

MASTER

Applicatieprogrammatuur voor procesregeling : toepassing op een meervariabelen proefproces

van Aubel, L.J.

Award date:
1975

[Link to publication](#)

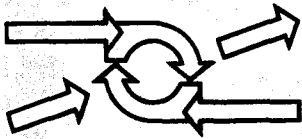
Disclaimer

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



Vakgroep Meten en Regelen
Afdeling der Technische Natuur-
kunde
T.H. Eindhoven, Postbus 513
Telefoon 040-472885

Rapport van het afstudeerwerk, uitgevoerd van november '73
tot november '74.

Datum rapport 15 oct. '74 Begeleiders: ir. C.G.J. Buursen
ir. G. Dekker
ir. A.M.M. Bottram

Applicatieprogrammatuur voor
procesregeling; toepassing op
een meervariabelen proefproces.

L.J. van Aubel

Samenvatting:

Om een digitale regeling, sturing of adaptatie te realiseren, is een pakket applicatieprogrammatuur ontwikkeld, bestaande uit een regel-, adaptie- en meldeenheid. M.b.v. deze programmatuur is vervolgens een niet-lineair meervariabelen proefproces optimaal geregeld volgens het integraalkriterium. Daartoe zijn de bestaande metingen aan het proces uitgebreid in samenwerking met A. Sterken, die tevens de benodigde regelcoëfficiënten berekende.

Inhoudsopgave

	<i>pag.</i>
Samenvatting	
Alfabethische symbolenlijst	
0. VOORWOORD	1
1. INLEIDING	3
2. DE REGELEENHEID	
2.1. De funktie van de regeleenheid	5
2.2. De uitvoering van de regeleenheid	7
2.3. Het aanroepen van de regeleenheid	11
2.4. De toepassingsmogelijkheden van de regeleenheid	13
3. DE ADAPTIEËNHEID	
3.1. De funktie van de adaptieëenheid	15
3.2. De uitvoering van de adaptieëenheid	16
3.3. Het aanroepen van de adaptieëenheid	19
4. DE MELDEENHEID	
4.1. Inleiding	21
4.2. De funktie van de meldeenheid	21
4.3. De uitvoering van de meldeenheid	26
4.4. Toepassingsmogelijkheden en het aanroepen van de meldeenheid	29
5. METINGEN AAN EEN MULTIVARIABEL PROEFPROCES	
5.1. Inleiding	30
5.2. Het proces	30
5.3. Metingen en meetmethode	32
5.4. Meetresultaten	36

6.	GEIMPLEMENTEERDE REGELTAKEN	
6.1.	Inleiding	39
6.2.	De koppeling tussen proces en komputer	40
6.3.	De regeling van het proces	42
7.	SLOTOPMERKINGEN	49
8.	LITERATUURLIJST	
8.1.	Computertechnische literatuur	52
8.2.	Regeltechnische literatuur	54

Alfabetische symbolenlijst

<u>Symbool</u>	<u>Omschrijving</u>	<u>eenheid</u>
A	adaptievariabele	
a_e	overdrachtscoëfficiënt t.b.v. i_e	
b_e	overdrachtscoëfficiënt t.b.v. u_e	
d	dode tijd	sec
G	overdrachtsfunctie	
H_u	hoogte in vat 3	cm
H_1	hoogte in vat 1	cm
i_e	ingangssignaal op tijdstip $t_0 + e \cdot \Delta t$	
P	druk	p.s.i.
	(= pressure square inch)	
P_k	voordruk, koud water	p.s.i.
P_{sk}	stuurdruk koudwaterklep	p.s.i.
P_{su}	stuurdruk uitgangsklep vat 3	p.s.i.
P_{sw}	stuurdruk warmwaterklep	p.s.i.
P_w	voordruk warm water	p.s.i.
Q_{ki}	koudwaterstroom	liter/uur
Q_u	uitgangsstroom vat 3	"
Q_{wi}	warmwaterstroom	"
Q_1	waterstroom van vat 1 naar vat 3	"
R_a	regelmatrix	
s	laplace-variabele	
T_{k1}	intreetemperatuur koud water warmtewisselaar	$^{\circ}C$
T_u	temperatuur in vat 3	"
T_{wi}	intreetemperatuur warm water warmtewisselaar	"
T_1	temperatuur koud water na warmtewisselaar	"
T_2	temperatuur na transportleiding	"
T_3	temperatuur in vat 3	"
t	tijd	sec

t_0	referentietijdstip	sec
u_e	uitgangssignaal op tijdstip $t_0 + e \cdot \Delta t$	
Δt	monsterperiode	sec
μ	versterkingsfactor	
τ	tijdconstante	sec ₋₁
ω	hoekfrequentie	sec

N.B. Kleine letters i.p.v. hoofdletters duiden op variaties t.o.v. een werkpunt tenzij anders is vermeld.

0. Voorwoord.

De ontwikkelde applicatieprogrammatuur is bestemd voor gebruik onder het operatingsysteem EROS (Experimenteel Real-Time Operating Systeem) op een PDP-8I procescomputer. De gebruikte PDP-8 is een kleine procescomputer met een cyclustijd van $1,5\mu$ seconde, een woordlengte van 12 bit, 1 accumulator, 1 hardware interruptieniveau, 2 modulen van 4K kerngeheugen en een achtergrondgeheugen bestaande uit 2 disks van elk 32K woorden.

Na een interruptie-aanvraag wordt enkel het terugspring-adres hardware gered; de herkomst van de interruptie-aanvraag wordt onderzocht in de interrupt-handler.

Het resultaat kan zijn, dat in de scheduler m.b.v. een prioriteitentabel een programma-aanvraag geplaatst wordt in een werkljst.

Ook de klok van EROS kan in deze lijst aanvragen plaatsen voor programma's, die periodiek aangelopen moeten worden. De operateur bepaalt daarbij frequentie en prioriteit van de aanvragen.

De werkljst, waarin dus aanvragen van programma's (zgn. taken) staan op volgorde van prioriteit, wordt na iedere interruptie vanaf het begin afgezocht door de executive. De executive heeft tot taak programma's op de juiste wijze aan te lopen (starten of vervolgen).

Na het beëindigen van een programma zoekt de executive een volgende taak in de werkljst te beginnen op de plaats, volgend op die van het afgehandelde programma. Programma's, die onder EROS draaien, zijn voorzien van een data-set, de jobhead, waarin informatie staat t.b.v. de afhandeling van het programma.

Een en ander is schematisch weergegeven in fig.0.1.

Voor een uitgebreide beschrijving van EROS zie Kouwenberg en Sopers (1)*.

*Zie literatuurlijst hoofdstuk 8.

De gebruiker kan via de communicatiemodule en een teletype zowel converseren met het operatingsysteem als zijn applicatieprogramma's.

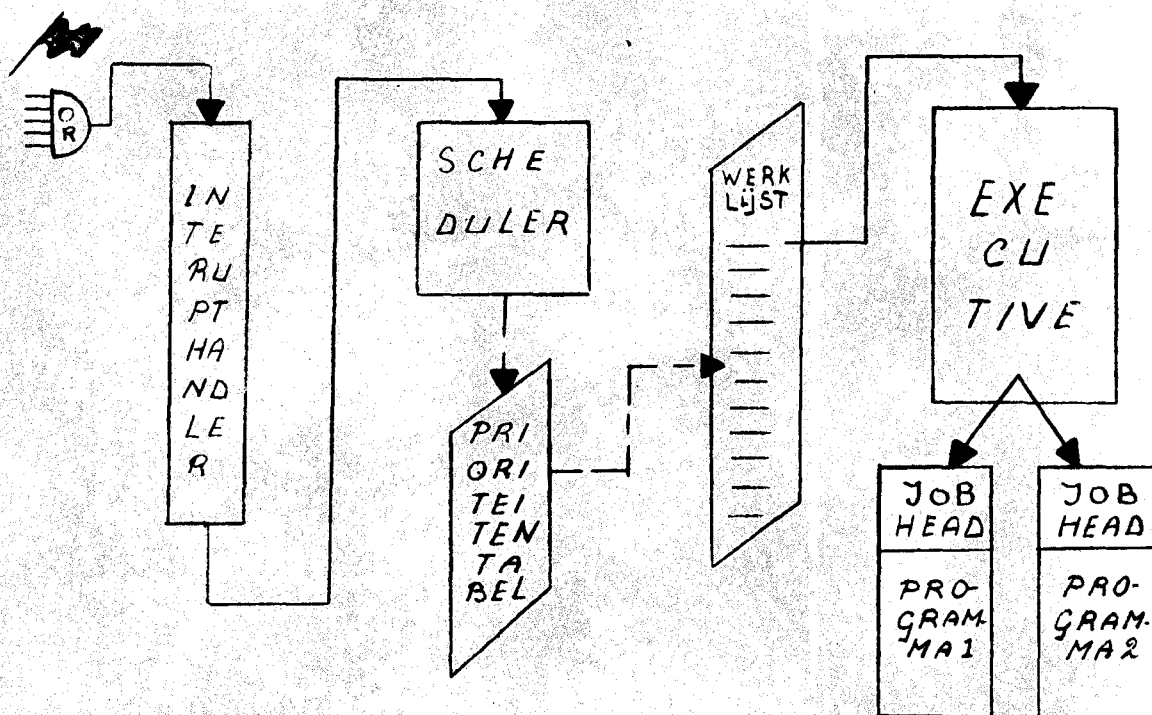


Fig. 0.1. Beknopt overzichtsschema van "EROS".

1. Inleiding

Opzet van de ontwikkelde applicatieprogrammatuur is het gemak van de programmeur bij het regelen of sturen van processen zoveel mogelijk te dienen.

Het real-time karakter van de toepassingen van de programmatuur stelt bovendien aan de implementering ervan een aantal bijkomende eisen.

Deze overwegingen hebben geleid tot een pakket, bestaande uit zgn. eenheden met een nauw omschreven functie.

Tot op dit moment zijn een drietal eenheden geïmplementeerd:

- een regeleenheid ter realisatie van een regeling, sturing of overdrachtsysteem met discreet karakter.
- een adaptieëenheid om aan de hand van de waarde van een variabele de coëfficiënten van een regeleenheid aan te passen.
- een meldeenheid om gegevens door teletype te laten uittypen.

Ter verwezenlijking van elementaire functies roepen de eenheden op hun beurt subroutines aan, die daartoe binnen de eenheden op een eenduidige wijze gekoppeld zijn.

De gebruiker kan i.p.v. de genoemde eenheden natuurlijk ook deze elementaire routines gebruiken.

De eenheden worden vanuit een programma steeds op identieke wijze als subroutine aangeroepen en maken gebruik van een door de operateur te specificeren parameterlijst. De gestelde real-time-eisen houden verband met de snelheid, onderbrekings- en hervattingsmogelijkheden van de programmatuur.

Snelheid en een groot aantal faciliteiten zijn in het algemeen concurrerende eisen; gezien de toepassingen van de programmatuur (zie o.a. hoofdstuk 6) is aan de tweede eis een hogere prioriteit toegekend.

De snelheid neemt echter wel toe als men de geneemde parameterlijsten zo invult, dat sommige acties niet werden uitgevoerd.

De heer H. Beun heeft tijdens zijn afstudeerwerk o.a. applicatieprogrammatuur geschreven. De door hem geïmplementeerde elementaire routines waren echter niet met een goed omschreven en eenduidige interface aaneengeschakeld tot algemene blokken, zodat de koppeling nog door de gebruiker geprogrammeerd moest worden.

M.b.v. de gerealiseerde eenheden is één subroutine-aanroep met verwijzing naar een parameterlijst voor de benodigde gegevens voldoende om een taak te construeren. Bovendien is het pakket elementaire routines zó gewijzigd, dat het aantal faciliteiten en toepassingsmogelijkheden aanzienlijk is uitgebreid.

Zo is o.a. een meldeenheid toegevoegd, waarmee het mogelijk is tekstaanvragen te bufferen, indien ze sneller binnenkomen dan verwerkt kunnen worden.

Bovendien kan de operator zelf de frequentie van de meldingen bepalen.

De door dhr. Beun gerealiseerde adaptietaak, alleen geschikt voor adaptatie van een tweetal specifieke regeltaken is vervangen door een algemene adaptieëenheid.

2. De regelenheid.

2.1. De functie van de regelenheid

De regelenheid zorgt voor een koppeling tussen ingangsgrootheden, zoals procesvariabelen en setpointwaarden en uitgangsgrootheden, zoals corrigerende variabelen via een bijbehorende parameterlijst. In deze lijst moet de gebruiker het volgende kunnen specificeren (zie ook fig.2.1.):

- a) vanwaar (adres of AD-bus) de ingangsgrootheden ingelezen moeten worden
- b) waar (adres of DA-bus) de uitgangsgrootheid weggezet moet worden, eventueel nadat een ander signaal erbij is opgeteld.
- c) welke grootheden begrensd moet worden
- d) van welke grootheden grensoverschrijdingen moeten worden gemeld
- e) hoe de overdracht tussen in- en uitgangsgrootheden luidt
- f) hoeveel maal het bovenstaande uitgevoerd moet worden

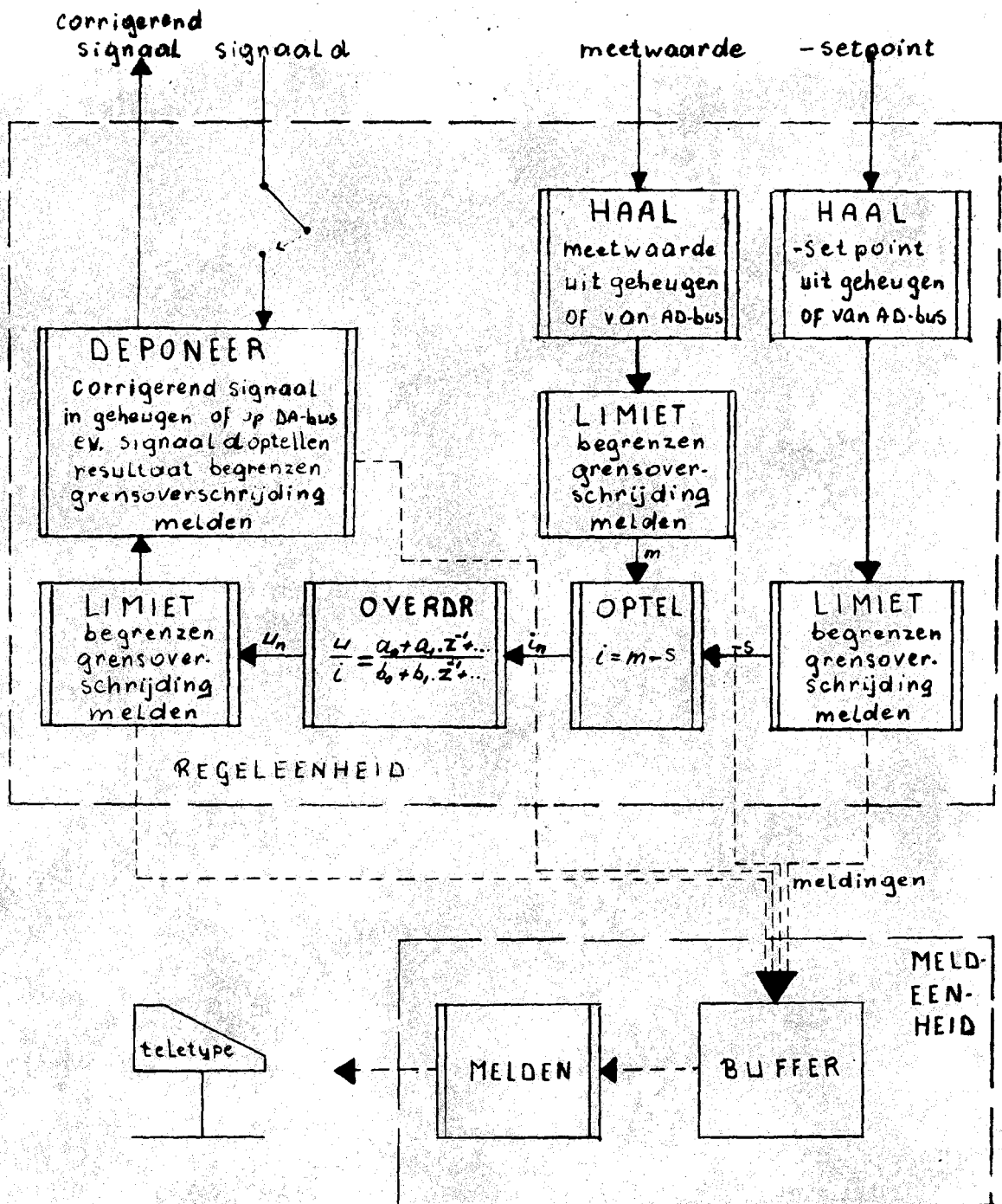


Fig.2.1. Schema van de regeleenheid (--- t.b.v. meldeeenheid).

2.2. De uitvoering van de regeleenheid

De eenheid maakt gebruik van de volgende routines:

- 1 HAAL
- 2 LIMIET
- 3 MELDEN *)
- 4 OPTTEL
- 5 OVERDR
- 6 DEPONEER

De functies van deze routines binnen de regeleenheid zullen nu in het kort beschreven worden.

1. HAAL

De procesvariabele (voortaan meetwaarde genoemd) en het setpoint worden door deze routine van een AD-bus of uit een geheugenadres gelezen. Een getal tussen 0 en 15 (inclusief grenzen) op de juiste plaats in de parameterlijst geeft het betreffende busnummer aan, een getal groter dan 15 of kleiner dan 0 het overeenkomstige uitleesadres van veld 1.

2. LIMIET

Deze routine bepaalt of een signaal een in de parameterlijst meegegeven onder- of bovengrens (beiden met tegengesteld teken opgeven) heeft overschreden.

Een zgn. limietkode, voorafgaande aan beide grenzen, geeft aan of bij grensoverschrijding het signaal de overschreden grenswaarde moet aannemen, of een eventuele grensoverschrijding d.m.v. een tekst op een teletype gemeld moet worden en zo ja, hoe deze tekst moet luiden. Genoemde tekst **) bevat de volgende componenten:

*) Routine MELDEN vormt de meldeenheid met eigen elementaire routines, die hier niet genoemd zijn, maar in hoofdstuk 4 aan de orde komen.

**) In par.4.3. wordt een voorbeeld van zo'n tekst gegeven.

- een datum en tijdaanduiding
- de standaardtekst "GRENSOVERSCHRIJDINGEN".
- een karakterisering van het signaal door een A (adaptie) een C (corrigerend signaal), een M (meetsignaal) of een S (setpoint).
- een karakterisering van de overschreden grens door een 0 of B (onder- of bevengrens).
- het oktale nr. (max.77) van regeling, sturing of proces.
- de oktale waarde van het signaal.

Om het bovenstaande te specificeren hebben de 12 bit van de limietkode de volgende betekenis:

<u>bitnr.</u>	<u>waarde</u>	<u>betekenis</u>
0	0,1	laatst waargenomen centraal bit *)
1	0,1	lokaal bit *)
2	0(1)	begrenzen niet (wel) gewenst
3	0(1)	geen (wel) melding limietoverschrijding
4,5	0 0	aanduiding signaal A (als bit 3 is 1)
4,5	1 0	aanduiding signaal C "
4,5	0 1	aanduiding signaal M "
4,5	1 1	aanduiding signaal S "
6,7,8	---	achtallen oktaal nummer "
9,10,11	---	eenheden oktaal nummer "

De routine wordt vanuit de regelenheid aangelopen om de meetwaarde, het setpoint en corrigerend signaal op grensoverschrijdingen te controleren.

3. MELDEN

De door routine LIMIET te melden grensoverschrijdingen worden als tekstcodes in een buffer opgeslagen en vervolgens door de meldeenheid uitgelezen en vertaald, waarna de betreffende tekst wordt uitgetypt.

*) Zie paragraaf 4.2

4. OPTEL

Deze routine zorgt voor een correcte sommatie van meetwaarde en de tegengestelde waarde van het setpoint.

Zonder speciale voorzieningen, zoals die door deze routine geboden werden, kan een optelling van twee positieve, respectievelijk negatieve getallen een negatief, respectievelijk positief resultaat opleveren.

5. OVERDR

Het verschil van meetsignaal en setpoint is het ingangssignaal voor routine OVERDR. Met deze routine kan men een algemeen intermitterend systeem realiseren, beschreven door de vergelijking:

$$u_n = a_n \cdot i_n + a_{n-1} \cdot i_{n-1} + \dots + a_{n-m} \cdot i_{n-m} + b_{n-1} \cdot u_{n-1} + \dots + b_{n-p} \cdot u_{n-p}$$

waarin u_e = uitgangssignaal op tijdstip $t_0 + e \cdot \Delta t$

i_e = ingangssignaal, " " "

b_e = overdrachtscoëfficiënt, behorend bij u_e

a_e = " " " " i_e

Δt = bemonsteringsperiode

Voor de berekening van u_n heeft de routine een aantal gegevens nodig, waarvan het beginadres in de parameterlijst gegeven moet worden. Deze gegevens bestaan uit de waarden van in- en uitgangssignaal op een aantal bemonsteringstijdstippen en de erbij behorende coëfficiënten.

6. DEPONEER

Deze routine zet het al dan niet begrensde uitgangssignaal van OVERDR weg op een DA-bus of in het geheugen aan de hand van een zgn. deponeerkode.

Deze kode geeft tevens aan of het signaal opgeteld moet worden bij de inhoud van het adres volgend op de kode in de parameterlijst. Indien het resultaat in het geheugen wordt weggezet, dient dit adres ook als wegzetadres.

De optelling geschiedt in dubbele woordlengte, het genoemde (wegzet) adres is het eerste adres van de twee en bevat het minst significante gedeelte.

D.m.v. de kode geeft de gebruiker ook aan of met het (gesommeerde) signaal routine LIMIET aangelopen moet worden. In dat geval moet tevens limietkode en grenzen worden opgegeven. Om het bovenstaande te specificeren hebben de 12 bit van de deponeerkode de volgende betekenis:

<u>bitnr.</u>	<u>waarde</u>	<u>betekenis</u>
0 t/m 5	-	nummer DA-bus (als bit 10 is 0)
6 t/m 8	-	geen betekenis
9	0(1)	LIMIET wordt wel (niet) aangelopen
10	0(1)	resultaat op DA-bus (in geheugen)
11	0(1)	geen (wel) sommatie

Op het adres volgend op de gegevens t.b.v. DEPONEER moet de operator aangeven of neg een ander uitgangssignaal berekend moet worden.

Zo nee, dan plaatst hij een nul, zo ja dan vermeldt hij hier het adres met het busnummer of uitleesadres van de volgende meetwaarde.

De regeleenheid is als reëntnant subroutine uitgevoerd en moet daarom onder IOF worden aangelopen.

Hij heeft 15_8 algemene redgegevens, die weggezet worden op de adressen 13_8 t/m 27_8 van veld 1.

Wordt de onderbroken taak weer hervat, dan worden deze gegevens eerst ontred.

In appendix B worden de beschreven routines gedetailleerder besproken.

2.3. Het aanroepen van de regeleenheid

De eenheid is als subroutine aan te roepen. Onder een aanroep moet het beginadres-1 van de parameterlijst worden geplaatst.

Na afhandeling van de taak, waarin de eenheid wordt aangeloopen, moet de veegroutine de aanvraag uit de werkljst annuleren.

M.b.v. de communicatiemodule*) kan de operateur de bijbehorende jobhead definiëren.

Als voorbeeld voor het gebruik van de eenheid volgt nu de listing van een PI-regelaar, beschreven door de relatie:

$$u_n - u_{n-1} = 10,25_{10} \cdot i_n - 10,00_{10} \cdot i_{n-1}$$

als taak in EROS.

5000	6002	PIREG,	IOF	
5001	4607		JMS I HREGEL	/NAAR REGELEENHEID
5002	5010		PARPIR-1	/BEG. ADRES -1 VAN PARAM.LIJST
5003	6201		6201	/NAAR DATAVELD 0
5004	6202		6202	/NAAR INSTRUCTIEVELD 0
5005	6002		IOF	
5006	5610		JMP I HVEEG	/VEEG AANVRAAG UIT WERKLIJST
5007	3000	HREGEL,	REGEL	/BEG. ADRES REGELEENHEID
5010	1340	HVEEG,	BVEEGPR	/T.B.V VEGEN VAN AANVRAAG

/PARAMETERLIJST T.B.V PIREG

5011	0002	PARPIR, 2		/MEETSIGNAAL VAN AD-BUS 2
5012	4500		4500	/LIMIETKODE MEETSIGNAAL (MELDEN)
5013	3000		3000	/-ONDERGRENS ,,
5014	7000		-1000	/-BOVENGRENS ,,
5015	5042		SETP	/ADRES VAN SETPOINT
5016	4700		4700	/LIMIETKODE ,, (MELDEN)
5017	3700		3700	/-ONDERGRENS ,,
5020	6000		-2000	/-BOVENGRENS ,,
5021	5027		VADRES	/VERWIJSDRES T.B.V SUBR. OVERDR

*) Zie Thijs (4)

5022	5600		5600	/LIMIETKODE CORR. SIGNAAL (BEGR. EN MELDEN)
5023	3500		3500	/-ONDERGRENS ,,
5024	6300		-1500	/-BOVENGRENS ,,
5025	0704		704	/DEPONEERKODE ,, (NIET LIMIET, DA-BUS 7)
5026	0000		0	/EINDE PARAMETERLIJST
5027	5037	VADRES, IN		/ADRES MEETSIGNAAL-SETPOINT
5030	5035		BASL-1	/BEG. ADRES -1 SIGNALENLIJST
5031	7775		-3	/- AANTAL REGELCOEFFICIENTEN
5032	0005		5	/AANTAL BIT -1 VOOR KOMMA
5033	6600	BAC,	6600	/ A(N-1)=-12,00(8)=-10,00(10) *)
5034	1220		1220	/ A(N) = 12,20(8)= 10,25(10)
5035	0100		100	/ B(N)=1,00
5036	0000	BASL,	0	/ I(N-1)
5037	0000	IN,	0	/ I(N)
5040	0000		0	/ U(N-1)
5041	0000		0	/ U(N)
5042	6150	SETP,	-1630	/-SETPOINT

*) lees $a_{n-1} = -12,00_8 = -10,00_{10}$

2.4. De toepassingsmogelijkheden van de regelenheid

Omdat de regelenheid een door de gebruiker te kiezen overdracht realiseert, kan hij o.a. voor de volgende doeleinden gebruikt worden:

- voor processimulatie
- als filter
- als regeling
- als sturing

M.b.v. de in 2.1 vermelde faciliteiten a), b) en vooral f) kunnen ook systemen met meerdere in- en uitgangen op een eenvoudige manier (slechts één routine-aanroep) gerealiseerd worden, waarbij de structuur van het systeem alleen via de parameterlijst gespecificeerd is.

In de functie van discrete regelaar zijn o.a. de volgende toepassingsmogelijkheden te onderscheiden:

- enkelvoudige regelaar met één ingang en één uitgang.

Zie fig.2.2.

- meester-slaaf regelaar. Het corrigerend signaal van de meester moet dan weggezet worden op het adres, waarvan de slaaf zijn setpoint haalt. Zie fig.2.3.

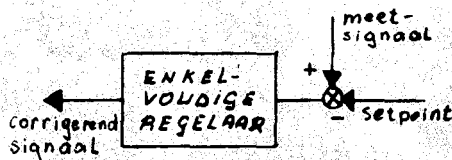


Fig.2.2.

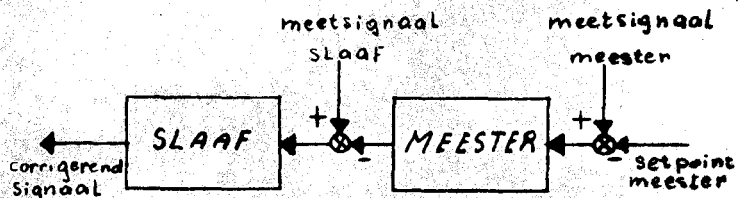


Fig.2.3

- sommatieregelaar. De uitgangssignalen van meerdere enkelvoudige regelaars worden gesommeerd tot één corrigerend signaal. Zie fig. 2.4.

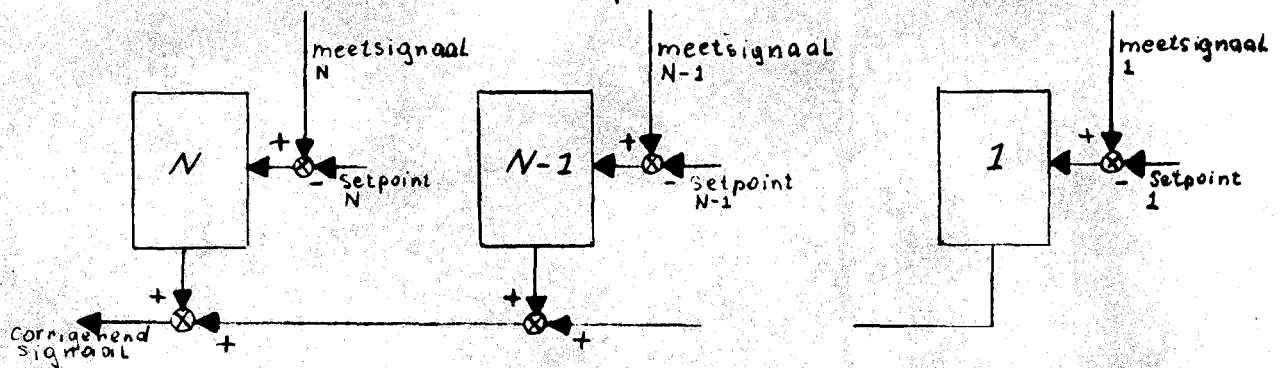


Fig.2.4. Sommatieregelaar

- matrixregelaar met meerdere in- en uitgangsvaariabelen.

Zie fig. 2.5.

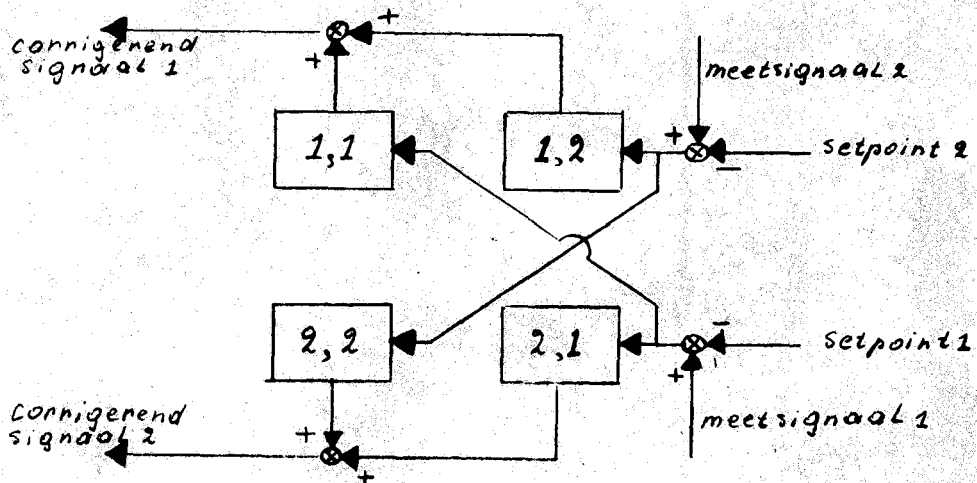


Fig.2.5. Een 2 x 2 matrixregelaar.

T.b.v. simulatie, filtering en sturing zijn vergelijkbare configuraties mogelijk.

Bij al deze toepassingen is de aanroep van de eenheid in een taak gelijk, omdat alle bijzonderheden in een lijst staan. Om geheugenruimte te sparen of het aantal faciliteiten uit te breiden is het soms mogelijk de aanroep uit te breiden met programmatuur, waardoor enkele gegevens in de lijst, al of niet onder bepaalde condities, gewijzigd worden.

3. De adaptieëenheid

3.1. De functie van de adaptieëenheid

Bij wisselende procesomstandigheden kan het nodig zijn de coëfficiënten van een regeling of sturing aan te passen. De waarden van de coëfficiënten bij de diverse proceswerkpunten kunnen op twee manieren verkregen worden:

- Bij vroegere metingen (off-line) zijn de coëfficiënten bepaald en voor ieder werkpunt als set opgeslagen in een zgn. aanpassingstabel. Bij adaptie wordt het werkpunt bepaald en de bijbehorende aanpassingstabel opgezocht. (te vergelijken met sturing).
- M.b.v. on-line metingen worden de beste coëfficiënten gezocht middels een gegeven criterium (te vergelijken met regeling).

Gekozen is voor de eerste meer eenvoudige opzet, waarbij het werkpunt bepaald wordt aan de hand van één procesvariabele (voortaan adaptievariabele genoemd).

Zie fig.3.1.

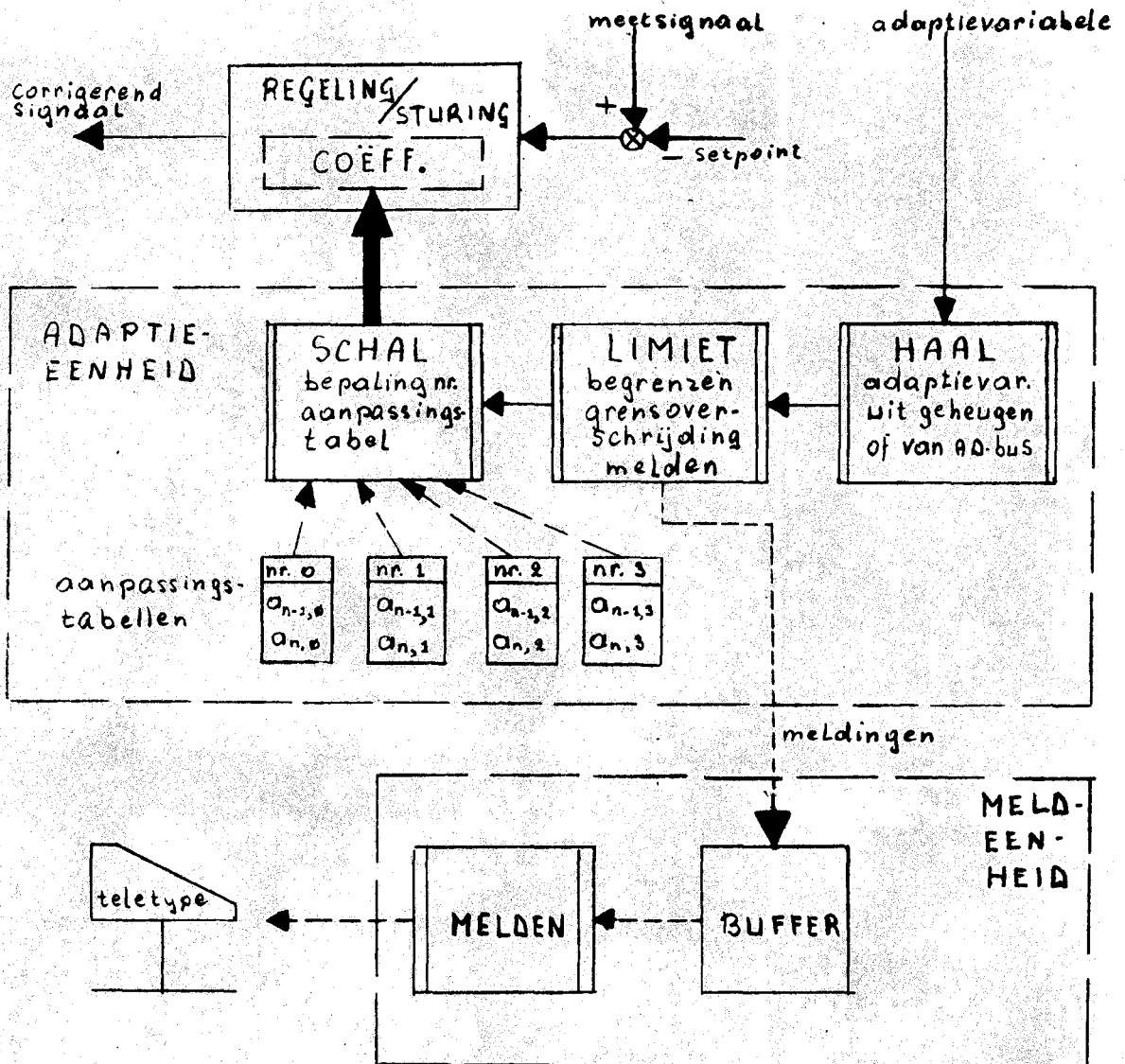


Fig.3.1. Schema van de adaptieëenheid aangepast aan het in par.3.3. behandeld voorbeeld (--- t.b.v. meld-eenheid).

3.2. De uitvoering van de adaptieëenheid

We nemen aan dat de regelaarsinstelling als functie van de adaptievariabele A bekend is :

$$a_n = F_n(A)$$

$$a_{n-1} = F_{n-1}(A)$$

De functies $F_i(A)$ worden benaderd door trapjeskrommen. Hiertoe wordt het relevante gebied van de adaptievariabele verdeeld in 2^k gelijke intervallen, waarbij k een natuurlijk, vrij te kiezen getal is. Zie fig.3.2.

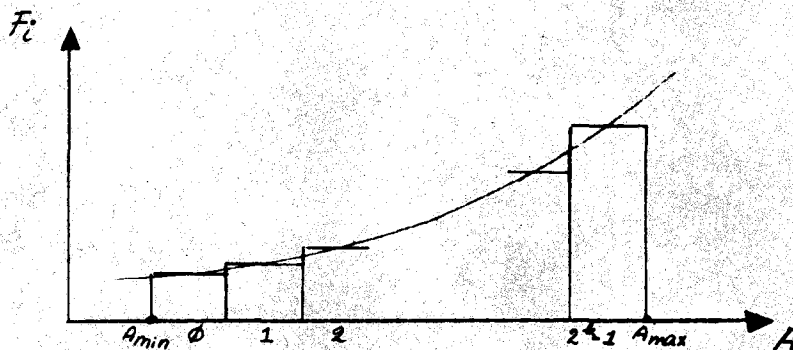


Fig.3.2. Benadering van $F_i(A)$ door een trapjeskromme

In de geïmplementeerde eenheid zijn de 2^k functiewaarden van elke aan te passen regelcoëfficiënt opgeslagen in 2^k aanpassingstabellen, ieder met zoveel plaatsen als er regelcoëfficiënten in een regeleenheid geadapteerd moeten worden.

De eenheid maakt gebruik van een parameterlijst en de volgende routines:

- 1 HAAL
- 2 LIMIET
- 3 MELDEN
- 4 SCHAL

De eerste drie routines zijn reeds in 2.2. beschreven en dienen om het signaal in te lezen, te begrenzen en grensoverschrijdingen te melden.

4 SCHAL

Deze schalingsroutine bepaalt in combinatie met een schuifinstructie in welk interval (genummerd van 0 t/m $2^k - 1$) de adaptievariabele ligt.

De routine schaalte de adaptievariabele volgens de formule:

$$A_{\text{gesch}} = \frac{A - A_{\text{min}}}{A_{\text{max}} - A_{\text{min}}} * 3777_8 \quad (A_{\text{max}} - A_{\text{min}}) \leq 3777_8$$

A_{min} en A_{max} zijn gelijk aan de t.b.v. LIMIET opgegeven grenzen.

3777_8 is het grootste positieve machinegetal ($= 2^{11} - 1$), overeenkomend met + 10 volt bij de DA- en AD-omzetters. De geschaalde adaptievariabele ligt in het gebied van 0 tot 3777_8 en de intervallengte bedraagt 3777_8 gedeeld door 2^k .

Van de geschaalde adaptievariabele geven de eerste $k+1$ bits het nummer van de aanpassingstabel aan.*)

Als voor k drie is gekozen zijn er $2^3 = 8$ aanpassingstabellen nodig. Indat geval is het nummer van de aanpassingstabel als volgt te bepalen:

$$\text{Stel } A_{\text{gesch}} = 2761_8 = 010 \overset{\text{eerste } k+1 \text{ bit}}{\underset{\text{laatste } 13-k \text{ bit}}{11111001}}_2 \quad k=3$$

$$\text{nummer aanpassingstabel} = 0101_2 = 5_8$$

Een simpele schuifinstructie kan dit nr. bepalen. De gebruiker moet daartoe het aantal bitplaatsen, waarover

*) De laatste $11-k$ bit worden in de huidige opzet niet gebruikt. Het zou mogelijk zijn hiermee te interpoleren.

de geschaalde variabele naar rechts geschoven moet worden om alleen het nummer van de aanpassingstabel over te houden, verminderd met één in de parameterlijst opgeven.

Bij 2^k aanpassingstabellen vult men de waarde $12_3 - k_8$ (in ons voorbeeld 7_8) in.

De adaptieëenheid plaatst vervolgens de coëfficiënten van de gevonden aanpassingstabel in de betreffende coëfficiëntenlijst van een regeleenheid.

Daartoe moet de gebruiker het aantal (met negatief teken) aan te passen coëfficiënten en de beginadressen-1 van aanpassingstabel nr.0 en van de te adapteren coëfficiëntenlijst in de parameterlijst opgeven.

Indien niet alle regelcoëfficiënten geadapteerd moeten worden, biedt de eenheid de mogelijkheid alleen die aan te passen, waarvoor adaptatie gewenst is.

Omdat de aanpassingstabellen dan minder coëfficiënten bevatten, kan dit veel geheugenruimte besparen.

Op het volgend adres in de parameterlijst moet de gebruiker aangeven of nog een andere coëfficiëntenlijst geadapteerd moet worden. Zo nee, dan plaatst hij een nul, zo ja dan vermeldt hij hier het adres met het busnummer of uitleesadres van de volgende adaptievariabele.

De eenheid is als reënant subroutine uitgevoerd en moet onder IOF worden aangelopen. Hij heeft 13_8 algemene gegevens, die weggezet worden op de adressen 14_8 t/m 26_8 van veld 1.

In appendix C staan meer gedetailleerde gegevens over de adaptieëenheid.

3.3. Het aanroepen van de adaptieëenheid

De eenheid is als subroutine uitgevoerd. Onder een aanroep moet het beginadres-1 van de parameterlijst worden geplaatst.

De aanroep van de eenheid in een taak is steeds gelijk, omdat alle specificaties in de parameterlijst staan. Als voorbeeld voor het gebruik van de eenheid volgt hieronder de listing van een taak in EROS om twee regelcoëfficiënten (a_n en a_{n-1}) van de in 2.2. behandelde PI-regelaar te adapteren m.b.v. 4 aanpassingstabellen:

5060	6002	ADPIREG, IOF		
5061	4667	JMS I	HADAPTIE/NAAR ADAPTIEEENHEID	
5062	5070	PARADP-1	/BEG.ADRES-1 VAN PARAM. LIJST	
5063	6201	6201	/NAAR DATAVELD 0	
5064	6202	6202	/NAAR INSTRUCTIEVELD 0	
5065	6002	IOF		
5066	5670	JMP I	AVEEG	/VEEG AANVRAAG UIT WERKLIJST
5067	3516	HADAPTIE, ADAPTIE	/BEG.ADRES ADAPTIEEENHEID	
5070	1340	AVEEG, BVEEGPR	/T.B.V VEGEN VAN AANVRAAG	

/PARAMETERLIJST T.B.V ADPIREG

5071	0006	PARADP, 6	/ADAPTIESIGNAAL VAN AD-BUS 6
5072	5400	5400	/LIMIETCODE ADAP.SIGNAAL (BEGR. EN MELDEN)
5073	0000	0	/-ONDERGRENS "
5074	6000	-2000	/-BOVENGRENS "
5075	0010	10	/AANTAL TE SCHUIVEN BITPLAATSEN -1
5076	7776	-2	/-AANTAL AAN TE PASSEN COEFF.
5077	5101	BAAT-1	/BEG.ADRES-1 AANPASSINGSTABEL NR. 0
5100	5032	BAC-1	/BEG.ADRES-1 AAN TE PASSEN COEFF.LIJST
5101	0000	0	/EINDE PARAMETERLIJST

/4 AANPASSINGSTABELLEN MET IEDER 2 COEFFICIENTEN

5102	7540	BAAT, 7540	/ A(N-1,0)	ALS ADAPTIEVARIABELE LIGT TUSSEN 0 EN 400(8).
5103	0244	244	/ A(N,0)	
5104	7300	7300	/ A(N-1,1)	ALS ADAPTIEVARIABELE LIGT TUSSEN 401(8) EN 1000(8).
5105	0510	510	/ A(N,1)	
5106	6600	6600	/ A(N-1,2)	ALS ADAPTIEVARIABELE LIGT TUSSEN 1001(8) EN 1400(8).
5107	1220	1220	/ A(N,2)	
5110	5400	5400	/ A(N-1,3)	ALS ADAPTIEVARIABELE LIGT TUSSEN 1401(8) EN 2000(8).
5111	2440	2440	/ A(N,3)	

4. De meldeenheid.

4.1. Inleiding

Bij het regelen of sturen van processen kan het gewenst zijn het optreden van bepaalde situaties (grensoverschrijdingen e.d.) te melden, b.v. door het uittypen van een tekst door een teletype.

Om dit te realiseren heeft R. Thijs als onderdeel van zijn afstudeerwerk een typmodule geprogrammeerd, waarmee tekstaanvragen gebufferd en vervolgens in behandeling genomen kunnen worden.

Het bufferen van tekstaanvragen in een Typ Verzamel Buffer (TVB), alvorens tot het uittypen van een tekst over te gaan is noodzakelijk, omdat tekstaanvragen vaker sneller binnenkomen, dan ze verwerkt kunnen worden.

De typmodule biedt de mogelijkheid om teksten op acht verschillende prioriteitsnivo's te bufferen.

De prioriteit die men aan een tekstaanvraag toekent, moet men, evenals het nummer van de teletype-unit, met de tekstaanvraag meegeven.

De typmodule biedt slechts een beperkte mogelijkheid om meerdere tekstaanvragen op het zelfde prioriteitsnivo in het TVB op te slaan.

Wanneer echter in korte tijd veel situaties optreden, die gemeld moeten worden, bieden de acht nivo's van de typmodule te weinig armslag.

Het is dan gewenst, dat meer tekstaanvragen gebufferd kunnen worden, het liefst op één nivo om zoveel mogelijk nivo's vrij te houden voor andere typtaken.

4.2. De funktie van de meldeenheid

De meldeenheid is geprogrammeerd om belangrijke Processituaties door te geven aan de operateur.

Daarbij hebben de volgende eisen een rol gespeeld:

- a) De geheugenbezetting door programmatuur en teksten dient beperkt te blijven.
- b) Er moeten voorzieningen zijn om ook zeer veel meldingen, die in korte tijd gegenereerd worden, te kunnen bufferen.
- c) Alle tekstaanvragen moeten op eenzelfde urgentienivo van de typmodule gebufferd kunnen worden.
- d) De operator moet het steeds weer melden van dezelfde grensoverschrijding kunnen beperken.

Genoemde eisen zijn in de gerealiseerde eenheid als volgt verwerkt:

- a) De teksten, die tijdens het regelen van processen getypt moeten worden, vertonen veelal eenzelfde structuur. Het **format** van onze teksten, die in de huidige opzet enkel grensoverschrijdingen melden, ligt grotendeels vast (Zie 2.2.).

Om geheugenruimte te sparen is daarom gekozen voor een "raamtekst", die bij iedere melding opnieuw, zoveel maal wordt ingevuld met de juiste karakters, als er grensoverschrijdingen te melden zijn in de betreffende periode. De gegevens hiervoor worden geleverd door zgn. tekstcodes en bijbehorende oktale getallen, die bij grensoverschrijdingen door routine LIMJET (zie 2.2) in een extra zgn. Tekstaanvraag Kode Buffer (TKB) geplaatst kunnen worden. Tekstcode en getal bezetten in het TKB ieder slechts één geheugenplaats. Bij elke aanroep van de meldeenheid worden alle combinaties van tekstcodes en getallen uit het TKB gelezen en direct geveegd om plaats te maken voor nieuwe.

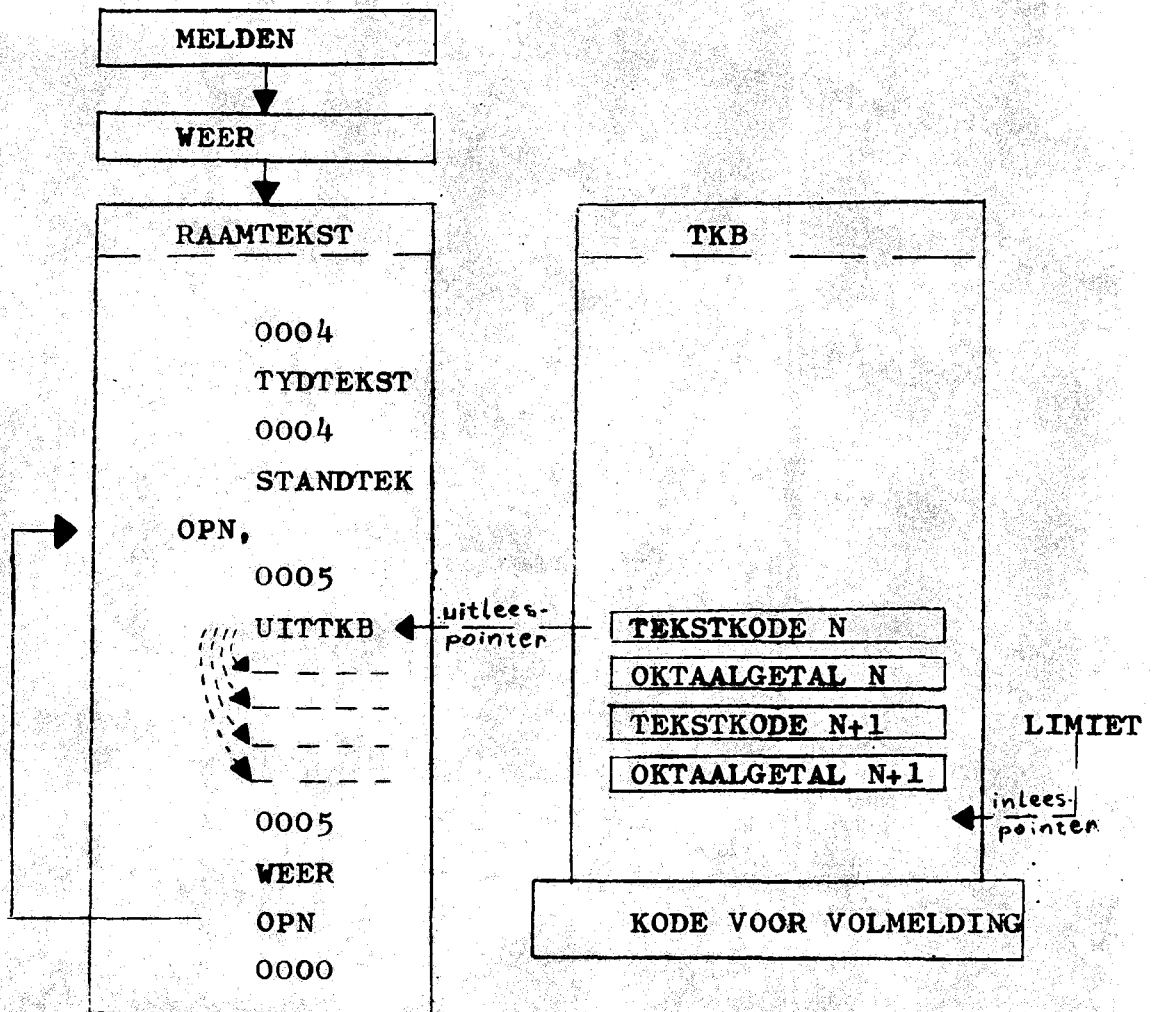


Fig.4.1. Raamtekst en TKB.

- b) Om ook veel meldingen, die kort na elkaar als tekstcodes gegenereerd worden te kunnen bufferen, is het TKB als ringbuffer uitgevoerd. Nadat in- of uitleespointer het einde van het buffer bereikt hebben, worden ze gereset op het begin ervan. Bovendien mogen tijdens het uitlezen van het TKB nieuwe combinaties geplaatst worden. Mocht een combinatie toch niet ingelezen kunnen worden, doordat het buffer volledig bezet is, dan wordt een speciale code op het laatste adres

van het TKB weggezet om dit te melden.

- c) De typmodule biedt de mogelijkheid om in een tekst een subroutine-aanroep te plaatsen d.m.v. twee zgn. bijzondere karakters 0005 (veld 1) en 0006 (veld 0), gevolgd door het adres van de routine en een parameter, die bij het aanlopen van de routine in de accu wordt meegegeven.

M.b.v. deze faciliteit wordt op het einde van de raamtekst steeds een routine aangeloopen om t.b.v. de volgende combinatie van tekstkode en getal weer een aanvraag voor dezelfde raamtekst te plaatsen door de typmodule met dezelfde tekstprioriteit en teletype user-nummer aan te roepen, als de tekstaanvraag, die op dat moment in behandeling is.

Deze laatste genoemde tekstaanvraag is dan al geveegd uit het TVB, zodat de volgende op dat nivo geplaatst kan worden.

Op deze wijze kan een hele keten van (raam)teksten achtereenvolgens op dezelfde teletype met dezelfde prioriteit worden uitgetypt.

Genoemde tekstketen is open; teksten met hogere prioriteit kunnen de melding onderbreken. Is dit ongewenst, dan moet men de melding de hoogste tekstprioriteit geven.

- d) Het steeds weer melden van dezelfde grensoverschrijding kan m.b.v. twee bits beperkt worden:

- centraal bit (één voor alle limietkodes)
- lokaal bit (voor elke limietkode één)

Het centraal bit wordt m.b.v. een aparte klokactie periodiek gekomplementeerd met een frequentie

(kleiner dan die van de regel- of adaptieëenheid), die de operateur zelf kan kiezen.

Het centraal bit wordt bij elke aanroep van routine LIMIET gebruikt om vast te stellen of een grensoverschrijding gemeld mag worden. Als het centraal bit melding toestaat bepaalt LIMIET aan de hand van de waarde van het lokaal bit of de variabele in kwestie al van deze toestemming gebruik heeft gemaakt. Zie fig.4.2.

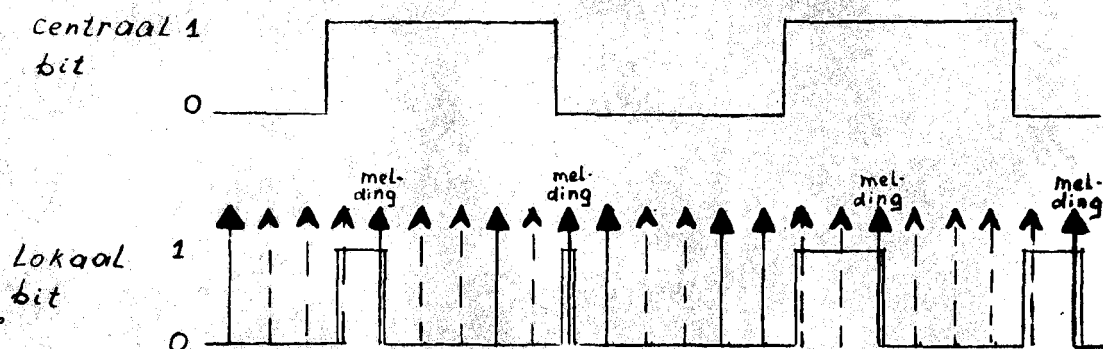


Fig.4.2. Functie van centraal en lokaal bit. \uparrow (\uparrow) betekent routine LIMIET constateert geen (een) grensoverschrijding.

Indien de door een limietkode laatst "waargenomen" waarde van het centraal bit ongelijk is aan zijn waarde op dat moment, wordt het lokaal bit van die limietkode gezet ten teken dat de eerstvolgende grensoverschrijding van die variabele gemeld wordt (ev. bij die run van routine LIMIET), waarna het lokale bit weer op nul wordt gezet. Tot de volgende verandering van het centraal bit kan er aldus van elke variabele maximaal één grensoverschrijding gemeld worden.

Om deze laatst "waargenomen" waarde van het centrale bit

te bewaren en voor het lokale bit zijn in iedere limiet-
kode twee bit gereserveerd (zie 2.2.).

4.3. De uitvoering van de meldeenheid.

De in 4.2. genoemde raamtekst bevat de volgende komponenten (fig.4.1. geeft een vereenvoudigd overzicht):

- aanvragen voor standaardteksten (d.m.v. het bijzonder karakter 0004, gevolgd door het beginadres van de tekst):

1 TYDTEKST

2 STANDTEK

- routine-aanvragen:

3 UITTKB met hulproutines

4 DEK01 en

5 DEK02.

6 WEER

- "lege" adressen voor de in te vullen karakters.

- een tekstafsluiter 0000.

De tekstaanvragen worden gebufferd in het:

7 TKB

standaardteksten, routines en buffer zullen nu in het kort worden belicht:

1. TYDTEKST

Deze standaardtekst meldt datum en tijd. Voor de benodigde initialisatiegegevens zie van Herten (6).

2 STANDTEK

Voor het uittypen van de tekst "GRENSOVERSCHRYDINGEN":

3 UITTKB

Deze routine hoort de uitleespointer van het TKB op en leest de bijbehorende combinatie van tekstkode en getalwaarde als paar uit. Daarna wordt de tekstkode geveegd door de inhoud van het betreffende adres gelijk aan nul te maken (een tekstkode is altijd ongelijk aan nul), ten teken dat op die adressen plaats is voor een nieuwe combinatie. Binnen UITTKB verwerken de hulproutines DEK01 en DEK02 de uitgelezen tekstkode en getalwaarde.

4 DEK01

DEK01 ontcijfert de tekstcodes, die door routine LIMIET gegenereerd zijn en vult aan de hand van deze codes de bovenste twee vrije adressen met de juiste gestripte*) ASCII karakters om het signaal, de overschreden grens en het nummer van de regeling of sturing aan te duiden. Als de kode gegenereerd is om te melden, dat tekstcodes verloren zijn gegaan, deordat het TKB op dat moment vol was, vraagt de subroutine de standaardtekst "TKB VOL!" op de vrije adressen aan. Zijn alle combinaties uit het TKB gelezen en geveegd, dan plaatst DEK01 een nul op het eerste vrije adres als afsluiter van de tekst. Om te verhinderen, dat het uitlezen van het TKB verstoord wordt door een nieuwe aanroep van de meldeenheid, zet de eenheid een speciaal zgn. onderbrekingsbit, dat door DEK01 pas gereset wordt als het buffer volledig is uitgelezen.

5 DEK02

Deze routine zet het oktaal getal, dat eveneens door

*) twee karakters in één geheugenwoord

LIMIET in het TKB is weggezet om de grootte van het signaal aan te geven, om in gestript ASCII en zet het weg op de laatste twee vrije adressen.

6 WEER

Nadat de raamtekst is uitgelezen en getypt en de bijbehorende aanvraag uit het TVB is geveegd, roept WEER de typmodule aan met dezelfde tekstprioriteit en op de standaardteksten na dezelfde raamtekst, waarin dan gegevens staan, afkomstig uit de volgende tekstkode en getal. Ook direct na het starten van het meldmechanisme, loopt de routine de typmodule aan om een begin te maken met het uitlezen van het TKB.

7 TKB

In het gerealiseerde TKB kunnen 14_8 combinaties van een tekstkode en getal worden opgeborgen. Het laatste adres in het buffer is gereserveerd om te melden, dat tekstcodes verloren zijn gegaan, doordat het TKB op dat moment volledig bezet was.

Hier volgt een voorbeeld van een tekst (voor de interpretatie ervan zie 2.2.):

JAAR/MND/DAG/UUR/MIN/SEC

74 10 11 10 21 30.00 00

GRENSOVERSCHRIJDINGEN

MB00 2472 MB01 2410 MB02 2362 MB03 2311 MB04 0644

MB05 1416 CO00 6754 CB01 3034

In appendix D staan meer gegevens over de hier genoemde routines.

4.4. Toepassingsmogelijkheden en het aanroepen van de meldeeenheid.

De meldeeenheid is ook te gebruiken, als men van een variabele enkel het tijdsverloop wil weten, ongeacht of grenzen zijn overschreden of niet.

De operator moet dan in de parameterlijst van de betreffende regel- of adaptieeenheid een gelijke boven- en ondergrens opgeven.

De meldeeenheid is als subroutine aanroepbaar en wordt automatisch aangeloopen als een grensoverschrijding gemeld moet worden.

Onder de aanroep van de meldeeenheid moet een zgn. meldkode staan, die het usernummer van de teletype en de tekstprioriteit als volgt meegeeft:

<u>bitnr.</u>	<u>betekenis</u>
0 t/m 8	Tekstprioriteit. Afhankelijk van de gewenste prioriteit van de tekst moet men een getal tussen 0 en 7 (inclusief grenzen) opgeven.
9 t/m 11	Teletype-usernummer. Op het ogenblik is er een keuze tussen teletype 1 (geef 1 op) en 2 (geef 2 op).

Om het aantal meldingen te beperken moet de operator, zoals al beschreven is, een aparte klokactie met de gewenste frequentie starten, waarbij enkel het centraal bit (minst significante bit van adres CMLDBT veld 1) wordt gekomplementeerd.

5. Metingen aan een multivariabel proefproces

5.1. Inleiding

De in de vorige hoofdstukken beschreven applicatieprogrammatuur is gebruikt voor de regeling van een multivariabel proefproces, dat staat opgesteld in de experimenteerruimte van de vakgroep Meten en Regelen.

De geïmplementeerde regelingen en de verkregen resultaten komen in hoofdstuk 6 aan de orde.

Alvorens het proces te regelen, is een aantal metingen gedaan om meer inzicht te krijgen in de dynamica en het niet-lineair karakter van het proces.

Deze metingen zijn in samenwerking met A. Sterken verricht gedurende de eerste drie maanden van de afstudeerperiode.

5.2. Het proces.

Het proces is circuit 1 van het multivariabel proefproces, dat uitvoerig beschreven staat in Coenen (16).

Hierin wordt tevens verslag gedaan van een groot aantal ijkingen en metingen betreffende de statica van het proces. Men onderscheidt een warme en een koude kant.

Het koude water wordt d.m.v. een tegenstroom warmtewisselaar opgewarmd, stroomt dan via een transportleiding in een buffervat met vaste uitstroomopening, waardoor het uiteindelijk in een voorraadvat terecht komt.

Dit vat heeft een instelbare uitstroomopening.

Als onafhankelijk te variëren ingangsgrootheden gelden de stuurdrukken op de drie kleppen n.l.

P_{sk} : stuurdruk op de koudwaterklep (klep 1)

P_{sw} : stuurdruk op de warmwaterklep (klep 2)

P_{su} : stuurdruk op de uitgangsklep (klep 3)

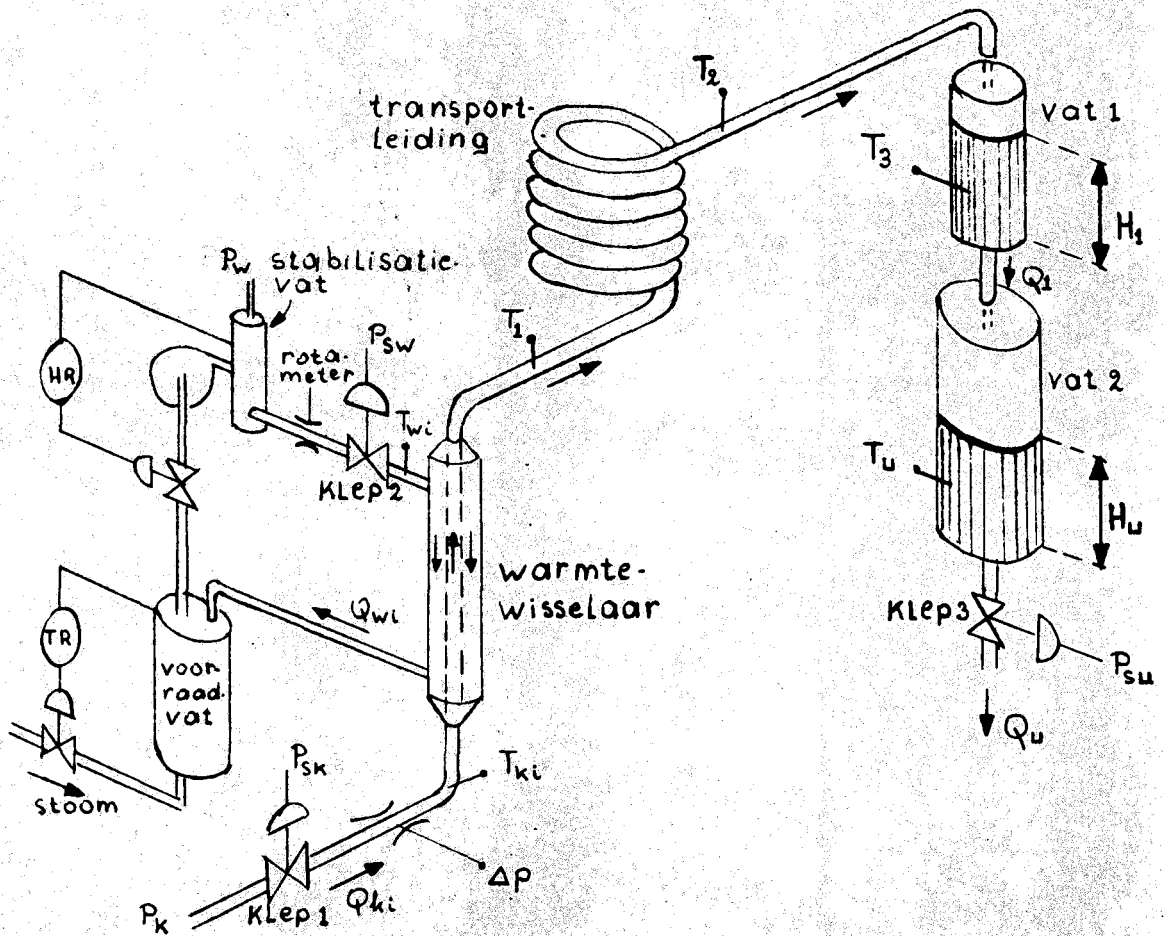


Fig.5.1. Schematische weergave van het proces.

De hoogte H_u en de temperatuur T_u van het water in het voorraadvat -vat 2- kiezen we als afhankelijke uitgangsgrootheden. De resterende ingangsgrootheden zoals;

- P_k : voordruk van de koudwatervoorziening.
- P_w : voordruk van de warmwatervoorziening.
- T_{ki} : intreetemperatuur van het koude water..
- T_{wi} : intreetemperatuur van het warme water.

worden verondersteld konstant te zijn, evenals de omgevingstemperatuur T_0 .

In fig. 5.2. wordt het proces in blokschema weergegeven. Het multivariabel karakter komt hierin duidelijk tot uiting.

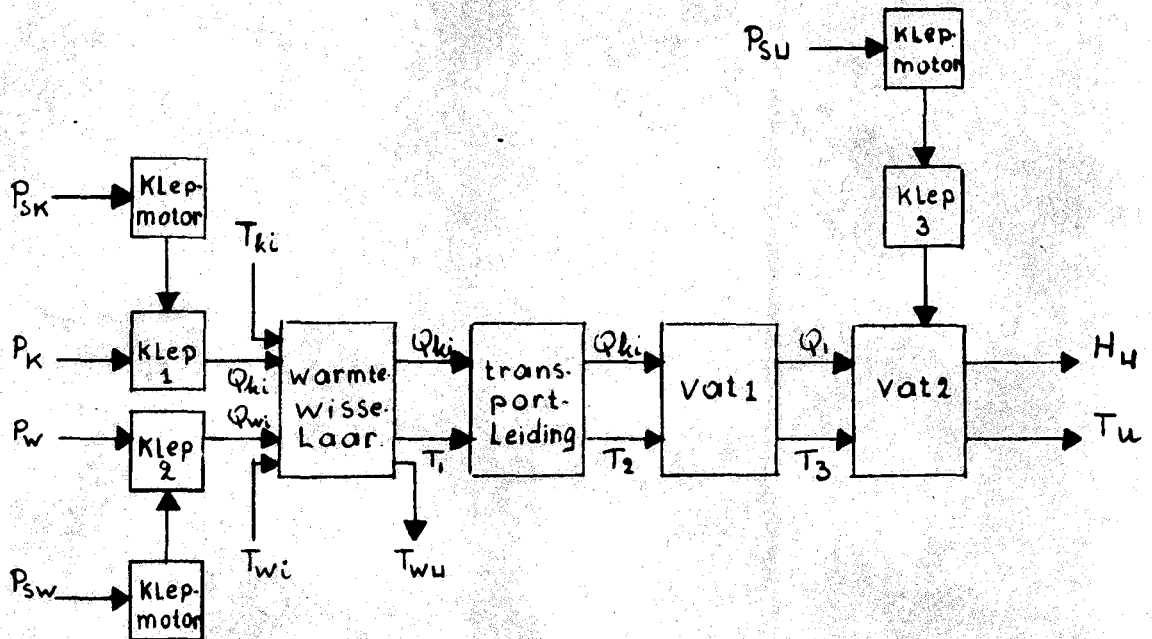


Fig. 5.2. Blokschema van het proces.

5.3. Metingen en meetmethode.

Langs theoretische en experimentele weg kan men inzicht verkrijgen in het dynamische gedrag van het proces.

Deze kennis van het dynamische gedrag is noodzakelijk om het proces op een 'goede' manier te kunnen regelen.

Theorie en experiment leiden tot een mathematisch model, waarin gebruik gemaakt wordt van linearisaties rondom een gekozen werkpunt, zodat de dynamica beschreven kan worden m.b.v. overdrachtsfuncties.

Het niet-lineaire karakter van het proces vindt men dan terug in de werkpuntsafhankelijkheid van de procesparameters.

In Coenen (16) en Neelen/ Meulenbrugge (17) is de afleiding van een dergelijk model uitvoerig beschreven.

Uit dit model blijkt gesteund door experimenten, dat de beïnvloedingen van de onafhankelijke ingangsgrootheden P_{sk} , P_{sw} en P_{su} op de afhankelijke uitgangsgrootheden H_u en T_u benaderd kunnen worden door onderstaande overdrachtsfuncties:

$$G_1 = \frac{h_u}{P_{sk}} = \frac{\mu_1}{(1 + s\tau_1) \cdot (1 + s\tau_2)}$$

$$G_2 = \frac{t_u}{P_{sk}} = \frac{\mu_2 \cdot e^{-s \cdot d_2}}{(1 + s\tau_3) \cdot (1 + s\tau_4)}$$

$$G_3 = \frac{t_u}{P_{sw}} = \frac{\mu_3 \cdot e^{-s \cdot d_3}}{(1 + s\tau_5) \cdot (1 + s\tau_6)}$$

$$G_4 = \frac{h_u}{P_{su}} = \frac{-\mu_4}{(1 + s\tau_1)}$$

Deze vier overdrachtsfuncties zijn slechts geldig in een bepaald werkpunt.

Het werkpunt wordt goeddeels vastgelegd door de grootte van de koud- en warmwaterstroom en wanneer de warmwaterstroom telkens zodanig wordt ingesteld dat de eindtemperatuur, bij iedere waarde van de koudwaterstroom, gelijk is aan een gewenste waarde, dan houden de procesparameters nog slechts direct verband met de koudwaterstroom.

De keuze van de werkpunten, m.a.w. de waarde van de koudwaterstroom kan niet willekeurig geschieden.

Teneinde er voor te zorgen dat het buffervat niet overstroomt, mag de koudwaterstroom niet te groot worden, evenwel mag de koudwaterstroom een bepaalde minimumwaarde niet beneden gaan, omdat anders het buffervat leeg komt te staan.

In Neelen / Meulenbrugge (17) is onderstaand meetprogramma uitgevoerd.

- Bepaling van de overdrachtsfuncties G_1 , G_2 en G_3 bij de Q_{ki} (koudwaterstroom)-waarden 125 l/h, 175 l/h en 250 l/h, terwijl de werkpuntswaarde van de eindtemperatuur T_u en de hoogte H_u resp. 60 °C en 50 cm waren.
- Bepaling in diezelfde werkpunten van de overdrachtsfunctie G_4 en het gedrag van H_u op abrupte overgangen van het ene werkpunt naar het andere veroorzaakt door grote stapvormige afnamevariatiës.

Gelet op de doelstellingen genoemd in 5.1. hebben we het volgende meetprogramma uitgevoerd:

- Bepaling van de overdrachtsfuncties G_1 , G_2 en G_3 bij de Q_{ki} waarden 125 l/h, 175 l/h en 250 l/h, terwijl in tegenstelling tot bovengenoemd meetprogramma voor de werkpuntswaarde van de eindtemperatuur T_u 45 °C is gekozen.

Het verleggen van de werkpuntswaarde (= gewenste waarde) van de eindtemperatuur T_u van 60 °C naar 45 °C zal naar verwachting van invloed zijn op de waarden van de procesparameters in de overdrachtsfuncties G_2 en G_3 en aannemende dat de 'temperaturen' geen invloed hebben op de

hoogten van de waterkolommen in beide vaten, verwachten we tevens dat de waarden van de procesparameters in G_1 dezelfde zullen zijn als gevonden in Neelen / Meulenbrugge (17).

Uit stap- en frequentieresponsies kunnen de procesparameters bepaald worden.

Omdat naast de 'bewust' aangebrachte storingen ook nog spontane variaties in de koud- en warmwaterstroom optraden was het noodzakelijk deze grootheden te regelen. De regeling zorgde ervoor dat de betreffende stroom aan een gewenste waarde gelijk bleef. Het testsignaal - een sinus of stapfunctie - werd dan op de gewenste waarde gezet.

stapresponsies.

In de reeds eerder genoemde werkpunten zijn stapvormige storingen aangebracht op de stuurdrukken P_{sk} en P_{sw} . Uit de responsies zijn de proces parameters bepaald: statische versterking door verschil in begin- en eindwaarde van de responsie te delen door de stapgrootte, tijdkonstanten op een wijze beschreven in appendix A van Neelen / Meulenbrugge (17) en de eventuele looptijd door de tijd te meten tussen de aanvang van de storing en begin van de responsie.

In ieder werkpunt zijn een ruim aantal stapvormige storingen aangebracht - ± 16 per werkpunt - waardoor een goed beeld van de spreiding van meetwaarden wordt verkregen.

frequentieresponsies.

M.b.v. sinusvormige storingen zijn in ieder werkpunt voor elk van de overdrachten Bode-diagrammen opgemeten, waaruit de procesparameters als volgt bepaald zijn:

de tijdconstante uit $\tau_i = 1/\omega_i$ -met ω_i de betreffende breekfrequentie-, de versterkingsfactor uit de modulus van de overdrachtsfunctie bij $\omega = 0$ en de looptijd uit de fase draaiing rekening houdend met fasedraaiing te weeggebracht door de twee eerste orde's.

5.4. Meetresultaten.

Bij de bepaling van de waarden van de verschillende procesparameters blijkt een grote spreiding op te treden (zie werkboek), die in hoofdzaak veroorzaakt wordt door verwaarlozing van het inversieverschijnsel en doordat driftverschijnselen de bepaling van de eindwaarden van de stapresponsies erg bemoeilijkten.

Fig.5.3. geeft het verband te zien van de procesparameters met de koudwaterstroom.

Het verloop van de parameters met Q_{k1} is in overeenstemming met de in Neelen / Meulenbrugge (1) afgeleide kwalitatieve relaties.

Opvallend is de overeenstemming van overdracht G_2 en G_3 wat betreft de twee tijdconstanten en de looptijd.

In fig.5.4. zijn de gevonden overdrachtsfuncties G_1, G_2 en G_3 uitgezet in de vorm van polaire diagrammen. Duidelijk komt hierin de werkpuntsafhankelijkheid van de overdrachtsfuncties tot uiting.

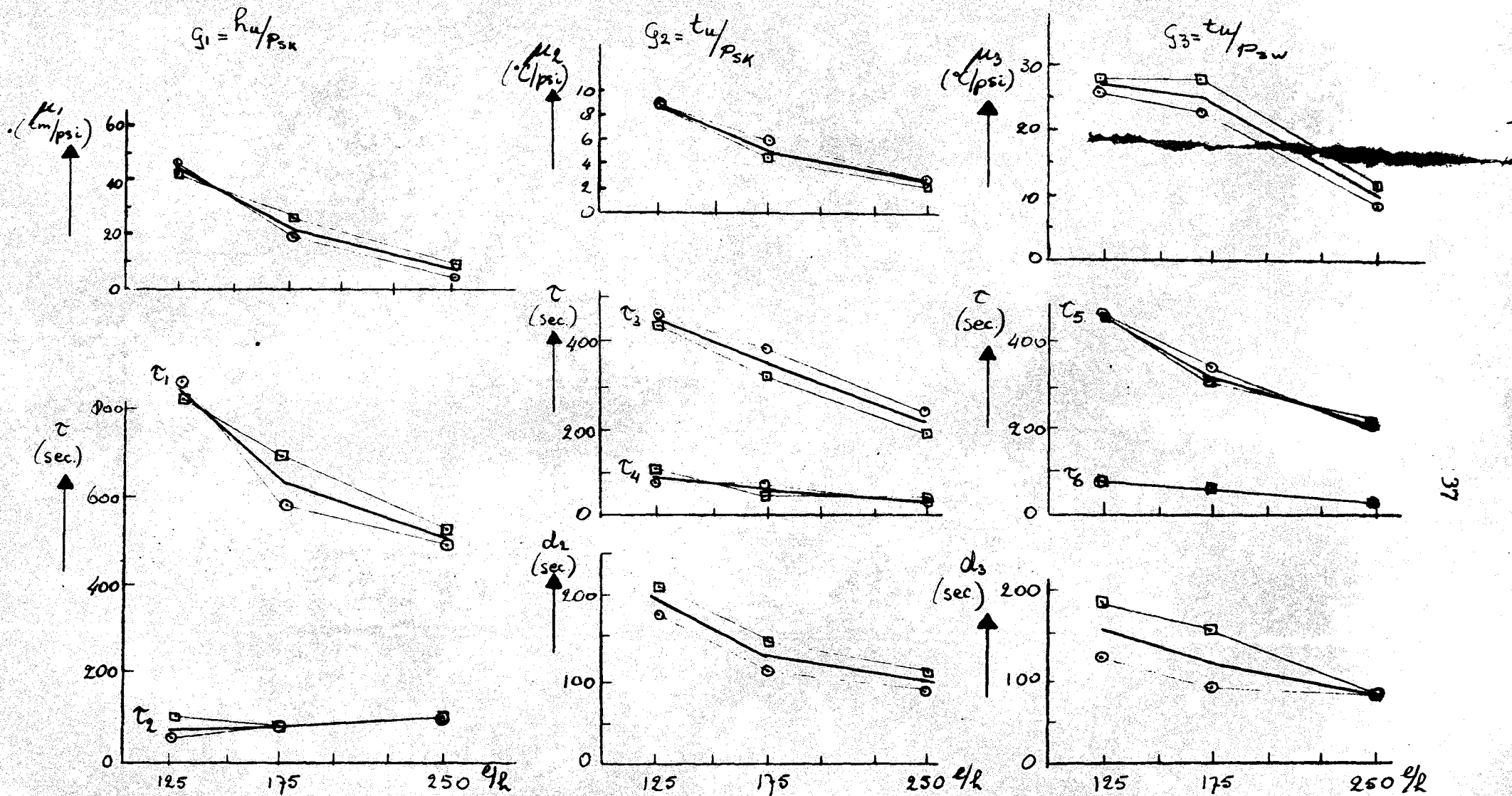


Fig. 5.3 Verband tussen de procesparameters en de koudwaterstroom bij $H_u = 50 \mu m$ en $T_u = 45^\circ C$.

□ Gemiddelde waarde uit stapresponsies.

○ Gemiddelde waarde uit frequentieresponsies.

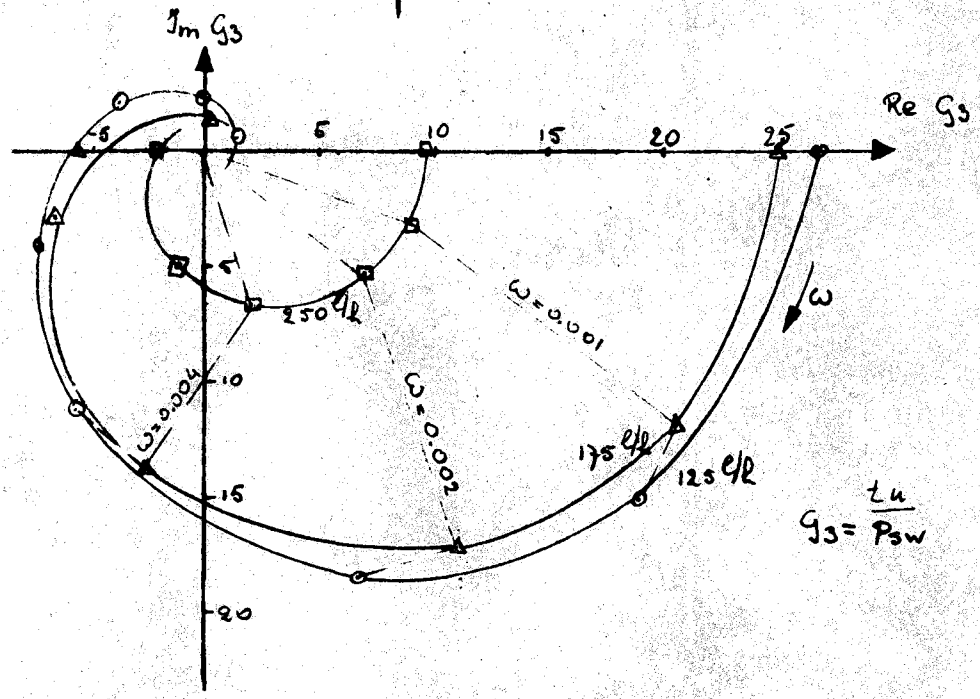
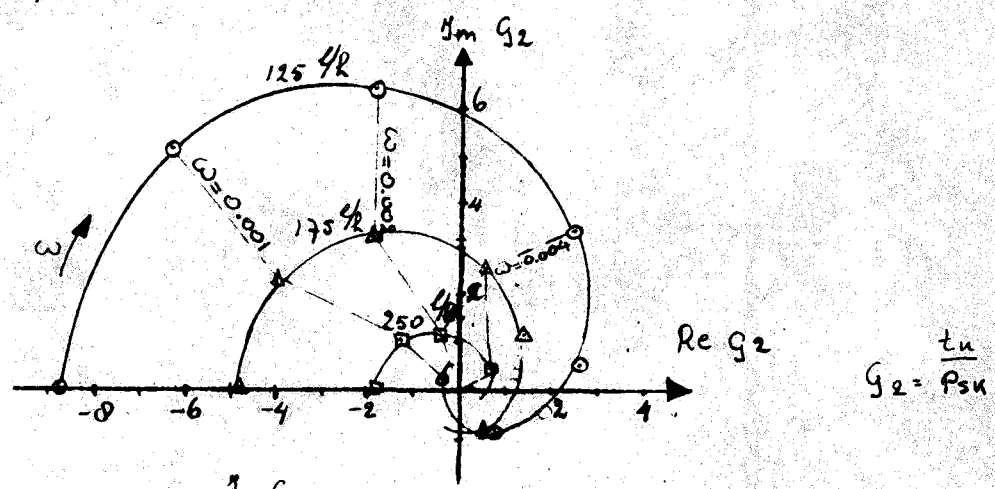
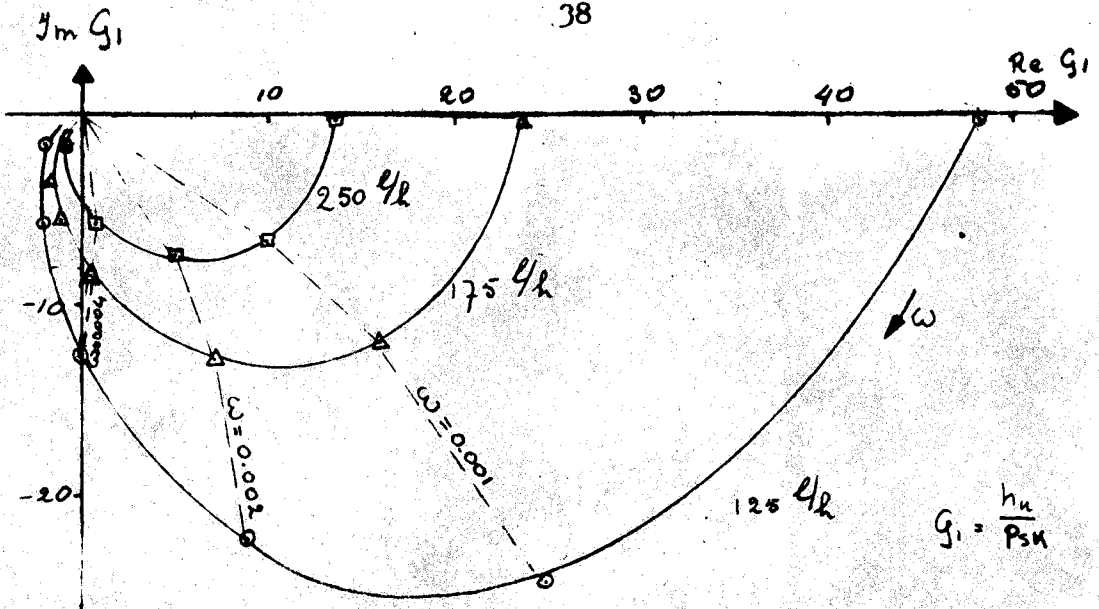


Fig.5.4. Polaire diagrammen van de overdrachtsfuncties G_1 , G_2 en G_3 .

6. Geïmplementeerde regeltaken.

6.1. Inleiding

De programmatuur is o.a. ~~getest~~ door een aantal geprogrammeerde taken periodiek aan te roepen voor de regeling van het in hoofdstuk 5 beschreven proefproces. De manier, waarop de regelstrategieën t.b.v. dit proces bepaald zijn, zal niet besproken worden.

Dat deel van de werkzaamheden is verricht door mede-afstuurder A. Sterken (18).

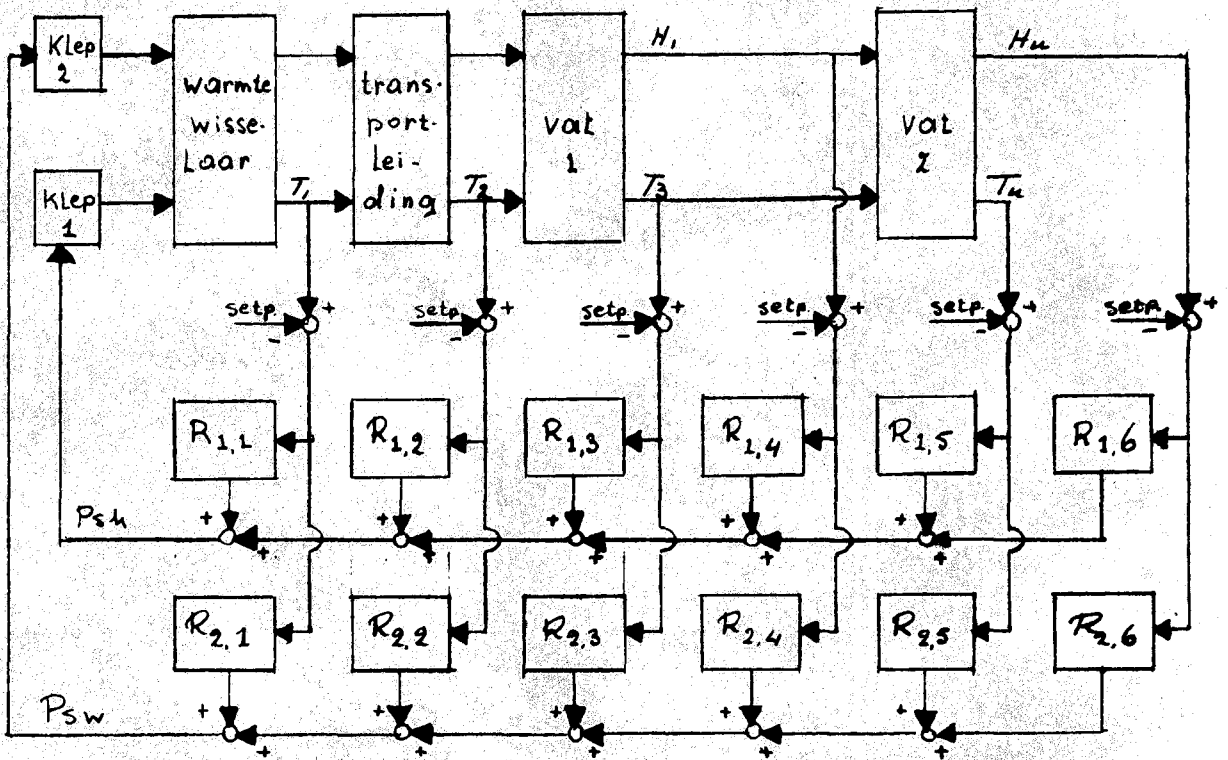


Fig.6.1. Structuur van de matrixregelaars

De door hem voorgestelde matrixregelaars hadden tot doel de hoogte en temperatuur in het laatste vat (H_u en T_u) konstant te houden ondanks storingen van velerlei aard (P_{sk} , P_{sw} , P_{su} , T_{ki} , T_{wi} ect. zie fig.5.1.).

De corrigerende grootheden waren de stuurdrukken op de koud- en warmwaterklep (P_{sk} , P_{sw}).

Als meetvariabelen zijn de volgende grootheden genomen:

de temperaturen	T_1, T_2, T_3 en T_u
de hoogtes	H_1 en H_u

D.m.v. de specificaties in de parameterlijst hadden de gerealiseerde matrixregelaars een structuur, zoals in fig.6.1. is weergegeven.

De zes gebruikte setpointwaarden zijn konstant in de tijd en gelijk aan de betreffende meetvariabelen na stabilisatie in het gewenste werkpunt.

Ze zijn verkregen door de meldeenheid de waarden van deze variabelen periodiek te laten loggen.

Na stabilisatie in het werkpunt zijn de zo geprinte oktale waarden m.b.v. de communicatiemodule weggezet op de setpointadressen.

6.2. De koppeling tussen proces en komputer.

De koppeling tussen proces en computer is geschetst in fig.6.2.

De hierin getekende procesuitgangen zijn als volgt gemeten.

De temperaturen T_1 , T_2 , T_3 en T_u zijn opgenomen met weerstandsthermometers (in fig.6.2. aangeduid met T/E omzetters).

De elektrische uitgangssignalen worden daarna niet meer versterkt.

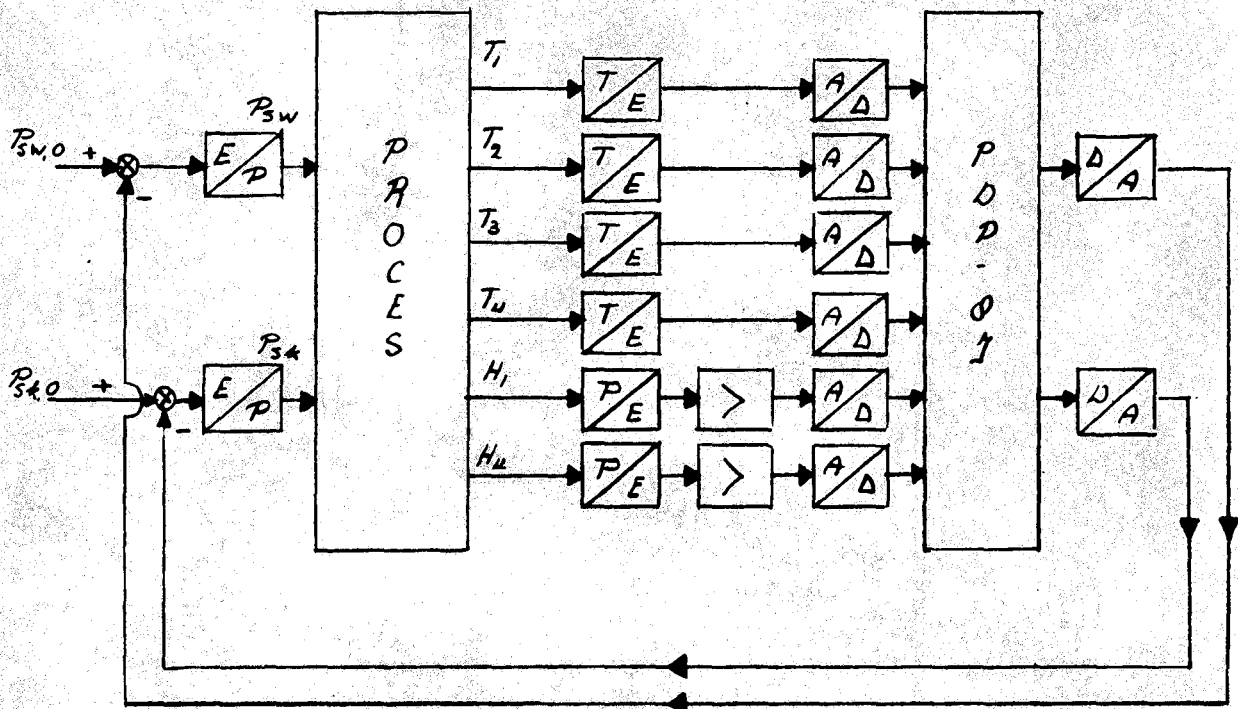


Fig.6.2. koppeling tussen proces en komputer.

De hoogtes H_1 en H_u zijn gemeten met Δp -zenders, waarvan de pneumatische uitgangssignalen m.b.v. P/E omzeters getransformeerd zijn tot elektrische signalen.

Deze signalen zijn vervolgens 400x versterkt.

Voordat de PDP-8 deze signalen kan inlezen, moeten ze eerst in digitale vorm gebracht worden door AD-omzeters.

De gebruikte AD-omzeters kunnen ingangssignalen tussen -10 en +10 volt verwerken.

De digitale uitgangssignalen van de PDP-8 worden eerst m.b.v. DA-omzeters en nulde-erde houdcircuits omgezet in analoge elektrische signalen tussen -10 en +10 volt.

Deze signalen worden vervolgens gebruikt om via spanning/stroom-omzetters en stroomgestuurde E/P omzetters de stuurdrukken P_{sk} en P_{sw} pneumatisch te activeren. De spanning/stroomomzetters bieden de mogelijkheid om een extra gelijkspanning toe te voegen, waarmee een voordruk wordt verkregen ($P_{sk,0}$ en $P_{sw,0}$).

6.3. De regeling van het proces.

Een "goede" regeling van het proefproces wordt, behalve door het niet-lineaire en multivariabele karakter ervan, bemoeilijkt door de aanwezigheid van een twaalf meter lange transportleiding tussen warmtewisselaar en vat 1 (Zie fig.5.1.).

De looptijd en de warmte-verliezen t.g.v. deze transportleiding veroorzaken namelijk een inversie in de (stap)-responsie van P_{sk} naar T_3 .

Om het effect van de transportleiding beter te kunnen analyseren, is het proces zowel met als zonder transportleiding geregeld.

Het proces met uitgeschakelde transportleiding is als volgt proportioneel geregeld:

$$\bar{u} = \bar{R}_a \cdot \bar{i} \quad a = 1, 2, 3$$

waarin: $\bar{i}^T = (t_1, t_2, t_3, t_u, h_1, h_u)$ *)

$$\bar{u}^T = (P_{sk}, P_{sw})$$

$\bar{R}_a = 2 \times 6$ proportionele regelmatrix

Teneinde enige experimenten te kunnen verrichten, zijn er drie regelaars van dit type gerealiseerd ($a = 1, 2, 3$), waarbij voor toenemende waarde van a de corrigerende

*) T betekent getransponeerd

signalen feller op het proces mogen ingrijpen.

Deze regelaars zijn ontworpen door mede-afstuurder A. Sterken. Voor de diepere theoretische achtergronden zie (18).

De drie regelaars zijn getest door op de stuurdrukken P_{sk} en P_{sw} van het ongeregelde en geregelde proces stapvormige variaties aan te brengen ten grootte van $\pm 20\%$ van de werkpuntswaarde (Zie fig. 6.3. en 6.4.).

Als werkpunt is gekozen:

$$\begin{aligned} Q_{ki} &= 175 \text{ l/h} \\ T_u &= 60^\circ\text{C} \\ H_u &= 50 \text{ cm} \end{aligned}$$

De bij dit werkpunt berekende regelmatrices R_a hebben voor $a = 1, 2$ en 3 de volgende vorm:

$$\begin{aligned} R_1 &= \begin{matrix} -0,02 & -0,17 & -0,30 & -2,51 & 3,25 & 30,23^*) \\ 0,15 & 1,25 & 1,36 & 11,00 & 0,72 & 4,34 \end{matrix} \\ R_2 &= \begin{matrix} -0,04 & -0,37 & -1,07 & -11,26 & 7,06 & 115,30 \\ 0,42 & 3,66 & 5,13 & 43,30 & 2,55 & 21,20 \end{matrix} \\ R_3 &= \begin{matrix} -0,06 & -0,75 & -2,60 & -34,55 & 15,66 & 360,30 \\ 1,10 & 10,56 & 17,20 & 173,00 & 5,70 & 70,30 \end{matrix} \end{aligned}$$

De monsterperiode (Δt) bedroeg 2 seconde.

De verhouding tussen de monsterperiode enerzijds en de grootste en kleinste tijdconstanten anderzijds luidt:

$$\begin{aligned} \tau_k / \Delta t &= 2,5 & \tau_k &: \text{kleinste tijdkonstante} \\ \tau_1 / \Delta t &= 365 & \tau_1 &: \text{grootste tijdkonstante} \end{aligned}$$

*) oktaal p.s.i./ $^\circ\text{C}$ of p.s.i./cm

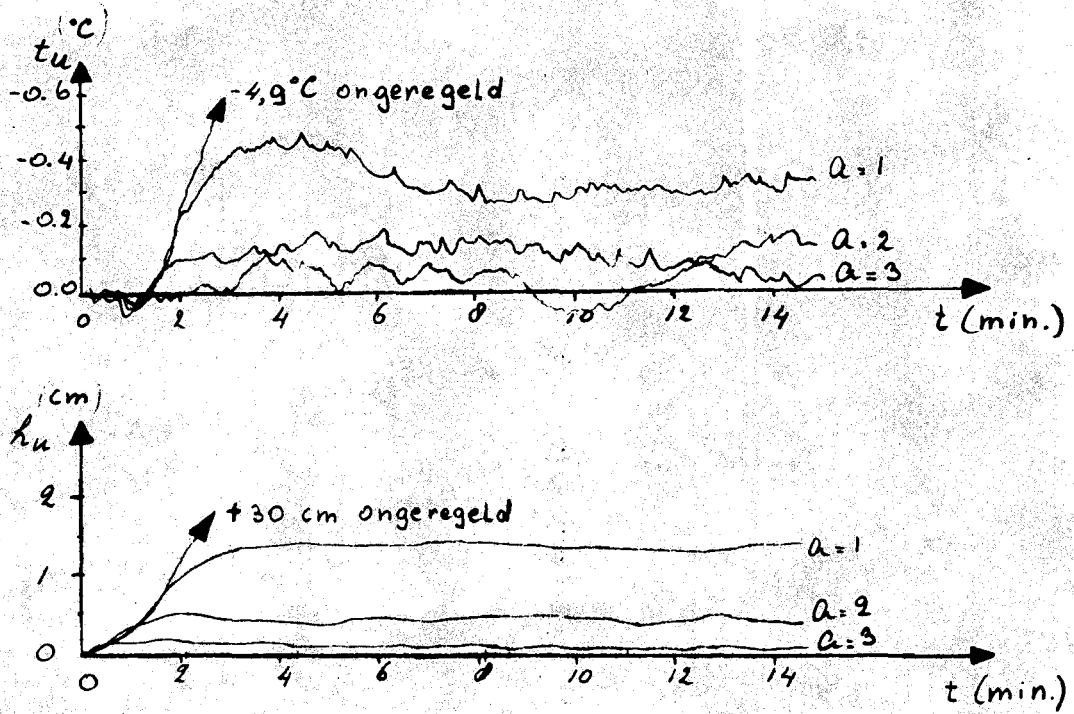


fig.6.3. T_u - resp. H_u responsie op een stapstoring in P_{sk} bij "uitgeschakeld" transportleiding.

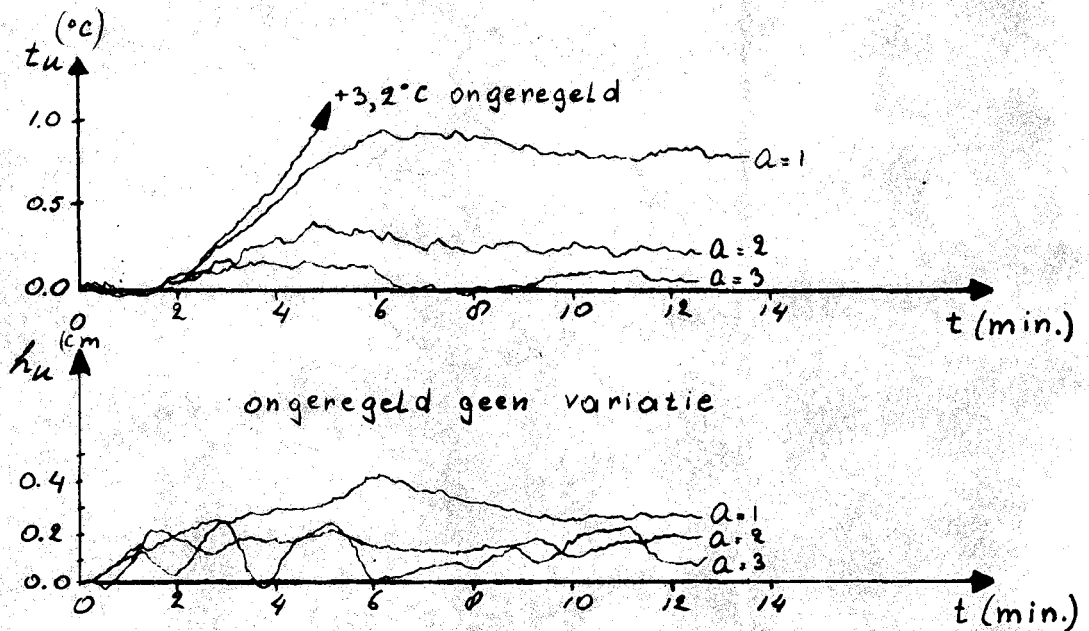


fig.6.4. T_u resp. H_u responsie op een stapstoring in P_{sw} bij "uitgeschakelde" transportleiding.

Regeling van het proces met ingeschakelde transportleiding m.b.v. de beschreven regelstrategieën geeft minder bevredigende resultaten (grotere afwijkingen en oscillaties). Daarom is een andere regelstrategie gevolgd.

De overdracht van temperatuur T_1 voor de transportleiding naar T_2 erna wordt beschreven door een eerste orde met looptijd:

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{\mu_5}{1-s\tau_5} \cdot e^{-s \cdot d_t}$$

Bij de mathematische modelvorming van het proces is deze overdracht vervangen door een serieschakeling van een aantal kleinere looptijden, elk ter grootte van de monstertijd, en een eerste orde.

Tijdens de daarop volgende regelstudies zijn proportionele coëfficiënten berekend om, behalve de in 6.1. genoemde meetvariabelen, ook de zo ontstane fysisch niet aanwezige tussenvariabelen volgens het integraal-kriterium optimaal terug te koppelen. Zie fig.6.5.

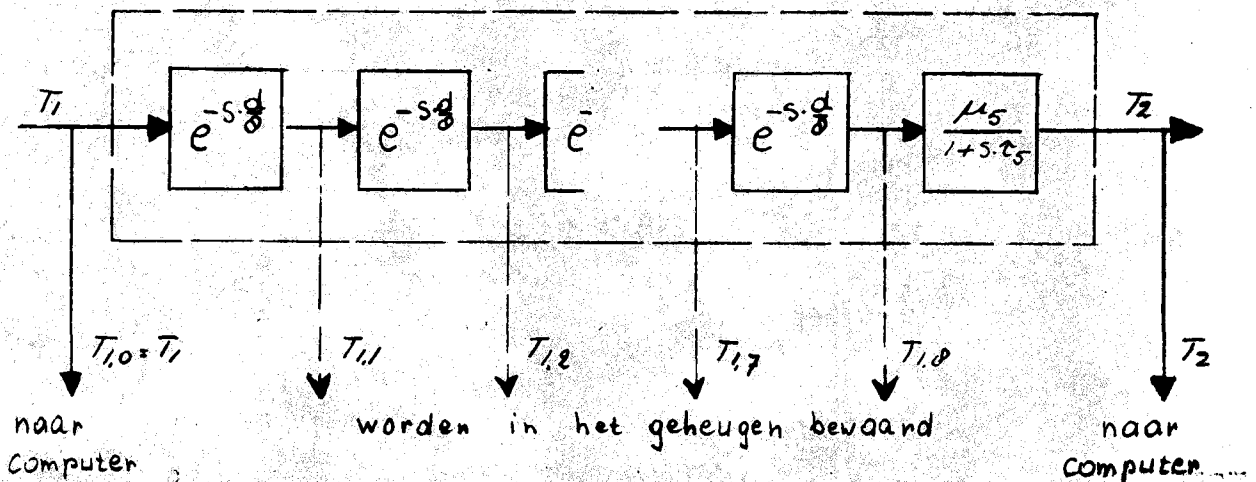


Fig.6.5. Model van transportleiding

De looptijd bedraagt bij het gekozen werkpunt ($Q_{ki} = 175 \text{ l/h}$, $H_u = 50 \text{ cm}$, $T_u = 60^\circ\text{C}$) ongeveer 80 seconden. Door een monstertijd van 10 seconden te kiezen is deze looptijd opgedeeld in 8 gelijke delen van 10 seconden. T.b.v. het proces met ingeschakelde transportleiding heeft A. Sterken (18) de volgende regelalgoritmes bij het genoemde werkpunt berekend:

$$\bar{u} = \bar{R}_a \cdot \bar{I} \quad a = 1, 2, 3$$

waarin: $\bar{I}^T = (t_{1,0}, t_{1,1}, t_{1,2}, \dots, t_{1,8}, t_2, t_3, t_u, h_1, h_u)$
 $\bar{u}^T = (p_{sk}, p_{sw})$

$$R_1 = \begin{matrix} -0,04 & -0,04 & -0,04 & -0,04 & -0,04 & -0,05 & -0,05^*) \\ 0,31 & 0,23 & 0,24 & 0,24 & 0,24 & 0,23 & 0,23 \\ -0,05 & -0,05 & -0,27 & -0,24 & -1,41 & 3,42 & 25,62 \\ 0,23 & 0,23 & 1,32 & 1,14 & 5,44 & 0,76 & 4,24 \end{matrix}$$

$$R_2 = \begin{matrix} -0,10 & -0,10 & -0,12 & -0,13 & -0,13 & -0,14 & -0,15 \\ 1,03 & 0,72 & 0,75 & 0,77 & 1,01 & 1,01 & 1,02 \\ -0,15 & -0,16 & -1,02 & -0,77 & -4,62 & 7,40 & 77,60 \\ 1,02 & 1,01 & 4,74 & 4,30 & 24,60 & 2,67 & 20,34 \end{matrix}$$

$$R_3 = \begin{matrix} -0,14 & -0,17 & -0,23 & -0,26 & -0,31 & -0,33 & -0,34 \\ 2,17 & 2,10 & 2,27 & 2,43 & 2,55 & 2,64 & 2,71 \\ -0,36 & -0,37 & -2,31 & -2,31 & -13,53 & 16,32 & 244,60 \\ 2,74 & 2,75 & 16,40 & 15,40 & 101,00 & 6,13 & 60,71 \end{matrix}$$

*) oktaal p.s.i / °C of p.s.i / cm

De signalen $t_{1,1}$ t/m $t_{1,8}$ zijn niet meetbaar, doch kunnen eenvoudig voorspeld worden uit t_1 . Zoals in 2.2 beschreven is, realiseert routine OVERD een algemene discrete overdracht gegeven door:

$$\frac{u}{i} = \frac{a_0 - a_1 \cdot z^{-1} + a_2 \cdot z^2 + \dots}{1 + b_1 \cdot z^{-1} + b_2 \cdot z^2 + \dots}$$

Daardoor kan een configuratie van negen proportionele regelaars, met $t_{1,0}$ t/m $t_{1,8}$ als meetsignalen, vervangen worden door één regelaar met t_1 als meetsignaal. Matrixregelaar R_1 wordt daarmee gereduceerd tot:

$$\begin{pmatrix} 0,04 - 0,04 \cdot z^{-1} - 0,04 \cdot z^{-2} \dots - 0,05 \cdot z^{-8} \\ 0,31 + 0,23 \cdot z^{-1} + 0,24 \cdot z^{-2} \dots + 0,23 \cdot z^{-8} \end{pmatrix}$$

0,27	0,24	1,41	3,42	25,62
1,32	1,14	5,44	0,76	4,24

\bar{R}_2 en \bar{R}_3 worden op gelijke wijze getransformeerd. De structuur van fig.6.1. is hiermee gehandhaafd. De matrixelementen zijn nu echter niet allen proportioneel. Twee ervan zijn min of meer middelende operatoren.

De drie regelingen zijn getest onder dezelfde omstandigheden als die voor het proces met uitgeschakelde transportleiding.

Regelmatrix \bar{R}_3 veroorzaakte echter instabiliteit.

(zie fig.6.6.)

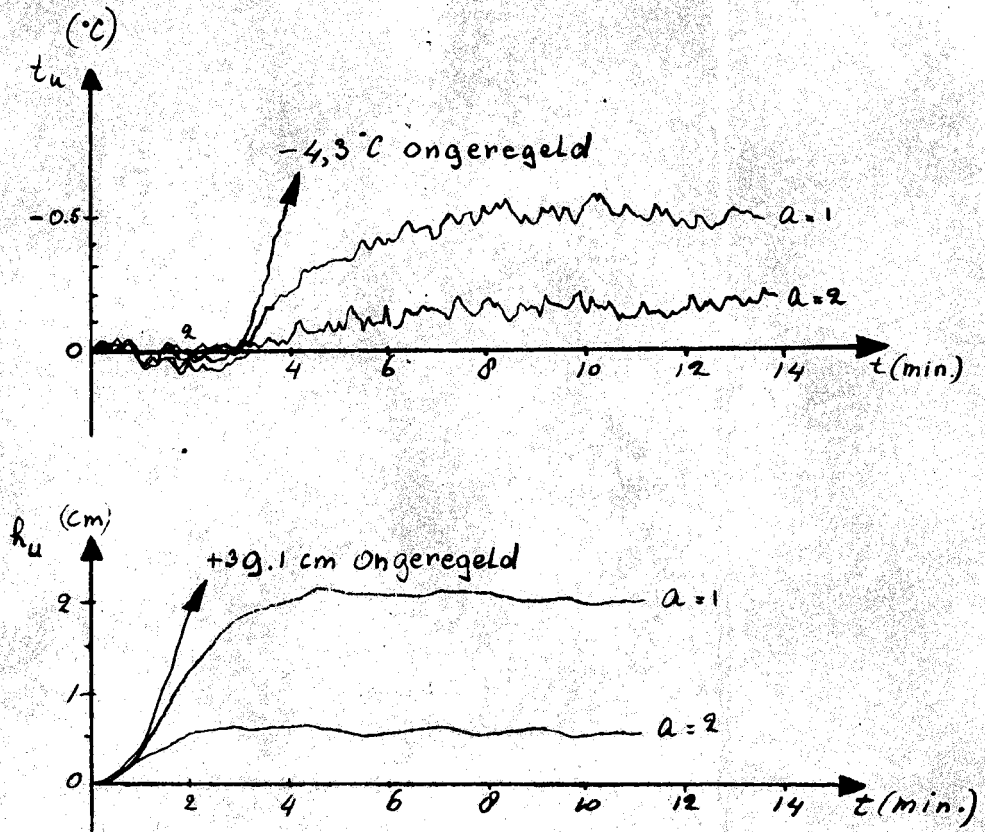


Fig.6.6. T_u - resp. H_u responsie op een stapvormige storing op p_{sk} bij het proces met looptijd.

7. Slotopmerkingen

Zoals reeds in 6.1. is aangeduid, hadden de geïmplementeerde regelingen o.a. tot doel het pakket applicatieprogramma's te testen.

Daarbij bleek, dat de gekozen methode om applicatietaken te specificeren (in een parameterlijst) i.p.v. te programmeren, gemakkelijk en flexibel te hanteren was, vooral als men grote systemen (b.v. matrixregelaars) wil realiseren. M.b.v. de communicatiemodule kunnen de parameterlijsten bovendien real-time worden opgevraagd of veranderd.

Voor conclusies omtrent de gebruikte regelalgoritmes wordt verwezen naar Sterken (18).

Suggesties voor verder onderzoek hebben voornamelijk betrekking op computertechnische en regeltechnische aspecten van het afstudeerwerk.

computertechnische aspecten

- De beschreven programatuur werd ontwikkeld om het gemak van de regeltechnicus te dienen. In verband daarmee lijkt het zinvol na te gaan welke moeilijkheden de regeltechnicus zonder programmeerervaring ondervindt bij het gebruik ervan.
- Gebleken is, dat de meldeenheid goed bruikbaar is om berichten over bepaalde situaties in kodevorm te bufferen alvorens ze aan de operateur door te geven. Door deze eigenschap is het mogelijk de eenheid uit te breiden met een aantal raamteksten om, behalve grensoverschrijdingen, ook andere gebeurtenissen aan de operateur kenbaar te kunnen maken.
- De gekozen methode van adaptie (zie ook 3.1.) is eenvoudig en voor sommige toepassingen te onnauwkeurig (mede i.v.m. de benadering door trapjeskrommen).

Wellicht geeft uitbreiding of wijziging van de adaptie-eenheid verbetering.

- De communicatiemodule biedt de operateur de mogelijkheid een groot gedeelte van de organisatie, die nodig is voor het functioneren van zijn programmatuur binnen EROS (definiëren van jobheads, starten van klokacties e.d.) conversationeel af te handelen. In navolging daarop kan men nagaan of het wenselijk is de conversatiemogelijkheden zo uit te breiden, dat ook de parameterlijsten van de applicatietaken aldus gespecificeerd kunnen worden.
- De geprogrammeerde eenheden en "lange" elementaire routines zijn reëtrant. De "korte" routines echter niet. Het is wellicht interessant te onderzoeken hoe de onderbrekings- en hervattingsmogelijkheden van de programmatuur verder geoptimaliseerd kunnen worden tegen de achtergrond van de eisen, die aan snelheid, doorzet en geheugenbezetting gesteld kunnen worden.
- Op een aantal plaatsen worden op het ogenblik de toepassingsmogelijkheden van microcomputers onderzocht. Mede door zijn modulaire structuur kan de programmatuur misschien geschikt gemaakt worden voor gebruik op dergelijke computers.

regeltechnische aspecten

- De niet-lineariteit van het proces komt tot uiting in de werkpuntsafhankelijkheid van de procesparameters. Door de procesdynamica bij een aantal andere werkpunten op te meten, ontstaat een vollediger beeld van de niet-lineariteit van het proces.

- Tijdens dit afstudeeronderzoek is het proces slechts bij één werkpunt geregeld met een tweetal monstertijden. Het lijkt zinvol de invloed van andere werkpunten en andere monstertijden na te gaan.
- Een regeling, die optimaal is voor storingen in p_{sk} heeft dat neg niet te zijn voor storingen in p_{su} . Mogelijk geldt dit ook voor de vorm van de stoorsignalen (stap, ruis enz.). Misschien biedt de realisatie van een storingsafhankelijke regeling (m.b.v. adaptie) perspectieven.

algemene gegevens over de applicatieprogrammatuur

De applicatieprogrammatuur beslaat een geheugenruimte van 6 pagina's van 200_8 woorden. ($= 3/4 K$)

De voor een taak benodigde executietijd wordt in hoofdzaak bepaald door de opgegeven parameterlijst.

Voor de regeleenheid geldt een minimum van $0,08 \cdot 10^{-3}$ sec. en voor de adaptieeenheid van $0,41 \cdot 10^{-3}$ sec.

Om één grensoverschrijding te melden heeft de meldeenheid minimaal $0,25 \cdot 10^{-3}$ sec. nodig.

8. Literatuurlijst

8.1. Computertechnische literatuur

1. Experimenteel Real-Time Operating Systeem
J.M.L. Kouwenberg en F.P.M. Sopers
november '72
2. Een experimenteel Real-Time Operating Systeem
ir. G. Dekker en ir. C.G.J. Buursen
KIVI verslagboek 1973
3. Applicatieprogrammatuur voor EROS
H. Bouen
november '73
4. Communicatieprogramma onder EROS
R. Thijs
mei '74
5. Een real-time testmethode
H. Maesen
april '74
6. Tijdbepaling binnen 'EROS'
H.S. van Herten
Juni '74
7. Introduction to programming
Digital Equipment Corporation
juli '69
8. Proces Computersystemen
Prof.ir. F.J. Kylstra en ir. N.G.M. Kouwenberg
Collegedictaat T.H.E. mei '73

9. **Procesregeling**
Prof.ir. O. Rademaker , ir. J.G.M. Cuypers en
ir. C.G.J. Buursen
Collegedictaat T.H.E. mei '71

10. **Digitale rekenmachines**
Prof.ir. Heetman
Collegedictaat T.H.E.

11. **Computer Control of Industrial Processes**
E.S. Savas
'65

12. **Dare II : fast on-line digital simulation on a small
computer.**
Thomas A. Liebert
Annales de l'Association internationale pour le
Calcul analogique, nr. 4, okt.'71 (pag.150 t/m 153)

13. **The flowchart programming system**
James C. Michener
Simulation, jan.'71 (pag. 42 t/m 44)

14. **Proces Control Software**
Herbert E. Pike, Jr
Proceedings of the I.E.E.E., vol.58, nr.1, jan. '70
(pag. 87 t/m 97)

15. **Design and Application of an Adaptive Process
Control System Using Digital Techniques**
Samuel Suh
Proceedings of the sixth annual conference on the
use of digital computers in process control.
febr.'71 (pag. 16 t/m 23)

8.2. Regeltechnische literatuur

16. Proefprocessen ter bestudering van regelstrategieën met een digitale computer.

C.P.M. Coenen

maart '72

17. De digitale regeling van een meer-variabelen proefproces.

H.J. Meulenbrugge en J.J.M. Neelen

oktober '73

18. Afstudeerverslag

A. Sterken

november '74

19. Control Systems Theory

Olle L. Elgerd

juli '69