



# LUND UNIVERSITY

## Master's Theses in Automatic Control 1970-1971 (Examensarbeten 70/71)

Wittenmark, Björn

1971

*Document Version:*

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Wittenmark, B. (Ed.) (1971). *Master's Theses in Automatic Control 1970-1971 (Examensarbeten 70/71)*. (Reports TFRT-4202). 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

MASTER THESES IN AUTOMATIC  
CONTROL 70/71.  
(EXAMENSARBETEN)

BJÖRN WITTENMARK

REPORT 7120 NOVEMBER 1971  
LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
DIVISION OF AUTOMATIC CONTROL

MASTER THESES IN AUTOMATIC CONTROL 70/71.

(EXAMENSARBETEN 70/71)

B. Wittenmark

ABSTRACT.

This report is a collection of abstracts in Swedish and English of the master theses (examensarbeten), made at the Division of Automatic Control, Lund Institute of Technology. During the year 14 theses were done by 19 authors.

This work has been supported by the Swedish Board for Technical Development under Contract 71-50/U33.

TABLE OF CONTENTS	<u>Page</u>
1. Introduction	1
2. List of Theses	2
3. Subject Index	4
4. Abstracts	5
APPENDIX: Examensarbete i reglerteknik HT-70.	28

## 1. INTRODUCTION.

To pass the civilingenjörsexamen (master degree) the students have to write a short thesis. This "examensarbete" (master thesis) shall take the student about three months full time work. This report is a collection of abstracts of master theses made at the Division of Automatic Control, Lund Institute of Technology, during the academic year 70/71. During 70/71 14 theses have been completed by 19 authors. Abstracts of earlier theses are found in

G. Olsson: Master Theses in Automatic Control 1965-70, Report 7011, Nov., 1970, Lund Institute of Technology.

The object with collecting these abstracts is to give a survey of the research activity on the undergraduate level at the Division. The majority of the theses are made within the framework of the research program of the Division. Some of the theses have been made in cooperation with the industry and other divisions.

All reports have been written in Swedish with abstracts in English. Every thesis is presented in this report with the name of the author and with one abstract in Swedish and one in English. Also at every abstract the name of the responsible advisor is shown within brackets. In several cases two or more advisors have been engaged with different kinds of work or ideas.

Further information concerning the results can be obtained from the Division by contacting the responsible advisor. The theses are available at the Division library and may be bought at reproduction cost.

Every year a list of suitable subjects for master theses have been published in Swedish. The list for 70/71 is given in Appendix.

## 2. LIST OF THESES.

- 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 maximalekonomisk styrning av fartyg (On Regulators 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 likelihood-metodik (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 Exchanger: Measurements and Identification), February, 1971.
- RE-91 Jönsson, Bengt: Konverstivt datorprogram för processidentifiering (Computer Program for Automatic Process Identification), Febr., 1971.
- RE-92 Jensen, Lars: Mätningar på luftkonditioneringsanläggning med återblandning. Identifiering av delsystem (Measurements on an Air Conditioning 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, Mats: Tillämpning av linjärkvadratisk teori på kraftsystem (Application of Linear Quadratic Theory on Power Systems), April, 1971.
- RE-95 Andersson, Bo, Nordenskjöld, Kjell: Samkörning av motorer (The Dual Motor Problem), June, 1971.

## 3. SUBJECT INDEX.

Adaptive systems	88
Analysis and synthesis	
linear systems	95
nonlinear systems	85, 87
Biological systems	87
Identification methods	
maximum likelihood method	89, 90, 92
real-time identification	82, 86
Kalman filtering	82, 84
Model building	
ship	83
Optimization methods	
linear quadratic systems	83, 94
Programming	91, 93

## 4. ABSTRACTS.

RE-82 July, 1970

(J. Wieslander)

Lindberg, Lave

KALMANFILTER. ADAPTIVA KALMANFILTER. REELLTIDSIDENTIFIERING.

Då man använder Kalman-teori måste man veta kovariansmatriserna för det drivande bruset,  $R_1$ , och för mätbruset,  $R_2$ . Om dessa är okända kan det vara möjligt att uppskatta dem. Två algoritmer för att uppskatta  $R_1$  och  $R_2$  är undersökta. Det visar sig att mätbrusets varians är relativt lätt att uppskatta med de givna algoritmerna. Det drivande brusets varians är däremot något svårare att uppskatta.

Det adaptiva Kalman-filtret är sedan använt för att göra reelltidsidentifiering. Estimatet av tillståndsvektorn följer de sanna värdena bra. Uppskattningen av  $R_2$  är efter ca. 1500 steg mindre än 5% från det riktiga värdet. Felet i uppskattat  $R_1$  är ca. 30%. Slutligen är givet en alternativ metod att uppskatta  $R_1$ .

KALMAN FILTER. ADAPTIVE KALMAN FILTER. REAL-TIME IDENTIFICATION.

When using Kalman filter the variance of the driving noise  $R_1$  and measurement noise  $R_2$  has to be known. If the statistic is unknown it is possible to estimate  $R_1$  and  $R_2$ . Two algorithms to calculate the unknown matrices  $R_1$  and  $R_2$  are specially examined. The result is that the measurement noise variance is fairly easy to estimate while the plant noise is somewhat more difficult to achieve.

The adaptive Kalman filter is then used to make real-time identification. The estimates of the state follow the true values very well. The estimation of the measurement noise variance is after about 1500 samples less than 5% apart from the true value. The difference between the true and estimated values of the plant noise variance stays within 30%. Finally an alternative method to estimate the plant noise variance is given.

RE-83 July, 1970

(P. Hagander)

Ekdahl, Kurt

Henriksson, Ingvar

# OM REGULATORER FÖR MAXIMALEKONOMISK STYRNING AV FARTYG.

Optimal styrning av stora fartyg har behandlats. Målet har varit att konstruera en regulator, som när fartyget påverkas av olika störningar håller detta på den mest ekonomiska kursen.

Fartyget antages ha en konstant hastighet framåt, och kan sålunda endast styras med rodret. Utgående från en matematisk modell beräknas rörelse-ekvationerna och överföres till linjär form. Då fartygets rörelser antages inskränkta till horisontalplanet, är de intressanta tillståndsvariablerna: hastighet i sida, vinkelhastighet och vinkel. En förlustfunktion beskrives och användes för att jämföra olika regulatorer. De störningar som användes är: stegstörning i ett tillstånd i taget eller en kombination av stegstörningar i de två tillstånden vinkel och vinkelhastighet.

Först har en optimal regulator beräknats, men då hastigheten i sida inte är mätbar har också en suboptimal regulator studerats.

Resultatet av examensarbetet är att den optimala regulatorn, som kan realiseras med rekonstruktion av det icke mätbara tillståndet, inte är nödvändig då den suboptimala regulatorn är praktiskt taget lika bra. Dessutom har koefficienterna i återkopplingen bestämts.

## ON REGULATORS FOR ECONOMICAL OPTIMAL CONTROL OF SHIP.

Optimal long-distance steering of large vessels has been studied. The purpose is to design a regulator, that keeps a vessel, when affected by different disturbances, on an economical course.

The vessel is supposed to have constant speed forward and therefore the only steering variable is the rudder angle. From a mathematical model of the vessel, the equations of motion are calculated into a linear form. Since the motion of the vessel is studied only in the horizontal plane, the motion variables of interest are: transversal velocity, angular velocity and angle of heading. A loss function is described and used to evaluate the quality of different regulators. The disturbances applied to the system are: step disturbance in only one degree of motion at a time or combinations of step disturbances in the two degrees of motion: angle of heading and angular velocity.

First an optimal regulator is calculated, but as the transversal velocity is not measurable a suboptimal regulator is also studied. When different disturbances are applied to the system the loss function gives an estimation of the quality of the actual regulator.

The result is that an optimal regulator is not necessary since proper suboptimal regulator essentially represents as good a steering as an optimal one. Further result is that the feedback coefficients of the regulator can be determined.

RE-84 August, 1970

(G. Olsson)

Andersson, Leif

## NUMERISK BEHANDLING AV KALMANS EKVATIONER FÖR TIDS-DISKRETA SYSTEM.

Olika algoritmer för skattning av tillståndsvariabler enligt Kalman-teorin diskuteras. Det framgår att den högsta noggrannheten uppnås med en algoritm bestående av tre positivt semidefinita delar, men att kortare algoritmer kan ge tillräcklig noggrannhet för vissa system. Nödvändigheten av att symmetrisera algoritmerna diskuteras tillsammans med olika metoder för att utföra detta. En kort diskussion om möjligheten att beräkna vissa matriser i förväg och lagra dem avslutar rapporten.

## NUMERICAL CONSIDERATIONS ON IMPLEMENTING DISCRETE TIME KALMAN FILTERS.

Different algorithms for the state estimation problem according to the Kalman theory are discussed. It is shown that the highest accuracy is obtained with an algorithm consisting of three non-negative definite parts, but that shorter algorithms may be sufficient for certain systems. The necessity of enforcing symmetry on the algorithms is discussed together with different methods for obtaining this. A brief discussion on the possibility of precalculating and storing certain matrices concludes the report.

RE-85 August, 1970  
 Kristofersson, Martin

(G. Olsson)

# ANALYS AV EN ANDRA ORDNINGENS ALLMÄN KVADRATISK DIFFERENTIALEKVATION.

I detta examensarbete studeras en andra ordningens differentialekvation med allmänt kvadratisk högerled, d.v.s. ekvationen

$$\dot{x} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} b_{11}x_1^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{22}x_2^2 \\ c_{11}x_1^2 + c_{12}x_1x_2 + c_{22}x_2^2 \end{pmatrix}$$

Olika specialfall av ekvationen förekommer inom t.ex. biologi och kärnteknik.

Att erhålla en explicit lösning till den allmänna ekvationen visar sig ogörligt. Likaså är en allmän stabilitetsanalys mycket otymplig. Istället studeras ett antal relevanta specialfall.

De undersökta specialfallen indelas i två huvudgrupper, nämligen då den linjära approximationen har reella resp. komplexkonjugerade egenvärden.

Ekvationen undersöks först med avseende på singulariteter, där en del generella uttalanden kan göras. Därefter genereras ett antal numeriska specialfall på analogimaskin.

Någon allmängiltig utsaga om lösningens uppförande är svår att göra. Man kan dock konstatera att lösningen inte beror kritiskt av små parametervariationer, men att olika struktur på den olinjära termen kraftigt förändrar dess egenskaper.

# ANALYSIS OF A GENERAL QUADRATIC SECOND ORDER DIFFERENTIAL EQUATION.

In this thesis a second order differential equation with a general quadratic structure of the right hand side has been analyzed, viz.

$$\dot{x} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} b_{11}x_1^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{22}x_2^2 \\ c_{11}x_1^2 + c_{12}x_1x_2 + c_{22}x_2^2 \end{pmatrix}$$

The equation appears as a description of several biological and nuclear reactor phenomena.

It is quite impossible to get any general solution. Stability analysis, e.g. Lyapunov functions, is very difficult to carry out in the general case. Therefore a number of special cases have been run.

The examined special cases are grouped into two main areas, viz. real and complex eigenvalues of the linear approximation.

First the character of the singular points is examined, and some general results can be presented. Then several phase planes are generated by an analog computer in order to achieve knowledge of the system.

It can be observed that solutions not depend critically on small coefficient variations, but change of the quadratic term structure will influence the solution strongly.

RE-86 August, 1970  
Knutsson, Gert Ingvar

(J. Wieslander)

#### JÄMFÖRELSE MELLAN TRE OLIKA METODER FÖR REELLTIDS-IDENTIFIERING.

Tre metoder för att identifiera parametrarna hos ett linjärt, tidsvariabelt system beskrivs. Huvuduppgiften har varit att skriva ett modulärt FORTRAN-program, som kan anpassas till de tre metoderna och olika modeller genom att man endast behöver göra smärre ändringar i programmet. Det erhållna programmet har sedan använts för testkörning på tre system:

1. Ett första ordningens system
2. Ett andra ordningens system
3. Ett första ordningens olinjärt system

En metod bygger på teorin för Kalman-estimering, en annan på minsta-kvadrat-metoden och den tredje på teorin för stokastisk approximation.

#### COMPARISON BETWEEN THREE DIFFERENT REAL-TIME IDENTIFICATION METHODS.

Three different methods of identifying a time varying system are described: least squares with exponential weighting, Kalman filtering and stochastic approximation. A modular FORTRAN program, which can be adapted to different models with little effort, has been written. The program has been used on three digitally simulated examples. Differences and similarities in the behaviour of the three real-time identification algorithms are discussed.

RE-87     October, 1970  
 Broqvist, Stig

(K. Eklund)

#### MATEMATISK MODELL FÖR SJÖN TRUMMEN.

En förenklad matematisk modell för en sjö har tagits fram. Modellen består av fyra ordinära differential-ekvationer med tre insignaler. Två av differentialekvationerna är olinjära.

Modellen har simulerats på analogmaskin för olika parametervärden. Modellen svarar på sinusformade insignalen i princip som man kan vänta sig för en sjö. Maximum och minimum värden är ungefär lika med uppskattningar av verkliga värden.

Syftet med den ekologiska modellen har varit att dels få bättre insyn i hur ekologiska system beter sig och att dels göra det möjligt att kunna uppskatta hur ingrepp påverkar den biologiska balansen.

#### MATHEMATICAL MODEL OF THE LAKE TRUMMEN.

A simplified mathematical model for a lake has been developed. This model consists of a set of four ordinary differential equations with three input signals. Two of the differential equations are non-linear.

Simulations on an analogue computer have been made for some different parameter values. Model responses to sinusoidal inputs correspond to some principle features in field data. Maximum and minimum values approximately equal estimated real values.

The purpose with the mathematical models have been

- 1) to help to create better understanding of ecological systems behaviour
- 2) to make it possible to estimate more accurate the effects of human interferences in nature.

RE-88 November, 1970

(B. Wittenmark)

Mårtensson, Ingmar

Weibull, Anders

## MINIMALVARIANSSTYRNING AV ROBOT.

En adaptiv regulator för en process med tidsvariabla parametrar har undersökts på dator. Som process har använts en modell av en robot. De tidsvariabla parametrarna uppskattades med ett Kalman-filter. De uppskattade parametrarna används sedan för att konstruera en styrlag som ger minimal varians hos utsignalen. Regulatorn tar därvid hänsyn till att parametrarna är uppskattade och att därför värdena är osäkra.

Styrning av roboten visade sig fungera bra för de flygfall som simulerades.

## MINIMAL VARIANCE CONTROL OF A MISSILE.

An adaptive regulator for a process with time varying parameters has been simulated on a computer. A model of a missile has been used as the process. The time varying parameters have been estimated using a Kalman filter. The estimated parameters have then been used to derive a control signal which gives minimum variance on the output. The controller then takes into consideration that the estimated parameters are not exactly the true ones.

The control of the missile was good in the different flight cases that were simulated.

RE-89 November, 1970

(K. Eklund)

Frick, Bengt

RUMSMÄTNINGAR OCH IDENTIFIERING AV RUMMETS DYNAMIK  
MED MAXIMUM LIKELIHOOD-METODIK.

Mätningar har utförts i ett provrum på institutionen för byggnadskonstruktionslära. Mätningar har gjorts vid tre olika uppvärmningstyper, strålnings-, konvektiv- och radiatoruppvärmning.

Som insignaler har valts temperaturen på uppvärmningsanordningen och utomhustemperaturen. Som utsignal har tagits några temperaturer i rummet.

Koefficienterna i parametriska modeller för överföringsfunktionerna identifieras med maximum likelihood-metodik.

Överföringsfunktionerna från uppvärmningsanordningens temperatur och utetemperaturen till temperaturen i rummet har beräknats.

Simulering av de erhållna modellerna har också genomförts.

TEMPERATURE MEASUREMENTS IN A ROOM AND IDENTIFICATION  
OF THE DYNAMICS OF THE ROOM USING THE MAXIMUM LIKELIHOOD METHOD.

Measurements of a room have been done at the institution Byggnadskonstruktionslära. Measurements have been done for three different warming types, radiant, convective and radiator warming.

The inputs are the temperature of the heating apparatus, and the outdoor temperature. The output is different temperatures in the room.

The coefficients of parametric models of the transfer functions are identified by the maximum likelihood method.

The transfer functions from the temperature of the heating apparatus and the outdoor temperature to the temperature of the room have been estimated.

Simulation of the models have also been done.

RE-90 February, 1971

(K. Eklund)

Lundström, Anders

Nilsson, Christer

UNDERSÖKNING AV EN PLATTVÄRMEVÄXLARES DYNAMIK:  
MÄTNINGAR OCH IDENTIFIERING.

I detta examensarbete undersöks dynamiken hos en (vatten-vatten) plattvärmeväxlare, vilken betraktas som ett system med fyra insignaler och två utsignaler.

Mätningarna har utförts under laboratoriemässiga förhållanden. En eller två insignaler har varierats och mätningar har skett vid olika nivå och amplitud hos dessa. Två olika samplingsintervall har använts.

Data ger möjlighet till identifiering av några tiotal insignal-utsignalsamband. Av dessa har ett utvalts (insignal: sekundärsidans flöde; utsignal: sekundärsidans uttemperatur). Parametrarna i en linjär modell har identifierats med Maximum Likelihood metoden. Ordningstalstest indikerar att en andra ordningens modell är tillräcklig. Kontinuerliga modellens tidskonstant överensstämmer ungefärligen med den som kan skattas ur stegsvar.

INVESTIGATION OF THE DYNAMICS OF A PLATE HEAT EXCHANGER: MEASUREMENTS AND IDENTIFICATION.

The task of this thesis was to investigate the dynamical behaviour of a (water-water) plate heat exchanger, which is considered as a system of four inputs and two outputs.

The measurements have been made under laboratory conditions. One or two inputs are varied. Inputs with dif-

ferent levels and amplitudes have been used. Furthermore, two different sampling intervals have been used.

Data of ten or so input-output relations have been stored. One of these is chosen (input: secondary flow; output: secondary temperature (out)), and identification using the Maximum Likelihood method is done. Test of model order indicates that a second order model is sufficient. The time constant of the continuous model is in accordance with that estimated from step response analysis.

RE-91 February, 1971  
Jönsson, Bengt

(J. Wieslander)

#### KONVERSATIVT DATORPROGRAM FÖR PROCESSIDENTIFIERING.

Ett program är framtaget för automatisk identifiering av en fysikalisk process som är ansluten till en processdator. Processen antas kunna beskrivas av en linjär tidsinvariant modell. En introduktion är given till reelltids minsta kvadratmetod för identifiering. Vidare diskuteras val av ordningstal hos modellen. Blockdiagram för identifieringsautomaten är givet, och program för dels off-line och dels on-line identifiering diskuteras. Slutligen visas resultat från ett identifieringsexperiment på en endimensionell värmeledningsprocess.

#### COMPUTER PROGRAM FOR AUTOMATIC PROCESS IDENTIFICATION.

A program for automatic identification of a physical process connected to a process computer, PDP-15, is discussed. The process is assumed to be described by a linear time invariant model. An introduction to Real Time Least Squares is given, and testing the order of the model is briefly discussed. A block diagram for automatic identification is shown. One program for off-line identification and one program for on-line identification is introduced. Finally the result from an identification experiment of a one dimensional heat diffusion process is given.

RE-92 March, 1971

(K. Eklund)

Jensen, Lars

MÄTNINGAR PÅ LUFTKONDITIONERINGSANLÄGGNING MED ÅTER-  
BLANDNING. IDENTIFIERING AV DELSYSTEM.

Dynamiken hos luftkonditioneringsanläggningar är ganska okänd. Tillgängliga teoretiska modeller är ganska komplexa och inte särskilt lämpade för att konstruera en lämplig regulator. Vanligtvis erhålles en modell bestående av ett system partiella differentialekvationer. Dessa måste approximeras till ett system av ordinarie differentialekvationer för att kunna användas vid dimensionering av reglerutrustning.

Värmeledningskonstanter är ganska okända. De kan vara funktioner av temperatur och flöde, men får ett fixt värde i modellerna. Den slutligen erhållna modellen kan vara ganska felaktig. Därför har i samarbete med Billman-Regulator AB mätningar utförts på en luftkonditioneringsanläggning. Maximum likelihood-metoden användes som identifieringsmetod. På grund av recirkulation i anläggningen erhöles problem med identifieringen. En fjärde ordningens modell togs fram för vattentill-luft tvärströmsvärmväxlare. De övriga överföringsfunktionerna till det betraktade flervariabla systemet behandlades ej.

MEASUREMENTS ON AN AIR CONDITIONING PLANT WITH  
RECIRCULATION. IDENTIFICATION OF A SUBSYSTEM.

The dynamics of air conditioning plants are rather unknown. Available theoretical models are quite complex and not very suitable for the synthesis of a regulator. Usually we arrive to a model consisting of a set of partial differential equations. These have to be app-

roximated by a set of ordinary differential equations to make useful results of control theory applicable. The geometry of the models are simplified in relation to the real geometry.

Heat conducting constants are rather unknown. They may be functions of temperature and flow, but are given a fixed value in the models. So the final model can be affected with severe faults. Therefore in cooperation with Billman-Regulator AB measurements have been done on an air conditioning plant. The maximum likelihood method was used as an identification method. Identification problems were caused by recirculation in the plant. A fourth order model for the water-to-air cross-flow heat exchanger was derived. The remaining loops of the considered multivariable process is not treated.

RE-93 April, 1971

(J. Wieslander)

Hagbjer, Lennart

## UTMATNING PÅ PLOTTER.

Uppgiften avser att skriva ett datamaskinprogram för utmatning på en vid Inst. för Elmät. konstruerad bläckstråleskrivare. Då denna sätter punkter på ett papper fastsatt på en roterande trumma skall utdata bestå av, för varje x-koordinat i tur och ordning, en stigande följd av de y-koordinater som skall utmärkas.  $0 \leq x$ ,  $y < 1024$ .

Indata utgörs av följder av startpunkter samt serie av inkrement från startpunkten. Dessa indata skall alltså först omvandlas till xy-koordinater och sedan sorteras i rätt ordning för utmatning.

För lagring av mellanresultat används ett skivminne. På grund av begränsat utrymme i kärnminnet sker sorteringen i två steg, först en sammansmältning av ett antal filer sorterade efter x, och sedan en sortering av y-värden för varje x-värde.

Programmet består av sex subrutiner, sammanhållna av ett huvudprogram, skrivet i FORTRAN.

Programmet är avsett att köras på en PDP-15 och subrutinerna är skrivna i PDP-assembler.

## PROGRAMS FOR PLOTTER OUTPUT ON AN INK JET PLOTTER.

The task was to write a program for plotter output on an ink jet plotter built at Inst. of Electrical Measurements, LTH. This plotter puts dots of ink on a paper fastened to a rotating drum and it must have, for every x-coordinate, the y-coordinates in rising order.  $0 \leq x$ ,  $y < 1024$ .

Indata exists in dump mode on DEC tape, and consists of files of starting points followed by step increments. Each file has to be changed into pairs of xy-coordinates and then sorted and arranged in a suitable way for output.

The intermediate results are stored on disk. On account of the rather small core memory and the mass of coordinates, the sorting procedure is made in two steps. First a merge of several files sorted after x is made, then the y's are sorted for each x-coordinate.

The program consists of six subroutines, linked by a program, written in FORTRAN.

The program is written to be run on a PDP-15 computer and the subroutines are written in Macro assembler.

RE-94 April, 1971

(S. Lindahl)

Olsson, Karl-Erik

Åkerlund, Mats

## TILLÄMPNING AV LINJÄRKVADRATISK TEORI PÅ KRAFTSYSTEM.

Ett kraftsystem bestående av en synkronmaskin med spännings- och varvtalsreglering, ansluten till ett starkt nät via en överföringslinje, studeras.

Systemet beskrivs av åtta stycken olinjära första ordningens differentialekvationer. Ekvationerna linjäriseras och en optimal, tidsinvariant styrlag bestäms genom att använda den linjära modellen och en kvadratisk förlustfunktion av följande form:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} ((X^T Q_1 X) + (U^T Q_2 U)) dt$$

Matriserna  $Q_1$  och  $Q_2$  justeras heuristiskt, för att erhålla ett bra insvängningsförlopp.

Styrlagen provas sedan på både den olinjära och den linjära modellen. Systemets reaktion undersöks då generatorns uteffekt ändras från ett konstant värde till ett annat. Här undersöks också när man kan betrakta den linjära modellen som en bra approximation av den olinjära.

Resultaten jämföres också med uppförandet hos en regulator som innehåller återkoppling från endast några få tillstånd.

# APPLICATION OF LINEAR QUADRATIC THEORY ON POWER SYSTEMS.

A power system consisting of one synchronous machine with voltage and speed regulation, connected to an infinite bus through a transmission line, is studied.

The system is modelled by eight first order nonlinear differential equations. The equations are linearized and an optimal time-invariant control law is determined by using the linear model and a quadratic cost function of the following form:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} ((X^T Q_1 X) + (U^T Q_2 U)) dt$$

The matrices  $Q_1$  and  $Q_2$  are adjusted heuristically in order to obtain good transient response.

The control law is then applied to both the nonlinear and the linear system models. The system responses are investigated when the generator power output is changed from one constant value to another. It is also investigated when the linearized model can be considered as a good approximation of the nonlinear system.

The results are also compared with the performance of a regulator which contains feedback from a few states only.

RE-95 June, 1971  
Andersson, Bo  
Nordenskjöld, Kjell

(B. Wittenmark)

#### SAMKÖRNING AV MOTORER.

I detta arbete studeras samkörning av två motorer, som driver en gemensam belastning via en kuggväxel. Det antages, att motorerna är linjära inom sitt arbetsområde. Målsättningen är att det från motorerna utgående varvtalet oberoende av belastningsvariationer skall överensstämma med ett givet referensvarvtal och att effekten skall kunna fördelas mellan motorerna på ett givet sätt.

Det visas, att vissa regulatorarrangemang, t.ex. då motorerna förses med var sin PI-regulator för varvtalet, inte alls fungerar beroende på instabilitet.

Slutligen visas ett par kopplingar, som helt eller delvis uppfyller målsättningen.

Matematiska verktyg är i huvudsak Laplace-transformen och matrisräkning.

#### THE DUAL MOTOR PROBLEM.

In this report studies have been done on two engines driving a common load via a mechanical gear. The engines are presumed to be linear within their working-range.

The aim is independently of load variations to get the engines' outgoing angular frequency to be equal to a given reference and to distribute the power between the engines in a given proportion.

The report shows that certain arrangement of regulators e.g. engines fitted with proportional and integrating regulators do not work at all depending on instability of the system.

Finally is shown a few couplings which entirely or partly fulfil the aim.

Mathematical tools are essentially the Laplace transform and matrix calculus.

APPENDIX

EXAMENSARBETEN I REGLERTEKNIK HT-70.

I denna skrift ges några förslag på examensarbeten i reglerteknik. Arbetena presenteras i ett antal avsnitt, vars rubriker definierar examensarbetenas allmänna innehåll. I varje avsnitt ges några konkreta förslag till examensarbete. Listan över examensarbeten förändras ständigt, så om listan nu ej innehåller något arbete, som intresserar, kan det dyka upp nya förslag längre fram. Den, som är intresserad, är välkommen till institutionen för närmare diskussion. Första kontakt bör tas med univ.lektor Björn Wittenmark.

Många av de angivna examensarbetena kräver kunskap i FORTRAN-programmering.

Förutom de arbeten, som presenteras här, brukar även vissa större företag, t.ex. ASEA och SAAB, varje år ge ut listor med examensarbeten. I dessa finns ofta många arbeten inom ämnet regleringsteknik.

Det är önskvärt, att teknolog, som utför examensarbeten i regleringsteknik, deltar i undervisningen i fortsättningskursen. Då denna kurs ligger på vårterminen i fyran, kan det ur studietidssynpunkt vara fördelaktigt att påbörja examensarbetet innan fortsättningskursen är avslutad.

K.J. Åström

## 1. AUTOMATISK ANALYS OCH SYNTES AV REGLERSYSTEM MED HJÄLP AV DATAMASKIN.

All väsentlig teori, som presenteras i allmänna kursen i reglerteknik, är så utformad, att den lätt kan automatiseras. Allt arbete, som fordras för analys och syntes, kan utföras med hjälp av en datamaskin. Vi har sedan lång tid tillbaka på institutionen delvis med hjälp av examensarbeten arbetat med att skriva lämpliga subrutiner. Typexempel är transformation av koordinatsystem i tillståndsrum, beräkning av stegsvar, impulssvar, simulering, syntes av system med given överföringsfunktion, rekonstruktion av tillståndsvariabler m.m. Målet med denna verksamhet är att få ett komplett programpaket med vars hjälp man kan göra samtliga förekommande rutinräkningar på ett mycket enkelt sätt. Väsentliga delar av programmen är nu färdiga. Några examensarbeten där dessa analys- och syntesprogram tillämpas på konkreta exempel har utförts. Vi är emellertid mycket intresserade av att dessa program används för dimensionering av reglersystem för ytterligare några specifika exempel. T.ex.:

- 1.1 Reglering av cementugnar
- 1.2 Pappersmaskinreglering - kvalitetsomställningar
- 1.3 Reglering och styrning av stålugnar
- 1.4 Fartygsstyrning
- 1.5 Reglering av ångkraftverk - konventionella regulatorer
- 1.6 Reglering av ångkraftverk - linjärkvadratiske regulatorer
- 1.7 Reglering av tillverkningsprocesser
- 1.8 Förenklade modeller för ångkraftverk

Dessa examensarbeten går ut på att ur litteratur ta fram lämpliga matematiska modeller, analysera systemet och att dimensionera lämpliga regulatorer.

## 2. PROCESSIDENTIFIERING.

Vid tillämpning av reglerteknik på styrning av industriella processer är det mycket väsentligt att ha tillgång till effektiva metoder för att bestämma matematiska modeller. Ofta är det opraktiskt, om ej omöjligt, att erhålla sådana modeller direkt ur de grundläggande fysikaliska lagarna. Man är då hänvisad till att bestämma de matematiska modellerna genom mätning på processen.

Processidentifiering är en systematisk metod att utifrån mätningar bestämma de differentialekvationer eller den överföringsfunktion, som beskriver processen. Detta är ett av institutionens aktuella forskningsområden. Ett flertal examensarbeten finns inom detta område.

### 2.1 Frekvensanalys.

Detta är en klassisk metod, som skall kodas upp för att användas på institutionens processdator. Meningen är att man skall kunna ansluta en "black box" och få ut ett Bode-diagram för systemet.

### 2.2 Strukturidentifiering.

### 2.3 Strukturidentifiering - jämförelse mellan räknetider för olika algoritmer.

I dessa två arbeten studeras identifieringsmetoder, där förkunskaper om systemen utnyttjas för att bestämma vissa värden i systemmatriserna.

### 2.4 Tally principle.

Detta är en nyligen föreslagen identifieringsmetod, vars egenskaper skall undersökas.

2.5 Minsta kvadratidentifiering av system med färgat brus.

2.6 Undersökning av suboptimal styrstrategi, baserad på identifiering med minsta kvadratmetoden.

Dessa arbeten avser att undersöka en välkänd metod på speciella problem.

2.7 Identifiering av system med återkoppling.

Spelar det någon roll att det system, som skall identifieras, är återkopplat? Kan man trots återkopplingen bestämma processens parametrar?

2.8 Identifieringsautomat.

Detta är en fortsättning på ett arbete, som gör det möjligt att automatisera identifiering av processer.

### 3. OPTIMAL REGLERING.

Genom att formulera syntesproblem som optimeringsproblem kan många av variationskalkylens kraftfulla resultat tillämpas för att dimensionera reglersystem. De väsentliga teoretiska problemen är i princip lösta, men mycket arbete återstår vad beträffar utvecklingen av numeriska algoritmer. Detta är också ett av institutionens aktuella forskningsområden. Ett programpaket för dimensionering av regulatorer och styrlagar för linjära system med kvadratisk kriterium, både för diskreta och kontinuerliga system, har utvecklats. Dessa programpaket har tillämpats på några konkreta exempel. Erfarenhet från ytterligare tillämpningar är emellertid mycket väsentligt. Följande arbeten finns:

- 3.1 Optimal reglering av kallvalsverk.
- 3.2 Optimal reglering av varmvalsverk.
- 3.3 Reglering av nivå i kraftverksdamm.

Även vissa av arbetena under avd. 1 kan komma att använda optimeringsmetoden.

#### 3.4 Optimal styrning av kemiska processer.

En kemisk process kan ofta beskrivas med hjälp av ett system av ordinära differentialekvationer

$$\frac{dx}{dt} = f(x,u;t)$$

där tillståndsvariablerna exempelvis beskriver koncentration, tryck eller temperatur. Man är ofta intresserad av att på något sätt styra processen så att någon storhet optimeras. Arbetet avser att på några modeller för olika kemiska processer

applicera de datorprogram för optimal styrning,  
som utvecklas vid institutionen.

#### 4. PROCESSDATORN PDP-15.

Som ett led i institutionens verksamhet, som är koncentrerad på processreglering, har vi inköpt en processdator, som levererats i juli 1970. Avsikten är bl.a. att på denna implementera och testa utvecklade numeriska algoritmer på verkliga processer. Att göra beräkningar i reell tid och med ett mycket begränsat minnesutrymme till sitt förfogande ställer helt andra krav än då samma sak görs på en stor dator. Bland examensarbeten i direkt samband med processdatorn finns:

##### 4.1 Undersökning av inverkan av maskinorganisation.

Arbetet avser att undersöka hur datorns interna organisation påverkar faktorer som minnesutrymme och exekveringstid för några processdatoralgoritmer.

##### 4.2 Utveckling av interaktivt program för simulering och dimensionering av reglersystem.

Med hjälp av institutionens programbibliotek skall ett program byggas upp, som gör det möjligt att sitta vid maskinen och göra analys och syntes av reglersystem.

##### 4.3 Jämförelse mellan olika metoder för dimensionering av digitala regulatorer.

I litteraturen finns angivna olika sätt att göra digitala regulatorer. Arbetet avser att göra en jämförelse mellan dessa.

##### 4.4 Programvaror för DDC.

Många datorfabrikanter har speciella "paket" för att göra processreglering. Avsikten är att studera hur dessa är uppbyggda och hur pass användbara de är.

## 5. NUMERISKA METODER.

Vid modellbygge och linjärisering av olinjära system är det nödvändigt att numeriskt kunna lösa olinjära ekvationssystem, t.ex. för att lösa ut stationära punkter. Vidare är det nödvändigt för linjäriseringen att beräkna derivator. Följande två examensarbeten är avsedda att undersöka numeriska algoritmer, som löser dessa problem.

5.1 Lösning av olinjära ekvationssystem.

5.2 Numerisk beräkning av derivator.

## 6. ADAPTIVA REGLERSYSTEM.

Adaptiva reglersystem kan automatiskt anpassa sig till varierande systemdynamik. Bland de mest välkända exemplen märks automatisk volymkontroll i en radio, autopilot för flygplan m.m. Adaptiva reglersystem ligger även inom institutionens forskningsfält. En rad tidigare examensarbeten har genomförts men flera återstår, t.ex.:

### 6.1 Sjävlärande reglersystem.

Arbetet omfattar undersökning av föreslagna metoder att låta regulatorer automatiskt ställa in sig så att bästa möjliga resultat erhålles.

### 6.2 Adaptiv regulator för flygplan.

För en realistisk flygplansmodell skall undersökas hur bra regleringen kan ske med en adaptiv regulator.

## 7. BIOLOGISKA, SOCIALA SYSTEM.

Reglerteknikens metoder börjar i allt större utsträckning att tillämpas även på icke tekniska system. Inom företagsekonomin har man således infört reglertekniska begrepp under rubriker såsom management information system, management control system. Tillämpningar finns även inom sociala och biologiska system. Inom dessa fält har vi några examensarbeten, som består i att studera sådana system med reglertekniska metoder. Syftet är att undersöka hur icke endast kvalitativa utan även kvantitativa aspekter av reglertekniken kan överföras till dessa typer av system.

### 7.1 Ekologiska system.

Detta avser att vara en fortsättning på ett tidigare arbete, som undersökte en enkel matematisk modell för en sjö.

### 7.2 Reglering av jäsningsprocess för proteinodling.

### 7.3 "Industrial Dynamics".

### 7.4 "Urban Dynamics".

Industrial Dynamics och Urban Dynamics är försök att ställa upp modeller som kan beskriva industriella och sociala system.

### 7.4 "University Dynamics".

Arbetet består i att försöka göra en matematisk modell för utbildningssystemet, t.ex. vid LTH, bl.a. utgående från tillgängliga statistiska uppgifter och att diskutera inverkan av olika ändringar, som f.n. diskuteras.

## 8. DIVERSE.

### 8.1 Dimensionering av tanksystem.

Detta arbete avser att konstruera en modellprocess, som skall kunna användas dels i undervisningen och dels för adaptiv reglering.

### 8.2 Avsiktliga olinjäriteter.

I vissa fall kan det vara fördelaktigt att introducera olinjäriteter i system. Arbetet avser att undersöka några sådana fall.

### 8.3 Reglering av processer med tidsfördröjning.

Ren tidsfördröjning i system har en instabiliserande inverkan. Avsikten är att undersöka egenskaper hos sådana system.

### 8.4 Tumregler för injustering av regulatorer.

Det finns klassiska regler för att ställa in regulatorer. Dessa fungerar bra bara på en begränsad klass av system. Kan man hitta liknande regler för andra typer av system?

### 8.5 Jämförelse mellan Kalman-filtrering och komplementär filtrering.

Avsikten är att jämföra en optimal metod med ett heuristiskt sätt att angripa samma problem.