

# Sisteme automate liniare

Acest **curs** prezintă **Sisteme automate liniare**.

In acest PDF poți vizualiza cuprinsul și bibliografia (daca sunt disponibile) și aproximativ două pagini din documentul original.

Arhiva completa de pe site conține 15 fișiere, într-un număr total de **214 pagini**.

Fișierele documentului original au următoarele extensii: doc.

## Cuprins

### CAPITOLUL 1 INTRODUCERE 9

1.1 Scurt istoric 9

1.2 Definiții 12

1.3 Structuri de sisteme de reglare automată 19

1.4 Clasificarea sistemelor automate 22

1.5 Problematika automatizării proceselor 24

### CAPITOLUL 2 MODELE MATEMATICE 25

2.1 Noțiuni introductive 25

2.2 Modele intrare - ieșire 26

2.2.1 Ecuații diferențiale 26

2.2.2 Funcția de transfer 29

2.2.2.1 Definiție 29

2.2.2.2 Funcțiile de transfer ale conexiunilor de elemente 31

2.2.2.3 Simplificarea (reducerea) schemelor bloc 36

2.2.3 Tipuri de elemente funcționale 39

2.3 Modele de tipul intrare-stare-ieșire 40

2.3.1 Definiție 40

2.3.2 Relația dintre modelul intrare-stare-ieșire și funcția de transfer 47

2.3.3 Realizări. Echivalențe 49

2.3.3.1 Realizări 49

2.3.3.2 Echivalențe 54

2.3.4 Discretizarea sistemelor netede 55

2.3.4.1 Noțiuni introductive 55

2.3.4.2 Eșantionarea semnalelor 55

2.3.4.3 Discretizarea semnalelor 57

2.3.5 Proprietățile structurale ale sistemelor liniare 60

2.3.5.1 Controlabilitatea 60

2.3.5.2 Observabilitatea 63

2.4 Sisteme cu parametri distribuiți și cu timp mort 65

2.4.1 Sisteme cu parametri distribuiți 65

2.4.2 Sisteme cu timp mort 66

2.4.2.1 Sisteme netede cu timp mort 66

2.4.2.2 Sisteme discrete cu timp mort 67

### CAPITOLUL 3 ANALIZA SISTEMELOR LINIARE DE REGLARE AUTOMATĂ 69

3.1 Introducere 69

3.2 Caracteristici de timp 71

3.2.1 Introducere 71

3.2.2 Funcția pondere 73

3.2.3 Funcția indicială 76

3.3 Caracteristici de frecvență 77

3.3.1 Introducere 77

3.3.2 Locul de transfer (Nyquist) 78

3.3.3	Caracteristici logaritmice de frecvență (Bode)	84
3.4	Analiza calității sistemelor de reglare automată netede invariante	94
3.4.1	Generalități	94
3.4.2	Stabilitatea	94
3.4.2.1	Introducere	94
3.4.2.2	Criteriul de stabilitate Routh-Hurwitz	98
3.4.2.3	Criteriul de stabilitate Nyquist	101
3.4.2.4	Criteriul de stabilitate practic al lui Bode	104
3.4.3	Analiza regimurilor tranzitorii	106
3.4.3.1	Analiza prin metode de timp	106
3.4.3.2	Analiza prin metode de frecvență	111
3.4.4	Analiza regimului staționar	115
3.4.4.1	Erori în regim permanent (staționar)	115
3.4.4.2	Indicii de calitate ai regimului permanent (staționar)	118
3.4.4.3	Influența perturbației asupra erorii	119
3.5	Analiza sistemelor discrete de reglare automată	120
3.5.1	Calculul răspunsului	120
3.5.2	Stabilitatea sistemelor discrete	123
3.5.3	Calculul erorii în regim staționar	125
3.5.4	Refacerea semnalului	126
3.6	Analiza SRA prin metoda locului rădăcinilor	128
3.6.1	Definirea și construcția locului rădăcinilor	128
3.6.2	Utilizarea LR în analiza SRA	131
CAPITOLUL 4 SINTEZA SISTEMELOR CONVENȚIONALE DE REGLARE AUTOMATĂ		
4.1	Noțiuni introductive	133
4.2	Problematika generală a proiectării regulatorului	134
4.3	Proiectarea regulatorului pentru sisteme monovariabile	141
4.3.1	Formularea problemei de proiectare	141
4.3.2	Clasificarea compensatoarelor	144
4.3.3	Sinteza compensatorului serie în c.c. pentru sistemele netede	145
4.3.3.1	Metoda alocării polilor și zerourilor	146
4.3.3.2	Metoda caracteristicilor logaritmice de frecvență	148
4.3.3.3	Metoda caracteristicilor amplitudine-fază	149
4.3.4	Sinteza compensatorului serie pentru sistemele discrete	152
4.3.4.1	Sinteza sistemelor discrete pe baza funcțiilor de transfer	152
4.3.4.2	Sinteza algoritmilor numerici prin metode de frecvență	155
4.4	Alegerea regulatorului	156
CAPITOLUL 5 SENSIBILITATEA SISTEMELOR		
5.1	Definirea și importanța sensibilității	160
5.2	Metode de calcul	161
5.2.1	Metode analitice	161
5.2.2	Metode experimentale	166
5.3	Sensibilitatea sistemelor	167
5.3.1	Sensibilitatea funcției de transfer	167
5.3.2	Sensibilitatea parametrilor de calitate ai reglării	171
5.3.3	Sensibilitatea parametrilor de structură ai sistemului	175
CAPITOLUL 6 SISTEME ROBUSTE		
6.1	Incertitudinile sistemelor	178
6.1.1	Incertitudini structurate	178
6.1.2	Incertitudini nestructurate	181
6.1.3	Metode de conducere a sistemelor cu incertitudini	182
6.2	Determinarea limitelor de variație ale incertitudinilor	183
6.2.1	Introducere	183
6.2.2	Proiectarea stabilității robuste	184
6.3	Stabilizarea robustă	187

6.3.1	Condiții de stabilitate robustă	187
6.3.2	Modelul generalizat	192
6.3.3	Soluția problemei sintezei robuste	198
Anexa 1203		
Anexa 2207		
Bibliografie		211

## Extras

În evoluția sa omenirea a fost preocupată de realizarea unor dispozitive, mijloace tehnice, care să solicite cât mai puțin prezența omului pentru o funcționare corespunzătoare sau să funcționeze fără intervenția omului.

Cel mai vechi dispozitiv cu reacție cunoscut se pare că este ceasul cu apă al lui Ktesibios din Alexandria (contemporan cu Aristachos, Euclid, Arhimede, regele Ptolemeu II Philadelphus (285-247 î.e.n.)).

Variabila reglată din proces este nivelul apei din vasul regulator. Acesta este reglat de un flotor care deschide orificiul de alimentare atunci când nivelul apei scade și îl închide când crește. În acest mod debitul apei care ajunge din vasul regulator în recipient este menținut constant. În recipient se află un plutitor pe care este prinsă o figurină care se ridică o dată cu creșterea nivelului lichidului și indică timpul scurs.

Ceasul cu apă a pătruns și în Orientul Mijlociu, utilizarea sa menținându-se până la invazia mongolilor în Bagdad în anul 1258.

Un alt dispozitiv antic care utilizează conceptul reacției pentru reglarea nivelului unui lichid este lampa cu petrol a lui Philon.

Interesul pentru utilizarea reacției pentru realizarea unor obiective se regăsește în Europa începând cu secolul al XVI-lea când Cornelis Drebbel

(1572-1633) inventează regulatorul de temperatură utilizat într-un incubator de pui.

În America William Henry (1729-1786) inventează regulatorul de temperatură din fig. 1.1. Senzorul de temperatură D comandă debitul de agent termic A. Aerul din vasul C se dilată o dată cu creșterea temperaturii și prin presiunea exercitată asupra nivelului apei din vas determină ridicarea nivelului acesteia în tubul vertical. Prin intermediul plutitorului D, cu ajutorul unui sistem de pârghii, mișcarea se transmite la supapa de reglare a debitului de agent termic A.

Fig. 1.1

În secolul al XVIII-lea pentru menținerea constantă a vitezei de rotație este utilizat regulatorul centrifugal (acesta mai este utilizat și pentru menținerea constantă a distanței dintre pietrele de moară la morile de vânt). În fig. 1.2 este prezentat un regulator centrifugal al vitezei de rotație a unui motor cu abur.

Fig. 1.2

Două greutatea se află în mișcare de rotație. O dată cu creșterea vitezei datorită forței centrifuge acestea tind să se depărteze de axul de rotație. Printr-un sistem de pârghii această mișcare este transformată în mișcare de translație a supapei de admisie a aburului care va micșora debitul de abur și o dată cu aceasta viteza de rotație a motorului. La scăderea vitezei de rotație a motorului apropierea greutăților de axul de rotație va avea ca efect mărirea debitului de abur care va conduce la o mărire a vitezei motorului. În acest mod viteza de rotație este menținută la valoarea constantă dorită.

Dezvoltarea și îmbunătățirea regulatorului centrifugal a mărit interesul pentru analiza comportării dinamice a acestuia. În anul 1807 în volumul I al cărții „Lectures on Natural Philosophy and the Mechanic Arts” Thomas Young dă o formulă pentru masele greutăților sferice. Jean-Victor Poncelet publică în „Cours de Mecanique” în anul 1826 ecuațiile de echilibru ale regulatorului. William Thomson și James Clerk Maxwell se preocupă cu modelarea regulatorului și problema instabilității sistemelor dinamice. În 1868 Maxwell determină condițiile de stabilitate pentru un sistem de ordinul trei utilizând metoda ecuațiilor diferențiale liniare. În anul 1874 Edward John Routh a prezentat un criteriu de stabilitate pentru sistemele de ordinul cinci, iar în 1876 o generalizare cunoscută acum sub numele de „criteriul de stabilitate Routh”. În anul 1895 matematicianul Adolf Hurwitz prezintă un alt criteriu de stabilitate cunoscut sub numele de „criteriul de stabilitate Hurwitz”. Bompiani demonstrează în 1911 că cele două criterii de stabilitate, Routh și Hurwitz, sunt echivalente.

Utilizarea energiei electrice a ridicat probleme noi de reglare automată (reglarea distanței dintre electrozi la lămpile cu arc electric, reglarea frecvenței, vitezei motoarelor electrice, poziției etc.) care se multiplică cu apariția electronicii. Totodată se dezvoltă noi metode de studiu a unor dispozitive electronice care se pot aplica însă în general tuturor sistemelor automate: metoda răspunsului în frecvență datorată lui Harry Nyquist (1889-1976), metode de proiectare logaritmice de frecvență datorate lui Hendrik W. Bode.

Al doilea război mondial impune cerințe de realizare a unor sisteme automate de înaltă performanță. Ca urmare, are loc o unificare a teoriilor care au o mare gamă de aplicabilitate în domenii diverse de activitate (chimic, electric, mecanic, naval, aeronautică etc.).

De asemenea, sistemele de comandă numerice apar tot în cursul acestei perioade. Apariția sistemelor radar implică un nou tip de sisteme automate - sistemele cu eșantionare, care la rândul lor necesită o teorie adecvată pentru studiu și analiză (teoria transformatei Z).

În teoria sistemelor automate domină metodele de frecvență până în

anii '50. În 1948 apare metoda locului rădăcinilor datorată lui Evans. De asemenea, în perioada anilor 50 începe să fie utilizat și conceptul de „spațiu al stărilor”, deși vechimea sa este mult mai mare (1844).

Dezvoltarea informaticii și electronicii conduce la crearea unor procese și produse noi în care un rol important îl au sistemele de reglare automată. Majoritatea acestor produse au drept scop mărirea productivității și înlocuirea activității umane cu cea a unor mașini. Pe această linie se înscrie și utilizarea liniilor de producție robotizate într-o măsură din ce în ce mai mare.

## 1.2 Definiții

Proces fizic. Prin proces fizic se înțelege tranziția unui „sistem termodinamic” dintr-o „stare termodinamică” în alta, tranziție ce se evidențiază într-o accepțiune tehnologică prin transferuri energetice și masice.

Sistem termodinamic. Prin sistem (fizic) termodinamic se înțelege orice porțiune din univers pentru care se poate delimita un „interior” și un „exterior”, interiorul conținând un număr oarecare de corpuri macroscopice considerate ca având o structură (fizică) continuă.

.....  
.....  
.....

Documentul complet de 214 pagini il poti citi daca il descarci din [Biblioteca.RegieLive.ro](http://Biblioteca.RegieLive.ro)

## Bibliografie

□BARN69□BARNETT, S. - Insensitivity of control systems. În Int. J. Control, 1969, Vol. 10, nr. 6, pp. 665□675

□BICĂ94a□BICĂ, M. - Produse program utilizate în analiza și sinteza sistemelor, Referat de doctorat, Academia Tehnică Militară, București, 1994

□BICĂ94b□BICĂ, M. - Robustețea și sensibilitatea sistemelor automate, Referat de doctorat, Academia Tehnică Militară, București, 1994

□BICĂ95a□BICĂ, M. - Metoda sensibilității (sensibilității) utilizată în studiul fiabilității parametrice a sistemelor automate, A XXVI-a Sesiune de comunicări științifice cu participare internațională a Academiei Tehnice Militare, Vol. 5, pag. 92□99, București, 1995

□BICĂ95b□BICĂ, M., CIUPITU, C. - Îndrumar pentru proiectarea sistemelor automate liniare netede, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 1995

□BICĂ96□BICĂ, M., ȘERB, A. - Unele aspecte privind sensibilitatea sistemelor automate, Întâia Sesiune de comunicări științifice a Academiei Trupelor de Uscat „Nicolae Bălcescu” Sibiu, 1996

□BICĂ99□BICĂ, M. - Fiabilitatea parametrică a sistemelor automate, Teză de doctorat, București, 1999, Academia Tehnică Militară

□BICĂ00□BICĂ, M. - The uncertainties of linear control systems modelling, International Conference AUTOMATICS AND INFORMATICS '2000, Sofia, Bulgaria, 2000

□BODE45□BODE, H. W. - Network analysis and feedback amplifiers design, Princeton, New York, van Nostrad, 1945

□CHAN72□CHANG, S. S. L., PENG, T. K. - Adaptive guaranteed cost control of systems with uncertain parameters, IEEE Transactions on Automatic Control, AC-17 (August, 1972), pp. 474□483

□CIUP78□CIUPITU, C. - Automatica și calculatoare analogice, Vol. 1. Modele matematice ale sistemelor și modelarea lor pe calculatoare electronice, Editura Academiei Militare, București, 1978

□DEME74□DEMETER, Ș. - Îndrumar pentru proiectarea sistemelor de urmărire automată, Academia Militară, București, 1974

□DUMI85□DUMITRACHE, I., CĂLIN, S., BOȚAN, C., NIȚU, C. - Automatizări electrice și electronice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1985

□DUMI93□DUMITRACHE, I., DUMITRU, S., MIHU, I., MUNTEANU, F., MUSCĂ, GH., CALCEV, C. - Automatizări electronice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1993

□DUMI99□DUMITRACHE, I., MIHU, I. - Robustețea sistemelor de reglare cu predictor Smith, Seminar: teorii de tip Popov prezent și actualitate, Academia Română, București, 25 noiembrie 1999

□ESLA80□ESLAMI, M., RUSSELL, D. L. - On stability with large parameter variations stemming from the direct method of Lyapunov, IEEE Transactions on Automatic Control, AC-25,6 (december, 1980), pp. 1231□1234

□HAVE95□HAVERKORT, B. R., MEEUWISSEN, M., H., A. - Sensitivity and Uncertainty Analysis of Markov-Reward Models, IEEE Transactions on Reliability, Vol. 44, no. 1, 1995, march

□HAWA84□EI-HAWARY, M. E. - Control System Engineering, 1984 by Reston Publishing Company, Inc., A Prentice-Hall Company

□HINR86□HINRICHSEN, D., PRITCHARD, A. J. - Stability radius of linear systems, Systems and Control Letters, 7 (1986), pp. 1□10

□HORO68□HOROWITZ, I. M. - Design of zero sensitivity, Int. Symp. On Network Theory, ETAN Belgrad, september, 1968

□HORR76□HORRISBERGER, H. P., BELANGER, P. R. - Regulators for linear time invariant plants with uncertain parameters, IEEE Transactions on Automatic Control, AC-21, 5 (october, 1976), pp. 705□708

## Imagini din documentul complet:

**Cazul 2: operațiune în doi etape.**

Dacă trei coeficienți sunt lui sau mai, atunci unul și mai ridicat cu același semn, dar puțin mai strâns. Trebuie să verificăm în funcție de condițiile de stabilizare a sistemului și de coeficienți derivați dintr-un sistem polinomial.

**Exemplu**

$$P(x) = x^3 + 2x^2 + 24x + 40x^2 - 25x - 50$$

$a^3$	1	24	-25
$a^2$	2	48	-50
$a^1$	8	96	0
$a^0$	0	0	0

Polinomul caracteristic este  $P(x) = 2x^3 + 40x^2 - 25x - 50$ . Este un sistem de rădăcini cu rădăcini reale simetrice.

$$\frac{dP(x)}{dx} = 6x^2 + 80x$$

$a^3$	1	24	-25
$a^2$	2	48	-50
$a^1$	8	96	0
$a^0$	0	0	0

Pe coloana întâi există o schimbare de semn, deci sistemul are un pol cu partea reală pozitivă (polinomial se poate pune sub formă:  $x^3 + 2x^2 + 24x + 40x^2 - 25x - 50 = (x+1)(x-1)(x-\beta)(x-\beta)(x+2)$ ), de unde rezultă  $a_{13} = 21$ ,  $a_{14} = 1/3$  și  $a_1 = -2$ .

**Criteriul de stabilitate Hurwitz:**

Algoritmul criteriului este următorul:  
- se construiește matricea polinomială caracteristică a sistemului din condițiile (MAT).

- ca coeficienții polinomiali caracteristici ai sistemului să corespundă tabelului cu  $n+1$  linii și  $n+1$  coloane

$$\Delta^n \begin{bmatrix} a_n & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ a_{n-1} & a_{n-1} & a_{n-1} & \dots & 0 & 0 \\ a_{n-2} & a_{n-2} & a_{n-2} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

- se calculează  $n+1$  determinanți (numiți determinanți Hurwitz) de dimensiune  $1 \leq i \leq n+1$  formați din două diagonale.

**Teoremă:** Condiția necesară și suficientă ca sistemul caracteristic  $P(x) = 0$  să fie totuși plasat în  $C^+$  este ca toți determinanții Hurwitz să fie strict pozitivi.

**Aplicație:** Să se determine condiția de stabilitate pentru sistemul din figura următoare.



Fig. 3.8B

**3.4.2.5 Criteriul de stabilitate Nyquist**

Acest sistem permite sprețurarea stabilității sistemului în circuit închis pe baza comportării în frecvență a sistemului în circuit deschis. Se consideră sistemul cu funcția transferului unitară din Fig. 3.8. Se notază cu  $H(x)$  funcția de transfer a circuitului închis. Se consideră  $M(x)$  și  $H_d(x)$  matricale. În aceste condiții măștrile valorilor proprii de matrice  $A$  este egală cu măștrile polilor sistemului închis și egală cu rădăcinile numerelor zădărate  $(1 + H_d(s))$ :

$$\lambda(A) = P[H_d(s)] = \det(1 + H_d(s))$$

Pentru ca sistemul să fie stabil trebuie ca  $\lambda(A) \in C^+$ , deci  $\det(1 + H_d(s)) \in C^+$ , de unde rezultă că  $C^+ \cap [1 + H_d(s)] = \emptyset$ . Astfel sistemul închis este strict asimptotic stabil dacă și numai dacă în  $C^+$  se găsește un număr finit de rădăcini  $(1 + H_d(s))$ .

Se fac următoarele notații:

$N_p$  - numărul polilor rădăcinii  $(1 + H_d(s))$  stați în  $C^+$ ;  
 $F$  - constantă în funcție de conturul apropiat polilor (se porțunge în sens trigonometric negativ - în sensul traseului al polilor).  
Aplicând teorema reziduii argumentului ca referință la conturul  $\Gamma$ , se obține:

$$\lambda(A) \in C^+ \iff \arg(1 + H_d(s))_{\Gamma} = 2\pi N_p$$

Variația argumentului vectorului care are originea în punctul  $(-1, 0)$  și sfârșește pe locul  $(1 + H_d(s))$  pentru un sistem care are  $N_p$  poli pe axa imaginară și  $N_p$  poli stați în semiplanul drept, este  $\arg(1 + H_d(s)) = \arg(N_p + 2N_p) \in 2\pi$ .

**Teoremă:** Sistemul cu funcția de transfer  $H(x)$  este strict asimptotic stabil dacă și numai dacă variația argumentului vectorului cu originea în punctul critic  $(-1, 0)$  și cu sfârșitul pe rama de contur de la locul de transfer, când  $\omega \in (0, +\infty)$  (excepția punctele de discontinuitate) este egală cu  $\arg(N_p + 2N_p) \in 2\pi$  (sau, alfel spus, condiția necesară și suficientă ca sistemul închis să fie strict asimptotic stabil atunci când sistemul deschis are un  $N_p$  poli pe axa imaginară și  $N_p$  poli în semiplanul drept este ca locul de transfer al sistemului deschis să înconjoare punctul critic  $(-1, 0)$  cu  $[N_p + 2N_p] \in 2\pi$  în sens pozitiv (trigonometric).

Dacă  $H_d(s)$  nu are poli stați pe axa imaginară sau în  $C^+$ , criteriul Nyquist devine: condiția necesară și suficientă ca un sistem închis să fie strict asimptotic stabil, dacă  $H_d(s)$  are top poli stați în  $C^+$ , este ca locul de transfer să înconjoare punctul de coordonate  $(-1, 0)$  aliniat în  $(0, +\infty)$  - vezi Fig. 3.8B (sistemul închis și critic stabil și instabil).

Pentru sprețurarea stabilității a gradului de stabilitate a unui sistem se folosesc măștrile de amplitudine și măștrile de fază, definite după cum urmează:

- măștrile de amplitudine  $M_d(\omega) = \frac{|1 + H_d(j\omega)|}{|H_d(j\omega)|}$ , care în mod uzual trebuie să aibă valori între 2 și 10;
  - măștrile de fază  $M_f(\omega) = 180^\circ - \arg H_d(j\omega)$ , care în mod uzual trebuie să aibă valori între  $20^\circ$  și  $45^\circ$ .
- În relațiile de mai sus  $\omega_n$  reprezintă frecvența (poziția) pentru care  $|H_d(j\omega)| = 1$ , iar  $\omega_n$  frecvența (poziția) pentru care  $\arg[H_d(j\omega)] = -\pi$ .

Mai multe detalii se găsesc în [pagina documentului din Biblioteca.RegieLive.ro](http://Biblioteca.RegieLive.ro)