

# CUPRINS

<b>Prefață</b> .....	XI
<b>31. AUTOMATIZĂRI ÎN ENERGETICĂ</b> ( <i>Sergiu Stelian ILIESCU, Ioana FĂGĂRAȘAN, Clement FEȘȚILĂ, Ioan DUMITRACHE</i> ) .....	1
31.1. Rolul și locul unui sistem electroenergetic .....	1
31.2. Scheme folosite în automatizările energetice .....	2
31.3. Automatizarea subsistemului termoelectric .....	4
31.3.1. Principalele circuite dintr-o centrală termoelectrică .....	4
31.3.2. Cerințe tehnologice impuse SRA dintr-o centrală termoelectrică .....	4
31.3.3. Influența circuitului termic al centralelor asupra condițiilor impuse automatizării cazanelor de abur .....	6
31.3.4. Caracterizarea proceselor energetice. Grad de statism .....	7
31.3.5. Automatizarea cazanelor de abur .....	9
31.3.6. Automatizarea turbinei și a instalațiilor anexe .....	19
31.4. Automatizarea subsistemului hidroenergetic .....	21
31.4.1. Elemente de hidroenergetică .....	21
31.4.2. Subsistemul hidrotehnic .....	24
31.4.3. Subsistemul hidromecanic .....	26
31.4.4. Turbine hidraulice .....	27
31.4.5. Clasificarea turbinelor hidraulice .....	28
31.4.6. Modelarea matematică a turbinelor hidraulice .....	28
31.4.7. Sisteme de monitorizare și control din centralele hidroelectrice .....	29
31.4.8. Sisteme de supervizare, control și achiziție de date (SCADA) pentru hidrocentrale .....	31
31.4.9. Niveluri ale organizării automatizării într-un subsistem hidroenergetic .....	32
31.5. Automatizarea subsistemului electric dintr-un SEE .....	33
31.5.1. Sisteme de reglare automată .....	33
31.5.2. Sisteme de comandă automată .....	45
31.6. Automatizarea subsistemului nuclear dintr-un SEE .....	50
31.6.1. Reactorul nuclear ca obiect al reglării .....	50
31.6.2. Prezentarea generală a sistemului de conducere a părții nucleare a unei unități CANDU-PHWR .....	54
31.6.3. Prezentarea generală a sistemului de conducere a părții clasice a unei unități CANDU-PHWR .....	60
31.7. Structuri de conducere a proceselor energetice .....	61
31.7.1. Caracteristicile proceselor energetice .....	61
31.7.2. Conducerea prin dispecer a <i>Sistemului Energetic Național</i> (SEN) .....	63
31.7.3. Conducerea prin dispecer a centralelor electrice .....	65
31.8. Elemente de tehnologie avansată în conducerea unei SEE .....	67
31.8.1. Dispozitivul stabilizator de putere .....	69
31.8.2. Dispozitivele FACTS .....	69
31.9. Anexe .....	71
BIBLIOGRAFIE .....	73
<b>32. AUTOMATIZAREA ACȚIONĂRILOR ELECTRICE</b> ( <i>Silviu DUMITRIU, Gheorghe-Daniel ANDREESCU</i> ) .....	75
32.1. Structura sistemelor automate de acționare .....	75
32.2. Metode de comandă a motoarelor de c.c. și c.a. .....	76
32.2.1. Comanda motoarelor de c.c. în structuri cu convertoare statice de putere .....	76
32.2.2. Comanda motoarelor de c.a. în acționări utilizând convertoare statice .....	78
32.3. Convertoare statice de putere în sistemele de acționare .....	81
32.3.1. Clasificare .....	81
32.3.2. Convertoare c.a. – c.c. (convertoare cu comutație de la rețea) .....	82
32.3.3. Convertoare c.c. – c.c. cu comutație forțată .....	89
32.3.4. Convertoare de frecvență .....	94

32.4. Structuri de sisteme de reglare a acțiunilor de c.c.....	100
32.4.1. Sisteme de reglare nereversibilă (unidirecțională).....	100
32.4.2. Sisteme de reglare a vitezei cu diminuarea fluxului de excitație.....	103
32.4.3. Sisteme de reglare reversibilă fără curenți de circulație.....	105
32.4.4. Sisteme de reglare pentru acționări bidirecționale cu curenți de circulație.....	107
32.4.5. Sisteme de reglare a vitezei motoarelor de c.c. alimentate prin impulsuri.....	109
32.5. Structuri de sisteme de reglare a acțiunilor de c.a.....	110
32.5.1. Sisteme de reglare cu cicloconvertoare (convertoare directe de frecvență).....	110
32.5.2. Sisteme de reglare cu convertoare cu circuit intermediar de c.c.....	111
32.5.3. Sisteme de reglare cu convertor cu circuit intermediar de tensiune constantă și inverter cu pulsuri.....	113
32.6. Conducerea avansată a acțiunilor electrice de curent alternativ.....	114
32.6.1. Problematică și tendințe în conducerea acțiunilor de curent alternativ.....	114
32.7. Conducerea vectorială a acțiunilor electrice de curent alternativ.....	115
32.7.1. Modele matematice vectoriale ale mașinilor de curent alternativ.....	115
32.7.2. Metode de conducere vectorială cu orientare după câmp.....	122
32.7.3. Conducerea vectorială în cuplu și flux pentru mașini de curent alternativ.....	131
32.8. Sisteme de conducere fără traductoare de mișcare cu estimator hibrid de flux și injecție de semnal, cu control direct în cuplu și flux pentru acționări cu MSMP.....	139
32.8.1. Introducere.....	139
32.8.2. Structura sistemului de conducere <i>sensorless</i> pentru acționare cu MSMP.....	141
32.8.3. Structura de conducere directă în cuplu și flux cu modulare vectorială spațială.....	142
32.8.4. Observator de flux statoric și estimator de viteză rotorică.....	143
32.8.5. Estimarea poziției rotorice cu injecție de semnal.....	145
32.8.6. Identificarea poziției inițiale a rotorului.....	148
32.8.7. Rezultate ale simulării numerice.....	148
32.8.8. Rezultate experimentale.....	150
32.8.9. Concluzii.....	151
32.9. Sisteme de conducere robustă în cuplu cu autoacordare, fără traductoare de curent pentru acționări electrice.....	152
32.9.1. Introducere.....	152
32.9.2. Structura adaptivă de conducere în cuplu.....	153
32.9.3. Decuplarea curent-tensiune.....	154
32.9.4. Observatorul adaptiv de viteză și cuplu de sarcină.....	156
32.9.5. Identificarea parametrică a momentului de inerție.....	157
32.9.6. Regulatorul de viteză autoacordabil.....	158
32.9.7. Rezultate ale simulării numerice.....	159
32.9.8. Concluzii.....	162
BIBLIOGRAFIE.....	163
<b>33. AUTOMATIZĂRI ÎN INDUSTRIA CHIMICĂ ȘI PETROCHIMICĂ</b> ( <i>Dumitru POPESCU, Nicolae PARASCHIV, Cristian PĂTRĂȘCIOIU</i> ).....	165
33.1. Introducere.....	165
33.1.1. Scurt istoric al automatizărilor în chimie și petrochimie.....	165
33.1.2. Sisteme și configurații de automatizare.....	166
33.1.3. Perspective ale automatizării proceselor chimice și petrochimice.....	171
33.2. Automatizarea reactoarelor chimice.....	177
33.2.1. Modelarea proceselor de reacție.....	177
33.2.2. Automatizarea reactoarelor chimice.....	194
33.2.3. Studiu de caz – automatizarea unui reactor de piroliză.....	198
33.3. Automatizarea proceselor de fracționare.....	201
33.3.1. Modelarea proceselor de fracționare.....	201
33.3.2. Soluții de automatizare a coloanelor de fracționare.....	208
33.3.3. Studiu de caz.....	216
33.4. Automatizarea proceselor de transfer termic.....	224
33.4.1. Modelarea transferului de căldură în cuptoarele tubulare.....	224
33.4.2. Soluții de automatizare a cuptoarelor tubulare.....	230
33.4.3. Studiu de caz.....	239
33.5. Anexă: Standarde și simboluri utilizate în automatizarea proceselor chimice.....	245
BIBLIOGRAFIE.....	253

<b>34. MODELAREA ȘI CONTROLUL PROCESELOR BIOTEHNOLOGICE</b> ( <i>Mihai CARAMIHAI, Sergiu CARAMAN, Emil PETRE, Dan SELIȘTEANU, Marian BARBU, Cristina TĂNASE</i> ).....	257
34.1. Introducere.....	257
34.1.1. Bioprocese. Noțiuni de bază.....	257
34.1.2. Tipuri de bioprocese.....	258
34.1.3. Bioreactoare. Performanțe.....	260
34.2. Sisteme de măsură în bioprocese.....	264
34.3. Modelarea matematică a bioproceselor.....	265
34.3.1. Determinarea modelului dinamic general al unui bioproces plecând de la scheme de reacții biochimice și microbiologice.....	265
34.3.2. Modelarea cascadelor de bioreactoare. Proprietăți structurale.....	271
34.3.3. Modelarea bioproceselor prin ecuații de bilanț.....	275
34.3.4. Modele cu structură variabilă (zonale).....	287
34.4. Estimarea stării și parametrilor în bioprocese.....	295
34.4.1. Utilizarea estimatoarelor în bioprocese.....	295
34.4.2. Estimarea parametrilor bioproceselor cu observer Luenberger.....	296
34.4.3. Estimarea parametrilor bioproceselor cu filtrul Kalman.....	301
34.4.4. Observer în regim alunecător.....	307
34.4.5. Filtrul $H_{\infty}$ .....	312
34.5. Controlul bioproceselor.....	315
34.5.1. Problematică. Obiectivele conducerii automate a bioproceselor.....	315
34.5.2. Conducerea bioproceselor cu model impus.....	316
34.5.3. Controlul adaptiv al bioproceselor.....	319
34.5.4. Conducerea în regim alunecător a proceselor biotehnologice.....	329
34.5.5. Controlul robust al bioproceselor.....	332
34.5.6. Controlul predictiv al bioproceselor.....	348
34.5.7. Controlul inteligent al bioproceselor.....	351
34.6. Studii de caz.....	361
34.6.1. Controlul depoluării într-un proces de fermentație anaerobă.....	361
34.6.2. Controlul proceselor de tratare a apelor uzate cu nămol activ.....	369
34.7. Concluzii.....	380
BIBLIOGRAFIE.....	380
<b>35. ROBOTICA</b> ( <i>Mircea IVĂNESCU, Theodor BORANGIU</i> ).....	385
35.1. Introducere.....	385
35.1.1. Sistemul robot.....	385
35.1.2. Aplicații industriale.....	387
35.1.3. Caracteristicile sistemului.....	389
35.1.4. Clasificarea roboților.....	389
35.2. Modele cinematice și dinamice.....	393
35.2.1. Sisteme de coordonate și transformări.....	393
35.2.2. Parametrii Denavit-Hartenberg.....	397
35.2.3. Problema cinematică directă și inversă.....	401
35.2.4. Modele dinamice.....	403
35.3. Sisteme de conducere a roboților.....	405
35.3.1. Controlul mișcării roboților. Planificarea mișcării și generarea traiectoriilor.....	405
35.3.2. Urmărirea traiectoriilor.....	410
35.3.3. Controlul forței.....	443
35.3.4. Controlul inteligent al roboților.....	448
35.4. Sisteme robot-vedere artificială.....	449
35.4.1. Sisteme de coordonate, trăsături-imagine și configurații de camere video.....	449
35.4.2. Arhitecturi de reglare (ghidare) vizuală a mișcării roboților.....	454
35.4.3. Estimarea parametrilor trăsăturilor de tip punct și poză.....	463
35.4.4. Calibrarea robot-obiect pentru prindere.....	471
35.4.5. Tehnici de ghidare a roboților prin vedere artificială.....	479
35.5. Programarea roboților.....	487
35.6. Roboți hiperredundanți.....	496
35.6.1. Introducere.....	496
35.6.2. Modele „hiperredundante”.....	497

35.6.3. Modelul cinematic.....	502
35.6.4. Modelul dinamic al brațului ideal .....	504
35.6.5. Sistem de conducere distribuit cu lichide ER.....	507
35.6.6. Controlul poziției prin legi de conducere convenționale.....	515
35.6.7. Alegerea parametrilor sistemului de conducere .....	524
35.6.8. Conducerea fuzzy.....	526
35.7. Roboți mobili .....	530
35.7.1. Introducere .....	530
35.7.2. Principiile sistemelor de conducere.....	531
35.7.3. Roboți mobili cu roți .....	533
35.7.4. Roboți mobili pășitori .....	536
35.7.5. Navigația roboților mobili.....	540
BIBLIOGRAFIE.....	546
<b>36. PROBLEME ALE AUTOMATIZĂRII SISTEMELOR DE FABRICAȚIE</b> ( <i>Simona Iuliana CARAMIHAI, Ioan DUMITRACHE</i> ).....	555
36.1. Introducere .....	555
36.2. Problematika modelării sistemelor de fabricație .....	562
36.2.1. Noțiuni introductive .....	562
36.2.2. Modele probabilistice.....	564
36.2.3. Ecuatii de echilibru pe baza diagramelor .....	568
36.2.4. Modelarea sistemelor cu mașini cu viteze diferite de operare.....	571
36.3. Modelarea comportamentală a sistemelor de fabricație .....	575
36.3.1. Modelarea și simularea sistemelor de fabricație folosind rețele Petri .....	575
36.3.2. Conducerea supervizată a sistemelor de fabricație utilizând rețele Petri.....	579
36.4. Intreprinderea viitorului – tendințe de evoluție.....	591
BIBLIOGRAFIE.....	595
<b>37. SISTEME DE CONDUCERE ÎN AVIAȚIE</b> ( <i>Adrian Mihail STOICA</i> ) .....	597
37.1. Scurt istoric .....	597
37.2. Considerații generale privind proiectarea sistemelor de comandă automată a zborului.....	599
37.2.1. Modelarea matematică a dinamicii avionului.....	599
37.3. Sisteme de comandă automată a zborului .....	602
37.3.1. Calități de manevrabilitate a avioanelor.....	603
37.3.2. Proiectarea sistemelor de îmbunătățire a stabilității .....	604
37.3.3. Proiectarea piloților automați .....	520
37.3.4. Oscilații induse de pilot (PIO – <i>Pilot Induced Oscillations</i> ) .....	631
37.3.5. Analiza performanțelor sistemelor conectate în rețea prin canale de comunicație cu zgomote .....	638
BIBLIOGRAFIE.....	641
<b>38. SISTEME COMPLEXE DE CONDUCERE ÎN REȚEA CYBER PHYSICAL SYSTEMS</b> ( <i>Ioan DUMITRACHE</i> ) ..	645
38.1. Introducere .....	645
38.2. Aspecte ale modelării și analizei sistemelor complexe I-CPS .....	649
38.3. Sisteme înglobate ( <i>Embedded-Systems</i> ).....	652
38.3.1. Probleme ale proiectării sistemelor înglobate .....	654
38.3.2. Proiectare integrată hardware/software .....	657
38.4. Rețele de conducere în timp real .....	658
38.4.1. Elemente introductive .....	658
38.4.2. Modelarea NCS.....	663
38.4.3. Analiza stabilității NCS.....	667
38.4.4. Sisteme multi-agent.....	671
BIBLIOGRAFIE.....	681
Foreword.....	683
Contents .....	689

## PREFAȚĂ

Volumul al III-lea al lucrării *Automatica* prezintă sintetic unele aplicații ale automaticii în domenii cum ar fi: industria energetică, chimică, acționările electrice, biotehnologia, robotica, fabricația și aviația, evidențiind particularitățile proceselor specifice lor, modelele matematice și soluțiile de automatizare convenționale, dar, mai ales, soluțiile moderne în contextul evoluției științei și tehnologiei.

Automatizarea proceselor este strâns legată de evoluția științei și tehnologiei, iar suportul teoretic, metodologic și tehnologic pentru implementarea soluțiilor de automatizare este asigurat de progresele în domeniul automaticii, al electronicii, calculatoarelor și comunicațiilor și, nu în ultimul rând, de progresele din domeniul tehnologiei de fabricație și al materialelor.

Prima revoluție industrială, având la bază sisteme mecanice, în care energia apei și a aburului au jucat un rol esențial, a impus reacția inversă și realizarea primelor regulatoare de turație. Se poate aprecia că, în această etapă de dezvoltare a industriei și tehnologiei, s-au pus bazele teoretice ale stabilității sistemelor dinamice, iar reacția inversă a fost recunoscută ca principiu esențial în realizarea sistemelor de reglare automată.

Progresele din domeniul tehnologiei, energeticii și fabricației, prin trecerea la producția de masă, prin divizarea muncii, au impus noi soluții de automatizare, fiind concepute și realizate echipamente de automatizare pneumatice, hidraulice și electronice, a căror integrare în soluții de automatizare a permis o creștere a producției și productivității în toate sectoarele industriale, la începutul secolului al XX-lea.

Paralel cu dezvoltarea tehnologică, cu trecerea treptată la sisteme de automatizare cu nivel ridicat de complexitate, au fost puse bazele automatizării convenționale atât din punct de vedere conceptual, cât și din punct de vedere metodologic. Se poate aprecia că în perioada 1900 – 1955, au fost fundamentate și implementate structuri de reglare cu unul sau două grade de libertate, reglare în cascadă și reglare combinată, au fost fundamentate și introduse strategiile de reglare PID cu implementarea pe echipamente hidraulice, pneumatice și electronice, au fost puse bazele analizei și sintezei sistemelor de reglare în frecvență, au fost extinse instrumentele formale pentru caracterizarea sistemelor liniare ca transformata Laplace, transformata Fourier și transformata în Z.

Cea de a treia etapă în dezvoltarea automaticii coincide cu revoluția digitală, în care calculatorul și comunicațiile sunt integrate în diferite domenii. Se realizează trecerea de la utilizarea calculatorului pentru simulare și proiectare asistată, la integrarea în bucla de reglare și trecerea la sisteme de conducere numerică în timp real. De remarcat, și implementarea calculatoarelor de proces a automatelor programabile (primul PLC – Modicom 2084 a fost realizat în anul 1969), a sistemelor distribuite de conducere pentru procese complexe (primul sistem distribuit conceput TDC – 2000 a fost implementat în 1976). Evoluția tehnologiei electronice, micro- și nanoelectronice, a tehnologiei de fabricație a traductoarelor, a elementelor de execuție, precum și a reguletoarelor pneumatice, hidraulice și electronice, a determinat un salt spectaculos în creșterea gradului de automatizare a proceselor industriale în perioada 1955 – 2000. Această perioadă poate fi considerată cea mai însemnată în evoluția automaticii și automatizărilor industriale. Din punct de vedere conceptual și metodologic, în această perioadă s-au pus bazele analizei și sintezei, pe baza modelelor de stare, au fost elaborate strategii de conducere optimală a proceselor liniare, neliniare și stocastice, au fost elaborate proceduri de sinteză a legii de conducere optimal-liniar-pătratică LQ și LQG, precum și strategii de conducere optimală de tip Model-Predictiv-Control (MPC), pentru modele liniare și

neliniare, au fost puse bazele conducerii adaptive și controlului robust. În această perioadă au fost extinse cercetările teoretice în domeniul stabilității sistemelor liniare și neliniare, au fost dezvoltate metode de sinteză robustă în domeniul frecvențelor  $H_2/H_\infty$ , a fost dezvoltată teoria pasivității pentru analiza stabilității, au fost concepute și dezvoltate metodologii specifice pentru analiza și sinteza sistemelor cu evenimente discrete și a sistemelor hibride.

Creșterea complexității proceselor tehnologice, a infrastructurilor și a cerințelor de exploatare eficientă și sigură a acestora, a condus la creșterea complexității sistemelor de conducere și trecerea de la structurile de conducere distribuită la structurile de conducere în rețea – *Networked Control Systems* (NCS), în cadrul cărora un rol important îl joacă rețelele de senzori și de elemente de execuție și, desigur, rețelele de comunicație.

Asistăm astfel, la o tranziție din punct de vedere metodologic și tehnologic de la paradigma C2 (*Computer, for Control*) la paradigma C3 (*Computer, Communication for Control*)

Paralel cu dezvoltările teoretice și metodologice bazate pe modele matematice cu parametri concentrați și distribuiți, pe modele liniare și neliniare, variante și invariante în timp, stocastice și deterministe, continue și discrete, inclusiv cu evenimente discrete, au fost dezvoltate metodologii „inteligente”, care au ca suport elemente ale procesării informației și cunoștințelor din domeniul biologic, cum ar fi rețele neurale, logică fuzzy, calculul evoluționist, sistemele bazate pe cunoștințe, metodologii care se regăsesc incluse în termenul generic *Soft Computing*.

Astfel, comunitatea automatiștilor dispune azi de un puternic arsenal de concepte, teorii, instrumente și tehnologii care permit conceperea și implementarea unor soluții de conducere în timp real a proceselor complexe, în cadrul cărora pot fi integrate calculatoarele, comunicațiile, cogniția și strategiile avansate de conducere, ca o nouă paradigmă C4 (*Computer, Communication, Cognition for Control*).

Din punct de vedere metodologic și tehnologic, trecerea de la regulatoare analogice la regulatoare numerice mono- sau multicanal, și apoi la structurile de tip înglobat (*embedded systems*) a permis, ca urmare a evoluției spectaculoase a rețelelor de senzori și elemente de execuție WSAN (*wireless sensors and actuators*), trecerea la sistemele de conducere în rețea (NCS,) în cadrul cărora module de tip *embedded* sunt interconectate prin intermediul rețelelor de senzori și elemente de execuție. Extinderea sistemelor înglobate (*embedded systems*) cu sisteme avansate de comunicare în rețea de tip M2M și H2M, precum și cu internetul obiectelor (IoT) a determinat impunerea în ultimii 5 ani a unui nou concept – *Cyber-Physical- Systems* (CPS), în esență, o nouă etapă în conducerea sistemelor complexe, fiind o continuare pe o altă scală a conceptului de sistem de reglare automată.

Se poate evidenția ușor faptul că automatica a evoluat în strânsă corelație cu evoluția științei și tehnologiei, cu evoluția calculatoarelor (hardware și software) și a comunicațiilor, jucând în același timp un rol esențial în dezvoltarea unor domenii cu impact major socio-economic și științific. Se poate afirma că, fără automatizare nu este posibilă creșterea calității produselor, creșterea competitivității, într-o societate și o economie globalizată. Tot mai mult, automatica se regăsește în activitatea cotidiană a membrilor societății, influențând calitatea vieții și modul de existență și comunicare.

Secolul al XX-lea și începutul secolului al XXI-lea se pot considera cele mai dinamice și prolifiche perioade în care știința și tehnologia au cunoscut evoluția cea mai spectaculoasă, contribuind major la dezvoltarea societății și calității vieții.

Automatica, electronica, calculatoarele și comunicațiile, prin contribuțiile fundamentale și realizările tehnologice fără precedent, au determinat regândirea sistemelor de fabricație, al optimizarea sistemelor de transport, optimizarea proceselor de producție și transport al energiei electrice, creșterea eficienței proceselor de prelucrare a produselor petrochimice, optimizarea regimurilor de funcționare a motoarelor cu ardere internă, creșterea siguranței traficului aerian și terestru și, nu în ultimul rând, creșterea calității vieții. Un rol esențial îl are automatica ca știință

integratoare, care prin concepte și metodologii asigură evoluția proceselor în concordanță cu cerințele impuse, facilitează creșterea autonomiei, siguranței și robusteții în exploatarea proceselor.

Noua paradigmă – CPS – presupune integrarea proceselor fizice cu elemente de prelucrare a informațiilor și cunoștințelor și cu rețele de comunicare în arhitecturi de sisteme cu reale capacități emergente și performanțe superioare în funcționarea proceselor fizice, ca siguranță în funcționare, costuri mai reduse, eficiență ridicată etc.

Conceperea și realizarea de sisteme integrate de prelucrare a datelor și informațiilor, a unor pachete software inteligente, cu autonomie ridicată, conduce în mod natural la schimbări radicale în existența și evoluția noastră ca producători sau/și utilizatori ai acestor sisteme.

Spre deosebire de sistemele convenționale, unde sistemele de calcul și comunicațiile sunt adăugate proceselor fizice cu păstrarea identității fiecăreia dintre componente, în cazul CPS se realizează un proces de înglobare a tuturor componentelor, în cadrul căruia dinamica și aspectele energetice din lumea fizică influențează direct performanțele sistemului integrat. Sistemele integrate CPS reprezintă o schimbare de paradigmă în știință și tehnologie, prin potențialul inovator de care dispun și prin provocările generate pentru o nouă știință a sistemelor heterogene complexe, deja cunoscute ca știința *Sistemelor de sisteme*.

Integrarea lumii reale a proceselor fizice cu lumea virtuală a calculatoarelor și comunicațiilor (lumea fizică și lumea cyber) generează schimbări de substanță a mediului cu care interacționăm, care devine tot mai complex și inteligent, iar comunicația *om-mașină, mașină-mașină* generează noi provocări existențiale. Noul concept CPS va fi regăsit practic în toate sectoarele de activitate de la automobile autonome, la sisteme inteligente de transport, la clădiri inteligente și orașe inteligente, întreprinderi inteligente, rețele inteligente de transport al energiei electrice, sisteme avansate de asistență medicală ș.a., iar viața și activitatea cotidiană devin tot mai dependente de asemenea sisteme, într-un spațiu inteligent.

Tehnicile avansate de conducere, inclusiv tehnicile inteligente, se vor regăsi integrate în sisteme complexe autonome cu capacități de reconfigurare și autoorganizare, cu o comportare emergentă. În acest context, conceperea, proiectarea și implementarea sistemelor complexe de tip CPS impun regândirea indicatorilor de performanță și reconsiderarea vulnerabilităților în contextul soluțiilor software intensive și al rețelelor complexe de comunicație. Proiectarea integrată pe baza unor metrici de tipul *Quality of Control* (QoC) și *Quality of Service* (QoS), cu luarea în considerare a constrângerilor de timp real, securității și siguranței în funcționare, preciziei și robusteții soluțiilor, reprezintă o provocare majoră pentru proiectanții de sisteme complexe de conducere, ca rețele de conducere în timp real.

Progresele din domeniul sistemelor de măsurare și achiziție de date, al senzorilor și traductoarelor inteligente, inclusiv la nivelul micro- și nanotehnologic, din domeniul științei și ingineriei materialelor, inclusiv al materialelor inteligente, din domeniul elementelor de execuție inteligente și al rețelelor de senzori și elemente de execuție (WSAN), facilitează conceperea și implementarea sistemelor complexe cu autonomie ridicată, integrate în rețelele de conducere în timp real a proceselor fizice.

Noua paradigmă CPS, ca evoluție naturală de la sistemele de conducere cu calculator, reprezintă saltul spre noua generație de sisteme de conducere cu autonomie ridicată. Implementarea acestor concepte în lumea reală, de la nivelul *nanoscale* la nivelul *macroscale*, va determina schimbări de substanță în ceea ce privește evoluția tuturor sectoarelor socio-economice. Acest nou concept – CPS – va reprezenta motorul celei de a patra revoluții industriale, iar inginerii pregătiți pentru această nouă revoluție vor proba încă o dată rolul lor esențial în noua societate cognitivă.

Principalele provocări ale sistemelor complexe – CPS – se poziționează în trei direcții care reprezintă sarcini esențiale pentru fiecare aplicație:

- interconectarea și schimbul de date între elementele heterogene ale rețelei, cu asigurarea convergenței rețelei globale și autonomie locală regională;

- prelucrarea intensivă de informații și cunoștințe, folosind datele nesigure de la senzori, fuziune de date de la surse multiple, protecții, interacțiuni și adaptare;
- service inteligent complet, incluzând livrare, proiectare adaptivă software, adaptare, service și modelare.

Calculul în rețea la multiple scale spațio-temporale joacă un rol crucial în CPS, având în vedere că aceste sisteme folosesc calculul și comunicarea înglobate în strânsă interacțiune cu procesele fizice.

Problemele majore care apar în sistemele complexe sub forma rețelelor distribuite includ managementul resurselor, securitatea, scalabilitatea, siguranța și optimizarea inter-strate.

Tehnologiile și metodologiile aplicate în CPS includ *inteligenta ambientală*, *context-awareness*, *data mining*, *sisteme înglobate și software*, *calcul evoluționist*, *medii de modelare*, *big data și ubiquitous computing*.

Noul concept CPS reprezintă o provocare majoră pentru știință, tehnologie și educație, impunându-se crearea unei noi științe a sistemelor complexe, heterogen distribuite în spațiu, cu funcționare la scale diferite de timp, cu o comportare neliniară, stocastică, hibridă, o știință a sistemelor de sisteme.

Integrarea infrastructurilor la multiple scale de timp și spațiu, multiple straturi și domenii, va necesita dezvoltarea unor noi fundamente în știința sistemelor și în inginerie.

Conlucrarea specialiștilor din domeniul ingineriei sistemelor, știința calculatoarelor și comunicațiilor în echipe multidisciplinare va permite proiectarea și implementarea CPS în toate sectoarele socio-economice, conceperea unor interfețe inteligente pentru comunicarea componentelor într-o formă compozabilă și interoperabilă, cu o comportare predictibilă și sigură.

În acest context, cele șapte domenii selectate pentru prezentare în acest volum ilustrează evoluția automatizărilor, de la soluții convenționale la soluții avansate, beneficiare ale progresului științei și tehnologiei începutului de secol XXI.

Capitolul 31 prezintă sintetic problemele specifice automatizării proceselor din industria energetică, vizând producția, transportul și distribuția energiei electrice, fiind descrise structurile convenționale de reglare a parametrilor tehnologici în centralele electrice, precum și structurile avansate de conducere inteligentă a sistemului electroenergetic.

O atenție specială este acordată soluțiilor avansate de control al puterii și frecvenței în sistemul energetic, în contextul integrării surselor regenerabile de energie, dar și conceptului *Smart-Grid* și includerii acestuia în categoria sistemelor complexe de tipul sistemelor inteligente *Cyber-Physical-Systems*.

În capitolul 32 se prezintă principalele probleme legate de automatizarea acționărilor electrice cu accent pe convertoarele de curent, convertoarele de frecvență și pe metodele de comandă a acestora. Un spațiu aparte revine prezentării structurii sistemelor de reglare a acționărilor electrice cu motoare de curent continuu și curent alternativ. Conducerea vectorială a acționărilor electrice de curent alternativ este analizată sintetic, pornind de la modelul matematic vectorial al mașinii de curent alternativ, strategiile de conducere optimală, inclusiv conducere vectorială cu orientare după câmp, detaliate fiind metodele de conducere directă în cuplu și flux cu modulare vectorială spațială. Conducerea adaptivă și conducerea robustă a acționărilor cu estimator adaptiv de viteză și cuplu de sarcină constituie, de asemenea, una din problemele analizate.

Capitolul 33 tratează automatizarea proceselor din industria chimică, pornind de la structuri de reglare convenționale cu unul și două grade de libertate, până la structuri de conducere distribuită și în rețea a proceselor complexe, ca studii de caz fiind abordate sintetic automatizarea reactoarelor chimice, a coloanelor de fracționare, a cuptoarelor tubulare și a instalațiilor de distilare.

Capitolul 34 este dedicat problematicii și soluțiilor specifice conducerii proceselor biotehnologice. După realizarea unei sinteze a particularităților bioproceselor din punct de vedere funcțional și tehnologic, se prezintă modele structurate și nestructurate ale acestora, evidențiind



parametrii funcționali și tehnologici care le influențează dinamica. Sunt descrise principalele echipamente specifice de măsură și control și arhitecturile convenționale de reglare a bioproceselor. Structurile de conducere adaptivă, optimală și predictivă sunt evidențiate ca metodologii eficiente de conducere în contextul funcționării neliniare și stocastice a bioproceselor. Ultima parte a capitolului este destinată prezentării structurilor de conducere inteligentă a bioproceselor, apelând la metodologii de tip fuzzy, neurale și evoluționiste.

Problematika și soluțiile specifice conducerii roboților constituie tema capitolului 35 al lucrării, în care sunt prezentate modele cinematice și dinamice ale roboților și proceduri specifice de conducere care vizează urmărirea traiectoriilor, controlul mișcării, controlul forței ș.a., cu accent pe problemele specifice conducerii roboților mobili și roboților hiperredundanți, dar și pe strategiile inteligente de conducere a roboților mobili.

În capitolul 36 sunt prezentate principalele aspecte ale automatizării sistemelor de fabricație. După o descriere succintă a evoluției lor și a metodologiilor de conducere, punctul de interes îl reprezintă tendințele în realizare a sistemelor inteligente de fabricație ale întreprinderii viitorului, în contextul implementării conceptului CPS.

Se prezintă conceptul *Smart Factory*, în contextul noii revoluții industriale, având la bază acest concept.

Capitolul 37 abordează aspecte legate de modelarea și conducerea avionului, dar și privind metodologiile pentru asigurarea stabilității aeronavelor, cu exemplificări de proiectare a pilotului automat și particularitatea conducerii formațiilor de zbor.

Capitolul 38 prezintă sintetic problematica sistemelor complexe din punct de vedere al conducerii. Sunt prezentate aspecte legate de conceperea sistemelor înglobate, a rețelelor de conducere în timp real și arhitecturile de tip multi-agent pentru modelarea și conducerea proceselor complexe.

Volumul al III-lea al lucrării *Automatica*, prin selectarea domeniilor analizate și prin modul de prezentare a problematicii automatizării proceselor specifice, se constituie într-un material de documentare consistent, care deschide calea spre conceperea și dezvoltarea generațiilor viitoare de sisteme de conducere integrate de tip CPS.

*Prof. dr. ing. Ioan DUMITRACHE*  
*Membu corespondent al Academiei Române*

## FOREWORD

The third volume of the *Automatica* monograph is synthetically presenting some control approaches for important economical applications in fields as: energy, chemical industry, electrical drives, biotechnology, robotics, manufacturing and aviation – highlighting the specific process particularities, the respective mathematical modeling methods, classical automation architectures and technique, and especially the modern solutions designed in the evolutionary context of science and technology development.

Process automation is closely linked to scientific and technological development, and the theoretical, methodological and technological support for implementing control solutions is provided by current advances in automation, electronics, computing and communications and, last but not least, by new materials technologies.

The first industrial revolution, based on mechanical systems, in which water and steam power played a crucial role, has imposed the concept of feedback and the implementation of the first speed regulators. It can be appreciated that, at this stage of the industry and technology development, were established the theoretical foundation of the dynamic systems stability, and the feedback approach has been recognized as a key principle in designing automatic control systems.

Progresses in technology, energy and manufacturing areas, achieved by paradigms as mass production and work division, have imposed new automation solutions; pneumatic, hydraulic, and electronic automation equipment was designed and implemented, whose integration into complex automation solutions has enabled increased production and productivity in all industrial sectors, from the beginning of the XX<sup>th</sup> century.

In parallel with technological development and with a gradual transition towards automation systems with increased complexity levels, the conventional automation foundations were developed, both at conceptual and at methodology level. It can be appreciated that in the years 1900 – 1955 were designed and implemented control structures with one or two freedom degrees, as well as cascade control and mixed control systems. PID control strategies were introduced, with implementation on hydraulic, pneumatic and electronic equipments and were developed frequency-based regulators analysis and synthesis techniques, as well as formal instruments for linear systems characterization as Laplace, Fourier and Z Transform.

The third stage in automation evolution coincides with the digital revolution in which the computer and communications technologies are integrated in different areas. The transition is made from using computer simulation and computer aided design, to the computer integration in the control loop and design of real time digital control systems. It may be noticed the implementation of programmable logic controllers (first Modicom 2084 PLC was made in 1969) and of the distributed control systems for complex processes (first distributed control system TDC-2000 was implemented in 1976). The evolution of the electronic technology, of micro- and nano-technology, and of the manufacturing technologies for transducers, actuators and pneumatic, hydraulic and electronic controllers resulted in a spectacular development of the industrial processes automation between 1955 and 2000.

This can be considered as the most important period in terms of control development and industrial automation. In terms of concepts and methodology, during this period, the foundation for analysis and synthesis based on the state models was developed, optimal control strategies for

linear, nonlinear and stochastic processes were elaborated, and were developed synthetic procedures for optimal-linear-quadratic LQ and LQG control as well as optimal control strategies such as Model-Predictive control (MPC) for linear and nonlinear models. It is also the period in which were developed concepts as adaptive and robust control. During these years, theoretical researches on linear and nonlinear systems stability methods were extended, the robust synthesis methods in frequency domain  $H^2 / H^\infty$  were developed, as well as the theory of passivity for stability analysis; specific methodologies for analysis and synthesis of discrete event systems and hybrid systems were designed and developed.

The increase in technological processes complexity, of infrastructures and of the requirements for efficient, reliable and safe operation of these processes led towards an increasing complexity of control systems and to the transition from distributed control structures to Networked Control Systems (NCS), where the sensors, actuators, and, of course, communication networks play an important role.

We are thus witnessing a methodological and technological transition from the C2 (computer, for control) towards the C3 paradigm (computer, communication for control).

In parallel with the theoretical and methodological developments based on mathematical models with concentrate and distributed parameters, on models – linear and non-linear, time variant and time invariant, stochastic and deterministic, continuous and discrete, including discrete event systems – there were developed “smart” methodologies, based on information processing and on biological approaches, such as neural networks, fuzzy logic, evolutionary computation, knowledge based systems, methodologies that are designated by the generic term *Soft Computing*.

Consequently, the community of automation professionals is today in the possession of a strong arsenal of concepts, theories, tools and technologies enabling the design and implementation of real-time control solutions for complex processes, where the new paradigm C4 (*Computer, Communication, Cognition for Control*) may be integrated.

In terms of methodology and technology, the transition from analog to digital regulators (mono- or multi-channel) and, furthermore, to the embedded systems, enabled, as a result of the spectacular evolution of wireless sensors and actuators networks (WSAN), the shift towards networked control systems (NCS), where the embedded modules are interconnected through sensors and actuators networks. The extension of embedded systems with M2M and H2M advanced network communication and the Internet of Things (IoT) paradigm, imposed, during the last five years, a new concept – *Cyber-Physical - Systems* (CPS) which essentially represents a new stage in the control of complex systems, being a continuation, on a different scale, of the automatic control system concept.

It can be observed that automation has evolved in close correlation with the evolution of science and technology, of computers (hardware and software) and communications, playing a key role in the development of areas with a major socio-economic and scientific impact. It can be said that without automation is impossible to increase the product quality and competitiveness in a globalized society and economy. Even more, automation is to be found in the everyday activity of society members, influencing the quality of life and the ways of living and communicating.

The twentieth century and early twenty-first century can be considered the most dynamic and prolific period, in which science and technology have witnessed the most spectacular evolution, contributing greatly to the development of society and quality of life.

Automation, electronics, computers and communications, by their fundamental contributions and unprecedented technological achievements, have significantly contributed to the re-thinking of manufacturing systems, to the optimization of transportation systems, optimization of energy production and distribution, to the increase of the efficiency in petrochemicals processing industry, to the optimization of internal combustion engines operation, to the air traffic safety, and last but not least, to the increased quality of life. An essential role is played by Automation as an integrative

science, which, by specific concepts and methodologies, ensures process evolution according to given requirements, increases the autonomy, safety and stability of processes operation.

The new paradigm – CPS – involves the integration of physical processes with elements of information and knowledge processing as well as with network communication, in systems architectures with real emergent capabilities and superior performances in operating physical processes, as reliability, lower cost, higher efficiency etc.

Design and implementation of integrated data and information processing systems, of intelligent software packages with high autonomy, naturally leads to radical changes in our existence and evolution as providers and / or users of these systems.

Unlike conventional systems, where computers and communications are added to physical processes preserving the identity of each component, CPS are generating an unification process of all components, in which the dynamics and energy aspects of the physical world directly affects the integrated system performance. The CPS embedded systems are representing a shift in the science and technology paradigm, through the innovative potential and the challenges requires a new complex heterogeneous systems science, already known as *Systems of Systems*.

By integrating the real world of physical processes with the virtual world of computers and communications (physical and cyber worlds) substantial changes are generated for the interaction environment, which is becoming more complex and intelligent; human – machine and machine – machine communications are creating new existential challenges. The new CPS concept will be found in virtually all fields of life: from autonomous cars, intelligent transport systems, smart buildings and smart cities, smart enterprises, intelligent electricity transmission network to the advanced health systems and our day to day life and activities in an intelligent environment will become increasingly dependent of such systems.

Advanced control techniques, including intelligent control, may be retrieved, integrated in autonomous complex systems with reconfiguration and self-organizing capabilities, with emergent behavior. In this context, conception, design and implementation of complex systems as Cyber-Physical Systems (CPS) require a rethinking of performance evaluation measures and a re-consideration of intensive software solution and complex communication networks vulnerabilities. Integrated design based on metrics as *Quality of Control* (QoC) and *Quality of Service* (QoS), considering real-time, reliability, security, precision and robustness constraints is representing a major challenge for complex (real-time) control systems designers.

Progress in fields of measuring and data acquisition systems, of intelligent sensors and transducers, including micro- and nano- technologies, of materials science and engineering, including intelligent materials, of actuators and sensor networks (*Wireless Sensors and Actuators Networks – WSAN*) is facilitating design and implementation of highly autonomous complex systems, integrated in real-time control networks of physical processes.

The new paradigm of Cyber-Physical Systems (CPS), as a natural evolution of computer controlled systems, is representing the step towards a new generation of highly autonomous control systems. The implementation of such concepts in the real world, from nano-scale to macro-scale levels will determine substantial changes in the evolution of socio-economical systems. This new CPS concept will represent the driver of the 4<sup>th</sup> industrial revolution and the engineers prepared for this new revolution will prove once more their role in the cognitive society.

The main challenges of CPS are situated on three axes that represent essential goals for every application:

- Networking and data exchange between heterogeneous elements of the network, ensuring both the convergence of the global network and local regional autonomy
- Intensive information and knowledge processing, using unreliable sensorial data, multiple source data fusion, protection, interactions and adaptation
- Complete intelligent service, including delivery, software adaptive design, adaptive modeling.

Networked computing at multiple temporal scales plays a crucial role in CPS, considering that these systems are using embedded computing and communication in close interaction with physical processes.

Major problems appearing in distributed networked complex systems are including resource management, security, scalability, reliability and inter-layer optimization.

Methods and technologies applies in CPS are including ambient intelligence, context-awareness, data mining, embedded systems and software, evolutionary calculus, modeling environments, big data and ubiquitous computing.

New CPS concept represents a major challenge for science, technology and education, requiring the creation of a new complex systems science, with heterogeneous space distribution, functioning at different time scales, with non-linear, stochastic, hybrid behavior; a systems of systems science.

Integrating infrastructures at multiple time/ space scales, multiple layers and domains will necessitate the development of new fundamentals in systems science and engineering.

Cooperation between engineers from different fields as system engineering, computer science, communication and control in interdisciplinary teams will allow the design and implementation of CPS in all socio-economic areas, the design of intelligent communication interfaces, with composability and interoperability capabilities and with reliable predictable behavior.

In this context, the six domains selected for presentation in this volume are illustrating the automation science evolution, from the conventional to advanced solutions, benefitting from the progress of science and technology of the beginning of the XXI<sup>st</sup> century.

Chapter 31 is presenting synthetically the problems that are specific for the automation of processes in energetics industry, with respect to the production, the transport and the distribution of electrical energy, describing the conventional automation structures for technological parameters as well as advanced intelligent control architectures for energy systems.

A special attention is given to advanced power and frequency control solutions in the context of the integration of regenerable energy sources, as well as to the concept of Smart-Grid and of its inclusion in CPS category.

The 32<sup>nd</sup> chapter is presenting the main problems related to electrical drives, with a special accent on the frequency and power convertors and the respective control approaches. A distinctive section is reserved to the presentation of the structure of control systems for AC and CC drives. Vector control of AC drives is synthetically analyzed, starting from the vector mathematical model of the AC machine, optimal control strategies, including field-oriented vector control, detailing direct torque and flux vector control methods. Adaptive and robust control, sensorless control systems using hybrid flux observer with signal injection, with direct torque and flux vector control for PMSM drives and self-tuning robust torque-control system, without current transducers for electrical drives are also discussed.

Chapter 33 is dedicated to chemical processes automation, starting from conventional control structures with a single and with two freedom degrees until distributed and network control architectures for complex processes, with case studies regarding chemical reactors, fractionation columns, tubular furnances and pyrolysis reactors.

Chapter 34 deals with the problem and specific solutions of biotechnological processes control. After a synthesis of bioprocess control particularities, from functional and technological point-of-views, structured and unstructured models of such processes are presented, emphasizing technological and functional parameters influencing their dynamics. There are described the main measuring and control specific equipment, as well as conventional bioprocess control architectures. Adaptive, optimal and predictive control approaches are mentioned as efficient methodologies in the context of non-linear and stochastic bioprocess functioning.

In the last sections of the chapter are presented intelligent bioprocess control solutions, using fuzzy, neural-networks and evolutionist methodologies.

Robot control is the topic addressed in the 35<sup>th</sup> chapter of the volume. It presents the cinematic and dynamic robot models and specific control procedures that are addressing trajectory following, movement control, torque control a.s.o. including specific control problems of mobile and hyper-redundant robots, and adequate intelligent control strategies.

Chapter 36 is dedicated to main aspects regarding manufacturing systems automation. After a brief description of the inter-related manufacturing systems and respective control approaches evolution, the main focus of the chapter is represented by the formal means of implementing the concept of the intelligent manufacturing systems-based enterprise of future by using the CPS approach. The last section of the chapter is dedicated to the *Smart Factory* concept in the context of the new industrial revolution.

Chapter 37 addresses the aspects referring to the flight modeling and control systems, as well as methodologies for ensuring plane stability, with exemplification of automatic pilot design techniques and automated flying formation control particularities.

The last chapter of the monograph presents a short synthesis of new trends in control systems including the transition from embedded controllers to networked control systems and intelligent CPS. There are considered also some aspects of multi-agent paradigm applied for modeling and control of complex systems.

The third volume of *Automatica* is conceived, by the selection of the domains that are analyzed and by the presentation of specific automation problems, as a consistent documentation material, that is opening the path towards the design and development of a future embedded control systems generation, based on the CPS concept.



# CONTENTS

<b>Foreword</b> .....	XI
<b>31. POWER SYSTEMS AUTOMATION AND CONTROL</b> ( <i>Sergiu Stelian ILIESCU, Ioana FĂGĂRAȘAN, Clement FEȘTILĂ, Ioan DUMITRACHE</i> ) .....	1
31.1. The role and place of an electrical power system .....	1
31.2. Schemas and diagrams used for power system automation .....	2
31.3. Automation of thermo-energetic sub-system .....	4
31.3.1. Basic circuits of a thermo power plant .....	4
31.3.2. Control system requirements in a thermo power plant .....	4
31.3.3. The thermal circuit influence of a thermo power plant on a steam boiler control system .....	6
31.3.4. Power system characteristic. Natural and artificial droop .....	7
31.3.5. Steam boiler control system .....	9
31.3.6. Steam turbine and associated installation control system .....	19
31.4. Automation of hydro-energetic sub-system .....	21
31.4.1. Basics in hydro-energetic .....	21
31.4.2. Hydro-techni subsystem .....	24
31.4.3. Hydro-mechanic subsystem .....	26
31.4.4. Hidro-electric turbines .....	27
31.4.5. Classification on the hydro-electric turbines .....	28
31.4.6. Mathematical modeling of the hydro-electric turbine .....	28
31.4.7. Monitoring and control system for hydro-electric power plant .....	29
31.4.8. Supervisory control and data acquisition – SCADA – System for hydro-electric power plant .....	31
31.4.9. Levels of automatisation organisation in a hydro-energetic subsystem .....	32
31.5. Automation of electrical sub-system in an electrical power system .....	33
31.5.1. Closed-loop Control Systems .....	33
31.5.2. Open-loop Control Systems .....	45
31.6. Automation of nuclear sub-system in an electrical power system .....	50
31.6.1. Nuclear reaction as adjusment object .....	50
31.6.2. Overview of the management system of the nuclear part of a CANDU-PHWR unit .....	54
31.6.3. Overview of the management system of the classic part of a CANDU-PHWR unit .....	60
31.7. Control System Structures used in power system automation .....	61
31.7.1. Control characteristics of power systems .....	61
31.7.2. Energy dispatching inside the <i>National Power System</i> (SEM) .....	63
31.7.3. Energy dispatching of power plants .....	65
31.8. Advanced technology elements used in controlling an electrical power system .....	67
31.8.1. Power stabilizer device .....	69
31.8.2. Facts devices .....	69
31.9. Annex .....	71
REFERENCES .....	73
<b>32. AUTOMATIC CONTROL OF ELECTRICAL DRIVES</b> ( <i>Silviu DUMITRIU, Gheorghe-Daniel ANDREESCU</i> ) .....	75
32.1. The structure of electrical drives automatic control systems .....	75
32.2. Control methods for DC and AC motors .....	76
32.2.1. DC motors control using power electronic converters .....	76
32.2.2. AC motors control based on static power converters .....	78
32.3. Power electronic converters in electrical driving systems .....	81
32.3.1. Classification .....	81
32.3.2. AC – DC converters (Line commutated converters) .....	82
32.3.3. DC – DC converters (Forced commutated converters) .....	89
32.3.4. Frequency converters .....	94



32.4. Structures of automatic control systems for DC drives.....	100
32.4.1. Unidirectional (nonreversible) speed control system.....	100
32.4.2. Speed control system with diminishing the stator flux.....	103
32.4.3. Reversible control systems free of circulating currents.....	105
32.4.4. Bidirectional control systems with circulating currents.....	107
32.4.5. Speed control system of DC motors with PWM converters.....	109
32.5. Structures of automatic control systems for AC drives.....	110
32.5.1. Cycloconverters based control systems (direct frequency converters).....	110
32.5.2. Speed control systems with frequency converters with DC link.....	111
32.5.3. Control system using intermediate voltage converter and pulse inverter.....	113
32.6. Advanced control of AC drives.....	114
32.6.1. Summary and trends in control of AC drives.....	114
32.7. Vector control of AC drives.....	115
32.7.1. Vector mathematical models of AC machines.....	115
32.7.2. Field oriented vector control methods.....	122
32.7.3. Direct torque and flux vector control of AC drives.....	131
32.8. Sensorless control systems using hybrid flux observer with signal injection, with direct torque and flux vector control for PMSM drives.....	139
32.8.1. Introduction.....	139
32.8.2. Structure of sensorless control system for PMSM drives.....	141
32.8.3. Structure of direct torque and flux vector control with spatial vector modulation.....	142
32.8.4. Stator flux observer and rotor speed estimator.....	143
32.8.5. Rotor position estimation with signal injection.....	145
32.8.6. Initial rotor position identification.....	148
32.8.7. Digital simulation results.....	148
32.8.8. Experimental results.....	150
32.8.9. Conclusions.....	151
32.9. Self-tuning robust torque-control system, without current transducers for electrical drives.....	152
32.9.1. Introduction.....	152
32.9.2. Self-tuning torque control system.....	153
32.9.3. Current-voltage decoupling.....	154
32.9.4. Speed and load torque adaptive observer.....	156
32.9.5. Parametric identification of inertia.....	157
32.9.6. Self-tuning speed controller.....	158
32.9.7. Digital simulation results.....	159
32.9.8. Conclusions.....	162
REFERENCES.....	163
<b>33. CHEMICAL AND PETROCHEMICAL INDUSTRY AUTOMATION</b> ( <i>Dumitru POPESCU, Nicolae PARASCHIV, Cristian PĂTRĂȘCIOIU</i> ).....	165
33.1. Introduction.....	165
33.1.1. Brief history of automation in chemistry and petrochemistry.....	165
33.1.2. Automation systems and configurations.....	166
33.1.3. Developments in chemical and petrochemical processing automation.....	171
33.2. Automation of chemical reactors.....	177
33.2.1. Modeling of reaction processes.....	177
33.2.2. Automation of chemical reactors.....	194
33.2.3. Case study. Automation of a pyrolysis reactor.....	198
33.3. Automation of fractionation processes.....	201
33.3.1. Modeling of fractionation processes.....	201
33.3.2. Automation solutions for fractionation columns.....	208
33.3.3. Case study.....	216
33.4. Automation of heat transfer processes.....	224
33.4.1. Modeling of heat transfer in tubular furnaces.....	224
33.4.2. Automation solutions of tubular furnaces.....	230
33.4.3. Case study.....	239
33.5. Appendix: Standards and symbols used in automation of chemical processes.....	245
REFERENCES.....	253

<b>34. MODELING AND CONTROL OF BIOPROCESSES</b> ( <i>Mihai CARAMIHAI, Sergiu CARAMAN, Emil PETRE, Dan SELIȘTEANU, Marian BARBU, Cristina TĂNASE</i> ).....	257
34.1. Introduction.....	257
34.1.1. Basic concepts regarding bioprocesses.....	257
34.1.2. Types of bioprocesses.....	258
34.1.3. Performances of bioreactors.....	260
34.2. Measuring system for bioprocess parameters.....	264
34.3. Bioprocess mathematical modeling.....	265
34.3.1. Determining the general dynamic model of a bioprocess based on biochemical and microbiological reactions schemes.....	265
34.3.2. Modeling of cascades bioreactors. Structural properties.....	271
34.3.3. Bioprocesses modeling using mass balance equations.....	275
34.3.4. Models with variable structure.....	287
34.4. Bioprocess state and parameter estimation.....	295
34.4.1. Bioprocess identification using state observers.....	295
34.4.2. Bioprocess parameter estimation using a Luenberger observer.....	296
34.4.3. Bioprocess parameter estimation using the Kalman Filter (KF).....	301
34.4.4. Sliding mode observer.....	307
34.4.5. $H_{\infty}$ Filter.....	312
34.5. Bioprocess control strategies.....	315
34.5.1. Bioprocess control objectives. An overview.....	315
34.5.2. Bioprocess control using <i>a priori</i> model.....	316
34.5.3. Adaptive control of bioprocesses.....	319
34.5.4. Bioprocess sliding mode control.....	329
34.5.5. Robust bioprocess control.....	332
34.5.6. Bioprocess predictive control.....	348
34.5.7. Bioprocess control based on AI techniques.....	351
34.6. Case studies.....	361
34.6.1. Control remediation in an anaerobic fermentation process.....	361
34.6.2. Process control of wastewater treatment using activated sludge.....	369
34.7. Conclusion.....	380
REFERENCES.....	380
<b>35. ROBOTICS</b> ( <i>Mircea IVĂNESCU, Theodor BORANGIU</i> ).....	385
35.1. Introduction.....	385
35.1.1. The robot system.....	385
35.1.2. Industrial applications.....	387
35.1.3. The characteristics of the system.....	389
35.1.4. Robot classification.....	389
35.2. Kinematic and dynamic models.....	393
35.2.1. Coordinate systems and transformations.....	393
35.2.2. Denavit-Hartenberg.....	397
35.2.3. The Direct and Inverse Kinematic problem.....	401
35.2.4. Dynamic models.....	403
35.3. Robot control systems.....	405
35.3.1. Robot motion control. Motion planning and trajectory generation.....	405
35.3.2. Trajectory tracking.....	410
35.3.3. Force control.....	443
35.3.4. Intelligent control of robots.....	448
35.4. Robot-vision systems.....	449
35.4.1. Frames, image features and configurations of video cameras.....	449
35.4.2. Architectures for visual guidance of robot motion.....	454
35.4.3. Estimating the parameters of point- and pose-features.....	463
35.4.4. Robot-object calibration for grasping.....	471
35.4.5. Vision-based techniques for robot motion guidance.....	479
35.5. Robot programming.....	487
35.6. Hyper redundant robots.....	496
35.6.1. Introduction.....	496
35.6.2. "Hyper redundant" robot models.....	497

35.6.3. The kinematic model.....	502
35.6.4. The dynamic model of the ideal arm.....	504
35.6.5. Distributed control system with ER liquids .....	507
35.6.6. Position control with conventional laws .....	515
35.6.7. Selecting the parameters of the control system .....	524
35.6.8. Fuzzy control.....	526
35.7. Mobile robots.....	530
35.7.1. Introduction.....	530
35.7.2. Principles of control systems for mobile robots.....	531
35.7.3. Wheeled robots .....	533
35.7.4. Walking robots.....	536
35.7.5. Navigation of mobile robots.....	540
REFERENCES .....	546
<b>36. MANUFACTURING SYSTEMS CONTROL</b> ( <i>Simona Iuliana CARAMIHAI, Ioan DUMITRACHE</i> ).....	555
36.1. Introduction.....	555
36.2. Manufacturing Systems Modelling Approaches .....	562
36.2.1. Introductory aspects .....	562
36.2.2. Probabilistic models .....	564
36.2.3. Diagram-based equilibrium equations.....	568
36.2.4. Modeling systems of various operating speeds machines .....	571
36.3. Behavioral modeling of manufacturing systems .....	575
36.3.1. Petri-Net based modeling and simulation .....	575
36.3.2. Petri-Net based supervisory control .....	579
36.4. The Enterprise of the Future – evolution tendency .....	591
REFERENCES .....	595
<b>37. AUTOMATIC FLIGHT CONTROL SYSTEMS</b> ( <i>Adrian STOICA</i> ).....	597
37.1. A historical perspective.....	597
37.2. General considerations on the design of automatic flight control systems.....	599
37.2.1. Mathematical modelling of aircraft dynamics.....	599
37.3. Automatic flight control systems .....	602
37.3.1. Flying qualities of the airplane.....	603
37.3.2. Design of stability augmentation systems .....	604
37.3.3. Design of autopilots .....	620
37.3.4. Pilot induced oscillations .....	631
37.3.5. Performance analysis of networked control systems with fading communication channels.....	638
REFERENCES .....	641
<b>38. COMPLEX NETWORKED CONTROL SYSTEMS – CYBER-PHYSICAL SYSTEMS</b> ( <i>Ioan DUMITRACHE</i> ).....	645
38.1. Introduction.....	645
38.2. Some aspects on modeling and analysis of Complex Systems – I-CPS (Intelligent Cyber-Physical Systems) .....	649
38.3. Introduction in Embedded Systems.....	652
38.3.1. Problems of the embedded systems.....	654
38.3.2. Integrated design hardware and software .....	657
38.4. Real-Time Networked Control Systems (NCS) .....	658
38.4.1. Preliminary elements.....	658
38.4.2. Modeling of NCS .....	663
38.4.3. Stability analysis of NCS .....	667
38.4.4. Multi-agent systems .....	671
REFERENCES .....	681
Foreword .....	683