

Electronics

1. Systemen, hoeveelheden en eenheden

Opleiding: Bachelor Elektronica-ICT

Academiejaar: 2020-2021

Patrick Van Houtven
Patrick.vanhoutven@ap.be

Inhoud

Inhoud	1
1 Systemen, hoeveelheden en eenheden	1
Introductie	1
1.1 Introductie van elektronische systemen	1
1.1.1 Systeemconcepten	1
1.1.2 Blokdiagram	2
1.1.3 Stroomdiagram	3
1.1.4 Transfertfunctie (overdrachtcurve of responscurve)	5
1.1.5 Test jezelf aangaande systemen	6
1.2 Soorten schakelingen	6
1.2.1 Componenten	7
1.2.2 Elektrische schakelingen	8
1.2.3 Elektronische schakelingen	9
1.2.4 Test jezelf aangaande soorten schakelingen	10
1.3 Wetenschappelijke en technische (engineering) notatie	11
1.3.1 Wetenschappelijke notatie	11
1.3.2 Engineering notatie (technische notatie)	14
1.3.3 Test jezelf aangaande wetenschappelijke en technische (engineering) notatie	14
1.4 Eenheden en metrische voorvoegsels (prefixen)	15
1.4.1 Elektrische eenheden	15
1.4.2 Metrische Prefixen	15
1.4.3 Test jezelf aangaande metrics en prefixes	18
1.5 Gemeten waarden	18
1.5.1 Fout, nauwkeurigheid en precisie	19
1.5.2 Beduidende cijfers	20
1.5.3 Afronden van getallen	22
1.5.4 Test jezelf aangaande gemeten waarden	23
1.6 Elektrische veiligheid	23
1.6.1 Elektrische schok	24
1.6.2 Dagelijkse netspanning van 230 V	25
1.6.3 Veiligheidsmaatregelen	26

1 Systemen, hoeveelheden en eenheden

Introductie

De evolutie van de noodzakelijke kennis voor elektronici is geëvolueerd van het oplossen van problemen op componentenniveau naar het installeren en testen van systemen. Technici moeten veel meer gericht worden op systeemintegratie dan vroeger het geval was. Om te begrijpen hoe systemen werken moet iedereen die het werkveld betreedt op de hoogte zijn van de fundamentele elektrische wetten. Dit hoofdstuk begint met de attributen van systemen en circuits. Daarnaast worden de basiseenheden, elektrische grootheden, de engineering- en wetenschappelijke notatie aangehaald die gebruikt wordt op het gebied van elektronica.

1.1 Introductie van elektronische systemen

Een elektronisch systeem is een samenstelling van componenten en schakelingen die speciaal ontworpen zijn voor het bereiken van een specifieke functie. Voorbeelden van elektronische systemen variëren van een eenvoudige garagedeuropener tot een complex systeem zoals een radarsysteem.

Wat onthoud je best na deze sectie?

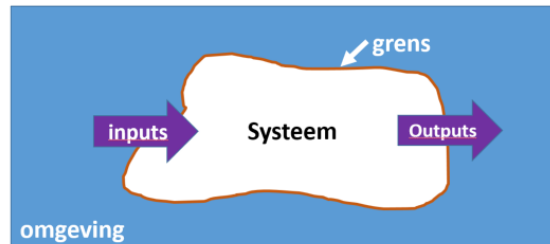
- *De beschrijving van de attributen van een systeem.*
- *De definitie van het woord systeem zoals dit geldt voor de elektrische en elektronische systemen.*
- *Het nut van een blokschema en hoe je zo'n blokschema (basisschema) moet interpreteren.*
- *Een voorbeeld van een transfertfunctie toegepast op een blok binnen een elektronisch systeem.*

1.1.1 Systeemconcepten

Een systeem is een groep van onderling verbonden onderdelen die een specifieke functie voorstellen. Een grens is de scheidingslijn tussen wat deel uit maakt van het systeem en wat niet. Figuur 1-1 toont een voorbeeld van een systeem en zijn omgeving.

Een systeem communiceert met de buitenwereld via zijn in- en uitgangen. Deze worden ook wel de inputs en outputs genoemd. Een input wordt verkregen door een bepaalde spanning, stroom of vermogen toe te voeren aan het systeem om een bepaald gewenst resultaat te bekomen. Een bepaalde output van het systeem stelt het resultaat voor dat wordt verkregen uit het systeem na verwerking van één of meer ingangen. Het spreekt vanzelf dat systemen meerdere ingangen en uitgangen kunnen hebben. Merk op dat geen enkel systeem volledig geïsoleerd is van zijn omgeving. Stel bijvoorbeeld het Internationaal Space Station (ISS). Vermits het Space Station zich in de ruimte bevindt lijkt dit systeem volledig geïsoleerd te zijn van zijn omgeving. Echter dit systeem ontvangt zonne-energie, straalt een zekere hoeveelheid warmte in de ruimte en wordt beïnvloed door de zwaartekracht van de Aarde. Vaak kunnen zulke systemen wel ter vereenvoudiging beschouwd worden

alsof het volledig geïsoleerde systemen zijn. Systemen kan men ook onderverdelen in elektrische systemen (installaties) en elektronische systemen.



Figuur 1-1: Een systeem in zijn omgeving

Elektrische systemen

Elektrische installaties zijn elektrische systemen die werken met een bepaald elektrisch vermogen. Een voorbeeld van zo'n elektrisch systeem is de elektrische installatie van een woning. De buitenmuren en het dak van de woning stellen de grenzen van het systeem voor en de binnenruimte (waaronder kelder en zolder) wordt gedefinieerd als systeem. De aansluiting op het elektriciteitsnet wordt gedaan via de elektriciteitsmeter(s) op een paneel en wordt beschouwd als de invoer (input) naar het systeem. De outputs vertegenwoordigen specifieke punten binnen het huis (of buiten) waar belastingen worden aangesloten. De grens kan worden veranderd om de analyse sluitend te maken (voorbeeld voor stopcontacten die in de tuin aangelegd worden). Voor het huis kan het bedradingssysteem, of een deel van deze bedrading (bijvoorbeeld alleen de bedrading voor de verlichting) beschouwd worden als een systeem of een subsysteem.

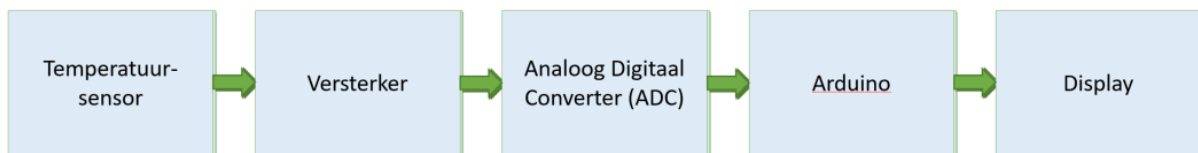
Elektronische systemen

Elektronische systemen gaan om met signalen in plaats van met vermogen. In de context van een elektronisch systeem is een signaal een veranderende elektrische- of elektromagnetische hoeveelheid die informatie draagt. Als een bepaalde invoer voor een systeem nooit verandert dan is het volledig voorspelbaar. In dit geval wordt de ingang niet als een signaal beschouwd omdat er geen informatie aanwezig is. De meeste elektronische systemen verwerken de informatie in een signaal. Het onderscheid tussen een elektronisch systeem en een elektrisch systeem wordt vertroebeld door het feit dat elektrische systemen vaak gebruik maken van elektronische componenten voor de regeling ervan. Een elektronisch systeem heeft normaliter een elektrisch subsysteem voor het leveren van de noodzakelijke stroom.

1.1.2 Blokdiagram

Een elektronisch systeem zal in het algemeen leiden tot een logische volgorde van processen. Om ingewikkelde processen vereenvoudigd weer te geven wordt gebruik gemaakt van zogenaamde blokdiagrammen of blokschema's. Meestal worden deze blokdiagrammen ook gebruikt om de volgorde van verwerking van de signalen duidelijk weer te geven. Een blokdiagram is een model van een systeem dat zijn structuur weergeeft in een grafisch formaat met behulp van blokken (waarin zich functies en verbindingen bevinden) om de signaalflow. Figuur 1-2 stelt als

voorbeeld het blokdiagram van een digitale temperatuurmeter voor. Dit blokdiagram toont de belangrijkste onderdelen van het systeem en de signaalstroom zonder in detail te gaan aangaande de opbouw van de schakelingen. Stel een temperatuursensor waarbij de uitgangsspanning verandert op basis van de omgevingstemperatuur. Meestal wordt hiervoor een zogenaamde NTC gebruikt. Dit is een weerstand met een Negatieve TemperatuursCoëfficiënt. Naarmate dat de temperatuur stijgt daalt de weerstandswaarde en als deze weerstand in een spanningsdeler wordt gebruikt, daalt bijgevolg ook de spanning over deze NTC.



Figuur 1-2 : blokdiagram van een digitale temperatuurmeter

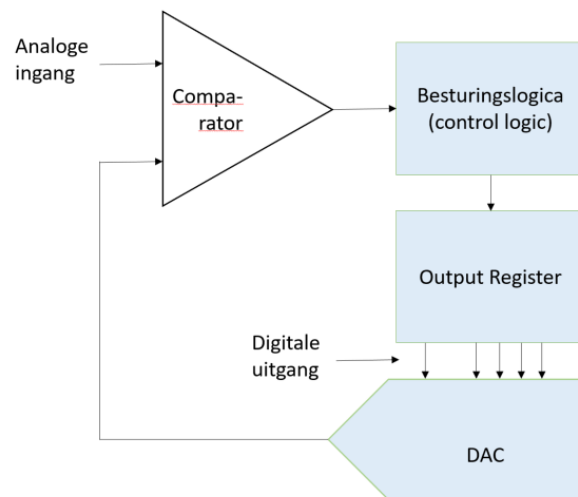
Het signaal van de sensor wordt versterkt (vergroot) door de versterker. Het versterkte signaal wordt verder doorgestuurd naar de Analoog Digitaal Converter (ADC). Deze zet het analoog versterkt signaal, afkomstig van de temperatuursensor, om in een digitale code die aan de ingangspoorten van een processor (bv. een arduinosysteem) wordt aangelegd. Hierin is code vervat die de digitale code omzet in een bepaald getal dat overeenkomt met de temperatuurswaarde gemeten via de temperatuursensor. Via het display wordt vervolgens de temperatuur weergegeven als een verlicht getal. Het blokschema toont bijgevolg de belangrijkste onderdelen van het systeem en de signaalstroom zonder detailgegevens over de desbetreffende deelschakelingen van het systeem.

1.1.3 Stroomdiagram

Onder data acquisitie wordt het proces verstaan waarbij analoge signalen (afkomstig uit de werkelijke wereld) omgevormd worden tot digitale numerieke waarden die gemanipuleerd kunnen worden door een computer. In het voorbeeld van de digitale temperatuurmeter zet de ADC de werkelijke analoge spanningswaarde om in een digitale code. Data acquisitie wordt voor verschillende toepassingen gebruikt.

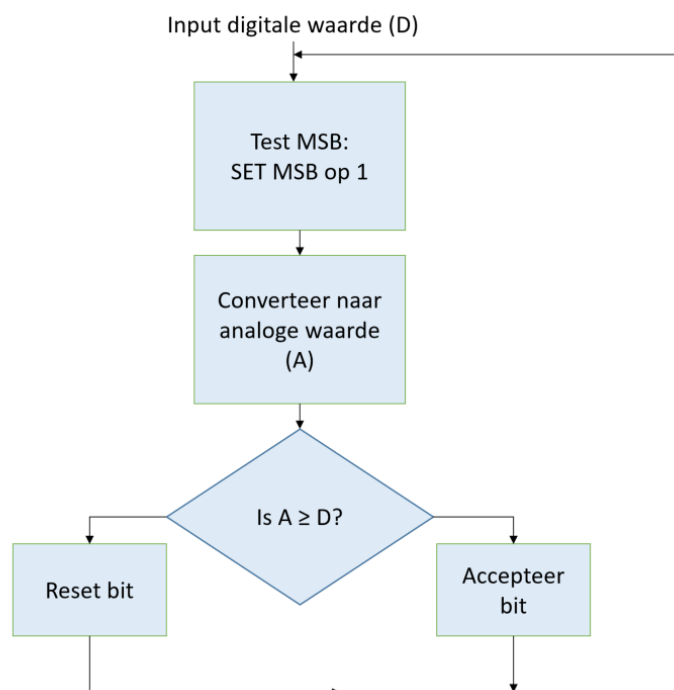
De ADC is een belangrijk onderdeel van een data acquisitiesysteem.

Systeemanalisten kunnen aan de hand van een blokschema en een flowchart de werking verklaren van bijvoorbeeld de “successieve approximatieve” ADC. Dit is een bepaalde manier van omvorming om een analoge waarde om te zetten in een digitale code. Stel dat we de successieve approximatiemethode als ADC-systeem beschouwen. Het blokschema van zulk systeem is weergegeven in Figuur 1-3. De figuur toont een blokdiagram van de hardware onderdelen en stelt de signaalflow voor. De figuur toont niet de details van het proces dat de controlelogica moet uitvoeren. Deze controlelogica maakt deel uit van de besturingslogica (control logic) en is een deel van het totale systeem. Het blokdiagram toont de flow van een signaal. De schakeling gebruikt een besturingslogicaschakeling (control unit) om een actie te bepalen die gebaseerd is op basis van het resultaat van het vergelijken van de input (analoog) en de output (digitaal).



Figuur 1-3 : blokschema principe successieve approximatieve ADC

Een stroomschema toont de logica die nodig is om het signaal te verwerken. Figuur 1-4 toont een stroomschema die het werkingsprincipe van de besturingslogica van de successieve approximatieve ADC verduidelijkt.



Figuur 1-4 : flowchart besturingslogica succesieve approximatie ADC

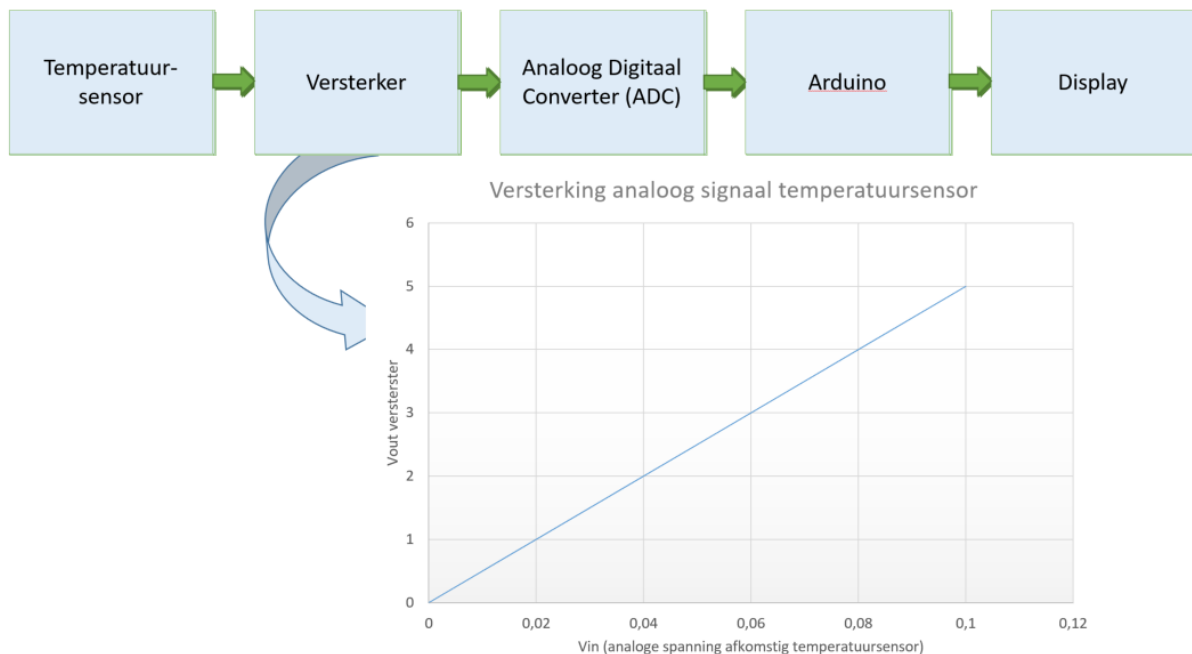
Het stroomschema (flowchart) start met het inlezen van een digitale code waarvan de MSB-bit getest wordt op de waarde 1. Als deze bit niet op één staat wordt deze op 1 geplaatst. Vervolgens wordt deze digitale code naar een analoog signaal omgezet en aangelegd aan de comparator. Deze vergelijkt de aangelegde analoge waarde met de van digitaal omgevormde waarde. Als de analoge waarde hoger is dan de omgevormde digitale waarde, wordt de MSB-bit geaccepteerd en wordt de volgende bit getest. Deze wordt op 1 geplaatst en opnieuw

wordt vergeleken of de digitale waarde groter is dan de analoge. Is dit het geval, dan wordt de betreffende bit gereset en wordt de volgende bit doorlopen enz.... Op die wijze wordt de volledige digitale code verkregen die overeenkomt met de analoge ingangswaarde van de ADC. Het totale systeem kan het beste uitgelegd worden door het tonen van beide soorten schema's (blokdiagram en stroomschema) om de signaal flow en de logica te verduidelijken.

1.1.4 Transfertijsfunctie (overdrachtscurve of responscurve)

Een transfertijsfunctie is een grafiek die de verhouding van de uitgang op de ingang toont (transfert = uitgangssignaal/ingangssignaal). In elektronische systemen is de transfertijscurve nuttig. De curve beschrijft hoe het systeem zich gedraagt voor een bepaalde input. Het kan worden gebruikt om het gedrag van een gegeven blok of groep blokken te illustreren.

Stel als voorbeeld de versterker van de digitale temperatuurmeter van figuur 4. Deze maakt het kleine signaal van de temperatuursensor voldoende groot om data acquisitie op uit te voeren met de ADC. In het ideaal geval is de overdrachtscurve voor een lineaire versterker een rechte lijn. Immers een rechte lijn duidt op een constante versterking. Dit is weergegeven in Figuur 1-5.

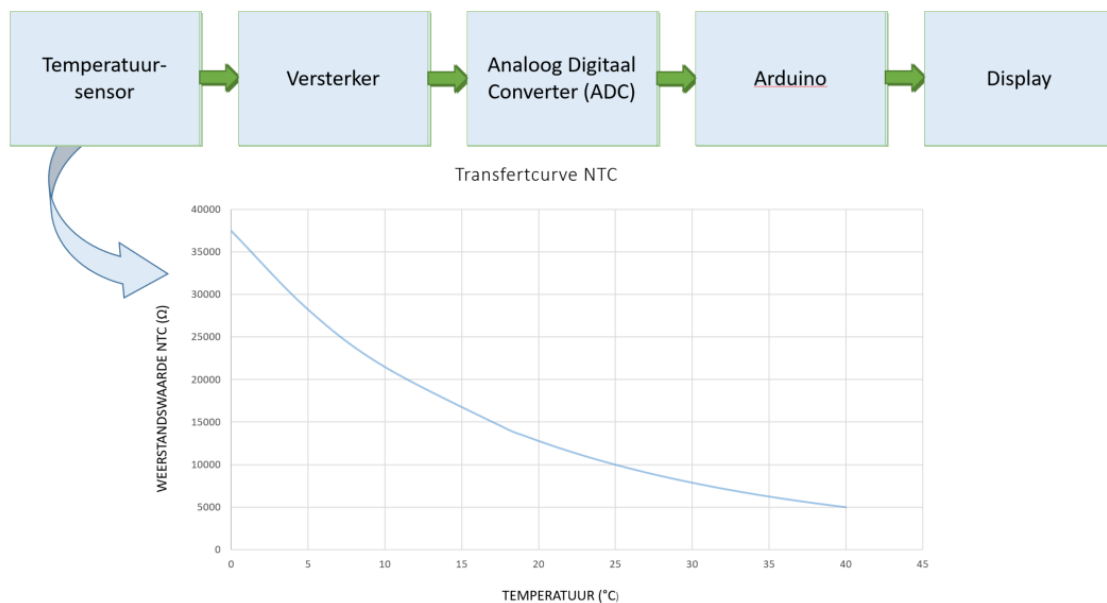


Figuur 1-5 : ideale transfertijscurve voor een versterker met versterkingsfactor 50

In het ideale geval is de overdrachtscurve voor een lineaire versterker een rechte lijn, zoals getoond in Figuur 1-5. De ingang is een kleine spanning, afkomstig van de temperatuursensor van het voorbeeld van Figuur 1-2. Dezeingangsspanning V_{IN} is langs de horizontale as uitgezet. De uitgang is een evenredige grotere spanning V_{OUT} die is uitgezet op de verticale as. Voor een kleine ingangsspanning is de uitgangsspanning groter met een factor die bekend staat als de versterking. In het getoonde voorbeeld is de versterking 50 omdat bij een bepaalde V_{IN} de uitgangsspanning V_{OUT} 50 keer groter is.

In sommige gevallen bestaat de invoer en uitvoer uit verschillende eenheden. In dat geval zal de transfertcurve niet dimensieloos zijn. Stel bijvoorbeeld de transfertcurve voor een sensor. Deze toont de weerstandsverandering (mutatie tegenover stroom) als functie van de temperatuur. In Figuur 1-6 is de transfertcurve voor de temperatuursensor weergegeven. Deze transfertfunctie komt overeen met een typische transfert voor een typische NTC (wat beschouwd kan worden als een soort temperatuursensor). Merk op dat de sensor een niet-lineaire respons heeft. Dit is gemakkelijk te herkennen aan de vorm van de transfertfunctie (geen rechte als karakteristiek).

Als deze sensor wordt gebruikt in de digitale temperatuurmeter dan zal de data nog een bepaalde bewerking moeten ondergaan om deze gegevens om te vormen tot een bepaalde temperatuurswaarde vooraleer deze waarde kan worden weergegeven op het display.



Figuur 1-6 : transfertfunctie van een typische NTC

1.1.5 Test jezelf aangaande systemen

1. Wat is de input en output van een digitaal thermometersysteem?
2. Beschouw het Internationaal Ruimtestation als een systeem. Wat vormt de omgeving van dit systeem?
3. Wat is het doel van een blokschema?
4. Welke naam wordt er gegeven aan een grafiek (of functie) die de verhouding weergeeft van de uitgang op de ingang van een gegeven blok?

1.2 Soorten schakelingen

Je kan jezelf de vraag stellen waarom het nodig is om naast elektronische systemen ook noties te hebben van elektrische systemen? We weten dat elektrische systemen

omgaan met vermogens terwijl elektronische systemen werken met signalen. De elektrische systemen kunnen zowel op gelijkstroom (DC) als op wisselstroom (AC) werken. Elektronische systemen vereisen over het algemeen een energiebron. Het is bijgevolg belangrijk om inzicht te hebben in elektrische systemen naast de elektronische systemen. Gelukkig zijn de meeste van de fundamentele wetten voor beide systemen dezelfde. Deze sectie richt zich op de aard van schakelingen die gebruikt worden in elektrische en elektronische systemen.

Wat onthoud je best na deze sectie?

- *De beschrijving van wat een schakeling is in algemene termen.*
- *Het verschil tussen actieve en passieve componenten.*
- *Een aantal toepassingen voor AC- en DC-schakelingen in de elektrische stroomverdeling.*
- *Een vergelijking tussen digitale en analoge elektronische schakeling.*
- *De definitie van een transducer.*

1.2.1 Componenten

Een circuit is gebaseerd op het Latijns woord circuitus, wat betekent om rond te gaan. Een circuit noemt ook een schakeling. Een schakeling moet bijgevolg beschikken over een volledig pad (zoals een cirkel) dat start vanaf een bron, een belasting bevat en terugkeert naar de bron. Wanneer de schakeling bestaat uit een volledig pad dan is deze gesloten. Dit betekent dat de elektronen vanaf de bron kunnen vloeien door een belasting en dan de andere klem van de bron bereiken. Naast één of meer bronnen bevatten schakelingen ook componenten. Een component is een apparaat (device) dat de elektrische eigenschappen van de schakeling verandert. Er bestaan zowel passieve componenten als actieve componenten. Een passieve component is een component die geen bepaald elektrisch vermogen nodig heeft om te functioneren. Actieve componenten daarentegen hebben een bepaald vermogen nodig van een bron om te kunnen functioneren. De meeste systemen bestaan uit schakelingen die zowel passieve als actieve componenten bevatten.

Passieve component

Een passieve component kan de stroom in een signaal niet verhogen. De drie fundamentele passieve componenten zijn weerstanden, condensatoren en spoelen. Andere passieve componenten zijn dioden, transformatoren, batterijen en motoren. Een batterij wordt beschouwd als een passieve component vermits deze niet in staat is het vermogen van een signaal te verhogen (hoewel het wel elektrisch vermogen levert).

Actieve component

Een actieve component kan de stroom in een signaal verhogen. De actieve componenten worden gewoonlijk omschreven als componenten die het signaalvermogen kunnen verhogen. Algemeen zijn ze ingedeeld als transistoren, operationele versterkers en microprocessoren.

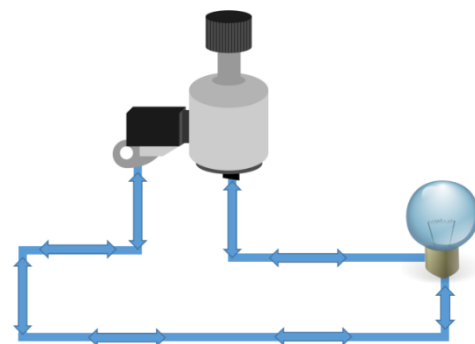
Soms is er geen ingangssignaal in het systeem, maar wordt het intern geproduceerd. Een elektronische oscillatorschakeling is een voorbeeld waarbij de output intern wordt gegenereerd. Een apparaat (device) dat op deze wijze output genereert, wordt beschouwd als een actief apparaat. Oscillatoren zijn bijgevolg elektronische schakelingen die een continue output genereren. Er zijn verschillende vormen van outputs mogelijk zoals sinusvorm, blokvorm en zaagtandvorm.

1.2.2 Elektrische schakelingen

Elektrische schakelingen leveren en controleren elektrisch vermogen in de vorm van wisselstroom of gelijkstroom.

AC-schakelingen

Alternated Current (AC) verandert een aantal keren per seconde van polariteit. Wanneer deze AC-stroom 50 keer van polariteit verandert per seconde komt dit overeen met een frequentie van 50 Hz. Op enkele uitzonderingen na leveren de elektriciteitsnetten over de wereld AC. De meest voorkomende manier om AC op te wekken is opwekking met een alternator. In een alternator draaien een aantal geleiders rond in een magnetisch veld. Hierdoor wordt een inductiespanning opgewekt welke de AC-spanning is.

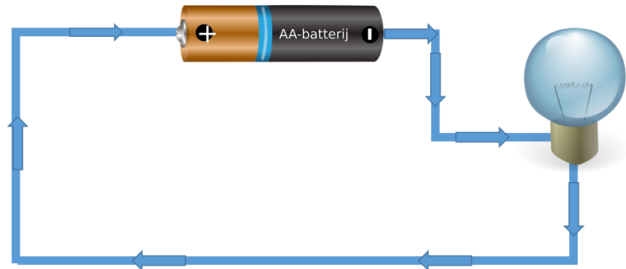


Figuur 1-8 : opwekken AC met alternator (dynamo)

AC kan gemakkelijk van een lage spanning naar een hogere spanning worden getransformeerd en omgekeerd. Dit met lagere kosten dan het omvormen van DC. Toch zijn er een aantal zeer hoge spanningssystemen die gebruik maken van gelijkstroom. Bijvoorbeeld bepaalde zeekabels die elektriciteit doorsturen van een centrale op het vaste land naar een eiland. Over lange afstanden zijn hoge AC-spanningen veel efficiënter om over te zenden dan met DC-spanningen. Hierdoor gebruiken bijna alle vermogendistributiesystemen AC. In de loop der tijd zijn er verschillende systemen ontwikkeld met verschillende frequenties en spanningen om elektrisch vermogen te leveren aan klanten. Het grootste deel van de wereld gebruikt een standaardfrequentie gelijk aan 50 Hz. In de Verenigde Staten en Noord-Amerika wordt als frequentie 60 Hz gebruikt. In vliegtuigen en bepaalde militaire toepassingen waar gewicht kritisch is, wordt een frequentie van 400 Hz gebruikt. De reden hiervoor is dat 400 Hz het toelaat om kleinere en lichtere componenten te gebruiken. Denk maar aan transformatoren die een ijzeren kern bevatten.

DC-schakelingen

Direct Current (DC – gelijkstroom) is de vorm van elektrische stroom die niet verandert van polariteit. Hoewel de meeste stroomnetten bestaan uit AC, bestaat er hoogspanningsgelijkstroomtechnologie (HVDC) voor een aantal transmissies over een lange afstand en onderwater transmissie. Ook al is het omzetten van lage gelijkspanning naar zeer



Figuur 1-8 : DC via batterij

hoge gelijkspanning, nodig voor efficiënte transmissie, duurt langer dan AC; de torenen en transmissielijnen kunnen voor gelijkstroom ontworpen worden aan een lagere kost per kilometer voor zeer lange afstanden. Gebruik van DC kan dus kosteneffectief zijn. DC kan ook nuttig zijn voor interfacing onafhankelijke AC-netwerken die niet gesynchroniseerd zijn. Dit gebeurt onder andere in Japan waar twee totaal verschillende frequenties in gebruik zijn (zowel 50 Hz als 60 Hz). DC wordt ook gegenereerd voor een aantal low-voltage militaire- en vliegtuigsystemen voor het leveren van elektrische energie. Typisch wordt hiervoor 28 V gebruikt.

1.2.3 Elektronische schakelingen

Zoals reeds aangehaald werken elektronische schakelingen met signalen. Pure DC bevat geen signaalinformatie maar doordat actieve elektronische schakelingen DC nodig hebben is DC heel belangrijk voor elektronische toepassingen. De studie van DC-schakelingen vormt de basis voor iedereen die een goed begrip wil hebben van de elektrische- of elektronische systemen. DC-bronnen zijn batterijen, brandstofcellen, zonnecellen en generatoren. Een veel gebruikte methode om DC te bekomen is AC omzetten in DC met een voeding (power supply).

Een signaal kan informatie bevatten via een opzettelijke verandering van een bepaalde parameter zoals spannings- of frequentieverandering. Er zijn twee grote onderverdelingen voor soorten signalen: digitale signalen en analoge signalen.

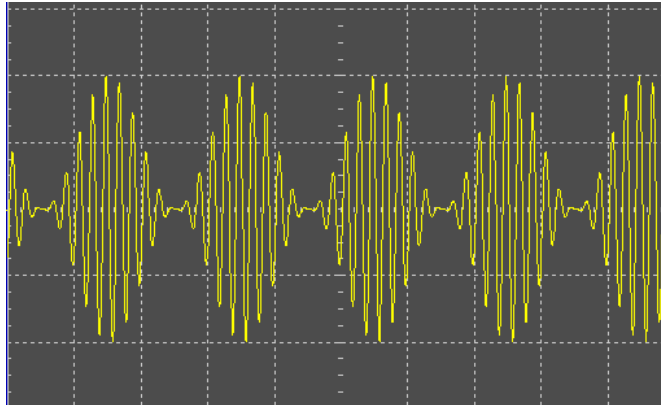
Digitale signalen

Digitale signalen zijn signalen met discrete niveaus. In sommige gevallen kan het signaal intern worden gegenereerd in het systeem. Een fietswaarschuingslampje is een voorbeeld van zulk eenvoudig digitaal systeem waarin een knipperend signaal intern wordt gegenereerd.

Analoge signalen

Analoge signalen variëren continu over een toegestaan bereik. Stel bijvoorbeeld een AM-radiosignaal. De zender zendt een hoogfrequent signaal (draaggolf of carrier genoemd) waarvan de amplitude wordt gevarieerd (of gemoduleerd) door een lagere frequentie die de informatie bevat. Figuur 1-9 illustreert een AM-signaal dat een

voorbeeld is van een analoog signaal. In dit geval zit de informatie in de in hoogte veranderende amplitude (envelope) van de draaggolf.



Figuur 1-9: voorbeeld van een AM-sigitaal (draaggolf 1 kHz en informatiesigitaal 100 Hz)

Transducer

Dikwijls worden elektronische schakelingen gebruikt die zowel digitale als analoge signalen verwerken. Denk maar aan de digitale temperatuurmeterschakeling van vorige sectie. De conversie van het analoog signaal naar het digitale signaal wordt via een converter (ADC) gedaan. De ADC krijgt dikwijls zijn input van een zogenaamde transducer. Een transducer is een apparaat dat energie in de ene vorm transformeert naar energie in een andere vorm. Bij elektronische systemen met een transducer is één van die energievormen het elektrisch signaal. De temperatuursensor van de digitale temperatuurmeting is zo'n voorbeeld van transducer. In dit geval converteert de transducer de temperatuur in een spanning. Deze spanning wordt op zijn beurt geconverteerd in een digitaal signaal voor verdere verwerking.

In sommige gevallen zoals bij audio wordt een digitaal signaal muzieksignaal (CD) omgevormd naar een analoog signaal om de muziek hoorbaar te maken. Hiervoor is een digitaal naar analoog converter (DAC) nodig. Zo wordt het digitaal signaal van een CD via een DAC omgezet naar een analoog signaal. Dit analoog signaal wordt op zijn beurt via een luidspreker omgezet in een akoestisch signaal. De luidspreker is dus een transducer die elektrische energie in geluid omzet.

1.2.4 Test jezelf aangaande soorten schakelingen

1. Wat is het verschil tussen een passieve en een actieve component?
2. Waarom wordt een batterij niet beschouwd als een elektronisch apparaat (device)?
3. Welke zijn de twee frequenties die wereldwijd gebruikt worden in de meeste elektriciteitscentrales?
4. Waarom is DC zo belangrijk voor actieve schakelingen?
5. Wat is het verschil tussen een digitale en een analoge schakeling?
6. Wat is een transducer?

1.3 Wetenschappelijke en technische (engineering) notatie

Waarom zou je gebruik maken de wetenschappelijke notatie of de engineering (technische) notatie?

Als je werkt met elektrische en elektronische systemen kom je zowel zeer kleine als zeer grote hoeveelheden tegen. Bijvoorbeeld, elektrische stroom kan variëren van honderden ampères (vermogen-applicaties) tot aan toepassingen op een paar duizendste of miljoenste van een ampère. Vooral in veel elektronische schakelingen zijn de stroomsterkten klein. Deze reeks van waarden is een typisch voorbeeld van veel andere elektrische grootheden ook.

De technische notatie is een gespecialiseerde vorm van de wetenschappelijke notatie. Het wordt veel gebruikt op technisch gebied om grote en kleine hoeveelheden uit te drukken. In de elektronica, wordt de technische notatie gebruikt om waarden van spanning, stroom, vermogen, weerstand, en andere grootheden uit te drukken. Om de grootheden nog beter voor te stellen worden bij deze notatie zeer dikwijls prefixen gebruikt.

1.3.1 Wetenschappelijke notatie

De wetenschappelijke notatie of scientific notation is een handige methode om zowel grote als kleine getallen voor te stellen zodat het uitvoeren van berekeningen met betrekking tot dergelijke getallen gemakkelijk kan worden uitgevoerd. In de wetenschappelijke notatie wordt een bepaalde grootte uitgedrukt als een product van een getal tussen 1 en 10 (een cijfer links van de komma (decimal point Amerikaanse notatie) en een macht van tien.

Zo kan bijvoorbeeld de hoeveelheid van 180.000 wordt uitgedrukt in de wetenschappelijke notatie als $1,8 \times 10^5$. Op analoge wijze kan de hoeveelheid 0,00035 worden uitgedrukt als $3,5 \times 10^{-4}$.

1.3.1.1 Werken met machten van 10

De tabel 1-1 bevat een aantal machten van tien, zowel positieve als negatieve, en de bijbehorende decimale getallen. De kracht van tien wordt uitgedrukt als een exponent van de basis (base) 10.

Basis \swarrow 10^x \nwarrow Exponent

Enkele positieve en negatieve machten van 10	
$10^0 = 1$	
$10^1 = 10$	$10^{-1} = 0,1$
$10^2 = 100$	$10^{-2} = 0,01$
$10^3 = 1000$	$10^{-3} = 0,001$
$10^4 = 10\ 000$	$10^{-4} = 0,0001$
$10^5 = 100\ 000$	$10^{-5} = 0,00001$
$10^6 = 1000\ 000$	$10^{-6} = 0,000001$

Tabel 1-1 : enkele machten van 10

Een exponent is een nummer waarmee de basis wordt verhoogd. De exponent geeft het aantal plaatsen dat de komma wordt verplaatst naar rechts of links om het decimaal getal te produceren. Voor een positieve macht van tien, verplaats de komma naar rechts om het equivalent decimaal getal te krijgen. Stel dat de exponent gelijk is aan 3. Dit levert een macht op van 10^3 of 1×10^3 wat gelijk is aan 1000. Voor een negatieve macht van tien, verplaats je de komma naar links om het equivalent decimaal getal te krijgen. Stel een exponent van -3. Dit levert een macht op van 10^{-3} of 1×10^{-3} , wat gelijk is aan ,001 of 0,001. De tabel 1-1 geeft een overzicht van een aantal positieve en negatieve machten van 10.

Rekenregels met machten van 10

Eén van de voordelen van de wetenschappelijke notatie is dat je kan optellen, aftrekken, vermenigvuldigen en delen van zeer kleine of zeer grote aantallen op een gemakkelijke manier.

Optelling

De stappen die nodig zijn om getallen met machten van 10 met elkaar op te tellen:

1. Druk de getallen die worden opgeteld uit in dezelfde macht van tien.
2. Tel de getallen zonder hun machten van tien op om de som te krijgen.
3. Breng naar beneden de gemeenschappelijke macht van 10 zodat de bekomen som wordt uitgedrukt in wetenschappelijke notatie.

Voorbeeld 1-1

Tel 2×10^5 op met 5×10^6 en geef dit weer in wetenschappelijke notatie.

Oplossing

1. Plaats beide getallen in dezelfde macht van 10 : $(20 \times 10^6) + (5 \times 10^6)$
2. Tel $20 + 5$ op. Dit levert 25 op.
3. Breng de macht terug naar beneden zodat er één cijfer is voor de komma. De som is gelijk aan $25 \times 10^6 = 2,5 \times 10^7$.

Aftrekking

De stappen die nodig zijn om getallen met machten van 10 van elkaar af te trekken:

1. Druk de getallen die worden afgetrokken uit in dezelfde macht van tien.
2. Trek de getallen zonder hun machten van tien van elkaar af.
3. Breng naar beneden de gemeenschappelijke macht van 10 zodat het bekomen verschil wordt uitgedrukt in wetenschappelijke notatie.

Voorbeeld 1-2

Trek 2×10^{-4} af van 5×10^{-3} en geef dit weer in wetenschappelijke notatie.

Oplossing

1. Plaats beide getallen in dezelfde macht van 10 : $(50 \times 10^{-4}) - (2 \times 10^{-4})$
2. Trek 2 van 50 af. Dit levert 48 op.
3. Breng de macht terug naar beneden zodat er één cijfer is voor de komma. Het verschil is bijgevolg gelijk aan $4,8 \times 10^{-3}$

Vermenigvuldiging

De stappen die nodig zijn om getallen met machten van 10 met elkaar te vermenigvuldigen:

1. Vermenigvuldig de getallen direct met elkaar zonder hun macht van 10.
2. Tel de machten van 10 algebraïsch met elkaar op (ze hoeven niet dezelfde exponentwaarde te hebben)

Voorbeeld 1-3

Vermenigvuldig 3×10^{-4} met 5×10^3 en geef dit weer in wetenschappelijke notatie.

Oplossing

Vermenigvuldig de getallen en tel algebraïsch de machten op. Breng vervolgens de macht terug naar beneden zodat er één cijfer is voor de komma.

$$(3 \times 10^{-4}) \cdot (5 \times 10^3) = 3 \times 5 \times 10^{-4+3} = 15 \times 10^{-1} = 1.5 \times 10^{-2}$$

Delen

De stappen die nodig zijn om getallen met machten van 10 van elkaar te delen:

1. Deel de getallen direct met elkaar zonder hun macht van 10.
2. Trek de macht van 10 van de noemer af van de macht van 10 van de teller (exponenten hoeven niet hetzelfde te zijn)

Voorbeeld 1-4

Deel 6×10^4 met 3×10^3 en geef dit weer in wetenschappelijke notatie.

Oplossing

Deel de getallen direct met elkaar en trek algebraïsch de machten van elkaar af. Breng (indien nodig) vervolgens de macht terug naar beneden zodat er één cijfer is voor de komma.

$$(6 \times 10^4) / (3 \times 10^3) = 6/3 \times 10^{4-3} = 2 \times 10^1$$

1.3.2 Engineering notatie (technische notatie)

De engineering notatie lijkt op de wetenschappelijke notatie. Deze notatie bevat 1 tot 3 drie cijfers links van de komma (decimale punt Amerikaanse notatie) en de macht-tot-tien coëfficiënt moet een veelvoud van 3 zijn.

Voorbeeld 1:

Het getal 15000 wordt uitgedrukt in technische notatie als 15×10^3 ; uitgedrukt in de wetenschappelijke notatie wordt dit $1,5 \times 10^4$

Voorbeeld 2:

Het getal 0,093 wordt uitgedrukt in de technische notatie als 93×10^{-3} ; uitgedrukt in de wetenschappelijke notatie wordt dit $9,3 \times 10^{-2}$.

Voorbeeld 3:

Het getal 0,000456 wordt uitgedrukt in de technische notatie als 456×10^{-6} ; uitgedrukt in de wetenschappelijke notatie wordt dit $4,56 \times 10^{-4}$.

Engineering notatie is handig in elektrische- en elektronische berekeningen die metrische voorvoegsels gebruiken (besproken in sectie 1-5) .

Voorbeeld 1-5

Druk volgende getallen uit in engineersnotatie (technische notatie):

- (a) 26000 (b) 1680000 (c) 0,000012

Oplossing

In de engineersnotatie levert dit volgende waarden op:

- (a) 26000 wordt weergegeven als 26×10^3
(b) 1680000 wordt weergegeven als $1,68 \times 10^6$
(c) 0,000012 wordt weergegeven als 12×10^{-6}

1.3.3 Test jezelf aangaande wetenschappelijke en technische (engineering) notatie

1. Wetenschappelijke notatie maakt gebruik van machten van tien (waar of niet waar?)
2. Druk 100 uit als een macht van 10.
3. Druk volgende getallen uit in wetenschappelijke notatie:
(a) 4350
(b) 12010
(c) 29000000
4. Druk de volgende getallen uit in wetenschappelijke notatie:
(a) 0,760

- (b) 0,00025
- (c) 0,000000597
- 5. Voer volgende bewerkingen uit:
 - (a) $(1 \times 10^5) + (2 \times 10^5)$
 - (b) $(3 \times 10^6) \cdot (2 \times 10^4)$
 - (c) $(8 \times 10^3) / (4 \times 10^2)$
 - (d) $(2,5 \times 10^{-6}) - (1,3 \times 10^{-7})$
- 6. Druk de volgende getallen uit in engineering notatie (technische notatie)
 - (a) 0,0056
 - (b) 0,0000000283
 - (c) 950000
 - (d) 375 000 000 000

1.4 Eenheden en metrische voorvoegsels (prefixen)

In de elektronica moet je overweg kunnen met meetbare grootheden. Je moet in staat zijn te weten hoeveel volt er wordt gemeten op een bepaald meetpunt in een bepaalde schakeling. Je moet eveneens in staat zijn om te weten hoeveel stroom er door een bepaalde geleider vloeit. Je moet kunnen weten hoeveel vermogen een bepaalde versterker levert, enz. ...

In dit gedeelte maak je kennis met de eenheden en symbolen voor het grootste deel van de elektrische grootheden die worden gebruikt doorheen de ganse cursus. Metrische voorvoegsels (prefixen) worden gebruikt in combinatie met de engineering notatie als verkorte schrijfwijze voor de machten van 10 die vaak worden gebruikt. Denk aan de kilogram (kg) die wordt gebruikt om 10^3 gram (1000 gram) aan te duiden.

1.4.1 Elektrische eenheden

Lettersymbolen worden gebruikt in de elektronica om zowel grootheden als hun eenheden voor te stellen. Een symbool om de grootheid aan te geven en een ander symbool om aan te geven hoeveel er bijvoorbeeld van die grootheid gemeten is. Tabel 1-2 geeft de belangrijkste elektrische grootheden samen met hun SI-eenheden en symbolen.

Bijvoorbeeld voor de grootheid vermogen staat P en de eenheid waarin dit vermogen wordt uitgedrukt is watt, voorgesteld door W. De grootheden Energie en Arbeid worden voorgesteld door het symbool W en de eenheid hiervan is de joule (voorgesteld door J)

1.4.2 Metrische Prefixen

De metrische prefixen Worden alleen gebruikt bij getallen die een maateenheid hebben zoals Volt, Ampère en Ohm, en voorafgaan aan het symbool van de grootheid. Zo kan 0,025 A (ampère) worden uitgedrukt in de engineering notatie als 25×10^{-3} A. Deze hoeveelheid kan met behulp van een metrische prefix worden uitgedrukt als 25 mA. Dit wordt gelezen als 25 milliampère. De metrische prefix (voorvoegsel) "milli" vervangt 10^{-3} . De reden waarom men gebruik maakt van

Elektrische grootheden en hun eenheden			
Grootheid	Symbool	SI-eenheid	Symbool
Capaciteit	C	Farad	F
Energie/Arbeid	W	Joule	J
Frequentie	F	Hertz	Hz
Geleiding	G	Siemens	S
Impedantie	Z	Ohm	Ω
Inductie (spoel)	L	Henry	H
Lading	Q	Coulomb	C
Stroom	I	Ampère	A
Reactantie	X	Ohm	Ω
Vermogen	P	Watt	W
Weerstand	R	Ohm	Ω

Tabel 1-2 : Elektrische grootheden en hun SI-eenheden

prefixen is dat hierdoor het inzicht in de hoeveelheid stroom overzichtelijker gemaakt wordt. Immers 25 mA is gemakkelijker interpreteerbaar dan 0,025 A of 25×10^{-3} A. Stel bijvoorbeeld dat een windenergie-systeem beschikt over een windgenerator die in staat is om 5 000 000 W te leveren. Dit vermogen wordt uitgedrukt als 5,0 MW. (lees 5 Megawatt) De metrische prefix mega heeft 10^6 vervangen in het uiten van het vermogen van de windgenerator.

Volgende prefixen worden gebruikt:

- [T] Tera = 10^{12}
- [G] Giga = 10^9
- [M] Mega = 10^6
- [k] kilo = 10^3
- [m] mill = 10^{-3}
- [μ] micro = 10^{-6}
- [n] nano = 10^{-9}
- [p] pico = 10^{-12}
- [f] femto = 10^{-15}

Voorbeeld 1-6

Druk volgende hoeveelheden uit door gebruik te maken van een prefix

(a) 26000 V (b) 1680000 Ω (c) 0,000012 A

Oplossing

(a) $26000 \text{ V} = 26 \times 10^3 \text{ V} = 26 \text{ kV}$

(b) $1680000 \Omega = 1,68 \times 10^6 \Omega = 1,68 \text{ M}\Omega$

(c) $0,000012 \text{ A} = 12 \times 10^{-6} \text{ A} = 12 \mu\text{A}$

De basisregels om een metrisch unit conversie uit te voeren zijn:

1. Bij het omzetten van een grotere eenheid naar een kleinere eenheid: verplaats de komma naar rechts.
2. Bij het omzetten van een kleinere eenheid naar een groter eenheid: verplaats de komma naar links.
3. Bepaal het aantal plaatsen dat je de komma moet verplaatsen door het vinden van het verschil in de machten van 10 die moeten worden geconverteerd.

Kolom = 10 ^x Rij	T (Tera)	G (Giga)	M (Mega)	k (kilo)	Eenheid	m (milli)	μ (micro)	n (nano)	P (pico)	f (femto)
T		10 ³	10 ⁶	10 ⁹	10 ¹²	10 ¹⁵	10 ¹⁸	10 ²¹	10 ²⁴	10 ²⁷
G	10 ⁻³		10 ³	10 ⁶	10 ⁹	10 ¹²	10 ¹⁵	10 ¹⁸	10 ²¹	10 ²⁴
M	10 ⁻⁶	10 ⁻³		10 ³	10 ⁶	10 ⁹	10 ¹²	10 ¹⁵	10 ¹⁸	10 ²¹
K	10 ⁻⁹	10 ⁻⁶	10 ⁻³		10 ³	10 ⁶	10 ⁹	10 ¹²	10 ¹⁵	10 ¹⁸
Eenheid	10 ⁻¹²	10 ⁻⁹	10 ⁻⁶	10 ⁻³		10 ³	10 ⁶	10 ⁹	10 ¹²	10 ¹⁵
m	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹²	10 ⁻⁹	10 ⁻⁶	10 ⁻³		10 ³	10 ⁶	10 ⁹	10 ¹²
μ	10 ⁻¹⁸	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹²	10 ⁻⁹	10 ⁻⁶	10 ⁻³		10 ³	10 ⁶	10 ⁹
n	10 ⁻²¹	10 ⁻¹⁸	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹²	10 ⁻⁹	10 ⁻⁶	10 ⁻³		10 ³	10 ⁶
P	10 ⁺²⁴	10 ⁻²¹	10 ⁻¹⁸	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹²	10 ⁻⁹	10 ⁻⁶	10 ⁻³		10 ³
F	10 ⁻²⁷	10 ⁺²⁴	10 ⁻²¹	10 ⁻¹⁸	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹²	10 ⁻⁹	10 ⁻⁶	10 ⁻³	

Tabel 1-3: onderlinge verhouding van de prefixen. De prefix in de kolomtitel is gelijk aan 10^x prefix in de rij.
Voorbeeld: k = 10⁶ μ of bijvoorbeeld 1kV = 10⁶ μV

Bijvoorbeeld, bij het converteren van milliampère (mA) naar microampère (μA), wordt de komma (decimaal punt Amerikaanse notatie) drie plaatsen naar rechts verschoven. Waarom? Omdat er een drie-plaatsen zijn tussen de twee eenheden (mA is 10⁻³ A en μA is 10⁻⁶ A).

Voorbeeld 1-7

Converteer 0,25 millivolt (0,25 mV) om tot microvolt (μV)

Oplossing

Via tabel 1-3 zien we dat milli (m) overeenkomt met 10⁻³ micro (μ). Dit betekent dat we 0,25 mV met 10⁻³ moeten vermenigvuldigen om het aantal μV te vinden. (of 0,25 delen door 1000 (10³) en dus gewoon de komma drie plaatsen naar rechts verschuiven)

0,25 mV x 10⁻³ levert 250 μV op.

Controle: 0,25 mV = 0,25 x 10⁻³ V = 250 x 10⁻⁶ V = 250 μV.

Voorbeeld 1-8

Converteer 2500 nanovolt (2500 nV) om tot microvolt (μV)

Oplossing

Via tabel 1-3 zien we dat micro overeenkomt met 10^3 nano. Dit betekent dat als we het aantal nanovolt willen omzetten naar microvolt we het aantal nanovolt moeten delen door 10^3 of 1000 wat overeenkomt met de komma drie plaatsen naar links te verschuiven.

$$2500 \text{ nV} = 2500 \times 10^{-9} \text{ V} = 2,5 \times 10^{-6} \text{ V} = 2,5 \mu\text{V}$$

1.4.3 Test jezelf aangaande metrics en prefixes

1. Noem de metric prefix van volgende machten van 10
a) 10^6 b) 10^3 c) 10^{-3} d) 10^{-6} e) 10^{-9} f) 10^{-12}
2. Gebruik een metric prefix om 0,000 001 A voor te stellen.
3. Gebruik een metric prefix om 250 000 W voor te stellen
4. Converteer 0,01 MV naar kilovolts (kV)
5. Converteer 250 000 pA naar milliampères (mA)
6. Tel 0,05 MW en 75 kW bij elkaar op en geef weer in kW.
7. Tel 50 mV met 25 000 μV op en geef weer in mV

1.5 Gemeten waarden

Wanneer een bepaalde hoeveelheid van een grootheid wordt gemeten, is er onzekerheid in het resultaat als gevolg van de beperkingen van de meetinstrumenten. Dikwijls bevat een meting een hoeveelheid geschatte waarden. Denk aan het laatste cijfer van een display dat meestal een afronding van de werkelijke waarde geeft. De cijfers waarvan zeker is dat ze correct zijn worden de beduidende cijfers (significant digits) genoemd. Bij het rapporteren van gemeten hoeveelheden moet de weergegeven meetwaarde bestaan uit de beduidende cijfers en maximaal één cijfer dat onzeker is (afgerond).

Wat onthoud je best na deze sectie?

- ***De manier om een gemeten waarde correct weer te geven met het juiste aantal beduidende cijfers***
- ***De definitie van nauwkeurigheid (accuracy), fout (error) en precisie (precision)***
- ***De manier om getallen correct af te ronden***

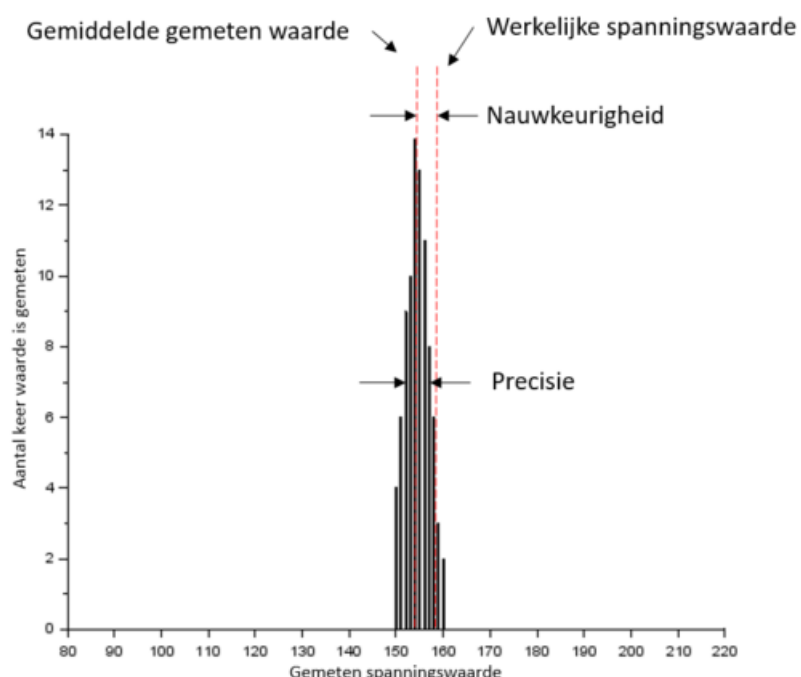
1.5.1 Fout, nauwkeurigheid en precisie

Metingen die je uitvoert aan een elektronisch circuit zijn niet perfect omdat de nauwkeurigheid van de meetresultaten afhankelijk zijn van de nauwkeurigheid van de meetapparatuur en de omstandigheden waaronder de meting is uitgevoerd. Als je de meetresultaten gaat rapporteren dien je rekening te houden met de fout die geassocieerd is met de meting. De gemeten fout mag niet gezien worden als een echte fout; eerder als een benadering van de werkelijke waarde.

Het verschil tussen de werkelijke of best-geaccepteerde waarde van een bepaalde hoeveelheid en de gemeten waarde van die hoeveelheid wordt de fout (error) genoemd. Van een meting wordt gezegd dat ze nauwkeurig (accuracy) is als de fout klein is. Nauwkeurigheid is een indicatie van de foutenmarge in een meting. Stel bijvoorbeeld dat je de dikte van een 10 mm Gauge-meter wil meten met een micrometer en je meet 10,8 mm. Het meetverschil met de 10 mm standaard is hier 0,8 mm waaruit kan worden beschouwd dat de aflezing niet nauwkeurig is omdat een eindmaat (10 mm) wordt beschouwd als een werkende standaard. Als je 10.02 mm meet, is de meting nauwkeuriger omdat het redelijk overeenstemt met de norm.

Een andere term geassocieerd met de kwaliteit van een meting is precisie (precision). Precisie is een maat voor de herhaalbaarheid (of consistentie) van een meting van een hoeveelheid. Het is mogelijk om een nauwkeurige meting te hebben waarbij een serie metingen niet verspreid liggen, maar elke meting onnauwkeurig is vanwege een fout in het meetinstrument. Bijvoorbeeld een meetinstrument kan uit kalibratie zijn en moet geherkalibreerd worden. Het toestel kan nog steeds precies meten maar door het verlopen van de kalibratie zijn de metingen onnauwkeurig geworden. Het is echter niet mogelijk om een nauwkeurig instrument te hebben tenzij het ook nauwkeurig beduidende cijfers heeft.

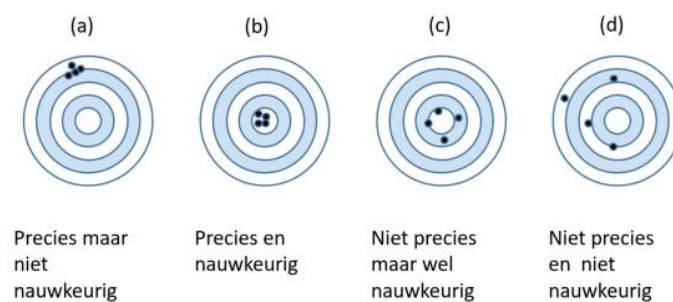
Als je een meettoestel moet kalibreren zijn precisie en nauwkeurigheid belangrijke begrippen om te begrijpen. Kalibratie is het proces waarmee de meetwaarde van een bepaald instrument wordt vergeleken met een gegeven standaard. De standaard moet over het algemeen met een factor 4 nauwkeuriger zijn dan het te kalibreren instrument. Maar dit alleen is niet voldoende. Om de



Figuur 1-10 : visueel onderscheid tussen nauwkeurigheid en precisie

nauwkeurigheid te verzekeren, moet de kalibratie certificeerbaar zijn en moet het herleidbaar zijn naar de nationale normen die te vinden zijn (in de VS, is dit National Institute of Standards and Technology). De standaard vereist periodiek hernieuwen van de certificatie om de nauwkeurigheid te verzekeren.

Figuur 1-11 toont het onderscheid aan tussen wat met nauwkeurigheid wordt bedoeld en wat met precisie aan de hand van een voorbeeld. Stel een schutter schiet met zijn jachtgeweer op een doel. Wanneer hij heel precies richt maar niet nauwkeurig schiet hij zijn kogels dicht bij elkaar maar niet in het midden van het doel. Er is een zekere afwijking tussen het midden van het doel en de kogelinslagen in het doel. Dit is weergegeven in Figuur 1-11 (a).



Figuur 1-11 : onderscheid tussen precisie en nauwkeurigheid

In de situatie waarbij de schutter heel precies en heel nauwkeurig is (fig. 1-11 (b)), zijn alle kogelinslagen in het midden van het doel. Als de schutter wel nauwkeurig mikt maar niet precies is (Fig. 1-11 (c)), zijn de kogelinslagen dicht bij het midden van het doel, maar liggen ze niet samen. Als hij zowel niet precies als nauwkeurig schiet (Figuur 1-11 (d)), liggen de kogelinslagen her en der verspreid op het doel.

1.5.2 Beduidende cijfers

De cijfers in een gemeten getal waarvan bekend is dat ze correct zijn worden beduidende cijfers of significante cijfers (digits) genoemd. De meeste meetinstrumenten tonen het juiste aantal significante cijfers. Sommige meetinstrumenten kunnen cijfers die niet significant zijn weergeven en laten het aan de gebruiker over om te bepalen wat moet worden gerapporteerd. Dit kan optreden als gevolg van een effect genaamd belastingseffect (zie hoofdstuk 6 sectie 4). Een meter kan de actuele meting in een circuit beïnvloeden door zijn aanwezigheid. Denk hierbij aan de inwendige weerstand van de meter. Het is belangrijk om te herkennen wanneer een meting onnauwkeurig kan zijn. Bij onnauwkeurigheden moet je niet de cijfers vermelden waarvan bekend is dat ze onjuist zijn. Een ander probleem met beduidende cijfers doet zich voor wanneer je wiskundige bewerkingen uitvoert met getallen. Het aantal beduidende cijfers mag nooit hoger zijn dan het aantal cijfers in de oorspronkelijke meting. Stel bijvoorbeeld dat je $1,0\text{ V}$ moet delen door $3,0\ \Omega$. Als je deze deling uitvoert met een rekenmachine geeft deze de waarde $0,33333333$ weer. Aangezien de originele getallen elk twee beduidende cijfers bevatten moet het antwoord $0,33\text{ A}$ zijn. Het aantal beduidende cijfers van het resultaat moet dus hetzelfde zijn als het aantal beduidende cijfers dat aanwezig is in de getallen die met elkaar gedeeld worden.

De regels voor het bepalen of een gerapporteerd cijfer beduidend (significant) is zijn de volgende:

1. De cijfers die verschillend zijn van nul (nonzero) worden altijd als beduidend beschouwd.
2. Nullen aan de linkerzijde van het eerste “niet-nul” cijfer zijn nooit beduidend.
3. Nullen tussen “niet-nul” cijfers zijn steeds beduidend.
4. Nullen rechts van de komma zijn beduidend.
5. Nullen links van de komma die samen met beduidende cijfers een bepaald getal vormen kunnen al dan niet beduidend zijn afhankelijk van de meting. Zo heeft bijvoorbeeld het getal 35200 Ω drie, vier of vijf beduidende cijfers. Hoeveel beduidende cijfers er gebruikt worden hangt af van het feit wat de beduidende cijfers voorstellen. Indien ze een wetenschappelijke notatie voorstellen (of een metrisch systeem) zoals bijvoorbeeld 35,2 k Ω , dan bevat het getal vier beduidende cijfers.

Wanneer een gemeten waarde wordt gerapporteerd mag er maar één onzeker cijfer worden bewaard. Al de andere moeten verwijderd worden. Om het aantal beduidende cijfers te vinden in een getal kan men het volgende toepassen:

- Negeer de komma, en tel het aantal cijfers van links naar rechts te beginnen met het eerste “niet-nul” cijfer en eindigend met het laatste cijfer aan de rechterkant.
- Alle getelde cijfers zijn beduidende cijfers behalve de nullen aan het rechteinde, welke al dan niet beduidende kunnen zijn.
- Bij gebrek aan verdere informatie is de beduidendheid (significantie) van de rechter nullen onzeker.
- Algemeen: nullen die plaatshouders zijn en geen deel uitmaken van de meting worden geacht niet beduidend te zijn.
- Om verwarring te voorkomen moeten getallen voorgesteld worden met behulp van de wetenschappelijke- of engineering notatie om te zien welke nullen beduidend zijn.

Voorbeeld 1-9

Geef het getal **7500** weer met twee, drie en vier beduidende cijfers.

Oplossing

Nullen die zich rechts van de komma bevinden zijn beduidend. Bijgevolg om het getal te schrijven met twee beduidende cijfers bekomt men :

$$7,5 \times 10^3$$

Het getal met drie beduidende cijfers :

$$7,50 \times 10^3$$

Tot slot het getal met vier beduidende cijfers :

$$7,500 \times 10^3$$

Voorbeeld 1-10

Onderlijn de beduidende cijfers in ieder van volgende metingen :

- (a) 20,0 (b) 0,4030 (c) 3,60 x 10⁶ (d) 0,00609

Oplossing

- (a) 20,0 heeft drie beduidende cijfers (zie regel 4)
(b) 0,4030 heeft vier beduidende cijfers (zie regels 2 en 3)
(c) 3,60 x 10⁶ heeft drie beduidende cijfers (zie regel 3)
(d) 0,00609 heeft drie beduidende cijfers (zie regels 2 en 3)

1.5.3 Afronden van getallen

Metingen bevatten steeds benaderende cijfers . Zoals reeds is vermeld worden meetwaarden enkel weergegeven met enkel de beduidende cijfers en niet meer dan één onzeker cijfer. Het aantal cijfers dat wordt getoond is indicatief voor de nauwkeurigheid van de meting. Om deze reden moet je de meetwaarde afronden door één of meerdere cijfers (digits), die zich uiterst rechts van het getal van de meetwaarde bevinden, te laten vallen. Gebruik alleen het meest significante weggelaten cijfer om te beslissen hoe af te ronden.

De regels voor het afronden zijn:

1. Als het meest significante cijfer van de te laten vallen cijfers **groter is dan 5, verhoog dan het laatste behouden cijfer** met 1
2. Indien het meest significante cijfer van de te laten vallen cijfers **kleiner is dan 5, verander dan niets** aan het laatste behouden cijfer
3. Indien het meest significante cijfer van de te laten vallen cijfers **gelijk is aan 5, verhoog het laatste behouden cijfer enkel met 1 als het verhogen maakt dat dit cijfer een even getal wordt**. Anders niet. Dit wordt de “**round-to-even**” regel genoemd.

In de meeste elektrische- en elektronische schakelingen hebben de componenten meestal toleranties die meer dan 1% (5% en 10% is gebruikelijk) bedragen. De meeste meetinstrumenten hebben nauwkeurigheidsspecificaties die beter zijn dan dit. Het is echter ongebruikelijk dat metingen worden gedaan met een hogere nauwkeurigheid dan 1: 1000.

Voorbeeld 1-11

Rond ieder van onderstaande getallen af tot drie beduidende cijfers :

- (a) 80,072 (b) 13,941 (c) 3,2947 (d) 682,53

Oplossing

- (a) 80,072 wordt afgerond tot **80,1**
(b) 13,941 wordt afgerond tot **14,0**
(c) 3,2947 wordt afgerond tot **3,29**
(d) 682,53 wordt afgerond tot **682**

Daarom zijn in alle situaties drie beduidende cijfers geschikt om getallen voor te stellen die gemeten hoeveelheden voorstellen behalve diegene die een zeer hoge nauwkeurigheid van de metingen vereisen. Als berekeningen moeten worden uitgevoerd met een aantal tussentijdse resultaten, bewaar alle cijfers in je rekenmachine, maar rond de antwoorden af op drie cijfers bij het rapporteren van een resultaat.

1.5.4 Test jezelf aangaande gemeten waarden

1. Wat is de regel om nullen weer te geven in een getal aan de rechterzijde van de komma?
2. Wat is de “round-to-even” regel?
3. In schema's zie je dikwijls een $1000\ \Omega$ weerstand weergegeven als een $1,0\ \text{k}\Omega$. Welke invloed heeft dit op de waarde van de weerstand?
4. Als een voeding (power supply) moet ingesteld worden op $10,00\text{V}$, wat houdt dit in aangaande de nauwkeurigheid die nodig is voor het meetinstrument?
5. Hoe kan men de wetenschappelijke- of de engineering notatie gebruiken om het correcte getal te tonen van de beduidende cijfers in een meting?

1.6 Elektrische veiligheid

Waarom moeten we zo voorzichtig zijn met elektriciteit?

Veiligheid is een belangrijk aandachtspunt bij het werken met elektrische systemen. De mogelijkheid van een elektrische schok of een brandwonde is steeds aanwezig. Dit houdt in dat je steeds aandachtig en voorzichtig moet blijven als je met elektriciteit te maken hebt. Je lichaam zorgt voor een stroomweg wanneer er een spanning wordt aangelegd tussen twee punten op je lichaam. De stroom die ten gevolge van de aangelegde spanning door je lichaam stroomt, zorgt voor een elektrische schok. In Figuur 1-12 worden deze stroompaden weergegeven. Elektrische componenten werken vaak bij hoge temperaturen waardoor er kans bestaat dat je je huid (vingers) kan verbranden als je in contact komt met deze componenten in bedrijf. Ook de aanwezigheid van elektriciteit zorgt voor een potentieel brandgevaar.

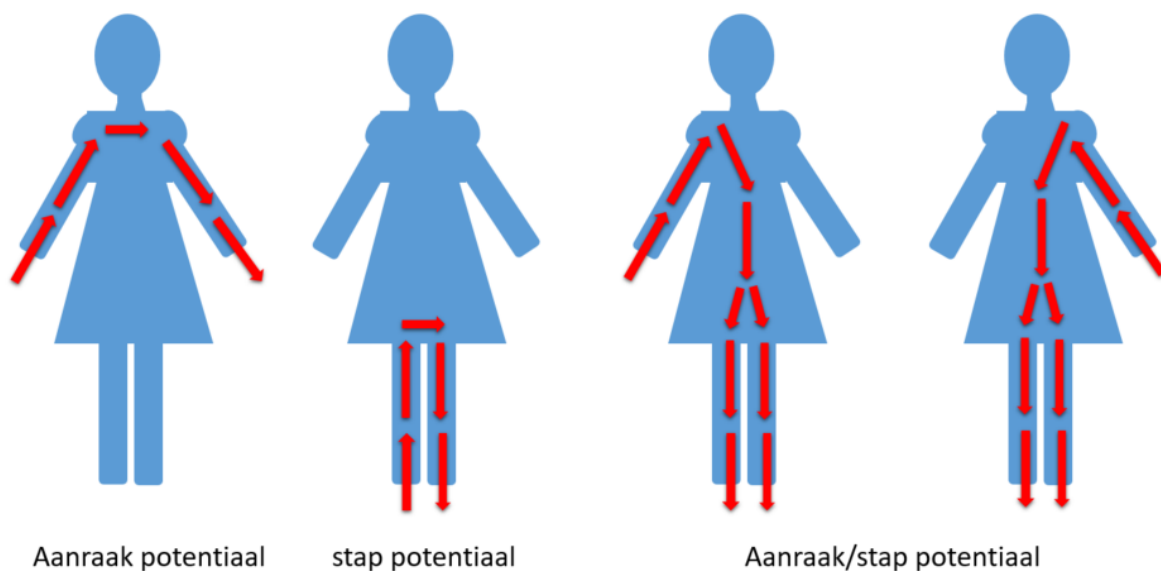
Wat onthoud je best na deze sectie?

- *Hoe je elektrische gevaren herkent en hoe de juiste veiligheidsprocedures in acht neemt.*
- *De oorzaak van een elektrische schok.*
- *Welke stroompaden er zijn die door je lichaam gaan.*

- **Het effect van elektrische stroom op het menselijk lichaam.**
- **De veiligheidsmaatregelen waarop je moet letten wanneer je werkt met elektriciteit.**

1.6.1 Elektrische schok

Niet de spanning maar de stroom door je lichaam is de oorzaak van een elektrische schok. Natuurlijk heb je spanning over een weerstand nodig om stroom te produceren. Wanneer een punt op het lichaam in contact komt met een spanning en een ander punt in contact komt met een andere spanning of massa (bv aarding of een metalen chassis), zal er een bepaalde stroom vloeien door het lichaam van het ene punt naar het andere. Het pad van de stroom is afhankelijk van de punten waarover de spanning optreedt. De ernst van de resulterende elektrische schok is afhankelijk van de hoeveelheid spanning en het pad dat de stroom door het lichaam volgt bepaalt welke weefsels en organen zullen worden beïnvloed. De stroombanen kunnen in drie groepen worden onderverdeeld die genoemd worden naar de manier waarmee de aanraking gebeurt: aanraak (touch) potentiaal, stap (step) potentiaal, en aanraak/stap (touch/step) potentiaal. Zie Figuur 1-12.



Figuur 1-12 : risico's op een elektrische schok en hoe de stroom door het lichaam vloeit

Invloed van de stroom op het menselijk lichaam

De hoeveelheid stroom is afhankelijk van de spanning en weerstand. Het menselijk lichaam heeft een weerstand die van verschillende factoren afhankelijk is waarvan de body mass, vochtgehalte van de huid en de contactpunten van het lichaam met een spanningspotentiaal de belangrijkste zijn.

Tabel 1-4 toont de effecten op het menselijk lichaam ten gevolge van verschillende waarden van stroomdoorgang in milliampère.

Fysische effecten van stroomdoorgang door het menselijk lichaam (afhankelijk van de body mass)	
Stroom	Fysisch effect
400 μ A	Lichte sensatie
1,1 mA	Perceptiedrempel
1,8 mA	Schok, geen pijn en geen verlies van spiercontrole
9 mA	Pijnlijke schok, geen verlies van spiercontrole
16 mA	Pijnlijke schok, loslaatdrempel
23 mA	Ernstige pijnlijke schok, spiersamentrekkingen, ademhalingsmoeilijkheden
75 mA	Ventriculaire fibrillatie (snel en chaotisch trillen van de hartkamers), drempel
235 mA	Ventriculaire fibrillatie, meestal fataal voor de duur van 5 seconden of meer
4 A	Hartverlamming (geen ventriculaire fibrillatie)
5 A	Tissue (een aggregaat van cellen in een organisme dat soortgelijke structuur en functie heeft) verbrandt

Tabel 1-4 : Fysische effect van een bepaalde stroomdoorgang door het menselijk lichaam

De elektrische weerstand van het menselijk lichaam

De weerstand van het menselijk lichaam is typisch tussen de 10 k Ω en 50 k Ω en is afhankelijk van de twee punten waartussen wordt gemeten. Het vocht van de huid beïnvloedt ook de weerstand tussen twee punten. De weerstand bepaalt de hoeveelheid spanning die vereist is voor elk van de in tabel 1-4 vermelde effecten. Bijvoorbeeld, als je een weerstand hebt van 10 k Ω tussen twee gegeven punten op je lichaam dan levert een spanningsval van 90 V over deze twee punten genoeg stroom (9 mA) om een pijnlijke schok te produceren.

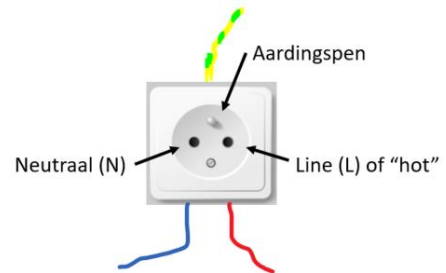
1.6.2 Dagelijkse netspanning van 230 V

We zijn gewoon aan de dagelijkse netspanning (wisselspanning van 230 V_{eff}) maar ze kan dodelijk zijn. Het beste is om voorzichtig te zijn rond elke spanningsbron (zelfs lage spanningen kunnen voor ernstige brandgevaar zorgen). Als algemene regel geldt dat je moet voorkomen dat je werkt aan een onder stroom staand circuit. Daarom controleer je steeds eerst of de stroom is uitgeschakeld met een geschikt meetinstrument vooraleer je aanpassingen maakt of herstellingen uitvoert aan de elektrische installatie of een elektronisch toestel.

In de meeste labo's (zoals in het onderwijs) wordt gebruik gemaakt van lage spanningen. Toch is het aan te raden om zo min mogelijk de elektrische schakelingen aan te raken. Als je werkt op een circuit dat is aangesloten op de netspanning moet je om veiligheidsredenen eerst de service loskoppelen, een bericht plaatsen op het apparaat of de locatie waar de dienst wordt verbroken en een hangslot gebruiken om te voorkomen dat iemand per ongeluk de stroom zou inschakelen. Deze procedure heet lockout /tagout en wordt op grote schaal gebruikt in de industrie. Er zijn specifieke OSHA en industriënormen voor lock-out / tag-out. De meeste laboratoriumapparatuur is aangesloten op het elektrisch net : in Europa is dit 230 V_{eff} (V_{rms}) en in Noord Amerika is dit 120 V rms (rms wordt besproken in sectie 8-2). Een defect apparaat kan ertoe leiden dat de "hot" geleiders per ongeluk

worden blootgesteld. Controleer steeds het snoer voor blootliggende draden en controleer de apparatuur voor ontbrekende deksels of andere mogelijke veiligheidsproblemen.

De eenfase nutsleidingen in huizen en elektrische laboratoria gebruiken drie geïsoleerde draden die worden aangeduid als de "hot" of Line (L), (zwarte of rode draad), neutraal (N) (blauwe draad) en aarding (groen/gele draad). In Noord Amerika wordt voor de neutraal een witte draad gebruikt en voor de randaarde een groene draad. Het is normaal dat door de "hot" en "neutral" stroom vloeit maar door de aarding mag nooit de stroom vloeien in de normale werking. De aarding is verbonden met de metalen buitenkant van ingekapseld materiaal en is ook verbonden met de metalen verbindingspin van een stopcontact.



Figuur 1-13 aansluiting stopcontact



Figuur 1-14: vb. van verliesstroomschakelaar (reageert op een verliesstroom van 30 mA)

Veel circuits zijn verder beschermd met een speciaal apparaat dat verliesstroomschakelaar (differentieelschakelaar) wordt genoemd. Als er een storing optreedt in een verliesstroomschakelaar dan detecteert een interne sensor dat de stroom in de "hot" lijn (Line) en de neutrale lijn (N) niet aan elkaar gelijk zijn. Dit houdt in dat één van de twee elektriciteitsdraden op een of andere manier een verbinding maakt met de aarding. Er is dus een verlies van stroom naar de aarding toe. Deze stroomweg kan veroorzaakt worden door een persoon die (per ongeluk) contact maakt met de stroomvoerende geleider. Hierdoor vloeit een deel van de stroom via zijn lichaam naar de aarde (aarding) toe. Een verliesstroomschakelaar reageert erg snel en verbreekt het elektrisch contact in het circuit als er een verliesstroom van een bepaalde stroomwaarde

optreedt. Er bestaan verliesstroomschakelaars die reageren vanaf dat er een verlies is van 30 mA en een ander type dat reageert vanaf een verliesstroom van 300 mA. Verliesstroomschakelaars zijn nodig in gebieden waar kans op een elektrische schok bestaat, zoals plaatsen waar water of vocht aanwezig is zoals zwembaden, badkamers, keukens, kelders en garages. Verliesstroomschakelaars zijn uitgerust met een testknop. Wanneer de testknop wordt ingedrukt, wordt het circuit onmiddellijk geopend. Daarnaast is er ook een resetknop aanwezig (on/off schakelaar) die gebruikt wordt om het circuit terug in te schakelen.

1.6.3 Veiligheidsmaatregelen

Wanneer je werkt met elektriciteit en elektronisch materieel zijn heel wat praktische dingen die je moet doen. Enkele belangrijke voorzorgsmaatregelen worden hier genoemd :

- Vermijd contact met een spanningsbron. Schakel de stroom uit voordat u werkt op circuits en delen van dit circuit moet aanraken.
- Werk niet alleen. Een telefoon moet beschikbaar zijn voor noodgevallen.
- Werk niet bij vermoeidheid of het nemen van medicijnen die u slaperig maken.
- Verwijder ringen, horloges, en andere metalen sieraden wanneer u werkt op circuits.
- Werk niet aan apparatuur tot je de juiste procedures kent en je bewust bent van de potentiële gevaren.
- Zorg dat de netsnoeren in goede staat zijn en de aarding niet ontbreekt.
- Onderhoud uw gereedschap goed. Zorg ervoor dat de isolatie van metalen gereedschapshandgrepen in goede staat is.
- Behandel gereedschap goed en zorg voor een nette werkplek.
- Draag een veiligheidsbril indien nodig, in het bijzonder bij het solderen, het knippen van draden, of het werken met elektrisch gereedschap.
- Schakel altijd spanning uit en ontlad de condensatoren voordat u een deel van een circuit aanraakt met je handen.
- Weet waar de locatie is van de nood-stop-schakelaar en de nooduitgangen.
- Draag altijd schoenen en hou ze droog. Sta niet op metalen of natte vloeren wanneer je werkt aan elektrische circuits.
- Raak geen instrumenten aan wanneer uw handen nat zijn.
- Gebruik altijd draden met isolatie en connectoren of clips met isolatiekraag.
- Houd de kabels en draden zo kort mogelijk. Sluit gepolariseerde componenten steeds correct aan.
- Meld eventuele onveilige situaties.
- Wees je bewust van- en volg alle regels op de werkplaats en laboratorium. Breng geen drankjes of voedsel in de buurt van apparatuur.
- Als een ander persoon een apparaat niet kan loslaten dat onder spanning staat, schakel dit apparaat onmiddellijk uit. Indien dit niet mogelijk is gebruik dan alle beschikbaar niet-geleidend materiaal om te proberen het lichaam van de persoon te scheiden van het apparaat.
- Gebruik een lock-out / tag-out procedure om te voorkomen dat iemand het toestel inschakelt waar u aan werkt.
- Nooit aannemen dat een circuit is uitgeschakeld. Double-check met een betrouwbare meter vóór dat je begint met de werkzaamheden.
- Stel de stroombegrenzer (limiter) steeds in op elektronische voedingen om stromen groter dan noodzakelijk te voorkomen tijdens het testen van het circuit.
- Sommige componenten, zoals condensatoren, kunnen een dodelijke lading voor langere tijd vasthouden nadat de voeding is afgezet. Ze moeten eerst worden ontladen voordat je aan het circuit werkt.
- Bij het aanschakelen of het maken van aansluitingen sluit je steeds het punt waar de hoogste spanning op staat als laatste aan.
- Vermijd contact met de terminals (aansluitpunten) van de voedingen.

