



4

Ideale spoel en ideale condensator

Wat ga je doen?

Je gaat je kennis uitbreiden met eigenschappen van de spoel en de condensator.

In elektrotechnische schakelingen zijn de spoel en de condensator erg belangrijk.

Waar kom je dit in de beroepspraktijk tegen?

In elk elektronisch apparaat kom je spoelen en condensatoren tegen. Zonder spoelen en condensatoren kan geen radio, televisie, versterker, videorecorder of computer werken.

Je komt ze ook tegen in TL-schakelingen, maar ook in of bij motoren zoals de pomp thuis bij de verwarmingsinstallatie.

Aan het einde van deze les kun je:

- aangeven wat een ideale spoel en een ideale condensator zijn;
- de opbouw aangeven van een spoel en een condensator;
- verklaren hoe een spoel en een condensator zich gedragen bij gelijkspanning;
- verklaren hoe een spoel en een condensator zich gedragen bij wisselspanning;
- aangeven wat de invloeden zijn van serieschakelen en parallelschakelen van condensatoren;
- aangeven welke gegevens voor een spoel en een condensator belangrijk zijn;
- aangeven dat het werkelijk vermogen van ideale spoel en condensator nul is;
- de spanning en de stroom in een vectordiagram aangeven.

1

Ideale spoel

Opbouw

Een spoel bestaat uit draad gewikkeld rondom een ijzeren kern. Zie **figuur 1**. Voor een *ideale spoel* moet de weerstand van de draad wel *nul* Ω zijn. Dat kan natuurlijk niet.

Om het nu even niet te moeilijk te maken doe je alsof die weerstand echt 0Ω is.

Stroomdraad wekt magnetisch veld op

Een stroom door een draad wekt rondom die draad een magnetisch veld op. Zo'n veld noem je Φ (fie). Zie **figuur 2a**.

De sterkte van zo'n veld is afhankelijk van de stroom. De sterkte van het veld verloopt dus zoals in **figuur 2b**.

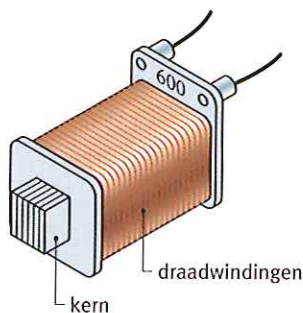


Fig. 1 Opbouw spoel

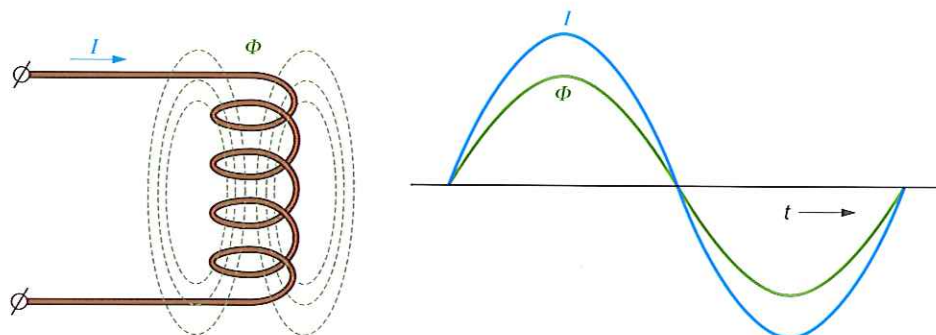


Fig. 2 Stroom en magnetisch veld

a Stroomvoerende draad

b Veldsterkte en stroom bij een spoel

Als er een hoge inductiespanning wordt opgewekt, verandert zo'n veld sterk. Andersom als het veld (bijna) niet verandert, wordt er (bijna) geen inductiespanning opgewekt.

Verandering inductiespanning

In **figuur 3** zie je hoe de verandering van de magnetische inductie verloopt. Bovenin is het veld sterk. Daar is de verandering klein binnen een bepaalde tijdsduur. Je hebt dan een kleine inductiespanning.

Vlak bij de nullijn is het veld zwak. Daar is de verandering zeer groot binnen dezelfde tijdsduur. De inductiespanning is dan hoog.

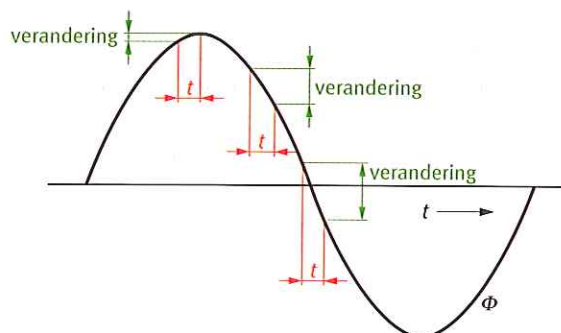


Fig. 3 De verandering per tijdseenheid verandert ook

In figuur 4 zie je dat getekend.

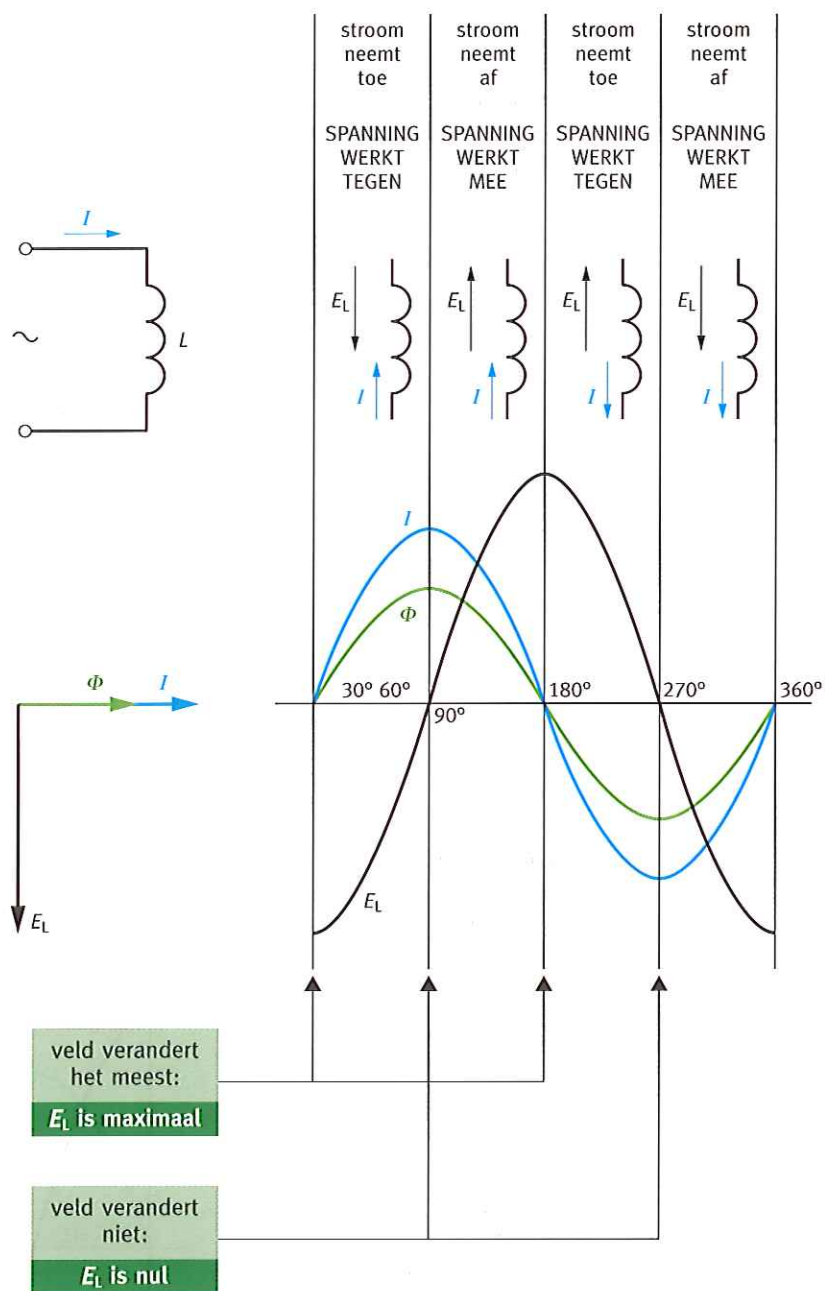


Fig. 4 Wisselspanning, wisselstroom en magnetisch veld bij een spoel

Let dus nog even op:

- veld Φ is groot, de verandering per tijdseenheid is klein, de opgewekte spanning E_L is nul;
- veld Φ is klein, de verandering per tijdseenheid is groot, de opgewekte spanning E_L is groot.

Inductiespanning werkt aangesloten spanning tegen

Volgens de wet van Lenz werkt een inductiespanning de oorzaak van zijn ontstaan altijd tegen. Hier is de oorzaak de aangesloten spanning U_L .

Deze spanning U_L is precies tegengesteld (omgekeerd) aan E_L (de ontstane spanning). Zie figuur 5.

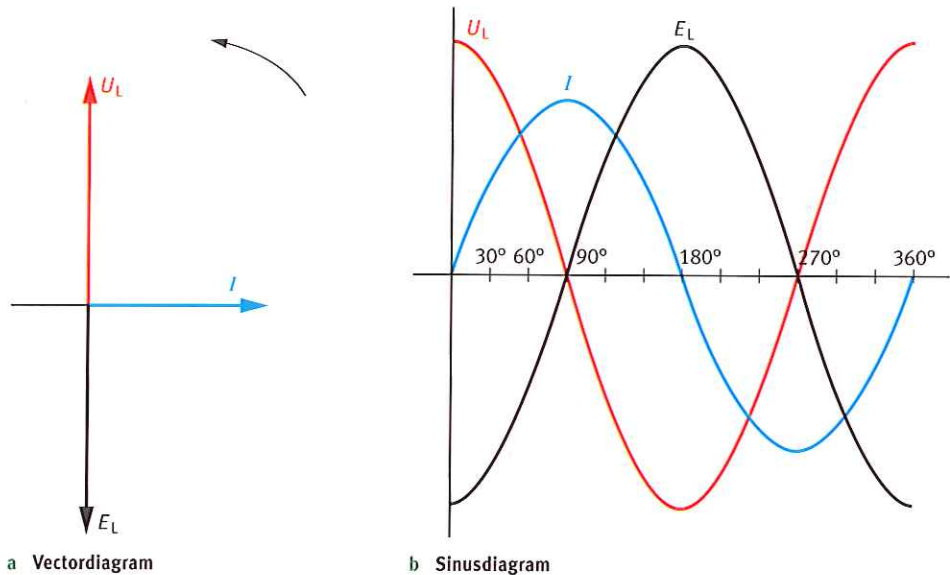


Fig. 5 U_L , I en E_L

Met die E_L doe je niets, dus die kun je weglaten. Je houdt dan figuur 6 over.

Je ziet dat de sinus U en de sinus I precies 90° zijn verschoven. Verder kun je zien dat U_L eerder bij de nullijn komt dan de I .

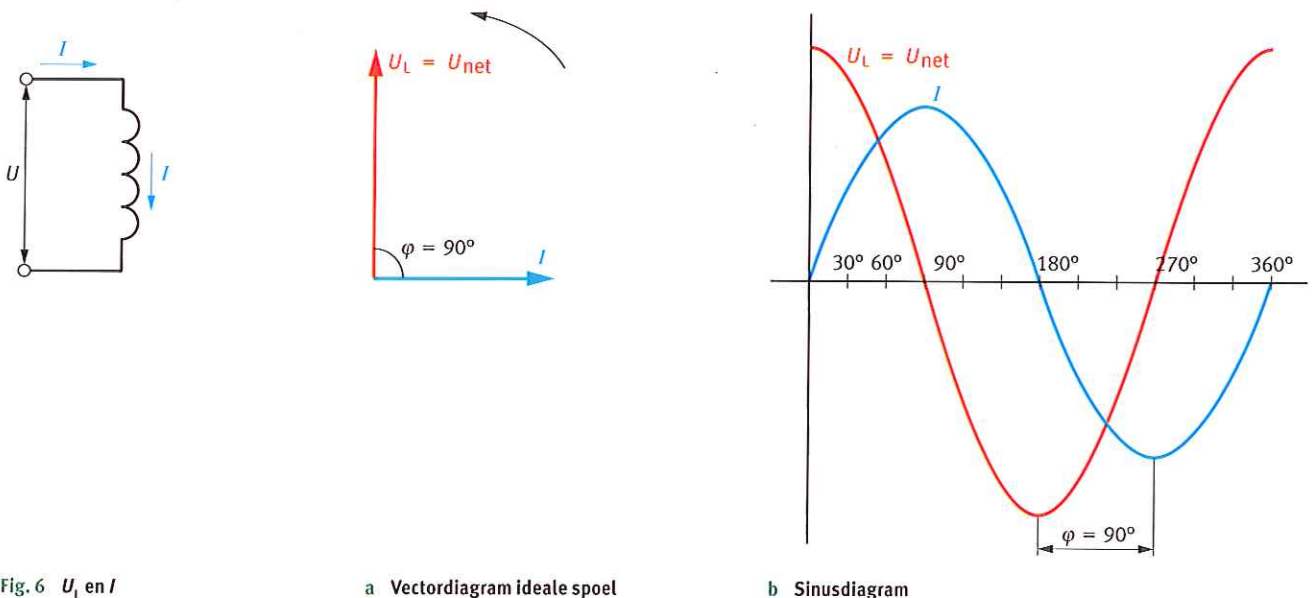


Fig. 6 U_L en I



Voor een ideale spoel geldt:

- de stroom ijlt precies 90° na op de spanning of,
- de spanning ijlt precies 90° voor op de stroom.

Faseverschuiving

Naast de sinusvormen staan U en I in een *vectordiagram* getekend. Zie **figuur 6a**. Hierin zijn U en I als een pijl getekend.

Als je in dit diagram met de klok-draairichting mee kijkt, dan zie je eerst U_L en daarna I . Ook hier zie je dat U_L voor de I komt. De getekende 90° noem je de *faseverschuiving*.

De $\cos \varphi$ van 90° is precies 0. Als je nu het werkelijk vermogen gaat uitrekenen, wordt dat:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = U \cdot I \cdot 0 = 0$$



Voor een ideale spoel geldt:

- een ideale spoel zet geen energie om in warmte, licht, beweging of iets dergelijks;
- een ideale spoel neemt vermogen op uit het net en geeft het ook weer terug aan het net.

Spoeleigenschappen

Je zult begrijpen dat niet elke spoel hetzelfde is. De eigenschappen van een spoel zijn afhankelijk van:

- het aantal windingen;
- de lengte van de spoel;
- de samenstelling van de kern.

Dit alles geef je weer met het getal L . Dat getal L noem je de *coëfficiënt van zelfinductie*. Deze L wordt uitgedrukt in henry (H). In dit getal zijn het aantal windingen en alle kerngegevens verwerkt. Het ligt (meestal) voor een spoel vast. Je kunt er niets aan veranderen. Als het getal L bekend is, kun je de weerstand van een spoel bepalen. Deze weerstand mag je *geen* R noemen. R is namelijk de weerstand van de koperdraad waar de spoel van gemaakt is. Je noemt de *wisselstroomweerstand* van een ideale spoel X_L .

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

Hierin is:

- $2 \cdot \pi = 2 \times 3,14 =$ een vast getal, daar hoef je niet verder over na te denken;
- $f =$ is de frequentie van de wisselspanning, bij ons dus 50 hertz;
- $L =$ de coëfficiënt van zelfinductie in henry.

Voorbeeld

Gegeven

Een ideale spoel heeft een L van 3,2 H. Deze spoel is aangesloten op 230 V-50 Hz.

Gevraagd

Hoe groot is de stroom door deze spoel?

Oplossing

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \rightarrow X_L = 2 \times 3,14 \times 50 \text{ Hz} \times 3,2 \text{ H} \rightarrow X_L = 1000 \Omega$$

$$\text{De stroom wordt dan: } X_L = \frac{U}{I} \rightarrow X_L = \frac{230 \text{ V}}{1000 \Omega} = 0,23 \text{ A}$$

2

Ideale condensator

Opbouw

Een condensator bestaat uit twee geleiders met daartussen een isolator. Deze isolator noem je het *diëlektricum*. Zie **figuur 7**.

Hoe je de condensator ook aansluit, er gaat *nooit* een stroom *door* de condensator. Op een spanning aansluiten kan natuurlijk wel.

Laden condensator

In **figuur 8** zie je de condensator nog eens. In een geleider zijn er altijd vrije elektronen, anders is het geen geleider meer.

In **figuur 9** zie je dezelfde condensator aangesloten op een gelijkspanning. Wat gebeurt er dan?

Door de plus en min van de gelijkspanning worden alle vrije elektronen één kant op gedrukt. De vrije elektronen gaan van de ene geleider naar de andere geleider. Er loopt dus een stroom.

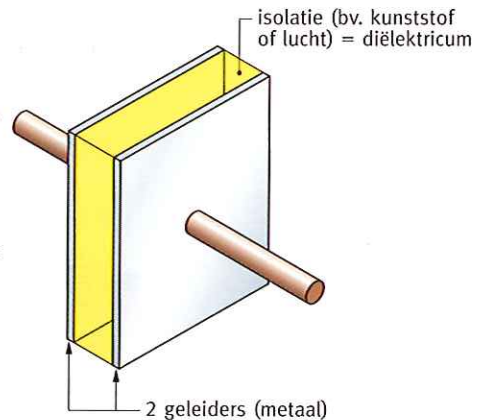


Fig. 7 Opbouw condensator

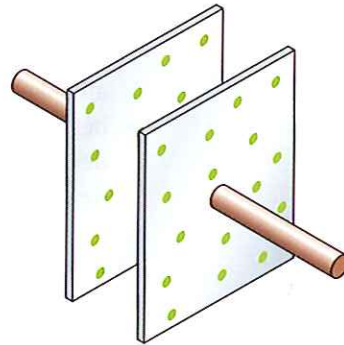


Fig. 8 Ongeladen condensator

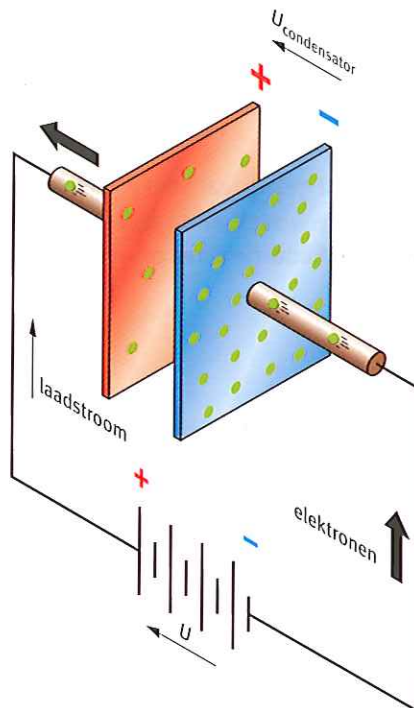


Fig. 9 Laden van de condensator

Ontladen condensator

Na een korte tijd zijn alle vrije elektronen van de ene naar de andere geleider gevloeid. De stroom stopt. De condensator is geladen. Als je nu de gelijkspanning weghaalt, dan blijft de condensator geladen. Hij kan dus een spanning leveren. Zie **figuur 10**.

De condensator heeft dus elektrische energie verzameld en opgeslagen. Nu sluit je een lampje aan op de condensator. De elektronen gaan door het lampje weer terug naar hun plaats tot beide geleiders weer evenveel vrije elektronen hebben. Door deze *ontlaadstroom* gaat het lampje branden. Na een korte tijd gaat het lampje weer uit. Zie **figuur 11**.

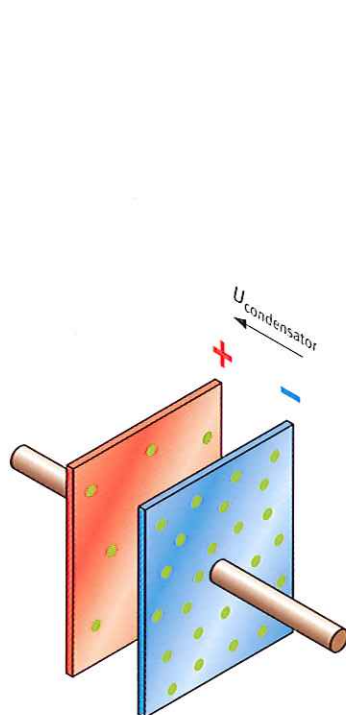


Fig. 10 Geladen condensator

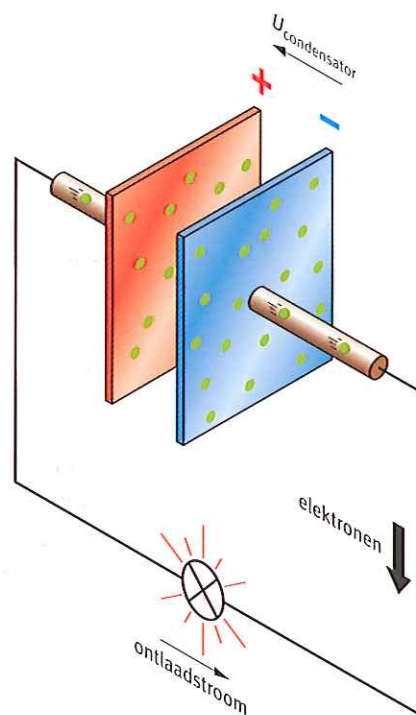


Fig. 11 Ontladen van de condensator

Capaciteit condensator

Hoe lang het lampje blijft branden, hangt af van de hoeveelheid elektrische energie die condensator heeft kunnen laden.

Je noemt dit de *capaciteit* van de condensator. Deze capaciteit C druk je uit in farad (F). Farad komt van Faraday. Faraday was een natuurkundige.

Dus $C = 3$ F wil zeggen een condensator met een capaciteit van 3 farad.

Nu is 1 farad een zeer grote capaciteit zodat je daar weinig mee zult werken. Zelfs het miljoenste deel = $0,000\ 001$ F = $1\ \mu\text{F}$ (microfarad) is nog een bruikbare capaciteit.

Er bestaan condensatoren van een paar duizend μF maar de meeste zijn nog kleiner. Daar gebruik je de eenheid nF (nanofarad) en pF (picofarad) voor.

Zo krijg je:

- $1 \text{ F} = 1\,000\,000 \mu\text{F} = 1\,000\,000\,000 \text{ nF} = 1\,000\,000\,000\,000 \text{ pF}$;
- $1 \mu\text{F} = 1\,000 \text{ nF} = 1\,000\,000 \text{ pF}$;
- $1 \text{ nF} = 1\,000 \text{ pF}$.



Leer uit je hoofd:

- het rijtje μF , nF en pF;
- nF is 1 000 keer kleiner dan μF ;
- pF is 1 000 keer kleiner dan nF;
- als de eenheid 1 000 keer kleiner wordt, wordt het getal 1 000 keer groter;
- als de eenheid 1 000 keer groter wordt, wordt het getal 1 000 keer kleiner.

In de elektrotechniek gebruik je meestal alleen de vergrotingsfactoren 1 000, 1 000 000 of hogere getallen met telkens 3 nullen erbij.

Een paar voorbeelden.

Je weet 1 meter is 1 000 mm. Waarom?

De eenheid mm is 1 000 maal kleiner dan de eenheid meter.

Het getal wordt dus 1 000 maal groter.

Dus: $65 \text{ m} = 65\,000 \text{ mm}$ (eenheid 1 000 keer kleiner, getal 1 000 keer groter).

Zo ook voor:

- $4 \mu\text{F} = 4\,000 \text{ nF}$;
- nF is 1 000 keer kleiner;
- het getal dus 1 000 keer groter.

Zo ook voor:

- $250 \text{ nF} = 0,25 \mu\text{F}$;
- μF is 1 000 keer groter;
- het getal dus 1 000 keer kleiner.

Parallelschakelen

In **figuur 12** zie je drie condensatoren parallel.

Als de capaciteit van een condensator te klein is, kun je er verscheidene parallelschakelen. De totale capaciteit wordt dan: $C_t = C_1 + C_2$ enzovoort.

Bij een parallelschakeling heb je maar één spanning.

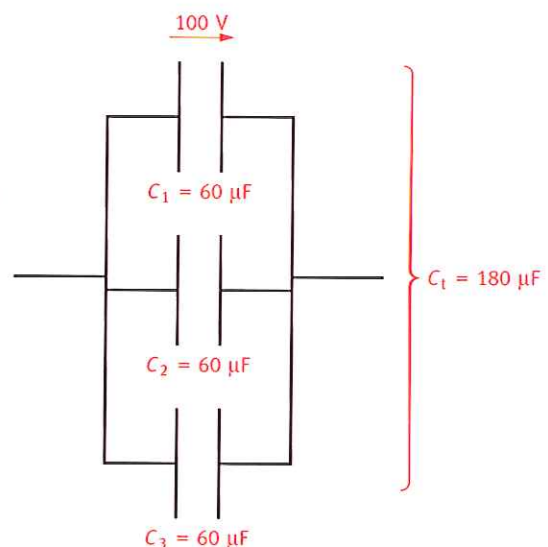


Fig. 12 Drie condensatoren 100 V/60 μF parallel

Serieschakelen

Bij serieschakelen gebeurt het tegenovergestelde.

Door condensatoren in serie te schakelen wordt de totale capaciteit steeds kleiner.

De tussenlaag van een condensator bestaat uit isolatie. Dat dunne laagje isolatie noem je het *diëlektricum*.

Als de spanning over een condensator te hoog wordt, slaat dit diëlektricum door en krijg je kortsluiting.

Naast de capaciteit is dus ook de spanning belangrijk voor een condensator.

In **figuur 13** zie je drie condensatoren in serie. Je kunt de spanning die je mag aansluiten, dus verhogen door verscheidene condensatoren in serie te schakelen.

$$U_t = U_1 + U_2 \text{ enzovoorts}$$

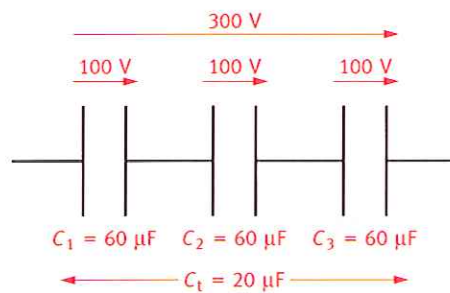


Fig. 13 Drie condensatoren
100 V/60 μF in serie

Als je 4 condensatoren 100 V/25 μF parallelschakelt, dan is:

- de maximaal aan te sluiten spanning 100 V;
- de totale capaciteit vier keer de waarde van één condensator, ofwel $4 \cdot 25 \mu\text{F} = 100 \mu\text{F}$.

Als je 4 condensatoren 100 V/25 μF in serie schakelt, dan is:

- de maximaal aan te sluiten spanning $4 \cdot 100 \text{ V} = 400 \text{ V}$;
- de capaciteit vier keer zo klein als de capaciteit van één condensator, ofwel $25 \mu\text{F}/4 = 6,25 \mu\text{F}$.

3

Ideale condensator op wisselspanning

Voortdurend laden en ontladen

Bij wisselspanning gebeurt precies hetzelfde als bij gelijkspanning. Omdat de plus en min bij wisselspanning beurtelings verwisselen, wordt de condensator telkens ontladen aan de ene kant en geladen aan de andere kant. De volgende halve periode gebeurt hetzelfde maar dan andersom. Zie **figuur 14**.

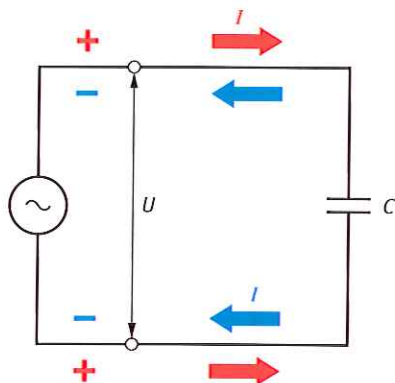


Fig. 14 Condensator op wisselspanning

In **figuur 15** zie je een wisselspanning. Hierin zie je of de spanningsverandering per tijdseenheid groot of klein is.

Bij een grote tijdsverandering heb je een grote spanning.
Bij een kleine tijdsverandering heb je een kleine spanning.

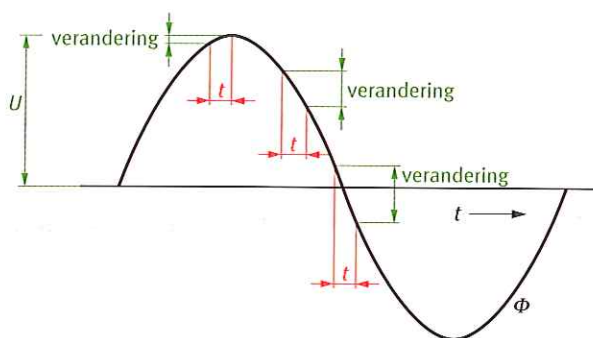


Fig. 15 Wisselspanning

Verloop stroom

In **figuur 16** kun je het verloop van de stroom zien. Je ziet dat het verloop van U en I hetzelfde is, maar ze zijn wel verschoven ten opzichte van elkaar. Deze verschuiving is precies 90° .

Als de spanning bij A door de nullijn gaat, is de stroom bij B al maximaal.

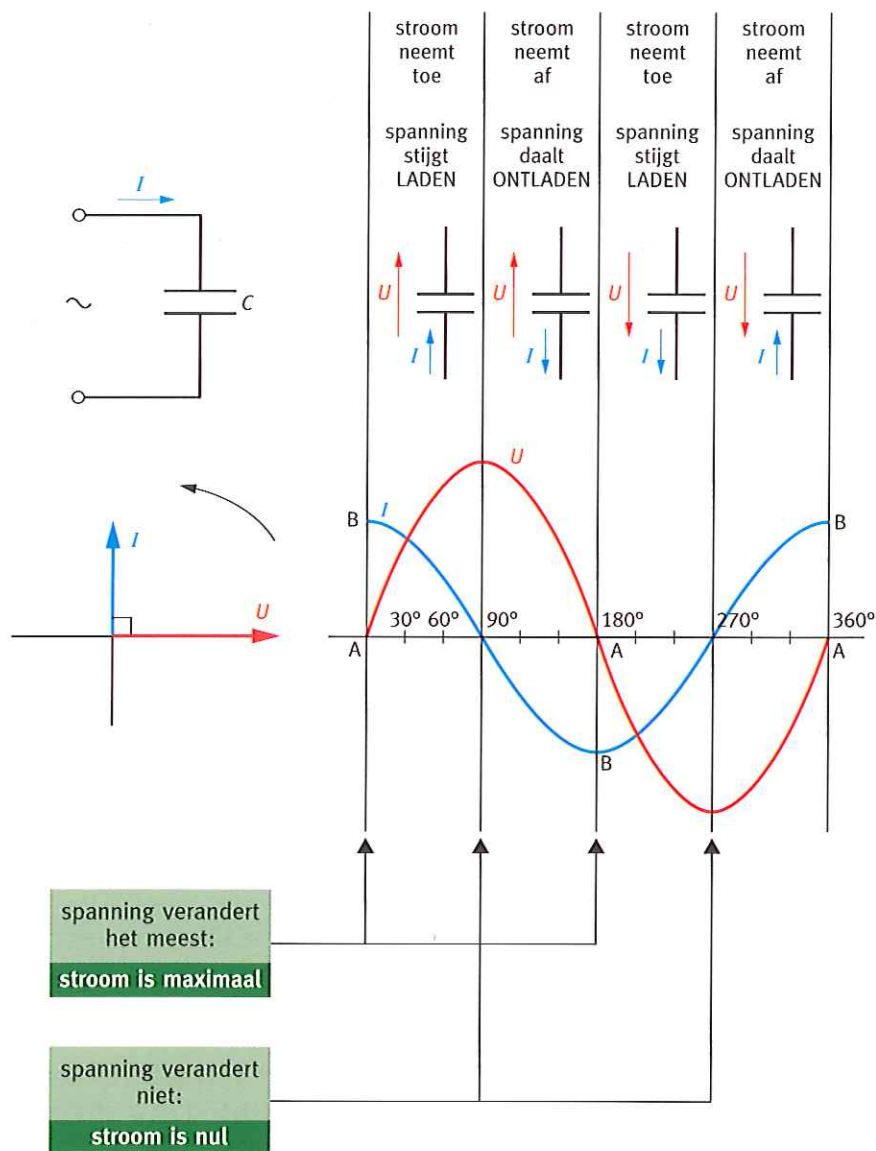


Fig. 16 Wisselspanning en wisselstroom bij een condensator

In **figuur 16** zie je ook dat als de condensator wordt geladen, de stroom aan dezelfde kant ligt als de spanning (boven of onder de nullijn). Beide hebben dus dezelfde richting.

Als de condensator wordt ontladen, ligt de stroom aan de ene kant van de nullijn en de spanning aan de andere kant. Beide hebben dus een andere richting.

Verder zie je in **figuur 16** dat als de spanning (bijna) niet verandert, dat dan de stroom nul is.

Als de spanning in **figuur 16** heel veel verandert (rondom de nullijn), is de stroom juist het grootst.

Tot slot zie je in **figuur 16** duidelijk het verschil van 90° tussen spanning en stroom.



Voor een ideale condensator geldt:

- de stroom ijlt 90° voor op de spanning of,
- de spanning ijlt 90° na op de stroom.

Vectordiagram

In **figuur 17** zie je spanning en stroom als een vector (pijl) getekend. Dit is gemakkelijker dan telkens die moeilijke sinusvormen te tekenen. Deze tekening noem je een *vectordiagram*.

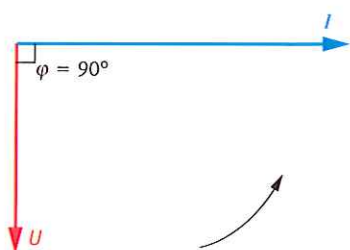


Fig. 17 Vectordiagram condensator

In dit vectordiagram kun je duidelijk zien dat de faseverschuiving 90° is. Tegen de klokrichting in ijlt de stroom 90° voor op de spanning.

Er is nog iets bijzonders met een condensator. De hoek φ is dus 90° . De $\cos \varphi$ is dan precies 0. Het werkelijk vermogen is nul watt, want:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \rightarrow P = U \times I \times 0 \rightarrow P = 0$$

Een condensator zet dus geen energie om in warmte, licht enzovoort.

Werkboek

Maak nu in je werkboek **paragraaf 2 Ideale condensator**.

Samenvatting T4

Je moet nu weten:

- dat een ideale spoel geen ohmse weerstand heeft;
- dat een ideale spoel:
 - geen vermogen opneemt ;
 - een $\cos \varphi$ van 0 heeft.
- dat een spoel bestaat uit een aantal windingen rondom een ijzeren kern;
- dat de windingen van een spoel wel altijd weerstand hebben;
- dat je de samenstelling of opbouw van een spoel aangeeft met de coëfficiënt van zelfinductie L in henry;
- dat de weerstand van een ideale spoel is: $X_L = 2 \pi \cdot f \cdot L$;
- dat bij een ideale spoel de spanning precies 90° voorijlt op de stroom;
- dat bij een ideale condensator de stroom precies 90° naijlt op de spanning;
- dat een condensator opgebouwd is uit twee geleiders met daartussen een isolatielaagje (diëlektricum);
- dat een condensator geen vermogen opneemt en een $\cos \varphi$ van 0 heeft;
- dat je condensatoren parallelschakelt om de totale capaciteit te vergroten: $C_t = C_1 + C_2$ enzovoort;
- dat je condensatoren in serie schakelt om deze op een hogere spanning te kunnen aansluiten;
- dat de capaciteit bij serieschakelen kleiner wordt;
- dat een condensator op gelijkspanning zichzelf oplaadt en de lading vasthoudt tot hij zich kan ontladen;
- dat de twee platen van een condensator op wisselspanning om en om aan worden geladen en ontladen;
- dat je de (ladings)capaciteit C van een condensator aangeeft in farad:

$$1 \text{ F} = 1\,000\,000 \mu\text{F} = 1\,000\,000\,000 \text{ nF} = 1\,000\,000\,000\,000 \text{ pF}.$$