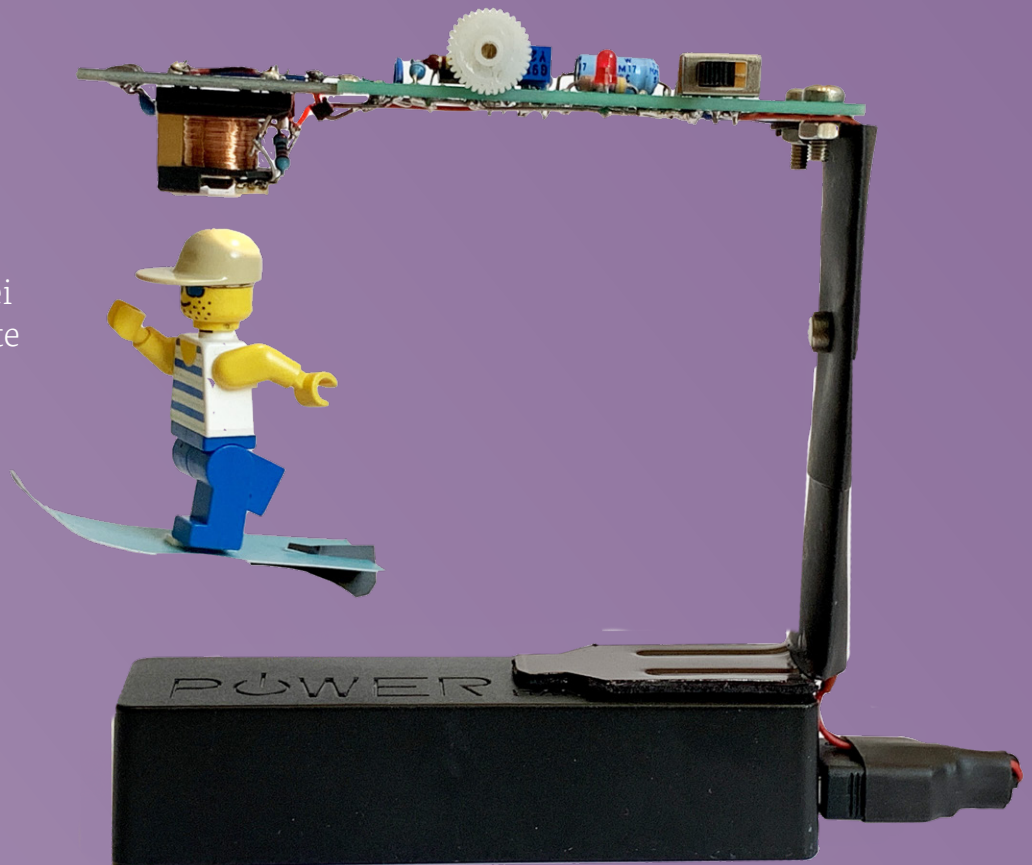
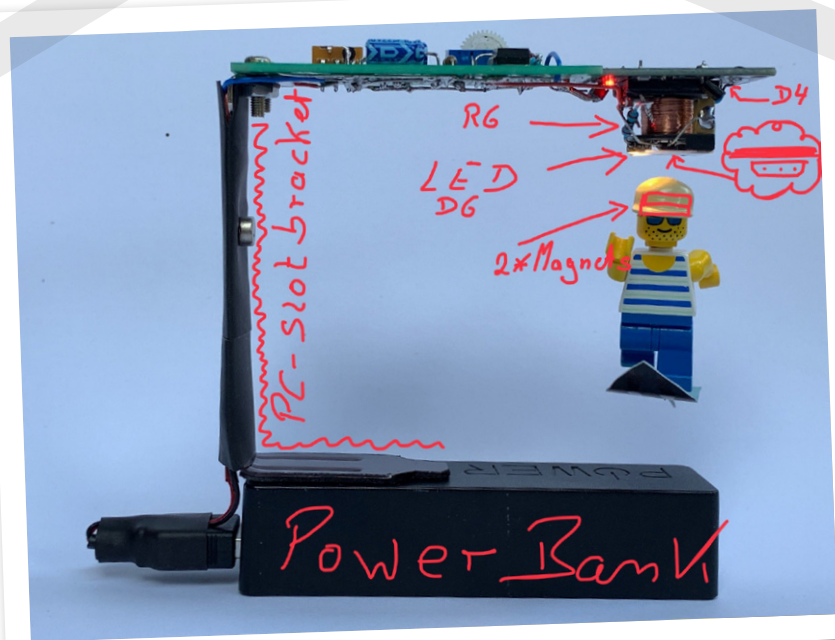


Magnetische levitatie “the easy way”

Peter Neufeld (Duitsland) en
Luc Lemmens (Elektor)

Op de pagina's van Elektor Labs zijn twee magnetische levitatieprojecten van ontwerper Peter Neufeld te vinden. In beide gevallen zweeft een Lego-poppetje in de lucht. En ze werken allebei op dezelfde manier: de sterkte van het magnetische veld tussen een elektromagneet en een neodymium-magneet wordt gemeten met een Hall-sensor en op basis van het meetresultaat wordt de elektromagneet aangestuurd. Het verschil tussen de twee projecten zit hem in de stuurschakeling. Het eerste is 'hardware only' en werkt met een analoge comparator, terwijl het tweede werkt met een M5Stack Atom ESP32 Pico-microcontrollermodule. In dit artikel bekijken we de eerste oplossing.





Figuur 2. Constructie van het prototype.

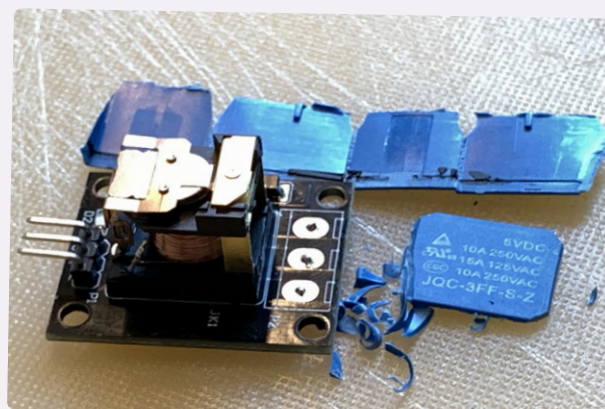
LED D5 is de voedingsspanningsindicator en SW1 is de aan/uit-schakelaar. D1 is een zogenaamde crowbar-diode die de schakeling beschermt als de voedingsspanning verkeerd-om wordt aangesloten.

Hoe komen we aan de (juiste) componenten?

De meeste elektronische en mechanische onderdelen zijn goed verkrijgbaar, alleen de Hall-sensor (A1302 of A1308) van Allegro is wat lastiger. Maar goedkopere en gemakkelijker verkrijgbare sensoren zoals de SS49 bleken niet te werken in de vroege prototypen van Peter's levitatieprojecten, waarschijnlijk omdat het uitgangssignaal niet snel genoeg reageert als het magnetische veld verandert, maar dat is niet verder onderzocht.



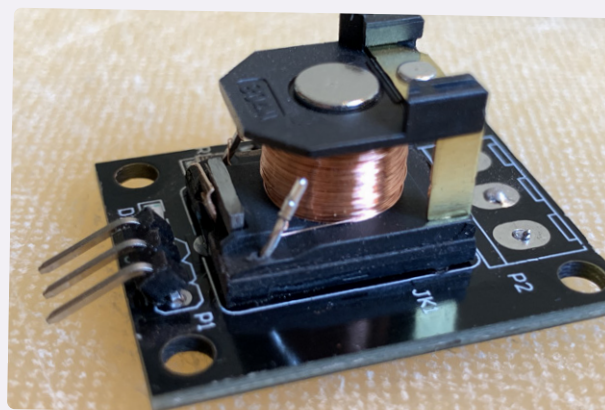
Figuur 3a. Printkroonsteen verwijderd, begin met het verwijderen van de kap van het relais.



Figuur 3b. Het relais ligt open.

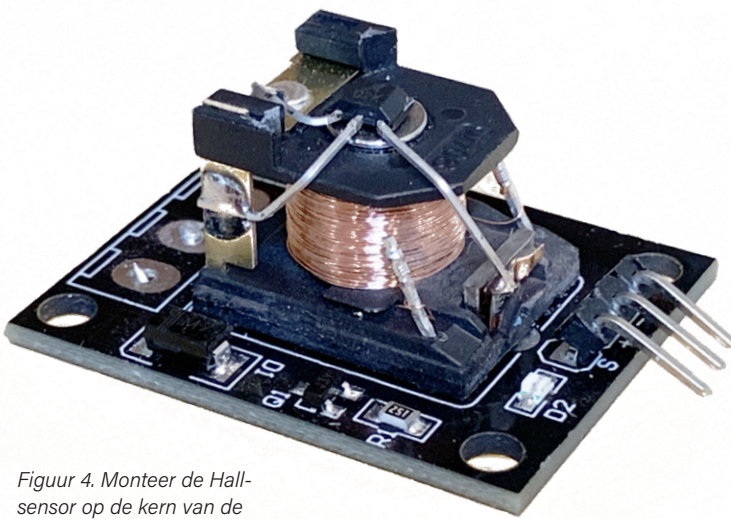


Figuur 3c. Verwijder het schakelcontact en een gedeelte van de kern.



Figuur 3d. Het relais is omgebouwd tot een elektromagneet.

Figuur 3. Aanpassen van de relaismodule.



Figuur 4. Monteer de Hall-sensor op de kern van de elektromagneet.

Het lastigste bleek nog het vinden van de relaiskaart die we gebruiken voor de elektromagneet. Deze modules zijn gewoon te koop op het internet in allerlei webwinkels voor maker en Arduino-hobbyist, dus ze zouden toch niet moeilijk te vinden moeten zijn. Peter had getest met relaiskaarten van de typen HW-482 met JQC-3FF-S-Z- en JQC3F-05VDC-relais. Maar ik leerde (opnieuw) dat je moet oppassen met inkopen via Internet. Vertrouw nooit de foto's die je ziet in webshops! Ik had gekeken naar de foto's van de ontwerper en vond exact dezelfde kaart bij Amazon. Maar ik kreeg modules van het type HW-307 met een relais met typenummer FL-3FF-S-Z. Ze werkten zoals beschreven en beloofd in de winkel: een 5V-relais met een enkelvoudig wisselcontact, een driver-transistor, een vrijlooptdiode en een indicatie-LED. Maar de transistor op mijn kaart was een PNP-type, terwijl op de kaarten waar Peter mee had getest een NPN-transistor zat. Ik heb het toch maar geprobeerd, want het relais was dan wel van een ander merk, maar het zag er precies eender uit, ook aan de binnenkant. Het ging tenslotte vooral om de spoel en de kern.

Voor de magneten gebruiken we een stapel van twee of drie schijfvormige neodymium-magneten met een diameter van 8 tot 12 mm en een dikte van 2 tot 3 mm. De grootte en aantal magneten dat nodig is, zal ook afhangen van het gewicht van het Lego-poppetje of ander voorwerp dat u wilt laten zweven. Ik begon met twee magneten met een diameter

van 10 mm en een dikte van 2 mm. Het is aan te raden om met een eenvoudig object te beginnen om het afregelen in de vingers te krijgen. Het is ook een goed idee om de bovenkant te markeren met een markeerstift om te voorkomen dat u de magneten ondersteboven hangt. Als het met de losse magneten werkt, kunt u er dingen aan gaan hangen. Natuurlijk zijn er grenzen aan de grootte en



het gewicht van het voorwerp dat u kunt laten zweven. Als we het in dit artikel hebben over "de magneten", bedoelen we dus het hele voorwerp, inclusief de magneten.

De opbouw

Er is geen printontwerp voor dit project, maar het is gemakkelijk te bouwen op een stukje gaatjesprint of zelfs op een breadboard. In



ONDERDELENLIJST

Weerstanden:

R1 = 4k7
R2 = 18 k
R3 = 220 k
R4,R6 = 220 Ω
R5* = 1k2
R7 = 470 Ω
RV1 = 20 k
meerslagen-instelpotmeter

D2*,D5 = LED, rood
D3 = LED, wit
D4* = niet gemonteerd
(of verwijderen van de
relaiskaart)
Q1* = BC550
U1 = Hall-sensor A1302 of
A1308 (Allegro)
U2 = LM311 comparator

Condensatoren:

C1 = 47 μ , 10 V radiaal
C2 = 100 n

Diversen:

5V-relaiskaart *
SW1 = schuifschakelaar
Neodymium schijfmagneten*

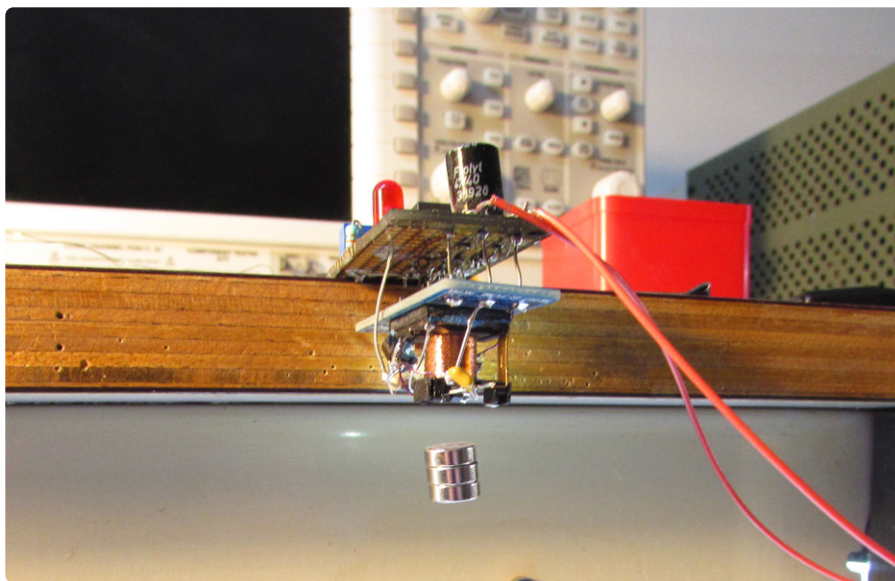
Halfgeleiders:

D1 = 1N4001

* = zie tekst

figuur 2 ziet u de constructie van het prototype. Begin met het verwijderen van de 3-polige printkroonsteen van de relaiskaart, zodat u meer ruimte hebt om aan het relais te werken. Kijk goed naar Peter's foto's in **figuur 3** om te zien wat u met het relais moet doen: verwijder de behuizing en het grootste deel van het schakelmechanisme, we gebruiken alleen de spoel en de kern. Kort de U-vormige kern in tot de vorm van een J, om te voorkomen dat het veld wordt kortgesloten. Een kleine slijpschijf op een Dremel kan handig zijn om de metalen delen af te slijpen. Wat voor relaiskaart u ook hebt, de vrijlooptdiode D4 voor het relais moet worden verwijderd en vervangen door R6 en de witte LED D3. Bij Peter's relaiskaart was de schakeling uit figuur 1 daarmee compleet, inclusief Q1, R5 en D2 die al op de print zitten. Zelf heb ik alleen de relaisspoel behouden, alle andere componenten heb ik verwijderd en dit deel van de schakeling zelf opgebouwd. Voor Q1 kan een BC550 of een andere standaard NPN-transistor worden gebruikt. Achteraf bekeken zou het voor mij handiger geweest zijn om alleen het relais te kopen, maar deze kleine, in serie vervaardigde relaismodules zijn misschien wel goedkoper dan losse relais.

Let op: de nummers van de componenten op de relaiskaart in het schema (L1, R5, D2 Q1 en D4) komen niet overeen met de nummers op de print. Het zal niet zo moeilijk zijn de vrijlooptdiode D4 te vinden die u moet verwijderen.



Figuur 5. Uiteindelijke versie van mijn prototype. Ik was al heel blij dat het werkte.

De Hall-sensor wordt rechtstreeks op de kern van de spoel gemonteerd. Plaats hem parallel aan het oppervlak van de kern, zoals in **figuur 4**. Lijm een stukje plastic over de sensor en de aansluit pennen om kortsluiting te voorkomen als de magneet tegen de kern aan wordt getrokken.

Het bouwen van de rest van de schakeling op gaatjesprint zal weinig moeilijkheden opleveren. Let er wel op dat de bedrading van de spoel en oriëntatie van de permanente



magneet en de Hall-sensor heel belangrijk zijn voor de goede werking:

- Als de permanente magneet dichterbij de spoel en Hall-sensor komt, moet de uitgangsspanning van de sensor toenemen.
- Als de spoel wordt ingeschakeld, moet zijn magnetisch veld de magneet aantrekken.

Als aan één (of beide) voorwaarden niet wordt voldaan, zal het niet werken. De eerste voorwaarde is gemakkelijk te controleren door de uitgangsspanning van de Hall-sensor te meten met een multimeter; draai de magneet gewoon om als de spanning afneemt wanneer hij de sensor nadert. En de tweede... ik kon de kracht tussen de bekrachtigde spoel en de magneet voelen, dat leek in orde te zijn. En het leek alsof de stuurschakeling die ik had gebouwd goed werkte, want beide LED's gingen op de juiste momenten aan: D2 licht op, wanneer de spoel is ingeschakeld, D3 flitst wanneer de spoel wordt uitgeschakeld, als de magneet dicht bij de spoel kwam. Dan zou ik alleen nog maar RV1 hoeven af te regelen om de juiste spanning op de niet-inverterende input van de comparator te zetten zodat mijn Lego-poppetje met aangehechte magneet zou gaan zweven, zoals in de video. Maar mijn inspanning werd niet beloond: de magneet knalde tegen de spoel of hij viel op de tafel. Toen dacht ik weer aan de tweede

GEBRUIK VAN EEN POWERBANK ALS VOEDING

Als er geen permanente magneet dicht bij de kern en de Hall-sensor zit, is de spoel voortdurend ingeschakeld en is het totale stroomverbruik van de schakeling ongeveer 75 mA. Het grootste deel van die stroom loopt door de elektromagneet. Als er een magneet onder de spoel zweeft, is het gemiddelde stroomverbruik niet meer dan 50 mA bij 5 V, dat is verrassend weinig voor een magnetisch levitatieproject. Ontwerper Peter Neufeld maakt gebruik van een USB-powerbank als voeding, zodat het project kan worden gepresenteerd op een tafel of bureau zonder dat er een voedingskabel nodig is. De powerbank is een (deel van) de basis waar het project op staat. De meeste powerbanks schakelen automatisch uit als er enkele seconden weinig stroom uit wordt getrokken en 50 mA zou weleens onder die schakeldrempel kunnen zijn. Dat is natuurlijk niet de bedoeling, maar het is op te lossen door wat meer stroom uit de powerbank te trekken, bijvoorbeeld door een paar power-LED's toe te voegen.





voorwaarde. Ik voelde echt dat de magneet, als ik hem vasthield, door de spoel werd aangetrokken als die bekrachtigd werd. Dan was dat ook in orde. Toch?

Als niets meer helpt... lees je de gebruiksaanwijzing

Eerst heb ik de sterkte van het magnetische veld van de spoel getest. Tot mijn verbazing bleek de elektromagnetische kracht maar heel klein te zijn: rechtstreeks gevoed met 5 V kon hij amper een heel klein ijzeren voorwerpje optillen. Niet bepaald de kracht die je zou verwachten om wat dan ook mee op te tillen, laat staan een zware magneet met een voorwerp eraan. Maar ik had iets belangrijks over het hoofd gezien: ook als de spoel helemaal niet wordt gevoed, is er altijd nog het veld van de permanente magneet. Dat levert veel meer kracht op dan het zwakke veld van de spoel. Dus zo zit het: als de permanente magneet dicht bij de kern komt, dan is er een positie waar de statische kracht net niet sterk genoeg is om de magneet tegen de kern te trekken. En dan gaat het veld van een spoel een rol spelen. De spoel voegt maar een kleine kracht toe aan het statische veld, net sterk genoeg om de magneet omhoog te trekken. Het magnetische veld dat de Hall-sensor meet neemt toe (en dus ook zijn uitgangsspanning) als de magneet dichterbij de kern komt. Dan schakelt de regelaar de spoel uit (mits RV1 correct is ingesteld), waardoor de magneet net niet helemaal tegen de kern getrokken wordt. Dan trekt de zwaartekracht de magneet weer omlaag, waardoor het veld zwakker wordt en schakelt de spoel weer in, enzovoort.

Omdat het elektromagnetische veld heel zwak is in vergelijking met het statische magnetische veld, is het moeilijk om te bepalen of de spoel aantrekt of afstoot als er een stroom door loopt. Ik heb een ouderwets kompas gebruikt om te controleren of de richting van

het elektromagnetische veld correct was om te voldoen aan de tweede voorwaarde voor het zweven. Toen ik Peter's documentatie opnieuw doorlas, zag ik dat hij een eenvoudige oplossing noemt om de juiste oriëntatie van de spoel te vinden: de uitgangsspanning van de Hall-sensor neemt niet alleen toe wanneer de permanente magneet dichterbij komt, maar ook wanneer de spoel wordt gevoed (bijvoorbeeld door de collector van Q1 met GND te verbinden). Als dat niet klopt, kunt u de aansluitingen van de spoel en van LED D3 omwisselen.

Afregelen

Zoals al eerder vermeld, komt er nauwkeurigheid en behendigheid aan te pas om het punt te vinden waar de last blijft zweven, ergens tussen 10 mm en 15 mm onder de spoel. Peter beschrijft een werkwijze om met behulp van een stapel van gele post-it briefjes de afstand goed te krijgen voor kalibratie, maar dat lukte mij niet (het zal wel aan mijn onhandigheid gelegen hebben). Het lukte me wel om de magneet op mijn hand te zetten en hem dan heel langzaam omhoog te brengen naar de spoel totdat ik kon voelen dat de magnetische kracht begon te trekken. Als de spoel wordt uitgeschakeld, voordat dat punt is bereikt, verdraai dan RV1 voor een hogere drempelspanning op de niet-inverterende input van de comparator. Of draai de potmeter naar een lager niveau als de spoel niet wordt uitgeschakeld, voordat de magneet tegen de kern aan komt. De witte LED licht kort op wanneer de spoel wordt uitgeschakeld. Draai de potentiometer naar het punt waar deze LED continu lijkt op te lichten (in werkelijkheid knippert hij met de regelfrequentie van de magneet). In het begin zal de magneet vaak tegen de kern getrokken worden, maar als u er wat behendigheid in krijgt, zult u merken dat het steeds gemakkelijker wordt om de kalibratie goed

Een bijdrage van

Ontwerp: **Peter Neufeld**

Tekst en redactie: **Luc Lemmens**

Illustraties: **Peter Neufeld,**

Patrick Wielders, Luc Lemmens

Vertaling: **Evelien Snel**

Layout: **Harmen Heida**

Vragen of opmerkingen?

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

te krijgen voor andere voorwerpen. Bij mijn testopstelling kon ik zelfs het schakelen van de besturingsschakeling horen als de instelling (bijna) goed was. Inderdaad, het kan even duren, voordat het lukt, maar het is te doen! Ik wilde eerst een prototype bouwen dat er net zo mooi uitzag als dat van de auteur, maar na alle veranderingen die ik had aangebracht voordat het eindelijk werkte, is dat erbij ingeschoten. Mijn opstelling zag er uiteindelijk zo uit als in **figuur 5**. Maar ik had in elk geval mijn belangrijkste doel bereikt: ik had de magnetische levitatie aan de praat gekregen! En misschien ooit, als ik geen ideeën meer heb om aan te werken... Maar ik ga meer aan het uiterlijk doen bij het tweede deel dat zal gaan over dat andere levitatieproject dat Peter Neufeld heeft ontworpen, de digitale oplossing. Na alles wat ik heb geleerd van dit "simpele" analoge ontwerp, zal ik de meeste valkuilen die ik ben tegengekomen bij de analoge versie kunnen vermijden. Het tweede project wordt dan gemakkelijker, zodat ik meer tijd aan de "cosmetische" aspecten kan besteden! 

200311-03



Gerelateerde producten

> **Magnetsphere Kit**
www.elektor.nl/magnetsphere-kit

WEBLINKS

- [1] **Wikipedia-pagina over levitatie:** <https://nl.wikipedia.org/wiki/Levitatie>
- [2] **P. Neufeld, "Magnetic Levitation – The Easy Way," ElektorMagazine.com, juni 2020:** www.elektormagazine.com/labs/magnetic-levitation-the-easy-way
- [3] **P. Neufeld, "Magnetic Levitation – The Digital Way," ElektorMagazine.com, juli 2020:** www.elektormagazine.com/labs/magnetic-levitation-the-digital-way