

2022-2023 v.1

Fredrik Creemer
Opleiding Mechatronica

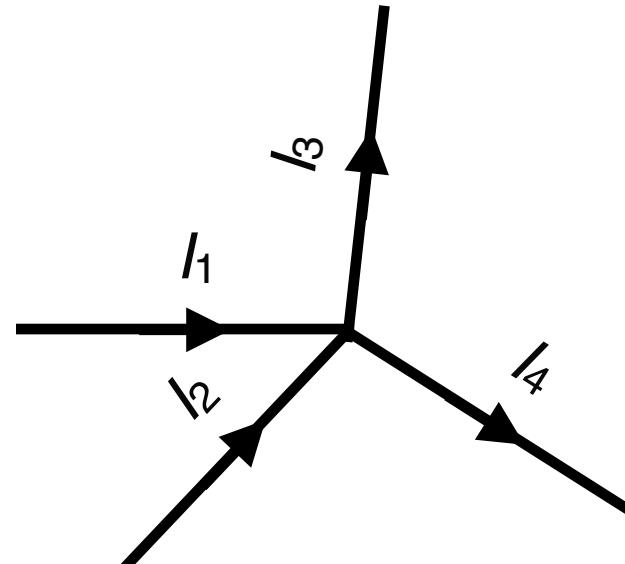
ELEKTRISCHE NETWERKEN DC

Week 2 – Weerstanden en schakelaars

DE HAAGSE
HOOGESCHOOL

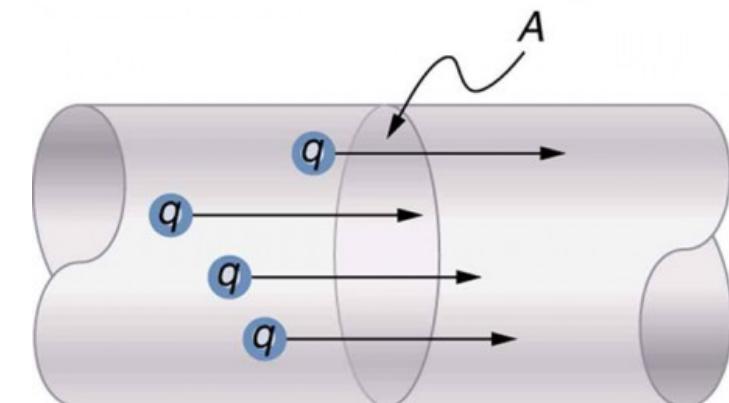
Vorige week

1. Doel en opzet van het vak
2. Elektrische lading
3. Stroom en spanning
4. Ideale bronnen
5. De ideale draad
6. Knooppunten, takken en mazen
7. *De wetten van Kirchhoff*
8. *Ideale meters*



Fredrik Creemer

<https://courses.lumenlearning.com/physics/chapter/20-1-current/>



www.fluke.com

Vragen?



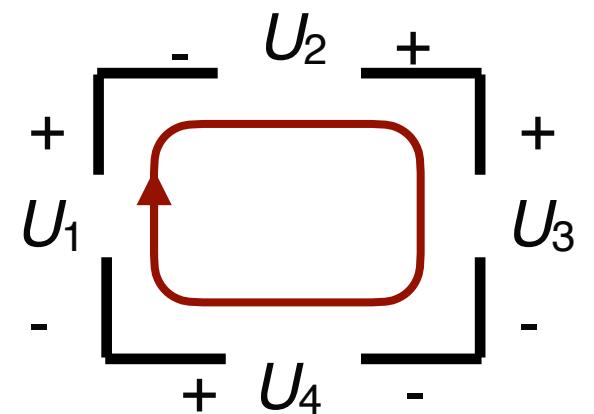
Herhaling: Spanningswet van Kirchhoff

Rond een maas is de som van de spanningsverschillen nul.

- Voorbeeld hiernaast:
 - We lopen een rondje rechtsom.
 - Van min naar plus geeft een positieve spanning.
 - Van plus naar min dus een negatieve spanning.

$$+U_1 + U_2 - U_3 + U_4 = 0$$

- Engels: Kirchhoff's Voltage Law, **KVL**.



Getallen voorbeeld

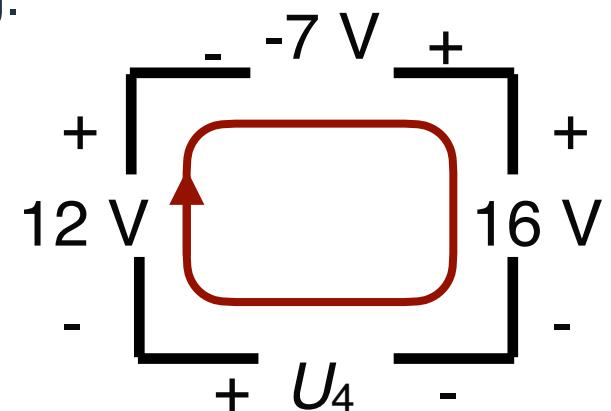
- Bijna alle bronnen zijn nu bekend. Maar wat is U_4 ?
 - We lopen een rondje rechtsom.
 - Van min naar plus geeft een positieve spanning.
 - Van plus naar min andersom.
- ‘Boekhouden’:

$$+12 + -7 - 16 + U_4 = 0$$

- Isoleren:

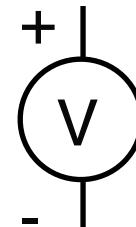
$$+U_4 = -12 + 7 + 16$$

$$U_4 = 11 \text{ V}$$



Herhaling: Ideale spanningsmeter

- Symbool:



- Hoofdeigenschap:

Laat het spanningsverschil zien tussen zijn twee ingangen.

- Neveneigenschappen:

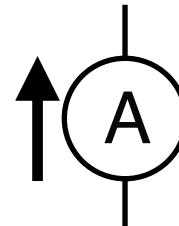
- De interne weerstand is oneindig groot.
- Dat wil zeggen: Er loopt **nul stroom** door de meter.
- Dat wil zeggen: de meter gedraagt zich als een **open tak**.

+ |
V
- |

- Aansluiting: tussen twee knooppunten, dus parallel.

Herhaling: Ideale stroommeter

- Symbool:

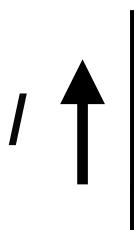


- Hoofdeigenschap:

Laat de stroom zien die door de meter loopt.

- Neveneigenschappen:

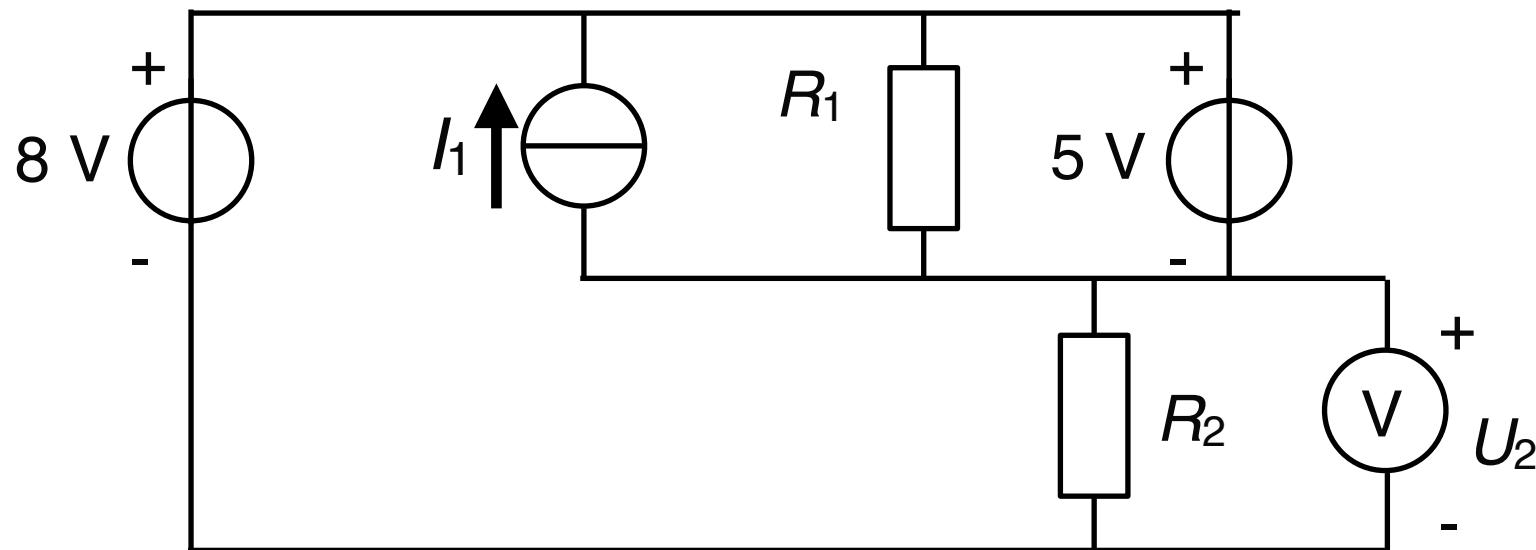
- De interne weerstand is nul.
- Dat wil zeggen: Er staat **nul spanning** over de meter.
- Dat wil zeggen: de meter gedraagt zich als een **ideale draad**.



- Aansluiting: in een tak, dus in serie.

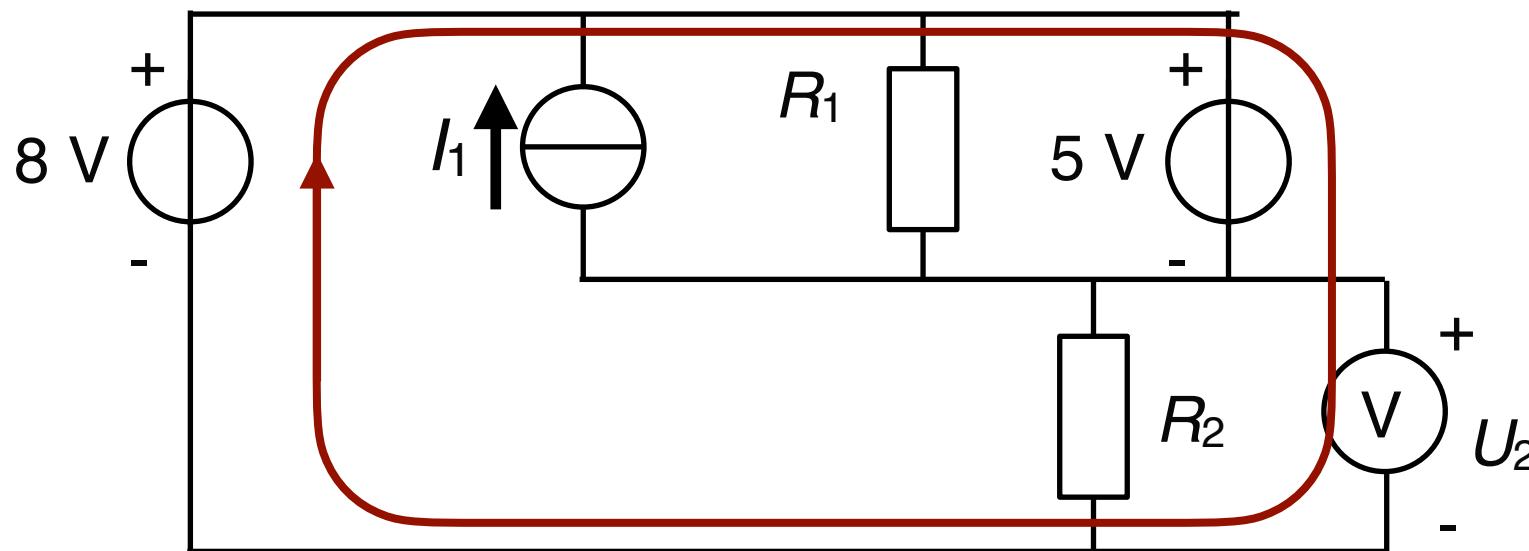
Quizvraag

- Bereken de spanning U_2 .



Quizvraag - antwoord

- Bereken de spanning U_2 .



- Kies de maas buitenom. Want daarvan ken je twee van de drie spanningen.
- KVL rechtsom:

$$+8 - 5 - U_2 = 0$$

- Onbekende isoleren:

$$+U_2 = +8 - 5$$

- Uitrekenen:

$$U_2 = 3 \text{ V}$$

Onderwerpen van deze week

1. Elektrisch vervangingsschema microcontroller
2. Weerstand en de wet van Ohm
3. Het uitwerken van berekeningen
4. Schakelaars
5. Transistors
6. H-brug

Plek in de Leerdoelen van deze module:

Leerdoel	We-ging
<i>Na bestudering van het vak hoor je het volgende te kunnen:</i>	
Berekenen van de spanningen en stromen in een netwerk met spanningsbronnen, stroombronnen, weerstanden en schakelaars.	15%
Berekenen van vervangingsweerstanden: serie- en parallelschakelingen.	15%
Tekenen en dimensioneren van netwerkjes rond een microcontroller: schakelen van stroom met een H-brug, schakelen van spanning via een pull-upweerstand, begrenzing van de stroom door een LED.	15%
Doorrekenen van spanningsdelers en stroomdelers.	15%
Berekenen van vermogensoverdracht en rendement.	15%
Doorrekenen van netwerken via Norton- en Thévenin-equivalenten.	15%
Doorrekenen van netwerken via superpositie.	10%

Huiswerk

- Slides leren.
- Lesboek leren.
- Quizzen in Möbius maken.
- Practicumopdrachten maken en inleveren.
- Zie:

Modulebeschrijving 2020 · Elektrische Netwerken · DC · (ME-ELNET-19)			
Studie: Mechatronica · Verantwoordelijk docent: Fredrik Creemer			
Opbouw onderwijsseenheid			
Semester.Blok: P1.1	Studiepunten	Studiebelasting	Contacturen per week
2	Theorie: 35 uur	2	Schriftel
	Practicum: 21 uur	2	Ondrach

Vragen?



Onderwerpen van deze week

1. Elektrisch vervangingsschema microcontroller
2. Weerstand en de wet van Ohm
3. Het uitwerken van berekeningen
4. Schakelaars
5. Transistors
6. H-brug

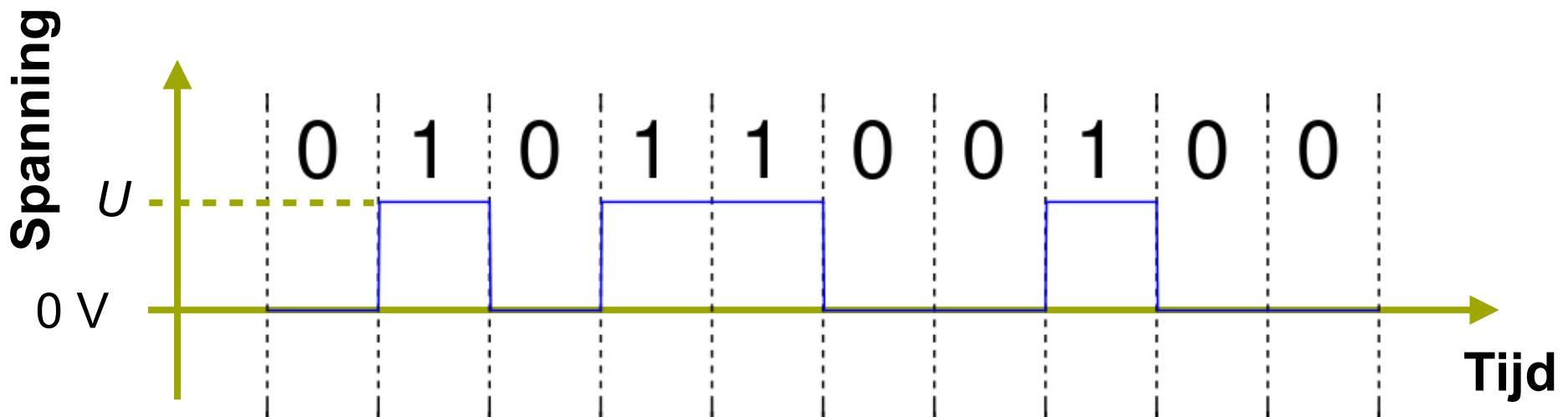
Microcontroller van buitenaf

- Een microcontroller is een klein computertje.
- Het draait programma's in een oneindige lus.
- Het leest waarden in, op de ingangspinnen.
- Het schrijft waarden weg, naar uitgangspinnen.
- De waarden zijn gecodeerd als logische spanningsniveaus.



Codering van signalen

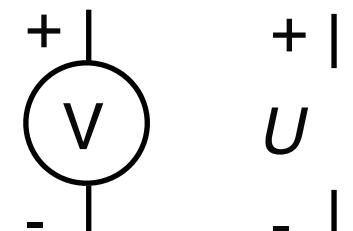
- Digitale logische spanningen:
 - “0” = “laag” = 0 V
 - “1” = “hoog” = U
 - U is een spanning. Traditioneel $U=5$ V. Tegenwoordig vaak 3,3 V.



Inputs netwerktechnisch

01100011
000100110
⋮
110000110

In1
In2
⋮
Inm

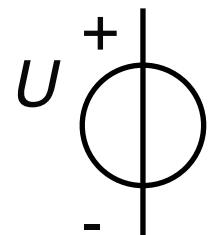


- **Inputs** kun je zien als **spanningsmeters**.
- Die hebben zeer hoge ingangsweerstand (open klemmen).
- Digitale inputs: interpreteren een spanning als een “0” of “1”.
- Analoge inputs: interpreteren spanning tussen laag en hoog als een groter getal.
- (10-bits? dan 1024 niveaus, tussen 0 en 1023.)

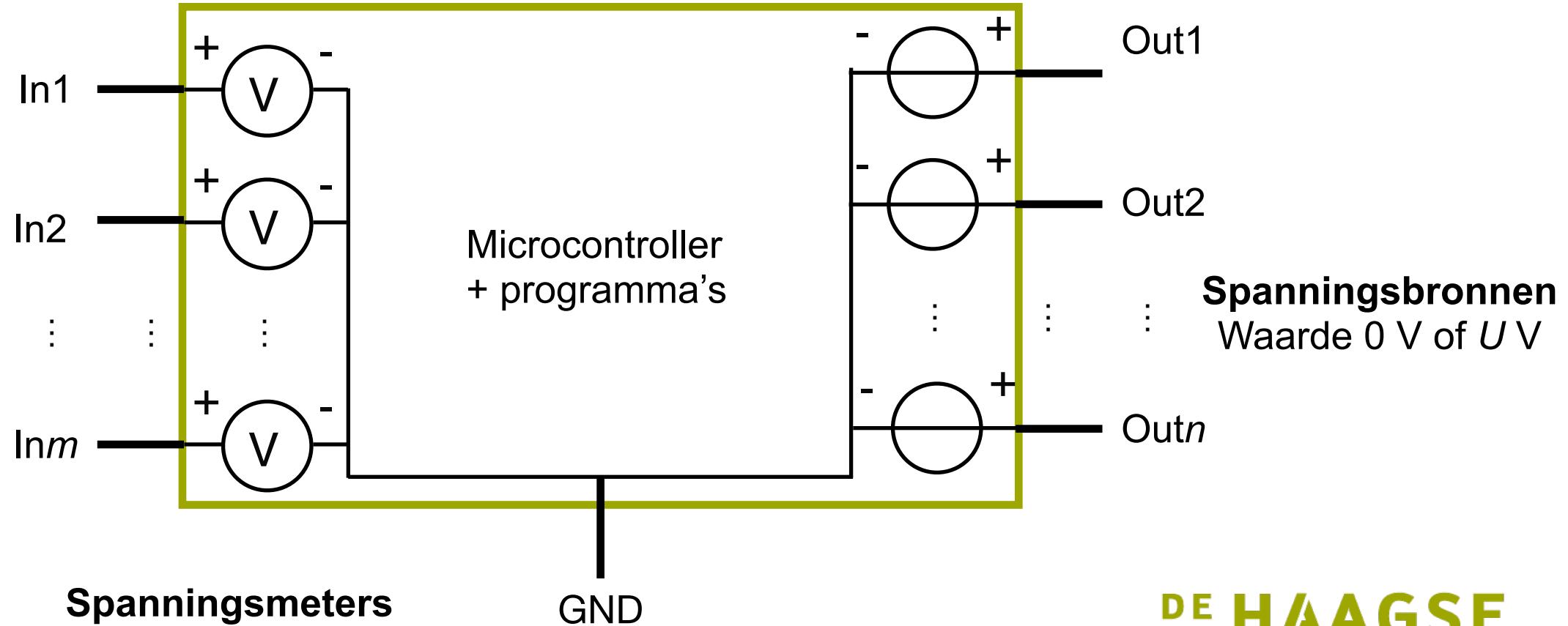
Outputs netwerktechnisch



- **Outputs** te zien als **spanningsbronnen**. Hoge of lage spanning.
- Lage interne weerstand (kortsluiting).
- Wel is de stroom begrensd. Stroom leverbaar tot 2 mA of 20 mA.



Microcontroller, elektrisch vervangingsschema



Vragen?



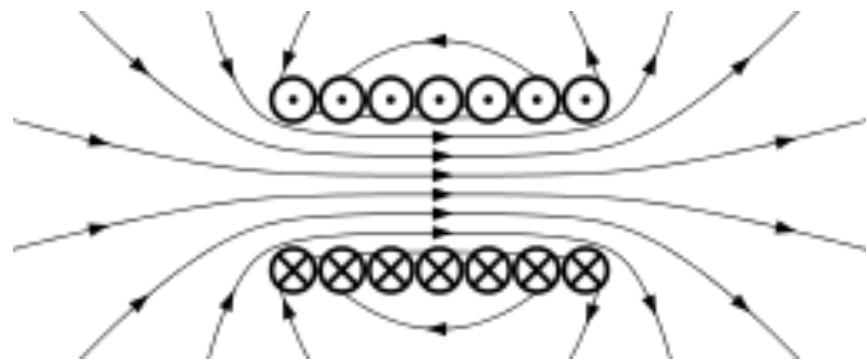
Onderwerpen van deze week

1. Elektrisch vervangingsschema microcontroller
2. **Weerstand en de wet van Ohm**
3. Het uitwerken van berekeningen
4. Schakelaars
5. Transistors
6. H-brug



Ontdekkingen

- 1800, Alessandro Volta:
batterij ↔ spanning.
- 1820, Ampère, Ørsted:
magnetisme ↔ stroom.

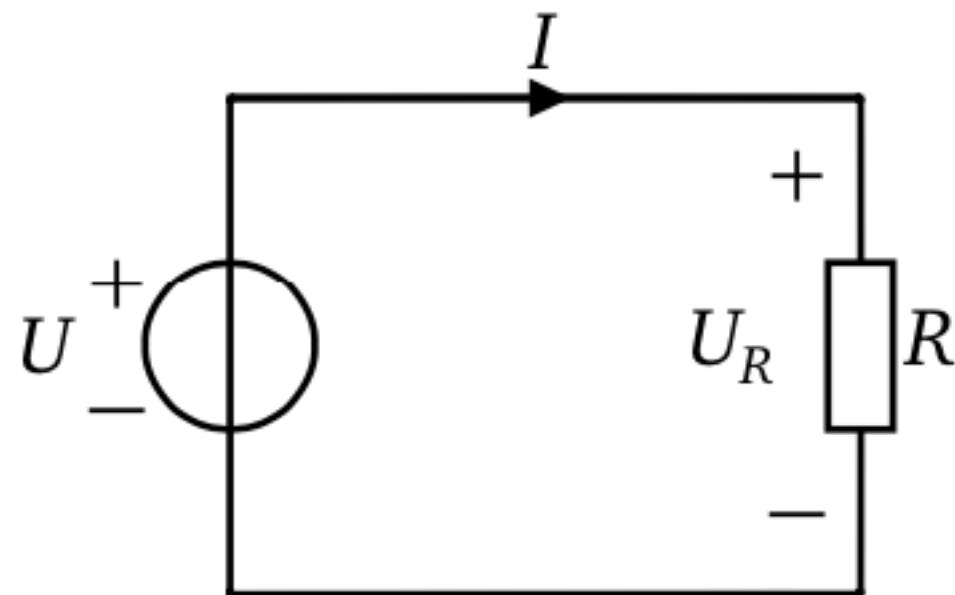


<https://commons.wikimedia.org>,
Geek3 [CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)]
<https://commons.wikimedia.org>, I, GuidoB [CC BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)]



Experimenten daarna

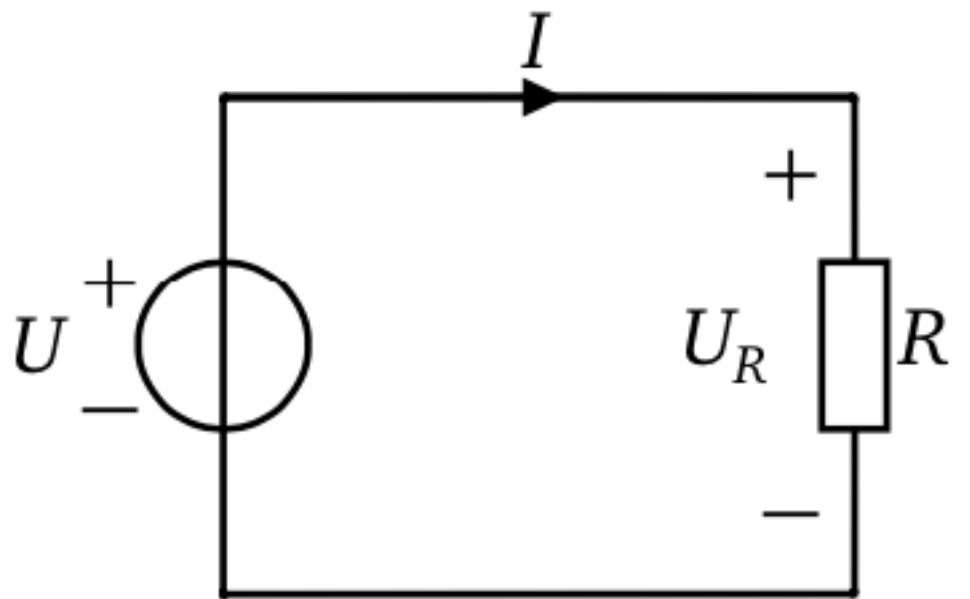
- Georg Ohm, 1826,
- Keek naar stroom en spanning *tegelijk*.
- Stroom door een ‘hindernis’ R .



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Georg_Simon_Ohm3.jpg

Resultaat experimenten

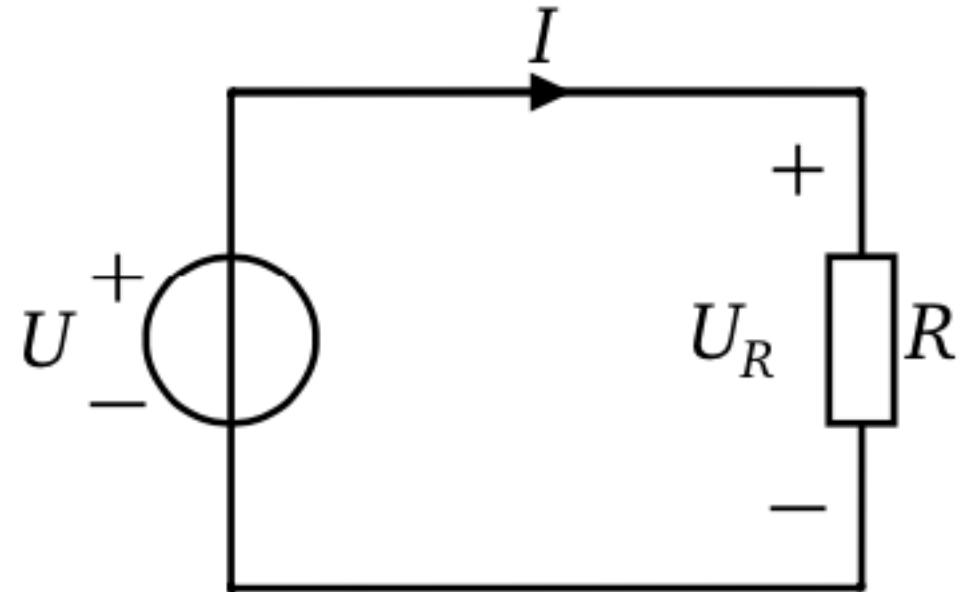
- De stroom wordt twee keer zo groot...
- ... als de hindernis 2x zo makkelijk is,
- ... of als de spanning 2x zo groot wordt.



Conclusie experimenten

- De meeste hindernissen noem je **weerstanden**.
- Voor weerstanden geldt de Wet van Ohm:

$$U = I \cdot R$$



boek Op den Brouw

- Spanning **over** de weerstand =
stroom **door** de weerstand
maal de waarde van de weerstand.
- Evenredig. Lineair
- Weet je er twee? Dan de derde uit te rekenen:

$$I = \frac{U}{R}$$

$$R = \frac{U}{I}$$

Gevolgen

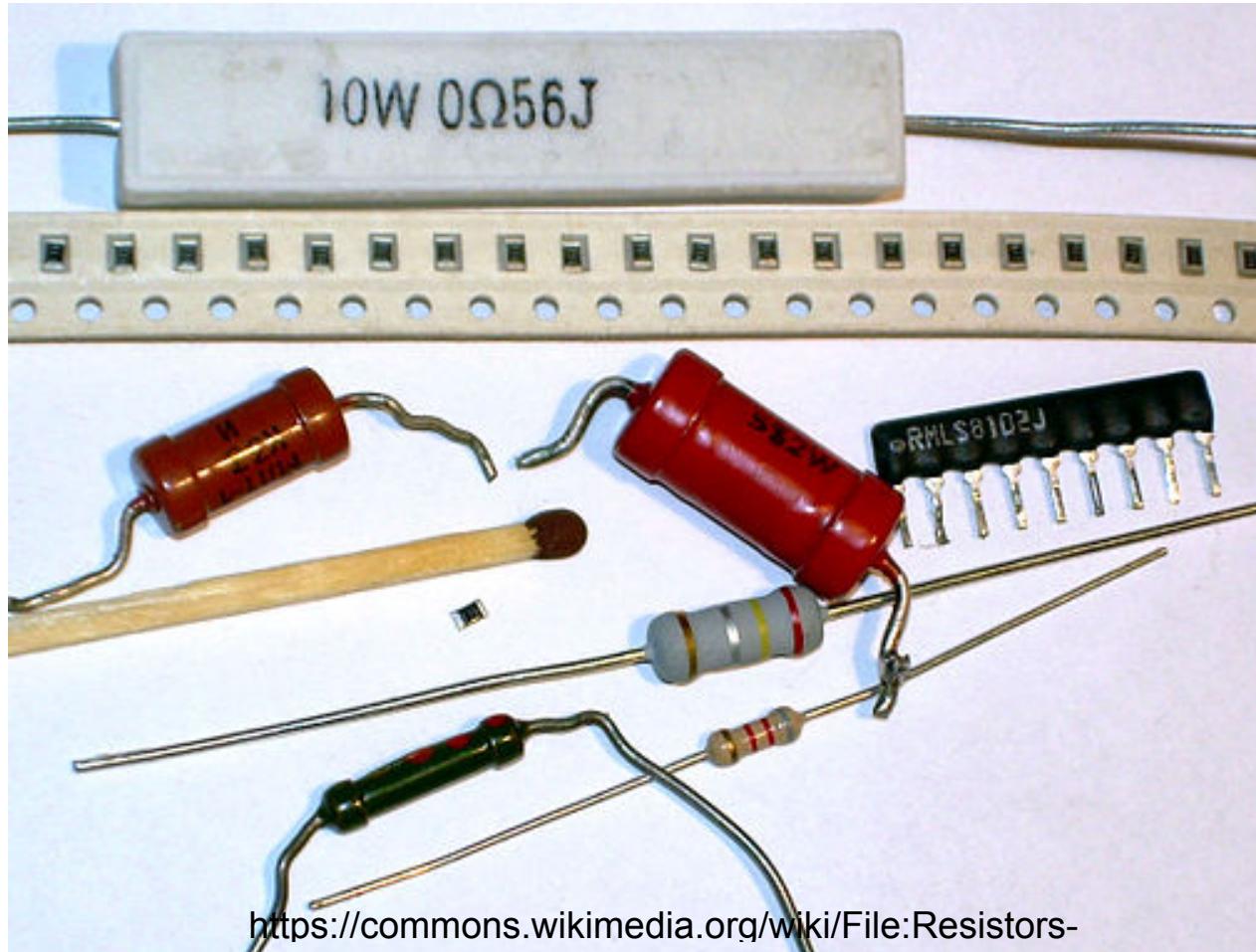
- Lijkt simpel, was een revolutie.
- Helaas werd Ohm door zijn landgenoten niet geloofd.
20 jaar lang...



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Georg_Simon_Ohm3.jpg

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:La_Loi_d%27Ohm_\(timbre_RFA\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:La_Loi_d%27Ohm_(timbre_RFA).jpg)

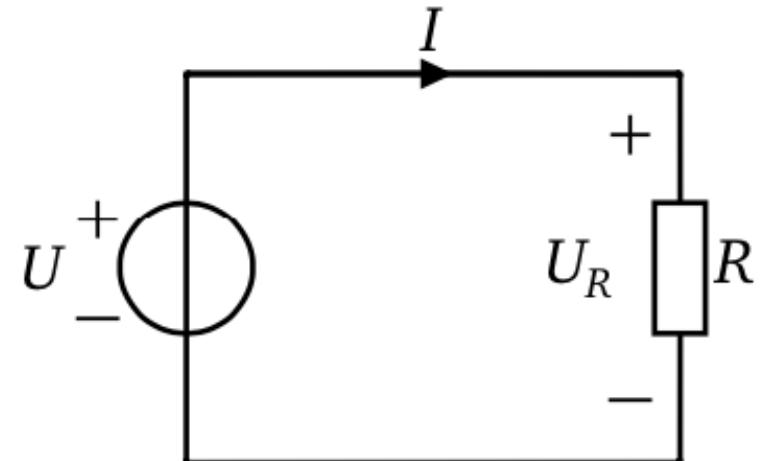
Weerstanden die te koop zijn



(Vraagje: waarom zijn ze zo verschillend?)

Gebruik van ‘weerstand’

- Handige **component** in schakelingen, bijvoorbeeld voor het instellen van een stroom.
- Of: handig **model**. Van iets dat elektrische energie gebruikt.
- Want: hetzelfde gedrag bekijken vanuit de aansluitingen.
- Bijvoorbeeld: een straalkachel is vanuit het elektriciteitsnet gezien een weerstand.

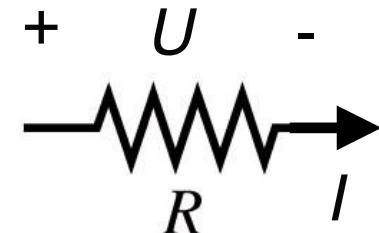
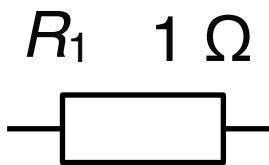


boek Op den Brouw



De weerstand in de netwerktheorie

- Symbolen



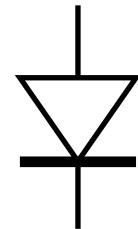
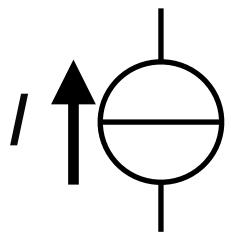
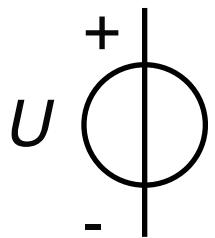
- Hoofdeigenschap:

De spanning erover gedeeld door de stroom erdoor heeft een vaste waarde R . Deze grootheid heet ‘Weerstand.’

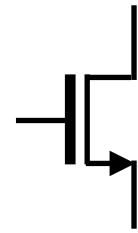
$$R = \frac{U}{I}$$

- Eenheid: Ohm [Ω]. Is Griekse hoofdletter ‘omega’.
- Neveneigenschap: Zet elektrische energie om in warmte.

GEEN Wet van Ohm bij:



Diode



Transistor

- en bij nog wel meer componenten.

Geleiding

- Soms is het handig om te rekenen met het omgekeerde van de weerstand, $1/R$.
- Dat noemen we de geleiding G .
- Formule:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U}$$

- Eenheid van geleiding: siemens [S].

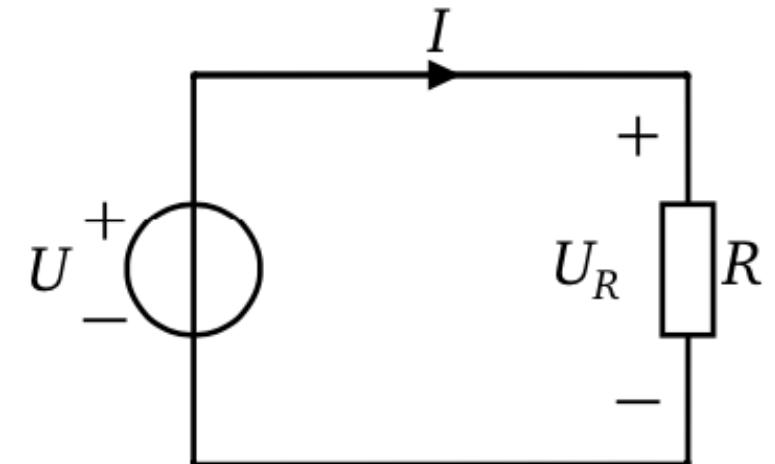
Vragen?



Oefening 1 - Vul in

De wet van Ohm moet je oefenen tot je hem vloeiend beheerst.

I [A]	U [V]	R [Ω]
3	6	
8		4
	5	10
27	9	
12		300
	2	20



boek Op den Brouw

Voorvoegsels - ‘engineering notation’

Letter	Uitspraak	Betekenis: vermenigvuldigingsfactor
G	giga-	10^9
M	mega-	10^6
k	kilo-	10^3
m	milli-	10^{-3}
μ	micro-	10^{-6}
n	nano-	10^{-9}
p	pico-	10^{-12}

Machten van 10
(nullen: niet doen).

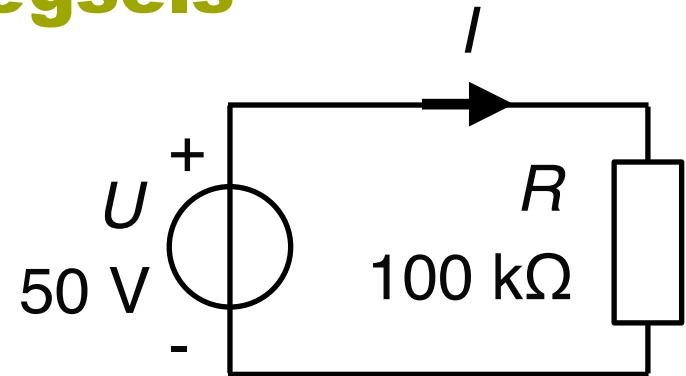


Voorvoegsels - voorbeelden

Afkorting	Uitspraak	Betekenis
5 GHz	5 gigahertz	5×10^9 Hz
3,3 MΩ	3,3 megaohm	$3,3 \times 10^6$ Ω
7 kV	7 kilovolt	7×10^3 V
2 mA	2 milliampere	2×10^{-3} A
8 µV	8 microvolt	8×10^{-6} V
10 nA	10 nanoampere	10×10^{-9} A
1 pC	1 picocoulomb	1×10^{-12} C

Voorbeeld: rekenen met voorvoegsels

- Stel, een weerstand zit aan een spanningsbron.
Bekend is dat $U=50 \text{ V}$ en $R=100 \text{ k}\Omega$.
- Opdracht: bereken de stroom I .



Voorbeeld: rekenen met voorvoegsels

- Stel, een weerstand zit aan een spanningsbron.
Bekend is dat $U=50 \text{ V}$ en $R=100 \text{ k}\Omega$.
- Opdracht: bereken de stroom I .

• Antwoord:

- Uit je geheugen vissen & opschrijven: ‘Wet van Ohm:’ $U = I \times R$

- Herschrijven, onbekende I isoleren:

$$I = \frac{U}{R}$$

- Invullen, en gelijk conversie naar machten van 10:

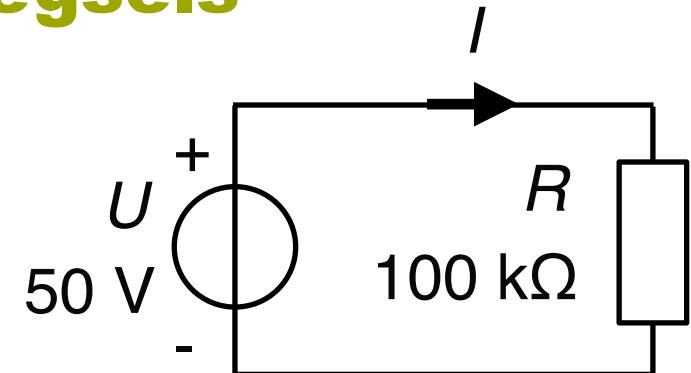
$$I = \frac{50}{100 \times 10^3}$$

- Uitrekenen, met eenvoudige rekenmachine:

- Terugzetten naar engineering notation:

$$I = 500 \times 10^{-6}$$

$$= 500 \mu\text{A}$$



(Bonus: Met de hand uitrekenen van machten van tien)

$$I = \frac{50}{100 \times 10^3}$$

(Deze breuk willen we met de hand uitrekenen).

$$= \frac{5 \times 10^1}{1 \times 10^5}$$

(Omschrijven naar machten van 10 en 1 cijfer voor komma).

$$= \frac{5}{1} \times 10^{(1-5)}$$

(De ‘significant’ apart uitrekenen van de ‘exponent’).

$$= 5 \times 10^{-4}$$

(Tussenresultaat).

$$= 500 \times 10^{-6}$$

(Macht van tien opschalen naar een veelvoud van 3).

$$= 500 \mu\text{A}$$

(Terug naar een voorvoegsel.
Niet vergeten op het laatst: de grootheid).

Oefening 2 - Vul in

De wet van Ohm moet je oefenen tot je hem vloeiend beheerst.

I [A]	U [V]	R [Ω]
3 m	6	
8		4 k
	5	10 M
27 n	9 m	
12 μ		300 k
	2	20 m

I [A]	U [V]	R [Ω]
0,2 k	10	
25 m		50 k
	5 k	22 k
150 n	3	
47 μ		1,5 M
	300 μ	5

Vragen?



Onderwerpen van deze week

1. Elektrisch vervangingsschema microcontroller
2. Weerstand en de wet van Ohm
3. **Het uitwerken van berekeningen**
4. Schakelaars
5. Transistors
6. H-brug

Waarom berekeningen netjes uitwerken?

- In een baan:
 - Wil je grotere berekeningen kunnen maken zonder fouten,
 - Moeten je collega's je werk kunnen overnemen.
- Op de toets:
 - Wil je laten zien dat je het snapt,
 - Wil je ook voor goede tussenstappen punten krijgen.
- Sommige studenten hebben berekeningen uitwerken geleerd op de middelbare school. Andere helaas nog niet...

Voorbeeld opschrijven berekening

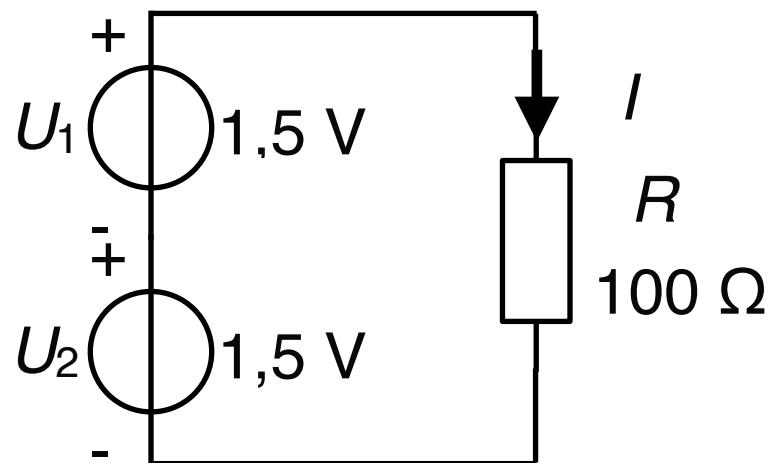
Opgave

Twee penlite-batterijen van 1,5 V staan in serie, en voeden een weerstand van 100 Ω .

Bereken de stroom door de weerstand.

Uitwerking stap 1

- Ah! Verhaaltjessom.
- Vertaal de situatie naar een **schema** (indien handig).
- Zet hierin alle symbolen en getallen die je gaat gebruiken.



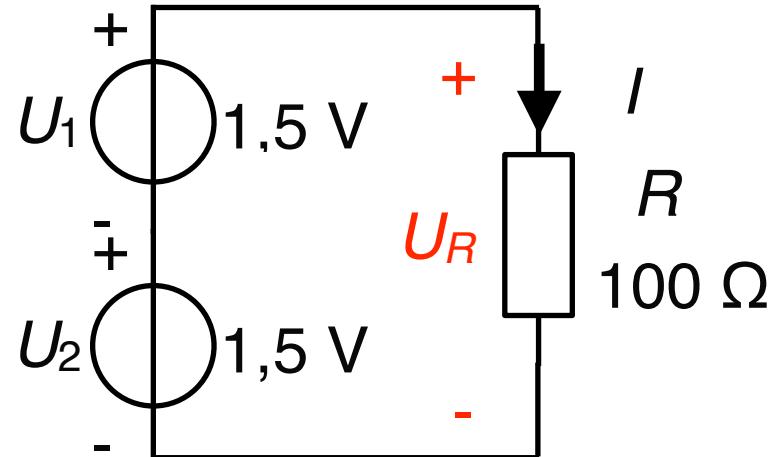
Uitwerking stap 2a

- Vis uit je geheugen de wet die je hier eerst kunt gebruiken.

En **noem** die wet in **woorden**:

- Schrijf die wet dan pas op als formule, in de **symbolen** die **hier** gelden:

- U_R is nieuw, die moet je nog definiëren:
 - òf in woorden,
 - òf door het erbij te tekenen in het schema (**zie boven**).

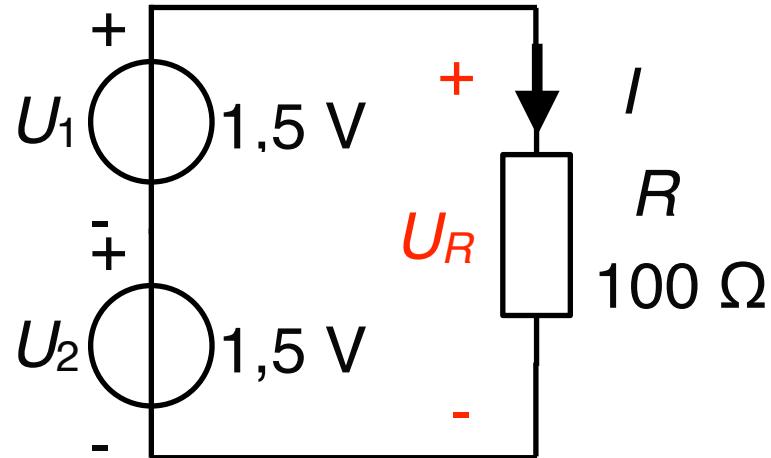


Wet van Ohm:

$$U_R = I \cdot R$$

Uitwerking stap 2b

- Bedenk wat je moet doen met de formule, en **noem** dat:
- Voer het uit:



Isoleer I :

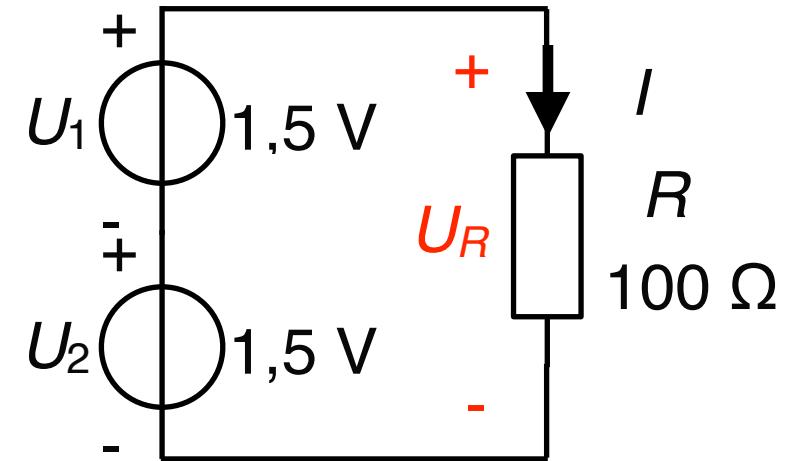
$$I = \frac{U_R}{R}$$

Uitwerking stap 3

- U_R is nog onbekend, maar te vinden.
- Vis uit je geheugen de tweede wet die je hier kunt gebruiken.

En **noem** die wet, schrijf die naam op:

- Schrijf daarna die wet op als formule, met de **symbolen** die **hier** gelden:
- Omschrijven, nog geen getallen invullen!



KVL / Spanningswet van Kirchhoff:

$$U_2 + U_1 - U_R = 0$$

Omschrijven:

$$U_R = U_1 + U_2$$

Uitwerking stap 4

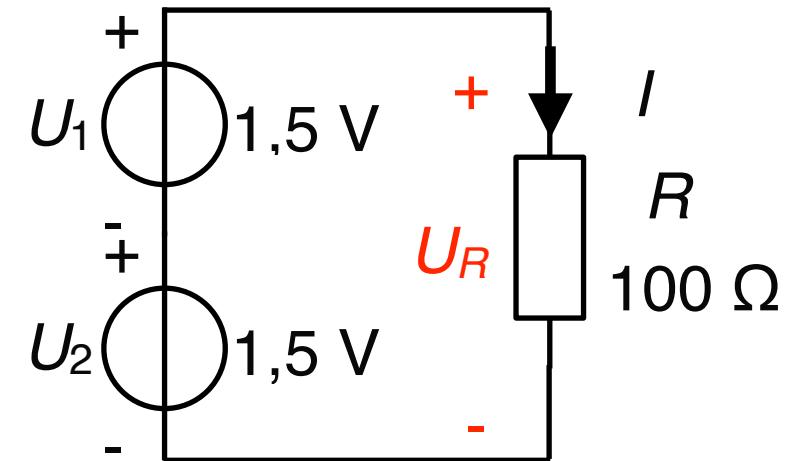
- Bedenk wat je moet doen met de nieuwe formule. **Noem** dat:
- En voer het uit:

Invullen KVL in Wet van Ohm:

$$I = \frac{U_R}{R} = \frac{U_1 + U_2}{R}$$

Uitwerking stap 5

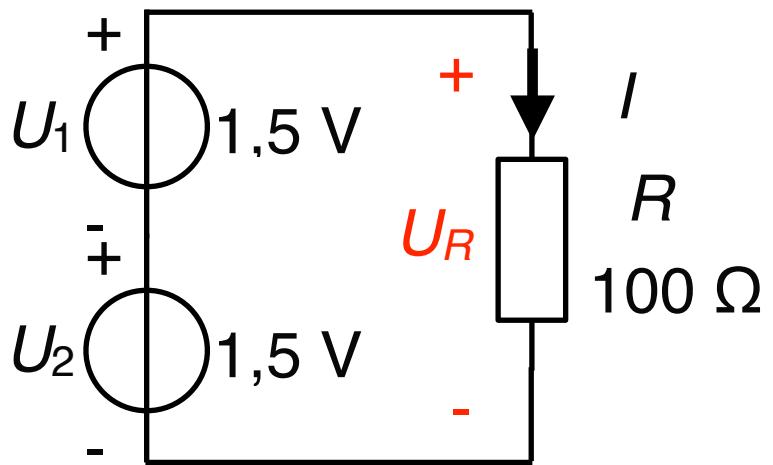
- In symbolen ben je nu klaar.
 - Wat je nog moet doen, is de getallen invullen. **Zeg** dat.
 - En doe het daarna.
-
- Na het invullen mag je direct het eindgetal geven.
 - Tussenberekeningen met getallen hoeft je niet op te schrijven.
 - Verplicht in het eindantwoord: de **eenheid**. Eenheden tussendoor: mag.



Getallen invullen:

$$I = \frac{U_1 + U_2}{R} = \frac{1,5 + 1,5}{100} \frac{\text{V}}{\Omega}$$
$$= 300 \text{ A}$$

Samenvatting uitwerking op 1 slide



Wet van Ohm

$$U_R = I \cdot R$$

+definitie U_R :

Isoleer I :

$$I = \frac{U_R}{R}$$

KVL:

$$U_R = U_1 + U_2$$

Invullen formule:

$$I = \frac{U_R}{R} = \frac{U_1 + U_2}{R}$$

Getallen invullen:

$$I = \frac{1,5 + 1,5 \text{ V}}{100 \Omega}$$
$$= 300 \text{ A}$$

Nog even nadenken: is dit goed?

Uitwerking, waarschuwing

- In dit vak wil ik de berekeningen ZO, op deze manier, uitgewerkt zien.
- In vervolgvakken meestal ook.
- Toetsen:
 - Bij 25% van de vragen verwachten we een uitwerking.
 - In zo'n vraag levert de uitwerking de meeste punten op. 80% ofzo.
 - Het eindantwoord, het getal, telt vaak niet meer dan 20%.

Vragen?

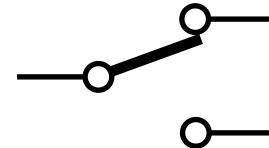
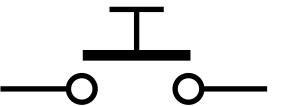


Onderwerpen van deze week

1. Elektrisch vervangingsschema microcontroller
2. Weerstand en de wet van Ohm
3. Het uitwerken van berekeningen
- 4. Schakelaars**
5. Transistors
6. H-brug

Ideale schakelaar

- Symbolen:



...

- Hoofdeigenschap:

Maakt of verbreekt het contact tussen twee ideale draden.

- Neveneigenschappen:

- Kan stroom door een tak laten lopen of juist onderbreken.
- Maakt de spanningen van de twee knooppunten gelijk of scheidt ze.
- Bestaat in veel verschillende uitvoeringen.

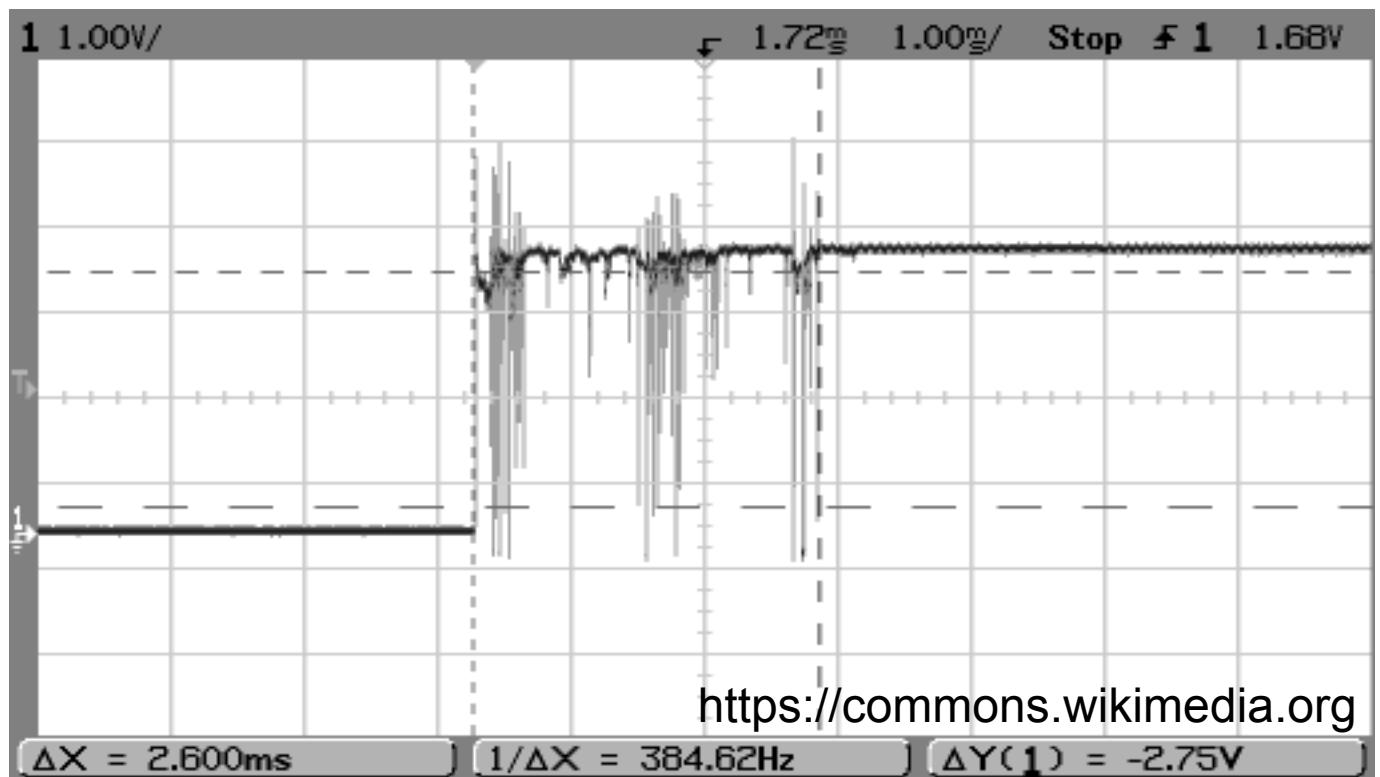
Bouncing, denderen



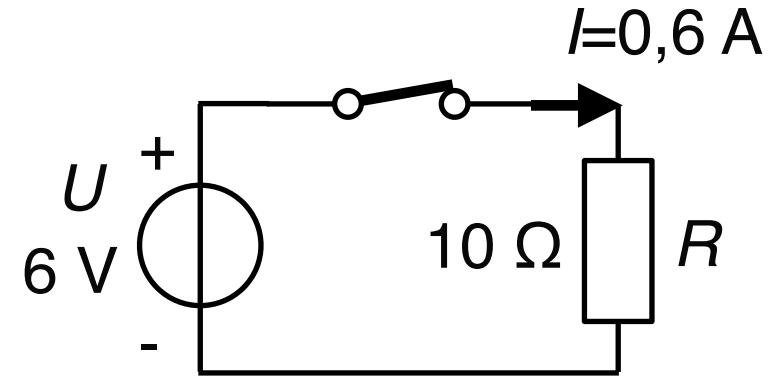
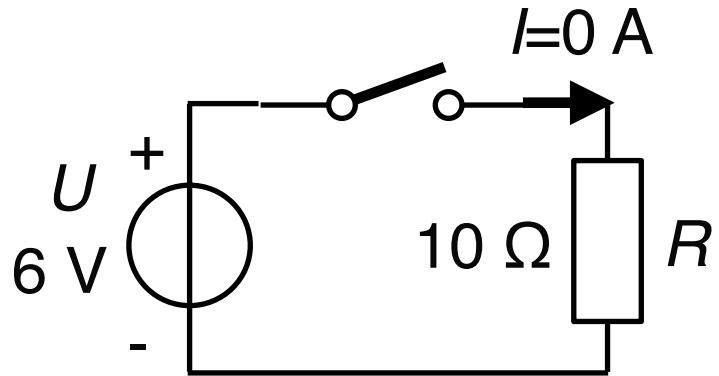
 vanallesenmeer.nl
Basis voor elke elektronica componenten



- Echte mechanische schakelaars: last van 'denderen'.
- Het duurt even voordat het contact stabiel is.
- Dat kunnen voor een microcontroller veel nullen en enen zijn.



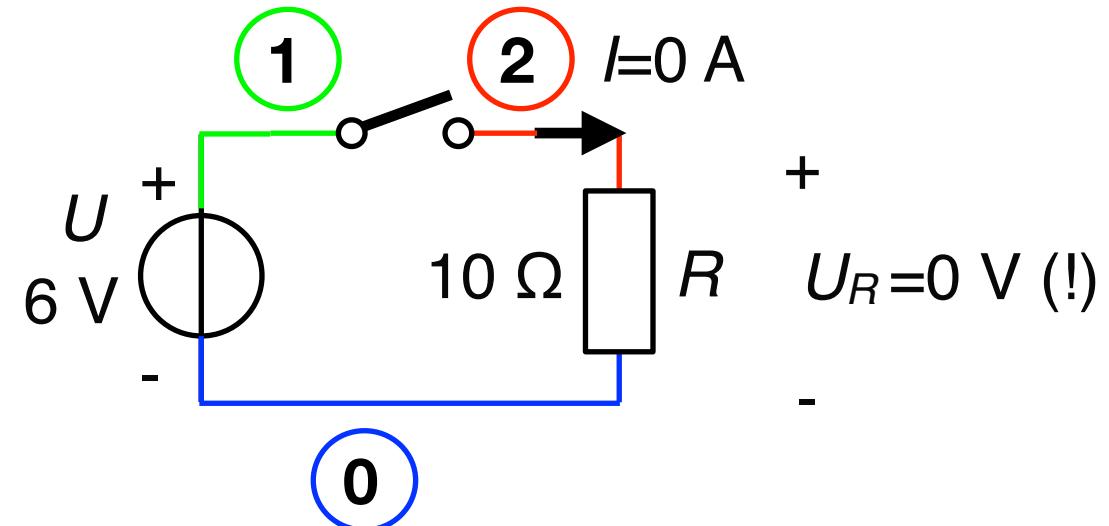
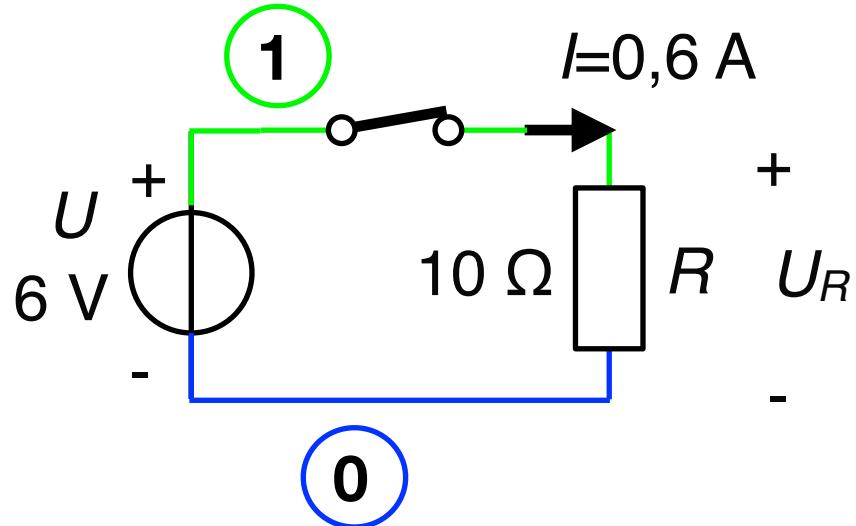
Effect schakelaar op stroom, voorbeeld



- Schakelaar open:
 - Geen stroom, $I=0 \text{ A}$.
 - Door geen enkele component, overigens.

- Schakelaar dicht:
 - Stroom loopt.
 - Wet van Ohm: $I = U/R = 0,6 \text{ A}$.
 - Gaat door alle componenten hier.

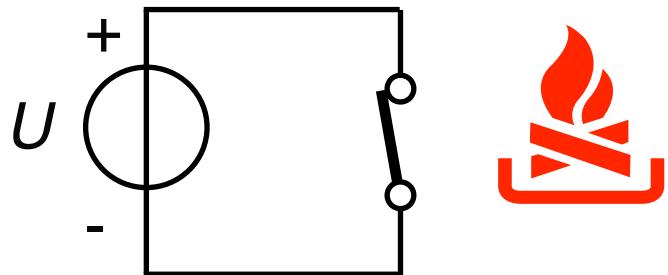
Voorbeeld, effect schakelaar op spanning



- Schakelaar dicht:
 - Twee knooppunten (0 en 1),
 - Spanning over R via KVL:
$$U_R = U = 6 \text{ V}.$$

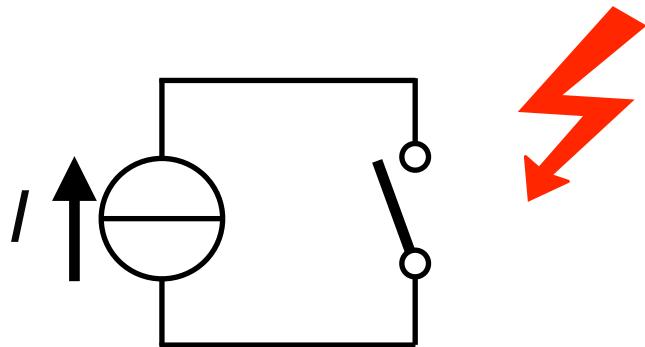
- Schakelaar open:
 - Drie knooppunten (0, 1 en 2),
 - Spanning over R via Wet van Ohm:
$$U_R = I \cdot R = 0 \cdot 10 = 0 \text{ V (!)}$$
 - Spanning over schakelaar: $U_{12} = \dots ?$

Verboden aansluitingen schakelaar (1)



- Kortgesloten spanningsbron.
- Bron creëert spanningsverschil, maar tegelijk doet de schakelaar dat teniet.
- Bron reageert met het leveren van een oneindig hoge stroom.
- Is in de praktijk slecht voor bron en omgeving.
- Dan *hoop* je dat er een stroombegrenzing is.

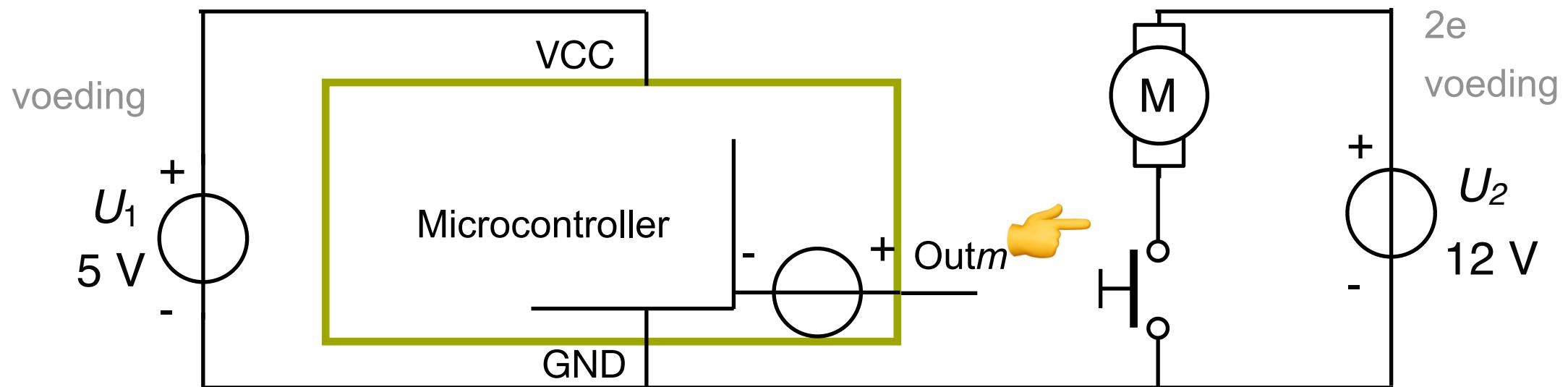
Verboden aansluitingen schakelaar (2)



- Opengelaten stroombron.
- Bron stuurt een stroom, maar die wordt door de schakelaar geblokkeerd.
- Bron reageert met het leveren van een oneindig hoge spanning.
- Is in de praktijk slecht voor bron en omgeving.
- Dan hoop je dat er een spanningsbegrenzing is...

Schakelen van grote stromen

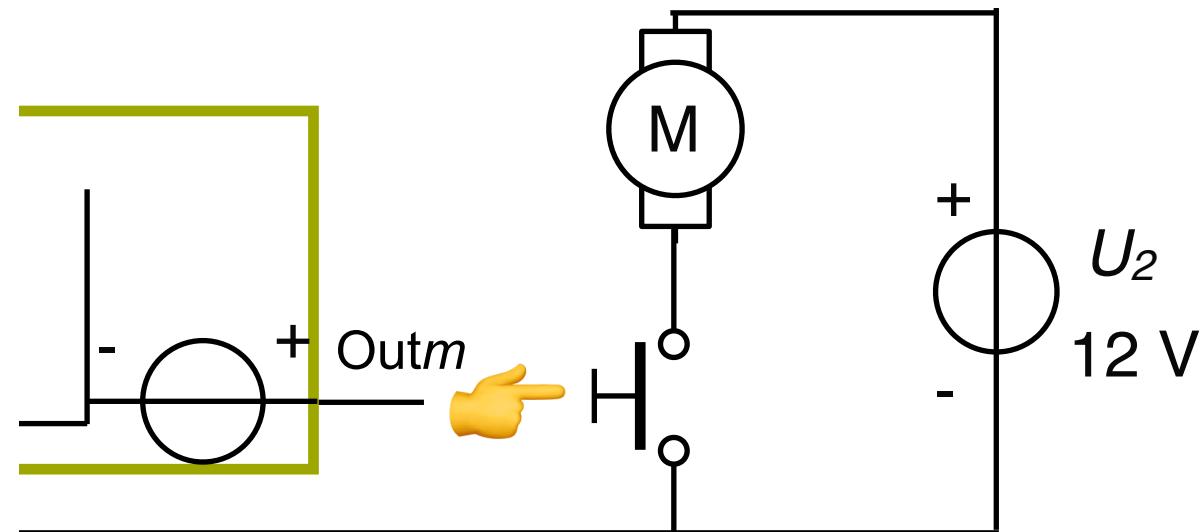
- Microcontrollers kunnen maar weinig stroom leveren: 2 - 20 mA.
- Hoe schakel je met een microcontroller iets groots? Motor ofzo. 2 A ofzo.
- Antwoord: met een **schakelaar** die **elektronisch** is te bedienen.



Schakelen van grote stromen

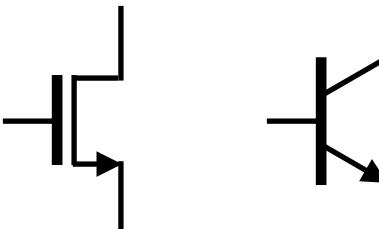
Elektronische schakelaars,
voorbeelden:

- Transistor
- Low-side driver
(printje met transistoren)
- H-brug / motor shield (printje met transistoren)
- SSR (solid-state relais)
- Relais (traag, kwetsbaar, vaak ouderwets)



Transistoren

- Symbolen:



- Hoofdeigenschap:

Schakelaar aangestuurd door een spanning

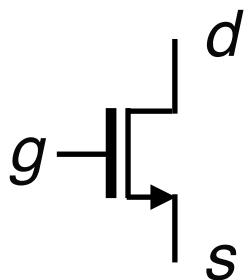
- Neveneigenschappen:

- Ze passen met miljarden op een chip (=IC).
- Kan ook werken als versterker.
- Is dan een spanningsgestuurde stroombron.

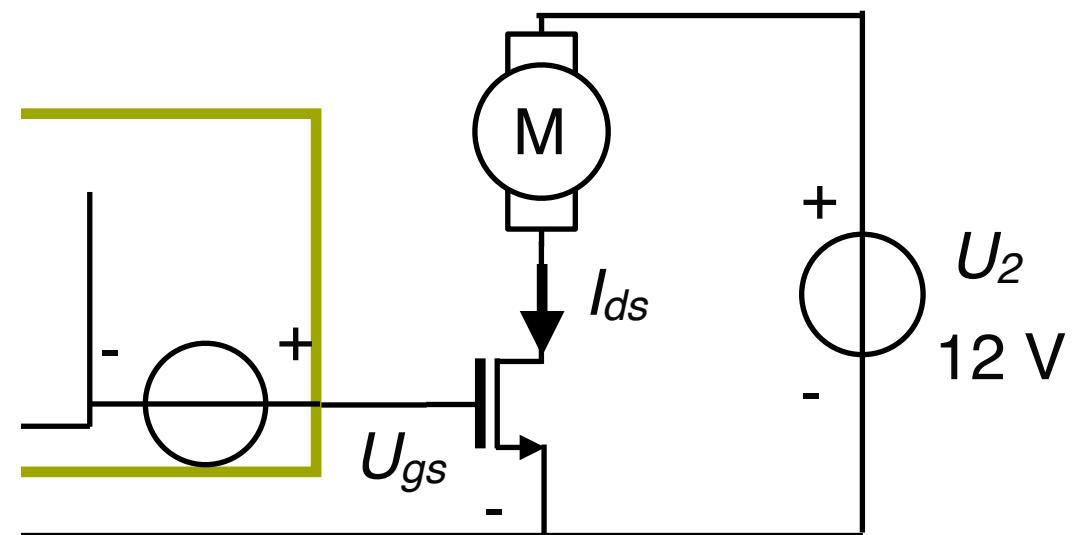


MOS-transistoren

- Namen van pootjes:
gate, source, en drain.



- Aansturing via een **spanning** tussen gate en source: U_{gs} .
- Gevolg: geleiding van een **stroom** tussen drain en source: I_{ds} .

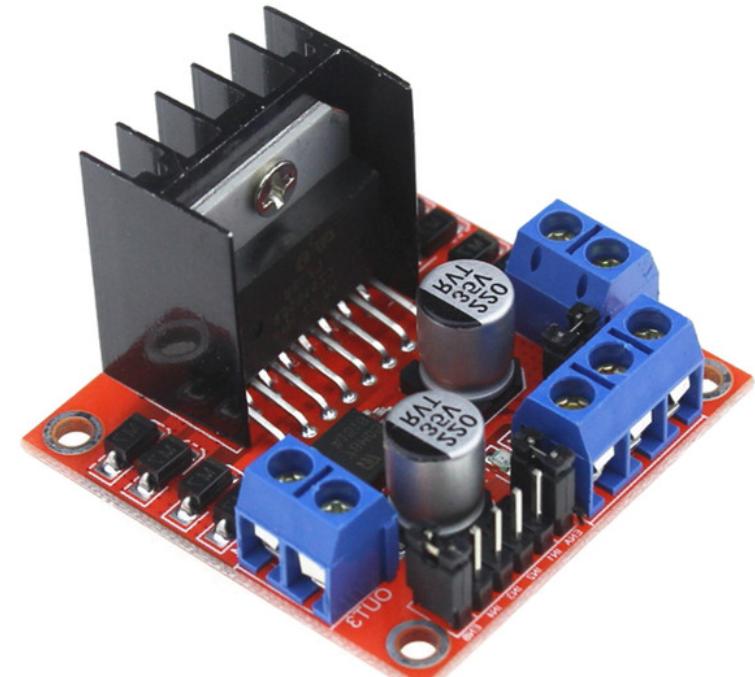
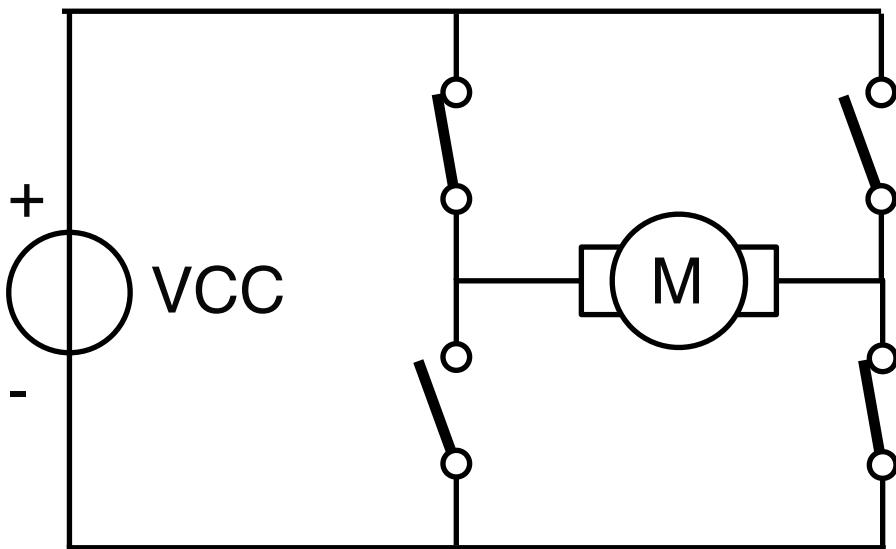


Vragen?



DC-motor sturen? H-brug

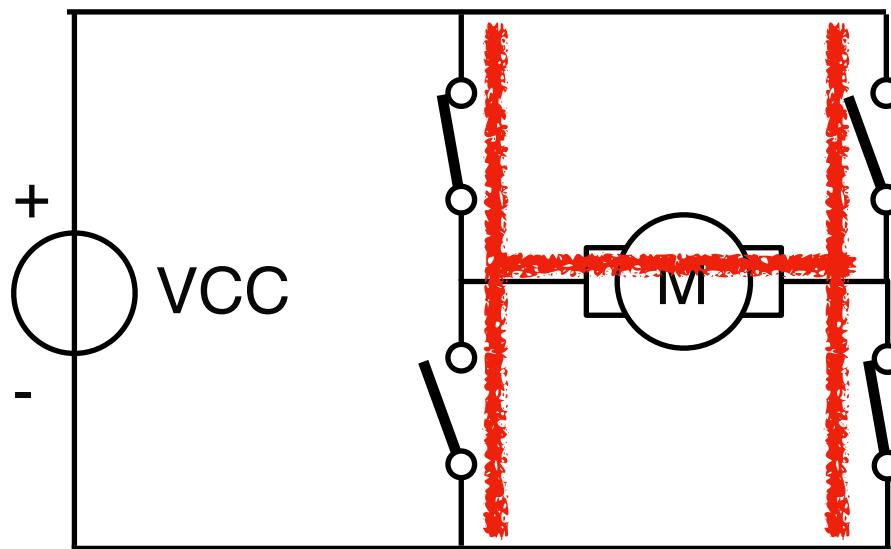
- H-brug versimpeld.
- Aansturing van schakelaars even weggelaten.



opencircuit.nl

DC-motor echt sturen? H-brug

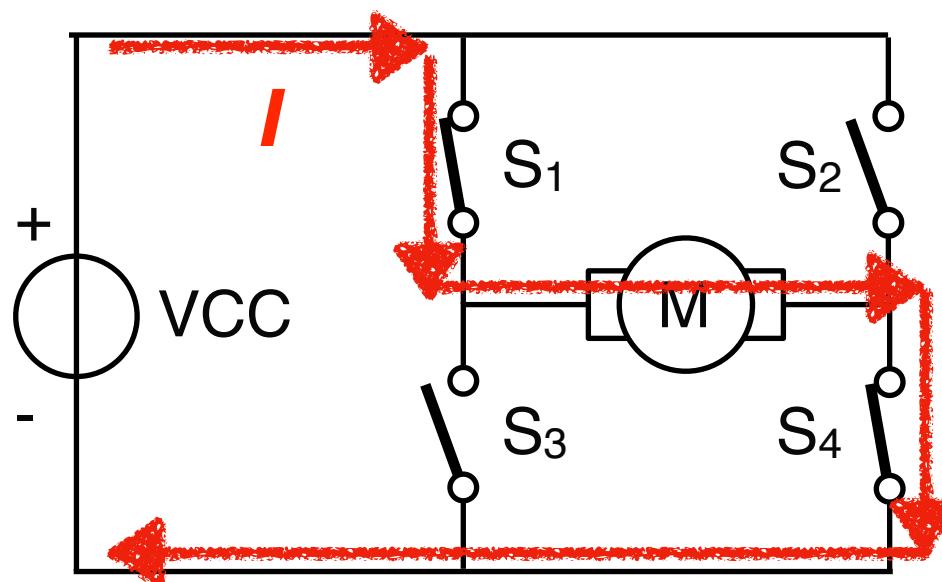
- Herkomst van de naam:



H-brug, Hoe werkt hij? (1)

- Als de schakelaars ZO staan,
- ... dan loopt de stroom door de motor **naar rechts**.
- ... dan draait de motor.

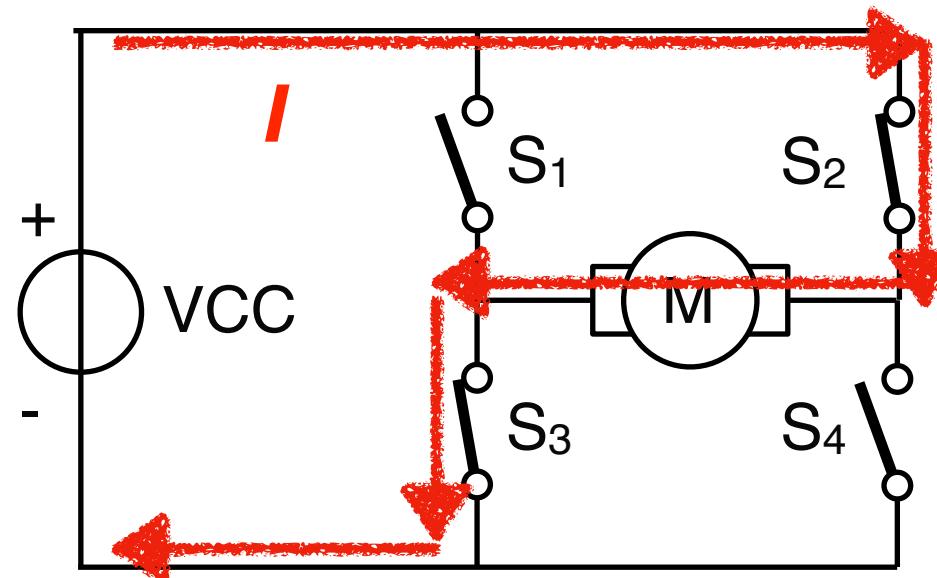
S_1	1
S_2	0
S_3	0
S_4	1



H-brug, Hoe werkt hij? (2)

- Als de schakelaars ZO staan,
- ... dan loopt de stroom door de motor **naar links**.
- ... dan draait de motor de andere kant uit.

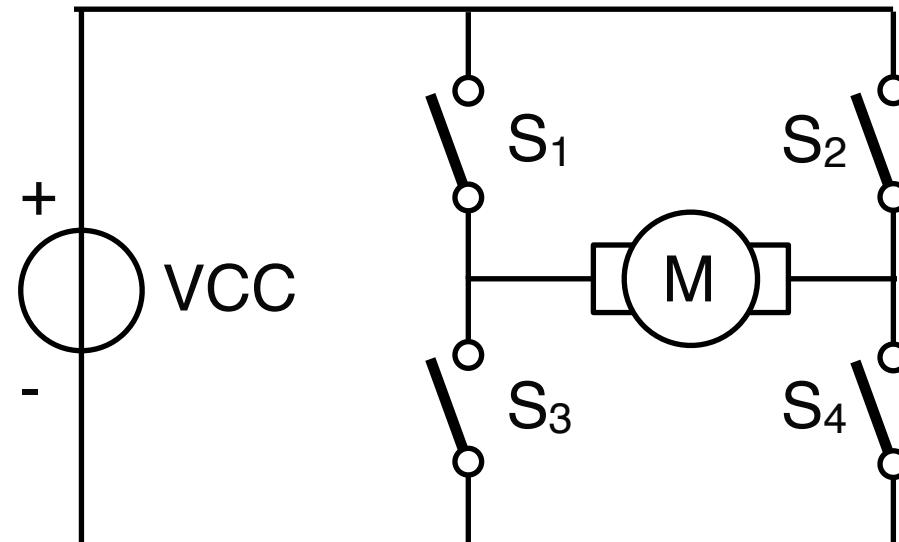
S_1	0
S_2	1
S_3	1
S_4	0



H-brug, Hoe werkt hij? (3)

- Als de schakelaars ZO staan,
- ... dan staat de motor **in zijn vrij.**

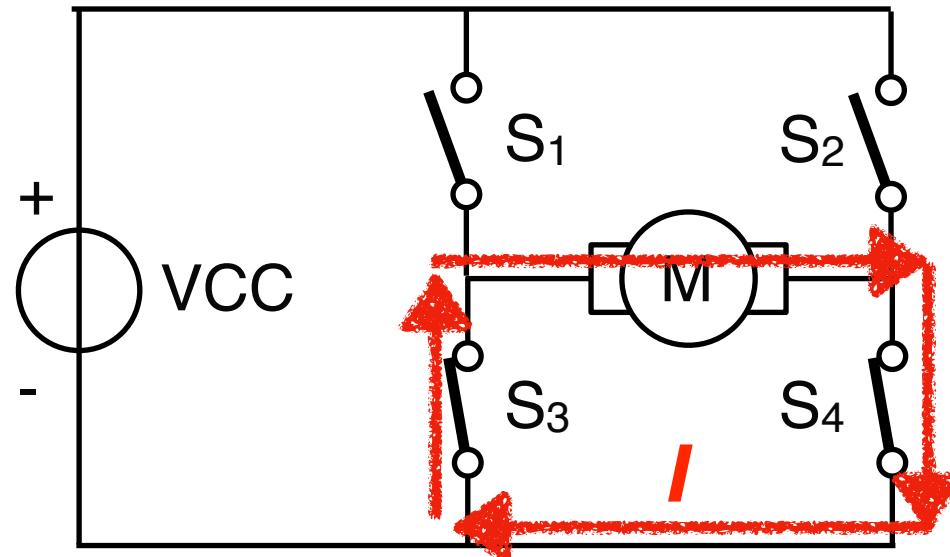
S_1	0
S_2	0
S_3	0
S_4	0



H-brug, Hoe werkt hij? (4)

- Als de schakelaars ZO staan,
- ... dan is de motor kortgesloten,
- ... dan wordt de motor **geremd** (motor werkt als generator).

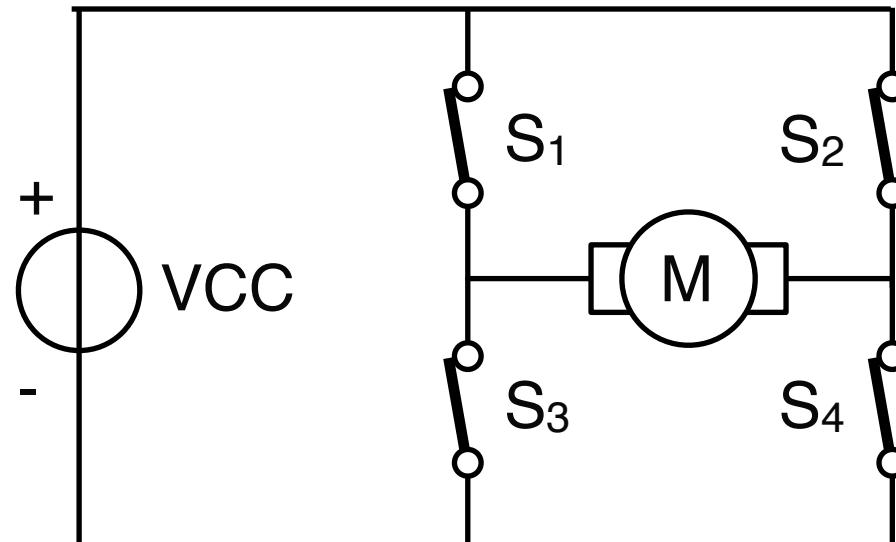
S_1	0
S_2	0
S_3	1
S_4	1



H-brug, Hoe werkt hij? (4)

- Als de schakelaars ZO staan,
- ... dan heb je een probleem (waarom?)

S_1	1
S_2	1
S_3	1
S_4	1



Vragen?



Tot slot

- Succes met het huiswerk.
- Denk aan de deadline voor het practicum.
- Tot volgende week!