

Alle begin...

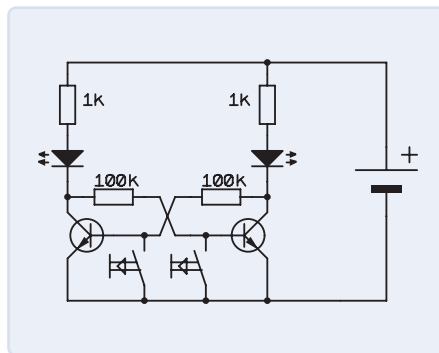
...multivibreert verder!

Eric Bogers (Elektor)

In de vorige aflevering hebben we (eindelijk) kennis gemaakt met de transistor – een component die we tegenwoordig gerust het ‘hart van onze samenleving’ mogen noemen: zonder transistoren in de een of andere vorm zou onze samenleving in de huidige vorm onmogelijk zijn. Nu gaan we verder met multivibratoren en bekijken we de transistor als versterker.

Eerst een kort woord vooraf, ten behoeve van vooral nieuwe Elektor-lezers die voor het eerst een aflevering van de reeks “Alle begin...” onder ogen krijgen. Deze artikelserie pretendeert op geen enkele manier een gedegen theoretische cursus in de elektronica te zijn. Het enige wat we willen is de beginnende elektronica-liefhebber voldoende weetjes aan te reiken zodat hij of zij met redelijke kans op succes zelf een schakeling kan ontwerpen en bouwen (of een bestaande schakeling kan modificeren). Daarbij gaan we met een grote boog om het betere rekenwerk heen, en nemen we het met de theorie hier en daar ook niet al te nauw. Het is ons duidelijk dat we op die manier de perfectionisten en theoretici onder onze lezers af en toe grandioos op de tenen zullen trappen – dat spijt ons dan een beetje, maar ook weer niet al te veel... De vorige keer hebben we als laatste de bistabiele multivibrator of flipflop besproken; in **figuur 1** drukken we het prinsipschema nogmaals af. Deze schakeling dankt zijn naam aan het feit dat hij twee stabiele

toestanden kent: ofwel de ene ofwel de andere transistor is in geleiding. Omschakelen is mogelijk met behulp van de druktoetsen. Welke van de beide transistoren direct na het inschakelen van de voedingsspanning in geleiding zal zijn, valt onmogelijk te voorspellen; de enige zekerheid die we hebben is dat één van beide zal geleiden en de andere zal sperren.



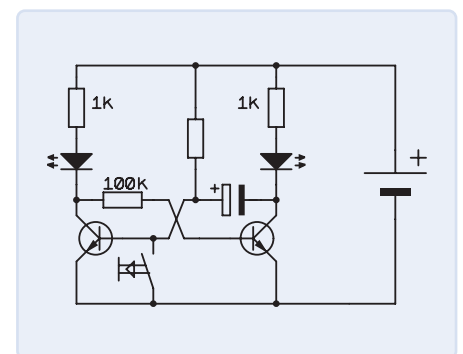
Figuur 1. De bistabiele multivibrator of flipflop.

De monostabiele multivibrator

Een monostabiele multivibrator (ook bekend onder de koosnaam *monoflop*) is afgeleid van zijn bistabiele broertje, en kent (zoals de naam al suggereert) slechts één stabiele toestand. Het prinsipschema is geschetst in **figuur 2**. De schakeling kan door een impuls ‘van buiten’ weliswaar in een andere toestand worden gebracht, maar zal na verloop van een bepaalde tijd vanzelf weer in de stabiele (uitgangs) toestand terugkeren. Misschien ken u dit soort schakelingen van die handige trappenhuisverlichting, die zich na verloop van tijd vanzelf weer uitschakelt.

In de schakeling van figuur 2 is de linker transistor in eerste instantie in geleiding. Net als bij de flipflop (figuur 1) kunnen we deze transistor doen sperren door zijn basis via de drukknop naar massa kort te sluiten. Daardoor wordt ook meteen de elco ontladen.

Nu komt de rechter transistor (tijdelijk) in geleiding. De elco wordt dan echter ook weer (via diens weerstand) opgeladen. Zodra de spanning over de elco hoger wordt dan



Figuur 2. De monostabiele multivibrator.

ongeveer 0,7 V, komt de linker transistor weer in geleiding zodat diens CE-spanning tot vrijwel 0 V afneemt. Dat heeft tot gevolg dat de rechter transistor weer gaat sperren. De stabiele toestand is weer bereikt.

De tijd die verstrijkt voordat de monoflop weer omklapt naar zijn stabiele toestand, hangt (uiteraard) af van de waarde van de (laad)weerstand en de condensator, maar ook van de hoogte van de voedingsspanning. Laten we eens een poging wagen deze tijd (de 'monotijd') 'uit het losse polsje' en met de natte vinger te berekenen. We gaan uit van de volgende waarden: $R = 100 \text{ k}\Omega$, $C = 100 \text{ }\mu\text{F}$ en $U_V = 12 \text{ V}$. Voor de spanning over een condensator geldt:

$$U_C = \frac{Q}{C} = \frac{I \cdot t}{C}$$

De stroom wordt bepaald door de spanning over de weerstand en de waarde van die weerstand. Deze spanning neemt continu af naarmate de condensatorspanning toeneemt. Omdat de schakeling bij een condensatorspanning van 0,7 V al omklapt, verwaarlozen we het niet-lineaire gedrag en rekenen we met het rekenkundige gemiddelde.

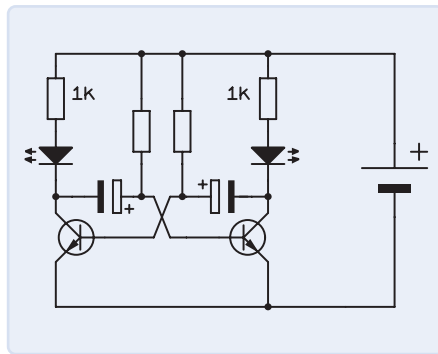
$$U_C = \frac{U_V \cdot t}{R \cdot C} \Rightarrow t = \frac{U_C \cdot R \cdot C}{U_V}$$

De schakeling zal bij ongeveer 0,7 V omklappen; dat betekent dat de gemiddelde spanning over de weerstand zo ongeveer 11,65 V bedraagt.

$$t = \frac{0,7 \text{ V} \cdot 100 \text{ k}\Omega \cdot 100 \text{ }\mu\text{F}}{11,65 \text{ V}} = 0,6 \text{ s}$$

De astabiele multivibrator

Een astabiele multivibrator kent geen stabiele toestand, maar schakelt voortdurend tussen de beide mogelijke toestanden heen en weer – daarom ook de naam van het beestje. De schakeling van **figuur 3** ziet er zo'n beetje uit als een dubbele monoflop, zodat we geneigd zouden zijn voor de timing de bij de monoflop afgeleide formules te gebruiken – maar daarmee zouden



Figuur 3. De astabiele multivibrator.

we er ongeveer een factor 10 naast zitten. Dat geeft natuurlijk aanleiding tot de vraag hoe deze schakeling dan eigenlijk werkt. Laten we aanemen dat de linker transistor geleidt: U_{CE} van de linker transistor is dan ongeveer nul en die van de rechter transistor ongeveer gelijk aan de voedingsspanning. De linker condensator wordt via zijn laadweerstand langzaam opgeladen; op een gegeven moment bedraagt de spanning over de condensator 0,7 V en de rechter transistor schakelt door.

Bij het doorschakelen (in geleiding komen) van de rechter transistor is de verandering van U_{CE} ongeveer gelijk aan de hoogte van de voedingsspanning, en dat betekent dat de condensatorpotentiaal met deze hoeveelheid afneemt: de basis van de linker transistor voert zodoende een negatieve potentiaal en de transistor spert dan ook. Maar dat betekent dat de condensator niet vanaf nul moet worden opgeladen, maar vanaf een spanning die ongeveer even groot is als de voedingsspanning, maar dan met een minteken. En dat neemt uiteraard veel meer tijd in beslag.

Laten we hier eens aan gaan rekenen. De condensator moet dus van -12 V tot $+0,7 \text{ V}$ worden opgeladen. Als we daarvoor een lineaire laadcurve zouden aannemen, introduceren we een fout van ongeveer 10% (ongeveer evenveel als de tolerantie van een elco van redelijke kwaliteit). Voor de aardigheid proberen we hier wat nauwkeuriger te zijn. Voor de lading van een condensator geldt:

$$U_C = U_0 \cdot \left(1 - e^{\frac{-t}{RC}} \right)$$

Nu is in dit geval U_0 gelijk aan de dubbele voedingsspanning, en de condensator wordt opgeladen tot $U_V + 0,7 \text{ V}$. Zodoende kunnen we schrijven:

$$U_C + U_V = 2 \cdot U_V \cdot \left(1 - e^{\frac{-t}{RC}} \right)$$

Uit deze vergelijking kunnen we t oplossen; met de afleiding zullen we u niet lastigvalen, we geven hier alleen het resultaat:

$$t = -R \cdot C \cdot \ln \left(1 - \frac{U_C + U_V}{2 \cdot U_V} \right)$$

Wanneer we dit uitrekenen met dezelfde onderdelenwaarden als bij de monoflop ($R = 100 \text{ k}\Omega$ en $C = 100 \text{ }\mu\text{F}$), komen we uit op $t = 7,5 \text{ s}$, en dat is 12 keer zo lang als bij de monoflop.

De bipolaire transistor als versterker

Een bipolaire transistor is eigenlijk geen bijzonder 'dankbaar' onderdeel om een versterker mee te construeren: alle parameters hangen onderling van elkaar af, geen enkele van die parameters is echt lineair en alles is bovendien op een 'kwalijske' manier van de temperatuur afhankelijk – als geen tegenmaatregelen worden getroffen, dan vliegt om te beginnen het werkpunt uit de bocht.

Om deze redenen worden voor kleinsignaaltoepassingen nog maar zelden losse transistoren ingezet: we gebruiken bij voorkeur operationele versterkers. Die zijn weliswaar ook met transistoren opgebouwd, maar bij opamps zijn de meeste problemen door de ontwerpers al gecompenseerd, zodat we daar op bijzonder eenvoudige manier stabiele versterkers mee kunnen bouwen.

Operationele versterkers zijn echter eigenlijk alleen voor kleinsignaalbedrijf geschikt: voor vermogensversterkers zijn de maximale uitgangsspanning en -stroom doorgaans te gering. Opamps kunnen in zo'n geval worden 'opgevoerd' met discrete (vermogens)transistoren – of we kunnen de hele schakeling natuurlijk van meet af aan met losse transistoren opbouwen.

Opamps komen in een volgende aflevering aan de orde. Om die dan beter te kunnen begrijpen, houden we ons hier kort bezig met de transistor als versterkende component.

In de meeste leerboeken volgen op dit punt een heleboel theorie en vergelijkingen die echter niet bijzonder veel met de praktijk te maken hebben. De enig werkelijk belangrijke relatie is de U/I-karakteristiek van de basis/emitter-diode, en die zijn we bij de diode al tegengekomen – zie **figuur 4**. Bij de besprking hebben we toen echter verzwegen dat de U/I-karakteristiek temperatuurafhankelijk is. Als de diode warm wordt, dan neemt (bij gelijkblijvende spanning) de stroom toe (waardoor de diode nog warmer wordt). Dit gedrag levert bij een gewone diode zelden problemen op, maar bij een transistor is het bijzonder kwalijk omdat daardoor ook de collectorstroom zal variëren – en wel ongeveer een factor 100 sterker. Voor de collectorstroom geldt namelijk:

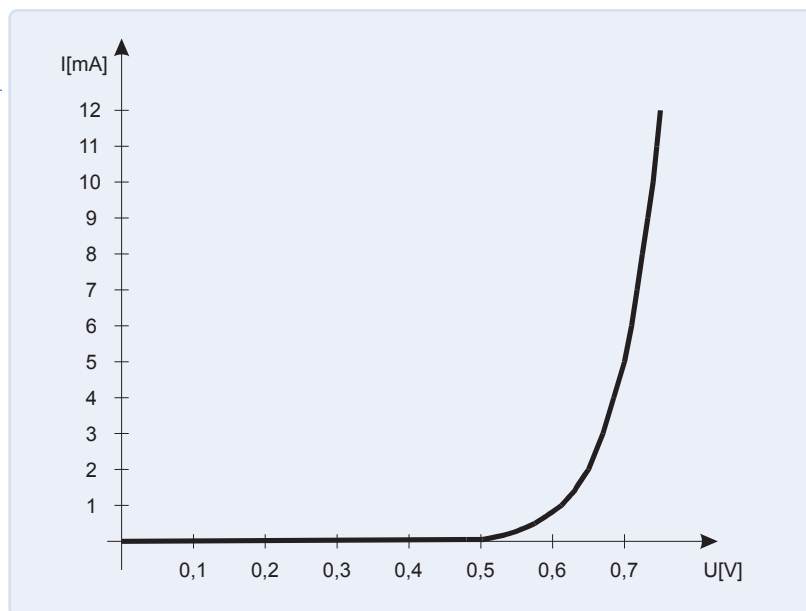
$$I_C = I_B \cdot h_{FE} = I_B \cdot \beta$$

Met h_{FE} of β wordt de stroomversterking van de transistor bedoeld. Deze stroomversterking is echter niet alleen onderhevig aan grote exemplarische spreiding, maar is (om het nog erger te maken) ook nog eens afhankelijk van de collectorstroom. Bij kleinsignaaltransistoren ligt de waarde van h_{FE} ergens tussen 100 en

800, en bij vermogenstransistoren tussen 10 en 100. Omdat de stroomversterking zo'n onbetrouwbare parameter is, moeten we onze transistorschakelingen zo proberen te ontwerpen dat de exacte waarde van h_{FE} geen (noemenswaardige) rol van betekenis speelt. Dat zullen we in de volgende aflevering zien. ◀

230033-03

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



Figuur 4. De U/I-karakteristiek van een diode.

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

YOUR KEY TO CELLULAR TECHNOLOGY



**WURTH
ELEKTRONIK**
MORE THAN
YOU EXPECT

**WE meet @
PCIM Europe**
Hall 6-217

Adrastea-I is a Cellular Module with High Performance, Ultra-Low Power Consumption, Multi-Band LTE-M and NB-IoT Module.

Despite its compact size, the module has integrated GNSS, integrated ARM Cortex M4 and 1MB Flash reserved for user application development. The module is based on the high-performance Sony Altair ALT1250 chipset. The Adrastea-I module, certified by Deutsche Telekom, enables rapid integration into end products without additional industry-specific certification (GCF) or operator approval. Provided that a Deutsche Telekom IoT connectivity (SIM card) is used. For all other operators the module offers the industry-specific certification (GCF) already.

www.we-online.com/gocellular

- Small form factor
- Long range/worldwide coverage
- Security and encryption
- Multi-band support

#GOCCELLULAR