

1 INTRODUCERE

În zilele noastre sistemele de producție sunt tot mai complexe iar cerințele de performanță tot mai greu de îndeplinit. Controlul proceselor a devenit din ce în ce mai important în industrie ca o consecință a concurenței globale, a condițiilor economice în continuă schimbare și a reglementărilor de mediu și de siguranță tot mai stricte. Controlul proceselor este, de asemenea, o preocupare critică în dezvoltarea unor procese mai flexibile și mai complexe, pentru fabricarea produselor cu valoare adăugată ridicată. Mai mult, scăderea accentuată a costurilor dispozitivelor digitale și creșterea vitezei computerelor (dublată la fiecare 18 luni, în conformitate cu legea lui Moore) au permis ca sistemele de măsurare și control de înaltă performanță să devină o parte esențială a instalațiilor industriale.

Este clar că domeniul de aplicare și importanța tehnologiilor de control al proceselor industriale vor continua să se extindă în cursul secolului XXI. În consecință, inginerii automatiști trebuie să stăpânească acest subiect pentru a putea proiecta, a pune în funcțiune și a exploata instalațiile și sistemele de control din unitățile industriale moderne. Acest curs ar trebui să ofere un echilibru adecvat între teoria și practica controlului proceselor. În special, cursul trebuie să cuprindă o analiză a comportamentului dinamic, modelarea fizică și empirică a proceselor frecvent întâlnite în aplicațiile industriale, conceptele de bază și strategiile avansate ale controlului automat, simularea pe calculator a dinamicii acestor procese atât în buclă deschisă cât și în buclă închisă și analiza performanțelor de control. Procesele industriale au acceptat, în general, hardware-ul digital, iar algoritmi de control avansat încep să fie utilizați pe scară largă, deși controlerul PID rămâne blocul de bază pentru control în sistemele cu reacție negativă.

Aplicațiile sistemelor de control automat sunt tot mai frecvente datorită mai multor factori: proiectarea integrată a proceselor împreună cu sistemele lor de control, cerințele privind flexibilitatea în producție, îmbunătățirea controlului calității, restricțiile de mediu, cerințele de reducere a consumului de energie, tendința de a maximiza randamentul procesului controlat, de a evita întreruperea neprevăzută a acestuia, deci per ansamblu, de a asigura funcționarea unui proces într-un mod optim, dar și sigur în același timp. Dezvoltarea teoriei și practicii sistemelor de conducere a proceselor industriale a permis dezvoltarea unor aplicații pentru sisteme tot mai complexe aplicabile în domenii tot mai largi de sisteme din tehnică și în același timp pătrunzând din ce în ce mai adânc în structura internă a unor procese. Cercetările din ultima perioadă în domeniul conducerii proceselor au fost orientate spre reglarea automată pentru un larg interval de sarcină, reglarea automată în timpul operațiilor de pornire-oprire și stăpânirea prin reglare automată, a unor incidente în funcționare.

În dezvoltarea cu succes a unor sisteme de control automat pentru procese industriale este necesară, în primul rând, o bună cunoaștere a procesului. Pentru a înțelege temeinic noțiunile de *proces* și *control automat* acestea vor fi prezentate detaliat în subcapitolele următoare.

1.1 Procese industriale

1.1.1 Noțiuni generale

În primul rând, în studiul sistemelor de control automat trebuie adusă în discuție o abordare sistemică privind definirea proceselor. Pentru a defini noțiunea de *proces* se va pleca de la definirea noțiunii de sistem. Un *sistem* este un ansamblu de elemente interconectate și formând un întreg organizat care face ca o activitate practică să funcționeze potrivit scopului urmărit. Altfel spus, un sistem reprezintă un complex funcțional la care sosesc la un moment dat diverse elemente, denumite mărimi de intrare (mărimi cauză), și din care rezultă anumite mărimi de ieșire (mărimi effect) la un anumit moment de timp. Proprietățile unui sistem depind atât de proprietățile elementelor componente cât și de interacțiunile dintre elementele sistemului.

Un *proces industrial* poate fi privit ca un sistem, în care au loc o serie de fenomene de transfer și transformări ale materiei, energiei sau informației, după procedee tehnologice determinate. Aceste procese sunt constituite dintr-o reuniune de instalații, utilaje și aparate industriale interconectate între ele prin fluxuri de materie sau energie.

În majoritatea cazurilor, procesele și instalațiile tehnologice în care acestea au loc, nu sunt proiectate și realizate pe bază de considerente dinamice referitoare și la aspectul controlabilității acestora. Ca urmare, în cele mai multe situații procesele, respectiv instalațiile, nu sunt capabile de a-și automenține o stare de echilibru dorită, datorită efectelor unor perturbații interne și/sau externe. În aceste condiții, problema controlului proceselor industriale capătă o importanță deosebită.

Evoluția proceselor industriale a fost și este influențată de cele trei revoluții industriale:

- transferul îndemânării omului către mașini (prima etapă a tehnicizării, situate pe la mijlocul secolului XVIII);
- transferul inteligenței de la om la mașină în domeniul fabricației (etapă în plină desfășurare);
- introducerea biotehnologiilor, a nanotehnologiilor și a tehnologiilor informaționale în vederea rezolvării problemelor majore ale societății umane.

În prezent, există o mare varietate de procese industriale pentru care este necesară automatizarea în vederea îmbunătățirii performanțelor. Clasificarea proceselor industriale se poate face după diverse criterii ce pot avea în vedere: natura acestora, continuitatea în funcționare, comportarea în timp, topologia fluxurilor de fabricație etc.

1.1.2 Clasificarea proceselor industriale după natura lor

În continuare vor fi analizate, pe scurt, o serie de procese industriale clasificate după natura acestora, în scopul evidențierii unor particularități constructiv-funcționale precum și prin prisma necesităților și a posibilităților de automatizare a acestora.

Procese mecanice

În majoritatea cazurilor, procesele mecanice se referă la necesitatea dezvoltării unor cupluri sau a unor forțe în vederea punerii în mișcare a unei sarcini, în scopul modificării poziției, vitezei sau accelerației. De exemplu procesele ce au loc în mașini unelte, roboți industriali, vehicule de diverse tipuri sau uneori chiar în diverse elemente de execuție utilizate în sistemele de control automat (servorobinete), sunt procese mecanice. În asemenea situații, mișcarea dorită se realizează cu ajutorul unui motor (cu ardere internă, electric, hidraulic sau pneumatic), cuplat cu sarcina respectivă, prin intermediul unui lanț cinematic, cu rol de adaptare a caracteristicilor mecanice ale sarcinii și motorului de acționare. Tipul lanțului cinematic este determinat de caracterul particular al sarcinii și tipul mișcării elementului de acționare adoptat. De exemplu, pentru sarcini în mișcare de rotație se poate adopta acționarea directă sau prin intermediul unor lanțuri cinematice: reductoare cu roți dințate. Pentru sarcini în mișcare de translație se poate adopta, acționarea directă (cu motoare hidraulice, pneumatice sau electrice liniare) sau acționarea indirectă prin intermediul unor lanțuri cinematice de tipul: șurub-piuliță, șurub cu bile, pinion cremalieră etc.

Procesele mecanice, în care frecările uscate, jocurile, elasticitățile lanțului cinematic au efecte neglijabile asupra preciziei de funcționare, se pot reduce la problema poziționării unui punct material într-un câmp de forțe. Asemenea procese pot fi tratate ca sisteme cu parametri concentrați și invarianți și deci pot fi modelate relativ ușor prin intermediul ecuațiilor diferențiale cu parametrii constanți.

Problema automatizării în cazul considerat se poate reduce de obicei la cea a controlului unui proces cu un model linear de ordinul 2, **de obicei oscilant**. Aceasta se poate realiza relativ ușor, cu structuri de reglare convenționale bazate pe algoritmul classic proportional integral derivative (PID).

În alte situații însă, acțiunile cuplurilor de torsiune sau frecare, a jocurilor și elasticității lanțurilor cinematice nu mai pot fi neglijate, deci procesul mecanic trebuie privit ca un subsistem dinamic complex. Mai mult, în cazul în care sarcina este o mașină unealtă complexă, în care se cer realizate precizii înalte, în prezența factorilor enumerați mai sus, precizia de funcționare este influențată și de temperatura mediului ambiant și în zona de contact piesa-scula de prelucrare, adâncimea de prelucrare, vibrații etc. În asemenea situații, întregul subsistem mecanic sau electromecanic se cere considerat ca un subsistem complex, de a cărui structură și parametrii depinde realizarea obiectivelor urmărite. Modelul matematic al unui asemenea sistem este mult mai complicat și mai greu de automatizat cu echipamente convenționale de reglare.

Procese electrice

Procesele electrice reprezintă procese în care intervin fenomene electrice și se pot grupa în:

- procese de nivel energetic scăzut;
- procese de nivel energetic ridicat.

În prima categorie se încadrează, de exemplu, procesele de alimentare cu energie electrică a aparaturii de electronică industrială și de automatizări prin stabilizarea tensiunii și curentului continuu sau alternativ, cu care se alimentează această aparatură. Asemenea

procesele sunt tratate în literatura de specialitate de Electronica industrială și de Circuite electronice.

În a doua categorie se încadrează procesele legate de *producerea* (în centrale energetice), *distribuția* și *utilizarea* energiei electrice, sub aspectul asigurării calității acesteia, a disponibilității și a utilizării sale la consumatori. Astfel, un bloc energetic de *producere* a energiei electrice și sau termice, izolat sau interconectat cu alte blocuri, necesită supravegherea și conducerea permanentă, în vederea asigurării integrității unor instalații complexe, a productivității cerute, a randamentelor parțiale și globale precum și a calității și disponibilității energiei electrice cerute de utilizatori. Printr-o automatizare locală, bine pusă la punct a principalelor subansamble ale blocului energetic (instalația de cazan, motorul primar/turbina, generatorul sincron și a unor aparate termice și electrice aferente), supuse unor perturbații foarte variate (externe sau interne), se pot realiza cerințele mai sus formulate. Prin măsurile luate (modificarea unor fluxuri de energie/masă de la intrarea subsistemelor componente), se urmărește, de fapt, asigurarea unui echilibru continuu între producerea de energie și respectiv cererea variabilă a consumatorilor.

În legătura cu *distribuția* energiei electrice de nivel energetic ridicat apar probleme ca:

- menținerea constantă a tensiunii la barele centralelor, substațiilor și consumatorilor și asigurarea unei circulații corecte a puterii reactive;
- menținerea constantă a frecvenței în sistem, cu repartizarea puterii active pe agregatele lucrând în paralel;
- compensarea factorului de putere și altele.

Mărimile perturbatoare, care influențează procesul de distribuire dorită a energiei electrice, apar de obicei sub forma variațiilor de putere activă și reactivă, cauzate de consumatori (conectări, deconectări), dar foarte adesea chiar motoarele primare de antrenare a generatorilor introduc perturbații.

În domeniul *utilizării energiei electrice* se cere alimentarea sigură cu energie electrică a unor consumatori foarte variati: motoare electrice de curent alternativ sau de curent continuu, diverse instalații termice, aparatura electrică medicală, echipamente de calcul, iluminat public sau casnic etc. Tratarea matematică a unor asemenea procese se bazează pe legile specifice ale electrotehnicii aplicate la mașini electrice, transformatoare, linii electrice etc. Datorită complexității deosebite a sistemelor electroenergetice și a formelor de utilizare ale energiei electrice, este dificilă o tratare globală a acestora. Se pot obține modele matematice unitare doar pentru subsistemele componente: generatoare, transformatoare, linii de transport, motoare electrice, cuptoare industriale etc. În prezent, în vederea automatizării proceselor electrice de producere, de distribuție și de utilizare a energiei electrice sunt folosite echipamente convenționale de automatizare analogice sau numerice care rezolvă probleme ca: reglarea tensiunii, a frecvenței, a circulației de puteri etc. Sunt utilizate, de asemenea, echipamente evaluate de monitorizare, supraveghere și analiză a stării echipamentelor electrice precum și a parametrilor fluxurilor de energie.

Procese termice

Procesele termice sunt procese ce implică *fenomene de generare și de transfer de căldură*. În cazul proceselor termice se cere, în mod obișnuit, fie obținerea unor temperaturi constante în timp, fie urmărirea unor diagrame în coordonate temperatura-timp (cronograme) predefinite (pentru un produs, într-o incintă etc.).

Foarte adesea, procesele termice ce au loc în diverse instalații, trebuie privite ca procese cu parametrii distribuiți și variabili. O modelare exactă a acestora se poate realiza prin intermediul ecuațiilor cu derivate parțiale, deoarece variabilele dependente sunt determinate atât de timp cât și de spațiu. Se pot manifesta fenomene complexe iar o automatizare eficientă, presupune o modelare corectă a procesului. În plus, eficiența reglării, deci realizarea unui anumit câmp de temperatură, cu gradienti de temperatură la valorile prescrise, este puternic influențată de *caracterul indirect al reglării temperaturii* și de circulația agentului termic; aceasta deoarece bucla de reglare permite realizarea valorii dorite a temperaturii doar în punctul în care se află elementul sensibil. Modalitatea de reglare a temperaturii, precum și echipamentul necesar, depind de tipul procesului termic. Din acest punct de vedere, procesele termice pot fi:

- fără transport de căldură (cuptoare industriale de topire, furnale, cuptoare de tratamente termice, instalații frigorifice etc.);
- cu transport de căldură de către produsul încălzit/răcit (toate tipurile de schimbătoare de căldură, autoclave, cazane, condensatoare etc.);
- cu *surse* sau *consumatori* interni de căldură (diverse reactoare chimice, nucleare etc.).

În general, există **soluții de automatizare particulare recomandate**, pentru diferite categorii de procese termice, descrise în literatura de specialitate.

Procese hidro-pneumatice

Procesele hidro-pneumatice sunt procese în care au loc *fenomene fizice din mecanica fluidelor compresibile și incompresibile*. Ca exemple de instalații în care au loc procese hidro-pneumatice se pot menționa: instalațiile de degazare, cazanele cu tambur, turbinele, sistemele de alimentare cu apă și combustibil, stațiile de tratare apă potabilă și ape uzate, coloane de fracționare, procese de separare și altele, în care se cer reglate nivele, presiuni și debite. Reglarea presiunilor cere mai multă atenție, deoarece presiunea este o mărime de stare în strânsă dependență cu alte două mărimi de stare: entalpia și volumul. Ca urmare presiunea poate fi reglată fie prin modificarea debitelor admise sau evacuate, fie prin modificarea unui schimb de căldură.

Modelarea acestor procese presupune utilizarea unui set de ecuații tipice pentru cinematica sau dinamica fluidelor. În condiții fizice reale, curgerea fluidelor este neliniară (turbionară) ceea ce face dificilă scrierea sub formă matematică exactă a ecuațiilor de mișcare. În plus, particulele de fluid sunt supuse, în timpul mișcării, la translații, rotații, dar și la deformații.

Procese de transformare

Categoria proceselor de transformare este *cea mai variată*. În cadrul unor asemenea procese are loc, de regulă, *transformarea materiilor prime în produse intermediare sau produse finite* cu caracteristici fizico-chimice mult diferite de ale materiilor prime de la intrare (reactoare chimice, cazane de abur, procesele de distilare etc.)

În categoria proceselor de transformare, în plină dezvoltare și afirmare, se cer incluse *biotehnologiile și nanotehnologiile*. **Biotehnologiile**, permit obținerea de produse ca rezultat al capacității microorganismelor și a culturilor celulare de a le biosintetiza avantajos sub aspectul economic. În acest fel oferă posibilitatea de a produce, din resurse disponibile și regenerabile, o gamă foarte largă de materii prime sau produse finite. S-a creat astfel o nouă industrie - bioindustria (chimică, textilă, energetică, metalurgică, alimentară etc.). Se lucrează intens în prezent în domeniul descrierii matematice și în domeniul modelării ale acestora în vederea elaborării unor metode de conducere optimală a unor asemenea procese destul de complicate și pretențioase. **Nanotehnologiile** asigură capacitatea de creare de produse cu proprietăți considerabil îmbunătățite. Această capacitate este rezultatul posibilităților de control și manipulare a materiei la scară nanometrică, prin încorporarea nanostructurilor și nanoproceselor în inovațiile tehnologice. În deceniile următoare nanotehnologiile vor fi forța dominantă în societatea bazată pe cunoaștere. Nanotehnologiile și știința nanomaterialelor reprezintă un domeniu de cercetare pluridisciplinară care impune participarea activă a specialiștilor din diverse domenii, cum ar fi fizica, chimia, biologia, matematica, electronica, medicina, automatica etc. Produsele se obțin în urma transformării materiei prime cu aport de agent transformator. Transformarea are loc în toată masa substanței respective și, în afara unor regimuri staționare particulare, substanța în transformare nu este omogenă. În ceea ce privește reglarea automată a unor asemenea procese industriale trebuie rezolvate cel puțin două probleme de bază: găsirea celor mai potrivite modalități de aplicare a agentului transformator; asigurarea rapoartelor optime între cantitatea și calitatea materiilor prime și a energiei introduse, respectiv cantitatea și calitatea produselor obținute.

1.1.3 Clasificarea proceselor industriale după continuitatea în funcționare

Procesele discrete sunt procese ce se desfășoară pe anumite etape, într-o anumită ordine secvențială, acțiunile caracteristice acestor procese având loc la anumite momente de timp. Variabilele atașate sunt variabile discrete având doar două valori: on/off, adevărat/fals, 1 logic/0 logic. Un exemplu de proces industrial discret îl reprezintă ansamblul operațiilor efectuate pe o linie automată de prelucrare, ambalare etc. Procesele discrete sau secvențiale nu sunt studiate de regulă în cadrul proceselor industriale, ele fiind considerate ca procese tehnologice sau procese de fabricație. Concludentă este în acest sens și următoarea definiție: procesul tehnologic se definește ca totalitatea operațiilor concomitente sau ordonate în timp, necesare fie pentru obținerea unui produs prin prelucrare sau/și asamblare, fie pentru întreținerea sau repararea unui sistem tehnic (de exemplu: mașină, vehicul etc.).

În cazul proceselor industriale considerate ca procese continue, variabilele atașate ce corespund parametrilor tehnologici (temperaturi, presiuni, debite, nivele, tensiuni, curenți, puteri, frecvențe etc.) sunt variabile analogice care au variații continue în timp (sau au discontinuități finite) pe întreg intervalul de funcționare. Procesele industriale continue pot fi clasificate în funcție de continuitatea fluxului de masă și energie în:

- Procese cu desfășurare continuă - au o funcționare continuă în timp neexistând perioade de întreruperi decât în situațiile de avarii sau revizii periodice. Acestea sunt caracterizate prin fluxuri continue de materii/substanțe prin instalații, cu debite statistic constante în timp. Aceste procese decurg fără acumulări de materie/substanțe în proces; acumulări pot exista numai în măsura necesară asigurării desfășurării procesului, pentru cazuri de excepție, sub formă de stoc tampon sau de siguranță. Transformările fizico-chimice și de altă natură au loc în timp, pe măsura parcurgerii traiectoriei spațiale de desfășurare a procesului. Fiecare punct al traiectoriei este caracterizat printr-o mulțime finită de parametri de stare, a căror valoare statistică este independentă de timp dar dependentă de coordonatele traiectoriei. Procesele cu desfășurare continuă sunt caracteristice producției mari din unele ramuri economice: industria chimică și petrochimică; industria metalurgică; industria energetică; industria celulozei și hârtiei; industria materialelor de construcții etc. Majoritatea proceselor de acest tip sunt caracterizate de un grad înalt de *automatizare convențională*. Introducerea sistemelor de automatizare evoluate poate conduce la creșterea productivității și a calității produselor realizate.
- Procese cu desfășurare discontinuă, sau în șarje - se caracterizează prin întreruperi normale ale fluxului de fabricație, cerute de încărcarea, dozarea, aducerea la parametri normali, desfășurarea propriu-zisă a procesului și apoi descărcarea și curățarea utilajelor. Aceste procese sunt caracterizate prin fluxuri pulsatorii de materiale de la un utilaj la altul în cantități statistic constante în timp, denumite șarje. Fluxurile se desfășoară cu acumulări de materiale și energii în utilajele instalației tehnologice, acumulări ce se repetă ciclic, de la o șarjă la alta. Transformările fizico chimice au loc în timpul staționării materialelor în instalația tehnologică. Procesele cu desfășurare în șarjă sunt caracterizate prin alternarea operațiilor efectuate manual și al operațiilor conduse *automat*. Sunt frecvent întâlnite în producții medii și mici din: industria chimică; industria metalelor neferoase; industria materialelor de construcții; industria ceramică, industria maselor plastice etc.
- procese mixte - o parte din faze sau operații se efectuează continuu iar alte faze discontinuu, fazele succedându-se în timp sau în spațiu.

1.1.4 Clasificarea proceselor industriale după timpul de desfășurare

După timpul de desfășurare, sau mai exact după timpul de răspuns la variația mărimii de comandă sau a celei perturbatoare, procesele industriale pot fi lente sau rapide.

În cazul *proceselor lente*, trecerea de la un regim staționar la altul, în urma variațiilor provocate, de mărimile de comandă sau de perturbație, are loc cu timpi de răspuns de ordinul de la zeci de secunde până la câteva zile. O altă caracteristică a proceselor lente constă în faptul că uneori timpul mort nu este neglijabil și trebuie luat în considerare în proiectarea sistemelor de automatizare. Procesele tehnologice se încadrează de obicei în această categorie. Parametrii principali ce trebuie reglați în cadrul acestor procese sunt: nivelul, temperatura, presiunea, debitul, concentrația, pH-ul, umiditatea. Deși uneori, în procesele tehnologice în care se reglează depitul, pot fi întâlnite constante de timp mai mici de 10 secunde aceste procese se vor încadra tot în categoria proceselor lente.

Dacă timpul de răspuns la variațiile mărimii de comandă sau a celei perturbatoare este cel mult de ordinul secundelor, *procesul* este considerat *rapid*. De obicei, granița între procesele rapide și cele lente este considerată la o valoare a constantei de timp a procesului de 10 secunde. Deși uneori, în procesele tehnologice în care se reglează depitul, pot fi întâlnite constante de timp mai mici de 10 secunde aceste procese se vor încadra tot în categoria proceselor lente. În categoria proceselor rapide se încadrează în general procesele din domeniul acționărilor electrice și echipamentelor electromagnetice.

1.2 Controlul automat la proceselor

1.2.1 Noțiuni generale

Termenul de *automat* desemnează, pe de o parte, calitatea unui sistem fizico-tehnic de a efectua, pe baza unei comenzi, o operație sau un complex de operații fără intervenția directă a operatorului uman, iar pe de altă parte, un dispozitiv, aparat, instalație, care funcționează în mod automat.

Acțiunea de concepere, de realizare de automate și de echipare a sistemelor fizico-tehnice cu echipamente pentru efectuarea în mod automat a unor operații, mișcări etc., constituie automatizarea.

Automatica face parte din categoria științelor tehnice și tratează teoria și practica realizării constructive a sistemelor de conducere automată, destinate eliminării intervenției umane în elaborarea deciziilor directe privind funcționarea proceselor industriale. Sau, conform unei definiții asemănătoare, automatica este ansamblul metodelor și mijloacelor de realizare a unor legături (corelații) între diferite elemente și instalații ale unui proces tehnologic în vederea eliminării intervenției operatorului în conducerea și supravegerea acestuia. Acțiunea de concepere, de realizare de sisteme automate și de dotare a proceselor tehnice cu astfel de sisteme pentru efectuarea în mod automat a unor operații este denumită *automatizare*. Așa cum introducerea mecanizării a însemnat eliminarea efortului fizic uman din activitatea de producție, automatizarea înseamnă printre altele eliminarea efortului intelectual pe care l-ar presupune urmărirea și comanda unui proces tehnologic de către un operator uman. Scopurile urmărite prin automatizare sunt: îmbunătățirea calității produselor obținute, creșterea eficienței economice, îmbunătățirea condițiilor de lucru.

Atunci când observăm un proces într-o instalație industrială sau de laborator, se văd debitele de la un rezervor la altul, lichidele cum dau în clocot și apoi fierb, materialul vâscos cum este extrudat, iar toate măsurătorile mărimilor importante din proces se schimbă continuu, uneori cu fluctuații mai mici alteori ca răspuns la schimbări majore. Concluzia imediată este că lumea este dinamică. Această afirmație simplă și evidentă oferă motivul principal pentru controlul procesului. Pentru a proiecta un proces care să funcționeze bine într-o lume dinamică inginerul trebuie să se bazeze pe o înțelegere aprofundată a comportamentului tranzitoriu al sistemelor fizice. În general, în primii ani de facultate, studenții de la inginerie învață despre sistemele fizice staționare, ceea ce este natural, deoarece stările staționare ale sistemelor sunt oarecum mai ușor de înțeles și în realitatea înconjurătoare se găsesc numeroase exemple. Cu toate acestea, inginerul practicant ar trebui să înțeleagă la fel de bine și regimul dinamic al sistemelor. Acest curs încearcă să ofere

informațiile de bază și metodele ingineresti necesare pentru analiza și proiectarea controlului proceselor care să funcționeze bine într-o lume dinamică. Ingineria controlului automat sau ingineria sistemelor automate este o știință inginerască folosită în multe discipline - de exemplu, inginerie chimică, electrică și mecanică – și se aplică la o gamă largă de sisteme fizice de la circuitele electrice până la rachetele ghidate de către roboți. Domeniul controlului proceselor continue cuprinde principiile de bază necesare aplicării controlului automat sistemelor fizico-chimice întâlnite adesea de către inginerii din diverse domenii, cum ar fi reactoarele chimice, schimbătoarele de căldură sau instalații în care are loc doar transfer de masă.

Ingineria sistemelor automate este o specializare *îngustă, dar esențială* pentru diferite domenii de activitate: chimie, termotehnica, electromecanica etc. Proiectanții echipamentelor proceselor industriale trebuie să ia în considerare funcționarea dinamică a întregii instalații, deoarece aceasta va funcționa rareori la starea de echilibru staționar. Ingineri însărcinați cu exploatarea proceselor trebuie să se asigure că acestea răspund corect la perturbațiile care apar în permanență, astfel încât funcționarea proceselor să fie sigură și profitabilă. În cele din urmă, inginerii trebuie să controleze instalațiile pentru a obține condițiile prescrise specificațiile de proiectare. În concluzie, sarcina inginerilor este aceea de a proiecta, a construi și a exploata un sistem fizic pentru a se comporta într-o manieră dorită și un element esențial al acestei activități este menținerea susținută a sistemului la condițiile dorite - care este sarcina ingineriei sistemelor automate.

Așa cum este de așteptat, ingineria sistemelor automate implică un volum vast de cunoștințe inclusiv analiza matematică și practica tehnică. Cu toate acestea, înainte de a începe a discuta principiile și calculele specifice, trebuie înțelese obiectivele controlului procesului și modul în care acesta completează alte aspecte ale ingineriei. Acest capitol prezintă aceste probleme abordând următoarele întrebări:

- Ce face un sistem de control automat?
- De ce este necesar controlul?
- De ce este posibil controlul?
- Cum se face controlul?
- Unde este implementat controlul?
- Cum este documentat procesul de control?
- Care sunt câteva strategii de control?

1.2.2 Ce face un sistem de control automat ?

Pentru a lămurii acest lucru, vor fi analizate două exemple de sisteme de control frecvent întâlnite în viața de zi cu zi. Primul exemplu de sistem de control este o persoană care conduce un automobil (Figura 1.1). În primul rând, șoferul trebuie să aibă un scop sau un obiectiv; în mod normal, aceasta ar fi să rămâi într-o anumită bandă de circulație a drumului. Apoi, șoferul trebuie să obțină informații despre locația automobilului, locație pe care o determină prin folosirea ochilor lui vizualizând poziția automobilului pe drum. Bazându-se pe aceste informații, șoferul trebuie să determine sau să calculeze acțiunea necesară menținerii automobilului în poziția dorită pe șosea. În cele din urmă, șoferul trebuie să schimbe poziția volanului cu valoarea calculată pentru a produce corecția necesară în traiectoria

automobilului. Prin efectuarea continuă a acestor trei funcții, șoferul poate menține automobilul foarte aproape de traiectoria de referință, chiar dacă apar unele perturbații, cum ar fi loviturile și curbele din drum.

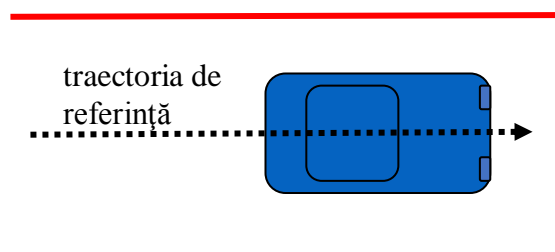


Figura 1.1

Al doilea exemplu este sistemul simplu de încălzire prezentat în Figura 1.2. Interiorul unei camere, într-un climat rece, poate fi menținut la o temperatură dorită prin circulația apei calde printr-un schimbător de căldură (calorifer). Temperatura din cameră este determinată cu ajutorul unui senzor de temperatură. Acesta transmite informația unui regulator care compară valoarea măsurată a temperaturii camerei cu o valoare dorită (temperatura de referință), de exemplu 22°C și încearcă să mențină temperatura camerei într-un interval, de exemplu de $\pm 1^{\circ}\text{C}$, în jurul valorii dorite. Dacă temperatura este sub 21°C , servorobinetul este deschis și, dacă temperatura este peste 22°C , servorobinetul este închis. Dacă temperatura este cuprinsă între 20 și 23°C , starea servorobinetului rămâne neschimbată.

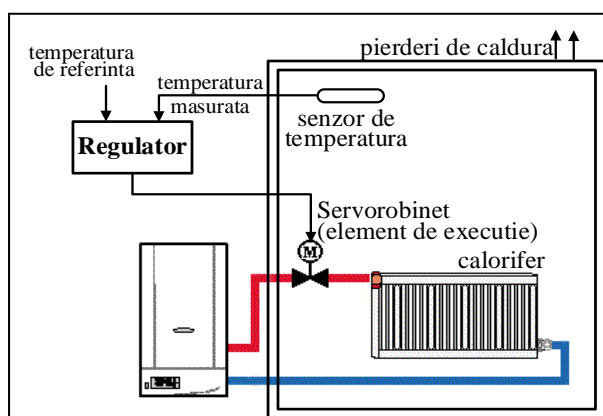


Figura 1.2.

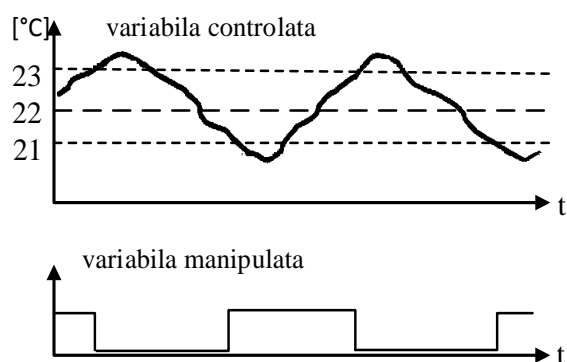


Figura 1.3.

Un istoric tipic al temperaturii într-o cameră prezentată în Figura 1.3, arată modul în care temperatura evoluează lent între cele două limite, valoarea maximă și cea minimă. Așa cum se poate observa, temperatura în cameră depășește limitele, datorită inerției senzorului procesului și a elementului de execuție (servorobinetul, schimbătorul de căldură și senzorul nu pot răspunde imediat). Această abordare este denumită control bipozițional (sau control

"on / off") și acest tip de control este foarte simplu, dar poate fi utilizat doar atunci când nu este necesar controlul precis la valoarea dorită (mărimea controlată oscilează tot timpul între cele două valori limită). În capitolele următoare vor fi prezentate și metode de control mai bune, care pot menține variabilele importante mult mai aproape de valorile dorite.

Acum că am analizat pe scurt două sisteme de control, vom identifica unele caracteristici comune. Prima este că fiecare dintre cele două sisteme utilizează o valoare specificată ca valoare dorită pentru variabila controlată. Pentru această valoare dorită se va folosi termenul de *valoare de referință* sau pe scurt *referință* (uneori *set point* – din denumirea în limba engleză). În al doilea rând, toate sistemele de control utilizează senzori pentru măsurare variabilele fizice care trebuie menținute în apropierea valorilor dorite. În al treilea rând, fiecare sistem are o metodă de calcul a variabilei de control, sau un algoritm, care utilizează valorile măsurate și valorile dorite pentru a determina o corecție a funcționării procesului. Calculul variabilei de control pentru încălzirea camerei este foarte simplu (pornit/oprit), în timp ce calculele realizate de conducătorul automobilului pentru determinarea mărimei de control pot fi foarte complexe. În cele din urmă, rezultatele calculului sunt implementate prin ajustarea unui element de execuție din sistem, elementul de control final, cum este volanul sau servorobinetul. Aceste caracteristici cheie sunt prezentate schematic în Figura 1.4, și pot fi folosite pentru a reprezenta majoritatea sistemelor de control automat.

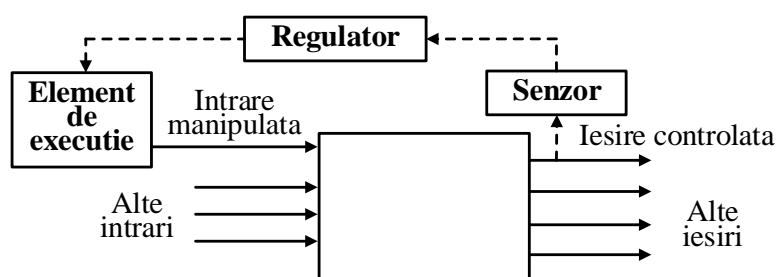


Figura 1.4

Fiind prezentate două exemple de sisteme uzuale de control automat și identificate caracteristicile mai importante ale acestora, se poate încerca definirea termenului de *control*. Definiția oferită de dicționarul explicativ al limbii române pentru substantivul control: „verificare permanentă sau continuă a unei activități, situații etc., pentru a urmări mersul ei și pentru a lua măsuri de îmbunătățire” nu este foarte edificatoare. De aceea se va considera și termenul de *reglare* pentru care semnificația oferită de dicționar este mult mai potrivită pentru această analiză: „ansamblul proceselor prin care se realizează sau se reface starea unui sistem tehnic, atunci când una sau mai multe dintre mărimile caracteristice ale acestuia s-au abatut de la anumite condiții impuse”. În continuare se va adopta un model similar ultimei definiții care este adaptată scopurilor noastre. Următoarea definiție se potrivește celor două exemple descrise anterior și într-o abordare mai generală, reprezentării schematice din Figura 1.4. *A controla (a regla): a menține condițiile dorite într-un sistem fizic prin modificarea variabilelor selectate ca intrări manipulate în sistem.*

Pentru a aborda o definiție mai sistemică a controlului automat, se vor introduce câțiva termeni specifici acestui domeniu:

- variabila controlată (controlled variable, process variable PV) – mărimea care trebuie menținută (sau controlată) la o anumită valoare dorită denumită valoare prescrisă sau valoare de referință (set point SP).
- variabila manipulată (manipulated variable) sau variabila de control – variabila utilizată pentru a menține variabila controlată la valoarea prescrisă. Acționând asupra variabilei de control se modifică variabila controlată.
- perturbație (disturbance, upset) – variabila care determină devierea variabilei controlate de la valoarea prescrisă.

Având definiți termenii specifici, se poate da acum o nouă definiție a controlului automat.

Obiectivul unui sistem automat de control este de a acționa asupra variabilei manipulate pentru a menține variabila controlată la valoarea prescrisă în ciuda acțiunii perturbațiilor.

Exemplele de control prezentate au o caracteristică suplimentară, care este extrem de importantă. Este vorba despre reacția negativă (feedback), definită după cum urmează: sistemele de control cu reacție negativă utilizează măsurătorile unei ieșiri a sistemului controlat pentru a influența o intrare a aceluiași sistem.