

HFST 25 Elektrische stroom en gelijkstroomcircuits

Elektrische stroom

Elektrische stroom = de hoeveelheid lading die per tijdseenheid getransporteerd wordt

Voor constante stromen:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

De SI eenheid van stroom is Ampère: $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$

Bij conventie is het vastgelegd dat de richting van de stroom de richting is waarin positieve ladingen bewegen. Deze conventie is vastgelegd voor men wist dat het eigenlijk vrije elektronen zijn die doorheen stroom-dragende metalen draden bewegen. Dus, elektronen bewegen in de TEGENGESTELDE richting tov de conventioneel vastgelegde richting van stroom.

Wanneer de stroom verandert met de tijd, dan kunnen we de ogenblikkelijke stroom terugvinden door:

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt}$$

Wat is nodig voor stroom? \rightarrow E veld (of maw potentiaalverschil V)

Wanneer er geen E-veld is : elektronen bewegen willekeurig ("random") door elkaar met een hoge snelheid ($\sim 10^6 \text{ m/s}$) maar er is **geen netto**verplaatsing (cf. ideaal gas)

Wanneer een E-veld aangelegd w, dan oefent dit een kracht $-eE$ uit op de elektronen, en geeft de elektronen een versnelling en dus een snelheid in de richting tegengesteld aan het veld. De kinetische energie van de elektronen neemt dus toe:

$$\vec{a} = \frac{-e}{m} \vec{E}$$

Maar de elektronen botsen ook met de ionen van de geleider waardoor ze hun kinetische energie snel weer verliezen (door dissipatie in de vorm van warmte).

Gedurende de tijd tussen botsingen met de ionen van de geleider verwerven de elektronen, gemiddeld, een additionele snelheid in de richting tegengesteld aan het veld. Het netto resultaat is dus een kleine verplaatsing van de elektronen in de richting tegengesteld aan het veld (drift) met een kleine gemiddelde snelheid eveneens in een richting tegengesteld aan het E-veld. Deze snelheid is de driftsnelheid v_d .

(In engels: drift velocity en de grootte van de drift velocity is de drift speed.)

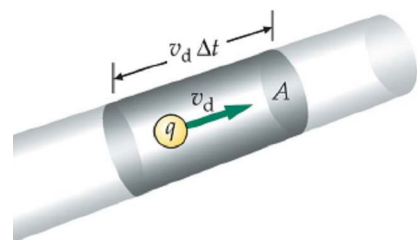
n : aantal ladingsdragers (vb e^-) per volume-eenheid \rightarrow deeltjesdichtheid

A : dwarse doorsnede

q : lading van elke ladingdrager

als we aannemen dat elke ladingdrager met een driftsnelheid v_d door een geleidende draad met doorsnede A beweegt, dan bewegen gedurende een tijd Δt alle deeltjes in het volume $A v_d \Delta t$ doorheen het oppervlak. Het aantal deeltjes in dit volume is $n A v_d \Delta t$ en de totale vrije lading is:

$$\Delta Q = n q A v_d \Delta t$$



De stroom is dus

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = n q A v_d$$

Men kan uit deze vgl ook de stroom tgv een beweging van een soort van geladen deeltjes bepalen door de driftsnelheid te substitueren door de gemiddelde snelheid.

Als elektronen zo traag door draden bewegen, hoe komt het dan dat een lamp meteen gaat branden als je de schakelaar overhaalt?

Vergelijk met water in een tuinslang. Als je een lege, 100 m lange tuinslang aansluit op de kraan en deze open draait, dan duurt het een aantal seconden voor het water door de lengte van de slang naar het spuitgat gevloeid is. Langs de andere kant, als de slang al vol met water zit wanneer men de kraan open draait, dan komt het water vrijwel direct uit de slang gespoten. In tegenstelling tot een tuinslang is een metalen draad nooit leeg. Dat is, er zijn altijd een groot aantal van geleidende elektroneen doorheen het metaal. Dus, zodra men de schakelaar overhaalt beginnen ladingen te bewegen overheen de gehele lengte van de draad waardoor de lamp vrijwel meteen gaat branden.

Het transport van een significante hoeveelheid lading door ene draad wordt niet verwezenlijkt door een paar ladingen die zeer snel doorhene de draad bewegen, maar door een zeer groot aantal ladingen die traag door de draad bewegen. De oppervlakte ladingen op de draad produceren een elektrisch veld en dit elektrisch veld drijft de geleidende elektroenen doorheen de draad.

Weerstand en wet van Ohm

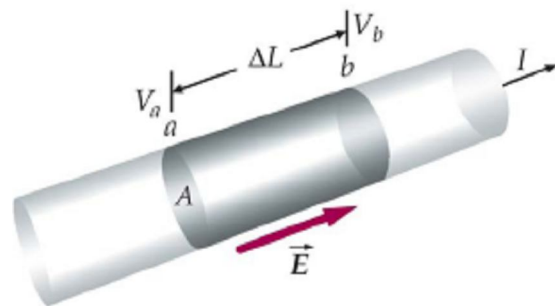
De stroom in een geleider wordt gedreven door een elektrisch veld E in de geleider dat een kracht uitoefent qE op de vrije ladingen.

(in elektrostatisch evenwicht moet dit veld nul zijn binnenin de geleider, maar wanneer een geleider een stroom draagt, is deze niet langer in elektrostatisch evenwicht en beweegt de vrijlading door de geleider, gedreven door het Eveld.)

Aangezien de richting van de kracht op een positieve lading ook de richting van het Eveld is, is de richting van E ook de richting van de stroom.

Aangezien het Eveld in de richting van dalende potentiaal wijst, is de potentiaal in punt a groter dan de potentiaal in punt b. Als we de stroom beschouwen als de beweging van positieve ladingen, dan bewegen deze positieve ladingen in de richting van de afnemende potentiaal. Aangenomen dat het Eveld uniform is doorheen het segment, is het potentiaalverschil V tussen punten a en b:

$$V = V_b - V_a = E \Delta L$$



De verhouding van het potentiaalverschil tot de stroom noemt men de weerstand van het segment:

$$R(V) = \frac{V}{I}$$

De SI eenheid van weerstand is volt per ampère, dit noemt men de Ohm Ω .

Voor vele materialen hangt de weerstand niet af van V, noch van de stroom. Zulke materialen, waaronder de meeste metalen, noemt men Ohmse materialen. Voor deze Ohmse materialen geldt de

wet van Ohm:

$$V = RI$$

Voor niet ohmse materialen hangt de weerstand af van de stroom, dus is V niet proportioneel tov I.

weerstand wordt veroorzaakt door de botsing van de elektronen (meer algemeen : de ladingsdragers) met de atomen.

experimenteel vindt men dat de weerstand voor een draad van lengte L met dwarse doorsnede A gegeven wordt door :

$$R \sim L; \quad R \sim 1/A \Rightarrow R = \rho \frac{L}{A}$$

resistiviteit : materiaalsconstante

in principe is ρ temperatuursafhankelijk. Bij metallische geleiders zal bij lagere temperatuur de geleiding toenemen omdat de atomen minder trillen en dus minder botsingen veroorzaken.

bij sommige materialen verdwijnt beneden een zekere temperatuur (de zogenaamde kritische temperatuur T_c) de weerstand volledig. Dit zijn de **SUPERGELEIDERS**

Supergeleiders:

De eerste supergeleider werd ontdekt door Heike Kamerlingh Onnes in Leiden (1911) : kwik werd supergeleidend bij 4.2 K. Hij kreeg de Nobelprijs in 1913.

In 1986 werden de eerste zg. “hoge temperatuur” supergeleiders ontdekt door K.A. Müller en J.G. Bednorz bij een temperatuur van 35 K. Zij kregen hiervoor de Nobelprijs in 1987.

Momenteel (2007) is de hoogste T_c = 138 K

Energie in elektrische circuits

Wanneer er een elektrisch veld is in een geleider, dan wint het “elektron gas” kinetische energie tgv werk dat verricht wordt op de vrije elektronen door het Eveld. Een stationaire toestand wordt snel bereikt als de kinetische energie die gewonnen wordt, voortdurend gedissipeerd wordt in thermische energie van de geleider door botsingen van de elektronen met de ionen van de geleider. Dit mechanisme voor het verhogen van de thermische NRG van een geleider noemt men Joule verwarming/ Joule heating.

Beschouw een segment draad van lengte L en doorsnede A , zoals op de figuur. De draad draagt een stationaire stroom naar rechts. Beschouw de vrije lading Q oorspronkelijk in het segment. Gedurende de tijd Δt , ondergaat deze vrije lading een kleine verplaatsing naar rechts. Deze verplaatsing is equivalent met een hoeveelheid van lading ΔQ die verplaatst wordt van links (waar het een potentiële NRG ΔQV_a had) naar rechts (waar het een potentiële NRG ΔQV_b heeft). Het netto potentiaal NRG verschil van Q is dus

$$\Delta U = \Delta Q(V_b - V_a)$$

Aangezien $V_a > V_b$, representeert dit een netto verlies in Potentiële NRG van Q . De verloren potentiële NRG is:

$$-\Delta U = -\Delta Q(V_b - V_a) = \Delta QV; \quad V = V_a - V_b$$

De snelheid waarmee energie verloren gaat:

$$\Rightarrow -\frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} V = I V$$

Met I = de stroom.

Het potentiële energie verlies per tijdseenheid = snelheid waarmee energie verloren gaat = het vermogen P dat gedissipeerd wordt in het geleidende segment.

$$P = VI$$

Het verlies in vermogen is het product van het afname van potentiële NRG per eenheid van lading, V , en de ladingsstroom per tijdseenheid, I .

P in Watt W : $1W = 1 V A$

Indien de wet van Ohm geldt:

$$P = VI = RI^2 = \frac{V^2}{R}$$

Elektromotorische kracht en batterijen

Om een stationaire stroom in een geleider te behouden, moeten we constant elektrische NRG toevoeren. Een apparaat dat elektrische energie levert aan een circuit is een bron van EMF (ElektroMotorische Kracht).

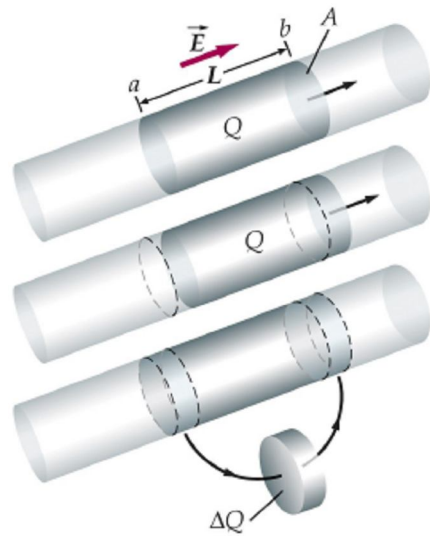
(opmerking: elektromotorische KRACHT, maar is geen kracht, is eigenlijk een spanning!!!)

Voorbeelden van EMF bronnen: batterijen (zetten chemische NRG om in elektrische NRG), een generator (zet mechanische NRG om in elektrische NRG)

Een bron van EMF oefent arbeid uit op de lading die passeert, en verhoogt zo de potentiële NRG van de lading.

De arbeid per eenheid van lading noemt men de emf ϵ van de bron.

De eenheid van de emf is de volt, dezelfde als de eenheid van V .

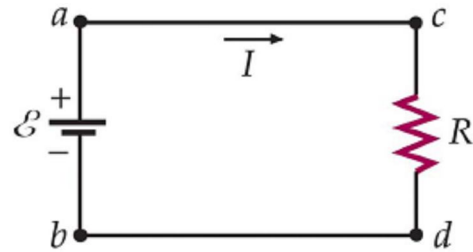


Een ideale batterij is een bron van emf die een constant potentiaal verschil behoudt tussen zijn twee polen, onafhankelijk van de stroom door de batterij. Het potentiaal verschil tussen de polen van een ideale batterij is van dezelfde grootte als de emf van de batterij:

$$I = \varepsilon / R$$

Voorbeeld van een eenvoudig circuit bestaande uit een weerstand R verbonden aan een ideale batterij: De ideale batterij behoudt een constant potentiaal verschil tussen a en b gelijk aan ε , met punt a op een hoger potentiaal dan punt b .

Er is een verwaarloosbaar potentiaal verschil tussen a en c en tussen d en b , want de draad tussen deze punten beschouwen we als weerstandloos. Het potentieelverschil van c naar d is daarom dus gelijk in grootte aan de emf ε , en de stroom door de weerstand wordt gegeven door $I = \varepsilon / R$. De richting van de stroom in dit circuit is met de klok mee.



Merk op dat binnen de bron van emf, de lading vloeit van een regio van lagere potentiaal naar een regio met hoger potentiaal, dus het wint aan potentiële NRG

Wanneer een lading ΔQ door de bron met emf ε stroomt, dan wordt zijn potentiële NRG verhoogt tot een grootte $\Delta Q \varepsilon$.

De lading stroomt dan door de weerstand, waar deze potentiële NRG gedissipeerd wordt in thermische NRG.

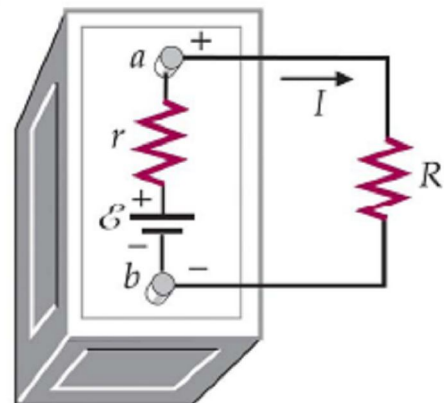
De snelheid waarmee NRG door de batterij is het vermogen:

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \varepsilon = I \varepsilon$$

In een reële batterij blijft de geleverde spanning niet constant. Bovendien de spanning tussen de twee uiteinden van de batterij is niet gelijk aan de emk (= "de open circuit spanning") omdat de emk zelf ook een weerstand vertegenwoordigt.

We kunnen een reële batterij beschouwen als een batterij van emf ε + een kleine weerstand r , de interne weerstand van de batterij genoemd.

het spanningsverschil $V_a - V_b$ noemt men de **klemspanning** ("terminal voltage"). Het is dit spanningsverschil dat over de weerstand R staat

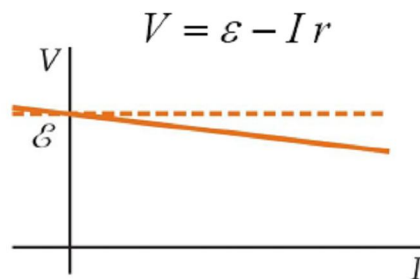


$$V_a = V_b + \varepsilon - I r$$

$$\Rightarrow V_a - V_b = \varepsilon - I r$$

we kunnen hieruit de stroom berekenen:

$$\Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$



V is niet constant

We zien ook dat de klemspanning van de batterij lineair afneemt met de stroom.

De totale NRG opgeslagen in een batterij is het product van de emf en de totale lading die het kan leveren:

$$W = Q\varepsilon$$

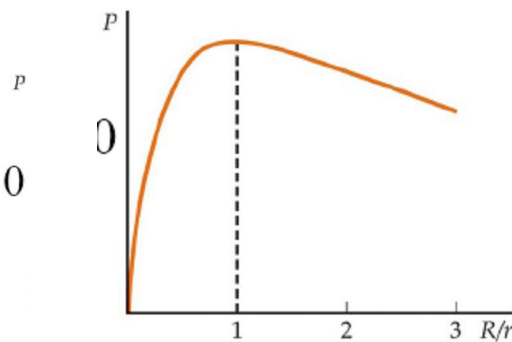
Maximale overdracht van vermogen:

voor welke weerstand R is er een maximale overdracht van vermogen van de emf naar een weerstand R die aangesloten wordt op de emf ?

$$P = RI^2 = \frac{\varepsilon^2 R}{(R + r)^2}$$

$$\frac{dP}{dR} = 0 \Rightarrow \frac{\varepsilon^2}{(R + r)^2} - \frac{2\varepsilon^2 R}{(R + r)^3} = 0$$

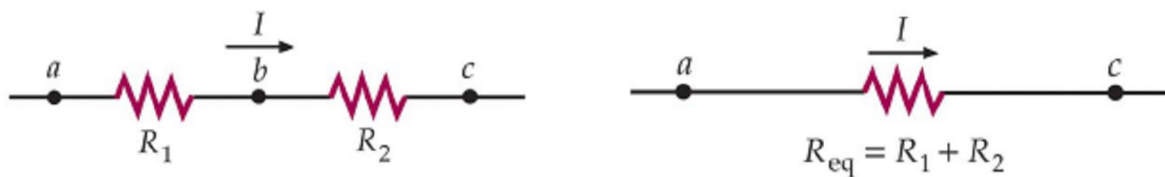
$$\Rightarrow R = r$$



Maximale overdracht van vermogen indien weerstanden gelijk zijn.

Weerstanden in serie

Wanneer twee weerstanden zo gekoppeld zijn dat ze de dezelfde stroom ondervinden, zeggen we dat deze weerstanden in serie zijn.



Wanneer weerstanden in serie gekoppeld zijn dan gelden volgende beweringen:

$$V = V_a - V_c = V_a - V_b + V_b - V_c$$

$$= IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2) \equiv IR_{eq}$$

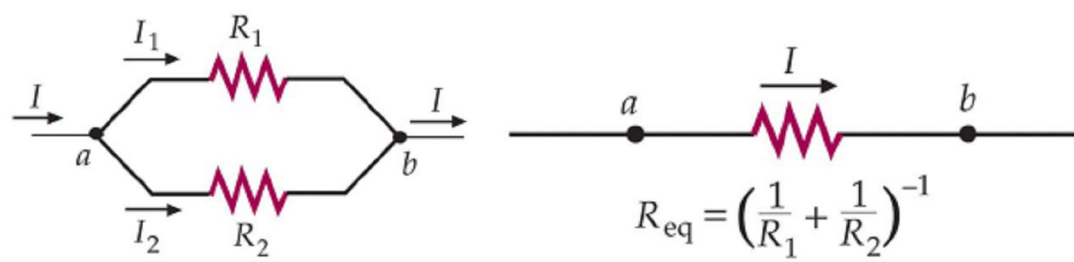
$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

Voor meerdere weerstanden:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Weerstanden in parallel

Weerstanden die gekoppeld zijn zodat ze hetzelfde potentiaal verschil over zich hebben, noemen we in parallel.



Voor de stroom geldt:

$$I = I_1 + I_2$$

Voor het potentiaal verschil:

$$V = R_1 I_1 = R_2 I_2$$

Voor de weerstand:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

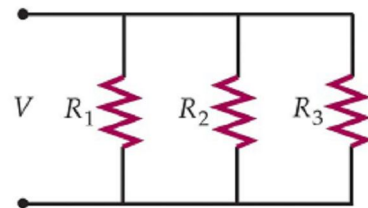
Verbanden:

$$R_{eq} = \frac{V}{I}$$

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = I_1 + I_2 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Meerdere weerstanden in parallel:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$



Opmerking: de equivalente weerstand bij parallelschakeling is steeds kleiner dan de kleinste weerstand.

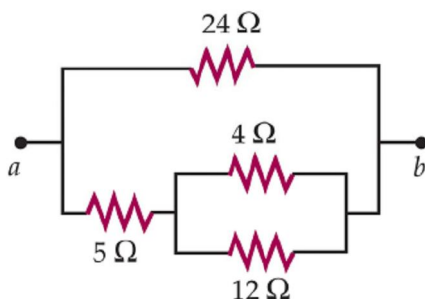
Aangezien bij parallel

$$V = I_1 R_1 = I_2 R_2$$

Is ook

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Combinaties van serie en parallel



Niet alle combinaties zijn te herleiden tot serie en parallel

Wetten van Kirchoff

Er zijn vele eenvoudige circuits die niet geanalyseerd kunnen worden louter door weerstanden te substitueren door equivalenten weerstanden.

Voor deze circuits te analyseren moet men gebruik maken van de wetten van Kirchoff:

(I), wanneer men een gesloten circuit volledig doorloopt, dan moet de algebraïsche som van de potentiaalverschillen nul zijn.

(II) in elk knooppunt van een circuit moet de som van de stromen die naar het knooppunt toe bewegen gelijk zijn aan de som van de stromen die van het knooppunt weg bewegen.

De eerste wet noemt men de 'loop rule' en de tweede de 'junction rule'.

De loop rule volgt rechtstreeks uit de aanwezigheid van een conservatief elektrisch veld E . Conservatief wilt zeggen dat

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = 0$$

Waarbij de integraal genomen wordt over een gesloten curve. Variaties in de potentiaal ΔV en E zijn gerelateerd:

$$\Delta V = V_a - V_b = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$$

Dus:

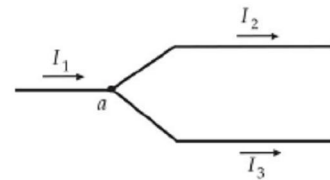
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = 0 \Rightarrow \Delta V = 0$$

De junction rule volgt uit het behoud van lading.

Het samenkomen van drie draden die resp stromen I_1 , I_2 en I_3 dragen zoals in fig.

Aangezien lading niet ontstaat of samenkomt in dit punt, veronderstelt het behoud van lading dat de junction rule van toepassing is, welke in dit geval zegt:

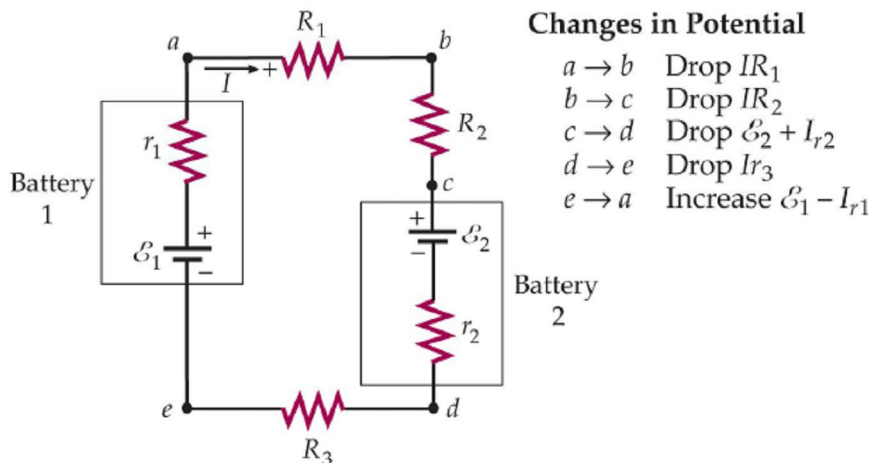
$$I_1 = I_2 + I_3$$



Toepassing: Single – loop circuits

De wetten van Kirchoff worden gebruikt om ingewikkelde circuits te analyseren.

Voorbeeld:



Beschouw bovenstaande figuur van een circuit met twee batterijen beide met interne weerstand en drie externe weerstanden. We willen de stroom vinden in termen van emfs en weerstanden.

We kiezen klokwijs als positief. We passen dan de wet van Kirchhoff, de loop rule, toe als we het circuit doorlopen in positieve richting, beginnende in punt a.

(merk op dat we een potentiaal verschil tegenkomen tussen c en d en een potentiaal verhoging tussen e en a.)

Aangenomen dat I positief is, merken we ook een potentiaal verschil bij het doorlopen van de weerstanden.

Beginnende in a vinden we volgens Kirchhoff's loop rule:

$$-I R_1 - I R_2 - \varepsilon_2 - I r_2 - I R_3 + \varepsilon_1 - I r_1 = 0$$

Oplossen voor I :

$$\Rightarrow I = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{R_1 + R_2 + R_3 + r_1 + r_2}$$

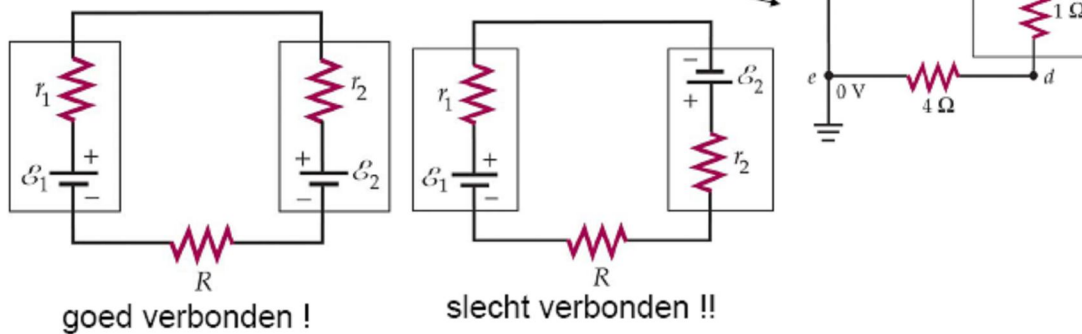
Als $\varepsilon_2 > \varepsilon_1 \Rightarrow I < 0$, wat aantoont dat de stroom in de negatieve richting vloeit (tegen de klok in)

Voor dit voorbeeld:

Stel dat $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$. In batterij 2 vloeit de lading dan van hoge potentiaal naar lage potentiaal. Dus, een lading ΔQ die door batterij twee beweegt van punt c naar d verliest potentiële NRG $\Delta Q \varepsilon_2$ (plus de energie die gedissipeerd wordt binnen de batterij door Joule heating.). Als batterij 2 een oplaadbare batterij is, dan wordt veel van deze potentiële NRG opgeslagen in de batterij als chemische NRG, wat wilt zeggen dat batterij 2 oplaadt.

- dikwijls wordt in één punt de potentiaal 0 gekozen. Meestal is dit punt verbonden met de aarde (punt is "geaard").

- ander voorbeeld :
starten van wagen met startkabels



$$I = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{R + r_1 + r_2}$$

$$I = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{R + r_1 + r_2}$$

Toepassing: Multi-loop circuits

In meer-mazige circuits, zijn de richtingen van de stromen in verschillende takken vaak onbekend. Gelukkig eisen de wetten van Kirchhoff niet dat we deze richting van de stromen in het begin kennen. Deze wetten laten ons toe de richtingen van de stromen te zoeken. Om dit te doen kenne we eerst iedere tak een positieve richting toe en we duiden dit aan met een pijl. Als de eigenlijke stroom in de tak in de positieve richting is, dan zullen we bij het oplossen een positieve waarde bekomen, wanneer de stroom in de tegengestelde richting is, dan zullen we bij het oplossen een negatieve waarde bekomen.

De stroom door een weerstand gaat altijd van hoge potentiaal naar lage potentiaal.

Dus wanneer we een weerstand doorlopen in de richting van de stroom, dan is de verandering in potentiaal steeds negatief en vice versa.

Hier is de regel:

Voor elke tak van het circuit, tekenen we een pijl om de positieve richting voor die tak aan te duiden.

Als we dan een weerstand doorlopen in der ichting van de pijl, dan is het verschil in potentiaal

$\Delta V = -IR$ (en als we een weerstand doorlopen in de tegengestelde richting, dan is $\Delta V = +IR$).

Algemene methode voor het analyseren van multiloop circuits:

1. Teken een schema van het circuit
2. Vervang alle weerstanden in serie/parallel door een equivalentente weerstand
3. Kies voor elke tak de positieve richting en duid deze aan met een pijl. Voeg plus en min tekens toe om polen met hoge en lage potentiaal aan te duiden bij emf bronnen.
4. Pas de junction rule toe op alle behalve 1 junctions
5. Pas de loop rule toe op elke loop totdat je zoveel onafhankelijke vergelijkingen hebt als onbekenden. Wanneer je een weerstand doorloopt in de positieve richting, dan $\Delta V = -IR$, wanneer je een batterij doorloopt van de negatieve naar de positieve pool, dan is $\Delta V = \varepsilon - IR$.
6. Los de vergelijkingen op
7. Controleer je resultaten door een potentiaal = nul toe te kennen aan 1 punt ih circuit en de gevonden waarden voor de stroom te gebruiken om de potentialen in de andere punten van het circuit te bepalen.

Ammeters, voltmeters en Ohmmeters.

Stroom meten → ampere-meter

Spanning meten → volt-meter

Weerstand meten → ohm-meter

→ Dikwijls samen in een multi-meter

Stroom meten die door een weerstand gaat, ammeter in serie met weerstand plaatsen (ammeter heeft een kleine, oneindige, verwaarloosbare weerstand)

Spanning over een weerstand meten, voltmeter in parallel met weerstandp laatsen.

Een voltmeter vermindert de weerstand, waardoor de stroom stijgt in het circuit en het potentiaal verschil over de weerstand niet exact is. Een ideale voltmeter heeft een extreem grote weerstand zodat het effect op de stroom in het circuit te verwaarlozen is.

Het belangrijke component van vele ammeters en voltmeters is de galvanometer, een apparaat dat zeer kleine stromen kan meten. De galvanometer is zo ontwerpen dat de schaallezing proportioneel is tot de stroom die erdoor gaat.

RC circuits

Een circuit dat een weerstand en een condensator bevat noemt men een RC circuit.

De stroom in een RC circuit vloeit in 1 richting, zoals in alle dc circuits, maar de grootte van de stroom varieert met de tijd

Een voorbeeld: flasch van een camera

C wordt eerst opgeladen over R. Wanneer C volledig geladen is dan is flash klaar om gebruikt te worden : ontlading gebeurt weer over R bij nemen foto.

Het ontladen van een condensator

de figuur geeft een condensator met initele ladingen $+Q$ op de bovenste plaat en $-Q$ op de onderste plaat. De condensator is gekoppeld aan een weerstand R en een schakelaar S, welke initeel open staat.

Het potentiaal verschil over de condensator is origineel $V_0 = Q_0/C$ (C = capacitantie)

Wanneer we de schakelaar dichtdoen op tijdstip $t = 0$.

Aangezien er dan een potentiaal verschil over de weerstand is ,moet er dus ook een stroom zijn. Deze initiele stroom is:

$$I_0 = V_0/R = Q_0/RC : \text{stroom op } t = 0$$

De stroom is tgv van het vloeien van lading van de bovenste plaat van de condensator naar de onderste doorheen de weerstand.

Na een tijd, is de lading op de condensator gereduceerd. Als we de positieve richting met de klok mee kiezen, dan is de stroom gelijk aan de snelheid waarmee de lading vermindert. Als Q de lading is op de bovenste plaat van de condensator op tijd t , dan is de stroom op tijd t :

$$I = -\frac{dQ}{dt}$$

(het minteken is nodig omdat terwijl Q afneemt, dQ/dt negatief is. Als we de positieve richting tegen de klok in hadden gekozen dan was dit een plus teken geweest)

Als we het circuit met de klok mee doorlopen, dan merke nwe een potentiaal verschil IR over de weerstand een een potentiaal toename Q/C over de condensator.

De wet van Kirchoff, de loop rule geeft:

$$\frac{Q}{C} - IR = 0;$$

Met Q en I allebei functie van de tijd, en gerelateerd door de vergelijking hierboven. Als we deze vergelijking substitueren dan vinden we:

$$\Rightarrow \frac{Q}{C} + R \frac{dQ}{dt} = 0$$

Of

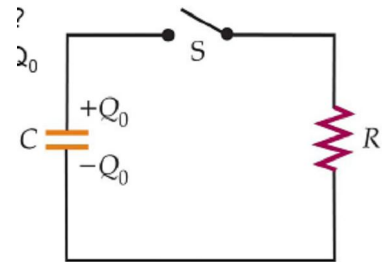
$$\frac{dQ}{Q} = -\frac{1}{RC} dt$$

Als we deze vergelijking verder uitwerken (Q en t scheiden door te vermenigvuldigen met dt/Q en dan integreren) dan verkrijgen we uiteindelijk:

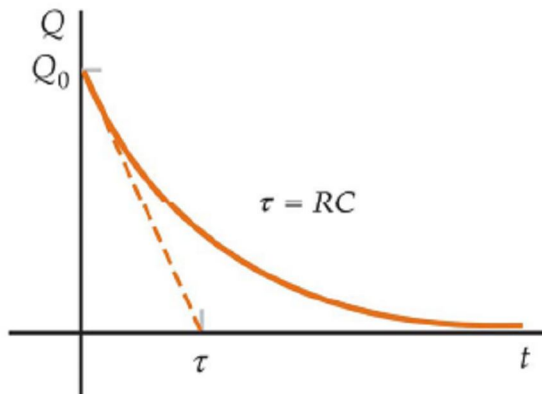
$$\Rightarrow Q(t) = Q_0 e^{-t/\tau}$$

Waarbij $\tau = RC$ = de tijdconstante of de RC-tijd. = de tijd dat nodig is voor de lading om te verminderen met een factor e^{-1} .

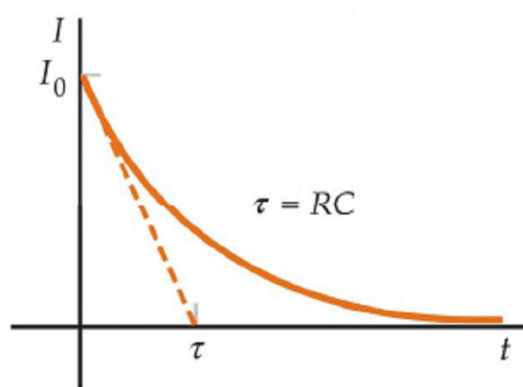
Of anders gezegd, de tijdconstante is een maat voor hoe snel/traag een condensator ontladtd.



Hoe groter de RC-tijd hoe trager de condensator ontladtd.



De lading van de condensator in het circuit als functie van de tijd na een tijd $t = \tau$, is de lading $Q = e^{-1}Q_0$, na een tijd $t = 2\tau$ is $Q = e^{-2}Q_0, \dots$ na een tijd is de lading Q verwaarloosbaar. Dit type van vermindering noemt men exponentiele afname.



We kunnen uit de vorige vgl ook I bepalen:

$$I = -\frac{dQ}{dt} = \frac{Q_0}{RC} e^{-t/\tau} = I_0 e^{-t/\tau}$$

de stroom als functie van de tijd voor het circuit net zoals de lading, neemt ook de I exponentiaal af Met de tijdconstante τ .

Opladen van een condensator.

De condensator is initeel ongeladen. Op $t = 0$ doen we de schakelaar toe. De lading begin onmiddelijk te vloeien doorheen de batterij. Als de lading op de meest rechtse plaat Q is, de stroom in het circuit I is en met de klok mee positief, dan geeft Kirchoff's loop rule:

$$\varepsilon - IR - \frac{Q}{C} = 0$$

Uit deze vglng blijkt dat bij $t = 0$, de lading op de condensator nul is en de stroom $I_0 = \varepsilon/R$.

De lading neemt dan toe en de stroom neemt af. De lading bereikt een maximum waarde van $Q_f = C\varepsilon$ wanneer de stroom $I = 0$.

In dit circuit hebben we de positieve richting gekozen, dus als I positief is, dan neemt Q toe. Dus:

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

Substitueren we dit in de vorige vglng:

$$\varepsilon - R \frac{dQ}{dt} - \frac{Q}{C} = 0 \Leftrightarrow \frac{dQ}{\varepsilon C - Q} = \frac{dt}{RC}$$

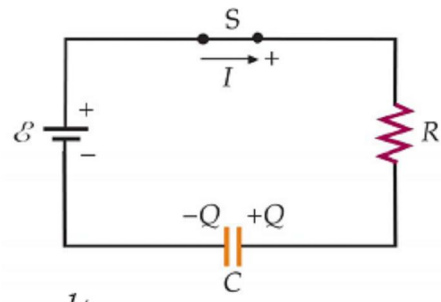
We lossen deze vglng op net zoals bij het ontladen van een condensator. En we krijgen:

$$\Rightarrow Q = C\varepsilon(1 - e^{-t/\tau}) = Q_f(1 - e^{-t/\tau})$$

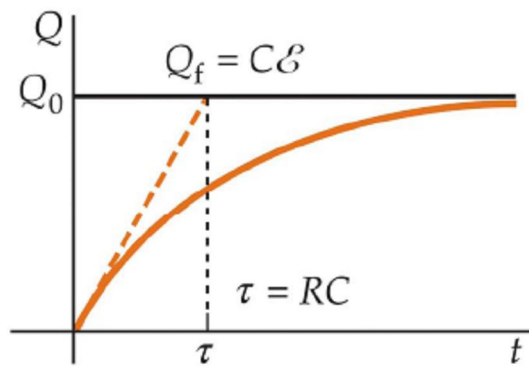
Met $Q_f =$ de uiteindelijke lading $= C\varepsilon$

De stroom die we dan bekomen is:

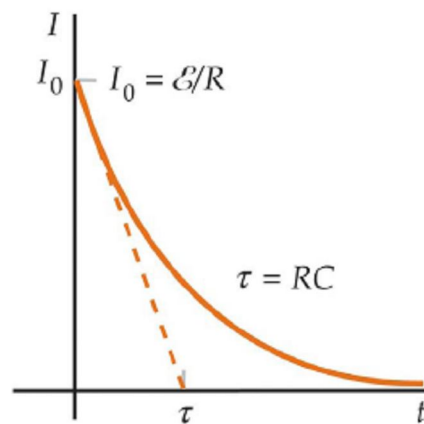
$$\Rightarrow I = \frac{dQ}{dt} = \frac{\varepsilon}{R} e^{-t/\tau} = I_0 e^{-t/\tau}$$



Met de initiele stroom $I_0 = \mathcal{E} / R$:



$$Q = Q_f (1 - e^{-t/\tau})$$



$$I = I_0 e^{-t/\tau}$$

Energie behoud bij het opladen van een condensator:

Gedurende het opladingsproces levert de batterij arbeid:

$$W = Q_f \mathcal{E} = C \mathcal{E}^2$$

De helft van deze arbeid wordt geleverd door de energie die opgeslagen is in de condensator.

$$U = \frac{1}{2} Q_f \mathcal{E}$$