

# CAPITOLUL 1

## INTRODUCERE

Fiabilitatea este o disciplină din domeniul ingineriei care utilizează cunoștințe științifice pentru asigurarea unor performanțe ridicate ale funcțiilor unui echipament, într-un anumit interval de timp și condiții de exploatare bine precizate. Aceasta include proiectarea, abilitatea de a întreține, de a testa și a menține echipamentul la parametri acceptabili pe toată durata ciclului de viață. Fiabilitatea unui echipament este descrisă cel mai bine de păstrarea performanțelor acestuia în timp. Performanțele de fiabilitate ale unui echipament sunt concretizate în faza de proiectare prin alegerea judicioasă a arhitecturii echipamentului, a materialelor, a procesului de fabricație, a componentelor – atât soft cât și hard – urmate de verificarea rezultatelor obținute în urma simulărilor și a testelor de laborator.

Pentru a obține echipamente fiabile sunt necesare cunoștințe și deprinderi din următoarele domenii:

- analiză statistică
- modelarea fiabilității echipamentelor
- studii de marketing
- metode de predicție a fiabilității
- proiectare prin metoda cazului cel mai defavorabil
- analiza fizică a defecțiunilor
- analiza modurilor de defectare și a defectelor
- planificarea și realizarea încercărilor de fiabilitate / încercări accelerate
- definirea conceptului de mentenanță
- analiza mentenabilității
- planificarea și realizarea mentenanței
- analiza siguranței echipamentelor
- fiabilitate / mentenabilitate / siguranța echipamentului / calitate / suport logistic / factorii umani / software performant pentru monitorizare.

Fiabilitatea este un atribut al echipamentelor care nu trebuie ignorat. Caracteristicile de fiabilitate reprezintă ”ingredientele” critice pentru orice activitate de proiectare a echipamentelor industriale. Este de preferat să se țină cont de aspectele legate de fiabilitate încă din faza de proiectare decât să nu se facă acest lucru în speranța că lucrurile vor merge bine.

Apariția unei teorii a fiabilității a fost determinată de creșterea complexității echipamentelor și de caracterul de masă al producției moderne. Domeniul care a impulsionat dezvoltarea acestei discipline a fost, ca și în alte cazuri, cel militar întrucât în timpul celui de-al doilea război mondial s-a constatat că echipamentele electronice complexe (echipamente de radiocomunicații, sonare etc.) se aflau în stare de defectare un timp sensibil mai mare decât timpul de funcționare normală. Pe baza soluțiilor oferite de către această nouă disciplină – fiabilitatea – au fost posibile progrese mari și în alte domenii de activitate, precum centralele nucleare, transporturile (navale, terestre, aeriene și în ultimul timp spațiale), prelucrarea și transmisia datelor, producția bunurilor de larg consum etc.

După trecerea de la producția manufacturieră la producția de masă s-a constatat o mărire a dispersiei parametrilor echipamentelor datorată atât creșterii complexității cât și micșorării posibilităților de control interfazic pe liniile de producție. În cazul producției de masă, datorită modificărilor rapide ale cerințelor tehnice, se constată că nu este necesar întotdeauna să se obțină un nivel maxim posibil de fiabilitate, ci este esențial să se cunoască cu precizie care este nivelul real de fiabilitate, luându-se măsuri pentru deplasarea acestuia către o valoare optimă. În decursul timpului s-a constatat că, în cazul sistemelor și echipamentelor complexe, oricât s-ar investi pentru a obține o fiabilitate ideală, nu se poate obține un echipament care să nu se degradeze în timp. Din această cauză este util să se cunoască nivelul real al fiabilității, astfel încât, în funcție de acesta, să se stabilească durata misiunii, intervalele de revizie, structura echipamentului etc.

Fiabilitatea este unul dintre parametrii determinanți pentru competitivitatea unui produs, întrucât gradul de vandabilitate crește semnificativ pentru produsele fiabile. Este de subliniat faptul că în programul de acțiuni lansate de Guvernul României la sfârșitul lunii august 2001 pentru creșterea exporturilor (și reducerea deficitului comercial al țării), una dintre măsurile propuse se referă la creșterea fiabilității produselor. Se poate aprecia că fiabilitatea a devenit o preocupare la nivel național. În microelectronică, studiul fiabilității dispozitivelor are o istorie mai veche, de circa 30 de ani, dar – în primii 10 ani – doar la nivelul de încercări constatative, cu evaluarea post-factum a fiabilității loturilor și transmiterea rezultatelor

către secția de fabricație. Din 1980 începe pentru domeniul fiabilității dispozitivelor electronice cu semiconductoare o perioadă de succese ale cercetării de profil, fiind propuse și implementate metode accelerate de evaluare a fiabilității, precum și de asigurare a acesteia. Cercetarea românească are contribuții însemnate, fiabilitatea dispozitivelor cu semiconductoare fiind unul dintre domeniile cele mai dinamice ale fiabilității românești [2].

Pe plan mondial, după anul 1990 s-a intrat într-o nouă etapă de dezvoltare a domeniului fiabilității. Dacă în anii '60 fiabilitatea se referea la Control/Verificare, iar în anii '70 - '80 la Asigurare, acum cuvântul de ordine îl reprezintă Managementul fiabilității, cu tot ce implică el: metode adecvate de predicție, proiectare pentru fiabilitate, fiabilitatea proceselor, inginerie convergentă, controlul calității totale etc. Dacă pentru tipuri de produse aflate de mai mult timp în fabricație (cum sunt dispozitivele microelectronice) această preocupare pentru fiabilitate pare justificată, fiind vorba despre produse care își caută un loc pe piețe din ce în ce mai exigente, în cazul unor produse relativ noi, cum sunt microsistemele, fiabilitatea pare mai degrabă un lux. Nimic mai greșit, după cum arată ultimele lucrări ale celui mai prestigios simpozion de profil pe plan mondial, Annual Reliability and Maintainability Symposium (ARMS), ținut anual în SUA, alternativ pe coasta de Vest / Est. Mai ales la produsele foarte noi (cum sunt microstructurile și microsistemele – în general, produsele microtehnologiilor) este important ca fiabilitatea să fie luată în considerare chiar din primul moment (ca un parametru al ingineriei convergente). În acest mod se câștigă timp și sume importante de bani, pentru că punerea la punct a unui nou dispozitiv este mult mai rapidă decât prin modul tradițional de lucru (inginerie serială). Acesta este motivul pentru care fiabilitatea devine acum un parametru important al proiectării unui dispozitiv. Și nu este vorba numai de produsele cu cerințe speciale de utilizare (echipamente spațiale sau militare, centrale nucleare etc.), ci chiar de dispozitivele destinate unor bunuri de larg consum, care au acum niveluri ale parametrilor de fiabilitate mult mai mari decât cele militare de acum câțiva ani. Tendința actuală este de a se trece de la certificarea produselor la certificarea tehnologiilor, cu avantaje evidente în ceea ce privește simplificarea procedurilor de livrare.

Principalele obiective ale fiabilității sunt:

- studiul defecțiunilor echipamentelor (al cauzelor, al proceselor de apariție și dezvoltare și al metodelor de combatere a defecțiunilor);

- aprecierea cantitativă a comportării echipamentelor în timpul exploatării în condiții normale, ținând seama de influența pe care o exercită asupra acestora factorii interni și externi;
- determinarea modelelor și metodelor de calcul și prognoză ale fiabilității, pe baza încercărilor de laborator și a urmăririi comportării în exploatare a echipamentelor;
- analiza fizică a defecțiunilor;
- stabilirea metodelor de proiectare, constructive, tehnologice și de exploatare pentru asigurarea, menținerea și creșterea fiabilității echipamentelor, dispozitivelor și elementelor componente;
- stabilirea metodelor de selectare și prelucrare a datelor privind analiza fiabilității echipamentelor.

Definită din punct de vedere calitativ, fiabilitatea reprezintă capacitatea unui sistem de a funcționa fără defecțiuni, la parametri acceptabili, în decursul unui anumit interval de timp, în condiții de exploatare bine precizate. Definită din punct de vedere cantitativ, fiabilitatea unui sistem reprezintă probabilitatea ca acesta să-și îndeplinească funcțiile sale cu anumite performanțe și fără defecțiuni, într-un anumit interval de timp și în condiții de exploatare specificate.

În cazul echipamentelor a căror perioadă de fabricație este suficient de mare (luni, ani), performanțele de fiabilitate pot fi îmbunătățite utilizând o structură cu reacție negativă de tipul celei prezentate în figura 1.1, [3].

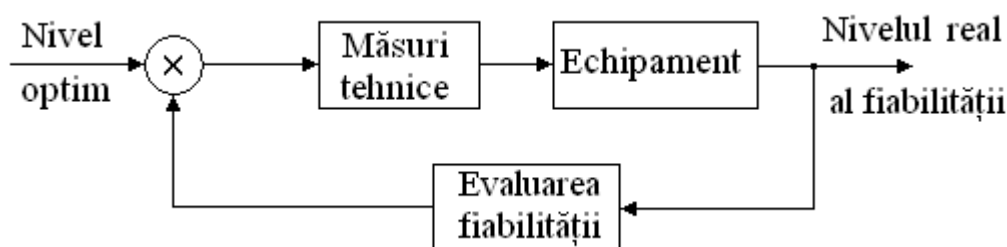


Fig. 1.1. Controlul nivelului de fiabilitate

Pentru realizarea unei îmbunătățiri a performanțelor de fiabilitate este necesar să existe instrumente pentru exprimarea cantitativă a fiabilității astfel încât să se poate face o evaluare a nivelului real de fiabilitate al echipamentului. Cu cât evaluarea nivelului real de fiabilitate se poate face într-un timp mai redus, cu atât mai repede se va ajunge la nivelul dorit al fiabilității. Nivelul optim al fiabilității poate fi stabilit utilizând diferite criterii, dintre care cel economic este utilizat în cele mai multe cazuri. Există însă și domenii în care aspectul economic se află în planul secund,

pe primul plan fiind siguranța în exploatare a echipamentelor (centrale nucleare, secții de terapie intensivă, transport aerian etc).

Separând cheltuielile legate de echipament în costuri de producție și costuri de întreținere și reprezentându-le în funcție de nivelul de fiabilitate, se obține o dependență între costuri și fiabilitate de tipul celei prezentate în graficul din figura 1.2. Din grafic se observă că nivelul optim de fiabilitate, din punct de vedere economic, corespunde unui minim al cheltuielilor totale.

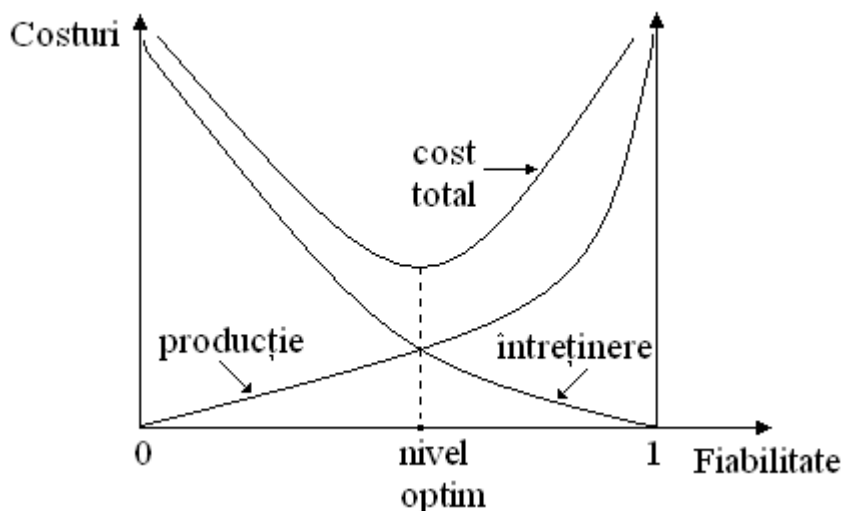


Fig. 1.2. Determinarea nivelului optim de fiabilitate

Analiza fiabilității unui echipament se poate face fie la nivel global, fie la nivel structural, utilizându-se pentru aceasta limbajul teoriei sistemelor. Dacă nu ținem cont de structura echipamentului, acesta se poate descrie matematic la nivel global prin dependența funcțională a vectorului de ieșire față de vectorul de intrare:

$$Y = A(U) \quad (1.1)$$

Atunci când se cunoaște, chiar și parțial structura echipamentului se poate pune în evidență un număr de variabile interne, care formează vectorul de stare:  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

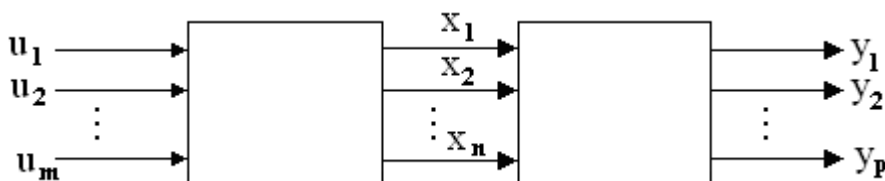


Fig. 1.3. Descrierea pe stare a echipamentului

În această situație echipamentul poate fi descris matematic utilizând relațiile:

$$\begin{aligned}\dot{X} &= f(t, x, u) \\ Y &= g(t, x)\end{aligned}\tag{1.2}$$

Aceste modele, furnizate de teoria sistemelor, pot fi utilizate în scopul descrierii unui echipament real sub diferite aspecte, depinzând de interpretarea fizică dată variabilelor de intrare, ieșire și stare.

*Exemplu:* Se consideră o rețea formată din rezistențe, inductanțe, capacități, surse independente și surse controlate de tensiune și curent. Dacă se identifică variabilele de intrare cu sursele independente și variabilele de ieșire cu valorile curenților și tensiunilor în diferite puncte ale rețelei, sistemul abstract va fi caracterizat, din punct de vedere funcțional, printr-o relație globală de tip (1.1), iar dacă alegem drept variabile de stare valorile curenților prin inductanțe și ale tensiunilor de pe capacități, rețeaua va fi descrisă prin ecuații canonice de stare (1.2), [3].

Modelarea fiabilității rețelei va pretinde o cu totul altă interpretare a variabilelor, astfel încât să se urmărească evoluția performanțelor echipamentului în condiții de solicitare precizate. Astfel variabilele de intrare se identifică cu solicitările aplicate asupra echipamentului, fie că acestea sunt *solicitări utile*, esențiale în vederea îndeplinirii funcției acestuia, cum ar fi tensiunile, curenții, puterile disipate, fie că sunt *solicitări perturbatoare*, ca temperatura ambiantă, umiditate, vibrații, șocuri, interferențe electromagnetice, câmpuri electrice etc. Variabilele de ieșire vor fi identificate cu performanțele echipamentului: durata regimului tranzitoriu, rezerva de stabilitate, banda de frecvență, eroarea staționară etc.

O analiză la nivel global a fiabilității unui echipament conduce la o relație funcțională de tipul (1.1) între performanțe și solicitări, iar o analiză structurală conduce la sistemul de ecuații (1.2) care leagă performanțele de solicitări prin intermediul parametrilor elementelor componente.

O particularitate fundamentală a modelului abstract al fiabilității unui echipament este dependența stohastică între variabilele care definesc modelul. Chiar dacă solicitările aplicate echipamentului sunt riguros deterministe și controlabile, cum se întâmplă în condiții de laborator, evoluția performanțelor globale ale echipamentului nu este întru totul

previzibilă, astfel încât vectorul de ieșire trebuie considerat un proces aleator  $p$  - dimensional.

Admițând necesitatea modelului aleator pentru analiza fiabilității echipamentelor, este de remarcat faptul că analiza cantitativă a modelului prin prisma proceselor aleatoare asociate parametrilor și performanțelor este extrem de laborioasă, deoarece constă în analiza simultană a celor  $p$  – procese aleatoare, care formează vectorul de ieșire (vectorul performanțelor).

Metodele utilizate în teoria fiabilității au evitat calculul complicat al caracteristicilor proceselor aleatoare, preferându-se ca, prin utilizarea noțiunii de *defectare*, să se restrângă spațiul performanțelor la o singură dimensiune. Defectarea este definită convențional, ea presupunând existența unui domeniu admisibil  $D_a$ , în spațiul  $p$  – dimensional, astfel încât dacă vectorul performanțelor aparține lui  $D_a$ , atunci echipamentul se comportă satisfăcător, în caz contrar echipamentul fiind considerat defect.

Se presupune că în starea inițială vectorul performanțelor îndeplinește condiția de apartenență la  $D_a$ , însă ulterior performanțele sistemului evoluează aleator, defectarea producându-se atunci când cel puțin una dintre performanțe intersectează frontiera domeniului admisibil  $D_a$ . Pentru un vector de ieșire unidimensional procesul de defectare poate arăta ca în figura 1.4.

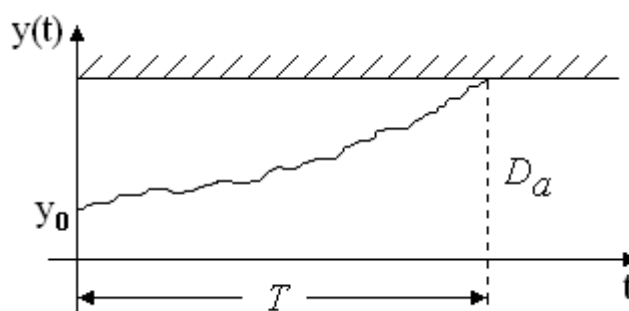


Fig.1.4. Proces de defectare în cazul unidimensional

Se observă că fiabilitatea echipamentului poate fi exprimată fie cu ajutorul procesului aleator  $y(t)$ , fie cu ajutorul timpului de funcționare până la defectare ( $T$ ), interpretat ca variabilă aleatoare. Oricare ar fi dimensiunea vectorului de ieșire, analiza globală a fiabilității poate fi efectuată prin prisma timpului de funcționare până la defectare, ceea ce conduce la o micșorare a dificultăților de calcul.

Exprimarea influenței solicitărilor asupra parametrilor componentelor și deci asupra performanțelor echipamentului este imposibil de realizat în cadrul unei teorii generale. Studiul bazelor fizico-chimice ale degradării, elucidarea mecanismelor și a modurilor de defectare sunt etape necesare, care pot fi parcurse numai în cadrul analizei aprofundate a unor tipuri particulare de echipamente.