

Blok 1

Het begrip regelen

Doelstellingen:

- Het begrip "regelen" vastleggen door het beschrijven van voorbeelden.
- De stabilisatiewerking van een regeling verklaren.
- Een elektrische regeling kunnen beschrijven d.m.v. de functies.
- Een elektronische regeling kunnen beschrijven d.m.v. de functies.
- Het verschil toelichten tussen een aan/uit-regeling en een continue regeling.

- Onder regelen wordt verstaan:
het automatisch constant houden van fysische grootheden, zoals temperatuur, druk, vochtigheid, hoogte, snelheid enz.
- De middelen om dit doel te bereiken omvatten volgens de gebruikte technologieën, een enorme variëteit van instrumenten.
Welk instrumentatiesysteem men ook gebruikt, steeds kunnen duidelijk herkenbare functies gevonden worden, zoals:
 - meetsysteem;
 - versterkers;
 - corrigerend orgaan ...
- Het is de bedoeling deze functies te herkennen in een aantal praktische voorbeelden.
- Zo kan men uiteindelijk tot een algemeen blokschema komen, waarop, los van elke instrumentatie, een theorie kan gebouwd worden.
- Het probleem "regelen" is geen eigenheid van onze moderne tijd.
Voorbeelden tonen aan dat er reeds regelsystemen bestonden, vóór onze jaartelling.

Inhoud:

1. Het wateruurwerk van Ktesibios (3de eeuw vóór Christus)
2. Niveauregeling van Heron (1^e eeuw nà Christus)
3. Niveauregeling door tussenschakelen van een persoon.
4. Eenvoudige centrale verwarming.
5. Centrale verwarming met vierwegskraan.
6. Elektronische aan/uit-regeling.
7. Servostysteem - volgsysteem.
8. Toerentalregeling met gelijkstroommotor.
9. Elektronisch gestuurde temperatuurregeling.
10. Opdrachten.

1. Wateruurwerk van KTESIBIOS

1.1 Beschrijving

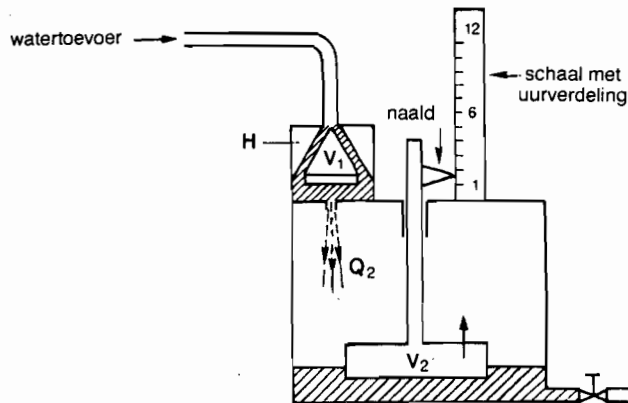


Fig. 1.1 Wateruurwerk van Ktesibios

Ktesibios leefde in de derde eeuw vóór Christus in Alexandrië.

Hij was een kapper, die graag knutselde. Hij werd door zijn tijdgenoten Euclides en Archimedes als een groot uitvinder beschouwd.

Als in fig. 1.1 de vlotter V_2 lineair met de tijd stijgt dan is de aanwijzing van de naald op de schaal eveneens evenredig met de tijd.

De vlotter V_2 stijgt lineair met de tijd als de watertoevoer of het debiet Q_2 (l/s) een constante is.

Het water stroomt uit het hulpvat H waarin een vlotter V_1 zweeft. Nu is Q_2 een constante als het waterniveau in het hulpvat constant blijft.

Ktesibios had duidelijk een probleem met de bron waaruit hij zijn watertoevoer moest halen. Deze watertoevoer was blijkbaar niet constant. Daarom bedacht hij een regelsysteem om een constant debiet Q_2 voor zijn uurwerk te verkrijgen.

Het waterniveau in de hulpkamer H komt tot rust als de toevoer Q_1 (l/s) gelijk is aan de afvoer Q_2 (l/s).

Vandaar de evenwichtsvergelijking:

$$Q_1 = Q_2$$

1.2 Stabilisatiewerking

In fig. 1.2 wordt de gewenste hoogte in het hulpvat H voorgesteld door w .

Stel dat de watertoevoer daalt, dan zakt de vlotter V_1 .

Het waterniveau zakt naar x . Hierdoor gaat de toevoeropening groter worden, zodat Q_1 opnieuw stijgt en de werkelijke hoogte x weer naar w klimt.

Als de watertoevoer te groot wordt, dan stijgt de vlotter, x wordt groter dan w . Nu zal de toevoeropening sluiten zodat Q_1 daalt en x weer naar w beweegt.

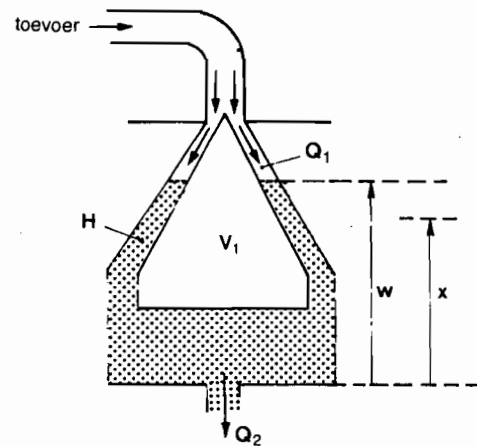


Fig. 1.2 Hulpvat H voor stabilisatieprincipe.

De constructie zorgt er dus voor dat het waterniveau in het hulpvat praktisch constant blijft.

1.3 We herkennen de volgende functies:

1. **Meetsysteem**: de vlotter V_1 meet de te regelen grootte x ;
2. **Corrigerend orgaan en regelaar**: de vlotter V_1 regelt de toevoer Q_1 ;
3. **Negatieve terugkoppeling**: als x stijgt, sluit de toevoeropening, Q_1 daalt waardoor x terug daalt.

2. Niveauregeling van Heron

2.1 Beschrijving

Heron leefde te Alexandrië tijdens de eerste eeuw na Christus. In de niveauregeling van fig. 1.3 is A een voorraadruimte waarin water wordt opgevangen.

Via een klep K loopt water over naar tank B.

Het is de bedoeling om niveau w constant te houden, zodat bij de afname van water, de druk ook constant blijft.

Stel dat het debiet Q_1 (l/s) gelijk is aan Q_2 (l/s). De toevoer achter de klep is dus gelijk aan de afvoer Q_2 .

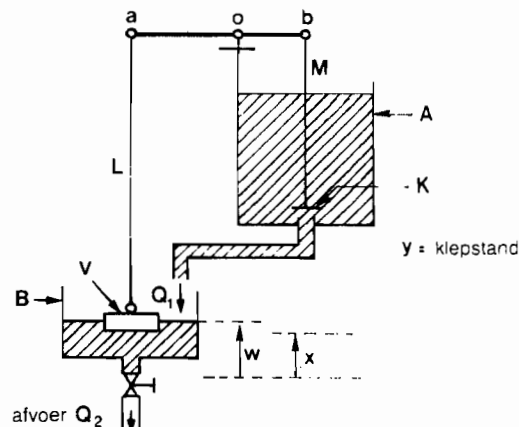


Fig. 1.3 Niveauregeling van Heron

Het niveau stelt zich in op een hoogte w . Nemen we deze hoogte aan als de gewenste waarde w (wenswaarde).

De factoren die de hoogte kunnen wijzigen zijn:

- het niveau van de opslagtank A;
- de afvoer Q_2 .

2.2 Regelwerking

De niveauregeling werkt als volgt:

1. nemen we aan dat de afvoer Q_2 toeneemt,
2. dan daalt de hoogte naar een waarde x ,
3. de vlotter V meet de hoogte en daalt,
4. de arm ao van de hefboom daalt, terwijl de arm ob stijgt,
5. waardoor de klep K verder opent en Q_1 stijgt,
6. x stijgt terug naar de wenswaarde w .

Omgekeerd: als $Q_2 \downarrow$ dan stijgt x ($x > w$), stang $L \uparrow$ en klepsteel $M \downarrow$, de klep K sluit meer, $Q_1 \downarrow$ en $x \downarrow$.

We herkennen de volgende functies:

1. Meetsysteem:

2. Versterker of regelaar:

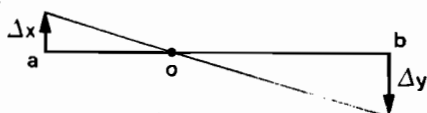


Fig. 1.4

de vlotter V meet de te regelen grootheid x ;

de verandering van de meetwaarde Δx , wordt via de hefboom omgezet in een verandering van de klepstand. Noemen we y de klepopening dan volgt uit fig. 1.4 dat:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{ob}{oa}$$

$$\text{Vandaar: } \Delta y = \frac{ob}{oa} \Delta x.$$

Als $ob > oa$ dan wordt de beweging van x versterkt en zo overgedragen naar de klepopening y .

De hefboom ab is een versterker, waarvan de versterking bepaald wordt door de verhouding van de armen: $\frac{ob}{oa}$.

3. Instelorgaan:

4. Negatieve terugkoppeling:

Klep K

$$Q_2 \uparrow \rightarrow x \downarrow \rightarrow L \downarrow \rightarrow M \uparrow \rightarrow y \uparrow \rightarrow Q_1 \uparrow \rightarrow x \uparrow$$

negatieve terugkoppeling

3. Niveauregeling door een persoon

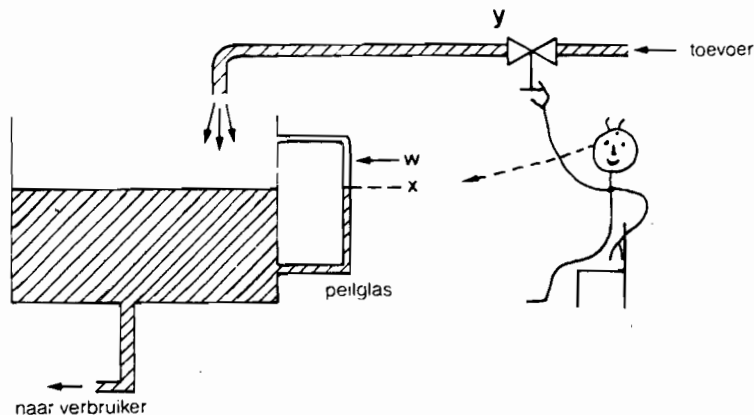


Fig. 1.5 Niveauregeling d.m.v. persoon

3.1 Beschrijving

Het is de bedoeling het vloeistofniveau in de tank constant te houden door het tussenschakelen van een persoon. Zie fig. 1.5.

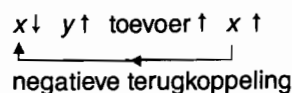
De persoon kijkt naar het peilglas en ziet de hoogte van het vloeistofniveau x . Als x onder of boven de gewenste waarde w is, kan de persoon door verder openen of sluiten van de kraan in de toevoerlijn, het niveau doen stijgen of doen dalen.

3.2 Stabilisatiewerking

Stel dat door een verhoogd verbruik het niveau daalt. De werkelijke waarde x daalt onder de gewenste waarde zoals in de fig. 1.5 is aangeduid. De waarnemer ziet de afwijking, draait de kraan iets verder open, zodat de toevoer stijgt en x naar de gewenste waarde w beweegt.

De functies in de regelkring.

1. Het **meetsysteem** is het peilglas en de ogen van de persoon.
2. De persoon zelf vervult de rol van **versterker** of regelaar.
3. Via de persoon wordt de dalende waarde van x , gecompenseerd door een stijgende waarde van de toevoer y . Dit gebeurt door de kraan **het corrigerend orgaan**, te bedienen.
4. Ook hier herkennen we een **negatieve terugkoppeling of negatieve feedback**



5. Een functie die we nog niet aangehaald hebben, ontstaat in het **vergelijkingsorgaan**. De werkelijke waarde x wordt vergeleken met de gewenste waarde w . Dit gebeurt hier in de hersenen van de persoon. De correctie y aan de kraan is zodanig dat de afwijking wordt tegengewerkt.

4. Eenvoudige centrale verwarming

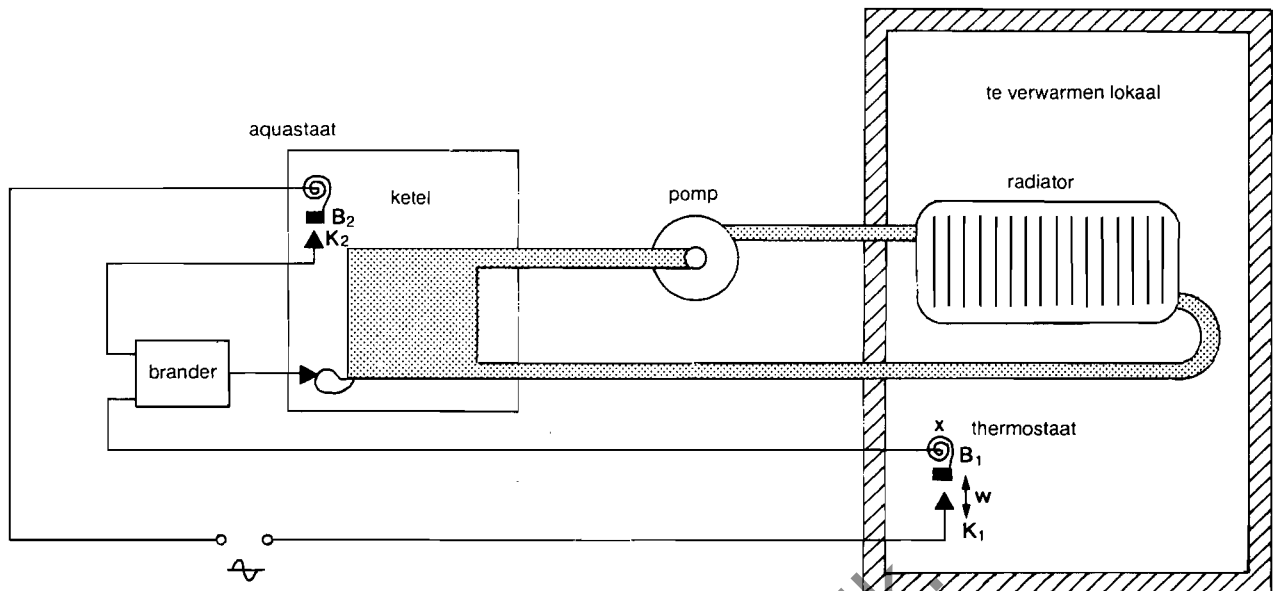


Fig. 1.6 Principe van centrale verwarming

In fig. 1.6 kan men de thermostaat beschouwen als opnemer, vergelijkingsorgaan en versterker. Het vervult de rol van opnemer, omdat het spiraalvormig gewonden bimetaal B1 uitzet of krimpt door de temperatuur. Het contact K1 dat gesloten wordt, kunnen we verder of korter bij het bimetaal B1 plaatsen zodat hiermee de gewenste waarde w wordt ingesteld.

Zodra het contact gesloten is, wordt de ventilator en de hoogspanning tussen de onstelelektroden ingeschakeld, zodat de brander in werking komt en de vloeistof in de ketel opwarmt. De vloeistof wordt via een circulatiepomp naar de radiatoren gestuurd zodat op die manier de warmte-energie verplaatst wordt.

In serie met de thermostaat bevindt zich een zogenaamde aquastaat, een bimetaalcontact B2-K2 dat op de verbrandingsketel geplaatst is. Dit zorgt dat de brander enkel dan kan ingeschakeld worden als de temperatuur van het water tot beneden een bepaalde waarde gekomen is.

Deze temperatuurregeling is een aan-uit regeling waarin we duidelijk de verschillende blokken van een regelsysteem herkennen. Hier wordt ook duidelijk dat in de instrumentatie soms verschillende functies in één onderdeel voorkomen, zoals hier in de thermostaat. Het bimetaaleinde B1 van de thermostaat vormt de opnemer voor de werkelijke waarde, het ander contact K, de instelling van de gewenste waarde w . Het sluiten en openen van het contact B1-K1 kan als een versterkingsfunctie aanzien worden.

Bij het opstarten is het contact B1-K1 van de thermostaat gesloten, het contact B2-K2 van de aquastaat eveneens zodat de brander werkt. Warmte-energie wordt via het water, door de pomp naar de radiatoren gebracht en daar afgegeven. Het afgekoeld water komt terug naar de ketel en wordt weer verwarmd.

Als de temperatuur in het te verwarmen lokaal de gewenste waarde bereikt heeft, schakelt de thermostaat uit en de brander valt af.

Daarna daalt de temperatuur weer zodat de thermostaat sluit, en de brander slaat aan indien de aquastaat dicht staat. Staat de aquastaat open, dan is dit een teken dat het water nog voldoende warm is. Daalt de temperatuur verder dan zal B2-K2 sluiten, de brander slaat aan en de temperatuur van het water stijgt opnieuw.

We herkennen de volgende functies:

1. **Meetsysteem:** het bimetaal van de thermostaat trekt krom in functie van de temperatuur van het lokaal.
2. **Regelaar:** thermostaat is een aan-uit regeling of tweestandenregeling.
3. **Corrigerend orgaan:** radiatoren waarmee de temperatuur in het lokaal tot de gewenste waarde wordt opgevoerd.

5. Centrale verwarming met vierwegskraan

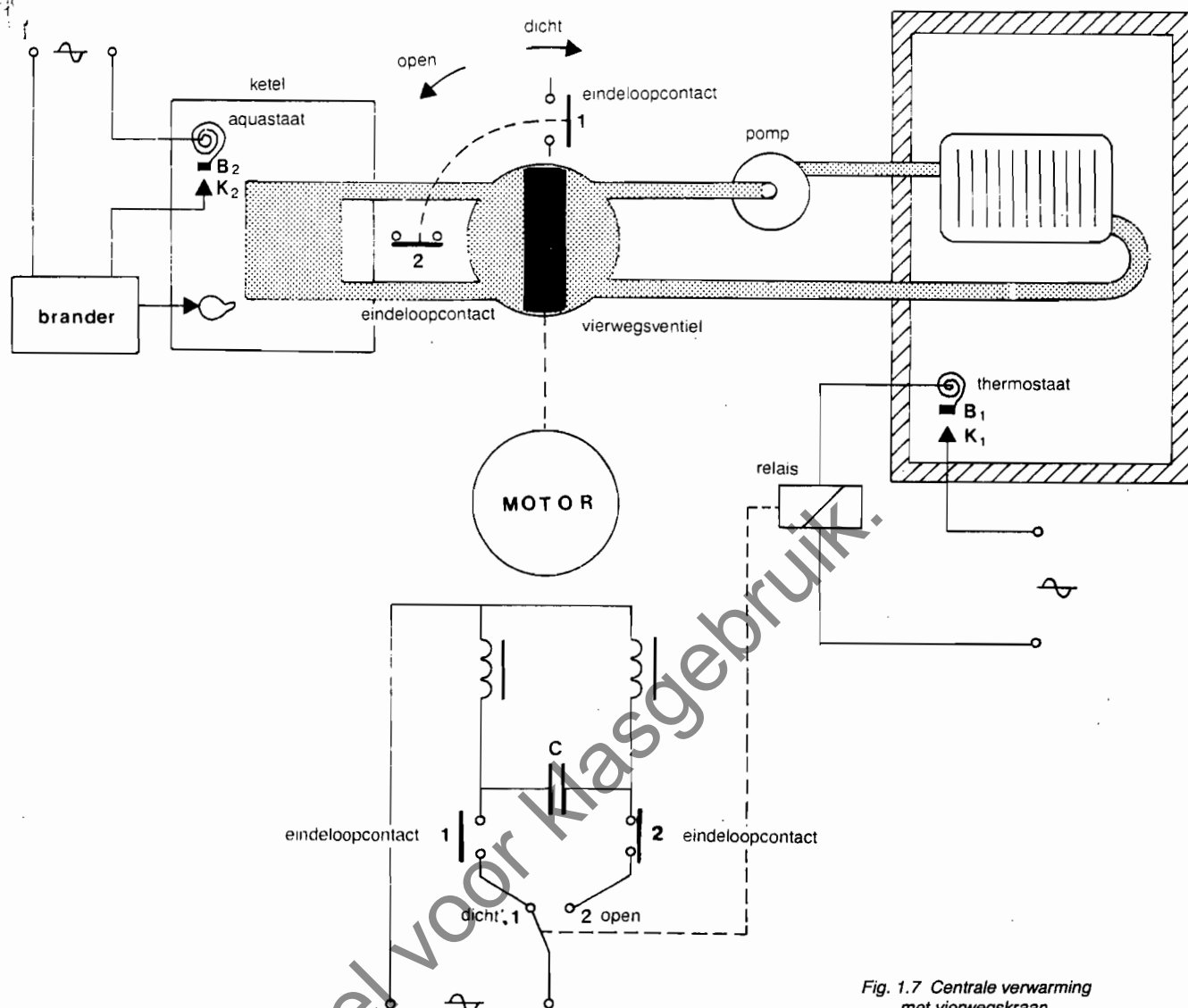


Fig. 1.7 Centrale verwarming met vierwegskraan

Het nadeel van voorgaand systeem is de traagheid van de regelactie. Het water in de ketel kan immers erg afkoelen en als de thermostaat inschakelt om warmte te vragen, is de warmte niet dadelijk voorradig en moet eerst het water nog opgewarmd worden.

In het principe van fig. 1.7 wordt de ketel heel afzonderlijk op temperatuur gehouden. De warmte staat dus dadelijk ter beschikking als er naar gevraagd wordt. Deze warmte wordt doorgelaten naar de radiatoren door een vierwegskraan die open draait als de thermostaat inschakelt.

Is de temperatuur in het lokaal hoog genoeg, dan schakelt de thermostaat uit, het relais valt af en het eindeloopcontact schakelt over naar stand 1 waardoor de motor M het vierwegskraan terug dicht draait. Hierdoor wordt het ketelcircuit links van het ventiel kortgesloten en behoudt het water langer zijn warmte. Aan de andere zijde blijft de pomp het water door de radiatoren sturen.

In de getekende stand is de gewenste temperatuur bereikt, staat de thermostaat open, het vierwegskraan is dicht waardoor het eindeloopcontact 1 open gedruwd is, zodat de motor stilstaat. Eindeloopcontact 2 staat dicht.

Daalt de temperatuur met enkele graden beneden de gewenste waarde, dan schakelt de thermostaat in en wordt het relais bekrachtigd zodat het contact overschakelt naar stand 2. Hierdoor draait de motor het vierwegskraan open en loopt het warme ketelwater opnieuw naar de radiatoren.

We herkennen de volgende functies:

1. **Meetsysteem:** thermostaat;
2. **Versterker, regelaar:** relais en motor, met vierwegskraan;
3. **Corrigerend orgaan:** radiator die warmte naar het lokaal overbrengt.

6. Elektronische aan- uitregelaar

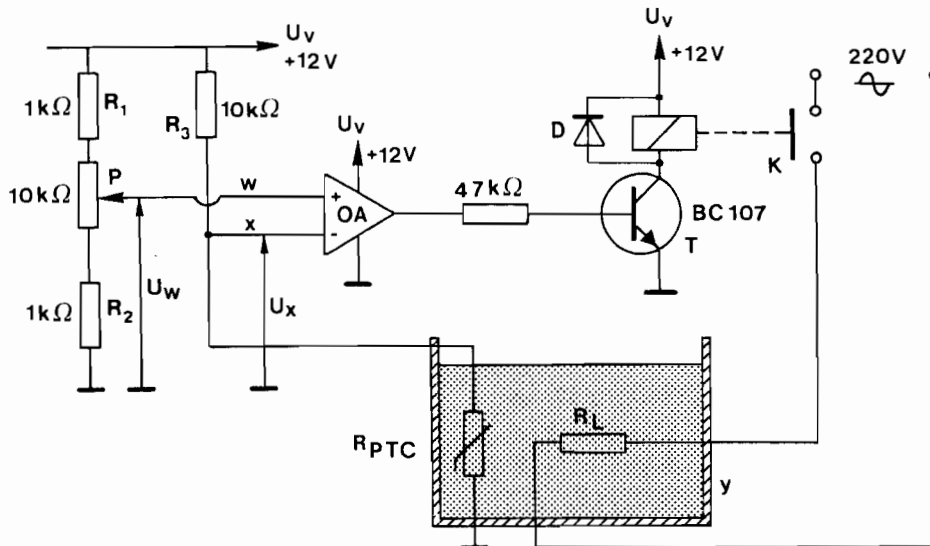


Fig. 1.8 Elektronische aan-uitregelaar

6.1 Beschrijving

Het is de bedoeling om met de schakeling van fig. 1.8 de temperatuur van een vloeistof in een tank constant te houden. Het elektrisch vermogen dat aan de verwarmingsweerstand R_L wordt toegevoerd, kan in- en uitgeschakeld worden door het contact K van het relais. Dit relais wordt in- en uitgeschakeld door het al of niet in geleiding treden van de transistor T. De transistor gaat in geleiding als de uitgang van de operationele versterker (OA) hoog ($\approx +11$ volt) staat. De transistor gaat in sper als de uitgang van de OA laag staat ($\approx +1$ volt). De temperatuur van de vloeistof wordt gemeten door een weerstand met positieve temperatuurcoëfficiënt of ook PTC-weerstand genoemd.

6.2 Stabilisatiewerking

- Met behulp van de spanningsdeler P wordt de gewenste waarde w ingesteld. Bij het starten is de temperatuur van de vloeistof zeer laag. De weerstand van R_{PTC} is laag zodat de spanning x laag is of $w-x$ is groot en positief. Omdat de OA met zijn volledige open-lusversterking wordt gebruikt als comparator, is de uitgang hoog en T treedt in geleiding. Het relais trekt contact K dicht zodat de verwarming ingeschakeld is en de temperatuur T toeneemt.
- Als de temperatuur $T \uparrow$ zal $R_{PTC} \uparrow$ $x \uparrow$ ($w-x$) $\downarrow$ tot $x \geq w$ dan wordt $w-x$ negatief en de comparator klapt om naar een laag niveau. Hierdoor spert T, het relais valt uit zodat K geopend wordt en de verwarming stopt.
- Na een tijd zal: $T \downarrow$ $R_{PTC} \downarrow$ tot $x < w$. Nu wordt $w-x$ positief en de comparator klapt om naar een hoog niveau. de transistor T treedt in geleiding, relais en K zijn ingeschakeld zodat het opwarmen opnieuw begint.

Funcities in de regelkring:

Meetsysteem sensor:	R_{PTC} ,
Vergelijkingsorgaan:	brugschakeling R_1 , P, R_2 en R_3 , R_{PTC} ,
Gewenste waarde:	spanning w ;
Werkelijke waarde:	spanning x ;
Versterker, regelaar:	opamp, transistor en relais;
Corrigerend orgaan:	contact K met verwarmingsweerstand R_L ,
Negatieve terugkoppeling:	zie stabilisatiewerking met "feedback".

7. Servosysteem - volgsysteem

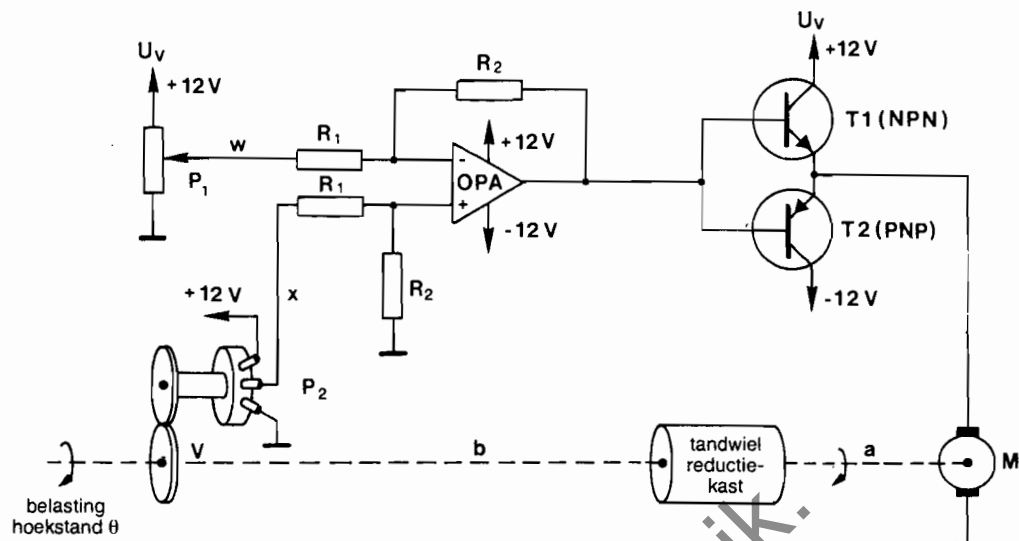


Fig. 1.9 Principe van een volgsysteem

7.1 Beschrijving

Het is de bedoeling de hoekstand van een as, waarop bijvoorbeeld een antenne geplaatst is, steeds gelijk te houden aan een gewenste waarde. Wordt deze laatste veranderd, dan moet de hoekstand van de as onmiddellijk volgen en de nieuwe waarde aannemen.

In fig. 1.9 wordt de as aangedreven door een gelijkstroommotor via een tandwielreductiekast. Dus als as a snel draait, draait as b traag. Transistor T1 laat een positieve spanning door naar de motor, zodat deze bv. rechtsom draait; T2 laat een negatieve spanning door zodat de motor linksom draait.

De hoekpositie van de as b wordt gemeten door de potentiometer P₂.

7.2 Werking

- Als de hoekpositie zodanig is dat $x = w$, dan is $w - x = 0$. De uitgang van de versterker is nul, en beide transistoren zijn gesperd. Er wordt geen spanning naar de motor doorgelaten zodat de motor niet draait.
- We verdraaien P₁ zodat $w > x$. De uitgangsspanning van de versterker wordt negatief, T₂ komt in geleiding, een negatieve spanning komt over de motor, deze draait bv. linksom. De meetpotentiometer P₂ wordt nu zo gekoppeld dat de spanning x stijgt tot $x = w$, waardoor de motor stopt.
- Verdraaien we P₁ zodat $w < x$, dan zal de uitgang van de versterker positief zijn, T₁ komt in geleiding, een positieve spanning komt op de motor, deze draait andersom waardoor x daalt tot $x = w$.
- Besluit: x volgt steeds de waarde van w , tot $x = w$.

Functies in de regelkring:

Meetsysteem of sensor:	spanningsdeler P ₂
Vergelijkingsorganen en versterker:	OA en T ₁ , T ₂
Corrigerend orgaan:	motor M die de antenne aandrijft.

8. Toerentalregeling met gelijkstroommotor

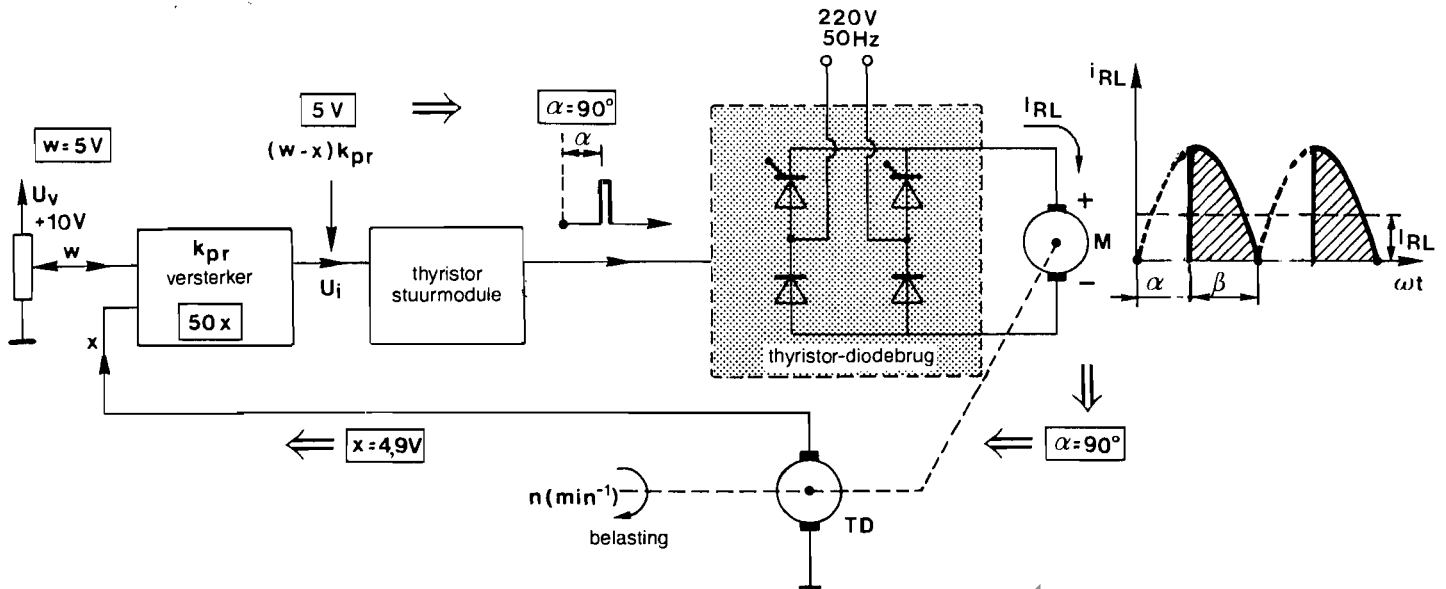


Fig. 1.10 Constant houden van snelheid van DC-motor

8.1 Beschrijving

Het toerental van een draaiende as moet constant gehouden worden. Dit toerental wordt bepaald door de gemiddelde stroom door de motor die afhangt van de ontsteekhoek α van de thyristoren. Deze laatste hangt af van de gelijkspanning U_i die de versterker aan de thyristorstuurmodule afgeeft. De stuurmodule kan bijvoorbeeld als volgt ontworpen zijn:

$$U_i = 0 \text{ V} \Rightarrow \alpha = 180^\circ \Rightarrow I_{RL} = 0$$

$$U_i = 10 \text{ V} \Rightarrow \alpha = 0^\circ \Rightarrow I_{RL} = \text{max.}$$

Het toerental wordt in fig. 1.10 gemeten door een tachometerdynamo TD die op dezelfde as staat als de motor en de belasting. De spanning afgegeven door deze dynamo is recht evenredig met het toerental.

In evenwicht zou zich de volgende situatie kunnen instellen: het gewenste toerental wordt bereikt bij $\alpha = 90$ waarbij $x = 4,9$ volt. Als $w = 5$ volt dan wordt $w - x = 0,1$ volt. Na versterking krijgt de thyristor stuurmodule 5 volt (U_i) waarmee een ontsteekhoek van 90° wordt ingesteld.

8.2 Stabilisatiewerking

a Als de belasting op de as groter wordt, zal het toerental gaan verminderen:

$$\begin{array}{c} n \downarrow \quad x \downarrow \quad w - x \uparrow \quad U_i \uparrow \quad \alpha \downarrow \quad I_{RL} \uparrow \quad n \uparrow \\ \hline \text{neg. terugkoppeling.} \end{array}$$

b Als de belasting kleiner wordt zal het toerental gaan toenemen:

$$\begin{array}{c} n \uparrow \quad x \uparrow \quad w - x \downarrow \quad U_i \downarrow \quad \alpha \uparrow \quad I_{RL} \downarrow \quad n \downarrow \\ \hline \text{neg. terugkoppeling.} \end{array}$$

Functies in de regeling:

Meetsysteem of sensor:

tachodynamo

Vergelijkingsorgaan en versterker, regelaar:

versterker met versterking $50\times$

Corrigerend orgaan:

stuurmodule, thyristorbrug en motor

9. Elektronisch gestuurde temperatuurregeling

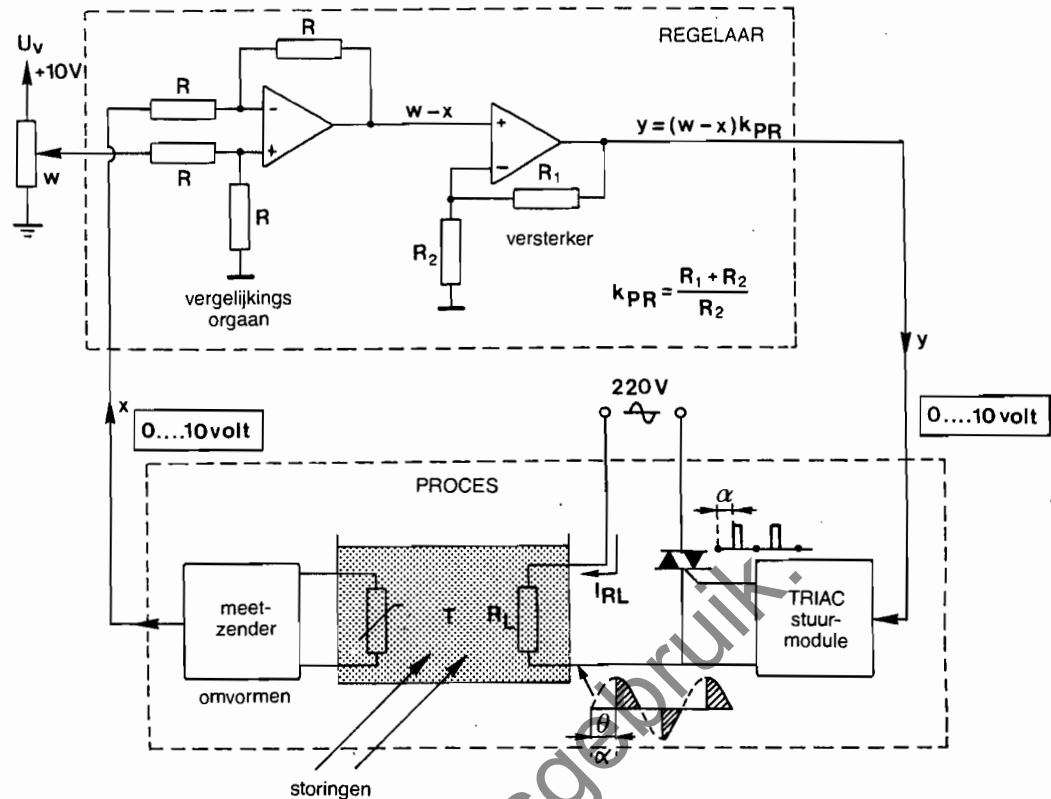


Fig. 1.11 Temperatuurregeling met TRIAC

9.1 Beschrijving

De triacstuurmodule in fig. 1.11 wordt zo gemaakt dat met een spanning van 0 ... 10 volt, de ontsteekhoek α verandert van 180° ... 0° . Hierdoor verandert de toevoer van elektrisch vermogen van 0 naar een bepaalde maximum waarde, bv. 2000 watt. Met $P = 0$ watt komt bijvoorbeeld een temperatuur overeen van $T_1 = 25^\circ\text{C}$ (omgevingstemp.). Met $P = 2000$ watt zou zich bijvoorbeeld een temperatuur van $T_2 = 200^\circ\text{C}$ instellen. Via een NTC- of PTC-weerstand in een brug, gevolgd door een versterking wordt deze temperatuursvariatie omgezet naar 0 ... 10 volt (x). De spanningswaarde van x komt dan overeen met een temperatuur gelegen tussen T_1 en T_2 .

9.2 Werking

De werkelijke waarde $x = 0 \dots 10$ volt, wordt vergeleken met de gewenste waarde $w = 0 \dots 10$ volt. De afwijking $w - x$ wordt versterkt en stuurt dan via de triacstuurmodule het vermogen dat naar de vloeistof gevoerd wordt. Hierdoor stelt zich een x -waarde in, die afgetrokken wordt van de gewenste waarde w . Stel dat onder invloed van storingen de procestemperatuur T daalt omdat bv. de omgevingstemperatuur daalt.

Vandaar: $x \downarrow w - x \uparrow y = (w - x)k_{PR} \uparrow \alpha \downarrow I_{RL} \uparrow T \uparrow x \uparrow$

neg. feedback

Functies in de regelkring:

Het **vergelijkingsorgaan** en de **versterker** noemen we de **regelaar**.

De uitgang y van de regelaar vormt de ingangswaarde van de **procesketen** waarin men de fysische grootheid temperatuur wenst constant te houden. Een **sensor** (NTC- of PTC-weerstand) meet de temperatuur en via een **omvormer of meetzender** wordt de temperatuur naar een hogere spanning omgevormd.

10. Opdrachten

1. Wateruurwerk van Ktesibios. Fig. 1.12

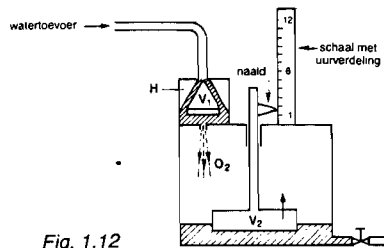


Fig. 1.12

- Welke grootte moet constant blijven, en met welk doel?
- Verklaar de stabilisatiewerking als de watertoevoer stijgt.
- Welke regelfuncties vervult de vlotter?
- Is dit een aan/uit-, of een continue regelaar?

2. Niveauregeling van Heron. Fig. 1.13

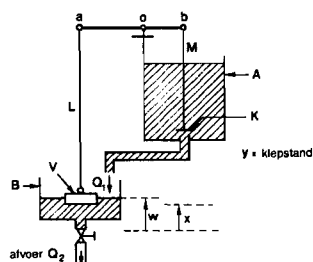


Fig. 1.13

Als de waterafvoer vermindert, dan
de hoogte x , de vlotter, hefboomarm ao
draait, of draait
waardoor de klep Hierdoor zal de
hoogte x terug

Welke onderdelen vervullen de volgende functies:

- meetsysteem:
- regelaar of versterker
de versterking wordt bepaald door:
- corrigerend orgaan:
- negatieve feedback:

3. Niveauregeling door tussenschakelen van persoon. Fig. 1.14

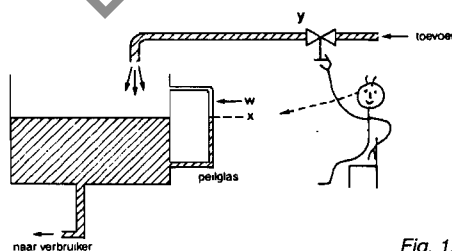


Fig. 1.14

Welke functie wordt door de volgende onderdelen vervuld:

- peilglas:
persoon:
kraan:
hersenen:

4. Teken het schema van een eenvoudige centrale verwarming. Verklaar de stabilisatiewerking. Welke onderdelen vervullen de volgende functies:

- meetsysteem:
regelaar, versterker:
corrigerend orgaan:

5. Centrale verwarming met vierwegskraan. Fig. 1.15.

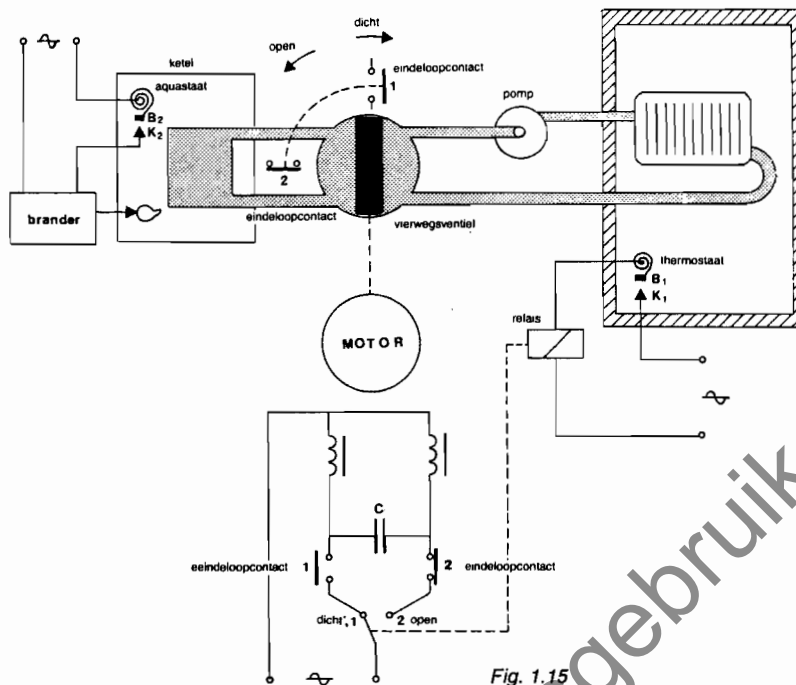


Fig. 1.15

- Welke twee regelkringen zijn in dit schema verwerkt?
- Beschrijf de werking als de temperatuur in het lokaal daalt.
- Is dit een aan/uit-regelaar of een continue regelaar?
- Wat is hier het meetsysteem, de versterker of regelaar, het corrigerend orgaan?

6. Elektronische aan/uit-regeling. Fig. 1.16

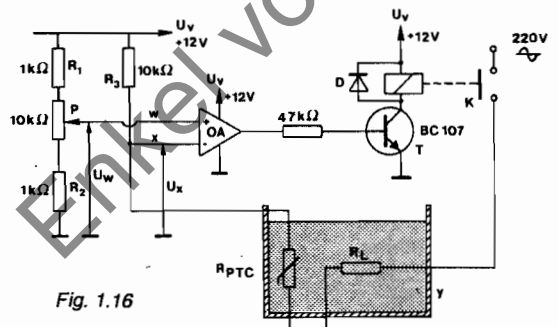


Fig. 1.16

- Beschrijf de toestand van de schakeling als de temperatuur zeer laag is, en de regelkring start.
- Wat gebeurt er als de temperatuur stijgt... en wat als de temperatuur daalt?

c. Geef de functies van:

R_{PTC} : brugschakeling:

de spanning w werkelijke waarde x :

versterker, regelaar:

corrigerend orgaan:

8. Servosysteem, volgsystemen. Fig. 1.17

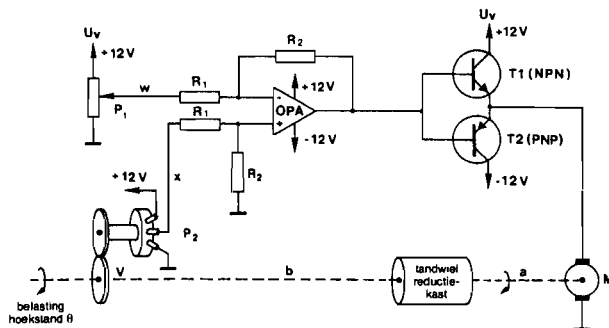


Fig. 1.17

- Beschrijf de toestand als $x = w$.
- Wat gebeurt er als we w zo instellen dat $w > x$?
- Wat gebeurt er als we w zo instellen dat $w < x$?

d. Welke functies vervult:

- de potentiometer P_1 :
- de potentiometer P_2 :

9. Toerentalregeling met gelijkstroommotor. Fig. 1.18

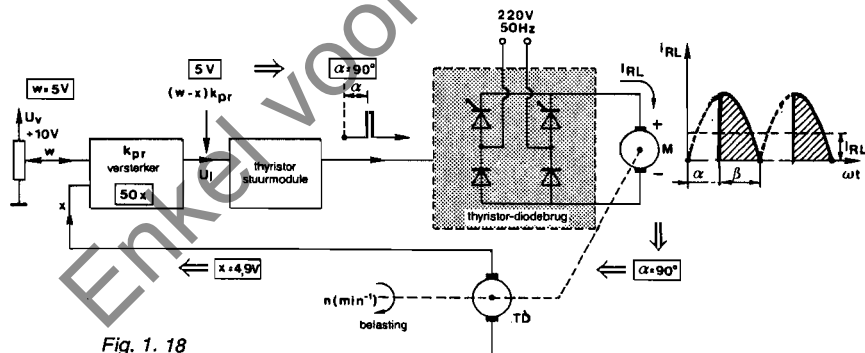


Fig. 1.18

a. Bespreek de stabilisatiewerking als $n \downarrow$

$n \downarrow$, x , $w - x$, U_i , x , I_{RL} , n

b. Geef de functie van:

tachodynamo:

versterker:

stuurmodule, thyristordiodebrug, motor