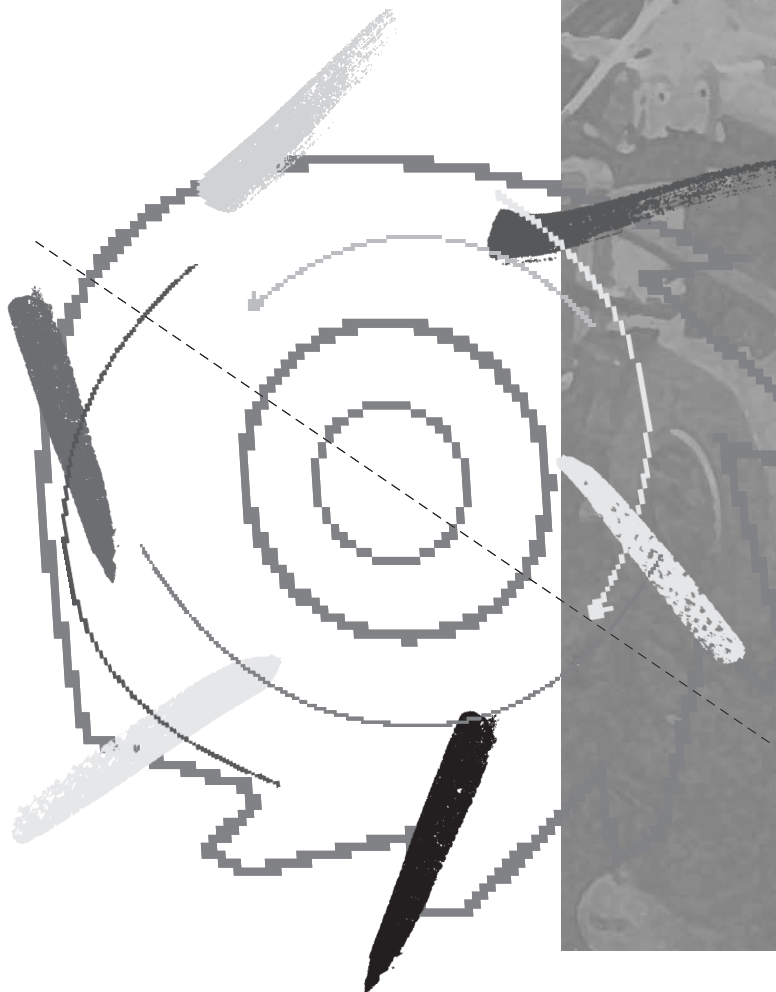


Sensoren

7



0.1 Inleiding

Als we een machine of installatie laten samenwerken met een logisch besturings-systeem, moet er vanuit de installatie signalen worden gegeven aan dat besturingssysteem.

signaal Signalen kunnen we op een groot aantal manieren realiseren. Zo hebben we onder andere:

- pneumatische signalen;
- elektrische signalen;
- magnetische signalen;
- optische signalen.

signaalgevende component Alle signaalgevende componenten kunnen we echter scheiden in twee hoofdgroepen, namelijk:

- de signaalgevers;
- de sensoren.

Bij een signaalgever moeten we denken aan een schakelaar waarbij we een uitwendige kracht moeten uitoefenen om een signaal te krijgen. Bij een sensor wordt een signaal tot stand gebracht zonder dat hiervoor een uitwendige kracht noodzakelijk is. Een sensor kan werken met magnetisme, elektrische energie en een weerstand.

optische signaalgever Als we over grotere afstanden (tot maximaal 10 m) een voorwerp willen detecteren, kunnen we *optische signaalgevers* gebruiken. Hierbij dient een lichtbundel als detectiemedium.

sensor Sensoren hebben een aantal opvallende positieve eigenschappen, vooral in vergelijking met signaalgevers. Deze eigenschappen zijn:

- de snelheid van het voorwerp dat wordt afgetast, kan zeer groot zijn;
- de sensor schakelt maar éénmaal, dus we hebben geen dender in de contacten door de vering van de mechanische onderdelen zoals bij gewone schakelaars;
- de levensduur van de sensor is onafhankelijk van het aantal schakelingen dat hij verricht.

optische sensor Optische sensoren hebben de volgende extra kenmerken:

- ze hebben een veel groter werkgebied;
- ze kunnen kleuren herkennen;
- ze kunnen goed gebruikt worden voor beveiliging omdat beïnvloeding door vreemd licht onmogelijk is;
- ze zijn ongeschikt voor detectie van doorschijnende materialen.

0.2 Magnetische sensoren

reed-relais Een magnetische sensor (*reed-relais*) bestaat uit twee magnetiseerbare tongetjes die dienen als contacten in een hermetisch gesloten glazen omhulling. De omhulling is gevuld met een edelglas om oxidatie van de contacten te voorkomen waardoor we een grote bedrijfszekerheid hebben. Zie figuur 0.1.



Figuur 0.1 Reed-relais

De contacten zijn veerkrachtig en bedekt met een dun laagje materiaal waarmee de contactweerstand wordt verlaagd. Het reed-relais sluit zich door het magnetiseren van de contacten. Dit gebeurt door een extern magnetisch veld dat afkomstig kan zijn van een permanente magneet of van een elektromagneet. Hierbij maakt het in principe niet uit in welke richting het magnetisch veld zijn invloed op het reed-relais uitoefent.

- kenmerken** Kenmerken van magnetische sensoren (reed-relais) zijn:
- lage contactweerstand bij een gesloten schakelaar;
 - grote bedrijfszekerheid;
 - kan alleen geschakeld worden door een extern magnetisch veld;
 - het reed-relais heeft in bepaalde gevallen last van contactdender;
 - de absolute levensduur is bijzonder hoog;
 - kan in een vochtige omgeving toegepast worden.

Detecteren zuigerstand bij pneumatische cilinders

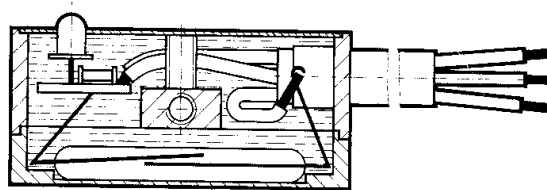
Voor het detecteren van de stand van de zuiger met een reed-relais in een pneumatische cilinder gebruiken we een permanente magneet. De zuiger in de cilinder is voor dat doel uitgerust met een magneetring en de cilinder zelf moet dan zijn gemaakt van een non-ferrometaal.

In figuur 0.2 zien we een pneumatische cilinder die met twee reed-schakelaars is uitgevoerd. Doordat deze aan de verbindingstangen zijn vastgemaakt, kunnen we ze gemakkelijk verschuiven.



Figuur 0.2 Toepassing reed-schakelaars op een cilinder

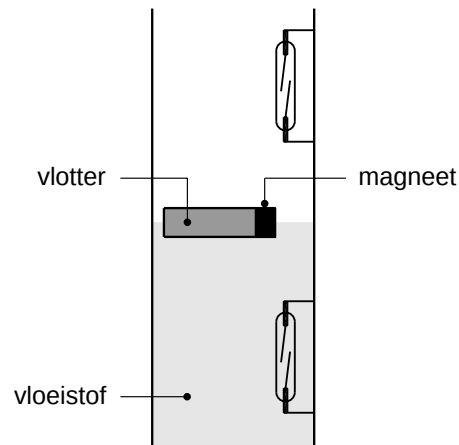
Omdat deze techniek steeds meer terrein wint, worden de pneumatische cilinders tegenwoordig al standaard met een magneetring om de zuiger en een aluminium cilinder uitgevoerd. In figuur 0.3 zien we een doorsnede van een reed-schakelaar zoals deze wordt toegepast op pneumatische cilinders. Om te controleren of de sensor werkt, is een signalerings-led aangebracht die oplicht zodra de schakelaar schakelt.



Figuur 0.3 Reed-schakelaar voor toepassing op een cilinder

Bewaking vloeistofniveaus

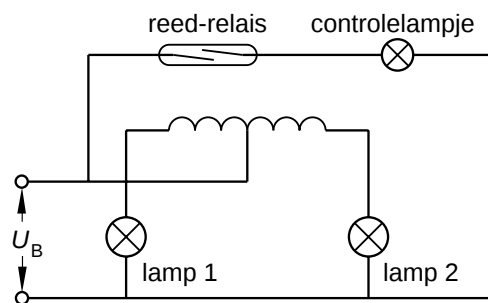
In figuur 0.4 zien we als voorbeeld van het bewaken van vloeistofniveaus een vat met twee reed-schakelaars en een drijflichaam waaraan een permanente magneet is aangebracht. We kunnen ook tussenstanden signaleren door verscheidene reed-schakelaars aan te brengen.



Figuur 0.4 Niveaubewaking met reed-schakelaars

Controle elektrische systemen

Het reed-relais gebruiken we ook vaak om te controleren of een elektrisch systeem nog goed werkt. Een goed voorbeeld is de controle van autoverlichting. In figuur 0.5 zien we een voorbeeld van zo'n schema met een *balansspoel*. Het controlelampje wordt geschakeld door het reed-relais. Het controlelampje gaat branden als één van de beide koplampen geen stroom meer opneemt en dus defect is. Hierdoor neemt het magnetisch veld in de balansspoel toe. Met deze schakeling kunnen alle lampen van een auto twee aan twee worden gecontroleerd. Eén enkel controlelampje is dan voldoende om aan te geven dat een lamp defect is.



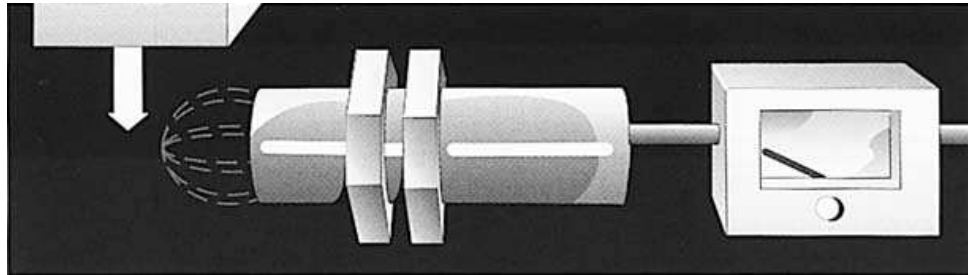
Figuur 0.5 Controle autoverlichting

0.3 Inductieve sensoren

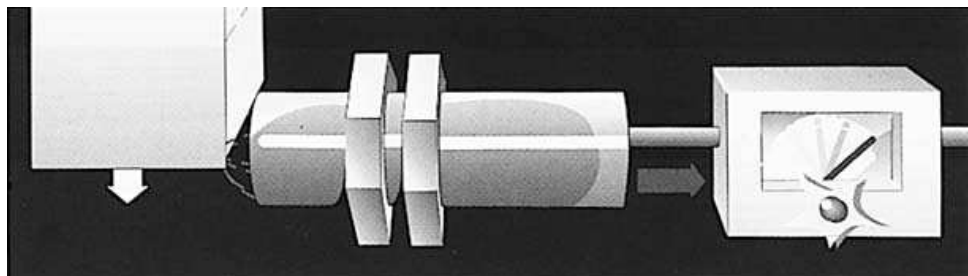
benaderings-
schakelaar

Een inductieve sensor of *benaderingsschakelaar* kan contactloos een magnetisch of elektrisch geleidend voorwerp signaleren en dit melden aan een besturing. Niet alleen producten en werkstukken, maar ook machine-onderdelen kunnen we op deze manier detecteren.

De inductieve sensor bestaat in principe uit een metalen lichaam waarin een elektronische schakeling in een integrated circuit (IC) is ondergebracht. Om een metaal te kunnen detecteren is in het eindvlak een kleine spoel aangebracht, die een wisselend elektromagnetisch veld uitzendt. Zie figuur 0.6.



a elektromagnetische veld ongestoord



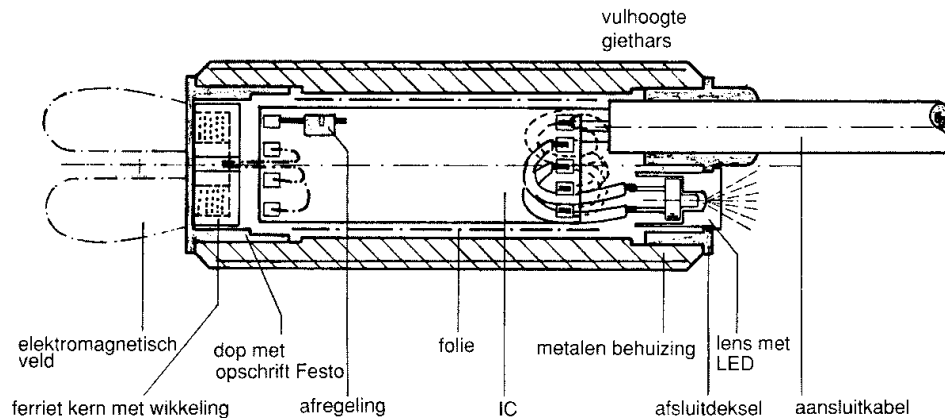
b metalen voorwerp onttrekt veldenergie en sensor schakelt

Figuur 0.6 Werking inductieve sensor

Zodra een magnetisch of elektrisch geleidend voorwerp van bijvoorbeeld staal of koper passeert, worden in het voorwerp wervelstroompjes geïnduceerd. Het opwekken van deze wervelstroompjes kost energie. Deze energie wordt onttrokken aan het elektromagnetisch veld van de sensor, waardoor dit afneemt. De elektronische schakeling signaleert deze afname en plaatst daarna een elektrisch signaal op een uitgang.

inductieve sensor

In figuur 0.7 zien we een inductieve sensor. Deze heeft een aparte stroomkring voor de voedingsspanning en een extra schakeldraad voor het signaal. In de meeste inductieve sensoren is een signalerings-led aangebracht, zodat we kunnen controleren of de sensor goed functioneert.



Figuur 0.7 Inductieve sensor

Kenmerken inductieve sensoren

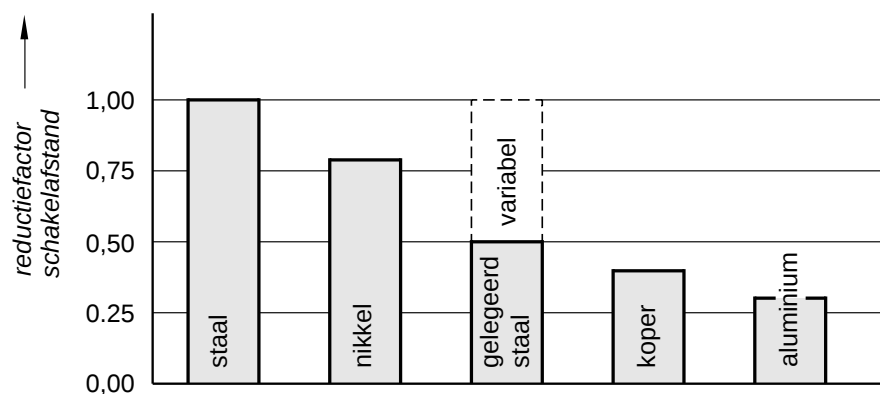
De eigenschappen van inductieve sensoren zijn:

- een hoge schakelsnelheid;
- een goede reproduceerbaarheid omdat het product altijd op hetzelfde punt wordt opgemerkt;
- bestand tegen ruwe omgevingen met agressieve stoffen.
- onbruikbaar in een omgeving met metaalspanen of met hoge temperaturen.

De schakelafstand van inductieve sensoren hangt af van de materiaalsoort van het te detecteren voorwerp of product. Deze kan variëren van 0 tot 80 mm.

Hierbij wordt de schakelafstand gerelateerd aan die van staal. In figuur 0.8 zien we een verhoudingsgrafiek met bepaalde reductiefactoren.

reductiefactor



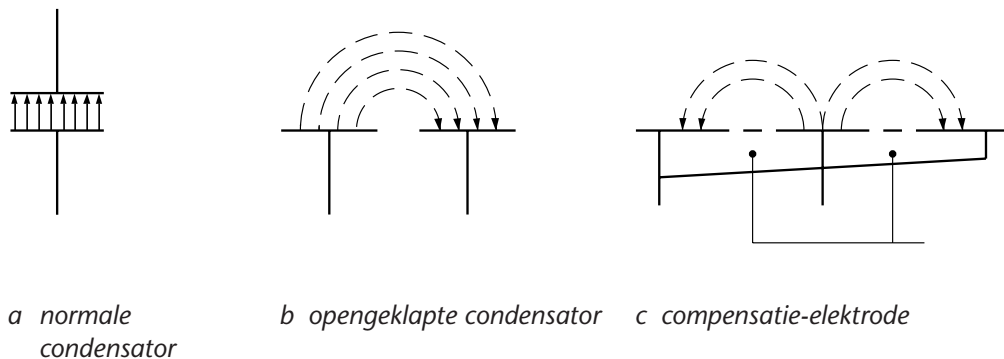
Figuur 0.8 Reductiefactoren inductieve sensoren

Als we bijvoorbeeld een inductieve sensor gebruiken die tot een maximale afstand van 80 mm bij staal kan detecteren, dan is die afstand bij koper ongeveer $0,4 \times 80 \text{ mm} = 32 \text{ mm}$.

0.4 Capacitieve sensoren

Als we een materiaal willen detecteren dat niet magnetisch of elektrisch geleidend is, kunnen we hiervoor geen inductieve sensor gebruiken. Om zulk materiaal toch waar te kunnen nemen, is de capacitieve sensor ontwikkeld. Een capacitieve sensor reageert op alle materialen (dus ook op metalen).

condensator	Het hoofdonderdeel van een capacitieve sensor is een condensator die in het meetvlak is aangebracht. Een normale condensator is uitgevoerd met twee tegenover elkaar liggende platen. Zie figuur 0.9a. De platen zijn in dit geval echter in een opengeklapte stand gemonteerd. Zie figuur 0.9b.
elektrode compensatie- elektrode	Bij de capacitieve opnemers noemen we de condensatorplaten <i>elektroden</i>. Door de actieve elektrode en de massa-elektrode wordt nu een elektrisch veld opgewekt. Ook is een <i>compensatie-elektrode</i> aangebracht om beïnvloeding van het actieve vlak door vocht te voorkomen. Zie figuur 0.9c. Om een en ander ook nog te kunnen fabriceren, is het gevoelige eindvlak uitgevoerd zoals in figuur 0.10.



Figuur 0.9 Capacitieve sensor

De capacitieve sensor meet de capaciteitsverandering die door het binnendringen van een voorwerp in het elektrisch veld veroorzaakt wordt. Deze capaciteitsverandering is afhankelijk van de volgende factoren:

- afstand van het voorwerp tot het actieve vlak;
- afmetingen en diëlektrische constante van het voorwerp.



Figuur 0.10 Uitvoering capacatieve sensoren

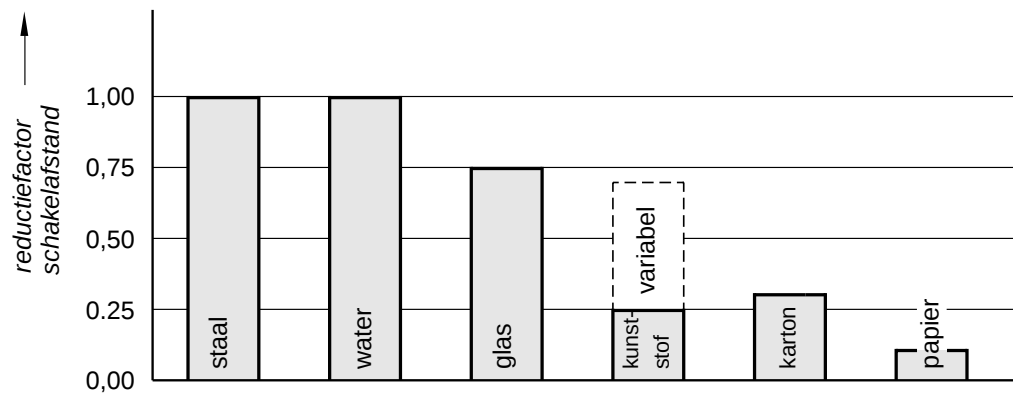
Zoals bij de inductieve sensor hebben we ook in een capacatieve sensor een elektronische schakeling. Deze schakeling:

- houdt een elektrisch veld in stand;
- merkt de capaciteitsverandering op die het binnendringen van een voorwerp veroorzaakt;
- versterkt deze capaciteitsverandering tot een signaal dat de besturing kan herkennen.

Schakelafstanden capacatieve sensoren

Ook bij de capacatieve sensoren is de schakelafstand afhankelijk van het materiaal van het voorwerp of product. De maximale afstand varieert van 0 tot 11 mm. In figuur 0.11 zien we de reductiefactoren van een aantal materialen, afgestemd op staal.

reductiefactor



Figuur 0.11 Reductiefactoren capacitieve sensoren

Kenmerken capacitieve sensoren

Als de sensor goed is afgeregeld, kan de capacitieve sensor zelfs de hoogte van een vloeistof in een fles detecteren.

Nadeel is dat we bij capacitieve sensoren hogere eisen moeten stellen aan het inregelen en aan het milieu waarin we de sensor gebruiken.

Capacitieve sensoren gebruiken we over het algemeen als:

- sensor bij hoeveelheidsmeting in de voedingsmiddelenindustrie;
- niveausensor bij silo's;
- controle op de toevoer van producten bij mengprocessen;
- breukdetector bijvoorbeeld bij papierrollen in een drukkerij.

0.5 Optische sensoren

Zender-ontvangertype

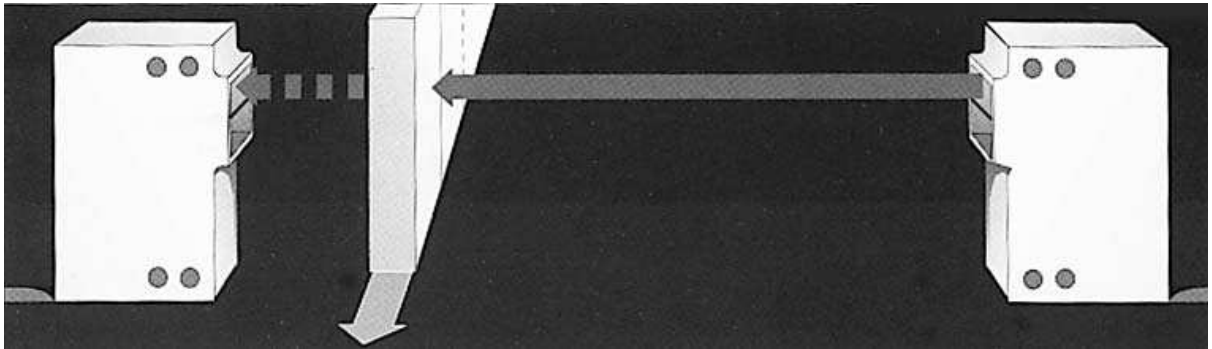
één-wegsfotocel

Het zender-ontvangertype noemen we ook wel een *één-wegsfotocel*. Hierbij wordt door een zender een gerichte lichtbundel naar een ontvanger gezonden. Een onderbreking van deze lichtbundel zet de ontvanger direct om in een *gedefinieerd uitgangssignaal*.

De ontvanger is vrij ongevoelig voor:

- verontreinigingen van de lens;
- variaties in de omgevingstemperatuur;
- spanningsvariaties;
- intensiteitsverandering van het daglicht.

In figuur 0.12 zien we het principe van deze sensor.



Figuur 0.12 Principe zender-ontvangertype

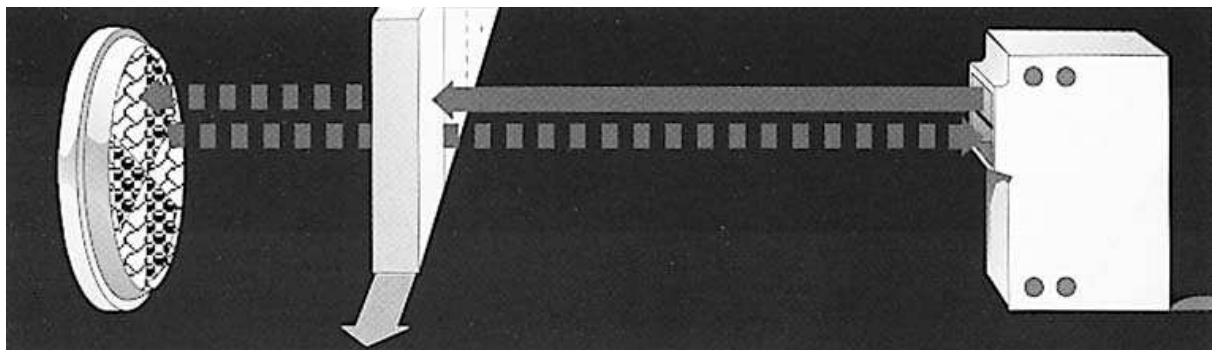
Kenmerken van het zender-ontvangertype zijn:

- stabiele en betrouwbare detectie van niet-doorschijnend materiaal;
- detectie van objecten op elke willekeurige plaats tussen de zender en de ontvanger.

Reflectortype

reflex-taster

Het reflectortype noemen we ook wel een *reflex-taster*. Bij dit type zijn de zender en de ontvanger samengebouwd in één huis. De lichtbundel die door de zender wordt uitgezonden, wordt door een reflector teruggekaatst. Daarna vangt de ontvanger deze op. Een onderbreking van de lichtbundel zet de ontvanger in een uitgangssignaal om. De maximale afstand waarop dit type sensor kan detecteren, is 4,5 m. In figuur 0.13 zien we het principe van deze optische sensor.

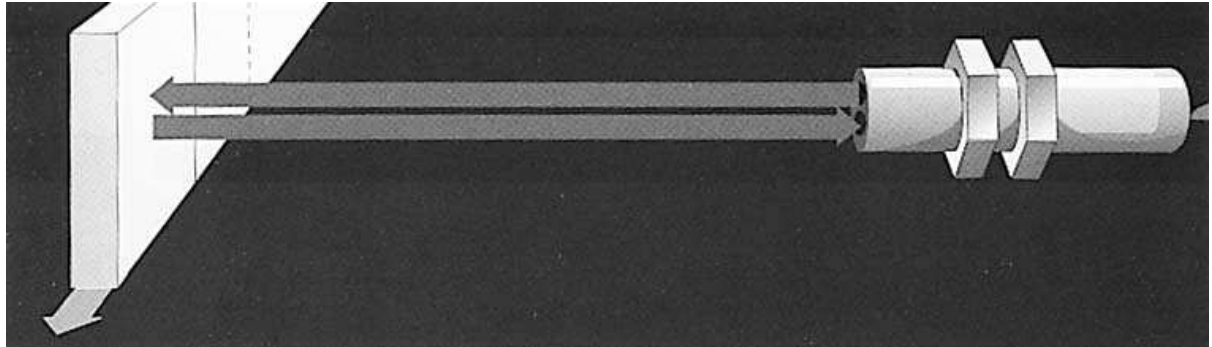


Figuur 0.13 Principe reflex-taster

Het reflectortype kunnen we niet gebruiken bij reflecterende objecten. Deze nemen namelijk de functie van de reflector over. Alleen als we onder een hoek werken, kunnen reflecterende materialen wel gedetecteerd worden als de gereflecteerde stralen maar buiten het bereik van de ontvanger vallen. Het voordeel van het reflectortype is de eenzijdige montage van de bedrading.

Reflectorloos type

Ook bij de reflectorloze optische sensor zijn de zender en de ontvanger samen- gebouwd in één huis. Zie figuur 0.14.



Figuur 0.14 Principe reflectorloze type

objectfotocel Dit type optische sensor noemen we ook wel een *objectfotocel* of *lichttaster*. De lichtbundel die de zender uitzendt, wordt door het werkstuk of product terug- gekeerd en door de ontvanger gedetecteerd. Deze vertaalt de lichtbundel in een uitgangssignaal.

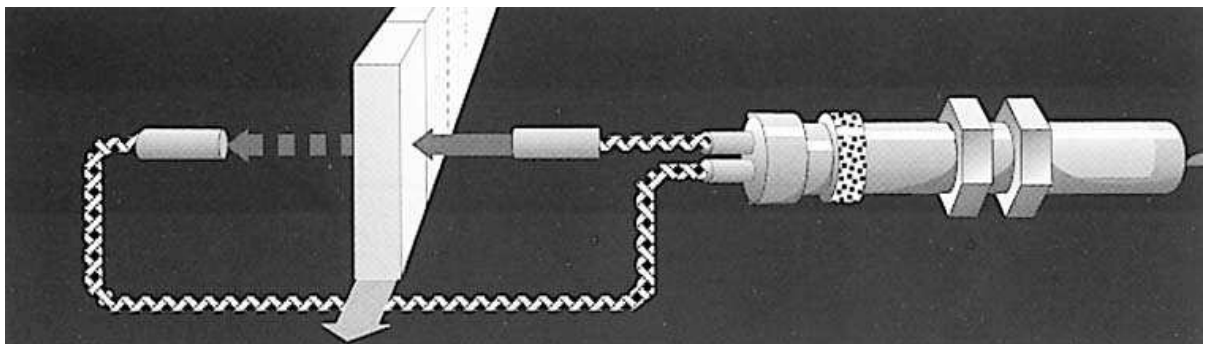
Detectie is mogelijk op ruwe of gladde oppervlakken en de schakelafstand hangt af van de reflecterende eigenschappen van het object dat we willen detecteren.

kenmerken Kenmerken van het reflectorloos type zijn:

- detectie kan op verschillende plaatsen gebeuren;
- radiale en axiale benadering is mogelijk;
- de afmetingen van het object zijn belangrijk, want het werkgebied neemt toe met de grootte van het object.

Fotocel met lichtgeleiding

vezeltechnologie Bij de fotocel met lichtgeleiding gebruiken we de *vezeltechnologie*. Hierbij kunnen we met glasvezel of kunststof vezel het detectiepunt van de fotocel verleggen. Zie figuur 0.15.



Figuur 0.15 Principe fotocel met lichtgeleiding

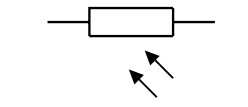
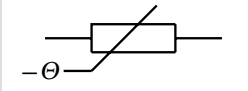
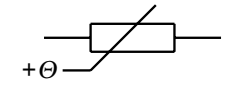
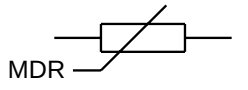
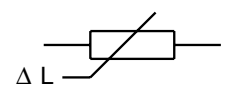
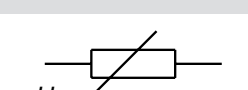
Met dit type kunnen we een voorwerp detecteren op die plaatsen waar we een normale optische sensor door zijn omvang niet kunnen gebruiken.

0.6 Weerstandopnemers

Weerstanden veranderen van weerstandswaarde onder invloed van natuurkundige grootheden zoals:

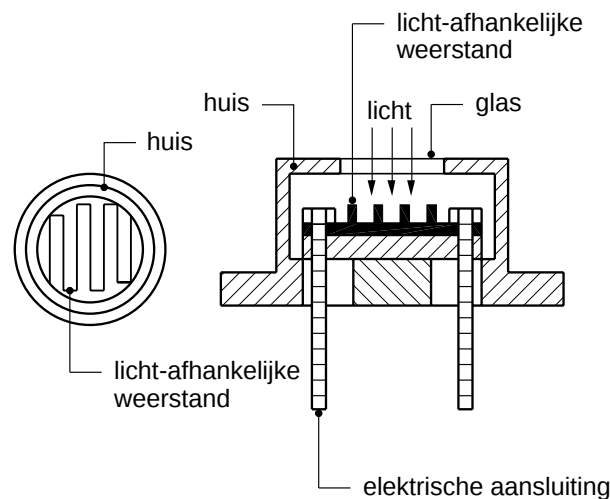
- warmte;
- licht;
- kracht;
- magnetisme.

In tabel 0.1 zien we speciale weerstanden die we als opnemers voor bepaalde doelen gebruiken.

TABEL 0.1 SPECIALE WEERSTANDOPNEMERS		
fysische grootheid	benaming	symbool
licht	LDR = light dependent resistor	
temperatuur	NTC = negative temperature coefficient	
	PTC = positive temperature coefficient	
magnetisch veld	MDR = magnetic field dependent resistor	
druk of kracht	rekstrookje	
elektrische spanning	VDR = voltage dependent resistor	

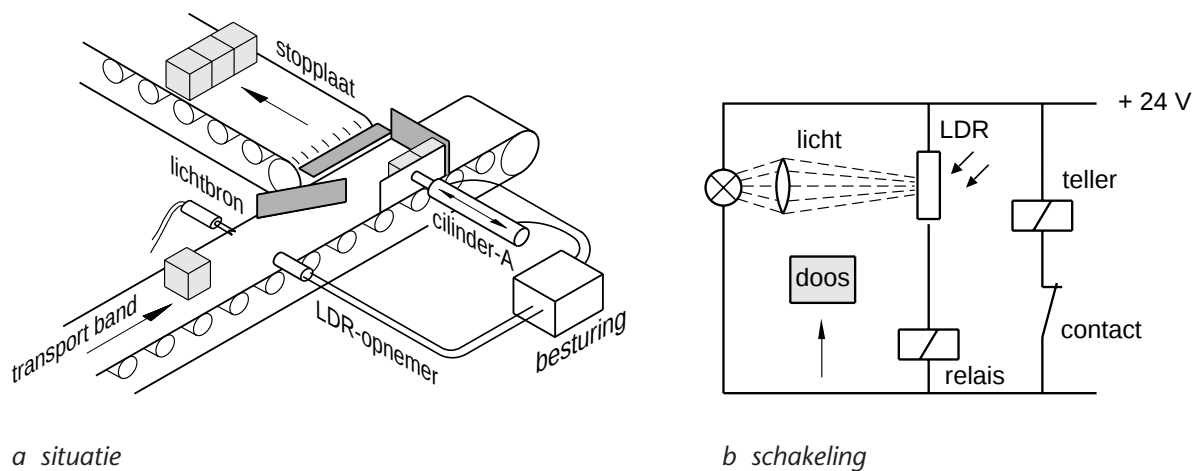
0.6.1 LDR-opnemers

De weerstand van een LDR-opnemer wordt kleiner als er licht op valt. Bij eenzelfde spanning loopt er dus een grotere stroom door. Deze eigenschap kunnen we gebruiken om processen die een lichtverandering veroorzaken, te detecteren. In figuur 0.16 zien we een doorsnede van een fotocel met daarin een LDR-weerstand.



Figuur 0.16 Fotocel met LDR-weerstand

Als voorbeeld zien we in figuur 0.17 een teller van producten op een transportband. Het tellen van de dozen gebeurt met een LDR-weerstand aan de zijkant van de baan. Aan de tegenoverliggende zijde is een lichtbron geplaatst.



Figuur 0.17 Automatisering met een LDR-telsysteem

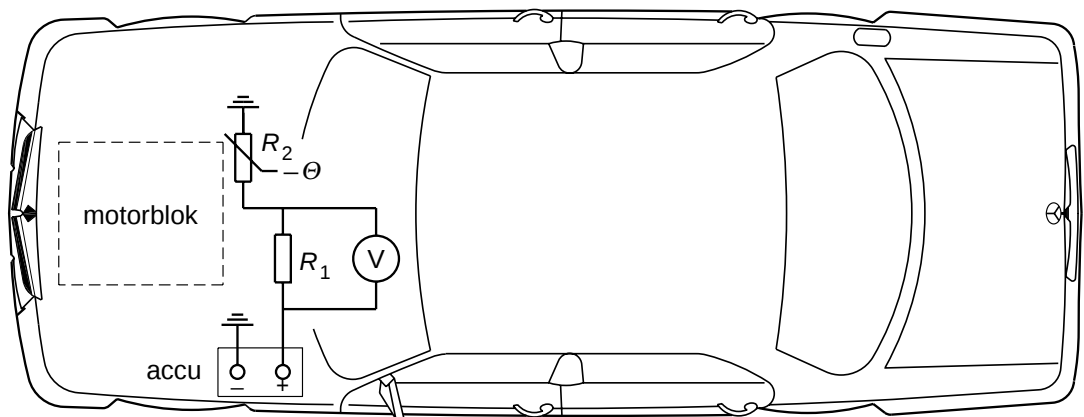
Als de lichtstraal door een doos wordt onderbroken, verandert de weerstandswaarde van de LDR. Hierdoor krijgt het relais niet genoeg spanning meer, zodat het contact gesloten wordt. Daardoor krijgt de teller (een impulsteller) spanning en stijgt de tellerstand. Als de doos voorbij de lichtstraal is, wordt de LDR weer belicht. Het relais komt weer op gang en het contact gaat weer open. Na drie dozen laat de besturing de cilinder A uitlopen, waardoor deze op de tweede transportband worden geschoven.

0.6.2 PTC- en NTC-weerstanden

Voor het meten van temperatuur kunnen we een temperatuurafhankelijke weerstand gebruiken. Deze geven we aan als *NTC-weerstand* (*negative temperature coefficient*) of *PTC-weerstand* (*positive temperature coefficient*). Bij de NTC-weerstand vermindert de weerstandswaarde als de temperatuur stijgt. Daarbij vertoont de NTC-weerstand een *e*-machttachtige curve. Bij de PTC is het omgekeerde het geval. Tevens vertoont de PTC-weerstand ten opzichte van de NTC-weerstand een redelijk scherp omslagpunt in de weerstand.

De temperatuur van deze weerstanden wordt bepaald door de omgevings-temperatuur en de warmte-ontwikkeling in de weerstand door het vermogen dat opgenomen wordt.

NTC-schakeling NTC-schakelingen gebruiken we meestal in schakelingen die op de omgevings-temperatuur reageren. Een goed voorbeeld hiervan is de schakeling waarmee we de temperatuur bepalen van het motorblok in een auto. Zie figuur 0.18.



Figuur 0.18 Schakeling voor bepalen temperatuur

We zien dat de NTC-weerstand R_2 op het motorblok van de auto is gemonteerd. Als de motor koud is, loopt er nauwelijks een stroom door de weerstanden R_1 en R_2 .

Als de temperatuur van de motor toeneemt, neemt de weerstandswaarde van de NTC-weerstand af. Daardoor wordt de stroom over de weerstanden groter en de voltmeter (V) slaat verder uit. De gekoppelde wijzer in de schaal van de temperatuurmeter op het dashboard loopt op.

PTC-weerstand PTC-weerstanden gebruiken we vooral als beveiliging voor allerlei elektrische apparaten. Deze werken dan als vermogensbegrenzers.

0.6.3 Druk- en krachtsensoren

Analoge meetzenders

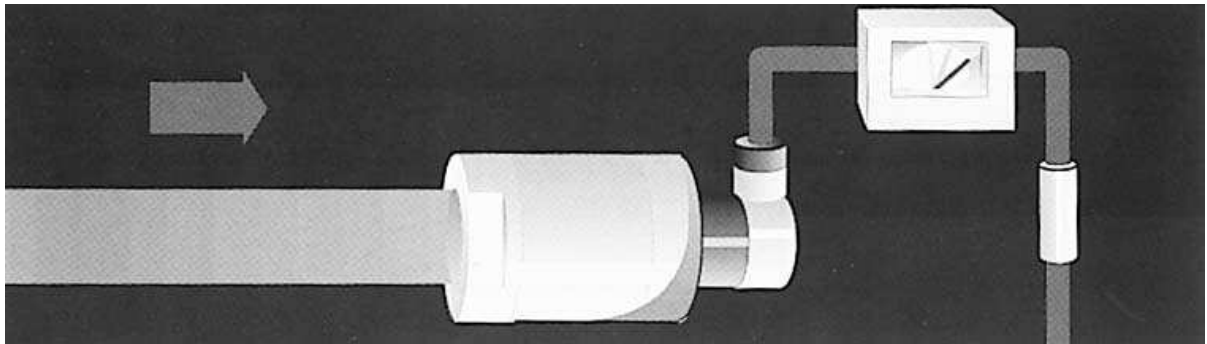
De toepassingsmogelijkheden van de sensoren die we tot nu toe hebben besproken, zijn over het algemeen digitaal. De sensoren echter waarmee we een druk in een bepaald vat kunnen aantonen of waarmee we een kracht kunnen meten, werken niet digitaal maar analoog. Deze sensoren detecteren dus niet alleen de aanwezigheid of afwezigheid van een druk of een kracht, maar ze geven ook nog aan hoe hoog de druk of kracht is. Daarom noemen we deze sensoren ook wel *analoge meetzenders*.

In figuur 0.19 zien we een druksensor waarop een lage druk staat. Hierdoor wordt er een uitgangssignaal met een lage spanning of stroom gegeven. Een hogere druk geeft een evenredig hoge spanning of stroom.



a lage druk: evenredig laag elektrisch uitgangssignaal

Figuur 0.19 Principe druksensor



b hogere druk: evenredig hoog elektrisch uitgangssignaal

Figuur 0.19 Principe druksensor (vervolg)

In de pneumatiek gebruiken we druksensoren vooral voor het bewaken van een drukniveau. Een veel breder toepassingsgebied voor de analoge sensoren vinden we in de meet- en regeltechniek, waar we druksensoren maar ook de inductieve sensoren gebruiken als analoge meetzender voor de beveiliging, filterbewaking, lektests of regeltaken.

Principe rekstrook

gevoelige
rekstrook

De werking van deze analoge meetzender berust op de werking van een *gevoelige rekstrook*. Dit is een element dat is samengesteld uit dun weerstandsdraad. Voor een weerstandsdraad geldt de volgende formule:

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

Met:

- R = weerstandswaarde in Ω ;
- l = lengte in m;
- ρ = soortelijke weerstand in $\Omega \cdot \text{m}$;
- A = doorsnede in m^2 .

Als we aannemen dat de soortelijke weerstand van het materiaal van de draad niet verandert, is de weerstandswaarde:

- recht evenredig met de lengte;
- omgekeerd evenredig met de doorsnede.

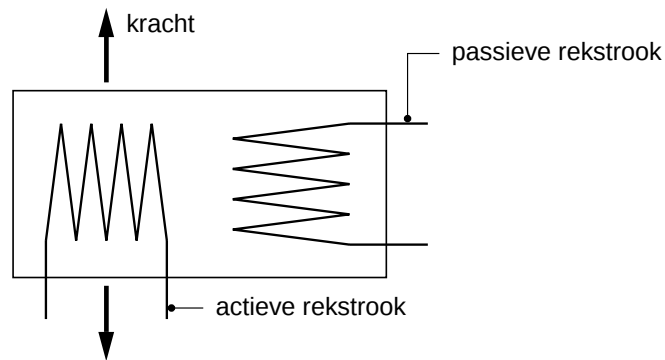
Dit principe wordt gebruikt bij het meten van mechanische grootheden zoals:

- trekkracht;
- druk;
- buiging.

Uitvoering rekstrook

De dunne weerstandsdraad wordt in een plat vlak gelegd volgens het patroon in figuur 0.20.

Het geheel krijgt daarna een isolerende omhulling. Deze rekstrook wordt dan geplakt op het oppervlak van het mechanisch onderdeel dat van vorm verandert. De constructie is zodanig dat er bij een hogere druk een grotere kracht op de actieve rekstrook komt te staan. Deze rekt uit, waardoor eerst de weerstand verandert waardoor dan ook de elektrische stroom verandert. Deze analoge verandering ondergaat dan een temperatuurcorrectie met de passieve rekstrook, voordat zij als een signaal aan een besturings- of een bewakingseenheid wordt aangeboden.



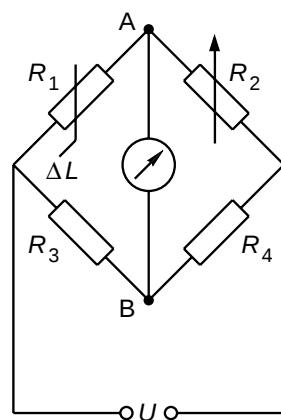
Figuur 0.20 Principe rekstrookjes

Rekstrookmeting

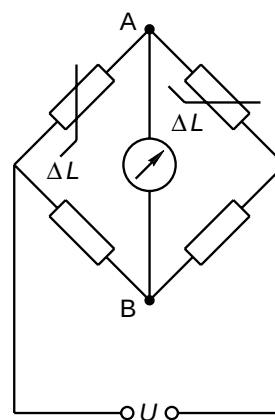
De verandering van de weerstandswaarde kunnen we met een elektrische brugschakeling vertalen in een trekkracht in N.

brug van
Wheatstone

In figuur 0.21a zien we deze brugschakeling, de *brug van Wheatstone*.



a actieve rekstrook



b passieve rekstrook

Figuur 0.21 Brug van Wheatstone voor rekstrookmetingen

Deze brug bestaat uit vier weerstanden:

- de rekstrookweerstand R_1 ;
- een regelbare weerstand R_2 ;
- twee weerstanden R_3 en R_4 met dezelfde weerstandswaarde.

Bij het begin van de meting brengen we met de regelbare weerstand R_2 de brug in evenwicht. Tussen de punten A en B hebben we dan geen spanningsverschil. Als we op het onderdeel een kracht uitoefenen, wordt de weerstand van de rekstrook R groter. Hierdoor loopt de spanning op tussen de punten A en B die door de voltmeter wordt weergegeven.

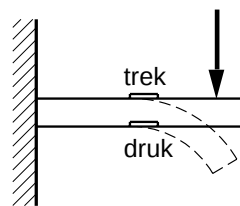
We hebben een lineair verband tussen de uitgangsspanning en de kracht, zodat we de voltmeter als een krachtmeter kunnen beschouwen. Van een speciale krachtenschaal kunnen we direct de kracht aflezen.

Omdat ook de temperatuur invloed heeft op de weerstand van de rekstrook, moeten we de invloed hiervan compenseren. Dit doen we met een tweede rekstrook, namelijk een passieve rekstrook. Deze plaatsen we zodanig naast de (actieve) rekstrook R_1 dat we hierin geen verandering in lengte krijgen. Zie figuur 0.21b.

Beide rekstrookjes bevinden zich in dezelfde temperaturomgeving, zodat de invloed hiervan wordt gecompenseerd door de passieve rekstrook.

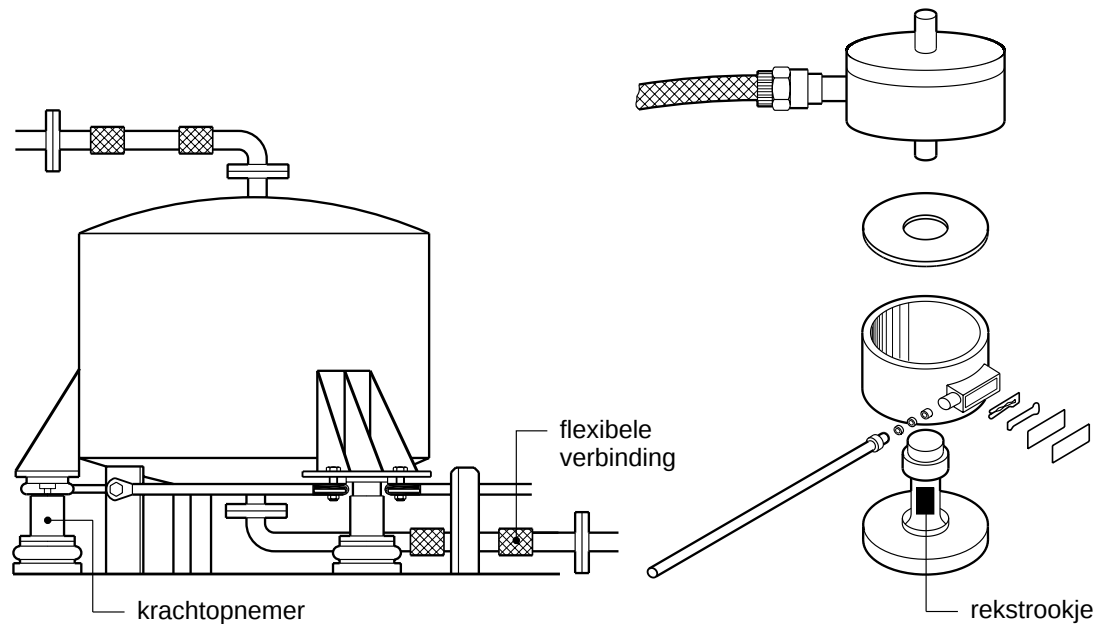
Toepassingen

In figuur 0.22 zien we een voorbeeld: het meten van de doorbuiging van een op buiging belaste staaf.



Figuur 0.22 Meten van doorbuiging

In figuur 0.23a zien we een voorbeeld van een krachtopnemer die we kunnen gebruiken om het gewicht van een bunker te bepalen. Het geheel bestaat uit een drukdoos met rekstrookjes die reageren op vormveranderingen van de drukdoos. Zie figuur 0.23b.



a drukdoos als krachtopnemer

b opbouw krachtopnemer

Figuur 0.23 Krachtopnemer toegepast onder een bunker

Door de trekkracht verandert de lengte van de stang. Omdat de rekstrook in de lengterichting op deze stang is geplakt, verandert ook de lengte van de weerstandsdraad en neemt de weerstandswaarde toe.

Een moderne toepassing van deze rekstrookjes vinden we in de grippers van industriële robots. Hiermee kunnen allerlei functies gemeten worden, zoals:

- de gripperkracht;
- het moment dat een robot uitoefent tijdens het draaien.

Kenmerken druk- en krachtsensoren

Kenmerken van druk- en krachtsensoren zijn:

- goed bestand tegen een agressief milieu;
- goed bestand tegen een ruwe omgeving;
- zeer gevoelig;
- goedkoop.

0.7 Schakelen met opnemers

Transistoren

Het meest principiële verschil tussen een benaderingsschakelaar en een opnemer is dat elektronische schakelaars geheel contactloos werken. Toch moet ook in deze opnemers een schakelend element aanwezig zijn. Als gelijkspanning wordt toegepast, is dit vrijwel altijd een transistor.

Een transistor kan door regeling van de basisstroom alle standen innemen tussen geheel gesloten (*afgeknepen*) of geheel geopend (*verzadigd*).

versterker We spreken ook wel van een *versterker*. Met een transistor kunnen we namelijk een kleine spanningsverandering versterken.

Transistor als schakelement

Een speciale toepassing is een transistor met maar twee standen, namelijk afgeknepen en verzadigd. We gebruiken de transistor dan als schakelement.

digitale regeling Dit noemen we een *digitale regeling*. Deze regeling gebruiken we wel bij het schakelen van bijvoorbeeld:

- relais- en ventielspoelen;
- spoelen van een stappenmotor;
- lampen;
- leds.

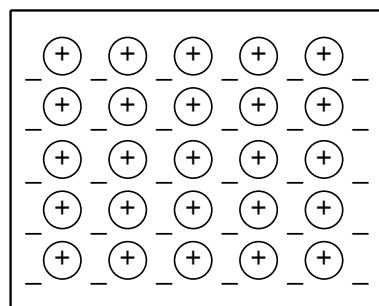
Opbouw transistor

Voor een transistor gebruiken we zuiver silicium verontreinigd met fosfor of borium. Door de fosforatomen krijgen we in het silicium een aantal vrije elektronen. Deze vrije elektronen gedragen zich als negatieve ladingdragers, die de weerstand van het materiaal sterk verminderen en dus de geleidbaarheid verhogen.

N-silicium Dit materiaal geven we meestal aan als *N-silicium*. Zie figuur 0.24a.

Ook kunnen we een stuk zuiver silicium verontreinigen met (bijvoorbeeld) het metaal borium. Het resultaat is dat we in het silicium een tekort aan elektronen krijgen. We hebben dus gaten in het materiaal, waardoor vrije elektronen (via deze gaten) door het silicium kunnen bewegen. Dit vergroot de geleidbaarheid van het materiaal. Deze stof geven we aan als *P-silicium*. Zie figuur 0.24b.

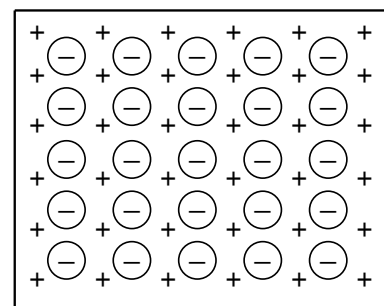
P-silicium Toch moeten we energie toevoeren om een elektronenstroom in een halfgeleider op gang te brengen.



N

- vrij elektronen
- (+) gebonden ionen

a N-silicium



P

- + vrij positieve ladingdragers
- (-) gebonden ionen

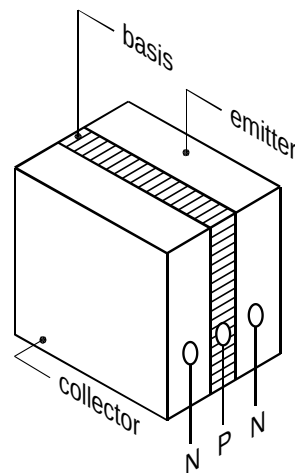
b P-silicium

Figuur 0.24 Halfgeleiders van silicium

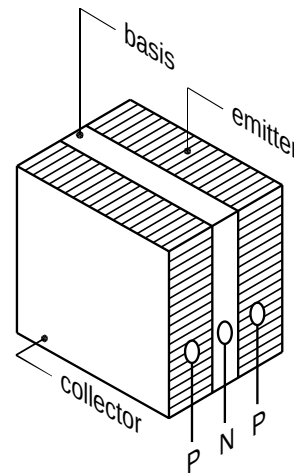
De opbouw van een transistor gebeurt op een zodanige manier dat we twee stukjes N-silicium combineren met één stukje P-silicium. Ook is het mogelijk twee stukjes P-silicium met één stukje N-silicium te combineren. Zie figuur 0.25. Het middelste deel noemen we de basis (B), terwijl we de laagjes aan weerszijden van de basis de emitter (E) en de collector (C) noemen.

NPN-transistor

De NPN-transistor wordt het meest toegepast. Het symbool van de NPN-transistor zien we in figuur 0.26. Merk op dat in het symbool de pijl in de emitter de stroomrichting aangeeft.

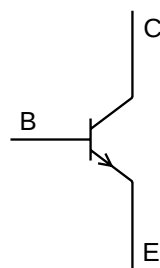


a NPN-transistor



b PNP-transistor

Figuur 0.25 Opbouw transistor

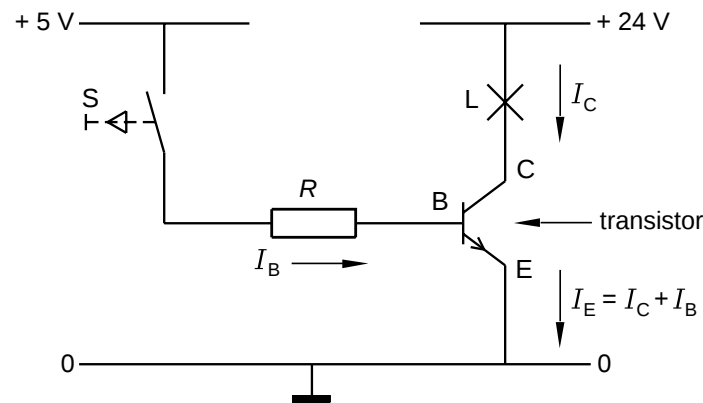


Figuur 0.26 Symbol NPN-transistor

Principe transistor

In figuur 0.27 zien we een stroomkringschema waarin het symbool van een transistor is getekend. We zien dat één van de aansluitingen van de transistor (de basis) is aangesloten op de stroomkring van 5 V. De collector is in serie met een lamp aangesloten op de stroomkring van 24 V. De emitter (E) is aangesloten op de – van beide spanningsbronnen.

emitter



Figuur 0.27 Versterkerschakeling

Als we de schakelaar sluiten, is de basis positief ten opzichte van de emitter en gaat de *basisstroom* I_B lopen. Hierdoor wordt de transistor geleidend en dus gaat de lamp L op een spanning van 24 V branden. Er loopt een stroom van de + via de lamp naar de collector en de emitter naar de – van de spanningsbron. De stroom I_C in de lamp is veel groter dan de basisstroom I_B . We kunnen concluderen dat in dit geval de transistor de basisstroom I_B heeft versterkt tot de collectorstroom I_C .

Als we de schakelaar openen, is de basis neutraal ten opzichte van de emitter en spert de transistor.

De stroom I_C in de lamp is veel groter dan de basisstroom I_B . We kunnen concluderen dat in dit geval de transistor de basisstroom I_B heeft versterkt tot de collectorstroom I_C .

Als we de schakelaar openen, is de basis neutraal ten opzichte van de emitter en spert de transistor.

De collectorstroom I_C blijkt 50 tot 400 keer groter te zijn dan de basisstroom die geleverd wordt door de voeding. De basisstroom en de collectorstroom lopen samen via de emitter naar de nul.

Het verband tussen de collectorstroom en de basisstroom noemen we de *stroomversterking*. De verhouding tussen die twee stromen geven we aan met het getal h_{FE} :

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} \quad (0.1)$$

Met:

- h_{FE} = de stroomversterkingsfactor (dimensieloos);
- I_C = de collectorstroom in mA;
- I_B = de basisstroom in mA.

0.8 Uitvoeringsvormen opnemers

De uitgang van een opnemer kan worden geactiveerd:

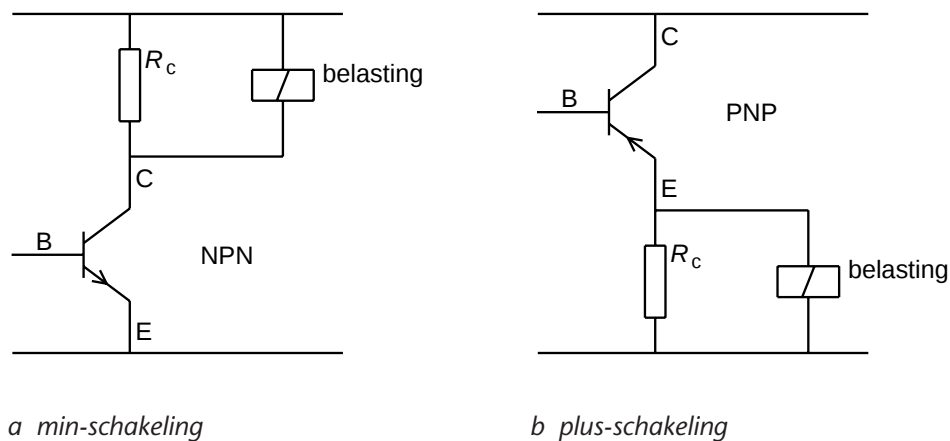
- als aan het oppervlak van een optische ontvanger licht valt;
- of als bij een inductieve opnemer het magnetisch veld wordt versterkt.

We spreken dan van een uitgang die normaal geopend is (*normally open* of *NO*). Dit in tegenstelling tot een *donkerschakeling*, waarbij de uitgang normaal gesloten is (*normally closed* of *NC*).

Als we een opnemer in een schakelcircuit opnemen, moeten we rekening houden met het type ingebouwde transistor. Als de opnemer een NPN-transistor bevat, schakelt de transistor de stroom van de belasting naar de min. Zie figuur 0.28a.

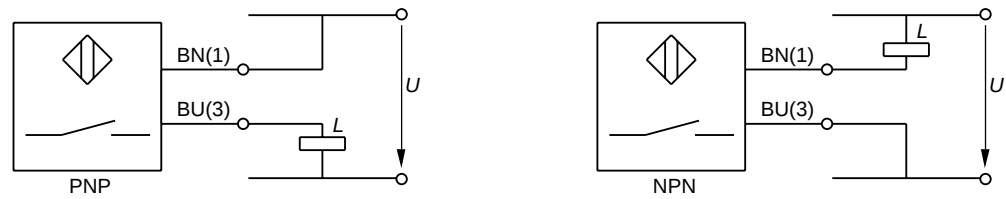
Deze schakeling heeft een nadeel. Bij een ongewilde verbinding tussen de schakeldraad en de aarde wordt namelijk een motor of magneet in bedrijf gesteld. Deze ongewilde verbinding kan ontstaan door een losse draad of het beklemd raken van de schakeldraad tijdens de montage van de opnemer.

Als de opnemer een PNP-transistor bevat, is dit gevaar niet aanwezig. De PNP-transistor schakelt de stroom van de plus naar de belasting. Zie figuur 0.28b. Bij sluiting van de schakeldraad met aarde wordt de voedingsspanning kortgesloten. Van ongewild in bedrijf komen kan nu geen sprake zijn.

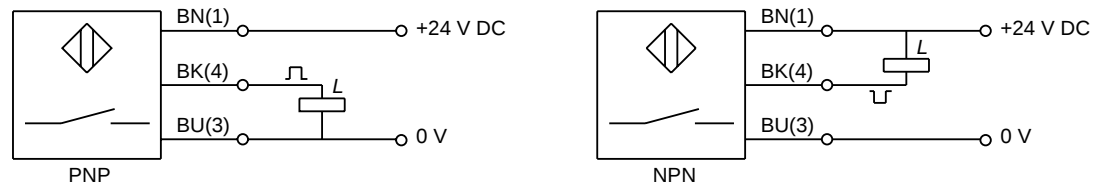


Figuur 0.28 Transistor als schakelaar

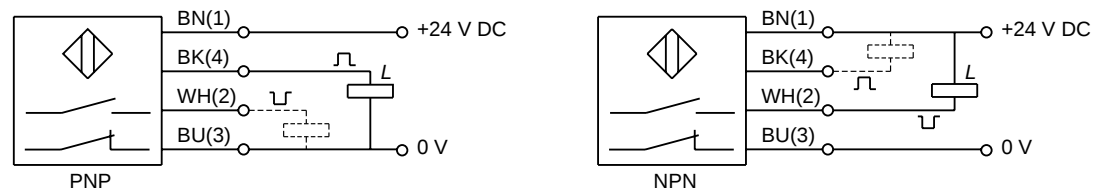
Zowel opnemers met PNP-transistoren als opnemers met NPN-transistoren kunnen we in een uitvoering kiezen met 2, 3 of 4 draden. Zie figuur 0.29. De 2-draadsuitvoering en de 3-draadsuitvoering kunnen we kiezen met een maakcontact of een verbreekcontact. De 4-draads uitvoering heeft zowel een maakcontact als verbreekcontact. Meestal bestaat de codering uit de eerste letter en de laatste letter van een Engelstalige draadkleur. Zie tabel 0.2.



a 2-draadsopnemer



b 3-draadsopnemer



c 4-draadsopnemer

Figuur 0.29 Uitvoeringen opnemers

TABEL 0.2 CODERING AANSLUITPUNTEN OPNEMER

functie	kleur	lettercodering	cijfercodering
aansluiting positieve spanning	bruin (brown)	BN	1
aansluiting negatieve spanning	blauw (blue)	BU	3
schakeldraad NO	zwart (black)	BK	4
schakeldraad NC	wit (white)	WH	2

PLC en opnemer

Als we in plaats van een gewone benaderingsschakelaar gebruikmaken van een opnemer, moeten we er rekening mee houden dat de PLC een eigen voedings-systeem heeft. De positieve uitgang van deze 24 volt gelijkspanning wordt door-verbonden met het p-contact van de afzonderlijke schakelaars.

De maakcontacten van de schakelaars worden verbonden met de desbetreffende ingang van de PLC.

Als een contact wordt bediend, krijgen we een gesloten stroomkring via de weer-stand van de opto-coupler naar de massa van de PLC.

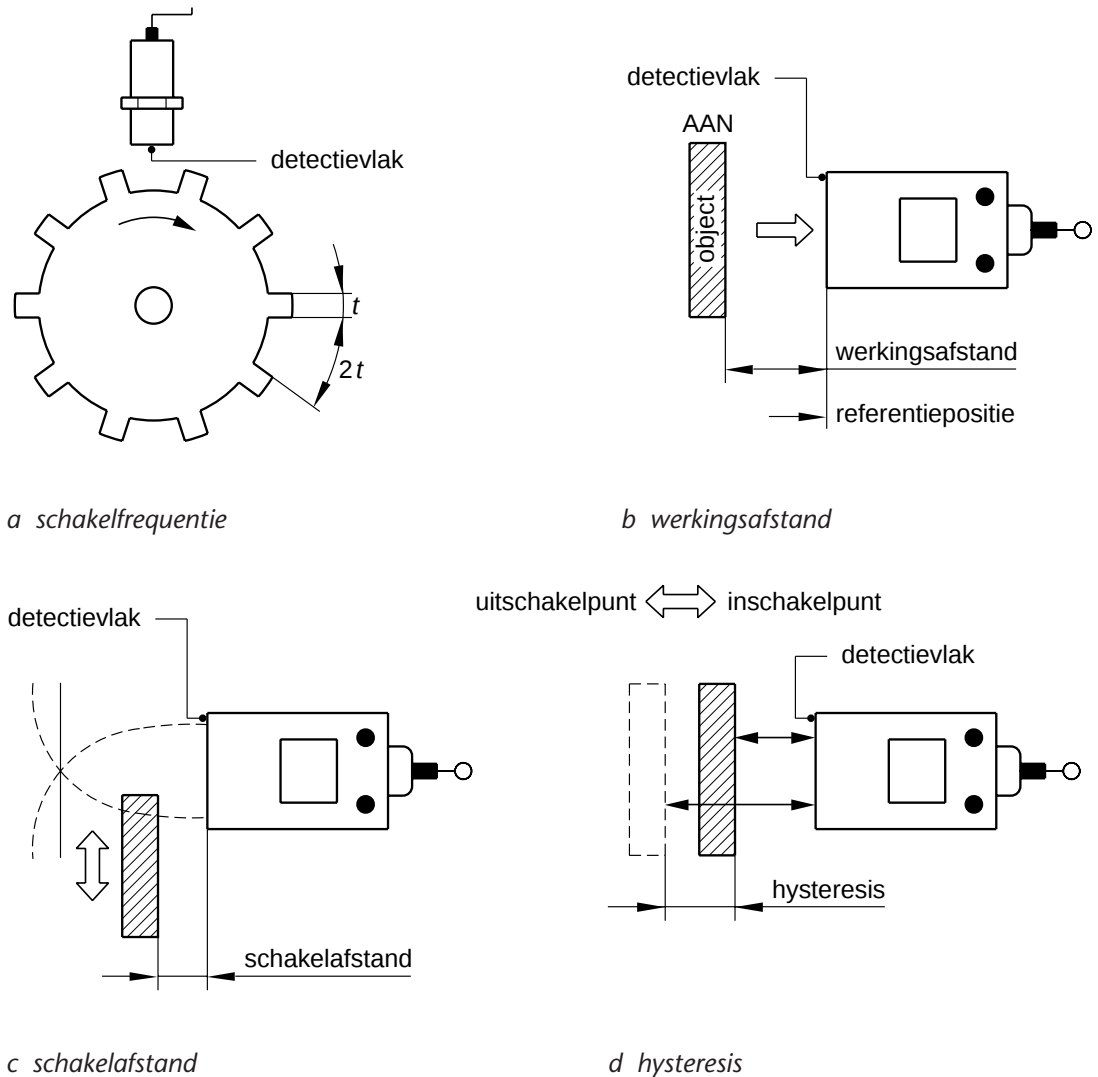
Bij opnemers kunnen we alleen een positieve spanning schakelen als we kiezen voor opnemers met een PNP-transistor. Opnemers met een NPN-transistor kunnen we dus niet direct op een PLC-besturing aansluiten. Er wordt dan namelijk een verbinding gemaakt van massa terug naar massa.

0.9 Fundamentele prestaties opnemers

De keuzemogelijkheden tussen opnemers wordt bepaald door de eigenschappen die voor een specifieke toepassing belangrijk kunnen zijn. In de technische gegevens van leveranciers wordt bij de vermelding van deze eigenschappen verwezen naar een standaardobject. Een standaardobject heeft bijvoorbeeld een gespecificeerde vorm van $5\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ en is van ijzer.

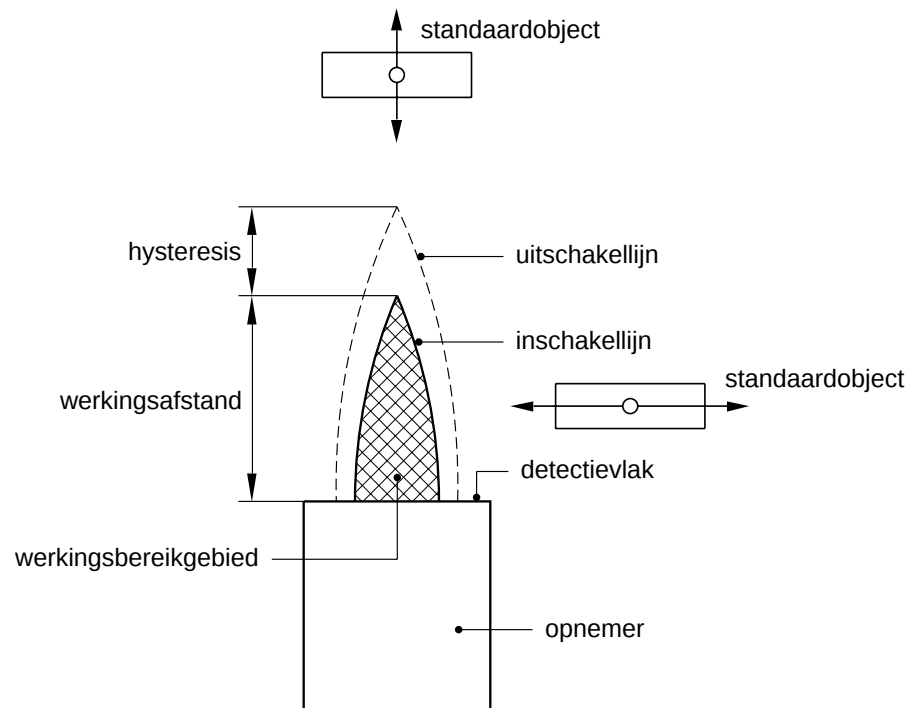
Door te verwijzen naar een standaardobject kunnen we de fundamentele prestaties van opnemers van verschillende leveranciers onderling vergelijken. In figuur 0.30 zien we de fundamentele prestaties van opnemers weergegeven. Deze fundamentele prestaties zijn:

- De *schakelfrequentie* in het maximumaantal pulsen per seconde.
- De *schakelafstand* waarbinnen de opnemer geschakeld moet hebben bij zijdelingse benadering van de opnemer.
- De *werkingsafstand* waarbinnen de opnemer geschakeld moet hebben bij loodrechte benadering van de opnemer.
- De *hysteresis* die het verschil in afstand geeft tussen het inschakelpunt bij nadering van de opnemer en het uitschakelpunt bij verwijdering van het standaardobject. Deze waarde geven we aan in een percentage van de nuttige schakelafstand S .



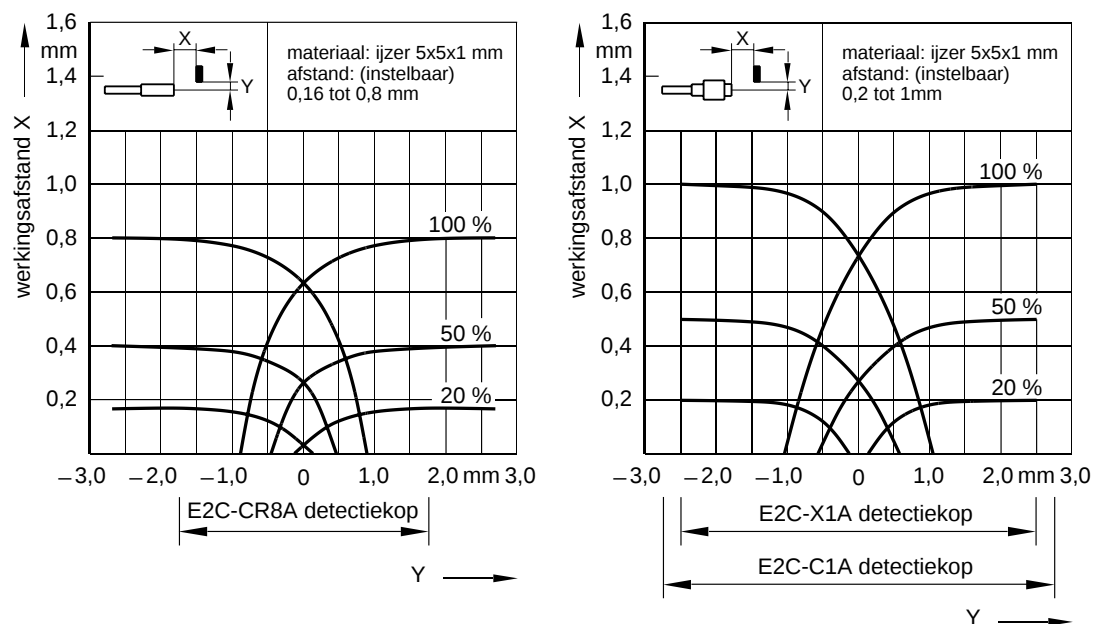
Figuur 0.30 Fundamentele prestaties van een opnemer

In figuur 0.31 zien we zowel de schakelafstand als de werkingsafstand in een werkingsbereikgebied van een opnemer. De inschakellijnen zijn bepaald door met het standaardobject de opnemer op een steeds grotere afstand te naderen. In het gebied tussen de doorgetrokken lijnen is het *primair schakelgebied*. Binnen dit gebied schakelt de opnemer ongeacht de naderingsrichting met een zekerheid van 100%. Het gebied waarbij de opnemer uitschakelt bij verwijdering van het standaardobject, is afhankelijk van de hysteresis en wordt door het gestippelde gebied weergegeven.



Figuur 0.31 Schakelkarakteristiek van een opnemer

Met een stelschroef kunnen we de gevoeligheid van de opnemer en daarmee de grootte van het schakelgebied instellen. In figuur 0.32 zien we het schakelgebied van enkele inductieve benaderingsschakelaars van de firma Omron bij een gevoeligheid van 100%, 50% en 20%.



Figuur 0.32 Werkingsbereik inductieve benaderingsschakelaars

We zien in deze grafieken dat de inschakellijnen en uitschakellijnen bij elke gevoeligheid na hun snijpunt nog verder doorlopen. Onder deze doorgetrokken schakellijnen kunnen we een *secundair werkingsbereikgebied* links en rechts van het primair schakelgebied verwachten.

In het secundair schakelgebied schakelt de opnemer mogelijk. De schakelkans is alleen 100% in het primair werkingsbereikgebied. De schakelkans neemt echter af met de afstand tot het primair schakelgebied. Daarom worden de afmetingen van de detectiekop in de documentatie van leveranciers vermeld.

Om een grote betrouwbaarheid te krijgen is het verstandig de afmetingen van de detectiekop kleiner te houden dan het object. Bij loodrechte nadering hangt het schakelmoment dan alleen nog maar af van de hysteresis.

Met de doorgetrokken lijnen buiten het primair werkingsbereikgebied wordt dus aangegeven dat een opnemer eerder *kan* schakelen als een object de opnemer zijdelings nadert. Door de toenemende schakelkans in dit secundair schakelgebied zijn we bij zijdelingse nadering van een opnemer dus niet zeker van het schakelmoment. De schakelnauwkeurigheid van een opnemer bij zijdelingse benadering mogen we dus slecht noemen.

Als we de gevoeligheid van de opnemer terugdraaien, is de kans zelfs aanwezig dat deze opnemer tweemaal schakelt. In figuur 0.32 zien we dat de inductieve opnemer E2C-C1A bij een gevoeligheid van 20% een linker en rechter secundair werkingsgebied hebben die elkaar niet overlappen.

Stel we naderen deze opnemer zijdelings op een werkingsafstand van 0,2 mm met een voorwerp met een breedte van 1 mm. Als nu het voorwerp in het hart van de benaderingsschakelaar komt, wordt door deze opnemer geen signaal meer afgegeven.

