Eindhoven University of Technology

MASTER

Ontwerp van een laserbewerkingsmachine met een 3-assige trepanning unit

Francken, P.H.J.

Award date:
1986

Link to publication

Disclaimer
This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

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

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.

Download date: 08. Jul. 2025

AFDELING DER ELEKTROTECHNIEK
TECHNISCHE HOGESCHOOL
EINDHOVEN
Vakgroep Meten en Regelen

ONTWERP VAN EEN LASERBEWERKINGSMACHINE MET EEN 3-ASSIGE TREPANNING UNIT

door: P.H.J. Francken

Rapport van het afstudeerwerk
uitgevoerd van 4-11-1985 tot 6-8-1986
in opdracht van prof. ir. F.J. Kylstra
onder leiding van ir. C.A.M. van den Brekel

De afdeling der elektrotechniek van de Technische Hogeschool Eindhoven aanvaardt geen verantwoordelijkheid voor de inhoud van stage- en afstudeerverslagen.

SAMENVATTING

Ontwerp van een laserbewerkingsmachine met een 3-assige trepanning unit.
In dit verslag wordt een opzet gegeven voor een 4-assige laserbewerkingsmachine. De 4-assige machine wordt ontworpen aan de hand van een, in bedrijf zijnde, 5-assige laserbewerkingsmachine. De machine kan opgedeeld worden in: de laser, Computerized Numerical Control, trepanning unit en randprocessen voor de beveiliging van machine, operator en werkstuk. De opbouw van de 5-assige machine wordt behandeld. De opbouw van de signalen Xpd, Ypd en Zpd wordt behandeld. Deze signalen zijn de stuursignalen voor drie servo-systemen. De servo-systemen worden ook verder uitgewerkt. Ten slotte wordt er een meetmethode gegeven voor het meten van het dynamisch gedrag van de drie servo-systemen.

P.H.J. Francken, THE vakgroep ER, 1986

SUMMARY

Design of a laserprocessing machine with a 3-axis trepanning unit.
In this report a concept is given for a 4-axis laserprocessing machine. The 4-axis machine is designed similar to a 5-axis laserprocessing machine. This 5-axis machine is already in operation. The laserprocessing machine can be split in: the laser, Computerized Numerical Control, trepanning unit and processes for protection of the machine, operator and workpiece. The constuction of the 5-axis machine has been treated. The construction of the signals Xpd, Ypd en Zpd is given. These signals are the inputs for three servo-systems. The servo-systems are also worked out. At last a method of measuring is given for measuring the dynamic behaviour of the servo-systems.

P.H.J. Francken, University of Technology department ER, 1986

INHOUDSOPGAVE

Titelblad		1
Samenvatting		2
Inleiding		4
Hoofdstuk 1	Bespreking 5-assige laserbewerkingsmachine	5
1.1	Computerized Numerical Control	5
1.2	Assen aansturing	6
1.3	Noodstop en eindschakelaars	8
1.4	Flitslampen besturing MS300	8
1.5	Trepanning unit	22
1.6	Koeler	29
1.7	Gassen	30
1.8	Afzuiging	31
1.9	Deuren	31
Hoofdstuk 2	Keuze van de CNC	32
2.1	BOSCH CC 100 M	33
2.2	PHILIPS CNC 3360	33
2.3	PHILIPS CNC 2460	33
2.4	SIEMENS SINUMERIK 810	33
2.5	ITTER CNC	33
2.6	ALLEN BRADLEY 8200 CNC	33
2.7	ALLEN BRADLEY 8600 CNC	34
2.8	MICON NUMERICON 850	34
2.9	APA ROAD	34
2.10	Uiteindelijke keuze	34
Hoofdstuk 3	De 3-assige trepanning unit	36
3.1	Opbouw trepanning unit	37
3.2	Het servo-systeem	40
3.3	De afregeling van een servo-systeem	42
3.4	Aanpassingen aan de servo-versterker	45
3.5	Aanpassingen aan de lineaire PID-regelaar	45
3.6	Dynamische meting trepanning unit	47
3.7	Communicatie tussen CNC en trepanning unit	50
3.8	Trepanning unit geschikt voor CNC aansturing	50
Hoofdstuk 4	Ontwerp van een 4-assige laserbewerkingsmachine	52
4.1	CNC en positioneereenheid	52
4.2	Home schakelaars	54
4.3	Eindschakelaars	55
4.4	Emergency stops	55
4.5	De laser-besturing	55
4.6	Primair koelcircuit	56
4.7	Gassen	58
4.8	Afzuiging	58
4.9	Deuren	58
4.10	Trepanning unit	59
4.11	Tape reader	59
Hoofdstuk 5	Opmerkingen over het interface programma	60
Hoofdstuk 6	Slotopmerking	62
Literatuur		63

INLEIDING

Dit is het verslag van het afstudeerwerk van P.H.J. Francken, student aan de afdeling elektrotechniek van de Technische Hogeschool te Eindhoven, afdeling meten en regelen. De afstudeerhoogleraar was prof.ir. F.J. Kylstra, de begeleider was ir. C.A.M. van den Brekel. Het afstudeerwerk werd verricht bij de firma Eldim b.v. . De begeleider bij Eldim was dhr. P. Peters en de projektleider was dr.ir. G. de Vlieger.

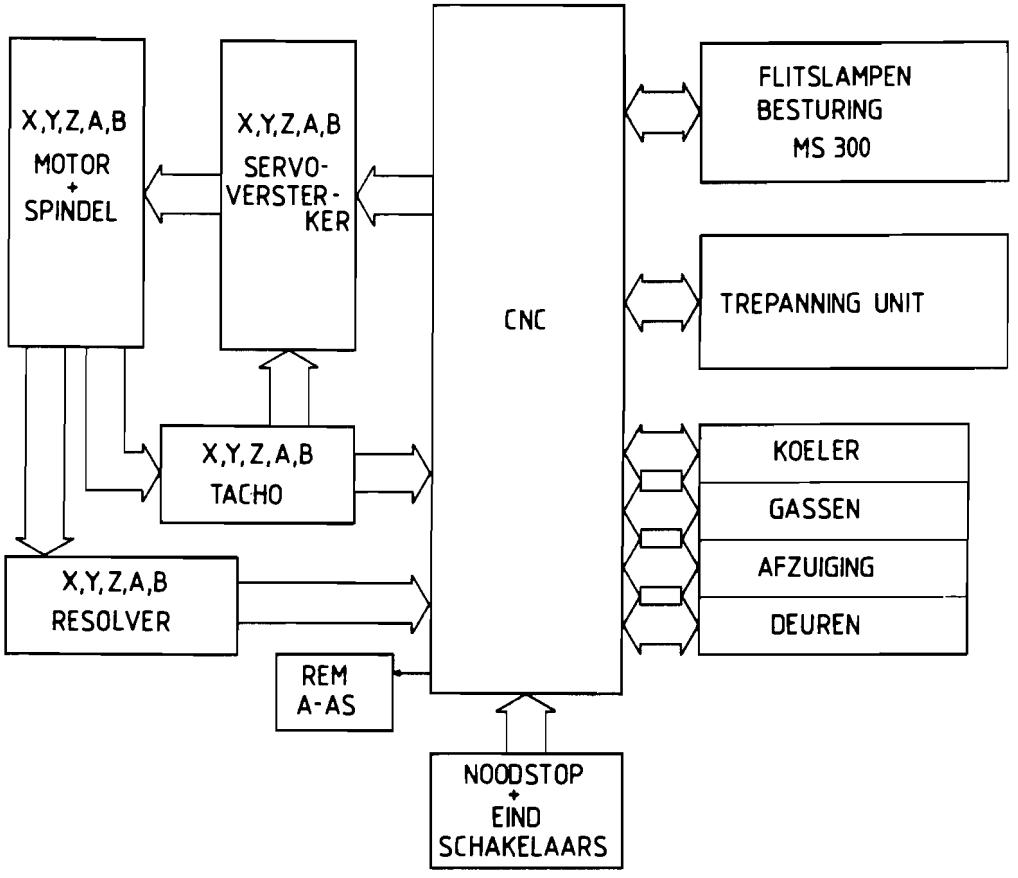
De firma Eldim heeft ongeveer 150 werknemers in dienst en maakt deel uit van de Indivers groep. Eldim is gespecialiseerd in ECM, ECD, EDM en laserbewerkingen. Voor de laserbewerkingen is een 5-assige laserbewerkingsmachine met een 300 Watt Nd-Yag laser aanwezig. Op deze machine is een 2-assige trepanning unit, aangedreven met galvanometers, geplaatst. Hiermee is het mogelijk snel kleine gaatjes te boren door het bewegen van het brandpunt over het materiaal.

De afstudeeropdracht bestond uit vier delen. Ten eerste een onderzoek aan de huidige, 5-assige , lasermachine, om een beter begrip te krijgen van de werking. Ten tweede een onderzoek naar de meest geschikte CNC voor de te ontwerpen lasermachine. Ten derde het bedrijfsklaar maken van de, nieuw ontworpen 3-assige trepanning unit. Deze moest te gebruiken zijn op de bestaande machine en op de te ontwerpen machine. Ten vierde een ontwerp maken voor een 4-assige laserbewerkingsmachine.

Hoofdstuk 1 Bespreking 5-assige laserbewerkingsmachine

Sinds medio 1983 is er een 5-assige lasermachine in werking bij Eldim. Tot nu toe werd slechts de werking van bepaalde delen bekeken als er een storing optrad. Bij een beter begrip van de werking zou een storing sneller hersteld kunnen worden.

De bestaande machine kan opgedeeld worden in de volgende blokken.



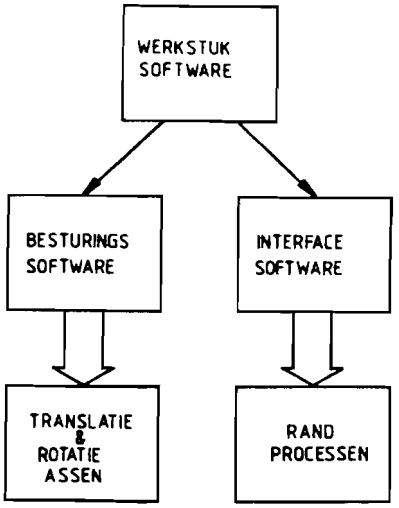
figuur 1.1: blokschema 5-assige laserbewerkingsmachine

1.1 Computerized Numerical Control (CNC)

Dit is een softwarematige besturingsunit voor sledecombinaties. Met behulp van deze unit kunnen meerdere assen een gezamelijk, gecoördineerde beweging uitvoeren. Dit kan zijn een lineaire, cirkulaire of punt-punt interpolatie.

Naast deze besturingssoftware is er een vrij programmeerbare interface aanwezig. Deze interface, die men kan vergelijken met een Programmable Logic Control, wordt gebruikt voor de coördinatie in de tijd, van de aangesloten processen.

Als derde is er de werkstuksoftware. Hierin wordt voor ieder werkstuk het behandelingsvoorschrift opgegeven. Dit is de beweging van de assen en het in en uit werking treden van de randprocessen. De randprocessen zijn de MS300 (de aansturing van de energiepomp voor de laser, trepanning unit, deuren, gassen, koeler en afzuiging.



figuur 1.2: indeling CNC software

Besturingssoftware : vast programma in de CNC, gemaakt door de CNC fabrikant.
Interfacesoftware : éénmalig geprogrammeerd, gemaakt naar wens van de gebruiker
Werkstuksoftware : per werkstuk wisselend programma, gemaakt door de gebruiker.

1.2 Assen aansturing

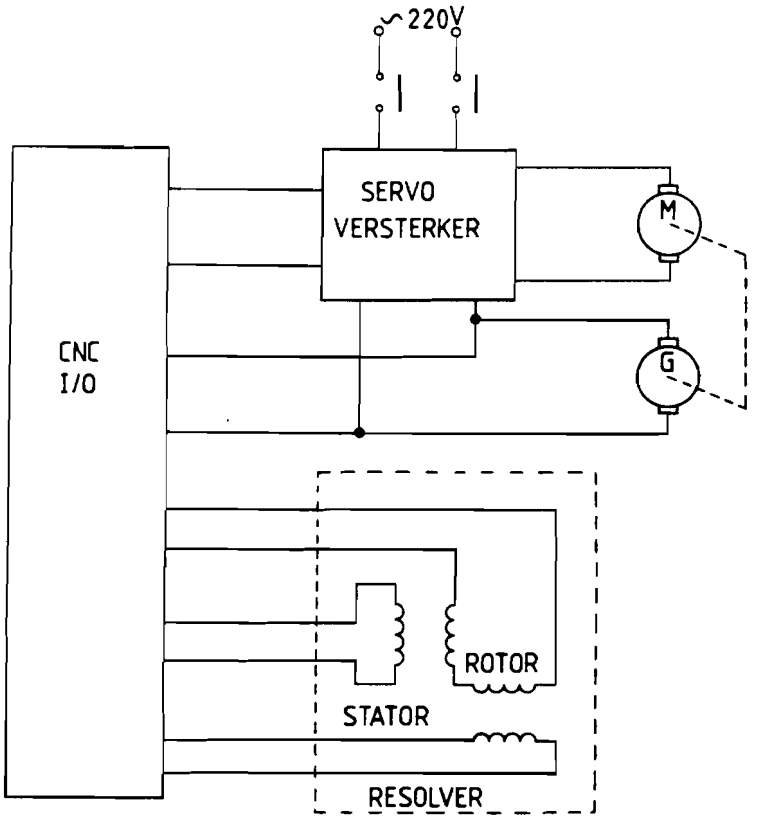
Met behulp van de CNC is het mogelijk om een bewerking uit te voeren volgens een bepaalde drie-dimensionale beweging. Dit gebeurt door een gecoördineerde beweging van één of meerdere assen.

Bij de huidige machine zijn drie translatie- en twee rotatieassen aangesloten. Op deze manier kan op iedere plaats van het

werkstuk onder iedere hoek een bewerking uitgevoerd worden.

De aansturing van alle assen gebeurt op dezelfde manier. Op de daarvoor bestemde output-poort van de CNC wordt een analoge spanning doorgegeven aan een pulsbreedte-gemoduleerde servo-versterker. Deze spanning is een maat voor de snelheid van de beweging.

De servoversterker stuurt een DC servomotor-tacho combinatie aan. De tachospanning wordt teruggevoerd naar de servoversterker als snelheidsfeedback-spanning.
De servoversterker bestaat uit een PI-regelaar en een gepulseerde vermogenseintrap. De PI-regelaar zorgt ervoor dat het toerental van de motor gelijk wordt aan het gevraagde toerental.
De DC servomotor brengt via een overbrenging een spindel-moer combinatie in beweging waardoor een mechanische verplaatsing gerealiseerd kan worden.



figuur 1.3: opzet positioneer-as
(zie tekening D4274 sheet 1 en 2)

Aan de motor zit een resolver gekoppeld. Hiermee wordt de positie

teruggekoppeld naar de CNC.
Op de rotor wordt een wisselspanning gezet. Afhankelijk van de stand van de rotor, ten opzichte van de stator, wordt een wisselspanning in de stator-spoelen geïnduceerd. De rotor is gekoppeld aan de motoras, de stator is gekoppeld aan het motor-huis. Aan de hand van de, op de stator geïnduceerde spanningen kan de stand van de motoras bepaald worden. De uitwijking, van de moer, kan dan berekend worden als bekend is wat de overbrengingsverhouding en de spoed van de spindel is.

Op iedere as is een referentieschakelaar aangebracht. Bij het opstarten van de machine is de stand van alle assen onbekend. Met de referentieschakelaar (home switch) kan steeds een vastliggend nulpunt bepaald worden.

1.3 Noodstop en Eindschakelaars

Ter bescherming van de machine en de operator zijn een aantal noodstops en eindschakelaars aangebracht. Bij het verbreken van één van de, in serie geplaatste, schakelaars wordt via de interfacesoftware de beweging gestopt en de beam-shutter gesloten.

Door het stoppen van de beweging is het onmogelijk dat de moer tegen de mechanische eindwaarde aanloopt waardoor de machine beschadigd kan worden.

Door het sluiten van de beam-shutter wordt de laserstraal afgebogen zodat deze niet langer in de werkruimte aanwezig is. Een eventuele verdere foute bewerking wordt dan abrupt afgebroken.

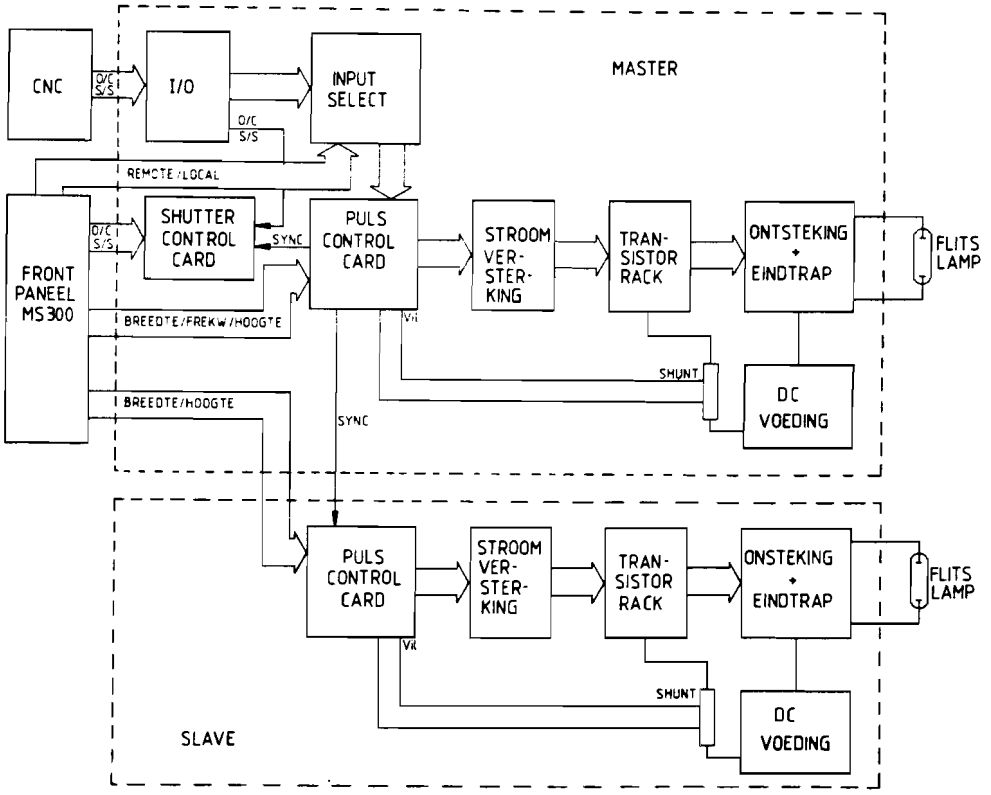
1.4 Flitslampen besturing MS300

De gebruikte laser is een vaste stof laser. Het aktief medium is een Nd-Yag kristal. Door middel van flitslampen wordt energie toegevoerd aan het kristal. Elektronen in het aktief medium worden in een, niet stabiele, hogere energietoestand gebracht. Bij terugval van deze elektronen wordt licht uitgezonden. Door deze lichtstralen nu tussen twee spiegels heen en weer te laten lopen ontstaat er een staande lichtgolf tussen deze spiegels. Deze lichtgolf heeft een vaste golflengte, afhankelijk van de afstand tussen de spiegels.

Als een gedeeltelijk doorlatende spiegel gebruikt wordt dan treedt een gedeelte van het licht naar buiten in een nagenoeg rechte bundel. Deze bundel is de laserstraal. De laserstraal wordt met behulp van spiegels naar een focusseringslens geleidt. In het brandpunt wordt de laserenergie gebundeld op een klein

oppervlak waardoor een hoge energiedichtheid gehaald kan worden. Dankzij deze hoge energiedichtheid kunnen er verschillende bewerkingen op verschillende materialen uitgevoerd worden.

Een verdere bespreking van het laserproces valt buiten de opzet van de afstudeeropdracht. De aansturing van de energiepomp, de flitslampen, is wel belangrijk.



figuur 1.4: blokschema flitslampen besturing MS300

In de huidige configuratie worden de puls-frekwentie, -breedte en -hoogte ingesteld op het front-paneel van de MS300. Het openen en sluiten van de beam-shutter kan bestuurd worden vanuit de CNC of via het front-paneel. Het geven van een single-shot, het openen of sluiten van de beam-shutter gedurende een laserpuls, kan ook bediend worden vanuit de CNC en vanaf het front-paneel.
Na het opstarten van de machine moet er eerst een keus gemaakt worden voor de bediening van de shutter. Drukken op "REMOTE" geeft een bediening vanuit de CNC. Drukken op "LOCAL" geeft een bediening vanaf het front- paneel.

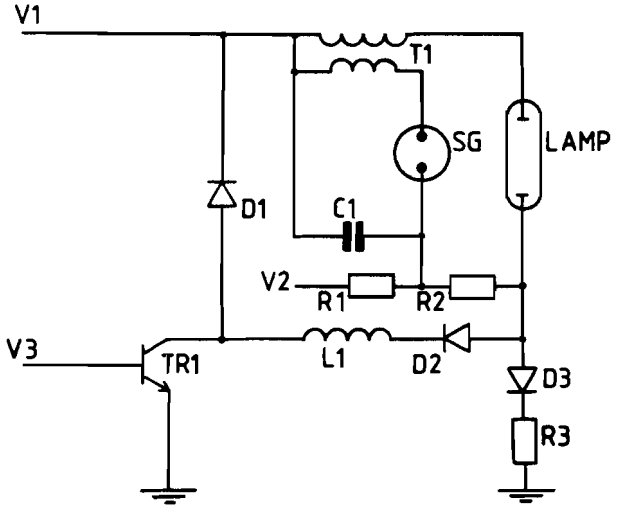
In de volgende paragrafen worden de ontsteking en eindtrap van de flitslamp, de regeling voor de lichtpuls, de aansturing van de beam-shutter en het selecteren van de bedieningsmode behandeld.

1.4.1 Ontsteking en eindtrap

De lampen worden gebruikt als energiepomp voor het aktief medium. De kortstondige flitsen van de lamp genereren een kortstondige laserpuls.
Voordat de lampen echter kunnen flitsen zullen ze eerst moeten branden. Het is namelijk onmogelijk om een lichtpuls van een juiste energie te geven vanuit een toestand waarin de lamp nog geen licht afgeeft.

Gedurende het branden van de lamp is de spanningsval over de lamp nagenoeg konstant en bedraagt ongeveer 100V. Voor het ontsteken van de lamp is een hoge korte spanningspiek nodig van ongeveer 1100V. De flitsen van de lamp worden verkregen door het verhogen van de stroom door de lamp gedurende één puls.

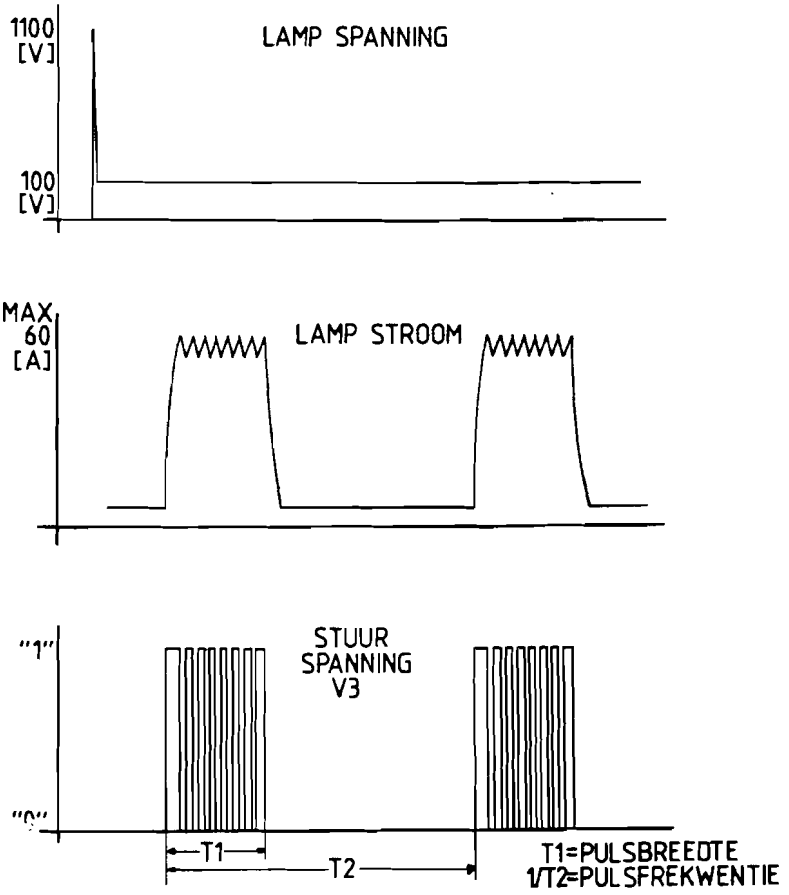
De ontsteking van de lamp



figuur 1.5: ontsteking lamp en simmer circuit
(zie tekening B0978)

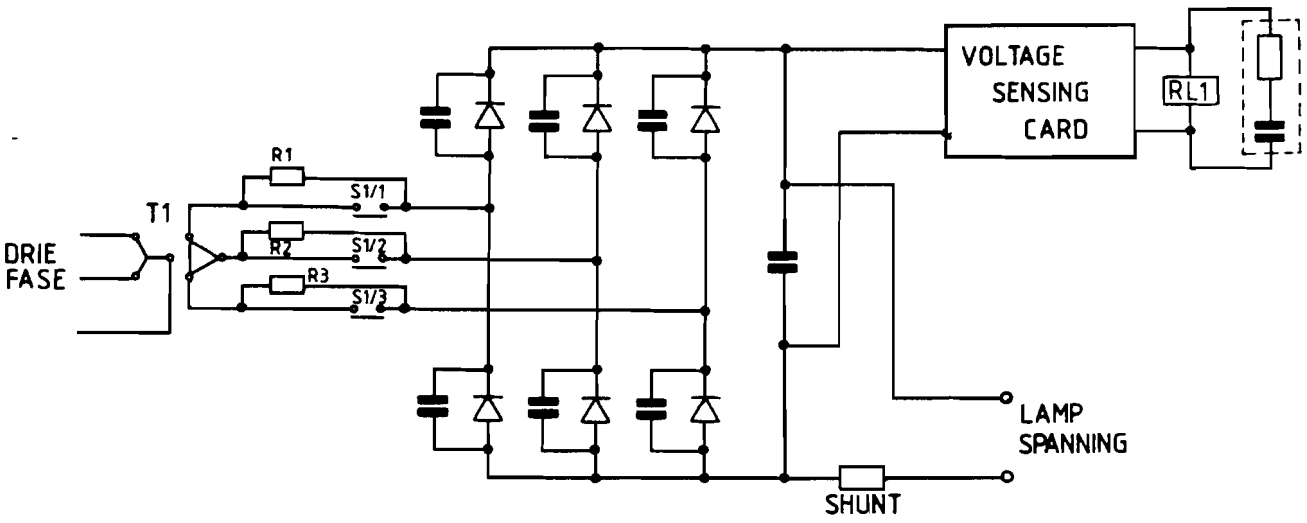
V1 is een gelijkspanning van ongeveer 380V.
V2 is een gelijkspanning van ongeveer -700V.
Er gaat een stroom lopen door C1 waardoor deze opgeladen wordt. Wordt de spanning over C1 nu groter dan 600V dan zal een vonk overspringen in SG. SG is een "vonk-spleet". Indien het spanningsverschil tussen beiden kontakten te groot wordt dan slaat deze door. Er ontstaat dan een vonk. De condensator C1 wordt snel ontladen en via T1 zal een spanningspiek boven op V1 gesuperponeerd worden. Gaat de lamp nu niet branden dan wordt C1 weer opgeladen.
Als de lamp wel gaat branden dan zal de spanning over C1 niet meer zo hoog kunnen worden dat er weer een vonk overspringt. Via D3 en R3 zal er een kleine stroom kontinu door de lamp blijven lopen.
Tijdens een lichtpuls wordt, door middel van V3, TR1 zeer snel in verzadiging of in spertoestand gebracht. Op deze manier wordt er zo min mogelijk energie gedissipeerd in de transistor TR1. De

transistor TR1 is in werkelijkheid het transistor-rack. Dit zijn een aantal parallel geschakelde vermogenstransistors.
Als TR1 in verzadiging is dan zal een hoge stroom door de lamp via TR1 lopen. De emitter-collector spanning is laag waardoor weinig vermogen in de transistor gedissipeerd wordt.
Als TR1 in spertoestand is, dan is de emitter-collector spanning hoog maar er vloeit geen stroom door de transistor waardoor ook nu weinig vermogen in de transistor gedissipeerd wordt. De spoel L1 zal proberen de lopende stroom konstant te houden. Deze stroom vloeit dan via diode D1 weer door de lamp.



figuur 1.6: lamp-spanning, -stroom en -stuurspanning

De gelijkspanning voor de lamp wordt verkregen uit een gelijkrichting van de driefasen spanning. (zie figuur 1.7)
Na het inschakelen wordt de stroom, waarmee de condensatorbank wordt geladen, begrensd door R1, R2 en R3. Is de spanning over de condensatorbank hoog genoeg dan sluit RL1. Hierdoor worden R1, R2 en R3 kortgesloten. Tevens wordt dan het "READY" signaal gegeven.

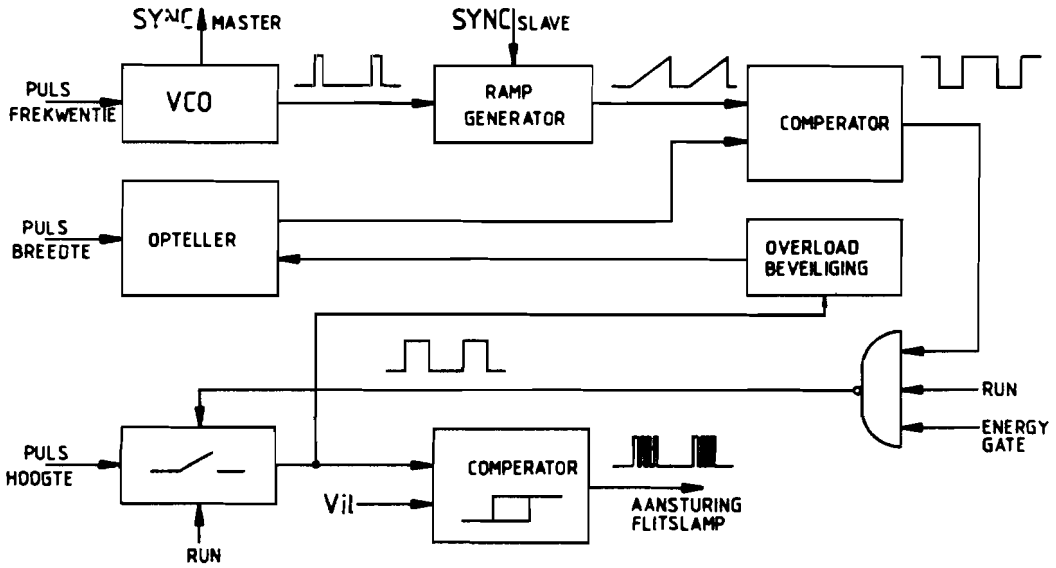


figuur 1.7: gelijkspanningsvoeding voor een flitslamp
(zie tekening C1013)

1.4.2 Regeling van de lichtpuls

Voor een goede laserbewerking van een werkstuk is het belangrijk dat de laserenergie per puls konstant blijft en dat de energie van twee opeenvolgende pulsen ook konstant is. Een konstante energie is niet realiseerbaar maar dit wordt zo goed mogelijk benaderd. Om dit te realiseren moet de afgegeven lichtenergie van de flitslamp konstant blijven. De puls-breedte en -frekwentie van de lichtpulsen moeten steeds eenzelfde waarde hebben. De flitsen van de twee lampen, master en slave, moeten gelijktijdig starten.

Het gelijktijdig starten van de lampen wordt gedaan met de sync-puls. Deze puls wordt gegeven vanuit de puls-regel kaart van de master naar de puls-regel kaart van de slave. De werking van de puls-regeling is voor de rest bij de slave hetzelfde als bij de master.



figuur 1.8: blokschema lichtpuls regeling

Een analoge spanning, afkomstig van het front paneel, geeft de opgegeven frekwentie. Via een Voltage Controlled Oscillator (VCO) wordt een pulssignaal gegenereerd met de gevraagde frekwentie. Dit signaal is het sync-signaal.

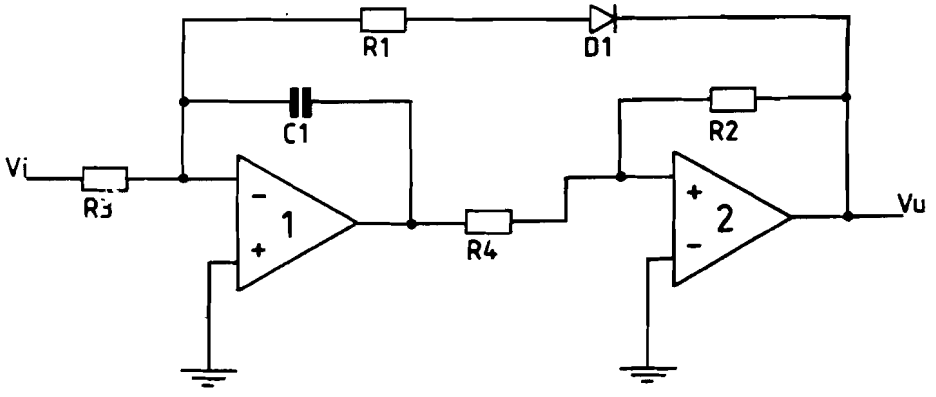
Het sync-signaal triggert een rampgenerator. De hoogte van de ramp wordt vergeleken met een analoge spanning, evenredig met de opgegeven puls-breedte. De uitgang van de comperator is een blok-golf signaal met de gevraagde frekwentie. De breedte van het blok geeft de pulsbreedte aan.

De blokgolf sluit een analoge schakelaar. Door deze schakelaar wordt de opgegeven puls-hoogte doorgegeven aan een schmitt-trigger comperator. De schakelaar sluit alleen maar als de signalen "RUN" en "ENERGY GATE" aktief zijn.

De opgegeven pulshoogte wordt vergeleken met de stroom door de lamp. Deze wordt gemeten aan een shunt. De spanning hierover wordt aangeboden als de spanning Vil.

De spanning voor de puls-hoogte wordt gedurende een puls doorgegeven aan een beveiligingscircuit. Hierin wordt getest of de gevraagde gemiddelde energie niet boven een bepaalde grenswaarde uitkomt. Is dit wel het geval dan wordt de puls-breedte ingekort.

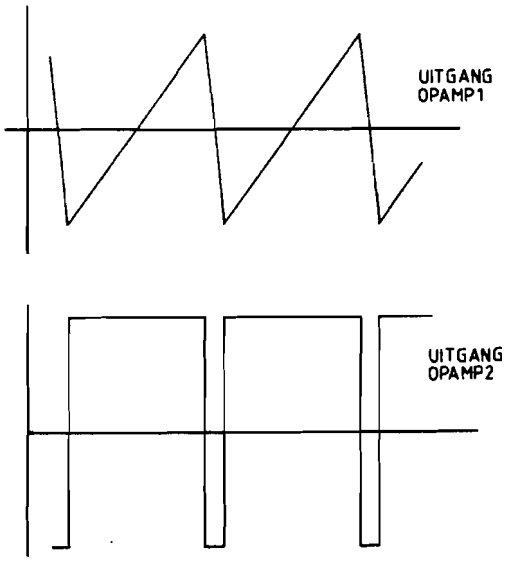
De VCO.



figuur 1.9: schema VCO (zie tekening C4448)

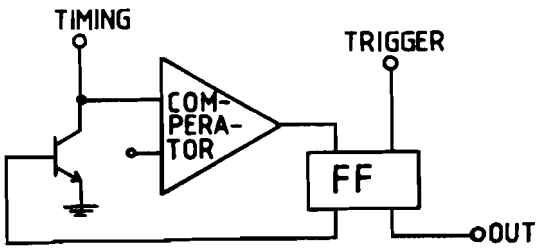
Door meekoppeling van de tweede opamp is Vu gelijk aan de positieve of de negatieve voedingsspanning.
Vi is een positieve ingangsspanning.
Stel Vu is gelijk aan de positieve voedingsspanning, +Vb. De diode D1 spert dan en C1 zal opgeladen worden. De uitgang van de

eerste opamp zal dan lineair in de tijd afnemen. Wordt deze spanning kleiner dan -(R4/R2)*Vb dan zal Vu omslaan naar -Vb. De condensator C1 wordt dan snel via R1 en D1 ontladen. De uitgang van de eerste opamp stijgt tot +(R4/R2)*Vb. Vu slaat weer om naar +Vb en diode D1 spert weer.
De snelheid waarmee C1 opgeladen wordt is afhankelijk van Vi. De uitgangsspanning is dan een pulssignaal waarvan de frekwentie afhankelijk is van de ingangsspanning Vi.
Het nadeel van deze schakeling is dat de puls-lengte, van de sync-puls, onafhankelijk is van Vi. De sync-puls lengte is konstant. De tijd waarin Vu positief is wel lineair afhankelijk van Vi. De totale tijdsduur van één sync-puls is dan T=k2+(k1/Vi) met k1 afhankelijk van R3 en C1 en k2 afhankelijk van R1 en C1. De frekwentie is dan 1/T, deze is niet lineair afhankelijk van Vi.



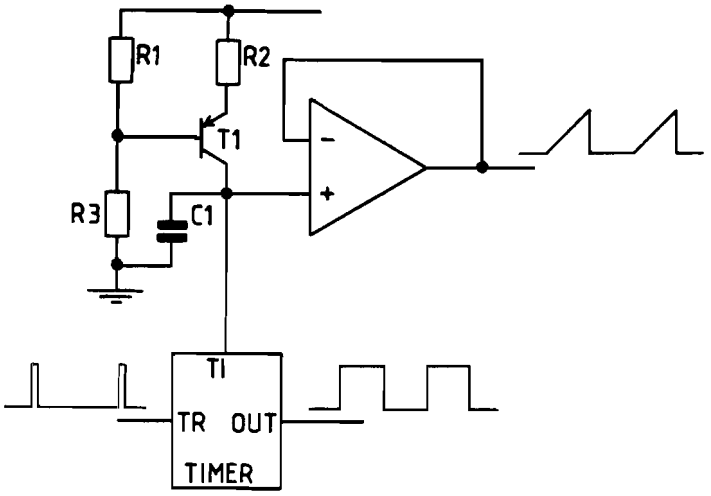
figuur 1.10: spanningsverloop in VCO

De rampgenerator.
Voordat de werking van de rampgenerator besproken wordt is het belangrijk om te weten hoe de gebruikte timer werkt.



figuur 1.11: timer-circuit gebruikt in het IC 558

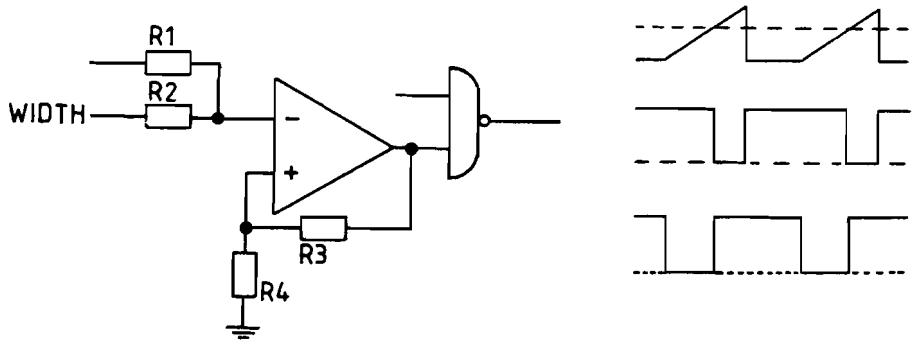
Op de triggerpuls wordt de flip-flop geset. De uitgang van de timer wordt hoog en de transistor spert. Een uitwendig aangesloten condensator, aan de timing ingang, wordt nu opgeladen. Wordt de spanning over de condensator te hoog dan slaat de uitgang van de comperator om waardoor de flip-flop gereset wordt. De uitgang van de timer wordt laag en de transistor wordt in geleiding gebracht waardoor de aangesloten condensator snel ontladen wordt.



figuur 1.12: realisatie rampfunktie voor de pulsbreedte regeling (zie tekening C4448)

Bij de rampgenerator wordt C1 met een konstante stroom geladen na de sync-puls. De stroom wordt geleverd door de transistor T1. Met behulp van een opamp wordt ervoor gezorgd dat de TIMING-ingang van de timer niet belast wordt. Voor de uitgang van de opamp geldt dat deze gelijk is aan de spanning op de non-inverting input.

De comperator.

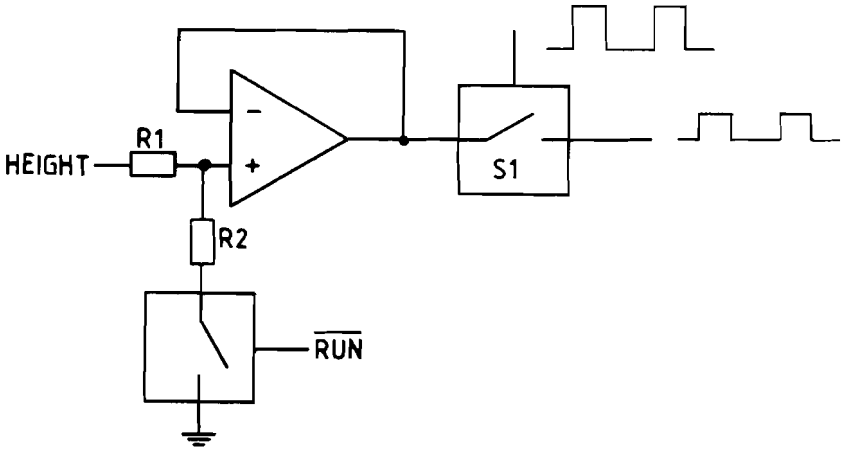


figuur 1.13: realisatie pulsbreedte regeling (zie tekening C4448)

Op de inverting-input van de opamp wordt de ramphoogte vergeleken met de WIDTH opgave. Wordt de ramp hoger dan -(R1/R2)*WIDTH dan wordt de uitgang van de opamp laag.

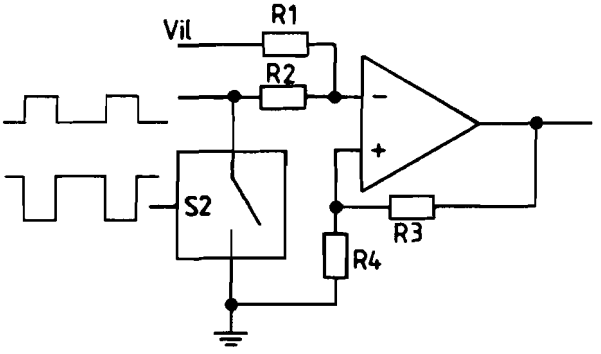
Op één ingang van de NAND staat de uitgang van de timer. Op de andere ingang staat de uitgang van de opamp. De uitgang van de NAND is laag zolang de rampfunktie aanwezig is maar de opampuitgang nog niet laag is geworden. Indien dit signaal nog een keer geïnverteerd wordt krijgen we een blokgolf waarvan de frekwentie de gevraagde frekwentie is en de tijd, gedurende welke het signaal hoog is, de gevraagde pulsduur is.
De opamp is meegekoppeld. De weerstand R3 is veel groter dan R4 waardoor een gering schmitt-trigger effect ontstaat. Hierdoor heeft de ruis geen invloed meer. Zou dit niet gedaan zijn, dan kan het voorkomen dat bij de overgangen een aantal extra pulsen verschijnen.

De schmitt-trigger comperator.



figuur 1.14: doorgeven van de ingestelde pulshoogte
(zie tekening C4448)

Het tot nu toe gegenereerde bloksignaal sluit een analoge schakelaar S1 waardoor de analoge spanning voor de hoogte beschikbaar is op de comperator. De analoge schakelaar is een IC waardoor er zeer snelle schakeltijden optreden en er van denderen geen sprake is.

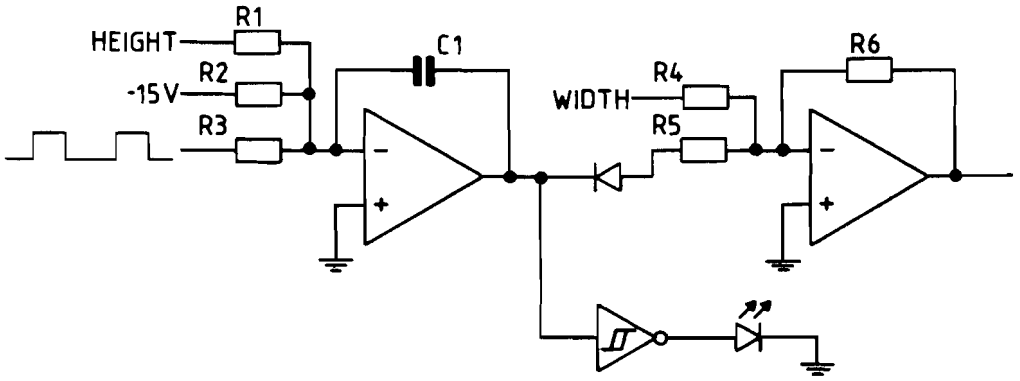


figuur 1.15: pulshoogte regeling (zie tekening C4448)

Als de spanning voor de hoogte plus de negatieve feedback-spanning , Vil afkomstig van de shunt, kleiner is dan R4/(R3+R4)*Vb dan is de uitgang van de opamp +Vb. Het transistor-rack zal dan in geleiding gehouden worden. De stroom door de lamp zal toenemen en Vil zal toenemen. Op een gegeven moment wordt de non-inverting input spanning zo hoog dat de uitgang van de opamp omslaat naar -Vb. Het transistorrack is nu gesperd. De stroom door de lamp zal afnemen en ook Vil neemt af. Als de non-inverting input nu beneden -R4/(R3+R4)*Vb komt, dan zal het transistorrack weer in geleiding gebracht worden.
Dit proces blijft zich herhalen zolang de analoge schakelaar S1 gesloten is. Als S1 geopend wordt dan sluit S2 en wordt de doorgegeven hoogte teruggebracht tot het nulniveau.

De uitgang van de schmitt-trigger comperator wordt door een stroomversterkingscircuit gestuurd omdat de vermogenstransistors, in het transistorrack, een grotere basisstroom nodig hebben, om in verzadiging te komen, dan door de schmitt-trigger comperator geleverd kan worden.

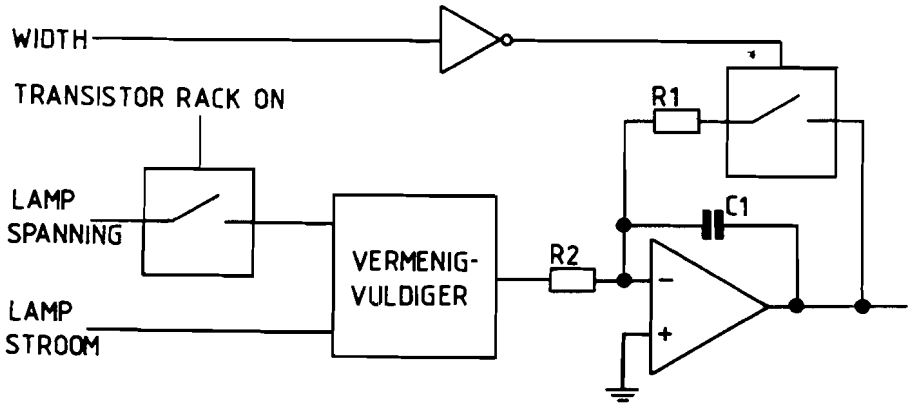
De overload beveiliging.



figuur 1.16: opzet overload beveiliging door inkorting pulsbreedte (zie tekening C4448)

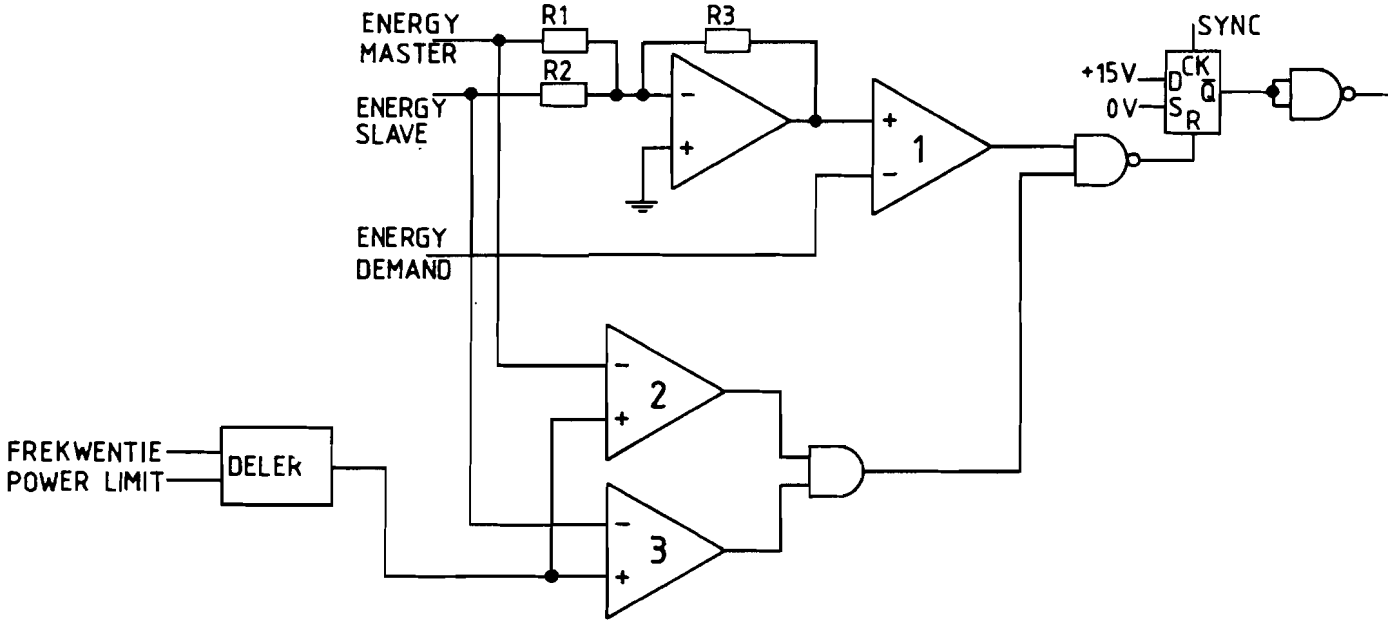
Volgens een bepaald criterium wordt de maximale energie per tijdseenheid begrensd. Is de puls-frekwentie te hoog, de puls-breedte te lang of de puls-hoogte te hoog dan zal C1 opgeladen worden waardoor de uitgangsspanning van de eerste opamp zal dalen. Wordt deze spanning negatief dan zal een waarschuwings-LED gaan branden. Tegelijkertijd zal de diode gaan geleiden waardoor een negatieve spanning bij de gevraagde puls-breedte opgeteld zal worden. De naar de comperator doorgegeven puls-breedte zal daardoor verminderen.

Een tweede beveiliging vindt plaats door middel van het signaal "ENERGY GATE".



figuur 1.17: bepaling energie per puls (zie tekening C4239)

De spanning over de lamp wordt gedurende het in geleiding zijn van het transistorrack vermenigvuldigd met de stroom door de lamp. De uitgang van deze vermenigvuldiger wordt gedurende de puls-breedte geïntegreerd. Op deze manier wordt de energie per puls bepaald voor de master en slave.

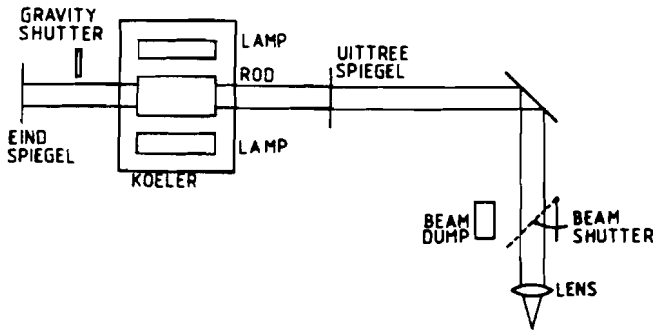


figuur 1.18: overload beveiliging door middel van het signaal "ENERGY GATE" (zie tekening C4239)

Een maximum energie per puls wordt bepaald door de maximaal toegestane energie te delen door de opgegeven frekwentie. Wordt de energie per puls van de master of slave te hoog dan zal de uitgang van comperator 2 of 3 laag worden waardoor de flip-flop

gereset wordt en "ENERGY GATE" laag wordt. Als "ENERGY GATE" laag wordt, wordt de schakelaar voor de puls-hoogte geopend. De laserpuls wordt dan afgebroken.
In een andere vermenigvuldiger wordt de opgegeven puls-hoogte vermenigvuldigd met de opgegeven breedte. Wordt nu de energie per puls van de master plus de energie per puls van de slave hoger dan de opgegeven energie dan wordt de uitgang van comperator 1 laag. Hierdoor wordt de flip-flop gereset en wordt het signaal "ENERGY GATE" laag.
Bij een volgende sync-puls wordt de flip-flop opnieuw geklokt waardoor "ENERGY GATE" weer hoog wordt mits het reset-signaal niet meer aktief is.

1.4.3 Aansturing van de beam-shutter



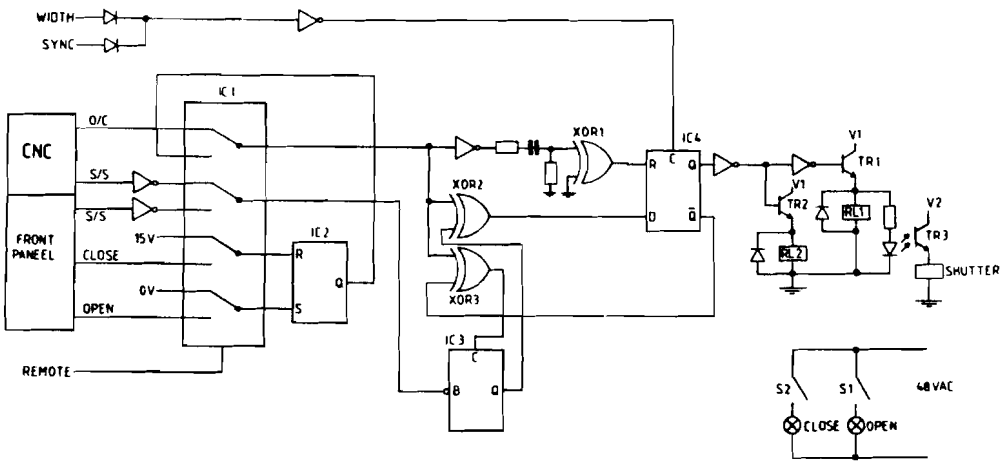
figuur 1.19: laser met beam-shutter

Met behulp van de beam-shutter is het mogelijk een bewerking te starten of te beëindigen. Indien de beam-shutter geopend is dan wordt de laserstraal doorgelaten tot in de werkruimte. Is de beam-shutter gesloten dan wordt de laserstraal, voor de focusseringslens afgebogen. De laserenergie wordt dan weggevoerd naar een keramisch element.
Het openen van de beam-shutter wordt gesynchroniseerd met de omlaaggaande flank van de WIDTH-puls.

Behalve het openen en sluiten, van de beam-shutter, is het mogelijk om een single-shot te geven. Dit is het openen of sluiten van de beam-shutter gedurende één laserpuls.

Als het signaal "REMOTE" hoog is dan worden de bedieningssignalen afkomstig van de CNC geselecteerd. Is "REMOTE" laag dan worden de bedieningssignalen afkomstig van het front paneel geselecteerd.
Als "REMOTE" laag is dan wordt, door middel van de signalen "OPEN" en "CLOSE", de flip-flop (IC2) geset of gereset. (zie figuur 1.20)

Stel het signaal "O/C" is hoog. De shutter moet dan geopend zijn. Verder veronderstellen we dat het signaal "S/S" voorlopig niet aktief wordt.



figuur 1.20: schema aansturing beam-shutter (zie tekening C1082)

Het signaal "O/C" gaat van hoog naar laag. Op de ingang van XOR1 (exclusive or 1) komt dan gedurende korte tijd een logisch "1" niveau. De uitgang van XOR1 is dan logisch "1". De flip-flop (IC4) wordt gereset. De Q-uitgang wordt laag en de $\bar{Q}$-uitgang hoog. Eén ingang van XOR3 is dan laag en de andere ingang wordt hoog. De uitgang van XOR3 wordt hoog. De mono-stabiele multi-vibrator wordt via de C-ingang vrijgegeven. De uitgang van IC3 is laag, zodoende is de uitgang van XOR2 ook laag en blijft de uitgang van IC4 ongewijzigd.

Het signaal "O/C" gaat van laag naar hoog. Via XOR2 wordt de D-ingang van de flip-flop hoog. De Q-uitgang wordt dan hoog en de $\bar{Q}$-uitgang laag. Als deze stabiele situatie is bereikt wordt de mono-stabiele multi-vibrator vrijgegeven.

Een single-shot kan pas gegeven worden als de schakeling in een stabiele toestand is.
Als "O/C" laag is en "S/S" wordt hoog dan wordt de Q-uitgang van IC3 gedurende korte tijd hoog. De uitgang van XOR2 wordt dan hoog. Bij een omlaaggaande flank van de WIDTH-puls wordt de Q-uitgang van IC4 hoog en de $\bar{Q}$-uitgang laag. De uitgang van XOR2 wordt weer laag waardoor bij een volgende omlaaggaande flank van de WIDTH-puls de flip-flop weer in zijn oude toestand terug wordt geklokt.
Als "O/C" hoog is en "S/S" wordt hoog dan wordt de Q-uitgang van IC3 gedurende korte tijd hoog. De uitgang van XOR2 wordt dan laag. Bij een WIDTH-puls wordt de Q-uitgang van IC4 laag en de $\bar{Q}$-uitgang hoog. De uitgang van XOR2 wordt vervolgens weer hoog waardoor de flip-flop weer in zijn oude toestand terug geklokt wordt.

Als de Q-uitgang van IC4 hoog is dan wordt TR1 in geleiding gebracht. Via de opto-coupler, met TR3, wordt de shutter geaktiveerd. Door het sluiten van RL1 wordt een terugmelding

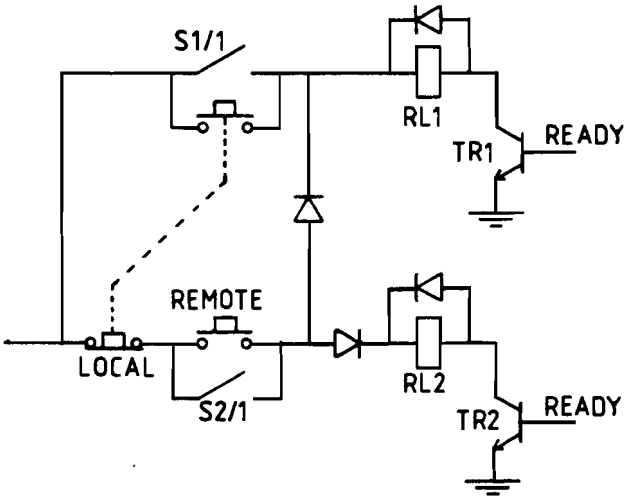
gegeven, met de lamp "OPEN", naar de operator.

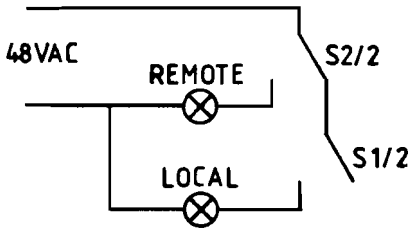
Als de Q-uitgang laag is dan wordt de shutter niet geaktiveerd. Door het sluiten van RL2 gaat de lamp "CLOSE" branden.

De werkelijke status van de shutter wordt niet gecontroleerd. Er wordt gekeken of de beam-shutter bekrachtigd is of niet.

1.4.4 Selecteren van de bedieningsmode

Nadat de voedingsspanning voor de lampen op een operationeel niveau is gekomen wordt het signaal "READY" aktief. Het is nu mogelijk om een keus te maken voor de bedieningsmode. De bediening, van de beam-shutter, kan gebeuren via de CNC of via het front-paneel. Het is mogelijk om de pulsparameters in te geven via de CNC. Er moet dan wel een verandering in de hardware en interfacesoftware aangebracht worden.





figuur 1.21: selectie bedieningsmode
(zie tekening C1166)

Als het "READY" signaal gegeven wordt dan zijn de relais RL1 en RL2 nog niet bekrachtigd.
Door indrukken van "LOCAL" wordt RL1 bekrachtigd. Schakelaar S1/1 houdt RL1 bekrachtigd. Een andere, niet getekende, schakelaar

zorgt ervoor dat de pulsregeling vrijgegeven wordt waardoor het flitsen van de lamp gestart wordt. Schakelaar S1/2 sluit, waardoor, door middel van de lamp "LOCAL", een terugmelding, naar de operator, gegeven wordt van de bedieningsmode.

Door indrukken van "REMOTE", vanuit de begintoestand worden de relais RL1 en RL2 bekrachtigd. De bekrachtiging van RL1 en RL2 worden overgenomen door respektievelijk schakelaar S1/1 en S2/1. Een, niet getekende, schakelaar, behorende bij RL1, zorgt ervoor dat het signaal "REMOTE", op de pulsregeling, aktief wordt. Schakelaar S2/2 sluit. Door middel van de lamp "REMOTE" wordt een terugmelding gegeven naar de operator.

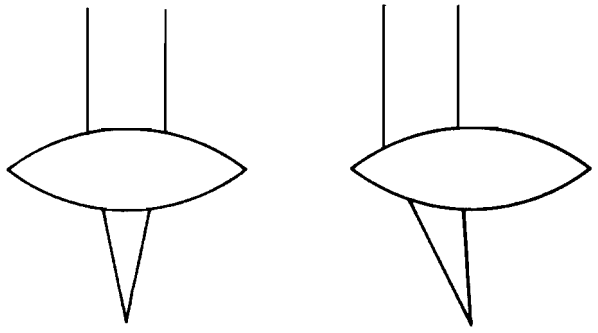
Door het drukken op één van de knoppen "LOCAL" of "REMOTE" wordt de pulsregeling altijd vrijgegeven. Indien de REMOTE-mode gekozen is, is RL2 bekrachtigd en het signaal "REMOTE" op de pulsregeling aktief. Wordt nu op "LOCAL" gedrukt dan wordt RL2 niet langer bekrachtigd waardoor het signaal "REMOTE" non-aktief wordt.

In de configuratie waarin de pulsparameters ingegeven kunnen worden via de CNC, worden de analoge spanningen voor de pulsfrekwentie, -breedte en -hoogte doorgegeven via wisselkontakten, aangestuurd via RL2.

Een I/O kaart zorgt ervoor dat de uitgangsspanning van de CNC aangepast wordt aan de werkspanning van de MS300.

1.5 Trepanning unit

Een bewerking die veel toegepast wordt is het maken van cirkelvormige gaten met een diameter kleiner dan 1 mm. Voor het uitsnijden van deze gaten zijn er twee mogelijkheden. Ten eerste het bewegen van het werkstuk. Ten tweede een beweging maken met het brandpunt.

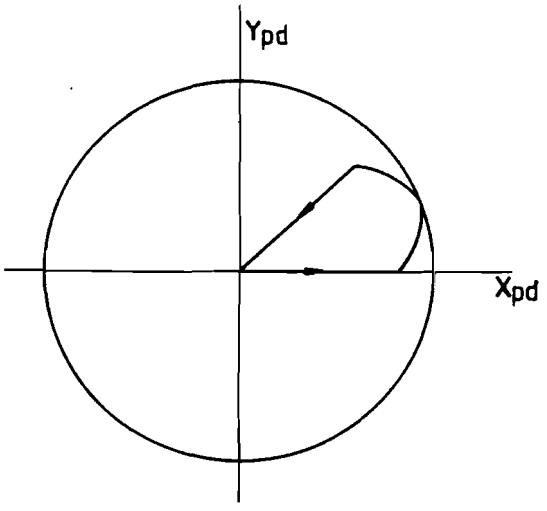


figuur 1.22: verplaatsing van het brandpunt door het verplaatsen van de focusseringslens

Het nadeel van de eerste methode is het relatief grote en variabele gewicht wat in beweging gebracht moet worden. De opstart- en uitslingerings-verschijnselen hebben dan een relatief grote invloed. Dit is niet wenselijk omdat de geëiste nauwkeurigheid van de rondheid van het gat groot is ten opzichte van de plaats van het gat.
Bij de tweede methode wordt een kleinere, konstante massa in beweging gebracht. Door het verplaatsen van de lens wordt het brandpunt, in het werkstuk, over eenzelfde afstand verplaatst.

Voor het aansturen van de trepanning unit zijn er twee mogelijkheden. Ten eerste aansturing vanuit de CNC. De mechanische configuratie van de trepanning unit moet dan voldoen aan de eisen van de CNC. De CNC zou tevens uitgebreid moeten worden met extra I/O voor het aansturen van de assen in de trepanning unit. Ten tweede een externe schakeling aanbrengen, voor het genereren van een trepanning cirkel en met behulp van servo-systemen deze beweging volgen.

De lens beschrijft een cirkel door twee loodrecht op elkaar geplaatste servo-systemen aan te sturen met een sin- en cos-signaal. Voor het beschrijven van een cirkel wordt steeds gestart vanuit het middelpunt. Zou er direkt een sin- en cos-signaal gegenereerd worden dan zou het opstartverschijnsel onnodige fouten opleveren.
De beschreven contour ziet er als volgt uit



figuur 1.23: trepanning cirkel

Op t=0 wordt een radiale beweging gestart, met de gevraagde snelheid. Op t=tl wordt de snelheid van de radiale beweging teruggebracht tot een fraktie van de gevraagde snelheid. Op

hetzelfde moment wordt een tangentiale beweging gestart. De totale bewegingssnelheid is gelijk aan de gevraagde snelheid. Op t=t2 wordt de radiale beweging gestopt. Vanaf nu wordt een cirkel beschreven. De hoeksnelheid is gelijk aan de opgegeven snelheid gedeeld door de opgegeven straal.

$0 \geq t > t1$	$x'=a.t$	(verg. 1.1.a)
	$y'=0$	(verg. 1.1.b)
$t1 \geq t > t2$	$x'=(a.t1+b(t-t1)).\cos(w(t-t1))$	(verg. 1.2.a)
	$y'=(a.t1+b(t-t1)).\sin(w(t-t1))$	(verg. 1.2.b)
	$w=a/(a.t1+b(t-t1))$	(verg. 1.2.c)
$t \geq t2$	$x'=r.\cos(w(t-t1))$	(verg. 1.3.a)
	$y'=r.\sin(w(t-t1))$	(verg. 1.3.b)
	$r=a.t1+b(t2-t)$	(verg. 1.3.c)
	$w=a/r$	(verg. 1.3.d)

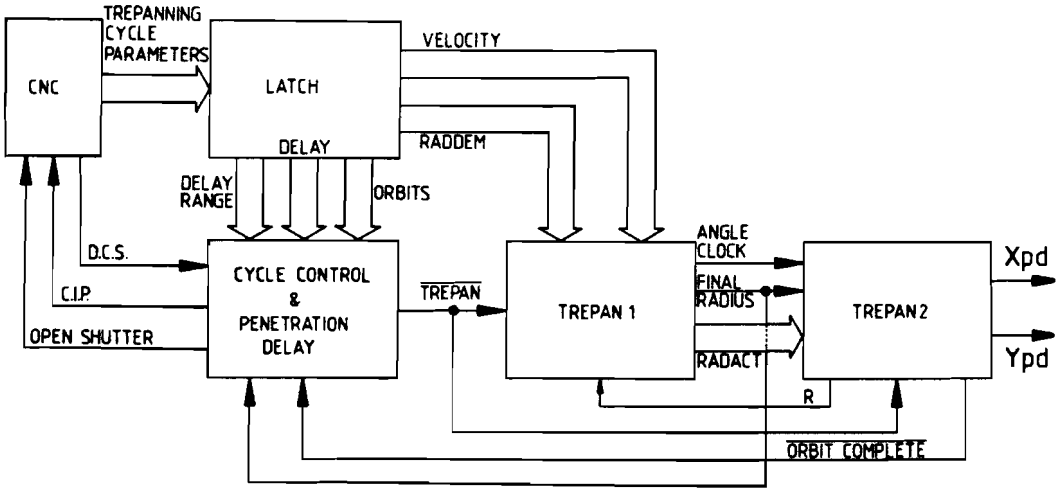
Vanaf het moment dat de straal bereikt is, worden er, een opgegeven aantal, gehele cirkels beschreven. Indien het aantal opgegeven omwentelingen bereikt is wordt er op eenzelfde manier teruggekeerd naar het middelpunt van de cirkel.

De voordelen van een dergelijke beweging zijn:
1) de afwijkingen op de cirkelomtrek zijn minimaal, er is weinig overshoot en het opstartverschijnsel van de sin- en cos-funktie vallen in het weg te snijden gedeelte.
2) de bewerkingssnelheid is konstant.

Voor het beschrijven van een dergelijke contour is het noodzakelijk dat de cirkelstraal, de bewerkingssnelheid en het aantal omwentelingen opgegeven worden.

Voordat een trepanning-cycle gestart kan worden moet er eerst een gat gemaakt worden door het materiaal. Er moet eerst een bepaalde tijd op een vaste plaats gewacht worden. Dit penetreren van het materiaal gebeurt in het middelpunt van de cirkel. De wachttijd wordt in twee delen opgegeven. Het eerste gedeelte bepaalt het aantal tijdseenheden dat er gewacht moet worden. Het tweede gedeelte geeft de tijdseenheid aan.

De trepanning-cycle-parameters worden in BCD-code aan de hardware doorgegeven. Via een digitale I/O poort worden de trepanning-cycle-parameters serieel naar de hardware doorgegeven. Deze parameters worden gelatched omdat ze continu beschikbaar moeten zijn tijdens een trepanning-cycle.
Met het "Drill Cycle Start" signaal (D.C.S.) wordt een trepanning-cycle gestart. In het "CYCLE CONTROL & PENETRATION DELAY" blok wordt een terugmelding gegeven naar de CNC als er een aanvang gemaakt wordt met een trepanning-cycle. Dit wordt gedaan met het signaal "Cycle In Progress" (C.I.P.). Het signaal "OPEN SHUTTER" geeft aan wanneer de beam-shutter geopend moet worden.



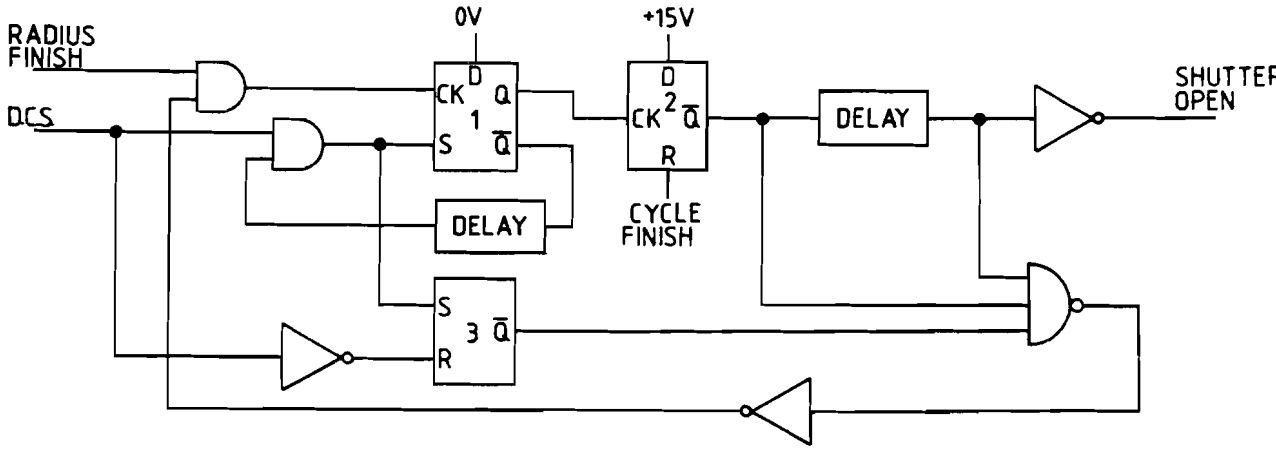
figuur 1.24: blokschema trepanning unit
(zie tekening D4388 sheet 1)

Als een cycle gestart wordt en de beam-shutter wordt geopend, wordt er een bepaalde tijd gewacht voordat de lens bewogen wordt. Deze wachttijd, afhankelijk van het materiaal en de dikte van het werkstuk en de laserenergie, wordt opgegeven met "DELAY" en "DELAY RANGE". Na deze wachttijd wordt het signaal "$\overline{\text{TREPAN}}$" aktief waardoor de beweging gestart wordt.
De digitale uitgang "RADACT", van het blok "TREPAN 1", geeft in 13 bits de radiale uitslag aan. Afhankelijk van de opgegeven snelheid wordt deze uitslag continu in de tijd vergroot. Als een bepaald percentage van de straal bereikt is dan wordt er een pulssignaal doorgegeven via de lijn "ANGLE CLOCK". De frekwentie van dit signaal is een maat voor de hoeksnelheid. Als de cirkel-omtrek bereikt wordt, dan wordt het signaal "FINAL RADIUS" aktief. Er wordt dan alleen nog maar een cirkel-vormige beweging uitgevoerd.

Het blok "TREPAN 2" maakt van de binnenkomende signalen, de straal en hoeksnelheid, de signalen Xpd en Ypd. Deze dienen als stuursignalen voor de servo-systemen.
Over de lijn "$\overline{\text{ORBIT COMPLETE}}$" wordt een puls gegeven als een volledige omwenteling gemaakt is. Deze pulsen worden geteld en als voldaan is aan het opgegeven aantal orbits wordt de trepanning-cycle gestopt.
Over de lijn "R" wordt een analoge spanning, die de werkelijke radiale uitslag aangeeft, teruggevoerd naar "TREPAN 1". Deze waarde wordt vergeleken met de opgegeven straal (RADDEM). Op deze manier wordt bepaald wanneer er met de spiraalvormige benadering van de cirkel-omtrek begonnen wordt.

De blokken "CYCLE CONTROL & PENETRATION DELAY", "TREPAN 1" en "TREPAN 2" worden nu verder uitgewerkt.

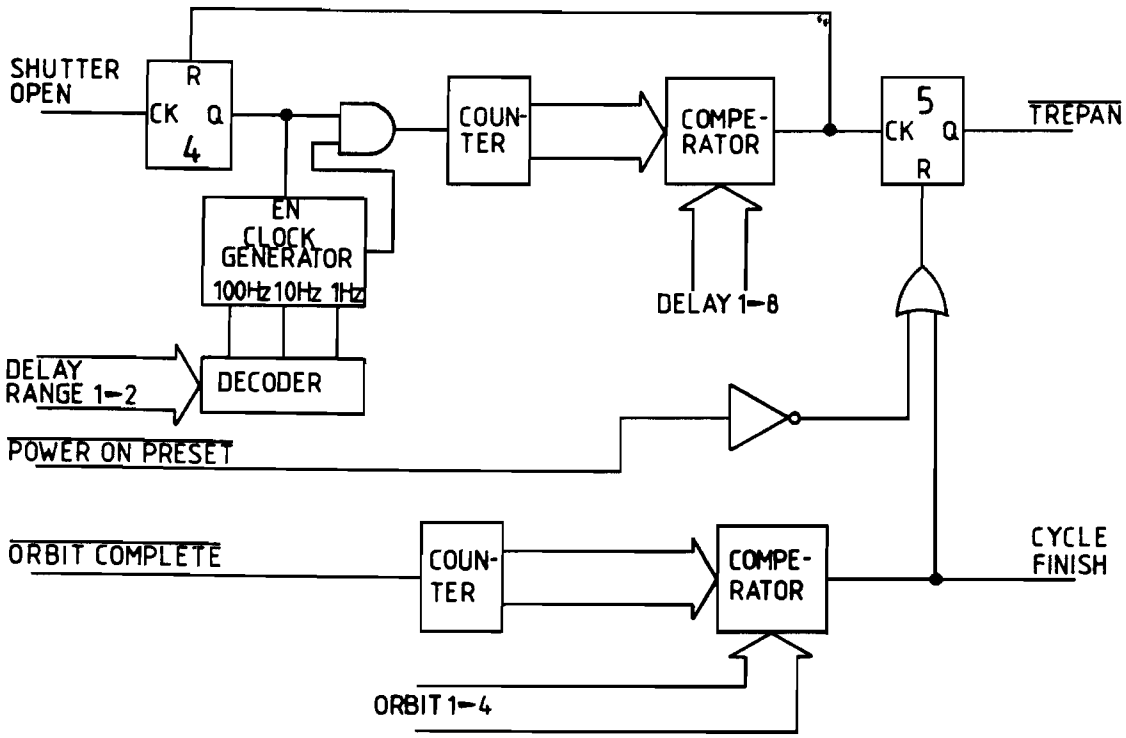
1.5.1 Cycle control & penetration delay
Als een "D.C.S." signaal gegeven wordt moet, indien de schakeling in rusttoestand is, een cycle gestart worden. Is een trepanning-cycle in uitvoering dan moet er gewacht worden totdat deze beëindigd is. Er mag maar één cycle gemaakt worden als "D.C.S." aktief blijft.



figuur 1.25: opbouw cycle control
(zie tekening C4261)

Als "D.C.S." hoog wordt, wordt flip-flop 1 geset. Flip-flop 2 wordt geklokt waardoor Q laag wordt. Via het delay en de inverter wordt het signaal "SHUTTER OPEN" aktief.
Door het hoog worden van "D.C.S." en het laag worden van de $\bar{Q}$-uitgang, van flip-flop 1, wordt de uitgang van de AND-poort gedurende korte tijd hoog. Hierdoor wordt flip-flop 3 geset. Deze flip-flop blijft geset zolang "D.C.S."hoog blijft. Wordt "D.C.S." laag dan wordt flip-flop 3 gereset en de $\bar{Q}$-uitgang hoog.
De gehele schakeling keert terug in zijn begintoestand als "RADIUS FINISH" (=FINAL RADIUS) aktief wordt en "CYCLE FINISH" aktief is en het "D.C.S" signaal gedurende een cycle even laag is geweest.
Is "D.C.S." gedurende een trepan-cycle van hoog naar laag naar hoog gegaan dan wordt direkt na afloop van een trepan-cycle een nieuwe cycle gestart.

Als het signaal "SHUTTER OPEN" aktief wordt dan wordt flip-flop 4 geklokt en de Q-uitgang hoog (zie figuur 1.26). De uitgang van de clock-generator wordt vrijgegeven. Op de uitgang staat een puls-signaal. De puls-frekwentie is afhankelijk van de opgegeven "DELAY RANGE".
Het aantal pulsen wordt geteld en vergeleken met de "DELAY" opgave. Op deze manier wordt een bepaalde tijd gewacht om door het werkstuk heen te komen. Deze penetratie vindt plaats in het middelpunt van de cirkel

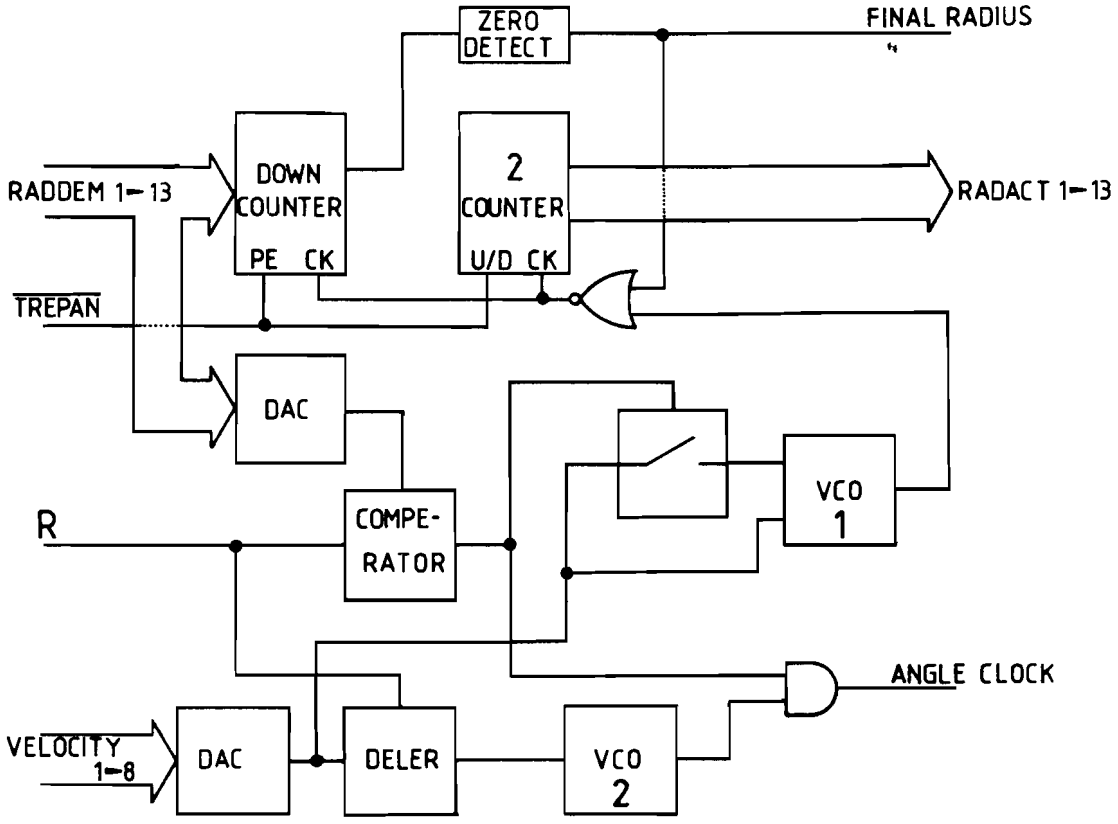


figuur 1.26: opbouw penetration delay
(zie tekening C4261)

Als deze wachttijd verstreken is wordt flip-flop 5 geklokt waardoor "$\overline{\text{TREPAN}}$" aktief wordt. Er wordt dan pas gestart met de beweging.
Het signaal "$\overline{\text{ORBIT COMPLETE}}$" geeft een puls als een gehele cirkel beschreven is. Deze pulsen worden geteld en vergeleken met het opgegeven aantal omwentelingen. Zijn deze aan elkaar gelijk dan wordt het signaal "CYCLE FINISH" aktief en "$\overline{\text{TREPAN}}$" non-aktief. Deze signalen geven aan wanneer een trepan cycle is afgelopen.

1.5.2 Trepan 1

Op het moment dat "$\overline{\text{TREPAN}}$" aktief wordt, wordt de, 13 bits, straalopgave geladen in de down-counter. Op iedere klok puls wordt de down-counter één verlaagd en counter 2 één verhoogd. De uitgang van counter 2 wordt gebruikt voor het realiseren van de radiale beweging. (zie figuur 1.27)
De snelheid van de radiale beweging is afhankelijk van de klok-pulsfrekwentie. Het klok-pulssignaal wordt verkregen uit VCO 1. De stuurspanning van VCO 1 is de uitgang van de Digitaal Analoog Converter. De ingang van deze DAC is de opgave voor de snelheid (VELOCITY).



figuur 1.27: opbouw trepan 1 (zie tekening D4262)

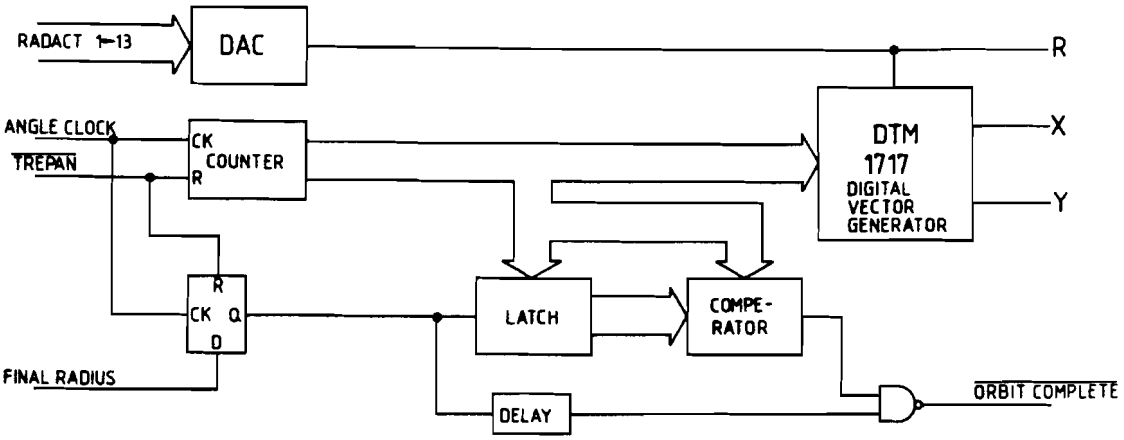
De analoge spanning "R", de radiale uitwijking, wordt vergeleken met de analoge spanning voor de uiteindelijke straal. Als een bepaald percentage van de straal bereikt is, wordt de uitgang van de comperator hoog. Hierdoor wordt de schakelaar gesloten en de pulsfrekwentie voor de down-counter en counter 2 verlaagd.
Op het moment dat de straal bereikt wordt, wordt het signaal "FINAL RADIUS" aktief en wordt het klok-pulssignaal niet meer doorgelaten tot de counters.

Als de uitgang van de comperator hoog is wordt de uitgang "ANGLE CLOCK" vrijgegeven. Het pulssignaal voor de "ANGLE CLOCK" wordt gegenereerd door VCO 2. De stuurspanning voor VCO 2 is de uitgang van de analoge deler. In deze deler wordt de snelheid gedeeld door de straal. De stuurspanning VCO 2 is dan een maat voor de hoeksnelheid.

1.5.3 Trepan 2

Het digitale signaal "RADACT" wordt, via een DAC, getransformeerd naar een analoge spanning "R" voor de radiale uitwijking. Het

pulssignaal "ANGLE CLOCK" wordt toegevoerd aan een counter. De uitgang van de counter wordt, afhankelijk van de hoeksnelheid, verhoogd.



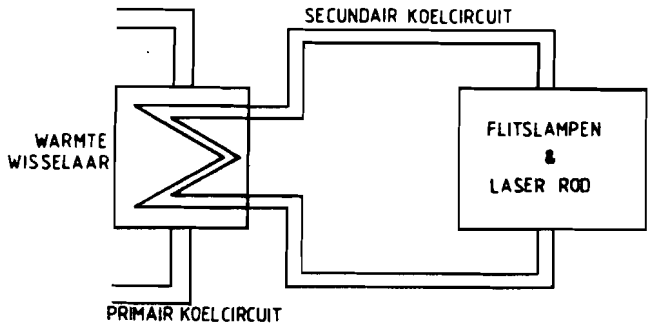
figuur 1.28: opbouw trepan 2 (zie tekening C4263)

Deze twee signalen worden in een digital-vector-generator gestopt. In dit blok wordt, vanuit een analoge spanning "R" en de digitale weergave van de hoek, de signalen Xpd en Ypd gemaakt. In principe is het een transformatie van pool coördinaten naar carthesische coördinaten.

Als de cirkelomtrek bereikt is, wordt "FINAL RADIUS" hoog. Bij een volgende "ANGLE CLOCK" puls wordt de Q-uitgang van de flip-flop hoog. De binaire code voor de tangentiele verplaatsing wordt dan gelatched. Indien een gehele cirkel doorlopen is wordt de binaire code voor de hoek gelijk aan de opgeslagen hoek. De uitgang van de comperator wordt hoog. Indien de andere input van de AND-poort hoog is wordt, gedurende één "ANGLE CLOCK" puls, het signaal "$\overline{\text{ORBIT COMPLETE}}$" aktief.
Op het moment dat de tangentiele uitwijking opgeslagen wordt is de uitgang van de comperator hoog. Er mag echter nog geen "$\overline{\text{ORBIT COMPLETE}}$" puls gegeven worden. De delay uitgang is dan nog altijd laag. Deze wordt pas hoog enige tijd nadat de uitgang van de flip-flop hoog is geworden. Na die tijd wordt het signaal "$\overline{\text{ORBIT COMPLETE}}$" pas vrijgegeven.

1.6 Koeler

De energiepomp, voor de laser, bestaat uit twee flitslampen. Het maximaal vermogen voor iedere lamp is 6 kW. Het maximale laser-vermogen bedraagt 300 W. Het rendement van het laserproces is 2.5 %.
De restenergie wordt omgezet in warmte. Zou deze warmte niet afgevoerd worden dan zou dit nadelige gevolgen hebben voor de laser-rod.

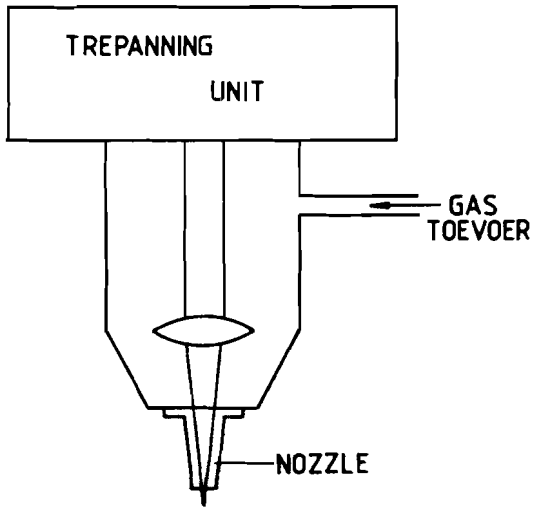


figuur 1.29: het koelsysteem

In een gesloten circuit wordt koelvloeistof rond gepompt. Via een warmtewisselaar wordt de warmte van het secundaire, gesloten, circuit over gebracht naar een primair koelcircuit. Als de temperatuur van de koelvloeistof te hoog wordt, wordt dit doorgegeven naar de CNC. De CNC stopt dan het flitsen van de lamp waardoor verdere toename van de temperatuur gestopt wordt.

In de huidige configuratie wordt er niet getest of er flow is in het primaire koelcircuit. Zou dit gedaan worden in beide koelcircuits dan kon er beter preventief beveiligd worden. Nu wordt er pas gestopt met het laserproces als de temperatuur, van de koelvloeistof, tot een te hoge waarde is opgelopen.

1.7 Gassen



figuur 30: beschermgas concentratie rond het werkpunt

Voor verschillende laserbewerkingen zijn er verschillende

beschermgassen nodig.

De beschermgassen worden door middel van de nozzle op het werkstuk geblazen. In de gasleidingen zijn drukschakelaars opgenomen die testen of het beschermgas wel aanwezig is. Is dit niet het geval dan mag er geen laserbewerking plaatsvinden. Het werkstuk zou dan vernietigd kunnen worden.
Als er geen gas aanwezig is wordt dit doorgegeven aan de CNC en de CNC zorgt ervoor dat er geen bewerking gestart wordt.

1.8 Afzuiging

Tijdens een laserbewerking komen er metaaldampen en beschermgassen in de werkruimte. Deze werkruimte is tijdens een bewerking gesloten. Bij neerslag van de metaaldampen kan de machine beschadigd worden.

De afzuiging wordt aangezet bij het opstarten van de machine en wordt pas gestopt als de machine uitgezet wordt. De afgezogen gassen worden door een elektrostatisch filter gevoerd. Hierin worden de metaaldampen en andere stoffen opgevangen.

Er is geen terugmelding naar de operator, of CNC, of de afzuiging wel in werking is of niet.

1.9 Deuren

De lasermachine is een zogenaamde gesloten machine. Tijdens een laserbewerking moeten de deuren gesloten zijn.
Met behulp van schakelaars wordt getest of de deuren geopend of gesloten zijn. De status wordt doorgegeven aan de CNC. Als de deuren gesloten zijn en een bewerking wordt gestart, worden de deuren vergrendeld zodat deze tijdens een bewerking niet geopend kunnen worden.

Hoofdstuk 2 Keuze van de CNC

Het tweede gedeelte van de afstudeeropdracht was het zoeken naar de meest geschikte CNC voor een, nieuw te ontwerpen, laser-bewerkingsmachine.
De te ontwerpen machine moest aan een aantal eisen voldoen. Vanuit deze eisen moest een keus gemaakt worden voor een CNC.

De CNC moet in staat zijn drie translatie- en één rotatie-as aan te sturen. Deze assen- combinatie, oftewel positioneereenheid, moet aangestuurd kunnen worden volgens:
- punt-punt positioneringsmode
- lineaire interpolatie van drie assen
- circulaire interpolatie van twee assen

Verder moet de CNC de randfunkties kunnen bedienen zoals:
- beam shutter open/close
- gassen aan/uit
- aansturing trepanning unit.

Het moet mogelijk zijn om een spiegeling in een bepaalde richting toe te passen, diametercompensatie op te geven. Het inlezen van een ASCII-code programmatape en programmeerbare nulpunts-verschuiving mag ook geen probleem opleveren.
Als laatste eis moet de programmering zoveel mogelijk identiek zijn aan de programmeer-mode van de CNC, die toegepast wordt in de bestaande 5-assige machine. Hierdoor moet een S-code opgegeven kunnen worden in 5 dekades. Deze S-codes worden gebruikt voor de programmering van de trepanning unit. Zie paragraaf 3.1.

De nauwkeurigheid van de positioneereenheid bedraagt $\pm$ 30 micro-meter voor de translatie assen en 0.02° voor de rotatie as. De maximale verplaatsingssnelheid is respektievelijk 2000 mm/min en 1440 °/min. De maximale slag is in de orde van enkele decimeters. Dergelijke nauwkeurigheden, snelheden en verplaatsingen zijn door alle onderzochte CNC's haalbaar. De nauwkeurigheid is afhankelijk van de nauwkeurigheid van de toe te passen plaatsopnemer. De maximaal haalbare nauwkeurigheid van een CNC is 1 micro-meter.

De geheugenruimte van de CNC moet minimaal uitbreidbaar zijn tot 128 k. Dit is een minimum waarde die in de praktijk bepaald is.

De ondezochte CNC's zijn:
- BOSCH CC 100 M
- PHILIPS CNC 3360
- PHILIPS CNC 3460
- SIEMENS SINUMERIK 810
- ITTER CNC
- ALLEN BRADLEY 8200 CNC
- ALLEN BRADLEY 8600 CNC
- MICON NUMERICON 850
- APA ROAD (geen CNC maar robot)

In de volgende paragrafen worden de onderzochte CNC's kort besproken.

2.1 BOSCH CC 100 M

De code van de programma-tape, met daarop het werkstuk programma, is ISO-code.
De maximale geheugenruimte is 32 k.
S-code, gebruikt voor de programmering van de trepanning unit, in 4 dekaden. Vereist zijn 5 dekaden.

De BOSCH CC 100 M is niet geschikt vanwege de te kleine geheugenruimte en de programmeermode is niet in ASCII-code.

2.2 PHILIPS CNC 3360

Maximale geheugenruimte 54k.
S-code in 4 dekaden.
Werkstukprogramma wel in ASCII-code.

PHILIPS CNC 3360 niet geschikt vanwege de te kleine geheugenruimte en een S-code over 4 dekaden.

2.3 PHILIPS CNC 3460

Geheugen uitbreidbaar tot 256 k en programma tape in ASCII-code.
S-code in 4 dekaden.

PHILIPS CNC 3460 niet geschikt omdat een S-code maar op te geven is in 4 dekaden.

2.4 SIEMENS SINUMERIK 810

Geheugen uitbreidbaar tot maximaal 80 k.
Programmering in ISO- of EIA-code.
S-code in 5 dekaden.

SIEMENS SINUMERIK 810 niet geschikt vanwege de te kleine geheugenruimte en een programmeermode niet in ASCII.

2.5 ITTER CNC

Geheugen maximaal 6000 woord-adressen. Dit komt overeen met ongeveer 3k.
Programma tape in ASCII-code.
Lengte S-code onbekend.

ITTER CNC niet geschikt vanwege een veel te kleine geheugenruimte.

2.6 ALLEN BRADLEY 8200 CNC

Geheugen kan uitgebreid worden met verschillende bubble-memorie-modules, van elk 64 k.
Programmatape in ASCII-code.

S-code in 4 dekaden. Dit kan volgens de leverancier uitgebreid worden tot 5 dekaden.

De ALLEN BRADLEY 8200 CNC is wel, met aanpassing, geschikt om toegepast te worden in een nieuwe machine.

2.7 ALLEN BRADLEY 8600 CNC

Geheugen kan uitgebreid worden met bubble-memorie-modules. De maximale geheugencapaciteit van de A.B. 8600 is groter dan die van de A.B. 8200.
Programma-tape in ASCII-code.
S-code in 5 dekaden.

De ALLEN BRADLEY 8600 CNC is geschikt om toegepast te worden in een nieuwe machine.

De A.B. 8600 is een nieuw ontwikkelde CNC-besturing. De toepassingsmogelijkheden zijn uitgebreider dan de A.B. 8200. In de A.B. 8600 is gebruik gemaakt van de nieuwste technologische ontwikkelingen en is goedkoper dan de A.B. 8200. Aangezien het mogelijk is dat er binnen ELDIM meerdere machines van dezelfde opzet gebouwd zullen worden is er een voorkeur voor de A.B. 8600. Deze zal in de toekomst makkelijker te verkrijgen zijn dan een A.B. 8200.

2.8 MICON NUMERICON 850

Maximale geheugen capaciteit 28 k.
Programmeer-mode en lengte S-code onbekend.

De MICON NUMERICON 850 is niet geschikt vanwege een te kleine geheugenruimte.

2.9 APA ROAD

Dit is geen CNC-besturing maar een robot-arm met besturing. De gehele machine wordt volgens specificaties van een klant ontwikkeld. De totale kosten voor het project zouden dan veel hoger worden dan er gepland was. Bovendien gebeurt de programmering in de, door APA ontwikkelde, taal ROBEX. Het was gewenst dat de programmeer-mode gelijk was aan de huidige programmeer-mode, dit gebeurt nu volgens DIN 66025.

Het APA ROAD systeem is niet geschikt om toegepast te worden in een nieuwe machine. De kosten zouden dan veel te hoog worden en de programmeermode is niet in ASCII-code.

2.10 Uiteindelijke keuze

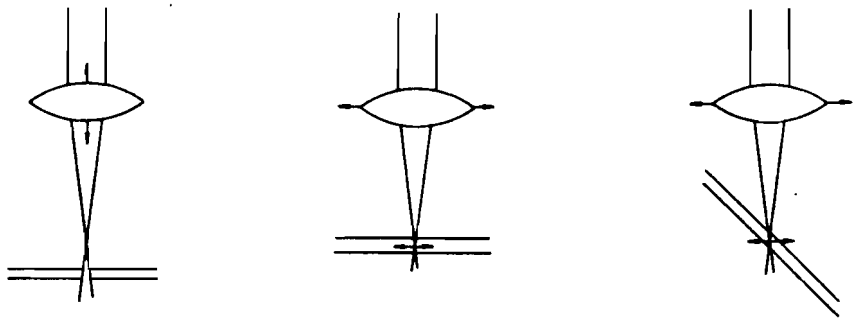
In principe zijn er slechts twee, van de onderzochte, CNC's geschikt om toegepast te worden in een nieuwe machine. Dit zijn de ALLEN BRADLEY 8200 CNC en de ALLEN BRADLEY 8600 CNC. Gezien de mogelijkheden, prijsvoordeel en beschikbaarheid van de besturing in de toekomst is er een uiteindelijke keus gemaakt voor de ALLEN BRADLEY 8600 CNC.

Hoofdstuk 3 De 3-assige trepanning unit

Een bewerking die veel toegepast wordt is het boren van cirkelvormige gaten met een diameter in de orde van millimeters. Voor het boren van dergelijke gaten kan men op twee manieren te werk gaan.

1) "Percussion-mode" boren: de focusseringslens en het werkstuk staan stil. Het oppervlak van het werkstuk bevindt zich uit focus en wel zover dat in dit geval de diameter van de gedivergeerde bundel gelijk is aan de diameter van het te boren gat. Bij dit proces zal de vermogensdichtheid van de laserenergie, op het oppervlak, kwadratisch afnemen bij toenemende gatdiameter. Hierdoor is de maximale gatdiameter ongeveer 0.5 à 0.6 mm voor een laser met een gemiddeld vermogen van 300 Watt. Het geboorde gat zal een conisch verloop hebben.
2) "Trepanning-mode" boren: In deze toepassing wordt met de gefocusseerde laserenergie de omtrek van het te boren gat uitgesneden. Onafhankelijk van de te boren gatdiameter blijft de vermogensdichtheid op het oppervlak konstant. Dit komt de kwaliteit van het geboorde gat ten goede. Een dergelijke boormethode kan gedaan worden door beweging van het werkstuk. Het nadeel hiervan is het in beweging brengen van een relatief zware en variabele massa. Een tweede methode is het bewegen van het brandpunt over het werkstuk. De te bewegen massa is veel kleiner en konstant.

In de huidige 5-assige lasermachine is een 2-assige trepanning unit geplaatst. Met behulp van deze unit wordt de lens bewogen in het x'-y' vlak. Dit vlak is parallel met het X-Y vlak.



figuur 3.1: percussion-mode trepanning-mode trepanning-mode op hellend vlak

Zolang het werkstuk loodrecht op de laserbundel geplaatst wordt levert deze manier van snijden geen problemen op. Is het werkstuk onder een hoek geplaatst dan is het mogelijk dat het brandpunt buiten het werkstuk valt. Met een beweging in een z' richting, loodrecht op x' en y', kan dit verschijnsel gecompenseerd worden. De uitwijking in de z' richting is afhankelijk van de x' en y'

positie, de hoek α die het werkstuk maakt met het x'-y' vlak en een hoek β. De hoek β is de hoek tussen het laagste punt van het werkgebied en de positieve x'-as.

Voor de z' positie geldt dan

$$z'(x',y',\alpha,\beta)=-\tan(\alpha).(x'.\cos(\beta)+y'.\sin(\beta)) \qquad \text{(verg. 3.1)}$$

Het beschrijven van de trepanning-cirkel in het x'-y' vlak gebeurt op dezelfde manier als beschreven in paragraaf 1.5. De z' funktie wordt gerealiseerd met analoge vermenigvuldigers en delers vanuit het x' en y' signaal. De signalen voor de x', y' en z' beweging zijn de stuursignalen voor drie loodrecht op elkaar geplaatste servo-systemen.

3.1 Opbouw trepanning unit

Vanuit de CNC worden de trepanning-cycle parameters serieel in de tijd naar buiten gegeven. Deze parameters zijn :

1) het aantal tijdseenheden voor een wachtperiode
2) de bepaling van de tijdseenheid van de wachtperiode
3) het aantal omwentelingen
4) de omloopsnelheid
5) de straal van het te boren gat
6) de hoek α
7) de hoek β

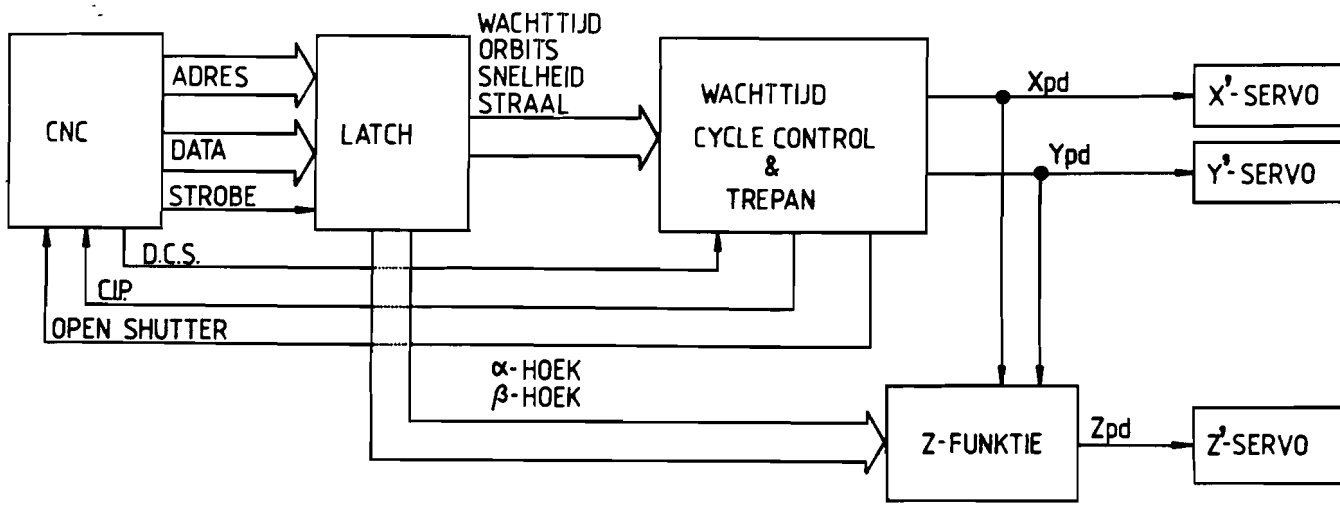
Een parameter wordt opgegeven met een S-code. De opbouw van zo'n code is Syxxxx. Hierin duidt "y" aan om welke parameter het gaat en "xxxx" geeft de waarde aan behorende bij die parameter. Voor de straalopgave zijn vier dekaden noodzakelijk. De straal wordt opgegeven in micro-meter en een resolutie van één micro-meter is, vanwege praktische redenen, noodzakelijk. De maximale straal is 2.5 mm oftewel 2500 micro-meter. Bijvoorbeeld voor een cirkel met een straal van 1.2 mm wordt dan opgegeven S51200.

Voor de S-codes geldt:

-wachttijd	S10000 -> S10099
-vermenigvuldiging wachttijd	S20001 -> S20003
-aantal omwentelingen	S30001 -> S30009
-omloop snelheid	S40010 -> S40720
-straal	S50000 -> S52500
-hoek α	S60000 -> S60600
-hoek β	S70000 -> S70360

De hoek α wordt opgegeven met een resolutie van 0.1°. De resolutie van de hoek β is 1°.

De CNC geeft via adreslijnen aan welke S-code aangeboden wordt. Op de datalijnen is de data, behorende bij die S-code, beschikbaar. Met het "STROBE" signaal wordt de data gelatched. De trepanning-cycle parameters zijn dan kontinu in de tijd beschikbaar.



figuur 3.2: opbouw signalen voor 3-assige trepanning unit

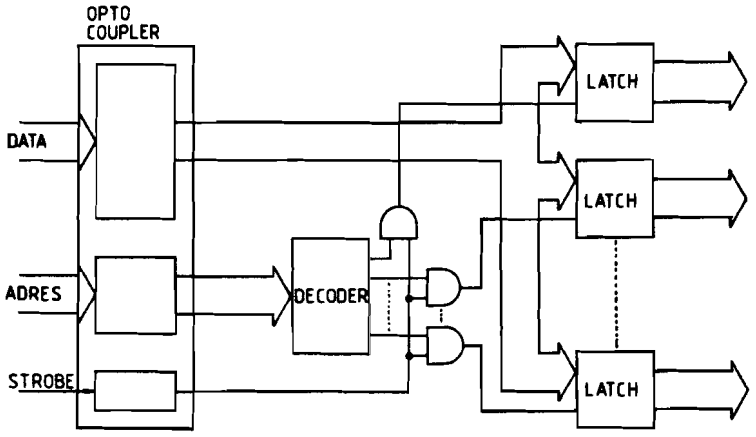
Vanuit de CNC wordt een startpuls gegeven voor een trepanning-cycle. Het blok "WACHTTIJD, CYCLE CONTROL & TREPAN CYCLE" genereert het Xpd- en Ypd-signaal en een penetratie-tijd. Dit gebeurt op dezelfde manier als de bij de in gebruik zijnde trepanning unit. Het blok "Z-FUNKTIE" genereert het Zpd-signaal volgens de eerder gegeven funktie. Zie vergelijking 3.1. De signalen Xpd, Ypd en Zpd zijn de stuursignalen voor drie identieke servo-systemen.

3.1.1 Het latch blok

De trepan-cycle parameters moeten, voor een trepan-cycle, kontinu in de tijd beschikbaar zijn. Om dit te realiseren zijn er twee mogelijkheden. Ten eerste I/O van de CNC reserveren voor de trepan-cycle parameters. Hiervoor zou een uitbreiding van de I/O noodzakelijk zijn. Ten tweede het extern opslaan van de trepan-cycle parameters.
Het extern opslaan is de goedkoopste oplossing. Er moet bovendien een extra aanpassing gebeuren aan de outputspanning van CNC. De outputspanning van de CNC is 24 V, niet gestabiliseerd. De schakelingen voor het genereren van de trepanning-cycle werken met een spanning van 15 V. Bij het extern opslaan van de parameters kan een aanpassing direkt op de latch-kaart gemaakt worden.

Vanwege de grote van de komponenten en het beperkt aantal signaal lijnen per connector zijn er twee latch-kaarten nodig. Op latch-kaart 1 wordt de hoek α , de hoek β en de snelheid opgeslagen. Op latch-kaart 2 wordt de wachttijd, de vermenigvuldiging van de wachttijd, het aantal omwentelingen en de straal opgeslagen.

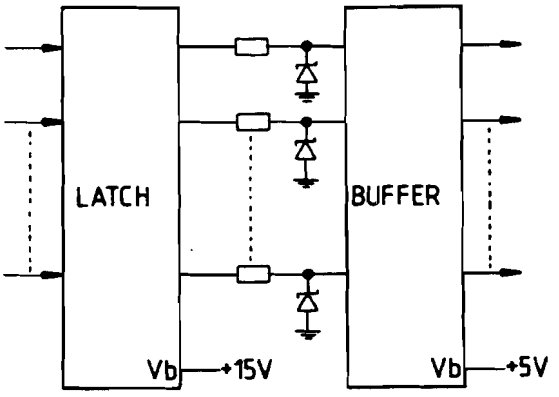
De latch-kaarten en de CNC worden galvanisch gescheiden met opto-couplers. Het blokschema van een latch-kaart ziet er als volgt uit.



figuur 3.3: blokschema latch-kaart

Op de uitgang van het opto-coupler blok is een spanning aanwezig die voldoet aan de specificaties van de gebruikte IC's. De benodigde data-lijnen zijn op iedere latch aanwezig. De opgegeven adres-code wordt gedecodeerd waardoor slechts één lijn op de uitgang van de decoder hoog is. Als het "STROBE" signaal hoog wordt, wordt de uitgang van een AND-poort hoog en wordt de trepanning-cycle parameter in de juiste latch opgeslagen.

Op de latch-kaarten is een, niet getekende, reset-lijn aangebracht. Het is de bedoeling dat bij de start van een werkstukprogramma deze lijn voor korte tijd hoog wordt waardoor de latch-kaart in een gedefinieerde begintoestand komt.



figuur 3.4: aanpassing latch-uitgang tot TTL niveau

Het logisch uitgangniveau van een latch is 15 V voor "1" en 0 V voor "0". Deze 15 V spanning is te hoog voor de α en β hoek ingang op de Z-funktie kaart. Deze ingang moet van TTL niveau zijn. Op latch-kaart 1 is daarom aan de uitgang van de latch voor de α en β hoek de volgende schakeling aangebracht weergegeven in figuur 3.4.

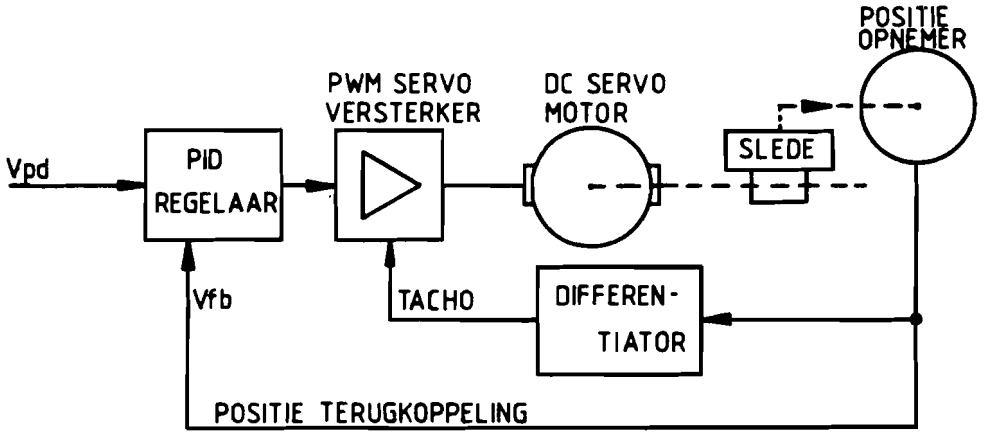
De diode is een zenerdiode van 4.3 V. Met de mogelijke afwijking in deze waarde blijft nog steeds de ingangsspanning van de buffer een logisch "1" op TTL niveau.

3.2 Het servo-systeem

De nieuwe trepanning unit is uitgebreid met een derde bewegingsrichting. De signalen Xpd en Ypd beschrijven een nauwkeurige trepanning-cycle. Het signaal Zpd is dermate nauwkeurig dat, bij een exacte volging, het brandpunt steeds in het werkstuk zou vallen.

Voor het nauwkeurig volgen van het stuursignaal is het belangrijk dat alle servo-systemen hetzelfde en snel reageren, zie paragraaf 3.3.

Een servo-systeem is als volgt opgebouwd.



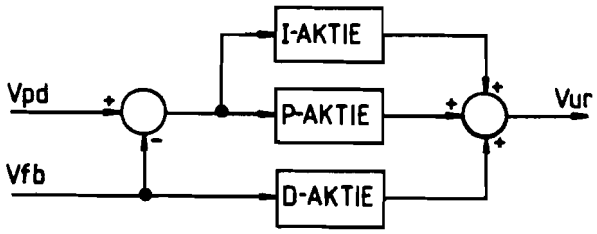
figuur 3.5: servo-systeem gebruikt in trepanning unit

Hierin is Vpd het stuursignaal

De P-, I- en D-aktie is regelbaar zodat elke richting is af te regelen tot een identieke respons.

3.2.1 De PID-regelaar

Het mechanisch systeem is bij benadering een lineair systeem. Dit kan het beste geregeld worden met een lineaire regelaar.



figuur 3.6: PID-regelaar toegepast in servo-systeem

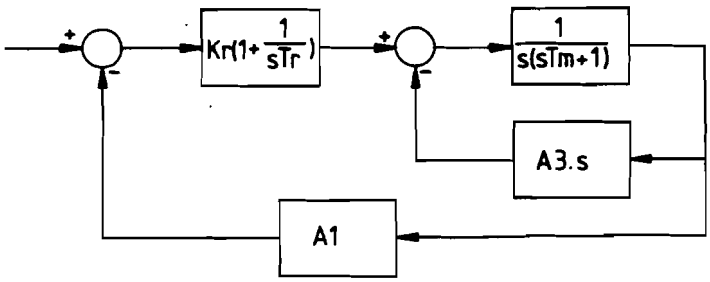
De overdrachtsfunktie van de regelaar is

$$-Vur=Kr.(1+1/sTr).(Vpd-A1.Vfb)-A3.s.Vfb \qquad \text{(verg. 3.2)}$$

Het mechanisch systeem is de servo versterker, motor,slede, positieopnemer en tachoterugkoppeling. De overdrachtsvergelijking hiervan is

$$\frac{Km}{s(sTm+1)} \qquad \text{(verg. 3.3)}$$

Het totale systeem is:



figuur 3.7: blokschema servo-systeem

De overdrachtsvergelijking hiervan is

$$H(s)=\frac{(Km/Tm)(Kr/Tr)(1+sTr)}{s^3+s^2(1+KmA3)/Tm+sKmKr/A1Tm+(Km/Tm)(Kr/Tr)A1} \qquad \text{(verg. 3.4)}$$

De algemene overdrachtsvergelijking van een derde orde systeem met een nulpunt is

$$H(s)=\frac{Atot(s+z1)}{(s+p1)(s+p2)(s+p3)} \qquad \text{(verg. 3.5)}$$

waarin : Atot=p1.p2.p3/z1 (verg. 3.6.a)
p1+p2+p3=(1+Km.A3)Tm (verg. 3.6.b)
p1.p2+p1.p3+p2.p3=A1.Km.Kr/Tm (verg. 3.6.c)
p1.p2.p3=(Km/Tm).(Kr/Tr).A1 (verg. 3.6.d)

3.2.2 De PWM servo-versterker

De DC-servomotor wordt aangestuurd met een pulsbreedte-gemoduleerd vermogenssignaal. De breedte van de puls is afhankelijk van het verschil van de uitgangsspanning van de regelaar en de tachospanning.
Er is gekozen voor een pulsbreedte-gemoduleerde servo-versterker vanwege het rendement en het realiseerbare toerental van de motor. Het toerental van de motor is minimaal 0.5 omw/min. Dit is mechanisch niet realiseerbaar met een analoge versterker.

3.2.3 De positie opnemer

Er is gekozen voor een positie opnemer volgens het LVDT principe. Dit systeem werkt met de beïnvloeding van wederzijdse inductie. Een metalen pin wordt tussen twee spoelen bewogen. Afhankelijk van de positie van de metalen pin is de amplitude van de, op de secundaire spoel, geïnduceerde spanning groter of kleiner. De niet lineairiteit van de LVDT voor de x'- en y'-as is 0.1%. De uitgangsspanning van de gebruikte LVDT is een analoge spanning.

het voordeel van een LVDT ten opzichte van een potentiometer is dat er bij een LVDT geen bewegende kontakten zijn. Er is dan geen slijtage.

3.2.4 De differentiator

Vanwege het bereik van het toerental van de motor is er gekozen voor een pulsbreedte-gemoduleerde servo-versterker. De servo-versterker kan, volgens de specificaties, alleen dit bereik halen als er een tacho-terugkoppeling aanwezig is. Een tacho-generator op de motor zetten was, vanwege plaatsgebrek, niet mogelijk.

Het tacho-signaal is een maat voor de verplaatsingssnelheid. Een dergelijk signaal kan ook verkregen worden door differentiatie van het positie-signaal.

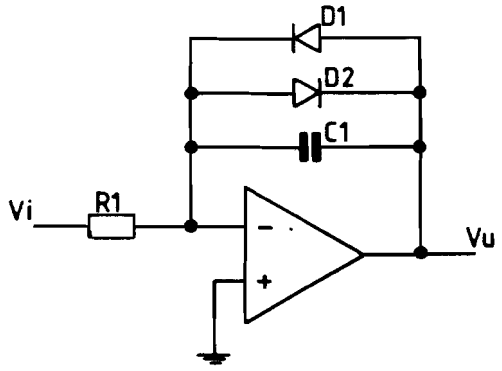
3.3 De afregeling van een servo-systeem

Een servo-systeem moet dusdanig afgeregeld worden dat de responsie van het systeem snel genoeg is en de mechanische uitwijking moet identiek zijn aan de, elektronisch, opgegeven uitwijking, in steady state.

Voor het afregelen van de mechanische uitwijking moet er voor gezorgd worden dat het nulpunt, van iedere bewegingsrichting, in het midden ligt van het lineaire gebied van de LVDT. Het lineaire gebied kan gevonden worden door het meten, over het gehele bewegingsbereik (ongeveer 10 mm voor x' en y' en 20 mm voor z'), van de uitwijking en de daarbij behorende feedback-spanning. Vervolgens het zoeken van een gebied van 5 mm voor x' en y' en een gebied van 9 mm voor z', waarin de meest ideale rechte door de meetpunten een zo klein mogelijke afwijking vertoont met de gemeten punten. Dit kan gedaan worden met het programma "RECHTE1". Dit programma berekent, volgens de minimum-kwadraat-methode, de meest ideale rechte door de meetpunten. Voor de werking van dit programma zie bijlage 1.

Als het nulpunt afgeregeld is moet de versterkingsfaktor Al dusdanig afgeregeld worden dat de werkelijke uitslag, in milli meters, gelijk is aan de gevraagde uitwijking, in volt.
Voor het afregelen van de responsie moet de P-, I- en D-aktie ingesteld worden. Het probleem is dat het onmogelijk is om de mechanische parameters te voorspellen. Door een groot instelbereik te nemen voor de P-, I- en D-aktie is het mogelijk om het systeem goed af te stellen.

Een I-aktie is noodzakelijk om de juiste plaats te bereiken, zoals het steeds terugkeren in het nulpunt. Door de wrijving is het mogelijk dat er een afwijking is tussen de gewenste uitwijking en de werkelijke uitwijking. Bij een P- of een PD-regelaar is, indien de afwijking klein is, de uitgangsspanning van de regelaar te klein om nog een verbetering van de positie te verkrijgen. Een I-aktie zal de uitgangsspanning in de tijd toe laten nemen waardoor deze hoog genoeg wordt om een positieverandering te realiseren. Voor een systeem is het gunstig als de I-aktie beperkt wordt tot een kleiner gebied dan de P- en D-aktie. Een dergelijke I-aktie wordt gerealiseerd met de volgende schakeling.



figuur 3.8: afgeklemde integrator

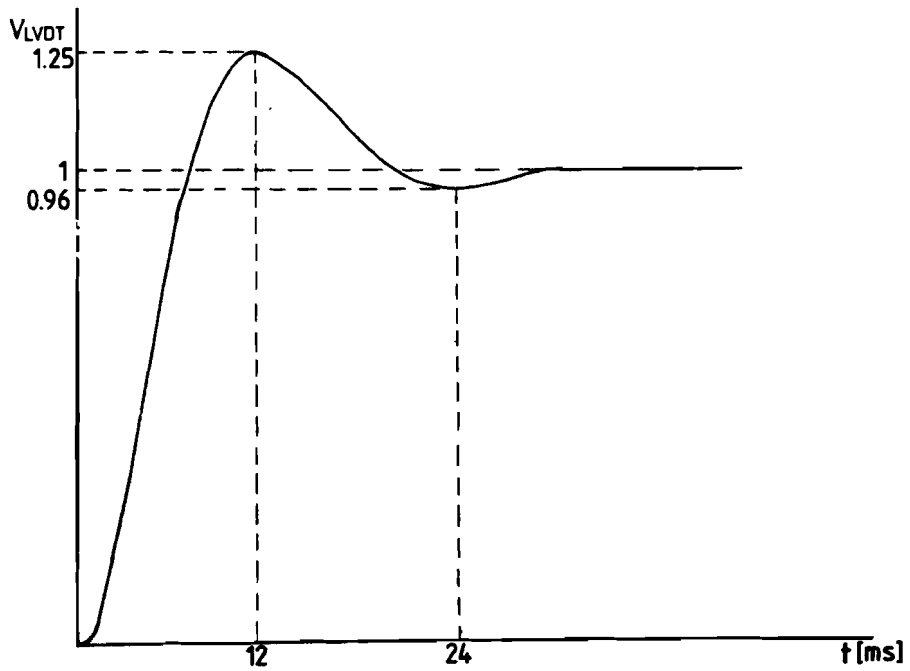
Als de spanning over de condensator te groot wordt dan gaat D1 of D2 geleiden waardoor de maximale uitgangsspanning van de

integrator tussen -0.6 V en +0.6 V ligt. Deze spanning is hoog genoeg om een beweging te realiseren.

Het is belangrijk dat de x'-, y'- en z'-richting exact identiek reageren. Dit moet vanwege het faseverschil en amplitudeverschil, tussen het in- en uitgangssignaal, van het servo-systeem. Het faseverschil moet voor alle drie de richtingen hetzelfde zijn. Hetzelfde geldt voor het amplitudeverschil. Is er een afwijking bijvoorbeeld tussen het x' en y' servo-systeem dan wordt er een elips beschreven in plaats van een cirkel.

Er is gekozen voor een instelling, van de PID-regelaar, zodanig dat voor het totale systeem geldt dat er twee complexe polen, een reële pool en een nulpunt aanwezig is. De complexe polen hebben de meeste invloed op het systeem. Er is dan een uitslingering, bij een sprongvormig ingangssignaal, aanwezig. Een instelling waarvoor geldt dat het reële deel gelijk is aan 0.6 maal het imaginaire gedeelte, van de complexe polen, levert een ideale sprongrespons op. Bij een dergelijke instelling is ook de afwijking ten opzichte van de ramp-funktie, voor de radiale verplaatsing, klein.

De sprongrespons van een systeem, met de eerder gegeven verhouding tussen reële en imaginaire gedeelte, ziet er als volgt uit.



figuur 3.9: sprongrespons afgeregeld servo-systeem

De in de figuur opgegeven waarden zijn richtgetallen en hoeven

niet exact gehaald te worden.

Belangrijk is wel dat de respons van alle drie de systemen identiek is. De beste volgorde van afstellen is als volgt. Zet een sprongvormig signaal op Xpd. Let er wel op dat de trepan-kaarten niet meer aangesloten zijn. Regel het x' servo-systeem af. Zet hetzelfde signaal, als op Xpd aanwezig is, op Ypd. Meet met de skoop de feedback signalen. Met de "X=A Y=B" knop ingedrukt zou er dan een lijn, onder 45 graden, op het scherm zichtbaar moeten zijn. Door het afregelen van de P-, I- en D-aktie kan de y'-responsie identiek gemaakt worden aan de x'-responsie. Indien het beeld op de skoop niet symmetrisch is rond 0 dan moet dit eerst symmetrisch gemaakt worden door instelling van de maximale stroom op de servo-versterker. Nadat het y' servo-systeem ingesteld is kan de z' op een identieke manier ingesteld worden.

3.4 Aanpassingen aan de servo-versterker

De servo-versterker is ontworpen om een DC servo-motor/tacho combinatie met een konstant toerental te laten draaien. De ingangsspanning is een opgave voor het toerental. Deze spanning wordt vergeleken met de tacho-terugkoppeling en via een PI-regelaar wordt het gewenste toerental bereikt. In de servo-versterker is een dode-zone aangebracht. Deze zorgt ervoor dat bij een kleine ingangsspanning de motor nog niet aangestuurd wordt. In feite wordt het ruissignaal eruit gefilterd.

Voor de toepassing in het ontworpen systeem is de I-aktie niet nodig. Deze is al aanwezig in de positie-regeling. Is de I-aktie wel aanwezig dan is het mechanisch systeem anders dan het verondersteld mechanisch systeem. De dode zone mag ook niet aanwezig zijn. Dit genereert een extra wrijving in het systeem. Bij het doorlopen van een sinus keert het ingangssignaal, van de servo-versterker, om van teken. De ingangsspanning rond dit punt is klein en de motor zal stil blijven staan waardoor een afvlakking van de sinus optreedt. Als laatste is de versterkings-faktor van de servo-versterker te hoog.

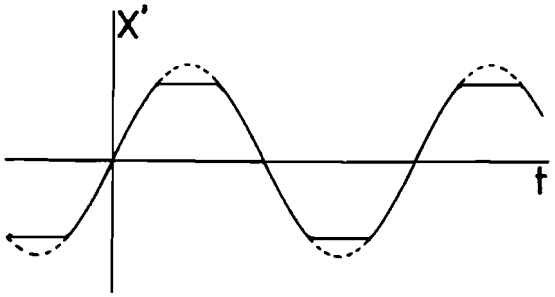
De aanpassingen die gemaakt moeten worden zijn dan:
- C2 vervangen door een doorverbinding (I-aktie weg)
- C5 en C6 verwijderen (I-aktie weg)
- R2 vervangen voor een weerstand van 47k (versterkingsfaktor omlaag)
- R41 en R46 verwijderen (dode zone weg)

Zie layout van de servo-versterker. Let op bij het verwijderen van R41 en R46. Deze weerstanden zijn fout weergegeven in de layout van de componenten.

3.5 Aanpassing aan de lineaire PID-regelaar

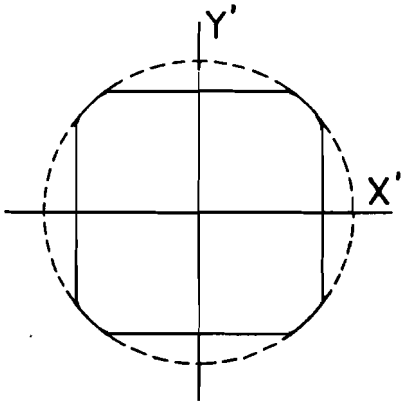
Het mechanisch systeem is bij benadering lineair. Een niet-

lineairiteit die optreedt is de wrijving. Deze heeft als gevolg dat de toppen van de sinus afgekapt worden.



figuur 3.10: invloed van wrijving op een sinus-vormige beweging

Hierdoor ziet de beschreven contour er als volgt uit



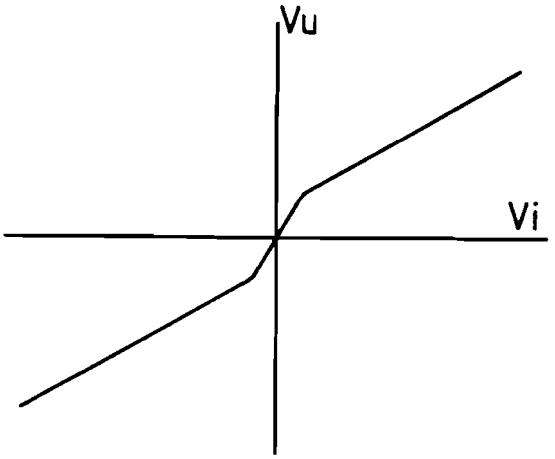
figuur 3.11: invloed van wrijving op cirkel beweging

De uitgang van de regelaar is rond de toppen nagenoeg nul. De stroom door de motor is dan klein. Het opgewekte koppel is te klein om de wrijving te overwinnen.

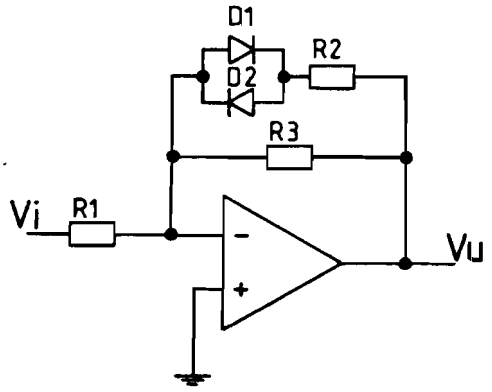
Om dit verschijnsel gedeeltelijk te neutraliseren is er een niet-lineaire eindtrap op de PID-regelaar aangebracht. De versterking van de eindtrap is rond nul hoger dan buiten dit gebied. Zie figuur 3.12.

De schakeling die hiervoor zorgt is weergegeven in figuur 3.13.

Bij een kleine ingangsspanning geleiden de diodes niet waardoor de versterking gelijk is aan R3/R1. Bij een grotere ingangsspanning is een diode in geleiding waardoor de versterking ongeveer gelijk is aan R2.R3/(R1(R2+R3)).



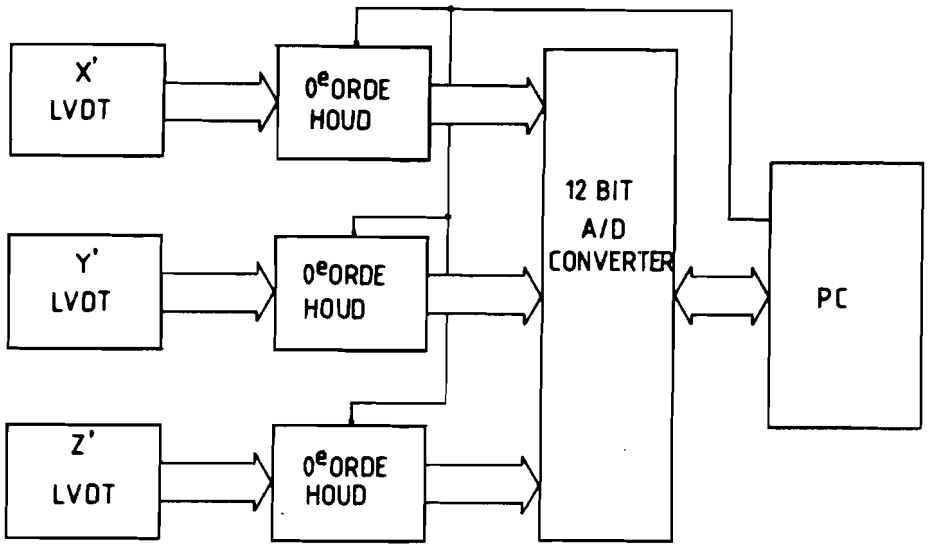
figuur 3.12: Vi-Vu relatie van de niet-lineaire eindtrap



figuur 3.13: de niet-lineaire eindtrap

3.6 Dynamische meting trepanning unit

Een mechanisch systeem dynamisch te meten is vrijwel onmogelijk. Het is wel mogelijk om de uitgangsspanning van de LVDT's dynamisch te meten. Dit kan gedaan worden met behulp van een Personal Computer en een daarbij behorend data-aquisitie systeem. De meetopstelling is weergegeven in figuur 3.14.
De nulde-orde houdcircuits samplen op hetzelfde moment de feedback-spanning van de x'-, y'- en z'-richting. Het samplen wordt gesynchroniseerd met behulp van een puls gegeven vanuit de PC. Vervolgens worden de analoge spanningen getransformeerd, via een ADC, naar een digitale code. Deze code wordt opgeslagen in de PC.



figuur 3.14: dynamische meting trepanning unit

Tijdens een cirkel kunnen er enkele honderden samples genomen worden. Vanuit deze spanningen kan de werkelijke mechanische uitwijking bepaald worden. Er kan dan de meest ideale cirkel door de meetpunten, van de x'- en y'-richting, berekend worden. De afhankelijkheid van de z'-beweging, van de x'- en y'-beweging, is bekend. De afwijking van de werkelijke z'-beweging ten opzichte van de gewenste z'-beweging kan dan berekend worden.

Stel dat de x'- en y'-uitwijkingen bekend zijn. Er geldt, als het middelpunt van de cirkel het punt x=0 y=0 is

$$X'^2+Y'^2=R^2$$

Voor de metingen geldt

$$X_i'^2+Y_i'^2=R^2+\xi_i$$

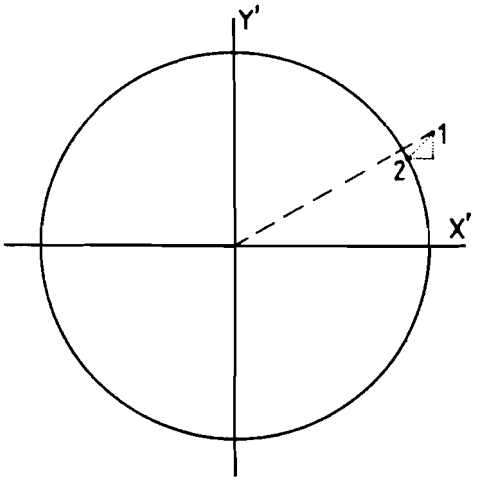
waarin ξ_i de afwijking is.
Met de minimum-kwadraat-methode volgt hieruit

$$\sum_{i=1}^{n}[(X_i'^2+Y_i'^2)-R^2]=0$$

$$nR^2=\sum(X_i'^2+Y_i'^2)$$

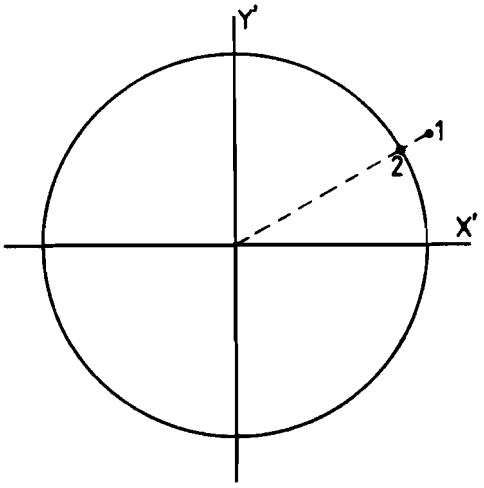
$$R^2=\frac{\sum(X_i'^2+Y_i'^2)}{n}$$

Het is nu mogelijk om de afwijking, voor ieder meetpunt, ten opzichte van de ideale cirkel te bereken. De meetpunten x' en y' kunnen voor ieder paar meetpunten gedeeltelijk gecompenseerd worden. Dit kan gebeuren door aan te nemen dat de fout in x'- en y'-richting even groot is. Het is dan wel mogelijk dat er meerdere gecompenseerde punten berekend worden.



figuur 3.15: aanpassing meetpunten als fout in x'-richting gelijk is aan de fout in y'-richting
punt 1: gemeten x' en y'
punt 2: aangepaste x' en y'

Een andere methode van aanpassing, van de x'- en y' meetpunten, kan gedaan worden door te veronderstellen dat de fout loodrecht op de cirkel omtrek ligt.



figuur 3.16: aanpassing meetpunten als fout minimaal is
punt 1: gemeten x' en y'
punt 2: aangepaste x' en y'

Vanuit de aangepaste x' en y' meetpunten kunnen de bijbehorende z'-punten berekend en vergeleken worden met de gemeten punten.

Er kan ook gemeten worden, op eenzelfde manier, hoe nauwkeurig de signalen Xpd, Ypd en Zpd zijn.

Het bewegingsbereik van x' en y' is 5 mm. Het spanningsverschil tussen minimum en maximum uitwijking is 14 V, lopend van -7 V tot +7 V. De ADC transformeert spanningen van -10 V tot +10 V naar een 12 bits binaire code. De resolutie die gehaald kan worden, voor de x'- en y'-richting, bedraagt dan ongeveer 1.7 micro-meter. Voor de z'-richting is dit 3.1 micro-meter. De feedback-spanning voor de z'-richting ligt tussen -7 V en +7 V voor een bewegingsbereik van 9 mm.

3.7 Communicatie tussen CNC en trepanning unit

De communicatie lijnen tussen CNC en trepanning unit zijn "OPEN SHUTTER", "HIGH PRESSURE GAS O.K.", "DRILL CYCLE START" EN "CYCLE IN PROGRESS".

Het "DRILL CYCLE START" signaal wordt aktief als er een trepanning-cycle gestart moet worden. Als een cycle gestart wordt moet de beam-shutter geopend worden. De "CYCLE CONTROL & PENETRATION DELAY CARD" geeft een melding aan de CNC wanneer de shutter geopend kan worden. Het signaal "CYCLE IN PROGRESS" is aktief zolang er een trepanning-cycle in uitvoering is. Er mag dan geen beweging van de positioneereenheid plaats vinden. Het signaal "HIGH PRESSURE GAS O.K." is aktief als het benodigde beschermgas aanwezig is. Als dit signaal aktief is dan kan het signaal "OPEN SHUTTER" aktief worden. Dit is hardwarematig gere-aliseerd. Wordt het signaal "OPEN SHUTTER" non-aktief dan moet de beam-shutter sluiten.

3.8 Trepanning unit geschikt voor CNC aansturing

In de huidige configuratie worden de bewegingsfunkties voor de x'-, y'- en z'-as buiten de CNC gegenereerd. De stuursignalen zijn signalen voor een positieregeling. Het is, met de bestaande hardware, alleen mogelijk om cirkelvormige bewegingen te beschrijven.

De combinatie servo-versterker, spindel en moer kan ook aangestuurd worden vanuit de CNC. De servo-versterker moet dan wel weer teruggebracht worden naar de originele versie. Op de DC-motor moet een tacho-generator geplaatst worden waarvan de uitgangsspanning terug gekoppeld wordt naar de servo-versterker.

Voor de plaats terugkoppeling zijn er twee mogelijkheden. Ten

eerste gebruik maken van de LVDT en de analoge uitgangsspanning terug voeren naar een speciale I/O van de CNC. Dit is een 8 bits A/D-converter. Op deze manier kan, over een bereik van 5 mm, een resolutie bereikt worden van ongeveer 20 micro-meter. Ten tweede een resolver, inductosyn of pulsgever plaatsen voor de plaats-terugkoppeling. De CNC moet dan wel uitgebreid worden met een extra kaart.
Er is een voorkeur voor een glaslineaal als wegmeet- systeem. Deze kan zonder verdere aanpassingen direkt aangesloten worden op de CNC. Een glaslineaal is verkrijgbaar in een uitvoering waarop een nulpunt is aangegeven. Een extra home-switch is dan niet noodzakelijk.

Bij aansturing van de trepanning unit vanuit de CNC kunnen ook andere profielen beschreven worden. Het is niet mogelijk de z'-as aan te sturen met de geëiste funktie, als de x'- en y'-as een cirkulaire interpolatie uitvoeren. Dit probleem zou opgevangen kunnen worden door een punt-punt interpolatie toe te passen.

Hoofdstuk 4 Ontwerp van een 4-assige laserbewerkingsmachine

Het laatste gedeelte van de afstudeeropdracht was het ontwerpen van een 4-assige laserbewerkingsmachine. Tijdens het afstuderen was er slechts tijd om een algemeen blokschema voor een dergelijke machine op te zetten. Dit blokschema is weergegeven in figuur 4.1.

De 4-assige machine moet en zogenaamde open machine worden. Dit wil zeggen dat het werkstuk, tijdens een bewerking, niet in een afzonderlijk, afgesloten ruimte geplaatst is. Een voorlopig mechanisch ontwerp, gemaakt door ir. G.J.L van de Kerkhof, is weergegeven in figuur 4.2 .

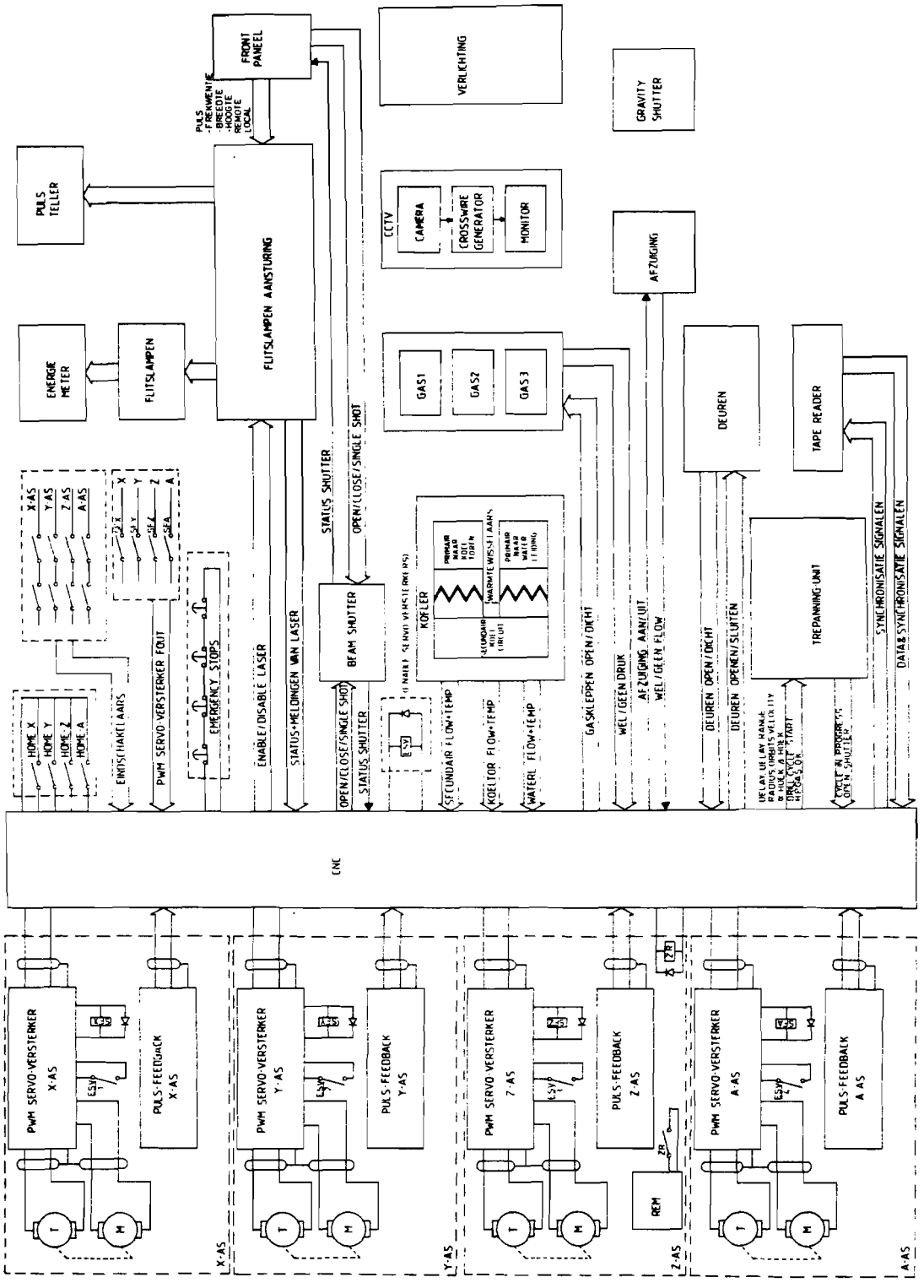
4.1 CNC en positioneereenheid

Op de CNC zijn aparte outputs beschikbaar voor de aansturing van de servo-versterkers. Iedere servo-versterker stuurt een motor/tacho combinatie aan. De motor brengt, via een overbrenging, een spindel/moer-combinatie in beweging waardoor een mechanische verplaatsing gerealiseerd wordt.

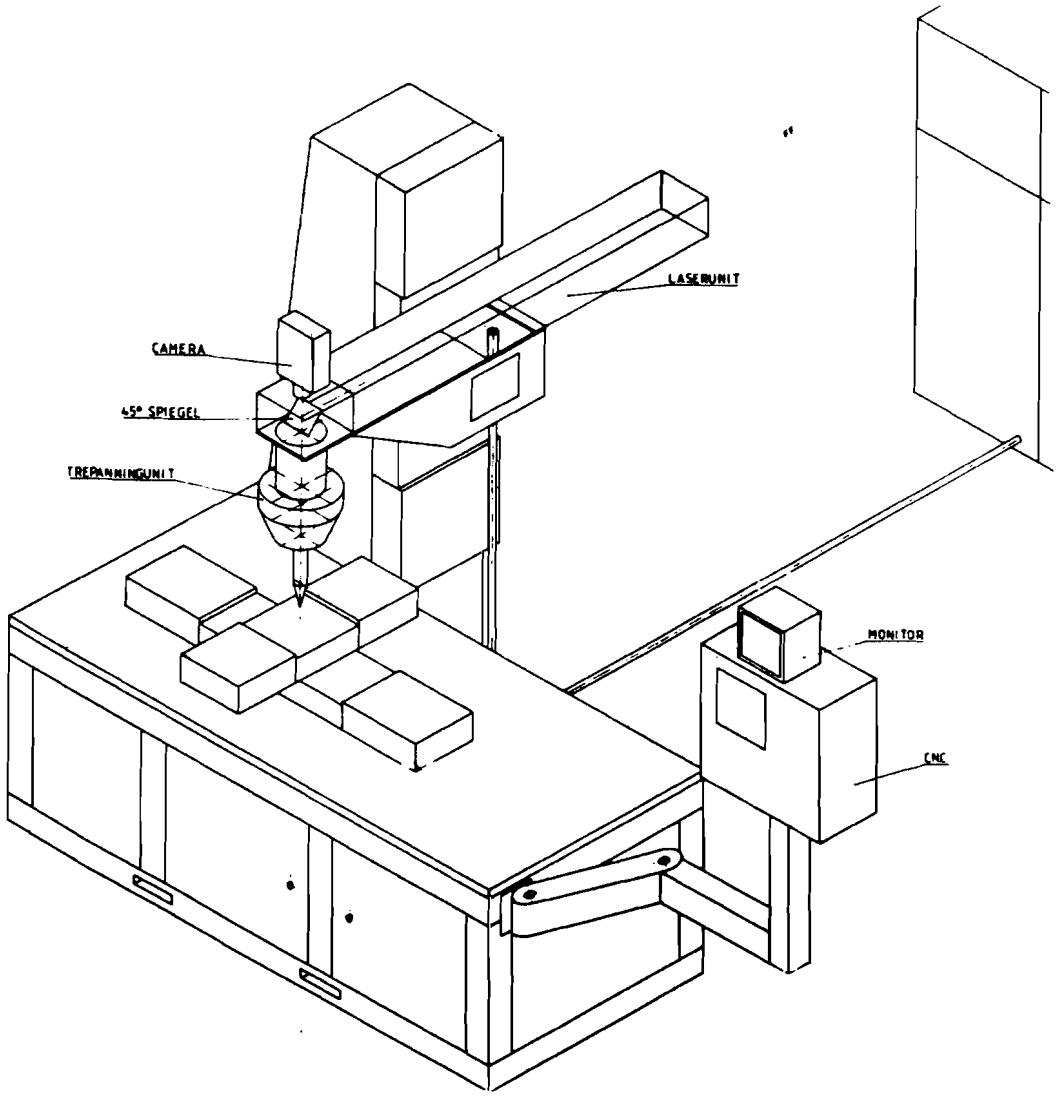
De plaatsopnemer kan geplaatst worden op de motor-as of op de slede. In het eerste geval wordt het aantal omwentelingen van de motor bijgehouden. Hieruit kan, rekening houdend met de overbrenging en de spoed van de spindel, de verplaatsing berekend worden. Een nadeel van deze methode is dat de niet-lineairiteit van de spindel niet gecompenseerd kan worden. Het voordeel is dat er met een relatief goedkope plaatsopnemer gewerkt kan worden. Als de plaatsopnemer op de slede aangebracht wordt, dan wordt een afwijking in de spoed van de spindel wel gecompenseerd. De plaatsopnemer moet wel een lengte hebben die minimaal gelijk is aan het totale bewegingsbereik.

Als plaatsopnemer zijn drie types geschikt. Dit kan zijn een resolver, een inductosyn of een puls-gever. Een puls-gever geeft een puls nadat een bepaalde afstand is afgelegd. Afhankelijk van de keuze van het feedback systeem moet de I/O van de CNC besteld worden.

Op de servo-versterker zit een schakelaar die de uitgang van de servo-versterker vrijgeeft. Deze schakelaar wordt pas gesloten als de CNC op spanning is. Dit wordt gedaan opdat er bij het opstarten geen ongecontroleerde beweging plaatsvindt.
Een relais op iedere servo-versterker sluit of opent een schakelaar als er een fout in de servo-versterker optreedt. De schakelaar geeft een terugmelding via de digitale I/O van de CNC. Het aanwezig zijn van deze mogelijkheid is afhankelijk van de keuze van de servo-versterker.



figuur 4.1: blokschema 4-assige laserbewerkingsmachine



figuur 4.2: voorlopig mechanisch ontwerp van de 4-assige laser-bewerkingsmachine

Op de Z-as is een rem aangebracht. De remmende werking is aanwezig als de machine uit is. Het is ook mogelijk om de rem op de Z-as te houden zolang er geen Z-beweging gevraagd wordt. Het is namelijk mogelijk dat de Z-as door zijn eigen gewicht naar beneden zakt waardoor een beschadiging kan optreden aan de lenshouder, nozzle en trepanning unit.

4.2 Home schakelaars

Als de machine opgestart wordt is de uitwijking, van iedere as, onbekend voor de CNC. In verband met de beveiliging en herhaalbaarheid van bewerking, is het belangrijk dat aan de CNC bekend is wat de uitwijking in elke richting is.

Na het opstarten wordt elke as eerst gereset. Dit gebeurt door het aanvaren van de home switch en het verbreken/maken van het kontakt. In de CNC software is een homing-routine opgenomen. Deze kan gebruikt worden. Het is ook mogelijk om een homing-routine in de interfacesoftware te plaatsen.

4.3 Eindschakelaars

Deze dienen om een beweging te stoppen voordat de mechanische eindwaarde bereikt wordt. Het is mogelijk om in het interface-programma een werkgebied af te bakenen met software-eindschakelaars.

Op het eind van iedere as is een extra schakelaar opgenomen. Bij het aanvaren van deze schakelaar wordt de voeding voor de alle servoversterker verbroken waardoor een verdere beweging gestopt wordt. Tevens wordt een melding naar de CNC gegeven dat er een bewegingsfout opgetreden is. Alle acht schakelaars, twee per as, zijn in serie geschakeld.

4.4 Emergency stops

Er moeten een aantal emergency stops, oftewel noodstoppen, aangebracht worden. Als een noodstop ingedrukt wordt, wordt via het interface-programma, de machine in rusttoestand gebracht. De CNC kan naar keuze in die toestand op spanning gehouden worden, of uitgeschakeld worden.

4.5 De laserbesturing

Voor de 4-assige laserbewerkingsmachine wordt een NdYag-laser gekocht. De energiepomp van de laser bestaat uit twee flitslampen. bij de gekochte laser behoort:
- energie-meter
- flitslampen
- pulsteller
- flitslampen aansturing
- front-paneel
- beam-shutter
- CCTV, Closed Circuit TV
- gravity shutter
- secundair koelcircuit

De energie-meter meet met behulp van een fotodiode de energie, van de laserstraal, per puls. Deze energie is af te lezen op een meter op het front-paneel.

De pulsteller telt het aantal pulsen van de lamp. Dit is nodig omdat de lampen na zes miljoen flitsen vervangen moeten worden.

De flitslampen aansturing zorgt ervoor dat de lichtenergie per flits konstant is. Tevens vindt hierin een beveiliging van de lampen en de laserrod plaats.

Op het frontpaneel wordt de puls-breedte, -frekwentie en -hoogte ingesteld. Tevens is er een bediening voor de shutter en een REMOTE/LOCAL schakelaar. In REMOTE is de aansturing van de shutter vanuit de CNC. In LOCAL wordt de shutter aangestuurd vanuit het frontpaneel.

De beam-shutter is een snel reagerende spiegel die de laserbundel afbuigt naar een keramisch element of doorlaat voor een bewerking. De status van de beam-shutter wordt doorgegeven naar de CNC en het frontpaneel.

De CCTV wordt gebruikt voor proces-controle en instelling van het brandpunt. De cameralens is dezelfde lens als de focusserings-lens. Is het beeld scherp op de monitor dan is het brandpunt van de lens op het oppervlak van het werkstuk.

De gravity-shutter is geplaatst tussen de spiegels van de laser. Is deze shutter neergelaten dan kan er geen staande lichtgolf ontstaan tussen de spiegels. Er wordt dan geen laserbundel gegenereerd.

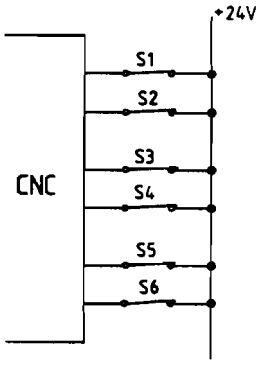
Het secundair koelcircuit is een gesloten circuit. Een speciale koelvloeistof wordt rondgepompt langs de laser-rod, flitslampen en de keramische beam dump. De temperatuur van de koelvloeistof en de flow wordt gecontroleerd door de CNC. Treedt er een fout op dan zal dit gesignaleerd worden door de CNC en zal de, in de interface-software vastgelegde, beveiliging in werking treden.

Welke mogelijke en noodzakelijke aansluitingen er aanwezig zijn op de laser is nog onbekend. De communicatie tussen laser, CNC en buitenwereld kan pas verder gespecificieerd worden als de mogelijke aansluitingen van de laser bekend zijn.

4.6 Primair koelcircuit

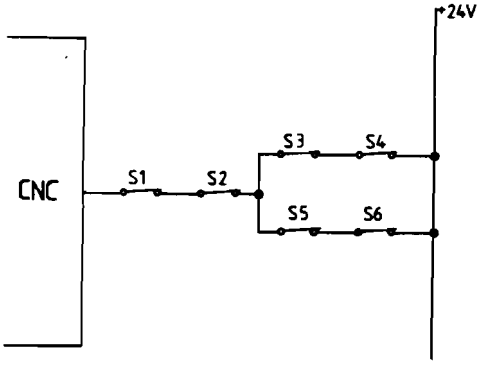
Via een warmtewisselaar wordt de warmte van het secundaire circuit overgedragen naar een primair koelcircuit. Dit primair koelcircuit kan een gesloten circuit met een koeltoren zijn. Het primair circuit kan ook de waterleiding zijn. Het is de bedoeling beide koelcircuits aan te leggen. Het circuit met de koeltoren heeft als voordeel dat de koelvloeistof rondgepompt wordt. Het nadeel is dat de mogelijkheid bestaat dat de kapaciteit van de koeltoren niet groot genoeg is. Er worden meerdere machines op dit koelcircuit aangesloten. Het circuit met de waterleiding heeft als nadeel dat het verwarmde water direkt naar een afvoer verdwijnt. Het is de bedoeling het koelcircuit met de water-leiding pas te gebruiken als de koeltoren volledig belast wordt.

Voor de beveiliging van de laser-rod is het belangrijk dat de temperatuur en de flow van het primaire en secundaire koelcircuit getest wordt. De temperatuur mag niet te hoog oplopen en er moet flow aanwezig zijn anders wordt er niet gekoeld.
De beveiligingsmogelijkheden zijn:
- zes schakelaars, drie voor de flow en drie voor de temperatuur, naar de I/O van de CNC. In de CNC de logische funktie creëren. Het is dan mogelijk om aan te geven in welk koelcircuit wat fout is.



figuur 4.3: beveiligingsmogelijkheid 1 voor het koelcircuit

- de logische funktie opbouwen buiten de CNC en slechts één lijn van de I/O poort gebruiken. Het is dan slechts mogelijk om aan te geven dat er iets mis is in het koelcircuit.



figuur 4.4: beveiligingsmogelijkheid 2 voor het koelcircuit

Er zijn ook nog andere tussenvormen mogelijk. Deze zijn verder niet belangrijk omdat er een keuze is gemaakt voor de tweede oplossing. Over één lijn, van de digitale I/O van de CNC, wordt het koelcircuit in de gaten gehouden.

4.7 Gassen

Op de te ontwerpen machine is, vanwege praktische redenen, gekozen voor drie verschillende beschermgassen. de druk van het gas is belangrijk voor het proces en wordt met de hand ingesteld. Vanuit de CNC wordt voor een bewerking de desbetreffende gasklep geopend. Een drukschakelaar opgenomen in de leiding kontroleert of er gas aanwezig is of niet.

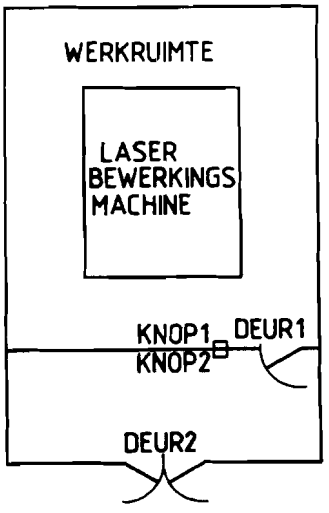
4.8 Afzuiging

Bij het laserproces komen metaaldampen vrij. Deze zijn bij neerslag schadelijk voor de machine. Daarom moet er een afzuiging geplaatst worden. Dit zal een zuigmond worden, gericht op het werkstuk. Bij het opstarten van de machine wordt de afzuiging aangezet. Deze wordt afgezet enkele seconden nadat de machine uitgezet wordt.

Met een flowschakelaar wordt getest of de afzuiging wel in werking is. Is dit niet het geval dan wordt er, op het scherm van de CNC, een foutmelding gegeven. De laserbewerking gaat gewoon door.

4.9 Deuren

De laserbewerkingsmachine is een open machine. Het is dan noodzakelijk dat iemand die in de werkruimte is een veiligheidsbril draagt. De werkruimte zelf moet tijdens een bewerking afgesloten zijn. Het moet wel mogelijk zijn om op een veilige manier de werkruimte te verlaten of te betreden.



figuur 4.5: plaatsing laserbewerkingsmachine

Als er geen laserbewerking plaatsvindt zijn beide deuren ontgrendeld. Wordt een bewerkingsprogramma gestart dan wordt deur 1, vanuit de CNC, vergrendeld. Wil iemand de werkruimte betreden of verlaten dan moet er op de knop 1, of knop 2, gedrukt worden. Dit wordt doorgegeven naar de CNC. De CNC vergrendelt deur 2 en ontgrendelt deur 1. Is deze één keer van open naar dicht gegaan dan wordt deur 1 weer vergrendeld en deur 2 ontgrendeld. Het is noodzakelijk om met schakelaars de toestand van de deuren door te geven naar de CNC. Deur 1 mag nooit geopend kunnen worden, tijdens een bewerking, als deur 2 nog open is.

4.10 Trepanning unit

De trepanning unit werd besproken in hoofdstuk 3. Tussen de CNC en trepanning unit zijn een aantal synchronisatie lijnen die de coördinatie in de tijd verzorgen. De trepanning unit zelf zorgt ervoor dat er, snel en nauwkeurig, kleine cirkelvormige gaten uitgesneden worden.

4.11 Tape-reader

Het werkstukprogramma is beschikbaar op ponsband. Met behulp van een tape-reader wordt dit ingelezen in de CNC. Het is een wens om de reeds beschikbare tape-reader, de TRS9200 van de firma EECO, te gebruiken. De gebruikte interface, voor data transport, is op de tape-reader een parallelle bus. De gekozen CNC heeft een RS-232 communicatie-interface. Er zal nog uitgezocht moeten worden op welke manier deze met elkaar gekoppeld moeten worden.

Hoofdstuk 5 Opmerkingen over het interfaceprogramma

Het interfaceprogramma wordt ontwikkeld volgens de specificaties opgegeven door Eldim. De funktie van het interfaceprogramma is het starten en beëindigen van randprocessen. De randprocessen zijn de totale laser, koelcircuit, beschermgassen, afzuiging, deuren en trepanning unit.

Een aantal eisen waaraan het interfaceprogramma moet voldoen worden hieronder gegeven.

Treedt er een fout op in het koelcircuit dan moet direkt gestopt worden met het flitsen van de lamp. Beter is het om de lampen helemaal uit te schakelen. Alle bewegingen moeten gestopt worden en de beam-shutter moet dicht gaan. Bovendien moet er een melding gegeven worden op het scherm van de CNC.
Is het gevraagde beschermgas niet aanwezig dan worden alle bewegingen gestopt. De beam-shutter wordt gesloten. Er wordt een foutmelding gegeven op het scherm van de CNC.
Als de machine wel aangezet is maar de afzuiging werkt niet dan moet er een melding gegeven worden op het scherm van de CNC. Een bewerking kan opgestart worden of gaat gewoon door.
Voor het opstarten van een bewerkingsprogramma moet deur 1 dicht zijn. Als het programma opgestart wordt, wordt deur 1 vergrendeld. Een verzoek tot ontgrendeling van deur 1 wordt gegeven door het indrukken van knop 1 of knop 2. Zie paragraaf 4.9 voor de bediening van de deuren. Een laserbewerking kan tijdens het openen van een deur doorgaan.
Voordat een trepanning cycle gestart wordt moeten de trepanning-parameters extern opgeslagen zijn. De opslag van de parameters wordt verzorgd door de CNC. Er kan dan eerst getest worden of de parameters naar buiten gegeven zijn, voordat een "DRILL CYCLE START" signaal gegeven wordt. De opgegeven S-codes worden in het interface-programma gesplitst in een adres en data. Het adres wordt in BCD-code naar buiten gegeven. De S-codes worden getest of ze wel binnen het opgegeven bereik liggen. Is dit niet het geval dan moet er een foutmelding gegeven worden en mag er geen trepanning-cycle gestart worden. Het moet wel mogelijk zijn, nadat de foute S-code is veranderd, het programma opnieuw op te starten. Tijdens de uitvoer van een trepanning-cycle mag er geen verdere doorgang van het werkstuk-programma zijn. De S-codes 1 tot en met 5 worden in BCD-code naar buiten gegeven. De S-codes 6 en 7 worden binair naar buiten gegeven, zie paragraaf 3.1.
Bij een fout van een servo-versterker moeten alle bewegingen gestopt worden en de beam-shutter moet gesloten worden. Hetzelfde moet gebeuren als er een positie bereikt wordt die buiten het gedefinieerde bewegingsbereik ligt.
Bij een foutmelding van de flitslampen besturing moet het flitsen van de lamp gestopt worden. Beter is het dat de lampen uitgezet worden. De beam-shutter wordt gesloten en alle bewegingen worden gestopt.
Het moet mogelijk zijn om een "dry run" uit te voeren. Dit is de opgegeven beweging van alle assen uitvoeren. Geen trepanning-

cycle starten en de beam-shutter niet openen. Dit wordt gedaan om een werkstuk-programma te testen op correctheid. De rem op de Z-as moet ook vanuit het interface-programma bediend worden. Dit kan op verschillende manieren. Ten eerste het vrijgeven van de Z-as als de CNC op spanning is. Ten tweede het vrijgeven van de Z-as als er een beweging uitgevoerd moet worden. Ten derde het vrijgeven van de Z-as als daarom gevraagd wordt in het interface-programma. Welke mogelijkheid gekozen wordt staat nog niet vast.

Het starten/stoppen van bepaalde funkties en randprocessen wordt in het werkstukprogramma opgegeven met behulp van M-funkties. De M-funkties die gebruikt worden in de bestaande 5-assige machine zijn:

M00 programma stop
M01 optionele programma stop
M02 eind van programma stop
M03 beam-shutter open
M04 beam-shutter single shot
M05 beam-shutter dicht
M06 programma stop
M10 ramp up. Deze wordt voornamelijk gebruikt bij het lassen met behulp van de laser. Een ramp up houdt in dat de laser-energie langzaam stijgt van een bepaalde minimum waarde tot de opgegeven energie.
M11 ramp down. De laser-energie daalt langzaam van de maximum waarde naar een gegeven minimum waarde.
M30 eind programma en tape terugvoeren.
M48 voedingsregeling te gebruiken
M49 voedingsregeling uitgeschakeld
M50 spiegelen in X-as
M51 groepen met X-beweging spiegelen in X-as
M52 X-beweging normaal
M53 spiegelen in Y-as
M54 groepen met Y-beweging spiegelen in Y-as
M55 Y-beweging normaal
M56 X- en Y-beweging normaal
M60 afzuiging aan
M61 afzuiging uit
M62 gas 1 aan
M63 gas 1 uit
M64 gas 2 aan
M65 gas 2 uit
M66 slot in
M67 slot uit
M70 start trepan cycle

Welke M-funkties nuttig zijn en gehandhaafd moeten worden moet nog onderzocht worden. Er zullen een aantal extra M-funkties bij moeten. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de aansturing van het derde beschermgas.

Hoofdstuk 6 Slotopmerking

Op het moment is er alleen een globale opzet voor de 4-assige laserbewerkingsmachine. De 3-assige trepanning unit is mechanisch gerealiseerd. De elektrische aansturing en regeling van de x'-, y'- en z'-richting is ook gerealiseerd. Het mechanisch systeem levert nog enkele problemen op. De gebruikte kogel-omloop spindel heeft geen konstant nullastkoppel. Dit wil zeggen dat het koppel, dat nodig is om een konstante hoeksnelheid te creëren, niet konstant is. De, te beschrijven, contour wordt met horten en stoten afgelegd. De afwijking die hierdoor ontstaat, ten opzichte van de gewenste contour,is in de orde van 5 tot 10 micro-meter. Een tweede probleem is de voorspanning van de moer. Deze is zo laag dat er speling aanwezig is. Hierdoor is het systeem moeilijk af te regelen tot stilstand in het nulpunt. Is ieder servo-systeem afgeregeld to stilstand in het nulpunt, dan is de respons van iedere richting verschillend. Als beide problemen opgelost zijn, door aanpassing van de gebruikte kogel-omloop spindel of vervanging door een sateliet-rollen spindel, dan kan gemeten worden hoe nauwkeurig het systeem is.

De gegeven realisatie is een mogelijke oplossing. Door toepassing van modernere technieken kan het een en ander verbeterd worden. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de realisatie van de trepanning-cycle. Door gebruik te maken van een micro-processor kan een groot gedeelte van de huidige hardware vervangen worden door software. Tevens is dan de flexibiliteit van de trepanning unit groter. Door een kleine ingreep is het mogelijk om andere profielen te beschrijven in het x'-y' vlak. De realisatie van de Zpd-funktie is dermate dat de z'-beweging onafhankelijk is van de beschreven contour en kan dus steeds toegepast worden. De latch-kaarten die nu gebruikt worden kunnen gedeeltelijk of helemaal vervallen. De data kan opgeslagen worden in geheugenplaatsen of registers van de gebruikte micro-processor.

Vanaf deze plaats wil ik iedereen bedanken die bij het tot stand komen van dit afstudeerwerk geholpen heeft. Speciale dank gaat uit naar ir. C.A.M. van den Brekel, dr. ir. G. de Vlieger en de Heer Peters, voor hun goede begeleiding en prettige samenwerking. Verder wil ik ir. G.J.L. van de Kerkhof bedanken voor de prettige en goede samenwerking tijdens het afstuderen.

LITERATUURLIJST

lit. 1: Francken P.H.J. ; Ontwerp z'-control voor een trepanning unit; verslag van binnenlandse elektrotechnische stage (THE); 1985.

lit. 2: Kerkhof van de G.J.L. ; Ontwerp van een trepanning unit voor laserbewerkingsmachines; Afstudeerverslag W (THE); rapport nr: WPA 0276; mei 1986.

lit. 3: Boyes G.S. ; Synchro and Resolver Conversion; Development Workshop Ltd., Great Britain; 1980.

lit. 4: Merz L. ; Grundkurs der Messtechnik; 4e druk; R. Oldenbourg verlag, München Wien; 1975.

lit. 5: Thiel R. ; Elektrisches messen nichtelektrischer Grössen; 1e druk; B.G. Teubner, Stuttgart; 1977.

lit. 6: Dorf R.C. ; Modern Control Systems; 3e druk; Addison-Wesley publishing company, California; 1980.

lit. 7: Roederer E.L. ; SASCO IC-LEXI; Maierdruck, München; 1980.

lit. 8: Boorn van den J.H. ; Elektronische schakelingen II; collegediktaat THE, nr. 5.549; juni 1982.

lit. 9: Koster M.P. ; Het ontwerpen van elektro-mechanische servo-systemen; collegediktaat THE, nr. 4.632; januari 1986.

lit. 10: Numericon 850; MICON Systems Ltd.; Basingstoke Hants RG21 3AQ England.

lit. 11: APA ROAD; Advanced Production Automation B.V.; Industrieweg 6 5504 RJ Veldhoven.

lit. 12: Itter CNC; Itter Electronics B.V.; Nijverheidstraat 7 7772 TP Hardenberg.

lit. 13: Technical features SERIES 8600; A.B. Numerical control OSAI; Düsselberger Strasse 15 D-5657 Haan 2-Gruiten.

lit. 14: Series 8200 CNC Product Specification; A.B. Numerical control OSAI; Düsselberger Strasse 15 D-5657 Haan 2-Gruiten.

lit. 15: Siemens SINUMERIK 810, katalog NC 22; Siemens Aktien Gesellschaft; Wilhelmina van Pruisenweg 26, Den Haag.

lit. 16: 4-Achsen Komfort-Steureung CNC 3360; Philips Nederland, Professionele Sector, procestechniek VB 3-10; Postbus 90050 5600 PB Eindhoven.

lit. 17: CNC 3460; Philips Nederland, Professionele Sector, procestechniek VB 3-10; Postbus 90050 5600 PB Eindhoven.

lit. 18: BOSCH CC 100 M, Die flexible CNC-steuerung für den Low-cost-Bereich; Bosch Flexible Automation; Berliner Strasse 25 D-6120 Erbach/Odenw. .

lit. 19: TNO Delft; Laserbewerkingstechnieken; informatie folder.

BIJLAGE 1: Het programma "RECHTE 1"

Dit programma kan toegepast worden bij het afstellen van de LVDT's. Met behulp van een potmeter kan een Vpd (position demand) gegeven worden voor de x', y' of z' richting. Het servo-systeem in de desbetreffende richting zal bij een verandering van Vpd een plaatsverandering realiseren. Op deze manier kunnen er een aantal punten ingesteld worden en de daarbij behorende feedbackspanning en uitslag, in micro-meters, bepaald worden.
Zou de relatie tussen de uitslag en de feedbackspanning ideaal zijn dan zou dit weergegeven kunnen worden met:

uitslag=helling*feedbackspanning+nulpunt

Na opstarten van het programma wordt het aantal meetpunten opgevraagd. Vervolgens moeten de meetpunten ingevoerd worden. Als dit gebeurd is vraagt het programma voor een begin- en eindpunt op te geven. Tussen het begin- en eindpunt wordt dan de meest ideale rechte berekend. De afwijking van ieder meetpunt ten opzichte van deze rechte wordt weergegeven. Bepaal door middel van veranderingen van begin- en eindpunt een gebied, van 5 mm voor x' en y' en 9 mm voor z', waarin de afwijking minimaal is. Regel met behulp van de potmeter "ZERO" het nulpunt dusdanig af dat dit in het midden van het bepaalde gebied ligt.

Het programma "RECHTE1":

```
100 DIM X(1000)
110 DIM V(1000)
120 RC=0: SX=0: SV=0
130 INPUT "AANTAL SAMPLES";J
140 FOR I=1 TO J STEP 1
150 INPUT "UITWIJKING SPANNING";X(I),V(I)
160 NEXT
240 FOR I=1 TO J STEP 1
250 PRINT USING "I=##  U=#####  V=###.####";I,X(I),V(I)
260 NEXT
270 INPUT "BENEDEN- EN BOVENGRENS, RECHTE BEREKENEN";BEG,BOG
280 PRINT "WILT U DE RESULTATEN OP DE PRINTER ? Y/N"
290 O$=INPUT$(1)
300 IF O$="Y" OR O$="N" THEN 310 ELSE 280
310 RC=0: SX=0: SV=0
320 FOR J=BEG TO (BOG-1) STEP 1
330 DV=V(J+1)-V(J)
340 DX=X(J+1)-X(J)
350 RC=RC+DX/DV
360 NEXT
370 RC=RC/(BOG-BEG)
380 FOR J=BEG TO BOG STEP 1
390 SX=SX+X(J): SV=SV+V(J)
400 NEXT
```

```
410 B=(SX-RC*SV)/(BOG-BEG+1)
420 IF O$="N" THEN 440
430 LPRINT USING "UITW=###.###*V+####.##";RC,B
440 PRINT USING "UITW=###.###*V+####.##";RC,B
450 IF O$="N" THEN 470
460 LPRINT        "SPANNING    UITWIJKING    THEOR. UITW.    VERSCHIL"
470 PRINT        "SPANNING    UITWIJKING    THEOR. UITW.    VERSCHIL"
480 FOR J=BEG TO BOG STEP 1
490 REWA=RC*V(J)+B
500 AFW=X(J)-REWA
510 IF O$="N" THEN 530
520 LPRINT USING "###.####      #####          #####             ###";V(J),X(J),
    REWA,AFW
530 PRINT USING "###.####      #####          #####             ###";V(J),X(J),
    REWA,AFW
540 L$=INPUT$(1)
550 IF L$=" " THEN 560 ELSE 540
560 NEXT
570 PRINT "ANDERE GRENZEN ? Y/N"
580 L$=INPUT$(1)
590 IF L$="Y" THEN 270
600 IF L$="N" THEN 610 ELSE 570
610 END
```