

CAPITOLUL 1

Introducere în sistemele de control

OBIECTIVELE

După studierea acestui capitol, ar trebui să puteți:

- Distingeți între sistemele de control în buclă deschisă și cele în buclă închisă.
- Înțelege diagramele blocului de sistem de control.
- Explica funcțiile de transfer.
- Diferenția sistemele de control analogice de cele digitale.
- Să știți cum funcționează sistemele de control ale proceselor.
- Să știți cum funcționează servomecanismele.

INTRODUCERE

Un sistem de control este o colecție de componente care lucrează împreună sub îndrumarea unor inteligențe conținută în mașină. În cele mai multe cazuri, circuitele electronice oferă inteligență, iar componentele electromecanice, cum ar fi senzorii și motoarele, oferă interfața cu lumea fizică. Un bun exemplu este automobilul modern.

Diverși senzori furnizează computerului de bord informații despre starea motorului. Computerul calculează apoi cantitatea exactă de combustibil care trebuie injectată în motor și ajustează momentul aprinderii. Părțile mecanice ale sistemului includ motorul, transmisia, roțile etc. **Pentru a proiecta, diagnostica sau repara aceste sisteme sofisticate, trebuie să înțelegeți electronica, mecanica și principiile sistemului de control.**

În trecut, așa-numitele mașini sau procese automate erau controlate fie de circuite electronice analogice, fie de circuite care foloseau comutatoare, relee și cronometre.

De la apariția microprocesorului ieftin, tot mai multe dispozitive și sisteme sunt re proiectate pentru a încorpora un controler bazat pe microprocesor.

Exemplele includ mașini de copiat, mașini de băuturi răcoritoare, roboți și controlere de proces industriale. Multe dintre aceste mașini profită de puterea de procesare crescută care vine odată cu microprocesorul și, în consecință, devin din ce în ce mai sofisticate și includ noi caracteristici. Luând din nou ca exemplu automobilul modern, marea provocare pentru computerul de bord a fost înlocuirea mecanică și acționarea subsistemelor utilizate în distribuitor și carburator. Odată ce un computer a fost inclus în design, acest lucru a făcut ca sistemul să devină mai sofisticat și a fost mai ușor de folosit, de exemplu, auto-ajustarea raportului combustibil / aer pentru schimbările în altitudine. De asemenea, caracteristici precum diagnosticarea motorului asistată de calculator ar fi fost posibile fără prea multe costuri suplimentare. Această tendință de control computerizat va continua, fără îndoială, și în viitor.

1.1 SISTEME DE CONTROL

Introducere și context

Într-un sistem modern **de control**, inteligența electronică controlează un anumit proces fizic. Sistemele de control sunt "automate" în lucruri, cum ar fi pilot automat. Deoarece mașina în sine ia deciziile de rutină, operatorul uman este eliberat să facă alte lucruri. În multe cazuri, inteligența mașinii este mai bună decât controlul uman direct, deoarece poate reacționa mai rapid sau mai lent (ține evidența schimbărilor lente pe termen lung), răspunde mai precis și menține un jurnal precis al performanței sistemului.

Sistemele de control pot fi clasificate în mai multe moduri. *Un sistem de reglare automat menține un parametru la (sau aproape) o valoare specificată.* Un exemplu în acest sens este un sistem de încălzire a locuinței care menține o temperatură setată, în ciuda schimbării condițiilor exterioare. *Un sistem de urmărire provoacă o ieșire să urmeze o cale setată care a fost specificată în prealabil.* Un exemplu este un robot industrial care deplasează piese din loc în loc. *Un sistem de control al evenimentelor controlează o serie secvențială de evenimente.* Un exemplu este o mașină de spălat ciclică care funcționează printr-o serie de pași programați.

Sistemele naturale de control au existat de la începutul vieții. Luați în considerare modul în care corpul uman reglează temperatura. În cazul în care organismul are nevoie să se încălzească, calorii alimentare sunt convertite pentru a produce căldură; pe de altă parte, evaporarea provoacă răcirea. Deoarece evaporarea este mai puțin eficientă (în special în climate umede), nu este surprinzător faptul că temperatura corpului nostru (98.6 ° F) a fost stabilit aproape de capătul înalt al spectrului de temperatură al Pământului (pentru a reduce cererea pe sistemul de răcire). Dacă senzorii de temperatură din organism observă o scădere a temperaturii, ei semnalează corpului să ardă mai mult combustibil. Dacă senzorii indică o temperatură prea ridicată, ei semnalează corpului să transpire.

Sistemele de control proiectate de om au existat într-o anumită formă încă de pe vremea grecilor antici. Un dispozitiv interesant descris în literatura de specialitate este un bazin de apă care nu poate fi golit. Piscina avea un sistem ascuns cu bilă plutitoare și supapă similar cu un mecanism de rezervor de toaletă. Când nivelul apei a scăzut, flotorul a urmărit nivelul apei și a deschis o supapă care a admis mai multă apă.

Sistemele electrice de control sunt un produs al secolului al XX-lea. Releele electromecanice au fost dezvoltate și utilizate pentru controlul de la distanță al motoarelor și dispozitivelor.

Releele și comutatoarele au fost, de asemenea, folosite ca porți logice simple pentru a pune în aplicare o anumită inteligență.

Folosind tehnologiei tuburilor electronice, dezvoltarea semnificativă a sistemelor de control a fost făcută în timpul celui de-al doilea război mondial. Sistemele dinamice de control al poziției (servomecanisme) au fost dezvoltate pentru aplicații de aeronave, turele de arme și torpile. Astăzi, sistemele de control al poziției sunt utilizate în mașini-unelte, procese industriale, roboți, mașini și mașini de birou, pentru a numi câteva. Între timp, alte evoluții în domeniul electronicii au avut un impact asupra proiectării sistemului de control.

Dispozitivele solid-state au început să înlocuiască releele de putere din circuitele de control ale motorului. Tranzistoarele și amplificatoarele operaționale cu circuit integrat (IC – amplificatoare operaționale) au devenit disponibile pentru controlerele analogice.

Circuitele integrate digitale au înlocuit logica releului voluminos. În cele din urmă, și poate cel mai semnificativ, microprocesorul a permis crearea de controlere digitale care sunt ieftine, fiabile, capabile să controleze procese complexe și adaptabile (dacă locul de muncă se schimbă, controlerul poate fi reprogramat).

Subiectul sistemelor de control cuprinde multe subiecte: electronică (atât analogică, cât și digitală), dispozitive de control al puterii, senzori, motoare, mecanică și teoria sistemului de control, care leagă toate aceste concepte.

În cele din urmă, figurile din acest text utilizează *fluxul de curent convențional*, curent care trece de la terminalul pozitiv la cel negativ. Dacă sunteți familiarizați cu fluxul de electroni, amintiți-vă că teoria și "numerele" sunt aceleași; numai direcția indicată a curentului este opusă față de ceea ce sunteți obișnuiți. *Fiecare sistem de control are (cel puțin) un controler și un actuator (numit și element de control final).*

Prezentat în diagrama bloc din Figura 1.1, **controlerul** este inteligența sistemului și este de obicei electronic. Intrarea la controler se numește punctul **setat**, care este un semnal care reprezintă ieșirea dorită a sistemului. **Dispozitivul de acționare** este un dispozitiv electromecanic care preia semnalul de la controler și îl transformă într-un fel de acțiune fizică.

Exemple de elemente de acționare tipice ar fi un motor electric, o supapă controlată electric sau un element de încălzire. Ultimul bloc din figura 1.1 este etichetat **procesul** și are o **variabilă controlată etichetată** la ieșire. Blocul de proces reprezintă procesul fizic afectat de actuator, iar variabila controlată este rezultatul măsurabil al aceluia proces.

De exemplu, dacă actuatorul este un element electric de încălzire într-un cuptor, atunci procesul este "încălzirea cuptorului", iar variabila controlată este temperatura din cuptor. Dacă actuatorul este un motor electric care rotește o antenă, atunci procesul este "rotirea antenei", iar variabila controlată este poziția unghiulară a antenei.

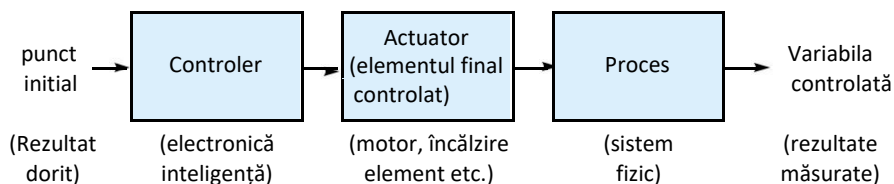


Figura 1.1

Diagrama bloc a unui sistem de control.

Sisteme de control în buclă deschisă

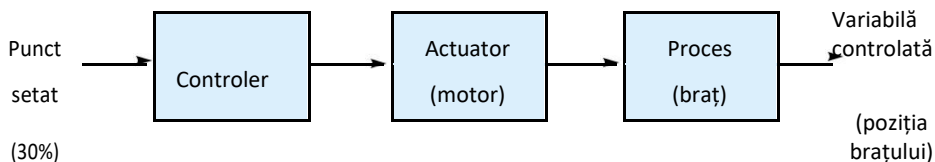
Sistemele de control pot fi împărțite în linii mari în două categorii: sisteme în buclă deschisă și închisă. Într-un **sistem de control în buclă deschisă**, controlerul calculează independent tensiunea exactă sau curentul necesar actuatorului pentru a a-și face treaba. Cu toate acestea, *controlerul nu știe niciodată de fapt dacă actuatorul a făcut ceea ce trebuia*, deoarece nu există feedback. Acest sistem depinde absolut de cunoașterea de către controler a caracteristicilor de funcționare ale servomotorului.

EXEMPLUL 1.1

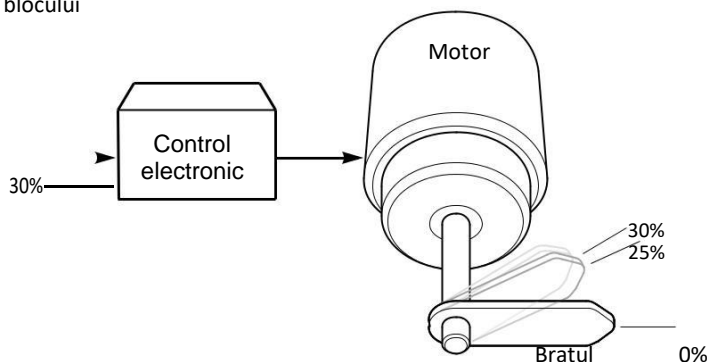
Figura 1.2 prezintă un sistem de control în buclă deschisă. Actuatorul este un servomotor care controlează un braț robot. În acest caz, procesul este brațul în mișcare, iar variabila controlată este poziția unghiulară a brațului. Testele anterioare au arătat că motorul rotește brațul la 5 grade/secundă (deg/s) la tensiunea nominală. Să presupunem că, controlerul este îndreptat pentru a muta brațul de la 0° la 30° . Cunoscând caracteristicile procesului, controlerul trimite un puls de putere de 6 secunde motorului. Dacă motorul acționează corect, se va roti exact la 30° în cele 6 secunde și se va opri. Cu toate acestea, în zilele deosebit de reci, lubrifianțul este mai vâscos, provocând mai multă frecare internă, iar motorul se rotește doar 25° în cele 6 secunde; rezultatul este o eroare de 5° . Controlerul nu are de unde să știe de eroare și nu face nimic pentru a o corecta.

Figura 1.2

Sistem de control în buclă deschisă.



(a) Diagrama blocului

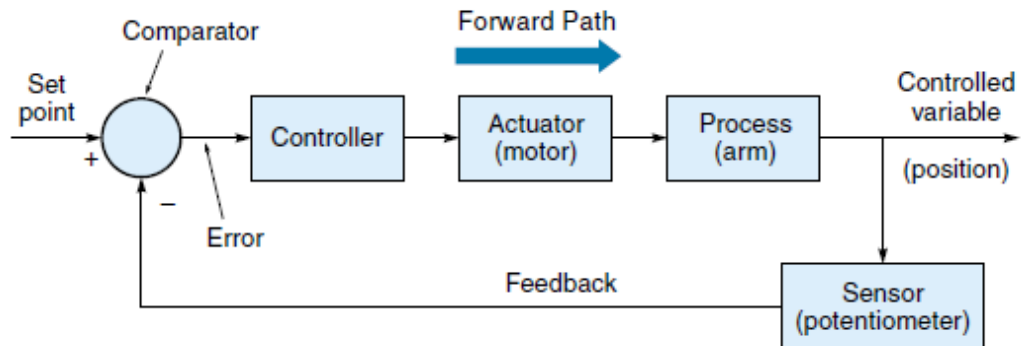


(b) Un sistem simplu de poziție în buclă deschisă (exemplul 1.1)

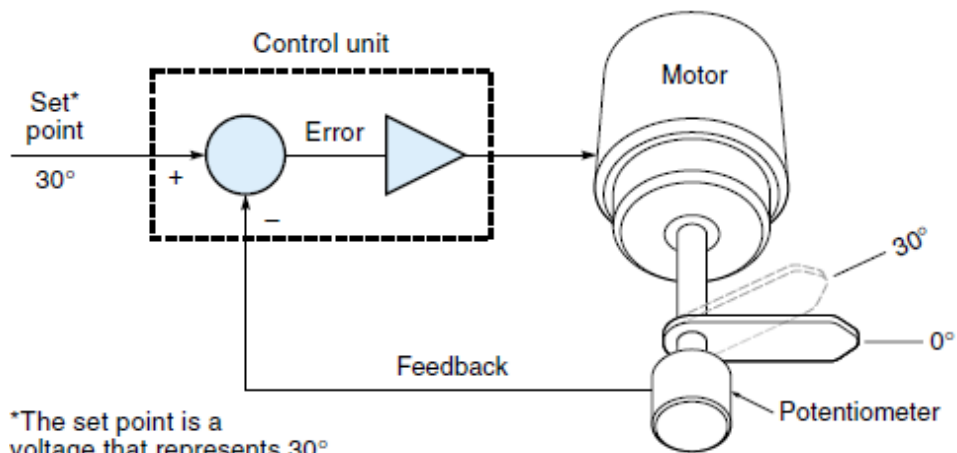
Sistemele de control în buclă deschisă sunt adecvate în aplicațiile în care acțiunile actuatorului pe proces sunt foarte repetabile și se cere fiabilitate. Relee și motoare pas cu pas (discutate în capitolele 4 și, respectiv, 8) sunt dispozitive cu caracteristici fiabile și sunt de obicei operate în buclă deschisă. Actuatorele, cum ar fi motoarele sau supapele de debit, sunt uneori utilizate în operațiuni în buclă deschisă, dar trebuie calibrate și ajustate în mod regulat pentru a asigura funcționarea corectă a sistemului.

Sisteme de control în buclă închisă

Într-un sistem de control în buclă închisă, ieșirea procesului (variabilă controlată) este constant monitorizată de un **senzor**, astfel cum se arată în figura 1.3 litera (a). Senzorul testează sistemul scoate și transformă această măsurătoare într-un semnal electric la care trece înapoi la controler. Deoarece controlerul știe ce face de fapt sistemul, el poate să facă ajustările necesare pentru a menține poziția acolo unde îi este locul. Semnalul de la controlerul la servomotor este **calea înainte**, iar semnalul de la senzor la



(a) Block diagram



*The set point is a voltage that represents 30°

Figura 1.3
Sistem de control în buclă închisă.

controlerul este **feedback-ul** (care "închide" bucla). În figura 1.3 (a), semnalul de feedback se scade din punctul stabilit la **comparator** (chiar înaintea controlerului). Scăzând poziția reală (raportată de senzor) din poziția dorită (așa cum este definită de punctul setat), obținem **eroarea de sistem**. **Semnalul de eroare reprezintă diferența dintre "unde ești" și "unde vrei să fii"**. *Controlerul lucrează pentru a minimiza acest semnal de eroare*. O eroare zero înseamnă că ieșirea se află exact în punctul stabilit.

Folosind o **strategie de control**, care poate fi simplă sau complexă, controlerul minimizează eroarea. O strategie simplă de control ar permite controlerului să pornească sau să dezactiveze servomotorul - de exemplu, un termostat care pornește și oprește un cuptor pentru a menține o anumită temperatură. O strategie de control mai complexă ar permite controlerului să ajusteze forța de acționare pentru a satisface cererea sarcinii, așa cum este descris în exemplul 1.2.

EXEMPLUL 1.2

Ca exemplu de sistem de control în buclă închisă, luați în considerare din nou brațul robotului are poziția inițială la 0° [a se vedea figura 1.3 litera (b)]. De data aceasta un potențiometrul a fost conectat direct la arborele motorului. Pe măsură ce arborele se rotește, rezistența potențiometrului se schimbă. Rezistența este convertită la tensiune și apoi trimisă înapoi la controler.

Pentru a comanda brațul la 30° , un punct de setare tensiune corespunzătoare la 30° este trimis la controler. Deoarece brațul real este la punctul inițial la 0° , semnalul de eroare "sare în sus" la 30° . Imediat, controlerul începe să conducă motorul într-o direcție pentru a reduce eroarea. Pe măsură ce brațul se apropie de 30° , controlerul încetinește motorul; când brațul ajunge în cele din urmă la 30° , motorul se oprește. Dacă, la un moment dat, o forță externă mută brațul de pe marcajul de 30° , semnalul de eroare ar reapărea, iar motorul ar conduce din nou brațul în poziția de 30° .

Caracteristica de auto-corectare a controlului în buclă închisă îl face preferabil față de controlul în buclă deschisă în multe aplicații, în ciuda hardware-ului suplimentar necesar. Acest lucru se datorează faptului că sistemele cu buclă închisă oferă performanțe fiabile, repetabile chiar și atunci când sistemul se confruntă cu acțiuni care (în calea înainte) nu sunt absolut repetabile sau cunoscute cu precizie.

Funcții de transfer

Fizic, un sistem de control este o colecție de componente și circuite conectate împreună pentru a îndeplini o funcție utilă. *Fiecare componentă a sistemului convertește energia dintr-o formă în alta*; de exemplu, ne-am putea gândi la un senzor de temperatură care convertește grade la volți sau un motor care convertește volții la roții pe minut. Pentru a descrie performanța întregului sistem de control, trebuie să avem un limbaj comun, astfel încât să putem calcula efectele combinate ale diferitelor componente din sistem. Această nevoie se află în spatele conceptului funcției de transfer.

O **funcție de transfer** (TF) este o relație matematică între intrarea și ieșirea unei componente a sistemului de control. Mai exact, funcția de transfer este definită ca ieșirea împărțită la intrare, exprimată ca

$$TF = \frac{ieșire}{intrare} \quad (1.1)$$

Din punct de vedere tehnic, funcția de transfer trebuie să descrie atât caracteristicile dependente de timp, cât și cele în stare stabilă ale unei componente. De exemplu, un motor poate avea o creștere inițială a curentului care se stabilizează la o valoare mai mică în starea de echilibru. Matematica necesară pentru a ține cont de performanța dependentă de timp depășește domeniul de aplicare al acestui curs. În acest curs, vom lua în considerare numai *valorile în stare stabilă* pentru funcția de transfer, care este uneori numită pur și simplu câștigul, exprimată ca

$$TF_{stare\ stabilă} = gain(câștig) = \frac{ieșirea\ în\ stare\ stabilă}{intrarea\ în\ starea\ stabilă} \quad (1.2)$$

EXEMPLUL 1.3

Un potențiomtru este utilizat ca senzor de poziție [a se vedea figura 1.3 litera (b)]. Potențiomtrul este configurat astfel încât 0° de rotație să producă 0 V și 300° va avea 10 V. Găsiți funcția de transfer a sistemului.

SOLUȚIE

Funcția de transfer este ieșirea împărțită la intrare. În acest caz, intrarea în potențiomtru este "poziție în grade," și ieșirea este volți:

$$TF = \frac{ieșire}{intrare} = \frac{10\ V}{300^\circ} = 0,0333V/deg$$

Funcția de transfer a unei componente este un număr extrem de util. Vă permite să calculați ieșirea unei componente dacă știți intrarea. Procedura este pur și simplu de a înmulți funcția de transfer cu intrarea, așa cum se arată în exemplul 1.4.

EXEMPLUL 1.4

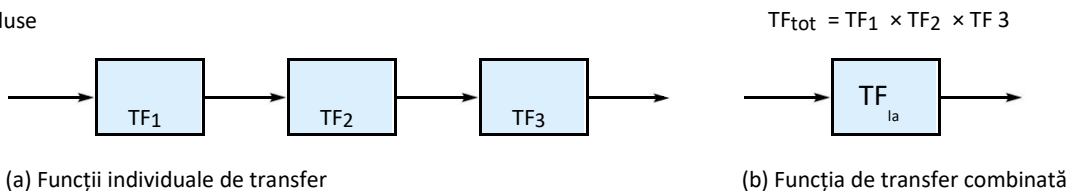
Pentru un senzor de măsurare a temperaturii, intrarea este temperatura, iar ieșirea este tensiunea. Funcția de transfer a senzorului este dată ca 0.01 V/deg. Găsiți tensiunea de ieșire a senzorului dacă temperatura este de 600 ° F.

SOLUȚIE

$$Dacă\ TF = \frac{ieșire}{intrare}\ atunci\ Ieșirea = intrarea \times TF = \frac{600^\circ \times 0,01V}{deg} = 6V$$

Figura 1.4

O serie de
funcții de TF reduse
la o singură
funcție de TF.



Așa cum am menționat anterior, funcțiile de transfer pot fi utilizate pentru a analiza un întreg sistem de componente. O situație comună implică o serie de componente în care ieșirea unei componente devine intrarea la următoarea și fiecare componentă are propria funcție transfer. Figura 1.4(a) prezintă diagrama bloc pentru această situație. Această diagramă poate fi redusă într-un singur bloc care are un TF_{tot} , care este produsul tuturor funcțiilor individuale de transfer. Acest concept este ilustrat în figura 1.4 (b) și menționat în ecuația 1.3.*

$$TF_{tot} = \text{câștig de sistem} = TF_1 \times TF_2 \times TF_3 \times \dots \quad (1.3)$$

unde

TF_{tot} = funcția totală de transfer în stare stabilă pentru întregul sistem (open-loop)

TF_1, TF_2, \dots = funcții individuale de transfer

Aceste concepte sunt explicate în exemplul 1.5.

EXEMPLUL 1.5

Luați în considerare sistemul prezentat în figura 1.5. Se compune dintr-un motor electric care acționează un troliu. Fiecare componentă are propria sa caracteristică: Motorul (în aceste condiții) se rotește la 100 rpm_m pentru fiecare volt (V_m) furnizat; arborele de ieșire al trenului de viteze se rotește la o jumătate

*Ecuația 1.3 este doar pentru sistemele în buclă deschisă. Dacă există o cale de feedback (așa cum se arată în diagrama), atunci câștigul general al sistemului poate fi calculat după cum urmează: $TF_{tot} = G/(1 + GH)$, unde G este câștigul total al căii de înaintare, iar H este câștigul total al căii de feedback.

din viteza motorului; trolitul (cu o circumferință a arborelui de 3 inci) convertește mișcarea rotativă (rpm_w) la viteza liniară. Funcțiile individuale de transfer sunt date după cum urmează:

$$\text{Motor: } TF_m = \frac{\text{ieșire}}{\text{intrare}} = \frac{100 \text{ rpm}_m}{1V_m} = 100 \text{ rpm}_m/V$$

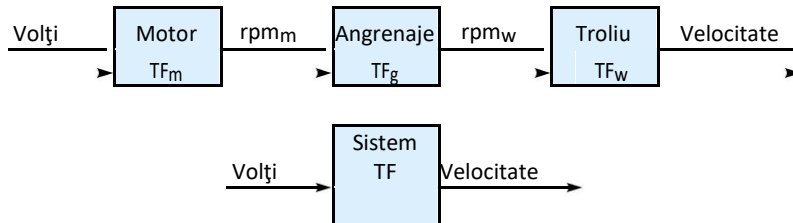
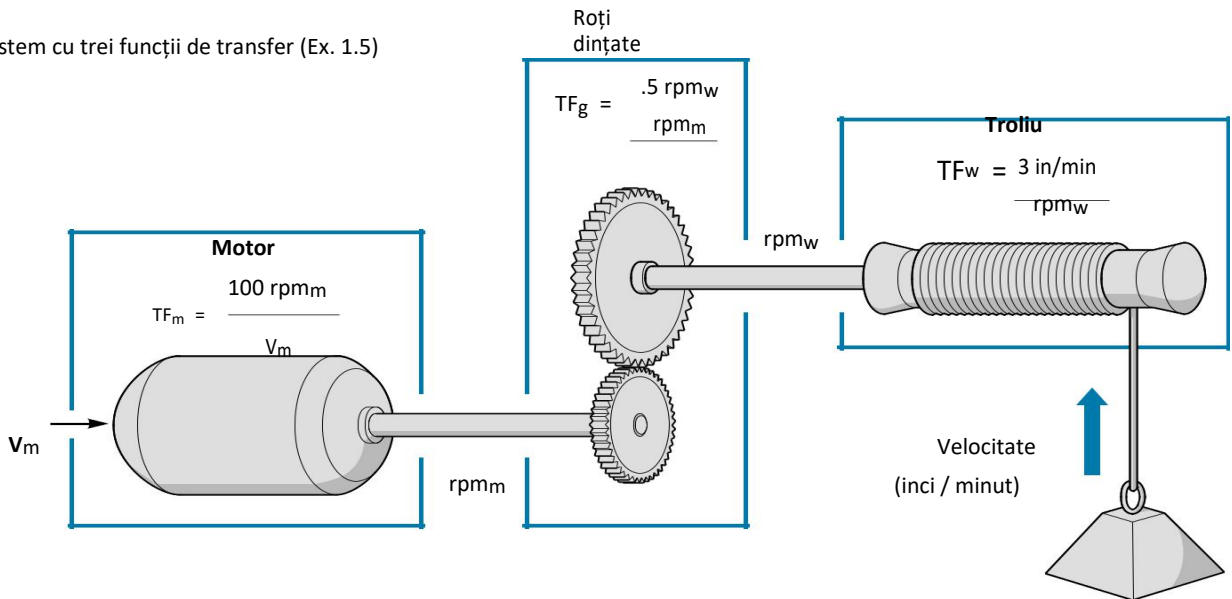
$$\text{Angrenaj(gear train): } TF_g = \frac{\text{ieșire}}{\text{intrare}} = \frac{1 \text{ rpm}_w}{2 \text{ rpm}_m} = 0.5 \text{ rpm}_w/\text{rpm}_m$$

$$\text{Troliu(winch): } TF_w = \frac{\text{ieșire}}{\text{intrare}} = \frac{3 \frac{\text{in.}}{\text{min}}}{1 \text{ rpm}_w} = 3 \text{ in./min/rpm}_w$$

Folosind ecuația 1.3, putem calcula funcția de transfer de sistem. Dacă fiecare lucru este corect, toate unitățile se vor calcula:

Figura 1.5

Un sistem cu trei funcții de transfer (Ex. 1.5)



$$TF_{tot} = TF_m \times TF_g \times TF_w = \frac{100rpm_m}{1V_m} \times \frac{0.5rpm_w}{1rpm_m} \times \frac{3in./min}{1rpm_w} = 150 in./min/V_m$$

Am arătat că funcția de transfer a sistemului complet este de 150 in./min/V_m. Cunoscând această valoare, putem calcula ieșirea sistemului pentru orice intrare de sistem. De exemplu, dacă intrarea în acest sistem este de 12 V (la motor), viteza de ieșire a troluiului se calculează după cum urmează:

$$Output = input \times TF = \frac{12V \times 150 in./min}{1V_m} = 1800 in./min$$

1.2 SISTEME DE CONTROL ANALOGICE ȘI DIGITALE

Într-un **sistem de control analogic**, controlerul constă din dispozitive și circuite analogice tradiționale, adică amplificatoare liniare. Primele sisteme de control au fost analogice, deoarece a fost singura tehnologie disponibilă. În sistemul de control analogic, orice modificare a punctului setat sau a feedback-ului este simțită imediat, iar amplificatoarele își ajustează ieșirea (la actuator) în consecință.

Într-un **sistem de control digital**, controlerul utilizează un circuit digital. În cele mai multe cazuri, acest circuit este de fapt un computer, de obicei pe bază de microprocesor sau microcontroler. Computerul execută un program care se repetă la nesfârșit (fiecare repetare se numește **iterație** sau **scanare**). Programul instruește computerul să citească punctul setat și datele senzorului și apoi să utilizeze aceste numere pentru a calcula ieșirea controlerului (care este trimisă la actuator). Programul buclează înapoi la început și începe din nou. Timpul total pentru o trecere prin program poate fi mai mic de 1 milisecundă (ms). Sistemul digital doar "se uită" la intrările la un anumit moment în scanare și oferă ieșirea actualizată mai târziu. Dacă o intrare se schimbă imediat după ce computerul s-a uitat la ea, acea modificare va rămâne nedetectată până data viitoare prin scanare. Acest lucru este fundamental diferit de sistemul analogic, care este continuu și răspunde imediat la orice schimbare. Cu toate acestea, pentru majoritatea sistemelor de control digitale, timpul de scanare este atât de scurt în comparație cu timpul de răspuns al procesului controlat încât, în toate scopurile practice, răspunsul controlerului este instantaneu.

Lumea fizică este de fapt un "loc analog". Evenimentele naturale au nevoie de timp pentru a se întâmpla, și de obicei, se deplasează într-un mod continuu de la o poziție la alta. Prin urmare, majoritatea sistemelor de control controlează procesele analogice. Aceasta înseamnă că, în multe cazuri, sistemul de control digital trebuie mai întâi să convertească datele de intrare analogice din lumea reală în formă digitală înainte de a putea fi utilizat. În mod similar, ieșirea de la controlerul digital trebuie convertită din formă digitală înapoi în formă analogică. Figura 1.6 prezintă o diagramă bloc a unui sistem digital de control în buclă închisă. Observați cele două blocuri suplimentare: convertorul digital-analogic (DAC) și convertorul analog-digital (ADC). (Aceste

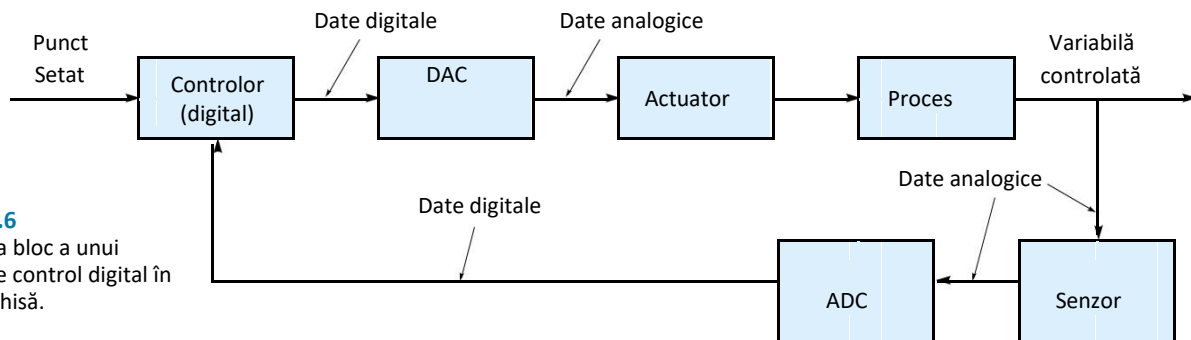


Figura 1.6
Diagrama bloc a unui sistem de control digital în buclă închisă.

dispozitivele, care convertesc datele între formatele digitale și analogice, sunt discutate în Capitolul 2.) De asemenea, rețineți că linia de feedback este prezentată mergând direct în controler. Acest lucru subliniază faptul că, computerul, nu are circuit de scădere separat, și face intern comparația dintre punctul stabilit și semnalul de feedback.

1.3 CLASIFICĂRI ALE SISTEMELOR DE CONTROL

Până acum am discutat despre sistemele de control ca fiind fie în buclă deschisă, fie în buclă închisă, analogice sau digitale. Cu toate acestea, putem clasifica sistemele de control în alte moduri, care au legătură cu aplicațiile. Unele dintre cele mai comune aplicații sunt discutate în continuare.

Controlul procesului

Controlul procesului se referă la un sistem de control care supraveghează un anumit proces industrial, astfel încât să se mențină o ieșire uniformă și corectă. Face acest lucru prin monitorizarea și ajustarea parametrilor de control (cum ar fi temperatura sau debitul) pentru a se asigura că produsul de ieșire rămâne așa cum ar trebui. Exemplul clasic de control al procesului este un sistem cu buclă închisă care menține o temperatură specificată într-un cuptor electric, așa cum este ilustrat în figura 1.7. În acest caz,

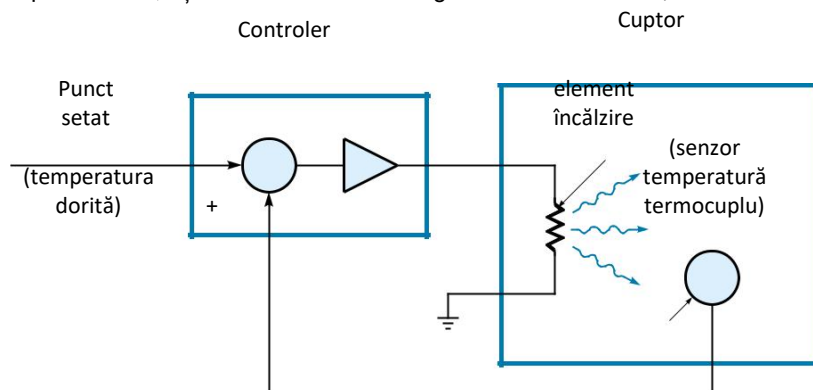


Figura 1.7
Un sistem de încălzire a cuptorului în buclă închisă.

actuatorul este elementul de încălzire, variabila controlată este temperatura, iar senzorul este un termocuplu (un dispozitiv care transformă temperatura în tensiune). Controlerul reglează puterea elementului de încălzire astfel încât să mențină temperatura (raportată de termocuplu) la valoarea specificată de punctul setat.

Un alt exemplu de control al procesului este o fabrică de vopsele în care două culori, albastru și galben, sunt amestecate pentru a produce verde (Figura 1.8). Pentru a menține culoarea de ieșire constantă, proporțiile exacte de albastru și galben trebuie menținute. Configurația din figura 1.8(a) realizează acest lucru cu supapele de debit 1 și 2, care sunt reglate manual până când se obține nuanța dorită de verde. Problema este că, pe măsură ce nivelul vopselei din cuve se schimbă, fluxul se va schimba și amestecul nu va rămâne constant. Pentru a menține un flux uniform din cuve, am putea adăuga două supape de debit acționate electric (și comenzile acestora), așa cum se arată în figura 1.8 (b). Fiecare supapă ar menține un flux specificat de vopsea în mixer, indiferent de presiunea din amonte. Teoretic, dacă fluxurile albastre și galbene sunt menținute independent, verdele ar trebui să rămână constant. Cu toate acestea, în practică, alți factori, cum ar fi temperatura sau umiditatea, pot afecta chimia de amestecare și, prin urmare, culoarea de ieșire.

O abordare mai bună ar putea fi sistemul prezentat în figura 1.8 litera (c); un singur senzor monitorizează culoarea de ieșire. Dacă verdele se întuneacă, controlerul crește fluxul de galben. Dacă verdele devine prea ușor, fluxul de galben este scăzut. Acest sistem este de dorit, deoarece monitorizează parametrul real care trebuie menținut. În viața reală, este posibil ca un astfel de sistem simplu să nu fie posibil, deoarece senzorii care pot măsura ieșirea direct pot să nu existe și/sau procesul poate implica multe variabile.

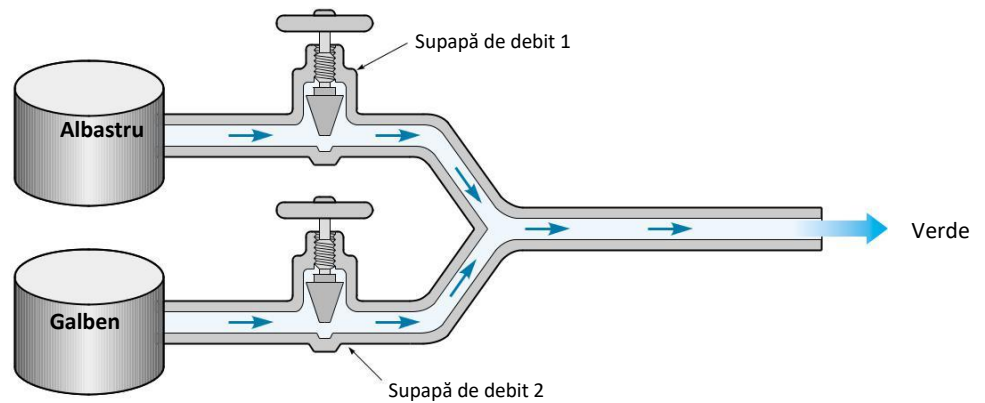
Controlul procesului poate fi clasificat ca fiind un proces de lot sau un proces continuu. Într-un **proces continuu** există un flux continuu de material sau produs, ca în exemplul de amestecare a vopselei descris mai sus. Un **proces de lot** are un început și un sfârșit (care se efectuează de obicei repetitiv). Exemple de procese de lot includ amestecarea unui lot de aluat de pâine și încărcarea cutiilor pe un palet.

Într-o uzină mare, cum ar fi o rafinărie, multe procese au loc simultan și trebuie coordonate, deoarece ieșirea unui proces este intrarea altuia. În primele zile ale controlului proceselor, pentru fiecare proces au fost utilizate controlere independente separate, așa cum se arată în figura 1.9 litera (a). Problema cu această abordare a fost că, pentru a schimba fluxul general al produsului, fiecare controler a trebuit să fie reajustat manual.

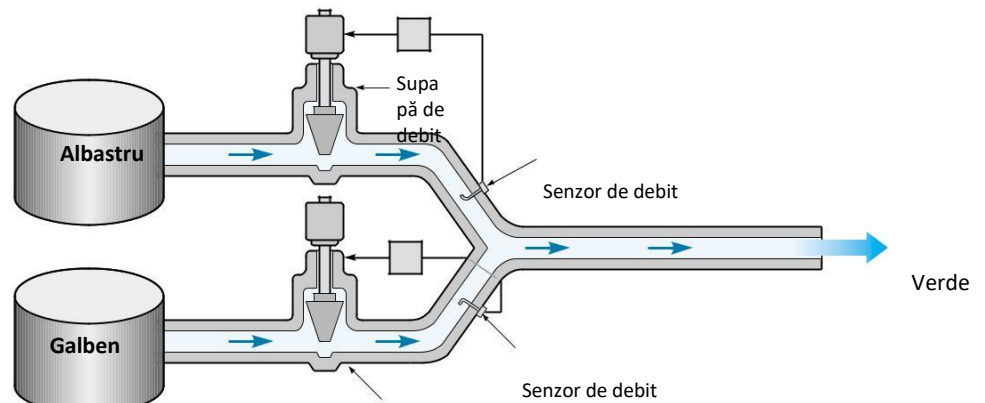
În anii 1960, a fost dezvoltat un nou sistem în care toate controlerile independente au fost înlocuite cu un singur computer puternic. Ilustrat în figura 1.9 (b), acest sistem se numește **control digital direct** (DDC). Avantajul acestei abordări este că toate procesele locale pot fi implementate, monitorizate și ajustate din același loc. De asemenea, pentru că computerul poate "vedea" întregul sistem, și este în măsură să facă ajustări pentru a îmbunătăți performanța totală a sistemului. Dezavantajul este că întreaga fabrică depinde de acel computer. În cazul în care computerul merge off line pentru a remedia o problemă într-un singur proces, întreaga instalație se închide.

Figura 1.8

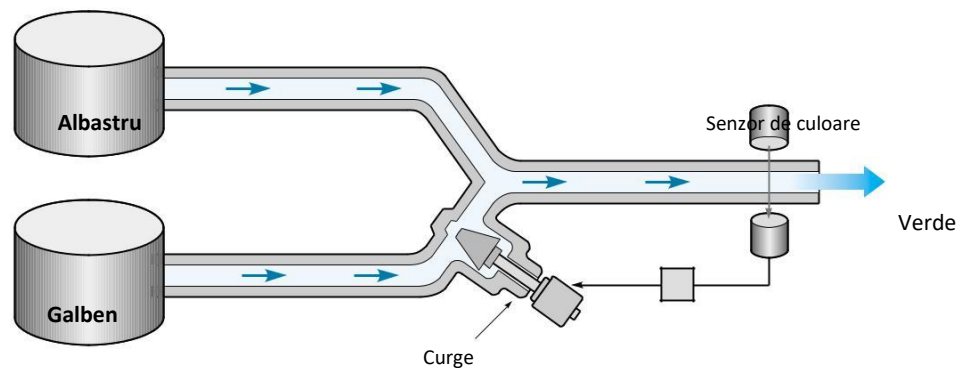
Controlul
procesului de
amestecare a
vopselei.



(a) Controlul manual



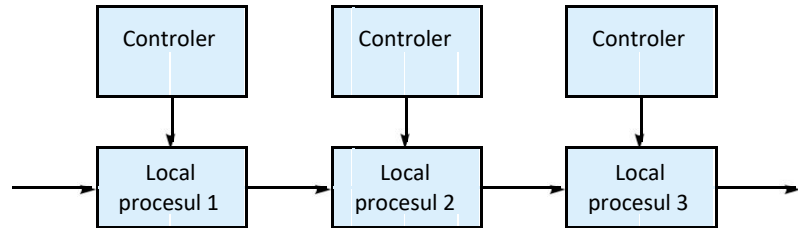
(b) Control automat al debitului



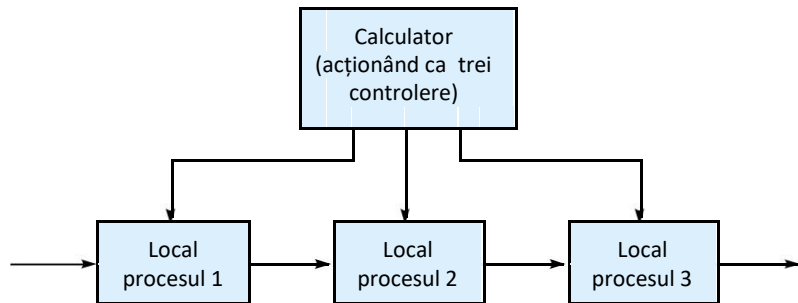
(c) Controlul automat al culorilor

Figura 1.9

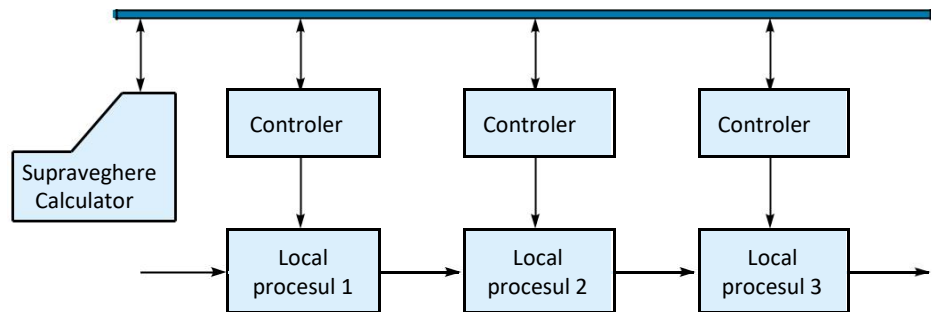
Abordările privind controlul multiproceselor



(a) Operatori locali individuali



(b) Controlul informatic direct al trei procese



(c) Controlul distribuit al computerului utilizând controlere locale

Apariția controlerelor mici bazate pe microprocesoare a condus la o nouă abordare numită **control distribuit al computerului** (DCC), ilustrată în figura 1.9 litera (c). În acest sistem, fiecare proces are propriul controler separat situat pe site. Aceste controlere locale sunt interconectate printr-o rețea locală, astfel încât toate controlerele din rețea să poată fi monitorizate sau reprogramate de pe un singur computer de supraveghere. Odată programat, fiecare proces funcționează în esență independent.

Acest lucru face ca sistemul să devină mai robust și mai sigur, deoarece toate procesele locale vor continua să funcționeze chiar dacă computerul sau rețeaua de supraveghere scade. De exemplu, un controler local a cărui sarcină este de a păstra unele materiale la un nivel critic

temperatura va continua să funcționeze chiar dacă computerul de supraveghere este dezactivat temporar.

Din ce în ce mai mult, componentele unui sistem de control sunt interconectate cu rețeaua "business office" dintr-o fabrică, ceea ce permite ca starea oricărui proces din fabrică să fie examinată de orice computer de pe biroul oricui. Este posibil să puteți sta jos la un PC oriunde în clădire și să determinați dacă un anumit senzor foto de pe o linie de asamblare are o lentilă murdară sau cât de mult curent consumă un anumit motor.

Sisteme controlate secvențial

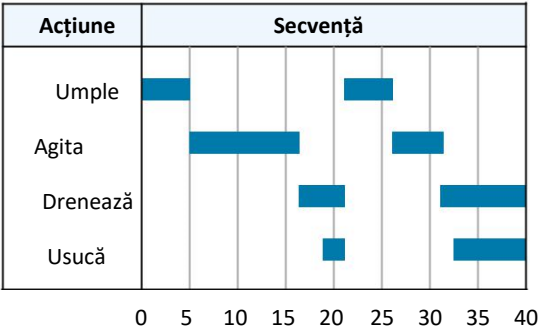
Un **sistem controlat secvențial** controlează un proces care este definit ca o serie de activități care trebuie efectuate , adică o secvență de operațiuni, una după alta. Fiecare operațiune din secvență este efectuată fie pentru o anumită perioadă de timp, caz în care este determinată de **timp**, fie până când sarcina este terminată (așa cum indică, să zicem, un comutator de limită), caz în care este determinată de **evenimente**. O secvență bazată pe timp este în buclă *deschisă*, deoarece nu există feed-back, în timp ce o activitate bazată pe evenimente este în buclă *închisă*, deoarece este necesar un semnal de feedback pentru a specifica când se termină activitatea.

Exemplul clasic al unui sistem controlat secvențial este mașina de spălat automată. Primul eveniment în ciclul de spălare este de a umple cada. Aceasta este o sarcină bazată pe evenimente, deoarece apa este admisă până când ajunge la nivelul corespunzător, așa cum este indicat de un comutator plutitor și limită (buclă închisă). Următoarele două sarcini, spălarea și scurgerea prin centrifugare, sunt efectuate fiecare pentru o anumită perioadă de timp și sunt evenimente bazate pe timp (buclă deschisă). O diagramă de sincronizare pentru o mașină de spălat este prezentată în figura 1.10.

Un alt exemplu de sistem controlat secvențial este un semnal de trafic. Secvența de bază poate fi determinată de timp: 45 de secunde pentru verde, 3 secunde pentru galben și 45 secunde pentru roșu. Cu toate acestea, prezența sau absența traficului, astfel cum este indicată de senzorii de pe marginea carosabilului, poate modifica secvența de bază, care este un control bazat pe evenimente.

Multe procese industriale automatizate ar putea fi clasificate ca sisteme controlate secvențial. Un exemplu este un proces în care piesele sunt încărcate în tăvi, introduse într-un cuptor timp de 10 minute, apoi îndepărtate și răcite timp de 10 minute și încărcate în cutii în grupuri de șase. În trecut, majoritatea sistemelor controlate secvențial foloseau comutatoare, rele și cronometre electromecanice pentru a implementa logica de control. Aceste sarcini sunt acum efectuate

Figura 1.10
Diagramă de sincronizare
pentru o mașină de spălat
automată.



din ce în ce mai mult de către mici computere cunoscute sub numele de **controlere logice programabile** (PLC), care sunt mai puțin costisitoare, mai fiabile și ușor reprogramate pentru a satisface nevoile în schimbare - de exemplu, pentru a pune opt elemente într-o cutie în loc de șase. (PLC-urile sunt discutate în capitolul 12.)

Controlul mișcării

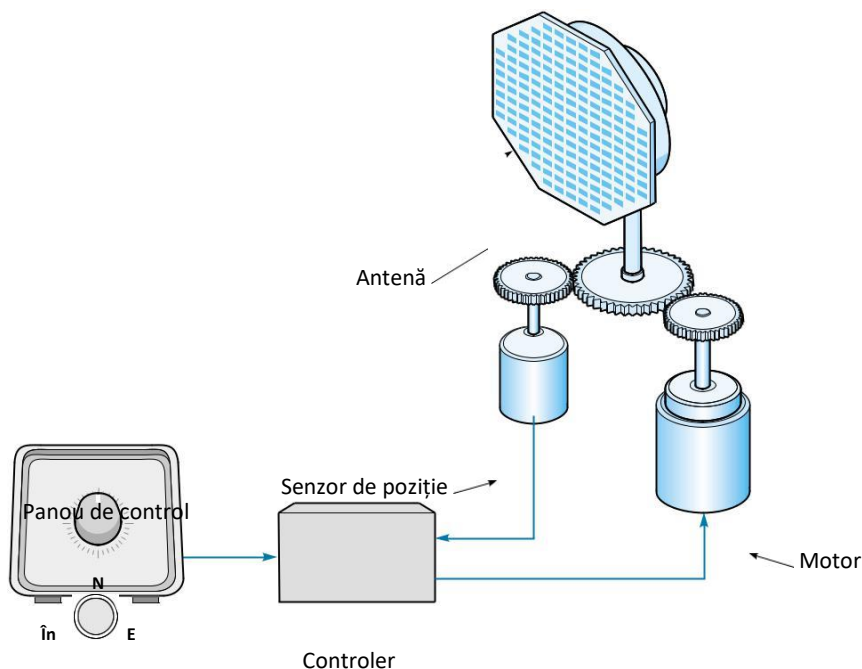
Controlul mișcării este un termen larg folosit pentru a descrie un sistem electromecanic în buclă deschisă sau în buclă închisă în care lucrurile se mișcă. Un astfel de sistem include de obicei un motor, piese mecanice care se mișcă și (în multe cazuri) senzor (senzori) de feedback. Mașinile automate de asamblare, roboții industriali și mașinile de control numeric sunt exemple.

Servomecanisme

Servomecanismul este termenul tradițional aplicat pentru a descrie un sistem de control electromecanic cu buclă închisă care direcționează mișcarea precisă a unui obiect fizic, cum ar fi o antenă radar sau un braț robot. De obicei, fie poziția de ieșire, fie viteza de ieșire (sau ambele) este controlată. Un exemplu de servomecanism este sistemul de poziționare pentru o antenă radar, așa cum se arată în Figura 1.11. În acest caz, variabila controlată este poziția antenei. Antena este rotită cu un motor electric conectat la controlerul situat la o anumită distanță. Utilizatorul selectează o direcție, iar controlerul direcționează antena să se rotească într-o anumită poziție.

Figura 1.11

Sistem de poziționare a antenei de la distanță cu ajutorul unui servomecanism.



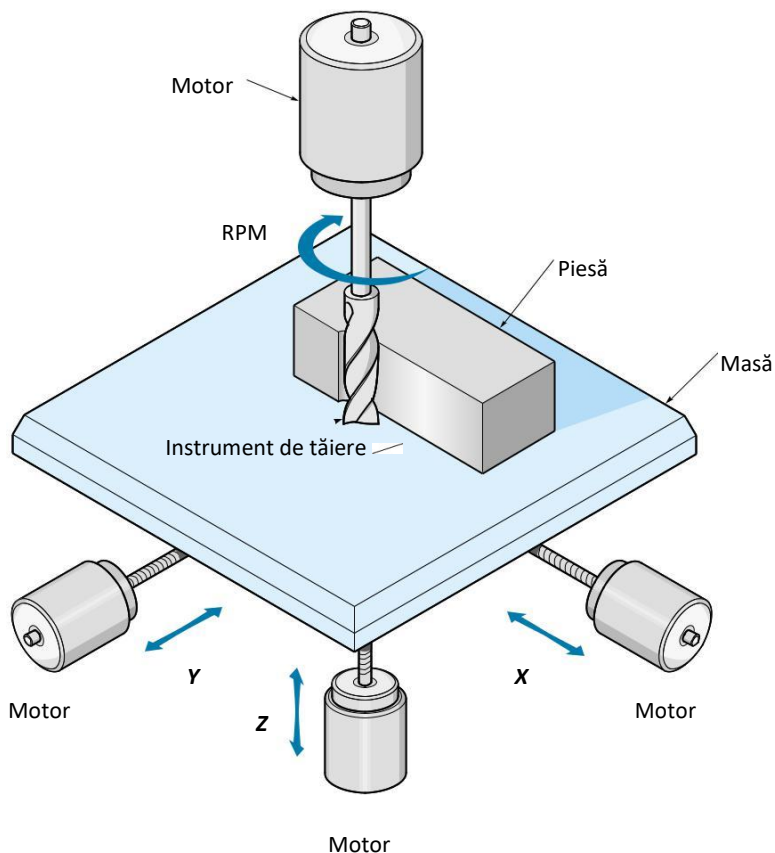
Control numeric

Controlul numeric (NC) este tipul de control digital utilizat pe mașinile-unelte, cum ar fi strungurile și mașinile de frezat. Aceste mașini pot tăia și modela automat piesa de lucru fără un operator uman. Fiecare mașină are propriul set de axe sau parametri care trebuie controlați; de exemplu, luați în considerare mașina de frezat prezentată în figura 1.12. Piesa de prelucrat care se formează este fixată pe o masă mobilă. Masa poate fi mutată (cu motoare electrice) în trei direcții: X, Y și Z. Viteza sculei de tăiere este, de asemenea, controlată automat. Pentru a face o piesă, masa mută piesa de prelucrat dincolo de instrumentul de tăiere la o viteză specificată și adâncime de tăiere. În acest exemplu, patru parametri (X, Y, Z și rpm) sunt controlate continuu și independent de către controler. Controlerul ia ca intrare o serie de numere care descriu complet modul în care piesa este de a fi făcute. Aceste numere includ dimensiunile fizice și detalii precum viteza de tăiere și ratele de alimentare.

Mașinile NC au fost utilizate încă din anii 1960 și au evoluat anumite standarde care sunt unice pentru această aplicație. În mod tradițional, datele din desenul pieselor au fost

Figura 1.12

Elementele de bază ale unei mașini de frezat cu comandă numerică.



introduse manual într-un program de calculator. Acest program a convertit datele de intrare într-o serie de numere și instrucțiuni pe care controlerul NC le-ar putea înțelege și fie le-a stocat pe o dischetă sau bandă, fie a trimis datele direct la mașina-unealtă. Aceste date au fost citite de controlerul mașinii-unelte pe măsură ce piesa era făcută. Odată cu apariția proiectării asistate de calculator (CAD), **s-a** eliminat sarcina de a programa manual instrucțiunile de fabricație. Acum este posibil ca un program de calculator special (numit *postprocesor*) să citească desenul generat de CAD și apoi să producă instrucțiunile necesare pentru mașina NC pentru a face piesa. Tot acest proces – de la CAD la partea terminată – se numește **proiectare asistată de calculator** (CAM).

Un mare avantaj al acestui proces este că o mașină-unealtă poate face multe părți diferite, una după alta. Acest sistem tinde să reducă necesitatea unui inventar mare de piese. Dacă banda de intrare (sau software-ul) este disponibilă, orice parte necesară poate fi făcută într-o perioadă scurtă de timp. Acesta este un exemplu de **producție integrată pe calculator** (CIM), un mod cu totul nou de a face lucrurile în industria prelucrătoare. CIM presupune utilizarea calculatorului în fiecare etapă a operațiunii de fabricație, de la comanda clientului, la comandarea materiilor prime, la prelucrarea piesei, la direcționarea acesteia către destinația finală.

Robotica

Roboții industriali sunt exemple clasice de sisteme de control al poziției. În cele mai multe cazuri, robotul are un singur braț cu articulații ale umărului, cotului și încheieturii mâinii, precum și un fel de mână cunoscută ca efector *final*. Efectorul final este fie un dispozitiv de prindere, fie un alt instrument de acest fel.

Figura 1.13

Un robot pick-and-place.

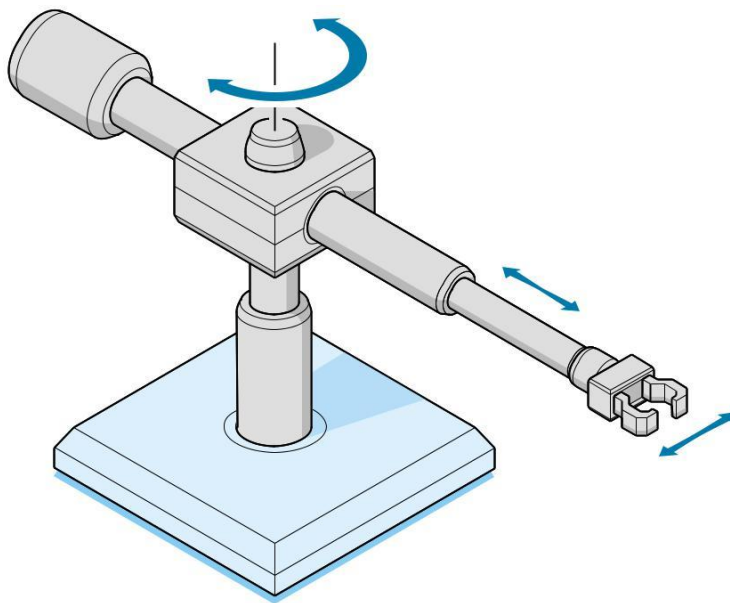
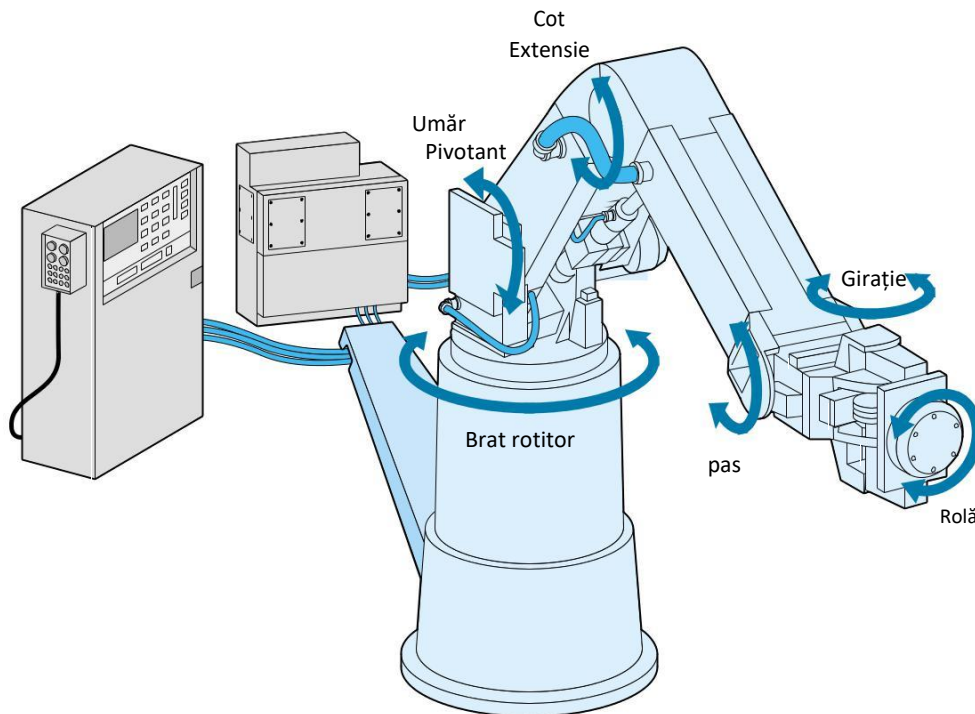


Figura 1.14

Un robot industrial mare.



ca un pistol de pulverizare vopsea. Roboții sunt utilizați pentru a muta piesele din loc în loc, pentru a asambla piese, pentru a încărca și a încărca mașini NC în afara sarcinii și pentru a efectua sarcini precum vopsirea prin pulverizare și sudarea.

Roboții pick-and-place, cel mai simplu tip, ridică piese și le așează în altă parte în apropiere. În loc de a utiliza controlul cu feedback-uri sofisticate, acestea sunt adesea rulate în buclă deschisă folosind opriri mecanice sau comutatoare limită (discutate în capitolul 4) pentru a determina cât de departe în fiecare direcție poate să se deplaseze. Un exemplu este prezentat în figura 1.13. Acest robot folosește cilindri pneumatici pentru a ridica, roti și extinde brațul. Acesta poate fi programat să repete o secvență simplă de operații.

Roboții sofisticati folosesc sisteme de poziție în buclă închisă pentru toate îmbinările. Un exemplu este robotul industrial prezentat în Figura 1.14. Are șase axe controlate independent (cunoscute sub numele de șase grade de libertate) care îi permit să ajungă în locuri greu accesibile. Robotul este controlat de un controler dedicat bazat pe computer. Această unitate este, de asemenea, capabilă de traducere a instrucțiunilor umane în programul robot în timpul fazei de "învățare". Brațul se poate deplasa dintr-un punct în un punct la o viteză specificată și poate ajunge în câteva miimi de inch.

REZUMAT

Un sistem de control este un sistem în care inteligența electronică controlează un anumit proces fizic. Acest curs se va ocupa de toate fazele sistemului de control: electronica, surse de alimentare (cum ar fi motoarele), mecanica și teoria sistemului de control, care leagă toate conceptele.

Un sistem de control este descris în termeni de diagramă bloc. Primul bloc este controlerul, care reprezintă inteligența electronică. Controlerul transmite un semnal de control la următorul bloc, care este actuatorul. Dispozitivul de acționare este primul dispozitiv fizic al sistemului care face ceva (de exemplu, un motor sau un element de încălzire).

Există două categorii generale de sisteme de control: buclă deschisă și buclă închisă. În controlul în buclă deschisă, controlerul trimite un semnal măsurat, specificând acțiunea dorită, către actuator (controlerul, cu toate acestea, nu are cum să știe ce face elementul de acționare). Controlul în buclă închisă include un senzor care furnizează înapoi un semnal de la actuator la controler, informând controlerul exact ce face ieșirea. Acest lucru permite controlerului să facă ajustări corecționale.

Fiecare componentă din sistemul de control poate fi descrisă matematic printr-o funcție transfer (TF), unde $TF = \text{ieșire/intrare}$. Funcțiile de transfer ale componentelor individuale într-un sistem pot fi combinate matematic pentru a calcula performanța generală a sistemului. O adevărată funcție de transfer include caracteristica dependentă de timp și stabilă, în timp ce o simplificare utilă (folosită în acest text) ia în considerare numai condițiile de echilibru.

Sistemele de control sunt clasificate ca analogice sau digitale. Într-un sistem de control analogic, controlerul utilizează circuite electronice analogice tradiționale, cum ar fi amplificatoare liniare. Într-un sistem de control digital, controlerul folosește un circuit digital, de obicei un computer.

Sistemele de control sunt clasificate în funcție de aplicație. Controlul procesului se referă, de obicei, la un proces industrial controlat electronic în scopul menținerii unei ieșiri corecte uniformă. Controlul mișcării se referă la un sistem în care lucrurile se mișcă. Un servomecanism este un sistem de control al feedback-ului care oferă mișcarea de control de la distanță a unui obiect, cum ar fi un braț robot sau o antenă radar. Un sistem de control numeric (NC) direcționează o mașină-unealtă, cum ar fi un strung, să miște automat o piesă.

GLOSAR

actuato Prima componentă a sistemului de control care generează mișcare fizică, de obicei un motor. Actuatorul primește instrucțiunile sale direct de la controler. Un alt nume pentru actuator este elementul final de *control*.

sistem de control analogic Un sistem de control în care controlerul se bazează pe circuite electronice analogice, adică amplificatoare liniare.

procesul de lot Un proces care are un început și un sfârșit și este de obicei preformat de peste și peste.

CAD Vezi **proiectarea asistată de calculator**.

CAM A se vedea de fabricație asistată de **calculator**.

CIM Vezi **fabricarea integrată pe calculator**.

sistem de control în buclă închisă Un sistem de control care utilizează feedback-ul. Un senzor monitorizează continuu ieșirea sistemului și trimite un semnal controlerului, ceea ce face ajustări pentru a menține ieșirea în specificații.

comparator Parte a sistemului de control care scade semnalul de feedback (raportat de senzor) din punctul setat, pentru a determina eroarea.

proiectare asistată de calculator Un sistem informatic care face desene ingineresti.

fabricare asistată de calculator Un sistem informatic care permite convertiți desene CAD pentru a fi utilizate de o mașină-unelte de comandă numerică (NC).

fabricarea integrată pe calculator Un sistem informatic care supraveghează fiecare pas al procesului de fabricație, de la comanda clientului până la livrarea pieselor finite.

proces continuu Un proces în care există un flux continuu de produs - de exemplu, un cazan de abur în care apa este pompată continuu și aburul iese continuu.

variabilă controlată Rezultatul final al procesului; parametrul real al procesului care este controlat.

controler Inteligența mașinii sistemului de control.

strategia de control Setul de reguli pe care controlerul le urmează pentru a determina ieșirea sa la acționare.

sistem de control Un sistem care poate include componente electronice și mecanice, în cazul în care un anumit tip de inteligență a mașinii controlează un proces fizic.

DCC A se vedea controlul distribuit al **computerului**.

DDC A se vedea controlul digital **direct**.

sistem de control digital Un sistem de control în care controlerul este un circuit digital, tip de computer.

control digital direct O abordare a controlului procesului în care toate controlerile dintr-un proces mare sunt simulate de un singur computer.

controlul distribuit al computerului O abordare a controlului procesului în care fiecare proces are propriul controler local, dar toate controlerile individuale sunt conectate la un singur computer pentru programare și monitorizare.

eroare Într-un sistem de control, diferența dintre locul în care ar trebui să fie sistemul (punct setat) și unde este cu adevărat.

sistem de control al evenimentelor Un sistem de control care trece printr-o serie predeterminată de pași.

operațiune bazată pe evenimente Într-un sistem controlat secvențial, o acțiune care este permisă să pornească sau să continue pe baza unor modificări de parametri. Acesta este un exemplu de control în buclă închisă.

feedback Semnalul de la senzor, care este alimentat înapoi la controler.

sistem de urmărire Un sistem de control în care ieșirea urmează o cale specificată.

calea înainte Direcția de curgere a semnalului a controlerului către servomotor.

câștig Relația de stare stabilă dintre intrarea și ieșirea unei componente. (În acest text, *funcția de câștig* și de transfer este utilizată alternativ, deși aceasta este o simplificare.)

iterație Vedeți **scanarea**.

controlul mișcării Un termen care se referă la un sistem electromecanic în care se mișcă lucrurile.

NC A se vedea controlul **numeric**.

control numeric Un sistem digital de control care direcționează mașinile-unelte, cum ar fi un strung, să producă automat o piesă.

sistem de control în buclă deschisă Un sistem de control care nu utilizează feedback-ul. Controlerul trimite un semnal măsurat către actuator, care specifică acțiunea dorită. Acest tip de sistem *nu* se auto-corectează.

robot pick-and-place Un robot simplu care face o sarcină repetitivă de a ridica și plasa un obiect în altă parte.

PLC A se vedea controler logic **programabil**.

controler logic programabil Un controler mic, bazat pe microprocesor autonom, utilizat în principal pentru a înlocui controlerele logice releu.

proces Procesul fizic care este controlat.

controlul procesului Un sistem de control care menține o ieșire uniformă și corectă pentru un anumit proces industrial.

sistem de reglare Un sistem de control care menține o ieșire la o valoare constantă.

robot Un sistem de control de tip servomecanism sub forma unei mașini cu braț capabil de mișcare.

scanați Un ciclu prin bucla de program a unui controler bazat pe computer.

senzor Parte a sistemului de control care monitorizează ieșirea sistemului, senzorul transformă acțiunea fizică de ieșire a sistemului într-un semnal electric, care este alimentat înapoi la controler.

sistem controlat secvențial Un sistem de control care efectuează o serie de acțiuni în ordine, un exemplu fiind o mașină de spălat.

servomecanism Un sistem electromecanic de control al feedback-ului în care ieșirea este mișcare liniară sau de rotație a unei părți mecanice.

punct de setare Semnalul de intrare la sistemul de control, specificând ieșirea dorită a sistemului.

operațiune bazată pe timp Într-un sistem controlat secvențial, o acțiune care este permisă să se întâmple pentru o anumită perioadă de timp. Acesta este un exemplu de control în buclă deschisă.

TF A se vedea **funcția de transfer**.

funcția de transfer O relație matematică între intrarea și ieșirea unei componente a sistemului con-trol: $TF = \text{ieșire/intrare}$. (În acest text, *funcția de transfer* și *câștigul* sunt utilizate alternativ, deși aceasta este o simplificare.)

EXERCIȚII

Secțiunea 1.1

1.
 - a. Desenați o diagramă bloc a unui sistem de control în buclă deschisă.
 - b. Utilizați diagrama bloc pentru a descrie modul în care funcționează sistemul.
 - c. Ce cerințe de bază trebuie să îndeplinească componentele pentru ca acest sistem să funcționeze?
 - d. Care este avantajul acestui sistem față de un sistem în buclă închisă?
2.
 - a. Desenați o diagramă bloc a unui sistem de control în buclă închisă.
 - b. Utilizați diagrama bloc pentru a descrie modul în care funcționează sistemul.
 - c. Care este avantajul acestui sistem față de un sistem în buclă deschisă?
3. Variabila controlată într-un sistem cu buclă închisă este un braț robot. Inițial, este la 45° ; apoi se poruncește să meargă la 30° . Descrieți ce se întâmplă în ceea ce privește punctul setat, semnalul de feedback, semnalul de eroare și poziția brațului.
4. Identificați următoarele ca control în buclă deschisă sau închisă.
 - a. Controlul înălțimii apei într-un rezervor de toaletă
 - b. Acționarea luminilor stradale la 6 P. M.
 - c. Oprirea unui uscător de haine atunci când hainele sunt uscate
 - d. Acționarea unui producător de gheață atunci când furnizarea de cuburi este scăzută
5. Un potențiomtru are o funcție de transfer de $0,1 \text{ V/deg}$. Găsiți ieșirea potențiometrului dacă intrarea este de 45° .
6. Un potențiomtru are o funcție de transfer de $0,05 \text{ V/deg}$. Găsiți ieșirea potențiometrului dacă intrarea este de 89° .
7. Un motor a fost măsurat pentru a roti (descărcat) la 500 rpm cu o intrare de 6 V și 1000 rpm cu o intrare de 12 V. Care este funcția de transfer (stare stabilă) pentru motorul descărcat?
8. Într-un anumit sistem, s-a constatat că un element de încălzire electrică crește temperatura unei bucăți de metal la 10° pentru fiecare amper de curent. Metalul se extinde 0.001 in./deg și împinge pe un senzor de sarcină care produce $1 \text{ V}/0.005 \text{ inch}$ de compresie.
 - a. Găsiți funcțiile de transfer ale celor trei componente și desenați diagrama bloc.
 - b. Calculați funcția generală de transfer a acestui sistem.

Secțiunea 1.2

9. Descrieți diferențele dintre un *sistem de control analogic* și unul digital
10. Timpul de iterație al unui controler digital este de 1 s. Acest controler ar fi indicat pentru următoarele?
 - a. Un robot care pictează mașinile
 - b. Un sistem de control al panourilor solare care urmărește soarele pe cer

Secțiunea 1.3

11. Care este diferența dintre un *sistem de control al procesului* și un *servomecanism*
12. Care este diferența dintre *controlul digital direct* și controlul distribuit al computerului
13. Dați un exemplu (altul decât în această carte) al următoarelor:
 - a. Un sistem de control bazat pe timp
 - b. Un sistem de control bazat pe evenimente
 - c. Un sistem combinat de control bazat pe timp și evenimente
14. Dați un exemplu (altul decât în această carte) de servomecanism.