

Adelaida Mihaela DUINEA

INFORMATICA DE PROCES

-notițe de curs-

CUPRINS

CURS 1 „Proces fizic – noțiuni generale”	3
CURS 2 „Justificarea utilizării calculatoarelor de proces”	10
CURS 3 „Clasificarea aplicațiilor de control”	15
CURS 4 „Reglatoare. Algoritmi de reglare”	21
CURS 5 „Componente utilizate în sisteme digitale de control”	26
CURS 6 „Interfețe de proces”	31
CURS 7 „Rețele industriale de comunicații”	37
CURS 8 „Tipuri de traductoare”	41
CURS 9 „Prelucrarea digitală a semnalelor”	46
CURS 10 „Sisteme de timp real”	51
CURS 11 „Sistemul SCADA”	60
CURS 12 „Sistemul SCADA - continuare”	64
BIBLIOGRAFIE	70

CURS 1

PROCES FIZIC - NOȚIUNI GENERALE

Definirea noțiunii de proces fizic

Prin proces fizic, cu referire la o instalație sau utilaj tehnologic, se înțelege ansamblul transformărilor de energie și masă care au loc în acesta, de la intrare la ieșire și poate fi reprezentat formal printr-o schemă bloc de forma:



Figura 1. Schema bloc a unui proces fizic

unde prin W_i și W_e se înțeleg fluxurile de materii prime și respectiv produsele finite exprimate, prin echivalențe, în aceleași unități de măsură.

Descrierea proceselor tehnologice se poate efectua pe baza relațiilor de bilanț între W_i și W_e . Dacă o asemenea relație, neglijând evidențierea pierderilor se poate exprima formal prin relația

$$W_i - W_e = 0$$

rezultă un regim de echilibru denumit și regim staționar.

Dacă

$$W_i - W_e \neq 0$$

procesul se află într-un regim de dezechilibru sau regim dinamic, adesea denumit și tranzitoriu în vederea restabilirii echilibrului.

Caracterizarea unui proces se realizează cu ajutorul unor mărimi de intrare și de ieșire. Mărimile de intrare sunt variabile măsurabile, mai puțin perceptibile, și caracterizează evoluția procesului. Mărimile de intrare, notate u_1, u_2, \dots, u_n , sunt variabile de origine externă susceptibile de a influența evoluția procesului. Atunci când se poate acționa asupra variabilelor de intrare aceste mărimi poartă denumirea de variabile de comandă.

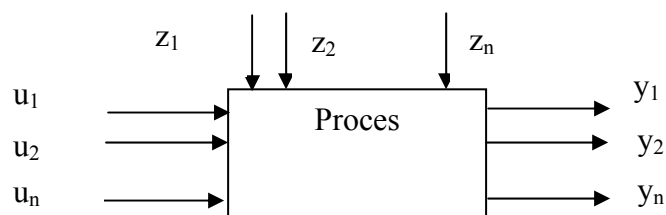


Figura 2. Mărimi caracteristice procesului

Evoluția unui proces, stările prin care acesta trece (fenomenele de acumulare, de transfer și de disipare de masă și energie) se apreciază cu ajutorul mărimilor de stare notate x_1, x_2, \dots, x_n .

Independent de mărimile de intrare este posibil de-a constata existența unor variabile a căror acțiune influențează evoluția procesului (mărimile de ieșire, notate cu y_1, y_2, \dots, y_n), numite perturbații și notate z_1, z_2, \dots, z_n). Perturbațiile ce acționează asupra proceselor pot fi interne (parametrice) sau externe (aditive). Acțiunea perturbațiilor aditive influențează mărimile de ieșire pe când acțiunea perturbațiilor parametrice se concretizează în modificări structurale ale procesului.

Din punct de vedere cantitativ, variația în timp a mărimilor de intrare, de ieșire și de stare poate fi descrisă cu ajutorul modelelor matematice. Un model matematic constituie o abstractizare având ca obiectiv obținerea unor descrieri simple a realității, procesul existând independent de toate modelele.

Concepte de baza

În procesul de studiere a oricărui domeniu primul pas este definirea termenilor cu care se operează. În continuare sunt definite principalele concepte utilizate în cadrul Informaticii de proces:

- **Procesul** = o transformare a unui sistem, indicată prin modificarea unor mărimi de proces (ex.: modificarea temperaturii, a presiunii, a poziției, etc.).
- **Proces industrial** = ansamblul transformărilor realizate într-o instalație tehnologică, ce au ca scop producerea unor materiale, echipamente sau servicii.
- **Parametrii de proces** = mărimi fizice care caracterizează un proces.
 - **Parametrii de intrare**: mărimi fizice măsurabile, exterioare procesului, care influențează evoluția acestuia. Un sistem de control acționează asupra procesului controlat prin unul sau mai mulți parametri de intrare.
 - **Parametri de stare**: înglobează informația referitoare la evoluția anterioară a procesului și care poate să influențeze evoluția viitoare a acestuia.
 - **Parametri de ieșire**: mărimi a căror evoluție dorim să o controlăm sau care, în mod indirect caracterizează o stare nemăsurabilă a procesului (ex.: temperatura este o măsură a energiei înglobate în sistem).
- **Perturbațiile sau zgomotele** = mărimi fizice care influențează evoluția unui proces, dar a căror mărime și evoluție în timp este necunoscută și/sau necontrolată. Scopul unei scheme de reglaj este eliminarea sau cel puțin reducerea efectului produs de zgomote asupra procesului. Perturbațiile pot fi variate: zgomote electromagnetice, variații ale parametrilor de mediu (temperatură, presiune, umiditate, etc.), variații ale surselor de alimentare, variații ale calității materiilor prime
- **Funcția de transformare sau de transfer** a unui proces = expresia dependenței dintre parametrii de ieșire (**vectorul de ieșire**), parametrii de stare (**vectorul de stare**) și parametrii de intrare (**vectorul de intrare**) ai unui proces. Această dependență poate să fie liniară (exprimabilă printr-o funcție liniară) sau neliniară. De cele mai multe ori funcția de

transformare a unui proces se exprimă ca soluție a unor ecuații integro-diferențiale. Funcția de transformare modelează din punct de vedere analitic comportamentul unui proces.

- **Reglaj automat** = un ansamblu de operații efectuate în buclă închisă sau deschisă, cu scopul de a stabili o dependență, pe baza unei legi prestabilite, între parametrii de proces. Caracterul automat al reglajului este dat de faptul că nu există o intervenție directă a omului în ciclul de reglaj.
- **Funcția de reglaj** = definește modul de generare a comenzilor (parametri de intrare pentru proces) pe baza mărimilor măsurate (parametri de ieșire pentru proces) și a valorilor prescrise

- **Obiective:**

- menținerea unei mărimi de proces la o valoare prestabilă,
- minimizarea abaterilor,
- imprimarea unei anumite evoluții în timp pentru un parametru de proces

- **Semnal** - mărime purtătoare a unei informații. Prin semnale se asigură fluxul bidirecțional de informații între sistemul de control și procesul controlat. Semnalele sunt în general descrise prin funcții de timp (ex.: sinus, cosinus, treaptă unitară, impuls).

- **Clasificare după natura semnalelor:**

- **semnale analogice** – care au un domeniu continuu de valori
- **semnale digitale** – care au un număr finit de valori discrete; de cele mai multe ori se folosesc semnale care au două valori distincte (codificate cu 0 și 1) și care reprezintă două stări diferite ale unui element de proces (ex.: închis/deschis, valid/invalid, pornit/oprit, etc.)

- **Clasificare după comportamentul în timp:**

- **semnale continue** – au variație continuă în timp
- **semnale discrete (eșantionate)** – au variație discretă în timp, adică funcțiile ce le reprezintă au valori definite doar la anumite momente de timp

Din punct de vedere fizic cele mai utilizate semnale sunt cele electrice, hidraulice, pneumatice, optice și mecanice. În sistemele actuale de control se preferă utilizarea semnalelor electrice.

Se numește „**sistem de control**” ansamblu construit cu scopul de a permite urmărirea și modificarea evoluției unui proces pe baza unei legi prestabilite

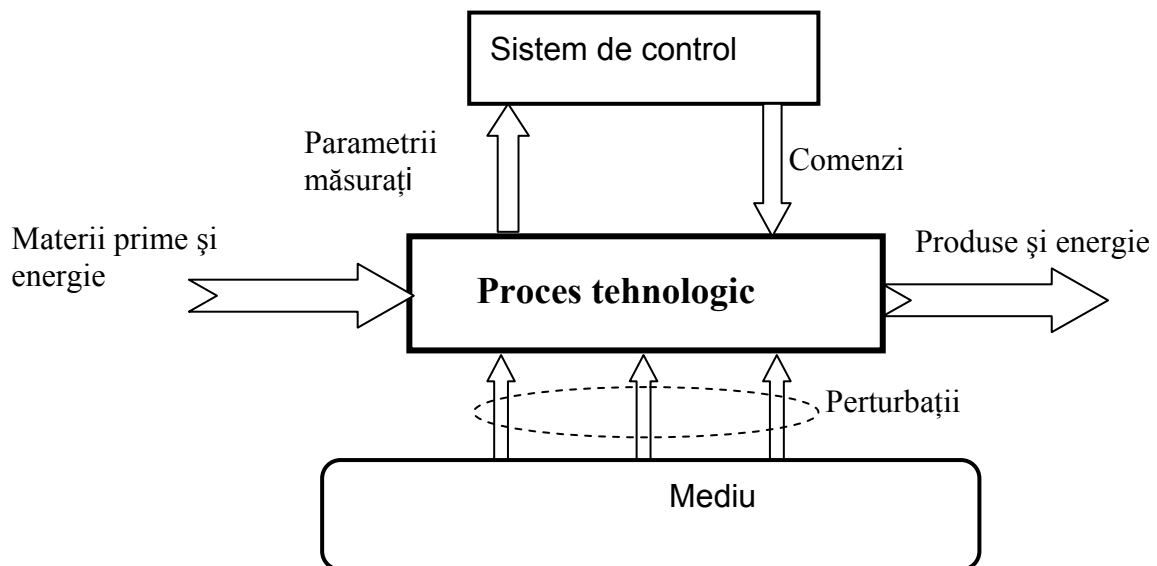


Figura 3. Schema de principiu a unui sistem automat de control

Complexitatea unui sistem de control depinde de complexitatea procesului controlat, de obiectivele urmărite și de precizia cu care obiectivele trebuie îndeplinite. În figura 3 s-a reprezentat schema de principiu a unui **sistem automat de control**, care cuprinde un proces controlat și un sistem de control.

Se numește „**Sistem digital de control** (eng. DCS- Digital Control System)” un sistem de control care utilizează tehnici și componente digitale pentru control (ex.: circuite logice, automate de stare, memorii, programe, etc.). În această categorie sunt incluse și sistemele de control care utilizează unul sau mai multe calculatoare. În cadrul sistemului de control calculatorul poate să îndeplinească diverse funcții:

- urmărire și vizualizare a parametrilor de proces,
- de stocare a datelor culese,
- transmitere la distanță a informațiilor sau
- Controlul direct al procesului.

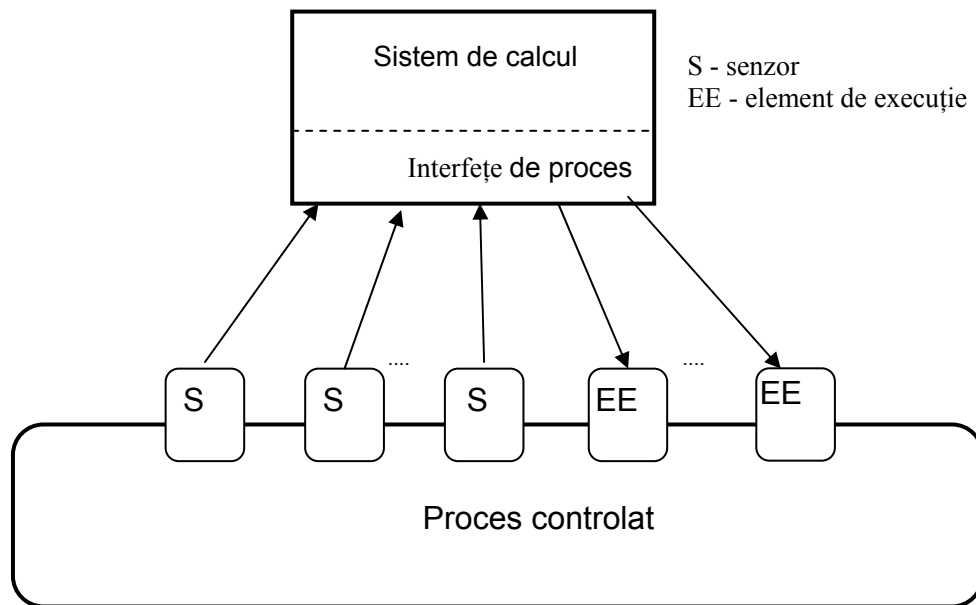


Figura 4. Exemplu de sistem de control prin calculator

Se numește „Sistem cu control digital direct (eng. DDC – Direct Digital Control)” sistemul de control la care evoluția procesului este controlată nemijlocit de un sistem digital, fără intervenția directă a operatorului uman sistemului digital îi revine întreaga responsabilitate privind buna funcționare a procesului controlat.

În cazul unor procese complexe de fabricație, care implică un număr mare de parametri de proces și funcții complexe de coordonare și control se utilizează sisteme de control organizate pe mai multe nivele ierarhice. În figura 5 se prezintă un exemplu de astfel de sistem, în care se utilizează dispozitive inteligente de automatizare (senzori - S și elemente de execuție - EE), echipamente autonome de control (automate programabile - AP și reglatoare - R), calculatoare de proces și rețele digitale de comunicație.

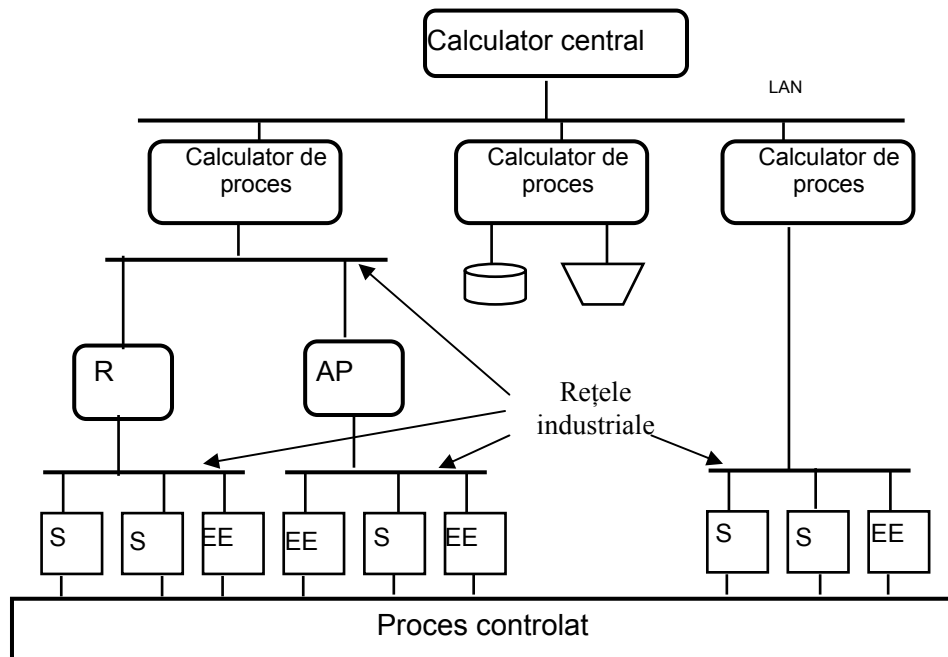


Figura 5. Schema unui sistem ierarhic de control

Clasificarea aplicațiilor de control

- funcție de modul de operare:
 - control pe bază de logică binară
 - control secvențial
 - control în buclă închisă
- funcție de numărul de procesoare implicate și modul de organizare a acestora:
 - control uniprocessor
 - control centralizat multiprocessor
 - control ierarhic
 - control distribuit
- funcție de obiectivul urmărit:
 - urmărire și înregistrare evenimente sau parametri de proces
 - reglaj local
 - controlul și coordonarea mișcării
 - control optimal

Tipuri de control

- **Controlul binar** = semnalul de comandă generat de sistemul de control se exprimă sub forma unei expresii logice în care termenii sunt parametrii procesului.
- **Controlul secvențial** = generarea unei secvențe de comenzi care determină o anumită evoluție în timp a procesului controlat

- **Control în buclă închisă** = urmărește menținerea unui parametru de proces la o valoare predefinită (reacție inversă feed-back)

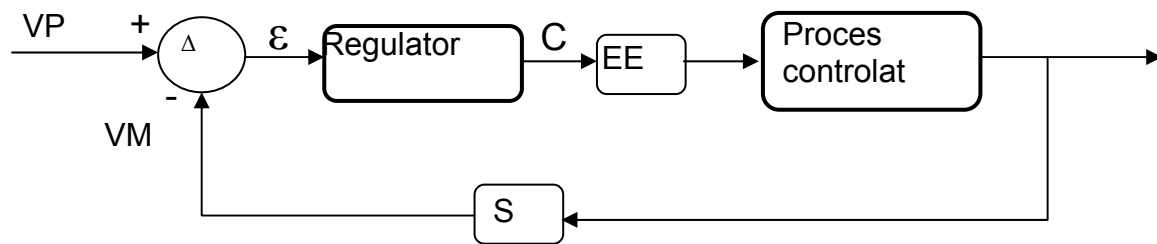


Figura 6. Schema de principiu a unei bucle de reglaj

- **Urmărire, vizualizare și stocare datelor** - aplicații de tip SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)
- **Reglajul local** – are ca obiectiv menținerea unui parametru de proces la o valoare prestabilită
- **Controlul și coordonarea mișcării** – pentru mașini cu comandă numerică și roboți industriali
- **Controlul optimal** se aplică pe un nivel superior al unei scheme ierarhice de control și are ca obiectiv sincronizarea celulelor autonome de fabricație în vederea optimizării unor parametri de performanță ai procesului de fabricație (cost minim, producție maximă, productivitate maximă, pierderi tehnologice minime)

JUSTIFICAREA UTILIZĂRII CALCULATOARELOR DE PROCES

Justificarea tehnică. Numărul mare de informații ce trebuie analizate în cadrul unui proces, corelația dintre ele și istoria evoluției lor face ca o hotărâre justă și corectă să nu mai poată fi luată în timp util de către operatorul uman care supraveghează și conduce un proces.

În cazul instalațiilor energetice conducerea optimală după criteriile ergonomice și tehnice impune cu necesitate utilizarea sistemelor de calcul în comanda proceselor energetice. În industria energetică s-au conturat două grupe de utilizări a calculatoarelor de proces:

- în conducerea operativă a centrelor electrice;
- în comanda prin dispecer a sistemului energetic național.

Eficiența economică a calculatoarelor de proces de la nivelul sistemului energetic se apreciază pe baza indicatorilor naturali și valorii ce se determină la nivelul fiecărui subsistem și anume:

- subsistemul resurselor primare;
- subsistemul centrale electrice;
- subsistemul rețele electrice (stații și linii);
- subsistemul consumatorilor.

Determinarea eficiențelor calculatoarelor de proces de la nivelul unui microsistem energetic compus din centrale, linii și consumatori se face calculând indicatorii: termen de recuperare, coeficient de eficiență, venit net. Pentru aceasta se determină cheltuielile necesare introducerii calculatoarelor de proces și se cuantifică efectele economice sub formă de economii de combustibil și energie. Din raportul lor rezultă indicatorii de eficiență care permit analiza economică a acțiunii.

Indicatorii de eficiență se calculează cu relații de forma:

Timpul de recuperare:

$$t_r = \frac{I_c - I_m}{E_t} \text{ [ani]} \quad (1)$$

Coeficientul de eficiență:

$$p_{ef} = \frac{E_t}{I_c - I_m} \text{ [lei venit / leu investit]} \quad (2)$$

Venit net:

$$V_{net} = [E_t - (I_c - I_m)] \text{ [lei]} \quad (3)$$

I_c - investițiile pentru informatizarea procesului (lei);

I_m - investiții miniere (iei);

Informatică de proces – suport de curs

E_t - economii valorice totale ca urmare a informatizării procesului (lei) se calculează astfel:

$$E_t = n(E_{tc} - C_{am}) = [n(E_{cc} + E_{si} + E_{pe}) + E_{ss} + E_{sc} - c_{am}I_t] \quad (4)$$

unde:

E_{cc} = economia valorică de combustibil prin păstrarea constantă a parametrilor aburului (lei/an);

E_{si} = economia la nivelul serviciilor interne ale unei centrale;

E_{pe} = economia de personal ca urmare a informatizării;

E_{ss} = economia valorică la nivelul sistemului (linii, stații);

E_{sc} = economia valorică la nivelul consumatorilor.

Economiile valorice anterioare se calculează cu relații de forma:

$$a) E_{cc} = p_{cc}(\Delta B_{cz} + \Delta B_{tb}) \text{ [lei / an]} \quad (5)$$

în care:

$\Delta B_{cz}, \Delta B_{tb}$ = economiile de combustibil ce se realizează prin ridicarea randamentelor instalațiilor la nivel cazan, respectiv turbină;

p_{cc} = prețul combustibilului (lei / tcc)

$$\Delta B_{cz} = B_{cz \text{ fin}} - B_{cz \text{ init}} = \frac{n_{cz} D_{cz} (i_{abur} - i_{apa})}{q_c \Delta \eta} \text{ [tcc / an]} \quad (6)$$

unde:

n_{cz} = numărul de cazane;

D_{cz} = debit cazan [t / h];

i_{abur} = abur [kJ / kgcc] = entalpia aburului;

$i_{apă}$ = [kJ / kg] = entalpia apei;

$\Delta \eta = \eta_{ef} - \eta_{cc}$ = creșterea randamentelor după informatizare.

k_t = procent din combustibilul consumat

$$b) E_{si} = n_c \Delta p_{si} t_f e_{si} \quad (7)$$

unde n_c = numărul de centrale; $\Delta p_{si} = (8...10) \% P_i$ = consumul propriu tehnologic în centrală; t_f = timpul de funcționare; $e_{si} = [\%]$ = economia la nivelul serviciilor interne din centrală generată de introducerea calculatoarelor de proces.

$$c) E_{pe} = n_c P_i s_m e_{pers} \text{ [lei / an]} \quad (8)$$

unde n_c = numărul centralelor din sistemul analizat; P_i = puterea instalată [MW]; s_m = salariul mediu al unui specialist [lei / an]; e_{pers} = reducerea indicelui de personal [om / MW].

$$d) E_{ss} = c_{ept} \Delta p_{rețet} t_f P_{eec} \text{ [lei / an]} \quad (9)$$

Economia la nivelul sistemului este un procent c_{ept} (1...2 %) din consumul propriu

tehnologic al energiei transportate.

$$\Delta p_{rețea} I = (5 \div 7\%) P_{transp} \quad (10)$$

p_{eec} = prețul energiei economisite

e) E_{cs} = economia la nivelul consumatorilor este un anumit procent (de circa 20%) din energia absorbită din sistem:

$$E_{cs} = e_c P_c t_f p_e \text{ [lei / an]} \quad (11)$$

Investițiile miniere se determină cu o relație de forma:

$$I_m = i_{sp}^m \Delta B \quad (12)$$

i_{sp}^m = investiția specifică minieră

ΔB = economia de combustibil la nivelul întregului sistem (centrale, rețele, consumatori):

$$\Delta B = \Delta B_{cz} + \Delta B_{tb} + \Delta B_{ss} + \Delta B_{ci} \quad (13)$$

unde: $\Delta B_{ss} + \Delta B_{ci}$ reprezintă economiile de combustibil datorită informatizării la nivelul rețelei și respectiv consumatorilor.

Utilizarea sistemelor automate în informatizarea proceselor are drept scop:

- creșterea performanțelor,
- ridicarea eficienței în utilizarea resurselor (umane, materiale, energetice, etc.),
- îmbunătățirea calității produselor,
- eliminarea muncii fizice,
- eliminarea muncii în medii periculoase (toxice, cu pericol de explozie sau de producere a unor accidente)
- evitarea unor activități monotone și obositoare pentru om.
- eliminarea erorii umane
- complexitatea procesului controlat impune utilizarea unor sisteme automate caracterizate de
 - timp de reacție mai scurt
 - putere de calcul mai mare

Sistemelor automate au prezentat în timp o evoluție de forma

- Sisteme mecanice de reglaj (ex: control nivel lichid)
- Sisteme hidraulice și pneumatice
- Sisteme electrice (relee, transformatoare, aparate de măsură)
- Sisteme electronice (reglatoare analogice, filtre, circuite de amplificare/atenuare)
- Sisteme automate standardizate – prin semnale unificate (0-10V, 4-20mA)

- Sisteme digitale utilizate în controlul proceselor (automate programabile, secvențiatore digitale, etc.)
- Sisteme de calcul utilizate în urmărirea și conducerea proceselor (sisteme de calcul dedicate, procesoare de semnal, microcontrolere)
- Sisteme distribuite de control

Sisteme digitale de control pot fi

- Sisteme simple de secvențiere, numărare, avertizare
- Sisteme automate bazate pe calculatoare:
 - Pentru urmărire și vizualizare procese
 - Pentru suport decizie și gestiune economico-administrativă
 - Pentru controlul direct al proceselor (DCC Direct Computer Control)
- Sisteme dedicate bazate pe microprocesoare
 - Preț mai mic
 - Dimensiuni mai mici
 - Consum mai mic
 - Fiabilitate mai mare
- Sisteme multiprocesor
 - Sisteme distribuite (calculatoare + rețea)

Utilizarea componentelor digitale și a sistemelor de calcul în informatica industrială prezintă următoarele avantaje:

- precizie mai ridicată în calculul funcției de reglaj
- posibilitatea implementării unor procedee complexe de reglaj, cu un comportament adaptiv
- o mai mare imunitate la zgomote, în special datorită caracteristicilor semnalelor digitale
- posibilitatea stocării și transmiterii la distanță a informațiilor
- modificarea funcției de reglaj se poate face prin program, fără să implice modificări ale schemei fizice (hardware)
- schemele locale de automatizare pot fi integrate ușor într-un sistem ierarhizat de control
- precizia este influențată într-o mai mică măsură de precizia componentelor, de variațiile condițiilor de mediu (temperatura, umiditate) sau de variațiile tensiunii de alimentare

- repetabilitatea în timp a procedeeilor de prelucrare (îmbătrânirea componentelor are o influență minoră)
- prin program pot fi implementate scheme de autocalibrare și de detectare automata a defectelor
- posibilitatea realizării unor interfețe utilizator prietenoase, sugestive și specializate pentru diferite tipuri de utilizator

Ca dezavantaje pot fi precizate:

- erori introduse prin digitizarea semnalelor de intrare și ieșire;
- un cost mai ridicat pentru schemele simple de reglaj
- schema de reglaj este "ascunsă" în program și este mai puțin vizibilă pentru utilizator
- limitări de viteză, în special în prelucrarea unor semnale de frecvență mare

CURS 3

CLASIFICAREA APLICAȚIILOR DE CONTROL

Grupele de clasificare a aplicațiilor de control sunt:

- funcție de modul de operare:
 - control pe bază de logică binară (control binar)- semnalul de comandă generat de sistemul de control se exprimă sub forma unei expresii logice în care termenii sunt parametrii procesului.
 - control secvențial – presupune generarea unei secvențe de comenzi care determină o anumită evoluție în timp a procesului controlat
 - control în buclă închisă - urmărește menținerea unui parametru de proces la o valoare predefinită
- funcție de numărul de procesoare implicate și modul de organizare a acestora:
 - control uniprocessor
 - control centralizat multiprocessor
 - control ierarhic
 - control distribuit
- funcție de obiectivul urmărit:
 - urmărire și înregistrare evenimente sau parametri de proces - aplicații de tip SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)
 - reglaj local - are ca obiectiv menținerea unui parametru de proces la o valoare prestabilită
 - controlul și coordonarea mișcării - pentru mașini cu comandă numerică și roboți industriali
 - control optimal - se aplică pe un nivel superior al unei scheme ierarhice de control și are ca obiectiv optimizarea unor parametri de performanță ai procesului de fabricație (cost minim, producție maximă, productivitate maximă, pierderi tehnologice minime)

ELEMENTELE UNUI SISTEM DE REGLAJ AUTOMAT

Sarcina reglării:

Reglarea este acel proces, îndeplinit manual sau automat, prin care o mărime fizică este fie menținută la o valoare prescrisă constantă, fie își schimbă valoarea în intervale de timp date conform unui anumit program, luând astfel o succesiune de valori prescrise.

Mărimea care trebuie menținută la valoarea prescrisă este mărimea reglată - temperatura, debitul, turația, tensiunea electrică, nivelul dintr-un rezervor.

Mărimea de execuție este mărimea obținută la ieșirea organului de execuție și cu ajutorul căreia se poate influența ușor mărimea reglată, pentru a o aduce la valoarea dorită.

1. Dacă se cere ca într-un cuptor cu gaz să fie menținută constantă temperatura, aceasta din urmă poate fi influențată în sensul dorit, (creșterea sau scăderea) prin modificarea debitului de gaz de ardere. În acest caz mărimea reglată este temperatura, iar mărimea de execuție este debitul de gaz.
2. Dacă se urmărește menținerea constantă a turației unui motor de curent continuu, pentru variația turației în sensul dorit se variază curentul de excitație al motorului. Deci mărimea reglată este, în acest caz, turația, iar mărimea de execuție este curentul de excitație al motorului.

O reglare este necesară numai atunci când mărimea reglată nu poate rămâne constantă, de la sine, la valoarea dorită, și are tendința de a-și modifica valoarea, de a se abate mai mult sau mai puțin în urma unor efecte perturbatoare externe sau interne.

Perturbațiile (mărimi perturbatoare) - influențe externe sau interne care sunt cauzele abaterilor valorilor instantanee ale mărimii reglate de la valoarea prescrisă.

La reglarea unei anumite mărimi se exercită influența uneia sau mai multor mărimi perturbatoare: presiunea variabilă a gazului, puterea calorică variabilă a gazului, temperatura diferită a mediului ambiant, cantitatea variabilă de căldură absorbită de cuptor etc.

La reglarea turației motorului de curent continuu se exercită influența unor perturbații diferite: tensiunea variabilă de alimentare a motorului, variația cuplului de sarcină cerut de mașina de lucru antrenată de motorul respectiv, variația rezistenței electrice cu temperatura etc.

De regulă, efectul influenței uneia dintre mărimile perturbatoare este predominant; această perturbație este considerată ca principală și acțiunea de reglare se manifestă în sensul abaterii mărimii reglate de la valoarea prescrisă sub influența perturbației principale.

Concluzie. Pentru orice reglare trebuie să se stabilească precis:

- care este mărimea reglată;
- care este mărimea de execuție cea mai potrivită;
- ce mărimi perturbatoare intervin, cum se manifestă ele și care are efect predominant.

Instalația automatizată reprezintă acea parte a instalației sau procesului reglat la ieșirea căreia trebuie menținută constantă mărimea reglată și asupra căreia acționează mărimea de execuție și mărimile perturbatoare.

Deoarece instalațiile sau procesele din industrie sunt complicate, reprezentarea lor în detaliu este dificilă, de aceea ele se reprezintă prin imagini formale (conținute în scheme bloc). Blocul este simbolul cel mai simplu pentru obiecte concrete sau procese.

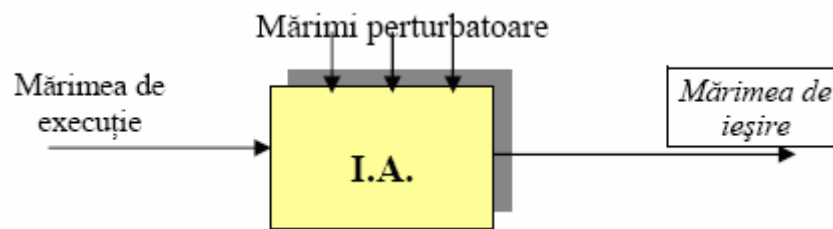


Figura 1. Schema bloc a elementului automatizat: I.A. instalația automatizată (obiect reglat)

Reglarea manuală

Pentru a menține constantă mărimea reglată de la ieșirea instalației automatizate, trebuie să se stabilească în permanență valorile instantanee ale acesteia, adică trebuie să se instaleze un element de măsurat (sau traductor) la ieșirea instalației automatizate, de regulă un aparat cu ajutorul căruia să se citească valoarea mărimii reglate, în fiecare moment.

De exemplu dacă instalația de automatizat este un cuptor cu gaz, operatorul uman citește în permanență indicațiile aparatului de măsurat (termometru) și compară în mod continuu valorile instantanee ale mărimii reglate (temperatura) cu valoarea prescrisă, constantă. Dacă rezultă o abatere, el acționează organul de execuție (de exemplu manevrează robinetul), cu ajutorul căruia modifică mărimea de execuție (debitul de gaz) deci mărimea de ieșire (temperatura). În cazul când valoarea prescrisă a mărimii reglate nu este atinsă încă (-), valoarea instantanee a mărimii reglate trebuie mărită (+), iar în cazul când valoarea prescrisă este depășită (+), valoarea instantanee trebuie micșorată (-). Pentru aceasta variația mărimii de execuție care depinde de abaterea mărimii reglate, își va schimba semnul în raport cu semnul abaterii. Astfel, la creșterea temperaturii operatorul reduce admisia de gaz, pe când la scăderea temperaturii o crește.

Operatorul execută o inversare a efectelor, care formal se exprimă prin schimbarea semnelui mărimii de execuție.

La reglarea manuală funcțiile de citire a valorilor mărimii reglate și a celei prescrise, de comparare continuă a acestor valori și de luare a deciziei privind intervenția asupra organului de execuție revin operatorului și depind de calitățile senzoriale ale acestuia, de îndemânarea sa.

Chiar și în cazul unui operator experimentat, calitatea reglării manuale depinde în mare măsură starea momentană a acestuia, și este afectată de imprecizia unor citiri ale aparatelor de măsurat, de timpul de reacție al operatorului, de obligația de a urmări aparatele indicatoare chiar în timpul când manevrează organul de execuție etc.; se evidențiază astfel imperfecțiunile unei reglări manuale.

Reglarea automată

În cazul proceselor mai complicate, la care precizia cerută operațiilor de reglare crește, iar alți indicatori specifici procesului respectiv fac imposibilă prezența operatorului uman (de exemplu, viteza mare de variație a parametrilor reglați, determinarea implicită a variației acestora din variația altor mărimi fizice, funcționarea la valori înalte a unor parametri ca tensiunea electrică, presiunea aburului etc. sau în medii nocive etc.) se impune eliminarea operatorului uman ca intermediar între aparatele de măsurat și organul de execuție și înlocuirea sa printr-un dispozitiv care să execute automat și în aceeași succesiune operațiile.

Regulatorul automat - dispozitivul care elimină intervenția omului din procesul de reglare și funcționează fără operator.

Dacă regulatorul este bine ales și corect utilizat, el își exercită funcția mult mai bine ca operatorul om deoarece: reacționează mai repede, lucrează mai uniform și cu precizie oricât de bună.

Reglarea automată pentru un schimbător de căldură: acesta este un încălzitor de apă și este compus din: rezervor, conducta pentru apă rece, conducta pentru apă caldă, conducta pentru abur (agentul termic primar), ventilele și serpentinele încălzitorului.

Temperatura apei la ieșire se măsoară cu termometru. De obicei, consumatorul de apă caldă cere ca temperatura t_e a apei la ieșirea din schimbător să fie menținută constantă, oricare ar fi debitul de apă D_q consumat.

Prin introducerea reglării automate, operațiile îndeplinite de operator sunt preluate de dispozitivele din cuprinsul instalației de reglare automată.

Instalația de reglare automată cuprinde: elementul de măsurat, elementul de comparație, regulatorul automat și elementul de execuție.

Elementul de măsurat (traductorul) EM este reprezentat de termometru manometric (1), instalat pe conducta de apă caldă, la ieșirea din încălzitor. Acest element măsoară temperatura t_e a apei la ieșire și transformă energia termică absorbită de la apa caldă într-o variație de presiune, pe care o transmite prin tubul capilar (2) la tubul Bourdon (3);

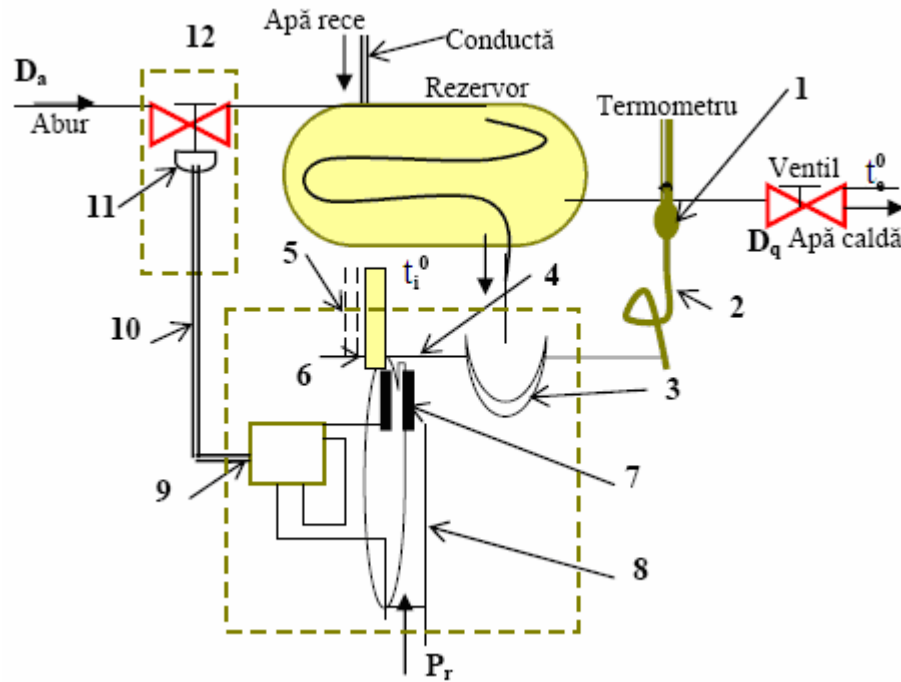


Figura 2. Reprezentarea simplificată a instalației de reglare automată a temperaturii apei la ieșirea din schimbătorul de căldură

acesta din urmă transformă variația de presiune într-o deplasare, prin care se modifică poziția paletei (4). Elementele 1, 2, 3, și 4 la care se poate adăuga indicatorul (5), (atunci când există), formează împreună elementul de măsurat.

Elementul de comparație (E.C) compară temperatura apei la ieșire t_e cu valoarea prescrisă (de consen) t_i , rezultând abaterea de reglare sau eroarea: $x_e = \Delta t - (t_i - t_e)$.

În figura 2 valoarea prescrisă a temperaturii $t_i = x_i =$ mărimea de intrare, este reprezentată prin punctul de oscilație al paletei (4). Acest punct poate fi deplasat manual în sus sau în jos cu ajutorul tijei (5). Valoarea măsurată t_e a temperaturii apei la ieșirea din încălzitor este reprezentată prin poziția extremității mobile a tubului Bourdon, articulată cu paleta (4).

Atunci când $t_e = t_i$ (deci $t = 0$), mijlocul paletei se află exact în dreptul ajutorajului conic (6). La orice altă valoare $t_e \neq t_i$, poziția punctului de la mijlocul paletei reprezintă o mărime proporțională cu diferența ($t_e - t_i$). Temperatura t_e reprezintă mărimea de ieșire x_e , iar deplasarea extremității tubului Bourdon reprezintă mărimea de reacție x_r . Rezultă eroarea: $x_e = x_i - x_r = \varepsilon$, mărimea de ieșire a elementului de comparație (E.C.).

Regulatorul automat RA reprezentat simplificat în figură îndeplinește numai o funcție de amplificare a semnalului primit de la elementul de comparație.

În spațiul (8) al amplificatorului pneumatic sistem duză-paletă alimentat cu aer sub presiune constantă prin elementul de strangulare (7), se obține o presiune proporțională cu distanța între paletă și ajutoraj, deci proporțională cu diferența Δt .

Amplificatorul pneumatic (9) alimentat de la aceeași sursă de aer comprimat, produce în conducta (10) o presiune proporțională cu $\Delta t = t_i - t_e$. Această presiune reprezintă mărimea de comandă x_e , adică mărimea de la ieșirea regulatorului RA. Mărimea de comandă este mărimea de intrare pentru elementul de execuție EE.

Elementul de execuție EE (care ia locul organului de execuție OE de la reglarea manuală) este ventilul (12), care modifică debitul D_a al aburului de încălzire.

Ventilul are o membrană (11), asupra căreia se exercită presiunea de aer din conducta (10), de la ieșirea din regulator. Secțiunea deschiderii ventilului asigură valoarea debitului D_a (mărimea de execuție x_m) care se aplică la intrarea schimbătorului de căldură (instalația automatizată IA).

CURS 4

REGULATOARE. ALGORITMI DE REGLARE

Elementele de acționare sau de execuție sunt dispozitive de automatizare care transmit procesului controlat comanda generată de sistemul de control. Exemple: robinet, element de încălzire, motor electric, etc.

Constructiv, elementele de acționare au 2 părți:

- o parte motoare (de acționare);
- o parte de execuție

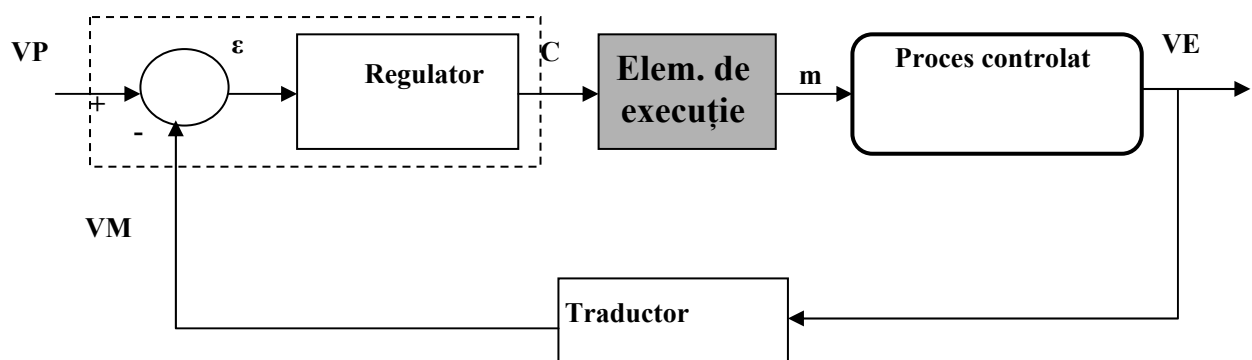


Figura 1. Elemente componente buclă reglare

Regulatoarele - reprezintă componenta “inteligentă” al unui sistem de reglare, figura 1.

Funcția de reglaj, (funcția de transfer a regulatorului) indică dependența dintre semnalul de comandă generat și abatere

Reglajul poate fi liniar – ideal sau neliniar - real

Clasificarea reguletoarelor

- după natura semnalului de comandă generat:
 - **regulatoare continue** – semnalul de comandă este o funcție continuă în raport cu abaterea și cu timpul (ex.: regulatoare P, PI, PID, etc.)
 - **regulatoare discontinue** – semnalul de comandă este o funcție care are discontinuități în raport cu abaterea (ex.: regulatoare bipoziționale, tripoziționale și în mai multe trepte)
 - **discrete** – semnalul de comandă este o funcție discretă în timp, adică se generează impulsuri modulate în amplitudine, frecvență, factor de umplere sau se generează informații codificate binar
- după tehnologia folosită pentru implementarea funcției de reglaj

- **reglatoare mecanice, hidraulice, pneumatice** – se folosesc componente mecanice, hidraulice sau pneumatice mai mult sau mai puțin standardizate; este dificil de implementat o funcție de reglaj, optimă din punct de vedere teoretic;
- **reglatoare electronice sau analogice** – se folosesc componente electronice active (tranzistor, amplificator operațional) și pasive (rezistență, condensator, bobină); precizia de implementare a funcției de reglaj depinde de precizia componentelor
- **reglatoare digitale sau numerice** – utilizează componente digitale (porți logice, bistabile, etc.), inclusiv microprocesor; funcția de reglaj se implementează printr-o schemă logică sau prin program; în ultimul caz pot fi implementate funcții complexe de reglaj, iar precizia de reglaj nu depinde de precizia componentelor
- **după mărimea constantelor de timp implicate**
 - **reglatoare pentru procese lente** – constantele de timp ale procesului sunt foarte mari (peste zeci de secunde); exemple: reglare temperatură, nivel, concentrații de gaze
 - **reglatoare pentru procese rapide** – constantele de timp sunt relativ mici (sub câteva secunde); exemplu: reglarea turației motoarelor, poziționare, reglare presiune
- **după gradul de adaptabilitate**
 - **reglatoare clasice** (neadaptive) – coeficienții de reglaj se acordează manual
 - **reglatoare autoadaptive** – coeficienții de reglaj se acordează automat

Algoritmi de reglare

Alegerea schemei/algoritmului de reglaj se face pe baza următorilor parametri ai procesului controlat:

- timpul mort și constanta de timp a sistemului
- precizia solicitată (eroarea staționară admisă)
- abaterea maximă admisă
- timpul maxim de atingere a valorii prescrise
- timpul maxim de tranziție
- costul maxim admis
- gradul de stabilitate al sistemului

Reglaj proporțional – regulator de tip P

- comanda este proporțională cu abaterea

$$c(t) = K_p \cdot \varepsilon(t) = K_p \cdot (V_P - V_M(t))$$

unde:

$c(t)$ – comanda la momentul t

$\varepsilon(t)$ – abaterea (eroarea) la momentul t

K_p – factorul de proporționalitate

V_p – valoarea prescrisă

$V_M(t)$ – valoarea măsurată la momentul t

$B_p=1/K_p \cdot 100$ [%] - banda de proporționalitate

Regulator P - caracteristici:

- precizie mai buna decât în cazul reglajului bi- sau tri- pozițional;
- nu se ține cont de evoluția anterioară a abaterii
- nu se recomandă pentru sisteme cu timp mort mare
- dacă abaterea este mare, comandă nu mai este proporțională cu eroarea;
- proporționalitatea se menține numai în banda de proporționalitate

Reglajul proporțional-integral – regulator de tip PI

- comanda depinde de abaterea momentană și de integrala abaterii – efect de filtrare

$$c(t) = K_p(\varepsilon(t) + 1/T_i \int \varepsilon(t)dt) \quad (1)$$

unde T_i – constanta integrativă

□ caracteristici:

- reglaj mai bun decât cel de tip P
- elimină zgomotele care apar pe valoarea măsurată
- dacă T_i este prea mic sistemul intra în oscilație

Reglajul proporțional-derivativ – regulator PD

- comanda depinde de abaterea momentană și de derivata abaterii

$$c(t) = K_p(\varepsilon(t) + T_d d\varepsilon(t)/dt) \quad (2)$$

unde: T_d – factorul derivativ

□ caracteristici:

- folosit pentru procese lente în vederea detectării direcției și vitezei de variație a abaterii
- dacă T_d este mare, sistemul intră în oscilație, mai ușor decât în cazul precedent

Reglajul proporțional-integral-derivativ – regulator de tip PID

Comanda depinde de valoarea momentană, integrală și derivata abaterii

$$c(t) = K_p(\varepsilon(t) + 1/T_i \int \varepsilon(t)dt + T_d d\varepsilon(t)/dt) \quad (3)$$

cu factor de corelație:

$$c(t) = K_p((1+q \cdot T_d/T_i) \cdot \varepsilon(t) + 1/T_i \int \varepsilon(t)dt - T_d dV_M(t)/dt) \quad (4)$$

unde:

$(1+q \cdot T_d/T_i)$ – factor de corelație

q – constanta de corecție (dependentă de construcția regulatorului)

Caracteristici:

- performanțele cele mai bune în categoria de reglatoare continue
- coeficienții regulatorului PID, K_p , T_i , T_d trebuie “acordați” în conformitate cu comportamentul sistemului controlat (pe baza răspunsului la treapta unitară)
- dacă reglajul nu este adecvat, sistemul poate să intre în oscilație
- acordarea se face pe baza unor criterii de optimalitate:
 - abaterea minimă
 - integrala pătratului abaterii să fie minimă
 - timp minim de atingere a valorii prescrise
 - abaterea maximă să nu depășească o valoare prestabilită

Acordarea reglatoarelor – presupune determinarea constantelor K_p , T_i , T_d pentru o funcționare optimă

Reglatoare adaptive

Acest tip de reglatoare își determină automat coeficienții de reglaj. Astfel, se face periodic o estimare a comportamentului sistemului și se acordează coeficienții de reglaj. Este recomandat pentru sistemele care își modifică comportamentul în timp.

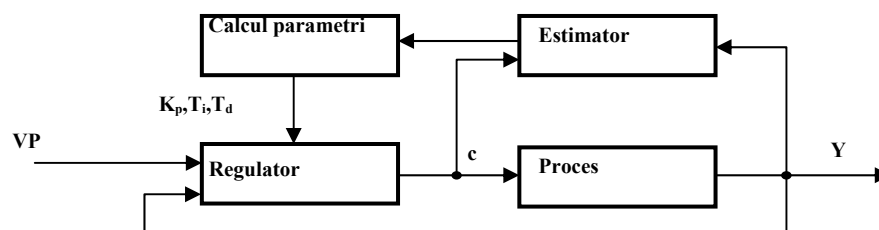


Figura 2. Schemă regulator adaptiv

Criterii de alegere a tipului optim de regulator

Alegerea soluției optime de reglaj se face pe baza mai multor criterii:

- după valoarea raportului dintre timpul mort și constanta de timp a procesului:

$T_m/T =$ (0 .. 0,3) - regulator bipozițional
(0,3 .. 1) – regulator PID
> 1 – regulatoare speciale (ex.: regulatoare adaptive)

- după caracteristicile procesului și ale perturbațiilor:
 - cu o constantă de timp dominantă – regulator P
 - cu două constante de timp dominante – regulator PI, PID
 - cu zgomot mare – regulator PI
 - cu zgomot redus și constantă de amplificare mică – regulator PD
- pe baza experienței acumulate:
 - reglaj de nivel – regulator P, PI
 - reglaj de debit - PI
 - reglaj de temperatură, presiune: P, PI, PID

CURS 5

COMPONENTE UTILIZATE IN SISTEMELE DIGITALE DE CONTROL

■ **Componente hardware:**

- procesoare specializate: microcontroloare, procesoare digitale de semnal
- memorii
- interfețe de intrare/ieșire
 - interfețe digitale
 - interfețe analogice:
- calculatoare specializate:
 - calculatoare de proces
 - reglatoare

■ **Sisteme de comunicație – rețele industriale**

- CAN
- Profibus
- Ethernet

■ **Tehnici de programare specifice:**

- sisteme de reglaj
- prelucrarea semnalelor digitale
- sisteme de timp-real
- sisteme distribuite de control

Unități de comandă cu microprocesor

■ **Avantaje:**

- o mai mare flexibilitate în implementarea funcțiilor de control
- noi funcționalități: vizualizarea, stocarea și transmiterea la distanță a datelor
- comenzi “inteligente” primite de la distanță, auto-testarea și auto-calibrarea sistemului
- implementarea funcțiilor de urmărire și control => prin program

■ **Dezavantaje:**

- procesarea discretă a datelor; timp de reacție determinat de timpul de execuție a programului, care uneori este greu de precizat; limite dimensionale, de cost sau de consum

Microcontrolere

- procesoare specializate pentru aplicații de control

- circuite care încorporează aproape toate componentele unui micro-sistem de calcul: UCP, memorie de program, memorie de date, sistem de întreruperi, porturi de intrare/ieșire digitale, convertoare analog-numerice și numeric analogice, interfețe de comunicație și de rețea

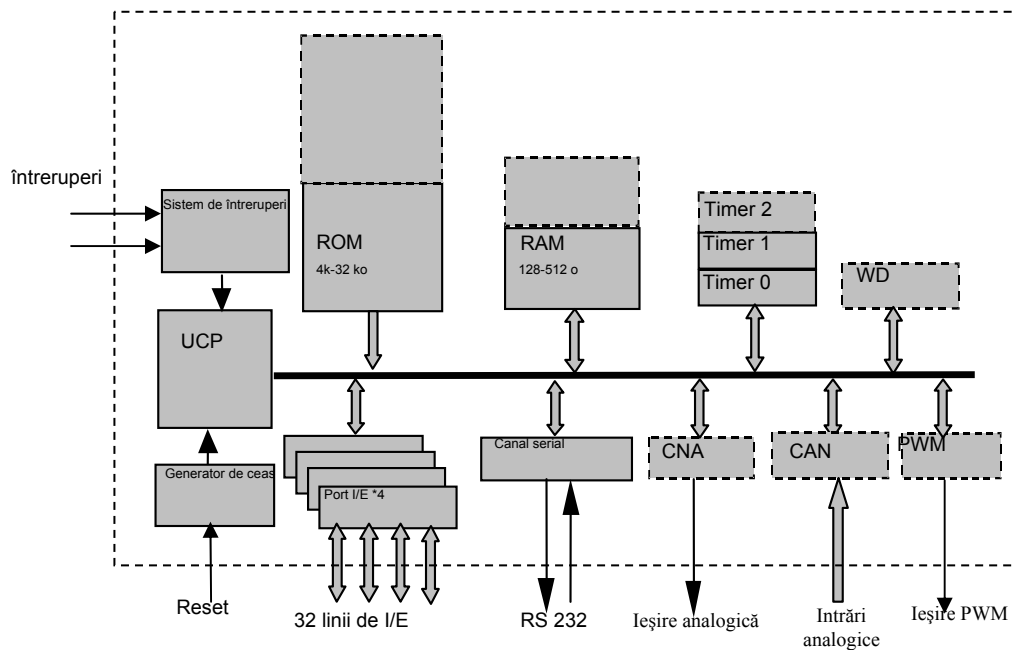
Microcontrolere (μ C) - caracteristici:

- dimensiuni reduse (număr redus de pini)
- consum mic
- timp predefinit de execuție a instrucțiunilor
- arhitectură tip Harvard: separarea memoriei de program de memoria de date
- sistem de întreruperi simplu, adaptat componentelor periferice (contoare, interfețe) conținute în circuit
- frecvențe de lucru relativ mici (10-30 MHz); performanțe de calcul modeste
- limitări în ceea ce privește capacitatea de memorare
- restricții privind posibilitățile de extindere a sistemului

Familii de μ C

- O familie este caracterizată prin:
 - aceeași arhitectură de bază
 - același set de instrucțiuni
 - aceleași instrumente de dezvoltare a programelor
- Diferențe între variante ale aceleiași familii:
 - Capacitate de memorie (pentru date și pentru program)
 - Tipuri de interfețe incluse
 - Număr de porturi, contoare;

Schema bloc a unei familii de microcontrolere



Principalele componente ale microcontrolerului

- **UCP – unitatea centrală de prelucrare** – asigură execuția instrucțiunilor unui program
- **ROM – memoria nevolatilă** – conține programul de aplicație și eventualele constante de program; memoria poate fi de tip PROM (se înscrie o singură dată), EPROM (cu posibilitate de înscriere multiplă, off-line) sau EEPROM (cu posibilitate de scriere în timpul funcționării programului); dimensiunea memoriei variază funcție de varianta constructivă de la 0 la 32ko; ea se poate extinde prin adăugarea unei memorii externe
- **RAM – memoria de date** – păstrează variabilele programului și stiva; în prima parte a memoriei locațiile pot fi adresate ca registre interne (4 seturi a câte 8 registre); o anumită zonă de memorie poate fi adresată la nivel de bit; capacitatea memoriei depinde de varianta constructivă (128-512 octeți); memoria RAM internă poate fi extinsă cu o memorie RAM externă
- **sistemul de întreruperi** – gestionează cererile interne și externe de întrerupere; sursele de întrerupere sunt: 2 linii externe de întrerupere, canal serial (recepție sau transmisie de caractere) și contoare (timer 0,1,2)
- **generatorul de ceas** – generează semnalul de ceas necesar pentru funcționarea UCP și furnizează o frecvență de referință pentru contoarele interne și canalul serial
- **porturile de intrare/ieșire** – permit achiziția sau generarea de semnale digitale; sunt 4 sau 6 porturi a câte 8 semnale; un semnal se configurează ca intrare, ieșire sau semnal bidirecțional

- **canalul serial** – implementează protocolul de comunicație RS 232 (canal serial asincron, bidirecțional pe caracter); la unele variante există un canal serial suplimentar care implementează protocolul I2C; acest protocol permite construirea unei magistrale seriale în locul celei paralele clasice
- **timer 0, 1, 2** – set de 2 sau 3 contoare utilizabile pentru generarea periodică a unor întreruperi (ex.: pentru ceas de timp-real), pentru numărarea unor evenimente externe sau pentru generarea frecvenței de transmisie serială
- **CNA – convertor numeric/analogic** – folosit pentru generarea unui semnal analogic; această componentă este prezentă numai la variantele mai complexe
- **CAN – convertor analog/numeric** – folosit pentru achiziția unor semnale analogice; pot fi citite prin multiplexare până la 8 intrări analogice
- **WD – contor Watch-Dog** – utilizat pentru detectarea funcționării anormale a UCP; dacă contorul nu este reinițializat periodic, se consideră o anomalie și ieșirea contorului va provoca o reinițializare a procesorului
- **PWM – ieșire cu modulație în lățime de impuls** (Puls Width Modulation) – permite generarea unei comenzi asemănătoare unui semnal analogic, folosindu-se o ieșire digitală; prin aplicarea unui filtru trece jos se obține un semnal analogic proporțional cu factorul de umplere al impulsului generat

Accesarea memoriei și a porturilor

- Registrele interne fac parte din spațiul de memorie destinat datelor
- Porturile de intrare/ieșire, inclusiv cele de control și stare ocupa un loc predefinit din spațiul de memorie (SFR – Special Function Register)

Moduri de funcționare

- **funcționare normală** (eng. normal mode) – toate componentele sunt funcționale, consumul este maxim
- **așteptare** (eng. idle mode) – generatorul de ceas, contoarele și memoria RAM sunt alimentate, restul componentelor sunt decuplate; consumul este mediu; procesorul este scos din această stare printr-un semnal de reset sau un semnal de întrerupere
- **deconectare** (eng. power-down mode) – memoria RAM este singura componentă alimentată, restul fiind decuplate; tensiunea minimă admisibilă este de 3V, iar consumul este extrem de mic (comparabil cu curentul de descărcare naturală a unei baterii)

Setul de instrucțiuni – structura UCP

- UCP are arhitectura pe 8 biți de tip Harvard (memorie de date și de program separate)
- Set simplu de instrucțiuni
- Instrucțiuni relativ simple

- Instrucțiunile nu fac distincție între locații de memorie și porturi – spațiu comun de adresare
- Adresarea memoriei RAM externe și a memoriei de program se face indirect prin registru (Data Pointer)
- La 12MHz o instrucțiune se execută în 1 sau 2 μ s
- Timpul de execuție a unui program se poate calcula prin numărarea instrucțiunilor

Caracteristici comune pentru diferitele variante de μ C:

- integrarea într-un singur circuit a componentelor necesare pentru o aplicație simplă de control
- arhitectură Harvard, care presupune separarea memoriei de program de memoria de date; scopul urmărit este protejarea zonei de program și creșterea vitezei de transfer
- mai multe variante constructive, care se adaptează mai bine la necesitățile unei aplicații concrete
- set de instrucțiuni simplu, cu instrucțiuni executate într-un timp bine definit; scopul urmărit este creșterea gradului de determinism și posibilitatea evaluării timpului de procesare a datelor, încă din faza de proiectare
- seturi multiple de registre interne, utile pentru transferul rapid de date și pentru comutarea rapidă de context
- adresarea porturilor de intrare/ieșire ca locații de memorie pentru a permite un acces direct și rapid la semnalele de intrare și de ieșire
- mai multe moduri speciale de lucru pentru un consum minim
- conțin componente tipice pentru aplicațiile de control: convertoare de semnal, generator PWM, numărătoare de impulsuri, detector de funcționare anormală (watch-dog), etc.

CURS 6

INTERFEȚE DE PROCES

Interfețele de proces reprezintă conexiunea dintre sistemul de calcul și dispozitivele de automatizare distribuite în procesul controlat.

Funcțiile îndeplinite de interfețele de proces sunt:

- **adaptarea semnalelor de intrare** la specificațiile tehnologiei digitale utilizate (în mod uzual TTL sau CMOS); aceasta presupune adaptare de impedanță, amplificare, filtrare, eșantionare și diverse tipuri de conversii;
- **generarea semnalelor de ieșire** conform specificațiilor date de dispozitivele de automatizare către care se îndreaptă; și această funcție presupune adaptare de impedanță și de putere, amplificare și conversii;
- **izolarea galvanică a semnalelor de intrare și de ieșire**, cu scopul de a proteja sistemul de calcul (partea inteligentă) de eventuale defecțiuni apărute în partea de proces și care ar putea să distrugă componentele digitale (ex.: conectarea accidentală a unor tensiuni ridicate pe semnalele de intrare sau de ieșire, scurtcircuite, etc.);
- **memorarea temporară** a datelor;
- **sincronizarea** fluxului de date de intrare și de ieșire cu viteza de lucru a procesorului.

Structura unei interfețe depinde de următorii factori:

- numărul de semnale recepționate și transmise;
- natura semnalelor: digitale sau analogice, de tensiune sau de curent, cu codificare pe nivel, în frecvență sau în lățime de impuls, etc;
- domeniul de frecvență al semnalelor;
- precizia de prelucrare a semnalelor;
- tipul de magistrală la care se conectează interfața.

Într-o interfață pot fi utilizate următoarele moduri de transfer:

- ✓ **prin program** – unitatea centrală controlează direct transferul de date, pe baza unei rutine de transfer;
- ✓ **prin întreruperi** – fiecare nou transfer este inițiat prin activarea unui semnal de întrerupere; transferul propriu-zis se realizează de unitatea centrală printr-o rutină de întrerupere;
- ✓ **prin acces direct la memorie** – un circuit specializat în care controlorul de acces direct la memorie dirijează transferul între memorie și interfață;

- ✓ **prin procesor de intrare/ieșire** – presupune un procesor specializat, conținut în interfață, care se ocupă de efectuarea transferului

Schema de principiu a unei interfețe de proces prezintă următoarele componente:

- registre (porturi) de ieșire (RE)- pentru memorarea semnalelor de ieșire;
- registre (porturi) de intrare (RI) – pentru citirea semnalelor de intrare;
- circuite de adaptare (CA) – adaptează semnalele de intrare și de ieșire;
- circuit de decodificare (Dec) – pentru selecția registrelor de intrare și de ieșire

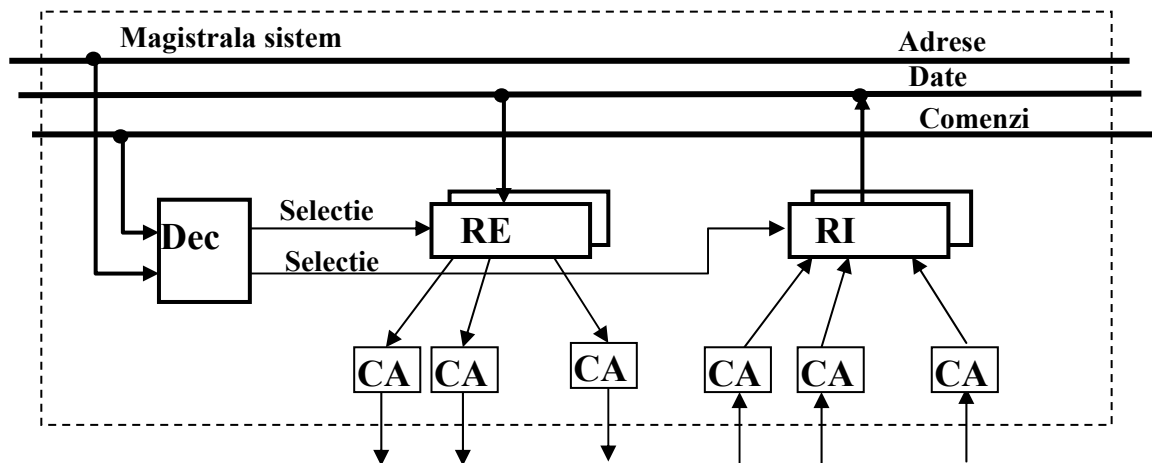


Figura 1. Schema de principiu a unei interfețe de proces

Tipuri de interfețe

- Interfețe de ieșire pentru semnale digitale: prin releu, prin optocuplor, prin tiristor;
- Interfețe de intrare pentru semnale digitale: prin releu, prin optocuplor;
- Interfețe de ieșire pentru semnale analogice: circuite de conversie;
- Interfețe de intrare pentru semnale analogice: circuite de conversie.

Interfețe de ieșire pentru semnale digitale

1. Circuit de ieșire digitală prin releu

Primește semnal prin circuitul digital TTL și bobina releului este alimentată închizând sau deschizând (funcție de tipul contactului releului – normal deschis, ND sau normal închis, NI). În funcție de robustețea contactelor releului, pot fi comutate tensiuni și curenți mari. Componentele mecanice ale releului limitează frecvența semnalului de ieșire (max. 1Hz), comutările frecvente provocând uzura prematură a releului în principal prin uzura contactelor. Totodată asigură o bună separare galvanică.

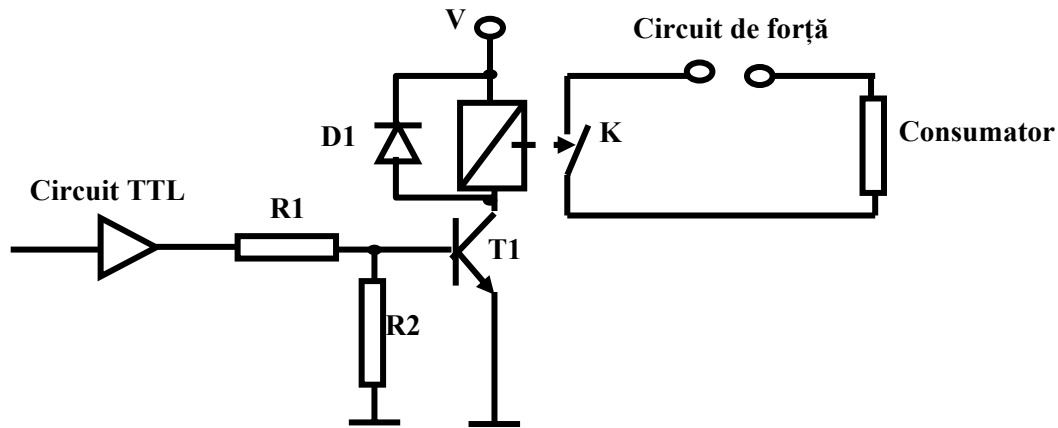


Figura 2. Circuit de ieșire digitală prin releu

2. Circuit de ieșire digitală prin optocuplor(ansamblul LED-fototranzistor)

Funcționare - semnalul este transmis de la fotodiodă la fototranzistor, acesta aplică potențialul V2 prin rezistența R2 către tranzistorul T alimentând circuitul de comandă.

Caracteristici:

- asigură o izolare galvanică bună;
- frecvența maximă a semnalului este mult mai mare (10KHz- 1MHz);
- comutările repetate nu afectează circuitul (număr nelimitat de cicluri);
- puterea transmisă este mică

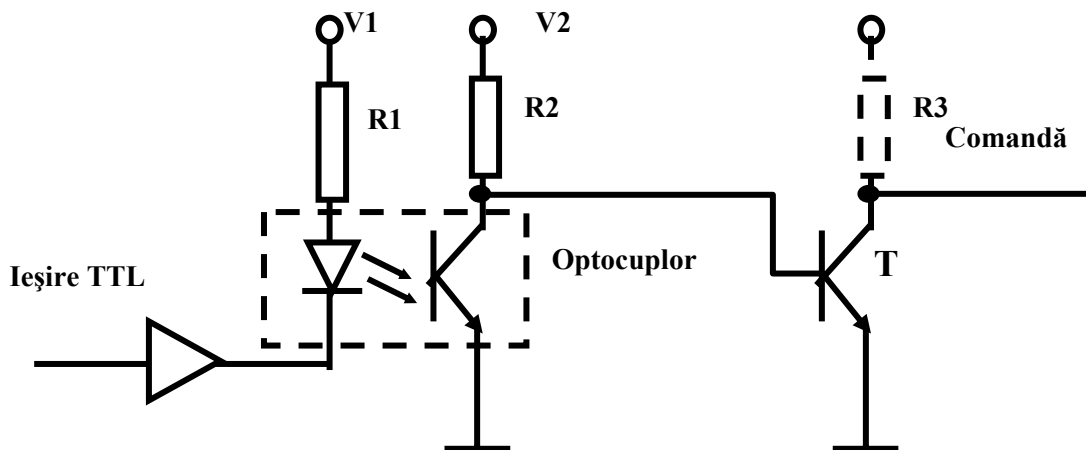


Figura 3. Circuit de ieșire digitală prin optocuplor

3. Circuit de ieșire digitală prin tiristor

Funcționare - semnalul este transmis de la circuitul TTL etajului de comandă format de tranzistorul T1, acesta comandând tiristorul T2 care permite aplicarea tensiunii U_r pe consumatorul R.

Caracteristici:

- nu asigură izolarea galvanică a circuitului de comandă de circuitul de forță;
 - există pericolul străpungerii tiristorului, ceea ce permite trecerea tensiunii din circuitul de forță în partea de control;
- consumatorul (elementul de acționare) poate fi comandat în impulsuri

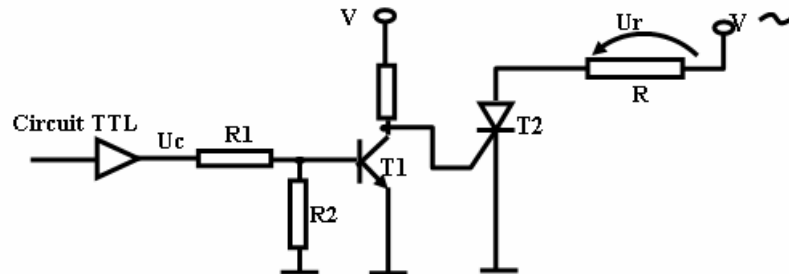


Figura 4. Circuit de ieșire digitală prin tiristor

Interfețe de ieșire pentru semnale analogice

Canal analogic de ieșire

- *registrul* – memorează valoarea digitală a semnalului analogic;
- *CD/A* – *convertor digital-analog* – convertește un semnal digital într-o valoare analogică
- *FTJ* – *filtru trece jos* – realizează filtrarea semnalului de ieșire, atenuând trecerile bruște între valorile de ieșire discrete;
- *amplificator* – adaptează semnalul analogic de ieșire conform unui anumit standard de transmisie (tensiune, curent, impedanță), sau conform cu specificațiile dispozitivului de acționare;
- *dispozitiv de acționare* – element de automatizare menit să influențeze evoluția unui proces;
- *adaptor* – transformă semnalul analogic într-o comandă către elementul de execuție;
- *element de execuție* – dispozitiv care acționează asupra unui parametru de intrare în proces (ex.: robinete, valve, motor electric, etc.)

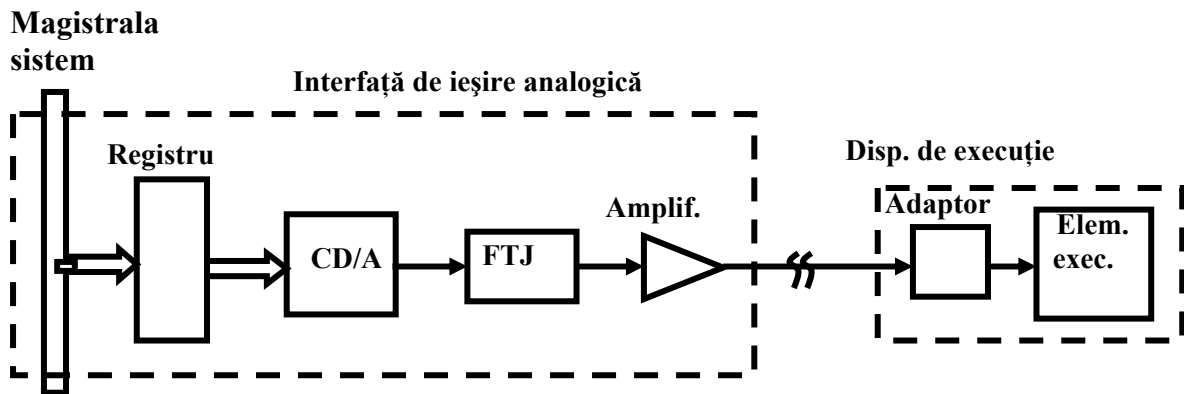


Figura 5. Canal analogic de ieșire

Interfețe de intrare pentru semnale analogice

- **traductorul** – dispozitiv conectat în proces și care transformă variația unei mărimi fizice în variația unui semnal electric; traductorul se compune dintr-o parte de senzor și un adaptor de semnal;
- **amplificatorul** – are rolul de a adapta semnalul de intrare la domeniul admis al convertorului analog-digital; în anumite cazuri este necesară izolarea galvanică a semnalului de intrare de restul circuitului
- **multiplexorul analogic (MUX)** – permite comutarea mai multor intrări analogice la un singur convertor analog-digital
- **filtrul trece jos (FTJ)** – are rolul de a limita frecvența semnalului de intrare; se consideră că acele componente de semnal care depășesc o anumită limită de frecvență sunt generate de zgomote și în consecință trebuie eliminate
- **circuitul de eșantionare/reținere (eng. S/H – Sample and hold)** – are rolul de a preleva eșantioane din semnalul de intrare și de a menține constantă valoarea eșantionată pe toată durata ciclului de conversie
- **convertorul analog-digital (CAD)** – convertește un semnal analogic într-o valoare digitală
- **registrul de intrare (RI)** – memorează valoarea convertită pentru a fi citită de procesor

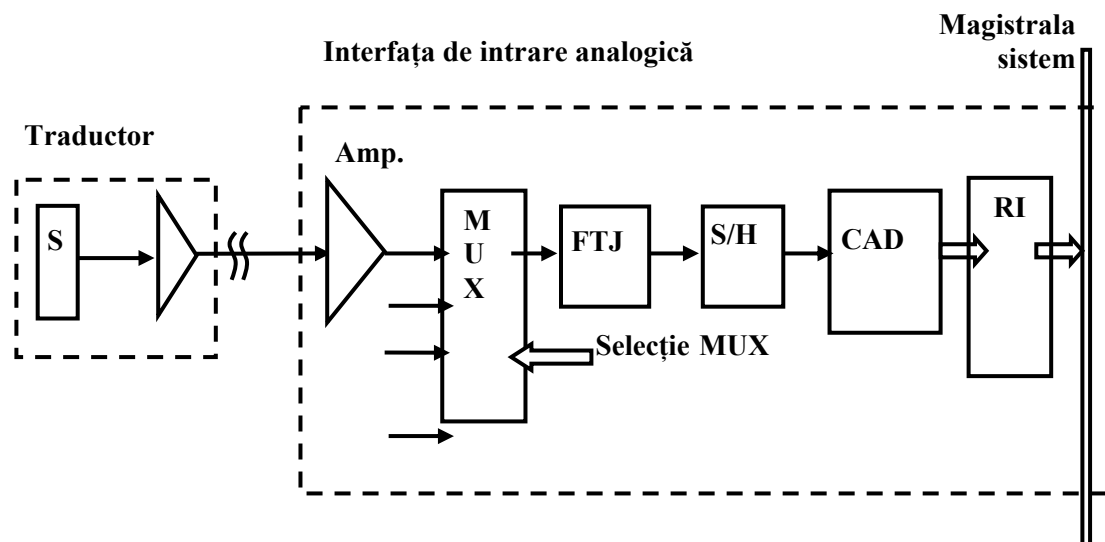


Figura 6. Interfețe de intrare pentru semnale analogice

CURS 7

REȚELE INDUSTRIALE DE COMUNICAȚII

Rețelele industriale de comunicație sunt sisteme de comunicație dezvoltate cu scopul satisfacerii cerințelor de comunicație din mediul industrial.

Ce se transmite ?

- Informații binare/logice - informații de stare (închis/deschis, pornit/oprit, validat/invalidat);
- Informație analogică - valori de mărimi fizice de proces;
- Informație mixtă - informații de configurare și reglare.

Cum trebuie să se transmită informațiile?

- Sigur:
 - fără pierdere de informație;
 - fără erori;
 - fără intervenția persoanelor neautorizate.
- Exact:
 - în concordanță cu mărimile de proces măsurate;
 - fără zgomote;
- La timp:
 - întârzieri:
 - Datorită măsurării;
 - Datorită transmisiei.

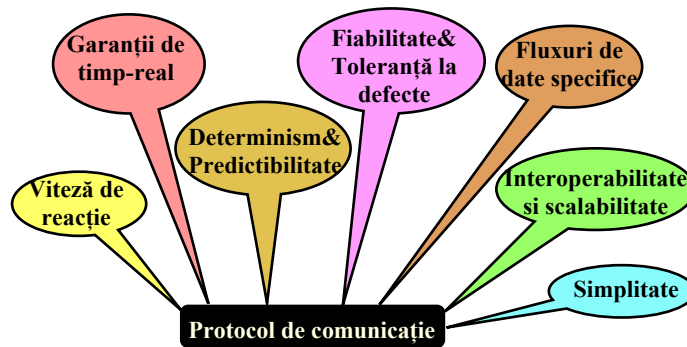
Comunicația în rețea este caracterizată, în principal:

- Un mediu, mai multe conexiuni;
- Transmiterea de date complexe în direcții multiple;
- Infrastructura de comunicație mai ieftină;
- Transmisie sigură/fiabilă:
 - Prin folosirea tehnicilor digitale de codare și transmisie;
 - Mijloace specifice de protecție a datelor (metode de detecție și corecție a erorilor incluse în protocolul de comunicație);
- Mediu de comunicație scalabil și reconfigurabil;
- Standardizare și interoperabilitate.

Cerințe specifice de comunicație:

- Timp determinat/predefinit pentru transmisia mesajelor – comunicație de timp-real;
- Nivel predefinit de siguranța/fiabilitate:

- Nivelul de fiabilitate trebuie demonstrat
- Toleranța la defecte, detecția, mascarea și corecția erorilor
- Caracter determinist, predictiv al transmisiei;
- Transmiterea unor structuri specifice de date;
- Achiziția și transmisia periodică a datelor;
- Mai multe nivele de priorități.

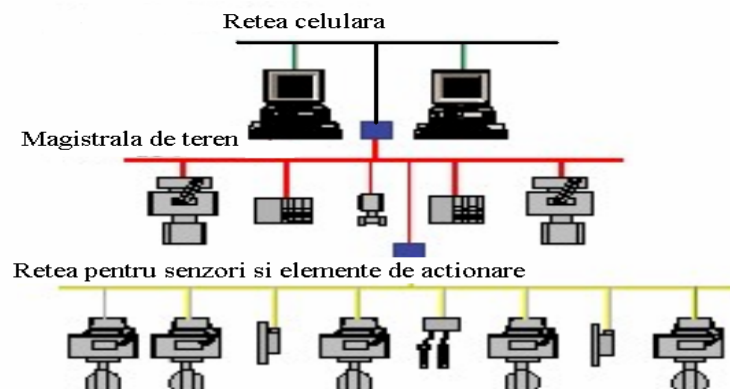


Soluții:

- Rețele dedicate de comunicație ⇒ rețele industriale
- Adaptarea rețelelor de calculatoare pentru mediu industrial

Clasificarea rețelelor industriale de comunicație cuprinde 3 clase mai importante și anume:

- ✓ Rețele pentru senzori și elemente de acționare (Instrumentation bus, Actuator/Sensor network);
- ✓ Rețele/magistrale de teren (field buses);
- ✓ Rețele celulare (cell networks)



Acestea diferă prin:

- numărul de noduri conectate în rețea;
- dimensiunea și distribuția geografică a rețelei;

- timpul de reacție maxim impus al rețelei;
- complexitatea dispozitivelor conectate în rețea (gradul de inteligență, resurse disponibile);
- costurile de instalare și întreținere admise (un procent din costurile întregii instalații);
- fiabilitatea impusă și gradul de toleranță la defecte;
- cerințe speciale (medii explozive, zgomote electromagnetice intense, variații mari ale parametrilor de mediu, etc.)

- Rețele pentru senzori și elemente de acționare

Acestea sunt utilizate pentru controlul la nivelul procesului de fabricație ca bucle de reglaj și control secvențial, pentru interconectarea unor elemente simple de automatizare (senzori) cu elemente de complexitate medie (reglatoare, etc.)

Rețelele pentru senzori sunt caracterizate de:

- Viteza (foarte) mare; timp de reacție scăzut(1-10 ms);
- Mesaje foarte scurte (8-16 biți);
- Metode deterministe de acces la mediul de comunicație;
- Modele de comunicație: master-slave;
- Protocol simplu la nodurile slave, complex la nodul master;
- Nivel ridicat de fiabilitate și siguranță

Exemple (implementări practice):

- CAN – Control Area Network: dezvoltat în principal pentru industria automobilistică este o rețea de tip magistrală serială, de dimensiuni mici (50m, 200m), fiecare tip de mesaj având un nivel propriu de prioritate.
- Interbus-S: arhitectură de tip inel, controlat de la un nod central.
- ASi - Actuator Sensor Interface: rețea de tip magistrală, cu acces prin metoda master-slave. Este caracterizată de mesaje foarte scurte, cu reconfigurarea automată în caz de defect.
- **Rețele de teren (fieldbus)** – Profibus, WorldFIP, DeviceNet

Rețelele de teren sunt utilizate pentru controlul unor procese de complexitate medie. Prezintă un protocol relativ complex care implică prezența unei anumite “inteligențe” la nivelul fiecărui nod de rețea (calculatoare de proces, reglatoare, etc.)

Caracteristici:

- Timp de răspuns mediu, predefinit (10-100ms);

- Mesaje scurte și medii (100-250 octeți);
- Protocol complex care asigură mecanisme bune de detecție și mascare a erorilor;
- Mecanisme de acces la rețea de tip multimaster.

- Rețele celulare

Rețele celulare sunt rețelele pentru interconectarea celulelor flexibile de fabricație

- Seamănă cu rețelele locale de calculatoare
- Caracteristici:
 - Timp garantat de transmisie
 - Comportament determinist
 - Mesajele au structura complexă (similar cu Ethernet)
 - Nodurile rețelei sunt calculatoare de proces

Protocolul Ethernet în controlul industrial

Ethernet-ul reprezintă cel mai răspândit protocol pentru rețelele locale de calculatoare, fiind caracterizat de interfețe foarte ieftine și compatibilitate cu sistemul informatic al unei întreprinderi. În schimb, nu este un protocol determinist, nu se poate garanta timpul de transmisie și nici transmisia sigură a unui mesaj.

Prezintă însă soluții în ceea ce privește:

- transmisia: la frecvențe de 100MHz/1GHz evită apariția coliziunilor de date;
- determinismul se asigură prin suprapunerea unui mecanism determinist de acces la mediul de transmisie peste protocolul clasic Ethernet

Sisteme distribuite bazate pe servicii

Scopul utilizării acestor sisteme este reducerea complexității sistemelor distribuite de control.

Metoda propusă este dezvoltarea unui set de servicii de nivel intermediar care să satisfacă necesitățile de comunicație și sincronizare ale unui sistem de control.

Proiectarea sistemelor distribuite de control moderne implică utilizarea unor **modele, tehnici și instrumente adecvate de comunicație**, adaptate cerințelor specifice din mediul industrial.

Se impune astfel o mai mare atenție mijloacelor de comunicație utilizate în sistemele de control. Sunt necesare metode și tehnici speciale de garantare a caracteristicilor critice de comunicație (ex: timp de transmisie, timp de reacție, fiabilitate, toleranță la defecte, etc.). Totodată este necesară unificarea standardelor de comunicație pentru a asigura interoperabilitatea unei game largi de echipamente de control.

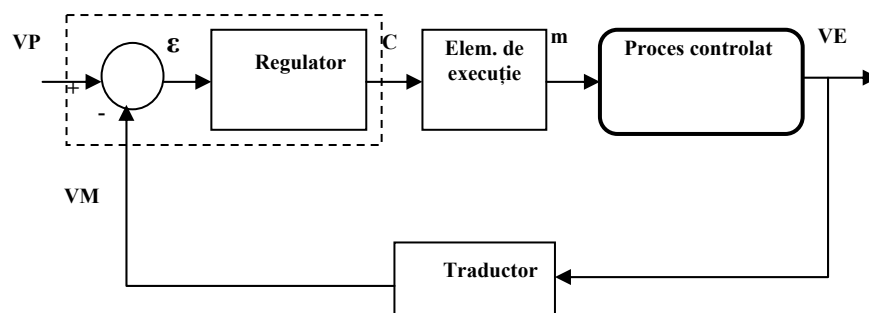
CURS 8

TIPURI DE TRADUCTOARE

Schema unui sistem automat monovariabil simplu în buclă închisă.

Elementele unei bucle de reglaj sunt:

- **procesul controlat** – instalația tehnologică sau echipamentul a cărui parametru se controlează;
- **regulator** – dispozitiv de automatizare care generează o comandă (c) pe baza abaterii (ϵ) dintre valoarea prescrisă (VP) și valoarea măsurată (VM) a unui parametru de proces (VE - valoare de ieșire);
- **traductor** – dispozitiv care transformă o mărime de proces într-un semnal electric;
- **element de execuție** – dispozitiv care transformă un semnal de comandă într-o acțiune (m) de obicei de natură mecanică prin care se influențează evoluția procesului

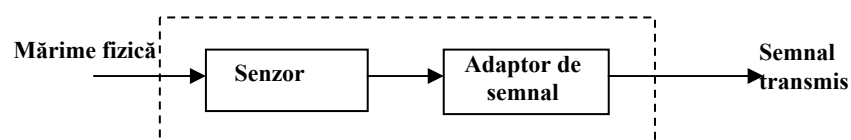


Componentele unui sistem de reglare automată

Traductoare - dispozitive de automatizare utilizate pentru măsurarea parametrilor ai unui proces

■ componente:

- element sensibil – senzor - transforma o mărime fizică într-o mărime măsurabilă (de obicei de natură electrică)
- adaptor de semnal cu rol de amplificare și filtrare a semnalului de intrare; eliminare a tensiunii continue reziduale; compensarea comportamentului nelinier al senzorului; modularea și codificarea informației.



Traductoare

Semnalul transmis de traductor poate fi:

- semnal analogic: semnale unificate (standard) de tensiune: [0-5V]; [0-10V],[-5 - +5V] sau de curent: [2-10mA], [4-20mA]
- semnal digital:
 - de stare: 0/1
 - în impulsuri cu frecvență variabilă sau cu lățime de impuls variabilă
 - mesaj digital

Traductoare “inteligente” fiind traductor clasic + microcontrolor caracterizat de funcțiile suplimentare: afișarea locală a valorii măsurate; autocalibrarea dispozitivului de măsurare; codificarea informației transmise; stocarea temporară a datelor; sintetizarea și filtrarea logică a datelor măsurate.

Principalele caracteristici ale unui traductor sunt

- natura mărimii fizice măsurate: temperatura, presiune, nivel, deplasare, umiditate, concentrație de gaz.
- funcția de transformare (relația dintre mărimea fizică măsurată și semnalul de ieșire): liniara (cazul ideal) sau neliniara – cazul real (linearizabilă pe porțiuni)
- gama de variație admisă a mărimii de intrare
- sensibilitatea de măsurare (raportul dintre variația semnalului de ieșire și variația mărimii de intrare). Ex: la senzor de temperatura:
 - joncțiune semiconductoare: 2mV/grad Celsius
 - termocuplu: 200 μ V/°C
- precizia de măsurare și eroarea
 - eroare absoluta
 - eroare relativa: eroarea/valoarea nominala sau eroarea/domeniul de măsură
- caracteristica dinamică:
 - comportamentul in timp al traductorului:
 - ex: timpul mort al traductorului
- natura semnalului de ieșire

Traductoare de temperatura

Temperatura este cel mai important parametru de proces.

Principalele tipuri de traductoare de temperatura sunt: termocupluri, termorezistențe, termometre manometrice, pirometre.

Termocupluri

Acest tip de traductoare de temperatură se obține prin alipirea într-un punct a două metale diferite. În punctul de contact apare o joncțiune ce dirijează purtătorii de sarcină într-un singur sens. Apare o tensiune electro-motoare ce depinde de natura metalelor și de TEMPERATURA punctului de contact.

$$e = e_0 + k \cdot \Delta T$$

unde:

e – tensiunea electromotoare generată la o anumită temperatură

e_0 – tensiunea generată de joncțiune la temperatura de 0°C

ΔT – temperatura în °C la care se află joncțiunea

k – constanta termocuplului, indică variația tensiunii electro-motoare la o variație de un grad a joncțiunii

■ Avantaje:

- precizie foarte mare, liniaritate buna
- repetabilitate în timp a măsurătorilor
- valorile măsurate sunt universale, la înlocuire nu necesită reglaje suplimentare
- plajă foarte mare de temperatură (- 200 - +1600°C)

■ Dezavantaj:

- problema “punctului rece”
- valori mici ale tensiunii generate/grad Celsius
- necesită contact fizic cu obiectul măsurat

Termorezistențele – are la bază principiul variației rezistenței cu temperatura

■ legea de variație:

$$R = R_0(1 + \alpha \Delta t)$$

unde:

R – rezistența senzorului la temperatura t

R_0 – rezistența senzorului la 0°C; valorile nominale sunt standardizate: $R_0 = 100, 200\Omega$

α – coeficientul de variație al rezistenței cu temperatura

Δt – temperatura măsurată în °C

■ Caracteristici:

- linearitate relativ bună a funcției de transformare
- plajă mare de temperatură (-200 - 600°C)
- preț relativ scăzut
- precizie moderată

- încălzirea termorezistenței la trecerea unui curent de măsură afectează precizia de măsurare

Termistorii - are la bază principiul variației negative și exponențială a rezistenței cu temperatura

$$R = R_0 \cdot e^{\beta(1/T - 1/T_0)}$$

unde:

R – rezistența la temperatura T

R_0 – valoarea de referință a senzorului

T – temperatura măsurată în grade kelvin

T_0 – temperatura de referință (298°Kelvin = 20°C)

β – constanta de temperatură

Termometrele manometrice - se bazează pe legea gazului ideal:

$$pV = \gamma RT$$

$$p = p_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

unde:

T- temperatura absolută măsurată în grade Kelvin

p - presiunea gazului ideal

p_0 – presiunea la temperatura de 0°C

α – constanta de variație a presiunii cu temperatura

γ – numărul de moli de gaz

R- constanta universală a gazelor

Caracteristici:

- precizie foarte mare
- dificil de integrat în sisteme de automatizare
- se folosesc pentru calibrarea celorlalte traductoare de temperatura

Pirometrele de radiație - măsoară temperatura pe baza energiei (optice) radiante. Ele sunt de două tipuri: pirometre de radiație totală și pirometre de radiație cromatică

Caracteristici:

- măsurarea de la distanță a temperaturii
- plaja mare de variație a temperaturii
- preț relativ ridicat

Traductoare de presiune

- presiunea – un alt parametru important
- se măsoară fie pentru presiunea propriu-zisă fie pentru a determina indirect alte mărimi (ex: nivelul de lichid într-un recipient)

Traductoare de debit

- Există mai multe metode de măsurare a debitului unui fluid:
 - prin măsurarea unei diferențe de presiune
 - prin măsurarea unui cuplu mecanic sau a vitezei de rotație
 - prin măsurarea unui efect de inducție electromagnetică

Traductoare de nivel

- prin măsurarea presiunii lichidului la fundul rezervorului

$$h = p/(\rho \cdot g)$$

unde: h - înălțimea coloanei de lichid

p – presiunea statică la fundul rezervorului

ρ – densitatea lichidului

g – accelerația gravitațională

- prin măsurarea cu ultrasunete sau optic a distanței la care se află suprafața liberă a lichidului (ex.: pentru baraje de acumulare)
- cu plutitor și senzor de deplasare
- cu senzor capacitiv; se măsoară variația capacității unui condensator alcătuit din două armături verticale introduse în bazin; capacitatea depinde de permitivitatea electrică a lichidului și de nivelul acestuia; lichidul trebuie să fie izolator

Traductoare de deplasare și de viteză

- Tipuri:
 - cu inductanță variabilă
 - cu capacitate variabilă
 - cu rezistență variabilă (potențiomtru)
 - cu senzor optic

Traductoare pentru mărimi electrice

- tensiune
- curent
- putere
- factor de putere
- rezistență, capacitate, inductanță

Traductoare pentru mărimi fizice și chimice speciale

- analizoare de gaze pentru oxigen, monoxid de carbon și bioxid de carbon
- traductoare de umiditate relativă și absolută
- traductoare de vâscozitate
- traductoare de pH

CURS 9

PRELUCRAREA DIGITALA A SEMNALELOR

Procesarea semnalelor

Semnalul este o mărime fizică purtătoare a unei informații.

Cele mai importante obiective urmărite prin prelucrarea semnalelor sunt:

- extragerea din semnal a unor componente considerate relevante pentru problema studiată (ex.: filtrare);
- transformarea semnalului pe baza unei anumite reguli (amplificare/atenuare, întârziere, etc.).

Domeniile care impun prelucrarea semnalelor sunt:

- Analiza semnalelor - domeniul care se ocupă de descompunerea semnalelor complexe în semnale elementare;
 - un semnal complex se descrie ca o sumă (ponderată) de semnale simple; (prin pondere se înțelege amplitudinea semnalului simplu)
- Sinteza semnalelor - generarea unor semnale complexe, cu anumite proprietăți date, care se obțin prin combinarea unor semnale elementare.
 - Ex: modulatori, multiplexare, generatoare de semnal, etc.

Criteriile de clasificare a semnalelor:

- Din punct de vedere al predictibilității, semnalele pot fi:
 - deterministe, dacă evoluția lor este previzibilă și se pot descrie prin funcții de timp (ex.: $x(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$)
 - aleatoare, dacă au o evoluție imprevizibilă sau mult prea complexă pentru a putea fi exprimată printr-o expresie matematică (ex.: zgomot)
- Din punct de vedere al evoluției în timp semnalele pot fi:
 - continue, dacă sunt descrise prin funcții continue de timp
 - discrete, dacă au valori definite doar la anumite momente de timp
- Din punct de vedere al amplitudinii, semnalele pot fi:
 - continue, dacă domeniul de variație al amplitudinii este un interval continuu
 - cuantizate, dacă amplitudinea poate lua un număr finit de valori
- Semnale analogice -sunt semnalele continue în timp; se studiază în teoria clasică a semnalelor (integrale/derivate continue, transformata Fourier, Laplace, etc.)
- Semnale digitale – sunt semnale discrete din punct de vedere al evoluției în timp și cuantizate ca domeniu de valori; se studiază prin teoria semnalelor digitale sau discrete (sume integrale, transformata în Z, etc.)

Sisteme liniare. Acestea pot fi:

- Sisteme descrise prin ecuații integro-diferențiale liniare, fiind totodată sisteme la care este valabil principiul suprapunerii efectelor:
 - Efectul unui semnal complex asupra unui sistem este egal cu suma efectelor produse de semnalele simple ce compun semnalul complex
 - Efectul produs de un sistem liniar asupra unui semnal complex de intrare este egal cu suma efectelor produse asupra componentelor semnalului
- Sisteme reale:
 - Neliniare în ansamblu
 - Linearizabile pe porțiuni
 - Cauze de neliniaritate:
 - Efect de saturație (la valori prea mari)
 - Legea de variație a sistemului este neliniară prin natura fenomenelor incorporate
 - Transformări de stare (ex: fierbere, rupere, etc.)

Exemple de semnale (în domeniul continuu)

■ **Semnal sinusoidal**

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi) = A \sin(2\pi f \cdot t + \varphi) = A \sin(2\pi/T \cdot t + \varphi) \quad (1)$$

unde:

A – amplitudinea semnalului

ω – pulsația

φ – faza inițială a semnalului

f – frecvența semnalului

T – perioada

t – timpul

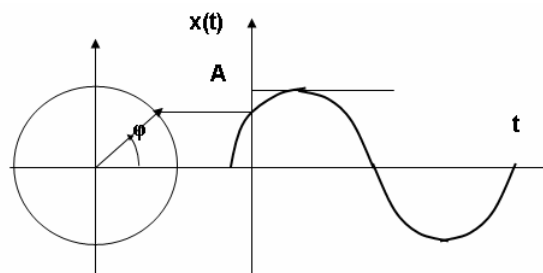


Figura 1. Semnal sinusoidal

Semnal de tip treaptă unitară

$$\sigma(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 & t > 0 \end{cases} \quad (2)$$

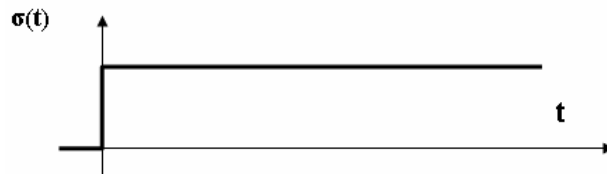


Figura 2. Semnal tip treaptă

Semnal rampă

$$x(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ a \cdot t & t > 0 \end{cases} \quad (3)$$

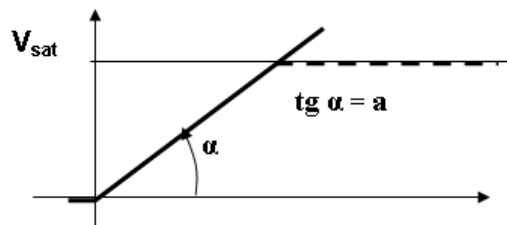


Figura 3. Semnal rampă

Semnal de tip Dirac

$$\delta(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ \lim_{\Delta t \rightarrow 0} 1/\Delta t & 0 \leq t \leq \Delta t \\ 0 & t > \Delta t \end{cases} \quad (4)$$

Un semnal discret se exprimă ca o sumă ponderată de impulsuri Dirac:

$$x(t) = \sum_{k=0}^N ak\delta(t - kT) \quad (5)$$

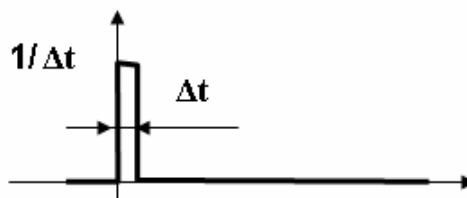


Figura 4. Semnal tip Dirac

Semnale în domeniul discret

- Semnal discretizat în timp: secvența de valori ale semnalului la momente kT (T- perioada de eșantionare a semnalului)
- Exemple:

a. Semnal sinusoidal discret

$$x(kT) = A \sin(\omega \cdot kT + \varphi) \quad (6)$$

b. Semnal treaptă unitară în domeniul discret

$$\sigma(t) = \begin{cases} 0 & pt.k < 0 \\ 1 & pt.k \geq 0 \end{cases} \quad (7)$$

c. Impuls Dirac discret

$$\delta(kT) = \begin{cases} 1 & pt.k = 0 \\ 0 & pt.k \neq 0 \end{cases} \quad (8)$$

Analiza semnalelor

■ Aproximarea semnalelor

- Un anumit semnal $x(t)$ se poate descompune într-un număr finit sau infinit de funcții elementare

$$x(t) = \sum_{n=0}^N a_n \cdot f_n(t) \quad (9)$$

unde: a_n – ponderea funcției f_n (valoare constantă)

$f_n(t)$ – set predefinit de funcții elementare

N – numărul maxim de funcții elementare necesare pentru exprimarea funcției $x(t)$

Set ortogonal de semnale elementare (simple)

■ Relația de ortogonalitate între funcții (semnale) elementare

$$\int_{t_0}^{t_0+T} f_m(t) \cdot f_n(t) dt = \begin{cases} C^2 & \text{daca } m = n \\ 0 & \text{daca } n \neq m \end{cases} \quad (10)$$

unde: f_m și f_n - două funcții elementare

C – norma (mărimea) funcției elementare

T – intervalul de ortogonalitate

t_0 – momentul considerat pentru calcul

Un set de funcții elementare este ortogonal dacă se respectă proprietatea de ortogonalitate pentru oricare două perechi de funcții

Transformata Fourier discretă

■ Set ortogonal de semnale trigonometrice:

- $1/\sqrt{2}$, $\cos(n \omega t)$, $\sin(n \omega t)$, $n = 0 \dots N$, $\omega = 2\pi/T$

- Se verifică relațiile de ortogonalitate:

$$\int_{t_0}^{t_0+T} \cos(m\omega t) \cdot \cos(n\omega t) dt = \begin{cases} T/2 & \text{daca } m = n \\ 0 & \text{daca } m \neq n \end{cases} \quad (11)$$

$$\int_{t_0}^{t_0+T} \cos(m\omega t) \cdot \sin(n\omega t) dt = 0 \quad (12)$$

Analiza Fourier a unui semnal

- exprimarea semnalului ca o sumă ponderată de semnale sinusoidale de forma:

$$x(t) = C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(n\omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} S_n \sin(n\omega t) \quad (13)$$

$$C_n = 2/T \int_{t_0}^{t_0+T} x(t) \cos(n\omega t) dt \quad (14)$$

$$S_n = 2/T \int_{t_0}^{t_0+T} x(t) \sin(n\omega t) dt \quad (15)$$

$$C_0 = \sqrt{2}/T \int_{t_0}^{t_0+T} x(t) dt \quad (16)$$

CURS 10

SISTEME DE TIMP REAL

Considerații generale

Sistemele de control sunt în majoritatea cazurilor și sisteme de timp-real (sisteme la care timpul este un parametru important, sisteme care au restricții de timp – ex. periodicitatea execuției, timp limită de execuție, întâzieri maxime admisibile)

Respectarea restricțiilor de timp se realizează prin tehnici de planificare a taskurilor/firelor de execuție

- planificarea în sistemele uniprocessor – soluționată din punct de vedere teoretic – soluții optime de planificare
- planificarea în sistemele multiprocessor (ex. sist. distribuite ce presupun planificarea taskurilor și a comunicației)

Planificarea în sistemele de timp-real

Sistemele de calcul uzuale sunt sisteme de tip “best-effort” ce nu garantează timpul de generare a unui rezultat corect. Metodele de demonstrare a corectitudinii programului nu au în vedere timpul în timp ce tehnicile uzuale de creștere a performanțelor (cache, memorie virtuală) cresc gradul de nedeterminism în ceea ce privește timpul.

Sistemele de control sunt sisteme la care timpul contează (nu este suficient să se obțină un timp de răspuns cât mai bun ci sunt necesare garanții de timp. Nu contează *timpul mediu de execuție* ci *timpul maxim de execuție în cazul cel mai defavorabil*).

Concepte de baza

Un **sistem de timp-real** este un sistem a cărui funcționare corectă este direct influențată de timp, sau mai exact de satisfacerea condițiilor și a restricțiilor de timp.

În funcție de caracterul critic/necritic al restricțiilor de timp:

- **Sistem de timp-real de tip soft** - nerespectarea restricțiilor de timp produce pagube a căror valoare este comparabilă cu valoarea serviciului furnizat
- **Sistem de timp-real de tip hard** - nerespectarea restricțiilor de timp produce pagube cu cel puțin un ordin de mărime mai mare decât valoarea serviciului furnizat
- **Sisteme de timp-real mixt** – combina caracteristicile primelor două sisteme

Concepte

Planificator de timp-real este o unitate de program care controlează lansarea în execuție, întreruperea temporară și încheierea unor module-program pe baza unui algoritm prestabilit cu scopul de a satisface restricțiile de timp impuse

- **planificare “off-line” sau statica** – planul (de execuție) se realizează înainte de lansarea aplicației
 - planificare sigură, dar rigidă, nu ia în considerare evenimentele (scenariile) neprevăzute
 - se folosește în cazul unor sisteme a căror funcționare este a-priori cunoscută
 - planificarea taskurilor se face pe bază de timp – **“time driven system”**
- **planificare “on-line” sau dinamică** – planul se generează în timpul execuției programului
 - mai puțin sigură dar mai flexibilă, se poate adapta unor situații neprevăzute
 - se folosește pentru sisteme a căror comportament se schimbă în timp sau nu este pe deplin cunoscut
 - planificarea se face în funcție de evenimentele apărute - **“event driven system”**

Plan fezabil – un plan generat pentru un set dat de taskuri care asigură respectarea restricțiilor de timp.

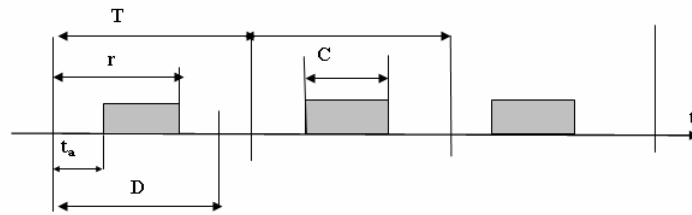
Algoritm de planificare optim - generează un plan fezabil pentru un set oarecare de module-program, ori de câte ori un astfel de plan există

- exemple:
 - planificator static optim: Rate-Monotonic (RM)
 - planificator dinamic optim: Earliest Deadline First (EDF)

Caracteristicile de timp ale taskurilor

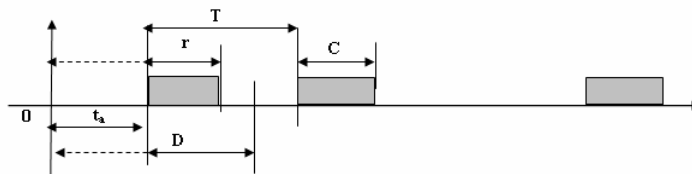
- **Taskuri periodice**
 - execuția lor se repetă în timp cu o perioadă de repetiție cunoscută
 - caracteristici de timp:
 - T – perioada de repetiție
 - D – timpul limită maxim (deadline) - timpul până la care execuția taskului trebuie să se încheie
 - t_a – timp de apariție – determină momentul în care taskul este disponibil pentru execuție
 - C – timp de execuție / calcul – durata maximă a taskului

- r – timp de răspuns – timpul în care execuția taskului se încheie



■ Taskurile aperiodice

- apariția lor este aleatorie
- caracteristici de timp:
 - T – perioada minimă de repetiție (opțional)
 - D – timpul limită maxim (deadline) - timpul până la care execuția taskului trebuie să se încheie
 - t_a – timp de apariție – determină momentul în care taskul este disponibil pentru execuție
 - C – timp de execuție/calcul – durata maximă a taskului
 - r – timp de răspuns – timpul în care execuția taskului se încheie



Modele de planificare - metode de simplificare a problemei de planificare

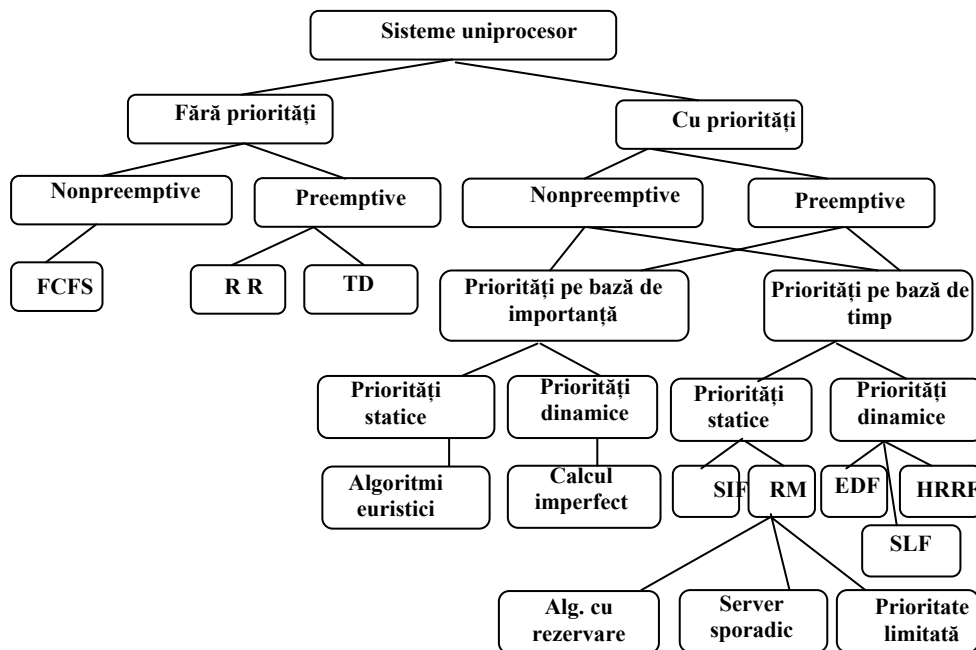
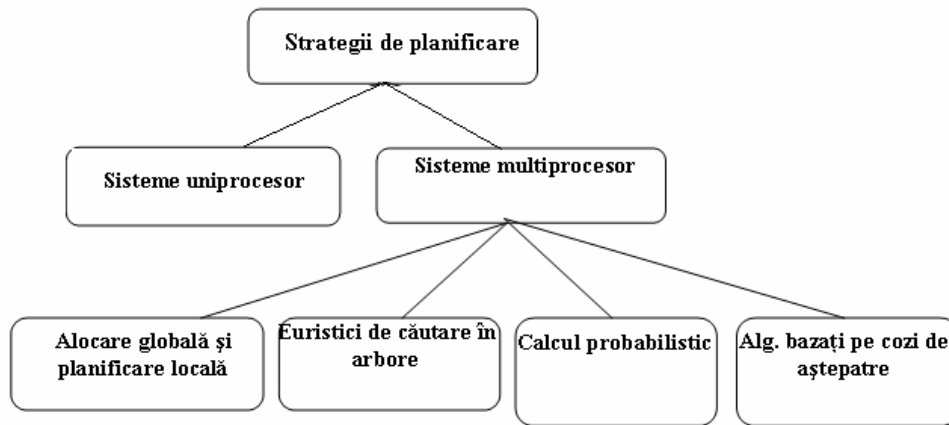
Problema planificării în cazul unor sisteme reale, fără restricții simplificatoare este dificilă. Astfel, sunt necesare restricții sau ipoteze simplificatoare:

- **timp discret** – deciziile de planificare se iau numai la momente discrete de timp;
- **taskuri preemptibile/non-preemptibile** – taskurile pot fi sau nu întrerupte de alte taskuri mai prioritare
- **timp neglijabil sau cunoscut pentru execuția planificării**
- **timp neglijabil pentru comutările de context**
- **reducerea parametrilor de timp ai taskurilor**- ex: $D=T_p$
- **convertirea taskurilor aperiodice în taskuri periodice** – crește gradul de determinism
- **neglijarea altor restricții în afara celor de timp** (ex: restricții de ordonare, lock-uri, zone critice)

Clasificarea algoritmilor de planificare

- **după momentul planificării:**
 - planificare statică, off-line – planificarea se realizează înainte de execuția efectivă a aplicației
 - planificare dinamică, off-line – planificarea se realizează în timpul execuției aplicației
- **după natura restricțiilor de timp**
 - restricții hard
 - restricții soft
 - restricții mixte
- **după numărul de procesoare:**
 - planificare uniprocessor
 - planificare multiprocessor
 - planificare distribuită
- **după preemptibilitatea taskurilor**
 - planificare non-preemptivă
 - planificare preemptivă
 - cu preemptibilitate limitată (nu permite întreruperi în zona critică)
- **după euristica folosită**
 - fără priorități
 - cu priorități
- **după modul de atribuire a priorităților**
 - după importanța taskurilor
 - pe baza constrângerilor de timp
- **după restricțiile utilizate**
 - numai restricții de timp
 - restricții de timp și de ordonare
 - restricții de timp și de sincronizare

Strategii de planificare



Planificarea în sistemele uniprocessor

■ 1. Planificarea fără priorități

- **FCFS – First Come First Served** – primul sosit primul servit – presupune organizarea unei cozi de așteptare pentru taskurile ce urmează a fi executate; taskurile vor fi executate în ordinea sosirii, fără să se permită întreruperea taskului în execuție.
- **RR – Round Robin** – fiecărui task aflat în așteptare i se alocă câte o perioadă de timp, într-o ordine circulară
- **TD – Time Division** - cu divizarea timpului – fiecărui task aflat în așteptare i se alocă unul sau mai multe unități de timp; alocarea se face de obicei off-line.

■ 2. Planificare pe bază de priorități

- **a. Priorități pe bază de importanță:** se alocă priorități statice taskurilor, funcție de importanța (caracterul critic) al acestora; alocarea este subiectivă, pe baza experienței proiectantului; nu se oferă garanții de timp
- **b. algoritmi euristici:** se specifică o anumită regulă de alocare a priorităților care ține cont de importanța taskurilor (ex.: algoritmi bazați pe cost)
- **c. algoritmi bazați pe căutare** (inteligentă artificială) care pot să genereze în orice moment un rezultat parțial; rezultatul este cu atât mai bun (precis) cu cât timpul avut la dispoziție este mai mare; timpul alocat pentru căutare se determină pe baza distanței până la timpul limită (deadline)
- **d. există algoritmi de prelucrare** (ex.: prelucrări de imagini) care pot să genereze în orice moment un rezultat a cărui calitate depinde de timpul utilizat; se calculează o **funcție cost** în care se include măsura calității rezultatului și costurile datorită creșterii timpului de răspuns; se caută un optim (un minim de cost)
- **e. Priorități pe bază de caracteristici de timp:** prioritatea taskului este dată de cerințele de răspuns în timp-real
 - **Algoritmi statici:** alocarea priorităților este fixă, nu se modifică pe timpul execuției aplicației
 - **Algoritmul „Shortest Job First” (SJF)** - Se alocă prioritate mai mare taskurilor mai scurte, pentru a asigura un timp de reacție proporțional cu complexitatea taskului; poate duce la "înfometarea" taskurilor lungi
 - **Algoritmul „Rate Monotonic” (RM)**
 - cel mai celebru algoritm de planificare.
 - Se folosește pentru planificarea taskurilor periodice;
 - prioritățile se alocă în raport cu perioada de repetiție a taskurilor: taskul cu perioada cea mai mică are prioritatea maximă;
 - este un algoritm preemptiv, adică un task mai puțin prioritar poate fi întrerupt în orice moment de un task mai prioritar;
 - se consideră un algoritm optimal deoarece pentru un set de taskuri găsește o planificare fezabilă dacă aceasta există;
 - s-a determinat limita superioară de utilizare a procesorului pentru care algoritmul găsește un plan indiferent de caracteristicile de timp ale taskurilor

$$U_{\max} = n \cdot (2(1/n) - 1)$$

unde: n = numărul de taskuri din set

U_{\max} – gradul maxim de utilizare a procesorului

f. Priorități dinamice: alocarea priorităților se face în mod dinamic, în timpul execuției programului, pe baza restricțiilor de timp care se modifică în timpul execuției programului (ex.: timpul rămas până la deadline)

- **Algoritmul „Earliest Deadline First” (EDF)** - Prioritățile se acordă funcție de timpul rămas până la timpul limită (deadline) al fiecărui task; taskul aflat cel mai aproape de deadline are prioritatea maximă. Acest algoritm îmbunătățește gradul de utilizare a procesorului în comparație cu metoda RM ; de asemenea poate trata atât taskuri periodice cât și taskuri aperiodice (sporadice); taskurile se consideră preemptibile (cu aceleași neajunsuri ca și pentru RM)
- **Algoritmul „Highest Responsive Ratio First” (HRRF)** Prioritatea se calculează pe baza timpului de execuție și a timpului cât taskul s-a aflat în așteptare

$$\text{Prioritate} = (T_{\text{așteptare}} + T_{\text{execuție}}) / T_{\text{execuție}}$$

- **Algoritmul „Shortest Laxity-time First” (SLF)** - Algoritmul acordă prioritate maximă taskului care are timpul disponibil minim; acest timp se calculează ca diferența între timpul limită (deadline) și timpul de execuție al taskului; este o măsură a duratei pe care un task o poate petrece în așteptare. Acest algoritm îmbunătățește probabilitatea de succes în comparație cu algoritmul EDF

3. Planificarea în sistemele distribuite

Dificultatea planificării în sistemele multiprocesor:

- există constrângeri multiple, în afara constrângerilor de timp (ex.: acces concurent la resurse, sincronizare, comunicare, încărcare uniformă, consistența datelor și a timpului, etc.);
- execuția paralelă a taskurilor pe mai multe procesoare
- nu se cunoaște exact starea globală momentană a sistemului, datorită vitezei limitate de comunicație în rețea (efectul de relativitate)
- sincronizarea ceasurilor locale se realizează cu o precizie limitată
- planificarea taskurilor trebuie să se facă în corelație cu planificarea comunicației
- erorile de comunicație (pierderea conectivității, pierderea sau deteriorarea unor mesaje) și mecanismele de recuperare sau de mascare nu trebuie să afecteze timpul de răspuns garantat al sistemului

În principiu există 3 strategii de planificare:

- soluționarea globală a problemei de planificare,
 - printr-un algoritm off-line; în acest caz se presupun cunoscute toate situațiile posibile și toți parametrii de timp ai taskurilor
- alocarea statică (off-line) a taskurilor pe fiecare procesor (nod de rețea) și planificare locală statică sau dinamică la nivelul fiecărui nod
- planificarea locală cu rejecția taskurilor care duc la supraîncărcare și realocarea dinamică a taskurilor rejectate

Planificarea comunicației

Procesul de planificare a comunicației este îngreunat de mai mulți factori:

- planificarea transmiterii mesajelor trebuie să se facă în corelație cu planificarea taskurilor emitente și receptoare
- decizia de planificare se ia de cele mai multe ori la nivelul fiecărui nod în parte fără să se cunoască gradul de încărcare al rețelei, indus de celelalte noduri

Strategiile de planificare:

- controlul centralizat al accesului la rețea
- alocarea periodică a unei cuante fixe de timp de comunicare pentru fiecare nod conectat în rețea
- limitarea gradului de încărcare a rețelei, pentru a asigura o rezervă de timp pentru soluționarea erorilor de transmisie
- limitarea dimensiunii pachetelor
- alocarea de priorități pentru mesaje, funcție de importanța sau în raport cu cerințele de timp

Rețelele industriale de comunicație oferă soluții proprii de planificare și de garantare a timpului de transmisie a mesajelor:

- **protocolul Profibus** utilizează un mecanism de acces la rețea de tip token-bus care permite alocarea unei cuante de timp pentru fiecare nod master din rețea și o perioadă fixă de repetiție a acestei alocări;
- **protocolul WorldFIP** propune utilizarea unui controlor central de rețea care asigură transferul mesajelor pe baza restricțiilor de timp; pentru mesajele periodice se utilizează un plan off-line, iar pentru mesajele sporadice transferul se face pe bază de priorități
- **protocolul P-Net** folosește un mecanism de acces la rețea pe bază de cuante de timp; fiecare nod poate să comunice într-o fereastră de timp prestabilită; la acest protocol sunt eliminate fenomenele de pierdere a tokenului, care ar putea să afecteze timpul de livrare al mesajelor

- **protocolul CAN** folosește un mecanism de acces la rețea de tip CSMA/BA (Carrier Sense Multiple Access with Bitwise Arbitration), care în aparență permite un acces liber (necontrolat) la rețea; în realitate prin alocarea de priorități fiecărui tip de mesaj și prin mecanismul de detecție a coliziunilor la nivel de bit se oferă instrumentele necesare pentru o evaluare suficient de corectă a timpului de livrare al unui mesaj;

CURS 11

SISTEMUL SCADA

SCADA este prescurtarea pentru **Monitorizare, Control și Achiziții de Date** (*Supervisory Control And Data Acquisition*). Este o tehnologie care permite utilizatorului să preleveze date de la diferite terminale și să trimită instrucțiuni acelor terminale. Un sistem SCADA permite utilizatorului, situat într-un post central, să supervizeze și să comande un număr mare de controlere de sistem aflate la distanțe mari.

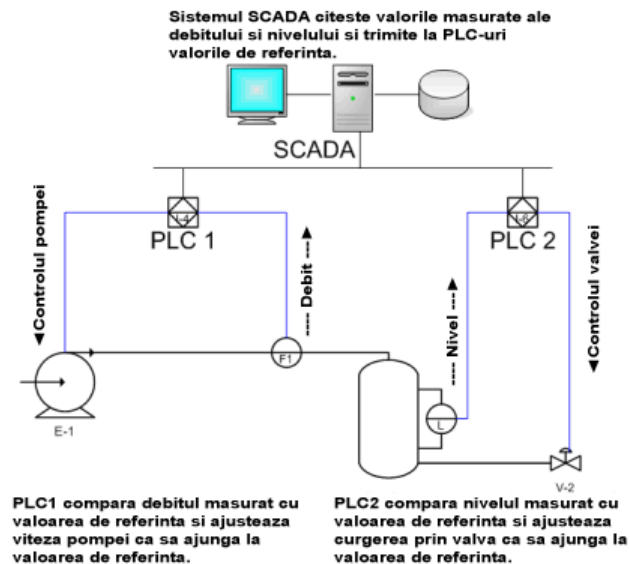
Conceptul sistemului

Termenul **SCADA** se referă, de obicei, la un centru de comanda care **monitorizează** și **controlează** un întreg spațiu de producție. Cea mai mare parte a operațiunilor se execută automat de către **RTU** - Unități Terminale Comandate la Distanță (*Remote Terminal Unit*) sau de către **PLC**- Unități Logice de Control Programabile (*Programmable Logic Controller*).

Funcțiile de control ale centrului de comanda sunt de cele mai multe ori restrânse la funcții decizionale sau funcții de administrare generală.

Controlul la distanță înseamnă elaborarea deciziilor pentru controlul evoluției unui proces fizic într-un loc aflat la distanță (mare) de procesul respectiv.

Controlul automat înseamnă corecția proceselor fizice fără intervenția umană. Nu toate sistemele SCADA sunt sisteme de control automat; primele variante ca și multe din cele actuale îndeplinesc doar funcțiile de achiziție automată de date și de control la distanță. Finalizarea achiziției de date printr-o decizie de control se face doar în urma opțiunii operatorului. SCADA achiziționează date de pe arii foarte extinse sau din puncte foarte numeroase, integrându-le într-o formă interpretabilă de operatorul uman, și oferă, uneori, soluții posibile (prestabilite prin program), lăsând la latitudinea operatorului alegerea soluției optime sau a modului de acționare (decizia finală).



Achiziția de date începe la nivelul RTU sau PLC și implică citirea indicatoarelor de măsură și a stării echipamentelor care apoi sunt comunicate la cerere către **SCADA**.

Datele sunt apoi restructurate într-o formă convenabilă operatorului care utilizează o HMI, pentru a putea lua eventuale decizii care ar ajusta modul de lucru normal al **RTU/PLC**.

(Un sistem **SCADA** include componentele: **HMI, controllere, dispozitive de intrare-ieșire, rețele, software**).

Un sistem **SCADA** tipic implementează o bază de date distribuită care conține elemente denumite puncte. Un punct reprezintă o singură valoare de intrare sau ieșire monitorizată sau controlată de către sistem. Punctele pot fi fie hard, fie soft. Un punct hard este reprezentarea unei intrări sau ieșiri conectată la sistem, iar un punct soft reprezintă rezultatul unor operații matematice și logice aplicate altor puncte hard și soft. Valorile punctelor sunt stocate de obicei împreună cu momentul de timp când au fost înregistrate sau calculate. Seria de puncte+țimp reprezintă istoricul aceluși punct.

Achiziționarea unui **sistem SCADA** (denumit și DCS- Sistem de control distribuit *Distributed Control System*) poate fi făcută de la un singur producător sau utilizatorul poate asambla un sistem **SCADA** din subcomponente.

RTU - Unitățile Terminale Comandate la Distanță - (*Remote Terminal Unit*)

RTU realizează conexiunea cu echipamentele supravegheate, citesc starea acestora (cum ar fi poziția deschis/închis a unui releu sau valve), citesc mărimile măsurate cum ar fi presiunea, debitul, tensiunea sau curentul. **RTU** pot controla echipamentele trimițând semnale, cum ar fi cel de închidere a unui releu sau valve sau setarea vitezei unei pompei.

RTU pot citi stări logice digitale sau măsurători analogice, și pot trimite comenzi digitale sau seturi de valori analogice de referință.

O parte importantă a implementărilor **SCADA** sunt alarmele. O alarmă este starea logică a unui punct care poate avea valoarea **NORMAL** sau **ALARMAT**. Alarmele pot fi create în așa fel încât ele se activează atunci când condițiile sunt îndeplinite. Alarmele îndreaptă atenția operatorului **SCADA** spre partea sistemului care necesită o intervenție. La activarea alarmelor, un manager de alarme poate trimite mesaje e-mail sau text operatorului.

PLC -Controllere logice programabile (*Pogrammable Logic Controller*)

Un **PLC**, este un mic computer cu un microprocesor folosit pentru automatizarea proceselor cum ar fi controlul unui utilaj într-o linie de asamblare. Programul unui **PLC** poate adesea controla secvențe complexe și de cele mai multe ori este scris de către un inginer. Programul este apoi salvat în memoria **EEPROM**.

Ceea ce diferențiază un **PLC** de alte computere este faptul că este prevăzut cu intrări/ieșiri către senzori și rele. **PLC**-urile citesc de exemplu, starea comutatoarelor, a indicatoarelor de temperatură, de poziție. **PLC**-urile comandă motoare electrice, pneumatice sau hidraulice, rele magnetice. Intrările/ieșirile pot fi externe prin module **I/O** sau interne.

Funcționalitatea unui **PLC** s-a dezvoltat de-a lungul anilor pentru a include controlul releelor, controlul mișcării, control de proces, Sisteme de Control Distribuit și rețele complexe.

La primele **PLC**-uri funcțiile decizionale erau implementate cu ajutorul unor simple diagrame ladder (*Ladder Diagram*) inspirate de diagramele electrice ale conexiunilor. Folosind standardul **IEC 61131-3** acum este posibilă programarea **PLC** folosind limbaje de programare structurată și operații logice elementare.

HMI - Interfața om-mașină (*Human Machine Interface*)

Un **PLC** este programat să controleze automat un proces, însă faptul că unitățile **PLC** sunt distribuite într-un sistem amplu, colectarea manuală a datelor procesate de **PLC** este dificilă. De asemenea informațiile din **PLC** sunt de obicei stocate într-o formă brută, neprietenosă.

HMI/SCADA are rolul de a aduna, combina și structura informațiile din **PLC** printr-o formă de comunicație. Un **HMI** elaborat, poate fi de asemenea conectat la o bază de date pentru realizarea de grafice în timp real, analiza datelor, proceduri de întreținere planificate, scheme detaliate pentru un anumit senzor sau utilaj, precum și metode de depanare a sistemului.

Componentele sistemului SCADA

Cele trei componente ale sistemului **SCADA** sunt:

1. Mai multe **RTU** sau **PLC**.
2. Stația Master și **HMI** Computer(e).

3. Infrastructura de comunicație.

Statia Master și HMI

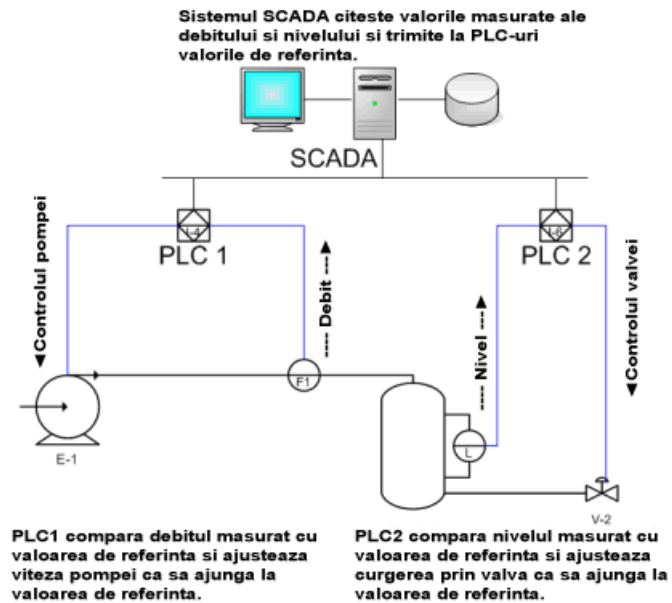
Termenul se refera la severele și software-ul responsabil de comunicarea cu echipamentele amplasate la distanta (**RTU**, **PLC**, etc) și apoi cu software-ul **HMI** care rulează pe stațiile de lucru din camera de control. În sistemele **SCADA** mici, stația master poate fi un singur PC. În sistemele mari, stația master poate include mai multe servere, aplicații software distribuite, și unități de salvare în caz de dezastre.

Un sistem **SCADA** prezintă de regula informația operatorului sub forma unei schite sugestive. Aceasta înseamnă ca operatorul poate vedea o reprezentare a instalației supravegheate. De exemplu, o imagine a unei pompe conectate la o conducta poate afișa operatorului faptul ca pompa lucrează și cât fluid este pompat prin conducta la un moment dat. Operatorul poate apoi opri pompa. Software-ul **HMI** afișează debitul fluidului în scădere în timp real.

Pachetul **HMI/SCADA** include de obicei un program de desenare pe care operatorul sau personalul de întreținere îl folosește pentru a schimba modul în care punctele sunt reprezentate în interfața utilizator.

CURS 12

SISTEMUL SCADA - continuare



Infrastructura de comunicație

Sistemele **SCADA** folosesc conexiuni radio, seriale sau conexiuni modem în funcție de necesități.

Protocoloalele **SCADA** sunt concepute foarte compacte și multe sunt concepute ca să poată trimite informații stației master chiar și când stația master interoghează RTU. Protocolul inițial **SCADA** de bază este **Modbus**.

MODBUS

Modbus este bazat pe o arhitectura master/slave sau client/server, în prezent fiind cel mai folosit protocol la conectarea tuturor dispozitivelor industriale. Motivele cele mai importante pentru utilizarea acestuia atât de răspândită sunt:

1. este un protocol deschis, cu documentație disponibilă
2. poate fi implementat într-un timp scurt (zile nu luni)
3. lucrează cu biți sau octeți și în acest fel nu impune cerințe deosebite producătorilor.

Modbus permite administrarea unei rețele de dispozitive, spre exemplu un sistem care măsoară temperatura și umiditatea, pe care le comunică unui computer. Este deseori folosit pentru a conecta un computer de supervizare cu un RTU dintr-un sistem de monitorizare și achiziție de date **SCADA**.

Orice dispozitiv care comunică folosind **Modbus** are o adresă unică.

Orice dispozitiv poate trimite comenzi dar de obicei doar dispozitivul-master o face.

O comandă **Modbus** conține adresa dispozitivului căruia îi este adresată. Doar dispozitivul apelat va răspunde la această comandă, chiar dacă comanda este primită și de alte dispozitive.

Comenzile **Modbus** conțin informații de verificare pentru a se asigura de veridicitatea răspunsului.

Exemple de comenzi sunt comanda care schimbă o valoare într-un registru al RTU sau comanda care cere RTU să-i furnizeze o valoare conținută de un registru.

Elementul distinctiv al SCADA față de telemetrie este bidirecționalitatea: se pot monitoriza procesele fizice supravegheate (RTU>MTU) și se poate acționa asupra evoluției acestora (MTU>RTU) prin supervizare.

Sisteme de timp real. Noțiunea de “sistem de timp real” are semnificația unui sistem de control care poate elabora decizii și acționa asupra sistemului controlat cu o întârziere ale cărei efecte nu sunt măsurabile sau nu afectează funcționarea acestuia.

Comunicația între elementele sistemelor SCADA se face după metoda master-slave, în care una din unități este master, fiind singura care poate iniția comunicația. Alte unități slave pot iniția comunicația doar dacă masterul le permite sau le dă instrucțiuni în acest sens. Chestionarea succesivă a RTU de către MTU se numește *scanare*. Determinarea intervalului de scanare se face în funcție de numărul RTU, de cantitatea de date care trebuie transmise pe durata unei conversații și de viteza de variație a semnalelor de intrare specifice proceselor controlate.

Controlul la distanță. Restricții.

Funcțiile care pot fi controlate de sistemele SCADA sunt: protecția și măsurarea.

Instrumentația de protecție.

Toate procesele care prin defecte locale pot conduce la deranjamentul unui beneficiar, defectarea echipamentelor sau poluarea mediului trebuie echipate cu sisteme de protecție. Aceste sisteme pot fi manuale (monitor și operator) sau automate – pentru sisteme cu evoluție rapidă.

Proiectarea sistemelor de protecție se face în spiritul a trei axiome:

- ◆ Acces prioritărilor la dispozitivele de execuție față de sistemul de control permanent;
- ◆ Absența elementelor comune cu sistemul de control normal;
- ◆ Maximă simplitate.

Includerea SCADA în sistemele de distribuție ține seama de ultimele două considerente.

Defectele cu risc mare se evită prin instalarea sistemelor de protecție locale, prioritare față de sistemele SCADA.

1. Comunicația

Toate datele transferate între MTU și RTU sunt în formă numerică (binară). De aceea, transmiterea unor comenzi de ajustare presupune conversia analog-numerică a mărimilor de control, transmiterea lor în formă numerică și reconstituirea nivelelor de comandă prin conversie numeric-analogică la nivelul RTU. Comunicația MTU-RTU se face pe linii seriale, deoarece căile de comunicație sunt lungi sau foarte lungi. Ordinea de transmisie este MSB....LSB sau LSB...MSB în funcție de protocolul de comunicație adoptat. În termeni de comunicații, MTU și RTU sunt DTE (Data Terminal Equipment), fiecare având posibilitatea de a genera un semnal conținând informația care trebuie transmisă și de a decodifica informația din semnalul recepționat. În figura de mai jos este reprezentat principiul de comunicație. Modem-urile sunt DCE (Data Communication Equipment) și au rol de interfață între DTE (care le conține) și mediul de comunicație.

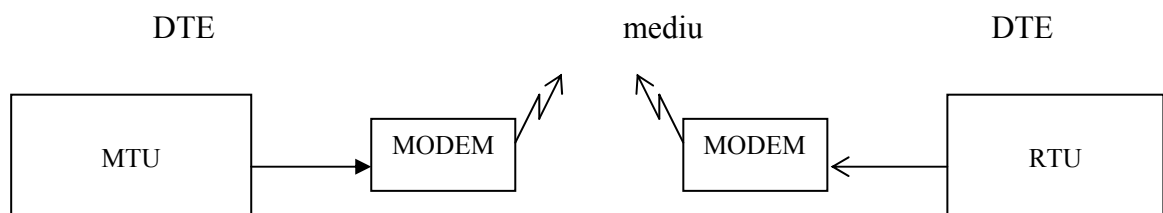


fig. 11.1 Comunicația MTU-RTU

Modemul este elementul hard esențial. Ca purtătoare se folosește unda sinusoidală, care nu este afectată de distorsiuni de fază. Modularea se poate face în frecvență, în amplitudine sau în fază. AM presupune înmulțirea amplitudinii purtătoarei cu amplitudinea datelor. FM înseamnă amplitudine constantă și frecvență variabilă (liniar sau nu) în funcție de nivelul logic transmis. FM este mai puțin influențată de condițiile atmosferice decât AM. PM presupune modificarea fazei purtătoarei în funcție de amplitudinea datelor. Pe măsură ce frecvența datelor se apropie de frecvența purtătoarei, PM seamănă tot mai mult cu FM.

2. RTU

RTU este elementul sistemului SCADA care gestionează achiziția datelor și memorează valorile măsurate până când este chestionat asupra lor de MTU. În plus, RTU transmite comenzi de la MTU către elementele de execuție (prelucrate sau nu; de exemplu MTU dă comanda de

modificare a poziției unui element mobil cu o valoare oarecare, iar RTU elaborează semnalele necesare comenzii motorului pas-cu-pas care efectuează acea deplasare). Formatul uzual de comunicație este RS-232, iar semnalele asociate unui RTU sunt prezentate în fig. 12.2.

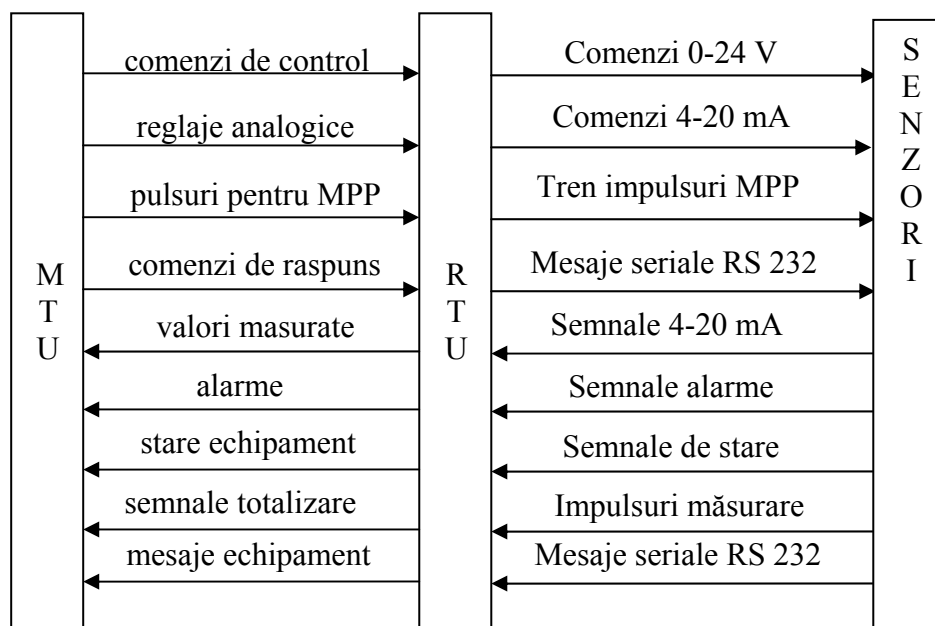


Fig. 11.2. Semnale caracteristice pentru RTU

Monitorizarea semnalelor discrete, corespunzătoare unor stări logice asociate unor elemente ale sistemelor controlate (de exemplu atingerea unor praguri) sau ale protecțiilor (pentru semnalizarea alarmelor) presupune asignarea corespunzătoare a biților dintr-unul sau mai mulți octeți, analiza fiind făcută practice instantaneu, prin compararea conținutului registrelor respective cu valorile standard, la nivelul unității centrale (CPU) din RTU.

Decodificarea mesajelor se face după un protocol de comunicație chiar de microprocesorul sistemului, prin rularea unui program denumit “driver de protocol”. Starea obișnuită a RTU este cea de “ascultare”.

Controlul discret presupune comenzi tip “închis/deschis” și poate fi făcut prin mesaje mai scurte, un octet putând controla starea a 8 elemente de tip releu (pornit/oprit).

Controlul analogic este dedicat elementelor cu mai multe stări intermediare (valve, regulatoare de diferite tipuri) și necesită cel puțin un octet de control.

Controlul în impulsuri este folosit mai rar, pentru comanda motoarelor pas-cu-pas. Doi octeți dedicați sunt testați succesiv bit cu bit (primul este bit de sens), rezultatul fiind trimis direct la motor.

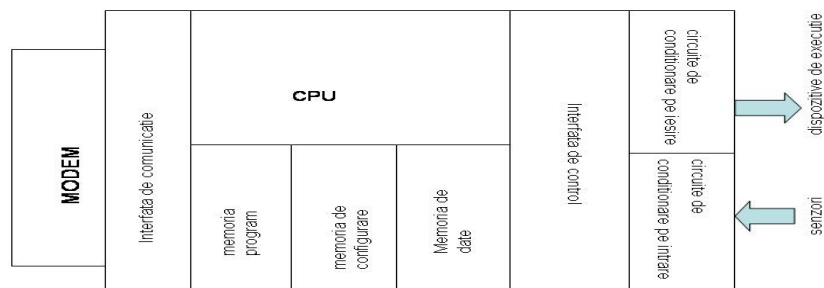


Fig. 11.3. Arhitectura internă a RTU

3. MTU

MTU și RTU schimbă informații prin același mediu și cu același protocol. Ca urmare, interfața de comunicație din MTU are aceeași structură, până la identitate, cu cea din RTU. Diferența este că RTU nu poate (prin program) să inițieze conversația. Programele interne de comunicație pot fi apelate și de operator, dar mai mult de 99% sunt apelate automat, de programul principal. Comunicația MTU cu operatorul se face prin monitor video și imprimantă, cu interfețe și după protocoale identice celor utilizate la computere. În sistemele foarte extinse, MTU are rol de slave față de computerele centrale, transferând date care urmează să fie prelucrate la nivelul superior.

Proiectarea MTU începe cu introducerea tuturor datelor caracteristice ale tuturor senzorilor și descrierea ierarhică a procesului, pe baza căreia MTU să poată lua decizii logice și informa operatorul uman în orice moment asupra stării tuturor elementelor sistemului. Procedul se numește *configurare*. La majoritatea MTU programele de configurare cer introducerea datelor în tabele sau ferestre corespunzătoare (mult mai multe decât la configurarea unui PC). MTU trebuie inițiat cu adresele tuturor RTU pe care le are în subordine, modul de comunicație cu fiecare dintre acestea, terminalele fiecărui RTU(I/O, etc).

MTU stochează datele utilizate pe clase și categorii. La proiectare, se definesc dimensiunile spațiilor de memorie necesare pentru “istoria” tuturor evenimentelor care urmează să fie memorate în vederea detectării cauzelor și localizării defectelor. Studiul evoluției unui sistem pe o perioadă mai mare de timp (zile, săptămâni, luni) poate fi făcut prin apelarea bazelor de date prin rețele locale LAN), fără a supradimensiona memoria MTU. Sistemele SCADA nu au însă rol statistic, ci de întreținere a funcțiilor vitale ale unui proces, cu facilitate de ajustare, protecție și monitorizare a acestuia.

Datele sunt memorate la nivelul MTU pentru o “istorie scurtă”, necesară unei decizii, după care sunt șterse și înlocuite cu altele noi.

4. Aplicații

Viteza mare cu care RTU scanează senzorii face ca întârzierile specifice comunicației RTU-senzori să fie neglijabile; principala întârziere se produce datorită ratelor reduse de comunicație și a protocoalelor extinse între RTU și MTU. Uneori întârzierea este acceptabilă, alteori nu. Aplicațiile care vizează sistemele de generare și distribuție a energiei electrice nu pot funcționa cu viteze de scanare mici de 1 scanare la 1...5 secunde.

Utilizarea proiectelor SCADA pentru măsurarea în scop tarifar ridică două probleme: precizia și securitatea măsurătorilor. Marea majoritate a măsurărilor se fac cu traductoare simple cărora li se aplică formule simple de corecție. Dacă algoritmul care include toate aceste corecții se implementează în punctele de măsurare, toate acestea trebuie să aibă o putere de calcul crescută. Soluția este utilizarea calculelor în afara MTU.

Multe mărimi măsurate trebuie integrate în timp pentru a căpăta o semnificație utilă (de exemplu puterea activă sau reactivă). Pentru a obține mărimile cu semnificație valorică (energie) puterea trebuie integrată în timp. Cu cât rata de eșantionare a puterilor este mai mare, cu atât integrarea va fi mai precisă. Ratele de scanare specifice MTU nu satisfac în nici un caz necesitățile de precizie pentru tarificare. Măsurările cu acest scop se fac la nivelul RTU, care au capacitate de calcul suficientă pentru calcule complexe aferente câtorva puncte de măsurare.

Ordinea de scanare a RTU de către MTU este precizată într-un program simplu și ușor de modificat în urma configurării inițiale. În funcție de procesul fizic supervizat, se pot efectua diferite tipuri de scanări. În regim normal, MTU chestionează fiecare RTU, așteptând răspunsul fiecăruia. Pentru un control concertat și riguros al mai multor puncte, MTU trimite comenzi și așteaptă doar confirmarea de primire de la fiecare RTU, urmând ca acesta să acționeze independent.

Dacă viteza de răspuns este critică, MTU scanează toate RTU într-o succesiune rapidă, transmițând comenzile fără a mai aștepta confirmări de primire sau răspunsuri de la RTU, pe care le va recepționa la o scanare ulterioară. Eșecul repetat de stabilire a liniei de comunicație între MTU și un RTU este semnalat de obicei ca situație de alarmare.

BIBLIOGRAFIE

1. Gorgan D.. **Proiectarea calculatoarelor**, Ed. Albastra, 2005
2. Calin. S. Dumitrache I, **Reglatoare numerice**, Ed. Didactica, 1985
3. Papadache, **Automatizari industriale**, Ed. Tehnica, 1978
4. Sangeorzan D., **Reglatoare adaptive**, ed. Militara, 1992
5. ***, Control Engineering, <http://www.controleng.com/>
6. ***, www.microchip.com
7. ***, www.ti.com