PROVIL
Provinciaal
Instituut Lommel

GEÏNTEGREERDE PROEF 6DE JAAR
ELEKTRISCHE INSTALLATIETECHNIEKEN

Didactische temperatuurregeling

Stijn Coenen & Steven Mannaerts

Schooljaar 2005 – 2006

Voorwoord

Wij zijn leerlingen van het zesde jaar Elektrische Installatietechnieken aan het Provinciaal Instituut te Lommel en hebben voor onze geïntegreerde proef de opdracht gekozen om een didactische temperatuurregeling te maken met de digitale Omron E5CK. Dit heeft als doel later nog als lesmateriaal te dienen voor het vak Meet- en Regeltechnieken.

Deze bundel bestaat uit een mengeling van de vakken Elektronica en Meet- en Regeltechnieken. Onze praktische en theoretische vaardigheden zullen met dit project op de proef worden gesteld. De bedoeling is door middel van een digitale PID-regelaar een proces te regelen, in dit geval een blokje aluminium, waarin een thermokoppel en twee verwarmingsweerstanden zitten verwerkt. De regelaar moet de temperatuur in het proces constant houden. Er worden ook externe storingen toegevoegd zoals koeling door middel van een peltier element en een extra verwarming door middel van een verwarmingselement. In deze bundel komen enkele visuele voorbeelden en wordt nadien de werking van de gebruikte onderdelen en schakelingen die voor dit project onmisbaar zijn uitgelegd.

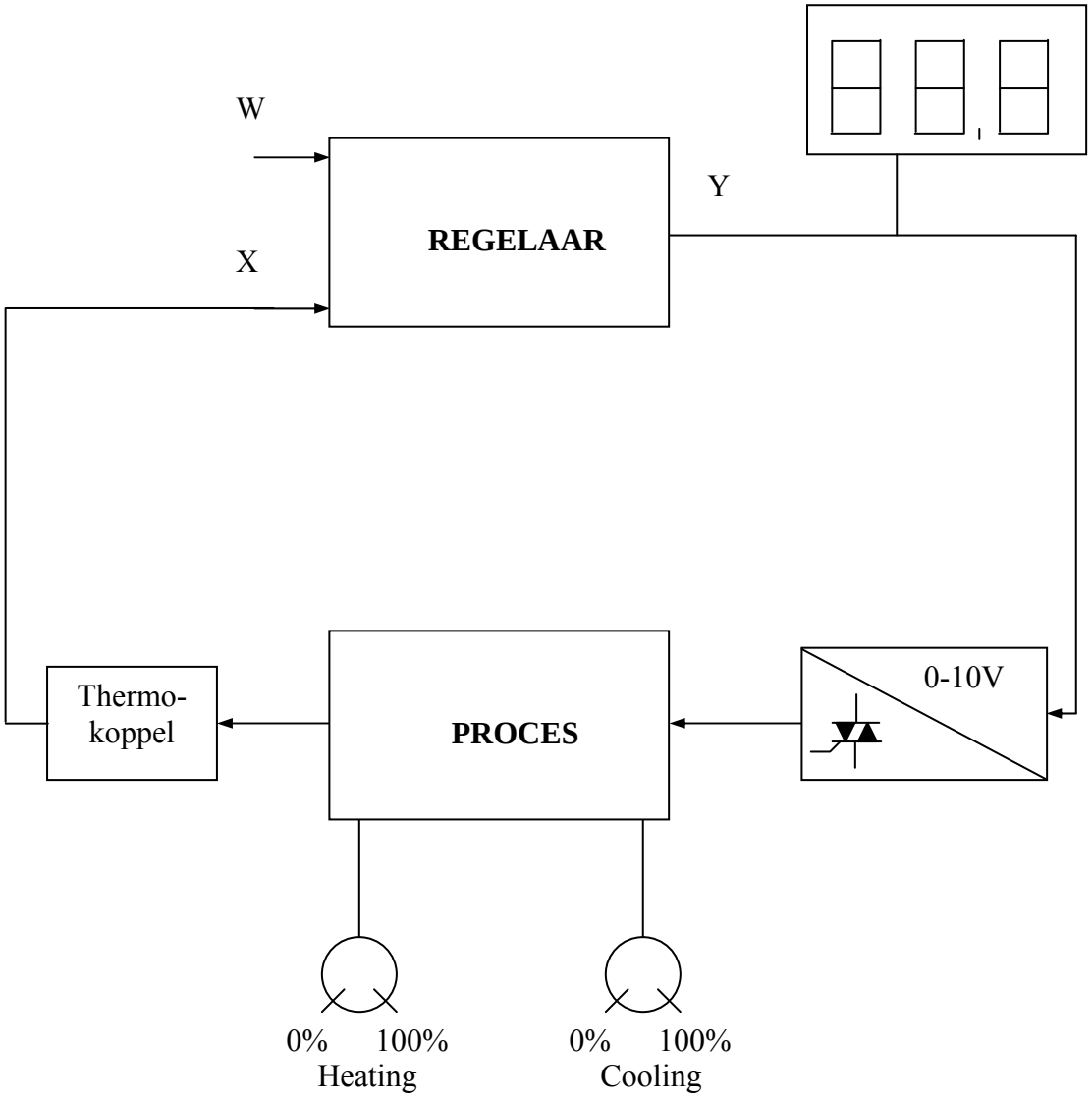
Inhoudsopgave

Inhoudsopgave 1
1 Technische beschrijving 3
1.1 Blokschema + korte verklaring van de blokken 3
1.2 De regelaar 5
1.2.1 Specificaties en eigenschappen van de regelaar 5
1.2.2 Frontpaneel 6
1.2.3 Het aansluiten van de regelaar 7
1.2.4 De ingangsmodules 8
1.2.5 Uitgangsmodules 9
1.2.6 Communicatiemodule 9
1.2.7 Instellen van de parameters 9
1.3 Proces 11
1.4 Sensor: J-type thermokoppel 12
1.5 Verwarming d.m.v. verwarmingsweerstanden 13
1.5.1 Faseaansnijding 13
1.5.2 Schema 14
1.5.3 Verklaring van de werking 14
1.6 Peltier koeling 17
1.6.1 Werking peltier 17
1.6.2 Puls Breedte Modulatie 19
1.6.2 Werking NE555 21
1.6.2 Schema PBM met NE555 22
1.7 De digitale paneelmeter 23
1.8 De voeding 23
1.8.1 Voeding vermogenregeling 23
1.8.2 Peltier voeding 24
1.8.3 Digitale paneelmeter voeding 25
2 Configuratie met de pc 26
2.1 Omron SYS-CONFIG 26
2.2 Specificaties van het programma 26
2.3 Gebruik van Omron Sys-Config 26
3.1 De aan/uit-regelaar in open kring 28
3.2 De P-regelaar in open kring 28
3.2.1 algemeen 28
3.2.2 De Proportionele band van de regelaar 28
3.2.3 Het stapantwoord van de P-regelaar 29
3.3 De I-regelaar in open kring 29
3.3.1 De integratie tijd Ti 30
3.3.2 Het stapantwoord van de I-regelaar 30
3.4 De D-regelaar in open kring 31
3.4.1 Stapantwoord van de D-regelaar 32
3.5 De PI-regelaar in open kring 33
3.5.1 De na-insteltijd Tn 33
3.5.2 Het stapantwoord van de PI-regelaar 33
3.6 De PD-regelaar in open kring 34
3.6.2 Het stapantwoord van de PD-regelaar 34
3.7 De PID-Regelaar in open kring 35
3.7.1 Het stapantwoord van de PID-regelaar 35
4 De regelaar en proces in gesloten kring 36
4.1 De aan/uit regelaar in gesloten kring 36

4.2 De P-regelaar in gesloten kring 37
4.3 De PI-regelaar in gesloten kring 40
4.4 De PID-regelaar in gesloten kring 41
5 Fuzzy self-tuning 45
5.1 Step response tuning 45
5.2 Disturbance tuning 46
5.3 Hunting tuning 46
6 Bijlage 47
6.1 De frontplaat 47
6.2 De printplaat 48
6.3 Onderdelenlijst 49
7 Lijst van afbeeldingen 51
8 Lijst van gebruikte bronnen 53

1 Technische beschrijving

1.1 Blokschema + korte verklaring van de blokken



Figuur 1
Blokschema proces

Korte verklaring van de blokken:

Het proces:
Het proces bestaat uit een blokje aluminium met verwarmingsweerstanden en een koelelement erop.

Sensor:
Als sensor hebben we een thermokoppel gebruikt. Deze zet de temperatuur van het proces om on een spanning.

Regelaar:
Als regelaar hebben we de E5CK PID-regelaar van Omron. Deze vergelijkt de spanning van het thermokoppel met de gewenste waarde en stuurt een regelsignaal afhankelijk van de afwijking tussen de 0 en 10Volt.

Digitale paneelmeter:
Om de regelwaarde zichtbaar te maken hebben we een digitale paneelmeter gebruikt..

Triac stuurmodule:
In deze module word een DC spanning van 0-10V omgezet in een impulsspanning met een bepaalde ontsteekhoek. Deze impulsspanning stuurt een optotriac aan.

Storingen:
Er is ook de mogelijkheid om storingen in het proces in te brengen door extra verwarming en/of koeling.

Pc verbinding:
De regelaar is aan te sturen en uit te lezen met de pc via de seriële poort.

1.2 De regelaar

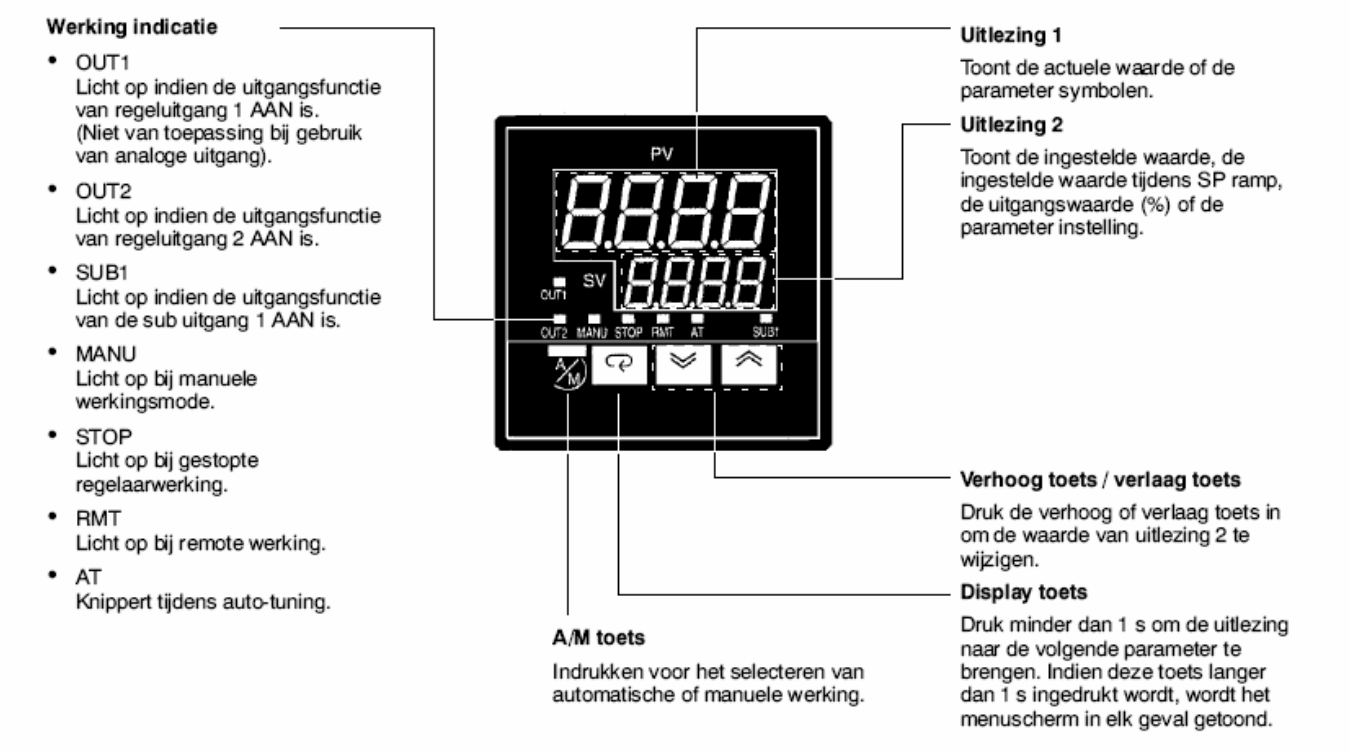
De regelaar die tot onze beschikking werd gesteld is een E5CK van Omron. Dit is een PID-regelaar met autotuning en heeft de mogelijkheid om de uitgangsmodules en de optie modules te verwisselen. In dit geval zit er als uitgangsmodule een 0-10V module in. En als optie module een RS232 communicatie module deze zorgt ervoor dat de regelaar met de pc kan uitgelezen en geprogrammeerd worden via de seriële poort.

Figuur 2
Foto Regelaar

1.2.1 Specificaties en eigenschappen van de regelaar

-Universeel inzetbare temperatuur- en procesregelaars, met hoge IP66 beschermingsgraad.
-Selectie uit 22 ingangssignalen: thermokoppel, Pt100, stroomingang en spanningsuitgang.
-Insteekbare uitgangsmodules: relaisuitgang, spanningsuitgang, stroomuitgang en analoge spanningsuitgang.
-Insteekbare optiemodule: seriële communicatie, digitale ingang en transferuitgang
-Uitgebreide regelaarsfuncties: aan/uit-regeling, geavanceerde PID-regeling + Feed-Forward regeling.
-Met fuzzy zelf-tuning of one-shot autotuning.

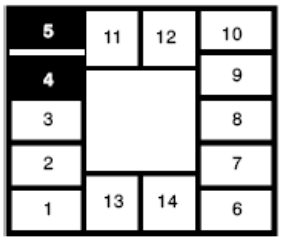
1.2.2 Frontpaneel



Figuur 3
Frontpaneel regelaar + uitleg knoppen

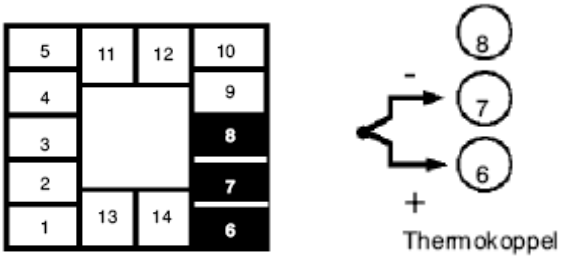
1.2.3 Het aansluiten van de regelaar

Op de aansluitingen 4 en 5 sluit met een voedingspanning aan van 100 tot 240 V AC of 24 V AC of DC. Het door ons gebruikt type is geschikt voor een voedingsspanning van 100 tot 240 V AC



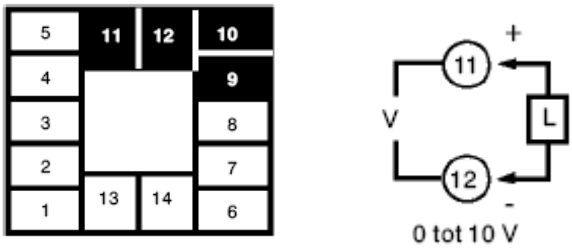
Figuur 4
Aansluitingen voedingsspanning

Het door ons gebruikte thermokoppel wordt aangesloten op de aansluitingen 6 en 7



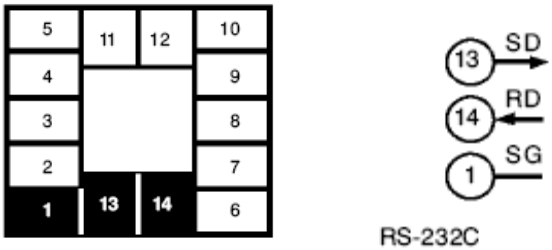
Figuur 5
Aansluitingen temperatuursensor

De gebruikte regeluitgang wordt aangesloten op de aansluitingen 11 en 12



Figuur 6
Aansluitingen uitgangen

De optiemodule, in ons geval de RS232 module, zal worden aangesloten op de klemmen 1, 13 en 14



Figuur 7
Aansluitingen RS22 verbinding

1.2.4 De ingangsmodules

Er zijn vier soorten ingangstypen mogelijk bij de Omron E5CK:
- Thermokoppel;
- Weerstandsopnemer;
- Analoge stroomingang (0 - 20 mA, 4 - 20 mA);
- Analoge spanningsingang (1 - 5 V, 0 - 5 V, 0 – 10 V);

Het thermokoppel als ingang

De ingang die wij gekozen hebben voor ons project is een J-type thermokoppel. Deze heeft een bereik van 0° tot 400°C. Er zijn echter nog meer typen thermokoppels bruikbaar voor de regelaar, enkele van deze voorbeelden zijn de typen; K, J, E, L, N, U en nog enkele anderen. De letter kenmerkt de minimum en maximum temperatuur van het thermokoppel

Thermokoppel

Ingang (selecteerbaar met schakelaar) (zie opm.)		K	K	J	J	T	E	L	L	U	N	R	S	B	W	PLII
Bereik	°C	-200 tot 1.300	0,0 tot 500,0	-100 tot 850	0,0 tot 400,0	-199,9 tot 400,0	0 tot 600	-100 tot 850	0,0 tot 400,0	-199,9 tot 400,0	-200 tot 1.300	0 tot 1.700	0 tot 1.700	100 tot 1.800	0 tot 2.300	0 tot 1.300
	°F	-300 tot 2.300	0,0 tot 900,0	-100 tot 1.500	0,0 tot 750,0	-199,9 tot 700,0	0 tot 1.100	-100 tot 1.500	0,0 tot 750,0	-199,9 tot 700,0	-300 tot 2.300	0 tot 3.000	0 tot 3.000	300 tot 3.200	0 tot 4.100	0 tot 2.300
Resolutie (digit °C/°F) (instelling en alarm)		1	0,1	1	0,1	0,1	1	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1
Instelling		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Figuur 8
Tabel met mogelijke thermokoppels

1.2.5 Uitgangsmodules

Er kunnen 4 verschillende uitgangsmodules geplaatst worden:

- Een relaisuitgang; (Maakcontact: 250 VAC, 3A)
- Een spanningsuitgang; (NPN: 20mA, 12VDC, PNP: 20mA, 12 VDC)
- Een lineaire spanningsuitgang; (0 tot 10 VDC)
- Een lineaire stroomuitgang; (0 tot 20mA, 4 tot 20mA)

De uitgangsmodule die wij gekozen hebben levert een uitgangssignaal van 0 tot 10 volt.

1.2.6 Communicatiemodule

De communicatiemodule die wij gebruiken is de module RS232, de transmissiemethode van deze methode is half-duplex. De module maakt gebruik van de start/stop synchronisatie. De transmissiesnelheid kan ingesteld worden op; 1200, 2400, 4800, 9600 en 19200 bps.

1.2.7 Instellen van de parameters

De digitale regelaar E5CK kent zeven verschillende instelniveaus, niveau 0, niveau 1, niveau 2, setup mode, uitbreidingsmode, optie mode en kalibreermode. Hieronder zullen elk van deze niveaus kort worden uitgelegd.

Niveau 0: bij normale werking staat de regelaar in dit niveau. Hierin kan men de regelaar starten en stoppen en de gewenste waarde kan ingesteld worden. Ook kan in dit niveau de werkelijke waarde van het proces afgelezen worden

Niveau 1: in deze mode kan men de alarmparameters, de proportionele cyclustijd en de PID-waarden ingesteld worden. In deze mode kan ook de auto-tuning mogelijkheid van de regelaar worden toegepast.

Niveau 2: dit is de bijkomende mode voor het instellen van de regelaar, in deze mode kunnen de begrenzingen voor de uitgangswaarde (in %) en de ingestelde waarden ingevoerd worden. Het loop break alarm, de alarm hysteresis en de digitale filterwaarde van de ingangen kunnen hier worden ingesteld. Ook bepaalt men in dit niveau of men de regelaar ter plaatse of op locatie gaat bedienen.

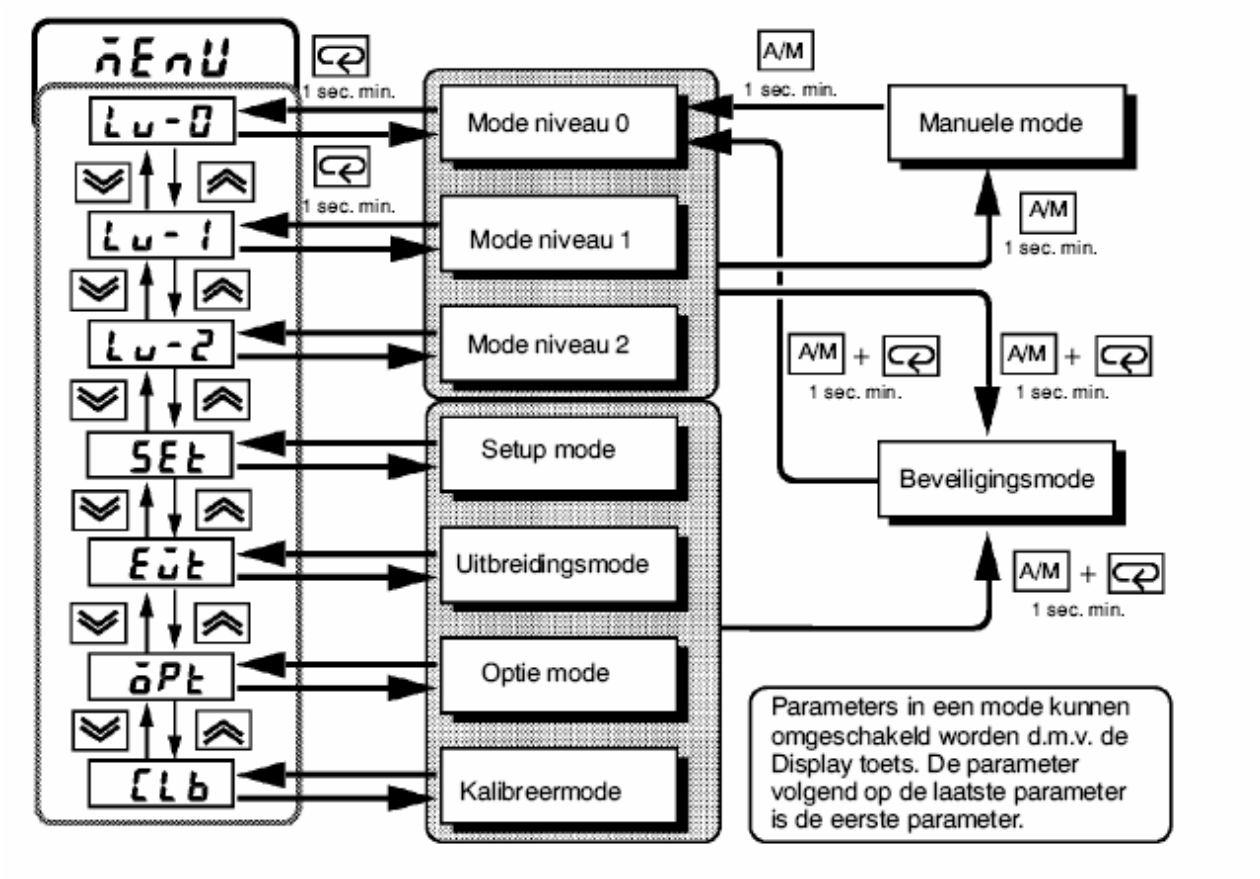
Setup Mode: dit is de mode voor de basisinstellingen van de regelaar. Hier worden de paramaters ingesteld die dienen nagekeken te worden vooraleer de regelaar in werking gesteld wordt, zoals het type ingang, de schaalfactor en of de uitgangen direct of invers werken.

Uitbreidingsmode: Deze mode wordt gebruikt voor het instellen van meer geavanceerde instellingen. Hier kan men selecteren of men de regelaar als aan/uit-regelaar wenst te gebruiken of als PID-regelaar. De resetmethode van de wachtfunctie kan gespecificeerd worden, en nog talrijke ander geavanceerde functies dient met hier in te stellen

Optie mode: deze mode dient alleen gebruikt te worden indien er een optiemodule is geïnstalleerd, zoals bij ons project het geval is met de RS232 optiemodule. In deze mode kunnen de parameters die te maken hebben met de communicatie tussen de regelaar en de computer ingesteld worden

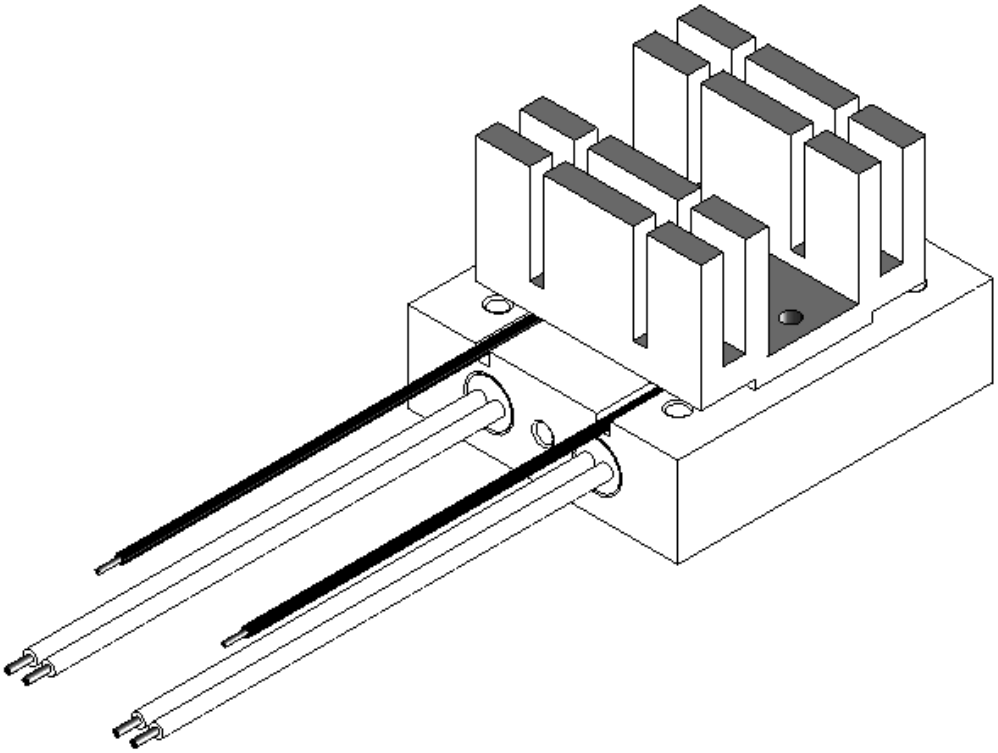
Kalibreermode: dit is de mode voor het kalibreren van de ingangen en transfer uitgang. Bij het kalibreren van de ingang wordt het selecteerde type ingang gekalibreerd. De transfer uitgang kan enkel gekalibreerd worden indien de optie module E53-CFK geïnstalleerd is.

De verschillende niveaus zijn bereikbaar volgens het onderstaande schema.



Figuur 9
Schema bereikbare niveaus

1.3 Proces



Figuur 10
Tekening proces

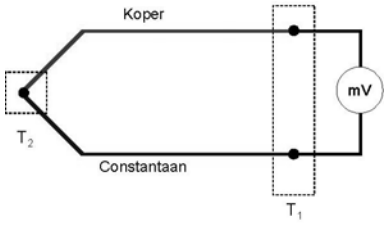
Het proces dat wordt gebruikt bij dit eindwerk bestaat uit verschillende delen ;
-Een aluminium blokje;
-2 verwarmingsweerstanden van 50 Watt/230V;
-Een Sensor, J-type thermokoppel;
-Een peltier element;
-Koeling in de vorm van een ventilator;

De temperatuur en proces wordt gemeten door een thermokoppel van het J-type. De regelaar vergelijkt de werkelijke temperatuur met de gewenste waarde en stuurt een regelsignaal tussen de 0 en 10V naar de triac stuurmodule. In de stuurmodule wordt het regelsignaal omgevormd naar ontsteekpulsen met een ontsteekhoek tussen 0° en 180°. Deze impulsen ontsteken een triac die het vermogen en de verwarmingsweerstand regelt d.m.v. faseaansnijding.
De verwarmingsweerstanden en het thermokoppel in het proces zitten in het aluminium blokje. De opening voor het peltier element is eveneens voorzien door uitsparingen in het aluminium blokje.

In het proces kunnen er storingen worden ingebracht onder de vorm van een extra verwarming en door afkoeling van het blokje, voor een effectieve storing onder vorm van koeling wordt er een peltier element gebruikt. Voor de koeling van het peltier element wordt er een processor koelblokje met ventilator in dienst gesteld.

1.4 Sensor: J-type thermokoppel

Als sensor hebben we een J-type thermokoppel gekozen. Dit omdat een thermokoppel robuuster is en veel hogere temperaturen aankan dan een Pt100.
Een thermokoppel bestaat uit 2 verschillende soorten metalen die aan elkaar gelast zijn. Op de overgang van die metalen ontstaat een kleine elektrische spanning die afhankelijk is van de temperatuur. Er zijn verschillende soorten thermokoppels te verkrijgen. Ze kunnen onderverdeeld worden volgens temperatuurbereik, gevoeligheid en lineaire afwijking.



Figuur 11
Opbouw thermokoppel.

Type Materiaal:	Temperatuur:	Bereik [°C]:	Gevoeligheid [µV/K]:
T	Koper-Constantaan	-40...+350	40
J	IJzer-Constantaan	-40...+750	50
E	Chromel-Constantaan	-40...+900	60
K	Chromel-Alumel	-40...+1200	40
N	Nicrosi-Nisil	-40...+1200	36
S	Platina-PtRh10	0...+1600	9
R	Platina-PtRh13	0...+1600	9
B	PtRh6-PtRh30	+600...+1700	5

Figuur 12
Tabel soorten thermokoppels + eigenschappen.

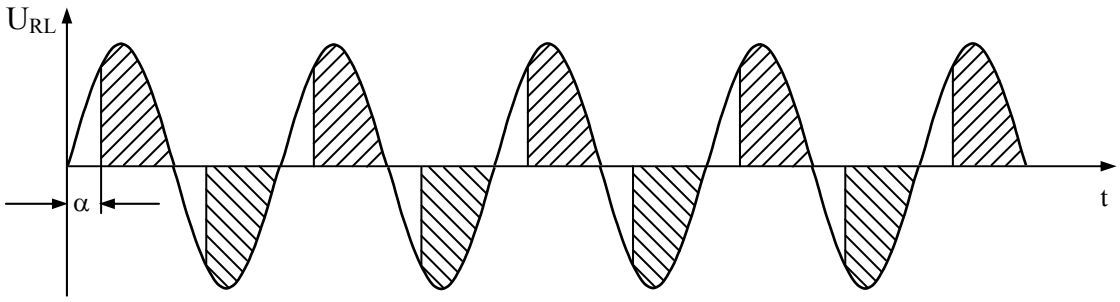
1.5 Verwarming d.m.v. verwarmingsweerstanden

Figuur 13
Interne opbouw verwarmingsweerstand

Voor de regeling van de verwarmingsweerstanden hebben we voor een regeling met fase-aansnijding uit elektuur gekozen. Deze regeling wordt aangestuurd door een 0-10V signaal. Dit signaal wordt opgewekt door de uitgangsmodule van de regelaar. Voor de storingsverwarming gebruiken we hetzelfde principe, maar hier wordt het 0-10V signaal opgewekt door een regelbare weerstand.

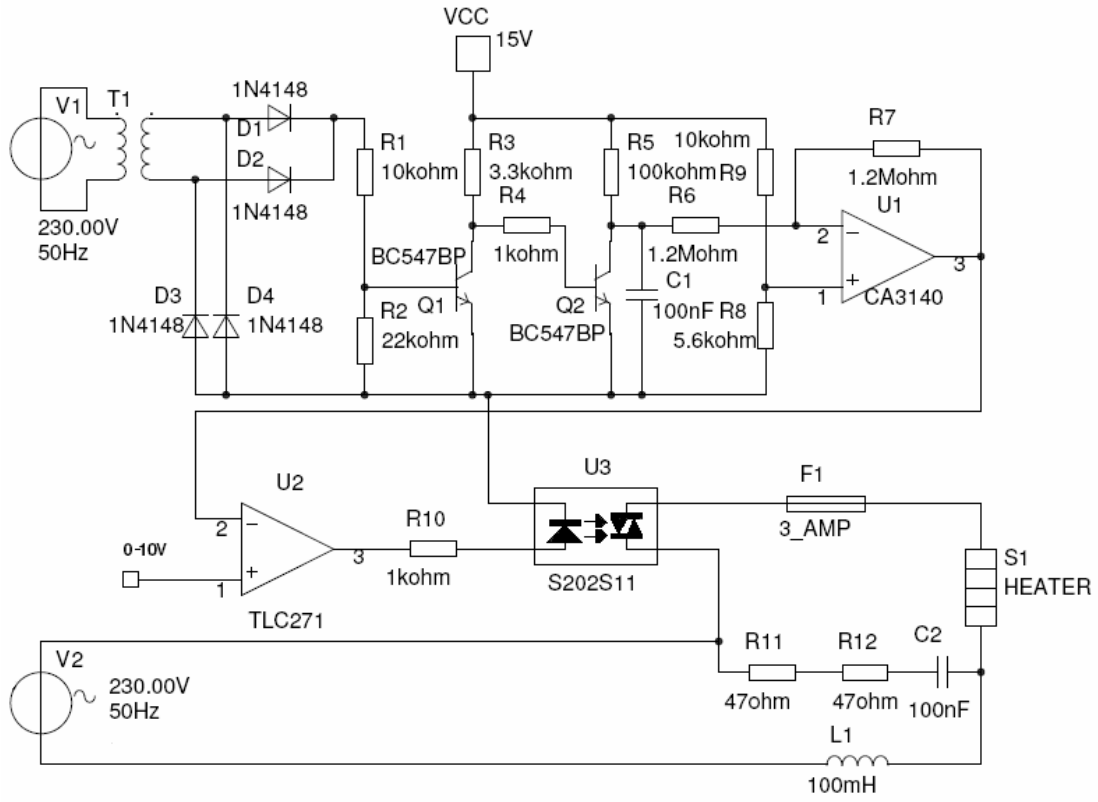
1.5.1 Faseaansnijding

Bij faseaansnijding wordt de gemiddelde spanning over de belasting geregeld door op een bepaald moment na de nuldoorgang de spanning in te schakelen. Hoe later dit gebeurdt hoe kleiner de gemiddelde spanning. Hierdoor wordt het vermogen ook automatisch kleiner want P=U*I.



Figuur 14
Faseaansnijding

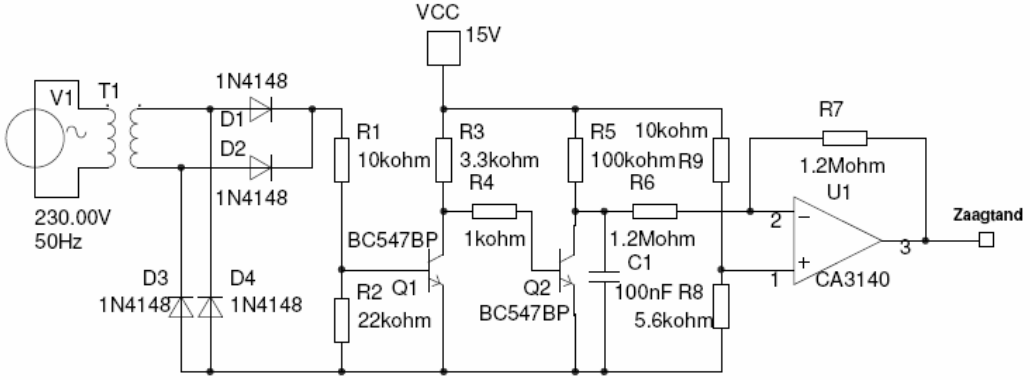
1.5.2 Schema



Figuur 15
Schema 0-10V regeling

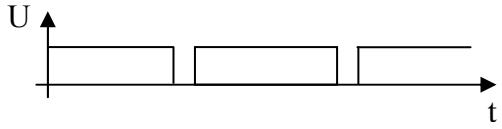
1.5.3 Verklaring van de werking

Voor deze schakeling is het nodig een zaagtand op te wekken die gesynchroniseerd is met het net. Dit gebeurt met het volgende schema:

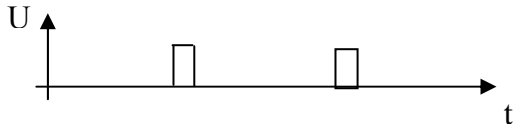


Figuur 16
Schema zaagtand generator

De sinus die uit de transformator komt wordt dubbelzijdig gelijkgericht. Hierdoor krijgen we halve sinussen op de basis van Q1. R1 en R2 zijn als spanningsdeler geschakeld zodat de spanning op de basis van Q1 niet te groot kan worden. Als de spanning op de basis ongeveer 0.7V wordt dan gaat deze transistor geleiden. Hierdoor krijgen we een hoog signaal met korte lage pulsjes.

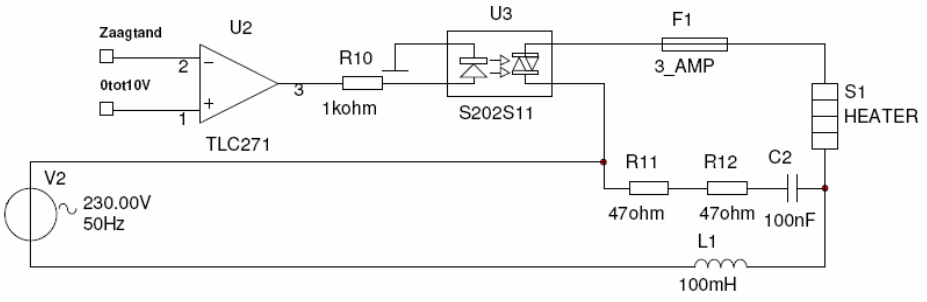


Q2 gaat in geleiding als Q1 uit geleiding is hierdoor worden de pulsjes geïnverteerd.
Basis spanning van Q2:



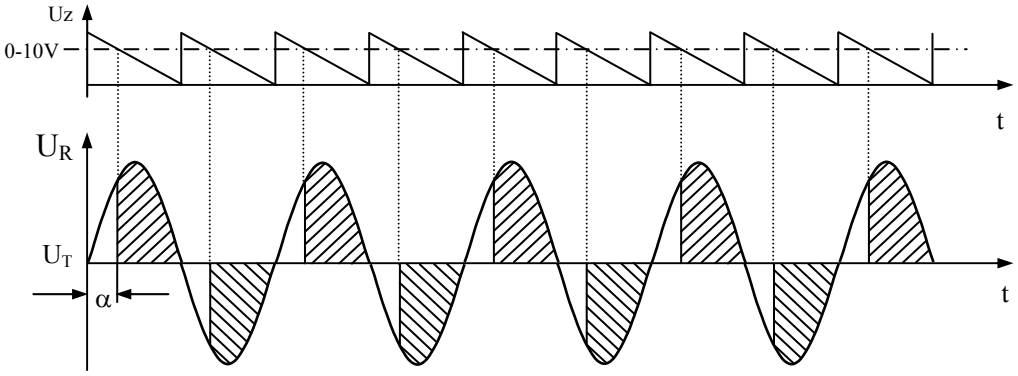
Als Q2 niet in geleiding is, dan gaat condensator C1 langzaam via R5 opladen. De RC-tijd hiervan is $10^5 \times 10^{-7}$ = 100 msec. Elke 10 msec. sluit Q2 de condensator kort. Hierdoor begint het laden van C1 weer opnieuw. Omdat de RC tijd veel groter is dan de tijd tussen de ontlaadpulsen zit het laden van de condensator nog in het lineaire gebied. Hierdoor krijg je op de collector van Q2 een langzaam oplopende spanning die in 1 keer weer naar 0 gaat. Met andere woorden een zaagtand. Hierna wordt deze geïnverteerd door een opamp. De zaagtand wordt aangesloten op de inverterende ingang van de opamp. Hierdoor gaat de spanning van de zaagtand snel stijgen en dan weer langzaam dalen.

De zaagtand die uit deze schakeling komt, wordt dan door een comperator vergeleken met de 0-10V ingangsspanning. Als de zaagtandspanning hoger wordt dan de ingangsspanning dan gaat de uitgangswaarde van de comperator hoog worden hierdoor gaat de optotriac ontsteken en komt de netspanning op de verwarmingsweerstand te staan.



Figuur 17
Schema comperator + vermogendeel

Hier is een grafiek van de ingangsspanning en de zaagtand en hierbij is ook te zien dat de triac gaat geleiden bij de kruising en dooft bij de nuldoorgang van de netspanning.



Figuur 18
Grafiek zaagtand + aangesneden sinus

1.6 Peltier koeling

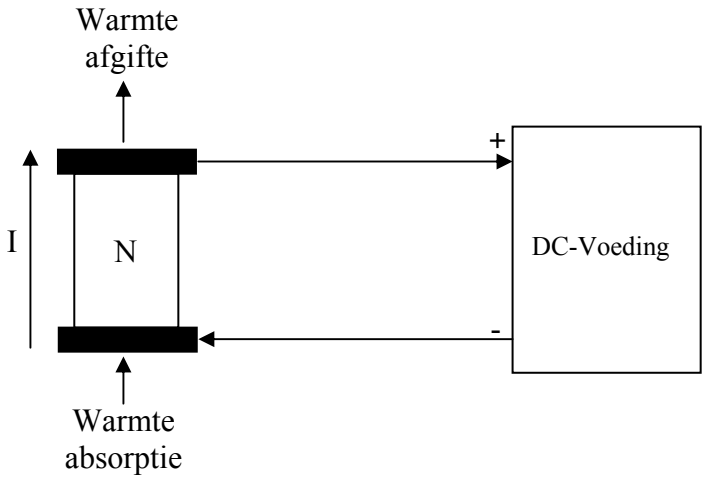
Voor storing in de vorm van koeling hebben we voor een peltier-element gekozen. Dit is een warmte pomp zonder bewegende delen en dus onderhoudsvrij. De peltier die wij hebben gebruikt is de 25.7W peltier van Velleman.
De specificaties hiervan zijn:
-Max. stroom: 3A;
-Max. spanning: 15.4V;
-ΔT max.: 65°C;
-Pmax.: 25.7W;
-Aantal koppels: 127;
-Afmetingen: 30 x 30 x 3.6mm;

Figuur 19
Foto peltier

1.6.1 Werking peltier

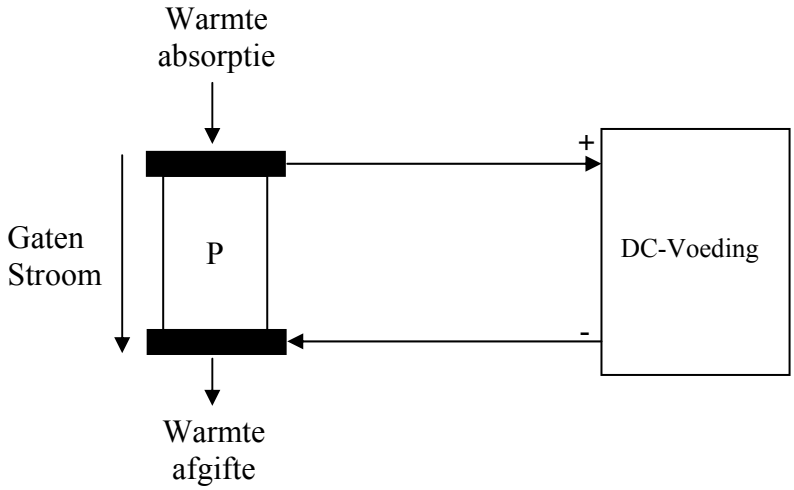
Het peltier-effect komt voor als er stroom door twee geleiders van verschillende materialen stroomt. Afhankelijk van de richting van de stroom wordt er aan de ene verbinding warmte opgenomen en afgegeven aan de andere..
Een peltier-element bestaat uit 2 keramische platen met daar tussen halfgeleidermateriaal en koperen plaatjes. Meestal wordt er Bismuth en Telluride (Bi_2Te_3) gebruikt als halfgeleidermateriaal in peltier- elementen omdat het hiervoor de beste eigenschappen vertoont. Het echte principe is een complex fysisch verschijnsel op atomisch niveau dat we hieronder simpel proberen uit te leggen.
In de verklaring wordt er gebruik gemaakt van de elektronen zin in plaats van de conventionele stroomzin. Met andere woorden “de elektronenstroom gaat van min naar plus”.

De eerste manier om een peltier-element te construeren is met N-type halfgeleidermateriaal. Als de elektronen van het koper in het halfgeleidermateriaal gaan dan nemen ze warmte op en als ze er weer uit gaan geven ze hun warmte terug af.

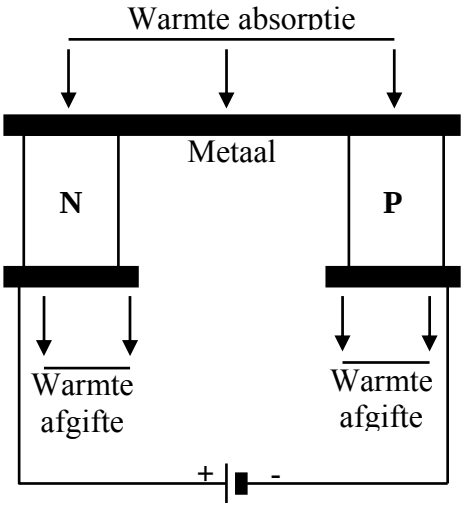


Figuur 20
Inwendig schema peltier met N-type halfgeleidermateriaal

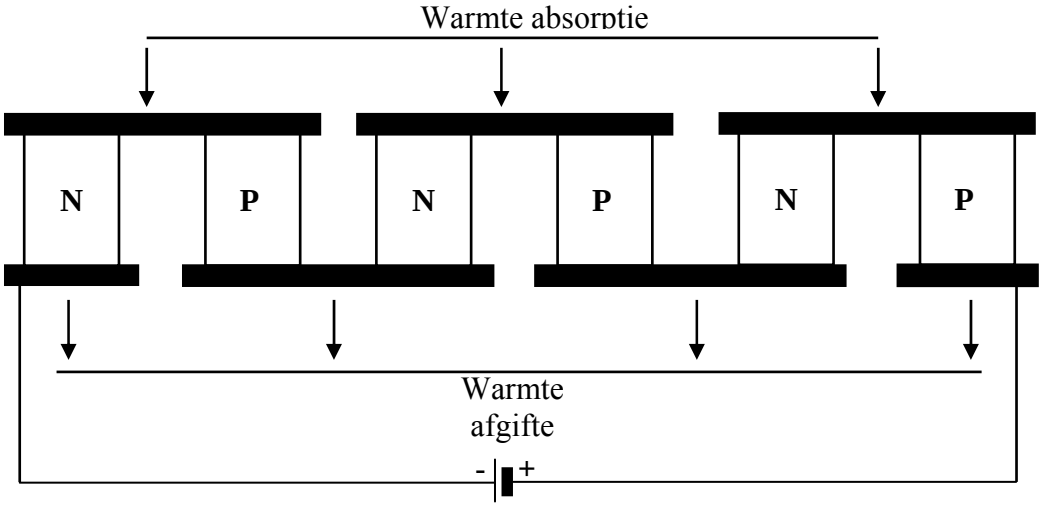
Manier twee om een peltier element te construeren is met P-type halfgeleidermateriaal. Bij deze methode wordt er gebruikt gemaakt van "gaten" in de elektronenstructuur. De gaten nemen bij de bovenste overgang de warmte op en geven het bij de onderste af.
In het peltier element dat wij gebruiken worden deze twee manieren gecombineerd. Hierdoor is het makkelijker en goedkoper te fabriceren.



Figuur 21
Inwendig schema peltier met P-type halfgeleidermateriaal



Figuur 22
Inwendig schema peltier met P- & N-type kristal

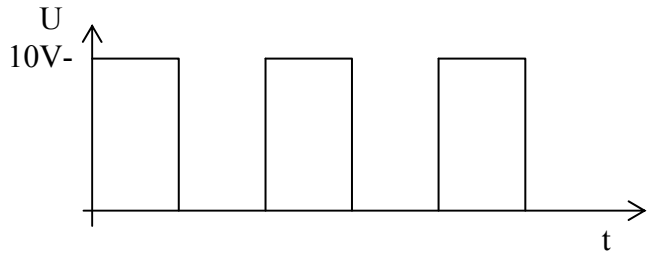


Figuur 23
Vereenvoudigd inwendig schema van een peltier

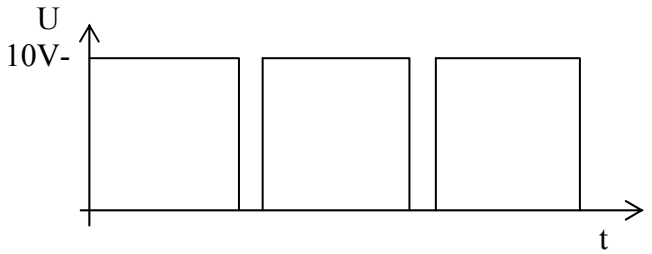
1.6.2 Puls Breedte Modulatie

De sturing van de peltier gebeurt door middel van puls breedte modulatie. Dit is een manier om de gemiddelde spanning aan te passen door de breedte van de puls van een blokgolf te verbreden of versmallen afhankelijk van de benodigde spanning.

Enkele voorbeelden:
Dutycycle van 50% geeft 5V:



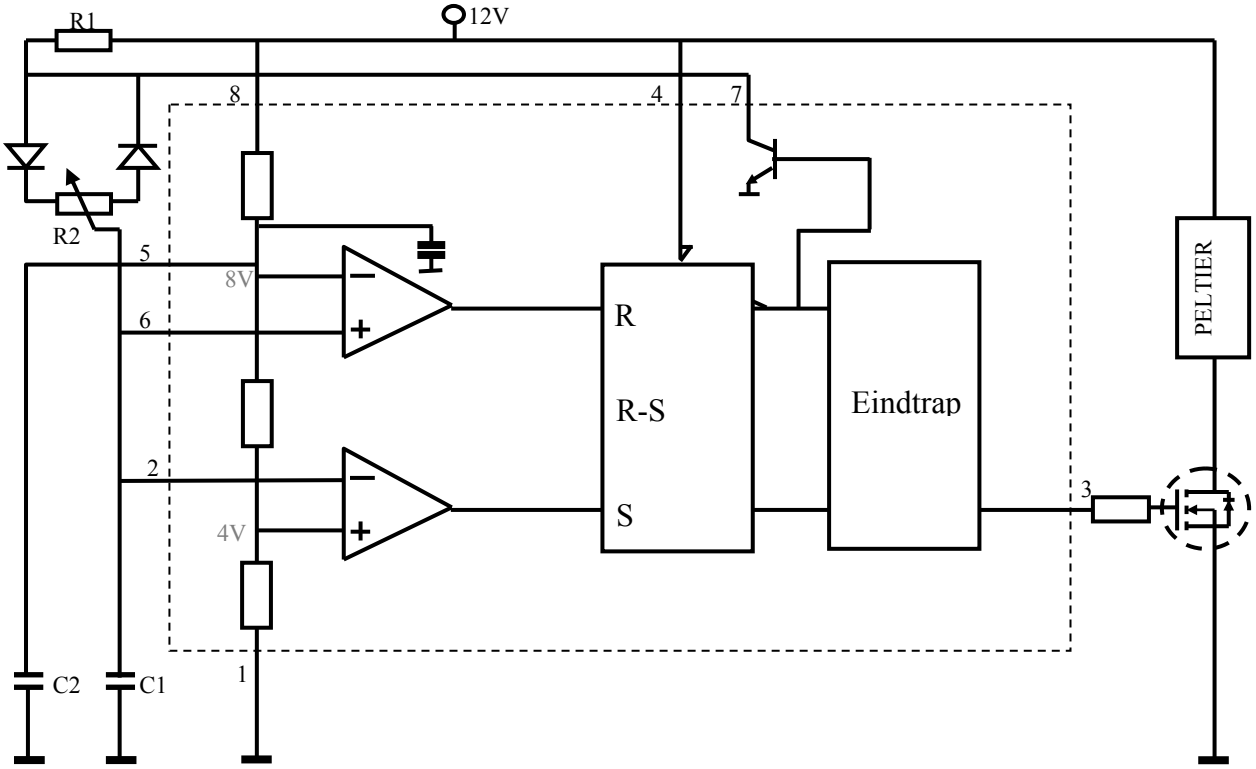
Dutycycle van 90% geeft 9V:



De pulsbreedtemodulatie wordt hier opgewekt door een NE555. Dit is een timer ic waarbij de frequentie met een paar uitwendige weerstanden en condensatoren ingesteld kan worden.

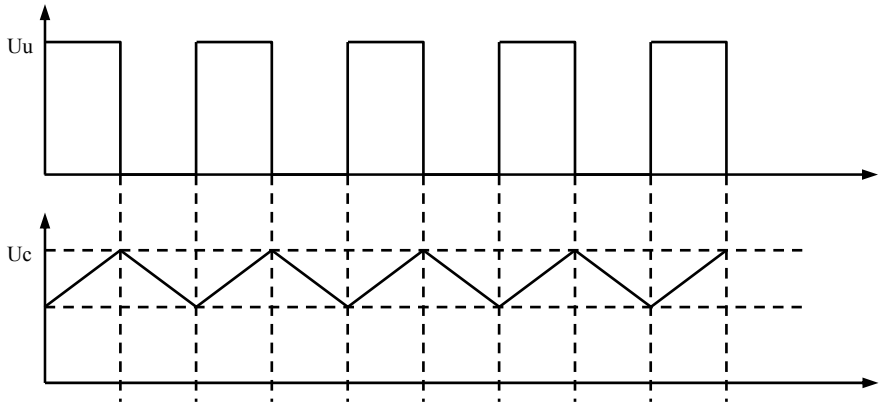
1.6.2 Werking NE555

Als de schakeling wordt ingeschakeld is de uitgang hoog. Vervolgens gaat de condensator C1 opladen via R1 en R2. Wanneer de spanning over de condensator 4V heeft bereikt dan schakelt de comperator om, en wordt de set van de RS-flipflop bediend waardoor de uitgang (pin 3) hoog wordt. Als de condensator nu nog verder oplaadt dan gaat de tweede comperator ook nog omschakelen waardoor de RS-flipflop gereset wordt en de uitgang dus laag wordt.
Hierdoor gaat de ontladings transistor in geleiding en ontlaadt de condensator C1 via R2 en de transistor. Als vervolgens de condensatorspanning terug lager wordt dan 4V dan gaat de flipflop terug setten en gaat de ontladings transistor terug uit geleiding. Vervolgens gaat C1 terug opladen en begint het terug opnieuw. De tijd van 1puls + pauze kan worden berekend met de volgende formule:
Tp=0.69*(R+2*R2)*C



Figuur 25
Inwendig schema NE555

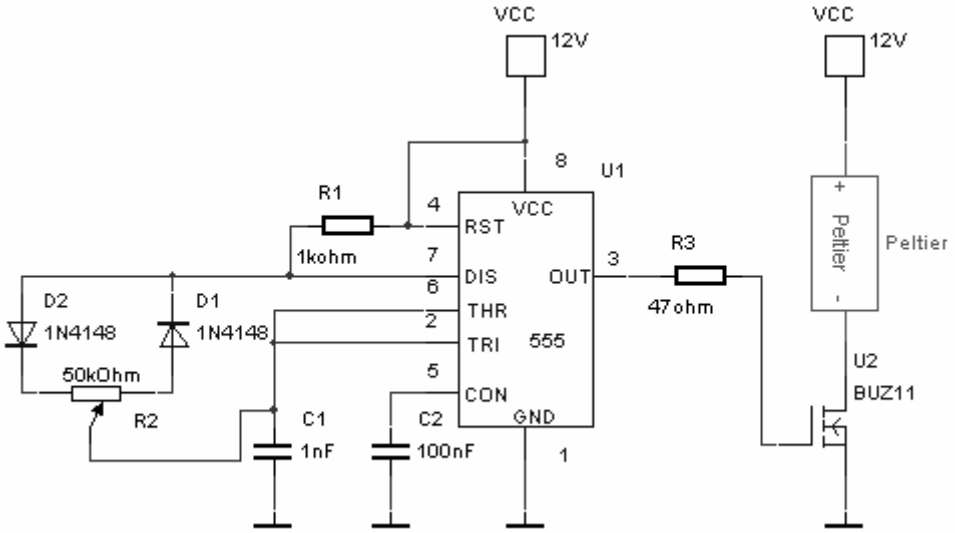
IC pennen & uitleg:
1. Massa
2. Trigger ingang: Als de spanning op deze ingang lager is dan 1/3 van de voedingsspanning dan word de uitgang hoog
3. Uitgang
4. Reset: Als deze ingang laag wordt dan wordt de flipflop gereset
5. Controle spanning: Hier staat 2/3 van de uitgangsspanning op
6. Drempel spanning: als de spanning op deze ingang groter wordt dan 2/3 van de voedingsspanning wordt de flipflop gereset
7. Ontlading: Als de Reset van de flipflop hoog is dan gaat deze uitgang laag worden waardoor de condensator ontlaadt.
8. VDD



Figuur 26
Condensatorspanning in functie van de uitgangsspanning

1.6.2 Schema PBM met NE555

Om de peltier aan te sturen hebben we een mosfet gebruikt omdat deze veel vermogen kan schakelen zonder een grote gatestroom nodig te hebben. Hierdoor moet er geen buffer tussen de NE555 en de vermogentrap.



Figuur 27
Schema PBM generator met NE555

1.7 De digitale paneelmeter

Een van de doelstellingen van onze gip is de regelwaarde van de regelaar naar buiten te brengen. Eerst was het idee om dit te doen met een LED-bargraph display maar later is dit vervangen door een voltmeter met 7-segment led display. Omdat dat sneller en preciezer is af te lezen.

Figuur 28
Foto digitale paneelmeter

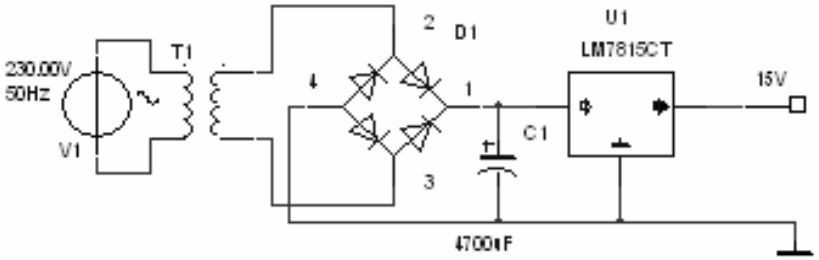
Omdat deze meter maar een bereik heeft van 199.9mV heeft hebben we een 1/1000 spanningsdeler gemaakt. Deze spanningsdeler hebben we gemaakt met 2 weerstanden één van 1MΩ en een één van 1KΩ.

1.8 De voeding

In dit eindwerk zitten diverse schakelingen die niet rechtstreeks met 230V gevoed kunnen worden. Hiervoor hebben we een paar kleine voedingen moeten maken.

1.8.1 Voeding vermogenregeling

Voor de dimmer hebben we een spanning van 15VDC nodig bij een stroom van ± 0.1ADC. Deze voeding hebben we opgebouwd met een 10VA transformator en een 7815.

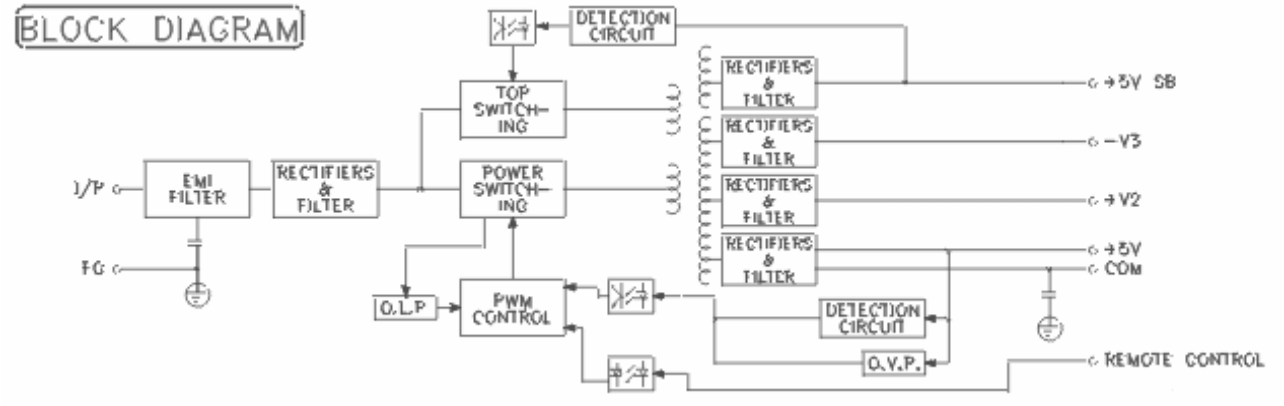


Figuur 29
Schema voeding dimmer

1.8.2 Peltier voeding

Omdat de peltier redelijk veel vermogen nodig heeft op een lage spanning hebben we hier niet gekozen voor een conventionele lineaire voeding. Maar hebben we geopteerd voor een geschakelde voeding. Omdat deze een hoger rendement, niet zoveel warmte verliezen, en een lagere kostprijs heeft.

Een geschakelde voeding werkt in grote lijnen op de volgende manier:
De binnenkomende netspanning gaat door een filter om te voorkomen dat de voeding storing op het net plaatst. Vervolgens wordt de spanning gelijkgericht en weer omgezet in een pwm-wisselspanning met een hoge frequentie. Omdat de frequentie hoger is kan er een kleinere kern voor de transformator gebruikt worden en zijn er dus minder ijzerverliezen. De spanning die uit de transformator komt, wordt gelijkgericht en afgevlakt en gaat naar de belasting. De secundaire spanning wordt gemeten en hieraan word de pwm spanning die de transformator ingaat aangepast. Hierdoor kan men zonder veel verliezen toch een stabiele afgevlakte spanning bekomen.



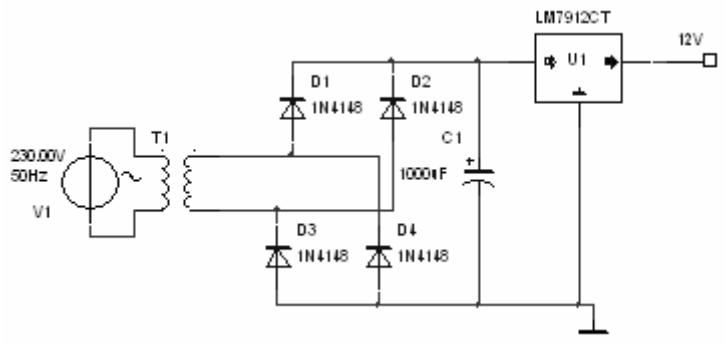
Figuur 30
Blok schema geschakelde voeding

Deze voeding hebben we niet zelf gemaakt maar hebben we uit een oude pc gehaald aangezien pc-voedingen veel stroom kunnen leveren bij 12V.

Figuur 31
Foto PC voeding

1.8.3 Digitale paneelmeter voeding

Omdat de digitale paneelmeter een gescheiden voeding nodig heeft hebben we nog een derde voeding moeten bijmaken. Dit is een simpele voeding met een 7812.



Figuur 32
Schema voeding digitale paneelmeter

2 Configuratie met de pc

2.1 Omron SYS-CONFIG

Het programma bijgeleverd bij de regelaar is Omron SYS-CONFIG. Het laat ons toe de regelaar in te stellen via de PC. Omron SYS-Config stelt ons in staat de proceswaarde te volgen op het computerscherm. De voordelen van het programma SYS-CONFIG zijn talrijk, maar de belangrijkste is toch wel de mogelijkheid om eenvoudig en snel de regelaar in te stellen. Met de regelaar zelf is dit nogal omslachtig en neemt het ook meer tijd in beslag. De parameters die via SYS-Config ingesteld worden, worden via de Com-poort van PC naar regelaar overgedragen. Natuurlijk is dit in omgekeerde richting ook mogelijk.

2.2 Specificaties van het programma

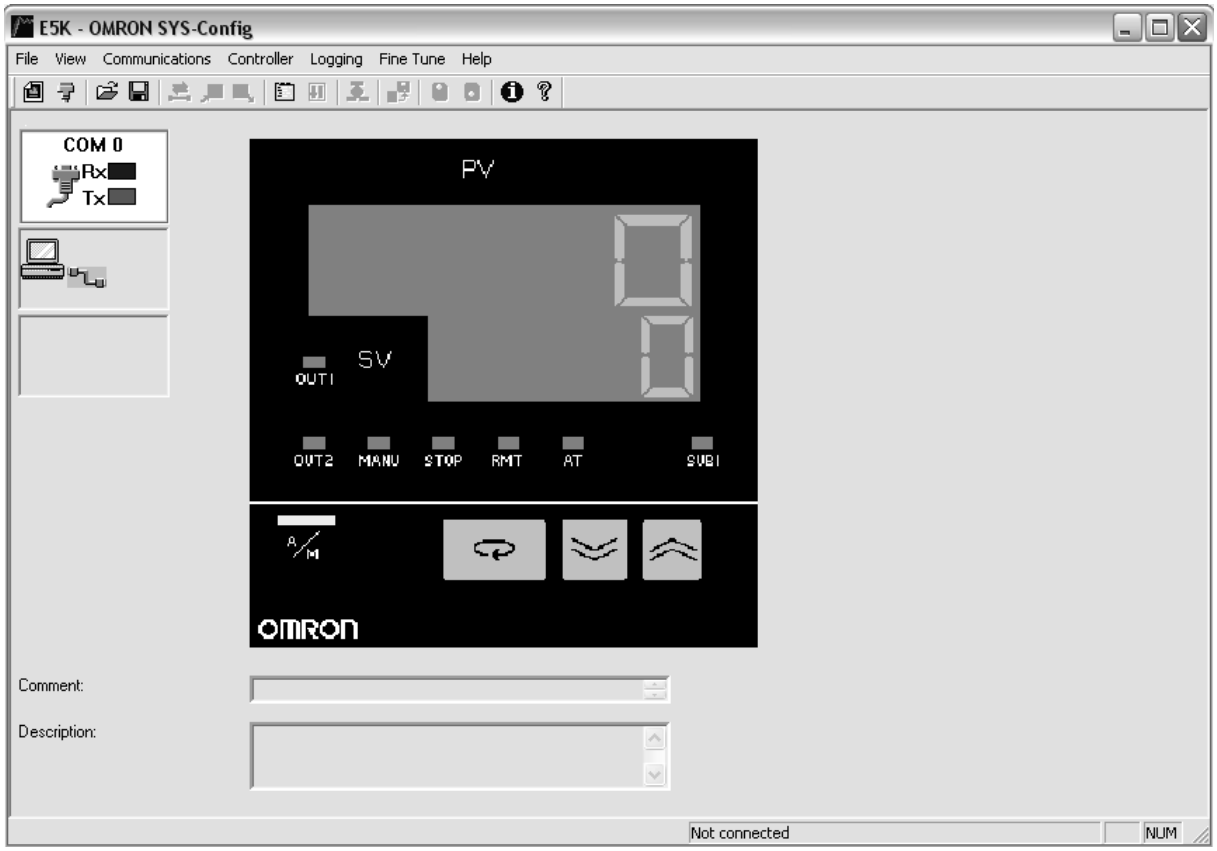
- Geeft het frontpaneel van de gekozen regelaar weer;
- Stelt in staat een snelle en gemakkelijke configuratie van de regelaar uit te voeren;
- Het proces is rechtstreeks te volgen op het computerscherm;
- Data logging maakt het mogelijk om het verloop van gewenste waarde, proceswaarde en regelwaarde zichtbaar te maken of in de een rekenblad te verwerken;

2.3 Gebruik van Omron SYS-Config

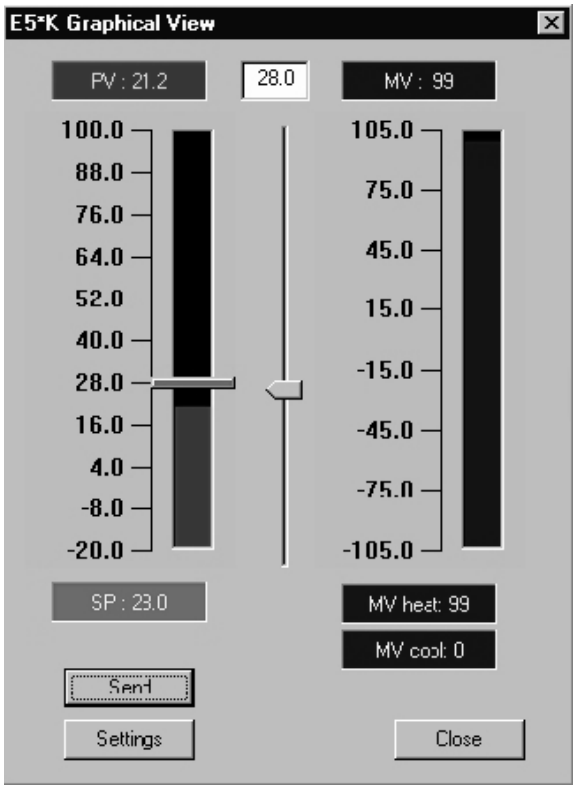
Het programma “Omron SYS-CONFIG” is zeer gebruiksvriendelijk en vraagt slechts een kleine tijd om er gewend aan te raken. Men moet slechts een paar simpele stappen volgen om er mee aan de slag te kunnen, namelijk:

- Men kiest de gewenste serie van regelaars, in dit geval de E5K reeks;
- Men gaat naar de parameter pagina’s, hier kan men het precieze type van regelaar uitkiezen;
- Men stelt de gewenste parameters in via de overzichtelijke indeling, of men maakt gebruik van de “wizard”;
- Als alle gewenste parameters ingesteld zijn, gaat men deze downloaden naar de regelaar, via het download parameters commando;
- Als de parameters up-to-date zijn kan men een “live”-verbinding maken tussen de regelaar en het programma Sys-config, dit geeft de mogelijkheid om het verloop van het proces te volgen vanachter de computer;
- Indien gewenst kan men het verloop van het proces zichtbaar maken door gebruik te maken van de data logging functie;
- Men kan de parameter instellingen bewaren, zodat het onnodig is om deze opnieuw in te stellen bij elk gebruik;

Hieronder worden enkele Beelden weergegeven van hoe SYS-Config eruit ziet:



Figuur 33
Screenshot SYS-Config



Figuur 34
Graphical view

3 De regelaar in open kring

3.1 De aan/uit-regelaar in open kring

Een aan/uitregelaar vergelijkt de proceswaarde x met de gewenste waarde w. Als de proceswaarde kleiner dan de gewenste waarde, dan is de regelwaarde maximum; is de proceswaarde groter of gelijk aan de gewenste waarde, dan is de regelwaarde gelijk aan nul.

Samengevat:

$x < w \rightarrow y = 100\%$

$x \geq w \rightarrow y = 0\%$

Bij de aan/uit regelaar zal de proceswaarde continu op- en neer schommelen, toch wordt hij veel toegepast in zowel de industrie als in huishoudelijk gebruik, zolang de eisen aan de regeling niet te groot zijn.

3.2 De P-regelaar in open kring

3.2.1 algemeen

Bij een P-regelaar is de regelwaarde evenredig y met de grootte van de afwijking (w-x)
De algemene formule van de P-regelaar is deze:

$Y = K_R \cdot (w-x)$

Hierin is K_R de versterking van de P-regelaar

3.2.2 De Proportionele band van de regelaar

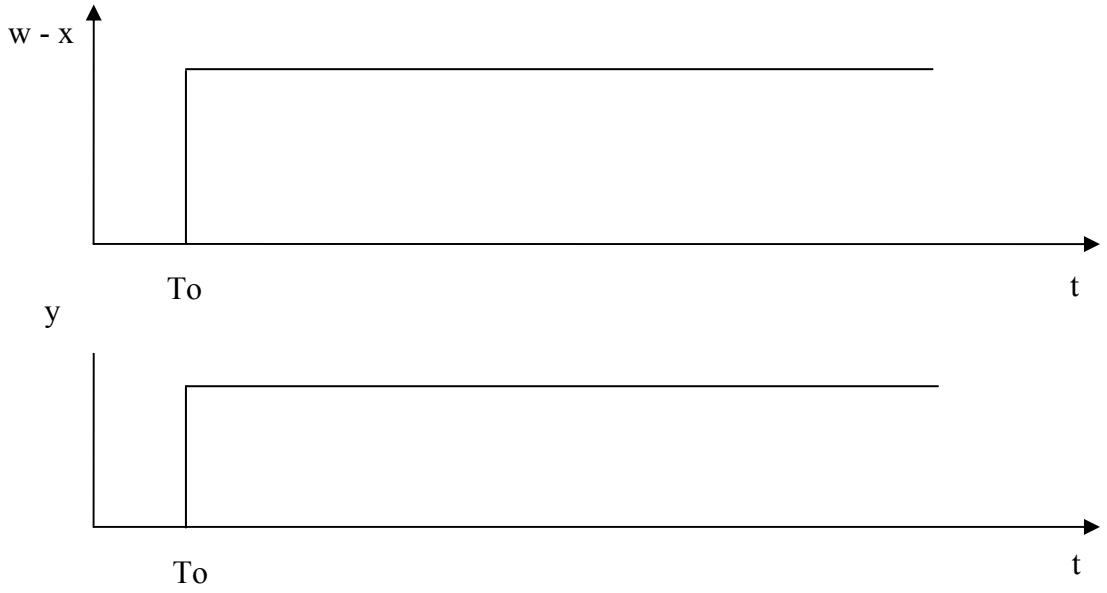
Bovenstaande formule is slechts in een beperkt gebied geldig. Als de afwijking te groot is, zal de regelwaarde vastlopen tegen zijn maximale waarde. Het gebied waarin de regelwaarde evenredig is met de grootte van de afwijking noemt men het “proportioneel gebied” of “proportionele band”.

Voor het hele bereik geldt dus:

$$X_P = \frac{y_h}{K_R}$$

3.2.3 Het stapantwoord van de P-regelaar

Zoals eerder vermeld zal de werkelijke waarde van het proces recht evenredig verlopen met de afwijking (w-x), dit wordt hieronder verduidelijkt in het stapantwoord van de P-regelaar in open kring.



Figuur 35
Stapantwoord P-regelaar

3.3 De I-regelaar in open kring

Bij de I-regelaar zal de proceswaarde bijgestuurd blijven worden zolang er een afwijking aanwezig is.

Dit betekent dus dat als:
- x < w, moet y moet stijgen;
- x > w, moet y dalen;
- x = w, moet y constant moet blijven;

De verandering van de proceswaarde is afhankelijk van de snelheid waarmee de afwijking verandert.

Wat dus betekent dat als:

- De afwijking (w-x) groot is, dan moet y snel veranderen;
- De afwijking (w-x) klein is, dan moet y traag veranderen;
- De afwijking (w-x) gelijk is aan nul dan mag y niet veranderen of moet y constant blijven;

De wiskunde formule van de I-regelaar is:

$$Y = K_{ir} \cdot (w-x) + Y_0$$

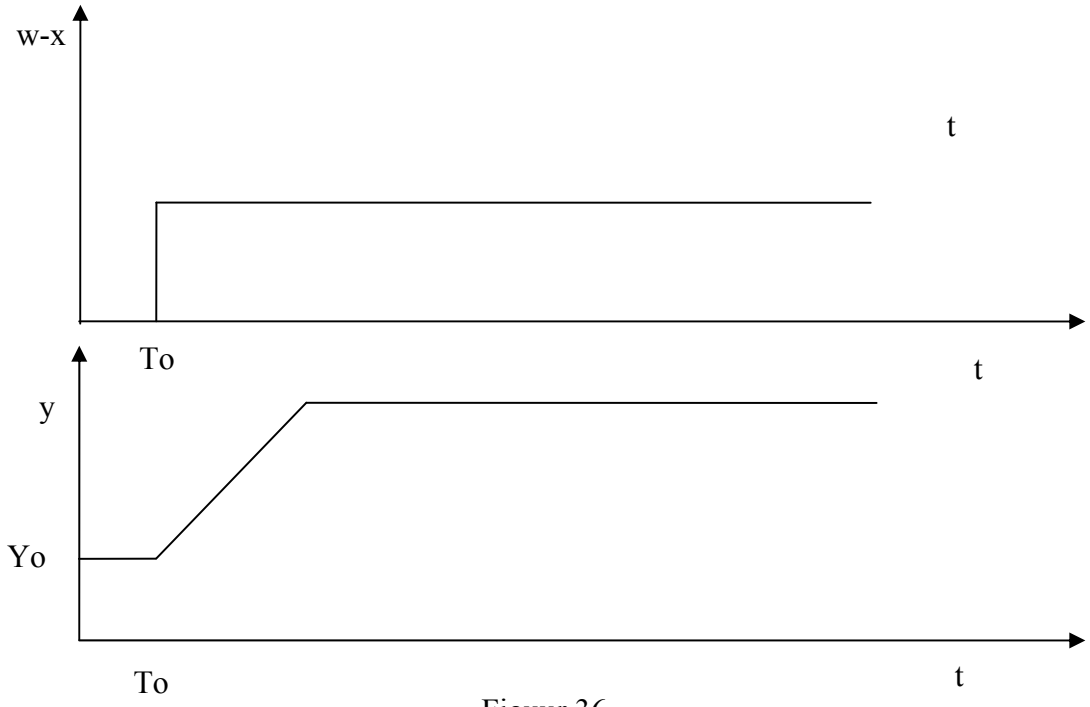
Hierin is Yo de instelwaarde die door de I-regelaar constant gehouden wordt als de afwijking (w-x) nul is

3.3.1 De integratie tijd Ti

Het maatgetal van de kracht van de I-regelaar noemt men de integratietijd Ti, de integratietijd is de tijd die de instelwaarde y nodig heeft om het hele bereik 0-Yh te doorlopen.

3.3.2 Het stapantwoord van de I-regelaar

Zoals bij de P-regelaar zullen we proberen de werking van de I-regelaar aan de hand van het stapantwoord van de I-regelaar uit te leggen. In dit stapantwoord zal zichtbaar worden hoe de I-regelaar de afwijking (w-x) tot nul regelt en dat de uitgangswaarde y evenredig verandert aan de snelheid waarmee de afwijking (w-x) verandert.



Figuur 36
Het stapantwoord van de I-regelaar

3.4 De D-regelaar in open kring

Bij de D-regelaar zal er enkel een regeling zijn als er een veranderende afwijking is, des te sneller de afwijking toe- of afneemt, des te krachtiger zal de regelaar reageren. Deze regelaar is echter niet bruikbaar op zichzelf. Als er geen veranderende afwijking is, zal de regelaar niet reageren en kan er dus een blijvende afwijking aanwezig blijven en zal de regelaar toch niets doen.

We spreken dus van een D-regelaar als:

- De regelaar enkel reageert op een verandering van de proceswaarde x, en dus de afwijking (w-x). Als er geen veranderende afwijking is, zal er geen regeling zijn
- De kracht waarmee de regelaar reageert, moet evenredig zijn met de snelheid waarmee de afwijking (w-x) verandert

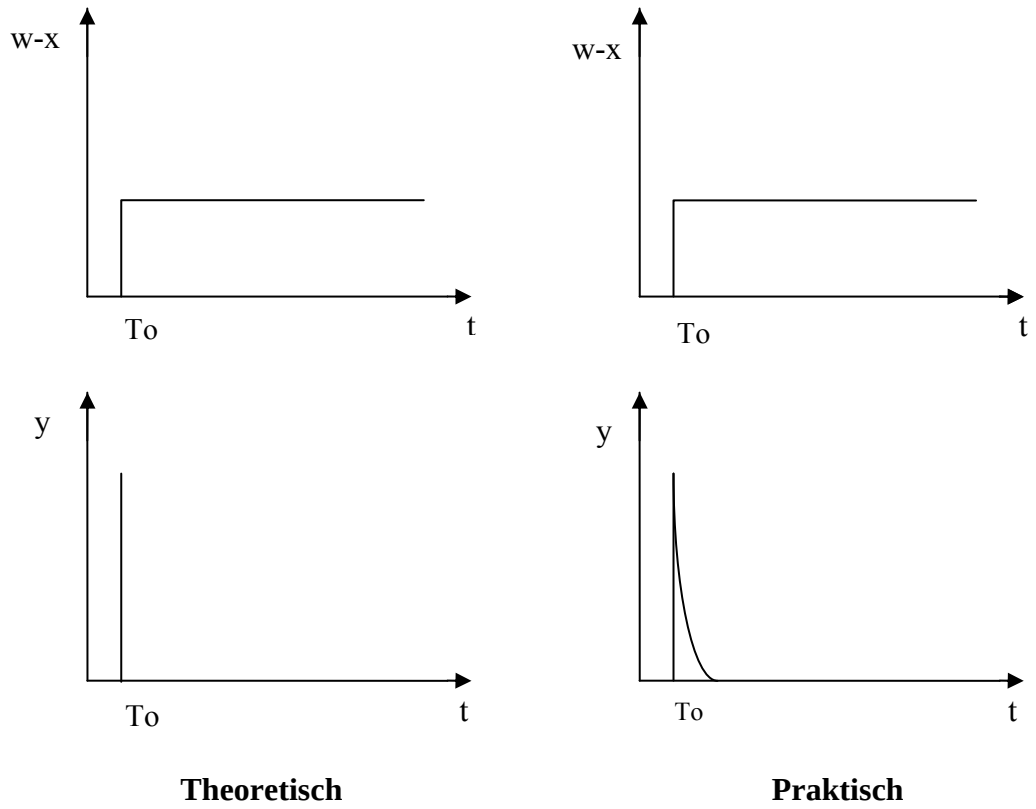
Hieruit leiden we uit af dat:

$$Y = K_{dr} \cdot \frac{\Delta (w-x)}{\Delta t}$$

Hierin is Kdr de constante die de kracht van de D-actie bepaald. Des de groter Kdr zal zijn, des te krachtiger zal het proces zijn.

3.4.1 Stapantwoord van de D-regelaar

Net als bij de P-regelaar en de I-regelaar zullen we proberen te verduidelijken hoe de D-regelaar werkt, met het stapantwoord. Hierop kan duidelijk afgelezen worden hoe de D-regelaar zal reageren bij een veranderende afwijking. Naarmate de afwijking (w-x) sneller zal veranderen zal de regelactie krachtiger zijn. Is de snelheid waarmee (w-x) veranderd kleiner, dan zal ook de regelactie minder krachtig worden.



Figuur 37
Stapantwoord van de D-regelaar

- Tot de tijd To is de snelheid waarmee de afwijking toeneemt gelijk aan nul en is de D-actie ook gelijk aan nul;
- Op de tijd To is de snelheid waarmee de afwijking toeneemt oneindig groot en zal de D-actie ook oneindig groot zijn. In de praktijk zal de actie begrensd worden tot de waarde Yh;
- Vanaf To is snelheid waarmee de afwijking toeneemt terug gelijk aan nul en zal de D-actie ook weer gelijk aan nul zijn;

3.5 De PI-regelaar in open kring

De PI-regelaar zal onmiddellijk reageren op de afwijking (w-x), daarna gaat hij reageren met een snelheid evenredig met de snelheid van de afwijking (w-x) om vervolgens de afwijking tot nul te herleiden.

3.5.1 De na-insteltijd Tn

De na-insteltijd is de tijd die de I-regelaar nodig heeft om dezelfde waarde in te stellen als de P-regelaar.

Hieruit leiden we dus af dat:

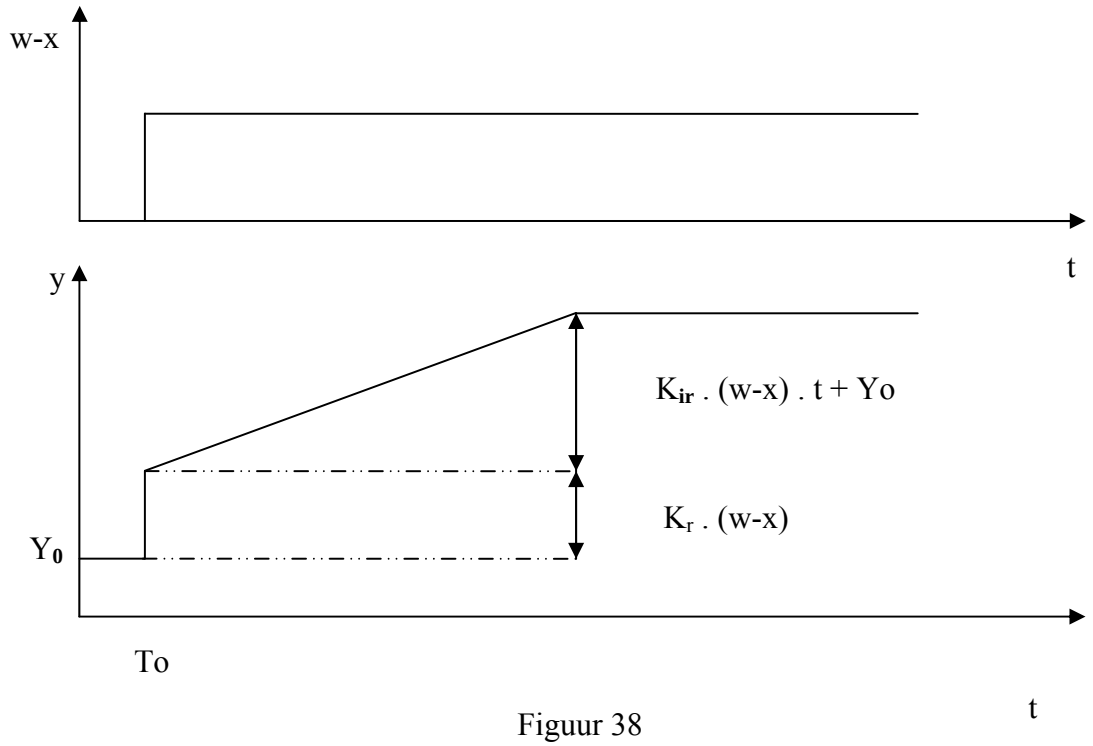
- Hoe kleiner de na-insteltijd, hoe krachtiger de I-actie is;
- Hoe groter de na-insteltijd, hoe zwakker de I-actie is;

De wiskundige formule van de PI-regelaar is deze:

$$y = K_{\mathbf{r}} \cdot (w-x) + K_{\mathbf{ir}} \cdot (w-x) + Y_{\mathbf{0}}$$

3.5.2 Het stapantwoord van de PI-regelaar

In het stapantwoord van de PI-regelaar wordt duidelijk dat de PI-regelaar eerst snel op de afwijking zal reageren en daarna zal gaan reageren met een snelheid die evenredig aan de verandering van de afwijking vervolgens zat de regelaar blijven regelen tot de proceswaarde gelijk is aan de wenswaarde en zal vervolgens deze waarde vasthouden.



Figuur 38
Het stapantwoord van de PI-regelaar

3.6 De PD-regelaar in open kring

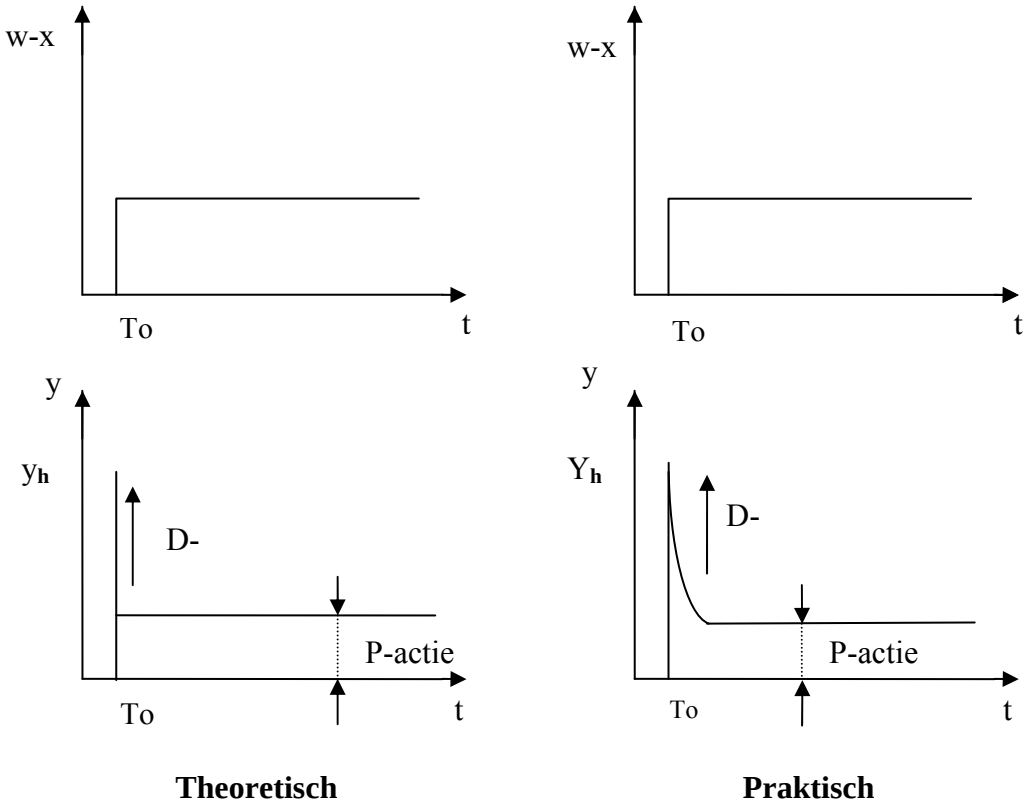
Omdat de D-actie op zichzelf geen zin heeft gaat men deze combineren met een P-actie, hierdoor krijgen we een PD-regelaar. De D-actie zou alleen plaatsvinden als men een constant veranderende afwijking zou hebben, hierdoor wordt er aan de regelaar een P-actie toegevoegd en krijgen we een PD-regelaar. De D-regelaar zal onmiddellijk reageren met een amplitude evenredig aan de snelheid waarmee de afwijking (w-x) veranderd. Waarna de P-regelaar evenredig met de afwijking in de functie van de tijd reageren.

De wiskundige formule van de PD-regelaar ziet er zo uit:

$$y = K_{\mathbf{r}} \cdot (w-x) + K_{\mathbf{dr}} \cdot \frac{\Delta(w-x)}{\Delta t}$$

3.6.2 Het stapantwoord van de PD-regelaar

Omdat bij stapsprong de verhouding van de verandering van de afwijking op de verandering van de tijd oneindig groot zou zijn, zal in theorie de D-actie oneindig groot zijn. In het praktische stapantwoord zien we dat het terugkeren van de D-actie met een vertraging gebeurd, die bepaald wordt door de tijdsconstante en dat de amplitude van de D-actie wordt beperkt door de maximum instelwaarde. Deze begrensde D-actie noemt men ook wel eens een “tamme D-actie”



Figuur 39
Het stapantwoord van de PD-regelaar

3.7 De PID-Regelaar in open kring

Door het samenvoegen van de drie besproken regelaars krijgen we een PID-regelaar. De P-actie is evenredig met de afwijking (w-x) en reageert onmiddellijk. Ook zal de D-actie onmiddellijk reageren en zal de P-actie versterken maar zal verdwijnen zodra (w-x) niet meer veranderd en de I-actie zal actief blijven zolang er een afwijking aanwezig zal zijn.

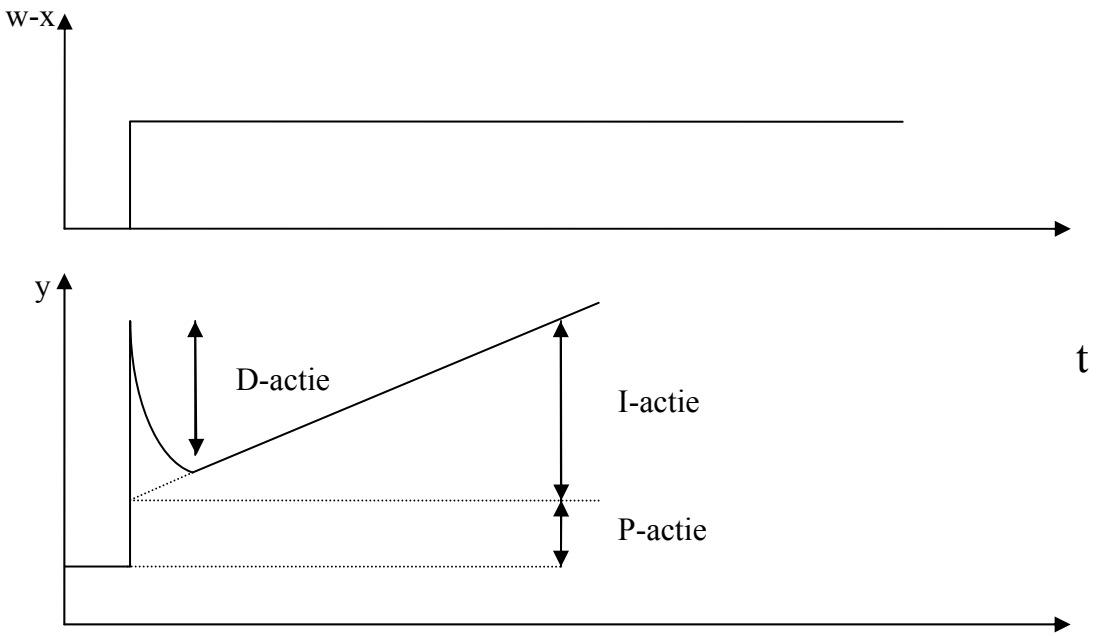
- De P-actie neemt evenredig toe met (w-x)
- De I-actie neemt toe met een snelheid evenredig met (w-x)
- De D-actie zal theoretisch oneindig groot, maar zal praktisch beperkt worden tot de maximum instelwaarde Yh

De wiskundige formule van de PID-regelaar is de volgende:

$$y = K_{\mathbf{r}} \cdot (w-x) + K_{\mathbf{ir}} \cdot (w-x) \cdot t + K_{\mathbf{dr}} \cdot \frac{\Delta (w-x)}{\Delta t}$$

3.7.1 Het stapantwoord van de PID-regelaar

In dit stapantwoord verduidelijken we hoe de PID-regelaar zal gaan reageren bij stapsprong. De P-actie zal bij het optreden van de storing snel reageren evenredig met de afwijking, waarna de D-actie de P-actie gaat versterken, de D-actie begrensd worden door Yh, bij het constant blijven van de storing gaat de D-actie vertraagd wegvallen door toedoen van de tijdsconstante. Tijdens deze daling gaat de I-actie in werking treden om de proceswaarde te regelen tot de gewenste waarde en vervolgens deze waarde aan te houden.



Figuur 40
Het stapantwoord van de PID-regelaar

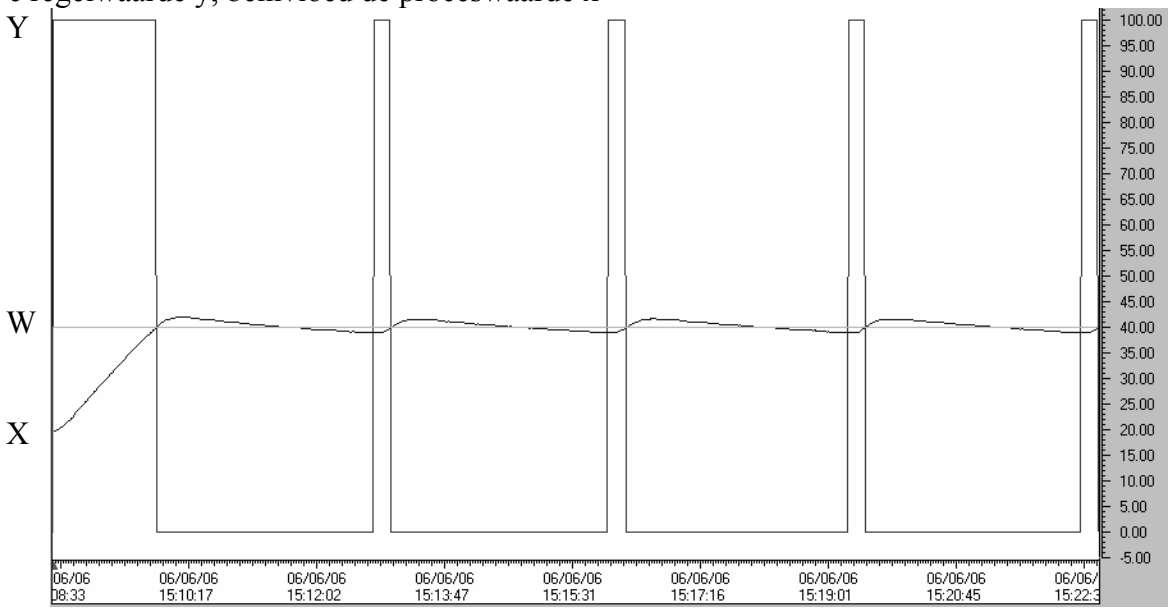
4 De regelaar en proces in gesloten kring

4.1 De aan/uit regelaar in gesloten kring

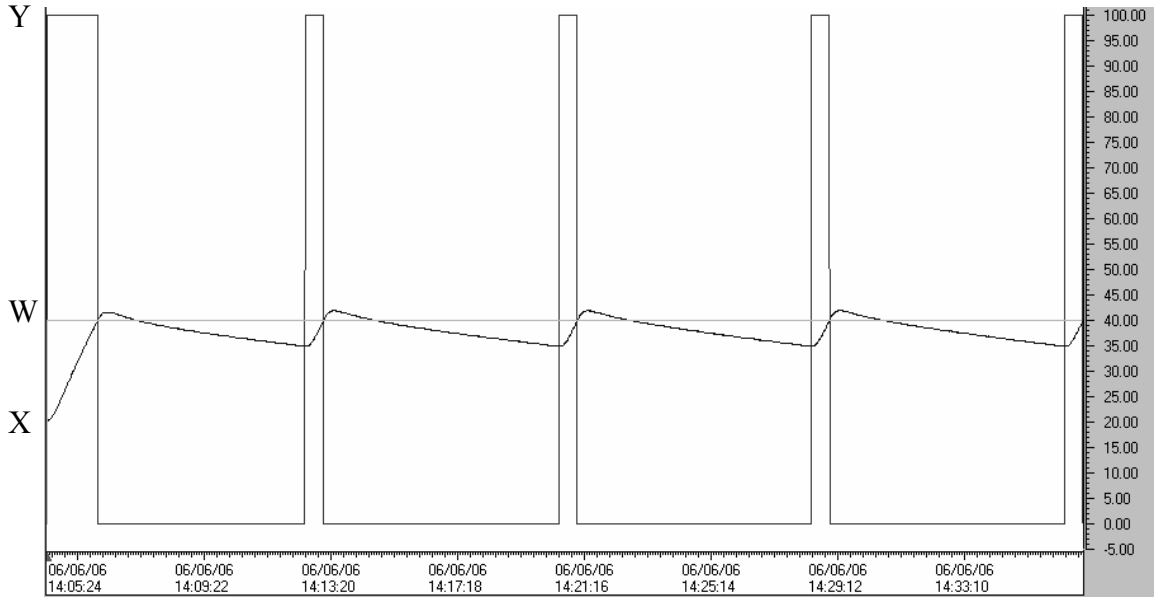
Bij de aan/uit regelaar in gesloten kring zal de proceswaarde x, de regelwaarde y gaan beïnvloeden. Tegelijkertijd zaal de regelwaarde y, de proceswaarde x weer gaan beïnvloeden. Dit noemen we de wisselwerking van de regelaar.

We onderscheiden hierin twee mogelijke toestanden, namelijk:

- De proceswaarde x, beïnvloed de regelwaarde y
- De regelwaarde y, beïnvloed de proceswaarde x



Figuur 41
Aan/Uit regelaar met een kleine hysteresis



Figuur 42
Aan/uit regelaar met een grote hysteresis

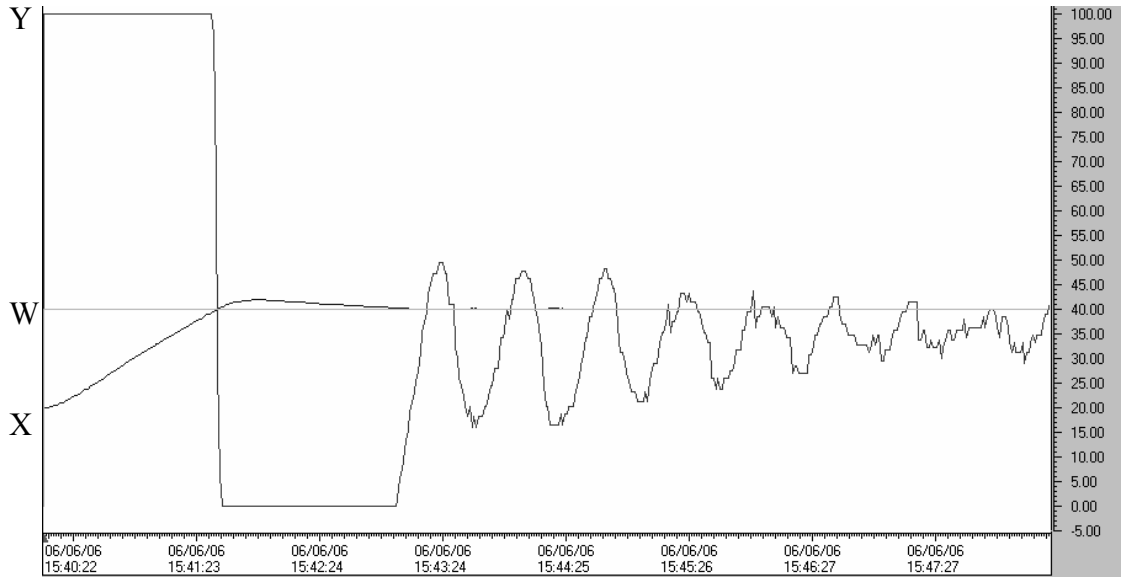
Zoals men kan zien op grafieken zal een aan/uit-regelaar met hysteresis gaan schakelen bij 2 omklappunten de het maximum omklappunt, XH, en het minimum omklappunt, XL. Het omklappunt XH Is gelegen op de gewenste waarde. Het omklappunt XL op een ingestelde waarde onder de gewenste waarde. Op de bovenste tekening is het verschil tussen in- en uitschakelpunt kleiner dan bij de onderstaande tekening. Dit heeft als gevolg dat het proces minder overshoot gaat hebben en zal dus sneller reageren. Deze snelle reactie heeft tot gevolg dat ons proces nauwkeuriger zal zijn.

We stellen dus vast dat:

-Hoe kleiner de hysteresisband, des te nauwkeuriger is het proces
-Hoe groter de hysteresisband, des te kleiner is de nauwkeurigheid van het proces.
-Bij een kleine hysteresisband is de schakelfrequentie hoger.
-Bij een grote hysteresisband is de schakelfrequentie lager.

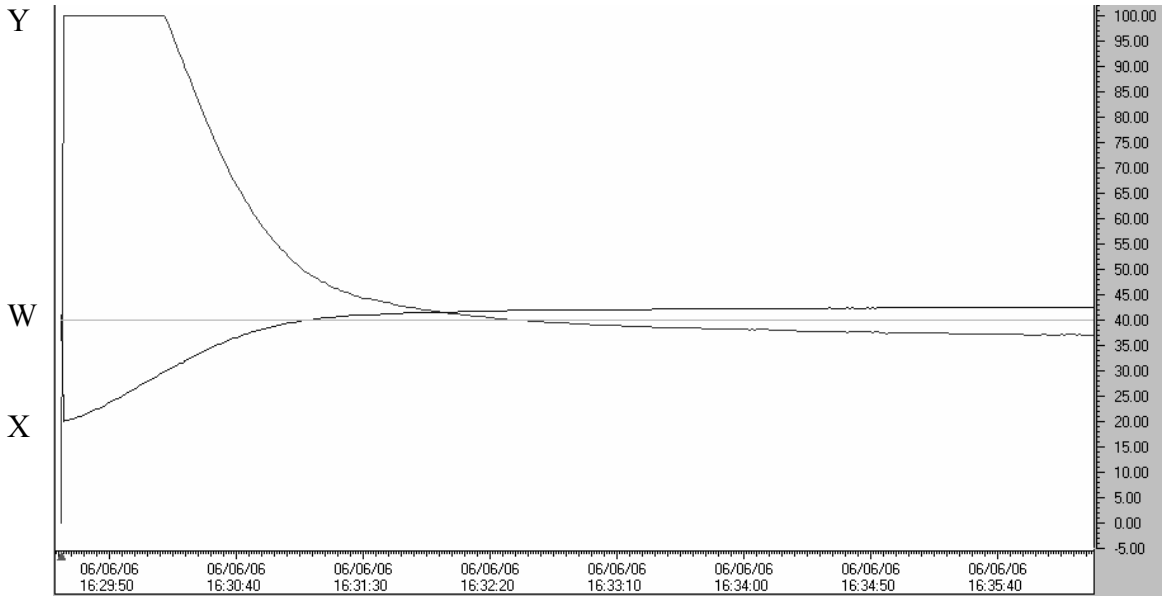
4.2 De P-regelaar in gesloten kring

Door middel van metingen die uitgevoerd zijn op ons proces zullen we proberen aan te tonen hoe het proces gaat reageren als men een kleine, een middelgrote en een grote Proportionele band heeft. We gaan met behulp van deze metingen het dynamische gedrag en de blijvende regelafwijking verklaren die optreden bij een P-regeling. In het door ons gemaakt eindwerk wordt de P-actie ingesteld door middel van het regelen van de proportionele band.



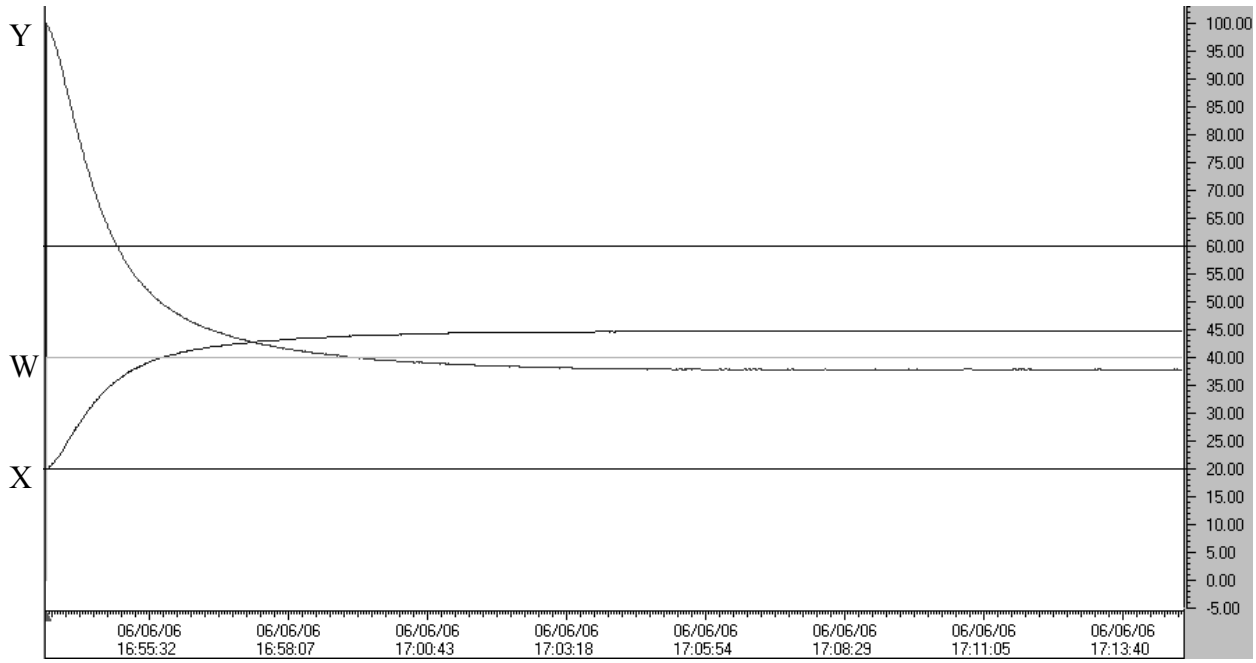
Figuur 43
P-regelaar met kleine Proportionele band.

Als het proces een kleine proportionele band heeft, en dus een grote versterking, zal het proces snel en krachtig gaan reageren. Hierdoor reageert deze snel op een afwijking en zal de blijvende regelafwijking klein zijn. Maakt men de proportionele band echter te klein dan zal dit als gevolg hebben dat het proces zal gaan oscilleren.



Figuur 44
P-regelaar met middelgrote proportionele band.

Gaat men de proportionele band vergroten, dan zal de versterking van het proces gaan dalen. Deze daling zal als gevolg hebben dat er een blijvende regelafwijking afwezig zal zijn in het proces.



Figuur 45
P-regelaar met grote proportionele band.

Voert men de proportionele band verder op, dan zal ook de versterking verder dalen. Deze verdere daling gaat ook betekenen dat de blijvende regelafwijking groter zal zijn.

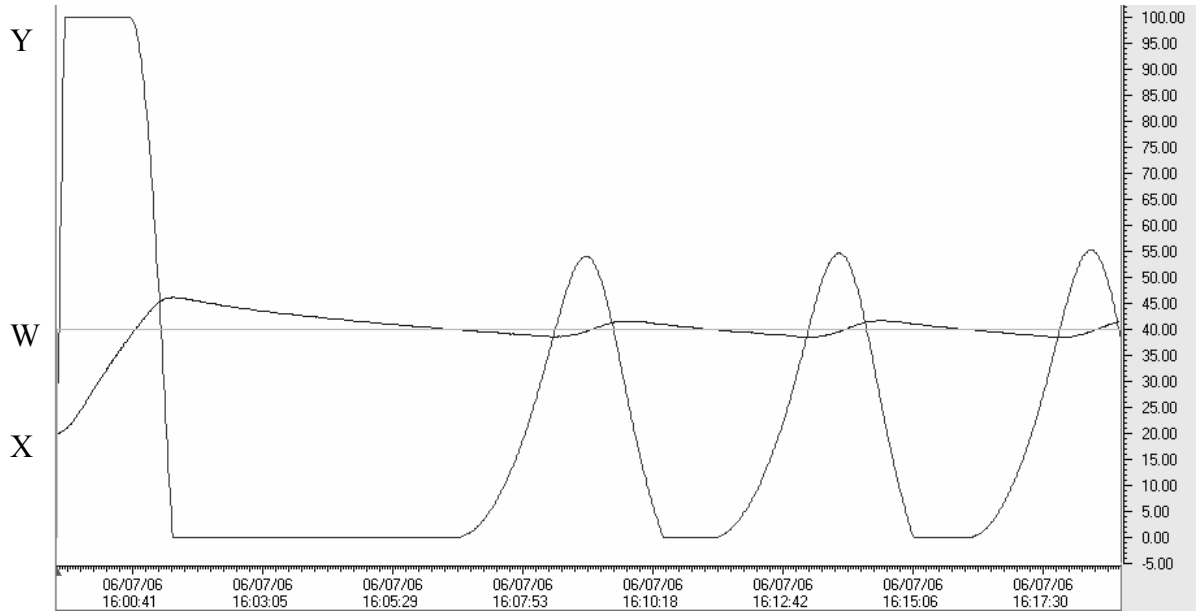
Op deze meting valt ook af te leiden wanneer onze regeling de proportionele band binnen komt. Op de bovenstaande meting is onze proportionele band 10% van het maximum meetbereik, welk in dit geval 0ºC tot 400ºC is en dus zal 10% gelijk staan aan 40ºC. Het proportioneel gebied bevindt zich 50% boven en 50% onder de gewenste waarde en is dus boven en onder de gewenste waarde gelijk aan 20ºC. Aangezien onze startwaarde van ons proces zich bevind op 20ºC treedt deze meteen de proportionele band binnen en zal de P-regelaar recht evenredig gaan regelen met de afwijking (w-x), des te groter de afwijking ,des te krachtiger de P-actie. Door de grote proportionele band zal er een grote regelafwijking aanwezig blijven.

Hieruit kunnen we besluiten dat:

-Als de proportionele band klein is, dan is de versterking groot en zal de blijvende regelafwijking klein zijn. Maakt men de proportionele band echter te klein dan gaat het proces oscilleren.
-Gaat men de proportionele band groter maken, dan zal de versterking van het proces kleiner worden en zal er een grotere blijvende regelafwijking zijn.

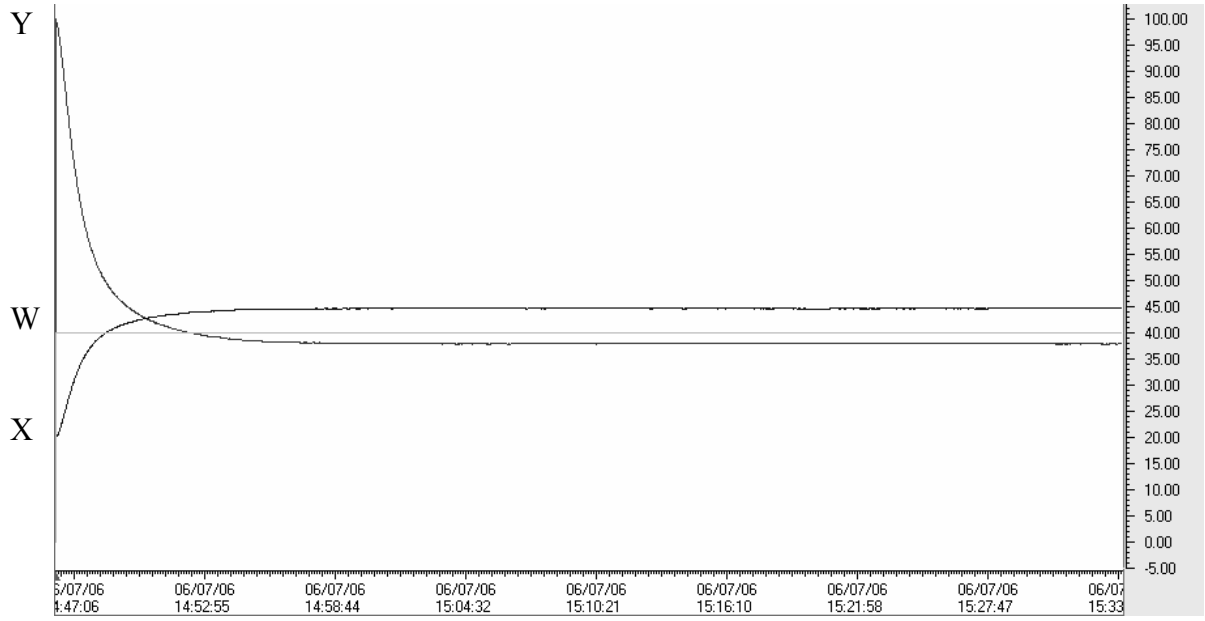
4.3 De PI-regelaar in gesloten kring

Net als bij de P-regelaar hebben we metingen uitgevoerd op het proces als PI-regelaar. Nu zal duidelijk gemaakt worden wat de toevoeging van de I-actie aan het proces tot gevolg zal hebben voor de regelafwijking en het dynamisch gedrag. Door middel van de Na-insteltijd van ons proces te regelen gaan we de kracht van de I-actie bepalen. Als de werkelijke waarde van het proces boven de wenswaarde komt, krijgen we een negatieve afwijking en zal de proceswaarde sneller afnemen naargelang dat de afwijking groter zal zijn. Wordt de werkelijke waarde echter kleiner dan de wenswaarde, dan zal onze afwijking positief zijn en zal de proceswaarde sneller stijgen naargelang dat de afwijking groter zal zijn



Figuur 46
PI-regelaar met kleine na-insteltijd

Als men een kleine na-insteltijd heeft zal dit betekenen dat er een krachtige I-actie plaats vindt. De I-actie is afhankelijk van de snelheid waarmee de afwijking verandert. Wordt de na-insteltijd echter te groot dan zal het proces te krachtig gaan reageren en kan deze gaan oscilleren.



Figuur 47
PI-regelaar met grote na-insteltijd

maakt men de na-insteltijd groter, dan zal het langer duren eer de I-regelaar een zelfde waarde heeft ingesteld als de P-regelaar, dit betekent dat ons proces trager zal reageren. De regelafwijking zal worden weggewerkt maar het zal een langere tijd duren.

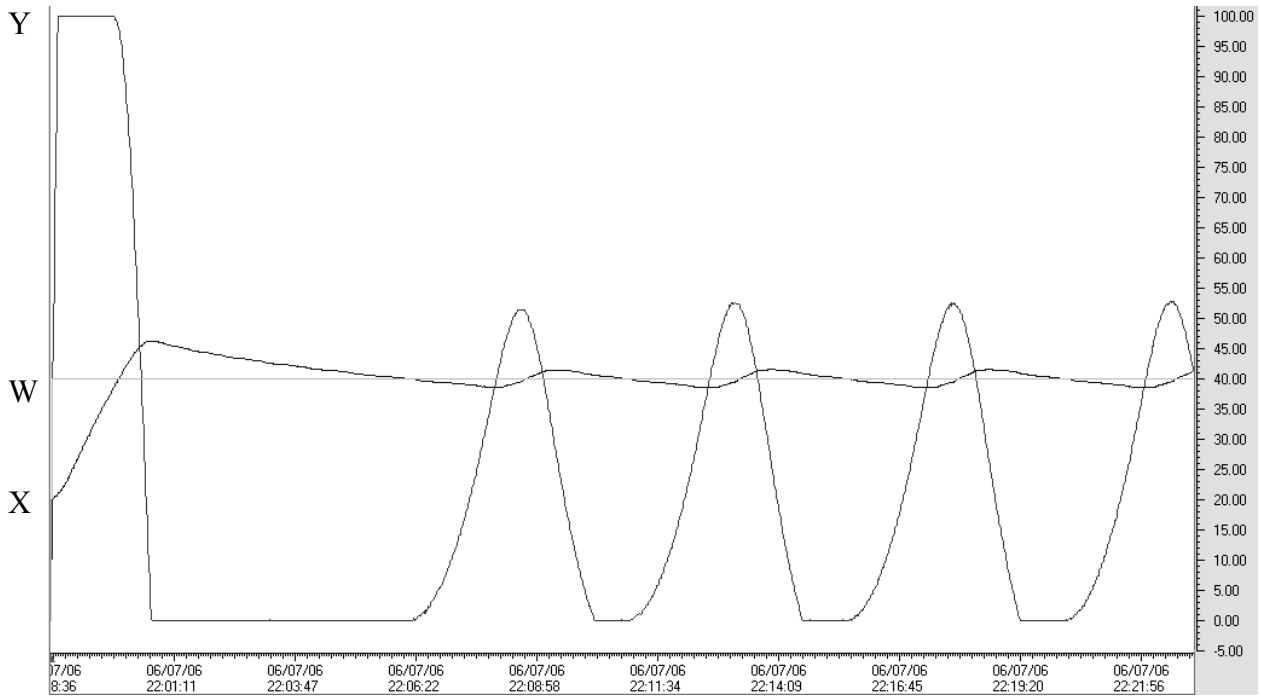
Hieruit kunnen we besluiten dat:

-Des te kleiner de na-insteltijd des te krachtiger de I-actie, maakt men de I-actie echter te groot dan zal het proces gaan oscilleren.
-Des te groter de na-insteltijd des te minder krachtig wordt de I-actie, maakt men de I-actie te klein dan zal het lang gaan duren eer de werkelijke waarde de gewenste waarde gaat bereiken.

4.4 De PID-regelaar in gesloten kring

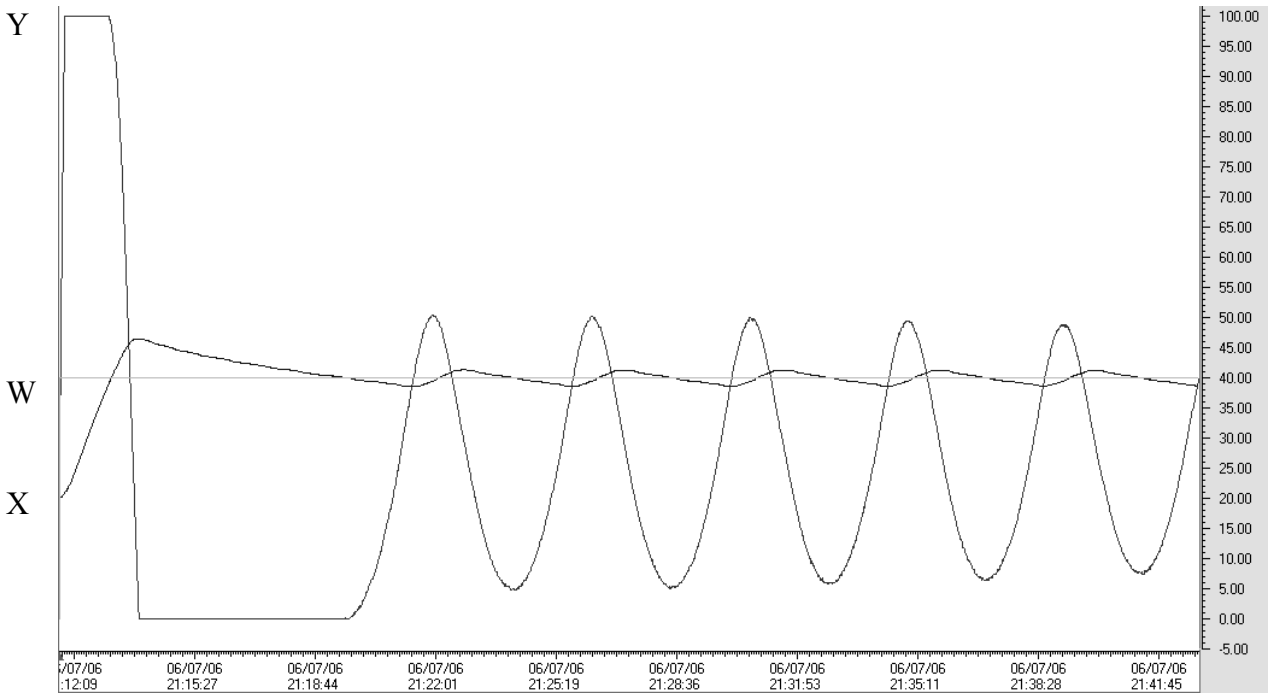
Met de D-actie probeert men de snelheid waarmee het proces de gewenste waarde benadert onder controle te krijgen. Is de snelheid waarmee de werkelijke waarde de gewenste waarde benaderd te snel dan is de kans op overshoot groot. De D-regelaar voelt de snelheid waarmee de werkelijke waarde de gewenste waarde gaat benaderen en gaat een tegenactie genereren. In het geval van storing gaat de D-actie ook onmiddellijk reageren.

Met de volgende metingen zullen we duidelijk maken hoe de D-actie het verloop van ons proces zal beïnvloeden



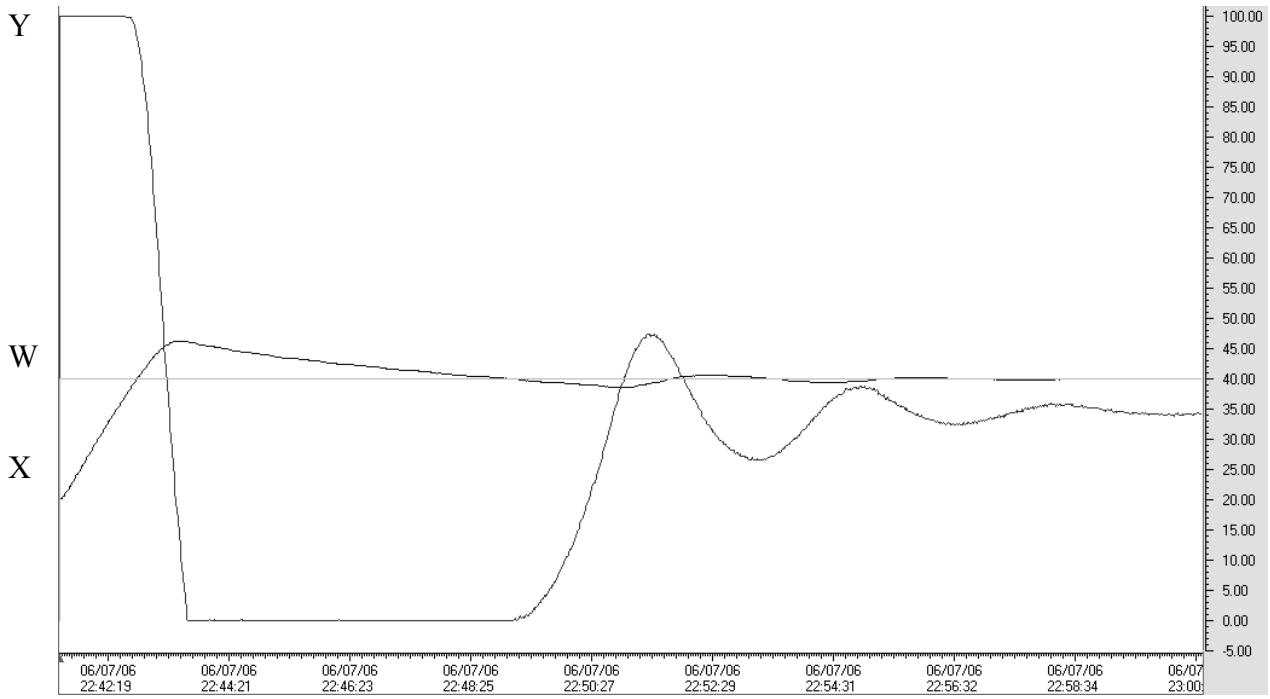
Figuur 48
PID-regelaar met kleine Voor-insteltijd.

Als er een kleine voor-insteltijd gaat het proces minder krachtig reageren, en zullen de oscillaties minder gedempt worden.



Figuur 49
PID-regelaar met middelgrote voor-intsteltijd.

Gaat men de voor-intsteltijd vergroten, de D-actie zal krachtiger worden en er zal sneller gereageerd worden op een afwijking. Met als gevolg dat het proces minder gaat oscilleren.



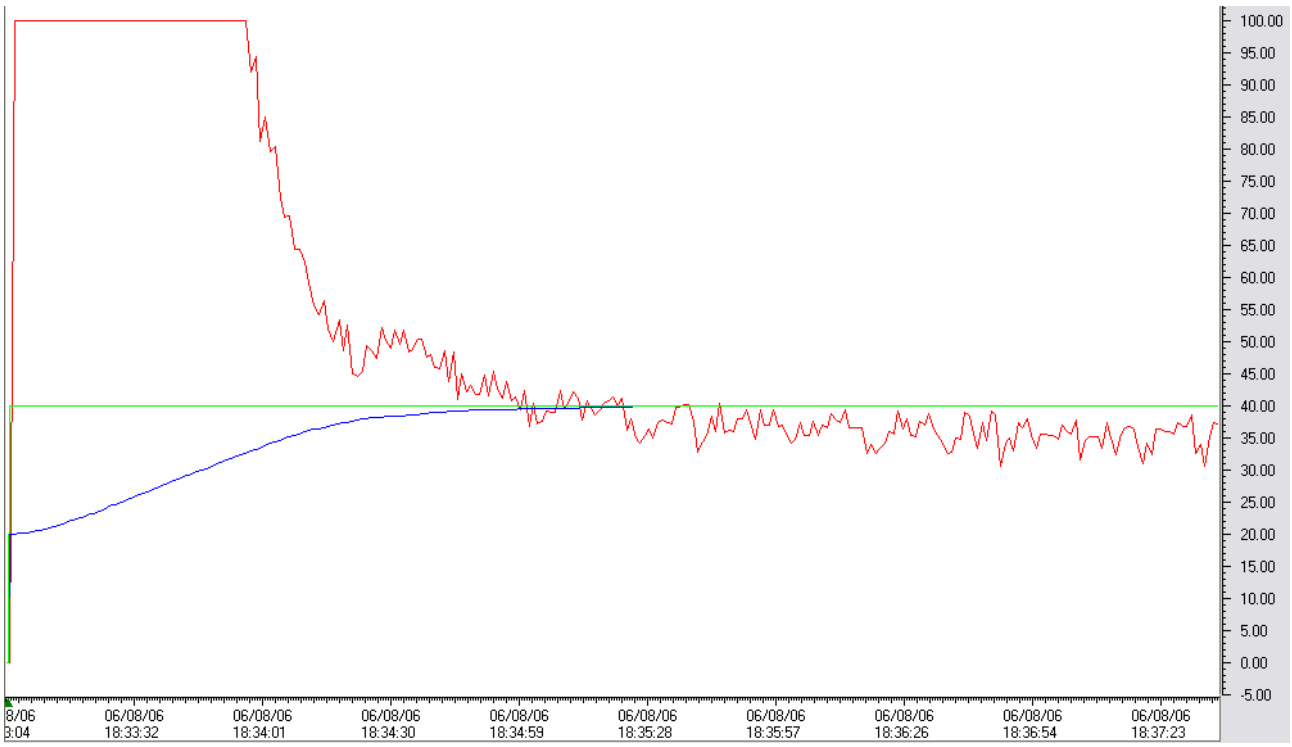
Figuur 50
PID-regelaar met grote voor-insteltijd.

Voert men de voor-insteltijd nog verder op, dan zal de D-actie nog krachtiger worden, en zal het proces nog sneller kunnen reageren op een afwijking of een storing in het proces.

Kiest men de voor-insteltijd juist, dan zal het proces een minimum aan hinder ondervinden van oscillaties. Men voegt de D-actie dus toe voor een demping van oscillaties in het proces

hieruit kunnen we besluiten dan:

-Des de kleiner de voor-insteltijd, des te kleiner de kracht van de D-regeling. Dit gaat als gevolg hebben dat hij minder snel zal gaan reageren op een afwijking en dat de oscillaties minder krachtig gedempt zullen worden.
-Des te groter de de voor-insteltijd, des te krachtiger zal de D-regeling zijn. Doordat de D-actie krachtiger is, zal deze sneller gaan reageren op een afwijking of storing en zullen de oscillaties sneller en krachtiger gedempt worden.



Figuur 51
PID-Regelaar ingesteld via auto-tune

Deze meting is het resultaat van het uitvoeren van auto-tuning, na een paar metingen heeft de regelaar zelf zijn P-, I- en D-actie ingesteld welk tot resultaat geeft dat het proces vrijwel zonder te veel afwijking snel zijn gewenste waarde bereikt.

5 Fuzzy self-tuning

De Tuning die ik ga bespreken is de fuzzy self-tuning. Ik heb deze gekozen omdat deze een ideale instelling van de regelaar gaat berekenen, hij berekent de P-, de I- en de D-actie voor het proces waarop het zich toepast. Dit is erg voordelig doordat er geen auto-tuning meer moet worden toegepast, welke bij sommige toepassingen een tijdrovende bezigheid is.

De fuzzy self-tuning gaat als volgt in zijn werk; .

1) De regelaar bekijkt bij het opstarten van het proces naar de opstartcurve en stelt de P-, I- en D-actie zo in dat de ingestelde temperatuur gehaald wordt zonder een overshoot of undershoot van de setpointtemperatuur (Step response tuning)

2) Ten 2de wordt bij een storing in het proces de grootte en de snelheid van de afwijking continu gevolgd en wordt berekend op de huidige PID instellingen nog de meest ideale zijn. Indien betere waarden kunnen worden toegepast zullen deze onmiddellijk worden ingesteld.
(Disturbance tuning)

3) Indien bij belasting blijkt dat de procestemperatuur door oscillaties niet constant blijft zullen de PID waarden opnieuw berekend worden en worden toegepast. (Hunting tuning)

De fuzzy self-tuning bestaat uit een combinatie van;

- step response tuning
- disturbance tuning
- hunting tuning

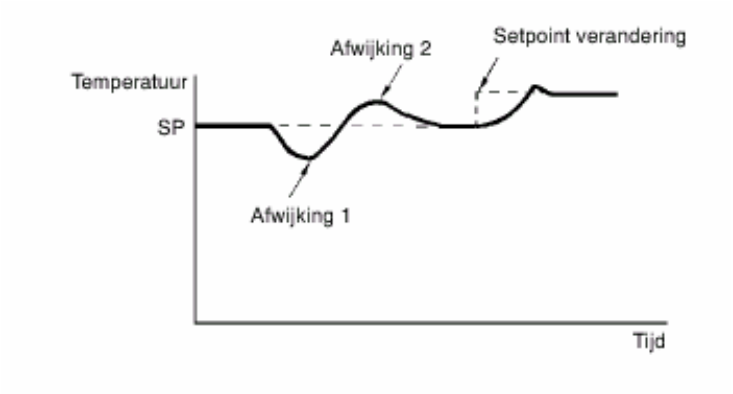
5.1 Step response tuning

De step response tuning zal starten als de regelaar ingeschakeld wordt of als;

- Het nieuwe setpoint afwijkt van het laatst gebruikte setpoint.
- Indien de temperatuur stabiel was voor de setpoint verandering
- Indien het setpoint bij verwarmingstoepassing verhoogd wordt.

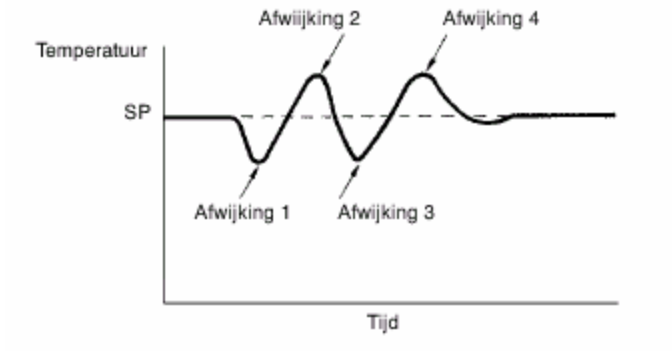
5.2 Disturbance tuning

De disturbance tuning zal starten indien;
-De temperatuur in het proces door proces verstoring buiten het stabiele gebied komt.
-De step response tuning niet uitgevoerd is bij een setpoint verandering.



Figuur 52
Disturbance tuning

5.3 Hunting tuning

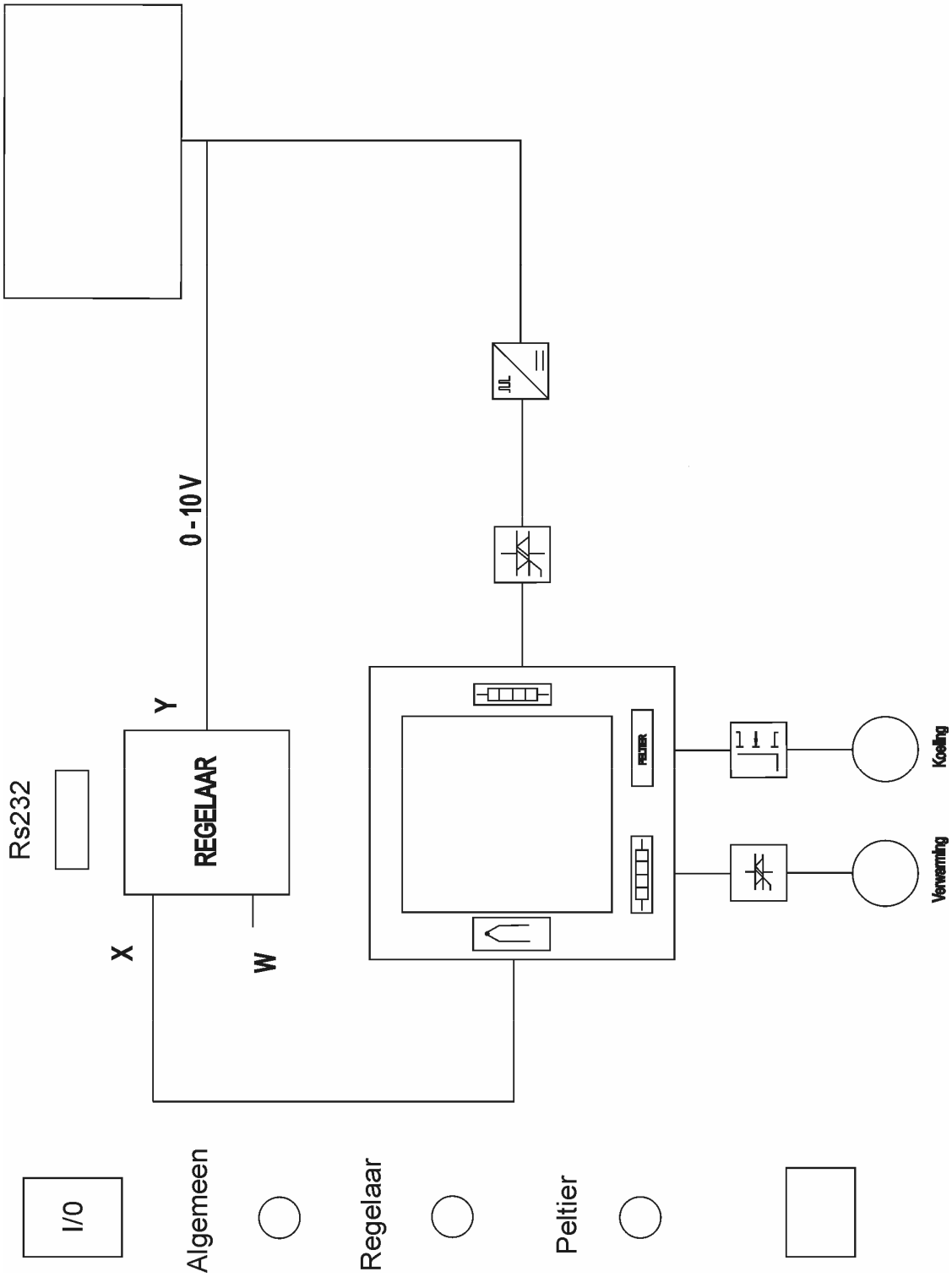


Figuur 53
Hunting tuning

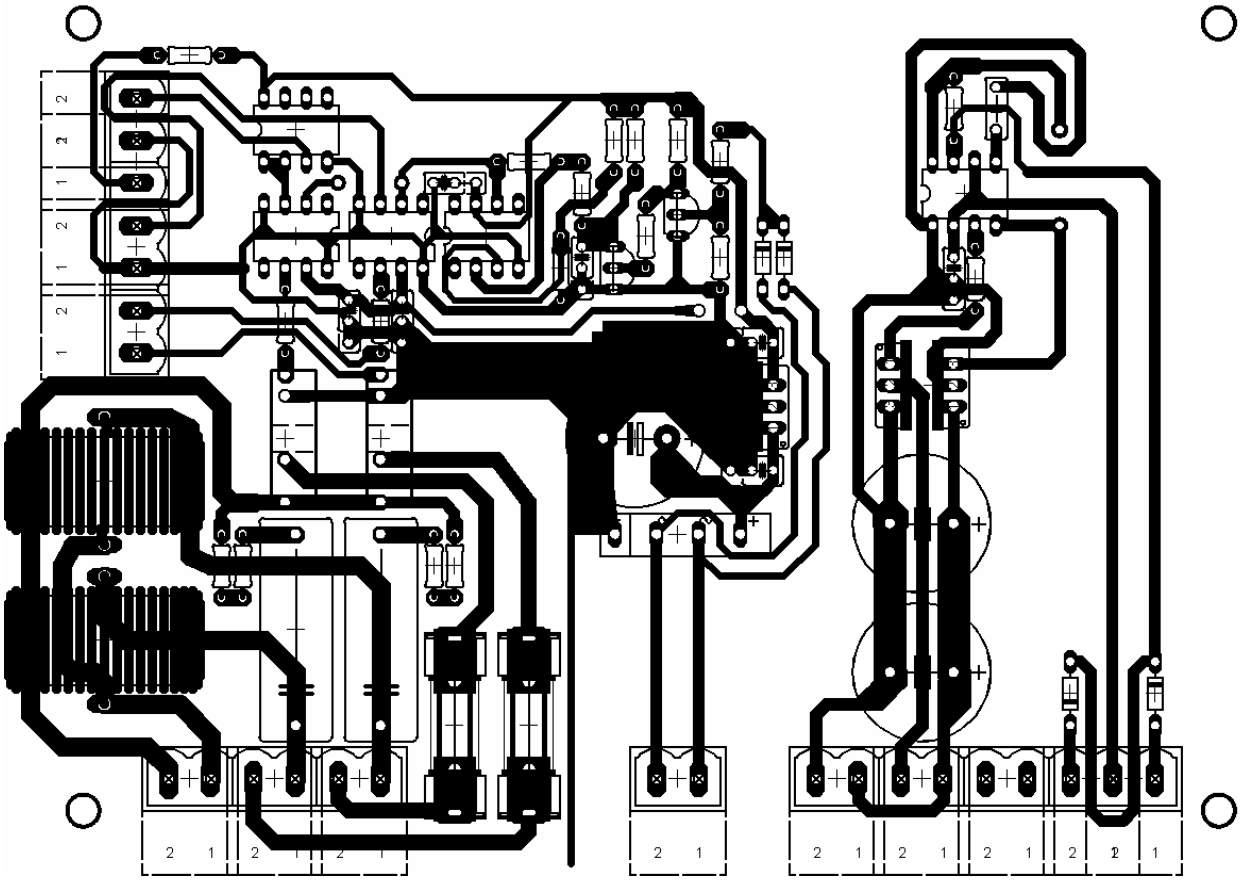
De Hunting tuning zal starten indien er vier of meer achtereen volgende afwijkingen van de temperatuur worden waargenomen dan zal de oscilatietuning gestart

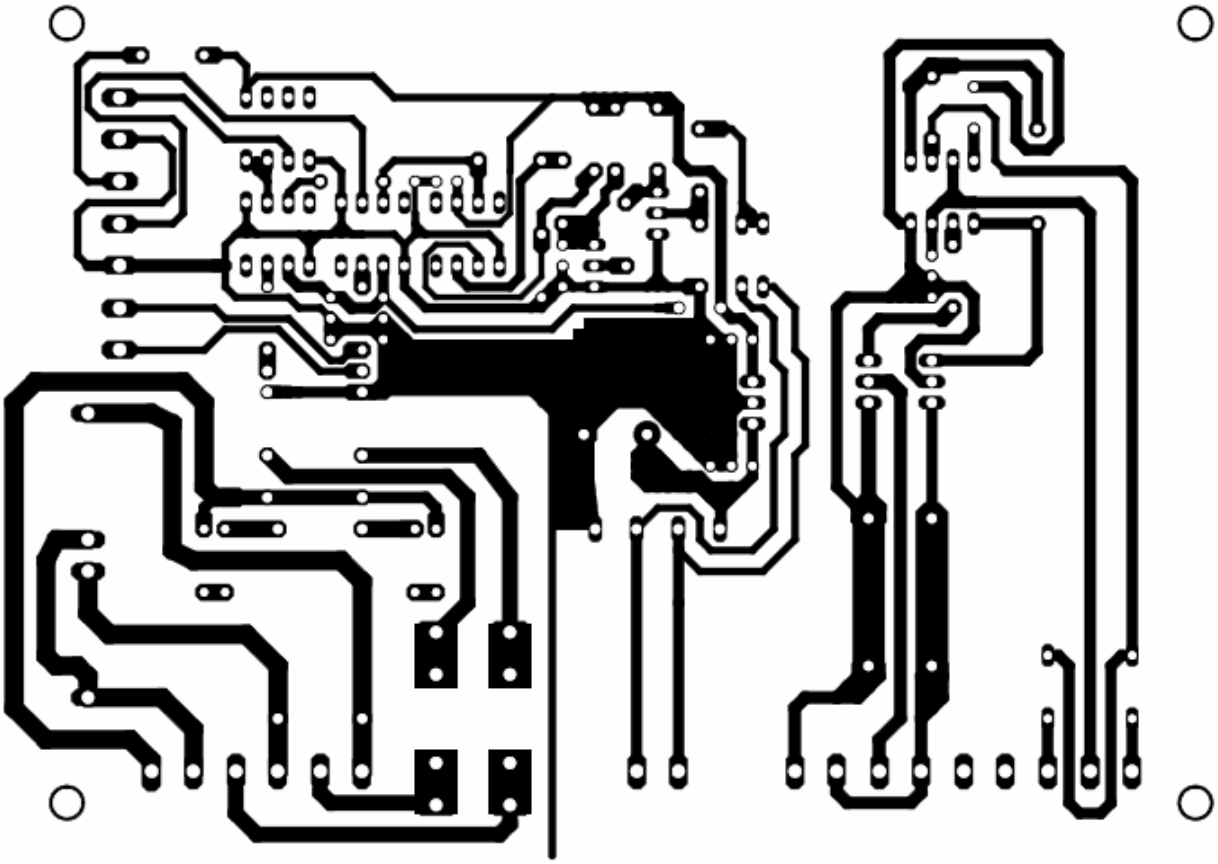
6 Bijlage

6.1 De frontplaat



6.2 De printplaat





6.3 Onderdelenlijst

Onderdeel:	Aantal:
Weerstanden:	
47 Ω	5
1 KΩ	4
3.3 KΩ	1
5.6 KΩ	1
10 KΩ	3
22 KΩ	1
100 KΩ	1
1.2 MΩ	2
Regelbare weerstanden:	
50 KΩ	1
10 KΩ	1
Condensatoren	
1 nF	1
100 nF	2
100 nF 230VAC X2	2
Elko's	
4700µF 25V	3
1000µF 25V	1
Spoelen:	
100 mH	2
Halfgeleiders:	
1N4148	10
Gelijkbrugrichter	1
BC547	1
BUZ11	1
S202S11	2
NE555	1
TLC271	2
CA3140	1
7812	1
7815	1
Peltier 30W	1
Diverse:	
Zekeringhouder paneelmontage	3
Zekeringhouder printmontage	2
Zekering 3A	2
Zekering 1A	3
Transformator 15V 10VA	2
Pc voeding	1
Netschakelaar	1
Eurostekker male paneelmontage	1
Fangrill 90mm	1
Ventilator 50mm	1
Rs232 stekker	1
Rs232 kabel	1

Voltmeter	1
Thermokoppel J-type	1
Verwarmingselementen 50W 230V	2
PID regelaar Omron E5CK	1

7 Lijst van afbeeldingen

Figuur 1 Blokschema proces 3
Figuur 2 Foto Regelaar 5
Figuur 3 Frontpaneel regelaar + uitleg knoppen 6
Figuur 4 Aansluitingen voedingsspanning 7
Figuur 5 Aansluitingen temperatuursensor 7
Figuur 6 Aansluitingen uitgangen 7
Figuur 7 Aansluitingen RS22 verbinding 7
Figuur 8 Tabel met mogelijke thermokoppels 8
Figuur 9 Schema bereikbare niveaus 10
Figuur 10 Tekening proces 11
Figuur 11 Opbouw thermokoppel. 12
Figuur 12 Tabel soorten thermokoppels + eigenschappen. 12
Figuur 13 Interne opbouw verwarmingsweerstand 13
Figuur 14 Faseaansnijding 13
Figuur 15 Schema 0-10V regeling 14
Figuur 16 Schema zaagtand generator 14
Figuur 17 Schema comperator + vermogendeel 15
Figuur 18 Grafiek zaagtand + aangesneden sinus 16
Figuur 19 Foto peltier 17
Figuur 20 Inwendig schema peltier met N-type halfgeleidermateriaal 18
Figuur 21 Inwendig schema peltier met P-type halfgeleidermateriaal 18
Figuur 22 Inwendig schema peltier met P- & N-type kristal 19
Figuur 23 Vereenvoudigd inwendig schema van een peltier 19
Figuur 25 Inwendig schema NE555 21
Figuur 26 Condensatorspanning in functie van de uitgangsspanning 22
Figuur 27 Schema PBM generator met NE555 22
Figuur 28 Foto digitale paneelmeter 23
Figuur 29 Schema voeding dimmer 23
Figuur 30 Blok schema geschakelde voeding 24
Figuur 31 Foto PC voeding 24
Figuur 32 Schema voeding digitale paneelmeter 25
Figuur 33 Screenshot SYS-Config 27
Figuur 34 Graphical view 27
Figuur 35 Stapantwoord P-regelaar 29
Figuur 36 Het stapantwoord van de I-regelaar 30
Figuur 37 Stapantwoord van de D-regelaar 32
Figuur 38 Het stapantwoord van de PI-regelaar 33
Figuur 39 Het stapantwoord van de PD-regelaar 34
Figuur 40 Het stapantwoord van de PID-regelaar 35
Figuur 41 Aan/Uit regelaar met een kleine hysteresis 36
Figuur 42 Aan/uit regelaar met een grote hysteresis 36
Figuur 43 P-regelaar met kleine Proportionele band. 37
Figuur 44 P-regelaar met middelgrote proportionele band. 38
Figuur 45 P-regelaar met grote proportionele band. 39
Figuur 46 PI-regelaar met kleine na-insteltijd 40
Figuur 47 PI-regelaar met grote na-insteltijd 41
Figuur 48 PID-regelaar met kleine Voor-insteltijd. 42
Figuur 49 PID-regelaar met middelgrote voor-intsteltijd. 42
Figuur 50 PID-regelaar met grote voor-insteltijd. 43

Figuur 51 PID-Regelaar ingesteld via auto-tune.....44
Figuur 52 Disturbance tuning 46
Figuur 53 Hunting tuning.....46

8 Lijst van gebruikte bronnen

Peltier regeling bronnen:
www.circuitsonline.net/circuits/view/17 Auteur: Freddy Alferink
http://datasheets.schematheek.com/sheet/n/ne555.pdf
http://www.tellurex.com/12most.html
http://www.peltier-info.com/info.html
Vermogenregeling verwarmingsweerstanden:
Elektuur “0...10-V-dimmer 12/2002” Auteur: Luc Lemmens & Sjef van Rooij
Regelaar:
Handleiding Omron E5CK
“Regeltechniek 1” Auteur: jef hay
Limtec cursus “Digitale regelaars PID” Auteur: Bert Vanderhallen