



# Inhoudsopgave

---

4	Condensatoren en spoelen .....	2
4.1	Overzicht van dit hoofdstuk .....	2
4.2	Elektrische en magnetische velden .....	2
4.2.1	Elektrische velden .....	2
4.2.2	Magnetische velden .....	3
4.3	Condensatoren .....	4
4.3.1	Opbouw en schemasymbool .....	4
4.3.2	Een condensator opladen uit een spannings- of stroombron .....	4
4.3.3	De eenheid van capaciteit .....	5
4.3.4	Waarvan hangt de capaciteit van een condensator af? .....	5
4.3.5	Doorslagspanning .....	5
4.3.6	Uitvoeringen van condensatoren .....	5
4.4	Spoelen .....	6
4.4.1	Schemasymbool .....	6
4.4.2	Inductie en zelfinductie .....	6
4.4.3	Het op gang komen en eindigen van een stroom in een zelfinductie .....	7
4.4.4	Wat bepaalt de zelfinductie van een spoel? .....	8
4.5	Condensatoren of spoelen samen met weerstanden; tijdconstante .....	9
4.6	Parallel- en serieschakeling van condensatoren en spoelen .....	10
4.6.1	Verschil tussen parallel- en serieschakeling .....	10
4.6.2	Parallelschakeling van condensatoren .....	10
4.6.3	Serieschakeling van condensatoren .....	10
4.6.4	Parallelschakeling van spoelen .....	11
4.6.5	Serieschakeling van spoelen .....	11
4.6.6	Samenvattend overzicht .....	12



## 4 Condensatoren en spoelen

### 4.1 Overzicht van dit hoofdstuk

Je maakt kennis met twee veelgebruikte componenten (onderdelen) die elektrische energie tijdelijk kunnen opslaan. Dat zijn condensatoren die dat doen in een elektrisch veld en spoelen die iets soortgelijks doen in een magnetisch veld. We beginnen daarom met elektrische en magnetische velden. Daarna volgen condensatoren en spoelen, wat er in een schakeling gebeurt als ze elektrische energie ‘stallen’ in een elektrisch, respectievelijk magnetisch veld en als die velden terug worden omgezet naar elektrische energie. Vervolgens komen combinaties met weerstanden aan de beurt. Daarbij gaat het om het opbouwen en uitdoven van spanningen en stromen. We sluiten af met het bepalen van vervangende waarden voor parallel en in serie geschakelde condensatoren en spoelen.

### 4.2 Elektrische en magnetische velden

#### 4.2.1 Elektrische velden

Een elektrisch veld is het krachtveld tussen elektrische ladingen. Ladingen kunnen positief of negatief zijn. Positieve lading betekent minder elektronen dan protonen, negatieve lading meer elektronen dan protonen.

Tegengestelde ladingen trekken elkaar aan, gelijksoortige ladingen stoten elkaar af. De kracht van afstoting is dezelfde bij twee even grote positieve of negatieve ladingen en gelijke onderlinge afstand dezelfde. Bij punt- of bolvormige ladingen is de kracht in alle richtingen even groot en omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand: afstand  $2x$  zo groot, kracht  $4x$  zo klein. Voor de aantrekkingskracht tussen tegengestelde ladingen geldt dat ook. Lading heeft symbool  $Q$ ; de eenheid is de coulomb, symbool C.

Een elektrisch veld bevat energie. Door elkaar onderling afstotende ladingen te verbinden, bijvoorbeeld via een weerstand, loopt er even een stroom. Daarna is het ladingsverschil en is de weerstand iets warmer geworden. Dat bewijst dat het om energie gaat.

De afstotings- of aantrekkingskracht in een elektrisch veld is evenredig met de elektrische veldsterkte  $\vec{E}$ . De pijl geeft aan dat  $\vec{E}$  een *vectorgrootte* is. Een vectorgrootte heeft naast een grootte ook een richting. De eenheid is  $\text{Vm}^{-1}$ , *volt per meter* dus. Bij een potentiaalverschil  $U$  over een klein afstandje  $d$  geldt:

$$\vec{E} = \frac{U}{d} \quad (4.2-1)$$

In de praktijk wordt de pijl vaak achterwege gelaten, vooral als de richting van het veld toch wel duidelijk of niet van belang is. Een elektrisch veld heeft *veldlijnen*, de route die een puntlading zou volgen van of naar een lading die het veld veroorzaakt. Veldlijnen zijn daarom eigenlijk stroomlijnen. Het aantal veldlijnen in een elektrisch veld is oneindig.



Soms moeten elektrische velden worden afgeschermd, bijvoorbeeld als een deel van een schakeling een ander deel niet via het veld mag beïnvloeden. Afscherming wordt bereikt door tussen de delen die elkaar niet mogen 'zien', een elektrisch geleidend scherm te plaatsen en dat met een vaste spanning als *aarde* of *massa* te verbinden. Dat scherm kan een plaatje metaal tussen beide delen zijn. Het deel dat niet mag storen of worden gestoord, kan ook in zijn geheel worden *ingeblikt*, zoals dat vaak wordt genoemd.

#### 4.2.2 Magnetische velden

Een magnetisch veld is de invloedssfeer van een magneet. In theorie is dat veld oneindig groot. Magneten kunnen permanent of tijdelijk zijn. Permanente magneten zijn altijd magnetisch; tijdelijke magneten hebben daar een elektrische stroom voor nodig.

Een magnetisch en een elektrisch veld verschillen niet van vorm. Bij een magnetisch veld hebben we het niet over *positief* en *negatief* maar over *noord* en *zuid*. Een magneet heeft polen, Gelijke polen stoten elkaar af en ongelijke polen elkaar aan. Het filmpje over [aantrekken en afstoten](#) laat het zien. Met de kracht van aantrekking en afstoting gaat het net als in een elektrisch veld: afstand 2x zo groot, kracht 4x zo klein.

Een magnetisch veld kan worden gebundeld door materiaal dat het veld goed geleidt. Zulk materiaal heeft een hoge *magnetische permeabiliteit*. Voorbeelden zijn ijzer, nikkel, ferriet of een permeabel mineraal (bv. magnetiet). Het filmpje over [magnetische permeabiliteit](#) laat het verschijnsel zien.

Een magnetisch veld heeft net als een elektrisch veld veldlijnen en op elke plaats een sterkte (*veldsterkte*) en een richting. Een kompasnaald neemt de richting aan van de veldlijn ter plaatse. De vorm van een magnetisch veld is in het [filmpje daarover](#) te zien.

Een stroomvoerende geleider heeft een magnetisch veld rondom zich. Dit geeft aan dat zo'n veld verband houdt met stroom. Een elektrisch veld houdt verband met spanning.

De veldlijnen van het magnetisch veld van een stroomvoerende draad liggen als cirkels rond de draad. Keert de stroom om, dan keert ook het veld om. Dat is te zien in het [filmpje](#) over de omkering van stroom en het bijbehorende magnetische veld.

Een sterker magnetisch veld dan met een draad bij dezelfde stroomsterkte maak je met een spoel. Een spoel is eigenlijk een herhaling van steeds dezelfde draad. Een spoel rondom een magnetisch permeabel materiaal maakt een nog sterker magnetisch veld. Dat is te zien in het filmpje over [elektromagnetisme](#).

Magnetische veldsterkte heeft net als elektrische veldsterkte een richting en een grootte. Het is dus ook een vectorgrootte. Het gebruikelijke symbool voor magnetische veldsterkte is  $\vec{H}$ . Ook hier laten we in de praktijk de pijl vaak weg, dus  $H$ . De eenheid is A/m, ampère per meter. Dat geeft aan dat een magnetisch veld samenhangt met stroom.

Afscherming van magnetische velden wordt toegepast om dezelfde reden als afscherming van elektrische velden. Het gaat op een vergelijkbare manier, maar een goede elektrische

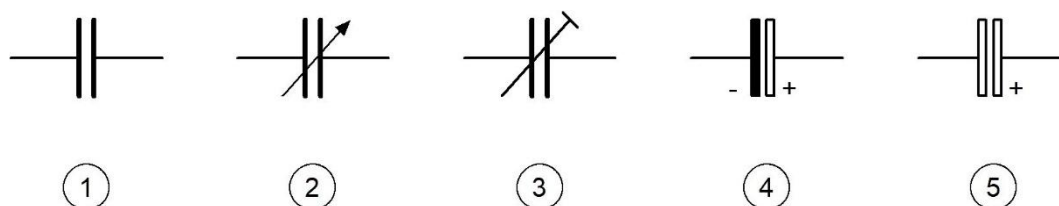
afscherming is niet automatisch ook een goede magnetische afscherming. Voor een magnetische afscherming is materiaal met een hoge magnetische permeabiliteit nodig. Daarvoor bestaan speciale metaallegeringen (mengsels) die bekend staan onder de naam *mu-metaal*. Meer informatie vind je op <https://nl.wikipedia.org/wiki/Mu-metaal>. Mu-metaal is ook elektrisch geleidend en schernt dus ook elektrische velden redelijk af.

Ferrieten zijn in principe ook bruikbaar voor magnetische afscherming. Ze zijn niet elektrisch geleidend en schermen elektrische velden dus niet af.

## 4.3 Condensatoren

### 4.3.1 Opbouw en schemasymbool

Een condensator slaat energie op in een elektrisch veld. Dat veld zit tussen twee platen. Tussen die platen zit een isolator, het diëlektricum. De opbouw zien we terug in de verschillende schemasymbolen voor condensatoren (Figuur 4.3-1).



Figuur 4.3-1. Schemasymbolen voor condensatoren. 1: vaste condensator; 2: variabele condensator; 3: instelbare condensator (trimcondensator of trimmer) 4: elektrolytische condensator (elco), oud symbol; 5: elektrolytische condensator (elco), modern symbol.

De elektrolytische condensator heeft een + en een – aansluiting. Het diëlektricum ontstaat uit een elektrochemische reactie. Verkeerd om aansluiten vernielt het.

Het elektrische veld blijft in stand zolang er een spanning  $U$  tussen de platen is. De richting van het veld is loodrecht op de platen. Als de afstand tussen de platen  $d$  is, geldt voor de elektrische veldsterkte  $E$  (zonder pijl boven de  $E$ , want de richting is overal gelijk)

$$E = \frac{U}{d} \quad (4.3-1)$$

### 4.3.2 Een condensator opladen uit een spannings- of stroombron

Als een ongeladen condensator met een stroomsterkte  $I$  wordt opgeladen uit een stroombron, loopt de lading  $Q$  evenredig op met de oplaadtijd  $t$ . Er geldt:

$$Q = It \quad (4.3-2)$$

De spanning  $U$  is evenredig met de lading  $Q$  en omgekeerd evenredig met de capaciteit  $C$ :

$$U = \frac{Q}{C} \quad \text{wat hetzelfde is als} \quad Q = UC \quad (4.3-3)$$



Een condensator die wordt opgeladen uit een spanningsbron neemt letterlijk ‘in no time’ de spanning van de bron over als de weerstand tussen bron en condensator 0 is en de bron een oneindig grote stroom kan leveren. In de praktijk wordt aan geen van beide voorwaarden voldaan. Het duurt dus altijd even, voordat de condensator is opgeladen.

### 4.3.3 De eenheid van capaciteit

Bij een condensator is de capaciteit  $C$  de evenredigheidsfactor tussen lading en spanning, zie vergelijking (4.3-3). Capaciteit wordt uitgedrukt in farad. De farad  $F$  is  $C/V$  ( $= CV^{-1}$ ). In woorden: een condensator van 1 F heeft bij een spanning van 1 V een lading van 1 C. Let op het verschil in schrijfwijze tussen de  $C$  voor capaciteit (4.3-4) en de  $C$  voor coulomb. De afkorting voor condensator in schema's is meestal ook  $C$ . Rechtop, want een condensator is een ding en geen grootheid. Wordt het symbool als grootheid opgevat, dan wordt het  $C$ .

### 4.3.4 Waarvan hangt de capaciteit van een condensator af?

De capaciteit  $C$  van een condensator hangt af van

- De oppervlakte  $A$  van de platen (eenheid:  $\text{cm}^2$ )
- De afstand  $d$  tussen de platen (eenheid:  $\text{cm}$ )
- De relatieve diëlektrische constante  $\epsilon_r$ . (de Griekse letter  $\epsilon$  heet ‘epsilon’)

$$C = 0,0885 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (4.3-4)$$

**Let op!!  $C$  is hier in pF!**

Het verband dat (4.3-4) weergeeft, is examenstof. Het getal 0,0885 niet. Dat een  $n$  maal zo grote relatieve diëlektrische constante  $\epsilon_r$  leidt tot een  $n$  maal zo grote capaciteit, weer wel.

Een moderner woord voor relatieve diëlektrische constante is relatieve *permittiviteit*. *Relatief* is hier ten opzichte van vacuüm ofwel luchtledig. De waarde van  $\epsilon_r$  geeft het aantal malen dat  $\epsilon_r$  groter is dan de  $\epsilon$  van luchtledig (symbool  $\omega$ ). Dat verklaart de vreemde constante 0,0885 in vergelijking (4.3-4). Voor vacuüm geldt  $\epsilon_r = 1$ , net als (bijna) voor lucht. Voor de meeste vaste stoffen geldt een waarde tussen 1 en 10.

### 4.3.5 Doorslagspanning

Als de spanning over een condensator te groot wordt, dan ontstaat vonkoverslag. Er ontstaat dan een gat in het diëlektricum. Sommige soorten zijn zelfherstellend, de meeste niet. Op condensatoren is de maximale spanning vrijwel altijd aangegeven.

### 4.3.6 Uitvoeringen van condensatoren

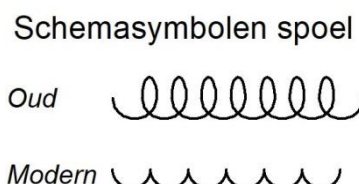
Condensatoren kunnen verschillen in diëlektricum en opbouw. De verschillen bepalen in veel gevallen de toepassing. Condensatoren kunnen een vaste waarde hebben (schemasymbool 1 in Figuur 4.3-1) maar van sommige is de waarde binnen bepaalde grenzen instelbaar. De instelling kan éénmalig zijn (*trimcondensatoren* of *trimmers*, nr. 3

in Figuur 4.3-1) of permanent mogelijk (*variabele condensatoren*, nr. 2 in Figuur 4.3-1). Elco's (zie 4.3.1) hebben een grote, maar onnauwkeurige capaciteit.

## 4.4 Spoelen

### 4.4.1 Schemasymbool

In Figuur 4.4-1 staan een oud en een modern schemasymbool voor een spoel

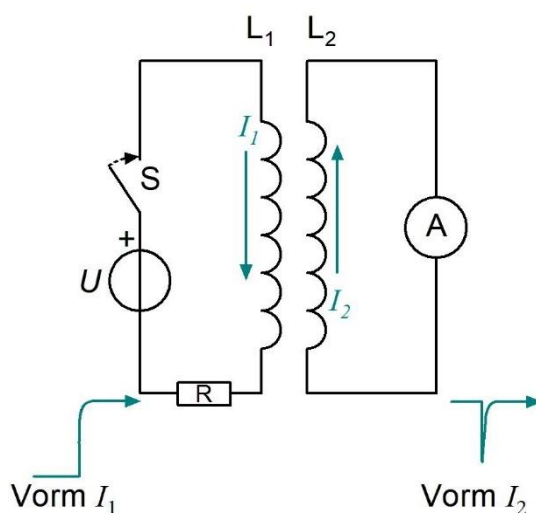


Figuur 4.4-1. Schemasymbool van een spoel. Boven: oud; onder: modern.

### 4.4.2 Inductie en zelfinductie

Stroom door een draad of spoel veroorzaakt een magnetisch veld. *Elektromagnetisme* heet dat. Zie (nogmaals) het filmpje [elektromagnetisme](#). Een veranderend magnetisch veld rond een draad of door een spoel leidt tot een stroom. Dat heet *inductie* (filmpje [inductie](#)).

Inschakelen van een stroom in een spoel betekent de opbouw van een magnetisch veld in en rondom de spoel. Als in dat veld nog een tweede spoel aanwezig is, veroorzaakt het veranderende veld daarin een stroom in tegengestelde richting (Figuur 4.4-2).



Figuur 4.4-2. Twee spoelen; links met spanningsbron, schakelaar en weerstand, rechts met ampèremeter.

Na het sluiten van de schakelaar S gaat er door de linker spoel een stroom lopen die een magnetisch veld veroorzaakt. Daardoor ontstaat een korte stroompiek  $i$  in tegengestelde richting in de rechter spoel. Die valt terug op 0, zodra de stroom in de linker spoel de sterkte bereikt die door de spanning van de bron links en de weerstand R wordt bepaald (Wet van Ohm,  $U=IR$  en  $I=U/R$ ). De stroom  $i$  heet *inductiestroom*.

Omdat  $L$  de omgekeerde richting heeft van de stroom die hem veroorzaakt, werken  $L$  en spoel  $L_2$  de vorming van het magnetisch veld van spoel  $L_1$  en stroom  $I_1$  tegen.

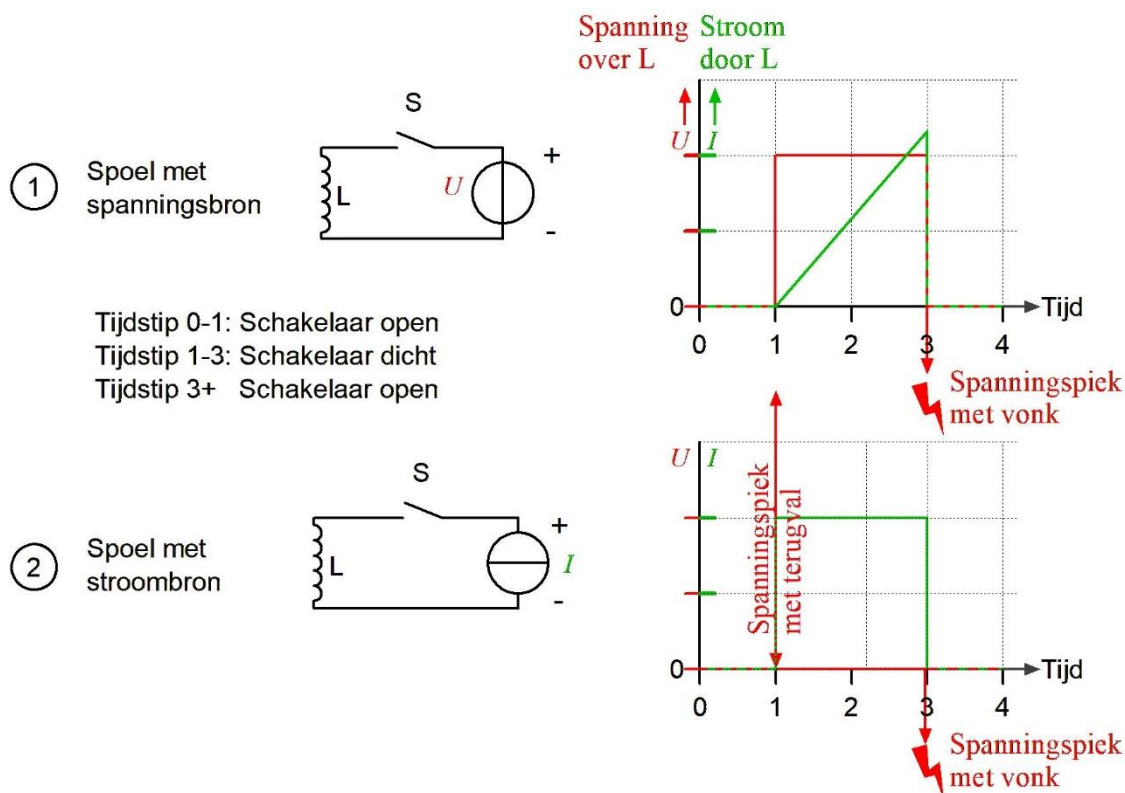
Als er maar één spoel is, zit die spoel midden in zijn eigen magnetisch veld. Als in de spoel een stroom ontstaat, bouwt die een magnetisch veld op. De opbouw van dat veld veroorzaakt een tegenstroom in de spoel. De netto stroom in de spoel is dan de som van twee tegengestelde stromen. Daardoor komt de stroom in de enkelvoudige spoel niet ineens, maar geleidelijk op gang.

Ook dit is inductie, maar doordat de inductiestroom als tegenstroom in dezelfde spoel loopt als de stroom die het magnetisch veld veroorzaakt, heet dit verschijnsel *zelfinductie*.

Een stroomverandering in een zelfinductie werkt zichzelf tegen. Dat zegt de wet van Lenz. Zie (bijvoorbeeld): [https://nl.wikipedia.org/wiki/Wet\\_van\\_Lenz](https://nl.wikipedia.org/wiki/Wet_van_Lenz).

#### 4.4.3 Het op gang komen en eindigen van een stroom in een zelfinductie

Figuur 4.4-3 toont de gang van zaken voor een spanningsbron (plaatje 1) en een stroombron (plaatje 2). Alle onderdelen zijn ideaal verondersteld. Nergens is weerstand.



Figuur 4.4-3. Op gang komen en stoppen van stroom door een zelfinductie (spoel), gevoed door een spanningsbron (1) en door een stroombron (2). De groene lijnen geven het verloop van de stroom, de rode dat van de spanning. Het rode bliksemsymbool geeft aan dat in de schakelaar vonkvorming kan optreden.

Eerst plaatje 1. Op tijdstip 1 op de horizontale as wordt schakelaar S gesloten. Spoel en spanningsbron zijn nu verbonden. De bronspanning is  $U$ , de zelfinductie van de spoel  $L$ .



Na het sluiten van de schakelaar  $S$  neemt de stroom  $I$  door de spoel evenredig toe met de tijd  $t$ . Dat is de schuine groene lijn in de grafiek.

$$I = \frac{Ut}{L} \quad (4.4-1)$$

De eenheid van zelfinductie is de henry (H). In een spoel van 1 H loopt bij een spanning van 1 V de stroom met 1 A/s op. Hoe groter  $L$ , des te trager de toename van  $I$ .

Wordt  $S$  weer geopend (punt 3 op de tijdas), dan moet met de energie in het gevormde magnetische veld iets gebeuren, want zonder stroom geen magnetisch veld. Er ontstaat dan heel kort een hoge spanning tussen de schakelcontacten. Dat gaat doorgaans gepaard met vonkvorming. Vandaar het bliksemsymbool in de figuur.

De start van de stroom in plaatje 2 van Figuur 4.4-3 vraagt wat toelichting. Een theoretische stroombron maakt desnoods een oneindig hoge spanning om de stroom te realiseren, vandaar de pijl omhoog voor de beginspanning in de grafiek. Zonder vonk in de schakelaar. Die is gesloten en er staat dus geen spanning over. De stroom is dan (in theorie) meteen gelijk aan de ingestelde stroom van de bron. Een stroombron in de echte wereld levert die spanning natuurlijk niet en gaat niet hoger dan zijn schakeling en bijbehorende voedingsspanning toelaten. Het op gang komen van de stroom neemt dan wat meer tijd dan 0 s. Bij weer openen van de schakelaar gebeurt hetzelfde als in plaatje 1.

#### 4.4.4 Wat bepaalt de zelfinductie van een spoel?

De zelfinductie  $L$  van een spoel hangt af van

- Het aantal windingen  $n$
- De dwarsdoorsnede  $A$  van de spoel (cm<sup>2</sup>)
- De bewikkelde lengte  $l$  van de spoel (cm)
- De relatieve magnetische permeabiliteit  $\mu_r$  van het kernmateriaal

De magnetische permeabiliteit wordt meestal gegeven als de *relatieve* permeabiliteit  $\mu_r$ . Ook deze grootte is, net als de relatieve diëlektrische constante, genomen ten opzichte van luchtledig (vacuüm). De permeabiliteit van vacuüm heeft symbool  $\mu_0$ . De permeabiliteit van lucht is bijna gelijk aan die van vacuüm. Voor lucht geldt dus  $\mu_r \approx 1$ .

Een vergelijking die voor spoelen met één wikkellaag bij benadering geldt, is

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r n^2 A}{l} \quad (4.4-2)$$

De zelfinductie  $L$  is in  $\mu\text{H}$ . In tegenstelling tot de vergelijking voor capaciteit komt in vergelijking (4.4-2) geen lastig getal voor. Let vooral op het kwadraat van  $n$ ,  $l$  die in de noemer staat en het gebruik van doorsnede  $A$  en dus niet de diameter  $D$ . Deze vergelijking geldt voor spoelen waarvan de lengte heel groot is ten opzichte van de dikte.



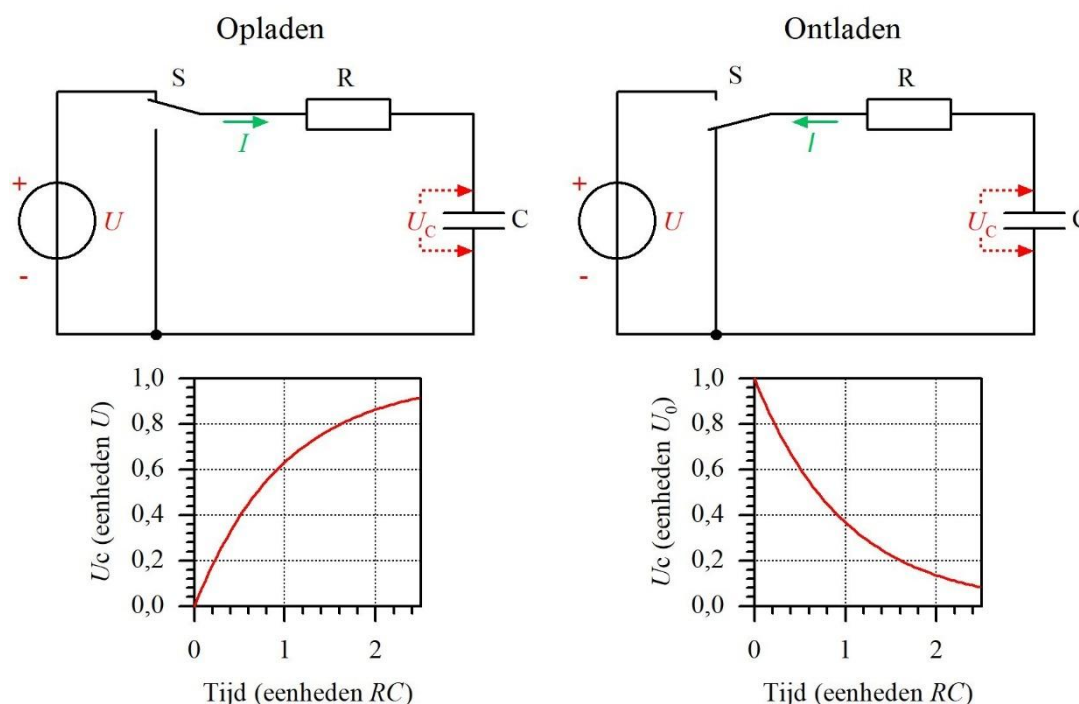
## 4.5 Condensatoren of spoelen samen met weerstanden; tijdconstante

In veel schakelingen komen condensatoren samen met een weerstand voor. Wat minder vaak zien we ook zelfinducties samen met een weerstand. Van belang is daarbij hoe snel een condensator zich op- of ontladst en hoe snel de stroom in de zelfinductie toeneemt of uitdooft. Al dit soort schakelingen heeft een tijdconstante, symbool de Griekse letter  $\tau$  (tau).

Voor een RC-schakeling geldt

$$\tau = RC \quad (4.5-1)$$

Het product  $RC$  is daadwerkelijk tijd.  $1 \Omega F = 1 \text{ s}$ . Het opladen en ontladen van een condensator  $C$  via een weerstand  $R$  zien we hieronder in Figuur 4.5-1.



Figuur 4.5-1. Opladen en ontladen van een condensator  $C$  via een weerstand  $R$ .

Na inschakelen van de spanning (linkerdeel van Figuur 4.5-1) loopt de spanning op de condensator in  $RC$  seconden op tot afgerond 63% van de bronspanning  $U$ . Na een tijd van  $2RC$  is 63% van de resterende 37% overbrugd. Samen met de eerste 63% wordt dat 86,5% en zo gaat dat door. In theorie wordt de 100% nooit bereikt; in de praktijk gaan we ervan uit dat dit na  $5RC$  ( $= 5\tau$ ) wel het geval is.

Bij het ontladen gaat alles in omgekeerde richting (rechterdeel van Figuur 4.5-1). Ook de stroomrichting keert om, want  $C$  wordt nu ontladen. Omdat er geen bron aan te pas komt, maar een opgeladen condensator, gebruiken we als symbool voor de beginspanning  $U_0$ . De 0 staat voor tijdstip 0. Na  $1 RC$  is 63% van  $U_0$  verdwenen. Er is dus nog 37% over. Na  $2RC$

is van de resterende 37% weer 63% verdwenen. Je kunt ook zeggen dat er dan nog 37% van 37%, dat is 13,5%, over is en zo vervolgens. Ook hier mag je er in de praktijk van uitgaan dat na  $5RC (= 5\tau)$  de condensator volledig ontladen is.

Bij een RL-schakeling gebeurt ongeveer hetzelfde, alleen is het dan de stroom die op gang komt en vervolgens weer uitdooft. Voor  $\tau$  geldt bij een RL-schakeling

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (4.5-2)$$

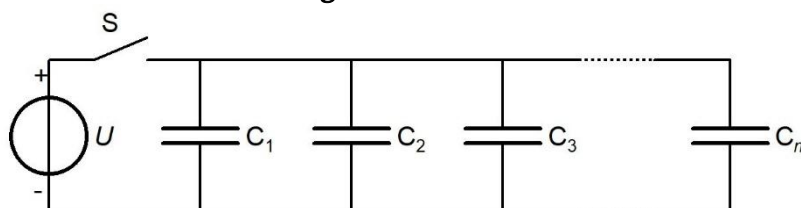
Dus  $H/\Omega = s$ . De opbouw- en uitdovingsgrafieken zien er precies zo uit als die in Figuur 4.5-1, alleen staat er op de verticale as stroom in plaats van spanning. De maximale stroom wordt bepaald door de weerstand  $R$  en de bronspanning  $U$ , dus  $I_{max} = U/R$ .

## 4.6 Parallel- en serieschakeling van condensatoren en spoelen

### 4.6.1 Verschil tussen parallel- en serieschakeling

Bij parallelschakeling is de spanning gemeenschappelijk, bij serieschakeling de stroom. Voor elke schakeling is met dat uitgangspunt de vergelijking voor de vervangende condensator- of spoelwaarde te bepalen. We geven hier alleen de uitkomsten; die zijn voor het zendexamen voldoende.

### 4.6.2 Parallelschakeling van condensatoren



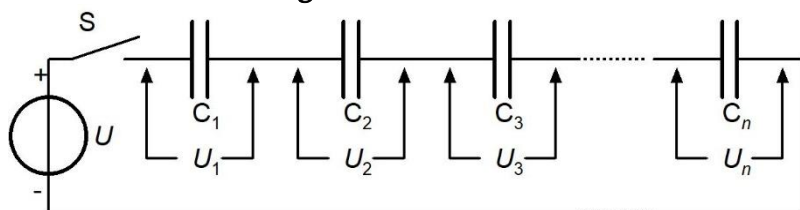
Figuur 4.6-1. Parallelschakeling van condensatoren

De vergelijking voor de vervangingswaarde  $C_{tot}$  is

$$C_{tot} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \quad (4.6-1)$$

Tel alle capaciteiten bij elkaar op en je vindt de vervangingswaarde. Het eindresultaat is groter dan de grootste capaciteit in het rijtje.

### 4.6.3 Serieschakeling van condensatoren



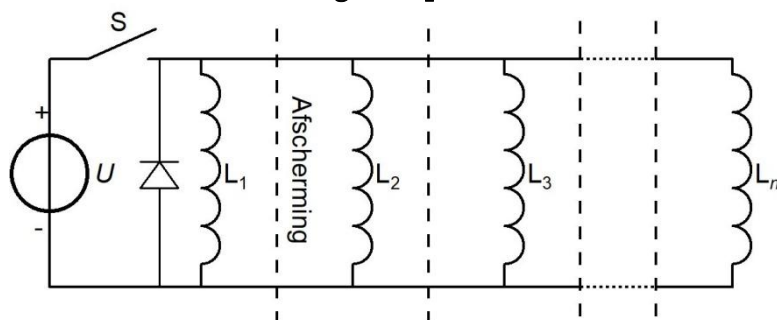
Figuur 4.6-2. Serieschakeling van condensatoren

De vergelijking voor de vervangingswaarde  $C_{tot}$  is

$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (4.6-2)$$

Je vindt de omgekeerde waarde van de vervangingswaarde  $C_{tot}$  door de omgekeerde waarden van alle capaciteiten bij elkaar op te tellen.  $C_{tot}$  is kleiner dan de kleinste capaciteit in het rijtje.

#### 4.6.4 Parallelschakeling van spoelen



Figuur 4.6-3. Parallelschakeling van onderling afgeschermdde spoelen (met vonkblusdiode)

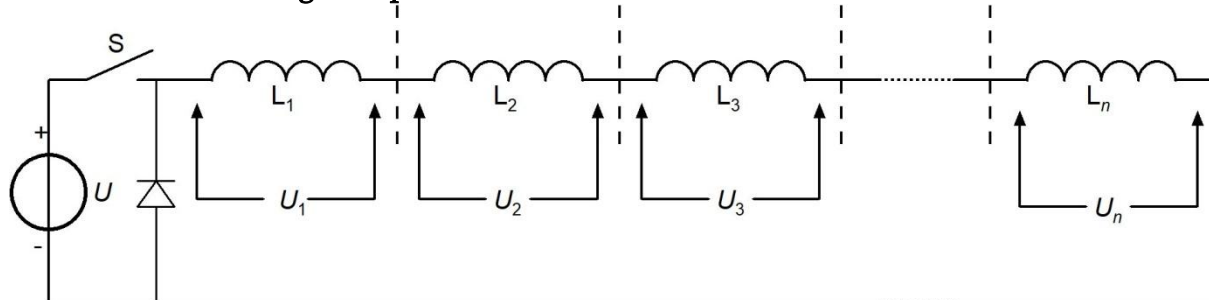
De berekening geldt alleen voor parallel geschakelde spoelen die elkaar niet mogen beïnvloeden. Ze mogen elkaar niet 'zien'; dat is: ze mogen niet binnen (een deel van) elkaars veld liggen. Vandaar de afschermingen in Figuur 4.6-3. De berekening is onafhankelijk van de vonkblusdiode. Meer over diodes komt in hoofdstuk 7.

De vergelijking voor de vervangingswaarde  $L_{tot}$  is:

$$\frac{1}{L_{tot}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n} \quad (4.6-3)$$

De vergelijking voor parallel geschakelde spoelen is dezelfde als die voor in serie geschakelde condensatoren.  $L_{tot}$  is kleiner dan de kleinste zelfinductie in het rijtje.

#### 4.6.5 Serieschakeling van spoelen



Figuur 4.6-4. Serieschakeling van onderling afgeschermdde spoelen (met vonkblusdiode)

Ook hier geldt de berekening alleen voor spoelen die elkaar niet 'zien', vandaar de afscherming. De diode heeft geen functie in de vergelijking. Die luidt:

$$L_{tot} = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n \quad (4.6-4)$$

De vergelijking voor in serie geschakelde spoelen is dus dezelfde als die voor parallel geschakelde condensatoren.  $L_{tot}$  is groter dan de grootste zelfinductie in het rijtje.

#### 4.6.6 Samenvattend overzicht

Tabel 4.6-1 geeft een overzicht van de vergelijkingen voor parallel- en serieschakeling. Om alles compleet te maken zijn ook de vergelijkingen voor serie- en parallelschakeling van weerstanden opgenomen.

*Tabel 4.6-1. Overzicht van vergelijkingen voor de vervangingswaarde bij parallel- en serieschakeling van weerstanden, condensatoren en spoelen. De stof voor weerstanden is behandeld in Hoofdstuk 3.*

Soort schakeling	Weerstand $R$	Capaciteit $C$	Zelfinductie $L$
Serie	$R_{tot} = R_1 + \dots + R_n$	$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_1} + \dots + \frac{1}{C_n}$	$L_{tot} = L_1 + \dots + L_n$
Parallel	$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_n}$	$C_{tot} = C_1 + \dots + C_n$	$\frac{1}{L_{tot}} = \frac{1}{L_1} + \dots + \frac{1}{L_n}$