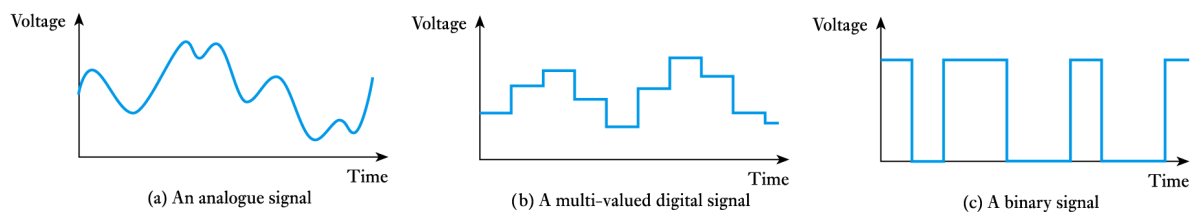


3 Digitale signalen en schakelaars³

Nu we weten hoe de slimme meter meet hoeveel energie we verbruiken, wordt het tijd om te onderzoeken hoe deze gegevens bij de SMU terechtkomen. Om de gegevens te versturen wordt gebruik gemaakt van digitale signalen. Je leert in dit hoofdstuk de beginselen van digitale signalen: binaire grootheden en logische schakelingen. Daarnaast bekijken we de schakelaar als component van de SMU. Om deze goed in beeld te brengen leer je een nieuw meetinstrument gebruiken: de oscilloscoop.

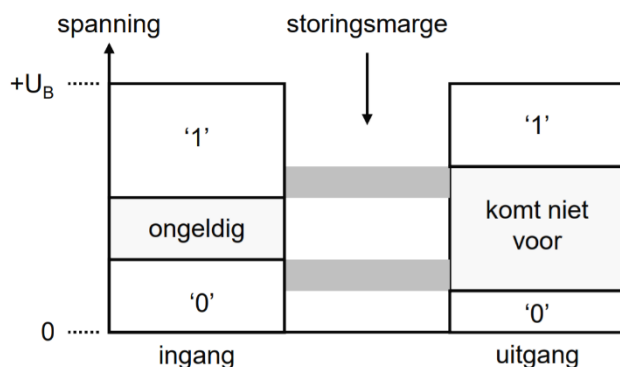
3.1 Binaire grootheden en eenheden

De gegevens die de slimme meter meet worden doorgegeven via elektrische signalen. Elektrische signalen zijn er in twee vormen: analoge en digitale signalen (zie Figuur 26). Analoge signalen zijn signalen die continu zijn, ze kunnen alle mogelijke waarden aannemen. Digitale signalen zijn discreet, hun waarde is beperkt tot een aantal vaste waarden. Het meest voorkomende digitale signaal is het binaire signaal. Dit signaal kan maar twee waarden aannemen: 0 en 1, dit noemen we 'logische waarden' of 'Booleaanse waarden'.



Figuur 26: Analoge en digitale signalen.

De binaire waarden 0 en 1 komen in praktijk overeen met een hoge en lage spanning. Hoe hoog of laag die spanning precies is hangt af van het component en kan je vinden in de datasheet. Typisch heeft een component een bepaald bereik aan spanningen waarin het de waarde van een input/output als logische 1 ziet en een bereik waarin het die als logische 0 ziet. Daar tussenin zit een soort bufferband, aangegeven in Figuur 27 met 'ongeldig/komt niet voor'.



Figuur 27: Breedte van de 'hoge' en 'lage' band.

³ De figuren en opdrachten uit dit hoofdstuk zijn gebaseerd op hoofdstuk 24 uit *Electronics, a systems approach*, Neil Storey, 6th edition.

THUISOPDRACHT 1:

Booleaanse waarden kunnen op verschillende manieren worden weergegeven, bijvoorbeeld 1/0. Vind nog 2 manieren om Booleaanse waarden weer te geven.

LABOPDRACHT 1:

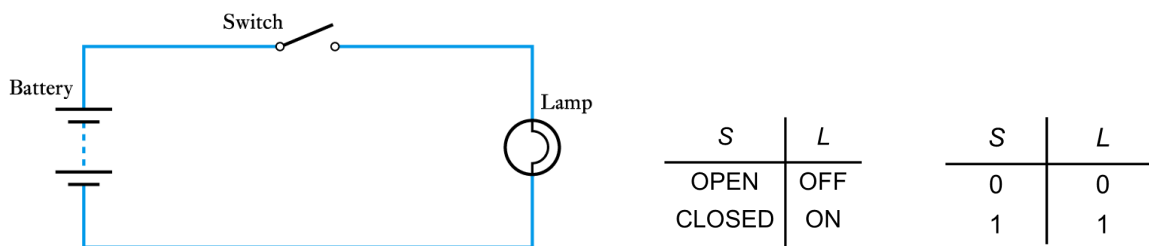
- Zoek in de datasheet van de microcontroller op hoe hoog de **output**spanning van de I/O pinnen is bij een logische '1' en bij een logische '0'. Tip: je kunt dit vinden onder de 'I/O pin characteristics'. De microcontroller wordt gevoed met 3.3V
- Doe hetzelfde voor de **input**spanning.
- Stel nu dat de voedingsspanning (V_{DD}) 3.3V is en je zet 1V op een input pin van de microcontroller, is het dan duidelijk dat dit een laag signaal (dus een '0') is?

De grenzen voor wanneer een spanning als '0' of '1' gezien wordt zijn niet voor alle componenten hetzelfde.

- Zoek op wanneer de decoder voor het 7-segmentsdisplay (HEF4511) een input als '1' en '0' ziet en hoe hoog de uitgangsspanning is voor een logische '1' en een logische '0'. Ga uit van een voedingsspanning van 5V.

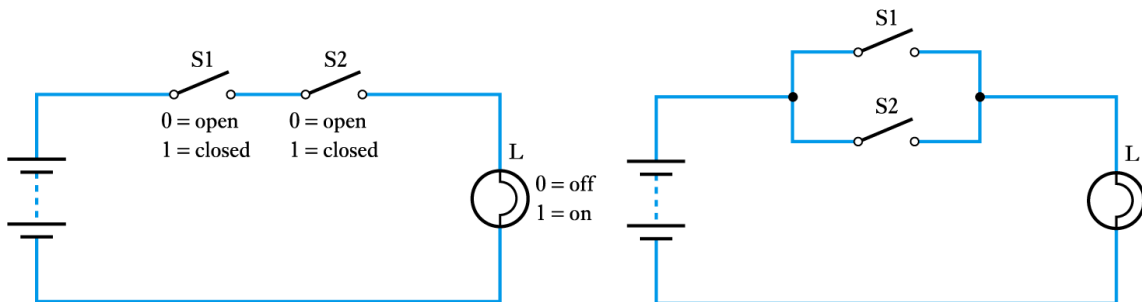
3.2 Schakelen met binaire variabelen

De meest eenvoudige binaire schakeling die je kunt maken is die van een schakelaar met een lampje, zoals hieronder schematisch weergegeven. Naast het schema staat een *waarheidstabel*. In deze tabel staan aan de linkerkant alle mogelijke waarden die de input van het systeem kan aannemen (in dit geval de schakelaar S die open kan zijn of dicht) en aan de rechterkant de output die bij de toestand van de input hoort (de lamp L). De volgorde van de input toestanden is in oplopende binaire waarde (zie paragraaf 4.2.1.).



Figuur 28: Eenvoudige binaire schakeling met één variabele.

De functionaliteit van een schakeling met maar één schakelaar is heel beperkt. Om deze uit te breiden kunnen we schakelaars toevoegen en de manier waarop we deze in de schakeling plaatsen (in serie of parallel) gaan variëren:



Figuur 29: Digitale schakeling met twee variabelen, in serie (links) en parallel (rechts) geplaatst.

In de serieschakeling zal de lamp gaan branden als schakelaar 1 EN schakelaar 2 gesloten zijn. We kunnen dit verkort opschrijven door: $L = S1 \text{ AND } S2$. In de parallelschakeling gaat de lamp branden als schakelaar 1 OF schakelaar 2 gesloten is: $L = S1 \text{ OR } S2$. Deze AND en OR functies worden veel gebruikt om schakelingen te beschrijven, we noemen deze functies 'logische functies'. Bij het opstellen van deze functies gelden een aantal rekenregels:

1. Wanneer er haakjes zijn gebruikt wordt eerst het stuk tussen de haakjes uitgevoerd.
2. AND-operaties gaan voor OR-operaties.

THUISOPDRACHT 2:

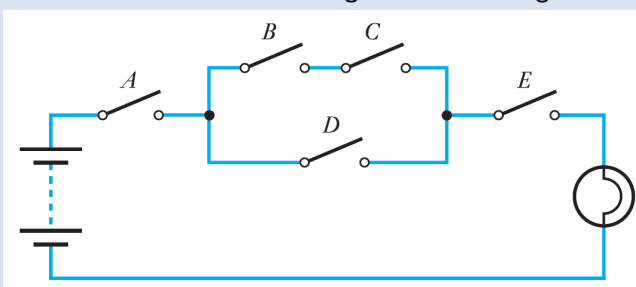
a) Vul de waarheidstabel aan voor een **serieschakeling** van twee schakelaars met een lampje.

S1	S2	L
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

b) Stel de waarheidstabel op voor een **parallelschakeling** van twee schakelaars met een lampje.

c) Stel dat we een waarheidstabel zouden moeten opstellen voor een systeem met 3 inputs. Hoeveel regels heeft de waarheidstabel dan? (Dus hoeveel mogelijke combinaties van inputwaarden?)

d) Leid een functie af die de volgende schakeling beschrijft met AND en OR operaties:



LABOPDRACHT 2:

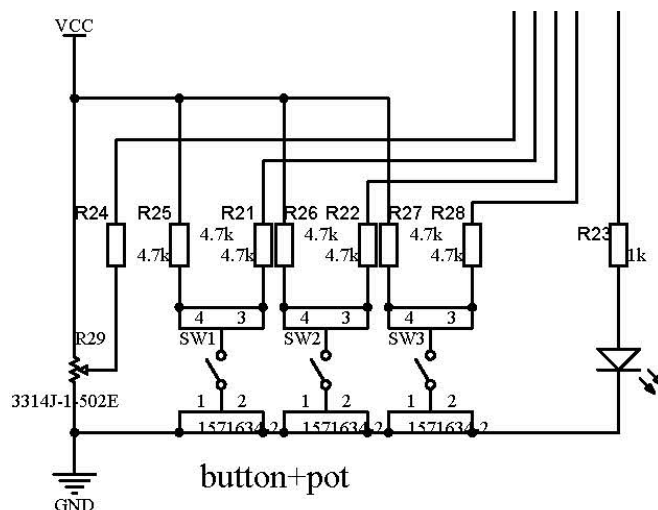
- Teken een schakeling met voeding, lamp en een aantal schakelaars die de volgende functie heeft: $L = S1 \text{ AND } S2 \text{ OR } S3$.
- Stel de waarheidstabel op van deze schakeling.
- Bouw de schakeling op je breadboard en laat zien dat de waarheidstabel klopt (vergeet niet de voorschakelweerstand voor je LED!). Gebruik een voedingsspanning van 5V.
- Meet de spanning over de LED.
- Meet de spanning over de voorschakelweerstand.
- Meet de stroom door de LED.
- Meet de stroom door de voorschakelweerstand.

3.3 Schakelaars op de SMU

In de paragraaf hiervoor beschreven we schakelaars om logische functies te maken. Uiteraard kan je schakelaars ook gebruiken om iets rechtstreeks aan of uit te zetten. Dat is het geval voor de schakelaars op de SMU. Wanneer schakelaars op deze manier worden toegepast in een elektrische schakeling, moet aan een aantal dingen gedacht worden: pull-up/pull-down weerstanden en contact dender bijvoorbeeld. Als dit vergeten wordt kan dat zorgen voor ongewenst gedrag van je schakeling!

3.3.1 Pull-up/pull-down weerstand

Op de SMU zitten een aantal schakelaars, hieronder zie je ze in een ingezoomd deel van het SMU schema:



Figuur 30: SMU schema ingezoomd op schakelaars.

Zoals je ziet is de ene kant van de schakelaar verbonden met de GND, en de andere kant met de ingang van de microcontroller. Dat betekent dat als de schakelaar wordt ingedrukt de GND wordt doorverbonden met de ingang van de microcontroller en deze zal dan een logische '0' uitlezen. Maar wat nou als je *niet* op de schakelaar drukt. Dan zweeft de ingang! Dit kan voor een boel onvoorspelbaar gedrag zorgen. Daarom wil je ook in de situatie dat de schakelaar niet wordt ingedrukt voor een gedefinieerd spanningsniveau zorgen. Je zou de ingang met de voedingsspanning kunnen verbinden maar dan maak je een kortsluiting zodra je op de schakelaar drukt. Een elegante manier om dit op te

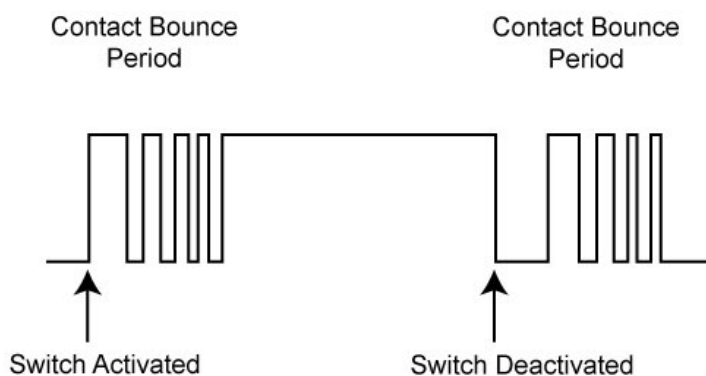
lossen is door een weerstand toe te voegen tussen de ingang en de voedingsspanning: de pull-up weerstand. Deze zorgt dat, als je niet op de schakelaar drukt, de ingang toch een logische '1' ziet. Je kunt je voorstellen dat naast de pull-up ook een tegenhanger is die op de GND wordt aangesloten. Dat noemen we de pull-down weerstand.

THUISOPDRACHT 3:

- Teken een schema van een schakelaar met juist aangesloten pull-up weerstand.
- Teken een schema van een schakelaar met juist aangesloten pull-down weerstand.

3.3.2 Contactdender

Nog een vervelend fenomeen waar je mee te maken kunt krijgen is *contactdender*. De schakelaar sluit niet instantaan, maar is een mechanisch contact. Deze kan vervuilen en daardoor niet meteen het juiste signaal geven maar eerst in een wisselende toestand terecht komen. Door het toepassen van filtering (in hardware of software) kun je deze contactdender onderdrukken.

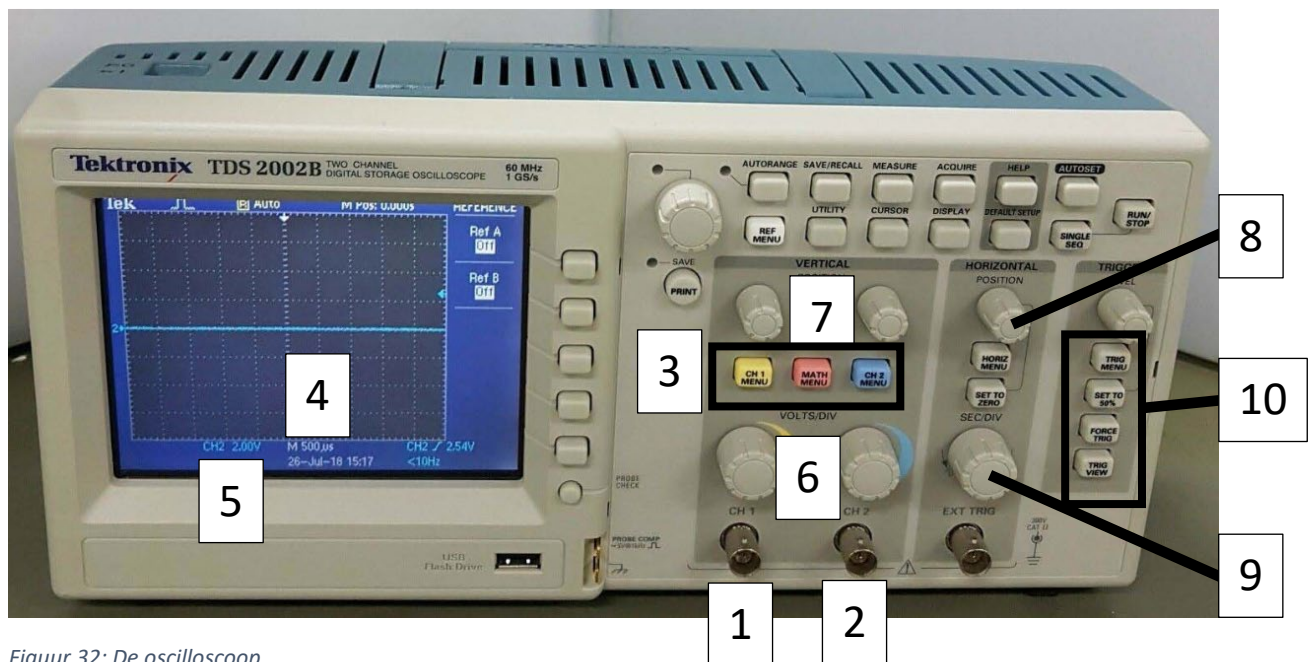


Figuur 31: Contactdender.

Om digitale signalen te kunnen meten hebben we vorige week gebruik gemaakt van de digitale multimeter. De multimeter die we hebben gebruikt is een nauwkeurig meetinstrument maar geeft alleen de huidige waarde weer. Om het gedrag van signalen in de tijd zien (bijvoorbeeld contactdender), maak je gebruik van een ander meetinstrument: de oscilloscoop.

3.4 Lab-apparatuur: de oscilloscoop

De oscilloscoop geeft een grafische weergave van een signaal. Op het scherm van de oscilloscoop zie je twee assen. De verticale as geeft de amplitude van het signaal, oftewel de spanning. De horizontale as heeft de tijd weer. Net als de multimeter meet de oscilloscoop een potentiaalverschil. Sluit dus beide meetpunten aan op je schakeling. Meestal meet je t.o.v. GND. De oscilloscoop kent veel mogelijkheden en dus veel knoppen. Dat mag je niet weerhouden om dit apparaat te gebruiken! Het is een prachtig meetinstrument die je gaat helpen het gedrag van je schakeling na te meten. Laten we de belangrijkste knoppen nalopen.



Figuur 32: De oscilloscoop.

1. CH1: Coaxiale aansluiting voor meetkanaal 1 (channel 1). Je sluit hier een coax-kabel^{4,5} aan waarmee je je meting gaat uitvoeren. Kies een kabel met aan de ene kant de coax aansluiting, zodat deze op het meetkanaal kan worden aangesloten, en aan de andere kant bijvoorbeeld krokodillenklemmetjes⁶, of pluggen waar je klemmetjes op aan kan sluiten.
2. CH2: Coaxiale aansluiting voor meetkanaal 2.
3. Selectieknoppen om kanaal 1, kanaal 2, of kanaal 1 en 2 op het scherm weer te geven. Verder kun je het zogenaamde Math menu gebruiken. Hiermee kun je verschillende analyses op de meetresultaten uitvoeren. Hier komen we later op terug.
4. Op het scherm, onder nummer 4, staat aangegeven wat de tijdschaal op de x-as is: in dit geval 500µs. Elk vakje op de x-as heeft dus een lengte van 500µs. Het scherm bevat van links naar rechts 10 vakjes, dus $10 \times 500\mu s = 5ms$.
5. Op het scherm, boven nummer 5, staat aangegeven wat de schaal van de y-as is: 2.00V. Elk vakje is in hoogte dus 2.00V. In totaal kan je op dit scherm 8 hokjes = 16.00V weergeven. De streep staat op 0, dus -8.00 tot +8.00V.
Je ziet hier ook aangegeven dat CH2 is geselecteerd. Dit kan je ook aan de blauwe kleur van de gemeten waardes zien (CH1 is geel).
6. VOLTS/DIV: Hiermee stel je in hoeveel volt ingangssignaal er in 1 hokje past op de verticale as. Stel je moet een spanning meten van 4 V dan kun je 1 V/div of zelfs 500 mV/div gebruiken.
7. Vertical position: Links en rechts van nummer 7 bevinden zich draaiknoppen om de nullijn van de twee meetkanalen omhoog of omlaag te schuiven.
8. Horizontal position: Met deze knop kan je het signaal naar links of naar rechts verschuiven op het scherm.
9. SEC/DIV. Hiermee kan je de tijdschaal, het aantal seconden per vakje (per divisie) aanpassen.

⁴ [Coax kabels](#)

⁵ [BNC naar BNC coax kabel 50 Ohm \(elishop.nl\)](#)

⁶ [Coax kabel 1m - BNC male + 2 krokodillen klemmen - Opencircuit](#)

10. Trigger menu: Bij het bovenstaande is er vanuit gegaan dat het signaal stil staat. Wanneer er sprake is van een wisselspanning, dan beweegt deze op het scherm. Het bewegende plaatje is moeilijk af te lezen. Het trigger menu geeft meerdere opties om het beeld stil te zetten.

3.4.1 Instellen van VOLT/DIV en SEC/DIV

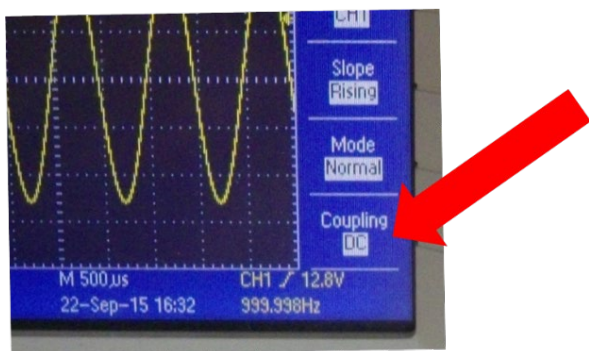
Denk eerst na wat je verwacht te zien op de oscilloscoop. Het komt regelmatig voor dat er aan de knoppen wordt gedraaid in de hoop een signaal in beeld te krijgen terwijl de oscilloscoop niet juist aangesloten is. Laten we een voorbeeld gebruiken:

Stel ik wil een sinusvormig signaal in beeld brengen met een amplitude van 3 V en een frequentie van 1 kHz: hoe stel ik de oscilloscoop in?

Een amplitude van 3V betekent: 3V boven, en 3V onder de nullijn. Er zijn verticaal 8 hokjes beschikbaar: dat betekent dat de oscilloscoop op 1 V/div moet staan. Er worden dan 6 hokjes “gebruikt” voor het weergeven. De frequentie is 1 kHz: 1 periode duurt dus $T = 1/f = 1 / 1000 = 1 \text{ ms}$. Horizontaal zijn 10 hokjes beschikbaar: om een hele periode in beeld te krijgen moet de oscilloscoop dus op 100 $\mu\text{s}/\text{div}$ staan. Dan past verticaal precies een hele periode op het scherm.

3.4.2 Coupling AC/DC/GND

Behalve de fysieke knoppen die hiervoor staan uitgelegd zijn er ook nog een aantal instellingen beschikbaar op het scherm van de oscilloscoop. ‘Coupling’ is daar een belangrijke van. Het instellen van de coupling wordt gedaan door herhaaldelijk te drukken op de knop naast de weergave van coupling op het display.



Er zijn 3 mogelijkheden:

- GND kun je gebruiken om de positie van de nullijn in te stellen
- **DC** is de meest gebruikte en dus ‘standaard’ instelling. Bij deze instelling wordt het signaal één op één doorgegeven naar het scherm. Dit geldt zowel voor de gelijkspannings- als de wisselspanningscomponent van het signaal.
- AC gebruik je als je alleen een wisselspanningscomponent wilt meten van een signaal dat ook een gelijkspanningscomponent heeft.

3.4.3 Triggering

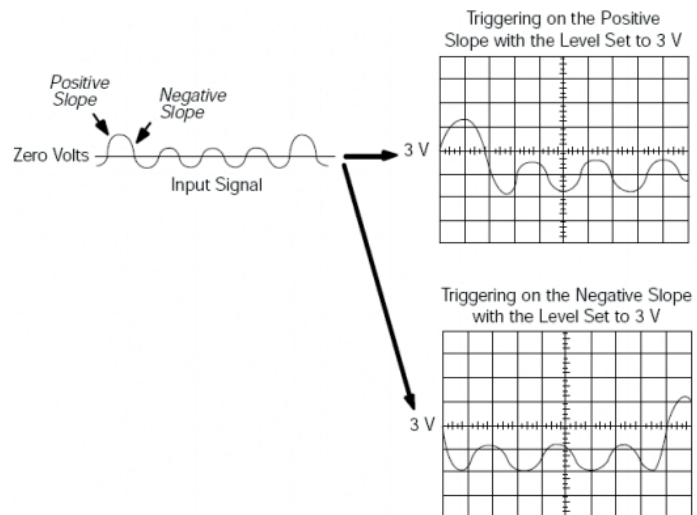
Wanneer je een signaal meet dat niet constant in de tijd is, zal het over je beeldscherm verspringen of bewegen. Om dit te voorkomen, en dus te zorgen dat je beeld stilstaat, kun je een trigger instellen. Deze trigger zorgt ervoor dat een bepaald punt in je meetsignaal telkens op dezelfde plek op je scherm wordt weergegeven. In het geval van de sinus betekent dat dat je sinus elke keer op hetzelfde punt begint en dat je beeld dus stil komt te staan.

Kijk voor een eerste indruk van triggering eens naar de eerste 2,5 minuut van deze video:

<https://www.tek.com/how-to/how-to-set-up-oscilloscope-triggering-part-1-edge-triggering>

Hoe de oscilloscoop triggert kan je instellen met de knoppen onder nummer 10 in Figuur 32.

Typisch trigger je op een opgaande (positieve) of neergaande (negatieve) helling en kan je de hoogte van het triggerpunt instellen met de draaiknop boven nummer 10 in Figuur 32.



LABOPDRACHT 3:

Op de oscilloscoop zit een testpunt (rechtsonder het scherm: Probe Comp) welke een blokvormig signaal geeft met een frequentie van 1 kHz en een spanning van 5V.

- Bereken hoe je de oscilloscoop moet instellen om dit signaal goed in beeld te krijgen. Bereken de juiste VOLTS/DIV en SEC/DIV instellingen.
- Stel de oscilloscoop in op de waarden die je bij a) hebt bepaald.
- Verbind de ingang van het eerste kanaal met dit testpunt en controleer je instelling.
- Maak eventueel gebruik van triggering om te zorgen dat het beeld stil staat. Neem een screenshot op in je logboek.

LABOPDRACHT 4: CONTACTDENDER

Je krijgt een schakelaar uitgereikt waarvan je de contactdender gaat meten.



- Geef in een schema aan hoe je de schakelaar en de meetapparatuur moet aansluiten voor deze meting en bouw de schakeling op je breadboard.
- Stel de oscilloscoop juist in. Gebruik een geschikte triggering van de oscilloscoop (slope = rising, trigger-coupling = DC, indien nodig met "single seq" toets). Begin de meting met een instelling voor de sec/div. van 500 μ s en pas dit indien nodig aan. Teken het signaal (of neem een screenshot van de oscilloscoop) in het labjournaal en verklaar wat je ziet!

3.5 Logische poorten

Terug naar het gebruik van schakelaars voor logische functies. We hebben in paragraaf 3.2 gezien dat je met schakelaars logische functies, zoals een AND en OR functie, kunt maken. Behalve de AND en de OR bestaat er nog een elementaire functie: de NOT functie. Deze drie functies samen zijn de basisfuncties voor digitale logica. Je kunt ze combineren om weer andere functies te maken. Hiermee kunnen we een set elementen opstellen waarmee we één of meer binaire signalen om kunnen zetten naar een gewenste output. Deze elementen heten logische poorten. Wat elke poort precies doet staat omschreven in zijn **waarheidstabel**. Elke poort heeft zijn eigen **symbool**, waardoor je ingewikkelde logische functies kunt opstellen in een logisch schema. Daarnaast kan de functie van een logische poort woorden weergegeven met een **wiskundige notatie**. Zo kan je wiskunde uitvoeren met binaire variabelen, de zogenaamde Booleaanse algebra (hiermee gaan we volgende week verder).

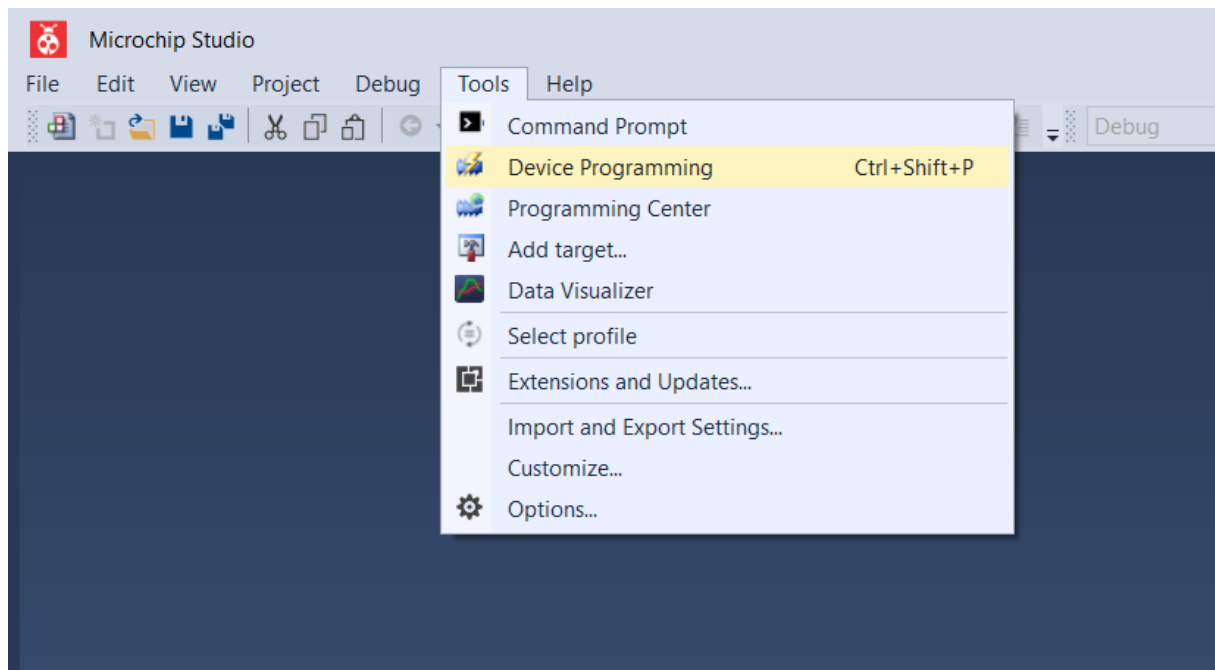
THUISOPDRACHT 4:

Vul de volgende tabel aan zodat je een overzicht krijgt van alle logische poorten. Zorg dat je deze poorten kent, we gaan er volgende week mee verder!

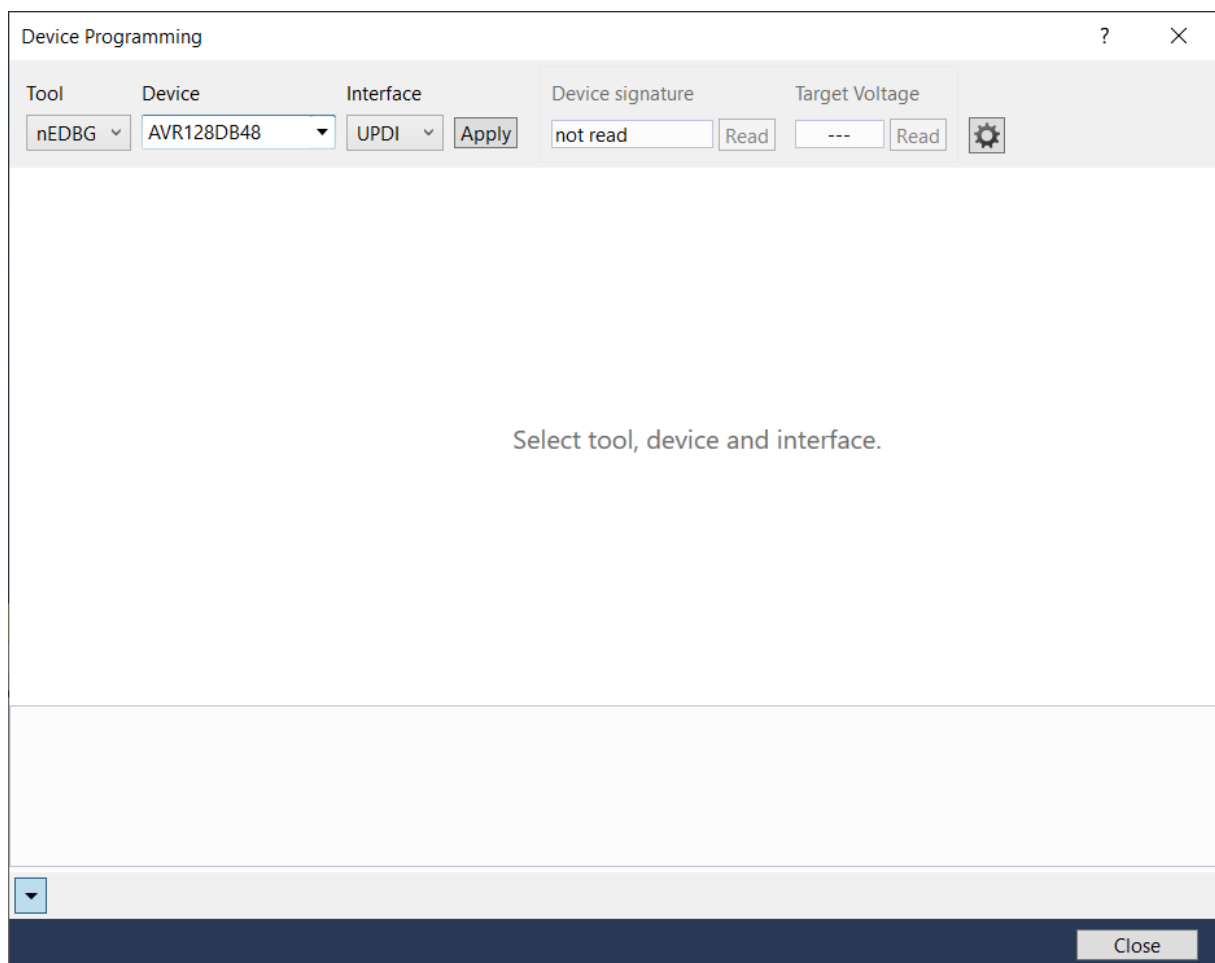
Functie	Symbool (IEEE)	Symbool (IEC)	Booleaanse uitdrukking	Waarheidstabel															
NOT																			
AND																			
OR			$C = A + B$	<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	A	B	C	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
A	B	C																	
0	0	0																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	1																	
NAND																			
NOR																			
EXOR																			
EXNOR																			

3.6 Logische poorten in de SMU

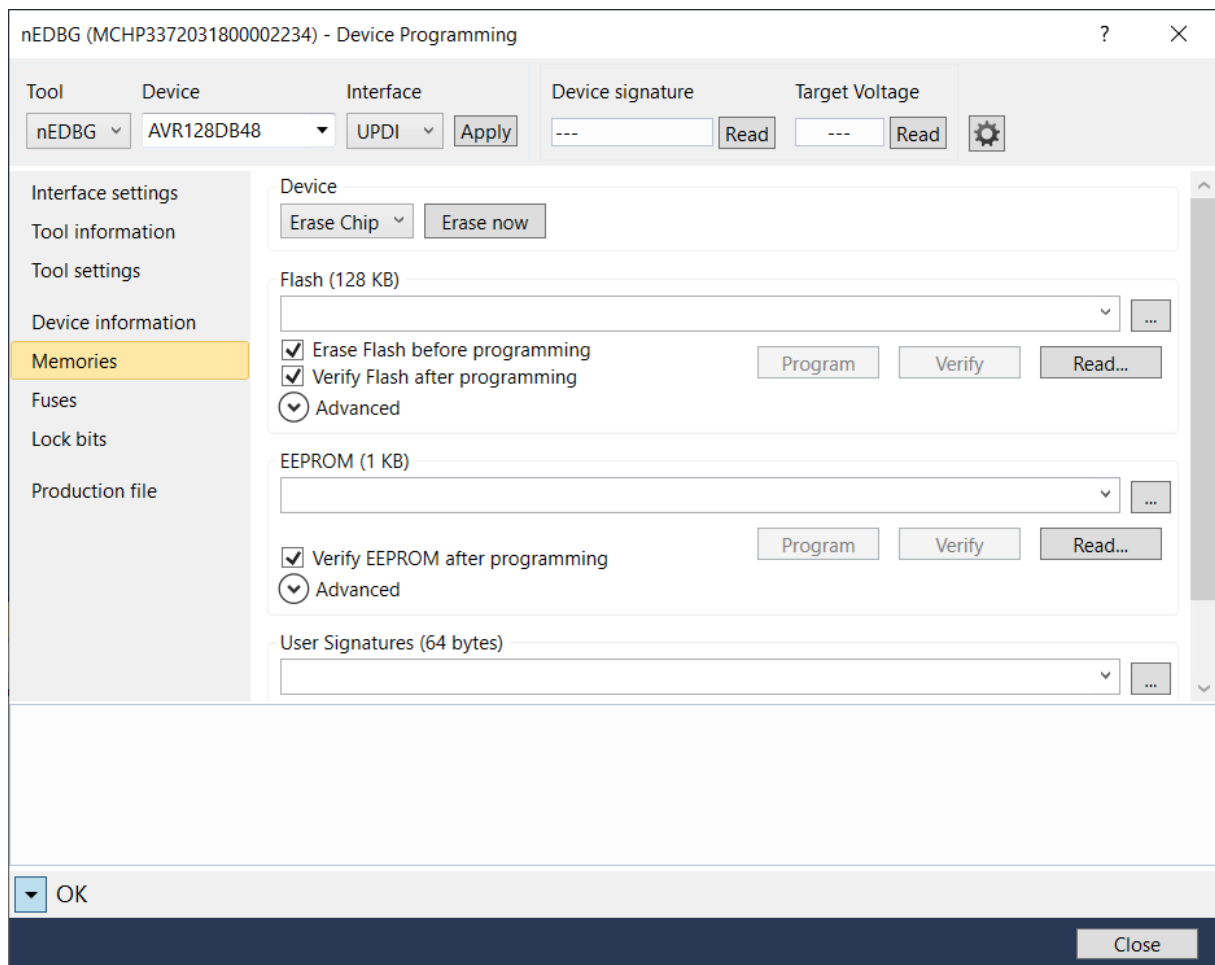
Als je in het schema van de SMU kijkt zie je al dat er geen logische poorten op de print zitten. Toch kunnen we wel een aantal proeven doen. De logische poorten kunnen ook in een stukje software worden gemaakt. Dit heet een *programma*. Een programma kun je zelf schrijven: dit ga je zien in hoofdstuk 5 van deze reader. Voor nu ga je kant en klare programma's gebruiken die je als hex bestand op de ELO ziet staan. Hoe krijg je een dergelijk programma in de SMU geladen? Daarvoor ga je een tool gebruiken die *Microchip Studio* heet (download deze via [microchip.com](https://www.microchip.com), of volg de link die je op Brightspace vindt). Als je deze tool opstart en je hebt de SMU verbonden via de USB poort kun je een programma inladen. Kies daarvoor de optie Tools -> Device Programming.



Kies vervolgens als tool de EDBG programmer en kies Apply



In het tabblad Memories kun je nu het geheugen van de microcontroller overschrijven. Selecteer de file met de knop “...” onder Flash en kies Program om deze in de microcontroller te laden. Je programma start na het inladen automatisch.



LABOPDRACHT 5: PROGRAMMA'S IN DE SMU

- Er staan een aantal kant en klare programma's (CombiLogic 1 t/m 6) op ELO waarin verschillende logische poorten zijn geprogrammeerd. Aan jou de taak om vast te stellen welk programma welke logische poort beschrijft. De drie schakelaars op de SMU vormen steeds de drie ingangen van de poort en de LED aan de rechterkant van de printplaat is de uitgang. Laad de programma's stuk voor stuk in de SMU, maak voor de verschillende programma's een waarheidstabel en benoem welke logische poort dit is.
- Laad de drie verschillende flash.hex programma's in de SMU en meet met de oscilloscoop de frequentie waarmee de LED knippert. Meet met de cursor op de oscilloscoop hoelang de LED aan en uit is.