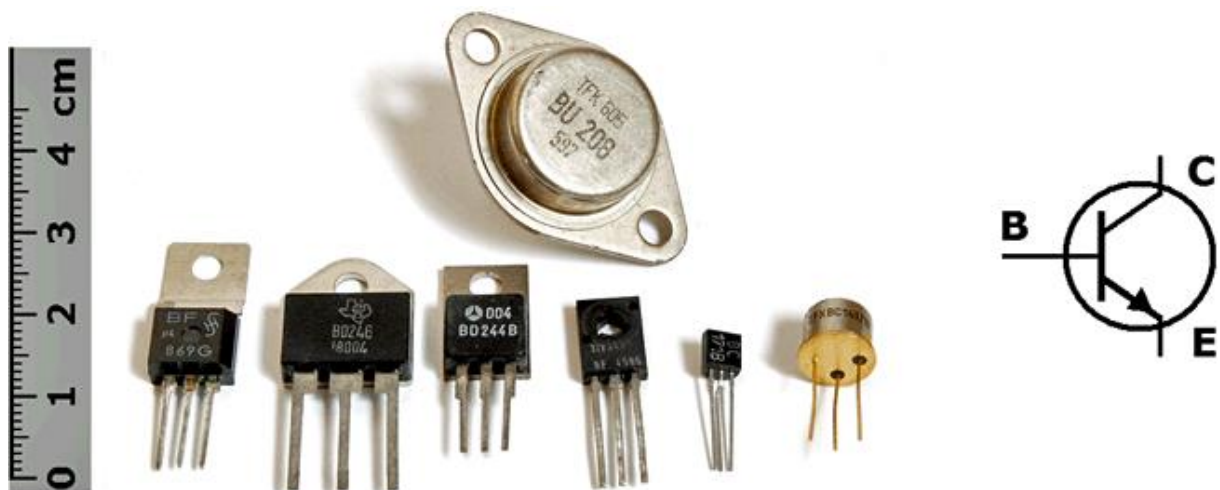


Natuurkunde & Techniek

De transistor - Technische automatisering

Dictaat klas 3HV



Natuurkunde & Techniek

De transistor - Technische automatisering

Dictaat klas 3HV

Inhoud	bladzijde
– Bronvermelding.....	2
§ 1 Natuurkunde & Techniek – inleiding.....	3
§ 2 De transistor.....	3
§ 3 De transistor als stroomversterker.....	4
§ 4 De transistor als schakelaar.....	11
§ 5 De computer – het ic.....	11
§ 6 Automatische systemen – blokschema.....	12
§ 7 Logische poorten.....	13
§ 8 Inbraakalarm – een automatisch systeem.....	13
§ 9 Opgaven.....	16
– Bijlage: kleurcodering van weerstanden.....	18

Juli 2023

Bronnen:

Algemeen:

<https://nl.wikipedia.org/wiki/Transistor>
https://nl.wikipedia.org/wiki/Ge%C3%AFntegreerde_schakeling
https://nl.wikipedia.org/wiki/Wet_van_Moore
https://nl.wikipedia.org/wiki/Aantal_transistors

§3 is een bewerking van een gedeelte van 'Kennis maken met elektronica' en 't Klopt'.

Auteur (en ontwerper van het schakelbordje): Jan Leisink.

<https://www.youtube.com/user/janleisink>
<https://www.youtube.com/watch?v=4sgj8CeFIJs>

Afbeeldingen:

Blz. 1 en 3 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Transistors-white.jpg>
3 <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>
4 t/m 10 Jan Leisink, 'Kennis maken met elektronica'
7 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2N2222A_and_schema.jpg
8 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SM58%26Beta58a.jpg> en <http://www.fender.com>
12 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:lc-photo-Nintendo--DMG-CPU_B--\(Gameboy-CPU\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:lc-photo-Nintendo--DMG-CPU_B--(Gameboy-CPU).png) en
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mega_Drive_mboard.jpg
13, 15 <https://cma-science.nl>
18 https://nl.wikipedia.org/wiki/Kleurcodering_voor_elektronica en https://nl.wikipedia.org/wiki/Bestand:Resistor_cropped.jpg



Op dit dictaat rust een Creative Commons Licentie: *Naamsvermelding-Niet-commercieel-Gelijk delen 3.0 Nederland*.
Om de licentie te bekijken klikt u hieronder. Gebruik als bronvermelding: 'https://bruningonline.nl'.
[Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/nl/)

1 Natuurkunde en Techniek – inleiding

Natuurkunde en Techniek zijn nauw verweven. Natuurkundige kennis leidt vaak tot nieuwe techniek, en omgekeerd maakt die nieuwe techniek dan weer nieuw natuurwetenschappelijk onderzoek mogelijk. Daarom dit onderwerp *Natuurkunde & Techniek*. Om je te laten zien dat natuurkunde ook een technische kant heeft, en techniek ook natuurkundige aspecten.

Je maakt in dit dictaat kennis met de transistor. Paragraaf 3 gaat over de transistor als versterker van elektrische stroom. Paragrafen 4 en verder gaan over digitale, automatische systemen op basis van de transistor als elektrische schakelaar. In paragraaf 8 bouw je zelf een (eenvoudig) automatisch systeem.

2 De transistor

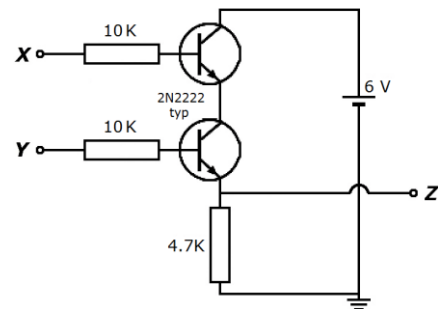
Computers, internet, (mobiele) telefoons, navigatie, medische apparatuur, radio en tv – elektronica is overal. De moderne elektronica is gebaseerd op een van de belangrijkste technische uitvindingen van de afgelopen decennia: de transistor. Transistors zijn gemaakt van halfgeleidermateriaal: germanium (Ge) of silicium (Si). Dat geleidt veel slechter dan metalen maar veel beter dan isolatoren.

De zogeheten *bipolaire* transistor bestaat intern uit drie gebiedjes halfgeleidermateriaal. Van elk gebiedje zijn de eigenschappen kunstmatig aangepast door atomen van een ander materiaal toe te voegen. Dat heet *doperen*. Elk gebiedje heeft een eigen elektrische aansluiting. Een transistor heeft dus drie elektrische aansluitingen (niet twee), en zit daarmee altijd in twee stroomkringen tegelijk. Of er via de aansluitingen elektrische stroom van het ene naar het andere gebiedje kan lopen hangt af van de spanning tussen die aansluitingen. Door die spanning handig te kiezen kun je met transistors twee dingen doen: stroom versterken en schakelen tussen aan en uit.

De eerste op silicium gebaseerde transistor werd in 1954 gemaakt. De transistor bleek een betrouwbaar, klein, zeer bruikbaar elektrisch onderdeel, en bovendien goedkoop te produceren. In 1956 kregen John Bardeen, Walter Brattain en William Shockley de Nobelprijs natuurkunde voor hun onderzoek naar halfgeleiders en de ontdekking van het transistoreffect.



Zeven transistors.
Rechts het schemasymbool van een transistor (nnp)



Een schakeling met twee transistors:
een EN-poort. (Zie bladzij 13 en 14).

3 De transistor als stroomversterker

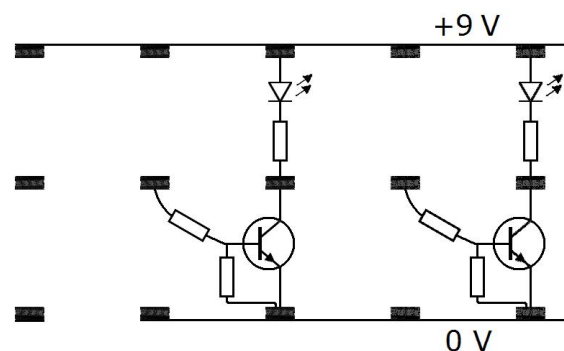
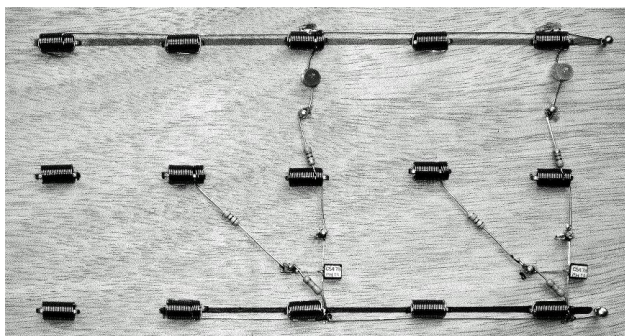
In deze paragraaf leer je dat je met een transistor elektrische stroom kunt versterken. De paragraaf bestaat uit zes delen: A t/m F. Je werkt aan de hand van 13 practicumopdrachten.

Aanwijzingen vooraf

Schakelbordje

Je gebruikt het schakelbordje dat hieronder is gefotografeerd (links) en getekend (rechts). Je sluit het aan op een spanning van 9,0 V.

Met dit schakelbordje kun je elektrische schakelingen bouwen. Twee (identieke) schakelingen zijn alvast gemaakt, elk met een transistor, een led en drie weerstanden.



Onderdelen aansluiten

Onderdelen sluit je aan met de veertjes op het schakelbord. Zie de drie figuren hieronder. Links zie je hoe je één onderdeel aansluit: je buigt met een speciaal, klein pennetje dat bij het schakelbord hoort voorzichtig twee windingen van het veertje uit elkaar. In het midden zie je hoe je twee onderdelen op één veertje aansluit: met de aansluitdraden in dezelfde richting, dus niet zoals in de figuur rechts.



Eén onderdeel



Twee onderdelen
goed



Twee onderdelen
fout

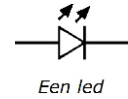
Weerstandswaarden

Als je voor een bepaalde schakeling een weerstand nodig hebt dan moet die natuurlijk wel de juiste waarde hebben. Die waarde kun je aflezen uit de gekleurde ringen, die de fabrikant op de weerstand heeft aangebracht. Meestal zijn het er vier. Samen zijn ze een code waarmee je in twee stappen de waarde van de weerstand kunt bepalen. Gebruik daarvoor de tabel op bladzij 18.

A Stroom versterken

1. LED

Een *diode* laat maar in één richting stroom door. Een soort ventiel voor elektrische stroom dus. Led betekent *Light Emitting Diode*. Een lichtgevende diode dus. Hij laat maar in één richting stroom door en geeft dan licht. Het schemasymbool van de led staat hiernaast.

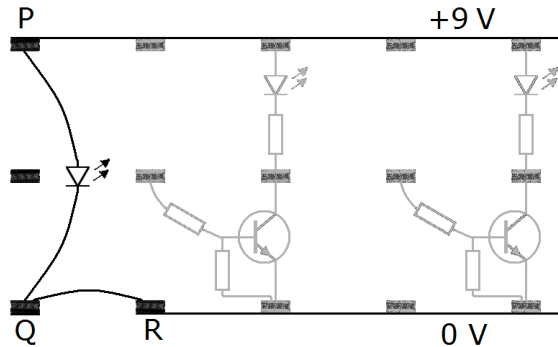


Maak de schakeling hiernaast: sluit tussen P en Q een extra led aan en verbind Q en R met een extra draadje.

(Het lichtgrijze deel van het schakelbordje gebruik je pas later).

Ga na:

- a. Als je van de extra led de rode draad aansluit op P en de andere draad op Q dan brandt hij.
- b. Als je de led andersom aansluit brandt hij niet.

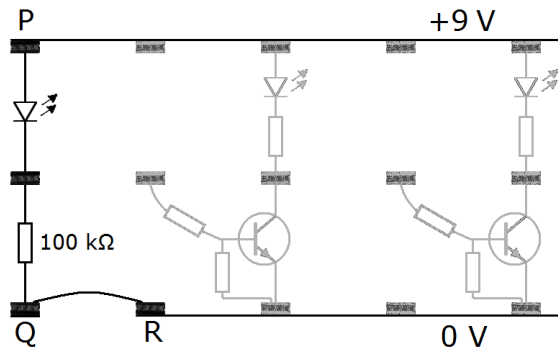


2. Een zwakke stroom versterken

Maak nu de tweede schakeling hiernaast, met in serie met de extra led een weerstand. Sluit de led zo aan dat hij zou kunnen branden.

Vraag: leg uit dat de extra led nu niet of nauwelijks brandt, ook al is hij goed aangesloten.

.....



Als je heel goed kijkt, zie je dat de extra led nog een heel klein beetje licht geeft. Je ziet het misschien alleen maar als het donker is. (Jas over je hoofd en over de schakeling).

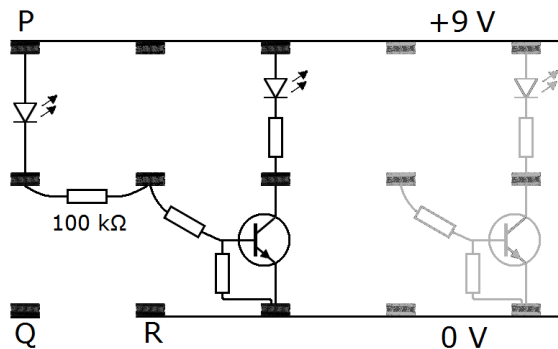
Vraag: loopt er dus helemaal geen stroom door de extra led?

.....

Pas nu de laatste schakeling aan zodat de schakeling hiernaast ontstaat. In deze schakeling zitten twee leds, vier weerstanden en een transistor.

Vraag: brandt er nu een led? Zo ja, welke?

.....

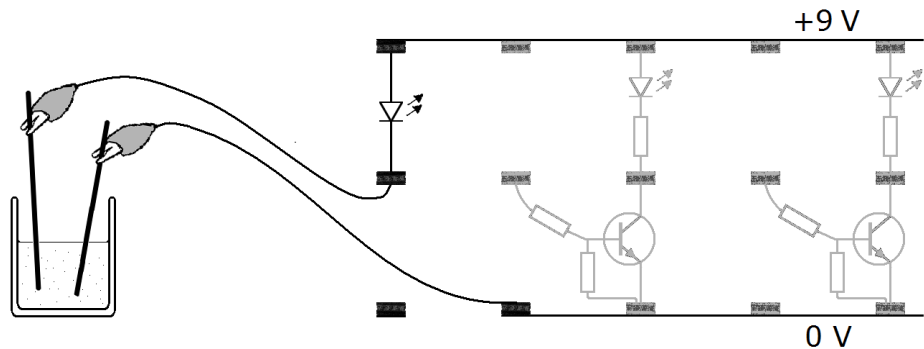


Verklaring: De zwakke stroom door de extra led gaat nu (via twee weerstanden) ook door de transistor. Daar maakt die zwakke stroom de weg vrij voor een tweede stroom. Die loopt van de plus via de rechter led, een weerstand en de transistor naar de nul. Die tweede stroom is sterker. Daardoor brandt de rechter led wel. Dus:

Een transistor kun je gebruiken om met een zwakke stroom een sterkere stroom te veroorzaken. Je zegt: een transistor werkt als stroomversterker.

B Toepassing: test gedestilleerd water

Kraanwater geleidt elektrische stroom. Gedestilleerd water niet. Je kunt dat testen met deze proef.



– Vul een bekerglas met gedestilleerd water.

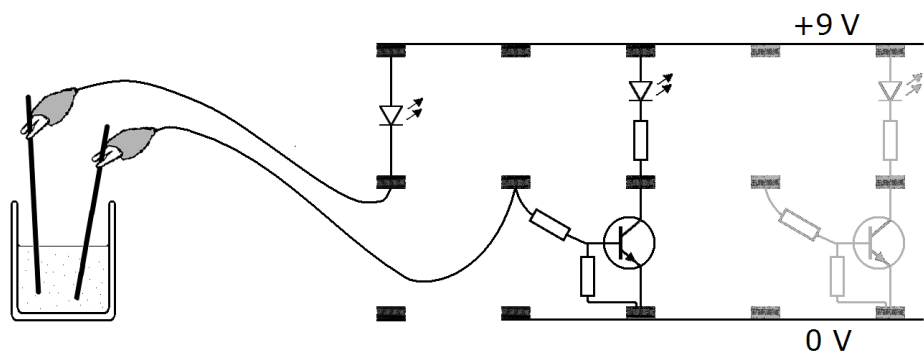
3. Test het water met de opstelling hierboven.
 - a. Brandt de led wel? Leg uit dat het water dan *niet* goed gedestilleerd is.
 - b. Brandt de led niet? Leg uit dat het water dan goed gedestilleerd is.

.....

4. Brandt de led niet?
 Test het water dan ook eens met een transistor erbij, volgens het schema hieronder.
 - a. Er is nu maar een klein beetje stroom nodig om de rechter led wel te laten branden. Leg dat uit.
 - b. Als de rechter led ook niet brandt, is het water super gedestilleerd. Leg dat uit.

.....

Je kunt ook een voltmeter op de rechter led aansluiten en bijvoorbeeld afspreken dat je het water zuiver genoeg vindt bij een spanning over de rechter led van minstens 4 V.



5. Vul een tweede bekerglas met gedestilleerd water. Los er een klein beetje keukenzout in op.
 Vraag: geleidt de zoutoplossing elektrische stroom?

.....

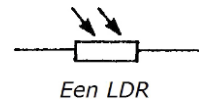
6. Vul een derde bekerglas met kraanwater.
 Vraag: is kraanwater zuiver (dus gedestilleerd) water?

.....

C Toepassing: in het donker automatisch licht

LDR

Een LDR is een *Light Dependent Resistor*, een lichtgevoelige weerstand dus. Hoe meer licht er op valt, hoe kleiner de weerstandswaarde wordt. Het schemasymbool van een LDR is dat van een gewone weerstand, met 2 pijltjes (lichtstraaltjes) erbij.



7. Een eenvoudige LDR-schakeling

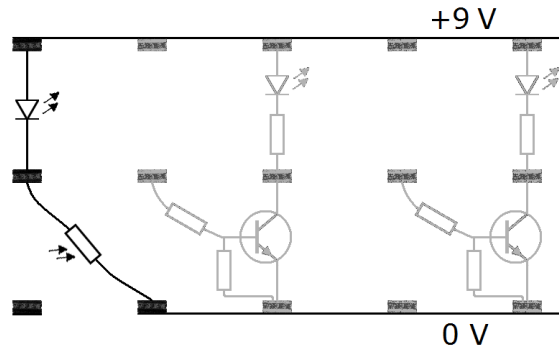
Bouw de schakeling hiernaast.

- Laat licht op de LDR vallen en kijk of de extra led licht geeft.
- Maak de LDR donker (je hand er omheen) en kijk of de extra led nu licht geeft.

Vraag:

Leg uit dat de extra led bij a meer licht zou moeten geven dan bij b.

.....

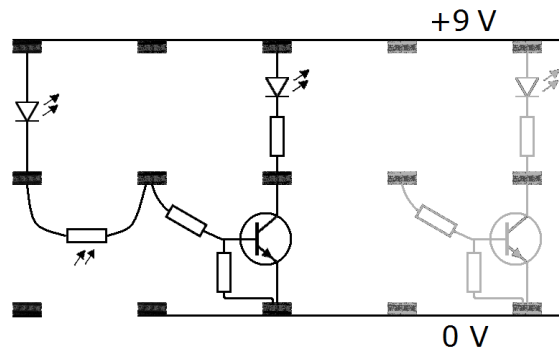


Waarschijnlijk zie je niet veel verschil tussen licht en donker. Dat kan beter.

8. Verbeterde LDR-schakeling

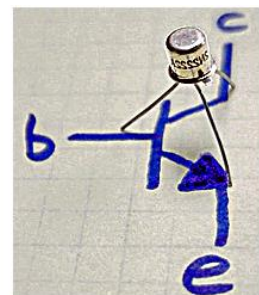
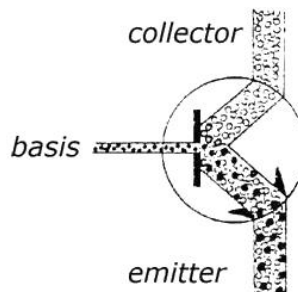
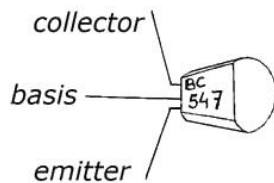
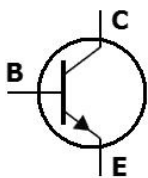
Zie het schema hiernaast en de figuren onderaan deze pagina.

Verbind de LDR met de *basis* van de transistor. Dan gaat de zwakke stroom via de LDR door de *basis* en de *emitter* van de transistor. Die zwakke stroom maakt in de transistor de weg vrij voor een tweede, veel sterkere stroom door de *collector* en de emitter. Die tweede stroom gaat dus ook door de rechter led. Gevolg: de rechter led brandt goed. Maak nu de LDR heel goed donker en kijk of de led nog steeds brandt.



Collector, basis en emitter

De aansluitingen van een transistor heten *collector*, *basis* en *emitter*. In het schemasymbool heeft de emitter altijd een pijl.



De conclusie aan het eind van pagina 5 kun je nu ook anders formuleren:

In een transistor maakt een kleine stroom door de basis en de emitter (basisstroom) de weg vrij voor een sterkere stroom door de collector en de emitter (collectorstroom).

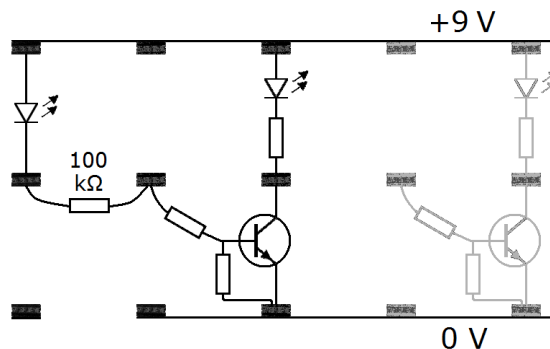
De verbeterde LDR-schakeling van punt 8 was nog niet helemaal goed. In het donker gaat het licht van de rechter led namelijk *uit*. Dat moet net andersom. Dan hebben we een schakeling die lijkt op die van de straatverlichting: het licht gaat automatisch aan als het donker wordt.

Een belichte LDR laat een beetje stroom door. Hij kan die stroom doorlaten *naar de transistor toe*. Als je hem anders aansluit kan hij de stroom ook *van de transistor weg* laten lopen.

9. Andersom

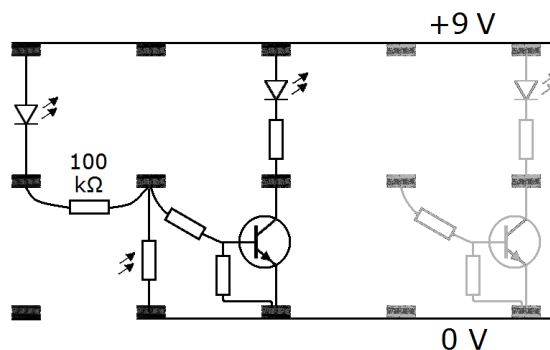
- a. Bouw de schakeling hiernaast. Die lijkt sterk op die van punt 8. Alleen is de LDR nu vervangen door een vaste weerstand van 100 kΩ.

Door de linker led loopt zo weinig stroom, dat je hem nauwelijks ziet branden. Die zwakke stroom is ook de *basisstroom* van de transistor. Die maakt daar de weg vrij voor een veel sterkere *collectorstroom*. De rechter led brandt dus wel.



- b. Neem nu de LDR in de schakeling op, volgens het schema hiernaast. Belicht de LDR. De kleine basisstroom, die onderweg was naar de transistor, gaat nu via de LDR naar de nul omdat de weerstand van de belichte LDR veel kleiner is dan die van de transistor.

Vraag:
Onderzoek en verklaar dat de lichtgevoelige schakeling nu wel goed werkt.



.....
.....
.....

Als je lichtgevoelige schakeling toch niet goed werkt ...

- kan jouw LDR anders zijn (misschien wat slechter) dan die van je medeleerlingen;
- is het verschil tussen licht en verduisterd misschien niet groot genoeg.

Los het probleem zo op:

Neem in plaats van de weerstand van 100 kΩ een regelbare weerstand en stel die in op een weerstandswaarde waarbij de schakeling goed werkt.

D Toepassing: geluidsversterking

Met alleen een mooie zangstem vul je geen concertzaal. Zo hard kan niemand zingen. Je hebt geluidsversterking nodig. Dat kan elektrisch. Een microfoon zet je stemgeluid om in een bijpassende elektrische stroom. Die is echter nog steeds zwak. Daarom sluit je de microfoon aan op een versterker. De transistors in de versterker zetten die zwakke stroom om in een veel sterkere. Die wordt vervolgens naar luidsprekers geleid, waar dan een veel harder geluid uit komt.

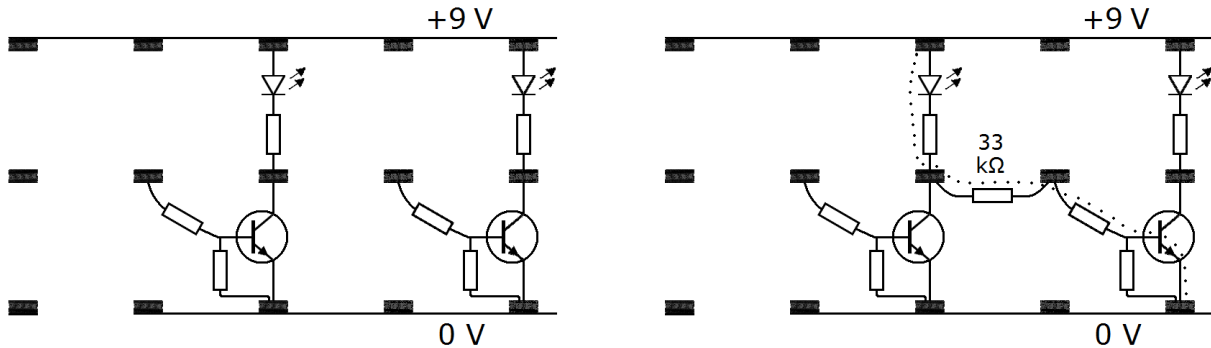
Ook de stroom uit een cd-speler is maar zwak. Daarom sluit je die ook op een versterker aan. Uit de luidsprekers (boxen) komt dan goed hoorbare muziek.



Links een microfoon, rechts een versterker met ingebouwde luidspreker.

E Twee transistors

In de linkerschakeling branden de beide leds niet. Er loopt namelijk door beide transistors geen basisstroom.



10. Sluit een weerstand van $33\text{ k}\Omega$ aan volgens het rechterschema.

De stippellijn geeft de basisstroom aan van de rechter transistor. Die maakt daar de weg vrij voor een sterkere collectorstroom, waardoor de rechter led duidelijk brandt. (De linker led brandt natuurlijk ook een klein beetje).

11. Sluit nu ook een weerstand van $33\text{ k}\Omega$ aan op de linker transistor, volgens het schema hieronder.

Beschrijf wat er gebeurt.

.....

.....

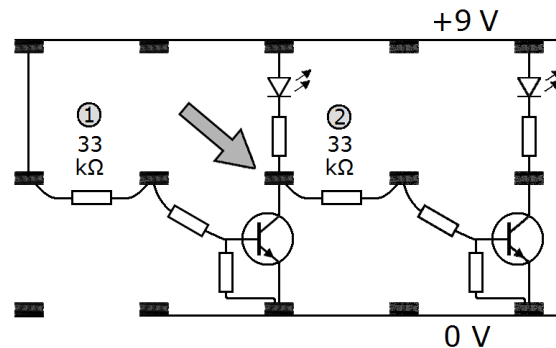
.....

.....

.....

.....

.....



Verklaring:

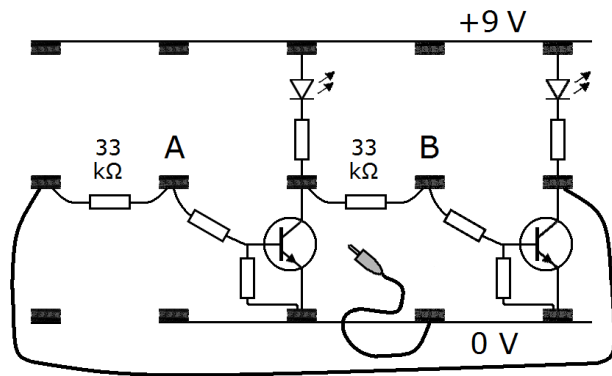
Als weerstand 1 op de plus is aangesloten loopt er door de linker transistor een basisstroom. Die maakt de weg vrij voor een collectorstroom, door de weerstand tussen collector en emitter sterk te verkleinen. Je zegt: de linker transistor 'staat aan'. Die veel sterkere collectorstroom loopt vanaf de plus door de linker led en gaat bij de pijl rechtdoor, via de linker transistor naar de nul, en niet door weerstand 2 naar de rechter transistor. De linker led brandt, de rechter niet.

Als je het extra draadje linksboven losmaakt is weerstand 1 *niet* meer op de plus aangesloten. De linker transistor krijgt nu geen basisstroom meer. Dus is de weerstand tussen collector en emitter groot en kan er geen collectorstroom meer lopen. De linker transistor 'staat uit'. De stroom die vanaf de plus door de linker led loopt gaat bij de pijl *niet* meer rechtdoor, maar nu via weerstand 2 naar de rechter transistor. Daar maakt hij als basisstroom de weg vrij voor een collectorstroom: de rechter transistor staat aan. De rechter led brandt, de linker niet.

F Toepassing: een geheugenschakeling

12. Bouw de schakeling hiernaast, inclusief de twee extra snoeren:

- Het grote snoer van links naar rechts.
 - Het kleine, losse snoertje met stekker.
- Raak met de stekker van het kleine snoertje eerst punt A aan, dan B, dan weer A, enzovoorts. Anders gezegd: maak eerst punt A nul volt, dan B, dan weer A, enzovoorts.



Vragen:

a. Maak punt A nul volt.

- Loopt er nu door de linker transistor een basisstroom?
- Zal de linker led branden?
- Loopt er nu door de rechter transistor een basisstroom?
- Zal de rechter led branden?

b. Maak punt B nul volt.

- Loopt er nu door de rechter transistor een basisstroom?
- Zal de rechter led branden?
- Loopt er nu door de linker transistor een basisstroom?
- Zal de linker led branden?

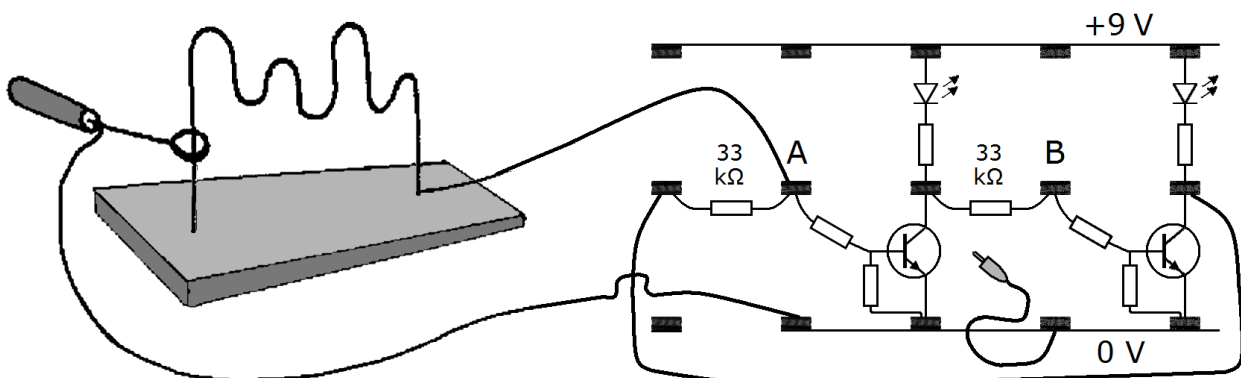
c. Waarom noem je dit een geheugenschakeling?

13. Kronkelspel

Het spelletje hieronder ken je. Je mag de kronkeldraad niet aanraken.

Je kunt het nu zelf maken. Gebruik de geheugenschakeling, met een rode en een groene led.

- Zorg dat de rode led brandt.
- Raak je nu de kronkeldraad, dan gaat de rode led uit en de groene aan.
- Moet rood en groen net andersom? Gebruik dan punt B in de schakeling.



4 De transistor als schakelaar

Je kunt een transistor niet alleen als stroomversterker gebruiken maar ook als schakelaar. Om de schakelwerking van een transistor te begrijpen is de conclusie op bladzij 7 belangrijk:

In een transistor maakt een kleine stroom door de basis en de emitter (basisstroom) de weg vrij voor een sterkere stroom door de collector en de emitter (collectorstroom).

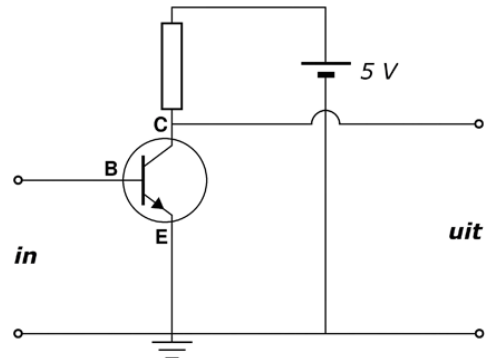
Werking

In de schakeling hiernaast wordt de transistor niet gebruikt als stroomversterker, maar als *schakelaar* tussen collector en emitter.

De collector en de emitter zijn in serie met een weerstand aangesloten op een spanning van 5 V. De basis heet de *ingang*, de collector de *uitgang*.

Met deingangsspanning kun je nu de uitgangsspanning schakelen: zorgen dat hij 0 V wordt of juist 5 V blijft.

- Zet je op de ingang (de basis dus) geen spanning, dan is er geen basisstroom. Dus is er ook geen collectorstroom door de weerstand en de transistor. Er gebeurt niets. De schakelaar tussen collector en emitter is dus open: de uitgang blijft 5 V.
- Zet je op de ingang een kleine, positieve spanning, dan is er wel een (kleine) basisstroom. Dus is er ook een collectorstroom door de weerstand en de transistor. De schakelaar tussen collector en emitter is dus dicht: de uitgang wordt ook 0 V.



De transistor werkt dus als een schakelaar die je niet met een drukknop bedient maar met een spanning: de ingangsspanning op de basis.

Omdat in de praktijk een ingangsspanning van 0,7 V voldoende is om de transistorschakelaar te sluiten, dus de uitgang 0 V te maken, noem je elke spanning kleiner dan 0,7 V *laag* en elke spanning groter dan 0,7 V *hoog*. Laag heet ook vaak 0, hoog heet ook vaak 1.

Dus:

De uitgangsspanning van een transistor kun je schakelen tussen 0 en 1. Dat doe je met de ingangsspanning. Is de ingang 0 dan is de uitgang 1 en andersom.

Maatschappelijk belang

De transistorschakelaar speelt in onze samenleving een belangrijke rol. Hij komt in bijna alle moderne elektronica voor. Zonder transistors geen (mobiele) telefonie, navigatie, medische apparatuur. De transistor is de bouwsteen van de computer. Dus zonder transistors ook geen automatisering, geen tekstverwerking, gaming en internet. De transistor heeft de ontwikkeling van onze maatschappij zeer sterk beïnvloed. Het is een van de belangrijkste technische uitvindingen van de laatste decennia.

5 De computer – het ic

In de moderne automatisering speelt de computer de hoofdrol. Een computer is in feite een universele automaat. Je kunt hem heel veel dingen automatisch laten doen, mits je hem de juiste instructies geeft in voor hem begrijpelijke taal. Een set van instructies voor een bepaalde taak heet een programma. Programmatuur heet ook wel software, de elektronica in de computer ook wel hardware.

Het brein van de computer is de *centrale verwerkingseenheid*, in het Engels *central processing unit (cpu)*, kortweg de processor. De processor is een ingewikkelde elektrische schakeling met de volgende kenmerken:

- Hij is *digitaal*. Dat wil zeggen dat er met maar twee waarden voor de spanning wordt gewerkt, meestal 0 V en 5 V (vaak *laag* en *hoog* genoemd, of 0 en 1).
- De bouwsteen is de transistor, als schakelaar tussen laag en hoog.
- Hij bestaat uit een netwerk van heel veel transistors (soms miljarden), zeer klein uitgevoerd en samen aangebracht op één stuk halfgeleidermateriaal. Je noemt zo'n netwerk een *geïntegreerde schakeling*, in het Engels *integrated circuit*, kortweg ic. Ook kom je vaak de naam *chip* tegen.

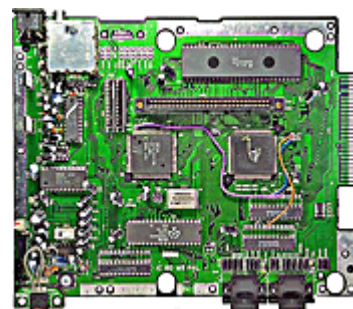
De eerste op silicium gebaseerde transistor werd in 1954 geproduceerd. De eerste werkende geïntegreerde schakeling ongeveer vier jaar later. Daarna ging de ontwikkeling snel. Gordon Moore, één van de oprichters van chipfabrikant Intel, deed in 1965 een voorspelling over die ontwikkelings-snelheid: elke twee jaar zal er opnieuw een verdubbeling van het maximale aantal transistors op een chip mogelijk zijn. Deze *wet van Moore* geldt tot op vandaag (2010), maar deskundigen verwachten dat de vooruitgang binnenkort langzamer zal gaan. De oorzaak is dat de steeds sterkere miniaturisatie niet langer alleen afhangt van technologie, maar nu op fundamentele fysische grenzen stuit.



Een ic op een printplaat



Nog een ic



ic's op het mainboard van een computer

6 Automatische systemen – blokschema

Elk automatisch systeem is opgezet volgens onderstaand blokschema.

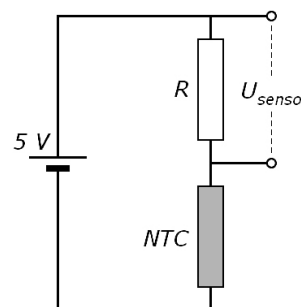


Het invoerblok

Om te kunnen werken moet het systeem eerst informatie verzamelen. Dat gebeurt met behulp van *sensoren*. Een sensor meet een grootte en zet het meetresultaat om in een bijpassende elektrische spanning.

In een kamerthermostaat zit bijvoorbeeld een temperatuursensor. Die meet de temperatuur in de huiskamer en zet die meting om in een elektrische spanning, meestal tussen 0 V en 5 V. Die spanning wordt dan doorgegeven aan het verwerkingsblok, de elektronica in de cv-ketel.

Een sensorschakeling bestaat meestal uit twee weerstanden in serie, een vaste weerstand (R) en een specifieke weerstand. Hiernaast zie je bijvoorbeeld het schema van een temperatuursensor. De specifieke weerstand is een *NTC*. Dat is een temperatuursafhankelijke weerstand waarvan de waarde kleiner wordt bij hogere temperatuur. Dus hoe hoger de temperatuur, hoe kleiner de waarde van de NTC, hoe kleiner de spanning over de NTC, hoe groter de sensorspanning.



Het verwerkingsblok

Het verwerkingsblok is een digitale elektrische schakeling op basis van transistors. Die bewerkt het signaal van het invoerblok, de sensorspanning dus. In grote computers is de processor het verwerkingsblok.

In het voorbeeld: de elektronica in de cv-ketel beslist op grond van de waarde van de sensorspanning of de cv moet aanslaan of niet. Het resultaat van deze beslissing is een nieuwe spanning. Die kan hoog zijn (5 V) of laag (0 V) en wordt doorgestuurd naar het verwerkingsblok.

Het uitvoerblok

In het uitvoerblok zitten de apparaten die de gewenste taken uitvoeren. Die apparaten noem je *actuators*. De verwarmingsketel in de cv-installatie is bijvoorbeeld een actuator. De pomp ook.

7 Logische poorten

Logische poorten zijn elektrische schakelingen met zeer bepaalde eigenschappen. Je kunt ze bouwen door twee of meer transistors te combineren in één schakeling. Zie bijvoorbeeld voor een schema van een *EN-poort* bladzij 3.

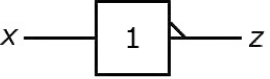
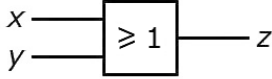
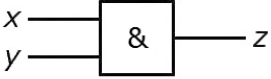
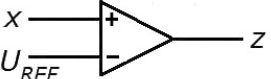
Elke digitale schakeling is een netwerk van logische poorten. Ook de (soms miljarden) transistors op een ic zijn geschakeld als zeer veel logische poorten.

Elke logische poort:

- heeft één of meer ingangen;
- heeft één uitgang;
- is digitaal, dus werkt slechts met 0 en 1.

Logische poorten heten ook wel *verwerkers*.

In de tabel zie je vier logische poorten: de inverter, de OF-poort, de EN-poort en de comparator. Bovenaan staat van elke poort het schemasymbool. De ingangen heten x en y, de uitgang heet z. Van elke logische poort wordt de werking samengevat in een zogeheten *waarheidstabel*.

																																													
Inverter <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>x</th> <th>z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	x	z	0	1	1	0	OF-poort <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>x</th> <th>y</th> <th>z</th> </tr> </thead> <tbody> <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> </tbody> </table>	x	y	z	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	EN-poort <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>x</th> <th>y</th> <th>z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	x	y	z	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	Comparator <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>x</th> <th>z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$< U_{REF}$</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>$> U_{REF}$</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	x	z	$< U_{REF}$	0	$> U_{REF}$	1
x	z																																												
0	1																																												
1	0																																												
x	y	z																																											
0	0	0																																											
0	1	1																																											
1	0	1																																											
1	1	1																																											
x	y	z																																											
0	0	0																																											
0	1	0																																											
1	0	0																																											
1	1	1																																											
x	z																																												
$< U_{REF}$	0																																												
$> U_{REF}$	1																																												

8 Inbraakalarm – een automatisch systeem

In deze paragraaf werk je met de transistor als schakelaar en met een aantal andere verwerkers (logische poorten). Je bouwt een eenvoudig automatisch systeem.

De paragraaf bestaat uit twee delen: A en B. Je werkt aan de hand van 11 practicumopdrachten.

Aanwijzingen vooraf

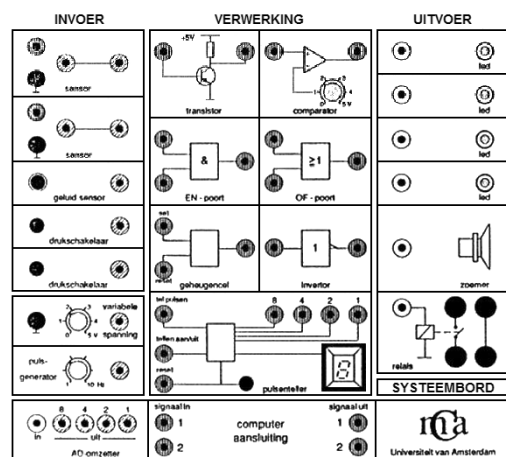
Systemebord

Je gebruikt het systeembord dat hiernaast is afgebeeld. Je sluit het met een netkabel aan op de netspanning van 230 V.

Je ziet dat het systeembord is ingedeeld volgens het blokschema van paragraaf 6. In het invoerblok zie je twee aansluitingen voor een externe sensor, een ingebouwde geluidssensor en twee drukschakelaars. Met de variabele spanningsbron kun je een sensor nabootsen.

In het verwerkingsblok zie je de vier verwerkers uit de tabel, met nog een transistor, een geheugencel en een pulsenteller.

Het uitvoerblok bevat o.a. vier leds en een zoemer.



A Verwerkers. AD-omzetting

1. Drukschakelaar

- Sluit een drukschakelaar aan op een led en controleer de werking van de schakelaar.
- Sluit een voltmeter aan op een drukschakelaar (één snoer op de gele aansluiting, het andere snoer op een willekeurige aarde-aansluiting). Ga na dat de drukschakelaar 0 V of 5 V geeft.

2. Transistor

- Sluit een drukschakelaar aan op de ingang van de transistor. Sluit de uitgang van de transistor aan op een led. Hoe zie je dat de transistor het signaal van de drukschakelaar *inverteert* (omkeert)?
.....

- Sluit de variabele spanningsbron aan op de ingang van de transistor. Sluit de uitgang van de transistor aan op een led. Hoe zie je dat de schakelspanning van de transistor 0,7 V is?
.....

Analoog en digitaal. AD-omzetting

De spanning van de variabele spanningsbron kan alle waarden hebben tussen 0 V en 5 V. Zo'n spanning, die tussen een minimum en een maximum kan variëren, noem je *analoog*.

Bij opdracht 2b zie je dat de transistor het analoge signaal van de variabele spanningsbron digitaal maakt. Je zegt: de transistor werkt als *ad-omzetter*.

De transistor is een ad-omzetter met een vaste schakelspanning. Van een comparator kun je de schakelspanning zelf instellen. Je noemt die instelbare schakelspanning de *referentiespanning* (U_{REF}).

3. Comparator

Sluit op de ingang van de comparator de variabele spanningsbron aan. Sluit de uitgang van de comparator aan op een led. Ga de werking van de comparator na:

- Onderzoek de invloed van de referentiespanning.
.....

- Ga na of de comparator het ingangssignaal inverteert of juist niet.
.....

De transistor en de comparator zijn de enige verwerkers die een analoog ingangssignaal kunnen verwerken. Alle andere verwerkers hebben een digitaal ingangssignaal nodig. Je kunt een digitaal ingangssignaal simuleren met een drukschakelaar.

4. Invertor

- Onderzoek met een drukschakelaar en een led de werking van de invertor.
.....

- Een transistor inverteert het ingangssignaal ook (zie opdracht 3a). Sluit de uitgang van de transistor aan op de ingang van de invertor. Onderzoek met een drukschakelaar en een led de werking van deze combinatie.
.....

5. EN-poort

Onderzoek met twee drukschakelaars en een led de werking van de EN-poort.
.....

6. OF-poort

Onderzoek met twee drukschakelaars en een led de werking van de OF-poort.
.....

B Inbraakalarm

Sensor

Een computer kan met niets anders werken dan met elektrische spanning en stroom. Daarom heeft elk automatisch systeem een *sensor* nodig. Een sensor meet een grootheid en zet het meetresultaat om in een bijpassende elektrische spanning. Een lichtsensor bijvoorbeeld meet de lichtsterkte in een bepaalde ruimte en zet die om in een bijpassende elektrische spanning: hoe groter de lichtsterkte, hoe groter de spanning (tot maximaal 5 V). Een geluidssensor doet hetzelfde met geluidssterkte.

Een sensor heeft drie aansluitsnoeren. Het rode en het zwarte snoer zijn voor de voeding van de sensor (5 V). Het gele snoer draagt het sensorsignaal. Daarmee sluit je de sensor aan op een verwerker.

8. Lichtsensor

Je wilt met een lichtsignaal een zoemer aan- en uitschakelen.

Sluit de lichtsensor aan op één van de sensoraansluitingen op het systeembord. Sluit het gele snoer aan op de ingang van de comparator. Zet de referentiespanning van de comparator op 5 V. Sluit de uitgang van de comparator aan op de zoemer.

- Ga na dat je op deze manier met de sensor de zoemer niet kunt aan- en uitschakelen.
- Bedenk wat je aan je systeem moet veranderen om te zorgen dat het goed werkt.

.....

9. Geheugencel

Op het systeembord zit ook een geheugencel. De geheugencel heeft twee ingangen: *set* en *reset*.

- Onderzoek de werking van de geheugencel met behulp van twee drukschakelaars en een led.
- Verklaar de naam *geheugencel*.

.....

10. Nogmaals de lichtsensor

Breid het automatische systeem van opdracht 8 zó uit, dat:

- de zoemer aan gaat en aan blijft als het donker wordt;
- de zoemer daarna is uit te schakelen met een drukschakelaar.

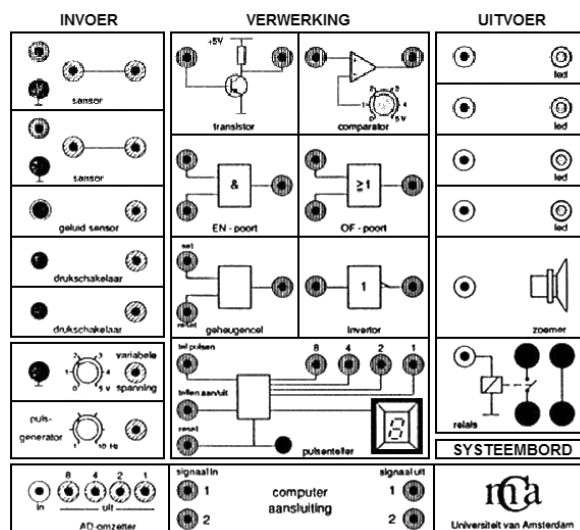
11. Inbraakalarm

a. Breid het automatische systeem van opdracht 10 uit tot een inbraakalarm.

- De zoemer gaat aan en blijft aan als het donker is én er een geluid klinkt.
- De zoemer is daarna uit te schakelen met een drukschakelaar.

b. Onderzoek wat je aan het systeem moet veranderen om te zorgen dat de zoemer al aan gaat en blijft als slechts aan één van de voorwaarden is voldaan.

12. Teken de aansluitsnoeren van het complete systeem in de figuur hieronder.



9 Opgaven

1. Stroomversterker

In de schakeling hiernaast werkt de transistor als stroomversterker. Hij zit in twee stroomkringen tegelijk: de basis-emitterkring en de collector-emitterkring.

a. Hoe groot is de bronspanning in de basis-emitterkring? En in de collector-emitterkring?

b. Leg de werking van de schakeling uit.

c. Toon met een berekening aan dat de sterkte van de basisstroom (I_b) 0,04 mA is.

Aanwijzing: houd er rekening mee dat tussen de basis en emitter een spanning van 0,7 V staat.

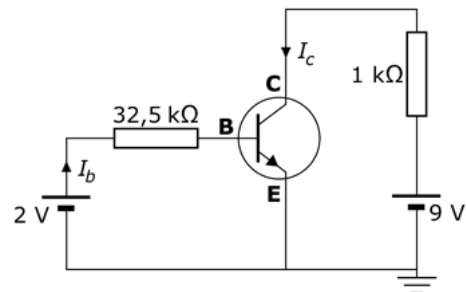
De zogeheten *stroomversterkingsfactor* is 125. Dat wil zeggen dat de collectorstroom (I_c) 125 keer zo sterk is als de basisstroom (I_b).

d. Toon met een berekening aan dat de sterkte van de collectorstroom 5 mA is.

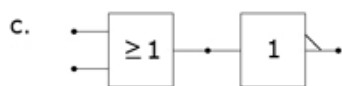
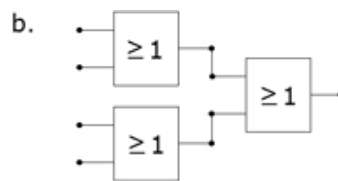
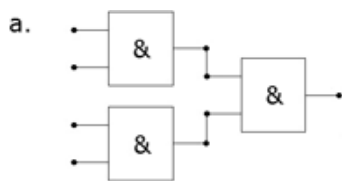
e. Bereken de spanning over de weerstand van 1 k Ω .

Elke elektrische stroom die gedurende een zekere tijdsduur loopt heeft een bepaalde hoeveelheid elektrische energie.

f. Waar komt de elektrische energie van de veel sterkere collectorstroom vandaan?



2. Geef de waarheidstabel van elk van de volgende vier schakelingen.



3. Ontwerp met twee gewone EN-poorten een uitgebreide EN-poort, met drie ingangen en één uitgang.

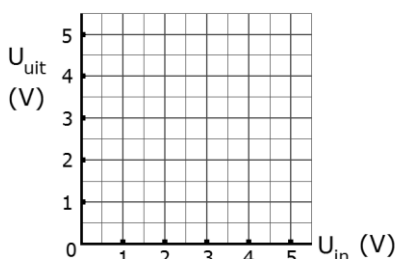
4. Je kunt een transistor en een comparator beide als schakelaar gebruiken.

– Noem de overeenkomst(en) en verschil(len) tussen de transistor en de comparator als schakelaar.

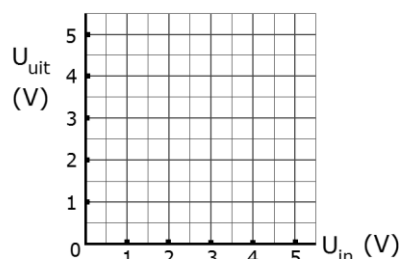
5. Teken in beide diagrammen hieronder de uitgangsspanning als functie van deingangsspanning:

a. Links voor een transistor met een schakelspanning van 0,7 V.

b. Rechts voor een comparator waarvan de referentiespanning is ingesteld op 2,5 V.



transistor



comparator, $U_{ref} = 2,5 V$

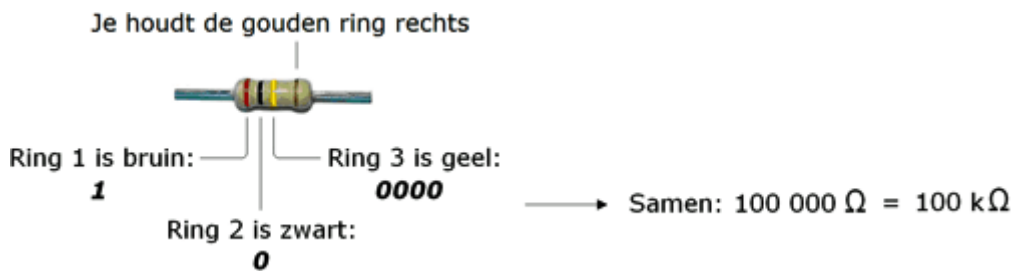
6. Leg uit dat de schakeling op bladzij 3 werkt als EN-poort.

Bijlage: kleurcodering van weerstanden

Op weerstanden is in de fabriek een aantal gekleurde ringen aangebracht, meestal 4. Samen zijn ze een code waaruit je in twee stappen de waarde van de weerstanden kunt aflezen.

1. Je houdt de goudkleurige ring rechts.
2. Lees de andere 3 ringen van links naar rechts af, met behulp van de tabel. Samen geven ze de weerstandswaarde.
 - Ring 1 is het eerste cijfer.
 - Ring 2 is het tweede cijfer.
 - Ring 3 geeft het aantal nullen dat daarachter komt (= de vermenigvuldigingsfactor).

Voorbeeld:



Kleur	Ring 1	Ring 2	Ring 3	= factor
Zilver				0,01
Goud				0,1
Zwart	0	0	--	1
Bruin	1	1	0	10
Rood	2	2	00	100
Oranje	3	3	000	1 000
Geel	4	4	0000	10 000
Groen	5	5	00000	100 000
Blauw	6	6	000000	1 000 000
Violet	7	7	0000000	10 000 000
Grijs	8	8		
Wit	9	9		

Kleurcodering van weerstanden