

## Hoofdstuk 10: Speciale types transistoren

In dit korte hoofdstuk zullen we een overzicht geven van de belangrijkste types bipolaire transistoren die in de handel verkrijgbaar zijn.

### 1: Transistoren voor kleine signalen

Zoals de naam het zelf zegt, behandelen we in deze paragraaf transistoren die geschikt zijn om relatief lage stromen en spanningen (en dus relatief lage vermogens) te verwerken. Dergelijke transistoren zijn vrij klein qua afmetingen omdat er omwille van de vermogens relatief weinig warmte aan de omgeving afgegeven moet worden.

De transistoren voor kleine signalen worden onderverdeeld in transistoren die geschikt zijn voor laagfrequente toepassingen (bijvoorbeeld een BC107) en transistoren die geschikt zijn voor hoogfrequente toepassingen (bijvoorbeeld een BF509).

#### 1.1: De BC107

Er is een zeer uitgebreid gamma aan laagfrequent kleinsignaal transistoren op de markt. De verschillende types transistoren hebben elk een gestandaardiseerde codering zoals bijvoorbeeld de BC107. De eerste letter B betekent (volgens de Europese Pro-elektron code) dat het halfgeleiderelement uit silicium vervaardigd is. De tweede letter C betekent dat we te maken hebben met een kleinsignaaltransistor voor audio toepassingen met een thermische weerstand groter dan  $15^{\circ}\text{C/W}$ . Het serienummer 107 geeft bij benadering een indicatie weer over de productiedatum van het onderdeel. Het serienummer geeft niet direct nuttige informatie over het halfgeleiderelement.

We laten het aan de geïnteresseerde student over om de datasheets van de BC107 op het internet op te zoeken en te constateren dat de voornaamste specificaties van een BC107 zijn:

- De BC107 is een NPN transistor
- $I_{CM} = 200 \text{ mA}$  (maximaal toegelaten collector-piekstroom)
- $U_{CEO} = 45 \text{ V}$
- Bij een  $I_C = 2 \text{ mA}$  en een  $U_{CE} = 5 \text{ V}$  is
  - de minimale  $h_{FE} = 110$  voor de BC107A
  - de minimale  $h_{FE} = 200$  voor de BC107B
  - de minimale  $h_{FE} = 420$  voor de BC107C
- $f_T$  is minimaal 100 MHz bij een  $I_C = 10 \text{ mA}$  en  $U_{CB} = 5 \text{ V}$ .
- Bij een  $I_C = 100 \text{ mA}$  en een  $I_B = 5 \text{ mA}$  is
  - de typische  $U_{CEK} = 0,2 \text{ V}$
  - de maximale  $U_{CEK} = 0,6 \text{ V}$ .

Bemerk het onderscheid tussen de BC107A, de BC107B en de BC107C. De A duidt op een lage stroomversterking, de B duidt op een middelmatige stroomversterking en de C duidt op een hoge stroomversterking.

Naast de NPN-transistor BC107 is er ook een PNP-complement op de markt, namelijk de BC177.

### 1.2: De BC546, de BC547, de BC556 en de BC557

De BC546 en de BC547 zijn allebei veel gebruikte NPN-kleinsignaal transistoren. We laten het over aan de geïnteresseerde student om de datasheets van deze transistoren op het internet op te zoeken. Vergelijk deze specificaties met deze van de BC107.

Naast de NPN-transistoren BC546 en BC547 zijn ook hun PNP-complementen op de markt, de BC556 en de BC557.

### 1.3: Hoogfrequent transistoren

De BC107 heeft een  $f_T$  van minimaal 100 MHz. Dit betekent dat de fabrikant garandeert dat de transistor bij een frequentie van 100 MHz nog steeds (nog net) een  $h_{fe} = 1$  heeft. Anders gezegd, de frequentie waarbij  $h_{fe} = 1$  is, is groter of gelijk aan 100 MHz.

Bij hoogfrequent transistoren is de transitiefrequentie  $f_T$  een stuk hoger dan bij een gewone kleinsignaaltransistor zoals bijvoorbeeld de BC107 of de BC546 die enkel bruikbaar zijn bij relatief lage frequenties.

Bij wijze van voorbeeld beschouwen we de BFT25A die een NPN hoogfrequent transistor is. We laten het over aan de geïnteresseerde student om de datasheets van deze transistor op het internet op te zoeken en daar te verifiëren dat  $f_T$  een typische waarde heeft van 5 GHz. De transitiefrequentie is minimaal 3,5 GHz. Dit betekent dat de transistor bruikbaar is tot frequenties van ongeveer 2 GHz wat hem onder meer bruikbaar maakt om radiofrequente signalen in zaktelefoons te versterken. Zoiets is ondenkbaar met een klassieke BC107 of BC546.

Bij het opzoeken van de datasheets op bijvoorbeeld het internet zult u zien dat de BFT25A een zogenaamd surface mounted device is. Als u daarentegen de datasheets opzoekt van de BFR96 (een hoogfrequent transistor met een  $f_T$  van 5 GHz als typische waarde) ziet u dat dit geen surface mounted device is. Wat wel direct opvalt is de speciale layout van een hoogfrequent transistor. Deze speciale layout is bedoeld om parasitaire capaciteiten zoveel mogelijk te beperken. Zonder het beperken van die parasitaire capaciteiten kan onmogelijk een dergelijk hoge  $f_T$  bereikt worden.

Bemerk de codering volgens de Europese Pro-elektron code. De eerste letter B geeft aan dat het een silicium halfgeleider element is. De tweede letter F geeft aan dat het

een klein signaal hoogfrequent transistor is. Meer uitleg in verband met de codering van halfgeleiderelementen (niet enkel transistoren) vindt u zowel op de webpagina met adres [http://www.vego.nl/18/01/18\\_01\\_01.htm](http://www.vego.nl/18/01/18_01_01.htm) en als op de webpagina met adres <http://www.khbo.be/~peuteman/cursus.htm>.

## 2: Schakeltransistoren

Het is de bedoeling een schakeltransistor zo te schakelen dat ze ofwel in gesatureerde mode ofwel in cut-off mode werkt. De overgang van de ene toestand naar de andere kan zeer snel gebeuren wat een hoge schakelsnelheid mogelijk maakt.

Een tweede typisch kenmerk van een schakeltransistor is de lage kniespanning  $U_{CEK}$ . Een voorbeeld van een schakeltransistor is de 2N2219A. De voornaamste specificaties van een dergelijke 2N2219A-transistor zijn:

- De 2N2219A is een NPN schakeltransistor
- $I_{CM} = 800 \text{ mA}$  (maximaal toegelaten collector-piekstroom)
- $U_{CEO} = 40 \text{ V}$
- Bij een  $I_C = 10 \text{ mA}$  en een  $U_{CE} = 10 \text{ V}$  is de minimale  $h_{FE} = 75$
- $f_T$  is minimaal 300 MHz bij een  $I_C = 20 \text{ mA}$  en een  $U_{CE} = 20 \text{ V}$ .
- Bij een  $I_C = 150 \text{ mA}$  en een  $I_B = 15 \text{ mA}$  is de maximale  $U_{CEK} = 0,3 \text{ V}$ .

Bij een schakeltransistor geeft de fabrikant eveneens de “turn-on time”  $t_{on}$  en de “turn-off time”  $t_{off}$ . Bij de 2N2219A is  $t_{on} = 35 \text{ ns}$  wat betekent dat de transistor 35 ns nodig heeft om vanuit cut off mode om te schakelen naar gesatureerde mode (met een  $I_{Con} = 150 \text{ mA}$  en een  $I_{Bon} = 15 \text{ mA}$ ). Dezelfde transistor heeft een  $t_{off} = 250 \text{ ns}$  wat betekent dat de transistor 250 ns nodig heeft om vanuit gesatureerde mode (met een  $I_{Con} = 150 \text{ mA}$  en een  $I_{Bon} = 15 \text{ mA}$ ) naar cut off mode om te schakelen.

Bemerk hier dat de codering niet volgens de Europese Pro-elektron code gebeurd is, maar volgens de Amerikaanse JEDEC-code. Het eerste kencijfer 2 duidt op een transistor. De N is altijd aanwezig. Het serienummer 2219 geeft niet direct nuttige informatie over het halfgeleiderelement. Het serienummer geeft alleen bij benadering enige informatie over de introductiedatum. Het achtervoegsel A duidt opnieuw op een lage versterkingsfactor.

Meer uitleg in verband met de codering van halfgeleiderelementen (niet enkel transistoren) vindt u op de webpagina met adres [http://www.vego.nl/18/01/18\\_01\\_01.htm](http://www.vego.nl/18/01/18_01_01.htm) en op de webpagina met adres <http://www.khbo.be/~peuteman/cursus.htm>. Op deze webpagina vindt u zowel uitleg in verband met de Europese Pro-elektron code, de Amerikaanse JEDEC-code en de Japanse JIS-code.

## 3: Vermogentransistoren

Vermogentransistoren zijn bestand tegen grotere spanningen en stromen dan bijvoorbeeld de kleinsignaaltransistoren. Bij deze vermogentransistoren zijn dan ook de grenswaarden qua spanning, stroom en vermogen de kenmerkende grootheden.

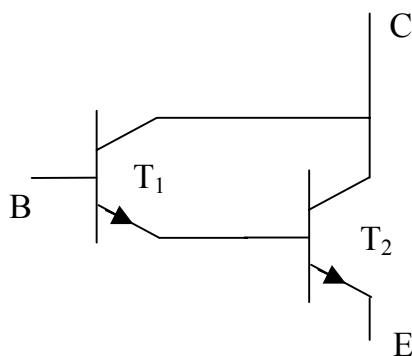
Twee voorbeelden van vermogentransistoren zijn de NPN transistor BD139 en de PNP transistor BD140. De kenletters B en D duiden aan dat we te maken hebben met silicium vermogentransistoren. De voornaamste specificaties van de BD139 zijn:

- $I_{CM} = 2 \text{ A}$  (maximaal toegelaten collector-piekstroom)
- $U_{CEO} = 80 \text{ V}$
- Bij een  $I_C = 500 \text{ mA}$  en een  $U_{CE} = 2 \text{ V}$  is de minimale  $h_{FE} = 25$
- Bij een  $I_C = 150 \text{ mA}$  en een  $U_{CE} = 2 \text{ V}$  is de minimale  $h_{FE} = 63$  en de maximale  $h_{FE} = 160$ .

Wanneer deze specificaties vergeleken worden met de specificaties van een kleinsignaaltransistor zoals bijvoorbeeld de BC107, dan zien we dat de toegelaten spanningen en stromen inderdaad een flink stuk groter zijn. Wat echt kleiner geworden is, dat is de stroomversterkingsfactor  $h_{FE}$ .

#### 4: De Darlington transistor

Teneinde hogere stroomversterkingsfactoren  $h_{fe}$  en  $h_{FE}$  te bekomen, gebruikt men vaak een Darlington transistor.



Figuur 10.1: De Darlington transistor

We noteren respectievelijk de basisstroom, de collectorstroom en de emitterstroom van  $T_1$  als  $I_{B1}$ ,  $I_{C1}$  en  $I_{E1}$ . We noteren respectievelijk de basisstroom, de collectorstroom en de emitterstroom van  $T_2$  als  $I_{B2}$ ,  $I_{C2}$  en  $I_{E2}$ . Uit Figuur 10.1 volgt dat de totale basisstroom  $I_B = I_{B1}$ , de totale collectorstroom  $I_C = I_{C1} + I_{C2}$  en dat de totale emitterstroom  $I_E = I_{E2}$ .

Aangezien  $I_{C1} = h_{FE1} I_{B1}$ ,  $I_{E1} = (1 + h_{FE1}) I_{B1}$ ,  $I_{E1} = I_{B2}$ ,  $I_{C2} = h_{FE2} I_{B2}$ ,  $I_{E2} = (1 + h_{FE2}) I_{B2}$  geldt dat  $I_C = h_{FE1} I_{B1} + h_{FE2} I_{B2} = (h_{FE1} + h_{FE2} (1 + h_{FE1})) I_B$ . De totale stroomversterking van de Darlington is bijgevolg  $h_{FE1} + h_{FE2} (1 + h_{FE1}) \cong h_{FE1} h_{FE2}$ .

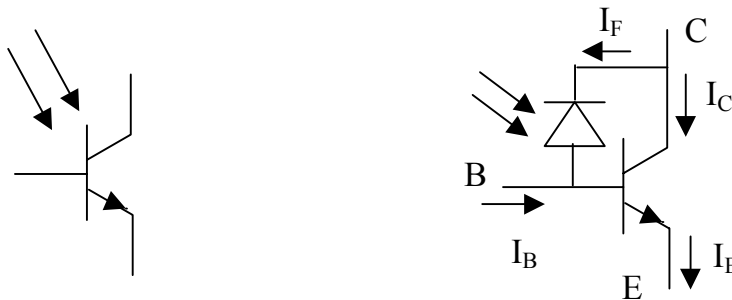
Meteen is duidelijk dat de totale stroomversterking  $h_{FE} \cong h_{FE1} h_{FE2}$  een flink stuk groter is dan de stroomversterking van enkel  $T_1$  of  $T_2$ .

Een gelijkaardige afleiding kan gebeuren voor de AC-stroomversterkingsfactor zodat  $h_{fe} \cong h_{fe1} h_{fe2}$ .

## 5: Opto-elektrische componenten

### 5.1: De fototransistor

Een fototransistor is opgebouwd uit een fotodiode en een transistor.



Figuur 10.2: De fototransistor: symbolische voorstelling en interne bouw

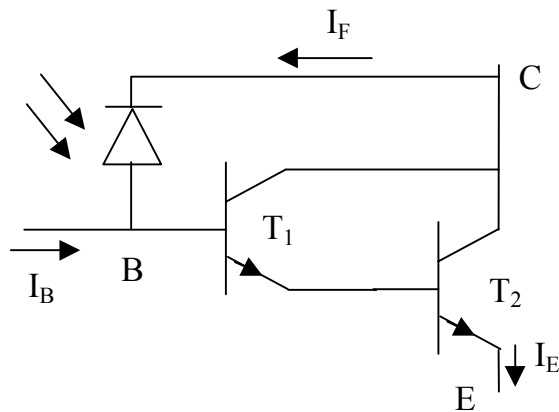
Steunende op Figuur 10.2 is het duidelijk dat  $I_E = (1 + h_{FE}) (I_B + I_F)$ . De stroom  $I_B$  vloeit uitwendig en de stroom  $I_F$  vloeit inwendig doorheen de fotodiode. Dit betekent dat ook in het geval dat  $I_B = 0$ , er een emitterstroom  $I_E$  is (toch in de veronderstelling dat de stroom  $I_F$  verschillend van nul is). Het zal in de praktijk dan ook vaak voorkomen dat de basis B gewoon open gelaten wordt.

Stellen we nu eenvoudigheidshalve  $I_B = 0$  zodat  $I_E = (1 + h_{FE}) I_F$ . We stellen vast dat  $I_F$  (en dus ook  $I_E$ ) afhankelijk is van de lichtinval op de fotodiode. Hoe meer lichtinval, hoe groter  $I_F$  en hoe groter  $I_E$ . We kunnen dus stellen dat de fotodiode beter geleidt naarmate er meer licht op invalt en dat ze minder geleidt naarmate er minder licht op invalt.

Bemerk wel dat een fototransistor, net zoals een fotodiode, een spectrale gevoeligheid heeft die verschilt van fototransistor tot fototransistor. Zo zal bijvoorbeeld de ene fototransistor gevoelig zijn voor zichtbaar licht en ongevoelig voor infrarood licht. Bij een andere fototransistor is het dan bijvoorbeeld net omgekeerd.

## 5.2: De foto-Darlington

Qua werking is een foto-Darlington sterk verwant met een fototransistor. De transistor in Figuur 10.2 is gewoonweg vervangen door een Darlington schakeling.



Figuur 10.3: De foto-Darlington

Naar analogie met de resultaten in voorgaande paragraaf bekomen we dat bij benadering geldt dat  $I_E \cong h_{FE1} h_{FE2} (I_B + I_F)$ . De stroom  $I_F$  is afhankelijk van de lichtinval.

## 6: Transistorbehuizingen

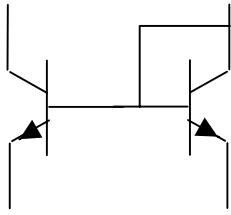
Als we eens terugkijken naar de BC107, dan blijkt dat deze transistor een metalen behuizing heeft (TO-18). De BC547 heeft daarentegen een zwarte plastieken behuizing (TO-92). Een overzicht van de meest voorkomende transistorbehuizingen vindt u onder meer op de webpagina met adres <http://www.sound.au.com/trans.htm> (of <http://sound.westhost.com/trans.htm>) en eveneens op de webpagina met adres <http://www.khbo.be/~peuteman/cursus.htm>.

Er zijn ook transistoren beschikbaar in een IC-behuizing. Deze IC-behuizing kan van het type DIP (dual-in-line-package) zijn of het kan een surface mounted device zijn.

Indien men de IC-behuizingen van naderbij bekijkt kan het zijn dat deze één enkele transistor bevat zoals de BC847F (surface mounted device). Vaak echter bevat één enkele behuizing meerdere transistoren.

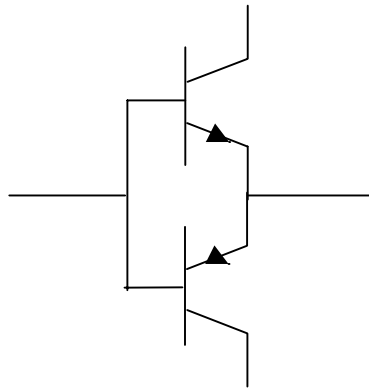
Zo bevat bijvoorbeeld de BC847BPN (ook een surface mounted device) een NPN-transistor en een PNP-transistor in één enkele behuizing. Die twee transistoren zijn binnenin het IC niet met elkaar verbonden.

Zo zijn er op de markt vele varianten beschikbaar. De BCV61 bevat intern de schakeling van Figuur 10.4 (stroomspiegel).



Figuur 10.4: Interne schakeling BCV61

Een andere variant is de BCV65 (push-pull).



Figuur 10.5: Interne schakeling BCV65

Naast deze twee configuraties weergegeven in Figuur 10.4 en Figuur 10.5, is een heel gamma beschikbaar op de markt waar we nu niet verder op kunnen ingaan. We sluiten deze paragraaf af met een korte vermelding van de zogenaamde multi-transistoren.

Men spreekt van multi-transistoren indien men verscheidene transistoren in één omhulsel heeft. Deze transistoren kunnen al of niet met elkaar verbonden zijn. Een voorbeeld hiervan is de CA3096 die 3 NPN-transistoren en 2 PNP-transistoren bevat.