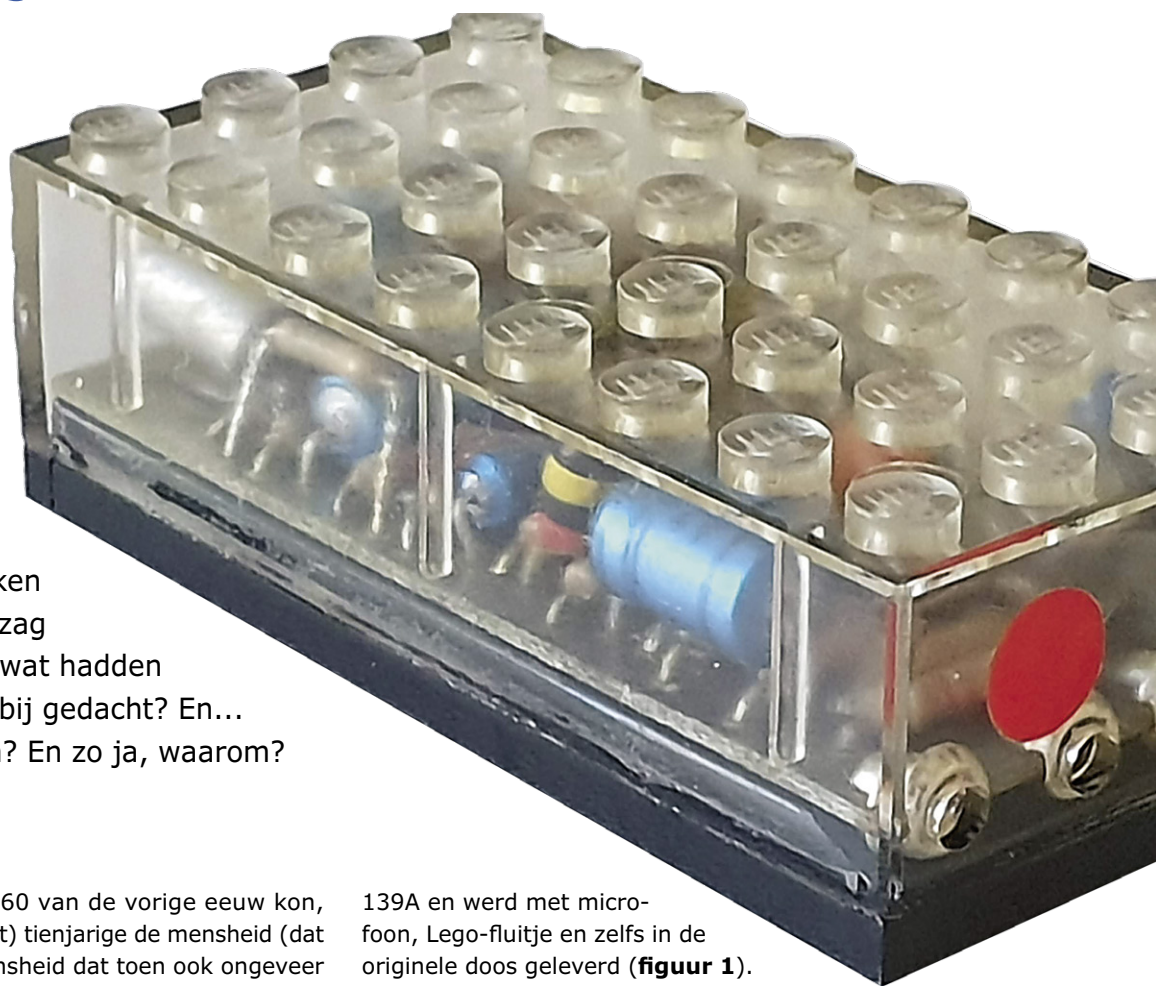


Lego Electronic anno 1968

elektronisch speelgoed fascineert na 50 jaar nog steeds

Martin Kompis (Duitsland)

Veel kinderen droomden ervan – de meesten vergeefs: een Lego Electronic-set, die eind jaren '60 op de markt kwam. Op een fluitje blazen en de locomotief ging rijden. En die kleine kastjes werken nu nog steeds. Maar hoe zag het er van binnen uit, en wat hadden de ontwikkelaars er toen bij gedacht? En... kunnen we dat nabouwen? En zo ja, waarom?



Tegen het einde van de jaren '60 van de vorige eeuw kon, gezien door de ogen van een (net) tienjarige de mensheid (dat wil zeggen: dat deel van de mensheid dat toen ook ongeveer 10 jaar oud was) ruwweg in twee groepen worden verdeeld: aan de ene kant de grote meerderheid, die geen Lego Elektronica-blok had, en anderzijds de kleine maar door alle anderen benijde minderheid die er wel eentje had. Nu mag u drie keer raden tot welke groep de auteur toen behoorde. Inderdaad – niet tot de benijde minderheid.

Zoals we allemaal weten, brengt volwassenheid veel ongemak met zich mee: belasting betalen, bij gebrek aan een rijke erfgoed een normale baan zoeken, het vuilnis aan de straat zetten, niet geeuwen bij de nieuwjaarsreceptie en lachen om de juiste grappen – om maar een paar bekende voorbeelden te noemen. Maar volwassen worden brengt toch ook enkele voordelen met zich mee. En één daarvan is dat u uiteindelijk alle speelgoed kunt kopen dat u nu écht nodig hebt.

Aangezien het gewenste object in kwestie al lang niet meer in de etalages van speelgoedwinkels staat, heb ik op internet een Lego Electronic-set gekocht. Deze heeft het trotse nummer

139A en werd met microfoon, Lego-fluitje en zelfs in de originele doos geleverd (**figuur 1**).

De functie van het systeem is eigenlijk heel simpel en kan waarschijnlijk niet beter worden weergegeven als op de binnenkant van het deksel in figuur 1: eenmaal fluiten op de Lego-fluit en de trein zet zich in beweging. Nog een keer fluiten en de trein stopt weer. Maar in plaats van fluiten kunt u ook gewoon in de handen klappen.

Nou, dat klinkt tegenwoordig, in een tijdperk van smartphone-gestuurde en van een camera voorzien drones voor kinderen van drie en ouder (goed, misschien vanaf zes en ouder) niet bepaald sensationeel. Eind jaren '60 echter, toen TV-afstandsbedieningen voor televisies al wel bestonden, maar hier te lande een zeldzaamheid waren, was dit altijd een verleidelijk stuk speelgoed dat uren plezier beloofde.

In 1968 en 1969 waren er twee verschillende versies van Lego Electronic verkrijgbaar, die in totaal in vier verschillende Lego-sets met de nummers 118, 138, 139 en 139A werden verkocht. De oudere versie uit 1968 is te vinden in sets 118 en 139A. Die laatste is te zien in figuur 1 en bevatte een

elektronicablok, een microfoon in een witte plastic behuizing, twee paar kabels en een fluitje waar we het zometeen nog over zullen hebben. De grotere Lego-set nummer 118 bevatte een complete locomotief met tender (**figuur 2**). Al een jaar later kwam er een nieuw elektronicablok op de markt, dat ook weer los verkrijgbaar was onder nummer 139 of compleet met locomotief en tender onder setnummer 138, nu ook met een nieuwe, kleinere motor.

Terwijl de oudere versie van de elektronica volledig met 'losse' componenten is opgebouwd, bevat die uit 1969 een geïntegreerd circuit met de cryptische aanduiding "211 OM" [1]. Daarmee kon de trein niet alleen vooruit rijden, maar ook (eveneens op afstand door de fluit bediend) achteruit.

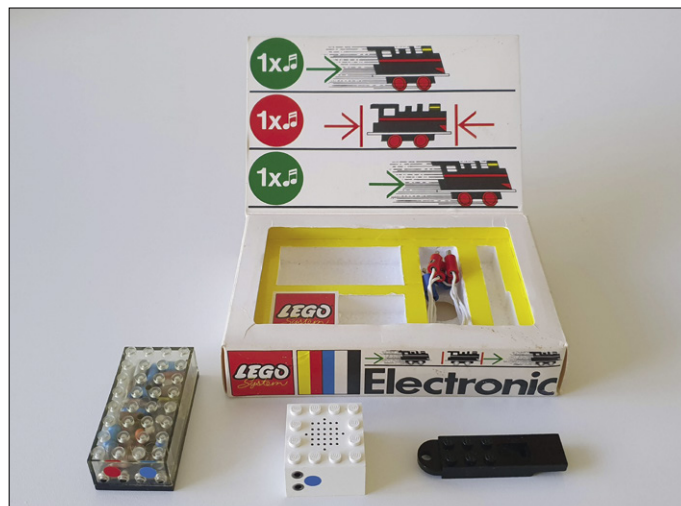
Een snelle blik op het kastje dat ik had gekocht, leert dat dit de oudere, nog discreet gebouwde versie is. Dat past niet alleen beter voor de Retrotronica-rubriek, maar maakt ook analyse en nabouw van de schakeling eenvoudiger, omdat het IC een speciaal voor deze toepassing ontworpen (of geprogrammeerd?) onderdeel zou kunnen zijn kan zijn – een soort voorloper van de huidige FPGA's.

Eerst de akoestiek, dan de elektronica

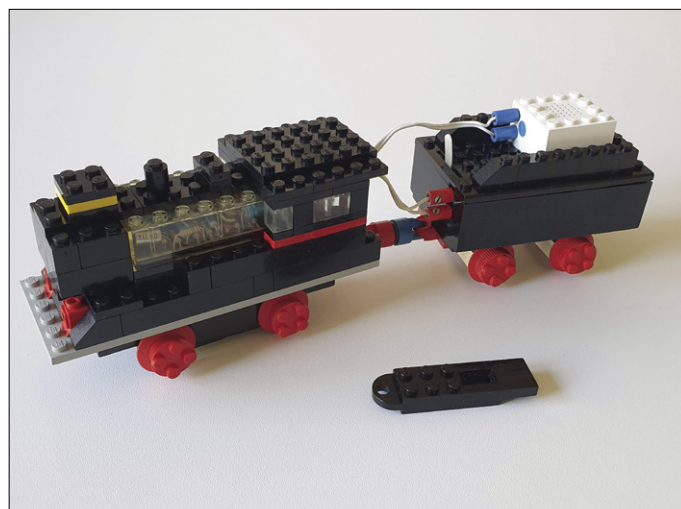
Het elektronicablok is echter het tweede deel van het hele systeem. Het eerste deel is de akoestische signaalgenerator, dat wil zeggen het meegeleverde Lego-fluitje (figuren 1 en 2). En dat is iets bijzonders. De fluit in de set van de auteur werkt perfect samen met het circuit, maar is gevoelsmatig om het zo uit te drukken beangstigend luid. Een eerste meting laat dan ook zien dat bij een gemiddelde luchtstroom op een afstand van 1 m een geluidsniveau van zo'n 95 dBA wordt bereikt. Best wel veel. Direct bij mijn oor, dat duidelijk minder dan 1 m verwijderd is van het fluitje, meet ik zelfs 105 dBA. Niet alleen het niveau, maar ook de frequentie van het fluitgeluid varieert enigszins met de sterkte van de luchtstroom, en deze ligt bij mijn exemplaar rond de 5,7 kHz. Het menselijk oor lijkt het meest gevoelig voor akoestische overbelasting bij frequenties tussen 3 kHz en 6 kHz [3] en 5,7 kHz lijkt niet echt gelukkig gekozen bij deze niveaus. Om de elektronica betrouwbaar te laten schakelen volstaan gelukkig ook al iets lagere geluidsniveaus – bij mijn exemplaar zo in de buurt van 82 dBA.

De elektronica

Maar verreweg het meest opwindende en waardevolle deel van het hele systeem is en blijft natuurlijk het elektronicablok. Het zit vol met elektronische onderdelen, uiteraard allemaal met aansluitdraden zoals vroeger gebruikelijk, omdat de SMD-technologie in 1968 nog niet bestond [2]. De bovenzijde van de behuizing is transparant, wat al een deel van de aantrekkingskracht op technisch geïnteresseerde kinderen uitmaakte. Ook in de kant-en-klare locomotief blijft de elektronica niet verborgen, maar is trots voor iedereen zichtbaar (afbeelding 2). De verbinding met de motor wordt gemaakt via twee metalen noppen aan de onderkant van het elektronicablok, de verbindingen met de microfoon en de batterijhouder via twee maal twee 2,5mm-bussen aan de voorzijde. Ze zijn gemarkeerd met een blauwe stip voor de microfoon en een rode stip voor de voeding (figuur 1).

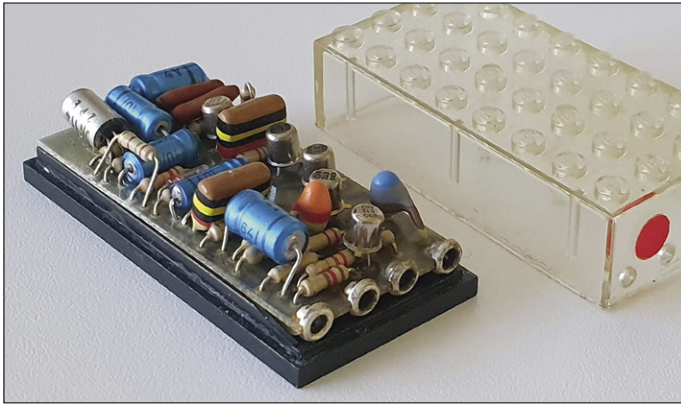


Figuur 1. De Lego Electronic-set uit de jaren '60: links het eigenlijke elektronicablok, daarnaast de microfoon en helemaal rechts de fluit waar een scheidsrechter blij mee zou zijn...



Figuur 2. Replica (helaas geen origineel) van locomotief nr. 118. De elektronicamodule is in volle glorie zichtbaar.

Dit roept meteen al vragen op over de schakeling. De polariteit van de voedingsspanning is nergens aangegeven. Dit zou ook zinloos zijn, omdat de polariteit van de voedingsspanning kan worden gewijzigd met de hendel op het batterijcompartiment. Mechanisch gezien zijn alle aansluitingen identiek, zodat u de microfoon eenvoudig kunt aansluiten waar de motor thuishoort, de batterij waar de microfoon thuishoort enzovoort. Omdat het geheel is ontworpen voor experimenteerlustige kinderhanden moet het wel tegen mishandelingen bestand zijn. Een snel experiment bewijst dat de schakeling alleen zoals bedoeld werkt als de voedingsspanning met de juiste polariteit is aangesloten, maar met omgekeerde (foute?) polariteit min of meer zinnig functioneert: de trein rijdt achteruit, zij het veel langzamer. Als u de motor mechanisch belast, loopt er al gauw een stroom van een dikke 80 mA. In het elektronicablok valt er door de transparante bovenzijde op het eerste gezicht geen vermogens-transistor te zien, en ook geen diodes die de schakeling tegen



Figuur 3. De Lego-elektronica na het openen van de behuizing. Helemaal links achter de germanium-transistor.

ompoling moeten beschermen. Dus hoe hebben ze dat in 1968 gedaan?

Om deze en andere vragen te beantwoorden, zou het schema nuttig zijn. Op internet kon ik het (in eerste instantie) niet vinden en dus moet ik de mooie behuizing openmaken. (Zoals later bleek, had ik gewoon niet goed genoeg gezocht: het schema is heel goed te vinden op internet [1], zelfs in twee varianten, hoewel in beide de polariteit van de transistoren onjuist is aangegeven, zodat de schakeling als getekend niet zou werken.) De bovenkant van de behuizing is op de bodemplaat gelijmd en ik moet met mijn Zwitserse zakmes in actie komen. Voor zo'n gruwelijke mishandeling van een historische Lego-component kom ik vast en zeker in de Lego-hel terecht (of is dat de speelgoedhel?). Het lukt me echter om het bovenste gedeelte zonder ernstige beschadigingen; de elektronica is nu helemaal in volle glorie te zien (**figuur 3**). Toen ik de kleine enkelzijdige print een beetje optilde, zag ik daaronder een vergeeld stukje papier met de tekst "SEP. 1968". Fraai.

Met overtrekpapier, multimeter en een scherpe blik heb ik het schema opnieuw getekend. Een (kleine) uitdaging daarbij was de plaatsing van de componenten: deze waren om plaatsredenen deels boven elkaar gemonteerd, zodat een paar weerstanden en een diode slechts door voorzichtig wegbuigen van de bovenliggende componenten zichtbaar werden.

Figuur 4 toont het zo ontstane schema. Op de kleine print zitten in totaal zes transistoren in metalen behuizing. Vijf daarvan in kleine TO-18-behuizingen hebben het opschrift "ON 113", de zesde (in duidelijk grotere TO-1-behuizing) draagt het type-nummer "ON 114".

De benamingen volgen geen systeem dat mij bekend is, en mijn online zoektocht naar deze transistortypen blijft zonder resultaat. Meting wijst echter uit dat de ON 114 een PNP-germaniumtransistor is, terwijl de andere vijf transistoren NPN-exemplaren zijn en, tot mijn verrassing, siliciumtransistoren.

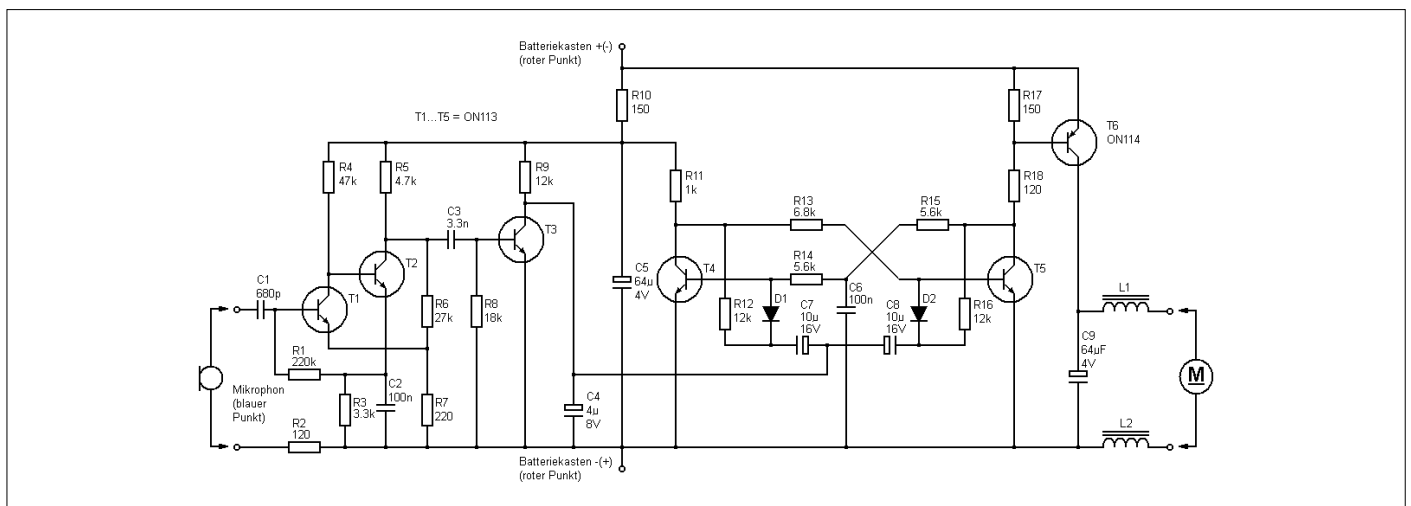
De werking van de schakeling is eigenlijk niet moeilijk te begrijpen. Transistoren T1 en T2 versterken het microfoonsignaal. Dit hoeft niet in hifi-kwaliteit, de versterking hoeft kennelijk slechts groot genoeg te zijn. En dus ziet het signaal op de collector van T2 er behoorlijk vervormd uit. In principe worden alleen delen van de negatieve halve perioden versterkt, en zelfs dat niet erg zuiver. Het signaal haalt echter gemakkelijk top-top-waarden van ongeveer 2,5 V.

T3 vormt samen met condensator C4 en weerstand R9 een schakelaar die de bistabiele multivibrator rond T4 en T5 aanstuurt. C4 wordt in rust via R9 (en dus natuurlijk ook via R10) tot bijna de voedingsspanning geladen. Als er een fluittoon klinkt, gaat T3 bij elke halve periode kort in geleiding, waardoor C5 snel wordt ontladen. Het weer opladen van C5 vindt dan veel langzamer plaats, met een door C5 en R9 bepaalde tijdconstante van iets minder dan 50 ms nadat het akoestische signaal is verstomd. Via C7 en C8 wordt de bistabiele multivibrator aangestuurd. Als T4 geleidt, staat de motor stil. Als daarentegen T5 geleidt, dan gaat het CE-traject van eindtransistor T6 in geleiding en komt de trein in beweging.

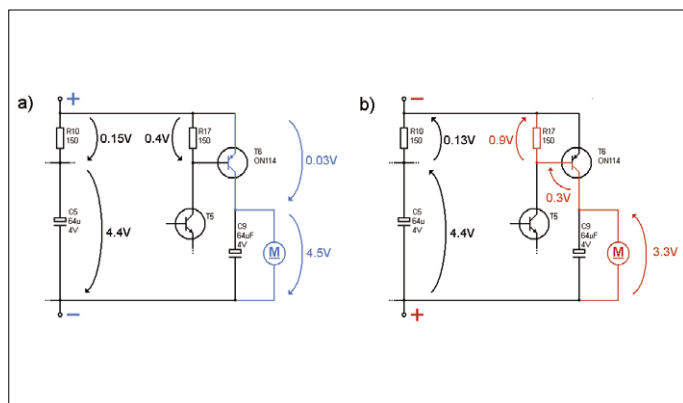
Hoewel vijf van de zes transistoren in de schakeling silicium-exemplaren zijn, hebben de ontwerpers een germaniumtransistor gekozen voor de aansturing van de motor. Dat ligt ook voor de hand omdat de spanningsval in doorgeschakelde toestand bij een germaniumtype veel geringer is dan bij een siliciumtransistor. In de onderhavige schakeling bedraagt die een ongelooflijke 0,03 V. En de dissipatie in T6 is navenant gering.

Een kwestie van polariteit

Tot hier alles begrepen. Toch is nog niet alles duidelijk. Wat gebeurt er als de voedingsspanning 'verkeerd' wordt aangesloten? Waarom rijdt de trein dan eigenlijk, en waarom dan



Figuur 4. Het schema. Transistors T1...T5 zijn siliciumexemplaren, T6 is een germaniummotor.

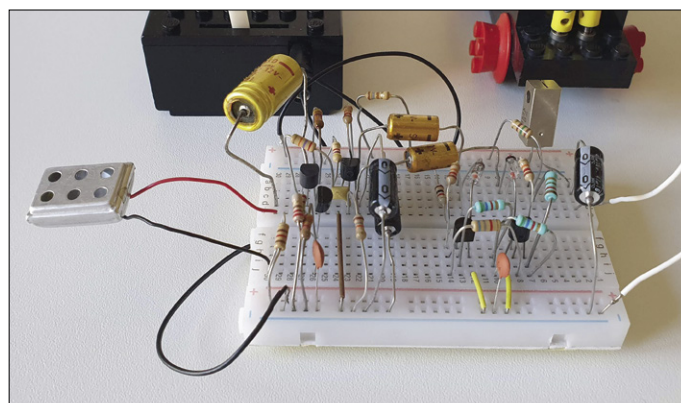


Figuur 5. Enkele spanningen (a) tijdens vooruitrijden en (b) met omgepoolde voeding waarbij de trein langzamer in de andere richting rijdt.

langzamer dan vooruit? Wat gebeurt er in de diverse delen van de schakeling bij een 'verkeerde' polariteit? Het eerste deel van de schakeling wordt wellicht enigszins beschermd door R10, maar wat gebeurt er met de elektrolytische condensatoren C5 en C9? Zijn die dan niet verkeerd gepoold? **Figuur 5** toont beide situaties samen met enkele relevante spanningen tijdens bedrijf. Als de polariteit correct is (**figuur 5a**) werkt alles precies als beschreven. Omgekeerd (**figuur 5b**), daarentegen gedraagt het BC-traject van T6 zich als een diode met de verwachte spanningsval van ongeveer 0,3 V. De stroom door de motor loopt nu echter ook door de 150Ω-weerstand R17, waarover nog eens 0,9 V valt. De motor draait veel langzamer, maar hij doet het!

En de twee elektrolytische condensatoren? Nou, wonderen bestaan niet. Als de locomotief langzaam achteruit rijdt, zijn de twee condensatoren C5 en C9 in feite verkeerd gepoold en zijn de spanningen erover niet verwaarloosbaar. Blijkbaar hebben de ontwerpers dat op de koop toe genomen, en zelfs na meer dan 50 jaar lijkt het goed te gaan.

De metingen op de smalle print zijn nog niet zo eenvoudig. Bovendien is het natuurlijk verleidelijk om de schakeling na te bouwen om er zeker van te zijn dat het schema correct is. De voor de hand liggende vraag is dan: is nabouw wel de moeite waard? Zoals met alle lastige vragen raadpleegde ik eerst mijn familie. De antwoorden variëren dit keer van "doe de deur dicht" (nageslacht op een 'moeilijke' leeftijd) tot "waar is dat goed voor?" (liefhebbende echtgenote; elke leeftijd kan een beetje 'moeilijk' lijken) tot beide ogen krampachtig sluiten (kat, leeftijd niet precies bekend, maar zeker geen recent model). In vergelijking met eerdere projectideeën mijnerzijds kan ik de respons slechts positief inschatten, en dus ga ik meteen aan de slag.



Figuur 6. De nagebouwde schakeling. Rechts achter van de germaniumtransistor AC153K in TO-18-behuizing met koelblok, wat in deze toepassing helemaal niet nodig is.

Het nabouwsel

Figuur 6 toont de nagebouwde schakeling op een klein breadboard. In plaats van de vijf ON 113 NPN-siliciumtransistoren T1...T5 heb ik BC548C-typen gebruikt en in plaats van de germaniumtransistor ON 114 een AC153K, die als laatste der Mohikanen enkele decennia diep onderin de rommeldoos had doorgebracht.

De schakeling doet het meteen, net als het 50 jaar oude origineel: een fluitje en de motor loopt, een tweede fluitje en hij stopt. Als ik de batterijenschakelaar in de andere stand zet, draait de motor in de andere richting en veel langzamer. Bingo. Als microfoon heb ik een klein kristalmicrofoontje gebruikt. Misschien heeft de schakeling enig nut voor iemand die een niet langer werkend exemplaar van Lego Electronic in bezit heeft. En het nabouwsel nodigt zeker uit tot spelen. Veel plezier ermee! ◀

(190382-04)

EST²⁰ 2004

www.elektor.tv



Retrotronica is een rubriek over oude elektronica en legendarische Elektor-ontwerpen. Bijdragen, suggesties en vragen zijn meer dan welkom; stuur uw telex of telegram naar **redactie@elektor.nl**

Links & literatuur

- [1] Schakeling "211 OM": www.eurobricks.com/forum/index.php?/forums/topic/10989-electronic-train-118138-and-139-anyone-have-one-or-have-seen-one/&page=2
- [2] Geschiedenis SMT: www.all-electronics.de/eine-kleine-geschichte-der-smt/
- [3] Kompis M., "Audiologie", Hogrefe Verlag Bern, vierde druk, 2016, ISBN: 978-3-456-85553-0, hoofdstuk 4: