LUND UNIVERSITY

Program för forskningen i reglerteknik vid Tekniska Högskolan i Lund

Åström, Karl Johan

1969

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

Link to publication

Citation for published version (APA):
Åström, K. J. (1969). *Program för forskningen i reglerteknik vid Tekniska Högskolan i Lund*. (Research Reports TFRT-3011). 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

PROGRAM FÖR FORSKNINGEN I REGLERTEKNIK VID TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND

K. J. ÅSTRÖM

RAPPORT 6905 JULI 1969
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
INSTITUTIONEN FÖR REGLERINGSTEKNIK

Studentlitteratur
Lund 1969

PROGRAM FÖR FORSKNINGEN I REGLERTEKNIK VID TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND

K.J. Åström

I denna skrift presenteras ett forskningsprogram samt några av de tankar som legat till grund för dess utformning. Programmets tyngdpunkt ligger på att utveckla metoder för processreglering och produktionsstyrning. Dessa problem utgör de mest angelägna reglerproblemen för dagens svenska industri. De metoder som utvecklats kan även användas inom andra tillämpningsfält, t.ex. medicinsk teknik.

INNEHÅLL

1. Inledning
2. Några utvecklingstendenser i den reglertekniska forskningen
3. Målsättning
4. Industrikontakter
5. Processidentifiering
6. Adaptiva system
7. Numeriska metoder för optimal reglering
8. Stora system
9. Tillämpningar
10. Referenser

Bil A: Tekniska rapporter
Bil B: Rapporter från kontaktdagar
Bil C: Lista på godkända examensarbeten i reglerteknik vid LTH

1. INLEDNING

Huvuddragen i denna skrift är desamma som i det tidigare presenterade forskningsprogrammet {24}. Under de två år som gått sedan detta publicerats, har vi emellertid fått en mer nyanserad syn på många detaljproblem {25}. Vissa helt nya problemområden har även upptagits. De väsentliga skillnaderna är att det stora tillämpningsprojektet, reglering av ångpannor, avslutats och att institutionen genom STU:s medverkan fått nya experimentella resurser i form av en processdatamaskin.

Skriften vänder sig till samtliga personer som önskar få information om institutionens forskning, både utomstående inom industrin och studerande, som eventuellt planerar att medverka i institutionens verksamhet. Det tidigare utarbetade forskningsprogrammet har visat sig vara mycket väsentligt för att ge stadga åt institutionens verksamhet både vid val av examensarbeten, licentiandarbeten, utformandet av licentiatkurser samt för att tjäna som vägledning vid problemval vid industriellt samarbete.

Rapporten är organiserad på följande sätt. I avsnitt 2 presenteras några utvecklingstendenser inom den reglertekniska forskningen. Målsättningen för institutionens verksamhet har formulerats i avsnitt 3. I avsnitt 4 beskrives några olika former för kontakter med näringslivet som vi har provat. I de följande kapitlen presenteras de speciella forskningsområdena mer detaljerat. Således behandlas processidentifiering i avsnitt 5, adaptiva system i avsnitt 6 och numeriska metoder för optimal reglering i avsnitt 7. Avsnitt 8 upptar ett nytt område, reglering av stora system, och avsnitt 9 behandlar tillämpningar. Ett antal referenser ges i avsnitt 10. En lista på publikationer från institutionen ges i bilagorna A, B och C.

2. NÅGRA UTVECKLINGSLINJER I DEN REGLERTEKNISKA FORSKNINGEN

De senaste tio årens verksamhet inom reglertekniken har karakteriserats av ett mycket starkt uppsving för den teoretiska forskningen. {1},{11},{12}. Detta har orsakats av de kvalificerade problem man ställs inför inom rymdteknologi och processreglering. Utvecklingen har i stor utsträckning påverkats av datamaskinteknikens framsteg. Datamaskinerna har dels gjort det möjligt att genomföra de beräkningar som krävs för analys av komplicerade system och har givit en praktisk möjlighet att förverkliga även mycket komplexa styrsystem.

Inflödet av idéer från matematiken till reglertekniken har således varit mycket stort under de senaste åren. De praktiska problemen inom reglertekniken har även givit upphov till nya och intressanta matematiska resultat. Typiska exempel på detta är dynamisk programmering {2} och Pontryagins maximumprincip {11}, som utgör generaliseringar av den klassiska variationskalkylen, Kalmans resultat om observerbarhet och styrbarhet {8} , som berikat teorin för ordinära differentialekvationer och teorin för reglering av system med stokastiska störningar {14},{16}.

Tillämpningsfältet för reglerteknik har ökat avsevärt under de senaste tio åren. De ständigt ökande tillämpningarna har närmat reglertekniken till många andra ämnen. Vid lösning av praktiska processregleringsproblem har det t.ex. visat sig vara mycket svårt att separera processreglering och produktionsplanering {4}. Reglertekniken har härigenom fått en anknytning till operationsanalys. Vi har kommit i kontakt med dessa problemställningar dels via ett examensarbete som genomförts i samarbete med IBM och PLM, och dels i samband med ett pågående licentiatarbete, produktionsplanering av ett pappersbruk, i samarbete med Billerud. Studium av processreglering har även visat att avsevärda förbättringar kan uppnås genom att modifiera processen. Möjligheten att använda reglering har givit processprojektören ytterligare frihet att lösa besvärliga konstruktiva kompromisser. Utnyttjandet av datamaskiner har även givit anknytning till automatateori och informationsbehandling. Den praktiska utformningen av ett processkontrollsystem är t.ex. starkt beroende av de programmeringssystem som finns tillgängliga för processdatamaskinen. Vid Imperial College i England har man som en konsekvens av detta

organisatoriskt sammanfört regleringsteknik med informationsbehandling under "centre for computing and automation".

Allt bättre komponenter har även utvecklats under de senaste åren. Vid lösning av många industriella reglerproblem är emellertid bristen på lämpliga mätgivare fortfarande en allvarlig begränsning. Mätning av höga temperaturer i metallsmältor och koncentration av pappersmassa är typiska exempel på mättekniska problem som ej är lösta på ett tillfredsställande sätt. Många nya mätinstrument som utvecklats har även i stor utsträckning utnyttjat reglertekniska principer och det finns således även naturliga band mellan reglerteknik och mätteknik. Det kan dessutom nämnas att reglertekniska metoder idag används inom ekonomi {6},{7}, biologi, fysiologi {9} och medicin {10}. Det är förvånande att de fundamentala problemen inom så många tillämpningsområden är så likartade att de kan behandlas med en enhetlig metodik.

Tack vare utvecklingen av teorin är det nu möjligt att formulera och lösa mycket realistiska problem. Trots detta är den s.k. "klyftan" mellan teori och praktik det stora diskussionsämnet inom reglerteknisk forskning. Man avser med detta att många av de teoretiska metoder som utvecklats ej används i praktiken eller i extrema fall är oanvändbara och att många viktiga praktiska problem ej studeras av teoretiker.

Vid många installationer av processdatamaskiner är de egentliga reglerproblemen relativt undanskymda. De stora svårigheterna uppstår i stället därigenom att man har en mycket stor mängd relativt enkla problem att lösa. En viss del av denna problematik behandlas mer detaljerat i det följande under rubriken stora system.

3. MÅLSÄTTNING

Målsättningen för institutionens verksamhet är att

- producera forskningsresultat av god internationell klass
- utbilda forskare som står på en god nivå i internationell jämförelse
- följa upp resultat inom ett vidare fält för att kunna ge service till samhället i form av metodval m.m.

Institutionens resurser är relativt blygsamma. De består av professor, lektor, 3 assistenter, 3 forskningsingenjörer (STU)(4 fr o m ht-69), licentiander, examensarbetare (ca 30/år) och biträdespersonal.

För att uppfylla målsättningen med dessa personer är en stark specialisering nödvändig. Vi har valt att koncentrera verksamheten på principiella problem inom området analys och syntes av reglersystem. Kravet på specialisering står i motsats till kravet på uppföljning av resultat inom ett vidare område, liksom även till önskemålet om en bredare licentiatutbildning.

Under den gångna tvåårsperioden har vi väsentligen koncentrerat oss på området processidentifiering och reglering av ångpannor. Utvecklingen av numeriska metoder för optimal reglering har gjorts i anslutning till tillämpningsprojektet. Vidare har en viss uppföljande verksamhet genomförts inom området adaptiva system. Vad beträffar den övriga verksamheten har den till väsentlig del skett i samband med utbildning. Vi har således i stor utsträckning utnyttjat examensarbeten och vidarestudier för att kunna täcka ett vidare fält. Under den närmaste treårsperioden kan vi förvänta oss en ökad aktivitet inom områdena: adaptiva system samt numeriska metoder för optimal reglering. Vidare kommer vi att börja preliminära undersökningar inom området stora system. Beträffande tillämpningarna kommer resurserna väsentligen att koncentreras på att realisera styralgoritmer med hjälp av en processreglerare.

Spin-off

Flera av de metoder som utvecklats inom institutionen kan även tillämpas på icke tekniska problem. Det förefaller framför allt som området medicinsk teknik skulle kunna vara ett mycket fruktbart tillämpningsområde. För närvarande avser vi dock att väsentligen koncentrera oss på industriell processreglering. De medicinska tillämpningarna kommer även i framtiden att skötas i form av examensarbeten.

4. INDUSTRIKONTAKTER

De industriella tillämpningarna av reglertekniken befinner sig just nu i ett mycket expansivt skede bl.a. på grund av utvecklingen inom den industriella processregleringen. En nära kontakt med industrin är nödvändig dels för att ge den teoretiska forskningen en verklighetsförankring och dels för att få impulser till nya problem.

Med tanke på den klyfta som för närvarande råder mellan teori och praktik inom reglerteknik, torde det inom de närmaste åren vara synnerligen väsentligt för institutionen att aktivt verka för att nya metoder som utvecklats förs ut till industriell tillämpning. Många av de nya resultaten torde tveklöst kunna få en mycket stor tillämpning inom industrin och vi anser det därför vara en synnerligen angelägen uppgift under de närmaste åren att se till att denna kunskap förs ut. Beträffande kontakter med industrin har vi hittills provat följande former

- kurser
- kontaktdagar
- gemensamma projekt
- kontaktresor

Kurser

I samarbete med Teknologföreningens avdelning för regleringsteknik har institutionen anordnat en tvådagarskurs i processidentifiering samt en veckolång kurs "Reglerteorier i omdaning". I samarbete med VAST arrangerades en kurs om Dynamisk programmering och stora system med professor R. Bellman som föreläsare.

Kontaktdagar

För att få kunskap om aktuella reglerproblem inom industrin och för att få en ytterligare kanal att föra ut våra resultat och idéer, har vi provat ett system med s.k. kontaktdagar. Bilaga B. Detta innebär att vi inbjuder industrirepresentanter till institutionen för diskussion och seminarier. Vi har hittills haft 3 sådana möten. Två dagar med Atomenergis reglertekniker, en dag med representanter från Sydkraft och två dagar med representanter från kraftindustrin. Dessa kontaktdagar har varit synnerligen givande och bl.a. givit konkreta resultat inom området för processidentifiering och reglering av ångpannor.

Gemensamma projekt

Gemensamma projekt är en annan kontaktform som provats. Dessa har framför allt utförts i form av examensarbeten. Således har vi i samarbete med IBM och PLM studerat produktionsplanering på glasbruk, valsverksreglering i samarbete med ASEA, processidentifiering och reglering av indunstare tillsammans med Perstorp, undersökning av servomotorer med tröghetsdämpning i samarbete med AGA, processidentifiering av pilotoperatorn samt analys av ett biologiskt reglersystem tillsammans med SAAB. På Sydkraft AB har företagits mätningar på ett 160 MW ångkraftverk, vilka för närvarande bearbetas. Produktionsplanering av kraftleverans från ångkraftverk har studerats i två arbeten tillsammans med Sydkraft. I samarbete med Bolinder-Munktell har ett system för automatisk växling i hydraulväxlar för traktorer syntetiserats. I samarbete med AB Billman Regulator genomföres för närvarande mätningar som avser att bestämma överföringsfunktionen för temperaturdynamiken i ett hus. Ett något mer vittgående samarbete har etablerats med Billerud. Där har vi bl.a. studerat processidentifiering, fukthaltreglering och produktionsplanering. Ett mera omfattande projekt inom området optimering av lasthantering håller på att inledas med ASEA. Från OECD Halden Reactor Project har en hel del experimentella data erhållits och ett samarbete på identifieringsområdet har inletts. Tillsammans med Kockums AB planerar vi mätningar på en ångpanna i ett fartyg.

Studieresor

Genom medverkan från UKÄ har vi även fått anslag som möjliggör för institutionens yngre forskare att företaga resor till en rad svenska industrier, se bilaga B.

5. PROCESSIDENTIFIERING

För att genomföra en regleruppgift krävs alltid viss kännedom om reglerobjektets dynamiska egenskaper och om störningarnas karaktär. Vid många praktiska reglerproblem är det svårt om ej omöjligt att erhålla denna kunskap ur fysikaliska grundekvationer och man är därför hänvisad till direkta mätningar på processen. Det finns ett flertal metoder för att genomföra sådana mätningar och för att erhålla de önskade resultaten. Flera nya effektivare metoder har även utvecklats genom att tillämpa känd statistisk teori. De räkningar som fordras för att bearbeta mätresultaten är ofta av en sådan omfattning att de kräver en datamaskin. Utveckling av datamaskinprogram för processidentifiering är därför en angelägen forskningsuppgift.

Tidigare verksamhet

Under de gångna åren har ett antal program för processidentifiering utvecklats på institutionen. I första hand har algoritmer baserade på maximum likelihood metoden använts. Metoder för korrelationsanalys och frekvensanalys har även studerats. I dessa fall har vi i stor utsträckning kunnat utnyttja redan tillgängliga standardprogram baserade på numerisk fourieranalys och spektralanalys. Vissa enklare program baserade på analys av stegsvar och impulssvar har även undersökts.

Jämförelse mellan olika metoder

Trots att många metoder för processidentifiering nu finns utvecklade finns mycket få jämförande undersökningar. För den reglertekniker som är praktiskt verksam i industrin är detta en allvarlig brist då han ej har någon vägledning om när den ena och den andra metoden skall användas. Det är således av stort praktiskt intresse att jämföra olika metoder för processidentifiering för att så småningom få en nyanserad uppfattning om de praktiska tillämpningsområdena för de olika metoderna.

Under de senaste åren har vi haft möjlighet att genomföra ett stort antal identifieringsexperiment i samarbete med industrin. Kärnreaktorers dynamik har studerats tillsammans med AB Atomenergi och OECD projekt i Halden. Mätningar på destillationskolonner har erhållits från National Physical Laboratory i England. Analys av gyro-

driftsmätningar har gjorts tillsammans med FOA2 avd 280. Indunstare har studerats tillsammans med Perstorps AB. Pappersmaskiners dynamik har undersökts i samarbete med Billeruds AB. Mätningar på dynamiken för temperaturreglering i en fastighet genomförs tillsammans med Billman Regulator. EEG data har erhållits av docent D. Ingvar på Lunds lasarett och genom professor L-H Zetterberg på KTH. Genom denna aktivitet har vi fått ett grundmaterial av industriella mätningar som väl lämpar sig för att undersöka egenskaper hos olika identifieringsmetoder.

Det är intressant att notera att man med de nya identifieringsmetoderna kan genomföra identifieringsexperiment med mycket liten apparatur. Vi har således i samarbete med Perstorp identifierat dynamiken för en indunstare enbart med hjälp av en tvåkanalsskrivare medan störsignalen introducerades manuellt. Utrustning för genomförande av industriella mätningar har också utvecklats vid institutionen.

Reelltidsidentifiering

För att styra processer vars dynamik varierar med tiden t.ex. genom variationer i systemets omgivning, nedsättning av katalysatoraktivitet, beläggning på rör etc. är det mycket väsentligt att identifiera processer i reell tid. Utveckling av reelltidsidentifiering är därför en synnerligen angelägen uppgift. Vissa förberedande undersökningar inom detta område har utförts bl.a. genom identifiering av pilotoperatorer i samband med SAAB och vi har nu några heuristiska algoritmer som ser ut att ge mycket goda resultat. Dessa algoritmer kan identifiera parametrar som ändrar sig avsevärt snabbare än processdynamiken. Däremot återstår avsevärt arbete för att få en teoretisk hållbar grund för att utveckla reelltidsidentifiering.

Återstående problem

För närvarande behärskar vi identifiering av stationära system med en insignal och en utsignal tämligen väl. Problem såsom test av ordningstal, rationella metoder för att välja insignaler m.m. är dock ej helt tillfredsställande lösta.

Många principiella problem återstår att lösa för identifiering av flervariabla och olinjära system. För system med många insignaler och många utsignaler är den stora svårigheten att finna en lämplig systemstruktur.

Andra tillämpningsområden

Identifieringsproblemen är mycket generella till sin natur. Det har redan nu visat sig att man inom den biologiska forskningen kunnat utnyttja våra identifieringsalgoritmer och man kan även förmoda att dessa kan vara av intresse inom den samhällsvetenskapliga forskningen.

6. ADAPTIVA SYSTEM

Inom processindustrin finns många reglerproblem som kräver s.k. adaptiva regulatorer {15}. Torkning av papper i en pappersmaskin utgör ett typiskt exempel. Det våta pappret torkas genom att det rullas över metallcylindrar som uppvärms med högtrycksånga. Fukthalten regleras vanligen genom att ångtrycket i cylindrarna styres från en eller flera fukthaltsmätare. Processdynamiken kan variera avsevärt av flera orsaker. Kondensat på torkcylindrarnas insida påverkar således dynamiken drastiskt. Ventilation av torkpartiet påverkar avfuktningen etc. Detta leder till att regulatorns inställning bör modifieras i enlighet med variationer i processdynamiken.

I slutet av 50-talet rådde mycket intensiv aktivitet bl.a. motiverat av utvecklingen av autopiloter. De teoretiska hjälpmedel som fanns tillgängliga var relativt svaga. Vi avser att angripa det adaptiva problemet med hjälp av de kraftfulla verktyg som nu finns tillgängliga. En rad förberedande undersökningar har gjorts bl.a. i form av examensarbeten.

Forskningen om adaptiva reglersystem avser således att ge en ökad förståelse för problemen som så småningom skall leda till systematiska metoder för dimensionering av adaptiva system. En mer detaljerad framställning har givits i {20}.

Vi vill här begränsa oss till huvuddragen. Det adaptiva problemet studeras från tre utgångspunkter.

- Speciella adaptiva system
- Processidentifiering
- Optimal styrning

Analys av existerande system

En mängd adaptiva system som föreslagits i litteraturen har analyserats. Denna studie har dels givit insyn i några av de adaptiva

systemens egenskaper, dels givit uppslag till exempel som kan användas för att testa allmänna teorier.

Reelltidsidentifiering

De algoritmer för reelltidsidentifiering som kan följa snabba variationer i processdynamiken skulle kunna utnyttjas för att dimensionera adaptiva regulatorer.

Optimal stokastisk reglering

Det har visats {16} att en stor klass av adaptiva problem kan formuleras som ett problem att styra en Markov process. Optimalproblemet har även lösts så till vida att en funktionalekvation givits {16}. Den numeriska lösningen av denna funktionalekvation är mycket svår. Det finns dock nyligen utvecklade numeriska metoder, som skulle kunna användas. Teorin visar att det adaptiva problemet kan spaltas upp i två delar: 1) beräkning av den betingade sannolikhetsfördelningen av systemets tillstånd och parametrar, givet observationer av systemets utsignaler samt 2) beräkning av styrsignalen som funktion av den betingade sannolikhetsfördelningen. Detta resultat är intressant ty det visar en allmän struktur för adaptiva system som ej är identisk med flera av de system som erhållits ur heuristiska resonemang. Vidare medför uppspaltningen avsevärda beräkningstekniska fördelar. Funktionen som anger styrsignalens beroende av den betingade sannolikhetsfördelningen kan beräknas på förhand i en stor datamaskin. Resultatet av denna beräkning kan sedan lagras i processdatamaskinen, som då endast behöver beräkna den betingade sannolikhetsfördelningen ur observationerna. Även om det för närvarande fordras mycket omfattande numeriska räkningar för att realisera systemen, ger teorin en struktur för adaptiva system. Det är en angelägen uppgift att undersöka vilka förenklande antaganden som kan göras för att räkningarna skall gå att genomföra. För linjära system vars parametrar är stokastiska processer går t.ex. analysen att genomföra på ett hanterbart sätt.

Sammanfattning

Vi avser således att studera det adaptiva problemet från tre helt olika utgångspunkter: studium av speciella system, via processidentifiering och via optimal styrning av stokastiska system. Den tredje utgångspunkten är mest attraktiv ur teoretisk synpunkt, då den ger

möjligheter att bygga upp en systematisk teori. Den är emellertid opraktisk därigenom att vi för närvarande med dess hjälp endast kan behandla mycket enkla exempel. Den första utgångspunkten är mycket praktisk, tyvärr har man dock vissa besvärligheter med många existerande system. Stabilitetsproblemen är t.ex. ej utredda {17}. Den andra utgångspunkten utgör en mellanställning. Den kan användas för heuristisk konstruktion av adaptiva system men har ej resulterat i någon tillfredsställande teori.

7. NUMERISKA METODER FÖR OPTIMAL REGLERING

Det har tidigare nämnts att många av de teoretiska resultat som framkommit under de senaste 20 åren har stora potentiella tillämpningsmöjligheter. Det är således idag möjligt att lösa reglerproblem som tidigare var helt omöjliga t.ex.

- reglering av system med många insignaler och många utsignaler
- reglering av tidsvariabla system
- reglering av olinjära system

För att utnyttja många av de nya metoderna krävs emellertid en datamaskin för att genomföra syntesarbetet. Många numeriska problem, som ej är helt lätta, har även uppstått t.ex. vid tillämpningar av optimeringsteorin. Det krävs således avsevärt arbete för att utveckla lämpliga algoritmer för att lösa reglerproblemen. Å andra sidan när lämpliga algoritmer väl är tillgängliga kan man med ringa ansträngning även lösa komplicerade reglerproblem.

Automatisk syntes

Tillgången till datamaskiner erbjuder en möjlighet att automatisera hela analys- och syntesarbetet. Under de gångna åren har vi utvecklat programpaket för att lösa linjärkvadratiska problem och för att realisera Kalmanfilter. Denna verksamhet har kunnat drivas ganska effektivt tack vare goda medarbetare och tack vare det faktum att vi tidigare har ganska stor erfarenhet av liknande problem. I samband med utvecklingen av identifieringsmetoder samt en rad examensarbeten har vi även skaffat grundstommen till ett programbibliotek för automatisk analys och simulering. Under den kommande perioden avser vi således att utveckla programbiblioteket samt att utveckla algoritmer för att göra syntes med hjälp av optimeringsteori.

I en första etapp avser vi att bygga upp en rad algoritmer för att genomföra enklare syntes t.ex. med hjälp av traditionella metoder eller med hjälp av linjärkvadratisk teori. Vi avser sedan att prova detta syntespaket på en rad konkreta problem. En första tillämpning i denna serie är dimensioneringen av en reglering av en ångpanna som nyligen genomförts. Det är även intressant att notera att modellbyggandet kan genomföras på ett liknande sätt.

I en andra etapp avser vi att infoga dessa algoritmer i ett reelltidssystem som t.ex. tillåter syntes av ett reglersystem från en terminal. Allt eftersom mer sofistikerade optimeringsalgoritmer erhålles bör dessa infogas i systemet.

Metodutveckling

Vi avser även att bedriva metodutveckling för optimering av olinjära system. Det är intressant att notera att teorin för reglering av system utan störningar ser ut att kunna få många tillämpningar inom produktionsplanering. Problemet är således att utifrån fastlagda leveranser planera driften för olika tillverkningsenheter så att kraven uppfylles och produktionen blir så effektiv som möjligt. Sådana problem finns såväl inom kraftindustrin som inom processindustrin. Förberedande studier inom dessa områden har utförts i samarbete med PLM, Sydkraft och Billerud. Teorin för optimal reglering av deterministiska system har även intressanta tillämpningar inom området lasthantering t.ex. hur man på kortast möjliga tid skall lasta ur en båt försedd med containers.

8. STORA SYSTEM

Under de gångna två årens verksamhet har vi träffat på en rad problem som lämpligen kan sammanföras under rubriken stora system. Typiska exempel är

- realisering av många i och för sig enkla reglerkretsar
- simulering av system av hög ordning med varierande tidskonstanter
- processidentifiering av komplicerade system
- syntes av system med olika samplingshastigheter
- reduktion av komplexa system
- kvantisering av tillståndsvariabler

Vid simulering av system av höga ordningar har det t.ex. visat sig att vissa systemstrukturer är bättre än andra vad beträffar noggrannhet. Uppslaget till detta problem erhölls vid kontaktmötet med kraftindustrins representanter då ing. Pekka Langer berättade att vid simulering av storkraftnätet i Sverige hade systemet varit instabilt, men när systemekvationerna skrevs i viss ordning blev systemet mycket stabilare. En undersökning av reglering av en värmestav av Per Hagander har även visat att denna typ av problem uppträder även i andra sammanhang. Vid identifiering av processdynamik för komplicerade processer har vi i många sammanhang funnit att man kan ge mycket goda beskrivningar av komplexa system med mycket låg ordning. Vid syntes av komplexa system kan man ofta uppnå stora förenklingar genom att dimensionera system med olika kretsar med olika samplingshastigheter. Vi avser att under den kommande perioden göra preliminära undersökningar av ett flertal av dessa problem för att närmare utröna deras potentiella möjligheter.

9. TILLÄMPNINGAR

Inledning

Trots att målsättningen för institutionens verksamhet är att utveckla metoder för analys och dimensionering av reglersystem, är det min bestämda uppfattning att ett tillämpningsprojekt är synnerligen väsentligt för att uppnå detta mål. Verksamheten inom tillämpningar kommer nu att drastiskt förändras i och med det att vårt hittills största tillämpningsproblem, reglering av ångpannor, avslutas under året och genom att vi kommer att få tillgång till en processreglerare.

Erfarenheter från projektet ångpannereglering

Vårt hittillsvarande stora tillämpningsprojekt kommer att avslutas under våren. Modellbygge, identifiering och dimensionering av en flervariabel regulator med linjärkvadratisk teori har således genomförts. Vidare har regleralgoritmerna programmerats på en hybridmaskin och hela systemet har testats på denna. Såsom redovisats i {25} {26} kommer projektet för närvarande ej att följas upp med en installation då detta ställer sig alltför dyrbart. En väsentlig svårighet är att för närvarande finns inga ordentliga mätningar på kompletta system. Två projekt har därför startats för att avhjälpa denna brist.

Vi har i samarbete med Sydkraft utfört mätningar på Öresundsverket i vår. I samarbete med Kockums har vi även planerat att göra mätningar på en ångpanna för ett fartyg. Konstruktion av matematiska modeller för dessa pannor från konstruktionsdata har initierats. Dessa projekt kan fullföljas utan speciella ytterligare anslag och vi avser att driva projektet på detta sätt tills en konkret tillämpning eventuellt uppenbarar sig. De konkreta resultaten av projektet är:

- Grundval för projektering av pannreglering med datamaskin
- Matematiska modeller som bör kunna användas i samband med stora simuleringsmodeller för kraftnät

Undersökningar har visat att den linjärkvadratiska reglerteorin går utmärkt att använda för att syntetisera ett flervariabelt system även i sådana fall då det kan vara svårt att a priori bestämma en förlustfunktion. Flera väsentliga problem återstår dock att lösa innan vi har ett fulländat syntesverktyg bl.a. problemet med att införa integratorer såsom göres i den klassiska teorin, liksom en systematisk metod att dimensionera kretsar med olika samplingshastigheter.

Projektet har visat att de styralgoritmer som erhålles ur den linjärkvadratiska teorin mycket lätt kan realiseras på en processdatamaskin.

Projektet har visat att känslighetsanalysen är synnerligen väsentlig vid dimensionering av praktiska reglersystem.

Som biresultat har vi dessutom fått utkast till en metodik för numeriskt modellbygge.

Motiv för egen utrustning

Bristen på egen utrustning har hittills tvingat oss till att ha stora kontaktytor utåt. Vi har inom området processidentifiering lyckats att genomföra en meningsfylld praktisk forskning utan egna experimentella resurser. Det väsentliga motivet till att arbeta med en egen processreglerare och processer i laboratoriet, är att vi kan hantera dessa processer friare än vad som är fallet med industriella processer. För att ej få en alltför betungande experimentell uppställning avser vi att arbeta med ett fåtal relativt enkla processuppställningar som kan användas för olika ändamål.

Reelltidsberäkningar

För praktisk utveckling av processreglering är det väsentligt att känna till hur reelltidsberäkningar skall organiseras. Det är viktigt att undersöka hur de algoritmer som krävs för att realisera system baserade på de nya resultaten skall utformas. Speciellt intressant är att undersöka hur man på bästa sätt skall utnyttja processreglerarens speciella maskinorganisation. Frågan om avvägning mellan räkning och tabelluppslagning är ett typiskt exempel på en sådan frågeställning.

Planer

Vi avser att undersöka praktisk realisering av linjärkvadratiska regulatorer, realisering av icke linjära optimala regulatorer, reelltidsidentifiering och adaptiva system. Beträffande pilotprocesserna avser vi att arbeta med analogimaskinen, värmestaven och hydraulservot. Med hjälp av dessa relativt generella processer kan vi genomföra såväl identifiering, reelltidsidentifiering som dimensionering av flervariabla regulatorer med ett fåtal experimentuppställningar. Anpassning mellan datamaskin och analog instrumentering är också ett aktuellt problem. Typexempel är om man t.ex. först skall filtrera de analoga signalerna på ett heuristiskt sätt och sedan behandlar resultaten "optimalt" i processregleraren eller om det finns metoder att förutsättningslöst angripa dessa problem. Vissa undersökningar kan inte genomföras på den relativt enkla utrustning som vi avser att skaffa. För analys av komplicerade system avser vi att liksom tidigare utnyttja andra anläggningar, t.ex. FOA:s hybridmaskin.

10. REFERENSER

{1} Bellman R.E., et al. "Some Aspects of the Mathematical Theory of Control Processes". Rand Report R-313 1958.

{2} Bellman R.E. "Adaptive Control Processes". Princeton University Press, Princeton 1961.

{3} Borisson U. and Sogndal C. "Adaptiva reglermetoder". Elteknik (1968) 182-185.

{4} Ekström Å. "Integrated Computer Control of a Paper Machine - Systems Summary". Billerud-IBM Symposium June 1966, Report TP 18.169 IBM Systems Development Division Oct. 1966.

{5} Eykhoff P., et al. "Systems Modelling and Identification". IFAC Congress London 1966.

{6} Forrester J.W. "Industrial Dynamics". MIT Press, Cambridge Mass. 1961.

{7} Holt C.C., et al. "Planning Production, Inventories and Work Force". Pentice-Hall 1960.

{8} Kalman R.E., et al. "Controllability of Linear Dynamical Systems" in "Contributions to Differential Equations", Vol. 1 Interscience New York 1962.

{9} Milhorn H.T. "The Application of Control Theory to Physiological Systems". W.B. Saunders London 1966.

{10} Milsum J.H. "Automatic Control Medicine". IFAC Congress London 1966.

{11} Pontryagin L.S., et al. "Mathematical Theory of Optimal Processes". Wiley New York 1962.

{12} Westcott J.H. "The Status of Control Theory". IFAC Congress London 1966.

{13} Zadeh L.A. and Desoer C.A. "Linear Systems Theory". McGraw-Hill 1963.

{14} Åström K.J., Koepcke R.W. and Tung F. "On the Control of Linear Discrete Dynamic Systems with Quadratic Loss". Report RJ-222. San José, Calif: IBM Research Laboratory 1962.

{15} Åström K.J. "Control Problems in Papermaking". Proceedings of the IBM Scientific Computing Symposium on Control Theory and Applications, held on October 19-21, 1964. Yorktown Heights, N.Y.

{16} Åström K.J. "Optimal Control of Markov Processes with Incomplete State Information". Journal of Mathematical Analysis and Applications, 10 (1965) 174-205.

{17} Åström K.J. "On a First Order Stochastic Differential Equation". International Journal on Control 1 (1965) 301-326.

{18} Åström K.J. and Bohlin T. "Numerical Identification of Linear Dynamic Systems from Normal Operating Records". Proc. IFAC Conference on Self-Adaptive Control Systems, Teddington Sept 1965.

{19} Åström K.J. "Rapport till Statens Tekniska Forskningsråd över studieresa till England under tiden 19.6 - 29.6 1966.

{20} Åström K.J. "Approaches to Adaptive Control". LTH, Reglerings-teknik, Oktober 1965.

{21} Åström K.J. "Computer Control of a Paper Machine - An Application of Linear Stochastic Control Theory". IBM Journal of Research and Development, Vol. 11, No. 4, July 1967.

{22} Åström K.J. "On the Achievable Accuracy in Identification Problems". IFAC Symposium on Identification Prague 1967.

{23} Åström K.J. "Optimal Control of Markov Processes with Incomplete State Information II - The Convexity of the Lossfunction". JMAA 1969.

{24} Åström K.J. "Program för forskningen i reglerteknik vid LTH" LTH mars 1967.

{25} Åström K.J. "Slutrapport för tiden 1.7.1967 - 30.6.1968 beträffande processregleringsprojektet". Rådets ärende nr 67-160-n. LTH 19.9.1968.

{26} Åström K.J. and Olsson G. "Final report for Project Process Control 1.7.1968-30.6.1969". Contract 68-336-f.

BILAGA A - TECHNICAL REPORTS

Technical Reports 1968

Report 6801 Eklund, Karl: En olinjär matematisk modell för en dompanna, mars-68.

Report 6802 Mårtensson, Krister: Linear Quadratic Control Package Part I - The Continuous Problem, april-68.

Report 6803 Gustavsson, Ivar: Parametric Identification of Time Series, april-68.

Report 6804 Åström, Karl-Johan: Recursive Formulas for the Evaluation of Certain Complex Integrals, sept-68. (Published in Information Sciences)

Report 6805 Åström, Karl-Johan: Optimal Control of Markov Processes with Incomplete State Information II - The Convexity of the Lossfunction, sept-68. (Published in JMAA)

Report 6806 Åström, Karl-Johan: Lectures on the Identification Problem - The Least Squares Method, sept-68.

Report 6807 Åström, Karl-Johan: On the Choice of Sampling Rates in Parametric Identification of Time Series, nov-68.

Report 6808 Eklund, Karl: Numerical Modelbuilding, nov-68. (Published in International Journal on Control)

Report 6809 Eklund, Karl: Linear Mathematical Models of the Drum-Downcomer-Riser Loop of a Drum Boiler, nov-68.

Report 6810 Wieslander, Johan: Reelltidsidentifiering med hjälp av minsta-kvadrat metoden, Försök på pilotdata, dec-68.

Technical Reports 1969

Report 6901 Eklund, Karl: Multivariable Control of a Boiler - An Application of Linear Quadratic Control Theory, jan-69.

Report 6902 Eklund, Karl: Multivariable Control of a Boiler, jan-69.

Report 6903 Gustavsson, Ivar: Maximum Likelihood Identification of Dynamics of the Ågesta Reactor and Comparison with Results of Spectral Analysis, febr-69.

Report 6904 Mårtensson, Krister: Linear Quadratic Control Package Part II - The Discrete Problem, mars-69.

Report 6905 Åström, Karl-Johan: Program for forskningen i reglerteknik vid Tekniska Högskolan i Lund, juli-69

Report 6906 Borisson, Ulf och Sogndal, Christian: Adaptiva reglermetoder.

Report 6907 Gustavsson, Ivar: Parametric Identification of Multiple Input Single Output Dynamic Systems, (to appear).

Report 6908 Wieslander, Johan: Real-time Identification - Part I, (to appear).

Report 6909 Wieslander, Johan: Real-time Identification - Part II, (to appear).

Report 6910 Olsson, Gustaf: Spatial Xenon Instability in Thermal Reactors, (to appear).

Report 6911 Olsson, Gustaf: Digital Simulation of Spatial Xenon Oscillations, (to appear).

Report 6912 Olsson, Gustaf: Evaluation of Process Computers, (to appear).

BILAGA B - RAPPORTER FRÅN KONTAKTDAGAR

Olsson G., Anteckningar från möte mellan representanter för Sydkraft och institutionen för Reglerteknik vid LTH den 7 december 1967. Lund den 8.12.1967.

Wieslander J., Anteckningar från de föredrag som hölls vid besök av företrädare för AB Atomenergi vid institutionen för Reglerteknik vid Lunds Tekniska Högskola måndagen den 11 och tisdagen den 12 december 1967. Lund den 20.12.1967.

Olsson G., Sammanfattning av föredrag och diskussioner vid kontaktmöte med kraftindustrin den 17-18 oktober 1968.

Olsson G., Processidentifiering: nya metoder att bestämma egenskaper hos reglertekniska system. Teknisk Tidskrift h.44 1968 sid 899 (rapport från kurs i identifiering vid LTH 15-16 oktober 1968).

Olsson G., Kontaktresa med institutionen för regleringsteknik till mellansvenska industrier 8-11 april 1969.

BILAGA C - EXAMENSARBETEN

Theses in automatic control for the degree of civ.ing., Lund Institute of Technology

RE-1 Häggman, Börje: Dimensionering av ett samplat system med tidsfördröjning (Synthesis of a Sampled System with Time Delay), juni-65.

RE-2 Svärd, Bo: Undersökning av dynamiska egenskaper hos en industriell process (Investigation of Dynamic Properties of an Industrial Process), mars-66.

RE-3 Pettersson, Bengt: Optimal reglering av processer med tidsfördröjning (Optimal Control of a Process with Time Delay), juni-66.

RE-4 Wittenmark, Björn: Adaptiv prediktion (Adaptive Prediction), aug-66.

RE-5 Mårtensson, Krister: Numeriska algoritmer för lösning av minimaltidsproblemet (Numerical Algorithms for the Solution of the Minimal Time Problem), okt-66.

RE-6 Ekstrand, Bertil och Larsson, Lars-Erik: Studium av system för temperaturreglering (Analysis of a Temperature Control System), okt-66.

RE-7 Gustavsson, Ivar: Numerisk lösning av optimala styrningsproblem med Bryson-Kelley metodik (Numerical Solution of Optimal Control Problems using Bryson-Kelley Techniques), nov-66.

RE-8 Andersson, Erik: Processidentifiering med datamaskin (Numerical Identification of a Process Dynamics using the maximum likelihood method), dec-66.

RE-9 Eriksson, Kurt-Erik: Numerisk bestämning av processdynamiken (Estimation of Process Dynamics using the least squares method), dec-66.

RE-10 Herne, Bengt: Experimentella undersökningar av linjära och olinjära reglersystem (Experimental Studies of Linear and Nonlinear Servomechanisms), jan-67.

RE-11 Horrdin, Sven: Rosenbrocks metod för förenkling av komplicerade system (Simplification of Complex Systems by Rosenbrocks Method), juli-67.

RE-12 Jönsson, Rolf Lennart: Kulikowskis version av teorin för optimal styrning (Kulikowskis Version of the Theory of Optimal Control), juli-67.

RE-13 Wallentinsson, Claes: Identifiering av linjär modell för en lättvatten kokarreaktor (Identification of a Linear Model of a Light Water Boiling Reactor), aug-67.

RE-14 Wieslander, Johan: Identifiering av människans överförings-operator (Identification of a Human Operator), sept-67.

RE-15 Bååth, Kerstin: Identifiering av olinjära system (Identification of Nonlinear Systems), sept-67.

RE-16 Eldhagen, Lars-Göran: Datamaskinprogram för analys av reglersystem. Transformationer av systemekvationerna (Computer Programs for Linear Analysis. Transformations of the System Equations), sept-67.

RE-17 Persson, Roland: Optimal kvantisering av styrvariabler i ett reglersystem (Optimal Quantization of the Control Variables in a Linear Quadratic Control Problem), sept-67.

RE-18 Olofsson, Ingemar: Produktionsplanering på glasbruk (Production Planning at a Glasswork), sept-67.

RE-19 Mattsson, Bengt: Numerisk lösning av optimala styrproblem med Kenneth-McGills metod (Numerical Solution of Optimal Control Problems using Kenneth-McGills Method), sept-67.

RE-20 Syding, Rolf: Undersökning av Honeywells adaptiva reglersystem (Analog Simulation of Honeywells Adaptive System), sept-67.

RE-21 Skoog, Hans: Analys av Margolis Leondes adaptiva reglersystem (Analysis of Margolis-Leondes Adaptive System), okt-67.

RE-22 Wintzell, Jan-Olof: Identifiering av processdynamik med korrelationsanalys då insignalen är en nollsekvens om maximal längd (PRBS) (Process Identification with PRBS signals and Correlation Analysis), okt-67.

RE-23 Anderberg, Yngve och Hansson, Leif: Reglersystem för kallbandvalsverk (Control of a Strip Mill), nov-67.

RE-24 Almgren, Per: Konstruktion av elektronikutrustning till enaxlig gyroplattform (Construction of the Electronic Equipment for a single Axis Gyro Platform), dec-67.

RE-25 Andoff, Tommy och Bodin, Bengt: Jämförande analys av datamaskiner för processreglering (Evaluation of Process Control Computers), jan-68.

RE-26 Sogndal, Roy: Analogisimulering av Honeywells och General Electrics adaptiva system (Analog Simulation of the Honeywells and General Electric Adaptive Systems), april-68. (Publicerad i Elteknik 1968.

RE-27 Borisson, Ulf: Jämförelse genom analogisimulering mellan manuell styrning och några adaptiva system vid variabel kretsförstärkning (A Comparison between Manual Control and Adaptive Regulators for Systems with Time Variable Gain), maj-68. Publicerad i Elteknik 1968.

RE-28 Ydremark, Anders: Studium av en styralgoritm samt programsystem för processdatamaskiner (A Comparison of Program using Systems for Different Process Control Computers), maj-68.

RE-29 Ryberg, Dick: Projektering och uppbyggnad av liten analogimaskin (Design and Construction of a Small Analog Computer), juni-68.

RE-30 Nilsson, Anders: Projektering av apparat för processidentifiering med hjälp av pseudoslumptal (Design of a Correlator for PRBS signals), juni-68.

RE-31 Johnsson, Gösta och Rosell, Örjan: Identifiering av linjära system med hjälp av impulssvar (Identification of Linear Systems based on Impulse Response Measurements), juni-68.

RE-32 Langemar, Göran och Lumsden, Kent: Konstruktion av digitalt styrsystem till elektrohydrauliskt servo enligt principen för numeriskt styrda maskiner (Design and test of a Digital Control System for an Electro-hydraulic Servo), juni-68.

RE-33 Hagander, Per: Minimaltidsproblemet för ett olinjärt system undersökt med dynamisk programmering (Application of Dynamic Programming on the Minimal Time Problem for an Inverted Pendulum), juni-68.

RE-34 Jonasson, Jan: Dynamiska egenskaper hos en medströms värmeväxlare (Dynamics of a Heat Exchanger), aug-68.

RE-35 Kristensson, Bernt: Detektering av "outliers" (Detection of Outliers), aug-68.

RE-36 Skarman, Bengt: Experimentell undersökning av processdynamiken hos en indunstare (Experimental Identification of the Dynamics of an Evaporation Plant), aug-68.

RE-37 Eck, Anders: Experimentell undersökning av temperaturreglering i en värmestav (Experimental Study of a Thermal System), sept-68.

RE-38 Pålsson, Torsten: Undersökning av optimala system (Examination of Linear Quadratic Optimal Control Systems), okt-68.

RE-39 Steen, Leif: Programmering av PI-regulator samt olika ställorgan för processdatamaskin (Programming of a PI-regulator for three process computers), okt-68.

RE-40 Werner, Kjell: Tröghetsdämpade servomotorer (Inertia Damped Servo Motors), nov-68.

RE-41 Bergman, Jan: Undersökning av Minneapolis-Honeywells adaptiva regulator genom digital simulering (Digital Simulation of Minneapolis-Honeywells Adaptive Controller), nov-68.

RE-42 Jonson, Anders och Ström, Lars-Magnus: Processidentifiering - Reglerat system samt system med flera in- och utsignaler (Identification of Multivariable and Closed Loop Systems), jan-69.

RE-43 Lind, Pär: Optimering av effektfördelning mellan ångkraftverk med hjälp av dynamisk programmering (Optimization of power production Distribution using Dynamic Programming), jan-69.

RE-44 Torlöf, Per: Undersökning av variationer i EEG-spektrum vid olika yttre stimuleringar (A Study of the Variations in EEG-Spectrum at Different External Influences), jan-69.

RE-45 Andersson, Stig: Analys och kompensering av system med mycket svag dämpning (Experimental Investigation of a Servo with Structural Resonance), jan-69.

RE-46 Aulin, Börje: Dekomposition av system av hög ordning (Decomposition of Large Systems using Graph Theory), jan-69.

RE-47 Lindén, Per: Tidsvariabla system. Systemekvationerna och deras lösning (Time Variable Systems. Solutions of the System Equations), jan-69.

RE-48 Lagerlöf, Bengt: En linjär matematisk modell för en dompanna med två överhettare (A Linear Model of a Boiler with Two Superheaters), jan-69.

RE-49 Hugosson, Lennart: Experimentell utprovning av elektromekaniskt servosystem (Experimental Design of a Electro Mechanical Servo System), jan-69.

RE-50 Henmark, Christer och Skoog, Tommy: Simulering av njurfunktionen och kroppens cirkulationssystems långtidsreglering (Simulation of the Human Kidney System and the Long Time Regulation of the Circulating System of the Human Body), jan-69.

RE-51 Månsson, Lars: Analys av olinjär regulator för servosystem med mättning (Dual Mode Control for a Double Integrator with a Saturated Control Variable), jan-69.

RE-52 Ljung, Christer och Löwenhielm, Peter: Studium av olika metoder för analys av artefaktfria EEG-signaler (Comparison between different Methods for Analysis of EEG's free from Artefacts), maj-69.

RE-53 Lundgren, Bertil: Bestämning av överföringsfunktioner med impulssvarsanalys (Determination of Transfer Functions with Impuls Response Analysis), april-69.

RE-54 Christensson, Nils: Reglering av hydrostatisk transmission i entreprenadmaskiner (Control of the gear change of a Hydrostatic Transmission in an Agricultural Tractor), juni-69.

RE-55 Larsson, Christer och Öbom, Christer: En matematisk modell av ett ångkraftverk (A Mathematical Model of a Boiler) juni-69.

RE-56 Klevås, Jan och Leffler, Nils: Optimering av effektfördelning med hänsyn till rullande reserv för ångkraftaggregat med hjälp av dynamisk programmering (Optimization of power distribution for Steam Boilers with respect to Spinning Reserve by Dynamic Programming), juni-69.

RE-57 Elfving, Thomas och Hultberg, Thomas: Mätning och identifiering av dynamiken på torkpartiet i en pappersmaskin (Measurements and Identification of the Dynamics of the Drying Section of a Paper Machine), Juli-69.

RE-58 Bengtsson, Gunnar: Förfiltrering av signaler med Kalmanfilter (Optimal Prefiltering with Kalman Theory), juli-69.

RE-59 Rosengren, Bengt och Nordh, Ingemar: Konstruktion av PRBS-generator (Construction of a PRBS Generator), juli-69

1 Research projects

2 Lectures in the field of systems science

3 List of publications

4 List of personal

1 RESEARCH PROJECTS

1.1 Process identification

Process identification has been one of the major activities for our group. The work has been divided into the areas of off-line identification, multi-variable systems and real-time identification. The identification of linear single output and single input systems is now well understood. We have several efficient numerical algorithms available as well as computational experiences on industrial data. Several identification algorithms have been tried. One of the most powerful being the maximum likelihood technique which has been developed at the institute. The major problems which remain are identification of large systems, choice of sampling intervals and input signals.

The essential problem with the identification of nonlinear and multi-variable systems is the choice of structure. Questions as minimum parameter structure and identifiability have been investigated.

Efficient algorithms for real time identification have been obtained through extentions of Kalman filtering. Important questions as stability and convergence have to be further analyzed.

1.2 Adaptive control

The work on adaptive control is persued along two lines: exploitation of stochastic control theory and analysis of particular adaptive algorithms described in the literature.

Using stochastic control theory the adaptive control problem can be formulated as a stochastic control problem. Optimal as well as suboptimal controllers have been investigated. The used algorithms may have an application as self-adjusting regulators in process control systems.

1.3 Numerical methods for optimal control

This project has the purpose of developing algorithms in order to make optimal control theory a practical design tool. The research involves analysis of particular problems and published algorithms as well as theoretical studies of new algorithms. Large affort has been devoted to build up a program library.

1.4 Applications

In cooperation with Sydsvenska Kraft AB identification experiments were made on a 160 MW power station. These experiments have been used for offline identification. The models obtained by the identification algorithms have been compared with models obtained from construction data. The comparisons show that it is possible to derive reliable low order models from construction data.

Several experiments have been performed at the OECD Halden Reactor in order to determine its dynamics. The result of the identifications have been checked with simulations of a theoretical state model and with other identification techniques.

One major research area is real time computing. At the institute we have a process computer, PDP-15. The computer is used to investigate how to implement different control algorithms on a small computer. This in order to learn the limitations and advantages with process computers.

2 LECTURES IN THE FIELD OF SYSTEMS SCIENCE

The institute has courses for students from the physical, electrical, mechanical and chemical engineering departments. We have the following courses:

2.1 Introductory course (230 students)
(Linear continuous time systems) 1 semester

2.2 Advanced course (150 students)
Non-linear systems, sampled data systems and stochastic systems) 1 semester

2.3 Small course for chemical engineers 0.5 semester

2.4 Graduate courses (4-8 each year)
During the academic year 70/71 the following courses have been given:

- Linear systems
- Stochastic systems
- Parametric optimization
- System identification
- Hardware and software for real time computers

3. LIST OF PUBLICATIONS

3.1 Technical reports

Report

Technical Reports 1968

Report 6801 Eklund, Karl: En olinjär matematisk modell för en dompanna, mars-68 Report

Report 6802 Mårtensson, Krister: Linear Quadratic Control Package. Part I - The Continuous Problem, april-68 Report

Report 6803 Gustavsson, Ivar: Parametric Identification of Time Series, april-68 Report

Report 6804 Åström, Karl-Johan: Recursive Formulas for the Evaluation of Certain Complex Integrals, sept-68 Report
(Published in Information Sciences)

Report 6805 Åström, Karl-Johan: Optimal Control of Markov Processes with Incomplete State Information II - The Convexity of the Lossfunction, sept-68. (Published in JMAA) Report

Report 6806 Åström, Karl-Johan: Lectures on the Indentification Problem - The Least Squares Method, sept-68. Report

Report 6807 Åström, Karl-Johan: On the Choice of Sampling Rates in Parametric Identification of Time Series, nov-68 Report

Report 6808 Eklund, Karl: Numerical Modelbuildning, nov-68. (Published in International Journal on Control) Report

Report 6809 Eklund, Karl: Linear Mathematical Models of the Drum-Downcomer-Riser Loop of a Drum Boiler, nov-68.

Report 6810 Wieslander, Johan: Reelltidsidentifiering med hjälp av minsta-kvadrat metoden, Försök på pilotdata, dec-68

Technical Reports 1969

Report 6901 Eklund, Karl: Multivariable Control of a Boiler - An Application of Linear Quadratic Control Theory, jan-69.

Report 6902 Eklund, Karl: Multivariable Control of a Boiler, jan-69

Report 6903 Gustavsson, Ivar: Maximum Likelihood Identification of Dynamics of the Ågesta Reactor and Comparison with Results of Spectral Analysis, febr-69.

Report 6904 Mårtensson, Krister: Linear Quadratic Control Package Part II - The Discrete Problem, mars-69.

Report 6905 Åström, Karl-Johan: Program för forskningen i reglerteknik vid Tekniska Högskolan i Lund, juli-69.

Report 6906 Borisson, Ulf och Sogndal, Christian: Adaptiva reglermetoder.

Report 6907 Gustavsson, Ivar: Parametric Identification of Multiple Input Single Output Dynamic Systems, (to appear).

Report 6908 Wieslander, Johan: Real-time identification - Part 1, Nov-69

Report 6910 Olsson, Gustav: Spatial xenon instability in thermal reactors, July-69

Report 6911 Olsson, Gustav: Digital simulation of spatial xenon oscillations, July-69.

Report 6913 Klevås, J, Leffler, N: Optimering av effektfördelning med hänsyn till rullande reserv för ångkraftaggregat med hjälp av dynamisk programmering, June-69 (In Swedish)

Report 6914 Valis, J: Experimental Comparison of Different Methods for Numerical Identification, June-69.

Report 6915 Valis, J, Gustavsson,I: Some Computational Results obtained by Panuška's Method of Stochastic Approximations for Identification of Discrete Time Systems, June-69

Report 6916 Gustavsson, I: Identification of Dynamics of a Distillation Column, June-69.

Report 6917 Jonson Anders and Ström, Lars-Magnus: Processidentifiering - en jämförelse av störningskänsligheten hos spektralanalys och maximum-likelihood metoden. (A comparison of the sensitivity in the correlation and maximum-likelihood methods in process identification), August-69.

Report 6918 Wittenmark, Björn: On adaptive control of low order systems, August-69.

Report 6919 Åström Karl-Johan and Olsson Gustav: Final Report for Project Process Control 1.7. 68 - 30.6.69 Contract 68--336-f Swedish Board för Technical Development, October--69.

Report 6920 Hagander Per: Numerical solution of $A^TS + SA + Q = 0$, October-69.

Report 6921 Hagander Per: Minimal time problem for an inverted pendulum. Maximum principle and phase plane discussion, October-69.

Report 6922 Jonson, Anders and Ström, Lars-Magnus: Process-identifiering av husdynamik - radiator och värmeväxlare. (Identification of the temperature dynamics in a building), November-69.

Technical Reports 1970

Report 7001 Pettersson, Bengt: Mathematical Methods of a Pulp and Paper Mill scheduling Problem, April-70.

Report 7002 Mårtensson, Krister: On the matrix Riccati equation. Thesis for the degree of Teknologie Licentiat, April-70

Report 7003 Söderström T: Notes on Pseudoinverses. Application to Identification, July-70.

Report 7004 Mårtensson K: Suboptimal Linear Regulators for Linear Systems with Known Initial-State Statistics, July-70.

Report 7005 Vališ J: Identification of Multivariable Linear Systems of Unknown Structure by the Prior Knowledge Fitting Method, Sep-70.

Report 7006 Åström, K-J, Eykhoff P: System Identification, Sep-70.

Report 7007 Pettersson B: Production Control of a Pulp and Paper Mill Sep-70.

Report 7008 Åström, K-J: Final Report for Project Process Control 1.7 1969 - 30.6 1970 Contract 69-631/0489 Swedish Board for Technical Development, Oct-70.

Report 7009 Leden B: Linear Temperature Scales from One Thermistor Reciprocal Networks, Dec-70.

Report 7010 Leden B: The Design of One Dimensional Heat Diffusion Process, Dec-70

Report 7011 Olsson G: Master Thesis in Automatic Control 1965 - 1970, Nov-70.

Technical Reports 1971

Report 7101 Mårtensson K: Methods for Constrained Function Minimization, March-71.

Report 7102(B) Åström, K-J: Dynamics of Concentration Variations in Laminar Tube Flows, April-71.

Report 7103 Gustavsson I: Choice of Sampling Interval for Parametric Identification, April-71.

Report 7104 Åström,K-J, Eklund K: A Simplified Nonlinear Model of a Drum Boiler-Turbine Unit.

3.2 PUBLISHED PAPERS

Åström K.J. "Introduction to Stochastic Control Theory", Academic Press N.Y. 1970.

Åström K.J. "On the choice of sampling rates in parametric identification to time series", Information Sciences 1 1969, (273 - 278).

Bellman R. and Åström K.J. "On structural identifiability", Mathematical Biosciences 7 1970, (329 - 339).

Åström K.J., Jury E.I. and Agniel R.G. "A numerical method for the evaluation of complex integrals", IEEE Trans. AC 1970.

Åström K.J. and Eykhoff P. "System identification - a survey", 2nd IFAC Symposium on Identification and Process Parameter Estimation, Prague June 1970.

Eklund K. "Numerical modelbuilding", International Journal of Control, 1970, Vol 11, No.6.

Gustavsson I. "Comparison of different methods for identification of linear models for industrial processes", 2nd IFAC Symposium on Identification and Process Parameter Estimation, Prague June 1970.

Valis J. "On-line identification of multivariable linear systems of unknown structure from input output data", 2nd IFAC Symposium on Identification and Process Parameter Estimation, Prague June 1970.

Wieslander J. and Wittenmark B. "An approach to adaptive control using real-time identification", 2nd IFAC Symposium on Identification and Process Parameter Estimation, Prague June 1970.

3.3 EDUCATION MATERIALS

Literature and material to the courses in section 2 (In Swedish)

Course 2.1

Åström K.J. Reglerteori, (Theory of automatic control), Almqvist & Wiksell 1968. Collection of examples

Solution to examples

PM to laborations

Course 2.2

Åström K.J Olinjära system (Nonlinear systems)

Åström K.J.Samplock system (Sampled data systems)

Åström K.J.Stokastiska system (Stochastic systems)

Solutions to examples

PM to laborations

Course 2.3

Harriot P.: Process Control Systems McGraw Hill 1964

Collection of examples

Solutions to examples

3.4 Master Thesis in Automatic Control

RE-1 Häggman, Börje: Dimensionering av ett samplat system med tidsfördröjning (Synthesis of a Sampled System with Time Delay), juni-65.

RE-2 Svärd, Bo: Undersökning av dynamiska egenskaper hos en industriell process (Investigation of Dynamic Properties of an Industriel Process), mars-66.

RE-3 Pettersson, Bengt: Optimal reglering av processer med tidsfördröjning (Optimal Control of a Process with Time Delay), juni-66.

RE-4 Wittenmark, Björn: Adaptiv prediktion (Adaptive Prediction), aug-66.

RE-5 Mårtensson, Krister: Numeriska algoritmer för lösning av minimaltidsproblemet (Numerical Algorithms for the Solution of the Minimal Time Problem), okt-66.

RE-6 Ekstrand, Bertil och Larsson, Lars-Erik: Studium av system för temperaturreglering (Analysis of a Temperature Control System), okt-66.

RE-7 Gustavsson, Ivar: Numerisk lösning av optimala styrningsproblem med Bryson-Kelley metodik (Numerical Solution of Optimal Control Problems using Bryson-Kelley Techniques), nov-66.

RE-8 Andersson, Erik: Processidentifiering med datamaskin (Numerical Identification of a Process Dynamics using the maximum likelihood method), dec-66.

RE-9 Eriksson, Kurt-Erik: Numerisk bestämning av processdynamiken (Estimation of Process Dynamics using the least square method), dec-66.

RE-10 Herne, Bengt: Experimentella undersökningar av linjära och olinjära reglersystem (Experimental Studies of Linear and Nonlinear Servomechanisms), jan-67.

RE-11 Horrdin, Sven: Rosenbrocks metod för förenkling av komplicerade system (Simplification of Complex Systems by Rosenbrocks Method) juli-67.

RE-12 Jönsson, Rolf Lennart: Kulikowskis version av teorin för optimal styrning (Kulikowskis Version of the Theory of Optimal Control), juli-67.

RE-13 Wallentinsson, Claes: Identifiering av linjär modell för en lättvatten kokarreaktor (Identification of a Linear Model of a Light Water Boiling Reactor), aug-67.

RE-14 Wieslander, Johan: Identifiering av människans överföringsoperator (Identification of a Human Operator), sept-67.

RE-15 Bååth, Kerstin: Identifiering av olinjära system (Identification of Nonlinear Systems), sept-67.

RE-16 Eldhagen, Lars-Göran: Datamaskinprogram för analys av reglersystem. Transformationer av systemekvationerna (Computer Programs for Linear Analysis. Transformations of the System Equations), sept-67.

RE-17 Persson, Roland: Optimal kvantisering av styrvariabler i ett reglersystem (Optimal Quantization of the Control Variables in a Linear Quadratic Control Problem), sept-67.

RE-18 Olofsson, Ingemar: Produktionsplanering på glasbruk (Production Planning at a Glasswork), sept-67.

RE-19 Mattsson, Bengt: Numerisk lösning av optimala styrproblem med Kenneth-McGills metod (Numerical Solution of Optimal Comtrol Problems using Kenneth-McGills Method), sept-67.

RE-20 Syding, Rolf: Undersökning av Honeywells adaptiva reglersystem (Analog Simulation of Honeywells Adaptive System), sept-67.

RE-21 Skoog, Hans: Analys av Margolis Leondes adaptivea reglersystem (Analysis of Margolis-Leondes Adaptive System), okt-67.

RE-22 Wintzell, Jan-Olof: Identifiering av processdynamik med korrelationsanalys då insignalen är en nollsekvens om maximal längd (PRBS) (Process Identification with PRBS signals and Correlation Analysis), okt-67.

RE-23 Anderberg, Yngve och Hansson, Leif: Reglersystem för kallbandvalsverk (Control of a Strip Mill), nov-67.

RE-24 Almgren, Per: Konstruktion av elektronikutrustning till enaxlig gyroplattform (Construction of the Electronic Equipment for a single Axis Gyro Platform), dec-67.

RE-25 Andoff, Tommy och Bodin, Bengt: Jämförande analys av datamaskiner för processreglering (Evaluation of Process Control Computers), jan-68.

RE-26 Sogndal, Roy: Analogisimulering av Honeywells och General Electrics adaptiva system (Analog Simulation of the Honeywells and General Electric Adaptive Systems), april-68. (Publicerad i Elteknik 1968.

RE-27 Borisson, Ulf: Jämförelse genom analogisimulering mellan manuell styrning och några adaptivea system vid variabel kretsförstärkning (A Comparison between Manual Control and Adaptive Regulators for Systems with Time Variable Gain), maj-68. Publicerad i Elteknik 1968.

RE-28 Ydremark, Anders: Studium av en styralgoritm samt programsystem för processdatamaskiner (A Comparison of Program using Systems for Different Process Control Computers), maj-68.

RE-29 Ryberg, Dick: Projektering och uppbyggnad av liten analogimaskin (Design and Construction of a Small Analog Computer), juni-68.

RE-30 Nilsson, Anders: Projektering av apparat för processidentifiering med hjälp av pseudoslumptal (Design of a Correlator for PRBS signals), juni-68.

RE-31 Johnsson, Gösta och Rosell, Örjan: Identifiering av linjära system med hjälp av impulssvar (Identification of Linear Systems based on Impulse Response Measurements), juni-68.

RE-32 Langemar, Göran och Lumsden, Kent: Konstruktion av digitalt styrsystem till elektrohydrauliskt servo enligt principen för numeriskt styrda maskiner (Design and test of a Digital Control System for an Electro-hydraulic Servo), juni-68.

RE-33 Hagander, Per: Minimaltidsproblemet för ett olinjärt system undersökt med dynamisk programmering (Application of Dynamic Programming on the Minimal Time Problem for an Inverted Pendulum), juni-68.

RE-34 Jonasson, Jan: Dynamiska egenskaper hos en medströms värmeväxlare (Dynamics of a Heat Exchanger), aug-68.

RE-35 Kristensson, Bernt: Detektering av "outliers" (Detection of Outliers), ang-68.

RE-36 Skarman, Bengt: Experimentell undersökning av processdynamiken hos en indunstare (Experimental Identification of the Dynamics of an Evaporation Plant), aug-68.

RE-37 Eck, Anders: Experimentell undersökning av temperaturreglering i en värmestav (Experimental Study of a Thermal System), sept-68.

RE-38 Pålsson, Torsten: Undersökning av optimala system (Examination of Linear Quadratic Optimal Control Systems), okt-68.

RE-39 Steen, Leif: Programmering av PI-regulator samt olika ställorgan för processdatamaskin (Programming of a PI-regulator for three process computers), okt-68.

RE-40 Werner, Kjell: Tröghetsdämpade servomotorer (Inertia Damped Servo Motors) nov-68

RE-41 Bergman, Jan: Undersökning av Minneapolis-Honeywells adaptiva regulator genom digital simulering (Digital Simulation of Minneapolis-Honeywells Adaptive Controller), nov-68.

RE-42 Jonson, Anders och Ström, Lars-Magnus: Processidentifiering - Reglerat system samt system med flera in- och utsignaler (Identification of Multivariable and Closed Loop Systems), jan-69.

RE-43 Lind, Pär: Optimering av effektfördelning mellan ångkraftverk med hjälp av dynamisk programmering (Optimization of power production Distribution using Dynamic Programming), jan-69.

RE-44 Torlöf, Per: Undersökning av variationer i EEG-spektrum vid olika yttre stimuleringar (A Study of the Variations in EEG-Spectrum at Different External Influences), jan-69.

RE-45 Andersson, Stig: Analys och kompensering av system med mycket svag dämpning (Experimental Investigation of a Servo with Structural Resonance), jan-69.

RE-46 Aulin, Börje: Dekomposition av system av hög ordning (Decomposition of Large Systems using Graph Theory), jan-69.

RE-47 Lindén, Per: Tidsvariabla system. Systemekvationerna och deras lösning (Time Variable Systems. Solutions of the System Equations), jan-69.

RE-48 Lagerlöf, Bengt: En linjär matematisk modell för en dompanna med två överhettare (A Linear Model of a Boiler with Two Superheaters), jan-69.

RE-49 Hugosson, Lennart: Experimentell utprovning av elektromekaniskt servosystem (Experimental Design of a Electro Mechanical Servo System), jan-69.

RE-50 Henmark, Christer och Skoog, Tommy: Simulering av njurfunktionen och kroppens cirkulationssystems långtidsreglering (Simulation of the Human Kidney System and the Long Time Regulation of the Circulating System of the Human Body), jan-69.

RE-51 Månsson, Lars: Analys av olinjär regulator för servosystem med mättning (Dual Mode Control for a Double Integrator with a Saturated Control Variable), jan-69.

RE-52 Ljung, Christer och Löwenhielm, Peter: Studium av olika metoder för analys av artefaktfria EEG-signaler (Comparison between different Methods for Analysis of EEG's free from Artefacts), maj-69.

RE-53 Lundgren, Bertil: Bestämning av överföringsfunktioner med impulssvarsanalys (Determination of Transfer Functions with Impuls Response Analysis), april-69.

RE-54 Christensson, Nils: Reglering av hydrostatisk transmission i entreprenadmaskiner (Control of the gear change of a Hydrostatic Transmission in an Agricultural Tractor), juni-69.

RE-55 Larsson, Christer och Öbom, Christer: En matematisk modell av ett ångkraftverk (A Mathematical Model of a Boiler), juni-69.

RE-56 Klevås, Jan och Leffler, Nils: Optimering av effektfördelning med hänsyn till rullande reserv för ångkraftaggregat med hjälp av dynamisk programmering (Optimization of power distribution for Steam Boilers with respect to Spinning Reserve by Dynamic Programming), juni-69.

RE-57 Elfving, Thomas och Hultberg, Thomas: Mätning och identifiering av dynamiken på torkpartiet i en pappersmaskin (Measurements and Identification of the Dynamics of the Drying Section of a Paper Machine), juli-69.

RE-58 Bengtsson, Gunnar: Förfiltrering av signaler med Kalmanfilter (Optimal Prefiltering with Kalman Theory), juli-69.

RE-59 Rosengren, Bengt och Nordh, Ingemar: Konstruktion av PRBS-generator (Construction of a PRBS Generator), juli-69.

RE-60 Ekengren, Birger: Bestämning av radiatordynamiken i ett hyreshus (Determination of the Radiator Temperature Dynamics in a Building), July, 1969.

RE-61 Folkesson, Per-Åke and Hjersing, Torsten: Mätning av temperatur och tryck med pulsfrekvensteknik (Temperature and Pressure Measurements with Pulse Frequency Techniques), July, 1969.

RE-62 Sjöberg, Mats: Uppbyggnad av servo för inverterad pendel (Construction of a Servo to Control an Inverted Pendulum), August, 1969.

RE-63 Källrot, Björn: Undersökning av direktmatningen i ett adaptivt modellreferenssystem (Examination of a Direct Signal Path in an Adaptive Model Reference System), September, 1969.

RE-64 Johansson, Christer, and Malmqvist, Lars-Gunnar:Processidentifiering med hjälp av impulssvar och stegsvar (Process Identification from Impulse and Step Responses), November, 1969.

RE-65 Klöver, Leif, and Olsson, Lars-Erik: Identifiering av Haldenreaktorns dynamik med maximum likelihood-metodik (Maximum Likelihood Identification of the Halden Reactor), October, 1969.

RE-66 Trovik, Hans: Projektering av elektromekanisk presentationsarm (Outline of an Electromechanical Demonstration Arm), October, 1969.

RE-67 Fick, Göran: Flervariabla system (Multivariable Systems), October, 1969.

RE-68 Nilsson, Allan, and Svegne, Tor: Undersökning av Bakkes adaptiva regulator (Examination of the Bakke Adaptive Controller), Jan-70.

RE-69 Fors, Roland, and Mårtensson, Jan: Integrator för sampling av processsignal (Construction of an Integrator for Sampling), Jan-70.

RE-70 Brunkstedt, Thomas, and Silvén, Ulf: Processdator. En studie av några svenska installationer (Some Industrial Process Computer Installations in Sweden), January, 1970.

RE-71 Gustafsson, Bengt: Tankreaktorn. Analys och syntes av några olika kemiska reaktionssystem (Analysis and Synthesis of Some Different Chemical Stirred Tank Reactors), January, 1970.

RE-72 Lundström, Lennart (together with Ulla Larsson, CTH): Temperatursensor med känselkropp av bimetall för styrning av en effektfluidistor (A Temperature Sensor with Sensing Element of Bimetal for the Control of a Fluid Amplifier for Heavy Current), March, 1970.

RE-73 Källström, Claes: Optimering av valsinställningarna i ett valsverk (On Optimal Roll Settings of a Rolling Mill), February, 1970.

RE-74 Pauli, Andreas: Adaptiv regulator baserad på lärande modell (An Adaptive Controller Based on a Learning Model), February, 1970.

RE-75 Johnfors, Ulf: Dimensionering av automatisk landningssystem för flygplan (Synthesis of an Automatic Landing System for Aeroplanes), February, 1970.

RE-76 Brantmark, Håkan: Reglering av tidsvariabla system med Kalman-teori (Control of Time Variable Systems by Means of Kalman Theory), March, 1970.

RE-77 Larsson, Lars Olov: Algoritmer för lösning av system av ordinära differentialekvationer (Comparison of Some Algorithms to Solve Ordinary Differential Equations), April, 1970.

RE-78 Brännström, Jan, and Johansson, Allan: Identifiering av parametrar i tillståndsmodeller med rekursiv teknik, s.k. Extended Kalman Filter (Recursive Parameter Estimation in Multivariable Systems with Extended Kalman Filtering), April, 1970.

RE-79 Edwardsson, Anders, and Ekwall, Ulf: Identifiering av parametrar i tillståndsmodeller. En icke-rekursiv metod, som bygger på variationskalkyl (Non-recursive Parameter Estimation in Multivariable Systems), April, 1970.

RE-80 Glad, Torkel: Diagonal dekomponering. Analys och tillämpning på linjärkvadratiska problem (Analysis and Application of Diagonal Decomposition on Linear-Quadratic Problems), June, 1970.

RE-81 Holst, Jan: Identifiering av parametrar i tillståndsmodeller med hjälp av tidsdiskreta iterativa filter (Recursive Parameter Estimation in Multivariable Systems with Iterative Filtering), June, 1970.

RE-82 Lindberg, Lave: Kalmanfilter. Adaptiva Kalmanfilter. Reelltidsidentifiering (Kalman filters. Adaptive Kalman filters. Real-time identification), July, 1970.

RE-83 Ekdahl, Kurt, Henriksson, Ingvar: Om regulatorer för maximalekoiamisk styrning av fartyg (On regulator for economical optimal control of ships), July, 1970.

RE-84 Andersson, Leif: Numerisk behandling av Kalmans ekvationer för tidsdiskreta system (Numerical considerations on implementing discrete time Kalman filters), August, 1970.

RE-85 Kristofersson, Martin: Analys av en andra ordningens allmän kvadratisk differentialekvation (Analysis of a general quadratic second order differential equation), August, 1970.

RE-86 Knutsson, Gert Ingvar: Jämförelse mellan tre olika metoder för reelltidsidentifiering (Comparison between three different real time identification methods), August, 1970.

RE-87 Broqvist, Stig: Matematisk modell för sjön Trummen (Mathematical model of the lake Trummen), October, 1970.

RE-88 Mårtensson, Ingmar, Weibull, Anders: Minimalvariansstyrning av robot (Minimal variance control of a missile), November, 1970.

RE-89 Frick, Bengt: Rumsmätningar och identifiering av rummets dynamik med maximum likelihoodmetodik (Temperature measurements in a room and identification of the dynamics of the room using the Maximum Likelihood Method), November, 1970.

RE-90 Lundström, Anders, Nilsson, Christer: Undersökning av en plattvärmeväxlares dynamik: mätningar och identifiering (Investigation of the dynamics of a plate heat-exchange: Measurements and identification),, February, 1971.

RE-91 Jönsson, Bengt: Konversativt datorprogram för processidentifiering (Computer program for automatic process identification), February, 1971.

RE-92 Jensen, Lars: Mätningar på luftkonditioneringsanläggning med återblandning. Identifiering av delsystem (Measurements on an airconditioning plant with recirculation. Identification of a sub-system), March, 1971.

RE-93 Hagbjer, Lennart: Utmatning på plotter (Programs for plotter output on an ink jet plotter), April, 1971.

RE-94 Olsson, Karl-Erik, Åkerlund: Tillämpning av linjärkvadratisk teori på kraftsystem (Application of linear quadratic theory on power systems), April, 1971.

4. LIST OF PERSONAL

Professor	Karl Johan Åström
Universitets lektor	Gustaf Olsson
"	Björn Wittenmark
Forskningsingenjör	Leif Andersson
"	Karl Eklund
"	Ivar Gustavsson
"	Lars Jensen
"	Krister Mårtensson
"	Johan Wieslander
Assistent	Per Hagander
"	Sture Lindahl
"	Lennart Ljung
"	Gunnar Bengtsson
"	Ulf Borisson
Programmerare	Claes Källström
Laboratorieingenjör	Rolf Braun
Tekniskt biträde	Marianne Steinertz
Sekreterare	Eva Widén
7 doktorander	