

LEERWERKBOEK NIVEAU 3&4



TOUCHTECH

Technologie voor elektrotechniek



ThiemeMeulenhoff

Technologie voor elektrotechniek



Over ThiemeMeulenhoff

ThiemeMeulenhoff ontwikkelt zich van educatieve uitgeverij tot een learning design company. We brengen content, leerontwerp en technologie samen. Met onze groeiende expertise, ervaring en leeroplossingen zijn we een partner voor scholen bij het vernieuwen en verbeteren van onderwijs. Zo kunnen we samen beter recht doen aan de verschillen tussen lerenden en scholen en ervoor zorgen dat leren steeds persoonlijker, effectiever en efficiënter wordt.

Samen leren vernieuwen.

www.thiememeulenhoff.nl

ISBN 978 90 06 70145 6

1e druk, 1e oplage, 2020

© ThiemeMeulenhoff, Amersfoort, 2020

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912 j° het Besluit van 23 augustus 1985, Stbl. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie (PRO), Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp (www.stichting-pro.nl). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet) dient men zich tot de uitgever te wenden. Voor meer informatie over het gebruik van muziek, film en het maken van kopieën in het onderwijs zie www.auteursrechtenonderwijs.nl.

De uitgever heeft ernaar gestreefd de auteursrechten te regelen volgens de wettelijke bepalingen. Degenen die desondanks menen zekere rechten te kunnen doen gelden, kunnen zich alsnog tot de uitgever wenden.

Deze uitgave is volledig CO₂-neutraal geproduceerd.
Het voor deze uitgave gebruikte papier is voorzien van het FSC®-keurmerk. Dit betekent dat de bosbouw op een verantwoorde wijze heeft plaatsgevonden.

Inhoudsopgave

1 TEC01 Eigenschappen van materialen en spanningsbronnen	5
Introductie	6
Theorie	7
Kernvragen	7
Geleiders, halfgeleiders, isolatoren en weerstandsmaterialen	7
Elementen, batterijen en accu's	17
Samenvatting	26
Video	27
Begrippen	28
Theorieopdrachten	29
Opdrachten uit de praktijk	31
Evaluatie en reflectie	33
Checklist	33
Zelftoets	33
2 TEC02 Weerstandsgegevens en dissipatie	37
Introductie	38
Theorie	39
Kernvragen	39
Uitvoering en toepassing van weerstanden	39
Axiale weerstanden	41
SMD-weerstanden	45
Reeksen	46
Weerstandsvermogen of dissipatie	47
Uitvoeringen	49
Afmetingen	50
MELF-weerstand	51
Weerstandsnetwerken	52
Samenvatting	53
Video	56
Begrippen	56
Theorieopdrachten	57
Opdrachten uit de praktijk	58
Evaluatie en reflectie	60
Checklist	60
Zelftoets	60
3 TEC03 Variabele en niet-lineaire weerstanden	63
Introductie	64
Theorie	65
Kernvragen	65
Variabele weerstanden	65
Niet-lineaire weerstanden	69
Codering van niet-lineaire weerstanden	81
Samenvatting	82
Video	83
Begrippen	83
Theorieopdrachten	84
Opdrachten uit de praktijk	86

Evaluatie en reflectie	94
Checklist	94
Zelftoets	94
4 TEC04 Spoelen en kernen	97
Introductie	98
Theorie	99
Kernvragen	99
Spoelen	99
Eigenschappen van de spoel	102
Kernen	108
Isotroop en anisotroop	115
Afscherming van spoelen	115
Inductieve sensoren en actuatoren	118
Samenvatting	121
Video	121
Begrippen	122
Theorieopdrachten	123
Opdrachten uit de praktijk	124
Evaluatie en reflectie	126
Checklist	126
Zelftoets	126
5 TEC05 Condensatoren	129
Introductie	130
Theorie	131
Kernvragen	131
Eigenschappen van condensatoren	131
Typen condensatoren	133
Supercaps	143
Parasitaire capaciteiten	144
Reeksen, codering en tolerantie van condensatoren	144
Regelbare en instelbare condensatoren	149
Capacitieve opnemers	150
Samenvatting	152
Video	153
Begrippen	153
Theorieopdrachten	154
Opdrachten uit de praktijk	155
Evaluatie en reflectie	158
Checklist	158
Zelftoets	158
Register	161

1

TEC01

Eigenschappen van materialen en spanningsbronnen



TOUCHTECH



Auteur
S.J.H. Frericks

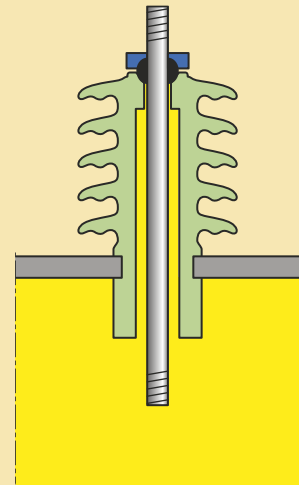
Eindredactie
H. Frericks

ThiemeMeulenhoff

Introductie

Isolatie nodig

In een elektriciteitscentrale leveren de generatoren een spanning van circa 20 kV. Om deze spanning te kunnen verbinden met het hoogspanningsnet van 110 tot 400 kV wordt een generatortransformator (generator step-up transformer) gebruikt. De verbinding wordt gemaakt met koperen of aluminium geleiders. Hoogspanning (spanning vanaf 1000 V) mag niet rechtstreeks op een toestel worden aangesloten maar alleen via isolatoren. Dat worden doorvoerisolatoren genoemd. Deze isolatoren zijn van keramiek of glas. Doorvoerisolatoren worden op bepaalde afstanden van elkaar geplaatst om te voorkomen dat er via kruipwegen onderling kortsluiting kan ontstaan. Ook is die afstand nodig omdat er bij de grote stromen die gaan lopen, grote krachten ontstaan.



Figuur 1 Generatortransformator en doorvoerisolator (Bron: Philippe Mertens/Tekenbureau Frans Hessels)

Oriënterende vragen

- Waarom mag hoogspanning niet rechtstreeks op een toestel worden aangesloten?
- Waarom wordt de spanning naar zo'n hoge waarde getransformeerd en niet naar een direct te gebruiken waarde van 230/400 V?

Theorie

Kernvragen

- Welke factoren bepalen je keuze voor een geleider?
- Wat zijn de eigenschappen van halfgeleidermateriaal?
- Welke factoren bepalen je keuze voor een isolatiemateriaal?
- Waaraan moet een materiaal voldoen om daarvan weerstanden te maken?
- Welke factoren bepalen je keuze voor een bepaald soort batterij of accu?

Geleiders, halfgeleiders, isolatoren en weerstandsmaterialen

Als je naar de stroomgeleiding van materialen kijkt, kun je de materialen onderverdelen in geleiders, halfgeleiders en isolatoren.

Geleiders

De meeste metalen zijn goede **geleiders**. Dat komt doordat in metalen de valentie-elektronen gemakkelijk kunnen vrijkomen. De metalen die de elektrische stroom het best geleiden, zijn koper, aluminium, zilver en goud.

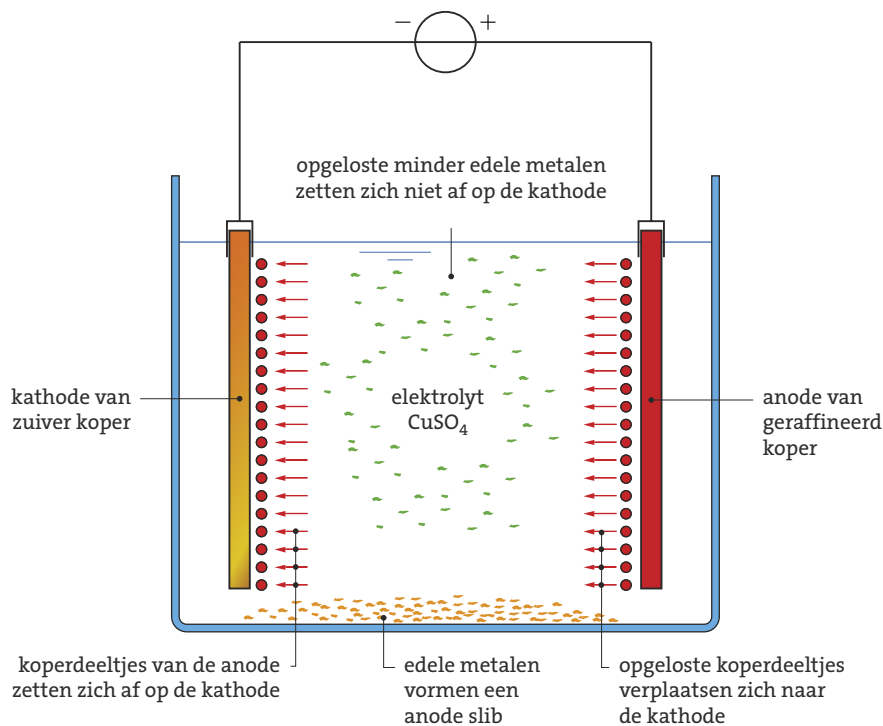
Koper

Koper wordt onder andere gebruikt in draad, kabel en printplaten.



Figuur 2 Koperdraad (Bron: Shutterstock)

Koper geleidt het best als het heel zuiver is. Het koper in geleiders heeft een kopergehalte van 99,2 tot 99,95%. Dit hoge percentage wordt bereikt door verontreinigd koper eerst te smelten in een smeltoven. Bij het raffinageproces wordt lucht in de oven geblazen. Daardoor komt een deel van de verontreinigingen vrij. De laag verontreinigingen, de slak, drijft als een vloeibare laag op het koper en wordt afgevoerd. Wat na stolling overblijft, is de zogenoemde matte. Deze bevat 40 tot 60% koper. In de matte zitten dan nog steeds verontreinigingen. Om die te verwijderen wordt de matte samen met een staaf zuiver koper in een bad met een kopersulfaatoplossing gehangen. Op de matte en het koper wordt een spanning aangesloten waarbij de matte dient als anode en het koper als kathode.



Figuur 3 Elektrolyse van koper (Bron: Tekenbureau Frans Hessels)

Er gaat een stroom lopen die ervoor zorgt dat de matte oplost en de deeltjes koper daarvan op de kathode neerslaan. Dit proces wordt **elektrolyse** genoemd.

De kathode groeit dus aan tot een blok gezuiverd koper. Dit koper wordt nog een keer gesmolten om de vloeistofresten van het elektrolyseproces te verwijderen. Het overgebleven koper heeft een zuiverheid van minimaal 99,9%.

Naast de eigenschap stroom geleiden heeft koper nog de volgende eigenschappen:

- Het geleidt warmte goed.
- Het is materiaal dat gemakkelijk kan worden bewerkt.
- Het is met een aantal andere materialen goed te legeren tot bijvoorbeeld messing (= koper + zink) of brons (= koper + tin).
- Het is heel goed te solderen met tin en zilver.
- Het is geschikt voor oppervlaktebedekking (= het verkoperen van een ander materiaal, bijvoorbeeld ijzer). Andere manieren om een oppervlakte te bedekken zijn verchromen, vernikkelen, verzilveren en vergulden.

Aluminium

Aluminium wordt in de elektrotechniek gebruikt als geleider in kabels bestemd voor energietransport over grote afstanden, zoals hoogspanningskabels en grondkabels. Hoogspanningskabels hebben een stalen kern met daaromheen een aluminium mantel als stroomgeleider. De kabels zijn tussen de 3 en 4 cm dik.



a demo van een hoogspanningskabel



b grondkabel met aluminium kern

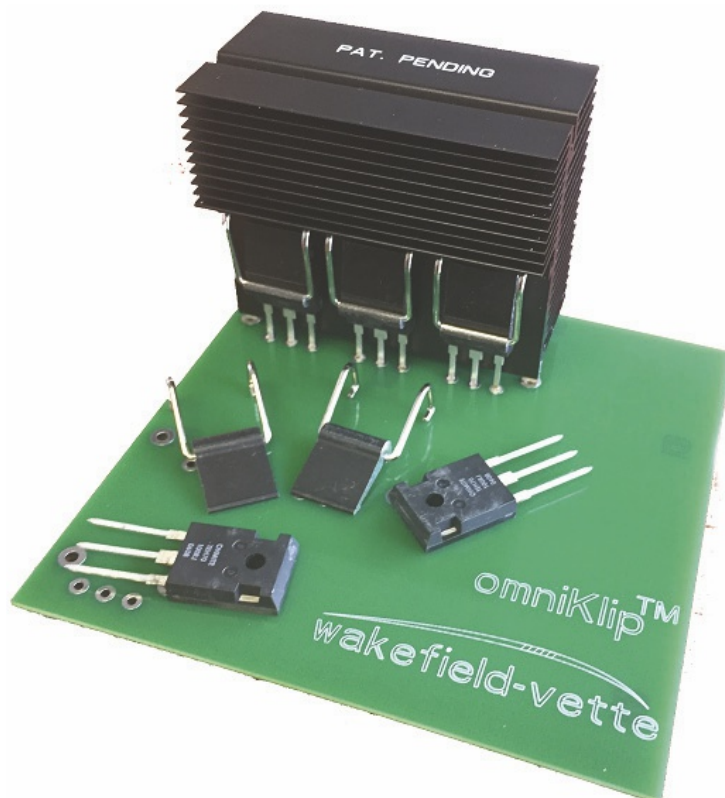
Figuur 4 Hoogspanningskabel en grondkabel met aluminium geleiders (Bron: hoogspanningsnet.com/prysmian-group.com)

Aluminium is goedkoper dan koper en vooral lichter in gewicht (circa 3× lichter). Omdat de geleiding van aluminium lager is dan van koper (ongeveer 1,7× lager), zijn er grotere diameters nodig om dezelfde energie te transporteren.

Aluminium oxideert zeer snel, maar de oxidehuid sluit de rest van het materiaal af van de buitenlucht waardoor het oxidatieproces niet verder gaat. De contacteigenschappen van aluminiumoxide zijn relatief slecht. Hierdoor blijft het gebruik voor geleiders in andere situaties dan energietransport beperkt.

Aluminium wordt ook gebruikt voor:

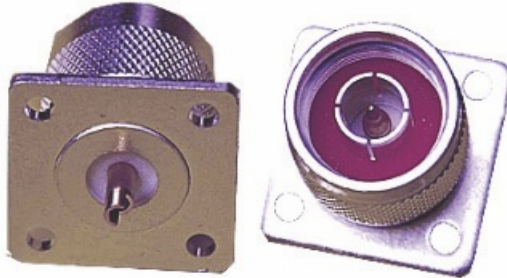
- koelplaten voor elektronische componenten (zie figuur 5);
- afscherming van telematicakabels tegen elektrische velden;
- geleiders in de rotor van bepaalde typen motoren;
- bepaalde typen condensatoren.



Figuur 5 Koelplaten voor elektronische componenten (Bron: wakefield-vette.com)

Zilver

Zilver gebruik je in de elektrotechniek voor contactpunten van schakelmateriaal zoals relais. Ook wordt het gebruikt voor de bedekking van onderdelen, zoals soldeerlipjes, soldeerpennen, connectoren en chassisdelen.

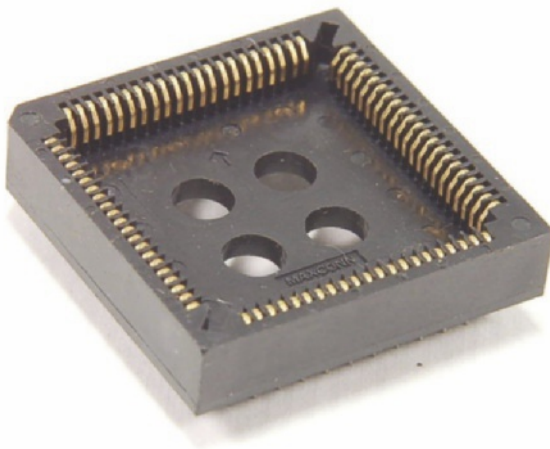


Figuur 6 Verzilverd chassisdeel voor een connector (Bron: vandijkenelektronica.eu)

Zilver oxideert nauwelijks. Daarom wordt het tot de edelmetalen gerekend. Zilver kan echter bij contactpunten waar vonken ontstaan, wel oxideren. Het voordeel van zilver is dat ook zilveroxide een goede geleider is.

Goud

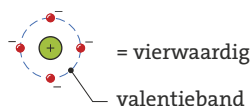
Goud is een edelmetaal dat moeilijk of niet door zuurstof of chemische stoffen wordt aangetast. Het is daarom uitermate geschikt voor schakelcontacten, stekerverbindingen en contacten in een IC-voet (IC: integrated circuit; geïntegreerde schakeling).



Figuur 7 IC-voet met vergulde contacten (Bron: electronicsurplus.com)

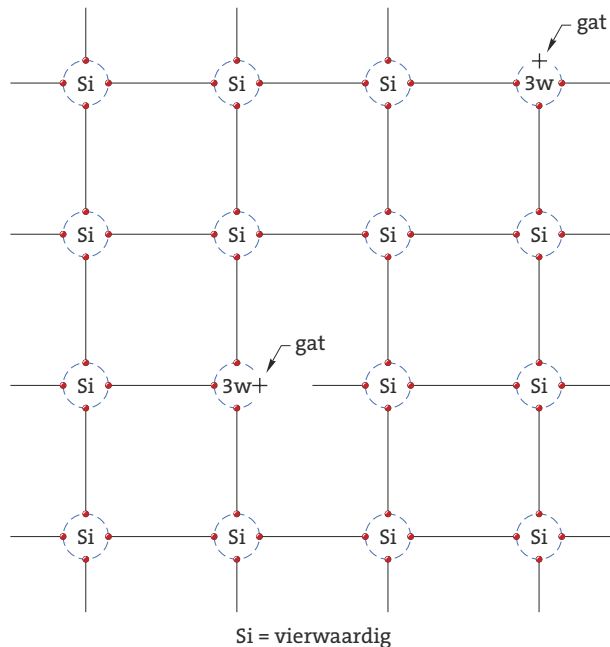
Halfgeleiders

Halfgeleidermaterialen worden gebruikt voor het maken van halfgeleidercomponenten. Een veelgebruikt basismateriaal voor halfgeleiders is silicium (Si). Bij halfgeleidermaterialen is meer energie nodig dan bij geleiders om elektronen uit de valentieband te laten springen. Zeer zuiver silicium, ook wel intrinsiek silicium genoemd, is daarom een slechte geleider. In de valentieband van silicium zitten vier elektronen. Dat noem je een vierwaardig materiaal.



Figuur 8 Valentieband van silicium (Bron: Tekenbureau Frans Hessels)

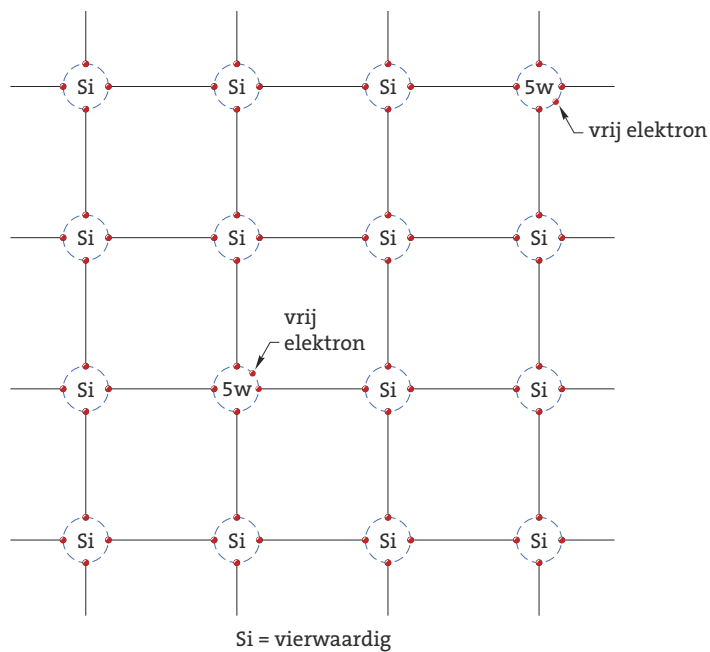
Na toevoeging van (of verontreiniging met) een heel kleine hoeveelheid driewaardig materiaal ontstaat een materiaalstructuur met een tekort aan elektronen en dus een overschot aan positieve lading. Daardoor neemt de geleiding sterk toe. Je noemt zo'n materiaal met een positieve lading een **P-materiaal**. De driewaardige materialen worden acceptoren genoemd.



Figuur 9 Structuur van P-materiaal (Bron: Tekembureau Frans Hessels)

Driewaardige materialen zijn onder andere borium en aluminium. Je ziet dat er te weinig elektronen zijn in de nieuwe structuur. De ontbrekende elektronen noem je gaten. In de gaten kunnen elektronen van het Si springen. De gaten schuiven dan naar een andere plaats. Je kunt ook zeggen dat de gaten zich verplaatsen. Als in het P-materiaal het verplaatsen van gaten constant plaatsvindt, bijvoorbeeld onder invloed van spanning, noem je dat een **gatenstroom**. Een gatenstroom kun je vergelijken met een elektronenstroom in tegengestelde richting.

Als het silicium wordt verontreinigd met een kleine hoeveelheid vijfwaardig materiaal (bijvoorbeeld fosfor), dan wordt de materiaalstructuur zoals in figuur 10. Er is nu een overschot aan negatieve lading, waardoor de geleiding sterk toeneemt. Dit noem je **N-materiaal**. De vijfwaardige materialen worden donoren genoemd en het verontreinigen van een intrinsiek materiaal wordt doperen genoemd.



Figuur 10 Structuur van N-materiaal (Bron: Tekenbureau Frans Hessels)

P- en N-materiaal worden vanwege hun specifieke eigenschappen gebruikt in halfgeleiders zoals dioden, transistoren en IC's. Ook NTC- en PTC-weerstanden zijn gemaakt van halfgeleidermaterialen, zoals ijzeroxide (Fe_2O_3), nikkeloxide (NiO) en kobaltoxide (CoO).

Isolatoren

Materialen waarbij geen of alleen met veel energie elektronen uit de valentieband kunnen springen, zijn isolatiematerialen of **isolatoren**.

Natuurlijke isolatiematerialen en hun toepassingen in de elektrotechniek zijn onder andere:

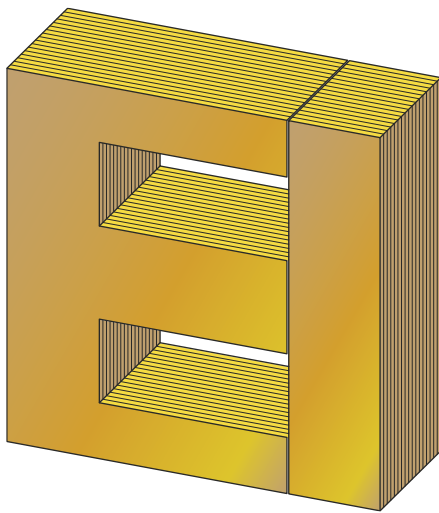
- glas, porselein en keramiek als hoogspanningsisolator (zie figuur 11);
- keramisch steatiet bij verwarmingselementen, in boilers en in waterkokers (zie figuur 12);
- rubber als isolatie van soepele leidingen;
- isolerende lak, soms papier of prespaan bij blikpakketten van een transformator (zie figuur 13);
- mica als isolatie tussen koelplaat en halfgeleider (zie figuur 14).



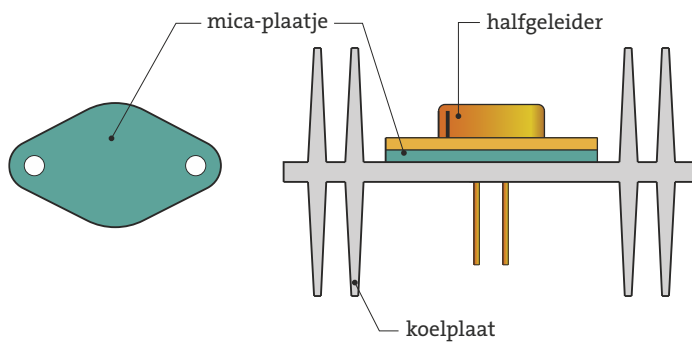
Figuur 11 Hoogspanningsisolatoren van glas (Bron: hoogspanningsnet.com)



Figuur 12 Verwarmingselement met drager van keramisch steatiet (Bron: lakshmiheaters.com)



Figuur 13 Blikpakket van een transformator (Bron: bouwer.m@planet.nl/Rinus Bouwer/Tekenbureau Frans Hessels)



Figuur 14 Koelplaat met halfgeleider (Bron: Tekenbureau Frans Hessels)

Andere natuurlijke materialen die ook als isolatiemateriaal worden gebruikt, zijn:

- textiel
- eboniet
- speciale olie
- gassen

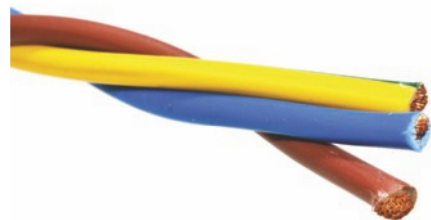
Naast deze natuurlijke materialen worden veel synthetische materialen gebruikt. Synthetische materialen zijn kunstmatig gefabriceerde materialen die niet in de samenstelling in de natuur voorkomen. Alle kunststoffen zijn dus synthetische materialen. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen thermoplastische kunststoffen en thermohardende kunststoffen.

Thermoplastische kunststoffen zijn kunststoffen die na verwarming weer te vervormen zijn. Bekende toepassingen in de elektrotechniek zijn polyethyleen of polyetheen (PE), polypropyleen (PP) en polyvinylchloride (pvc).

Polyetheen wordt gebruikt als mantel voor bepaalde soorten kabels. Polypropyleen wordt toegepast voor gietmoffen. Polyvinylchloride, dus pvc, is de meest bekende kunststof in de elektrotechniek. Het wordt toegepast bij installatiebuis en draadisolatie bij vinyldraad. De installatiebuis is hard pvc en de vinylisolatie zacht pvc. Of pvc hard of zacht is, wordt bepaald door toevoegingen van andere materialen bij de productie.



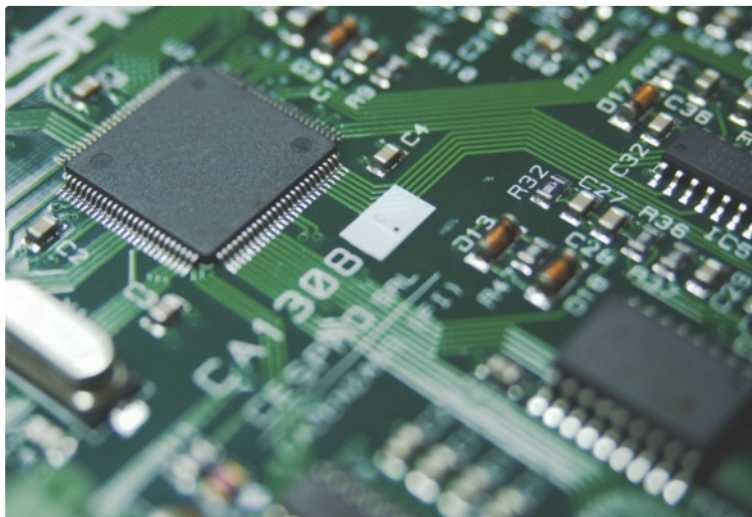
a pvc-buis



b vinyldraad

Figuur 15 Installatiebuis en draadisolatie (Bron: Shutterstock)

Thermohardende kunststoffen kun je na verwarming niet meer vervormen. Polyester is daar een voorbeeld van. Polyester wordt bijvoorbeeld als printdrager gebruikt.



Figuur 16 Printplaat (Bron: Shutterstock)

Twee belangrijke eigenschappen van isolatiematerialen zijn de doorslagvastheid en de oppervlakteweerstand.

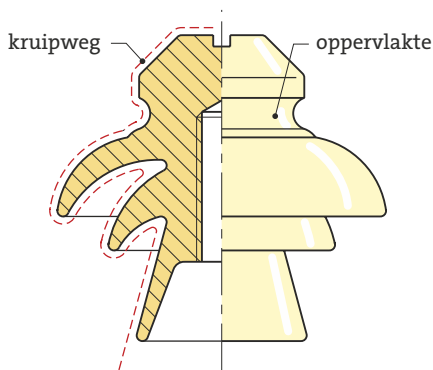
Doorslagvastheid

Spanning veroorzaakt een elektrisch veld. Een elektrisch veld oefent kracht uit op de valentie-elektronen. Bij zeer hoge spanningen zijn deze krachten zo groot dat er, ook bij isolatiematerialen, elektronen uit de valentieband springen. Het materiaal gaat dan geleiden. De spanning waarbij dit gebeurt, is de **doorslagspanning**. De doorslagspanning per millimeter is de doorslagvastheid uitgedrukt in kilovolt per millimeter (kV/mm). Voor zacht pvc is de doorslagspanning ongeveer 30 kV/mm.

Op de plaats van doorslag ontstaat meestal een materiaalbeschadiging, waardoor je het isolatiemateriaal niet meer kunt gebruiken. De doorslagspanning ligt vele malen hoger dan de spanning waarvoor je het materiaal gebruikt. Bij de fabricage van isolatiematerialen is het vooral belangrijk te controleren op verontreinigingen en beschadigingen. Hierbij treedt namelijk doorslag op bij een veel lagere spanning.

Oppervlakteweerstand

Oppervlakteweerstand is de weerstand van de isolatie aan de oppervlakte van het materiaal.



Figuur 17 Oppervlakteweerstand en kruipweg (Bron: Tekenbureau Frans Hessels)

Hoe groot die weerstand is, hangt af van de lengte en de oppervlakteruwheid. Daarnaast speelt de luchtvochtigheid en de luchtvervuiling een belangrijke rol. Een grote lengte geeft een hoge weerstand. Een glad oppervlak wordt minder door vuil aangetast dan een ruw oppervlak. Het ene materiaal is vochtgevoeliger (neemt meer vocht uit de lucht op) dan het andere materiaal.

Vuil en vochtigheid verlagen de weerstand van het materiaal. Bij de hoogspanningsisolator van figuur 17 is door de speciale vorm de kruipweg waarlangs een stroom kan vloeien, lang gemaakt. Bij een porseleinen isolator is het oppervlak geglaazuurd, zodat een glad oppervlak ontstaat. De isolator heeft daardoor een hoge oppervlakteweerstand.

Hoge spanningen trekken vuil aan. Dat is dus nadelig voor de oppervlakteweerstand. Als de luchtvochtigheid hoog is, wordt de oppervlakteweerstand verlaagd. Als de omgevingscondities dus slecht zijn, kun je in toestellen die op hoge spanningen werken, doorslag krijgen.

Weerstandsmaterialen

Elk materiaal heeft weerstand. Weerstanden zouden dus van elk materiaal kunnen worden gemaakt. Als je echter eisen stelt aan de eigenschappen van een weerstand, blijven er niet zoveel materialen over.

In tabel 1 valt op dat van metalen de soortelijke weerstand klein is. De temperatuurcoëfficiënt is relatief hoog in vergelijking met andere materialen. En dat is een slechte eigenschap, want bij een hoge temperatuurcoëfficiënt verandert de weerstandswaarde bij veranderende temperatuur veel.

Daarom zijn deze metalen minder geschikt om er weerstanden van te maken.

Tabel 1

Materiaal	Soortelijke weerstand ρ ($\cdot 10^{-6}$ in Ωm)	Temperatuurcoëfficiënt α ($\cdot 10^{-3}$ in $1/^\circ\text{C}$)
Aluminium	0,028	4,6
Goud	0,022	3,5
Ijzer	0,12	4,7
Koper	0,0175	3,8
Zilver	0,016	3,7
Zink	0,063	3,9

Tabel 2 toont van een aantal weerstandsmaterialen de **legeringen** waarvan ze zijn gemaakt, de soortelijke weerstand en de temperatuurcoëfficiënt. Uit de waarden blijkt dat deze legeringen een hogere soortelijke weerstand hebben en een lagere temperatuurcoëfficiënt dan de metalen uit tabel 1. Ze zijn daarom veel meer geschikt om er weerstanden van te maken. Van metaallegeringen worden dan ook vele typen weerstanden gemaakt. Koolstof met een hoge waarde van de soortelijke weerstand is een materiaal die daar zeer geschikt voor is. De keuze voor een weerstand gaat dan vaak tussen koolstofweerstand en metaalfilmweerstand waarvan het metaal een legering is.

In tabel 2 staat verder aangegeven voor welke toepassingen de verschillende materialen worden gebruikt en welke maximale bedrijfstemperaturen zijn toegestaan. Dit is maar een kleine selectie van de legeringen en de toepassingen die er zijn.

Belangrijk is dat je weet dat:

- Legeringen worden gebruikt voor het maken van weerstanden.
- Eisen worden gesteld aan de stabiliteit van de weerstandswaarde, dat wil zeggen dat er door omgevingsinvloeden geen grote veranderingen optreden in de waarde van de weerstand.

Tabel 2 Weerstandsmaterialen

Materiaal	Legering van	Soortelijke weerstand ρ ($\Omega \cdot m$)	Temperatuur-coëfficiënt α ($^{\circ}C^{-1}$)	Toepassing	Maximum-temperatuur
Koolstof	C	100	$-0,3$ tot $-0,08 \cdot 10^{-3}$	weerstand voor algemene toepassingen	
Constantaan	Cu + Ni	$0,48 \cdot 10^{-6}$	$0,03 \cdot 10^{-3}$	regel- en precisieweerstanden	400 °C
Nikkelline	Cu + Ni	$0,43 \cdot 10^{-6}$	$0,24 \cdot 10^{-3}$	regelweerstand	400 °C
Manganine	Cu + Ni + Mn	$0,42 \cdot 10^{-6}$	$0,02 \cdot 10^{-3}$	shuntweerstand voor paneelmeters	300 °C
Nichroom	Cr + Ni	$1,11 \cdot 10^{-6}$	$0,17 \cdot 10^{-3}$	verwarmings-elementen	300 °C
Kantal	Fe + Cr + Al	$1,45 \cdot 10^{-6}$	$0,06 \cdot 10^{-3}$	verwarmings-elementen	1350 °C

Elementen, batterijen en accu's

In apparatuur en toestellen die je gemakkelijk kunt verplaatsen, gebruik je meestal als spanningsbron elementen, batterijen en accu's. Ook bij steeds meer voertuigen is dit het geval.

Daarin wordt onderscheid gemaakt tussen primaire cellen, secundaire cellen en brandstofcellen.

Primaire cellen

Een cel die of een element dat na gebruik niet oplaadbaar is, heet een **primaire cel**. Een batterij is een aantal cellen of elementen die in serie of parallel geschakeld zijn.

Er zijn verschillende soorten primaire cellen met hun eigen samenstelling en eigenschappen.

Zink-koolstofbatterij

Van een zink-koolstofbatterij is de anode een koolstaaf en de kathode een zinken omhulsel. Als elektrolyt wordt salmiakzout gebruikt. De elektrolyt is gebonden met een bindmiddel. De spanning is 1,5 V/cel. Het element met deze materialen is uitgevonden door Leclanché. Daarom wordt dit het element van Leclanché genoemd.

De zink-koolstofbatterij is een goedkope spanningsbron. Voor bijvoorbeeld thermostaten, afstandsbedieningen en elektronische wekkers, waarin kleine stromen lopen, of in apparaten die niet dagelijks worden gebruikt zoals zaklantaarns, is dit een goede spanningsbron.

Een nadeel van dit element is dat het zinken omhulsel kan gaan lekken door de chemische reactie die ook doorgaat als het element leeg is.



Figuur 18a Cellen 1,5 V (Bron: Shutterstock)



Figuur 18b Koolzinkbatterij met drie cellen 4,5 V (Bron: Shutterstock)

Alkalinebatterij

De alkalinebatterij heeft een anode van zink (Zn) en een kathode van mangaandioxide (MnO_2) gecombineerd met grafiet. Hierbij wordt als elektrolyt kaliumhydroxide (KOH) gebruikt. De spanning is 1,5 V. In vergelijking met het element van Leclanché gaat de alkalinebatterij langer mee, omdat de hoeveelheid energie groter is. Doordat het omhulsel niet van zink is maar van mangaandioxide, is er geen gevaar van lekken van het omhulsel.



Figuur 19 Alkalinebatterij (Bron: Shutterstock)

Lithiumbatterij

De anode bij een lithiumbatterij is van lithium (Li) en de kathode van mangaandioxide (MnO_2). De elektrolyt is van organisch materiaal. De celspanning is ongeveer 3,2 V. De knoopcellen worden gebruikt in onder andere gehoorapparaten, pacemakers, fototoestellen en horloges.



Figuur 20a 9V-lithiumbatterij (Bron: Shutterstock)



Figuur 20b 3V-knoopcel (Bron: Shutterstock)

Secundaire cellen

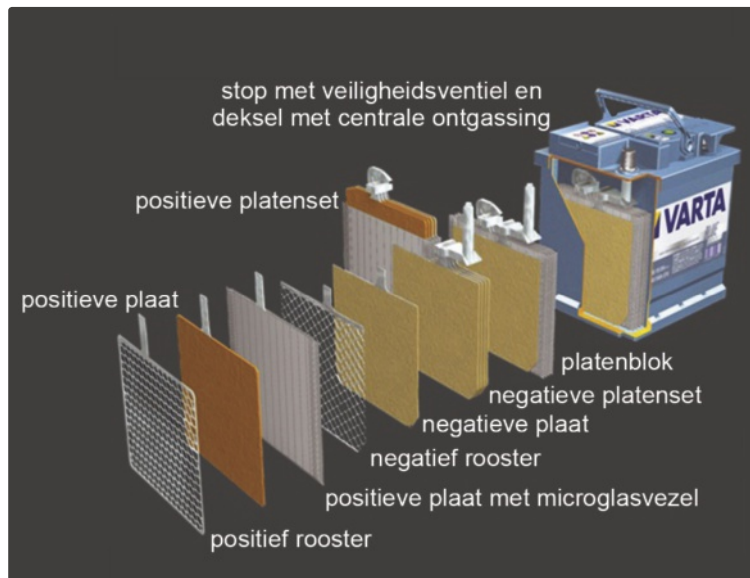
Een **secundaire cel** is een cel die je na het ontladen weer kunt opladen. Bij een samenstel van secundaire cellen worden de aanduidingen 'accu' en 'batterij' beide gebruikt voor hetzelfde product.

Belangrijk bij secundaire cellen is hoe groot de vermogensdichtheid is: hoeveel watt per kilogram gewicht (W/kg) kan bijvoorbeeld een accu of batterij leveren. Hoe hoger dit getal, hoe effectiever de accu of batterij is. Dit speelt een belangrijke rol bij de keuze van de accu voor elektrische voertuigen. Ook wordt wel de energiedichtheid gegeven, uitgedrukt in kilowattuur per kilogram (kWh/kg).

Ook bij secundaire cellen onderscheid je weer een aantal soorten.

Loodaccu

Bij de loodaccu zijn de elektroden van loodoxide (PbO) en looddioxide (PbO_2). De elektrolyt is verdund zwavelzuur (H_2SO_4). De spanning van een cel is ongeveer 2 V. Bij een loodaccu is een aantal cellen in serie geschakeld.

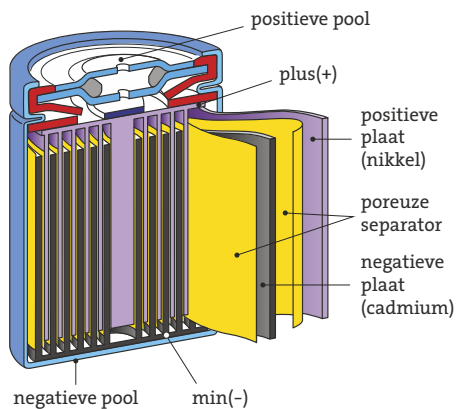


Figuur 21 Loodaccu (Bron: Wikimedia Commons)

De loodaccu is bestand tegen een grote ontladingsstroom en kan daarbij diep worden ontladen. Doordat ze met grote vermogensdichtheid kunnen worden gemaakt, worden ze veel gebruikt in auto's en schepen, maar ook in de noodstroomvoorziening voor ziekenhuizen en in bijvoorbeeld scootmobielen en grasmaaiers. Door het ontstaan van waterstof en zuurstof (knaalgas) bij het laden moet dit altijd in een goed geventileerde ruimte gebeuren.

Nikkel-cadmiumaccu

Een nikkel-cadmiumaccu (NiCd-accu) is een droge, oplaadbare accu. De accu is snel op te laden, levert een hoge piekstroom en heeft een vermogensdichtheid van 200 W/kg.



Figuur 22 NiCd-accu (Bron: Tekenbureau Frans Hessels)

De elektroden zijn gemaakt van nikkeldihydroxide (Ni(OH)_2) en cadmium (Cd). De elektrolyt kaliloog (KOH) neemt hierbij geen deel aan de chemische reactie en dient alleen als geleider. De spanning is 1,2 V per cel. NiCd-accu's worden onder andere toegepast in gereedschap, speelgoedradio's, elektrische fietsen en modelbouw.

Voordelen van dit type cel ten opzichte van de loodaccu zijn:

- Ze hebben weinig onderhoud nodig.
- Er is bijna geen ontlading als je ze niet gebruikt (zelfontlading).
- Ze zijn ongevoelig voor te grote stroomafname en zelfs kortsluiting.
- Ze hebben een lange levensduur.

Er zijn echter ook een paar nadelen ten opzichte van de loodaccu:

- Ze leveren een lagere spanning per cel.
- Ze zijn door hun hogere inwendige weerstand minder geschikt voor grote stromen.
- Ze hebben een kleinere energiedichtheid.

Maar de grootste nadelen van NiCd-accu's zijn:

- Het geheugeneffect: ze verliezen geleidelijk hun maximale energiecapaciteit bij het telkens opladen zonder volledig leeg te zijn geweest.
- Het cadmium in de accu bevat giftige stoffen en zal op den duur niet meer beschikbaar zijn.
- Ze zijn duur.

Nikkel-metaalhydrideaccu

Een nikkel-metaalhydride-accu (NiMH-accu) is een droge, oplaadbare accu. Bij deze cel bestaat de anode uit nikkel-metaalhydride (NiMH) en het actieve materiaal in de kathode is nikkel-oxyhydroxide ($\text{NiO}(\text{OH})$). De elektrolyt is hierbij kaliumhydroxyde (KOH). De cel levert een spanning van 1,2 V. In vergelijking met een NiCd-accu is deze minder slecht voor het milieu. Dit type accu wordt vooral gebruikt in fototoestellen, mobiele telefoons en laptops omdat ze een grote capaciteit hebben. De accu's zijn er ook met een hogere spanning voor gebruik in hybride auto's. De nieuwste generatie oplaadbare batterijen zijn, in tegenstelling tot traditionele oplaadbare batterijen, al volledig opgeladen op het moment dat ze uit de verpakking worden gehaald. Ze kunnen dus onmiddellijk worden gebruikt. Als ze niet worden gebruikt, zijn ze na een jaar nog steeds tot 85% opgeladen.



Figuur 23 9V-NiMH-batterij (Bron: Shutterstock)

Lithium-ionaccu

De kathode van de lithium-ionaccu (Li-ion) wordt gevormd door grafiet (C) en de anode door lithiummetaalverbindingen zoals lithiumnikkeldioxide (LiNiO_2). De elektrolyt is een lithiumzoutsamenstelling. De celspanning is 3,6 tot 3,7 V.



Figuur 24 Li-ion-accu's van 3,7 V (Bron: Shutterstock/jungheinrich.nl)

Lithium-ionaccu's worden veel gebruikt in consumentenelektronica, zoals telefoons, mp3-spelers, fototoestellen en andere draagbare apparatuur, in vorkheftrucks en ter vervanging van loodaccu's. De accu's zijn er met een capaciteit van een paar honderd milliampère-uur (mAh) tot een paar honderd ampère-uur (Ah). Als de cel te ver ontladen wordt, bestaat de kans dat deze stukgaat. De cel wordt daarom niet verder ontladen dan tot een spanning van 2,4 tot 2,8 V. Een beveiliging zorgt ervoor dat de batterij geen stroom meer levert als deze spanning is bereikt.

Voordelen van Li-ion-accu's zijn:

- Ze hebben een hoge energiedichtheid.
- De zelfontlading is gering.
- Er is geen geheugeneffect.
- Ze hebben een groot vermogen.
- De levensduur is lang.

Nadelen zijn:

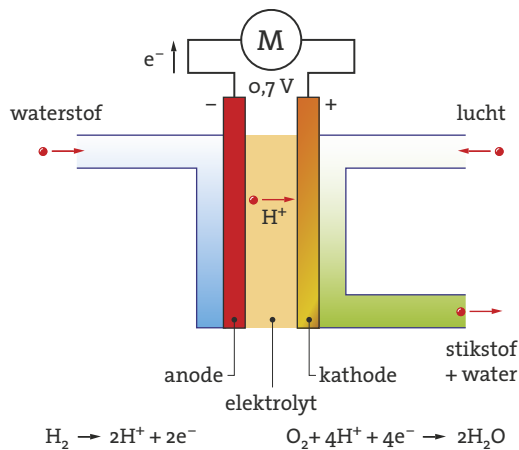
- Ze zijn in verhouding duur.
- Ze zijn gevaarlijk bij verkeerd gebruik. Ze kunnen dan oververhit raken en exploderen. Dat kan gebeuren bij het opladen met niet-originele laders of doordat de batterij beschadigd is.

Brandstofcel

Een brandstofcel bestaat uit twee katalysatoren gescheiden door een membraan. Het kenmerkende verschil tussen accu's en brandstofcellen is dat je een **brandstofcel** niet oplaadt.

Aan de anodekatalysator wordt van buitenaf waterstof toegevoerd die wordt omgezet in waterstofionen. Aan de kathodekatalysator wordt zuurstof uit de lucht toegevoerd die samen met de door het membraan doorgelaten waterstofionen in water wordt omgezet. Die reactie zorgt voor een elektrische spanning tussen anode en kathode. De verbindende elektrolyt is afhankelijk van het type en kan bijvoorbeeld een mengsel van water en kaliumhydroxide zijn.

De anode werkt als een katalysator. Als katalysator worden metalen gebruikt, zoals platina, een platinalegering of kobalt. Door de chemische reactie ontstaan er vrije ionen en komt er water vrij. Zie figuur 25a voor de werking en figuur 25b voor een uitvoering ervan. De spanning tussen anode en kathode van een cel is 0,7 tot 1,2 V. De afgebeelde uitvoering is een brandstofcel van 12 V met een vermogen van 380 W.



Figuur 25a Brandstofcel: werking (Bron: Tekenbureau Frans Hessels)



Figuur 25b Brandstofcel: uitvoering (Bron: eph-elektronik.de)

Er zijn meer soorten brandstofcellen. Het verschil zit in de toegevoerde brandstof of de soort elektrolyt. Zo heeft de alkalinebrandstofcel kaliloog als elektrolyt, en in de methanolbrandstofcel wordt methanol als brandstof gebruikt dat dan in de plaats komt van waterstof.

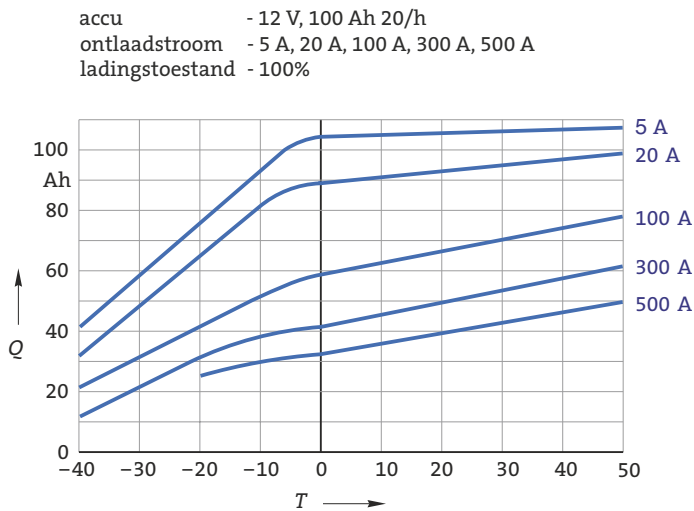
De toepassingen nemen nog steeds toe en vervangen dan de accu, de batterij of bijvoorbeeld een aggregaat.

Capaciteit van batterijen en accu's

De tijd dat een accu een bepaalde stroom kan leveren, is afhankelijk van de **accucapaciteit** en de grootte van de ontladstroom. De capaciteit is hetzelfde als de lading die in de accu zit.

Een accu met een capaciteit van 100 Ah kan bijvoorbeeld gedurende 50 uur een ontladstroom van 2 A leveren. Als je echter een stroom van 25 A gebruikt, zal de accu dat veel korter volhouden dan de 4 uur die je zou verwachten. Behalve de capaciteit in Ah wordt daarom meestal ook de kortste tijd gegeven, waarbij je de ontladstroom nog met $I = \frac{Q}{t}$ kunt berekenen. Bij startaccu's is dit 10 uur.

Ook de temperatuur heeft invloed op de capaciteit van de accu. Daardoor zal een ontladstroom bij heel lage temperaturen veel korter kunnen vloeien dan bij temperaturen boven nul (zie figuur 26). Bij het starten van een auto kun je daar in de winter last mee krijgen als de auto niet snel start.



Figuur 26 Capaciteit van een loodaccu is sterk afhankelijk van de temperatuur (Bron: Tekenbureau Frans Hessels)

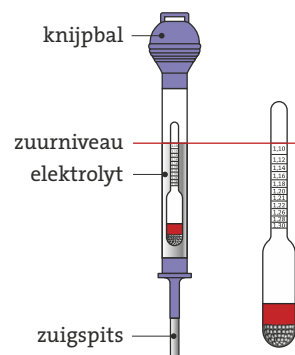
Bij het opladen van een accu vloeit er een laadstroom. Daarbij moet je de pluspool (+) van een oplaadapparaat verbinden met de pluspool van de accu en de minpool (-) met de minpool. Voor de laadstroom geldt onder andere het volgende:

- Doordat de celspanning geleidelijk stijgt, zal de laadstroom afnemen.
- De laadstroom die het laadapparaat levert, moet groot genoeg zijn om de benodigde lading in de beschikbare tijd te leveren.
- Regelmatig te weinig opladen zorgt voor sulfatering van de elektroden. Daardoor neemt de capaciteit van de accu af. Bij sulfatering zal het loodsulfaat kristalliseren. De kristallen zullen het plaatoppervlak van de actieve massa afdekken waardoor het laden van de accu niet meer mogelijk is.
- De accu te lang doorladen als deze vol is, zorgt voor beschadiging van de platen.

Testen en onderhouden van accu's

Loodaccu's zijn er in open en gesloten uitvoering. NiCd-accu's komen alleen in gesloten uitvoering voor.

Bij de open accu's kun je het verdampte water bijvullen, waardoor de levensduur wordt verlengd. Doordat je bij de vloeistof kunt komen, kun je deze accu's testen met een zuurweger.



Figuur 27 Zuurweger (Bron: Shutterstock/Tekenbureau Frans Hessels)

Wat je dan test, is de soortelijke massa van de elektrolyt, in dit geval dus verdund zwavelzuur. Bij ontleding ontstaat er door de chemische reactie water, waardoor de 'verdunding' groter wordt en de soortelijke massa kleiner.

Tijdens de ontlading daalt de spanning van een accu. Voor de celspanning geldt steeds: $U_{\text{cel}} = 0,84 + \text{soortelijke massa}$. Als de soortelijke massa bijvoorbeeld 1,2 is, is de celspanning: $U_{\text{cel}} = 0,84 + 1,2 = 2,02 \text{ V}$.

Dichte accu's hebben een ventiel om te hoge druk die bij het laden kan ontstaan, tegen te gaan. Deze accu's kun je alleen testen met een accutester. Daarmee meet je de accuspanning als hierop een belasting is aangesloten.



Figuur 28 Accutester (Bron: harborfreight.com)

Ook als je batterijen niet gebruikt, kunnen ze door zelfontlading leeglopen. Bij loodaccu's krijg je daardoor sulfaat op de elektroden, waardoor je ze niet meer kunt opladen. Voor de accu van bijvoorbeeld een caravan of boot die je 's winters niet gebruikt, kun je laadapparaten kopen die de accu heel langzaam blijven laden (druppelladers). Ook is het een goede manier om de accu elke maand een keer goed op te laden. De eigenschappen van de meest voorkomende cellen waaruit batterijen of accu's bestaan, staan in tabel 3.

Tabel 3 Overzicht chemische cellen

Naam	Elektroden	Elektrolyt	Spanning per cel
Element van Leclanché	koolstof en zink	salmiakzout (NH_4Cl)	1,5 V
Alkalinecel	grafiet + mangaandioxide en zink	kaliumhydroxide (KOH)	1,5 V
Lithiumcel	lithium en mangaandioxide	organisch materiaal	3,2 V
Loodcel	lood en looddioxide	verdund zwavelzuur (H_2SO_4)	2 V
Nikkel-cadmiumcel	nikkelhydroxide en cadmium	kaliumhydroxide (KOH)	1,2 V
Nikkel-metaalhydridecel	nikkel-metaalhydride en nikkeloxyhydroxide	kaliumhydroxide (KOH)	1,2 V
Lithium-ioncel	lithiumverbindingen en grafiet	lithiumzout	3,6 - 3,7 V

TouchTech – Techniek die je raakt

Dit boek is onderdeel van TouchTech, een complete modulaire methode voor MBO Techniek niveau 3 en 4. Dit standaardboek is opgebouwd uit een aantal opeenvolgende leereenheden van één vakgebied. TouchTech is zowel in boekvorm, als boek OpMaat en digitaal beschikbaar. TouchTech heeft een breed aanbod van circa 400 leereenheden voor de vele vakgebieden in de elektrotechniek, werktuigkunde en mechatronica.

Het boek Technologie voor elektrotechniek bevat vijf leereenheden. Hierin komen met name eigenschappen van materialen en spanningsbronnen aan bod. Maar ook de kenmerken en werking van weerstanden, spoelen, condensatoren en dergelijke. Het behoort daarmee tot de basis voor elektrotechniek.

Learning by doing

De serie TouchTech helpt de verbinding te maken tussen theorie en praktijk. Elke leereenheid start met kernvragen over het leerdoel, zodat je weet wat je gaat leren. Binnen elke leereenheid wordt beknopte theorie gekoppeld aan praktijkvoorbeelden. Na de theorie volgen korte verwerkings- en toepassingsopdrachten om de lesstof eigen te maken en de relatie met de praktijk te leggen.

Anytime/anywhere

Met de nieuwe serie Techniek is de benodigde theorie anytime/anywhere beschikbaar. De theorie is beschikbaar in leereenheden op onderwerp, zodat je eenvoudig kunt beschikken over alleen de theorie die je op dat moment nodig hebt tijdens lessen, praktijkopdrachten en projecten. De leereenheden/onderwerpen zijn snel op te zoeken voor docent én student.

Bewezen didactiek

De didactische opbouw van elke leereenheid is gebaseerd op het zes-leerfasen model: na een introductie vanuit de praktijk volgt de theorie, verduidelijkt met praktijkvoorbeelden. In het tweede deel gaat de student aan de slag met verwerkingsvragen, toepassingsvragen en tenslotte de evaluatie en reflectie.

Diversiteit aan leermiddelen

TouchTech is leverbaar op papier of digitaal in een volgorde die jij wilt. De op zichzelf staande leereenheden zijn samen te stellen tot maatwerkreaders, maar ook als standaardboek (leerwerkboek) met vaste volgorde per vakgebied te bestellen. Digitaal is de methode als licentie beschikbaar voor scholen, waarbij de docent zelf een curriculum kan samenstellen uit het brede aanbod van leereenheden.

TouchTech bevat leereenheden die geschikt zijn voor de kwalificaties:

- Middenkader Engineering
- Elektrotechnische installaties
- Mechatronica
- Human Technology
- Werktuigkundige installaties, enz.

Auteurs:

H. Frericks
S.J.H. Frericks

Eindredactie:

H. Frericks
S.J.H. Frericks



9 789006 701456