LUND UNIVERSITY

Reglerteknik -- En elementär introduktion. Kapitel 4: Till-från-reglering

Åström, Karl Johan

1981

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

Link to publication

Citation for published version (APA):
Åström, K. J. (1981). *Reglerteknik -- En elementär introduktion. Kapitel 4: Till-från-reglering*. (Research Reports TFRT-3165). 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

CODEN: LUTFD2/(TFRT-3165)/1-020/(1981)

REGLERTEKNIK –
en elementär introduktion

Kapitel 4
Till-från reglering

Karl Johan Åström

Department of Automatic Control
Lund Institute of Technology
October 1981

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

Document name
REPORT

Date of issue
October

Document number
CODEN: LUTFD2/(TFRT-3165)/1-020/(1981)

Author(s)
K J Åström

Supervisor

Sponsoring organization
FOSAM

Title and subtitle

Reglerteknik - En elementär introduktion. Kapitel 4. Till-från reglering.
(Control Engineering - An elementary introduction. Chapter 4-On-off control.

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 whould 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
20

Security classification

Recipient's notes

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.

DOKUMENTDATABLAD RT 3/81

K A P I T E L 4

T I L L - F R Å N R E G L E R I N G

Principen för till-från reglering är att styrsignalen kan anta två olika värden beroende på felsignalens tecken. Enkla exempel illustrerar till-från regleringens egenskaper i några särskilda fall. Det visas att förbättringar kan uppnås genom att basera utsignalens omkoppling på det predikterade reglerfelet. En enkel prediktion kan göras genom linjär extrapolation av reglerfelet. Detta leder till derivataverkan.

4.1 INLEDNING

Till-från reglering eller tvålägesreglering (eng. on-off control, ty. Zweipunkt-regelung, fr. action par tout ou rien) är en av de allra enklaste reglerformerna. Vid till-från reglering medför ett positivt reglerfel att styrvariabeln antar sitt största värde. Ett negativt reglerfel medför att styrvariabeln antar sitt minsta värde. I detta avsnitt ges en översikt av till-från reglering. Först beskrivs principen. Därefter illustreras till-från reglering på några enkla processer, en integrator, en integrator med tidsfördröjning och en dubbelintegrator. Till-från reglering ger mycket bra resultat för integratorn. Däremot ger den svängningar då den används på processer med mer komplicerad dynamik. Det visas sedan hur svängningarna kan undvikas genom att låta styrsignalen växla tecken med en prediktion av reglerfelet. Svårigheter med till-från reglering vid små reglerfel och högfrekventa störningar behandlas också.

4.2 PRINCIP

Låt e vara reglerfelet och låt u_{max} och u_{min} vara styrvariabelns största och minsta värden. Till-från regulatorn kan då beskrivas på följande sätt:

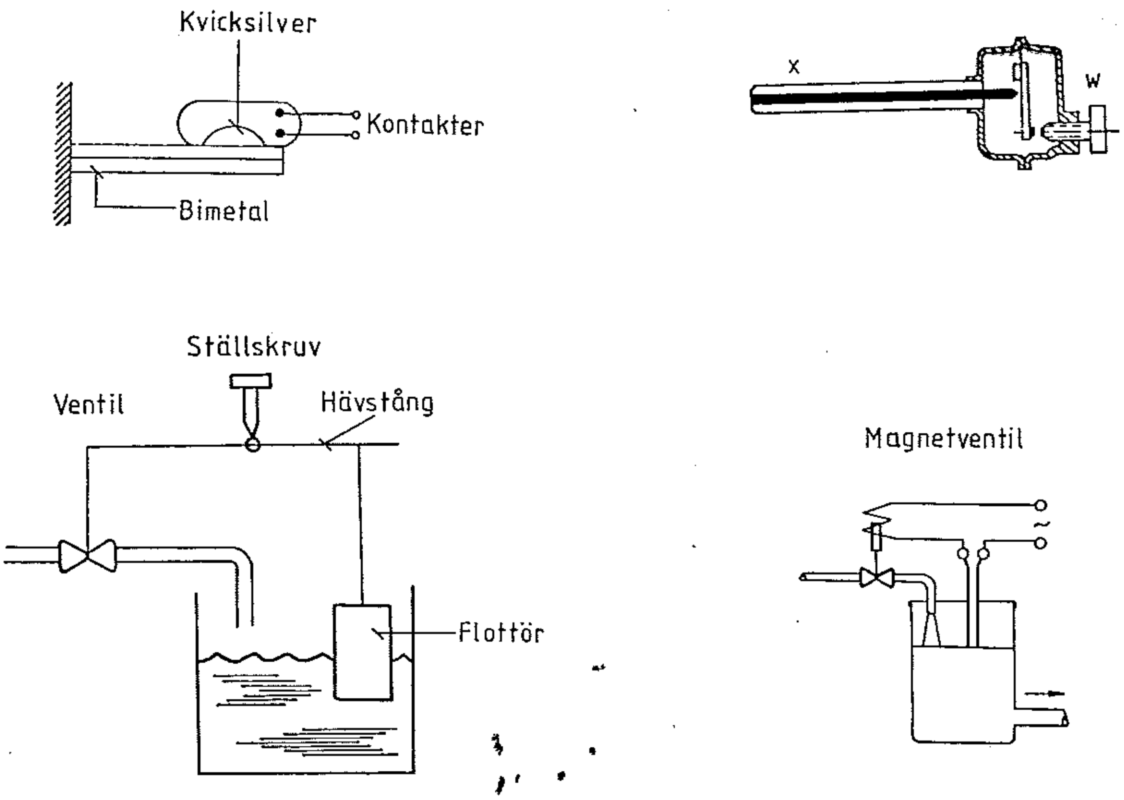
$$u = \begin{cases} u_{max} & e > 0 \\ u_{min} & e < 0 \end{cases} \tag{4.1}$$

Observera att styrlagen (4.1) är en diskontinuerlig funktion. Detta leder till svårigheter vid små reglerfel.

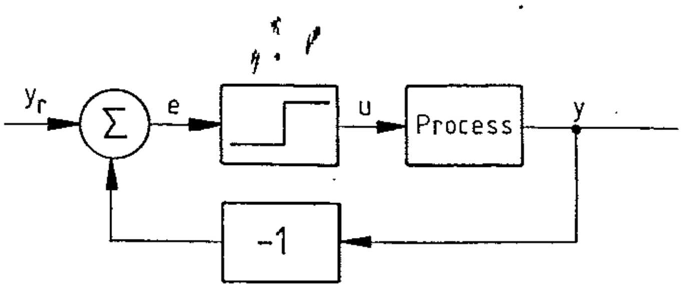
Kapitel 4 - Till-från reglering

Till-från verkan är enkel att förverkliga. Det går t.ex. att koppla felsignalen direkt till ett relä eller till en kontaktor. Till-från reglering är vanlig i enkla billiga system, exempelvis termostater i temperaturreglering med elektrisk värmning. Några exempel på till-från reglering visas i fig. 4.1. Det finns många fiffiga konstruktioner.

Ett blockschema för en process med till-från reglering visas i figur 4.2. En till-från regulator kallas även en regulator med <u>tvålägesverkan</u>, eftersom styrvariabeln kan anta två värden. Det kan i vissa fall vara gynnsamt att använda



<u>Fig. 4.1</u> - Exempel på till-från reglering.



<u>Fig. 4.2</u> - Blockschema för process med till-från reglering.

regulatorer där styrsignalen kan anta flera värden, s.k. <u>flerlägesverkan</u>. Reglerfunktionen för en regulator där utsignalen har n+1 värden kan beskrivas med

$$u = \begin{cases} u_0 & \text{om } e \le e_0 \\ u_1 & e_0 < e \le e_1 \\ \vdots & \\ u_{n-1} & e_{n-2} < e \le e_{n-1} \\ u_n & e_n < e \end{cases}$$

För stora n har denna regulator praktiskt taget kontinuerlig verkan.

Vi ger några exempel som illustrerar till-från reglering.

E x e m p e l 4.1 (Integrator)
Betrakta en process vars insignal-utsignal samband beskrivs av

$$\frac{dy}{dt} = u. \tag{4.2}$$

Utsignalen är således insignalens tidsintegral.

För att få en känsla för samspelet mellan regulator och process undersöker vi stegsvaret för det system som erhålles då processen (4.2) regleras med en till-från regulator. Resultatet visas i figur 4.3. Regleringen är mycket bra. Vid ett reglerfel görs maximalt pådrag i sådan riktning att utsignalen närmar sig det rätta värdet med högsta möjliga hastighet. Det är också problem med till-från reglering. Eftersom styrsignalens minsta värde i exemplet är noll, finns ingen möjlighet att minska utsignalen. Vidare kan problem uppträda vid små reglerfel. I ekvation (4.1) är u ej definierad för e = 0. Vi skall återkomma till detta problem i avsnitt 4.4.

□

Det är viktigt att ha en känsla för samspelet mellan process och regulator. Detta kan man få genom att gå igenom ett stort antal exempel. Läsaren uppmanas att själv verifiera de kurvor som visas i fig. 4.3. Det går att göra med enkla räkningar.

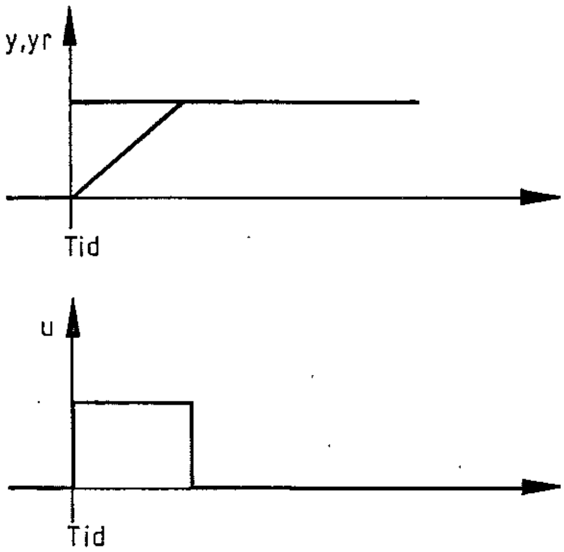


Fig. 4.3 - Stegsvar för ett system som består av en integrator med till-från reglering $u_{max} = 1$, $u_{min} = 0$.

E x e m p e l 4.2 (Integrator med tidsfördröjning)
Vi skall nu visa vad som händer då till-från reglering används för andra typer av processer. Antag att processen kan beskrivas med ekvationen

$$\frac{dy(t)}{dt} = k\, u(t-T) \qquad (4.3)$$

Detta innebär att utsignalen erhålles genom att integrera insignalen och fördröja integralen i T tidsenheter, dvs.

$$y(t) = y(t_0) + k \int_{t_0-T}^{t-T} u(s)\, ds.$$

I figur 4.4 visas det slutna systemets stegsvar.

Kurvorna i figur 4.4 kan konstrueras efter enkla överväganden. Tänk igenom detta! Det framgår av fig. 4.4 att styrvariabeln svänger mellan extremvärden $u_{max} = a$ och $u_{min} = -b$ med perioden

$$T_p = T(2 + a/b + b/a).$$

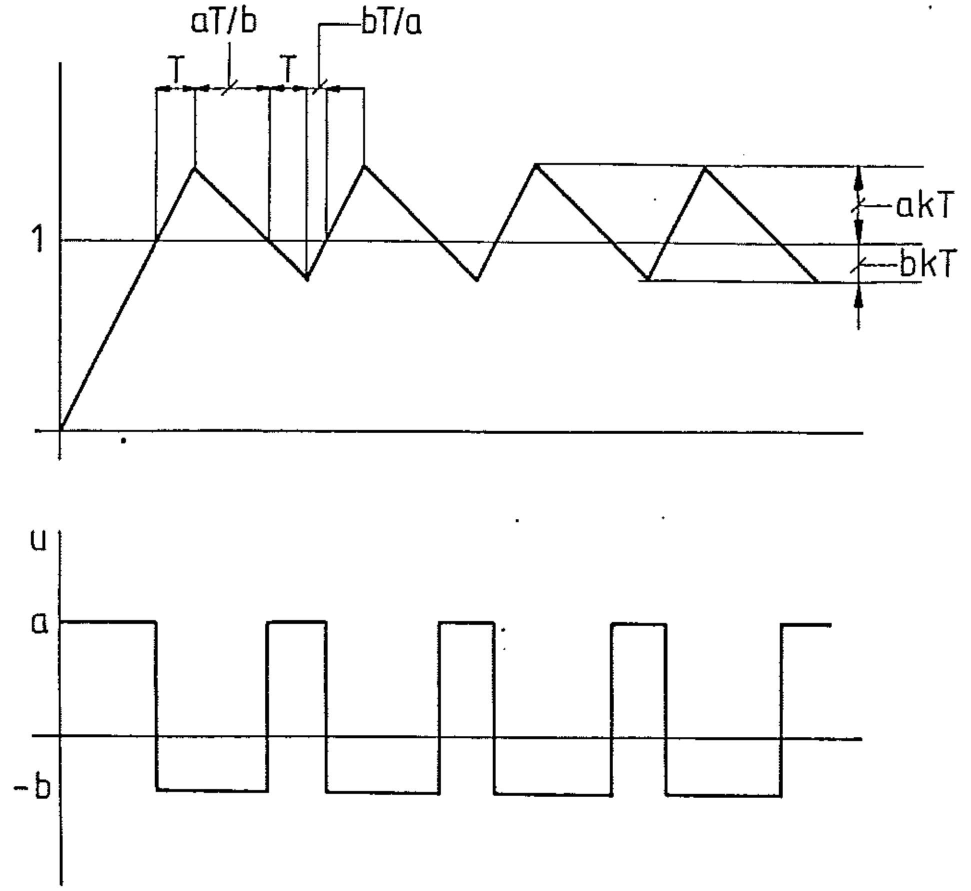


Fig. 4.4 - Stegsvar för en enkel krets med till-från reglering ($u_{min} = -b$, $u_{max} = a$, $a, b > 0$) av en process som beskrivs av (4.3), dvs. en integrator med tidsfördröjning.

Processens utsignal oscillerar mellan värdena $y_r + akT$ och $y_r - bkT$. Utsignalens medelvärde är

$$y_m = y_r + \frac{1}{2}(a-b)\,kT.$$

Medelvärdet överensstämmer således med referensvärdet endast om $a = b$, dvs. om referensvärdet är sådant att styrvariabelns medelvärde är noll. Observera också att medelfelet är proportionellt mot fördröjningstiden T.

Svängningens amplitud är

$$A = \frac{1}{2}(a+b)\,kT.$$

Den är således proportionell mot T och (a+b). I många fall är svängningens amplitud så liten att den kan tolereras. Eftersom svängningens amplitud är proportionell mot styrvariabelns sving a+b, kan svängningsamplituden minskas genom att begränsa svinget i styrvariabeln. För elektriska termostater är det t.ex. vanligt att man kan ställa om den effekt som kopplas in.

□

E x e m p e l 4.3 (Dubbelintegrator)
Betrakta en process som kan beskrivas med

$$\frac{d^2y}{dt^2} = u. \tag{4.4}$$

Styrvariabeln påverkar således utsignalens acceleration. Utsignalen erhålles genom att insignalen integreras två gånger. Figur 4.5 visar det slutna systemets stegsvar i det fall då $u_{max} = -u_{min} = a$. Observera att även i detta fall kan fig. 4.5 konstrueras genom enkla kalkyler, ty utsignalen är sammansatt av parabelsegment.

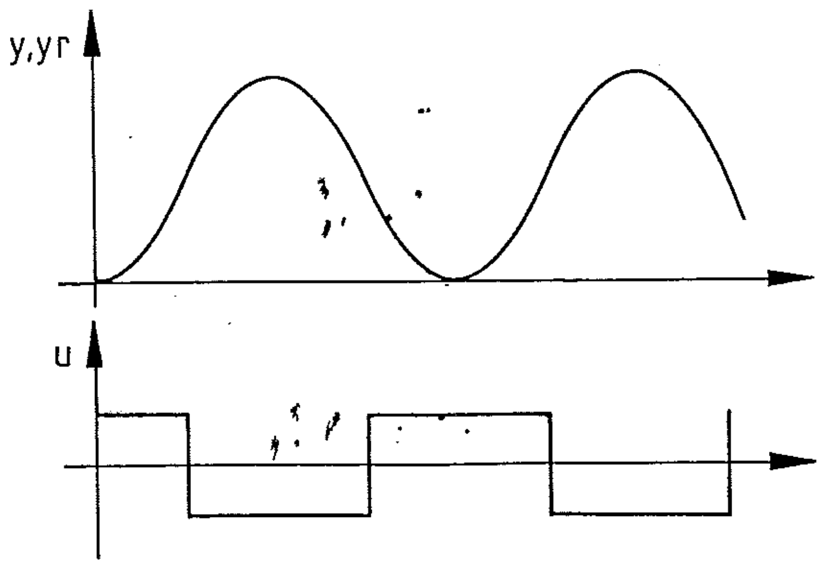


Fig. 4.5 - Stegsvar för en enkel krets med till-från reglering av en process som beskrivs av (4.4), dvs. en dubbelintegrator.

□

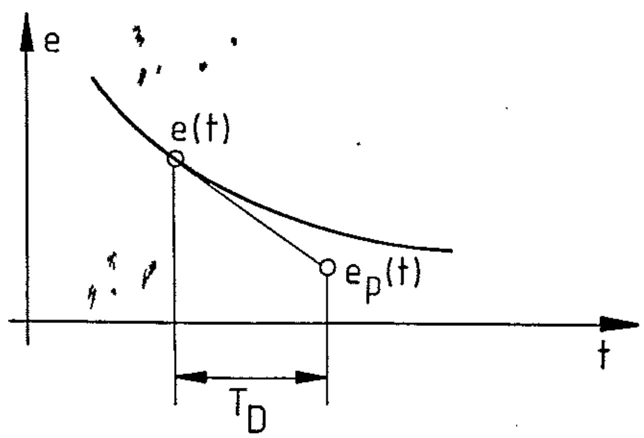
4.3 FÖRBÄTTRAD REGLERING

De genomgångna exemplen visar att till-från regleringen fungerar mycket bra för en process vars insignal-utsignal samband kan beskrivas som en integrator. För processer med mer komplicerad dynamik kan till-från regulatorn ge ett slutet system som svänger med begränsad amplitud. Om processens dynamik beskrivs av (4.2) så kommer utsignalens derivata att ändras momentant vid en ändring av styrvariabeln. Om processen har ytterligare tröghet tar det viss tid innan en ändring i styrvariabeln märks i processens utsignal. För att förbättra regleringen är det naturligt att införa <u>prediktion</u> så att styrsignalen byter tecken tidigare än felsignalen. Styrlagen (4.1) utbytes således mot

$$u(t) = \begin{cases} u_{max} & e_p > 0 \\ u_{min} & e_p < 0 \end{cases} \qquad (4.5)$$

där e_p är en prediktion av felet e. Genom att styrningen baseras på det predikterade reglerfelet så tar man hänsyn till systemets tröghet genom att vidtaga styringreppen i så god tid att de, trots fördröjningarna i systemet, får avsedd verkan.

Ett enkelt sätt att prediktera felet illustreras i fig. 4.6. Prediktionen ges av



<u>Fig. 4.6</u> - Exempel på prediktion av reglerfelet. Prediktionen e_p ges av $e + T_D\, de/dt$.

$$e_p(t) = e(t) + T_D \frac{de(t)}{dt} . \qquad (4.6)$$

Felet extrapoleras således genom att använda felkurvans tangent. Tiden T_D kallas prediktionstid eller prediktionshorisont. Den reglerstrategi som ges av (4.5) och (4.6) säges ha derivataverkan (D-verkan), eftersom reglerfelets tidsderivata ingår i formeln. Observera dock att den primära orsaken till att införa (4.6) är att man önskar prediktera reglerfelet.

För att använda reglerstrategin (4.5), (4.6) måste prediktionstiden T_D bestämmas. Det förefaller rimligt att välja T_D så att den svarar mot den tid det tar för ändringen i styrsignalen att slå igenom i utsignalen. Vi skall nu visa hur prediktionstiden kan väljas i några olika fall.

E x e m p e l 4.4 (Integrator med tidsfördröjning)
För en process som beskrivs av (4.2) förefaller det rimligt att välja prediktionstiden T_D lika med tidsfördröjningen T.

Det går bra att bestämma stegsvaret analytiskt och man kan då visa att man får det insvängningsförlopp som visas i fig. 4.7. Observera att lösningens egenskaper beror av storleken på referensvärdesändringen. Om y_r är tillräckligt stor är resultatet bra. För små referensvärden (y_r < kT) erhålles ett stationärt fel på grund av tidsfördröjningen. Prediktionen (4.6) kan ju ej ge ett bra resultat förrän inverkan av styrsignalen märkts i utsignalen. Då detta inträffar är det för sent att göra något. Eftersom $u_{min} = 0$, finns ingen möjlighet att minska utsignalen. Problemet kan undvikas om man utnyttjar styrsignalens gamla värden vid prediktionen. Detta behandlas utförligare i kapitel 8.

□

E x e m p e l 4.5 (Dubbelintegrator)
Ett rationellt val av prediktionshorisonten T_D kan också göras för en process vars dynamik beskrivs av (4.4), dvs. en dubbelintegrator. Om referensvärdet y_r är konstant gäller för reglerfelet att

$$\frac{d^2e}{dt^2} = - u. \qquad (4.7)$$

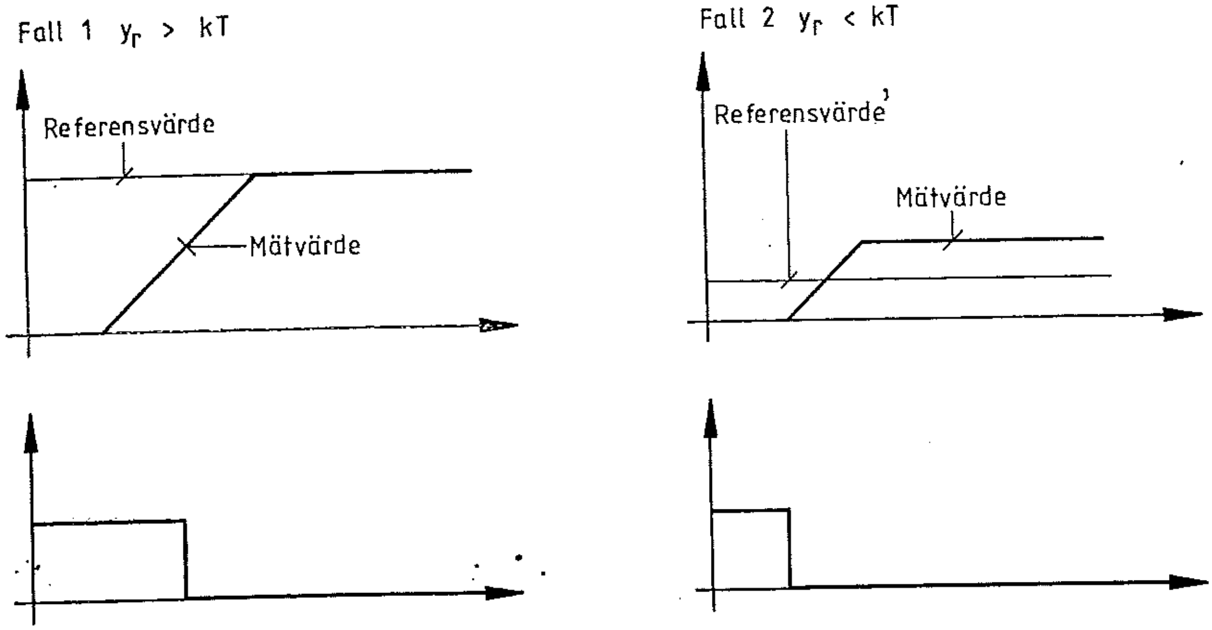


Fig. 4.7 - Stegsvar för till-från reglering med prediktion (4.5)(4.6) med $T_D = T$ för en process som beskrivs av (4.3).

Parametervärdena är $k = 1$, $T = 1$, $u_{min} = 0$ och $u_{max} = 1$.

Om det förutsättes att styrsignalen u är konstant så kan reglerfelet uppenbarligen predikteras med hjälp av värdena på reglerfelet e och dess derivata $\dot{e} = de/dt$. Det följer av (4.7) att det predikterade reglerfelet är parabelsegment, dvs.

$$e_p(t_0) = e(t_0) + T\dot{e}(t_0) + \frac{1}{2} T^2 u_0 \qquad (4.8)$$

$$\dot{e}_p(t_0) = \dot{e}(t_0) - Tu_0$$

där T är prediktionstiden. Se fig. 4.8. För att få så snabb insvängning som möjligt bör prediktionstiden väljas så att det predikterade felets derivata blir noll. Prediktionstiden blir då

$$T_D = \begin{cases} \dot{e}(t_0)/u_{min} & e > 0,\ \dot{e} < 0 \\ \dot{e}(t_0)/u_{max} & e < 0,\ \dot{e} > 0. \end{cases} \qquad (4.9)$$

Den styrlag som erhålles beskrivs alltså av

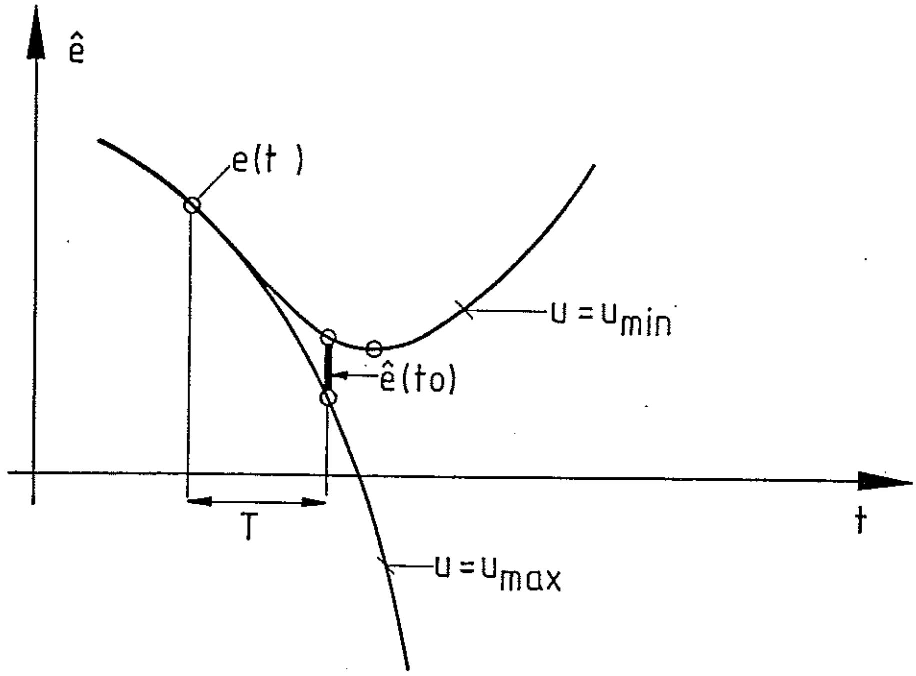


Fig. 4.8 - Prediktion av reglerfelet för dubbelintegratorn.

$$u = \begin{cases} u_{min} & \text{om } e_p > 0 \text{ och } e > 0 \\ u_{max} & \text{om } e_p < 0 \text{ och } e < 0 \end{cases} \qquad (4.10)$$

där e_p ges av (4.8) och (4.9). Styrlagen (4.10) kan ges en enkel geometrisk tolkning. Se fig. 4.9. I $e,\dot{e}$-planet (processens tillståndsrum) ritas geometriska orten för punkter sådana att $e_p = 0$. Denna kurva, som är sammansatt av två parabelsegment, delar $e,\dot{e}$-planet i två delar. Kurvan kallas omkopplingskurva (eng. switching curve). Styrlagen (4.8),(4.9) kan enkelt uttryckas så här. Mät reglerfelet e och dess derivata $\dot{e}$. Om punkten $e,\dot{e}$ ligger över omkopplingskurvan väljs $u = u_{max}$. Om punkten $(e,\dot{e})$ ligger under kurvan väljs $u = u_{min}$. Om $e_p = 0$ så väljs u_{min} om $e > 0$ och u_{max} om $e < 0$.

□

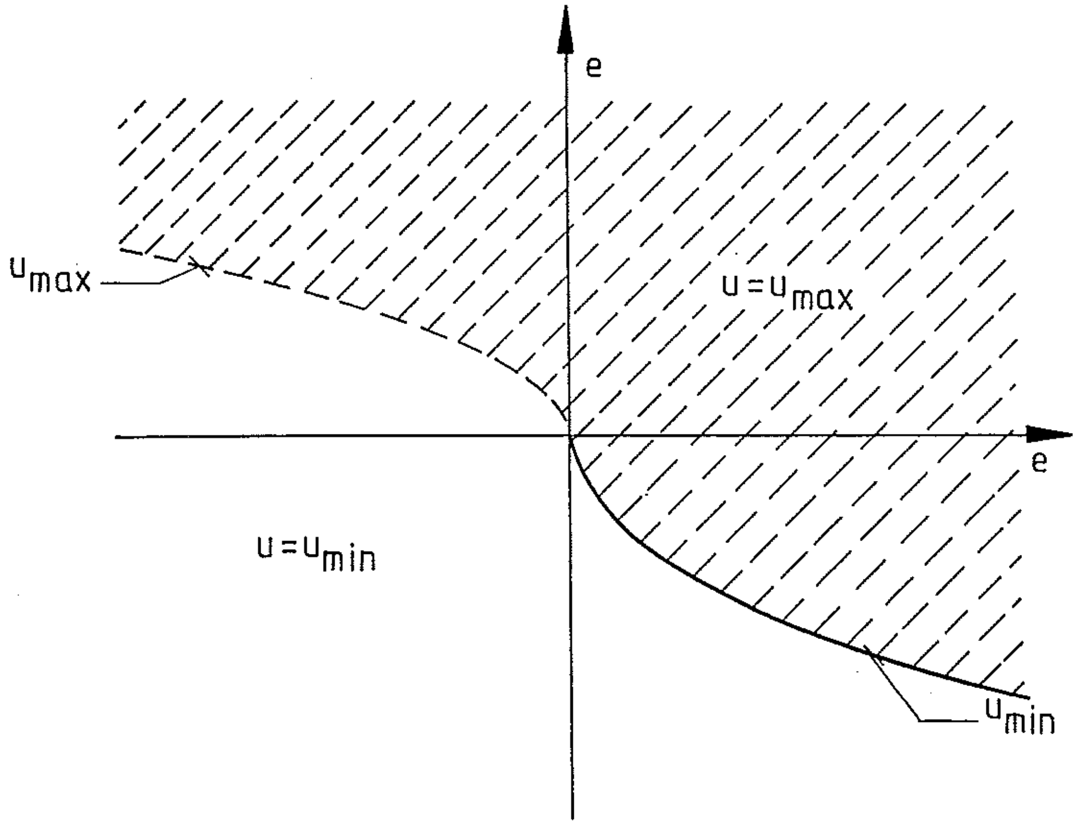


Fig. 4.9 - Omkopplingskurva för dubbelintegratorn.

Mer komplicerade processer

För mer komplicerade processer kan till-från regulatorer som ger minsta möjliga insvängningstid bestämmas på likartat sätt som för den process som beskrivs som en dubbelintegrator. Principen är att reglerfelet skall predikteras. En styrsignal, som leder till att reglerfelet och alla dess derivator blir noll efter viss tid, bestämmes sedan. Resultatet kan uttryckas med hjälp av en omkopplingsyta som delar upp tillståndsrummet i två delar. Styrvariabeln har sitt största värde i ena delen och sitt minsta värde i den andra. Prediktionen kräver att processens samtliga tillståndsvariabler är kända. Det finns systematiska metoder för att utföra prediktionen och för att bestämma den önskade styrlagen både för linjära och olinjära processer, Pontryagins maximumprincip och dynamisk programmering som introducerades av Bellman. Ytan kan emellertid vara mycket komplicerad. Dess normaler kan t.ex. vara diskontinuerliga. Optimala till-från regulatorer har därför använts endast i begränsad omfattning. I många fall nöjer man sig med att använda enklare prediktorer, t.ex. baserade på derivataverkan. Den kraftiga ökning i beräkningskapacitet som erhålles genom tillgång på mikroprocessorer kan dock medföra att mer komplicerade till-från regulatorer får ökad användning. Eftersom den optimala till-från regulatorns komplexitet är entydigt bestämd av modellens komplexitet, är det också mycket viktigt att bestämma en bra approximativ modell.

Experimentell bestämning av prediktionstiden

Prediktionstiden kan bestämmas experimentellt på följande sätt. Regulatorn kopplas bort från processen. Mätsignalen anslutes till en skrivare. Styrsignalen ställes manuellt in på sitt största värde. Utsignalen börjar då att växa. Då utsignalen uppnår börvärdet kopplas styrsignalen snabbt om till sitt minsta värde. Den registrerade mätsignalen fortsätter att växa med avtagande tillväxthastighet. Utsignalens översläng Δy noteras. Se fig. 4.10.

Derivatatiden väljs sedan som

$$T_D = k \cdot \frac{\Delta y}{v} \tag{4.11}$$

där v är utsignalens tillväxthastighet strax före omkopplingen och k är en empirisk faktor av storleksordningen 1. För en integrator med tidsfördröjning (Exempel 4.4) och en dubbelintegrator (Exempel 4.5) är konstanten k exakt 1. Om möjligt bör experimentet upprepas såsom visas i fig. 4.10 genom att utsignalen styrs upp över det önskade värdet. Därefter sättes styrsignalen till sitt minsta värde. Då utsignalen passerar referensvärdet sättes utsignalens värde lika med maxvärdet. Överslängen och lutningen bestäms och prediktionstiden beräknas med formeln. Anledningen till att experimenten bör utföras för såväl uppgång som nedgång är att det kan hända att dynamiken är olika. Det är också önskvärt att experimenten upprepas för olika driftspunkter.

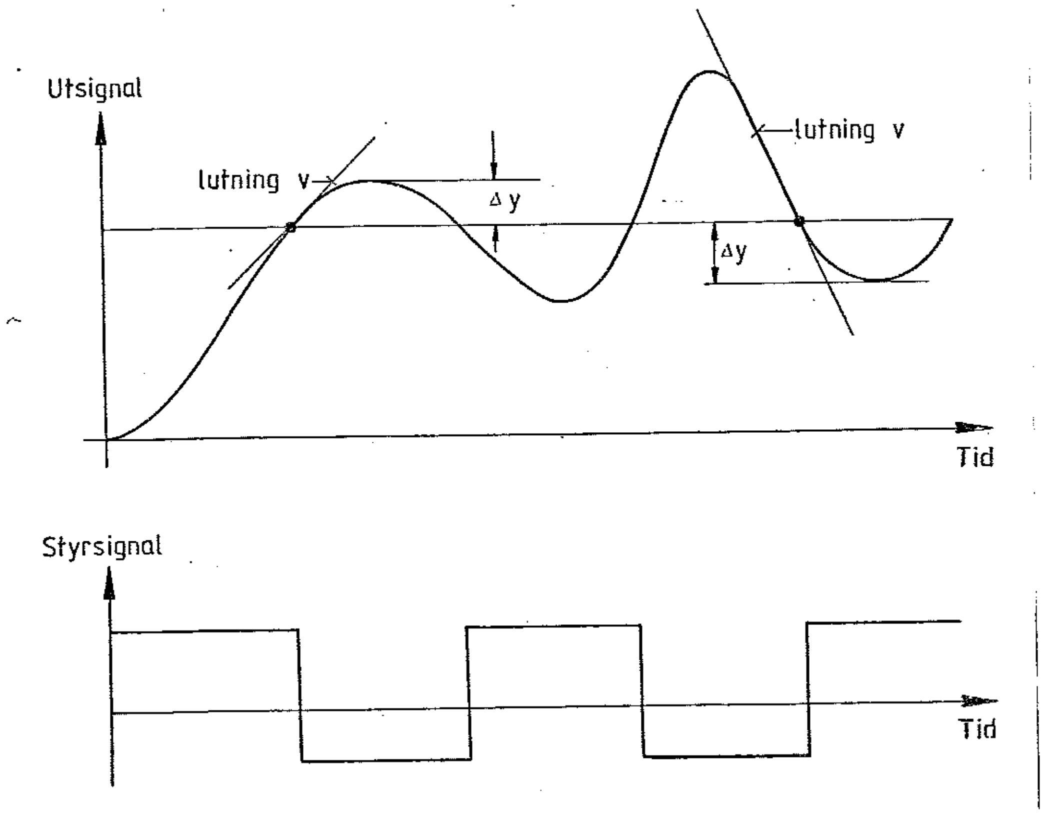


Fig. 4.10 - Illustrerar empirisk bestämning av prediktionstid eller derivatatid för till-från reglering.

4.4 SMÅSIGNALEGENSKAPER

Vi har tidigare nämnt att till-från reglering kan leda till svårigheter då reglerfelet är litet. Detta är lätt att inse matematiskt, ty styrlagen (4.1) är diskontinuerlig för e = 0. I praktiken innebär detta att det kan inträffa att styrvariabeln kommer att pendla mellan sina två värden. Pendlingarna kan orsakas av flera mekanismer. Om styrsignalens värden ej motsvarar stationära lösningar uppstår mycket snabba svängningar, s.k. knatter (eng. chattering), som skall förklaras närmare i detta avsnitt.

Svängningar kan också orsakas av små högfrekventa störningar i mätsignalen. I vissa fall gör det ingenting att styrvariabeln pendlar mellan sina extremvärden, ty svängningen i styrsignalen är ofta knappt märkbar i utsignalen. I andra fall kan svängningen vara mycket allvarlig, ty den kan leda till förslitning av systemet. I detta avsnitt skall några sätt att förbättra till-från regleringens småsignalegenskaper diskuteras. Först skall vi dock diskutera den mekanism som leder till knatter.

Knatter

Ett speciellt fenomen kallat knatter (eng. chattering) kan uppträda vid reglering med diskontinuerlig verkan. Detta kan inträffa om de värden som styrsignalen kan antaga ej svarar mot jämviktslägen. Vid reglering av en integrator så måste t.ex. styrvariabeln vara noll i jämvikt. Om till-från reglering används så uppträder knatter om styrvariabeln ej antar värdet noll. Knatter yttrar sig så att styrvariabeln kommer att pendla mycket snabbt mellan sina värden. Uppkomsten av knatter kan förklaras om vi antar att processen ej är en ideell integrator utan att det finns en extra liten tidsfördröjning. Vi får då det problem som diskuterades i Exempel 4.2. Där visades att till-från reglering ger en självsvängning, där styrvariabeln πendlar mellan sina två värden. Mätsignalens amplitud blir proportionell mot tidsfördröjningen. Svängningens frekvens blir omvänt proportionell mot tidsfördröjningen. Med en liten tidsfördröjning erhålles således en mycket snabb svängning. I praktiken bestäms svängningens frekvens av de små extra tidsfördröjningar som ej kan undvikas. Vid simulering bestäms knattrets frekvens av de extra tidsfördröjningar som orsakas av begränsade steglängder i integrationsalgoritmerna. I Exempel 4.1 och 4.7 uppträder ej knatter, eftersom styrvariabelns minsta värde var noll. Om styrsignalens minsta värde ändras till -1 erhålles knatter. Detta är illustrerat med simuleringsresultaten i fig. 4.11. I figuren har tidsfördröjningen överdrivits för att man skall se svängningen. Vid simulering blir knattrets frekvens så hög att styrsignalens svängningar ritas i varandra så att en svart rektangel erhålles.

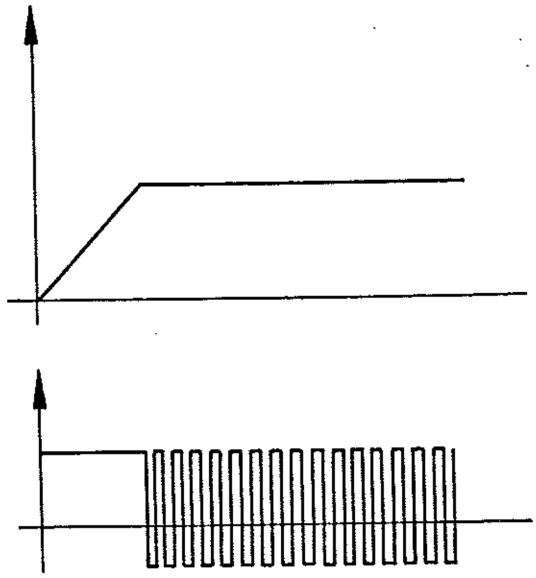


Fig. 4.11 - Stegsvar för ett system som består av en integrator med till-från reglering $u_{max} = 1$ och $u_{min} = -1$.

Observera knattereffekten.

Hysteres

Genom att införa hysteres enligt fig. 4.12 så att styrvariabeln ej växlar förrän felet uppnått viss storlek kan vissa av svårigheterna undvikas. Hysteresen medför att högfrekventa mätstörningar ej orsakar svängningar i styrsignalen om hysteresbredden $2e_0$ är större än störningarnas topp-till-topp värde. Hysteresen medför också att de eventuella självsvängningar som uppträder blir långsamma. Svängningarnas frekvens bestäms av hysteresbredden.

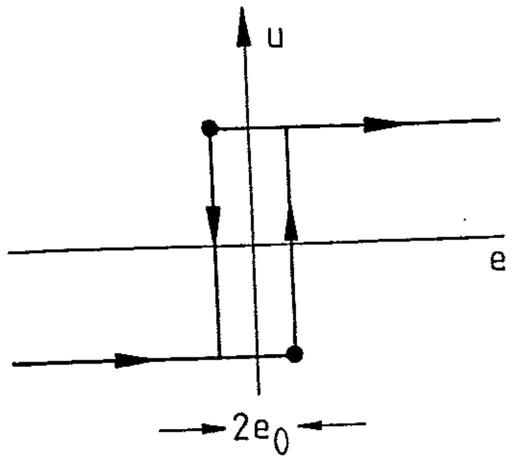


Fig. 4.12 - Karakteristik för till-från regulator med hysteres.

Trelägesverkan

Ett sätt att undvika svårigheterna med knatter och med snabba mätstörningar är att låta styrlagen anta tre värden, t.ex.

$$
u = \begin{cases} u_{max} & e \geq e_0 \\ u_0 & |e| < e_0 \\ u_{min} & e \leq -e_0 \end{cases}
$$

Den reglerform som erhålles säges ha trelägesverkan. För att uppnå önskat resultat bör värdet u_0 vara sådant att det svarar mot ett jämviktsvärde. Detta kan åstadkommas genom att bilda felet som

$$
e = y_r - y + b
$$

där b är en nollägesjustering. Jämför avsnitt 5.3. En till-från regulator som baseras på det predikterade felet kan naturligtvis modifieras på samma sätt.

Vi belyser en ytterligare svårighet vid flerlägesreglering med ett exempel.

E x e m p e l 4.6 (Reglering av integrator med mätbrus) Betrakta en process som beskrivs som en integrator. Jämför Exempel 4.1. I fig. 4.13 visas det resultat som erhålles vid tvålägesreglering då utsignalen mätes med ett periodiskt mätfel. Det har antagits att $u_{min} = -1$ och $u_{max} = 1$. Vid en stegändring i börvärdet reagerar systemet på önskat sätt genom att styrsignalen antar sitt största värde. Då processvariabeln kommer i närheten av referensvärdet så orsakar det periodiska mätfelet att styrsignalen kopplas om mellan sina extremvärden. Dessa svängningar i styrsignalen blir också märkbara i processvariabeln.

Figur 4.14 visar vad som händer om till-från regulatorn bytes mot en trelägesreglering där e_0 valts så att den är större än störningen i mätsignalen. I figuren är mätfelets toppvärde 0.05 medan $e_0 = 0.06$. En jämförelse mellan fig. 4.13 och 4.14 visar att i det speciella fallet så upphör pendlingarna med trelägesverkan. Insvängningen blir också något mjukare, eftersom styrsignalen kopplas om en kort stund innan referensvärdet uppnås. Det gynnsamma resultatet uppnås därför att styrvariabeln har värdet noll för små reglerfel. Vidare blir processvariabeln konstant då styrvariabeln är noll. Om dessa villkor ej är uppfyllda så uppstår åter pendlingar.

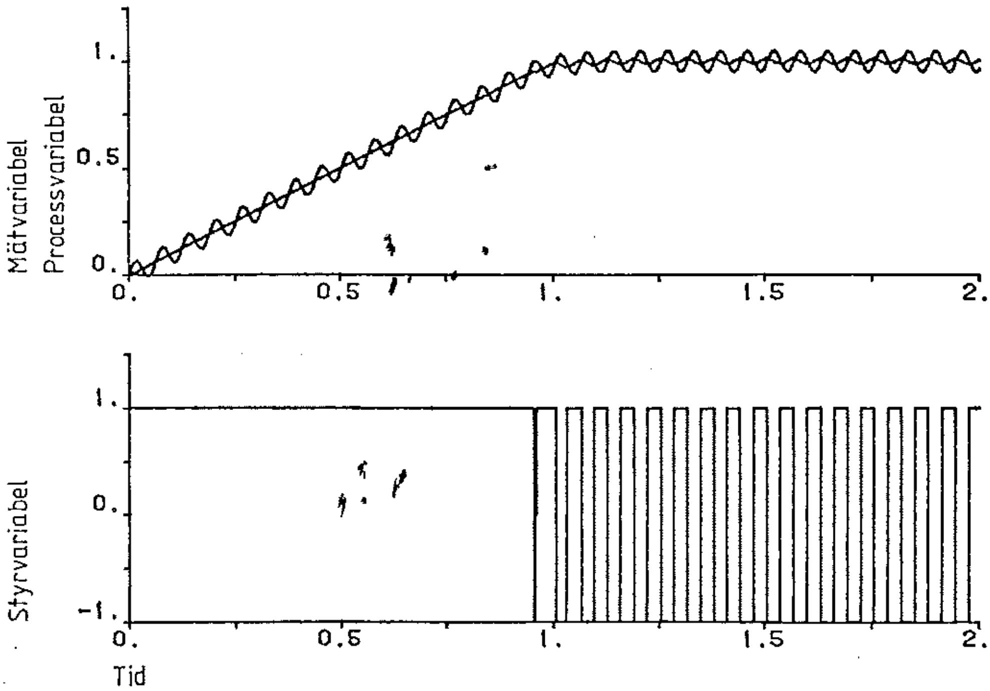


Fig. 4.13 - Stegsvar vid till-från reglering av integrator med mätfel.

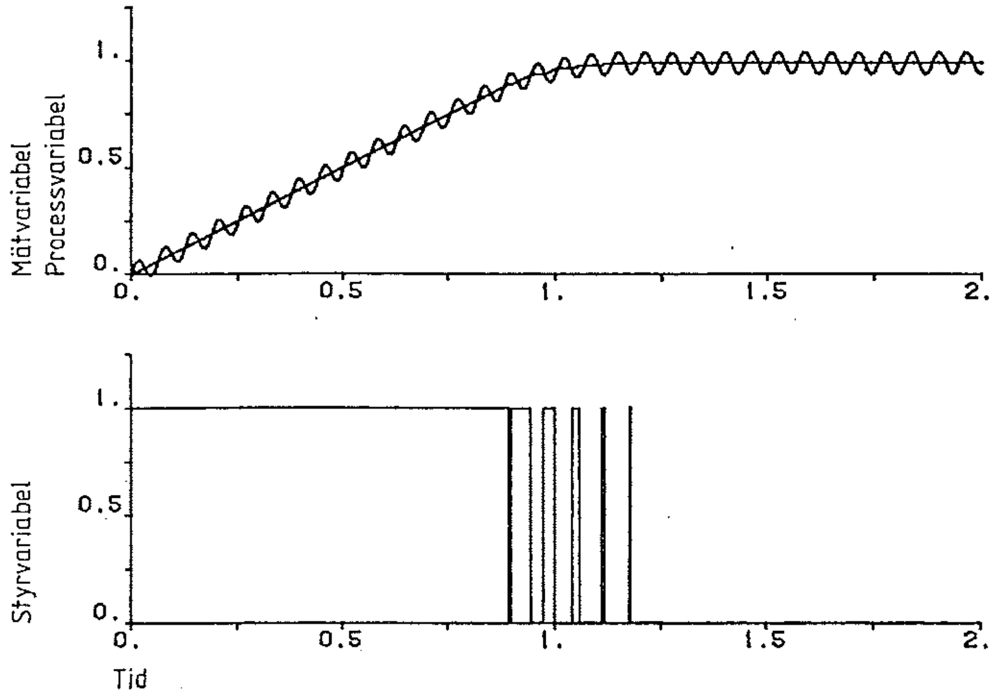


Fig. 4.14 - Stegsvar vid trelägesreglering av integrator med mätfel.

□

Linjär reglerverkan

En tredje möjlighet att undvika svårigheterna med knatter och högfrekventa mätstörningar är att ersätta den diskontinuerliga styrlagen med en kontinuerlig styrlag då reglerfelet är litet. Styrvariabeln kan t.ex. väljas som en linjär funktion för små fel. Styrlagen får då formen

$$u = \begin{cases} u_{max} & e > e_0 \\ u_0 + \dfrac{e}{2e_0}(u_{max} - u_{min}) & |e| \le e_0 \\ u_{min} & e < -e_0 \end{cases}$$

Talet $2e_0$, som anger storleken av det intervall där reglerverkan är linjär, kallas proportionalband. Detta behandlas utförligare i kapitel 5.

Kapitel 4 - Till-från reglering

Den linjäriserade reläkarakteristiken kan lätt åstadkommas med analog eller digital teknik. Mycket av systemets enkelhet går dock förlorad, ty ställdonet som vid till-från reglering endast behöver vara i två lägen måste bytas mot ett ställdon vars utsignal kan förändras kontinuerligt. I många fall är processens dynamik av lågpasskaraktär. Om ställdonet är sådant att det utan nackdel kan kopplas om snabbt så finns det en mycket elegant metod att erhålla linjäriserad reglerverkan. Metoden går ut på att en triangelvåg adderas till felsignalen och att summan av signalerna kopplas till reläet. Se fig. 4.15. På engelska har tillsatssignalen givits det talande namnet "dither signal".

Om triangelvågen varierar mycket snabbare än felsignalen så blir utsignalens medelvärde

$$\bar{y} = \begin{cases} -a & e < -a \\ e & |e| < a \\ a & e > a \end{cases}$$

där triangelvågens topp-till-topp värde är 2a. "Linjäriseringsbredden" kan alltså lätt ändras genom att variera triangelvågens amplitud. En liknande effekt kan uppnås med andra signalformer, men funktionsbandet blir olinjärt om tillsatssignalens vågform ej är triangulär.

Småsignalegenskaperna samt en lämplig utformning av omkopplingen diskuteras utförligare i kapitel 7.

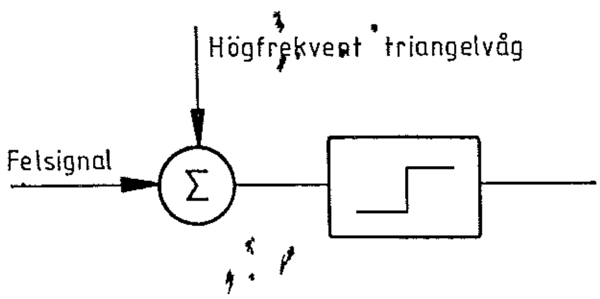


Fig. 4.15 - Linjärisering av reläkarakteristik genom högfrekvent tillsatssignal.

4.5 SAMMANFATTNING

Till-från reglering är en enkel och robust reglerform. Regleringen har den intuitivt trevliga egenskapen att maximalt styringrepp alltid görs för att uppnå önskat resultat. I grundutförandet har en till-från regulator inga parametrar som behöver ställas in. Några egenskaper hos till-från reglering sammanfattas nedan.

- Till-från reglering fungerar utmärkt för en process vars dynamik kan beskrivas som en integrator. För en sådan process är till-från reglering optimal i den meningen att insvängning till det önskade värdet sker på kortast möjliga tid. Till-från reglering kan också användas på processer vars dynamik kan approximeras med en tidsfördröjning och en dominerande tidskonstant under förutsättning att tidsfördröjningen är avsevärt mindre än tidskonstanten. Till-från reglering är också bra att använda i de fall då reglerauktoriteten är liten. För system med hög reglerauktoritet kan det lätt inträffa att styrvariabeln snabbt pendlar mellan sina extremvärden.

- Det är viktigt att betrakta process- och regulatorkonstruktion i ett sammanhang. Om man har för avsikt att använda till-från reglering bör man eftersträva att konstruera processer vars dynamiska egenskaper kan beskrivas som en integrator. Processen kan då effektivt regleras med en till-från regulator.

- Till-från regulatorn ger ofta ett slutet system som svänger med ändlig amplitud. I många fall kan svängningen tolereras. Svängningen kan dämpas genom att låta omkopplingen styras av prediktionen av reglerfelet. En enkel prediktion kan göras med hjälp av reglerfelets derivata (D-verkan). Mer komplicerade prediktorer kan göras utgående från matematiska modeller för processen. Detta leder dock till styrlagar som kräver att processens samtliga tillståndsvariabler kan mätas. Reglerfunktionen blir i allmänhet också ett mycket komplicerat uttryck.