

## PROIECTAREA SISTEMELOR MECATRONICE

### 1) Probabilitate, hazard, fiabilitate

- A. O scenă pentru iluminarea frontală utilizează două surse de lumină de producție și timpi de funcționare diferiți. Cele două surse au probabilitățile de funcționare  $P_{(A)} = 8/9$  și  $P_{(B)} = 10/11$ .

Variabila aleatoare definită ca și starea de funcționare a sistemului are următoarea distribuție:

$$X \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ p_1 & p_2 & p_3 \end{pmatrix}$$

unde:

- starea  $x_1$  corespunde funcționării ambelor surse cu probabilitatea:

$$p_1 = P(A) \cdot P(B) = \frac{8}{9} \cdot \frac{10}{11} = \frac{80}{99}$$

- starea  $x_2$  corespunde funcționării unei surse:

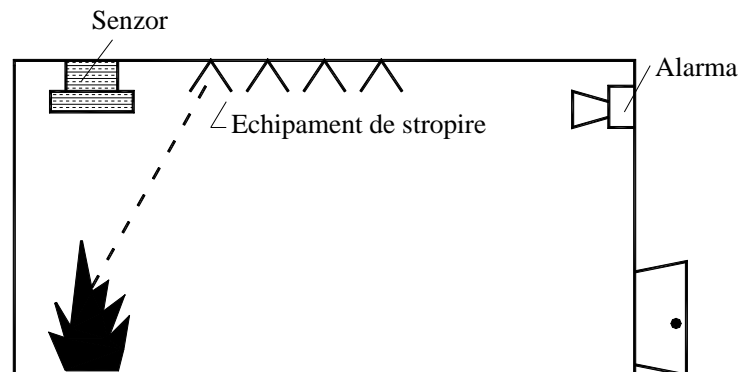
$$p_2 = P(A) + P(B) - P(A) \cdot P(B) = \frac{8}{9} + \frac{10}{11} - \frac{80}{99} = \frac{88 + 90 - 80}{99} = \frac{98}{99}$$

- starea  $x_3$  corespunde nefuncționării nici unei surse:

$$p_3 = \frac{1}{9} \cdot \frac{1}{11} = \frac{1}{99}$$

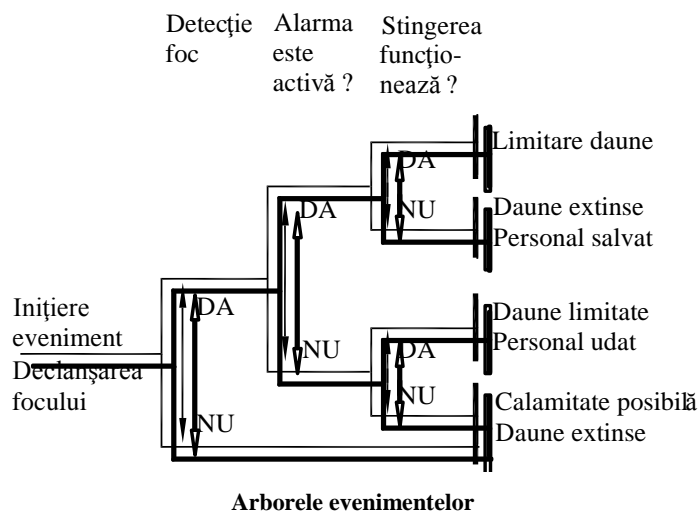
- B. O metodă de apreciere a riscului este cea a grafului evenimentelor (Event Tree Analysis – ETA). Este o metodă de analiză și cuantificare bazată pe logică binară.

Se consideră sistemul de protecție împotriva focului din componența unei clădiri. Un senzor detectează existența focarului dintr-o cameră. Prezența pericolului este semnalizată acustic.

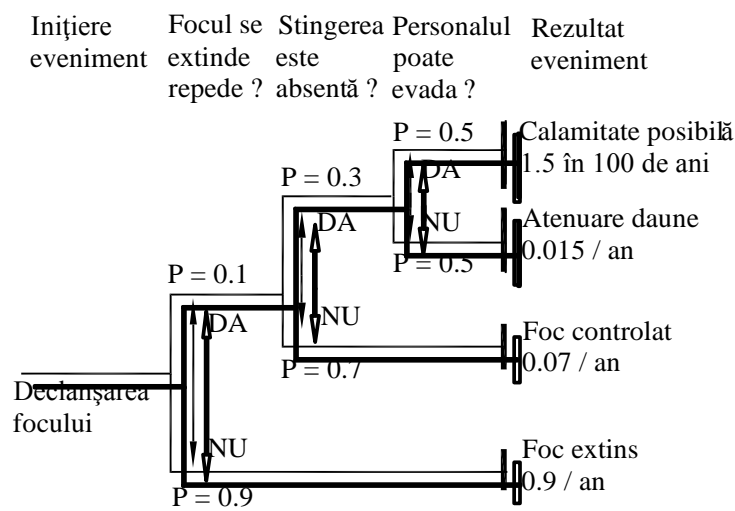


Sistemul de protecție

În același timp un sistem de stropire este acționat în vederea eliminării extinderii focului. Arborele evenimentelor pentru cazul analizat este prezentat în figura 3.5. Sunt sugestionate în afara evenimentelor și rezultate previzionale.



Analiza cantitativă a protecției sistemului este prezentată în figura următoare:



- C. Se consideră un sistem stereo compus din 3 elemente conform schemei bloc din figura 3.12 . Ratele de defectare a celor trei componente sunt : CD drive - 0.0002 defecte / h, ammplificator – 0.00001 defecte / h, difuzor – 0.0001 defecte / h.



**Schema bloc a unui sistem stereo**

Care este fiabilitatea sistemului pentru 100 h de funcționare ?

Deoarece ratele de defectare sunt aditive, se poate determina rata medie totală de defectare a sistemului :

$$\sum \lambda_i = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 0.0002 + 0.00001 + 0.0001 = 0.00031 \text{ defecte/h}$$

Fiabilitatea sistemului este în acest caz :

$$R_{(100)} = e^{-\sum \lambda \cdot t} = e^{-0.00031100} = e^{-0.031} = 0.9695$$

## 2) Proiectarea pentru fabricație

Selecția materialelor rezolvă multe probleme de decizie importante ce apar în domeniul proiectării. Nivelul de informații necesar este de la proprietăți fizice până la cunoaștere practică a științei materialelor.

- A. Se consideră o bară de lungime  $L$  care este încărcată cu o forță axială  $F$  (condițiile inițiale privind solicitare axială statică, forma barei etc. nu sunt restrictive asupra generalității metodei). Se cere să se determine varianta de material care corespunde cel mai bine pentru bara dată.

Din starea de solicitare admisă, conform principiilor de calcul clasic și ținând cont de un coeficient de siguranță, se poate determina aria transversală a barei :

$$A_{nec} = \frac{F}{\sigma_a}$$

unde  $\sigma_a$  este rezistența admisibilă a materialului. Se poate stabili pentru bară o arie de realizare practică  $A_0 \geq A_{nec}$

Costul barei se poate defini ca fiind :

$$Cost\_bara = C \cdot \rho \cdot A_0 \cdot L = \frac{C \cdot \rho \cdot F \cdot L}{\sigma_a}$$

unde  $C$  – este costul pe unitatea de masă a materialului iar  $\rho$  este densitatea materialului.

Pentru o pereche de parametri impuși  $F$ ,  $L$  costul barei este influențat de raportul  $\frac{C \cdot \rho}{\sigma_a}$ .

Materialul cu limita inferioară a raportului anterior se va prezenta ca și materialul de selectat pe principiul cost.

O metodă de selecție a materialului are la bază *indicele de performanță al materialului* ( $M$ ). Un exemplu pentru această etapă este rigiditatea specifică:

$$K = \frac{E}{\rho}$$

unde “ $E$ ” este modulul de elasticitate longitudinal al materialului (modulul lui Young) iar “ $\rho$ ” este densitatea materialului. Se preferă în general materiale cu un indice cât mai mare, după considerentul « ușor și rezistent ». În această categorie se încadrează și materialele utilizate în construcția sistemului mecanic al roboților industriali.

## 3) Tabela morfologică

Tabela morfologică (*morphological chart*) este denumirea acordată metodologiei de examinare sistematică a unui număr de entități diferite, posibile soluții în proiectarea unui produs și care poate fi de real ajutor în generarea unor inovații.

Principiul de lucru este următorul:

- Analiza problemei și definirea funcțiilor care definesc tema de proiect;
- Construirea unei matrici având ca linii funcțiile definite anterior ( $m$ ) (ideal nu mai mare de 10) ;

- Se acordă fiecărei funcții un set de sub-soluții ordonate pe coloane care va avea alocată o soluție posibilă ( $n$ ) și se selectează setul de subsoluții acceptabil.

**A. Tabelă morfologică pentru examinarea sistematică a problemei de încălzire într-un spațiu de locuit.**

FUNCTII	SUBSOLUȚII			
	1	2	3	4
<b>A: MODUL DE ÎNCĂLZIRE A AERULUI</b>	Aer încălzit de la o sursă centrală	Sursă locală prin convecție	Radiator local	Secundar prin radiație
<b>B: MODUL DE DISTRIBUIRE A AERULUI</b>	Natural	Forțat	Convecție naturală	Convecție forțată
<b>C: UMIDIFICAREA AERULUI</b>	Fără	Evaporator		

Obs.: — — — — — traseu de selecție a variantei propus de un proiectant

**B. Tabelă morfologică pentru închiderea / deschiderea circuitului de aer condiționat a unei structuri din spațiu de locuit**

	VAR. - 1	VAR. - 2	VAR. - 3	VAR. - 4	VAR. - 5
<b>ALEGERE VENTIL</b>	De la distanță din tablou de comandă	De la distanță prin dispozitiv de comandă	Buton închis / deschis (în cameră)	Buton închis, buton deschis	Buton de reglaj
<b>TRANSFER SEMNAL</b>	Prin fir	Prin antenă	Fără, deplasare locală	Prin fir / cablu	Prin conductă / tub (pneumo / hidraulic)
<b>RECEPȚIE SEMNAL</b>	Prin antenă (semnal radio)	Rețea electrică	Manetă conectată la fire	Manetă manuală	Piston (P/ H)
<b>ACTUATOR</b>	Pneumatic	Motor hidraulic	Motor electric	Electro-magnet	Fără, manual
<b>TRANSMISIE</b>	Roți dințate	Curea	Câmp electromag	Cablu	Impact

Obs.: — — — — — traseu de selecție a variantei propus de un proiectant

**4) Checklist – ul în mecatronică**

Aspectele ce trebuie abordate ca și specificație pentru proiectul mecatronic se obțin ca o construcție individuală sau de grup. Toate acestea se constituie într-o listă de cerințe

(*checklist*) care trebuie analizate în etapa de proiectare:

#### LISTĂ DE SPECIFICAȚII

- factorul uman și siguranța în funcționare
- gradele de libertate
- actuatoarele
- senzorii
- interferența electromagnetică
- precauție privind “zgomotul”
- cablurile și conectorii
- achizițiile de date
- calcule și proiectare software
- timpul de întârziere
- erorile de software
- dezvoltările de software
- structura mecanică
- rigiditatea și flexibilitatea
- frecarea
- sursele de tensiune constantă
- darea în exploatare
- instalarea
- mentenanță

Printr-o activitate de grup susținută în diverse momente de timp, multe probleme simple din sistemele mecatronice pot fi identificate din timp și ocolite printr-o organizare eficientă.

Referitor la ***gradele de libertate*** trebuie specificat că noțiunea se abordează din punct de vedere mecanic și urmărește clarificarea aspectelor legate de posibilitatea deplasării în spațiu a unui punct material. Se poate considera că trebuie răspuns la o serie de întrebări:

- care este numărul minim de mișcări decuplate și acționate necesare pentru a rezolva problema în cauză ?
- este necesară energie de antrenare pentru toate aceste mișcări?
- trebuie să existe o aliniere a două componente sau o conectare a acestora ? Cum se preîntâmpină o abatere de coaxialitate între componentele respective?
- cum se pot anula jocurile dintre elemente ? Care sunt ajustajele necesare ?

Pentru oricare dintre ***actuatorul*** utilizat proiectantul trebuie să definească sau să măsoare:

- forța generalizată (forță sau cuplu) ce trebuie dezvoltată;
- dependența forței generalizate motoare de viteză (caracteristica mecanică motoare);
- variația forței generalizate cu poziția punctului de aplicație;
- viteza impusă și eventualele restricții suplimentare referitoare la aceasta (dependentă de poziție, de solicitare / sarcină etc.) ;

- precizia impusă și eventualele restricții suplimentare referitoare la aceasta (poziție, dependență de viteză etc.);
- inerția efectivă a sistemului, rigiditatea sau flexibilitatea a acestuia, frecarea sau amortizarea;
- domeniul mișcării;
- sarcina constantă sau variabilă, alta decât inerția, din sistem.

Proiectantul trebuie să estimeze în plus:

- care sunt limitele în proiectul dat ( de ex.: raportul putere / forță / cuplu capabile și cerințele putere / forță / cuplu impuse pentru fiecare actuator);
- se poate utiliza o aceeași formă de energie pentru toate sistemele de acționare (de ex. energia pneumatică) ?
- se poate reproiecta actuatorul pentru mobilitatea care nu respectă cerința anterioară (de ex.: actuatorul nu utilizează energia pneumatică) ?
- se poate renunța la elementele senzoriale pentru sistemul de acționare ? Se poate utiliza un STOP mecanic sau dependent de timp ? Se poate utiliza un motor pas cu pas pentru a elimina necesitatea unui traductor de poziție ?
- sunt disponibile pentru actuatore facilități de utilizare a dispozitivelor absorbante de energie (pentru coliziune, șoc) ?
- care sunt cerințele impuse actuatorului de menținere a elementului condus într-o poziție dată ? Care sunt posibilitățile de aplicare automată a frânării la apariția unor defecțiuni ale sistemului de alimentare ? Care sunt limitele admise pentru deplasările elementului condus pe intervalul de timp determinat de apariția defecțiunii și momentul realizării frânării ?
- care sunt posibilitățile de control a mișcării pentru fiecare actuator astfel încât să fie eliminate efectele tranzitorii ?
- care este elasticitatea din sistem (compresibilitatea fluidului, elasticitatea mecanică în transmisie etc.) ? Se poate reduce această elasticitate ? Care sunt variantele ?
- care sunt “jocurile” din sistem ? Cum afectează aceste neliniarități controlul sistemului ?
- care sunt consecințele defectării actuatorului ? Cum poate fi detectat un defect sau o funcționare în afara parametrilor impuși în mod automat ? Care sunt alte posibilități disponibile de detectare a defectelor ? Există posibilități de simulare a unei funcționări anormale (în afara parametrilor impuși) a actuatorului ?

**Senzorii / sistemul de achiziții** constituie una dintre componentele esențiale ale sistemului mecatronic pe care proiectantul trebuie să le analizeze pentru a stabili:

- care sunt senzorii necesari în conversia parametrilor fizici – semnal electric ?
- care sunt condiționările de semnal necesare: amplificare, filtrare etc. ?
- care este forma de lucru: analog sau digital ?
- care este forma de transfer a informației: serial, paralel ?
- care este banda de frecvență necesară pentru semnalele de intrare achiziționate din sistem ?
- care sunt condițiile de eșantionare necesare pentru achiziția întregii bande de frecvență ? Sunt utilizate filtre anti-alias ?
- Care este siguranța funcționării corecte a senzorilor ? Există posibilitatea detectării funcționării incorecte a senzorilor ? Cum sunt eliminate valorile eronate ?
- Există posibilitatea fuziunii informației ?
- Toate elementele senzoriale sunt necesare ? Se pot elimina unul sau mai multe elemente senzoriale ?
- Care sunt posibilitățile de măsurare directă / indirectă ? Care este cea mai bună locație pentru un sensor ?

- Există posibilitatea utilizării senzorilor cu semnal de ieșire standard discret ? Se pot utiliza acești senzori pentru parametrii continui: semnale modulate în lățime, semnale de frecvență variabilă, traductoare numerice ?
- Care sunt influențele negative în achiziția semnalelor provocate de uzură, vibrații, câmpurile termice exterioare, radiații etc. ?
- Care sunt limitele admise în proiectare pentru elementele senzoriale ?

**Cablurile și conectorii** din schemele realizate sunt un alt punct de interes în realizarea proiectului. Trebuie să se răspundă astfel la o serie de probleme cheie:

- au fost eliminate toate conexiunile care nu sunt necesare ? Se pot reduce numărul de conexiuni prin reducerea numărului de module ?
- pot fi eliminate firele de legătură prin utilizarea transmisiilor radio, a interfeței seriale sau a fibrelor optice ?
- se pot utiliza transmisiile de date pe frecvență înaltă pe baza cablurilor de alimentare cu energie ?
- au fost eliminate toate mobilitățile inutile ale cablurilor ? Se utilizează cabluri de calitate ? Care este influența costului ?
- au fost reduse / eliminate solicitările de încovoire pentru toate cablurile din instalație ? S-a analizat influența razei de încovoire ? Care sunt parametrii de calitate ai cablurilor referitor la durata de viață – cicluri de solicitare ? Care sunt implicațiile referitoare la legătura cost – defecte ?
- au fost protejate toate cablurile împotriva vibrațiilor ?
- s-au utilizat conectori de calitate ? Se poate utiliza conectorul monobloc (injectat) pentru a crește fiabilitatea sistemului ? Există teste de verificare pentru toate cablurile și conectorii utilizați ? Care sunt procedurile de schimbarea cablurilor ?

Proiectarea **software-lui și analiza erorilor software** este o nouă problemă centrală de maximă importanță pentru sistemele mecatronice. Problemele abordate sunt specifice tehnologiei informației și urmăresc găsirea răspunsurilor la întrebări de genul:

- Ce se întâmplă cu sistemul dacă alimentarea cu energie se întrerupe ? La revenirea alimentării cu energie în cât timp software-ul pentru control devine operațional ?
- Există posibilitatea centralizării operațiilor de calcul într-un singur procesor ? Care sunt posibilitățile de optimizare a organizării software-lui pentru creșterea fiabilității sistemului și a vitezi de lucru ?
- Care sunt posibilitățile de configurare a software-lui pentru hardware-ul instalat ? Care parametri pot fi setați prin măsurările efectuate ?
- Este posibil să detectăm erorile software ? Sunt suficiente informații pentru a putea separa erorile software de erorile de intrare în sistem ?
- Cum este posibilă detectarea erorilor software în oricare modul ?
- Cum sunt detectabile erorile de intrare a datelor ?
- Ce se constituie în eroare și ce se constituie într-o defecțiune ?
- Cum se poate distinge o eroare hardware de o eroare software ?
- Cum poate fi asigurat procesul proiectat la o detecție software sau hardware ?
- Poate transmite echipamentul în mod automat informații despre erorile / rateul software ?
- Este posibilă conectarea la internet a echipamentului și realizarea în mod automat a update – lui ?

Temporizările / întârzierile ( time delay) sunt o nouă provocare în fața proiectantului. Se caută răspunsuri la:

- Cât de repede poate software-ul să răspundă la evenimentele externe ? Care sunt temporizările maxim admisibile ?
- Care sunt întârzierile intrinseci în procesul de măsurare ?

- Care este intervalul de timp dintre momentul achiziției informației (la sensor) și momentul recepționării acesteia la sistemul de calcul ?
- Care este întârzierea între momentul setării valorii de ieșire prin software și momentul recepționării semnalului la actuator ?
- Care este constanta de timp a actuatorilor ?

Un capitol aparte îl reprezintă partea mecanică a sistemului mecatronic proiectat. Aceasta se datorează neliniarităților multiple introduse. Din această categorie face parte și fenomenul de uzare și frecare cu întrebări și probleme specifice:

- au fost identificate toate componentele mecanice din sistem care sunt afectate de uzură: rulmenți, frâne, plăcuță de frână, lagăr de alunecare, roți dințate, limitatoare de cursă, conectori ?
- estimați efectul uzării în fiecare componentă în parte. Care este efectul creșterii sau descreșterii coeficientului de frecare din sistem ?
- care sunt posibilitățile de reducere a efectelor uzării printr-o lubrificație a componentelor în cauză ?
- există posibilitățile de măsurare automată a coeficientului de frecare sau a jocului din sistem ? Se pot estima și indica în mod automat activitățile de mentenanță ?
- decide care lubrificare este recomandată pentru fiecare punct specific din sistem;
- analizează fenomenul de frecare pentru a reduce zgomotul și vibrațiile din sistem;