductiecoëfficiënt toelichten
- het begrip ideale spoel omschrijven
- aangeven wat de ohmse weerstand van een spoel is en waarvan deze afhankelijk is
- het inschakelgedrag omschrijven van een spoel aangesloten op een gelijkspanning
- het uitschakelgedrag omschrijven van een spoel aangesloten op een gelijkspanning
- een omschrijving geven en het symbool en de eenheid noemen van de:
 - zelfinductiecoëfficiënt
 - inductieve weerstand
- de inductieve weerstand berekenen van een spoel, aangesloten op een wisselspanning.

1.1 Spoelen

De spoel is een onvervangbare component in de wereld van de elektriciteit en elektronica. Een spoel wordt ook wel zelfinductie genoemd, vanwege de eigenschappen die hij heeft. Spoelen komen voor in allerlei vormen, diameters van de gebruikte draad en afmetingen.



Ringvormige spoel met weinig windingen van dik draad

Toepassingen van spoelen

Spoelen hebben een breed scala aan toepassingen in verschillende gebieden van de elektrotechniek, waaronder:

- elektromagneten, relais, solenoïden en motoren
- transformatoren
- elektrische filters toegepast in audio-, radio- en communicatiesystemen
- radiofrequentie (RF)-toepassingen (draadloze communicatie)
- inductiekookplaten
- medische apparaten, MRI-scanners (Magnetic Resonance Imaging), defibrillatoren en pacemakers.

Deze toepassingen benadrukken het belang van spoelen in verschillende aspecten van de elektrotechniek en hun veelzijdigheid in verschillende elektrische en elektronische systemen.

➤ **Opmerking**

Van verbruikers en componenten waarin spoelen zitten zeg je dat ze een inductief karakter hebben. Dit inductieve karakter speelt een rol bij het vermogen.



1. Noem tenminste drie toepassingen van een spoel.

1.2 Constructie van de spoel

Spoelen komen in vele vormen voor. In hun meest eenvoudige vorm is het een kokers waaromheen een koperdraad is gewikkeld. Het aantal keren dat het draad rondom de koker is gewikkeld noem je het aantal wikkelingen.

Spoelen kom je in vele maten en soorten tegen. Lange, dunne spoelen met veel wikkelingen (soms wel 20.000) en korte dikke spoelen met weinig wikkelingen. Het aantal wikkelingen is bepalend voor de ohmse weerstand van de spoel. Die is afhankelijk van de lengte en de materiaalsoort en dikte van de wikkeling (meestal koperdraad).

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \text{ in } \Omega \quad (\text{Weerstandsformule})$$

De ohmse weerstand kun je meten met een ohmmeter.

➤ Opmerking

De weerstand van een spoel die je meet met een ohmmeter noem je de ohmse weerstand. Deze is afhankelijk van lengte, de materiaalsoort van de wikkeling en de doorsnede ervan.

Ideale spoel en reactantie

Om het gedrag van een spoel te bekijken, is het handig om van een *ideale spoel* uit te gaan. Ideaal wil in dit geval zeggen dat de spoel geen ohmse weerstand heeft. Zo'n ideale spoel bestaat niet, maar behalve de ohmse weerstand heeft de spoel die is aangesloten op een wisselspanning ook nog een andere weerstand. Dat is de inductieve weerstand of inductieve *reactantie*. Je noemt dit ook wel reactantie. Omdat de inductieve reactantie ook een weerstand is, druk je deze uit in ohm (Ω). Zoals bij de wet van ohm de ohmse weerstand de verhouding is tussen spanning en stroom, zo is de inductieve weerstand ook de verhouding tussen wisselspanning over en -stroom door de spoel. Je berekent de inductieve weerstand van een spoel als volgt.

$X_L = \frac{U}{I}$ <p>X_L = inductieve weerstand in (Ω) U = spanning over de spoel in volt (V) I = stroomsterkte door de spoel in ampère (A)</p>
--

➤ Opmerking

Een ideale spoel heeft geen ohmse weerstand, alleen een inductieve weerstand. Deze inductieve weerstand heeft hij alleen bij een wisselspanning en is niet met een ohmmeter te meten.

De inductieve weerstand heeft als symbool X_L en druk je uit in Ω .



Reactantie en constructie

De inductieve weerstand of reactantie is onder andere afhankelijk van de constructie van de spoel. Denk hierbij aan:

- het aantal windingen van de spoel
- als de spoel een ijzeren kern heeft:
 - de lengte van de ijzerkern
 - de doorsnede van de ijzerkern
 - het materiaal van de ijzerkern.

Deze factoren bepalen samen de *zelfinductiecoëfficiënt* van de spoel. Dit is de mate waarin de spoel een stroomverandering tegenwerkt.

Het symbool van de zelfinductiecoëfficiënt is L . De eenheid is H (Henry).

Opmerking

De zelfinductiecoëfficiënt van een spoel is afhankelijk van de constructie van de spoel. Het symbool voor de zelfinductiecoëfficiënt is L , de eenheid is H (Henry). De inductieve weerstand X_L van een spoel is onder andere afhankelijk van de zelfinductiecoëfficiënt. De inductieve weerstand is ook afhankelijk van de frequentie van de aangelegde wisselspanning.

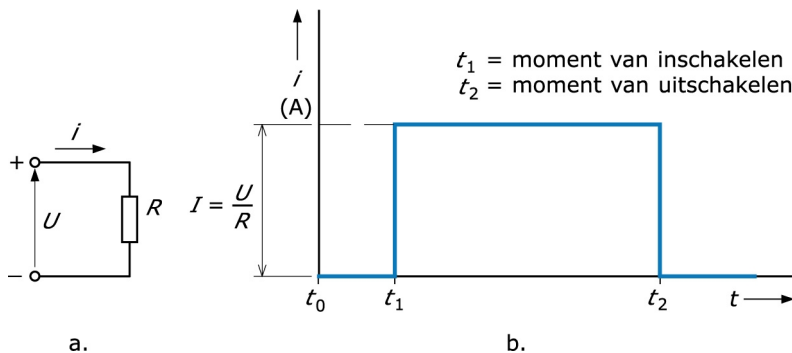


2. Welke invloed heeft de zelfinductie van een spoel op de stroom?

1.3 Spoel aangesloten op een gelijkspanning

Een willekeurige spoel is niet ideaal. Deze heeft een ohmse weerstand.

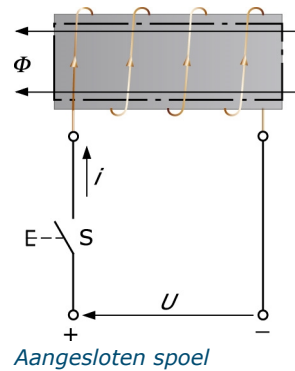
Het gedrag van stroom en spanning bij een gewone weerstand is volgens de wet van Ohm. De vorm van stroom en de vorm van spanning zijn identiek (zie afbeelding b.).



Gedrag van stroom en spanning bij een gewone weerstand

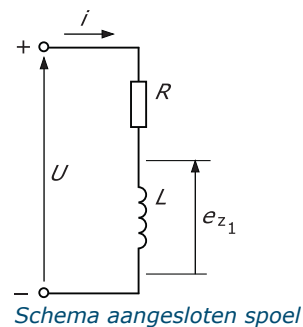
Dit geldt ook voor de ohmse weerstand van een spoel. Ook daar zijn de vorm van stroom en spanning identiek.

Bij een spoel is dit anders. Deze spoel is aangesloten via een drukknop S op een gelijkspanning U .



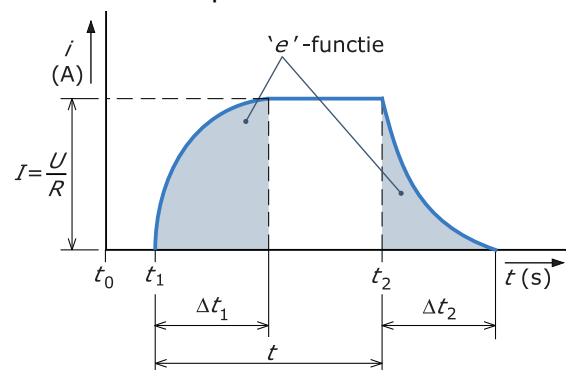
Inschakelen

Als je op de drukknop S drukt staat er een spanning over de spoel en gaat er een stroom vloeien. Door de zelfinductiecoëfficiënt wordt de opbouw van de stroom tegengewerkt. De stroom komt dus 'traag' op gang (Δt_1) en heeft niet meteen de maximale waarde. De vorm van de stroom is ook anders dan de vorm van de spanning.



Verloop van de stroom bij het in- en uitschakelen van een spoel.

- t_1 = moment van inschakelen
- t_2 = moment van uitschakelen
- Δt_1 = stroomopbouwtijd bij het inschakelen
- Δt_2 = stroomafbouwtijd bij het uitschakelen
- t = de tijd dat de spoel staat ingeschakeld



Verloop stroom bij in- uitschakelen spoel

De maximale sterkte van de stroom wordt bepaald door de ohmse weerstand van de spoel.

Uitschakelen

Als je vervolgens de drukknop loslaat, dan gebeurt er het omgekeerde. Door de zelfinductie zal de stroom niet gelijk met de spanning nul worden, maar langzaam afnemen (Δt_2). De spoel probeert de stroom in stand te houden.

Bevat de spoel veel windingen en wordt de stroom door de drukknopschakelaar snel onderbroken (dus snel uitgeschakeld), dan ontstaat er over het geopende contact een hoge spanning, die tot vonkvorming kan leiden. Volgens dit principe werkt de ontsteking van een benzinemotor (brommer, scooter of auto).



➤ **Opmerking**

Een spoel verzet zich tegen stroomsterkteverandering. Dit komt door de zelfinductie-eigenschap van een spoel:

- Bij het inschakelen komt de stroom traag op gang. De spoel verzet zich als het ware tegen het inschakelen.
- Bij het uitschakelen verzet de spoel zich ook weer tegen de verandering. De spoel probeert de stroom in stand te houden. Daarom bouwt de stroom af naar nul.

Daarom zeg je: "Bij een spoel ijlt de stroom na (komt later) dan de spanning".

1.4 Spoel aangesloten op een wisselspanning

Sluit je een spoel aan op een gelijkspanning, dan werkt de spoel de stroom tegen bij het in- en uitschakelen. De stroomverandering komt dus altijd later dan de spanningsverandering. Dit komt door de zelfinductie-eigenschap van een spoel. Deze biedt als het ware weerstand (weerstand bieden = tegenwerken) tegen het veranderen van de stroomsterkte.

Wisselspanning is eigenlijk een spanning die voortdurend toe of afneemt. Door het constante wisselen van de wisselspanning ontstaat nu een constante weerstand. Dit is de inductieve weerstand X_L . Deze wisselstroomweerstand is afhankelijk van het aantal wisselingen per seconde. Hoe hoger de frequentie (het aantal wisselingen), hoe groter de wisselstroomweerstand.

Behalve van de zelfinductiecoëfficiënt L en de frequentie f , is de inductieve weerstand X_L ook afhankelijk van een constante $2 \cdot \pi$. De Griekse letter π (spreek uit 'pi') wordt gebruikt als symbool voor een rekenkundig vastgesteld getal van ongeveer 3,14. Het getal staat op je rekenmachine onder de knop met het symbool π .

De grootte van de inductieve weerstand bij een spoel aangesloten op een wisselspanning bereken je als volgt:

$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$
X_L = inductieve weerstand in ohm (Ω)
π = rekenkundige constante $\approx 3,14$
f = frequentie in hertz (Hz)
L = zelfinductiecoëfficiënt in henry (H)

Het gedeelte $2 \cdot \pi \cdot f$ in de formule noem je de cirkelfrequentie en die duid je aan met ω (Griekse letter Omega).

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$
ω = cirkelfrequentie in rad/s (radialen per seconde)
π = rekenkundige constante $\approx 3,14$
f = frequentie in hertz (Hz)

De formule $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ invullen in $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$ geeft:

$X_L = \omega \cdot L$

Als de cirkelfrequentie gegeven is en de zelfinductiecoëfficiënt bekend is kan de inductieve weerstand X_L gemakkelijk worden berekend.

Ook geldt dat:

$$X_L = \frac{U}{I}$$

X_L = inductieve weerstand in (Ω)
 U = spanning over de spoel in volt (V)
 I = stroomsterkte door de spoel in ampère (A)

➤ **Opmerking**

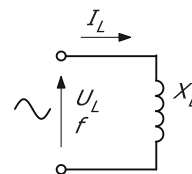
Sluit je een ideale spoel (dus zonder ohmse weerstand) aan op een wisselspanning, dan zal die spoel door het constante veranderen van de spanning een weerstand hebben, de inductieve weerstand X_L .

De grootte van de inductieve weerstand X_L is afhankelijk van de zelfinductiecoëfficiënt L en de frequentie f van de wisselspanning.

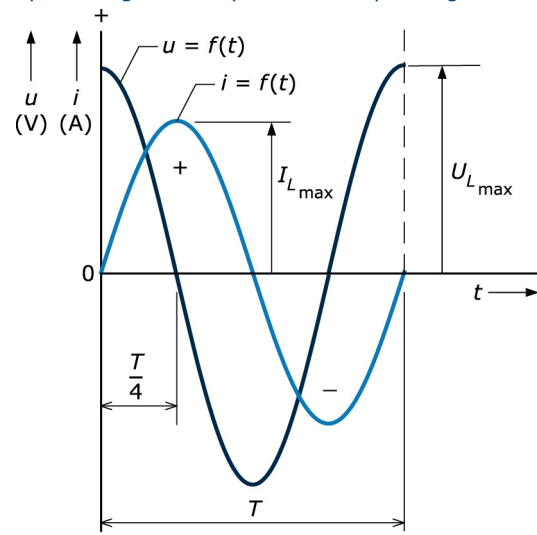
Ideale spoel

Als je een ideale spoel aansluit op een sinusvormige wisselspanning, dan ijlt de stroom na op de spanning.

Merk op dat de spanning eerder is begonnen dan de stroom. Als de stroom begint (bij de 0) is de spanning al aan het dalen. De stroom ijlt dus na (90° om precies te zijn) op de spanning, ofwel komt een kwart periode (of 90°) later dan de spanning.



Spoel aangesloten op een wisselspanning



Ideale spoel aangesloten op een wisselspanning ijlt de stroom 90° na op de spanning



Voorbeeld

Gegeven

Een ideale spoel met een coëfficiënt van zelfinductie van $\frac{2}{\pi}$ mH wordt aangesloten op een wisselspanning met een frequentie van 2,5 kHz.

Gevraagd

Bereken de inductieve weerstand van deze spoel.

Oplossing

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \times \pi \times 2,5 \times 10^3 \times \frac{2}{\pi} \times 10^{-3} = 10 \Omega$$

Voorbeeld

Gegeven

Een ideale spoel met een zelfinductiecoëfficiënt van 2 mH heeft bij een bepaalde frequentie een reactantie van 500 Ω .

Gevraagd

Bereken de frequentie van de aangesloten wisselspanning.

Oplossing

Uit de formule $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$ volgt:

$$f = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot L} = \frac{500}{2 \times \pi \times 2 \times 10^{-3}} \approx 40 \text{ kHz}$$
