LUND UNIVERSITY

Adaptiva reglermetoder

Borisson, Ulf; Sogndal, Christian

Published in:
Elteknik

1968

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

Link to publication

Citation for published version (APA):
Borisson, U., & Sogndal, C. (1968). Adaptiva reglermetoder. *Elteknik*, (9), 182-185.

Total number of authors:
2

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

Adaptiva regler-metoder

Adaptiva reglersystem används för att styra processer med varierande dynamiska egenskaper. Det finns nu ett flertal system i bruk och några av dem har här analyserats och jämförts med hjälp av simulering i analogimaskin.

Civilingenjörerna Ulf Borisson och Christian Sogndal har arbetat med adaptiva reglersystem vid Institutionen för Reglerteknik, LTH. Ulf Borisson bedriver nu licentiatstudier i Reglerteknik och Christian Sogndal skall i fortsättningen syssla med reglertekniska uppgifter hos Stal-Laval i Finspång.

Det finns i processindustrin många reglerproblem, som är svåra att lösa med enkla regulatorer av proportionell och integrerande typ. Orsaken till detta kan vara att processens dynamiska egenskaper varierar kraftigt beroende på yttre störningar. För att lösa sådana reglerproblem kan man använda s.k. adaptiva system. Man dimensionerar då en regulator, som på ett eller annat sätt kan ta hänsyn till att processdynamiken varierar. Problem av denna typ förekommer även inom flygtekniken, och amerikanska flygvapnet har satsat stora summor på utveckling av s.k. adaptiva autopiloter, bl. a. i experimentplanet X-15. Flera av dessa system har i praktiken visat sig fungera utmärkt.

Fyra adaptiva reglersystem har studerats; Honeywells metod, Gesac samt två enkla metoder baserade på parameteridentifiering. Undersökningarna visade att det system som föreslagits av Honeywell fungerade bäst. Det var dessutom lätt att dimensionera. De resultat som erhölls med detta system var i stort sett likvärdiga med de som kunde erhållas genom manuell reglering. Vid måttliga förstärkningsvariationer kunde en någorlunda van operatör reglera bättre, medan Honeywells system gav något bättre resultat för stora förstärkningsvariationer. Det skall betonas att undersökningarna gjorts på en speciell process, och resultaten är naturligtvis beroende på processens egenskaper. Det vore emellertid intressant att i fortsatta arbeten närmare studera adaptiv reglering av processer med olika egenskaper.

Brus och varierande förstärkning

Processen som skall regleras, fig. 1, består således av en tidsvariabel förstärkning följd av ett system med överföringsfunktionen

$$\frac{1}{s(s+1)^2}.$$

De störningar som påverkar processen antas vara sådana att utsignalen i frånvaro av styrsignaler är en driftstörning. För att simulera detta sänds brus från analogimaskinens brusgenerator in framför den sista integratorn, fig. 1. På detta sätt får man i frånvaro av styrsignaler en utsignal, vars spridning växer som kvadratroten ur tiden t.

Systemet påverkas alltså utifrån på två sätt, dels av en additiv störning och dels av en varierande förstärkning. Varierande förstärkning simulerades genom att processens insignal multiplicerades med en sinusvåg eller en avklippt triangelvåg. Förstärkningen varierade med en faktor 10 som mest.

För att få en uppfattning om svårigheten att reglera processen antar vi att den adaptiva regulatorn ersätts med en proportionell regulator, och att den tidsvariabla förstärkningen varierar så långsamt, att vi kan räkna med ett kvasistationärt system. Det öppna systemets överföringsfunktion är då

$$G_0 = \frac{K_t}{s(s+1)^2}$$

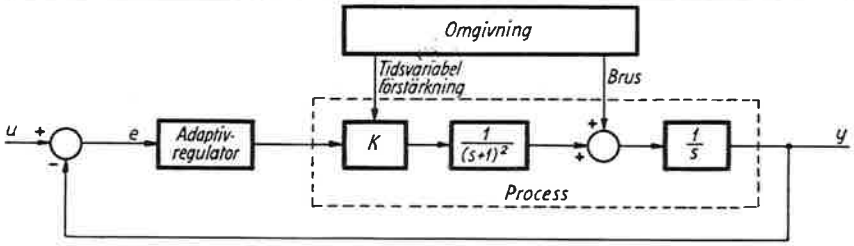

Fig. 1. Blockschema för en process med adaptiv regulator.

Fig. 1. Adaptive control system.

TILLHÖR REFERENSBIBLIOTEKET
UTLÅNAS EJ

RAPPORT 6908 MARS 1969
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
INSTITUTIONEN FÖR REGLERTEKN

Särtryck ur Elteknik 1968 h. 9 s. 182-185

där K_t är kretsens totala förstärkning. Man ser i rotortdiagrammet, fig. 2, att stabilitetsgränsen ligger vid $K_t = 2$, $\omega = \pm 1$. Om man antar att omgivningens störning består av vitt brus, visar det sig vara förmånligt att hålla den totala förstärkningen vid det konstanta värdet 2/3. Då blir nämligen variansen i utsignalen minimal, om referenssignalen på ingången är noll. Om nu den tidsvariabla förstärkningen varierar med en faktor 10 inser man svårigheten, ty man kan inte både hålla sig på den stabila delen av rotorten och samtidigt låta K_t ligga nära värdet 2/3. Man kan alltså inte använda en proportionell regulator, utan måste tillgripa adaptiv reglering.

Honeywells adaptiva system

Det block som markerats som modell, fig. 3, är så konstruerat att det med en viss insignal ger exakt det svar man skulle vilja få från den verkliga processen, om denna inte var utsatt för störningar. Skillnaden $u-y = e$ sänds genom en krets som har överföringsfunktionen $1 + as$, där a är en lämplig konstant. Genom att utnyttja deriveringstermen kan man redan på ett tidigt stadium göra ett bra styringrepp. Reläet är den systemkomponent som främst tjänar som förstärkningsregulator. Det kan ge två olika stora konstanta utsignaler. I förstärkningsregulatorn jämföres storleken på felet e med en referensnivå. Med ledning härav bestäms reläets utsignal. Denna blir $\pm A_1$ för stora fel och $\pm A_2$ för små fel. Systemets funktionssätt förklaras lättast genom att först betrakta ett allmänt återkopplat system, fig. 4. Med figurens beteckningar erhålles insignal-utsignalrelationen

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{G_0(s)}{1+G_0(s)H(s)}.$$

Om förstärkningen i $G_0(s)$ är mycket hög, i princip oändlig, erhålles approximativt

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{H(s)}$$

I fig. 3 är $H(s) = 1$ vilket ger $Y(s) = U(s)$. Med hög förstärkning i det öppna systemet, fig. 3, blir alltså $y = u$ och $e = 0$.

Antag att systemförstärkningen är låg, dvs. $G_0(s)$ är liten. Då gäller inte approximationen $y = u$, varför felet e blir stort. Om felet skall minska måste alltså $G_0(s)$ ökas. Detta kan ske genom att låta reläets utsignal anta det större värdet. Då närmar sig insignal-utsignalsambandet värdet 1, och felet blir litet. Via förstärkningsändraren ändras nu reläets utsignal tillbaka till det mindre värdet för att instabilitet i systemet skall förhindras.

För att jämna ut reläets karakteristik adderas en högfrekvent sinussignal till reläets insignal. Fördelen med den högfrekventa sinussignalen är att reläförstärkningen blir ungefär konstant för små fel.

En sinussignal på modellens ingång reproduceras på systemets utgång, fig. 5, då förstärkningsparametern varierar som en avklippt triangelvåg. För låga värden på förstärkningen blir felet stort. Då ingriper förstärkningsändraren, så att reläet får en större utsignal. Härigenom ökar systemets förstärkning, och felet minskar. När felet understiger en viss nivå, antar reläets utsignal det mindre värdet igen. Detta upprepas så länge förstärkningen är liten.

Gesac (General Electric Self-Adaptive Control)

Detta system, fig. 6, innehåller liksom det föregående en modell och en förstärkningsändrare. Den senare styrs även här av felets storlek men med frekvensjämförelse som grund. Däremot ligger modellen i återkopplingskretsen i stället för framför systemet. Vid hög förstärkning i det öppna systemet bestäms, liksom tidigare, överföringsfunktionen av återkopplingens invers. Återkopplingen kallas av denna orsak invers modell.

Största stabila värde på förstärkningen för systemet i fig. 2 är 2, och vinkelfrekvensen ω är då lika med 1. Vid frekvensjämförelsen används denna frekvens som referens. Förstärkningsändraren höjer eller sänker förstärkningen allteftersom ω är mindre eller större än 1. Frekvensjämförelsen sker i en enkel krets, fig. 7. Konstanten T bestäms så att parallellkretsarnas absolutvärden blir lika stora för $\omega = 1$. Detta ger $T = 1$. Om $\omega = 1$ ändras därför inte förstärkningen, eftersom de två

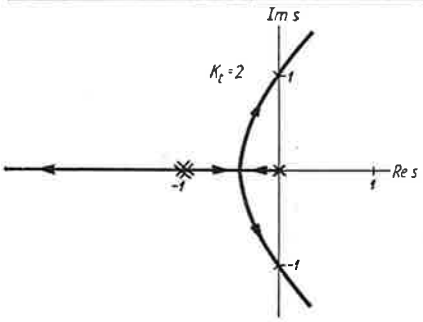

Fig. 2. Rotorten för ett återkopplat system med karakteristiska ekvationen $s^3 + 2s^2 + s + K_t = 0$.

Fig. 2. Root locus for a feed-back system. The characteristic equation is $s^3 + 2s^2 + s + K_t = 0$.

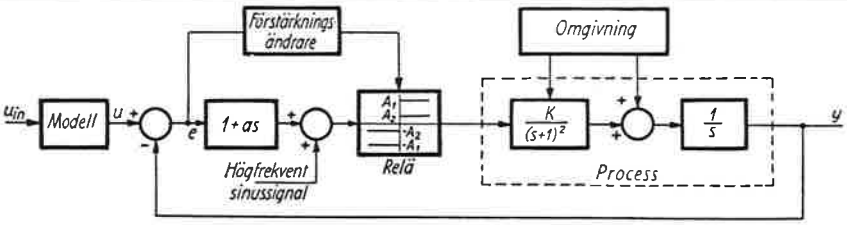

Fig. 3. Blockschema för Honeywells adaptiva system; u_{in} betecknar insignalen på modellen, u, y och e betecknar in-, ut- respektive felsignalen för det övriga systemet.

Fig. 3. Honeywells adaptive control system.

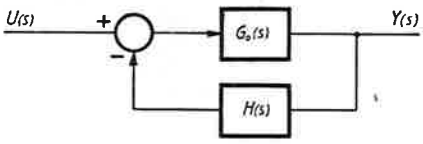

Fig. 4. Ett allmänt återkopplat system.

Fig. 4. A general feed-back system.

absolutbeloppen adderas med olika tecken. Om däremot $\omega \neq 1$ ger kretsarna olika stora absolutvärden, och systemförstärkningen ändras via integratorn och multiplikatorn. Vid analogisimuleringen visade detta adaptiva system inte samma snabbhet i insvängningarna till önskade värden som det tidigare Honeywellsystemet.

Metoder baserade på parameteridentifiering

Adaptiv reglering kan göras med hjälp av parameteridentifiering, fig. 8. Processen har alltså parametrar som varierar. Denna variation är emellertid inte önskvärd. Man vill eliminera den och i stället ge parametrarna konstanta värden. Man väljer naturligtvis dessa så att de blir så förmånliga som möjligt för systemet.

Låt oss som exempel ta det tidigare nämnda systemet med variabel förstärkning,

$$\frac{K}{s(s+1)^2}.$$

Man bestämmer då kontinuerligt värdet av den varierande förstärkningsparametern K, och samtidigt låter man regulatorn multiplicera insignalen till processen med faktorn K_w/K, där K_w är det önskade värdet på förstärkningen.

Direkta metoden

Sambandet

$$\frac{K}{s(s+1)^2} = \frac{Y}{U}$$

där U och Y betecknar systemets in- resp. utsignal, kan skrivas

$$K = \frac{s^3Y + 2s^2Y + sY}{U}.$$

Genom att använda sig av värdena på insignalen, utsignalen och dess derivator kan man alltså bestämma K. Man ser emellertid att insignaler som är noll ställer till besvär, eftersom nämnaren då blir noll. Vidare kan det bli svårigheter vid deriveringen, om signalerna är påverkade av brus. Metodens stora fördel ligger i dess enkelhet.

Vid simulering på analogimaskin visade det sig att de beräknade värdena på K innehöll högfrekventa komponenter. Dessa kunde elimineras med ett lågpassfilter, men samtidigt gick en del av metodens snabbhet förlorad.

Youngs metod

För enkelhetens skull betraktas ett första ordningens system, som kan beskrivas av

$$a_0y + a_1\dot{y} - u = 0, \qquad (1)$$

där $\dot{y}$ betecknar derivatan av y med avseende på tiden. a_0 och a_1 är parametrar som varierar, och deras värden skall bestämmas. Välj först godtyckliga värden på a_0 och a_1 och kalla dessa a_{0g} resp. a_{1g}. Om dessa värden sätts in i ekv. (1), blir högra ledet inte längre noll. Vi får ett samband av typen

$$a_{0g}y + a_{1g}\dot{y} - u = E \qquad (2)$$

där E är en felfunktion som antar värdet noll endast då a_{0g} och a_0 samt a_{1g} och a_1 stämmer överens. Man kan också säga att man söker de värden på a_{0g} och a_{1g} som gör att $|E|$ antar minimum, vilket är lika med noll. De sökta värdena utgör lösningar till differentialekvationerna

$$\frac{da_{0g}}{dt} = -K_0\frac{\delta|E|}{\delta a_{0g}}$$

$$\frac{da_{1g}}{dt} = -K_0\frac{\delta|E|}{\delta a_{1g}}$$

K_0 är en positiv konstant, som bestämmer beräkningens hastighet. Med hjälp av ekv. (2) kan derivatorna av $|E|$ beräknas,

$$\frac{da_{0g}}{dt} = -K_0 y \; sgn\,(E)$$

$$\frac{da_{1g}}{dt} = -K_0 \dot{y} \; sgn\,(E)$$

där $sgn\,(E) = E/|E|$. Dessa ekvationer kan lätt simuleras på analogimaskin, och de sökta parametrarna a_0 och a_1 utgör alltså deras lösningar. Ovanstående resonemang kan generaliseras, så att det gäller för system av godtycklig ordning. Youngs metod är endast avsedd för förhållandevis långsamma parametervariationer.

Med Youngs metod blir det inga problem då insignalen är noll. Metodens långsamhet inskränker emellertid dess användningsområde.

Jämförelse mellan manuell reglering och adaptiva reglersystem

Eftersom det vore intressant att veta hur de adaptiva systemen hävdar sig jämfört med manuell reglering gjordes

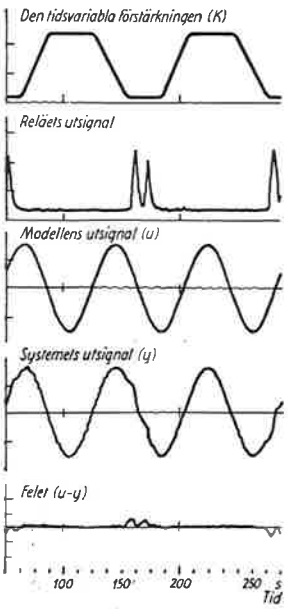

Fig. 5. Följning av en sinussignal.

Fig. 5. Process with a sinusoidal input.

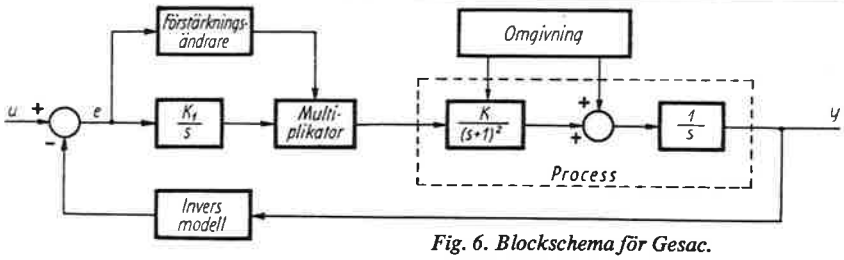

Fig. 6. Blockschema för Gesac.

Fig. 6. GESAC.

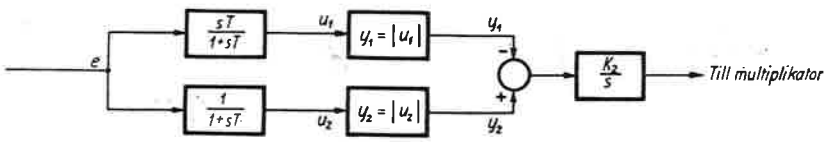

Fig. 7. Blockschema för frekvensjämförelsekretsen (förstärkningsändraren).

Fig. 7. Circuit for frequency comparation (amplifier changer).

några försök för att utröna detta. Liksom tidigare stördes processen dels av brus och dels av en tidsvariabel förstärkning. Referenssignalen på systemets ingång sattes lika med noll. Även utsignalen borde alltså vara lika med noll trots störningarnas inverkan.

Vid den manuella styrningen användes en uppkoppling, fig. 9, där utsignalen registrerades på ett dubbelstråleoscilloskop. En skrivare var inkopplad för att uppta tidsintegralen av utsignalens kvadrat. Denna skulle alltså bli så liten som möjligt. Den ena strålen på dubbelstråleoscilloskopet fick generera en fix nollinje. Den andra visade utsignalens amplitud. Operatören kunde alltså hela tiden iaktta utsignalens variation. Han hade till uppgift att med hjälp av styrspaken införa en lämplig signal i systemet, så att den rörliga linjen sammanföll med den fixa.

Vid försöken med de adaptiva systemen upptogs tidsintegralen av utsignalens kvadrat under lika lång tid som under den manuella styrningen. Även i övrigt var förhållandena desamma. I fig. 10 visas utseendet av olika signaler vid försöket med Honeywells system. (Jämför fig. 3!) Man ser att felet är minst vid stora värden på förstärkningen.

Försöken visade att endast Honeywells metod gav resultat i klass med den manuella styrningen, tabell 1. Vid den mindre förstärkningsvariationen gav alltså den manuella styrningen ett bättre resultat än Honeywells metod. Förhållandet blev det omvända vid den stora förstärkningsvariationen. Naturligtvis blev resultaten från den manuella styrningen beroende av operatörens styrskicklighet. Undersökningar visade emellertid att en ovan operatör kunde styra förhållandevis bra efter kort träning.

Tabell 1. Jämförelse mellan Honeywells metod och manuell styrning.

K-variation (sinusformad)	Styrmetod	Tidsintegral av felets kvadrat under 5 min
$1 \leq K \leq 3$	Honeywells	19,0
$1 \leq K \leq 3$	Manuell	12,0
$1 \leq K \leq 10$	Honeywells	14,1
$1 \leq K \leq 10$	Manuell	17,9

Litteratur

1. Blakelock, J H: *Automatic control of aircraft and missiles,* Wiley, New York 1965.
2. Mishkin, E, and Braun Jr, L: *Adaptive control systems,* McGraw-Hill, New York 1961.
3. Farr, J E, Hoffman D P, and Cooper, N R: *Evaluation of the General Electric self-adaptive control system on the X-15 flight control simulator,* ASD Technical Report 61-81, Los Angeles 1961.
4. Gregory, P C: *Proceedings of the Self Adaptive Flight Control Systems Symposium,* WADC Technical Report 59-49 ASTIA Document AD 209389, Ohio 1959.
5. *Self-adaptive control system. Evaluation on X-15 simulator.* General Electric Company, Light Military Electronics Dep., New York.
6. Young, P C: *The determination of the parameters of a dynamic process,* Radio and Electronic Engineer, 29 1965 h. 6 s. 345–361.
7. Sogndal, R I C: *Analogisimulering av Honeywells och General Electrics adaptiva system,* Inst. Regleringsteknik LTH, Rapp. RE-26, 1968.
8. Borisson, U L I: *Jämförelse genom analogisimulering mellan manuell styrning och några adaptiva system vid variabel kretsförstärkning,* Inst. Regleringsteknik LTH, Rapp. RE-27, 1968.

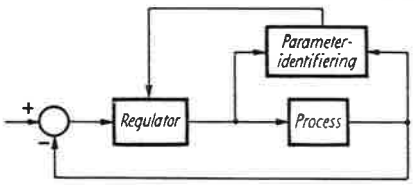

Fig. 8. Adaptiv reglering med hjälp av parameteridentifiering.

Fig. 8. Adaptive control system with parameter identification.

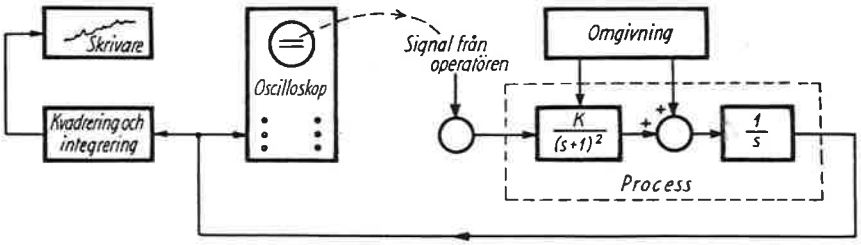

Fig. 9. Principiellt kopplingsschema vid den manuella styrningen.

Fig. 9. The manual control circuit.

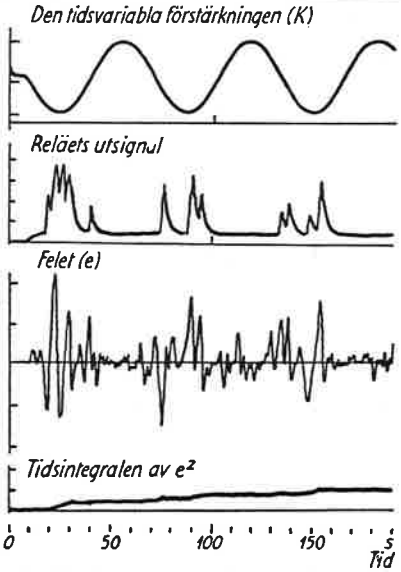

Fig. 10. Utseendet av olika signaler vid försöket med Honeywells system.

Fig. 10. Waveforms in the Honeywell system.

Aktiebolaget Trycksaker, Norrköping 1969