

Automatisering van draadvonk-erosie machine

Luehrs, Arne

Gepubliceerd: 01/01/1982

Document Version

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the author's version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Luehrs, A. (1982). Automatisering van draadvonk-erosie machine. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPB0007). Eindhoven: Technische Hogeschool Eindhoven.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

AUTOMATISERING VAN DRAADVONKERSIE MACHINE

in opdracht van:

Technische Hogeschool Eindhoven
Den Dolech 2 Eindhoven
afdeling: Werktuigbouwkunde
vakgroep: Produktie Technologie
laboratorium: Fysische Bewerkingen

begeleider: ir. C.J. Heuvelman
schoolmentor: ir. A. Harrewijne

door:

A. Luehrs, student aan de H.T.S. te Eindhoven,
afdeling werktuigbouwkunde

Eindhoven, 27 mei 1982

SUMMARY

The part of work, to which I was able to give a contribution, was the automation of an EDM machine at the laboratory for Spark Erosion Technology of the University of Technology, Eindhoven, the Netherlands. EDM stands for Electro-Discharge-Machining, a proces in which metal is removed by means of spark discharges. A pulsating voltage is applied to two pieces of conductive material separated by a liquid filled gap, called the spark-gap. Each spark causes a little crater in both materials. This means of material-removal is fastidiously slow but is able to machine the hardest metals.

One of the uses of EDM is wire-spark-erosion. This is a technique that uses a wire to cut contours in a piece of metal. The machine that has been automated due to my work is of this type. The reasons for automation are obvious. Computer Numerical Control allows this machine to cut complex contours, without operator interference. The computer is able to optimize the erosion-proces and to adjust the spark generator and table speed accordingly.

My work has been the basis of a project with a long followup. The work I have performed was to remove the old machine controller and to instal a microprocessor based computer. The necessary interfaces for machine interfacing have been designed and tested. The man-machine interface has been designed but as of now not yet tested. A certain amount of basical software has been written in a way that allows future users of this machine and its controller to addapt it's function to their specific experiment.

This controller is built as an universal tool. It's use is by no means restricted to this specific machine. Applications and future applications in the industial field can be reduced to one principle: A versitaile controller performing logic operations and returning it's results as control signals to the controlled equipment.

VOORWOORD

Tijdens het examenjaar van de HTS heb ik mijn afstudeerwerk verricht aan de Technische Hogeschool te Eindhoven, op de afdeling Werktuigbouwkunde. Deze afdeling is weer onderverdeeld in verschillende vakgroepen, waaronder de vakgroep productietechnologie. Mijn afstudeermiddagen heb ik doorgebracht in het Laboratorium voor Fysische Bewerkingen behorende bij die vakgroep.

Er wordt al sinds jaren gewerkt tijdens stages en afstudeerprojecten aan de automatisering van vonkersiemachines. Mijn taak bestond uit het ontwerpen en opbouwen van een nieuwe besturing voor de draadvonk erosiemachine. Procesoptimalisering door het gebruiken van adapterende regelingen is het uiteindelijke doel van het project waarvan ik de eerste "steen" heb mogen leggen.

Voor de sfeer in het laboratorium en voor de prettige samenwerking met mijn medestudenten en de vaste staf schieten mij de juiste woorden van dank tekort. De vele activiteiten die naast het ontwerpend en uitvoerend werk gedaan werden hebben deze periode uitermate verlevendigd en veraangenaamd. Vooral de heren ir. C.J. Heuvelman en F. Theuws bedank ik voor de uitstekende begeleiding. Ook bedank ik de heer ir. A. Harrewijne, die als schoolmentor optrad.

Een laatste woord van dank wil ik wijden aan mijn vrouw Ineke die veel van haar tijd en zorgen aan dit verslag besteed heeft en mij daarmee enorm gesteund heeft.

INHOUDSOPGAVE

SUMMARY.....	1
VOORWOORD.....	2
INHOUDSOPGAVE.....	3
1 INLEIDING.....	5
1.1 Verantwoording van het verslag.....	5
1.2 Het verslag in vogelvlucht.....	5
2 ELEKTRO-EROSIEF BEWERKEN.....	6
2.1 Inleiding.....	6
2.2 De fysische grondslagen van EDM.....	7
2.3 De pulsgenerator.....	10
2.4 Het servomechanisme.....	11
2.4.1 Het besturingsmechanisme.....	12
2.4.2 De spleetbreedte sensor.....	13
2.5 Het dielectricum.....	16
2.6 De oppervlaktequaliteit.....	18
2.7 Draadvonk erosie.....	20
2.7.1 Technologie van het draad-vonken.....	21
2.8 Andere vonkerosieve bewerkingen.....	22
3 DE PROCESBESTURING VAN DE "LABORATORIUM"-MACHINE.....	25
3.1 Doel van het project.....	25
3.2 De laboratorium machine.....	26
3.3 De taken van de besturing.....	27
4 DE MICRO-COMPUTER.....	28
4.1 De micro-computer print.....	28
4.2 De machine interface.....	30
4.2.1 De stappenmotor interface.....	30
4.2.2 De generator sturing.....	31
4.2.3 De pulsanalyse uitlezing.....	33
4.2.4 De machine interrupt interface.....	34
4.3 De keyboard display interface.....	34
4.3.1 De display sturing.....	35
4.3.2 De keyboard sturing.....	36
5 DE SOFTWARE.....	38
5.1 Het hoofdprogramma.....	38
5.1.1 De initialisatie.....	39
5.1.2 Het ophalen van de waarden.....	42
De routine LINE.....	42
De routine NORMAL.....	42
De routines GETNUM en GNUMHX.....	42
De routine GNUMCI.....	43
De routine SKIP.....	44
5.2 Het rekenprogramma.....	45
5.2.1 De routine POSCAL.....	47

Routine SUBSGN.....	48
Routine REDUC, REDUC2.....	49
Routine SQUARE.....	49
Routine VELOCM.....	50
Routine VERM.....	50
Routine DIVIDE.....	50
5.3 De interrupt-routines.....	51
5.3.1 De stappenmotor routine.....	52
Routine POSITI.....	52
5.3.2 De noodstop routine.....	54
5.3.3 De KBD-controller routine.....	54
6 CONCLUSIES EN ADVIESEN.....	55
6.1 Het gerealiseerde.....	55
6.1.1 De gerealiseerde hardware.....	55
6.1.2 De gerealiseerde software.....	56
6.2 De problemen.....	56
6.3 Adviezen.....	56
LITTERATUURLIJST.....	57
BIJLAGEN.....	58

1 INLEIDING

1.1 Verantwoording van het verslag

Het doel van mijn afstudeerwerk is geweest om een nieuwe besturing te bouwen voor de draadvonkerosie machine die in het Laboratorium voor Fysische Bewerkingen van de Technische Hogeschool te Eindhoven wordt gebruikt. Deze machine wordt gebruikt voor het nemen van experimenten op vonkerosie gebied om tot een beter begrip te komen van de processen die zich hierbij afspelen. Tevens wordt getracht om tot een formulering te komen van de voor procesoptimalisatie belangrijke grootheden. Hiertoe is de beheersbaarheid van de machine en het proces van groot belang.

De nieuwe besturing moet in staat zijn om adapterend op wijzigingen in het proces te reageren. Hiertoe is een micro-computer toegepast als vervanging van de bestaande besturing. Het grootste gedeelte van mijn afstudeerwerk is dan ook besteed aan het opbouwen van de nieuwe besturing. Hiertoe is een interface tussen de machine en de micro-computer en tussen de micro-computer en de gebruiker ontworpen en gebouwd. Verder is een begin gemaakt met het schrijven van de benodigde stuursoftware.

1.2 Het verslag in vogelvlucht

In hoofdstuk 2 wordt het electro-erosief bewerken, waarop de nieuwe besturing van toepassing is, nader belicht om enig inzicht te krijgen in deze bewerkingstechniek.

De functie van de besturing en van de onderdelen ervan wordt toegelicht in hoofdstuk 3.

De opbouw van de hardware van de besturing zelf wordt bekeken in hoofdstuk 4. Eerst wordt de micro-computer in vogelvlucht beschreven, daarna volgt een wat uitgebreidere beschrijving van de verschillende interfaces.

Hoofdstuk 5 is gewijd aan de opbouw van de software en de hierbij van belang zijnde achtergronden.

Tot slot worden in hoofdstuk 6 de conclusies en adviezen, die zijn ontstaan gedurende deze afstudeeropdracht, uiteen gezet.

2 ELEKTRO-EROSIEF BEWERKEN

2.1 Inleiding

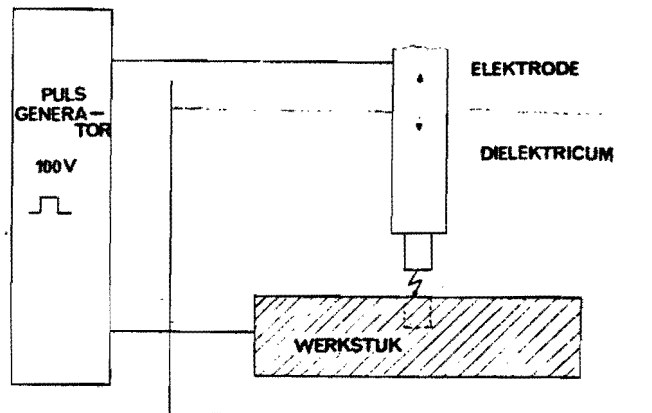
Electro-erosief bewerken, ook wel electro-discharge machining (EDM) genoemd valt onder de groep fysische en chemische bewerkingsmethoden. Enkele andere meest bekende technieken zijn:

- 1> electro-chemisch bewerken, electro chemical machining (ECM)
- 2> elektronenstraal bewerken, electron-beam machining (EBM)
- 3> laser straal bewerken, laser-beam machining (LBM)

Deze bewerkingsmethoden onderscheiden zich van de conventionele door de wijze van materiaalafname. Bij de conventionele methode gebeurt dit namelijk door mechanische krachten terwijl bij EDM, EBM en LBM de materiaalafname berust op warmte-effecten (smelten en verdampen). Bij ECM geschiedt de afname op electro-chemische wijze. Zeer harde materialen kunnen derhalve evengoed bewerkt worden als zachtere soorten, daar mechanische krachten vrijwel geheel kunnen worden verwaarloosd.

Onder electro-erosief bewerken van een werkstuk verstaat men materiaalafname als gevolg van smelten en verdampen door een serie elektrische pulsen. De aan-en uittijden van de puls zijn variabel en bedragen 1 tot 1000 usek. Door de vonkoverslag vindt er een energie-omzetting plaats van elektrische naar thermische energie. Het smelten en verdampen van metaal doet een klein smeltkratertje ontstaan. De materiaal-afvoer en het verwijderen van het vonkkanaal geschiedt door de spoelvloeistof, tevens dielectricum. Dit laatste is van belang om te vermijden dat de volgende vonk op dezelfde plaats zal overslaan. De toegevoerde energie is een maat voor de oppervlakte kwaliteit, de vormnauwkeurigheid en natuurlijk ook een maat voor de tijdsduur van het proces. Om er nu voor te zorgen dat de elektrode met een bepaalde snelheid in het werkstuk zakt die evenredig is met de materiaalafname, wordt de electrode gestuurd door een servosysteem.

Het doel van deze bewerkingsmethode is een maximale opbrengst te verkrijgen met de kwaliteit van het product als parameter. De kosten worden onder meer bepaald door de fabricagekosten van de elektroden, de opspan- en insteltijden en ook de bewerkingstijden. De energiekosten kunnen meestal worden verwaarloosd. Deze bewerkingsmethode wordt alleen maar



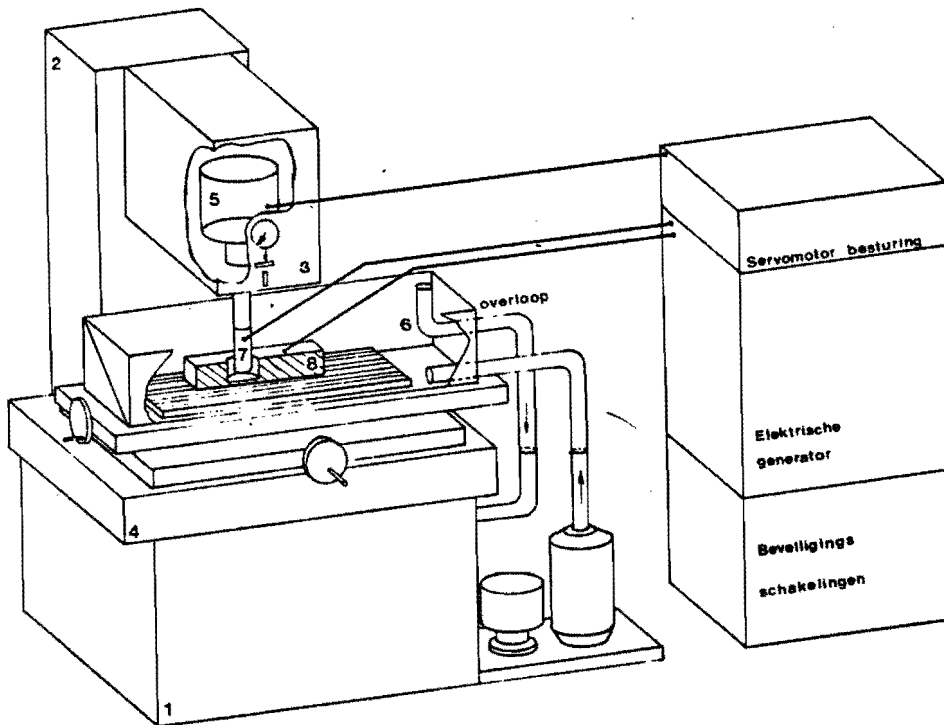
Figuur 2-1 Principe EDM

gebruikt voor enklafabrikage, zoals bv. matrijzen en hardmetalen gereedschappen.

Het werkstuk wordt op een kruistafel gespannen, die van opstaanden randen is voorzien, zodat men de hierdoor ontstane bak met dielectrische vloeistof kan vullen. Het gereedschap (de electrode) wordt aan het bewegende deel van de machine bevestigd. Een servosysteem zorgt ervoor dat de werkspleet, de ruimte tussen de electrode en het werkstuk, op een constante waarde wordt gehouden. De dielectrische vloeistof wordt rondgepompt en gefiltreerd om de verspaningsprodukten uit de werkspleet te verwijderen. De electrische pulsen tenslotte worden opgewekt in de generatorkast. In diezelfde kast is ook vaak het servomechanisme, het flowregelsysteem en verdere electrische besturing ondergebracht.

2.2 De fysische grondslagen van EDM

Een vonk zal tussen twee electroden, die gescheiden zijn door dielectrische vloeistof, overspringen indien een voldoende hoge spanning tussen beide electroden wordt aangelegd. Hier wordt ook het werkstuk electrode genoemd. Indien de energie groot genoeg is geweest, blijkt, dat op de plaats waar de vonk is overgeslagen, een kratertje in elk van de electroden is gevormd.



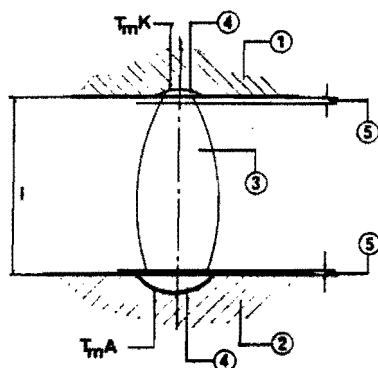
I. Gestel met diëlektricumreservoir, 2. kolom, 3. werkkop, 4. coördina-
tentafel, 5. servosysteem, 6. diëlektricumbak met toevoer en overloop,
7. gerveedschapelektrode, 8. werkstuk.

Figuur 2-2 Opbouw van een Electro-erosie machine

De meest aannemelijke theorie voor dit verschijnsel is de thermo-erosie theorie. Onder invloed van het elektrisch veld in de werkspleet krijgen ladingsdragers (electronen en ionen) kinetische energie. Door botsing wordt deze energie aan het oppervlak omgezet in thermische energie. De aldus ontstane warmtebron doet het metaal smelten en verdampen waarbij verwijdering van het materiaal plaatsvindt, mede onder invloed van de optredende schokgolven. Het verspaande materiaal wordt door het dielectricum afgevoerd. De toegevoerde energie (in pulsform) dient een zeer bepaalde waarde te hebben, omdat de gevormde krater hiervan afhankelijk is. Wordt ze bijvoorbeeld te groot dan zal de krater te groot worden en zo ook de ruwheid van het oppervlak.

Verder is een minimum pauzetijd tussen twee opeenvolgende pulsen noodzakelijk. De tijdens de voorafgaande puls gevormde

- 1-elektrode(kathode)
- 2-werkstuk(anode)
- 3-vonkkanaal
- 4-smeltkrater in anode
en kathode
- 5-randgebieden van kathode
en anode



Figuur 2-3 Doorsnede van het vonkkanaal

ladingsdragers dienen te recombineren, omdat anders de vonk op dezelfde plaats over zal slaan. Nadat de elektrische puls is aangelegd kunnen bij het erosiemechanisme achtereenvolgens de volgende stadia onderscheiden worden:

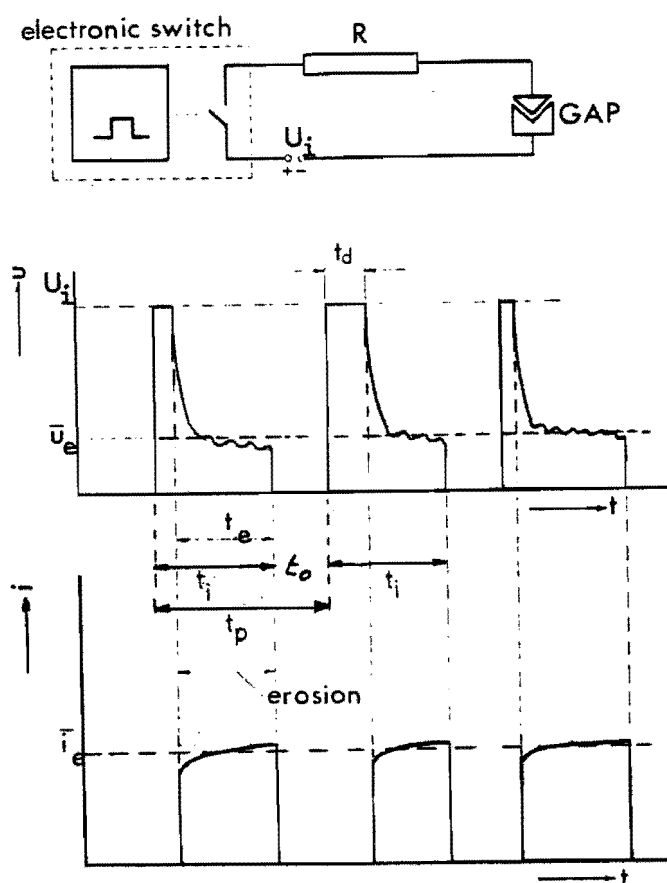
- 1> de ontstekingsfase, die de inleiding zal zijn tot ionisatie en vorming van het vonkkanaal.
- 2> de vorming van het vonkkanaal, in plasmavorm: er treden zeer hoge stroomdichtheden en hoge waarden van de veldsterkte op.
- 3> het lokaal smelten en verdampen van het materiaal, gevolgd door het uitstoten ervan. Bij relatief langere pulsen treedt verbreding en daarna stabilisatie van het vonkkanaal op.
- 4> het beeindigen van de elektrische energietoevoer: het doven van het vonkkanaal, dus recombinatie van de ionen en elektronen, afvoer van metaaldeeltjes en dielectricum derivaten door het dielectricum en afkoeling van de elektrode oppervlakken, zodat emissie niet meer mogelijk is.

Nadat dit alles is gebeurd kan de volgende energiepuls worden toegevoerd. Anders wordt de kans dat de nieuwe ontlading op de zelfde plaats optreedt sterk vergroot. Het steeds op dezelfde plaats optreden van de vonkdoorslag is een in de praktijk voorkomend hinderlijk verschijnsel en staat bekend als bogen.

2.3 De pulsgenerator

Als eerste pulsgenerator voor vonkerosiemachines werd de RC-generator gebruikt. Deze schakeling was zeer eenvoudig en bestond uit enige weerstanden en condensatoren. Tegenwoordig gebruikt men de gestuurde pulsgenerator, omdat deze betere resultaten levert.

Het principe van de gestuurde pulsgenerator is weergegeven in figuur 2-4. De voedingsspanning (60-120 V) wordt nu via een elektronische schakelaar en een weerstand toegevoerd aan



Figuur 2-4 Principe en typische spannings en stroomvormen van de gestuurde pulsgenerator

de electrode. Deze elektronische schakelaar bestaat uit 1 of meerdere transistors of thyristors en kan periodiek sluiten en openen met een periode van 1 μsec tot 10 msec. De puls-

periodetijd $\langle t(p) \rangle$ en de generatorpulsduur $\langle t(i) \rangle$ worden bepaald door de stuurgenerator van de elektronische schakelaar. Na het sluiten van de schakelaar duurt het even voordat er een vonk overslaat en een kratertje vormt in beide elektroden. Deze tijd noemt men de ontsteekvertraging $\langle t(d) \rangle$. De spanning daalt dan tot de brandspanning (ca. 20V) en de stroom die gaat lopen is gelijk aan:

$$I = \frac{u(i) - u(e)}{R}$$

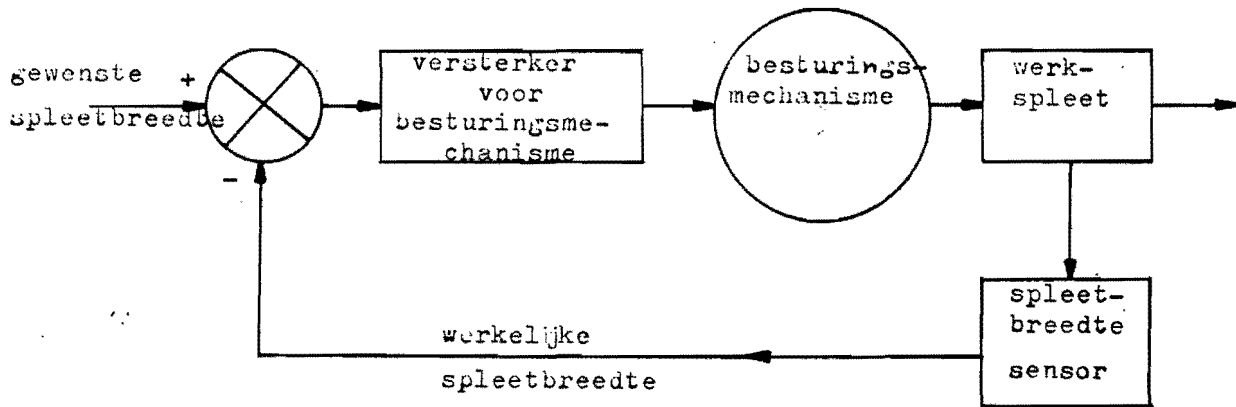
en wordt dus vrijwel alleen bepaald door de waarde van R. De ontsteek vertraging $t(d)$ is vaak niet konstant doordat de spleetbreedte varieert, als gevolg van deeltjes in de werkspleet. Hierdoor is de pulsontladingstijd ook niet constant. Dit bezwaar heeft men bij sommige generatoren weten op te lossen door $t(i)$ zo lang te laten duren, dat $t(e)$ wel constant blijft. Of men laat een ontsteekpuls voorafgaan aan de gewone puls, zodat vrijwel altijd ontsteking optreedt en dus $t(e)$ konstant zal zijn. Deze ontsteekpuls heeft een hoge spanning, namelijk 250V.

Omdat men nu in staat is $t(p), t(i)$ en de pulsstroom in te stellen is er een optimale instelling mogelijk. Als men per puls meer energie wil toevoeren dan worden de pulsontladingstijden langer. De gestuurde pulsgenerator geeft, in vergelijking met de RC-generator, lagere slijtagewaarden. En omdat $t(p)$ niet noodzakelijk lang hoeft te zijn is de bewerkings-snelheid ook vaak gunstiger.

2.4 Het servomechanisme

Voor het proces is het van belang dat de werkspleet, de afstand tussen electrode en werkstuk, konstant gehouden wordt. Is deze afstand namelijk te groot dan slaan er geen vonken over en er is dus geen erosie, is deze afstand te klein dan is de kans op kortsluiting erg groot. Omdat nu gedurende het proces voortdurend materiaal wordt weggenomen zal de werkspleet steeds groter willen worden. Het servomechanisme dient er nu voor om dit tegen te gaan.

Nu is de materiaalafname nooit constant, zodat de snelheid van de electrode ook niet constant mag worden gehouden. Het is beter om het servomechanisme op te nemen in een regelkring, zoals is aangegeven in figuur 2-5. Het servosysteem bestaat behalve uit de mechanische opbouw van het geheel, uit het besturingsmechanisme, de sensor - waarmee de spleetbreedte wordt gemeten - en een vergelijkingsorgaan. Het verschil van



Figuur 2-5 Schematische voorstelling van de spleetbreedte regeling en het servomechanisme

de sensor en het vergelijkingsorgaan dient als stuurspanning van de versterker voor het besturingsmechanisme.

2.4.1 Het besturingsmechanisme

Van het besturingsmechanisme zijn verschillende uitvoeringen bekend. Fig 2-6A toont de oudste uitvoeringsvorm. Het bewegende gedeelte wordt aangedreven door een schroefspil welke links- of rechts-om kan draaien, al naar gelang welke koppeling is ingeschakeld. De motor draait met constante snelheid. Feitelijk is dit electro-mechanische systeem een aan - uitregeling.

In fig 2-6B is een continue werkend servosysteem getekend, dat veel directer werkt. De motor, die soms een stappenmotor is, heeft een variabel toerental dat afhangt van de uitgangsspanning van de stuurversterker.

Het electro-hydraulische systeem van fig 2-6C komt veel voor. De geleiding is met kogelbussen, terwijl een hulpkolom rotatie tegengaat. Een servoklep stuurt de lineaire hydromotor welke rechtstreeks met de gereedschapshouder is gekoppeld.

Voor systemen met kleinere slag (ca. 1-2 cm) is het electro-magnetische systeem van fig 2-6D geschikt. Dit systeem kan heel snel zijn.

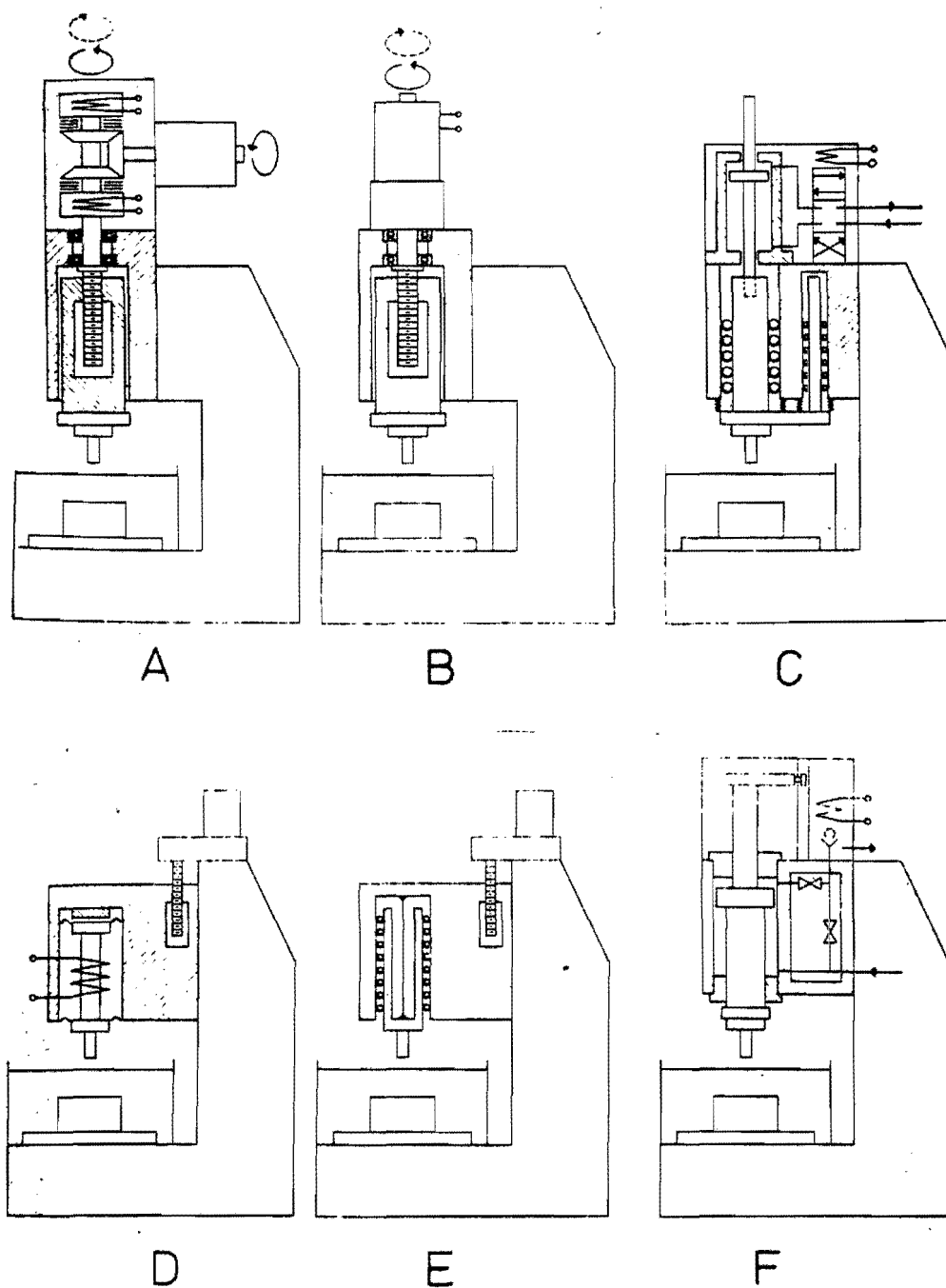
Bij precisie bewerkingen (micro-vonkverspanen) wordt als "servomotor" soms een gloeidraad gebruikt (fig. 2-6E). Bij verhitting door stroomdoorgang wordt de draad door thermische uitzetting langer en valt de kolom (vaak door een hier niet getekende veer geholpen). Bij kleinere stroomdoorgang gaat de kolom weer terug (lagere temperatuur).

Tenslotte dient het systeem van Charmilles vermeld te worden (fig. 2-6F). Dit is ook een electro-hydraulisch servomechanisme. De servoklep is echter aangepast aan de hydromotor, welke bestaat uit twee ruimten gescheiden door een zuiger. De as van de zuiger heeft aan de bovenkant een kleinere doorsnede dan die aan de andere kant, zodat het zuiger-oppervlak boven twee maal zo groot is als onder. De onderste kamer is rechtstreeks op de hydraulische aanzet aangesloten, terwijl in de bovenste kamer een lagere druk heerst omdat tussen die kamer en de aanzet een tweetal weerstanden zijn aangebracht. In evenwicht (stilstand) is de druk in de bovenkamer de helft van de aanzetdruk. Beweging wordt verkregen door drukverandering in de bovenkamer die bewerkstelligd wordt door een kogelventiel meer of minder af te sluiten. Er wordt met dit systeem een hoge graad van precisie verkregen mede door een hydrostatische lagering van de plunjer.

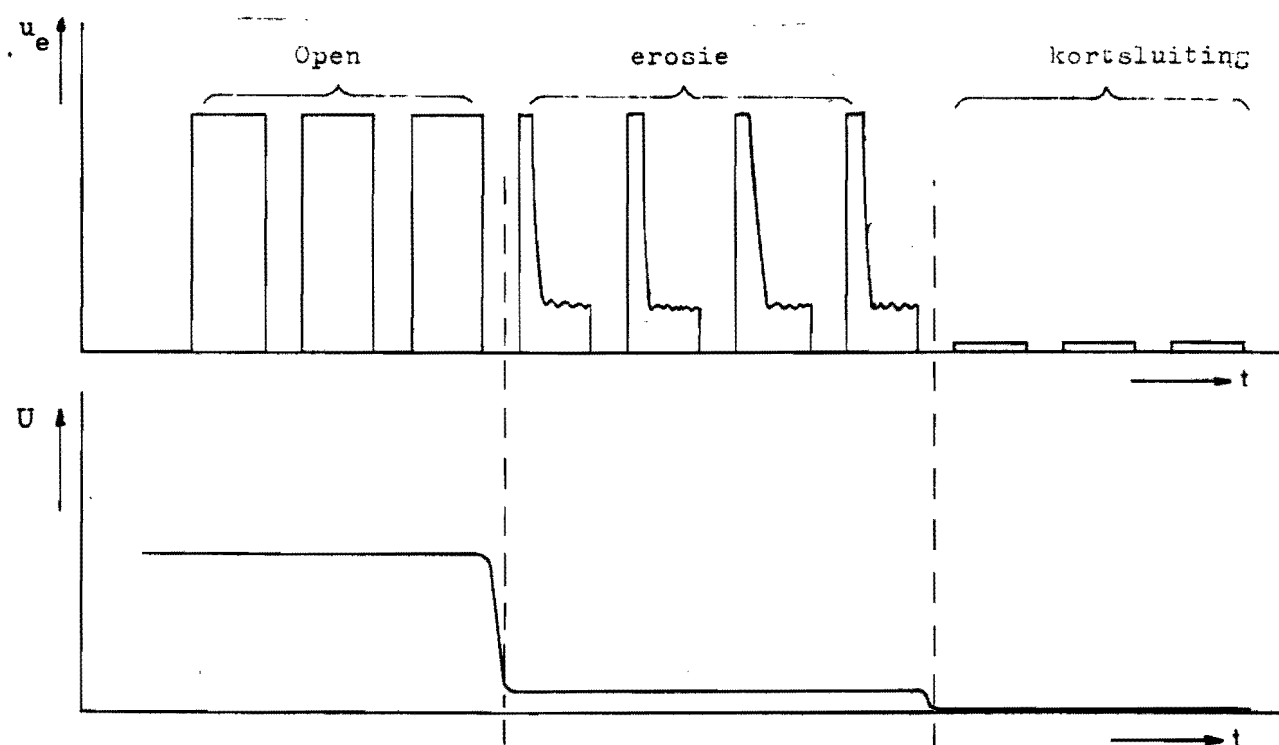
2.4.2 De spleetbreedte sensor

Om het servomechanisme goed te laten functioneren heeft men informatie nodig en wel: spleetvergroting, spleetverkleining of het gelijk houden ervan. Het verkrijgen van deze informatie kan op verschillende manieren gebeuren en wel:

- 1> Het meten van de gemiddelde spanning U over de spleet. Bij normaal vonken is de spanning over de spleet ongeveer gelijk aan 20V. Bij een open situatie is U veel groter en bij kortsluiting nagenoeg nul. Een nadeel van dit type sensor is, dat de gemiddelde spanning over de spleet verder ook afhankelijk is van de relatieve generatorpulsduur, deze is namelijk gelijk aan $t(i)/t(p)$. Hierin is $t(i)$ de "aan"-tijd en $t(p)$ de periodetijd van de puls. Noodzakelijk bij dit type sensor is dat bij verandering van de relatieve generatorpulsduur de gevoeligheid bijgeregeld moet worden. Met gevoeligheid wordt hier bedoeld, bij welke gemiddelde spanning herken ik de puls als erosie, kortsluiting of open. In figuur 2-7 is de momentane spanning over de -



Figuur 2-6 Verschillende uitvoeringsvormen van besturingsmechanismen



Figuur 2-7 Verloop van de momentane spanning over de werkspleet (boven) en de gemiddelde spanning U (onder)

werkspleet uitgezet en de gemiddelde spanning bij verschillende processituaties.

2> Een ander type sensor is de digitale sensor. Deze bepaalt de spleetbreedte uit het wel of niet aanwezig zijn van spanning of stroom als volgt:

- stilstand: wel spanning, wel stroom
- vergroting: geen spanning, wel stroom
- verkleining: wel spanning, geen stroom

De situatie dat er geen spanning en geen stroom is komt niet voor. Als toelichting van het bovengenoemde criterium: Bij kortsluiting heb je geen spanning en wel stroom, dus spleetvergroting, bij open pulsen heb je wel spanning maar er loopt geen stroom, want er slaan geen vonken over, daarom spleetverkleining, en tenslotte bij erosie loopt er een stroom en er is een spanning. Dit type sensor is wel onafhankelijk van de relatieve generatorpulsduur, bij tussensituaties echter, waarbij bijvoorbeeld een iets te grote spleet tot relatief langdurige spleetvertraging leidt, wordt niet gereageerd, omdat dit wordt gezien als normale erosie.

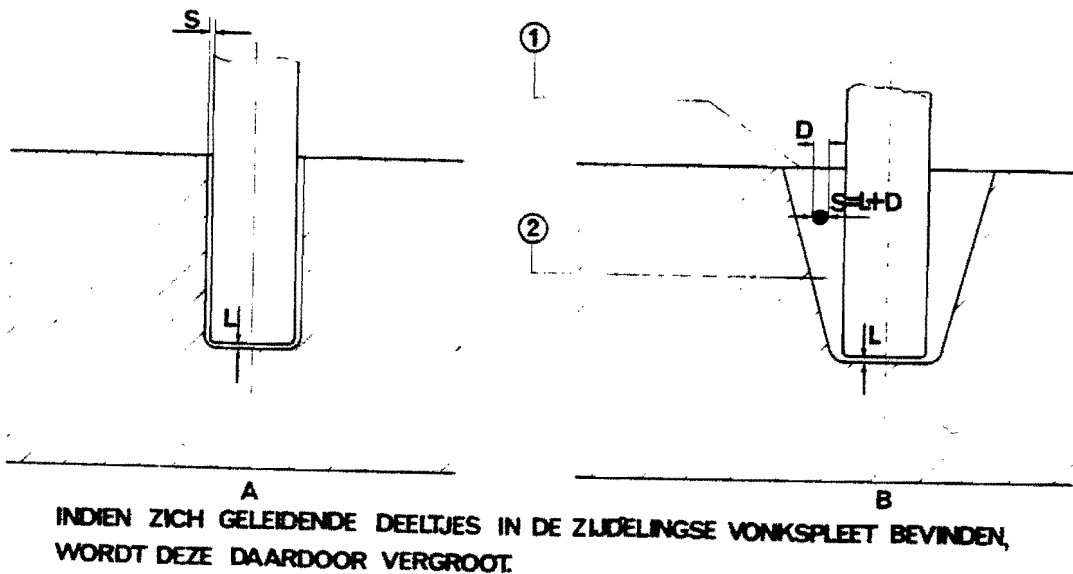
Het eerstgenoemde systeem reageert hier wel op.

3> Het meten van de ontsteekvertraging.

De ontsteekvertraging is de tijd die verstrijkt tussen het aanbrengen van de spanning en de doorslag van de vonk. De ontsteekvertraging is in grote mate afhankelijk van de spleetbreedte en heeft de bezwaren van de bovengenoemde systemen niet. Het nadeel van dit systeem is echter dat het vrij gecompliceerd is deze ontsteekvertraging te meten.

2.5 Het dielectricum

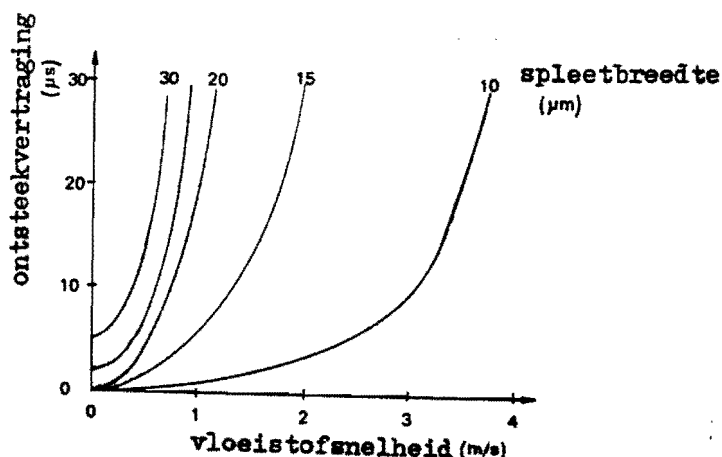
De belangrijkste functie van het dielectricum is, de metaaldeeltjes en alle gestolde deeltjes uit de werkspleet te spoelen. Want zouden er zich te veel deeltjes in de spleet bevinden dan wordt de kans op kortsluiting en bogen erg groot. Terwijl deeltjes in de zij spleet aanleiding geven tot spleetvergroting, zie figuur 2-8.



Figuur 2-8 Invloed van deeltjes in de vonkspleet

Het dielectricum speelt verder een rol bij het ontstekingsmechanisme. De vervuilingsgraad en de spoelsnelheid van het dielectricum heeft een grote invloed op de ontsteekvertraging en dus ook op de electrode afstand (zie ook paragraaf 2.3.1).

De invloed van de vloeistofsnelheid in de spleet is weergegeven in figuur 2-9.



Figuur 2-9 De ontsteekvertraging als functie van de vloeistofsnelheid in de spleet en de spleetbreedte. Pulsvermogen $P_e = 600$ W, open generator spanning 300 V, pulsduur $t(i) = 50$ μs, $t(p) = 100$ μs.

In deze grafiek (2-9) is duidelijk te zien dat de vloeistofsnelheid een grote invloed heeft op de ontsteekvertraging. Dit is als volgt te verklaren:

Als gevolg van het aanleggen van de puls zullen er elektronen vrijkomen van de kathode en dezen zullen naar de anode getrokken worden. De eerste elektronen zullen door botsing met de vloeistofmolekulen de vloeistof verwarmen. Na enige tijd is de vloeistof zo verhit dat er dampbelletjes ontstaan. Deze dampbelletjes maken het mogelijk dat er doorslag optreedt. De tijd die verstrijkt tussen het aanleggen van het elektrische veld en de doorslag heet nu de ontsteekvertraging. Het is nu gemakkelijk in te zien dat bij een te hoge vloeistofsnelheid er geen of nauwelijks vonken zullen overslaan. Bij een te lage vloeistofsnelheid zullen de resten van de vonk niet verdwenen zijn en is dus de kans op kortsluiting erg groot.

Als dielectriche vloeistof wordt vaak een koolwaterstof gebruikt, alleen bij mikrovonken en draadvonken gebruikt men gedeïoniseerd water. In verband met het ontstekingsmechanisme dient het kookpunt niet te hoog te zijn en bovendien mag het vlampunt uit veiligheidsoverwegingen zeker niet te laag

liggen.

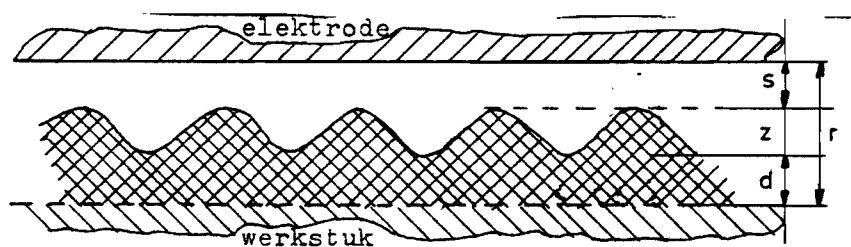
2.6 De oppervlaktequaliteit

De oppervlaktequaliteit bij EDM wordt bepaald door twee factoren, namelijk, de ruwheid en de thermische beïnvloeding.

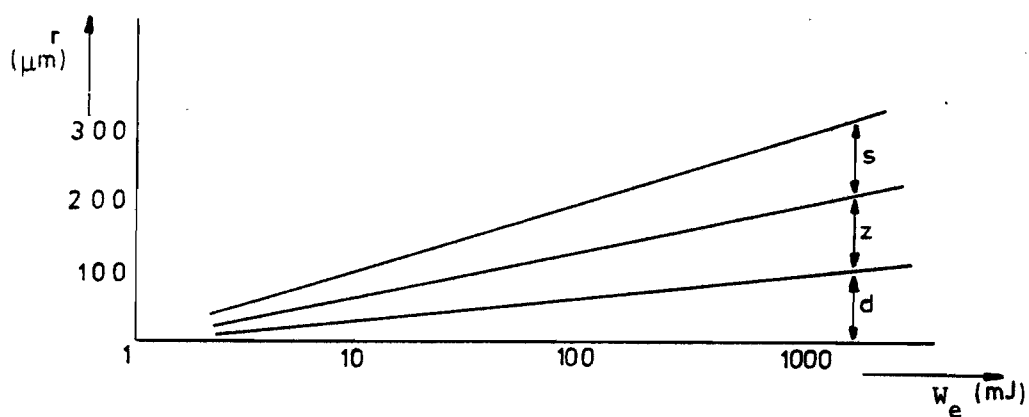
De ruwheidstoestand van het gevonkte oppervlak wordt veroorzaakt door de kratervorming. Het blijkt dat het volume van de gevormde kraters recht evenredig is met de pulsenergie. Deze relatie is in de praktijk gevonden en slechts geldig voor een puntvormige vonkbron en $t(e) = t(e, opt)$, zodat het zondermeer toepassen van deze relatie op z'n minst dubieus is. Het is wel zo dat de ingestelde pulsenergie een maat is voor de ruwheid. Pas indien men weet aan welke voorwaarden het oppervlak van een werkstuk moet voldoen, kan men iets zeggen over de wijze van vervaardigen, al dan niet met EDM. Op dit ogenblik is van formulering van de oppervlakte ruwheid nog geen sprake en gebeurt het classificeren van oppervlakten door vergelijking met een ruwheidsstandaard.

De kwaliteit van het oppervlak wordt ook bepaald door de thermische en metallurgische invloeden. Deze effecten nemen toe bij toename van de pulsenergie, terwijl een langere pulsduur deze effecten nog eens versterkt. Het oppervlak bevat een verstevigde bovenlaag welke veel koolstof van het dielectricum bevat en is vermengd met materiaal van de elektrode. Onder deze laag, tot 25 maal de dikte van de toplaag bevindt zich een door warmte-uitzetting en diffusie beïnvloede zone. Afhankelijk van de oorspronkelijke metallurgische eigenschappen kunnen deze twee lagen spanningen en scheuren in het metaal oppervlak tot gevolg hebben. Bij ijzer-legeringen zijn faseveranderingen mogelijk die de oppervlakte eigenschappen danig kunnen beïnvloeden.

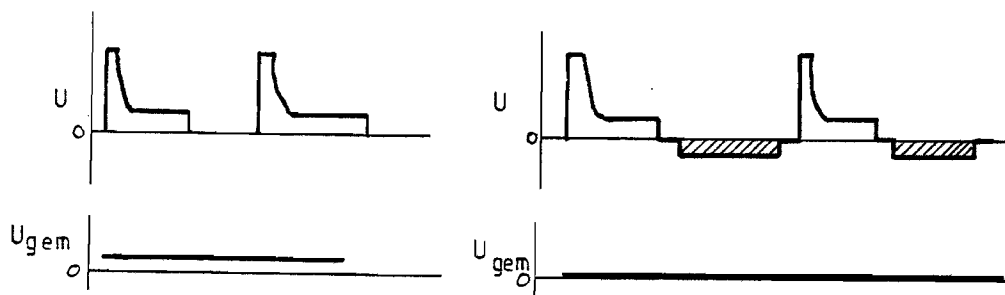
Door de gemiddeld aanwezige spanning tussen het werkstuk en het gereedschap is, indien gedeïoniseerd water als dielectricum gebruikt wordt zoals dat bij draadvonkerosie en microvonken het geval is, ook electro-chemische erosie mogelijk. Deze kan bijvoorbeeld in ijzerlegeringen met een hoog chroomgehalte een chroomloze oppervlaktelaag veroorzaken met alle materiaal-eigenschaps-verliezen van dien. Als experiment om dit verschijnsel tegen te gaan worden vereffeningspulsen van tegengestelde polariteit aan de elektroden aangeboden met als doel om de gemiddelde spanning over de spleet op 0 V te houden. (zie fig 2-12)



Figuur 2-10 De electrode en zijn invloedstraal r , bestaande uit s : de vonkspleet, z : de kraterdiepte en d : de thermisch beïnvloede zone



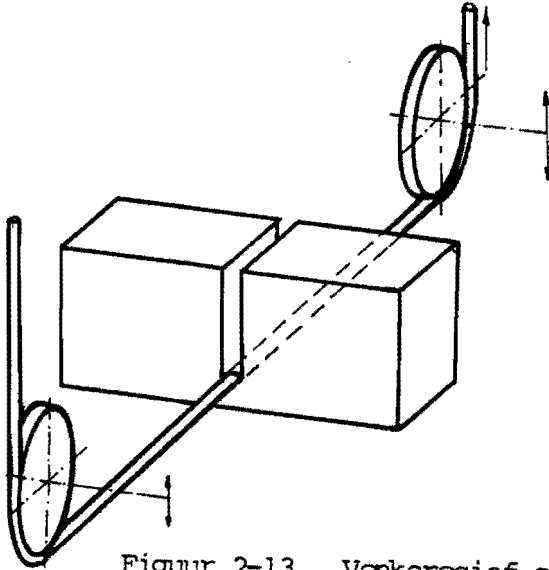
Figuur 2-11 Verband tussen de invloedstraal en de pulsenergie



Figuur 2-12 Spannings vereffenings puls

2.7 Draadvonk erosie

Een van de door de opkomst van numerieke-besturingen ontstane vorm van vonkerosie is de draadvonkerosie. Dit is vonkerosief snijden met draad (zie fig 2-13). In tegenstelling tot "normaal" vonken waarbij over het algemeen het ge-

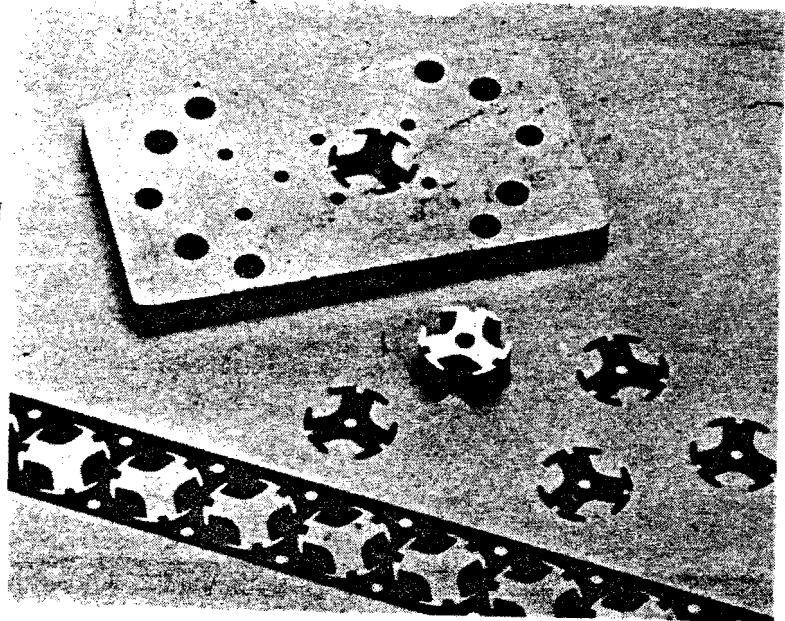
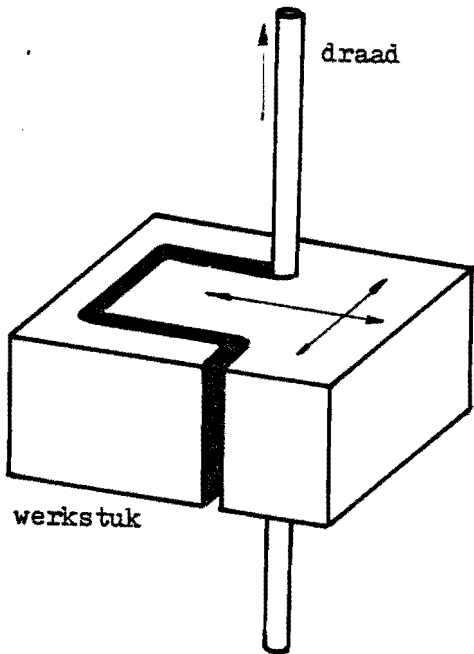


Figuur 2-13 Vonkerosief snijden met draad

reedschap beweegt staat bij draadvonken de draad (het gereedschap) stil en wordt de kruistafel met het daarop opgespannen werkstuk bewogen.

Doordat de kruistafel zowel in x- als in y-richting te bewegen is, is vonkerosief snijden niet alleen geschikt voor het snijden van rechte lijnen maar ook voor het uitsnijden van willekeurige figuren (zie fig 2-14, 2-15); te vergelijken met figuurzagen of bandzagen.

Voor het uitsnijden volgens een bepaalde baan is een besturingssysteem vereist. Dit kan zijn een optisch volgsysteem, een kopieersysteem dan wel een numerieke besturing. Door de grote inzetmogelijkheden van een met numerieke besturing uitgeruste machine, is deze methode van besturen erg in opkomst.



Figuur 2-14 Principe draadvonken van een contour

Figuur 2-15 Voorbeelden van een numeriek bestuurd, draadgevonkt stempel en snijplaat

2.7.1 Technologie van het draad-vonken

In principe zijn voor vonkerosief snijden alle elektrisch geleidende draadmateriaal te gebruiken. De hoge eisen aan de thermische belasting, draadspanning en meetnauwkeurigheid hebben echter tot gevolg dat de volgende materialen worden toegepast:

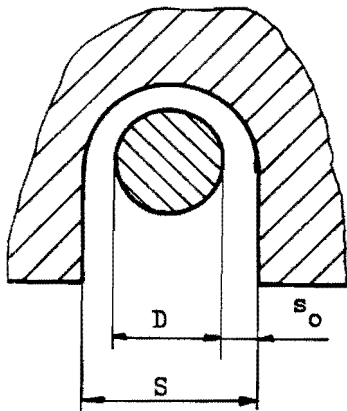
- electrolytisch koperdraad
- messing draad
- molybdeen draad (duur)
- staal draad (niet aan te bevelen)

De gebruikte draaddiameter ligt tussen 20 en 400 μm .

De belangrijkste technologische grootheden voor het draadvonk verspanen zijn:

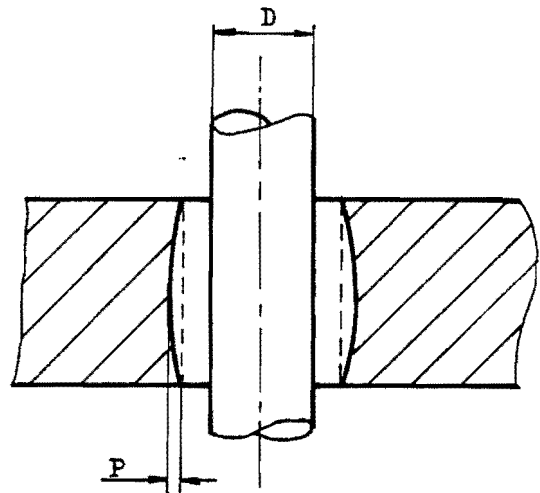
- snijsnelheid
- snedebreëte
- oppervlakte ruwheid
- profiel fout

De profielfout (zie fig 2-17) is - afhankelijk van de werkstukgeometrie en het machinetype - tusse enkele en enkele tientallen micrometers. Zeker bij baanveranderingen is de profielfout niet te verwaarlozen.



D = draaddiameter
 s_o = enkelzijdige vonkspleet
 S = snedebreedte

Figuur 2-16 Snedebreedte



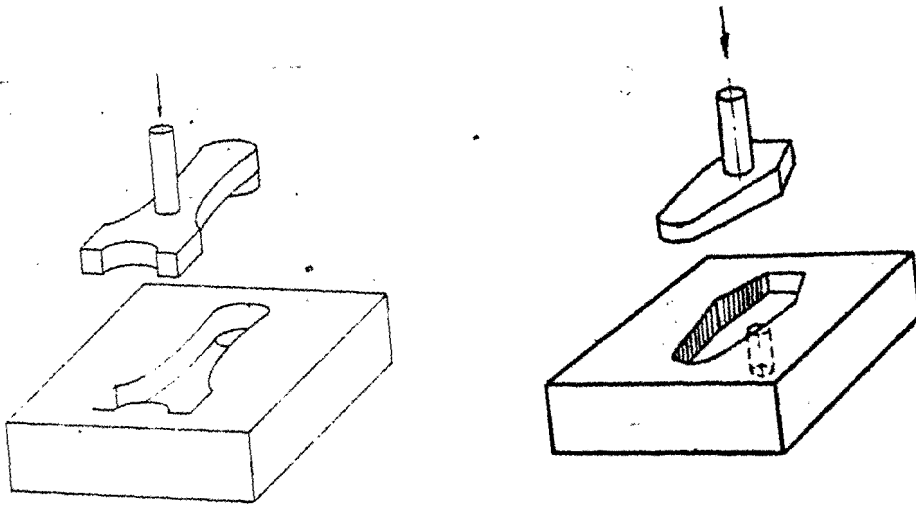
P = profielfout

Figuur 2-17 Profielfout

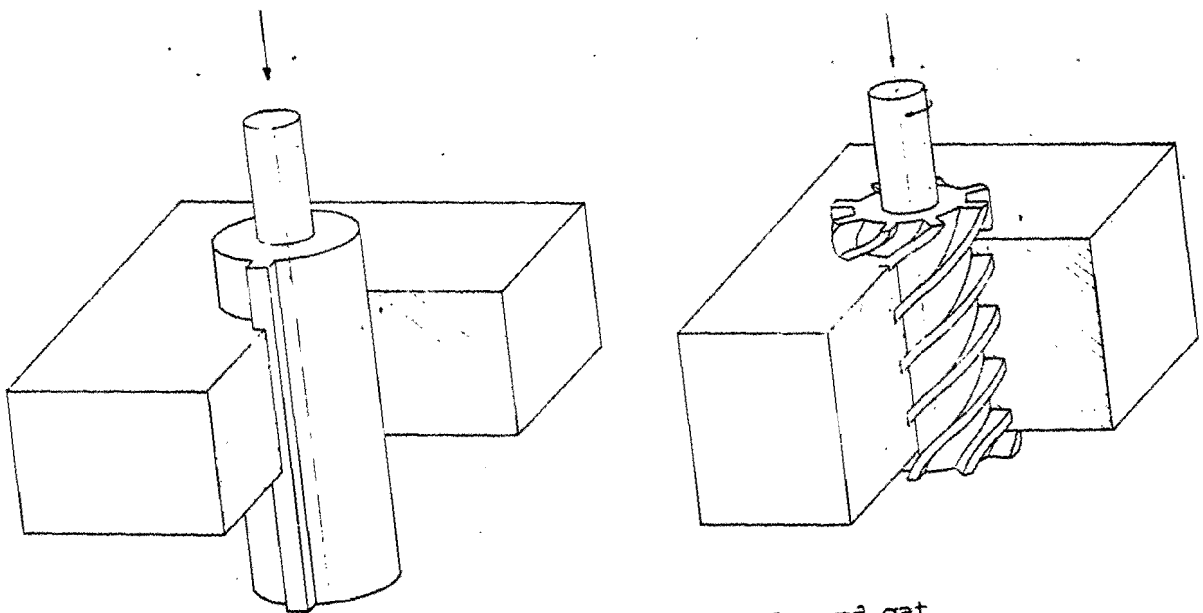
2.8 Andere vonkerosieve bewerkingen

Naast het "normale" vonken zijn er verschillende andere vonkerosieve bewerkingen. In figuur 2-18 is een overzicht gegeven van de verschillende bewerkingen.

Onder het "normale" vonken wordt verstaan het vonkerosief zinken. De figuren 2-19 t/m 2-21 geven voorbeelden van het zinken, slijpen en snijden m.b.v. een vonkerosiemachine.

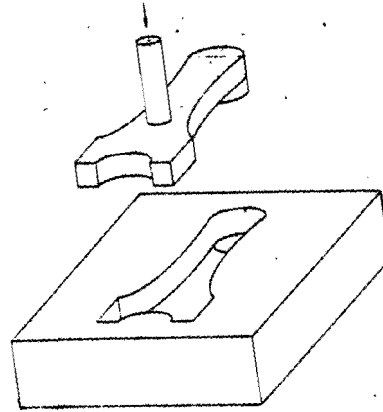
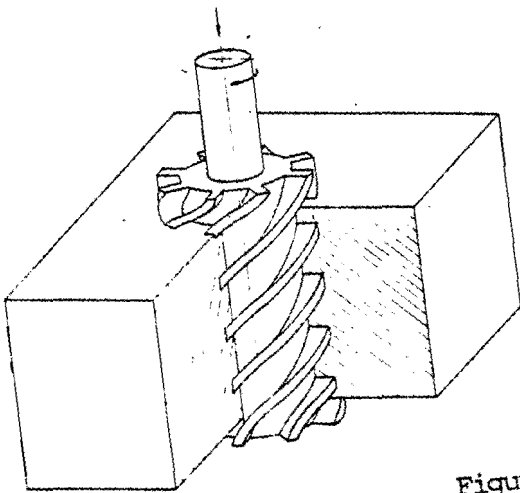


Vonken van een blind gat

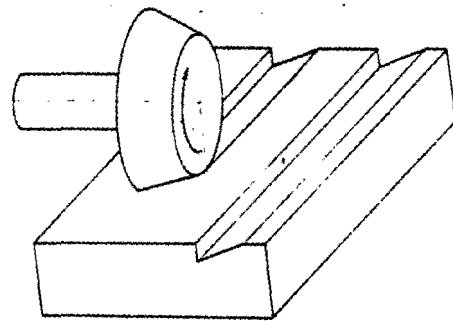
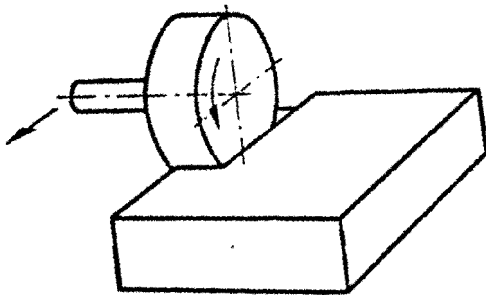


Vonken van een doorlopend gat

Figuur 2-18



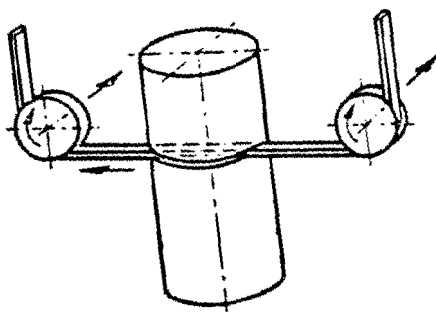
Figuur 2-19



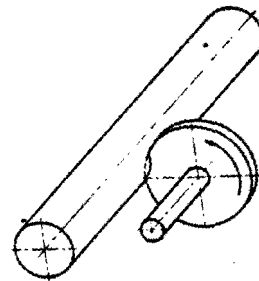
Vonkerosief profielslijpen

Vonkerosief vlakslijpen

Figuur 2-20



Vonkerosief snijden met band



Vonkerosief snijden met roterende schijf

Figuur 2-21

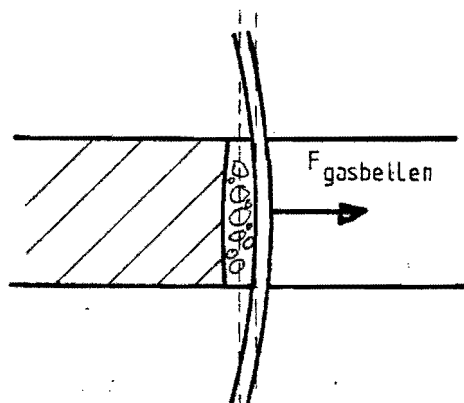
3 DE PROCESBESTURING VAN DE "LABORATORIUM"-MACHINE

De draadvonkerosiemachine waaraan dit werk is verricht is een zgn. "laboratorium-machine". Aan deze machine worden nieuwe technieken in de praktijk gebracht. Een van de belangrijke doelen van deze experimenten is het verkrijgen van een dieper inzicht in de processen die zich bij dit nog vrij jonge en derhalve weinig onderzochte verspaningsproces af spelen. Door de variabelen die dit proces beïnvloeden zo nauwkeurig mogelijk te kennen en te (kunnen) beïnvloeden is men in staat nieuwe, nauwkeurigere theorieën op te bouwen en in de praktijk te toetsen.

3.1 Doel van het project

Het doel van mijn afstudeerwerk is dan ook om de beïnvloedbaarheid van de machine en de zich daarin afspelende processen te verhogen. Om dit te bereiken is besloten om een micro-computer toe te passen. De grootte van dit project laat de aanname toe dat er nog een aantal anderen hun hoofd over deze machine zullen breken. De geschatte projectduur bedraagt 2 a 2.5 jaar, langer dan deze afstudeer-opdracht duurt.

Het onderzoek, waarvoor deze verhoogde bestuurbaarheid nodig is, is gericht op de aard en grote van de profielfout die optreedt bij draadvonk-erosie. Een van de problemen van draadvonkerosie is namelijk dat de draad niet strak staat in de spleet, maar gebogen onder druk van de gasbellen die door de vonken ontstaan. (zie fig 3-1). Bij het



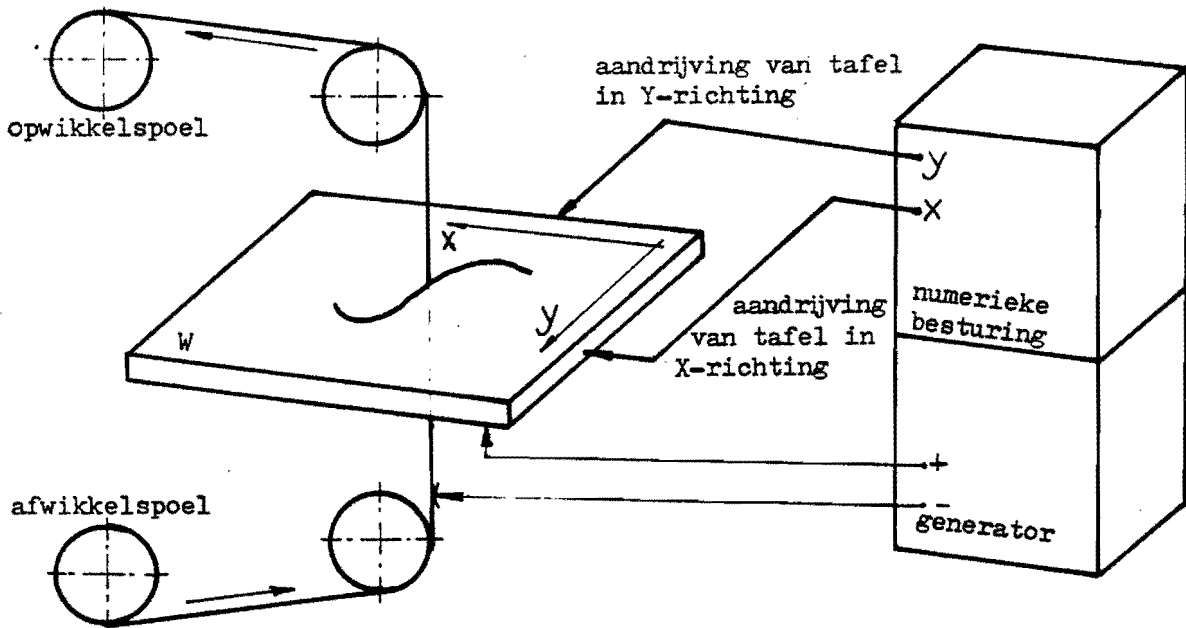
Figuur 3-1 Kracht op draad door gasbellen

volgen van een rechte lijn mag dit geen probleem wezen, bij het contourensnijden echter worden hierdoor profielfouten geïntroduceerd. Tevens zal worden nagegaan welke de mogelijkheden zijn om deze tot een minimum te beperken. De

mogelijkheid om de pulsgenerator door de micro-computer baan-afhankelijk te besturen wordt hierbij van groot belang geacht.

3.2 De laboratorium machine

De machine in kwestie is een AGIECUT-DEM15 die door de THE is aangekocht zonder de daarbij behorende besturing en generator. De machine bestaat uit een met stappenmotoren te besturen kruistafel, het dielectricum-systeem (met pomp, filters en deionisators) en het draadspan- en afwikkelmechanisme. Het machineframe en de draadgeleiding langs het werkstuk zijn nog origineel evenals de aandrijving van de kruistafel. Alle andere onderdelen van de machine (draad op- en afwikkelmechanisme, draad spanner, dielectricum systeem, besturing en generator) zijn eigen ontwikkelingen van de THE. Deze zijn in verloop der jaren door medewerkers en studenten gebouwd en aangepast aan de te nemen experimenten. Met de opkomst van de digitale elektronica is de besturing ook gedigitaliseerd, zij het dan in eerste instantie met discrete componenten. De verbetering van de inzetmogelijkheden van micro-computers hebben tot de beslissing geleid om de machine op een micro-computer aan te sluiten.



Figuur 3-2 Schematisch overzicht draadvork erosie machine

3.3 De taken van de besturing

De door de micro-computer besturing te beheren taken zijn de volgende:

- sturing van de stappenmotoren van de kruistafel
- sturing van de generator
- verwerken van de pulsanalyse-informatie
- afwerken van een opgegeven baanprogramma

De sturing van de stappenmotoren heeft een tweeledig doel. Ten eerste is de besturing bedoeld om de kruistafel een opgegeven baan te laten beschrijven, ten tweede vormen de stappenmotoren het korrigerend orgaan van de regelaar die de snijpleet op constante afmetingen houdt.

De sturing van de generator maakt het mogelijk om de energiehoud van de vonken aan de verspaningssituatie aan te passen. Het regelbaar maken hiervan maakt het mogelijk om niet alleen de ruwheid van het bewerkte oppervlak te beïnvloeden maar ook de vormnauwkeurigheid van hoeken en andere profielfouten.

De pulsanalyse-informatie is de ingangsvariabele van de regelaar. De informatie bestaat uit het percentage kortsluitingen en open pulsen per 255 pulsen. Het doel van het regelproces is het minimaliseren van deze beide percentages door het aanpassen van de snijsnelheid.

Het afwerken van een van te voren vastgesteld programma maakt deze machine tot een numeriek-bestuurde machine die in staat is om met een minimum aan toezicht een maximum aan resultaat te leveren. De op dit automatisme ingrijpende regelprocessen zorgen voor het zo optimaal mogelijk uitvoeren van de gewenste opdrachten.

4 DE MICRO-COMPUTER

Voor de besturing is gebruik gemaakt van een aan het begin van het afstudeerwerk ter beschikking staande micro-computer. De aansluiting op de machine vindt plaats via een interface print die tijdens het afstudeerwerk is ontwikkeld, gebouwd en getest. Een gedeelte van de oude machine-besturing is gehandhaafd om de micro-computer te ontlasten en is aangepast aan de nieuwe situatie. De interface naar de gebruiker toe is een display en een toetsenbord. De interface print hiervoor is ontwikkeld en kan getest worden.

4.1 De micro-computer print

De gebruikte micro-computer print is een op INTEL-komponenten gebaseerde single board computer (SBC) die op de THE is ontwikkeld. Dit is gebeurd door de afdeling Electrotechniek in opdracht van en in samenwerking met de afdeling Werktuigbouwkunde. De SBC bestaat uit de volgende belangrijkste onderdelen:

- de central processing unit(CPU) een 8085
- de geheugen IC's 2716 en 2732(EPROM), 8185(RAM)
- de serial I/O interface, twee maal 8251
- de parallel I/O interface, twee maal 8255
- een programmeerbare timer, een 8253
- een programmeerbare interruptcontroller, een 8259
- een keyboard/display controller, een 8279

Het geheugen heeft maximaal 8K woorden in EPROM (alleen uitleesbaar geheugen) en ook maximaal 8K woorden in RAM (lees-schrijf geheugen). Het is mogelijk om in EPROM het gehele stuurprogramma op te nemen en de variabelen in RAM te plaatsen. Hierdoor kan de machine zonder lange opstart procedures gebruikt worden. Tijdens de testfase bevatten de EPROM's een "monitor"-programma, dat eenvoudige communicatie met de micro-computer en via deze met de machine, mogelijk maakt. Met deze "monitor" kan de inhoud van geheugenplaatsen gelezen en gewijzigd worden, kunnen programma's ingelezen worden, ponsbanden voor programma-opslag gemaakt worden en kunnen programma's gestart worden.

De twee seriele communicatie-kanalen worden gebruikt voor het aansluiten van een gebruikers terminal (beelscherm met toetsenbord) en voor de communicatie met de PR1ME. De PR1ME is de minicomputer van de afdeling Werktuigbouwkunde van de THE. Op deze minicomputer staat een programma ter beschikking

voor het ontwikkelen van machinetaal programma's en voor het simuleren van de ontwikkelde software (8085 Assembler en Simulator). De met dit programma (MICROSIM) ontwikkelde software wordt dan in RAM geladen via het tweede seriele communicatie kanaal.

Indien de aldus ontwikkelde en in de praktijk geteste software voldoet, kan deze in een EPROM geplaatst worden en staat altijd ter beschikking van de gebruiker. Hiervoor wordt een INTEL MDS236 ontwikkelingssysteem gebruikt.

Door de parallelle in- en uitvoer IC's staan 48 lijnen ter beschikking.

- 16 hiervan worden gebruikt voor het aansturen van de DAC's (Digitaal analoog converter's) die de stuurspanning voor de oscillator (pulsgenerator) van de generator (hoogspannings-generator) produceren.

- Twee maal acht lijnen worden gebruikt voor het uitlezen van de pulsanalyse tellers (zie interface print). Doordat dit in handshake mode gebeurt worden nogmaals zeven lijnen gebruikt voor het logisch protocol.

- Van de resterende negen lijnen worden er vijf gebruikt voor het aan-uit schakelen van de generator en voor het sturen van de stappenmotoren. Voor elke stappenmotor is hiervoor een richtings- en een puls-lijn voorzien.

Op dit moment zijn vier outputlijnen nog ongebruikt, een eventuele toepassing hiervoor zou kunnen zijn de aansturing van het draadspan mechanisme.

Het timer-IC bevat drie programmeerbare timers waarvan er een gebruikt wordt voor het bepalen van de transmissie snelheid van de seriele communicatie kanalen en twee voor het sturen van de stappenmotor routines. Dit laatste gebeurt op interrupt basis.

De interrupt-controller zorgt voor het oplossen van prioriteits problemen van interrupts en biedt aan de microprocessor het adres van de interrupt routine aan. Bij ontvangst van een interrupt onderbreekt de processor zijn programma en werkt de betreffende interrupt routine af. Hierna keert de processor weer terug naar de plaats in het programma waar hij werd onderbroken. In deze machine worden interrupts gebruikt voor de nood- en eind-schakelaars, de stappenmotor timers en de keyboard-display controller. De prioriteiten liggen ook in deze volgorde, nood-schakelaars de hoogste prioriteit.

De keyboard-display controller verzorgt de sturing van de positie- en snelheids- uitlezing en het uitlezen van het gebruikers toetsenbord. De hiervoor benodigde hardware is inmiddels aanwezig maar nog niet aangesloten en getest. Alle

communicatie gebeurt nu via de op het eerste seriele communicatie kanaal aangesloten gebruikers-terminal.

4.2 De machine interface

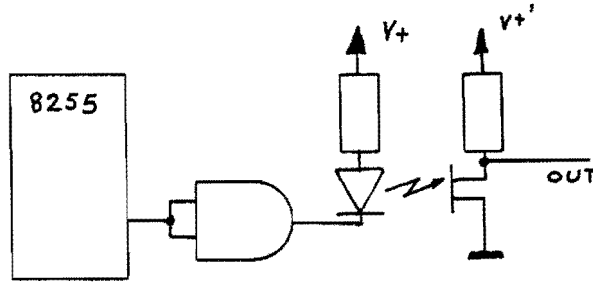
In verband met de door het vonkerosie proces gegenereerde storingen worden er erg hoge eisen gesteld aan de storingsvastheid van de besturing. Het gebruik van logische niveaus met spanningen die dicht bij elkaar liggen, zoals dat bij micro-processoren helaas het geval is door het werken met TTL-logica niveaus (logisch 0: < 0.8 V; logisch 1: > 2.4 V), betekent dat een lage stoorspanning al voldoende is om de schakeling in de war te sturen. Men tracht dan ook om de logische spanningen zo ver als mogelijk uit elkaar te leggen. Hiervoor wordt in dit ontwerp LOC MOS logica toegepast met een voedingsspanning van 15 V (logisch 0: < 4.5 V; logisch 1: > 10.5 V). Een tweede methode om storingen te vermijden is het galvanisch scheiden van machine (met generator en motoren) en de besturing. Hierdoor worden storingen langs de stuurlijnen voorkomen.

Voor de galvanische scheiding worden in dit ontwerp optocouplers gebruikt die door hun traagheid tevens een low-pass effect hebben. Snelle korte stoorimpulsen die door het vonken veroorzaakt worden, worden zo van de besturing weggehouden. Verder is het inbouwen in een gesloten, geleidende kast een goede afscherming tegen storingen.

4.2.1 De stappenmotor interface

De stappenmotoren worden door twee lijnen gestuurd. Beide lijnen worden via een optocoupler naar buiten gevoerd. De uitgang van de 8255 wordt via een AND gebufferd. Hierdoor wordt de LED van de optocoupler gestuurd. De fotonenstroom brengt de FET in geleiding waardoor de ingang van het stappenmotor circuit aan aarde (logisch 0) gelegd wordt. Een pull-up weerstand in dit circuit zorgt voor de definitie van het logisch 1-niveau als de FET gesperd staat.

De positieve flank van een puls op de STEP-lijn laat de stappenmotor een stap maken. Dit komt overeen met een verplaatsing van de kruistafel over een afstand van van 2um. Een logische 1 op de DIR lijn laat de stappenmotor rechts-om stappen, een logische 0 links-om. Dit komt overeen met een verplaatsing van de kruistafel in positieve



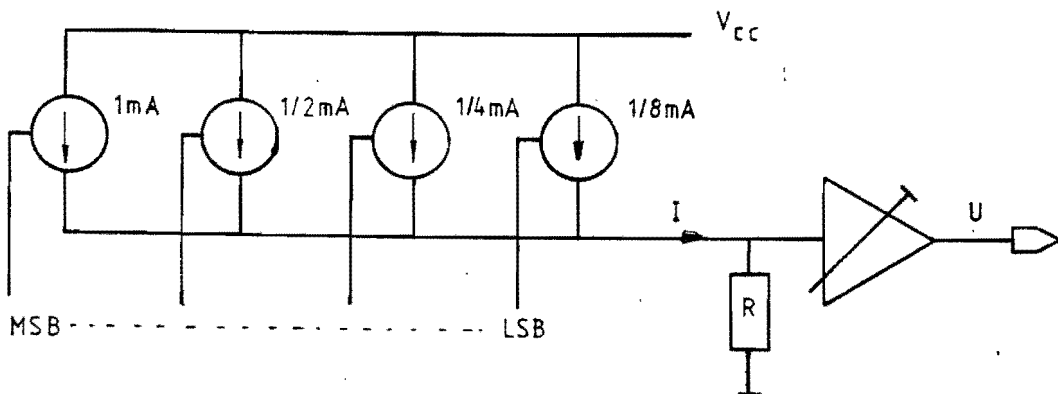
Figuur 4-1 Principeschema interface

resp. negatieve richting. De eigenlijke sturing van de spoelen van de stappenmotor wordt door een stuk van de oude besturing verricht.

4.2.2 De generator sturing

De generator wordt door een variabele pulsgenerator bestuurd. Deze is een stuk van de oude besturing. Door middel van twee stuurspanningen worden $t(i)$ en $t(p)$ ingesteld. Deze spanningen worden met behulp van twee DAC's gemaakt.

De uitgangen van de 8255 worden wederom gebufferd en met een optocoupler vertaald naar het 15 V spannings-niveau. Voor de aansturing van de DAC staan 8 lijnen ter beschikking, waardoor een oplossend vermogen van 255 stappen wordt verkregen. De DAC levert in principe alleen stroom. Deze stroom wordt door een weerstand naar aarde vertaald in een spanning, welke door een snelle OPAMP versterkt en gebufferd wordt. De versterking en de nulpuntscorrectie zijn regelbaar uitgevoerd (10-slags potentiometer) om het gewenste variatie bereik van de pulsgenerator te kunnen instellen.



Figuur 4-2 Functieprincipe Digitaal Analooq Converter

Voor de pulsherhalings frequentie ($t(p)$) is een spanning van 0-15 V nodig, voor de pulsduur ($t(i)$) een spanning van 0-5 V (maximaal!). De twee spanningen kunnen niet onafhankelijk van elkaar ingesteld worden, doordat de voeding van de generator maar een bepaald vermogen kan leveren. De beveiliging tegen een te hoge stroom dient softwarematig uitgevoerd te worden. In grafiek 4-3 is af te lezen welke combinatie van stuurwoorden voor $V(t(i))$ en $V(t(p))$ resulteren in een generator stroom van 2 A. Een nog niet opgelost probleem is het afslaan van de pulsgenerator bij $V(t(p)) < 7$ V.

De pulsgenerator kan ook volledig uitgeschakeld worden. Hiervoor dient het signaal 0EV. Een logische 0 op deze lijn zet de generator in werking. Een logische 1 stopt de pulsgenerator waardoor ook de hoogspannings generator gestopt wordt. Op deze blijft echter spanning staan!!

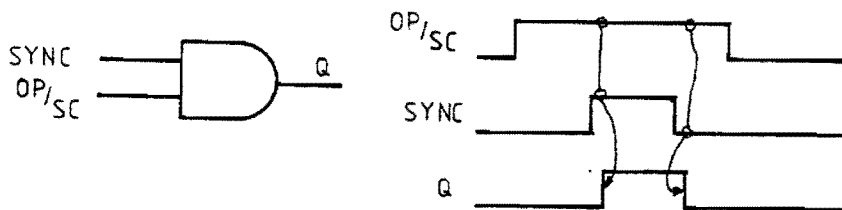
4.2.3 De pulsanalyse uitlezing

Als regeltechnische grootheid is het verspaningsrendement van het proces opgenomen. Dit rendement wordt bepaald door het aantal pulsen die geen verspanende werking hebben. In de besturing is een pulsanalysator opgenomen die per puls de volgende informatie levert:

- erosie
- kortsluiting
- open spleet (geen vonk)

Het is natuurlijk mogelijk om deze pulsen met de micro-computer te tellen, de hoge herhalingsfrequentie (tot 500 kHz) maakt echter dat de computer dan geen tijd meer heeft voor de andere besturings-taken. In de pulsanalyse uitlezing worden daarom per 255 pulsen het aantal kortsluitings en open pulsen geteld.

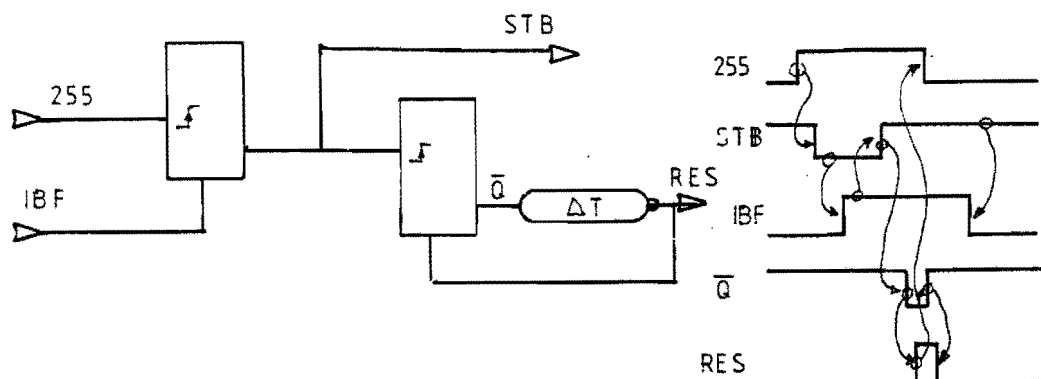
De hoeveelheid pulsen wordt geteld door een 8-bits teller die door de pulsgenerator ge"clock"d wordt. Deze clock pulsen zijn op de lijn SYNC te vinden. Een digitale pulsanalysator geeft per puls een logische 1 op de lijnen SC of OP al naar gelang de detectie van kortsluiting of open-puls. De logische EN-functie van SYNC en SC resp. OP maakt het clock signaal voor de tellers van kortsluitingen en open-pulsen. Zodra de pulsteller 255 pulsen heeft



Figuur 4-4 Synchronisatie pulsanalyse tellers

geteld wordt het signaal STEA en STEB actief (laag). Hierdoor wordt de data in de kortsluit- en open-pulsen tellers door de input-poort van de 8255 overgenomen. Als antwoord hierop zal de 8255 het signaal IBFA en IBFB geven. De aanwezigheid van deze beide signalen betekent dat alle data over is genomen. Nu kunnen alle tellers ge"reset" worden en kan een nieuwe telcyclus starten.

De logica is in verband met het grote aantal verbindingen met de 8255 uitgevoerd in LOCMOS op 5 V voedingsspanning, de scheiding naar de machine vindt plaats in de lijnen SYNC, SC en OP die van een optocoupler voorzien



Figuur 4-5 Handshake protocol pulsanalyse tellers zijn.

4.2.4 De machine interrupt interface

Door de machine worden in geval van problemen een aantal nood- en eind-schakelaars bediend, te weten

- eindschakelaar x- en y- richting
- draadbreuk schakelaar

Doordat deze schakelaars ook een aantal directe functies in de machine hebben, worden deze signalen ook via optocouplers aan de logica gekoppeld. De signalen worden met een logische OF gecombineerd en genereren een interrupt. Doordat al deze noodsituaties een ingrijpen van buitenaf noodzakelijk maken is het niet nodig om voor elke schakelaar een aparte interrupt te genereren.

De beveiliging van de machine is van dubbele aard, bij het bereiken van een eindschakelaar wordt de voedingsspanning van de stappenmotoren onderbroken, bij draadbreuk wordt de generator stopgezet. Een intelligentere afhandeling van deze noodsituaties is met behulp van een stuk software te bereiken.

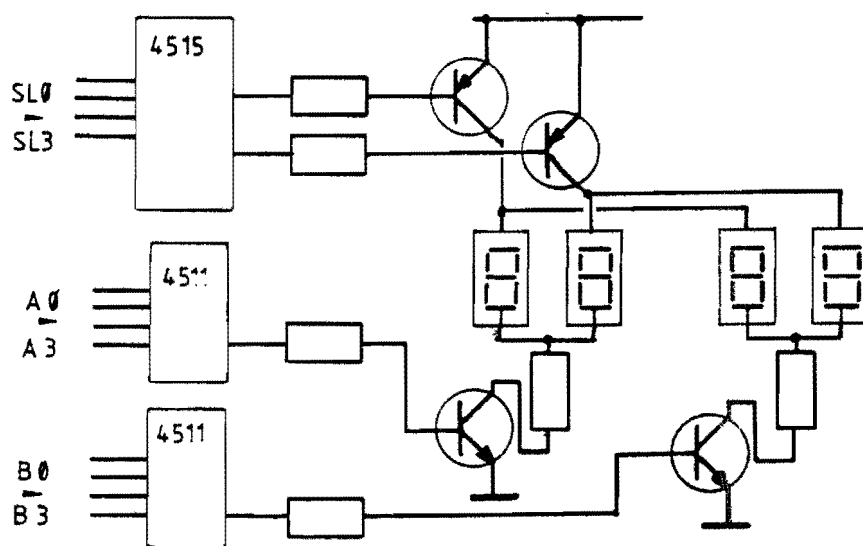
4.3 De keyboard display interface

Op de SEC staat een keyboard-display (KED)-controller ter beschikking, echter zonder een interface naar de buitenwereld. Door het universele karakter van deze KED-controller is besloten om een universele keyboard/display-driver interface te ontwerpen. Deze interface kan dan samen met de micro-computer print als basis-systeem voor om het even welke besturing gebruikt worden. De interface print bevat alle benodigde stuurtransistoren, decoders en demultiplexers voor een 32-tal 7-segments displays en een toetsenbord van $(8 \times 8) = 64$ toetsen.

Om het energieverbruik te minimaliseren en de stoorgevoeligheid te verlagen zijn hier LOCMOS-IC's gebruikt op 5 V voedingsspanning.

4.3.1 De display sturing

De KED-controller geeft op de lijnen A0-A3 en B0-B3 de uit te lezen data en op de lijnen SL0-SL3 het nummer van het display waarvoor deze data geldt. Hiermee zijn 16 display's te sturen. Door een demultiplexer (4515) en de daarop volgende stuurtransistor wordt de anode van het gekozen display aan +15 V gehangen. De data op de lijnen A0-A3 stuurt een BCD-7segments decoder (4511), de uitgangen daarvan leggen de kathode van het betreffende display segment via een schakeltransistor aan aarde. Dit gebeurt tegelijkertijd voor alle display's. Met de lijnen B0-B3 gebeurt het zelfde, ook hierdoor wordt een displaygroep van 16 display's van data voorzien. Hierdoor zullen de van



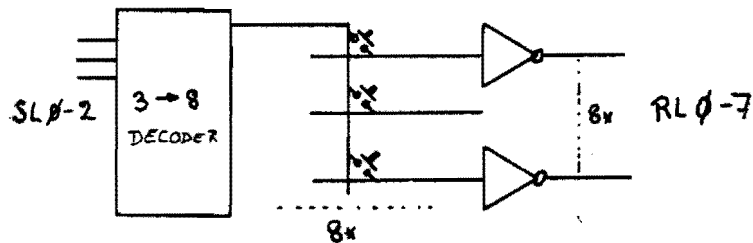
Figuur 4-6 Principeschema displaysturing

voedingsspanning voorziene display's oplichten, de andere display's blijven gedoofd. Op deze wijze kunnen in totaal 32 display's gestuurd worden waarvan er door het multiplexen ten allen tijde slechts twee branden.

Vermeldt dient te worden dat de micro-computer het display met slechts 16 woorden van 8 (2*4) bits stuurt. Dit is voor het programmeren slechts een klein probleem, er moet echter wel aan gedacht worden. (Ongewenste verandering van het corresponderende display van de andere groep is anders het gevolg).

4.3.2 De keyboard sturing

Zoals met de lijnen SL0 t/m SL3 het te activeren display gekozen kan worden (met hulp van een demultiplexer) kan dit, zij het dan met een lijn minder, ook bij een toetsenbord gebeuren. De toetsen worden in een 8*8 matrix geplaatst en verbinden steeds een horizontale en een verticale lijn. De 8 uit 3 demultiplexer maakt aan de hand van



Figuur 4-8 Principeschema keyboardsturing

zijn ingangs-data steeds een uitgangs-lijn hoog. Wordt er langs deze lijn een schakelaar gesloten dan zal de corresponderende Return-Lijn (RL0-RL8) hoog, na de inverter laag worden. De rusttoestand wordt door een weerstand naar aarde bepaald.

Doordat de scan-counter in de KED-controller met vrij hoge frequentie telt, wordt het toetsenbord snel bekeken. Denderende toetsen worden pas als ingedrukt gewaardeerd als ze gedurende een aantal opeenvolgende scan's als gesloten

gedetecteerd worden.. Hierdoor is het mogelijk om een grote verscheidenheid aan schakelaars te gebruiken. Met de lijnen SHIFT en CTRL kunnen de coderingsmogelijkheden per toets tot maximaal 4 uitgebreid worden. Ook in dit gedeelte van de schakeling is 5 V LOCMOS toegepast om de stoorgevoeligheid zo laag mogelijk te houden.

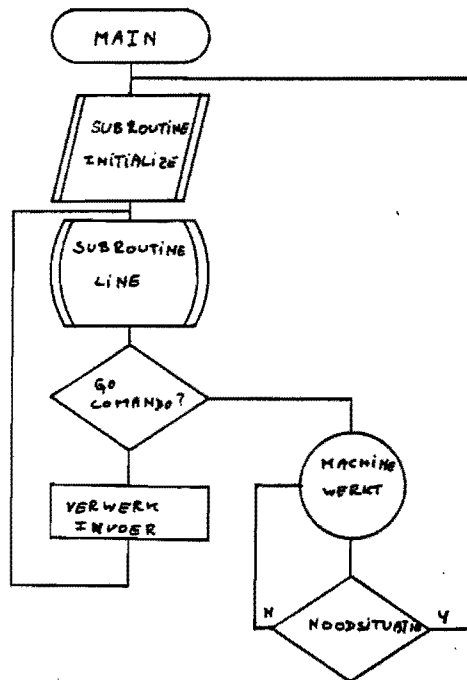
5 DE SOFTWARE

Bij het schrijven van de software is getracht zo modulair mogelijk te werken. Elk programma bestaat uit een hoofdblok, dat niets anders is dan verbindende instructies tussen onderblokken. Deze onderblokken roepen op hun beurt weer onderblokken aan en zo verder. Deze opbouw vereenvoudigt het schrijven en het testen van de software. Een eenmaal getest blok vormt de basis voor het volgende hogere niveau. Is een onderblok eenmaal getest dan zullen eventuele fouten altijd terug te voeren zijn op fouten in het niveau waaraan gewerkt wordt.

Het feit dat dit programma een machine bestuurt stelt bijzondere eisen wat betreft het reactie vermogen en de reactiesnelheid van dit programma. Enige processen zijn tijdsafhankelijk en dienen dus op het juiste moment afgewerkt te worden. Om hieraan tegemoet te komen, wordt gebruik gemaakt van interrupts. Dit betekent dat de micro-computer, direct na ontvangst van een interrupt-sigitaal, het adres van de interruptroutine bij de interrupt-controller opvraagt, deze interruptroutine uitvoert en daarna terug keert naar de plaats waar hij werd onderbroken. Hierdoor worden tijdsafhankelijke handelingen onafhankelijk van het regelen en reken-programma uitgevoerd.

5.1 Het hoofdprogramma

Het hoofdprogramma is op dit moment het hoogste programma niveau. Dit programma verzorgt de initialisatie van de machine en haalt waarden binnen voor plaats, nieuwe plaats, $t(i)$, $t(p)$ en snijsnelheid. Na ontvangst van deze waarden worden de timers en de machine gestart. Deze routine is nog in ontwikkeling. Voor een overzicht van dit programma zie flowchart 1. De onderrountines waarvan deze routine gebruik maakt zijn getest en gebruikt. Bij al deze routines wordt er echter van uitgegaan dat de gebruiker een terminal gebruikt voor gegevensinvoer. De KED-controller wordt nog niet gebruikt.



Figuur 5-1 Flowchart 1 MAIN

5.1.1 De initialisatie

De initialisatie-routine heeft tot taak om de nodige voorbereidingen voor het hoofdprogramma te treffen. Het betreft hier het definiëren van in- en uitvoer en het initialiseren van geheugen gebieden.

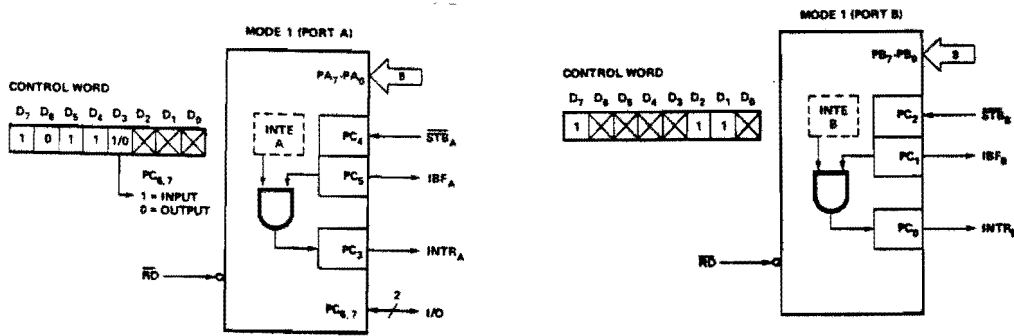
1> De parallele in en uitvoer (2*8255)

Deze IC's dienen zo geprogrammeerd te worden dat de juiste lijnen als in- dan wel uitvoerlijn werken. De hardware van de SBC is zo opgebouwd dat het schrijven naar of lezen van een poort overeenkomt met deze handelingen in het geheugen. Een poort is in principe een geheugenplaats. In tabel 5-1 is opgenomen welk adres overeenkomt met welke poortnaam en de functie van deze poort. De namen van deze poorten zijn gedefinieerd in het MICROSIM segment OUT.

Na de initialisatie van de poorten wordt $V(t(i))$ en $V(t(p))$ op 0 gezet en wordt de pulsgenerator uit gezet. Tevens wordt de handshake logica uitgeschakeld. (INTE A, INTE B = 0)

Adr.	Naam	I/O	Functie
4020	PORT2A	OUT	V(t(i))
4021	PORT2B	OUT	V(t(p))
4022	PORT2C	OUT	OEV, Xdir, Xpul, Ydir, Ypul
4023	CPORT2		Bit set/reset, Portcontrol
4030	PORT3A	IN	SC-counter
4031	PORT3B	IN	OP-counter
4032	PORT3C	I/O	Handshake, counter reset
4033	CPORT3		Bit set/reset, Portcontrol

Figuur 5-2 Definitie I/O ports



Figuur 5-3

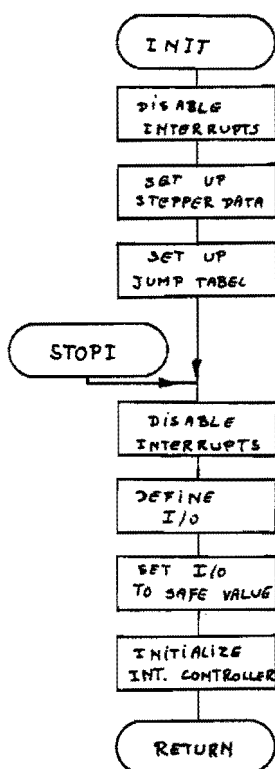
2> De interrupt controller

De interruptcontroller moet dusdanig geprogrammeerd worden dat hij als interruptsprongtabel het gebied van 3FEDH tot 3FFFH heeft. Bij een interrupt zal de controller een van de sprongen in deze tabel aanwijzen. De processor zal deze sprong dan uitvoeren. De sprongen heten IOAD t/m I7AD en bevinden zich in het segment STACK.

De resterende hardware wordt pas bij gebruik geïnitieerd. De timer wordt gedeeltelijk door het monitor-programma geïnitieerd (timer 2 voor baudrate van de seriële I/O) de rest wordt door de stappenmotorroutine gedaan. De KED-controller wordt nog niet gebruikt. De seriële I/O wordt door het monitorprogramma geïnitieerd.

Een aantal datagebieden moeten ook op een startwaarde gezet worden. Dit gebeurt door een copie te maken van een startwaarde tabel uit de initialisatie-routine.

Het resultaat van deze initialisatie is dat de machine in een veilige stand-by status staat. Deze routine wordt nu ook als noodroutine gebruikt. Dit kan omdat de datagebieden eerst gecopieerd worden en daarna pas de uitgangen veranderd worden. Zie flowchart 2.



Figuur 5-4 Flowchart 2 INIT

5.1.2 Het ophalen van de waarden

Deze routine bestaat nog niet als hoofdroutine. Onder-routines hiervoor zijn LINE, GNUMHX, GETNUM, GNUMCI, NORMAL en SKIP. Deze routines maken gebruik van de mogelijkheid om de in en uitvoerstroom voor het monitor programma te veranderen. Op CIADR en COADR in segment STACK staan de adressen van de in- resp. uitvoerroutines. Bij normaal gebruik van het monitorprogramma wordt een binnenkomend teken meteen verwerkt. De commandoinvoer routine plaatst nu echter alle tekens in een buffer en gaat pas bij afsluiting van een commandoregel over tot de verwerking van de invoer.

De routine LINE

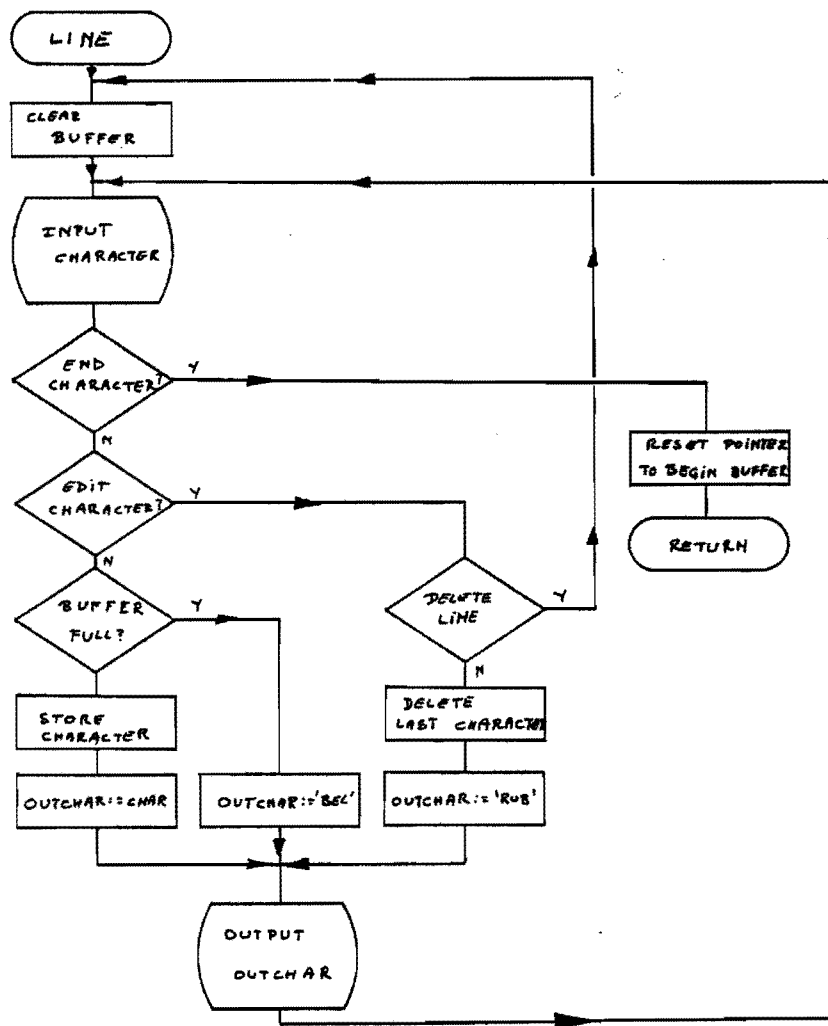
Deze routine maakt het mogelijk om een regel commando's te typen en te corrigeren voordat het programma iets met deze commando's doet. Pas een regelafsluit-teken veroorzaakt verwerking van de commando's. De maximale regellengte is 64 tekens, er staan 4 tekens ter beschikking om de regel te corrigeren en 2 tekens om de regel af te sluiten. (zie flowchart 3) De aldus gegeven invoer staat in een invoer buffer (BPTR.DATA) en kan door de routines van de commandoverwerking opgehaald en gebruikt worden.

De routine NORMAL

De routine NORMAL maakt uit alle kleine letters hoofdletters om in de commandoverwerking geen problemen te krijgen. (zie flowchart 4)

De routines GETNUM en GNUMHX

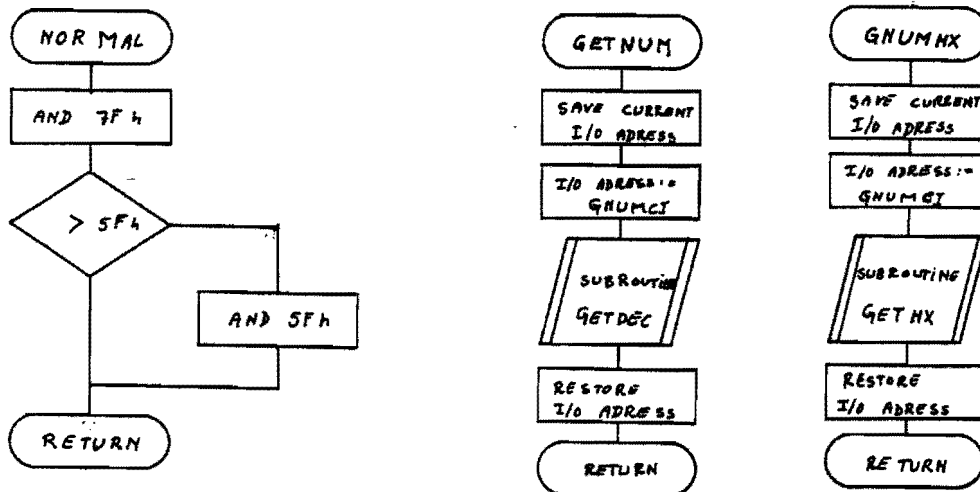
De routines GETNUM en GNUMHX maken gebruik van de routines GETDEC en GETHX uit het monitorprogramma. Deze routines interpreteren de tekens uit de invoerstroom als een decimaal resp. hexadecimaal getal. De waarde van dit getal wordt aan de aanroepende routine teruggegeven en de bufferpointer wordt op het eerste teken na het getal geplaatst. Het gebruik van de routines van het monitorprogramma vereist een routine die de invoer regelt. (zie flowcharts 5 en 6)



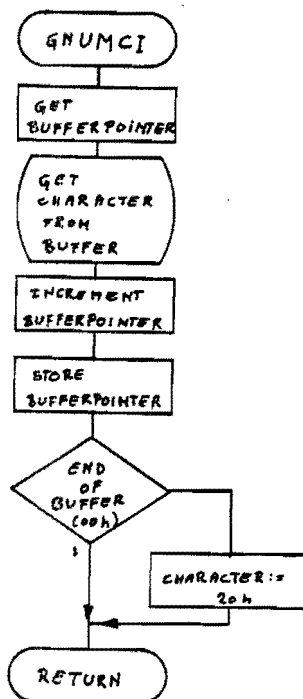
Figuur 5-5 Flowchart 3 LINE

De routine GNUMCI

De routine GNUMCI haalt steeds een teken uit de invoerbuffer en biedt dat aan de aanroepende routine aan. De bufferpointer wordt op het volgende teken gezet. Indien het opgehaalde teken het einde van de invoer is (00H) dan wordt een spatie (20H) teruggegeven aan het aanroepende programma. (zie flowchart 7)



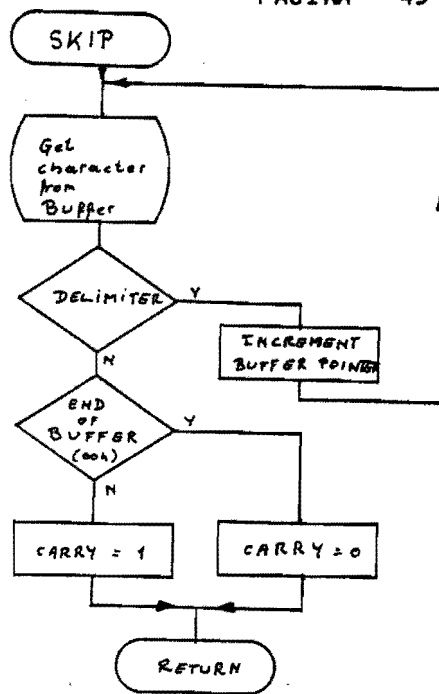
Figuur 5-6 Flowcharts 4,5,6 NORMAL GETNUM GNUMHX



Figuur 5-7 Flowchart 7 GNUMCI

De routine SKIP

De routine SKIP wordt gebruikt om spaties en scheidingstekens in de invoerbuffer over te slaan. Hiertoe wordt de bufferpointer net zo lang verder geschoven totdat het aangewezen teken geen spatie of scheidingsteken is. Mocht hierdoor het einde van de invoer bereikt worden dan wordt dit door de Carry-flag aangeduid. (carry = 0: einde buffer) (zie flowchart 8)

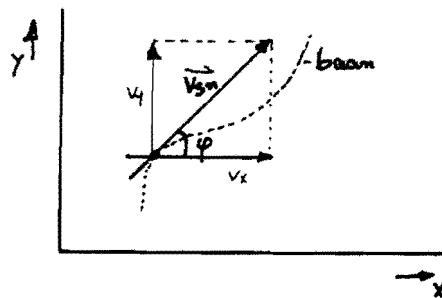


Figuur 5-8 Flowchart 8 SKIP

5.2 Het rekenprogramma

Aan de routine die de stappenmotoren aanstuurt moet een snelheid worden aangeboden. Deze snelheid bepaalt de richting en snelheid van beweging van de tafel in de door die stappenmotor aangedreven richting. Wil men een contour met een vaste snijsnelheid doorlopen dan moet de snijsnelheid in haar componenten langs de assen van beweging uitgesplitst worden.

Voor het uitsplitsen in componenten langs de assen is de hoek van de baan met een van de assen nodig. Volgens standaard conventie wordt hiervoor de hoek met de x-as gebruikt. De hoek wordt dan als volgt gedefinieerd:



Figuur 5-9 Vectorontbinding

$$\arctan \frac{\Delta y}{\Delta x} = \alpha$$

Hieruit blijkt ook meteen het digitale (discontinue) karakter van deze baanberekeningen. De componenten langs de assen zijn

dan:

$$v(x) = v(\text{snij}) * \cos \alpha$$

$$v(y) = v(\text{snij}) * \sin \alpha$$

Doordat de micro-computer deze trigonometrische berekeningen niet kan uitvoeren moeten de waarden met een reeksontwikkeling benaderd worden. Bij maximale snijsnelheid staat voor deze berekening de tijd tussen twee stappen ter beschikking, indien men per stap de raaklijn aan de baan van hoek wil laten veranderen. De beschikbare tijd is in het ongunstigste geval 30 us. Gezien het feit dat de processor alle berekeningen moet opbouwen uit optellen en aftrekken, terwijl met enige moeite ook vermenigvuldigingen met en delingen door machten van twee mogelijk zijn, duurt een reeksontwikkeling te lang. Zeker doordat drie reeksontwikkelingen (arctan, sin, cos) nodig zijn moest er gezocht worden naar een andere oplossing.

Door de baan op te splitsen in een aantal punten en deze punten te verbinden met verplaatsingsvectoren is een snellere berekening van de voor de stappenmotoren benodigde snelheid mogelijk.

$$\cos \alpha = \frac{\Delta x}{(\Delta x^2 + \Delta y^2)^{1/2}}$$

$$\sin \alpha = \frac{\Delta y}{(\Delta x^2 + \Delta y^2)^{1/2}}$$

Hierdoor wordt de totale formule voor het uitsplitsen van de snelheid in haar componenten langs de assen:

$$v(x) = \frac{\Delta x * v(\text{snij})}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}$$

$$v(y) = \frac{\Delta y * v(\text{snij})}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}$$

Hierdoor is de gehele berekening gereduceerd tot optellen, aftrekken, vermenigvuldigen (herhaald optellen), delen (herhaald aftrekken) en worteltrekken. De nu enige nog wat moeilijkere bewerking is worteltrekken. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de iteratie-methode van Newton-Raphson:

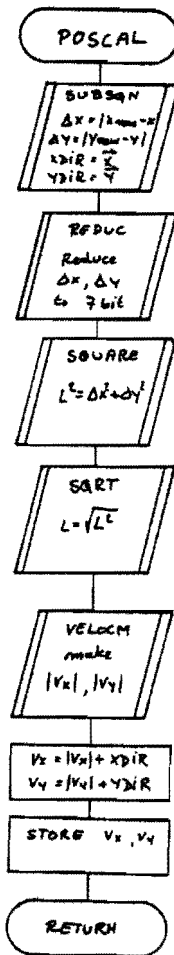
```
begin
x:=n;
xnew:= (n+1)/2;
do while x <> xnew
  begin
    x:=xnew;
    xnew:=(n/x +x+1)/2
  end
end.
```

Hierin is n het getal waaruit de wortel getrokken dient te worden en is x de gezochte wortel. Het optellen van 1 bij de bewerkingen waarin een deling voorkomt is gedaan omdat de berekeningen met gehele getallen uitgevoerd worden. Hierdoor wordt vermeden dat een eindeloze lus gevormd wordt. Dit kan het geval zijn indien de gezochte wortel halverwege tussen twee gehele getallen ligt.

Alle getallen worden als 16 bits grootte berekend. Hierbij wordt bij lengte alles in micrometers uitgedrukt, bij snelheid alles in veelvoud van 252,6 nm/sec. Het werkstuk kan daarmee een afmeting hebben van max. 65 * 65 mm, de snij-snelheid ligt tussen 15.75 μ m/min en 2 mm/min. Door software wijzigingen zijn deze waarden echter met gemak aan andere eisen aan te passen.

5.2.1 De routine POSCAL

De routine POSCAL is de stuurroutine van alle berekeningen. Deze routine maakt gebruik van de verschillende rekenroutines en zet het antwoord in de geheugenplaats XVELOC en YVELOC waar de stappenmotorroutine de snelheid verwacht. Berekend worden achtereenvolgens de verplaatsingsvector, zijn lengte, de snelheid langs de as van beweging en de richting van de snelheid langs deze as. (zie flowchart 9)

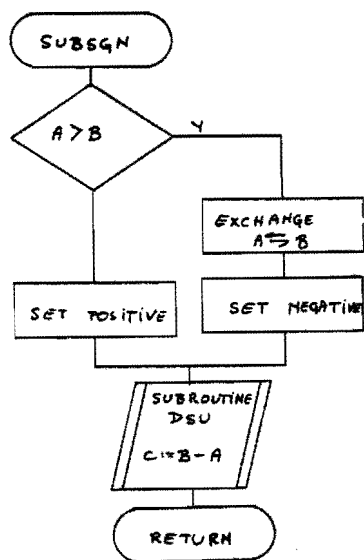


Figuur 5-10 Flowchart 9 POSCAL

Deze routine maakt gebruik van de volgende onderoutines

Routine SUBSGN

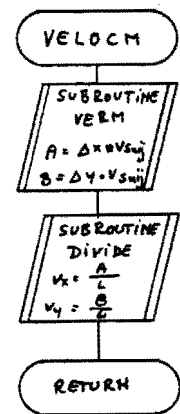
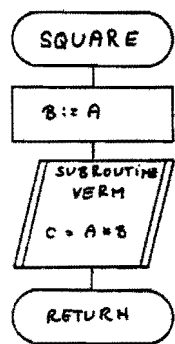
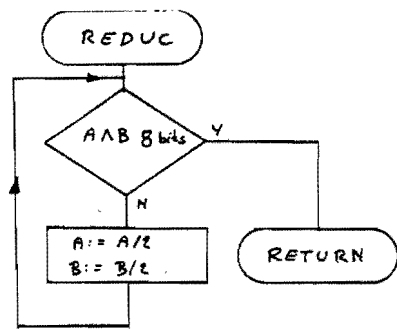
De routine SUBSGN bepaalt de absolute waarde van het verschil tussen twee getallen en geeft aan welk van de twee getallen groter is. (zie flowchart 10)



Figuur 5-11 Flowchart 10 SUBSGN

Routine REDUC, REDUC2

De routine REDUC reduceert een getal van max. 16 bits naar een getal van 8 bits. Dit wordt gedaan omdat er toch maar met eindige nauwkeurigheid gewerkt kan worden. De "plaatsen achter de komma" worden hiermee verwaarloosd. (zie flowchart 11)



Figuur 5-12 Flowcharts 11,12,13 REDUC SQUARE VELOCM

Routine SQUARE

De routine SQUARE berekend het kwadraat van het opgegeven getal. Hiertoe wordt de routine VERM gebruikt. (Zie flowchart 12).

Routine VELOCM

De routine VELOCM is de belangrijkste routine in de berekeningen. Hierin wordt $v(x)$ en $v(y)$ uit de losse gegevens berekend. Deze routine heeft op haar beurt een aantal onderoutines die de berekeningen uitvoeren. (zie flowchart 13)

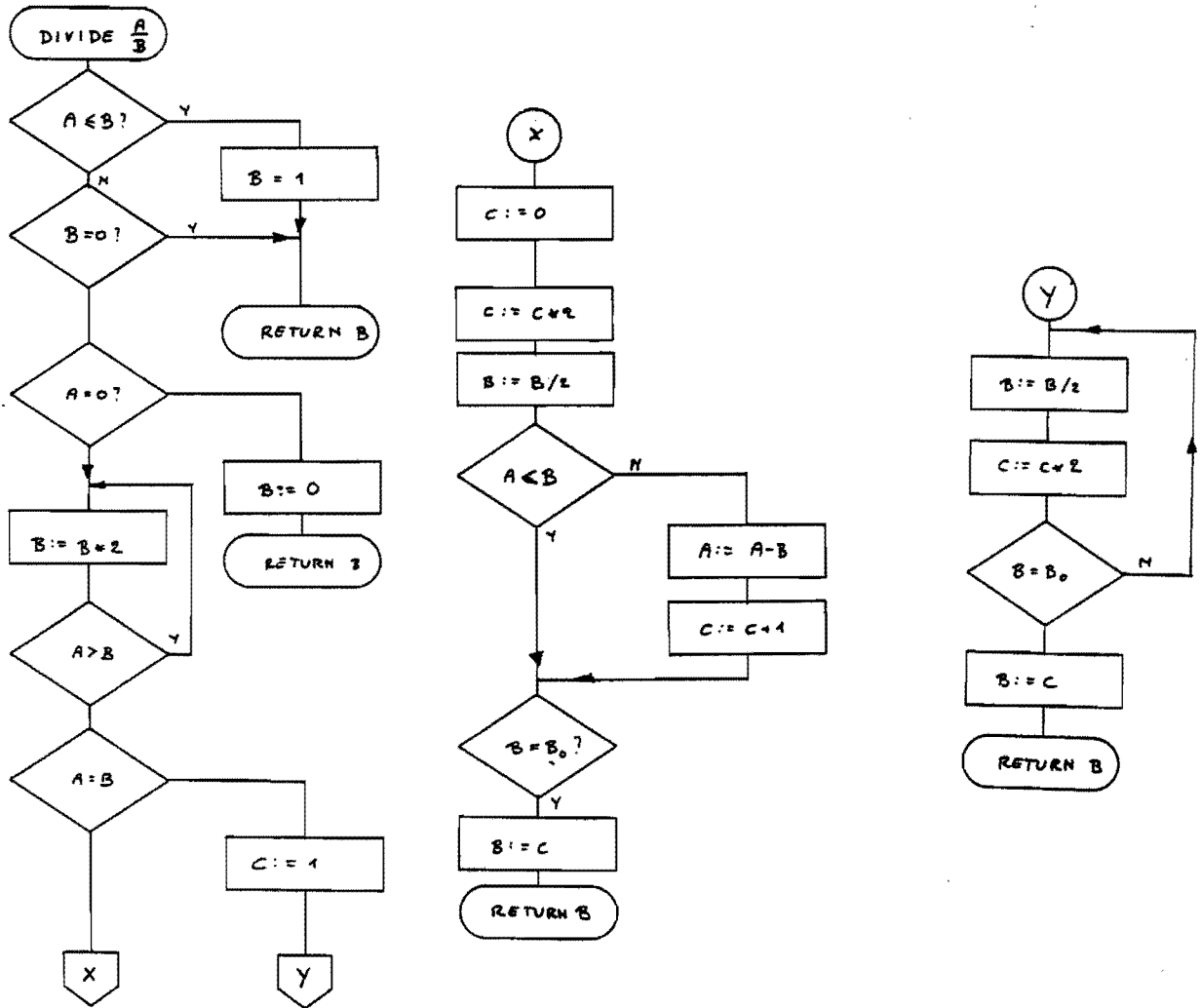
Routine VERM

De routine VERM voert de vermenigvuldiging van twee 8 bits getallen uit. Het antwoord is een 16 bits getal. Deze routine is geschreven door een TH-student <lit 2> en wordt hier zonder grote wijzigingen gebruikt. Verbeteringen in deze routine zijn nog mogelijk maar niet noodzakelijk. Deze routine wordt zonder verder commentaar gebruikt.

Routine DIVIDE

De routine DIVIDE deelt twee 16 bits getallen op elkaar. Het antwoord is een 16 bits getal. Aangezien er sprake is van gehele deling moet de noemer zo mogelijk groter zijn dan de teller. Indien de noemer kleiner is dan de teller is het antwoord 1, indien teller of noemer 0 zijn is het antwoord ook 0. Om zo snel mogelijk te werken, wordt in deze routine niet gewoon herhaald afgetrokken, maar wordt de teller net zo lang met twee vermenigvuldigd totdat hij groter is dan de noemer. Door nu herhaald door twee te delen en zodra de noemer kleiner is dan de teller, de noemer van de teller af te trekken is een snelle deling mogelijk. (zie flowchart 14)

Voor de verdere verwerking van de gegevens zijn nog een aantal kleinere routines geschreven die wat heen en weer goochelen met getallen. Een uitgebreide beschrijving van deze routines lijkt hier door hun onbelangrijkheid niet op z'n plaats.



Figuur 5-13 Flowchart 14 DIVIDE

5.3 De interrupt-routines

De interrupt-routines vormen een zelfstandig geheel binnen de programmatuur van deze besturing. Het zijn routines die de hardware aansturen op het moment dat ze van buitenaf geactiveerd worden. Dit kan zijn door de timer (stappermotor routine), door het indrukken van een toets (KBD-controller routine),

ne), door het ontvangen van een noodstop of het indrukken van een eindschakelaar.

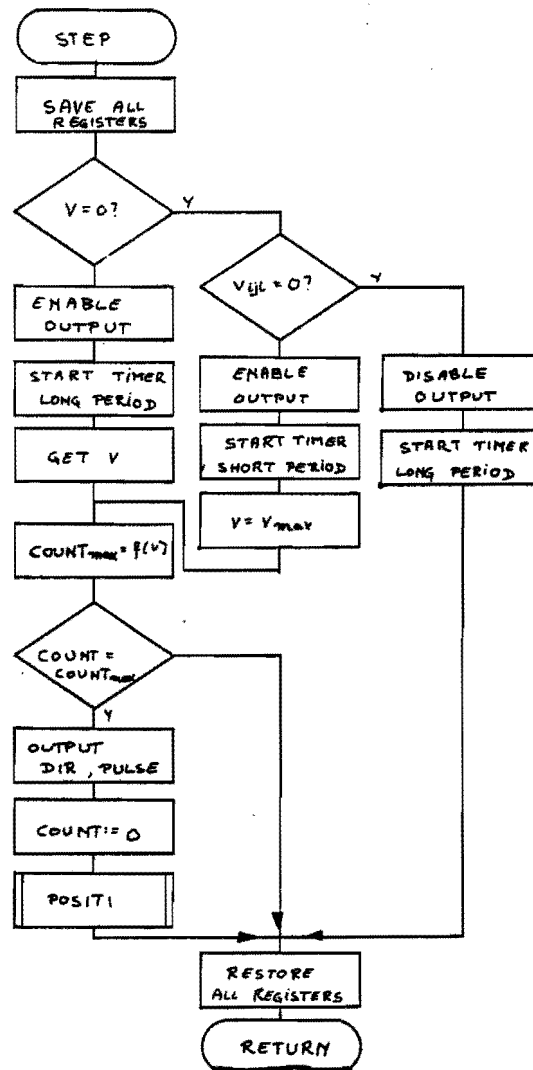
Slechts een van deze routines is volledig uitgewerkt, voor de anderen werden of andere routines gebruikt of werd bij gebrek aan hardware de interrupt niet gebruikt, waardoor ook geen routine voor deze interrupt nodig was.

5.3.1 De stappemotor routine

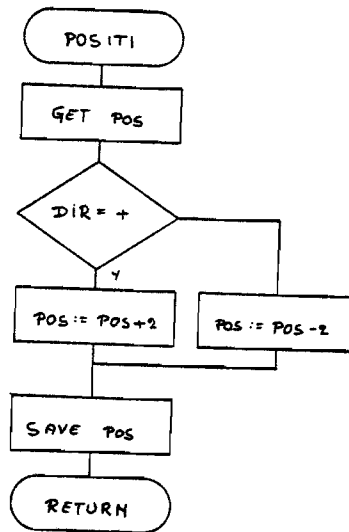
De uitgewerkte routine is de stappemotor stuur-routine die op de timer-interrupt reageert. Aangezien we met twee stappemotoren te maken hebben, die onafhankelijk van elkaar moeten kunnen lopen worden twee timers gebruikt die twee verschillende interrupts genereren. Dit zou ook twee interrupt-routines vereisen, die echter in principe het zelfde doen. Gekozen werd voor het schrijven van een routine die twee ingangen heeft. De ingang bepaalt welk geheugen gebied gebruikt wordt, hetgeen resulteert in een routine met twee geheugen gebieden waarin de voor de stappemotor geldende variabelen staan. (zie flowchart 15 en tabel 5-2)

Routine POSITI

De routine POSITI berekent elke keer dat er een stap gemaakt wordt de nieuwe plaats van de draad. Hierbij wordt er van uitgegaan dat de motor ook inderdaad op de puls reageert. Hiertegen is zo snel geen beveiliging te bedenken. Zou men een bredere tafel willen gebruiken dan kan men in eerste instantie stappen in plaats van micrometers tellen. Dit geeft een tafel van 130 * 130 mm.



Figuur 5-14 Flowchart 15 STEP



Figuur 5-15 Flowchart 16 POSITI

5.3.2 De noodstop routine

Voor de noodstop-routine wordt op dit moment de initialisatie-routine gebruikt. Alle waarden van de stappenmotoren blijven behouden, het stilzetten van de machine gebeurt door de uitgangspoorten op een veilige waarde te zetten en de interrupts af te zetten.

5.3.3 De KBD-controller routine

Deze routine moet nog geschreven worden en moet de communicatie via de seriële-kanalen vervangen. Aangezien de KBD-controller op interrupt basis wordt gebruikt, dient bij toepassing ervan ook de noodstop routine gewijzigd te worden.

6 CONCLUSIES EN ADVIESEN

6.1 Het gerealiseerde

Het grootste gedeelte van het afstudeerwerk is besteed aan het ontwerpen en het bouwen van een zo universeel mogelijk besturingssysteem ten behoeve van de draadvorkerosiemachine. Hiervoor is de oude besturing verwijderd en is een begin gemaakt met een besturing rond een nieuwe Single Board Computer (SBC). De mogelijkheden van deze SBC hebben een groot aantal onderdelen van de oude besturing overbodig gemaakt, de rest is vereenvoudigd of aangepast.

6.1.1 De gerealiseerde hardware

Voor de aansluiting van de SBC op de machine is een interface print ontworpen en gebouwd, die de oude stappermotor schakeling en de oude pulsgenerator aanstuurt. Tevens wordt op deze print datacompressie toegepast met behulp van een aantal tellers, die de hoeveelheid open- en kort-sluitpuls per 255 generator pulsen tellen. Hierdoor wordt de processor niet onnodig met data-analyse belast.

Al deze onderdelen zijn gebouwd en getest; de uitlezing van de tellers moet nog op de computer worden aangesloten (een aantal draadbruggen in IC voeten steken). Dit laatste is nog niet gebeurd omdat het zwaartepunt van het werk bij de primaire aansturing van de stappermotoren heeft gelegen.

De voor de beveiliging nodige schakelingen (detectie eindschakelaars en noodstops) zijn op de print opgenomen maar nog niet in gebruik genomen daar in de testfase de oude beveiliging (spanning van betreffend onderdeel uitzetten) voldoende geacht werd.

Voor de communicatie met de gebruiker is een universele keyboard/display interface ontworpen. Deze moet nog bestukt en getest worden.

6.1.2 De gerealiseerde software

Voor de besturing van de machine zijn een groot aantal routines geschreven vooral voor het aansturen van de stappenmotoren. Het is met deze software mogelijk om de draad van een punt naar een willekeurig ander punt te verplaatsen langs een rechte lijn met constante srijnsnelheid. De positionerings nauwkeurigheid is (gezien het digitale karakter van de stappenmotoren) $\pm 1 \mu\text{m}$. De uit de vorkanalyse gewonnen gegevens worden nog niet verwerkt; de gestructureerde opbouw van de software en van het datatransport van de belangrijkste routines onderling, maken het toevoegen van regelroutines redelijk simpel.

6.2 De problemen

De in dit project nog niet opgeloste problemen zijn de storingen op de seriele communicatielijnen tijdens het vorken met gemiddelde strömen $> 1.5 \text{ A}$. Een tweede probleem is het afslaan van de pulsgenerator bij een stuurspanning $V(t(p)) < 6.5 \text{ V}$.

Een punt dat nog even verdere overweging waard is, is het feit dat door de pulsteller een enorme looptijd in het systeem geïntroduceerd wordt. Deze bedraagt:

$$255 * t(p)$$

en is zeker bij lange waarden van $t(p)$ niet te verwaarlozen. Door de lage verspanings-snelheid mag dit echter verder geen regeltechnische problemen opleveren.

6.3 Adviezen

Zodra de laatste storingen zijn opgeheven en de vorkanalyse in gebruik is genomen, kan een begin gemaakt worden met het schrijven van de software voor de verspaningsoptimalisatie. De hierop aansluitende experimenten moeten uitwijzen of de opzet van het systeem universeel genoeg is geweest en in hoeverre verdere aanpassingen nodig zijn. Dit verslag zal hierbij als een handleiding voor het systeem kunnen dienen.

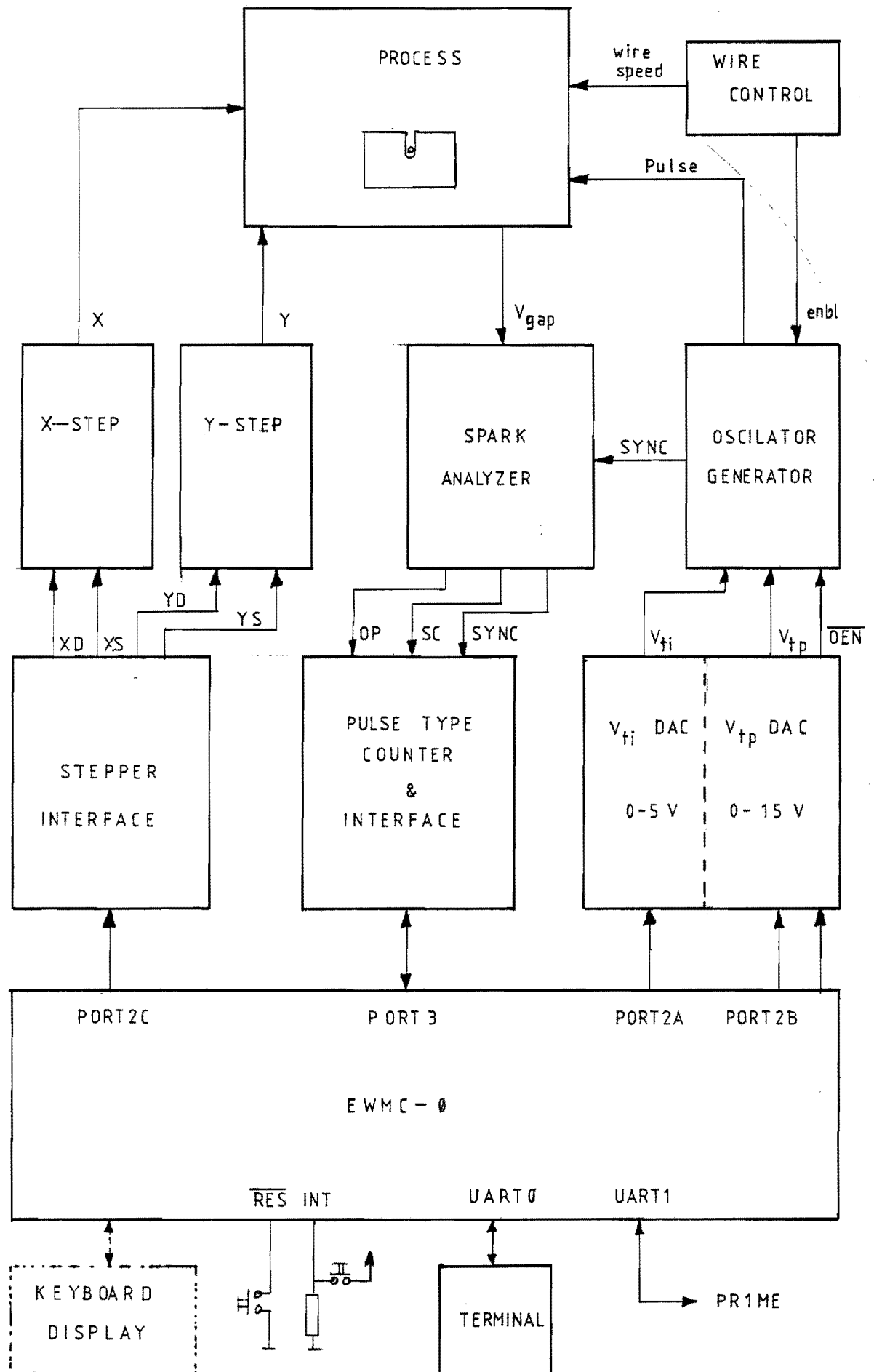
Het is de moeite waard om ook een andere aanpak van de rekenroutines nader te beschouwen. Het betreft hierbij het gebruik maken van tabellen om de waarden voor de sinus en cosinus op te zoeken. Deze methode kan met een tabel van 255 waarden van 8 bits een nauwkeurigheid van 0,5 maar om een momentane richting gaat.

Eindhoven
Mei 1982

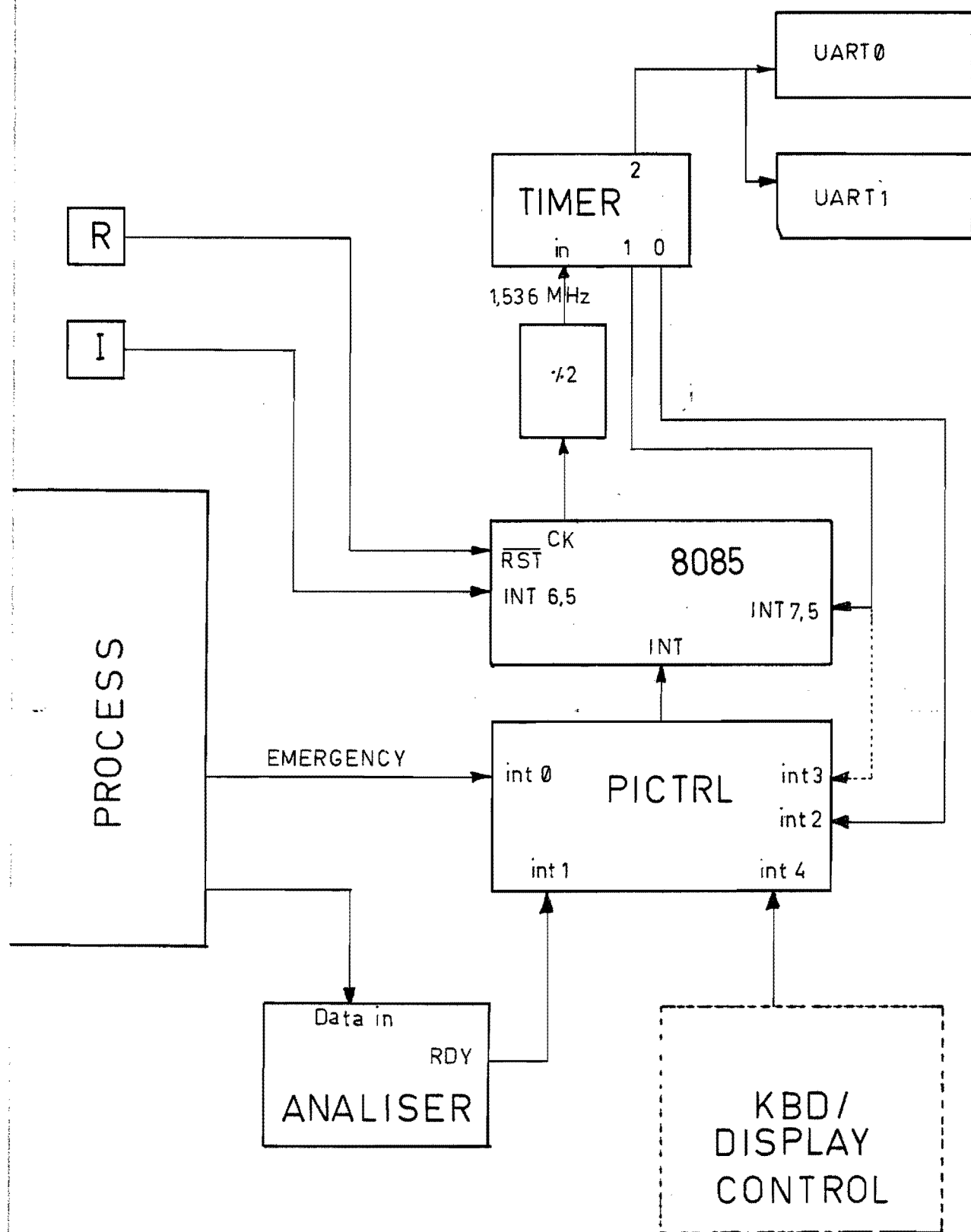
LITERATUURLIJST

LIT1 Fysische en chemische bewerkingsmethoden
Ir. C.J.Heuvelman
diktaatno: 4.015

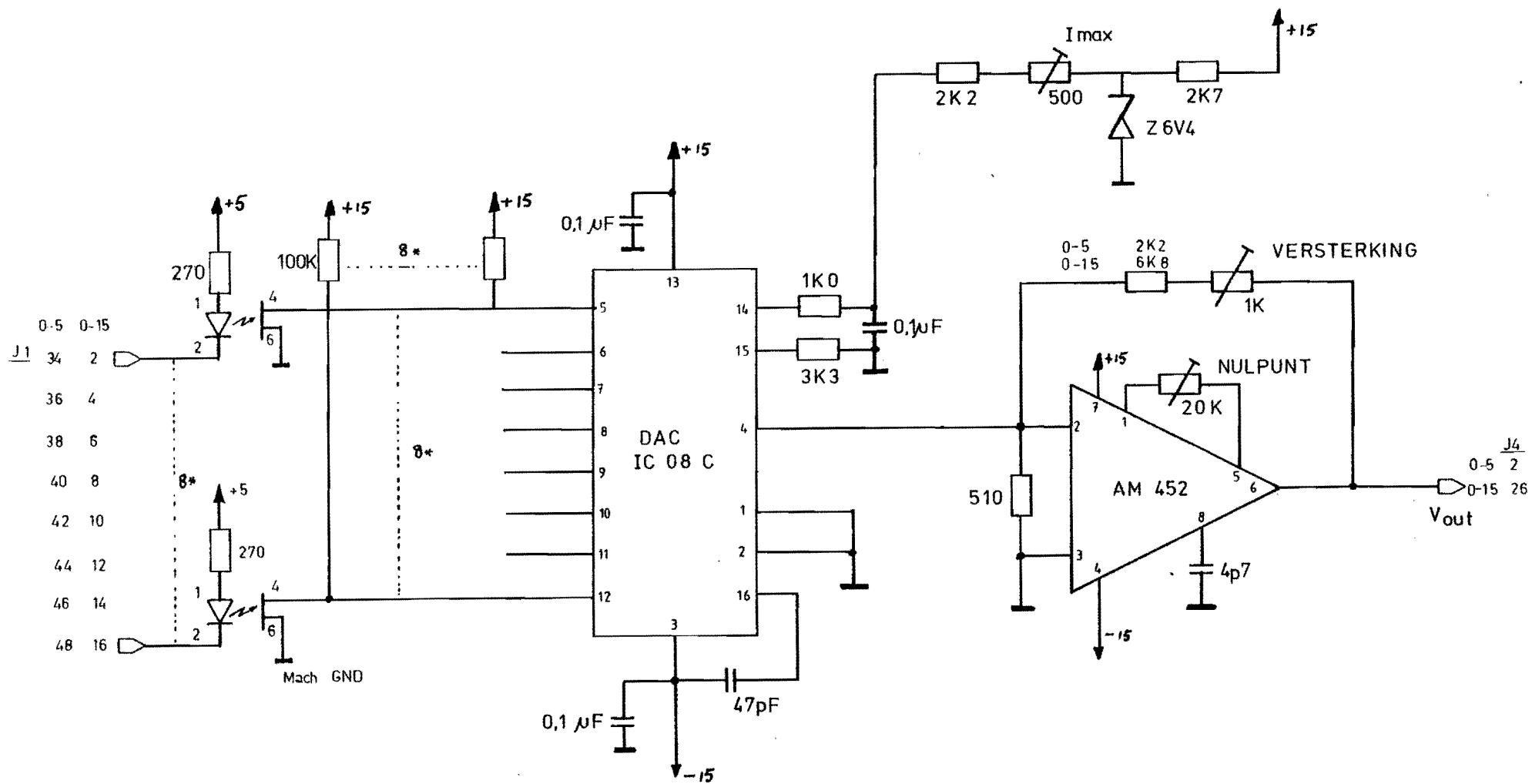
LIT2 Verslag I-1 stage
PID - regelaar software
A.T. Bertens
November 1981

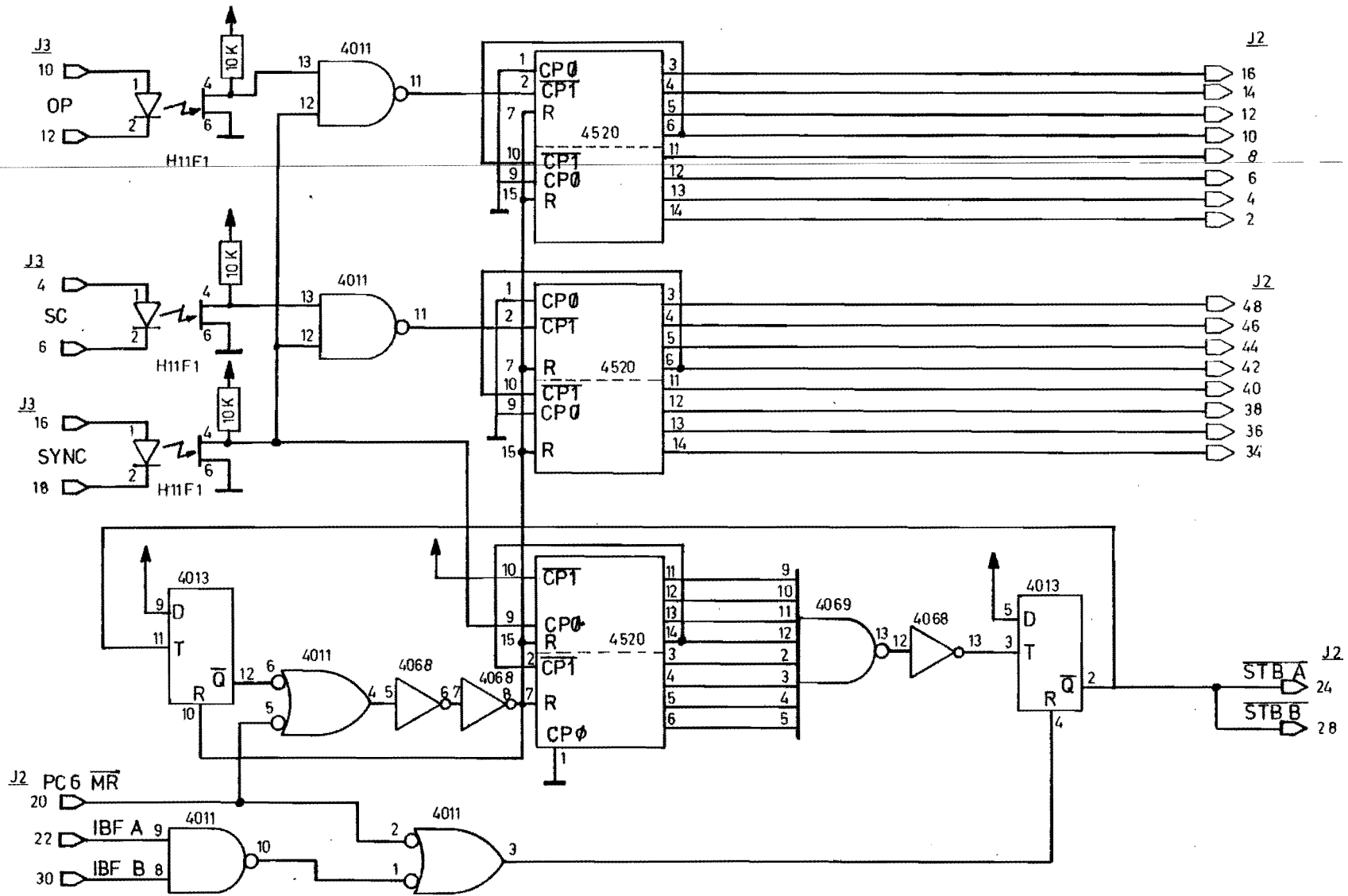


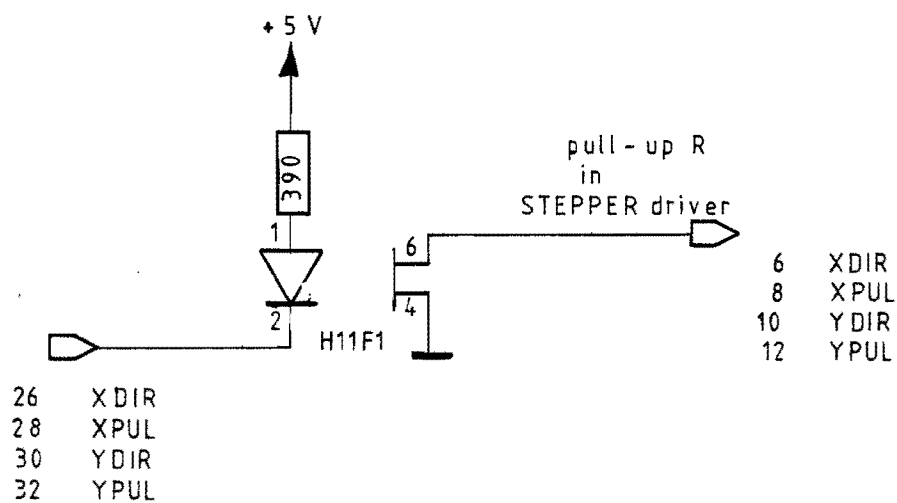
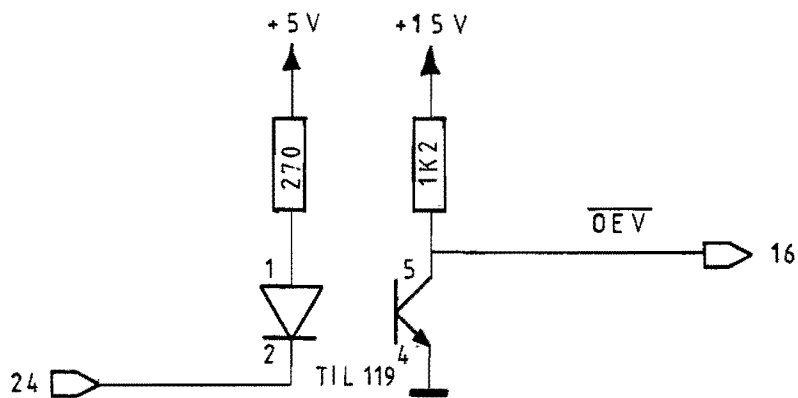
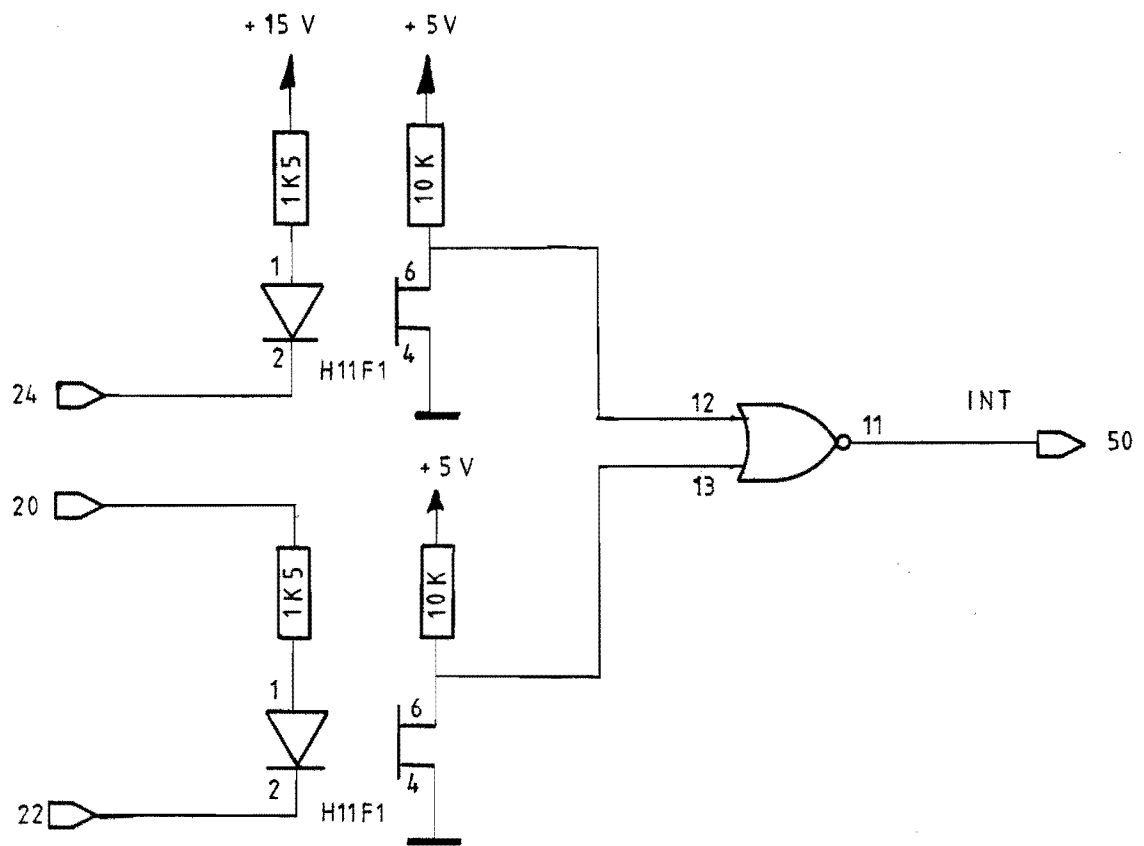
SYSTEM OVERVIEW



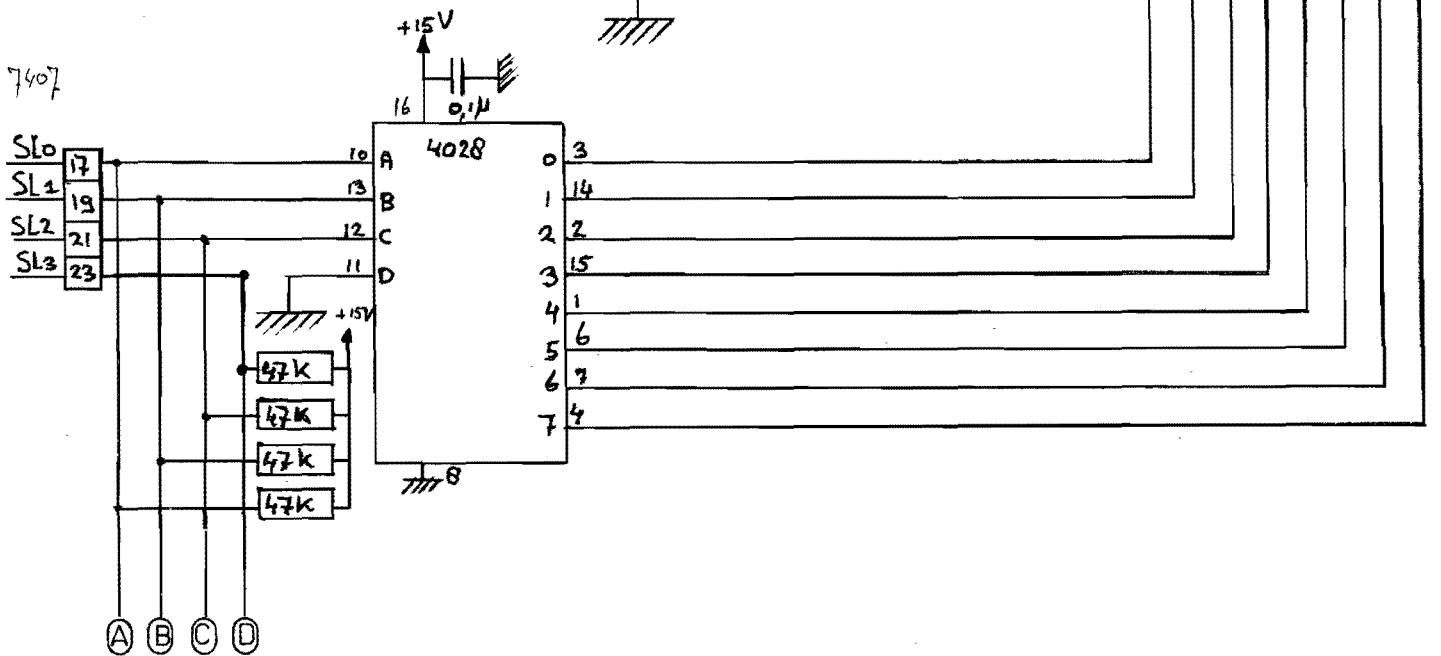
INTERRUPT SOURCES



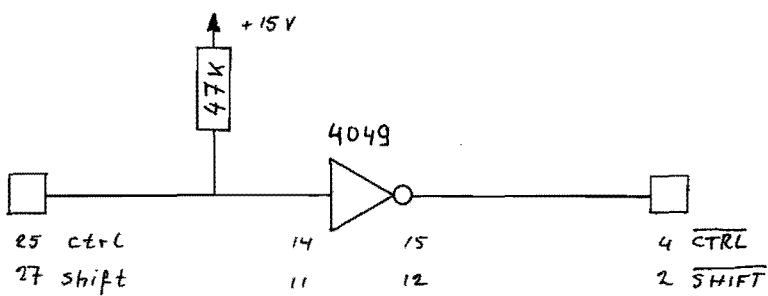




Hand-drawn circuit diagram of a 4049 decade counter. The chip is shown with pins 1-15 on the left and 14-25 on the right. Pin 14 is connected to +5V. Pins 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, and 15 are connected to a common ground through 47K resistors. The output pins 3, 5, 7, 9, 11, 13, and 15 are connected to a 7-segment display. The display shows the hexadecimal digits 0 through 7. The display segments are labeled a through g.

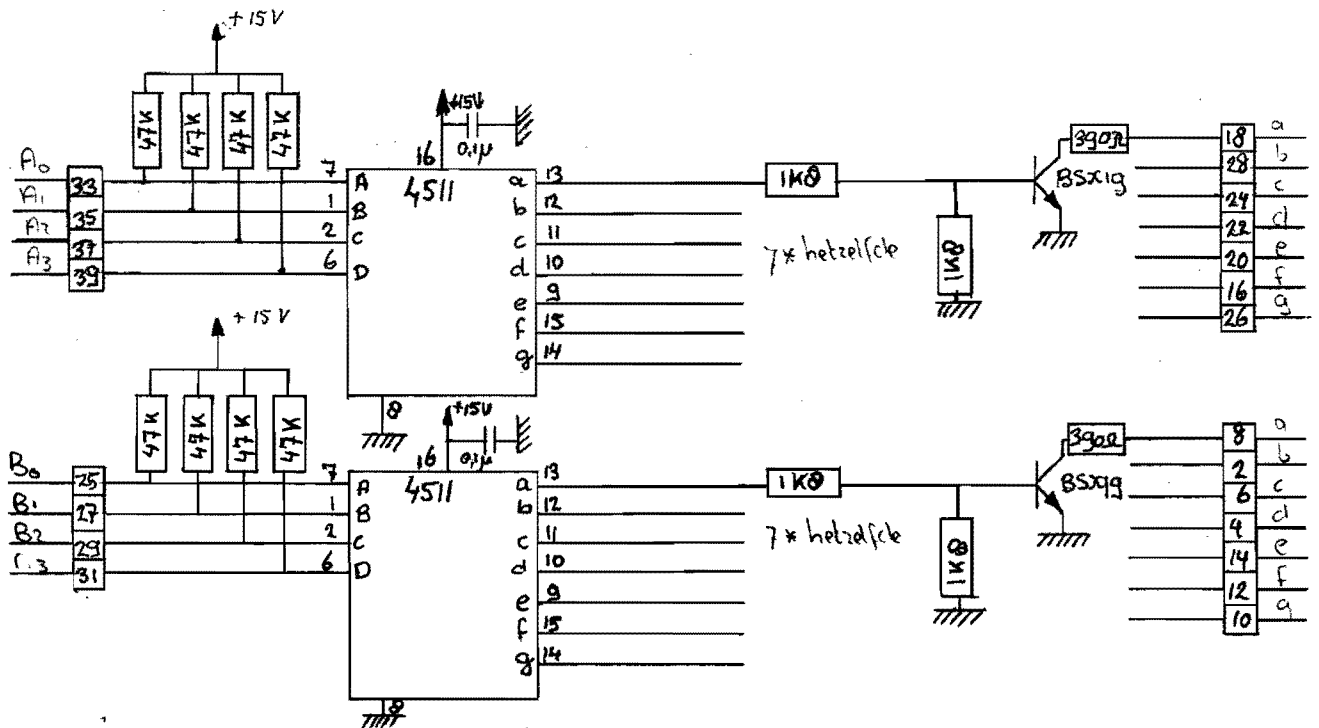
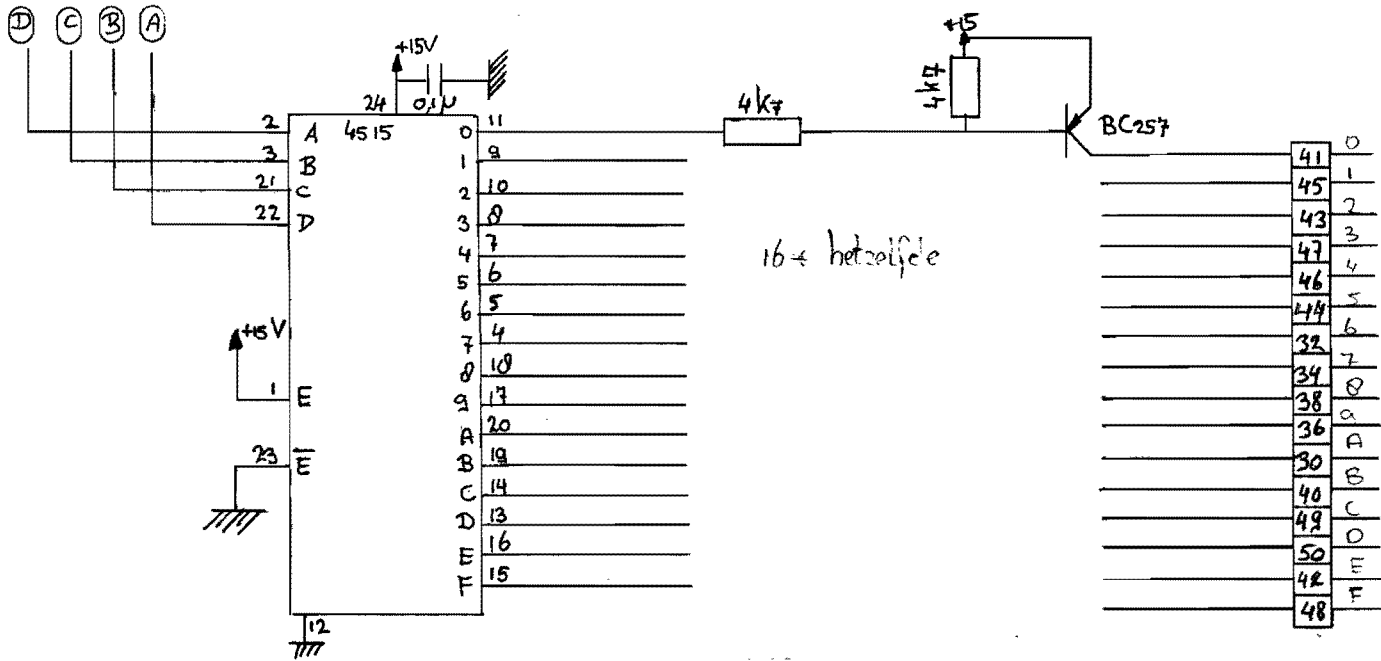


naar DISPLAY INTERFACE



KEYBOARD CONTROL INTERFACE

naar KEYBOARD INTERFACE



DISPLAY INTERFACE