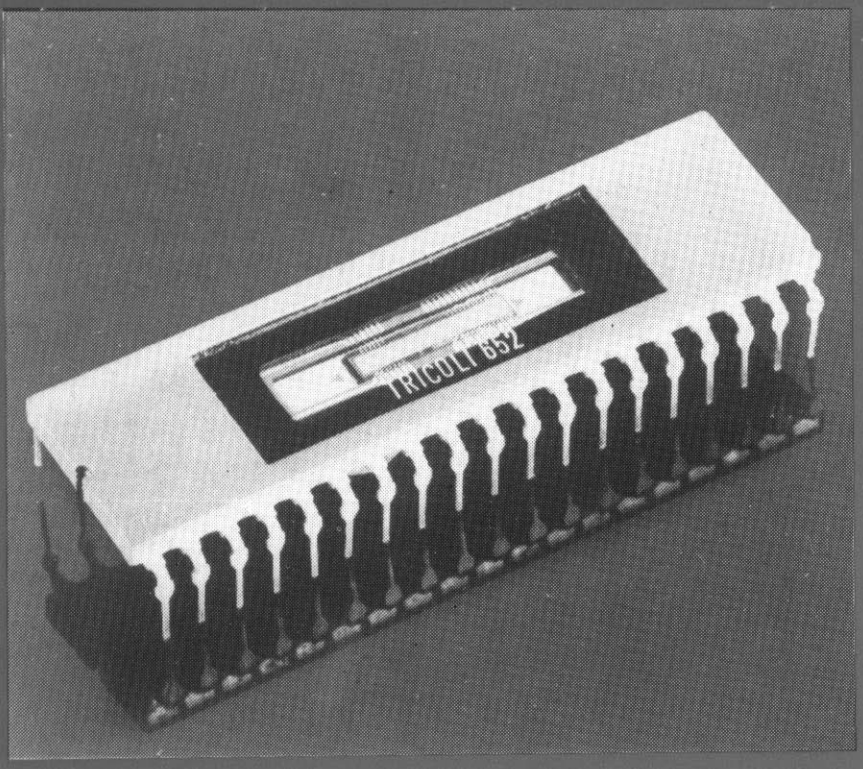
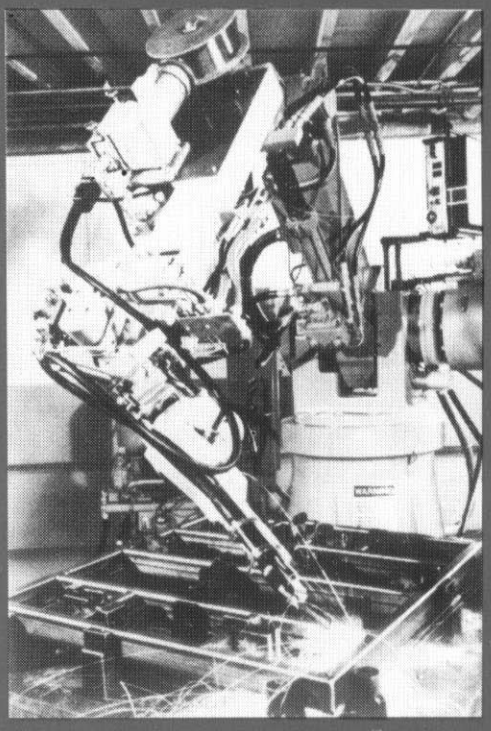
ELEKTRONICA





PLON
Vakgroep Natuurkunde-Didactiek
Rijksuniversiteit Utrecht

bovenbouw
HAVO

elektronica

Samengesteld door de projectgroep van het PLON in samenwerking met de Vakgroep Natuurkunde-Didactiek van de Rijksuniversiteit Utrecht

voor de 5e klas HAVO

Experimentele uitgave

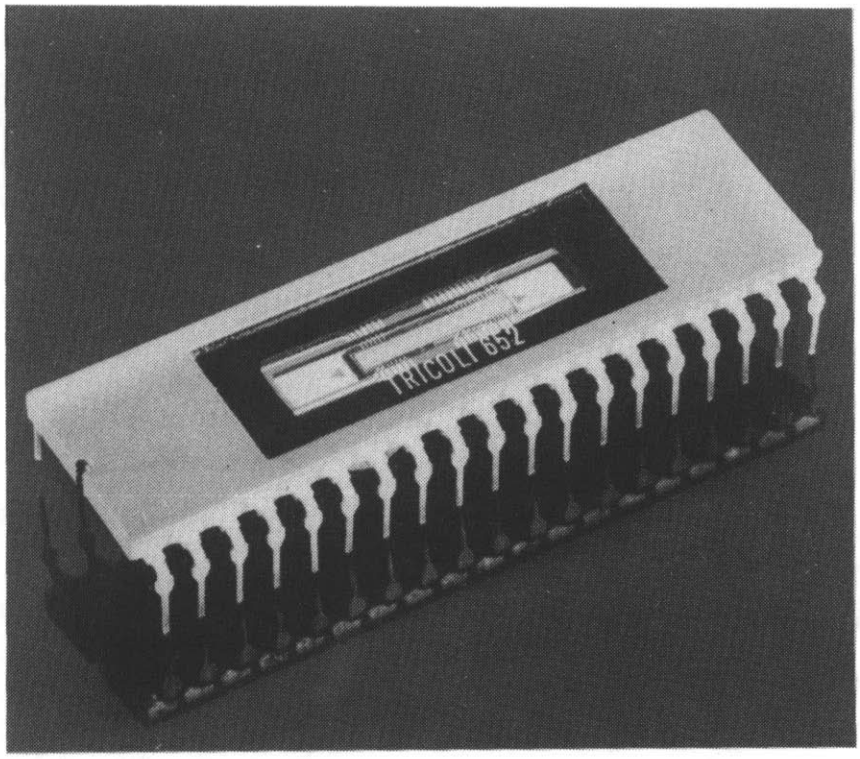
PLON

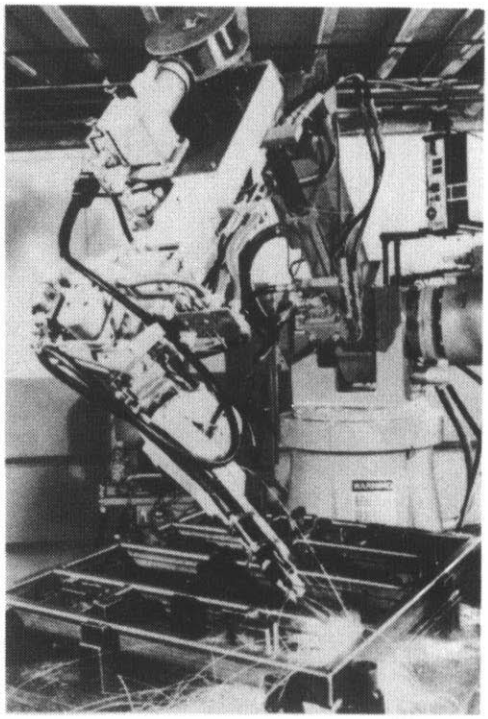
* Het Project Leerpakket Ontwikkeling Natuurkunde (PLON) is in 1972 begonnen onder auspiciën van de Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde (CMLN). De opdracht was: het ontwikkelen en door middel van onderzoek evalueren van leerpakketten voor natuurkundeonderwijs op mavo, havo en vwo, en het ontwerpen van een plan voor goede begeleide introductie daarvan in de scholen.
* Het PLON werkt onder toezicht van een stuurgroep waarin vertegenwoordigers uit het onderwijs, de vervolgopleiding, didactische instellingen, onderwijsondersteuningsinstituten, lerarenopleidingen en het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen vertegenwoordigd zijn.
* Het PLON is ondergebracht bij de Vakgroep Natuurkunde Didaktiek van de Rijksuniversiteit Utrecht. Deze vakgroep participeert tevens in de activiteiten ten behoeve van havo-bovenbouw. Ten behoeve van vwo-bovenbouw bestaat een samenwerkingsverband met de universiteiten van Amsterdam (GU) en Groningen, en groepen leraren die werken aan de ontwikkeling van lesmateriaal.
* Het adres van het PLON is:
  PLON, lab. Vaste Stof, Postbus 80.008, 3508 TA, de Uithof, Utrecht, Tel. 030-532717

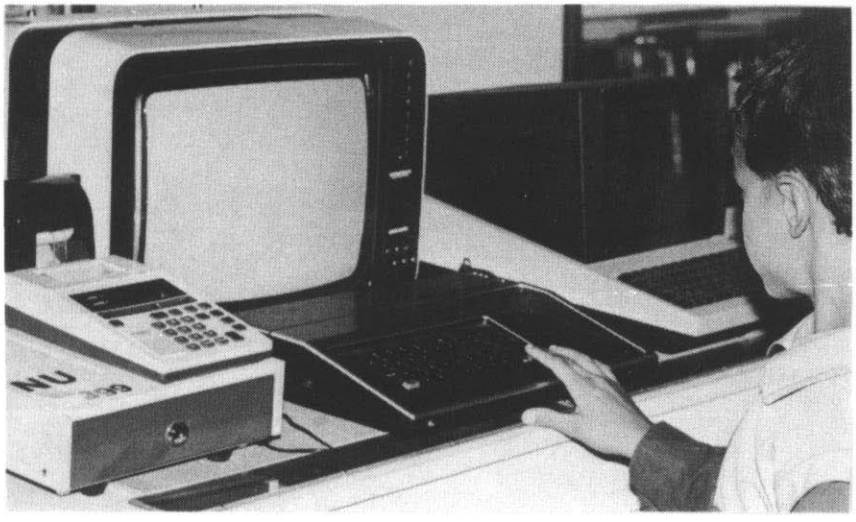
© 1984 Rijksuniversiteit Utrecht Project Leerpakket Ontwikkeling Natuurkunde

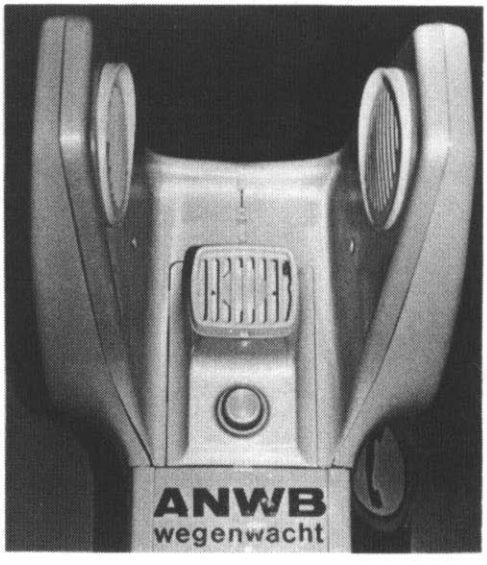
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotocopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.
No part of this book may be reproduced in any form by print, photoprint, microfilm or any other means without the prior permission of the publisher.

ELEKTRONICA









PLON
Vakgroep Natuurkunde-Didactiek
Rijksuniversiteit Utrecht

bovenbouw
HAVO

inhoud

		blz.
1	oriëntatie	5
2	de elektronica tot 1950	10
3	elektronische componenten	23
4	van transistor tot chip	44
5	de chip: opbouw en productie	57
6	elektronische systemen	66
7	de elektronische revolutie	79
bijlage		
	binair rekenen	85
index		88

hoofdstuk 1

ORIËNTATIE

inhoud blz.

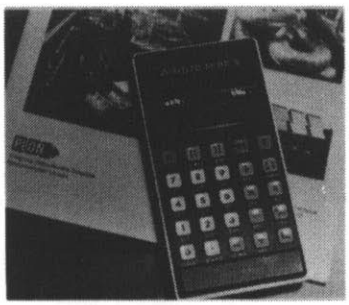
1.1 het gebruik van elektronica 5
1.2 het karakter van elektronica 6
1.3 de opzet van het thema 'Elektronica' 8

1.1 HET GEBRUIK VAN ELEKTRONICA

Een thuiscomputer.

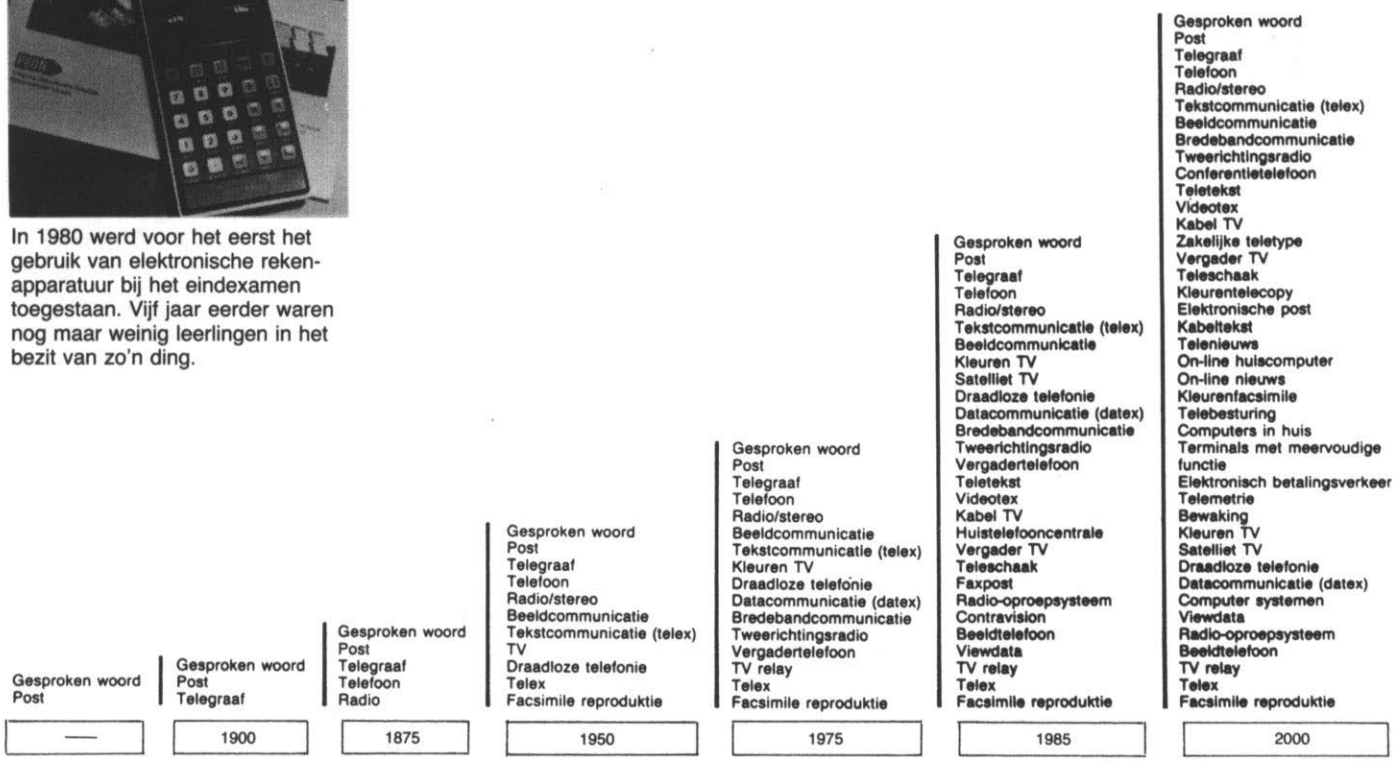
Elektronica is een snel groeiend toepassingsgebied van natuurkundige en technische kennis. Dat gebied omvat onder andere radio, televisie, computers en allerlei meet- en regelapparatuur.

Bij mensen in huis kom je steeds meer elektronica tegen: behalve radio en televisie ook allerlei geluids- en videoapparatuur, elektronische horloges, rekenmachientjes, elektronische spelletjes, hier en daar ook een thuiscomputer en misschien (om al dit bezit te beschermen) een elektronische beveiligingsinstallatie. In allerlei niet-elektronische apparaten worden steeds meer elektronische hulpmiddelen opgenomen. Voorbeelden daarvan zijn de elektronica in een boormachine voor regeling van het toerental, in een naaimachine voor het maken van bepaalde patronen, in een automotor voor het regelen van brandstoftoevoer en ontsteking, in een fototoestel voor het instellen van de beste belichtingstijd enz.



In 1980 werd voor het eerst het gebruik van elektronische rekenapparatuur bij het eindexamen toegestaan. Vijf jaar eerder waren nog maar weinig leerlingen in het bezit van zo'n ding.

Bedrijven, kantoren en laboratoria maken steeds meer gebruik van computers voor rekenwerk, voor administratie en voor het besturen van machines. Dat betekent voor

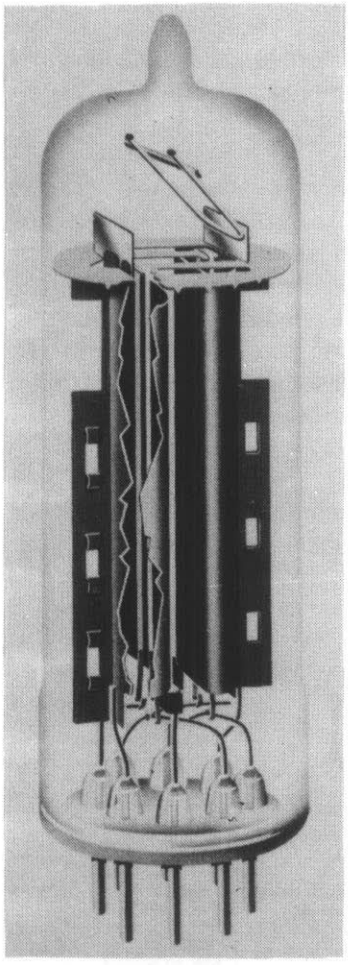


Overzicht van de ontwikkelingen op het gebied van informatie-overdracht, informatie-opslag en informatieverwerking.

veel mensen verlies van werk of omscholing voor ander werk. Aan de andere kant ontstaat ook nieuwe werkgelegenheid in bedrijven die elektronische apparatuur ontwerpen en fabriceren. Vooral na 1975 gaan de veranderingen zo snel, dat men wel spreekt van een *elektronische revolutie*.

Het woord 'elektronica' wordt vaak gekoppeld aan het woord *informatie*. Radio en televisie dienen voor het overbrengen van informatie, computers verwerken informatie en op banden en platen wordt informatie vastgelegd. De systemen worden steeds gevarieerder en ingewikkelder. Er is dan ook al een nieuw studievak ontstaan: *informatica*. Het schema op blz. 5 geeft een overzicht van wat op informatie-gebied ontwikkeld is en verder ontwikkeld wordt.

1.2 HET KARAKTER VAN ELEKTRONICA



Opengewerkte tekening van een elektronenbuis die onder andere werd toegepast in radio's.

Elektronica is een apart 'vak' geworden door de ontwikkeling van de radiotechniek. Die ontwikkeling begon kort na 1900 en werd gekenmerkt door het gebruik van schakelingen met vacuüm gepompte glazen buizen. In die buizen werd de elektrische stroom gevormd door de beweging van vrije elektronen. Verder werden in radiotoestellen ook allerlei weerstanden, spoelen en condensatoren gebruikt, maar het meest opvallend waren toch de elektronenbuizen.
Na 1950 zijn de elektronenbuizen in radio's en in de meeste andere toepassingen verdrongen door transistoren.

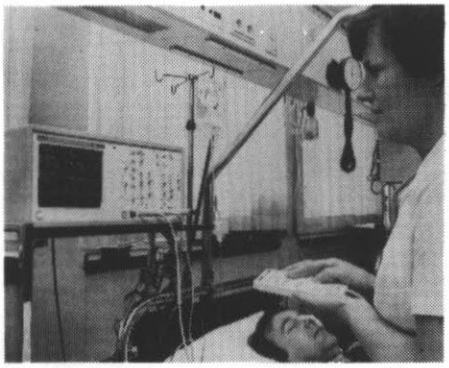
elektronica en elektrotechniek

Er is een verschil tussen *elektronica* en *elektrotechniek*, niet alleen vanwege verschil in hulpmiddelen, maar vooral vanwege verschil in doelen. In de *elektrotechniek* gaat het vooral om opwekking, transport en omzetting van elektrische *energie*. Elektrische apparaten als wasmachines, stofzuigers en lampen zijn ontworpen voor energieomzettingen: ze moeten warmte, arbeid en licht leveren. Ook elektronische apparaten hebben elektrische energie nodig om te functioneren. In de *elektronica* echter, wordt die energie gebruikt voor opwekking, transport en omzetting van elektrische *signalen voor het overdragen en verwerken van informatie.*

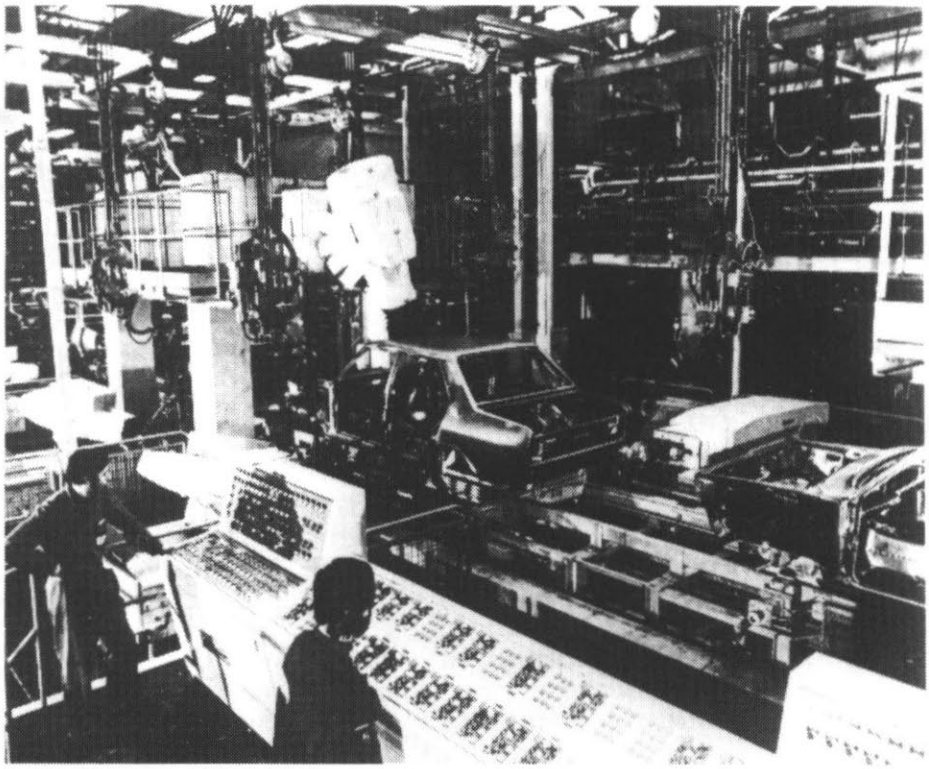
communicatie, informatieverwerking en automatisering

Het werkterrein van de elektronica is globaal in drie gebieden te verdelen: *telecommunicatie*, *informatieverwerking* en *automatisering*.
Telecommunicatie is het overbrengen van informatie over grote afstanden. Bij de telefoon bestaat de informatie uit gesproken woorden, bij de telex uit geschreven woorden, bij de radio uit gesproken woorden en muziek; bij de televisie komen daar nog beelden bij. In al die systemen wordt de informatie door een zender omgevormd tot elektrische signalen: variërende spanningen en stromen en daarmee variërende elektrische en magnetische velden. Uit die signalen moet de ontvanger zo goed mogelijk de oorspronkelijke informatie terugkrijgen.
Informatieverwerking kan bestaan uit het vastleggen van informatie (bijv. op een geluidsband), zodanig dat die informatie in dezelfde vorm gereproduceerd kan worden. Een veel ingewikkelder taak is het combineren van informatie volgens bepaalde regels, bijv. het optellen van twee gegeven getallen. Belangrijk is hierbij dat de getallen niet worden geschreven in het tientallige stelsel met de cijfers 0 t/m 9, maar tweetallig: met alleen de cijfers 0 en 1. Een reeks van nullen en enen wordt, in een elektrisch signaal omgezet, een afwisseling van een lagere en een hogere spanning.
Automatisering is het vervangen van menselijke handelingen door machinaal uitgevoerde handelingen. Een eenvoudig voorbeeld is het automatisch openen van een deur waar je naar toe loopt; het elektrische signaal kan daarbij opgewekt worden doordat je een lichtbundel onderbreekt. Een voorbeeld van een veel ingewikkelder systeem is de 'automatische piloot', die in staat is om de besturing van een vliegtuig grotendeels over te nemen.

Ook kranten proberen een aandeel te krijgen in de elektronische informatiemarkt.



Ernstig zieke patiënten kunnen door elektronische apparatuur worden bewaakt.



Veel werk in de auto-industrie is geautomatiseerd door middel van elektronisch bestuurde robots.

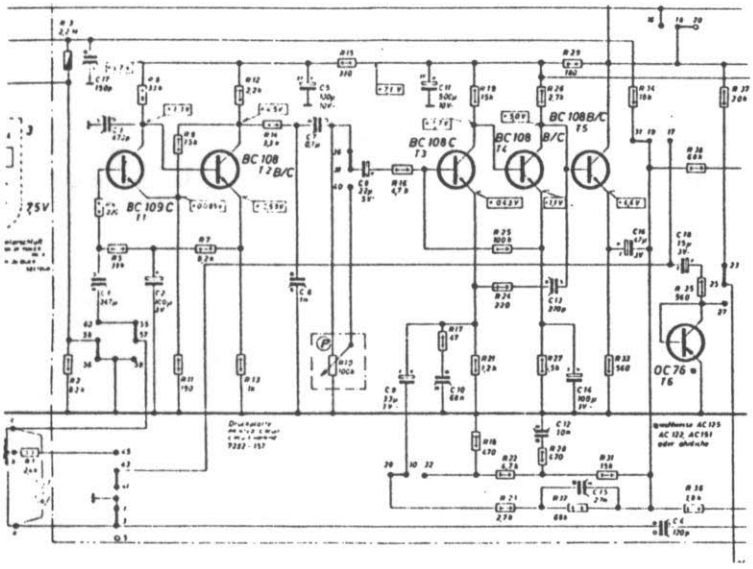
In een telefoonsysteem gaat telecommunicatie samen met automatisering en informatieverwerking.

De drie genoemde toepassingsgebieden staan niet los van elkaar; er zijn allerlei combinaties mogelijk. Een voorbeeld. Als je iemand opbelt, geef je met een kiesschijf of met druktoetsen elektrische signalen die schakelapparaten in werking stellen: automatisering. Dan voer je een gesprek: telecommunicatie. En ondertussen houdt een teller de stand bij, waaruit na verloop van tijd de kosten worden berekend: informatieverwerking.

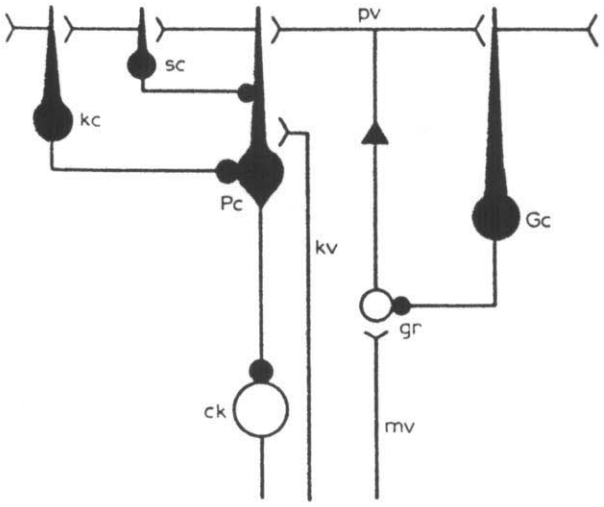
waarnemen, denken en handelen

In de elektronica gaat het om opwekking, transport en omzetting van elektrische *signalen* voor het overdragen en verwerken van informatie. Daarmee ligt de elektronica als het ware in het verlengde van het informatiesysteem dat we van nature hebben: zintuigen, zenuwen en hersenen. Ook dat systeem werkt met elektrische signalen (die hier gepaard gaan met chemische veranderingen). In leerboeken over het zenuwstelsel kun je schema's vinden die lijken op schakelschema's in elektronicaboeken.

De relatie tussen elektronica en zenuwstelsel is ook te zien in de soorten werk die door elektronische apparaten gedaan kunnen worden. De elektronica levert hulpmiddelen voor rekenen, sorteren, regelen, tekenen, schrijven enz.
We hebben hierboven drie toepassingsgebieden van de elektronica onderscheiden: communicatie, informatieverwerking en automatisering. Telecommunicatie is vooral een uitbreiding van het waarnemingsgebied van onze zintuigen. Informatieverwerking komt ons denkvermogen te hulp, bijv. bij ingewikkelde berekeningen. En automatisering neemt bepaalde handelingen van ons over, bijv. bij een wasmachine het in- en uitschakelen van watertoevoer, verwarming en waterafvoer. In dit laatste voorbeeld is de elektromotor te vergelijken met een spiersysteem, dat via het elektronische 'zenuwstelsel' aan het werk wordt gezet.



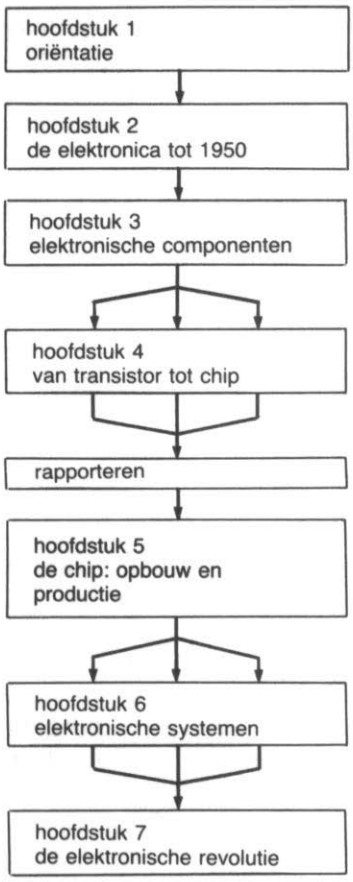
Schakeling van verschillende soorten componenten in een elektronisch apparaat.



Schakeling van verschillende soorten cellen en vezels in de menselijke hersenen.

1.3 DE OPZET VAN HET THEMA 'ELEKTRONICA'

De opzet van het thema 'Elektronica'.



Elektronische apparaten zitten meestal erg ingewikkeld in elkaar. Daardoor lijkt elektronica soms wel een soort toverkunst. Zou je een zakrekenmachine of een radio uit elkaar halen, dan zou je daar als niet-ingewijde weinig wijzer van worden. Om iets te begrijpen van wat in allerlei elektronische kastjes gebeurt, kun je beter beginnen met eenvoudiger systemen uit vroeger tijden.
We hebben daarom gekozen voor een opzet van het thema, die in grote lijnen de historische ontwikkeling van de elektronica volgt. Daardoor geeft het thema ook een beeld van de wisselwerking tussen ontwikkelingen in de natuurkunde, de techniek en de samenleving.

In het thema 'Elektronica' gaat het om de volgende vragen:
– hoe beinvloeden wetenschap, techniek en samenleving elkaar bij de ontwikkeling van de elektronica;
– welke effecten kan de ontwikkeling van de elektronica hebben op onze toekomstige samenleving;
– hoe worden een aantal functies gerealiseerd op het gebied van elektronische communicatie, informatieverwerking en automatisering?

In het schema hiernaast zie je de opbouw van het thema.
In hoofdstuk 2 bekijken we in vogelvlucht de ontwikkeling van de elektronica tot 1950. In het begin ging het daarbij vooral om communicatie-systemen, zoals radio. We zullen zien hoe deze ontwikkeling ook de basis legde voor elektronische informatieverwerking en voor de uitvinding van de transistor.
In hoofdstuk 3 werk je met elektronische schakelingen die een bepaalde functie hebben in de communicatietechniek en in geautomatiseerde systemen. Die schakelingen bestaan uit afzonderlijke componenten. Je maakt daarbij kennis met de eigenschappen van condensatoren, licht- en temperatuurgevoelige weerstanden, diodes en transistoren.
In hoofdstuk 4 ga je transistorschakelingen vergelijken met schakelingen waarin een deel van de componenten is geintegreerd tot een IC: een *integrated circuit* of *chip*.
De schakelingen vormen een onderdeel van systemen op het gebied van informatieverwerking en automatisering. Je onderzoekt één of enkele van deze schakelingen en rapporteert over de resultaten van je onderzoek.

In hoofdstuk 5 komt aan de orde wat een chip is, en hoe deze geproduceerd wordt. De eigenschappen en mogelijkheden van chips hebben tot spectaculaire prijsdalingen en een stijging van toepassingsmogelijkheden van elektronische systemen geleid.
In hoofdstuk 6 komen vijf systemen op het gebied van communicatie, informatieverwerking en automatisering aan de orde. Je onderzoekt naar keuze één van deze systemen.
In hoofdstuk 7 tenslotte, werpen we een blik in de toekomst: wat zou allemaal kunnen dankzij de elektronica, en willen we dat eigenlijk wel?

hoofdstuk 2

DE ELEKTRONICA TOT 1950

inhoud

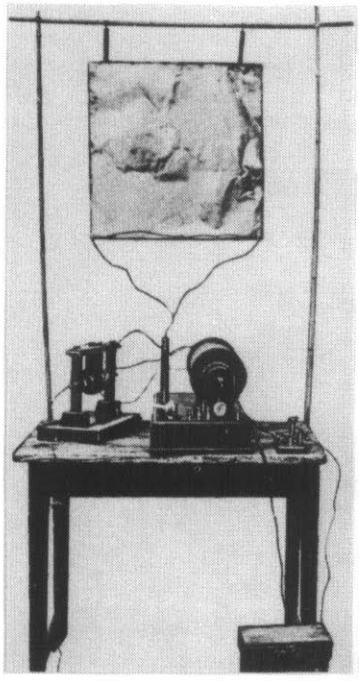
		blz.
2.1	signalen via draden	11
2.2	draadloze verbindingen	12
2.3	elektronenbuizen	14
2.4	informatie in code	16
2.5	rekenmachines	18
2.6	de opkomst van de transistor	20

de elektronica tot 1950

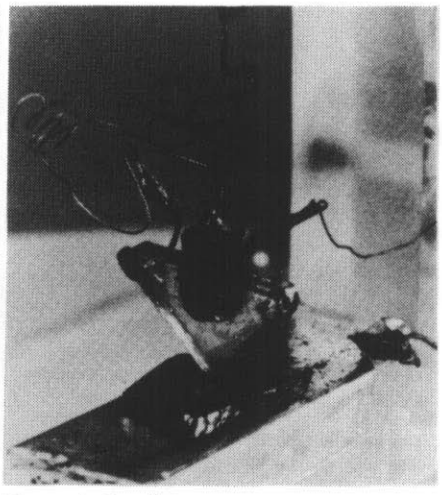
Belangrijk voor het ontstaan van de elektronica is geweest de ontwikkeling van de elektronenbuis (diode en triode) in het begin van deze eeuw. Door de historische ontwikkeling te volgen, krijg je een beeld van de *wisselwerking* tussen *natuurkunde, techniek en samenleving*.

De ontwikkeling van de elektronica tot 1950 heeft vooral te maken met *communicatiesystemen*: telegraaf, telefoon, radio en televisie. Daarover gaan de eerste drie paragrafen. Vervolgens gaan we na hoe de elektronica ook betrokken werd bij systemen voor *informatieverwerking*. Merkwaardig is dat elektronenbuizen, die ontwikkeld waren voor het versterken van zwakke signalen in de radiotechniek, later ook een functie kregen als schakelaars in rekenmachines.

Aan *automatisering* wordt in dit hoofdstuk niet veel aandacht besteed, omdat de elektronica pas op dit terrein doordrong na de komst van de transistor en de computer.



Een kopie van het radiozendapparaat dat Marconi in 1895 gebruikte bij zijn eerste proeven.



De eerste transistor.

Met de uitvinding van de transistor in 1947 begon een nieuw tijdperk in de elektronica. De transistor verving de elektronenbuizen, zowel voor gebruik als versterker als voor gebruik als schakelaar. De ontwikkelingen die na 1950 daaruit voortkwamen, bekijken we in latere hoofdstukken.

2.1 SIGNALEN VIA DRADEN

Frankrijk was in oorlog met Engeland en Nederland. De Franse regering had belang bij een snel communicatiemiddel. In 1794 werd via de seinpalen van Lille naar Parijs geseind dat de stad Le Quesnay heroverd was. Dankzij dit snelle bericht kreeg de oorlog een gunstige wending voor de Fransen

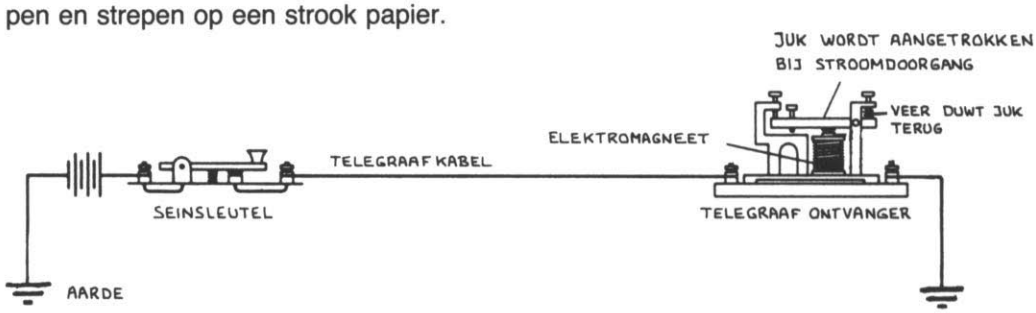
Communicatie over grote afstanden is vanouds een belangrijk probleem geweest voor regeringen, legerleiders, handelshuizen en krantenredacties. Tot 1800 was men aangewezen op postkoetsen en koeriers of op zichtbare signalen, bijv. met seinvlaggen.
In de tijd van Napoleon bestond in Frankrijk een systeem van op heuvels en torens opgestelde seinpalen met een constructie van beweegbare latten, waarmee boodschappen snel overgebracht konden worden. Dat werkte alleen overdag en bij goed zicht. Bovendien was per minuut maar een kleine hoeveelheid informatie over te brengen. Geen wonder dus dat ontdekkingen op het gebied van elektrische spanningsbronnen en de effecten van elektrische stroom (met name het elektromagnetisme) al gauw leidden tot ideeën voor elektrische overbrenging van berichten via een geleidende draad. Tussen 1800 en 1850 zijn daarvoor diverse systemen ontwikkeld, waarvan dat van Morse het meest praktisch bleek.

A	·–	J	·–––	S	···
B	–···	K	–·–	T	–
C	–·–·	L	·–··	U	··–
D	–··	M	––	V	···–
E	·	N	–·	W	·––
F	··–·	O	–––	X	–··–
G	––·	P	·––·	Y	–·––
H	····	Q	––·–	Z	––··
I	··	R	·–·		

Het alfabet in morsecode.

de telegraaf van Morse

Morse, een Amerikaanse kunstschilder, kwam in 1832 op het idee om elke letter van het alfabet voor te stellen door een bepaalde combinatie van stippen en strepen. Het met de *telegraaf* overseinen van een bericht was een kwestie van het opwekken van korte en wat langere stroomstootjes met behulp van een drukschakelaar. In het ontvangtoestel werden door middel van een elektromagneet de stroomstootjes omgezet in stippen en strepen op een strook papier.

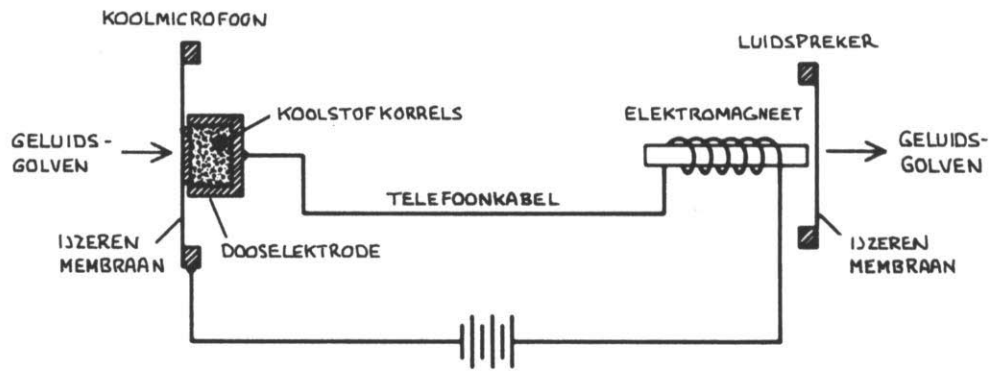


Schema van het telegraafsysteem van Morse.

Het systeem van Morse leidde tot een snelle ontwikkeling van telegraafnetten in tal van landen, met al spoedig ook internationale verbindingen. In 1853 bijv. werd Rotterdam met Brussel verbonden, Amsterdam via Utrecht en Arnhem met Duitsland en Den Haag via een onderzeese kabel met Engeland. In 1866 werd, na enkele mislukte pogingen, een duurzame verbinding gelegd tussen Engeland en Amerika. Vóór die tijd moesten alle berichten worden overgebracht per schip.

de telefoon

De telefoon werd ontwikkeld door de Amerikaan Bell, die als onderwijzer van slechthorende kinderen sterk geinteresseerd was in hulpmiddelen voor overdracht van geluid.



Schema van een telefoonverbinding. Voor de werking van de koolmicrofoon en de luidspreker: zie het thema 'Muziek'.

Telefonisten aan het werk in een telefooncentrale in New York in 1906.

Hefdraaischakelaar voor automatische telefoonverbindingen.

In 1874 kreeg hij het idee om geluidsgolven over te brengen door middel van elektriciteit, en in 1876 was hij ver genoeg om patent te nemen op zijn *telefoon*. Een belangrijk probleem was de zwakte van het signaal als gevolg van het geringe vermogen dat door geluidsgolven wordt overgedragen aan een microfoon. Een grote verbetering bracht Edison in 1886 door de ontwikkeling van de koolmicrofoon, waarmee het energiearme geluidsignaal niet alleen wordt omgezet in een elektrisch signaal, maar tevens versterkt wordt.

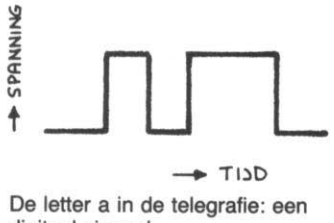
De telefoon vond snel ingang en daarmee ontstond een steeds uitgebreider en ingewikkelder net van telefoonverbindingen. Toch bleef het telefoonverkeer beperkt tot korte interlokale afstanden. Het elektrische signaal verzwakte te veel bij langere afstanden. Versterkers voor het elektrische signaal kwamen echter pas beschikbaar na de ontwikkeling van de triode-buis in 1906. Vanaf dat moment verspreidde de telefoon zich verder. In 1915 telefoneerde Bell vanuit New York naar San Francisco.

Aanvankelijk was voor ieder gesprek de bemiddeling nodig van een telefonist(e), die de lijnen van oproeper en opgeroepene verbond door een snoer met stekers. Automatisering werd daarom al vroeg nagestreefd, maar was verre van eenvoudig. Het probleem was een 'machine' te bedenken, die vanuit honderdduizenden huizen en kantoren in werking is te stellen en die in enkele seconden een verbinding tot stand kan brengen tussen twee willekeurige bezitters van een telefoontoestel.

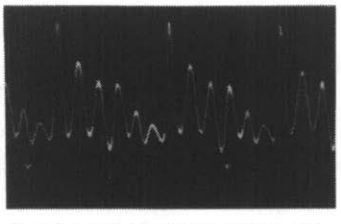
Uit de figuur hiernaast krijg je een idee van de manier waarop de automatisering van het telefoonverkeer werd bereikt. De schakelaar wordt in werking gesteld door series stroomstootjes die de oproeper door middel van een kiesschijf opwekt. De eerste serie stroomstootjes activeert de hefmagneet, waardoor de contactarm een bepaald aantal stappen omhoog wordt gezet. Bij de tweede serie stroomstootjes veroorzaakt de draaimagneet een horizontale beweging van de contactarm. Op deze manier kan elk van de honderd contacten op de contactenbank bereikt worden.

ELEKTRISCHE SIGNALEN: DIGITAAL EN ANALOOG

Telegraaf en telefoon werken natuurkundig bekeken op dezelfde manier. In beide gevallen worden signalen, bestaande uit variaties in stroomsterkte en spanning, met grote snelheid (zo'n 200000 km/s) via metalen draden doorgegeven.



De letter a in de telegrafie: een digitaal signaal.



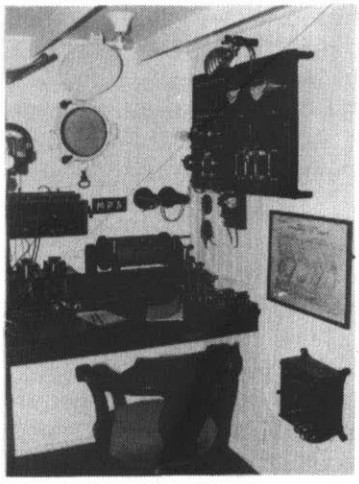
De klinker 'a' in de telefonie: een analoog signaal.

Wél is er een opvallend verschil in de *vorm* van de signalen. Het telegraafsignaal is een voorbeeld van wat in de informatietheorie een *digitaal* signaal wordt genoemd: spanning en stroom veranderen stapsgewijs. Het telefoonsignaal is een voorbeeld van een *analoog* signaal: de spanning en de stroomsterkte verlopen vloeiend in de tijd.

2.2 DRAADLOZE VERBINDINGEN

radiotelegrafie

In 1894 begon de Italiaan Marconi met de ontwikkeling van draadloze telegrafie. In de daaropvolgende jaren wist hij steeds grotere afstanden te overbruggen, en in 1901 zond hij signalen van Engeland naar Amerika. Omdat er voor de communicatie te land al een uitgebreid telegraafnet bestond, waren vooral marine en koopvaardij in de nieuwe vin-



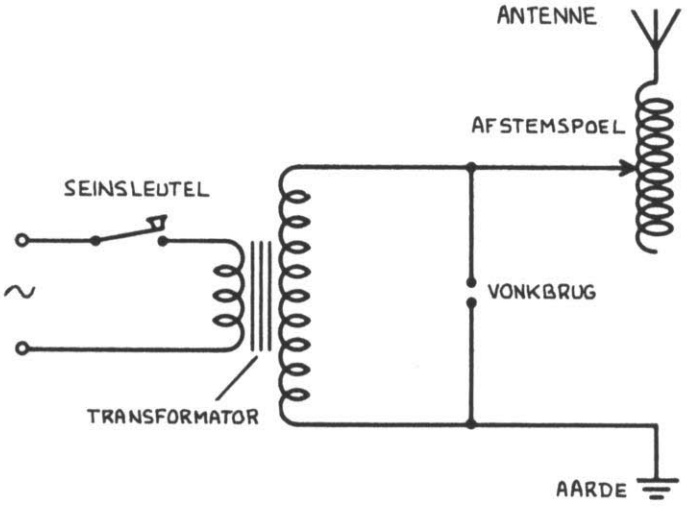
Marconistenhut aan boord van een schip.

ding geinteresseerd. De verdere ontwikkeling werd sterk gestimuleerd door militaire interessen. Al in 1904 beschikte de Nederlandse marine over draadloze telegrafen. Al snel werden steeds meer schepen voorzien van Marconi's apparatuur.
Beroemd werd de 'marconist' die in het zinkende superpassagiersschip Titanic tot het einde doorging met het zenden van het noodsignaal ··· --- ···

De basis voor het werk van Marconi was in 1888 gelegd door experimenten van de Duitse natuurkundige Hertz. Hij gebruikte als 'zender' een eenvoudige combinatie van metalen platen en draden, waartussen hij vonken liet overspringen met behulp van een hoogspanningsbron. De 'ontvanger' was een ring van metaaldraad met een kleine onderbreking. En in deze onderbreking sprongen vonken over wanneer de zender werkte.

Proefopstelling van Hertz.

De werking van zo'n zender komt neer op het heel snel laten trillen van elektrische lading. De proeven van Hertz bevestigden wat de Schotse natuurkundige Maxwell al in 1865 had afgeleid uit zijn theorie voor elektrische en magnetische velden. Een trillende lading in een geleider kan een trilling veroorzaken van de lading in een andere geleider. De overdracht gebeurt door variërende elektrische en magnetische velden, die zich als een soort golven (elektromagnetische golven) met de lichtsnelheid door de ruimte voortplanten.
De figuur hieronder geeft schematisch de bouw van een zender voor *radiotelegrafie* uit de periode 1900-1920.

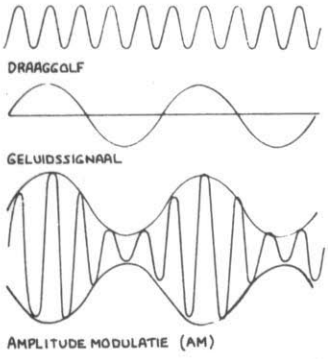


Schema van een radiotelegrafie-zender van Marconi.

De zender wordt bediend met een seinsleutel, net als bij de telegraaf van Morse. Tijdens het contact levert de transformator een hoge spanning, zodat er een gasontlading optreedt in de vonkbrug. In de combinatie antenne-spoel-vonkbrug-aardleiding beweegt elektrische lading snel heen en weer. De frekwentie van deze elektrische trilling is te regelen door een groter of kleiner deel van de spoel in te schakelen. En zolang deze

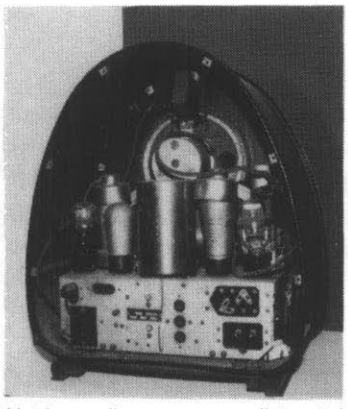
trilling duurt, zendt de antenne elektromagnetische golven uit. De stippen en strepen van de morsecode worden hier dus kortere en langere 'stootjes' radiogolven.

De uitgezonden golven planten zich voort in alle richtingen. De golven van verschillende zenders lopen door elkaar heen. Het is dus belangrijk dat ze verschillende frekwenties hebben, en dat de ontvanger de mogelijkheid heeft op een bepaalde zender 'af te stemmen'.



radiotelefonie

Draadloos overbrengen van de menselijke stem was heel wat moeilijker dan draadloze telegrafie. Geluid laat zich gemakkelijk genoeg omzetten in elektrische trillingen, maar de frekwenties van deze elektrische trillingen – tussen 20 en 20000 Hz – zijn te laag voor een behoorlijke uitstraling van elektromagnetische golven. Bovendien zouden de signalen van verschillende zenders niet afzonderlijk te ontvangen zijn.
Een eerste vereiste was dat elke zender continu golven moet uitzenden met een eigen frekwentie. De geschikte frekwenties liggen in de grootteorde van enkele honderden kilohertz tot enkele tientallen megahertz. De bijbehorende golflengten liggen in de grootteorde van 1000 tot 10 m ($\lambda = c/f$).
Deze relatief hoogfrekwente golven moeten nu dienen als *'draaggolven'* voor de relatief laagfrekwente geluidsignalen. Dat gebeurt door *modulatie*: met het in een elektrisch signaal omgezette geluid veroorzaakt men een vervorming van de draaggolf. De vervorming kan aangebracht worden in de amplitude of in de frekwentie van de draaggolf. In het eerste geval spreken we van *amplitudemodulatie*, in het tweede van *frekwentiemodulatie*.
Het ontvangtoestel moet kunnen afstemmen op een bepaalde zenderfrekwentie (de frekwentie van de draaggolf), vervolgens het geluidsignaal scheiden van de draaggolf (*demodulatie*) en tenslotte dit geluidsignaal zodanig versterken dat het via een luidspreker hoorbaar geluid oplevert.
Dat dit alles mogelijk werd, is vooral te danken aan de ontwikkeling van elektronenbuizen vanaf 1906. De ontwikkeling en toepassing van elektronenbuizen in versterkers werd sterk gestimuleerd door de eerste wereldoorlog (1914-18). In die periode werden in Duitsland veldtelefoonversterkers ontwikkeld en in gebruik genomen.
Rond 1920 was de techniek zo ver gevorderd, dat de verbreiding van de radio als massamedium kon beginnen.



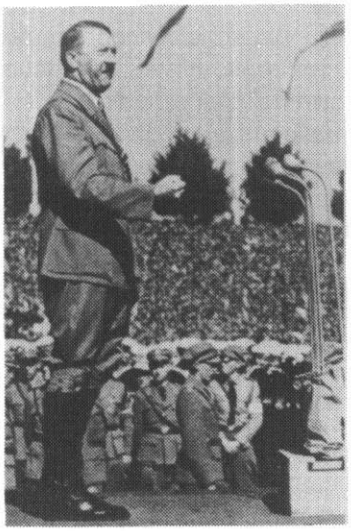
Het inwendige van een radiotoestel uit de beginperiode.

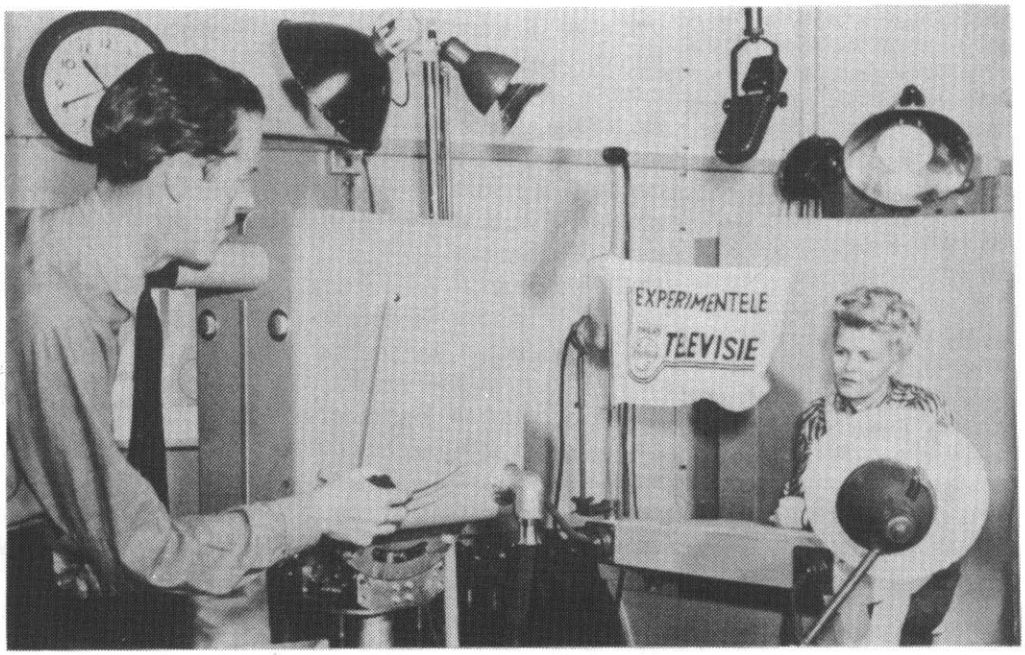
2.3 ELEKTRONENBUIZEN

De buis waarmee Thomson aantoonde dat kathodestralen bestaan uit negatief geladen deeltjes, waarvan de baan door elektrische en magnetische velden wordt beïnvloed.

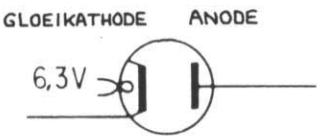
In de periode 1900-1960 was de ontwikkeling van de elektronica nauw verweven met de ontwikkeling van *elektronenbuizen*. Die buizen zijn voortgekomen uit een 'kruising' van Edisons gloeilamp en de buis die Thomson gebruikte bij het onderzoek van kathodestralen. Dit onderzoek leidde in 1897 tot de ontdekking van het elektron. Daarmee kon een merkwaardig verschijnsel verklaard worden, dat Edison in 1883 ontdekt had: tussen metalen draden in vacuüm treedt geleiding op wanneer één van de draden gloeiend heet is. De verklaring is dat de gloeiende draad elektronen uitzendt. Dit verschijnsel kreeg de naam *thermische emissie*.
Van praktisch belang was, dat fabrieken van gloeilampen de technieken voor massafabricage van elektronenbuizen in huis hadden. Omgekeerd leidde de toepassing van elektronenbuizen tot ontwikkelingen in de vacuümtechniek, omdat aan het vacuüm in elektronenbuizen hogere eisen gesteld werden dan bij gloeilampen.
De radiotechniek zorgde voor een grote markt, en na het succes van de radio vormde 'beeldradio' een nieuwe uitdaging voor uitvinders en industrie. In Engeland begon de BBC in 1936 al met televisieuitzendingen, maar de tweede wereldoorlog vertraagde de ontwikkeling. In Nederland kwam de omroeptelevisie in 1951, tot 1967 in zwart-wit en daarna steeds meer in kleur.

De radio bracht informatie over wat elders in de wereld gebeurde sneller in huis, maar opende ook mogelijkheden op het gebied van meningsvorming en recreatie. Zo werd op 11 maart 1928 voor het eerst een radioverslag van een voetbalwedstrijd Holland – België uitgezonden.
Maar ook was het effect van politieke propaganda angstwekkend te versterken ....

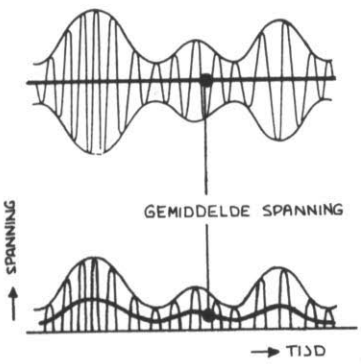




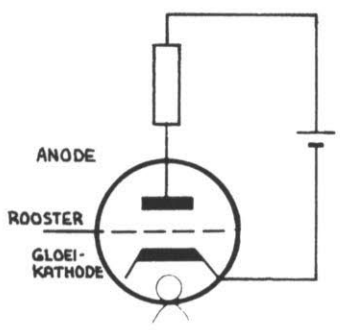
Opname van een van de eerste experimentele Nederlandse televisie-uitzendingen in 1948.



Schema van een vacuümdiode.



Demodulatie van radiogolven.



Schema van een triode.

de diode

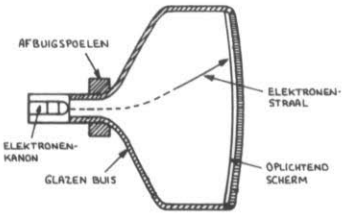
Het eenvoudigste type elektronenbuis is de *diode*. Deze buis heeft twee elektroden: de *kathode* die met een gloeidraad verhit wordt, en de *anode*. Sluit je de anode aan op de positieve pool van een batterij en de kathode op de negatieve pool, dan loopt er een stroom door de buis. De elektronen die door thermische emissie uit de kathode komen, worden naar de anode getrokken. Bij omkering van de spanning echter worden de elektronen afgestoten door de anode, zodat er geen stroom loopt. Sluit je de diode aan op een wisselspanning, dan loopt er afwisselend wel en geen stroom. Voorzover er stroom loopt, heeft die steeds dezelfde richting: de diode werkt als *gelijkrichter*. Gelijkrichting is onder andere belangrijk voor het demoduleren van radiogolven. Zou je de gemoduleerde radiogolf omzetten in een elektrisch signaal en toevoeren aan een luidspreker, dan zou je niets horen. De luidspreker kan de hoogfrekwente trillingen niet volgen. Dat blijft zo wanneer je gelijkrichting toepast, maar nu kan de luidspreker de variaties in de gemiddelde stroomsterkte volgen. En die variaties komen overeen met het geluidsignaal.

de triode

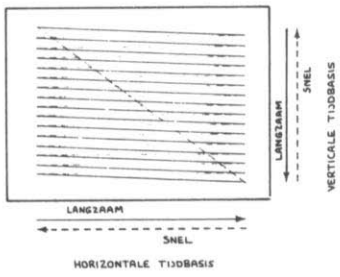
De radiotechniek kwam tot bloei dankzij de *triode*. Deze elektronenbuis was jarenlang het aangewezen hulpmiddel om zwakke signalen te *versterken*.
Een triode heeft tussen kathode en anode nog een derde elektrode. Deze elektrode is voorzien van openingen en wordt *rooster* genoemd. De kathode wordt op de negatieve pool van een spanningsbron aangesloten en de anode, via een weerstand, op de positieve pool.
Zonder rooster zou er een constante stroom lopen. De truc is nu, dat de elektronen die uit de hete kathode vrijkomen in sterke mate 'gehinderd' kunnen worden door een betrekkelijk kleine negatieve spanning op het rooster. Daardoor kan een zwak signaal, aangesloten op het rooster, de stroomsterkte door de buis sterk laten variëren. Over de weerstand ontstaan zo grote spanningsvariaties: het signaal is versterkt.

de beeldbuis

In een *beeldbuis* wordt met een smalle elektronenbundel een beeld getekend op een fluorescerend scherm. De elektronenbundel wordt gemaakt door een *elektronenkanon*. Zo'n elektronenkanon heeft (net als een triode) een verhitte kathode, een rooster en een anode. De anode heeft in dit geval een opening om elektronen door te laten. De bewegingen van de elektronenbundel worden bestuurd door de magnetische velden



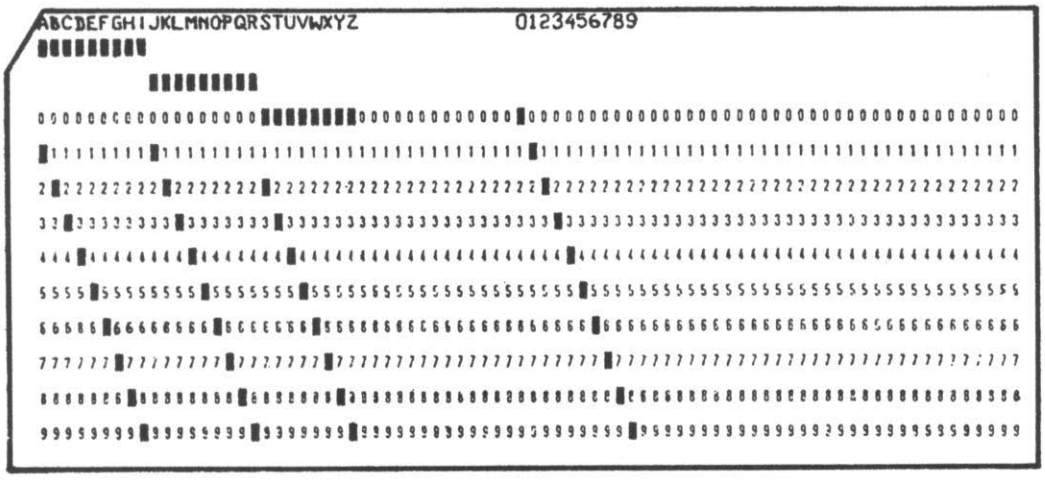
Doorsnede van een televisiebeeldbuis.



van twee paar spoelen. De stroom in de spoelen boven en onder de buis veroorzaakt een vertikaal magnetisch veld, en daardoor een horizontale afbuiging van de elektronenbundel.
De stroomsterkte wordt zó geregeld, dat de bundel eenparig beweegt van links naar rechts en dan zeer snel terugspringt. De tijdsduur van deze zwaai (de tijdbasis) is constant. Op dezelfde manier wordt door de spoelen aan weerskanten van de buis een eenparige vertikale beweging veroorzaakt. De vertikale beweging heeft een veel langzamer verloop dan de horizontale.
Het effect daarvan is dat de bundel als het ware regel voor regel het scherm volschrijft, en dan ineens terugspringt van rechtsonder naar linksboven.
Om een beeld te vormen moet de beweging van de elektronenbundel gepaard gaan met variaties in de intensiteit. Die variaties worden verkregen doordat het inkomende beeldsignaal spanningsvariaties veroorzaakt op het rooster in het elektronenkanon.
De beeldbuis wordt steeds meer toegepast bij allerlei informatieverwerkende systemen, maar de ontwikkeling was in eerste instantie gericht op televisie. Voor de televisie in Nederland en de meeste andere West-Europese landen is een systeem gekozen dat werkt met 25 beelden per seconde, elk beeld opgebouwd uit 625 lijnen.

2.4 INFORMATIE IN CODE

Veel minder spectaculair dan de uitvindingen van Morse, Bell en Edison, maar ook zeer belangrijk voor de latere ontwikkeling van de elektronica was een uitvinding van een andere Amerikaan: Hollerith. Deze was als direkteur van het American Bureau of Census belast met de uitwerking van de gegevens van de volkstelling van 1880: gegevens over leeftijd, geslacht, beroep enz. van miljoenen mensen. Hollerith kwam op het idee om de gegevens volgens een bepaalde code vast te leggen op *ponskaarten*, die konden worden verwerkt door een telmachine.
De machine van Hollerith tast de kaarten af met verende stalen pennen of (in een latere uitvoering) met metalen borsteltjes. Elke keer als zo'n borsteltje op een bepaalde plaats in een ponskaart een gat tegenkomt, maakt het contact met een metalen plaat achter de kaart. Borsteltje en plaat zijn aangesloten op een spanningsbron, zodat elk contact een stroomstootje veroorzaakt. Deze stroomstootjes activeren door middel van een elektromagneet een telwerk.

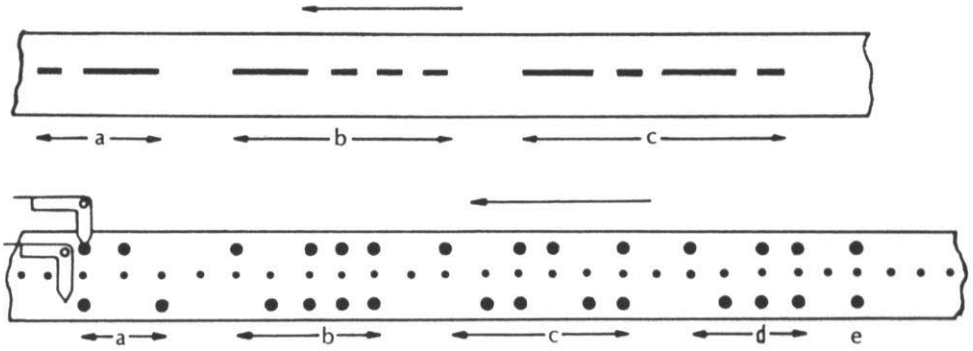


Ponskaart met de code voor letters en cijfers.

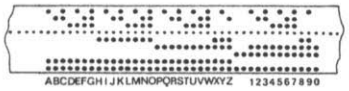
binaire codering

Informatieverwerking met ponskaarten gaat uit van een uiterst eenvoudig principe: er is wel of niet een gat, er wordt dus wel of niet contact gemaakt, er is dus wel of niet een stroomstootje. De twee toestanden kunnen aangeduid worden met een *binaire code*. Dat is een code met *twee* symbolen: 1 en 0. De letter 'A' bijv. wordt op de ponskaart hierboven gegeven door de volgende combinatie van nullen en enen: 100100000000. Elke gebruikte 0 of 1 noem je een *bit*; de letter 'A' bestaat dus uit 12 bits.

De binaire code vond ook ingang in de telecommunicatie. De figuur hieronder geeft aan hoe de morsecode kan worden vertaald in een gaatjescode op een *ponsband*, die door contactpennen wordt afgetast.



Morsecode in stippen en strepen op een papierstrook (boven) en op een ponsband (onder).



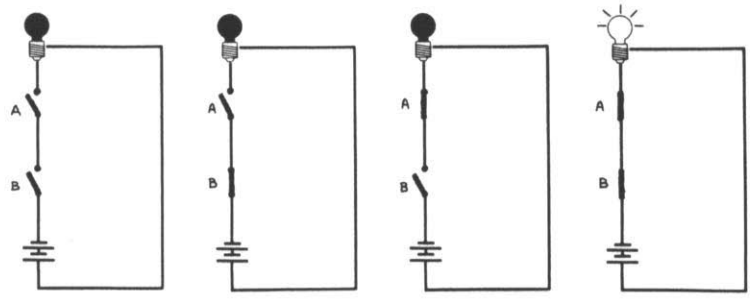
Ponsband met code voor letters en cijfers.

Een latere ontwikkeling is de ponsband waarop voor iedere letter één kolom met gaten wordt gebruikt.
Het lezen kan elektrisch gebeuren, maar ook optisch: door middel van licht dat door de gaatjes heen op lichtgevoelige cellen valt.

logische schakelingen

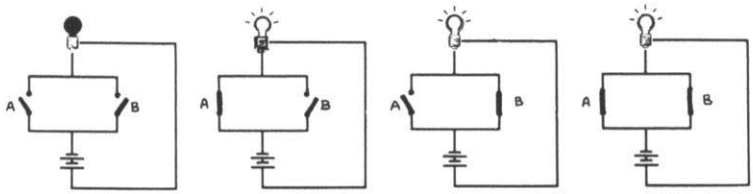
Uit het voorbeeld van de ponsband is duidelijk dat een informatieverwerkend apparaat meer moet kunnen dan gaatjes tellen: het moet ook verschillende *combinaties onderscheiden*. Iets dergelijks is ook van belang bij het lezen van ponskaarten. Stel bijv. dat je als volksteller wilt weten hoeveel mensen in 1932 geboren zijn. De machine moet dan alléén reageren als én het laatste cijfer van het geboortejaar een 2 is én het voorlaatste een 3. Dit combinatievermogen is in een apparaat in te bouwen door middel van *logische schakelingen*.

Het eenvoudigste voorbeeld van een logische schakeling is de *EN-schakeling*: je zet in een stroomkring twee schakelaars A en B in serie, zodat er alleen stroom loopt als én A én B gesloten zijn. Schakel je A en B parallel, dan loopt er stroom als òf A òf B òf beide gesloten zijn; dit heet een *OF-schakeling*. Gebruiken we het symbool 0 voor open en 1 voor gesloten, dan kunnen we alle combinaties overzichtelijk samenvatten in een *waarheidstabel*.



Logische EN-schakeling

	Input		Output
ingang:	A	B	
	0	0	0
	0	1	0
	1	0	0
	1	1	1



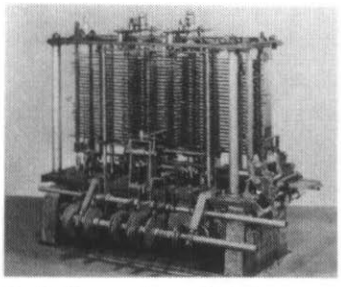
Logische OF-schakeling

	Input		Output
ingang:	A	B	
	0	0	0
	1	0	1
	0	1	1
	1	1	1

Logische schakelingen werden aanvankelijk uitgevoerd met elektromagnetische schakelaars (relais), later met elektronenbuizen en tegenwoordig met transistoren en IC's.

2.5 REKENMACHINES

Een vroeg voorbeeld van een *rekenmachine* is het apparaat dat de Franse wis- en natuurkundige Pascal in 1642 ontwierp om zijn vader in zijn werk als belastingambtenaar te helpen. Het apparaat kon optellen en aftrekken door middel van een mechanisme met tandwielen, voorzien van cijfers. Een probleem vormde voor Pascal en voor vele latere ontwerpers de vereiste nauwkeurigheid van de onderdelen. Pas omstreeks 1890 werden mechanische rekenapparaten een gangbaar handelsproduct.



Gedeelte van de analytische machine van Babbage, een mechanische computer.

Rekenmachines waren niet alleen van belang voor belastingambtenaren en boekhouders. Ook sterrekundigen, landmeters en makers van tabellen voor de zeevaart hadden veel rekenwerk te doen. Dit rekenwerk ging ver uit boven optellen, aftrekken, vermenigvuldigen en delen. Vaak ging het om het berekenen van de waarden van een functie $x \rightarrow f(x)$ voor een hele reeks waarden van x. Voor dit doel ontwierp de Engelse wiskundige Babbage omstreeks 1840 een 'analytical engine': een apparaat dat automatisch een serie berekeningen volgens een gegeven *programma* kon uitvoeren. Het programma en de gegevens werden in de machine ingevoerd met ponskaarten; de resultaten konden automatisch worden afgedrukt en in kaarten geponst. Het ontwerp was helaas te ingewikkeld voor de techniek van die tijd en de machine werd nooit voltooid, maar de ideeën van Babbage zijn terug te vinden in moderne computers.

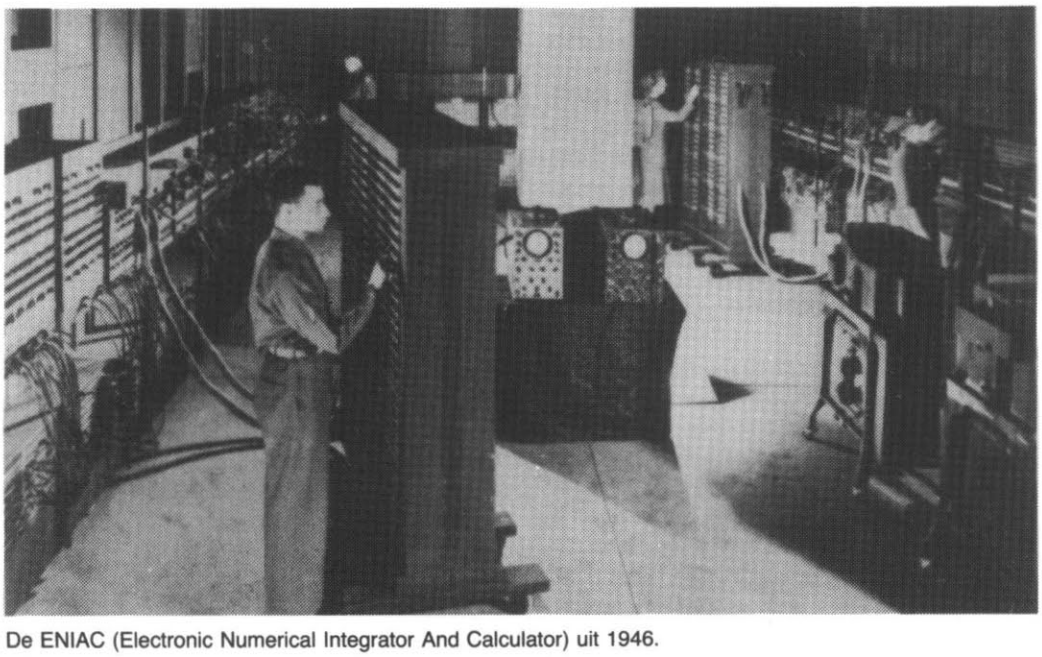
elektronische rekenmachines

De sleutel tot elektronisch rekenen ligt in het gebruik van logische schakelingen. De waarheidstabel van de EN-schakeling kun je lezen als een complete tabel voor de vermenigvuldiging van twee cijfers in het binaire stelsel: $0 \times 0 = 0$, $0 \times 1 = 0$, $1 \times 0 = 0$ en $1 \times 1 = 1$. Een schakeling voor optellen is echter al minder eenvoudig, en voor bewerkingen met getallen van meer cijfers heb je al gauw tamelijk ingewikkelde schakelingen nodig. Bovendien moeten dan diverse schakelaars na elkaar gesloten en geopend worden, en dat kost meer tijd naarmate er meer stappen nodig zijn in een berekening.

Bij telefoonmaatschappijen had men ervaring met schakelsystemen op basis van relais, maar voor grootscheeps rekenwerk zijn relais te traag: de schakeltijd is ongeveer 1 ms.

Er bestond echter een veel snellere 'schakelaar' met een schakeltijd van ongeveer 1 μs: *de triode*.

In een triode hebben spanningsveranderingen op het rooster 'onmiddellijk' effect op de stroom tussen anode en kathode. En door een flinke sprongsgewijze verandering van de roosterspanning kan die stroom 'ineens' in- of uitgeschakeld worden.



De ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator) uit 1946.

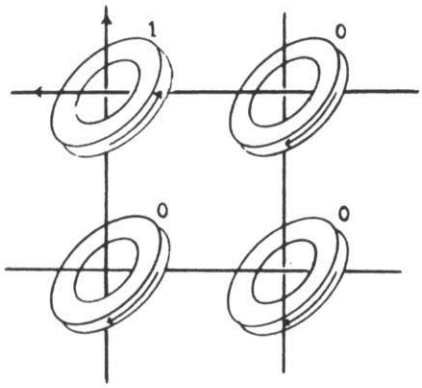
Veel werk op het gebied van elektronische (digitale) rekentechniek werd in Nederland gedaan door de Rijksverdedigingsorganisatie van het TNO (opgericht in 1927). Er werd gewerkt aan toepassingen op het gebied van snelheidsmeting van projectielen, vuurgeleiding, radar en sonar

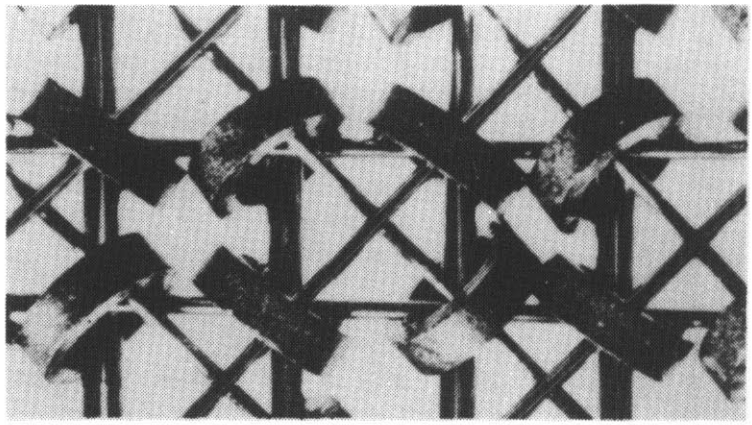
In een elektronenbuis wordt de kathode verhit door een gloeidraad. De temperatuur daarvan is minder hoog dan die van een gloeidraad in een lamp, maar hoog genoeg om verdamping van materiaal te veroorzaken. Op den duur gaat elke buis daaraan kapot

De eerste elektronische rekenmachine (*computer*) was de ENIAC, ontwikkeld in de jaren 1943-'46 aan de Universiteit van Pennsylvania. Militaire belangen waren er niet vreemd aan: er was behoefte aan nauwkeurige berekeningen van de banen van artilleriegranaten onder verschillende weersomstandigheden. De ENIAC leverde verbijsterende prestaties: in twee uur ongestoord werken een hoeveelheid rekenwerk die 100 mensjaren zou kosten.
De machine had echter zijn beperkingen. Voor elk nieuw rekenprogramma moesten allerlei veranderingen in de verbindingen tussen de delen van het systeem aangebracht worden. Daarnaast werkte de ENIAC met 18000 elektronenbuizen, waarvan er twee à drie keer per week een uitviel. De behoefte aan betrouwbaarder en kleinere onderdelen groeide. Het wachten was op de transistor.

GEHEUGENS

Voor het volledig benutten van de mogelijkheden van de elektronische computer, moest het apparaat voorzien worden van een *geheugen* voor het opslaan van gegevens en programma's. De informatie in het geheugen moet uiterst snel beschikbaar zijn en het geheugen moet duizenden bits omvatten. Dat vereist een soort elektronische 'ponskaart' met duizenden 'vakjes' die elk afzonderlijk en uiterst snel van 0 op 1 en van 1 op 0 geschakeld kunnen worden.
Eén mogelijkheid was de *flip-flop*, een elektronische schakeling die we in moderne vorm in hoofdstuk 4 zullen bekijken. In de oorspronkelijke uitvoering vereiste elke bit een schakeleenheid met twee elektronenbuizen.
Een andere mogelijkheid voor gegevensopslag was de *magnetische trommel*, te vergelijken met een bandrecorder. Ook magnetisch, maar veel sneller in en uit te lezen, was het *ringkerngeheugen*. Zo'n geheugen bestaat uit matjes van koperdraad



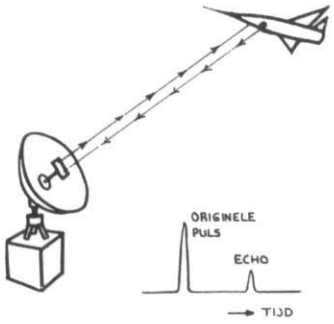


Magnetisch ringkerngeheugen.

met op de kruispunten ringetjes van ferriet. Deze ringetjes kunnen door middel van stromen door de koperdraden in twee richtingen gemagnetiseerd worden, afhankelijk van de stroomrichting. Tot omstreeks 1970 werden ringkerngeheugens veel toegepast in computers; daarna werden ze verdrongen door *geheugenchips*.

2.6 DE OPKOMST VAN DE TRANSISTOR

De uitvinding van de *transistor* is voortgekomen uit de bestudering van een merkwaardige categorie van materialen: de *halfgeleiders*. Dit zijn materialen die niet goed geleiden en ook niet goed isoleren, en die daarom voor de elektrotechniek niet interessant waren.
In 1833 ontdekte Faraday dat de elektrische weerstand van zilversulfide afneemt bij stijgende temperatuur, terwijl bij normale geleiders de weerstand dan juist toeneemt. Er bleken meer van die stoffen te zijn en van tijd tot tijd werd er door natuurkundigen verder mee geëxperimenteerd. In 1873 ontdekte Smith dat de weerstand van selenium afneemt bij belichting.

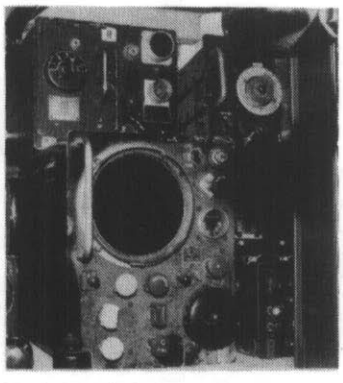


Principe van radar. Elektromagnetische golven worden in korte pulsen uitgezonden en door het vliegtuig gereflecteerd. De afstand van het vliegtuig tot de antenne volgt uit de tijd die verloopt tussen het uitzenden van de puls en het ontvangen van de echo.

halfgeleiders, radio en radar

In 1874 ontdekte de Duitse hoogleraar Braun een nieuw soort afwijkend gedrag van een halfgeleider. In dit geval ging het om loodsulfide. Bij contact tussen een metalen draad en een stukje loodsulfide bleek dat slechts in één richting stroom werd doorgelaten: een diodewerking. Deze ontdekking kreeg praktische betekenis in het beginstadium van de radiotechniek, toen er behoefte ontstond aan een methode voor gelijkrichting van hoogfrekwente signalen. Met de opkomst van de triode als versterker werd echter het metaal-loodsulfide-contact al snel vervangen door de vacuümdiode.
Een merkwaardige omkering van deze ontwikkeling trad omstreeks het begin van de tweede wereldoorlog op bij de radartechniek. Bij het werken met korte radiogolven was gebleken dat zulke golven duidelijk teruggekaatst worden door vliegtuigen. Het militaire belang van deze ontdekking was duidelijk, maar de praktische realisering stuitte op problemen. Eén van die problemen was dat de vacuümdiode niet goed bleek te functioneren in het frekwentiegebied dat voor *radar* het meest geschikt is.
Radar werkt het best met golflengten in de grootte-orde van centimeters, korter dan de gebruikelijke radiogolven en dus met hogere frekwenties. Voor de oplossing van dit probleem moest men teruggrijpen op het ouderwetse contact tussen metaaldraad en halfgeleider.
Er was altijd al iets vreemds met dat contact tussen metaal en halfgeleider. Je moest met een dun metalen draadje het halfgeleiderkristal aftasten tot je een plekje vond waarbij het signaal van de zender goed doorkwam. Bij radar in oorlogstijd was zulk primitief gedoe extra onbevredigend. Daarom gingen groepjes natuurkundigen aan het werk om de eigenschappen van halfgeleiders nader te onderzoeken. Het onderzoek concentreerde zich vooral op germanium en silicium. Er werden technieken ontwikkeld om deze materialen zuiver te krijgen en er werden belangrijke vorderingen gemaakt in de verklaring van de eigenschappen.

In Nederland werd in de periode 1936-40 onderzoek gedaan aan radar binnen de Rijksverdedigingsorganisatie TNO. In april 1940 kwamen twee toestellen gereed. Voordat Nederland zich overgaf aan Duitsland werden beide toestellen vernietigd. Maar enkele onderdelen werden tijdig naar Engeland verscheept. In Engeland en Amerika werd ook aan de ontwikkeling van radar gewerkt, maar het bleek dat de in Nederland ontwikkelde radar-zendbuis de geallieerden in de laatste oorlogsjaren een grote technische voorsprong heeft gegeven



Radarinstallatie in een Lancaster bommenwerper uit de tweede wereldoorlog.

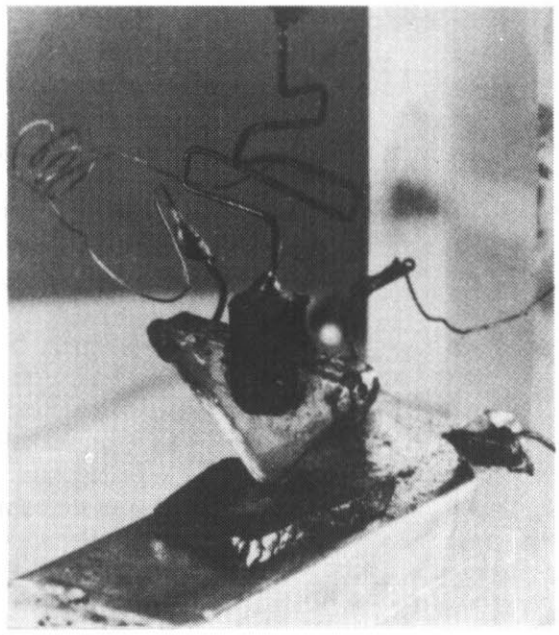
Wat zich in een halfgeleider afspeelt is veel ingewikkelder dan de beweging van elektronen in een metalen draad of in een vacuümbuis. Daardoor is de werking van een halfgeleiderdiode veel moeilijker te begrijpen dan die van een vacuümdiode. De stap van vacuümdiode (1904) naar triode (rond 1908) was in wezen eenvoudig; veel en veel moeilijker was de stap van halfgeleiderdiode (1874) naar de 'halfgeleidertriode'; de *transistor* (1947).

de uitvinding van de transistor

De transistor is wel 'de uitvinding van de eeuw' genoemd, vanwege de geweldige gevolgen voor techniek en maatschappij. De transistor werd in 1947 uitgevonden door Bardeen, Brattain en Shockley van het Bell Laboratorium, de onderzoeksafdeling van American Telephone and Telegraph.
De onderzoekers van het Bell Laboratorium kregen geleidelijk steeds meer inzicht in de eigenaardigheden van germanium als stroomgeleider. Bij het beslissende experiment plaatsten ze twee elektroden vlak bij elkaar op een germaniumkristal, bevestigd op een metalen houder. Bij een geschikte combinatie van spanningen bleek nu een kleine verandering van de spanning tussen de ene elektrode en de houder een grotere verandering te veroorzaken in de spanning tussen de andere elektrode en de houder. En dat

De reden waarom een telefoonmaatschappij als ATT geïnteresseerd was in halfgeleiders is moeilijk te begrijpen als je uitgaat van het simpele systeem: microfoon-metalen verbindingsdraad-luidspreker. Maar zó simpel was het telefoonsysteem allang niet meer. De verbindingen waren zo lang geworden, dat de signalen via versterkers geleid moesten worden. Om verschillende gesprekken via één draad te kunnen voeren, paste men modulatie toe: elk gesprek kreeg een draaggolf met een eigen frekwentie. Er werd al heel wat elektronica gebruikt bij het telefoneren

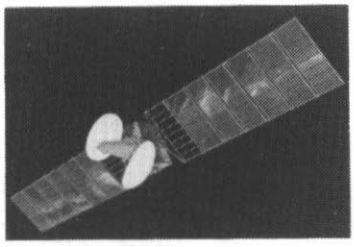
Shockley, Bardeen en Brattain.



De eerste transistor.

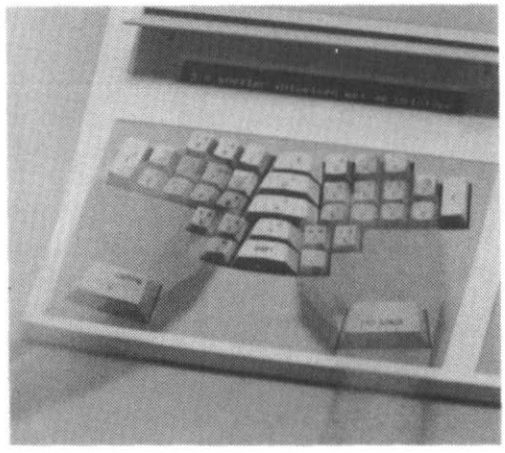
is precies wat een *versterker* moet doen: een kleine spanningsvariatie omzetten in een grotere.

Transistoren hebben belangrijke voordelen boven buizen. Ze zijn kleiner, werken op lagere spanning, gebruiken minder energie en zijn beter bestand tegen schokken. Hoge temperaturen verdragen ze minder goed; voor germanium ligt de grens ongeveer bij 70 °C, voor silicium bij 150 °C.
Dit betekende nog niet dat nu alle triodes en soortgelijke elektronenbuizen direct vervangen worden door transistoren. Die buizen waren in de loop van tientallen jaren ontwikkeld tot goedkope, betrouwbare massaproducten.
Pas na 1960 ging de transistor de versterkerbuizen in radio's verdringen. Radio's werden kleiner en goedkoper, en de gebruiksmogelijkheden namen toe. Maar er dienden zich ook nieuwe mogelijkheden aan op communicatiegebied: de eerste communicatiesatelliet (Telstar) werd in 1962 gelanceerd.
Op het gebied van informatieverwerking werd de elektronenbuis als schakelaar in logische schakelingen eveneens vervangen door de transistor. En met de transistor als schakelaar begon ook het tijdperk van de elektronische automatisering.



Telecommunicatiesatelliet.

Geautomatiseerde gegevensverwerking bij het Friese waterleidingnet.



Decoderen van artikelinformatie met een laser scanner.

1. TIJDBALK

Lees dit hoofdstuk door en orden de informatie in een tijdbalk. Deze tijdbalk krijgt drie kolommen:
- natuurkundige of technische ontdekkingen;
- nieuwe toepassingen of instrumenten;
- gebeurtenissen in de samenleving.

2. NATUURKUNDE, TECHNIEK EN SAMENLEVING

Ontwikkelingen in de natuurkunde, de techniek en de samenleving beinvloeden elkaar.
Noem uit dit hoofdstuk een voorbeeld waaruit blijkt dat:
- een natuurkundige ontdekking technische ontwikkelingen tot gevolg heeft;
- een technische ontwikkeling gevolgen voor de samenleving heeft;
- technische problemen invloed hebben op wetenschappelijk onderzoek;
- gebeurtenissen of behoeften in de samenleving bepaald wetenschappelijk onderzoek of bepaalde technische ontwikkelingen stimuleerden.

Bij het zoeken naar voorbeelden kun je mogelijk de tijdbalk uit activiteit 1 gebruiken.

3. 100 JAAR EERDER?

Ga na of men de volgende apparaten 100 jaar eerder had kunnen ontwikkelen, gezien de stand van wetenschap en techniek destijds:
- telegraaf
- radio
- computer

4. LEVEN ZONDER ...

Ga na welke gevolgen het voor de samenleving en voor jezelf zou hebben, als
- er geen radio en televisie was;
- er geen telefoon was;
- er geen computer was.

Wat merk je ervan? Welke nadelen heeft het? En welke voordelen?

hoofdstuk 3

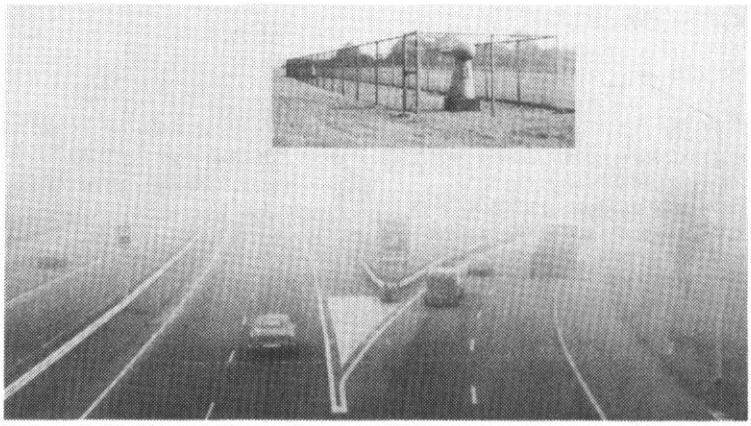
ELEKTRONISCHE COMPONENTEN

inhoud blz.

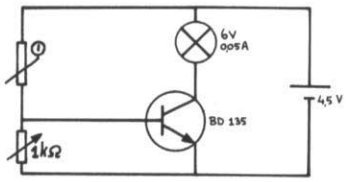
3.1 automatisch schakelen 24
3.2 de transistor als schakelaar 25
3.3 de weerstand als spanningsdeler 27
3.4 de weerstand als sensor 29
3.5 de condensator als vertrager 30
3.6 de diode als gelijkrichter 33
3.7 halfgeleiders 34
3.8 opgaven 38

elektronische componenten

In dit hoofdstuk onderzoeken we een aantal componenten die in de elektronica een belangrijke rol spelen: de *transistor*, *weerstand*, *condensator* en *diode*.
De rol die deze componenten in schakelingen spelen, wordt toegelicht aan de hand van voorbeelden uit twee van de drie belangrijke toepassingsgebieden van de elektronica: automatisering en communicatie.



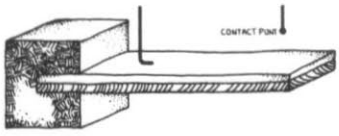
Mistdetector. Een automatische lichtschakelaar kan het verkeer voor mistvorming waarschuwen.



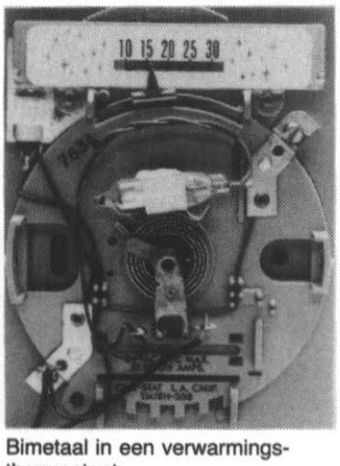
Schema van een brandalarmschakeling.

Als voorbeeld van automatisering zullen we onderzoeken hoe je met een elektronisch systeem automatisch kunt schakelen: je bouwt een automatische lichtschakelaar en een brandalarm. De belangrijkste componenten in die schakelingen zijn de transistor en verschillende soorten weerstanden. Aansluitend daarop onderzoek je op welke manier je het schakelen van een automatische schakelaar kunt vertragen. Die vertragingsfunctie realiseer je met een condensator.
Het voorbeeld op het gebied van (tele)communicatie is een schakeling waarmee je een gemoduleerd radiosignaal hoorbaar kunt maken. De belangrijkste rol in die schakeling is weggelegd voor de diode.

3.1 AUTOMATISCH SCHAKELEN



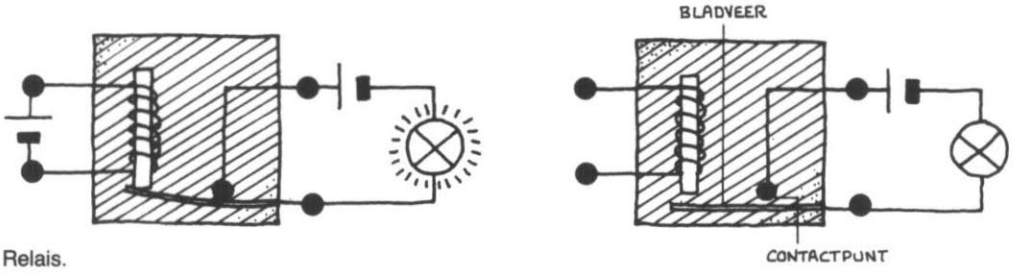
Bimetaalschakelaar.
Een bimetaal bestaat uit twee lagen metaal met verschillende uitzettingscoëfficiënten. Bij verhitting buigt het bimetaal daardoor krom, en kan een elektrisch contact maken of verbreken.



Bimetaal in een verwarmingsthermostaat.

Automatische schakelaars worden tegenwoordig veel gebruikt. Temperatuurgevoelige schakelaars vind je bijv. in de thermostaat van een cv-installatie en in een strijkijzer, maar ook in bijv. een chemische fabriek (voor 'procesbewaking').
Lichtgevoelige schakelaars worden bijv. toegepast in auto's (ontsteken en doven van parkeerlichten) en liften (openen en sluiten van de liftdeuren), maar ze worden ook gebruikt voor tijdmetingen bij sportwedstrijden

Bij een brandalarm gaat een bel rinkelen of flitst een lamp aan als de temperatuur te hoog wordt. Dit kan op een aantal verschillende manieren.
We kunnen zelf op de temperatuur letten en een bel *met de hand* inschakelen.
Het kan ook met een *bimetaal*-schakelaar. Het schakelen gaat dan automatisch, maar wel met behulp van een mechanische schakelaar.



Relais.

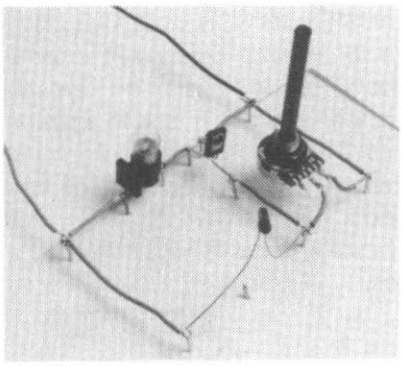
Het schakelen kan ook elektrisch: met een *relais*. Een relais is een schakelaar, die door een elektrische stroom aan of uit gezet wordt. We hebben dan een temperatuur*sensor* nodig: een instrument dat een temperatuurverandering omzet in een verandering van de stroomsterkte. Als temperatuursensor kan bijv. een NTC-weerstand gebruikt worden. (NTC is de afkorting van *Negative Temperature Coefficient.)* De weerstandswaarde van zo'n NTC-weerstand neemt af bij verhitting.
Tegenwoordig gebruikt men als elektrische schakelaar een *transistor* in plaats van een relais. De voordelen daarvan zijn:
– een transistor heeft geen bewegende delen (die kapot kunnen gaan), het relais wel;
– een transistor is kleiner, kan sneller schakelen en heeft minder energie nodig om te schakelen.

Een *automatische schakelaar* bestaat dus uit twee onderdelen:
– een *sensor*, die een verandering van een fysische grootheid (bijv. de temperatuur) omzet in een verandering van spanning of stroomsterkte;
– een *transistor* als elektronische schakelaar.

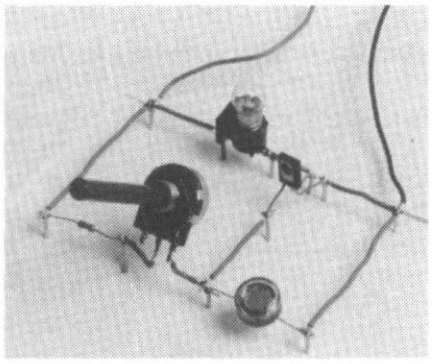
Afhankelijk van de fysische grootheid waarvan de verandering omgezet moet worden in een elektrisch signaal, zijn andere sensoren nodig.

fysische grootheid	sensor
lichtsterkte	LDR
temperatuur	NTC-weerstand
druk/kracht	piëzo-kristal
trekkracht	rekstrookje
geluidssterkte	microfoon
plaats	schuifweerstand

Bij een automatische lichtschakelaar bijv. hebben we een sensor nodig, die reageert op veranderingen in de lichtsterkte. Een *LDR* (*Light Dependent Resistor*) is zo'n sensor: een weerstand waarvan de weerstandswaarde toeneemt als de lichtsterkte afneemt.



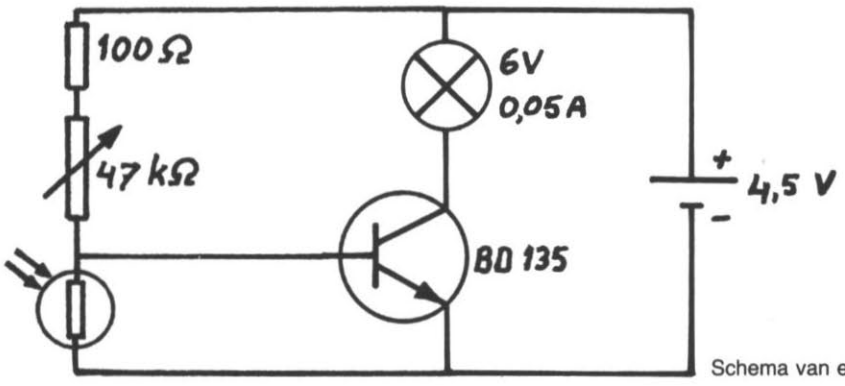
Brandalarm.



Lichtschakelaar.

1. TEMPERATUUR- EN LICHTSCHAKELAAR

Voordat we nagaan hoe de automatische temperatuur- en lichtschakelaars precies werken, kun je ze vast eens bekijken.
Vergelijk de opstellingen die in de klas aanwezig zijn met de foto's hiernaast.
Probeer de schakelingen uit.



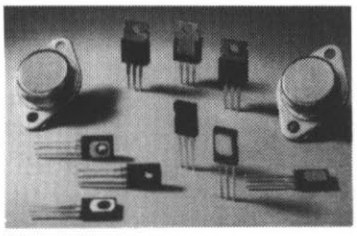
Schema van een lichtschakelaar.

2. SCHAKELSCHEMA'S LEZEN

Hiernaast is het schema van de lichtschakelaar getekend. Vergelijk de echte schakeling met het schema. Zoek de gebruikte symbolen op in het tabellenboek. Herken je de onderdelen? Herken je het hele schema?

We zullen nu de werking van de automatische temperatuur- en lichtschakelaar onderzoeken. Achtereenvolgens gaan we de werking na van de transistor, de weerstanden, de sensoren en de hele schakeling.

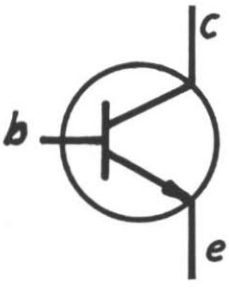
3.2 DE TRANSISTOR ALS SCHAKELAAR



Verschillende transistoren.

Er bestaan verschillende soorten transistoren: de veldeffect-transistor en de lagentransistor. De lagentransistor kent weer twee typen: de npn- en de pnp-transistor. In paragraaf 3.7 en hoofdstuk 5 vind je meer informatie over deze verschillende transistoren

Met een transistor bedoelen we in het dagelijks leven vaak een radio. In de elektronica duiden we er echter een component mee aan, waarvan je hiernaast een aantal uitvoeringen ziet. Een radio bevat vele transistoren. Zij hebben daar vooral de functie om elektrische signalen te *versterken*.
Hier gaat het om een andere belangrijke functie van de transistor: de *schakelaar*-functie. Met behulp van een transistor kan een stroom elektronisch in- of uitgeschakeld worden.
Een transistor heeft drie contacten: *collector, basis* en *emitter* (afgekort: c, b, e).

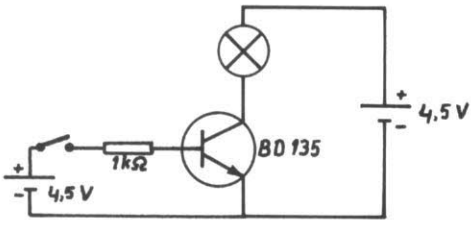


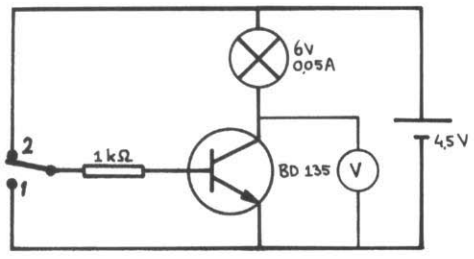
Het symbool van een transistor.

1. TRANSISTOREN BEKIJKEN

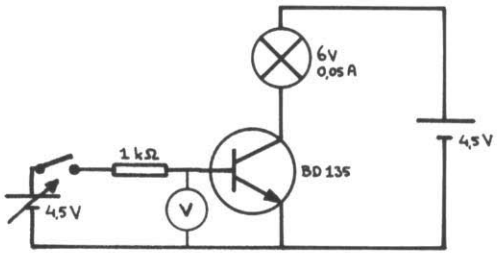
Bekijk een aantal transistoren, die in de klas aanwezig zijn.
Kun je zien wat de collector, basis of emitter is?
Probeer dit anders op te zoeken.

2. TRANSISTOR-SCHAKELAAR (1)
Maak de schakeling volgens het schema hieronder.
a. Brandt het lampje als de schakelaar open staat?
b. Sluit de schakelaar. Brandt het lampje nu?





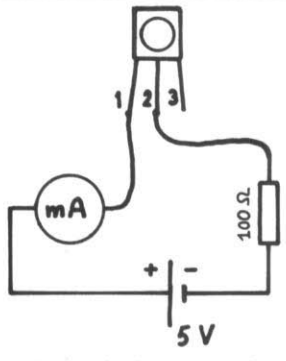
3. TRANSISTOR-SCHAKELAAR (2)
Maak de schakeling volgens het schema hieronder. Tussen basis en emitter plaats je een variabele spanningsbron (V_{be}).
a. Varieer V_{be}. Wanneer loopt er een stroom door het lampje?
b. Bij welke waarde van V_{be} schakelt de transistor?



4. TRANSISTOR-SCHAKELAAR (3)
Maak de schakeling volgens het schema hiernaast.
a. Brandt het lampje als je de basis aansluit op 1 of 2?
b. Moet de spanning tussen basis en emitter 'hoog' of 'laag' zijn om door het lampje een stroom te laten lopen?
c. Is de spanning tussen emitter en collector 'hoog' of 'laag' als de transistor geleidt (het lampje brandt)? En als de transistor niet geleidt?

conclusie
Met behulp van V_{be} kan de *collectorstroom* (de stroom die door de transistor loopt van collector naar emitter) in- en uitgeschakeld worden. Pas boven een bepaalde waarde van V_{be} (hoe groot?) loopt er een collectorstroom.

Erg automatisch werkt deze transistor-schakelaar nog niet. Logisch, want er zit nog geen sensor in de schakeling. Maar voordat we een sensor in de schakeling opnemen, moeten we eerst een ander probleem oplossen. Het probleem namelijk dat we in de schakelingen bij opdracht 2 en 3 twee spanningsbronnen nodig hebben. Dat kan simpeler met behulp van een *spanningsdeler* en *variabele weerstand*.

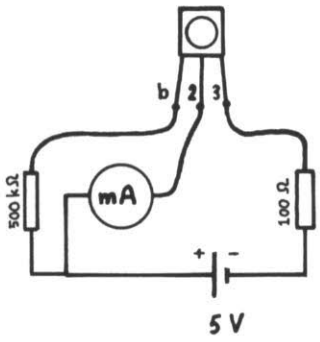


Voorkom schade aan transistor of A-meter door een weerstand (100 Ω) in de kring op te nemen, of door maar heel kort contact te maken.

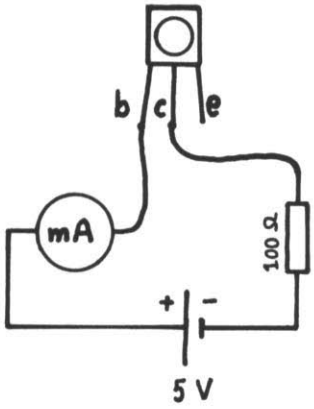
CONTROLEER JE TRANSISTOR

wat is de basis?
Meestal is op de transistor niet aangegeven wat de basis is. Met behulp van het typenummer kun je dit in een elektronica-handboek opzoeken. Maar je kunt er ook door metingen achter komen.
– Verbind de contacten 1 en 2 met een spanningsbron (zo'n 5 V). Wissel ook de polen om. Let op of er wel of geen stroom loopt.
– Herhaal dit voor de contacten 1 en 3 en daarna 2 en 3.

Er zijn twee contacten waartussen in geen van beide gevallen stroom loopt: dat zijn collector en emitter. Het andere contact is dan de basis: deze geeft met ieder ander contact steeds een stroom bij één van de twee mogelijke manieren om een spanningsbron aan te sluiten.



wat is de emitter en de collector?
Een extra meting is nodig om uit te maken welk contact de collector is, en welk de emitter.
– Sluit collector en emitter via een weerstand (100 Ω) aan op de polen van de spanningsbron. Verbind de basis via een weerstand (500 kΩ) met de +pool van de spanningsbron. (Dit kun je ook doen door de basis en het andere contact met een natte vinger te verbinden.) Er loopt nu een stroom.
– Wissel de polen van de spanningsbron om, maar laat de basis verbonden met de +pool. Als de stroomsterkte nu *groter* is, is het contact dat nu met de +pool is verbonden de *collector*; is de stroomsterkte *kleiner*, dan is het de *emitter*.

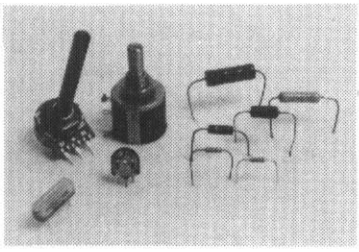


is de transistor nog heel?
Dit kun je eenvoudig controleren met een spanningsbron (zo'n 5 V) en een mA-meter.
– Verbind (bij een npn-transistor) de basis met de +pool van de spanningsbron (bij een pnp-type moet dit juist de −pool zijn). Verbind vervolgens de −pool met de collector, en daarna met de emitter. In beide gevallen moet er een stroom lopen.
– Verwissel nu de aansluitingen op de polen. Er loopt geen stroom.
– Verbind nu collector en emitter met de spanningsbron. Er loopt geen stroom, ook niet bij verwisseling van de aansluitingen op de polen.

npn	b−	c−	e−
b+		/	/
c+	0		0
e+	0	0	

De transistor is heel als de metingen overeenkomen met deze tabel.

3.3 DE WEERSTAND ALS SPANNINGSDELER

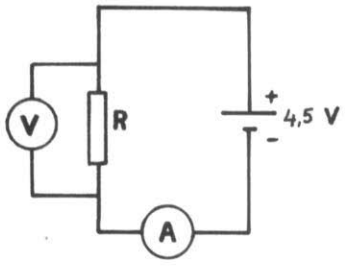

Weerstanden.

In elektronische schakelingen wordt veel gebruik gemaakt van *weerstanden*. Ze bestaan uit een dun laagje metaal of koolstof als geleider rond een isolerende kern. De *weerstandswaarde R* van zo'n weerstand is gedefinieerd als:

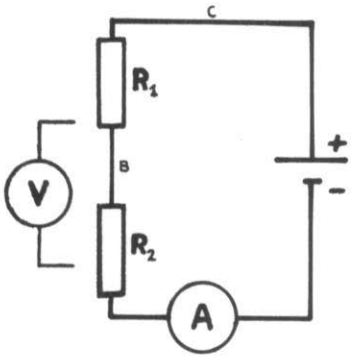
$$R = \frac{V}{I}$$

Daarin is *V* de spanning over de weerstand en *I* de stroomsterkte in de weerstand.
De eenheid van weerstand is V/A (volt per ampère). Dit wordt afgekort tot *ohm* (symbool: Ω, de Griekse letter omega).
De weerstandswaarde in een stroomkring bepaalt – bij een gegeven spanning *V* – hoe groot de stroomsterkte *I* in de stroomkring wordt: hoe groter de weerstandswaarde *R*, hoe kleiner de stroomsterkte.

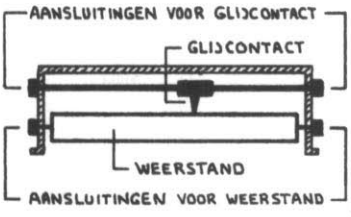
De weerstandswaarde van metaal- en koolstofweerstanden is temperatuurafhankelijk: hoe hoger de temperatuur, hoe groter de weerstandswaarde. Bij niet al te grote temperatuurstijging (veroorzaakt door bijv. de warmte-ontwikkeling bij stroomdoorgang door de weerstand) merk je van die temperatuurafhankelijkheid van de weerstandswaarde vrijwel niets: de weerstandswaarde kun je als constant veronderstellen. (In dat geval neemt bij een toename van de spanning de stroomsterkte evenredig toe; dit evenredige verband tussen spanning en stroomsterkte bij een weerstand wordt de *wet van ohm* genoemd.)
Er bestaan ook weerstanden met een andere temperatuurafhankelijkheid. Bij weerstanden van halfgeleidermateriaal (zoals de NTC-weerstand) neemt de weerstandswaarde af bij toenemende temperatuur.



Schakeling voor weerstandsmeting. Let op de juiste aansluiting van de meters. De A-meter moet *in* de stroomkring en de V-meter moet *parallel aan* de stroomkring staan. De +kant van A- en V-meter moet direct of indirect aangesloten zijn op de +pool van de spanningsbron.



Serieschakeling van weerstanden.



Schuifweerstand.

1. WEERSTANDEN BEKIJKEN

Bekijk een aantal verschillende soorten weerstanden in de klas. Kun je aan de weerstand zien welke waarde hij heeft?

2. KLEUREN-CODE

De weerstandswaarde is op een weerstand vaak aangegeven door middel van drie gekleurde ringen.

a. Zoek in het tabellenboek op hoe je met behulp van de gekleurde ringen de weerstandswaarde kunt bepalen.

b. Lees nu van een aantal weerstanden de weerstandswaarde af uit de kleurencode.

3. WEERSTAND METEN

a. Maak de getekende schakeling. Sluit de ampère- en de voltmeter op de juiste manier aan.

b. Meet de stroom die door de weerstand loopt en de spanning die over de weerstand staat.

c. Bereken de grootte van de weerstandswaarde (klopt die met de kleurcode?).

4. WEERSTANDEN IN SERIE

a. Bepaal de weerstandswaarden R_1 en R_2 afzonderlijk volgens de methode van proef 3.

b. Maak de getekende *serieschakeling*. Meet de stroomsterkte in de punten A, B en C. Wat valt je op?

c. Meet de spanningen V_1 en V_2 over respectievelijk R_1 en R_2. Meet ook de spanning V over R_1 en R_2 sámen. Vergelijk de waarde van V met V_1 en V_2. Wat valt je op?

d. Toon met behulp van je metingen bij 4a en 4c aan dat geldt:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Leid deze formule ook theoretisch af.

e. Beschouw R_1 en R_2 als één weerstand. Bepaal met behulp van je metingen bij 4b en 4c de weerstandswaarde van R_1 en R_2 sámen; deze waarde wordt de *vervangingsweerstand* genoemd. Vergelijk deze vervangingsweerstand met de weerstandswaarden van R_1 en R_2. Wat valt je op?

5. SPANNINGSDELER

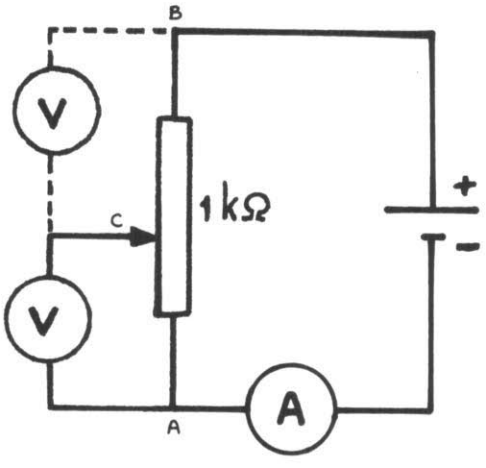
Een *spanningsdeler* maak je met behulp van een schuifweerstand. Dit is een weerstand waarover een glijcontact heen en weer kan schuiven.

a. Maak de getekende schakeling van een spanningsdeler.

b. Verschuif het glijcontact en kijk hoe de spanning tussen A en C en tussen B en C daardoor verandert.
Wat is de minimale en maximale spanning tussen A en C en tussen B en C?

c. Meet bij een bepaalde instelling de spanning tussen A en C en tussen B en C. Wat valt je op?

d. Vergelijk je resultaten met die van proef 4.



Spanningsdeler.

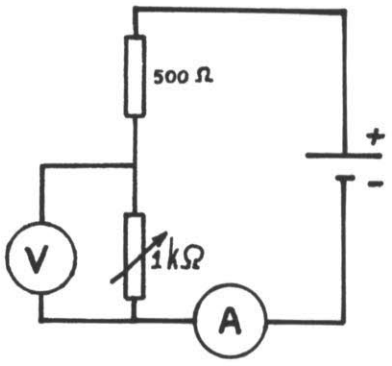
6. SPANNINGSDELER MET VARIABELE WEERSTAND

Een schuifweerstand kan ook gebruikt worden als *variabele weerstand*. Je gebruikt dan twee aansluitingen, waarvan er één verbonden is met het glijcontact.

a. Maak de getekende schakeling van een spanningsdeler met een variabele weerstand (zie blz. 29).

b. Verstel de variabele weerstand door het glijcontact te verschuiven.
Tussen welke waarden varieert de span-

ning over de variabele weerstand? Wat gebeurt er met de stroomsterkte in de stroomkring?
c. Ook met deze schakeling kun je de spanning regelen.
Wat is dan het verschil met proef 5?
d. Waarom is de weerstand van 500 Ω opgenomen?
e. Vergelijk deze proef met proef 4.



Spanningsdeler met variabele weerstand.

conclusie
Voor twee weerstanden R_1 en R_2 in serie geldt dat de vervangingsweerstand R_v gegeven wordt door:

$$R_v = R_1 + R_2$$

In een *serieschakeling* verdeelt de spanning V zich over beide weerstanden. Voor de spanningen V_1 en V_2 over R_1 en R_2 geldt:

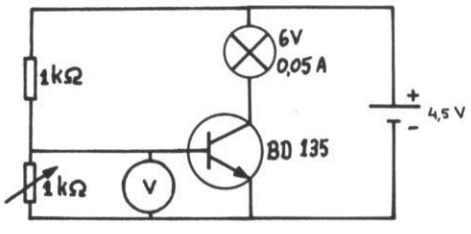
$$V_1 + V_2 = V$$

en

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Met zo'n serieschakeling kunnen we dus van een gegeven spanning V een bepaald deel benutten (V_1 of V_2). Daarom noemen we zo'n schakeling een *spanningsdeler*.
Vervangen we beide of één van de twee weerstanden door een variabele weerstand, dan kunnen we de verhouding van de weerstanden instellen en daarmee het benutte deel van de spanning variëren.
Op deze manier kunnen we van een spanningsbron met een vaste spanning een variabele spanningsbron maken.

7. TRANSISTOR-SCHAKELAAR (4)
a. Bekijk het schema hiernaast. Herken je de spanningsdeler?
Tussen welke waarden kan V_{be} variëren?
b. Maak de schakeling of bekijk hem.
Kun je het lampje in- en uitschakelen door de variabele weerstand in te stellen?

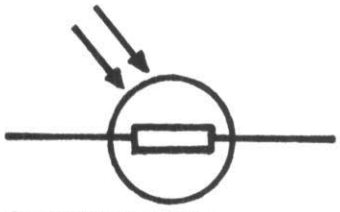


We hebben nu wel een elektronische schakelaar, maar deze werkt nog niet automatisch op een verandering in temperatuur of lichtsterkte. Daarvoor moeten we een *sensor* in de schakeling opnemen, die deze verandering in temperatuur of lichtsterkte omzet in een spannings- of stroomsterkteverandering.

3.4 DE WEERSTAND ALS SENSOR

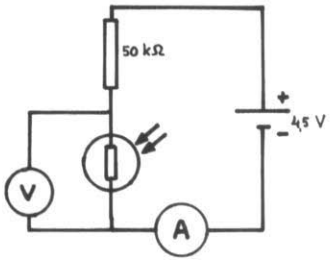
We kennen nu alle onderdelen voor een automatische temperatuur- en lichtschakelaar:
- een *transistor* schakelt bij een bepaalde spanning aan en uit;
- een *spanningsdeler met variabele weerstand* levert een regelbare spanning;
- een *NTC-weerstand* werkt als sensor voor de temperatuur en een *LDR* doet datzelfde voor de lichtsterkte.

De vraag is nu hoe je deze onderdelen aan elkaar koppelt tot een automatische temperatuur- en lichtschakelaar.



Symbool van de LDR.

Symbool van de NTC-weerstand.



1. LICHT-SENSOR (LDR)

a. Onderzoek hoe de weerstandswaarde van een LDR afhangt van de lichtsterkte.

b. Bepaal de maximum en minimum weerstandswaarde van een LDR.

2. TEMPERATUUR-SENSOR (NTC-WEERSTAND)

a. Onderzoek hoe de weerstandswaarde van een NTC-weerstand afhangt van de temperatuur. (Ga eerst na welke temperatuur de NTC-weerstand nog kan verdragen zonder kapot te gaan.)

b. Bepaal de maximum en minimum weerstandswaarde van een NTC-weerstand. Vergelijk deze waarden met die bij een LDR.

3. LICHTGEVOELIGE SPANNINGSDELER

Maak de hiernaast weergegeven schakeling.

a. Wat gebeurt er met de spanning over de LDR als de lichtsterkte verandert?

b. Verklaar je waarneming bij 3a.

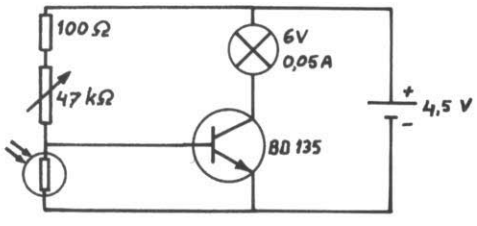
4. LICHTSCHAKELAAR

a. Vergelijk de echte schakeling van de lichtschakelaar met het schema hieronder.
Herken je in de echte schakeling het schema?

b. Leg de werking van de schakeling met je eigen woorden uit.

c. Stel de variabele weerstand zó in, dat de transistor aanschakelt als je de LDR afdekt.

d. De weerstand van 100 Ω dient als beveiliging. Kun je aangeven waartegen deze weerstand de schakeling beveiligt?



Lichtschakelaar.

5. BRANDALARM

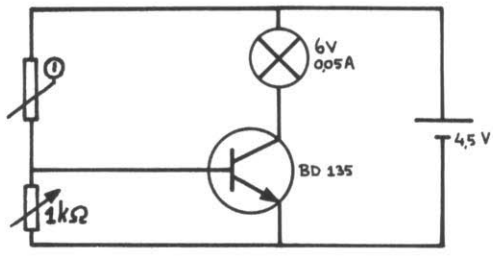
a. Vergelijk de schakeling van het brandalarm met het schema hieronder. Herken je het schema in de schakeling?

b. Leg de werking van de schakeling met je eigen woorden uit.

c. Vergelijk de schakeling met die van de lichtschakelaar.
Waarom zit de NTC-weerstand op een andere plaats dan de LDR bij opdracht 4?

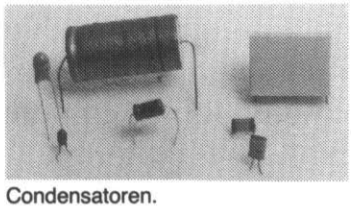
d. Stel de variabele weerstand zó in, dat het lampje aangaat als je de NTC-weerstand bijv. in warm water houdt.

e. Waarom is hier geen beveiligingsweerstand nodig zoals in de lichtschakelaar?



Brandalarm.

3.5 DE CONDENSATOR ALS VERTRAGER

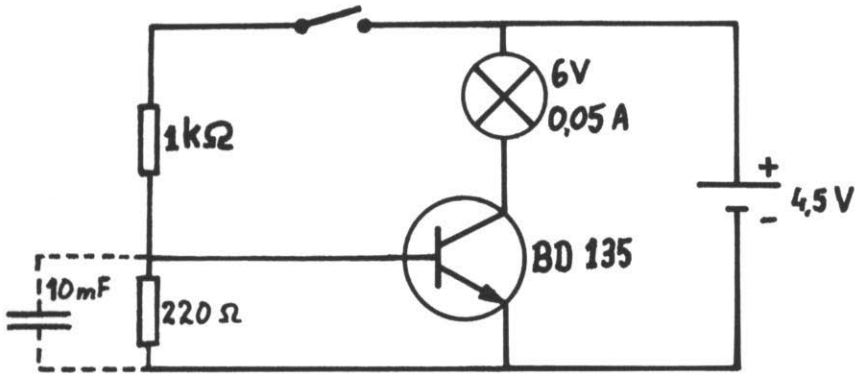


Condensatoren.

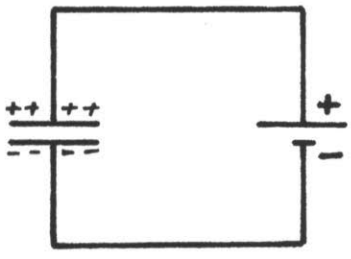
In de elektronica is het soms gewenst, dat het effect van in- en uitschakelen *vertraagd* wordt. Bij een inbraakalarm bijv. kan het nuttig zijn dat een alarmbel niet onmiddelijk na het openen van een deur gaat rinkelen, maar pas 30 s later. Zo krijgt de echte bewoner de kans binnen te komen en snel het alarm uit te schakelen.

Zo'n vertraging kunnen we bereiken met een combinatie van een *weerstand* en een *condensator*. De lichtschakelaar uit paragraaf 3.4 kunnen we op die manier een vertraging geven. Zou je het lampje door een bel vervangen, dan doet de schakeling dienst als inbraakalarm.

Symbool van de condensator.



1. VERTRAAGDE LICHTSCHAKELAAR
Vervang in de lichtschakelaar de LDR door een weerstand, en breng een schakelaar aan.
a. Sluit de schakelaar. Gaat het lampje direct aan?
b. Schakel een condensator parallel aan de weerstand, zoals in het schema hiernaast is aangegeven.
Sluit de schakelaar. Gaat het lampje direct aan?



Een geladen condensator.

condensator
Een *condensator* is in principe opgebouwd uit twee metalen platen met daartussen een isolator. In de praktijk kunnen de 'platen' allerlei vormen hebben, bijv. twee stroken aluminiumfolie met papier ertussen, opgerold in een plastic omhulsel.
Met behulp van een spanningsbron kun je in een condensator een hoeveelheid electrische lading opslaan. Als je de condensator met een spanningsbron verbindt, stromen elektronen van de bovenste plaat naar de + pool en van de − pool naar de onderste plaat. De ene plaat wordt dus positief, de andere negatief geladen. De ladingen op beide platen trekken elkaar aan, houden elkaar vast, waardoor veel lading opgeslagen kan worden.

capaciteit
Een belangrijk kenmerk van condensatoren is, dat de lading Q op de platen evenredig is met de spanning V over de platen. In formule:

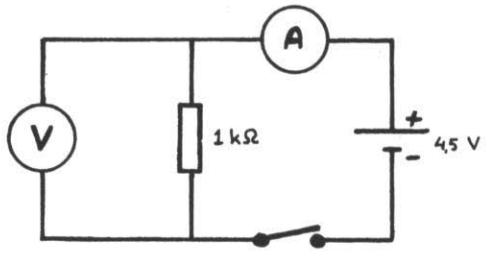
$$\frac{Q}{V} = \text{constante}$$

Deze constante is een kenmerk voor de betreffende condensator. We noemen dit de *capaciteit C* van de condensator. De bijbehorende eenheid is C/V (coulomb per volt). Dit wordt afgekort tot *farad* (symbool: F). De capaciteit (= bevattingsvermogen) geeft aan hoeveel lading op de platen kan worden opgeslagen, voordat een spanning van 1 V over de platen bereikt is. 'Een condensator heeft een capaciteit van 1 µF' betekent: er kan 10^{-6} C lading in opgeslagen worden, voordat de spanning 1 V bedraagt.

2. CONDENSATOREN BEKIJKEN
a. Bekijk een aantal condensatoren, en lees af hoe groot de capaciteit is. (Gebruik daarbij zonodig je tabellenboek.)
b. Is een capaciteit van 1 mF een grote of een kleine waarde voor in de elektronica gebruikte condensatoren?

de werking
Een vertraging in het effect van in- en uitschakelen kunnen we bereiken met behulp van een weerstand en een condensator.

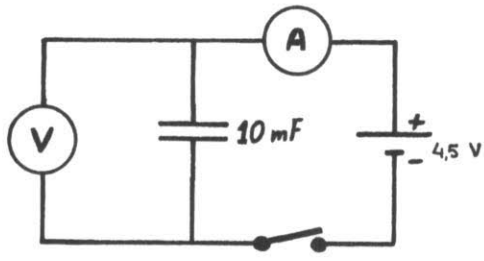
3. WEERSTAND
Maak de hiernaast weergegeven schakeling.
Sluit de schakelaar. Let op de aanwijzing van de meters op het moment dat je de schakelaar sluit.



4. CONDENSATOR

Maak de hiernaast weergegeven schakeling. Als je een 'elektrolytische' condensator gebruikt, let dan op dat je de +kant verbindt met de +pool van de batterij.

Sluit de schakelaar. Let op de aanwijzing van de meters op het moment dat je de schakelaar sluit. (Als je de proef wilt herhalen, moet je eerst de beide uiteinden van de condensator met een draad verbinden: kortsluiting.)



Bij de proeven 3 en 4 geven de meters direct na het sluiten van de schakelaar een bepaalde waarde aan. De voltmeter geeft direct 4,5 V aan in beide gevallen. De ampèremeter geeft aan dat bij de weerstand een stroom loopt, en bij de condensator niet. Deze vormt een onderbreking in de stroomkring.

5. WEERSTAND EN CONDENSATOR

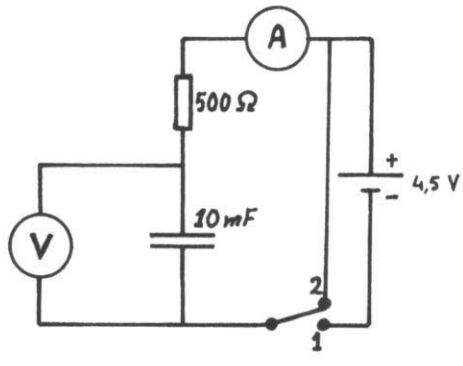
Maak de hiernaast weergegeven schakeling.

a. Sluit de schakelaar in stand 1. Let op de aanwijzing van de meters.

b. Zet nu de schakelaar in stand 2. Let op de aanwijzing van de meters.

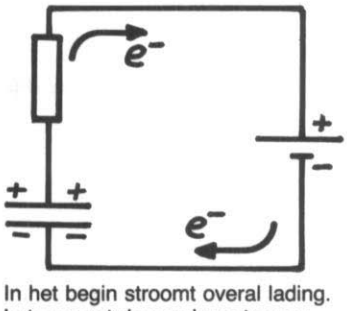
c. Wat gebeurt er met de spanning over de weerstand?

d. Herhaal 5a en 5b met een grotere weerstandswaarde van de weerstand of met een grotere capaciteit van de condensator. Welke verschillen neem je waar?



In de schakeling bij proef 5 loopt direct na aansluiting van de condensator op de spanningsbron, een stroom die steeds kleiner wordt tot er tenslotte geen stroom meer loopt. De spanning over de condensator neemt geleidelijk toe, tot deze gelijk is aan die van de spanningsbron. Dit gedrag van de schakeling kun je als volgt verklaren. Direct na aansluiting op de spanningsbron stromen elektronen van de −pool van de spanningsbron naar de ene condensatorplaat, en stromen elektronen van de andere condensatorplaat naar de +pool van de spanningsbron. In de stroomkring is dus een beweging van elektronen, en we nemen een stroom waar.

Als de condensatorplaten geladen worden, wordt de condensator een spanningsbron. Hoe meer lading zich op de condensatorplaten verzamelt, hoe groter de spanning over de condensator wordt. Deze condensatorspanning werkt de spanning van de spanningsbron tegen. Daardoor neemt de stroomsterkte in de stroomkring af. Uiteindelijk wordt de condensatorspanning gelijk aan die van de spanningsbron. De twee spanningen in de stroomkring heffen elkaar op, en er loopt geen stroom meer.



In het begin stroomt overal lading. Later vormt de condensator een onderbreking van de stroomkring.

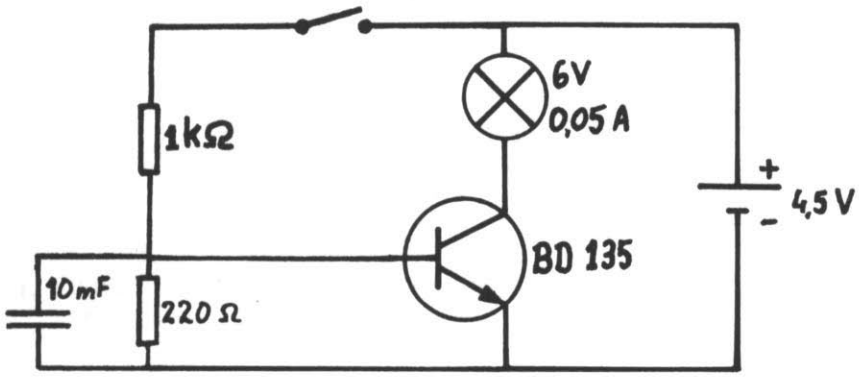
Direct na aansluiting van de condensator op de spanningsbron loopt er een stroom in de stroomkring, en vormt de condensator geen onderbreking. Na verloop van tijd loopt er geen stroom meer, en vormt de condensator wél een onderbreking van de stroomkring.

Dit verschijnsel zagen we niet bij proef 4. Dat komt doordat in dat geval geen weerstand in de stroomkring was opgenomen. De condensator is dan onmiddellijk 'vol' na aansluiting op de spanningsbron. De weerstand in de stroomkring bij proef 5 beperkt de stroomsterkte, en daarmee de snelheid waarmee de condensator geladen wordt.

Een maat voor de snelheid van op- en ontladen van een condensator is de waarde

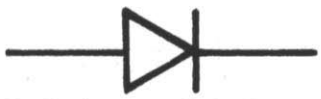
$R \cdot C$ (de *RC-tijd*). Hoe groter de capaciteit C van de condensator, des te meer lading naar de condensator moet stromen voordat de condensatorspanning gelijk is aan die van de spanningsbron. Het opladen duurt dus langer. Hoe groter de weerstandswaarde R, des te kleiner de stroomsterkte in de stroomkring en des te langer het duurt voordat de condensator opgeladen is.

6. VERTRAAGDE LICHTSCHAKELAAR



Met behulp van een condensator kun je er voor zorgen dat in de lichtschakelaar uit paragraaf 3.4 het lampje met vertraging gaat branden.
Maak de hiernaast weergegeven schakeling.
a. Sluit de schakelaar. Hoe lang duurt het voordat het lampje aan gaat?
b. Vervang de condensator door een met een andere capaciteit. Welk verschil zie je? Is de *RC*-tijd een goede maat voor de vertraging?
c. Verklaar de werking van deze schakeling.

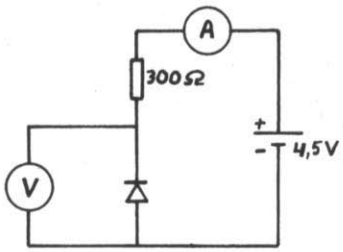
3.6 DE DIODE ALS GELIJKRICHTER



Symbool van een diode. De pijlpunt geeft de doorlaatrichting aan. De stroom kan van links naar rechts door de diode, in de omgekeerde richting niet.

Een andere belangrijke functie in de elektronica is *gelijkrichting*: de stroom wordt in een stroomkring maar in één richting doorgelaten. Dit kun je bereiken met een *diode*.

1. DIODE
Maak de hiernaast weergegeven schakeling.
a. Meet de spanning over en de stroom door de diode.

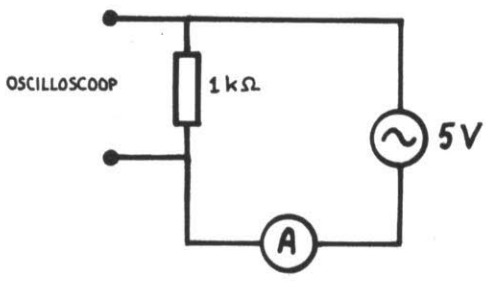


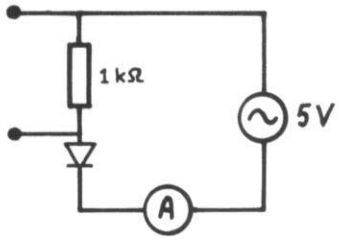
b. Draai de diode om en meet weer spanning en stroomsterkte.
c. Herhaal dit met een andere weerstand.

2. LED
Er bestaan ook diodes die licht geven als je ze in de doorlaatrichting aansluit. Zo'n diode wordt een *LED* (Light Emitting Diode) genoemd.
Vervang in de schakeling van activiteit 1 de diode door een LED. Meet de spanning over de LED. Verwissel dan de aansluitingen op de LED en herhaal de proef.

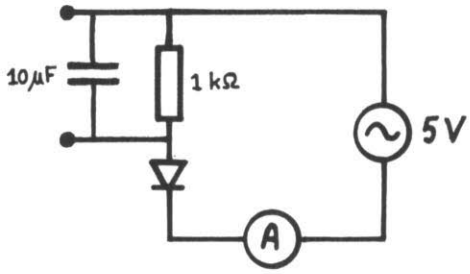
Gelijkrichting is belangrijk in bijv. een radio-ontvanger. In hoofdstuk 2 werd beschreven dat een radiosignaal gemoduleerd is (amplitudemodulatie): het geluidssignaal bepaalt de amplitude van de draaggolf. De frekwentie van de draaggolf is veel te hoog om te kunnen horen. Als we het radiosignaal rechtstreeks op een luidspreker zouden aansluiten, horen we niets. Met behulp van een diode lukt dat wel: daarmee kun je een *demodulator* maken.

3. GELIJKRICHTING
a. Sluit een weerstand (1 kΩ) en een gelijkstroommeter aan op een toongenerator of wisselspanningsbron.
Geeft de meter een uitslag te zien?
b. Sluit een oscilloscoop aan over de weerstand. Maak het wisselspanningssignaal zichtbaar.

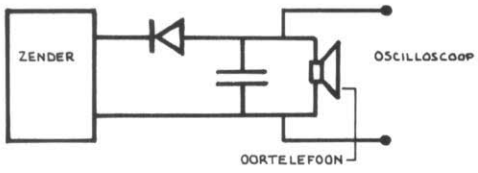




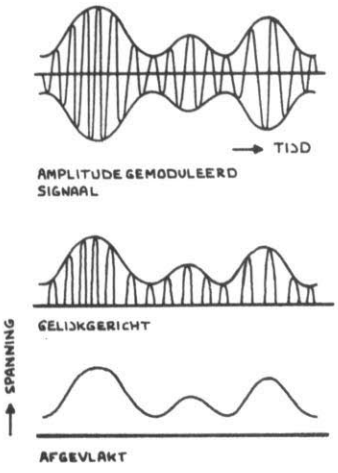
c. Plaats een diode in de stroomkring. Geeft de meter nu een uitslag? Hoe ziet het signaal op het oscilloscoopscherm eruit?
d. Schakel een condensator (10 µF) parallel aan de weerstand.
Welk effect heeft dit op het signaal op het oscilloscoopscherm?



4. RADIO-ONTVANGER
Sluit een amplitudegemoduleerd signaal aan op een oortelefoon en een oscilloscoop. Dit signaal kun je verkrijgen met een zenderschakeling.
a. Hoor je geluid? Bekijk het amplitudegemoduleerde signaal op het oscilloscoopscherm.
b. Plaats een diode in de stroomkring. Hoor je nu geluid? Hoe is het signaal op het oscilloscoopscherm veranderd?
c. Plaats een condensator (1 nF) parallel aan de oortelefoon.
Hoe verandert daardoor het signaal op het oscilloscoopscherm? En het geluid?



Demodulator



demodulator
De draaggolf van het amplitudegemoduleerde signaal heeft zo'n hoge frekwentie, dat het membraan van de oortelefoon niet in staat is de spanningswisselingen te volgen. We horen dus geen geluid. Met een demodulator moet het geluidssignaal eerst van de draaggolf gescheiden worden. Zo'n demodulator bestaat uit een combinatie van een diode en een condensator. De diode laat de stroom in één richting door. We houden dan een signaal over dat nog wel sterk wisselt, maar niet meer afwisselend positief en negatief is. Het membraan van de oortelefoon kan nu de amplitude-variaties in het *gelijkgerichte* signaal wél redelijk volgen. We horen dus geluid.
Een condensator parallel aan de oortelefoon werkt ook hier als vertrager. Neemt de spanning toe, dan wordt eerst de condensator opgeladen; neemt de spanning af, dan ontlaadt de condensator via de oortelefoon. De snelle variaties in het gelijkgerichte signaal worden hierdoor *afgevlakt*, en we houden een *gedemoduleerd* signaal over.

3.7 HALFGELEIDERS

In dit hoofdstuk heb je de diode en de transistor leren kennen. Je hebt de functie van deze componenten in elektronische schakelingen onderzocht. In deze paragraaf bekijk je de bouw en de werking van de diode en transistor.

Een diode en een transistor zijn gemaakt van halfgeleidermateriaal. Daarom bekijken we eerst de eigenschappen van halfgeleidermateriaal.

geleiders
Een *geleider* (bijv. een metaal) is opgebouwd uit positieve ionen en vrije elektronen, die tussen de ionen door kunnen bewegen. De ionen zijn aan hun plaats in een rooster gebonden, maar de elektronen kunnen onder invloed van een spanning door het materiaal bewegen. De negatieve elektronen zullen 'van − naar +' bewegen, maar van oudsher zegt men dat 'de stroom van + naar −' loopt. Dit zei men al voordat Thomson in 1897 ontdekte dat het *negatieve* elektronen waren die stroomden. Bij temperatuurstijging gaan de ionen heviger trillen op hun plaats in het rooster. De beweging van de

vrije elektronen wordt daardoor sterker gehinderd. En dit betekent dat de weerstand van het materiaal toeneemt bij temperatuurstijging.

isolatoren

In een *isolator* zijn geen vrije elektronen. Er zijn dus geen ladingsdragers die kunnen bewegen, en de weerstand van een isolator is dan ook hoog.

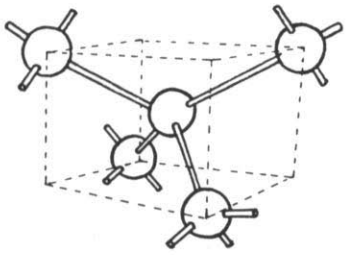
materiaal	soortelijke weerstand in Ωm
koper	$1{,}7 \cdot 10^{-8}$
ijzer	$10{,}5 \cdot 10^{-8}$
germanium	10^{-3}
silicium	10^{-2}
glas	10^{12}
perspex	10^{19}

De soortelijke weerstand van geleiders, halfgeleiders en isolatoren. De soortelijke weerstand is een grootheid waarmee je de weerstand van materialen kunt vergelijken: het is de weerstand van een 'draad' met een lengte van 1 m en een dwarsdoorsnede-oppervlak van 1 m^2.

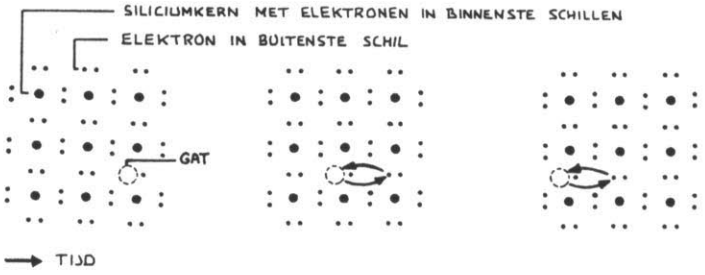
halfgeleiders

Halfgeleiders zijn materialen die veel slechter geleiden dan bijv. metalen, maar veel beter dan isolatoren als glas en plastic. Voorbeelden van halfgeleiders zijn germanium en silicium.
De weerstand van halfgeleidermateriaal neemt af bij temperatuurstijging of belichting.

De meest gebruikte halfgeleider is tegenwoordig silicium (vroeger germanium).
Siliciumatomen hebben vier elektronen in de buitenste schil. Daardoor kunnen ze gemakkelijk bindingen aangaan met vier andere siliciumatomen. Bij zo'n binding is van beide atomen één elektron betrokken.
Die bindingselektronen zijn aan hun plek gebonden, maar er is niet erg veel energie nodig om zo'n elektron vrij te maken. Doordat de atomen in het kristal voortdurend aan het trillen zijn, kan er hier en daar wel eens een elektron losraken en aan het zwerven gaan. Deze losgeraakte elektronen gedragen zich net als de vrije elektronen in een metaal: bij het aanleggen van een spanning bewegen ze van − naar +.
Maar er gebeurt ook nog iets anders. Waar een elektron losgeraakt en weggegaan is, blijft een open plek over met een tekort aan negatieve lading: een positief *gat*. Dat gat kan bezet worden door een elektron uit een naburig tweetal bindingselektronen – maar dan ontstaat op díe plek een gat. Op die manier gaat het gat ook aan het zwerven. En bij het aanleggen van een spanning bewegen de gaten van + naar −. Daardoor leveren de gaten ook een bijdrage aan de geleiding.

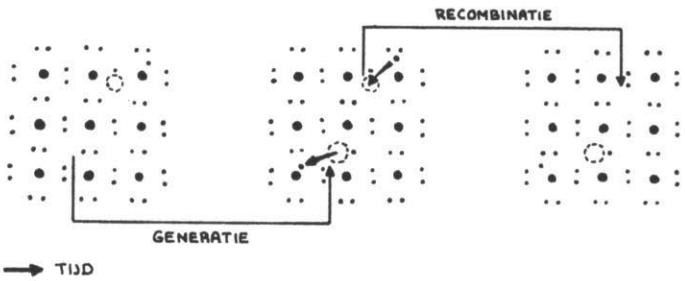


Binding tussen siliciumatomen.

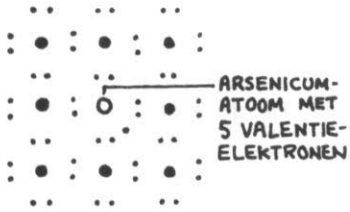


Schematische voorstelling van de beweging van een gat in een halfgeleidermateriaal.

Het aantal vrije elektronen en gaten in een halfgeleider neemt toe
– bij verwarming: de gemiddelde energie van de atomen neemt toe, en daarmee de kans op het losraken van een elektron en het ontstaan van een gat;
– bij belichting: een foton met voldoende energie kan een elektron vrijmaken en daarmee tevens een gat laten ontstaan.
Op deze manier zijn de eerder genoemde eigenschappen van de weerstand van halfgeleidermateriaal te verklaren.
De vorming van een tweetal ladingsdragers – vrij elektron en gat – wordt *generatie* genoemd. Het omgekeerde proces heet *recombinatie*: een vrij elektron wordt gevangen door een gat en het gat wordt opgevuld.



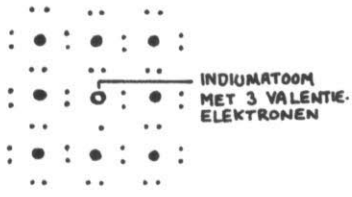
Generatie en recombinatie in een halfgeleidermateriaal.



Schema van n-silicium.

n-silicium

Het is mogelijk in silicium een klein gedeelte van de atomen te vervangen door atomen met vijf elektronen in de buitenste schil (bijv. arsenicum) zonder de kristalstructuur te verstoren. Bij zo'n vervanging worden vier elektronen 'gebruikt' voor de binding met de vier buuratomen; het vijfde elektron kan gaan zwerven. Op deze manier wordt het aantal vrije elektronen zeer veel groter dan in zuiver silicium. Het aantal gaten daarentegen is veel kleiner dan in zuiver silicium, doordat een gat een grote kans heeft op een ontmoeting met een vrij elektron en daarbij door recombinatie verdwijnt. Omdat de vrije ladingsdragers hier voornamelijk negatief zijn (vrije elektronen) spreken we van *n-silicium*. Het materiaal is echter niet negatief geladen: er is nog steeds evenveel positieve als negatieve lading.

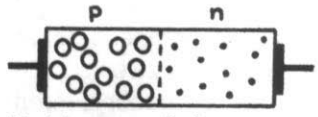


Schema van p-silicium.

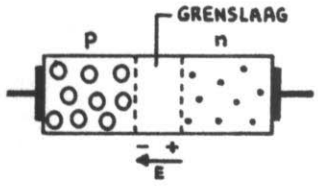
p-silicium

Het is ook mogelijk een klein gedeelte van de siliciumatomen te vervangen door atomen met drie elektronen in de buitenste schil (bijv. gallium). Nu zijn maar drie elektronen beschikbaar voor de binding met de vier buuratomen: er is een gat. Een elektron van een aangrenzend siliciumatoom kan de lege plaats opvullen, maar laat een gat achter; dit kan opgevuld worden door weer een ander elektron, enz. Het aantal gaten is hier veel groter dan in zuiver silicium; het aantal vrije elektronen juist kleiner. De positieve gaten zorgen hier voor de geleiding; daarom spreken we van *p-silicium*. Maar ook hier is het materiaal als geheel genomen neutraal.

de werking van een diode

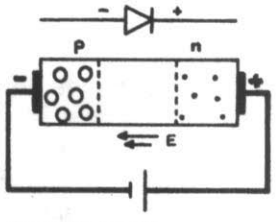


Model van een diode.



Een *halfgeleiderdiode* bestaat uit een laagje n-silicium en een laagje p-silicium.
In het n-gebied zijn de ladingsdragers die kunnen bewegen voornamelijk vrije elektronen, en in het p-gebied voornamelijk gaten. Bij de *p-n-overgang* (het grensvlak tussen het p- en het n-gebied) recombineren gaten uit het p-gebied met elektronen uit het n-gebied. Er ontstaat zo een *grenslaag* waarin geen vrije ladingsdragers (gaten en elektronen) meer aanwezig zijn. Deze grenslaag is aan de kant van het p-gebied negatief geladen (er verdwijnen daar gaten) en aan de kant van het n-gebied positief geladen (er verdwijnen daar elektronen). Er is dus een elektrisch veld over de p-n-overgang ontstaan. Dit elektrisch veld belemmert verder het oversteken van elektronen vanuit het n- naar het p-gebied en het oversteken van gaten vanuit het p- naar het n-gebied: er is een situatie van evenwicht ontstaan.

Nu sluiten we de diode aan op een spanningsbron. Daarvoor zijn twee mogelijkheden: aansluiting in de *sperrichting* of in de *doorlaatrichting*.



SPERSTROOM
Als een diode in de sperrichting geschakeld is, loopt er toch een kleine stroom door de diode: de sperstroom. *Deze sperstroom ontstaat door de generatie van elektron-gat-paren in de grenslaag. Het ontstane gat beweegt onder invloed van de elektrische velden over de p-n-overgang en over de diode naar het p-gebied en het ontstane elektron naar het n-gebied. Op deze manier steekt een klein aantal vrije ladingsdragers de grenslaag over: er loopt een kleine stroom van het n- naar het p-gebied, dus van de +pool van de spanningsbron naar de −pool*

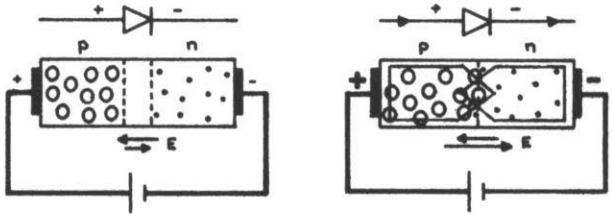
sperrichting

De −pool van de spanningsbron wordt aangesloten op het p-gebied, de +pool op het n-gebied. De spanningsbron levert een naar links gericht elektrisch veld over de diode (zie de figuur hiernaast). Het door de spanningsbron geleverde elektrische veld versterkt het elektrisch veld over de p-n-overgang. Gaten in het p-gebied worden naar links, en elektronen in het n-gebied worden naar rechts getrokken: de grenslaag wordt breder. Net als in de situatie zonder spanning over de diode kunnen er geen elektronen vanuit het n- naar het p-gebied oversteken en kunnen er geen gaten vanuit het p-gebied naar het n-gebied oversteken: er loopt geen stroom door de diode.
Als de spanningsbron op deze manier is aangesloten op de diode (− aan p-gebied en + aan n-gebied), loopt er geen stroom door de diode: de diode is in de *sperrichting* geschakeld.

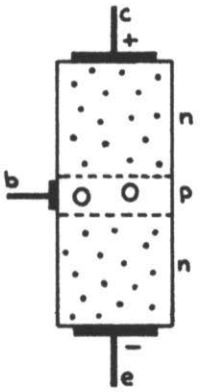
doorlaatrichting

De +pool van de spanningsbron wordt aangesloten op het p-gebied, de −pool op het n-gebied. De spanningsbron levert een naar rechts gericht elektrisch veld over de diode (zie de figuur op blz. 37). Onder invloed van dit elektrisch veld bewegen gaten in het p-gebied naar rechts en elektronen in het n-gebied naar links. Ze worden echter tegengehouden door het naar links gerichte elektrisch veld over de p-n-overgang. Bij een

AANVULLEN VAN GATEN IN HET P-GEBIED
In het p-gebied ontstaan door generatie voortdurend elektron-gatparen. Als er geen spanning over de diode staat, zullen de ontstane vrije elektronen vrijwel direct weer recombineren (waarom?). Bij een in doorlaatrichting geschakelde diode wordt echter een gedeelte van de vrije elektronen die in het p-gebied ontstaan, weggetrokken naar de +pool van de spanningsbron. Hierdoor blijven er gaten achter in het p-gebied. De spanningsbron vult dus de gaten in het p-gebied aan, door via generatie ontstane vrije elektronen uit het p-gebied weg te trekken.



lage spanning is het door de spanningsbron geleverde elektrisch veld te zwak om gaten vanuit het p-gebied en elektronen vanuit het n-gebied door de grenslaag heen te krijgen. Door het 'opdringen' van gaten en elektronen wordt de grenslaag echter wél smaller. Bij een lage spanning van de spanningsbron loopt er dus geen stroom door de diode. Dat wordt anders als de spanning stijgt. Boven een bepaalde waarde van de spanning (0,7 V voor silicium-diodes) is het door de spanningsbron geleverde elektrisch veld groot genoeg om de tegenstand van het elektrisch veld over de p-n-overgang te overwinnen. De opdringende gaten en elektronen breken de grenslaag helemaal af, ontmoeten elkaar en recombineren. De gaten die zo uit het p-gebied verdwijnen, worden vanuit de +pool van de spanningsbron 'aangevuld' (zie de margetekst hiernaast). En de vrije elektronen die uit het n-gebied verdwijnen worden vanuit de −pool van de spanningsbron aangevuld. Als de spanningsbron (met voldoende hoge spanning) op deze manier is aangesloten op de diode (+ aan p-gebied en − aan n-gebied), loopt er een stroom door de diode: de diode is in de *doorlaatrichting* geschakeld.

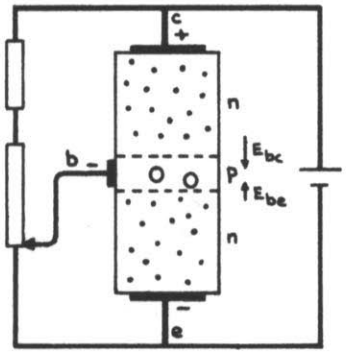


Model van een transistor.

de werking van een transistor

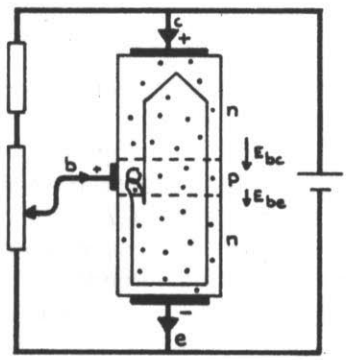
Een *transistor* bestaat uit drie lagen halfgeleidermateriaal. De npn-transistor bestaat uit twee lagen n-silicium, gescheiden door een dunne laag p-silicium. Bij de pnp-transistor zijn de twee lagen p-silicium gescheiden door een dunne laag n-silicium. In beide typen transistoren is het basiscontact met de middelste laag halfgeleidermateriaal verbonden. Bij de proeven in dit hoofdstuk heb je npn-transistoren gebruikt. Deze transistoren geleiden als de basis ten opzichte van de emitter een positieve spanning heeft van meer dan 0,7 V.

De transistor bestaat in feite uit twee diodes: een basis-emitter-diode en een basis-collector-diode. De collector van een npn-transistor wordt op de +pool van een spanningsbron aangesloten, en de emitter op de −pool. Afhankelijk van de spanning tussen basis en emitter kunnen we nu twee situaties onderscheiden: de transistor *geleidt niet* en de transistor *geleidt wel*.



niet-geleidende transistor

We geven de basis dezelfde spanning als de emitter, door de spanningsdeler in de hiernaast getekende stand te zetten. De basis-collector-diode is nu in de *sperrichting* aangesloten. Over de basis-emitter-diode staat *geen spanning*. Door deze diode zal dus geen stroom lopen (zie 'de werking van de diode' op blz. 36). Er loopt dus zeker geen stroom van collector naar emitter: de transistor *geleidt niet*.



geleidende transistor

We maken de basis positief ten opzichte van de emitter. Over de basis-emitter-diode staat nu een spanning in de *doorlaatrichting*. Als de basis-emitter-spanning hoger is dan 0,7 V, zal er een stroom door de basis-emitter-diode lopen: elektronen bewegen vanuit de emitter naar de basis en gaten bewegen vanuit de basis naar de emitter, recombineren als ze elkaar tegenkomen en worden voortdurend aangevuld vanuit de spanningsbron.
De basis-collector-diode is echter nog steeds in de *sperrichting* geschakeld. Hoe kan er dan een stroom van collector naar basis (of emitter) ontstaan?
Voor een antwoord op die vraag zijn twee eigenschappen van de basis van belang: de basis vormt een heel *dun* laagje tussen emitter en collector, én de basis bestaat uit halfgeleidermateriaal waarin *minder siliciumatomen vervangen* zijn dan in het emitter-

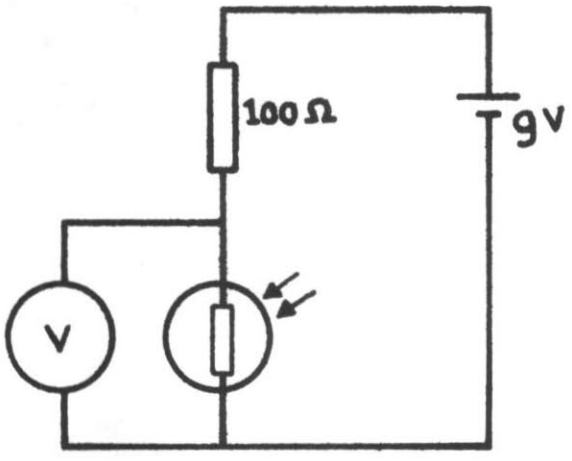
Het geleidend worden van een transistor berust op de opheffing van het sperren van de basis-collector-diode, door aan het p-gebied van deze diode vrije elektronen (vanuit de emitter) toe te voeren. Bij een in sperrichting geschakelde diode kunnen namelijk geen gaten vanuit het p-gebied naar het n-gebied bewegen, maar vrije elektronen kunnen de p-n-overgang wel in deze richting oversteken. Bij een normale diode zijn die elektronen echter niet aanwezig in het p-gebied.

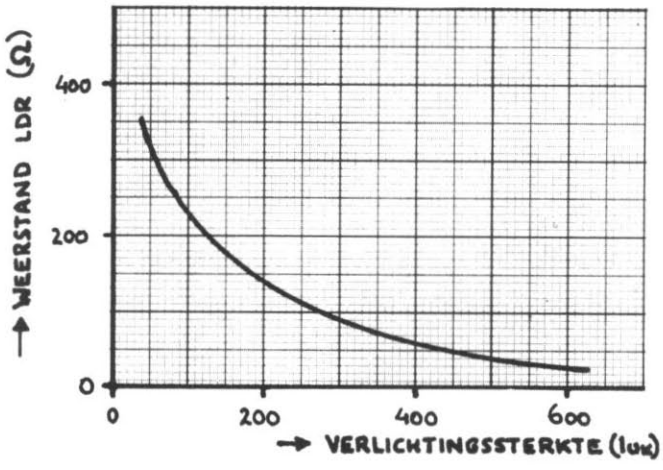
materiaal. In de basis bevinden zich daardoor veel minder vrije ladingdragers (gaten) dan in de emitter (elektronen).
De basis-emitter-spanning levert een elektrisch veld, dat elektronen uit de emitter naar de basis trekt. Een *gedeelte* van die elektronen recombineert met de gaten in de basis. Maar omdat er relatief weinig gaten in de basis aanwezig zijn, blijven er *veel* elektronen over die in de basis doordringen maar daar *niet recombineren*.
Bekijken we nu de basis-collector-diode. Het elektrisch veld over de basis-collector-diode trekt de niet-gerecombineerde elektronen vanuit de basis naar de collector. Vanuit de collector bewegen deze elektronen zich naar de +pool van de spanningsbron. Er loopt nu dus een elektronenstroom van emitter naar collector (en dus een stroom van collector naar emitter): de transistor *geleidt*.

1.
Leg uit dat de genoemde eigenschappen van de basis (smal, weinig 'verontreinigd' ten opzichte van de emitter) noodzakelijk zijn voor het geleidend worden van een transistor. Doe dat door na te gaan wat er met de elektronenstroom vanuit de emitter naar de basis gebeurt, als de basis deze eigenschappen *niet* heeft.

3.8 OPGAVEN

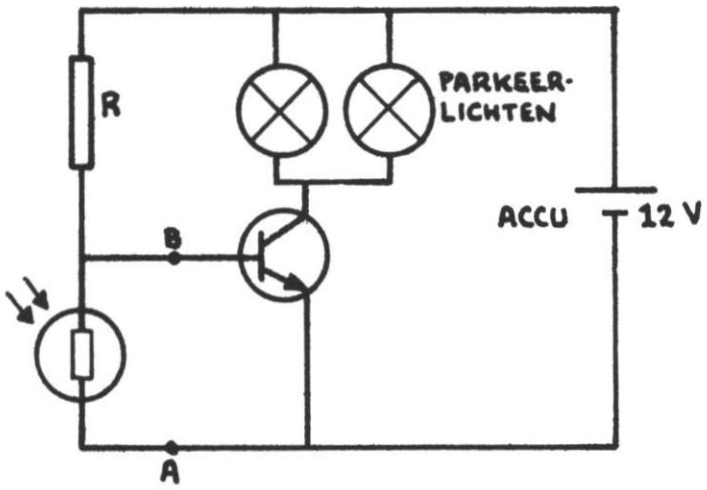
1. BELICHTINGSMETER
Marjolein maakt zelf een belichtingsmeter volgens de hieronder weergegeven schakeling. Bij de LDR die zij gebruikt, is een diagram geleverd waaruit de weerstand als functie van de verlichtingssterkte is af te lezen.

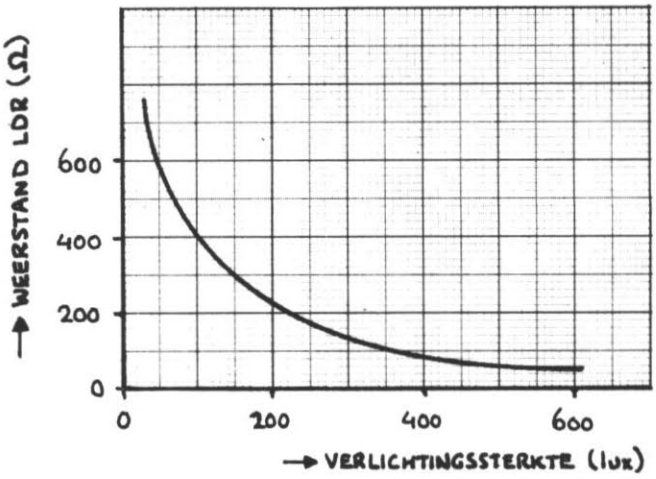




a. Bepaal met behulp van het diagram hoe groot de verlichtingssterkte is, als de voltmeter 6,0 V aanwijst.
b. Kun je in de belichtingsmeter de weerstand van 100 Ω vervangen door een (weerstandsloze) draad?
Zo ja, hoe meet je dan de verlichtingssterkte?
Zo nee, waarom niet?

2. PARKEERLICHTSCHAKELING
Met de op blz. 39 weergegeven schakeling gaan de parkeerlichten van een auto automatisch branden als het donker wordt. De transistor in deze schakeling geleidt als de spanning tussen basis en emitter hoger is dan 0,7 V.
a. Leg uit dat de parkeerlichten automatisch ontstoken worden als de LDR verduisterd wordt.
b. Het verband tussen de weerstand van de LDR en de verlichtingssterkte is weergegeven in het diagram op blz. 39. De weerstand R in de schakeling heeft een weerstandswaarde van 4,7 kΩ.
Bereken bij welke verlichtingssterkte de parkeerlichten zullen gaan branden.
c. In de gegeven schakeling gaan de parkeerlichten al branden als het buiten



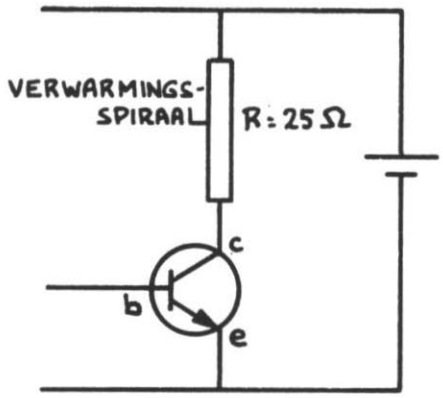


bewolkt is.
Beredeneer of de weerstandswaarde van R groter of kleiner gemaakt moet worden om dit te verhelpen.

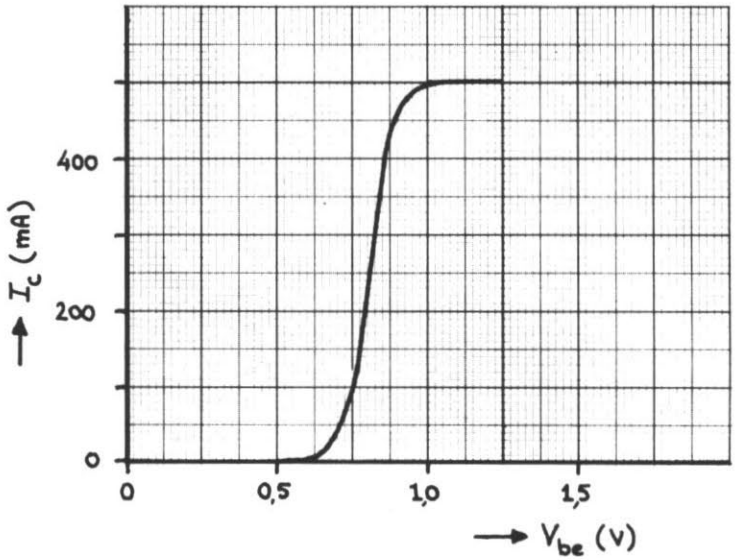
d. De gegeven schakeling heeft verder als nadeel, dat de parkeerlichten ook steeds aangaan als de LDR door een toevallige voorbijganger wordt verduisterd. Om dat tegen te gaan, zet men in de schakeling tussen de punten A en B een condensator met een grote capaciteit.
Beredeneer dat daardoor bij een korte verduistering van de LDR de parkeerlichten toch niet gaan branden.

3. ELEKTRONISCHE THERMOSTAAT

Een jonge knutselaar wil een schakeling maken om haar aquarium op een constante temperatuur te houden. Het aquarium kan verwarmd worden door een verwarmingsspiraal.
Ze bouwt de onderstaande schakeling, en gaat door metingen na hoe de collectorstroom (dus de stroom door de verwarmingsspiraal) afhangt van de spanning tussen basis en emitter. Het resultaat van deze metingen zie je in het diagram hieronder.



Elektronische verwarming.

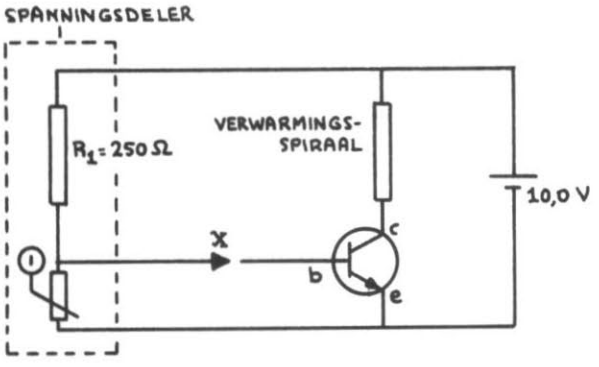


Stroomsterkte in de verwarmingsspiraal als functie van de spanning tussen basis en emitter.

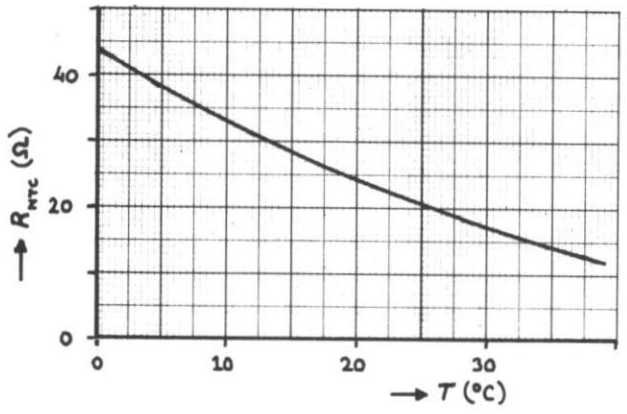
a. Bepaal met behulp van het I_c-V_{be}-diagram hoe groot de spanning tussen basis en emitter minstens moet zijn, om de verwarmingsspiraal een vermogen van 1,0 W te laten leveren.

b. Om de temperatuur van het aquarium te bepalen koopt de knutselaar een NTC-weerstand, die ze in het aquarium

hangt. Deze NTC-weerstand neemt ze op in een spanningsdelerschakeling zoals hieronder weergegeven. De spanning die de batterij levert is 10,0 V. Op een bijgeleverde specificatie is de weerstandswaarde van de NTC-weerstand getekend als functie van de temperatuur (zie het onderstaande diagram).
Bepaal met behulp van het R_{NTC}-T-diagram de spanning over de NTC-weerstand, als de temperatuur 28 °C is.



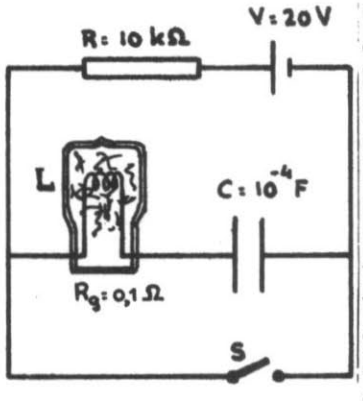
Elektronische thermostaat.



Temperatuurafhankelijkheid van de NTC-weerstand.

c. Punt X van de spanningsdeler wordt aangesloten op de basis van de transistor. (Omdat de basisstroom relatief klein is, mag je aannemen dat daardoor de spanningen over de weerstanden van de spanningsdeler niet beïnvloed worden.)
Beredeneer dat door deze schakeling de temperatuur van het aquarium ongeveer constant zal blijven.
d. Als de (constante) temperatuur van het aquarium nu te laag is, kan de weerstand R_1 aangepast worden.
Beredeneer of de weerstandswaarde van R_1 groter of kleiner moet worden gekozen om de temperatuur van het aquarium te verhogen.

4. FLITSLAMP



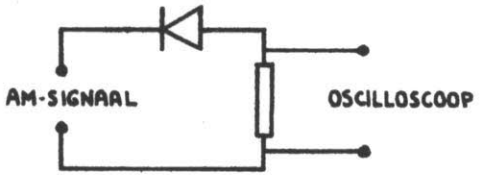
Hiernaast is de schakeling getekend van een condensatorflitser. Deze flitser wordt bij het fotograferen gebruikt. Het flitslampje L bestaat uit een glazen ballonnetje, gevuld met zuivere zuurstof, waarin zich een kluwen dun magnesiumdraad bevindt. Onder deze omstandigheden heeft dit magnesium een ontbrandingstemperatuur van 35 °C. In het lampje bevindt zich een gloeidraad (R = 0,1 Ω), die opgenomen is in de stroomketen. De kluwen magnesiumdraad heeft geen elektrische contacten naar buiten.
Bij geopende schakelaar S wordt de condensator door een stroom vanuit de spanningsbron via de 10 kΩ weerstand en de gloeidraad van het flitslampje opgeladen.
a. Hoe groot is de spanning over de condensatorplaten als het opladen van de condensator door de spanningsbron afgelopen is?
b. Toon aan dat na het opladen van de condensator op de platen een lading van $2 \cdot 10^{-3}$ C opgeslagen is.
c. De condensator kan in opgeladen toestand opgevat worden als een spanningsbron. Als de schakelaar S wordt gesloten (bij het nemen van een foto), loopt er een stroom van de ene condensatorplaat naar de andere via de gloeidraad van het flitslampje: de condensator ontlaadt zich.
Toon aan dat direct na het sluiten van de schakelaar S de stroomsterkte in de gloeidraad $2 \cdot 10^2$ A bedraagt. Waardoor zal deze stroomsterkte binnen korte tijd na het sluiten van de schakelaar S tot nul afnemen?
d. In opgeladen toestand zit op de condensatorplaten een energie opgeslagen van $2 \cdot 10^{-2}$ J. Tijdens het ontladen komt deze energie in de vorm van warmte vrij in de gloeidraad van het flitslampje. Neem aan dat deze warmtehoeveelheid van $2 \cdot 10^{-2}$ J in zijn geheel wordt gebruikt om het magnesium rondom de gloeidraad in temperatuur te laten stijgen. Het magnesium in de flitslamp heeft voor een temperatuurstijging van 1 °C een hoeveelheid warmte nodig van 10^{-3} J.

Bereken de temperatuurstijging van het magnesium in het flitslampje.
Hoe is het, gezien deze temperatuurstijging, te verklaren dat het flitslampje gloeiend heet wordt?

e. Niet alleen bij het ontladen, maar ook bij het opladen van de condensator loopt er een stroom door de gloeidraad. Ook de stroomdoorgang bij het opladen zorgt voor een warmteontwikkeling. Waardoor wordt verhinderd dat de flitslamp al tijdens het opladen van de condensator ontsteekt?

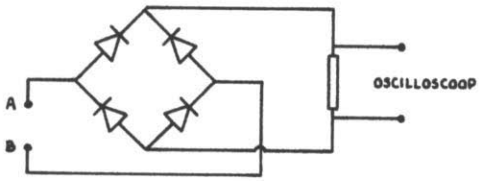
5. DEMODULATOR

In de figuur hiernaast zie je een amplitudegemoduleerd signaal. Om een hoorbaar geluid te produceren, moet dit signaal gedemoduleerd worden. De eerste stap daarbij is gelijkrichting.
In de figuur hieronder zie je een eenvoudige gelijkrichter.



a. Schets het signaal dat op het oscilloscoopscherm zichtbaar is.

b. Het nadeel van bovenstaande schakeling is dat per periode van de draaggolf de helft van het signaal wegvalt. Met de hieronder getekende gelijkrichtschakeling los je dat probleem op.



Analyseer de werking van deze gelijkrichtschakeling door de onderstaande vragen te beantwoorden.
– Loopt er een stroom door de weerstand als A met de +pool en B met de −pool van een gelijkspanningsbron is verbonden? Zo ja, teken de stroomkring. In welke richting loopt de stroom door de weerstand?
– Loopt er een stroom door de weerstand als A met de −pool en B met de +pool van een gelijkspanningsbron is verbonden? Zo ja, teken de stroomkring. In welke richting loopt de stroom door de weerstand? (Wat valt je op als je de stroomrichting door de weerstand in beide gevallen met elkaar vergelijkt?)
– Schets het beeld op het oscilloscoopscherm, als je A en B op de polen van een wisselspanningsbron aansluit.

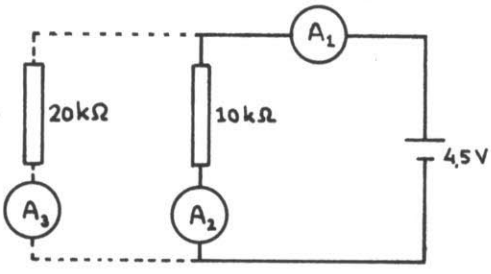
c. Het amplitudegemoduleerde signaal wordt aangesloten op de punten A en B van de (tweede) gelijkrichtschakeling. Schets het signaal dat op het oscilloscoopscherm zichtbaar is.

d. Welk voordeel heeft de tweede gelijkrichtschakeling boven de eerste?

parallelschakeling

6.

Een weerstand van 10 kΩ is aangesloten op een spanningsbron van 4,5 V.



a. Wat lezen we af op de meters A_1 en A_2?

b. Nu plaatsen we een weerstand van 20 kΩ *parallel* aan de eerste. Lezen we nu op A_1 een grotere, kleinere of even grote stroomsterkte af? Licht je antwoord kort toe.

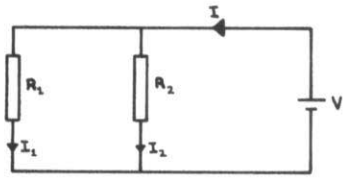
c. Wat lezen we in de situatie van 6b af op A_2 en A_3? En op A_1?

d. Is de totale weerstand in de stroomkring (de vervangingsweerstand) kleiner of groter geworden door het parallel schakelen van de 20 kΩ weerstand?

PARALLELSCHAKELING

Bij een *parallelschakeling van twee weerstanden* R_1 en R_2 verdeelt de stroomsterkte zich over de twee weerstanden: een stroomsterkte I_1 in R_1 en een stroomsterkte I_2 in R_2. Voor de stroomsterktes geldt:

$$I = I_1 + I_2$$



Beide weerstanden zijn aangesloten op de spanning V van de spanningsbron, zodat geldt:

$$I_1 = \frac{V}{R_1} \text{ en } I_2 = \frac{V}{R_2}.$$

Voor de *vervangingsweerstand* R_v geldt:

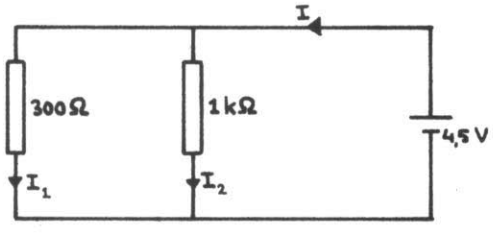
$$I = \frac{V}{R_v}.$$

Uit dit alles is een uitdrukking voor de vervangingsweerstand bij parallelschakeling af te leiden:

$$I = I_1 + I_2 \rightarrow \frac{V}{R_v} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} \rightarrow \frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

7.

a. Hoe groot zijn I_1 en I_2 in de schakeling hieronder?



b. Hoe groot is dus de totale stroomsterkte I?

c. Bereken nu de vervangingsweerstand R_v met de formule

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

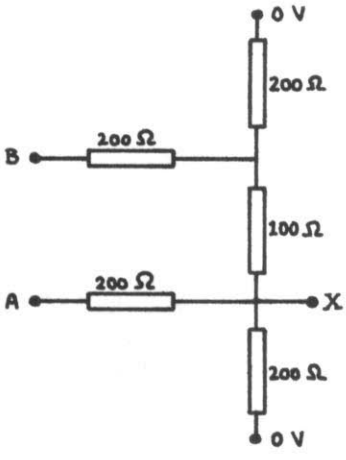
Is R_v kleiner of groter dan R_1? En dan R_2?

d. Bereken nu met behulp van R_v de totale stroomsterkte I.

Klopt je antwoord met wat je bij 7b vond?

8. BINAIR-DECIMAAL OMZETTER

Om deze opgave te kunnen maken, moet je eerst opgaven 6 en 7 maken, en de theorie over 'parallelschakeling' bestuderen.



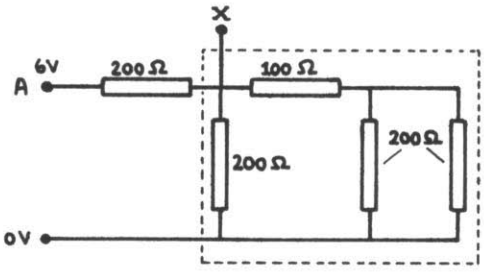
De hiernaast getekende schakeling is een binair-decimaal omzetter. De schakeling kan de binaire getallen 01, 10 en 11 omzetten in de decimale getallen 1, 2 en 3. (Informatie over binaire getallen vind je in de bijlage 'binair rekenen'.)

Als contact A wordt aangesloten op 0 V en contact B op 6 V, staat op de uitgang X van de schakeling een spanning van 1 V. Een spanning van 0 V op A betekent een binaire 0, een spanning van 6 V op B betekent een binaire 1. In dit geval zet de schakeling dus het binaire getal AB = 01 om in een spanning van 1 V op uitgang X: het decimale getal 1.

a. Contact A wordt nu aangesloten op 6 V en contact B op 0 V.

Welk binair getal wordt dan aan de schakeling toegevoerd? Welke spanning moet dan op de uitgang X staan?

b. In de situatie van 8a kun je de schakeling als één stroomkring tekenen; die stroomkring zie je hieronder.



Beantwoord nu de volgende vragen.

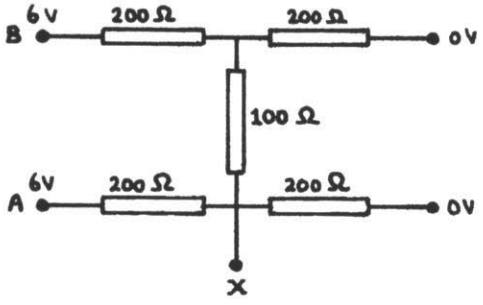
– Hoe groot is de vervangingsweerstand van het omstippelde gedeelte van de schakeling?

– Hoe groot is dan de spanning op de uitgang X?

– Is de door jou berekende spanning

op de uitgang X in overeenstemming met je antwoord bij 8a?

c. Als op contact A én op contact B een spanning van 6 V wordt aangesloten, ontstaat er een nieuwe stroomkring (zie de tekening hieronder).



Beantwoord nu de volgende vragen.

– Beredeneer dat door de weerstand van 100 Ω geen stroom loopt, en dat je deze weerstand kunt weghalen zonder dat er aan stromen en spanningen in de schakeling iets verandert.

– Hoe groot is nu de spanning op de uitgang X?

– Is de spanning op de uitgang X in overeenstemming met het aan de schakeling toegevoerde binaire getal?

hoofdstuk 4

VAN TRANSISTOR TOT CHIP

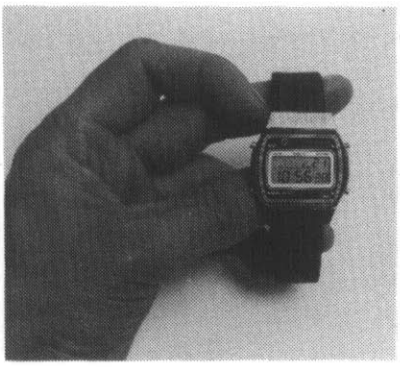
inhoud

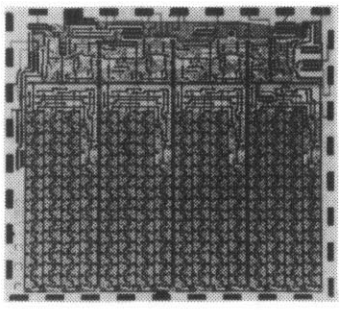
		blz.
4.1	chips	45
4.2	elektronische klok	45
4.3	elektronisch geheugen	49
4.4	elektronisch rekenen	52

van transistor tot chip

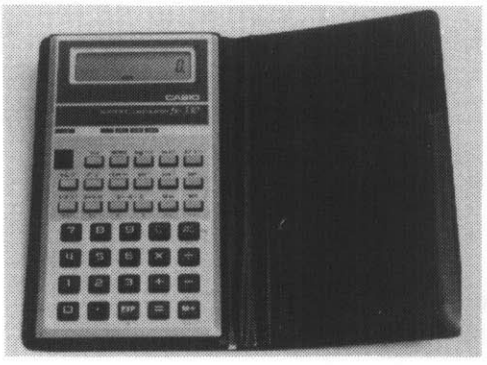
Met de componenten uit hoofdstuk 3 (transistor, diode, condensator, weerstand) kunnen vele verschillende schakelingen gebouwd worden, die allerlei taken elektr(on)isch uitvoeren: besturen, regelen, tellen, onthouden, rekenen enz. Daarom is het belang van elektronica zo groot voor de verschillende toepassingsgebieden (tele)communicatie, informatieopslag en -verwerking, automatisering.

Een paar van dergelijke schakelingen zullen we in dit hoofdstuk onderzoeken. We beperken ons daarbij tot een *klokschakeling*, een *schakeling voor informatie-opslag* en een *rekenschakeling*.





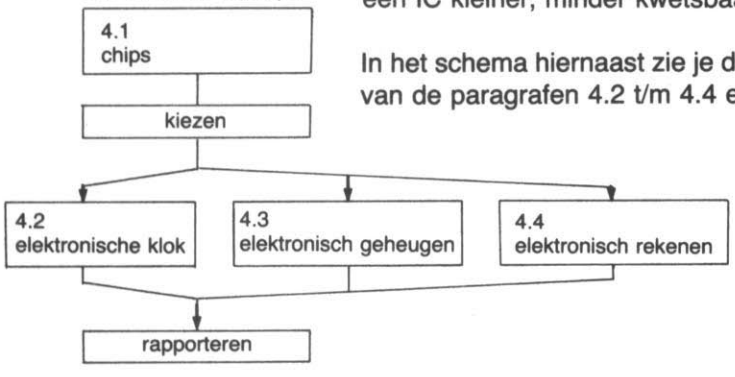
Elektronisch geheugen.



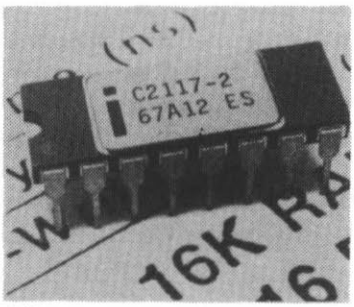
Elektronische schakelingen worden steeds meer toegepast omdat ze steeds kleiner (en goedkoper) uitgevoerd kunnen worden. Sinds 1959 is een techniek ontwikkeld om vele componenten op een oppervlak van enkele mm^2 (een *chip*) aan te brengen. Zo'n chip is ondergebracht in een (zwart) blokje en wordt ook *IC* (integrated circuit) genoemd.
We zullen zien dat de schakelingen die we in dit hoofdstuk onderzoeken ook met behulp van een IC uitvoerbaar zijn.
Een IC heeft in vergelijking met een gewone (transistor-)schakeling als voordelen dat een IC kleiner, minder kwetsbaar en goedkoper is en minder energie gebruikt.

In het schema hiernaast zie je de opzet van dit hoofdstuk: je maakt een keuze voor een van de paragrafen 4.2 t/m 4.4 en rapporteert na afloop over je onderzoek.

De opzet van hoofdstuk 4: 'van transistor tot chip'.

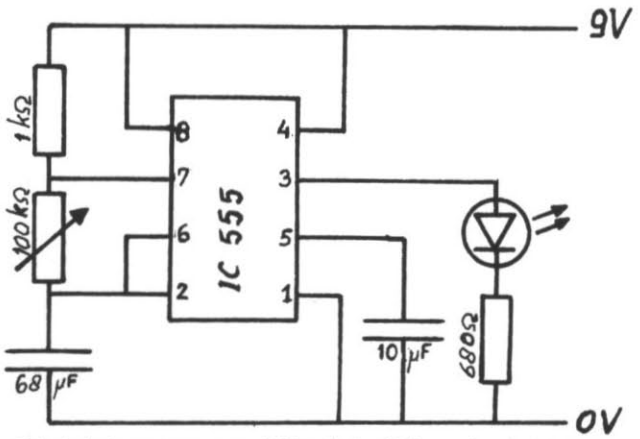


4.1 CHIPS

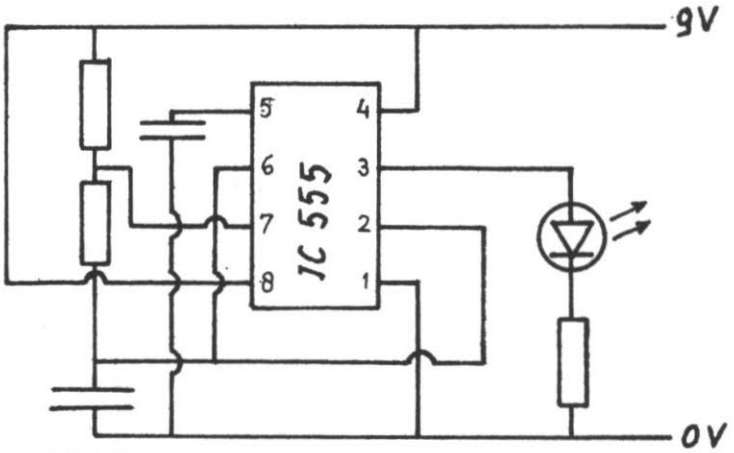


Chip.

Een chip of IC heeft een aantal contacten. Deze contacten worden in een vaste volgorde genummerd.
In schakelschema's wordt vaak die nummervolgorde niet aangehouden, omdat de tekening dan eenvoudiger kan worden. Een voorbeeld daarvan zie je hieronder.

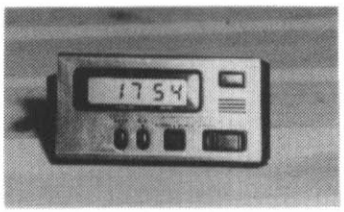


Schakelschema van een elektronische klok zonder de juiste nummervolgorde van de contacten.



Schakelschema van een elektronische klok met de juiste nummervolgorde van de contacten: het schakelschema is lastiger te tekenen en te 'lezen'.

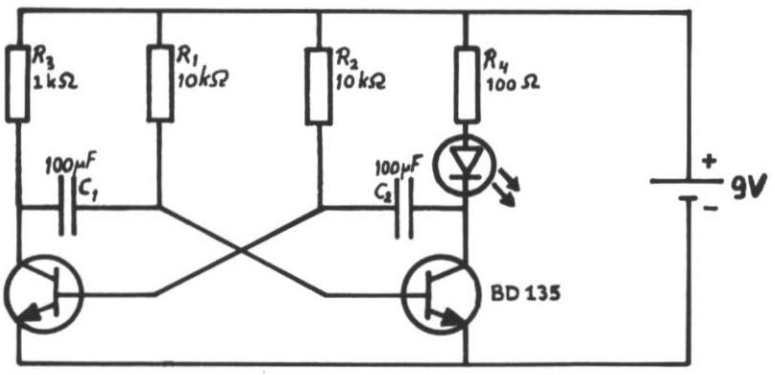
4.2 ELEKTRONISCHE KLOK



inleiding

Bij automatisering staat het besturen en regelen van processen centraal. Hierbij moeten op bepaalde momenten apparaten in- of uitgeschakeld worden (bijv. bij een wasmachine). Om dit op tijd te laten gebeuren is een elektronische klokfunctie belangrijk. Zo'n elektronische klok bestaat uit een schakeling die regelmatig spanningspulsen afgeeft. Dat wil zeggen: een spanning wordt regelmatig in- en uitgeschakeld. Als de tijd tussen twee pulsen bijv. 1 seconde is en we verbinden deze schakeling met een teller, dan hebben we een klok die secondes aangeeft. Dit is het principe van een digitale klok.
Als we zo'n schakeling verbinden met een lampje, zal dit bij iedere spanningspuls aan gaan: we maken zo een knipperlicht. Zo'n klokschakeling onderzoek je in deze paragraaf.

de transistorschakeling



1. KLOKSCHAKELING

a. Hiernaast is het schema van een klokschakeling getekend. Als lampje gebruiken we een LED.
Vergelijk het schema met de echte schakeling. Herken je in de echte schakeling het schema?

b. Probeer de werking van de schakeling uit.

2. FREKWENTIE VARIEREN

De knipperfrekwentie van de schakeling bij 1 hangt af van de waarden van de weerstanden R_1 en R_2 en de condensatoren (C_1 en C_2).

a. Wat gebeurt er met de knipperfrekwentie als je condensator C_1 of C_2 vervangt door een condensator met een tweemaal zo grote capaciteit?

b. Wat gebeurt er met de knipperfrekwentie als je weerstand R_1 of R_2 tweemaal zo groot maakt?

c. Wat gebeurt er met de knipperfrekwentie als je de capaciteit van condensator C_1 tweemaal zo groot en weerstandswaarde van R_1 tweemaal zo klein maakt?

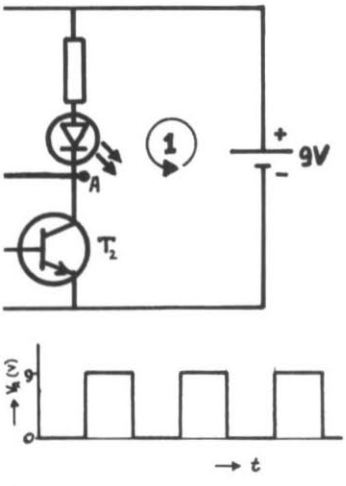
d. Waardoor wordt de knipperfrekwentie bepaald? Probeer een conclusie te formuleren.

3.

Vervang in de schakeling bij 1 de weerstand R_3 door een serieschakeling van een LED en een weerstand van 100 Ω. Wat zie ju nu?

4.

Vervang in de schakeling bij 3 de serieschakeling van een LED en een weerstand van 100 Ω door een kleine luidspreker (R = 100 Ω). Wat neem je nu waar?



De spanning bij A als functie van de tijd.

De hierboven onderzochte schakeling zorgt ervoor dat een lampje regelmatig aan en uit gaat. Dit komt doordat de beide transistoren beurtelings aan- en uitgeschakeld worden. De schakeling trilt dus als het ware van de ene naar de andere transistor, en wordt daarom wel een *astabiele multivibrator* genoemd. (De schakeling bij het elektronisch geheugen (paragraaf 4.3) wordt daarentegen een *bistabiele multivibrator* genoemd. Vergelijk de beide schakelingen eens!)

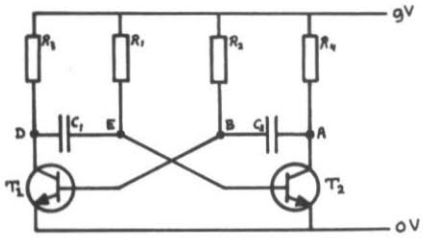
Hoe de astabiele multivibrator als klokschakeling werkt (dat wil zeggen: als schakeling die regelmatig spanningspulsen afgeeft) is als volgt te beschrijven.

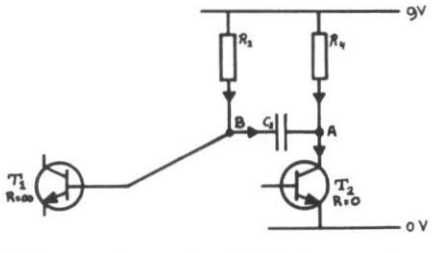
Als T_2 aan is, loopt er een stroom in stroomkring 1 (zie de tekening hiernaast). De transistor heeft dan weinig weerstand en de spanning bij punt A is laag. Als T_2 uit is, is stroomkring 1 door T_2 onderbroken en heeft A een spanning van 9 V (dit heb je kunnen zien in proef 4 van paragraaf 3.2). De schakeling zorgt ervoor dat T_2 afwisselend aan en uit is (zie onderstaand kader). De spanning bij A is dus afwisselend hoog en laag, met andere woorden: bij A worden spanningspulsen afgegeven. De frekwentie van de pulsen hangt af van de waarde van $R_1 \cdot C_1$ en $R_2 \cdot C_2$. Op deze manier kan deze schakeling als klok functioneren.

HOE WERKT DE KLOKSCHAKELING?

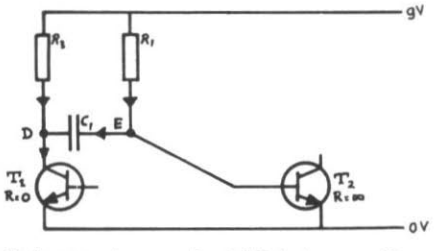
De precieze werking van de schakeling is nogal ingewikkeld. Een vereenvoudigde beschrijving is als volgt.

We beginnen op een moment dat T_2 (net) aan is. T_2 geleidt, en de spanning op punt A (V_A) is daardoor laag. In de stroomkring met R_2, C_2 en T_2 loopt dan een stroom, waardoor C_2 opgeladen wordt. Als T_2 nog maar *net* aan is, *begint* C_2 met opladen: de spanning in punt B (V_B) is dan nog laag (zie paragraaf 3.5). Punt B is verbonden met de basis van T_1; een lage V_B betekent dat T_1 uit is. Maar door het opladen van





T_2 is aan; de spanning bij A is laag en C_2 laadt op.

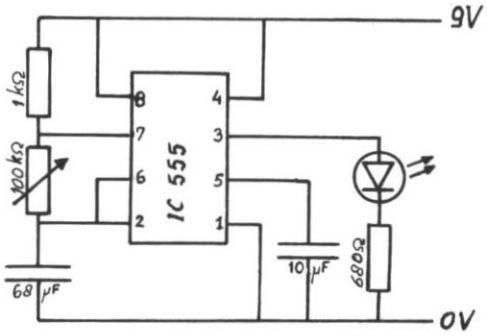


T_1 is aan; de spanning bij D is laag en C_1 laadt op.

C_2 stijgt de spanning V_B. Na verloop van tijd (bepaald door de waarde $R_2 \cdot C_2$) is V_B hoog genoeg om T_1 aan te zetten. Op dat moment gebeurt het volgende: T_1 aan, dus V_D wordt laag; C_1 gaat vollopen maar V_E is daarbij in het begin nog laag; omdat E met de basis van T_2 is verbonden gaat T_2 uit. Dus: als T_1 aangaat, gaat T_2 uit. Na verloop van tijd (bepaald door de waarde $R_1 \cdot C_1$) is V_E hoog genoeg om T_2 aan te zetten. Vanaf dat moment herhaalt de cyclus zich.

de IC-schakeling

We zullen nu een IC-schakeling onderzoeken, die hetzelfde doet: met de regelmaat van een klok een LED laten knipperen.



5. KLOK

Bekijk de IC-uitvoering van de klokschakeling.

a. Vergelijk het schema hiernaast met de echte schakeling. Herken je het schema in de schakeling?

b. Op welke pins is de voedingsspanning (9 V) aangesloten? Welke pins worden niet gebruikt?

c. Kloppen de waarden van de aangesloten weerstanden en condensatoren?

d. Probeer de werking van de schakeling uit.

6. FREKWENTIE VARIEREN

Wat gebeurt er met de knipperfrekwentie als de weerstand of de condensatoren andere waarden krijgen? Om dit te onderzoeken, kun je de variabele weerstand anders instellen. De condensatoren kun je vervangen door andere, of je kunt parallel aan de condensator een tweede condensator schakelen. (De capaciteit van twee parallel geschakelde condensatoren samen is groter dan de capaciteit van de afzonderlijke condensatoren.)

7. VERGELIJKEN

Vergelijk de IC-schakeling met de transistorschakeling. Vind je de IC-schakeling kleiner, eenvoudiger? Gebruikt hij minder energie? Is hij goedkoper?

8. KLOKFUNCTIE

In de inleiding werd gezegd dat een klokfunctie belangrijk is in de elektronica voor het besturen van processen.

Probeer meer te weten te komen over:

- schakelingen waar zo'n elektronische klok in voorkomt;
- waar een elektronische klok voor dient.

Zoek dit na in de literatuur. Je kunt er ook met mensen over gaan praten.

de teller

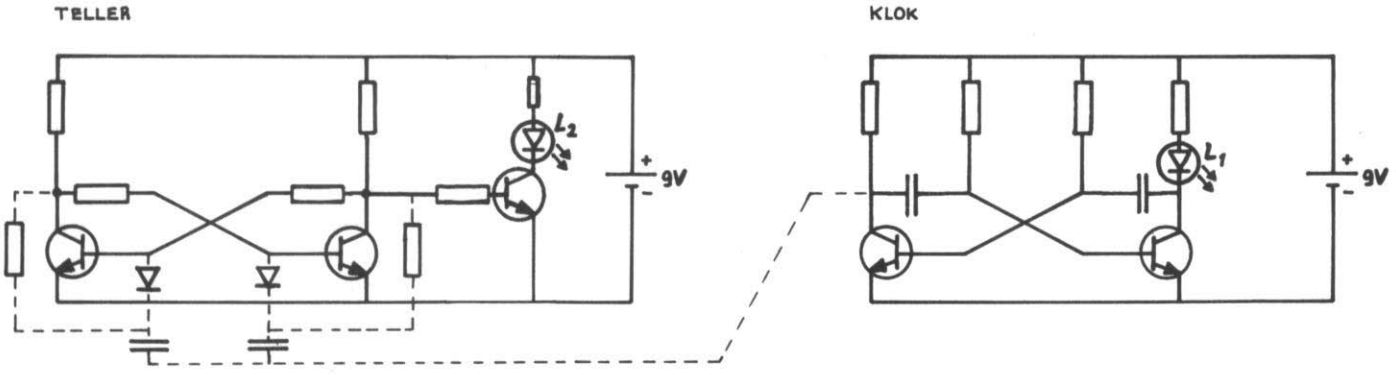
We hebben nu een klokschakeling onderzocht die regelmatig spanningspulsen afgeeft. Maar in een digitaal horloge zit niet alleen zo'n klok, maar ook een *teller* die de pulsen telt en omzet in cijfers.

We kunnen onze klokschakeling verbinden met een zogenaamde *flip-flop*-schakeling (of bistabiele multivibrator), en zo een klok met een teller maken. De groep leerlingen die aan paragraaf 4.3 (elektronisch geheugen) werkt, heeft deze schakeling onderzocht. Doe de opdrachten 9 t/m 11 eventueel met hen samen.

9. KLOK EN TELLER (TRANSISTORUITVOERING)

Informatie over de binaire code vind je in de bijlage 'binair rekenen'

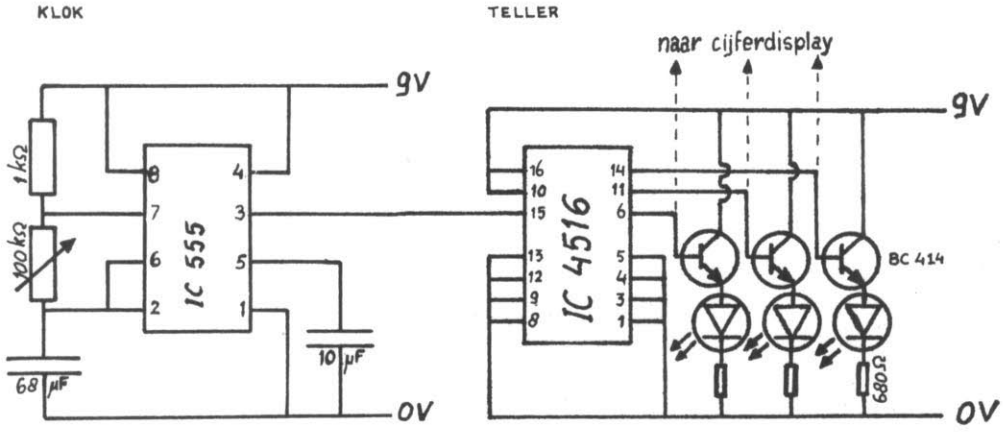
Verbind de klokschakeling (blz. 45, proef 1) met de flip-flop-schakeling (blz. 49, proef 1) volgens het hieronder aangegeven schema.
Je hebt nu een schakeling met twee LED's. De twee LED's zullen zo aan en uit gaan dat in binaire code tot 3 geteld wordt. Als we meer flip-flop's zouden aansluiten, zouden we (binair) verder kunnen tellen.



10. KLOK EN TELLER (IC-UITVOERING)

Verbind de IC-klokschakeling (blz. 47, proef 5) met die van de IC-tellerschakeling (blz. 51, proef 4) volgens het hieronder aangegeven schema.

a. Onderzoek de werking van deze schakeling.
b. Varieer de frekwentie waarmee de klokschakeling pulsen geeft.



11. VERGELIJKEN

Vergelijk bij deze combinatie van klok en teller ook de IC-schakeling met de transistorschakeling.

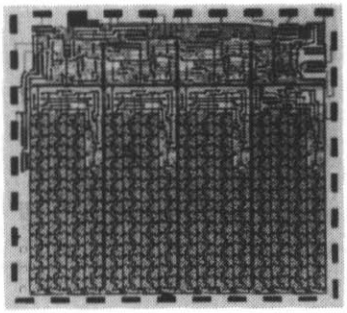
Vind je de IC-schakeling kleiner, eenvoudiger? Gebruikt hij minder energie? Is hij goedkoper?

12. RAPPORTEREN

Bereid een rapportage voor, waarin minstens de volgende punten aan bod komen.

– Demonstratie van de werking van de klokschakeling (transistor- en IC-uitvoering).
– Waarvan hangt de knipperfrekwentie af?
– Hoe ziet het schema van de transistorschakeling eruit?
– Vergelijking van de transistor- en IC-schakeling.

4.3 ELEKTRONISCH GEHEUGEN


Elektronisch geheugen.

inleiding

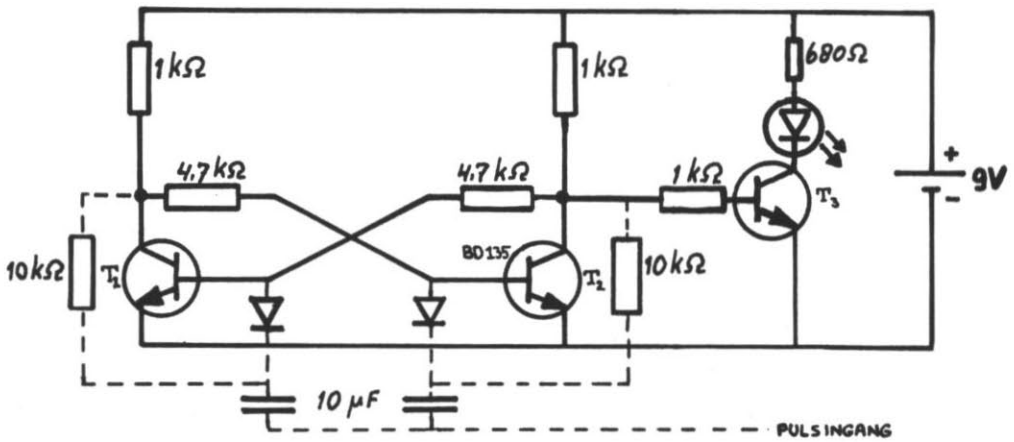
Een belangrijk toepassingsgebied van elektronica is informatie-opslag en -verwerking. Een computer op een kantoor kan gebruikt worden voor de opslag van namen, adressen en andere gegevens. In een bibliotheek is een computer bruikbaar voor de opslag van gegevens over de aanwezige boeken.
Ook kunnen instructies opgeslagen worden. Als je bijv. bij een zakrekenmachine de x-toets indrukt, worden instructies uitgevoerd die zorgen voor het vermenigvuldigen van getallen. Die instructies zijn opgeslagen in het rekenapparaat.
Informatie-opslag kan ook met (tele)communicatie gecombineerd worden. Teletekst bijv. maakt het mogelijk om via een (aangepast) TV-toestel een data-bank aan te spreken.

Het vastleggen van gegevens gebeurt in het *geheugen* van een computer. De vraag is hoe we in een elektronische schakeling informatie kunnen vastleggen. Zo'n geheugenschakeling onderzoek je in deze paragraaf.

de transistorschakeling

1. GEHEUGENSCHAKELING (FLIP-FLOP)

Hieronder is het schema van een geheugenschakeling getekend.
a. Vergelijk het schema met de echte schakeling. Herken je het schema in de schakeling?
b. Probeer de werking van de schakeling uit. Verbind daartoe de geheugenschakeling met een *pulsschakelaar*. Dit is een schakeling die voor spanningspulsen zorgt. Geef een aantal pulsen. Wanneer gaat de LED aan?



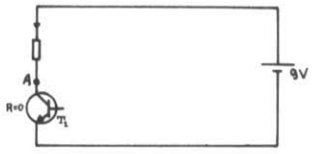
In de geheugenschakeling is de LED afwisselend aan en uit. Dit beinvloeden we door een spanningspuls te geven. Die spanningspuls schakelt de geheugenschakeling om: transistor T_1 gaat uit, transistor T_2 gaat aan of omgekeerd. Als T_2 uit is, heeft de basis van T_3 een hoge spanning. Daardoor is T_3 aan, en brandt de LED.
Deze schakeling heeft twee stabiele toestanden (óf T_1 óf T_2 is aan). Daarom wordt de schakeling ook wel een *bistabiele multivibrator* of *flip-flop* genoemd. (De schakeling bij de elektronische klok (paragraaf 4.2) wordt daarentegen een *astabiele multivibrator* genoemd. Vergelijk de beide schakelingen eens!)

Informatie over de binaire code vind je in de bijlage 'binair rekenen'

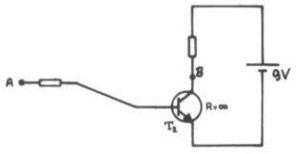
Zo'n flip-flop kan gebruikt worden als geheugen om informatie vast te leggen. Informatie kan altijd vertaald worden in een *binaire code*, die alleen bestaat uit de symbolen 1 en 0. Een 1 komt dan overeen met de ene toestand van de schakeling (bijv. de LED brandt wel), een 0 met de andere (de LED brandt niet). Als de flip-flop in 'toestand 0' is en er wordt een spanningspuls gegeven, dan komt de flip-flop in 'toestand 1'. Die spanningspuls komt overeen met het toevoeren van een 1 aan de schakeling. Aan de flip-flop kunnen we dus zien of er een 1 of een 0 toegevoerd is.

Met andere woorden: de flip-flop onthoudt het toegevoerde signaal.
Een elektronisch geheugen bestaat in principe uit een heleboel flip-flops, die met elkaar verbonden zijn. Daarin kan informatie opgeslagen worden die uit vele nullen en enen bestaat.

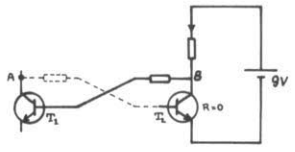
HOE WERKT DE FLIP-FLOP-SCHAKELING?
De precieze werking van de schakeling is nogal ingewikkeld. Een vereenvoudigde beschrijving is als volgt.
Stel dat de schakeling in de toestand is dat T_1 aan is en T_2 uit. Er loopt dan stroom door T_1, door T_2 niet. T_1 heeft dan (bijna) geen weerstand, en punt A heeft dus een spanning van (bijna) 0 V. A is verbonden met de basis van T_2, en een spanning van 0 V betekent inderdaad dat T_2 uit is. T_2 vormt nu een onderbreking, waardoor de spanning van B hoog is. B is verbonden met de basis van T_1, waardoor T_1 inderdaad geleidt.



T_1 is aan; de spanning bij A is laag.



T_2 is uit; de spanning bij B is hoog.

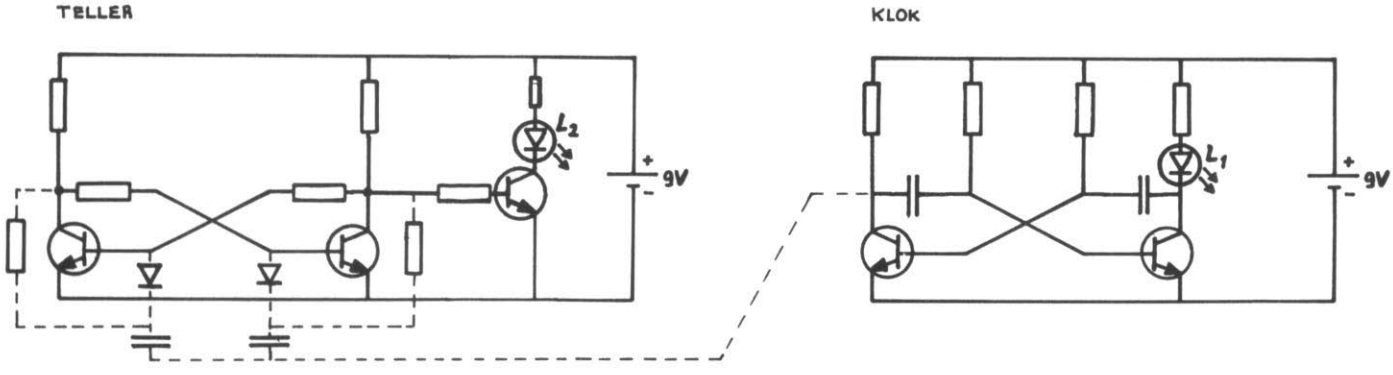


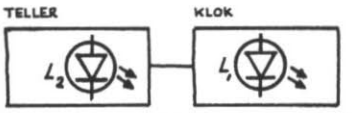
De spanning bij B wordt laag (puls eindigt); hierdoor gaat T_1 uit (en T_2 aan).

Als we nu een puls geven, verbinden we de beide punten A en B *even* met een positieve spanning. De plotselinge verhoging van de spanning heeft geen effect op de flip-flop; de daarop volgende verlaging wél. De spanning van B was hoog, en zal door de spanningsdaling ten gevolge van de puls lager worden. Daardoor gaat T_1 uit, de spanning op A wordt hoog en dus gaat T_2 aan. Zo komt de schakeling van de ene in de andere toestand op het moment dat de puls eindigt.

de teller
We kunnen een flip-flop-schakeling ook gebruiken om elektronisch te tellen (in binaire code). Een eenvoudige teller met twee (binaire) cijfers kunnen we maken door de flip-flop-schakeling te verbinden met een andere schakeling, die continu spanningspulsen afgeeft (astabiele multivibrator). De groep leerlingen die aan paragraaf 4.2 (elektronische klok) werkt, heeft deze schakeling onderzocht. Doe de opdrachten 2 en 5 eventueel met hen samen.

2. KLOK EN TELLER (TRANSISTORUITVOERING)
Koppel de flip-flop-schakeling (blz. 49, proef 1) aan de klokschakeling (blz. 45, proef 1) volgens het hieronder aangegeven schema.
In welke volgorde gaan nu de LED's aan?





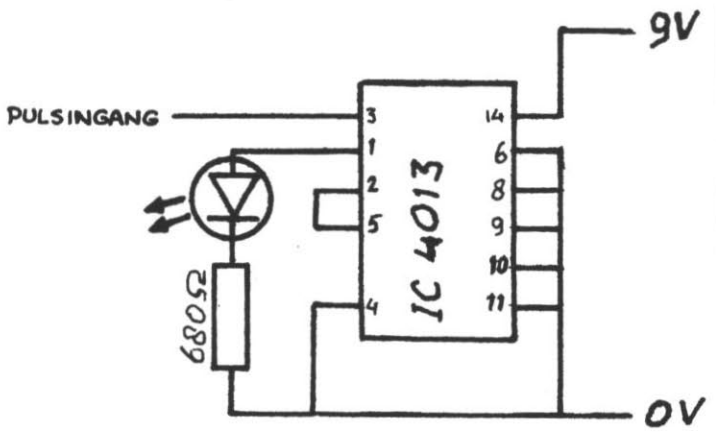
puls	L_2	L_1	getal
1	0	1	1
	1	0	2
2	1	1	3
	0	0	4 = 0
3	0	1	1
	1	0	2

De LED's tellen binair tot 3.

Tijdens iedere puls die de klokschakeling aan de teller geeft, brandt LED L_1. Als een puls eindigt, komt de flip-flop (teller) in een andere toestand. Bijv. na afloop van puls 1 gaat LED L_2 branden, en gaat pas weer uit na afloop van puls 2 (zie de tabel hiernaast). Hierdoor gaan de LED's zó aan en uit, dat in binaire code tot 3 geteld wordt.
Met twee LED's kunnen we (binair) maar tot 3 tellen, maar als we een extra flip-flop-schakeling zouden aansluiten, zouden we al tot 7 kunnen tellen.
Ditzelfde principe vind je in een digitaal horloge: een schakeling die regelmatig spanningspulsen opwekt, gekoppeld aan een telschakeling.

de IC-schakeling

We zullen nu een IC-schakeling onderzoeken, die hetzelfde doet: een schakeling die twee toestanden heeft en daardoor een spanningspuls kan onthouden.



3. FLIP-FLOP

Bekijk de IC-schakeling van de flip-flop.

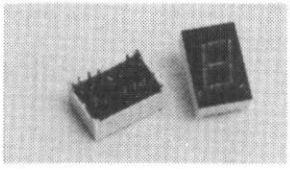
a. Vergelijk het schema hiernaast met de echte schakeling. Herken je het schema in de schakeling?

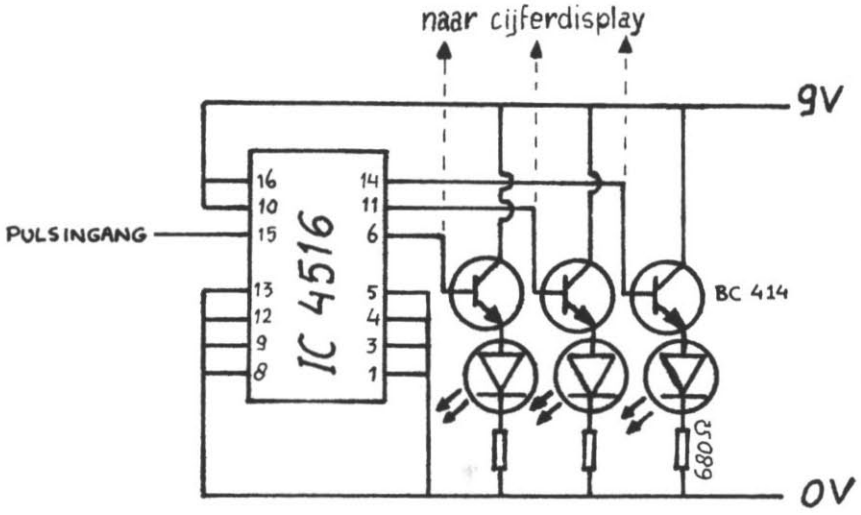
b. Op welke pins is de voedingsspanning (9 V) aangesloten? Welke pins worden gebruikt?

c. Klopt de waarde van de aangesloten weerstand?

d. Probeer de werking van de schakeling uit.

Sluit hiervoor een *puls-schakelaar* aan op de flip-flop. (Dit is een schakeling die zorgt voor goede pulsen: de flip-flop schakeling is zo gevoelig, dat dit nodig is.)





4. TELLER

Bekijk de IC-schakeling van de teller.

a. Vergelijk het schema hiernaast met de echte schakeling. Herken je het schema in de schakeling?

b. Wat is de functie van de transistoren?

c. Onderzoek de werking van deze teller. (Gebruik de pulsschakelaar voor het toevoeren van spanningspulsen aan de tellerschakeling.)

d. In plaats van via de LED's kunnen we het signaal van de teller ook uitlezen via een *cijfer-display* dat uit 7 LED's bestaat.

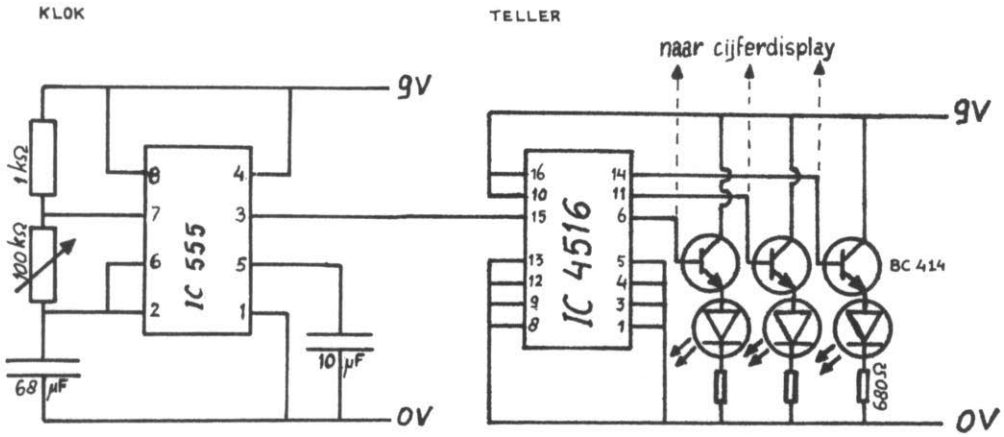
Vergelijk de LED-signalen met de cijfers op het display.

5. KLOK EN TELLER (IC-UITVOERING)

Vervang in de schakeling van proef 4 de pulsschakelaar door een klokschakeling (blz. 47, proef 5) volgens het hieronder weergegeven schema.
Werk bij deze opdracht eventueel samen, met de groep die aan paragraaf 4.2 werkt.

a. Onderzoek de werking van deze schakeling

b. Varieer de frekwentie waarmee de klokschakeling pulsen geeft.



6. VERGELIJKEN

Vergelijk de IC-schakeling van de klok/teller-combinatie met de transistor-schakeling.

Vind je de IC-schakeling kleiner, eenvoudiger? Gebruikt hij minder energie? Is hij goedkoper?

7. GEHEUGENFUNCTIE

In de inleiding werd gezegd dat een elektronisch geheugen een belangrijke functie vervult in de elektronica bij informatieopslag en -verwerking. Zoek meer informatie op over het elektronisch geheugen:

- hoe ziet het er uit;
- hoeveel informatie kan een geheugen bevatten;
- wat is het verschil tussen een RAM en ROM-geheugen?

8. RAPPORTEREN

Bereid een rapportage voor, waarin minstens de volgende punten aan bod komen.

- Demonstratie van een flip-flop (transistor- en IC-uitvoering).
- Hoe kunnen flip-flop-schakelingen een geheugenfunctie hebben?
- Hoe ziet het schema van de transistorschakeling eruit?
- Vergelijking van de transistor- en IC-schakeling.

4.4 ELEKTRONISCH REKENEN

inleiding

Een belangrijk toepassingsgebied van de elektronica is informatieverwerking. Een belangrijk aspect daarvan wordt gevormd door de computer als rekenapparaat. Allerlei (wiskundige) bewerkingen (programma's) moeten uitgevoerd worden met getallen.
Bij een zakrekenapparaat liggen de programma's vast, en hoeven we alleen de getallen in te typen en het programma te starten. Bij computers liggen de programma's niet vast, maar moeten ook ingevoerd worden. Dit is ook het geval bij programmeerbare zakrekenapparaten.

Hoe we met behulp van elektronica kunnen rekenen, onderzoek je in deze paragraaf. Een simpel zakrekenapparaat zit echter al erg ingewikkeld in elkaar (hoewel er maar

6 = 0110	
3 = 0011	+
9 = 1001	

Een voorbeeld van binair optellen.

Informatie over de binaire code vind je in de bijlage 'binair rekenen'

één chip in zit). Daarom zullen we alleen een eenvoudig geval onderzoeken, namelijk hoe we twee getallen kunnen optellen. En we maken het nog eenvoudiger. Getallen worden in binaire code vertaald, dat wil zeggen: voorgesteld door de symbolen 0 en 1. Dit gebeurt omdat elektronische schakelingen alleen onderscheid kunnen maken tussen geen spanning (0) en wel spanning (1). Het getal 14 bijv. wordt in binaire code geschreven als 1110, dus voorgesteld door vier tekens (bits).
Hier zullen we alleen het optellen van twee getallen van 1 bit onderzoeken.

de transistorschakeling

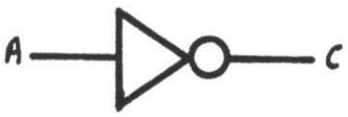
A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0 (met 1 onthouden)

De *waarheidstabel* van optellen.

Het optellen van twee 1-bit-getallen A en B levert een resultaat C volgens de tabel hiernaast. Zo'n tabel wordt wel een *waarheidstabel* genoemd.
Om twee bits op te tellen moeten we dus een schakeling ontwerpen waar twee spanningen (pulsen) aan toegevoerd kunnen worden en waar aan de uitgang wel of geen spanning komt volgens de waarheidstabel. Dit soort schakelingen noemen we *logische schakelingen*. Centraal daarin als bouwstenen staan de *poorten*. We zullen een paar belangrijke poorten onderzoeken: de NOT-, NAND- en NOR-poort.

de NOT-poort

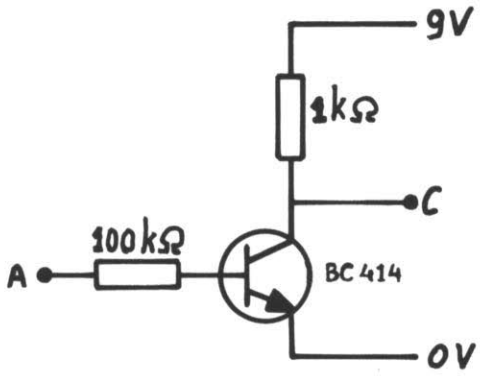
A	C
0	1
1	0



Symbool van een NOT-poort.

De *NOT-poort* maakt van het signaal het *omgekeerde*: een 0 wordt een 1, een 1 wordt een 0. De waarheidstabel zie je hiernaast.

Zo'n functie kunnen we met een simpele transistorschakeling verkrijgen. Het schema is hieronder getekend.



Schema van een NOT-poort.

1. WERKING VAN DE NOT-POORT
Als A = 0 (0 V), dan is de transistor uit. De spanning van C is dan die van de +pool (9 V), dus hoog: C = 1.
Als A = 1 (bijv. 9 V), heeft C de spanning van de −pool (0 V): C = 0.
Beredeneer dit.

Bij een LED-schakelaar geeft een LED aan of de schakelaar gesloten is, met andere woorden: of er een signaal op de ingang staat.
Bij een LED-uitlezer geeft een LED aan of er een spanning op de uitgang staat

2. NOT-POORT
Bekijk de NOT-poortschakeling.
a. Vergelijk de poortschakeling met het schema hierboven. Herken je het schema in de schakeling?
b. Sluit de poort op een voedingsspanning van 9 V aan.
Sluit op A een *LED-schakelaar* aan, en op C een *LED-uitlezer* die aangeeft of punt C spanning heeft. Geeft deze schakeling de NOT-waarheidstabel?

de NAND-poort

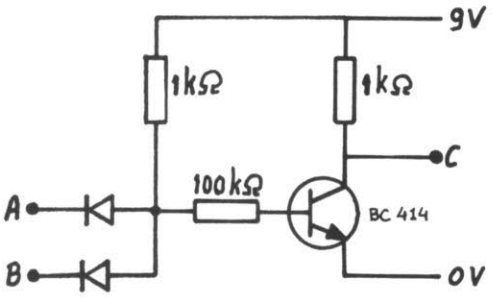
A	B	C
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

NAND is een samentrekking van NOT en AND. AND betekent: er is alleen signaal als op én A én B signaal staat. In kolom C van de waarheidstabel staat dan 0001. NOT betekent omkering: 1110

De *NAND-poort* maakt van twee signalen één signaal. Dit uitgangssignaal is 1, behalve als beide ingangssignalen 1 zijn. De waarheidstabel zie je hiernaast.

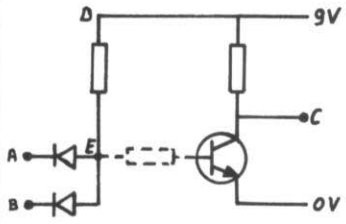
Het schema van een NAND-poort vind je op blz. 54.

Symbool van een NAND-poort.



Schema van een NAND-poort.

3. NAND-POORT
Bekijk de NAND-poortschakeling.
a. Vergelijk de poortschakeling met het schema. Herken je het schema in de schakeling?
b. Sluit de poort aan op een voedingsspanning van 9 V.
Sluit op A en B de LED-schakelaars aan, en op C de LED-uitlezer. Geeft deze schakeling de NAND-waarheidstabel?



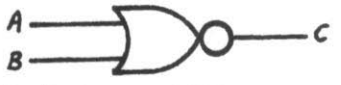
HOE WERKT DE NAND-POORTSCHAKELING?
Vat de schakeling op als twee parallelle takken.
Bekijk nu de linkertak (weerstand en diodes). Als de spanning op A en B 0 V is, staat er een spanning tussen D en A, B. Er gaat dan een stroom lopen van D naar A, B. De weerstandswaarde van de diodes is klein in verhouding tot die van de weerstand. De spanning van E is daarom laag (0 V). E is verbonden met de basis van de transistor en deze is dus uit. In de rechter tak loopt dus geen stroom, en de spanning van C is hoog (9 V). Als de spanning op alleen A óf alleen B 0 V is, heeft C ook een hoge spanning (ga dit na). In dit geval hebben de diodes de functie om te voorkomen dat er een stroom gaat lopen van A naar B of omgekeerd.
Als de spanning op A én B hoog is (9 V), loopt er geen stroom van D naar A, B. De spanning van E is dan hoog. Hierdoor is de transistor aan, en is de spanning van C laag (0 V).

de NOR-poort
De *NOR-poort* maakt ook van twee signalen één signaal. Dit uitgangssignaal is 0, behalve als beide ingangssignalen 0 zijn.
De waarheidstabel zie je hiernaast.

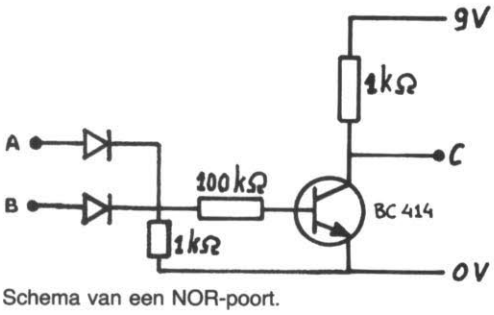
A	B	C
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

NOR is een samentrekking van NOT en OR. OR betekent: er is alleen signaal als op òf A òf B òf beide signaal staat. In kolom C van de waarheidstabel staat dan 0111. NOT betekent omkering: 1000

Het schema van een NOR-poort is hieronder getekend.

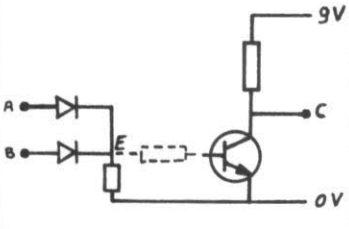


Symbool van een NOR-poort.



Schema van een NOR-poort.

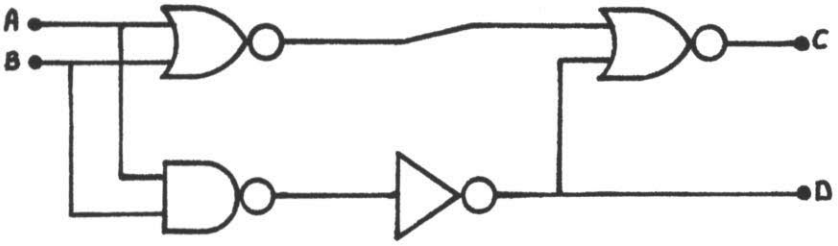
4. NOR-POORT
Bekijk de NOR-poortschakeling.
a. Vergelijk de poortschakeling met het schema hiernaast. Herken je het schema in de schakeling?
b. Sluit de poort aan op een voedingsspanning van 9 V. Sluit op A en B de LED-schakelaars en op C de LED-uitlezer aan. Geeft deze schakeling de NOR-waarheidstabel?



HOE WERKT DE NOR-POORTSCHAKELING?
Vat de schakeling op als twee parallelle takken. Als op A en B (of op één van beide) de spanning hoog is (9 V), staat over de linkertak een spanning in de doorlaatrichting van de diodes. Er loopt dus een stroom in de linkertak, en de spanning van E is dan hoog. (Waarom?) De transistor is dan aan, waardoor in de rechtertak stroom loopt. De spanning van C is laag (0 V), omdat de weerstand van de transistor nu klein is. Als A en B beide een spanning van 0 V hebben, is de spanning van E ook 0 V. (Waarom?) De transistor is dan uit, en de spanning van C is hoog (9 V).

de opteller

Als je de waarheidstabellen van de poorten bekijkt, zie je dat we nog niet de optel-waarheidstabel hebben. Maar door een combinatie van poorten zijn alle andere logische schakelingen te maken. De optel-functie is te krijgen met alleen NAND-poorten, maar ook met een combinatie van verschillende poorten.

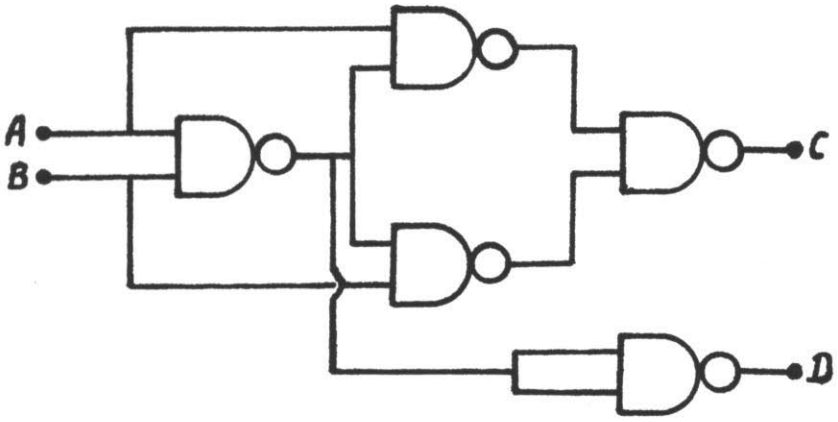


5.

a. Ga met behulp van de waarheidstabellen na, dat de combinatie van NAND-, NOR- and NOT-poorten hiernaast een opteller vormt.

b. Maak de schakeling. Meet de waarheidstabel na.

c. Meet het signaal bij D na (de *'carry'*: het 'onthoud'-signaal).



6.

Ga met behulp van de waarheidstabellen na dat de hiernaast weergegeven combinatie van alleen NAND-poorten ook een opteller vormt.

Je ziet dat met transistoren en diodes schakelingen te maken zijn die twee getallen van 1 bit kunnen optellen. Een binair getal bestaat vaak uit 8 bits. Er is dan een combinatie van een aantal van dit soort logische schakelingen nodig, waarbij de carry (het onthoudsignaal) steeds aan de volgende schakeling doorgegeven wordt.

de IC-schakeling

Logische schakelingen zijn ook met een IC te maken. We zullen een IC-schakeling onderzoeken die (binaire) getallen optelt.

7. OPTELLER

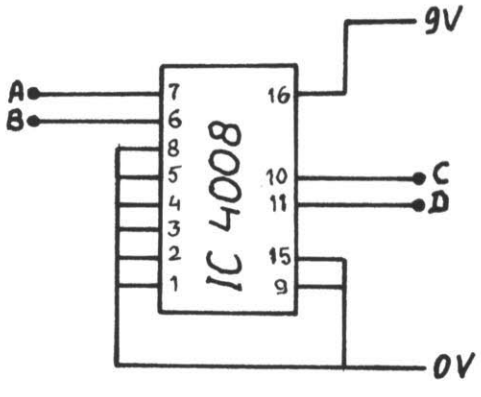
Bekijk de IC-schakeling van de opteller. Deze schakeling kan getallen van 1 bit optellen.

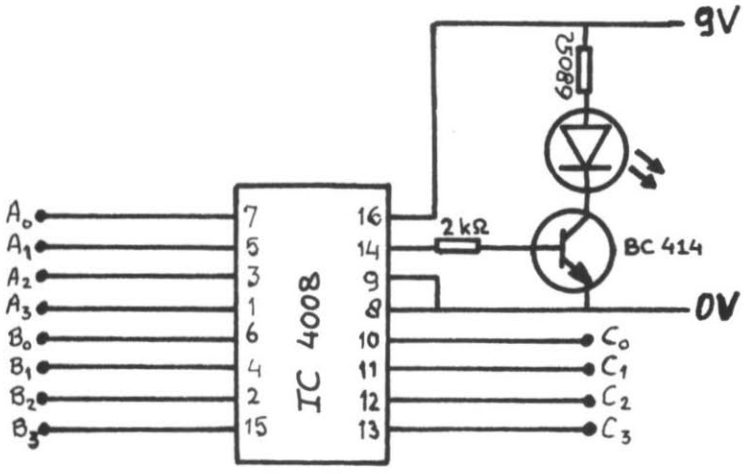
a. Vergelijk het schema hiernaast met de echte schakeling. Herken je het schema in de schakeling?

b. Op welke pins is de voedingsspanning aangesloten?

c. Sluit LED-schakelaars aan op A en B, en LED-uitlezers op C en D.

Meet de optel-waarheidstabel na op uitgang C. Wat geeft uitgang D aan?





8. 4-BIT-OPTELLER

Met de hiernaast weergegeven IC-schakeling kun je twee getallen van 4 bits optellen. Maak de schakeling.

Sluit LED-schakelaars aan op A_0, A_1, A_2, A_3, en op B_0, B_1, B_2, B_3. Sluit LED-uitlezers aan op C_0, C_1, C_2, C_3.

a. Geeft C de som van de binaire getallen A en B?

b. Wanneer gaat de LED aan? Wat is de functie daarvan?

9. VERGELIJKEN

Vergelijk de IC-uitvoering van de opteller met de transistorschakelingen.

Vind je de IC-schakeling kleiner, eenvoudiger? Gebruikt hij minder energie? Is hij goedkoper?

10. REKENFUNCTIE

In de inleiding werd gezegd dat bij informatieverwerking de rekenfunctie belangrijk is. We hebben nu een onderdeel van het elektronisch rekenen onderzocht.

Zoek zelf meer informatie op over:
- de werking van een zakrekenapparaat;
- het rekengedeelte van een computer;
- ontwikkelingen in de informatieverwerking.

11. RAPPORTEREN

Bereid een rapportage voor, waarin minstens de volgende punten aan bod komen.
- Wat is een poort? Hoe werkt een poort? Welke soorten ken je?
- Demonstratie van elektronisch optellen (transistor- en IC-uitvoering).
- Vergelijking van de transistor- en IC-schakeling.

hoofdstuk 5

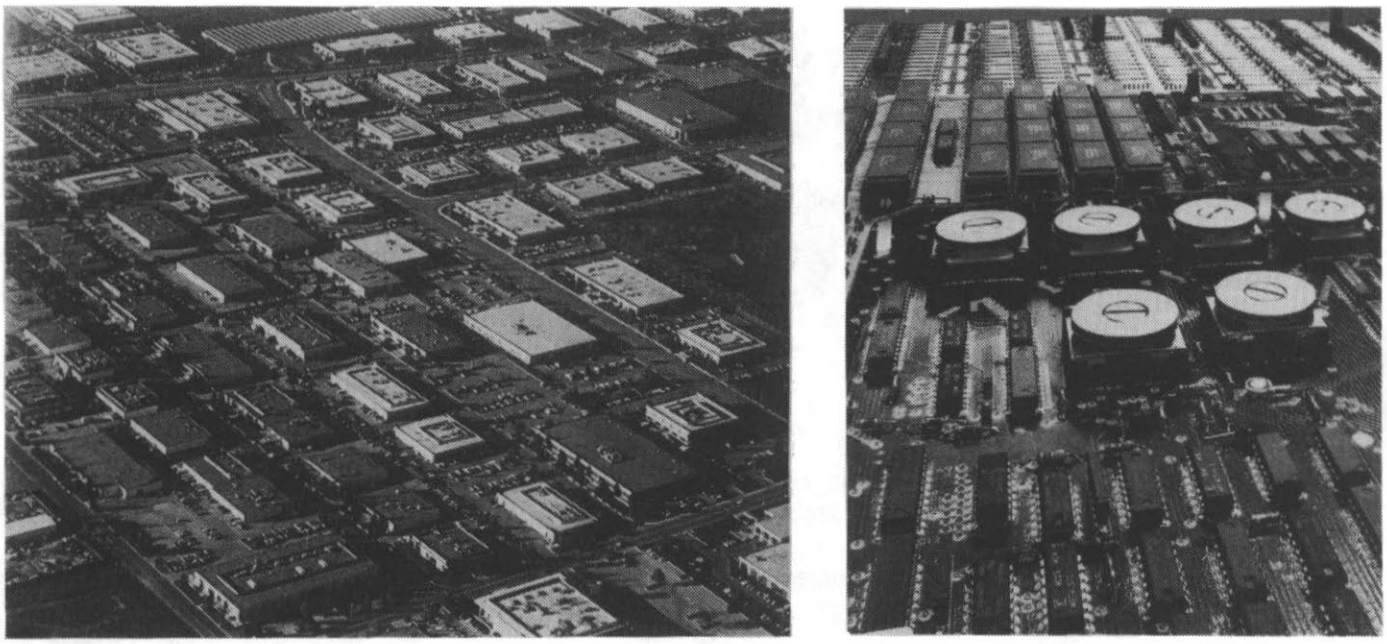
DE CHIP: OPBOUW EN PRODUCTIE

inhoud

		blz.
5.1	chips van binnen	58
5.2	ontwerp en productie van chips	59
5.3	commerciële mogelijkheden	63

de chip: opbouw en productie

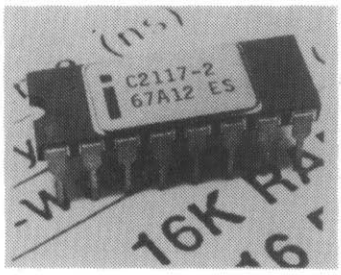
In de jaren '50 is hard gezocht naar steeds betere methoden voor massaproductie van transistoren. De gevonden technieken openden rond 1960 de mogelijkheid verschillende componenten en hun onderlinge verbindingen in één plaatje halfgeleidermateriaal aan te brengen. Dit nieuwe product kreeg de naam *geïntegreerde schakeling* of *'chip'*.



Silicon Valley in vogelvlucht. In deze vallei bevindt zich een groot deel van de Amerikaanse halfgeleiderindustrie. De werkomgeving (links) lijkt opvallend veel op het product (rechts).

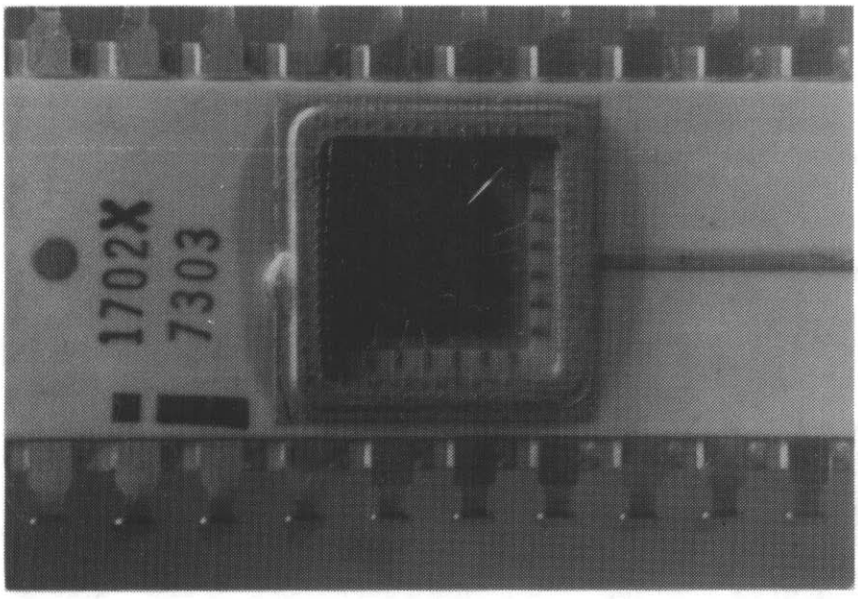
We zullen in dit hoofdstuk zien wat chips zijn en hoe ze gemaakt worden. Tenslotte wordt toegelicht waarom elektronische systemen in de loop der jaren steeds goedkoper geproduceerd konden worden.

5.1 CHIPS VAN BINNEN



Een kant-en-klare chip.

In het vorige hoofdstuk ben je ze al tegengekomen: de chip, een rechthoekig doosje met twee rijen pootjes. Het belangrijkste deel ervan bevindt zich ín dit omhulsel van kunststof of keramisch materiaal. De werkelijke *geïntegreerde schakeling* (integrated circuit of IC) is verwerkt in en op een klein en dun *schijfje* (chip) *silicium*. Door dunne draadjes is deze schakeling verbonden met de pootjes aan de twee lange zijden van het doosje. Ondanks de kleine afmetingen van het siliciumschijfje kan het IC uit zeer veel componenten (diodes, transistoren, weerstanden en condensatoren) met hun onderlinge, geleidende verbindingen bestaan.



Een chip waarvan het omhulsel is geopend.

1. CHIPS OP ZICHT

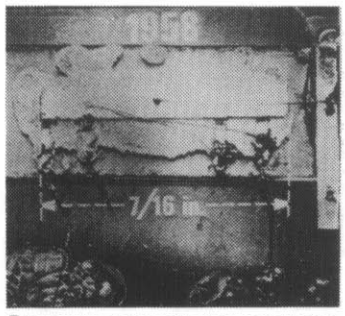
De chips die je gaat bekijken zijn afkomstig uit het afval van enkele elektronische firma's. Bij de eindtest zijn deze exemplaren niet goed bevonden, maar dat is voor ons doel geen bezwaar. De doosjes zijn geopend. Met een microscoop (50 × vergroting) worden details van het IC beter zichtbaar.

a. Hoe groot is het oppervlak van het siliciumschijfje (de chip) bij benadering?

b. Maak een schatting (of vraag) uit hoeveel componenten de geintegreerde schakeling bestaat.

c. Stel je voor dat je dezelfde schakeling uit losse componenten moet opbouwen. Hoeveel soldeerverbindingen zou je bij benadering moeten maken?

d. Als de componenten elk gemiddeld 0,5 cm^2 innemen, hoe groot zou dan de plaat moeten zijn waarop je de componenten bevestigt?



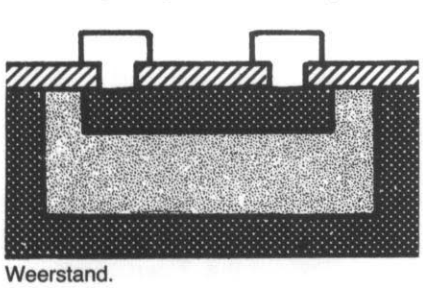
De eerste geïntegreerde schakeling.

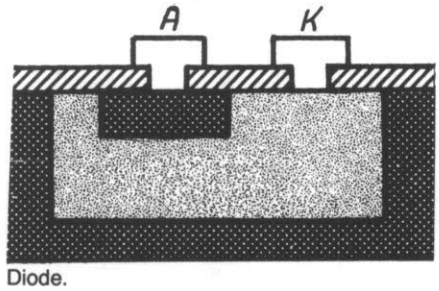
2.

Hiernaast zie je het eerste IC in 1958 gemaakt door Jack Kilby van Texas Instruments. In een schijfje germanium zijn twee componenten aangebracht. De draadverbindingen zijn met de hand toegevoegd. Dit eerste IC is wel 'monsterlijk' genoemd, vooral vanuit productie-oogpunt.

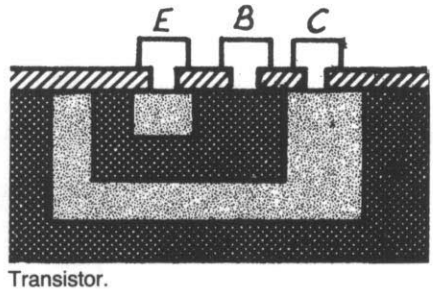
Licht deze uitspraak toe.

In de tekeningen hieronder is aangegeven hoe respectievelijk een weerstand, een diode en een transistor er in chip-vorm uitzien.


Weerstand.



Diode.



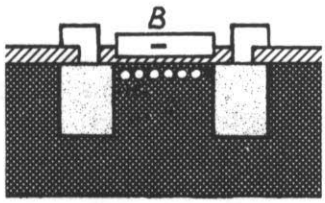
Transistor.

Een weerstand wordt gevormd door een dun laagje halfgeleidermateriaal (hier p-type). De weerstandswaarde hangt af van de lengte en doorsnede van dit laagje. Het p-laagje wordt omhuld door n-silicium.

In de diode staat de kathode (K) in verbinding met n-silicium, en de anode (A) met p-silicium. Er wordt alleen stroom doorgelaten, als A positief is ten opzichte van K.

In de transistor kun je, evenals in de npn-lagentransistor, een emitter (E), een collector (C) en een basis (B) herkennen.

Zoals je weet is zuiver silicium een halfgeleidermateriaal. Om er voor te zorgen dat de elektrische stromen niet kris-kras door het plaatje silicium gaan, vind je rond elke component een p-n-overgang in sperrichting (zie het diode-principe in hoofdstuk 3). Voor de juiste verbindingen tussen de componenten dient een fijn netwerk van aluminium strips.



De MOSFET (metal-oxide-silicon field effect transistor) werkt in twee richtingen. Als de basis B (hier ook wel *poort* genoemd) negatief is, ontstaat aan de andere kant van het dunne laagje oxyde een positieve lading in de vorm van zeer veel gaten. Deze gaten maken ladingtransport tussen de beide n-gebieden mogelijk. De MOSFET werkt dus als schakelaar. De stroomrichting hangt af van de spanning tussen de elektroden.

VARIANTEN

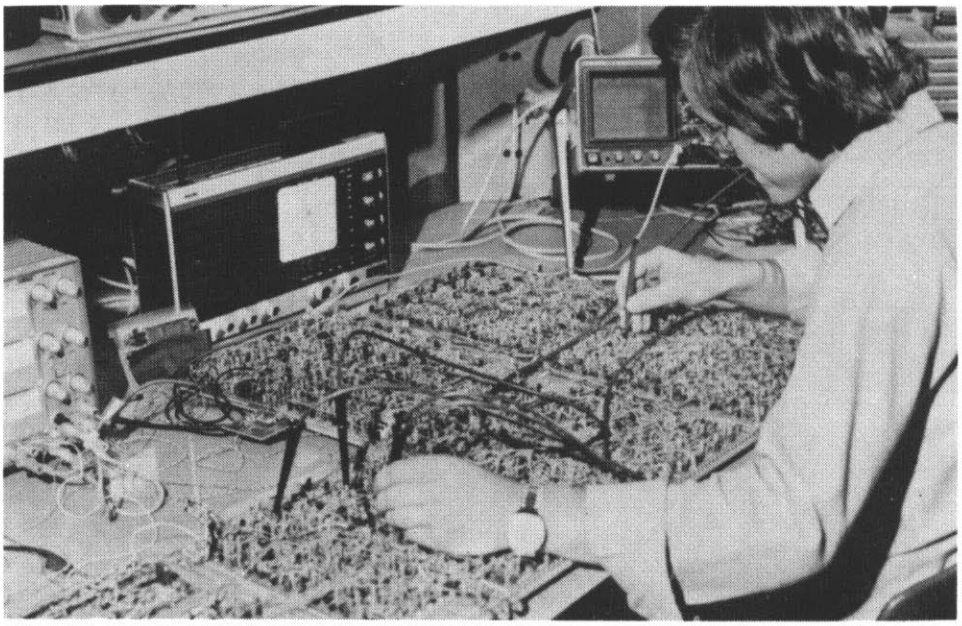
Het overzicht van IC-componenten is verre van volledig. Er bestaan diverse andere uitvoeringen. Sommige variaties bevorderen verder verkleinen van de componenten, waardoor het aantal componenten per chip steeds groter wordt. Twee belangrijke ontwikkelingen in dit verband waren:

– het productierijp worden van de *veld-effect-transistor* (MOSFET): deze is goedkoper, eenvoudiger en kleiner uit te voeren dan de npn-transistor;
– het ontwikkelen van *principieel andere schakelingen*, waarin veel minder weerstanden en condensatoren voorkomen.

Deze nieuwe technieken lenen zich vooral voor het verwerken van *digitale signalen*. (Zie ook hoofdstuk 6).

5.2 ONTWERP EN PRODUCTIE VAN CHIPS

Een geintegreerde schakeling neemt de plaats in van een (groot) aantal losse componenten. Het ontwerpen en uitproberen van een nieuwe schakeling gebeurt met losse componenten. De werking kan dan nog stukje bij beetje gecontroleerd worden, en men kan wijzigingen aanbrengen tot de gehele schakeling voldoet aan de wensen.



Het ontwerpen en uitproberen van een chipschakeling gebeurt met losse componenten.

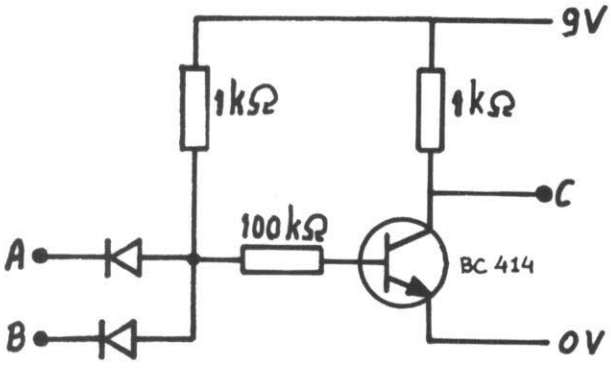
Alle componenten (weerstanden, condensatoren, diodes en transistoren) moeten nu in halfgeleider-vorm worden vertaald en zó geordend dat ze op het kleine schijfje silicium passen.

ordenen van een geintegreerde schakeling

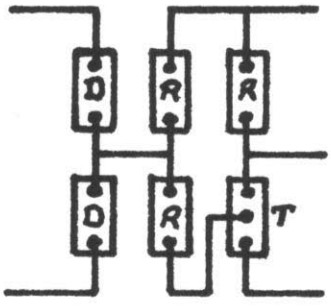
1. NAND-POORT-IC

Hieronder zie je het schema van een NAND-poort uit hoofdstuk 4. De getekende componenten kunnen, met uitzondering van de spanningsbron, op een IC worden verwerkt. Een ontwerp van het bovenaanzicht van het IC zie je in de tweede figuur. Elke component is weergegeven als een rechthoekje van 0,5 bij 1,0 cm. De onderlinge afstand tussen de componenten is minimaal 0,5 cm.

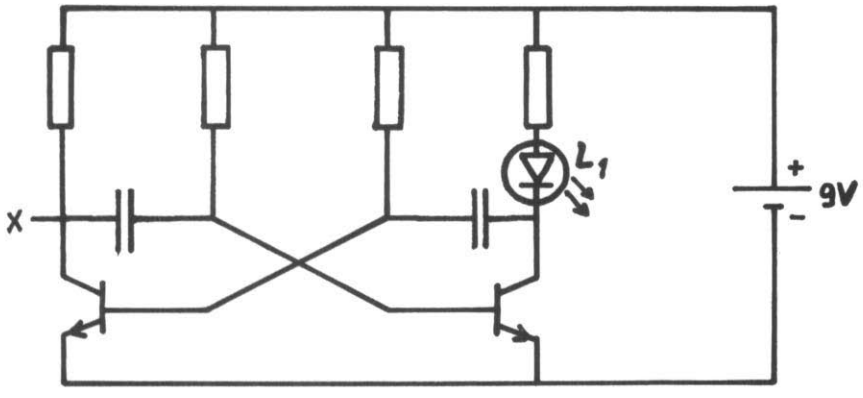
Vergelijk het schema van de NAND-poort met het IC-ontwerp. Neem het ontwerp over, en geef aan waar zich de ingangen A en B van de NAND-poort, de uitgang C en de + en − aansluitingen voor de spanningsbron bevinden.



Schema NAND-poort.



IC-ontwerp NAND-poort.

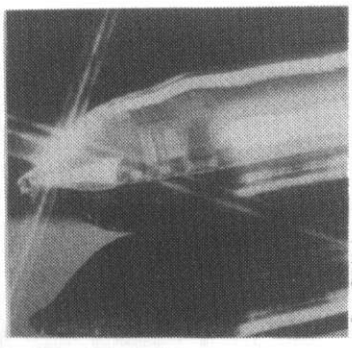


2. KLOK-IC ONTWERPEN

Hiernaast zie je het schema van een klokschakeling uit hoofdstuk 4. Doel van deze activiteit is zelf een zo klein mogelijke IC-versie te ontwerpen. De spanningsbron en de LED komen buiten het IC. Ook moet uitgang X, waarop een blokgolf verschijnt, uit het IC komen. Zo ontstaan minstens vier verbindingen met de buitenwereld aan twee tegenover elkaar liggende zijden van het ontwerp.

Teken een IC-ontwerp aan de hand van deze richtlijnen. Gebruik de in activiteit 1 genoemde minimale maten van componenten en onderlinge afstanden.

productieprocessen

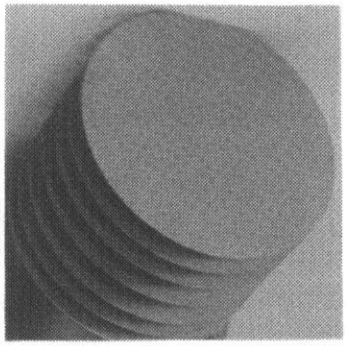


In zeer zuiver, gesmolten silicium wordt een entkristalletje gebracht. Langzaam groeit bij afkoeling een staafvormig siliciumkristal.

IC's kunnen op verschillende manieren worden vervaardigd. Uitgangspunt is echter steeds een schijfje zuiver silicium, dat uit een enkel kristal moet worden gezaagd. Vervolgens moeten aan het schijfje verontreinigingen worden toegevoegd: daardoor kan zowel n- als p-type halfgeleider worden gevormd, afhankelijk van het soort verontreiniging. Bij gebruik van antimoon, fosfor of arseen ontstaat een n-halfgeleider; bij gebruik van aluminium, indium of boor verandert het silicium in een p-halfgeleider.

Allereerst moet de gehele siliciumschijf een p-karakter krijgen. Daarna moeten steeds kleinere en ondiepere gebiedjes achtereenvolgens een n-, p- en n-karakter krijgen voor de diverse componenten. Uit een ordening zoals je in activiteit 2 hebt gemaakt, moeten daarvoor een drietal steeds fijnere patronen worden afgeleid. Tenslotte moet het netwerk van aluminium verbindingen tussen de componenten worden aangebracht.

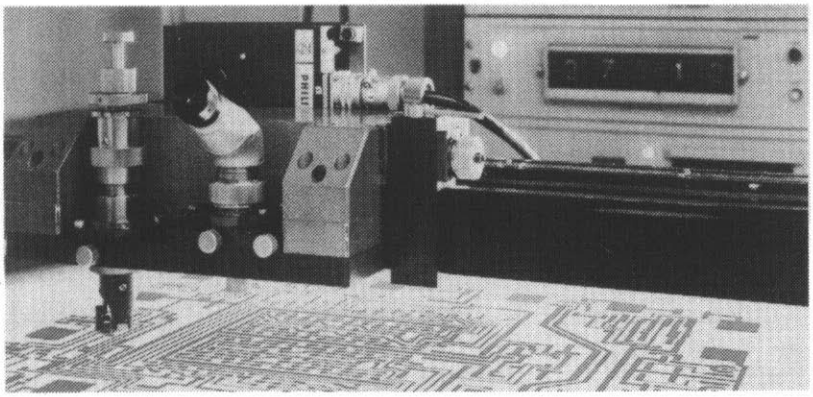
Eén methode om vreemde atomen in het silicium te brengen is het *gasdiffusie-proces*. Daartoe wordt het siliciumschijfje enige tijd in een oven gelegd. In die oven bevindt zich



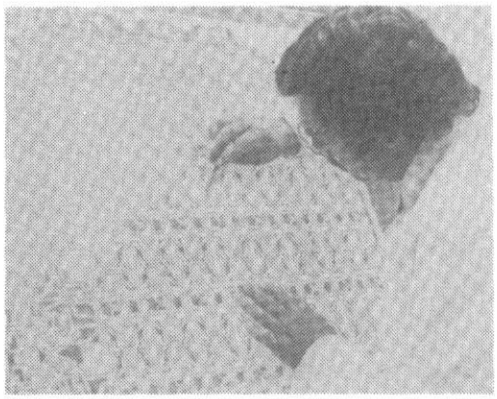
Met een diamantzaag worden plakken silicium met een dikte van 0,5 mm en een diameter van ongeveer 10 cm gezaagd.

een gas, bestaande uit de in te brengen atomen. Een deel van deze atomen dringt in het silicium door. Tijdsduur en temperatuur beinvloeden de concentratie van de opgenomen atomen.

Zoals hiervoor al opgemerkt willen we die atomen niet overal in het schijfje. De diffusie van vreemde atomen kun je tegenhouden met een laagje siliciumoxide (SiO_2). Op plaatsen waar je geen vreemde atomen wilt, moet je het silicium *met SiO_2 afschermen*. In een oven met zuurstof of waterdamp wordt op de schijf een laagje (1 µm dik) SiO_2 aangebracht. Na afkoelen wordt daarover een laagje lichtgevoelige lak gespoten.
De vier achtereenvolgende patronen (n, p, n en Al-netwerk) worden elk apart groot uitgetekend. Langs fotografische weg worden verkleinde versies van deze patronen vele malen herhaald afgebeeld op *maskers*. Zo'n masker laat op allerlei plaatsen al dan niet licht door.



Het maken van een masker door een computer.

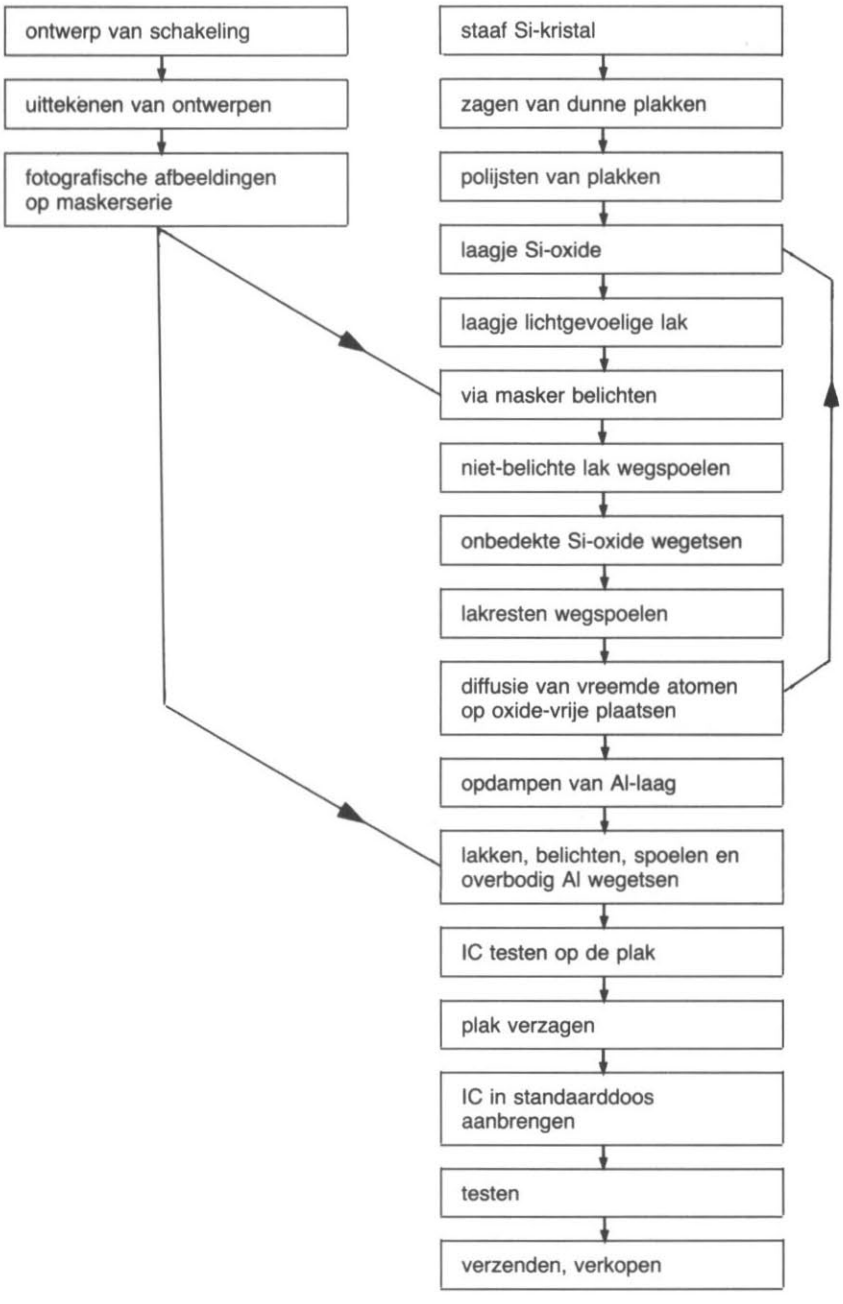


Verbeteringen worden in het masker aangebracht vóór de fotografische verkleining.

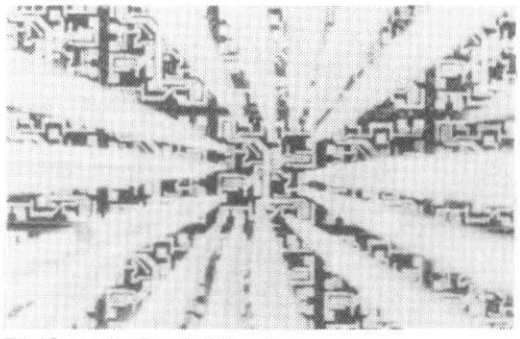
Via het eerste masker valt ultraviolet (UV) licht op de lichtgevoelige lak. De belichte lak verandert van structuur, vergelijkbaar met de veranderingen in het belichte gedeelte van een fotografische film. De niet-belichte lak kan eenvoudig worden afgespoeld. Dat legt plaatselijk het SiO_2 bloot. Op die plekken wordt het SiO_2 dan *weggeëtst*, zodat daar het Si-oppervlak zichtbaar wordt. En daar kan dus in een oven diffusie van vreemde atomen plaatsvinden.
Als ook de belichte lak is verwijderd, wordt de cyclus van oxideren, lakken, belichten, afspoelen en diffusie herhaald tot alle afzonderlijke p- en n-gebiedjes zijn aangebracht.

Voor de verbindingen tussen die gebiedjes wordt aluminium gebruikt. Dat wordt eerst in een laagje (1 µm dik) over de hele plak *opgedampt*. Na lakken, belichten en afspoelen kan het aluminium worden weggeëtst op alle plaatsen waar deze stof niet nodig is. Zo ontstaat het net van verbindingen dat je eerder met een microscoop zelf hebt kunnen zien.

Met behulp van zeer fijne meetpennen die met een computer verbonden zijn, worden alle IC's op de schijf *getest*. De niet-functionerende IC's worden aangeduid met een stipje verf. Het afvalpercentage varieert tussen 10 en 50%. Dat vrij hoge afvalpercentage wordt veroorzaakt door plaatselijke onzuiverheden in het Si, verkeerd plaatsen van maskers, etsfouten of het meefotograferen van minuscuul kleine stofjes bij het vervaardigen van de maskers. De schijf wordt vervolgens verzaagd tot afzonderlijke IC's. Draadjes (zo'n 50 µm dik) worden aangebracht vanaf het IC naar de pennen van de houder. Het doosje waarin het IC zich bevindt, wordt tenslotte afgesloten. Na een eindtest is de chip dan gereed voor gebruik.

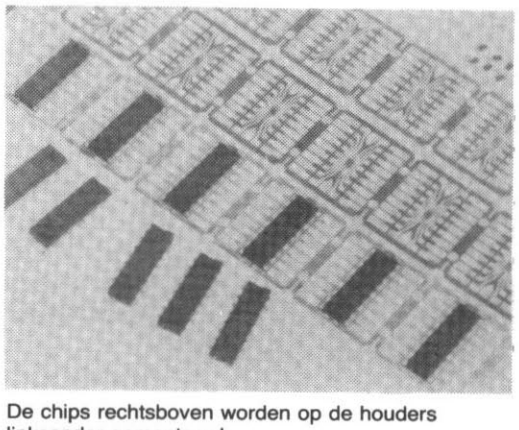


Het fabricageproces van een chip.



Elk IC wordt afzonderlijk getest.

Een plak silicium met veel IC's. De afgekeurde zijn met een stip gemerkt.



De chips rechtsboven worden op de houders linksonder gemonteerd.

grenzen aan het verkleinen

Het maken van steeds fijnere maskers en het projecteren van steeds fijnere patronen op de lichtgevoelige lak is aan grenzen gebonden. De scherpte van *fotografische afbeeldingen* vermindert snel als de afmetingen van de details in de buurt van de golflengte van het gebruikte licht komen. De kleinste afmetingen die met UV-licht bereikbaar zijn naderen tot 10^{-6} m.

Nog fijnere structuren kunnen worden *getekend* met een *elektronenstraal*. Een zeer nauwe, computergestuurde elektronenbundel bestrijkt daarbij alle weg te spoelen lak. Men kan op deze manier de details 10000 maal kleiner maken dan met UV-straling.

3. PRODUCTIEPROBLEMEN

In ruimten van fabrieken waar IC's worden geproduceerd, wordt zoveel mogelijk stofvrij gewerkt.

a. Bij welke stappen in het fabricageproces is stof zeer ongewenst?

b. Maskers worden afgebeeld met UV-licht. Waarom zou men niet met gewoon zichtbaar licht kunnen of willen werken?

Rechts een ionenimplantator met links het bedieningspaneel.

4. IONEN-IMPLANTATIE

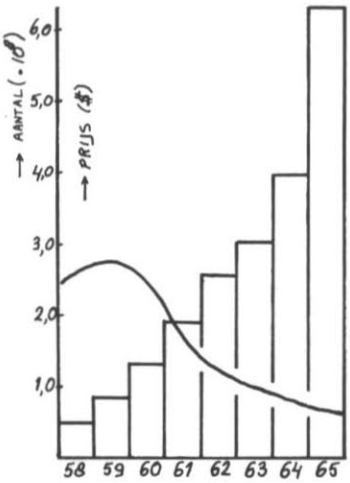
In het silicium worden ook wel vreemde atomen aangebracht door *ionen-implantatie*. De vreemde atomen worden geioniseerd en met een energie van 20 tot 350 keV in het silicium geschoten.

a. Leg uit hoe dat kan.

b. Ga na welke stappen in het IC-productieproces kunnen vervallen als alle verontreinigingen in het silicium door implantatie kunnen worden aangebracht.

c. Noem tenminste één voordeel en één nadeel van ionenimplantatie vergeleken met gasdiffusie.

5.3 COMMERCIËLE MOGELIJKHEDEN



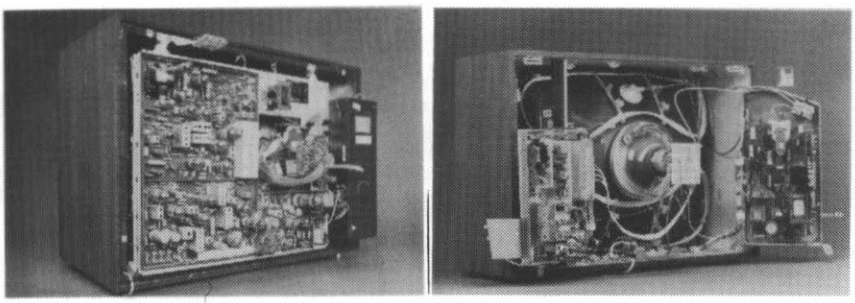
Ontwikkeling van de omvang van de Amerikaanse transistorproductie (staafdiagram) en van de gemiddelde transistorprijs.

De ontdekking van de transistor in 1947 is een gedenkwaardig feit, vooral wetenschappelijk gezien. Commercieel kreeg de transistor pas veel later betekenis. Het duurde ruim tien jaar voor de technici in staat waren betrouwbare transistoren tegen een redelijke prijs te produceren. Zij moesten daartoe twee problemen overwinnen:

– hoe maak je eerst een zuiver silicium- of germaniumkristal wat je vervolgens plaatselijk, in precies voorgeschreven mate, verontreinigt;

– welke vorm van transistor (en diode) is functioneel en tevens geschikt voor massaproductie.

Pas rond 1960 slaagde men erin met de *planaire techniek*, (zoals beschreven bij de chip-productie) transistoren te produceren die wat betreft prijs en eigenschappen konden concurreren met versterkerbuizen. Het diagram hiernaast illustreert deze doorbraak. De prijs van een versterkerbuis was ongeveer twee gulden in die tijd.



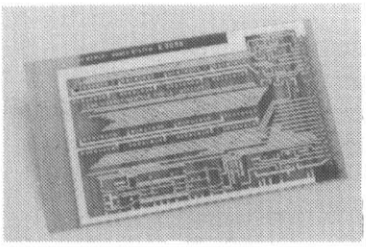
Van buizen- naar transistor-TV.

1. VAN BUIS NAAR TRANSISTOR

Voor de elektronische industrie was de overgang van buizen naar transistoren alleen zinvol als daardoor hun eindproducten aantrekkelijker zouden worden.

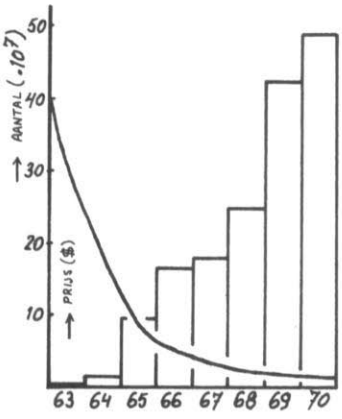
a. Welke voordelen van de transistor kunnen daarbij een rol hebben gespeeld?

b. Waarom zijn juist gehoorapparaten in een heel vroeg stadium getransistoriseerd, ondanks dat de prijs daardoor verdrievoudigde?



Een voorbeeld van een gedrukte bedrading, ofwel een *printplaatje*.

Een Philips directeur merkte in 1961 over een der eerste IC's van Texas Instruments op: 'Dit ding vervangt twee transistors en drie weerstanden en daar vragen ze honderd dollar voor. Rare jongens die Amerikanen!'



Ontwikkeling van de omvang van de Amerikaanse chip-productie (staafdiagram) en van de gemiddelde chipprijs.

Eén probleem wordt door de transistor niet opgelost. Het maken van een radio, een computer of een stuurautomaat blijft een *arbeidsintensief proces*. Naarmate elektronische systemen uitgebreider worden, moeten er meer draadverbindingen tussen componenten worden gemaakt, worden de systemen onoverzichtelijker en is meer controle nodig om fouten te voorkomen of te herstellen. Deze situatie werd verbeterd door de invoering van *gedrukte bedrading* op kaarten van isolerend materiaal (printplaatjes). Elke component moet nog op de juiste plaats op de kaart worden gesoldeerd, maar de kans op vergissingen neemt af.
Het idee om behalve de bedrading ook de componenten via een reproductie-proces te produceren werd al in 1952 geopperd door G.W.A. Dummer van het Royal Radar Establishment in Engeland. Kilby's eerste *geintegreerde schakeling* uit 1958 was nog een onding om te produceren. De draadverbindingen moesten met de hand worden gemaakt. Kort daarna werd echter de planaire techniek ontwikkeld. Daardoor kwam ook voor IC's massaproductie binnen bereik.

2. VAN TRANSISTOR NAAR CHIP

In 1965 kon een gangbare geheugenchip twee bits aan informatie opslaan met behulp van vier transistoren.

a. Vergelijk de globale chip-prijs in '65 met de transistorprijs. Ga na wat goedkoper is voor de computerindustrie: de chip of de losse onderdelen.

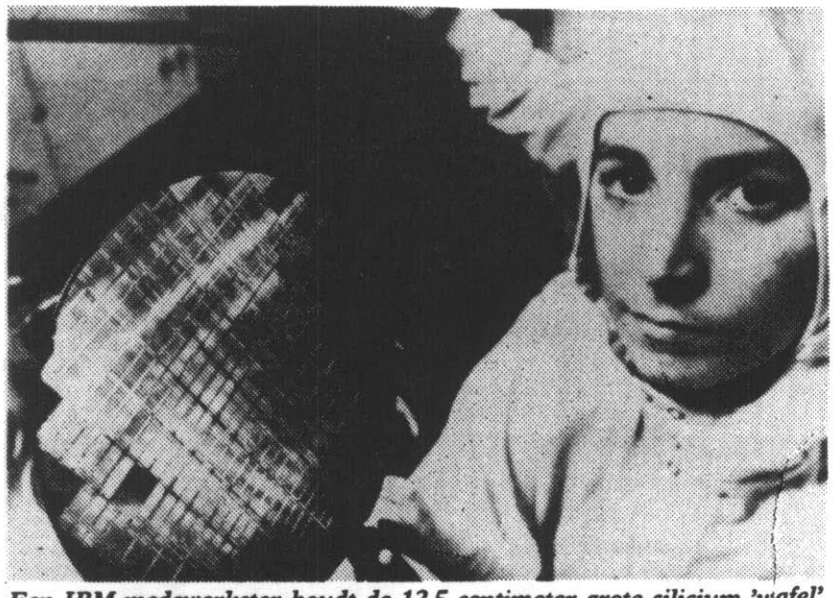
b. Om welke andere redenen zou men de chip kunnen kiezen in plaats van losse componenten?

3. SNELLE ONTWIKKELING

Men zegt wel eens dat de ontwikkeling zo snel gaat dat het aantal componenten per chip jaarlijks verdubbelt. Controleer met behulp van het onderstaande kranteartikel of dit gezegde de werkelijkheid benadert.

Superchip

In een IBM-vestiging in het Amerikaanse Essex Junction, Vermont, is op een bestaande produktielijn een ex-perimentele geheugenchip vervaardigd die meer dan een 1 miljoen bits aan informatie kan bevatten. Dat komt overeen met 50 getypte pagina's A4-formaat.
De afmetingen van de chip bedragen ongeveer een vierkante centimeter, om precies te zijn 7,7 mm x 10,5 mm.
De experimentele chip, die in computerjargon een 1 megabit DRAM wordt genoemd, werd vervaardigd op een produktielijn die IBM al sinds 1978 gebruikt voor massafabricage van andere geheugenchips met grote opslagcapaciteit, zoals die van 64.000 en 72.000 bits.
Het feit dat deze chip op een bestaande produktielijn kon worden vervaardigd, betekent een aanzienlijke versnelling van de verdere ontwikkeling er van voor mogelijk gebruik in toekomstige computers.



Een IBM-medewerkster houdt de 12,5 centimeter grote silicium-'wafel' omhoog waaruit tenslotte bijna 100 chips van elk 1 miljoen bits zullen worden geproduceerd.

de Volkskrant, 19 mei 1984.

ONTWIKKEL-RISICO'S

Een goede en goedkope transistor kan op vele manieren gebruikt worden. Het is een universeel onderdeel in elektronische schakelingen. Bij IC's is dat moeilijker om de volgende redenen:

– IC's zijn gespecialiseerd in bepaalde functies; de markt voor die functies is moeilijk te voorspellen;
– de ontwikkelkosten zijn hoog;
– de ontwikkeling gaat snel, waardoor een IC soms na twee of drie jaar al ouderwets en achterhaald is.

Sinds het midden van de jaren '70 is een betaalbaar alternatief voor taakgerichte chips op de markt gekomen: de *micro-processor* samen met een of enkele *geheugenchips*. Een micro-processor is het rekenende en regelende centrum van een computer. Het werkt aan de hand van een *computerprogramma*, dat stap voor stap voorschrijft wat gedaan moet worden. In zo'n programma kan vrijwel elke functie vastgelegd worden. Micro-processor en geheugenchip zijn in vrijwel ieder elektronisch systeem bruikbaar. In principe kunnen zij in grote aantallen verkocht worden. Het investeren in de ontwikkeling van dit soort chips brengt minder risico's met zich mee.

hoofdstuk 6

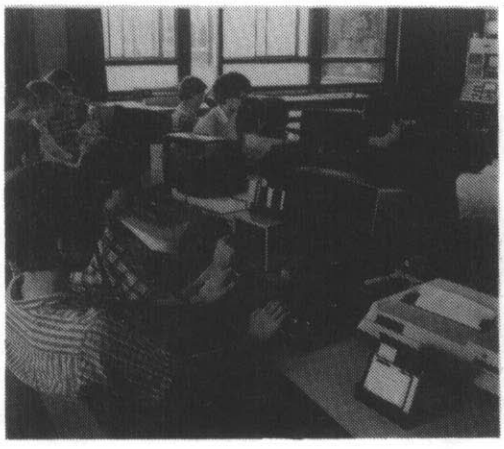
ELEKTRONISCHE SYSTEMEN

inhoud

		blz.
6.1	inleiding	67
6.2	zender en ontvanger	68
6.3	digitale communicatie	70
6.4	de computer	72
6.5	de meetautomaat	75
6.6	de stappenmotor	77

elektronische systemen

Elke dag gebruiken wij elektronische apparaten. De meest opvallende zijn wel radio en TV. Op school heb je kennis gemaakt met oscilloscopen, toongeneratoren en misschien computers. Ook in fabrieken, kantoren en ziekenhuizen worden steeds meer elektronische systemen gebruikt.

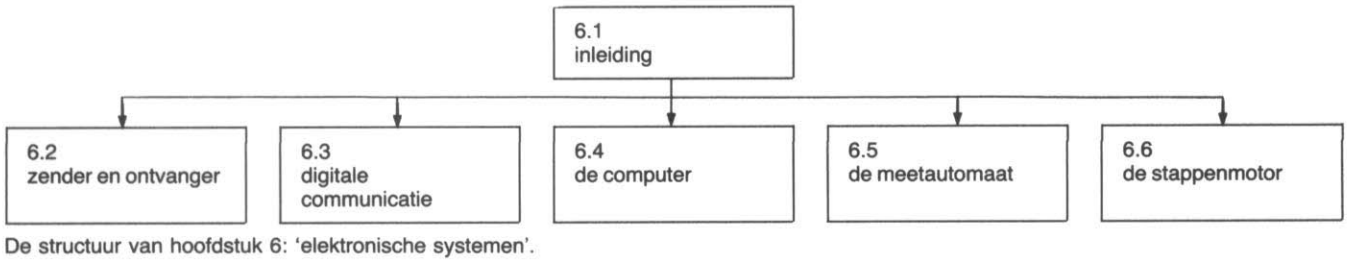


Lasrobots aan het werk.

Uit de vele toepassingen hebben we er vijf gekozen: twee op het gebied van communicatie, één over informatieverwerking en twee over automatisering. Vragen die daarbij aan de orde komen zijn:

- hoe functioneert het apparaat;
- wat zijn de mogelijkheden en beperkingen van het gebruikte systeem;
- waar kun je deze systemen toepassen?

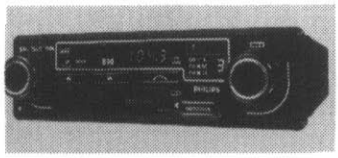
Zoveel mogelijk kun je de apparaten in werking zien en er aan meten. Voor een deel ben je op leesteksten aangewezen.



De structuur van hoofdstuk 6: 'elektronische systemen'.

6.1 INLEIDING

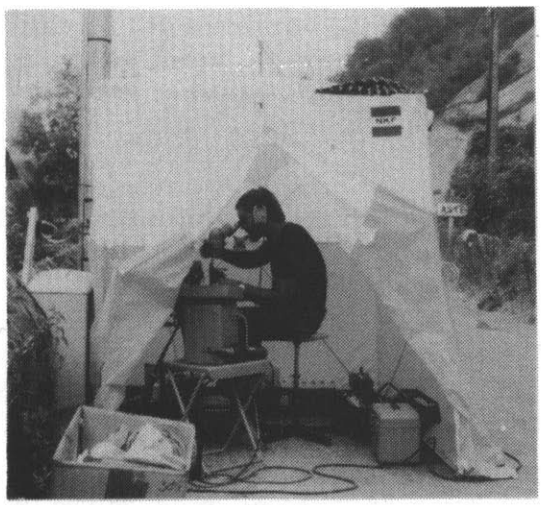
Van elk van de vijf systemen volgt hier een korte beschrijving. Op grond daarvan kun je kiezen wat voor jou het meest leerzaam of aantrekkelijk is. Bovendien krijg je een idee waarmee anderen aan de slag gaan. In het afsluitende hoofdstuk van dit thema proberen we een beeld te krijgen van de toekomst. Daaraan kan een rapportage of demonstratie rond elk van de vijf systemen een steentje bijdragen.



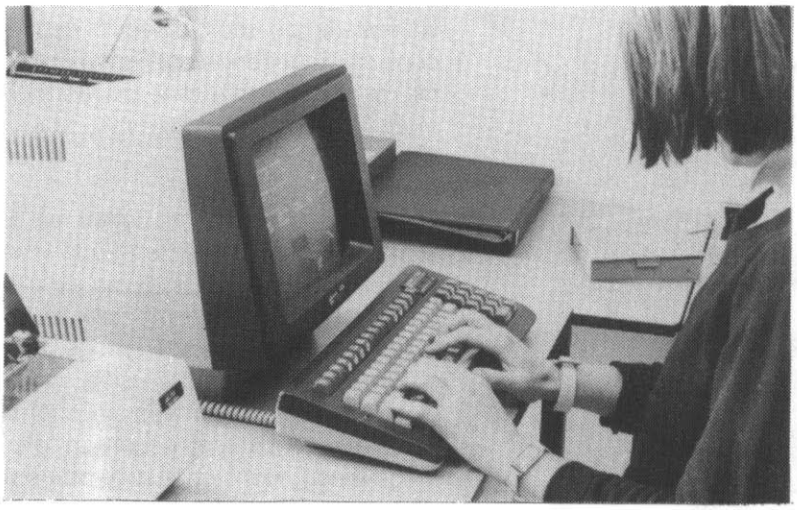
Ontvanger.

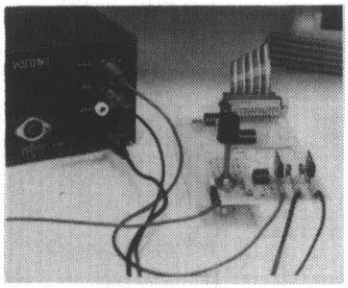
zender en ontvanger
Radio, TV en telefoon maken gebruik van diverse technieken om informatie in woord en/of beeld te transporteren. Voor het zenden van informatie door de ether in de vorm van elektromagnetische golven wordt onderscheid gemaakt tussen *AM* en *FM*. Beide methoden worden toegelicht. De werking van een AM-zender kun je zelf onderzoeken.

digitale communicatie
Deskundigen verwachten dat wij in de toekomst steeds meer informatie langs elektronische weg zullen versturen. Daarbij kun je denken aan *teletekst*,*viditel* en *beeldtelefoon*. Daarvoor zijn en worden nieuwe technieken ontwikkeld, zoals het versturen van informatie in digitale vorm, zowel draadloos als door koperkabel en in de toekomst steeds meer via glasvezels. Digitale geluidsoverdracht kun je zelf onderzoeken.

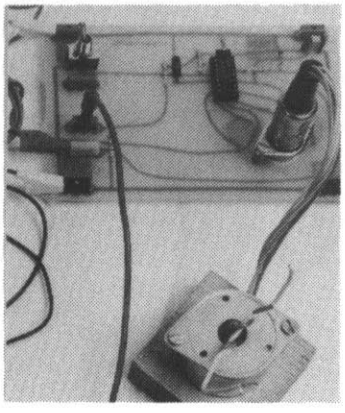


Het lassen van glasvezel-kabels.





Analoog-digitaal-omzetter.



Stappenmotor met stuurschakeling.

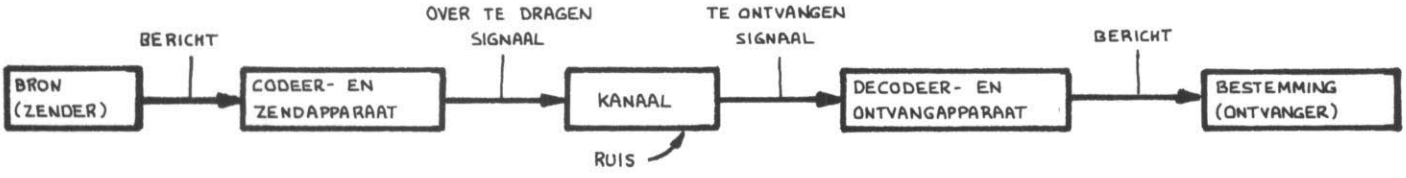
de computer
Tot voor kort moest je computer-specialist of programmeur zijn om iets met een computer te kunnen doen. Nu moeten we er allemaal aan geloven, lijkt het. Daarvoor probeert men de computer *vriendelijker* te maken. Je kunt horen, zien en lezen hoe de specialisten dat denken te doen.

de meetautomaat
Misschien heb je in vorige thema's al een micro-computer gebruikt om een experiment uit te voeren. De computer neemt daarbij meetwaarden op, onthoudt ze en vertoont het resultaat als tabel of diagram op een beeldscherm. Het *analoge* meetsignaal moet daarvoor eerst *digitaal* worden gemaakt. Je kunt onderzoeken *hoe nauwkeurig* en *hoe snel* wordt gemeten. Tenslotte gaan we na hoe zo'n meetsysteem kan worden gebruikt in een automaat of een robot.

de stappenmotor
Voor de aandrijving van automaten of robots is een speciale elektromotor ontwikkeld: de *stappenmotor*. Je kunt onderzoeken hoe deze motor op een stuuropdracht reageert. Tot slot maak je een eenvoudige *robot*. Met behulp van een computerprogramma kun je deze robot een handeling laten uitvoeren.

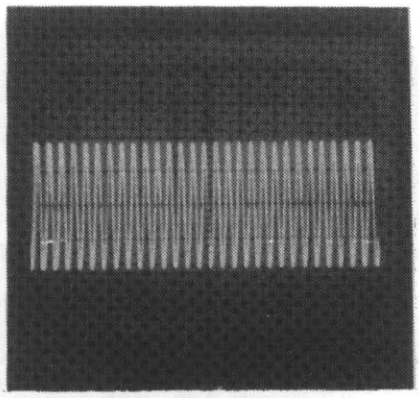
6.2 ZENDER EN ONTVANGER

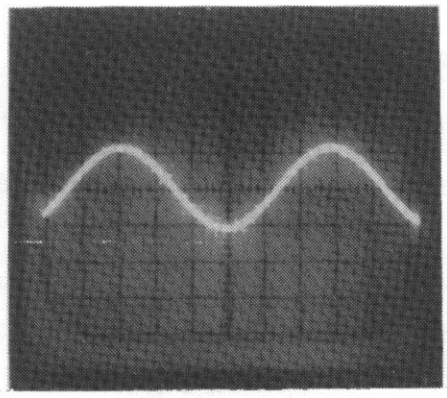
Een goed netwerk van verbindingen voor telecommunicatie is onmisbaar in onze moderne samenleving. Aan de bestaande mogelijkheden zoals telefoon, telex, televisie en radio, worden door de ontwikkeling van de techniek nieuwe toegevoegd: viditel, teletekst, beeldtelefonie, abonnee-TV, omroepsatellieten en gegevensverkeer tussen computers. Een communicatiesysteem is te beschrijven aan de hand van onderstaand model.

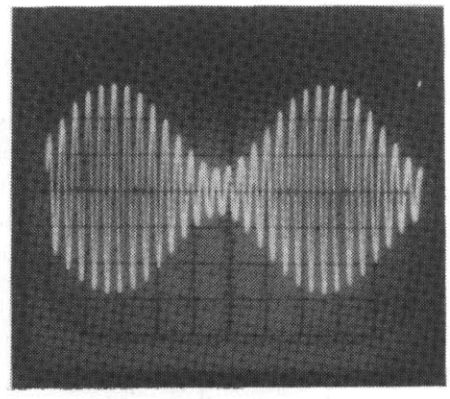


Voor het uitbreiden van onze communicatiemogelijkheden moeten er *voldoende kanalen* zijn, en de *storing* (of ruis) moet binnen de perken blijven. In de oorspronkelijke telegraaf en telefoon was het over te dragen signaal een spanning. Voor elk contact was een doorgaande koperdraad nodig; telefonistes maakten met de hand de gewenste verbinding.
De communicatiemogelijkheden zijn sindsdien sterk verruimd. Het telefoonverkeer gaat via volledig geautomatiseerde centrales. Zowel de snelheid als de capaciteit zijn daardoor sterk toegenomen. Radio en televisie kunnen zonder draadverbinding werken. Zij maken gebruik van twee *codeertechnieken*: *amplitude-modulatie* (AM) en *frekwentiemodulatie* (FM). Op deze laatste twee technieken gaan we hier in.

amplitude-modulatie
Zoals je je misschien uit het thema 'Muziek' herinnert, liggen de frekwenties van geluidsignalen tussen 16 Hz en 20 kHz. Als je een elektrisch signaal van deze frekwenties op een antenne aansluit, zijn de uitgezonden *elektromagnetische golven* te zwak om een goede ontvangst mogelijk te maken. Een draadloze verbinding van zender naar ontvanger is slechts goed mogelijk, als de frekwentie van het elektrische signaal boven de 30 kHz ligt.
Daarom gebruikt men een sinusvormige spanning met een hoge frekwentie en met een constante amplitude: de *draaggolf*. Het informatiesignaal wordt aan deze draaggolf toegevoegd. Het signaal wat dan ontstaat wordt het *gemoduleerde signaal* genoemd.
Bij *amplitude-modulatie* wordt de informatie toegevoegd aan de amplitude van de draaggolf. De amplitude van het gemoduleerde signaal varieert dus. De amplitude-veranderingen van het gemoduleerde signaal verlopen volgens de amplitude en frekwentie van het informatiesignaal.

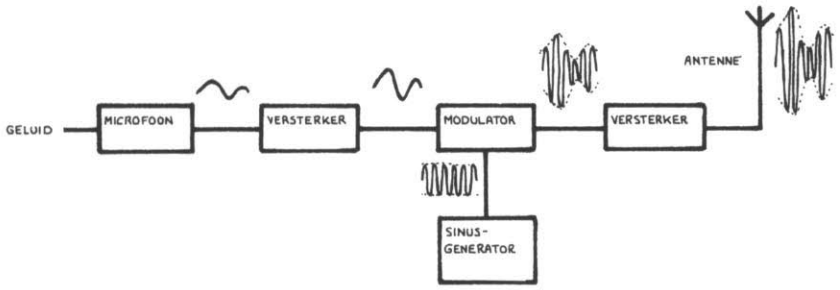

Amplitude-modulatie: draaggolf.


informatiesignaal.


amplitude-gemoduleerd signaal (AM-signaal).

1. DE AM-RADIOZENDER

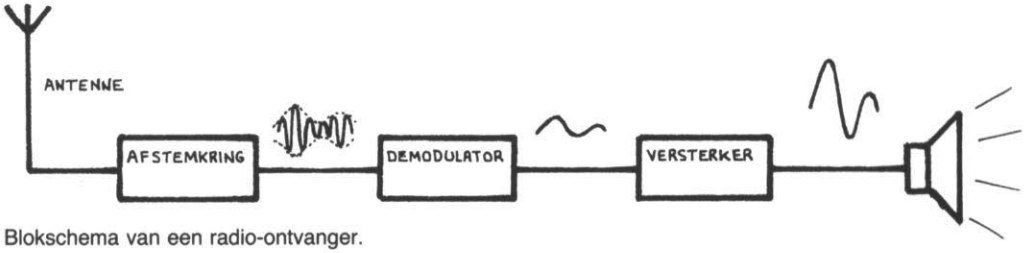
Alle elektronica die deel uitmaakt van een radiozender kan worden gerangschikt in een *blokschema*, waarin de verschillende functies zijn weergegeven die in de zender moeten worden uitgevoerd.



Blokschema van een radio-zender.

a. Bekijk de radiozender die in de klas is opgesteld. Probeer de diverse blokken uit het systeemmodel te herkennen. Beschrijf de functie van elk blok.
b. Bekijk op een oscilloscoop achtereenvolgens het draaggolfsignaal, het informatiesignaal en het AM-signaal.
c. Probeer het uitgezonden radiosignaal via een ontvanger te beluisteren. Op welke frekwentie moet je de ontvanger daarvoor afstemmen?
d. Bekijk op een oscilloscoop het effect van variaties in de frekwentie van de draaggolf, de amplitude van de draaggolf, de frekwentie van het informatiesignaal en in de amplitude van het informatiesignaal.

Hieronder is ook het blokschema van een radio-ontvanger weergegeven.

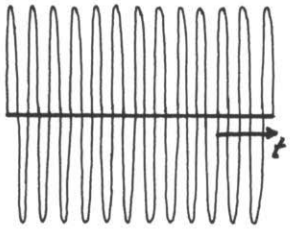


Blokschema van een radio-ontvanger.

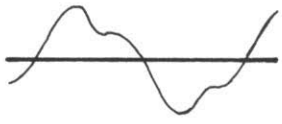
Het systeem bevat de volgende onderdelen:
- de *antenne* vangt de vele uitgezonden radio-signalen op;
- de *afstemkring* (bestaat in principe uit een spoel en een variabele condensator) selecteert één draaggolffrekwentie; dat wil zeggen dat een signaal met die frekwentie een 'hoge' spanning oplevert en signalen met andere frekwenties lage spanningen;
- de *demodulator* zondert het informatiesignaal af van het AM-signaal;
- de *versterker*;
- de *luidspreker*.

frekwentie-modulatie

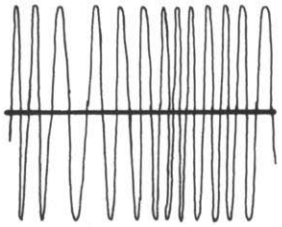
Bij *frekwentie-modulatie* (FM) wordt de informatie toegevoegd aan de frekwentie van de draaggolf. Het FM-signaal heeft een constante amplitude. Variaties in de spanning van het informatiesignaal worden omgezet in variaties in de frekwentie van de draaggolf.



Frekwentie-modulatie: draaggolf



informatiesignaal



frekwentie-gemoduleerd signaal (FM-signaal)

We zullen geen FM experimenten uitvoeren, omdat de relatief kleine frekwentievariaties (0,008% voor hifi-stereo-uitzendingen) op een oscilloscoop niet waar te nemen zijn.

GEHEIME ZENDERS
Elk zendinstallatie moet worden gekeurd door de PTT, voordat een zendmachtiging wordt afgegeven. De zender mag maar één draaggolffrekwentie opwekken binnen een toegestaan frekwentiebereik. Het zendvermogen moet beperkt zijn.
Vooral als luchtvaart of scheepvaart hinder ondervinden van etherpiraten, kunnen levensgevaarlijke situatie ontstaan

2. RADIO-CAPACITEIT

In je tabellenboek staat een overzicht van het elektromagnetisch spectrum. Je kunt daar vinden welke frekwentiebereiken zijn toegewezen aan AM-radio, FM-radio en TV.

Elke AM-zender heeft voor ongestoorde communicatie een *bandbreedte* nodig van 5000 Hz. Anders gezegd: het verschil tussen de draaggolffrekwenties van AM-zenders moet tenminste 5000 Hz bedragen. Voor FM-stereo-zenders is de gewenste bandbreedte 16000 Hz.

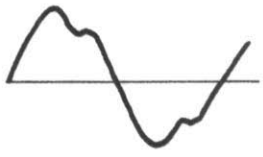
a. Ga na hoeveel lange-golf-zenders tegelijk kunnen opereren zonder onderlinge beïnvloeding.

b. Beantwoord dezelfde vragen voor korte-golf- en FM-zenders.

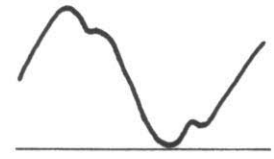
c. De benodigde bandbreedte voor TV is 5,5 MHz. Waarom vraagt TV zoveel van de capaciteit van een communicatiekanaal?

6.3 DIGITALE COMMUNICATIE

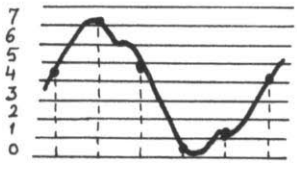
Het uitwisselen van informatie tussen computers gaat met behulp van aan-uit-signalen, ofwel digitaal. Men neemt aan dat deze vorm van communicatie steeds omvangrijker zal worden. Digitale signalen blijken zich goed te lenen voor directe verzending (hetzij draadloos, hetzij via kabels) en blijken weinig storingsgevoelig te zijn. De voordelen zijn



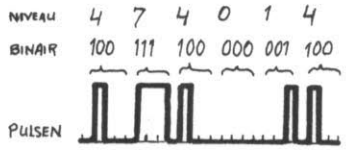
Analoog signaal.



Het nulniveau is verschoven.



Met regelmatige tussenpozen wordt de grootte van het analoge signaal gemeten.



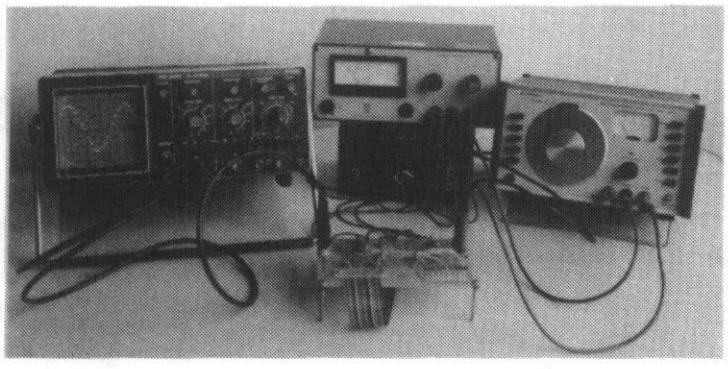
Elke meting wordt omgezet in een binair getal en in de vorm van pulsen uitgezonden.

zodanig, dat het ook aantrekkelijk wordt om analoge informatiesignalen (geluid of beeld) in digitale vorm om te zetten. Dat kan als volgt.

Van het wisselspanningssignaal wordt bijv. om de 100 µs de spanning gemeten. Via een *analoog-digitaal-converter* (ADC) wordt de gemeten spanning in bijv. een 3-bits binair getal omgezet. De spanningen op de uitgang van de ADC worden dan achtereenvolgens uitgezonden. Bij de ontvanger worden deze 3 bits weer parallel gezet en aan een *digitaal-analoog-converter* (DAC) toegevoerd. De omzetting van een analoog signaal in 3-bits binaire getallen is vrij onnauwkeurig (waarom?). De nauwkeurigheid van het digitale systeem wordt groter als per meting meer dan 3 bits gebruikt worden voor het digitale signaal. De ADC levert dan bijv. 8 bits per meting (voor telefoonverbindingen) of zelfs 14 bits per meting (voor hifi-geluid).

1. DIGITALE GELUIDSKWALITEIT

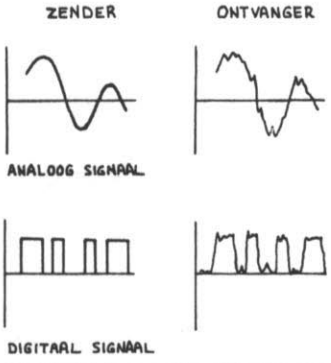
In de proefopstelling, bestaande uit een ADC en een DAC, worden de 8 bits van het over te dragen signaal niet in serie gezet zoals in werkelijke digitale communicatie. Toch geeft de opstelling een indruk van de mogelijkheden van deze techniek.



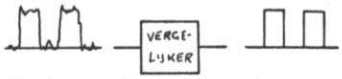
a. Verbind de ingang van de ADC met een toongenerator en de uitgang van de DAC met een oscilloscoop. Schets het doorgegeven signaal.

b. Sluit parallel aan de oscilloscoop een condensator aan. Welk effect heeft dit op het doorgegeven signaal?

c. Vervang de oscilloscoop door een luidspreker. Ga na tot welke frekwentie de toon nog zonder ernstige vervorming wordt doorgegeven.



Storing bij een analoog en bij een digitaal signaal.

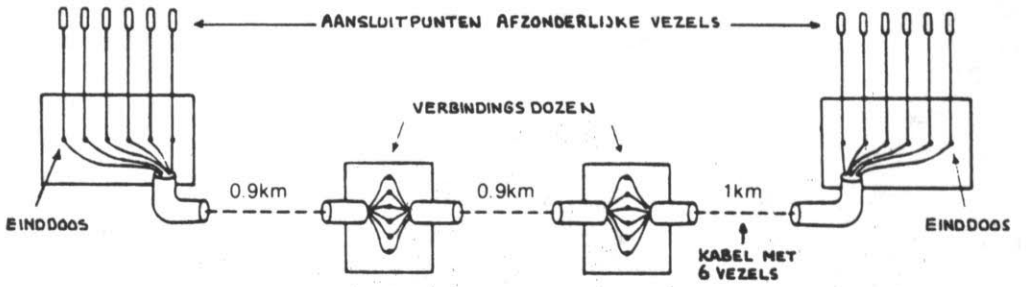


Het in- en uitgangssignaal van een vergelijker.

Om de 900 m moeten de glasvezelkabels aan elkaar gelast worden.

Eén van de voordelen van digitale telecommunicatie is de *geringe storingsgevoeligheid*. Als je een signaal over een lange kabel of draadloos over een grote afstand overzendt, ontstaan storingen op het signaal. Dit gebeurt zowel bij analoge als bij digitale signalen. Bij analoge signalen kun je deze storingen niet meer weg krijgen, als ze in hetzelfde frekwentiegebied liggen als het signaal. Je weet niet wát storing is en wát informatie is. Bij digitale signalen is het alleen nodig te weten of het signaal op een bepaald moment 0 of 1 is.
Er zijn elektrische schakelingen (meestal in IC-vorm) die een 0 geven als de spanning beneden een bepaalde waarde is en een 1 als de spanning boven die waarde is. Zulke schakelingen worden *vergelijkers* (comparators) genoemd. In de tekening hiernaast zie je het in- en uitgangssignaal bij zo'n vergelijker.
Zolang de storingen beneden de halve signaalspanning blijven, kun je op deze manier het uitgezonden signaal weer terug krijgen. Je hebt dan geen last van de storingen.

Een tweede voordeel van digitale signalen is dat ze zich goed lenen voor verzending via speciale *glasvezels* in plaats van via koperkabels. Daarbij gebruikt men dan niet langer spanningspulsen, maar lichtpulsen als dragers van digitale informatie.



Het schema van een experimentele glasvezel-kabelverbinding, die in 1983 door de Nederlandse Kabel Fabriek is gelegd tussen Aste en Beon in Zuid-Frankrijk.

Met behulp van een *laser* kan men tot nu toe al zo'n $6 \cdot 10^8$ pulsen, ofwel $6 \cdot 10^8$ bits per seconde versturen via één vezel. Aan de ontvangstkant nemen lichtgevoelige elementen de pulsen waar.

2. DIGITALE KABELCAPACITEIT

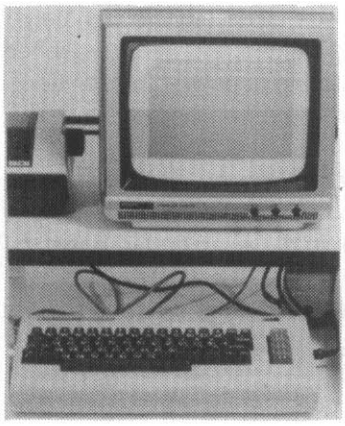
Telefoongesprekken kunnen duidelijk worden overgebracht als het frekwentiegebied van 300 tot 3400 Hz wordt bestreken. Voor digitalisering moet de frekwentie waarmee de signaalspanning wordt gemeten minstens het dubbele zijn van de hoogste over te dragen frekwentie. In de praktijk is de meetfrekwentie 8 kHz bij telefoonverkeer. Dus: het signaal wordt 8000 maal per seconde gemeten. Elke meting levert acht bits aan de ADC-uitgang. Via een koperen telefoonkabel kunnen zo'n 10^8 bits per seconde worden verstuurd.

a. Bij een telefoongesprek gaat het informatiesignaal tegelijkertijd van A naar B èn van B naar A. Bereken hoeveel bits per seconde heen en weer worden gezonden door de kabel.

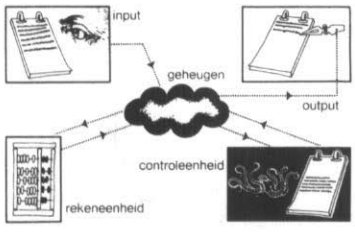
b. De capaciteit van een koperkabel is voldoende voor méér dan één gesprek tegelijkertijd. (Op de techniek van het tegelijkertijd via één kabel doorgeven van verschillende gesprekken gaan we niet in.) Hoeveel digitale telefoongesprekken kunnen tegelijkertijd via één koperkabel gevoerd worden? En hoeveel zijn dat er bij gebruik van glasvezel in plaats van koperkabel?

c. Maak een schatting van het aantal stereo-muziekuitzendingen dat tegelijkertijd via één glasvezel kan worden verstuurd.

6.4 DE COMPUTER



Een Commodore C64 micro-computer.



Blokschema van een computer.

1. VOORWOORD

Het voorwoord bij deze paragraaf staat op cassette. Het is uitgesproken door een C64 microcomputer.

a. Hoe lang duurt dit voorwoord, en in hoeveel tijd zou je het zelf duidelijker kunnen voorlezen?

b. Welke aanmerkingen heb je op deze computerstem?

opbouw van een computer

Het gebruiken van een computer is lastig, omdat computers zo heel anders zijn dan wij.

Het centrale gedeelte, *de rekeneenheid*, kan een aantal spanningen tegelijk doorverbinden. Deze acht spanningen (soms 16 of 32) stellen een binair signaal voor van 8 (of 16 of 32) bits.

Het *computergeheugen* bevat zeer veel plaatsen waar series bits permanent of tijdelijk kunnen worden vastgelegd. Daarnaast moet een computer *in- en uitvoermogelijkheden* bevatten.

Een rekeneenheid van een computer doet niets uit zichzelf. Voor elke 'handeling' moet eerst een opdracht (of *instructie*) worden ontvangen. Deze instructies vormen samen het *computerprogramma*. In de huidige computers is het programma in binaire code opgeslagen in het computergeheugen. In eindeloze herhaling en in zeer hoog tempo voert de rekeneenheid de volgende stappen uit: haal een instructie uit het geheugen, 'lees' de instructie, voer de instructie uit, en haal de volgende instructie.

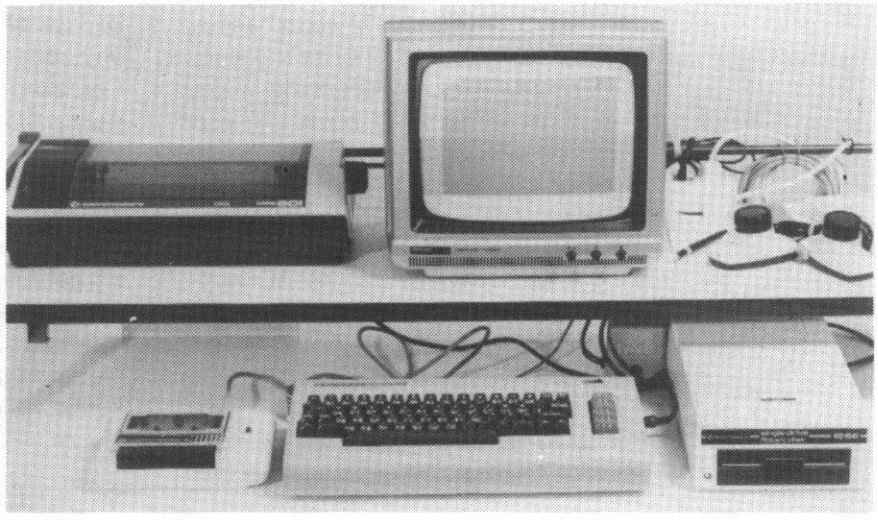
mens-computer-communicatie

Als wij ons helemaal aan de computer aanpassen, moeten wij volledig communiceren in enen en nullen. Dat is erg lastig en verwarrend.

Het andere uiterste is een mens-vriendelijke computer waarmee je gewoon kunt praten, die je begrijpt en die op gewenste momenten 'mondeling' of schriftelijk antwoord geeft. Een bijna-menselijke machine is voorlopig niet uitvoerbaar. Wel zijn tussenoplossingen mogelijk.

De moderne microcomputer is vrijwel altijd voorzien van een *toetsenbord* en van een *beeldscherm*. Via het toetsenbord geef je gegevens aan de computer en via het beeldscherm zie je de reactie. Uitbreidingen daarop vormen een *cassette-recorder* of een *magnetisch schijfgeheugen* (disc) voor de invoer (met name van programma's) en een *afdrukapparaat* (printer) voor de uitvoer.

Dit computersysteem is in staat gedrukte tekst te lezen en in de vorm van braille-schrift weer te geven.



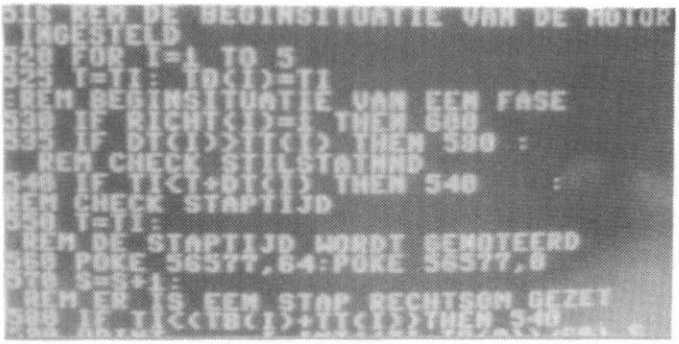
In de toekomst worden wellicht ook microfoon en luidspreker gangbare in- en uitvoerkanalen voor computers. Nu komen deze slechts in speciale gevallen voor, omdat ze nog teveel geheugenruimte en werktijd in een microcomputer vragen.

PROGRAMMEER-CRISIS
Volgens sommige ingewijden is de kunst van het programmeren onontwikkeld. Er zijn te weinig programmeurs en te veel kwakzalvers. De 'gouden dromen' over automatisering komen minder snel uit dan men verwacht(te). Als je daarbij bedenkt dat elk computertype een eigen dialect van één der meer dan een dozijn programmeertalen verstaat, dan zie je dat de chaos niet ver is. Er is sinds de toren van Babel maar weinig veranderd

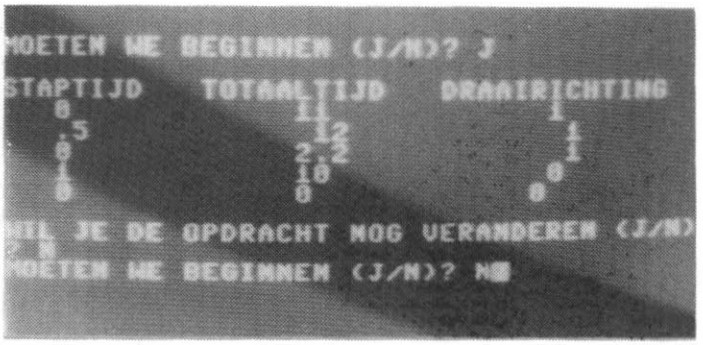
de rol van de computerprogrammeur

De programmeur vervult de rol van tolk tussen mens en machine. Zij of hij doet dat vóóraf. De programmeur moet het gehele verloop van het contact tussen gebruiker en machine voorzien. Dat kan alleen als gebruiker en machine zich tot één onderwerp of één soort probleem beperken. Per onderwerp of probleem wordt dan een apart programma geschreven.

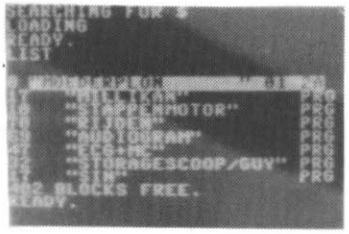
Programma's worden geschreven in een *programmeertaal*. Zo'n taal kent weinig woorden en tekens (in het algemeen niet meer dan 100). Elk woord of teken geeft een duidelijke opdracht aan de computer. Zo'n programma is moeilijk leesbaar, vaak ook voor ándere programmeurs. Het hoort vergezeld te gaan van een duidelijke toelichting.



Een deel van het 'stuurprogramma voor een stappenmotor'.



Werken met de computer.



Beeldscherm met een overzicht van de computerprogramma's op een disc.

Degene die met een computer wil werken is vaak geen programmeur. Deze gebruiker moet met de computer kunnen communiceren. Vaak wordt daartoe via het programma tekst op het beeldscherm afgedrukt, gevolgd door vragen. Door deze (meerkeuze-)vragen te beantwoorden, kun je samen met de computer een probleem oplossen, een proef nabootsen of adressen laten typen voor een serie brieven die je moet versturen.

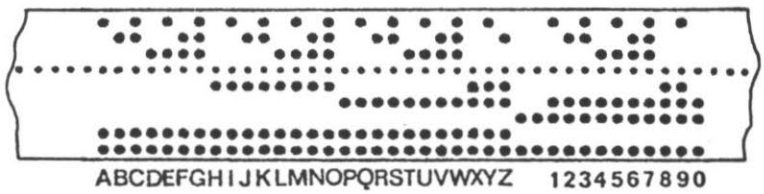
2. INFORMATIE-DICHTHEID

a. Laad een computerprogramma van cassette of schijf in het geheugen. Hoe lang duurt dit laden?

b. Laat dit programma op het scherm afdrukken. Maak een schatting van de tijd die jij nodig hebt om een tekst van dezelfde lengte uit te spreken, respectievelijk te typen.

snelle in- en uitvoermethoden

Uit de voorgaande activiteit blijkt dat de computer veel sneller informatie kan opnemen dan een mens kan leveren. Er zijn daarom verschillende methoden bedacht om de in- en uitvoer van informatie te versnellen. Een al wat antiek voorbeeld is het gebruik van *ponskaarten* of *ponsband*.



De ponsband-code.

In de figuur hierboven zie je de sleutel van de gebruikte code. Een gaatje betekent 1, geen gaatje betekent 0. De rij kleinere gaatjes tussen de 3e en 4e regel is nodig voor het transport van de ponsband met de gewenste snelheid. De letter 'M' komt dus overeen met de binaire notatie 10110011.

Een ponsband kan een computerprogramma bevatten of een serie meetgegevens of een tekst. De gegevens moeten wel foutloos zijn. Door een komma in plaats van een punt raakt de computer het spoor bijster (bijv.: de computer verwacht decimale getallen in de engelstalige notatie, met een punt in plaats van een komma). Maak je zo'n fout bij een microcomputer, dan verschijnt direct een foutmelding op het scherm en kun je verbeteringen aanbrengen.

3. ECONOMISCH COMPUTERGEBRUIK

In de tijd dat er nog maar weinig, voornamelijk grote computers in Nederland stonden, ging dat anders. Een programmeur schreef zijn programma volledig uit. Een ponstypist(e) maakte de ponsband die door de computer werd ingelezen. Als er een fout in het programma zat, drukte een regeldrukker een foutmelding af. Ook werd opgegeven hoeveel seconden de computer met het programma bezig was geweest. De programmeur kon zijn programma verbeteren, waarna weer een nieuwe ponsband kon worden getypt. Tussen het inleveren van het programma en het ontvangen van de reactie van de computer verliepen veelal enkele dagen.

a. Welk effect had deze omslachtige werkwijze op de gebruikersvriendelijkheid van computers en op de werkgelegenheid?

b. Wel kon één computer in één dag honderden programma's afwerken. Welke factor maakte dit economisch gezien noodzakelijk?

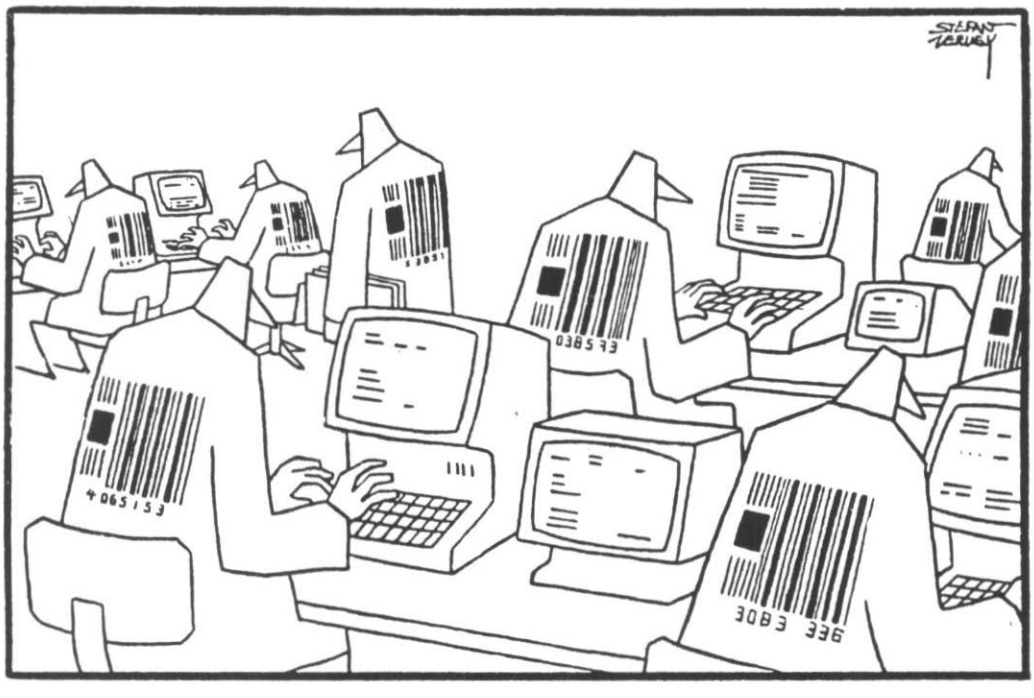
De uniforme artikel code.

Een moderne manier om digitale informatie in te voeren is de *uniforme artikelcode*: de streepjespatronen die je op tal van verpakkingen en zelfs op tijdschriften tegenkomt. Jammergenoeg is de uniformiteit betrekkelijk. In verschillende landen bestaan artikelcodes die sterk onderling afwijken.

Deze streepjecode moet automatiseren van het winkelbedrijf mogelijk maken. De code is namelijk te lezen met een *lichtpen*. In de punt van deze pen bevindt zich een lichtbron (een LED bijv.) en een lichtgevoelige diode. Als je deze punt gelijkmatig boven een streepjescode beweegt, zal het licht afwisselend wel en niet weerkaatsen. Hierdoor wordt een blokspanning opgewekt, die een computer in staat stelt het produkt te identificeren.

Een 'goed en alwetend' computersysteem kan nu:

– een bonnetje voor de klant maken;



– nagaan hoe groot de resterende voorraad van de kersenjam en de gevulde erwtensoep is en zonodig een nieuwe voorraad bestellen;
– een lijst van slecht verkopende producten opstellen die alleen maar ruimte innemen in de winkel, renteverlies met zich meebrengen en dus niet winstgevend zijn;
– dagelijks automatisch de btw afdragen aan de belastingdienst;
– en vast nog veel meer.

De streepjescode kan ook anders gebruikt worden. De Amerikaanse computerfabrikant Hewlett Packard brengt boeken met programma's uit. Op elke bladzijde zijn slechts regels vol streepjes te vinden.

4. WINKELPROBLEMEN

Niet elk product leent zich voor een geautomatiseerde supermarkt. Ook kunnen abnormale gebeurtenissen het systeem in de war sturen.

a. Ga na welke producten zich niet voor automatische verwerking lenen, en hoe men dit probleem kan overwinnen.

b. Als iets fout kan gaan, dan gaat het ook fout (de wet van Murphy). Een systeem-ontwerper zou alle mogelijke fouten moeten voorzien en daarvoor beveiligingen aanbrengen. Hoe zou de winkelcomputer in de war kunnen raken?

c. Ga na, zo mogelijk in een geautomatiseerd winkelbedrijf, hoe fouten worden opgespoord en hersteld.

6.5 DE MEETAUTOMAAT

In voorgaande thema's zijn een aantal experimenten opgenomen, waarbij de te meten grootheid zeer snel in de tijd verloopt. Nagalmtijdmeting bij muziek en botstijdmeting bij verkeer zijn moeilijk of niet uit te voeren zonder een snelle meetautomaat die de gegevens in een geheugen opslaat. Een (micro)computer leent zich voor deze functie, omdat hij een geheugen heeft en omdat hij signalen op kan nemen. Wel is er een *aanpassing* nodig: de te meten grootheid (bijv. temperatuur, geluidsniveau, kracht of lichtsterkte) moet worden vertaald in een digitaal signaal. Deze aanpassing gebeurt in twee stappen. Dit kunnen we illustreren aan het voorbeeld van een thermometer.
Allereerst is er een *sensor* nodig, waarvan de elektrische eigenschappen afhangen van de temperatuur. Een NTC-weerstand is zo'n sensor. In serie met een vaste weerstand vormt de NTC-weerstand een spanningsdeler; de spanning over de NTC-weerstand is afhankelijk van de temperatuur.

Vervolgens is er een *analoog-digitaal-converter* (ADC) nodig om het analoge signaal (de spanning over de NTC-weerstand) te vertalen in digitale vorm. Een computer kan vervolgens dit digitale signaal regelmatig aflezen en in zijn geheugen opslaan. Op een later tijdstip kan het verloop van het proces zichtbaar worden gemaakt op een beeldscherm.

In deze paragraaf zullen we onderzoeken

- *hoe nauwkeurig* een ADC werkt en hoe die nauwkeurigheid te beïnvloeden is;
- *hoe snel* een ADC werkt;
- of een snel proces met een eenvoudige ADC te volgen is.

In de proeven maken we gebruik van een ADC-chip. Het analoge signaal op de ingang kan alleen verwerkt worden zolang het ligt tussen de 0 en 5 V. Het analoge ingangssignaal wordt door de ADC-chip omgezet in een 8-bits digitaal signaal. De chip heeft 8 uitgangen, die elk een 0 (uitgangsspanning 0 V) of een 1 (uitgangsspanning 5 V) kunnen weergeven. Elke uitgang is via een serieschakeling van een LED en een weerstand verbonden met aarde (0 V). Als een uitgang 1 aangeeft, gloeit de LED.

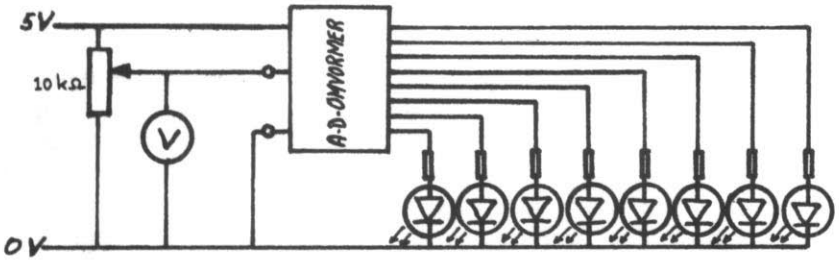
1. STATISCHE ADC-TEST

Met behulp van een spanningsdeler wordt een spanning tussen 0 en 5 V aan de ingang van de ADC aangeboden.

a. Laat de ingangsspanning langzaam stijgen van 0 tot 5 V. Controleer of de LED's de binaire getallen in de juiste volgorde weergeven.

b. Onderzoek de nauwkeurigheid van de ADC door te meten hoeveel de ingangsspanning V_i kan variëren zonder wijziging in het digitale uitgangssignaal.

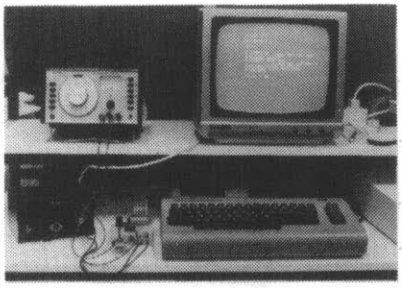
c. De uitgang kan 256 verschillende digitale waarden aangeven. Bereken het interval van ingangsspanningen V_i dat bij één digitale waarde hoort. Komt de meting bij 1b overeen met deze berekende waarde?

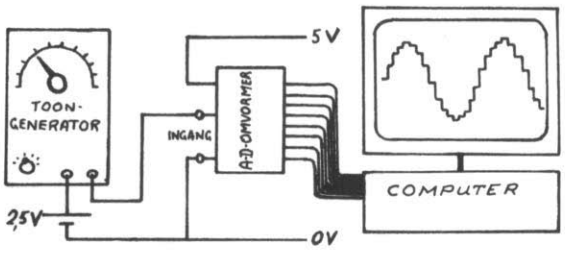


2. MEETSNELHEID ADC

Voor het uitvoeren van deze activiteit moet de ADC worden aangesloten op een microcomputer.

Het ingangssignaal naar de ADC wordt geleverd door een toongenerator, en moet een frekwentie van 500 Hz hebben.





De amplitude moet de 2,5 V benaderen om de ADC-gevoeligheid zo goed mogelijk te benutten.

a. Laat de microcomputer een serie metingen vastleggen. Reproduceer de resultaten op het beeldscherm. Ga na hoeveel metingen zijn vastgelegd gedurende één periode van het ingangssignaal.

b. Leid uit het resultaat van 2a de meetsnelheid (aantal metingen per seconde) van de ADC/computercombinatie af.

COMPACT DISC

Het omzetten van geluid in digitale vorm is een techniek die snel terrein wint. Evenals in activiteit 2 moet daarvoor regelmatig de spanning van het analoge signaal worden gemeten. De gemeten waarde wordt vervolgens als binair getal verzonden of opgeslagen.

Dit principe wordt onder andere in de compact disc toegepast. De geluidskwaliteit is hierbij hoger dan bij opslag op grammofoonplaat of (cassette)band.

van meten tot regelen

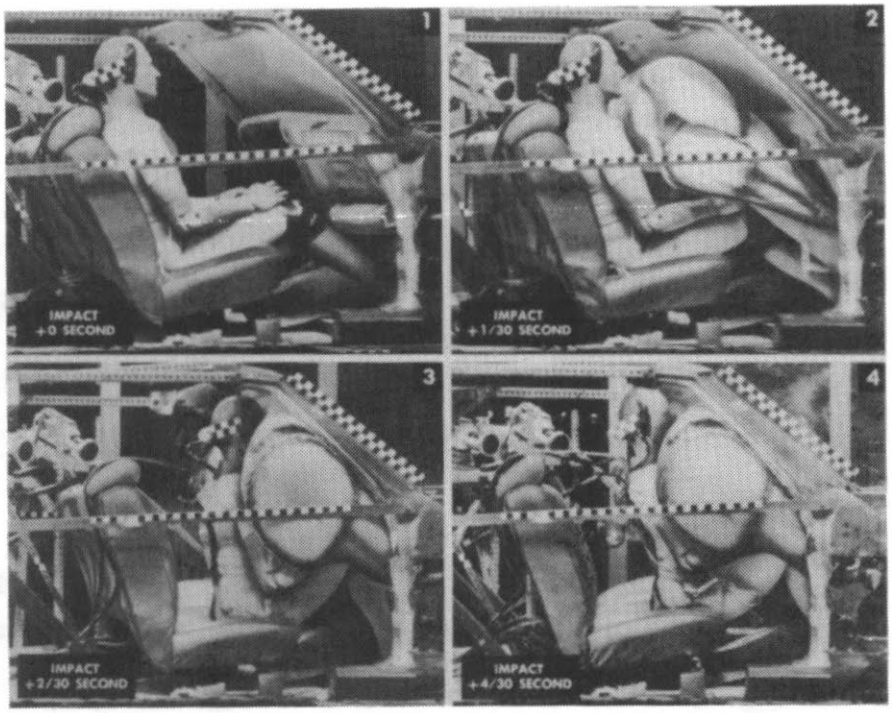
Een computer kan méér dan alleen gegevens opslaan. Op basis van een goed programma kan hij ook *meetresultaten beoordelen* en *actie ondernemen*. Dan hebben we een *robot*: een apparaat dat iets regelt dat anders door mensen gedaan zou (moeten) worden of dat iets regelt dat op een andere manier niet te regelen is. Door de mens

vrijwel niet in de hand te houden processen zijn bijv. het besturen en stabiliseren van (militaire) vliegtuigen en ruimtevaartuigen, het regelen van kerncentrales enz.

Het is niet eenvoudig een dergelijk automatisch systeem te programmeren. Ter illustratie de volgende ontwerpactiviteit.

3. BOTSKUSSEN

Eén van de 'betere automerken' wil een botsbeveiligingssysteem inbouwen, dat beter is dan de driepuntsgordel. Nadeel van de gordel is dat het lichaam slechts door twee banden wordt tegengehouden. Door de krachten die de gordel tijdens de botsing op de inzittende uitoefent, kunnen ribben en sleutelbeen breken en kunnen kwetsuren in de buikholte ontstaan. Ook blijft het hoofd vrij, waardoor de nek zwaar wordt belast.



Gedacht wordt aan een gasgevulde zak die tijdens een heftige botsing snel de ruimte vóór de inzittenden vult. Deze zak werkt als een stootkussen en vangt het lichaam met een gelijkmatig verdeelde kracht op. Een automatisch systeem moet het vullen van de zak regelen. De ernst van de botsing moet met een vertragingssensor worden bepaald.

Ga na welke sensoren je in de auto moet plaatsen en waar. Beschrijf puntsgewijs bij welke meetwaarden de zakken opgeblazen moeten worden.
Bedenk daarbij dat:
- de zak elk uitzicht wegneemt;
- een parkeeraanrijding niet met een volle zak bestraft mag worden;
- de inzittenden niet door de zak moeten stikken.

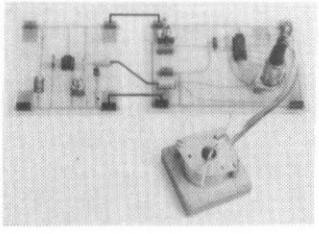
6.6 DE STAPPENMOTOR

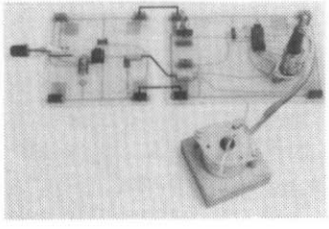
Een camera met gemotoriseerd filmtransport.

De *stappenmotor* is een elektromotor die zich uitstekend leent om door een computer bestuurd te worden. De motor wordt gevoed met gelijkspanning via een *regelchip*. Bij elke *stuurpuls* die bij de chip arriveert, zorgt de chip voor een signaal naar de stappenmotor. Dit signaal heeft een kleine verdraaiing, een *stap*, van de motor tot gevolg.
Een stuurpuls is een digitaal aan-uit-signaal. Dat is precies het soort signaal dat een computer kan leveren. De draaisnelheid van de stappenmotor is evenredig met het aantal pulsen dat per seconde wordt toegevoerd. De totale verdraaiing is evenredig met het totale aantal pulsen. Een tweede stuursignaal bepaalt of de regelchip de motor rechtsom of linksom laat draaien.
De stappenmotor wordt gebruikt voor aandrijving van magneetbanden en -schijven van externe computergeheugens, filmtransport en diafragmabesturing in fototoestellen en voor het sturen van kleppen en brandstoftoevoer in inspuitmotoren. Verder vind je stappenmotoren in medische apparatuur (bijv. voor het nemen van bloedmonsters, voor longanalyse en voor infuuspompen), taximeters, schrijfmachines, weeginstallaties enz.

1. MOTOR MET HANDBESTURING

In dit experiment gebruik je een pulsgever. De uitgang van de pulsgever gaat naar de pulsingang van het stuur-IC van de motor. Zowel pulsgever als stuur-IC





DE TRAGE COMPUTER
Het computerprogramma bij activiteit 3 is geschreven in BASIC, een veel gebruikte programmeertaal. De werksnelheid van de computer in deze toepassing valt een beetje tegen. Met andere programma's in andere talen en met een andere computer zijn betere resultaten mogelijk. Toch is deze traagheid fundamenteel voor alle digitale computers die halverwege de jaren '80 te koop zijn. Oorzaak is het zogenaamde Von Neumann principe. *Volgens dit principe zijn alle bewerkingen geregeld met behulp van een stap-voor-stap-programma. Twee of meer stappen tegelijk zetten is binnen één computer onmogelijk. Elke stap kost tijd, al is het erg weinig. Door de grote hoeveelheid kleine stappen valt de werksnelheid toch tegen. Computer-ontwerpers zoeken naar oplossingen. Eén mogelijkheid wordt al veel gebruikt: breng een aantal computers samen in één systeem, waarbij elk van die computers één functie uitvoert. In de toekomst hoopt men computers te realiseren die meer dingen tegelijk kunnen*

worden daarna verbonden met 12 V gelijkspanning. Op de printplaat met het stuur-IC vind je een handschakelaar. Met die schakelaar is de draairichting van de motor te veranderen.

2. MAXIMUM TOERENTAL
Vervang in de opstelling van activiteit 1 de pulsgever door een astabiele multivibrator. De pulsfrekwentie is met een variabele weerstand in te stellen.
a. Bepaal het toerentalbereik van de stappenmotor in deze opstelling.

3. COMPUTERBESTURING
Voor de C64 computer is een stuurprogramma bij de stappenmotor geschreven.
a. Onderzoek de mogelijkheden van het stuurprogramma. Laat de motor een

4. MAXIMUM COMPUTERSNELHEID
Het programma 'snelbesturing' stuurt pulsen naar de stappenmotor in een zo hoog mogelijk tempo en telt totdat 1500

5. ROBOTONTWERP
Met een stappenmotor en computer zou je allerlei modelrobots kunnen aandrijven

a. Controleer de werking van de stappenmotor. Per druk op de pulsknop mag de motor maar één stap verdraaien.
b. Meet de stapgrootte.

b. Volgens de fabrieksspecificaties is met deze stappenmotor een maximum draaisnelheid van 350 stappen/s te realiseren. Komt dat overeen met jouw metingen?

samengestelde beweging uitvoeren.
b. Bepaal de maximum draaisnelheid van de motor/computer-combinatie. Vergelijk deze waarde met de resultaten bij activiteit 2.

stappen gezet zijn. Bepaal de maximum draaisnelheid.

volgens een vast patroon. Als je een programmeur in de arm neemt, zou je het stuurprogramma zó kunnen wijzigen dat de computer signalen van één of enkele sensoren kan verwerken. Daardoor krijgt de robot als het ware zintuigen. Voor modelbouwers biedt de stappenmotor nieuwe mogelijkheden voor (afstands)besturing.
Veel plezier!

hoofdstuk 7

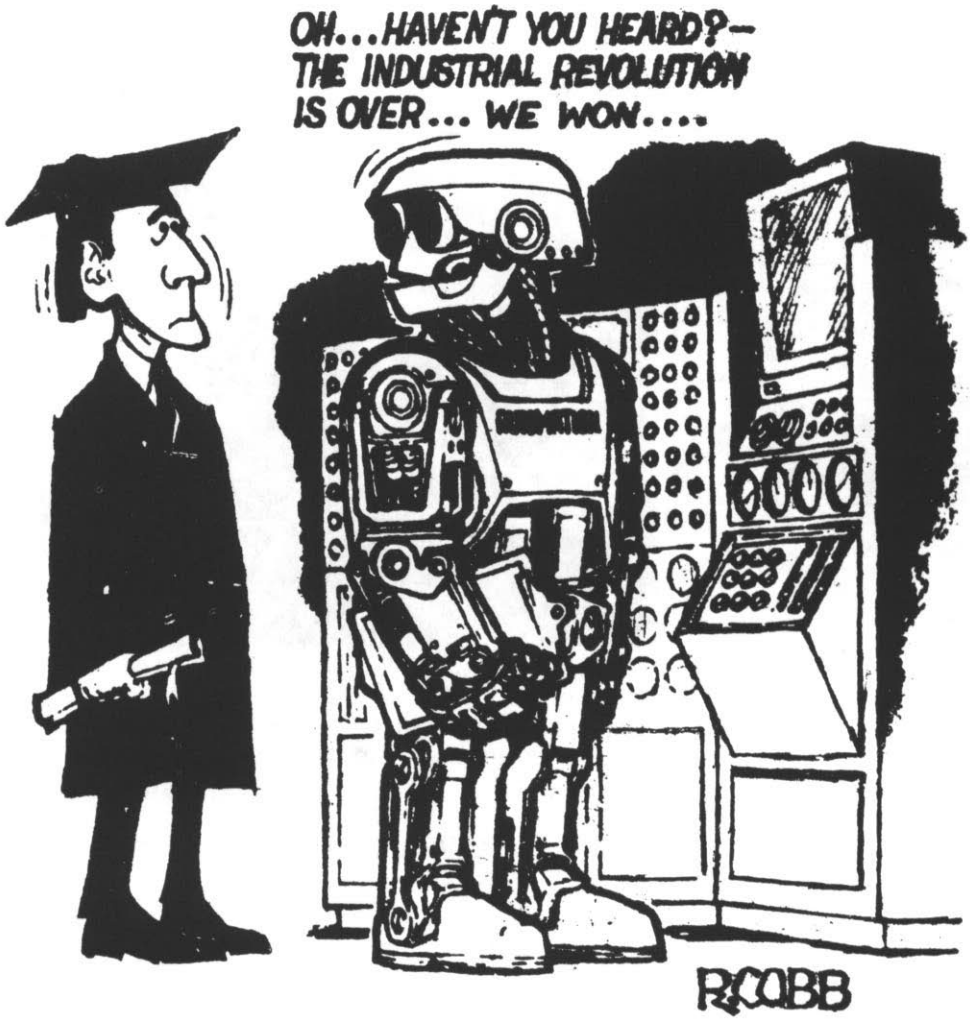
DE ELEKTRONISCHE REVOLUTIE

inhoud

		blz.
7.1	impulsen voor ontwikkeling	80
7.2	beheerst of explosief	81

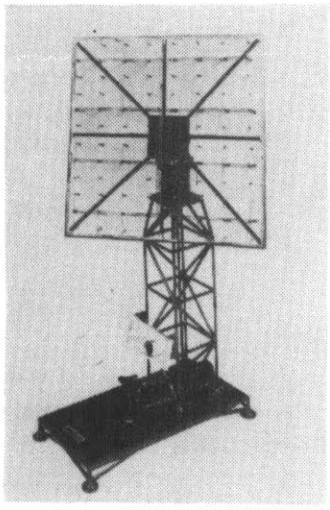
de elektronische revolutie

Je hebt in dit thema gezien wat elektronica is en hoe ze zich heeft ontwikkeld. Je hebt kennis gemaakt met de werking van componenten en van eenvoudige schakelingen. Vervolgens werd een beeld geschetst van de systemen en de mogelijkheden op het gebied van communicatie, informatieverwerking en automatisering.



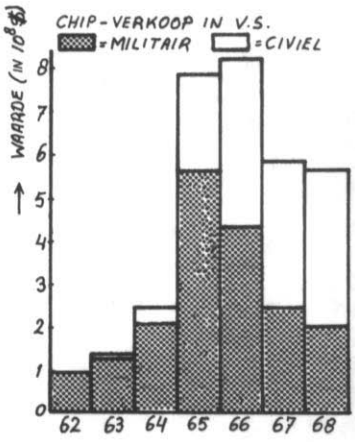
In dit hoofdstuk bekijken we de invloed die de maatschappij en de elektronica op elkaar hebben. Juist nu, in het laatste kwart van de twintigste eeuw, kan de elektronica het aanzien van de wereld en het leven van de mens grondig veranderen. Zal de verandering ons overvallen of zien wij kans dit proces te besturen?

7.1 IMPULSEN VOOR ONTWIKKELING

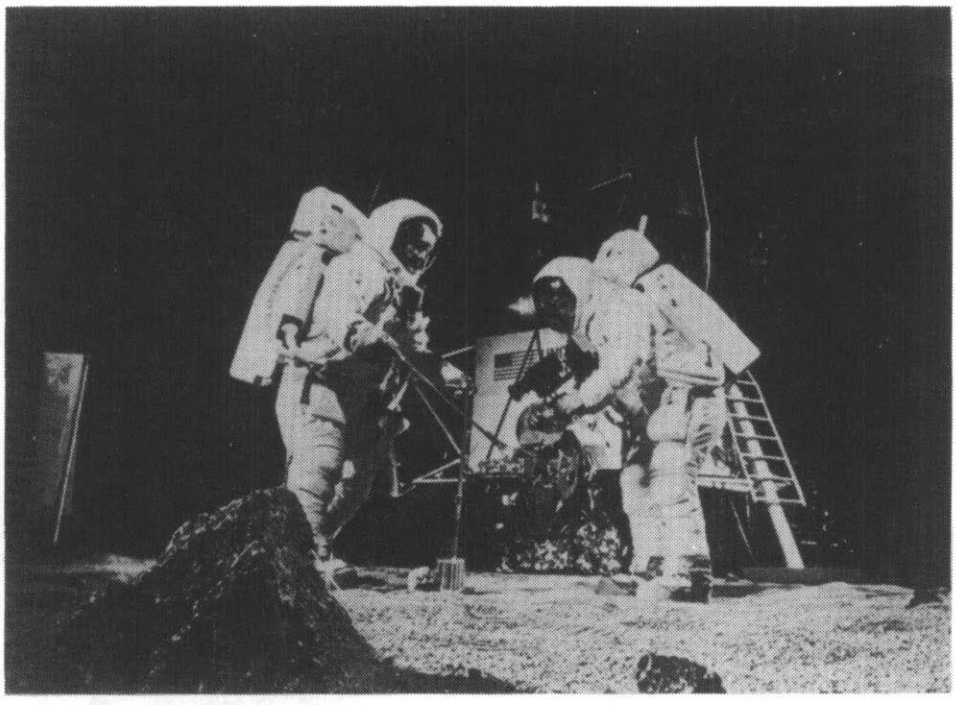


De eerste Nederlandse radar-installatie uit 1939. De waarnemer zit op een zadel. Met behulp van trappers en kettingen kan hij het radarscherm ronddraaien.

De *wetenschap* stond aan de wieg van de elektronica. De belangrijkste bijdragen zijn wellicht het experimentele onderzoek aan halfgeleiders sinds 1897 en de ontwikkeling van de transistor in 1947.
Technici hebben, uitgaande van deze vondsten, vormen en processen ontwikkeld die massafabricage mogelijk maken. De planaire productiewijze en de chip zijn hiervan recente voorbeelden.
Daarnaast waren er *geldschieters* nodig die het onderzoek betaalden, en *afnemers* die de eerste dure en gebrekkige nieuwe producten van de elektronische industrie wilden gebruiken.
Een belangrijke rol als geldschieter en als vroege afnemer werd vertolkt door *'de staat'*. Met name 's lands veiligheid werd en wordt door staten vaak zó belangrijk geacht, dat geld nauwelijks een rol speelt. De ontwikkeling van radar voor en tijdens de tweede wereldoorlog is daar een voorbeeld van. Eén van de eerste (buizen)computers diende militaire doelen. De verdere verfijning van stuurautomaten voor raketten en laagvliegende bommenwerpers speelt tegenwoordig een belangrijke rol in de wapentechnologie.



De afnemers van de eerste chips (1962-1968).



De mens betreedt de maan.

RUIMTEVAART
In 1957 werd de eerste satelliet gelanceerd: de Russische Sputnik. Als gevolg daarvan kreeg de ontwikkeling van microelektronica in de VS een sterke financiële impuls.
Uiteindelijk resulteerde de ruimtevaart in een prestigeslag: wie zet als eerste voet op de maan? Daarna richtte men zich in rustiger tempo op vormen van ruimtevaart met een concreter doel: communicatie- en weersatellieten bijv.

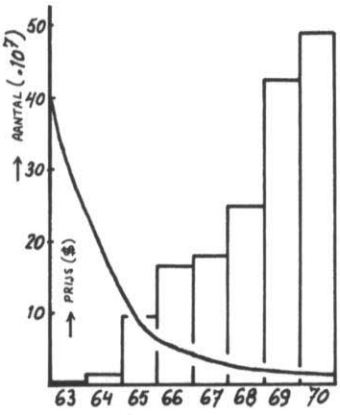
Ook sommige industrieën behoorden tot de vroege geldschieters en afnemers. Dat de transistor werd ontdekt in het laboratorium van American Telephone and Telegraph is niet toevallig.

1. VROEGE MARKT VOOR TRANSISTOREN

a. Bell was behalve producent ook exploitant van een groot telefoonnetwerk. Waarom had Bell zoveel belang bij de komst van de transistor?

b. Een van de eerste transistor-toepassingen die in de handel kwam was een gehoorapparaat. In aanschaf op dat moment drie keer zo duur als een gehoorapparaat met buizen. Waarom was er toch een goede afzetmogelijkheid voor het transistor-gehoorapparaat?

Halverwege de jaren '60 komt de chip zijn kinderziektes te boven. Hij is geschikt voor massafabricage, de capaciteiten nemen toe, de prijzen nemen af en het wordt een aantrekkelijk alternatief voor schakelingen met losse componenten. De chip verwerft zich een markt, en dankzij zijn voordelen worden steeds meer toepassingen bedacht.



De omvang van de chip-productie en de gemiddelde chip-prijs in de jaren 1963-1970 in de Verenigde Staten.

Door een grotere vraag en grotere productie kan de prijs nog verder dalen. Elektronica kan dankzij de chip op veel meer manieren gebruikt worden.
In 1973 worden in de VS 250000 digitale horloges gemaakt en verkocht voor $250,— per stuk. Twee jaar later is de productie meer dan vertienvoudigd en de prijs vrijwel gehalveerd. En wat kost een digitaal horloge tegenwoordig?
Vanaf 1965 vormen de *commerciële mogelijkheden* de grootste drijfveer voor de verdere ontwikkeling van chips. Die ontwikkeling is stormachtig en het eind is nog niet in zicht. Elk van de drie toepassingsgebieden (communicatie, informatieverwerking en automatisering) is zo sterk aan verandering onderhevig, dat de maatschappij erdoor verandert.

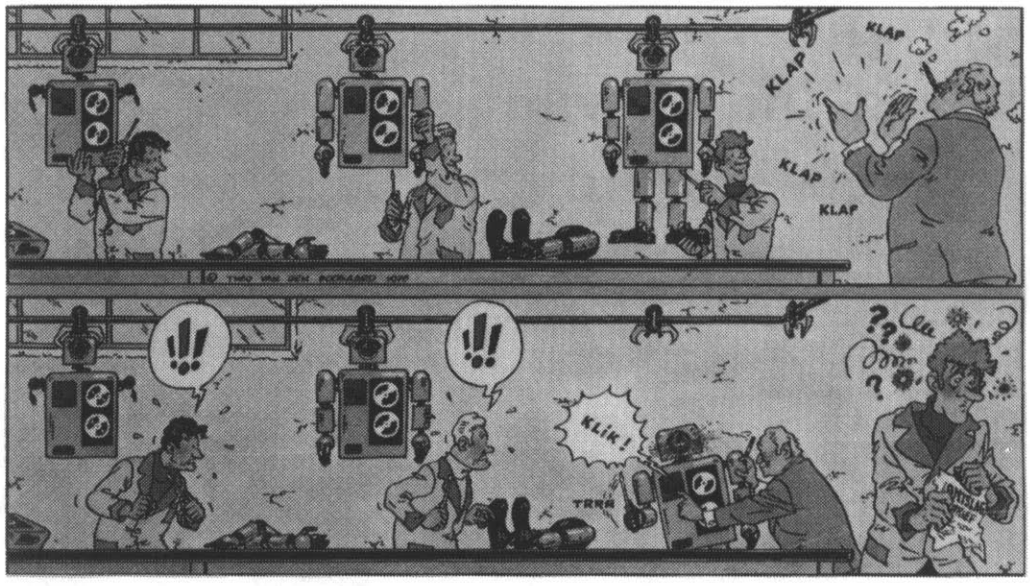
2. NIEUWE ONTWIKKELINGEN

Bij elk nieuw apparaat of systeem dat op de markt komt, kun je je afvragen waarom het is ontwikkeld.
Is het een ongevraagd gevolg van wetenschappelijke en technische ontwikkelingen? Is het een door de staat, bijv. voor militaire doelen, gewenste ontwikkeling? Is er een grote vraag naar het product en zitten we daar al jaren op te wachten? Of verwachten de fabrikanten dat wij op dit nieuwe product af zullen stormen als vliegen op de strooppot?

a. Probeer bovenstaande vraag te beantwoorden voor de nieuwe ontwikkelingen die je in het vorige hoofdstuk bent tegengekomen.

b. Welk antwoord kun je op bovenstaande vraag geven, als het gaat om de elektronica in de klas: het zakrekenapparaat, de microcomputer voor wiskunde, informatica en natuurkunde?

7.2 BEHEERST OF EXPLOSIEF



'Het enige dat zeker is, is de onzekerheid.' Welke gevolgen de chips op onze samenleving zullen hebben, is niet te voorspellen. Veel is mogelijk. Wat ervan terecht komt, hangt sterk af van de keuzes die mensen maken. Keuzes van industriëlen en productontwikkelaars, keuzes van landelijke overheden en internationale organen, keuzes van consumenten in de vorm van koopgedrag, keuzes van mensen als het gaat om de vorm van de samenleving die hen voor ogen staat.
In artikelen, radio- of televisieprogramma's en in discussies komen vele verwachtingen en gevoelens rond onze elektronische toekomst aan de orde. Sommigen verwachten de heilstaat waarin alle problemen zijn opgelost. Anderen zien de uiteindelijke verloedering van mens en natuur op zich afkomen. De verschillen in mening zijn erg groot en de emoties lopen vaak hoog op.

1. WERKLOOSHEID OF MEER VRIJE TIJD

– 'Dankzij automatisering kunnen wij veel ongezond, lichamelijk slopend of geestdodend werk door machines laten verrichten.'

– 'Dankzij automatisering vervalt de "plicht te werken in het zweet des aanschijns" en krijgt de mens eindelijk tijd om te genieten van de leukere dingen in het leven.'

– 'Tengevolge van automatisering is de werkloosheid erg groot, vooral onder jongeren die natuurlijk nog geen werkervaring hebben. Klaar ben je!'

– 'Tengevolge van automatisering is echt ambachtelijk werk waar je trots op kunt zijn er niet meer bij. Tien keer op een dag op een knopje drukken noem ik geen werk.'

– 'Dankzij automatisering kan er goedkoper en sneller worden geproduceerd en is de kwaliteit van het produkt veel constanter.'

– 'Door de automatisering hoeven meisjes niet meer zo nodig te werken. Kun je weer rustig het huishouden doen en kinderen krijgen.'

a. Ga na welke van de bovenstaande gezichtspunten je het meest tegenstaat en met welke je het meest instemt.

b. Vergelijk de meningen in de klas onderling. Probeer of je tot één aanpak kunt komen wat betreft werkverdeling, werktijden en inkomen waarmee de nadelen van automatisering (gedeeltelijk) worden ondervangen.

Uit activiteit 1 blijkt dat automatisering voor- en nadelen heeft als het gaat om werk/werkloosheid. Maar er zijn meer aspecten.

De opbrengst van *landbouw en veeteelt* kan sterk toenemen door het kweken van betere rassen en door intensieve begeleiding van het groeiproces van planten en dieren per computer. Daarmee zou men honger en ondervoeding uit de wereld kunnen helpen.

Computeruitdraai bezegelde lot van Hilgje's Arthur

(Van een onzer verslaggevers)

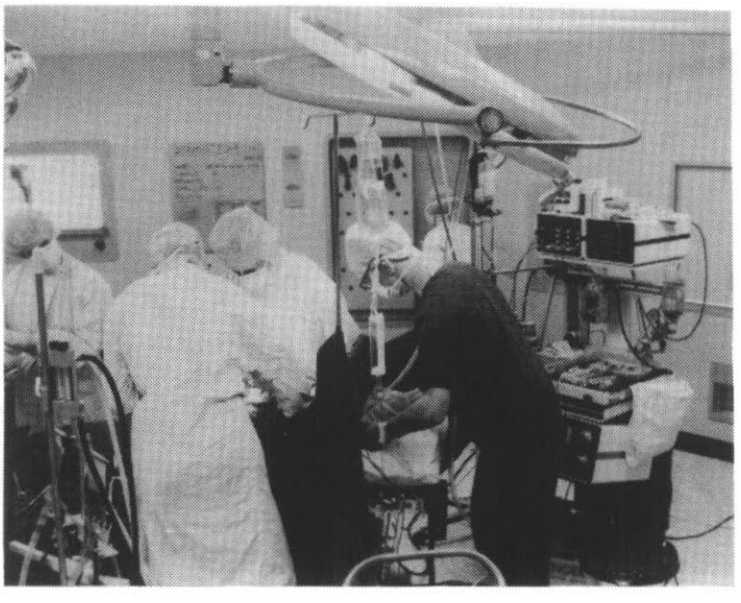
LAREN. – Er is nog steeds geen duidelijkheid over de fouten die leidden tot de slachting van top-stier Hilgje's Arthur. De stier werd vorig jaar december geslacht nadat een computeruitdraai aantoonde dat de nakomelingen van de stier voor het grootste deel geen goede melkgevers zouden zijn. De Kunstmatige Inseminatie Vereniging Gelderland liet het dier toen slachten.

Een computerberekening van mei toonde echter aan dat de koe wel degelijk een goede vererving had. De waarde van een stier wordt onder andere berekend door de netto melkopbrengst van de nakomelingen. De berekening van december vorig jaar kwam niet verder dan een produktievererving van 26 gulden.

In mei van dit jaar werd er opnieuw een berekening gemaakt, omdat toen van de nakomelingen meer gegevens over de melkproduktie bekend waren. Het definitieve betrouwbaarheidsgetal bleek 178 gulden te zijn. Met zo'n goede vererving zou Hilgje's Arthur de op één na beste stier van het KI Gelderland zijn geweest.

Fout

Het Nederlands Rundvee Syndicaat, dat de berekeningen maakt, kon de fout niet verklaren. "Een menselijke fout doordat er verkeerde cijfers ingevoerd zijn, of een foutieve computerberekening; we zijn er nog niet uit", zegt de heer Tolstra van het onderzoeksteam van het NRS. In de loop van de volgende week hoopt het team het raadsel van de verkeerde berekening te kunnen oplossen.



In de *medische wereld* maken computers een intensievere begeleiding van patiënten mogelijk. Bovendien zijn vele moderne onderzoeks- en behandelingsmethoden gebaseerd op computers en/of andere elektronica.

Elektronische meet- en regelsystemen kunnen bijdragen aan *energiebesparing* en *milieubescherming*.

Maar aan de andere kant wordt onze samenleving door automatisering steeds *kwetsbaarder* en steeds *afhankelijker* van machines en elektrische energie. Storing of sabotage kan ons flink in de problemen helpen.

De etalageruit van een Groningse winkelier ligt aan scherven en de horloges zijn eruit verdwenen.

NOORDEN EN OOSTEN ZONDER STROOM

Storing in elektriciteit leidt tot plundering en vernieling

Van onze verslaggevers

ARNHEM/GRONINGEN — Door het ontploffen van een transformator zijn woensdagnacht de drie noordelijke provincies, Overijssel en een klein deel van Gelderland tweeëneenhalf uur verstoken geweest van elektriciteit. In Deventer, Enschede en Groningen leidde dat tot plunderingen van juweliersza-ken, supermarkten, sigarenzaken en winkels met elektronische apparatuur.

Doordat de stroomstoring midden in de nacht viel hadden de spoorwegen betrekkelijk weinig last, hoewel in een groot deel van het gebied de bovenleiding stroomloos raakte en overwegen geblokkeerd raakten. De politie had last van het uitvallen van mobilofoonverbindingen.

. De stroomstoring, die tot tien voor half vier duurde, was volgens woordvoerder G. van Wijk van de SEP (Samenwerkende Elektriciteits-Producenten) de ernstigste in de afgelopen twintig jaar. De SEP schat de schade aan eigen apparatuur en niet-geleverde energie op een half miljoen gulden.

Vanzelf open

Door het uitvallen van de stroom raakten in de steden beveiligingsinstallaties van zaken en bedrijven onklaar en gingen de toegangsdeuren van grote overdekte winkelcentra automatisch open. In de duisternis leidde dit tot tientallen inbraken met diefstal en plundering. Soms werden alleen ruiten ingegooid.

2. STROOMUITVAL

Stel je voor dat de elektriciteitsvoorziening in Nederland de komende 48 uur uitvalt.

a. Ga na welk effect dit heeft bij jou thuis wat betreft eten, verwarmen, verlichten en vertier.

b. Hiernaast zie je een deel van een krantebericht over een storing in NO-Nederland in de nacht vóór Hemelvaartsdag 1984. Verwacht je méér of minder problemen als zo'n storing overdag begint? Verklaar je antwoord.

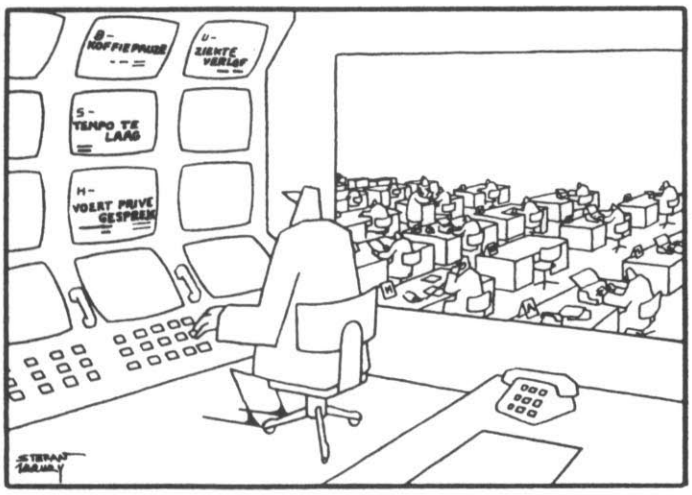
c. Ziekenhuizen zijn uitgerust met dieselgeneratoren die de stroomvoorziening kunnen overnemen. Bedenk wat er kan gebeuren als deze noodvoorziening ontbreekt.

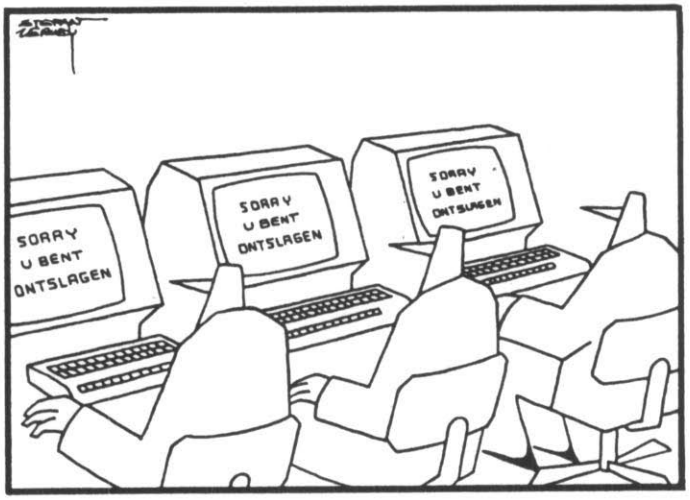
d. Een sterke elektromagnetische puls kan in een wijde omgeving alle daartegen onbeschermde elektronische schakelingen vernietigen. Acht je de dan optredende problemen minder ernstig dan bij een tijdelijke stroomuitval of niet? Waarom?

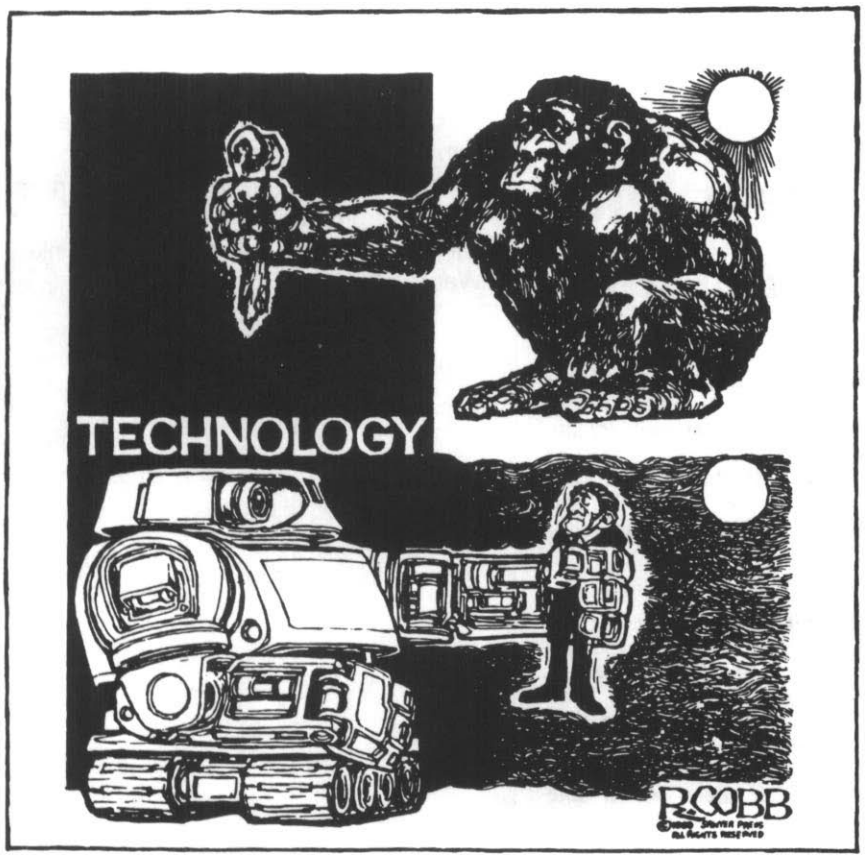
informatica

Beeldtelefoon, teletekst, abonnee-TV, huiscomputer enz. zijn ontwikkelingen die de *informatie-maatschappij* dichterbij brengen. Dit soort ontwikkelingen maakt het voor iedereen gemakkelijker het laatste nieuws te horen of gespecialiseerde informatie in huis te halen. Ook moet het eenvoudig zijn om snel de opinie van een grote groep mensen te peilen. Dat kan het democratische gehalte van onze samenleving ten goede komen. Beeldtelefoon kan een goed alternatief zijn voor het afleggen van een bezoek en zelfs voor het houden van vergaderingen. Zowel tijd als energie worden gespaard.

Onderwijs kan in de toekomst ook via de computer worden genoten. Thuis. Iedereen van elke leeftijd kan het volgen, elk in eigen tempo. De altijd geduldige computer legt de leerstof uit, stelt vragen en beantwoordt de jouwe, geeft huiswerk op en overhoort, geeft cijfers en kent uiteindelijk diploma's toe. Eindelijk leren wat en wanneer jij het leuk of noodzakelijk vindt.







3. DE INFORMATIE-MAATSCHAPPIJ
Niet iedereen beziet de informatie-maatschappij van morgen zo positief als hierboven beschreven.

a. Bespreek met elkaar wat de tekenaars willen zeggen met de op deze pagina afgedrukte cartoons.

b. Ook schrijvers schetsen soms een afschrikwekkend toekomstbeeld. De diktatuur van 'big brother' in het boek '1984' van George Orwell zou met onze moderne middelen goed te realiseren zijn. Zoek in boeken of korte verhalen wat jij in zo'n toekomstschets positief en negatief vindt. Geef zo mogelijk aan waarom jou waardering zo uitvalt.

c. Vergelijk jouw oordelen met die van anderen. Bespreek hoe je ongunstige ontwikkelingen in de maatschappij kunt herkennen, en wat je kunt doen om die ontwikkelingen te beïnvloeden en zo mogelijk tegen te gaan.

BINAIR REKENEN

In het dagelijks leven gebruiken we om te communiceren 26 verschillende letters en 10 cijfers. In de elektronica is het handig om van slechts twee verschillende signalen gebruik te maken: 0 (geen spanning) en 1 (wel spanning). Zo'n 'tweetallig stelsel' noem je een *binair talstelsel*.
Hoe kunnen we nu in dit binaire stelsel getallen opschrijven en ermee rekenen?

binaire getallen
In het dagelijks leven maken we gebruik van het 'tientallig stelsel' of 'decimale talstelsel'. In dit talstelsel worden de getallen geschreven met behulp van tien verschillende cijfers, namelijk: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 en 9.
Een getal als 3856 heeft in het decimale talstelsel de volgende betekenis:

$3856 = 3000 + 800 + 50 + 6 = 3 \cdot 10^3 + 8 \cdot 10^2 + 5 \cdot 10^1 + 6 \cdot 10^0$

- 6 — eenheden $(\cdot 10^0)$
- 5 — tientallen $(\cdot 10^1)$
- 8 — honderdtallen $(\cdot 10^2)$
- 3 — duizendtallen $(\cdot 10^3)$

De plaats die een cijfer in een decimaal getal inneemt, wordt een *digit* genoemd. Elke digit bevat één cijfersymbool van de reeks 0 t/m 9. Het getal 3856 bestaat uit 4 digits:

3	8	5	6

digits.

Met 4 digits kun je de getallen 0000 tot en met 9999 weergeven. Dit zijn $10000 = 10^4$ verschillende getallen.

Bij rekenapparaten wordt gebruik gemaakt van het 'tweetallig stelsel' of 'binaire talstelsel'. In dit talstelsel worden de getallen geschreven met behulp van twee verschillende cijfers, namelijk: 0 en 1.
Bij het tellen in het decimale talstelsel wordt het meest rechtse digit steeds één opgehoogd, totdat je bij 9 komt. Dan wordt het op één na meest rechtse digit met één opgehoogd, en wordt het meest rechtse digit 0, enz. Het tellen in binaire getallen gaat op overeenkomstige wijze, waarbij alleen niet tot 9 wordt doorgeteld, maar slechts tot 1 (zie de tabel hiernaast).

binair	decimaal
0	0
1	1
10	2
11	3
100	4
101	5
110	6
111	7
1000	8
1001	9
1010	10
1011	11
1100	12
1101	13
1110	14
1111	15

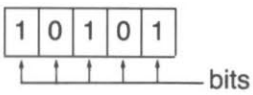
1. BINAIR TELLEN
Tel in binaire getallen door tot het decimale getal 31.

van binair naar decimaal
Het decimale getal 3856 betekende:
$3856 = 3.10^3 + 8.10^2 + 5.10^1 + 6.10^0$
Op een soortgelijke manier betekent een binair getal zoals bijv. 10101:

$10101 = 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 =$
$= 1 \cdot 16 + 0 \cdot 8 + 1 \cdot 4 + 0 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = 21$

- 1 — eenheden $(\cdot 2^0)$
- 0 — tweetallen $(\cdot 2^1)$
- 1 — viertallen $(\cdot 2^2)$
- 0 — achttallen $(\cdot 2^3)$
- 1 — zestientallen $(\cdot 2^4)$

Een plaats die een cijfer in een binair getal inneemt, wordt *'binaire digit'* of *'bit'* genoemd. Het binaire getal 10101 bestaat dus uit 5 bits:



Met 5 bits kun je de binaire getallen 00000 tot en met 11111 weergeven. Dit komt overeen met de decimale getallen 0 t/m 31.

2. VAN BINAIR NAAR DECIMAAL

Zet de volgende binaire getallen om in decimale getallen:
1101
0110
1111

MACHTEN VAN 1

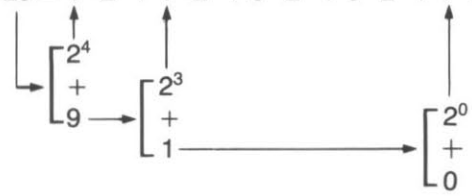
$2^0 = 1$
$2^1 = 2$
$2^2 = 4$
$2^3 = 8$
$2^4 = 16$

van decimaal naar binair

Om een decimaal getal om te zetten in een binair getal, kun je de volgende methode toepassen:
- zoek de hoogste macht van 2 die nog kleiner is dan het getal;
- trek deze hoogste macht van 2 van het getal af: je houdt dan een rest over;
- zoek de hoogste macht van 2 die nog kleiner is dan de rest, en trek deze van de rest af: je houdt dan een nieuwe rest over ....
- ga zo door tot je als rest 0 of 1 over houdt;
- zet nu een 1 op de bits die overeenkomen met de gevonden machten van 2; zet bij de andere bits een 0.

Als voorbeeld zetten we het decimale getal 25 om in een binair getal:

$25 = 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 11001$



3. VAN DECIMAAL NAAR BINAIR

Zet de volgende decimale getallen om in binaire getallen:
15
30
10

binair optellen

Het optellen van binaire getallen gaat als volgt:
0 + 0 = 0
0 + 1 = 1
1 + 0 = 1
1 + 1 = 0 (met 1 onthouden en transporteren)

De optelling 11 + 3 = 14 wordt in binaire getallen:

11 = 1011
3 = 0011
11 ← onthouden
__ + ____ +
14 1110 = $1.2^3 + 1.2^2 + 1.2^1 + 0.2^0 = 14$

4. BINAIR REKENEN

a. Zet de decimale getallen in de volgende opgaven om in binaire getallen, en tel de binaire getallen op.

6 + 7 =

13 + 25 =

8 + 8 =

b. Controleer de optellingen door de binaire uitkomst om te zetten in een decimaal getal.

INDEX

analoog 12, 70
automatisering 6, 82

bandbreedte 70
basis 25
beeldbuis 15
bimetaal 24
binaire code 16, 85
bit 16, 86

capaciteit 31
chip 45, 58
collector 25
collectorstroom 26
comparator 71
computer 19, 65, 72
condensator 30
convertor
  (analoog-digitaal –) 70, 76
  (digitaal-analoog –) 70

demodulatie 14, 34
digitaal 12
diode 15, 33, 36, 58
draaggolf 14, 68

elektronenkanon 15
elektronica 6
elektronische revolutie 6, 79
elektrotechniek 6
emitter 25

flip-flop 19, 49

gasdiffusie 60
gat 35
geheugen19, 49, 72
geheugenchip 19, 65
geïntegreerde schakeling 45, 58
geleider 34
gelijkrichter 15, 33
generatie 35
glasvezel 71
grenslaag 36

halfgeleider 20, 35
  (n-type –) 36
  (p-type –) 36

IC 45, 58
informatica 6, 83
informatieverwerking 6
ionenimplantatie 63
isolator 35

LDR 24, 29
LED 33
lichtpen 74
logische schakeling 17, 53

masker 61
microprocessor 65
modulatie 14, 68
  (amplitude –) 14, 68
  (frekwentie –) 14, 69
multivibrator
  (astabiele –) 46
  (bistabiele –) 49

NTC-weerstand 24, 29

parallelschakeling 41, 42
ponsband 17
ponskaart 16
poort
  (NAND –) 53
  (NOR –) 54
  (NOT –) 53
programma 18, 72
programmeertaal 73

radar 20
radiotelefonie 14
radiotelegrafie 12
recombinatie 35
rekeneenheid 72
relais 24
ringkerngeheugen 19
robot 76
rooster 15

sensor 24
serieschakeling 28, 29
spanningsdeler 28,29
stappenmotor 77

telecommunicatie 6
telefoon 11
telegraaf 11
teller 47, 50
thermische emissie 14
transistor 20, 21, 37, 58
  (– als schakelaar) 21, 25, 37
  (– als versterker) 20
triode 15
  (– als schakelaar) 18
  (– als versterker) 15

variabele weerstand 28
veldeffect-transistor 59
vergelijker 71
vervangingsweerstand 28, 29, 42

waarheidstabel 17, 53
weerstand 27, 58

Begeleidingscommissie S.V.O.-project 0213 (vooronderzoek voor het PLON, 1972-1974)

F. van de Maesen (voorzitter tot 1973); hoogleraar natuurkunde Technische Hogeschool Eindhoven
N.J. Heijkoop (voorzitter 1973-1974); inspecteur voortgezet onderwijs
W.P.J. Lignac (secr.); secretaris Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde
S. Auer, algemeen didacticus Universiteit van Amsterdam
F. Balkema, inspecteur voortgezet onderwijs
H.P. Hooymayers, lector natuurkundedidactiek Rijks Universiteit Utrecht
H.J.L. Jongbloed (1972-1973), mediadeskundige NIAM
J. Schweers, leraar natuurkunde havo/vwo
J. Smit, inspecteur voortgezet onderwijs
E. Warries, hoogleraar onderwijskunde Technische Hogeschool Twente
M. van Wieringen (1973-1974), mediadeskundige NIAM

Stuurgroep PLON (1974-heden)

H.P. Hooymayers (voorzitter), hoogleraar natuurkundedidactiek Rijks Universiteit Utrecht
W.P.J. Lignac (secr. tot 1978), secretaris Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde
A.A.M. Agterberg (secr. sedert 1978), secretaris Advies Commissie voor de Leerplan Ontwikkeling Natuurkunde in oprichting
P. Broekman (sedert 1980), hoofd afdeling Bèta en Gammavakken CITO
F. Dekkers (sedert 1979), hoofddocent natuurkunde Moller Instituut
J. van Galen (sedert 1984), leraar natuurkunde havo, namens de NVON
J. de Jong (sedert 1984), leraar natuurkunde havo/vwo
J.W. Lackamp (sedert 1984), leraar natuurkunde havo/vwo
H. Lengkeek (tot 1977), leraar natuurkunde mavo
D.A. Lockhorst (tot 1978), leraar natuurkunde havo/vwo
J. Schipper (sedert 1980), medewerker A.P.S.
M. Sjamaar (sedert 1982), rector Niels Stensen College te Utrecht
A. Snater (tot 1980), hoofddocent natuurkunde Stichting Opleiding Leraren
F.J. Steenbrink (tot 1978), leraar natuurkunde vwo
J.M.F. Teunissen (tot 1975), onderwijskundige Rijks Universiteit Utrecht
W.C. Vink (tot 1979), directeur Christelijke Mavo te Putten
R. de Vries 1980-1984, leraar natuurkunde havo/vwo, namens de NVON
E. Warries (tot 1975), hoogleraar onderwijskunde Technische Hogeschool Twente
S.A. Wouthuysen (tot 1976), hoogleraar natuurkunde Universiteit van Amsterdam

Kerngroep PLON havo-bovenbouw

G. Buisman (sedert 1978), leraar natuurkunde hts
P.G. Hogenbirk (1981-1982), leraar natuurkunde havo/vwo
E. Holl (1982-1983), leraar natuurkunde havo/vwo
J. de Jong (sedert 1983), leraar natuurkunde havo/vwo
E. Maarschall (1978-1981), leraar natuurkunde hts
H. Poorthuis (1978-1981), leraar natuurkunde havo-top pedagogische academie
J. Scherrenburg (sedert 1978), hoofddocent natuurkunde Stichting Opleiding Leraren
W.J.G. Schraven (1978-1983), leraar natuurkunde havo/vwo
M. van Woerkom (sedert 1982), leraar natuurkunde havo/vwo

PLON-team havo-bovenbouw

H.M.C. Eijkelhof (sedert 1981)
R. van Eyck (1981-1982)
A.C.L. van Gameren (sedert 1977)
D. van Genderen, Rijks Universiteit Utrecht
F.L. Gravenberch (1978-1983)
P.G. Hogenbirk (1981-1983)
E. Holl (sedert 1983)
T. Jörg (sedert 1982)
W.H. Kamphuis (sedert 1978)
P.T. Kloek (sedert 1983)
J. Kortland (sedert 1982)
P.L. Lijnse, Rijks Universiteit Utrecht
F.A. v.d. Loo, Rijks Universiteit Utrecht
B. Pelupessy (sedert 1978)
T. Römgens (1979-1981)
P. Verhagen (sedert 1983)
H. Vermeulen (1981-1983)
R.F.A. Wierstra (sedert 1978)

PLON-administratie

E. van den Broek (1976-1979)
R. Lindeman (1977-1980)
M. Rolff van den Baumen (1974-1979)
N. Rotteveel (sedert 1982)
A.G. Schwering (1980-1982)
B. Schillert (sedert 1980)
H. Veurink (tot 1974)

Tekeningen

A. Lurvink (Onderwijs Media Instituut, Rijks Universiteit Utrecht)
H. de Waal (Onderwijs Media Instituut, Rijks Universiteit Utrecht)

Foto's

A.C.L. van Gameren (PLON)
W.H. Kamphuis (PLON)

PLON-CITO (namens CITO)

F. Boessenkool
P. Broekman
C. Hellingman
T. Heuvelmans
H. Vonken

Proefscholen 1983-1984

Ashram College te Alphen a/d Rijn
S.G. Nijmegen Oost te Nijmegen
Chr. S.G. Revius te Deventer
S.G. Oost Betuwe te Bemmel
Hertog Jan College te Valkenswaard
Marnix College te Ede
Niels Stensen College te Utrecht
Eemland College Noord te Amersfoort
Chr. S.G. Jan van Arkel te Hardenberg
S.G. Huizermaat te Huizen
Chr. Lyceum en Havo te Veenendaal

Overzicht van PLON-thema's voor havo-bovenbouw

VOOR DE 4e KLAS

- Vergelijken
- Weersveranderingen
- Muziek
- Verkeer
- Elektrische Machines
- Energie en Kwaliteit

VOOR DE 5e KLAS

- Materie
- Lichtbronnen
- Ioniserende Straling
- Elektronica
- Repeteerthema

Tevens zijn beschikbaar:

- docentenhandleidingen (AVOL's) en apparatuurgidsen bij elk thema