

2.4 Lichtsensoren

2.4.1 Foto-elektrisch effect

Afhankelijk van de hoeveelheid licht genereert een lichtsensor een uitgangssignaal doordat hij gevoelig is voor de **stralingsenergie** met een welbepaalde frequentieband. Het lichtspectrum gaat van *infrarood licht* over *zichtbaar licht* tot *ultraviolet licht*.

Definitie

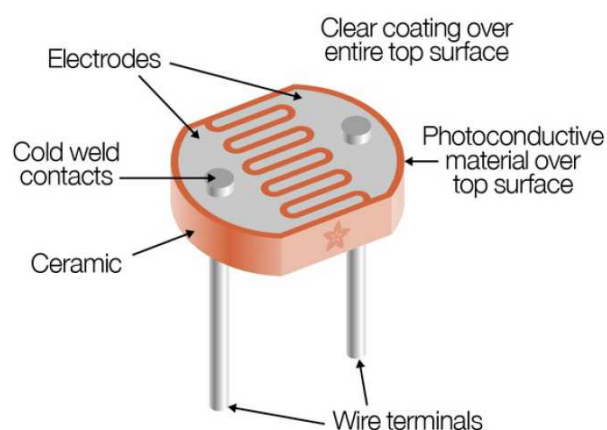
- Lichtsensoren zetten de energie van het ingestraalde licht om in een elektrisch uitgangssignaal.
- Ze worden omwille van dit **foto-elektrische effect** dan ook vaak *fotosensoren* genoemd omdat ze een **fotonenstroom** omzetten naar een **elektronenstroom**.



2.4.2 Lichtgevoelige weerstand

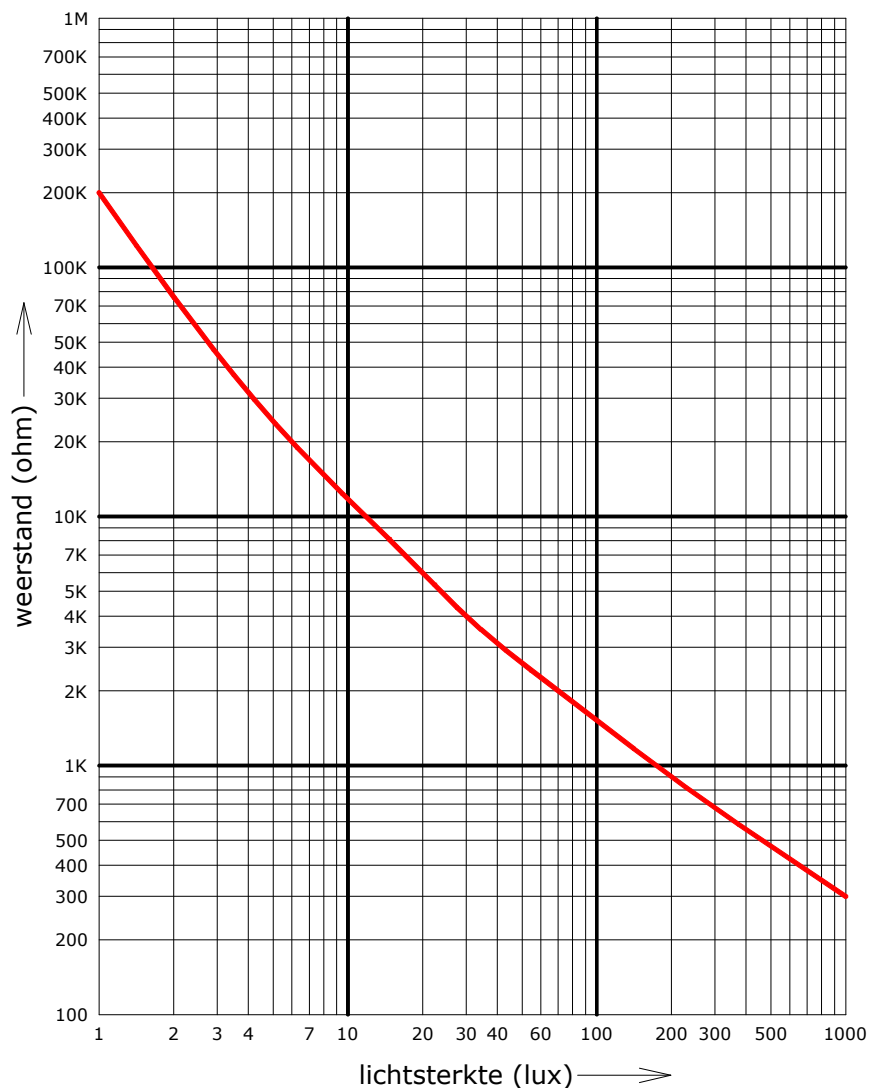
Principe

- Een **lichtgevoelige weerstand**, in het Engels *Light Depended Resistor* kortweg **LDR**, is een halfgeleider die lichtenenergie (fotonen) gebruikt om elektronen in het halfgeleidermateriaal in beweging te brengen.
- De elektrische weerstandswaarde van een LDR evolueert van enkele duizenden ohm in onbelichte toestand, tot enkele honderden ohm bij belichting.



△ Fig.2.44 | Typische 'ORP12' LDR.
Bron: Adafruit Learning System

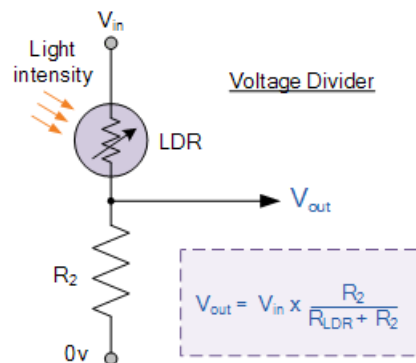
De meest gebruikte foto-resistieve lichtsensor is de *ORP12-LDR*. Het halfgeleidermateriaal van deze sensor is cadmiumsulfide (CdS) waarvan de spectrale gevoeligheid dicht in de buurt komt van het menselijke oog. Deze LDR is gevoelig voor geel tot oranje licht met een golflengte van rond de 610 nm. De zogenaamde *donkerweerstand* is zeer hoog (ca. 10 MΩ) en bij volledige belichting valt deze weerstandswaarde terug tot 200 à 300 Ω (lichtweerstand). De evolutie van deze weerstandswaarde kent geen lineair verloop zoals je kan zien in de grafiek van figuur 2.45. Let op de logaritmische indeling van beide assen!



△ Fig.2.45 | Weerstand versus lichtsterkte van een LDR.
Grafiek: W. Van Wichelen (AutoCAD)

De CdS fotocel is een zeer goedkope sensor en hij wordt vaak gebruikt in het automatisch dimmen van bijvoorbeeld straatverlichting of bij lichtmeting voor fotografische toepassingen.

Door een LDR in serie te plaatsen met een standaard weerstand bekomen we een spanningsdeler waarvan de spanning op de middenaftakking een maat is voor de hoeveelheid invallend licht.



△ Fig.2.46 | Omzetting naar een signaalspanning.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

Doordat de stroom in een serieschakeling door elke component dezelfde is en de LDR van weerstandswaarde verandert als gevolg van de hoeveelheid invallend licht, zal de spanning op de middenaftakking V_{OUT} bepaald worden door de gekende *spanningsdelingsformule*. De LDR kan variëren van ca. $100\ \Omega$ (bij zonlicht) tot meer dan $10\ M\Omega$ (bij volstrekte duisternis). De spanningsdeler van fig. 2.46 zet deze weerstandsvariatie dus om in een bruikbare signaalspanning.

Voor- en nadelen

De voornaamste **voordelen** van een **LDR** zijn:

- goedkoop
- eenvoudig
- kleine afmetingen

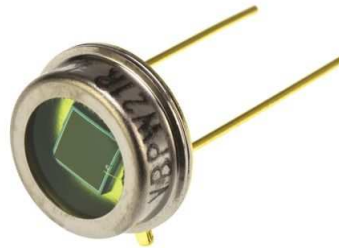
De voornaamste **nadelen** zijn:

- lange reactietijd van enkele seconden
- niet lineaire karakteristiek



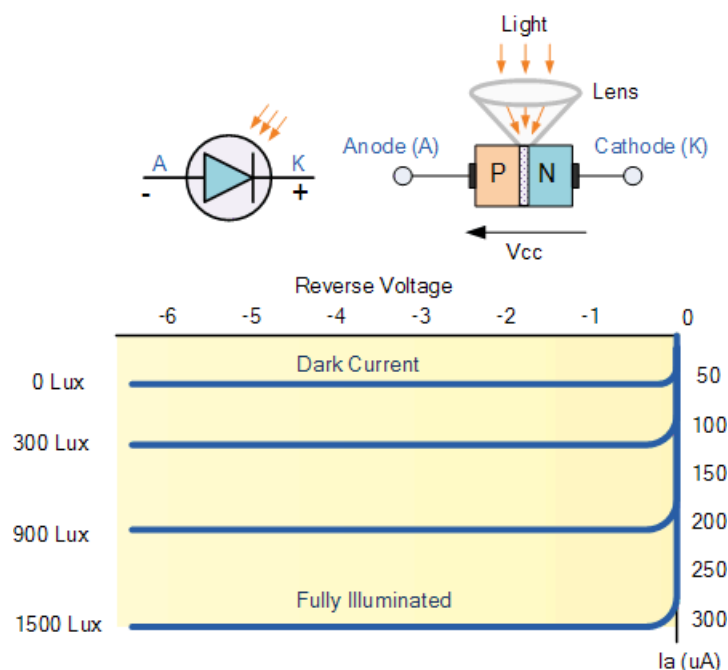
2.4.3 Fotodiode

De constructie van een **fotodiode** is vrij gelijkaardig aan die van een gewone PN-junctiediode met dat verschil dat er zich in de behuizing van een fotodiode een doorzichtige lens bevindt. Deze lens concentreert het invallende licht op de PN-junctie. Dit sensor-type is het meest gevoelig voor *rood* en *infrarood* licht en minder sensitief voor zichtbaar licht.



△ Fig.2.47 | Typische fotodiode.
Bron: <https://au.rs-online.com>

Om een fotodiode te gebruiken als lichtsensor dien je de PN-junctie steeds *invers* te polariseren. Door deze instelling (bias) vloeit er doorheen de component een zeer kleine *lekstroom*: de zogenaamde 'donkerstroom'. Deze lekstroom bij 0 lux is ongeveer $10\mu\text{A}$ voor germanium types en ongeveer $1\mu\text{A}$ voor silicium types. Wanneer we een fotodiode voorwaarts polariseren dan zal de stroom doorheen de component exponentieel toenemen zoals bij een gewone signaaldiode.



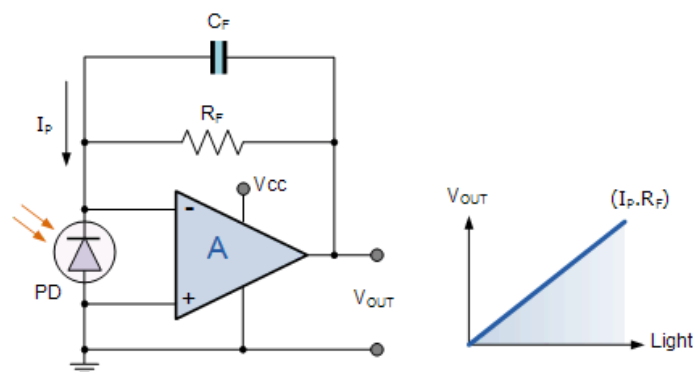
△ Fig.2.48 | DC-instelling van een fotodiode.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

Principe

- Door een **fotodiode** *invers* te polariseren vloeit er doorheen de component een *lekstroom* van enkele tientallen micro-ampères.
- Wanneer er licht invalt op de PN-junctie zal deze lekstroom evenredig met de intensiteit van het invallende licht toenemen.



Een groot voordeel van deze lichtsensor is zijn snelle reactie bij de geringste variatie in helderheidsniveau. Het grote nadeel van een fotodiode is de zeer kleine stroom die er doorheen gaat, zelf bij volledige belichting. Figuur 2.49 toont een 'stroom-naar-spanning' omzetter die gebruik maakt van een OpAmp-versterker.



△ Fig.2.49 | Stroom-naar-spanning omzetter.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

De uitgangsspanning voldoet aan volgende vergelijking:

$$V_{out} = I_p \cdot R_F$$

Hierin is I_p is de inverse fotostroom en R_F de feedback weerstand. De OpAmp levert een uitgangssignaal dat proportioneel is met de karakteristieken van de toegepaste fotodiode. De condensator C_F voorkomt oscillatief gedrag en beperkt de nuttige bandbreedte.

Fotodiodes zijn zeer veelzijdige lichtsensoren die zeer snel, in enkele nanoseconden, kunnen omschakelen tussen AAN en UIT. Ze worden veel toegepast in analoge en digitale camera's, lichtmeters, afstandsbedieningen, scanners, fotokopieermachines, glasvezelcommunicatie,...

Voor- en nadelen

De voornaamste **voordelen** van een **fotodiode** zijn:

- goedkoop
- kleine afmetingen
- korte reactietijd

De voornaamste **nadelen** zijn:

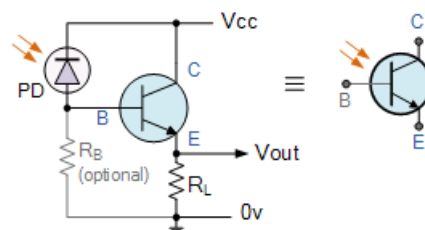
- zeer kleine anodestroom
- meetomzetter nodig
- minder gevoelig voor zichtbaar licht

**2.4.4 Fototransistor**

In principe kunnen we een **fototransistor** opvatten als een *fotodiode* met *versterking*. Bij een fototransistor gaan we de lichtgevoelige collector/basis-diode-overgang invers polariseren zoals we dat ook al bij de fotodiode deden. Fototransistoren gedragen zich op het eerste gezicht op dezelfde manier als een fotodiode maar ze leveren een veel grotere stroom en zijn daarenboven veel gevoeliger. Elke standaard NPN-transistor kunnen we eenvoudig transformeren naar een lichtgevoelige fototransistor door parallel over de collector- en basisklem een fotodiode met de juiste polariteit aan te sluiten.



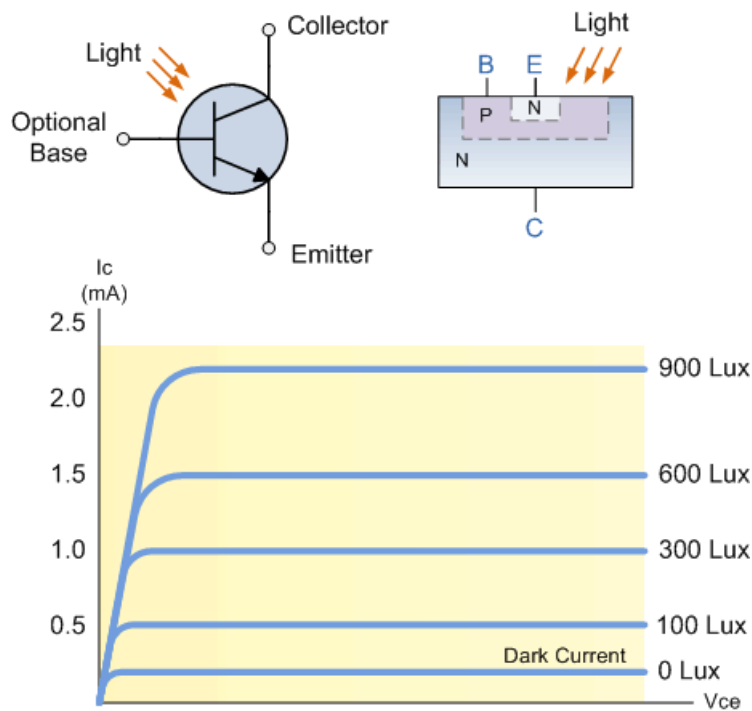
△ Fig.2.50 | Typische fototransistor.
Bron: <https://benl.rs-online.com>



△ Fig.2.51 | Equivalent schema van een fototransistor.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

Principe

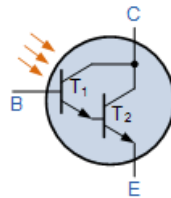
- Een **fototransistor** bestaat hoofdzakelijk uit een *NPN-transistor* waarvan we de basisklem meestal open laten liggen.
- De behuizing is voorzien van een lens die het licht concentreert op de lichtgevoelige basis/collector-junctie.
- De fotonen van het invallende licht fungeren als een soort *basisstroom* die de transistor dan versterkt tot een ferme collectorstroom.
- Om een NPN-fototransistor correct in te stellen dien je de collector *positief* te maken ten opzichte van de emitter zodat de basis/collector-junctie invers gepolariseerd is.



△ Fig.2.52 | Karakteristieken van een fototransistor.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

De gevoeligheid van een fototransistor is afhankelijk van de DC stroomversterkingsfactor (h_{FE}). Transistorparameter h_{FE} is een erg onbetrouwbare factor waarop veel spreiding zit. Dat is de reden dat we soms toch een basisweerstand R_B aansluiten zodat we de gevoeligheid van de lichtsensor kunnen controleren.

Voor toepassingen die een zeer grote lichtgevoeligheid vereisen maken we gebruik van een zogenaamde **foto-darlington**. Een foto-darlington gebruikt een tweede NPN-transistor om extra versterking te realiseren. In principe bestaat een foto-darlington uit een gewone fototransistor waarvan we de emitterklem verbinden met de basisklem van een NPN-vermogentransistor.



△ Fig.2.53 | Schemasymbool van een foto-darlington.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

De totale versterking van deze opstelling is het product van beide stroomversterkingsfactoren, wat resulteert in een zeer gevoelige lichtdetector. Nadeel van de darlingtonconfiguratie is dat ze, in vergelijking met een gewone fototransistor, trager reageert op fluctuaties van het invallende licht.

Een fototransistor is een onmisbare *interfacecomponent* die we terugvinden in tal van digitale toepassingen. Ze zijn present in opto-couplers^[23], glasvezeloptica^[24], afstandsbedieningen,...

Voor- en nadelen

De voornaamste **voordelen** van een **fototransistor** zijn:

- goedkoop
- kleine afmetingen
- korte reactietijd
- gedraagt zich zoals een gewone NPN-transistor
- toepasbaar in analoge en digitale techniek

De voornaamste **nadeel** is:

- minder gevoelig voor zichtbaar licht



[23] Opto-coupler: geïntegreerde schakeling die bestaat uit een LED en een fototransistor die zorgt voor een perfecte galvanische scheiding.

[24] Glasvezeloptica: een optische vezel kan licht geleiden en signalen snel en betrouwbaar over grote afstanden transporteren. Ze zijn een onmisbare schakel in moderne telecommunicatie.