



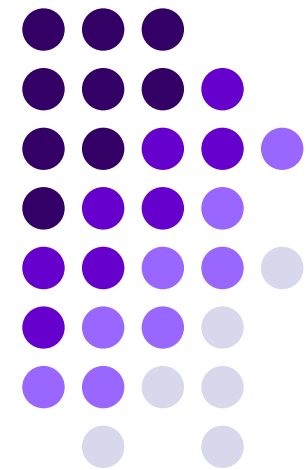
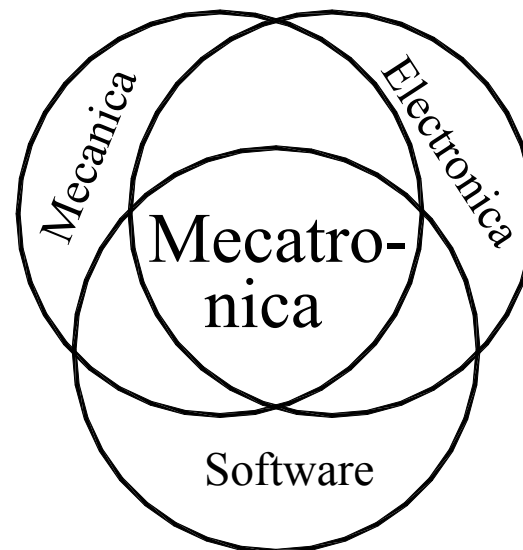
Departamentul
de
MECATRONICĂ

Facultatea
de
MECANICĂ

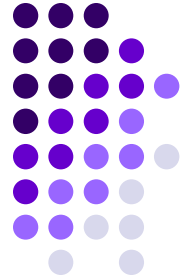


UNIVERSITATEA POLITEHNICA
TIMIȘOARA

PROIECTAREA SISTEMELOR MECATRONICE



Prof. dr. ing. Valer DOLGA,

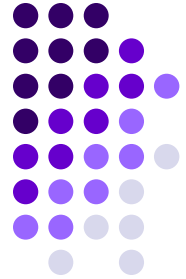


Cuprins

Hazard, fiabilitate si proiectare

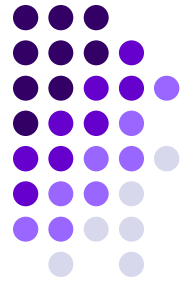
- Complemente de calculul probabilitatilor
- Variabila aleatoare
- Hazard / introducerea

Complemente de calculul probabilitatilor / eveniment



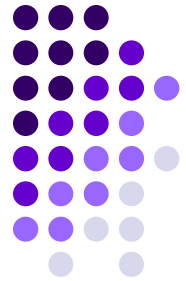
- În natură fenomenele se manifestă în mod determinist sau în mod aleatoriu;
- **Fenomenele deterministe** sunt caracterizate printr-o evoluție după o lege determinată matematic;
- **Fenomenele aleatorii** sunt fenomenele în care stările nu sunt cunoscute în mod determinist dar pot fi interpretate prin intermediul noțiunii de probabilitate;
- Noțiunea fundamentală a teoriei probabilităților este aceea de **eveniment**;
- **Ce este un eveniment ?**
- Rezultatul unui experiment, adică producerea sau absența unui fenomen în experiență, în condițiile unor ipoteze și restricții impuse = **eveniment**;
- Evenimentul:
 - ❖ elementar;
 - ❖ compus (notat A_i);
 - ❖ evenimentul sigur (E) dintr-un experiment este cel care se produce sigur pe parcursul acestuia;

Eveniment elementar si compus



- **Ce este un eveniment elementar și ce este un eveniment compus ?**
- Exemplu: apariția unui număr la aruncarea unui zar- diverse evenimente posibile:
 - A – apariția unui număr par;
 - B – apariția unui număr impar;
 - C – apariția numărului “2”;
 - D – apariția unui număr ≥ 4 ;
- Apariția numărului “3” \rightarrow realizarea evenimentului B și nerealizarea evenimentelor A, C, D;
- Evenimentele A, B și D le sunt favorabile o mulțime finită de cazuri. De exemplu evenimentului A îi corespunde submulțimea {2, 4, 6} a mulțimii s.a.m.d. Evenimentele care au un singur caz favorabil = *elementare*;
- Două evenimente sunt *incompatibile* dacă producerea unuia exclude posibilitatea producerii celuilalt;
- Dacă două evenimente incompatibile reunite conduc la evenimentul sigur acestea se numesc complementare (A, \bar{A}).
- *Evenimentul A implică evenimentul B* dacă realizarea lui A atrage după sine realizarea lui B: $A \subset B$.

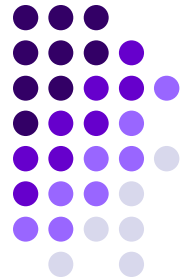
Evenimente / exemplu



Exemplul 1

- *Un robot industrial mobil trebuie să execute o operație într-un mediu dat pe una din traiectoriile disponibile (1, 2,3), printr-o coordonare asigurată de senzori optici, acustici, termici cu utilizarea efectorului final (varianta I și II).*
- *Evenimente posibile:*
 - ❖ *Atingerea punctului țintă – evenimentul “A”; Evenimentului “A” îi corespund cazurile favorabile definite de traiectoria 1, 2 sau 3;*
 - ❖ *Detectarea obstacolelor din spațiul de lucru – evenimentul “B”; Evenimentului “B” îi corespund cazurile favorabile definite de locația obstacolelor pe bază de senzorii vizuali, acustici și cei termici;*
 - ❖ *Preluarea obiectului vizat în aplicație – evenimentul “C”; Evenimentului “C” îi corespund cazurile oferite de prehensarea obiectului cu ajutorului efectorului I sau II.*
- *Sa se consemneze evenimente elementare si compuse;*
- *?*

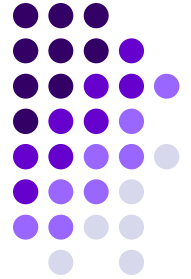
Multime - eveniment



Există astfel o *dualitate de limbaj: eveniment - multime*

Limbajul evenimentelor	Limbajul mulțimilor
Eveniment;	Submulțimea lui A;
Eveniment sigur;	Mulțimea totală A;
Eveniment imposibil;	Mulțimea vidă \emptyset
A implică B	$A \subset B$
A sau B	$A \cup B$
A și B	$A \cap B$
Non A	$C A$
A și B incompatibile	$A \cap B = \emptyset$
Eveniment elementar	$A_i, \{A_i\}, A_i \in A$

Eveniment - probabilitate



- Fiecărui experiment $A \rightarrow$ un număr pozitiv $P(A) =$ **probabilitatea lui de realizare**;
- Dacă într-o serie de “n” probe evenimentul A s-a realizat de $m \leq n$
 \rightarrow probabilitatea evenimentului A:

$$P(A) = \frac{m}{n}$$

$$0 < P(A) < 1$$

$$P(E) = 1$$

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

$$P(A - B) = P(A) - P(B)$$

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$$

Calculul probabilistic

- Probabilitatea evenimentului B condiționată de evenimentul A

$$P(B|A) = P_A(B) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)}$$

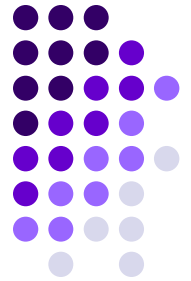
- Dacă evenimentele A și B își modifică probabilitatea în funcție de realizarea sau nerealizarea celuilalt - *evenimentele sunt dependente*;
- Formula **probabilității totale** - probabilitatea de realizare a unui eveniment o dată cu realizarea unuia din evenimentele incompatibile A_1, A_2, \dots, A_n :

$$P_{(B)} = \sum P_{(A_i)} \cdot P_{A_i(B)}$$

- **teorema lui Bayes**: probabilitatea ca o dată cu ev. B să se realizeze și ev. incompatibil A_i

$$P_{B(A_i)} = \frac{P_{(A_i)} \cdot P_{A_i(B)}}{P_{(B)}}$$

Calcul probabilistic



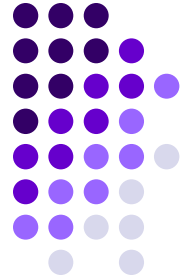
- **Starea de funcționare** sau de **defecțiune** a unui sistem în condiții precizate de exploatare = **eveniment** în câmpul de evenimente asociat experimentului considerat

schema binomială generalizată

- A_1, A_2, \dots, A_n “n” evenimente independente;
- Probabilitatea să se realizeze k din cele “n” evenimente – și să nu se realizeze “n-k” – este egală cu coeficientul lui x^k din dezvoltarea polinomului:

$$(p_1 \cdot x + q_1) \cdot (p_2 \cdot x + q_2) \cdot (p_3 \cdot x + q_3) \cdot \dots \cdot (p_n \cdot x + q_n)$$

$$p_i = P_{(A_i)} \quad \text{si} \quad q_i = 1 - p_i$$



Schema binomiala

- evenimentele A_1, A_2, \dots, A_n au aceeași probabilitate

$$p_i = p \text{ si } q_i = 1 - p$$

- probabilitatea realizării a “k” din cele evenimente, este egală cu

coeficientul lui x^k din polinomul: $(p \cdot x + q)^k$

$$C_n^k \cdot p^k \cdot q^{n-k}$$

Calcul probabilistic – Exemplu de calcul

• Exemplul 2

Pentru iluminarea frontală a unei scene se utilizează două surse de lumină de producție și timp de utilizare diferiți. Se cere să se determine probabilitatea defectării simultane a celor două surse;

• *evenimente:*

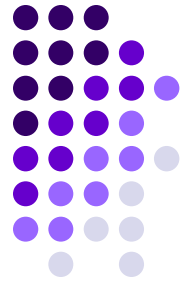
❖ *A - defectarea sursei 1*

❖ *B - defectarea sursei 2*

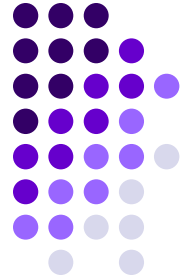
$$P_{(A)} = \frac{1}{9} \quad P_{(B)} = \frac{1}{11}$$

• *evenimentele A și B - independente*

$$P_{(A \cap B)} = P_{(A)} \cdot P_{(B)} = \frac{1}{9} \cdot \frac{1}{11} = \frac{1}{99}$$



Calcul probabilistic – Exemplu de calcul



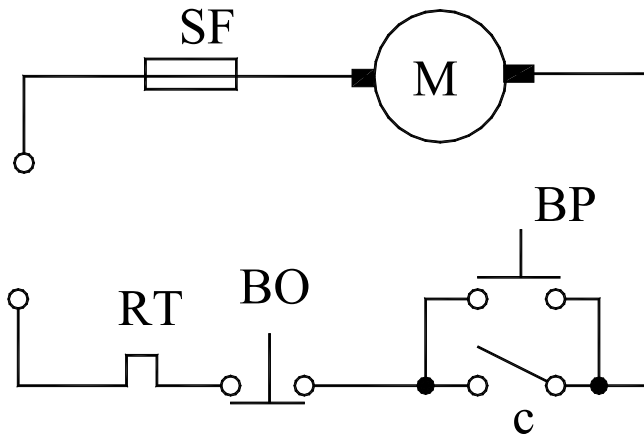
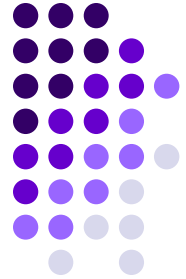
Exemplul 3

• *Un sistem de iluminare tolerant la defectare presupune utilizarea a două surse de lumină. Care este probabilitatea de funcționare a sistemului (cel puțin una din surse să funcționeze). Probabilitatea funcționării corecte a surselor este:*

$$P_{(A)} = P_{(B)} = 0.8$$

$$P_{(A \cup B)} = P_{(A)} + P_{(B)} - P_{(A \cap B)} = 0.8 + 0.8 - 0.64 = 0.96$$

Calcul probabilistic - Exemplu de calcul

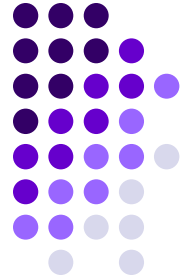


Exemplul 4

- *Evenimentul A – funcționarea siguranței fuzibile SF;*
- *Evenimentul B – motorul M să fie funcțional (fără defecte);*
- *Evenimentul C – releul termic RT să fie funcțional;*
- *Evenimentul D – butonul BO să nu fie apăsat;*
- *Evenimentul E – să fie apăsat butonul BP;*
- *Evenimentul G – să fie închis contactul c;*

$$P_{(O)} = P_{(A)} \cdot P_{(B)} \cdot P_{(C)} \cdot P_{(D)} \cdot P_{(EUG)}$$

Calcul probabilistic - Exemplu de calcul



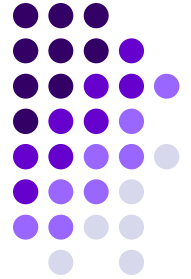
Exemplul 5

- O operație de deminare se realizează cu ajutorul unui RI mobil dedicat ;
- Se presupune cunoscută probabilitatea de înscriere pe traiectoria din teren $P(O) = 0.8$;
- Probabilitatea de funcționarea a echipamentului de localizare a minei este $P(L) = 0.9$;
- Probabilitatea de reușită a deminării $P(D1) = 0.55$;
- Care este probabilitatea de reușită a operației preconizate dacă cele trei evenimente sunt independente?

$$P_{(A)} = P_{(O)} \cdot P_{(L)} \cdot P_{(D1)} = 0.8 \cdot 0.9 \cdot 0.55 = 0.396$$

- Probabilitatea de reușită – redusă: se admite existența unui al doilea sistem cu probabilitatea $P(D2) = 0.85$;
- Al doilea sistem se pune în aplicare dacă primul este nesatisfăcător

Exemplul 4 (continuare)



- Care este probabilitatea de reușită a celei de-a doua variante?
- Care este probabilitatea de eșec total ?

Evenimentul D2 trebuie să se realizeze când nu se realizează D1:

$$P_{(B|CA)} = \frac{P_{(B \cap CA)}}{P_{(CA)}} \qquad P_{(CA)} = 1 - 0.396 = 0.604$$

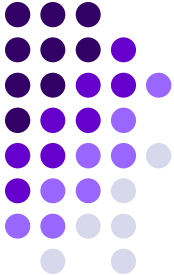
$$P_{(B \cap CA)} = P_{(B)} \cdot P_{(CA)} = P_{(O \cap L \cap D2)} \cdot P_{(CA)} =$$

$$0.8 \cdot 0.9 \cdot 0.85 \cdot 0.604 = 0.3696$$

$$P_{(B|CA)} = \frac{0.3696}{0.604} = 0.612$$

$$P_{(ET)} = P_{(CA)} \cdot P_{(C(B|CA))} = 0.604 \cdot (1 - 0.612) = 0.234$$

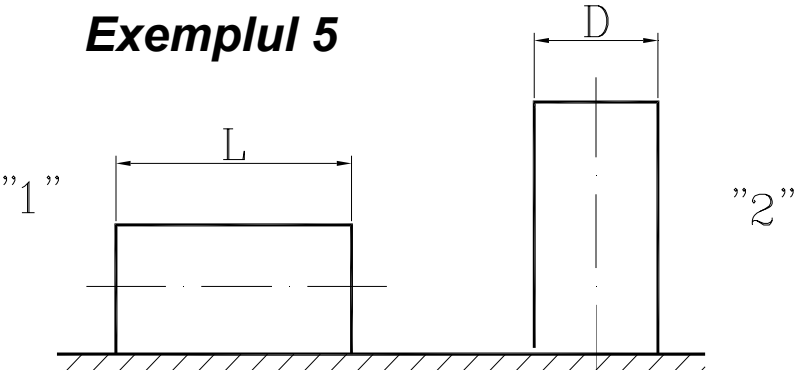
Variabile aleatoare



- ce este o **variabilă aleatoare**?
- mărimile caracteristice fenomenului aleatoriu se numesc variabile aleatoare;
- se reprezintă ca funcții pe câmpul de evenimente asociat fenomenului cu valori din mulțimea valorilor posibile ale fenomenului considerat, cu o anumită probabilitate;
- variabila aleatoare X - reprezentare schematică de tip tablou:

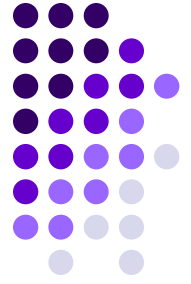
$$X \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \cdot & \cdot & x_n \\ p_1 & p_2 & \cdot & \cdot & p_n \end{pmatrix}$$

Exemplul 5



$$X \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ \frac{L/D}{\sqrt{1+(L/D)^2}} & 1-p_1 \end{pmatrix}$$

Variabila aleatoare



Exemplul 6

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 $P(B) = 10/11$. Care este variabila aleatoare definită ca și starea de funcționare a sistemului ?

$$X \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ p_1 & p_2 & p_3 \end{pmatrix} \quad \bullet \text{ starea } x_1 \text{ corespunde funcționării ambelor surse:}$$

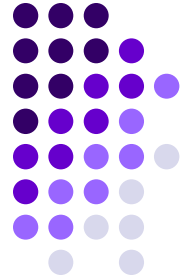
$$p_1 = P(A) \cdot P(B) = \frac{8}{9} \cdot \frac{10}{11} = \frac{80}{99}$$

• 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

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



Exemplul 7

- *Un sistem senzorial este format din 3 senzori de proximitate inductivi conectați în serie. Să se scrie distribuția variabilei aleatoare definită ca stare de defectare a sistemului. Probabilitatea de defectare individuală este $P(a) = 1/10$.*
- *Elementele fiind identice, probabilitățile de defectare se scriu ca și coeficienții binomiali ai lui x^k , $k= 1 - 3$. Binomul are expresia ($p = 0.1$, $q = 0.9$):*

$$(px + q)^3$$

$$X \left(\begin{array}{ccc} 1 & 2 & 3 \\ \frac{3!}{1! \cdot 2!} \cdot 0.1^1 \cdot 0.9^2 & \frac{3!}{1! \cdot 2!} \cdot 0.1^2 \cdot 0.9^1 & 0.1^3 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{ccc} 1 & 2 & 3 \\ 0.243 & 0.027 & 0.001 \end{array} \right)$$

Variabila aleatoare

a este o constantă;
 distribuția aX

$$aX \begin{pmatrix} ax_1 & ax_2 & \cdot & \cdot & ax_n \\ p_1 & p_2 & & & p_n \end{pmatrix}$$

P_{ij} ($i=1,2,\dots,m$ și $j=1,2,\dots,n$)
 - probabilitatea realizării
 simultane a egalităților X
 $= x_i$ și $Y = y_j$.

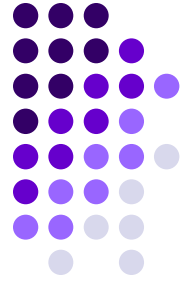
$$X + Y \begin{pmatrix} x_1 + y_1 & x_1 + y_2 & \cdot & \cdot & x_m + y_n \\ p_{11} & p_{12} & & & p_{mn} \end{pmatrix}$$

$$P_{ij} = p_i \cdot q_j$$

$$X \cdot Y \begin{pmatrix} x_1 \cdot y_1 & x_1 \cdot y_2 & \cdot & \cdot & x_m \cdot y_n \\ p_{11} & p_{12} & & & p_{mn} \end{pmatrix}$$

• variabila aleatoare X - vom numi valoarea medie a acestei variabile numărul:

$$M(X) = p_1 \cdot x_1 + p_2 \cdot x_2 + \dots + p_n \cdot x_n$$



Exemplul 8

- *Un sistem senzorial este compus din 5 module numerotate de la 1 la 5 care se pot defecta independent cu probabilitatea individuală*

$$p_k = 0.2 + 0.2 \cdot (k - 1)$$

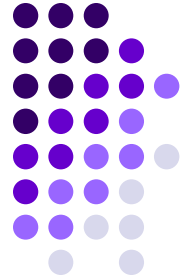
- *X variabila aleatoare asociată defectării modulului senzorial k cu starea de defect "1" și starea de funcționare "0"*

$$X \left(\begin{array}{cc} 1 & 0 \\ 0.2 + 0.2 \cdot (k - 1) & 0.8 - 0.2 \cdot (k - 1) \end{array} \right); k = 1 \dots 5$$

- *Numarul mediu de defectiuni*

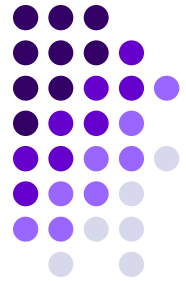
$$M(X) = \sum_1^5 1 \cdot [0.2 + 0.2 \cdot (k - 1)] = 3$$

Hazard / introducere



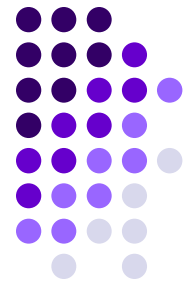
- În categoria hazardurilor tipice se pot include:
 - ❖ Puncte la limită;
 - ❖ Strivire, sfărâmare;
 - ❖ Coliziune cu obiecte mobile;
 - ❖ Cădere la înălțime;
 - ❖ Suprafețe alunecoase;
 - ❖ Explozie;
 - ❖ Șoc electric / scurtcircuit;
 - ❖ Temperatura / focul;
 - ❖ Toxicitatea;
 - ❖ Solicitare fizică;
- **Societatea Națională a Inginerilor Profesioniști (NSPE – USA) – 1934:**
 - ❖ “...serviciile practicate de ingineri impun onestitate, imparțialitate, cinste și echitate, și trebuie să fie dedicate pentru protecția publicului, siguranța și prosperitatea acestuia”;
 - ❖ “inginerii în atribuțiile lor profesionale, vor ...susține la maximum siguranța, sănătatea și bunăstarea publicului” primul criteriu fundamental (din cele șase) ale codului;

Hazard / introducere



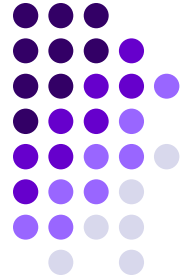
- **Proiectarea conceptuală** (metoda proiectării sistemelor Taguchi, 1989) - generează soluții potențiale multiple;
- După o analiză a fiecărei soluții posibile se selectează (pe baza principiilor inovative) setul de cerințe cu cele mai ridicate șanse de reușită;
- **Proiectarea detaliată** (proiectarea parametrilor și toleranțelor, Taguchi, 1989) - analiză detaliată a soluțiilor selectate pentru determinarea funcționalității, geometriei, dimensiunilor, ajustajului, interfaței umane, **siguranței** etc.
- **Proiectarea pentru siguranță (Design For Safety)** - metodologie de proiectare pentru sănătatea, siguranța și bunăstarea consumatorului, publicului și a muncitorilor care realizează sau care distribuie produsul;
- identificarea în faza de proiectare a aspectelor de hazard inerente în faza de fabricație, distribuție, utilizare și eliminarea acestor efecte;
- chiar dacă aceste efecte nu pot fi eliminate, se impune să se realizeze minimizarea posibilă și atenționarea utilizatorului despre pericolele rămase.

Hazard / introducere



- **Potențiale deficiențe pentru componentele mecanice:**
 - ❖ Deformațiile elastice;
 - ❖ Rupere fragilă (casantă);
 - ❖ Deformații plastice, fluaj;
 - ❖ Defecțiuni de flambaj, rupere ductilă;
 - ❖ Defecțiuni de oboseală: coroziune indusă, frecare, impact, suprafață, efecte termice induse, vibrații;
 - ❖ Defecțiuni datorate impactului / șocului indus: deformații, oboseală, rupere, frecare, uzare;
 - ❖ Uzare: adezivă, abrazivă, cavitație, coroziune, eroziune, pitting etc.;
 - ❖ Defecțiuni datorate efectelor termice induse: schimbarea proprietăților materialelor, deformații, șoc termic;
 - ❖ Defecte de îmbinare, exfolieri;
 - ❖ Corodare corozivă / chimică: galvanică, fisurare, agresivitate a hidrogenului, oxidare, pitting;
 - ❖ Defecte combinate; rupere datorată oboselii sau flambajului, deformațiilor induse termic etc.;
 - ❖ Defecte ale interfeței mecanice: decuplare, interferență, blocare, alunecare;

Hazard / introducere



- **potentiale deficiente pentru componentele și sistemele electrice:**
 - ❖ Supratensiuni;
 - ❖ Tensiuni minime;
 - ❖ Defecțiuni de circuit deschis (în gol): ce conduce la pierdere a semnalului de ieșire ?
 - ❖ Defecțiuni de circuit în scurtcircuit: ce se întâmplă cu sistemul?
 - ❖ Aspecte termice: modificări a proprietăților de material, temperature de operare, dilatare, instabilitate termică;
 - ❖ Probleme mecanice: inserția / eliminarea componentelor, vibrații;
 - ❖ Străpungerea unei componente: în ce fel va afecta defecțiunea componentei modul de funcționare a sistemului;
 - ❖ Probleme ale sursei de alimentare: frecvența de lucru nominală, zgomotul în frecvență înaltă, tensiunea de alimentare, forma semnalului;
 - ❖ Anomalii ale semnalului (în domeniul timp): zgomot, forma semnalului, semnal perturbator;
 - ❖ Anomalii ale semnalului (în domeniul frecvență): distorsiuni, aliasing, spectru.

Hazard / introducere

- Standardul militar MIL-STD-1629A impune un set minim de defecțiuni ale unui sistem care trebuie să fie luate în considerare:
 - ❖ operații premature;
 - ❖ operații intermitente;
 - ❖ defect de operare la prescrierea timpului;
 - ❖ defect de încetare a operației la prescrierea timpului;
 - ❖ lipsa / atenuarea semnalului de ieșire sau defect în timpul operației;
 - ❖ degradarea semnalului de ieșire sau a capacității operaționale.
- O **informație “istorică” a performanțelor și problemelor** referitoare la produsele și procesele existente sunt strict necesare inginerului proiectant;
- Se impune **colectarea informațiilor și arhivarea** acestora atât cu privire la defectele existente cât și la modalitățile folosite pentru rezolvarea acestora.

