

Alle begin...

...wordt eindelijk actief!

Eric Bogers (Elektor)

We hebben het in een eerdere aflevering van deze serie al eens opgemerkt: alle onderdelen waar een halfgeleiderkristal in zit (zoals dioden), worden ‘actieve’ componenten genoemd. Maar eigenlijk klopt dat niet wanneer we het begrip ‘actief’ heel streng nemen: alleen onderdelen die een stroom of spanning versterken, zijn ‘echte’ actieve onderdelen. En dus betreden we pas nu, met de transistor, het territorium van de actieve onderdelen.

Het woord *transistor* is een neologisme dat is samengesteld uit de Engelse woorden *transfer* en *resistor* – met een knipoog zouden we de transistor dus een ‘overdrachtelijke weerstand’ kunnen noemen (maar wees gerust: dat doet niemand). En inderdaad: de weerstand van deze component kan met behulp van een stuurspanning worden gevarieerd. Transistoren hebben de triomftocht van de elektronica pas goed mogelijk gemaakt doordat ze veel kleiner en minder kwetsbaar zijn dan elektronenbuizen, en omdat ze een duidelijk geringer vermogen opnemen. Dankzij transistoren werden geïntegreerde schakelingen (*integrated circuits*, IC's) mogelijk, dat wil zeggen de combinatie van zeer veel (actieve en passieve) onderdelen op een *chip* – bij moderne microprocessoren praten we dan over vele miljoenen transistoren die in één behuizing zijn ondergebracht.

We beginnen echter met de transistor als ‘losse’ component; geïntegreerde schakelingen komen in een latere aflevering aan de orde. Ook al bestaat er tegenwoordig voor veel toepassingen een kant-en-klare oplossing in de vorm van een IC, toch moeten we regelmatig nog een greep in de bak met ‘losse’ transistoren doen – bijvoorbeeld wanneer we met de eindtransistoren van een vermogensversterker te maken hebben.

Figuur 1 toont enkele transistoren. Als vuistregel geldt een



Figuur 1. Enkele transistoren. (bron: Shutterstock / Edkida).

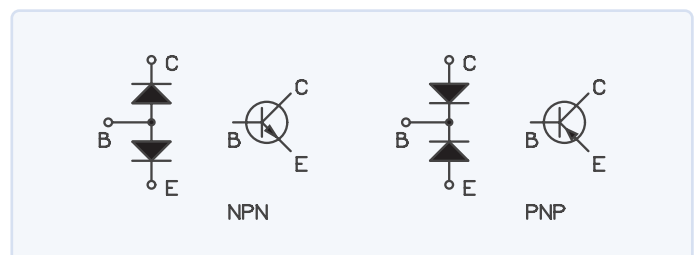
transistor des te meer vermogen kan verwerken naarmate hij groter is en zijn behuizing een ‘metaliger’ indruk maakt.

De bipolaire transistor als schakelaar

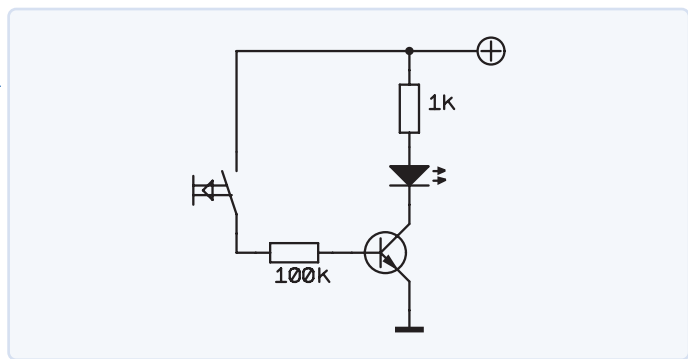
Wanneer we het over een ‘normale’ transistor hebben, bedoelen we een bipolaire transistor die in npn- en pnp-uitvoering verkrijgbaar is; deze letters geven de volgorde aan van de n- en p-gedoteerde siliciumlagen waaruit de transistor is opgebouwd.

Heel sterk vereenvoudigd gesteld kunnen transistoren als schakelaar of als versterker worden gebruikt. Als eerste werpen we een blik op de transistor als schakelaar omdat de werking daarvan gemakkelijker te begrijpen is. Pas daarna zullen we ons om de eigenschappen van de transistor als versterker bekommeren.

In **figuur 2** zien we links een npn-transistor en rechts een pnp-exemplaar, in beide gevallen als een combinatie van twee dioden. In de praktijk wordt een transistor nooit toegepast als een simpele vervanging voor twee diodes, maar wanneer we met een doorgangstester willen controleren of we met een npn- of een pnp-transistor te maken hebben (en of die het nog ‘doet’ dan wel is doorgebrand), dan is het handig wanneer we dit vervangingsschema in gedachten hebben.



Figuur 2. Vervangingsschema van de transistor. C = collector, B = basis en E = emitter.



Figuur 3. De transistor als schakelaar.

Figuur 3 toont een transistor die als schakelaar wordt gebruikt. In de voorbeelden in deze aflevering gebruiken we overigens steeds npn-transistoren omdat die gemakkelijker te begrijpen zijn wanneer u de 'technische stroomrichting' (van plus naar min) in gedachten houdt. Elk voorbeeld kan echter zonder meer naar pnp-transistoren worden vertaald door gewoon alle gepolariseerde onderdelen (dioden, elco's en uiteraard de voedingsspanning) om te polen.

Terug nu naar figuur 3. We hebben hier te maken met twee stroomkringen: een voor de stuurstroom en een voor de belasting. De stuurstroom loopt via de schakelaar, de serieweerstand en de basis/emitter-diode van de transistor. Het is via deze BE-overgang dat de transistor wordt gestuurd. Wanneer er een stroom door deze overgang loopt, gaat de transistor in geleiding; als er hier geen stroom loopt, dan spert de transistor.

De BE-overgang gedraagt zich als een gewone diode; pas wanneer de spanning erover een waarde van ongeveer 0,7 V bereikt (net als bij gewone siliciumdiodes) gaat er een stroom lopen.

De andere stroomkring loopt via de serieweerstand van de LED en de LED zelf via de CE-overgang van de transistor. Eigenlijk zou daar geen stroom mogen lopen omdat de CB-diode immers in sperrichting staat. In de praktijk loopt de stroom dan ook niet via de CB-diode, maar rechtstreeks van de collector naar de emitter – zodat er ook geen 0,7 V over de CE-overgang valt.

Dat dit functioneert, is te danken aan de speciale manier waarop de verschillende halfgeleiderlagen zijn gerangschikt – het is ten enen male onmogelijk om met een paar losse dioden een transistor in elkaar te knutselen!

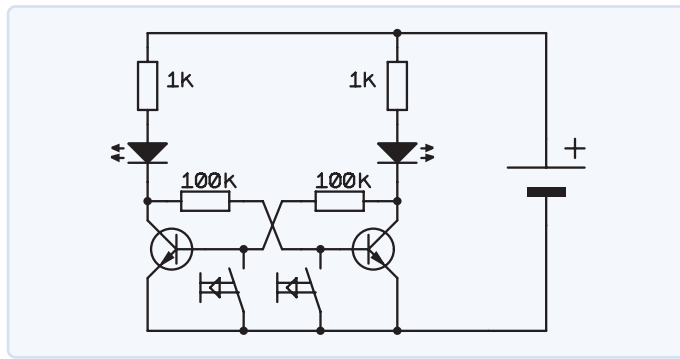
U vraagt zich nu waarschijnlijk (en terecht) af waarom we in de schakeling van figuur 3 een transistor en een extra weerstand gebruiken in plaats van de LED rechtstreeks met de schakelaar te bedienen. U hebt helemaal gelijk: in dit specifieke voorbeeld is dat nergens voor nodig...

Weliswaar is de stroom die door de schakelaar loopt hier een factor 100 of zo kleiner dan de stroom door de LED, maar u zult heel wat moeite moeten doen om een schakelaar te vinden die niet tegen de LED-stroom bestand zou zijn. De schakeling zoals hier geschetst is echter ook geschikt om veel grotere stromen (en spanningen) te schakelen: het is namelijk helemaal niet verplicht om de stuurkring en de belastingkring uit dezelfde spanningsbron te voeden. Dat betekent niets anders dan dat het dankzij de transistor mogelijk is om met een stuurspanning van een paar volt een veel hogere spanning te schakelen – vooropgesteld natuurlijk dat de juiste transistor wordt gebruikt.

De bistabiele multivibrator (flipflop)

We bekijken nu een paar zogenaamde multivibratoren – dat zijn schakelingen die tussen twee gedefinieerde toestanden omschakelen. **Figuur 4** toont de bistabiele multivibrator, die in het dagelijks leven meestal flipflop wordt genoemd.

Deze schakeling wordt bistabiel genoemd omdat hij twee stabiele



Figuur 4. Bistabiele multivibrator.

toestanden kent: ofwel brandt de linker LED ofwel de rechter. Wanneer niet op een van beide druktoetsen wordt gedrukt zal de schakeling nooit van toestand veranderen.

Laten we eens aannemen dat de linker transistor in geleiding is – de linker LED brandt dus. De spanning tussen collector en emitter van die transistor is dan laag (ongeveer 0,1 V) en dat is niet genoeg om de rechter transistor in geleiding te krijgen (daarvoor is minimaal een spanning van 0,7 V nodig). De rechter transistor spert zodoende, diens CE-spanning is ongeveer gelijk aan de voedingsspanning U_V , en dat betekent weer dat de linker transistor via de rechter weerstand van 100 k Ω gegarandeerd doorgeschakeld blijft. We hebben hier dus met een stabiele toestand te maken.

Zodra we echter op de linker toets drukken, neemt de BE-spanning van de linker transistor af tot nul, zodat deze transistor gaat sperren en diens CE-spanning tot ongeveer U_V toeneemt. De linker LED dooft en via de rechter weerstand van 100 k Ω wordt de rechter transistor in geleiding gebracht. Diens CE-spanning neemt tot vrijwel 0 V af en de rechter LED licht op. Nu kan de linker transistor niet meer in geleiding komen – ook niet als we de drukknop weer loslaten. We hebben dus weer een stabiele toestand, maar nu tegengesteld aan de beginsituatie.

De schakeling blijft net zolang in deze stabiele toestand tot iemand zo vriendelijk is om op de rechter druktoets te drukken en de schakeling weer omklapt naar de andere stabiele toestand.

Nu moeten we eigenlijk alleen nog de vraag beantwoorden welke transistor na het inschakelen van de voedingsspanning als eerste in geleiding komt. Dat valt echter aan de hand van het schema onmogelijk te voorspellen. Wanneer beide helften van de schakeling met exact gelijke onderdelen zouden zijn opgebouwd, dan zou het toeval het laatste woord hebben (anders uitgedrukt: dan hangt het antwoord op de vraag van de onvoorspelbare onderdelenruis af). In de echte wereld bestaan er echter geen exact identieke onderdelen: de weerstanden vertonen fabricagetoleranties, de stroomversterking van beide transistoren is niet gelijk (en die stroomversterking hangt bovendien van de temperatuur af – en dus ook van de vraag welke transistor onlangs nog in geleiding is geweest en daardoor wellicht wat warmer is dan de andere).

Daarom is het beter om de vraag om te keren: hoe kunnen we ervoor zorgen dat bij het inschakelen van de voedingsspanning altijd dezelfde transistor als eerste in geleiding komt? Simpel: verklein gewoon de basisweerstand van de betreffende transistor tot de helft van de in het schema vermelde waarde.

Dat was het voor deze aflevering; volgende keer nemen we nog twee andere multivibratorschakelingen onder de loep, en dan gaan we de transistor als versterker bekijken.

Nog even terug naar de diac

In het november/december-nummer van het vorige jaar [1] hebben we in het voorbijgaan de diac genoemd als (inmiddels min of meer



obsolete) vertegenwoordiger van het genus 'diode'. Daarbij hebben we geschreven:

"Bij uw elektronica-postorderaar (de 'elektronicawinkel om de hoek' bestaat helaas niet meer) kunt u onder de exotische benaming 'diac' twee op deze manier aangesloten zenerdioden in één behuizing kopen."

Twee Elektor-lezers (Pablo Medina en Maurizio Spagni) hebben ons onafhankelijk van elkaar erop gewezen dat dit eigenlijk helemaal niet klopt. En beide lezers hebben helemaal gelijk: een diac is een tamelijk complexe component die een negatieve weerstandskarakteristiek vertoont en die daarom gebruikt kan worden om thyristoren en triacs te triggeren [2].

De vergelijking van een diac met twee in 'antiserie' geschakelde zenerdiodes is dus wel heel erg kort door de bocht. Niettemin zijn we van mening dat de beginnende elektronica-hobbyist zich de werking van de diac beter kan voorstellen als twee zenerdioden in plaats van als een negatieve weerstand. Tegen de tijd dat hij of zij had begrepen wat met 'negatieve weerstandskarakteristiek' wordt bedoeld en hoe een halfgeleidercomponent zo'n gedrag kan vertonen had hij (of zij) zijn/haar soldeerbout al lang gefrustreerd aan de wilgen gehangen.

Maar zoals we al opmerkten: beide briefschrijvers hebben helemaal gelijk, en in de toekomst zullen we zorgvuldiger formuleren! 

220670-03

De artikelreeks "Alle begin..." is gebaseerd op het boek "Basiscursus elektronica" van Michael Ebner, dat bij Elektor is verschenen.

Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de redactie van Elektor via redactie@elektor.com.



Gerelateerde producten

> **Michael Ebner, Basiscursus elektronica**
(e-boek, SKU 18232)
www.elektor.nl/18232

WEB LINKS

- [1] Eric Bogers, Michael Ebner: "Alle begin... zenert er vrolijk op los", ElektorMag 11-12/2022: <https://www.elektormagazine.nl/220384-03>
[2] Diac in Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Diac>



LIGT JOUW PASSIE IN DE TECHNIEK?

Gaming Support is op zoek naar een Engineer voor de Afdeling Repair.

Houdt je van het oplossen van storingen of defecten aan onderdelen van onder andere speelautomaten op component niveau, dan zoeken we jou.

Interesse?

Solliciteer dan vandaag nog!

Stuur een e-mail naar: hr@gamingsupport.com of bel 010-5241153.

Meer informatie vind je op onze website.



gamingsupport.com