LUND UNIVERSITY

Reglerteknik -- En elementär introduktion. Kapitel 7: Olinjär koppling av enkla regulatorer

Åström, Karl Johan

1983

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

Link to publication

Citation for published version (APA):
Åström, K. J. (1983). *Reglerteknik -- En elementär introduktion. Kapitel 7: Olinjär koppling av enkla regulatorer*. (Research Reports TFRT-3170). Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology (LTH).

Total number of authors:
1

General rights
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: https://creativecommons.org/licenses/

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

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Download date: 20. Dec. 2025

CODEN:LUTFD2/(TFRT-3170)/1-035/(1983)

REGLERTEKNIK-

en elementär introduktion

Kapitel 7

Olinjär koppling av enkla regulatorer

Karl Johan Åström

INSTITUTIONEN FÖR REGLERTEKNIK
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA, MARS 1983

LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF AUTOMATIC CONTROL
Box 725
S 220 07 Lund 7 Sweden

Document name
REPORT

Date of issue
March 1983

Document number
CODEN:LUTFD2/(TFRT-3170)/1-35/(1983)

Supervisor

Sponsoring organization

Author(s)
K J Åström

Title and subtitle
Reglerteknik - En elementär introduktion. Kapitel 7 - Olinjär koppling av enkla regulatorer. (Control Engineering - An elementary introduction. Chapter 7 - Nonlinear coupling of simple regulators).

Abstract
This is part of an elementary presentation of automatic control theory which was developed in a novel industrial exchange program (FOSAM). The series covers both practical control problems and practical approaches to automatic control in current use. This may serve as a useful summary of engineering practice for theoreticians. The reports may also be of use to industrialists who would like to capture the flavor of the theory of automatic control.

Key words

Classification system and/or index terms (if any)

Supplementary bibliographical information

ISSN and key title

ISBN

Language
Swedish

Number of pages
35

Recipient's notes

Security classification

DOKUMENTDATABLAD RT 3/81

Distribution: The report may be ordered from the Department of Automatic Control or borrowed through the University Library 2, Box 1010, S-221 03 Lund, Sweden, Telex: 33248 lubbis lund.

K A P I T E L 7

O L I N J Ä R K O P P L I N G A V E N K L A R E G U L A T O R E R

Innehåll:

7.1 INLEDNING

7.2 BEGRÄNSARE

7.3 UPPDELAT UTSTYRNINGSOMRÅDE

7.4 KVOTREGLERING

7.5 REGLERING MED VÄLJARE

Principen
Dimensionering av system med väljare
Svårigheter
Tillämpningar

7.6 TILLÄMPNINGSEXEMPEL

Processen
Konstruktionskrav
Regulatorstruktur
Nivåreglering
Temperaturreglering
Flödesreglering
Förregling av utloppsventilen

7.7 OMKOPPLING MELLAN OLIKA REGLERFORMER

Hand-automatik omkoppling
Automatisk reglering över stora arbetsområden
Val av proportionalitetsområde
Styrning och reglering

7.8 SAMMANFATTNING

KAPITEL 7

OLINJÄR KOPPLING AV ENKLA REGULATORER

Ett reglersystems egenskaper kan ofta förbättras genom att utnyttja olinjära effekter. Kombinationer av enkla olinjäriteter med vanliga regulatorer behandlas i detta kapitel.

7.1 INLEDNING

För processer som utsättes för stora störningar och processer som styrs över stora arbetsområden kan linjär reglerverkan vara otillräcklig. I detta kapitel presenteras några metoder för konstruktion av system som fungerar bra över ett stort arbetsområde. De reglerformer som behandlas är väsentligen de klassiska konfigurationerna. Den olinjära reglerverkan erhålles genom att koppla samman enkla linjära regulatorer med enkla olinjära komponenter. De olinjäriteter som används är begränsare, multiplikatorer, väljare och logikkretsar. Regulatorerna byggs vanligen upp med konventionell analog- och digitalteknik. Tillgången på datorer med lämplig programvara gör det mycket lätt att realisera olinjära regulatorer.

Många processer är sådana att det ej är fysikaliskt möjligt att förändra processvariablerna snabbt. Andra processer är sådana att deras säkerhet kräver att processvariablernas ändringshastighet är begränsad. En möjlighet att garantera att processvariabler ej ändras för snabbt är att alla börvärden eller alla styrvariabler kopplas in via begränsare. Begränsaren ser till att signalernas momentana ändringar och deras ändringshastigheter ligger inom givna gränser. Två olika begränsare diskuteras i avsnitt 2.

I samband med diskussionen av PID-regulatorer i kapitel 5 nämndes att en regulator har ett begränsat utstyrningsområde. Regulatorn har linjär verkan endast inom detta område. På samma sätt har ställdonen ett begränsat utstyrningsområde. Detta kan utnyttjas för att på ett enkelt sätt erhålla olinjär reglerverkan. Ett typiskt tillämpningsområde är reglering av en storhet med hjälp av

flera styrvariabler. Temperaturreglering kan t.ex. utföras genom kylning och uppvärmning. I ett sådant fall kan en regulator med uppdelat utstyrningsområde (eng. split range, duplex) användas. Ställdonens utstyrningsområde väljs då mindre än regulatorns utstyrningsområde. Detta diskuteras i avsnitt 3. Kvotregleringen är en speciell reglerform som användes för att se till att två storheter hålles i ett bestämt förhållande till varandra. Denna reglerform behandlas i avsnitt 4.

Det finns fall då processens säkerhet kräver att vissa processvariabler ligger inom givna gränser. Detta kan uppnås genom att reglersystemet kompletteras med väljare. Förutom det vanliga reglerfelet bildas avvikelserna mellan de kritiska processvariablerna och deras gränser. Med hjälp av logiska väljare bestäms sedan det fel som är mest kritiskt. Regleringen baseras sedan på det utvalda reglerfelet. En systematisk metod att bygga upp reglersystem genom en kombination av enkla regulatorer och väljare behandlas i avsnitt 5. Ett tillämpningsexempel diskuteras ytterligare i avsnitt 6.

För processer med stora arbetsområden kan det vara motiverat att ha olika regulatorer för olika delar av arbetsområdet. Dels kan processdynamiken variera så att en regulator ej kan reglera processen tillfredsställande i olika arbetspunkter, dels kan det vara motiverat att använda olinjär reglering vid stora omställningar. Om olika reglerformer används måste man finna regler för omkoppling mellan de olika reglerformerna. Detta diskuteras i avsnitt 7.

7.2 BEGRÄNSARE

För system där signalerna kan bli stora är det ofta nödvändigt att begränsa signalerna på olika sätt. En enkel amplitudbegränsare visas i fig. 7.1. Begränsarens funktion kan beskrivas med

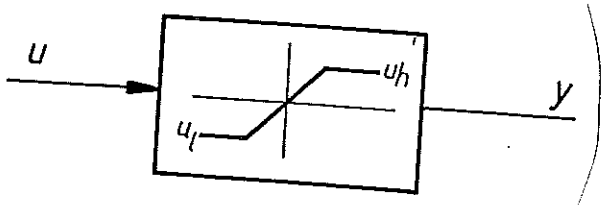
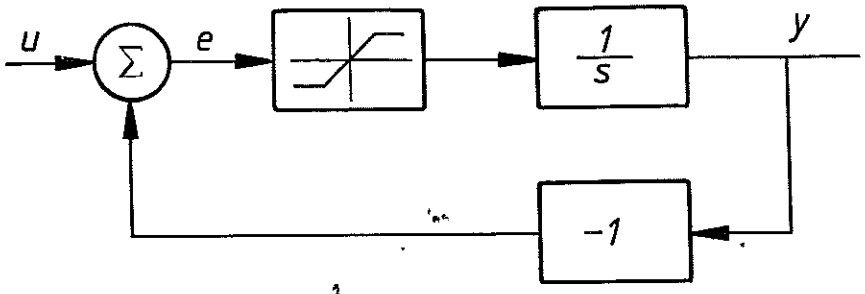


Fig. 7.1 - Blockschema för en enkel amplitudbegränsare.

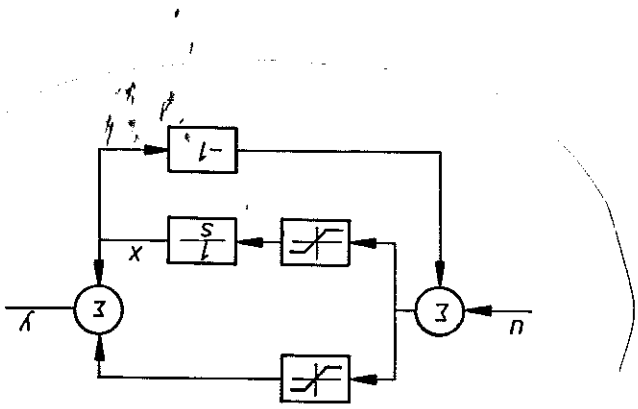
$$y = \begin{cases} u_\ell & \text{om } u \le u_\ell \\ u & \text{om } u_\ell < u < u_h \\ u_h & \text{om } u \ge u_h . \end{cases}$$

Ett system som garanterar att utsignalens ändringshastighet är begränsad visas i fig. 7.2. Systemet i fig. 7.2 är en enkel sluten krets, som kallas <u>rampdon</u> eller <u>rampbegränsare</u>. Utsignalen försöker att följa insignalen. Eftersom det finns integralverkan i systemet, blir in- och utsignaler lika i stationärt tillstånd. Vidare ser vi att utsignalen genereras av en integrator med begränsad insignal. Utsignalens ändringshastighet blir då begränsad till de gränser som sätts av begränsningskretsen.

I fig. 7.3 visas ett system som kallas <u>steg- och rampbegränsare</u>. Denna krets fungerar så att utsignalen är lika med insignalen vid små ändringar. Vid stora ändringar



<u>Fig. 7.2</u> - Blockschema för ett rampdon.



<u>Fig. 7.3</u> - Blockschema för steg- och rampbegränsare.

följer utsignalen-insignalen med begränsad ändrings-hastighet.

Det följer av fig. 7.3 att kretsen beskrivs av följande ekvationer

$$y = x + sat(u-x)$$

$$\frac{dx}{dt} = sat(u-x)$$

där funktionen sat definieras som

$$sat(x) = \begin{cases} -a & x \leq -a \\ x & |x| < a \\ a & x \geq a \end{cases}$$

Om $|u-x| \leq a$ gäller att $y = u$ och om $u \geq x+a$ gäller att $\dot{x} = a$, dvs. $y = a+at$. Utsignalen närmar sig således insignalen med konstant hastighet a.

7.3 UPPDELAT UTSTYRNINGSOMRÅDE

Det förekommer att flera styrorgan används för att reglera en enda storhet. I sådana fall används ofta en regulator med uppdelat utstyrningsområde. På engelska kallas detta <u>split-range</u> eller <u>duplex</u>. Principen illustreras med ett exempel.

E x e m p e l 7.1 (Värmning och kylning)
En schematisk bild på ett system för temperaturregleringen visas i fig. 7.4 Om temperaturen i badet är för låg tillförs värme genom att öka ångflödet. Om badets temperatur är för hög bortförs värme genom att öka kallvattenflödet i kylslingan. Om regulatorns utsignal ligger i intervallet 0-1 ställs ventilernas utstyrningsområde in såsom indikerats i fig. 7.5. I intervallet (0, 0.5) är kallvattenventilen helt stängd och ångventilen styrs av regulatorn. I intervallet (0.5, 1) är ångventilen helt stängd och regulatorn påverkar endast kallvattenventilen.

□

Reglering med uppdelat utstyrningsområde är vanlig i klimatreglersystem, där det finns ett uppvärmningsbehov på vintern och ett kylbehov på sommaren. Andra fall där

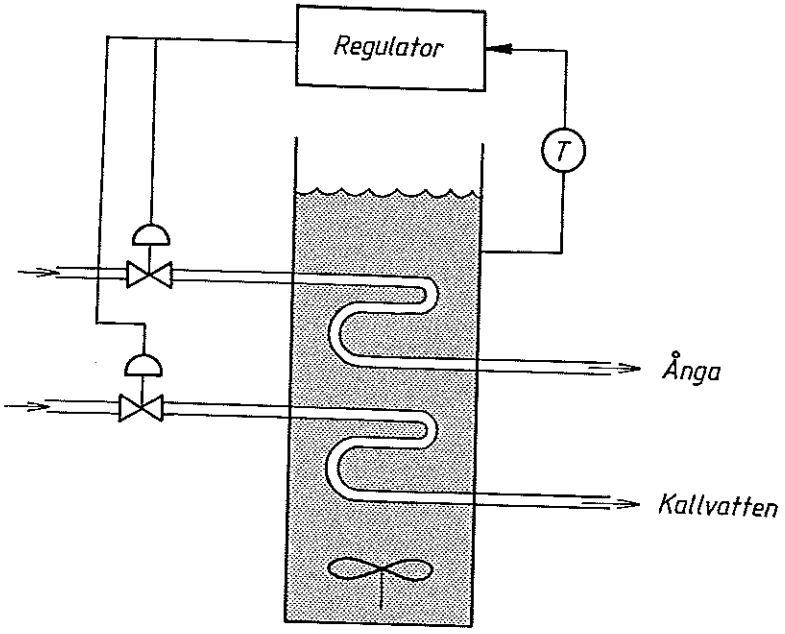


Fig. 7.4 - Reglering med uppdelat utstyrningsområde.

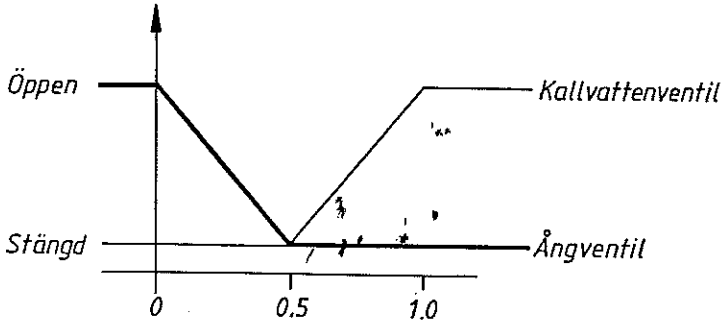


Fig. 7.5 - Illustrerar hur regulatorns utstyrningsområde uppdelats.

uppdelat utstyrningsområde används är när en variabel skall regleras över ett mycket stort variationsområde. En vanlig ventil kan ge flödesvariationer på ca 1:100. Om flödet skall varieras i förhållandet $1:10^4$ kan flödet delas upp i två delflöden som regleras med varsin ventil. Det är också möjligt att ha reglering där utstyrningsområdet är uppdelat på fler än två områden.

I enkla processreglersystem används ofta en regulator med samma inställningar för båda styrorganen. Det finns också speciella regulatorer för uppdelat utstyrningsområde, som har olika regulatorinställningar för de olika styrorganen. I vissa fall kan utstyrningsområdena också överlappa. Vid datorreglering är det lätt att använda olika reglerformer för de olika utstyrningsområdena.

Omkopplingen mellan de olika styrorganen är en svårighet vid reglering med uppdelat utstyrningsområde. Systemen kan lätt fås att svänga i närheten av omkopplingspunkten där det ena styrorganet stänger och det andra börjar öppna.

7.4 KVOTREGLERING

Vid reglering av blandningsförlopp är det vanligt att man önskar blanda två medier i givna proportioner. En regulator som åstadkommer detta kallas kvotregulator. Ett blockschema för kvotregulatorn visas i fig. 7.6. Kvotregulatorn har två insignaler, den vanliga mätsignalen y och kvotsignalen y_k. I-regulatorn i fig. 7.6a divideras först y med y_k sedan används en vanlig regulator. Denna koppling är olämplig om y_k kan bli liten. Med kopplingen i fig. 7.6b bildas kvoten genom återkoppling. Felsignalen e bildas som

$$e = ay_k - y \tag{7.1}$$

där kvoten a kan ställas in. Utsignalen genereras från felet med en vanlig reglerfunktion av typ PI eller PID. Om felsignalen är noll så gäller enligt ekvation (7.1) att

$$y/y_k = a. \tag{7.2}$$

Kvoten mellan den styrda signalen y och kvotsignalen y_k är alltså konstant vilket förklarar namnet kvotregulatorn.

Användning av kvotregulatorn belyses med ett exempel.

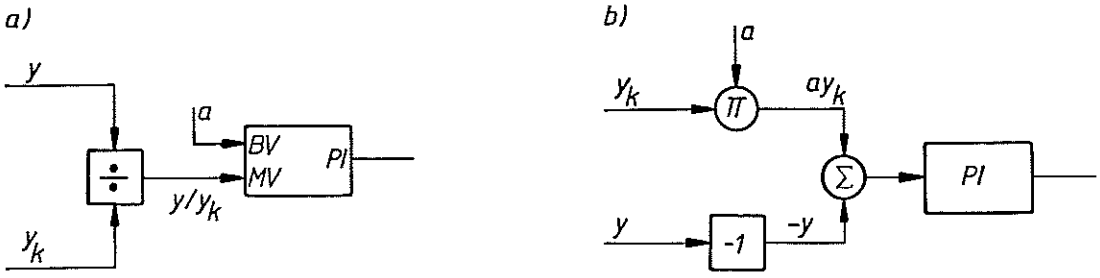


Fig. 7.6 - Blockschema för kvotregulator. Cirkeln med ett Π betecknar multiplikation. Symbolen $\frac{\cdot}{\cdot}$ betecknar division.

E x e m p e l 7.2 (Bränsle-luft-reglering)
Vid pannreglering är det önskvärt med ett bestämt förhållande mellan bränsle (olja) och luft. En vanlig koppling för att åstadkomma detta visas i fig. 7.7. Olje- och luftkretsarna är försedda med en vanlig flödesreglering. Oljeflödet regleras med en vanlig PI-regulator. Luftflödet regleras med en kvotregulator där kvotsignalen utgörs av oljeflödet. Kvotregulatorn i fig. 7.7 har också en förfining i form av en förspänning (bias) som ser till att det finns ett luftflöde även om det inte är något oljeflöde. Detta medför att sambandet mellan olje- och luftflödena har den karakteristik som visas i fig. 7.8. Detta samband erhålles genom att utgå från att reglerfelet

$$e = aq_o + b - q_\ell . \qquad (7.3)$$

I uttrycket (7.3) betecknar q_o oljeflödet och q_ℓ luftflödet.

□

Kvotregulatorn kan lätt byggas upp genom att kombinera en vanlig PI- eller PID-regulator med summatorer och multiplikatorer. Genom att reglerfunktionen är så vanlig byggs reglerfunktionerna ofta ihop till en enhet. I moderna DDC - paket kan regulatorer ofta kopplas om från vanlig PI verkan till kvotverkan.

7.5 REGLERING MED VÄLJARE

Det finns fall då ett styrorgan används för att reglera flera olika storheter beroende på processens drifttillstånd. Ett system som uppfyller detta krav kan realiseras genom att mätsignaler som representerar de olika storheterna sänds

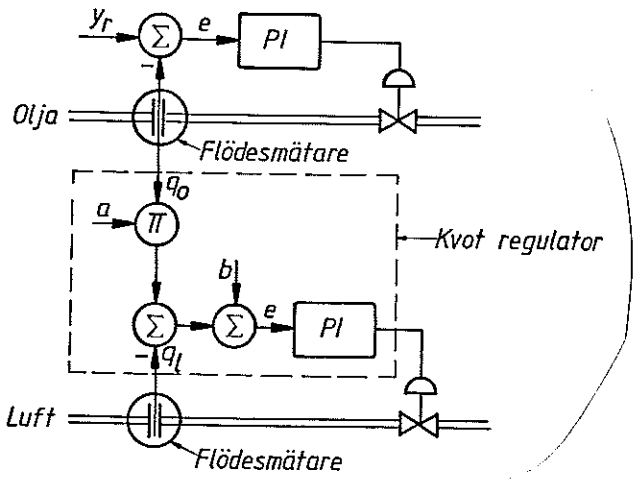


Fig. 7.7 - Schematisk bild av en bränsleluft regulator.

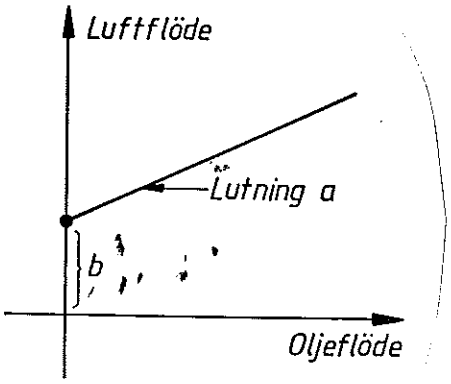


Fig. 7.8 - Samband mellan olje- och luftflöden för reglersystemet i fig. 7.7.

till en väljare. I denna väljs en signal efter något kriterium. Den utvalda signalen går sedan till regulatorn. Reglering med väljare kan betraktas som omvändningen till reglering med variabelt utstyrningsområde. Vid reglering med uppdelat utstyrningsområde finns en mätsignal och många ställdon. Vid reglering med väljare har man flera mätsignaler men endast ett ställdon. Reglering med väljare kallas på engelska för "control with (auto) selectors".

Principen

Vid mer komplicerade regleringar är det vanligt med begränsningar på många processvariabler. Det kan t.ex. av säkerhetsskäl vara nödvändigt att garantera att vissa processvariabler ligger inom givna gränser under reglerförloppet. Problemet är särskilt markant under start och stopp; vid stora störningar och vid stora börvärdesändringar. I sådana fall är linjära regulatorer ej tillräckliga. En relativt enkel metod att klara av problemen är att utnyttja kombinationer av enkla regulatorer och max- och minväljare. Principen illustreras med blockschemat i fig. 7.9. Signalen y är den primärt styrda variabeln. För att garantera säker drift av processen krävs att den interna

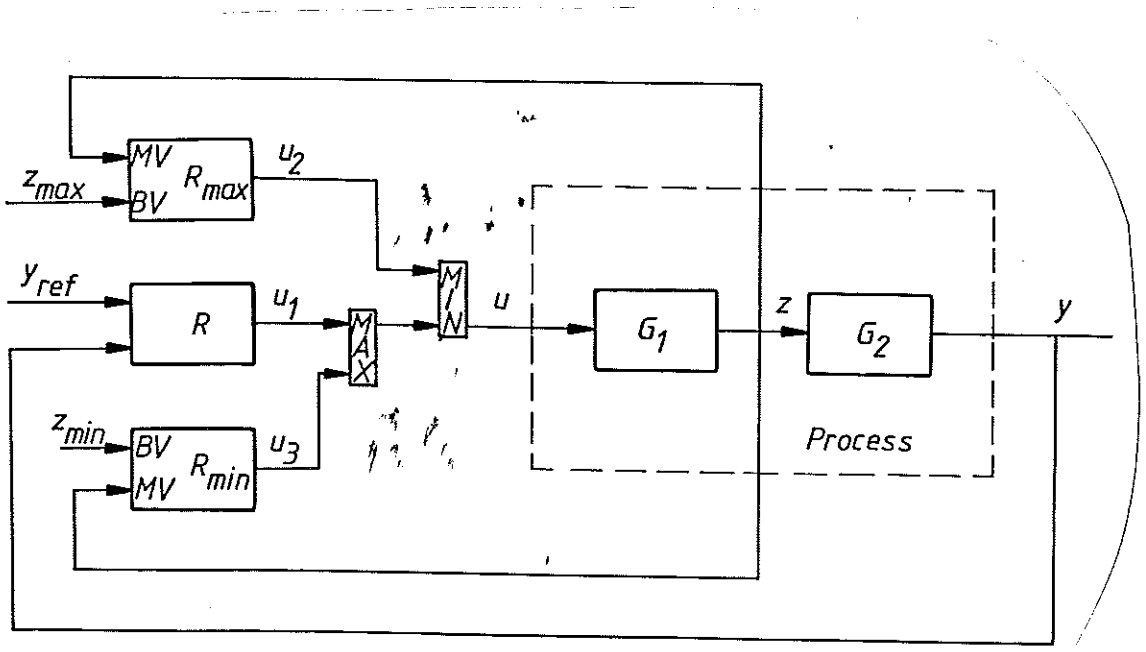


Fig. 7.9 - Exempel på reglering med hjälp av enkla regulatorer och väljare.

processvariabeln z ligger mellan gränserna z_{min} och z_{max}. Det förutsätts att signalerna z och y kan mätas. Regulatorn R är en enkel regulator som har valts så att bra reglering erhålls under normala betingelser. Regulatorerna R_{min} och R_{max} kan vara vanliga proportionella regulatorer.

Under normala betingelser är reglerfelet u_1 i närheten av noll. Om processvariabeln z ligger över gränsen z_{min} är signalen u_3 negativ. Maxväljaren ger då u_1 som utsignal. På samma sätt ger minväljaren u_1 som utsignal om signalen z är mindre än z_{max}.

Vid stora referensvärdesändringar eller vid stora störningar kan processvariabeln z hamna utanför de tillåtna gränserna. Genom väljarna kopplas då regulatorn R_{max} eller R_{min} in och övertar kommandot. Antag t.ex. att processvariabeln z överstiger maximalvärdet z_{max}. Signalen u_3 får då ett stort negativt värde. Maxväljaren väljer u_1. Signalen u_2 blir emellertid också negativ och minväljaren väljer därför u_2. Regulatorn R_{max} övertar således regleringen och styr så att reglerfelet $|z-z_{max}|$ blir litet. Signalen z drivs därför mot maxgränsen z_{max}.

Användning av reglering med väljare belyses med några exempel.

E x e m p e l 7.3 (Temperaturreglering i rum)
Systemet i fig. 7.10 är ett standardsystem för temperaturreglering i ett rum. Kall luft passerar en vatten-luft värmeväxlare och pumpas in i en lokal. Luftens temperatur mätes i tilluftskanalen och i rummet. Rumstemperaturen är den primärt reglerade variabeln. Den styr varmvattenflödet i värmeväxlaren. För att undvika att vattnet fryser i värmeväxlaren mätes lufttemperaturen i tilluftskanalen. Signalen matas till regulatorn via en maxväljare. Om temperaturen understiger T_{min} kopplas regleringen om så att lufttemperaturen styrs mot T_{min}. Om T_{min} väljes lämpligt så fryser vattnet ej.

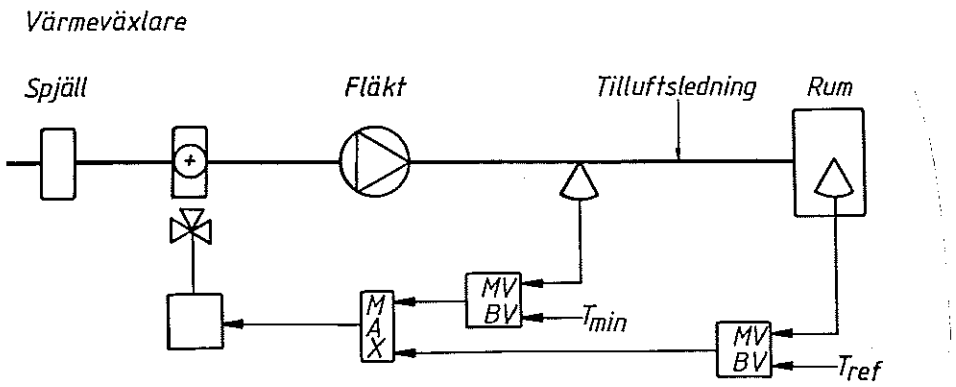


Fig. 7.10 - Schematisk bild av standardsystem för temperatur reglering i ett rum. En väljare används för att se till att temperaturen i tilluften ej blir för låg.

I system för temperaturreglering finns ofta en ytterligare säkerhetsmekanism genom att lufttemperaturen omedelbart efter värmeväxlaren mätes. Om denna temperatur är för låg stängs fläkten och spjället.

□

Det är möjligt att utvidga systemet i fig. 7.9 till det fall då det finns många begränsningar genom att införa fler väljare och fler begränsningsregulatorer.

E x e m p e l 7.4 (Förbättrad bränsle-luft reglering)
Bränsle-luft reglering diskuterades i Exempel 7.2. Kvotregleringen i fig. 7.7 har två nackdelar. Vid en ökning av pådraget kan ett luftunderskott uppstå ty börvärdet till luftregulatorn ökar först när oljeregulatorn reagerat så att oljeflödet ökat. Systemet kan inte heller kompensera för en störning i luftkanalen. En förbättrad regulator som utnyttjar väljare visas i fig. 7.11. Referensvärdet för luftregulatorn är det största av pådraget och oljeflödet. Detta innebär att luftflödet reagerar snabbt på en ökning av pådraget. Referensvärdet till oljeregulatorn är det minsta av pådraget och luftflödet.

□

Dimensionering av system med väljare

Det finns inga generella metoder för att dimensionera system med väljare. Det är väsentligen två problem som måste lösas. Först måste systemets struktur, dvs mätvariabler, styrvariabler och deras koppling bestämmas. Sedan skall de olika

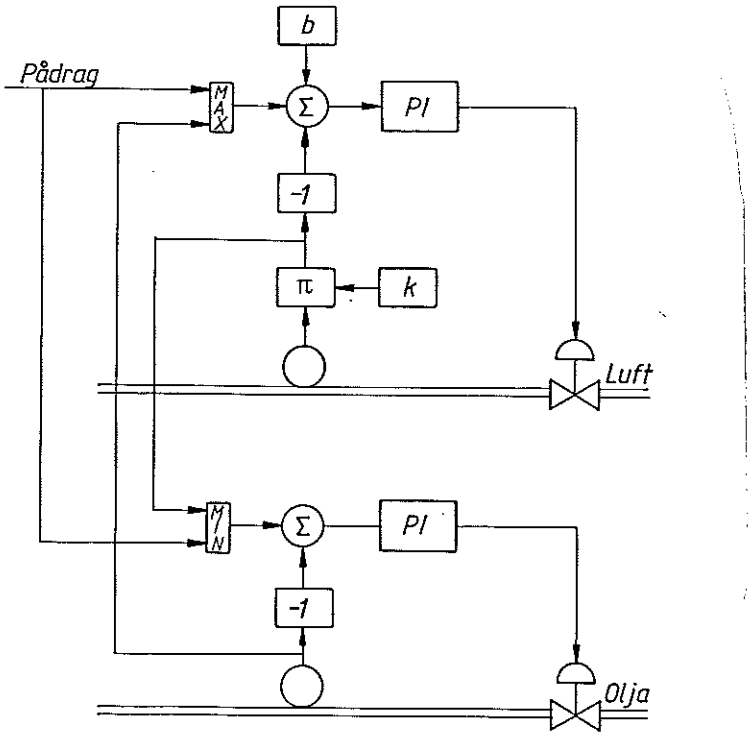


Fig. 7.11 - Bränsle-luft regulator med väljare.

regulatorerna och deras parametrar bestämmas. Det system som visas i fig. 7.9 har endast en styrvariabel. Det första krav som måste ställas är att styrsignalen påverkar utsignalen och de signaler som beskriver processens begränsningar. Den regulator R som reglerar systemet under normala betingelser väljs och dimensioneras t.ex. som en PID-regulator med de metoder som angavs i kapitel 5. Regulatorerna R_{min} och R_{max} som sköter regleringen i närheten av begränsningarna väljs vanligen som P- eller PD-regulatorer. Man bör undvika att ha integralverkan i dessa regulatorer. Om integralverkan införs måste man se till att integralernas värden blir riktiga vid omkopplingarna.

Svårigheter

Det är svårt att analytiskt garantera att den önskade jämviktslösningen är stabil då väljare används. Det är endast mycket enkla system som kan analyseras. Simulering och prov får därför utnyttjas för att verifiera systemens funktion. Det finns exempel på att system med väljare kan ha instabila lösningar. För mer komplicerade system kan det

vara svårt att prova alla driftfall. Det finns ansatser till dimensioneringsmetoder, men det finns tyvärr inga säkra metoder som garanterar stabilitet. Trots detta är system med väljare vanliga.

Tillämpningar

Reglering med väljare är vanlig för att åstadkomma säker drift av ett system under olika driftbetingelser, speciellt i sådana fall då den reglerade variabeln har ett stort utstyrningsområde. Tekniken används också då det finns stora störningar. Väljare används ofta inom kraftindustrin, för reglering av ångpannor, kraftsystem och kärnkraftverk. En fördel med systemen är att komplicerade olinjära regulatorer förverkligas med hjälp av enkla komponenter som P-, PD- och PID- regulatorer och väljare. Många tillverkare av regulatorer har väljare som en standardkomponent.

De reglerformer som erhålls då enkla regulatorer kopplas ihop med väljare är ett specialfall av olinjära regulatorer. Regulatorerna kan också betraktas som ett specialfall av koppling mellan reglering och automatik. Tidigare var automatik och reglering helt skilda åt av apparattekniska skäl. Utvecklingen av elektroniken har medfört ett närmande av automatik- och reglerfunktionerna. Det är numera vanligt att styrfunktionerna förverkligas med programmerbar logik som även innehåller enkla reglerfunktioner. Det är också vanligt att reglersystem förses med funktioner för logikstyrning och sekvensstyrning. Det är lätt att kombinera regler- och automatikfunktioner för ett system som förverkligas med hjälp av en dator.

7.6 TILLÄMPNINGSEXEMPEL

Det är mycket vanligt att större reglersystem byggs upp genom att kombinera enkla regulatorer och olinjäriteter. Några enkla kombinationer har diskuterats i kapitel 6 och i tidigare avsnitt i detta kapitel. För att ge en bättre känsla för industriell praxis skall ett större tillämpningsexempel behandlas.

Processen

En schematisk bild av processen visas i fig. 7.12. Processen är en kemisk reaktor. I reaktorn blandas två substanser A och B. Dessa reagerar med varandra i en kemisk reaktion, och en produkt bildas. Reaktionen är exoterm dvs. den genererar

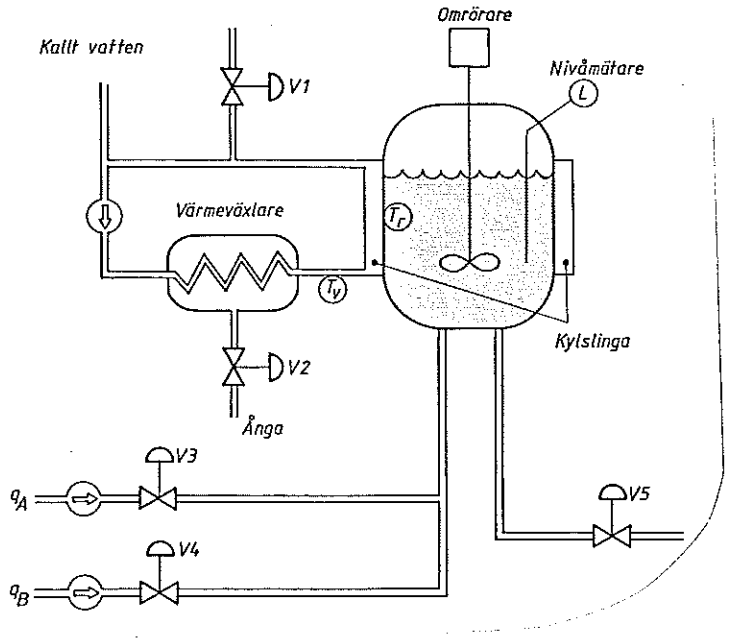


Fig. 7.12. - Schematisk bild av kemisk reaktor.

värme. Värmet bortförs genom vatten som cirkulerar i en kylslinga runt reaktorn. Reaktionen är snabb. Jämvikt uppnås efter en tid som är kortare än genomströmningstiden i reaktorn. Flödet q_A är betydligt större än flödet q_B. Utbytet vid reaktionen och värmegenereringen är proportionella mot flödet q_B.

En statisk modell är till god hjälp för att förstå reglerproblem. I fig. 7.13 visas utbytet och värmegenereringen som funktion av temperaturen.

Det framgår av figuren att reaktorn har två jämviktspunkter P och Q. Punkten P motsvarar ett instabilt jämviktsläge. Om processen befinner sig i P och temperaturen ökar så genererar reaktionen mer värme än vad som kan bortföras genom kylslingan. Temperaturen kommer då att stiga. Materialet kan förstöras om temperaturen blir för hög. Reaktorn kan också explodera. Om temperaturen sjunker så är den genererade effekten mindre än kyleffekten, temperaturen sjunker ytterligare och reaktionen avbrytes. Man brukar säga att reaktorn "fryser". Frysningen börjar intill kärlväggen. Om frysningen väl har startat, så ökar det frysta lagrets tjocklek snabbt och reaktorn måste stängas av.

Driften av exotermiska reaktorer har vissa risker. Reaktorn kan explodera om temperaturen blir för hög. För att minska konsekvensen av explosioner är reaktorerna därför placerade i speciella byggnader, väl avskilda från operatörer. På grund av explosionsrisken vill man inte heller experimentera med inställning av regulatorerna. Det är istället önskvärt att på förhand beräkna lämpliga inställningar och verifiera

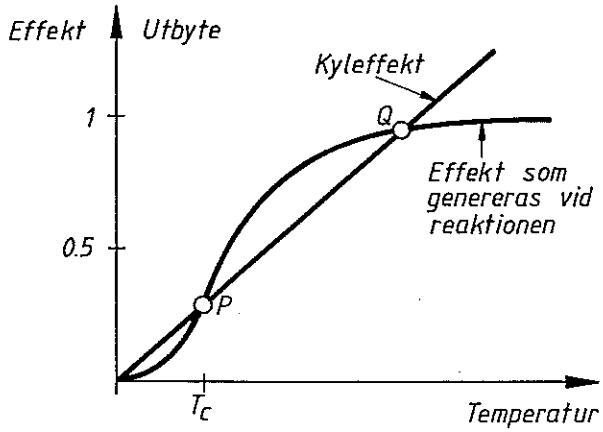


Fig. 7.13. - Statisk processmodell för exoterm reaktor.

att regulatorerna är korrekt inställda innan anläggningen startas.

Konstruktionskrav

Säkerhet är ett övergripande krav för styrsystemet. Det är viktigt att se till att reaktortemperaturen ej blir för hög. Vidare är det viktigt att se till att driftstörningar som förlust av kylflöde, flöde q_A, flöde q_B eller omrörning ej leder till explosion. Det är också önskvärt att reaktorn opererar effektivt. Detta innebär att frysning måste undvikas. Det är dessutom önskvärt att utbytet hålles högt.

På grund av riskerna är det nödvändigt att automatisera såväl start och stopp som den normala driften. Det är önskvärt att undvika manuell reglering. Operatören kan ställa in två variabler, reaktorns temperatur och kvoten mellan flödena q_B och q_A. Utbytet vid reaktionen och produktkvaliteten kan påverkas genom dessa variabler.

Regulatorstruktur

I reaktorn finns 5 ventiler, som påverkar kylvattnets temperatur (V1 och V2), inflödet till reaktorn (V3 och V4) och utflödet från reaktorn (V5). I den speciella tillämpningen styrs utflödet av efterföljande processteg. Det finns således 4 styrvariabler. Vidare finns det 5 mätsignaler, reaktorns temperatur T_r, nivån L i reaktortanken, kylvattentemperaturen T_v och flödena q_A och q_B. Processens egenskaper ger en naturlig strukturering av

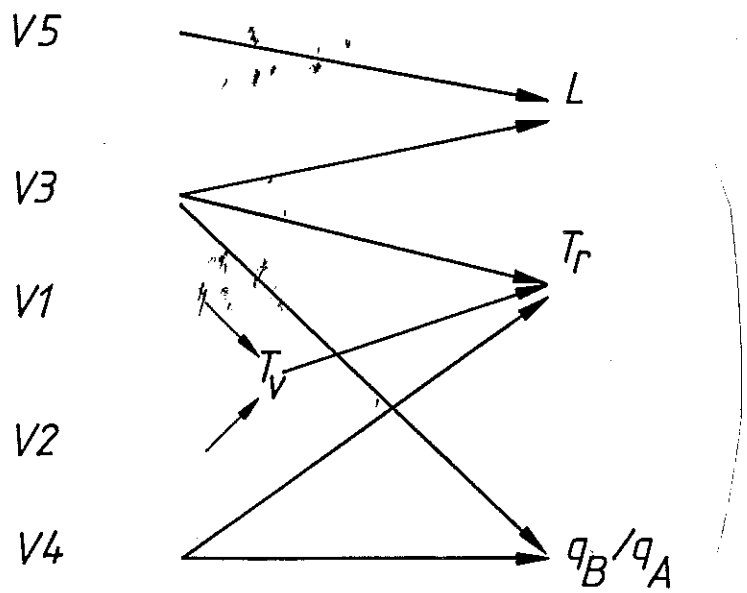
reglersystemet. En massbalans för materialet i reaktortanken visar att vätskenivån väsentligen påverkas av flödet q_A och den begärda produktionen. Det följer av reaktionens stökiometri att flödena q_B och q_A bör stå i ett givet förhållande till varandra för att råmaterialen skall utnyttjas effektivt. En energibalans visar att reaktorns temperatur väsentligen påverkas av vattentemperaturen i kylslingan och flödena q_A och q_B. Vattentemperaturen påverkas av inställningen av ventilen V1 som reglerar vattenflödet och ångventilen V2. Detta resonemang leder till diagrammet i fig. 7.14 som visar kausalitetssambanden för processen. Ventilen V5 kan betraktas som en störning eftersom den styrs av efterföljande processteg. Det framgår av fig. 7.14 att det finns tre naturliga reglerkretsar

<u>Nivåreglering</u>: Styrning av tanknivån med ventilen V3.

<u>Temperaturreglering</u>: Styrning av reaktorns temperatur med ventilerna V1 och V2.

<u>Blandningsreglering</u>: Styrning av förhållandet q_B/q_A med ventilen V4.

Dessa olika reglerkretsar skall nu diskuteras i detalj.



<u>Fig. 7.14.</u> - Kausalitetsdiagram för processvariablerna.

Nivåreglering

Blockschemat för nivåregleringen visas i fig. 7.15. Den primära funktionen är en proportionell återkoppling från nivån L till flödet q_A (ventilen V3). Reaktionskärlet utnyttjas normalt för att utjämna skillnader mellan faktisk produktion och begärd produktion. Under normala betingelser skall nivån i tanken således variera. Rimliga gränser är att nivån skall ligga mellan 50 % och 100 % . Om regulatorns proportionalitetsband väljes till 50 % så är reglerventilen helt stängd då tanken är full och helt öppen då tanken är halvfull. Reglerkretsen innehåller också två väljare för att se till att vissa begränsningar är uppfyllda. Eftersom värme bildas vid reaktionen är det viktigt att se till att det genererade värmet ej överstiger det värme som kan kylas bort. Flödet begränsas därför av temperaturen T_r i reaktortanken och också av temperaturen T_v i kylvattnet. Vid start av reaktorn hålles nivån vid den undre gränsen tills kylvattnets temperatur blivit tillräckligt hög. Detta kan ordnas med en kombination av begränsare, multiplikator och maxväljare som framgår av fig. 7.15.

Temperaturreglering

Fig. 7.16 visar blockschemat för reglering av reaktorns temperatur. Eftersom den kemiska reaktionen är snabb i förhållande till temperatur och flödesdynamiken kan reaktorn ur reglerteknisk synpunkt betraktas som en värmeväxlare. Under vanliga driftbetingelser regleras temperaturen genom

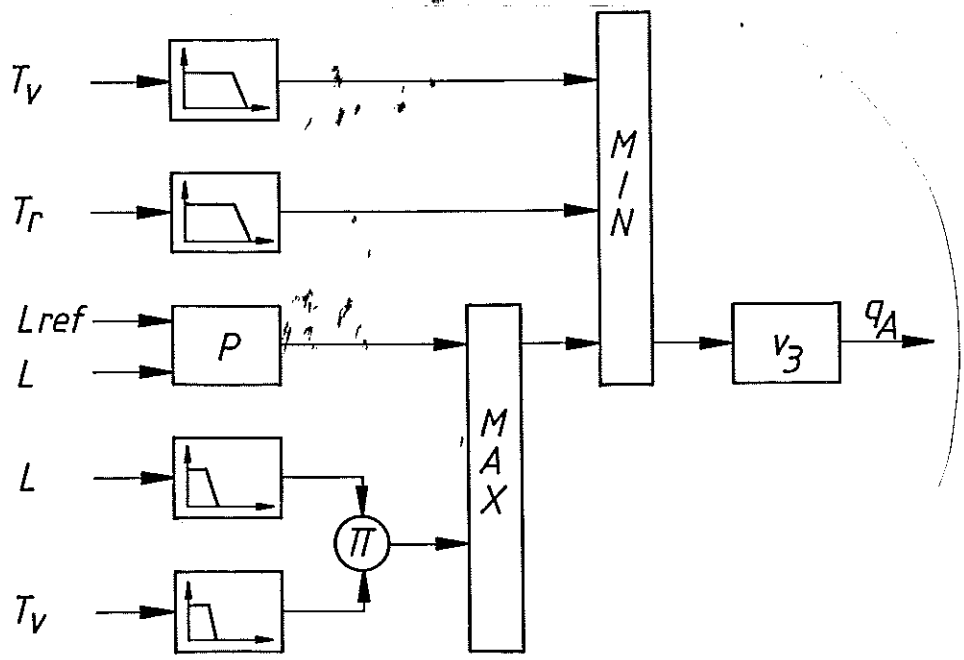


Fig. 7.15. - Blockschema för nivåreglering i reaktortanken.

att styra kylflödet via ventilen V1. Den primära reglerfunktionen är en återkoppling från temperaturen till ventilerna V1 och V2. Börvärdet i reglerkretsen kan ställas manuellt.

Överföringsfunktionen från kylflöde till reaktortemperatur kan approximativt beskrivas med

$$G(s) = \frac{k_p}{(1+sT_1)\ (1+sT_2)}. \qquad (7.4)$$

Tidskonstanterna kan i ett typiskt fall ha storlekarna T_1=300 s och T_2=50 s. Följande överslagsräkning ger ungefärliga värden på regulatorparametrarna. En proportionell reglering med förstärkningen K ger kretsöverföringen

$$G_0(s) = \frac{K\ k_p}{(1+sT_1)\ (1+sT_2)}. \qquad (7.5)$$

Det slutna systemet har överföringsfunktion

$$G(s) = \frac{G_0(s)}{1+G_0(s)} = \frac{K\ k_p}{(1+sT_1)\ (1+sT_2) + Kk_p}.$$

Den karakteristiska ekvationen blir

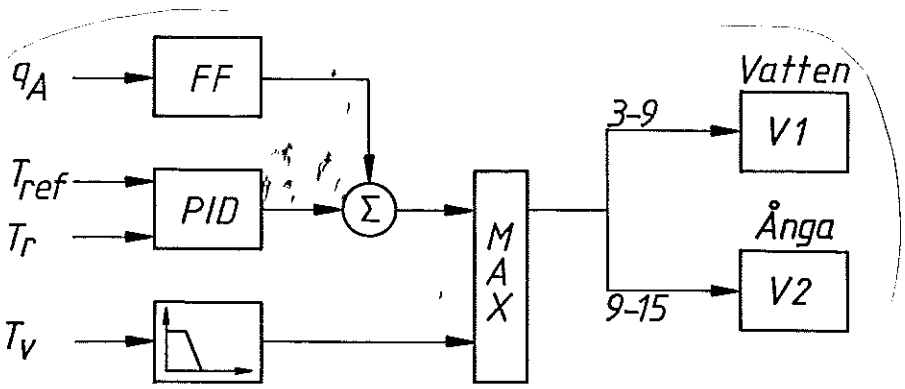


Fig. 7.16. - Blockschema för temperaturreglering av reaktorn.

$$(1+sT_1)\ (1+sT_2) + Kk_p = 0,$$

dvs

$$s^2 + s(1/T_1 + 1/T_2) + (1 + Kk_p)/(T_1\ T_2) = 0. \qquad (7.6)$$

Det slutna systemet är således av andra ordningen. Den relativa dämpningen ζ och den odämpade egenfrekvensen ω ges av

$$2\zeta\omega = 1/T_1 + 1/T_2 \approx 1/T_2 \qquad (7.7)$$

och

$$\omega^2 = (1+Kk_p)/(T_1\ T_2). \qquad (7.8)$$

Approximationen i det första uttrycket motiveras av att $T_1 >> T_2$. Med en relativ dämpning $\zeta = 0.5$ ger (7.7) $\omega \approx 1/T_2$. Vidare följer av (7.8) att

$$1 + Kk_p = T_1/T_2 = \frac{300}{50} = 6.$$

Kretsförstärkningen bestäms således väsentligen av kvoten mellan tidskonstanterna. Regulatorns förstärkning blir

$$K = 5/k_p$$

och det slutna systemet får egenfrekvensen

$$\omega = 1/T_2 = 0.02 \text{ rad/s}.$$

Ett rimligt värde på integraltiden vid proportionell reglering är

$$T_I \approx 5T_2.$$

Regleringen kan förbättras något med deriverande kompensering. Storleksordningen på förbättringarna beror på temperaturmätarens tidskonstant. Den kan i typiska fall ligga mellan 10 s och 40 s. Med det lägre värdet 10 s erhålles förbättringar med derivataverkan. Derivatatiden T_D kan t.ex. väljas så att tidskonstanten T_2 elimineras. Ett system med tidskonstanterna 300 och 10 s erhålles då. Förstärkningen kan då höjas så att

$$1 + Kk_p = \frac{300}{10} = 30$$

varvid det slutna systemets odämpade egenfrekvens blir

$\omega \approx 0.1$ rad/s.

Om temperaturmätarens tidskonstant är i närheten av 40 s ger derivataverkan endast måttliga förbättringar.

Värmeeffekten vid den kemiska reaktionen är proportionell mot flödet q_A. För att se till att variationer i q_A snabbt kompenseras har en framkoppling från q_A införts. Denna framkoppling träder endast i funktion då nivån i tanken är större än 50 %.

För att starta reaktionen måste reaktorn värmas upp så att temperaturen i reaktorkärlet är större än T_c. Jämför med fig. 7.13. Detta åstadkommes med hjälp av ångventilen V2. Ångventilen och vattenventilen är kopplade med uppdelat utstyrningsområde. Jämför avsnitt 7.2. Vattenventilen är öppen för låga signaler (3 - 9 PSI) och ångventilen för höga (9 - 15 PSI). För att undvika frysning i reaktorn är det nödvändigt att reaktorns temperatur alltid är större än T_c. En extra återkoppling från vattentemperaturen T_v i kylslingan har därför införts via en maxväljare. Denna återkoppling ser till att ångventilen öppnas om temperaturen i kylslingan blir mindre än ett kritiskt värde. Ett alternativ är att använda kaskadreglering som diskuterats i avsnitt 6.2.

Flödesreglering

Det är väsentligt att kvoten mellan flödena q_A och q_B är korrekt. Fig. 7.17 visar hur utbytet vid reaktionen beror av q_B vid konstant q_A. Flödet q_B regleras därför med en kvotreglering som visas i blockschemat i fig. 7.18. Den

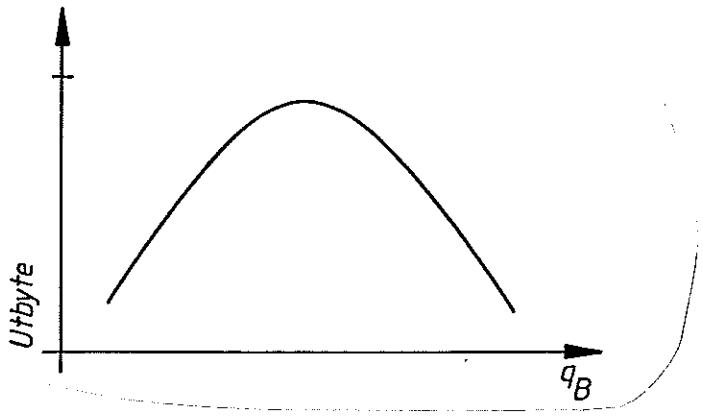


Fig. 7.17. - Utbytet som funktion av q_B vid konstant q_A.

önskade kvoten inställes manuellt. Den primära reglerfunktionen är en kvotreglering av q_B i förhållande till q_A. Reaktionshastigheten beror starkt av q_B. För att minska risken för explosion har en olinjäritet införts i återkopplingen. Denna medför att förstärkningen ökar om q_B/q_A blir stor. Flödesregleringen har flera begränsningsfunktioner. Vid start av reaktorn är det önskvärt att substansen B ej tillsättes förrän vattentemperaturen uppnått det kritiska värdet och reaktortanken är fylld till hälften. Återkopplingen från vattentemperaturen T_v och tanknivån L har därför införts via begränsare och min-väljare. För att se till att ventilen V4 stängs snabbt vid bortfall av q_A finns också en direkt återkoppling från q_A via begränsare och min-väljare. Det finns också en återkoppling från reaktortemperaturen som stänger ventilen V4 om reaktorns temperatur blir för stor.

Förregling av utloppsventilen

Ventilen V5 bestämmer flödet ut ur reaktortanken. Den regleras normal av efterföljande processteg. Regleringen av reaktorn kan förbättras genom att också styra ventilen utgående från tillståndet i reaktorn. Vid start av reaktorn är det önskvärt att stänga utloppsventilen tills reaktortanken fyllts till hälften och reaktionen startat. Detta åstadkommes genom att styra ventilen V5 från nivån och temperaturen i reaktorn via min-väljare på det sätt som visas i fig. 7.19.

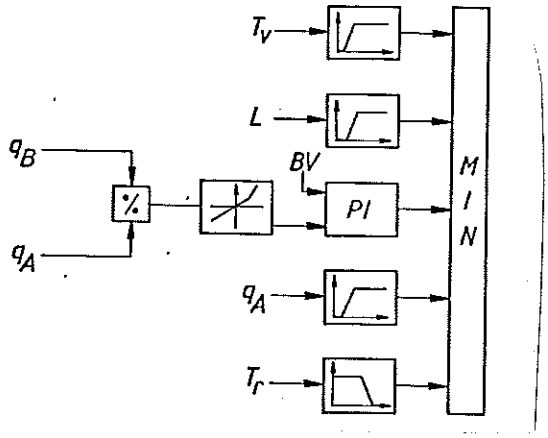


Fig. 7.18. - Blockschema för reglering av blandningsförhållandet q_B/q_A.

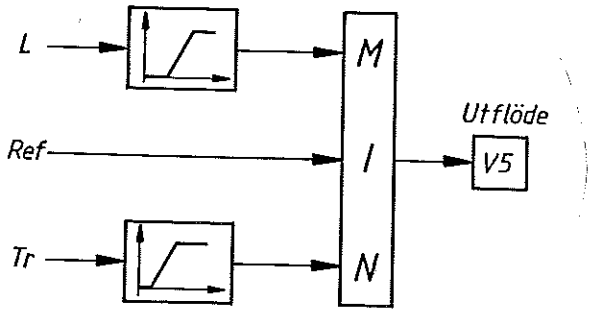


Fig. 7.19. - Blockschema för styrning av utloppsventilen.

7.7 OMKOPPLING MELLAN OLIKA REGLERFORMER

Omkoppling mellan reglerformer har tidigare behandlats. Vid diskussion av till-från reglering i avsnitt 4.4 anmärktes att till-från reglering ej ger bra resultat vid små signaler om det finns mätbrus. I samband med PID-reglering nämndes i avsnitt 5.9 att det var viktigt att tillgripa speciella knep för att undvika att integraltermen växer upp till stora värden utanför proportionalbandet (integratoruppvridning). Reglering med uppdelat utstyrningsområde som diskuterats i detta kapitel kan uppfattas som att regulatorn kopplas om från att styra en process (t.ex. kylning) till att styra en annan process (t.ex. värmning). Reglering med hjälp av väljare kan tolkas så att regulatorn kopplas om mellan olika regleruppgifter. En reglerkrets är sällan en isolerad funktion utan den ingår som en del i ett större system. I sådana fall måste regulatorn kunna påverkas utifrån. Detta kan antingen ske i form av manuella ingrepp från ett överordnat system som ofta är en dator. I alla dessa fall förekommer omkoppling mellan olika reglerformer. Avsikten med detta avsnitt är att beröra några av de problem som kan förekomma i samband med omkoppling mellan olika

reglerformer.

Eftersom en regulator är ett dynamiskt system är det viktigt att se till att dess tillstånd är korrekt vid omkoppling. Det är naturligt att vissa transienter uppstår om regulatorns parametrar ändras, ty parametrarna ändras ju för att få en förändring i systemets egenskaper. Det är emellertid ofta önskvärt att se till att transienterna ej blir för stora.

Problem som hänger samman med omkoppling mellan olika reglerformer har i viss utsträckning diskuterats i den instrumentttekniska litteraturen under rubriker som <u>stötfri övergång</u> och <u>stötfri omkoppling</u> (eng. bumpless transfer). <u>integratoruppvridning</u> (eng. reset windup), <u>hand-automatik omkoppling</u> (eng. automatic-manual transfer) och <u>överslängseliminering</u> (eng. overshoot inhibition). I själva verket är lösningen till omkopplingsproblem minst lika viktiga som val av den primära regleralgoritmen. Tyvärr har många av de intressanta publikationerna om omkopplingsproblem varit dolda i interna rapporter hos regulatortillverkarna. Problemen har sällan behandlats i läroböcker. Enkla lösningar till omkopplingsproblemen kan vara mycket svåra att åstadkomma med analog teknik. Lösningarna är därför ofta speciella och ibland geniala. Vid datorstyrning är det mycket lättare att lösa problemen. Det paradoxala är att den kompletta och naturliga lösningen av problemen ofta är mycket lättare att förstå än de knep som använts för att få en billig lösning med analog teknik. Några av de vanligaste omkopplingsproblemen diskuteras nedan.

<u>Hand-automatik omkoppling</u>

För system med låg automatiseringsgrad som skall arbeta över ett område som är avsevärt större än regulatorns proportionalband är det vanligt att den automatiska regleringen kompletteras med manuell styrning. Vid stora förändringar kopplas regulatorn helt enkelt bort och processen körs för hand tills processvariabelns önskade värde ligger inom regulatorns proportionalband. Regulatorn kopplas sedan in och regleringen sker då automatiskt. Förändringar av processvariabeln som ligger innanför proportionalbandet kan göras genom att ändra regulatorns börvärde. Manöverorgan för manuell styrning är ofta sammanbyggda med regulatorn. Ett utförande som är vanligt i processindustrin visas i fig. 7.20 Regulatorn är försedd med en omkopplare som väljer manuell eller automatisk drift. Regulatorn har dessutom s.k. "öka-minska" knappar. Utsignalen avtar om "minska-knappen" intrycks och den ökar om "öka-knappen" intrycks.

En regulator som används på detta sätt är lätt att ställa in. Regulatorn justeras helt enkelt så att den reglerar bra

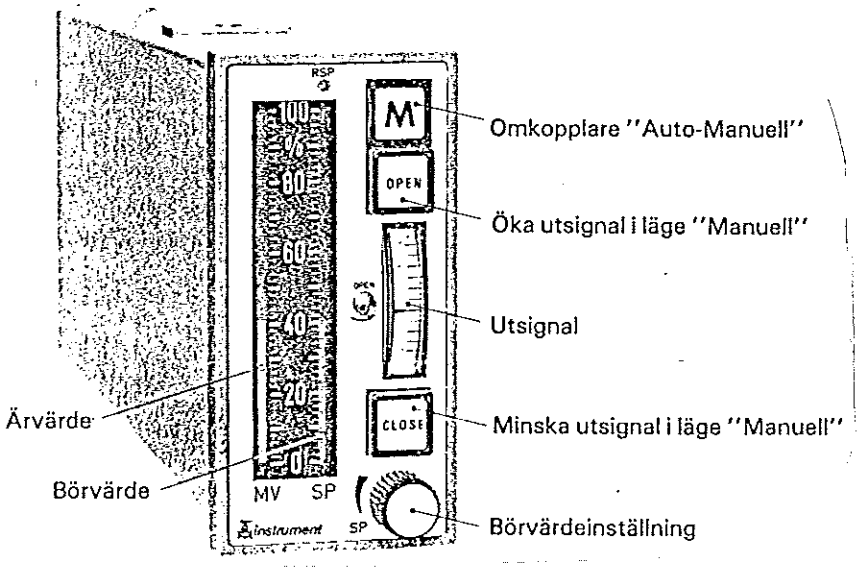


Fig. 7.20 - Standardregulator för processreglering med hand-automatik omkoppling och "öka-minska" knappar.

inom proportionalbandet. Om arbetsområdet är stort kan det vara nödvändigt att göra kompromisser för att få en tillfredsställande reglering i hela arbetsområdet. I vissa fall kan det vara fördelaktigt att ha olika parameterinställning i olika arbetspunkter. Detta kommer att behandlas i kapitel 9.

Det finns problem vid omkoppling mellan manuell och automatisk reglering. Om man ej ser till att regulatorns tillstånd är korrekt så uppträder en omkopplingstransient. En PID-regulator är ju ett andra ordningens system. Dess tillstånd är därför karakteriserat av två variabler. I normala fall nöjer man sig med att se till att det tillstånd som svarar mot integralverkan får rätt värde vid omkopplingen. Problemet med omkopplingstransienter är nära besläktat med integratoruppvridning, som diskuterades i avsnitt 5.9. Det finns många sätt att undvika omkopplingstransienter och erhålla regulatorer med <u>stötfri omkoppling</u> (eng. bumpless transfer). En vanlig metod är att låta regulatorns integrator vara inkopplad även vid manuell styrning. Signalerna från "öka-minska" knapparna får då direkt påverka integratorn. Vid omkoppling till automatisk reglering har integraldelen då alltid korrekt värde.

Vid digital reglering är problemet lätt att lösa. Antag t.ex. att regulatorn beskrivs med följande kod:

```
Input y,yref,ulow,uhigh
Output u
e = yref-y
v = k*e+i
u = lim(v,ulow,uhigh)
i = i+u-v+k*h*e/ti
end.
```

Denna regulator undviker problemen med integrator-uppvridning. Jämför avsnitt 5.9. Vid manuell reglering bestäms styrsignalen av

ulow = uhigh = umanuell.

Integratorn kommer då alltid att ställas in så att den får ett värde som motsvarar utsignalen. Vid omkoppling från manuell till automatisk reglering uppstår då inga omkopplingstransienter.

Automatisk reglering över stora arbetsområden

I system med hög automatiseringsgrad är det vanligt att regulatorn är inkopplad även vid stora förändringar av börvärdet. Reglerfelet kan då bli så stort att regulatorn går i mättning, vilket kan leda till svårigheter. En annan svårighet är att stora ändringar i arbetspunkten kan medföra att processdynamiken ändras så mycket att regulatorn måste trimmas om.

En möjlighet att undvika de svårigheter som orsakas av mättning är att se till att ändringarna i regulatorns börvärde blir så små och så långsamma att börvärdet alltid ligger innanför regulatorns proportionalband. Detta kan uppnås genom att börvärdet införs via rampdon eller andra begränsningskretsar av den typ som diskuterats i avsnitt 7.2. En nackdel med detta är att omställningarna kan bli onödigt långsamma.

En annan möjlighet är att utforma regulatorn så att den ger bra reglering även utanför proportionalbandet. Regulatorn måste då vara sådan att stora ändringar i börvärdet ej leder till komplikationer. Det är t.ex. viktigt att integrator-uppvridning undvikes, ty annars kan överslängen bli alltför stor. Jämför avsnitt 5.9.

Vid reglering över stora arbetsområden kan utsignalen vara mättad under långa tider. Reglerformen påminner då mycket om till-från reglering som behandlats i kapitel 4. I ett sådant fall är prediktion av utsignalen mycket viktig för att se till att styrsignalen lämnar mättningsgränsen i tid. I enkla regulatorer erhålles prediktionen som regel genom derivataverkan. Det är väsentligt att se till att derivataverkan ej blockeras då styrsignalen antar sina extremvärden. Redan i samband med diskussionen av till-från

reglering i kapitel 4 fann vi att den bästa regleringen utanför proportionalbandet i allmänhet är en olinjär reglering. Vi skall här ge ett exempel som belyser att det kan vara stor skillnad i prestanda mellan linjära och olinjära reglerformer.

E x e m p e l 7.5 (Reglering över stort arbetsområde)
Betrakta ett system vars dynamik beskrivs som en dubbelintegrator med begränsad insignal. Sambandet mellan processens mätsignal y och dess styrsignal u ges då av ekvationen

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \text{sat}\ (u)$$

där sat betecknar mättningsfunktionen som definieras av

$$\text{sat}\ (u) = \begin{cases} -1 & u < -1 \\ u & |u| \leq 1 \\ 1 & u > 1. \end{cases}$$

Den olinjära regulator som driver reglerfelet till noll på kortast möjliga tid ges av

$$u = \begin{cases} +1 & e + T_D\dot{e} > 0 \quad \text{eller} \quad e + T_D\dot{e} = 0 \quad \text{och} \quad e < 0 \\ -1 & e + T_D\dot{e} < 0 \quad \text{eller} \quad e + T_D\dot{e} = 0 \quad \text{och} \quad e > 0 \end{cases} \tag{7.9}$$

där prediktionstiden T_D ges av

$$T_D = |\ \dot{e}/2\ |.$$

Jämför Exempel 4.6.

En linjär styrlag som ger bra uppförande i det linjära området ges av

$$u = e + 2\zeta\dot{e} \tag{7.10}$$

I fig. 7.21 visas stegsvar för den linjära och den olinjära regulatorn. Det framgår klart av fig. 7.21 att den olinjära styrlagen ger snabbare insvängning än den linjära styrlagen. Den linjära styrlagen är emellertid att föredra om störningarna är små. Detta belyses i fig. 7.22 och 7.23, där

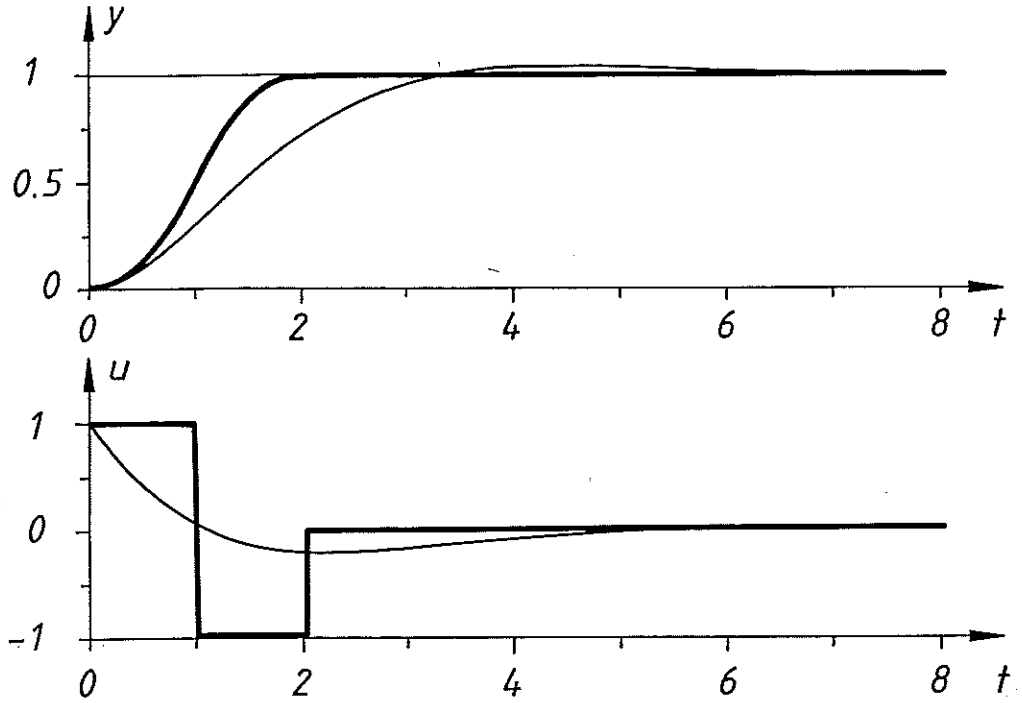


Fig. 7.21 - Stegsvar för dubbelintegrator med mättning med linjär (7.10) (tunn linje) och olinjär (7.9) (tjock linje) styrlag.

styrlagarna (7.9) och (7.10) simuleras med små mätfel. Den olinjära styrlagen ger mycket kraftiga förändringar i styrvariabeln. De kraftiga svängningarna i styrvariabeln kan till viss del undvikas genom att införa hysteres. Jämför avsnitt 4.4.

□

Exemplet visar klart att det finns fall då det är mycket fördelaktigt att ha olika reglerformer vid olika typer av störningar. Om man ej vill ändra reglerformen eller ställa om regulatorns parametrar är det nödvändigt att kompromissa mellan regulatorns egenskaper i och utanför proportionalbandet. I sådana fall får man visserligen en enkel regulator men reglerprestanda kan också försämras avsevärt.

Val av proportionalitetsområde

Vid reglering över stora arbetsområden kan det ofta vara fördelaktigt att använda olika reglerformer i olika delar av arbetsområdet. Exempel 7.5 visade att det kan vara bra att ha linjär reglering i närheten av en arbetspunkt och olinjär reglering för stora reglerfel. Om processdynamiken ändras drastiskt över arbetsområdet kan det dessutom vara gynnsamt att ha olika värden på den linjära regulatorns parametrar i olika arbetspunkter. Detta behandlas utförligare i avsnitt 9.8.

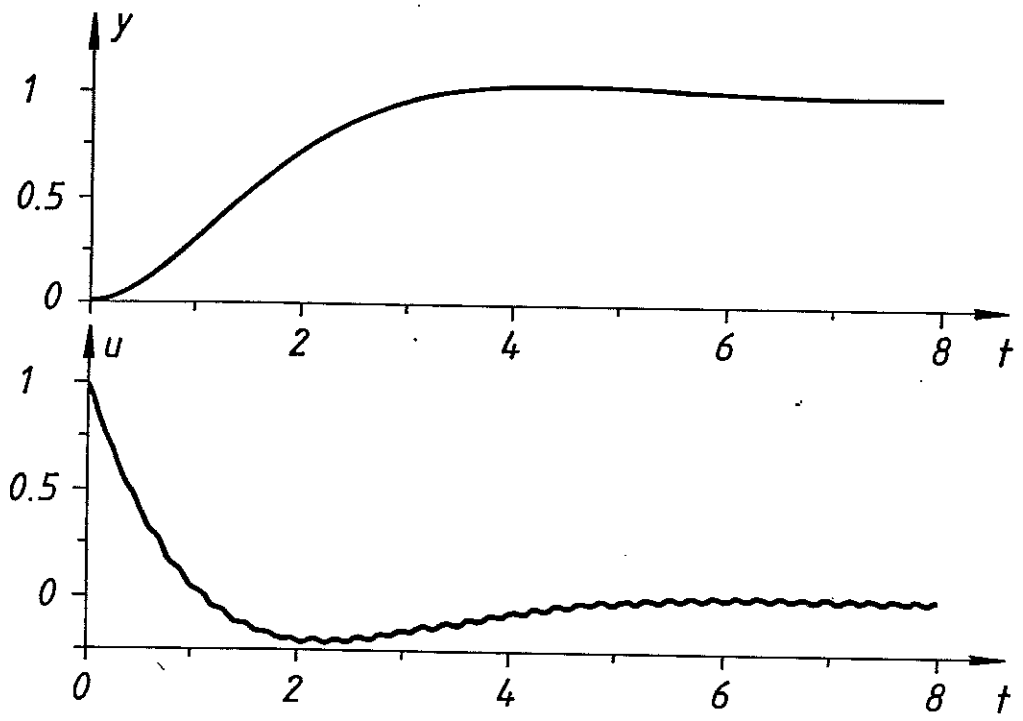


Fig. 7.22 - Simulering av dubbelintegrator med mättning med linjär styrlag och mätbrus.

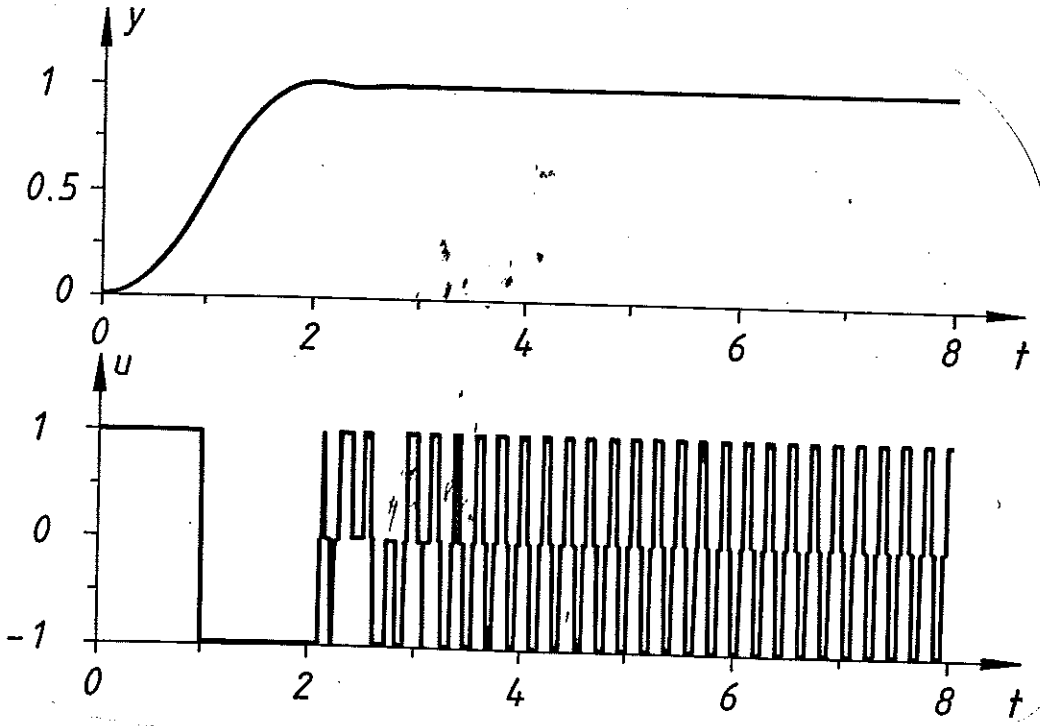


Fig. 7.23 - Simulering av dubbelintegrator med mättning med olinjär styrlag och mätbrus.

Kapitel 7 - Olinjär koppling av enkla regulatorer

I reglersystem där olika reglerformer används är det viktigt att välja reglerformer och omkopplingsvillkor med omsorg. Om omkopplingsvillkoren väljs olämpligt kan det inträffa att fel reglerform kopplas in vid olämpligt tillfälle, vilket kan leda till försämrade prestanda. I enkla regulatorer används ofta enbart reglerfelet eller det predikterade reglerfelet för att styra omkopplingen. Jämför definitionen av begreppet proportionalband i avsnitt 5.2. En sådan omkopplingsstrategi är som regel ej särskilt lämplig. Vi belyser med ett exempel.

E x e m p e l 7.6 (Dubbelintegrator med begränsning)
Betrakta samma system som i Exempel 7.5, dvs en dubbelintegrator med begränsning. Antag att den linjära styrlagen (7.10) används då reglerfelet är litet och att den olinjära regleringen (7.9) används för stora reglerfel. Som omkopplingsvillkor användes

$$|e + 2\zeta\dot{e}| = 1 \qquad (7.11)$$

vilket intuitivt verkar rimligt. En simulering av det system som erhålles visas av de tunna linjerna i fig. 7.24. Det framgår av figuren att systemet har olämpliga egenskaper. För att styra felet mot noll med de givna startvilkoren måste styrsignalen i början vara positiv under lång tid. Fig. 7.24 visar dock att styrsignalen till synes helt omotiverat kopplas om till ett negativt värde vid tiden t=0.2.

Det är lätt att förstå vad som händer genom att använda de begrepp som infördes i avsnitt 3.4. Som tillståndsvariabler väljer vi reglerfelet e och dess derivata $\dot{e}$. Eftersom systemet kan beskrivas med två tillståndsvariabler, är tillståndsrummet helt enkelt ett plan. Fig. 7.25 visar lösningskurvorna, omkopplingskurvan som motsvarar (7.9) och omkopplingsvillkoret (7.11) i tillståndsrummet. Det framgår direkt av figuren att det till synes märkliga uppförandet orsakas av valet av omkopplingsvillkoret (7.11). Till att börja med används helt riktigt den olinjära styrlagen. I punkten C kopplas den linjära styrlagen in. Styrsignalen skiftar då omedelbart värde från +1 till -1, vilket ej är lämpligt. Detta orsakas av att omkopplingsvillkoret (7.11) är uppfyllt även om både reglerfelet som dess derivata har stora värden. Vi ser också att banan ånyo lämnar det område som ges av omkopplingsvillkoret (7.11). Detta leder dock ej till svårigheter, eftersom båda styrlagarna (7.9) och (7.10) där ger samma värde på styrsignalen. Det framgår av fig. 7.25 att svårigheter alltid kommer att uppträda inom de streckade områdena i tillståndsrummet, ty i dessa ger de båda styrlagarna olika tecken på styrsignalen.

Då vi insett vad som inträffar är det lätt att finna ett botemedel. Omkopplingsvillkoret bör ändras så att den

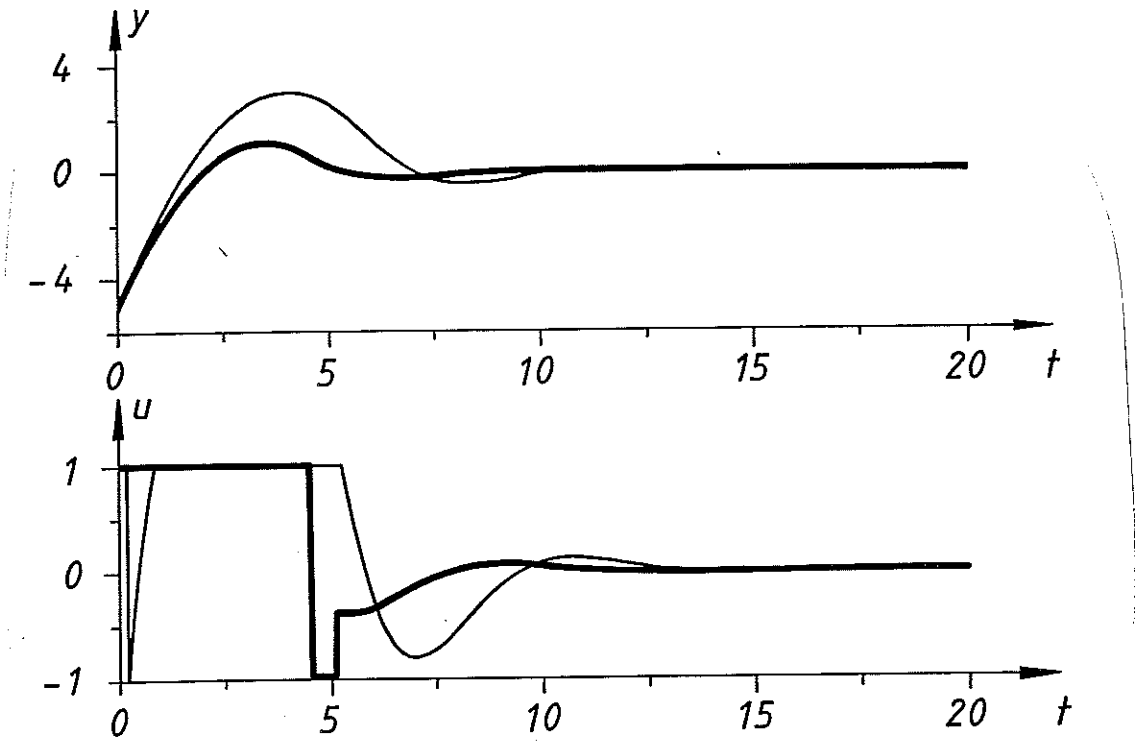


Fig. 7.24 - Simulering av dubbelintegrator med begränsning med den linjära styrlagen (7.10) för små fel och den olinjära styrlagen (7.9) för stora fel. De tunna kurvorna visar resultatet för omkopplingsvillkoret (7.11) och de tjocka för (7.12) med α=0.7.

linjära styrlagen endast är i funktion då både reglerfelet och dess tidsderivata är små. I det speciella fallet kan t.ex. villkoret väljas som

$$e^2 + \dot{e}^2 < \alpha, \qquad (7.12)$$

där talet α skall vara mindre än 4. Detta betyder att den linjära styrlagen endast användes inom den cirkel som visas i fig. 7.25. De insvängningsförlopp som erhålles med α = 0.7 visas med tjocka linjerna i fig. 7.24.

□

Slutsatserna från det enkla exemplet kan generaliseras till det allmänna fallet. Resultatet kan uttryckas så här: Villkoret för att koppla om till en linjär styrlag för en arbetspunkt bör väljas så att den linjära styrlagen förmår hålla processens tillståndsvariabler kvar inom proportionalitetsområdet om inga ytterligare störningar inträffar. Om proportionalitetsområdet ej väljs på detta sätt kan svängningar uppstå genom att tillståndet passerar igenom proportionalitetsområdet utan att kunna fångas upp i det. Villkoret medför att omkopplingskriteriet måste baseras

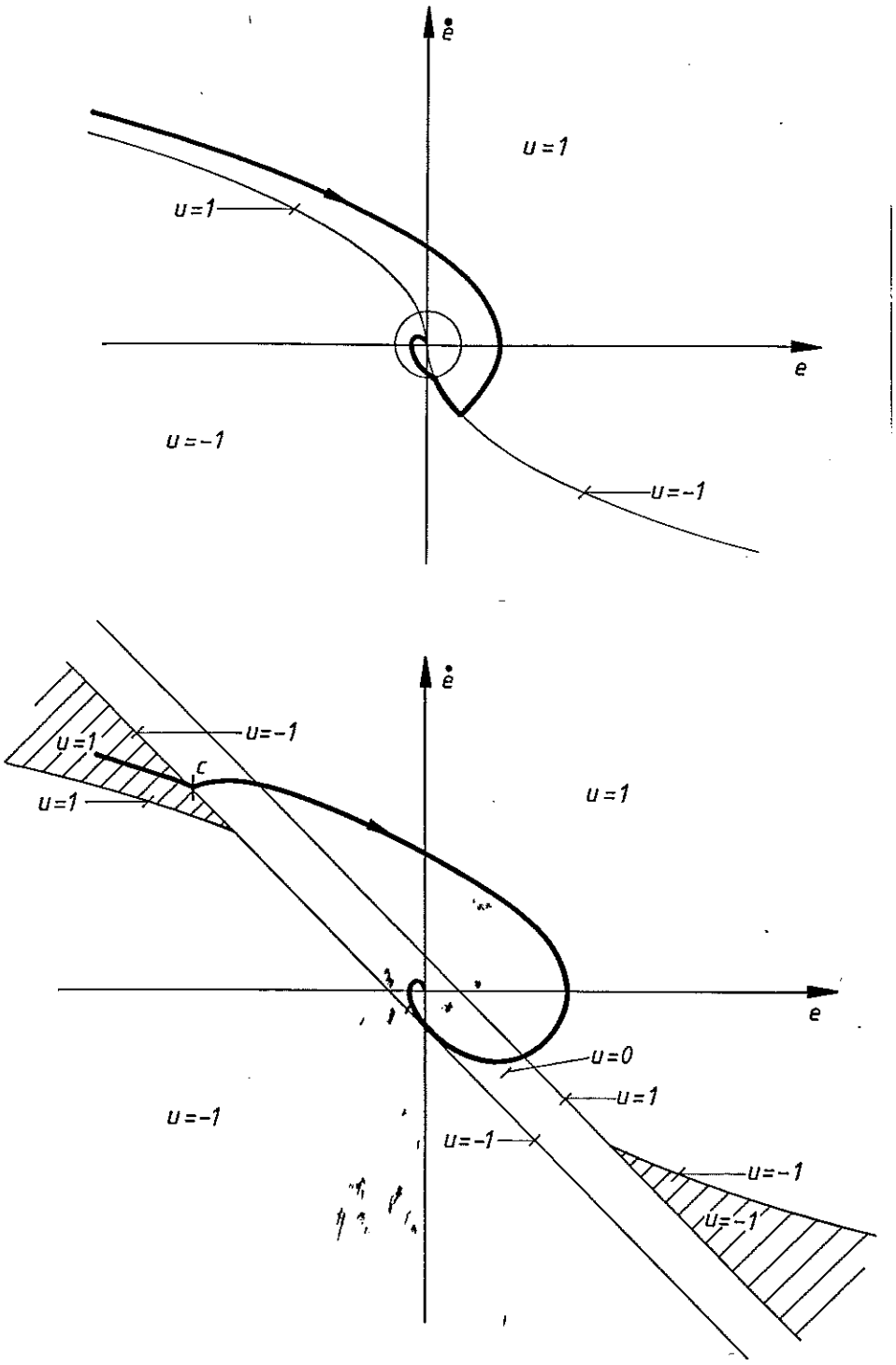


Fig. 7.25 - Tillståndsrummet med de banor som svarar mot Fig. 7.24 Banorna som motsvarar omkopplingsvillkoren (7.12) och (7.11) visas i övre respektive undre figuren.

på samtliga tillståndsvariabler. Det är naturligt att det räcker med att omkopplingsvillkoret bestäms av tillståndsvariablerna. Enligt definitionen (avsnitt 3.3) kan systemets rörelse predikteras exakt från tillståndsvariablernas aktuella värden och styrsignalens framtida värden. Hysteres kan också vara användbar vid omkoppling mellan olika reglerformer. Jämför avsnitt 4.4.

Styrning och reglering

I system med hög automatiseringsgrad kompletteras ett reglersystem ofta med automatiksystem för logik och sekvensstyrning. Dessa system övertar vissa funktioner från den manuella styrningen. En sekvensstyrning för start eller stopp kan t.ex. se till att operationerna görs i bestämd ordning och i bestämd tidsföljd. Med hjälp av logikstyrning kan förreglingar ordnas så att vissa operationer ej tillåts starta förrän givna processtillstånd uppnåtts. Säkerhetskrav och processbegränsningar kan således byggas in i styrsystemet.

Sekvens- och logikstyrning förverkligades ursprungligen med hjälp av reläer. Numera är det vanligt att relälogik ersätts med programmerbara styrsystem. Dessa kallas också PC-system eller PLC-system efter engelskans programmable controller eller programmable logic controller. Styrsystemen kan också förverkligas med hjälp av programvara i en vanlig dator.

Traditionellt har styrsystemen varit fysiskt skilda från reglersystemen. De olika systemen har också specificerats, inköpts och levererats av olika grupper. Det har således varit svårt att föra över information mellan systemen både i konstruktions- och användningsfasen. Detta har lett till att system i vissa fall kan fungera otillfredsställande genom att reglersystemet och styrsystemet kan kämpa mot varandra. Speciellt kan detta uppträda under ovanliga driftsituationer.

Utvecklingen är dock sådan att styrsystem och reglersystem tenderar att växa samman. Det är t.ex. vanligt att PC-system innehåller vissa reglerfunktioner, t.ex. ett antal PID-regulatorer. Det blir också allt vanligare att reglersystem innehåller funktioner för logik och sekvensstyrning. De tekniska möjligheterna pekar på att system som kombinerar styrning och reglering i framtiden blir allt vanligare.

7.8 SAMMANFATTNING

I detta kapitel har vi diskuterat olika sätt att erhålla olinjär reglerverkan genom att kombinera enkla regulatorer med enkla olinjära element. De olinjära element som behandlats är enkla olinjära funktioner, begränsare och olika former av logik. I vissa fall erhålles begränsningen genom att komponenter som regulatorer och ställdon har ett begränsat utstyrningsområde. I andra fall används speciella begränsningskretsar. De klassiska formerna för olinjär kombination av regulatorer, uppdelat utstyrningsområde och väljare har diskuterats. Omkoppling mellan olika reglerformer har också diskuterats. Detta omfattar såväl hand-automatikomkoppling som olika former av automatisk omkoppling.

Fördelen med att ha olika reglerformer för reglersystem som skall arbeta över stora områden har belysts. Det är viktigt att omkopplingen mellan de olika reglerformerna görs på ett korrekt sätt. I allmänhet är det ej tillräckligt att basera omkopplingen enbart på reglerfelet. I stället bör ett proportionalitetsområde, som baseras på samtliga tillståndsvariabler, användas. Det har också betonats att omkoppling mellan olika reglerformer kommer att bli allt vanligare i och med att de tidigare strikta gränserna mellan sekvensstyrning och reglersystem håller på att upplösas.

De reglerformer som diskuterats i detta kapitel följer det traditionella mönstret att bygga upp komplicerade regulatorer genom att kombinera enkla byggelement (eng. bottom-up design). De metoder som använts är jämförelsevis lätta att tillämpa. Om svårigheter uppträder kan det vara svårt att förstå vad som händer, eftersom metoderna ej är teoribaserade. Diskussionen i avsnitt 7.7 visar att begrepp såsom tillståndsrum och tillståndsvariabler kan vara mycket användbara för att förstå systemens funktion. Det kan vara svårt att veta när det inte längre lönar sig att göra ett system mer komplicerat. Alternativa sätt att dimensionera olinjära system baserade på systematiska dimensionerings-metoder (eng. top-down design) diskuteras i kapitel 9.

INDEX

amplitudbegränsare, 2
auto selectors, 9
automatic-manual transfer, 23
automatik, 13

begränsare, 1, 2
begränsningskretsar, 25
bumpless transfer, 23

dimensionering, dimensionering, 12
duplex, 2, 4

hand-automatik omkoppling, 23

integratoruppvridning, 22, 23, 24, 25

kylning, 4

logikkretsar, 1

mättningsfunktion, 26
manuell styrning, 23, 25

omkoppling mellan olika reglerformer, 23
omkopplingsproblem, 23
omkopplingstransient, 24
omkopplingsvillkor, 29
overshoot inhibition, 23

PLC-system, 32
programmerbar logik, 32
proportionalband, 26, 29
proportionalitetsområde, 29, 32

rampbegränsare, 3
rampdon, 3, 25
reglering, 32
reglering och automatik, 13
reset windup, 23

sekvensstyrning, 33
split range, 2
split-range, 4
stötfri övergång, 23
stötfri omkoppling, 24
steg- och rampbegränsare, 3
stora arbetsområden, 2, 25
system med väljare, dimensionering, 12
system med väljare, svårigheter, 13

till-från reglering, 22

tillståndsvariabel, 29, 32

uppdelat utstyrningsområde, 6, 22
utstyrningsområde, begränsat, 1
utstyrningsområde, uppdelat, 2, 4

väljare, 2, 7, 9, 11, 23
väljare, dimensionering, 12
värmning, 4
varierande processdynamik, 2

öka-minska knappar, 24, 25
överslängseliminering, 23