

Inhoud

5	Niet lineaire weerstanden.....	2
5.1	Rekstrookjes.....	3
5.1.1	De <i>gage factor</i> GF van een rekstrookje	5
5.1.2	Schakelingen om de rek van een bepaald materiaal te meten.....	6
5.2	Thermistor	7
5.2.1	NTC	7
5.2.2	PTC	12
5.3	Lichtafhankelijke weerstanden.....	19
5.3.1	Inwendig foto-elektrisch effect	20
5.3.2	Weerstand-belichtingskarakteristiek	20
5.3.3	Toepassing	21
5.4	Magnetisch gevoelige weerstanden.....	21
5.5	Hallsensor.....	22
5.5.1	Halleffect.....	23
5.5.2	Toepassingen Hallsensor	25

5 Niet lineaire weerstanden

Veel sensoren werken volgens het begrip variabele weerstand waarbij een fysieke hoeveelheid de elektrische weerstand verandert. Afhankelijk van de sensor en de meting die wordt gedaan, kan de verandering in weerstand direct of indirect worden bepaald aan de hand van een variatie in spanning of stroom. Voorbeelden van weerstandssensoren zijn thermistoren, fotocellen en rekstrookjes.

Bij een thermistor verandert de elektrische weerstand met de temperatuursverandering. Ze worden vaak in thermostaten gebruikt. Men onderscheidt hierin weerstanden waarbij de weerstandswaarde daalt bij stijgende temperatuur en weerstanden waarbij de weerstandswaarde stijgt bij temperatuurstijging. In het eerste geval spreekt men van weerstanden met een **negatieve temperatuurscoëfficiënt** of NTC. Stijgt de weerstand met de temperatuur dan heeft men te maken met weerstanden met een **positieve temperatuurscoëfficiënt** of PTC.

Fotocellen zijn lichtafhankelijke weerstanden of LDR (Light Dependent Resistor). Hierbij verandert de weerstand in functie van het licht. Als het donker is, is de weerstandswaarde van een LDR zeer hoog en hoe meer licht er op de LDR valt, hoe kleiner de weerstandswaarde ervan wordt. LDR's kunnen onder andere gebruikt worden om verlichting automatisch aan en uit te schakelen.

Rekstrookjes zijn sensoren waarbij de weerstand verandert in functie van de kracht die er op wordt toegepast. Ze worden onder andere gebruikt bij weegbruggen voor vrachtwagens en brievenweegschalen.



Figuur 5-1 : voorbeelden van niet-lineaire weerstanden

De weerstand van een elektrische geleider

Hoewel koperdraad zeer goed geleid, heeft het nog steeds een bepaalde weerstand. De weerstand van een geleider hangt af van drie fysische kenmerken: het soort materiaal, de lengte van de draad en de doorsnede van de draad. Bovendien kan ook de temperatuur van invloed zijn op de weerstand van de draad.

Elk type geleidend materiaal heeft een eigenschap, genaamd de soortelijke weerstand, en wordt voorgesteld door de Griekse letter rho (ρ). Voor elk materiaal is ρ een constante waarde bij een bepaalde temperatuur. De formule voor weerstand van een draad met lengte l en doorsnede A is als volgt:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

Deze formule laat zien dat de weerstand toeneemt met een toename van de soortelijke weerstand ρ en de lengte l . De weerstand neemt af met een toename van de dwarsdoorsnede A . Om de weerstand te berekenen in Ohm moet de lengte uitgedrukt worden in meter en de doorsnede in vierkante meter. De soortelijke weerstand ρ wordt uitgedrukt in Ω/m .

Tabel 5-1 geeft de soortelijke weerstand weer van een aantal geleidende materialen. De gevonden weerstandswaarde is deze van een stuk materiaal met lengte één meter en doorsnede van één vierkante meter bij een temperatuur van 15°C.

Materiaal	$\rho \text{ } (\Omega/m)$	$\rho \text{ } (\Omega mm^2/m)$
Aluminium	$0,03 \times 10^{-6}$	0,03
Constantaan	$0,5 \times 10^{-6}$	0,5
Goud	$0,022 \times 10^{-6}$	0,022
IJzer	$0,12 \times 10^{-6}$	0,12
Koolstof	$100 - 1000 \times 10^{-6}$	100 - 1000
Koper	$0,0175 \times 10^{-6}$	0,0175
Messing	$0,065 \times 10^{-6}$	0,065
Wolfram	$0,045 \times 10^{-6}$	0,045
Zilver	$0,016 \times 10^{-6}$	0,016

Tabel 5-1 : soortelijke weerstand van diverse materialen

Voorbeeld 5-1

Bepaal de weerstand van een kopergeleider met doorsnede 2,5 mm² en lengte 15 m.

Oplossing

Uit tabel 5-1 kunnen we aflezen dat de soortelijke weerstand van koper gelijk is aan $0,0175 \times 10^{-6} \text{ } \Omega/m$.

2,5 mm² komt overeen met $2,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$.

De weerstand is dan als volgt te vinden:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{0,0175 \cdot 10^{-6} \cdot 15}{2,5 \cdot 10^{-6}} = 0,105 \text{ } \Omega$$

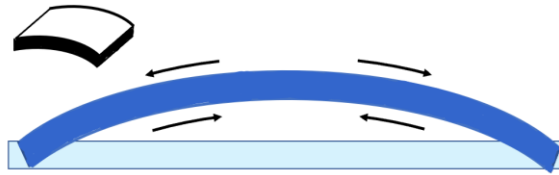
5.1 Rekstrookjes

Rek is de vervorming, ofwel uitzetting of compressie, van een materiaal als gevolg van een kracht die op het betrokken materiaal inwerkt. In figuur 5-2 is bijvoorbeeld een metalen staaf onderhevig aan een bepaalde kracht en zal iets langer worden wanneer deze inwerkende kracht voldoende sterk is. Ook wanneer bijvoorbeeld een metalen plaat wordt gebogen (zie figuur 5-2 (b)) is er een uitzetting van het bovenoppervlak, treksterkte genoemd, en een compressie van het onderoppervlak, compressiesterkte genoemd.

Rekstrookjes zijn gebaseerd op het principe dat de weerstandswaarde vergroot als het rekstrookje wordt uitgerokken en verkleind als het rekstrookje inkrimpt. Uit het inleidende gedeelte van dit hoofdstuk weten we dat de elektrische weerstand recht evenredig is met zijn soortelijke weerstand ρ en de lengte l van het weerstandsmateriaal. De weerstand is omgekeerd evenredig met de doorsnede A van het weerstandsmateriaal.



(a) rek doet zich voor als de lengte verandert van l naar $l + \Delta l$ wanneer een kracht hierop ingrijpt



(b) rek doet zich voor als een plat vlak wordt gebogen waardoor het bovenste oppervlak wordt uitgerokken en het onderste oppervlak inkrimpt

Figuur 5-2: voorbeeld van rek

Een rekstrookje is opgebouwd uit een lange zeer dunne strook van resistief materiaal dat wordt gehecht aan het oppervlak van een voorwerp waarvan uitzetting of krimp moet van worden gemeten. Wanneer een kracht op het voorwerp inwerkt en het veroorzaakt op het voorwerp een lichte verlenging dan verlengt ook proportioneel de lengte van het rekstrookje waardoor zijn weerstand toeneemt. De meeste rekstrookjes zijn gevormd in een patroon dat vergelijkbaar is met dat in figuur 5-3. Om voldoende lengte te verkrijgen voor een voldoende varieerbare weerstandswaarde in een klein gebied is het rekstrookje in meandervorm opgebouwd. De vorm van het rekstrookje is in figuur 5-3 (a) weergegeven. Het rekstrookje wordt vervolgens aangebracht in de richting waarin de rek wordt veroorzaakt zoals aangegeven in figuur 5-3 (b).

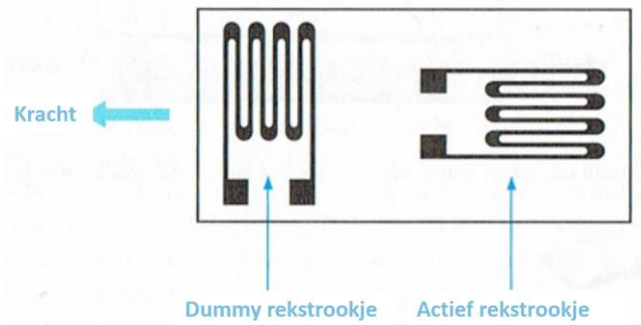


(a) Typische configuratie van een rekstrookje

(b) Het rekstrookje is vastgemaakt aan het te meten oppervlak in dezelfde richting als deze waarin de kracht op het materiaal inwerkt. In deze situatie zal het rekstrookje worden uitgerokken.

Figuur 5-3: typisch rekstrookje en zijn plaatsing op een materiaal

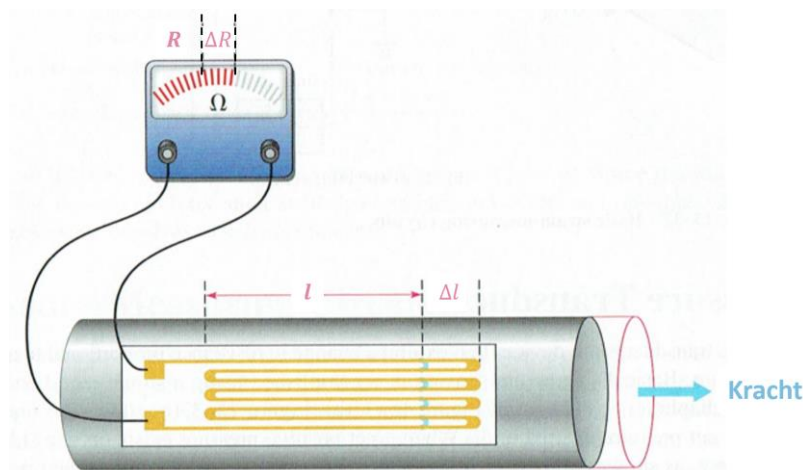
Zoals in figuur 5-3 is weergegeven wordt een rekstrookje gemonteerd in de richting waarin de kracht inwerkt op het materiaal. In het ideale geval verandert de weerstand van het rekstrookje enkel als gevolg van de inwerking van de kracht. In werkelijkheid veranderen de te testen materialen ook van vorm als gevolg van de inwerking van temperatuur (thermische uitzetting). Fabrikanten van rekstrookjes proberen de gevoeligheid voor temperatuur te minimaliseren door de strookjes te voorzien van materiaal ter compensatie van de thermische uitzetting. Dit wordt gedaan door een zogenaamd "dummy strookje" mee in het rekstrookje aan te brengen ter compensatie van de thermische uitzetting. Deze zogenaamde "gecompenseerde rekstrookjes" elimineren niet alle thermische gevoeligheid maar verminderen deze wel sterk. Figuur 5-4 toont de opbouw van zo'n gecompenseerd rekstrookje.



Figuur 5-4 : Gebruik maken van een dummy rekstrookje ter compensatie van de temperatuur

Het werkingsprincipe is het volgende : het dummy rekstrookje is 90° verdraait met als gevolg dat het weinig uitzetting ondervindt van de op het materiaal inwerkende kracht. Echter de uitzettingen ten gevolge van temperatuur worden wel geregistreerd door het dummy rekstrookje. De weerstandsverandering van het dummy rekstrookjes kan dan als referentie gebruikt worden voor de weerstandsverandering van het actief rekstrookje. Op die wijze kan de thermische uitzetting grotendeels worden gecompenseerd.

5.1.1 De *gage factor* GF van een rekstrookje



Figuur 5-5: Illustratie van de *gage factor*. De Ohmmeter is niet bedoeld om een praktische manier weer te geven voor het meten van ΔR

Een belangrijke eigenschap van rekstrookjes is de *gage factor* GF . GF wordt gedefinieerd als de verhouding van de fractionele verandering van de weerstand tot de fractionele verandering in lengte langs de as van het rekstrookje. Voor rekstrookjes die uit metaal bestaan heeft GF typisch een waarde van 2. Het concept van de *gage factor* is weergegeven in figuur 5-5 en wordt uitgedrukt met volgende formule:

$$GF = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta l}{l}}$$

Hierin is R de nominale weerstandswaarde van het rekstrookje en ΔR de weerstandsverandering ten gevolge van het uitrekken. De fractionele verandering in lengte ($\Delta l/l$) is de aangewezen rek en wordt voorgesteld door ϵ . Meestal wordt ϵ uitgedrukt in parts per milion (ppm) en spreekt men van microrek ($\mu\epsilon$).

Voorbeeld 5-2

Een bepaald materiaal dat wordt gemeten onder een trekspanning ondergaat een trekspanning van 5 ppm ($5 \mu\epsilon$). Het rekstrookje heeft een nominale (ongedwongen) weerstand van 320Ω en een *gage factor* van 2,0. Bepaal de weerstandsverandering in het rekstrookje

Oplossing

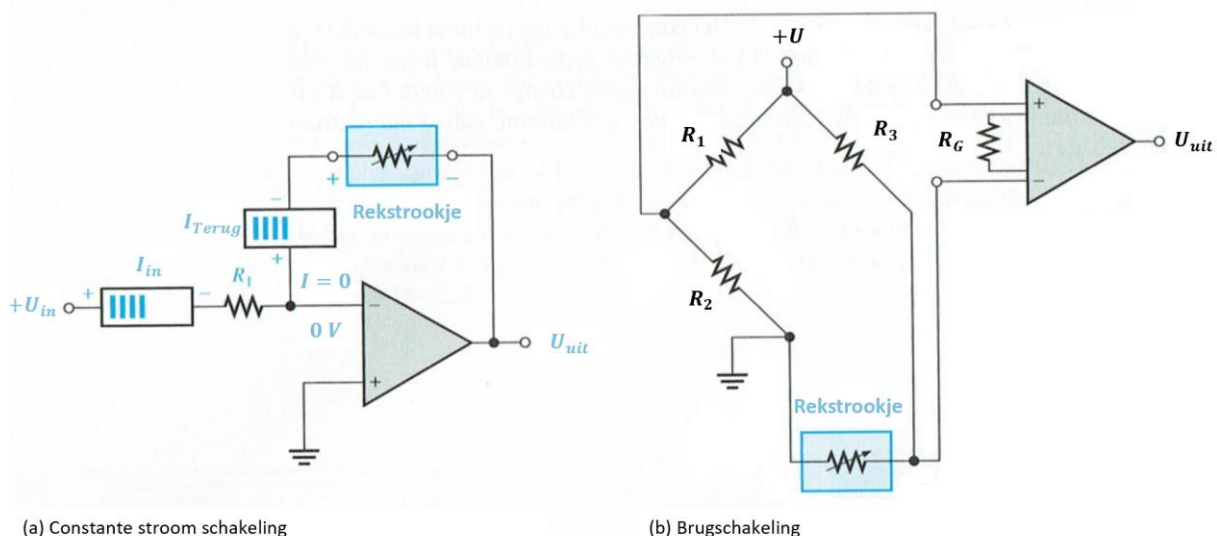
$$GF = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta l}{l}} = \frac{\Delta R}{R \epsilon}$$

$$\Delta R = GF \times R \times \epsilon$$

$$\Delta R = 2,0 \times 320 \Omega \times 5 \times 10^{-6} = 3,2 \text{ m}\Omega$$

5.1.2 Schakelingen om de rek van een bepaald materiaal te meten

Rekstrookjes vertonen een weerstandsverandering in functie van de mate waarin ze uitgerokken worden tijdens de meting. Om die reden worden ze meestal toegepast in brugschakelingen of schakelingen die aangedreven worden met een constante stroom. Een voorbeeld van brugschakeling en constante stroom aandrijving is in figuur 5-6 weergegeven.



Figuur 5-6 : Meetschakelingen met rekstrookjes

Figuur 5-6 (a) toont een inverterende versterkerschakeling waarin het rekstrookje geplaatst is in de terugkoppellus. Het rekstrookje staat bijgevolg in de plaats van de weerstand R_f . Uit de theorie van versterkerschakelingen met opamps weten we dat bij een inverterende opampversterker de stroom door de ingangsweerstand R_i gelijk maar tegenstelt is aan de stroom door R_f (rekstrookje). Als deingangsspanning van de schakeling in figuur 6-6 (a) constant wordt gehouden dan is de

stroom door het rekstrookje ook constant. Als bijvoorbeeld een trekkracht wordt toegepast op het rekstrookje, zal zijn weerstandswaarde vergroten waardoor de spanning over het rekstrookje eveneens groter wordt. Op die wijze komt de spanningsverandering over het rekstrookje overeen met de toegepaste trekkracht op dit rekstrookje.

Figuur 5-6 (b) toont een brug van Wheatstone waarbij de twee middelste punten verbonden zijn met een opamp. Als de spanning constant wordt gehouden zal de spanning over R_2 eveneens constant blijven. Wanneer een trekkracht op het rekstrookje wordt uitgeoefend, zal de spanningsval over dit rekstrookje eveneens veranderen waardoor de verschilspanning ($U_+ - U_-$) hiermee evenredig zal veranderen. De versterkte verandering van deze verschilspanning komt overeen met de grootte van de (trek)kracht op het rekstrookje.

5.2 Thermistor

Een thermistor is een elektronische component die gebruikt wordt om de temperatuur te bepalen. Wanneer de temperatuur rondom de thermistor verandert, verandert zijn weerstandswaarde. Er bestaan twee type thermistoren die respectievelijk NTC en PTC worden genoemd. NTC staat voor Negatieve TemperatuursCoëfficiënt. Dit houdt in dat als de temperatuur stijgt, de weerstandswaarde van deze component daalt. Een PTC (Positieve TemperatuursCoëfficiënt) is een niet-lineaire weerstand waarbij bij stijging van de temperatuur zijn weerstandswaarde eveneens stijgt.

Algemeen wordt een thermistor verbonden met een elektrische schakeling om de temperatuur te kunnen meten van een bepaald lichaam of substantie. De werkt temperatuur van thermistoren licht tussen -55°C en $+125^{\circ}\text{C}$. Het temperatuurbereik is afhankelijk van de basisweerstand welke voorgesteld wordt als $R_{25^{\circ}\text{C}}$.

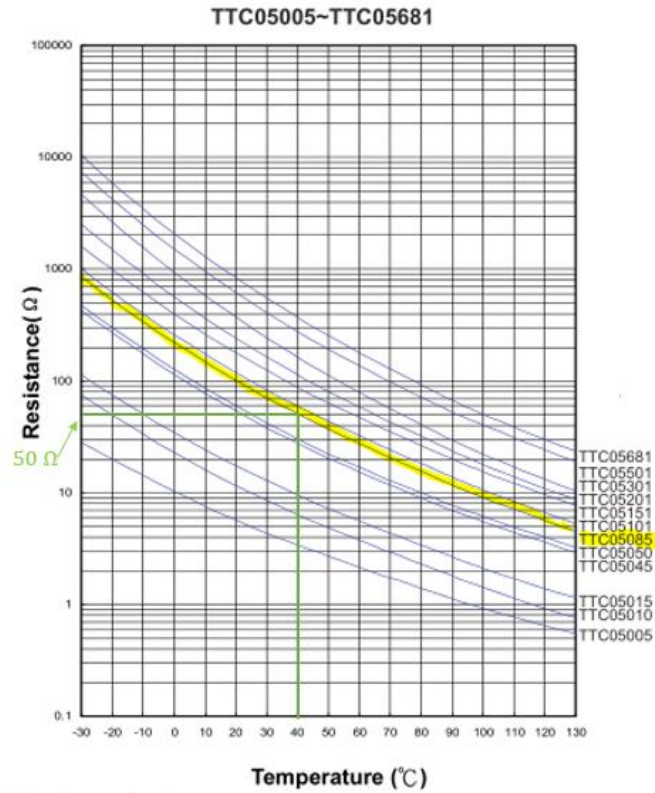
5.2.1 NTC

Zoals reeds aangehaald is een NTC een niet-lineaire weerstand waarbij de weerstandswaarde zal dalen bij stijgende temperatuur. De NTC heeft bijgevolg een negatieve temperatuurscoëfficiënt. NTC-weerstanden worden samengesteld uit oxiden van de ijzergroep (Fe_2O_3 , NiO en CoO). Deze oxiden bezitten in zuivere toestand een zeer hoge weerstand. Door toevoeging van vreemde ionen met een verschillende valentie dan de oxiden, verkrijgen deze-halfgeleidende eigenschappen.

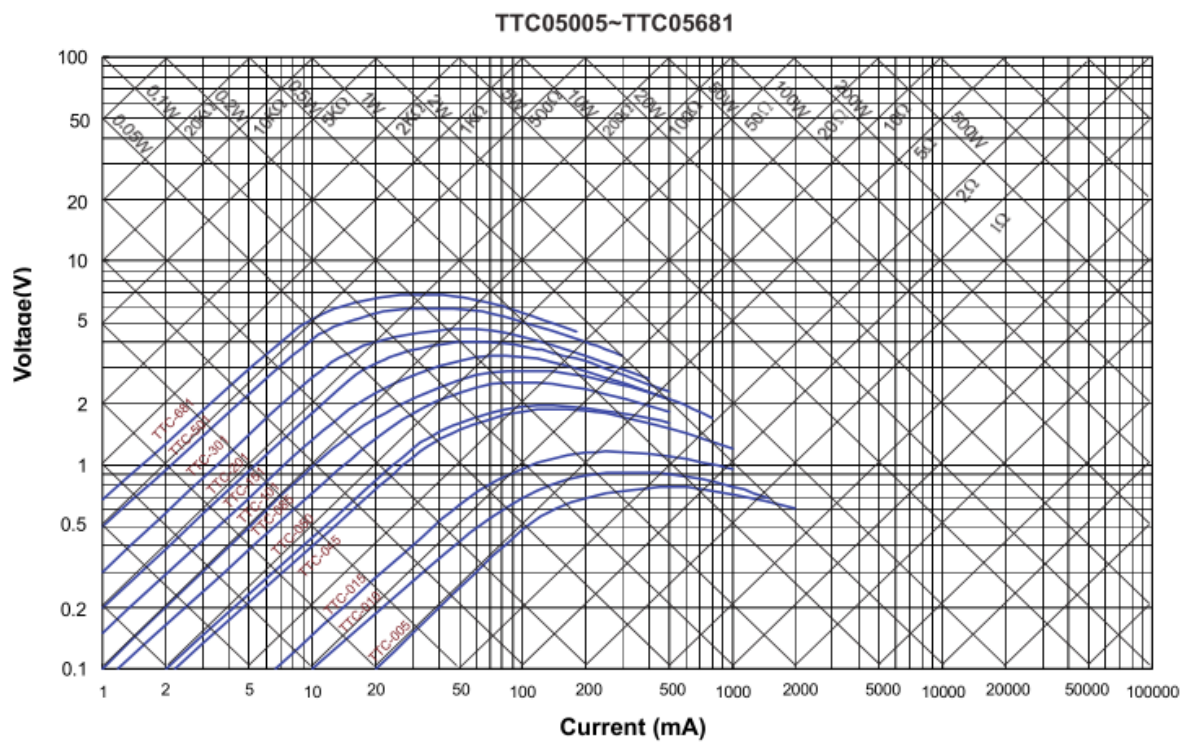
5.2.1.1 De weerstand-temperatuurskarakteristiek van een NTC

Figuur 5-7 toont de weerstandswaarden van onder andere de NTC TTC05085 . Karakteristieken van NTC's worden meestal in zogenaamde "familieverbanden" weergegeven. De codering TTC05 slaat op een aantal NTC's met gelijkaardige kenmerken. De cijfercombinatie 085 duidt op de weerstandswaarde dat deze specifieke NTC heeft bij 25°C . Voor dit type NTC is dit $85\ \Omega$ met een tolerantiewaarde gelegen tussen de $\pm 10\%$ en $\pm 15\%$. Voor het type TTC05151 is de $R_{25^{\circ}\text{C}}$ -waarde gelijk aan $151\ \Omega$. De TTC05XXX -familie kan gebruikt worden bij temperaturen tussen -30°C en $+125^{\circ}\text{C}$.

Uit de grafiek kan je aflezen dat de NTC met typenummer TTC05085 bij 25°C een weerstandswaarde heeft van $85\ \Omega$. Stijgt de temperatuur naar 40°C , dan verandert de weerstandswaarde van $85\ \Omega$ naar $50\ \Omega$. De grafiek in figuur 5-7 is bruikbaar om een geschikte NTC uit een bepaalde familie te kunnen kiezen zodat een bepaalde toepassing kan worden verwezenlijkt.



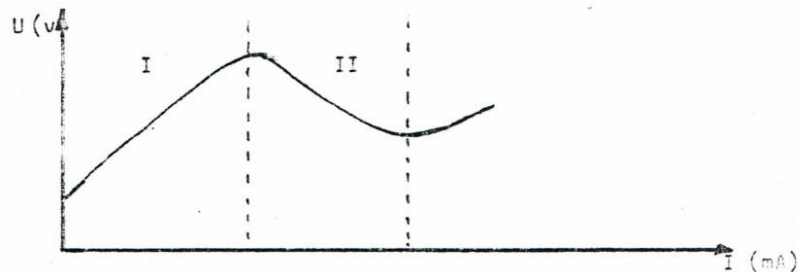
Figuur 5-7: voorbeeld van NTC-karakteristiek weerstand in functie van temperatuur (bron Veteng)



Figuur 5-8: voorbeeld van NTC-karakteristiek spanning in functie van stroom (bron Veteng)

5.2.1.2 De spanning-stroom karakteristiek van een NTC

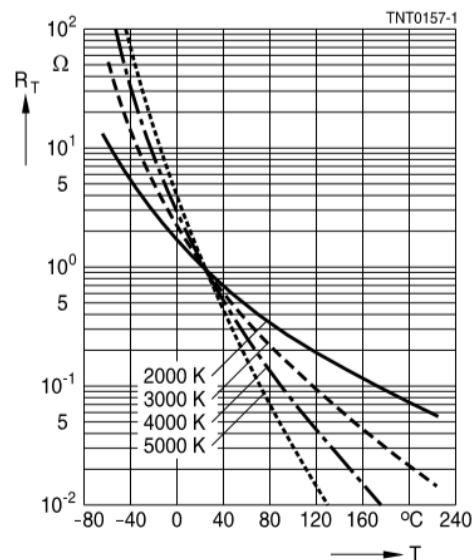
Figuur 5-8 toont een spannings-stroom karakteristiek van een NTC. De karakteristiek onder andere bruikbaar om bij een bepaalde weerstandswaarde en stroomdoorgang, de spanning en het vermogen te bepalen. Figuur 5-9 geeft een schets weer van de stroom-spanningskarakteristiek voor een bepaalde NTC.



Figuur 5-9: spanning in functie van de stroom door een NTC

In de figuur 5-9 zie je dat de karakteristiek is onderverdeeld in twee gebieden (I en II). In het gebied I is de NTC bruikbaar als temperatuuropmeter. Immers voor kleine spanningen is de eigen opwarming te verwaarlozen en blijkt de NTC-weerstand een constante te zijn. In het gebied II is de NTC bruikbaar als spanningsstabilisator. Door de grotere spanningsval over de NTC, vloeit er eveneens meer stroom door deze component. Hierdoor zal deze gaan opwarmen en stijgt de behuizingstemperatuur met als gevolg dat zijn weerstandswaarde gaat dalen en de spanningsval over de NTC eveneens terug kleiner wordt.

5.2.1.3 Weerstand-temperatuurkarakteristiek van een NTC



Figuur 5-10 : Voorbeeld van een weerstand-temperatuurkarakteristiek van een NTC

Een weerstand-temperatuurkarakteristiek kan je gebruiken om de weerstandswaarde bij een bepaalde temperatuur te bepalen. De temperatuurswaarden in Kelvin zijn materiaalconstanten die door de fabrikant worden opgegeven via de symbolen b of β (naargelang de fabrikant).

Als je van een NTC de $R_{25^{\circ}\text{C}}$ -waarde en de materiaalconstante b (of β) uit de datagegevens kan halen, dan kan je de weerstandswaarde bij een bepaalde temperatuur ook op volgende wijze bepalen:

$$R = R_{25^{\circ}\text{C}} \cdot e^{\left(\beta \cdot \frac{T_0 - T}{T_0 \cdot T}\right)}$$

Met :

- $R_{25^{\circ}\text{C}}$: de weerstandswaarde van de NTC bij kamertemperatuur (25°C of 298 K)
- T : de temperatuur van de NTC op het moment van het bepalen van de R -waarde
- T_0 : de kamertemperatuur (25°C of 298 K)
- β of b : een constante (afhankelijk van het gebruikte NTC-materiaal) door de fabrikant opgegeven in de datagegevens. Bijvoorbeeld $4300 \pm 3\%$.
- e : grondtal van het natuurlijk logaritme (afgeronde waarde 2,72)

5.2.1.4 Algemene kenmerken van een NTC

Dissipatieconstante

Als door een NTC-weerstand een bepaalde stroom vloeit, zal deze NTC een zeker vermogen dissiperen. De temperatuur van het weerstandslichaam is dan hoger dan de temperatuur van zijn omgeving. Vermits bij een NTC de weerstandswaarde varieert bij veranderende temperatuur, is de weerstandswaarde geen maat voor de omgevingstemperatuur. Het gedissipeerd vermogen dient zo laag mogelijk gehouden te worden.

De dissipatieconstante is het vermogen om de NTC met 1°C te doen stijgen. Het is een maat voor de eigen opwarming. Om zo nauwkeurig mogelijk temperatuur te kunnen opmeten moet het gedissipeerd vermogen van een NTC zo laag mogelijk blijven. Typische waarden voor gewone NTC's zijn $0,4$ à $0,7\text{ mW}/^{\circ}\text{C}$. Voor temperatuuropnemers bedraagt deze 7 à $10\text{ mW}/^{\circ}\text{C}$

Hersteltijd

Ten gevolge van zijn thermische massa zal de NTC een zekere tijd nodig hebben om temperatuurschommelingen te volgen. De hersteltijd is de tijd in seconden waarmee de weerstand bij maximale belasting terugkeert naar $R_{25^{\circ}\text{C}}$ en bij een omgevingstemperatuur van 25°C

(thermische) Tijdsconstante

Wanneer de temperatuur rondom de NTC plotseling verandert zal het een bepaalde tijd duren alvorens de weerstandswaarde van de NTC zich aan deze temperatuursverandering heeft aangepast. Om dit verschijnsel te definiëren is het begrip thermische tijdsconstante ingevoerd. De thermische tijdsconstante geeft de tijdsduur weer die de NTC nodig heeft om op een zodanige temperatuur te komen dat het temperatuurverschil van de omgeving met de NTC nog 38% bedraagt.

De thermische tijdsconstante τ is vergelijkbaar met het op- en ontladen van een condensator. Voor afkoeling bijvoorbeeld bekomt men:

$$T - T_{\text{eind}} = (T_{\text{begin}} - T_{\text{eind}}) \times e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Hierbij is :

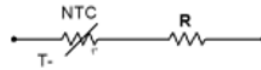
- T : Temperatuur
- T_{eind} : Eindtemperatuur
- T_{begin} : Begintemperatuur
- $\tau = \frac{K}{C}$ waarbij K de warmtecapaciteit van de weerstand in $(\text{J}/(^{\circ}\text{C}))$ is en C de warmte-dissipatiecoëfficiënt.

5.2.1.5 Afgeleide weerstandswaarden

Om de karakteristiek van een NTC zodanig aan te passen dat deze beter bruikbaar is om een bepaalde toepassing te bouwen wordt gebruik gemaakt van weerstanden in serie of parallel of een combinatie hiervan. Figuur 5-11 geeft hiervan een overzicht.

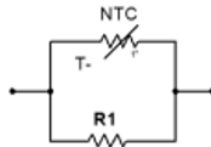
- Serieschakeling:

$$R_{tot} = Ae^{\frac{b}{T}} + R$$



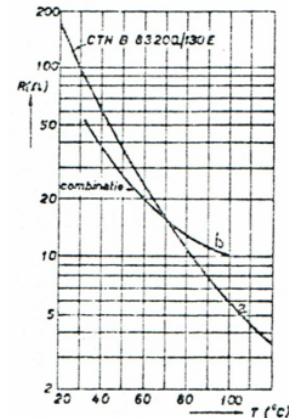
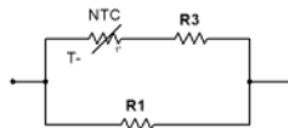
- Parallelschakeling

$$R_{tot} = \frac{Ae^{\frac{b}{T}} \times R_1}{Ae^{\frac{b}{T}} + R_1}$$



- Serie-parallelschakeling

$$R_{tot} = \frac{R_3 + Ae^{\frac{b}{T}} \times R_1}{R_1 + R_2 + Ae^{\frac{b}{T}}}$$



Curve a. is de NTC-karakteristiek

Curve b is de combinatie met $R_1 = 95\Omega$ en $R_3 = 6\Omega$

Figuur 5-11 : voorbeelden van afgeleide weerstandswaarden

5.2.1.6 Soorten NTC's

Zie presentatie lineaire weerstanden

5.2.1.7 Gebruik van NTC-weerstanden

Beveiligen van gloeidraden

Door een groot aantal gloeilampen in serie te plaatsen zal, vanwege de tamelijk grote positieve temperatuurscoëfficiënt van de gloeidraden de aanzetstroom (lees de piekstroom die zal vloeien tijdens het aanschakelen van de schakeling) van de meermalen de nominale stroom bedragen. Door een aangepaste NTC in serie te plaatsen met deze gloeilampen, zal de aanzetstroom binnen redelijke grenzen blijven. In koude toestand is de weerstand van de NTC redelijk groot en bij een temperatuur van 100°C à 120°C heeft deze zijn eindwaarde bereikt.

Temperatuurmetingen

NTC's met aangepaste vormen en afmetingen kunnen gebruikt worden thermometersondes. Het principe rust op een bepaald meetbrugtype (bv. Wheatstone-brug) en ze worden gebruikt voor het meten van vloeistoffen, gassen, uitlaatgassen, koelwater, temperatuur van de huid,

Compensatie van positieve temperatuurscoëfficiënten

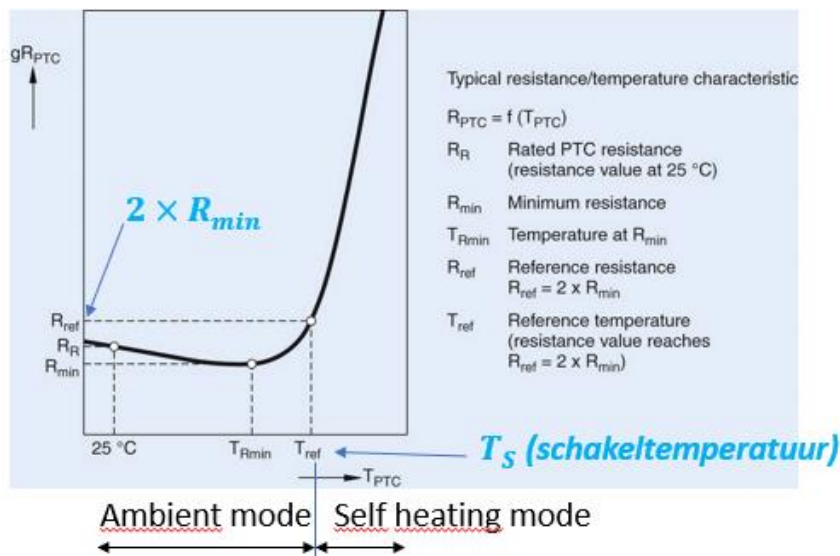
De compensatie met NTC voor positieve temperatuurstoename wordt veel gebruikt in halfgeleider-techniek. Meestal in schakelingen zoals vermogenversterkers of voor het beperken van temperatuurstoename in spoelen.

5.2.2 PTC

Bij positieve temperatuurscoëfficiëntweerstand stijgt, binnen bepaalde grenzen, de weerstand bij stijgende temperatuur. Ze worden vervaardigd op basis van bariumnitraat of een samenstelling van bariumtitanaat en strontiumtitanaat of keramische materialen met halfgeleidend karakter. Het PTC-karakter wordt verkregen door de weerstand te sinteren in een zuurstofatmosfeer.

5.2.2.1 Weerstandsverloop

Figuur 5-12 toont het weerstandsverloop in functie van de temperatuur van een PTC.



Figuur 5-12 : weerstandsverloop in functie van de temperatuur van een PTC

Het weerstandsverloop van een PTC kan gemakkelijk een factor 1000 bedragen. Bijvoorbeeld van 20 à 50 Ω tot 100 à 200 $k\Omega$.

De weerstandswaarde kan wiskundig als volgt worden bepaald:

$$R = \frac{1}{a} e^{\frac{\varphi_0}{kT}}$$

Hierbij is:

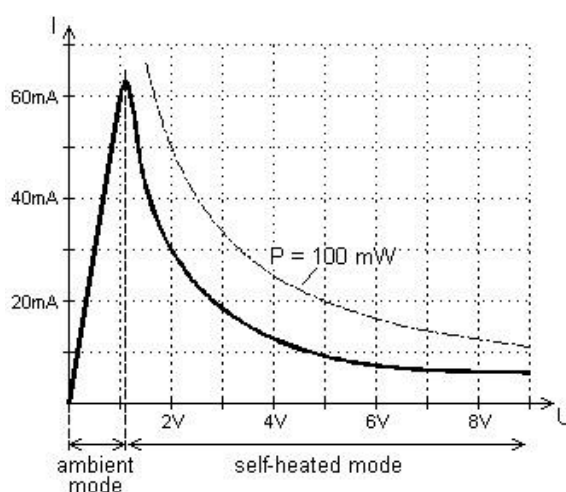
- a : factor evenredig met grootte der korrels
- φ_0 : elektrisch potentiaal der lagen in de kristalstructuur
- T : absolute temperatuur in Kelvin
- k : richtingscoëfficiënt van de raaklijn

Net als bij de NTC zijn er bij de PTC ook twee gebieden te onderscheiden. Namelijk de ambient mode of sensormode en de self heating mode (zie figuur 5-12). In de **ambient of sensormode** vloeit er een minimale hoeveelheid stroom door de PTC. In deze mode kan de PTC de omgevingstemperatuur opmeten vermits het zelfopwarmend effect bij kleine stromen verwaarloosbaar is. Naarmate de omgeving van de PTC opwarmt, kan de PTC zijn **schakeltemperatuur** T_s bereiken. Dit is de hoogste temperatuurswaarde waarbij de weerstand van de PTC gelijk is aan twee keer de minimale weerstandswaarde (zie figuur 5-12). De schakeltemperatuur wordt ook wel eens aangeduidt als T_{ref} .

In de “**self heating mode**” kan de PTC gebruikt worden als veiligheidsuitschakeling of regelaar. PTC's die in deze mode werken staan meestal in serie met componenten of schakelingen die de stroom regelen welke door de PTC gaat. Naarmate de grootte van de stroom zal de PTC meer of minder opwarmen door de vermogendissipatie ten gevolge van de stroom erdoor. Van zodra de PTC de schakeltemperatuur bereikt, zal de weerstandswaarde van deze PTC aanzienlijk toenemen en de stroom gaan beperken.

5.2.2.2 Stroom-spanningskarakteristiek

Deze karakteristiek toont de stroom-spanningsverhouding in een thermische evenwichtstoestand. De spanning stijgt vanaf 0 V. Door de spanningsstijging zal er meer stroom door de PTC vloeien en de temperatuur door eigen opwarming stijgen tot de PTC een schakelpunt bereikt. Vanaf dan zal bij verdere verhoging van de spanning de stroom afnemen over een gebied met constant vermogen. Een voorbeeld van de stroom-spanningkarakteristiek van een PTC is in figuur 5-13 weer gegeven.



Figuur 5-13: voorbeeld van stroom-spanningskarakteristiek

5.2.2.3 Eigenschappen van een PTC

Temperatuurscoëfficiënt α

De fabrikant geeft de maximale waarde op voor de temperatuurscoëfficiënt. Dit is bij het buigpunt (T_{Rmin}) van de weerstand-temperatuurskarakteristiek (zie figuur 5-12). Voor de andere punten kan de temperatuurscoëfficiënt bepaald worden via onderstaande formule:

$$\alpha = \frac{100}{\log e} \times \frac{\log R_2 - \log R_1}{T_2 - T_1} \quad [\%/^{\circ}\text{C}]$$

Thermische tijdsconstante

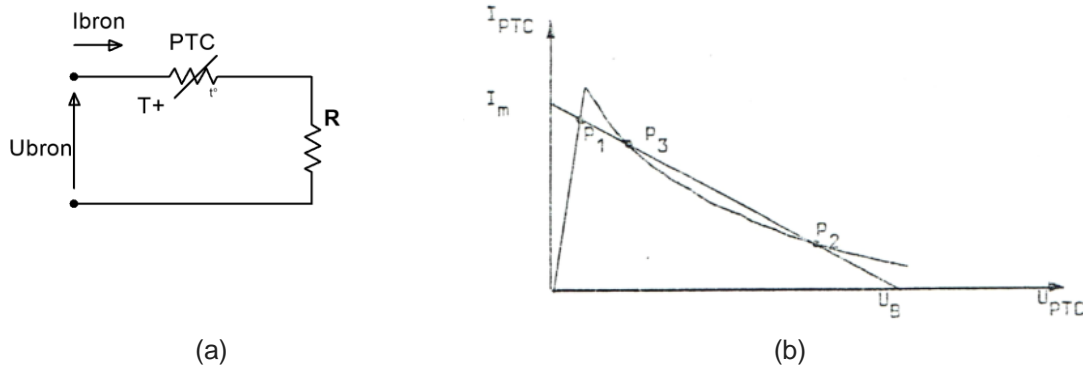
Dit heeft dezelfde betekenis als de thermische tijdsconstante bij NTC.

Schakeltemperatuur

Dit is bij definitie de hoogste temperatuurswaarde waarbij de weerstand gelijk aan twee keer R_{min} is.

5.2.2.4 Serieschakeling van een PTC met een lineaire weerstand

Een belastingslijn geeft alle mogelijke instelpunten weer van de PTC in de schakeling waarvoor deze belastingslijn geldt. Onder een instelpunt wordt verstaan de spanningsval over de PTC met de stroom door de PTC in de stroom-spanningskarakteristiek van de PTC.



Figuur 5-14: belastingslijn van een serieschakeling PTC met lineaire weerstand

Een rechte kan bepaald worden door twee punten. De twee punten die het gemakkelijkst kunnen bepaald worden zijn de snijpunten met de spannings- en stroomas. Het snijpunt met de spanningsas kan gevonden worden wanneer de stroom gelijk is aan 0 mA (of de PTC beschouwd kan worden als een open keten). Het snijpunt met de stroom-as kan gevonden worden als de spanning over de PTC gelijk is aan 0 V (of de PTC als kortgesloten beschouwd kan worden). Deze snijpunten kunnen wiskundig als volgt worden bepaald:

$$U_{bron} = I_{bron}(R_{PTC} + R)$$

$$U_{bron} = U_{PTC} + I_{bron}R$$

$$U_{PTC} = 0 \rightarrow I_{bron} = I_{PTC} = \frac{U_{bron}}{R} \quad (\text{punt } I_m \text{ in figuur 5-14 (b)})$$

$$I_{bron} = I_{PTC} = 0 \rightarrow U_{PTC} = U_{bron} \quad (\text{punt } U_B \text{ in figuur 5-14 (b)})$$

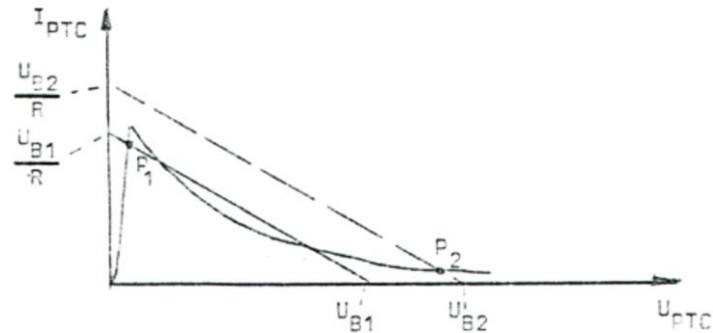
In figuur 5-14 (b) is te zien dat er drie stabiele (werk)punten zijn. Dit zijn de snijpunten van de karakteristiek van de PTC met de belastingslijn. Punt P_1 is een stabiele toestand waarbij de weerstand van de PTC klein is. De tweede stabiele toestand is het punt P_2 waarbij de weerstand van de PTC groot is. Het punt P_3 is een onstabiel punt. Ofwel zal er een overgang plaatsvinden naar punt P_1 ofwel naar punt P_2 .

Wanneer de spanningsbron U_{bron} wordt aangesloten aan de schakeling van figuur 5-14 (a) zal de PTC zich instellen in punt P_1 (zie figuur 5-14 (b)). Het punt P_2 kan enkel bereikt worden indien een van volgende situaties zich voordoet:

- De spanning over de serieschakeling wordt verhoogd.
- De omgevingstemperatuur wordt verhoogd.
- De lineaire serieweerstand wordt verkleind.

Bescherming tegen overbelasting met PTC

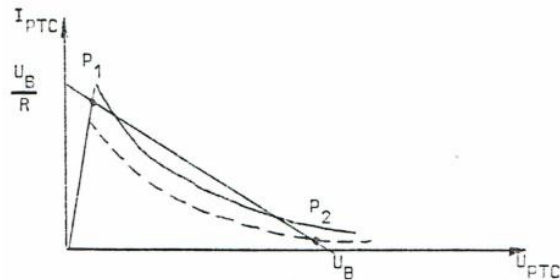
Indien de spanning wordt verhoogd van de waarde U_{B1} naar U_{B2} dan zal de belastingslijn opschuiven zoals in figuur 5-15 is weergegeven. Het werkpunt verschuift dan instelpunt P_1 naar instelpunt P_2 . Dit betekent ook dat praktisch de volle spanningswaarde van U_{B2} over de PTC komt te staan. De belastingsweerstand kan bijgevolg op deze manier beschermd worden tegen overbelasting.



Figuur 5-15 : bescherming lineaire weerstand tegen overbelasting

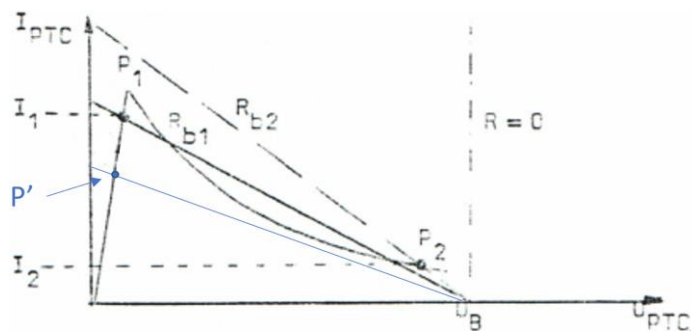
Schakeling die reageert op hoge temperaturen

Wanneer de omgevingstemperatuur stijgt, zal de weerstandswaarde van de PTC verhogen en de stroom erdoor dalen. Hierdoor zal de stroomwaarde I_1 door de PTC dalen naar de stroomwaarde I_2 (zie figuur 5-16). Door stijging van de temperatuur zal de karakteristiek van de PTC verkleinen. Dit is weergegeven door de stippelijn in de figuur 5-16. Door het verschuiven van het werkpunt van instelpunt P_1 naar instelpunt P_2 is de schakeling bruikbaar om te reageren op hoge temperaturen.



Figuur 5-16 : opvoeren van de omgevingstemperatuur

Veranderen van de serieweerstand R



Figuur 5-17: PTC gebruikt voor stroombegrenzing

Verandering van de weerstandswaarde R brengt mede dat de belastingslijn zal roteren met het punt ($U = U_B, I = 0$). Dit is in figuur 5-17 weergegeven. Door R kleiner te maken wordt een overgang verkregen van het werkpunt P_1 naar het werkpunt P_2 . Het besluit dat je hieruit kan trekken is dat een PTC ook bruikbaar is voor stroombegrenzing.

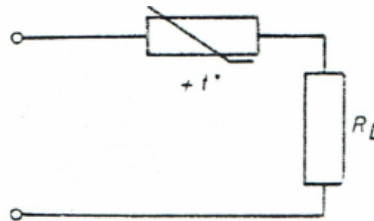
Opmerking:

Na het omschakelen van P_1 naar P_2 blijft het werkpunt bij P_2 liggen, zelfs na terugkeer naar de begintoestand. Dit is te vermijden door de belastingslijn zodanig te kiezen dat er in de

begintoestand maar één werkpunt aanwezig is. In figuur 5-17 is dit weergegeven met het punt P' . Wanneer het niet mogelijk is om een belastingslijn op die wijze te vormen kan je de karakteristiek van de PTC verhogen door een weerstand parallel met de PTC plaatsen.

5.2.2.5 Toepassingen met PTC

Beveiliging tegen overspanning of kortsluiting

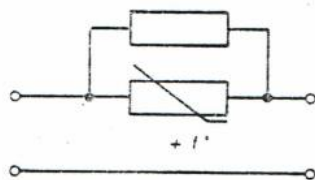


Figuur 5-18: gebruik PTC tegen overspanning of kortsluiting

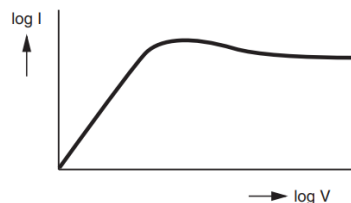
Wanneer R_L wordt kortgesloten zal de stroom door de PTC sterk toenemen waardoor de weerstandswaarde van de PTC door eigenopwarming zal verhogen. De verhoogde PTC -weerstand zorgt ervoor dat de stroom terug wordt beperkt.

Als de ingangsspanning wordt verhoogd, komt er meer spanning over de PTC te staan waardoor de stroom erdoor groter wordt. Deze grotere stroom zorgt voor meer vermogendissipatie waardoor de PTC warmer wordt en zijn weerstandswaarde zal stijgen. De verhoogde weerstandswaarde zorgt ervoor dat de stroom beperkt blijft.

Stroomstabilisatie



(a) Vb. van stroomstabilisatie



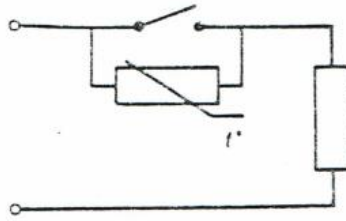
(b) I - U -verloop van de stabilisatie

Figuur 5-19: gebruik PTC tegen overspanning of kortsluiting

Door het gebruik van de parallelweerstand worden langzaam veranderende voedingsspanningen gecompenseerd. Wanneer de langzaamvariërende voedingsspanning stijgt, stijgt in eerste instantie de stroom door de PTC . Hierdoor zal de weerstandswaarde van de PTC verhogen met als gevolg dat de stroom door de PTC zal dalen. De totale stroom, die de som is van de stroom door de parallelweerstand met de stroom door de PTC , zal dan kleiner worden. Dit heeft als gevolg dat de stroom door de schakeling die volgt ongeveer hetzelfde zal blijven. Wanneer de voedingsspanning daalt, daalt de spanning over de PTC . Dit heeft als gevolg dat er minder vermogen wordt gedissipeerd in de PTC waardoor zijn weerstandswaarde zal dalen. Het gevolg hiervan is dat de totale stroom zal toenemen zodat ook nu weer voor de schakeling die volgt de toevoerstromen ongeveer constant zal blijven.

Vonkonderdrukking

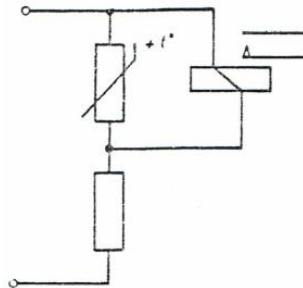
Wanneer de schakelaar open staat, is de weerstandswaarde van de PTC zeer hoog waardoor er een kleine lekstroom door de schakeling zal vloeien. Bij een juiste keuze van het type PTC zal deze lekstroom onvoldoende zijn om de schakeling die volgt na de schakelaar in werking te plaatsen.



Figuur 5-20: gebruik *PTC* voor vonkonderdrukking

Wanneer de schakelaar sluit wordt de *PTC* kortgesloten. Hierdoor vloeit er geen stroom meer door de *PTC* waardoor deze afkoelt. De afkoeling zorgt ervoor dat de weerstandswaarde van de *PTC* zal dalen. Wordt de schakelaar terug geopend, dan zal in eerste instantie nog noemenswaardige stroom door de *PTC* vloeien met als gevolg dat deze opwarmt en verhoogt in weerstandswaarde. In de eindtoestand is de weerstandswaarde van de *PTC* zodanig terug groot dat de schakeling achter de schakeling in uittoestand komt. Vonkvorming wordt onderdrukt door het feit dat bij het openen van de schakelaar de stroom geleidelijk aan wordt verminderd naar ongeveer nul in plaats van plotseling naar nul te veranderen.

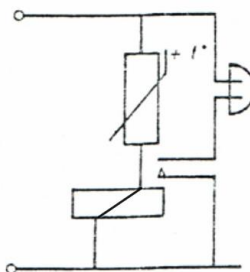
Vertragingsschakeling voor een relais



Figuur 5-21: Principe vertragingsschakeling met *PTC*

Wanneer de spanning in eerste instantie over de schakeling wordt ingeschakeld is de weerstandswaarde van de *PTC* nog klein. Hierdoor is de spanningsval over het relais eveneens nog klein. Door de stroom die door de *PTC* vloeit zal deze opwarmen waardoor zijn weerstandswaarde stijgt en bijgevolg ook de spanningsval erover. Wanneer de spanningsval voldoende groot is, staat er voldoende spanning over het relais om aan te trekken. De tijd nodig om de weerstandswaarde voldoende hoog te maken om het relais te laten aantrekken is de vertragingstijd.

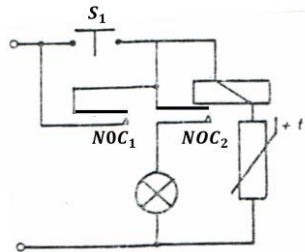
Alarminstallatie



Figuur 5-22: Principe gebruik van *PTC* om een alarm te geven bij een te lage temperatuur

Wanneer de temperatuur voldoende hoog is, is de weerstandswaarde van de *PTC* voldoende groot zodat de stroom door het relais onvoldoende is om aan te trekken. Echter als de temperatuur daalt, daalt ook de weerstandswaarde van de *PTC* waardoor de stroomdoorgang door het relais groter wordt. Bij een bepaalde temperatuurwaarde zal de stroom door het relais zodanig groot worden dat het relais aantrekt en er een alarm afgaat zolang de temperatuur deze temperatuurswaarde of lager heeft.

Vertraagd afvallen van een relais

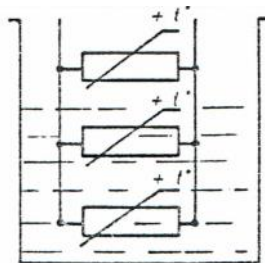


Figuur 5-23: Principeschakeling vertraagt afvallen van een relais

Het indrukken van de schakelaar S_1 zal het relais activeren waardoor de normaal geopende contacten NOC_1 en NOC_2 zich zullen sluiten. Het contact NOC_1 zorgt ervoor dat het relais nog steeds onder spanning staat als de schakelaar S_1 terug wordt geopend. Het contact NOC_2 zorgt er voor dat de lamp brandt.

Van zodra het relais geactiveerd is, vloeit er stroom door de *PTC* waardoor deze zal opwarmen. Hierdoor stijgt de weerstand van de *PTC* waardoor de stroomdoorgang in het relais zal verminderen. Na een bepaalde tijd is deze weerstandswaarde zodanig groot geworden dat er onvoldoende stroom door het relais vloeit om deze bekrachtigd te houden. Het gevolg is dat het relais afvalt en de contacten NOC_1 en NOC_2 zich terug openen.

Aanduiden van vloeistofniveau

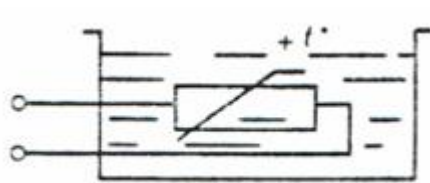


Figuur 5-24: Principeschakeling aanduiden vloeistofniveau met *PTC*

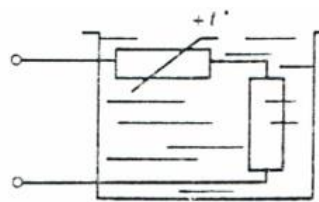
Wanneer de *PTC*-weerstandsen worden ondergedompeld koelen deze af (of worden deze opgewarmd naargelang de situatie) zodat hun weerstandswaarde verandert. Deze weerstandsverandering zorgt voor een spannings- of stroomverandering die gedetecteerd kan worden. Naargelang het aantal gewijzigde *PTC*-weerstandsen kan men afleiden hoe hoog het vloeistofniveau is.

Thermostabilisatie van elektrische schakelingen

Er zijn twee mogelijkheden. De *PTC* kan zowel als verwarmend dan als regulerend element gebruikt worden. Denk bijvoorbeeld aan soldeerbouten, krultangen, ... (zie figuur 5-25 (a)).



(a) PTC als verwarmend element



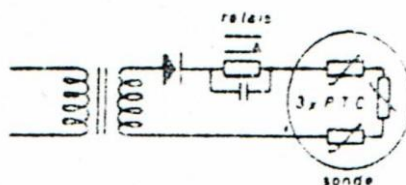
(b) PTC als regulerend element

Figuur 5-25: voorbeelden van thermostabilisatie van elektrische schakelingen

In figuur 5-25 (b) is de PTC weergegeven als controle-element.

Beveiliging van motoren

Door de geringe afmetingen van de PTC's kunnen deze geplaatst worden in de wikkeling van een motor. Zo kan iedere temperatuursverhoging gedetecteerd worden. Deze temperatuursverhoging kan ontstaan door overbelasting, blokkeren van de motor, onderbreken van een fase, onder- of overspanning, Een typische voorbeeldschakeling is weergegeven in figuur 5-26. Wanneer de temperatuur stijgt, wordt de weerstandswaarde van de PTC's groter. Wanneer de temperatuur te hoog wordt, is de weerstandswaarde van de PTC's zodanig hoog dat er onvoldoende stroom door het relais vloeit en deze afvalt. Het relais bevat normaal gesloten contacten die in de elektrische toevoerleidingen van de motor staan.



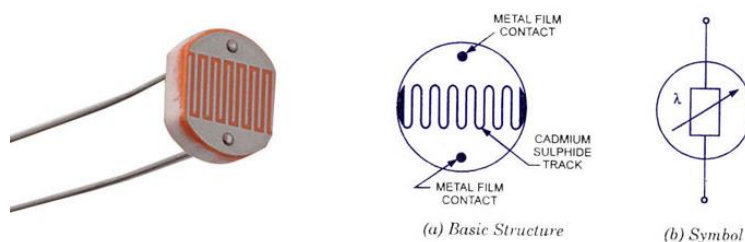
Figuur 5-26: voorbeeld van een motorbeveiligingsschakeling

5.2.2.6 Soorten PTC

Zie hiervoor de presentatie niet-lineaire weerstanden

5.3 Lichtafhankelijke weerstanden

Light Depending Resistor of LDR is een lichtafhankelijke weerstand die in het donker over een zeer hogeweerstandswaarde beschikt en bij belichting overgaat naar relatief lage weerstandswaarde zodat ze tamelijk goede geleiders worden. De weerstandsvariatie tussen volledig donker en bij sterke belichting is zeer groot. Zo kan bijvoorbeeld de donkerweerstand ongeveer $10^7 \Omega$ bedragen en bij belichting $1 k\Omega$.



Figuur 5-27 : voorstelling van LDR

Een *LDR* bestaat uit een isolerende drager uit glas of keramiek waarop een dunne lichtgevoelige laag cadmiumsulfide of loodsulfide is aangebracht. De spectrale gevoeligheid van cadmiumsulfide (CdS) valt samen met het zichtbare licht terwijl dat van loodsulfide (PbS) geschikt is voor infraroodmetingen en warmtestraling. De elektroden, waartussen de lichtgevoelige laag ligt, zijn uit goud of indium vervaardigd.

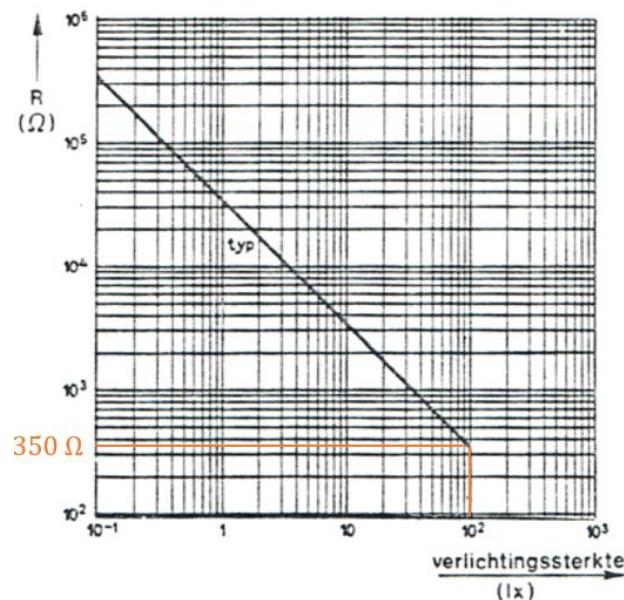
Om een hoge lichtgevoeligheid te krijgen moet de afstand tussen de elektronen klein zijn en het lichtgevoelige oppervlak groot blijven. Vandaar dat de elektroden als twee “kammen” in elkaar grijpen.

5.3.1 Inwendig foto-elektrisch effect

Het werkingsprincipe van de *LDR* steunt op het inwendig foto-elektrisch effect. Bij belichting van het halfgeleidermateriaal zullen fotonen met voldoende energie in staat zijn om elektronen uit de valentieband vrij te krijgen en deze naar de geleidingsband over te brengen. Telkens een elektron vanuit de valentieband overgaat naar de geleidingsband ontstaat er een positief ion. Naarmate de belichting toeneemt, ontstaan er meer elektronen in de geleidingsband waardoor de geleidbaarheid binnen de *LDR* toeneemt. Dit komt overeen met een weerstandsval. Wanneer het licht verdwijnt, zijn er geen fotonen meer die vrije elektronen genereren. Het gevolg is dat de geleidbaarheid terug afneemt en de weerstandswaarde terug verhoogd.

5.3.2 Weerstand-belichtingskarakteristiek

In de karakteristiek van figuur 5-28 zien we dat bij een belichtingssterkte van 10^2 lux (lx) de *LDR*-weerstand $350\ \Omega$ bedraagt. Deze weerstandswaarde wordt ook de helderweerstand genoemd. De weerstandswaarde bij een belichtingssterkte van 0 lx wordt de donkerweerstand genoemd. De donkerweerstand kan, naargelang het type *LDR* oplopen tot $10\text{ M}\Omega$.



Figuur 5-28 : voorbeeld weerstand-belichtingssterktekarakteristiek

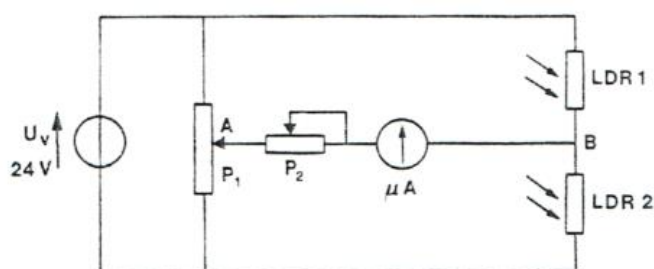
Uit de karakteristiek kan je afleiden dat de weerstandsverandering bij een *LDR* van donkerweerstand naar helderweerstand erg groot is. Hou rekening met het feit dat de reactietijd om van de donkerweerstand over te gaan naar helderweerstand of omgekeerd enkele milliseconden bedraagt

wat relatief groot is. Wenst men snelle reacties op fluctuerend licht, kan men beter gebruik maken van de fototransistor of fotoLED.

5.3.3 Toepassing

LDR's kunnen bijvoorbeeld toegepast worden in noodverlichtingschakelingen. Als het donker wordt, wordt de weerstandswaarde van de LDR hoog waardoor de spanningsval erover ook groot wordt. Deze spanningsval kan gebruikt worden om een schakelaar te sluiten en de noodverlichting op te starten. Ook in buitenlampen, werkend met zonne-energie kan gebruik gemaakt worden van LDR om de verlichting automatisch te laten opstarten bij een bepaalde donkergraad.

Daarnaast kan men LDR ook gebruiken in totaal andere toepassingen. Bekijken we hiervoor de schakeling in figuur 5-29.



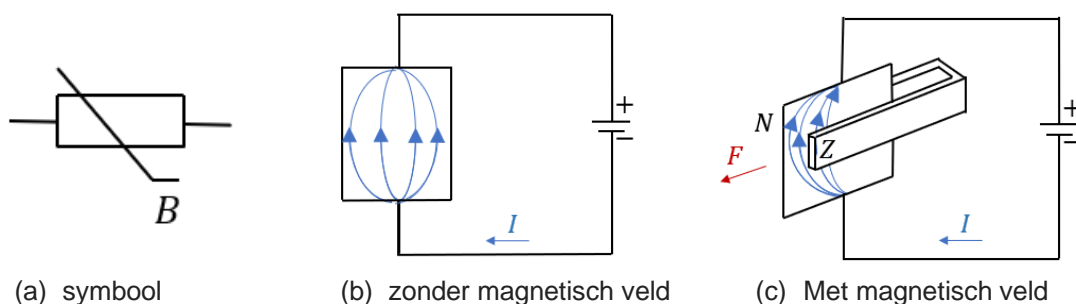
Figuur 5-29: LDR toegepast in een vergelijkingsmetingschakeling

De schakeling in figuur 5-29 bestaat uit een Wheatstonebrug met twee gelijke LDR's en een analoge μA -meter waarvan het nulpunt zich op het midden van de schaal bevindt. Deze meetopstelling maakt het mogelijk de gladheid, de kleur of een bepaalde verontreiniging van een oppervlak te bepalen of met elkaar te vergelijken. Stel dat we de schakeling gebruiken om te bepalen of een bepaalde kleur van papier binnen de gestelde norm blijft.

Het werkingsprincipe is als volgt: één LDR (LDR1) wordt met een constante hoeveelheid licht be-licht terwijl de andere LDR (LDR2) de te meten hoeveelheid licht opvangt. Vooraf wordt met de potentiometer P_1 de symmetrie van de schakeling ingesteld. Potentiometer P_2 wordt gebruikt om de gevoeligheid in te stellen. Is de kleur van het te controleren papier donkerder dan de referentie-instelling dan wordt er minder licht weerkaatst waardoor de weerstand van de LDR2 toeneemt. De spanning U_B is dan groter dan de spanning U_A waardoor de meter naar links uitwijkt. Is de kleur te licht ten opzichte van de referentiekleur, dan wordt er te veel licht weerkaatst met als gevolg dat de weerstandswaarde van LDR2 kleiner wordt en de stroommeter naar rechts zal uitwijken.

5.4 Magnetisch gevoelige weerstanden

De weerstand van een magnetisch gevoelige weerstand (MDR) zal veranderen onder invloed van een magnetisch veld.



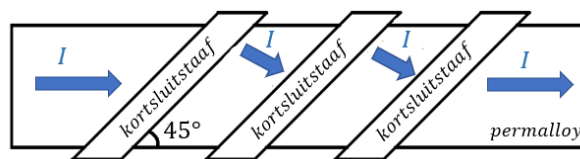
Figuur 5-30: symbool en werkingsprincipe MDR

De principewerking van een *MDR* is als volgt: Wanneer er geen magnetisch veld aanwezig is, zoals in figuur 5-30 (b), stroomt de stroom evenredig door het plaatje. Wordt dit plaatje vast aangebracht in een magnetisch veld, zoals in figuur 5-30 (c), dan zullen de stroombanen zich naar links bewegen om een evenwicht te brengen. Vermits de stroom nu slechts door een gedeelte van het plaatje vloeit, zal de weerstand ervan schijnbaar zijn toegenomen. Bij een normale geleider is dit effect bijna niet meetbaar.

Een uitzondering hierop vormt Bismut. Tegenwoordig worden ook materialen met halfgeleidende eigenschappen gebruikt. Nominale weerstandswaarden bij een magnetisch veld van 1 *Tesla* zorgt voor stijging van de weerstandswaarde van 100 Ω tot 1500 Ω .

Magnetoweerstanden maken gebruik van het **magnetoweerstandseffect**. (1856 William Thomson). Dit effect wordt opgemerkt in ferromagnetische materialen en is afhankelijk van de sterkte van het magnetische veld en van de hoek tussen de richting van de elektrische stroom en het magnetische veld. Dit effect staat bekend als anisotrope magnetoweerstand (AMR). De *MDR* volgens dit principe bestaat uit Permalloy, een legering bestaande uit 81% nikkel (Ni) en 19% ijzer (Fe). Permalloy heeft een hoge anisotrope magnetoweerstand en een lage magnetostrictie (verandering in grootte door magnetische velden). Hierdoor is het een favoriet materiaal voor magnetoweerstanden.

Magnetoweerstanden zijn vaak gemaakt van lange dunne films van permalloy. Om de gevoeligheid van een permalloy magnetoweerstand te vergroten, worden kortsluitstaven van aluminium of goud op de dunne permeabele films geplaatst onder een hoek van 45 graden. Dit dwingt de stroom om te stromen in een richting van 45 graden ten opzichte van de lengte van de film. Dit wordt een **kapperspaalconfiguratie** genoemd.



Figuur 5-31: voorbeeld van kapperspaalconfiguratie

Toepassingen

- Positiesensoren

Hoekpositie

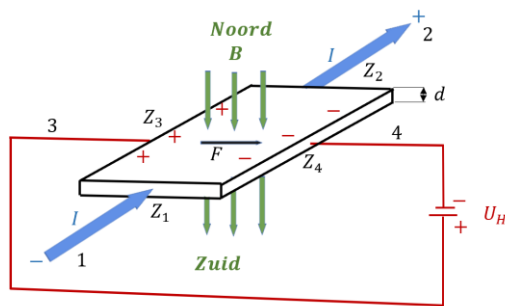
Roterende positiesensoren (rotary position sensors)

Lineaire positiesensoren

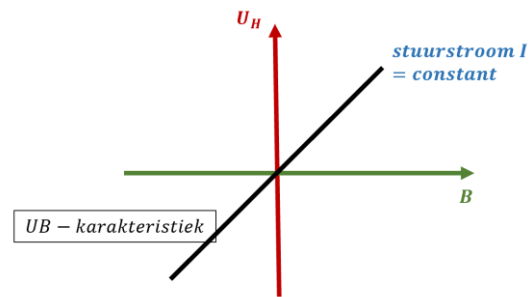
- Detectie van ferrometalen
- Elektronisch kompas
- Magnetometrie, meting van de intensiteit en richting van het magnetisch veld
- Verkeersdetectie / voertuigdetectie

5.5 Hallsensor

Een Hall sensor bestaat uit halfgeleiderplaatjes, bestaande uit InSb (indium antimonide) of GaAs (Galium Arsenide) (3-5 verbinding), waarvan het elektrisch gedrag door een magnetisch veld wordt beïnvloed. De opbouw van een Hallsensor wordt geïllustreerd in figuur 5-32.



(a) Opbouw Hallsensor



(b) U-B-karakteristiek Hallsensor

Figuur 5-32: opbouw en karakteristiek Hallsensor

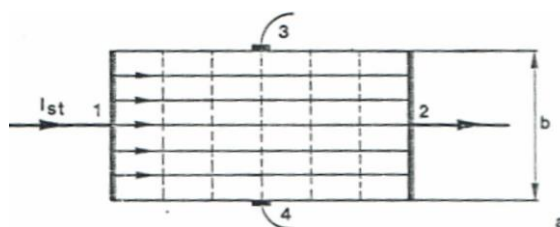
Wanneer er een stuurstroom doorheen het Hall-plaatje van figuur 5-32 (a) vloeit terwijl er loodrecht op het plaatje een magnetisch veld is aangesloten worden de vrije elektronen in het plaatje door de Lorentzkracht afgebogen naar één zijde toe. Hierdoor ontstaat er tussen de zijanten 3 en 4 een potentiaalverschil en bijgevolg ook een Hallspanning.

Figuur 5-32 (b) stelt de U - B -karakteristiek van de Hallsensor voor. Bij een constante stuurstroom I is de Hallspanning recht evenredig met de fluxdichtheid B . Door de constante stuurstroom is de U - B -karakteristiek een rechte die door de oorsprong gaat.

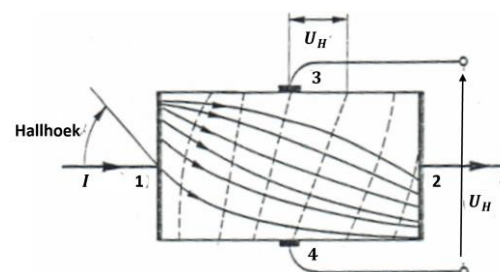
5.5.1 Halleffect

Opmerking : in het geen volgt wordt het Halleffect uitgelegd met elektronenzin. In de presentaties vindt je dit terug met figuren (6-33) volgens conventionele stroomzin

Het Halleffect is gebaseerd op de Lorentzkracht. Dit is de kracht die een vrij bewegend elektron ondervindt in een loodrecht magnetisch veld. In figuur 5-33 is dit effect geïllustreerd.



(a) Verloop stroombanen en equipotentiaalvlakken in een Hallplaatje zonder magnetisch veld aangesloten



(b) Verloop van stroombanen (volgens elektron-zin) en equipotentiaalbanen met een magnetisch veld aangesloten

Figuur 5-33: illustratie Halleffect

Beschouw een platte brede geleider loodrecht in een magnetisch veld zoals in figuur 5-32 (a) is weergegeven. Tussen de zijden Z_1 en Z_2 heerst er een elektrisch veld dat zodanig gepolariseerd is dat er een stuurstroom I vloeit tussen van zijde Z_1 naar Z_2 . Zonder magnetisch veld verlopen de stroombanen evenwijdig en staan de equipotentiaalvlakken loodrecht op de stroombanen. Dit is in figuur 5-33 (b) weergegeven. Wanneer er een magnetisch veld wordt aangelegd (figuur 5-33 (b)) dan ondervinden de ladingen een Lorentzkracht gelijk aan:

$$F_1 = B \times e \times v \quad [N]$$

Met e de lading van een elektron gelijk aan $-1,6 \times 10^{-19}$ C.

Door de Lorentzkracht worden de elektronen afgebogen richting het vlak Z_4 . De vrije elektronen worden richting Z_4 afgebogen. Dit is weergegeven in figuur 5-33 (b). Tussen de klemmen ontstaat een Hall-spanning U_H en een elektrisch veld dat gelijk is aan:

$$E = \frac{U_H}{b} \quad [V/m]$$

Dit elektrisch veld oefent op de bewegende elektronen een kracht F_2 uit welke gelijk is aan:

$$F_2 = e \times E = e \times \frac{U_H}{b} \quad [N]$$

Zolang de kracht F_1 groter is dan de kracht F_2 komen er elektronen terecht op Z_4 . Hierdoor neemt het elektrisch veld E toe en bijgevolg ook de kracht F_2 . Dit toenemen blijft duren tot $F_1 = F_2$.

De Hall-spanning U_H kan dan als volgt gevonden worden:

$$F_1 = B \times e \times v = F_2 = e \times \frac{U_H}{b}$$

$$U_H = b \times v \times B$$

Er vloeit nu een stroom I van zijde Z_1 naar zijde Z_2 (figuur 5-33 (b)) volgens de afgebogen banen waardoor ook de equipotentiaalvlakken schuin staan. De elektronische uitdrukking van de stroom I kan geschreven worden als volgt:

$$I = n \times e \times v \times A$$

Hierbij stelt A de doorsnede van het plaatje voor en kan gevonden worden via:

$$A = b \times d$$

Met b de breedte van het plaatje (afstand tussen 3 en 4) en d de dikte van het plaatje.

Vermenigvuldigen we teller en noemer van de Hallspanningsformule met $n \times e \times A$ dan verkrijgen we:

$$U_H = \frac{n \times e \times A}{n \times e \times A} \times b \times v \times B$$

Vermits $A = b \times d$ kunnen we de noemer aanpassen tot :

$$U_H = \frac{n \times e \times A \times b \times v \times B}{n \times e \times b \times d}$$

De Hallconstante R_H is gelijk aan:

$$R_H = \frac{1}{n \times e} \quad [m^3/As]$$

Verder uitwerken:

$$U_H = R_H \times \frac{n \times e \times A \times b \times v \times B}{b \times d}$$

$$U_H = R_H \times \frac{I \times b \times B}{b \times d}$$

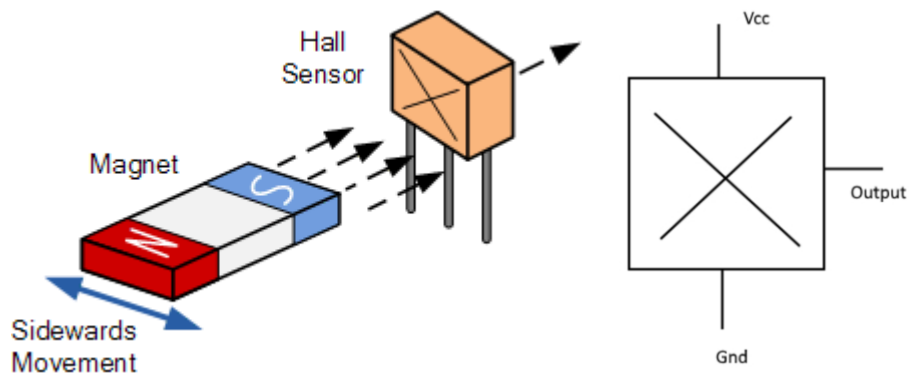
$$U_H = \frac{R_H}{d} \times I \times B$$

Met d de dikte van het Hallplaatje en B de loodrechte fluxdichtheid in Tesla (Wb/m^2).

Om een Hallspanning van enkele honderden millivolts te bekomen moet de meesleepsnelheid v van de vrije elektronen in het Hallplaatje groot zijn en er mogen er maar weinig elektronen aanwezig zijn in het plaatje. Grote meesleepsnelheden worden bekomen via de 3-5-binding InSb.

Merk tevens op dat met InSb een hallhoek van 80° bekomen wordt terwijl deze voor metalen slechts $0,5^\circ$ is.

Symbol Hallsensor:



Figuur 5-34 : symbool Hallsensor

5.5.2 Toepassingen Hallsensor

- Magnetische naar elektrische transducer
- Meting van verplaatsing
- Meting van stroom (sterkte magnetisch veld rond geleider recht evenredig met de stroom erdoor)