

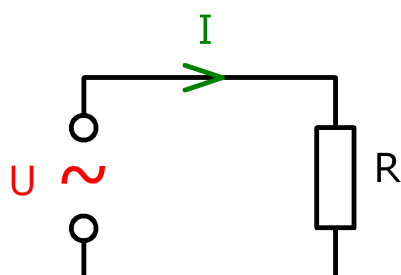
2 Wisselstroomtheorie

Enkelvoudige AC-kringen



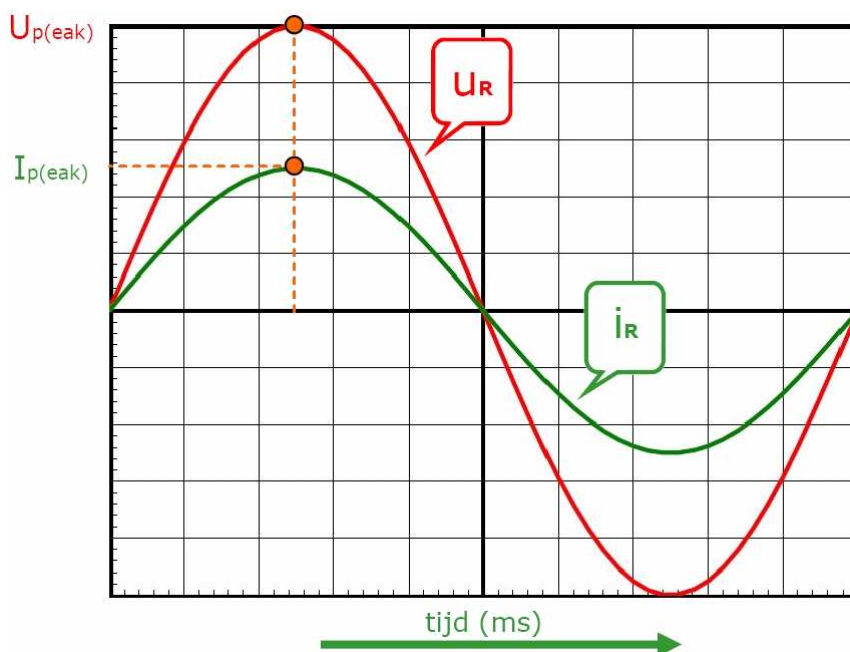
2.1 Zuiver ohmse kring

2.1.1 Schema



△ Fig.2.1 | Zuiver ohmse kring.
Tekening: W. Van Wichelen (TinyCAD)

2.1.2 Verloop van spanning en stroom



△ Fig.2.2 | Spanning en stroom in zuiver ohmse kring.
Tekening: W. Van Wichelen

Is de spanning nul, dan is de stroom ook nul. Is de spanning maximaal positief, dan is de stroom ook maximaal positief. Is de spanning maximaal negatief, dan is de stroom ook maximaal negatief. En op elk tijdstip kunnen we de stroom uitrekenen met die beroemde '**Wet van Ohm**' en de stroom volgt gewoon de spanning.

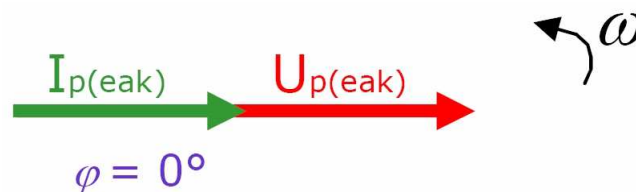
Parate kennis!

In een **zuiver ohmse** kring:

- zijn spanning en stroom in **fase**
- is de *fasehoek* tussen spanning en stroom **0°**



2.1.3 Vectordiagram



△ Fig.2.3 Vectordiagram van een zuiver ohmse kring.
Tekening: W. Van Wichelen

Parate kennis!

- In het *vectordiagramma* van een **zuiver ohmse** kring ligt de stroomvector **op** de spanningsvector.
- De *fasehoek* is **0°**.



2.1.4 Zuiver ohmse weerstand

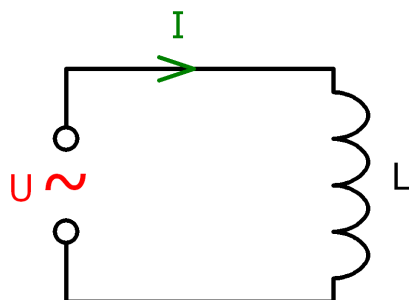
Parate kennis!

- De tegenstand die een **zuiver ohmse** weerstand biedt, is bij *gelijk-* en *wisselspanning* dezelfde.
- Voor een zuiver ohmse weerstand geldt bij aansluiting op een **AC**-spanning, de *wet van Ohm* uit de gelijkstroomtheorie.
- In de wet zijn **U** en **I** de **effectieve** waarden.



2.2 Zuiver inductieve kring

2.2.1 Schema



△ Fig.2.4 | Zuiver inductieve kring.
Tekening: W. Van Wichelen (TinyCAD)

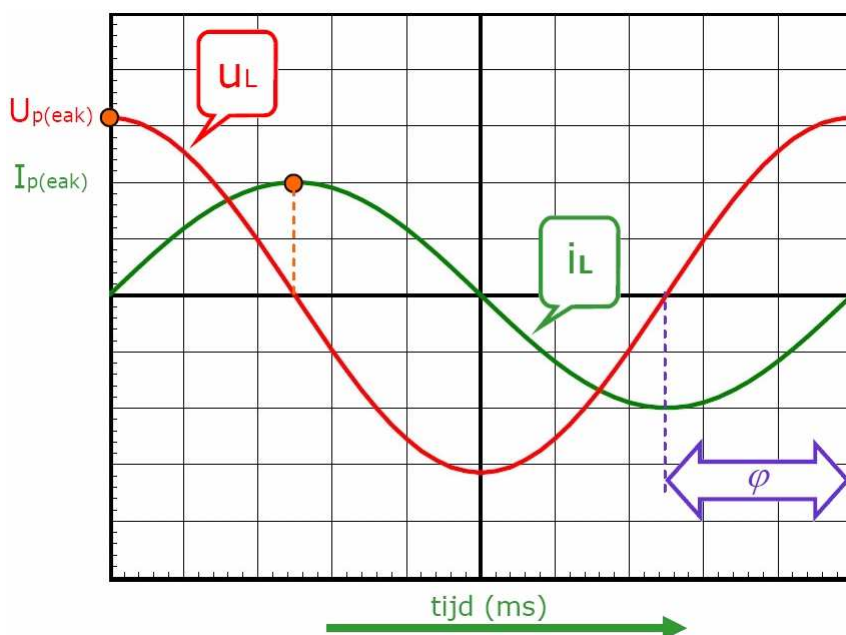
2.2.2 Ideale spoel

Definitie

- Een **zuiver inductieve** kring bestaat enkel uit een *ideale* spoel.
- Deze spoel is gewikkeld met koperdraad die *geen* ohmse weerstand bezit.
- Uiteraard bestaat deze spoel in de praktijk niet.

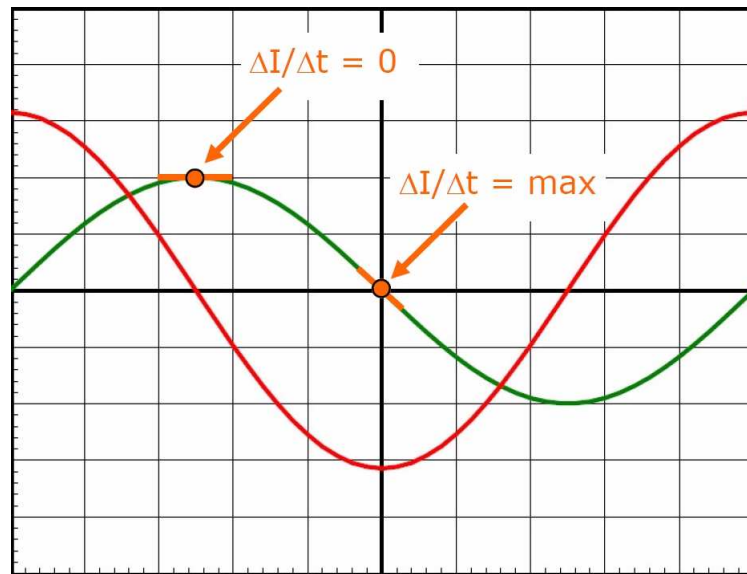


2.2.3 Verloop van spanning en stroom



△ Fig.2.5 | Spanning en stroom in inductieve kring.
Tekening: W. Van Wichelen

2.2.4 Zelfinductiespanning



△ Fig.2.6 | Stroomstijlheid.
Tekening: W. Van Wichelen

Om het gedrag van een ideale spoel die we aansluiten op een sinusspanning te verklaren doen we beroep op de 'wet van Lenz'.

$$E_L = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

- E_L : zelfinductiespanning in volt (V)
- L : zelfinductiecoëfficiënt in henry (H)
- $\Delta I/\Delta t$: stroomstijlheid in ampère per seconde (A/s)

Uit deze wet volgt:

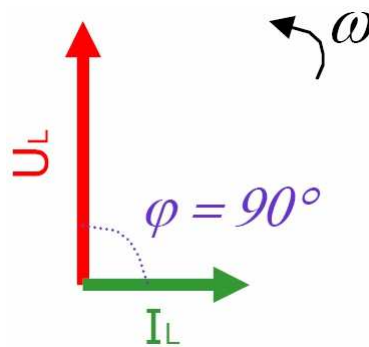
- de zelfinductiespanning is **nul** als $\Delta I/\Delta t$ nul is: bij de *maximum* positieve stroomwaarde en bij de *maximum* negatieve stroomwaarde.
- de zelfinductiespanning is **maximaal** als $\Delta I/\Delta t$ maximaal is: bij de *nuldoorgangen* van de stroom.

Om stroom door de spoel mogelijk te maken, moet op ieder ogenblik de optredende zelfinductiespanning overwonnen worden. Dit verwezenlijken we door op de spoel een spanning aan te sluiten die op ieder ogenblik gelijk maar tegengesteld van zin is aan deze zelfinductiespanning. De toegepaste bronspanning dient dus enkel om de zelfinductiespanning van de spoel te overwinnen.

Parate kennis!

In een **zuiver inductieve** kring:

- zijn spanning en stroom NIET in **fase**
- is de *fasehoek* tussen spanning en stroom **90°**
- de stroom *ijlt* **90°** **na** op de spanning
- de spanning *ijlt* **90°** **voor** op de stroom

**2.2.5 Vectordiagram**

△ Fig.2.7 | Vectordiagram van een inductieve kring.
Tekening: W. Van Wichelen

Parate kennis!

- In het *vectordiagramma* van een **zuiver inductieve** kring ijlt de stroomvector **na** op de spanningsvector.
- De *fasehoek* is **90°** .



2.2.6 Inductieve reactantie

Definitie

- De tegenstand die een ideale spoel biedt aan een sinusspanning heet de '*inductieve reactantie*' of '*inductantie*' (X_L).
- We drukken X_L uit in **ohm** (Ω).



We kunnen proefondervindelijk bewijzen dat bij een ideale spoel de inductieve reactantie X_L recht evenredig is met de zelfinductiecoëfficiënt L en met de hoeksnelheid ω :

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



- X_L : de inductieve reactantie in Ω (ohm)
- ω : de cirkelfrequentie in rad/s
- L : de zelfinductiecoëfficiënt in H (henry)
- f : de frequentie in Hz (hertz)

2.2.7 Frequentie-afhankelijk gedrag

Parate kennis!

Een ideale spoel biedt aan een sinusstroom:

- een *kleine* reactantie X_L bij een *lage* frequentie;
- een *grote* reactantie X_L bij een *grote* frequentie.



2.2.8 Complexe j-operator

Met behulp van '*complex rekenen*' is het mogelijk AC-berekeningen op een eenvoudige en elegante wijze uit te voeren. Het werd in 1893 in de elektrotechniek ingevoerd door Charles Proteus Steinmetz. Het grote voordeel is dat we met vectorgrootheden in complexe uitdrukking, eenvoudig algebraïsch kunnen rekenen. Dit is te danken aan het feit dat de fase is geïntegreerd.

In het complexe vlak is 'j' een mathematische operator die duidt op een verdraaiing over 90° t.o.v. de reële as in de positieve zin. Als we een component over $+90^\circ$ verdraaien t.o.v. de reële as, dan duiden we dit aan met +j. Een verdraaiing over $2 \times 90^\circ$ (180°) stemt overeen met twee opeenvolgende verdraaiingen, telkens over 90° , en resulteert in j^2 . Als we een vectorgrootheid over 180° verdraaien in de positieve zin, dan komt deze vector terecht op de negatieve zijde van de reële as en dus volgt hieruit:

$$j^2 = -1$$



Parate kennis!

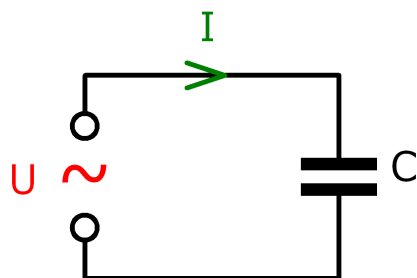
Complexe notatie voor inductieve reactantie X_L :

$$X_L = j \cdot \omega \cdot L$$



2.3 Zuiver capacatieve kring

2.3.1 Schema



△ Fig.2.8 | Zuiver capacatieve kring.
Tekening: W. Van Wichelen

2.3.2 Ideale condensator

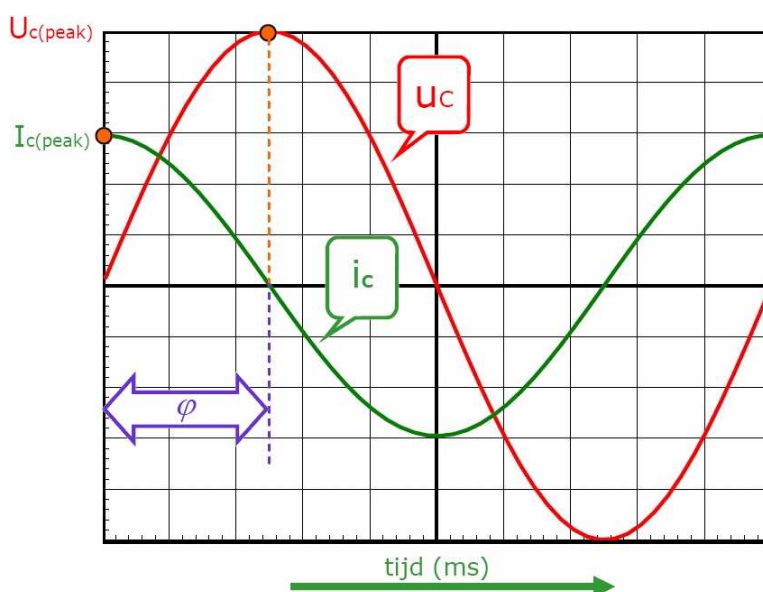
Parate kennis!

Een **ideale condensator**:

- bestaat uit perfect elektrisch geïsoleerde platen.
- heeft toevoerdraden zonder weerstand.
- bestaat in de praktijk niet.



2.3.3 Verloop van spanning en stroom



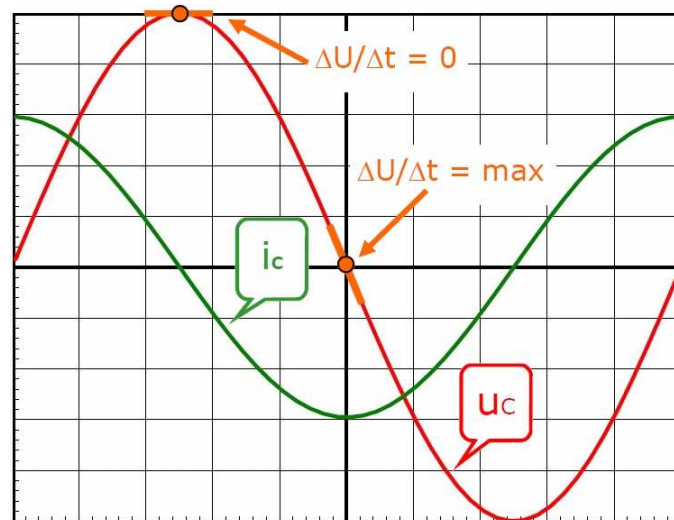
△ Fig.2.9 | Spanning en stroom in een capacatieve kring.
Tekening: W. Van Wichelen

2.3.4 Laadstroom

Op DC-regime vloeit er alleen stroom als de spanning over de condensator **verandert**. Bij wisselspanning verandert de waarde van de spanning voortdurend, zodat er steeds een stroom zal vloeien in de condensatorkring. Wanneer de klemspanning toeneemt, laadt de condensator op en wanneer de klemspanning afneemt ontladst hij. Om het gedrag van een ideale condensator, aangesloten op een sinusspanning, te verklaren doen we beroep op volgende wetmatigheid:

$$i_C = C \cdot \frac{\Delta U_C}{\Delta t}$$

- i_C : laadstroom in ampère (A)
- C : capaciteit in farad (F)
- $\Delta U_C / \Delta t$: spanningsstijlheid in volt per seconde (V/s)



△ Fig.2.10 | Spanningsstijlheid.
Tekening: W. Van Wichelen

De ogenblikkelijke stroom doorheen een ideale condensator is op ieder ogenblik afhankelijk van:

- de capaciteit C ;
- de spanningsstijlheid $\Delta U_C / \Delta t$.

De laadstroom is maximaal wanneer de klemspanning het felst toeneemt of afneemt. Dit effect zien we bij elke nuldoorgang van de klemspanning. Elke periode laadt de condensator tweemaal op en ontlaaft hij tweemaal. Hierdoor vloeit er in de toevoerdraden continu een sinusvormige laadstroom en ontlaadstroom.

Opmerking

Ondanks de geïsoleerde opstelling van de platen gedraagt een condensator zich alsof hij wisselstroom doorlaat!



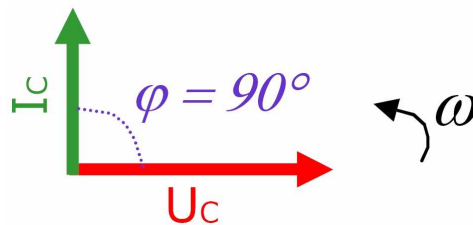
Parate kennis!

In een **zuiver capacitieve** kring:

- zijn spanning en stroom NIET in **fase**
- is de *fasehoek* tussen spanning en stroom **90°**
- de stroom *ijlt* **90°** **voor** op de spanning
- de spanning *ijlt* **90°** **na** op de stroom



2.3.5 Vectordiagram



△ Fig.2.11 | Vectordiagram van een capacitieve kring.
Tekening: W. Van Wichelen

Parate kennis!

- In het *vectordiagramma* van een **zuiver capacitieve** kring ijlt de stroomvector **voor** op de spanningsvector.
- De *fasehoek* is **90°** .



2.3.6 Capacitieve reactantie

Definitie

- De tegenstand die een ideale condensator biedt aan een sinusspanning heet de '*capacitieve reactantie*' of '*capacitantie*' (X_C).
- We drukken X_C uit in **ohm** (Ω).



We kunnen proefondervindelijk vaststellen dat X_C omgekeerd evenredig is met de toegepaste frequentie en omgekeerd evenredig is met zijn capaciteit:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$



- X_C : capacitieve reactantie in Ω (ohm)
- ω : cirkelfrequentie in rad/s
- C : capaciteit in F (farad)
- f : frequentie in Hz (hertz)

2.3.7 Frequentie-afhankelijk gedrag

Parate kennis!

Een **ideale** condensator biedt:

- bij $f = 0$ Hz (gelijkspanning) een capacitieve reactantie die oneindig groot is;
- een *grote* reactantie bij *lage* frequenties;
- een *kleine* reactantie (nagenoeg een kortsluiting) bij zeer *hoge* frequenties.



Opmerking

Het frequentie-afhankelijk gedrag van een ideale condensator is *tegengesteld* aan het frequentie-afhankelijk gedrag van een ideale spoel.



2.3.8 Complexe notatie

$$X_C = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}$$



2.4 Oefeningen

2.4.1 Reeks 1

1. Op een wisselspanning met amplitude **100 V** is een ohmse weerstand van **100 Ω** aangesloten. Stel de *spanning* en de *stroom* grafisch voor met vectoren en sinus-lijnen. Schaal: 50 V $\equiv$ 10 mm en 1 A $\equiv$ 10 mm.
2. Een spoel heeft een zelfinductiecoëfficiënt van **1 mH**. Bereken de *inductieve reactantie* bij **30 Hz** en bij **500 kHz**.
3. Een theoretische spoel biedt bij een frequentie van **100 Hz** een inductantie van **219,8 Ω** . Bereken de *zelfinductiecoëfficiënt*.
4. Een ideale spoel biedt bij aansluiting op **230 V - 50 Hz** een reactantie van **115 Ω** . Bereken de *stroom* in de keten en de *zelfinductiecoëfficiënt*.
5. Bij welke *frequentie* heeft een spoel met $L = 100 \text{ mH}$ een inductantie van **6280 Ω** ?
6. Een ideale condensator heeft bij aansluiting op **250 V - 50 Hz** een capacitieve reactantie van **500 Ω** . Bereken de *stroom*.
7. In een zuiver capacitieve kring is de stroom **0,25 A**. De capacitieve reactantie is **500 Ω** . Bereken de *effectieve waarde* van de aangesloten *wisselspanning*.
8. Een ideale condensator is aangesloten op **200 V - 50 Hz**. De stroom in de kring is 50 mA. Bereken de *capacitieve reactantie*.
9. Op een zuiver capacitieve kring sluiten we een spanning aan van **200 V - 50 Hz**. De stroom is **6,28 A**. Bereken de *capaciteit*.
10. Een theoretische condensator van **50 μF** sluiten we aan op **100 V**. De stroom in de kring is **3,14 A**. Bereken de *frequentie* van de bron.

2.4.2 Reeks 2

1. Een spoel met verwaarloosbare weerstand en zelfinductiecoëfficiënt $L = 0,1$ henry wordt aangesloten op **230 V - 50 Hz**. Bereken via complexe rekenkunde de *stroom* en teken het vectordiagramma.
2. Een ideale condensator met capaciteit **50 μF** wordt aangesloten op een wisselspanning van **8 V - 50 Hz**. Bereken via complexe rekenkunde de *stroom* in de kring en teken het vectordiagram.