

CAPITOLUL 8

ÎNCERCĂRI DE FIABILITATE

8.1. Introducere

Indicatorii de fiabilitate a echipamentelor pot fi determinați dacă se cunosc repartițiile timpilor de funcționare fără defecțiuni și de reparare (reînnoire).

Determinarea funcțiilor de repartiție și a parametrilor acestora pot fi făcute numai prin măsurători asupra variabilelor examinate în cadrul unor încercări pe eșantioane alcătuite de regulă prin sondaje pur aleatoare. În cazul seriilor mici, măsurătorile sunt efectuate de regulă în timpul exploatării curente, informațiile obținute fiind utilizate pentru reglarea controlului de calitate.

În cazul echipamentelor cu timpi medii de bună funcționare mari, apare o problemă deosebită ce constă în durata mare a încercărilor, durată ce poate fi redusă prin mărirea eșantionului supus încercării. Întrucât indicatorii de fiabilitate depind de multe solicitări (sarcină, putere disipată, tensiune aplicată, interacțiuni cu factorii de mediu etc.) rezultă că încercările de fiabilitate sunt mari consumatoare de timp și presupun un efort considerabil, atât din punct de vedere tehnic cât și financiar. Este necesară o clasificare a încercărilor de fiabilitate după câteva criterii, ca mai jos.

1. După scopul încercării

- 1.1. Încercări de determinare a indicatorilor de fiabilitate prin care se stabilesc legile de repartiție a timpilor de funcționare.
- 1.2. Controlul indicatorilor de fiabilitate prin care se verifică dacă aceștia se încadrează în limitele prestabilite.
- 1.3. Încercări de cunoaștere a fiabilității operaționale.
- 1.4. Încercări de investigare - obținerea într-un timp scurt a unor informații cu privire la indicatorii de fiabilitate.

2. După mărirea solicitărilor aplicate, încercările de fiabilitate pot fi:

- 2.1. Încercări simple - la care solicitările sunt constante la diferite nivele, dar sub nivelul nominal și de regulă sunt solicitări de sarcină sau termice.
- 2.2. Încercări normale - la care solicitările sunt aceleași ca în exploatare.
- 2.3. Încercări accelerate - la care solicitările sunt peste cele normale, în scopul reducerii timpului de încercare.

3. După procedura de încercare, clasificarea se face în funcție de factorul ales apriori, la atingerea căruia se adoptă decizia cu privire la fiabilitatea echipamentului încercat. Dacă acest factor este o durată, încercările se numesc *trunchiate*, iar dacă acesta este un număr prestabilit de defectări, încercările se numesc *cenzurate*. Dacă decizia poate fi adoptată în fiecare moment în funcție de numărul de defecte și de durata cunoscută, încercările se numesc *secvențiale* sau *progresive* (*progresiv trunchiate* și *progresiv cenzurate*).

Cele mai răspândite încercări de fiabilitate sunt următoarele:

- încercări trunchiate sau cenzurate pentru determinarea intensităților defecțiunilor, timpul mediu de funcționare fără defecțiuni, a legii de repartiție a timpului de funcționare fără defecțiuni;
- încercări progresiv trunchiate;
- încercări accelerate, pentru investigații, în special asupra componentelor echipamentelor tehnice.

Toate încercările se pot face cu sau fără înlocuirea echipamentelor defecte în cadrul eșantionului supus testelor. Simbolizarea încercărilor este prezentată în continuare:

NCr - încercări cenzurate cu înlocuire;

NFr - încercări cenzurate fără înlocuire;

NCT - încercări trunchiate cu înlocuire;

NFT - încercări trunchiate fără înlocuire,

unde - N este volumul eșantionului;

- r este numărul de echipamente la a căror defectare se oprește experimentul;

- T este timpul la care se oprește experimentul.

Oricare ar fi tipul de încercare, rezultatul obținut este un șir de măsurători (serie statistică), $t_1, t_2 \dots t_n$ care reprezintă valorile variabilei examinate (de

exemplu timpul de funcționare fără defecțiuni sau timpul de reparare). Pe baza acestor date se calculează funcția empirică de repartiție și se formulează o ipoteză statistică asupra repartiției variabilei, ipoteză care se verifică printr-un test de concordanță (ex. Kolmogorov).

8.2. Încercări cenzurate

A) - Încercări cenzurate fără înlocuire – (NFr). Sunt supuse încercării N echipamente identice, care sunt puse în funcțiune în același moment și funcționează simultan în același regim. Se constată că unele echipamente se defectează la momentele t_1, t_2, \dots, t_r , experimentul încetând în momentul constatării celei de-a r -a defectări. O estimatie absolut corectă pentru timpul mediu de bună funcționare este:

$$\hat{T} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r t_i = \frac{T_2}{r}; \quad T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^r t_i \quad (8.1)$$

B) - Încercări cenzurate cu înlocuire – (NCr). Încercarea începe cu N echipamente identice care sunt puse în funcțiune în același moment și funcționează simultan. În momentul în care unul dintre echipamente se defectează, acesta este înlocuit cu altul nou. Încercarea se termină când se constată a r -a defecțiune. Rezultă că în încercare se folosesc $N + (r-1)$ echipamente. Și în acest caz un estimator al timpului mediu de funcționare este:

$$\hat{T} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r t_i \quad (8.2)$$

Durata totală a experimentului este mai mică decât în cazul anterior, deoarece la încercările fără înlocuire probabilitatea de defectare scade pe măsură ce se defectează unele echipamente, însă costul experimentului este mai ridicat datorită numărului mai mare de echipamente supuse testatelor.

8.3. Încercări trunchiate (NCT, NFT)

În cazul acestor încercări experimentul încetează la un moment t^* fixat dinainte. Sunt puse simultan în funcțiune N echipamente iar experimentul se oprește la momentul t^* , în intervalul $(0, t^*)$ constatându-se apariția a r - defecțiuni, unde r este o variabilă aleatoare.

8.4. Încercări accelerate

Încercările accelerate de determinare a indicatorilor de fiabilitate (de regulă intensitatea defectărilor sau timpul mediu de bună funcționare) se realizează prin creșterea solicitărilor peste limitele nominale, cu condiția menținerii mecanismelor de producere a defectiunilor.

În încercările accelerate se pleacă de la ipoteza că viteza de desfășurare a proceselor de uzură crește odată cu creșterea solicitărilor.

Limitele impuse solicitărilor corespund regiunilor în care apar tipuri noi de defecte, care nu au nici o șansă să apară în condițiile unor solicitări normale.

Ca parametri de solicitare se pot folosi: temperatura, tensiunea, umiditatea, puterea disipată, solicitări mecanice (șocuri, vibrații etc.).

Regimul normal de funcționare este regimul în care solicitările nu depășesc valorile limită cuprinse în norma internă a echipamentului.

Regimul în care cel puțin o solicitare depășește valoarea limită prestabilită, este un *regim forțat*.

Chiar în condiții normale de funcționare, solicitările pot fi diferite, în consecință și parametrii de fiabilitate sunt diferiți. Se pune în acest caz problema corespondenței dintre parametrii de fiabilitate și solicitări.

Fie x_0 și x_1 două nivele de solicitare a unui echipament. Prin încercări se determină seria statistică t_1, t_2, \dots, t_n de solicitare x_0 și t'_1, t'_2, \dots, t'_n la nivelul de solicitare x_1 . Se calculează funcțiile empirice de repartiție $F_n^*(t_i)$ pentru cele două nivele de solicitare și se verifică ipoteza cu privire la legea de repartiție (test Kolmogorov). Dacă testul este trecut se adoptă funcția de repartiție teoretică. Corespunzător celor două nivele de solicitare se obțin funcțiile de repartiție $F_{x_0}(t)$ și $F_{x_1}(t)$, reprezentate în figura 8.1.

Dacă $F_{x_1}(t) > F_{x_0}(t)$ pentru orice t , atunci x_1 este o suprasolicitare în raport cu x_0 . Pentru aceeași probabilitate de defectare q , avem:

$$F_{x_1}(t_1) = F_{x_0}(t_0) = q \quad (8.3)$$

relație care stabilește legătura între timpii de funcționare la diferite solicitări. Dând lui q diferite valori între 0 și 1 obținem o relație de forma $t_0 = q(t_1)$ care se numește funcție de accelerare.

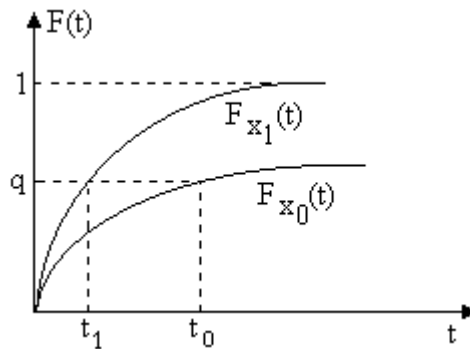


Fig.8.1. Evoluția funcției de repartiție în raport cu nivelul solicitărilor

În particular relația (8.3) stabilește legătura între timpul mediu de bună funcționare la solicitarea x_0 funcție de timpul mediu de bună funcționare la solicitarea x_1 .

Din nefericire, funcția de accelerare se cunoaște în prea puține cazuri ca să poată fi utilizată. În această situație este necesar să se determine direct dependența dintre parametrul de fiabilitate și solicitare, de exemplu dependența $\hat{T} = f(x)$, unde x este nivelul de solicitare.

Acest lucru se face punct cu punct, la câteva nivele de suprasolicitare. Se formulează apoi o ipoteză cu privire la funcția $f(x)$ care se verifică printr-un test statistic (Kolmogorov-Smirnov) pe baza acelorași date experimentale. Dacă testul este trecut, funcția adoptată poate fi utilizată pentru determinarea parametrului de fiabilitate la solicitarea nominală. Există două moduri de realizare a încercărilor pentru determinarea dependenței $\hat{T} = f(x)$:

1. Metoda solicitărilor constante;
2. Metoda solicitărilor în trepte (la timp constant).

În primul caz se supune încercărilor un lot de echipamente la nivelele de suprasolicitare x_1, x_2, \dots, x_k . Pentru fiecare nivel de solicitare se determină timpii la care apar defectările iar pe baza lor se verifică ipoteza cu privire la repartiția mediei timpului de bună funcționare și se determină timpul mediu \hat{T}_{x_i} . Cunoscând punctele (x_i, \hat{T}_{x_i}) , funcția $f(x)$ se aproximează cu o funcție oarecare (de regulă exponențială sau combinații de exponențiale), care trece prin aceste puncte, timpul mediu de bună funcționare la

solicitarea nominală fiind: $\hat{T} = f(x_0)$. Indiferent de metoda de încercare se pun două probleme:

1. Care este nivelul maxim admis pentru suprasolicitare?
2. Care este cea mai bună funcție ce aproximează pe $\hat{T} = f(x)$?

După cum am precizat de la început, suprasolicitarea nu trebuie să schimbe mecanismul de producere a defecțiunilor. Este ușor de intuit că, odată cu schimbarea acestui mecanism, se modifică și legea de repartiție a timpului de funcționare fără defecțiuni. În consecință se poate alege drept criteriu de limitare a suprasolicitărilor, schimbarea legii de repartiție a acestuia.

În ceea ce privește a doua întrebare, răspunsul este mai complicat, depinzând de natura suprasolicitării. Dacă, de exemplu solicitarea este temperatura θ , degradarea mai rapidă a echipamentului odată cu creșterea temperaturii reflectă modificarea structurii fizico-chimice, care urmează de regulă o lege exponențială (așa cum în chimie, viteza de reacție chimică crește exponențial cu temperatura – legea S. Arrhenius). În acest caz se poate adopta o lege de forma:

$$\hat{T} = A \cdot e^{-B\theta} \quad (8.4)$$

constantele A și B urmând a fi determinate.

Bineînțeles că legea adoptată trebuie verificată experimental, de exemplu cu ajutorul unei rețele probabilistice logaritmice, pentru care $\ln \hat{T} = -B\theta + \ln A$, punctele (θ_i, \hat{T}_i) trebuind să se plaseze sensibil pe o dreaptă.

Dacă se schimbă factorul de solicitare, modelul legii de degradare se schimbă și în consecință și funcția $\hat{T} = f(x)$. O alegere rațională a acestei funcții se poate face numai pe baza unei analize profunde a mecanismului de defectare, funcție de fiecare solicitare în parte. Alegerea acestei funcții constituie de fapt cheia succesului încercărilor accelerate.

Alte tipuri de legi de degradare sunt prezentate în continuare:

- a) Ținând seama de reacțiile care conduc la îmbătrânirea unui material, Bussing a determinat relația:

$$\hat{T} = A \cdot e^{\frac{B}{\theta}} \quad (8.5)$$

A și B fiind constante de material.

- b) Pentru rulmenți, la care defectările se datorează încălzirilor locale și globale provenite din frecări nedorite (inclusiv cele datorate ungerii incorecte):

$$\hat{T} = e^{a + \frac{b}{\theta + c}} \quad (8.6)$$

unde θ este temperatura absolută, iar a , b , c sunt constante ce depind de material și de tipul constructiv al rulmentului.

- c) Degradarea termică a materialelor izolante este descrisă de o lege de forma $f(\theta, \hat{T}, r) = 0$, unde $r = r(t)$ este rezistența materialului izolant. Degradarea se manifestă prin scăderea în timp a rezistenței de izolație (la solicitare termică constantă). Pentru degradarea rezistenței de izolație se verifică o lege de tip Arrhenius și după unele raționamente se ajunge la:

$$\hat{T} = e^{a + \frac{b}{\theta + c}} \quad (8.7)$$

unde a și b sunt constante de material.

O lege de degradare similară este valabilă și pentru echipamentele de automatizări și calcul, la care solicitările electrice sunt mici.

Exemplu de organizare a încercărilor accelerate

1. Obiectul supus încercării – conector pentru circuite integrate.
2. Volumul lotului – 6 grupuri a câte 65 conectori.
3. Condiții nominale – clasa de temperatură a conectorului este de $+125^{\circ}\text{C}$.
4. Scopul încercării – deducerea timpului mediu de bună funcționare.
5. Factorul de accelerare – temperatura.
6. Criteriul de defectare – creșterea rezistenței de contact peste o valoare stabilită.
7. Ipoteza repartiției timpului de funcționare fără defecțiuni – legea exponențială negativă.
8. Modul accelerării – solicitări în trepte de temperatură, în timp constant, în conformitate cu tabelul 8.1:
9. Criteriul solicitării maxime – schimbarea legii de repartiție.

10. Ipoteza uzurii $\theta = -\frac{I}{B} \ln \hat{T} + \frac{I}{B} \ln A$ (tip Arrhenius).
11. Observații:
- Precizia măsurătorii rezistenței de contact 0.5%.
 - Precizia menținerii temperaturii pe palier $\pm 1^{\circ}\text{C}$.
 - Măsurătorile se fac continuu.

Tabelul 8.1

Temp. palier	Durata palierului (ore)					
	A		B		C	
	1	2	1	2	1	2
100 ⁰						
120 ⁰						
140 ⁰						160
160 ⁰				24	160	
180 ⁰			24			160
200 ⁰		4		24		
220 ⁰	4					
240 ⁰		4				

Grupurile de conectori A₂, B₂, C₂ sunt supuse la două trepte de solicitare. Această grupare este necesară și pentru o analiză factorială a defectării, grupurile supuse probelor putând proveni din loturi diferite, de pe mașini diferite etc. În general planul de încercări se alcătuiește cunoscând tehnologia de fabricație a produsului și materialele folosite.

Rezultatele obținute: Pentru fiecare temperatură se înregistrează timpii de defectare $\theta_i : t_{1i}, t_{2i}, \dots, t_{ni}$, $i = 1, 8$. Cu aceste date, se calculează funcțiile empirice de repartiție și se reprezintă pe o rețea probabilistică exponențială negativă. Se constată că pentru $\theta = 240^{\circ}\text{C}$ legea de repartiție diferă de cea exponențială negativă, rezultând că solicitările la această temperatură nu sunt justificate și deci nu vor fi luate în considerare. Pentru fiecare nivel de temperatură se determină apoi valoarea lui \hat{T}_i .

$\theta^{\circ}\text{C}$	220	200	180	160
$\hat{T}(h)$	10	30	162	800

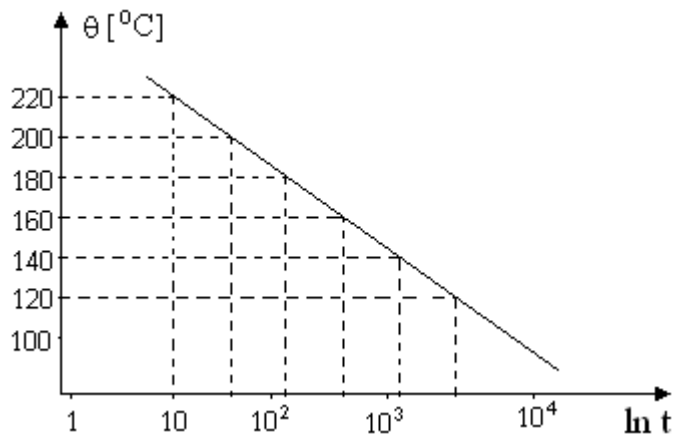


Fig. 8.2. Timpul mediu de bună funcționare pentru conectorii supuși încercărilor

Se verifică ipoteza cu privire la legea uzurii, pe cale grafică. Se observă că punctele sunt sensibil plasate pe o dreaptă, deci se poate accepta ipoteza exponențială a uzurii funcție de solicitarea considerată. Din grafic se poate aprecia valoarea lui \hat{T} la temperatura de 125°C (valoarea maximă a temperaturii la care poate fi supus conectorul în exploatarea curentă). Rezultă o estimatie a timpului mediu de bună funcționare, $\hat{T} \cong 6.000 \text{ h}$, valoare obținută într-un timp considerabil mai scurt decât ar fi durat o estimatie bazată pe informațiile culese în timpul exploatării curente a conectorilor supuși încercării accelerate.