

2.2 Verplaatsingssensoren

2.2.1 Meetprincipes

Zoals de naam al doet vermoeden detecteren **verplaatsings-sensoren** de plaats (positie) van een object ten opzichte van een vast punt (referentie). Een manier om een positie te bepalen, is gebruik te maken van 'afstand'. Dit kan de variërende afstand zijn tussen een object en een vast punt of de variërende afstand als gevolg van hoekverdraaiing. Om de beweging van een object in een rechte lijn te detecteren, maken we gebruik van **lineaire** verplaatsingssensoren. Objecten die een rotatiebeweging uitvoeren, gaan we detecteren met behulp van **rotatieve** verplaatsingssensoren.

2.2.2 Potentiometer

De meest gebruikte van alle positiesensoren is de **potentiometer**. Potentiometers zijn goedkoop en zeer gemakkelijk te gebruiken als positiesensor. Bij een potentiometer verplaatst een *sleepcontact* (**loper**^[15]) zich over een weerstandsbaan. Beide einden van de weerstandsbaan en de loper hebben een elektrisch aansluitcontact. De loper beweegt zich ten opzichte van de behuizing. Naast de *draai*potentiometers bestaan er ook *schuif*potentiometers.



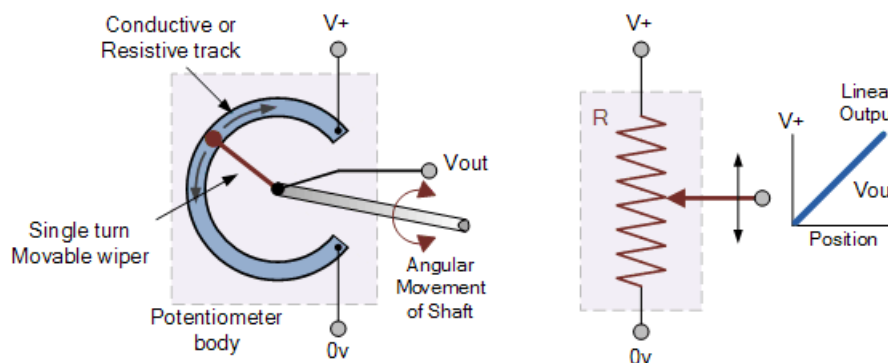
△ Fig.2.6 | Draai potentiometer en schuifpotentiometer.
Bron: <https://ardubotics.eu>, <https://elektronicavoorjou.nl>

[15] In Engelstalige literatuur spreekt men van een 'wiper' bij een draaipot en een 'slider' bij een schuifpot.

Door het verplaatsen van de looper veroorzaken we een weerstandsverandering die we gemakkelijk kunnen omzetten naar een signaalspanning die *evenredig* mee-evolueert met de positie van de looper.

Principe

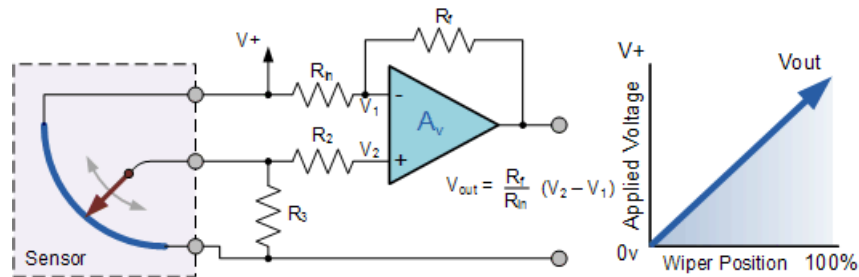
- Als we een **potmeter** gebruiken als *verplaatsings-sensor*, dan moeten we het beweegbare object direct verbinden met zijn aandrijfas (*rotatiebeweging*) of schuifregelaar (*lineaire beweging*).
- Het uitgangssignaal takken we af van de *middelste* aansluiting en de **referentiespanning** plaatsen we over de twee *buitenste* aansluitingen.
- Het uitgangssignaal verandert **proportioneel** met de **hoekverdraaiing** van de aandrijfas.



△ Fig.2.7 Potentiometer als verplaatsingssensor.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

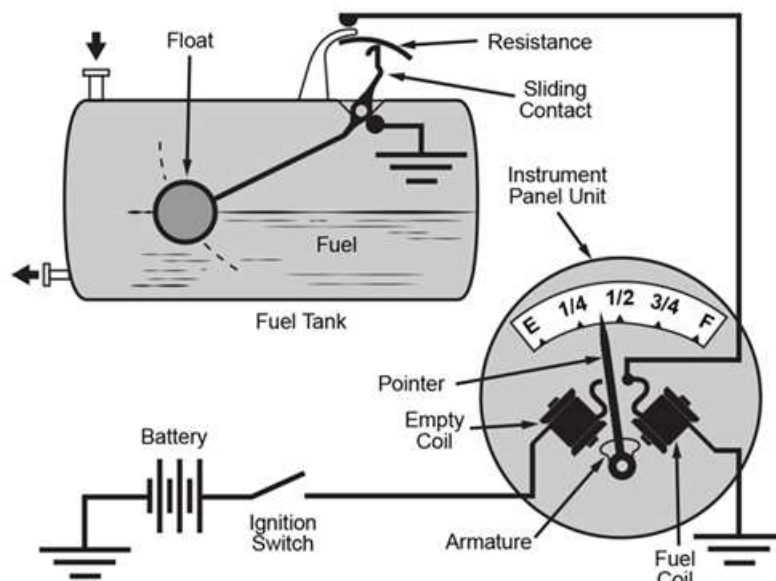
Figuur 2.7 toont het meetprincipe. Op de twee buitenste contacten van de weerstandsbaan sluiten we een DC referentiespanning aan. Het meetsignaal takken we af van het *middelste* contact dat verbonden is met de looper. De potentiometerschakeling gedraagt zich als een spanningsdeler waarbij de positie van de aandrijfas proportioneel is met de spanning op de looper. Stel bijvoorbeeld dat we een referentiespanning toepassen van 10 volt. Verdraaien we de looper naar de uiterst rechtse stand, dan maakt de looper contact met de referentiespanning van 10 volt en is bijgevolg de signaalspanning ook 10 volt of maximaal (100%). Verdraaien we de looper naar de uiterst linkse stand, dan maakt de looper contact met de negatieve pool (massapotentiaal) van de externe spanningsbron. De signaalspanning zal nu 0 volt zijn of minimaal (0%).

Staat de looper nu op de helft, dan wordt de referentiespanning mooi in twee verdeeld, de signaalspanning is nu 5 volt, of 50%. Figuur 2.8 toont het prinsipeschema van een typisch meetcircuit dat gebruik maakt van een OpAmp en een resistieve potentiometer.



△ Fig.2.8 | Meetcircuit met potentiometer verplaatsingssensor.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

Figuur 2.9 toont een typische veel voorkomende toepassing in de automobielandustrie. Om de resterende inhoud van een brandstoftank aan te geven maken veel autofabrikanten gebruik van een potentiometer die mechanisch verbonden is met een vlotter.



△ Fig.2.9 | Ouderwetse benzinemeter.
Bron: <https://www.allegromicro.com>

Alhoewel resistieve potentiometer verplaatsingssensoren heel wat *voordelen* hebben, zoals hun lage kostprijs, eenvoud en gebruiksgemak, moeten we toch rekening houden met minder goede eigenschappen. Enkele *nadelen* zijn *slijtage*, als gevolg van bewegende onderdelen, en hun *onnauwkeurigheid*. Het voornaamste nadeel is het *beperkte verplaatsingsbereik* van de loper. De meeste 'single turn' potmeters bijvoorbeeld kunnen we maar verdraaien over een hoek van 0° tot ongeveer 240°.

De meest voorkomende potmeters hebben een weerstandsbaan van *koolstof*. Dit type produceert veel ruis (denk maar aan de volumeknop van een audioversterker) en heeft een beperkte mechanische levensduur. Voor nauwkeurige lage ruis toepassingen maken we beter gebruik van meertoeren *polymeer* potmeters. We vinden dit type terug in joysticks en stuurwielen bij industriële robots en computergames.

Voor- en nadelen

De voornaamste **voordelen** zijn:

- lage kostprijs
- eenvoudig meetprincipe

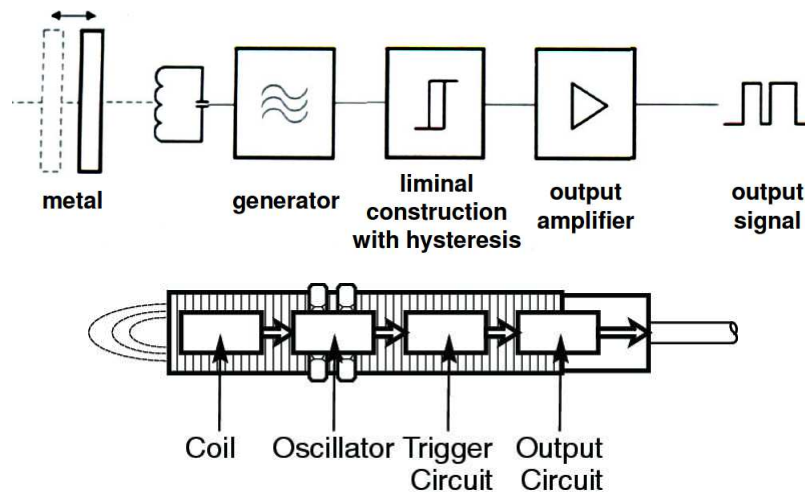
De voornaamste **nadelen** zijn:

- beperkte mechanische levensduur
- onnauwkeurig
- ruisbron



2.2.3 Inductieve naderingsschakelaars

Om industriële processen te controleren maken we vaak gebruik van opnemers die een signaal geven zonder dat ze het te detecteren voorwerp aanraken. Een veel toegepaste verplaatsings-sensor is de **inductieve naderingsschakelaar**^[16]. Figuur 2.10 toont het blokschema.



△ Fig.2.10 | Principe van een inductieve naderingsschakelaar
Bron: World Wide Web

Werkingsprincipe

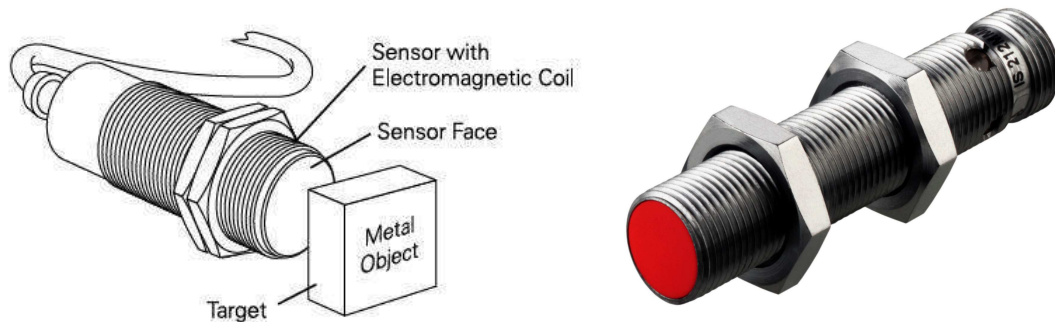
- Een inductieve naderingsschakelaar werkt volgens het principe van de *gedempte LC-oscillator*.
- Het binnendringen van metaal in het aanspreekbereik van de naderingsschakelaar onttrekt aan het systeem energie als gevolg van wervelstroomvorming.
- Schakelelektronica pikt de verandering van de trillingsamplitude op en zet deze verandering om in een bruikbaar schakelsignaal.
- Gedurende de damping staat also een statisch uitgangssignaal ter beschikking.



[16] In het Engels: inductive proximity switch
In het Frans: détecteur de proximité inductif
In het Duits: induktive Näherungsinitiator

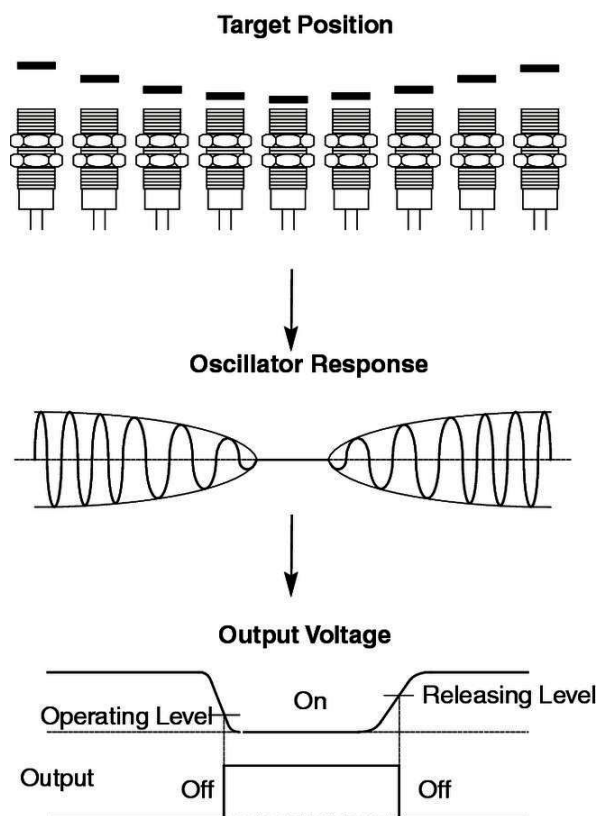
Parate kennis!

Zonder dat de detectiespoel een **metalen** voorwerp aanraakt, stelt de inductieve naderingsschakelaar de nabijheid ervan nauwkeurig vast.



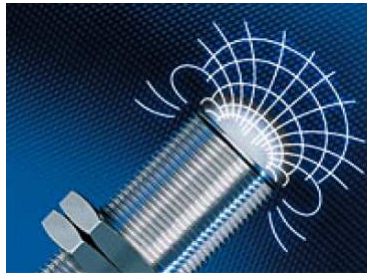
△ Fig.2.11 | Typische uitvoering van een naderingsschakelaar.
Bron: World Wide Web

Figuur 2.12 toont de voornaamste signaelvormen in een inductieve naderingsschakelaar. Figuur 2.13 visualiseert het hoog frequente magnetische veld aan het actieve oppervlak van de sensor.

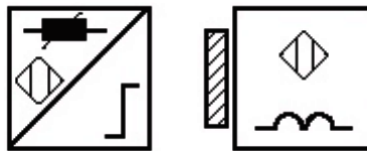


△ Fig.2.12 | Signaelvormen in een inductieve naderingsschakelaar.
Bron: World Wide Web

In vergelijking met mechanische schakelaars bezitten naderingschakelaars interessante eigenschappen. Door de contactloze werking zijn ze vrij van slijtage en ongevoelig voor vibratie, stof en vuil. *Niet-metalen* kan een inductieve naderingschakelaar echter niet detecteren en dat is dan ook zijn voornaamste nadeel. Wensen we niet-metalen te detecteren, dan kunnen we gebruik maken van zijn broertjes: de *capacitieve naderingsschakelaar* of de *ultrasone naderingsschakelaar*.



△ Fig.2.13 | Magnetisch veld aan het actieve oppervlak.
Bron: World Wide Web



△ Fig.2.14 | Schemasympool van een inductieve naderingsschakelaar.
Bron: World Wide Web

Voor- en nadelen

De voornaamste **voordelen** zijn:

- contactloze detectie
- hoge beschermingsgraad (IP67)
- hoge schakelfrequentie
- onderhoudsvrij en slijtvast

De voornaamste **nadelen** zijn:

- enkel detectie van *metalen* voorwerpen
- beperkt meetbereik (typisch 0,1 mm tot 12 mm)



2.2.4 PNP en NPN sensoren

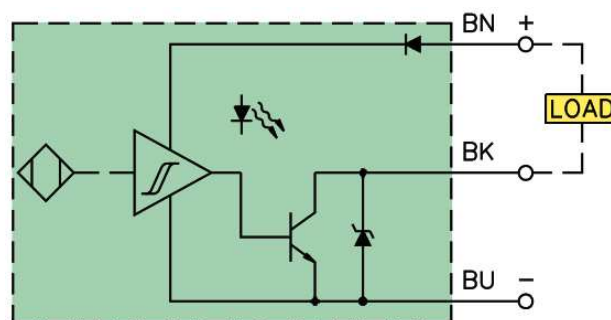
Driedraads naderingsschakelaars zijn uitgevoerd met twee *voedingsdraden* en één *signaaldraad*. Deze signaaldraad kunnen we aansluiten op een bekrachtigingsspoel van een relais of op de ingangsklemmen van een PLC, logische stuurmodule of micro-controller. De schakeltrap kan uitgevoerd zijn met een NO- en/of NC-contact. Dikwijls is deze schakeltrap echter opgebouwd met transistoren zodat dit type enkel in **DC-omgevingen** kan worden ingezet. Uit de lessen elektronica weten we dat er twee types junctietransistoren bestaan: **PNP** en **NPN**. Afhankelijk van de toegepaste transistor bestaan er dan ook twee types driedraads naderingsschakelaars:

Positieve en negatieve logica

- **PNP-naderingsschakelaars** werken met positieve logica waarbij we de *positieve* voedingsspanning (+VCC) doorschakelen.
- **NPN-naderingsschakelaars** werken met negatieve logica waarbij we de *negatieve* potentiaal (massa) doorschakelen.

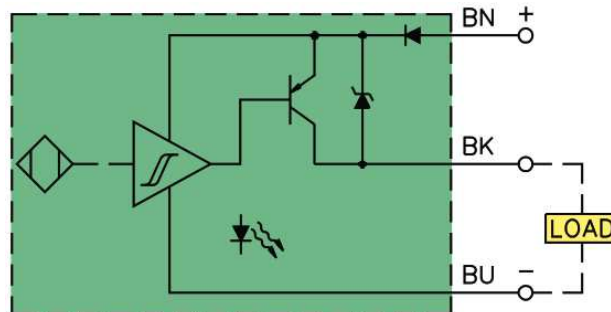


Figuur 2.15 toont een naderingsschakelaar met NPN-schakeltrap die schakelt met *negatieve* logica. De belasting (PLC-ingang) sluiten we aan tussen de bruine plus-voedingsdraad (BN) en de zwarte signaaldraad (BK). De blauwe (BU) draad sluiten we aan op de massa van de DC-voeding.



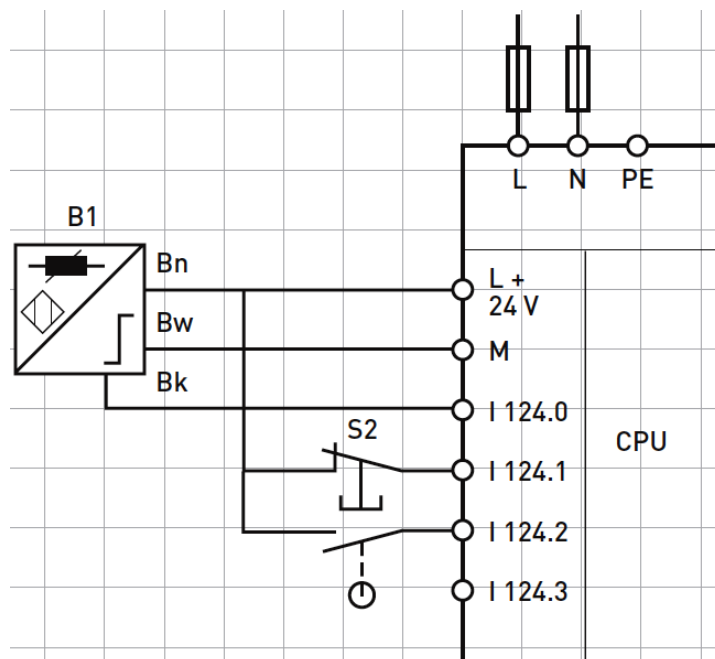
△ Fig.2.15 | NPN-naderingsschakelaar.
Bron: World Wide Web

Figuur 2.16 toont een naderingsschakelaar met PNP-schakeltrap die schakelt met *positieve logica*. De belasting (PLC-ingang) sluiten we aan tussen de zwarte signaaldraad (BK) en de negatieve blauwe (BU) voedingsdraad (massa). De bruine (BN) draad sluiten we aan op de plus-voedingsklem.



△ Fig.2.16 | PNP-naderingsschakelaar.
Bron: World Wide Web

In de klas gebruiken we PLC-'s die werken met positieve logica. Indien we rechtstreeks sensoren willen aansluiten op de ingangsklemmen kiezen we voor de PNP-uitvoering. Figuur 2.17 toont een voorbeeld van aansluiting.



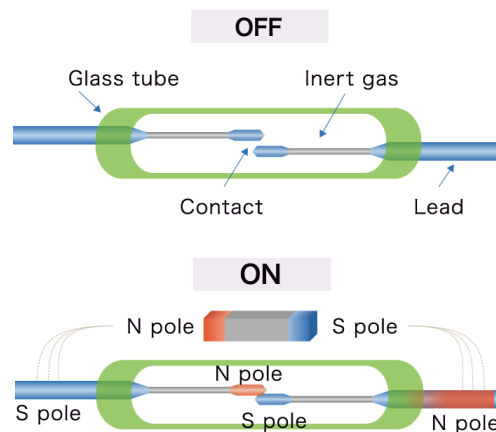
△ Fig.2.17 | Aansluiten van een PNP-sensor aan een PLC.
Bron: Automatisatie - Wolters-Plantyn
ISBN: 90 301 8149 4

2.2.5 Reedschakelaars

Reedschakelaars of **reedcontacten**^[17] werden in 1936 ontwikkeld door Bell Laboratories en kenden hun eerste toepassingen in de wereld van de telefonie.

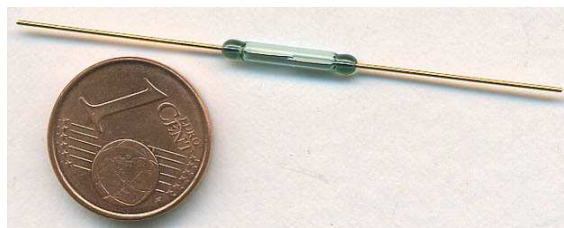
Werkingsprincipe

- Een typische reedschakelaar bestaat uit een gesloten glazen buisje waarin twee smalle metalen strookjes zijn ondergebracht.
- Komt er een magneet in de buurt dan trekken de strookjes elkaar aan en brengen zo een elektrisch contact tot stand.



△ Fig.2.18 | Werkingsprincipe van een reedsensor.
Bron: <https://www.standex.co.jp>

Verwijderen we de magneet, dan nemen de contacten hun oorspronkelijke stand terug in. Doordat het buisje is gevuld met een edelgas kunnen de contacten niet inbranden.



△ Fig.2.19 | Typisch reedcontact
Bron: <http://www.vpeb.nl>

[17] De naamgeving wijst op de twee smalle lange strookjes, zoals een afgesneden rietstengel. Denk ook aan de rietjes van een mondharmonica: zij bezitten een gelijkaardige vorm.

Bij gebruik van een reedcontact dienen we rekening te houden met *hysteresis*: er is een iets groter magnetisch veld nodig om de schakelaar te sluiten, dan om de contacten gesloten te houden.

Reedcontacten gebruiken we meestal voor het schakelen van kleine stroomstromen en niet voor het schakelen van grote vermogens. We kunnen schakelfrequenties tot 300 Hz bereiken, wat met klassieke mechanische schakelaars niet mogelijk is.



△ Fig.2.20 | Goedkope reedcontacten in glazen behuizing.
Bron: World Wide Web

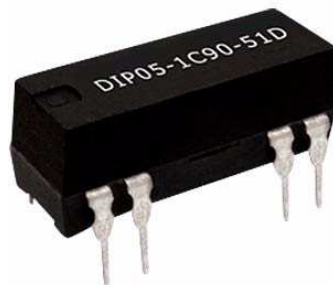
Reedschakelaars zijn gemakkelijk in gebruik, bezitten een hoge graad van nauwkeurigheid en hebben een lange levensduur. Doordat de contacten in een volledig gesloten omhulling zitten, kunnen deze niet oxideren of vuil worden en kunnen we ze toepassen op plaatsen waar agressieve of explosieve stoffen aanwezig zijn. Een nadeel is dat de glazen behuizing zeer breekbaar is. Ze zijn ook niet kortsluitvast en bij overbelasting worden ze in vele gevallen onherroepelijk beschadigd. We dienen er op te letten dat we de maximale toelaatbare stroomwaarde niet overschrijden.

Een typische toepassing van een reedschakelaar is het gebruik bij *alarmsystemen*. In de praktijk zit het reedcontact bijvoorbeeld in een deurpost verborgen. In de deur zelf zit dan een kleine magneet. Bij het openen van de deur zal het contact openen, met als gevolg dat het alarm in werking treedt. Een ander voorbeeld is het inzetten van reedcontacten bij *modeltreinen*. De sensor van *fietscomputers* en elektronische *stappentellers* werkt meestal ook met behulp van een reedcontact.



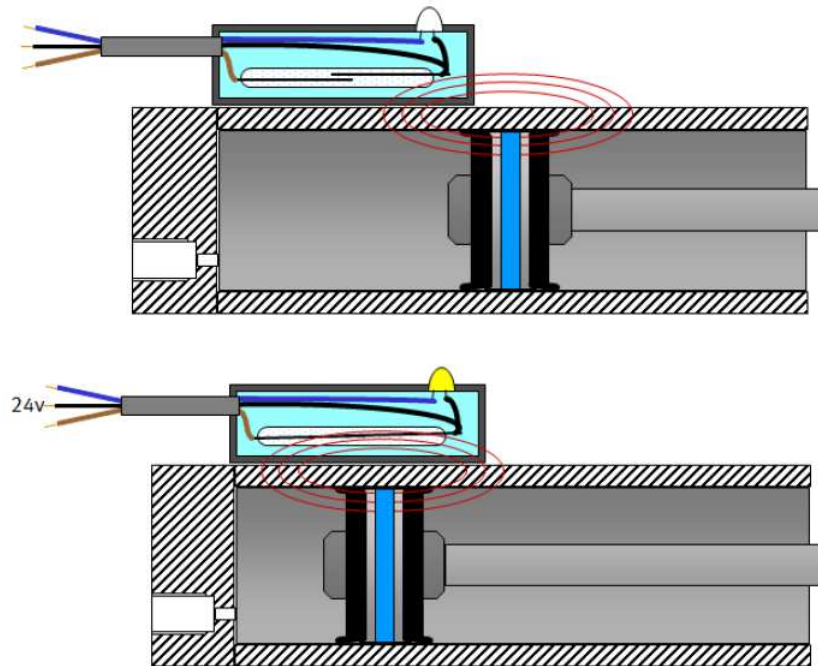
△ Fig.2.21 | Reedcontact als wielsensor.
Bron: <https://www.want.nl/cannondale-wielsensor-fiets>

Wanneer het reedcontact wordt geschakeld door middel van een spoel, dan spreken we van een **reedrelais**. Het reedcontact is hierbij omgeven door een kleine spoel, waarmee we de schakelaar kunnen bedienen. Reedrelais worden dikwijls ondergebracht in een DIL-behuizing.



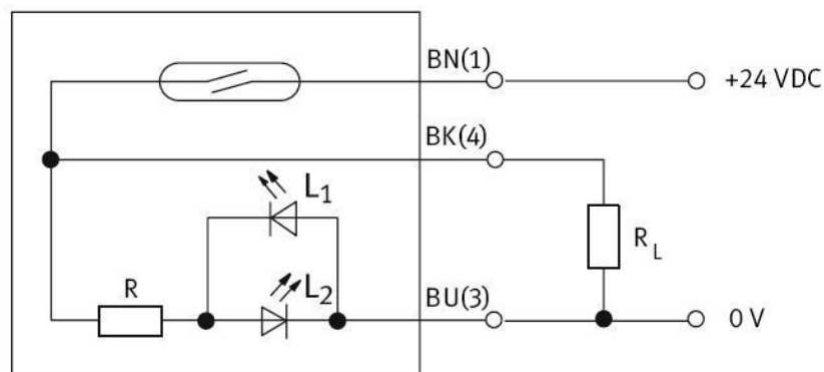
△ Fig.2.22 | Reedrelais in IC-vorm
Bron: <https://www.reichelt.com>

We kunnen een **reedsensor** ook zien als een elektromagnetische naderingsschakelaar om de stand te kunnen detecteren van een *persluchtcilinder*. Om dit te verwezenlijken passen we cilinders toe waarvan de zuiger uitgerust is met een permanente magneet. Binnen het magnetische veld, van de op de cilinder gemonteerde magneet, trekt het reedcontact aan en wordt aldus het elektrische contact gesloten.



△ Fig.2.23 Toepassing van reedsensoren in de elektropneumatica.
Bron: FESTO-Belgium

De meeste driedraads reedsensoren zijn voorzien van een LED die aangeeft wanneer de sensor schakelt. De aansluiting gebeurt zoals aangegeven in figuur 2.24. De aansluiting van een verbruiker of PLC-ingang is aangegeven door de weerstand R_L op de afbeelding.



△ Fig.2.24 Driedraads reedsensor.
Bron: FESTO-Belgium

Voor- en nadelen

De voornaamste **voordelen** zijn:

- goedkoop
- gemakkelijk in gebruik
- contactloze detectie
- schakelfrequentie tot 300 Hz
- onderhoudsvrij en slijtvast

De voornaamste **nadelen** zijn:

- zeer breekbaar
- niet kortsluitvast



2.2.6 Optische pulsgevers

Met **draaihoek pulsgevers**^[18] of **hoekencoders** kunnen we vrij gelijkaardige meetinformatie verkrijgen zoals bij de potentiometers. Het grote verschil is dat de meting van de hoekverplaatsing *contactloos* gebeurt. Dit type sensor zet hoekverdraaiing of rotatie om in een elektrisch digitaal sensorsignaal.

Principe

- Alle **optische pulsgevers** werken volgens hetzelfde basisprincipe.
- Een LED-lichtstraal wordt door een roterende *gecodeerde schijf* onderbroken volgens het patroon van de gewenste digitale code.
- De codering kan binair, BCD^[19] of Gray-code zijn^[20].



Fotogevoelige detectoren scannen de roterende codeschijf en bijkomende elektronica zet de hoekinformatie om in een datastroom van binaire pulsen die we aanbieden aan binaire tellers en controllers. In de sensortechniek bestaan twee basistypes: **incrementele encoders** en **absolute encoders**.

[18] In het Engels spreken we van 'Rotary Encoders'.

[19] BCD-code: Binary Coded Decimal is een eenvoudige en snelle manier om decimale getallen voor te stellen waarbij we elk cijfer coderen met vier bits.

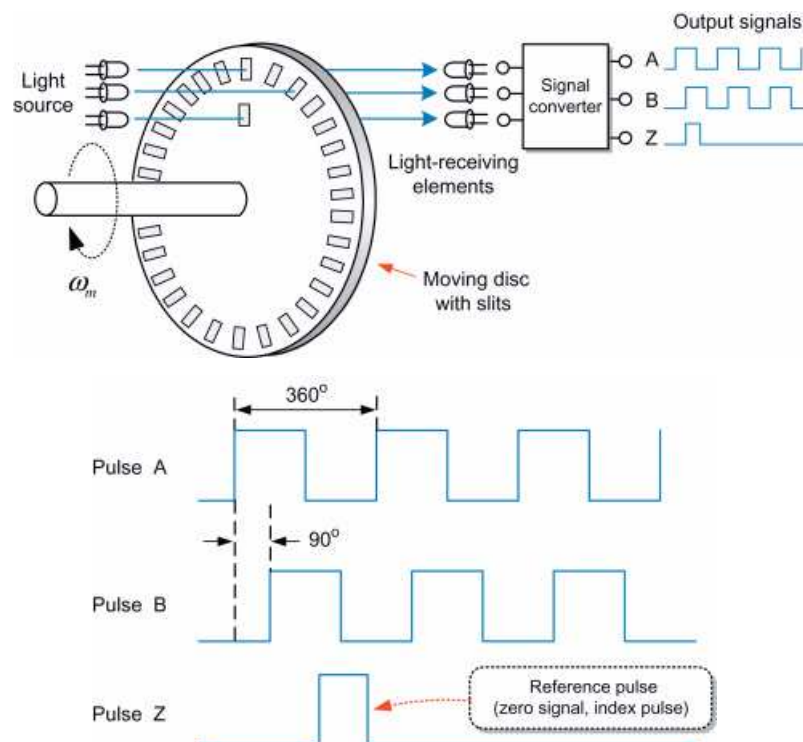
[20] Gray-code: is een binaire codering die als eigenschap heeft dat twee opeenvolgende getallen altijd maar één bit verschillen. Doordat alle positiegevers exact gelijktijdig schakelen, kunnen er geen onbedoelde tussenwaarden (glitches) ontstaan.

Incrementele encoder

- De **incrementele encoder** is de eenvoudigste van de twee pulsgevertypes.
- Doordat de geperforeerde codeerschijf ronddraait, wordt de lichtstraal afwisselend onderbroken en doorgelaten en ontstaat er een blokgolfpatroon.
- Dit encodertype levert twee afzonderlijke uitgangen A en B.
- Om de juiste *draaizin* te bepalen zijn de twee blokgolfsignalen ten opzichte van elkaar 90° in fase verschoven.



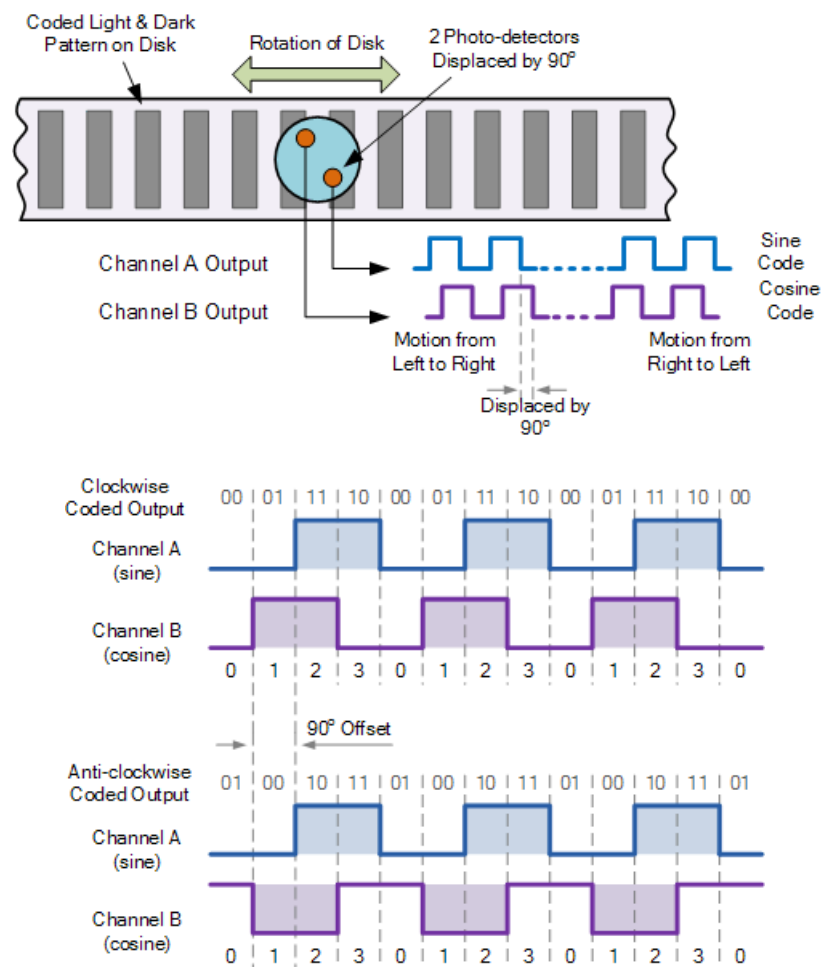
Figuur 2.25 toont het meetprincipe. Het Z-sigitaal levert een eenmalig pulsje bij elke omwenteling die de as maakt en is nuttig als meetreferentie.



△ Fig.2.25 Meetprincipe van een incrementele encoder.
Bron: <https://www.sciencedirect.com>

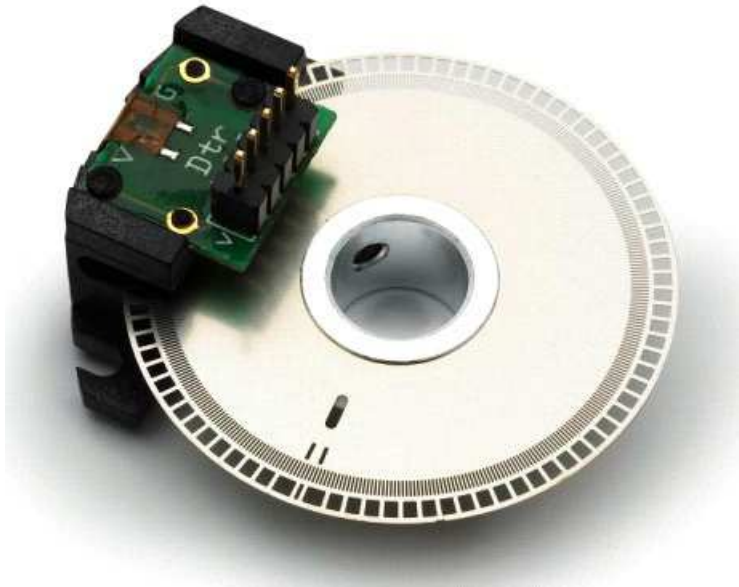
Het aantal sleufjes in de schijf bepaalt de *nauwkeurigheid* van de hoekmeting. Een typische codeerschijf bezit een resolutie van 256 pulsjes per omwenteling wat neerkomt op het genereren van een 8-bitscode. We kunnen de nauwkeurigheid van deze schijf bepalen als volgt: $360^\circ/256 = 1,4^\circ$.

Hoe bepalen we nu de juiste draaizin? Dank zij het faseverschil van 90° tussen signalen A en B is dit vrij eenvoudig te realiseren. Twee binaire variabelen (A en B) met twee mogelijke signaaltoestanden (H en L) resulteert in een telsequentie van $(0)_{10}$ tot $(3)_{10}$. Stel dat we elke telcyclus sequentiële logica laten triggeren op de *postieve* flank van signaal A en beide signalen laten evalueren door een AND-functie. De AND-poort zal een hoog uitgangsniveau (H) genereren wanneer de as in *wijzerzin* roteert. Bij *tegenwijzerzin* zal de AND-functie een logisch laag niveau (L) afleveren.



△ Fig.2.26 | Detectie van de draaizin.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

Een groot nadeel van het meten van hoekverdraaiing met incrementele pulsgevers is dat er bijkomende elektronische telsystemen vereist zijn om de *absolute* verdraaiingshoek van een as te bepalen. Bij spanningsonderbrekingen of bij het missen van een telpuls als gevolg van een vuile codeerschijf, zal de uitgebrachte hoekinformatie onjuist zijn. Door gebruik te maken van **absolute encoders** kunnen we dit nadeel overwinnen.



△ Fig.2.27 | Incrementele encoder
Bron: www.designworldonline.com

Absolute encoder

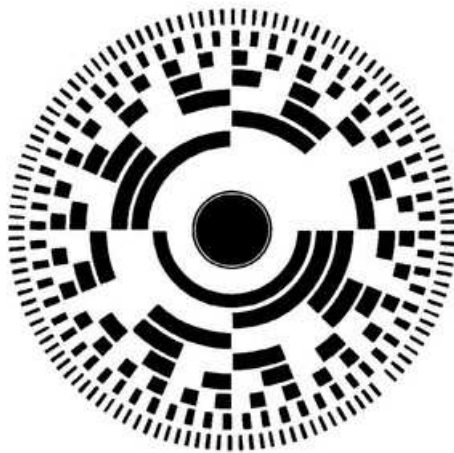
- Een **absolute encoder** geeft direct de hoekverdraaiing aan zonder dat er pulsen geteld hoeven te worden.
- Een absolute pulsgever genereert een unieke uitgangscode voor elke positie die de schijf kan innemen waarbij informatie over zowel de *verdraaiingshoek* als de *draaizin* beschikbaar is.



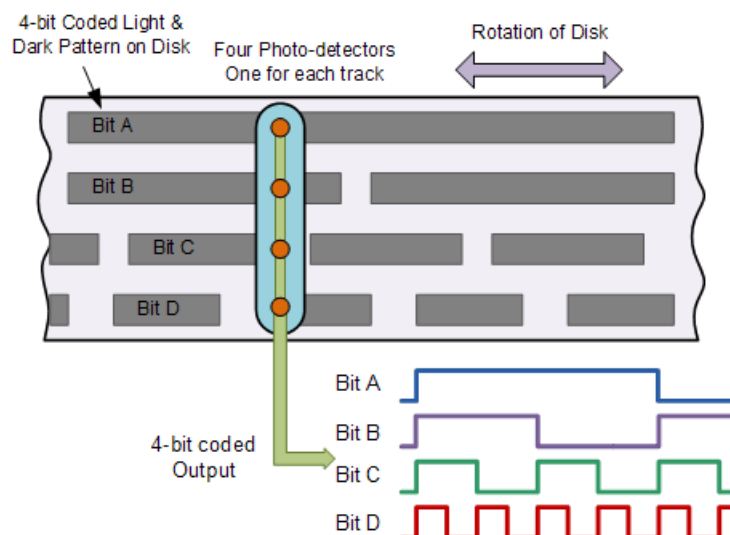
De codeerschijf bestaat uit meerdere concentrische sporen ('tracks') van lichte en donkere segmenten. Elk spoor wordt door zijn eigen fotodetector simultaan gelezen zodat er een éénduidige code aan de uitgang verschijnt die een maat is voor de gemeten hoekverdraaiing. Het aantal sporen op de schijf komt overeen met de bitlengte van de binaire code.

Het grootste voordeel van een absolute encoder in vergelijking met zijn incrementele broertje, is zijn niet-vluchtige karakter bij spanningsonderbreking: de informatie over de exacte positie blijft behouden en er is geen nood aan een terugkeer naar een referentiepositie (ijkpunt).

Typische toepassingen zijn de HD-drives in computersystemen en de CD/DVD-drives waarbij absolute encoders de absolute trackposities van de lees- en schrijfkoppen monitoren. Ook in printers en plotters wordt de actuele absolute positie van de printkop op deze manier gedetecteerd.



△ Fig.2.28 | Absolute 8-bits encoderschijf
Bron: <http://codeforfree.weebly.com>



△ Fig.2.29 | Absolute 4-bits coding.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

Voor- en nadelen

INCREMENTELE ENCODERS

De voornaamste **voordelen** zijn:

- contactloze meting van de hoekverdraaiing
- eenvoudig en goedkoop

De voornaamste **nadelen** zijn:

- bijkomende sequentiële logica (tellers) noodzakelijk
- bij spanningsuitval verlies van informatie
- referentiepunt vereist

ABSOLUTE ENCODERS

De voornaamste **voordelen** zijn:

- contactloze meting van de hoekverdraaiing
- geen telschakelingen nodig
- bij spanningsuitval blijft informatie behouden
- geen ijkpunt nodig

De voornaamste **nadelen** zijn:

- complexer en duurder



2.2.7 Hall-effect sensoren

Eerder bespraken we de *inductieve naderingsschakelaar*. Naast deze sensor bestaat er nog een populair sensortype dat gebruik maakt van magnetische velden: de **Hall-effect sensor**^[21].

Hall-effect sensoren winnen aan populariteit omdat ze ingezet kunnen worden in tal van toepassingen zoals *positiemeting*, *snelheidsmeting* en detectie van de *bewegingszin*. Dikwijls zijn ze de eerste keuze van de ontwerper omwille van hun contactloze werking. Daarnaast zijn ze ook zeer slijtvast en ongevoelig voor trillingen, stof en water. Dit leidt tot zeer robuuste ontwerpen die bijvoorbeeld in de automobieliindustrie hun nut al tientallen jaren bewijzen. Ze worden onder andere ingezet voor het bepalen van het juiste ontstekingstijdstip, het ABS-systeem en voor het aansturen van de airbag.

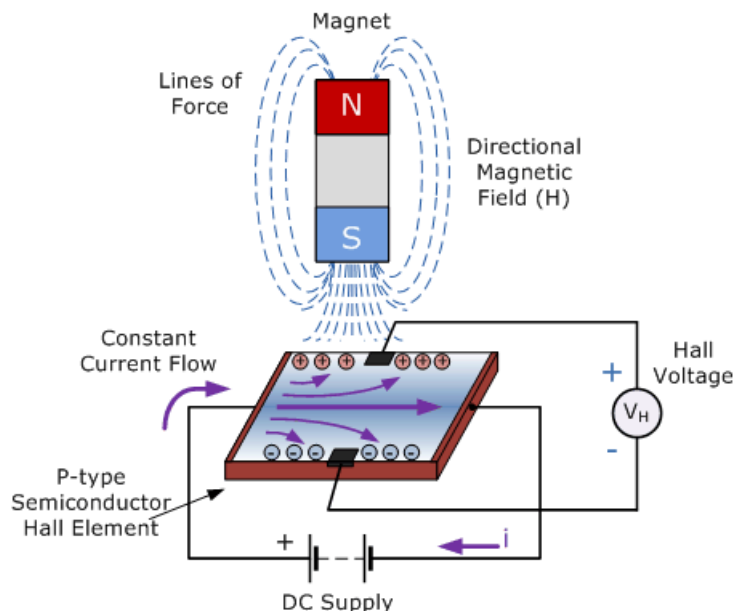
[21] Edwin Herbert Hall was een Amerikaans fysicus die bekend geworden is door zijn ontdekking van het Hall-effect in 1879. Hall wilde erachter komen of de weerstand van een stroomvoerende draad verandert onder invloed van een magneet.

Principe

- **Hall-effect sensoren** worden geactiveerd door een extern magnetisch veld.
- Het uitgangssignaal is een maat voor de sterkte van dit magnetische veld.
- Wanneer een vooringestelde drempel wordt overschreden, zal de sensor een kleine spanning genereren: de zogenaamde **Hall-spanning** (V_H).
- Hall-sensoren gedragen zich als een *open contact* (OFF) bij *afwezigheid* van een magnetisch veld.
- Bij *aanwezigheid* van een magnetisch veld van de juiste sterkte en polariteit gedraagt de sensor zich als een *gesloten contact* (ON).

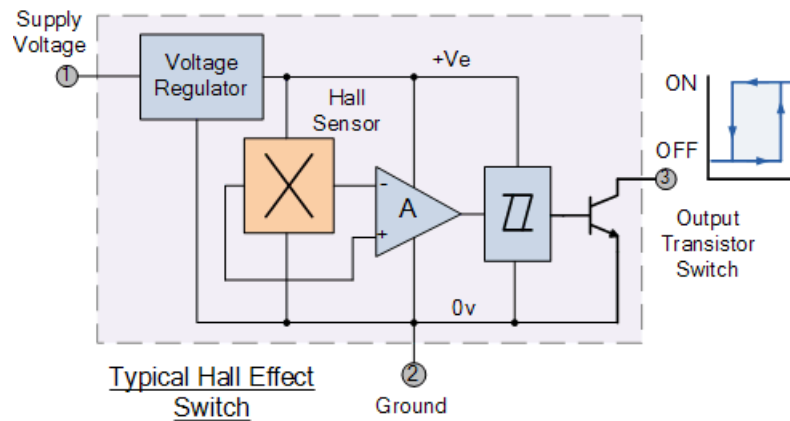


Om een meetbare Hall-spanning te kunnen opwekken is het van belang dat de magnetische veldlijnen loodrecht staan ten opzichte van de stroom doorheen het Hall-element. Daarnaast moeten we er ook voor zorgen dat dit magneetveld de juiste polariteit bezit. Bijgevolg kunnen we informatie verkrijgen over de polariteit en de sterkte van het toegepaste magnetische veld. Zo zal bijvoorbeeld een magnetische *zuidpool* aanleiding geven tot het genereren van een bepaald uitgangssignaal, terwijl een magnetische *noordpool* geen effect heeft.



△ Fig.2.30 | Meetprincipe van een Hall-effect sensor.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

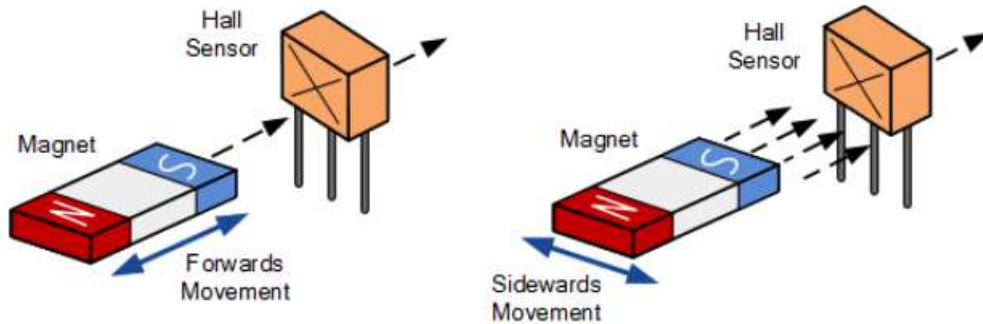
De gegenereerde Hall-spanning is in de grootte-orde van slechts enkele microvolts en daarom zijn de beschikbare Hall-sensoren steeds voorzien van een ingebouwde DC-versterker (OpAmp), bijkomende digitale logica en spanningsregeling. De gevoeligheid van de sensor en de geleverde signaalspanning worden hierdoor sterk verbeterd.



△ Fig.2.31 Intern blokschema van een Hall-effect sensor.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

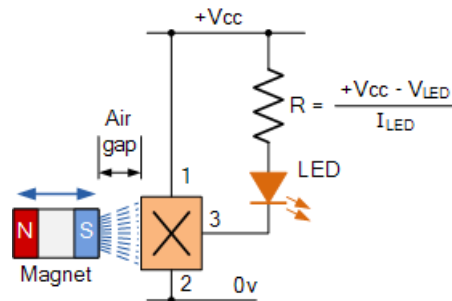
Hall-effect sensoren zijn verkrijgbaar in een analoge of digitale uitvoering. De *analoge* sensor gedraagt zich vrij lineair waarbij de analoge uitgangsspanning proportioneel varieert met de sterkte van het aanwezige magnetische veld. *Digitale* Hall-effect sensoren kennen slechts twee uitgangstoestanden: 'AAN' of 'UIT'. Dankzij een ingebouwde *Schmitt-trigger* kunnen we oscillatieneigingen (contactdender) van het uitgangssignaal de kop indrukken. Aan de uitgang van de digitale sensor bevindt zich een open-collector NPN schakeltransistor die het mogelijk maakt om via 'current sinking' rechtstreeks relais, DC-motortjes, LED's, gloeilampjes,... aan te sturen.

Figuur 2.32 toont twee veel voorkomende meetopstellingen die gebruik maken van een enkele permanente magneet. We onderscheiden de *voorwaartse detectie* en de *zijwaartse detectie*.



△ Fig.2.32 | Voorwaartse en zijwaartse detectie.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

Het is vrij gemakkelijk om met Hall-sensoren te interfaceren. Figuur 2.33 toont een eenvoudig voorbeeld van een Hall-sensor als positiemelder. Bij afwezigheid van een magnetisch veld zal de uitgangstransistor sperren en de LED zal bijgevolg niet oplichten. Is het magnetisch veld (met de juiste polariteit) wel aanwezig en de sterkte is voldoende om de sensor om te schakelen, dan zal de uitgangstransistor in saturatie treden en de LED zal oplichten.



△ Fig.2.33 | Eenvoudige positiemelder met Hall-sensor.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

Voordelen digitale hall-sensor

- contactloze detectie van het magnetisch veld
- onderhoudsvrij
- ongevoelig voor trillingen, stof en water
- open-collector uitgang
- kleine afmetingen
- goedkoop in vergelijking met naderingsschakelaars

