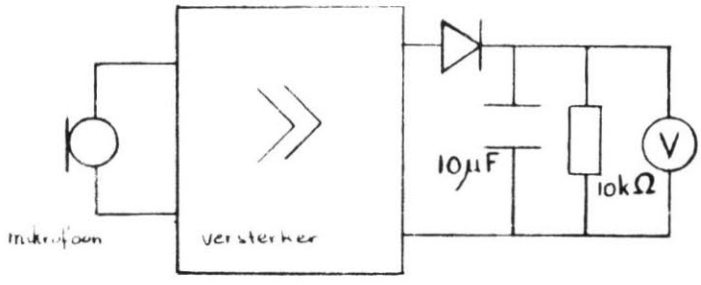
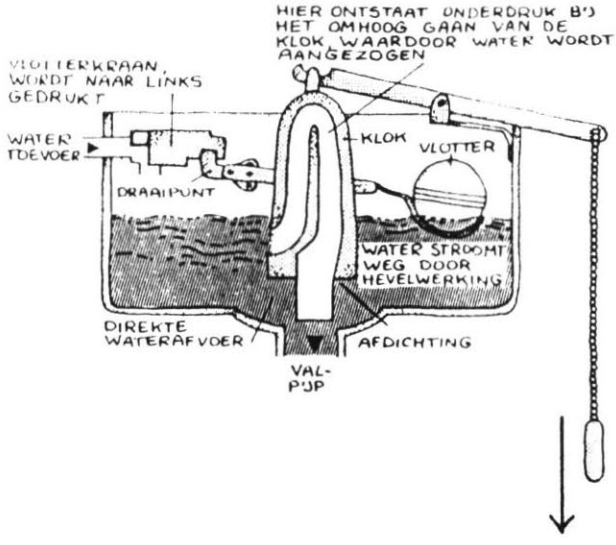
AUTOMATISERING







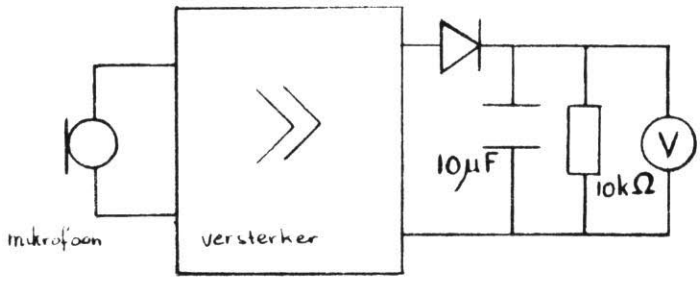
vwo bovenbouw

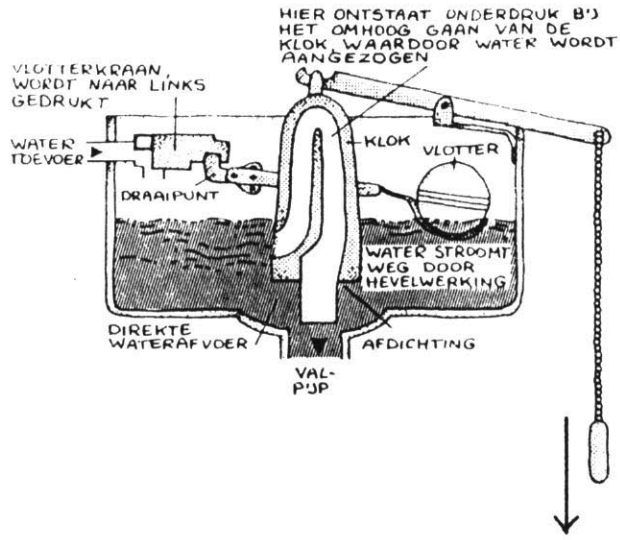
natuurkunde projekt

PLON UvA RUG

AUTOMATISERING







vwo bovenbouw

natuurkunde projekt

PLON UvA RUG

VWO-BOVENBOUW NATUURKUNDE PROJEKT

Het VWO-bovenbouw curriculum in wording bestaat uit thema's, blokken en onderzoekperiodes. In de thema's staat een thema-vraag uit de dagelijkse omgeving, de techniek, de samenleving of de wetenschap centraal.
In blokken worden belangrijke fysische onderwerpen in hun samenhang gegeneraliseerd.

OVERZICHT VAN HET EXPERIMENTELE CURRICULUM

4e klas	5e klas	6e klas
Lijfwerk	Sport	Satellieten
Muziek	Motoren	Blok Elektromagnetische Straling
Verkeer	Blok Arbeid	Hoe ontwikkelt de weten-schap zich?
Blok Bewegingen	Rond 1900	Open onderzoek
Het Weer	Automatisering	Blok Repeteren voor het Examen
Energie	Blok Potentiaal	
	Ioniserende Straling	
	Blok Deeltjesmodellen	
	Keuze-onderwerpen	

Experimenteel natuurkunde thema voor de 5e klas VWO. Samengesteld door medewerkers van het VWO-bovenbouwprojekt en projektleraren.

© 1984 Rijksuniversiteit Utrecht, Universiteit van Amsterdam, Rijksuniversiteit Groningen

PLON, Lab. voor Vaste Stof, Postbus 80.008, 3508 TA Utrecht
Didaktiek Natuurkunde UvA, Nieuwe Achtergracht 170, 1018 WV Amsterdam
Didaktiek Natuurkunde RUG, Landleven 12, 9747 AD Groningen

Hoofdstuk 1

ORIËNTATIE

Inhoud

1.1 Inleiding.
1.2 Automatisering en elektronica.
1.3 Geautomatiseerde processen.
1.4 De opzet van het thema 'Automatisering'.

Oriëntatie

Als je tegenwoordig een krant of tijdschrift doorbladert, word je bestookt met artikelen over *automatisering* en advertenties van automatiserings*systemen* en gezochte automatiserings*deskundigen*. Wat houdt dat automatiseren in, waarom is het zo belangrijk geworden en wat voor (natuurkundige) principes zitten er achter?



"En deze kocht ik om het themaboek 'Automatisering' uit te leggen".

1.1 INLEIDING.

Bij automatisering denkt men al gauw aan computers die in een paar seconden berekeningen uitvoeren waar je met een zakrekenmachine twee dagen voor nodig zou hebben, of aan industriële robots die een auto in elkaar zetten zonder dat een mens eraan te pas komt. Maar ook de vlotter in de stortbak van de WC is een voorbeeld van automatisering. Automatiseren wil gewoon zeggen: dingen die anders door mensen gedaan zouden (moeten) worden, laten regelen door apparaten.
Automatisering dringt vrijwel ongemerkt steeds verder in onze omgeving door. Aan de thermostaat van de CV is iedereen gewend, en van een volautomatische wasmachine staat niemand meer te kijken. Geisers hebben al jaren een 'denkvlam' en misschien staat er een videorecorder in huis die de TV-programma's voor je opneemt als je een avondje uit bent. Ook in hun werk hebben veel mensen met automatisering te maken.



fig. 1.1 De streepjescode

In winkels worden artikelen van streepjeskodes voorzien, die door de kassa gelezen kunnen worden. En als de winkelier wil kan hij er een computer aan koppelen die bijhoudt hoeveel er verkocht wordt, en wanneer er bijbesteld moet worden. Zo'n automatische voorraadadministratie kan de winkelier veel werk uit handen nemen, maar misschien betekent dat ook dat hij minder mensen in dienst neemt.
Als banken het betalingsverkeer sneller willen laten verlopen zullen ze meer moeten automatiseren, maar er zullen dan zeker ontslagen vallen.
In industrieën wordt geautomatiseerd om sneller te kunnen produceren, of goedkoper, ook ten koste van banen, maar door automatisering is het ook mogelijk om vuil en gevaarlijk werk door apparaten te laten overnemen.
Wie in een geautomatiseerd bedrijf werkt moet andere dingen gaan doen dan eerst: een deel van het werk wordt door apparatuur overgenomen, en ander werk komt ervoor in de plaats. Er zijn deskundigen nodig voor de nieuwe apparatuur en er zal moeten worden omgeschoold.

Vragen.

1.1. Noem twee voordelen en twee nadelen van automatisering.
1.2. Geef een voorbeeld van automatisering in de landbouw, in de gezondheidszorg, in de luchtvaart.
1.3. Bij winkels en in ziekenhuizen wordt veel gebruik gemaakt van deuren die automatisch opengaan. Heeft dat in beide gevallen dezelfde reden?
1.4. Welke vormen van automatisering tref je aan binnen school, en wat verwacht je in dit opzicht de komende jaren?

1.2 AUTOMATISERING EN ELEKTRONICA

De grote vlucht die de automatisering genomen heeft is voor een belangrijk deel te danken aan de revolutionaire ontwikkeling van de elektronica in de laatste tientallen jaren. Dit neemt niet weg dat er ook andere manieren van automatiseren zijn:

mechanisch : door middel van bewegende onderdelen

hydraulisch : door middel van vloeistofdruk

pneumatisch : door middel van gasdruk

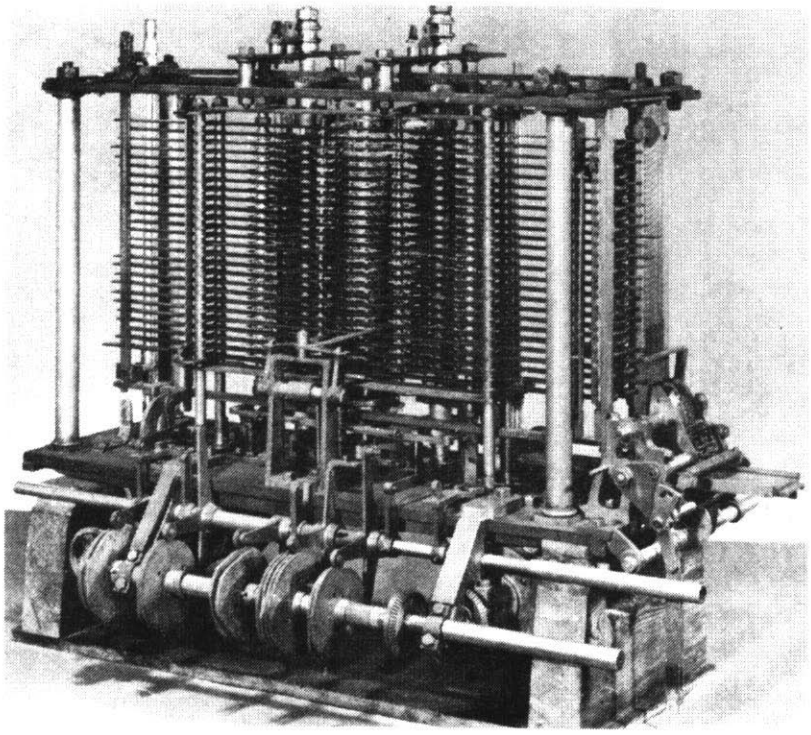
elektrotechnisch : met behulp van relais

Ieder elektronisch systeem kan in principe ook gebouwd worden op een hydraulische, pneumatische of elektrotechnische manier. Maar in kompaktheid, snelheid en kosten wint de elektronica het van de andere.

Vragen

1.5. *In fig. 1.2 zijn voorbeelden te zien van automatisering. Om wat voor soort automatisering gaat het hier?*

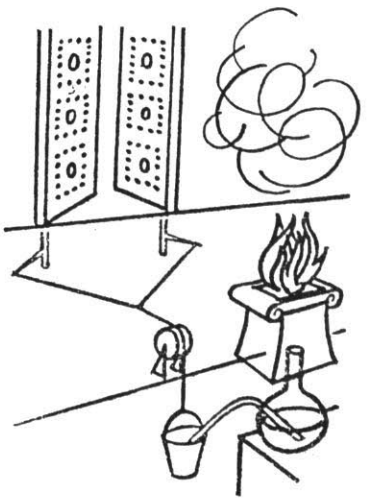
1.6. *Hoe zouden deze machines tegenwoordig gemaakt worden? Waarom?*



Babbage's analytical machine:
mechanische computer

in 1840 ontwierp Charles Babbage een mechanische computer. Hij maakte meer dan 300 tekeningen van zijn ontwerp. Onbegrip bij tijdgenoten, geldgebrek, en de beperktheid van en 19e eeuwse techniek zaten hem tegen, en zijn machine werd nooit helemaal gebouwd.

fig. 1.2



deurenschakeling van
Hero van Alexandrië

In de eerste eeuw voor Christus konstrueerde Hero van Alexandrië een samenstel van katrollen en touwen waardoor de deuren van een tempel op geheimzinnige wijze open gingen als het vuur op het altaar ontstoken werd. Als het vuur gedoofd werd sloten de deuren zich weer.

Vanwege zijn vooraanstaande plaats zal in dit thema de *electronische* automatisering de meeste aandacht krijgen.
Overigens is automatisering niet het enige terrein waar elektronica voorkomt. Ook bij de *informatietechnologie* (= het opslaan en opzoeken van gegevens in computers) en bij *telecommunicatie* (radio, TV, telefoon, satellieten) speelt elektronica een belangrijke rol.
In het thema Satellieten zal de telecommunicatie centraal staan.

Vraag.

1.7. Op welk terrein is de elektronica in de situaties van fig. 1.3 funktioneel?



fig. 1.3 Toepassingen van elektronica

1.3 GEAUTOMATISEERDE PROCESSEN

Het automatisch opengaan van deuren kan technisch op verschillende manieren verwezenlijkt zijn. De ene deur gaat open als je op de mat stapt, de ander reageert bij het onderbreken van een lichtstraal. Na een bepaalde tijd sluit de deur zich weer vanzelf.
Bij geautomatiseerde processen kun je in het algemeen drie fasen onderscheiden:

1. het waarnemen: er komt iemand op de deur af
2. het denken: de deur moet open
3. het handelen: het openen van de deur



fig. 1.4

In het voorbeeld van de automatische deur lijkt het wat overdreven van denkwerk te spreken. Want de waarneming kan maar leiden tot één bepaalde handeling. Dit geldt voor veel geautomatiseerde processen. Het wordt anders als er *gekozen* kan worden uit meer dan één handeling, of als er diverse waarnemingen gekombineerd moeten worden. Soms, niet altijd, zijn apparaten dan voorzien van een geheugen.

Vraag.

1.8. Beantwoord voor de apparaten van fig. 1.5 de volgende vragen:
- *Wat moet het waarnemen en hoe doet het dat?*
- *Moet het meerdere waarnemingen kombineren?*
- *Heeft het een geheugen nodig? Zo ja, wat moet daar dan in staan?*
- *Kan het kiezen uit meer dan één handeling? Zo ja, hoe doet het dat dan?*



fig. 1.5 De schaakcomputer



De verkeerslichtenregeling

Een CV-thermostaat die is ingesteld op 18°C zal de verwarming inschakelen als de temperatuur in de omgeving van de thermostaat lager wordt dan 17°C. En de CV wordt weer uitgeschakeld als de temperatuur boven de 19°C komt. In dit voorbeeld wordt het proces van waarnemen-denken-handelen tweemaal doorlopen. Het resultaat van de eerste handeling(het inschakelen) wordt opnieuw waargenomen en leidt op een gegeven moment tot een volgende handeling (het uitschakelen). Men spreekt in zo'n

geval van *terugkoppeling*. Terugkoppeling betekent dus dat er steeds gekeken wordt of de handeling het gewenste resultaat heeft waarna er zonodig een corrigerende handeling plaatsvindt.
Schematisch kun je een geautomatiseerd proces dus als volgt weergeven:

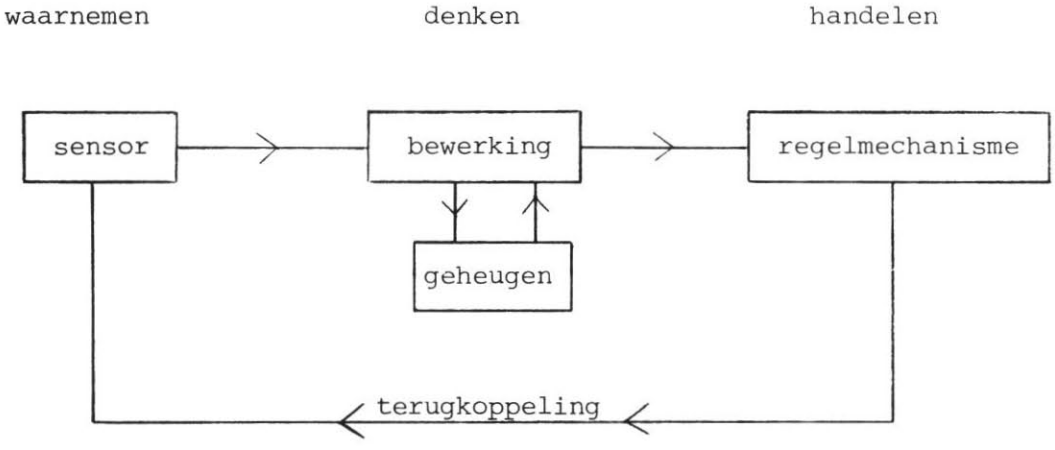
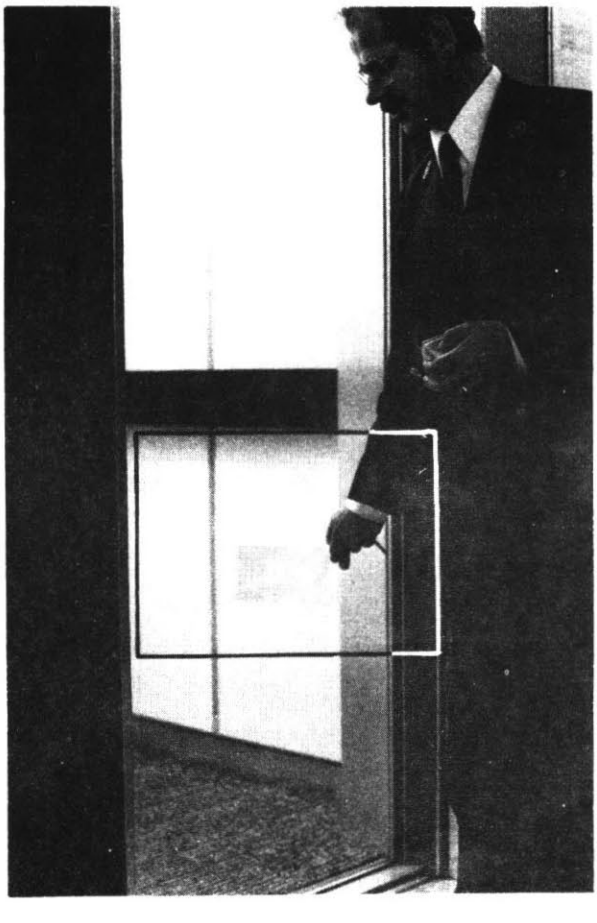


fig. 1.6 Schema van een automatisch proces

Vragen:

1.9. Schrijf een verklarende tekst voor de foto's van fig. 1.7. Laat in de tekst de driedeling waarnemen-denken-handelen duidelijk naar voren komen. Geef aan of er sprake is van terugkoppeling.



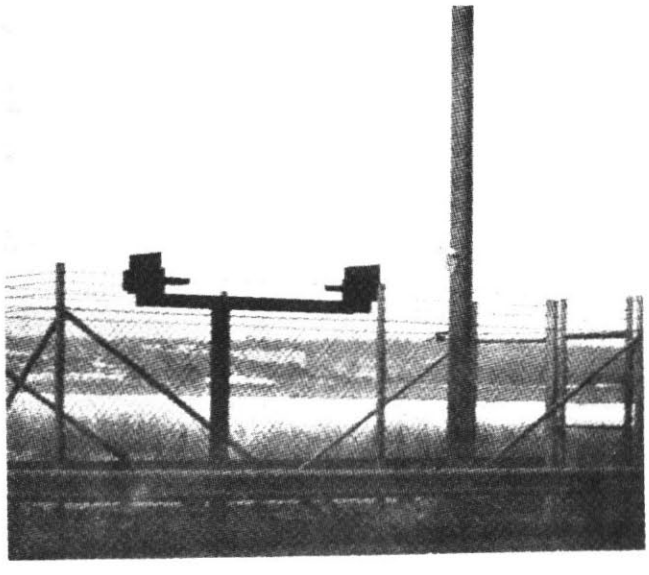


fig. 1.7 Zichtmeting: bij mist gaat een snelheidsbeperking gelden

Liftdeurenschakeling

1.10. Is het dichtgaan van automatische deuren een voorbeeld van terugkoppeling?
1.11. Het akkomoderen van het oog is een automatisch proces. Zoek in het thema Lijfwerk op hoe dit werkt en teken het schema voor dit proces.
1.12. Geef nog een voorbeeld van terugkoppeling in je lichaam.
1.13. Geef een voorbeeld van een automatisch proces met terugkoppeling in de natuur.

1.4 DE OPZET VAN HET THEMA 'AUTOMATISERING'

We hebben gezien dat de elektronica in toenemende mate een rol speelt bij het proces van automatisering. Hoe groot die rol is en welke invloed dit proces op maatschappelijke ontwikkelingen heeft, zijn vragen, die we in dit thema gaan uitdiepen.
Daarnaast zullen we grondig gaan bestuderen hoe de eigenschappen van een automatiseringssysteem zijn terug te voeren tot de eigenschappen van de basiselementen. Hoe moet je deze basiselementen hanteren en welke zijn daarbij de beperkingen?

De opbouw van het thema:



1. Oriëntatie
2. Geschiedenis van de automatisering

   De automatisering is een gevolg van een samenspel van ontwikkelingen in wetenschap, techniek en maatschappij.

3. Elektronische sensoren

   Eigenschappen, funktie en werking van diverse sensoren, ophalen van eerder opgedane kennis over elektrische stromen.

4. Elektronische bewerkingen

   Hoe de signalen van de sensoren bewerkt worden om tot de juiste handeling te komen.

5. Geautomatiseerde systemen

   Verschillen tussen sturen en regelen; terugkoppeling; computers.

6. Automatisering in de praktijk

   Wat kunnen we met de opgedane kennis zeggen over praktijksituaties?

Hoofdstuk 2

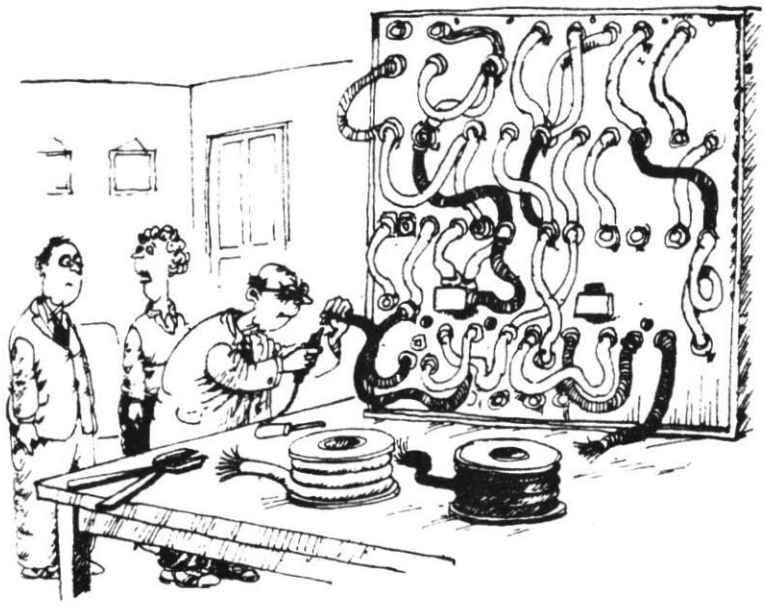
GESCHIEDENIS VAN DE AUTOMATISERING

Inhoud

2.1 De industriële revolutie
2.2 De telegrafie
2.3 De ontdekking van halfgeleiders
2.4 De invloed van de tweede wereldoorlog
2.5 Een wetenschappelijk succes
2.6 Een technische doorbraak
2.7 Automatisering dringt door in de maatschappij.

De geschiedenis van de automatisering.

Als je de ontwikkelingen, die in het automatiseringsproces een rol spelen, in hun onderlinge samenhang bekijkt, ontstaat er een duidelijk beeld van een 'successtory', waarin maatschappelijke, wetenschappelijke en technische faktoren elkaar beïnvloeden en stimuleren.



"Zo was 't vroeger, en nu nog als je bijziend bent".

2.1 DE INDUSTRIËLE REVOLUTIE

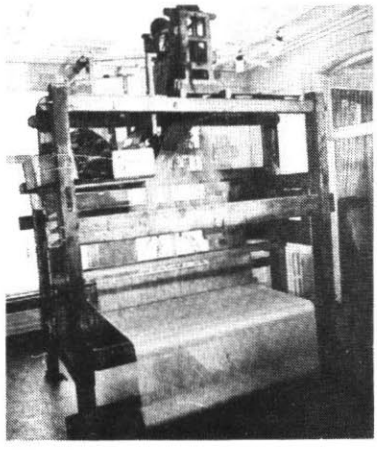


fig. 2.1 Een door ponskaarten geautomatiseerd weefgetouw van Jacquard (19e eeuw)

Automatisering is niet alleen iets van de laatste jaren, al kan men zeker wel zeggen dat de automatisering momenteel in een ongekend snel tempo uitgebreid wordt. Ongeveer een eeuw geleden vond ook zo'n ingrijpende ontwikkeling plaats. Het op grote schaal toepassen van machines, ook wel *mechanisering* genoemd, was hèt kenmerk van de Industriele Revolutie. Van echte automatisering was toen nog weinig sprake. Alleen menselijke handelingen werden door machines overgenomen, maar tegelijkertijd waren er veel mensen nodig om de machines te bedienen.

Voor de mensen in die tijd had het op grote schaal toepassen van machines inderdaad het karakter van een revolutie. Eerst waren zij gewend met de hand te werken, op het land of in kleinschalige bedrijfjes, en nu stonden zij in grote fabriekshallen machines te bedienen en niet altijd onder de meest frisse omstandigheden. Ook het huiselijk leven moest zich aanpasssen: in het begin van de revolutie werkten man en vrouw beiden in de industrie. Onder andere als gevolg van het grote ziekteverzuim onder de arbeiders (slecht geventileerde fabriekshallen) en de behoefte aan sterke en gezonde arbeiders werden er beperkingen opgelegd aan vrouwen- en kinderarbeid. Zo ontstond voor de arbeiders een gezinsleven waarbij de vrouw de verzorgende rol kreeg.

2.2 DE TELEGRAFIE.

De mechanisering was mogelijk geworden door de uitvinding van de stoommachine in 1781 door James Watt. Een halve eeuw later, in 1831, werd door Michael Faraday de elektromagnetische induktie ontdekt (een bewegende magneet wekt in een gesloten stroomkring een stroom op). Dit verschijnsel vormde de basis voor het ontwikkelen van de telefoon. Nadat in 1865 Maxwell het bestaan van elektromagnetische golven had voorspeld en Heinrich Hertz deze in 1888 inderdaad waargenomen had, stond de weg open voor de draadloze telegrafie, en later voor radio- en TV-golven. Voor de ontvangst van deze golven had men diodes en versterkers nodig.

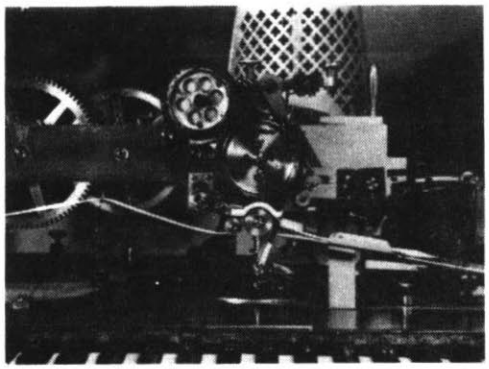


fig. 2.2 Een telegraaf

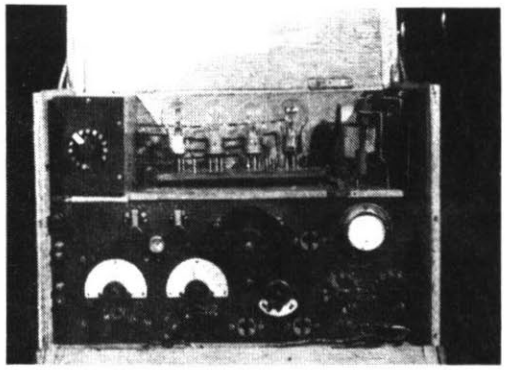


fig. 2.3 Een radio uit de Eerste Wereldoorlog

Rond 1905 werd een belangrijk technisch probleem opgelost. Het lukte glazen buizen te maken die vacuüm gezogen waren en waarin metalen elektrodes waren aangebracht. De vacuüm-diode en -triode waren een feit. Spoedig werden er ook radio's gebouwd en tegen 1940 was er een gigantische elektronische industrie gegroeid die buizen bouwde voor radio's TV's,wetenschappelijke en medische apparatuur. In 1946 werd met 18.000 buizen de eerste computer ENIAC gebouwd.

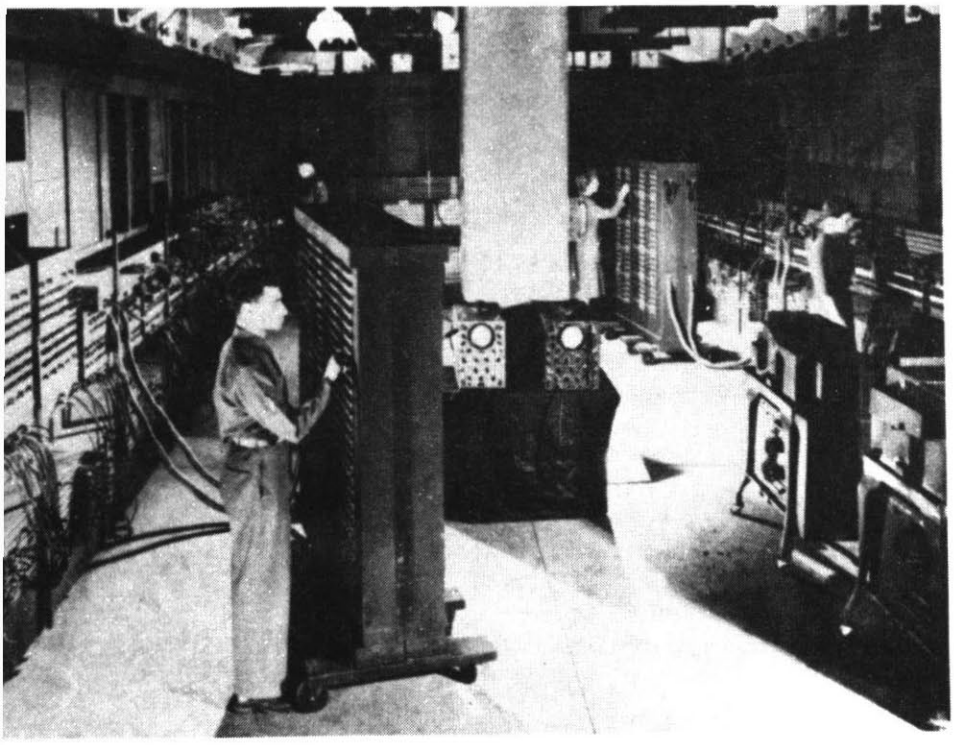


fig. 2.4 De ENIAC

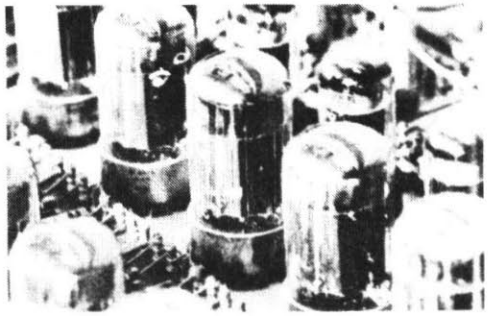


fig. 2.5 Buizen in een computer

2.3 DE ONTDEKKING VAN HALFGELEIDERS

Inmiddels waren diverse wetenschappelijke onderzoekers al jaren bezig vaste stoffen te onderzoeken. Dit leverde de ontdekking op van *halfgeleiders*, stoffen die in eigenschappen tussen de metalen en de niet-metalen liggen.

Een diode is een onderdeel van van elektronische schakelingen dat de stroom slechts in één richting doorlaat en in de andere richting blokkeert; het is onder andere noodzakelijk in ontvangers van radio- en radargolven. Een triode is een versterker, zoals de transistor.

Diodes op basis van halfgeleiders waren al bekend sinds 1874, al kende de ontdekker Ferdinand Braun het begrip halfgeleider niet, en kon hij de werking er van niet verklaren. Daarvoor waren theorieën nodig die pas in de eerste helft van de 20e eeuw ontstonden, bijvoorbeeld het atoommodel van Bohr. Op theoretische gronden bestond het vermoeden dat het mogelijk moest zijn ook een halfgeleider-triode te bouwen. Dat lukte de Duitse onderzoekers Pohl en Hilsel in 1938.

2.4 DE INVLOED VAN DE TWEEDE WERELDOORLOG

De Tweede Wereldoorlog bracht een belangrijke stimulans voor de ontwikkeling van de halfgeleiders. De vacuüm-diodes bleken namelijk niet bruikbaar voor de hoogfrekwente radar-apparatuur. Tegen 1943 waren bruikbare halfgeleiderdiodes voor dit doel ontwikkeld. Ten opzichte van de buizen hadden zij bovendien het voordeel dat ze kleiner en lichter waren en geen grote spanning nodig hadden, hetgeen met name van belang was voor apparatuur aan boord van vliegtuigen.
Ook op een andere manier had de oorlog invloed. De oorlog is in feite gewonnen door de techniek. De ontwikkeling van het vlieguig, de radar, en niet te vergeten de atoombom, was doorslaggevend. Zodoende ontstond een sterk geloof in wetenschap en techniek, en dat leidde tot aanzienlijke uitbreidingen van universiteiten en steeds grotere investeringen in onderzoek. Steeds meer ook werd dit onderzoek in teamverband gedaan, in plaats van individueel.

2.5 EEN WETENSCHAPPELIJK SUCCES.

Het zoeken naar een halfgeleidertriode werd in 1947 bekroond met de ontdekking van de *transistor* door Shockley, Bardeen en Brattain van Bell's Laboratories in de VS.

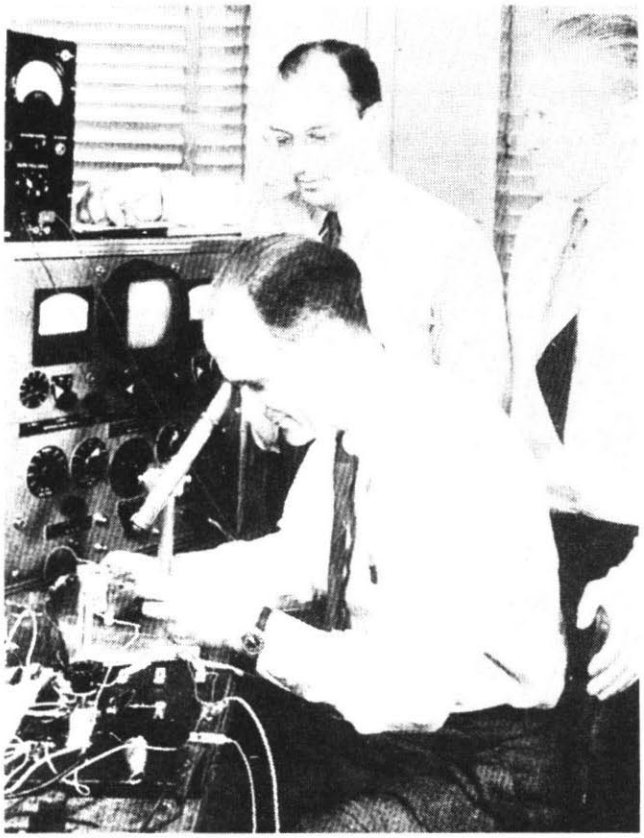


fig. 2.6 De uitvinders van de transistor: v.l.n.r. Shockley, Bardeen en Brattain (1948)

Daarmee stond de weg open voor het bouwen van kompakte en lichte versterkers met een laag energieverbruik. Maar er moesten nog tal van technische problemen worden opgelost, voordat betrouwbare transistors geproduceerd konden worden. De gevestigde elektronische industrieën gingen verder met het ontwikkelen van kleinere typen buizen met een lagere spanning, en de ontwikkeling van de halfgeleidertechnologie kwam voornamelijk in handen van kleine gespecialiseerde bedrijfjes. Aanvankelijk was de belangrijkste toepassing het gehoorapparaat. Verder had het leger veel belangstelling in verband met het ontwikkelen van de ruimtevaart. De halfgeleiderbedrijven kregen dan ook bijna uitsluitend orders uit die hoek.

Pas tegen het eind van de jaren vijftig was er sprake van betrouwbare transistors. Ze werden toen toegepast in radio's, TV-kamera's, gehoorapparaten en computers. Door de groeiende economie van de jaren vijftig was er een welvaart ontstaan, en daarmee een grotere markt voor de transistorprodukten.

2.6 EEN TECHNISCHE DOORBRAAK.

In 1961 werd technisch een sprong vooruit gemaakt, toen de eerste geïntegreerde schakeling (= Integrated Circuit) gemaakt werd. Een IC is een schakeling van meerdere transistoren, diodes, weerstanden e.d., die als één geheel gefabriceerd wordt zonder dat verbindingsdraden nodig zijn. Computers konden hiermee maar liefst 150 x kleiner gemaakt worden.

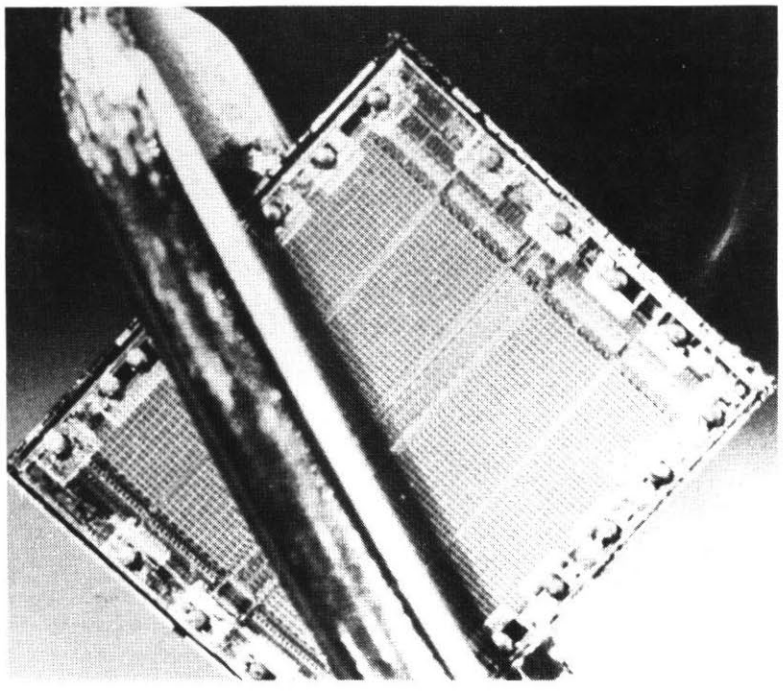


fig. 2.7 Een chip door het oog van een naald

Ook voor de IC's gold dat ze aanvankelijk voor bijna 100% werden opgekocht door militaire instellingen, die daarmee de verdere ontwikkeling stimuleerden. Ook hier vond weer na enige jaren een verschuiving plaats naar de commerciële sektor. De omvang van de IC werd gestadig kleiner door steeds betere produktiemethoden.
Een belangrijke stap in dit proces van verkleining, ook wel *miniaturisering* genoemd, was de ontwikkeling van de *microprocessor* in 1969. Dit is een programmeerbare IC met een algemene toepasbaarheid, bijvoorbeeld in automatiseringsschakelingen. Een microprocessor wordt vaak met een aantal geheugen-IC's gekombineerd en heet dan een *microcomputer*.

2.7 AUTOMATISERING DRINGT DOOR IN DE MAATSCHAPPIJ

Rond 1970 is er een groot aantal commerciële produkten waarin halfgeleiders gebruikt worden: stereo-installaties, radio's, TV's, enz. Ook komen in die tijd voor het eerst Japanse bedrijven op de markt. Zij zijn volledig op commerciële produktie gericht. Het mag opvallend genoemd worden dat de Japanse industrie in staat is geweest in korte tijd de halfgeleidertechnologie onder de knie te krijgen, terwijl de VS daar al een jarenlange voorsprong in had. Hun goede organisatievermogen en gerichtheid op produktverbetering speelt hierin een belangrijke rol.

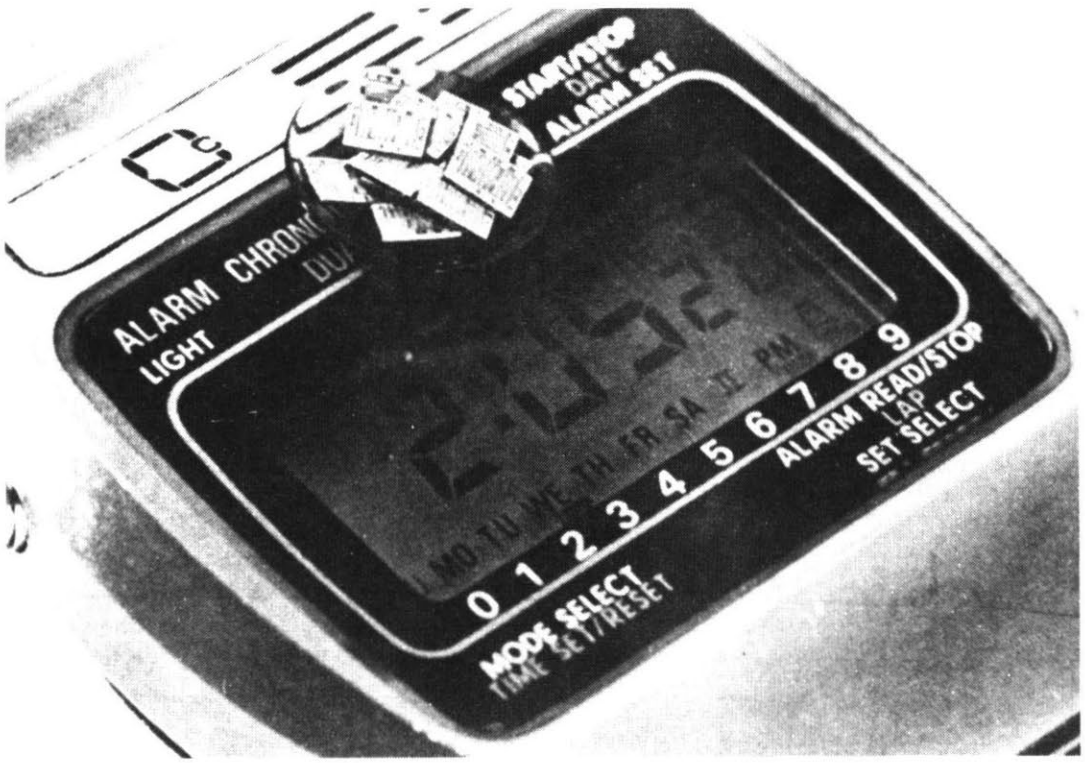


fig. 2.8 Micro-elektronica in sonsumptiegoederen

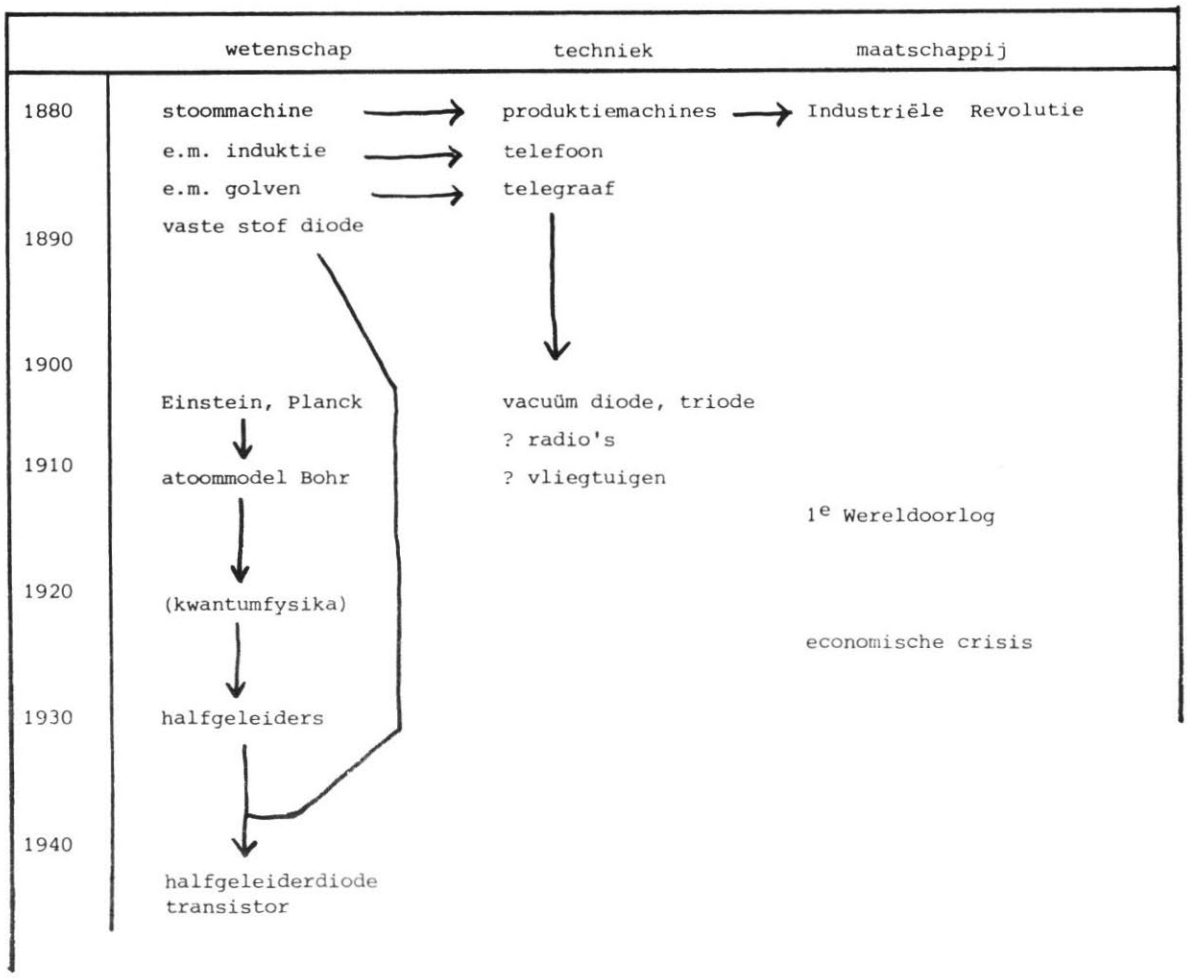
In de techniek gaat ondertussen de miniaturisering verder, en de mogelijkheden worden groter: berekeningen en metingen voor wetenschappelijke doeleinden worden geautomatiseerd, communicatie via satellieten wordt verwezenlijkt, en voor het opslaan van gegevens worden computers algemeen gebruikt.
Bedrijven zien mogelijkheden tot vernieuwing (*innovatie*), zowel van produktiemethode als van produkten zelf. Artikelen als elektronische zakrekenmachines, digitale horloges, video-spelletjes, huiscomputers enz. worden gemeengoed.
Automatisering wordt tot een breed verschijnsel in de maatschappij. Er ontstaat angst voor een ongeremde groei van de werkloosheid enerzijds, en een dreiging achterop te raken bij de nieuwste ontwikkelingen anderzijds.



fig. 2.9 Micro-elektronica, in ruil voor olie

Opdracht:

Neem onderstaand schema over en vul er de ontdekkingen, gebeurtenissen en ontwikkelingen in, vanaf 1930 tot nu. Zet pijlen om het verband tussen de gebeurtenissen aan te geven.



Hoofdstuk 3

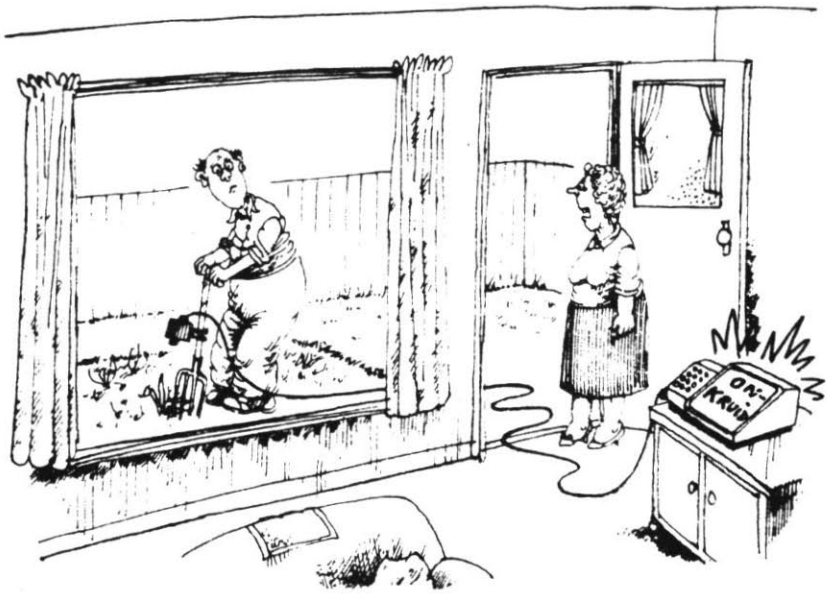
ELEKTRONISCHE SENSOREN.

Inhoud.

3.1 Inleiding.
3.2 Elektrische schakelingen
3.3 Elektronische sensoren.
3.4 Condensatoren.
3.5 Stroomgeleiding.
3.6 De L.D.R.- en N.T.C.weerstanden.
3.7 De halfgeleiderdiode.
3.8 Andere sensoren.
3.9 Opgaven.

Elektronische sensoren.

De eerste schakel van het automatiseringssysteem is de sensor, oftewel het *zintuig* van de automaat. We zullen in dit hoofdstuk onderzoek doen naar sensoren voor temperatuur, licht, geluid en tijd. Ook zullen we bekijken wat voor natuurkundige principes de werking van de sensor bepalen. Maar eerst zetten we de kennis, die je nodig hebt over elektrische schakelingen, op een rij.



"Ja lieve, die kun je eruit halen!"

3.1 INLEIDING.

Om een procedure te automatiseren zijn gegev ns nodig over de feitelijke toestand van een of meer grootheden, die in de procedure een rol spelen. Zo moet het regelsysteem van een CV-installatie informatie hebben over de temperatuur, die er binnen in de kamer heerst. Moderne installaties maken ook nog gebruik van andere gegevens, zoals buitentemperatuur, ketelwatertemperatuur, doorstroomsnelheid van het water e.d.
Het automatiseringssysteem verkrijgt dit soort informatie via zijn "zintuigen" of sensoren. In de techniek wordt ook het woord *transducer* gebruikt. In feite zijn het instrumenten die een bepaalde grootheid meten en vervolgens de waarde ervan omzetten in een bepaald signaal, b.v. een spanning. Op grond van deze informatie beslist de bewerker in het systeem of er iets moet gebeuren en zo ja, wat.

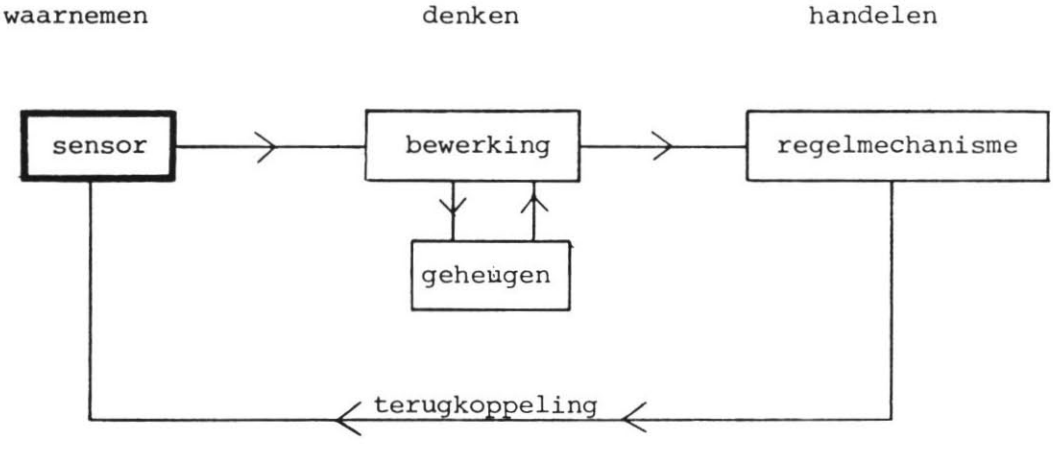


fig. 3.1 Blokschema van een geautomatiseerd systeem

Je vindt bij automaten dezelfde soort zintuigen als bij mensen, hoewel ze meestal wel beter ontwikkeld zijn. Zo kun je met je handen hoogstens voelen dat het ene voorwerp warmer of kouder is dan het andere. Een elektronische temperatuursensor kan temperaturen veel preciezer bepalen.
De eenvoudigste sensor is een aan/uit-schakelaar. In sommige gevallen is het voor een automaat voldoende te weten, dat de schakelaar aan is, zodat hij in aktie moet komen.
Overigens zijn er ook pneumatische sensoren (die werken op luchtdruk) en hydraulische sensoren (op olie- of waterdruk), maar in dit thema bekijken we hoofdzakelijk elektronische sensoren. Je kunt daarmee gemakkelijk grote afstanden overbruggen. Ze zijn schoon, vergen weinig onderhoud en werken erg snel.

Hoofdstuk 3 is als volgt opgebouwd:
We beginnen met een korte herhaling en/of uitbreiding van een aantal zaken die met elektriciteit en elektrische schakelingen te maken hebben. (par. 3.2).
Daarna onderzoek je de werking van 5 soorten sensoren: voor positie, temperatuur, lichtsterkte, tijd en geluid (par. 3.3).
Achtergrondtheorie over de werking van een aantal componenten in de diverse sensoren vind je in de paragrafen 3.4 t/m 3.7. Het hoofdstuk eindigt met een groot aantal uiteenlopende sensoren, die je in allerlei situaties in je omgeving tegenkomt.

Vragen.

3.1 Bedenk een aantal natuurkundige grootheden, die als informatiebron dienen voor een bepaalde automaat.

3.2 Waarom is een knopje in de bus iets meer dan alleen maar een aan/uit schakelaar?

3.2 ELEKTRISCHE SCHAKELINGEN

Voordat we enkele eenvoudige elektronische zintuigen gaan onderzoeken zullen we een aantal algemeen geldende eigenschappen van elektrische schakelingen op een rij proberen te zetten. Sommige daarvan ken je al, andere worden misschien wat preciezer geformuleerd.

Opdracht 3.1 *Stroomkringen.*

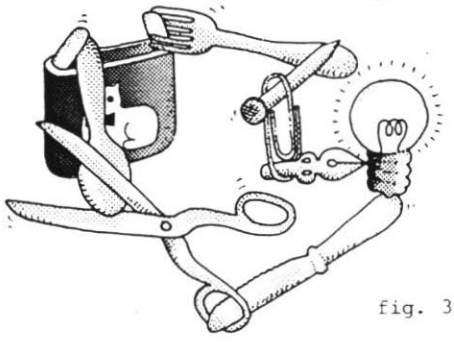


fig. 3.2 Vreemde schakeling

In fig. 3.2 is een vreemde schakeling gebouwd, maar het lampje brandt!
a. Aan welke twee basisvoorwaarden voldoet deze schakeling blijkbaar?
b. Uit welke onderdelen bestaat de stroomkring van de voorlamp van je fiets?

Opdracht 3.2 *Schakelschema's.*

In de tabel van fig. 3.3 staan symbolen, waarmee je snel en duidelijk schema's van schakelingen kunt tekenen.
a. Welke elektrische componenten zijn in de schakeling van fig. 3.4 opgenomen?
b. Geef in je eigen woorden weer, wat het verschil is tussen de manieren waarop de stroommeter en de spanningsmeter zijn geschakeld.

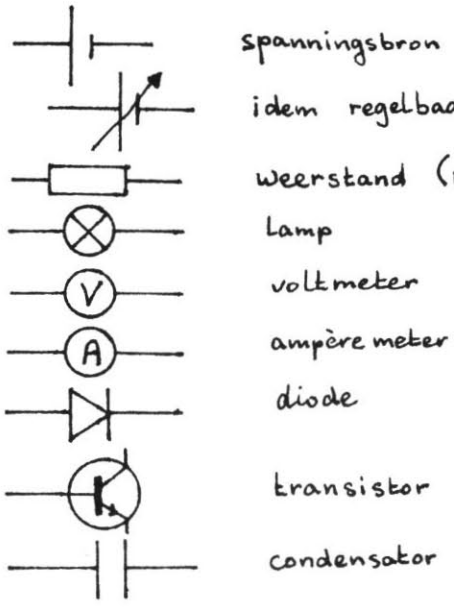


fig. 3.3 Schakelsymbolen

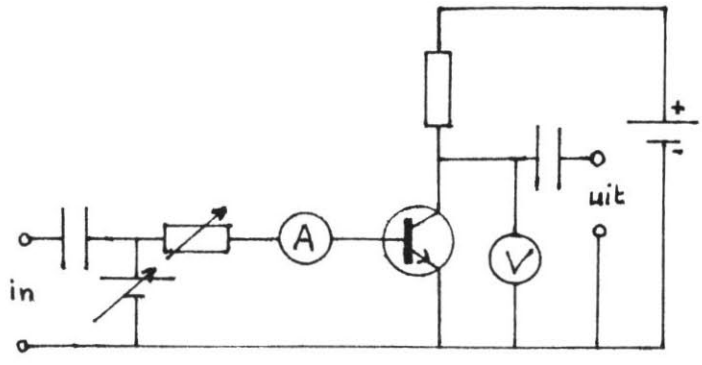


fig. 3.4 Schakelschema



Ohm (1789-1854)

STROOMSTERKTE

Als in een kring een spanningsbron is opgenomen gaat er op de aanwezige geladen deeltjes, meestal negatief geladen elektronen, een kracht werken, waardoor ze een snelheid krijgen. Er ontstaat een gerichte stroom.

Met behulp van een ampèremeter die in de kring wordt opgenomen kun je de stroomsterkte meten. Je meet dan de hoeveelheid lading die per seconde door de meter loopt (niet het aantal deeltjes). Bij een stroomsterkte van 1 ampère loopt er in 1 seconde een lading van 1 coulomb, dan zijn $6{,}25 \times 10^{18}$ elektronen.

Als je weet hoe groot de stroomsterkte is die door een draad loopt, kun je uitrekenen hoeveel lading er in een bepaalde tijdsduur door die draad stroomt m.b.v.:

$$Q = I \times \Delta t$$

Hierin stelt Q de lading, I de stroomsterkte en Δt die tijdsduur voor. Volgens een oude afspraak is de richting van de stroom altijd van de "plus" naar de "min" van de bron. We letten hierbij uitsluitend op het resultaat van het ladingstransport; daarvoor maakt het niet uit of er positieve lading van A naar B stroomt of een negatieve lading van B naar A.

Opdracht 3.3. *De wet van Ohm.*

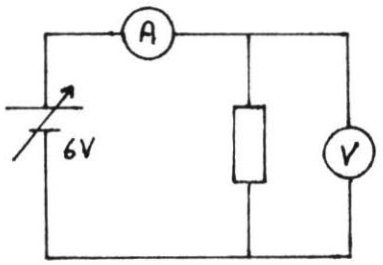


fig. 3.5 Schakeling bij opdracht 3.3

a. Bouw de schakeling van fig. 3.5 na.
b. Varieer de spanning V tussen 0 en 6V en meet de bijbehorende stroomsterktes I. Bereken steeds de verhouding V/I. Deze verhouding noemt men de de weerstand R.
c. Maak ook een grafiek van je metingen.
d. Trek uit je grafiek en de gemaakte berekeningen een konklusie over het verband tussen spanning en stroomsterkte.

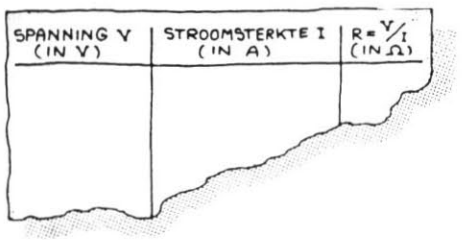


fig. 3.6

e. Herhaal de proef met een 6V-lampje.
f. Kun je nu dezelfde konklusie trekken over het verband tussen spanning en stroomsterkte?
g. Kun je de weerstand van het lampje berekenen?

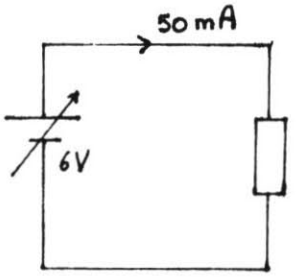


fig. 3.7 Schakeling bij vraag 3.4

Vragen:

3.3 Geldt de Wet van Ohm voor de schakeling met het lampje?

3.4 a. Wat moet je bij de schakeling van fig. 3.7 doen om de stroomsterkte 2½ keer zo groot te maken?
b. Op welke manier gebruik je de Wet van Ohm bij je antwoord?

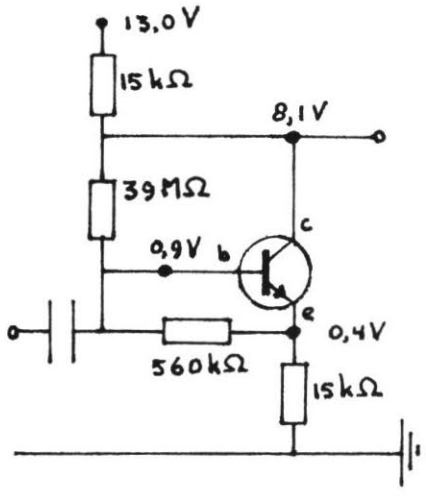


fig. 3.8 Schakeling bij vraag 3.5

3.5 In fig. 3.8 is een stukje van een ingewikkelde versterkerschakeling getekend. Op verschillende plaatsen zijn spanningen aangegeven, die zijn opgegeven t.o.v. het nul-niveau van de geaarde draad.
a. Bereken de stroomsterktes door de verschillende weerstanden.
b. Op welke manier gebruik je nu de Wet van Ohm?

3.6 Leg eens uit dat de grootheid V/I inderdaad een goede maat is voor de "weerstand" die een elektrische component biedt aan de stroom.

Misschien is de *Wet van Ohm* wel de bekendste wet uit de middelbare-schoolnatuurkunde. Toch is hij minder eenvoudig dan vaak wordt gedacht, vooral omdat je hem op twee manieren kunt gebruiken:
hij doet een uitspraak over een *evenredigheid*: de spanning over een elektrische component is recht evenredig met de stroomsterkte, die er door gaat. Als deze evenredigheid geldt, dan is de weerstand van die component *konstant*: V/I = konstant.
hij *definieert* de weerstandswaarde R van een component: $R = V/I$, waarbij V de spanning *over* en I de stroom *door* die bepaalde component voorstellen. Op deze manier kun je in allerlei situaties V, I en R van een of meer componenten uit elkaar berekenen.

De eenheid van spanning is de volt (V) en van stroomsterkte de ampère (A).
De eenheid van weerstand is de ohm (Ω), gedefinieerd als: 1Ω = 1 V/A of: de weerstand van een komponent is 1Ω als bij een spanning van 1V een stroom van 1A door die komponent gaat.

Het woord weerstand heeft in het Nederlands twee betekenissen: de *komponent* zelf (het ding) en de *waarde* van de weerstand. In het Engels is dat wat duidelijker:
resistor = het weerstandje
resistance = de weerstandswaarde.

Om aan te geven hoe groot een weerstand is, zijn er vier gekleurde ringen op de weerstand aangebracht. Om de waarde van de weerstand te kunnen "lezen", moet je de weerstand zo houden dat de ring die het dichtst bij een aansluiting zit, links zit.

Opdracht 3.4. *Kleurcodes.*

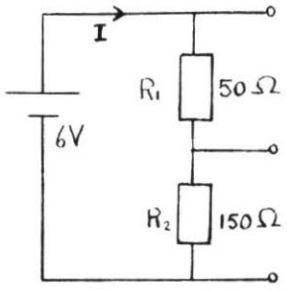
a. Zoek de betekenis van de kleurencode op in het tabellenboekje.
b. Zoek met behulp van de code weerstanden op van 47Ω en 1,5 kΩ.
c. Bepaal met een proef de weerstandswaarde van deze weerstanden.
d. Liggen de door jou gevonden waarden binnen de tolerantiegrenzen van de door de fabrikant opgegeven waarden?

fig. 3.10 Weerstandswaarden worden aangegeven met gekleurde ringen



We zullen nu nagaan wat er gebeurt als je twee weerstanden *achter* elkaar (in *serie*) en *naast* elkaar (*parallel*) schakelt.

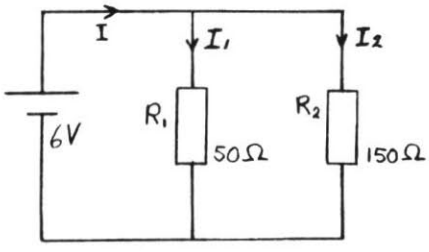
Opdracht3.5 *Serieschakeling.*



a. Bouw de schakeling van fig. 3.11.
b. Meet de stroomsterkte I in de kring op verschillende plaatsen en de spanningen over R_1 en R_2
c. Welke konklusies kun je trekken over stroom en spanningen in een serieschakeling?
d. Kontroleer de Wet van Ohm voor beide weerstanden.

fig. 3.11 Schakeling bij opdracht 3.5

Opdracht 3.6 *Parallelschakeling*



a. Bouw de schakeling van fig. 3.12.
b. Meet de stroomsterktes I,I_1 en I_2 in de kring en de spanning over de weerstanden.
c. Welke konklusies kun je trekken over stromen en spanningen in een parallelschakeling?
d. Kontroleer de Wet van Ohm voor beide weerstanden.

fig. 3.12 Schakeling bij opdracht 3.6

In het algemene geval dat twee (of meer) weerstanden R_1 en R_2 in serie of parallel worden geschakeld kun je het volgende zeggen over spanningen:
V_1 over R_1 en V_2 over R_2 en de stromen I_1 , door R_1 en I_2 door R_2 :

	V_1 en V_2	I_1 en I_2
serie	$V_1 : V_2 = R_1 : R_2$	$I_1 = I_2$
parallel	$V_1 = V_2$	$I_1 : I_2 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2}$

Bij serieschakeling wordt de spanning dus verdeeld over de weerstanden men spreekt dan ook wel van een *spanningsdeler*.
Bij parallelschakeling wordt de stroom verdeeld tussen de twee weerstanden: men spreekt dan wel van een *stroomvertakking*.

vraag:

3.7 Leg in je eigen woorden uit dat bij een serieschakeling de spanningen worden verdeeld, evenredig met de weerstanden. Eveneens, dat bij een parallelschakeling de stromen worden verdeeld, omgekeerd evenredig met de weerstanden.

Opdracht 3.7 *Vervangingsweerstand.*

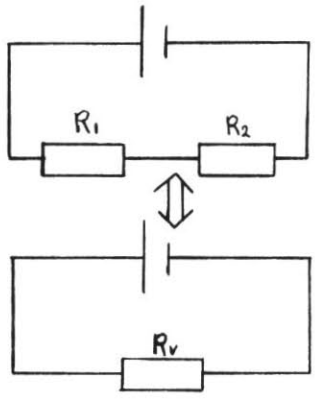


fig. 3.13 Vervanging van twee weerstanden in serie

a. Door welke weerstand zou je de twee weerstanden R_1 en R_2 in de schakeling van opdracht 5 kunnen vervangen, zodat je bij dezelfde spanning dezelfde stroomsterkte houdt?
b. Kontroleer je antwoord door de schakeling met die "vervangingsweerstand" te bouwen.
c. Door welke weerstand kun je R_1 en R_2 in de schakeling vervangen, zonder dat er iets aan de totale V en I verandert?
d. Kontroleer ook dit antwoord door de schakeling te bouwen.

De *vervangingsweerstand* R_v van twee of meer weerstanden is één weerstand die bij dezelfde spanning dezelfde stroomsterkte geeft. Er geldt:

bij serieschakeling $R_v = R_1 + R_2$ (+.....)
bij parallelschakeling $\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ (+ .....)

Vragen:

3.8 Kontroleer je antwoorden bij opdracht 7 nogmaals met behulp van deze formules.

3.9 Bereken de vervangingsweerstand van de schakeling van fig. 3.14:

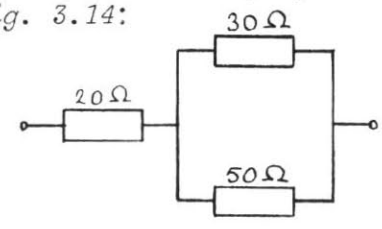
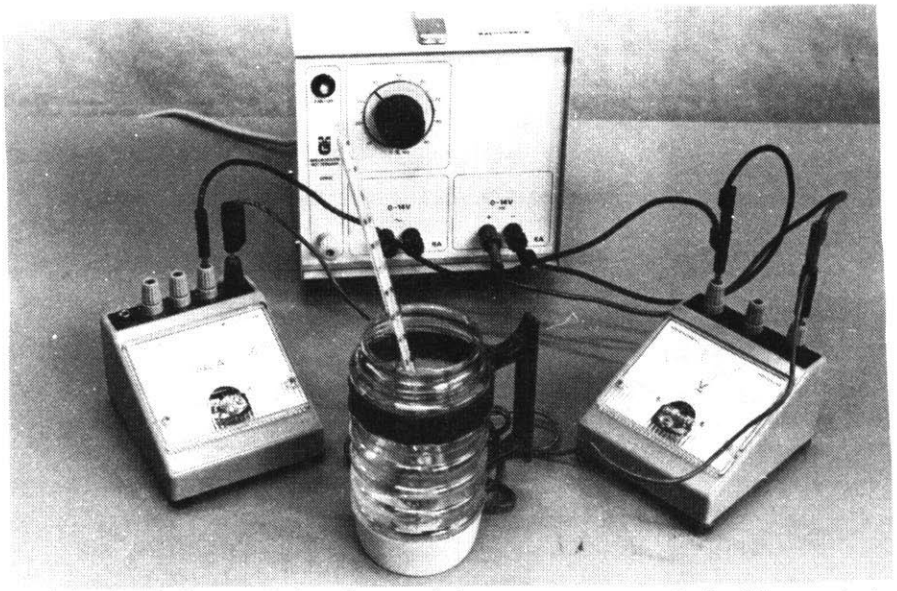


fig. 3.14 Schakeling bij vraag 3.9

Bij de schakelingen die je tot nu toe hebt gemaakt, stond de spanningsmeter steeds parallel geschakeld aan een komponent en de stroommeter in serie.

De reden daarvoor is dat je spanning altijd moet meten *tussen* twee punten die voor en achter een of meer elektrische komponenten liggen: spanning is immers een maat voor het energieverschil tussen deeltjes voor en na een elektrische komponent.
De stroomsterkte zegt iets over het aantal geladen deeltjes dat passeert, zodat je de stroommeter wel *in* de kring moet opnemen om dezelfde stroom te meten als die door de weerstanden loopt.

fig. 3.15 Stroom- en spanningmeter



De vraag hierbij is, of je de werking van een schakeling niet verstoort, door de meters er in op te nemen!

Opdracht 8. *De invloed van stroom- en spanningsmeters.*

a. Bepaal de weerstand van een stroommeter en van een spanningsmeter met behulp van schakelingen.

b. Regel daarbij de spanningsbron zo af dat de meters een volle schaaluitslag geven.

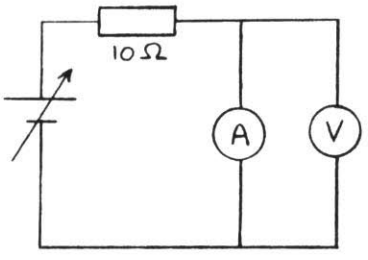


fig. 3.16 Weerstand van een stroommeter meten

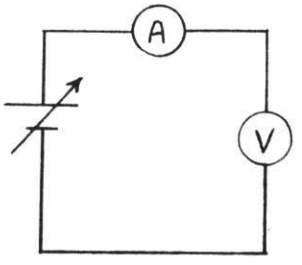


fig. 3.17 Weerstand van een spanningmeter meten

c. Onderzoek of het schaalbereik invloed heeft op de weerstand.

d. Let uit dat je deze schakelingen inderdaad kunt gebruiken om de gevraagde weerstanden te berekenen.

e. Wat is nu gunstiger: een spanningsmeter met een hoge of met een lage weerstand? Dezelfde vraag voor een stroommeter.

Oefenvragen.

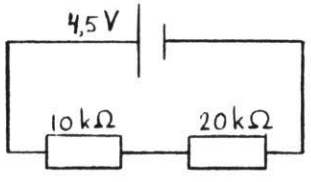


fig. 3.18 Schakeling bij vraag 3.9

3.11 Hoe groot is de lading van één elektron?

3.12 Bereken in de schakeling van fig. 3.18:

a de spanning over de weerstand van 10 kΩ

b de spanning over de weerstand van 20 kΩ

c de stroomsterkte door de beide weerstanden.

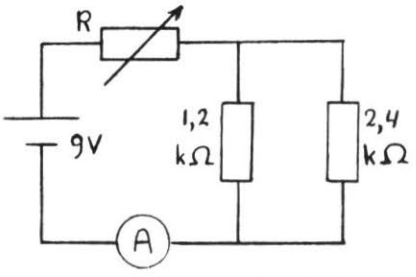


fig. 3.19 Schakeling bij vraag 3.13

3.13 In de schakeling van fig. 3.19 wijst de stroommeter 7,5 mA aan.
a Bereken de stroom door de weerstand van 2,4 kΩ
b Op welke waarde is de regelbare weerstand R ingesteld?

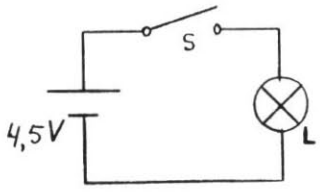


fig. 3.20 Schakeling bij vraag 3.14

3.14 Hoe groot is in de schakeling van fig. 3.20
a de spanning over het lampje L?
b de spanning over de schakelaar S?

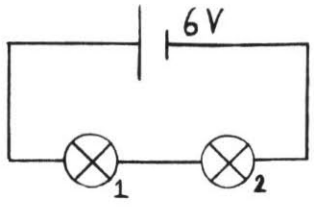


fig. 3.21 Schakeling bij vraag 3.15

3.15 De weerstand van lampje 1 is 5Ω en die van lampje 2 is 15Ω. De stroomsterkte in de kring is 0,3 A
a Bereken de vervangingsweerstand van de lampjes.
b Bereken de spanningen over lampje 1 en over lampje 2
c Welk lampje brandt het felst? Leg uit.

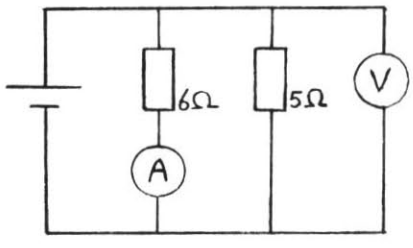


fig. 3.22 Schakeling bij vraag 3.16

3.16 De ampèremeter hiernaast geeft 2,5A aan.
a Wat geeft de voltmeter aan?
b Bereken de stroomsterkte door de spanningsbron.
Bereken de vervangingsweerstand.

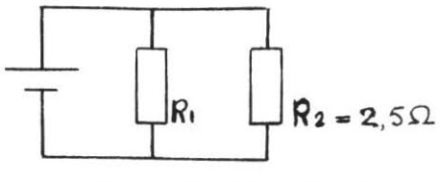


fig. 3.23 Schakeling bij vraag 3.17

3.17 Door de spanningsbron gaat een stroom van 12 A. De stroomsterkte door de weerstand R_2 is 7,0 A. Hoe groot is de weerstand R_1?

3.18 Iemand heeft een aantal lampen van 20 volt. Hij schakelt 11 van deze gelijke lampen in serie aan op een spanning van 220 volt.
Wat gebeurt er als hij er 12 neemt?
En als hij er 10 neemt?
En als er van die 11 één stuk gaat?

3.19 Je wilt een feestverlichting aanbrengen door 37 lampjes van 6 volt in serie aan te sluiten op een spanning van 220v. Moeten de gebruikte fittingen voldoen aan de isolatie-eisen die men stelt aan een 220 volt installatie of kan men volstaan met fittingen zoals die gebruikt worden bij een 6 volt speelgoedinstallatie?

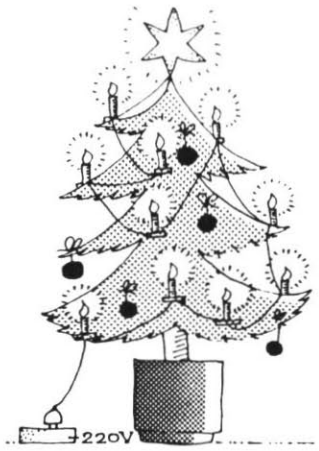


fig. 3.24 Feestverlichting

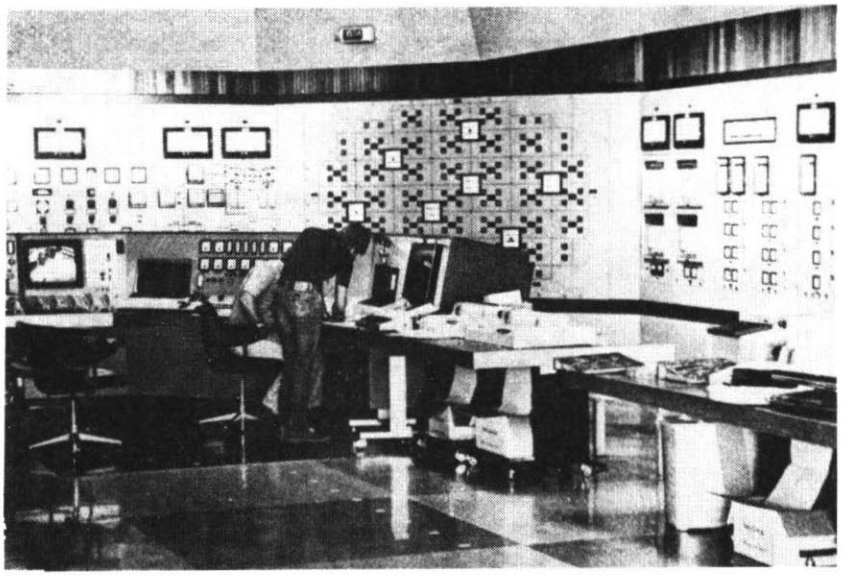
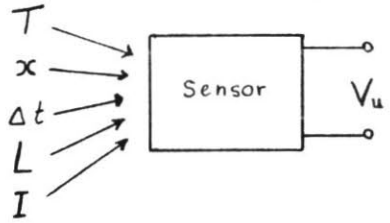


fig. 3.25 Controlekamer

3.20 In de controlekamer van een grote fabriek geven o.a. indicatorlampjes aan of er storingen zijn en zo ja, waar. Zijn deze lampjes in serie of parallel geschakeld?

3.3 DE WERKING VAN ENIGE ELEKTRONISCHE SENSOREN.

In par. 1.3 hebben we gezien dat een geautomatiseerd proces begint met waarnemen. In een elektronisch systeem betekent dat, dat het waarnemen van een bepaalde grootheid (temperatuur, plaats, lichthoeveelheid, tijd, e.d.) moet worden "vertaald" in een elektrische spanning. Daarbij is de grootte V_u van deze spanning een maat voor de waarde van de waar te nemen grootheid.



De uitgangsspanning V_u wordt daarna toegevoerd aan een bewerkingseenheid, waarop we in hoofdstuk 4 terugkomen.

fig. 3.26 Schematische voorstelling van een sensor

In vijf korte onderzoekjes zul je kennismaken met vijf elektronische sensoren ("zintuigen" of "waarnemers"). Ook zul je de eigenschappen van deze sensoren leren kennen. Informatie over de precieze werking van de verschillende komponenten vind je in de paragrafen 3.4 t/m 3.6.

Onderzoek 1 *De positiesensor.*

Een van de meest simpele sensoren is een schuifweerstand of potentiometer. Dit is een weerstand, waarover een glij-kontakt kan worden verschoven. Als sensor "vertaalt" de schuifweerstand de positie van het glijkontakt in een spanning V_u. De volumeknop van de radio is een voorbeeld van een positiesensor.

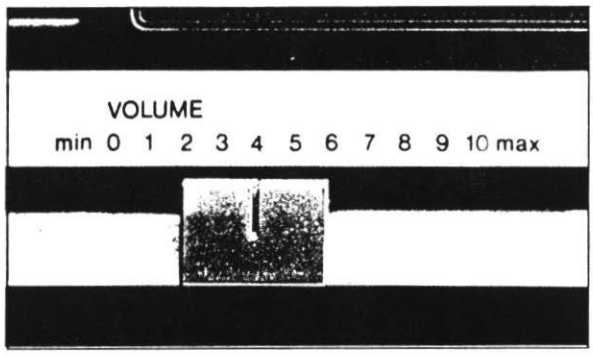


fig. 3.27 Volumeknop van een radio

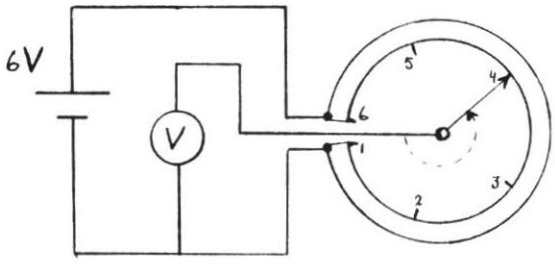


fig. 3.28 Potentiometer als positiesensor

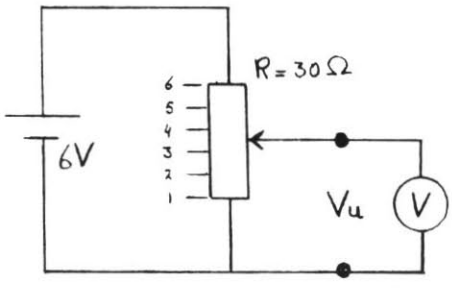


fig. 3.29 Schuifweerstand als positiesensor

a. Bouw de schakeling van fig. 3.29.
b. Meet bij zes standen van je potentiometer de bijbehorende spanning V_u. Noteer de standen in hoekgraden bij een draaipotmeter of in cm bij een lineaire schuifweerstand.
c. Maak een grafiek van V_u als funktie van de stand van de potentiometer. Deze grafiek noemen we de *karakteristiek* van deze positiesensor.

Vragen.

3.21 Leg uit dat een potentiometer in zo'n schakeling als een positiesensor werkt.

3.22 Bepaal met behulp van jouw karakteristiek de stand van het

glijkontakt als de uitgangsspanning 1,7 V is.

3.23 *Bedenk een aantal toepassingen van deze sensor in je omgeving. Is de regelknop van een strijkbout een positiesensor met een potentiometer?*

Onderzoek 2. *Een temperatuurvoeler.*

Een voorbeeld van deze sensor is de thermostaat van de centrale verwarming. Deze kan worden gebouwd met een NTC-weerstand (Negatieve Temperatuur Coëfficiënt).

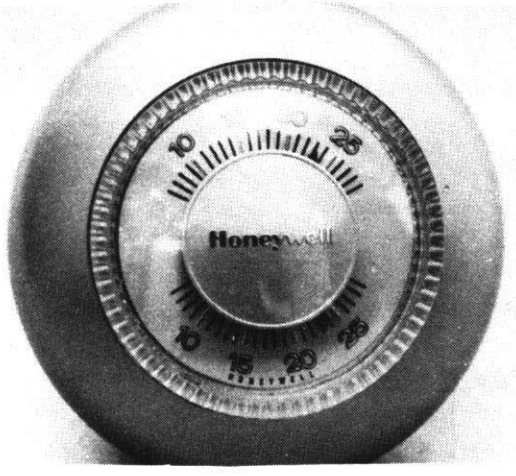


fig. 3.30 Thermostaat verwarming



fig. 3.31 N.T.C.-weerstand

Dat is een weerstand van halfgeleidermateriaal, waarvan de weerstandwaarde afhankelijk is van de temperatuur.(Hoe dat komt vind je in 3.6)

a. Bouw de schakeling van fig. 3.32.
b. Houd de NTC in water van verschillende temperatuur, (b.v. tussen 20° C en 80° C) en meet de spanning V_u.
c. Maak een grafiek van V_u als funktie van de temperatuur Deze grafiek noemen we de karakteristiek van deze temperatuurvoeler.

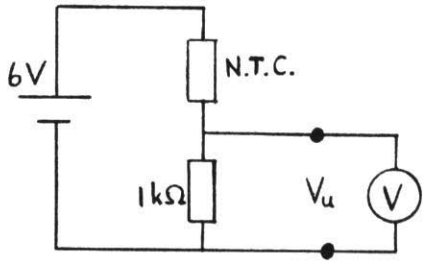


fig. 3.32 Temperatuurvoeler

Vragen.

3.24 *Leg uit dat deze schakeling met de NTC-weerstand als temperatuurvoeler werkt.*

3.25 *Wat verandert er aan de karakteristiek als je V_u over de NTC-weerstand meet?*

3.26 *Bedenk een aantal toepassingen van een temperatuurvoeler in je omgeving.*

3.27 *Bereken uit je waarnemingen ook de weerstandswaarde van de NTC-weerstand bij de verschillende temperaturen. Maak hiervan ook een diagram: de karakteristiek van de NTC-weerstand zelf.*

Onderzoek 3. *Een lichtsterkte-waarnemer.*

Deze sensor wordt bijvoorbeeld toegepast bij het ontsteken van de nachtverlichting in een flatgebouw. Er kan daarbij een L.D.R. (Light Dependent Resistance) gebruikt worden. Dat is een weerstand van halfgeleidermateriaal, waarvan de weerstandswaarde afhankelijk is van de hoeveelheid licht, die er op valt. (Hoe dat komt vind je in par. 3.6.)

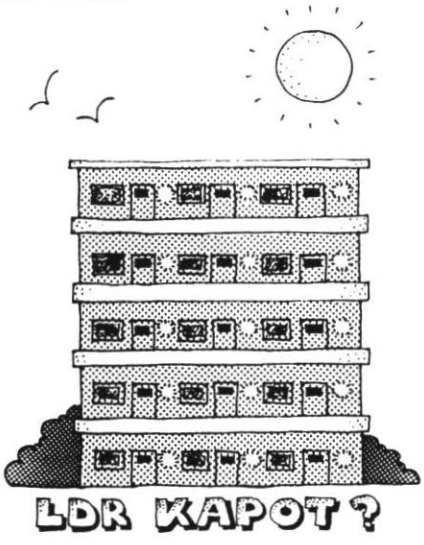


fig. 3.33 Lichtsensor in een flatgebouw

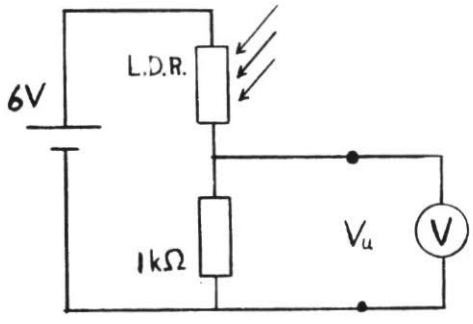


fig. 3.34 Lichtsterkte waarnemer

a. Bouw de schakeling van fig. 3.34.
b. Laat verschillende hoeveelheden licht op de LDR vallen en meet de bijbehorende spanning V_u. In het kader vind je suggesties voor twee mogelijke meetmethodes:

Methode 1.
Je verlicht de LDR met een lamp, die aangesloten is op een dimmer, of je zet de lamp op verschillende afstanden. De lichthoeveelheid meet je met behulp van een luxmeter (de lux is een maat voor de hoeveelheid licht die door een oppervlak van 1 m^2 valt.

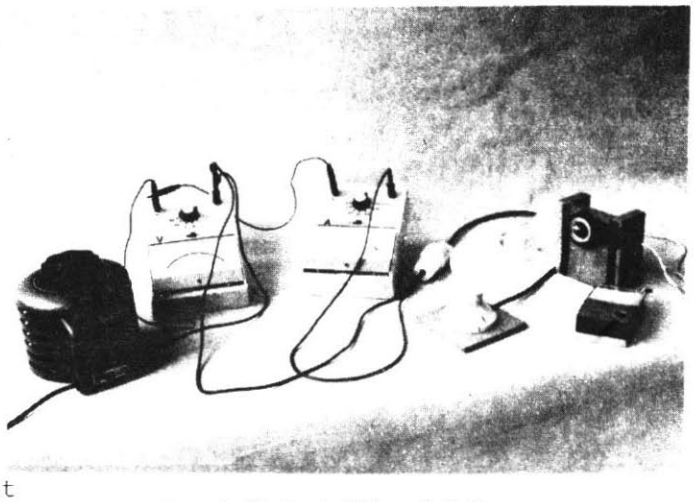


fig. 3.35 Opstelling L.D.R.

Methode 2.
Een opaalglas gloeilamp van 60 W geeft op 1 meter afstand 100 lux licht. Voor de lichthoeveelheid op andere afstanden geldt de kwadratenwet: lichthoeveelheid is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tot de lichtbron ($I \sim 1/r^2$).
Met behulp van deze wet kun je ook verschillende lichthoeveelheden realiseren door in een voor het overige donkere ruimte de lamp ook op andere afstanden van de LDR te plaatsen.

c. Maak een grafiek van V_u als funktie van de hoeveelheid licht. Deze grafiek noemen we de karakteristiek van deze lichtsterktewaarnemer.

Vragen.

3.28 Leg uit dat deze schakeling met de LDR als een lichtsterktewaarnemer werkt.

3.29 Wat verandert er aan de karakteristiek als je V_u over de LDR meet?

3.30 Bedenk een aantal toepassingen van een lichtsterktewaarnemer in je omgeving.

3.31 Bereken uit je waarnemingen ook de weerstandswaarde van de LDR bij de verschillende lichthoeveelheden. Maak hiervan ook een diagram: de karakteristiek van de LDR zelf.

Onderzoek 4. *Een tijdwaarnemer.*

In sommige gevallen is het nodig dat er een bepaalde tijd verloopt, voordat een handeling of bewerking moet worden verricht. Een voorbeeld is een inbraak-alarminstallatie van een gebouw. Er moeten dan b.v. 30 seconden verlopen tussen het moment waarop er een deur wordt geopend en het moment waarop de sirene gaat werken. Iemand die in het gebouw thuis hoort moet immers de gelegenheid krijgen om (met een sleutel) het alarm binnen 30 s na binnenkomst uit te schakelen.
De sensor, die we hier onderzoeken, is dus geen echte "klokkijker". Hij neemt alleen waar, dat er een bepaalde tijdsduur is verstreken. Hiervoor wordt vaak een condensator in combinatie met een weerstand gebruikt.

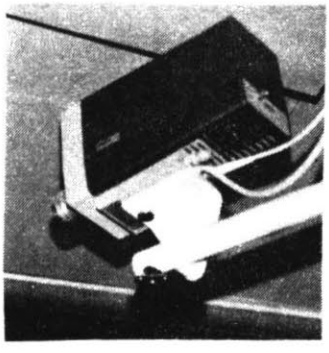


fig. 3.36 Beveiligingsinstallatie

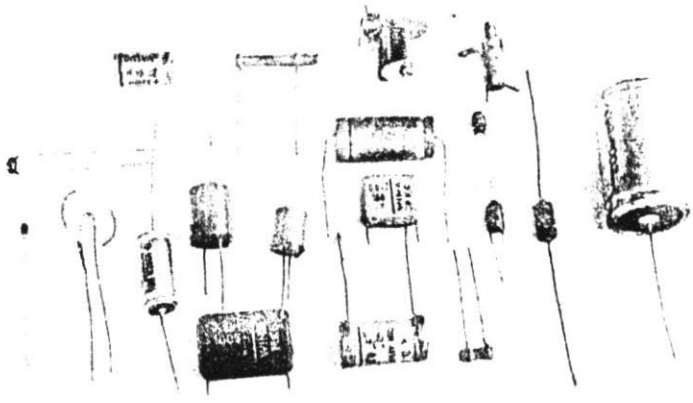


fig. 3.37 Condensatoren

Een condensator is een elektrische komponent, die je kunt op- en ontladen met elektrische lading via een weerstand. Hoe lang dat duurt hangt af van de capaciteit C van de condensator en van de weerstandwaarde R. (Wat capaciteit precies is vind je in par. 3.4)

a. Bouw de schakeling van fig. 3.38.
b. Op t=0 wordt de schakelaar geopend. Meet de uitgangsspanning V_u gedurende ongeveer 3 minuten.
c. Maak een grafiek van V_u als funktie van de tijd. Deze grafiek noemen we de karakteristiek van deze tijdwaarnemer.
d. Herhaal deze metingen met een kleinere condensator en een keer met een grotere weerstand.

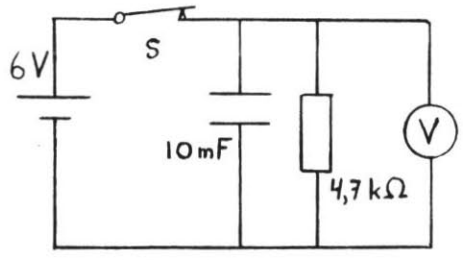


fig. 3.39 Schakeling bij vraag 3.36

Vragen.

3.32 Leg uit dat deze RC-schakeling werkt als een tijdwaarnemer.
3.33 Een belangrijke grootheid bij deze schakeling is de zogenaamde RC-tijd.
a Welk percentage van de uitgangsspanning is nog over na 1x, 2x en 3x de RC-tijd?
b Is je antwoord gelijk voor de drie kombinaties van R en C waaraan je hebt gemeten?
3.34 Bedenk een aantal toepassingen van deze tijdwaarnemer.
3.35 Je kunt natuurlijk ook een elektronische klok als tijdwaarnemer gebruiken. Onder welke omstandigheden is deze RC-schakeling handiger?
3.36 Wat verandert er aan de karakteristiek als je in nevenstaande schakeling de V_u zou meten na het sluiten van de schakelaar?

De RC-tijd vind je door de waarde van R in Ω te vermenigvuldigen met de waarde van C in Farad (zie ook par. 3.4).

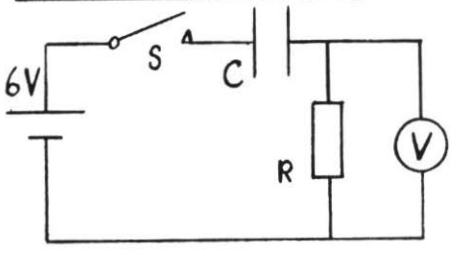


fig. 3.38 Tijdwaarnemer

Onderzoek 5. *Een geluidssensor.*

Om een belletje beneden te laten rinkelen, als de baby boven schreeuwt, is een geluidssensor nodig.
Een elementair onderdeel zal een mikrofoon moeten zijn, die geluidstrillingen omzet in een elektrisch signaal. Dit elektrische signaal moet echter nog hanteerbaar worden gemaakt, zodat de uitgangsspanning van de gehele sensor ook afhangt van b.v. het geluidsniveau.
Een diode is een komponent die de stroom maar in één richting doorlaat (voor de verklaring hiervan zie par. 3.6)

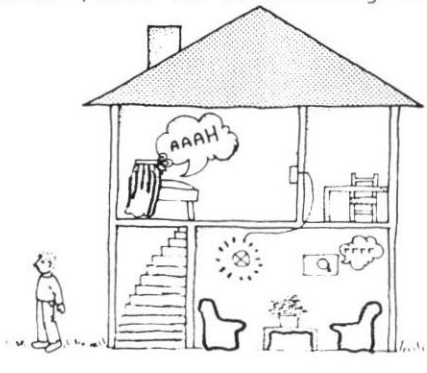


fig. 3.40 Baby veilig

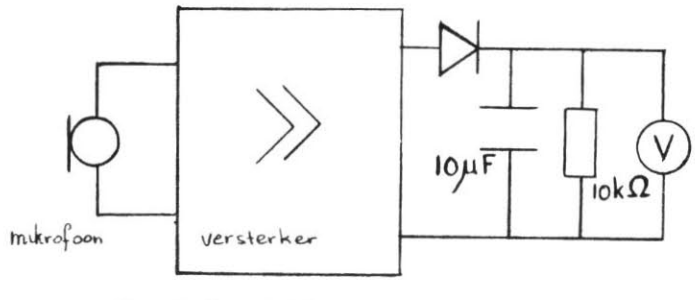


fig. 3.41 Geluidssensor

a. Bouw de schakeling van fig. 3.41.
b. Neem als geluidsbron een toongenerator en meet het geluidsniveau met behulp van een dB-meter.
   Meet de uitgangsspanning bij verschillende geluidsniveau's.
c. Maak een grafiek van V_u als funktie van het geluidsniveau.
d. Test de schakeling ook eens met een kleinere weerstand van b.v 1 KΩ
e. Onderzoek ook of de geluidssensor frekwentieafhankelijk is.

Vragen.

3.37 Waarom is er in de schakeling een diode opgenomen?
3.38 Leg uit dat deze schakeling werkt als een geluidssensor.
3.39 Bedenk een aantal toepassingen van deze sensor.
3.40 Wat is het gevolg van toepassing van een kleinere weerstand? En van een kleinere capaciteit?

3.4 CONDENSATOREN.

Een condensator is in principe opgebouwd uit twee metalen platen met daartussen een isolator. In de praktijk kunnen de "platen" allerlei vormen hebben, bijvoorbeeld twee stroken aluminiumfolie, met papier ertussen, opgerold in een plastic omhulsel.
Het behulp van een spanningsbronnen je in een condensator een hoeveelheid elektrische lading opslaan. Die lading kun je op een geschikt moment uit de condensator laten wegstromen - de condensator werkt dan even als spanningsbron. Het ontladen gebeurt in een tijdsduur die regelbaar is, zodat hiermee tijdwaarnemingen ↔ kunnen worden verricht. (zie ook par. 3.3).

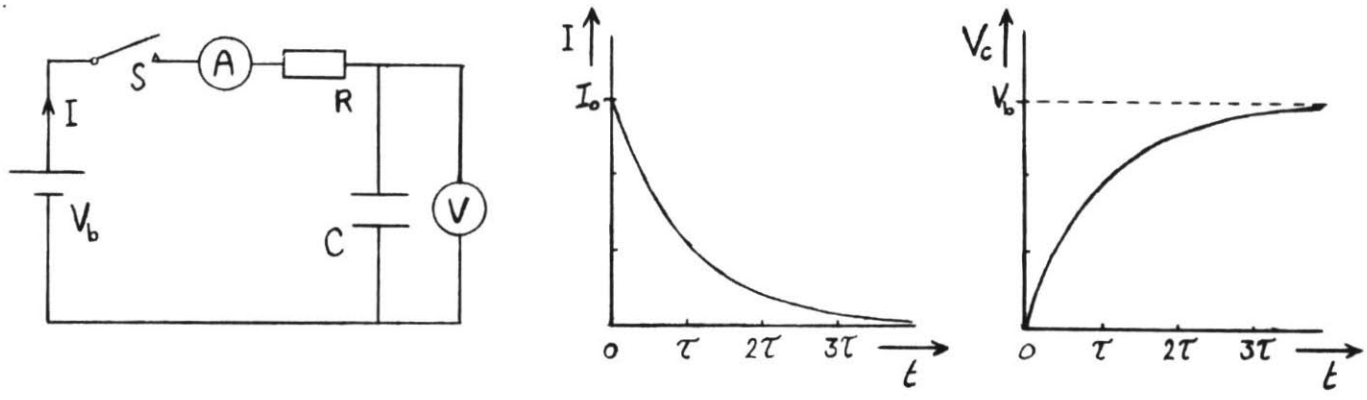


fig. 3.42 Het opladen van een condensator
Stroom en spanning als funktie van de tijd

Opladen.
Als de schakelaar gesloten wordt gaat er een stroom lopen. De bovenste plaat van de condensator wordt hierdoor positief geladen en de onderste plaat negatief. Naarmate de lading op de plaat toeneemt ontstaat er over de condensator een tegenspanning. De positieve ladingen op de bovenste plaat stoten elkaar af en willen weer van de plaat af. Dit geldt ook voor de negatieve ladingen op de onderste plaat.
Een belangrijke eigenschap van de condensator is daarbij:

De spanning over een condensator is evenredig met de lading op de platen.

Dit betekent dat je de lading steeds met een vaste hoeveelheid moet vergroten om de spanning over de condensator steeds met 1 volt te laten toenemen. De lading die nodig is om de spanning 1 volt te laten stijgen, noemen we de *capaciteit* van de condensator. Het symbool voor capaciteit is C; de bijbehorende eenheid heet Farad, afgekort F. De steeds toenemende spanning V_c over de condensator zorgt er voor dat de stroomsterkte kleiner wordt. In de kring staan immers, zo lijkt het, twee spanningsbronnen, één die de stroom vooruit duwt en één die hem probeert tegen te houden en deze laatste wordt steeds sterker. Je kunt nu voor de weerstand R de wet van Ohm toepassen: Het resultaat van de twee spanningen is een potentiaalverschil $V_b - V_c$ zodat voor de stroomsterkte geldt:

$$I = \frac{V_b - V_c}{R}$$

Als na verloop van tijd de spanning over de condensator gelijk is aan die van de bron, loopt er geen stroom meer.
We zeggen nu dat de condensator "vol" is.
Een afnemende stroomsterkte heeft tot gevolg dat er steeds minder lading per seconde naar de condensator wordt gestuurd, zodat het tempo waarin de spanning over de condensator toeneemt steeds verder afneemt. Dit verklaart de vorm van de krommen in fig 3.42.

voor oplaadstroom geldt: $I = I_o \cdot e^{-t/\tau}$

Voor de spanning geldt: $V_c = V_b(1 - e^{-t/\tau}$ waarin $I_o = \frac{V_b}{R}$ = de stroomsterkte op t=0 en $\tau = RC$ = de tijdkonstante of RC-tijd.
In de praktijk zegt men dat het opladen ongeveer 3τ duurt. Voor de eenheid van τ geldt:

eenheid τ = eenheid R x eenheid C = $\Omega.F = \frac{V}{A}.\frac{C}{V} = \frac{C}{A} = \frac{C}{C/s} = S$

Het is gemakkelijk in te zien dat de tijd die nodig is voor het opladen wordt bepaald door de waarde van de weerstand en door de waarde van de capaciteit van de condensator.

Voor de stroomsterkte geldt immers: $I = \frac{V_b - V_c}{R}$

Een *grotere weerstand* heeft tot gevolg dat de stroomsterkte kleiner is. Er loopt dan minder lading per seconde door de draad en het duurt dus langer voordat de condensator is opgeladen.
Een *grotere capaciteit* betekent dat er meer lading op de plaat moet komen om dezelfde spanning te bereiken. Als je dat doet met dezelfde stroomsterkte duurt dat langer.

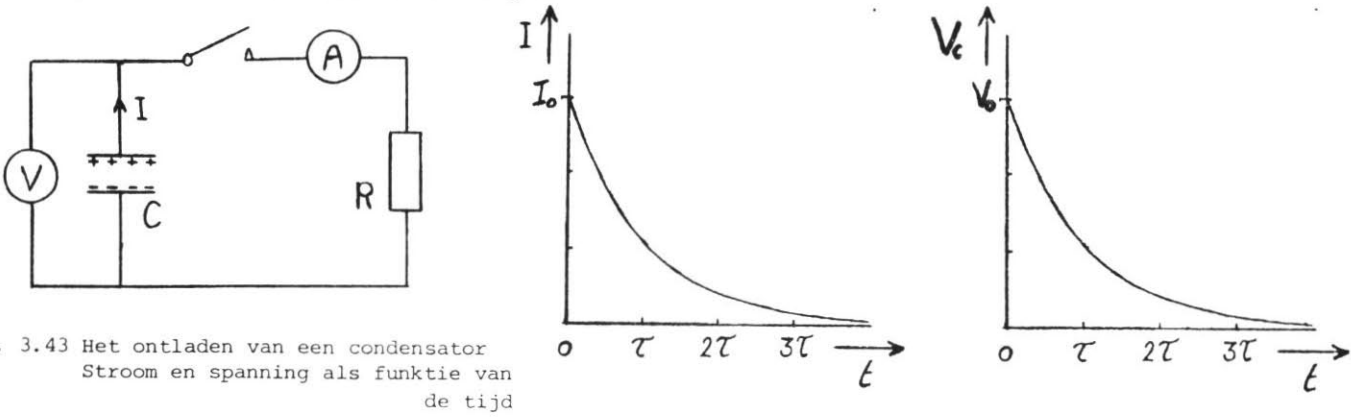


fig. 3.43 Het ontladen van een condensator
Stroom en spanning als funktie van de tijd

Ontladen.
Als de schakelaar in fig. 3.43 gesloten wordt gaat er een stroom lopen van de bovenste plaat via de weerstand naar de onderste plaat De condensator werkt als spanningbron en er is geen andere bron die tegenwerkt. Als je hier voor de weerstand de wet van Ohm toepast, volgt:

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

Door het ladingstransport van de stroom neemt de lading op de platen af. Hierdoor wordt de spanning over de condensator steeds kleiner en omdat de stroomsterkte evenredig is met de spanning neemt ook de stroomsterkte af. In fig. 3.43 zijn de stroomsterkte en de spanning getekend als funktie van de tijd.

Voor de stroomsterkte geldt: $I=I_O.e^{-t/\tau}$, $I_O=V_O/R$

Voor de spanning geldt: $V=V_O.e^{-t/\tau}$

V_O is de spanning over de condensator op tijdstip t=0.
De tijdkonstante $\tau=RC$ is dezelfde als bij het opladen.

Vragen.

3.41 Een condensator (C=10 μF) is opgeladen tot 3,0V. Hij wordt antladen over een weerstand (R=4,7kΩ).
a Bereken de RC-tijd.
b Schets of bereken de grafiek van de spanning Vc tegen de tijd t.

3.42 a. Waarom is de grafiek van I tegen t van fig. 3.43 geen rechte dalende lijn?
b Dezelfde vraag voor de grafiek van V_c tegen t van fig. 3.43.

3.43 Controleer nog eens of de karakteristiek van de tijdwaarnemer uit par. 3.3 overeenkomt met de grafiek van fig. 3.42.

3.5 STROOMGELEIDING.

De elektrische weerstand van een stof wordt bepaald door de aanwezigheid van elektronen die nauwelijks gebonden zijn. We noemen dit de "vrije" elektronen. In een gas bevinden zich bij lage temperaturen geen vrije elektronen zodat het een *isolator* is. Het gas heeft dan een zeer grote weerstand. Deze eigenschap van gassen is te verklaren met behulp van het atoommodel dat is gebaseerd op gasontladingsexperimenten. De scherpe lijnen in de stralingsspectra wijzen op een beperkt aantal energieniveau's voor de elektronen in een atoom. Een elektron in een atoom kan bepaalde hoeveelheden energie opnemen zodat zijn nieuwe energie past bij een hoger energieneveau, dat nog vrij is.
Bij lage temperaturen zijn vooral de laagste energieniveau's bezet, waardoor de elektronen stevig gebonden zijn.
De elektronen die aan de buitenkant van een atoom zitten, hebben nog de meeste energie, zijn heten *valentie-elektronen.*
Als je een gas nu gaat verhitten, kunnen vooral deze elektronen zoveel energie opnemen dat ze in de geïoniseerde toestand komen. Het zijn dan vrije elektronen geworden, d.w.z. ze kunnen elke willekeurige

hoeveelheid energie opnemen en omzetten in kinetische energie en zo door het gas gaan bewegen.
De stroomsterkte, de hoeveelheid lading per seconde, die door de stof loopt, als een elektrisch veld wordt aangelegd hangt af van het aantal vrije elektronen dat aanwezig is.

Ook bij vaste stoffen zijn de laagste energieniveaus het eerst bezet Maar omdat de afstanden tussen de atomen nu zeer klein zijn gaan de atomen ook krachten op elkaar uitoefenen waardoor de energieniveau's worden beïnvloed. Wanneer een groot aantal identieke atomen dicht bij elkaar in een rooster zitten vormen de valentie-elektronen van de afzonderlijke atomen een groep elektronen met zeer geringe verschillen in energie. Omdat ook de energie niveau's van de aangeslagen toestanden worden beïnvloed kun je vaste stoffen globaal in drie groepen verdelen:

I *isolatoren.*
Bij deze stoffen is er nog steeds veel energie nodig om een valentie-elektron in een aangeslagen toestand te brengen zodat zo'n elektron nog steeds vast gebonden is aan het rooster.

II *geleiders.*
Bij deze stoffen kunnen de valentie-elektronen door opname van een geringe hoeveelheid energie in een aangeslagen toestand komen. Deze energie kan al geleverd worden door de trillingsenergie van de atomen bij kamertemperatuur. Alle valentie-elektronen zijn dan ook op te vatten als vrije elektronen.

III *halfgeleiders.*
Bij deze stoffen is het ontstaan van vrije elektronen moeilijker dan bij de geleiders, doch niet onmogelijk; de energie die daarvoor nodig is is niet zo groot als bij isolatoren. Wel is het zo, dat slechts een klein deel van de valentie elektronen vrij wordt.

Vragen.

3.44 Geef een voorbeeld van een materiaal uit elk van de drie groepen.

3.45 Zoek op in je tabellenboek het aantal vrije elektronen per koperatoom.

3.46 Bepaal met behulp van de dichtheid van koper en de massa van 1 koperatoom het aantal vrije elektronen per cm^3 koper.

3.6 DE LDR EN NTC WEERSTANDEN.

De reden dat de valentie elektronen van geleiders zo los zitten is dat geleiders meestal maar 1 of 2 valentie elektronen per atoom hebben. Isolatoren hebben veel meer valentie-elektronen per atoom. De meest toegepaste halfgeleiders hebben 4 valentie-elektronen per atoom. In een zuiver silicium-kristal zullen de atomen zich zo rangschikken dat elk atoom vier buur-atomen heeft. De binding tussen de atomen komt tot stand doordat elk van de vier valentie elektronen een elektron-paar vormt met 1 van de valentie-elektronen van een buur atoom.
Zo ontstaat een structuur die schematisch is weergegeven in fig. 3.44.

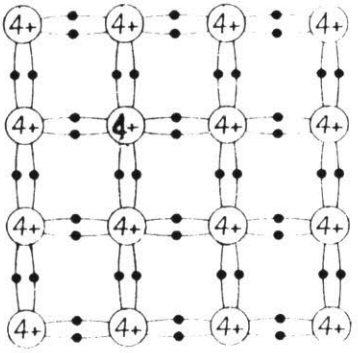


fig. 3.44 Silicium

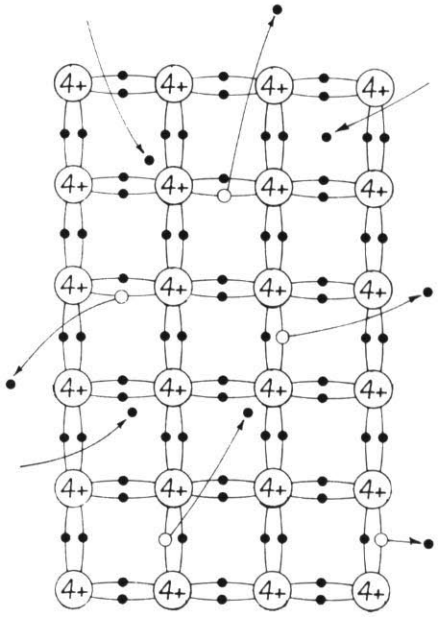


fig. 3.45 Het ontstaan van een gat

Nu wordt de geleidbaarheid van dit materiaal niet alleen bepaald door het aantal valentie-elektronen dat vrij wordt. Er gebeurt ook nog iets anders. Als een valentie-elektron vrij wordt ontstaat er een open plaats in het rooster zodat de valentie-elektronen overspringend van atoom naar atoom die vrije plaats kunnen benutten. Zo'n open plaats noemt men een gat. Zie fig. 3.45.
Een gat kan zich dus als het ware ook vrij door het kristal bewegen.

In een zuiver stuk silicium is de concentratie vrije elektronen gelijk aan die van de gaten. Als je zo'n stuk silicium verbindt met de plus- en min-pool van een batterij, zullen de elektronen gaan bewegen van de 'min naar de plus'. Ook zullen valentie-elektronen via gaten steeds een stukje opschuiven in de richting van de 'plus', zodat het gat steeds dichter bij de 'min' komt. Zo'n gat gedraagt zich als een positief geladen deeltje en dat is ook niet zo vreemd, als je bedenkt dat zo'n gat zit bij een positief geladen ion met daarbij nog slechts 3 valentie-elektronen; er is negatieve lading te weinig.

In halfgeleidermateriaal kunnen dus twee stromen lopen: ten eerste de stroom van negatieve vrije elektronen en ten tweede een stroom van positieve gaten. In zuiver halfgeleidermateriaal zorgen die stromen voor een even groot ladingstransport. De gatenstroom is schematisch weergegeven in fig. 3.46.

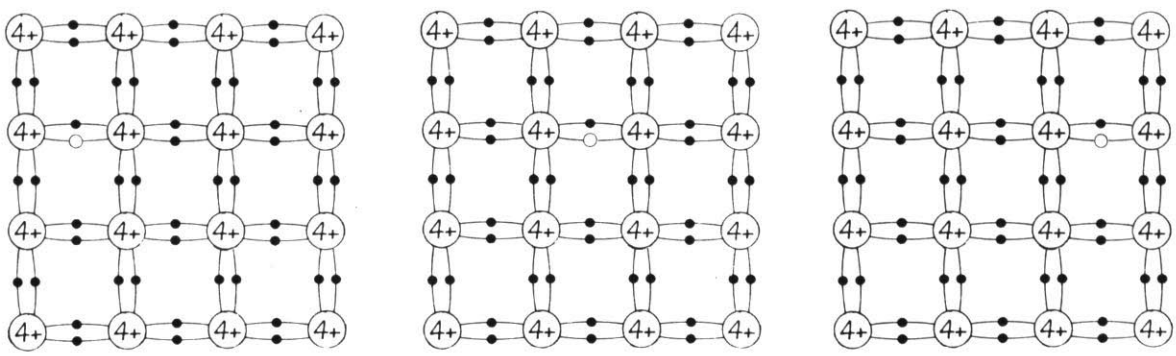


fig. 3.46 Het opschuiven van een gat

Bij halfgeleiders heeft een valentie-elektron $\pm$ 1 eV aan energie nodig om vrij te worden. Bij kamertemperatuur zullen daarom niet zo veel elektronen die energie uit de beweging in het rooster op kunnen nemen. Het vrij worden gebeurt volgens een kansmechanisme, met een erg kleine kans. Deze kans kan vergroot worden, als er van buitenaf extra energie wordt toegevoerd, bijvoorbeeld door de stof te verwarmen of door er licht op te laten vallen.
Natuurlijk zullen er ook vrije elektronen terugvallen in hun vrije plaats in het valentieniveau, zodat er een evenwicht ontstaat tussen aanslag en terugval, waarbij een bepaalde concentratie aan vrije elektronen blijft bestaan.

Enkele voorbeelden van vaste stoffen en hun geleidbaarheid zijn:

koper: $8{,}7.10^{22}$ vrije elektronen per cm^3 : goede geleider.

tin: de energie nodig om een vrije elektron te maken is 0,1 eV. Bij kamertemperatuur wordt 1 op de 10.000 valentie-elektronen een vrij elektron, zodat een concentratie van $1{,}3.10^{19}$ vrije elektronen per cm^3 ontstaat: redelijk goede geleider.

silicium: de energie nodig om een elektron vrij te maken is 1,1 eV. Bij kamertemperatuur wordt 1 op de 10^{10} valentie-elektronen een vrij elektron, zodat een concentratie van 2.10^{13} vrije elektronen per cm^3 ontstaat: bij kamertemperatuur dus niet zo'n beste geleider.

Vraag:

3.47 Controleer de concentraties van vrije elektronen in tin en silicium.

Toepassingen

De N.T.C.-weerstand is een weerstand van halfgeleidermateriaal (vaak germanium), waarvan de waarde kleiner wordt bij temperatuursstijging. Dat de weerstand afneemt is wel iets bijzonders, want bij geleiders met een vaste concentratie aan vrije elektronen neemt de weerstand juist toe bij temperatuursstijging, doordat door trillingen in het rooster de beweeglijkheid van de vrije elektronen afneemt. N.T.C.-weerstanden worden o.a. toegepast in een temperatuurvoeler (zie par. 3.3).
De L.D.R. is een weerstand van halfgeleidermateriaal, waarvan de waarde afneemt, als er licht op valt. De energie die nodig is om een elektron vrij te maken is dan afkomstig van lichtfotonen. Voor zichtbaar licht heeft een lichtfoton aan energie tussen 1,5 eV en 3,1 eV. L.D.R.-weerstanden worden toegepast in belichtingsmeters en lichtdetectoren (zie par. 3.3).

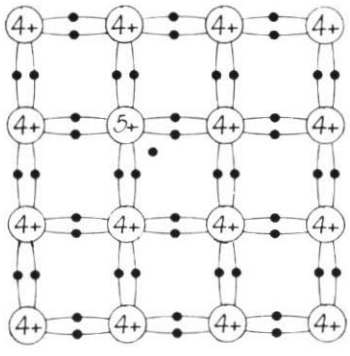
Vragen:

3.48 Ga na of de karakteristieken van de temperatuurvoeler en de lichtsterktewaarnemer kloppen met de theorie van de halfgeleiders.

3.49 Controleer dat fotonen van zichtbaar licht een energie bezitten tussen 1,5 eV en 3,1 eV.

3.7 DE HALFGELEIDERDIODE

De meestgebruikte halfgeleiders zijn germanium en silicium en andere 4-waardige stoffen. Wanneer men in een zuiver silicium kristal zeer gelijkmatig verdeeld een geringe verontreiniging aanbrengt van een 5-waardig element bijv. arsenicum, blijft er bij binding met 4 buuratomen steeds 1 elektron over. Dit elektron is zo zwak gebonden, dat het met een klein beetje (bijv. thermische) energie vrij gemaakt kan worden (zie fig. 3.47).
Als de verontreiniging zeer gelijkmatig is aangebracht in een verhouding 1 op 10^7 ofwel 1000 atomen arsenicum op 10^{10} atomen silicium, bevinden zich hierdoor in het kristal per 10^{10} atomen silicium 1000 extra vrije elektronen tegen 1 vrij elektron en 1 gat in zuiver silicium. De geleidbaarheid neemt dus sterk toe. De aanwezigheid van gaten is ook niet zo belangrijk voor de stroomgeleiding. Door de overmatige aanwezigheid van vrije (negatieve) elektronen ten opzichte van gaten noemt men dit *n-materiaal*.



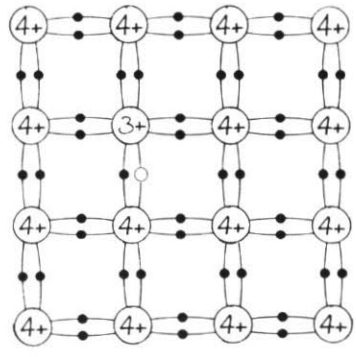


fig. 3.48 *p*-silicium

Wanneer als verontreiniging van zuiver silicium een 3-waardig element bijv. indium, wordt genomen, heeft een indiumatoom 1 elektron te weinig bij de binding met 4 buuratomen. Er is als het ware bij elk indiumatoom een gat gecreëerd (zie fig. 3.48). Zo'n gat is weliswaar niet positief geladen, maar heeft hetzelfde effekt bij het ladingstransport. Zodra 1 elektron van een buuratoom deze plaats inneemt, ontstaat ergens anders een nieuw, nu wel positief gat. Bij een verontreiniging van 1000 atomen indium op 10^{10} atomen silicium zijn er 1000 extra gaten tegen 1 vrij elektron en 1 gat in zuiver silicium. De stroomgeleiding vindt dus hoofdzakelijk plaats door middel van een gatenstroom. Door de overmatige aanwezigheid van 'positieve' gaten noemt men dit *p-materiaal*.
Het is mogelijk om een stukje halfgeleidermateriaal zowel met een 3-waardig als met een 5-waardig element te verontreinigen, zodat naast elkaar, met een scherpe scheiding, een stuk *n*- en een stuk *p*-materiaal ontstaat (zie fig. 3.49).

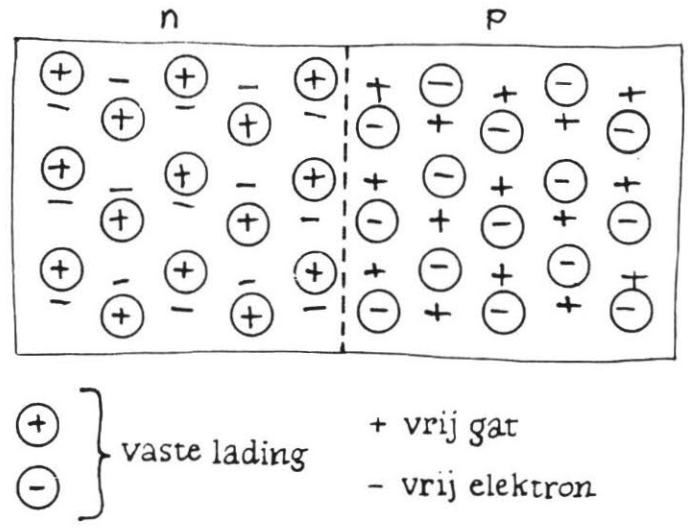


fig. 3.49 *p-n*-overgang

Zo'n stuk halfgeleidermateriaal heet een *p-n-overgang*. Aangezien elk stuk elektrisch neutraal is hoort bij elk vrij (negatief) elektron een vaste positieve lading, namelijk het 5-waardige atoom met 4 valentie-elektronen. Bij elk positief gat hoort een vaste negatieve lading, namelijk het 3-waardige atoom met 4 valentie-elektronen.
De vrije ladingsdragers, elektronen en gaten, zullen bij het grensvlak door diffusie in het tegenoverliggend gebied terecht komen. De vrije elektronen zullen in het *p*-gebied in één van de vele gaten 'vallen'. De gaten die in het *n*-gebied komen, zullen door de grote aanwezigheid van vrije elektronen daar worden opgevuld. Zo ontstaat er een dikkere grenslaag waarin zich weinig vrije ladingsdragers bevinden (zie fig. 3.50).

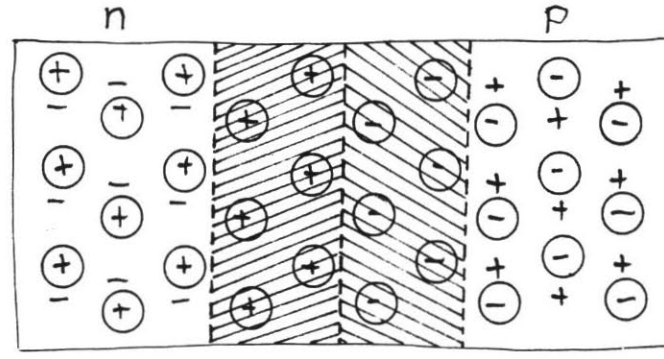


fig. 3.50 *p-n*-overgang zonder vrije lading in de grenslaag

Doordat de vrije elektronen in het *p*-gebied vast komen te zitten, wordt het *p*-gebied negatief geladen. Evenzo wordt het *n*-gebied positief geladen doordat gaten worden opgevuld. Hierdoor komt een eind aan de diffusie. Alleen de allersnelste elektronen kunnen de afstotende kracht van het *p*-materiaal en de aantrekkende kracht van het *n*-materiaal overwinnen. En als door het kansmechanisme in de grenslaag een vrij elektron en gat ontstaat, zal het elektron naar het *n*-materiaal en het gat naar het *p*-materiaal worden getrokken.
De breedte van de grenslaag wordt bepaald door de maximale snelheid van de vrije ladingsdragers, dus door de temperatuur. Verder is ook de verontreinigingsgraad van belang. Ook kan de breedte van de laag worden beïnvloed door het aanbrengen van een elektrisch veld.

Wanneer het *p*-materiaal van een *p*-*n*-overgang wordt aangesloten op de 'min'-pool van een spanningsbron en het *n*-materiaal op de 'plus'-pool, wordt de grenslaag *breder* (zie fig. 3.51).

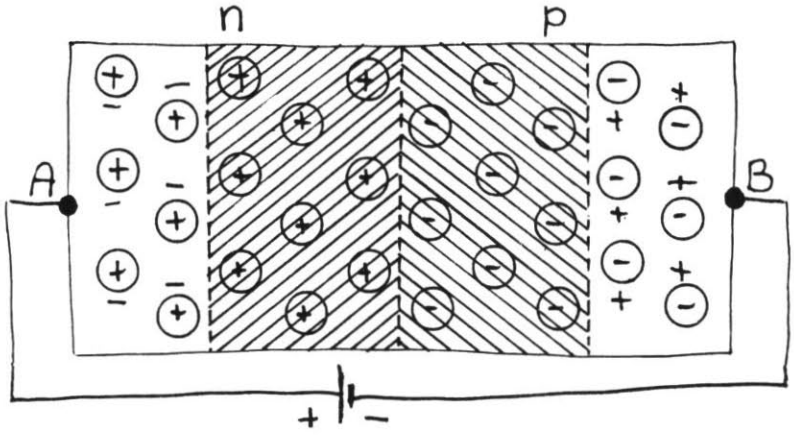


fig. 3.51 *p*-*n*-overgang in sperrichting

De vrije elektronen in het *n*-gebied worden door de pluspool naar A getrokken, de vrije gaten in het *p*-gebied door de minpool naar B.
De stroom stopt, omdat de positieve lading in het *n*-gebied bij de grenslaag nu is toegenomen. De stroom van negatieve lading kan ook niet worden aangevuld vanuit het *p*-gebied, want daar zit die negatieve lading vast. Dit geldt net zo voor de stroom van positieve gaten.

De p-n-overgang is in sperrichting geschakeld.

Toch loopt er een hele kleine sperstroom. Deze is te verklaren door de spontane generatie van gat-elektron-paren in het grensgebied. Een daar gevormd elektron zal onmiddellijk aangetrokken worden door het positief geladen *n*-gebied en ontvangen worden als welkome aanvulling voor de naar de bron afgevoerde elektronen, zodat weer een nieuw elektron naar de bron wordt afgevoerd. Het in de grenslaag gevormde gat gaat op overeenkomstige wijze naar de minpool.
Deze sperstroom (bij *Si* $\pm$ 1 µA en bij *Ge* $\pm$ 0,1 m*A*) is kunstmatig te vergroten door de grenslaag met licht te bestralen, zodat de energie van het licht extra gaten en elektronen genereert.
Men spreekt over een foto-diode die wel gebruikt wordt in een belichtingsmeter.

Als je de polen van de spanningsbron verwisselt, maak je de grenslaag juist *smaller* (zie fig. 3.52).

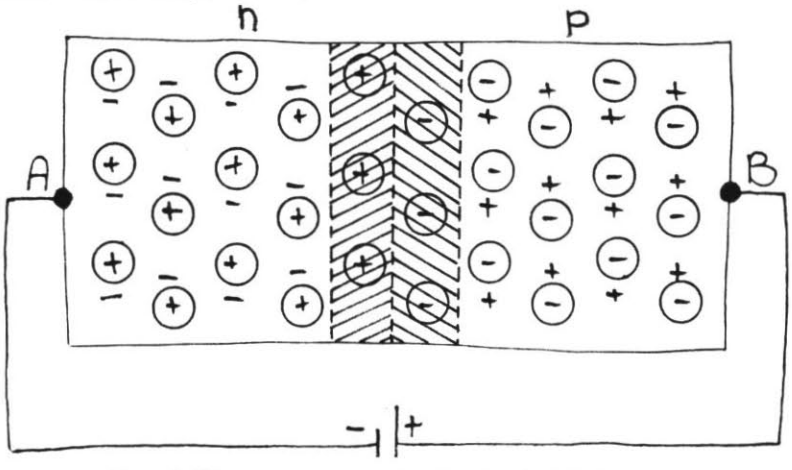
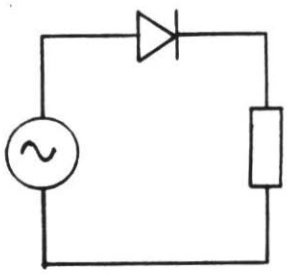


fig. 3.52 *p*-*n*-overgang in doorlaatrichting

Bij A worden door de kracht van de bron vrije elektronen het *n*-materiaal ingestuurd. Bij B vinden gat-elektron-generaties plaats waarvan het elektron onmiddellijk wordt afgevoerd naar de bron en het gat het *p*-materiaal ingestuurd. Toch hebben de elektronen en gaten nog moeite om de grenslaag over te steken. Stel een elektron bevindt zich midden in de grenslaag. Hij wordt dan aangetrokken door het *n*-materiaal en afgestoten door het *p*-materiaal. Als nu maar de afstotende kracht van de negatieve pool A en de aantrekkende kracht van de positieve pool B sterker worden, zal het elektron wel naar rechts kunnen gaan en recombineren met een gat. Vanaf de uiteinden worden steeds vrije ladingsdragers het halfgeleidermateriaal ingestuurd, die bij de grenslaag recombineren.

Er loopt een stroom. De p-n-overgang is in doorlaatrichting geschakeld.

Het is duidelijk dat de bron een minimale spanning moet geven om een stroom te kunnen laten lopen.
Bij germanium is dit $\pm$ 0,5 V en bij silicium $\pm$ 0,7 V.
Zo'n *p-n*-overgang heet een *diode*.



In schakelschema's gebruikt men hiervoor het symbool zoals dat is getekend in fig. 3.53.
De stroom kan in deze situatie wel van links naar rechts en niet van rechts naar links door de diode.
Als je een diode opneemt in een schakeling met een wissel-spanningsbron, kan de stroom heen maar niet terug. Er is nu sprake van *gelijkrichten*.

fig. 3.53 Een diode als gelijkrichter

Vragen:

3.50 a) Aan welke kant van de diode in fig. 3.53 zit het n-materiaal?
b) Teken de spanning van de bron en de spanning over de weerstand als funktie van de tijd.
3.51 a) Ga na hoe men in een geluidssensor gebruik maakt van deze gelijkrichtwerking (zie par. 3.3).
b) Waarom mag hierbij de stroom niet teruglopen?

3.8 ANDERE SENSOREN

Er bestaan nog erg veel andere sensoren. In feite zijn alle fysische grootheden, die te meten zijn, via een sensor (of transducer) toe te voeren aan een bewerker.

Opdracht:

Hierna zijn een aantal teksten en situaties bij elkaar gezocht, waarin een sensor een bepaalde rol speelt. Beantwoord voor elke situatie de volgende vragen:

- *Om welke sensor gaat het, hoe zou je hem noemen en welke grootheid neemt hij waar?*
- *In welke vorm komt de informatie van de sensor beschikbaar?*
- *Wat voor bewerking wordt er met het sensor-signaal uitgevoerd?*

(Overigens zul je de vragen niet voor elke situatie precies kunnen beantwoorden.)

1. *Een tuner*

Op veel tuners zit een indicator (zie fig. 3.54), waarmee je kunt zien of je correct op een bepaalde zender hebt afgestemd.

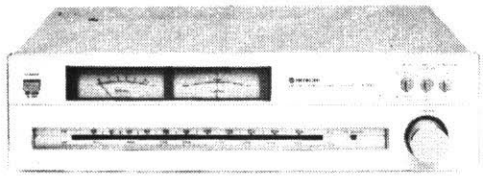


fig. 3.54 Zenderindicator

2. *Een super-8 filmcamera*

Belichtingscontrole

Wanneer er te weinig licht is voor een goed belichte opname verschijnt er een rood waarschuwingsteken rechts onder in de zoeker. Gebruik in dat geval extra verlichting, bijvoorbeeld een filmzon. In de zoeker ziet U verder een batterijcontrolelamp, de filmtransport-indicator en een waarschuwing wanneer het macro-bereik is ingeschakeld.

Controleren van het filmtransport

Onder in de zoeker ziet U de filmtransportindicator. Wanneer deze tijdens het filmen op en neer beweegt, wordt de film goed getransporteerd. Als de transport-indicator niet te zien is of niet beweegt, haal dan de filmcassette uit de camera en draai de film iets vooruit met Uw vinger; zet de cassette daarna opnieuw in de camera.

* De filmtransportindicator stopt wanneer de film vol is.

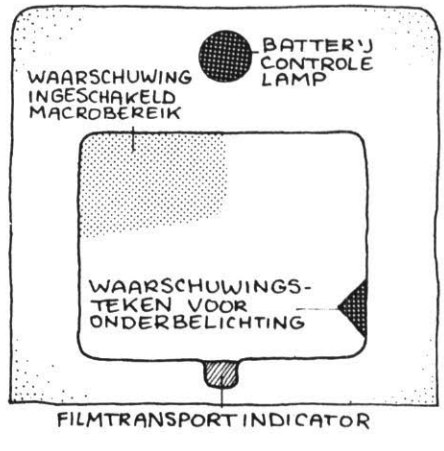


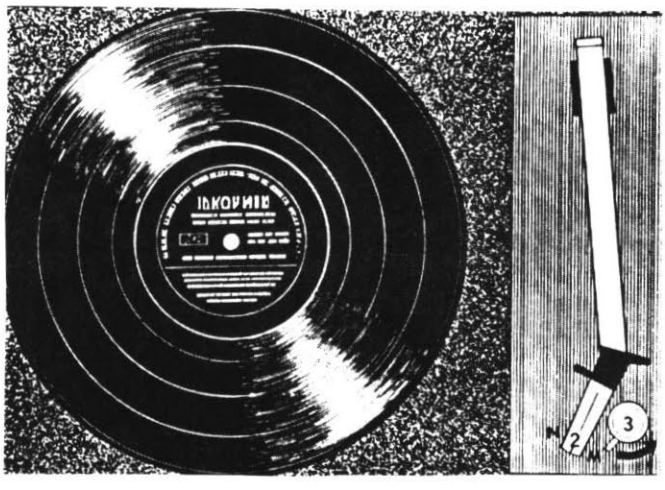
fig. 3.55 Filmcamera zoeker

3. *Een spoelen-recorder*

Automatische afslag

In de bandgleuf (5) bevindt zich een schakelcontact dat bij het passeren van de metalen schakelfolie eventueel ingedrukte toetsen ontgrendelt en zo de band stopt.
Houd, om ontijdig stoppen te voorkomen, vóór het starten van opnemen en weergeven starttoets (13) of vooruitspoeltoets (12) ingedrukt totdat de metalen schakelfolie de bandgleuf is gepasseerd.

4. *Een pick-up* (zie fig. 3.56)



BEDIENING

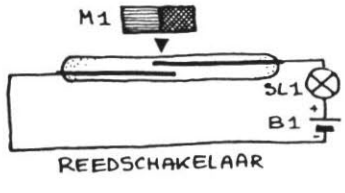
1. Juiste snelheid kiezen.
2. Juiste naald kiezen. M: microgroef (mono en stereo) 16 - 33 1/3 - 45 t/m. N: 78 t/m. platen.
3. Start: Knop 3 indrukken. De arm tast de plaatdiameter af, daarna komt de naald automatisch in de inloopgroef van de draaiende plaat.

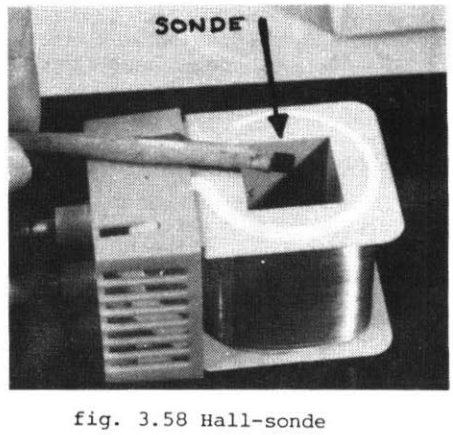
   Apparaat schakelt aan het einde van de plaat automatisch uit. Uitschakelen tijdens het spelen: Knop 3 indrukken.

fig. 3.56 Pick-up

5. *Een reed-schakelaar* (zie fig. 3.57)

Een schakelaar die magnetisch wordt bediend is een zogenaamde reed-schakelaar of reed-relais. Deze bestaat uit twee heel licht beweegbare contactveertjes van ferro-magnetisch materiaal, die zijn ingesmolten in een glazen buisje. Nadert men deze schakelaar met een klein permanent magneetje, dan worden de veertjes magnetisch en trekken elkaar aan. Daardoor komt dan een elektrisch contact tot stand.





6. *De Hall-sonde* (zie fig. 3.58)
(uit het thema 'Elektrische Machines')

fig. 3.58 Hall-sonde

7. *Een vaatwasmachine*

Een fragment uit het instruktieboekje over: "Wat te doen bij storingen?"

2 **Het apparaat werkt niet meer na eerst even te hebben gepompt, maar het netspanning-sindicatielampje brandt wel**
- Is de kraan opengedraaid?
- Is het filtertje in de toevoerslang misschien verstopt?

3 **Het vullen met water duurt te lang**
- Is de kraan wel helemaal opengedraaid?
- Is het filtertje in de toevoerslang misschien gedeeltelijk verstopt?
- Is de waterdruk te laag? Kijk of het water met normale kracht uit een andere kraan loopt.

8. *Een weerballon met zender* (zie fig. 3.59)

Het temperatuurprofiel van de atmosfeer wordt in De Bilt tweemaal per dag bepaald. Daartoe laat men een hygrometer, bimetaalthermometer en doosbarometer opstijgen aan een met waterstofgas gevulde ballon. De instrumenten bedienen een toongenerator, die hun aanwijzingen omzet in een wisselspanning. De op deze manier opgewekte frekwenties worden door een klein radiozendertje, dat ook mee omhoog gaat, uitgezonden en beneden ontvangen.

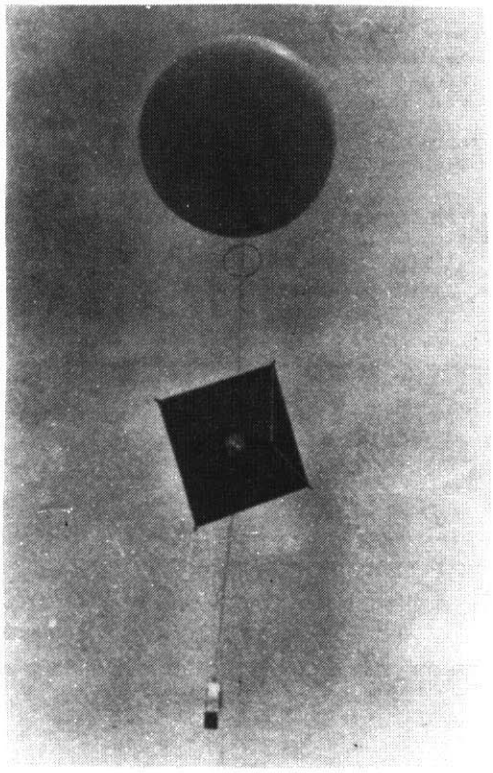


fig. 3.59 Weerballon met zender

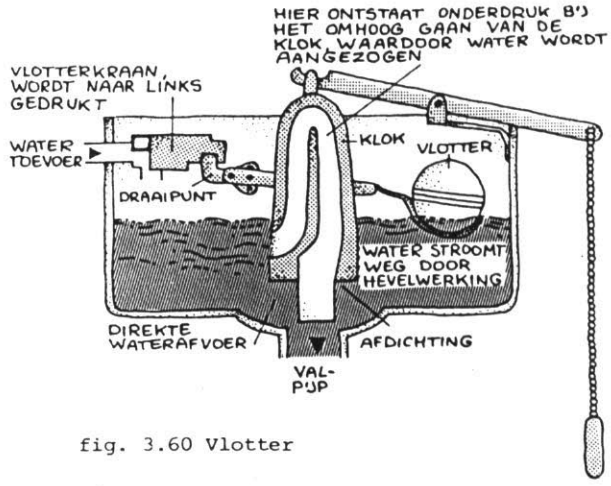


fig. 3.60 Vlotter

9. *De vlotter in de stortbak van een w.c.* (zie fig. 3.60)

10. *Een boormachine* (uit de handleiding)

Zelfdenkende overbelastingsschakelaar

Ofschoon elke boormachine over een ruime krachtreserve beschikt, blijft de mogelijkheid bestaan dat de toelaatbare belasting van de motor plotseling wordt overschreden. Geen nood!
In dat geval treedt onmiddellijk de thermische overbelastingsbeveiliging in werking; wordt de stroom uitgeschakeld en slaat de motor af.
Zet dan de in-uitschakelaar in stand „uit" en desgewenst kunt u de steker uit het stopkontakt trekken. Reeds na zo'n 20 à 30 sekonden kunt u alweer de rode knop van de overbelastingsbeveiliging indrukken en uw machine is opnieuw werkklaar.

11. *Een C.V. installatie*

Ook hierbij een fragment uit het instruktieboekje over storingen.

ALGEMENE STORINGEN

STORINGEN	OPHEFFING VAN STORINGEN
1. Waakvlam blijft niet aan.	A. Waakvlamleiding vuil, doorblazen B. Thermokoppel defect. Installateur waarschuwen. C. Gasdruk te laag.
2. Waakvlam brandt, hoofdbrander komt NIET in.	A. kamerthermostaat te laag ingesteld. B. Maximaalthermostaat te laag ingesteld. C. Waterdruk voor drukschakelaar is te laag.
3. Hoofdbrander komt wel in, maar valt korte tijd later weer uit.	A. De pomp werkt niet. B. De maximaalthermostaat staat te laag

12. *De stem*

Stem

De Engelse firma Expoman heeft een systeem op de markt gebracht dat op commando van een menselijke stem verschillende dingen in huis kan doen. Het systeem is in eerste instantie bedoeld voor ernstig gehandicapte mensen, maar zal vermoedelijk ook technologie-snobs aanspreken.

Het *Voice-Activated Domestic Appliance System* (VADAS) kan 12 verschillende apparaten bedienen en op elk apparaat 40 verschillende handelingen verrichten. Het systeem kan bijvoorbeeld op het gesproken commando „gordijnen dicht" de gordijnen in de kamer dicht doen, of een videocamera inschakelen om op een TV-scherm te laten zien wie er heeft aangebeld. Het kan een radio afstemmen of een TV aanzetten en een kanaal kiezen of het geluidsniveau regelen. Zelfs het schrijven van een brief of het vertalen er van behoren tot de mogelijkheden.

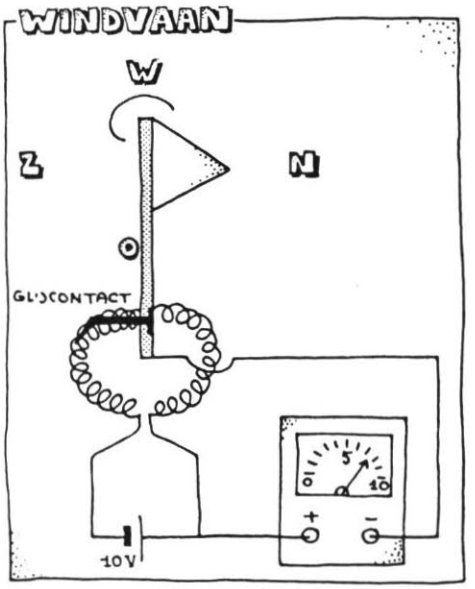
Het systeem is sprekerafhankelijk, wat wil zeggen dat het alleen de stem herkent van de persoon voor wie het is geprogrammeerd om te werken. Het kan 255 woorden in zijn geheugen onthouden. Eventueel kan het vocabulaire ook nog worden uitgebreid.

Volkskrant
17-3 '84

3.9 OPGAVEN

1. Een aardige toepassing van een positie-sensor is een elektrische windvaan (zie fig. 3.62).
   De sensor is hier al gekoppeld aan een eenvoudige bewerker: een spanningsmeter.
   Voorzie de schaalverdeling van de spanningsmeter van de aanduidingen N, O, W, Z.

fig. 3.62 Windvaan



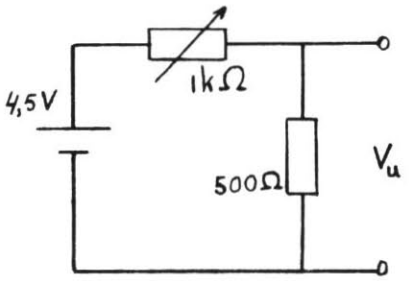
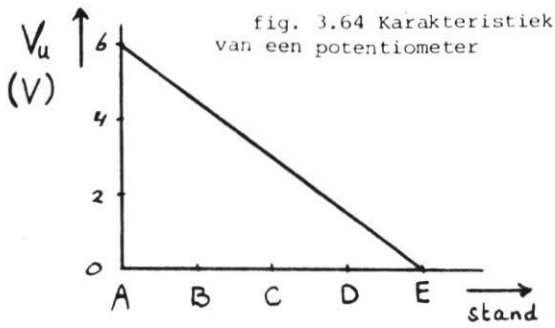


fig. 3.63 Schakeling bij opgave 2

2. Een andere manier om een potentiometer als positie-sensor te gebruiken is zoals in fig. 3.63. De potmeter is dan als regelbare weerstand geschakeld. Er worden maar twee contacten gebruikt, waarvan er één het glijcontact is.
   a) Tussen welke waarden kun je in deze schakeling de spanning over de weerstand van 500 Ω variëren?
   b) Noem een voordeel en een nadeel van deze schakeling ten opzichte van opdracht 1 van par. 3.3.

3. Als je de positie-sensor koppelt aan een bewerker, wordt de uitgangsspanning 'belast', dat wil zeggen de sensor moet ook een uitgangsstroom leveren. Als de totale weerstand van de bewerker klein is, verandert de karakteristiek van de positie-sensor nogal.

fig. 3.64 Karakteristiek van een potentiometer



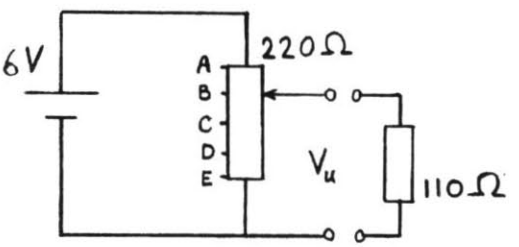


fig. 3.65 Schakeling bij opgave 3

In fig. 3.64 is de karakteristiek getekend van een potentiometer van 220 Ω.
Deze sensor wordt aangesloten op een bewerker met een weerstand van 110 Ω (zie fig. 3.65).

a) Bereken voor de standen A t/m E de nieuwe V_u door steeds de vervangingsweerstand tussen A en E, B en E, C en E en D en E te berekenen.
b) Teken de gewijzigde karakteristiek ook in het diagram.

4. In fig. 3.66 is de karakteristiek getekend van een N.T.C.-weerstand. Je wilt hiermee een eenvoudig automatisch systeem ontwerpen, waarbij er een lampje (6 V, 0,5 A) brandt bij temperaturen boven 50 °C. Je hebt de beschikking over een spanningskast en allerlei vaste weerstanden. Maak dit ontwerp en test je schakeling eventueel uit.
Wat zijn belangrijke nadelen van zo'n eenvoudige schakeling?

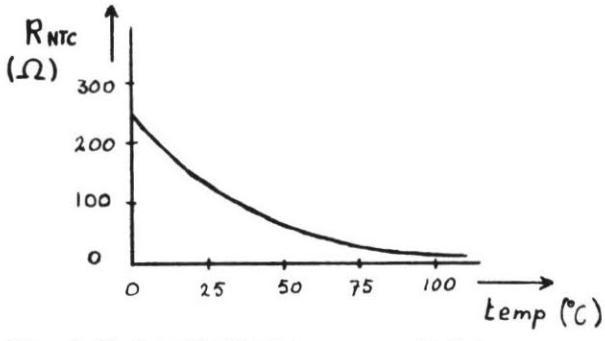


fig. 3.66 Karakteristiek van een N.T.C.-weerstand

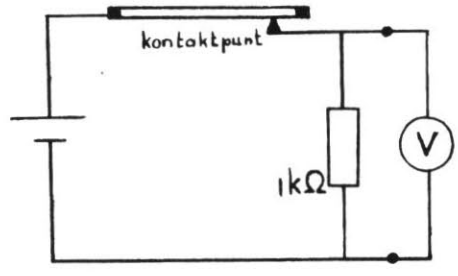


fig. 3.67 Bimetaal als schakelaar

Een bimetaaltje bestaat uit twee strips van verschillende metalen, die op elkaar zijn gewalst. Als zo'n bimetaaltje wordt verwarmd, buigt het, omdat de metalen een verschillende mate van uitzetting hebben.

5. Een bimetaaltje is een andere temperatuurvoeler.
Wat is het verschil tussen de N.T.C.-sensor en een temperatuurvoeler met een bimetaaltje zoals in bovenstaande schakeling?

6. In fig. 3.68 is de karakteristiek van een L.D.R. getekend. De L.D.R. wordt opgenomen in een schakeling als lichtsensor (fig. 3.69).
Bereken de afstand die de lamp tot de sensor lichtsterkte (lux) moet hebben, zodat V_u = 4,0 V.

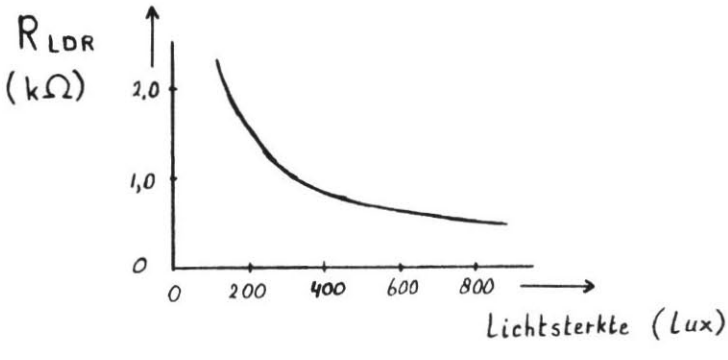


fig. 3.68 Karakteristiek L.D.R.

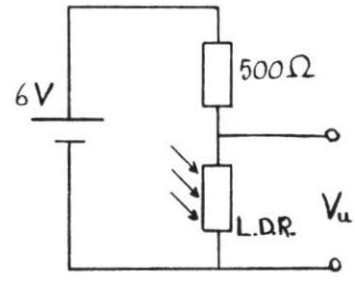


fig. 3.69 Schakeling bij opgave 7

7. Een andere lichtsterktesensor is een foto-cel. Probeer er achter te komen op welk principe deze is gebaseerd. Wat zijn de voor- en nadelen ten opzichte van een L.D.R.?

8. Een neonlampje gaat pas stroom geleiden en licht geven bij een spanning boven 80 V. Hij dooft weer als de spanning beneden de 60 V komt.
   a) Teken de karakteristiek van de *RC*-schakeling van fig. 3.70 (V_u als funktie van t) zonder neonlampje.
   b) Als het neonlampje wordt aangesloten, gaat het regelmatig flitsen. Verklaar dat.
   c) Teken nu V_u als funktie van t, als het neonlmpje is aangesloten.

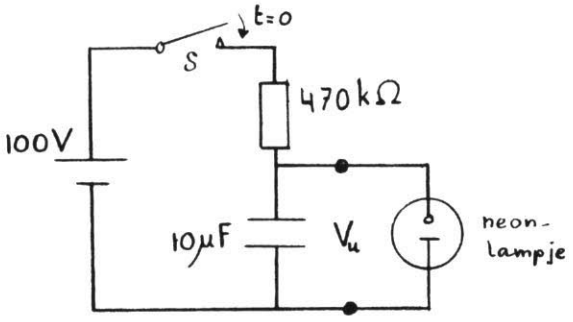


fig. 3.70 Schakeling bij opgave 8

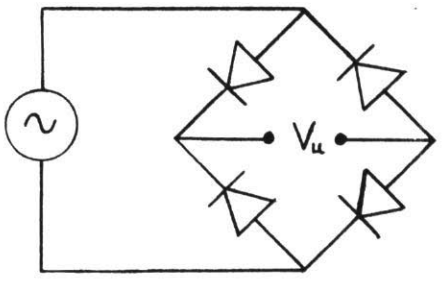


fig. 3.71 Graetz-schakeling

9. Een alternatieve gelijkrichtschakeling is afgebeeld in fig. 3.71. Men noemt deze schakeling wel de Graetz-schakeling.
   a) Leg uit dat de spanning V_u altijd hetzelfde teken heeft.
   b) Wat is het voordeel van deze schakeling boven de schakeling van fig. 3.53?

10. Geef aan hoe je een applausmeter zou ontwerpen en ijken.

Hoofdstuk 4

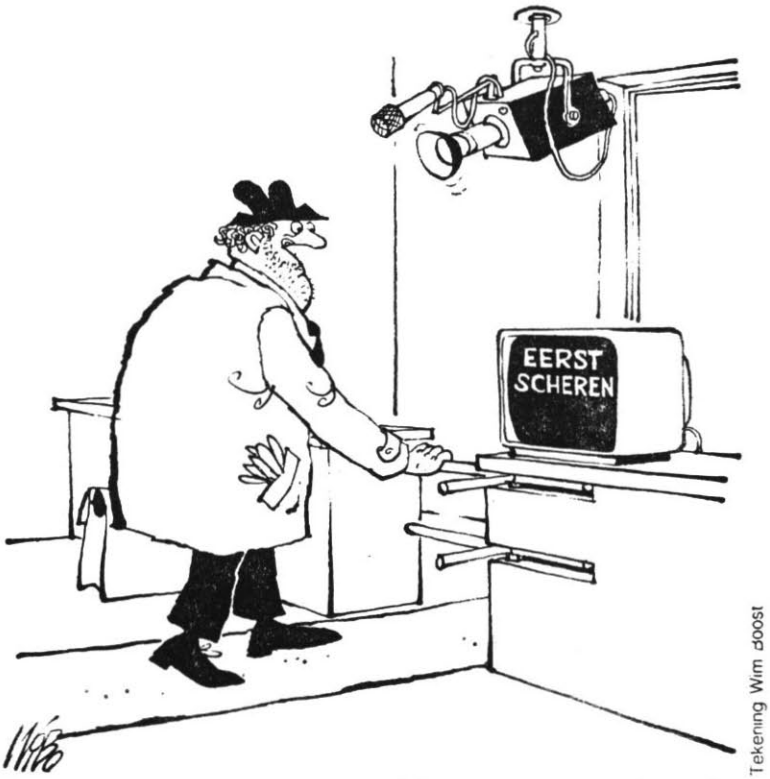
ELEKTRONISCHE BEWERKINGEN

Inhoud

4.1 Inleiding
4.2 Triggers
4.3 Logische bewerkingen
4.4 Geheugens
4.5 Relais
4.6 Transistors
4.7 Geïntegreerde schakelingen (IC's)
4.8 Opgaven

Elektronische bewerkingen

Hoe kun je nu met de sensoren uit het vorige hoofdstuk hele systemen automatiseren? Daarvoor moet je eerst de signalen van de sensoren omvormen, *bewerken*. Hoe dat gaat leer je in het volgende hoofdstuk.



Computer-portier herkent gezicht en stem van bezoeker

4.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk gaat het over het bewerken van signalen, die een sensor afgeeft. Dat is het tweede blok in het blokschema van een geautomatiseerd systeem (zie fig. 4.1).

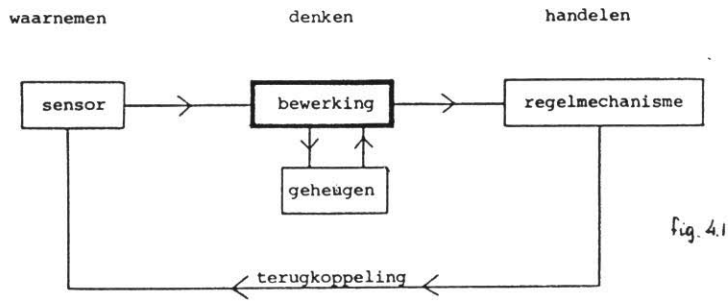


fig. 4.1

Wat er in het blok 'bewerking' kan gebeuren zullen we illustreren met het voorbeeld van een automatische wasmachine.
Je laadt de was in de machine en zet hem op het 60 °C - wasprogramma. De machine vult zich dan automatisch met water tot hij vol genoeg is. Dan gaat automatisch de elektrische verwarming aan tot de temperatuur van 60 °C is bereikt en daarna zorgt een elektromotor ervoor dat de wastrommel in beweging wordt gezet. Na een bepaalde wastijd wordt de pomp aangezet en de wasmachine leeggepompt. De machine vult zich 3 keer met spoelwater en pompt dat ook steeds weer weg. Uiteindelijk wordt de elektromotor op een hoog toerental ingesteld en centrifugeert de was.

Vraag.

4.1 Noem minstens twee sensoren uit hoofdstuk 3 die je in dit geautomatiseerd proces nodig hebt.

Het wasproces kan alleen goed verlopen als deze sensoren het regelmechanisme voorzien van informatie over:
- het waterniveau in de wastrommel
- de watertemperatuur
- de stand van de wasprogramma-keuzeknop.

Deze informatie wordt bewerkt, zodat de machine de juiste signalen kan geven aan de waterinlaatklep, aan de elektrische verwarming, aan de trommelmotor en aan de pompmotor.

Het proces dat de wasmachine doorloopt is ook weer te geven met een principeschema (zie fig. 4.2). De lijnen hierin stellen niet de elektrische verbindingsdraden voor.

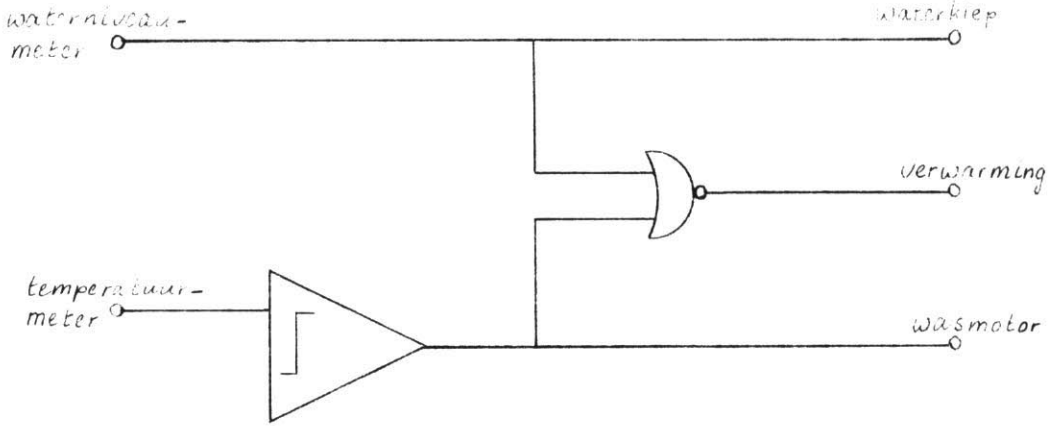


fig. 4.2: Na het instellen van het gewenste wasprogramma verloopt het hele proces verder automatisch. Enkele sensoren in de wasmachine leveren de informatie, die nodig is om het proces op de juiste tijden en in de goede volgorde te laten verlopen.

Vraag.

4.2 Welke van de sensoren uit hoofdstuk 3 gaven een digitaal signaal?

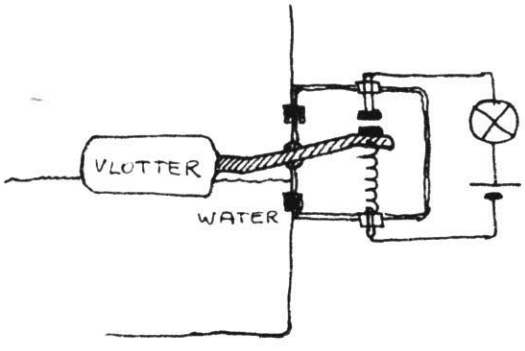


fig. 4.3: Waterniveaumeter. Als het waterniveau stijgt, wordt de vlotter omhoog geduwd en het contact verbroken. Het lampje gaat dan uit.

In dit schema zijn twee sensors en twee bewerkers opgenomen.
De waterniveaumeter geeft spanning af zolang de wasmachine nog niet vol is. Het signaal dat de waterniveaumeter afgeeft is *digitaal*, dat wil zeggen dat deze sensor of *wel* of *geen* spanning afgeeft. Als het waterniveau regelmatig stijgt, springt het signaal van de niveaumeter plotseling van wel naar geen spanning.

De temperatuurmeter geeft een spanning af die varieert met de temperatuur. Het signaal dat deze sensor afgeeft is *analoog*, dat wil zeggen dat deze sensor allerlei spanningen kan afgeven, die vloeiend verlopen bij het veranderen van de meetgrootheid.

De trigger geeft alleen spanning af, als de ingangsspanning boven een bepaalde waarde komt. De trigger en de temperatuurmeter kunnen bijvoorbeeld zó zijn afgesteld dat de trigger alleen een signaal geeft als de temperatuur groter is dan 60 °C.
Een trigger zet dus een analoog ingangssignaal om in een digitaal uitgangssignaal.

De NOF-poort heeft twee ingangen en één uitgang. Deze poort werkt zodanig, dat hij alléén maar spanning op de uitgang heeft, als er op beide ingangen *geen* spanning staat. Als er op één van

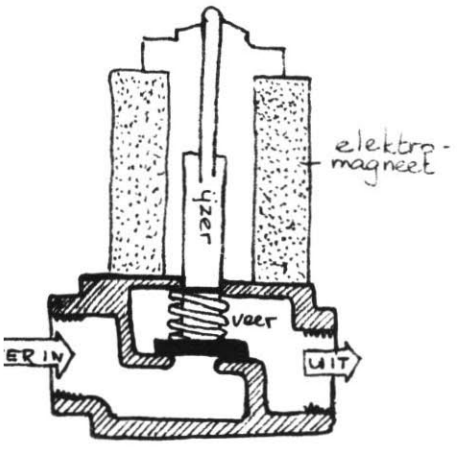


fig. 4.4: Waterklep.
Als de magneet bekrachtigd wordt, wordt de klep opengetrokken.

beide ingangen (of op beide) wèl spanning staat, geeft de uitgang géén spanning.
Een NOF-poort (en andere types poorten) zet meerdere digitale ingangssignalen volgens een vast patroon om in één digitaal uitgangssignaal.

De waterklep laat water door als er spanning op staat.

De verwarming levert warmte als er spanning op staat.

De wasmotor gaat draaien als er spanning op staat.

Om na te gaan hoe een geautomatiseerd systeem werkt wordt vaak een tabel gebruikt waarin de belangrijkste signalen worden weergegeven. Digitale signalen worden aangegeven met een 'nul' (géén signaal) of met een 'één' (wél signaal). Zo'n tabel noemt men een *waarheidstabel*.

Ook voor het voorbeeld van de wasmachine kunnen we een waarheidstabel maken en zo nagaan hoe de machine werkt. Bij het inschakelen van de machine zal er geen water in zitten. De waterniveaumeter zal dan een signaal (1) afgeven. De temperatuurmeter zal geen signaal (0) afgeven. In de NOF levert dat géén uitgangssignaal op (zie fig. 4.3).

moment in het proces	uitgang waterniveau-meter (= ingang 1 NOF)	uitgang trigger (= ingang 2 NOF)	uitgang NOF	water-klep	verwar-ming	was-motor
• inschakelen machine • machine vol • ... •	1	0	0	open	uit	uit

fig. 4.5: Waarheidstabel van het wasmachineprogramma behorend bij de schakeling van fig. 4.2.

Opdracht 4.1 *Waarheidstabel wasmachine*

Maak de waarheidstabel van fig. 4.5 af.
Zorg ervoor dat het volgende gebeurt, als je de machine inschakelt: Machine is leeg, waterklep is open. De verwarming is uit, zodat de verwarmingsspiraal niet kan verbranden (deze moet namelijk eerst geheel onder water staan).
De trommel raakt vol en de waterklep sluit. De verwarming gaat aan tot de temperatuur van 60 °C is bereikt. Daarna gaat de trommel draaien. (De rest van het programma zoals centrifugeren en spoelen is niet in het schema opgenomen.)

In de proeven kun je de verschillende schakelingen (trigger, poort, geheugen) èn de verschillende onderdelen (relais, transistor, geïntegreerde schakeling) onderzoeken. Gebruik voor de keuze van de proeven fig. 4.9.

	schakeling met RELAIS (theorie in par. 4.5) onderzoek:	schakeling met TRANSISTOR (theorie in par. 4.6) onderzoek:	schakeling met GEINTEGREERDE SCHAKELING (theorie in par. 4.7) onderzoek:
Trigger proeven in par. 4.2	par. 4.2 : (1)	par. 4.2 : (2)	par. 4.2 : [3]
Poort proeven in par. 4.3	par. 4.3 : [4]	par. 4.3 : (5)	par. 4.3 : (6)
Geheugen proeven in par. 4.4	par. 4.4 : (7)	par. 4.4 : [8]	par. 4.4 : (9)

fig. 4.9: Opbouw van de proeven in dit hoofdstuk.

Door een slimme keuze is het mogelijk om in drie onderzoeken zowel de drie bewerkers (trigger, poort, geheugen) als de drie verschillende onderdelen (transistor, relais en geïntegreerde schakeling) te bekijken. Eén groep voert bijvoorbeeld de drie omcirkelde onderzoeken uit. Zorg er wel voor dat alle proeven in de klas aan bod komen.
Noteer de metingen en antwoorden op de vragen. De resultaten van de onderzoeken worden later verder gebruikt om de werking van de verschillende onderdelen uit te leggen. Als je tijdens de proeven aanloopt tegen vragen over relais, transistors en IC's, kun je de antwoorden proberen te vinden in de theorieparagrafen 4.5, 4.6 of 4.7. Omdat iedereen maar 3 van de 9 onderzoeken uitvoert, kun je ook besluiten elkaar over de onderzoeken te rapporteren.

Je hebt nu gezien dat de wasmachine met behulp van een aantal waarnemingen bewerkingen kan uitvoeren, zodat het wasprogramma geregeld wordt. In de volgende paragrafen bekijken we de volgende bewerkingen:

- *Triggers*: deze zetten een gelijkmatig variërend (analoog) signaal om in een aan/uit-signaal (digitaal)
- *Poortschakelingen*: deze combineren enkele digitale ingangssignalen op een bepaalde manier tot één digitaal uitgangssignaal.
- *Geheugens*: deze onthouden de waarden van een signaal (meestal digitaal).

De onderdelen waarmee deze schakelingen gebouwd worden kunnen verschillen. Van oudsher gebruikt men *relais*: schakelaars die door een elektromagneet worden bediend. Voor veel toepassingen is het relais verdrongen door de *transistor*. En tegenwoordig zien we steeds meer de opmars van de *geïntegreerde schakelingen*, ook wel *IC's* (integrated circuits) of *chips* genaamd. Deze bestaan uit hele series geminiaturiseerde transistorschakelingen, die zijn aangebracht op een heel klein plakje silicium.

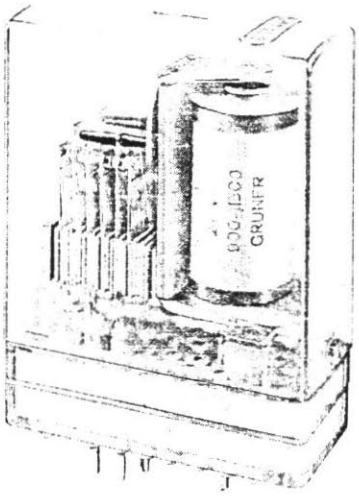


fig. 4.6: Relais.

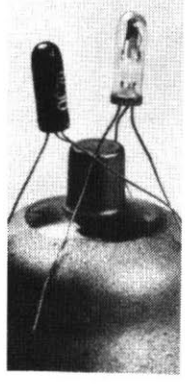


fig. 4.7: Transistor.

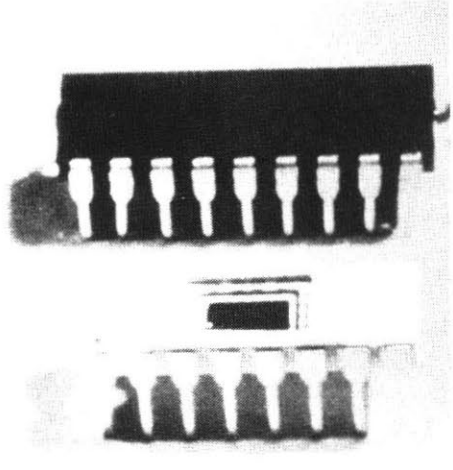


fig. 4.8: Geïntegreerde schakeling.

Je hebt nu gezien dat de wasmachine met behulp van een aantal waarnemingen bewerkingen kan uitvoeren, zodat het wasprogramma geregeld wordt. In de volgende paragrafen bekijken we de volgende bewerkingen:

- *Triggers*: deze zetten een gelijkmatig variërend (analoog) signaal om in een aan/uit-signaal (digitaal)
- *Poortschakelingen*: deze combineren enkele digitale ingangssignalen op een bepaalde manier tot één digitaal uitgangssignaal.
- *Geheugens*: deze onthouden de waarden van een signaal (meestal digitaal).

De onderdelen waarmee deze schakelingen gebouwd worden kunnen verschillen. Van oudsher gebruikt men *relais*: schakelaars die door een elektromagneet worden bediend. Voor veel toepassingen is het relais verdrongen door de *transistor*. En tegenwoordig zien we steeds meer de opmars van de *geïntegreerde schakelingen*, ook wel *IC's* (integrated circuits) of *chips* genaamd. Deze bestaan uit hele series geminiaturiseerde transistorschakelingen, die zijn aangebracht op een heel klein plakje silicium.

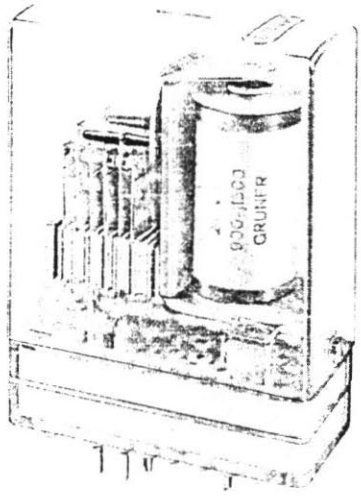


fig. 4.6: Relais.

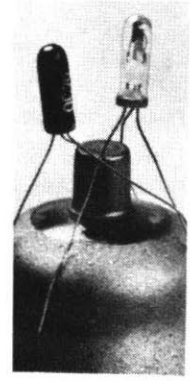


fig. 4.7: Transistor.

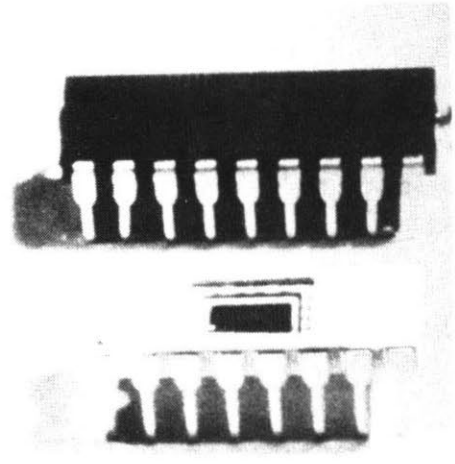


fig. 4.8: GeIntegreerde schakeling.

In de proeven kun je de verschillende schakelingen (trigger, poort, geheugen) èn de verschillende onderdelen (relais, transistor, geïntegreerde schakeling) onderzoeken. Gebruik voor de keuze van de proeven fig. 4.9.

	schakeling met RELAIS (theorie in par. 4.5) onderzoek:	schakeling met TRANSISTOR (theorie in par. 4.6) onderzoek:	schakeling met GEINTEGREERDE SCHAKELING (theorie in par. 4.7) onderzoek:
Trigger proeven in par. 4.2	par. 4.2 : (1)	par. 4.2 : (2)	par. 4.2 : [3]
Poort proeven in par. 4.3	par. 4.3 : [4]	par. 4.3 : (5)	par. 4.3 : (6)
Geheugen proeven in par. 4.4	par. 4.4 : (7)	par. 4.4 : [8]	par. 4.4 : (9)

fig. 4.9: Opbouw van de proeven in dit hoofdstuk.

Door een slimme keuze is het mogelijk om in drie onderzoeken zowel de drie bewerkers (trigger, poort, geheugen) als de drie verschillende onderdelen (transistor, relais en geïntegreerde schakeling) te bekijken. Eén groep voert bijvoorbeeld de drie omcirkelde onderzoeken uit. Zorg er wel voor dat alle proeven in de klas aan bod komen.
Noteer de metingen en antwoorden op de vragen. De resultaten van de onderzoeken worden later verder gebruikt om de werking van de verschillende onderdelen uit te leggen. Als je tijdens de proeven aanloopt tegen vragen over relais, transistors en IC's, kun je de antwoorden proberen te vinden in de theorieparagrafen 4.5, 4.6 of 4.7. Omdat iedereen maar 3 van de 9 onderzoeken uitvoert, kun je ook besluiten elkaar over de onderzoeken te rapporteren.

Je hebt nu gezien dat de wasmachine met behulp van een aantal waarnemingen bewerkingen kan uitvoeren, zodat het wasprogramma geregeld wordt. In de volgende paragrafen bekijken we de volgende bewerkingen:

- *Triggers*: deze zetten een gelijkmatig variërend (analoog) signaal om in een aan/uit-signaal (digitaal)
- *Poortschakelingen*: deze combineren enkele digitale ingangssignalen op een bepaalde manier tot één digitaal uitgangssignaal.
- *Geheugens*: deze onthouden de waarden van een signaal (meestal digitaal).

De onderdelen waarmee deze schakelingen gebouwd worden kunnen verschillen. Van oudsher gebruikt men *relais*: schakelaars die door een elektromagneet worden bediend. Voor veel toepassingen is het relais verdrongen door de *transistor*. En tegenwoordig zien we steeds meer de opmars van de *geïntegreerde schakelingen*, ook wel *IC's* (integrated circuits) of *chips* genaamd. Deze bestaan uit hele series geminiaturiseerde transistorschakelingen, die zijn aangebracht op een heel klein plakje silicium.

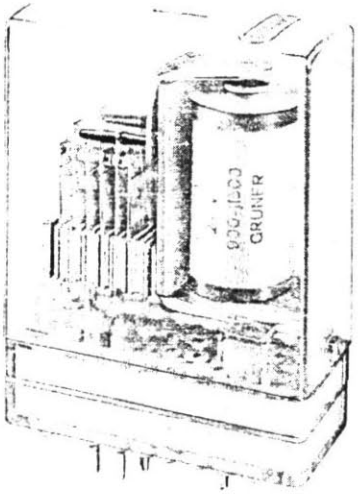


fig. 4.6: Relais.

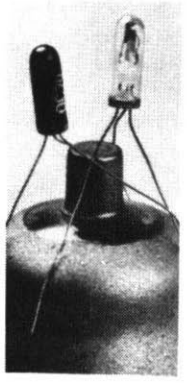


fig. 4.7: Transistor.

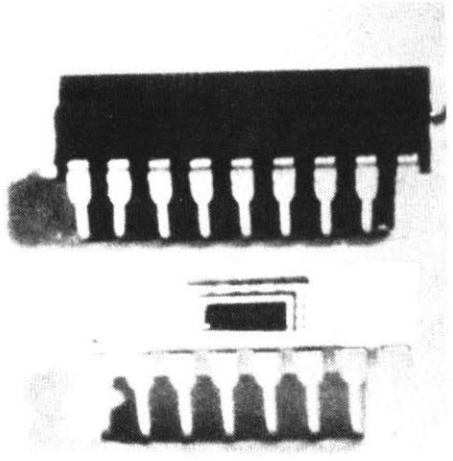


fig. 4.8: Geïntegreerde schakeling.

In de proeven kun je de verschillende schakelingen (trigger, poort, geheugen) èn de verschillende onderdelen (relais, transistor, geïntegreerde schakeling) onderzoeken. Gebruik voor de keuze van de proeven fig. 4.9.

	schakeling met RELAIS (theorie in par. 4.5) onderzoek:	schakeling met TRANSISTOR (theorie in par. 4.6) onderzoek:	schakeling met GEINTEGREERDE SCHAKELING (theorie in par. 4.7) onderzoek:
Trigger proeven in par. 4.2	par. 4.2 : (1)	par. 4.2 : (2)	par. 4.2 : [3]
Poort proeven in par. 4.3	par. 4.3 : [4]	par. 4.3 : (5)	par. 4.3 : (6)
Geheugen proeven in par. 4.4	par. 4.4 : (7)	par. 4.4 : [8]	par. 4.4 : (9)

fig. 4.9: Opbouw van de proeven in dit hoofdstuk.

Door een slimme keuze is het mogelijk om in drie onderzoeken zowel de drie bewerkers (trigger, poort, geheugen) als de drie verschillende onderdelen (transistor, relais en geïntegreerde schakeling) te bekijken. Eén groep voert bijvoorbeeld de drie omcirkelde onderzoeken uit. Zorg er wel voor dat alle proeven in de klas aan bod komen.
Noteer de metingen en antwoorden op de vragen. De resultaten van de onderzoeken worden later verder gebruikt om de werking van de verschillende onderdelen uit te leggen. Als je tijdens de proeven aanloopt tegen vragen over relais, transistors en IC's, kun je de antwoorden proberen te vinden in de theorieparagrafen 4.5, 4.6 of 4.7. Omdat iedereen maar 3 van de 9 onderzoeken uitvoert, kun je ook besluiten elkaar over de onderzoeken te rapporteren.

4.2 TRIGGERS

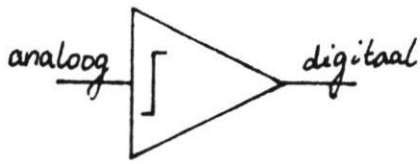


fig. 4.10: Symbool voor trigger.

Triggers zetten een continu variërend elektrisch signaal om in een aan- of uitsignaal. Het ingangssignaal is analoog, het uitgangssignaal digitaal.

Beneden een bepaalde ingangsspanning levert de trigger géén uitgangsspanning, daarboven wel. De spanning waarbij wordt omgeschakeld heet de drempelspanning. Bij een goede trigger verandert de uitgangsspanning verder niet meer, ook al stijgt de ingangsspanning steeds verder boven de drempelspanning. De waarheidstabel van een trigger is dus zoals in fig. 4.11.

ingangssignaal (analoog)	uitgangssignaal (digitaal)
beneden drempelspanning	0
boven drempelspanning	1

fig. 4.11: Waarheidstabel van een trigger.

Het woord trigger betekent in het Engels o.a. 'trekker van een geweer'. Ook daarbij is het zo, dat als je de trekker steeds dichter naar je toehaalt er eerst helemaal niets gebeurt. Pas als je een bepaald punt hebt overschreden gaat het geweer af.
Voer nu één van de onderzoeken 1, 2 of 3 uit overeenkomstig het proevenkeuzeschema van fig. 4.9.

Onderzoek 1. Trigger met relais

In dit onderdeel doen we onderzoek naar een trigger met een relais. Daarvoor bestudeer je eerst de werking van een relais en bouw je een schakeling om de werking na te gaan. Daarna combineer je de trigger met een lichtsensor en een lampje en maakt zo een automatische lichtontsteker voor een auto.

a Bestudeer kort de bouw en aansluitwijze van een relais in par. 4.5.
b Bouw de schakeling van fig. 4.13 en onderzoek bij welke spanning V_R het lampje begint te branden en bij welke spanning het lampje weer dooft.

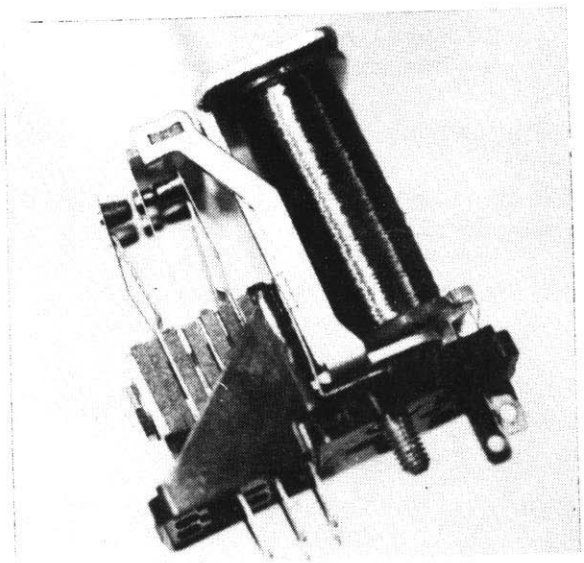


fig. 4.12

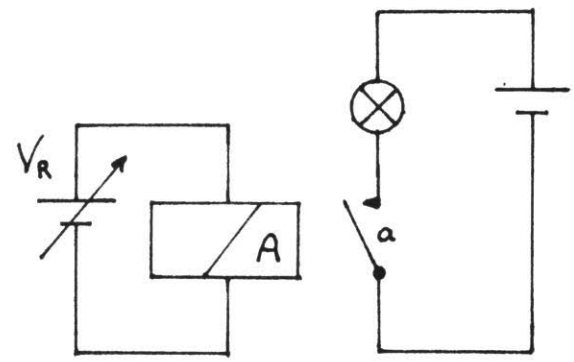


fig. 4.13

Dit relais werkt als trigger. De werking is echter niet helemaal zoals het hoort. De spanning waarbij het relais 'opkomt' is namelijk niet hetzelfde als de spanning waarbij het relais 'afvalt'. Je kunt dus niet spreken van één drempelspanning. In de praktijk is dat soms geen bezwaar. Het verschil tussen opkomst en afvalspanning noemt men de *hysteresespanning*.

c Bepaal de hysterese van het gebruikte relais.

Als we deze trigger combineren met een lichtsensor is het mogelijk een schakeling te maken, die automatisch het licht ontsteekt als het te donker wordt.

d Teken een blokschema van dit automatisch systeem.
e Bouw zo'n automatische lichtontsteker en test de schakeling. Gebruik als lichtsensor de serieschakeling van een LDR en de spoel van het relais.

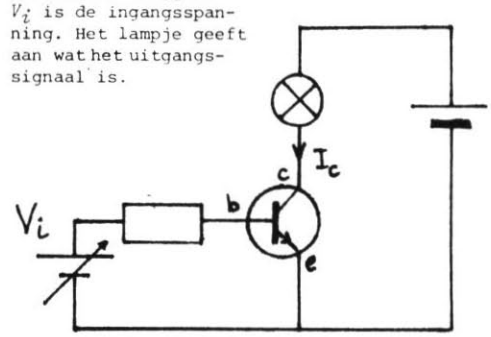
Onderzoek 2. Trigger met transistor

Het is mogelijk om met een transistor een trigger te maken. Een transistor is een elektronische component met drie aansluitingen, die collector, emitter en basis worden genoemd. Voor het doen van de proeven hoef je nog niet te weten hoe een transistor is opgebouwd. Eventueel kun je verdere informatie vinden in par. 4.6. Eerst zul je in de volgende opdrachten de werking van de trigger onderzoeken. Daarna kun je met een lichtsensor een automatische licht-donker-indicator bouwen. Deze zit o.a. ingebouwd in een fototoestel. Als het te donker is, gaat een waarschuwingslichtje in de zoeker branden.



fig. 4.14: Een transistor en het symbool, dat gebruikt wordt voor een transistor in elektrische schakelingen. De aansluitdraden basis, collector en emitter mogen niet verwisseld worden.

fig. 4.15: Schakeling van een transistor trigger. V_i is de ingangsspanning. Het lampje geeft aan wat het uitgangssignaal is.

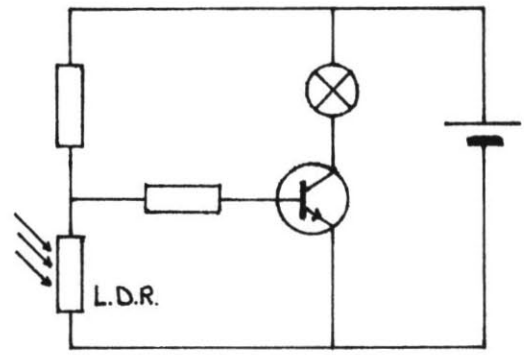


a Bouw de schakeling van fig. 4.15.
b Varieer de ingangsspanning tussen 0 en 3 V. Meet de bijbehorende stroom door het lampje (uitgangssignaal) en zet deze metingen in grafiek.
c Ga na of deze schakeling als trigger voldoet en bepaal de drempelspanning.

Als je in deze schakeling verschillende typen transistors gebruikt, zal de drempelspanning toch praktisch steeds hetzelfde zijn, namelijk ongeveer 0,7 V.

Met deze triggerschakeling is het mogelijk om een schakelaar te maken, die het licht ontsteekt, als het buiten donker wordt. Je moet dan de lichtsensor aansluiten op de trigger (zie fig. 4.16).

fig. 4.16: De lichtsensor aangesloten op de trigger. Beide maken gebruik van dezelfde voedingsspanning. De uitgangsspanning van de sensor dient als ingang voor de trigger.



d Bouw de schakeling van fig. 4.16 en controleer de werking.
e Bereken bij welke weerstandswaarde van de LDR de lamp zal aangaan, als je uitgaat van een drempelspanning van 0,7 V. Controleer de berekening door een meting.
(Eventueel kun je voor berekening en meting je groep even in tweeën splitsen.)
f Verklaar de werking van deze lichtschakelaar.

Onderzoek 3. Trigger met geïntegreerde schakeling (IC)

Er bestaan kant-en-klare geïntegreerde schakelingen, die als trigger werken. In zo'n IC is een hele transistorschakeling opgenomen. Zonder dat je weet wat er precies in zo'n IC zit, kun je toch de eigenschappen ervan onderzoeken. Wil je er meer van weten, dan kun je terecht in par. 4.7. Je onderzoekt in dit deel de eigenschappen van de trigger en ontwerpt daarmee een automatische licht-donker-indicator. Deze schakeling wordt o.a. in fototoestellen gebruikt. Als het te donker is, gaat in de zoeker een waarschuwingslichtje branden.

a Bouw de schakeling van fig. 4.18. Varieer de ingangsspanning V_i tussen 0 en 5 V en meet de uitgangsspanning V_u. Zet de metingen in grafiek.
b Bepaal de drempelspanning van deze trigger.



fig. 4.17: GeIntegreerde schakeling. Deze schakelingen moeten vaak gevoed worden met een voedingsspanning van 5 V. Als de spanning veel groter wordt, gaan ze stuk.

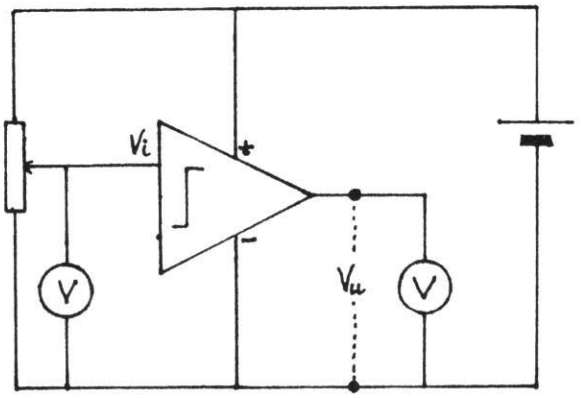


fig. 4.18: Triggerschakeling met het IC: De nummers bij het IC komen overeen met de aansluitpunten van het IC.

Met deze trigger is het mogelijk een waarschuwingslicht te laten branden, als het ergens te donker wordt. Je moet dan de licht sensor aansluiten op de trigger (zie fig. 4.19).

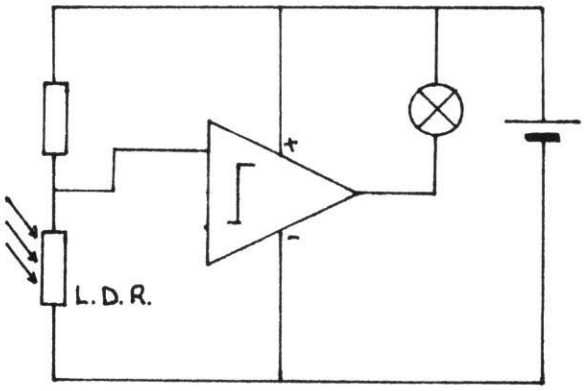


fig. 4.19: De lichtsensor aangesloten op de trigger. Beide maken gebruik van dezelfde voedingsspanning. De uitgangsspanning van de sensor dient als ingang voor de trigger.

c Bouw de schakeling van fig. 4.19 en controleer de werking.
d Bereken bij welke weerstandswaarde van de LDR het controlelampje zal gaan branden, als je uitgaat van de gemeten drempelspanning. Controleer deze berekening door een meting.
(Eventueel kun je voor berekening en meting je groep even in tweeën splitsen.)
e Verklaar de werking van deze lichtschakelaar.

4.3 POORTSCHAKELINGEN

Poorten zijn schakelingen, die verschillende digitale ingangssignalen logisch combineren tot één digitaal uitgangssignaal.
In het wasmachinevoorbeeld kwamen we de NOF-poort tegen, die alléén maar spanning op de uitgang geeft, als er op alle ingangen *geen* spanning staat.
We zullen ons in deze paragraaf bezighouden met 5 poorten (zie fig. 4.20).

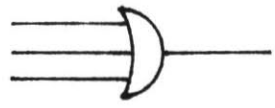
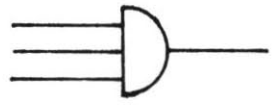
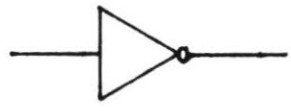
Naam	Symbool	Waarheidstabel
OF-poort uitgang geeft signaal, als op zijn minst één van de ingangen signaal krijgt.	 OF	in 1 | in 2 | uit 0 | 0 | 0 1 | 0 | 1 0 | 1 | 1 1 | 1 | 1
EN-poort uitgang geeft signaal, als alle ingangen signaal krijgen.	 EN	in 1 | in 2 | uit 0 | 0 | 0 1 | 0 | 0 0 | 1 | 0 1 | 1 | 1
inverter poort met maar één ingang. De uitgang geeft signaal, als de ingang geen signaal krijgt en omgekeerd.		in | uit 1 | 0 0 | 1

fig. 4.20: Symbolen en waarheidstabellen van enkele poorten.

Als de inverter nà de OF-poort wordt gezet, krijgen we de zogenaamde NOF-poort. Combinatie met een EN-poort levert een NEN-poort (zie fig. 4.21).

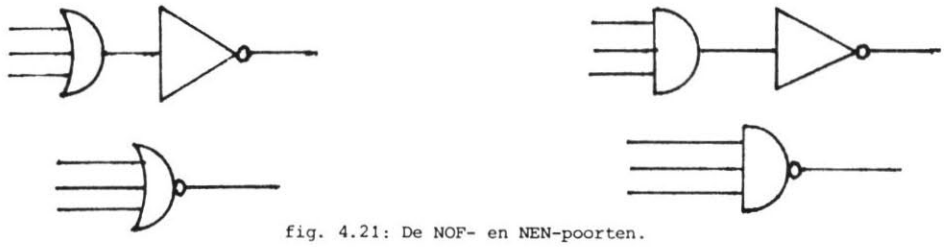


fig. 4.21: De NOF- en NEN-poorten.

Voer nu één van de onderzoeken 4, 5 of 6 uit, overeenkomstig het proevenkeuzeschema van fig. 4.9.

Onderzoek 4. Poorten met relais

In dit onderdeel doe je onderzoek naar enkele poorten met relais. Daarvoor bestudeer je eerst de werking van een relais en bouw je een schakeling om de werking na te gaan. Daarna bouw je een schakeling die een automobilist kan waarschuwen, als hij zijn licht heeft laten branden.

a Bestudeer kort de bouw en aansluitingswijze van een relais in par. 4.5.
b Bouw de schakeling van fig. 4.22. Zet verschillende combinaties van wèl (5 V) en géén spanning (0 V) op de beide ingangen. Het lampje geeft aan of er wel of geen spanning op de uitgang staat. Maak een waarheidstabel van de resultaten.
c Ga na welk type poort deze schakeling is (EN, OF, NEN, NOF of inverter).

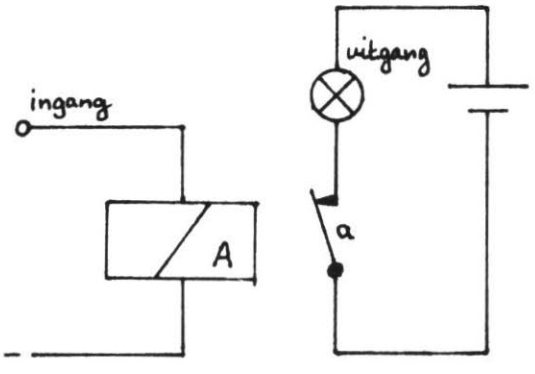


fig. 4.23: Schema van een inverter.

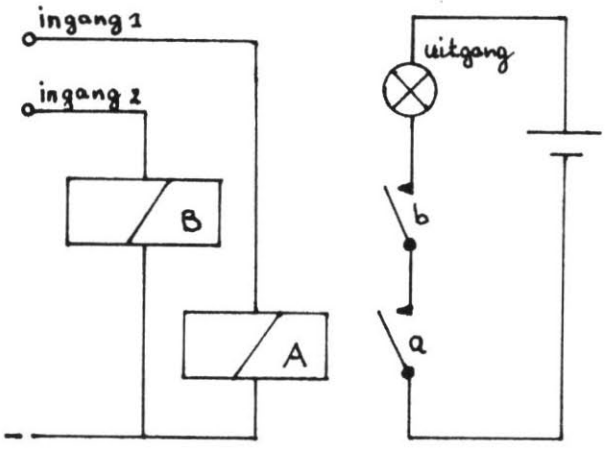


fig. 4.22: Schema van een ? -poort.

Door gebruik te maken van het verbreekkontakt van een relais is het mogelijk om een inverter te maken.

d Ga na dat de schakeling van fig. 4.23 een inverter is.

Bij een EN-poort zet men de relaisschakelaars in serie. Bij een OF-poort staan ze parallel.

e Teken het elektrisch schema (analoog aan fig. 4.22) van een OF-poort met relais.

Sommige mensen laten wel eens hun autolichten branden, als ze uitstappen. Als ze terugkomen is de accu leeg. Het is gemakkelijk om met een poortschakeling en een zoemer te waarschuwen, als de lichten nog branden bij het uitstappen.
Er is in een auto een lichtschakelaar die spanning geeft, als de lampen aanstaan. De deurschakelaar schakelt de interieurverlichting aan, als een deur geopend wordt (zie fig. 4.24).

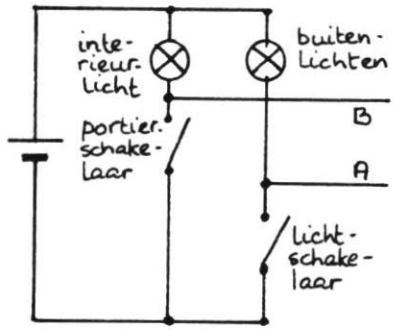


fig. 4.24: Gedeelte van het elektrisch circuit van een auto. Uitgang A levert spanning als de lichten aanslaan. Uitgang B levert spanning als de deur open gaat.

f Ontwerp, teken en bouw eventueel een schakeling die vergeetachtige chauffeurs waarschuwt.

Onderzoek 5. Poorten met transistors en diodes

In dit onderdeel doe je onderzoek naar poorten met transistors en diodes. Een transistor is een elektronische component met drie aansluitingen, die collector, emitter en basis genoemd worden. Voor het uitvoeren van de proeven hoef je nog niet te weten hoe een transistor is opgebouwd. Eventueel kun je verdere informatie vinden in par. 4.6. Eerst zul je in de volgende opdrachten enige poorten onderzoeken. Daarna bouw je een schakeling die een automobilist kan waarschuwen, als de lichten blijven branden.

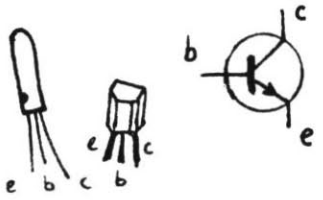


fig. 4.25: Een transistor en het symbool dat wordt gebruikt voor een transistor in elektronische schakelingen. De aansluitdraden basis, collector en emitter mogen niet verwisseld worden.

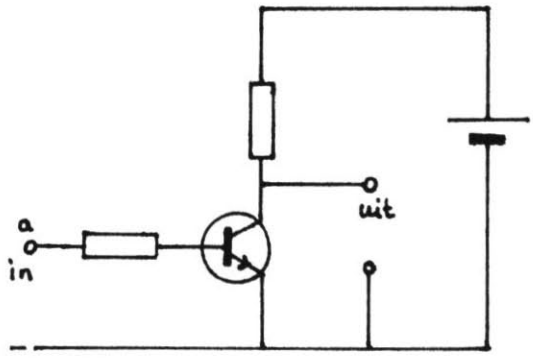


fig. 4.26: Schakeling van een transistorinverter.

De eenvoudigste transistorpoort is de inverter. Deze schakeling is getekend in fig. 4.26.

a Bouw de schakeling van fig. 4.26 en meet met een voltmeter de uitgangsspanning, als er geen ingangsspanning is aangesloten. Sluit nu de ingang a aan op de pluspool van de batterij en meet nogmaals de uitgansspanning.

b Maak van deze schakeling een waarheidstabel en vergelijk die met de inverterwaarheidstabel op blz. .

Om een EN-poort te maken hebben we ook nog diodes nodig.

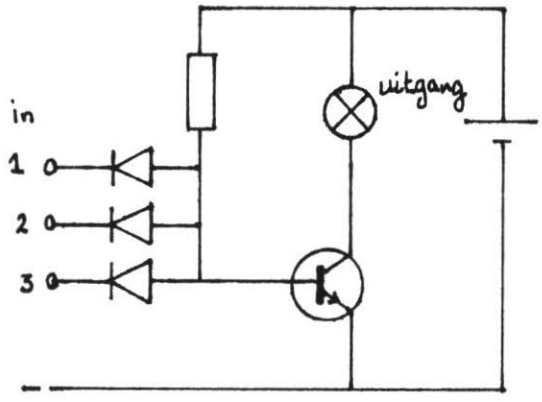


fig. 4.27: Een EN-poort met 3 ingangen. Het lampje geeft aan wat de uitgangsspanning is.

c Bouw de schakeling van fig. 4.27 en bepaal de waarheidstabel van de schakeling. Je kunt weer signaal op de ingangen 1, 2 en 3 zetten door ze met de + pool van de batterij te verbinden. Als je géén signaal op de ingang wilt zetten, moet je die ingang met aarde (de - pool) verbinden.

d Maak een waarheidstabel van deze schakeling. Ga na dat dit een EN-poort is. Breek de schakeling nog niet af.

Sommige mensen laten wel eens hun autolichten branden, als ze uitstappen. Als ze terugkomen is de accu leeg. Het is gemakkelijk om met een poortschakeling en een zoemer te waarschuwen, als de lichten nog branden bij het uitstappen.
Er is in een auto een lichtschakelaar die spanning geeft, als de lampen aanstaan. De deurschakelaar schakelt de interieurverlichting aan, als een deur geopend wordt (zie fig. 4.28).

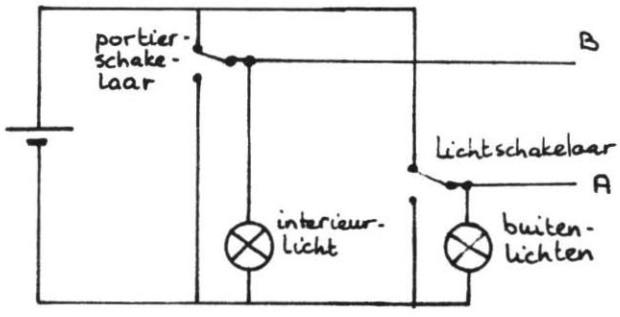


fig. 4.28: Gedeelte van het elektrisch circuit van een auto. Uitgang A levert spanning als de lichten aanslaan. Uitgang B levert spanning als de deur open gaat. In het andere geval zijn de uitgangen verbonden met aarde.

e Ontwerp, teken en bouw eventueel de schakeling, die vergeetachtige chauffeurs bijtijds waarschuwt.

Onderzoek 6. POORTEN MET GEINTEGREERDE SCHAKELINGEN

Er bestaan kant-en-klare geïntegreerde schakelingen, die als EN-, OF-, NEN-, NOF-poort werken. In zo'n IC zit een hele transistorschakeling opgenomen. Zonder dat je weet wat er precies in zit, kun je toch de eigenschappen van een IC onderzoeken. Wil je er meer van weten dan kun je terecht in par. 4.7.
In dit deel probeer je te ontdekken welke IC de NOF-, de NEN-, de EN- of de OF-poort is.

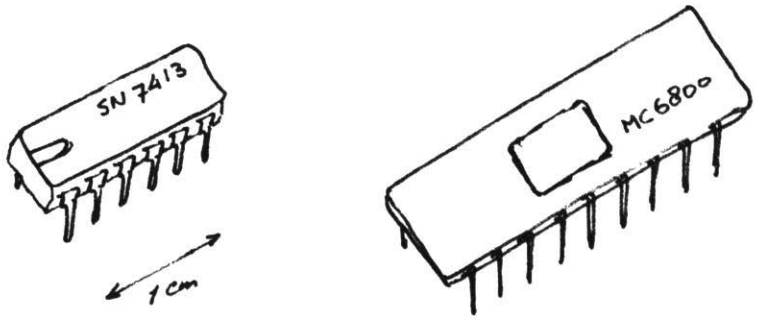


fig. 4.29: Geïntegreerde schakeling.
Deze schakelingen moeten gevoed worden met 5 V. De afspraak is dat geen signaal (0) betekent dat de ingang is verbonden met de aarde. Wel signaal (1) betekent dat de ingang moet worden verbonden met de +5 V-pool. Een niet verbonden ingang betekent meestal wel signaal. Let dus op.

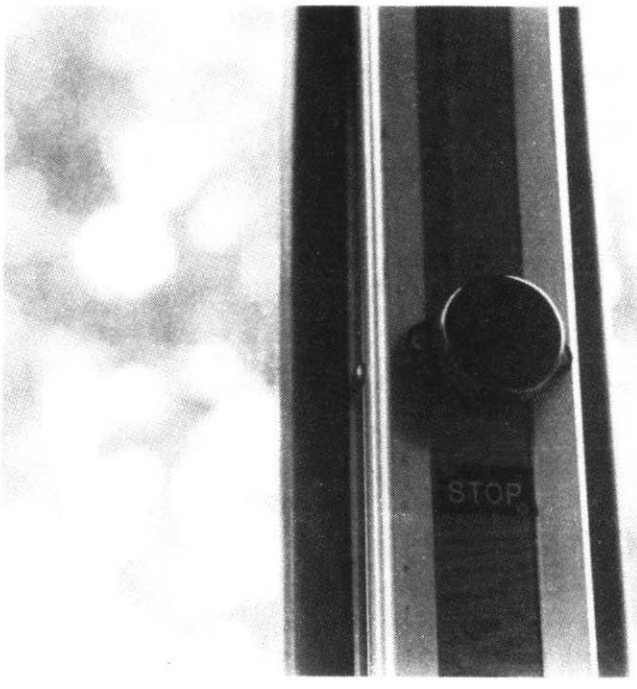
a *Sluit een willekeurig poort-IC aan op de voedingsspanning. Zet nu verschillende combinaties van 0 en 1 op de ingangen (zie fig. 4.29) en noteer de uitgangsspanning (lampje). Maak zo de waarheidstabel en zoek uit of het IC een EN-, OF-, NEN- of NOF-poort is.*
b *Doe hetzelfde eventueel voor een volgend IC.*

Bij de IC-poorten zit geen inverter. Toch is het op een eenvoudige manier mogelijk om van een NEN- of een NOF-poort een inverter te maken. De verschillende ingangen van de NOF of NEN moeten dan worden doorverbonden.

c *Ga na of je begrijpt dat een dergelijke schakeling als inverter werkt. Bouw de inverter en controleer de werking.*

4.4 GEHEUGENS

Vaak is het nodig om elektrische signalen een tijdje op te slaan, totdat je ze weer kunt gebruiken. Voor analoge signalen zijn daarvoor in de loop van de tijd verschillende apparaten ontworpen (denk aan bandrecorders en platenspelers).
Voor digitale schakelingen zijn er vanouds al schakelingen met relais voor toepassingen met motoren, lampen e.d. Ze worden echter steeds meer vervangen door transistorschakelingen. Bij toepassingen in grote computers gebruikte men vroeger de zogenaamde ringkerngeheugens. Nu worden voor praktisch alle toepassingen in rekenmachines en computers geïntegreerde circuits (IC's) gebruikt.
Een eenvoudig voorbeeld van een geheugen is de 'stop'lampschakeling in een bus. Als een passagier even op een 'stop'knop drukt, moet de lamp aangaan en blijven branden. Net zolang tot de chauffeur de lamp weer uitzet, zodat de lamp dan ook uitblijft. In de bus zit een schakeling met geheugenwerking.
Voer nu één van de onderzoeken 7, 8 of 9 uit, overeenkomstig het proevenkeuzeschema van fig. 4.9.



Onderzoek 7. Geheugen met relais

In dit onderdeel doe je onderzoek aan geheugens met relais. Daarvoor bestudeer je eerst de werking van een relais en bouw je een schakeling om de werking ervan na te gaan. Daarna bouw je de schakeling na, die in een bus gebruikt wordt om het 'stop'licht te laten branden.

a Bestudeer kort de werking en aansluitwijze van een relais in par. 4.5.
b Bouw een schakeling waarbij je met een drukknop een relais laat aantrekken en weer afvallen. Verbind een lampje en sluit de voeding aan op het 'maak'kontakt van het relais op zó'n manier, dat de lamp gaat branden bij het indrukken van de knop en weer uitgaat bij het loslaten.

Tot zover nog weinig bijzonders. Nu willen we echter een geheugen maken. Dat betekent, dat we willen dat de lamp blijft branden, als we de knop even indrukken.
We kunnen ervoor zorgen dat het relais aangetrokken blijft, als we eenmaal op de knop hebben gedrukt door één maakkontakt van het relais weer aan te sluiten op de spoel van het relais (zie fig. 4.30).

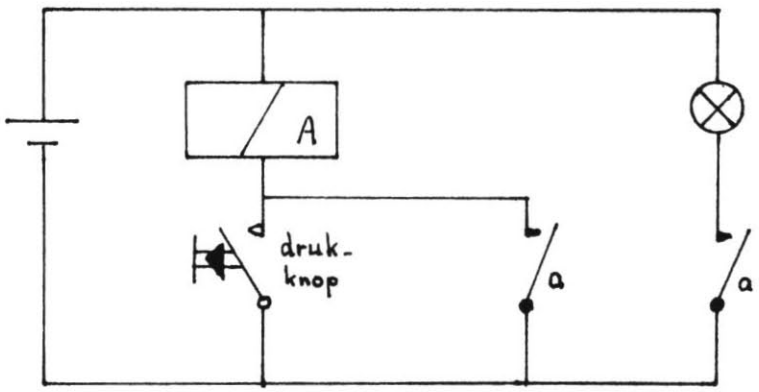


fig. 4.30: Schema van een relais met geheugenwerking. Als de drukknop even ingedrukt wordt, blijft het relais in aangetrokken toestand.

c Ga na dat in deze schakeling het relais zichzelf aangetrokken houdt, als even de drukknop wordt ingedrukt. Bedenk zelf hoe in een bus alle andere drukknopjes zijn geschakeld.
d Ga na waar de drukknop moet komen te zitten waarmee de chauffeur de lamp weer uit (geheugen op 0) kan zetten.

Onderzoek 8. Geheugen met transistors

In dit onderdeel doe je onderzoek naar geheugens met transistors. Een transistor is een component met drie aansluitingen, die collector, emitter en basis worden genoemd. Voor het uitvoeren van de proeven hoef je nog niet te weten hoe een transistor is opgebouwd. Eventueel kun je verdere informatie vinden in par. 4.6. Eerst zul je in onderstaande opdrachten de werking van een transistorgeheugen onderzoeken. Daarna gebruik je die schakeling om een 'stop'lichtschakeling in een bus na te maken.

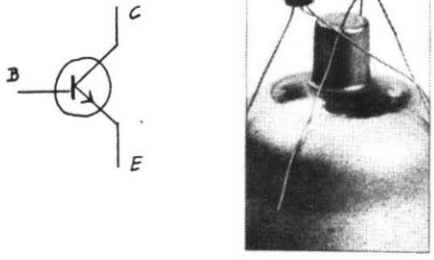


fig. 4.31: Een transistor met het symbool voor de aansluitingen. Deze mogen niet worden verwisseld.

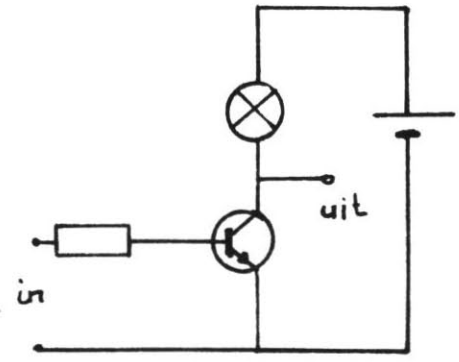


fig. 4.32: Halve geheugenschakeling.

a *Bouw de schakeling van fig. 4.32. Dit is nog geen hele geheugenschakeling, maar inzicht in de werking ervan is nodig om straks de gehele geheugenschakeling te begrijpen.*
b *Meet de uitgangsspanning met een voltmeter, als de ingangsspanning 0 V is en als die 9 V is (dat wil zeggen de ingang verbonden met de +pool van de batterij). Zet de resultaten in een waarheidstabel.*

Als het goed is, heb je gevonden dat, als er geen ingangsspanning is, er wel uitgangsspanning is en omgekeerd.
Om een geheugen te maken worden twee van deze schakelingen achter elkaar gekoppeld. De uitgang van de ene schakeling wordt verbonden met de ingang van de andere en omgekeerd. Voor het gemak wordt de eerste schakeling in spiegelbeeld getekend.

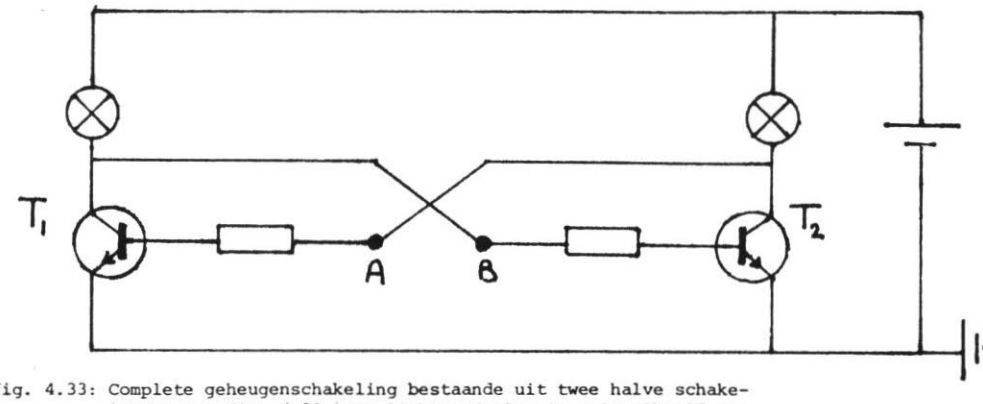


fig. 4.33: Complete geheugenschakeling bestaande uit twee halve schakelingen van fig. 4.32. Het linkergedeelte is spiegelbeeld van fig. 4.32.

c Bouw de schakeling van fig. 4.33 en meet de ingangsspanning van T1 (= uitgangsspanning T2) en de ingangsspanning van T2 (= uitgangsspanning van T1).

De stand van deze schakeling is stabiel. Eén lampje blijft branden, het andere is uit. Echter door de ingangsspanning van één van de transistors even te veranderen zal de schakeling in een andere stabiele stand komen.

d Verbind A en B afwisselend even (bijv. met een drukknop) met aarde. Meet de ingangs- en uitgangsspanningen. Verklaar de werking aan de hand van de 'halve' schakeling.

In een bus zitten knopjes waarmee je de stoplamp kunt laten branden. Als je even drukt, blijft de lamp branden tot de chauffeur de lamp dooft.

e Teken en maak de schakeling met een transistorgeheugen waarmee je dit kunt bereiken. Gebruik daarbij de schakeling van fig. 4.33 en enkele drukknoppen.

Onderzoek 9. Geheugen met geïntegreerde schakelingen (IC's)

Er bestaan kant-en-klare geïntegreerde schakelingen die als geheugen werken. In zo'n IC zitten vele transistorschakelingen opgenomen. Zonder dat je de preciese werking van zo'n IC hoeft te weten, kun je toch geheugen-IC's onderzoeken.
Eventueel kun je informatie over IC's vinden in de theorieparagraaf 4.7.
In het volgende onderdeel zul je een schakeling testen die onthoudt wanneer er op een knop gedrukt is. Daarna zul je kennis maken met een iets ingewikkleder geheugen, dat verschillende getallen kan onthouden. Een dergelijk geheugen zit ook in een rekenmachine.



fig. 4.34: Geïntegreerde schakeling (IC). Deze wordt meestal gevoed met 5 V.

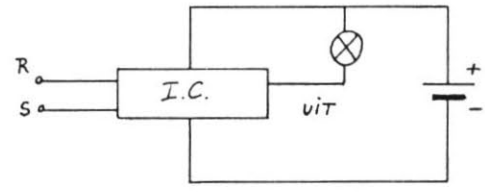


fig. 4.35: Geheugenschakeling.

a Bouw de schakeling van fig. 4.35. Ga na wat er aan de uitgang gebeurt, als je de ingangen R en S afwisselend even signaal geeft (door ze te verbinden met de +pool van de batterij). Is het juist, dat dit geheugen onthoudt op welke knop er is gedrukt?

In een bus zitten knopjes waarmee je de stoplamp kunt laten branden. Als je even drukt, blijft de lamp branden tot de chauffeur de lamp dooft.

b *Vul de schakeling van fig. 4.35 zó aan, dat je met enkele druk-knoppen de buslichtsituatie kunt nabootsen.*

In rekenmachines worden zo gegevens opgeslagen. Omdat in een rekenmachine echter zeer veel geheugens nodig zijn, worden ze gecombineerd in één IC. Via een code moet je dan aangeven welk geheugen je wilt hebben. Ook bij dit praktikum hebben we zo'n geheugen (met 256 plaatsen). En op iedere geheugenplaats kan weer een code van nullen en enen staan. Waarschijnlijk wordt het duidelijk, als je onderstaande opdrachten stap voor stap uitvoert.

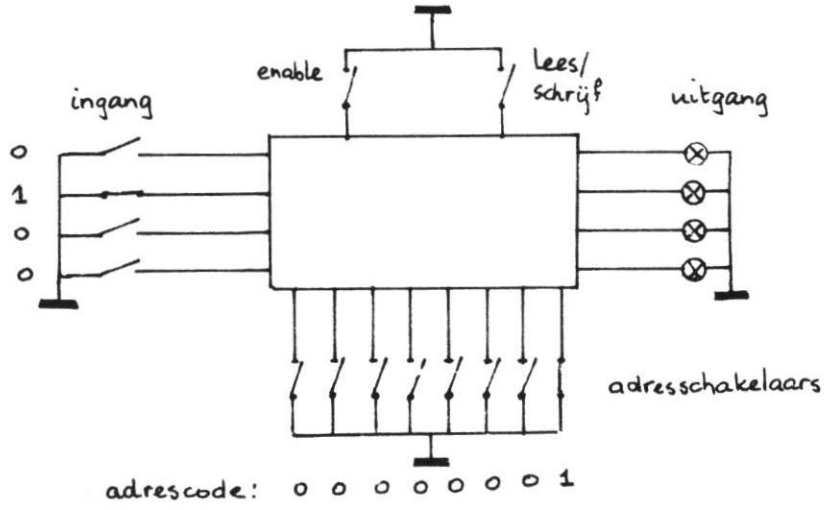


fig. 4.36: Geheugen met 256 geheugenplaatsen. Met de adrescode kun je een bepaald geheugen kiezen.

c *Neem de schakeling van fig. 4.36 en kies het geheugen met adres 00000001 door de adresschakelaar in de goede stand te zetten. Zet nu op de ingang een bepaalde code, die je wilt onthouden (bijv. 1001). Deze code kun je in het geheugen 'schrijven' door de schakelaar schrijf/lees op schrijf te zetten en dan even op 'enable' te drukken. Doe dat.*
Kies daarna een volgend geheugen met adres 00000011 met de adresschakelaars. Zet op de ingang nu code 0110. Schrijf ook deze code weer in het geheugen door even op 'enable' te drukken. Zo kun je verschillende codes in het geheugen zetten.
Als je de gegevens weer terug wilt lezen, moet je eerst weer met de adresschakelaars het goede geheugen kiezen. Daarna zet je de schrijf/lees schakelaar op 'lees'. Als je vervolgens weer op 'enable' drukt, lees je op de uitgang wat er in die geheugenplaats zat.

4.5 RELAIS

Relais zijn schakelaars, die door een elektromagneet worden bediend. Als de juiste stroom door de spoel van de elektromagneet vloeit, wordt een metalen plaatje aangetrokken en schakelt de schakelaar om. Als de stroom door de spoel te klein is, trekt een veer de schakelaar weer in de ruststand (zie fig. 4.37).

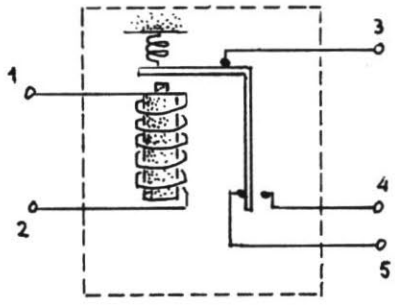


fig. 4.37: Opbouw van een relais.

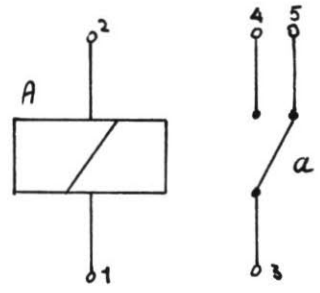


fig. 4.38: Principeschema van een relais. Het blokje stelt de elektromagneet voor. De schakelaars worden steeds in de ruststand getekend.

Relais bestaan in vele uitvoeringen. Door de constructie van de *elektromagneet* aan te passen is het mogelijk relais te maken, die zeer gevoelig zijn (bijv. reageren op 1 V, 20 mA) of juist geschikt zijn voor sterkstroomtoepassingen (220 V).
Het hangt van de constructie van de *schakelaar* af, welke spanningen en stromen geschakeld kunnen worden door het relais.

Vragen.

4.3 Door een bepaalde keuze van de elektromagneet kan een relais gevoeliger worden gemaakt. Noem minstens twee manieren waarop dit kan gebeuren (denk aan aantal windingen, draaddikte, draadlengte, ijzerkern).

4.4 Door een bepaalde keuze van de schakelaar kan een relais grotere stromen schakelen. Noem minstens twee manieren, waarop de schakelstroom verhoogd kan worden zonder beschadiging van de kontakten, kontaktdruk e.d.).

Met relais is het mogelijk om met een klein signaal een groot apparaat aan of uit te schakelen. In sterkstroominstallaties worden ze dan ook nog zeer veel toegepast. Denk daarbij aan pompinstallaties bij zwembaden en gemalen of de beveiliging van zaagmachines en boormachines, bedieningspanelen van treinen, hijskranen e.d.
Voor dit soort toepassingen zijn relais nog relatief goedkoop en zeer betrouwbaar en robuust.

Voor toepassingen in kleinere installaties wordt steeds meer overgeschakeld op transistors (en andere leden uit de transistorfamilie zoals thyristors) en geïntegreerde schakelingen.
Ook gemengde toepassingen zijn mogelijk. Daarbij verzorgt bijvoorbeeld een geïntegreerde schakeling alle benodigde waarnemingen en bewerkingen (goedkoper dan met relais), maar wordt de uiteindelijke schakeling uitgevoerd met relais (zeer betrouwbaar bij grote vermogens). In een verkeerslichtenregeling worden de signalen van de sensors bijvoorbeeld in een centrale verwerkt met geïntegreerde schakelingen. De stuursignalen voor de verkeerslichten worden naar relaiskasten bij de kruispunten gestuurd, die de lichten aan- en uitschakelen.

4.6 TRANSISTORS

Een transistor is een elektronische component met drie aansluitingen: *collector*, *basis* en *emitter*.
In een veel voorkomende schakelwijze van de transistor wordt de basis (eventueel via een weerstand) op een ingangssignaal aangesloten. De collector wordt dan de uitgang van de schakeling. De emitter wordt met een pool van de batterij verbonden. Zie voor deze schakeling fig. 4.39.

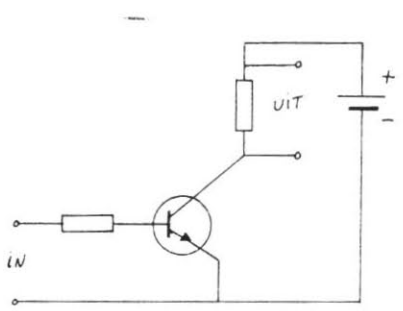


fig. 4.39: Schakeling van een *npn*-transistor. De basis fungeert als ingang, de collector als uitgang.

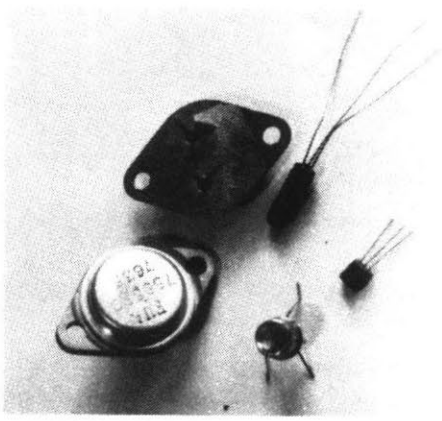


fig. 4.40: Verschillende typen transistors.

Transistors bestaan, net als diodes, uit *n*- en *p*-materialen. Bij een diode waren er twee lagen, bij een transistor zijn dat er drie. Je kunt bij een transistor dan ook onderscheid maken tussen een *npn*- en een *pnp*-transistor (zie fig. 4.41).

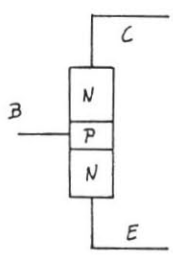
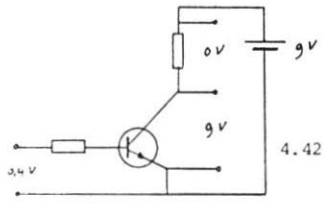


fig. 4.41: Schematische opbouw van een *npn*- en een *pnp*-transistor.

Voordat we de werking van een transistor zullen onderzoeken, zetten we eerst nog eens de resultaten van de metingen uit de vorige paragrafen op een rij. Deze zullen we achteraf moeten verklaren.

1. Als de ingangsspanning V_{be} kleiner dan 0,7 V is, dan is:
   a) de spanning over de collectorweerstand V_r ook nul.
   b) de spanning tussen collector en emitter V_{ce} ongeveer de batterijspanning.



4.42: Spanningen als de ingangsspanning kleiner is dan 0,7 V.

2. Als de ingangsspanning V_{be} groter dan 0,7 V is, dan is:
   a) de spanning over de collectorweerstand V_r ongeveer de batterijspanning.
   b) de spanning tussen collector en emitter V_{ce} bijna nul.

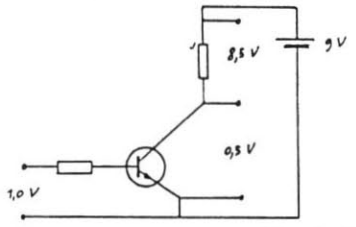


fig. 4.43: Spanningen als de ingangsspanning groter is dan 0,7 V.

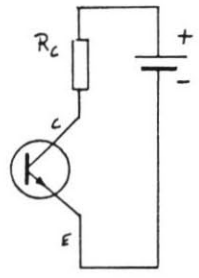


fig. 4.44: Stroomweg in transistor van collector naar emitter.

Wat allereerst opvalt is dat de spanning over de weerstand R_c en de spanning V_{ce} samen altijd gelijk aan de batterijspanning is. Dit is ook het geval bij een serieschakeling van weerstanden. Blijkbaar is de getekende weg in fig. 4.44 één stroomcircuit. Je zou dus kunnen zeggen dat de weerstand R_c en de transistorweg CE in serie staan. De batterijspanning verdeelt zich over deze twee 'weerstanden'. De transistor'weerstand' is wel heel bijzonder, want de spanning over de basis bepaalt hoe groot deze 'weerstand' is.

Vragen.

4.5 Bereken hoe groot de verhouding tussen de 'transistorweerstand' en R_c is bij de meetwaarden van fig. 4.43.

4.6 Bereken hoe groot deze verhouding is bij de meetwaarden van fig. 4.42.

4.7 Trek uit de voorgaande berekeningen een conclusie over hoe de basisspanning de transistorweerstand beïnvloedt.

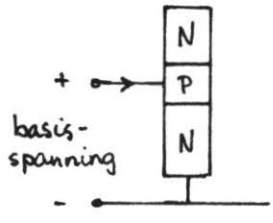


fig. 4.45

We moeten nu nog de invloed van de basisspanning verklaren. We beperken ons weer tot de *npn*-transistor. Zoals je weet kunnen elektronen lopen van de n-laag naar de p-laag, indien de p-laag positief is ten opzichte van de n-laag. In de praktijk moet de p-laag minstens 0,7 V positiever zijn dan de n-laag om elektronen van n naar p te laten lopen (zie nog eens par. 3.7).

Vragen.

4.8 Schets in een grafiek hoe de stroom van basis naar emitter zal veranderen, als de spanning tussen basis en emitter toeneemt van 0 tot 1,0 V.

4.9 Ga na dat elektronen bij een npn-transistor normaal niet van een enigszins positieve basis naar de zeer positieve collector kunnen stromen.

Bij een transistor is de basis echter heel dun gemaakt. Daardoor is het mogelijk dat elektronen vanuit de emitter doorschieten naar de collector. Deze collector moet dan wel de elektronen flink aantrekken en dus flink positief zijn. Omdat de basis zo dun is, stromen er dus (tegen de verwachting in) toch elektronen van basis naar collector. Het resultaat van dit alles kunnen we als volgt samenvatten:

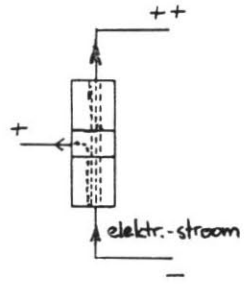


fig. 4.46

Bij een transistorschakeling met een *npn*-transistor (zie fig. 4.46), waarbij $V_{be} > 0{,}7\ V$, zullen de elektronen van emitter naar basis stromen en van daaruit verder naar de collector. Slechts een klein deel verlaat de transistor via de basis.

Een basis-emitter-spanning van meer dan 0,7 V veroorzaakt een kleine basisstroom maar een grote emitter-collectorstroom.

Een basis-emitter-spanning van minder dan 0,7 V is te klein om een stroom van emitter naar basis (en collector) te veroorzaken.

Vragen.

4.10 Verklaar met behulp van deze theoretische informatie de triggerwerking van de transistorschakeling van onderzoek 2 van par. 4.2.

4.11 Verklaar ook de inverter met de transistorschakeling van onderzoek 5 van par. 4.3.

4.7 GEINTEGREERDE SCHAKELINGEN (IC's)

Vroeger bestonden schakelingen meestal uit losse componenten, die op een printplaatje waren gesoldeerd (zie fig. 4.47). Soms waren sommige verbindingen al met koper op het printplaatje voorbedrukt.

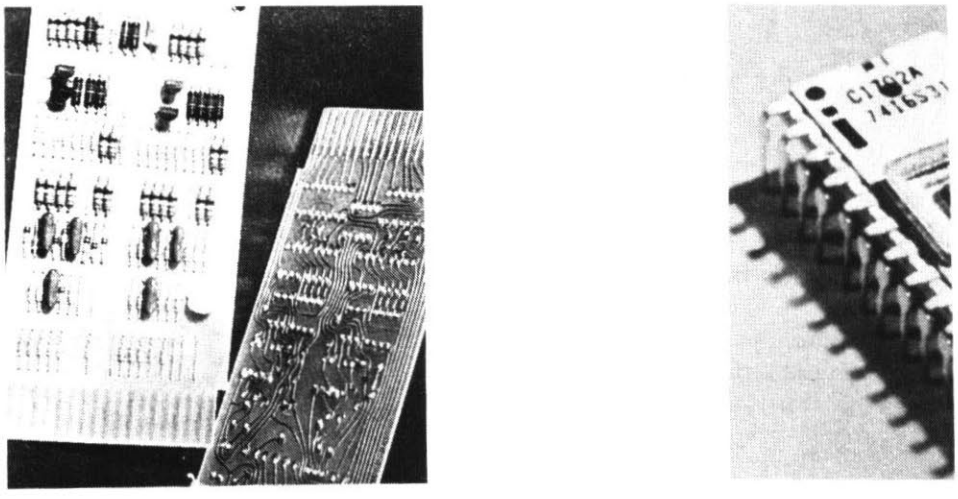


fig. 4.47: Schakeling met losse componenten op een printplaatje. Verbindingslijnen tussen de componenten zijn voorbedrukte koperbanen. Daarnaast dezelfde schakeling als I.C.

Bij een IC is een hele elektronische schakeling opgebracht op één plaatje silicium. Het siliciumhalfgeleidermateriaal is onderdeel van de schakeling.

Opdracht 4.2 *IC's bekijken*

Bekijk onder een microscoop achtereenvolgens de volgende schakelingen:

a) transistor (sinds 1942)
b) geïntegreerde schakeling met $\pm$ 20 transistors (4 NAND-poorten) (sinds 1962)
c) IC met $\pm$ 1000 transistors (sinds 1970)
d) IC met $\pm$ 10^5 transistors (sinds 1980).

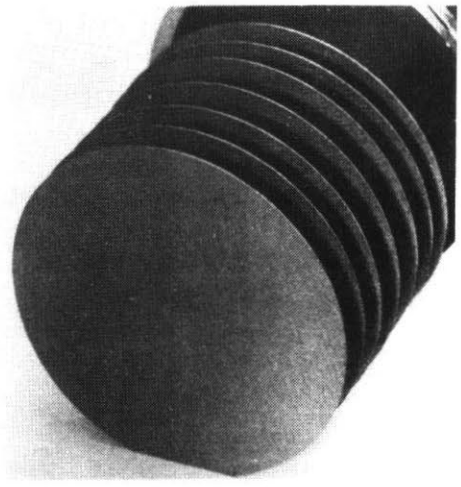
Vragen.

4.12 Noem uit het bedrijfsleven, defensie en ruimtevaart telkens één voorbeeld van een moderne ontwikkeling die niet mogelijk zou zijn geweest zonder IC's.

4.13 Geef 4 voordelen van IC's vergeleken met de schakelingen bestaande uit losse onderdelen.

4.14 Bedenk in welke situatie(s) het gebruik van een schakeling met losse onderdelen en draden de voorkeur verdient boven een IC. Denk bijv. aan reparatiemogelijkheden en warmtedissipatie.

fig. 4.48 Plakken gezuiverd silicium, waarop honderden I.C.'s worden aangebracht.



De miniatuurschakelingen op het plakje silicium worden gerealiseerd op verschillende manieren. De techniek op dit gebied is sinds 1970 volop in ontwikkeling.
De kern van iedere methode is echter dat er op bepaalde plaatsen in de siliciumplak bepaalde verbindingen of stoffen worden aangebracht. Om een transistor te maken moeten ergens naast of boven elkaar een *n*-, een *p*- en weer een *n*-laag worden gmeaakt. Verbindingen tussen transistoren worden gemaakt door aluminium doorverbindingen.

Tot 1983 werd veel gebruik gemaakt van het *maskerprocédé*. Als basisstof dient zeer zuiver silicium (chemisch gezuiverd). Als men een schijfje silicium in een atmosfeer brengt, die gevuld is met fosfor of arseen, zullen deze atomen in het silicium *diffunderen* en zo een *n*-halfgeleider vormen. Op dezelfde manier veroorzaakt diffusie met aluminium of boor *p*-halfgeleiders.
Om ervoor te zorgen dat alleen op de goede plaatsen bepaalde stoffen in het silicium diffunderen, worden de overige plakjes beschermd door een laagje SiO_2. Het silicium wordt daartoe eerst helemaal bedekt met een dun laagje SiO_2. Vervolgens wordt dit weer bedekt met een lichtgevoelige laklaag. Via een zeer nauwkeurig ontworpen masker wordt deze laklaag op de juiste plaatsen belicht en veranderd van chemische samenstelling.

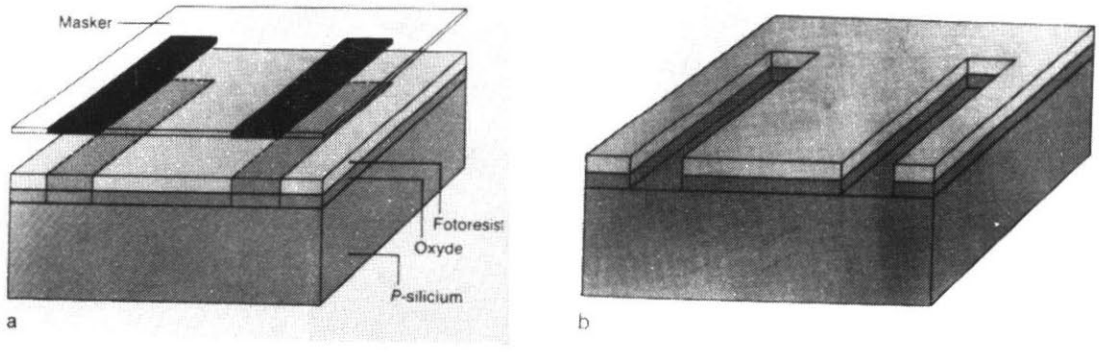


fig. 4.49 a en b: De siliciumbovenlaag wordt geoxydeerd tot siliciumoxyde en bedekt met lichtgevoelige lak. Via een masker wordt de lak belicht (a). Daarna worden de onbelichte delen en het eronderliggende gedeelte weggespoeld (b).

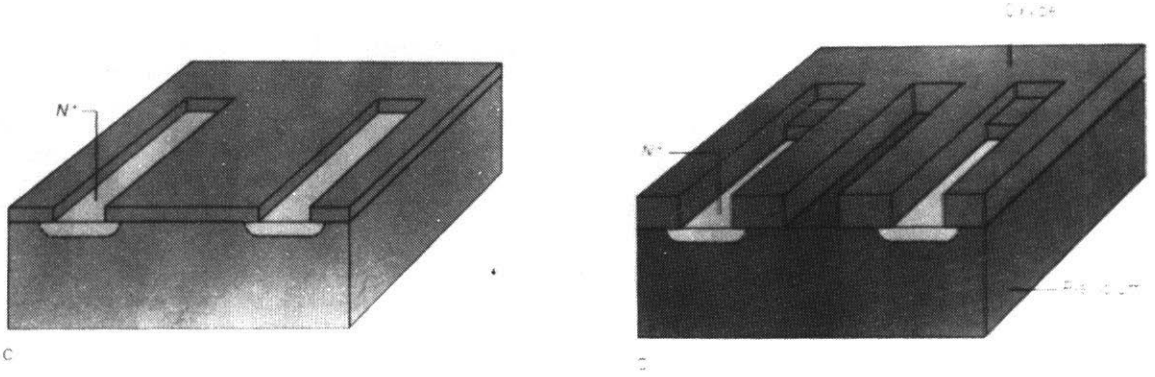


fig. 4.49 c en d: Door diffusie ontstaat in het P-silicium N-materiaal (c). In d en e is te zien hoe nog een P-laag wordt aangebracht op dezelfde manier.

De onbelichte lak kan nu worden weggespoeld, zodat daar het SiO_2 bloot komt te liggen. Dan wordt er een zuur over het geheel aangebracht, dat de overgebleven lak niet aantast maar wel het SiO_2. Op die plekken wordt dus het zuivere Si zichtbaar en daar kan in een oven door diffusie n- of p-materiaal worden gevormd. De belichte lak wordt daarna met een ander chemisch middel verwijderd.
Dit proces met laklaag en belichting door een masker kan verscheidene malen herhaald worden, zodat langzaam hele rijen transistors en andere componenten ontstaan. Verbindingen worden gemaakt door op de goede plaatsen (weer via laklaag en masker) een aluminium verbinding aan te brengen.

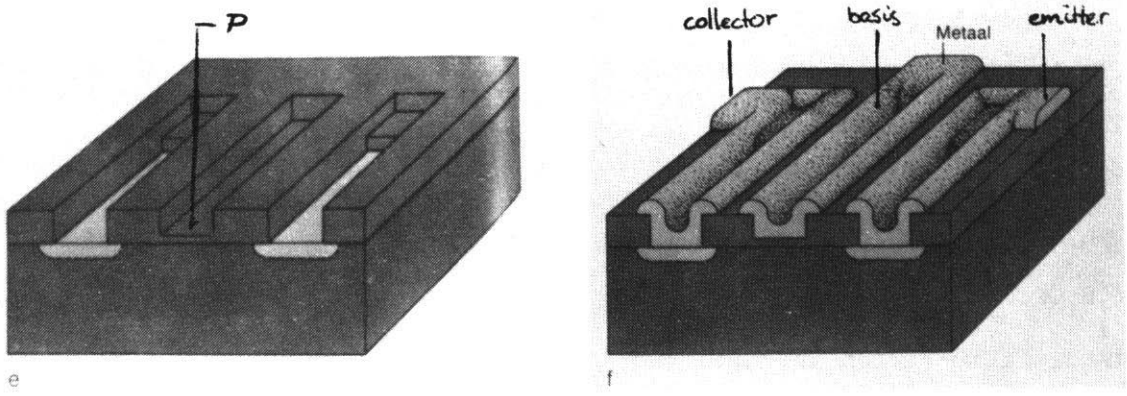


fig. 4.49 f: Uiteindelijk wordt er metaal opgedampt en is er een miniscule NPN-transistor ontstaan.

In de jaren '80 gaat men steeds meer over op direkte *ionenimplantatie*. Via een ionenversneller en -afbuiger worden ionen direkt op een bepaalde plek in het silicium geschoten. Een computer regelt de plaats waar de ionen terecht moeten komen. Door de juiste keuze van ionen en van de plaats waar ze terecht moeten komen, kunnen zo ook hele schakelingen worden gemaakt.

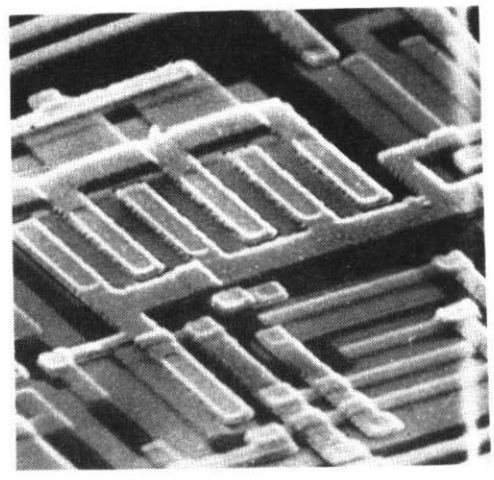


fig. 4.49 : Uiteindelijk resultaatvan een compleet proces. Vergroting 5000 keer.

Vragen.

4.15 Welke stappen in het produktieproces van een IC vereisen een hoge temperatuur? Geef ook aan waarom een hoge temperatuur vereist is.

4.16 In ruimten van fabrieken waar IC's worden geproduceerd, wordt zoveel mogelijk stofvrij gewerkt. Bij welke stappen in het fabricageproces is stof zeer ongewenst?

4.17 Bij vestiging van een IC-fabriek zijn hoge investeringen vereist. Ondanks dat worden IC's steeds goedkoper. Welke redenen zijn daarvoor aan te geven?

4.18 Noem twee redenen waarom IC's niet onbeperkt veel componenten kunnen bevatten.

4.8 OPGAVEN

1. In een auto zitten verscheidene sensoren, die nagaan of alles nog naar behoren funktioneert.
   De temperatuurvoeler meet de olietemperatuur . Hij geeft een spanning af die evenredig is met de temperatuur. De olietemperatuur mag natuurlijk niet te hoog worden (zeg 98 °C). De drukmeter geeft een signaal af zolang de oliedruk voldoende is. De remdruksensor geeft een signaal af, als er voldoende druk op het remcircuit zit.
   Uit praktische overwegingen zit in een auto soms maar één waarschuwingslichtje voor de controle van al deze funkties.

a. Teken in een blokschema hoe de verschillende signalen van de sensors bewerkt moeten worden tot een signaal voor het waarschuwingslicht.

b. Geef aan welke signalen digitaal en welke analoog zijn.

2. In een droogautomaat kan was gedroogd worden door warme lucht. De lucht mag echter niet te warm worden. Door een instelknop kan een tijdgever worden ingesteld, die signaal afgeeft zoalang de ingestelde droogtijd niet verstreken is.

a. Teken in een blokschema hoe de verschillende signalen van de sensors bewerkt moeten worden tot één signaal voor de verwarming.

b. Breid de schakeling zó uit, dat de verwarming uitgaat, als de deur geopend wordt (en de deurschakelaar geen signaal meer geeft).

3. Iemand maakt een beveiliging voor haar diepvrieskist. Als de temperatuur boven de -15 °C is gekomen (doordat bijv. gedurende langere tijd de stroom is uitgevallen) moet een waarschuwingslicht gaan branden en ook blijven branden tot de eigenaar het gezien heeft. De spullen uit de diepvrieskist moeten dan binnen een maand opgegeten worden om bederf te voorkomen. Zij gebruikt de schakeling uit fig. 4.50.

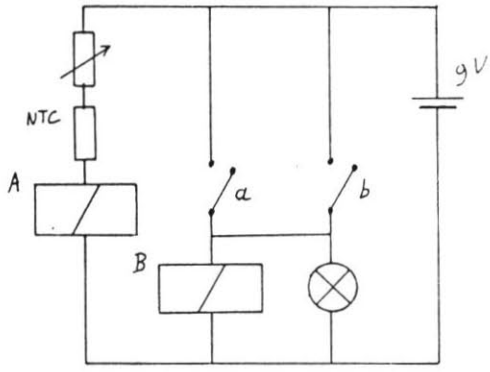


fig. 4.50 : Beveiligingsschakeling diepvrieskist.

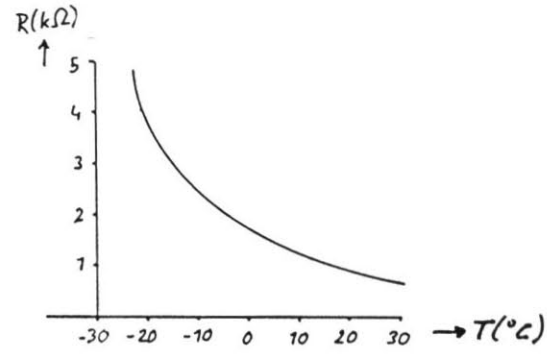


fig 4.51 : Karakteristiek van de NTC

a. Verklaar de werking van de schakeling. Ga na, dat het waarschuwingslampje blijft branden, ook als de temperatuur weer onder de -15 °C gedaald is.

De gebruikte relais hebben een weerstand van 2,0 kΩ. De stroom waarbij ze aantrekken is 1,6 mA. De karakteristiek van de NTC zie je in fig. 4.51.

b. Bereken de spanning waarbij het relais aantrekt.

c. Bereken op welke waarde de regelbare weerstand moet zijn ingesteld om de schakeling op -15 °C te laten reageren.

d. Verander de schakeling zodanig, dat je met één druk op een extra schakelaar het lampje weer kunt doven.

e. Bereken hoeveel energie deze schakeling opneemt in rusttoestand.

4. In gebouwen met veel gangen en trappen is het handig, als je een lamp op verschillende plaatsen aan en uit kunt doen, onafhankelijk van elkaar. Voor twee schakelaars is dat gemakkelijk te verwezenlijken. De portaalschakelaars worden in een zogenaamde hotelschakeling aangesloten (zie fig. 4.52).

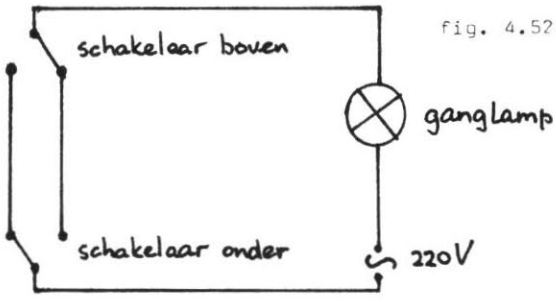


fig. 4.52: Hotelschakeling om een licht zowel boven als beneden te bedienen.

a. Ga na, dat bovenstaande schakeling (met 2 omschakelaars) aan de vereisten voldoet.

Als men echter meerdere schakelaars wil koppelen is het gebruik van een relais met geheugenschakeling nodig. Op iedere verdieping zitten dan 2 drukknoppen in plaats van omschakelaars: één om de verlichting te ontsteken, de ander om ze te doven.

b. Teken een schakelschema waarmee je op 3 plaatsen één of meer lampen kunt bedienen.

Het is zelfs mogelijk om met gewone omschakelaars een hotelschakeling voor 3 schakelaars te maken. Dat is echter niet gemakkelijk en vergt meerdere relais.
Voor de puzzelaars:

c. Ontwerp een hotelschakeling voor 3 omschakelaars.

5. Iemand wil een parkeerlichtschakeling maken. Als het buiten donker wordt, moeten er lampen gaan branden. Een schakeling die je daarvoor zou kunnen gebruiken is getekend in fig. 4.53. De transistor in deze schakeling geleidt, als de spanning tussen basis en emitter hoger dan 0,7 *V* is.

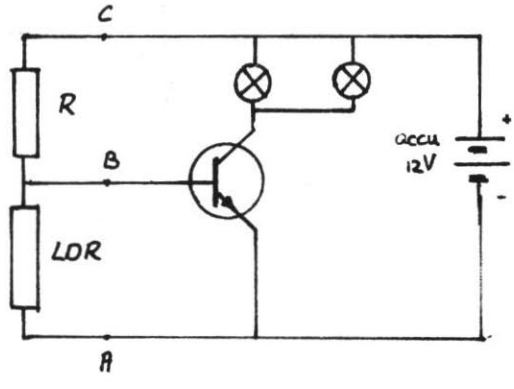


fig. 4.53: Parkeerlichtschakeling

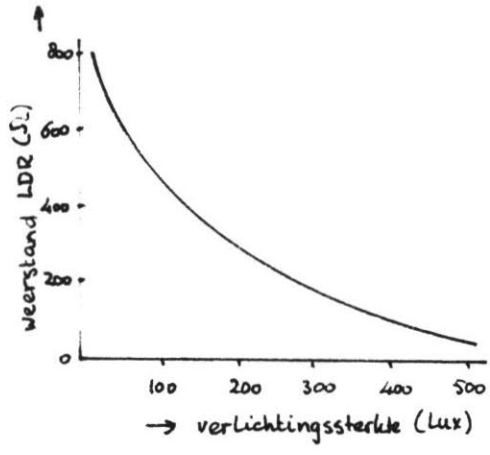


fig. 4.54 : Karakteristiek van de LDR.

a. Leg uit wat er met de spanning tussen basis en emitter, de basisstroom en de lampstroom gebeurt, als de LDR verduisterd wordt.

b. De werking van de schakeling hangt af van de grootte van de weerstand van de LDR bij verschillende lichtsterktes. Leg uit hoe je de weerstand van de LDR bij verschillende lichtsterktes zou kunnen bepalen. Teken een schakeling die je daarvoor zou kunnen gebruiken. Je mag er van uitgaan, dat je de beschikking hebt over ampèremeters, voltmeters, een luxmeter en een batterij van 4,5 V.

c. De resultaten van metingen aan de LDR, die in fig. 4.53 gebruikt is, staan in fig. 4.54.
De weerstand R en de lichtgevoelige weerstand vormen een spanningsdeler, die de basis-emitterspanning bepaalt. De weerstand R heeft een waarde van 4,7 kΩ.
Bereken bij welke lichtsterkte het lampje zal gaan branden.

d. In de schakeling van fig. 4.53 gaan de lampen al branden, als het buiten bewolkt is. Beredeneer of weerstand R groter of kleiner gemaakt moet worden om dit te verhelpen.

e. De schakeling uit fig. 4.53 heeft verder als nadeel, dat steeds de lichten ook aangaan, als de LDR door een toevallige voorbijganger wordt verduisterd. Om dat tegen te gaan zet men in de schakeling tussen de punten A en B een - extra grote - condensator (dus parallel aan de LDR).
Beredeneer dat daardoor bij een grote verduistering van de LDR de lampen toch niet gaan branden.

6. Je ziet op stations wel treinaankondigingsborden, waarbij een rol met bestemmingen nèt zo lang voorbijschuift tot de juiste bestemming vóórkomt. Het rollen en stoppen gebeurt automatisch en wordt gestuurd door merktekens op de rol. In principe werkt het systeem als volgt:



fig. 4.55 :
Geautomatiseerd treinaankondigingsbord.

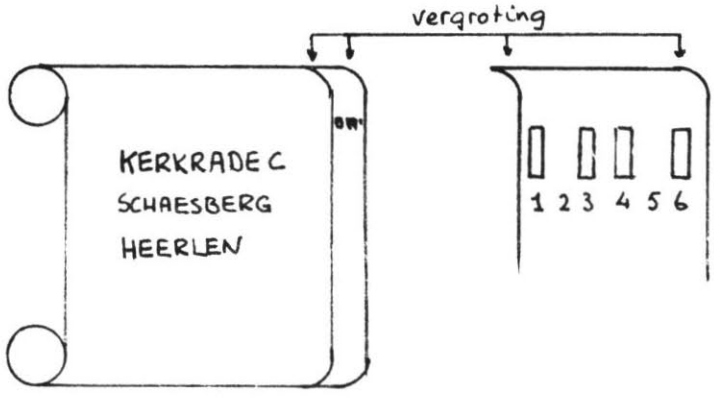


fig. 4.56 : Werkingsprincipe (in werkelijkheid anders en gecompliceerder; zie ook tekst).

Aan de rand van de rol, naast de tekst, zitten gaatjes op bepaalde plaatsen. Deze gaatjes worden belicht door lampjes. Als een bepaalde plaats geperforeerd is, valt het licht er doorheen op een fotocel. Als op die plaats geen gaatje zit, geeft de fotocel ook geen signaal af. Ieder reisdoel (en bijbehorende tekst) op de rol komt overeen met een bepaalde gaatjescode ernaast.
Het selecteren van de goede tekst gebeurt door met schakelaars de gewenste code in te stellen. Vervolgens wordt de rol tot het begin teruggerold. Daarna wordt de rol zover vooruit gerold tot de schakelaarscode overeenkomt met de code, die de fotocellen aangeven. Dan stopt de motor.

a. Teken in een blokschema met IC-poorten hoe je na kunt gaan dat de stand van schakelaar 1 overeenkomt met de informatie van fotocel 1. (Hint: zo'n schakeling moet dus alléén signalen geven, als ingang 1 èn ingang 2 beide 1 zijn òf als ingang 1 èn ingang 2 beide 0 zijn.)

Een dergelijke schakeling wordt wel EXOF-poort genoemd.

b. Teken een blokschema waarin de informatie van 6 EXOF-poorten wordt gebruikt om de motor van de rol te starten en te stoppen. De motor moet dus stoppen als de stand van iedere schakelaar overeenkomt met de informatie van de fotocel.

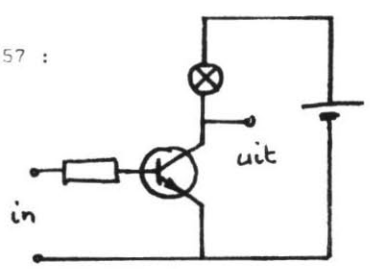
In de praktijk zijn deze schakelingen nog ingewikkelder. Er ontstaan bijvoorbeeld problemen, als de gaten niet precies tegelijkertijd voor de fotocellen verschijnen.

c. Leg uit welke problemen dit tot gevolg heeft.

d. Noem één mogelijke oplossing om dit probleem te verhelpen.

7. De basisschakeling van een transistor (zie fig. 4.57) wordt ook toegepast in een geheugenschakeling. De basisschakeling wordt dan twee keer toegepast en de uitgang van de ene schakeling wordt verbonden met de ingang van de ander en omgekeerd. (Zie fig. 4.58.)

fig. 4.57 :



Basisschakeling transistor uit paragraaf 4.6

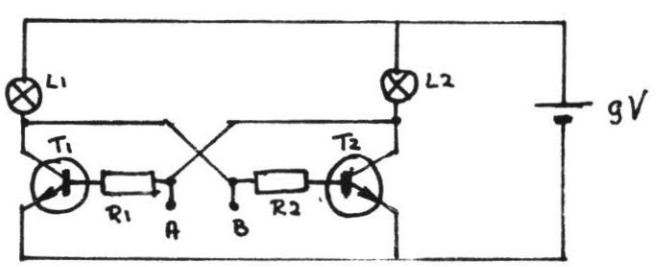


fig. 4.58 : Geheugenschakeling

a. Ga na wat de spanningen zijn op uitgang C, ingang B, uitgang D en dus op ingang A.

Ingang B wordt nu even 0 V gemaakt.

b. Ga nu nogmaals na hoe groot de verschillende spanningen zijn.

c. Bereken de spanning over weerstand R_1 en R_2 in beide situaties.

Hoofdstuk 5

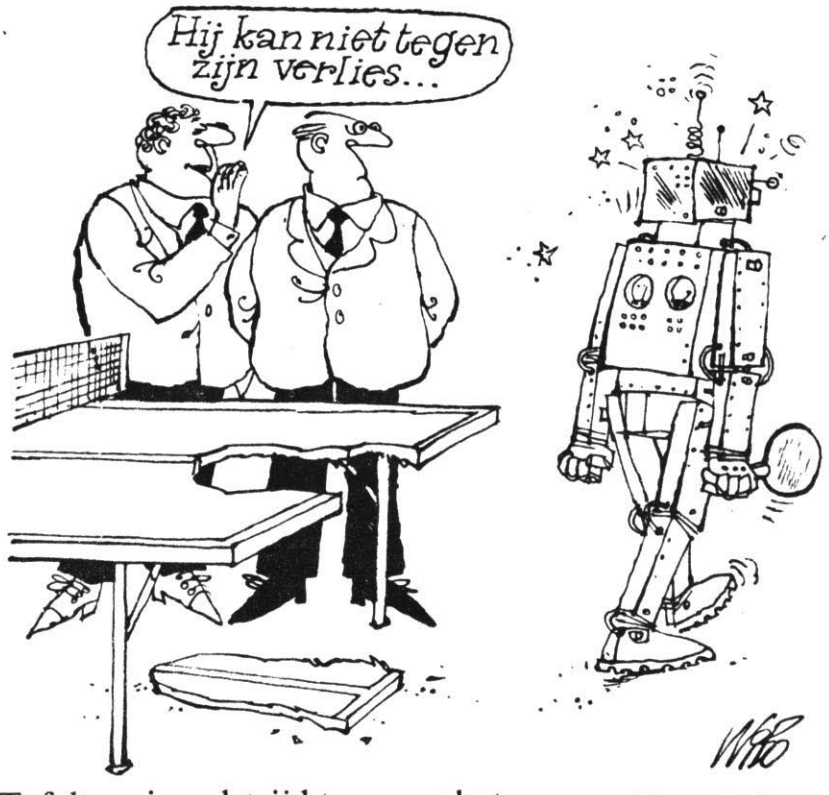
GEAUTOMATISEERDE SYSTEMEN

Inhoud

5.1 Inleiding
5.2 Terugkoppeling
5.3 Analoog-digitaal-omzettingen
5.4 Microprocessors
5.5 Computers en robots
5.6 Opgaven

Geautomatiseerde systemen

Hoe koppel je sensoren en bewerkers aan elkaar tot een volledig geautomatiseerd systeem? Hoe kun je dat systeem zelf laten reageren op wijzigingen in de omstandigheden?
Wat zo'n systeem allemaal kan en niet kan en welke voorzieningen en apparatuur daarvoor nodig zijn, leer je in dit hoofdstuk aan de hand van een paar bekende voorbeelden.



Tafeltenniswedstrijd tussen robots

Tekening Wim Boost

5.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk gaat het om de overblijvende delen uit het blokschema van een geautomatiseerd systeem (zie fig. 5.1) en over het systeem als geheel.

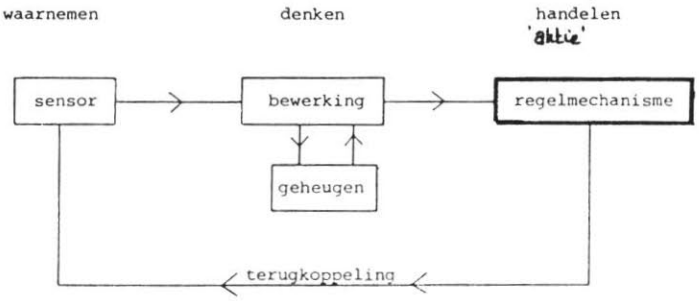


fig. 5.1 Blokschema van een geautomatiseerd systeem.

Het blok 'aktie' behoeft eigenlijk weinig toelichting. Vrijwel ieder apparaat dat werkt op elektriciteit kan hier bedoeld zijn (zolang we het tenminste hebben over elektronisch geautomatiseerde systemen). Voorbeelden bij dit blok kunnen zijn: een lamp die ontstoken wordt, een verwarmingsspiraal die gaat gloeien, een motor die aanslaat, een cassetterecorder die begint te spelen. In dit thema zullen we verder geen aandacht aan dit blok besteden.

Bij het blok 'terugkoppeling' stuiten we nog wel op enkele problemen. Terugkoppeling betekent dat de uitkomst van het regelen weer wordt waargenomen door de sensor. Op grond hiervan vindt eventueel een nieuwe bewerking en regeling plaats.
Het blijkt dat de sterkte van de terugkoppeling bepaalt hoe snel een systeem reageert. Anderzijds, als de terugkoppeling te sterk is, gaat het systeem oscilleren. De theorie hiervan vind je in par. 5.2.
Verder moeten er bij het ontwerpen van een geheel geautomatiseerd systeem nog enkele belangrijke keuzen worden gemaakt. Door de beschikbaarheid van relatief goedkope IC's loont het bijvoorbeeld vaak de moeite om alle informatie om te zetten in digitale vorm en deze digitale code te verwerken. De meest ver doorgevoerde vorm van deze digitale gegevensverwerking is het gebruik van microprocessors, die onder andere hebben geleid tot industriële robots en computersystemen. De codering van gegevens in digitale vorm komt aan de orde in par. 5.3, de microprocessor in par. 5.4. Het hoofdstuk wordt besloten met computer- en robottoepassingen in par. 5.5.

5.2 TERUGKOPPELING

Niet alle geautomatiseerde systemen bevatten een terugkoppeling. Daarom zullen we eerst bekijken wat de voordelen en nadelen van terugkoppeling zijn.
Als voorbeeld nemen we weer de wasmachine, die gevuld moet worden. Je kunt de wasmachine vullen door met een tijdgever een elektrisch bediende waterklep een bepaalde tijd open te laten staan. Als je de tijd goed instelt, zal de machine precies vol zijn na die tijd. Een dergelijk systeem heeft *geen* terugkoppeling. We noemen het een *gestuurd* systeem.

Je kunt ook met een niveaumeter meten of het water al de goede hoogte heeft bereikt. Het signaal van de niveaumeter gebruik je om het systeem te laten beslissen of de waterklep al of niet moet worden gesloten. De

waterhoogte wordt dus continu gemeten en het resultaat (bijv. 'klep blijft open') wordt teruggekoppeld naar de niveaumeter. Een dergelijk systeem *met* terugkoppeling heet een *geregeld* systeem.

Opdracht:

5.1 Stuur- en regelsystemen.
Geef aan of de volgende automatische systemen stuur- of regelsystemen zijn. Geef ook aan waarom.
a) de temperatuurregeling van een centrale verwarming door middel van een thermostaat.
b) de snelheidsregeling van een auto door middel van de benzinetoevoer.
c) de temperatuurregeling van een elektrisch kookplaatje door de stroomtoevoer te veranderen.

Het verschil tussen gestuurde en geregelde systemen merk je, als er iets aan de 'normale' omstandigheden verstoord wordt. Een regelsysteem doet dan toch goed zijn werk. Een gestuurd systeem kan van slag raken.

Voorbeeld: als bij het vullen van de wasmachine door één of andere oorzaak de waterdruk erg laag is, dan zal het stuursysteem na de ingestelde tijd de waterklep toch sluiten, ook al is de machine nog niet vol. Het regelsysteem zal echter net zo lang bijvullen tot de wasmachine het juiste niveau heeft bereikt.

Een regelsysteem wordt nog flexibeler, als de sensor kan worden ingesteld op de waarde waarop deze moet reageren. Een bekend voorbeeld is de thermostaat. Deze kan worden ingesteld op de temperatuur waarbij hij signaal moet afgeven (zie fig. 5.2).

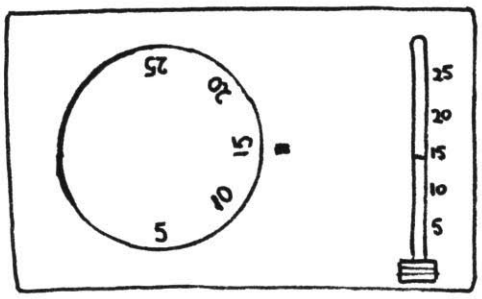


fig. 5.2

Aan de hand van een thermostaatregeling bespreken we nu ook de moeilijkheden, die kunnen optreden bij een regelsysteem. Deze worden o.a. veroorzaakt door de traagheid van het systeem, die meestal onvermijdelijk is. Als je 's ochtends opstaat en de kamerthermostaat instelt op 18 °C , terwijl het pas 12 °C is, zal de verwarming meteen aangaan. Het zal dan een tijd duren voordat de temperatuur werkelijk 18 °C is ge-

worden. Dan gaat weliswaar de verwarming uit, maar de radiators zijn nog gloeiend heet. De temperatuur zal dus nog wel verder oplopen tot misschien wel 20 °C . Als bij het afkoelen de 18 °C weer bereikt wordt, zal de verwarming weer aangaan, maar het duurt dan weer even voordat de radiatoren heet zijn enzovoorts, zodat het nog wel tot 17 °C afkoelt.
Deze temperatuurschommelingen rond de ingestelde stand van 18 °C noemt men *oscillaties*.
Het bestaan van grote oscillaties kan in dit geval worden voorkomen door de watertemperatuur in de radiatoren niet hoog te laten worden. We spreken dan van een kleine of *zwakke* terugkoppeling Immers een afwijking van het ingesteld niveau wordt bestreden met een kleine correctie aktie (in dit geval met weinig warmte).
Het bezwaar van deze methode is echter, dat het bij strenge vorst wel erg lang duurt voordat het 's ochtends een beetje aangenaam is. Voor een snelle reactie op verstoringen is daarom juist wel een *sterke* terugkoppeling gewenst.

In het algemeen gelden voor een teruggekoppeld systeem de volgende voorwaarden:

1. Een teruggekoppeld systeem kan zich dankzij de terugkoppeling aanpassen aan verstoringen van het normale bedrijfspatroon. Hoe sterker deze terugkoppeling is, des te sneller worden verstoringen van het ingestelde patroon gecorrigeerd.

2. Een teruggekoppeld systeem kan door de onvermijdelijke traagheid in de terugkoppeling gaan oscilleren. Hoe sterker de terugkoppeling is, des te groter de oscillaties zijn.

Het is duidelijk dat de eisen van snelheid en de ongewenstheid van oscillatie strijdig kunnen zijn. Om aan alle eisen te kunnen voldoen moet de terugkoppeling verfijnd worden. Bij verwarmingen wordt bijvoorbeeld de watertemperatuur aangepast aan de buitentemperatuur. Soms gebeurt dat met de hand, soms ook weer automatisch.

Opdracht:

5.2 Een verbeterde thermostaat.
Teken het blokschema van een verwarmingsregeling met automatische correctie voor de buitentemperatuur.

Bij systemen die nauwkeurig moeten regelen (dus snel, accuraat, zonder oscillaties) kan de terugkoppeling erg ingewikkeld worden, omdat o.a. de informatie van verscheidene sensors verwerkt moet worden. Het loont dan de moeite om de informatie van de sensors te coderen en te verwerken met IC's. Omdat IC's vaak werken met digitale signalen, worden alle signalen in digitale vorm gecodeerd. Hoe dat gaat leer je in de volgende paragraaf.

Opdracht:

5.3 Een slimme muis.
Er bestaan speelgoedmuizen, die worden voortbewogen via twee wieltjes met elektromotortjes en die het licht opzoeken met behulp van lichtsensoren (zie fig. 5.3).

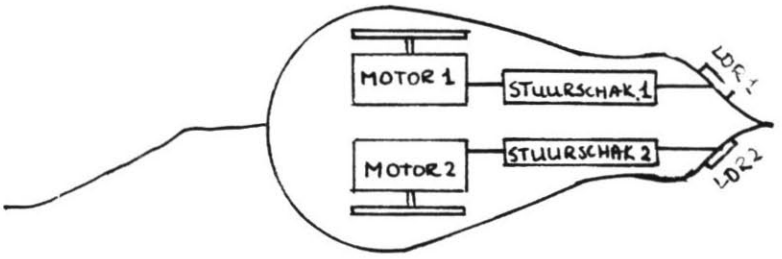


fig. 5.3 Deze speelgoedmuis botst nergens tegen op.

Als er weinig licht op de LDR valt, zorgt de stuurschakeling ervoor, dat de bijbehorende motor gaat draaien.

a) Ga na dat deze muis donkere plekken zal mijden door er van weg te draaien.

b) In een lange gang moet de muis zo snel mogelijk het licht opzoeken (zie fig. 5.4). Beredeneer dat door de traagheid van de muis het pad in werkelijkheid zal oscilleren.

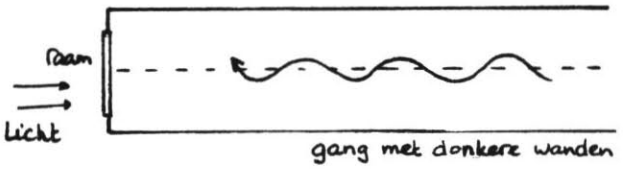


fig. 5.4 Oscillaties

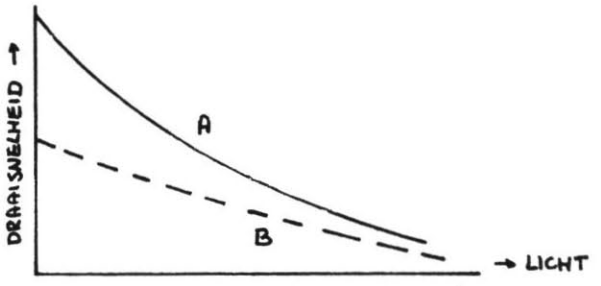


fig. 5.5 Verband tussen lichthoeveelheid op de LDR en de draaisnelheid van de motor bij twee verschillende gevoeligheden.

In figuur 5.5 zie je het verband tussen de lichthoeveelheid op de LDR en de snelheid van de motor (getrokken lijn A)? Het is mogelijk om de gevoeligheid van de schakeling te veranderen, zodat het verband wordt als weergegeven met de stippellijn B.

c) Beredeneer welke van de beide situaties overeenkomt met de grootste terugkoppeling.

d) Teken hoe je verwacht dat het pad van de muis in fig. 5.4 zal verlopen in situatie B. Welke gevoeligheid heeft in dit geval je voorkeur, A of B?

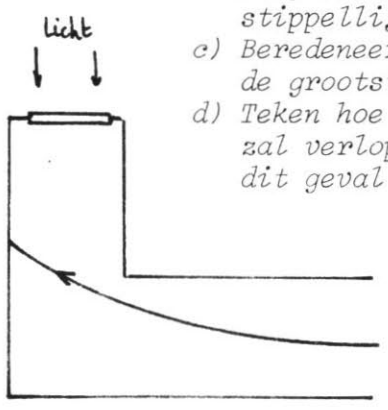


fig. 5.6 Een bocht

De muis kan ook bochten maken om naar het licht toe te gaan. Echter al te scherpe bochten vormen een probleem (zie fig. 5.6).

e) Beredeneer welke gevoeligheid (A of B) de voorkeur heeft voor het nemen van scherpe bochten.

f) Bouw, eventueel met aanwijzigingen van je leraar, zo'n muis en test hem.

5.3 ANALOOG-DIGITAAL OMZETTINGEN

Naarmate de te automatiseren processen ingewikkelder zijn loont het steeds meer de moeite om de bewerkingen via IC's te doen. Vooral IC's die werken met digitale signalen hebben zeer veel mogelijkheden. Vandaar dat analoge signalen vaak omgezet worden in een digitale code.

Een voorbeeld uit de landbouw:
De hoeveelheid en samenstelling van het voer, dat een koe moet krijgen voor een zo groot mogelijke melkgift hangt af van: de leeftijd en het gewicht van de koe, hoe lang geleden ze gekalfd heeft, hoeveel melk ze de vorige dag heeft gegeven, eventuele ziektes en misschien nog meer faktoren.
Tot nog toe pasten de meeste boeren het voer niet aan aan de eisen van één bepaalde koe. Met automatische systemen kan dit wel. De koe krijgt een halsband met magnetische code. De magnetische code wordt vertaald in een digitale code en vergeleken met de digitale codes, die in een geheugen IC zijn opgeslagen. Bij het melken wordt automatisch het gewicht van de koe en haar melkgift in het geheugen opgeslagen (in digitale code). Op grond van die gegevens is het mogelijk om met IC's de beste voedersamenstelling voor die koe te berekenen en het voer dan automatisch in de voederbak van de koe te laten lopen. Men hoopt op die manier 15 % meer melk per kg voer te bereiken.

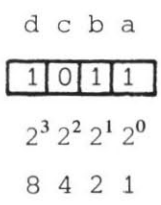
Een ander voorbeeld is het kweken van tomaten onder glas. Via experimenten is men er achter gekomen welke combinaties van vochtigheid, temperatuur en licht de meeste en mooiste tomaten opleveren. Om de resultaten van al deze sensoren met IC's te kunnen verwerken worden de signalen in digitale vorm gecodeerd.

Dat coderen van een analoog signaal (bijvoorbeeld een temperatuurwaarde tussen 0 en 30 °C) in een binair signaal (nullen en enen) hebben we in een eenvoudiger vorm al gezien bij een trigger. Die omzetting was heel grof. Als de temperatuur onder een bepaalde waarde was, gaf de trigger 1, anders 0.
Als we deze code wat fijnmaziger willen maken, moeten we meer cijfers 0 en 1 gebruiken om mogelijke meetwaarden vast te leggen.

Het is gebruikelijk om te coderen volgens het tweetallig stelsel (zie fig. 5.7).

MEETWAARDE	binaire CODE
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
enz.	enz.

fig. 5.7 Veel gebruikte binaire code



De waarde van een 0 of 1 in een binair getal hangt af van de positie. Iedere positie geeft een macht van 2 aan (zie fig. 5.7). De 1 in positie d komt overeen met $2^3 = 8$. Dit komt overeen met onze notatie in het 10-tallig stelsel. Daar geeft iedere positie een macht van 10 aan.
De binaire code 1011 komt overeen met 1 x 8 + 0 x 4 + 1 x 2 + 1 x 1 = 11.

Vragen:

5.1 Waar komt 1010 mee overeen?
5.2 Hoe codeer je binair het getal 15?
5.3 Wat is het grootste getal dat je binair met 4 posities (bits) kunt weergeven?

Eén hele code wordt een *byte* genoemd. Iedere positie een *bit*. De code 1011 is dus één byte met 4 bits.

Een voordeel van de binaire code is, dat hij zeer geschikt is om met IC's te verwerken. Een klein nadeel is dat de meetnauwkeurigheid kleiner wordt. Immers een meetwaarde tussen twee getallen in moet worden afgerond.

Opdracht:

5.4 Een analoog/digitaal omzetter.
In het thema 'Lijfwerk' is een AD-omzetter gebruikt om de stand van de spirometer in gecodeerde vorm door te geven aan de computer. We gaan deze AD-omzetter nog wat beter bekijken (zie fig. 5.8).
De 8 LED's geven de 8 uitgangssignalen aan: LED aan betekent 1, uit betekent 0.

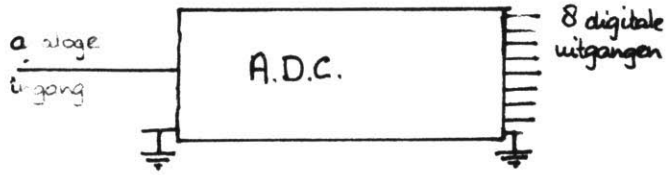


fig. 5.8 A/D-omzetter

a) Laat de ingangsspanning van de AD-omzetter langzaam oplopen van 3,0 tot 3,5 V.
Noteer de bijbehorende codes van de LED's.

b) Voorspel welke code overeenkomt met 2,1 V en controleer je voorspelling.

c) Leg een reeks ingangswaardes via een AD-omzetter vast in een IC-geheugen.

De uitgangssignalen van IC's zijn ook gecodeerd. Deze kunnen weer worden gedecodeerd via een digitaal/analoog omzetter.

d) Sluit de digitale uitgangen van de AD-omzetter aan op de ingang van een DA-omzetter. Zet het uitgangssignaal van de DA-omzetter op een oscilloscoop.
Gebruik als ingangsspanning voor de AD-omzetter een toongenerator, amplitude $\pm$ 2 V, frequentie 200 Hz.
Verklaar wat je ziet op het oscilloscoopscherm, nadat je de oscilloscoop goed hebt ingesteld. (Let op de kleine sprongetjes in het uitgangssignaal.)

5.4 MICROPROCESSORS

In verschillende takken van de industrie en met name in de rakettentechniek is de ontwikkeling met behulp van IC's zeer snel gegaan. Een raketbesturing bijvoorbeeld heeft zeer veel sensors (radargegevens, hoogtemeter, snelheidsgegevens, stand van de raket t.o.v. de aarde, stuwkracht die de motoren leveren, overgebleven brandstof enz.). Alleen al voor het berekenen van de koerscorrecties zijn vele en snelle bewerkingen van de sensorsignalen noodzakelijk. Bovendien moet de benodigde elektronica licht en klein zijn.
Omdat er zoveel verschillende bewerkingen uitgevoerd moeten worden, is men ernaar gaan streven om elektronische schakelingen niet slechts voor één specifieke bewerking geschikt te maken, maar ze zó te ontwerpen, dat ze geprogrammeerd kunnen worden om verschillende bewerkingen te verrichten. Het automatiseringssysteem wordt zo gescheiden in de benodigde elektronica (hardware) en het bijbehorende programma (software).

Een *microprocessor* is zo'n schakeling met duizenden transistors op één IC, die in staat is om verschillende typen bewerkingen uit te voeren. Daardoor kunnen microprocessors in principe gebruikt worden in ieder regelsysteem dat werkt met digitale signalen. We komen ze tegenwoordig dan ook overal tegen: in kerncentrales, raketten, videoapparatuur, automatische ovens enz. De flexibilitiet van een microprocessor wordt mogelijk gemaakt door zijn opbouw uit:

- rekeneenheid
- besturingseenheid
- klok
- geheugens

De *rekeneenheid* van een microprocessor kan twee aangeboden digitale getallen bij elkaar optellen of van elkaar aftrekken.
Verder is het mogelijk om door herhaald optellen, gecombineerd met schuiven (ongeveer zoals bij het maken van een vermenigvuldiging of een staartdeling) ook digitale getallen te vermenigvuldigen en te delen.

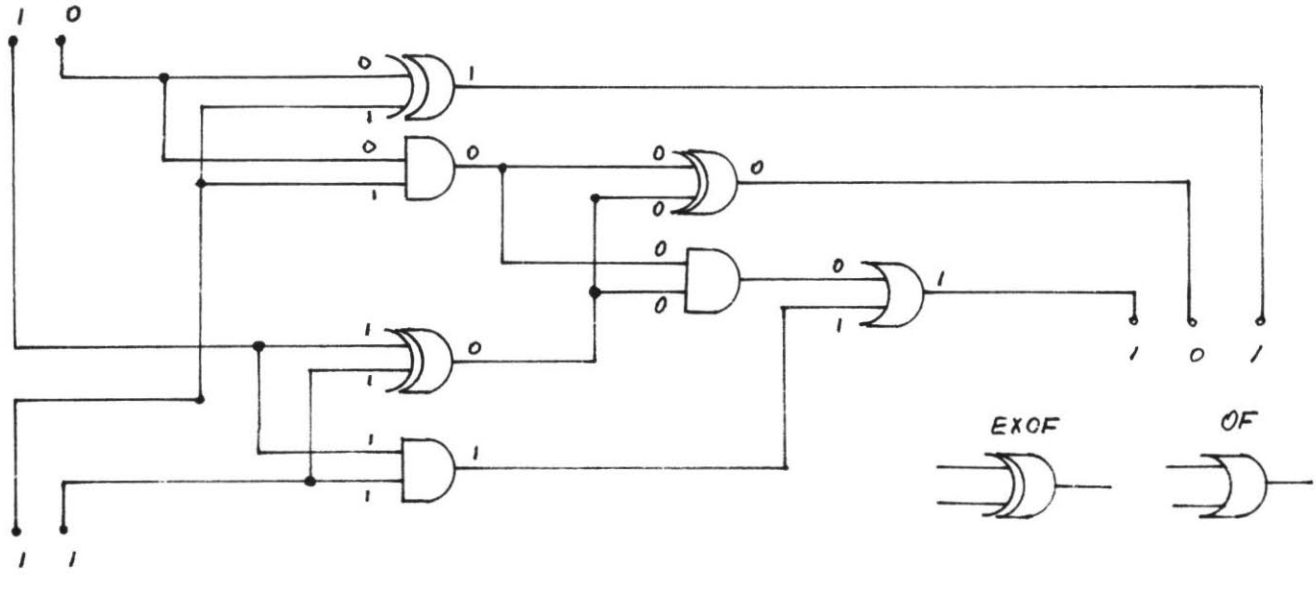


fig. 5.9 Een optelschakeling voor 2 binaire getallen A en B van ieder 2 binaire cijfers. De cijfers bij de aansluitingen geven aan wat de signalen zijn bij de optelling van de getallen 2 (10) en 3 (11). De uitkomst is inderdaad 5 (101).

Opdracht:

5.5 Een opteller.

Een 'eenvoudige' optelschakeling is weergegeven in fig. 5.9. In deze schakeling is gebruik gemaakt van EXOF-poorten. Een EXOF-poort geeft alleen een signaal als de beide ingangen een tegengesteld signaal hebben. Als beide ingangen 0 of beide ingangen 1 zijn, is het uitgangssignaal van een EXOF-poort 0.

Verdeel de klas in groepjes en laat ieder groepje de signalen berekenen, die horen bij een bepaalde optelling (dus 1 + 1 = ; 1 + 0 = ; 3 + 2 = ; etc.).

Ga zo na, dat de schakeling als opteller werkt.

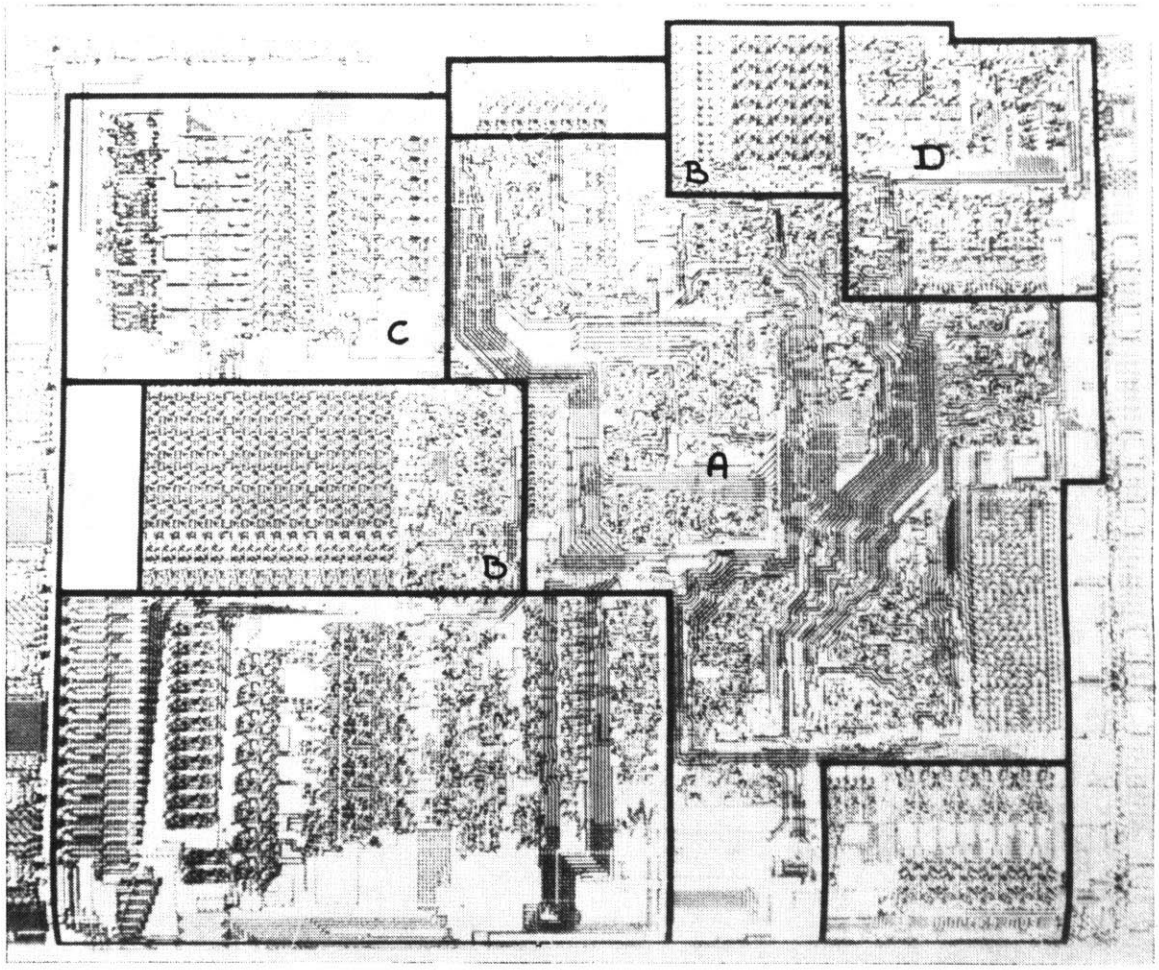


fig. 5.10 : Microprocessor-I.C. met o.a. besturingseenheid (A), geheugens (B) en rekeneenheid (C), klok (D)

De *besturingseenheid* van een microprocessor bepaalt welke bewerking de rekeneenheid moet uitvoeren en wat er met de uitkomst moet gebeuren. De besturingseenheid heeft daarvoor informatie nodig, die gehaald wordt uit een zogenaamd programma. Dit programma bestaat uit digitale codes, die zijn opgeslagen in een geheugen. Het programma wordt er door de ontwerper of gebruiker ingebracht en stap voor stap uitgevoerd in het tempo van een kloksignaal. Ook deze *klok* is ingebouwd in de microprocessor. Bij iedere puls van de klok wordt een volgende opdracht uitgevoerd.

Opdracht:

5.6 Rekensnelheid.

a) Een gangbare microprocessor (bijv. de Z-80) werkt met een klokfrquentie van 4 MHz. Voor een optelling zijn in totaal 7 opdrachten nodig (denk bijv. aan ophalen 1e getal en 2e getal uit geheugen, de optelling zelf en het weer wegzetten van de uitkomst). Bereken hoeveel optellingen zo'n microprocessor per seconde kan maken.

b) Het is natuurlijk ook mogelijk om de benodigde poortschakelingen met relais uit te voeren. De tijd waarin relais kunnen schakelen is minimaal 20 ms. Bereken hoeveel optellingen een 'microprocessor' met relais per seconde zou kunnen uitvoeren.

Verder zitten er op de microprocessorchip nog enkele *geheugens*, die bestemd zijn om tussenbewerkingen, programmacodes en dergelijke op te slaan. Als de geheugenplaatsen op de chip zelf onvoldoende zijn, kunnen er extra geheugenchips op aangesloten worden.

Geheugenchips bestaan er in soorten. Zo kent men de typen:

- RAM (Random Access Memory).
  Hiermee kun je naar willekeur gegevens in en uit het geheugen zetten of halen. Deze geheugens funktioneren echter slechts zolang de voedingsspanning áán is. Als deze even uitvalt, is het hele geheugen gewist.

- ROM (Read Only Memory).
  Hierbij kun je slechts één keer gegevens in het geheugen schrijven. Daarna is de informatie in het geheugen niet meer te veranderen, ook niet doordat de spanning wegvalt. Dit type geheugen wordt door de ontwerpers van computers gebruikt om het vertaalprogramma (bijv. BASIC) in op te slaan.

- PROM of EPROM ((Erasable)Programmable Read Only Memory).
  Hiermee kan de gebruiker zèlf via een apart apparaat het ROM-geheugen eenmalig programmeren. In feite is er geen wezenlijk verschil met een ROM. Bij een EPROM is het nog mogelijk om het geheugen uit te wissen door langdurige bestraling met ultra-violette straling. Het geheugen kan dan weer opnieuw geprogrammeerd worden in een apart apparaat.

Vraag:

5.4 Welke soort geheugens worden gebruikt in de rekenmachine, wasmachine, programmeerbare naaimachine en t.v. met viditel?

5.5 COMPUTERS EN ROBOTS

Met de komst van relatief goedkope microprocessors zijn de mogelijkheden tot automatisering zeer veel eenvoudiger en goedkoper geworden. Door het aansluiten van de juiste randapparatuur op microprocessors is het mogelijk geworden om bijvoorbeeld computers te maken, die grote aantallen gegevens kunnen opslaan, bewerken en weergeven. Scholen automatiseren zo hun leerlingenadministratie. Banken houden zo de tegoeden van hun klanten bij.
Als microprocessors worden gekoppeld aan telecommunicatienetten, ontstaan er grote mogelijkheden voor snelle automatische gegevensuitwisseling. De oude telefooncentrales met relais worden vervangen door centrales, die gestuurd worden door microprocessors. Via VIDITEL en TELETEKST kunnen gebruikers informatie krijgen, die is opgeslagen in grote geheugens.
In huishoudelijke apparatuur worden menselijke taken overgenomen door regelsystemen op basis van microprocessors. Naaimachines voeren een geheel voorgeprogrammeerd knoopgatsprogramma uit.

In industriële regelprocessen wordt de menselijke bewaker vervangen door microprocessorschakelingen. Een raffinaderij of een elektriciteitscentrale wordt volledig door dit soort systemen geregeld en gecontroleerd. Zelfs de menselijke arbeid wordt overgenomen door robotsystemen. Voorgeprogrammeerde lasrobots lassen in autofabrieken verschillende onderdelen aan elkaar. Geprogrammeerde microprocessors besturen dit proces.
In al deze gevallen bestaat het systeem uit een programmeerbare microprocessor, die gekoppeld is aan randapparatuur. We bespreken nu enkele typen randapparatuur.

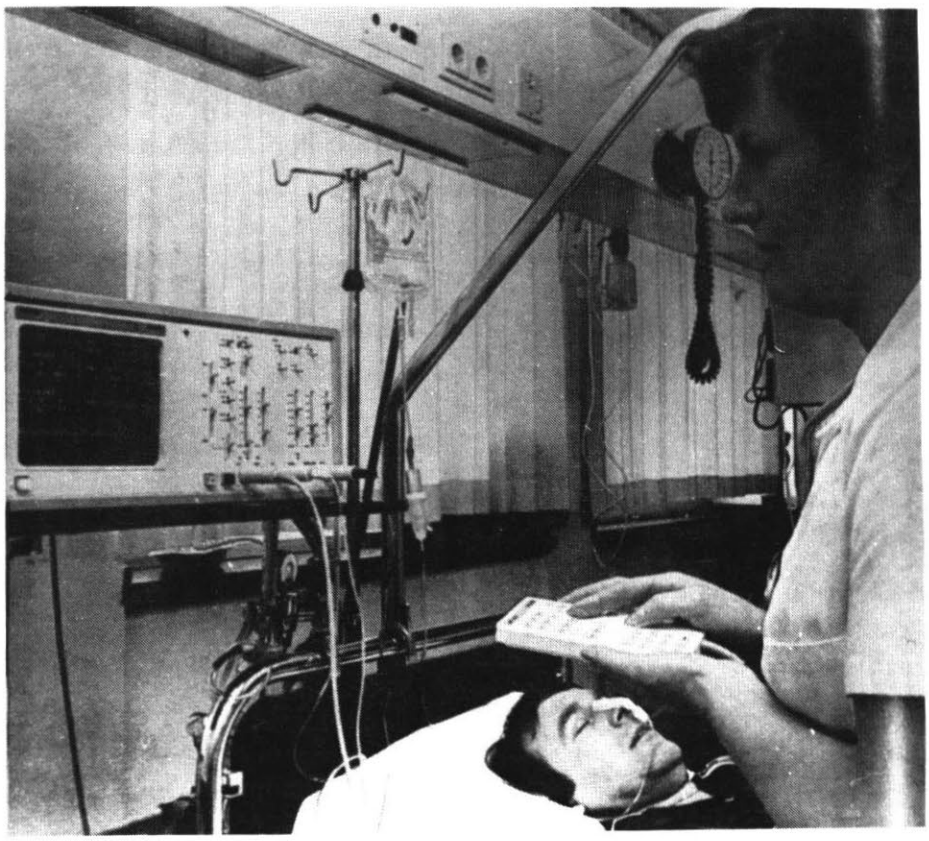


fig. 5.'' : Automatische bewaking en regeling van hart- en longfunkties

Standaard invoerorgaan is o.a. een *toetsenbord* met bijbehorende IC's, die de toetsencode omzetten in een binaire code. Via het toetsenbord is het mogelijk om gegevens of een programma in het geheugen in te typen. Vaak worden de programma's niet in een binaire code ingebracht, maar in de vorm van min of meer begrijpelijke woorden, de programmeertaal. Een in de computer ingebouwd vertaalprogramma zorgt ervoor dat deze woorden worden vertaald in de juiste binaire programmacode. Voorbeelden van dergelijke programmeertalen zijn BASIC, PASCAL, ASSEMBLER, FORTRAN, COBOL en ALGOL.

Een standaard uitvoerorgaan is o.a. *beeldscherm*, compleet met IC's, die de inhoud van geheugenplaatsen kunnen omzetten in besturingssignalen voor het beeldscherm.

Het extra *geheugen* in een computer, die aan de microprocessor is gekoppeld, dient voor de opslag voor programmacodes en voor tijdelijke opslag van tussenbewerkingen. Hoe groter dit geheugen, des te ingewikkelder de programma's, die uitgevoerd kunnen worden. De hoeveelheid geheugenplaatsen op een IC wordt opgegeven in 'kilobyte'. Eén kilobyte is 1024 byte. Bij de meeste computers bestaat één byte uit 8 of 16 bits, soms 32.

Als je meerdere programma's in een computer wilt bewaren, is de geheugenruimte in de computer te klein. Bovendien zouden de programma's bij een stroomstoring verloren gaan. Opslaan in ROM-geheugens is te duur en te omslachtig. Deze gegevens kunnen het gemakkelijkst worden opgeslagen op een band (*tape*) of op een magnetische plaat (*floppy disk*) in een magnetische code. Later kunnen ze weer worden ingelezen.

In computergestuurde systemen komen verder nog de volgende soorten randapparatuur voor:

- *printer*: een automatische typemachine, die binaire signalen omzet in letterschrift.
- *ponskaartlezer* of optische lezer: een apparaat met lichtsensors die in hoog tempo ponskaarten of formulieren kan 'lezen'.
- *plotter*: een tekenpen, die bestuurd wordt door computercodes en tekeningen kan maken.
- *geluidssynthesizer*: deze zet de binaire computersignalen om in geluidssignalen. Door handig programmeren kun je muziek maken of zelfs spraak. In veel microcomputers is een synthesizer ingebouwd.
- *A/D- en D/A-omzetters*: hiermee kunnen analoge signalen omgezet worden in voor de processor bruikbare signalen en omgekeerd. Ook deze zijn vaak ingebouwd.
- *modems*: deze apparaten zetten binaire codes om in geluidscodes (bijv. hoge toon = 1, lage toon = 0) en omgekeerd. Door deze codering via geluid is het op eenvoudige wijze mogelijk om computers, beeldschermen en dergelijke via telefoonlijnen met elkaar te verbinden.

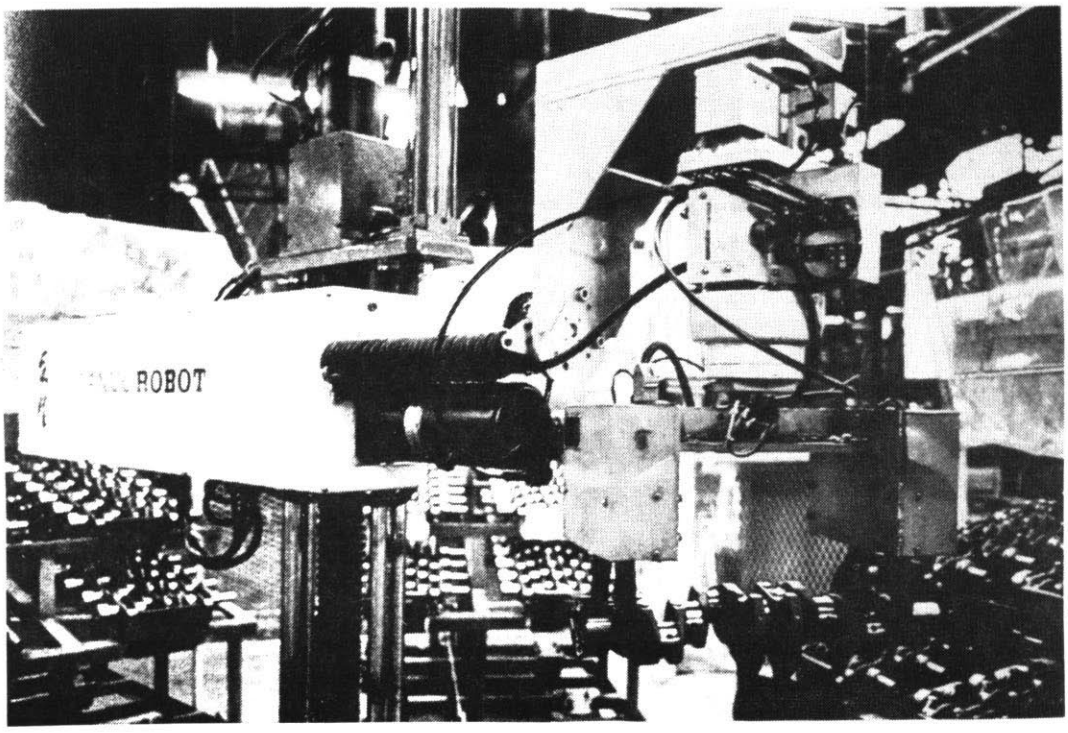


fig. 5.[illegible] : Een robot, uitgerust met een camera kan deze krukassen voorzichtig oppakken en in de juiste stand monteren.

Voor robottoepassingen wordt weer heel andere randapparatuur gebruikt. Hydraulisch bewogen 'armen' moeten het mogelijk maken om voorwerpen in alle standen te brengen en vast te pakken. Sensors die op de robotarm zijn gemonteerd moeten aan de microprocessor doorgeven of een voorwerp aangeraakt is of niet. Krachtmeters moeten aangeven of een 'robotvinger' een onderdeel met de juiste kracht beetpakt. Een televisiecamera die aan de arm is gekoppeld geeft de microprocessor informatie over vorm en rangschikking van voorwerpen. Bovendien geeft hij informatie aan het systeem of een bepaalde ingestelde positie al bereikt is.

Samenvattend kunnen we zeggen dat systemen gekoppeld aan microprocessors een enorme flexibiliteit hebben. Door het programma van de microprocessor te veranderen kan de computer of robot steeds wisselende taken uitvoeren. De ontwikkeling van de randapparatuur biedt steeds meer mogelijkheden om processen te automatiseren. Het einde van die ontwikkeling lijkt nog steeds niet in zicht.

5.6 OPGAVEN

1. HET GEBRUIK VAN EEN COMPUTER PER TELEFOON (HAVO-examen 1982-II-PLON)

Het is tegenwoordig mogelijk dat een computerprogrammeur via een gewone telefoonlijn contact maakt met een (grote) computer op afstand. Om de signalen van de programmeur (thuis) naar de computer (rekencentrum) te sturen maakt men gebruik van een zogenaamde MODEM. Hieronder staat aangegeven hoe een MODEM werkt.

De signalen van een computer zijn in de meeste gevallen digitaal. Ze kennen dan slechts twee toestanden, die van hoge spanning en die van

lage spanning. Die toestanden worden weergegeven door respectievelijk een '1' en een '0'. Een signaal dat wordt verstuurd bestaat uit een aaneenschakeling van hoge en lage spanningen. Een voorbeeld van een dergelijk signaal staat hieronder in fig. 5.13.

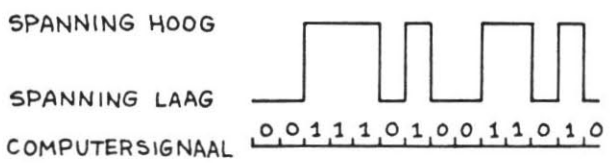


fig. 5.13 Digitaal computersignaal

In principe kan een dergelijk signaal rechtstreeks over een telefoonlijn worden verstuurd. Het signaal blijkt echter zeer gevoelig voor storingen. Daarom worden de digitale signalen eerst omgezet in een frequentie-gemoduleerd geluidssignaal. Bij aankomst wordt dat signaal weer omgezet in het oorspronkelijke digitale signaal.
De werking van de MODEM (afkorting van MOdulator/DEModulator) is als volgt samen te vatten:
- *krijgt het MODEM van de computer een ingangssignaal van niveau '0', dan geeft het een signaal af van lage frequentie,*
- *krijgt het MODEM van de computer een ingangssignaal van niveau '1', dan geeft het een signaal af van hoge frequentie,*
- *krijgt het MODEM aan de ontvangstzijde een frequentie-gemoduleerd signaal, dan vertaalt het de lage en hoge frequenties weer in '0', respectievelijk '1'.*

Het geheel staat schematisch weergegeven in fig. 5.14.

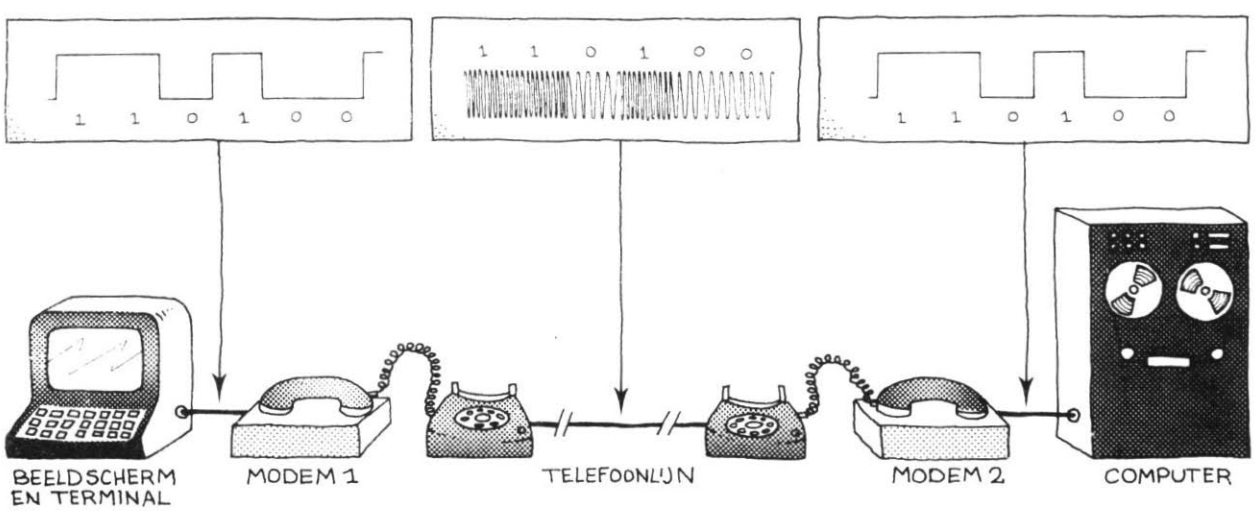


fig. 5.14 Informatie-overdracht via een telefoonlijn met MODEM

Door deze manier van overbrengen (gemoduleerd) hebben storingen van de ene telefoonlijn op de andere (overspraak) nauwelijks effekt op de inhoud van de overgebrachte informatie.
De snelheid waarmee signalen kunnen worden overgebracht hangt af van het aantal tekens '1' en '0' dat per seconde kan worden overgebracht. Bij deze methode wordt dat meestal beperkt tot circa 200 tekens per seconde.

a) Leg uit wat je zult horen, als je met een gewone telefoon luistert naar het signaal dat door MODEM-1 in fig. 5.14 wordt verzonden.

De frequentie-gemoduleerde signalen uit fig. 5.14 kunnen ook zichtbaar worden gemaakt. Een schakeling waarmee dat mogelijk is, staat getekend in fig. 5.15. Als de condensator en het lampje geschikt worden gekozen, zal het lampje afwisselend zwak en fel branden in het ritme waarin hoge en lage frequenties elkaar afwisselen. Immers, het opladen van de condensator zal langzaam, dan wel snel gebeuren, afhankelijk van de aangeboden frequentie.

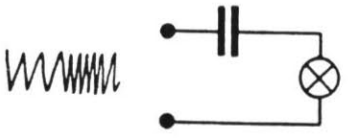


fig. 5.15 Schakeling voor het zichtbaar maken van het gemoduleerd signaal

b) 1. Geef aan of in de schakeling van fig. 5.15 het lampje fel zal branden bij de hoge of juist bij de lage frequentie van het gemoduleerde signaal.

2. Licht je antwoord toe.

In de tekst staat dat storingen in de telefoonlijn weinig invloed hebben op de overgebrachte informatie, als het signaal wordt gemoduleerd. Om dat te begrijpen gaan we na wat er gebeurt, als er een stoorpuls op de telefoonlijn komt. In fig. 5.16 staat met een pijl aangegeven op welk moment de stoorpuls op de lijn komt. De stoorpuls wordt opgeteld bij het reeds aanwezige signaal.

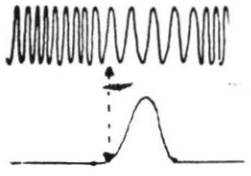


fig. 5.16 Stoorpuls bij gemoduleerd signaal

c) 1. Teken de vorm die het frequentie-gemoduleerd signaal krijgt, als de stoorpuls van fig. 5.16 het signaal verstoort.

Veronderstel nu dat het computersignaal was verzonden, zonder dat het was gemoduleerd in het MODEM. Veronderstel dat eenzelfde stoorpuls in de telefoonlijn ontstaat, op het tijdstip aangegeven in fig. 5.17.

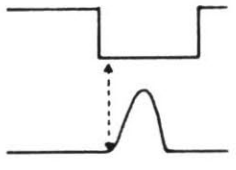


fig. 5.17 Stoorpuls bij ongemoduleerd signaal

c) 2. Teken de vorm die het verzonden signaal krijgt, als de aangegeven stoorpuls het signaal verstoort.

d) Beredeneer in welk van de twee situaties, die van fig. 5.16 of die van fig. 5.17 het effekt van de stoorpuls op het ontvangen signaal in de computer het sterkst is.

Storingen, zoals die hieronder zijn aangegeven komen voor als twee telefoonkabels naast elkaar liggen.
Als in kabel 1, bijvoorbeeld door het neerleggen van de telefoon, een plotselinge stroomverandering optreedt, ontstaat er in kabel 2 een stoorpuls. Zie fig. 5.18. Dit verschijnsel wordt aangeduid met de term 'overspraak'.

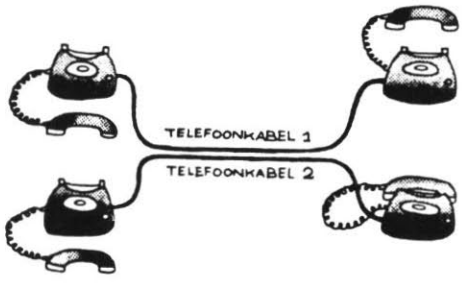


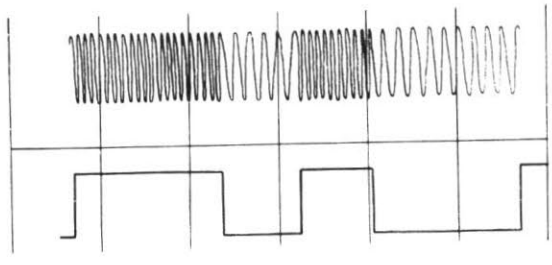
fig. 5.18 Situatie van 'overspraak'

e) 1. Geef een verklaring hoe een verandering van stroomsterkte in kabel 1 leidt tot een stoorpuls in kabel 2.

2. Noem twee factoren waarvan de mate van 'overspraak' zal afhangen.

Om signalen in een MODEM goed te kunnen decoderen moeten er voldoende hele golven in het '1' en het '0' signaal zitten. Ook moet de frequentie van de verzonden signalen passen binnen het frequentiegebied waarin een telefoonverbinding signalen goed weergeeft.
Het in fig. 5.14 afgebeelde MODEM geeft per teken '1' tien hele golven en per teken '0' vijf hele golven. Het in- en uitgaand signaal is zichtbaar gemaakt op een oscilloscoop, zie fig. 5.19. De tijdbasis is ingesteld op 5 milliseconde per hokje.

fig. 5.19 :
In- en uitgangssignaal van MODEM 1.



f) Bepaal uit fig. 5.19 de frequentie van het signaal dat overeenkomt met '0'.

g) Bereken of bepaal het aantal tekens dat per seconde door MODEM-1 wordt verzonden.

g) Bereken of bepaal het maximale aantal tekens dat per seconde door het beeldscherm kan worden verzonden. Licht het antwoord toe.

2. REGELSCHAKELING VOOR EEN ROBOTARM

In een eenvoudig robotsysteem wil men een draaiarm op afstand in een bepaalde positie brengen (zie fig. 5.20).

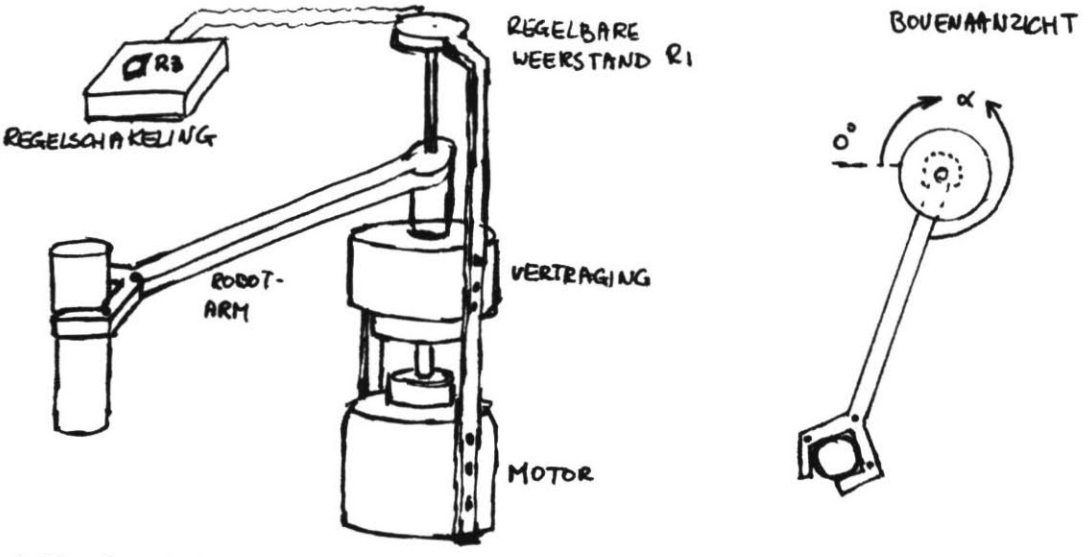


fig. 5.20 : De robotarm kan door de motor in de juiste stand gedraaid worden. Een regelbare weerstand R1 registreert deze stand. Met R3 in de regelschakeling wordt de gewenste stand ingesteld.

De sensorschakeling bestaat uit een regelbare weerstand R_1, die in serie is geschakeld met R_2.
Voor het instellen van de gewenste positie van de robotarm is in de regelschakeling een serieschakeling van een instelweerstand R_3 en weerstand R_4 opgenomen. Verder bevat deze regelschakeling een versterker, die het spanningsverschil tussen A en B versterkt en toevoert naar de motor. De versterker versterkt zowel positieve als negatieve spanningen. Als de spanning tussen A en B van teken omkeert, draait ook de draairichting van de motor om (zie fig. 5.21).

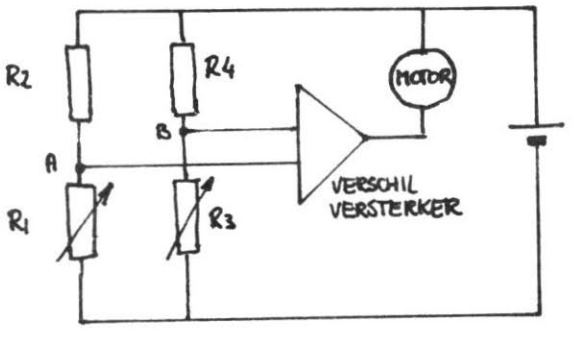


fig. 5.21 : Regelschakeling van de robotarm.

Weerstand R_1 is zó bevestigd aan de as, dat de weerstand nul is, als de arm horizontaal staat (α = 0: zie fig. 5.20). Als $\alpha = 340^\circ$ is de weerstand maximaal: 10 KΩ.
De weerstanden R_2 en R_4 zijn beide 10 K .

a) Leg uit hoe het met deze schakeling mogelijk is om met R_3 de robotarm op afstand te besturen.
b) Bereken hoe groot de spanning is, die de sensor afgeeft (V_{OA}), als de arm rechtop staat ($\alpha = 90^\circ$).
c) Bereken op welke waarde de instelweerstand R_3 moet staan om ervoor te zorgen dat de motor niet draait in de stand $\alpha = 90^\circ$.
d) Beredeneer in welke richting de motor moet gaan lopen, als weerstand R_3 vervolgens op een hogere waarde wordt ingesteld.
e) Beredeneer dat door de massa-traagheid van de robotarm er grote kans bestaat dat de robotarm gaat oscilleren rond de ingestelde waarde.
f) Uit de theorie is bekend dat het oscilleren kan worden voorkomen door de terugkoppeling kleiner te kiezen. De terugkoppeling wordt kleiner als een afwijking van de ingestelde waarde een geringer spanningsverschil tussen A en B oplevert. Daarvoor kan bijv. weerstand R_2 worden aangepast. Ga na of weerstand R_2 groter of kleiner moet worden gekozen om de oscillatie te verminderen.
g) Beredeneer wat het effekt is van de zwakke terugkoppeling op de snelheid van het systeem.

3. Bouw eventueel met aanwijzingen van de leraar de robotarm uit opgave 2.

4. TEKSTVERWERKING MET EEN COMPUTER

Bij tekstverwerking met een computer wordt de tekst, die een typist intypt in het geheugen opgeslagen en eventueel automatisch voorzien van briefhoofd en standaardzinnen. Later kunnen in de uiteindelijke tekst verbeteringen en aanvullingen worden aangebracht. We zullen bekijken wat de snelheid en de capaciteit van een tekstverwerker kan zijn op een gangbare microcomputer met een geheugencapaciteit van 64 K.
Voor het tekstverwerkingsprogramma zelf is 16 K nodig. Voor het vertaalprogramma, dat het tekstverwerkingsprogramma omzet in binaire codes, is 8 K nodig. Daarnaast is er nog eens 4 K nodig voor interne funkties van de microcomputer.
De ingetypte tekst wordt letter voor letter in het resterende geheugen gezet. In iedere byte geheugen komt dan één letter (in binaire code).

a) Ga na dat met 1 byte van 8 bits alle letters en cijfers, inclusief leestekens en hoofdletters, een verschillende code kunnen krijgen.
b) Bereken hoeveel pagina's tekst in het resterende geheugen van de computer kunnen worden opgeslagen. (Eén pagina tekst van dit themaboek bevat gemiddeld 2500 lettertekens, inclusief spaties en leestekens.)
c) Als er in het begin van de tekst een letter ingevoegd moet worden, moeten in het geheugen alle letters een plaats opschuiven. Het tekstverwerkingsprogramma kan de microprocessor instrueren om dat te doen. De microprocessor moet dan de laatste letter uit de tekst ophalen en die letter één geheugenplaats verder neerzetten. Daarna moet de processor terug-

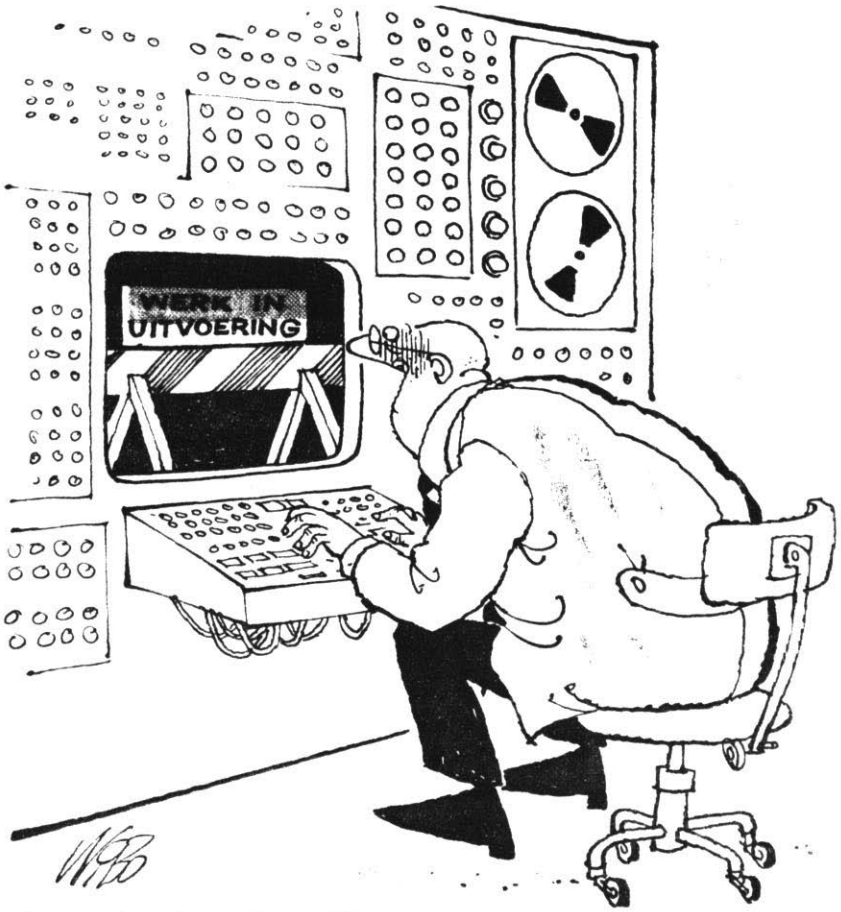
gaan naar de vorige geheugenplaats en ook die letter weer een plaats verzetten, enz. Net zolang tot op de gewenste plaats een opening ontstaat waar de nieuwe letter kan worden ingetypt. (Misschien kan dit op de schoolcomputer gedemonstreerd worden.)
Voor het verzetten van één letter zijn 15 programmastappen nodig van ieder één klokpuls. De frekwentie van de processor is 4 MHz.
Bereken hoe lang het duurt voordat één letter is ingevoegd vóóraan in een tekst van 10 pagina's.

Hoofdstuk 6

AUTOMATISERING IN DE PRAKTIJK

Inhoud

Om ons heen dringt in allerlei sektoren van de samenleving de automatisering door. Wat voor gevolgen heeft dat voor die samenleving en voor ons, die daarin funktioneren? Wat zijn de positieve en negatieve kanten ervan en welke keuzen kunnen we nog maken?
Je kunt in dit hoofdstuk één voorbeeld van automatisering in een bepaalde sektor kiezen en daarvoor bovengenoemde vragen proberen te beantwoorden.



Computer kan zichzelf repareren. Tekening Wim Boost

Er zijn talloze situaties waarin automatisering toegepast wordt of kan worden. In hoofdstuk 3 is al gewezen op het grote aantal sensoren dat er is. Met het gebruik van een chip of computer als verwerkingseenheid zijn de mogelijkheden nagenoeg onbeperkt.
Het toepassen van automaten is natuurlijk niet uitsluitend een kwestie van technische mogelijkheden. Wie in één of andere praktijksituatie moet kiezen of er een automaat moet worden aangeschaft, zal ook kijken naar de kosten en - als het goed is - naar de gevolgen (bijv. voor de werkgelegenheid).

Om het een beetje overzichtelijk te houden hebben we de maatschappij verdeeld in vier sektoren. Van iedere sektor zijn een aantal situaties genoemd waarin automatisering toegepast wordt. Er zijn echter bij iedere sektor veel meer voorbeelden te vinden. Het is de bedoeling dat je je in één van deze sektoren wat nader gaat verdiepen aan de hand van opdracht 6.1.

1. *De agrarische sektor*
   - o Meting van de bodemgesteldheid
   - o Besproeiingsregeling voor het land
   - o Klimaatregeling in kassen
   - o Voederregulatie voor het vee
   - o
   - o

2. *Bedrijven en industrie*
   - o Automatisering van het magazijn
   - o Lopende-band-produktie door starre automaten of robots (star = voor één bepaalde handeling geschikt)
   - o Flexibele automaten of robots (kunnen voor diverse handelingen geprogrammeerd worden)
   - o Automatisering van de administratie
   - o
   - o

3. *Winkels en banken*
   - o Kassa's die produktcodes aflezen
   - o Betaling met kredietkaarten
   - o Verwerking van girokaarten
   - o
   - o

4. *De overheid*
   - Ziekenhuizen: o Hartbewaking
     o Bepalingen in het laboratorium
     o
   - Wetenschap: o Waarneming luchtverontreiniging
     o Registratie van metingen in experimenten
     o
   - Onderwijs: o Verwerking multiple-choice toetsen
     o
   - Verkeersvoorzieningen: o Verkeerslichten
     o Baanvakblokkering bij treinen
     o Automatische piloot bij vliegtuigen
     o

- Defensie: o Besturing van raketten
  o

Opdracht:

6.1 a) Kies één van de genoemde sektoren uit, en zoek naar informatie over een geautomatiseerd proces in deze sektor. Denk daarbij aan:
- *artikelen uit de krant of uit tijdschriften die in de bibliotheek aanwezig zijn*
- *kennissen die ermee te maken hebben of je kunnen helpen aan vaktijdschriften*
- *informatie aanvragen bij bedrijven, overheidsinstellingen*
- *een kijkje gaan nemen in de praktijk (afspraak maken!).*

b) Maak een beschrijving van het geautomatiseerd systeem en betrek daarbij zowel technische als economische en sociale aspekten.

Technische aspekten
- *Wat voor sensor wordt toegepast, hoe werkt deze?*
- *Wat doet het bewerkingsgedeelte, uit welk soort onderdelen is het opgebouwd (relais, transistor, IC)?*
- *Is het een sturing of een regeling, m.a.w. is er terugkoppeling?*
- *Hoe worden de sensoren geplaatst?*
- *Hoe betrouwbaar is het systeem, is het gevoelig voor bepaalde verstoringen, welke fouten kan het maken?*
- *Zijn er in de nabije toekomst ontwikkelingen te verwachten, zoals een verder geperfectioneerd systeem?*

Economische aspekten
- *Is er sprake van verbetering van de kwaliteit van de produkten?*
- *Verloopt de produktie efficiënter dan vroeger, wordt er meer geproduceerd?*
- *Werkt het systeem kostenbesparend, meer winst of minder verlies?*
- *Wordt door het systeem iets nieuws gedaan, dat anders niet mogelijk was?*

Sociale aspekten
- *Worden door deze automatisering mensen overbodig?*
- *Zo ja, gaat het om moeilijk/makkelijk, schoon/smerig, veilig/onveilig, afwisselend/saai werk?*
- *Zijn er ontwikkelingen gaande, die een verdere bedreiging van de werkgelegenheid inhouden?*
- *Hoe (door wie) wordt over de invoering van automatisering beslist, en speelt de werkgelegenheid daarbij een belangrijke rol?*

c) Rapporteer je bevindingen aan de klas.