

ELE20: Basis Elektro - Week 5

Hogeschool Rotterdam - Opleiding Elektrotechniek

1. De condensator
2. De spoel
3. Proeftoets theorie

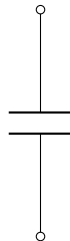
De condensator

Capaciteit:

- Grootheid C , eenheid Farad in Coulomb per Volt, C/V
- Geeft aan hoeveel lading (Coulomb) een condensator kan opslaan per Volt spanning

$$Q = C \cdot V$$

Een condensator van 10 F kan dus 10 C opslaan per V. Let op, de condensatorwaarde C is in Farad en de lading q in Coulomb.

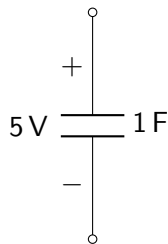


Werking condensator

Stel de condensator is volledig opgeladen met 5 V. Het heeft dan 5 C aan lading.

- De spanning heeft elektronen naar de onderste plaat van de condensator geduwd.
- De bovenste plaat zal dan positief zijn geladen.

De lading van een elektron is -1.6×10^{-19} C. Hoeveel elektronen hebben zich opgehoopt bij deze condensator?



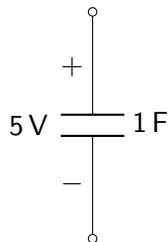
Werking condensator

Stel de condensator is volledig opgeladen met 5 V. Het heeft dan 5 C aan lading.

- De spanning heeft elektronen naar de onderste plaat van de condensator geduwd.
- De bovenste plaat zal dan positief zijn geladen.

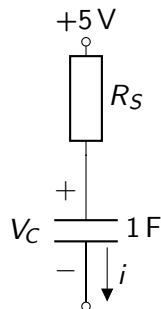
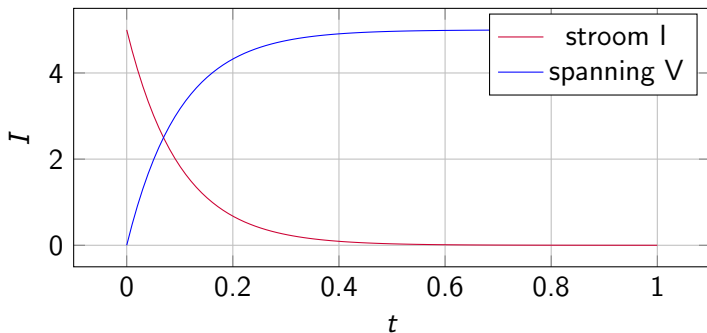
De lading van een elektron is -1.6×10^{-19} C. Hoeveel elektronen hebben zich opgehoopt bij deze condensator?

$$\frac{5}{1.6 \times 10^{-19}} = 3,121 \times 10^{+19}$$



Condensator opladen

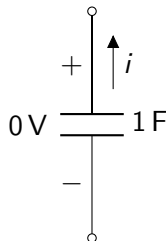
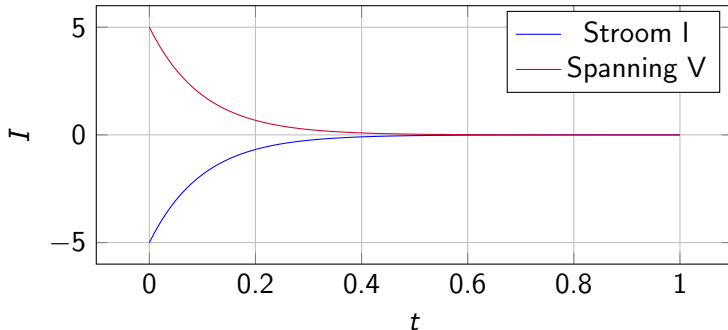
Tijdens het opladen loopt er een (elektronen)stroom totdat de volledige capaciteit is benut. De stroom neemt dus af naarmate de condensator dichterbij zijn capaciteit is opgeladen. De oplaadtijd is afhankelijk van de serie-weerstand.



$$I(t) = \frac{+5V}{R_S} e^{\left(\frac{-t}{R_S \cdot C}\right)}$$

Condensator ontladen

Tijdens het ontladen loopt er een (elektronen)stroom totdat de lading 0 is. De stroom neemt dus af naarmate de condensator leegraakt. De ontlaadtijd is afhankelijk van de serie-weerstand.

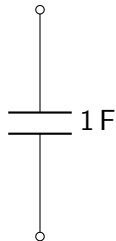


$$I(t) = -\frac{V}{R_S} e^{\left(\frac{-t}{R_S \cdot C}\right)}$$

Condensator ontladen

In *steady state* is de stroom $I = 0$, zolang er wordt op- of ontladen is de stroom niet 0.

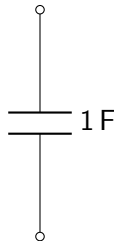
- Is de weerstand van een condensator hoog of laag voor DC spanning?



Condensator ontladen

In *steady state* is de stroom $I = 0$, zolang er wordt op- of ontladen is de stroom niet 0.

- Is de weerstand van een condensator hoog of laag voor DC spanning?
- Is de weerstand van een condensator hoog of laag voor AC spanning?



Spanningsverandering

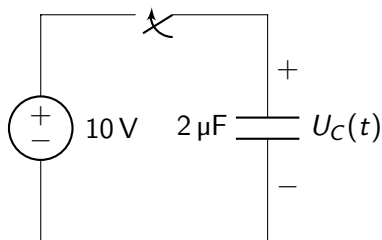
De eenheid van lading Q is C. 1 A is dan gelijk aan 1 C/s.

De hoeveelheid lading die een punt passeert in 1 seconde, geeft de stroom in A.

$$Q(t) = C \cdot U_C(t)$$

$$\frac{d}{dt}Q(t) = I(t)$$

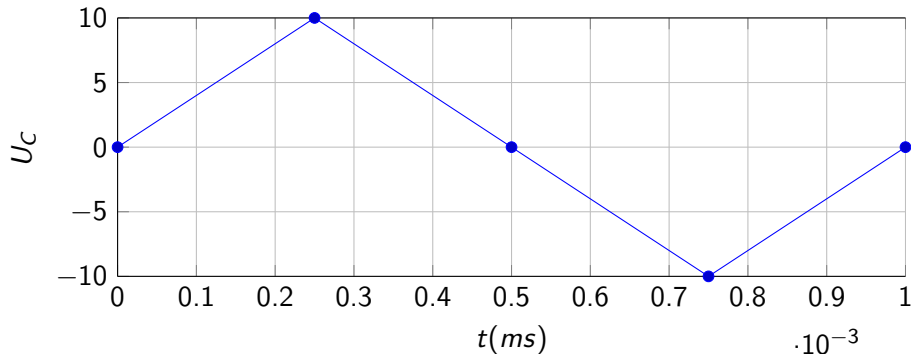
$$I(t) = C \frac{d}{dt}U_C(t)$$



Vraag: Wat zou gebeuren als de spanning over een condensator plotseling verandert door een schakelaar?

Voorbeeld

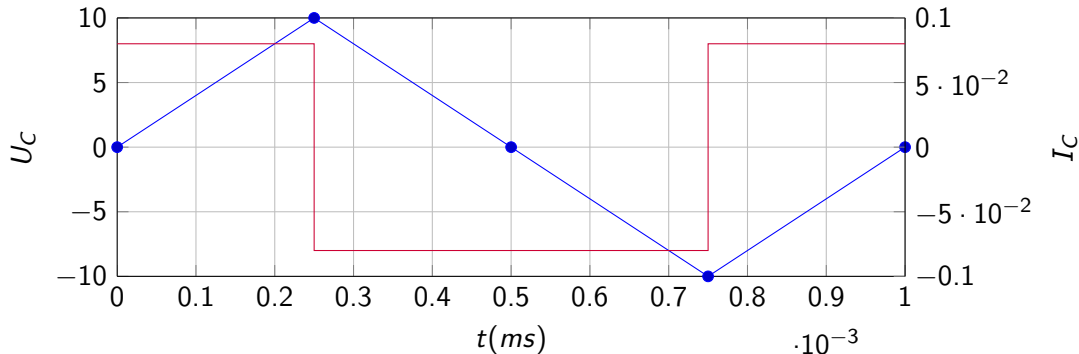
Bepaal de grootte en vorm van de stroom $I(t)$ door de condensator bij de gegeven spanning



Figuur 1: Spanning V_C als functie van de tijd

Voorbeeld

Bepaal de grootte en vorm van de stroom $I(t)$ door de condensator bij de gegeven spanning



Figuur 1: Spanning V_C als functie van de tijd

Opgeslagen energie

$$P(t) = V_c(t)I_c(t)$$

$$P(t) = V_c(t)C \frac{d}{dt}V_c(t)$$

$$P(t) = CV_c(t) \frac{d}{dt}V_c(t)$$

$$\Rightarrow E(t) = \int P(t)dt$$

$$E(t) = C \int V_c \frac{dV_c}{dt} \cdot dt$$

$$E(t) = \frac{1}{2}CV_c(t)^2$$

- Dus een condensator van $1 \mu\text{F}$ bij een spanning van 5 V heeft een energie van $12.5 \mu\text{J}$.
- De energie is opgeslagen en kan worden teruggegeven, maar wordt niet gebruikt!

Condensatoren parallel

Wat is de totale capaciteit?

$$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3$$

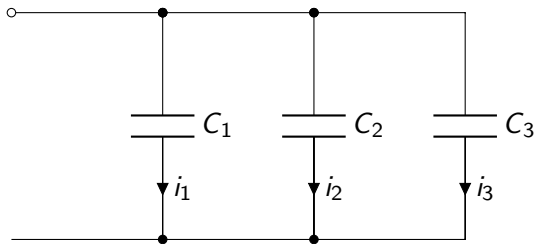
$$I_{tot} = C_1 \frac{d}{dt} V + C_2 \frac{d}{dt} V + C_3 \frac{d}{dt} V$$

$$I_{tot} = \frac{d}{dt} V [C_1 + C_2 + C_3]$$

$$I_{tot} = C_{eq} \frac{d}{dt} V$$

Met $C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3$.

Intuïtie: Totale oppervlak van de platen neemt toe, dus ook de capaciteit.



Condensatoren in serie

Wat is de totale capaciteit?

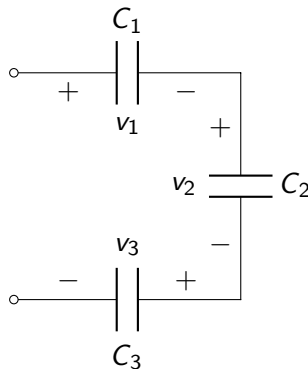
$$V_{tot} = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_{tot} = \frac{1}{C_1} \int I + \frac{1}{C_2} \int I + \frac{1}{C_3} \int I$$

$$V_{tot} = \int I \left[\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right]$$

$$\Rightarrow \frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$C_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$



Intuïtie: Totale afstand tussen de platen neemt toe, dus capaciteit neemt af.

Rekenen met condensatoren

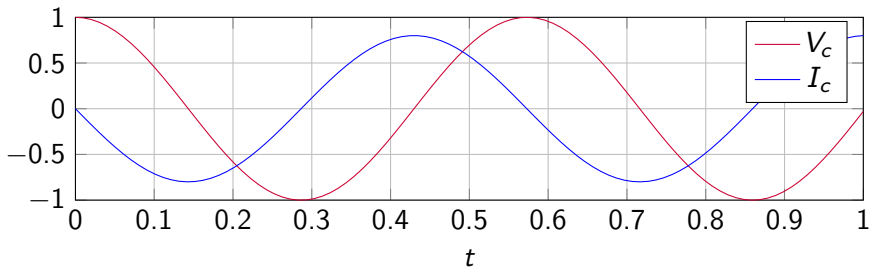
- In een condensator $I_c = C \frac{d}{dt} V_c(t)$
- Stel $V_c(t) = e^{j\omega t} = \cos(\omega t) + j \sin(\omega t)$
- Dan is $I_c(t) = Cj\omega e^{j\omega t}$
- Impedantie is $\frac{V_c}{I_c} = Z_c = \frac{e^{j\omega t}}{j\omega C e^{j\omega t}} = \frac{1}{j\omega C}$

$$Z_c = \frac{1}{j\omega C}$$

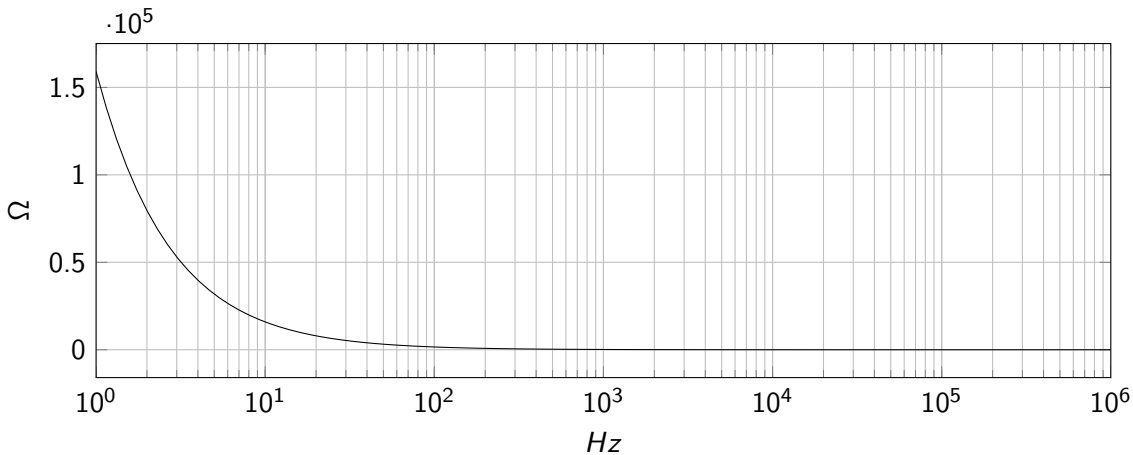
$$|Z_c| = \frac{|1|}{|j\omega C|} = \frac{1}{\omega C}$$

$$\angle Z_c = \angle 1 - \angle j\omega C = -90^\circ$$

Stroom loopt 90° voor op de spanning!



Impedantie van een condensator



Figuur 2: Impedantie van $C = 1 \mu\text{F}$ over de frequentie

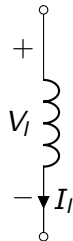
Inductie:

- Geeft aan hoe goed het een magnetisch veld kan opbouwen
- Heeft de eenheid Henry = Wb/A.
- Weber (Wb) is de eenheid van magnetische flux ϕ

$$\phi = LI_I$$

$$\frac{d}{dt}\phi(t) = V_I(t)$$

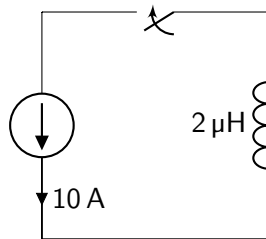
$$V_I(t) = L \frac{d}{dt}I_I(t)$$



Een spoel van 10 H genereert 10 Wb aan magnetische flux per ampere.

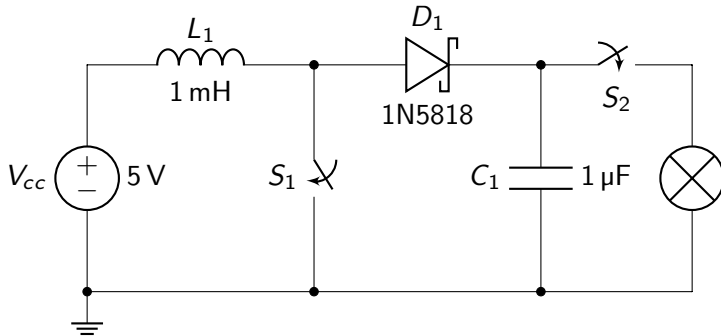
Stroomverandering

$$\begin{aligned}\phi(t) &= LI_I(t) \\ \frac{d}{dt}\phi(t) &= -V_I(t) \\ V_I(t) &= -L \frac{d}{dt}I_I(t)\end{aligned}$$



Vraag: Wat zou er gebeuren als de stroom door een spoel plotseling verandert door een schakelaar?

Toepassing



De hoge spanning die ontstaat door de plotselinge verandering in stroom kan gebruikt worden om een veel hogere spanning te generen dan beschikbaar is! Bijvoorbeeld de schakeling van een flitser.

Opgeslagen energie

$$P(t) = I_I(t)V_I(t)$$

$$P(t) = I_I(t)L \frac{d}{dt} I_I(t)$$

$$P(t) = LI_I(t) \frac{d}{dt} I_I(t)$$

$$\Rightarrow E(t) = \int P(t) dt$$

$$E(t) = L \int I_I \frac{dI_I}{dt} \cdot dt$$

$$E(t) = \frac{1}{2} L I_I(t)^2$$

- Dus een spoel van $1 \mu\text{H}$ bij een stroom van 5 A heeft een energie van $12.5 \mu\text{J}$.
- De energie is opgeslagen in een magnetisch veld en kan worden teruggegeven, maar wordt niet gebruikt!

Spoelen parallel

Wat is de totale inductie?

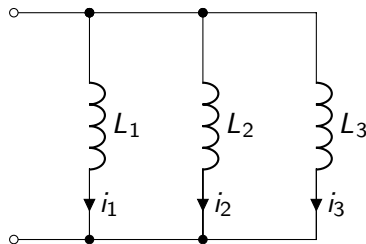
$$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I_{tot} = \frac{1}{L_1} \int v(t) dt + \frac{1}{L_2} \int v(t) dt + \frac{1}{L_3} \int v(t) dt$$

$$I_{tot} = \int v(t) dt \cdot \left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} \right)$$

$$I_{tot} = \frac{1}{L_{eq}} \int v(t) dt$$

$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$



Spoelen in serie

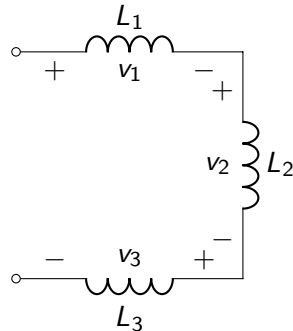
Wat is de totale inductiviteit?

$$V_{tot} = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_{tot} = L_1 \cdot \frac{dI}{dt} + L_2 \cdot \frac{dI}{dt} + L_3 \cdot \frac{dI}{dt}$$

$$V_{tot} = (L_1 + L_2 + L_3) \cdot \frac{dI}{dt}$$

$$\Rightarrow L_{eq} = L_1 + L_2 + L_3$$



Intuïtie: Totale aantal wikkelingen neemt toe dus inductiviteit wordt groter.

Rekenen met spoelen

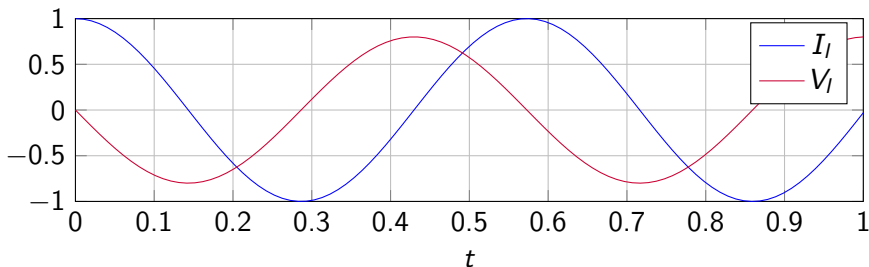
- In een spoel $V_I = L \frac{d}{dt} I_I(t)$
- Stel $I_I(t) = e^{j\omega t} = \cos(\omega t) + j \sin(\omega t)$
- Dan is $V_I(t) = Lj\omega e^{j\omega t}$
- Impedantie is $\frac{V_I}{I_I} = Z_L = \frac{j\omega L \cdot e^{j\omega t}}{e^{j\omega t}} = j\omega L$

$$Z_L = j\omega L$$

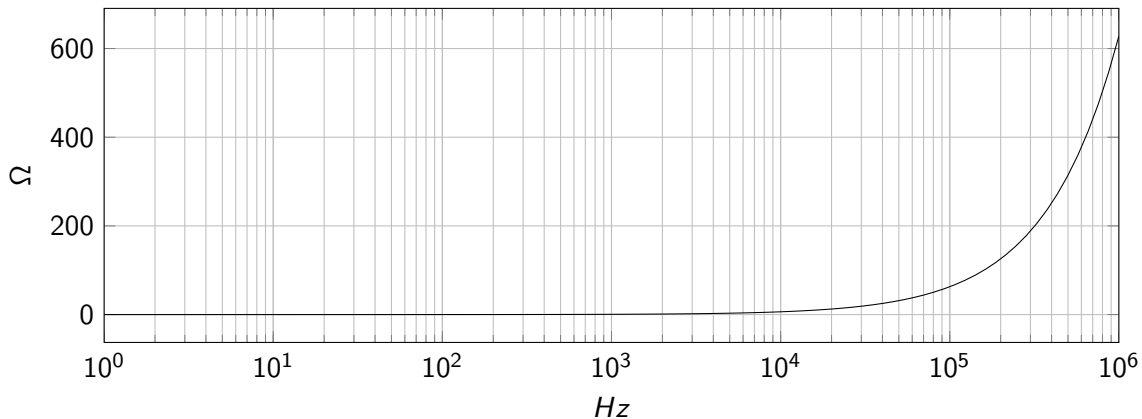
$$|Z_L| = |j\omega L| = \omega L$$

$$\angle Z_L = \angle j\omega L = +90^\circ$$

Stroom loopt 90° achter op de spanning!



Weerstand van een spoel



Figuur 3: Impedantie van 100 μ H spoel over frequentie

Huiswerk

- Hambley H3 opgaven P3.7, P3.10 (globaal, schetsen), 3.11, 3.23, 3.24, 3.25, 3.31, 3.45, 3.52, 3.47, 3.54, 3.62 en 3.63
- Voorbereiden op de theorie proeftoets