

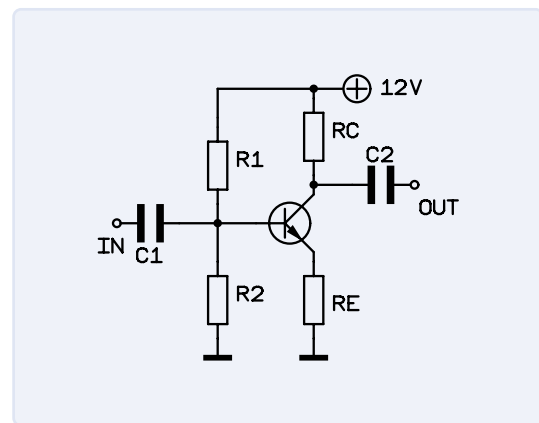


Alle begin...

...versterkt spanningen

Eric Bogers (Elektor)

Tot nog toe hebben we de transistor gebruikt als schakelaar en als component om stromen te versterken – beide natuurlijk erg belangrijk in de elektronica, maar het wordt pas leuk als we ook spanningen kunnen versterken. En dat is precies wat we in deze aflevering gaan doen.



Figuur 1. Gemeenschappelijke emitterschakeling.

Maar voordat we ons aan de emitterschakeling wagen, is een woord van waarschuwing op zijn plaats. Het betreft de aflevering uit het mei/juni-nummer 2023, en dan in het bijzonder de astabiele multivibrator die daar in figuur 3 op bladzijde 40 is geschetst. Zoals Elektor-lezer Ruedi Schwarzenbach uit Zwitserland ons schreef, bergt deze schakeling enkele gevaren in zich die het plezier van beginnende elektronici behoorlijk kunnen vergallen.

Wat is namelijk het geval: hoewel we in het schema en de tekst geen specifiek transistortype hebben genoemd, ligt het eigenlijk voor dat hand om hiervoor het 'werkpaard' van de elektronica, de BC547, te gebruiken. En omdat in de berekeningen in de tekst een voedingsspanning van 12 V wordt aangenomen, kan het mis gaan. De BC547 verdraagt namelijk volgens de datasheet geen hoge basis/emitter-sperspanning – 5 tot 6 V is wel zo ongeveer het maximum. En dat betekent dat de transistoren in de schakeling van figuur 3 bij een voedingsspanning van meer dan 5 V al beschadigd kunnen worden. Waar we hebben geschreven dat "de basis van de linker transistor een negatieve potentiaal voert en daarom spert", moeten we bedenken dat bij een negatieve potentiaal van 5...6 V het basis/emitter-traject een soort zenereffect vertoont. Er loopt dan een stroom (de condensator is als het ware via de beide transistoren kortgesloten) waardoor de transistor eventueel het loodje kan leggen.

Om dit soort narigheid te voorkomen, is het beter voor de voeding een spanningsbron van 4,5 V te gebruiken (een 'platte batterij' bijvoorbeeld) en alle berekeningen met deze spanning uit te voeren.

De emitterschakeling

Bij de schakeling van **figuur 1** gaat het om een emitterschakeling (niet te verwarren met de emittervolger!) waarbij de emitter de gemeenschappelijke referentie voor het ingangs- en het uitgangssignaal is. De emitterschakeling doet sterk denken aan de collectorschakeling uit de vorige aflevering, alleen is er nu een collectorweerstand aanwezig, terwijl de uitgangsspanning van de collector wordt afgenomen. De emitterweerstand heeft nu als belangrijkste taak te voorkomen dat het werkpunt verloopt; de waarde ervan is nu een stuk kleiner. Als we weer een ruststroom van 1 mA aannemen, komen we voor de emitterweerstand uit op 1 kΩ.

De uitgangsspanning kan variëren van 1 V tot 12 V, dus binnen een bereik van 11 V; we kiezen de rustspanning daartussen – op de collector staat dan een spanning van 6,5 V terwijl over de collectorweerstand een spanning van 5,5 V valt. We kunnen nu R_C berekenen:

$$R_C = \frac{U}{I} = \frac{5,5 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 5,5 \text{ k}\Omega$$

We nemen hier een standaardwaarde van 5,6 kΩ. Voor R_2 kiezen we (arbitrair) een waarde van 100 kΩ; dan kunnen we R_1 als volgt berekenen:

$$R_1 = \frac{U_0 \cdot R_2}{U_B} - R_2 = \frac{12 \text{ V} \cdot 100 \text{ k}\Omega}{1,7 \text{ V}} - 100 \text{ k}\Omega = 605,9 \text{ k}\Omega$$

We nemen een standaardwaarde van 560 kΩ.

Even voor alle duidelijkheid: die 1,7 V volgt uit de spanning over de emitterweerstand van 1 kΩ bij een ruststroom van 1 mA, plus de spanning van 0,7 V die over de basis/emitter-overgang valt.

De vraag is nu natuurlijk waar de spanningsversterking vandaan komt en hoe groot die is. Als we aannemen dat de spanning op de basis van de transistor ten gevolge van een aangelegde wisselspanning met 0,1 V toeneemt, dan neemt ook de emitterspanning met 0,1 V toe en dat betekent dat de stroom met 100 μA toeneemt. Ten gevolge van deze grotere stroom valt er over de collectorweerstand een hogere spanning (0,56 V meer, om precies te zijn) – met andere woorden: de spanning op de collector van de transistor is nu 0,56 V lager.

Een spanningsverhoging op de basis heeft zodoende een spanningsdaling op de collector tot gevolg; en niet alleen dat – de spanningsverandering op de collector is groter dan die op de basis. De spanningsverandering op de basis is dus versterkt!

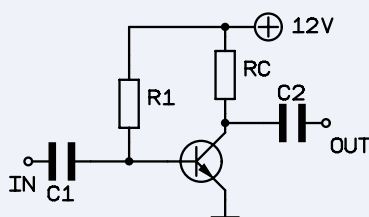
Ook in dit getallenvoorbeeld hebben we het verschil tussen I_C en I_E verwaarloosd. Als we ons die bescheiden vrijheid veroorloven, dan kunnen we voor de spanningsversterking van de gemeenschappelijke emitterschakeling schrijven:

$$V_{OUT} = \frac{\Delta U_C}{\Delta U_B} \approx - \frac{R_C}{R_E}$$

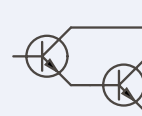
In dit voorbeeld bedraagt de versterking dus –5,6 maal. Het minteken betekent niets anders dan dat het ingangssignaal en het uitgangssignaal in tegenfase zijn. Of anders uitgedrukt: we hebben hier met een inverterende versterker te maken.

Het is mogelijk met deze schakeling een signaal nog veel meer te versterken, maar dan moet worden gekozen voor een kleinere emitterweerstand en/of een hogere voedingsspanning. Maar onder alle omstandigheden moeten we een ‘ontwerp’ als geschetst in **figuur 2** mijden als de spreekwoordelijke ziekte van vier letters. In deze schakeling heeft de ontwerper weerstand R2 alsmede de emitterweerstand voor het gemak maar helemaal weggelaten.

Door de ontbrekende emitterweerstand levert de schakeling weliswaar een zeer grote versterking, maar de temperatuurstabiliteit



Figuur 2. Catastrofale versterkerschakeling – zo moet het dus niet!



Figuur 3. De Darlingtonschakeling.

van het geheel is om te huilen: als de temperatuur een paar graden verandert, wordt de basisstroom en dus ook de collectorstroom groter (of juist kleiner) en verloopt het werkpunt. Bovendien is de stroomversterking van een transistor geen betrouwbare parameter omdat die een zeer sterke exemplarische spreiding vertoont – zodat de waarde van R1 alleen experimenteel kan worden vastgesteld. De ontbrekende emitterweerstand heeft bovendien een zeer lage ingangsimpedantie tot gevolg, zodat C1 zeer veel groter moet worden gekozen om te voorkomen dat de onderste kantelfrequentie te hoog komt te liggen.

Om een lang verhaal kort te maken: een schakeling zoals die van figuur 2 is onzinnig. Wie een zeer grote versterking nodig heeft, kan beter enkele versterkertrappen achter elkaar schakelen of bij voorbaat een operationele versterker (opamp) gebruiken.

De Darlingtonschakeling

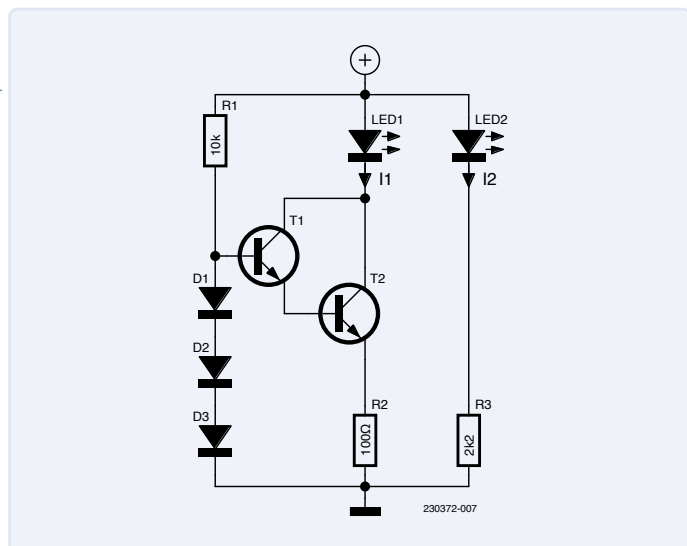
Voor veel toepassingen hebben we een grotere stroomversterking nodig dan een enkele transistor kan leveren. In dergelijke gevallen komt de Darlingtonschakeling (**figuur 3**) van pas. Bij deze schakeling worden twee transistoren zo geschakeld dat de emitter van de eerste transistor rechtstreeks verbonden is met de basis van de tweede transistor. In dat geval mogen we (in goede benadering) de afzonderlijke stroomversterkingsfactoren met elkaar vermenigvuldigen, zodat met kleinsignaaltransistoren waarden van 10.000 en meer haalbaar zijn. Opgemerkt moet worden dat de basis/emitter-spanningen van de transistoren bij elkaar worden opgeteld, zodat een Darlingtonschakeling een instelspanning (bias) van minimaal ongeveer 1,4 V nodig heeft.

Bij vermogenstransistoren, waarvan de stroomversterking vaak erg bescheiden is, wordt graag gebruik gemaakt van de Darlingtonschakeling. In veel gevallen zijn de beide transistoren van de schakeling door de fabrikant al in één behuizing ondergebracht – we spreken dan van een Darlingtontransistor.

De constante-stroombron

Als we ergens een LED gebruiken, dan hebben we in de meeste gevallen al wel een constante voedingsspanning ter beschikking, en dan is het een fluitje van een cent om aan de hand daarvan de vereiste serieweerstand te berekenen. En bovendien is het nauwelijks een probleem als de voedingsspanning (binnen zekere grenzen) varieert: het maakt niet veel uit of een LED door een stroom van 5 mA of door een stroom van 20 mA wordt doorlopen (hoewel – zuinig is natuurlijk altijd beter). Een voedingsspanning die een factor vier varieert is dus nog min of meer acceptabel. Als de voedingsspanning echter grotere variaties vertoont, dan verdient het aanbeveling een constante-stroombron te gebruiken.

De benaming ‘constante-stroombron’ voor de schakeling van



Figuur 4. Een (min of meer) constante-stroombron.

figuur 4 is eigenlijk een beetje te veel van het goede, zoals moge blijken uit de grafiek van **figuur 5**. Daar staat tegenover dat deze schakeling het mogelijk maakt een LED te gebruiken onder omstandigheden waar de voedingsspanning een factor 40 kan variëren – en dat is toch mooi meegenomen.

Drie in serie geschakelde diodes zorgen voor een min of meer constante spanning van ongeveer 2 V. Met deze spanning wordt een Darlingtontransistor aangestuurd die een emitterweerstand van 100 Ω heeft. De spanning over deze weerstand bedraagt ongeveer 0,7 V en dat betekent dat er een stroom van ongeveer 0,7 mA doorheen loopt (dat klopt in de praktijk heel behoorlijk). Terzijde: eigenlijk was een Darlingtontransistor in dit voorbeeld niet echt nodig. We hebben de stroom door de LED gemeten en in figuur 5 in grafiek gebracht. Ter vergelijking hebben we ook de stroom door een LED met alleen een serieweerstand gemeten en in dezelfde grafiek uitgezet.

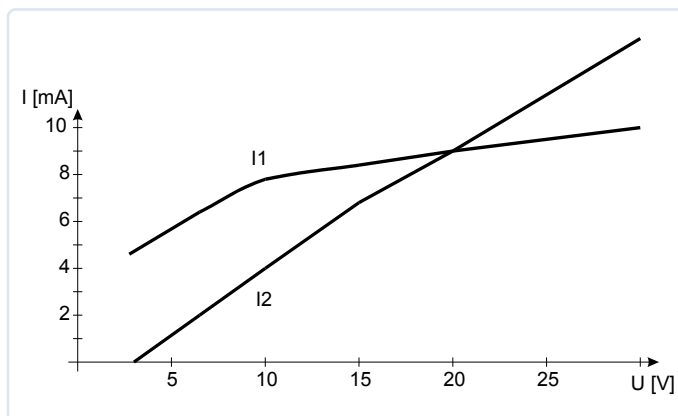
In het geval van de constante-stroombron neemt de stroom zichtbaar minder snel toe (de grafiek verloopt vlakker), wat betekent dat de schakeling nog bij aanzienlijk hogere voedingsspanningen bruikbaar zou zijn. Het feit dat de stroom niet werkelijk constant is (dan zou de grafiek horizontaal verlopen) komt door de toename van de spanning over de diodes – een zenerdiode zou een duidelijk beter resultaat opleveren, en een ‘tweetraps’-stabilisatie zou nog beter zijn geweest.

Een constante-stroombron functioneert overigens veel beter wanneer de voedingsspanning constant is (in **figuur 6** bedraagt die 12 V) en de belastingweerstand (op de plaats van de LED) wordt gevarieerd.

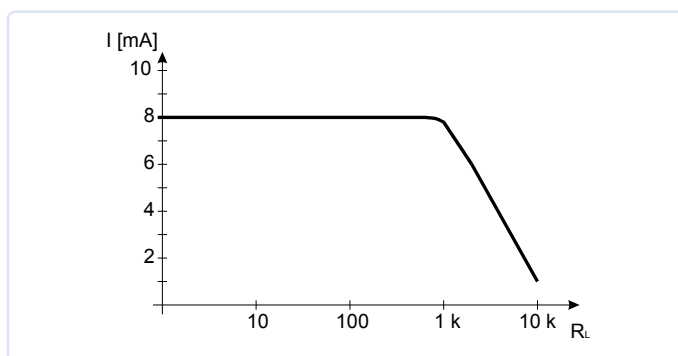
Bij hogere waarden van de belastingweerstand neemt de stroom af omdat anders het product van stroom en weerstand hoger zou zijn dan de voedingsspanning – een evidente onmogelijkheid. Zolang de spanning over de belastingweerstand echter een stuk onder de voedingsspanning blijft, is de stroom door de belasting ‘voorbeeldig’ constant.

Natuurlijk vraagt u zich nu af waarom we bij een variërende belastingweerstand een constante stroom nodig zouden hebben. Welnu: zonder zo’n stroombron zou de verschilversterker onmogelijk zijn – en die verschilversterker (wellicht de belangrijkste deelschakeling in de elektronica) komt in de volgende aflevering aan de orde. ◀

230372-01



Figuur 5. Verloop van de stroom met en zonder constante-stroombron.



Figuur 6. Constante-stroombron met variërende belastingweerstand.

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)**
www.elektor.nl/18232

