

Magnetische levitatie op de digitale manier

ESP32 Pico vervangt de analoge comparator

Peter Neufeld (Duitsland) en
Luc Lemmens (Elektor)

In het artikel “Magnetic Levitation the Easy Way”, zagen we dat magnetische levitatie niet al te moeilijk te realiseren is met een permanente magneet, de spoel en kern van een standaard 5 V relais, een Hall-sensor en een goeie-oude analoge comparator. In dit tweede project is de controle in handen van een ESP32 Pico SoC, geïntegreerd in de handige M5Stack ATOM.

De titel van het eerste artikel, “Magnetische Levitatie ‘the Easy Way’” [1][2], zou kunnen hebben gesuggereerd dat we nu een veel complexere manier gaan bespreken om levitatie te bewerkstelligen, maar dat is niet het geval. In deze tweede aflevering van het levitatieproject [3] wordt de analoge comparator van het eerste ontwerp vervangen door een M5Stack ATOM Lite of ATOM Matrix, kleine ESP32-gebaseerde modules (zie kader “M5Stack...”) voor het meten van de uitgangsspanning van de Hall-sensor en het aansturen van de spoel. Als je alle onderdelen in de M5Stack-module niet meetelt, zijn om deze digitale versie te bouwen in

feite veel minder onderdelen nodig dan de analoge schakeling. Het grappige is dat voor sommige van onze lezers het gebruik van een microcontroller de gemakkelijke weg is, terwijl anderen zullen klagen en vragen waarom we de overkill van een ESP32 module gebruiken terwijl in principe een eenvoudige LM311 ook kan volstaan. Het is moeilijk om iedereen tevreden te stellen; daarom hebben we in dit geval besloten om beide opties te presenteren.

Elke andere ESP32-module dan een M5Stack ATOM zou ook voldoen voor dit project. Voor één van de versies van het prototype (zie hieronder) zal een drukknop om de levitatie regelkring aan te passen (reeds aanwezig in de ATOM modules) van pas komen.

De M5Stack-modules werden gekozen omdat ze betaalbaar zijn, extreem klein, en goed beschermd tegen kortsluiting in hun plastic behuizingen. Alle I/O's die voor dit project nodig zijn, zijn gemakkelijk bereikbaar op de SIL-bussen aan de onderzijde van de ATOM's. De Neopixel-LED's aanwezig in het M5Stack ATOM Matrix-model worden natuurlijk alleen gebruikt voor de cosmetica, ze dragen niet bij aan het levitatie proces, dus voor dit project kan ook het Lite-model, met slechts één Neopixel LED, worden gebruikt.

Tijdens een discussie die ik met Peter had toen ik begon met het schrijven van dit artikel, kwam hij met het idee om een trimpotmeter toe te voegen in plaats van de drukknop te gebruiken voor het aanpassen van de regelkring; hij heeft uiteindelijk ook deze oplossing gebouwd en getest. Deze ‘extra versie’ wordt besproken op zijn webpagina's [4] en in dit artikel.



De Hardware, Originele Versie

Zoals het schema in **figuur 1** laat zien, is de gebruikte hardware ruwweg gelijk aan die van de analoge versie. De modificatie van de relaisprint is grotendeels identiek aan deel 1, het belangrijkste verschil is dat de Hall-sensor nu gevoed wordt met 3,3 V, uit de interne spanningsregelaar van de ATOM-module. **Figuur 2** toont de resulterende elektromagneet met de Hall-sensor gemonteerd op de kern. Hier is de flybackdiode voor het relais vervangen door twee witte LED's die worden gebruikt als 'spotlights' om het zwevende object te verlichten. Eén LED -zoals in de analoge oplossing- zou ook volstaan. Maar blijkbaar presteert de opstelling met twee LED's beter waar het de stabiliteit van het zwevende object betreft. Het is belangrijk om de sperstroom door de LED's laag te houden, omdat een hogere stroom het elektromagnetische veld te lang in stand houdt, zelfs als de transistor is uitgeschakeld [5]. Dit extra veld zou een goede regelkring kunnen hinderen en destabiliseert dan het zweven van het object. Maar de LED's en de weerstand zijn absoluut noodzakelijk en moeten de oorspronkelijke diode vervangen, omdat zij de inductiespanning op de relais-transistor beperken tot een onschadelijk niveau van minder dan 50 V en zorgen voor de juiste korte schakelpulsen. Twee witte LED's met een serieweerstand van 220 tot 330 Ω zijn voldoende. Natuurlijk houdt de 3,3 V voedingsspanning ook het uitgangsniveau van de sensor tussen 0 V en 3,3 V, zodat de maximale ingangsspanning van de ADC van de

Over Hall Sensors gesproken...

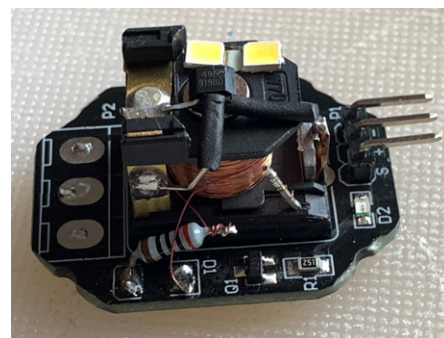
Aanvankelijk werd op Peters webpagina's voor beide versies van het levitatieproject vermeld dat alleen de A1302 of A1308 van Allegro Microsystems bruikbaar waren, en dat de meer betaalbare SS49E (Honeywell) hier niet goed werkte. De reden waarom bleef een beetje onduidelijk, totdat hij zich realiseerde dat hij tijdens de ontwikkeling van het allereerste prototype op een bepaald moment meer dan één onderdeel had verwisseld (waaronder de Hall sensor van SS49E naar A1302), waarna het eindelijk werkte. Hij vermoedde dat de Hall-sensor de boosdoener was, maar recentere tests wezen uit dat de SS49E toch werkt in beide versies van het project. Goed nieuws, niet alleen vanwege de prijs, maar ook omdat de Honeywell sensoren veel gemakkelijker te vinden zijn!

M5Stack ATOM niet wordt overschreden. Merk op dat deze voedingsspanning niet overeenkomt met de specificaties van de meeste Hall-sensoren (zie het kader "Over Hallsensors..."). Als we naar de datasheets kijken, zou de minimale voedingsspanning voor de A1302/A1308 4,5 V moeten zijn, maar blijkbaar werken ze ook met een lagere spanning (dat wil zeggen: voor dit project!),

en dit voorkomt dat er een spanningsdeler nodig is om binnen de ingangslimieten van de ADC te blijven. Er is echter één nadeel: blijkbaar loopt de uitgangsspanning van de sensor met deze voedingsspanning al bij een lagere magnetische veldsterkte vast, en dit beperkt het gewicht van het object dat kan worden opgetild. En het is zelfs een beperkende factor voor de SS49E, hoewel deze Hall-sensor gespecificeerd is voor een minimale voedingsspanning van 2,6 V. Het circuit wordt gevoed met 5 V via de USB-C connector, de Grove poort connector of de SIL-aansluiting aan de onderzijde van de M5Stack ATOM.

De software

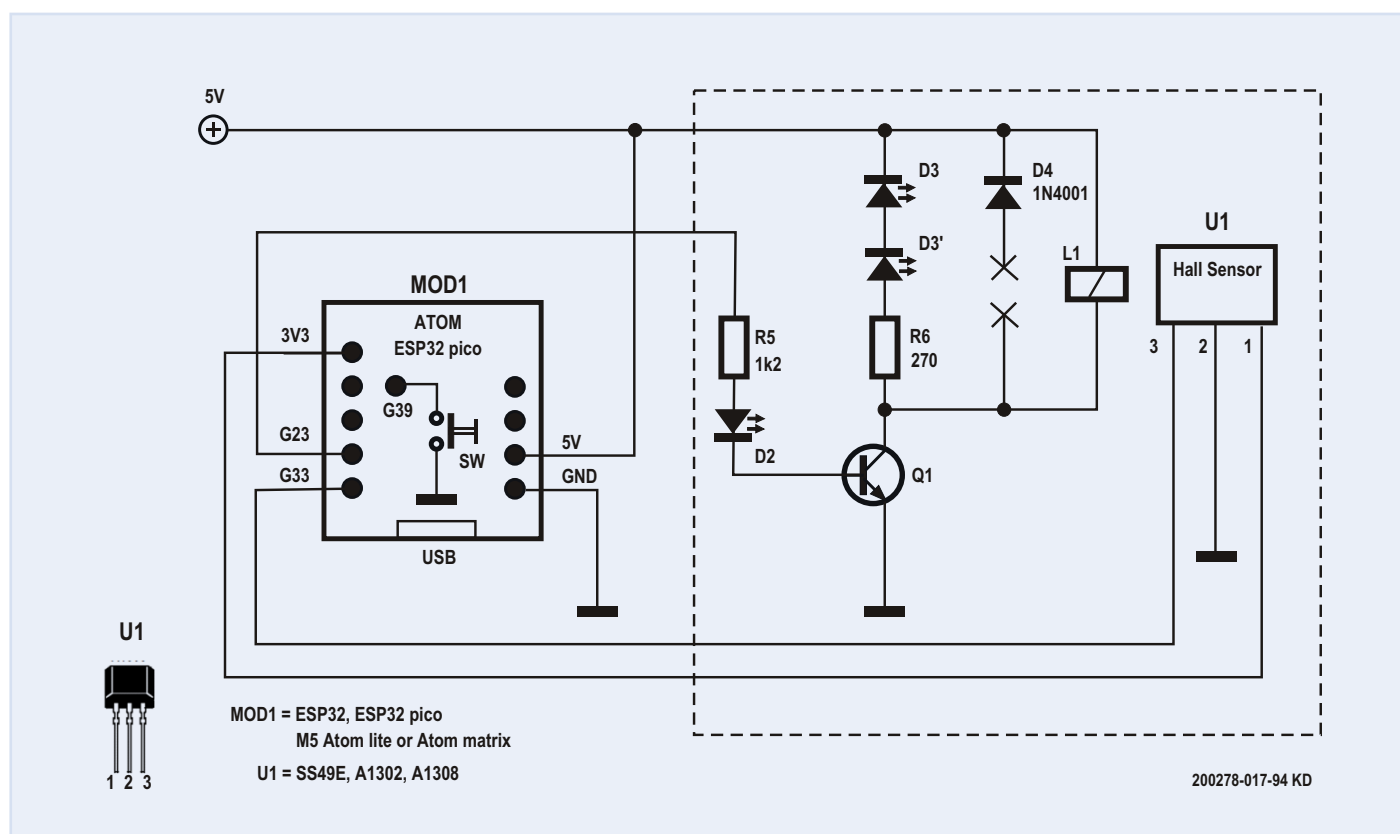
Het algoritme in de Arduino-schets om de levitatie te regelen is in principe heel eenvoudig: de ADC van de ESP32 meet de uitgangsspanning van de Hall-sensor, vergelijkt deze met een trigger-niveau (met enige hysteresis) en schakelt de spoel aan of uit, zodat de software de LM311 comparator van de eerste opzet nabootst. In het eerste voorbeeld op Peter's webpagina (*MagLev_1.I.NO*) zijn het triggerniveau en de hysteresis gedefinieerd



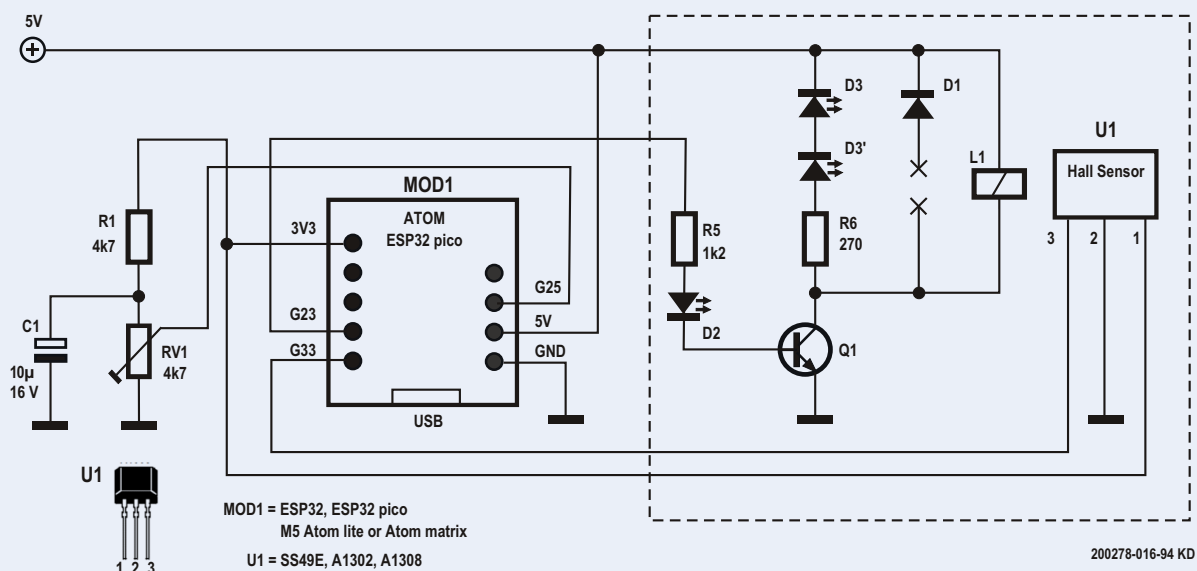
Figuur 2: De aangepaste relaisprint, de Hall-sensor op de kern van de elektromagneet.

als constante waarden in de sketch en deze moeten worden afgestemd op het object dat u gebruikt. Het kan enige tijd duren om de juiste waarde voor het triggerniveau te vinden, omdat dit afhankelijk is van het object en natuurlijk van de grootte en sterkte van de permanente magneet die u gebruikt.

De broncode van deze eerste sketch is meer een eenvoudige demonstratie van het regelalgoritme, omdat u deze telkens opnieuw moet compileren en uploaden als u een van deze constanten wijzigt, wat niet erg praktisch is. De tweede sketch gebruikt de geïntegreerde drukknop van de M5Stack ATOM om de drempelwaarde voor de uitgangsspanning van de Hall-sensor tijdens runtime te wijzigen. Wanneer dit programma start, wordt het niveau ingesteld op een vooraf gedefinieerde



Figuur 1: Het schema lijkt erg op de analoge versie, maar met minder benodigde componenten.



Arduino IDE installatie

Om de M5Stack ATOM of ATOM Matrix in de Arduino IDE te gebruiken, is enige voorbereiding nodig. Ervan uitgaande dat de IDE zelf al is geïnstalleerd, is de eerste stap om de ESP32 Arduino core add-on toe te voegen in **File → Preferences** van de IDE en https://m5stack.oss-cn-shenzhen.aliyuncs.com/resource/arduino/package_m5stack_index.json in te voeren in het **Additional Boards Manager URLs** veld. Sluit de **Preferences** door op **OK** te klikken, open dan **Tools → Board → Boards Manager...**, voer 'M5stack' in in het zoekveld bovenaan dit venster en druk op de installatieknop voor de *M5Stack by M5Stack official*; op het moment van schrijven was versie 1.0.7 de meest recente. Daarna kunt u de M5Stack-ATOM selecteren in **Tools → Board → M5Stack Arduino → M5Stack-ATOM**, en vergeet niet de juiste seriële poort te selecteren in **Tools → Port**. Als u de Neopixel LED's wilt gebruiken, moet u de Adafruit Neopixel bibliotheek installeren via **Sketch → Include Library → Manage Libraries**.

Peter op het idee om een trimpotmeter toe te voegen om het drempelniveau in run-time aan te passen, zoals is te zien in het aangepaste schema in **figuur 3**. De loper van de instelpotmeter is verbonden met een tweede analoge kanaal van de ESP32. Dit kan een tijdelijke oplossing zijn om de magnetische levitatie gemakkelijk op het juiste drempelniveau in te



Figuur 4: Trimpotmeter aan de basis van de mechanische constructie.



COMPONENT LIST

Weerstanden

R5* = 1k2

R6 = 270 Ω

Halfgeleiders

D2* = rode LED

D3, D3' = witte LED (zie tekst)

D4* = niet gemonteerd (of van relaiskaart verwijderen)

Q1* = BC550

U1 = Hall-sensor A1302 of A1308 (Allegro) of SS49E (Honeywell)

Diversen

5V relaisbord *

MOD1 = M5Stack ATOM Lite of M5Stack ATOM Matrix

Neodymium schijfmagneten

* = zie [1] voor de details over de elektromagneet/relaisprintplaat

Extra onderdelen nodig voor analoge afstelling:

Weerstanden

R1 = 4K7

RV1 = 5 K trimpotmeter

Condensatoren

C1 = 10 µF, 10 V radiaal

stellen, in plaats van de drukknop te gebruiken zoals in de vorige schets. Op deze manier kan de derde versie van de software (*MagLev_3.INO*) helpen om de juiste drempelwaarde te bepalen, die dan hard-coded kan worden in *MagLev_2.INO*.

De broncode wordt getoond in het kader. Omwille van de eenvoud is ondersteuning voor de M5Stack ATOM Neopixel LED's weggelaten in de schets. Als u de hardware tot een absoluut minimum wilt beperken, kunnen de extra trimpotmeter, weerstand en elektrolytische condensator (R1, RV1 en C1) later worden weggelaten, met de juiste drempelwaarde vastgelegd in een tweede versie van de schets. Maar de afbeelding in **figuur 4** laat zien dat deze componenten niet veel ruimte innemen en effectief kunnen worden weggewerkt. Naar mijn mening is

deze analoge afstemming van het digitale project een waardevolle toevoeging aan het levitatieproject. Ik zou het zelf niet verwijderen! De broncode voor de drie schetsen kan worden gedownload van [6].

Bouw

De foto's in **figuur 5** laten zien hoe de mechanische constructie van het digitale levitatieproject kan worden opgebouwd. De elektromagneet (de aangepaste relaisprint) met de Hall-sensor is bovenin een houten frame met een diameter van 10 cm gemonteerd, de M5Stack-module onderin. Als de trimmer-optie wordt gebruikt, is de beste plaats voor de drie extra componenten in of aan de basis van de constructie: het is mechanisch stabiel tijdens het afstellen en het is gemakkelijker om de componenten daar uit het zicht te krijgen.



Figuur 5: Mechanische constructie, overzicht.



GERELATEERDE PRODUCTEN

> **Magnetsphere Kit (SKU 19133)**
www.elektor.nl/19133

Analoog of digitaal?

Wel of niet gemakkelijk, dat is de vraag. We zullen het aan u overlaten om te beslissen of u de voorkeur geeft aan de 'old-school' versie met de analoge comparator of aan de modernere microcontroller oplossing uit dit tweede deel. Zoals eerder in dit artikel vermeld, beperkt de 3,3 V voedingsspanning voor de Hall-sensor het gewicht van het object dat met deze digitale oplossing kan worden opgetild. De ESP32-gebaseerde modules werden gebruikt omwille van hun prijs en hun kleine afmetingen, niet omdat er een soort draadloze verbinding nodig was. In dit ontwerp is het zwevende object immers het enige dat geen draad nodig heeft! 

200278-03

Vragen of opmerkingen?

Heeft u technische vragen of opmerkingen over dit artikel? Neem dan gerust contact op met de redactie via luc.lemmens@elektor.com!

Een bijdrage van:

Ontwerp: **Peter Neufeld**
 Tekst en redactie: **Luc Lemmens**
 Illustraties: **Peter Neufeld, Patrick Wielders, Luc Lemmens**
 Lay-out: **Harmen Heida**
 Vertaling: **Jelle Aarnoudse**



The Sketch: The Digital Way

```
int HALL_PIN = 33; //analog input from HALL-sensor
int HALL_VAL = 0; //holds output of the HALL-sensor
int ADJ_PIN = 25; //analog input from trimmer (0 to 2V5)
int ADJ_VAL = 0; //holds trigger level for actual payload
int HYSTERESIS = 50; //absolute hysteresis for trigger level
int HYST = 0; //adds or subtracts hysteresis
int RELAIS_PIN = 23; //Output to 5V-relay/electromagnet
int i = 0;

//-----
//output to electromagnet
void setup()

// ADCs default is 12 bit with 11 dB attenuation
//-----
void loop(){
    HALL_VAL = 0;
    ADJ_VAL = 0;
    for (i=1; i <= 2; i++){ //Read 2 times to avoid noise
        HALL_VAL = (HALL_VAL + analogRead(HALL_PIN));
        ADJ_VAL = ADJ_VAL + analogRead (ADJ_PIN);
    }
    HALL_VAL = HALL_VAL / (i-1); //compute the average
    ADJ_VAL = ADJ_VAL / (i-1); //compute the average
    ADJ_VAL = (ADJ_VAL/3)+2450; //shift to a good range
    if (HALL_VAL < (ADJ_VAL + HYST) ){//Payload too low!
        digitalWrite(RELAIS_PIN, HIGH); //Lift the payload
        HYST = HYSTERESIS; //Set upper hysteresis level
    }
    else { //Payload too high:
        digitalWrite(RELAIS_PIN, LOW); //Drop the payload
        HYST = 0 - HYSTERESIS; //Set lower hysteresis level
    }
}
//-----
```

WEBLINKS

- [1] "Magnetic Levitation the Easy Way", ElektorMag 7-8/2021: www.elektormagazine.nl/200311-03
- [2] P. Neufeld, "Magnetic Levitation – The Easy Way":
<https://peterneufeld.wordpress.com/2020/06/20/magnetic-levitation-the-easy-way/>
- [3] P. Neufeld, "Magnetic Levitation – The Digital Way":
<https://peterneufeld.wordpress.com/2020/07/04/magnetic-levitation-the-digital-way/>
- [4] P. Neufeld, "Magnetic Levitation – Reloaded": <https://peterneufeld.wordpress.com/2021/05/01/magnetic-levitation-reloaded/>
- [5] Flyback/snubber diode: https://en.wikipedia.org/wiki/Snubber#Diode_snubbers
- [6] Software download: www.elektormagazine.nl/200278-03