



# ELE10

## Practicum Basis Elektrotechniek 1



### **Handleiding**

Versie 3.0

Johan Peltenburg

Remco de Wit

Harry Broeders

Roy Bakker

Emile van de Logt

Stefan Groot Nibbelink

Vincent Maas





Handleiding Practicum Basis Elektrotechniek 1 van Hogeschool Rotterdam is in licentie gegeven volgens een [Creative Commons Naamsvermelding-NietCommercieel-GelijkDelen 3.0 Nederland-licentie](#).



# Inhoudsopgave

|          |                                                                                              |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>0</b> | <b>Introductie</b>                                                                           | <b>9</b>  |
| <b>1</b> | <b>Spanning, stroom en weerstand:<br/>de wet van Ohm</b>                                     | <b>13</b> |
| 1.1      | De digitale multimeter (DMM)                                                                 | 15        |
| 1.2      | Het Breadboard                                                                               | 16        |
| 1.3      | Labvoeding                                                                                   | 19        |
| 1.3.1    | Stroombegrenzing van de labvoeding                                                           | 19        |
| 1.4      | De wet van Ohm en het meten van weerstand, spanning en stroom                                | 21        |
| 1.5      | Weerstand in serie en parallel                                                               | 25        |
| 1.6      | Aftekenen van de Wet van Ohm                                                                 | 26        |
| <b>2</b> | <b>Opbouwen en simuleren van een schakeling</b>                                              | <b>29</b> |
| 2.1      | Het NE555 IC                                                                                 | 30        |
| 2.2      | Een schakeling simuleren met LTspice                                                         | 32        |
| 2.3      | Aftekenen NE555 schakeling                                                                   | 33        |
| <b>3</b> | <b>Voedingsregulatoren</b>                                                                   | <b>37</b> |
| 3.1      | Inleiding                                                                                    | 37        |
| 3.2      | Spanningsdeler                                                                               | 38        |
| 3.2.1    | Meten van spanning op een punt                                                               | 39        |
| 3.2.2    | Meten van spanningen en stromen in LTspice                                                   | 39        |
| 3.3      | Spanningsdeler als stabiele voeding?                                                         | 42        |
| 3.4      | Voedingsregulator IC                                                                         | 44        |
| 3.5      | Voedingsregulator IC als stabiele voeding?                                                   | 48        |
| <b>4</b> | <b>Condensator</b>                                                                           | <b>51</b> |
| 4.1      | Inleiding                                                                                    | 51        |
| 4.2      | Eigenschappen van condensatoren.                                                             | 53        |
| 4.3      | Op- en ontladen van een condensator                                                          | 53        |
| 4.4      | Condensatoren in serie en parallel                                                           | 57        |
| 4.5      | Periodieke signalen opwekken en zichtbaar maken                                              | 58        |
| 4.6      | Op- en ontladen van een condensator meten m.b.v. een functiegenerator en<br>een oscilloscoop | 63        |
| 4.7      | Eenvoudige passieve filters                                                                  | 64        |
| 4.8      | Extra: Ontwerpen van een banddoorlaatfilter                                                  | 68        |

|          |                                                     |            |
|----------|-----------------------------------------------------|------------|
| <b>5</b> | <b>Multiplexer</b>                                  | <b>71</b>  |
| 5.1      | Inleiding                                           | 71         |
| 5.2      | Ontwerpen van een digitale multiplexerschakeling    | 74         |
| 5.3      | Opbouwen en testen van de multiplexer               | 76         |
| 5.4      | Testen van de multiplexer met de functiegenerator   | 76         |
| 5.5      | Geautomatiseerd testen van de multiplexer           | 78         |
| <b>6</b> | <b>Oscillator</b>                                   | <b>85</b>  |
| 6.1      | Inleiding                                           | 85         |
| 6.2      | Ontwerpen van een NE555-oscillatorschakeling        | 86         |
| 6.3      | Simuleren van een NE555-oscillatorschakeling        | 88         |
| 6.4      | Bouwen en testen van een NE555-oscillatorschakeling | 89         |
| 6.5      | De tonen midden en laag                             | 90         |
| 6.6      | Proof-of-concept knipperlichtinstallatie            | 91         |
| <b>7</b> | <b>Solderen</b>                                     | <b>93</b>  |
| 7.1      | Hoe moet je solderen?                               | 94         |
| 7.2      | Werking van de audioversterkerschakeling            | 95         |
| 7.3      | Bill-of-Materials (BOM)                             | 99         |
| 7.4      | Assembleren van een PCB                             | 100        |
| 7.5      | Testen van het gesoldeerde PCB                      | 101        |
| <b>8</b> | <b>Comparator</b>                                   | <b>103</b> |
| 8.1      | Inleiding                                           | 103        |
| 8.2      | Ontwerpen van een comparator                        | 106        |
| 8.3      | Opbouwen van de comparator                          | 108        |
| 8.4      | Geautomatiseerd testen van de comparator            | 109        |
| <b>9</b> | <b>Eindopdracht: Number guessing game</b>           | <b>111</b> |
| 9.1      | Inleiding                                           | 111        |
| 9.2      | Architectuurontwerp                                 | 112        |
| 9.3      | Deelsystemen                                        | 114        |
| 9.3.1    | Voeding                                             | 114        |
| 9.3.2    | Schakelaarcircuit                                   | 115        |
| 9.3.3    | Comparator                                          | 116        |
| 9.3.4    | Vergelijkknop en Pulsgenerator                      | 116        |
| 9.3.5    | Klok                                                | 119        |
| 9.3.6    | Countercircuit                                      | 120        |
| 9.3.7    | Vertaalcircuit                                      | 122        |
| 9.3.8    | Toongenerator                                       | 124        |
| 9.3.9    | Multiplexer                                         | 125        |
| 9.3.10   | Succes LED                                          | 125        |
| 9.3.11   | Buzzercircuit                                       | 126        |
| 9.4      | Integratie                                          | 127        |
| 9.5      | Aftekenen Eindopdracht                              | 128        |
| <b>A</b> | <b>Achtergrond informatie labs ELE10</b>            | <b>129</b> |

---

|          |                                             |            |
|----------|---------------------------------------------|------------|
| A.1      | SI-systeem                                  | 129        |
| A.2      | Basis elektrotechnische grootheden          | 131        |
| A.3      | Breadboard opbouw hints                     | 133        |
| A.4      | Oscilloscoop                                | 134        |
| A.5      | Tekenen van elektrische schema's            | 136        |
| <b>B</b> | <b>Quick start manuals for lab software</b> | <b>137</b> |
| B.1      | LTSpice                                     | 137        |
| B.2      | LogiSim                                     | 138        |
| B.3      | KiCAD                                       | 138        |
| B.4      | MSP-EXP430G2 Launchpad                      | 140        |



## 0

# Introductie

## Doelen

Als elektrotechnisch ingenieur word je verantwoordelijk voor het ontwikkelen van elektrische producten die bepaalde taken moeten kunnen uitvoeren. Tijdens dit practicum ga je een aantal belangrijke zaken leren die hiervoor essentieel zijn. Het creëren van elektrische schakelingen is niet eenvoudig en gaat niet vanzelf. In dit practicum ga je leren om gestructureerd schakelingen te ontwikkelen. Hiervoor zijn een aantal stappen noodzakelijk:

1. **Ontwerpen:** het bedenken van een schakeling
2. **Simuleren:** de juiste werking aantonen voor het opbouwen en componentkeuzen te onderbouwen
3. **Opbouwen:** het realiseren van een werkende schakeling
4. **Testen:** het controleren of de schakeling in de praktijk doet waarvoor deze ontworpen is

In de labopdrachten zullen deze stappen elke keer weer gevolgd worden om systematisch steeds complexere schakelingen te ontwikkelen. Er zijn een groot aantal hulpmiddelen om deze taken uit te voeren, waarvan je in dit practicum een aantal zult leren kennen. In [tabel 1](#) is een overzicht van de hulpmiddelen gegeven waarbij is aangegeven in welke labs je die nodig zult hebben. Deze hulpmiddelen zullen tijdens de rest van de studie steeds weer gebruikt worden en na afronding van de studie kunnen deze ook vaak erg nuttig zijn.

## Werkvorm

Voor dit practicum ga je per lab een aantal opdrachten zelfstandig uitvoeren. Voor de opdrachten moeten schakelingen worden opgebouwd, uitgerekend en/of gesimuleerd. Er zijn docenten aanwezig tijdens de praktijkuren, maar er zal ook buiten de les om aan het practicum gewerkt kunnen worden. Het aftekenen van de opdrachten kan alleen in de praktijklessen gebeuren.

## Benodigdheden

De duurdere apparatuur, zoals een labvoeding, functiegenerator en oscilloscoop, kun je op elke tafel in de praktijklokalen vinden. De kabels die nodig zijn om de apparatuur aan te sluiten hangen in de kabelkasten.

Er zijn echter ook een aantal zaken die je zelf dient aan te schaffen voor dit practicum:

- breadboard (verkrijgbaar in de [HintShop](#))
- multimeter (verkrijgbaar in de [HintShop](#))
- launchpad MSP-EXP430G2et (verkrijgbaar in de [HintShop](#))
- bakje of koffertje met verschillende vakjes om je componenten in te bewaren (zelf aanschaffen, bijvoorbeeld bij de Action)

Deze zaken kunnen in de [HintShop](#) (<https://hintshop.hr.nl/ProductOverzicht.aspx?afdeling=1530160-10>) besteld en betaald worden. Als je betaling is gelukt kun je de artikelen ophalen in de docentenkamer (D00.045) bij Ineke Blok, Jason Lin of Roy Bakker.

Je krijgt van de docent een zakje met de ICs die tijdens dit lab gebruikt gaan worden. Ga voorzichtig om met deze componenten want ze zijn vrij kwetsbaar. Verder is het erg nuttig voor dit practicum en de rest van de opleiding om over een eigen laptop te beschikken, maar je kunt ook gebruik maken van de vaste PC's in de labs.

Veel zaken zoals standaard componenten (bijvoorbeeld weerstanden, condensatoren en draadjes) kun je in de praktijklokalen uit de zogenaamde *grijpvoorraad* pakken.

## Hergebruik van componenten

De componenten uit de grijpvoorraad mag je na gebruik niet terugleggen in de bakjes om te voorkomen dat de voorraad rommelig wordt en dat componenten in de verkeerde bakjes terechtkomen of dat er defecte componenten in de voorraad belanden. Wel is het de bedoeling dat je componenten en draadjes na gebruik zelf bewaart in een bakje of koffertje met verschillende vakjes zodat je deze meerdere malen kunt gebruiken. Daarnaast staan er in de praktijklokalen bakken die zijn bedoeld om componenten en draadjes opnieuw te gebruiken. Kijk voordat je nieuwe componenten pakt of draadjes knipt eerst of er nog iets in de hergebruikbakken zit.

In [tabel 1](#) wordt een overzicht gegeven van de labs van deze cursus. Voor elk lab is aangegeven welke apparatuur en/of simulatieprogramma's gebruikt gaan worden. De nummers in de eerste kolom geven de lesweken aan waarin aan dat lab gewerkt wordt. Per lesweek zijn er twee labs: de .1 en .2 geeft aan of dit onderdeel in het eerste of tweede lab van de lesweek zal plaatsvinden.

## Regels in de practicumlokalen

Er gelden de volgende regels in de practicumlokalen:

- Niet eten en drinken.

- Geen overlast bezorgen aan anderen.
- Aan het einde van de les alle kabels en meetsnoeren op de juiste plaats terughangen, de gebruikte apparatuur en de werktafel als geheel uitschakelen en de werkplek netjes achterlaten.
- Als je de PC op de labtafel hebt aangezet zet je deze eerst netjes uit voordat je de spanning van de tafel haalt.

Algemeen geldt: veiligheid boven alles! In de labs staat veel apparatuur die bij verkeerd gebruik gevaarlijk kan zijn. Gebruik daarom alleen de apparatuur die wordt uitgelegd tijdens de labs en laat je docent je opstelling controleren voordat je er spanning op zet.

## Opbouw labinstructies

Elk lab begint met een korte beschrijving wat voor type schakelingen in dat lab ontwikkeld gaan worden. Verder wordt aangegeven welke apparatuur in het lab geïntroduceerd/gebruikt gaat worden en wat de belangrijkste leerdoelen van het lab zijn.

Vervolgens gaan de labs in op verschillende aspecten van de schakelingen. In de labs staan een groot aantal opdrachten: binnen rode kaders in deze handleiding is er ruimte om aantekeningen te maken. Voor een ingenieur zijn gestructureerde en goed leesbare labaantekening erg nuttig om later zelf weer onderdelen uit de labs te kunnen gebruiken of de behaalde resultaten met anderen te kunnen delen. De labnotities worden daarom ook meegenomen tijdens het aftekenen van de labs; geen aantekeningen met berekeningen en ingevulde tabellen worden als niet afgerond beschouwd. Deze ingevulde labhandleiding mag ook worden meegenomen tijdens de praktijktoets die deze cursus afsluit.

**Tabel 1:** Planning lesweken en benodigheden van de labs.

| Week.Les | Lab | Labnaam                       | Breadboard | Multimeter | DC-voeding | Oscilloscoop | Functiegenerator | LTSpice | Logisim | KiCAD | Launchpad | Laptop of PC | Soldeerstation |
|----------|-----|-------------------------------|------------|------------|------------|--------------|------------------|---------|---------|-------|-----------|--------------|----------------|
| 1.1      | 1   | Spanning, stroom en weerstand | X          | X          | X          |              |                  |         |         |       |           |              |                |
| 1.2      | 2   | Opbouwen en simuleren         | X          | X          | X          |              |                  | X       |         |       |           | X            |                |
| 2.1      | 3   | Voedingsregulatoren           | X          | X          | X          |              |                  | X       |         |       |           | X            |                |
| 2.2      | 4   | Condensator                   | X          | X          | X          | X            | X                | X       |         |       |           | X            |                |
| 3.1      |     |                               |            |            |            |              |                  |         |         |       |           |              |                |
| 3.2      | 5   | Multiplexer                   | X          | X          | X          |              | X                |         | X       | X     | X         | X            |                |
| 4.1      |     |                               |            |            |            |              |                  |         |         |       |           |              |                |
| 4.2      | 6   | Oscillator                    | X          | X          | X          | X            |                  | X       |         |       |           | X            |                |
| 5.1      | 7   | Solderen                      |            | X          | X          | X            | X                |         |         |       |           | X            | X              |
| 5.2      |     | Praktijkproeftoets            | X          | X          | X          | X            | X                |         |         |       |           |              |                |
| 6.1      | 8   | Comparator                    | X          | X          | X          |              |                  |         | X       | X     | X         | X            |                |
| 6.2      |     |                               |            |            |            |              |                  |         |         |       |           |              |                |
| 7.1      | 9   | Eindopdracht                  | X          | X          | X          | X            | X                | X       | X       | X     | X         | X            |                |
| 7.2      |     |                               |            |            |            |              |                  |         |         |       |           |              |                |
| 8.1      |     |                               |            |            |            |              |                  |         |         |       |           |              |                |
| 8.2      |     |                               |            |            |            |              |                  |         |         |       |           |              |                |
| T1       |     | Praktijktoets                 | X          | X          | X          | X            | X                |         |         |       |           |              |                |

## 1

# Spanning, stroom en weerstand: de wet van Ohm

## Inleiding

Weerstand, spanning en stroom zijn kernbegrippen in de elektrotechniek. In de eerste opdracht zullen deze basisbegrippen nader bekeken worden.

**Spanning:** De eenheid waarin spanning wordt weergegeven is Volt (V) en is gedefinieerd als Joule per Coulomb ( $\frac{J}{C}$ ). In Europese literatuur en in deze opleiding is  $U$  een veelgebruikte letter om de grootte spanning aan te geven. In Amerikaanse literatuur wordt hiervoor vaak de letter  $V$  gebruikt: de spanning  $V$  in Volt (V). Hiermee kan een beter onderscheid gemaakt worden tussen de grootte en de eenheid.

**Stroom:** De eenheid van stroom is Ampère (A) en is gedefinieerd als lading ( $Q$ ) per tijdseenheid ( $s$ ) in Coulomb per seconde ( $\frac{C}{s}$ ).

**Weerstand:** De relatie tussen spanning en stroom is dat een stroom door een materiaal een spanningsval oplevert, ofwel een spanning over een materiaal een stroom oplevert. Het is maar net vanaf welke kant je begint met redeneren. De verhouding is wat we weerstand ( $R$ ) noemen en dit geven we weer in de eenheid Ohm ( $\Omega$ ). Dit is **de wet van Ohm**:

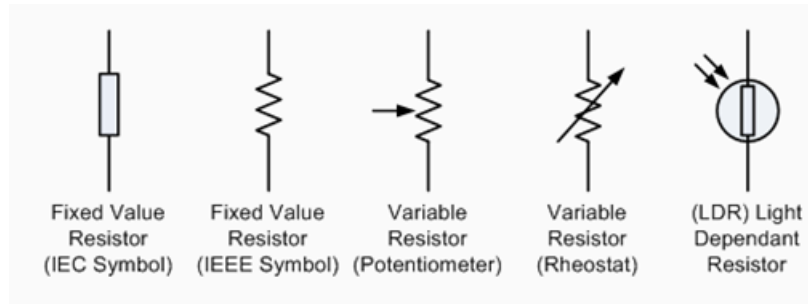
$$U = I \cdot R \quad (\text{Spanning in Volt} = \text{Stroom in Ampere} \cdot \text{Weerstand in Ohm}) \quad (1.1)$$

Om bijvoorbeeld een stroom te krijgen van 0.01 Ampère (10 mA), bij een spanning van 5 Volt moet er een weerstand worden gebruikt van  $\frac{5V}{0,01A} = 500 \Omega$ . Andersom, met een weerstand van  $40 \Omega$  is voor dezelfde stroom een spanning over de weerstand vereist van 0,4 V.

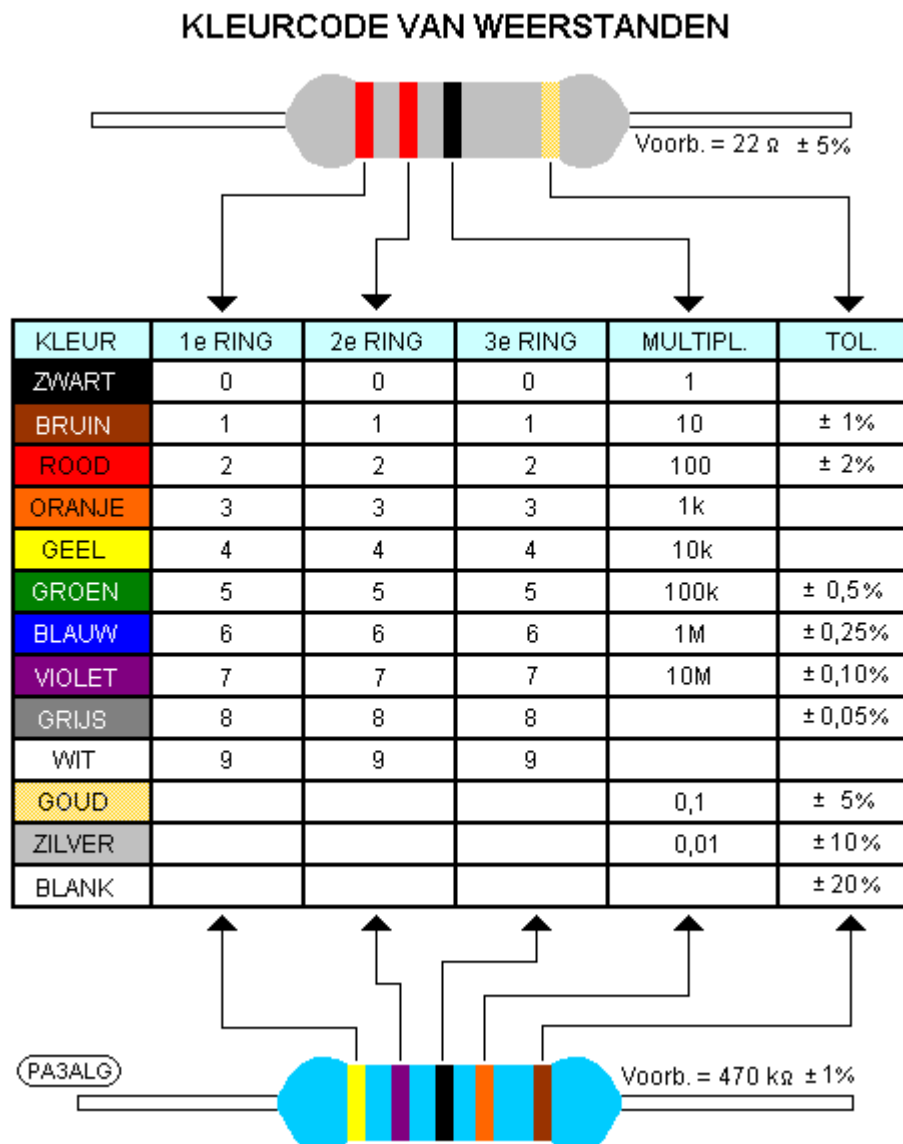
Wat belangrijk om te onthouden is, is het volgende: **Een spanning staat altijd OVER een component, een stroom loopt altijd DOOR een component.** Als we het over een spanning hebben, bedoelen we dus meestal een spanningsverschil!

## Leerdoelen

- Een breadboard gebruiken.
- Spanning, stroom en weerstand kunnen meten met een digitale multimeter.
- Kunnen omgaan met een DC voeding (ook wel labvoeding genoemd).



**Figuur 1.1:** Gebruikte symbolen om een weerstand weer te geven.



**Figuur 1.2:** De kleurcode op een weerstand correspondeert met een waarde.

## Vorbereiding op de les

Lees Hambley §1.2 (“Circuits, Currents and Voltages”), §2.1 (“Resistances in Series and Parallel”) en van §2.3 het deel over “Voltage Division” door.

Lees ook de handleiding door van de digitale multimeter die je gekocht hebt. Zorg ervoor dat je weet hoe je met deze multimeter spanningen (zowel gelijk- als wisselspanning), stromen (zowel gelijk- als wisselstromen) en weerstanden kunt meten.

### 1.1 De digitale multimeter (DMM)



(a) Een Multicomp MP730008 uitleenmul- (b) Een Tenma 72-13435 multimeter die je kunt timeter van de hogeschool. aanschaffen via de [HintShop](#).

**Figuur 1.3:** Verschillende multimeters

Een digitale multimeter kunnen we gebruiken om te meten aan schakelingen. De drie belangrijkste functies die we veel gaan gebruiken zijn het meten van gelijkspanning, gelijkstroom en weerstand. Daarnaast is de optie waarmee een elektrische verbinding (is er een verbinding tussen twee punten) kan worden gedetecteerd erg handig bij de controle van een schakeling.

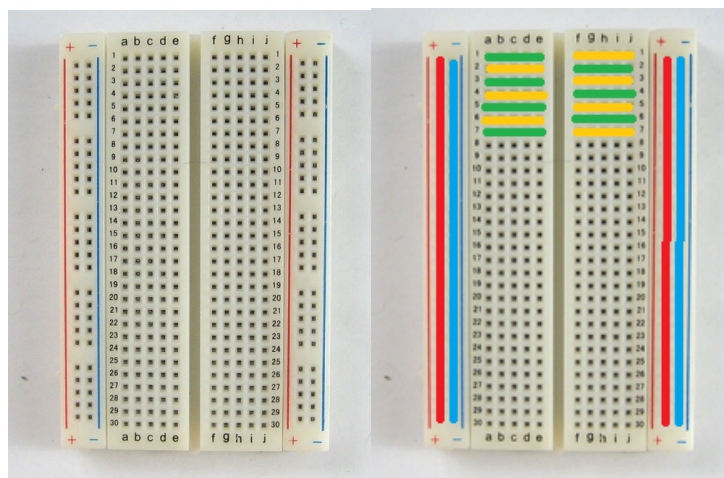
**Opdracht 1.1: Multimeter bekijken**

Bekijk de multimeter en probeer de verschillende standen te verklaren.

1. Op welke stand kan het beste een gelijkspanning van 9 V worden gemeten?
2. Op welke stand kan het beste een gelijkstroom van 10 mA worden gemeten?
3. Op welke stand kan het beste een weerstand van 22 k $\Omega$  worden gemeten?
4. Op welke stand kunnen we een verbinding controleren?

Controleer dit door de zogenaamde *test leads* tegen elkaar aan te houden. De multimeter zou nu moeten piepen.

## 1.2 Het Breadboard



(a) Het breadboard.

(b) Verbindingen in een breadboard.

**Figuur 1.4:** Afbeelding van een klein breadboard (<https://www.instructables.com/howto/breadboard/>)



**Figuur 1.5:** Het breadboard dat je kunt aanschaffen via de [HintShop](#).

Een breadboard wordt vaak gebruikt als een eenvoudig platform om snel een schakeling in elkaar te zetten. Een voorbeeld van een breadboard ziet er uit zoals weergegeven in [figuur 1.4](#). Alle gaatjes naast de rode en blauwe lijnen zijn doorverbonden. Elke rij met gaatjes met een nummer ervoor of erachter is ook doorverbonden, zie [figuur 1.4](#). De gaatjes kun je gebruiken om componenten en verbindingsdraadjes in het breadboard te prikken. Hiermee kunnen dus allerlei schakelingen opgebouwd worden. Als je een breadboard gaat gebruiken om schakelingen op te bouwen is het van belang dat je goed weet welke rijen en kolommen van gaatjes zijn doorverbonden en welke niet.

### Opdracht 1.2: Opzetten van je breadboard.

1. Haal je breadboard uit de verpakking.
2. Monteer de 4 mm aansluitbussen op je breadboard. In het geval van de MC01004 die je via de [HintShop](#) kunt aanschaffen is de meest voor de hand liggende volgorde van links naar rechts: *rood, zwart, blauw, groen* zoals te zien in [figuur 1.5](#). Draai de moeren aan de onderkant goed aan, maar forceer deze niet, de schroefdraad is immers van plastic en draait snel door.
3. Knip vier draadjes van ongeveer 8 cm in de overeenkomstige kleuren van de rol en strip deze aan beide uiteinden ongeveer 1 cm.
4. Bevestig de draadjes aan de aansluitbussen. Zorg ervoor dat het gestripte deel van de draadjes tussen de ringen en door het gaatje zit. *Let er goed op dat het draadje niet met de isolatie (het gekleurde deel) tussen de ringen zit.* Draai de aansluitbussen goed vast. Als het goed is, zit er nu geen beweging meer in.

**Opdracht 1.3: Verbindingslijnen in je breadboard.**

1. Leg uit hoe je met behulp van je multimeter zou kunnen testen welke rijen en kolommen van gaatjes met elkaar doorverbonden zijn en welke niet.
2. Onderzoek met behulp van je multimeter welke rijen en kolommen van gaatjes verbonden zijn.  
*Hint:* Het is vaak niet makkelijk de probes (uiteinden van de aansluitkabels) van de multimeter in de gaatjes van een breadboard te prikken. Gebruik korte draadjes met gestripte uiteinden om in je breadboard te prikken en verbinding te maken met de probes van je multimeter.
3. Op sommige breadboards staan tekenjes die lijken op een *W*. Wat betekent dit?
4. Maak een schets van je breadboard en geef daarbij aan welke rijen en kolommen doorverbonden zijn en welke niet.

## 1.3 Labvoeding

Als voedingsbron ga je de DC-labvoeding Tenma 72-10495 gebruiken, zie [figuur 1.6](#). Deze voeding heeft twee DC-uitgangen welke onafhankelijk van elkaar kunnen worden ingesteld:



**Figuur 1.6:** De DC-labvoeding Tenma 72-10495 in het lab.

- Uitgangsspanning (V)
- Maximale uitgangsstroom (A)
- Uitgang uit/aan (Off / On)

Als de uitgang uitgeschakeld is, dan geeft het display op de voeding aan wat de uitgangsspanning zal zijn en wat de maximale stroom is die geleverd mag worden. Als de uitgang wordt aangezet gaat het lampje OUT branden en geeft het display aan welke spanning en stroom daadwerkelijk worden geleverd. Als een schakeling de labvoeding dwingt de maximaal ingestelde stroom te leveren, gaat het lampje (C. C) branden. Je ziet ook dat de uitgangsspanning zal zakken. Dit zou kunnen wijzen op een kortsluiting in de schakeling of een foutieve instelling van de labvoeding.

### 1.3.1 Stroombegrenzing van de labvoeding

Een belangrijke instelling van de labvoeding is de stroombegrenzing. Maar hoe moet je die nu precies kiezen?

Elke multimeter is voorzien van een zekering om de multimeter te beschermen tegen te hoge stromen. Bij te hoge stroom brandt de zekering door en werkt de multimeter niet meer. Het vervangen van een zekering is een tijdrovende taak die je waarschijnlijk het liefst probeert te vermijden. Daarom is het letten op de stroombegrenzing van de labvoeding erg belangrijk.

**Opdracht 1.4: Stroombegrenzing op de labvoeding en de zekering(en) van de multimeter.**

1. Leg waarom het verstandig is de stroombegrenzing van labvoeding goed in te stellen als je met je multimeter metingen gaat doen aan de schakeling die door deze labvoeding gevoed wordt.
2. Wat is de maximale stroom die de multimeter multimeter aan kan? Er zijn twee aansluitingen waarmee stromen gemeten kunnen worden, geef voor beide aansluitingen aan wat het maximum is:
3. Om vrij zeker te kunnen zijn dat de zekering bij gebruik niet kapot gaat, is het dus beter om onder deze maximale waarde te blijven.  
Wat is dus (per stand) een goede richtlijn voor de instelling voor de stroombegrenzing van de labvoeding?
4. Stel de uitgangsspanning in op 9V, stel de stroombegrenzing in op 100 mA (0,100 A).
5. Zet de uitgang van de labvoeding aan. Meet met behulp van je multimeter de spanning op de uitgang van de labvoeding. Welke spanning- en stroomwaarden geeft de labvoeding zelf aan? Leg uit of je deze waarden verwacht en of deze overeenkomen met je metingen met je multimeter.
6. Meet vervolgens de (kortsluit)stroom door de uitgang van de labvoeding. Welke spanning- and stroomwaarden geeft de labvoeding nu aan? Gaat het lampje CC branden? Leg uit of je deze waarden verwacht en overeenkomen met je metingen met je multimeter.
7. Schakel na gebruik voor de veiligheid altijd de uitgangen van de labvoeding weer uit.

## 1.4 De wet van Ohm en het meten van weerstand, spanning en stroom

In deze opdracht zal de wet van Ohm worden bekeken. Door gebruik te maken van een regelbare gelijkspanningsvoeding kan de stroom door een belasting worden bepaald. Deze belasting zal in dit geval een weerstand zijn.

### Opdracht 1.5: Weerstand meten

1. Pak een weerstand van  $560\ \Omega$  ( $R_1$ ) en  $820\ \Omega$  ( $R_2$ ) uit de voorraad.
2. Lees de kleurringen af en bepaal de weerstandswaarde aan de hand van [figuur 1.2](#). Vul dit in in [tabel 1.1](#).
3. Meet met de DMM (digitale multimeter) de waarde van de weerstanden. Vul dit in in [tabel 1.1](#).
4. De weerstanden uit de voorraad zouden volgens de specificatie van de leverancier maximaal 5 % mogen afwijken van de aangegeven waarde. Dit is de zogenaamde tolerantie. Bereken de procentuele afwijking van beide weerstanden en vul dit in in [tabel 1.1](#).  
Voldoet de weerstand aan de beloofde tolerantie?
5. Weerstand kan alleen worden gemeten als de voeding uit staat en als je een enkele weerstand wilt meten moet je deze uit het circuit halen. Kun je verklaren waarom?

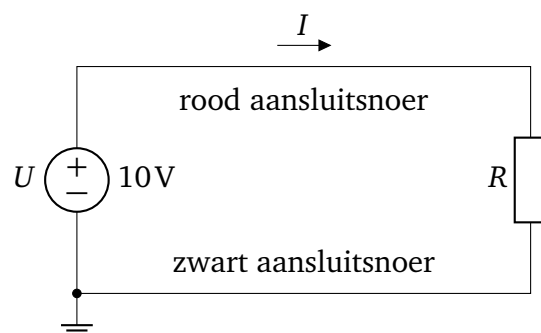
**Tabel 1.1:** Weerstandswaarden aflezen, meten en controleren.

| Weerstand | Kleurcode | Aangegeven waarde | Aangegeven tolerantie | Gemeten waarde | Procentuele afwijking |
|-----------|-----------|-------------------|-----------------------|----------------|-----------------------|
| $R_1$     |           |                   |                       |                |                       |
| $R_2$     |           |                   |                       |                |                       |

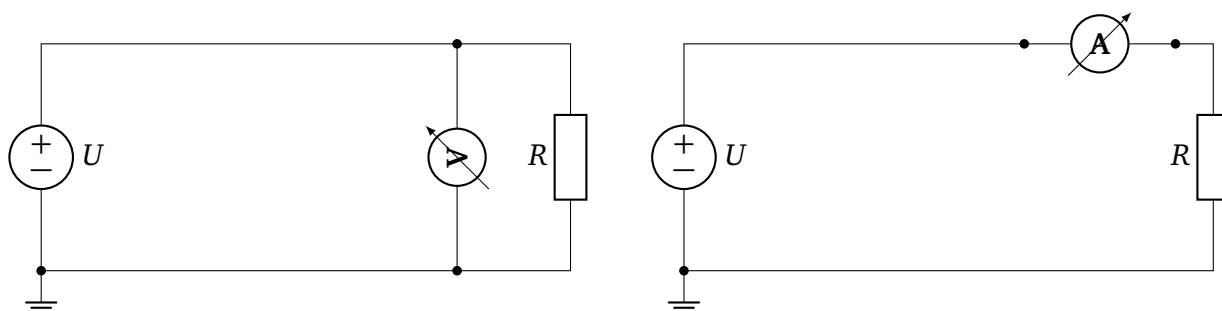
### Opdracht 1.6: Spanning meten

Het meten van spanning doen we door de multimeter *over* een component te zetten. Dat wil zeggen dat de zwarte testlead aan ene kant staat en de rode aan de andere kant. We zeggen ook wel: de spanningsmeter moet parallel worden aangesloten zoals is aangegeven in [schakeling 1.2](#).

1. Pak aansluitsnoeren (rood en zwart) voor de labvoeding uit de kast.
2. Maak gebruik van stukjes draad van de rol om de 4mm aansluitbussen voor de snoeren op het breadboard te kunnen gebruiken. Gebruik rood voor de plus



**Schakeling 1.1:** Schakeling met een labvoeding en een weerstand.



**Schakeling 1.2:** Spannings- en stroommetingen in een schakeling.

en zwart voor de min. Draai de 4mm aansluitbus los steek een stukje gestripte draad tussen de twee ringen door in het gaatje en draai de bus weer vast. *Let goed op dat het draadje niet met de isolatie tussen de ringen komt.*

3. Sluit één van de weerstanden aan volgens [schakeling 1.1](#).
4. Teken [schakeling 1.1](#) over en teken de aansluitingen van de multimeter als we de spanning over de weerstand willen meten:
5. Stel de labvoeding in op 5 V en begrensd de stroom op 100 mA. Zet de uitgang van de voeding aan. Meet en noteer de spanning over de weerstand met de multimeter:
6. Stel de labvoeding in op 9 V en meet met de multimeter de spanning over de weerstand en noteer deze:

**Opdracht 1.7: Stroom meten**

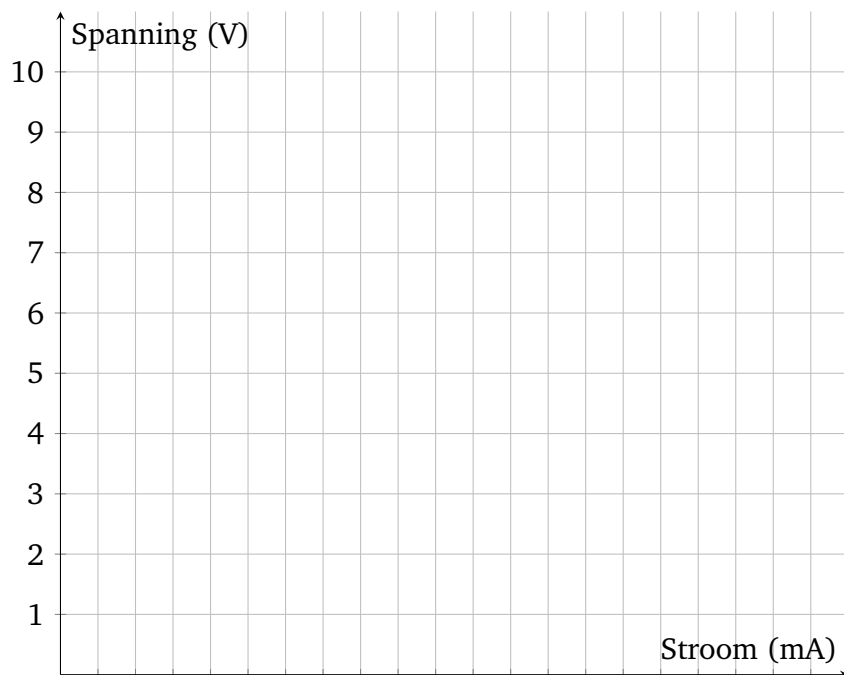
Het meten van stroom is iets lastiger dan spanning. De stroom loopt door een component en moet dus ook door de multimeter lopen om deze te kunnen meten. Dit kunnen we doen door het circuit open te maken en weer te verbinden met de leads van de multimeter. We zeggen ook wel: de stroommeter moet in serie worden aangesloten zoals is aangegeven in [schakeling 1.2](#).

In de multimeter zit zekering die de meter beschermt bij een stroommeting. We willen niet dat deze zekering stuk gaat als we de stroommeter per ongeluk verkeerd aansluiten. Controleer daarom nogmaals of je de stroombegrenzing van de labvoeding goed hebt ingesteld. Kijk hierbij goed naar de waarde van de zekering in jouw multimeter.

1. Teken [schakeling 1.1](#) over en teken de aansluitingen van de multimeter als we de stroom door de weerstand willen meten:
2. Meet nu voor verschillende spanningen de stroom die door de weerstand loopt aan de hand van [tabel 1.2](#) en vul deze in.
3. Teken de meetpunten in [figuur 1.7](#) en verbind deze punten met een lijn.
4. Stel dat je de waarde van de weerstand niet zou weten. Hoe zou je deze kunnen bepalen aan de hand van deze grafiek?

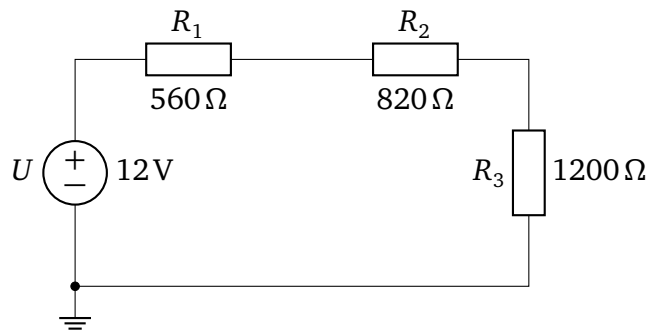
**Tabel 1.2:** Spanning en stroom

| Spanning (V) | Stroom (mA) |
|--------------|-------------|
| 0            |             |
| 1            |             |
| 2            |             |
| 3            |             |
| 4            |             |
| 5            |             |
| 6            |             |
| 7            |             |
| 8            |             |
| 9            |             |
| 10           |             |

**Figuur 1.7:** Weerstand: Spanning uitgezet tegen stroom

## 1.5 Weerstanden in serie en parallel

Wanneer meerdere componenten in serie (achter elkaar) worden gezet, heeft dit invloed op de totale weerstand, en dus ook op de stroom. Wanneer diezelfde componenten parallel worden gezet heeft dit weer andere gevolgen. Wat er gebeurt met de weerstand en stroom zul je ontdekken in deze opgaven.



**Schakeling 1.3:** Schakeling met weerstanden in serie

### Opdracht 1.8: Serieschakeling

In [schakeling 1.3](#) staan drie weerstanden in serie. Bij serieweerstanden is de totale weerstand (vervangingsweerstand) gelijk is aan de som van de weerstanden, en loopt door iedere weerstand dezelfde stroom.

1. Verklaar waarom de stroom door alle weerstanden gelijk is:
2. Bereken de vervangingsweerstand  $R_v = R_1 + R_2 + R_3$ :
3. Bereken de totale stroom met behulp van de wet van Ohm:
4. Als de stroom door elke weerstand gelijk is, welke spanningsval staat over elke weerstand? Maak weer gebruik van de wet van Ohm en vul [tabel 1.3](#) in.
5. Bouw de schakeling op het breadboard en meet de spanningen en stromen na. In hoeverre zitten er verschillen in de meting ten opzichte van de berekeningen?
6. Tel de drie spanningen bij elkaar op. Wat valt je op?

**Tabel 1.3:** Bevindingen van [schakeling 1.3](#): weerstanden in serie

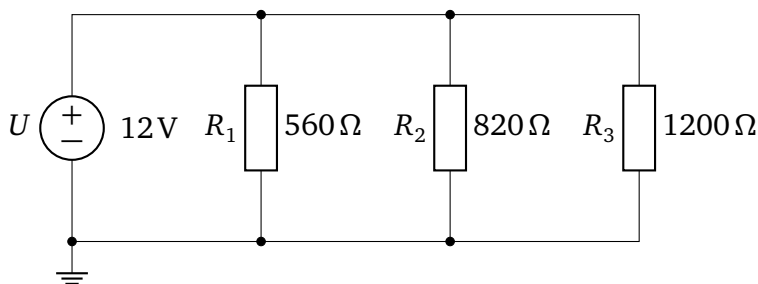
|         | Waarde         | Spanning (Ber.) | Spanning (Gem.) | Stroom (Ber.) | Stroom (Gem.) |
|---------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|
| $R_1$   | $560\ \Omega$  |                 |                 |               |               |
| $R_2$   | $820\ \Omega$  |                 |                 |               |               |
| $R_3$   | $1200\ \Omega$ |                 |                 |               |               |
| Totaal: |                |                 |                 |               |               |

**Opdracht 1.9: Parallelschakeling**

In [schakeling 1.4](#) staan drie weerstanden parallel. De spanning over de parallelweerstand is nu overal hetzelfde, maar de stroom wordt verdeeld over de weerstanden die parallel staan. Ook hiervan kun je weer een vervangingsweerstand  $R_v$  uitrekenen.

1. Verklaar waarom de spanning over de weerstanden gelijk is:
2. Bereken de stroom door de weerstanden en vul deze in [tabel 1.4](#).
3. Bouw de schakeling op het breadboard en meet de spanningen en stromen na. Komt alles overeen?
4. Hoe kun je op basis van deze metingen de vervangingsweerstand berekenen? Meet ook na of je berekening klopt.
5. Zoek (bijvoorbeeld online) een formule op voor de vervangingsweerstand in een parallelschakeling en bereken de vervangingsweerstand van [schakeling 1.4](#):

Komt dit overeen met je berekening hierboven?

**Schakeling 1.4:** Schakeling met weerstanden parallel**1.6 Aftekenen van de Wet van Ohm**

**Tabel 1.4:** Bevindingen van [schakeling 1.4](#): weerstanden parallel

|         | Waarde         | Spanning (Ber.) | Spanning (Gem.) | Stroom (Ber.) | Stroom (gem.) |
|---------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|
| $R_1$   | $560\ \Omega$  |                 |                 |               |               |
| $R_2$   | $820\ \Omega$  |                 |                 |               |               |
| $R_3$   | $1200\ \Omega$ |                 |                 |               |               |
| Totaal: |                |                 |                 |               |               |

**Opdracht 1.10: Aftekenen.**

Zorg dat je tijdens het aftekenmoment alle vragen hebt beantwoord (dus overal waar een lege plaats is opengelaten heb je een antwoord ingevuld) en dat je alles bij de hand hebt:

- Breadboard met de laatste schakeling, aangesloten aan de labvoeding
- Je multimeter

*Let op: foto's of filmpjes van de (werkende) schakeling worden niet geaccepteerd. Je moet je eigen werkende schakeling fysiek aan de docent laten zien!*



# 2

## Opbouwen en simuleren van een schakeling

### Inleiding

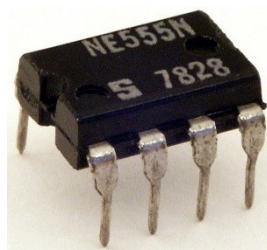
In deze opdracht gaan we voor het eerst een schakeling met een IC (integrated circuit) opbouwen. Het zal een relatief eenvoudige NE555 schakeling worden. Met deze schakeling kan er een toon op een kleine speaker (een buzzer) worden gezet. We gaan eerst de schakeling opbouwen op het breadboard en daarna simuleren in LTspice.

### Leerdoelen

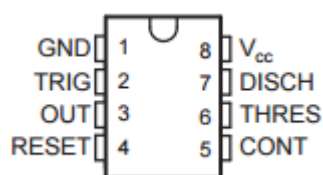
De leerdoelen van dit lab zijn:

- het systematisch opbouwen van een elektrische schakeling op een breadboard
- het opbouwen van een elektrische schakeling rond een IC
- het maken van een simulatie van een elektrische schakeling

## 2.1 Het NE555 IC

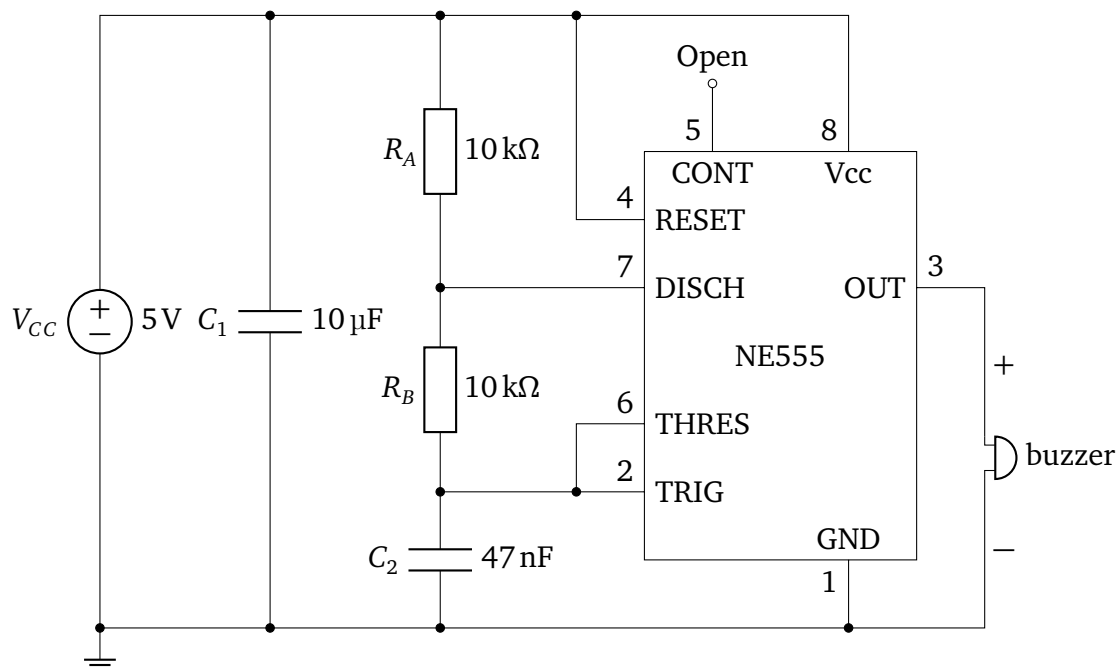


**Figuur 2.1:** Een NE555 chip.



**Figuur 2.2:** De DIP behuizing van een NE555.

We gaan een schakeling opbouwen rond het IC (integrated circuit) NE555. Een IC is een klein doosje met daarin elektronische componenten zoals transistoren en weerstanden. De NE555 in de zogenaamde *Dual in-line* (DIP) behuizing ziet eruit zoals in [figuur 2.1](#). In het zakje dat je hebt gekregen zitten meerdere NE555 IC's. Het IC heeft aan één kant een inkeping in de vorm van een halve cirkel, of een stipje in de linker bovenhoek. Dit is de *pin 1 indicator*. In [figuur 2.2](#) is een afbeelding weergegeven van het IC met daarbij de namen en de nummers van de pinnen. In [figuur 2.2](#) staat de pin 1 indicator ook weergegeven. Links van de indicator zit pin 1. De overige pinnen worden dan eerst naar beneden en daarna onderlangs weer naar boven genummerd.



**Schakeling 2.1:** NE555 schakeling

**Opdracht 2.11: Opbouwen van de schakeling**

Om het IC te laten werken moeten we een naast de voeding ook een aantal componenten aansluiten, namelijk twee weerstanden, twee condensatoren en een buzzer. Hoe alles moet worden aangesloten staat weergegeven in [schakeling 2.1](#). Het IC ziet er in dit schema anders uit en lijkt totaal niet op het plaatje in [figuur 2.2](#) of zoals hij er in het echt uitziet. Dit wordt vaak gedaan om het schema overzichtelijk te houden. Het is gebruikelijk om de aansluitingen voor de voeding boven en onder weer te geven, de ingang(en) van de chip links en de uitgang(en) rechts. Vaak wordt de volgorde van de pinnen ook anders weergegeven om er voor te zorgen dat er geen of zo min mogelijk kruisende verbindingen in het schema voorkomen.

1. De chip past precies over de brede gleuf in het midden van het breadboard. Plaats de chip in het breadboard met de indicator naar boven (van je af) om de kans op fouten te verminderen.
2. De condensator  $C_1$  is een zogenaamde *ontkoppelcondensator* en dient om de voeding van het IC stabiel te houden. Het is belangrijk dat je deze zo dicht mogelijk bij de Vcc en GND aansluitingen van het IC plaatst.
3. Plaats nu de weerstanden  $R_A$ ,  $R_B$  en condensator  $C_2$  in het breadboard en verbind deze zoals aangegeven in [schakeling 2.1](#) met het IC. Hoe kun je dit doen met zo min mogelijk draadjes?
4. Stel de labvoeding in op 5V en begrensd de stroom op 100 mA. Zet de labvoeding aan en controleer dat deze niet in de stroombegrenzing schiet.
5. Als het goed is komt er nu geluid uit de buzzer. Beschrijf wat je hoort:  
*Kun je de frequentie gokken?*

Een paar tips voor als het niet werkt:

- Meet de voedingsspanning direct op de pinnen van de chip. Is deze in orde?
- Meet de verbindingen tussen alle componenten en pinnen van de IC's door. Maakt alles goed contact?
- Hebben de weerstanden de juiste waarden? *Let op, een weerstand altijd eerst uit de schakeling halen voordat je hem nameet.*
- Zijn alle IC's goed verbonden? De juiste verbindingen aan de juiste pinnen?

Werkt het nog steeds niet? Vraag dan een docent om hulp.

## 2.2 Een schakeling simuleren met LTspice

We hebben nu een schakeling opgebouwd, maar hoe weten we nu zeker dat deze schakeling doet wat die zou moeten doen? Hiervoor hebben we methoden nodig om een schakeling systematisch te kunnen testen. Om zinvol te kunnen testen, moet je een goed beeld hebben van wat er binnen in de schakeling gebeurt. Maar hoe kom je daar achter? Met behulp van een simulatie kunnen we een beeld krijgen wat er binnen een schakeling gebeurt en dat kunnen we dan vergelijken met metingen aan de fysiek opgebouwde schakeling. We maken eigenlijk altijd eerst een simulatie van een schakeling voordat we deze gaan opbouwen.

Binnen de opleiding elektrotechniek maken we veel gebruik van het gratis simulatieprogramma LTspice. Om te oefenen met het gebruik van LTspice gaan we [schakeling 2.1](#) simuleren.

### Opdracht 2.12: Simuleren met LTspice

1. Installeer en start LTspice. Op school start je LTspice vanuit de “Liquit Workspace”, thuis of op je laptop kun je ook gratis downloaden en installeren van: <https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>. Op deze pagina kun je ook informatie vinden over het gebruik van LTspice.  
*Na de installatie zal LTSpice automatisch opstarten en je vragen of je op updates wilt controleren. Thuis of op je laptop kun je dit prima doen, op de schoolcomputers heb je hier geen rechten voor en moet je dus op “No” of “Nee” klikken.*
2. Druk nu op **File** > **New Schematic**. Je scherm ziet er nu uit zoals in [figuur 2.3](#) gegeven.
3. Druk nu op **Edit** > **Component** of op **F2**. Dubbelklik in het venster wat nu opent op “[Misc]” en selecteer vervolgens de “NE555” klik vervolgens op “OK”. Plaats het component in door in het venster te klikken zoals in [figuur 2.4](#). Na het plaatsen zal er automatisch nog een NE555 verschijnen. Dat is nu niet nodig, dus druk op **Esc** of klik met de rechtermuisknop om het plaatsen te annuleren. De component kan worden verplaatst met “Move” **F7** of “Drag” **F8**. Met “Delete” **F5** of **Delete** kan een component of draad worden verwijderd.
4. Plaats nu de weerstanden en condensatoren (vanuit het **Edit** menu, of via de knoppen in de menubalk), een spanningsbron (deze is te vinden bij **Edit** > **Components** > **Voltage**) en het ground symbool. *De buzzer voegen we niet toe aan de simulatie.*
5. Verbind alle componenten met elkaar met een draad (**Edit** > **Draw Wire**, of **F3**) totdat het circuit er uit ziet zoals in [figuur 2.5](#).
6. Een component heeft een naam (label of reference designator) en een waarde (Value). Bij de eerste weerstand is de naam R1 en de (nog onbekende) waarde R. De waarde kun je aanpassen door rechts te klikken op de R.  
*In LTspice kun je SI-prefixen gebruiken. 10 kΩ hoeven we dus niet in te voeren als 10000. Het gebruik van 10k is korter en beter leesbaar. Zie ook [tabel A.2](#) voor meer*

*SI-prefixen en het gebruik ervan in LTspice.* Zorg ervoor dat alle componenten (inclusief de spanningsbron) de juiste waarde hebben.

7. Ga nu naar **Simulate** **Run**. Er verschijnt nu een venster waarin je vele simulatieopties kunt kiezen. Voor deze simulatie hebben we de “Transient” analyse nodig. Voer in dat venster bij “Stop Time” de waarde 0.01 in, zodat er een honderdste seconde gesimuleerd wordt. Druk vervolgens op “OK”. *Als je het goed gedaan hebt zie je net als in [figuur 2.6](#) “.tran 0.01” op je schema staan.*
  8. Je ziet als het goed is dat het scherm in twee delen is gesplitst zoals in [figuur 2.7](#). Als je nu je muis op het draadje bij de output van de NE555 hangt, zie je dat de muis in een spanningsprobe verandert.
  9. Klik met deze spanningsprobe op de uitgang van de NE555. Als het goed is gegaan zie je een blokgolf zoals in [figuur 2.8](#). Verklaar aan de hand van deze blokgolf waarom de buzzer in de opgebouwde schakeling geluid maakt:
10. Sla de simulatie op en geef deze een handige naam. Je hebt deze later weer nodig.

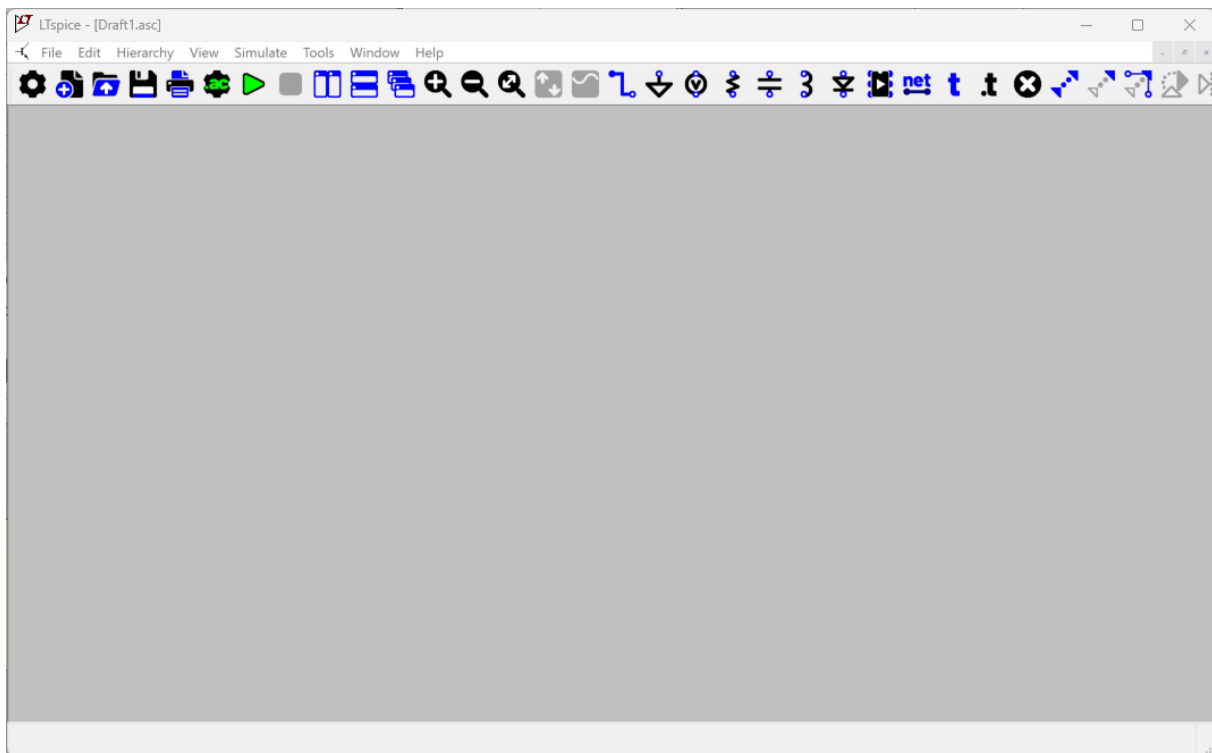
## 2.3 Aftekenen NE555 schakeling

### Opdracht 2.13: Aftekenen.

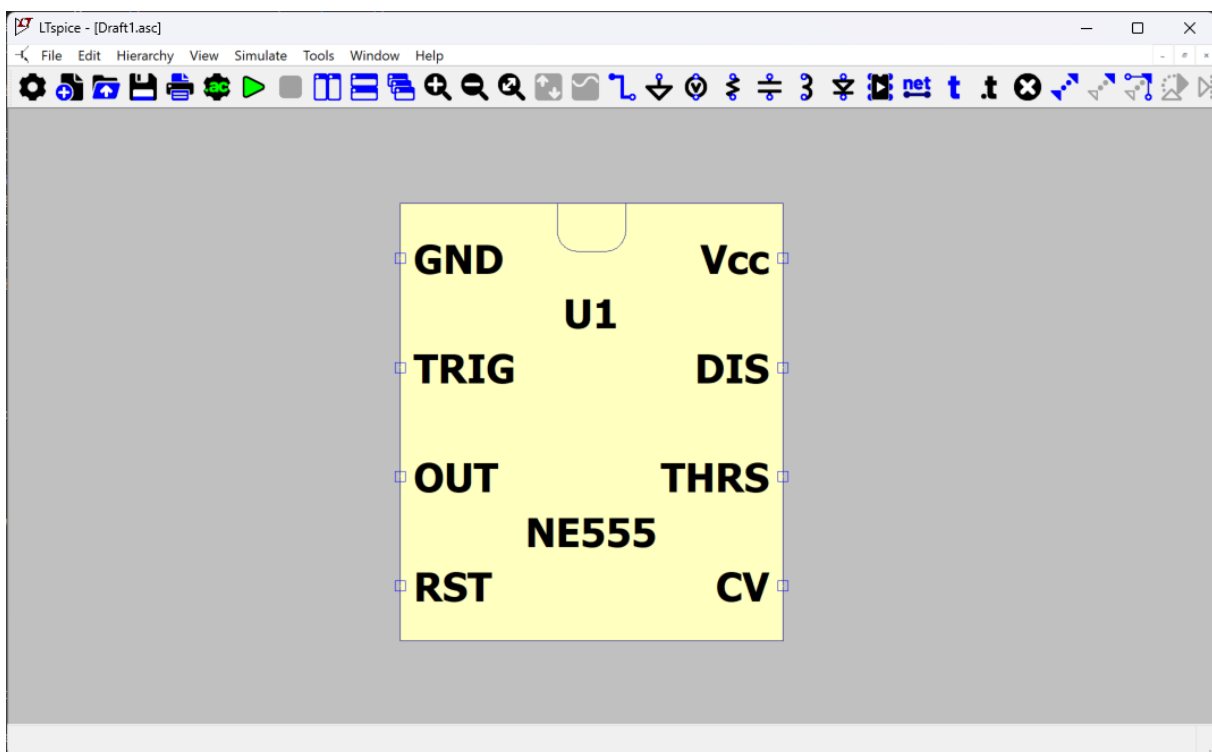
Zorg dat je tijdens het aftekenmoment alle vragen hebt beantwoord (dus overall waar een lege plaats is opengelaten heb je een antwoord ingevuld) en dat je alles bij de hand hebt:

- de werkende schakeling van de NE555 op je breadboard met de buzzer aangesloten
- de simulatie van de NE555 schakeling in LTspice

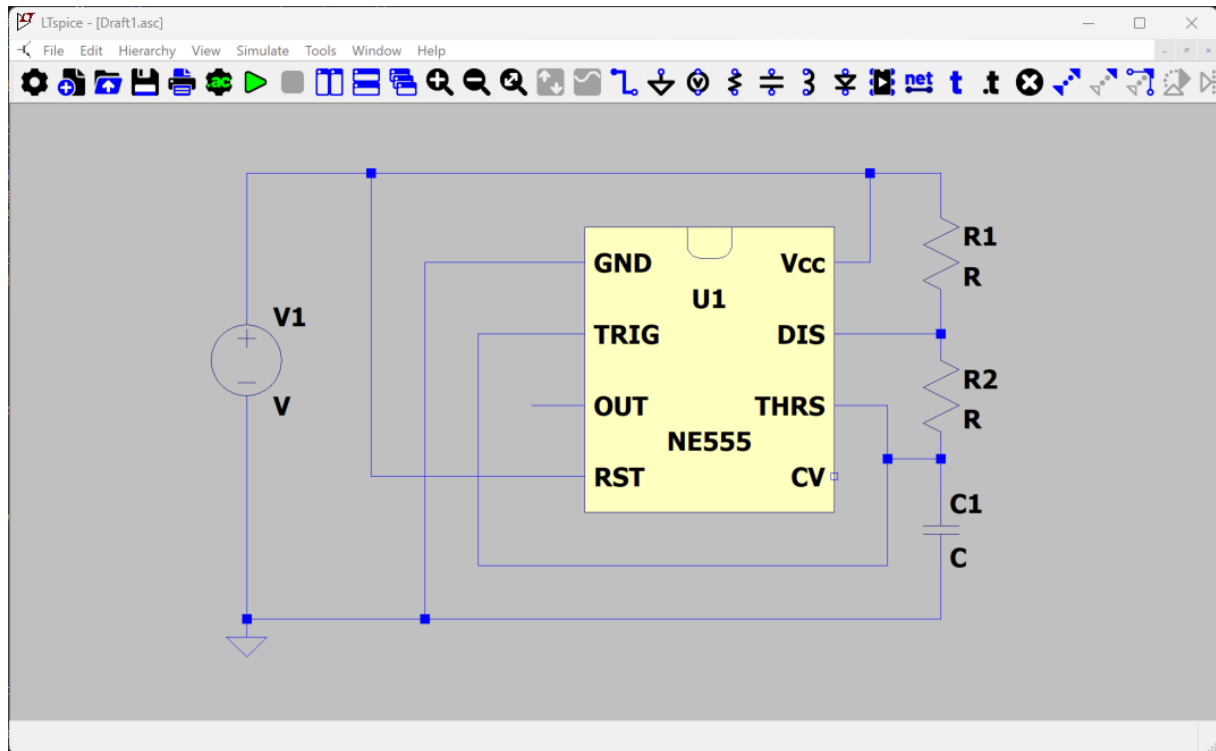
*Let op: foto's of filmpjes van de (werkende) schakeling worden niet geaccepteerd. Je moet je eigen werkende schakeling fysiek aan de docent laten zien!*



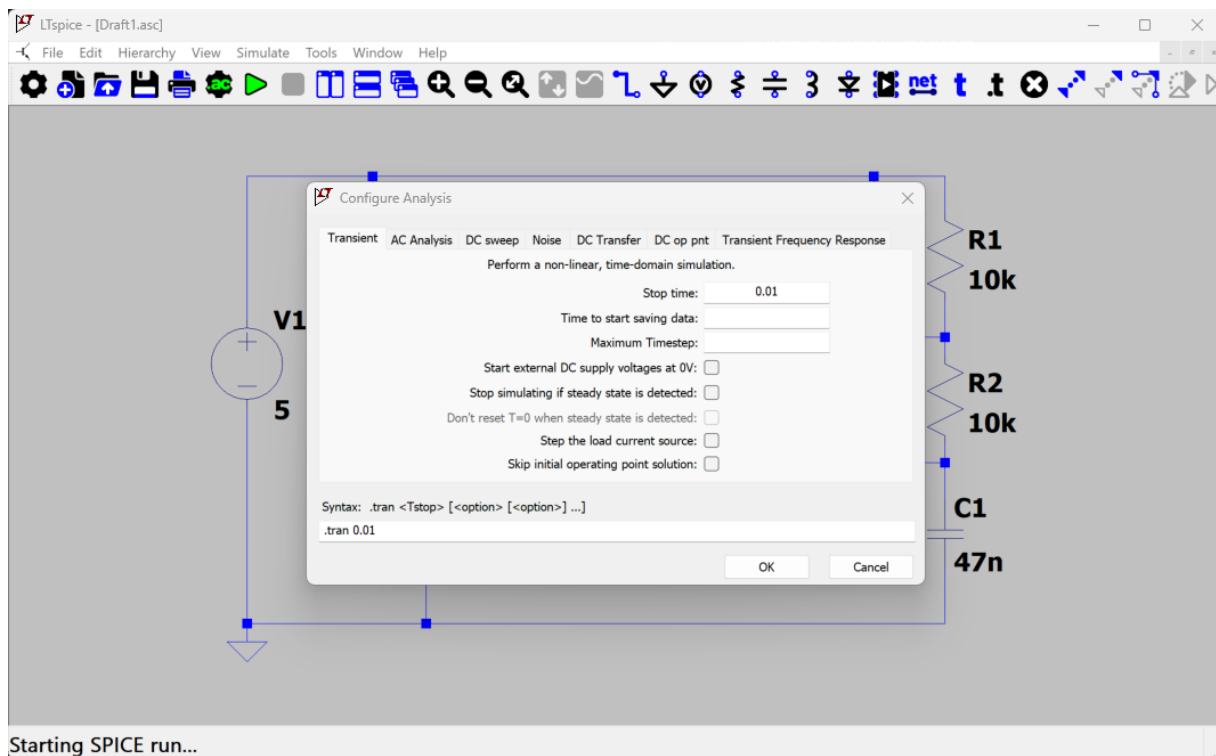
**Figuur 2.3:** LTSpice New Schematic.



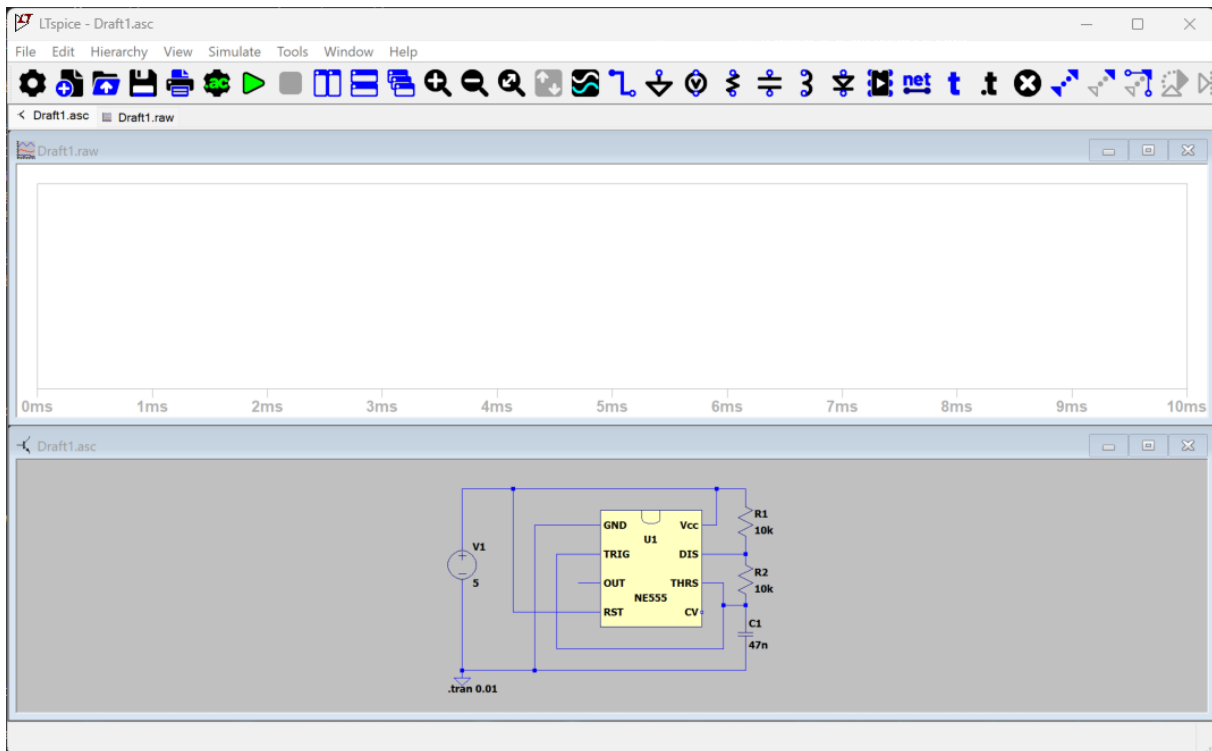
**Figuur 2.4:** NE555 in LTSpice.



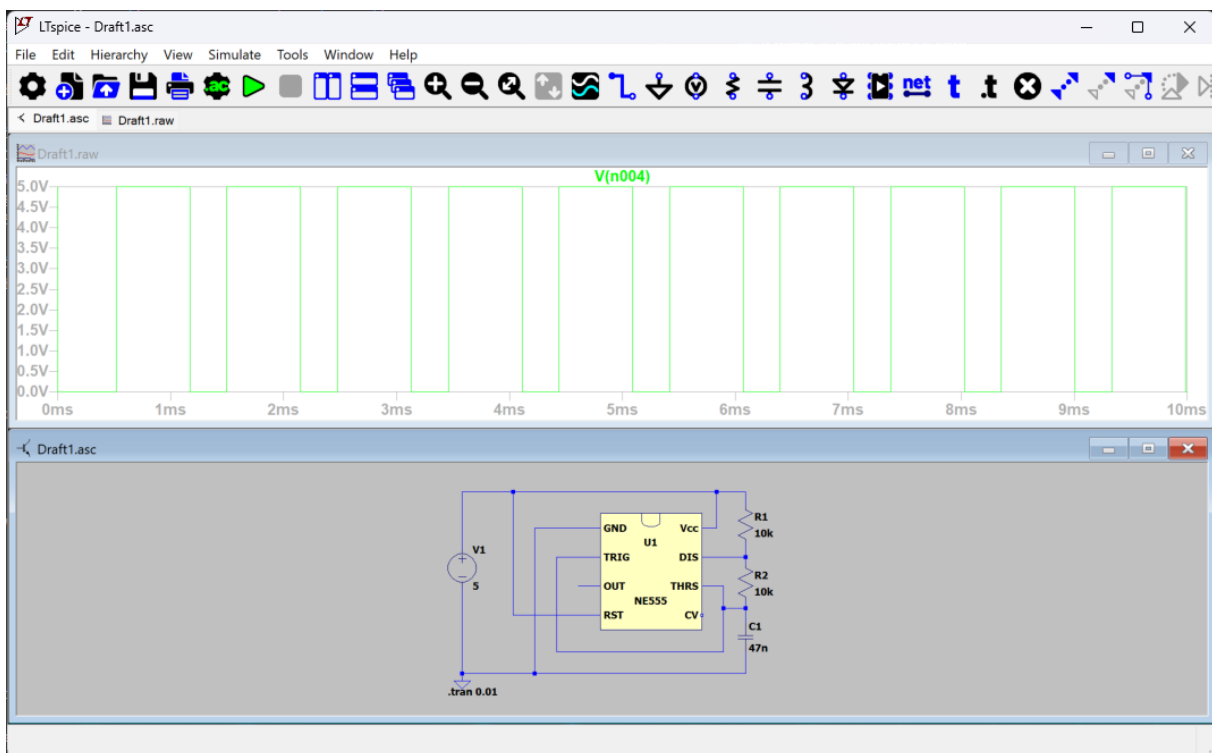
**Figuur 2.5:** Schakeling met NE555 in LTSpice.



**Figuur 2.6:** “Transient” analyse in LTSpice.



**Figuur 2.7:** Simulatie in LTSpice.



**Figuur 2.8:** Op de uitgang van de NE555 staat een blok golf bij simulatie in LTSpice.

## 3

## Voedingsregulatoren

### 3.1 Inleiding

Iedere schakeling heeft een bepaalde voedingsspanning nodig. Vaak is de spanning die beschikbaar is (labvoeding of batterij) niet de gelijk aan spanning die een bepaalde schakeling nodig heeft. Ook heeft een schakeling soms verschillende spanningen nodig terwijl er maar een enkele bronspanning beschikbaar is. Als de bron een batterij is, dan zal de spanning van de batterij afnemen op het moment dat deze leeg raakt en is de bronspanning dus niet stabiel.

Het doel van een voedingsregulator is om er voor te zorgen dat de schakeling wordt gevoed met de juiste stabiele gelijke spanning. In deze opdracht gaan we proberen in een stabiele spanning van 5 V te maken, waarbij de ingangsspanning kan wisselen tussen 8 V en 15 V. Een eenvoudige manier om de spanning aan te passen is een spanningsdeler, maar helaas zal blijken dat deze niet altijd dezelfde spanning levert. Om dit probleem op te lossen gaan we gebruik maken van een voedingsregulator, in dit geval de LM317.

### Leerdoelen

De leerdoelen van dit lab zijn:

- kennismaken met een spanningsdeler
- meten van spanning en stroom in LTspice
- herhalen van het meten van spanning en stroom met de multimeter
- kennismaken met een voedingsregulatorchip
- maken van stabiele voeding met behulp van een LM317

### Benodigdheden

Bij dit lab ga je gebruik maken van de volgende zaken:

- Datasheets LM317

Technische beschrijving van deze chips

- **LM317**

Het IC zit in het zakje met componenten

- **Componenten**

Benodigde componenten zoals weerstanden en condensatoren zijn in het lab aanwezig

- **Breadboard, multimeter, labvoeding, pc of laptop met LTspice**

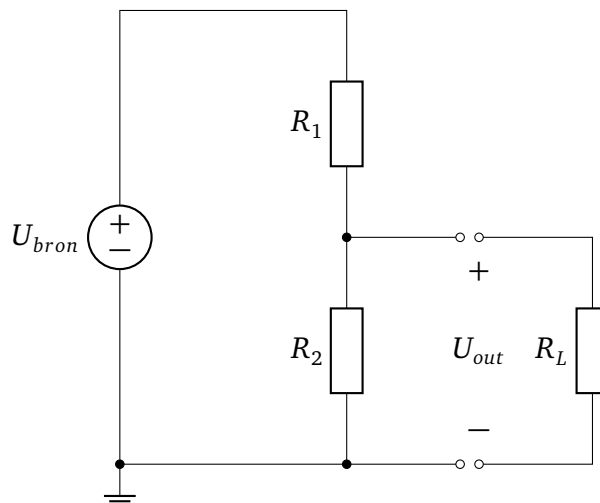
## Vorbereiding op de les

Achtergrondinformatie voor dit lab kun je vinden in Hambley. Lees §1.2 (“Circuits, Currents and Voltages”) en van §2.3 het deel over “voltage division” (spanningsdeler) door.

Ter voorbereiding kun je de opdracht vast doorlezen en de gevraagde simulaties maken in LTspice.

## 3.2 Spanningsdeler

Een spanningsdeler is een eenvoudige schakeling bestaande uit slechts twee weerstanden in serie. In opdracht [opdracht 1.8](#) hebben we al gezien dat bij meerdere weerstanden in serie de spanning van de voedingsbron zich zal verdelen over de weerstanden. Het doel van deze schakeling is een bepaalde spanning om te zetten naar de benodigde spanning voor een component of bepaalde pinnen van een IC. Een voorbeeld van een spanningsdeler met weerstanden  $R_1$  en  $R_2$  is weergegeven in [schakeling 3.1](#). De uitgangspanning van de spanningsdeler wordt  $U_{out}$  genoemd. Op de uitgang kan een vervolgschakeling (bijvoorbeeld één of meerdere weerstanden, maar ook een schakeling bestaande uit verschillende IC's) worden aangesloten. Dit noemen we de belasting van een schakeling. Deze wordt in [schakeling 3.1](#) voorgesteld door een belastingsweerstand  $R_L$ , vaak wordt deze ook een “load” genoemd. In dit lab ga je deze spanningsdeler analyseren met en zonder iets aangesloten op zijn uitgang, dus met en zonder een belastingsweerstand  $R_L$ . In [schakeling 3.1](#) is met de twee open bolletjes aangegeven dat op die punten de belastingsweerstand  $R_L$  aangesloten kan worden op de spanningsdelerschakeling.



**Schakeling 3.1:** Spanningsdeler met op de uitgang een belastingsweerstand.

### 3.2.1 Meten van spanning op een punt

Een van de metingen die we gaan uitvoeren is de spanningsmeting op een punt. Zoals we hebben gezien kunnen we met een multimeter alleen *spanningsverschillen* meten. Om toch te kunnen spreken over de spanning op een punt in een schakeling, wordt er vaak één bepaald punt (het referentiepunt) in de schakeling gekozen en afgesproken dat de spanning daar 0 V is. Dit wordt aangegeven met het aarde (ground, GND) symbool, dit symbool kun je links onderin in [schakeling 3.1](#) zien. Dan kun je over de spanning op elk ander punt in de schakeling spreken, al zijn dat eigenlijk spanningsverschillen ten opzichte van het gekozen referentiepunt (GND). Waar de ground gekozen wordt is eigenlijk niet relevant, al is het vaak wel handig om deze aan de onderkant van de voedingsbron te kiezen, zoals in [schakeling 3.1](#) gedaan is.

### 3.2.2 Meten van spanningen en stromen in LTspice

**Spanning op een punt:** In LTspice kunnen we de spanning op een punt (ten opzichte van aarde) meten door de muis op een verbinding (draad) te houden. De muisaanwijzer zal dan veranderen in een *spanningsprobe*. De gelijkspanningscomponent van de spanning op deze verbinding verschijnt nu in de statusbalk onderin en wordt aangegeven met *DC operating point*. Door op de verbinding te klikken met de linkermuisknop zal de spanning worden weergegeven in de grafiek.

**Spanning over een component:** In LTspice kunnen we de spanning over een component meten door met de spanningsprobe aan de ene kant van de component te klikken en de linkermuisknop ingedrukt te houden. Vervolgens kun je de probe bewegen naar de andere kant van de component en hier weer loslaten.

**Stroom door een component:** In LTspice kunnen we de stroom door een component meten door de muis op de component te houden. De muisaanwijzer zal dan veranderen in een *stroomtang* met een pijltje erdoorheen. Het pijltje geeft aan in welke richting de stroom zal worden gemeten. De gelijkstroomcomponent van de stroom door deze component verschijnt nu in de statusbalk onderin en wordt aangegeven met *DC operating point*. Ook het opgenomen vermogen in deze component wordt nu weergegeven als *Dissipation*. Door op de component te klikken met de linkermuisknop zal de stroom worden weergegeven in de grafiek.

Door te **dubbelklikken**, of twee keer achter elkaar op hetzelfde punt of op dezelfde component te klikken worden alle eerdere metingen in de grafiek gewist en zie je alleen de laatste meting.

**Opdracht 3.1: Simuleren van de spanningsdeler.**

1. Teken in LTspice [schakeling 3.1](#) zonder de belastingsweerstand  $R_L$ . Gebruik voor de weerstanden  $R_1 = 390\ \Omega$  en  $R_2 = 470\ \Omega$  en stel de spanningsbron  $U_{bron}$  in op 9 V.
2. Leg uit hoe je in de simulatie de spanning op een bepaald punt kunt meten.
3. Meet de spanning boven  $U_{bron}$  en op  $U_{out}$  in de simulatie en noteer deze in [tabel 3.1](#).
4. Leg uit hoe je in de simulatie de spanning over een component kunt meten.
5. Meet de spanning over  $R_1$  en  $R_2$  en noteer deze in [tabel 3.1](#).
6. Leg uit hoe je in de simulatie de stroom door een component kunt meten.
7. Meet de stroom door  $U_{bron}$ ,  $R_1$  en  $R_2$  en noteer deze in [tabel 3.1](#).
8. Bereken het door de voedingsbron geleverde vermogen  $P_{bron} = U_{bron} \cdot I_{bron}$  en noteer deze in [tabel 3.1](#).
9. Sla de simulatie op en geef deze een handige naam zodat je deze later gemakkelijk kunt terugvinden.

**Opdracht 3.2: Meten aan de opgebouwde schakeling.**

1. Bouw [schakeling 3.1](#) op je breadboard zonder belastingsweerstand en sluit deze aan op de labvoeding met een voedingsspanning van 9 V en stel de stroombegrenzing in op 100 mA. Gebruik voor de weerstanden weer  $R_1 = 390\ \Omega$  en  $R_2 = 470\ \Omega$ .
2. Meet de spanning boven  $U_{bron}$  en op  $U_{out}$  en noteer deze in [tabel 3.1](#).
3. Meet de spanning over  $R_1$  en  $R_2$  en noteer deze in [tabel 3.1](#).
4. Meet de stroom door  $U_{bron}$ ,  $R_1$  en  $R_2$  en noteer deze in [tabel 3.1](#).
5. Bereken het door de voedingsbron geleverde vermogen en noteer deze in [tabel 3.1](#).
6. Vergelijk de metingen met de simulatieresultaten en bepaal de procentuele afwijkingen. Vul deze in in [tabel 3.1](#). Hoe kun je de verschillen verklaren?

**Tabel 3.1:** Vergelijking van de simulatie en de fysieke metingen aan een spanningsdeler zonder en met belasting.

| Grootheid                                  | Simulatie zonder $R_L$ | Meting zonder $R_L$ | % afwijking zonder $R_L$ |  | Simulatie met $R_L$ | Meting met $R_L$ | % afwijking met $R_L$ |
|--------------------------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--|---------------------|------------------|-----------------------|
| Spanning van $U_{bron}$ (V)                |                        |                     |                          |  |                     |                  |                       |
| Spanning op $U_{out}$ (V)                  |                        |                     |                          |  |                     |                  |                       |
| Spanning over $R_1$ (V)                    |                        |                     |                          |  |                     |                  |                       |
| Spanning over $R_2$ (V)                    |                        |                     |                          |  |                     |                  |                       |
| Stroom door $U_{bron}$ (mA)                |                        |                     |                          |  |                     |                  |                       |
| Stroom door $R_1$ (mA)                     |                        |                     |                          |  |                     |                  |                       |
| Stroom door $R_2$ (mA)                     |                        |                     |                          |  |                     |                  |                       |
| Vermogen spannings-bron ( $P_{bron}$ , mW) |                        |                     |                          |  |                     |                  |                       |
| Spanning over $R_L$ (V)                    | -                      | -                   | -                        |  |                     |                  |                       |
| Stroom door $R_L$ (mA)                     | -                      | -                   | -                        |  |                     |                  |                       |
| Vermogen $R_L$ ( $P_L$ , mW)               | -                      | -                   | -                        |  |                     |                  |                       |
| Redement (%): $\frac{P_L}{P_{bron}}$       | -                      | -                   | -                        |  |                     |                  |                       |

### 3.3 Spanningsdeler als stabiele voeding?

#### Opdracht 3.3: Spanningsdeler met belasting.

1. Voeg weerstand  $R_L = 270\Omega$  toe aan de simulatie en aan de opgebouwde schakeling. Vul [tabel 3.1](#) volledig in door alle metingen en berekeningen uit te voeren.
2. Zijn er opvallende afwijkingen tussen de simulatie en fysieke metingen?
3. De bedoeling was om een stabiele voeding van 5 V te maken. Is de uitgangsspanning van de spanningsdeler nog steeds 5 V na het aansluiten van een belasting van  $270\Omega$ ?
4. Om het gedrag van een spanningsdeler met belasting beter te bekijken gaan we verschillende belastingen, dus verschillende waarden van  $R_L$  bekijken. Vul [tabel 3.2](#) in.
5. Verklaar wat je ziet in [tabel 3.2](#) door te kijken naar de serie-/parallelschakeling van  $R_1$ ,  $R_2$  en  $R_L$ .
6. Nu gaan we kijken hoe de spanningsdeler zich gedraagt wanneer we de voedingsspanning veranderen. Kies voor  $R_L$  weer een vaste waarde van  $270\Omega$  en vul [tabel 3.3](#) in.
7. Leg aan de hand van [tabel 3.2](#) en [tabel 3.3](#) uit waarom de spanningsdeler geen stabiele voeding oplevert:

**Tabel 3.2:** Spanningsdeler bij verschillende belastingen.

| Belasting ( $R_L, \Omega$ ) | $U_{out}$ simulatie (V) | $U_{out}$ meting (V) |
|-----------------------------|-------------------------|----------------------|
| 100k                        |                         |                      |
| 10k                         |                         |                      |
| 1k                          |                         |                      |
| 560                         |                         |                      |
| 270                         |                         |                      |
| 100                         |                         |                      |

**Tabel 3.3:** Spanningsdeler bij verschillende bronspanningen.

| Bronspanning (V) | $U_o$ gemeten (V) | $U_o$ simulatie (V) |
|------------------|-------------------|---------------------|
| 15               |                   |                     |
| 12               |                   |                     |
| 10               |                   |                     |
| 9                |                   |                     |
| 8                |                   |                     |
| 7                |                   |                     |
| 6                |                   |                     |
| 5                |                   |                     |
| 4                |                   |                     |

### 3.4 Voedingsregulator IC

In de vorige opdrachten heb je gezien dat een spanningsdeler geen perfecte voeding is. We gaan nu een stabielere voeding ontwerpen op basis de datasheet van de LM317 en simulaties die met LTspice mogelijk zijn.

Het is nuttig om de voedingsregulator eerst in LTSpice op te bouwen en te ontwikkelen. Daarbij is het handig om eerst met het meest eenvoudige schema te beginnen en dan aan de hand van hints in de datasheet waar nodig de schakeling uit te breiden. De LM317 heeft de naam LT317A in LTspice en is te vinden onder .

#### Opdracht 3.4: Datasheet LM317 interpreteren.

1. Download de datasheet van de LM317 van de website van Texas Instruments (<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf>).
2. Bekijk op de eerste pagina van de datasheet de kopjes *1 Features*, *2 Applications* en *3 Description*. Leg in eigen woorden uit wat de functie van dit IC is.
3. Bekijk het kopje *6.1 Absolute Maximum Ratings*. Leg uit waarom het beter is chips niet te gebruiken in de buurt van of over de maximal ratings.
4. Bekijk het kopje *6.3 Recommended Operating Conditions*. Beschrijf in eigen woorden wat geschikte omstandigheden zijn voor het gebruik van deze chip.
5. Vind het meest eenvoudige toepassingsschema met weerstanden  $R_1$  en  $R_2$  in de datasheet en teken het over. Leg uit waar je in dit schema een spanningsdeler kunt herkennen.

**Opdracht 3.5: Ontwerpen van een voedingsregulator in LTspice.**

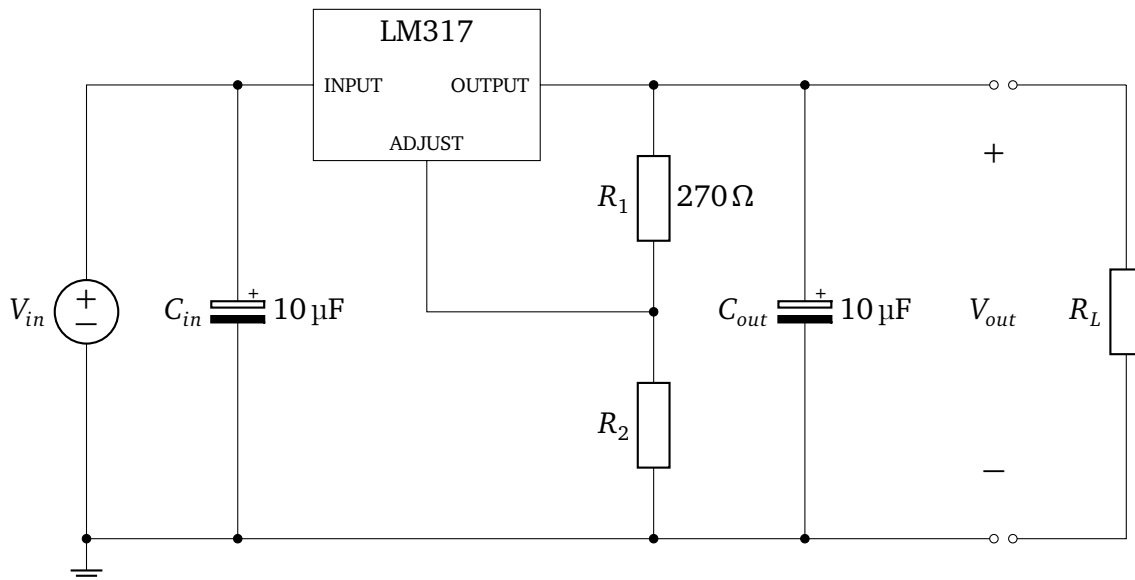
1. In de datasheet staat onder kopje 8.2.2 *Detailed Design Procedure* een formule voor de uitgangsspanning van de LM317. Verklaar waarom je deze kunt vereenvoudigen tot:

$$V_O = V_{REF} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (3.1)$$

Zoek onder kopje 6.5 *Electrical Characteristics* de waarde van  $V_{REF}$  op en noteer

deze. Wat zouden de waarden *MIN*, *TYP* en *MAX* betekenen?

2. In de datasheet wordt op veel plaatsen een vaste waarde van  $240\ \Omega$  gebruikt voor weerstand  $R_1$ . Deze hebben wij niet in de voorraad zitten, dus gebruiken we  $R_1 = 270\ \Omega$ . Bereken nu de waarde voor  $R_2$  als we een uitgangsspanning van 5 V willen hebben:
3. Bouw [schakeling 3.2](#) in LTspice. Gebruik een voedingsspanning van 9 V en gebruik een *Transient*-analyse en simuleer 1 s.
4. Meet de spanning  $V_O$  aan de uitgang en noteer deze:
5. Bepaal met behulp van de simulatie de stroom  $I_{Adj}$  en controleer of de vereenvoudiging die tot [vergelijking \(3.1\)](#) leidde gerechtvaardigd is:
6. Sla de simulatie op en geef deze een handige naam zodat je deze later gemakkelijk kunt terugvinden.



**Schakeling 3.2:** Unipolaire voeding met het LM317 voedingsregulator IC.

Vaak is de ingangsspanning of de belasting niet constant in de tijd. Een spanningsregulator zoals de LM317 is relatief langzaam: deze regulator heeft ongeveer  $10\text{ }\mu\text{s}$  nodig om te reageren op een verandering. Dit klinkt misschien snel, maar een elektrisch circuit kan in nano- of zelfs picoseconde schakelen en dus van belasting veranderen. Om deze hele snelle veranderingen op te vangen worden condensatoren aan het circuit toegevoegd. Een condensator werkt als een heel klein batterijtje die voor een hele korte tijd stroom kan leveren aan een schakeling.

Condensatoren kunnen zorgen ervoor dat tijdens de relatief grote reactietijd van de spanningsregulator er toch voldoende stroom wordt geleverd. Daardoor blijft de spanning stabiel zelfs bij heel snel schakelende circuits. Een vaak gekozen waarde is  $10\text{ }\mu\text{F}$  voor de condensator aan de in- en uitgang van een spanningsregulator. Omdat de spanning aan de ingang van de regulator vaak ook niet stabiel is zetten we ook altijd een condensator aan de ingang van de voedingsregulatorschakeling.

### Opdracht 3.6: Opbouwen en testen van de voedingsregulator.

1. Bouw [schakeling 3.2](#) op een breadboard.
2. Zet de ingangsspanning weer op  $9\text{ V}$  en sluit een belastingsweerstand  $R_L$  van  $270\text{ }\Omega$  aan op de schakeling tussen de uitgang en de ground. Meet en noteer de uitgangsspanning en leg uit of deze meting aan de verwachtingen voldoet:

**Opdracht 3.7: Rendement van de voedingsregulator.**

We gaan nu een aanzienlijke belasting aansluiten op de voedingsregulator met behulp van een relatief lage weerstand van  $22\ \Omega$ . Vervolgens gaan we kijken hoeveel van het vermogen dat door de bron wordt geleverd wordt opgenomen door de belasting, dit noemen we het rendement.

1. Leg uit waarom een lage weerstand zorgt voor een hoge belasting:
2. Verander  $R_L$  in de simulatie naar  $22\ \Omega$ .
3. Meet in de simulatie hoeveel vermogen  $P_{\text{in}}$  door de spanningsbron geleverd wordt, hoeveel vermogen  $P_{\text{out}}$  door de belastingsweerstand wordt opgenomen en daarmee het vermogensverlies  $P_{\text{loss}} = P_{\text{in}} - P_{\text{out}}$  van de voedingsregulator schakeling. Zet de resultaten in [tabel 3.4](#).
4. Om hetzelfde experiment uit te voeren in de opgebouwde schakeling kunnen we geen  $22\ \Omega$  weerstand gebruiken uit de standaardvoorraad. Leg uit waarom niet:
5. Sluit een  $22\ \Omega$  2 W weerstand aan op de uitgang van de opgebouwde schakeling. Het opgenomen vermogen in  $R_L$  zal worden omgezet in warmte. De weerstand kan dus behoorlijk heet worden!
6. Met de multimeter kunnen we niet direct het vermogen dat wordt opgenomen meten. Leg uit hoe we het vermogen kunnen meten met behulp van spannings- en stroommetingen:
7. Bepaal door middel van metingen en berekeningen  $P_{\text{in}}$ ,  $P_{\text{out}}$  en  $P_{\text{loss}}$ . Zet de resultaten in [tabel 3.4](#) en bepaal de procentuele afwijkingen ten opzichte van de simulatie.
8. Leg uit waar blijft het vermogen  $P_{\text{loss}}$  blijft. *Hint: Voel **heel voorzichtig!** aan de LM317.*

**Tabel 3.4:** Vermogensbalans in simulatie en praktijk.

| Vermogen                               | Simulatie (mW) | Praktijk (mW) | Afwijking (%) |
|----------------------------------------|----------------|---------------|---------------|
| $P_{in}$                               |                |               |               |
| $P_{out}$                              |                |               |               |
| $P_{loss}$                             |                |               |               |
| Rendement:<br>$\frac{P_{out}}{P_{in}}$ |                |               |               |

### 3.5 Voedingsregulator IC als stabiele voeding?

#### Opdracht 3.8: Voedingsregulator IC met verschillende belastingen.

Een goede voeding is een voeding die dezelfde spanning levert onafhankelijk van welke belasting op de schakeling wordt aangesloten. In deze opdracht wordt onderzocht hoe goed de opgebouwde schakeling rond de voedingsregulatorchip in deze zin als voeding kan dienen.

1. Voer de benodigde metingen en simulaties uit om [tabel 3.5](#) in te kunnen vullen.
2. Leg uit aan de hand van de resultaten in [tabel 3.5](#) uit in hoeverre deze voedingsregulator stabiel is:

**Tabel 3.5:** Voedingsregulatorchip bij verschillende belastingen.

| Belasting ( $\Omega$ ) | $U_o$ simulatie (V) | $U_o$ gemeten (V) |
|------------------------|---------------------|-------------------|
| 100k                   |                     |                   |
| 10k                    |                     |                   |
| 1k                     |                     |                   |
| 560                    |                     |                   |
| 270                    |                     |                   |
| 100                    |                     |                   |

**Opdracht 3.9: Voedingsregulator IC met verschillende bronspanningen.**

Een goede voeding is een voeding die dezelfde spanning levert onafhankelijk van welke bronspanning op de schakeling wordt aangesloten. In deze opdracht wordt onderzocht hoe goed de opgebouwde schakeling rond de voedingsregulatorchip in deze zin als een goede voeding kan dienen.

1. Voer de benodigde metingen en simulaties uit om [tabel 3.6](#) in te kunnen vullen. Gebruik hierbij een vaste belastingsweerstand  $R_L$  van  $270\ \Omega$ .
2. Leg uit aan de hand van de resultaten in [tabel 3.6](#) uit in hoeverre deze voedingsregulator stabiel is. Verklaar eventuele afwijkingen aan de hand van de datasheet:

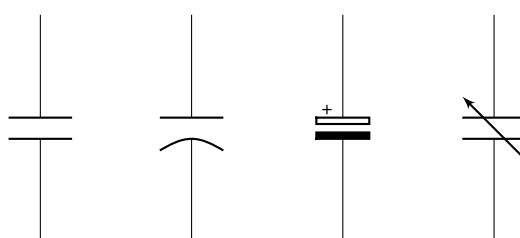
**Tabel 3.6:** Voedingsregulatorchip bij verschillende bronspanningen.

| Bronspanning (V) | $U_O$ gemeten (V) | $U_O$ simulatie (V) |
|------------------|-------------------|---------------------|
| 15               |                   |                     |
| 12               |                   |                     |
| 10               |                   |                     |
| 9                |                   |                     |
| 8                |                   |                     |
| 7                |                   |                     |
| 6                |                   |                     |
| 5                |                   |                     |
| 4                |                   |                     |



## 4

## Condensator



**Schakeling 4.1:** Verschillende condensatorsymbolen.

### 4.1 Inleiding

Naast weerstanden zijn condensatoren één van de meest voorkomende componenten in elektrotechnische schakelingen. Er worden verschillende symbolen voor condensatoren gebruikt, zoals te zien is in [schakeling 4.1](#). Er zijn drie belangrijke toepassingen van condensatoren:

1. **Energie/ladingopslag**

Een condensator fungeert als een soort oplaadbare batterij.

2. **Filter**

Condensatoren kunnen gebruikt worden om elektrische signalen te filteren.

3. **Stabilisatie van chipvoeding**

Een condensator kan gebruikt worden om schommelingen van de voedingsspanning van IC's op te vangen.

In dit lab ga je de eerste twee in detail bekijken. De laatste is vooral van belang bij het opbouwen van schakelingen met IC's. Zoals we al hebben gezien bij de NE555 in [opdracht 2.11](#) en de LM317 in [opdracht 3.6](#): plaats altijd een condensator zo dicht mogelijk bij de voedingspinnen van een IC.

### Leerdoelen

De leerdoelen van dit lab zijn:

- het kennis maken met eigenschappen van condensatoren

- het bepalen van het op- en ontladgedrag van een condensator
- het gebruik kunnen maken van een functiegenerator
- het gebruik kunnen maken van een oscilloscoop
- het opbouwen en testen van eenvoudige filters

## Benodigheden

Bij dit lab ga je gebruik maken van de volgende zaken:

- **Oscilloscoop**

Instrument om in de tijd variërende elektrische signalen zichtbaar te maken en te analyseren

- **Functiegenerator**

Instrument om in de tijd variërende elektrische signalen op te wekken

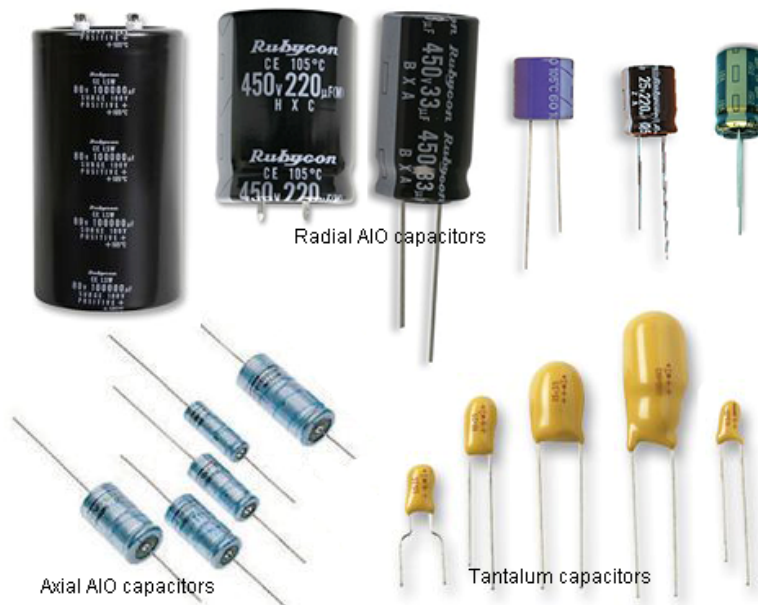
- **Componenten**

Benodigde componenten, condensatoren etc, zijn in het lab aanwezig

- **Breadboard, multimeter, labvoeding, pc of laptop**

## Vorbereiding op de les

Lees Hambley §4.1 (“First-order RC Circuits”) door.



**Figuur 4.1:** Elektrolytische en tantaal condensatoren.

## 4.2 Eigenschappen van condensatoren.

De grootte van een condensator wordt capaciteit  $C$  genoemd met eenheid Farad (F).

In de standaardvoorraad zijn keramische en elektrolytische condensatoren beschikbaar. De capaciteit staat vaak op condensatoren vermeld, zie [figuur 4.1](#). Op de elektrolytische condensatoren staat de waarde meestal aangegeven in microFarad ( $\mu\text{F}$ ). De keramische condensatoren hebben alleen een nummer. Hier zijn de eerste twee cijfers de waarde van de condensator, het derde cijfer is de vermenigvuldigingsfactor als macht van 10 ( $\cdot 10^n$ ), net zoals de kleurcodes van weerstanden. De berekende waarde is dan in picoFarad (pF).

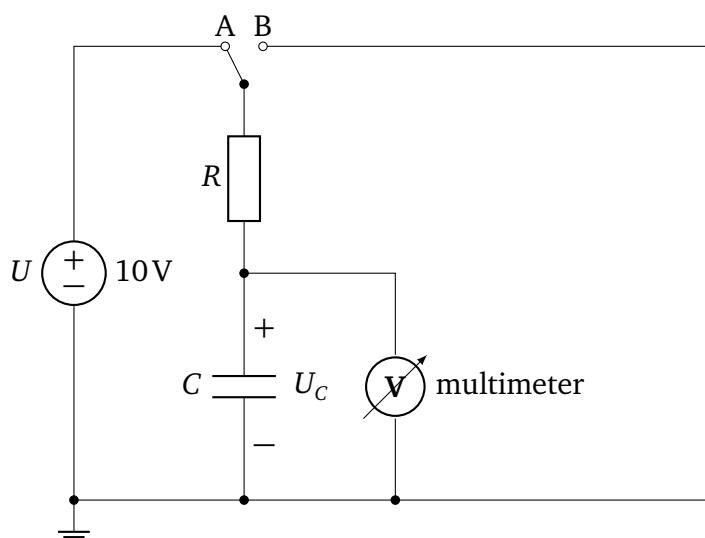
### Opdracht 4.1: Capaciteit en eigenschappen van een condensator.

1. Waar moet je op letten bij het aansluiten van een elektrolytische condensator?
2. Als een keramische condensator de opdruk 473 heeft, bereken de waarde van deze condensator in nF zonder naar de bakjes te lopen:

## 4.3 Op- en ontladen van een condensator

Een belangrijke toepassing van een condensator is als opslag van elektrische lading. We gaan onderzoeken hoe het op- en ontladen van een condensator precies in zijn werk gaat. Hiervoor gaan we [schakeling 4.2](#) gebruiken. In deze schakeling staan een weerstand en condensator in serie. Bij deze zogenaamde RC schakeling noemen we het product van  $R$  en  $C$  de tijdsconstante  $\tau$ . Dus  $\tau = R \cdot C$ .

Er is een schakelaar toegevoegd waarmee de condensator kan worden opgeladen en ontladen. We meten steeds de spanning over de condensator.



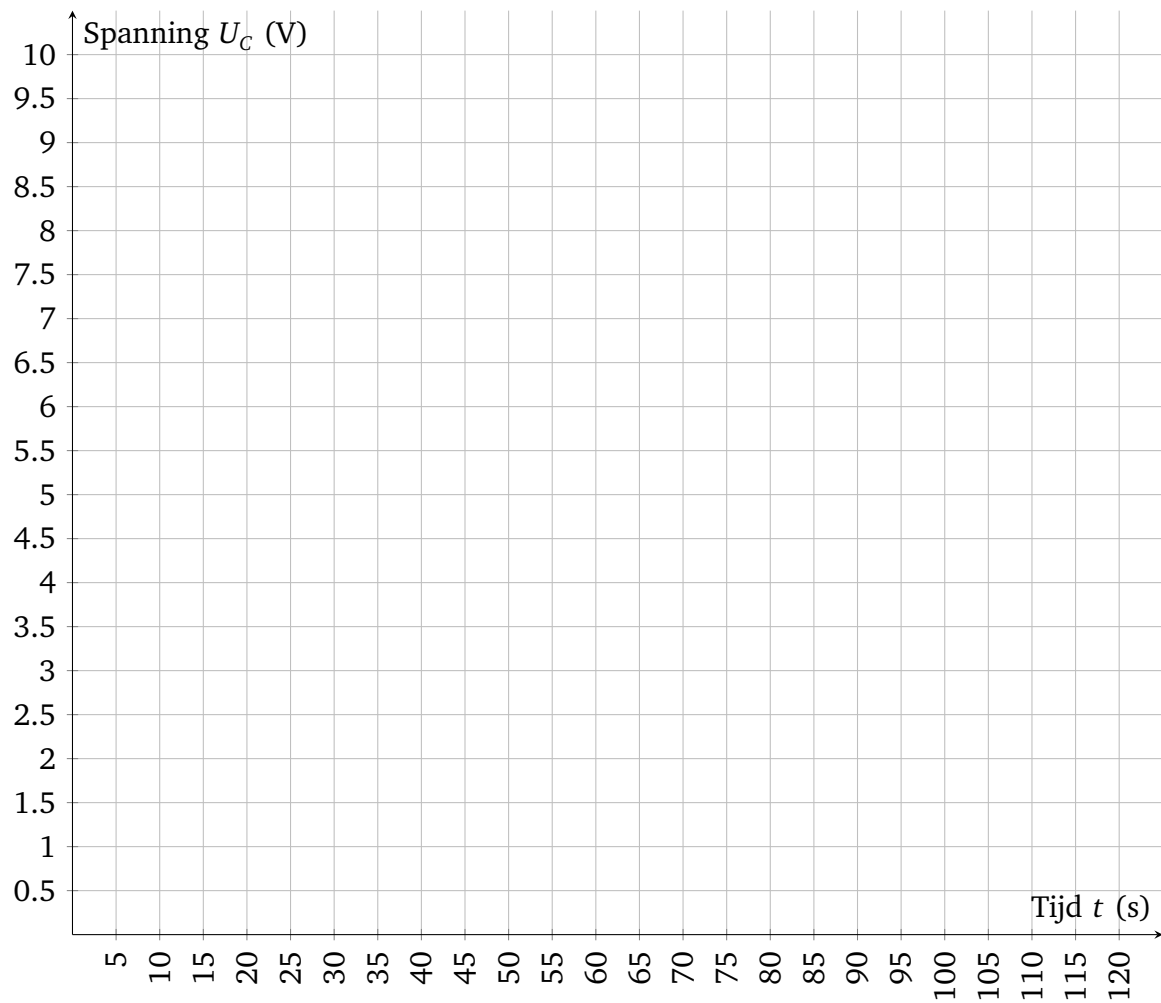
**Schakeling 4.2:** Op- en ontladen van een condensator.

**Opdracht 4.2: Op- en ontladen van een condensator**

1. In welke stand (A of B) van de schakelaar in [schakeling 4.2](#) wordt de condensator  $C$  opgeladen? En in welke ontladen?
2. Bouw [schakeling 4.2](#) op met een weerstand  $R$  en een condensator  $C$  zodanig dat de RC-tijd  $\tau = R \cdot C$  ongeveer 10 s is. Neem bijvoorbeeld  $R = 100\text{ k}\Omega$  en  $C = 100\text{ }\mu\text{F}$ . De schakelaar uit de standaardvoorraad heeft drie pootjes, de middelste sluit je aan op de weerstand, de buitenste zijn A en B. (*Let op de veiligheid*: Wat voor type condensator heb je nodig? Houd hiermee rekening bij de plaatsing van de condensator in de schakeling.)
3. Zorg dat de spanning over de condensator op de multimeter staat zonder dat je de *testleads* hoeft vast te houden. Dit kun je doen met behulp van twee 4 mm aansluitsnoeren (deze kun je direct in de multimeter steken als je de testleads eruit haalt) en krokodillenbekjes.
4. Zorg dat je een stopwatch (bijvoorbeeld op je telefoon) klaar hebt staan.
5. De volgende meetprocedure kun je het beste samen uitvoeren, 1 persoon houdt de tijd bij, de ander leest de waarde van de multimeter af en noteert deze:
  1. Zet de schakelaar voor een lange tijd op stand B. Als het goed is geeft de multimeter nu (bijna) 0 V aan.
  2. Op tijdstip  $t = 0\text{ s}$  zet je de schakelaar om van B naar A en start je de stopwatch.
  3. Meet en noteer elke 5 s de spanning  $U_C$  over de condensator.
  4. Op tijd  $t = 60\text{ s}$  zet je de schakelaar om van A naar B.
  5. Meet en noteer weer elke 5 s de spanning  $U_C$  over de condensator.
  6. Stop de metingen op  $t = 120\text{ s}$ .
6. Voer deze metingen uit en noteer de resultaten in de tweede kolom van [tabel 4.1](#).
7. Neem de meetwaarden over in [figuur 4.2](#) en trek een vloeiende lijn door de meetpunten.
8. Beschrijf in hoeverre de curven van het opladen en het ontladen op elkaar lijken:
9. De RC tijdsconstante  $\tau$  bepaalt hoe snel het op- en ontladen verloopt. Bepaal hoeveel van deze tijdsconstanten er nodig zijn om de condensator (nagenoeg) volledig op te laden:

**Tabel 4.1:** Op- en ontladen van verschillende configuraties van weerstanden en condensatoren: hier  $C+C$  staat voor twee condensatoren in serie en  $C \parallel C$  parallel.

| $t$ (s) | Configuratie: | $(R; C) U_C$ (V) | $(R; C+C) U_C$ (V) | $(R; C \parallel C) U_C$ (V) |
|---------|---------------|------------------|--------------------|------------------------------|
| 0       |               |                  |                    |                              |
| 5       |               |                  |                    |                              |
| 10      |               |                  |                    |                              |
| 15      |               |                  |                    |                              |
| 20      |               |                  |                    |                              |
| 25      |               |                  |                    |                              |
| 30      |               |                  |                    |                              |
| 35      |               |                  |                    |                              |
| 40      |               |                  |                    |                              |
| 45      |               |                  |                    |                              |
| 50      |               |                  |                    |                              |
| 55      |               |                  |                    |                              |
| 60      |               |                  |                    |                              |
| 65      |               |                  |                    |                              |
| 70      |               |                  |                    |                              |
| 75      |               |                  |                    |                              |
| 80      |               |                  |                    |                              |
| 85      |               |                  |                    |                              |
| 90      |               |                  |                    |                              |
| 95      |               |                  |                    |                              |
| 100     |               |                  |                    |                              |
| 105     |               |                  |                    |                              |
| 110     |               |                  |                    |                              |
| 115     |               |                  |                    |                              |
| 120     |               |                  |                    |                              |



**Figuur 4.2:** Op- en ontladen van condensatoren in verschillende configuraties.

## 4.4 Condensatoren in serie en parallel

De regels voor de vervaningsweerstand van twee weerstanden in serie of parallel hebben we in voorgaande labs gezien. Voor de capaciteit van condensatoren gelden vergelijkbare regels, maar deze zijn niet hetzelfde.

### Opdracht 4.3: Effect van condensatoren in serie en parallel geschakeld

1. Zet een tweede condensator met dezelfde capaciteit in serie met de eerste en herhaal de meetprocedure. Zorg dat je de spanning over beide condensatoren meet. Noteer de resultaten in de derde kolom van [tabel 4.1](#) en teken weer een grafiek (met een andere kleur potlood) in [figuur 4.2](#).
2. Gaat het opladen van de twee condensatoren in serie sneller of langzamer?
3. Neemt de RC-tijd dus toe of af?
4. Wordt de vervangingscapaciteit dus groter of kleiner?
5. Zet de twee condensatoren nu parallel met elkaar herhaal de meetprocedure. Zorg dat je de spanning over beide condensatoren meet. Noteer de resultaten in de vierde kolom van [tabel 4.1](#) en teken weer een grafiek (met een weer andere kleur potlood) in [figuur 4.2](#).
6. Gaat het opladen van de twee condensatoren in parallel sneller of langzamer?
7. Neemt de RC-tijd dus toe of af?
8. Wordt de vervangingscapaciteit dus groter of kleiner?
9. Zorg voor een duidelijke legenda bij [figuur 4.2](#).
10. Bereken met behulp van [vergelijking \(A.9\)](#) de vervangingscapaciteit van de twee condensatoren in serie en parallel:
11. Bepaal de RC-tijdsconstanten  $\tau$  voor twee condensatoren in serie en parallel en leg uit of deze berekening overeenkomt met je metingen:

## 4.5 Periodieke signalen opwekken en zichtbaar maken

Veel signalen in de natuur zijn periodiek in de tijd. Geluid zijn periodieke trillingen van de luchtmoleculen en licht zijn elektromagnetische golven. In de elektrotechniek komen periodieke signalen heel vaak voor, denk maar aan de netspanning, dat is een wisselspanning, een sinusoid. Veelgebruikte periodieke signalen zijn sinusoiden en blokgolven. Het is daarom van belang om te weten hoe periodieke signalen beschreven kunnen worden.

Een periodiek signaal (bijvoorbeeld een sinusvormige wisselspanning die varieert met de tijd  $t$ ) wordt weergegeven met:

$$u(t) = U_p \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) + U_{\text{offset}} \quad (4.1)$$

Waarbij:

- De frequentie  $f$  en de bijbehorende periodetijd  $T = \frac{1}{f}$  aangeven hoe snel of hoe vaak het periodieke signaal zich herhaalt. In het geval van een sinusoid wordt vaak de hoeksnelheid  $\omega$  gebruikt, waarbij  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ .
- De amplitude ( $U_p$ ) geeft aan hoe groot de variaties van het periodieke signaal zijn.
- De gemiddelde waarde ( $U_{\text{offset}}$ ), in de elektrotechniek ook wel DC-offset genoemd, is de waarde waar omheen het periodieke signaal varieert. Dit is een verschuiving van het signaal op de verticale as.
- De faseverschuiving  $\varphi$  geeft aan hoeveel het signaal is verschoven in de tijd. Dit is een verschuiving van het signaal op de horizontale as.

Er zijn een aantal veel gebruikte definities om de amplitude van een periodiek signaal te beschrijven:

- **Piekspanning**  $U_p$ : De grootste waarde van de wisselspanning.
- **Piek-piekspanning**  $U_{pp}$ : Spanningsverschil tussen de grootste en kleinste waarde van de wisselspanning. Vaak is dit tweemaal de piekspanning  $U_p$ .
- **RMS-spanning**  $U_{\text{RMS}}$ : De Root-Mean-Square-spanning is de wortel (root) uit het gemiddelde (mean) van het kwadraat (square) van de spanning rond het gemiddelde.

Het idee achter de RMS-waarde is dat bij een periodiek signaal vaak de gemiddelde waarde  $U_{\text{avg}}$  nul is omdat de positieve en negatieve delen elkaar precies opheffen. Door eerst het kwadraat te nemen en dan te middelen worden alleen positieve delen (de kwadraten) meegenomen. De RMS-spanning geeft aan met welke gelijkspanning de wisselspanning gemiddeld overeenkomt. Dat wil zeggen: als we een ouderwetse gloeilamp of een waterkoker laten werken op een wisselspanning, dan geeft de RMS-spanning aan met hoeveel gelijkspanning de lamp of waterkoker hetzelfde vermogen levert en dus gemiddeld even fel brandt of warmte ontwikkelt.

Voor een sinusoid geldt:

$$U_{\text{RMS}} = \frac{U_p}{\sqrt{2}} \quad (4.2)$$

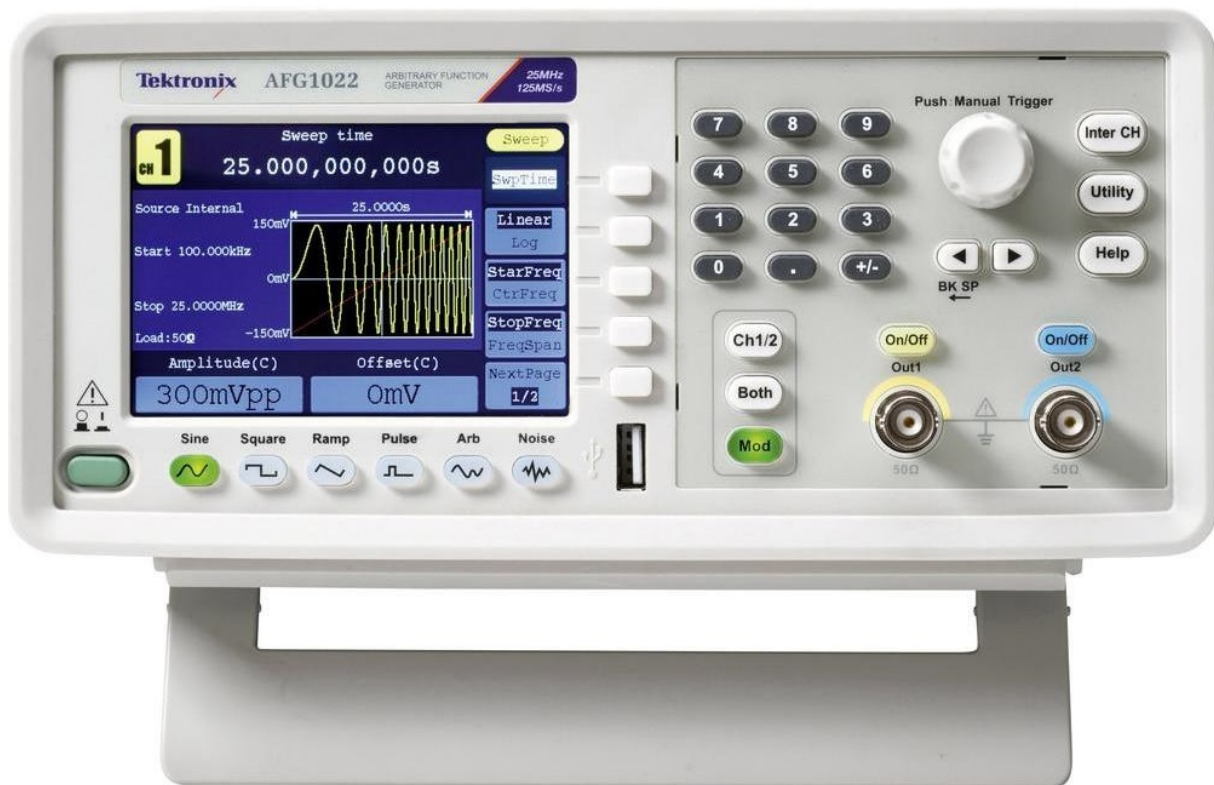


**Figuur 4.3:** Vooraanzicht van de Siglent SDS804X HD oscilloscoop.

Een multimeter kan van een wisselspanning (die de vorm heeft van een sinus) een soort gemiddelde, de RMS-waarde bepalen, maar het wisselspanningssignaal zelf niet zichtbaar maken. Een oscilloscoop is een instrument dat bij uitstek geschikt is om de wavevorm van allerlei wisselspanningssignalen zichtbaar te maken. In dit lab ga je de oscilloscoop Siglent SDS804X HD gebruiken. Het vooraanzicht van deze oscilloscoop is weergegeven in [figuur 4.3](#). Belangrijke aspecten voor het instellen van een oscilloscoop zijn te vinden in [paragraaf A.4](#), lees deze goed door.

#### Opdracht 4.4: Eigenschappen van de oscilloscoop.

1. Hoeveel signalen zou je met deze oscilloscoop kunnen meten?
2. Hoe sluit je probes of meetsnoeren op de oscilloscoop aan?
3. Wat kun je instellen op de horizontale schaal?
4. Wat kun je instellen op de verticale schaal?
5. Leg uit wat de trigger is? Beschrijf hoe je de trigger kunt instellen?



**Figuur 4.4:** Vooraanzicht van de Tektronix AFG1022 functiegenerator.



**Figuur 4.5:** Vooraanzicht van de Tenma 72-3555 functiegenerator.

Om schakelingen die periodieke signalen verwerken goed te kunnen testen is het noodzakelijk om te kunnen meten hoe deze op periodieke signalen reageren. Om dat te kunnen doen, heb je instelbare periodieke signalen nodig. Een functiegenerator is een instrument waarmee allerlei periodieke signalen gegenereerd kunnen worden. De functiegenerator, die in dit lab gebruikt gaat worden, is de Tenma 72-3555, zie [figuur 4.5](#) of de Tektronix AFG1022, zie [figuur 4.4](#). Om de signalen die met de functiegenerator opgewekt worden zichtbaar te maken, kun je een oscilloscoop gebruiken.

**Opdracht 4.5: Signalen opwekken met een functiegenerator en deze zichtbaar maken met een oscilloscoop.**

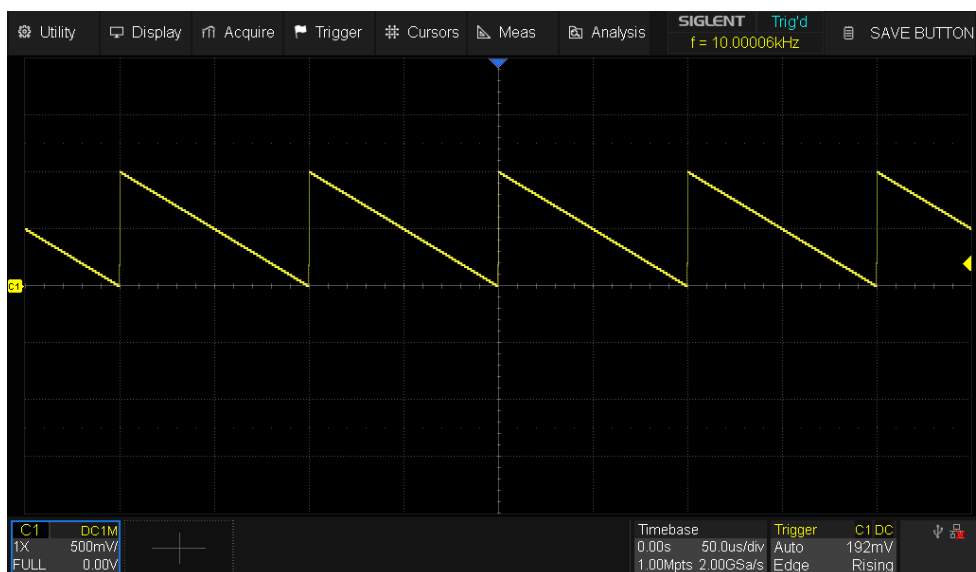
1. Verbind de functiegenerator en de oscilloscoop met elkaar via een BNC kabel (zie [figuur 4.6](#)). Sluit de kabel van kanaal 1 van de oscilloscoop naar kanaal 1 van de functiegenerator aan.
2. Stel de functiegenerator in om een 1 kHz blokgolf te laten genereren:
  - Druk op de knop “Pulse” linksonder om een blokgolf te selecteren.
  - Stel de frequentie in op 1 kHz, de amplitude in op  $2 V_{pp}$  en de offset op 0 V.
  - Stel de duty-cycle op 50 % door tweemaal op de knop naast “Width/Duty-cyc” te drukken.
3. Druk op de knop “On/Off” boven de BNC aansluiting van de functiegenerator om het signaal daadwerkelijk op deze uitgang te zetten en maak het signaal goed zichtbaar op de oscilloscoop volgens de aanwijzingen van [paragraaf A.4](#). Bijvoorbeeld zodanig dat het beeld eruit ziet zoals in [figuur 4.7](#).
4. Stel een sinus in van 100 kHz, met een offset van  $-0,2 V$  en een amplitude van  $0,1 V_{pp}$ . Zorg dat dit signaal goed op de oscilloscoop kan worden weergegeven. Welke instellingen heb je gebruikt?
5. Om signalen op een scoop goed te zien, moet je er voor zorgen dat de signalen correct getriggerd worden. Verander de trigger level. Wat gebeurt er als je de trigger level buiten het signaal plaatst?
6. Stel de functiegenerator zo in dat je het signaal van [figuur 4.8](#) verkrijgt.
7. Genereer een blokgolf welke 75 % van de tijd 0 V is en 25 % van de tijd  $-5 V$  is met een frequentie van 400 Hz. Stel zowel de oscilloscoop in om dit zo goed mogelijk weer te geven. Welke instellingen heb je gebruikt?



**Figuur 4.6:** Een BNC-kabel.



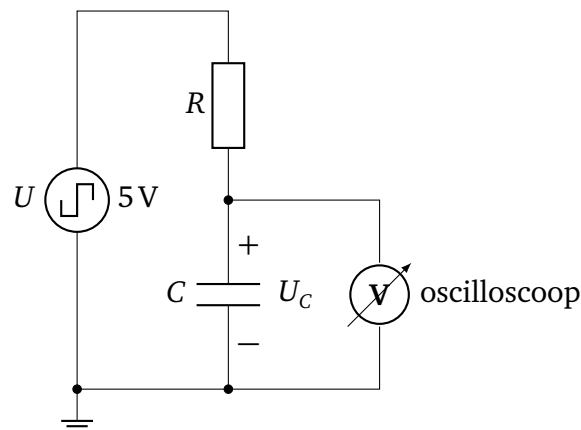
**Figuur 4.7:** Het ingestelde signaal op de oscilloscoop.



**Figuur 4.8:** Een golfvorm op de oscilloscoop.

## 4.6 Op- en ontladen van een condensator meten m.b.v. een functiegenerator en een oscilloscoop

De metingen van het op- en ontladen van een condensator, die je in voorgaande opgaven moeizaam met de hand hebt gedaan, zijn veel makkelijker en nauwkeuriger uit te voeren met een functiegenerator en een oscilloscoop. In veel schakelingen gaat het op- en ontladen van condensatoren ook veel sneller dan een mens met een stopwatch kan bijbenen. Met een functiegenerator en een oscilloscoop is dat echter geen enkel probleem; een kwestie van deze apparaten goed instellen.



**Schakeling 4.3:** Op- en ontladen van een condensator.

### Opdracht 4.6: Op- en ontladen met functiegenerator en oscilloscoop

1. Bouw [schakeling 4.3](#) met een weerstand  $R$  en een condensator  $C$  zodanig dat de RC-tijd  $\tau = RC$  ongeveer 1 ms is (Neem bijvoorbeeld  $R \sim 100 \text{ k}\Omega$  en  $C \sim 10 \text{ nF}$ .).
2. Stel de functiegenerator in op een blokgolf met amplitude van  $5V_{pp}$  met een frequentie 200 Hz.
3. Gebruik een T-splitter op de uitgang van de functiegenerator. Sluit de ene uitgang van de T-splitter aan op kanaal 1 van de oscilloscoop. (Stel de oscilloscoop weer zo in dat de blokgolf optimaal zichtbaar is.)
4. Sluit de andere uitgang van de T-splitter met behulp van een BNC meetsnoer met krokodillenbekken aan op de plaats van de spanningsbron  $U$ .
5. Sluit een BNC meetsnoer met krokodillenbekken aan op kanaal 2 van de oscilloscoop en plaats de krokodillenbekken over de condensator.
6. Op het tweede kanaal van de oscilloscoop kun je nu de variatie van de spanning over de condensator goed zichtbaar maken door deze op dezelfde manier in te stellen als kanaal 1.
7. Vergelijk de vorm van het signaal op kanaal 2 van de oscilloscoop met de curves die je getekend hebt in [figuur 4.2](#).

## 4.7 Eenvoudige passieve filters

Elektrotechnische filters worden vaak gebruikt om bepaalde frequenties uit een signaal te filteren. Denk aan lage tonen of hoge tonen in een muzieksignaal. De meest gebruikte filters zijn laagdoorlaatfilters (een filter die vooral de lage frequenties doorlaat) en hoogdoorlaatfilters (een filter die vooral de hoge frequenties doorlaat). De belangrijkste eigenschappen van filters zijn:

- De spanningsversterkingsfactor  $A_v$  op een bepaalde frequentie  $f$ :

$$A_v = \frac{U_{\text{out}}}{U_{\text{in}}} \quad (4.3)$$

Als  $A_{\text{dB}} = 0$  zijn in- en uitgangssignalen gelijk, als  $A_{\text{dB}} > 0$  wordt het signaal versterkt en als  $A_{\text{dB}} < 0$  verzwakt.

- Deze versterkingsfactor wordt vaak omgerekend naar decibel (dB):

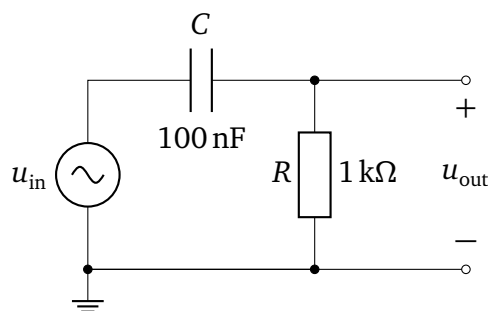
$$A_{\text{dB}} = 20 \cdot \log_{10}(A_v) \quad (4.4)$$

- De kantelfrequentie  $f_{\text{kantel}}$  is de frequentie waarop het filter is begonnen met filteren. Op deze frequentie is de spanning al afgenomen met een factor  $\sqrt{2}$ . De kantelfrequentie wordt ook wel het  $-3$  dB punt genoemd. Op dit punt geldt dus:

$$A_v = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{en} \quad A_{\text{dB}} = -3 \text{ dB} \quad (4.5)$$

- De kantelfrequentie voor een eerste-orde filter met een condensator  $C$  en een weerstand  $R$  kan worden berekend met:

$$f_{\text{kantel}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad (4.6)$$



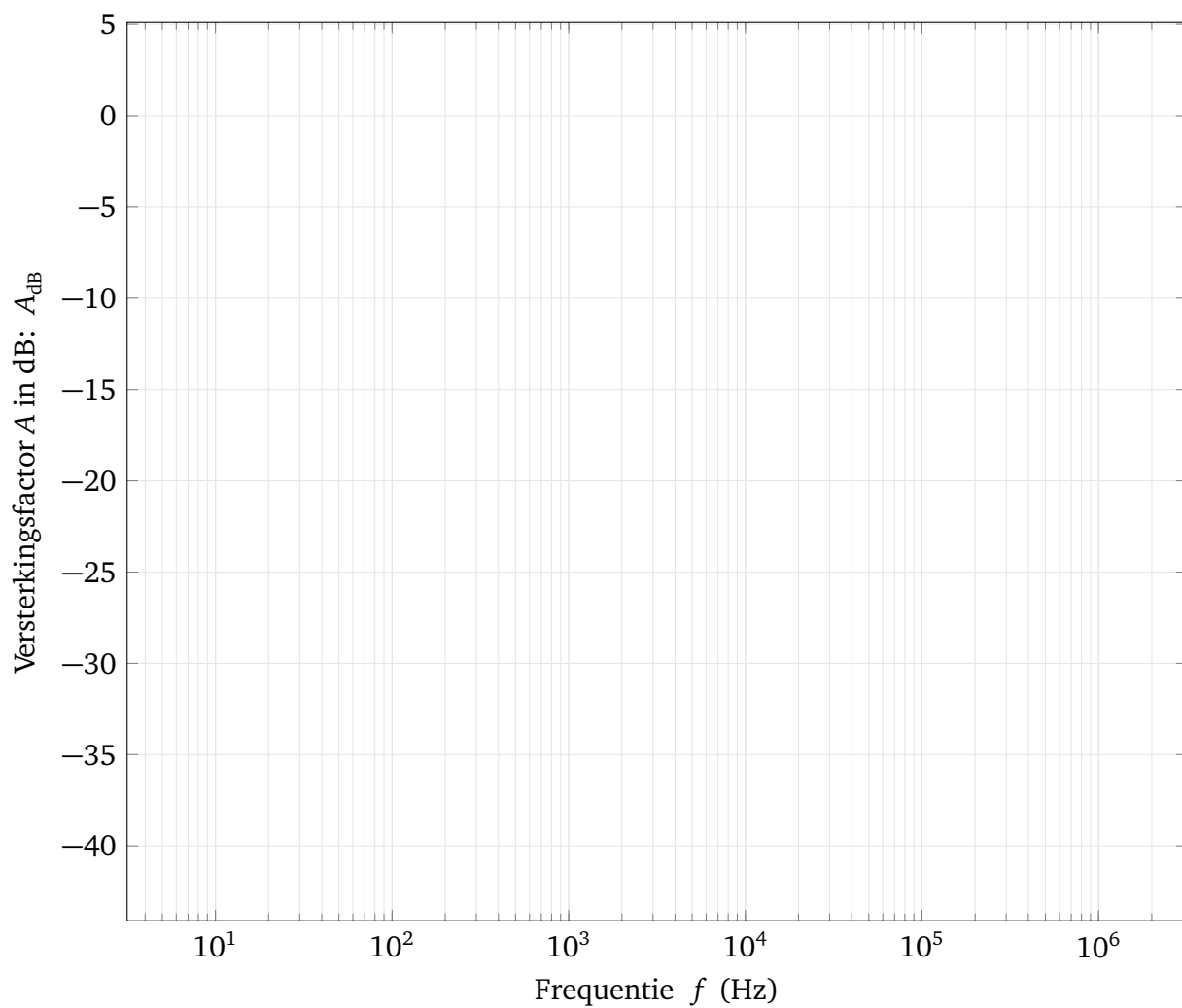
**Schakeling 4.4:** Een hoogdoorlaatfilter gemaakt met een condensator  $C$  en een weerstand  $R$ .

#### Opdracht 4.7: Analyseren van een hoogdoorlaatfilter

1. Bouw [schakeling 4.4](#) op.
2. Maak met behulp van de functiegenerator een sinussignaal met een piek-piek spanning van  $5V_{pp}$  en een frequentie van 1 kHz.
3. Sluit dit signaal met een splitter aan op de ingang van de schakeling en op de eerste ingang van de oscilloscoop.
4. Sluit het uitgangssignaal van de schakeling aan op de tweede ingang van de oscilloscoop.
5. Stel de oscilloscoop in zodat het signaal netjes getriggerd is.
6. Stel op de oscilloscoop met behulp van de *measure* functie in dat voor zowel kanaal 1 als kanaal 2 de piek-piek spanning gemeten kan worden.
7. Voer de gevraagde metingen in [tabel 4.2](#) uit. Bepaal voor iedere meting de versterking  $A_v$  en druk deze uit in de dB-schaal.
8. Zet het resultaat van deze metingen grafisch uit in [figuur 4.9](#).
9. Leg aan de hand van deze grafiek uit waarom dit een hoogdoorlaatfilter is:
10. Probeer aan de hand van de grafiek in [figuur 4.9](#) de kantelfrequentie (het  $-3$  dB-punt) te schatten:
11. Ga van deze waarde uit om met behulp van de functiegenerator en de oscilloscoop nauwkeurig het  $-3$  dB-punt te bepalen:
12. Bereken de kantelfrequentie volgens [vergelijking \(4.6\)](#). Komt deze waarde overeen met de waarde die je in opdracht 7 bepaald had?

**Tabel 4.2:** Metingen aan een hoogdoorlaatfilter.

| $f$ (Hz)       | $U_{\text{in}}$ (V) | $U_{\text{out}}$ (V) | $A$ | $A_{\text{dB}}$ |
|----------------|---------------------|----------------------|-----|-----------------|
| $1 \cdot 10^0$ |                     |                      |     |                 |
| $1 \cdot 10^1$ |                     |                      |     |                 |
| $1 \cdot 10^2$ |                     |                      |     |                 |
| $2 \cdot 10^2$ |                     |                      |     |                 |
| $5 \cdot 10^2$ |                     |                      |     |                 |
| $1 \cdot 10^3$ |                     |                      |     |                 |
| $2 \cdot 10^3$ |                     |                      |     |                 |
| $5 \cdot 10^3$ |                     |                      |     |                 |
| $1 \cdot 10^4$ |                     |                      |     |                 |
| $1 \cdot 10^5$ |                     |                      |     |                 |

**Figuur 4.9:** Bodeplot van twee filters.

**Opdracht 4.8: Analyseren van het RC-filter met weerstand en condensator omgedraaid.**

1. Verwissel nu in [schakeling 4.4](#) de weerstand en de condensator.
2. Leg op dezelfde manier als hierboven uit wat voor type filter je nu verwacht gebouwd te hebben:
3. Voer de gevraagde metingen in [tabel 4.3](#) uit. Bepaal voor iedere meting de versterkingsfactor  $A_v$  en druk deze uit in de dB-schaal.
4. Zet ook deze resultaten grafisch uit in [figuur 4.9](#). Zorg ervoor dat je beide grafieken duidelijk kunt onderscheiden door deze met een andere kleur potlood te tekenen. Waar snijden de beide grafieken zich?
5. Leg aan de hand van de grafiek uit wat voor type filter dit is:
6. Bepaal met de functiegenerator en de oscilloscoop de kantelfrequentie:
7. Vergelijk dat met de berekende waarde volgens [vergelijking \(4.6\)](#) en het punt waar de beide curves in [figuur 4.9](#) elkaar snijden:

**Tabel 4.3:** Metingen aan filter met weerstand en condensator omgedraaid.

| $f$ (Hz)       | $U_{in}$ (V) | $U_{out}$ (V) | $A$ | $A_{dB}$ |
|----------------|--------------|---------------|-----|----------|
| $1 \cdot 10^0$ |              |               |     |          |
| $1 \cdot 10^1$ |              |               |     |          |
| $1 \cdot 10^2$ |              |               |     |          |
| $2 \cdot 10^2$ |              |               |     |          |
| $5 \cdot 10^2$ |              |               |     |          |
| $1 \cdot 10^3$ |              |               |     |          |
| $2 \cdot 10^3$ |              |               |     |          |
| $5 \cdot 10^3$ |              |               |     |          |
| $1 \cdot 10^4$ |              |               |     |          |
| $1 \cdot 10^5$ |              |               |     |          |

## 4.8 Extra: Ontwerpen van een banddoorlaatfilter

Door een hoog- en een laagdoorlaatfilter achter elkaar te plaatsen kan een banddoorlaatfilter gemaakt worden. In de laatste opgave van dit lab ga je zo een filter ontwerpen met de volgende eigenschappen:

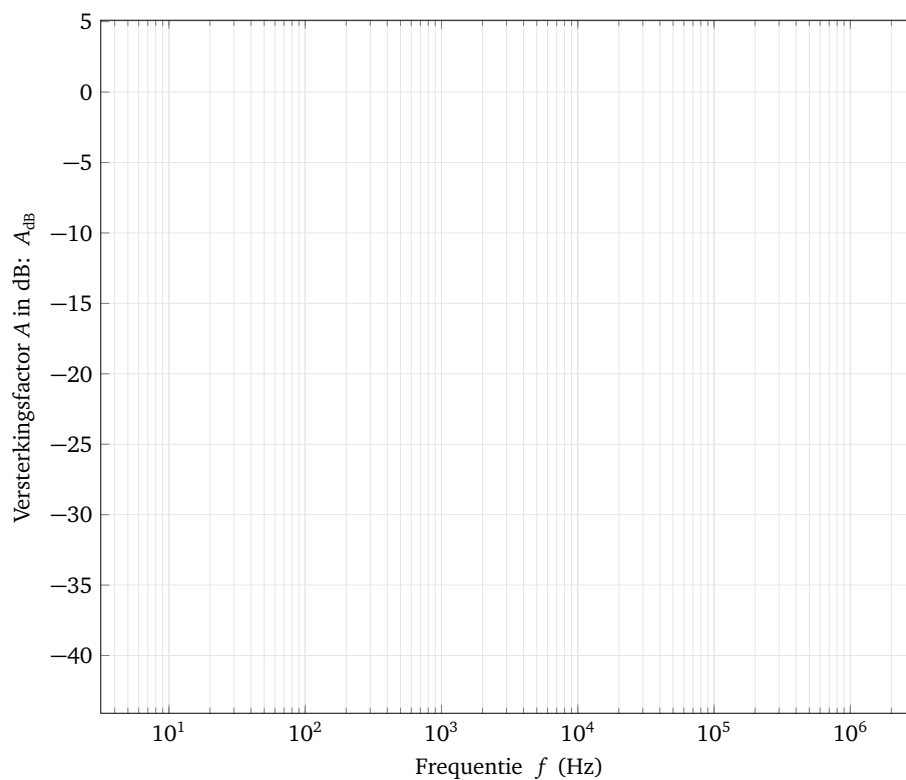
- een tweede orde banddoorlaatfilter verkregen door na een laagdoorlaatfilter (met  $R_L, C_L$ ) een hoogdoorlaatfilter (met  $R_H, C_H$ ) te schakelen
- de verhouding van de weerstanden  $R_L$  en  $R_H$  is klein:  $\frac{R_L}{R_H} \approx 0,01$
- laat frequenties boven de eerste kantelfrequentie  $f_{c1} = 125 \text{ Hz}$  en onder de tweede  $f_{c2} = 12,5 \text{ kHz}$  goed door
- op de kantelfrequenties is de overdracht  $-3 \text{ dB}$
- de afwijking van de vereiste kantelfrequenties mag niet groter dan 10 % zijn

### Opdracht 4.9: Ontwerpen banddoorlaatfilter.

1. Maak een ontwerp van een schakeling met de vereiste eigenschappen. Bepaal hierbij de mogelijke weerstand- en condensatorwaarden.
2. Maak een simulatie van het ontworpen banddoorlaatfilter en test of de simulatie aan de gestelde eisen voldoet. Zo niet, pas de waarden aan zodat dit wel het geval is.
3. Bouw de schakeling op. Om de vereiste weerstand- en condensatorwaarden te realiseren maak eventueel gebruik van het in serie en/of parallel schakelen van meerdere van deze componenten, zie [vergelijking \(A.8\)](#) en [vergelijking \(A.9\)](#).
4. Test de schakeling met behulp van de functiegenerator en de oscilloscoop.
5. Voer de gevraagde metingen in [tabel 4.4](#) uit. Bepaal voor iedere meting de versterkingsfactor  $A$  en druk deze uit in de dB-schaal.
6. Zet de resultaten grafisch uit in [figuur 4.10](#). Geef hierin aan waar de beide kantelfrequenties zich bevinden:
7. Laat zien dat buiten de doorlaatband het filter aan beide kanten afvalt met 20 dB per decade:

**Tabel 4.4:** Metingen aan ontworpen banddoorlaatfilter.

| $f$ (Hz)       | $U_{\text{in}}$ (V) | $U_{\text{out}}$ (V) | $A$ | $A_{\text{dB}}$ |
|----------------|---------------------|----------------------|-----|-----------------|
| $1 \cdot 10^0$ |                     |                      |     |                 |
| $1 \cdot 10^1$ |                     |                      |     |                 |
| $2 \cdot 10^1$ |                     |                      |     |                 |
| $5 \cdot 10^1$ |                     |                      |     |                 |
| $1 \cdot 10^2$ |                     |                      |     |                 |
| $2 \cdot 10^2$ |                     |                      |     |                 |
| $5 \cdot 10^2$ |                     |                      |     |                 |
| $1 \cdot 10^3$ |                     |                      |     |                 |
| $2 \cdot 10^3$ |                     |                      |     |                 |
| $5 \cdot 10^3$ |                     |                      |     |                 |
| $1 \cdot 10^4$ |                     |                      |     |                 |
| $2 \cdot 10^4$ |                     |                      |     |                 |
| $5 \cdot 10^4$ |                     |                      |     |                 |
| $1 \cdot 10^5$ |                     |                      |     |                 |
| $1 \cdot 10^6$ |                     |                      |     |                 |

**Figuur 4.10:** Bodeplot van een zelf ontworpen banddoorlaatfilter.



## 5

# Multiplexer

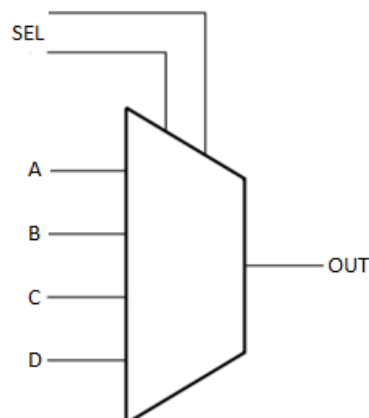
## 5.1 Inleiding

Een multiplexer is een schakeling waarmee tussen verschillende ingangen geschakeld kan worden. Een voorbeeld van een digitale multiplexer is gegeven in [figuur 5.1](#). In dit geval heeft de multiplexer vier 1-bit-ingangen waar tussen geschakeld naar één uitgang kan worden door de 2-bit-select. In dit lab ga je een multiplexer ontwerpen en opbouwen met discrete logische poorten.

### Leerdoelen

De leerdoelen van dit lab zijn:

- het ontwerpen van logische schakeling met behulp van Logisim
- het tekenen van elektrische schakelingen in KiCAD
- het opbouwen van logische schakelingen met meerdere logische chips
- het sequentiële testen van logische schakelingen
- het geautomatiseerd testen van logische schakelingen



**Figuur 5.1:** Een multiplexer met vier 1-bit-ingangen en een 2-bit-select.

## Benodigheden

Bij dit lab ga je gebruik maken van de volgende zaken:

- **Launchpad:** Bordje met een programmeerbare microcontroller
- **Componenten:**
  - pakketje met logische poorten aangeleverd door de docent
  - andere benodigde componenten zijn in het lab aanwezig
- **Breadboard, multimeter, labvoeding, functiegenerator, oscilloscoop, pc of laptop**

## Vorbereiding op de les

Installeren benodigde software:

- **KiCAD:** In [paragraaf B.3](#) zijn instructies voor de installatie van KiCAD te vinden en een korte beschrijving hoe je gebruik kunt maken van dit tekenprogramma voor elektronische schakelingen.
- **Code Composer Studio:** In [paragraaf B.4](#) zijn instructies voor de installatie van Code Composer Studio te vinden en een korte introductie hoe je gebruik kunt maken om programmacode de op de launchpad te zetten.

## 4000 serie IC's

De IC's die je in dit lab gaat gebruiken zijn uit de zogenoemde 4000-serie gekozen. De IC's uit deze serie zijn te vinden op de Wikipedia pagina: [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_4000\\_series\\_integrated\\_circuits](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_4000_series_integrated_circuits)

In deze lijst staan een hoop digitale IC's die je kunt gebruiken voor het realiseren van een multiplexer. Alle IC's die je nodig hebt zitten in het pakketje dat je gekregen hebt voor deze cursus. De functies van deze IC's zijn te vinden in de datasheets te bereiken via de bovenstaande link.

### Opdracht 5.1: Beschikbare 4000 serie chips.

1. Selecteer uit het pakketje met componenten de IC's uit de 4000 serie.
2. Bepaal voor elke van deze IC's welke en hoeveel logische schakelingen deze bevat en noteer dit in [tabel 5.1](#).
3. Bepaal de pinout van elk IC en noteer deze in [tabel 5.1](#).

**Tabel 5.1:** Gegevens beschikbare 4000 serie chips.

| Chip | Logische schakeling | Aantal | Pinout |
|------|---------------------|--------|--------|
|      |                     |        |        |
|      |                     |        |        |
|      |                     |        |        |
|      |                     |        |        |
|      |                     |        |        |
|      |                     |        |        |
|      |                     |        |        |

## 5.2 Ontwerpen van een digitale multiplexerschakeling

De digitale multiplexer, zie [figuur 5.1](#), die je gaat ontwerpen dient aan de volgende eisen te voldoen:

- heeft vier 1-bit-ingangen die  $A$ ,  $B$ ,  $C$  en  $D$  genoemd worden en één uitgang die  $OUT$  heet
- heeft een 2-bit-select  $SEL = S_1 S_0$
- als  $SEL = 00$  wordt  $A$  op de uitgang geschakeld, als  $SEL = 01$   $B$ , als  $SEL = 10$   $C$  en als  $SEL = 11$   $D$
- alleen de logische poorten die in de IC's in het componentenzakje zitten mogen gebruikt worden (zie [tabel 5.1](#))

Dit is een wat ingewikkelder probleem, dus is het nuttig om op een systematische manier tot een compleet ontwerp te komen. Daarom ga je de volgende stappen doorlopen:

1. opstellen van een waarheidstabel;
2. hieruit een logische vergelijking opstellen en simuleren;
3. elektrische schakeling met beschikbare logische IC's ontwerpen

### Opdracht 5.2: Ontwerpen van de logische schakeling voor de digitale multiplexer.

1. Wat zijn de ingangen van dit systeem? Hoeveel mogelijke combinaties zijn er voor de ingangen?
2. Vanwege de specifieke eigenschappen van de multiplexer is het mogelijk de waarheidstabel vereenvoudigd op te stellen door  $A$ ,  $B$ ,  $C$  en  $D$  direct in de uitgang weer te geven. Vul op basis van de bovengenoemde eisen de (vereenvoudigde) waarheidstabel in [tabel 5.2](#) in.
3. Vertaal de waarheidstabel naar een formule voor de uitgang  $OUT$ :
4. Teken de logische schakeling:
5. Neem de schakeling over in Logisim. Gebruik alleen de poorten die in de beschikbare IC's zitten. Vergeet niet de ingangen en uitgang te voorzien van labels.
6. Gebruik dit simulatieprogramma om de juiste werking van deze schakeling aan te tonen.

**Tabel 5.2:** Waarheidstabel van de digitale multiplexer.

| SEL | OUT |
|-----|-----|
|     |     |
|     |     |
|     |     |
|     |     |

**Opdracht 5.3: Ontwerpen van de elektrische schakeling voor de digitale multiplexer.**

1. Inventariseer op basis van je Logisim-schakeling welke chips je nodig zult hebben om deze schakeling te realiseren:
2. Logisim is een handig programma om je schakeling te simuleren, maar het geeft geen goed overzicht van de IC's die gebruikt worden en welke pinnen moeten worden aangesloten. KiCAD is een beter programma om een zogenaamd *elektrisch schema* te maken. (Voor een korte instructie over het gebruik van KiCAD zie [paragraaf B.3](#))  
Maak een nieuw schema in KiCAD en plaats de benodigde poorten uit de IC's erin. KiCAD plaatst voor een beter overzicht losse poorten in plaats van een compleet IC. Vaak bevatten de IC's uit de 4000 serie meerdere poorten. Deze kun je in KiCAD vinden als verschillende *units*. Zorg ervoor dat je zoveel mogelijk poorten uit een enkel IC gebruikt. Je zult zien dat de pinnummers dan bij elke poort goed worden aangegeven zodat je de schakeling straks gemakkelijker kunt opbouwen en testen.
3. Trek nu de verbindinglijnen tussen de verschillende IC's. Houd hierbij rekenen met de suggesties in [paragraaf A.5](#).
4. Vergeet niet om de voedingspinnen van de IC's in het schema op te nemen en plaats ontkoppelcondensatoren bij deze voedingspinnen.

## 5.3 Opbouwen en testen van de multiplexer

Aan de hand van het gemaakte KiCAD-schema kun je de multiplexerschakeling nu systematisch opbouwen. Vervolgens moet je natuurlijk controleren of de opgebouwde schakeling doet wat deze zou moeten doen.

### Opdracht 5.4: Opbouwen van de digitale multiplexer en met de hand testen.

1. Bouw de schakeling van de multiplexer aan de hand van regels in [paragraaf A.3](#). *Bedenk dat een docent weinig hulp kan (of wil) bieden bij het oplossen van problemen als je schakeling niet netjes is opgebouwd of als er niet gemakkelijk aan de pinnen van een IC of andere verbindingen te meten is.*
2. Test de werking van de schakeling door de ingangen  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  en de  $S_1$ ,  $S_0$  tussen voedingsspanning en ground te variëren en de uitgangsspanning na te meten en dit te vergelijken met je Logisim simulatie. Welke problemen ben je tegengekomen?

Als je het systematisch testen helemaal hebt gedaan, dan heb je  $2^6 = 64$  verschillende combinaties gecontroleerd. Dit is vrij stompzinnig werk en als je het niet heel systematisch aanpakt, kan het heel snel gebeuren dat je combinaties over het hoofd ziet en/of andere combinaties onbewust herhaalt. Het is daarom nuttig om over systematische testmethoden na te denken. Hieronder ga je met twee methoden kennismaken.

## 5.4 Testen van de multiplexer met de functiegenerator

Met een functiegenerator kan een regelmatige sequentie van “1”en en “0”en gegenereerd worden waarmee een ingang van de multiplexer op “1” en “0” gezet kan worden zonder dat daarvoor draadjes anders aangesloten hoeven te worden. Hiermee kan het testen dus al behoorlijk vereenvoudigd worden:

**Opdracht 5.5: Testen van de digitale multiplexer met de functiegenerator.**

1. Stel de twee uitgangen van de functiegenerator in op blokgolven met frequenties van 1 Hz en 4 Hz. Sluit verder een LEDje met een weerstand van  $330\ \Omega$  in serie aan op de uitgang *OUT* om deze zichtbaar te maken.
2. Sluit de ingangen *A* t/m *D* als volgt aan (Setting 1):

- *A* op GND
- *B* op 1HZ (1 Hz-blokgolf)
- *C* op VCC
- *D* op 4HZ (4 Hz-blokgolf)

Geef in [tabel 5.3](#) aan wat het verwachte uitgangssignaal *OUT* van de multiplexer is (Mogelijke waarde: GND, VCC, 1HZ, 4HZ).

3. Variëer de *SEL* en controleer of het uitgangssignaal bij elke keuze van de *SEL* correct is. (Zo ja, zet een vinkje in de tabel. Zo niet, traceer het probleem en herhaal de test.) Welke problemen ben je tegengekomen?

4. Sluit nu de ingangen *A* t/m *D* als volgt aan (Setting 2):

- *A* op 4HZ (4 Hz-blokgolf)
- *B* op GND
- *C* op 1HZ (1 Hz-blokgolf)
- *D* op VCC

Geef weer in [tabel 5.3](#) aan wat het verwachte uitgangssignaal *OUT* van de multiplexer is (Mogelijke waarde: GND, VCC, 1HZ, 4HZ).

5. Variëer weer de *SEL* en controleer of het uitgangssignaal bij elke keuze van de *SEL* correct is. (Zo ja, zet een vinkje in de tabel. Zo niet, traceer het probleem en herhaal de test.) Welke problemen ben je tegengekomen?

**Tabel 5.3:** Testen van multiplexer met de functiegenerator.

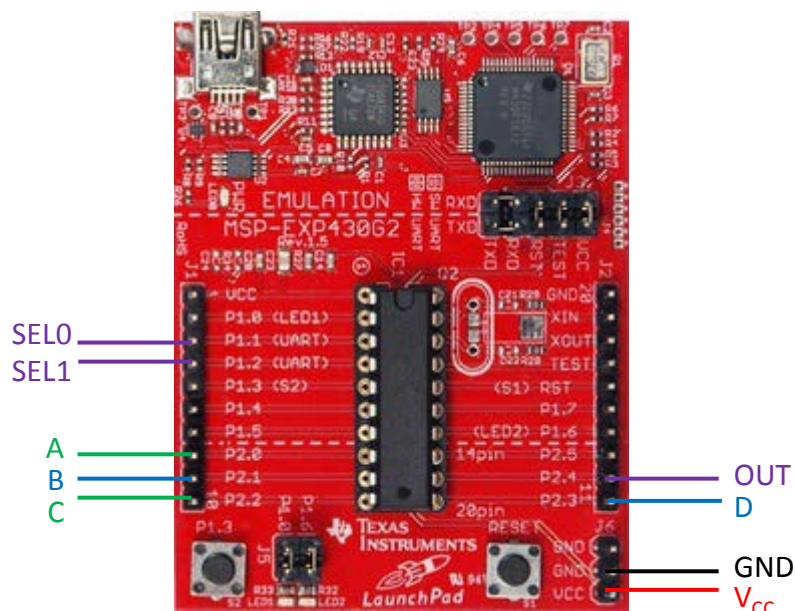
| Setting 1 |     |       | Setting 2 |     |       |
|-----------|-----|-------|-----------|-----|-------|
| SEL       | OUT | Check | SEL       | OUT | Check |
| 00        |     |       | 00        |     |       |
| 01        |     |       | 01        |     |       |
| 10        |     |       | 10        |     |       |
| 11        |     |       | 11        |     |       |

## 5.5 Geautomatiseerd testen van de multiplexer

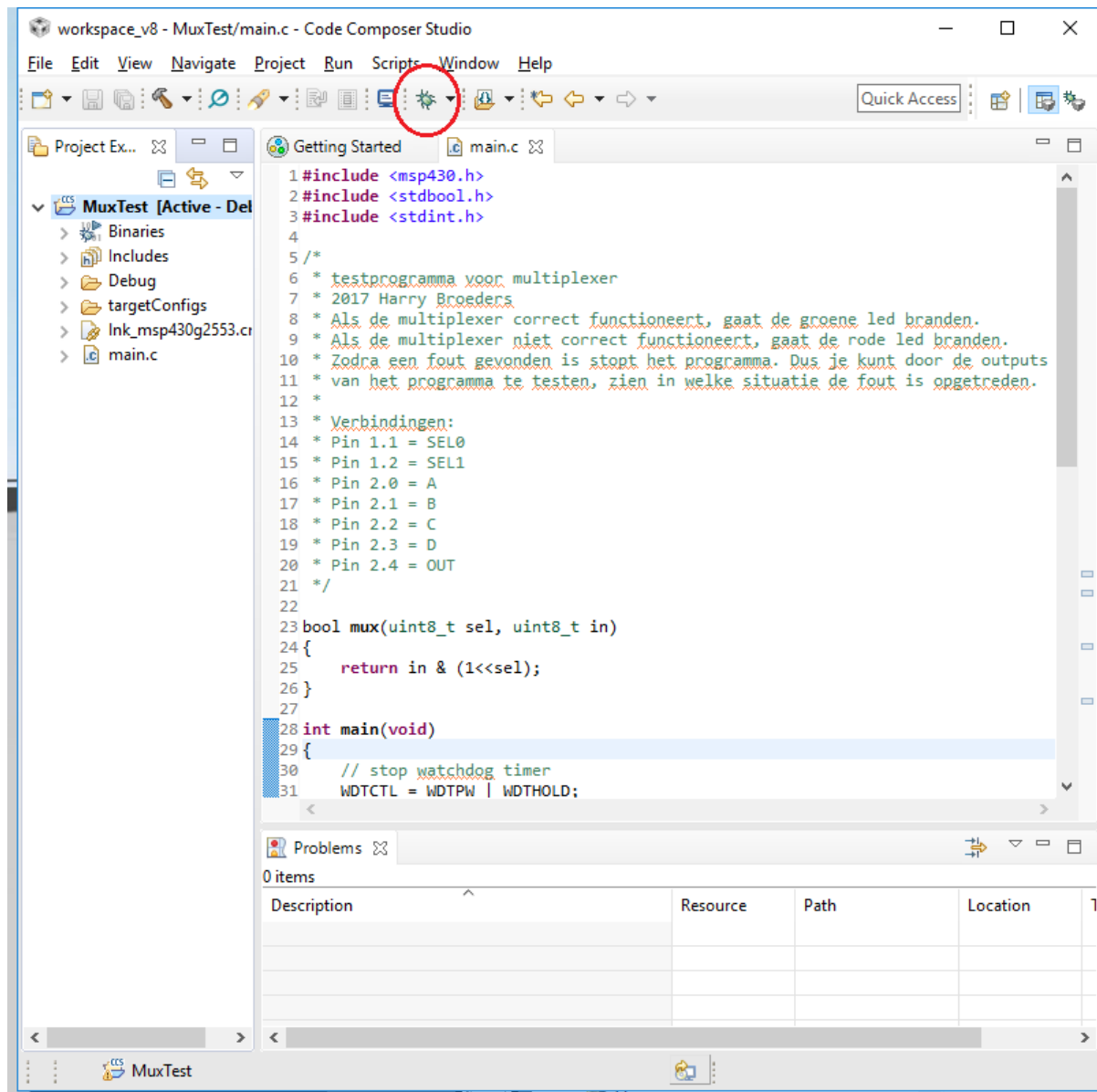
Een andere mogelijkheid is een testomgeving op te zetten met behulp van een programmeerbare microcontroller op een developmentbordje zoals de MSP-EXP430G2et Launchpad. Een beknopte instructie over de installatie en de aansturing met Code Composer Studio van deze Launchpad is te vinden in [paragraaf B.4](#).

Om met de Launchpad het testen van de multiplexer te automatiseren moet er een programma voor de microcontroller geschreven zijn die de pinnen van de Launchpad aansturen en uitlezen. Zo'n programma dat alle mogelijke combinaties doorloopt, is geschreven door een docent en hoeft voor deze opdracht alleen op de microcontroller gezet te worden.

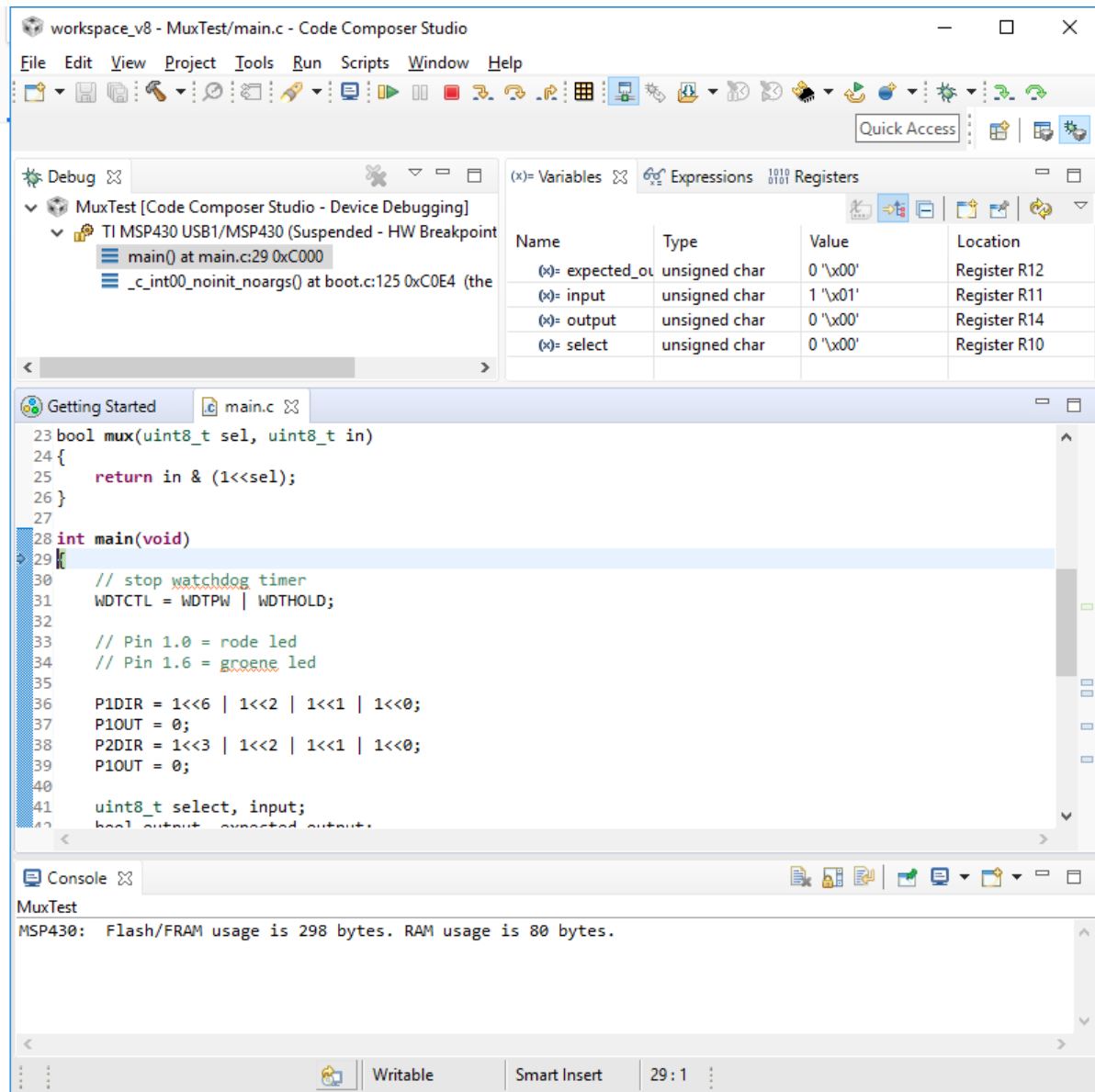
Nadat de multiplexer op de launchpad aangesloten is, kan de microcontroller de schakeling testen. Als er iets niet correct functioneert, dan zal de microcontroller alleen aangeven dat er iets mis is. Helaas wordt er niet aangegeven waar in je schakeling het probleem wordt veroorzaakt. Zodra een onjuiste output is gedetecteerd zal het bordje de test afbreken.



**Figuur 5.2:** Aansluitingen tussen MSP-EXP430G2et Launchpad en multiplexer.



**Figuur 5.3:** Het programma om de multiplexer te testen is geladen in CCS-Cloud.



**Figuur 5.4:** Het programma om de multiplexer te testen is geladen in de chip.

**Opdracht 5.6: Geautomatiseerd testen van de multiplexer met de launchpad.**

1. Controleer of je schakeling aangesloten kan worden op de Launchpad: De voeding die de Launchpad levert is 3,3 V. Kijk in de datasheets van de door jou gebruikte chips om te zien of deze chips ook werken op deze voedingsspanning.
2. Sluit de Launchpad aan op je computer en start een nieuw project in Code Composer Studio. (Zie voor instructies [paragraaf B.4.](#))
3. Kopieer de code van <https://raw.githubusercontent.com/HR-ELEKTRO/MSP-EXP430G2553-muxTest/master/main.c> en plak deze in het project. Je ziet nu op je scherm zoiets als weergegeven is in [figuur 5.3](#).
4. Bekijk de code en leg in eigen woorden uit hoe deze code werkt:
5. Zet het programma naar de microcontroller op de launchpad door op het knopje “Debug”  te klikken welke is omcirkeld in [figuur 5.3](#). Als het goed is ziet het scherm er dan vergelijkbaar als [figuur 5.4](#) uit.
6. Koppel de labvoeding los van de schakeling, we gaan deze nu voeden vanaf de Launchpad. Gebruik hiervoor altijd de 3V3 pin en een GND pin van de Launchpad. *Gebruik nooit de 5V pin, hierdoor kan de microcontroller kapot gaan. Sluit ook nooit de launchpad en labvoeding tegelijk aan op de schakeling.*
7. Sluit vervolgens je multiplexer aan op de launchpad zoals aangegeven in [figuur 5.2](#). (Controleer nauwkeurig dat je dit correct doet. Let hierbij speciaal op de volgorde van de signalen A, B, C en D. Niet juist aansluiten levert ook een fout op terwijl je multiplexerschakeling wellicht toch helemaal correct is.)
8. Je kunt nu de multiplexer testen door op het knopje “Run”  te klikken:
  - Als de groene LED gaat branden werkt je multiplexer naar behoren.
  - Als de rode LED gaat branden is er iets mis met de aansluitingen tussen je schakeling en de launchpad, of je multiplexer zelf.  
(Controleer in dit geval eerst nogmaals of je echt alles goed hebt aangesloten. Breek niet meteen je schakeling af, want deze was al door de vorige testen gekomen, dus zou eigenlijk correct moeten zijn.)

Met Code Composer Studio kun je achterhalen bij welke configuratie de fout is opgetreden. Als het rode ledje gaat branden dan is er dus klaarblijkelijk iets mis met je schakeling (of de aansluiting ervan). Het testprogramma kan dan ook helpen bij het lokaliseren van de fout. Ook als het automatisch testen geslaagd is, is het nuttig om te zien hoe je dit kunt doen:

Is er namelijk een fout opgetreden, stop dan het programma met de “Suspend” knop . Je ziet nu de waarden van de variabelen op het moment dat het programma gestopt is. (Door het venster iets naar rechts te vergroten, kunnen de volledige namen van de variabelen zichtbaar gemaakt worden, zie [figuur 5.5](#).) De waarden worden standaard decimaal en hexadecimaal weergegeven. Door rechts te klikken op een waarde kun je in het menu

“Number Format” ook binair kiezen. In het bijschrift van [figuur 5.6](#) is uitgelegd hoe deze informatie te interpreteren is.

| Name                 | Type          | Value    | Location     |
|----------------------|---------------|----------|--------------|
| (x)= expected_output | unsigned char | 0 '\x00' | Register R12 |
| (x)= input           | unsigned char | 1 '\x01' | Register R11 |
| (x)= output          | unsigned char | 0 '\x00' | Register R14 |
| (x)= select          | unsigned char | 0 '\x00' | Register R10 |

**Figuur 5.5:** In het window “Variables” kun je zien welke testcase heeft gefaald. De waarden staan nu in decimaal en hexadecimaal.

| Name            | Type          | Value                     | Location |
|-----------------|---------------|---------------------------|----------|
| expected_output | unsigned char | 00000001b '\x01' (Binary) | 0x03FD   |
| input           | unsigned char | 00000001b '\x01' (Binary) | 0x03FB   |
| output          | unsigned char | 00000000b '\x00' (Binary) | 0x03FC   |
| select          | unsigned char | 00000000b '\x00' (Binary) | 0x03FA   |

**Figuur 5.6:** Het window “Variables” met de waarden in binair. De variabele select geeft de samengestelde waarde van de  $S_1$  en  $S_0$  ingangen van de multiplexer (in dit geval zijn beide 0). Het laatste bitje is dus  $S_0$ , het een na laatste bitje is  $S_1$ . De variabele input geeft de samengestelde waarde van de ingangen  $D$ ,  $C$ ,  $B$  en  $A$  van de multiplexer. In dit geval is  $A$  dus 1 en  $B$ ,  $C$  en  $D$  zijn 0. De variabele expected\_output geeft de verwachte waarde van de uitgang ( $OUT$ ) van de multiplexer en de variabele output geeft de gemeten waarde van de uitgang ( $OUT$ ) van de multiplexer.

### Opdracht 5.7: Fouten vinden met behulp van de launchpad.

1. Als het automatisch testen van je multiplexer geslaagd was, haal dan één signaal verbinding in je schakeling los. (Onthoud goed welke je verbreekt.) Run nu de test opnieuw zodat het rode ledje gaat branden.
2. Stel dat de waarde van de “input” gelijk is aan 0x09. Welke ingangen van jouw multiplexer zijn dan hoog gemaakt?
3. Bepaal nu bij welke ingangswaarden en verwachte uitgangswaarde bij jouw de fout is opgetreden:
4. Gebruik je Logisim-simulatie om deze situatie te analyseren zodat je dan in je schakeling met je multimeter de fout kunt lokaliseren. Gebruik de ingangswaarden, input en select, waar de fout is opgetreden en controleer of overal de verwachte spanningen overeenkomen met je schakeling.

**Opdracht 5.8: Aftekenen.**

Zorg dat je tijdens het aftekenmoment alle vragen hebt beantwoord (dus overal waar een lege plaats is opengelaten heb je een antwoord ingevuld) en dat je alles bij de hand hebt:

- de simulatie in Logisim
- het elektrisch schema in KiCAD
- de schakeling op je breadboard aangesloten op de launchpad

*Let op: foto's of filmpjes van de (werkende) schakeling worden niet geaccepteerd. Je moet je eigen werkende schakeling fysiek aan de docent laten zien!*



## 6

# Oscillator

## 6.1 Inleiding

In [hoofdstuk 4](#) heb je een functiegenerator gebruikt om periodieke signalen op te wekken. In [hoofdstuk 2](#) hebben we al een schakeling met een NE555 opgebouwd en gesimuleerd die een blokgolf kan genereren. We hebben deze toen opgebouwd met gegeven componenten en enkel getest met een buzzer.

In dit lab gaan we dieper in op de NE555 en gaan we zelf een de benodigde componenten bepalen aan de hand van de datasheet. In [hoofdstuk 4](#) hebben we kennisgemaakt met de oscilloscoop, dus kunnen we deze nu gebruiken om aan de schakeling te meten.

### Leerdoelen

De leerdoelen van dit lab zijn:

- het aflezen van belangrijke informatie uit een datasheet
- het maken van een ontwerp aan de hand van een datasheet
- het gebruik kunnen maken van een oscilloscoop om de frequentie en duty cycle van een signaal te meten

### Benodigdheden

Bij dit lab ga je gebruik maken van de volgende zaken:

- **Datasheet NE555:** Technische beschrijving van de NE555
- **Componenten:** Benodigde componenten, condensatoren etc, zijn in het lab aanwezig
- **Breadboard, multimeter, labvoeding, oscilloscoop, pc of laptop**

### Vorbereiding op de les

Voordat je de NE555-chip kunt gaan gebruiken, is het handig een idee te hebben om te weten wat deze precies doet. Download de datasheet van <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf> en bekijk deze.

## 6.2 Ontwerpen van een NE555-oscillatorschakeling

Volgens de datasheet kan er een oscillator gemaakt worden die een blokgolf produceert met een instelbare frequentie en duty cycle als de NE555 in de *a-stable operation* wordt gebruikt. Een duty-cycle van  $X\%$  betekent dat het uitgangssignaal van de oscillator  $X\%$  van de tijd hoog en  $(100 - X)\%$  laag is. Verschillende frequenties en duty cycles kunnen volgens sectie 6.3.2 van deze datasheet verkregen worden door verschillende waarden van de condensator  $C$  en de weerstanden  $R_A$  en  $R_B$  te bepalen.

### Opdracht 6.1: Datasheet NE555 gebruiken voor ontwerpkeuzes.

1. De docent geeft je drie frequenties (voor de tonen *hoog*, *midden* en *laag*) welke in de eindopdracht gebruikt zullen worden. Noteer deze in [tabel 6.1](#).
2. Welke formule geeft de datasheet om de frequentie te bepalen op basis van  $R_A$ ,  $R_B$  en  $C$ ?
3. Leg uit waarom je met deze formule niet éénduidig de waarde van de condensator  $C$  en de weerstanden  $R_A$  en  $R_B$  kan bepalen:
4. Welke formule geeft de datasheet om de *output waveform duty cycle* te bepalen op basis van  $R_A$  en  $R_B$ ?
5. Bepaal door gebruik te maken van de formule de verhouding van  $R_A$  en  $R_B$  om een duty-cycle van  $\frac{2}{3} \approx 67\%$  te verkrijgen:
6. In de praktijk willen we er graag voor zorgen dat de waarden van de weerstanden niet te klein worden en de waarde van de condensator niet te groot. Leg uit waarom:
7. Grofweg kunnen we zeggen dat we geen weerstanden kleiner dan  $1\text{ k}\Omega$  en geen condensator groter dan  $1\text{ }\mu\text{F}$  willen gebruiken.

Om een inschatting te kunnen maken van de orde van grootte van de condensator en de weerstanden is figuur 6-7 opgenomen in de datasheet.

Kies op basis van deze figuur de waarden voor  $R_A$  en  $R_B$  voor de toon *hoog*. Kies waarden die ook daadwerkelijk beschikbaar zijn in de voorraad:

8. Bereken nu met behulp van de formule voor de frequentie de waarde van de condensator voor de toon *hoog*:
9. Welke waarde uit de voorraad komt het het beste in de buurt van de berekende waarde?
10. Bereken nu opnieuw de frequentie op basis van de gekozen waarden voor  $R_A$ ,  $R_B$  en  $C$ . Controleer dat deze niet meer dan 10 % afwijkt van de gegeven frequentie voor de toon *hoog*:
11. Noteer de uitkomsten van je berekeningen en componentkeuzes in [tabel 6.1](#).

**Tabel 6.1:** Drie tonen met behulp van de NE555.

|                                       | Hoog | Midden | Laag |
|---------------------------------------|------|--------|------|
| Gewenste frequentie:                  |      |        |      |
| $R_A$ :                               |      |        |      |
| $R_B$ :                               |      |        |      |
| $C$ berekend:                         |      |        |      |
| $C$ gekozen:                          |      |        |      |
| Frequentie herberekend:               |      |        |      |
| % Afwijking frequentie <sup>1</sup> : |      |        |      |
| Frequentie simulatie:                 |      |        |      |
| % Afwijking frequentie <sup>2</sup> : |      |        |      |
| Duty cycle simulatie:                 |      |        |      |
| Frequentie praktijk:                  |      |        |      |
| % Afwijking frequentie <sup>3</sup> : |      |        |      |
| Duty cycle praktijk:                  |      |        |      |

## 6.3 Simuleren van een NE555-oscillatorschakeling

### Opdracht 6.2: Simuleren van de NE555-oscillatorschakeling.

1. Open de simulatie van de NE555 uit [opdracht 2.12](#). Pas de waarden van de weerstanden en condensator aan en bekijk de blokgolf op de uitgang.
2. Meet in LTSpice de frequentie van de blokgolf met behulp van de *cursor* functie. De cursor verschijnt door te dubbelklikken op het label van de uitgangsspanning boven in de grafiek (bijvoorbeeld V(n004)). Sleep cursor 1 naar het begin van een periode en cursor 2 naar het begin van de volgende periode. *Gebruik niet de eerste periode, deze is vanwege het opstarten van de NE555 niet geschikt!*. Welke frequentie lees je af het venster van de cursor? Noteer deze in [tabel 6.1](#) en bepaal de afwijking ten opzichte van de herberekende frequentie.
3. Beschrijf hoe je op deze manier de duty cycle kunt bepalen en noteer deze in [tabel 6.1](#):
4. Bekijk de vorm van de spanning op pin 6 (THRES) van de NE555. Welke curve zie je hier? Waar heb je dit eerder gezien?

## 6.4 Bouwen en testen van een NE555-oscillatorschakeling

### Opdracht 6.3: Gestructueerd opbouwen van een NE555-oscillatorschakeling.

1. Bouw de in [opdracht 6.2](#) gesimuleerde oscillatorschakeling op volgens de regels gegeven in [paragraaf A.3](#). Vergeet niet de ontkoppelcondensator toe te voegen.
2. Welke aspecten van deze schakeling kun je met behulp van je multimeter testen?
3. Leg uit waarom de metingen van de frequentie en duty cycle met een multimeter niet mogelijk zijn.
4. Sluit je schakeling aan op de labvoeding en meet uitgang van de oscillatorschakeling met de oscilloscoop.
5. Zorg dat het signaal netjes in beeld is zoals je hebt geleerd in [opdracht 4.5](#). Welke instellingen heb je gebruikt?
6. Wat zie je op de display van de oscilloscoop? Beschrijf in hoeverre dit overeen komt met de meting die je in de simulatie hebt gedaan.
7. Meet met de *measure* functie de frequentie en duty-cycle van de NE555 schakeling en noteer deze in [tabel 6.1](#).
8. Bepaal de afwijking ten opzichte van de herberekende frequentie en noteer deze in [tabel 6.1](#).

## 6.5 De tonen midden en laag

### Opdracht 6.4: De tonen midden en laag.

1. Herhaal de ontwerpprocedure voor de toon *midden*. Bouw de schakeling op met een tweede NE555 en vul [tabel 6.1](#) in.
2. Herhaal de ontwerpprocedure voor de toon *laag*. Bouw de schakeling op met een derde NE555 en vul [tabel 6.1](#) in.
3. Plaats een buzzer op je breadboard met aan de ene kant de gnd aangesloten en aan de andere kant een draad die lang genoeg is om de uitgangen van alledrie de NE555 schakelingen te bereiken. Kun je met deze drie schakelingen een melodietje maken door de draad te wisselen tussen de verschillende tonen?
4. Laat de drie schakelingen op je breadboard staan om te laten zien tijdens het aftekenen.

## 6.6 Proof-of-concept knipperlichtinstallatie

Een autobouwer wil een richtingaanwijzer in een auto laten ontwerpen met de volgende eigenschappen:

1. Het knipperlicht staat voor 40% van de tijd aan.
2. Het knipperlicht is steeds voor 1 s aan.
3. In het dashboard van de auto moet ook een indicator komen. Deze moet in tegenfase met de richtingaanwijzer buiten knipperen.
4. Het systeem wordt met de accuspanning van 12 V gevoed.
5. De knipperlichten zijn te realiseren in de vorm van LED's. Buiten geel en in het dashboard blauw.
6. Om de kosten later in productie te drukken moeten er zo min mogelijk componenten worden gebruikt.

Je bent verantwoordelijk voor het maken van een proof-of-concept opstelling op een breadboard die onderbouwd is met simulaties. Aan de hand van testen moet je laten zien dat je proof-of-concept voldoet aan de eisen.

### Opdracht 6.5: Breadboard proof-of-concept van een knipperlichtinstallatie.

1. Ga aan de hand van de datasheet na hoe alle eisen gehaald zouden kunnen worden.
2. Maak een elektrotechnisch ontwerp van de NE555 schakeling voor deze installatie. Bepaal de waarden van de componenten en test deze in een simulatie:
3. Bij het aansluiten van een LED moeten we de stroom die door de LED gaat lopen beperken. We zetten een daarom een weerstand in serie met de LED.
  - Welke spanning staat er maximaal op de uitgang van de NE555?
  - De spanningsval over de LED is grofweg 2 V. Welke spanning staat er dan over de weerstand?

- Welke weerstand hebben we dan nodig om er voor te zorgen dat er niet meer dan 10 mA aan stroom gaat lopen?
4. Hoe kun je beide LED's in tegenfase laten knipperen met een enkele NE555 schakeling? Teken een schema van de LED's en weerstanden op de uitgang van de NE555:
  5. Nadat je jezelf met de simulatie overtuigd hebt dat de ontworpen schakeling aan de gestelde wensen kan voldoen, bouw je het proof-of-concept op met een vierde NE555.
  6. Voer testen uit om de correcte werking van het proof-of-concept aan te tonen.
  7. Toon je knipperlichtinstallatie tijdens het aftekenen aan de docent.

# Solderen

## Inleiding

In de labs heb je inmiddels een aantal schakelingen ontworpen en opgebouwd op je breadboard. Een breadboard is een prima hulpmiddel om schakelingen te testen, maar in eindproducten zitten natuurlijk geen breadboard maar (geassembleerde) Printed Circuit Boards (PCB's); vaak ook *printplaat* of simpelweg *print* genoemd. In vervolgcursussen van onze opleiding ga je leren hoe je zelf PCB's kunt ontwerpen. In het huidige lab gaan we kijken naar wat aspecten van een al ontworpen PCB en vervolgens ga je op deze print zelf de componenten solderen. Als voorbeeld ga je een eenvoudige audioversterker solderen.

## Leerdoelen

De leerdoelen van dit lab zijn:

- leren solderen
- het handmatig assembleren van een PCB door de componenten er op te solderen
- het handmatig testen van een geassembleerd PCB

## Vorbereiding op de les

Solderen is een eenvoudige technische handeling, maar je moet wel even weten hoe je het op een goede manier moet doen. Lees daarom het stripboek *Solderen is simpel, zo doe je het!* ([https://mightyohm.com/files/soldercomic/translations/FullSolderComic\\_NL.pdf](https://mightyohm.com/files/soldercomic/translations/FullSolderComic_NL.pdf)) goed door.

## 7.1 Hoe moet je solderen?

Lees het stripboek *Solderen is simpel, zo doe je het!* ([https://mightyohm.com/files/soldercomic/translations/FullSolderComic\\_NL.pdf](https://mightyohm.com/files/soldercomic/translations/FullSolderComic_NL.pdf))

### Opdracht 7.1: Theorie van het solderen

1. Voordat je een component in de print plaatst wil je altijd eerst de waarde nameten met een multimeter. Leg uit waarom:
2. Voordat je een component in de print plaatst wil je altijd eerst goed kijken hoe om deze moet. Leg uit waarom:
3. Je wilt dat een component altijd zo strak mogelijk tegen de print aan zit en niet *er boven zweeft*. Leg uit waarom:
4. Je wilt de pootjes van een component ongeveer 45 graden buigen om deze op de plaats te houden. Leg uit waarom 90 graden buigen niet wenselijk is:
5. Je wilt het pootje van de component en de *soldeerpad* (het stukje zichtbaar metaal op de print) zo goed mogelijk opwarmen voordat je soldeertin toevoegt. Leg uit waarom:
6. Je wilt de soldeertin (zo goed als mogelijk) aan de opgewarmde component en pad laten smelten en niet aan de punt soldeerbout. Leg uit waarom:
7. Nadat je de soldeertin hebt weggetrokken wil je de soldeerbout nog ongeveer een seconde op de verbinding houden. Leg uit waarom:
8. Als je punt van de soldeerbout wilt schoonmaken kun je het beste de metaalwol gebruiken die in de opening van het soldeerstation zit. De spons is meestal niet eens nodig. Wil je toch een spons gebruiken, dan moet je deze eerst nat maken. Leg uit waarom:
9. Leg uit waarom je de pootjes van de componenten (zo kort mogelijk) wilt afknippen:
10. Leg uit waarom je de rookafzuiging wilt gebruiken:

## 7.2 Werking van de audioversterkerschakeling

In dit hoofdstuk vind je een korte beschrijving van enige keuzes die bij het ontwerpen van de versterker PCB gemaakt zijn en een uitleg van de werking van de schakeling en print. Lees deze goed door voordat je verder gaat.

### Power opamp

Een opamp (een component die we komend kwartaal gaan bekijken) is een *operational-amplifier* en dit is een complete versterker, die vaak in een IC zit. Met een standaard opamp kun je weliswaar spanningen versterken, maar niet heel veel vermogen. Daarom zijn er ook power opamps die dit wel kunnen. Een voorbeeld van een power opamp is de TDA2030A. Deze kan een maximale voedingsspanning aan van 44 V (of + en - 22 V). Hiermee kan een maximaal vermogen van ongeveer 18 W aan een 4 Ω luidspreker afgegeven worden. De TDA2030A moet dan wel op een koelblok gemonteerd zijn!

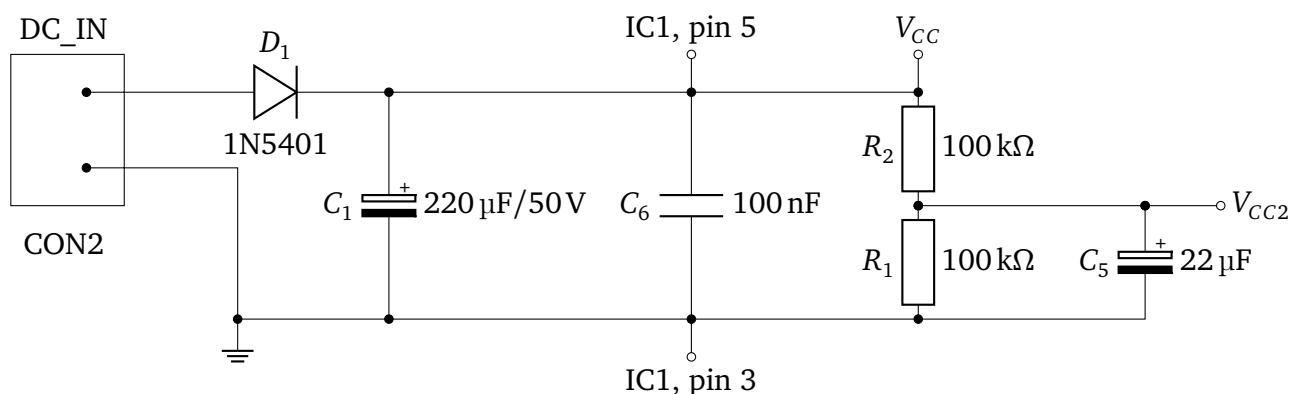
### Vermogensbegrenzing

Omdat wij de print gaan opbouwen zonder koelblok, begrenzen we dus het vermogen door dit IC te voeden met 'slechts' 12 V voedingsspanning. Maar ook dan kan dit IC nog ongeveer 2 W leveren aan een luidspreker van 4 Ω en zal dit IC toch nog flink warm worden. Het IC is op de volgende manieren intern beveiligd:

- Stroombegrenzing: de *Peak Output Current* is intern begrensd op 3,5 A. Met  $P = I^2 \cdot R$  kun je uitrekenen dat dit een maximaal piek-vermogen van 49 W zou zijn, wat een maximaal continu vermogen van 24 W zou zijn (bij 4 Ω). De fabrikant geeft zelf 18 W op als maximum vermogen.
- Temperatuurbeveiliging: de *Thermal Shutdown Junction Temperature* is begrensd op 145 °C.

Hiermee is het IC redelijk robuust en zou het zelfs student-proof moeten zijn.

### Voeding



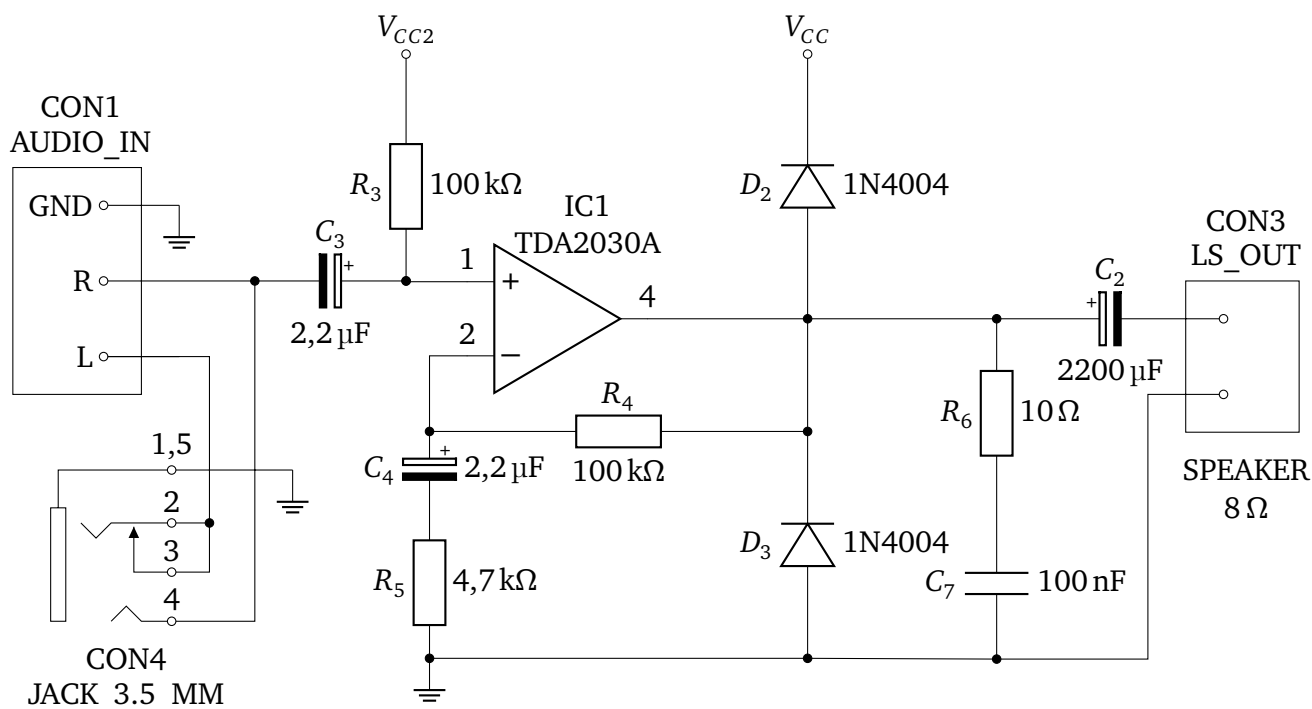
**Schakeling 7.1:** Schema van het voedingsdeel van de versterker

Laten we beginnen met het schema van het voedingsdeel van deze versterker, dit is [schakeling 7.1](#):

- Power-Supply: we voeden de schakeling met een enkele voedingsspanning van 12 V. Dit heet een *single-supply voltage*. Je zou er ook voor kunnen kiezen om een *dual-supply voltage* te nemen (bijvoorbeeld 6 V met  $-6$  V).
- Nadeel van een single-supply voltage is dat je een spanning halverwege de 12 V moet maken (6 V dus), zodat het audio-signaal nog 6 V omhoog kan en 6 V omlaag kan. Zou je dit niet doen, dan zou van het audio-signaal alleen maar de positieve helft versterkt kunnen worden (0 V is immers de laagste spanning). De weerstanden  $R_1$  en  $R_2$  in [schakeling 7.1](#) verzorgen deze functie en zijn als spanningsdeler geschakeld. Condensator  $C_5$  zorgt ervoor dat  $V_{CC2}$  een stabiele gelijkspanning is, een eventuele rimpelspanning wordt hiermee weggefilterd. Met weerstand  $R_3$  wordt deze halve voedingsspanning als het ware opgeteld bij het audio-signaal, dat van CON1 afkomstig is.
- Diode  $D_1$  in [schakeling 7.1](#) zorgt ervoor dat, als de voedingsspanning verkeerd om aangesloten wordt, er geen stroom gaat lopen en alles dus heel blijft. Condensator  $C_1$  zorgt voor een verdere afvlakking van de binnenkomende voedingsspanning.

**LET OP:** de spanning op CON2 mag MAXIMAAL 44 V bedragen! IC1 moet voorzien worden van een koelblok wanneer je een ingangsspanning groter dan 12 V aansluit!

## Versterkerschakeling



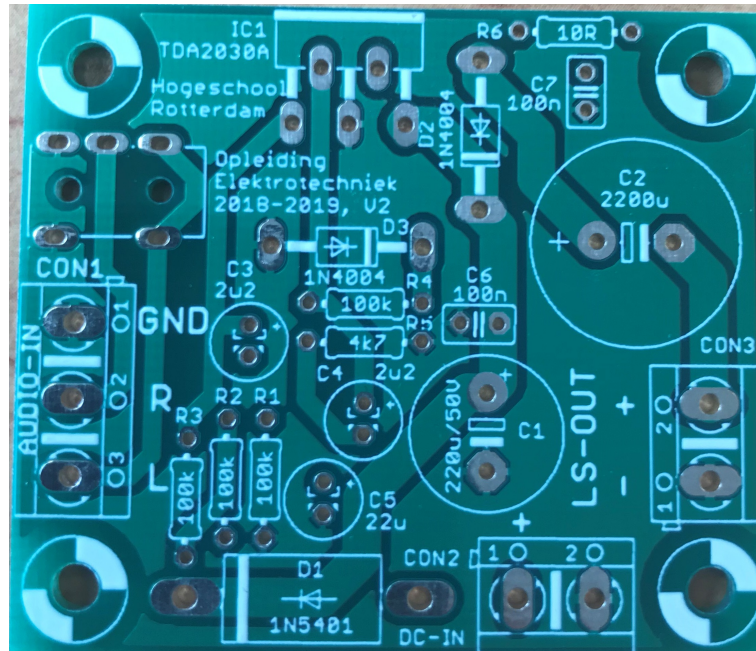
**Schakeling 7.2:** Schema van de versterker zelf

Het schema van de versterker zelf is gegeven in [schakeling 7.2](#). Met de kennis van de afgelopen weken, is het mogelijk om het merendeel van dit schema te begrijpen. We nemen het stap voor stap door:

- De TDA2030A (IC1) is in [schakeling 7.2](#) geschakeld als een niet-inverterende opamp, zodat de versterking hiervan gelijk wordt aan  $1 + \frac{R_4}{R_5}$  en dit is ongeveer 21x versterking (26,5 dB). Als je dus 100 mV amplitude aan audio-sigitaal op de ingang zet, dan zal er al ruim 2,1 V amplitude op de luidspreker komen te staan en dat is al gelijk aan een muziekvermogen van ruim 1 W bij een luidspreker van  $4 \Omega$ .
- Condensator  $C_4$  zorgt ervoor dat de versterking voor gelijkspanning en heel lage frequenties niet 21 x is, maar lager. Voor gelijkspanning is deze versterking 1 (de opamp werkt dan als bufferversterker), bij ongeveer 35 Hz is deze versterking 23,5 dB (dat is nog 15 x). Dit noemen we het  $-3$  dB punt en is een belangrijke eigenschap van een versterker.
- Condensator  $C_3$  zorgt ervoor dat eventuele gelijkspanning in het audio-sigitaal niet doorgegeven wordt naar de opamp (een condensator blokkeert gelijkspanning en laat wisselspanning door). De waarde van deze condensator is zodanig gekozen, dat lage frequenties al goed worden doorgelaten ( $C_3$  vormt samen met  $R_3$  een hoogdoorlaatfilter).
- Diode  $D_2$  zorgt ervoor dat de uitgangsspanning niet hoger kan worden dan de voedingsspanning. Het is dus een extra beveiliging voor de opamp. In normale situaties doet deze diode niets (hij staat in sperrichting geschakeld).
- Diode  $D_3$  heeft een vergelijkbare functie als diode  $D_2$ , maar zorgt ervoor dat de uitgangsspanning niet lager kan worden dan 0 V.
- Condensator  $C_2$  verwijdert de gelijkspanning (de halve voedingsspanning) weer uit het audio-sigitaal, zodat alleen het audio-sigitaal naar de luidsprekers gaat. Een luidspreker gaat snel kapot wanneer deze een gelijkspanning aangeboden krijgt! De waarde van condensator  $C_2$  is zodanig gekozen dat lage frequenties al goed worden doorgelaten. Deze condensator vormt samen met de luidspreker ook weer een hoogdoorlaatfilter. Omdat de weerstandswaarde van de luidspreker klein is ( $4 \Omega$  of  $8 \Omega$ ), moet deze condensator vaak groot zijn, om ook lage frequenties goed door te laten. Het  $-3$  dB punt ligt nu op ongeveer 18 Hz.
- Weerstand  $R_6$  vormt samen met condensator  $C_7$  een zogeheten Boucherot-netwerk. Een luidspreker kun je zien als een weerstand met een spoel in serie. Door deze spoel (die voor hogere frequenties een steeds grotere weerstand krijgt), wordt de weerstand voor wisselspanning van de luidspreker steeds groter. De versterker ziet dus voor hogere frequenties een lagere belasting dan bij lage frequenties. Het Boucherot netwerk compenseert hiervoor, waardoor de versterker voor iedere frequentie eenzelfde belasting ziet. Idealiter is weerstand  $R_6$  gelijk aan de impedantie van de luidspreker ( $4 \Omega$ ) en is condensator  $C_7$  gelijk aan  $\frac{L_{spk}}{R_{spk}^2}$ . Hierbij is  $L_{spk}$  gelijk aan de inductiviteit van de luidspreker in Henry en is  $R_{spk}$  de impedantie van de luidspreker (meestal  $4 \Omega$  of  $8 \Omega$ ).
- Het muzieksigitaal wordt via een 3,5 mm stereo audio-jack aan de schakeling toegevoerd. We gebruiken het rechterkanaal van het muzieksigitaal. Het linkersigitaal wordt op op CON1 weer beschikbaar gemaakt, zodat je dit kunt doorlussen naar het een tweede printje. Hiermee wordt het mogelijk om met twee van deze versterkerschakelingen een stereo eindversterker te maken.

## PCB-layout

Van dit schema is ook een print gemaakt, die de opbouw hopelijk zo makkelijk mogelijk maakt. De bovenkant is voorzien van een opdruk ('silk-screen' genoemd), zodat je goed kunt zien welk onderdeel op welke plaats moet komen. De print die je hier gaat gebruiken is identiek aan die van [figuur 7.1](#).



**Figuur 7.1:** De print voor de versterker

## 7.3 Bill-of-Materials (BOM)

Als je een PCB wilt opbouwen, heb je natuurlijk de juiste componenten nodig. Het is nuttig een complete lijst met benodigde componenten te hebben, zodat je bijvoorbeeld weet wat je in huis hebben moet hebben dan wel bestellen. Zo'n lijst wordt wel de *Bill-of-Materials* (BOM) genoemd. Een programma als KiCAD kan een dergelijke BOM automatisch voor je genereren op basis van het elektrisch schema.

**Tabel 7.1:** Bill-of-Materials (BOM)

| Part                 | Value                             |
|----------------------|-----------------------------------|
| PCB                  | HR ELE 2018-2019                  |
| $R_1, R_2, R_3, R_4$ | 100 k $\Omega$                    |
| $R_5$                | 4,7 k $\Omega$                    |
| $R_6$                | 10 $\Omega$                       |
| $C_1$                | 220 $\mu$ F / 50 V                |
| $C_2$                | 2200 $\mu$ F / 50 V               |
| $C_3, C_4$           | 2,2 $\mu$ F / 50 V                |
| $C_5$                | 22 $\mu$ F / 35 V                 |
| $C_6, C_7$           | 100 nF                            |
| $IC_1$               | TDA2030A                          |
| $D_1$                | 1N5401                            |
| $D_2, D_3$           | 1N4004                            |
| CON1, CON2, CON3     | Connector, pin-header of draadjes |
| CON4                 | Audio stereo jack, 3,5 mm         |

## 7.4 Assembleren van een PCB

### Opdracht 7.2: Opbouwen van de print

1. Verzamel alle componenten volgens [tabel 7.1](#).
2. Begin met weerstanden  $R_1$  tot en met  $R_4$ . Meet met de multimeter eerst de weerstanden door of ze inderdaad de juiste waarden hebben! Doe dit altijd (!) voordat je een onderdeel in een print soldeert.
3. Soldeer de weerstanden op de manier zoals beschreven in het stripboek *Solderen is simpel, zo doe je het!*. Laat bij twijfel de docent even je werk controleren.
4. Ga nu verder met de andere weerstanden. Let wederom goed op de juiste waarden.
5. Soldeer vervolgens de dioden vast. **LET OP: deze zijn richtingsgevoelig, dus niet verkeerd om solderen.** Bij twijfel, even de docent raadplegen.
6. Soldeer nu de condensatoren erin. Verschillende condensatoren zijn elektrolytisch, dat betekent dat ze een + en een - kant hebben. **LET OP: als je deze verkeerd om monteert, dan kunnen ze ontploffen!**. Check dus nogmaals of ze goed geplaatst zijn en soldeer ze dan pas vast. Begin met de kleinste en eindig met de grootste.
7. Soldeer als laatste het IC erin. Zorg dat deze mooi recht zit, zodat je er altijd later nog een koelplaat bij kunt monteren.
8. Monteer als laatste de 3,5 mm connector en de soldeerpinen of draadjes voor de connectoren CON2 en CON3. Hiermee kun je makkelijk de input (van een mobiel of PC), de output (naar een luidspreker) en de voeding aansluiten. CON1 hoeft je niet aan te sluiten.
9. Welke problemen ben je tegengekomen bij het assembleren van de print? Wat zou je volgende keer anders doen?

## 7.5 Testen van het gesoldeerde PCB

### Opdracht 7.3: Testen van de print

1. Sluit de opgebouwde print aan op een labvoeding. Stel de spanning in op 12 V en de stroombegrenzing op 100 mA. Zet daarna de labvoeding aan. Hoeveel stroom trekt de versterker volgens de labvoeding? Dit zou 10 tot 20 mA moeten zijn.
2. Meet met een multimeter de gelijkspanning op het knooppunt van  $R_1$ ,  $R_2$  en  $C_5$ . Dit zou iets minder dan 6 V moeten zijn.
3. Sluit nu een luidspreker van  $8\ \Omega$  aan op CON3 (LS-OUT) en sluit dit signaal ook aan op kanaal 2 van de oscilloscoop.
4. Stel de signaalgenerator in op een sinusvormig signaal met een frequentie van 1 kHz en met een amplitude van 100 mV. Zet dit signaal op kanaal 1 van de oscilloscoop en ook op de stereo jack plug (CON4) van de print. Bij een 3,5 mm stereo verbindingskabel is de achterste aansluiting (tegen het snoer aan) de GND en gebruiken we de middelste aansluiting voor het signaal.
5. Schrijf de amplitude van beide signalen op en bereken hieruit de versterking. Komt dit overeen met de ingestelde waarde?
6. Hoe groot kun je de amplitude van het ingangssignaal maken voordat het signaal op de uitgang vervorming vertoont? *Als de voeding in de stroombegrenzing schiet kun je de stroombegrenzing opvoeren tot 1 A.*
7. Zet de amplitude van het ingangssignaal weer op 100 mV. Verlaag nu de frequentie totdat de spanning van het uitgangssignaal nog maar 71 % is van de hiervoor gemeten waarde. Noteer deze frequentie, dit is het lage  $-3\ \text{dB}$  punt. Komt dit overeen met de waarde die je zou verwachten?
8. Verhoog nu de frequentie totdat de spanning van het uitgangssignaal nog maar 71 % is van de hiervoor gemeten waarde. Noteer deze frequentie, dit is het hoge  $-3\ \text{dB}$  punt. Wat is nu de bandbreedte van deze versterker?
9. Test nu je versterker met een audiosignaal van de PC of (als je dat aandurft) je telefoon en demonstreer dit aan een docent. Welke muziek kies je?

Je kunt je versterker thuis demonstreren of gebruiken met een 9 V batterij. Eventueel kun je twee 9 V batterijen in serie zetten voor een hogere voedingsspanning.



## 8

# Comparator

## 8.1 Inleiding

Een (digitale) comparator is een (logische) schakeling die twee getallen met elkaar vergelijkt en kan bepalen of deze gelijk zijn. In dit lab ga je een comparator ontwerpen en opbouwen rond een 4-bits *full adder* IC, de 74HC283.

### Leerdoelen

De leerdoelen van dit lab zijn:

- het kunnen toepassen van het two's complement getalssysteem om een schakeling te ontwerpen
- het ontwerpen van een digitale schakeling aan de hand van de theorie
- het ontwerp verifiëren met behulp van een simulatie in Logisim
- een volledig aansluitschema (elektrisch schema) tekenen in KiCAD
- het realiseren en testen van een digitale schakeling op een breadboard

### Benodigdheden

Bij dit lab ga je gebruik maken van de volgende zaken:

- **Componenten**
  - het pakketje met logische poorten
  - andere benodigde componenten zijn in het lab aanwezig
- **Breadboard, multimeter, labvoeding**
- **Launchpad en pc of laptop**

## Vorbereiding op de les

### Opdracht 8.1: De 74HC283, aftrekken van getallen tussen 0 en 7 in decimaal en in 4-bits two's complement binair.

1. Bekijk de datasheet (<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd74hc283.pdf>) van de 74HC283 4-bits full adder en het voorbeeld van de werking in [figuur 8.1](#). Wat zijn de in- en uitgangen van dit IC?
2. Hoe kun je met twee 74HC283 IC's een 8-bit adder maken?
3. Vul [tabel 8.1](#) voor het verschil  $C = A - B$  voor de decimale getallen  $A, B = 0, \dots, 7$ .
4. Beschrijf het bereik van 4-bits two's complement getallen aan de hand van de theorie:
5. Bereken het verschil  $C = A - B$  voor de 4-bits two's complement (positieve) getallen  $A, B = 0000, \dots, 0111$  en vul de resultaten in [tabel 8.2](#) in.
6. Is er bij het berekenen van  $C = A - B$  voor bepaalde waarde van  $A$  en/of  $B$  een overflow opgetreden? Zo ja, wanneer? Zo niet, waarom niet?
7. Als  $A = B$ , wat is dan altijd de 4-bits two's complement waarde  $C = A - B$ ? (*Hint*: Kijk in [tabel 8.2](#) waar  $A = B$ .)
8. Hoe kun je aan de 4-bits two's complement waarde van  $C = A - B$  meteen herkennen dat  $A < B$ ? (*Hint*: Kijk weer in [tabel 8.2](#). Wat valt je op voor alle situaties waar  $A < B$ ?)
9. Geef aan hoe je aan  $C = A - B$  kun herkennen dat  $A > B$ :

$$\begin{array}{r}
 \begin{array}{ccccccc}
 & A_3 & A_2 & A_1 & A_0 & & \\
 & B_3 & B_2 & B_1 & B_0 & + & \\
 \hline
 C_{OUT} & S_3 & S_2 & S_1 & S_0 & & 
 \end{array}
 & \xrightarrow[\text{beeld}]{\text{Voor-}} & 
 \begin{array}{r}
 C_{IN} = 1 \\
 A = 12 \\
 B = 7 \\
 S = 20
 \end{array}
 & 
 \begin{array}{r}
 1 \\
 1 \ 1 \ 0 \ 0 \\
 0 \ 1 \ 1 \ 1 \\
 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0
 \end{array}
 + 
 \begin{array}{r}
 1 \\
 12 \\
 7 \\
 20
 \end{array}
 \end{array}$$

**Figuur 8.1:** Schematische werking en voorbeeld van de 74HC283 4-bits full adder.

**Tabel 8.1:** Verschil  $C = A - B$  van decimale getallen  $A, B = 0, \dots, 7$ .

| $A \backslash B$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0                |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 1                |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2                |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3                |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4                |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5                |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6                |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7                |   |   |   |   |   |   |   |   |

**Tabel 8.2:** Verschil  $C = A - B$  van binaire 4-bits two's complement getallen  $A, B = 0000, \dots, 0111$ .

| $A \backslash B$ | 0000 | 0001 | 0010 | 0011 | 0100 | 0101 | 0110 | 0111 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0000             |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0001             |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0010             |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0011             |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0100             |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0101             |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0110             |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0111             |      |      |      |      |      |      |      |      |

## 8.2 Ontwerpen van een comparator

In deze opdracht ga je een 3-bit comparator ontwerpen met de volgende eigenschappen:

1. De comparator krijgt twee 3-bits (positieve) getallen  $A = A_2A_1A_0$  en  $B = B_2B_1B_0$  binnen.
2. De waarden  $A$  en  $B$  worden vergeleken met elkaar en de comparator zal vervolgens aangeven of getal  $A$  gelijk aan, kleiner dan of groter dan is dan getal  $B$ .
3. De comparator heeft drie 1-bit uitgangen  $EQ = \text{equal } (A = B)$ ,  $LT = \text{less than } (A < B)$ ,  $GT = \text{greater than } (A > B)$ , bepaald door de waarheidstabel gegeven in [tabel 8.3](#).
4. De comparator dient gerealiseerd te worden met een 74HC283, dit is een 4-bits *full adder* IC.

**Tabel 8.3:** Waarheidstabel van een comparator van de 3-bits getallen  $A$  en  $B$ .

| Conditie | $EQ$ | $LT$ | $GT$ |
|----------|------|------|------|
| $A = B$  | 1    | 0    | 0    |
| $A < B$  | 0    | 1    | 0    |
| $A > B$  | 0    | 0    | 1    |

### Opdracht 8.2: Ontwerpen van een 3-bits comparator met een 4-bits full adder.

1. Leg aan de hand van de resultaten van [opdracht 8.1](#) uit hoe je uit het verschil  $C = A - B$  kunt bepalen wanneer  $EQ$ ,  $LT$  en  $GT$  gelijk zijn aan 0 of 1:
2. Geef aan hoe je 3-bits *unsigned* getallen kunt weergeven in 4-bits two's complement getallen:
3. Leg uit hoe je uit een 3-bits *unsigned* getal  $B$  het negatieve getal  $-B$  in het 4-bits two's complement systeem kunt maken:
4. Leg uit hoe je de optelschakeling (de 4-bits adder) kunt gebruiken om getallen van elkaar af te trekken:

5. Bedenk hiermee een logische schakeling een comparator te bouwen met behulp van een 4-bits full adder gebruikt wordt:

- Geef aan hoe je de 3-bits getallen  $A$  en  $B$  gaat aansluiten op de ingangen van de 4-bits full adder:
- Bepaal aan de hand van de antwoorden op bovenstaande vragen en [tabel 8.2](#) booleaanse expressies voor  $EQ$ ,  $LT$  en  $GT$  uitgedrukt in de uitgangen van de 4-bits full adder:

$EQ =$

$LT =$

$GT =$

- Een van deze expressies kan (mocht dat niet direct zijn gelukt) worden vereenvoudigd tot een directe verbinding naar een enkele uitgang van de 4-bits full adder. Welke expressie is dit? Geef (indien van toepassing) de vereenvoudigde expressie:
- Een andere van deze expressies zijn met behulp van booleaanse algebra en de wetten van DeMorgan te vereenvoudigen tot een enkele poort. Welke expressie is dit? Bepaal (met tussenstappen) de vereenvoudigde expressie:
- Voor de derde expressie blijven verschillende poorten nodig. Door gebruik te maken van een bijzondere eigenschap van de drie uitgangen (bekijk wat je opvalt in [tabel 8.3](#)) kan deze derde expressie worden herschreven en uitgedrukt in de twee eerdere uitgangen. Beschrijf deze bijzondere eigenschap:

Vervolgens kan weer booleaanse algebra en de wetten van DeMorgan worden gebruikt om ervoor te zorgen dat er slechts een enkele poort nodig is. Bepaal (met tussenstappen) de vereenvoudigde expressie:

6. Maak een simulatie van deze schakeling in Logisim en test daarmee de correcte werking.

*Gebruik alleen poorten die je ook daadwerkelijk tot je beschikking hebt en zorg dat alle in- en uitgangen netjes zijn voorzien van een label.*

7. Maak in KiCAD het volledige elektrisch schema voor de comparatorschakeling met het 4-bits full adder IC (74HC283) en de beschikbare logische poorten uit de 4000-serie.

*Voorkom zwevende ingangen en vergeet niet de voedingspinnen van de IC's en de ontkoppelcondensatoren toe te voegen.*

*Iemand zonder kennis van deze schakeling zou met behulp van enkel dit schema en de juiste componenten de schakeling werkend moeten kunnen opbouwen.*

## 8.3 Opbouwen van de comparator

Je gaat nu de 3-bits comparator opbouwen. Om deze wat makkelijker te kunnen testen zorg je ervoor dat de 2x3 ingangen met een DIP-switch te bedienen zijn en gebruik je LEDjes met weerstanden (minimaal 1 k $\Omega$ ) om de uitgangen *EQ*, *LT* en *GT* weer te geven.

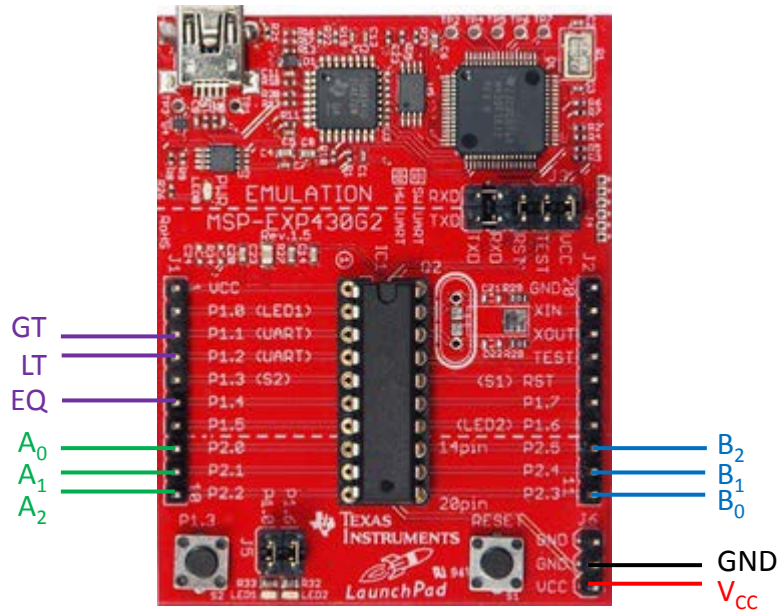
### Opdracht 8.3: Opbouwen en met de hand testen van de 3-bits comparator.

1. Geef in het KiCAD schema aan hoe de DIP-switches en de LEDs in het schema dienen te worden opgenomen.
2. Lees in je antwoord op [opdracht 5.4](#) terug welke problemen je bent tegengekomen bij het opbouwen van de multiplexer.  
Waar heb je achteraf gezien misschien onnodig veel tijd aan besteed?  
Wat ga je nu handiger, slimmer, efficiënter, gestructureerder of netter aanpakken?
3. Bouw de 3-bits comparator aan de hand van je KiCAD-schema systematisch op volgens de regels gegeven in [paragraaf A.3](#).  
*Bedenk dat een docent weinig hulp kan (of wil) bieden bij het oplossen van problemen als je schakeling niet netjes is opgebouwd of als er niet gemakkelijk aan de pinnen van een IC of andere verbindingen te meten is.*
4. Test je opgebouwde schakeling aan de hand van je Logisim simulatie van de 3-bits comparator.
5. Beschrijf welke aansluit- en ontwerpfouten je bent tegengekomen:

## 8.4 Geautomatiseerd testen van de comparator

Bij deze opdracht wordt het opnieuw duidelijk waarom het geautomatiseerd testen nuttig kan zijn. De comparator heeft  $2 \times 3$  ingangen. Er zijn dus weer  $2^6 = 64$  mogelijkheden die getest moeten worden. Daarom ga je ook de comparatorschakeling volledig testen met de MSP-EXP430G2 Launchpad.

Als de Launchpad een fout vaststelt, dan zal de rode LED gaan branden en stopt het programma bij de ingangscombinatie waarbij het fout ging. Hierdoor kan je makkelijker testen wat er fout is, als er een fout optreedt. Als de test geslaagd is, gaat de groene LED branden.



**Figuur 8.2:** Aansluitingen tussen MSP-EXP430G2 Launchpad en comparator.

### Opdracht 8.4: Geautomatiseerd testen van de 3-bits comparator.

1. Maak de aansluitingen van de labvoeding los van je breadboard.
2. Haal op de Launchpad de *jumpers* met het label 5V, RXD en TXD los (*schuif deze over een enkele pin zodat je deze niet kwijtraakt!*).
3. Sluit de Launchpad aan op je ontworpen schakeling volgens [figuur 8.2](#).
4. Laad voor het testen van de comparator het programma <https://raw.githubusercontent.com/HR-ELEKTRO/MSP-EXP430G2553-comparatorTest/master/main.c> in de microcontroller.
5. Voer dezelfde stappen uit als bij het testen van de multiplexer met de Launchpad.
6. Doorloop de test zo vaak als nodig is om alle (aansluit)fouten te vinden en op te lossen. Beschrijf welke aansluit- en ontwerpfouten je bent tegengekomen:

**Opdracht 8.5: Aftekenen.**

Zorg dat je tijdens het aftekenmoment alle vragen hebt beantwoord (dus overal waar een lege plaats is opengelaten heb je een antwoord ingevuld) en dat je alles bij de hand hebt:

- de simulatie in Logisim
- het elektrisch schema in KiCAD
- de schakeling op je breadboard aangesloten op de launchpad

*Let op: foto's of filmpjes van de (werkende) schakeling worden niet geaccepteerd. Je moet je eigen werkende schakeling fysiek aan de docent laten zien!*

## 9

## Eindopdracht: Number guessing game

### 9.1 Inleiding

Voor de laatste opdracht gaan we verschillende onderdelen uit de voorgaande opdrachten combineren tot een grotere schakeling, een simpele *number guessing game*. Van de buitenkant beschouwd bevat de number guessing game twee keer drie schakelaars. Met de eerste drie schakelaars kan het te raden getal  $A$  worden ingesteld. Dit getal is mag niet zichtbaar zijn voor de speler van het spel. Met de volgende drie schakelaars kan door de speler van het spel een gok  $B$  ingevoerd worden. Wanneer er op de vergelijkknop wordt gedrukt, zal de schakeling de ingevoerde getallen met elkaar vergelijken en de volgende outputs generen:

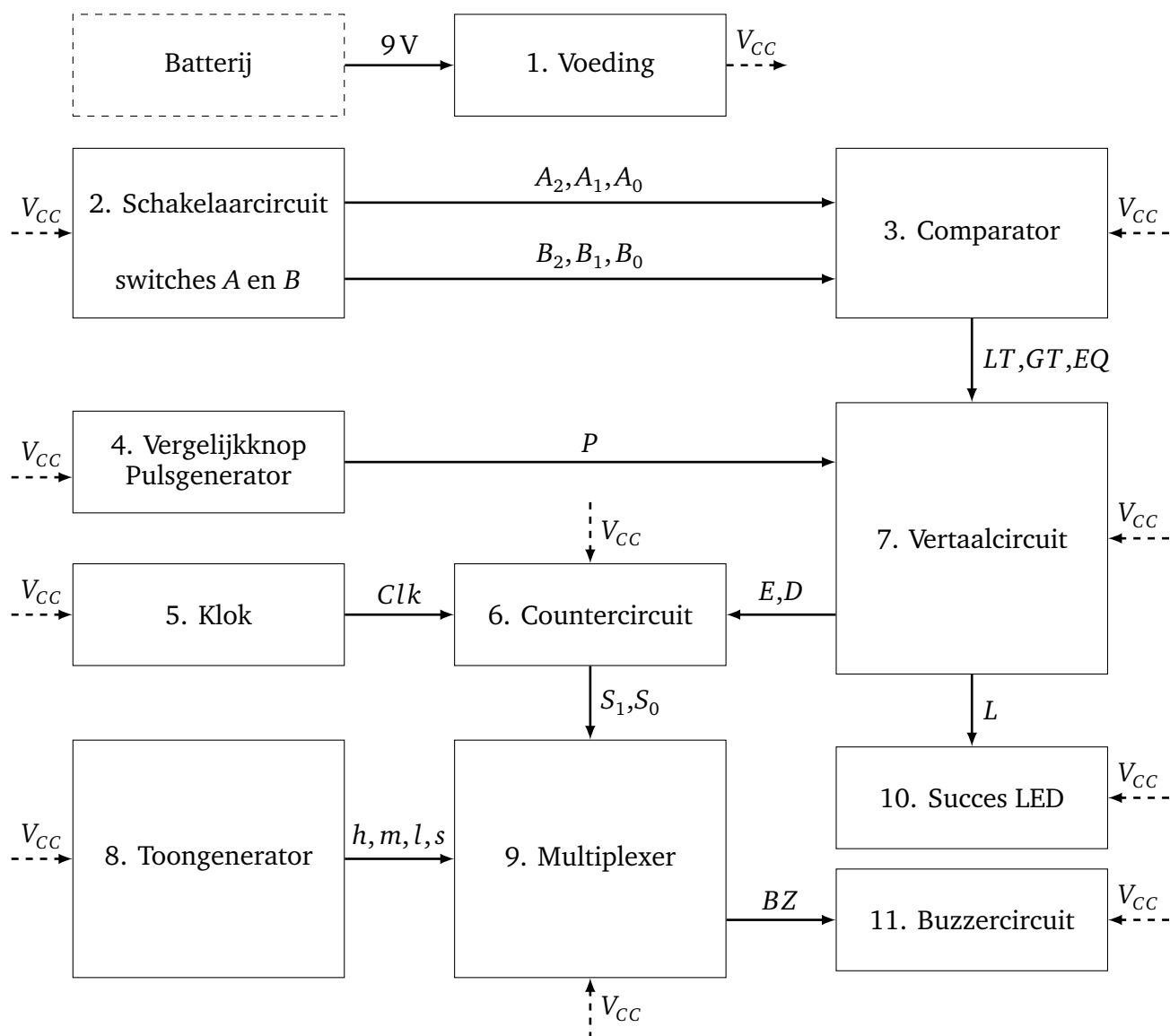
- Als de ingevoerde getallen gelijk zijn, zal gedurende 3.5 tot 4 seconden de succes LED ( $L$ ) gaan branden.
- Als  $B < A$ , zal er opeenvolgend een lage, midden, en hoge toon uit de buzzer klinken.
- Als  $B > A$ , zal er opeenvolgend een hoge, midden, lage toon uit de buzzer klinken.

Om een eerste opzet te maken van het te ontwerpen systeem is in [paragraaf 9.2](#) het architectuurontwerp van de number guessing game al gegeven. De beschrijvingen van de deelsystemen in [paragraaf 9.3](#) worden afgesloten met de unittesten voor deze deelsystemen. De integratie tot het complete systeem is beschreven in [paragraaf 9.4](#). Veel van de in eerdere opdrachten ontworpen en gerealiseerde systemen kunnen direct worden overgenomen en gebruikt in deze eindopdracht.

De werkwijze is als volgt:

1. Elk deelsysteem wordt afzonderlijk ontwerpen en waar mogelijk met een simulatie gevalideerd. Dit betekent in het bijzonder dat van elke unit een LTspice of Logisim simulatie en een KiCAD-schema gemaakt dient te worden.
2. Het totaalschema dient ook in KiCAD opgeleverd te worden.
3. Elk deelsysteem wordt los op het breadboard opgebouwd en getest aan de hand van de beschreven unittesten.
4. Vervolgens wordt de integratie van de verschillende units uitgevoerd volgens de stappen in [paragraaf 9.4](#).

## 9.2 Architectuurontwerp



**Figuur 9.1:** Architectuurontwerp voor de *number guessing game*.

De signalen over de verbindingen (*interfaces*) tussen de verschillende deelsystemen in [figuur 9.1](#) zijn als volgt:

- $V_{CC}$  is de voedingsspanning van 5 V voor alle overige deelsystemen.
- $A_2, A_1, A_0$  zijn de 3-bits binaire waarde voor het getal  $A$ .
- $B_2, B_1, B_0$  zijn de 3-bits binaire waarde voor het getal  $B$ .
- $P$  is de puls gegenereerd door de pulsgenerator als de vergelijknop ingedrukt wordt.
- $LT$  is het *Less Than* signaal van de comparator.
- $GT$  is het *Greater Than* signaal van de comparator.
- $EQ$  is het *Equal* signaal van de comparator.
- $L$  is signaal naar de succes LED.
- $D$  is het *Direction* signaal naar de *UP/DOWN* ingang van het countercircuit.
- $E$  is het *Enable* signaal naar de *Preset/Enable* ingang van het countercircuit.

- $Clk$  is het kloksignaal voor het countercircuit.
- $S_1, S_0$  bepalen welk signaal door de multiplexer wordt doorgelaten.
- $h, m, l$  zijn de periodieke signalen voor de hoge, midden en lage tonen.
- $s$  is de vierde *stille* toon.
- $BZ$  is de door de multiplexer geselecteerde toon voor het buzzercircuit.

### Opdracht 9.1: Ontwerp: Indeling breadboard

De totale schakeling die we gaan opbouwen is relatief groot. Deze past met gemak op het driebaansbreadboard dat je hebt gekocht, maar we moeten de ruimte op het breadboard wel goed indelen. Met de ervaring die hebt bij het opbouwen van de schakelingen in de eerdere opdrachten kun je enigszins een inschatting maken hoeveel ruimte de deelsystemen gaan innemen op het breadboard.

- Plaats deelsystemen die (veel) verbindingen met elkaar hebben dichtbij elkaar.
- Plaats de schakelaars en knop zodanig dat het spel goed te spelen is.
- Plaats ingangen links en uitgangen rechts op je breadboard.
- Maak gebruik van de onderbroken gedeeltes in de voedingslijnen om deelsystemen apart van elkaar te kunnen voeden en testen zonder dat fouten in andere deelsystemen invloed kunnen hebben.
- Kies steeds voor een compacte maar toch overzichtelijke opbouw, en laat ook een beetje ruimte over om aanpassingen te kunnen maken.

Teken je breadboard schematisch over en maak een handige indeling voor de verschillende deelsystemen:

Vergelijk je indeling met die van klasgenoten en vraag tips aan je docent.

## 9.3 Deelsystemen

In dit hoofdstuk worden alle deelsystemen beschreven, ontworpen en getest. We gaan alle deelsystemen los van elkaar voeden en testen, dus houd hiermee rekening bij de aansluitingen van de voedingslijnen op je breadboard.

### 9.3.1 Voeding

De voeding die benodigd is voor deze eindopdracht is reeds in [opdracht 3.5](#) ontworpen en getest.

#### Opdracht 9.2: Ontwerp: Voeding

1. Open de simulatie van de LM317 schakeling uit [opdracht 3.5](#).
2. Gebruik als ingangsspanning 9 V en controleer dat er een 5 V stabiele spanning aan de uitgang staat:
3. Maak het elektrisch schema van deze voedingsschakeling in KiCAD. Houd hierbij ook rekening met het plaatsen van de juiste condensatoren.
4. Maak in het schema gebruik van het label  $V_{CC}$  aan de uitgang zodat je deze kunt gebruiken voor alle pinnen die later aan deze voeding moeten worden verbonden.

#### Opdracht 9.3: Unittest: Voeding

1. Bouw de schakeling op aan de hand van regels in [paragraaf A.3](#). Gebruik als ingangsspanning 9 V van de labvoeding.
2. Meet en noteer de uitgangsspanning waarbij je een  $22\ \Omega$  2 W weerstand aan de uitgang hebt staan:
3. Bepaal de procentuele afwijking van de uitgangsspanning van je voeding en zorg dat deze binnen 10 % valt:

### 9.3.2 Schakelaarcircuit

Om de schakelaars om waarden voor  $A$  en  $B$  in te stellen kun je gebruik maken van de *dipswitches* die je hebt gekregen. Afhankelijk van de stand van de schakelaars moet de uitgangsspanning de voedingsspanning ( $V_{CC}$ ) of 0 V (gnd) zijn.

#### Opdracht 9.4: Ontwerp: Schakelaarcircuit

1. Hoe zorg je ervoor dat de schakelaars geen zwevende signalen op de ingangen van de comparator veroorzaken?
2. Ontwerp de schakeling en verwerk deze in het elektrisch schema in KiCAD. De dipswitches kun je vinden als *SW\_DIP\_x04*.
3. Maak in het schema gebruik van labels voor  $A_2$ ,  $A_1$ ,  $A_0$ ,  $B_2$ ,  $B_1$  en  $B_0$  om deze later te verbinden aan de comparator.

#### Opdracht 9.5: Unittest: Schakelaarcircuit

1. Bouw de schakeling op aan de hand van regels in [paragraaf A.3](#) en voed deze vanuit de labvoeding met 5 V. Zorg er hierbij voor dat de eerder gebouwde deelsystemen niet worden gevoed vanuit dezelfde voeding.
2. Maak een tabel en controleer met behulp van een multimeter voor elke instelling van de schakelaars dat steeds de correcte uitgangsspanningen 0 V of 5 V worden geleverd:

### 9.3.3 Comparator

Dit deelsysteem is in [hoofdstuk 8](#) uitgebreid behandeld en kan in zijn geheel worden overgenomen.

#### Opdracht 9.6: Ontwerp: Comparator

1. Voeg de schakeling toe aan het elektrisch schema in KiCAD.
2. Vergeet niet alle voedingspinnen te plaatsen en te verbinden en ontkoppelcondensatoren toe te voegen.
3. Maak in het schema gebruik van labels voor  $A_2$ ,  $A_1$ ,  $A_0$ ,  $B_2$ ,  $B_1$  en  $B_0$  om de ingangen van de comparator te verbinden aan het schakelaarcircuit.
4. Maak in het schema gebruik van labels voor  $LT$ ,  $GT$  en  $EQ$  aan de uitgangen van de comparator om deze later te verbinden aan het vertaalcircuit.

#### Opdracht 9.7: Unittest: Comparator

1. Bouw de schakeling op aan de hand van regels in [paragraaf A.3](#) en voed deze vanuit de Launchpad met 3,3 V. Zorg er hierbij voor dat de eerder gebouwde deelsystemen niet worden gevoed vanuit dezelfde voeding.
2. Voer de unittest voor de comparator uit met behulp van de Launchpad zoals beschreven in [paragraaf 8.4](#).

### 9.3.4 Vergelijkknop en Pulsgenerator

Zowel de LED als de drie tonen moeten totaal ongeveer 4 seconden te zien of te horen zijn nadat de vergelijkknop in het pulsgeneratorcircuit wordt ingedrukt. Hiertoe dient de pulsgenerator ongeveer 4 seconden lang een hoog signaal op te wekken wanneer op de vergelijkknop is gedrukt.

Een dergelijke puls kan door een NE555 opgewekt worden. Deze wordt hiervoor in de monostabiele modus gebruikt. Het aansluitschema hiervoor is te vinden in figuur 6-2 op pagina 11 van de NE555 datasheet van TI (<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf>).

**Opdracht 9.8: Ontwerp: Pulsegenerator**

1. Bekijk de schakeling in figuur 6-2 op pagina 11 van de datasheet.
2. De duur van de uitgangspuls wordt gegeven door een formule in beschrijving van deze modus in de datasheet. Geef deze formule:
3. We willen dat de puls tussen de 3.5 en 4 seconden duurt. Bepaal met behulp van de gevonden formule en figuur 6-4 in de datasheet geschikte waarden voor  $R_A$  en  $C$ :
4. Simuleer de schakeling in LTspice.  $R_L$  kun je weglaten. Het drukken op een knopje kun je simuleren door een spanningsbron aan te sluiten aan de *Input* (Pin 2, TRIG) die je instelt als *pulse* met volgende eigenschappen:
  - Vinitial[V]: 5
  - Von[V]: 0
  - Tdelay[s]: 2
  - Trise[s]: 0
  - Tfall[s]: 0
  - Ton[s]: 0.05
  - Tperiod[s]: 10
5. Om een drukknopje aan te sluiten op de *Input* (Pin 2, TRIG) heb je een pull-up of pull-down weerstand nodig. Gebruik figuur 6-3 van de datasheet om te bepalen welke hiervoor nodig is en leg uit waarom:
6. Voeg de schakeling toe aan het elektrisch schema in KiCAD. Gebruik voor het drukknopje de *SW\_Push*. Vergeet niet de ontkoppelcondensator en pull-weerstand toe te voegen.
7. Maak in het schema gebruik van het label  $P$  op de uitgang van de pulsegenerator om deze later te verbinden aan het vertaalcircuit.

**Opdracht 9.9: Unittest: Pulsgenerator**

1. Bouw de schakeling op aan de hand van regels in [paragraaf A.3](#) en voed deze vanuit de labvoeding met 5 V. Zorg er hierbij voor dat de eerder gebouwde deelsystemen niet worden gevoed vanuit dezelfde voeding.
2. Sluit de uitgang van de pulsgenerator aan op een oscilloscoop. Stel de tijdbasis in op 2 s/div, de *trigger mode* op *normal*, het *trigger level* in op 2 V en druk de *Single*-knop om een one shot event te kunnen waarnemen.
3. Druk de vergelijkknop in en laat het resultaat op de oscilloscoop zien. Meet met de oscilloscoop de lengte van de pulse met de *measure* functie of de *cursor* functie en noteer deze:
4. Pas je ontwerp aan en herhaal de test indien nodig als de tijd niet tussen de 3.5 en 4.0 seconden is.

### 9.3.5 Klok

Voor het countercircuit is een kloksignaal met een frequentie van 1 Hz nodig.

#### Opdracht 9.10: Ontwerp: Klok

1. Ontwerp een NE555 schakeling die een kloksignaal van 1 Hz genereert. Geef je berekeningen en de keuze van de componenten:
2. Simuleer de schakeling in LTspice. Meet en noteer de frequentie:
3. Voeg de schakeling toe aan het elektrisch schema in KiCAD. Vergeet niet de ontkoppelcondensator toe te voegen.
4. Maak in het schema gebruik van het label *Clk* aan de uitgang van de klok om deze later te verbinden aan het countercircuit.

#### Opdracht 9.11: Unittest: Klok

1. Bouw de schakeling op aan de hand van regels in [paragraaf A.3](#) en voed deze vanuit de labvoeding met 5 V. Zorg er hierbij voor dat de eerder gebouwde deelsystemen niet worden gevoed vanuit dezelfde voeding.
2. Laat met behulp van de oscilloscoop zien dat de klok binnen een nauwkeurigheid van 10 % gegenereerd kan worden. Noteer de meetresultaten en de procentuele afwijking:

### 9.3.6 Countercircuit

Om de drie tonen elk voor 1 seconde te laten horen, maken we gebruik van een *counter* IC, de CD4029 om de selectieingangen van de multiplexer aan te sturen. Hieronder staat de functionaliteit kort beschreven samen met een uitleg welke pinnen waaraan moeten worden aangesloten. Voor dit circuit hoef je dus zelf geen ontwerp te maken. In [tabel 9.1](#) staat het aansluitschema weergegeven.

- Als de chip in *Preset* modus staat, zullen op de uitgangen  $Q_4$   $Q_3$   $Q_2$   $Q_1$  de waarden  $J_4$   $J_3$   $J_2$   $J_1$  staan. Omdat al deze  $J$  inputs laag gemaakt worden door ze allen op GND aan te sluiten, staat er dus standaard 0000 op de uitgangen.
- Als de chip in *Enable* en *UP* modus staat, dan zal er elke opgaande klokflank 1 bij de binaire uitgangen  $Q_4$   $Q_3$   $Q_2$   $Q_1$  worden opgeteld, dus  $0000 \rightarrow 0001 \rightarrow 0010 \rightarrow 0011$  etc.
- Als de chip in “Enable” en *DOWN* modus staat, dan zal er elke opgaande klokflank 1 van de binaire uitgangen  $Q_4$   $Q_3$   $Q_2$   $Q_1$  worden afgetrokken, dus  $0000 \rightarrow 1111 \rightarrow 1110 \rightarrow 1101$  etc.
- Met de *Binary/Decade* aansluiting kunnen we instellen of er tot maximaal 1111 ( $15_{10}$ ) (binary) of 1001 ( $9_{10}$ ) (decade) telt. De schakeling dient binair te tellen, deze ingang moet dus hoog gemaakt worden.
- De ingang *Carry In* wordt niet gebruikt en deze dient dus laag gemaakt worden door deze aan te sluiten aan GND.
- De twee *most significant* bits  $Q_4$  en  $Q_3$  en de uitgang *Carry Out* gebruiken we niet en laten we dus open. Dit wordt *Not Connected* (NC) genoemd.
- De twee *least significant* bits  $Q_2$  en  $Q_1$  gaan gebruikt worden om de multiplexer aan te sturen.

**Tabel 9.1:** Aansluitingen van de CD4029.

| Functie       | Aansluiting | Pin | Pin | Aansluiting  | Functie       |
|---------------|-------------|-----|-----|--------------|---------------|
| Preset/Enable | $E$         | 1   | 16  | $V_{cc}$     | $V_{dd}$      |
| $Q_4$         | NC          | 2   | 15  | $Clk$ , 1 Hz | Clock         |
| $J_4$         | GND         | 3   | 14  | NC           | $Q_3$         |
| $J_1$         | GND         | 4   | 13  | GND          | $J_3$         |
| Carry In      | GND         | 5   | 12  | GND          | $J_2$         |
| $Q_1$         | $S_0$       | 6   | 11  | $S_1$        | $Q_2$         |
| Carry Out     | NC          | 7   | 10  | $D$          | Up/Down       |
| $V_{ss}$      | GND         | 8   | 9   | $V_{cc}$     | Binary/Decade |

**Opdracht 9.12: Ontwerp: Countercircuit**

1. Bekijk [tabel 9.1](#). Kun je de werking van dit IC verklaren?
2. Voeg de schakeling toe aan het elektrisch schema in KiCAD. Vergeet niet de ontkoppelcondensator toe te voegen.
3. Maak in het schema gebruik van de labels voor  $Clk$ ,  $E$ , en  $D$  voor de ingangen om deze later te kunnen verbinden met de klok en het vertaalcircuit.
4. Maak in het schema gebruik van labels  $S_1$  en  $S_0$  aan de uitgangen van het countercircuit om deze later te verbinden aan de multiplexer.

**Opdracht 9.13: Unittest: Countercircuit**

1. Bouw de schakeling op aan de hand van regels in [paragraaf A.3](#) en voed deze vanuit de labvoeding met 5V. Zorg er hierbij voor dat de eerder gebouwde deelsystemen niet worden gevoed vanuit dezelfde voeding.
2. Sluit twee LEDs met verschillende kleuren via weerstanden aan op de uitgangen  $Q_2$  en  $Q_1$ .
3. Gebruik voor de  $Clk$  ingang de functiegenerator. Welke eigenschappen stel je in op de functiegenerator?
4. Maak de ingangen *Preset/Enable* ( $E$ ) en *UP/DOWN* ( $D$ ) handmatig hoog en laag. Maak een tabel en controleer voor elke mogelijkheid of de LEDs in de juiste volgorde oplichten.

### 9.3.7 Vertaalcircuit

De uitgangen van de pulsgenerator en de comparator kunnen niet direct op de multiplexer en succes LED aangesloten worden. De output  $P$  van de pulsgenerator en de outputs  $LT$ ,  $GT$ ,  $EQ$  de comparator dienen dus vertaald te worden naar een stuursignaal  $L$  voor de succes LED en de ingangssignalen  $D$  en  $E$  voor de counter.

#### Opdracht 9.14: Ontwerp: Vertaalcircuit

1. In welk geval moet de succes LED branden?
2. In welke gevallen moet de counter aangezet worden?
3. Moet het signaal  $E$  hoog of laag zijn om de counter aan te zetten?
4. Wanneer moet de counter optellen of juist of aftellen? Bij welke waarde van  $D$  gebeurt dat?
5. Vul de waarheidstabel in [tabel 9.2](#). Waar kunnen *don't cares* gebruikt worden?
6. Stel de expressies op voor  $L$ ,  $D$  en  $E$  en minimaliseer deze indien mogelijk met algebra of Karnaugh:
  - $L =$
  - $E =$
  - $D =$
7. Simuleer de logische schakeling in Logisim.
8. Welke logische IC's ga je gebruiken?

9. Voeg de schakeling toe aan het elektrisch schema in KiCAD. Vergeet niet de voedingspinnen en ontkoppelcondensatoren toe te voegen.
10. Maak in het schema gebruik van de labels voor  $P$ ,  $LT$ ,  $GT$  en  $EQ$  om de ingangen van het vertaalcircuit te verbinden aan de pulsgenerator en de comparator.
11. Maak in het schema gebruik van labels voor  $L$ ,  $D$  en  $E$  aan de uitgangen van het vertaalcircuit om deze te verbinden aan het countercircuit en de succes LED.

**Tabel 9.2:** Waarheidstabel voor het ontwerpen van het vertaalcircuit.

| P | LT | GT | EQ | L | D | E |
|---|----|----|----|---|---|---|
|   |    |    |    |   |   |   |
|   |    |    |    |   |   |   |
|   |    |    |    |   |   |   |
|   |    |    |    |   |   |   |
|   |    |    |    |   |   |   |
|   |    |    |    |   |   |   |
|   |    |    |    |   |   |   |
|   |    |    |    |   |   |   |
|   |    |    |    |   |   |   |
|   |    |    |    |   |   |   |
|   |    |    |    |   |   |   |
|   |    |    |    |   |   |   |

#### Opdracht 9.15: Unittest: Vertaalcircuit

1. Sluit drie LEDs met verschillende kleuren via weerstanden aan op de uitgangen van het vertaalcircuit.
2. Sluit een voedingsspanning van 5 V van de labvoeding aan op het vertaalcircuit.
3. Ga door de verschillende mogelijkheden weergegeven in [tabel 9.2](#) heen en controleer de resultaten van de opgebouwde schakeling met deze tabel en de simulatie.

### 9.3.8 Toongenerator

De toongenerator dient signalen met hoge, midden en lage frequentie te kunnen genereren. De frequenties hiervoor heb je van de docent gekregen in [opdracht 6.1](#). Deze schakelingen heb je al ontworpen, gesimuleerd, opgebouwd en getest in [opdracht 6.2](#), [opdracht 6.3](#) en [opdracht 6.4](#) en kunnen in zijn geheel worden overgenomen.

#### Opdracht 9.16: Ontwerp: Toongenerator

1. Open de simulatie van de NE555 schakelingen uit [opdracht 6.2](#) en [opdracht 6.4](#). Controleer of de frequenties in de simulatie aan de gegeven waarden voldoen:
2. Voeg de schakelingen toe aan het elektrisch schema in KiCAD. Vergeet niet de ontkoppelcondensatoren toe te voegen.
3. Hoe kun je de stille toon  $s$  maken?
4. Maak in het schema gebruik van labels  $h$ ,  $m$ ,  $l$  en  $s$  aan de uitgangen van de toongenerator om deze later te verbinden aan de multiplexer.

#### Opdracht 9.17: Unittest: Toongenerator

1. Bouw de schakelingen op aan de hand van regels in [paragraaf A.3](#) en voed deze vanuit de labvoeding met 5 V. Zorg er hierbij voor dat de eerder gebouwde deelsystemen niet worden gevoed vanuit dezelfde voeding.
2. Laat met behulp van de oscilloscoop zien dat elk van de drie frequenties binnen een nauwkeurigheid van 20 % gegenereerd kunnen worden. Noteer de meetresultaten en de procentuele afwijking:

### 9.3.9 Multiplexer

Dit deelsysteem is in [hoofdstuk 5](#) uitgebreid behandeld en kan in zijn geheel worden overgenomen.

#### Opdracht 9.18: Ontwerp: Multiplexer

1. Voeg de schakeling toe aan het elektrisch schema in KiCAD.
2. Vergeet niet alle voedingspinnen te plaatsen en te verbinden en ontkoppelcondensatoren toe te voegen.
3. Maak in het schema gebruik van de labels voor  $S_1$ ,  $S_0$ ,  $h$ ,  $m$ ,  $l$  en  $s$  om de ingangen van de multiplexer te verbinden aan het countercircuit en de toongenerator.
4. Maak in het schema gebruik van het label  $BZ$  aan de uitgang van de multiplexer om deze later te verbinden aan het buzzercircuit.

#### Opdracht 9.19: Unittest: Multiplexer

1. Bouw de schakeling op en voed deze vanuit de Launchpad met 3,3 V. Zorg er hierbij voor dat de eerder gebouwde deelsystemen niet worden gevoed vanuit dezelfde voeding.
2. Voer de unittest voor de multiplexer uit met behulp van de Launchpad zoals beschreven in [paragraaf 5.5](#).

### 9.3.10 Succes LED

Dit eenvoudige circuit bestaat uit een LED met een weerstand van  $1\text{ k}\Omega$  om de stroom door de LED te begrenzen.

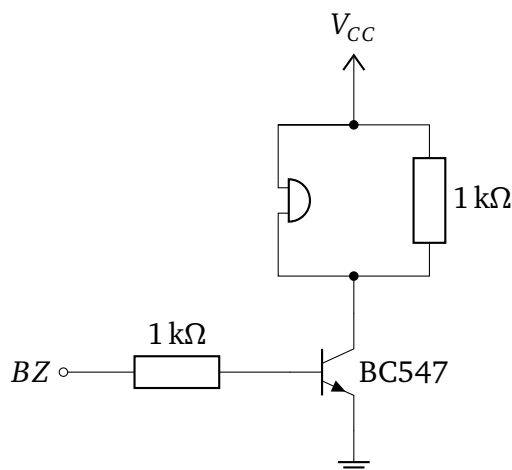
#### Opdracht 9.20: Ontwerp: Succes LED

1. Voeg de schakeling toe aan het elektrisch schema in KiCAD.
2. Maak in het schema gebruik van het label  $L$  om de ingang van de succes LED te verbinden aan het vertaalcircuit.

### 9.3.11 Buzzercircuit

Omdat de uitgang van de multiplexer niet veel stroom kan leveren zal de buzzer (afhankelijk van het type buzzer) geen luid geluid opleveren als deze hier direct op aangesloten wordt. We gebruik daarom een transistor om de buzzer aan te sturen met de voedingsspanning waarbij de uitgang *BZ* van de multiplexer via een weerstand op de basis van de transistor wordt aangesloten.

Omdat de transistor nog niet is behandeld wordt de schakeling gegeven in [schakeling 9.1](#).



**Schakeling 9.1:** Buzzercircuit.

#### Opdracht 9.21: Ontwerp: Buzzercircuit

1. Voeg de schakeling toe aan het elektrisch schema in KiCAD.
2. Maak in het schema gebruik van het label *BZ* om de ingang van het buzzercircuit te verbinden aan de multiplexer.

#### Opdracht 9.22: Unittest: Buzzercircuit

1. Bouw de schakeling op en sluit een voedingsspanning van 5 V van de labvoeding aan op het buzzercircuit.
2. Laat zien dat als  $BZ = 0V$  er geen stroom door de buzzer loopt.
3. Sluit de *BZ* ingang van het buzzercircuit aan op een functiegenerator met een blokgolf tussen de 0 en 5 V en laat door de frequentie de veranderen tussen 500 Hz en 3 kHz horen dat verschillende tonen uit de buzzer komen:

## 9.4 Integratie

De integratie van de verschillende deelsystemen dient als volgt uitgevoerd te worden:

### Opdracht 9.23: Integratie.

1. Sluit het voedingscircuit aan op alle andere units en verifiëer dat alle units nog steeds aan hun unittesten voldoen.
2. Sluit de toongenerator aan op de multiplexer. Bedenk aan de hand van de werking van het countercircuit goed welke toon aan welke aansluiting van de multiplexer verbonden moet worden. Laat met de oscilloscoop zien dat de juiste toon op de uitgang van multiplexer staat bij de vier verschillende combinaties voor  $S_1$  en  $S_0$ .
3. Sluit het schakelaarcircuit aan op de comparator en controleer dat in de juiste situaties  $LT$ ,  $GT$ ,  $EQ$  hoog zijn en de andere laag volgens de waarheidstabel van de comparator voor de verschillende mogelijkheden van de switches  $A$  en  $B$ .
4. Sluit de pulsgenerator en de comparator aan op het vertaalcircuit. Controleer de juiste werking door de waarheidstabel van het vertaalcircuit te verifiëren voor de verschillende mogelijkheden van de switches  $A$  en  $B$  als de vergelijkknop werd ingedrukt.
5. Sluit de succes LED aan op het vertaalcircuit en controleer of deze onder de juiste voorwaarde oplicht.
6. Sluit het  $Clk$ -signaal van de signaalgenerator en de outputs  $E$  en  $D$  van het vertaalcircuit aan op het countercircuit. Controleer dat als  $A$  en  $B$  niet gelijk zijn de juiste sequentie van 00, 01, 10, 11 afwisselend op uitgang van het countercircuit staan als de vergelijkknop wordt ingedrukt.
7. Sluit als laatste de uitgangen van het countercircuit aan op de  $SEL_0$ ,  $SEL_1$ -ingangen van de multiplexer. Controleer dat als  $A$  en  $B$  niet gelijk zijn de te horen tonen correct omhoog of omlaag gaan als de vergelijkknop wordt ingedrukt.
8. Beschrijf welke problemen je bent tegengekomen tijdens de integratie:
9. Speel de game met een klasgenoot. Veel speelplezier!

## 9.5 Aftekenen Eindopdracht

### Opdracht 9.24: Aftekenen.

Zorg dat je tijdens het aftekenmoment alle vragen hebt beantwoord (dus overal waar een lege plaats is opengelaten heb je een antwoord ingevuld) en dat je alles bij de hand hebt:

- de simulatie van de pulsgenerator in LTspice.
- de simulatie van de klok in LTspice.
- de simulatie van het vertaalcircuit in Logisim.
- het volledige elektrisch schema in KiCAD.
- de werkende schakeling van de number guessing game op je breadboard.

*Let op: foto's of filmpjes van de (werkende) schakeling worden niet geaccepteerd. Je moet je eigen werkende schakeling fysiek aan de docent laten zien!*

## A

# Achtergrond informatie labs ELE10

## A.1 SI-systeem

### Eenheden

Het correct gebruik van eenheden is erg van belang. Als er bij een grootheid alleen een getal zonder eenheid is aangegeven, weten we eigenlijk niet wat het betekent. Voorbeeld: de lengte is 100. Is het nu 100 m, 100 mm of 100 km? Als we een getal met een eenheid aangeven, weten we meteen ook om wat voor grootheid het gaat. Voorbeeld: 100 g geeft het gewicht van iets aan. Voor één grootheden zijn verschillende eenheden te gebruiken. Neem snelheid, in Europa gebruiken we m/s of km/h terwijl in de UK juist miles per hour gebruikt wordt.

Bij technische disciplines wordt over het algemeen het SI-systeem gebruikt. In [tabel A.1](#) zijn een aantal grootheden gegeven met hun SI-eenheden. Er zijn maar een beperkt aantal basis (fundamentele) SI-eenheden. Hieruit zijn heel veel afgeleide eenheden te definiëren voor andere grootheden. In de tweede kolom van [tabel A.1](#) zijn een aantal voorbeelden gegeven. De eenheid van snelheid is dus de samengestelde eenheid meter per second (m/s). De eenheid van andere grootheden worden erg ingewikkeld als we ze continu in basis SI-eenheden zouden uitdrukken. Zo is de eenheid van energie Joule (J). Deze is als volgt uit te drukken in basis SI-eenheden: Neem een voorbeeld van energie, de kinetische energie, die gegeven is door

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \quad \Rightarrow \quad J = [E] = [m] \cdot [v]^2 = \text{kg} \cdot (\text{m/s})^2 = \text{kgm}^2\text{s}^{-2}, \quad (\text{A.1})$$

met  $m$  de massa en  $v$  de snelheid van een object. Dus de eenheid J staat dus eigenlijk voor  $\text{kgm}^2\text{s}^{-2}$ . (Hier is gebruikt dat  $\frac{1}{2}$  een getal is en dus geen eenheid heeft.)

**Tabel A.1:** Basis, afgeleide en elektrotechnische SI-eenheden.

(Hier nemen we Coulomb (C) als basis eenheid. In het [SI-systeem](#) wordt nu Ampere (A) als basis genomen en wordt Coulomb  $C = A \cdot s$  als afgeleide eenheid gezien.)

| Basis       |    | Afgeleide  |     | Elektrotechnische |          |
|-------------|----|------------|-----|-------------------|----------|
| lading      | C  | snelheid   | m/s | stroom            | A        |
| tijd        | s  | frequentie | Hz  | spanning          | V        |
| afstand     | m  | kracht     | N   | weerstand         | $\Omega$ |
| massa       | kg | energie    | J   | capaciteit        | F        |
| temperatuur | K  | vermogen   | W   | zelfinductie      | H        |

**Tabel A.2:** SI-prefixen om orde van grootte aan te geven in LTSpice.

| SI-prefix | Symbool | Factor     | LTSpice |
|-----------|---------|------------|---------|
| femto     | f       | $10^{-15}$ | f       |
| pico      | p       | $10^{-12}$ | p       |
| nano      | n       | $10^{-9}$  | n       |
| micro     | $\mu$   | $10^{-6}$  | u       |
| milli     | m       | $10^{-3}$  | m       |
| kilo      | k       | $10^3$     | k       |
| mega      | M       | $10^6$     | Meg     |
| giga      | G       | $10^9$     | G       |
| terra     | T       | $10^{12}$  | T       |

## A.2 Basis elektrotechnische grootheden

### Stroom

Een elektrische stroom is meestal een stroom van elektronen, die zich in een geleidend materiaal zoals koper bevinden, en die zich min of meer vrij kunnen bewegen. Elk elektron heeft een elektrische lading, dus de stroom  $I$  is hoeveel lading  $Q$  zich in een bepaalde tijd  $T$  door een draad of component beweegt: dus in een formule

$$I = \frac{Q}{T} . \quad (\text{A.2})$$

Nu is de elektrische lading van één elektron heel klein en er zitten al heel veel elektronen in een dun draadje, dus is het niet zo praktisch om de elektrische lading te tellen in het aantal elektronen dat we hebben. Daarom is een maat, Coulomb (C), gedefinieerd om een bepaald aantal elektronen te definiëren. (Historisch was eerst deze maat bedacht en pas veel later werd het duidelijk dat er elektronen waren.) De standaard eenheid voor tijd is seconde (s). Dus de eenheid van elektrische stroom is Coulomb per seconde:

$$[I] = \left[ \frac{Q}{T} \right] = \frac{[Q]}{[T]} = \frac{\text{C}}{\text{s}} = \text{C/s} , \quad (\text{A.3})$$

waar de rechte haken de eenheid van de grootheid bepalen, dus  $[T] = \text{s}$  (tijd in seconden) en  $[Q] = \text{C}$  (lading in Coulomb). Een overzicht van de belangrijkste (elektrotechnische) eenheden is te vinden [tabel A.1](#) van [paragraaf A.1](#).

### Spanning

Terug naar de elektrotechniek. Een elektrische spanning  $U$  geeft aan hoeveel energie  $E$  (in Joule  $[E] = \text{J}$ ) een hoeveelheid lading  $Q$  door bijvoorbeeld een spanningsbron meekrijgt:

$$U = \frac{E}{Q} . \quad (\text{A.4})$$

De SI-eenheid waarin spanning wordt weergegeven is Volt ( $[U] = \text{V}$ ). In Amerikaanse literatuur wordt hiervoor vaak de letter  $V$  gebruikt: de spanning  $V$  in Volt (V). In Europa is het echter meer gebruikelijk om voor de grootheid spanning de letter  $U$  te nemen, met als eenheid Volt (V). Dit heeft als voordeel dat er dan een beter onderscheid gemaakt kan worden tussen de grootheid en de eenheid.

### Weerstand

Als op een schakeling een bepaalde spanning  $U$  wordt gezet, dan ervaren de elektronen een bepaalde weerstand zodat er een bepaalde stroom  $I$  gaat lopen. (Zou er geen weerstand zijn, dan zou er theoretisch een oneindig grote stroom gaan lopen.) De relatie tussen spanning en stroom wordt beschreven door de wet van Ohm:

$$U = I \cdot R , \quad (\text{A.5})$$

waarbij  $R$  de elektrische weerstand is in de eenheid Ohm ( $[R] = \Omega$ ).

## Vermogen

Vermogen  $P$  is een maat hoeveel energie  $E$  er in een bepaalde tijd  $T$  geproduceerd of gebruikt wordt:

$$P = \frac{E}{T} . \quad (\text{A.6})$$

De eenheid van vermogen is Watt ( $[P] = \text{W}$ ). Als er door een schakeling een stroom  $I$  loopt ten gevolge van een spanningsverschil  $U$  dan verbruikt deze een vermogen van

$$P = U \cdot I ; \quad (\text{A.7})$$

bij een voeding geeft dit het vermogen dat de voeding aan het leveren is.

## Weerstanden in serie en parallel

Voor twee weerstanden  $R_1$  en  $R_2$  in serie en parallel geldt:

$$R_{\text{serie}} = R_1 + R_2 , \quad \frac{1}{R_{\text{parallel}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} . \quad (\text{A.8})$$

## Condensatoren in serie en parallel

Voor twee condensatoren  $C_1$  en  $C_2$  in serie en parallel geldt:

$$\frac{1}{C_{\text{serie}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} , \quad C_{\text{parallel}} = C_1 + C_2 . \quad (\text{A.9})$$

## A.3 Breadboard opbouw hints

**Breadboard:** Hier zijn een aantal regels en suggesties voor het opbouwen van een schakeling op een breadboard:

1. De labvoeding wordt met 4mm aansluitsnoeren verbonden met het breadboard. Rood voor de plus (voedingsspanning, VCC), zwart voor de min (GND).
2. Op het breadboard worden de aansluitpunten voor deze pluggen verbonden met de verticale doorverbonden gaatjes (de voedingslijnen of voedingsrails).
3. Hierbij worden kleuren rood voor voedingsspanning en zwart voor ground weer gebruikt. Voor de overige verbindingen kies je zelf uit de 9 andere kleuren.
4. Alle draadjes worden op maat geknipt zodat ze zo veel mogelijk plat op het breadboard naast elkaar gedrukt kunnen worden (zo min mogelijk over elkaar heen).
5. Componenten als weerstanden en condensatoren worden ook op maat geknipt zodat ook zij vlak op het breadboard kunnen komen te liggen.
6. De pootjes van componenten kun je vaak prima als verbinding gebruiken. Je hebt dan minder draadjes nodig.
7. Plaats componenten zo dicht mogelijk bij elkaar zodat draadjes zo kort mogelijk kunnen zijn. Zorg hierbij wel voor overzicht en zorg dat je overal gemakkelijk bij kunt met je multimeter.

**IC's:** Bij het plaatsen van IC moet je met een aantal zaken rekening houden:

1. Een IC past precies over de brede gleuf in het midden van een breadboard zodat alle pinnen aan beide kanten van de chip aan eigen rijen van doorverbonden gaatjes zijn verbonden.
2. Een IC heeft aan één kant markering, een inkeping of een stipje, zitten. Dit is de markering van de pin met nummer 1. Het is handig de IC's met de markering naar boven (van je af) in het breadboard te plaatsen, zoals deze vaak ook in de pinout van de datasheet is aangegeven.
3. Laat het eerste gaatje naast een IC zoveel mogelijk vrij zodat je ruimte hebt om met je multimeter direct aan de pootjes van het IC te kunnen meten.
4. Plaats geen draadjes over een IC heen, zodat er voldoende ruimte is om te meten met je multimeter en er overzicht is om alle aansluitingen te kunnen overzien.
5. Alle pinnen van ingangssignalen van een IC moeten altijd op iets aangesloten worden. (Anders bepaalt de omgevingsspanning wat de chip waarneemt wat er op die ingang staat. Dit heet een zwevend signaal.)
6. Kijk ook altijd goed in de datasheet welke pinnen in ieder geval aangesloten dienen te zijn voor een correcte werking van de chip.
7. Voor de stabiliteit van de voeding van een chip wordt in de praktijk elk IC voorzien van een condensator van rond de 100 nF, een ontkoppelcondensator. Deze condensator dient zo dicht mogelijk bij de voedingspinnen van een IC geplaatst te worden.

*Bedenk dat een docent weinig hulp kan (of wil) bieden bij het oplossen van problemen als je schakeling niet netjes is opgebouwd of als er niet gemakkelijk aan de pinnen van een IC of andere verbindingen te meten is.*

## A.4 Oscilloscoop

Het goed is instellen van de oscilloscoop is erg belangrijk, want anders kan het zijn dat signalen die je wilt analyseren onhandig of zelfs helemaal niet zichtbaar worden. Vertrouwen op de automatische instellingen van de oscilloscoop (*autoset*) kan gevaarlijk zijn, want het kan zijn dat deze zich instelt op een stoorsignaal (bijvoorbeeld een 50 Hz-achtergrondsignaal) en niet op het signaal waar jij in geïnteresseerd bent. Ook zijn de instellingen van de *autoset* vaak niet de ideale instellingen.

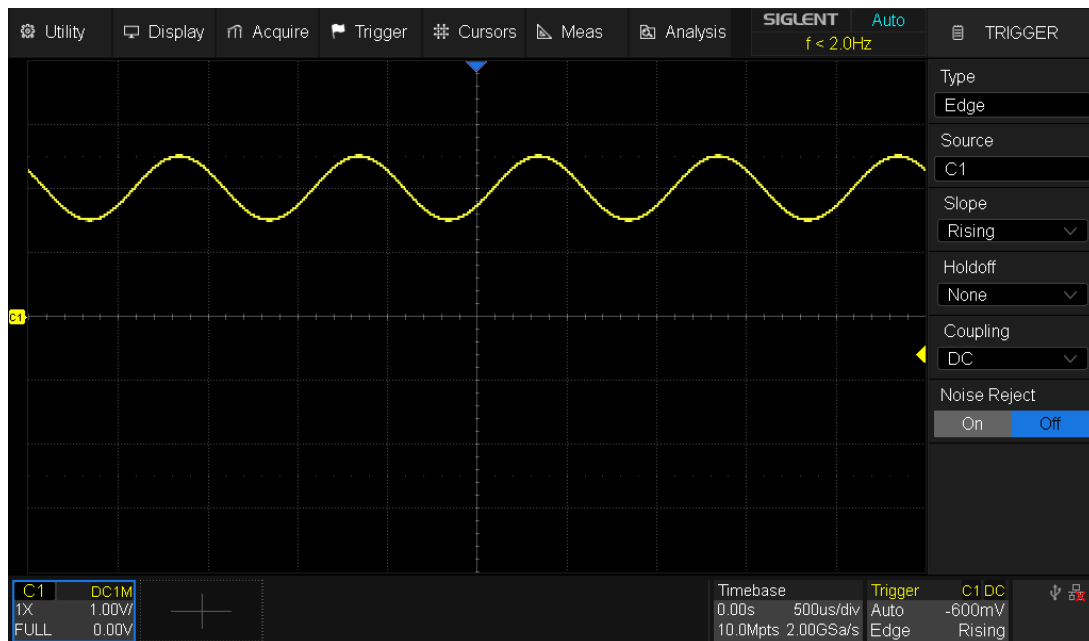
Bij het instellen van een oscilloscoop is het daarom handig rekening te houden met de volgende zaken:

1. **Trigger:** Een belangrijke instelling (die je vaak tijdens meten nog moet bijstellen) is de trigger. De scope wil eigenlijk continu het opgevangen signaal weergeven. Het gevolg hiervan is dat ook periodieke signalen over het scherm lijken te bewegen wat het aflezen van eigenschappen erg lastig maakt. Met de trigger wordt het periodieke signaal elke keer op hetzelfde punt van van het signaal op hetzelfde punt van de display van de scope neergezet.
2. **Tijdsschaal:** Om periodieke signalen in de tijd goed zichtbaar te maken is het van belang om de horizontale tijdsschaal goed in te stellen. Afhankelijk wat je precies wilt bepalen is het handig om ten minste één, maar liever twee of drie perioden van het signaal op de scope te zien. Als je een idee hebt van de frequentie  $f$  van het signaal, weet je ook de periode tijd  $T = \frac{1}{f}$ , wat je een goed idee geeft op hoeveel seconden per divisie je de scope zou moeten instellen.
3. **Spanningsbereik:** Ook is het van belang om de spanningsbereik goed in te stellen zodat het periodiek signaal als geheel zichtbaar is. Daarbij is het nuttig te weten wat de amplitude is van het signaal en hoe groot de eventuele off-set is. We willen dat een signaal altijd zo groot mogelijk in beeld is, maar wel zodat het geheel op het scherm past. Met het spanningsbereik stel je namelijk niet alleen de weergave op het scherm in, maar ook het spanningsbereik van de interne analoog naar digitaalconverter (ADC). Hoe kleiner het spanningsbereik (Volt/div), hoe nauwkeuriger de scope kan meten.

De oscilloscoop is een geavanceerd meetinstrument en probeert altijd een signaal periodiek weer te geven. Dit doet de oscilloscoop door telkens hetzelfde referentiepunt van een signaal op dezelfde plek in het beeld neer te zetten. De oscilloscoop kan dit niet altijd zelf en heeft dan wat hulp nodig. Het synchronisatie moment noemen we de **trigger**.

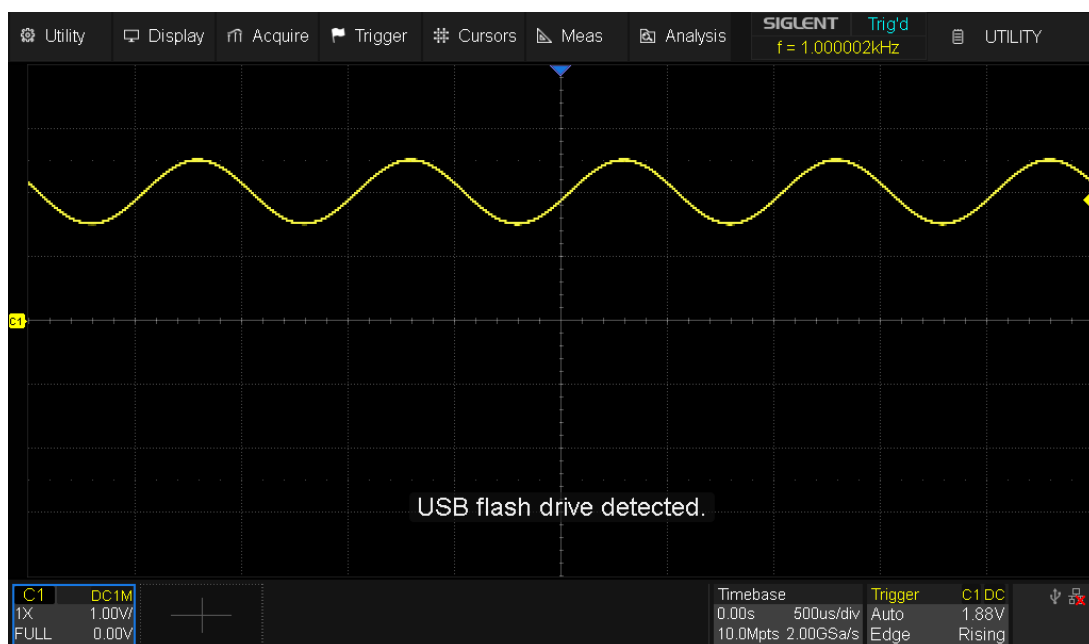
Om de werking te laten zien stellen we de functiegenerator nu in op een sinus met een amplitude van  $1 V_{pp}$  en een offset van 2 V. Je zal zien dat het signaal waarschijnlijk niet stil staat, maar telkens door het beeld heen schiet. Je kan nu ook niet veel aflezen aan het signaal. Om dit wel te kunnen gaan we de trigger instellen, doe dit door rechts op de oscilloscoop onder het kopje *Trigger* op het knopje “Setup” te drukken. Je krijg nu het beeld van [figuur A.1](#).

Zorg dat hij ingesteld staat zoals op de afbeelding te zien is. Daarna ga je met het draaiknopje onder het trigger menu knopje ‘zoeken’ naar je signaal. Als je hier aan draait zal je zien dat er een horizontale lijn in beeld komt. Zorg dat deze lijn in het midden van de sinus



**Figuur A.1:** De Trigger Setup.

terecht komt. Als deze daar dan staat zal je zien dat het beeld opeens stil komt te staan. Nu synchroniseert de oscilloscoop zich met het signaal, dit noemen we triggeren. De oscilloscoop is nu getriggerd op het signaal, zoals in [figuur A.2](#) ook te zien is rechtsbovenin het scherm (Trig'd).



**Figuur A.2:** De getriggerde oscilloscoop.

## A.5 Teken van elektrische schema's

Bij het maken van elektrische schema's (bijvoorbeeld in KiCAD) is het te adviseren:

1. Splits waar mogelijk op in overzichtelijke blokjes.
2. Zorg er voor dat de componenten overzichtelijk geplaatst worden.
3. Ingangen staan zoveel mogelijk links, uitgangen zoveel mogelijk rechts.
4. Hogere spanningen staan zoveel mogelijk boven, lage spanningen beneden. Teken aardesymbolen altijd naar beneden.
5. Zorg er voor dat de verbindinglijnen elkaar zo min mogelijk snijden.
6. Gebruik labels om veel voorkomende aansluitingen zoals de voedingsspanning te verbinden zonder de lijnen expliciet te hoeven trekken.
7. Gebruik labels ook om in-/uitgangen van verschillende blokjes met elkaar te verbinden.

## B

## Quick start manuals for lab software

### B.1 LTSpice

#### Installatie LTSpice

Op school start je LTSpice vanuit de “Liquit Workspace”, thuis of op je laptop kun je ook gratis downloaden en installeren van: <https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>. (Hier is ook informatie over het gebruik van LTSpice te vinden.)

#### LTSpice quick start

Om een nieuwe schakeling te gaan maken selecteer **File** **New Schematic**. Door op **Edit** **Component** of op **F2** te drukken kunnen nieuwe componenten toe gevoegd worden. Een weerstand kan geselecteerd worden door “res” (in het zoekvenster) in te typen; voor een spanningsbron “vol”. Met “Wires” **F3** kunnen er draden worden getrokken. De component kan worden bewogen met “Move” **F7** of “Drag” **F8**. Met “Delete” **F5** of **Delete** kan een component of draad worden verwijderd. In LTSpice moet altijd een referentiepunt worden toegevoegd, deze is te selecteren met “gnd”.

Om een simulatie te kunnen runnen hebben de componenten in het schema waarden nodig. Door met de rechtermuisknop op de spanningsbron te klikken kan de spanning dan bij “DC value” ingevoerd worden. (“Series Resistance” mag leeg gelaten worden.) Bij weerstanden kan op dezelfde manier de waarden ingevoerd. In LTSpice worden waarden zonder eenheid ingevoerd. Maar het is wel mogelijk om nano, micro, milli, kilo, mega, giga aan te geven zie [tabel A.2](#) in [paragraaf A.1](#).

LTSpice kan veel verschillende type simulaties uitvoeren om verschillende eigenschappen te kunnen simuleren. Voor deze simulatie hebben we de “Transient”-analyse nodig. Voer in dat venster bij “Stop Time” 0.1 in. Dit vertelt LTSpice dat hij een simulatie van  $0,1\text{ s} = 100\text{ ms}$  moet draaien. Druk je daarna op “OK”, dan zie je “.tran 0.1” in het schema staan. Om de simulatie te starten ga naar **Simulate** **Run**. Er zal dan een tweede venster verschijnen met een grafiek erin met een horizontale tijdsas van “0ms” tot “100ms”.

Als je hierna met je muis naar het schema gaat en die boven een draadje hangt, zal je zien dat je muis in een probe verandert. Klik je dan op dit draadje verschijnt een gekleurde lijn in het venster met de grafiek waarin nu de spanning (het spanningsverschil ten opzichte van het referentiepunt) wordt weergegeven. Laat je de muis boven een component in de schakeling hangen, dan verandert de muis in een metertje met een pijl. Klik je dan op dit component, dan verschijnt er een lijn die aangeeft welke stroom door dit component loopt. Op deze manier kunnen we spannings- en stroommetingen in de LTSpice simulatie uitvoeren.

## B.2 LogiSim

### Installatie LogiSim

Met het programma LogiSim kunnen logisch schakelingen gesimuleerd worden. Op school start je Logisim vanuit de “Liquit Workspace”, thuis of op je laptop kun je ook gratis downloaden en installeren van: <http://www.cburch.com/logisim/>. (Hier is ook informatie over het gebruik van Logisim te vinden.)

## B.3 KiCAD

### Installatie KiCAD

Met het programma KiCAD kunnen elektrische schema's getekend en PCB's ontworpen worden. Op school start je Logisim vanuit de “Liquit Workspace”, thuis of op je laptop kun je ook gratis downloaden en installeren van: <https://kicad.org/download/>.

### KiCAD quick start

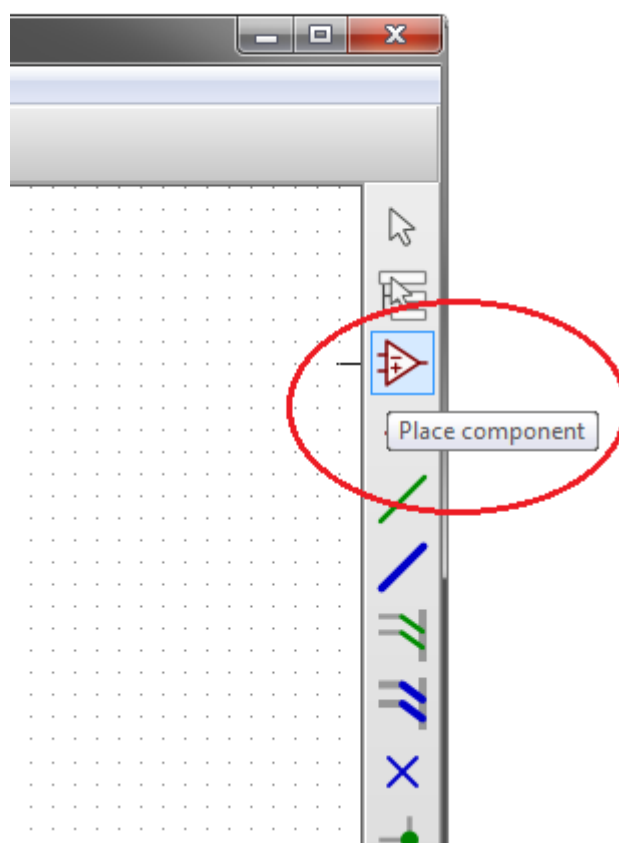
Start KiCad en ga naar **File** > **New Project** > **New Project**. Sla het project ergens op. Ga nu naar **Tools** > **Run Eeschema**. Je krijgt nu een wit vel. Op dit vel kun je je schema gaan tekenen. Klik nu op “Place Component”, zie [figuur B.1](#).

Vervolgens klik je ergens op het witte vel, zoek bijvoorbeeld naar de NE555, selecteer het juiste component en druk op “OK”, zie [figuur B.2](#).

Nu kun je het component ergens op je schema plaatsen. Voor weerstanden, condensatoren of spoelen moet je weer naar “Place Component” (Type R, C of L in de zoekbalk) en dan naar **device** en selecteer dan R, C of L. (Tip: Je kunt met “insert” de laatste KiCad actie herhalen. Hiermee kun je gemakkelijk meerdere weerstanden plaatsen. Een andere optie is om met “shift” ingedrukt een aantal componenten te selecteren om deze te kopiëren.)

Nadat je de weerstand hebt geplaatst kun je met “Place Wire” uit de taakbalk (waar je ook “Place Component” vindt) draden tussen de componenten leggen. Met dit pakket kun je heel het schema opbouwen.

Om alle componenten te kunnen vinden heb je wellicht wat hulp nodig; [Tabel B.1](#) geeft de componentnamen die in KiCad worden gebruikt. Voor de switches moeten eerst de juiste bibliotheken worden geladen. Ga naar **Preferences** > **Component libraries** en druk op de



**Figuur B.1:** Het knopje “Place Component” in KiCad.

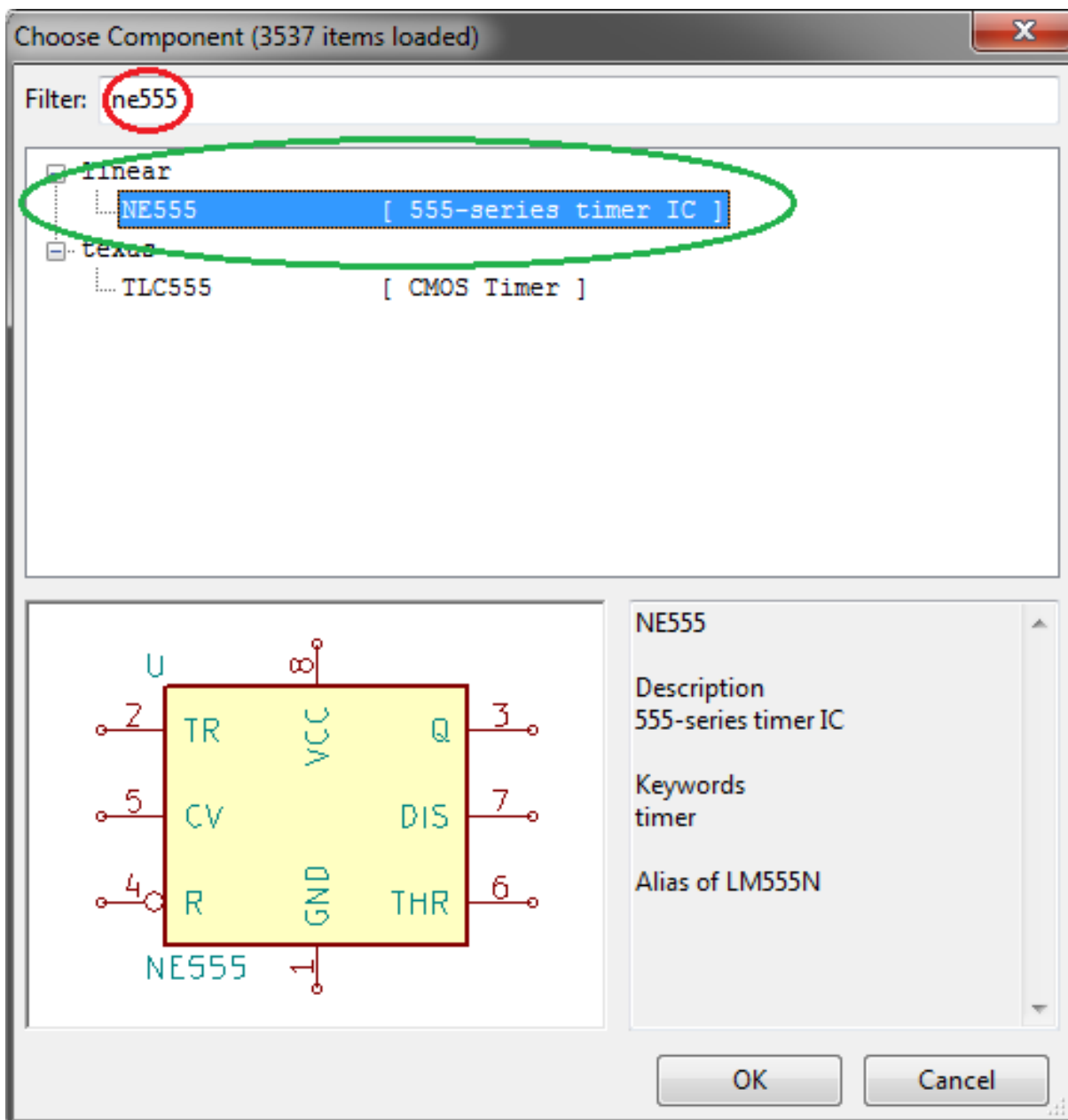
bovenste “Add” en selecteer “switches.lib”, zie [figuur B.3](#). Nu kun je de schakelaars vinden in het “Place Component” venster.

Een aantal componenten zijn geupdate door docenten. Deze symbol library is te downloaden via de wiki: [https://bitbucket.org/HR\\_ELEKTRO/ele10/downloads/ELE\\_lib.kicad\\_sym](https://bitbucket.org/HR_ELEKTRO/ele10/downloads/ELE_lib.kicad_sym)

Als je het schema van de complete schakeling af hebt laat het dan aftekenen bij een docent.

**Tabel B.1:** Componentnamen in KiCad

| Naam       | Component KiCad                                                 |
|------------|-----------------------------------------------------------------|
| LM317      | LM317T onder kopje <code>regul</code>                           |
| CD40xx     | 40xx onder kopje <code>cmos4000</code> of <code>cms_ieee</code> |
| Buzzer     | Buzzer onder kopje <code>device</code>                          |
| Knop       | SW_Push onder kopje <code>switches</code>                       |
| DIP switch | SW_DIP_x08 onder kopje <code>switches</code>                    |
| 74HC283    | 74LS283 onder kopje <code>74xx</code>                           |



**Figuur B.2:** De NE555 in KiCad.

## B.4 MSP-EXP430G2 Launchpad

De MSP430G2553 microcontroller is relatief eenvoudig te programmeren. Daarbij maken we gebruik van de MSP-EXP430G2 Launchpad, een goedkoop ontwikkelbordje voor de MSP430G2553 microcontroller welke je straks ook gaat gebruiken in het vak "Embedded Systems 1" (EMS10).

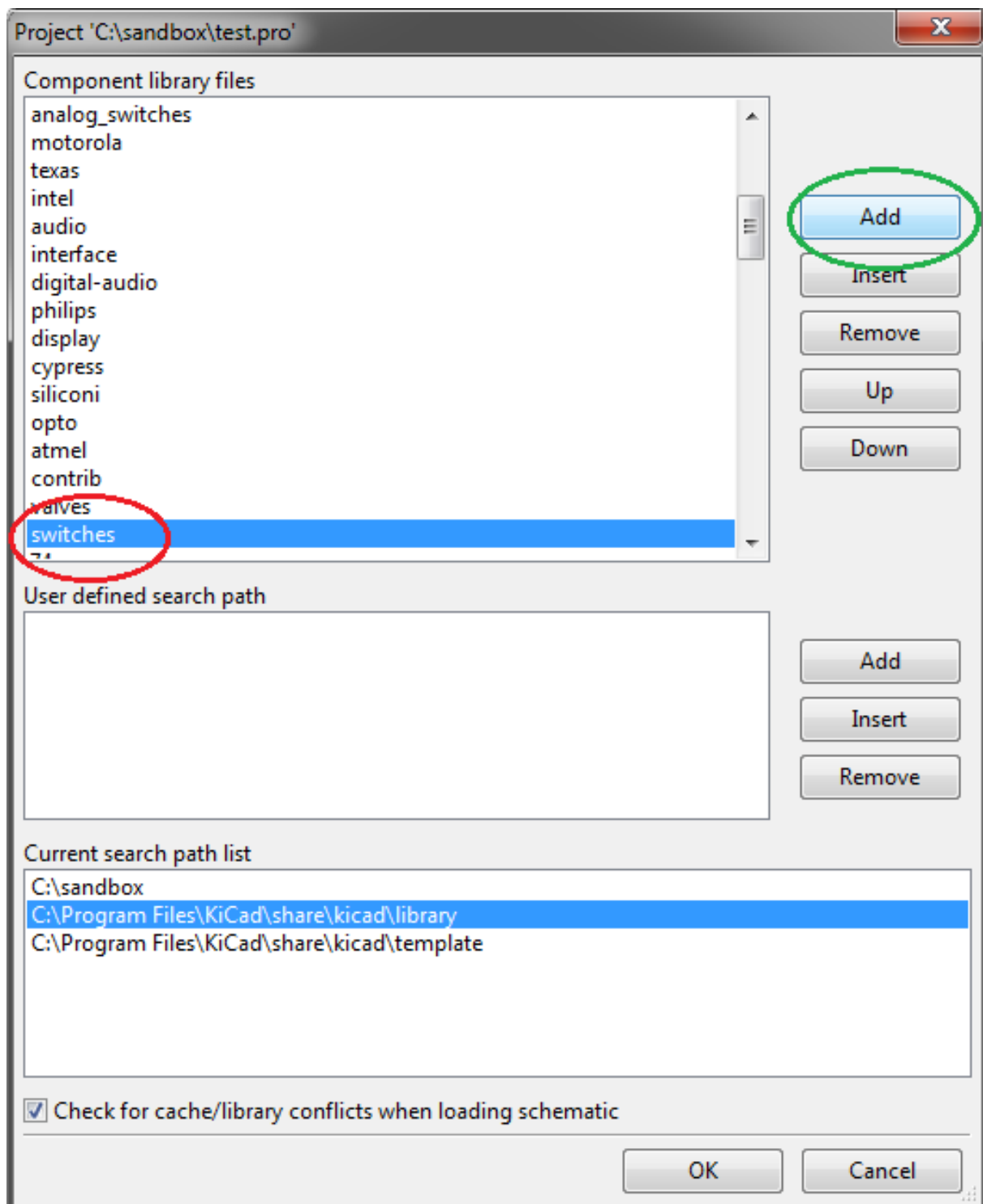
### Installatie Code Composer Studio

Op de schoolcomputers kan Code Composer Studio (CCS) geïnstalleerd worden via de "Liquit Workspace". Het kan wel een paar minuten duren voordat het programma start.

Thuis of op je laptop kun je CCS gratis downloaden van [http://processors.wiki.ti.com/index.php/Download\\_CCS](http://processors.wiki.ti.com/index.php/Download_CCS). Kies bij de installatie alleen voor "MSP430 ultra-low power MCU's". Een online handleiding is te vinden op: [https://software-dl.ti.com/ccs/esd/documents/users\\_guide/index.html](https://software-dl.ti.com/ccs/esd/documents/users_guide/index.html).

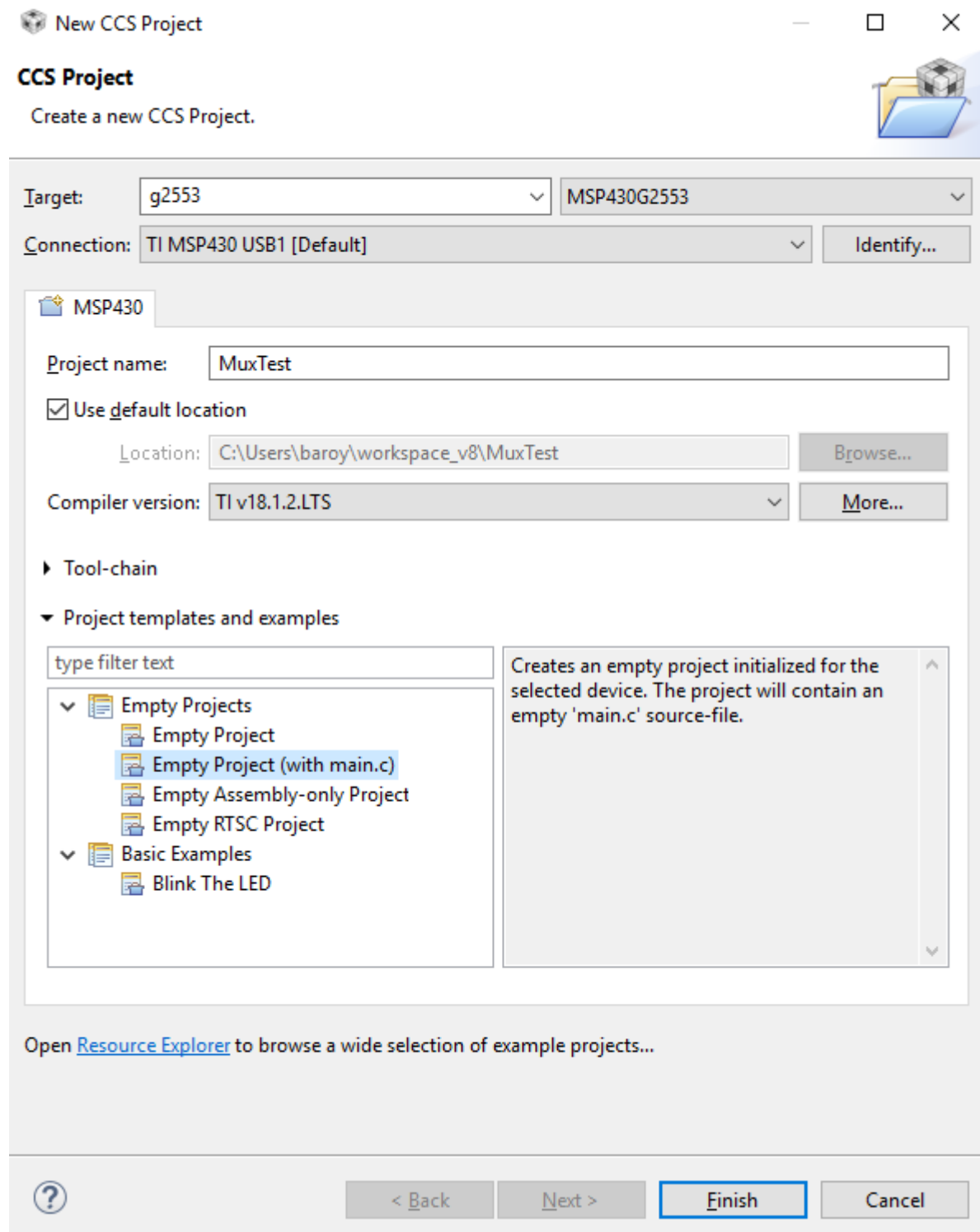
### CCS project maken en op microcontroller flashen

Als CCS is opgestart kun je de USB kabel met de computer verbinden. Kies hierna in CCS voor **File > New > Project...** en kies in het nieuwe venster voor "CCS Project" onder het kopje "Code Composer Studio" en klik op **Next**. Kies de instellingen zoals in [figuur B.4](#) en klik op **Finish**.



**Figuur B.3:** Switches.lib toegevoegd bij de component libraries

De beschrijving van het programma staat als commentaar in de code. Alle tekst tussen `/*` en `*/` en alle tekst na `//` tot het einde van de regel is commentaar (beschrijving van de code), de overige tekst is de daadwerkelijke code. Als er een code gemaakt is, kan deze programma inladen in de chip door op het knopje "Debug" te klikken. Als vervolgens op het knopje "Run" gedrukt wordt, zal de MSP-EXP430G2 Launchpad het programma gaan uitvoeren.

**Figuur B.4:** Project aanmaken in CCS