



## Aansluiting bij de verschillende vakken:

### Natuurkunde:

- Magnetisme
- Elektrische schakelingen
- Geluid

### Wiskunde:

- Exponentiële functies

### Biologie:

- Gehoor

### Muziek:

- Frequenties van tonen

### Informatica:

- Digitale output programmeren

## Overzicht:

In deze STEM-les past u uw kennis van digitale uitvoer toe om een handgebouwde luidspreker te besturen die is gemaakt van gemakkelijk verkrijgbare materialen. De achtergrond bevat een overzicht van de fysica van elektromagnetisme en geluid. Het doel is om een enkele toon op de luidspreker af te spelen met behulp van de TI-Innovator Hub en een TI Python-programma dat op een TI-84 Plus CE-T Python Edition. Als een "Extra voor Experts" kun je ervoor kiezen om een eenvoudig liedje zoals Happy Birthday te schrijven via de luidspreker!

## Doelen:

1. Pas de principes van elektromagnetisme toe om een elektromagnetische spoel te bouwen met behulp van een rietje en 26 AWG-magneetdraad.
2. Construeer een TTL Power MOSFET-circuit dat wordt bestuurd door een digitale uitvoerpin op de TI Innovator Hub om een grote stroom van een extern 4-AA-batterijpakket via de spoel aan te drijven.
3. Ontwerp een luidspreker met een koffiebekertje, een spijker en een magneet.
4. Geef een TI Python-programma de opdracht met een digitale uitgang om een noot of nummer op de luidspreker af te spelen.

## Achtergrond:

Een elektrische stroom ( $I$ ) van elektronen door een draad creëert een magnetisch veld rond die draad. Wanneer een lang stuk draad in lussen rond een rietje wordt gewikkeld, vergroot het magnetische veld dat door elke lus wordt geproduceerd, het algehele magnetische veld van de eerder omwikkelde lussen. Veel lussen, dus gestapeld, produceren een groot magnetisch veld.

Dit magnetisch veld heeft een richting of polariteit; het ene uiteinde van het veld wordt de noordpool genoemd, terwijl het andere uiteinde de zuidpool wordt genoemd. Als de stroomrichting in de draad wordt omgekeerd, zal ook de polariteit van het magnetische veld omkeren. Als de stroom door de draad wordt gestopt, verdwijnt het veld.

Wanneer een ijzeren spijker in het midden van het rietje wordt gestoken om het magnetische veld te concentreren wordt een elektromagneet gemaakt. Wanneer er stroom door het apparaat stroomt, wordt er een tijdelijke magneet uit de spijker gemaakt!

Permanente magneten, zoals magneten op koelkasten, hebben ook een Noord- en Zuidpool; het magnetisch veld wordt veroorzaakt door het ronddraaien van alle individuele elektronen in de atomen die het metaal van de permanente magneet vormen. Door de stijve kristalstructuur van het metaal draaien de elektronen allemaal in dezelfde richting, net als de lussen in de spoel allemaal in dezelfde richting lopen. Nu worden alle kleine magnetische velden van elk elektron opgeteld. Omdat de kristalstructuur stabiel is, is het magnetisch veld permanent. Als een permanente magneet boven op de spijker in de elektromagneet hierboven is gemonteerd, zullen de velden van de permanente magneet en elektromagneet een wisselwerking hebben. Als de twee velden noord / noord of zuid / zuid zijn gericht, zullen de twee velden afstoten. Als ze tegenovergesteld zijn, zullen ze aantrekken.

Om een luidspreker te bouwen, moet de elektromagneet zeer snel worden in- en uitgeschakeld, deze pulserende stroom zal ervoor zorgen dat de spijker trilt met dezelfde frequentie als de stroom die door de elektromagneet wordt gepulseerd. De TI-Innovator Hub kan een digitale uitgang zeer snel in- en uitschakelen; het kan echter niet de stroom produceren die nodig is om de elektromagneet te voeden. Om die behoefte op te lossen, kan een TTL Power MOSFET de grote stroom die van het externe 4-AA-batterijpakket stroomt, in de elektromagneet veranderen. Dan kan de TI-Innovator Hub worden

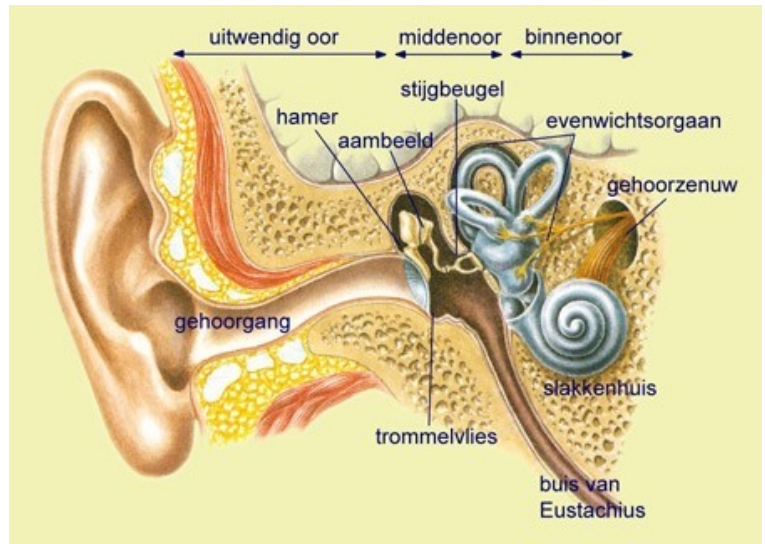


gebruikt om de TTL Power MOSFET in en uit te schakelen als de digitale uitgang van BB 1 is aangesloten op de poort van de TTL Power MOSFET.

Als de stroom door de elektromagneet 261 keer per seconde of Hz wordt in- en uitgeschakeld door de TI-Innovator Hub en MOSFET, trilt de spijker op 261 Hz. Wanneer een piepschuimbeker aan het uiteinde van de vibrerende spijker wordt bevestigd, produceert de trillende beker luchtdrukgolven die trillen met 261 Hz. Deze drukgolven bewegen dan als geluid door de lucht en vallen uiteindelijk op uw oor waar ze door het buitenoor naar het trommelvlies worden gericht. Hierdoor trilt het trommelvlies met 261 Hz.

De trilling van het trommelvlies wordt vervolgens via de kleine botten van het middenoor in de slakkenhuis van het binnenoor geleid. Terwijl de trillingsenergie door de windingen van dit orgaan beweegt, beginnen de haren op de oppervlakken van cellen in het slakkenhuis ook te trillen met een frequentie van 261 Hz. Deze kleine haren buigen waarbij electro-chemicaliën worden vrijgegeven in de zenuwen die vervolgens een 261 Hz-sigitaal creëren dat via de gehoorzenuw die naar de hersenen leidt. Wanneer de hersenen dit signaal ontvangen, wordt het waargenomen en herkend als middelste C op een piano.

Voilà! Je hebt een luidspreker die je kunt gebruiken om muziek te spelen!



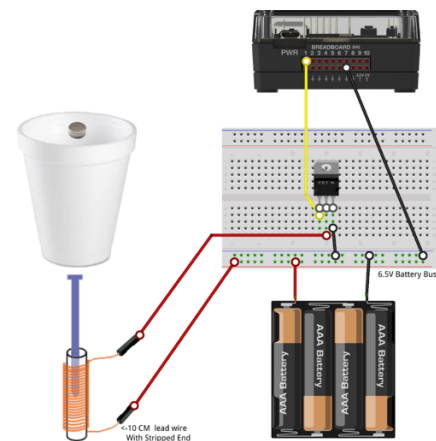
## Materialen en gereedschappen:

- TI-84 Plus CE-T Python Edition
- TI-Innovator Hub met USB-kabel
- TI-Innovator Breadboard Pakket:
  - Breadboard
  - Man-naar-man verbindingskabels
  - Man-naar-vrouw verbindingskabels
  - 4-AA-batterij houder
  - TTL Power MOSFET
- Schaar
- Rietje
- Styrofoam bekertje (karton of plastic werkt ook)
- 3/8" neodymium (voorkeur) of keramische magneet
- 2 1/2" ijzeren spijker
- 2 meter 0,4 mm magneetdraad
- 4 AA-batterijen

## Bouw de hardware:

Monteer het circuit in het diagram aan de rechterkant, en volg deze stappen:

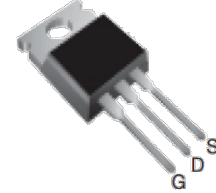
1. Wikkel de 2 meter 0,4 mm magneetdraad strak om een 8 cm lang rietje. Het is geen probleem als de windingen elkaar overlappen. Zorg dat er ongeveer 10 cm draad uitsteekt aan het begin en aan het einde van de spoel.
2. Gebruik schuurpapier om de isolatie op de laatste ± 2 cm van elk einde van de magneetdraad te verwijderen. Het is belangrijk om deze isolatie goed te verwijderen om een goede elektrische verbinding te hebben in de volgende stap.





3. Steek beide gestripte draden van de spoel in het vrouwelijke uiteinde van een man-vrouw verbindingskabel. Gebruik een klein stukje tape om de gestripte magneetdraad in de houder te bevestigen.
4. Plaats de TTL Power MOSFET in het breadboard zoals weergegeven in het diagram.
5. Sluit een gele man-man verbindingskabel aan op BB1 op het breadboardcontact van de TI-Innovator Hub en aan de andere kant op het meest linkse been (Gate, de poort) van de TTL Power MOSFET.
6. Steek een van de man-vrouw verbindingskabels van de spoel in de breadboard kolom die hoort bij het middelste been (Drain) van de TTL Power MOSFET.
7. Sluit de andere man-vrouw verbindingskabel van de spoel aan op het positieve (rode) 6,5 V-batterij contact op het breadboard.
8. Sluit een man-man verbindingskabel aan van het blauwe aarde contact naar de rechter poot van de TTL Power MOSFET (Sink).
9. Gebruik een zwarte man-man verbindingskabel om het blauwe aarde contact aan te sluiten op een aarde contact op de TI-Innovator Hub. Het 4-AA-batterijpakket en de TI-Innovator Hub moeten een gemeenschappelijke aarde delen.
10. Controleer alle verbindingen nogmaals op nauwkeurigheid tot dit punt. Plaats als laatste batterijen in het 4-AA-batterijpakket en sluit de zwarte draad (-) aan op het 6.5V aarde contact (blauw) en de rode draad (+) op het 6,5 V stroom contact (rood).
11. Raak de TTL Power MOSFET aan om te controleren of hij warm wordt. Als de TTL Power MOSFET warm wordt, koppel dan onmiddellijk de 4-AA-batterij en de TI-Innovator Hub los. Controleer alle verbindingen opnieuw.
12. Steek het B-uiteinde van de "unit-to-unit" USB-kabel in de TI-Innovator Hub en vervolgens het A-uiteinde in de handheld.

TTL Power MOSFET Diagram



G- gate, D- drain, S- sink



## Schrijf de software voor de TI-84 Plus CE-T Python Edition:

### Voorbeeldprogramma voor de TI-84 Plus CE-T PY:

```

from ti_hub import *
from speaker import *
speaker1=speaker("BB 1")
for n in range(10):
    ♦♦f=int(input("Frequentie = "))
    ♦♦speaker1.tone(f,5)

```

### Programmabeschrijving:

1. Sluit SPEAKER 1 aan op BB1 (het SPEAKER-object is een snelle digitale uitvoer)
2. Gebruik een "For loop" om de gebruiker 10 keer te vragen om een toon (frequentie) op de luidspreker af te spelen.
3. Speel de toon gedurende 5 seconden.

### Extra voor Experts:

Speel Happy Birthday op je luidspreker. Om dit te doen vereist het programma twee lijsten met gegevens: de noten en de bijbehorende tijdsduur.

Een A geeft een trilling van 220 Hz, 440 Hz, 880 Hz, .... (steeds keer 2). De trillingen van muzieknoten zijn exponentieel verdeeld. In twaalf stappen (A, Bes, B, C, Cis, D, Dis, E, F, Fis, G, Gis en dan weer de A) verdubbeld de frequentie. De groeifactor is dus  $2^{1/12}$ .

Gaan we uit van een basis A van 220 Hz, dan krijgen we de onderstaande tabel. Alleen de hele noten zijn hierbij genummerd. Een noot een octaaf hoger zit twaalf stappen hoger en kan dus genoteerd worden als de oorspronkelijke noot +12.

De exponentiële functie zal nooit 0 als uitkomst geven. Dat zouden we graag hebben voor een rust die een frequentie heeft van 0 Hz. We definiëren de noot R (=rust) met als nummer -200. De bijbehorende frequentie van 0,002 Hz is voor de mens absoluut niet te horen. Het menselijk gehoor heeft een bereik van ongeveer 20 Hz tot 20 000 Hz.

Noot	Nummer	Berekening: $220 \cdot \left(\frac{1}{2^{12}}\right)^x =$	Frequentie
A	0	$220 \cdot \left(\frac{1}{2^{12}}\right)^0 =$	220
Ais, Bes	A+1 of B-1	$220 \cdot \left(\frac{1}{2^{12}}\right)^{0+1} =$	233
B	2	$220 \cdot \left(\frac{1}{2^{12}}\right)^2 =$	247
C	3	$220 \cdot \left(\frac{1}{2^{12}}\right)^3 =$	262
Cis, Des	C+1 of D-1	$220 \cdot \left(\frac{1}{2^{12}}\right)^{3+1} =$	277
D	5	$220 \cdot \left(\frac{1}{2^{12}}\right)^5 =$	294
Dis, Es	D+1 of E-1	$220 \cdot \left(\frac{1}{2^{12}}\right)^{5+1} =$	311
E	7	$220 \cdot \left(\frac{1}{2^{12}}\right)^7 =$	330



F	8	$220 \cdot \left(\frac{1}{2^{12}}\right)^8 =$	349
Fis, Ges	F+1 of G-1	$220 \cdot \left(\frac{1}{2^{12}}\right)^{8+1} =$	370
G	10	$220 \cdot \left(\frac{1}{2^{12}}\right)^{10} =$	392
Gis, As	G+1 of (A+12)-1	$220 \cdot \left(\frac{1}{2^{12}}\right)^{10+1} =$	415
A	A+12	$220 \cdot \left(\frac{1}{2^{12}}\right)^{0+12} =$	440
B	B+12	$220 \cdot \left(\frac{1}{2^{12}}\right)^{1+12} =$	466
R	-200	$220 \cdot \left(\frac{1}{2^{12}}\right)^{-200} =$	0,002

Happy Birthday	toon	tijd
1	d	0.5
2	d	0.5
3	e	1
4	d	1
5	g	1
6	f+1	2
7	d	0.5
8	d	0.5
9	e	1
10	d	1
11	a+12	1
12	g	2
13	d	0.5
14	d	0.5
15	d+12	1
16	b+12	1
17	g	1
18	f+1	1
19	e	1
20	c+12	0.5
21	c+12	0.5
22	b+12	1
23	g	1
24	a+12	1
25	g	2

Om de lengte van de noten te noteren kunnen we ervoor kiezen om uit te gaan van één tel voor een kwart noot:

Noot	Naam	Lengte	Notatie
	Hele noot	4 tellen	4
	Halve noot	2 tellen	2
	Kwart noot	1 tel	1
	Kwart noot met punt	1½ tel	1.5
	Achtste noot	½ tel	0.5

Definieer de lijsten noot en tijd als L1 en respectievelijk L2. L1 bevat de frequentie van de toon. Voor een rust is dat nul. L2 geeft aan hoe lang de toon moet worden aangehouden, zoals een hele noot of een kwart rust. De tijdsduur is in seconden voor elke bijbehorende noot.

$\{5,5,7,5,10,9,5,5,7,5,12,10,5,5,17,14,10,9,7,15,15,14,10,12,10\} \rightarrow L_1$

$\{0.5,0.5,1,1,1,2,0.5,0.5,1,1,1,2,0.5,0.5,1,1,1,1,1,0.5,0.5,1,1,1,2\} \rightarrow L_2$

Met `...=recall_list("...")` van de module TI System kan je een lijst importeren als een variabele in Python:  
b.v. `noot=recall_list("1")`.



```
from ti_hub import *
from ti_system import *
from speaker import *

tempo=2

noot=recall_list("1")
tijd=recall_list("2")

def frequentie(x):
    return 220*2**(x/12)

speaker1=speaker("BB1")

for i in range(len(noot)):
    speaker1.tone(frequentie(noot[i]),tijd[i]/tempo)
    sleep(tijd[i]/tempo)
```

In het programma worden eerst de noten gedefinieerd, inclusief de rust. Daarna geven we het tempo aan, het aantal tellen in een seconde. Vervolgens stellen we de functie op die de frequentie geeft bij een bepaalde noot.

De FOR-loop gaat tot het aantal velden in de lijst, de dimensie. De luidspreker geeft de frequentie die hoort bij de noot in de lijst. De tijd haalt hij uit de andere kolom in de lijst.

Tenslotte laten we het programma even lang wachten als de noot wordt gespeeld. Anders zou het programma doorgaan en de volgende noot alweer naar de luidspreker sturen voordat de eerste is afgelopen.



## Ingebouwde luidspreker TI-Innovator Hub:

Met de code `sound.tone(...)` kan je de ingebouwde luidspreker aansturen als volgt:

### Code voor de TI-84 Plus CE-T Python Edition:

```
from ti_hub import *  
import sound  
for n in range(10):  
    ♦♦ f=int(input("Frequentie = "))  
    ♦♦ sound.tone(f,5)
```