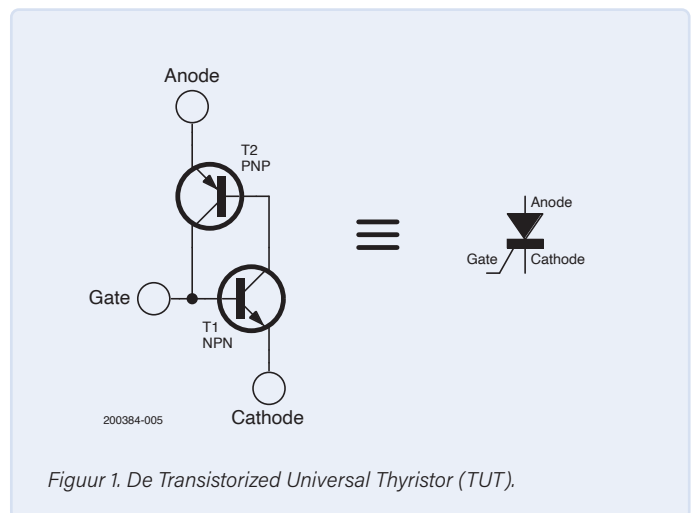


Elektronische mannetjes-PUT-ter

zo werkt de programmeerbare unijunctie-transistor

Roel Arits (Nederland)

Ken je de programmeerbare unijunctie-transistor (PUT) – misschien nog van vroeger? In de jaren '70 was dat een bijzondere component. In dit artikel leggen we niet alleen uit hoe hij werkt, maar brengen we hem ook weer tot leven met een paar kleine schakelingetjes.



Figuur 1. De Transistorized Universal Thyristor (TUT).

Welkom, PUT

Keren we voor eventjes terug naar de goede oude wereld van analoge elektronica om te ontdekken welke interessante dingen kunnen worden gedaan met de simpele transistorcombinatie van **figuur 1**. Deze twee complementaire transistoren vertonen een zelfvergendelend gedrag dat vergelijkbaar is met dat van de thyristor (ook bekend als SCR) en de unijunctie-transistor (UJT). Als we aan de schakeling van **figuur 1** een tweede poort toevoegen, is het resultaat de programmeerbare unijunctie-transistor (PUT) van **figuur 2**. Merk op hoe de gate van het thyristorsymbool bij de PUT naar de anode is verplaatst.

De UJT en PUT waren populaire componenten in de jaren zeventig omdat er gemakkelijk zaagtand- en impulsgeneratoren mee konden worden gebouwd. Ze worden nog steeds geproduceerd, maar je ziet ze zelden in moderne ontwerpen. In dit artikel presenteren we enkele schakelingen waarin de PUT de hoofdrol speelt.

We beginnen met de goede oude thyristor

De schakeling van **figuur 1** gedraagt zich als een thyristor, maar is er geen directe vervanging van. Daarom wordt de schakeling ook wel een *Transistorized Universal Thyristor* (TUT) genoemd. Laten we eerst eens recapituleren hoe een thyristor werkt.

Wanneer een kleine stroom (enkele mA) in de gate wordt geïnjecteerd, zal de thyristor gaan geleiden – op voorwaarde dat de anode-kathodestroom boven een bepaalde drempel ligt die de houdstroom (*latching current*) wordt genoemd. Zodra de thyristor in geleiding is, hoeft de gate niet meer te worden aangestuurd. De enige manier om

de thyristor weer te laten sperren is de anode-kathodestroom te verlagen tot onder de minimum houdstroom. Een eenvoudige manier om dit te bereiken is de stroom kort te onderbreken.

Een PUT gedraagt zich als een thyristor

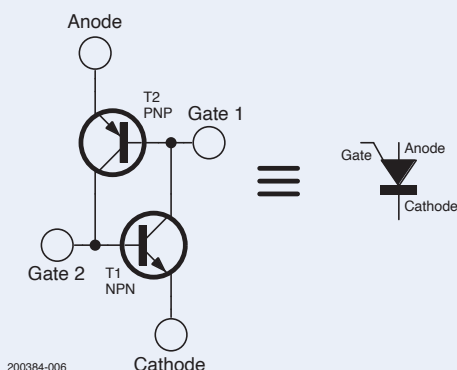
Om te begrijpen hoe de PUT werkt, verwijzen we naar **figuur 3**. Er zijn twee gates, G– en G+, maar als we ons beperken tot G+, dan geldt de beschrijving ook voor de UJT.

Bij het inschakelen zijn S1 en S2 geopend. T2 spert omdat zijn basis door R1 hoog wordt gehouden; T1 spert omdat zijn basis zweeft. Omdat T2 niet geleidt, wordt de uitgang hoog gehouden door R2.

Als nu S1 wordt ingedrukt, wordt de basis van T1 hoog getrokken en gaat T1 geleiden. Hierdoor wordt de basis van T2 laag getrokken, waardoor T2 ook in geleiding gaat en de uitgang laag wordt. Nu krijgt de basis van T1 stroom via R2 en T2, waardoor S1 kan worden losgelaten terwijl beide transistoren blijven geleiden. Als S1 dus éénmaal wordt ingedrukt, wordt de uitgang laag en blijft ook laag. De enige manier om de schakeling te resetten is door de voeding kort uit te schakelen. Dit is hetzelfde zelfvergendelende gedrag als bij een thyristor.

En nu met de andere gate

Het indrukken van S2 in plaats van S1 heeft hetzelfde resultaat, maar gaat iets anders. In dit geval wordt de basis van T2 naar massa getrokken, waardoor deze gaat geleiden. De uitgang wordt laag en de basis van T1 krijgt stroom via R2. T1 gaat dus geleiden. Dit zal op zijn beurt



Figuur 2. Twee gates maken de TUT programmeerbaar, met als resultaat de PUT.

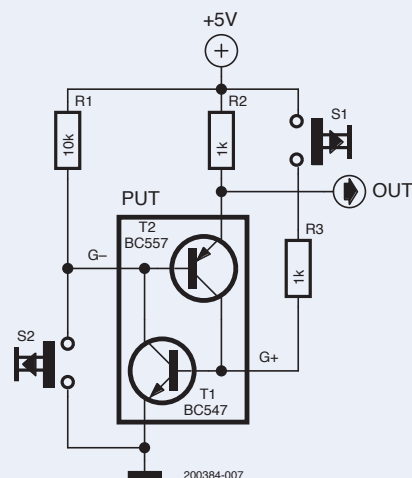
de basis van T2 omlaag trekken, zodat S2 kan worden losgelaten. Net als eerder vergrendelt de schakeling met de uitgang laag. Een UJT heeft één gate, een PUT heeft er twee (zie figuur 2). Het verschil tussen de beide gates van een PUT is dat wanneer gate 1 (G-) wordt gebruikt, de PUT zal geleiden wanneer de anodespanning 0,7 V hoger is dan de spanning op gate 1 (basis-emitter spanningsval). Bij gebruik van gate 2 (G+) zal de PUT geleiden wanneer de kathode 0,7 V lager wordt dan de spanning op gate 2. Dit is waar de "P" in PUT vandaan komt. De triggerspanning waarbij de transistor begint te geleiden kan worden 'geprogrammeerd' door een referentiespanning op de gate van de PUT te zetten.

Een eenvoudige PUT-schakeling

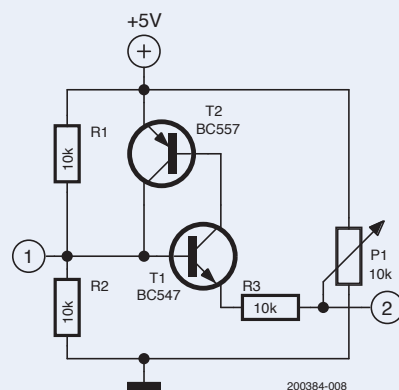
De schakeling in **figuur 4** illustreert het gedrag van de discreet opgebouwde PUT. Omdat R1 en R2 gelijke waarden hebben, is de spanning op punt 1 de helft van de voedingsspanning (dus 2,5 V). De spanning op punt 2 kan worden ingesteld met een potentiometer. Als de spanning op punt 2 wordt ingesteld op een waarde die ten minste 0,7 V lager is dan de spanning op punt 1, zal T1 gaan geleiden. Nu kan er stroom door de basis van T2 lopen via T1, en T2 gaat ook in geleiding. T2 trekt de basis van T1 naar de positieve rail en zorgt er zo voor dat T1 blijft geleiden. De transistorcombinatie is vergrendeld en blijft in die toestand, zelfs wanneer de spanning op punt 2 stijgt en hoger wordt dan de spanning op punt 1. De schakeling zal ontgrendelen wanneer de spanning op punt 2 in de buurt komt van de voedingsrail, omdat er dan geen stroom meer door T1 kan lopen. De schakeling in **figuur 5** is de 'omgekeerde' versie van de schakeling van figuur 4. Deze functioneert op dezelfde manier, behalve dat de spanning op punt 2 nu 0,7 V hoger moet zijn dan de spanning op punt 1 om de transistorcombinatie te doen vergrendelen. Uiteraard zal de PUT in beide gevallen ook ontgrendelen als de voeding kort wordt onderbroken.

Houdschakelaar

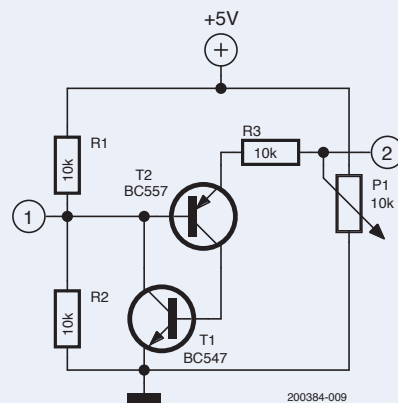
De schakeling van **figuur 6** is een praktische toepassing van figuur 3. Als de spanning wordt ingeschakeld, zal de LED oplichten omdat die



Figuur 3. Druk op S1 of S2 om de uitgang laag te maken.



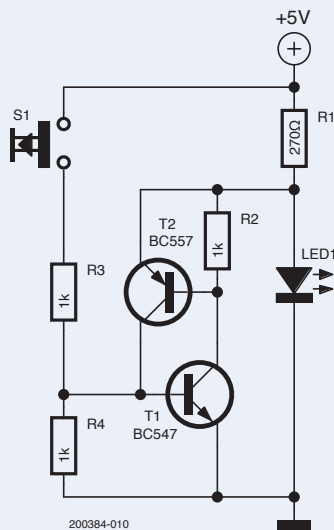
Figuur 4. Draai potmeter P1 omlaag om de schakeling te vergrendelen.



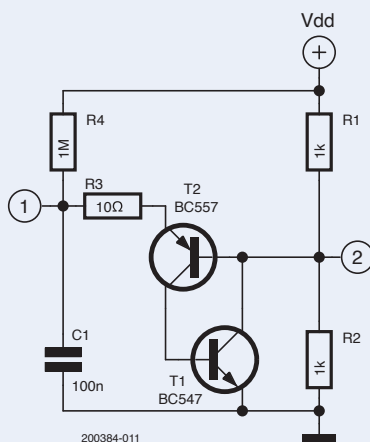
Figuur 5. De schakeling van figuur 4 'ondersteboven'. Nu moet P1 omhoog worden gedraaid om de schakeling te vergrendelen.

Developer's zone

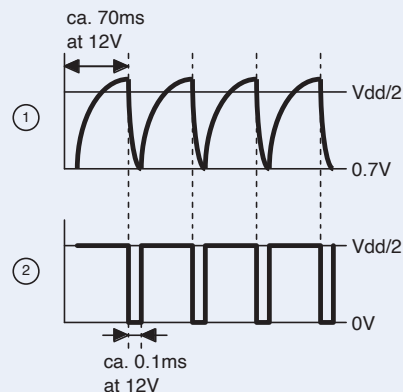
tips & trucs, vakkunstigheden en
andere nuttige informatie



Figuur 6. Een eenvoudige uitschakelaar.



Figuur 7. De eenvoud van deze relaxatie-oscillator is een van de redenen waarom de PUT veel werd gebruikt.



via R1 van stroom wordt voorzien. De door T1 en T2 gevormde PUT is niet actief omdat de basis van T1 door R4 naar massa wordt getrokken en de basis van T2 naar de spanning over de LED wordt getrokken. Geen van beide transistors is dus in geleiding. Wanneer S1 wordt ingedrukt, gaat de schakeling in geleiding (zie boven) en sluit de LED kort zodat die dooft. Na het loslaten van de schakelaar blijft de PUT-schakeling vergrendeld en blijft de LED uit. Schakel de voeding kort uit om de LED weer te doen oplichten.

Relaxatie-oscillator

Een relaxatie-oscillator (tegengesteld aan een harmonische oscillator) met de PUT-schakeling is afgebeeld in **figuur 7**. Deze schakeling werkt binnen een groot voedingsspanningsbereik en genereert een niet-lineaire zaagtand met oplopende spanning op punt 1. Op punt 2 staat een pulssignaal.

De helling van de integrator, en daarmee de frequentie van het uitgangssignaal, wordt bepaald door R4, C1 en de voedingsspanning. Vergroten van de waarde van R4 of C1 zal de frequentie verlagen, evenals het verhogen van de voedingsspanning. De breedte van de pulsen die worden gegenereerd wanneer de integrator herstart, wordt bepaald door R3.

Hoe doet-ie het?

Aanvankelijk is C1 ontladen, zodat punt 1 0 V voert. De basis/emitter-overgang van T2 heeft een omgekeerde instelspanning (de basis van T2 voert Vdd/2 terwijl de emitter 0 V voert): T2 geleidt dus niet. Omdat T2 spert, krijgt T1 geen basisstroom en zal dus ook niet geleiden. De spanning over C1 (punt 1) neemt toe omdat de condensator via R4 wordt geladen. Zodra de spanning over C1 het punt bereikt waar de basis/emitter-overgang van T2 voldoende voorspanning krijgt (ongeveer Vdd/2 + 0,7 V), zal T2 gaan geleiden en de schakeling zal vergrendelen zoals hierboven beschreven. De spanning op punt 2 zal afnemen tot 0 V.

Omdat T2 nu geleidt, zal C1 zich snel ontladen via R3. Zodra de

spanning over C1 lager wordt dan 0,7 V, zal T2 gaan sperren en de schakeling ontgrendelt. De spanning op punt 2 springt terug naar Vdd/2 en C1 kan zich weer opladen via R4. Dit proces blijft zich herhalen. De breedte van de neergaande puls op punt 2 kan binnen bepaalde grenzen worden aangepast door de waarde van R3 te variëren.

Als de schakeling wordt omgevormd zoals in **figuur 4** en C1 en R4 worden omgewisseld, worden de uitgangssignalen geïnverteerd.

PUT-entiële problemen

R4 moet groot genoeg zijn om de PUT te laten ontgrendelen. Het verdient daarom de voorkeur om met de waarde van C1 te stoeien om de oscillatiefrequentie aan te passen.

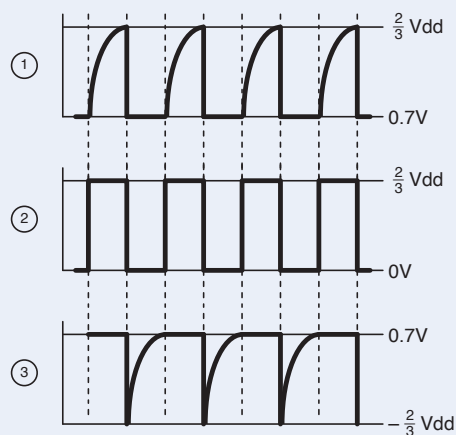
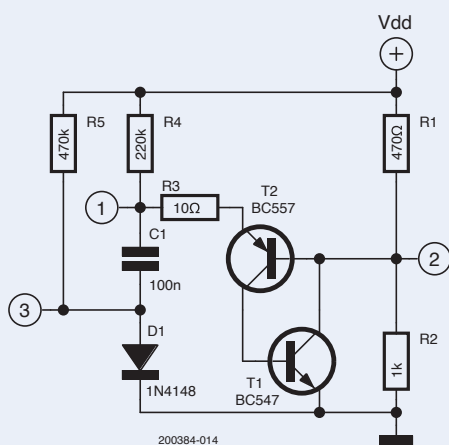
Als R1 en R2 te groot zijn, krijgt de PUT niet genoeg gatestroom om goed te vergrendelen en zal C1 niet diep genoeg ontladen worden om de PUT weer te ontgrendelen. Het is dus beter om de waarden van deze componenten klein te houden. Wanneer de waarde van R4 wordt verlaagd, moeten de waarden van R1 en R2 ook worden verlaagd om de PUT in staat te stellen C1 ver genoeg te ontladen om weer te ontgrendelen.

De waarde van R3 kan niet onbeperkt worden verhoogd. Als deze te hoog is, zal de PUT niet genoeg stroom krijgen om goed te vergrendelen en kan C1 niet ver genoeg worden ontladen om weer te ontgrendelen. Het gevolg is dat de oscillator niet zal starten als R3 te groot is.

Symmetrische bloksgf-generator

Door aan de schakeling van **figuur 7** een weerstand en een diode toe te voegen, kan hij een symmetrische bloksgf genereren (**figuur 8**). Door D1 ligt de 'onderkant' van C1 niet langer aan massa, maar kan onder nul worden getrokken en dus negatief worden.

Wanneer C1 wordt geladen, is D1 in geleiding en zal het knooppunt van C1 en D1 +0,7 V voeren. Zodra T2 gaat geleiden, zal hij punt 1 naar 0 V trekken. Wanneer dit gebeurt, zal de spanning op punt 3 negatief worden, omdat C1 nog steeds geladen is. D1 staat nu in sperrichting



Figuur 8. Een eenvoudige blokgolfoscillator.

en geleidt niet meer, en C1 zal zich via R5 ontladen. Door de negatieve spanning op punt 3 is de spanning over R5 ongeveer twee keer zo hoog als de spanning over R4. Daarom is de waarde van R5 ongeveer

tweemaal zo hoog als de waarde van R4 om een gelijk laad- en ontladtempo te garanderen. Het resultaat is een symmetrische golfvorm op punt 2. R3 heeft geen functie meer en kan worden weggelaten.

Advertisement

TAKING THE NOISE OUT OF E-MOBILITY



**WÜRTH
ELEKTRONIK**
MORE THAN
YOU EXPECT

WE meet @ electronica

Hall A4, Booth 406

Noise free e-mobility

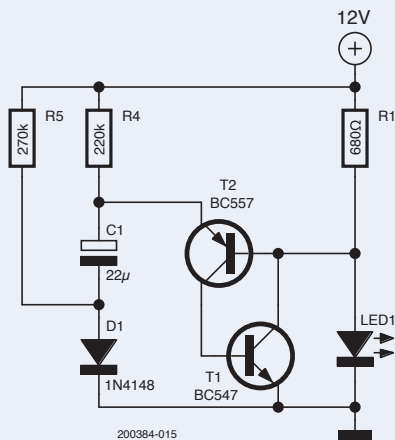
e-Mobility is no longer a question of tomorrow and the number of e-vehicles is increasing day by day. Handling EMI noise is becoming more and more crucial, when it comes to design new electronic devices and systems. Würth Elektronik offers a wide range of EMC components, which support the best possible EMI suppression for all kinds of e-mobility applications. With an outstanding design-in support, catalogue products ex stock and samples free of charge, the time to market can significantly be accelerated. Besides ferrites for assembly into cables or harnesses, Würth Elektronik offers many PCB mounted ferrites and common mode chokes as well as EMI shielding products.

www.we-online.com/emobility

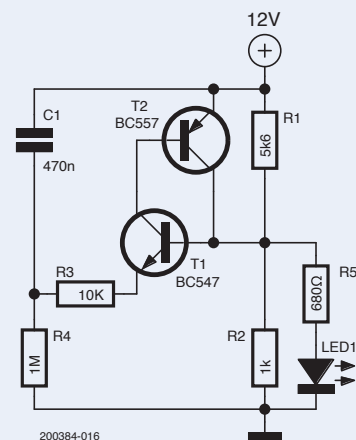
- Large portfolio of EMC components
- Design-in-support
- Samples free of charge
- Orders below MOQ
- Design kits with lifelong free refill

Developer's zone

tips & trucs, vakkunstigheden en
andere nuttige informatie



Figuur 9. Een 1-Hz LED-knipper.



Figuur 10. 'Omgekeerde' 1-Hz LED-flitser.

LED-knipper en -flitser

Indien in de schakeling van figuur 8 R2 wordt vervangen door een LED, dan krijgen we een LED-knipper (figuur 9). Met de gegeven componentwaarden zal de LED met ongeveer 1 Hz knipperen. Aangezien R3 geen functie meer had, hebben we deze weggelaten.

Figuur 10 toont een 'omgekeerde' schakeling om een LED te laten knipperen in een tempo van ongeveer 1 Hz. R3 bepaalt de pulsbreedte en daarmee de knipperduur. Met de gegeven waarden is de pulsbreedte ongeveer 11 ms.

In een iets andere configuratie, maar vergelijkbaar met figuur 10, wordt stroombegrenzende weerstand R5 overbodig en kan deze worden weggelaten (figuur 11). Zijn rol is overgenomen door R2 die in serie staat met de LED wanneer de PUT geleidt.

Tot hier - en niet verder

We stoppen hier, hoewel er nog veel meer te vertellen valt over PUT's en hun toepassingen. De in dit artikel gepresenteerde schakelingen toonden enkele basisapplicaties en demonstreerden de werking. We wilden geen uit-PUT-tende verhandeling bieden, maar je inspire-

ren (en tegelijkertijd je kennis van analoge elektronica opfrissen). Meer schakelingen op basis van de PUT zijn onder andere te vinden in [1] en [2].

200384-03

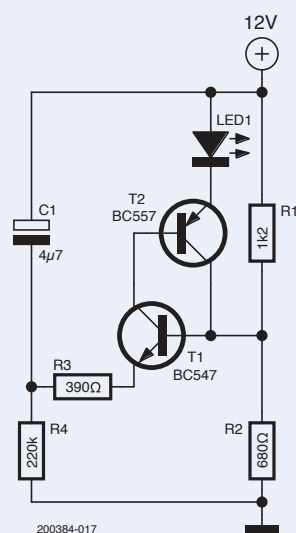
Vragen of opmerkingen?

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

- > P. Horowitz and W. Hill, The Art of Electronics (SKU 17167)
www.elektor.nl/17167
- > P. Scherz and S. Monk, Practical Electronics for Inventors (SKU 17685)
www.elektor.nl/17685



Figuur 11. Deze 'geoptimaliseerde' LED-flitser heeft een grotere condensator, maar één weerstand minder.

WEBLINKS

- [1] Meer PUT-schakelingen op Elektor Labs: www.elektormagazine.com/labs/put-ting-it-all-together
- [2] Roel Arits, "LED-dimmers (1)," Elektor september/oktober 2018: www.elektormagazine.nl/170404-01