

## Hoofdstuk 4: Speciale types diodes

### 1: Diodebruggen

In deze eerste paragraaf bespreken we niet echt een speciaal type diodes. We bespreken hier eerder een behuizingsvorm, namelijk diodebruggen.

In de schakelingen welke bestudeerd zijn in het tweede hoofdstuk, vindt u heel wat diodebruggen terug. Het is uiteraard mogelijk deze op te bouwen met behulp van vier afzonderlijke diodes, doch er zijn diodebruggen te verkrijgen in de handel die deze vier diodes in één enkele behuizing bevatten.

Er is op de markt een uitgebreid gamma aan diodebruggen te koop. Dergelijke diodebruggen worden trouwens door erg veel fabrikanten vervaardigd. Via datasheets verstrekken de fabrikanten de specificaties die eigen zijn aan hun diodebruggen (zoek zelf op het internet de datasheets van bijvoorbeeld de types 3N253 t.e.m. 3N259).

In het eerste hoofdstuk hebben we er de aandacht opgevestigd dat een diode een aantal specificaties heeft in verband met toegelaten spanningen en stromen, bij een diodebrug is dit niet anders.

Zonder volledig te willen zijn, vermelden we in verband met de spanningen:

$V_I$  : De maximaal toegelaten effectieve waarde van de wisselspanning aan de ingang.

$V_{IRM}$  : De maximaal toegelaten waarde van de herhalende piekwaarde van de wisselspanning aan de ingang.

$V_O$  : De maximaal toegelaten waarde van de gelijkspanning aan de uitgang. Dit zowel met een C- of een R-belasting.

In verband met de stromen vermelden we:

$I_{FSM}$  : De maximaal toegelaten waarde van een eenmalige voorwaartse piekstroom.

$I_O$  : De maximaal toegelaten gemiddelde waarde van de gelijkgerichte stroom.

$I_{ORM}$  : De maximaal toegelaten waarde van de herhalende piekwaarde van de gelijkgerichte stroom.

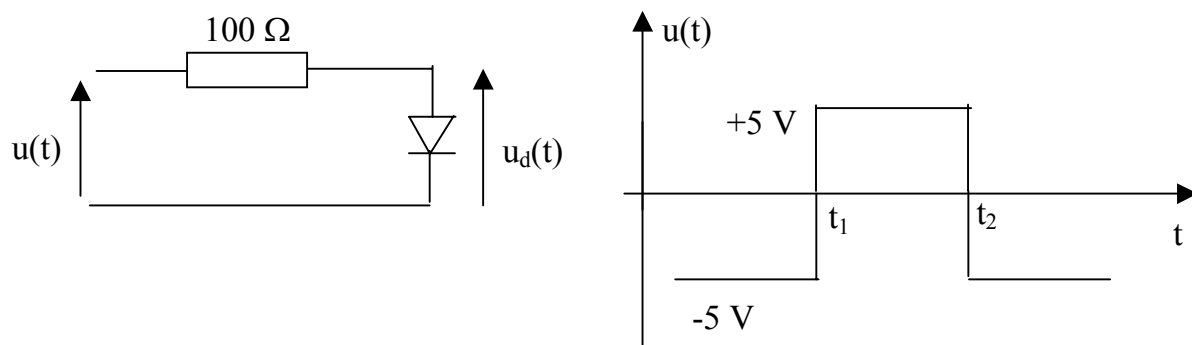
### 2: Bijzondere diodes voor gelijkrichting

De praktische toepassingen welke we in het tweede hoofdstuk besproken hebben bestaan uit gelijkrichterschakelingen en spanningsverhogende schakelingen. Hiervoor

kunnen gewone diodes gebruikt worden. Doch zeker indien de wisselspanning welke men wilt gelijkrichten een grotere frequentie heeft, dan kan het nuttig zijn aangepaste diodes te gebruiken. We bespreken hier dan ook het nut en de werking van dergelijke aangepaste diodes.

### 2.1: Inschakeltijden en uitschakeltijden

Beschouw de onderstaande figuur:



Figuur 4.1: Aanleggen negatieve en positieve spanning

In de bovenstaande figuur vertrekken we van een serieschakeling van een diode en een weerstand van  $100\ \Omega$ . Er wordt een spanning  $u(t)$  aangelegd die op het tijdstip  $t_1$  ogenblikkelijk omschakelt van  $-5\text{ V}$  tot  $+5\text{ V}$ . Op het tijdstip  $t_2$  schakelt  $u(t)$  om van  $+5\text{ V}$  naar  $-5\text{ V}$ .

Voor het tijdstip  $t_1$  is de diode gesperd, wat betekent dat de diodestroom  $i_d(t)$  ongeveer nul is en dat de diodespanning  $u_d(t) = -5\text{ V}$ . Op het ogenblik  $t_1$  wordt de spanning  $u(t)$  gelijk aan  $+5\text{ V}$ . Dit betekent dat  $u_d(t)$  zich zal stabiliseren op ongeveer  $+0,7\text{ V}$  en  $i_d(t)$  zal zich stabiliseren op ongeveer  $43\text{ mA}$ . Verklaar dit!

De overgang of omschakeling van de gesperde naar de stabiel geleidende toestand (de zogenaamde “forward recovery”) kan echter niet oneindig snel gebeuren. Geef ten minste één reden waarom de diode pas een zekere tijd na  $t_1$  haar stabiele geleidende toestand ( $i_d(t) \cong 43\text{ mA}$ ,  $u_d(t) \cong 0,7\text{ V}$ ) zal bereiken.

Op het ogenblik  $t_2$  wordt  $u(t)$  weer negatief (namelijk  $-5\text{ V}$ ). Daardoor zal  $i_d(t)$  zich terug stabiliseren op nul en zal  $u_d(t)$  terug  $-5\text{ V}$  worden. Dit betekent dat de diode terug gesperd is.

Ook deze laatste overgang of omschakeling van de geleidende toestand naar de stabiel gesperde toestand (de zogenaamde “reverse recovery”) neemt een zekere tijd in beslag. Deze tijd is zelfs meestal beduidend groter dan deze voor de omgekeerde omschakeling. Geef minstens één reden waarom de diode pas een relatief lange tijd na  $t_2$  haar stabiele spertoestand ( $i_d(t) \cong 0$  en  $u_d(t) \cong -5\text{ V}$ ) zal bereiken.

Dit alles betekent dat een diode niet oneindig snel kan omschakelen van de stabiel geleidende naar de stabiel gesperde toestand (t.t.z. uitschakelen) of omgekeerd (t.t.z. inschakelen). Elke omschakeling duurt een zekere tijd.

De uitschakeltijd varieert typisch van enkele ns bij de zogenaamde “klein signaal-diodes” (dus diodes met een beperkte  $I_{FM}$  en  $U_{RM}$  van bijvoorbeeld 50 mA en 50 V) tot meerdere honderden  $\mu$ s bij “zware” vermogendiodes (dus diodes met bijvoorbeeld een  $I_{FM}$  en een  $U_{RM}$  van 24 A en 500 V). Normaal geldt dus: hoe “zwaarder” de diode, hoe geringer haar omschakelsnelheid. Verklaar dit.

De inschakeltijden zijn doorgaans veel korter dan de uitschakeltijden.

## 2.2: Fast recovery diodes

Er bestaan bijzondere diodes, de zogenaamde “fast recovery”-diodes, die forse stromen (bijvoorbeeld tussen 5 A en 20 A) en forse inverse spanningen (bijvoorbeeld 500 V) kunnen verwerken, en toch slechts relatief beperkte omschakeltijden vertonen. Die inschakeltijden en uitschakeltijden kunnen gerust 20 keer korter zijn dan bij de gewone diodes.

Bij de eerder bestudeerde gelijkrichterschakelingen op netfrequentie kunnen zonder problemen gewone diodes toegepast worden. Soms moeten echter AC-signalen met een veel hogere frequentie gelijkgericht worden (bijvoorbeeld 20 kHz). Hier zullen gewone diodes niet aan de eisen voldoen en moeten fast-recovery diodes gebruikt worden.

Een praktische toepassing van diodes die voldoende snel moeten schakelen vindt men onder meer bij de “schakelende voedingen” die in het derde jaar bestudeerd worden. Meer uitleg over dergelijke schakelingen vindt u in het boek ‘Van elektronische vermogencontrole tot aandrijftechniek’ van J. Pollefliet.

Merk wel op dat de schakeltijden in sterke mate afhankelijk zijn van de toegepaste voorwaartse diodestroom en de toegepaste sperspanning. Hoe kleiner deze stroom en hoe groter de toegepaste sperspanning, hoe sneller de diode zal uitschakelen. De schakelsnelheden van diverse diodes kunnen dus slechts vergeleken worden als zij in gelijke omstandigheden (gelijke testspanningen en teststromen) gemeten worden.

## 2.3: Schottky diodes

Schottky-diodes bestaan uit een metaal/halfgeleider-junctie. Ze hebben zéér korte schakeltijden. Ze hebben bovendien het kenmerk dat hun voorwaartse spanningsval slechts ongeveer de helft van deze bij gewone Si-diodes bedraagt. Dus een spanningsval van 0,35 V in de plaats van 0,7 V of 0,8 V is realistisch. Ga zelf snel na welke voordelen deze laatste eigenschap biedt bij de gelijkrichting van AC-signalen.

Er bestaan zowel “klein signaal” als “high current” Schottky-diodes. Bij deze laatste is een voorwaartse stroom van 30 A best mogelijk.

Nadelig bij deze Schottky-diodes is enerzijds de hoge kostprijs en anderzijds het feit dat ze slechts bestand zijn tegen relatief lage inverse spanningen (maximaal enkele tientallen Volt).

## 2.4: De puntcontactdiode

Een derde type diode die snel kan schakelen is een puntcontactdiode.

Zoals we reeds in het eerste hoofdstuk vermeld hebben, is een diode opgebouwd uit een PN-junctie. Bij een “normale” diode is er een min of meer groot contactoppervlak tussen het P-materiaal en het N-materiaal. Dank zij dit min of meer groot contactoppervlak kan door de diode soms zelfs enkele honderden Ampères stroom vloeien. Een dergelijke “normale” diode wordt vaak een junctiediode genoemd.

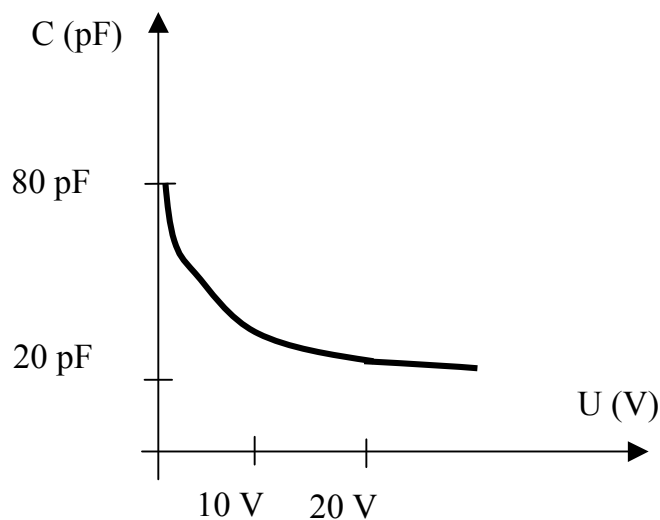
Een variante diodeconstructie bestaat erin een N-materiaal (vaak Germanium) te monteren op een geleidende drager. Een metaaldraad (bijvoorbeeld uit goud vervaardigd) drukt verend op het N-materiaal. Dat N-materiaal en die metaaldraad vormen samen een PN-junctie, dus een diode. Meer specifiek een puntcontactdiode.

Bij een puntcontactdiode is het contactoppervlak tussen het P-materiaal en het N-materiaal erg klein. Dit heeft tot gevolg dat de puntcontactdiode enkel bruikbaar is voor kleine stroomsterkten. Het voordeel van een dergelijke puntcontactdiode is echter het feit dat zijn shuntcapaciteit  $C_d$  in zijn AC-equivalent schema (zie Figuur 1.17 in Hoofdstuk 1) erg klein is. Een puntcontactdiode is dan ook vooral nuttig bij hoogfrequente toepassingen.

Een puntcontactdiode wordt onder meer gebruikt bij AM-detectoren. Het nut en de werking van AM-detectoren is besproken in het vijfde hoofdstuk van de huidige cursus.

## 3: De capaciteitsdiode

De capaciteitsdiode of varicapdiode is een invers gepolariseerde junctiediode. De invers gepolariseerde diode gedraagt zich als een capaciteit. De relatie tussen de invers aangelegde spanning  $U$  en de capaciteitswaarde is weergegeven in Figuur 4.2.



Figuur 4.2: Capaciteitswaarde van varicapdiode

De op deze manier gevormde capaciteit heeft een zeer hoge verliesweerstand (grootte orde  $G\Omega$ ) en is bruikbaar tot erg hoge frequenties (grootte orde 60 GHz).

#### 4: Speciale zenerdiodes

De twee speciale zenerdiodes waarop we in deze cursus de aandacht willen vestigen zijn de BGSR en de transorb. Hiervoor verwijzen we echter naar Hoofdstuk 3.

#### 5: Opto-elektrische componenten

In deze paragraaf bespreken we de werking van de lichtemitterende diode en de fotodiode. We besluiten met een korte uitleg over de fotocel die niet echt een diode is maar die wel opgebouwd kan zijn uit P-materiaal en N-materiaal.

##### 5.1: De LED

Een LED (= light emitting diode) is een diode (PN-junctie) die licht uitstraalt indien er in de doorlaatrichting voldoende stroom door de diode gestuurd wordt. Een LED werkt klassiek met een  $I_F = 20 \text{ mA}$ , maar indien een geringere lichtintensiteit volstaat, wordt vaak een  $I_F = 5 \text{ mA}$  tot  $10 \text{ mA}$  genomen.

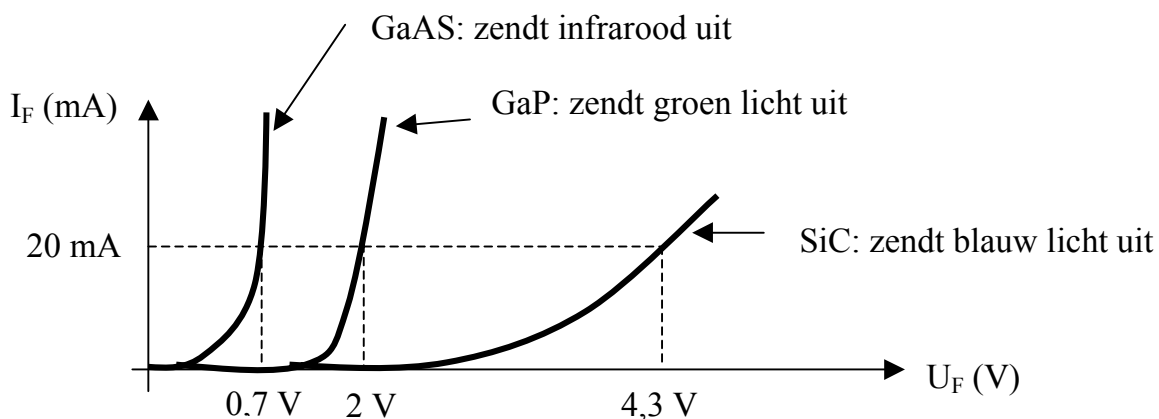
Bij een voorwaarts geleidende LED wordt elektrische energie omgevormd tot elektromagnetische energie onder de vorm van elektro-magnetische golven (lichtgolven). Een LED kan zichtbaar licht (bijvoorbeeld groen, geel, rood) of onzichtbaar licht (bijvoorbeeld infrarood) uitstralen.

Het soort licht (dus de kleur, golflengte, frequentie) dat een LED uitstraalt is afhankelijk van de dopering van het P-materiaal en het N-materiaal. Is bijvoorbeeld

het P-materiaal gedopeerd met Gallium (Ga) en het N-materiaal met Fosfor (P), dan zendt de LED doorgaans groen licht uit (ook geel licht is mogelijk). Is bijvoorbeeld het P-materiaal gedopeerd met Gallium (Ga) en het N-materiaal met Arsenicum (As) dan zendt de LED infrarood licht uit.

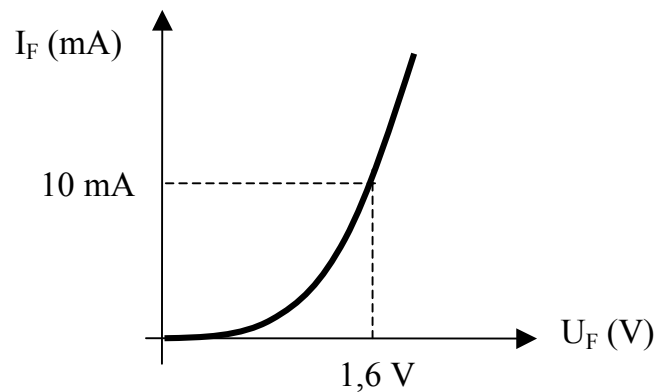
Indien door een voorwaarts gepolariseerde LED een nominale stroom vloeit van bijvoorbeeld  $I_F = 20 \text{ mA}$ , dan bedraagt de spanning over de LED 1,3 V tot 3 V. Deze spanning is afhankelijk van het gebruikte halfgeleidermateriaal en de gebruikte verontreiniging. Wat meteen betekent dat de spanning  $U_F$  afhankelijk is van de kleur van het uitgestraalde licht.

Inderdaad, de spanning-stroom-karakteristiek van een LED is in sterke mate afhankelijk van het gebruikte type LED en meer specifiek van de lichtkleur welke deze LED uitstraalt. Dit illustreren we aan de hand van Figuur 4.3. Dit betekent, zoals reeds gesteld, dat LED's welke een verschillende kleur uitstralen een verschillende spanning  $U_F$  hebben bij een zelfde stroom  $I_F$ .



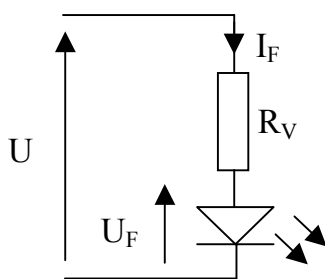
Figuur 4.3: Spanning-stroom-karakteristiek van een aantal LED's

Meestal is de voedingsspanning  $U$  groter dan de diodespanning  $U_F$  die over de geleidende LED staat. We willen bijvoorbeeld dat een stroom  $I_F = 10 \text{ mA}$  vloeit door de LED. Als nu deze  $I_F = 10 \text{ mA}$  aanleiding geeft tot een spanning  $U_F = 1,6 \text{ V}$  zoals weergegeven in Figuur 4.4 dan moeten we een extra voorschakelweerstand in serie met de LED plaatsen zoals weergegeven in Figuur 4.5.



Figuur 4.4: Spanning-stroom-karakteristiek van een LED

Als we aannemen dat de voedingsspanning  $U = 12\text{ V}$ , dan heeft de voorschakelweerstand  $R_V$  de waarde  $R_V = (U - U_F)/I_F \cong 1\text{ k}\Omega$ .



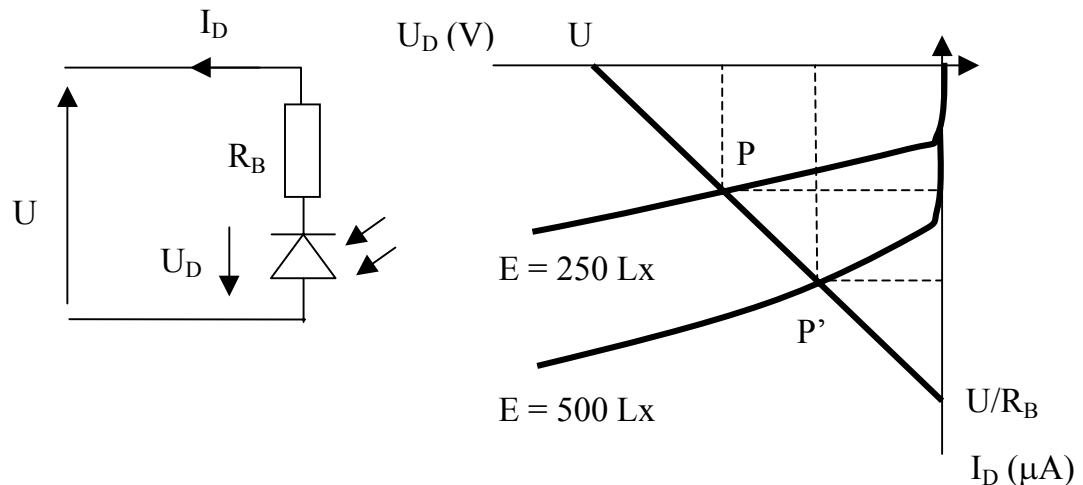
Figuur 4.5: LED met voorschakelweerstand  $R_V$

## 5.2: De fotodiode

Een fotodiode is in zekere zin complementair aan een LED. Een LED is een diode die licht uitstraalt indien er voldoende stroom door vloeit. Een fotodiode is daarentegen een diode die in geleiding komt indien er voldoende licht op invalt. Een fotodiode zendt dus zelf geen licht uit maar zijn spanning-stroom-karakteristiek is afhankelijk van de lichtinval.

Een fotodiode is steeds gevoelig voor bepaalde lichtfrequenties (dus kleuren) en voor andere lichtfrequenties is deze dan niet of minder gevoelig. Zo heb je fotodiodes die bijvoorbeeld gevoelig zijn voor infrarood licht en fotodiodes die gevoelig zijn voor zichtbaar licht.

Een fotodiode is steeds invers gepolariseerd in serie met een belastingsweerstand zoals hieronder weergegeven in Figuur 4.6.



Figuur 4.6: Fotodiode

Indien de verlichtingssterkte (uitgedrukt in lux = lx) van de fotodiode klein is, dan vloeit er weinig stroom en staat er veel spanning over de diode. De spanning over de belastingsweerstand  $R_B$  is klein. Dit is het werkingspunt P in Figuur 4.6.

Indien de verlichtingssterkte van de fotodiode groter is, dan geleidt de fotodiode beter en vloeit er een grotere stroom. De spanning over de belastingsweerstand is dan hoger. Dit is dan het werkpunt  $P'$  in Figuur 4.6. Indien de verlichtingssterkte nog verder toeneemt zal er nog meer spanning over de belastingsweerstand staan.

Fotodiodes worden onder meer gebruikt bij ponsbandlezers, aan-uit-regelaars, digitale meetelementen voor lineaire posities en hoekposities.

### 5.3: De fotonvoltaïsche cel

Bij het gebruik van een fotodiode zoals in Figuur 4.6 weergegeven is, is er een spanningsbron  $U$  aanwezig. Afhankelijk van de lichtinval op de fotodiode is er al dan niet stroomgeleiding waardoor er al dan niet spanning over  $R_B$  staat. De fotodiode zelf genereert geen spanning.

Fotovoltaïsche cellen zijn net zoals een diode (en een fotodiode) meestal opgebouwd uit een P-materiaal en een N-materiaal. Fotovoltaïsche cellen genereren zelf een elektrische spanning indien er licht op invalt. Ze zetten dus de lichtenergie die invalt om in elektrische energie.

Fotovoltaïsche cellen worden onder meer gebruikt als zonnecel voor het voeden van zakrekenmachientjes, parkeermeters enzovoort. Het is ook mogelijk om via zonnecellen elektrische energie op te wekken, deze op te slaan met behulp van een accumulator en de elektrische energie pas later te gebruiken.