

**Ovidiu Stan
Enyedi Szilárd**

**Marius Misaroș
Liviu Miclea**

Introducere în dependabilitatea sistemelor

– Volumul 1 –

**UTPRESS
Cluj-Napoca
ISBN 979-606-737-597-8**

Ovidiu Stan
Szilárd Enyedi

Marius Misaroş
Liviu Miclea

Introducere în dependabilitatea sistemelor

Volumul 1



UTPRESS

Cluj - Napoca, 2022
ISBN 978-606-737-597-8



Editura U.T.PRESS
Str. Observatorului nr. 34
400775 Cluj-Napoca
Tel.: 0264-401.999
e-mail: utpress@biblio.utcluj.ro
<http://biblioteca.utcluj.ro/editura>

Director: ing. Dan Colțea

Recenzia: Prof.dr.ing. Vlad Mureșan
 Șl.dr.ing. Dan Goța

Pregătire format electronic: Gabriela Groza

Copyright © 2022 Editura UTPRESS

Reproducerea integrală sau parțială a textului sau ilustrațiilor din această carte este posibilă numai cu acordul prealabil scris al editurii UTPRESS.

ISBN 978-606-737-596-1

ISBN 978-606-737-597-8 Vol. 1

Bun de tipar: 02.11.2022

CUPRINS

NOȚIUNI FUNDAMENTALE DE DEPENDABILITATE	1
A. ATRIBUTELE DEPENDABILITĂȚII	4
1. Disponibilitatea.....	4
2. Fiabilitatea	6
3. Siguranța.....	7
4. Confidențialitatea	7
5. Integritatea.....	8
6. Menținabilitatea	9
B. MIJLOACELE DEPENDABILITĂȚII	9
1. Prevenirea defectelor	9
2. Toleranța la defecte.....	10
3. Eliminarea defectelor	10
4. Prognoza defectelor	11
C. AMENINȚĂRI.....	12
1. Eroare	12
2. Defect	13
3. Eșec.....	14
INDICATORI DE FIABILITATE	17
A. INTRODUCERE	17
B. INDICATORI DE FIABILITATE	19
1. Probabilitatea de bună funcționare.....	19
2. Probabilitatea de defectare	19
3. Funcția de frecvență relativă a căderilor sau intensitatea distribuției	20
4. Intensitatea de defectare	21
5. Măsurători de fiabilitate pe durata de viață.....	23
C. DISPERSIA DISTRIBUȚIEI.....	27
1. Modelul matematic	30
D. EXEMPLE.....	34
ANALIZA DESCRIPTIVĂ A UNEI CARACTERISTICI DE CALITATE	41
A. INTRODUCERE	41
1. Tipuri de statistici descriptive	42
2. Tehnici de analiză descriptivă	43
B. CULEGEREA ȘI PRELUCRAREA DATELOR PENTRU O CARACTERISTICĂ DE CALITATE	44
1. Sortarea datelor.....	44
2. Gruparea datelor	45
3. Prelucrarea datelor prin metoda directă	48
4. Prelucrarea datelor prin metoda indirectă	50

FIABILITATEA UNUI ECHIPAMENT ELECTRIC.....	53
A. INTRODUCERE	53
B. ANALIZA EXPERIMENTALĂ A FIABILITĂȚII UNUI ECHIPAMENT ELECTRIC	54
1. Achiziția și Sortarea datelor.....	55
2. Tipul încercărilor și parametrii eșantioanelor.....	55
3. Metoda neparametrică de prelucrare a datelor	58
STABILIREA CALITĂȚII UNUI LOT DE PRODUSE FOLOSIND METODA DEMERITELOR	63
A. INTRODUCERE	63
B. STABILIREA CALITĂȚII UNUI LOT DE PRODUSE.....	65
FIABILITATEA SISTEMELOR ÎN RAPORT CU DEFECȚIUNILE BRUȘTE	71
A. INTRODUCERE	71
B. CONEXIUNEA SERIALĂ	72
C. CONEXIUNEA PARALELĂ	76
D. CONEXIUNEA MIXTĂ – SERIE ȘI PARALEL.....	80
E. CONEXIUNI COMPLEXE	84
BIBLIOGRAFIE	89

N OȚIUNI FUNDAMENTALE DE DEPENDABILITATE

Dependabilitatea este termenul care face referire la starea unui sistem sau a unui produs în timpul execuției, cu condiția ca acesta să fie operațional și disponibil încă de la începutul sarcinii. În ciclul de viață al unui sistem de orice natură, termenul de dependabilitate este tot mai frecvent întâlnit. Această caracteristică a sistemelor poate să fie, de asemenea, descrisă ca fiind *probabilitatea ca un sistem sau un produs să își îndeplinească misiunea care îi este atribuită*, din nou, respectând condiția ca acesta să fie disponibil pentru funcționare de la începutul misiunii pentru care acesta a fost conceput.

Caracteristicile de dependabilitate ale unui sistem sau ale unei componente dintr-un sistem pot fi exprimate fie:

- *calitativ*, în termeni precum cei de atribuție și caracteristici care sunt menite să descrie capacitățile și proprietățile care compun sistemul;
- în termeni de măsuri *cantitative* pentru realizarea aceluiași scopuri.

Deoarece apariția sau sesizarea unor anumite defecte într-un sistem poate duce în primul rând la degradarea performanțelor, fără a se ajunge la defectarea sistemului, fiabilitatea și performanța sunt în strânsă și puternică legătură. Astfel, evaluarea performanței sistemului în condiții de defect, pe lângă alte măsuri de dependabilitate, va permite totodată caracterizarea completă a comportamentului sistemului din punctul de vedere al dependabilității acestuia. Se disting astfel două mari tipuri de măsuri de fiabilitate și anume: măsuri cuprinzătoare și măsuri specifice. Prin urmare, măsurile cuprinzătoare definesc sistemul la nivelul global, cât și la nivelul

furnizării de servicii, în timp ce măsurile specifice sunt caracteristice a anumitor aspecte ale unui sistem sau ale unei componente de sistem (spre exemplu, mecanismele de toleranță la defecte sau comportamentul sistemului în prezența unor anumite defecte).

În literatura de specialitate, nu există doar o definiție singulară, unică a dependabilității [1-5]. Comitetul tehnic al Organizației Internaționale de Standardizare afirmă că dependabilitatea este un instrument utilizat pentru a măsura performanța fiabilității, a mentenabilității și a suportului de mentenabilitate [1][2]. O altă definiție larg răspândită a dependabilității afirmă că aceasta este proprietatea unui sistem de a preveni deteriorarea neașteptată sau catastrofală a acestuia sau faptul că reprezintă capacitatea unui sistem de a furniza serviciile specifice necesare în care se poate avea încredere în mod fiabil [3].

În anul 2015, Comisia Electrotehnică Internațională a adoptat un nou standard internațional IEC 60050-192 care specifică principalii termeni din domeniul dependabilității și definițiile acestora. Acesta a fost elaborat de către IEC/TC 56 "Dependabilitate" sub controlul TC 1 "Terminologie" și face parte din partea 192 a vocabularului electrotehnic internațional. Acest standard a înlocuit standardul similar anterior IEC 60050-191 adoptat în 1990 [4] [5]. Conform [5], termenul "dependabilitate" este utilizat ca termen colectiv pentru caracteristicile de calitate legate de timp ale unui element și este prezentată ca fiind capacitatea de a acționa după cum și când este necesar.

O expunere de tip sistematic a condiției de dependabilitate evidențiază trei componente de definiție precum: *atributele* care definesc această condiție a sistemelor, *mijloacele* prin care se realizează acestea și totodată *amenințările* pe care trebuie să le sesizeze și cărora să le facă față.

Pentru a avea o viziune generală asupra dependabilității, trebuie să luăm în considerare nu numai atributele, ci și amenințările și mijloacele [6], după cum se arată în Figura 1.1.

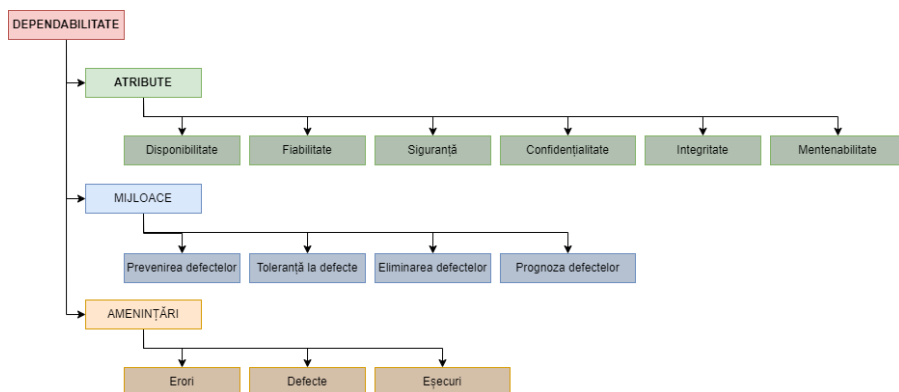


Figura 1.1: Arborele dependabilității

După cum se observă în Figura 1.1, când vine vorba de analiza dependabilității unui sistem, trebuie să luăm în considerare următoarele șase atribute: *disponibilitate*, *fiabilitate*, *siguranță*, *confidențialitate*, *integritate* și *menteneabilitate*. După cum se poate observa, securitatea nu este considerată a fi un atribut al dependabilității.

De fapt, securitatea este definită de mai mulți factori, cum ar fi prevenirea divulgării datelor către persoane neautorizate, modificarea sau ștergerea neautorizată a datelor, distrugerea integrității acestora, disponibilitatea datelor pentru utilizatorii autorizați atunci când este nevoie de ele. Fiecare componentă reprezintă un obiectiv fundamental al securității informațiilor [7]. În Figura 1.2 este prezentată legătura dintre dependabilitate și securitate [8]. Mai exact, securitatea reprezintă existența concomitentă a:

- *disponibilității*, numai pentru utilizatorii autorizați;
- *confidențialității*;
- *integrității*, „necorespunzător” însemnând "neautorizat".

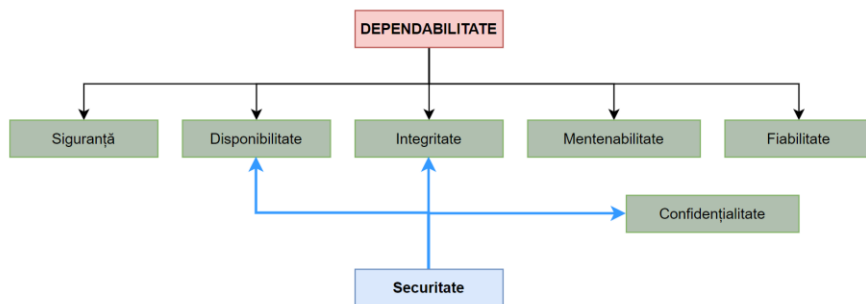


Figura 1.2: Legătura dintre dependabilitate și securitate

A. ATRIBUTELE DEPENDABILITĂȚII

1. DISPONIBILITATEA

Disponibilitatea este o altă condiție de definire a dependabilității și este totodată și cea mai simplă componentă constitutivă a dependabilității. Această măsură aplicabilă descrie procentul de durată temporală în care un serviciu funcționează. Aceasta este, de asemenea, denumită ca fiind "timpul de funcționare" al unui anumit serviciu. Disponibilitatea poate fi monitorizată prin interogarea de tip continuu a serviciului și prin confirmarea faptului că răspunsurile sistemului se întorc cu o viteză și o acuratețe așteptate ca răspuns. Disponibilitatea unui serviciu este o componentă majoră care acționează prin modul în care un utilizator percepe dependabilitatea unui sistem [9][10].

Ținând cont de aceste detalii, poate fi ușor de stabilit un anumit obiectiv de timp de funcționare chiar de 100%. Dar, conform lui Niall și Treynor, eșecul este inevitabil și incidențele de orice natură pot să apară, acestea cauzând timp de nefuncționare care vor fi întotdeauna mai presus decât așteptările ingineresti [11].

Disponibilitatea este adesea exprimată prin definirea cifrei (9) "nouă", reprezentând atâtea zecimale câte poate să atingă procentul de timp de funcționare. Prin urmare, unele companii mari de software și nu numai se vor lăuda cu "cinci nouari", mai exact definirea a 99,999% timp de funcționare – dar niciodată 100% [12].

Deși obiectivul este o disponibilitate de 100%, nu este rezonabil să ne așteptăm ca un serviciu să fie disponibil în fiecare minut din fiecare zi a anului. Întreținerea, actualizările și evenimentele necontrolabile fac imposibilă garantarea a unui timp de funcționare de 100%. Un acord de nivel de serviciu (SLA) cu o disponibilitate de “cinci nouari” se apropie de această situație; acesta prevede că un anumit serviciu nu va fi indisponibil mai mult de 5 minute și 15 secunde pe an. Serviciile acoperite de un SLA cu o disponibilitate de “patru nouari” (sau 99,99%) ar putea fi indisponibile 52 de minute și 36 de secunde pe an. O disponibilitate de „trei nouari”, adică 99,9%, permite 8 ore și 46 de minute de indisponibilitate pe an. Recent au apărut și furnizori de servicii care declară că au o disponibilitate de „șase nouari”, adică cel mult 31.5 secunde serviciul lor este întrerupt pe an. În Tabelul 1.1 este prezentată o decodificare rapidă a celor mai frecvenți “nouari”.

Tabel 1.1 Timpul de întrerupere al unui produs/serviciu în funcție de disponibilitate

“Numărul de nouari”	Disponibilitatea ca procent	Timp maxim de întrerupere într-un an
Trei nouari	99.9%	8.76 ore
Patru nouari	99.99%	52.6 minute
Cinci nouari	99.999%	5.26 minute
Șase nouari	99.9999%	31.5 secunde

În plus, utilizatorii unei anumite tehnologii vor tolera sau chiar nu vor observa timpii morți din activitatea sistemului în anumite zone ale serviciului oferit de acesta. Resursele de dezvoltare dedicate îmbunătățirii procesului de disponibilitate dincolo de așteptările consumatorilor nu vor crește fericirea clienților. În schimb, s-ar putea ca disponibilitatea serviciului oferit să aibă nevoie de aceste surse pentru a se dezvolta.

Disponibilitatea este de fapt procesul care se referă la capacitatea de a fi disponibil pentru a utiliza un anumit sistem: spre exemplu, dacă motorul de căutare Google va răspunde la fiecare comandă de interogare de fiecare dată când i se transmite o cerere, atunci se poate spune că acesta este *foarte disponibil*. De reținut este faptul că disponibilitatea nu spune nimic despre sistem atunci când acesta nu este solicitat pentru realizarea unui anume serviciu: punctual, dacă Google.com ar fi inaccesibil, dar nici o persoană nu

ar accesa acest tip de motor de căutare în acel moment, acest lucru nu ar face nici o diferență în ceea ce privește caracteristica de disponibilitate, dar cu siguranță ar avea un impact major asupra fiabilității serviciului.

2. FIABILITATEA

Fiabilitatea este un alt atribut al dependibilității care trebuie privit din punct de vedere calitativ și cantitativ [13-15]:

- *Calitativ*, fiabilitatea reprezintă aptitudinea caracteristică a unui sistem de a îndeplini corect funcțiunile prevăzute în momentul fabricării acestuia, pe durata unei anumite perioade de timp, în condiții de exploatare specificate [16] [17].
- *Cantitativ*, fiabilitatea reprezintă probabilitatea ca sistemul de referință să își îndeplinească corect funcțiunile prevăzute la momentul procesului de fabricare (la nivelul performanțelor stabilite de îndeplinit), pe durata unei anumite perioade de timp date, în condiții de exploatare clar specificate [18-21].

Aceasta nu înseamnă că piesele redundante nu pot ceda, ci că aceste piese pot ceda și pot fi reparate fără întreruperea funcționării la nivel de element sau de sistem (reparație on-line). Conceptul de fiabilitate se aplică, așadar, atât elementelor nereparabile, cât și celor reparabile. Pentru a avea sens, o declarație numerică privind fiabilitatea (de exemplu, = 0.9) trebuie să fie însoțită de o definiție clară a funcției necesare, a condițiilor de mediu, de operare și de întreținere, precum și a duratei misiunii și a stării elementului la începutul misiunii.

Un element este definit ca fiind o unitate funcțională sau structurală de complexitate arbitrară (de exemplu, componentă (piesă, dispozitiv), ansamblu, echipament, subsistem, sistem) care poate fi considerată ca o entitate pentru investigații. Poate consta în hardware, software sau ambele și poate include, de asemenea, resurse umane.

Condițiile de funcționare au o influență importantă asupra fiabilității și trebuie să fie specificate cu atenție [22]. Experiența arată, de exemplu, că rata de defecțiune a dispozitivelor semiconductoare se dublează la o creștere a temperaturii de funcționare cu 10-20 °C [23]. Funcția necesară și/sau condițiile de funcționare pot fi dependente de timp. În aceste cazuri, trebuie

definit un profil de misiune și toate cifrele de fiabilitate vor fi raportate la acesta.

Observații:

Este important să se facă distincția între fiabilitatea prognozată și cea estimată:

- *fiabilitatea prognozată* - este calculată pe baza structurii fiabilității articolului și a datelor privind defecțiunile și reparațiile ale componentelor sale
- și *fiabilitate estimată* - se obține dintr-o evaluare statistică a testelor de fiabilitate sau din date din teren prin condiții declarate.

3. SIGURANȚA

Siguranța este acea caracteristică care are legătură cu evitarea de către sisteme a consecințelor de natură catastrofală asupra mediului și/sau asupra operațiunilor de/din sistem. Prin urmare, sistemul de control al unei centrale nucleare este sigur doar în momentul în care este capabil să evite accidentele nucleare care pot să apară; un computer de avion este sigur în momentul în care poate să evite accidentele de avion care pot să aibă loc. Pe măsură ce marile întreprinderi se bazează din ce în ce mai mult pe infrastructuri informatice complexe, noțiunea de siguranță se poate să fie extinsă la domenii care nu au un impact atât de mare și direct asupra vieții și a calității acesteia. De exemplu, o defecțiune pe scară largă poate duce la falimentul unei întregi companii, iar acest lucru poate fi considerat o problemă denumită și fiind catalogată ca problemă de "siguranță în afaceri" [24].

Prin urmare, o catastrofă care se poate produce în contextul siguranței informatice este, în general, un caz în care consecința procesului este considerabil mai rea decât beneficiul pe care îl putem obține din faptul că sistemul este pus în funcțiune.

4. CONFIDENȚIALITATEA

Confidențialitatea, este acel atribut care reprezintă capacitatea unui sistem de a preveni accesul neautorizat (citire și/sau scriere) la informații de orice natură.

Atributele menționate mai sus pot fi accentuate într-o mai mare măsură sau chiar mai mult sau mai puțin, în funcție de aplicația sistemului:

disponibilitatea este întotdeauna necesară într-un ansamblu, deși fiind dispusă într-un grad variabil, în timp ce fiabilitatea, siguranța, confidențialitatea pot fi sau nu pot fi necesare sistemului și aplicației realizate. Măsura în care un sistem posedă atributele de fiabilitate ar trebui interpretată într-un sens cu înclinație relativă, probabilistică, și nu în sens de natură absolută, deterministă: astfel datorită prezenței inevitabile sau apariției defectelor, sistemele nu sunt niciodată și nu pot fi complet disponibile, fiabile, sigure sau confidențiale.

5. INTEGRITATEA

Integritatea este o caracteristică legată atât de fiabilitate, cât și de securitate. În sens larg al cuvântului, integritatea reprezintă absența modificărilor necorespunzătoare prezente în sistem. Pe de altă parte, IEEE [25] o definește ca fiind gradul în care un sistem sau o componentă a sistemului poate să prevină accesul neautorizat sau modificarea neautorizată a programelor sau datelor informatice. Aaron Estes specifică faptul că integritatea asigură faptul că sistemul nu poate fi corupt sau modificat pentru a funcționa într-un mod contrar programării inițiale. În sistemele critice, din punct de vedere al siguranței, atributul de siguranță definit pune accentul pe absența unor consecințe catastrofale ca urmare a utilizării sistemului și/sau a software-ului pentru anumite aplicații [26].

Integritatea este o condiție prealabilă pentru definirea disponibilității, fiabilității și siguranței, dar pentru componenta de confidențialitate nu are aceleași proprietăți. De exemplu, atacurile cibernetice prin canale ascunse sau prin ascultare pasivă a informațiilor, pot duce la pierderea confidențialității, dar fără a afecta totodată integritatea. Prin urmare, definiția dată pentru condiția de integritate reprezintă absența modificărilor necorespunzătoare ale stării unui sistem. Prin extinderea definiției, putem afirma că este împărțită în două categorii, după cum urmează:

- atunci când un sistem implementează o anumită politică de autorizare, termenul definit *necorespunzător* cuprinde totodată și statutul de *neautorizat*;
- sintagma *modificări necorespunzătoare* cuprinde acțiunile care au ca rezultat împiedicarea actualizărilor corecte ale informațiilor.

6. MENTENABILITATEA

Mentenabilitatea reprezintă măsura capacității unui element de a fi menținut sau readus într-o stare specificată atunci când întreținerea acțiunii este efectuată de către personalul cu un nivel de calificare specificat, utilizând procedurile, procesele și resursele prescrise la fiecare nivel, care are necesitatea de întreținere și reparații [27]. Mentenabilitatea depinde de proiectarea produsului și de nivelul tehnic al personalului care se ocupă de reparații, de procesul de reparații și de instalațiile de reparații. Conceptul de mentenabilitate este o măsură a probabilității ca un produs să fie menținut sau readus la funcția specificată, pentru o anumită perioadă de timp la orice nivel specific al condițiilor de reparare și întreținere.

Acest aspect reprezintă un factor foarte important în costul total al echipamentului. O creștere a mentenabilității poate duce la reducerea costurilor de exploatare și de asistență de care are nevoie un sistem. Spre exemplu, un produs mai ușor de întreținut reduce considerabil timpul de întreținere și totodată și costurile de operare. În plus, o întreținere care este mai eficientă înseamnă o revenire mai rapidă la funcționare sau la reparare a ansamblului, reducând timpul de nefuncționare a acestuia.

B. MIJLOACELE DEPENDABILITĂȚII

1. PREVENIREA DEFECTELOR

Componentele defecte ale sistemului pot adăuga un cost foarte ridicat prin procesele de detectare și de îndepărtare a defectelor, atât în timpul dezvoltării acestuia, cât și în timpul întreținerii lui. Astfel, ar trebui să se proiecteze toate componentele în conformitate cu criteriile clare și complete de utilizare și publicare, cât și clare și complete pentru a defini specificațiile interfeței.

Prevenirea defectelor se realizează prin tehnici de control al calității utilizate în timpul proiectării și fabricării de hardware și software. Acestea includ programarea structurată, ascunderea informațiilor, modularizarea etc., pentru software, și reguli riguroase de proiectare pentru hardware. Defectele fizice operaționale sunt prevenite prin ecranare, de protecție împotriva radiațiilor etc., în timp ce defectele de interacțiune sunt prevenite prin formare, proceduri riguroase pentru întreținere, pachete "infailibile".

Defectele rău intenționate sunt prevenite prin firewall-uri și alte mijloace de apărare similare.

2. TOLERANȚA LA DEFECTE

Toleranța la erori reprezintă capacitatea unui sistem (precum un calculator, rețea, cluster, Cloud etc.) de a continua să funcționeze fără întrerupere, atunci când una sau mai multe dintre componentele sale se defectează. Obiectivul creării unui sistem cu toleranță ridicată la erori este de a preveni întreruperile care pot să apară din cauza unui singur punct de defecțiune, asigurând totodată o disponibilitate ridicată și o continuitate a activității aplicațiilor sau a sistemelor critice.

Sistemele cu toleranță la defecțiuni utilizează în general componente de rezervă care au scopul de a lua automat locul componentelor care prezintă defecte, asigurând astfel că în sistem nu există nici o pierdere de serviciu. Acestea includ în componența lor:

- Sisteme hardware care sunt susținute de sisteme identice sau chiar echivalente. Spre exemplu, un server poate să fie făcut pentru a fi tolerant la erori prin utilizarea unui anumit server identic care să funcționeze în paralel, cu toate operațiunile caracteristice să fie reflectate pe serverul de rezervă.
- Sisteme software care sunt susținute de alte instanțe tot de tip software. De exemplu, o bază de date cu informații despre o varietate de clienți poate fi replicată în mod continuu pe o altă mașină creată în acest scop. În cazul în care baza de date primară se oprește din funcționare, operațiunile pot fi redirecționate automat către cea de-a doua bază de date.
- Sursele de energie care sunt făcute să fie tolerante la defecțiuni care folosesc surse alternative. De exemplu, multe organizații dispun de generatoare de energie care pot prelua energia electrică în cazul în care linia principală de electricitate se întrerupe.

3. ELIMINAREA DEFECTELOR

Eliminarea defectelor reprezintă o metodă de reducere a numărului și a severității defectelor. Procesul de eliminare a defectelor se realizează atât în faza inițială de implementare a sistemului, cât și pe toată durata de utilizare a acestui sistem în diferite activități. Eliminarea defectelor în timpul fazei inițiale de implementare (din ciclul de viață al unui sistem) constă în următorii trei pași de urmat și realizat și anume:

- etapa de verificare;
- cea de diagnoză;
- etapa de corectare.

Verificarea reprezintă etapa caracterizată de procesul de analizare a îndeplinirii de către sistemul analizat a proprietăților sale, aceste proprietăți fiind denumite condiții de verificare. Dacă sistemul supus testării nu îndeplinește condițiile etapei de verificare, atunci urmează implementarea celei de a doua etape și anume: diagnosticarea defectelor care prin apariția lor au împiedicat îndeplinirea condițiilor aferente etapei de verificare și apoi efectuare a acestor corecții absolut necesare. După corectarea acestora, procesul de verificare din prima etapă trebuie repetat pentru a realiza o nouă verificare a faptului că eliminarea defectelor apărute nu a avut consecințe nedorite asupra sistemului.

Etapa de verificare efectuată în acest stadiu al întregului proces este denumită ca fiind *verificarea non-regresie*. Verificarea specificațiilor descriptive ale unui sistem este cunoscută și enunțată sub denumirea de validare. Determinarea defectelor care fac referire la specificațiile sistemului se poate realiza în orice etapă al stadiului de dezvoltare al acestui sistem, chiar și în timpul primei faze de stabilire a specificațiilor generale ale sistemului, sau în timpul etapelor ulterioare de constatare, atunci când se determină că sistemul nu poate să realizeze funcția, sau că implementarea acestuia nu poate fi realizată în condiții de eficiență din punctul de vedere aferent costurilor.

4. PROGNOZA DEFECTELOR

Majoritatea prognozelor tradiționale care includ tehnici de prognoză aplică o matematică sofisticată la nivelul datelor relative și anume structuri de cunoștințe simple și care pot totodată să impună restricții asupra tipurilor de intrări care pot fi utilizate în sistemul analizat. În schimb, tehnicile modern

implementate pe calculatoarele moderne pot face posibilă dezvăluirea complexității structurilor care prin compunere sunt complexe a cunoștințelor folosind doar matematica simplă. În plus, simplitatea relațiilor individuale din cadrul acestor rețele complexe permite modelului să surprindă multiplele tipuri de date care populează multe domenii de activitate.

Prognoza defectelor reprezintă o metodă de estimare a numărului prezent de defecte în cadrul unui sistem, cât și a incidenței viitoare a acestor defecte și a posibilelor consecințe determinate de aparițiile acestora. Prognoza defectelor efectuează o evaluare a comportamentului sistemului din punctul de vedere fie al apariției acestora sau chiar activarea defectelor. Evaluarea este compusă din două aspecte:

- *Calitativă* – această evaluare este cea care își propune să identifice, să clasifice și să ordoneze modurile de eșec care pot să apară în timpul de evaluare, sau chiar combinațiile de evenimente care ar conduce la eșecurile de funcționare ale unui sistem;
- *Cantitativă* (probabilistică) – aceasta este cea care își propune să evalueze în termeni probabilistici, procentual măsura în care unele din atributele caracteristice și anume dependabilitatea, (fiabilitatea, disponibilitatea, siguranța, integritatea, mentenabilitatea, confidențialitatea) sunt îndeplinite în timpul funcționării; aceste atribute sunt mai apoi privite ca fiind măsuri ale dependabilității.

C. AMENINȚĂRI

1. EROARE

Eroarea reprezintă o greșală umană realizată neintenționat. O eroare poate să apară și din alte cauze nu numai atunci când este cauzată în urma unei greșeli logice executată în cod făcută de către dezvoltator. Oricine din echipa de realizare poate să facă greșeli în timpul diferitelor faze ale dezvoltării părții de software.

Tipuri de erori:

- *Eroare de interfață cu utilizatorul*: acestea apar în general în timpul interacțiunii utilizatorului cu sistemul dat. Spre exemplu, cum ar fi lipsa sau incorectitudinea funcționalității sistemului, lipsa unei funcții de rezervă a acestuia sau a unei funcții inverse disponibile etc.

- *Eroare de manipulare a erorilor apărute*: orice eroare care apare în timp ce utilizatorul interacționează cu software-ul respectiv necesită o tratare mai aparte și mai precisă și semnificativă. În caz contrar, aceasta poate să creeze confuzie. Prin urmare, astfel de erori sunt cunoscute ca fiind erori de tratare a erorilor care apar.
- *Eroare sintactică*: face referire la cuvintele care sunt scrise greșit sau propozițiile incorecte din punct de vedere gramatical, acestea sunt considerate ca fiind erori sintactice și sunt foarte evidente atunci când se testează interfața grafică a software-ului supus testării.
- *Erori de calcul*: apar din cauza unei logici proaste a codului, formule incorecte, tip de date nepotrivite etc.
- *Eroare de control al fluxului*: aceste erori sunt caracterizate de erori privind trecerea controlului programului într-o direcție incorectă, în care programul software se comportă într-un mod neașteptat. Acestea sunt de mai multe tipuri, însă spre exemplu este și prezența unei bucle infinite sau raportarea unei erori de sintaxă în timpul execuției și așa mai departe.
- *Erori de testare*: implică erorile apărute în timpul implementării și executării procesului de testare caracteristic. De exemplu, eșecul scanării erorilor, în eficiență în raportare a unei erori sau a unui defect apărute în sistem.
- *Erori hardware*: sunt strict legate de dispozitiv și anume a părții hardware. Cum ar fi lipsa de disponibilitate și lipsa de compatibilitate cu dispozitivul analizat.

2. DEFECT

Un defect reprezintă o diferență între rezultatele preconizate și cele reale determinate. O eroare pe care o constată testerul este cunoscută sub numele de defect.

Un defect apărut într-un produs software reflectă incapacitatea sau ineficiența acestuia de a putea respecta cerințele și criteriile specificate inițial și, ulterior, împiedică aplicația software să efectueze activitatea dorită și așteptată de către utilizator.

Tipuri de defecte:

- *Defectele critice*: acestea necesită o atenție sporită și tratament imediat. Un defect critic poate afecta în mod direct funcționalitățile esențiale a unui sistem care, în caz contrar, pot afecta un produs software sau funcționalitatea sa pe scară largă. De exemplu, eșecul unei caracteristici sau funcționalități sau colapsul întregului sistem și așa mai departe.
- *Defectele majore*: acele defecte care sunt responsabile de afectarea principalelor funcții ale unui produs de tip software sunt defecte majore care pot să acapareze sistemele de orice natură. Deși, aceste defecte nu au ca rezultat eșecul complet al unui sistem, pot genera și duce în timp la dispariția mai multor funcții principale ale software-ului.
- *Defectele minore*: produc un impact mult mai mic și nu au o influență semnificativă asupra unui produs software. Rezultatele acestor defecte sunt vizibile în funcționalitatea produsului. Cu toate acestea, nu împiedică utilizatorii să își execute sarcina dorită. Sarcina poate fi executată folosind o altă alternativă.
- *Defecte triviale*: nu au niciun fel de impact asupra funcționării unui produs sau sistem. Prin urmare, uneori, aceste defecte sunt ușor de ignorat și de omis și nu li se oferă o atenție sporită. De exemplu, greșelile ortografice sau gramaticale din componerea unui sistem.

3. EȘEC

Eșecul reprezintă o consecință a unui defect apărut. Este comportamentul incorect observabil al sistemului analizat. Eșecul apare în momentul în care software-ul nu reușește să funcționeze în mediul real.

Cu alte cuvinte, după crearea și execuția codului în partea software, dacă sistemul nu funcționează conform așteptărilor utilizatorilor, din cauza apariției unui anumit defect, atunci se vorbește de apariția unui eșec. Nu toate defectele duc la eșecuri; unele dintre ele rămân inactive în cod și este posibil să nu fie observate niciodată.

Eșecurile apar, de asemenea, din următoarele motive:

- Cerințe neclare sau vagi ale proiectului;
- Comunicare slabă sau limitată;
- Planificare deficitară;

- Inginerii de calitate inferioară.

INDICATORI DE FIABILITATE

A. INTRODUCERE

Fiabilitatea reprezintă probabilitatea ca un sistem să își îndeplinească funcția specificată, în condiții clare, într-o perioadă de timp stabilită. Funcția de fiabilitate este:

$$p(t) = \text{Prob}(t > T) = R(t) \quad (2.1)$$

unde:

- $p(t)$ este probabilitatea de bună funcționare;
- $R(t)$ este fiabilitatea;
- T este o limită specificată a duratei de utilizare;
- Funcția de fiabilitate este descrescătoare și ia valori în intervalul $[0, 1]$.

Încetarea aptitudinii unui sistem de a-și îndeplini funcția specificată se numește defectare (cădere). Cauzele defectării pot fi legate de:

- proiectare;
- fabricație;
- utilizare.

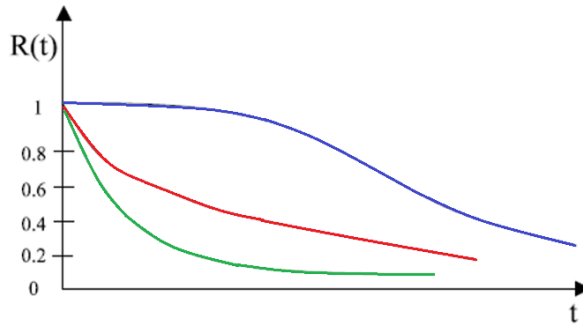


Figura 2.1 Variații posibile ale lui $R(t)$

Conceptul de fiabilitate nu este numai de probabilitate; în același timp el are și un caracter statistic, ceea ce înseamnă că determinarea caracteristicii de fiabilitate se face pe baza datelor privitoare la căderi (defecțiuni), constatate pe o anumită populație statistică, care face referire la un lot de produse identice, fabricate în condiții identice și exploatate sau încercate în aceleași condiții.

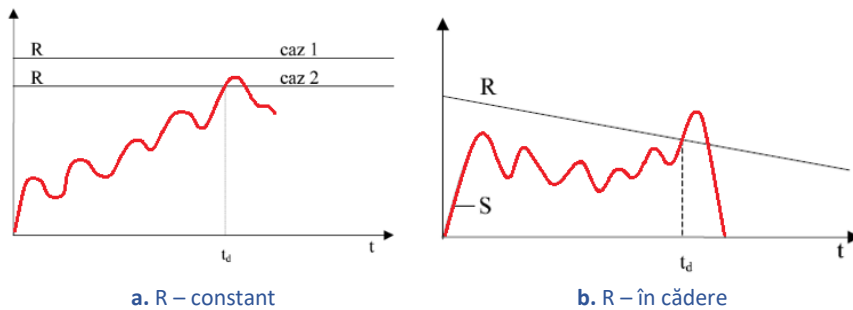


Figura 2.2 Caracterul statistic al $R(t)$: a. constant; b. în cădere

unde:

- $R(t)$ este fiabilitatea;
- t este timpul;
- t_d timpul de detecție;
- S populația statică.

Observații:

- Cu cât populația statistică și volumul de observări este mai mare, cu atât veridicitatea informațiilor obținute este mai mare.
- Produsele supuse determinării statistice trebuie să fi fost fabricate cu aceeași tehnologie și tehnologia să fie stabilă.

- Datele de fiabilitate obținute pe baza aplicării metodelor statistice, atunci când se referă la o singură bucată (ex. prototip) sau la 2-3 bucăți, ori la produse a căror tehnologia nu a fost stabilizată, au numai valoare informativă pentru producător.

B. INDICATORI DE FIABILITATE

Exprimarea indicatorilor de fiabilitate [28][29] se realizează prin intermediul unor mărimi caracteristice atât din punct de vedere cantitativ cât și calitativ. Acești indicatori sunt:

- probabilitatea de bună funcționare - $R(t)$;
- probabilitatea de defectare - $F(t)$;
- funcția de frecvență sau intensitatea distribuției $f(t)$;
- rata (intensitatea) căderilor - $z(t)$, $(\lambda(t))$.

În plus se mai folosesc:

- *timpul mediu de bună funcționare*
 - MTBF (Mean Time Between Failures) – timpul mediu între defecțiuni; descrie timpul dintre două defecțiuni;
 - MTTF (Mean Time To Failure) – descrie timpul până la prima defecțiune;
 - MTTR (Mean Time To Repair) – descrie timpul până la reparații.
- *dispersia distribuției.*

1. PROBABILITATEA DE BUNĂ FUNCȚIONARE

Fie o populație statistică conținând N_0 produse identice, urmărite de-a lungul intervalului t , pe durata căruia n produse se defectează, lăsând N produse în stare de funcționare, cu $N = N_0 - n$. În acest caz, probabilitatea de bună funcționare se calculează experimental cu formula:

$$R(t) = \frac{N(t)}{N(0)} = \frac{N}{N_0} \quad (2.2)$$

2. PROBABILITATEA DE DEFECTARE

$$F(t) = \text{Prob}(t < T) = \frac{n(t)}{N(0)} \quad (2.3)$$

Evident, probabilitatea de defectare este complementară probabilității de bună funcționare:

$$F(t) = \frac{N(0) - N(t)}{N(0)} = 1 - \frac{N(t)}{N(0)} = 1 - R(t) \quad (2.4)$$

$$F(t) + R(t) = 1 \quad (2.5)$$

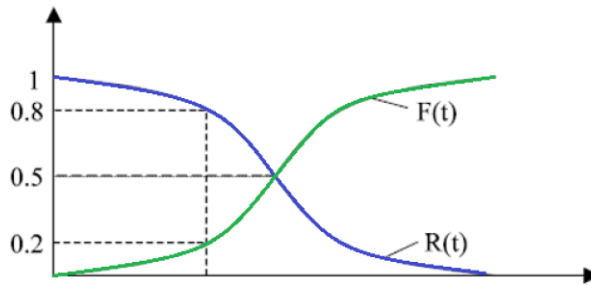


Figura 2.3 Relația dintre R(t) și F(t)

3. FUNCȚIA DE FRECVENȚĂ RELATIVĂ A CĂDERILOR SAU INTENSITATEA DISTRIBUȚIEI

$f(t)$ = frecvența relativă a căderilor Δn_i în intervalul Δt_i , adică $\Delta n_i = N(t) - N(t + \Delta t)$, deci:

$$f(t_i) = \frac{\Delta n_i}{\Delta t_i \cdot N_0} \quad (2.6)$$

Dacă Δn_i este expresia frecvenței absolute f_i , produsul $\Delta t_i \cdot N_0 = T$ este numărul total de ore de încercare în intervalul de timp considerat astfel încât:

$$f(t) = \frac{f}{T} \quad (2.7)$$

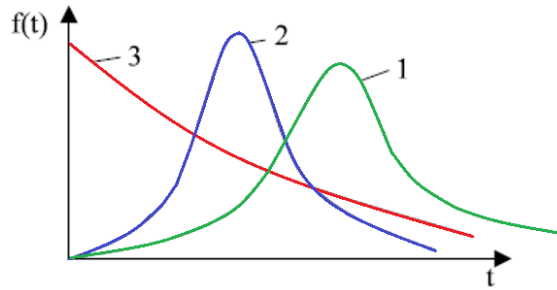


Figura 2.4 Variații posibile ale $f(x)$

unde:

- 3 reprezintă frecvența relativă a primei căderi
- 2 reprezintă frecvența relativă pentru a doua cădere
- 1 reprezintă frecvența relativă a ultimei căderi

Între indicatorii $R(t)$, $F(t)$, $f(t)$ există următoarea relație:

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (2.8)$$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2.9)$$

Din (2.8) rezultă că $f(t)$ reprezintă viteza de defectare a dispozitivelor.

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (2.10)$$

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (2.11)$$

Conform formulei care exemplifică relația dintre indicatorii $R(t)$, $F(t)$ și $f(t)$ rezultă:

$$\int_0^{\infty} f(t) dt = \int_0^{\infty} dF(t) = F(t) \Big|_0^{\infty} = 1 - 0 = 1 \quad (2.12)$$

4. INTENSITATEA DE DEFECTARE

Se consideră probabilitatea condiționată z ca dispozitivul să se defecteze în intervalul $(t, t+dt)$, în condițiile în care dispozitivul a funcționat corect de-a lungul duratei de timp t [30]. Această probabilitate va fi dată de:

$$z = z(t) \quad (2.13)$$

unde $z(t)$ este *intensitatea de defectare* și caracterizează *viteza de defectare*:

$$z(t) = \frac{f(t)}{R(T)} \quad (2.14)$$

Experimental, $z(t)$ pentru Δt_i în funcție de frecvența absolută Δn_i a căderilor, este:

$$z(t_i) = \frac{\Delta n_i}{\Delta t_i \cdot N} \quad (2.15)$$

$$\text{Dimensional} = \frac{1}{\text{ora}} = \text{h}^{-1} \quad (2.16)$$

În foarte multe cazuri în practică, forma grafică a funcției $z(t)$ arată ca în Figura 2.5:

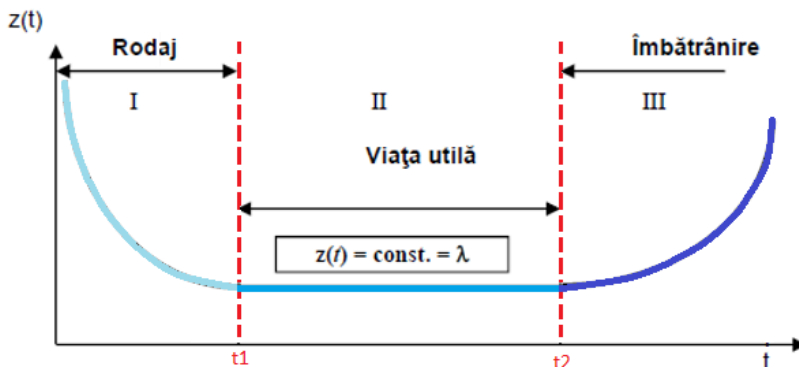


Figura 2.5 Forma grafică a lui $z(t)$

Unde:

- *zona I* – căderile precoce = perioada de rodaj;
- *zona II* – căderi normale = funcționare normală ($z(t) = \text{constant}$);
- *zona III* – se manifestă uzura sau îmbătrânirea.

Observații:

- $T \in [0, t_2]$ – durata de viață utilă a produsului
- Se poate exprima legătura $R(t)$, $z(t)$ prin relația:

$$R(t) = e^{\int_0^t z(t) dt} \underset{z(t)=\text{constant}}{=} = e^{-z \cdot t} \quad (2.17)$$

- $z(t)$ este tipic aproape constant pe perioada de operare normală a produsului.

5. MĂSURĂTORI DE FIABILITATE PE DURATA DE VIAȚĂ

Un obiectiv important pentru inginerii din domeniul fiabilității este evaluarea duratei de viață pe baza eșecurilor produsului sau a datelor de testare. Măsurătorile de fiabilitate a duratei de viață sunt utilizate pentru a cuantifica o rată de defecțiune și timpul rezultat al performanței așteptate.

a) Timpul mediu până la eșec (MTTF)

Este valoarea medie a vieții unui anumit tip de dispozitiv [31][32]. Fie un experiment cu $N(0)$ dispozitive, și notăm cu t_i timpul de bună funcționare pentru al i -lea dispozitiv.

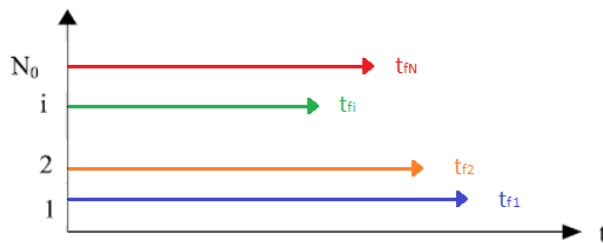


Figura 2.6 Durata de funcționare pentru N_0 dispozitive

Atunci timpul mediu de funcționare până la defecțiune poate fi calculat experimental cu formula (2.18). Aceasta reprezintă durata medie de viață a unui anumit dispozitiv și este specifică dispozitivelor nereparabile. Un sistem nereparabil este un sistem pentru care elementele individuale care se defectează sunt îndepărtate definitiv. MTTF este o măsură de bază a fiabilității pe durata de viață pentru a specifica durata de viață a sistemelor nereparabile (dispozitive precum becurile).

În cazul în care dispozitivele testate au o durată de viață foarte lungă, testele sunt de obicei încheiate după o perioadă de timp predefinită sau după eșecul unui anumit număr prestabilit de dispozitive:

$$MTTF = \frac{1}{N(0)} \sum_1^{N(0)} t_i \quad (2.18)$$

b) Timpul mediu între defecțiuni (MTBF)

Un sistem reparabil este un sistem care poate fi repus în stare de funcționare satisfăcătoare prin orice acțiune, inclusiv înlocuirea pieselor sau modificarea setărilor reglabile. MTBF este un parametru de fiabilitate utilizat pentru a descrie durata medie de viață a componentelor reparabile – autoturisme, mașini de spălat vase, mașini de spălat haine, frigider, etc. MTBF rămâne o măsură de bază a fiabilității unui sistem pentru majoritatea produselor, deși este un indicator mai important pentru industrii și integratori decât pentru consumatori.

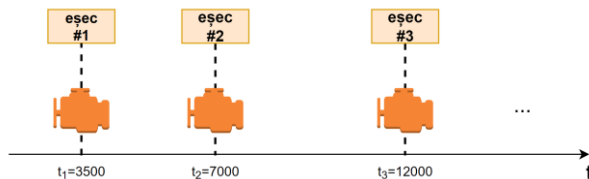


Figura 2.7 Conceptul de MTBF

În cazul în care un dispozitiv/element reparabil se defectează, acesta este reparat și pus din nou în funcțiune. După următoarea defecțiune, acesta este reparat din nou și pus din nou în funcțiune și așa mai departe. Astfel, se poate vorbi despre un flux de funcționare și de un flux de reparații. Dacă notăm fiecare interval în care dispozitivul a funcționat ca fiind t_{run} și cu n numărul total de eșecuri, atunci MTBF este:

$$MTBF = \frac{1}{n} \sum_1^{N(0)} t_{i,run} \quad (2.19)$$

și se poate arăta că, pe durata de operare normală a dispozitivului [29]:

$$MTBF = \frac{1}{z} \quad (2.20)$$

Valoarea MTBF este echivalentă cu numărul estimat de ore de funcționare (durata de viață) înainte ca un produs să se defecteze. Există mai multe variabile care pot avea un impact asupra defecțiunilor. În afară de

defecțiunile componentelor, utilizarea/instalația clientului poate duce, de asemenea, la defecțiuni. Acesta este considerat în continuare un instrument util atunci când se ia în considerare achiziționarea și instalarea unui produs. Pentru sistemele complexe reparabile, defecțiunile sunt considerate a fi acele condiții care nu corespund proiectului și care pun sistemul în afara serviciului și în stare de reparare.

Principala diferență dintre MTTF și MTBF este dată de modul în care acestea sunt rezolvate. În cazul MTTF, ceea ce este stricat este înlocuit, iar în cazul MTBF, ceea ce este stricat este reparat.

c) Timpul mediu de reparație (MTTR)

Timpul mediu de reparație (MTTR) reprezintă durata medie de viață necesară pentru a remedia o defecțiune după ce aceasta a fost descoperită. Într-un sistem operațional, repararea înseamnă, în general, înlocuirea unei piese hardware defecte. Astfel, MTTR hardware poate fi considerat ca fiind timpul mediu de înlocuire a unui modul hardware defect. O perioadă prea lungă de timp pentru a repara un produs crește costul instalației pe termen lung, din cauza timpului de nefuncționare până la sosirea piesei noi și a posibilului interval de timp necesar programării instalării. Pentru a evita și a diminua pe cât posibil MTTR-ul, multe companii achiziționează produse de rezervă, astfel încât un înlocuitor să poată fi instalat rapid.

Dacă notăm fiecare interval în care dispozitivul nu a funcționat ca fiind t_{down} , se poate calcula timpul mediu de reparație prin împărțirea timpului total petrecut la reparații și la numărul de reparații:

$$MTTR = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{N(0)} t_{i_{down}} \quad (2.21)$$

d) Timpul mediu de detectare (MTTD)

În Figura 2.8 este prezentată schema de principiu și legătura dintre indicatorii MTTF, MTBF, MTTR și MTTD, unde MTTD reprezintă timpul mediu de detectare. Acesta este timpul mediu de care este nevoie, sau, mai degrabă, un sistem are nevoie pentru a-și da seama că ceva nu a funcționat. MTTD poate fi calculat prin însumarea tuturor timpilor dintre defecțiune și detectare și împărțirea lor la numărul de defecțiuni.

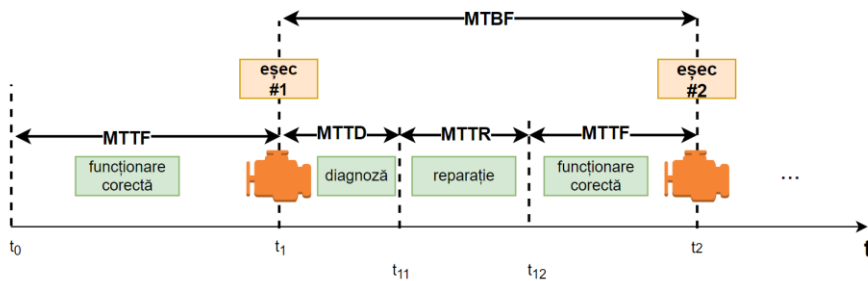


Figura 2.8 Schema de principiu dintre MTTF, MTBF, MTTR și MTTD

În Tabelul 2.1 sunt prezentate datele necesare pentru exemplificarea mai ușoară a modului în care se calculează MTDD. După cum se poate ușor observa, sunt prezentate $n=5$ incidente care au apărut de-a lungul unei săptămâni. Fiecare incident are atât o oră de începere, cât și ora când a fost detectat, iar în ultima coloană este afișat timpul scurs (timpul de detectare - timpul de început) în minute.

Tabel 2.1 Exemplu practic de calculare a MTTD

Ora la care apărut defecțiunea	Ora când a fost detectată defecțiunea	Timpul scurs în minute
09:20	11:20	120
09:05	12:51	226
07:00	14:15	435
15:37	16:17	40
11:42	18:18	396

Pentru a calcula timpul mediu până la detectare, adunăm acum toate perioadele:

$$MTTD = \frac{1120 + 226 + 435 + 40 + 396}{5} = 243.4 \quad (2.22)$$

e) Coeficientul de disponibilitate (COA) și de indisponibilitate (COU)

MTBF și MTTR sunt utilizate și cu scopul de a caracteriza probabilitatea ca un dispozitiv/sistem/element să fie sau nu utilizabil la un anumit moment. Coeficientul de disponibilitate (COA) se definește astfel:

$$COA = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{\sum t_{i_{run}}}{\sum t_{i_{run}} + \sum t_{i_{down}}} \quad (2.23)$$

COA indică pur și simplu cât din timpul total un dispozitiv/sistem/element este disponibil pentru munca utilă. De fapt, el exprimă probabilitatea medie ca obiectul să poată îndeplini sarcina pentru care a fost proiectat în orice moment.

Mărimea complementară, coeficientul de indisponibilitate (COU) ne indică cât din timpul total un dispozitiv/sistem/element este nefuncțional. De fapt, COU exprimă probabilitatea medie că obiectul nu își va putea îndeplini sarcina pentru care a fost proiectat în momentul în care i se solicită acest lucru. El se calculează:

$$COU = \frac{MTTR}{MTBF + MTTR} = \frac{\sum t_{i_down}}{\sum t_{i_run} + \sum t_{i_down}} = 1 - COA \quad (2.24)$$

De exemplu, dacă un autovehicul are $COA = 0.8$, înseamnă că există o probabilitate de 80% ca el să fie disponibil atunci când este necesar și o probabilitate de 20% ca nu va fi disponibil.

Observație:

- *intensitatea de defectare (z)* este *indicatorul de fiabilitate cantitativ preferat* pentru dispozitive nerecuperabile
- *durata medie de funcționare (MTBF)* este în principal utilizată pentru a descrie fiabilitatea dispozitivelor recuperabile/reparabile

C. DISPERSIA DISTRIBUȚIEI

Dispersia σ^2 sau D se numește indicatorul care exprimă (în ore²) abaterea valorilor timpilor de bună funcționare față de media aritmetică a acestora [33][34]:

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} (t - m)^2 f(t) \quad (2.25)$$

Abaterea medie pătratică σ [ore] = gradul de împrăștiere a timpilor de bună funcționare, calculându-se prin încercări statistice:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} (t_i - m)^2} = \sqrt{D} \quad (2.26)$$

În practică, fiabilitatea unui produs se exprimă prin indicatorii $\hat{Z}(t_i)$ sau $\hat{m} = MTBF$, mai rar prin $\hat{R}(t_i)$. Am văzut că expresia generală pentru timpul mediu de bună funcționare MTBF (pentru sisteme reparabile), respectiv MTTF (Mean Time To Failure) - pentru sisteme nereparabile este:

$$m = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (2.27)$$

Din relațiile (2.8) (2.9) (2.10) (2.11):

$$\Rightarrow f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (2.28)$$

$$\Rightarrow m = -\int_0^{\infty} t \frac{dR(t)}{dt} dt \quad (2.29)$$

Iar prin simpla integrare prin părți se poate deduce următoarea formulă:

$$m = [tR(t)] \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.30)$$

Pentru $t=0$ avem $R(t)=1$ și $R(t)=0$. Când t crește, $R(t)$ scade; se poate găsi atunci o valoare k care să satisfacă inegalitatea:

$$R(t) < e^{-kt} \quad (2.31)$$

deoarece $\lim_{t \rightarrow \infty} t e^{-t} = 0$,

urmează că: $\lim_{t \rightarrow \infty} tR(t) = 0$

Se obține o expresie pentru m :

$$m = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.32)$$

Dacă $z(t)$ este constantă atunci:

$$m = \int_0^{\infty} e^{-zt} dt = \frac{1}{z} \quad (2.33)$$

Dacă $z(t)$ este constantă (în electronică de exemplu):

$$R(t) = e^{-zt} \quad (2.34)$$

$$f(t) = te^{-zt} \quad (2.35)$$

Se poate dovedi că pentru intervalul $(t, t + \Delta t)$, fiabilitatea este:

$$R(\Delta) = e^{-z \int_t^{t+\Delta t} dt} = e^{-z \cdot \Delta t} \quad (2.36)$$

Momentul de funcționare (vârsta) t din expresia (2.33) nu este important, ci doar intervalul de timp Δt , măsurat de la momentul de referință în care dispozitivul funcționa încă. Dacă Δt reprezintă durata unui experiment, atunci pentru acel experiment componentele au aceeași fiabilitate la diferite vârste.

Presupunerea că $z(t) = \text{const.}$ este o valabilă doar pentru un interval de timp limitat; în afara acestui interval, $z(t)$ depinde de timp, mai ales de timpul de bună funcționare. De aceea, dacă MTBF este mai mare decât timpul de funcționare pentru care $z(t)$ a fost presupus constant, atunci MTBF poate fi considerat o mărime de calcul, și anume inversul ratei de defectare, $z(t)$.

Din contră, dacă timpul de funcționare este mai mare decât MTBF, din testul de fiabilitate a unui lot de componente se poate afla dacă o componentă supraviețuiește valorii MTBF, exprimată în ore. Această probabilitate de supraviețuire a lotului peste valoarea MTBF este de aproximativ 37%. (Figura 2.9).

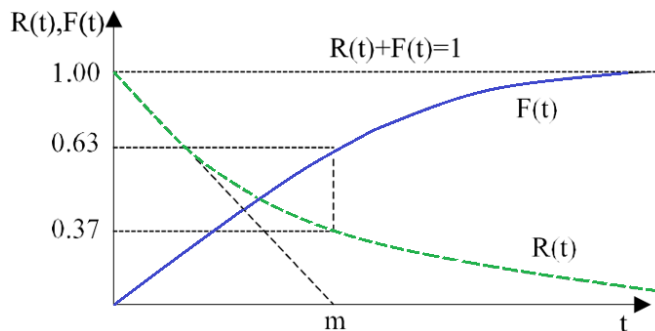


Figura 2.9 Probabilitatea de supraviețuire peste MTBF

unde:

$$R(\text{MTBF}) = e^{-\frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF}}} = e^{-1} \approx 0.37 \quad (2.37)$$

Aceasta înseamnă că, după expirarea unui timp de probă $t = \text{MTBF}$ (ore) mai rămân în stare de funcționare 37% din unitățile cu care s-a început

testul. Acest fenomen care limitează viața unei componente este de fapt uzura (zona III din Figura 2.5).

1. MODELUL MATEMATIC

Timpii la care se manifestă defecțiunile unui lot de produse identice se repartizează potrivit unei legi de distribuție statistice. Legea se pune în evidență prin intermediul funcției $f(t)$.

a) Legea de distribuție normală (Gauss):

$$f(t) = \frac{1}{T\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.38)$$

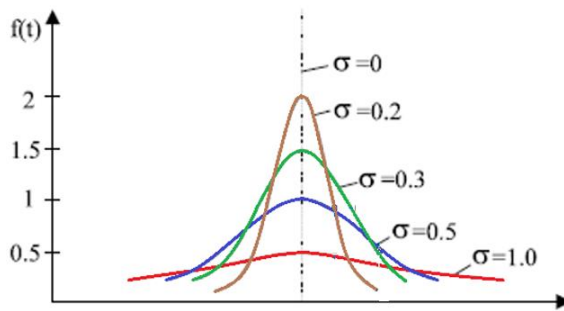


Figura 2.10 $f(t)$ pentru distribuția normală (Gauss)

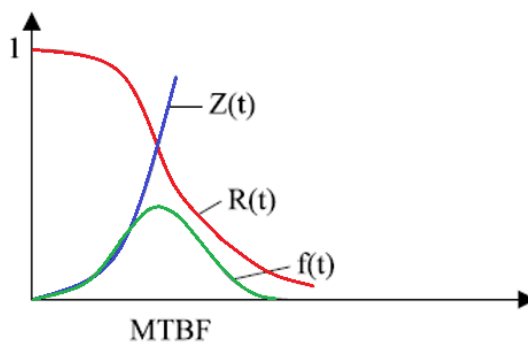


Figura 2.11 $z(t)$ pentru distribuția normală

Se manifestă în special la sfârșitul duratei de viață (zona III Figura 2.5). Avem:

$$R(t) = \Phi\left(\frac{m-t}{\sigma}\right) \quad (2.39)$$

unde $\Phi(u)$ este funcția lui Laplace.

$$F(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt \quad (2.40)$$

b) Legea de distribuție exponențială

$$\text{funcția } (t) = te^{-zt}, \quad z = \text{constantă} \quad (2.36)$$

$$Z(t) = z = \text{const} \quad (2.37)$$

$$R(t) = e^{-zt} \quad (2.38)$$

$$MTBF = \frac{1}{z} \text{ și } \sigma^2 = \frac{1}{z^2} \quad (2.39)$$

- este utilă pentru zona II (Figura 2.5), deci în zona de funcționare normală; prin urmare este utilă și pentru prognoză (fiabilitate previzională);
- descrie scăderea numărului supraviețuitorilor din defectări aleatoare;
- este cea mai utilizată (datorită simplității).

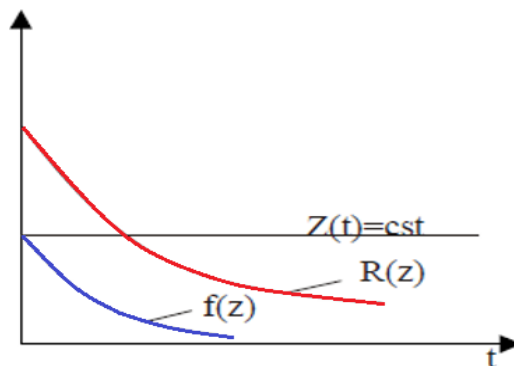


Figura 2.12 Legea exponențială

c) Legea de distribuție Weibull

Este cea mai generală și se aplică când nu se pot aplica legea normală și legea exponențială. Legea este utilă pentru: fenomene chimice, anduranța organelor mecanice, electromecanice, oboseala metalelor sau a încercărilor pe standuri:

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} (t - \gamma)^{\beta-1} \cdot e^{-\frac{(t-\gamma)^\beta}{\alpha}} \quad (2.40)$$

sau

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.41)$$

unde β , α , η sunt parametrii distribuției:

- β parametru de formă (reflectă nivelul procesului de degradare a produsului în timp);
- α parametru de scară;
- η viața caracteristică a produsului;
- γ parametru de loc (exprimă durata minimă, până la care nu se manifestă nici un defect).

Distribuția Weibull este o distribuție de probabilitate continuă care se poate potrivi unei game extinse de forme de distribuție. La fel ca distribuția normală, distribuția Weibull descrie probabilitățile asociate cu date continue. Cu toate acestea, spre deosebire de distribuția normală, aceasta poate modela și date înclinate.

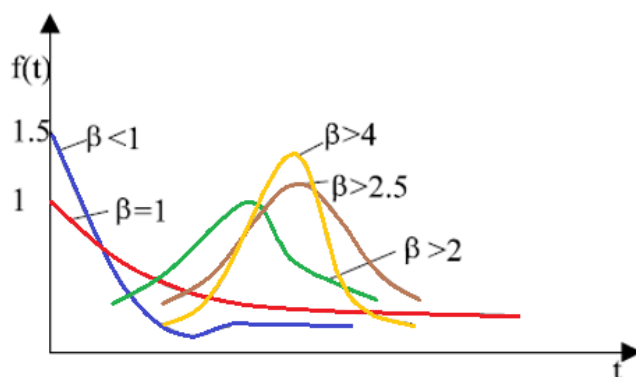


Figura 2.13 Prima caracteristică din legea lui Weibull

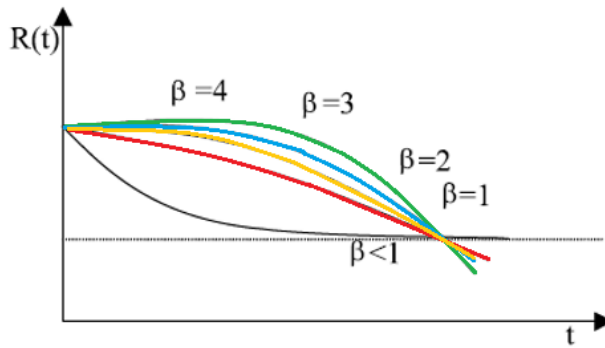


Figura 2.14 A doua caracteristică din legea lui Weibull

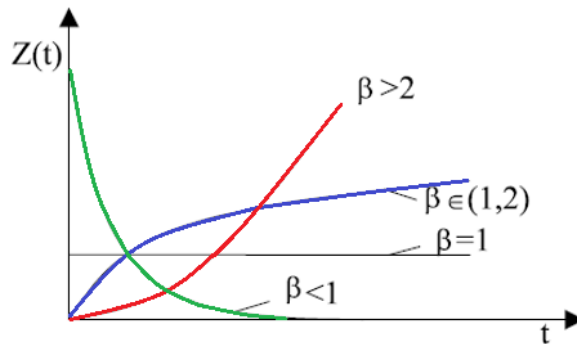


Figura 2.15 A treia caracteristica din legea lui Weibull

Avem:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.42)$$

$$Z(t) = \frac{\beta}{\alpha} (t - \gamma)^{\beta-1} \quad (2.43)$$

$$MTBF = \gamma + n\tau \left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \quad (2.44)$$

$$D = \eta^2 \left[\Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) - \Gamma^2\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \right] \quad (2.45)$$

unde:

$$\Gamma(t) = \int_0^\infty t^{t-1} e^{-t} dt \quad (2.46)$$

D. EXEMPLE

Exemplul 2.1:

Un anumit număr de magnetofone au funcționat 10000 de ore. În acest timp s-au efectuat 9 reparații. Care este timpul mediu de funcționare și intensitatea de defectare, dacă aceasta din urmă se consideră constantă?

Rezolvare:

$$MTTF = \frac{10000}{9} = 1111.11 \text{ ore}$$

$$\text{Iar rata de defectare } z = \frac{1}{MTTF} = \frac{1}{1111.11} = 0.0009 \text{ defectări/oră de funcționare}$$

Exemplul 2.2:

Un lot de 100 de dispozitive este supus unui test cu durata de 5000 de ore. Rezultatele obținute sunt următoarele: după 1000 de ore apare o defectare, după 1500 de ore alte două defectări, iar după 4000 de ore încă două. Care este intensitatea de defectare și timpul mediu de funcționare?

Rezolvare:

$$MTBF = \frac{1}{100} (1000 * 1 + 1500 * 2 + 4000 * 2 + 95 * 5000) = 4870$$

$$z = \frac{1}{MTBF} = 0.000253$$

Exemplul 2.3:

Un lot de 10 unități este testat până la defectarea tuturor unităților. Timpii de funcționare pentru fiecare element în parte, până la defectare, sunt: 150, 120, 230, 275, 300, 245, 370, 220, 350 și 400 de ore. Calculați timpul mediu între defecte.

Rezolvare:

$$\text{MTBF} = \frac{1}{10} (150 + 120 + 230 + 275 + 300 + 245 + 370 + 220 + 350 + 400) = 266$$

Exemplul 2.4:

Se dă probabilitatea de supraviețuire a unui dispozitiv, $R(t) = 0.985119$, pentru un interval de timp de 150 de ore. Care este intensitatea de defectare (presupusă constantă) și care este probabilitatea de supraviețuire a aceluiași dispozitiv pentru un interval de timp de 500 de ore?

Rezolvare:

$$R(t) = e^{\int_0^t z(t)dt} \underset{z(t)=ct}{=} e^{-zt}$$
$$R(150) = e^{-z*150} \Rightarrow z = \frac{\ln(R(t))}{t} = 9.9952 * 10^{-5}$$
$$\Rightarrow$$
$$R(500) = e^{-z*500} = 0.9513$$

Exemplul 2.5

Se dau următoarele informații:

- un lot de produse este testat timp de : 640 minute;
- în acest timp au apărut un număr de 23 de defecțiuni;
- și timpul total de întrerupere a fost de 1.5 ore.

Se cere să se calculeze timpul mediu dintre defecte, timpul mediu de reparație și intensitatea de defectare.

Rezolvare:

$$t_{\text{run}} = \text{timpul de funcționare} = 640 \text{ minute} - 1.5 \text{ ore} = 550 \text{ minute}$$

$$MTBF = \frac{550}{25} = 23.91$$

$$z = 1/MTBF = 0.041$$

$$MTTR = \frac{90}{23} = 3.913$$

Exemplul 2.6:

Un sistem funcționează 10 ore pe zi. Din păcate, au fost înregistrate două defecțiuni cu timp de nefuncționare de 1 oră și 2 ore. Calculați MTBF și rata de defecțiune.

Rezolvare:

$$MTBF = \frac{10 - 3}{2} = 3.5 \text{ ore}$$

$$z = \frac{1}{3.5} = 0.285$$

Exemplul 2.7:

Site-ul web al unei companii este disponibil 24 de ore pe zi. Cu toate acestea, site-ul nu este disponibil în intervalul 00:00-01:00, și de, de asemenea, a fost înregistrat un alt incident în intervalul 03:00-03.30. Care este valoarea MTBF pentru acest site?

Rezolvare:

$$t_{\text{down}} = 1 + 0.5 = 1.5 \text{ ore}$$

$$MTBF = \frac{24 - 1.5}{2} = 11.25$$

Exemplul 2.8:

O companie tocmai a achiziționat o sculă aşchietoare. Aceasta este utilizată 24 de ore pe zi. Din păcate, după 12 ore de funcționare echipamentul trebuie recalibrat, operațiune care durează 1.5 ore, iar după încă 8 ore de funcționare trebuie oprit echipamentul pentru înlocuirea tarodului. Aceasta operație durează de obicei 30 min. Care este valoarea MTBF pentru acest site?

Rezolvare:

$$t_{\text{down}} = 1.5 + 0.5 = 2 \text{ ore}$$

$$\text{MTBF} = \frac{24 - 2}{2} = 11$$

Exemplul 2.9:

O componentă are un MTTF de 10.000 de ore și o durată de viață utilă de 1 000 de ore. Aflați fiabilitatea pentru:

- o durată de viață de 10 ore misiune
- întreaga durată de viață utilă

Rezolvare:

$$R(t) = e^{-zt}; \quad z = \frac{1}{\text{MTTF}} = 10^{-4}$$

⇒

Fiabilitatea pentru o misiune de 10 ore este: $R(10) = e^{-10^{-4} \cdot 10} = 0.999$

Fiabilitatea pentru întreaga durată de viață este: $R(1000) = e^{-10^{-4} \cdot 10^3} = 0.9048$

Exemplul 2.10:

Un lot de 15 unități este testat până la defectarea tuturor unităților. Timpii de funcționare pentru fiecare element în parte, până la defectare, sunt: 410, 500, 280, 550, 600, 1000, 700, 530, 615, 690, 580, 290, 350, 450 și 720 de ore. Calculați timpul mediu între defecte.

Rezolvare:

$$\begin{aligned} \text{MTBF} &= \frac{1}{15} (410 + 500 + 280 + 550 + 600 + 1000 + 700 + 530 \\ &\quad + 615 + 690 + 580 + 290 + 350 + 450 + 720) \\ &= 551 \text{ ore} \end{aligned}$$

Problema 2.11:

Dacă unui sistem i se cere să aibă o fiabilitate de cel puțin 99,9% pentru o misiune cu o durată de viață utilă de 100 de ore, găsiți valoarea minimă a lui MTTF.

Rezolvare:

$$R(t) = e^{-zt}; \quad R(100) \geq 0.999$$

\Rightarrow

$$e^{-z \cdot 100} \geq 0.999$$

$$-100 * z \geq \ln(0.999)$$

$$z \leq 1 * 10^{-5}; \quad z = \frac{1}{\text{MTTF}}$$

\Rightarrow

$$\text{MTTF} \geq 1 * 10^5$$

Exemplul 2.12:

După finalizarea celor 5000 de ore, un test de fiabilitate cu 100 de elemente avem următoarele rezultate: după 2000 de ore a apărut o defectare, iar după 4000 de ore 2 defectări. Să se calculeze intensitatea de defectare și timpul mediul dintre defecte.

Rezolvare:

$$z = \frac{3}{1 * 2000 + 2 * 4000 + 97 * 5000} = 6.06 * 10^{-6} \text{ defectare/oră}$$

⇒

$$MTTF = 1/z = 0.165 * 10^6$$

Exemplul 2.13:

Se cunoaște că valoarea lui z pentru 1000 de ore este 0.1. Care este probabilitatea de supraviețuire pentru 150 de ore, respectiv pentru 900 de ore?

Rezolvare:

$$z = \frac{0.1}{1000} = 0.0001$$

Din relația (2.17)

⇒

$$R(150) = e^{-0.0001 * 150} = 0.985119$$

$$R(900) = e^{-0.0001 * 900} = 0.9139312$$

Se poate observa cu ușurință că $R(900) > R(150)$

Exemplul 2.14:

Monitorizarea funcționării și reparațiilor unui anumit utilaj a dat următoarele durate de funcționare și reparații: $t_{1_{run}} = 28 \text{ ore}$, $t_{2_{run}} = 16 \text{ ore}$, $t_{3_{run}} = 20 \text{ ore}$, $t_{4_{run}} = 10 \text{ ore}$, $t_{5_{run}} = 30 \text{ ore}$, $t_{1_{down}} = 3 \text{ ore}$, $t_{2_{down}} = 2 \text{ ore}$, $t_{3_{down}} = 1 \text{ oră}$, $t_{4_{down}} = 3 \text{ ore}$ și $t_{5_{down}} = 2 \text{ ore}$. Se cere să se calculeze:

- Determinați timpul mediu între defecțiuni și timpul mediu de reparare
- Determinați coeficientul de disponibilitate (COA) și de indisponibilitate (COU).

Rezolvare:

$$MTBF = \frac{28 + 16 + 20 + 10 + 30}{5} = \frac{104}{5} = 28.5 \text{ ore}$$

$$MTTF = \frac{3 + 2 + 1 + 3 + 2}{5} = \frac{11}{5} = 2.2 \text{ ore}$$

$$COA = \frac{140}{104 + 11} = 0.90453$$

$$COU = \frac{11}{104 + 11} = 0.09565$$

A NALIZA DESCRIPTIVĂ A UNEI CARACTERISTICI DE CALITATE

A. INTRODUCERE

Analizele descriptive, pe scurt, ajută la descrierea și înțelegerea caracteristicilor unui set de date specific, oferind scurte rezumate despre eșantionul și măsurile datelor. Cele mai recunoscute tipuri de statistici descriptive sunt măsurile centrului: media, mediana și modulul, care sunt utilizate la aproape toate nivelurile de matematică și statistică. Media, se calculează prin însumarea tuturor cifrelor din setul de date și apoi prin împărțirea la numărul de cifre din set.

De exemplu, suma următorului set de date este 20: (2, 3, 4, 5, 6). Media este 4 (20/5). Modul unui set de date este valoarea care apare cel mai des, iar mediana este cifra situată la mijlocul setului de date. Aceasta este cifra care separă cifrele mai mari de cele mai mici dintr-un set de date. Cu toate acestea, există tipuri mai puțin frecvente de statistici descriptive care sunt totuși foarte importante.

Oamenii folosesc analizele / statisticile descriptive pentru a transforma informațiile cantitative greu de înțeles dintr-un set mare de date în descrieri de dimensiuni reduse. De exemplu, media de notare a unui student oferă o bună înțelegere a statisticilor descriptive. Ideea unei medii de notare este că aceasta ia puncte de date dintr-o gamă largă de examene, clase și note și face o medie a acestora pentru a oferi o înțelegere generală a performanței academice generale a unui student. Media personală al unui student reflectă performanța academică medie a acestuia.

Conversia datelor brute într-o formă care să faciliteze înțelegerea și interpretarea lor, adică rearanjarea, ordonarea și manipularea datelor pentru a furniza informații utile despre datele furnizate. Analiza descriptivă este tipul de analiză a datelor care ajută la descrierea, prezentarea sau rezumarea punctelor de date într-un mod constructiv, astfel încât să poată apărea modele care să îndeplinească fiecare condiție a datelor. Este unul dintre cei mai importanți pași pentru efectuarea analizei statistice a datelor. Ea vă oferă o concluzie a distribuției datelor, vă ajută să detectați greșelile de tipar și valorile aberante și vă permite să identificați similitudinile dintre variabile, pregătindu-vă astfel pentru efectuarea de analize statistice ulterioare.

1. TIPURI DE STATISTICI DESCRIPTIVE

Toate statisticile descriptive sunt fie măsuri ale tendinței centrale, fie măsuri ale variabilității, cunoscute și sub numele de măsuri de dispersie. Analiza descriptivă poate fi clasificată în patru tipuri: măsurători de frecvență, tendință centrală, dispersie sau variație și poziție. Aceste metode sunt optime pentru o singură variabilă la un moment dat.

MĂSURĂTORI DE FRECVENȚĂ

În cadrul analizei descriptive, este esențial să se știe cât de frecvent este posibil să apară un anumit eveniment sau răspuns.

TENDINȚA CENTRALĂ

Măsurile tendinței centrale se concentrează asupra valorilor medii sau medii ale seturilor de date, în timp ce măsurile de variabilitate se concentrează asupra dispersiei datelor. Aceste două măsuri utilizează grafice, tabele și discuții generale pentru a ajuta oamenii să înțeleagă semnificația datelor analizate.

Măsurile de tendință centrală descriu poziția centrală a unei distribuții pentru un set de date. O persoană analizează frecvența fiecărui punct de date din distribuție și o descrie folosind media, mediana sau modulul, care măsoară cele mai frecvente modele ale setului de date analizat.

MĂSURĂTORI DE VARIABILITATE

Măsurile de variabilitate (sau măsurile de răspândire) ajută la analizarea gradului de dispersie a distribuției pentru un set de date. De exemplu, în timp ce măsurile de tendință centrală pot oferi unei persoane media unui set de date, acestea nu descriu modul în care datele sunt distribuite în cadrul setului.

Astfel, în timp ce media datelor poate fi de 65 din 100, pot exista în continuare puncte de date atât la 1, cât și la 100. Măsurile de variabilitate ajută la comunicarea acestui lucru prin descrierea formei și a răspândirii setului de date. Intervalul, cuartilele, abaterea absolută și varianța sunt toate exemple de măsuri de variabilitate.

Luăți în considerare următorul set de date: 5, 19, 24, 62, 91, 100. Intervalul acestui set de date este 95, care se calculează prin scăderea celui mai mic număr (5) din setul de date din cel mai mare (100).

MĂSURĂTORI DE POZIȚIE

Analiza descriptivă implică, de asemenea, identificarea poziției unei singure valori sau a răspunsului său în raport cu altele. Măsuri precum percentilele și cuartilele devin foarte utile în acest domeniu de expertiză.

2. TEHNICI DE ANALIZĂ DESCRIPTIVĂ

Agregarea și extragerea datelor sunt două tehnici utilizate în analiza descriptivă pentru a obține date istorice. În agregarea datelor, datele sunt mai întâi colectate și apoi sortate pentru a face seturile de date mai ușor de gestionat. Tehnicile descriptive includ adesea construirea de tabele de cuartile și medii, metode de dispersie, cum ar fi varianța sau abaterea standard, și tabele încrucișate sau "crosstabs" care pot fi folosite pentru a realiza multe ipoteze disparate. Aceste ipoteze evidențiază adesea diferențele dintre subgrupuri.

Măsuri precum segregarea, discriminarea și inegalitatea sunt studiate cu ajutorul unor tehnici descriptive specializate. Discriminarea este măsurată cu ajutorul studiilor de audit sau al metodelor de descompunere. Mai multă segregare pe baza tipului sau a inegalității rezultatelor nu trebuie să fie în întregime bună sau rea în sine, dar este adesea considerată un marker al proceselor sociale nedrepte; măsurarea exactă a diferitelor etape

în spațiu și timp este o condiție prealabilă pentru înțelegerea acestor procese.

Un tabel al mediilor pe subgrupuri este utilizat pentru a arăta diferențele importante între subgrupuri, ceea ce duce de cele mai multe ori la formularea de inferențe și concluzii.

Dar acest lucru intră și în domeniul măsurării impactului, care necesită utilizarea unor tehnici diferite. Adesea, variația aleatorie provoacă diferențe între medii, iar inferența statistică este necesară pentru a determina dacă diferențele observate ar putea apărea doar din cauza întâmplării.

B. CULEGEREA ȘI PRELUCRAREA DATELOR PENTRU O CARACTERISTICĂ DE CALITATE

Pentru a se înțelege și explica mai ușor care sunt pașii necesari pentru a realiza o analiza descriptivă a unei caracteristici de calitate, în continuare se presupun următoarele:

- Eșantionul de lucru are un volum cu $n = 50$ de piese
- În urma măsurătorilor efectuate asupra eșantionului s-au obținut valorile x_i , consemnate în Tabelul 3.1

Tabel 3.1 Datele primare

9.85	9.6	9.54	9.66	9.73	10.23	9.05	8.85	9.90	10.92
11.09	5	9.15	10.93	9.34	10.36	11.17	10.41	10.93	8.77
9.09	10.80	9.83	10.98	10.59	10.47	9.62	9.17	9.14	9.23
9.81	10.89	10.79	6.42	9.89	9.88	13.75	11.00	8.76	9.98
9.85	9.6	9.54	9.66	9.73	10.23	9.05	8.85	9.90	10.92

Observații:

- De obicei măsurătorile ar trebui efectuate pe un singur eșantion de volum cu $n =$ de la 40 la 60 de piese
- Valorile consemnate în Tabelul 3.1 reprezintă măsurătorile capacităților reale ale unui lot de 50 de condensatoare de $10 \mu\text{F}$

1. SORTAREA DATELOR

Primul pas pentru analiza descriptivă este de a sorta ascendent eşantioanele prelevate (datele primare) Figura 3.1 și consemnate într-un alt tabel (Tabelul 3.2).

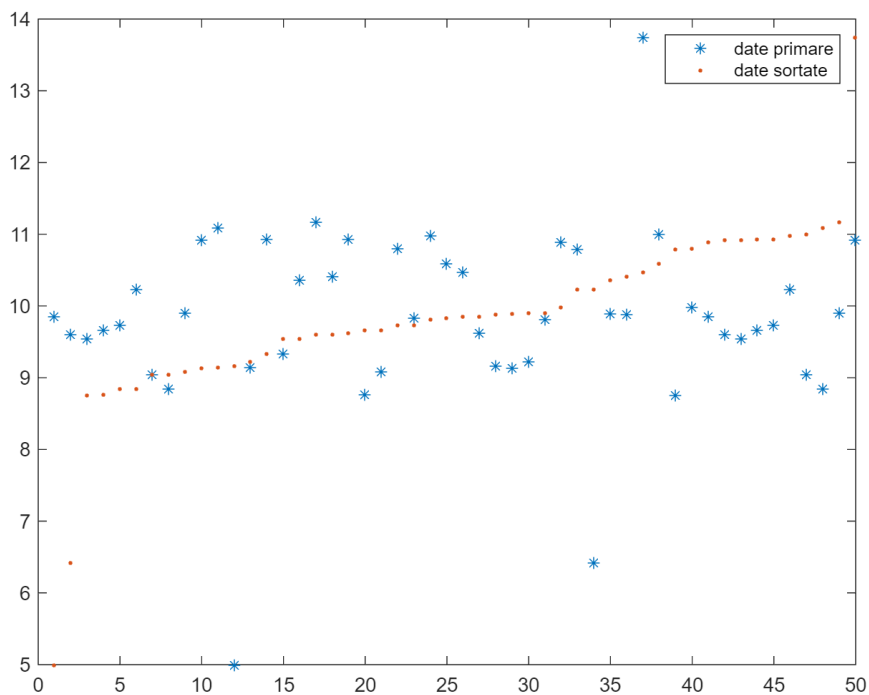


Figura 3.1 Comparație între datele primare și datele sortate

Tabel 3.2 Datele sortate

5	6.42	8.76	8.77	8.85	8.85	9.05	9.05	9.09	9.14
9.15	9.17	9.23	9.34	9.54	9.54	9.6	9.6	9.62	9.66
9.66	9.73	9.73	9.81	9.83	9.85	9.85	9.88	9.89	9.9
9.9	9.98	10.23	10.23	10.36	10.41	10.47	10.59	10.79	10.8
10.89	10.92	10.92	10.93	10.93	10.98	11	11.09	11.17	13.75

2. GRUPAREA DATELOR

Pentru gruparea valorilor pe clase (intervale) se precizează următoarele:

- Amplitudinea variației naturale:

$$W = x_n - x_1 = 8.75 \quad (3.1)$$

- Numărul intervalelor de grupare, se va rotunji la număr întreg:

$$m \cong \sqrt{n} = 6 \quad (3.2)$$

- Amplitudinea intervalului:

$$\omega = \frac{W}{m - 1} = 1.75 \quad (3.3)$$

Observații:

- Intervalele de grupare sunt închise la stânga și deschise la dreapta:

$$[u_i, u_{i+1}) \quad (3.4)$$

- Limita inferioară a primului interval este:

$$u_i \cong x_1 - \frac{\omega}{2} \quad (3.5)$$

- Limita superioară a ultimului interval este:

$$u_{m+1} \cong x_n + \frac{\omega}{2} \quad (3.6)$$

- Clasele de grupare au amplitudini egale.

Folosind ecuațiile (3.1), (3.2) și (3.3) se poate determina cu ușurință care este valoarea amplitudinii variației naturale, câte intervale de grupare avem conform valorilor din setul de date primar și care este amplitudinea unui interval. După consemnarea acestor valori, următorul pas este de a calcula intervalele de grupare (Tabel 3.3) folosind ecuațiile (3.4), (3.5) și (3.6).

Tabel 3.3 Calculul intervalelor de grupare

Indexul grupului	Intervalul de grupare $[u_i, u_{i+1})$
1	[4.125, 5.875)
2	[5.875, 7.625)
3	[7.625, 9.375)
4	[9.375, 11.125)
5	[11.125, 12.875)
6	[12.875, 14.625)

În continuare este necesară calcularea parametrilor de grup folosind ecuațiile de mai jos și informațiile prezentate în Figura 3.2.

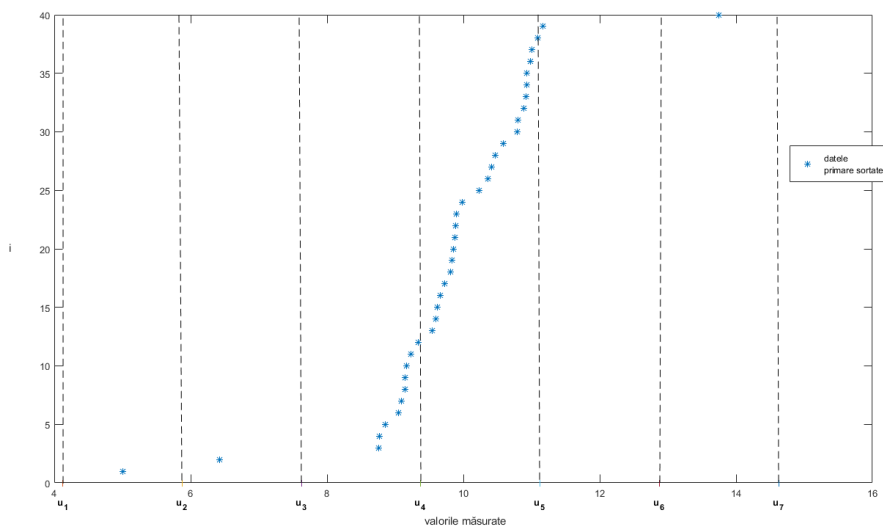


Figura 3.2 Gruparea datelor primare sortate in intervalele de grupare

- Valoarea centrală a intervalului i :

$$x_{ci} = \frac{(u_i + u_{i+1})}{2} \quad (3.7)$$

- Frecvența absolută simplă a_i pentru intervalul i este egală cu numărul valorilor

$$x_i \in [u_i, u_{i+1}) \quad (3.8)$$

- Frecvența absolută cumulată:

$$A_i = \sum_{j=1}^i a_j \quad (3.9)$$

- Frecvența relativă simplă:

$$f_i = \frac{a_i}{n} \quad (3.10)$$

- Frecvența relativă cumulată:

$$F_i = \sum_{j=1}^i f_j \quad (3.11)$$

Folosind ecuațiile (3.7) - (3.11) se pot cu ușurință calcula parametrii pentru fiecare interval de grupare. Valorile acestora sunt prezentate în Tabelul 3.4.

Tabel 3.4 Modelul tabelului pentru gruparea datelor

Index grup	Intervalul de grupare $[u_i, u_{i+1})$	Valoarea centrală x_{c_i}	Frecvențe				$f_i x_{c_i}$
			simplă		cumulată		
			a_i	f_i	A_i	F_i	
1	[4.125, 5.875)	5	1	0.025	1	0.025	0.125
2	[5.875, 7.625)	6.75	1	0.025	2	0.05	0.1688
3	[7.625, 9.375)	8.5	10	0.25	12	0.3	2.125
4	[9.375, 11.125)	10.25	26	0.65	38	0.95	6.662
5	[11.125, 12.875)	12	1	0.025	39	0.975	0.3
6	[12.875, 14.625)	13.75	1	0.025	40	1	0.3438
$\bar{x} = \sum f_i x_{c_i} \cong 9.725$							

3. PRELUCRAREA DATELOR PRIN METODA DIRECTĂ

Metoda directă utilizează datele primare măsurate direct pentru calculul indicatorilor caracteristicii.

Tabel 3.5 Indicatori de localizare

Indicator	Relația	Funcția Matlab corespunzătoare
Media aritmetică	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	mean
Media geometrică	$M_G = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i}$	geomean
Media pătratică	$M_{SQ} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2}$	norm/sqrt(n)
Media armonică	$M_H = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}}$	harmmean
Mediana	$Me = \begin{cases} x^{(n/2)} + x^{(n/s+1)}, n \text{ par} \\ x^{(n+1/2)}, n \text{ impar} \end{cases}$	median
Valoarea centrală	$x_c = \frac{x_1 + x_n}{2}$	-

Observație:

- Indicatorii calculați trebuie să verifice următoarea relație:

$$M_H < M_G < \bar{x} < M_{SQ} \quad (3.12)$$

Tabel 3.6 Indicatori de variație

Indicator	Relația	Funcția Matlab corespunzătoare
Dispersia estimată	$\bar{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum (x - \bar{x})^2$	-
Dispersia eșantionată (corectată)	$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x - \bar{x})^2$	-
Abaterea standard estimată	$\bar{\sigma} = \sqrt{\bar{\sigma}^2}$	-
Abaterea standard eșantionată	$s = \sqrt{s^2}$	std
Cuartilele (n par)	<p>ordinul 1: $Q_1 = \frac{x_{(n/4)} + x_{(n/4+1)}}{2}$</p> <p>ordinul 2: $Q_2 = \frac{x_{(n/2)} + x_{(n/2+1)}}{2}$</p> <p>ordinul 3: $Q_3 = \frac{x_{(3n/4)} + x_{(3n/4+1)}}{2}$</p>	prctile (25% pentru ordinul 1, 50% pentru ordinul 2, 75% pentru ordinul 3)
Intervalul intercuartilic	$I_q = Q_3 - Q_1$	iqr
Coeficientul de variație intercuartilică	$q = \frac{I_q}{Q_2}$	-
Cuartila de ordin α	<p>Se alege x_i pentru care: $\frac{n-i}{n} \in [0.1 \div 0.5]$</p> <p>Ordinul α al cuartilei: $\alpha = 100(1 - \frac{i}{n})$</p> <p>$Q_\alpha = Q = x_i$</p>	-
Coeficientul de variație	$C_V = s/\bar{x}$	-

Tabel 3.7 Indicatori de asimetrie

Indicator	Relația
Asimetrie absolută	$a_s = \bar{x} - M_{SQ} $
Asimetrie relativă	$\alpha_s = \frac{a_s}{s}$
Coeficientul de asimetrie intercuartilic	$\alpha_{SQ} = 1 - 2 \frac{Q_2 - Q_1}{Q_3 - Q_1}$

Folosind ecuațiile sau funcțiile Matlab corespunzătoare prezentate în Tabelul 3.5, Tabelul 3.6 și Tabelul 3.7 se pot cu ușurință calcula parametrii. Valorile acestor parametrii sunt consemnate în Tabelul 3.8.

Tabel 3.8 Indicatori statistici: metoda directă

Indicatori de localizare	Indicatori de variație
$\bar{x} = 9.8643$	$s^2 = 1.8288$
$M_G = 9.8643$	$\sigma^2 = 1.7831$
$M_H = 9.6272$	$s = 1.3523$
$M_{SQ} = 9.9542$	$\sigma = 1.3353$
$M_e = 9.865$	$Q_1 = 9.2$
$x_c = 9.375$	$Q_2 = 9.865$
	$Q_3 = 10.795$

4. PRELUCRAREA DATELOR PRIN METODA INDIRECTĂ

Metoda indirectă utilizează parametrii claselor de grupare pentru care s-a recomandat consemnarea lor în Tabelul 3.3.

Tabel 3.9 Indicatori de localizare

Indicator	Relația
Media aritmetică	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m a_i x_{ci} = \sum_{i=1}^m f_i x_{ci}$
Modul	$M_0 = L_1 + \frac{\Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2} \omega$, unde: $L_1 = \max(a_i)$ este limita inferioară a intervalului modal $\Delta_1 = \max(a_i - a_{i-1})$ $\Delta_2 = \max(a_i - a_{i+1})$

Tabel 3.10 Indicatori de variație

Indicator	Relația
Dispersia estimată	$\bar{\sigma}^{\bullet 2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m a_i (x_{ci} - \bar{x}^{\bullet})^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m a_i \delta_i^2$
Dispersia eșantionată corectată	$s^{\bullet 2} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^m a_i (x_{ci} - \bar{x}^{\bullet})^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^m a_i \delta_i^2$
Abaterea standard eșantionată:	$\bar{\sigma}^{\bullet} = \sqrt{\bar{\sigma}^{\bullet 2}}$
Abaterea standard corectată:	$s^{\bullet} = \sqrt{s^{\bullet 2}}$
Coeficientul de variație	$C_V^{\bullet} = \frac{s^{\bullet}}{\bar{x}^{\bullet}}$

Folosind ecuațiile prezentate în Tabelul 3.9 și Tabelul 3.10 se pot cu ușurință calcula indicatorii de localizare și cei de variație. Valorile acestor parametrii sunt consemnate în Tabelul 3.11.

Tabel 3.11 Indicatori statistici: metoda indirectă

Indicatori de localizare	Indicatori de variație
$\bar{x}^{\bullet} = 9.725$	$s^{\bullet} = 1.3842$
$M_0 = 26.6829$	$\bar{\sigma}^{\bullet} = 1.3668$

După calcularea indicatorilor statistici prin metoda directă și metoda indirectă, se pot calcula și indicatorii de asimetrie și sintetici (Tabel 3.12).

Tabel 3.12 Valoarea indicatorilor de asimetrie și sintetici

Indicatori de asimetrie	Indicatori sintetici
$C_V = 0.13709$	$I_q = 1.595$
$C_V^{\bullet} = 0.14233$	$q = 0.16168$
$a_s = 0.09$	
$\alpha_s = 0.0665$	
$\alpha_{sQ} = 0.1661$	

Iar în final se va calcula *raportul Yule*:

$$\gamma = \frac{|\bar{x}^{\bullet} - M_0|}{|\bar{x}^{\bullet} - Me|} \quad (3.13)$$

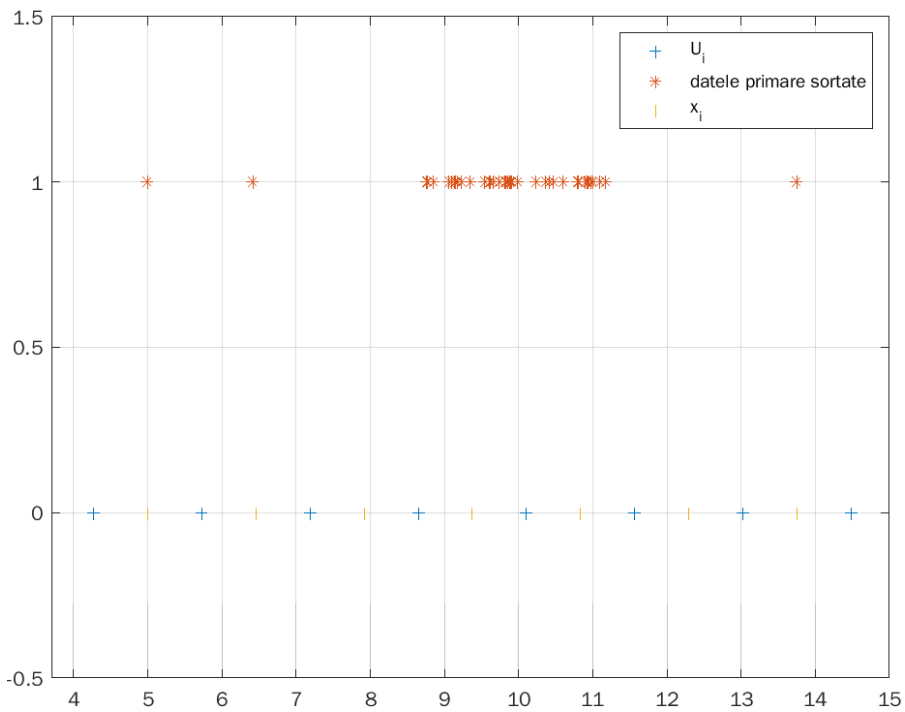


Figura 3.3 Analiza datelor: datele primare sortate, valorile intervalelor de grupare și valorile centrale ale intervalelor de grupare

F IABILITATEA F UNUI ECHIPAMENT F ELECTRIC

A. INTRODUCERE

Fiabilitatea este probabilitatea de a îndeplini funcțiile definite fără defecțiuni în condițiile de mediu specificate în intervalul de timp definit. Fiabilitatea este indicată de cât timp un produs sau un software funcționează cu adevărat, fără erori. Acest concept este, de asemenea, foarte important pentru circuitele electronice de putere, în special la electronicele de consum. Atunci când nu este suficientă analiză de fiabilitate efectuată, aceasta poate cauza pierderi de timp, bani, și uneori chiar vieți omenești.

Fiabilitatea este cea mai bună măsură cantitativă a integrității unei piese, componente, produs sau sistem proiectate. De fapt, când vorbim despre fiabilitate, trebuie să definim trei aspecte fundamentale:

- Funcția predefinită fără eșec (sunt date de specificațiile produsului): durata programului, gradul de curățare, clasa energetică, capacitatea de răcire sau încălzire, nivelul de zgomot, vibrațiile etc.
- Condițiile de mediu specificate (sunt scrise în funcție de specificațiile produsului): tensiune de funcționare, frecvență de funcționare, temperatură, umiditate, condiții electromagnetice, vibrații etc
- Intervalul de timp definit (durata de viață estimată a produsului): unitatea de timp este ore, an, km, ciclu etc.

Condițiile de mediu specificate sunt scrise în funcție de specificațiile produsului. Tensiune de funcționare, frecvență de funcționare, temperatură, umiditate, condiții electromagnetice, vibrații etc. Intervalul de timp definit

este o durată de viață estimată a produsului. Unitatea de timp este ore, an, km, ciclu.

Există multe metode și standarde pentru a prezice fiabilitatea. Cele mai utilizate în industrie sunt metodele / standardele bazate pe factorii de stres, precum temperatura, tensiunea, disiparea puterii, etc. Pe lângă acestea, majoritatea companiilor efectuează și teste de viață accelerate pentru a analiza datele cu distribuții statistice. Totodată, pe lângă principalii factori de stres trebuie luate în considerare și cele mai importante motive de eșec, precum descărcarea electrostatică, fulgerele, scăderile de tensiune sau întreruperile de tensiune.

B. ANALIZA EXPERIMENTALĂ A FIABILITĂȚII UNUI ECHIPAMENT ELECTRIC

Pentru a se înțelege și explica mai ușor care sunt pașii necesari pentru a realiza o analiză experimentală a fiabilității unui echipament electric, în continuare se presupun următoarele:

- Eșantionul de lucru are un volum cu $n_0 = 20$ până la 30 de produse
- Produsele supuse încercărilor de fiabilitate sunt numerotate în prealabil
- Produsele din eșantionul de lucru sunt testate până când toate produsele s-au defectat
- Momentele defectării produselor sunt consemnate
- Se precizează unitatea de măsură (ore, număr de cicluri, manevre etc.)

Observații:

- Produsele utilizate pentru experiment sunt motoare electrice de curent continuu pentru rotația unităților de CD-ROM
- Eșantionul de lucru are un volum $n_0 = 25$ de produse
- Valorile consemnate în Tabelul 4.1 reprezintă durata de viață a fiecărui produs exprimat în ore de funcționare

Tabel 4.1 Durata de viață a produselor testate exprimată în ore

11999	11980	11999	7458	345	10705	974	5861
12000	11989	5560	5461	313	12000	6667	11945
11946	12000	12000	11943	10367	10227	7161	11946
11171							

1. ACHIZIȚIA ȘI SORTAREA DATELOR

La fel ca și la analiza descriptivă, primul pas în analiza experimentală a fiabilității unui echipament electric este de a sorta ascendent eşantioanele prelevate (datele primare) Fig. 4.1 și consemnate într-un alt tabel (Tabel 4.2).

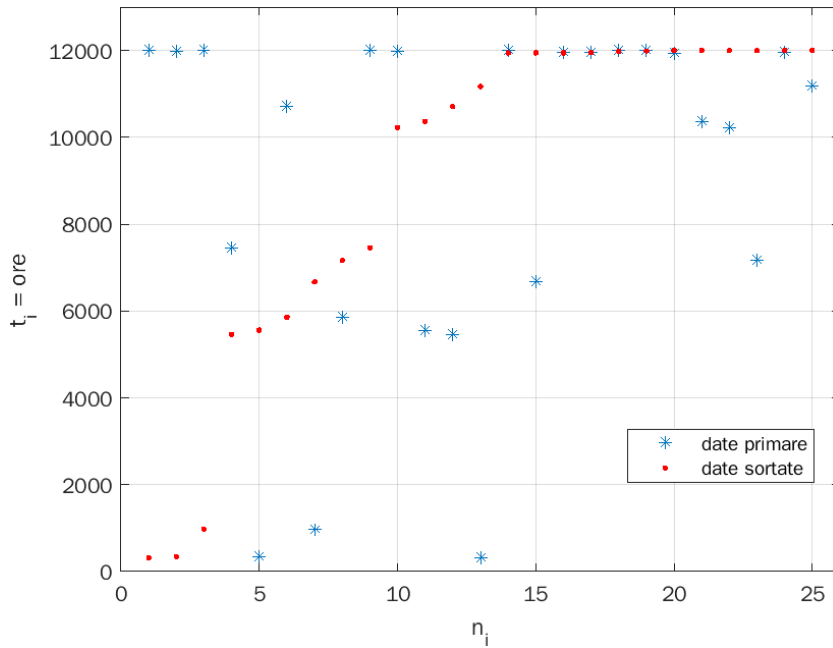


Figura 4.1 Comparație între datele primare și datele sortate

Tabel 4.2 Sortarea duratelor de viață a produselor testate exprimată în ore

313	345	974	5461	5560	5861	6667	7161
7458	10227	10367	10705	11171	11943	11945	11946
11946	11980	11989	11999	11999	12000	12000	12000
12000							

2. TIPUL ÎNCERCĂRILOR ȘI PARAMETRII EȘANTIOANELOR

a) Încercări cu eşantion epuizat

Sunt încercări conduse până la căderea tuturor produselor. Din tabelul de date ordonate, valoarea maximă $t(n_0)$ reprezintă durata

încercărilor respective de fiabilitate. Durata încercărilor cu eșantion epuizat este $t(n_0) = t_e$.

b) Încercări cu eșantion cenzurat

Sunt încercări conduse până la apariția unui număr de căderi $r_0 = 6$ până la 10 , dinainte stabilit. Din eșantion se consideră numai datele $t(i) \leq t(r_0)$. Restul produselor se consideră că rămân în starea de funcționare, ignorându-se datele respective. Durata încercărilor cenzurate este $t(r_0) = t_c$.

c) Încercări cu eșantion trunchiat

Sunt încercări conduse până la un moment $t = t_t$ dinainte stabilit, indiferent câte căderi se produc. Astfel se constată că pe durata t se produc r_t căderi. Restul produselor din eșantion rămân în stare de funcționare, ignorându-se și în acest caz datele respective. Durata încercărilor trunchiate este t_t .

Observații:

- pentru a aplica în întregime metodologia de prelucrare a datelor se vor adopta succesiv diferitele ipoteze referitoare la eșantionul de date. Se va considera astfel că eșantionul aparține pe rând celor trei cazuri posibile.
- Se iau următoarele valori:
 - $r_c = 10$
 - $t_t = 10000$

În continuare sunt prezentate diagramele căderilor pentru eșantionul epuizat, cenzurat și respectiv trunchiat (Figura 4.2).

Se calculează duratele cumulate ale încercărilor, după caz:

- Încercări epuizate

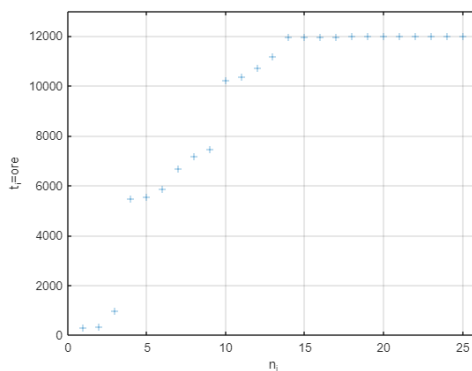
$$S_E = \sum_1^{n_0} t_i \quad (4.1)$$

- Încercări cenzurate

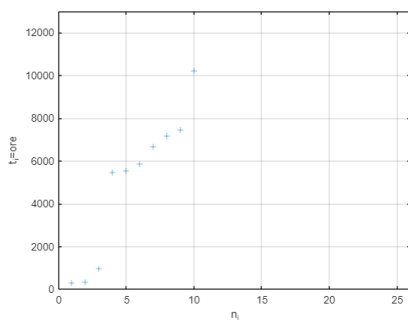
$$S_C = \sum_1^{r_0} t_i + (n_0 - r_0) \quad (4.2)$$

- Încercări trunchiate

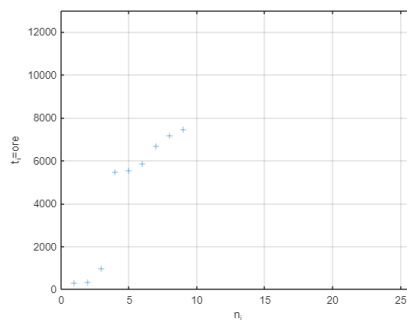
$$S_T = \sum_1^{r_t} t_i + (n_0 - r_t) t_t \quad (4.3)$$



a) eşantion epuizat



b) eşantion cenzurat



c) eşantion trunchiat

Figura 4.2 Tipul încercărilor și parametri eşantioanelor

Observație:

- Folosind ecuațiile (4.1), (4.2) și (4.3) și setul de date din Tabelul 4.1 se obțin următoarele valori:
 - $S_E \approx 226015.9 \text{ ore}$
 - $S_C \approx 203436.7 \text{ ore}$
 - $S_T \approx 199800 \text{ ore}$

3. METODA NEPARAMETRICĂ DE PRELUCRARE A DATELOR

În cazul general când repartiția căderilor este necunoscută se utilizează metoda neparametrică bazată pe definițiile și relațiile fundamentale.

a) Încercări cu eșantion epuizat

Se grupează valorile eșantionului epuizat pe un număr $m = 4$ până la 6 intervale, ca în metoda "Analiza descriptivă a unei caracteristici de calitate". Valoarea centrală a intervalului de ordin i se notează t_{CI} . Parametrii fiabilității se calculează astfel:

- Fiabilitatea la t_{CI} :

$$R(t_{CI}) = \frac{n_i}{n_0} \quad (4.4)$$

- Rata defectărilor:

$$(t_{CI}) = \frac{\Delta r_i}{n_{i-1}} \cdot \frac{1}{\Delta t} \quad (4.5)$$

unde:

- Δt este amplitudinea intervalului de grupare

$$\Delta t = \frac{t_{max} - t_{min}}{m - 1} \quad (4.6)$$

- Δr_i numărul de căderi în intervalul de ordin i
- n_{i-1} numărul de căderi anterior intervalului de ordin i

- Media timpului de bună funcționare până la prima defectare:

$$MTBF = \frac{\sum t_i}{n_0} \quad (4.7)$$

- Abaterea standard:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (t_i - MTBF)^2}{n_0 - 1}} \quad (4.8)$$

Pentru gruparea valorilor pe clase (intervale) se precizează următoarele:

- Amplitudinea variației naturale:

$$W = t_n - t_1 \quad (4.9)$$

- Numărul intervalelor de grupare, se va rotunji la număr întreg:

$$m \cong \sqrt{n} \quad (4.10)$$

- Amplitudinea intervalelor:

$$\omega = \frac{W}{m - 1} \quad (4.11)$$

Observații:

- Intervalele de grupare sunt închise la stânga și deschise la dreapta:

$$[u_i, u_{i+1}) \quad (4.12)$$

- Limita inferioară a primului interval este:

$$u_i \cong t_1 - \frac{\omega}{2} \quad (4.13)$$

- Limita superioară a ultimului interval este:

$$u_{m+1} \cong t_n + \frac{\omega}{2} \quad (4.14)$$

- Clasele de grupare au amplitudini egale.

Folosind ecuațiile (4.9), (4.10) și (4.11) se poate determina cu ușurință care este valoarea amplitudinii variației naturale, câte intervale de grupare avem conform valorilor din setul de date primar și care este amplitudinea unui interval. După consemnarea acestor valori, următorul pas este de a calcula intervalele de grupare (Tabel 4.3) folosind ecuațiile (4.12), (4.13) și (4.14).

Tabel 4.3 Calculul intervalelor de grupare

Indexul grupului	Intervalul de grupare $[u_i, u_{i+1})$
1	[-1148, 1774)
2	[1774, 4696)
3	[4696, 7617)
4	[7617, 10539)
5	[10539, 13461)

În continuare este necesară calcularea parametrilor de grup folosind ecuațiile de mai jos și informațiile prezentate în Figura 4.3.

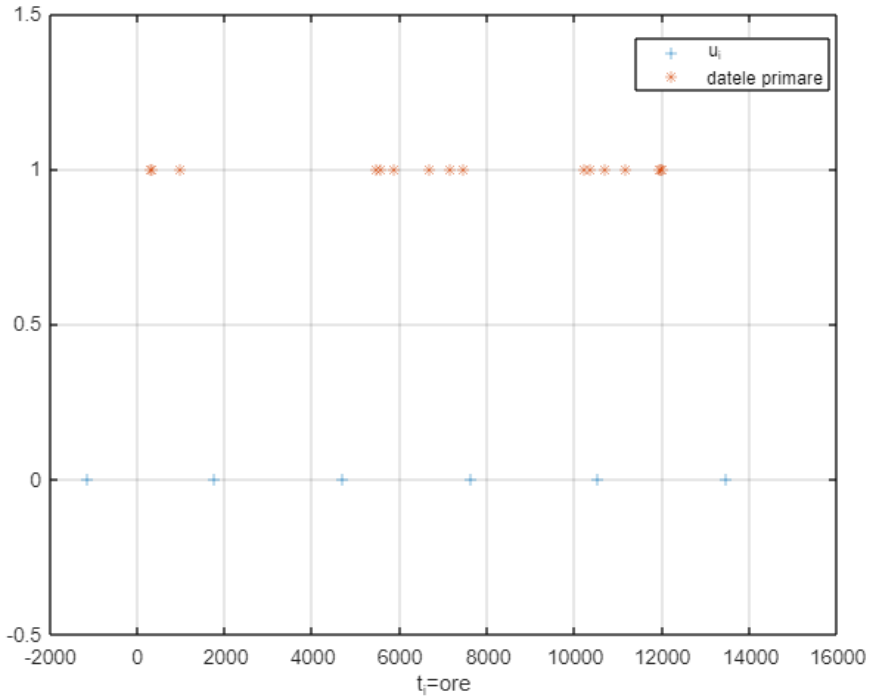


Figura 4.3 Gruparea datelor primare sortate in intervalele de grupare

- Valoarea centrală a intervalului i :

$$x_{ci} = \frac{(u_i + u_{i+1})}{2} \quad (4.15)$$

Folosind ecuațiile (4.4) - (4.8) se pot cu ușurință calcula parametrii pentru fiecare interval de grupare. Valorile acestora sunt prezentate în Tabelul 4.4.

Tabel 4.4 Modelul tabelului pentru gruparea datelor

Index grup	Intervalul de grupare $[u_i, u_{i+1})$	Valoarea centrala x_{ci}	Δr_i	$r_i = \sum \Delta r_i$	n_i	R	λ
1	[-1148, 1774)	312.94	3	3	22	0.88	-
2	[1774, 4696)	3234.7	0	3	22	0.88	0
3	[4696, 7617)	6156.47	6	9	16	0.64	0.0007

4	[7617, 10539)	9078.24	2	11	14	0.56	0.0001
5	[10539, 13461)	12000	14	25	0	0	0.0004

b) Încercări cu eşantion cenzurat

Folosind parametrii r_0 și t_c stabiliți la pagina 30, se consideră doar datele corespunzătoare încercării cenzurate. Cu acestea se vor calcula:

- Valoarea punctuală a MTBF:

$$(MTBF)_C = \frac{S_C}{r_0} \quad (4.16)$$

- Valoarea punctuală a ratei defectărilor:

$$\lambda_C = \frac{1}{(MTBF)_C} \quad (4.17)$$

c) Încercări cu eşantion trunchiat

Cu parametrii t_t și r_t stabiliți la pagina 30, se consideră doar datele corespunzătoare eşantionului trunchiat. Cu acestea se calculează:

- Valoarea punctuală a MTBF:

$$(MTBF)_T = \frac{S_T}{r_t + 1} \quad (4.18)$$

- Valoarea punctuală a ratei defectărilor:

$$\lambda_T = \frac{1}{(MTBF)_T} \quad (4.19)$$

Observație:

- Folosind ecuațiile (4.16), (4.17), (4.18) și (4.19) și setul de date din Tabelul 4.1 se obțin următoarele valori:
 - $(MTBF)_C \approx 20344 \text{ ore}$
 - $\lambda_C \approx 4.9155 * 10^{-5}$
 - $(MTBF)_T \approx 19980 \text{ ore}$
 - $\lambda_T \approx 5.005 * 10^{-5}$

S TABILIREA CALITĂȚII UNUI LOT DE PRODUSE FOLOSIND METODA DEMERITELOR

A. INTRODUCERE

În multe domenii industriale, calitatea produselor poate fi atribuită fără echivoc unor clase precum: "bună", "rea" sau "de reparat" [36]. De obicei, produsul este aprobat la vânzare luând în considerare cerințele clientului. Cu excepția caracteristicilor comune, cum ar fi structura, compactitatea și proprietățile mecanice, starea fizică a produsului este, de asemenea, importantă. Această stare este evaluată prin verificarea apariției unor tipuri specifice de defecte. Acestea sunt adesea acceptate condiționat de către client dacă nu influențează în niciun fel funcționalitatea produsului.

Controlul statistic al produselor este un instrument de control al acestora utilizând statisticile matematice. Graficul de control (diagrama de control) este un instrument statistic care controlează calitatea produselor în procesul de fabricație, fiind, de asemenea, unul dintre cele mai comune și eficiente instrumente de control al calității în cadrul controlului statistic al produselor.

Diagramele de control sunt instrumente de bază ale controlului statistic al proceselor și sunt utilizate pentru supravegherea unor caracteristici selectate ale unui proces/produs prin monitorizarea modificărilor unei statistici determinate pe un eșantion prelevat din acest proces la intervale de timp stabilite. Valorile unei statistici selectate (de

exemplu, valorile medii) sunt reprezentate și comparate cu limitele de control, reprezentând variabilitatea rezultată din motive pur aleatorii. Depășirea limitelor de control arată că procesul este afectat de condiții nealeatorii care determină nereglarea sa [37].

Diagramele de control sunt concepute pentru caracteristicile evaluate în mod numeric (diagrame de variabile) sau în mod alternativ (diagrame alternative, diagrame de atribute). Primul tip de diagramă este compus, de obicei, din două trasee: locație și dispersie. Graficele pentru atribute sunt reprezentate cu o valoare a unei statistici legate de un număr de defecte sau de unități defecte. Un avantaj al graficelor variabile este posibilitatea de a controla procesul și de a-l corecta on-line. Graficele alternative nu oferă o astfel de posibilitate. Evaluarea procesului se face post factum - numai după ce acesta este finalizat și se colectează un eșantion suficient de mare. În ciuda faptului că aceste diagrame necesită un eșantion cu siguranță mai mare decât diagramele variabile și sunt mai puțin informative, ele permit o evaluare curentă dacă nivelul de defectare al unui produs nu depășește un nivel acceptabil. Unul dintre tipurile de diagrame evaluate alternativ sunt diagramele legate de defecte: c - cantitatea de defecte pe eșantion de mărime constantă și u - cantitatea de defecte pe unitate. Ipoteza lor importantă, care uneori constituie o limitare, este tratarea cu aceeași importanță a fiecărui defect detectat într-un eșantion colectat.

Investigarea calității produsului este un obiectiv important pentru orice organizație, deoarece calitatea slabă a produselor duce la afectarea încrederii clienților. Astfel, ar putea exista o reticență în a cumpăra produsele sale. Acest lucru duce la încurajarea majorității organizațiilor să se concentreze pe furnizarea unui nivel ridicat al produselor de calitate. Procesul de investigare a calității produselor are loc în cele 3 faze:

- pre-producție;
- în timpul procesului de producție;
- post-producție.

Evaluarea nivelului de calitate al produsului final (post-producție) este o etapă semnificativă pentru evaluarea calității produsului final, deoarece reprezintă ultima etapă înainte de livrarea către client, ceea ce

necesită concentrarea asupra acestei etape în scopul de a furniza produse fără defecte.

În aplicațiile de control al calității, un produs este adesea considerat neconform dacă conține unul sau mai multe defecte sau neconformități. În cazul produselor complexe, se pot găsi mai multe tipuri de defecte. Aceste tipuri de defecte nu sunt întotdeauna de niveluri echivalente de *gravitate*. În această situație, defectele de diferite tipuri pot fi clasificate în funcție de *gradul de efect* pe care îl au asupra calității performanței produsului. O măsură obișnuită a calității globale a unui produs complex este o sumă ponderată a numărului de defecte din fiecare categorie. Această sumă ponderată este denumită numărul de demerite. Ponderile sunt determinate pentru fiecare categorie în funcție de gravitatea relativă a tipului de defect, cu ponderi mai mari atribuite defectelor mai grave.

B. STABILIREA CALITĂȚII UNUI LOT DE PRODUSE

Metoda demeritelor este folosită pentru aprecierea nivelului de calitate al produselor complexe de mare serie. Calitatea este apreciată luând în considerare defectele constatate în întreprindere la controlul final. Metoda se poate aplica la contactoare, întrerupătoare, relee termice, butoane cu lampă de semnalizare etc.

Pentru fiecare produs analizat se va întocmi un catalog al defectelor constatate și se vor grupa după importanță, pe categorii stabilite arbitrar (spre exemplu defect critic, principal, secundar, minor). Se înregistrează numărul total de defecte pentru fiecare categorie: N_C , N_P , N_S , N_M . Fiecare grupă de defecte este penalizată arbitrar cu un anumit punctaj, spre exemplu după cum se specifică în Tabelul 5.1. Evident, se pot alege și alte sisteme de penalizare.

Tabel 5. 1 Exemplu – penalizarea categoriilor de defecte

Categoria defectelor	Număr defecte	Puncte de penalizare
Critic	N_C	$P_C = 100$
Principal	N_P	$P_P = 50$
Secundar	N_S	$P_S = 10$
Minor	N_M	$P_M = 1$

Fiecare produs va conține un număr diferit de defecte de fiecare categorie: n_{Ci} , n_{Pi} , n_{Si} , n_{Mi} . Se vor controla funcțional eşantioane de $N = 40 - 60$ de unități analizând fiecare exemplar și consemnând defectele grupate pe categorii. Controlul funcțional final se poate extinde și la întreg volumul N de produse executat într-o zi sau într-o săptămână.

Tabel 5. 2 Tipuri de defecte (necompletat)

CATEGORIA DEFECTELOR			
Critice	Principale	Secundare	Minore
$C_1 =$	$P_1 =$	$S_1 =$	$M_1 =$
$C_2 =$	$P_2 =$	$S_2 =$	$M_2 =$
$C_3 =$	$P_3 =$	$S_3 =$	$M_3 =$
$P_C =$	$P_p =$	$P_S =$	$P_M =$

Numărul de defecte pentru fiecare categorie (Tabelul 5.2) reprezintă suma tuturor defectelor respective din eşantion, astfel:

$$N_C = \sum_{i=1}^N n_{Ci} \quad (5.1)$$

$$N_P = \sum_{i=1}^N n_{Pi} \quad (5.2)$$

$$N_S = \sum_{i=1}^N n_{Si} \quad (5.3)$$

$$N_M = \sum_{i=1}^N n_{Mi} \quad (5.4)$$

Demeritul se va calcula cu relația:

$$D = \frac{N_C \cdot P_C + N_P \cdot P_P + N_S \cdot P_S + N_M \cdot P_M}{N} \quad (5.5)$$

La final, după calculul demeritului se recomandă să se traseze histograma frecvențelor simple absolute a_i și relative f_i în raport cu categoria de defecte. Pentru a se înțelege și explica mai ușor care sunt pașii necesari pentru a stabili calitatea unui lot de produse folosind metoda demeritelor, în continuare se presupun următoarele:

- Eșantionul de lucru are un volum cu N între 20 și 60 de produse
- Numărul de defecte identificate este de:
 - *critice* (C) = 1
 - *principale* (P) = 2
 - *secundare* (S) = 2
 - *minore* (M) = 3

Observații:

- Produsele utilizate pentru experiment sunt contactoare electrice
- Eșantionul de lucru are un volum $N = 40$ de produse
- Valorile de “1” consemnate în Tabelul 5.3 reprezintă detectarea defectului respectiv la produsului din lotul de produse

Tabel 5.3 Setul primar de date

Lotul de produse	Tipuri de defecte								
	C ₁	P ₁	P ₂	S ₁	S ₂	M ₁	M ₂	M ₃	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	1	0	0	0	0	
3	0	1	0	0	0	0	0	1	
4	0	0	0	0	0	1	1	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	1	0	1	0	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	1	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	1	0	1	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	1	0	0	1	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	

Lotul de produse	Tipuri de defecte							
	C ₁	P ₁	P ₂	S ₁	S ₂	M ₁	M ₂	M ₃
14	0	0	0	0	1	1	0	1
15	0	0	0	0	0	0	1	0
16	0	0	0	0	0	1	0	0
17	0	1	1	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	1	0	0
21	0	0	0	1	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	1
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	1	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	1	1	1	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	1	1
30	0	1	0	0	0	0	0	1
31	0	0	1	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	1	0	0
34	0	0	0	0	1	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	1
36	0	0	0	0	0	0	1	0
37	1	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0

Următorul pas pentru a stabili calitatea unui lot de produse este consemnarea în Tabelul 5.2 a valorilor rezultate (asemănător cum sunt prezentate în Tabelul 5.4).

Tabel 5.4 Tipuri de defecte (completat)

CATEGORIA DEFECTELOR			
Critice	Principale	Secundare	Minore
C ₁ = 2	P ₁ = 5	S ₁ = 5	M ₁ = 5

CATEGORIA DEFECTELOR			
	$P_2 = 3$	$S_2 = 5$	$M_2 = 5$
			$M_3 = 7$
$P_C = 100$	$P_P = 50$	$P_S = 10$	$P_M = 1$

După consemnarea rezultatelor, se calculează frecvență absolută simplă și frecvență relativă, folosind formulele (3.8), respectiv (3.10). Aceste rezultate sunt consemnate în Tabelul 5.5:

Tabel 5.5 Calculul frecvențelor a_i , respectiv f_i

Tipul defectului	Frecvența absolută a_i	Frecvența relativă f_i
C1	2	0.05
P1	5	0.125
P2	3	0.075
S1	5	0.125
S2	5	0.125
M1	5	0.125
M2	5	0.125
M3	7	0.175
Σ	37	0.925

Folosind formulele (5.1), (5.2), (5.3) și (5.4) se poate deduce ușor că:

- $N_C = 2$
- $N_P = 8$
- $N_S = 10$
- $N_M = 17$

Iar valoarea demeritului este:

$$D = \frac{N_C \cdot P_C + N_P \cdot P_P + N_S \cdot P_S + N_M \cdot P_M}{N}$$

$$= \frac{2 \cdot 100 + 8 \cdot 50 + 10 \cdot 10 + 17 \cdot 1}{40}$$

$$D = 17925$$

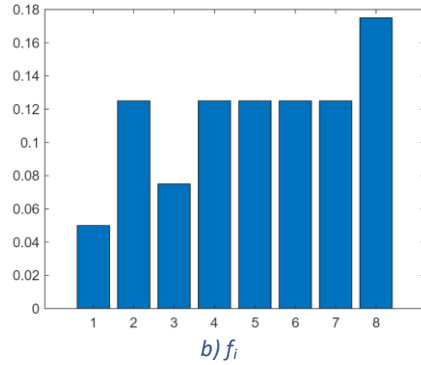
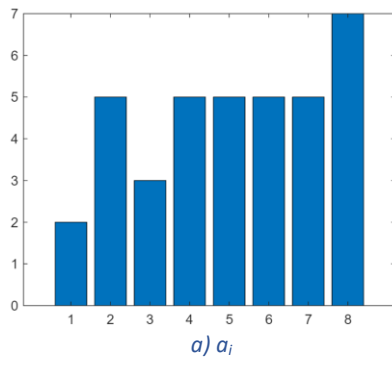


Figura 5.1 Histograma frecvențelor a_i și f_i

FIABILITATEA SISTEMELOR ÎN RAPORT CU DEFECTIUNILE BRUȘTE

A. INTRODUCERE

Inginerii de fiabilitate trebuie să lucreze adesea cu sisteme care au elemente conectate în paralel și în serie și să calculeze fiabilitatea acestora. În acest scop, atunci când un sistem este alcătuit dintr-un combinație de segmente în serie și în paralel, inginerii adesea aplică formule de fiabilitate în bloc foarte alambicate și folosesc pachete de calcul software. Deoarece teoria statistică de bază din spatele formulelor nu este întotdeauna bine înțeleasă, pot apărea erori sau aplicări greșite.

Obiectivul acestui capitol este de a ajuta cititorul să înțeleagă mai bine raționamentul statistic care stă la baza formulelor blocurilor de fiabilitate pentru sisteme serie și paralele și de a oferi exemple de modalități practice de utilizare a acestora. Aceste cunoștințe vor permite inginerilor să utilizeze mai corect pachetele software dedicate și să interpreteze rezultatele. Ne vom concentra pe modelarea fiabilității sistemului pe baza fiabilității componentelor sale. Creșterea fiabilității întregului sistem este unul dintre obiectivele principale ale analizei fiabilității. Aceasta poate fi realizată prin:

- o propunere adecvată a sistemului
- creșterea fiabilității componentelor
- o rezervă sofisticată a elementelor sau subsistemelor importante

Din punctul de vedere al fiabilității, un element este orice componentă sau obiect care este considerat în cazul investigat ca un întreg și nu este descompus în obiecte mai simple. Un element poate fi un contactor electric, un bec de lampă, punctul de conectare a două componente electrice, un piston într-un motor și chiar motorul complet.

Un exemplu de sistem simplu este o lampă electrică formată dintr-un bec, soclu, întrerupător, fire, fișă și corpul lămpii. Un sistem extrem de complex este un tren, care conține zeci de mii de elemente mecanice, hidraulice sau electrice. Fiecare dintre ele poate ceda. Acest lucru crește probabilitatea ca întregul sistem să cedeze. Fiabilitatea rezultată depinde de fiabilitatea elementelor individuale și de numărul și dispunerea reciprocă a acestora. O dispunere adecvată poate chiar să crească fiabilitatea sistemului. Două sisteme de bază sunt serie și paralel, iar combinațiile acestora sunt, de asemenea, posibile.

B. CONEXIUNEA SERIALĂ

În general un echipament este proiectat pe baza primatului criteriului economic și nu conține, de regulă, componente redundante, astfel încât defectarea oricărei componente duce la incapacitatea de funcționare a ansamblului. Din punctul de vedere al fiabilității, componentele unui astfel de ansamblu sunt conectate în *serie*, deși conexiunea electrică ar putea fi de tip paralel (vezi Figura 6.1). Dacă se cunosc caracteristicile de fiabilitate ale elementelor constitutive, determinate în prealabil, se pot stabili și caracteristicile de fiabilitate ale sistemului. Reprezentarea se poate face cu așa-numitele grafuri de semnal. Un graf de semnal dă ideea de continuitate intrare-ieșire pentru o structură conexă complexă. Existența unui drum de la intrare la ieșire este asimilată aici cu funcționarea corectă a sistemului. Modelul *serie* pentru care defectarea fie și a unui singur subsistem scoate sistemul din funcțiune are graful de semnal reprezentat în Figura 6.1. Din punct de vedere conceptual, un sistem în serie este la fel de slab ca și cea mai slabă verigă a sa.



Figura 6.1 Reprezentarea unui sistem cu conexiunii seriale cu n componente

Funcția care leagă starea de funcționare (sau de nefuncționare) a sistemului de starea funcțională a componentelor este:

$$S = x_1 \cap x_2 \cap x_3 \cap \dots \cap x_n \quad (6.1)$$

De exemplu, un autoturism nu poate funcționa dacă una dintre următoarele părți nu funcționează: motorul, rezervorul cu combustibil, cureaua de distribuție, roțile din față și din spate, etc. Toate aceste elemente sunt astfel dispuse în serie. Elemente ale acestui sistem sunt de asemenea și șuruburile, punctele de sudură și multe altele. Dacă defectarea unei componente nu depinde de nicio altă componentă, fiabilitatea sistemului se obține pur și simplu ca produs al fiabilităților elementelor individuale. Mai exact, dacă sistemul conține n componente, fiecare caracterizată de către probabilitatea de bună funcționare $r_i(t)$, și în condițiile în care defecțiunile bruște ale componentelor sunt reciproc independente, atunci probabilitatea de bună funcționare a sistemului este:

$$R(t) = \prod_{i=1}^m r_i(t); \quad (6.1)$$

$$R(t) = \prod_{i=1}^m \exp \left[- \int_0^t z_i(t) dt \right] = \exp \left[- \int_0^t \left(\sum_{i=1}^m z_i(t) \right) dt \right] \quad (6.2)$$

Unde:

- $R(t)$ – fiabilitatea sistemului
- $R_i(t)$ – fiabilitatea elementului i

Dacă intensitățile de defectare ale componentelor sunt constante, relația anterioară devine: $R(t) = \exp(-t \sum_{i=1}^m z_i)$. Prin introducerea intensității z_s de defectare a sistemului compus, vom avea: $R(t) = \exp(-z_s t) \Rightarrow z_s = \sum_{i=1}^m z_i$. Deci, fiabilitatea sistemului conexiune în serie este mai mică decât a oricăreia dintre componente.

Observații:

- Orice defecțiune a unei singure componente determină defectarea întregului sistem
- Fiabilitatea unui sistem serie este întotdeauna mai mică decât cea mai mică fiabilitate dintre componentele sale

Exemplul 6.1:

Dacă pentru Figura 6.1 considerăm că $z(t) = \text{const.}$, $i=4$ și:

- $z_1=0,1 \cdot 10^{-6}$,
- $z_2=0,2 \cdot 10^{-6}$,
- $z_3 = z_4=0,5 \cdot 10^{-6}$,

rezultă că

$$R_s(t) = e^{-z_1 t} \cdot e^{-z_2 t} \cdot e^{-z_3 t} \cdot e^{-z_4 t} = e^{-1.3 \cdot 10^6 t} \quad (6.3)$$

Dacă se consideră un timp de misiune de 10^6 ore, atunci rezultă că $R_s(10^6) = e^{-1.3} \cong 0.2725$.

În cazul distribuției exponențiale, în general, rata defectului sistemului este:

$$R_s(t) = e^{-\Lambda_s t} = e^{-\sum z_i t}, \Lambda_s = \sum \Lambda_i \quad (6.4)$$

Cu cât un sistem este mai complex, cu atât fiabilitatea sa este mai scăzută, valoarea lui Λ_s crescând cu atât mai mult cu cât termenii sumei constitutive sunt în număr mai mare.

În Figura 6.2 este prezentată fiabilitatea unui sistem cu 1, 2, respectiv 4 componente conectate în serie, cu rata de defectare constantă ($z_1=z_2=z_3=z_4$):

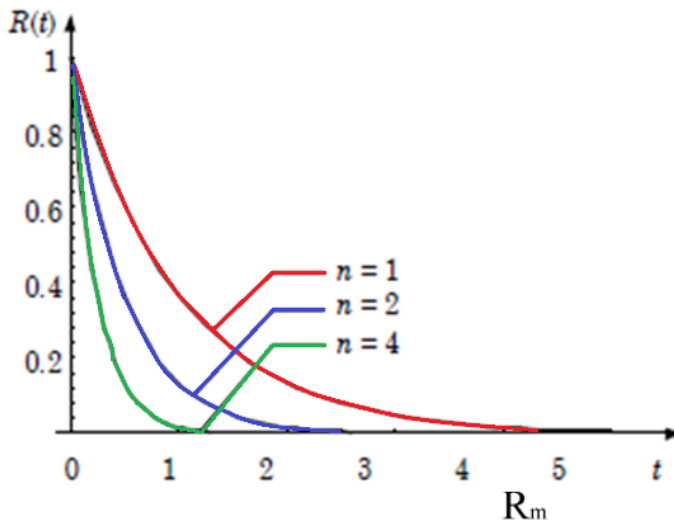


Figura 6.2 Fiabilitatea unui sistem cu componente conectate in serie

$$MTBF_s = \frac{1}{z_s} = \frac{1}{z_1 + z_2 + \dots + z_n} \quad (6.5)$$

Exemplul 6.2:

Se dă sistemul ale cărui componente, din punctul de vedere al fiabilității, sunt conectate conform schemei din Figura 6.3. Se cunosc: $r_{11} = 0.85$, $r_{12} = 0.87$, $r_{13} = 0.88$, $r_{14} = 0.93$, $r_{15} = 0.89$ și se cere să se calculeze fiabilitatea sistemului.

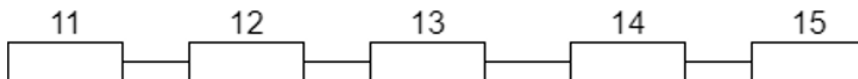


Figura 6.3 Exemplu de sistem cu componente conectate în serie

Rezolvare:

$$R_s = r_{11} * r_{12} * r_{13} * r_{14} * r_{15}$$

$$R_s = 0.85 * 0.87 * 0.88 * 0.93 * 0.89$$

$$R_s = 0.538$$

Exemplul 6.3:

Se dorește ca rata de defectare a unui sistem să fie egal cu $z_s = 2 * 10^{-5}$. Deoarece știm ca sistemul este format din cinci componente identice dispuse în serie, calculați care este rata de defectare a unei componente.

Rezolvare:

Rata de defectare a sistemului este:

$$z_s = z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_5 = 5 * z_i$$

⇒

$$z_i = \frac{z_s}{5} = \frac{2 * 10^{-5}}{5} = 4 * 10^{-5}$$

Exemplul 6.4:

Se dă un sistem compus din 4 componente conectate în serie. Rata de defectare a componentelor este: $z_1 = 8 \cdot 10^{-6}$, $z_2 = 6 \cdot 10^{-6}$, $z_3 = 9 \cdot 10^{-6}$, $z_4 = 2 \cdot 10^{-5}$. Se cere să se calculeze care este timpul mediu până la defectare și rata de defectare a acestuia. Calculați și care este probabilitatea de defectare pentru o misiune de 500 de ore.

Rezolvare:

Rata de defectare a sistemului este:

$$z_s = z_1 + z_2 + z_3 + z_4 = (8 + 6 + 9 + 20) \cdot 10^{-6} = 43 \cdot 10^{-6}$$

$$MTTF = \frac{1}{z_s} = 23256 \text{ ore}$$

$$z_i = \frac{z_s}{5} = \frac{2 \cdot 10^{-5}}{5} = 4 \cdot 10^{-5}$$

$$F(t) = 1 - e^{-z_s \cdot t} = 1 - e^{-43 \cdot 10^{-6} \cdot 500} = 0.9787 = 97.87\%$$

$$R = 1 - F = 2.13\%$$

C. CONEXIUNEA PARALELĂ

Dacă elementele unui sistem compus sunt interconectate în așa fel încât sistemul își pierde capacitatea de bună funcționare doar dacă toate componentele cedează, se spune că aceste componente sunt conectate în paralel din punctul de vedere al fiabilității (vezi Figura 6.4).

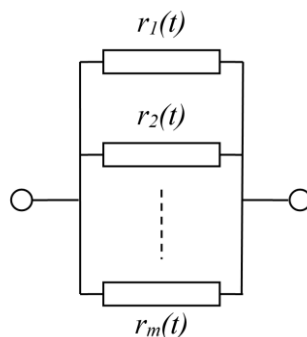


Figura 6.4 Conexiune paralelă

Starea funcțională a sistemului se leagă de starea componentelor conform relației (6.6):

$$S = x_1 \cup x_2 \cup \dots \cup x_n \quad (6.5)$$

Analiza cantitativă a fiabilității sistemului ține seama de independența defectărilor. Conform relației lui De Morgan avem:

$$\bar{S} = \overline{x_1 \cup x_2 \cup \dots \cup x_n} = \bar{x}_1 \cap \bar{x}_2 \cap \dots \cap \bar{x}_n \quad (6.6)$$

cu barele pentru operația de negare.

Stările de funcționare și de nefuncționare sunt complementare astfel încât se scriu mai întâi, pentru probabilitatea de defectare:

$$F_s(t) = \prod_{i=1}^m F_i(t) \quad (6.7)$$

Unde :

- $F_s(t)$ - probabilitatea de defectare a sistemului;
- $F_i(t)$ - probabilitatea de defectare a elementului i ;

Probabilitatea de bună funcționare (fiabilitatea), va avea expresia:

$$R_s(t) = 1 - F_s(t) = 1 - \prod (1 - R_i(t)) \quad (6.8)$$

O astfel de schemă modelează o structură redundantă, fiind folosită în situațiile în care un element este rezerva unui alt element identic.

Exemplul 6.5:

Pentru schema din Figura 6.4 se consideră ca $m=2$, adică avem două elemente legate în paralel. Se cunosc: $r_1(t) = r_2(t) = 0.9$, și se cere să se calculeze fiabilitatea sistemului.

Rezolvare:

$$R_s = 1 - (1 - r_1(t))(1 - r_2(t))$$

$$R_s = 1 - 0.1 * 0.1$$

$$R_s = 0.99$$

Cu ușurință se poate observa că $R_s >$ fiabilitatea componentelor

În Figura 6.5 este prezentată fiabilitatea unui sistem cu 1, 2, respectiv 4 componente conectate în paralel, cu rata de defectare constantă ($z_1=z_2=z_3=z_4$):

$$MTBF_s = \frac{1}{z_s} = \frac{1}{z * (1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n})} \quad (6.9)$$

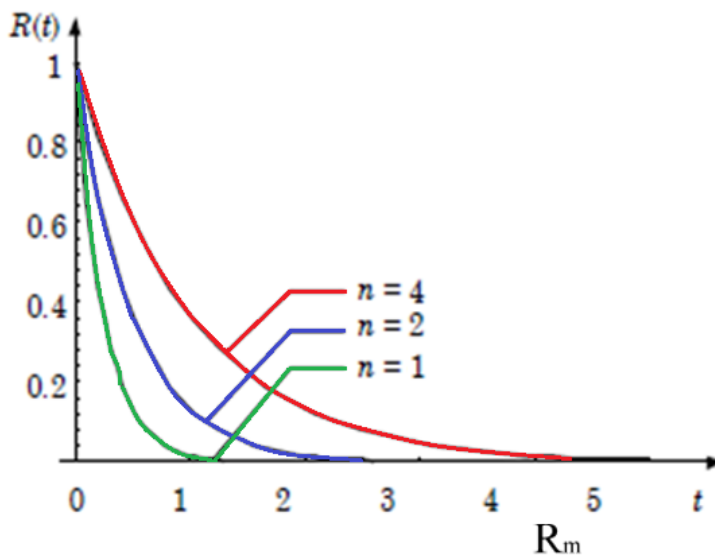


Figura 6.5 Fiabilitatea unui sistem cu componente legate în paralel

Dacă defectările bruște ale componentelor sunt independente, probabilitatea de funcționare corectă a sistemului compus este dată de:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \prod_{i=1}^m f_i(t) = 1 - \prod_{i=1}^m [1 - r_i(t)] \quad (6.10)$$

Ca atare:

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^m \left\{ 1 - \exp \left[- \int_0^t z_i(t) dt \right] \right\} \stackrel{z_i=ct}{=} 1 - \prod_{i=1}^m [1 - \exp(-z_i t)] \quad (6.11)$$

Observație:

- fiabilitatea unui ansamblu de componente conectate în paralel este mai mare decât a oricărei componente individuale

Exemplul 6.6:

Se dă sistemul ale cărui componente, din punctul de vedere al fiabilității, sunt conectate conform schemei din Figura 6.6. Se cunosc: $r_{11} = 0.85$, $r_{12} = 0.87$, $r_{13} = 0.88$; $r_{14} = 0.93$; $r_{15} = 0.89$. Să se calculeze fiabilitatea sistemului.

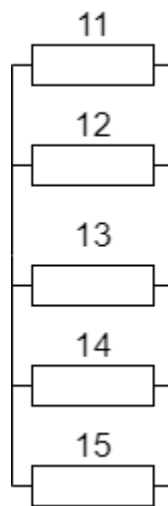


Figura 6.6 Exemplu de sistem cu componente conectate în paralel

Rezolvare:

$$R_{sistem\ paralel} = 1 - (1 - r_{11})(1 - r_{12})(1 - r_{13})(1 - r_{14})(1 - r_{15})$$

$$R_{sistem\ paralel} = 1 - (1 - 0.85)(1 - 0.87)(1 - 0.88)(1 - 0.93)(1 - 0.89)$$

$$R_{sistem\ paralel} = 1 - 0.15 * 0.13 * 0.12 * 0.07 * 0.11$$

$$R_{sistem\ paralel} = 1 - 0.000018$$

$$R_{sistem\ paralel} = 0.999982$$

D. CONEXIUNEA MIXTĂ – SERIE ȘI PARALEL

În unele sisteme, componentele apar aranjate în structuri mixte, serie și paralel asemănător cu sistemul prezentat în Figura 6.7. Fiabilitatea sistemului poate fi calculată folosind soluția pas cu pas și simplificarea treptată. Grupul de elemente dispuse în serie este înlocuit cu un singur element cu parametri de fiabilitate echivalenți. Elementele paralele pot fi înlocuite uneori și ele cu un element echivalent și așa mai departe. Situația este mai ușoară dacă nu este necesar să se ia în considerare dependența în timp a fiabilităților.

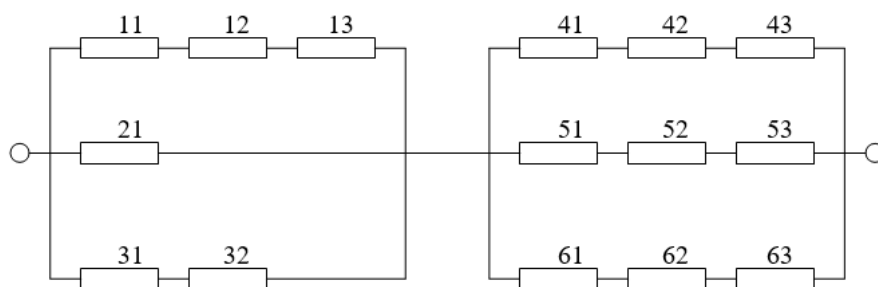


Figura 6.7 Sistem cu componente conectate în serie și paralel

Exemplul 6.7:

Pentru sistemul prezentat în Figura 6.7 se cunoaște fiabilitatea componentelor: $r_{11} = 0.85$, $r_{12} = 0.87$, $r_{13} = 0.88$, $r_{21} = 0.93$, $r_{31} = 0.89$, $r_{32} = 0.9$, $r_{41} = 0.92$, $r_{42} = 0.92$, $r_{43} = 0.92$, $r_{51} = 0.85$, $r_{52} = 0.85$, $r_{53} = 0.85$, $r_{61} = 0.91$, $r_{62} = 0.94$, $r_{63} = 0.98$ și se cere să se calculeze fiabilitatea sistemului.

Rezolvare:

Pasul 1

Se vor grupa componentele în serie R_{s1} , R_{s2} , R_{s3} , R_{s4} , R_{s5} pentru a putea fi calculate după cum se poate observa în Figura 6.6.

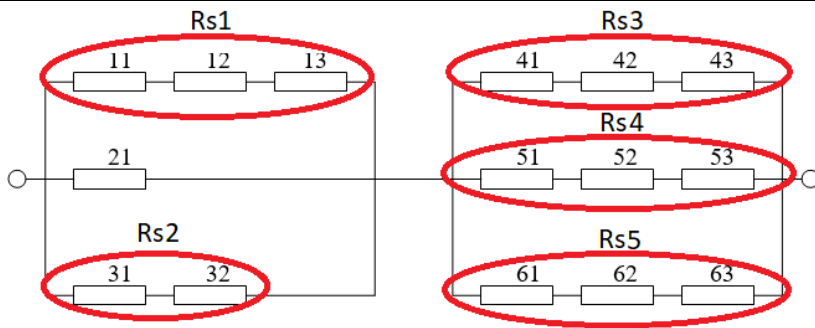


Figura 6.8 Gruparea componentelor sistemului conectate în serie

$$R_{s_1} = r_{11} * r_{12} * r_{13} = 0.85 * 0.87 * 0.88 = 0.65076$$

$$R_{s_2} = r_{31} * r_{32} = 0.89 * 0.90 = 0.801$$

$$R_{s_3} = r_{41} * r_{42} * r_{43} = 0.92 * 0.92 * 0.92 = 0.778688$$

$$R_{s_4} = r_{51} * r_{52} * r_{53} = 0.85 * 0.85 * 0.85 = 0.614125$$

$$R_{s_5} = r_{61} * r_{62} * r_{63} = 0.91 * 0.94 + 0.98 = 0.838292$$

Pasul 2

După calcularea tuturor componentelor seriale după cum se poate observa mai sus vom calcula componentele în paralel Rp1, Rp2 mai exact cele 2 părți ale problemei.

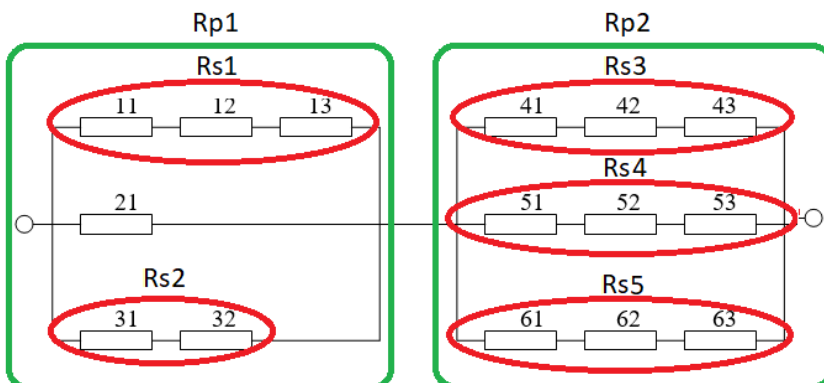


Figura 6.9 Grupare componente sistem paralel

$$\begin{aligned}
 R_{P_1} &= 1 - (1 - R_{S_1})(1 - r_{21})(1 - R_{S_2}) \\
 &= 1 - (1 - 0.65076)(1 - 0.93)(1 - 0.801) \\
 &= 1 - 0.34924 * 0.07 * 0.199 = 1 - 0.0048649132 \\
 &= 0.9951350868
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{P_2} &= 1 - (1 - R_{S_3})(1 - R_{S_4})(1 - R_{S_5}) \\
 &= 1 - (1 - 0.778688)(1 - 0.614125)(1 - 0.838292) \\
 &= 1 - 0.221312 * 0.385875 * 0.161708 \\
 &= 1 - 0.013809 = 0.986191
 \end{aligned}$$

Pasul 3

O dată ce cele 2 valori Rp1 respectiv Rp2 au fost calculate vom calcula seria formată de acele două valori, astfel încât vom primi ca rezultat fiabilitatea întregului sistem.

$$R_{sistem} = R_{P_1} * R_{P_2}$$

$$R_{sistem} = 0.9951350868 * 0.986191$$

$$R_{sistem} = 0.981393$$

Din nefericire, dacă fiabilitatea este caracterizată de intensitatea de defectare, pentru sistemele cu conexiuni paralele aceasta nu este constantă și nu există soluții analitice simple și precise, ci doar aproximative pentru calcularea fiabilității întregului sistem.

Exemplul 6.8:

Se dă sistemul din Figura 6.10 pentru un sistem combinat serie-paralel. Se presupune că componentele sunt independente, iar probabilitatea de defecțiune a acestora este: $F_1 = 0.08$, $F_2 = 0.3$, $F_3 = 0.20$, respectiv $F_4 = 0.1$.

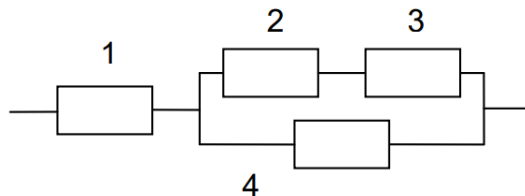


Figura 6.10 exemplu de sistem combinat serie-paralel

Se cere să se calculeze probabilitatea de defectare a sistemului și probabilitatea de bună funcționare a acestuia.

Rezolvare:

Pasul 1

Se va calcula fiabilitatea elementelor 2 și 3 conectate în serie.

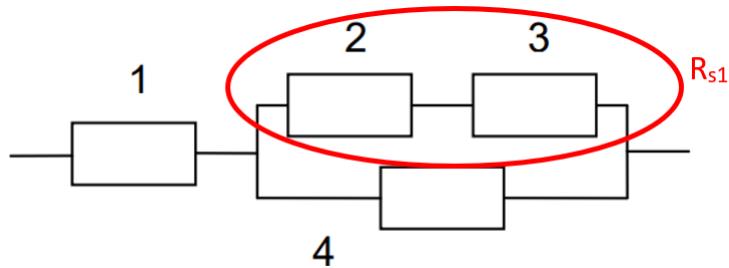


Figura 6.11 Gruparea componentelor sistemului conectate în serie

$$R_{S_1} = R_1 * R_2 = (1 - F_2) * (1 - F_3) = (1 - 0.3)(1 - 0.2) = 0.56$$

$$\Rightarrow$$

$$F_{S_1} = 1 - R_{S_1} = 0.44$$

Pasul 2

Se va calcula fiabilitatea elementelor conectate în paralel, după cum este exemplificat în Figura 6.12

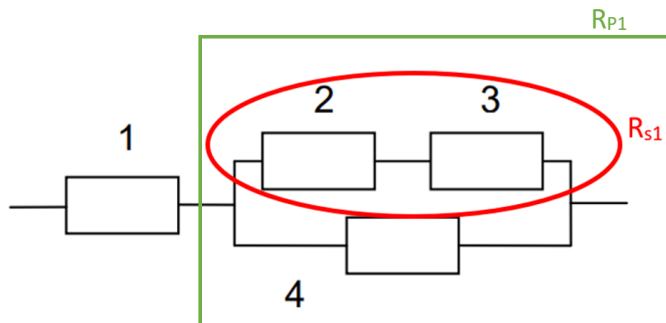


Figura 6.12 Grupare componente sistem paralel

$$R_{P_1} = 1 - (1 - R_{S_1})(1 - R_4) = 1 - (1 - 0.56)(1 - 1 - 0.1) =$$

$$= 0.956$$

Pasul 3

La final se calculează conexiunea serie dintre componenta 1 și R_{P_1} .

$$R_{sistem} = R_1 * R_{P_1}$$

$$R_{sistem} = (1 - 0.08) * 0.956$$

$$R_{sistem} = 0.87952$$

E. CONEXIUNI COMPLEXE

Există însă sisteme care nu sunt nici serie, nici paralel, nici serie-paralel și nici paralel-serie. Aceasta se întâmplă când variabila booleană asociată stării de funcționalitate a unui subsistem apare în doi sau mai mulți termeni (factori) cum ar fi în cazul:

$$S = [x_1(x_2 \cup x_3)] \cup [x_3(x_4 \cup x_5)] \quad (6.12)$$

unde x_3 apare mai mult decât o dată.

În principiu orice funcție booleană poate exprima structura unui sistem. Există însă sisteme așa-zis coerente pentru care performanțele sunt cu atât mai bune cu cât sunt active (în bună stare de funcționare) mai multe subsisteme componente.

$$(x_1, x_2, \dots, x_n)_i \geq (x_1, x_2, \dots, x_n)_j \Rightarrow (\phi)_i \geq (\phi)_j \quad (6.13)$$

Semnul de inegalitate trebuie înțeles ca aplicat tuturor componentelor vectorilor binari comparați. De reținut un detaliu: nu toate sistemele reale sunt coerente!

O metodă de tratare generală se bazează pe formula probabilității totale. Pentru aceasta variabilă (variabilele) care se repetă în funcția de structură sunt făcute pe rând 1 și 0. Prin această comutare, funcția booleană care leagă starea funcțională a sistemului de starea componentelor ar putea fi adusă de fiecare dată la una din formele serie-paralel sau paralel-serie. Dacă acesta este cazul, formele acestea permit calculul unor probabilități condiționate și apoi al funcției de fiabilitate generale, prin evaluarea probabilității totale. În etape, se evaluează:

$$S / (x_j = 1) = \phi(x_1, x_2, \dots, x_{j-1}, 1, x_{j+1}, \dots, x_n) \quad (6.14)$$

apoi

$$S / (x_j = 0) = \phi(x_1, x_2, \dots, x_{j-1}, 0, x_{j+1}, \dots, x_n) \quad (6.15)$$

și în final:

$$\begin{aligned}
 R_S &= P(S = 1) = P(S = 1/x_j = 1)P(x_j = 1) \\
 &\quad + P(S = 1/x_j = 0)P(x_j = 0) \\
 &= \frac{RS}{jR_j} + \frac{RS}{j}(1 - R_j)
 \end{aligned} \tag{6.16}$$

cu notații evidente. Dacă sistemul cu x_j fixat succesiv la valorile 0 sau 1 nu este combinație de structuri serie și paralel atunci se aplică metoda probabilității totale încă o dată. Dacă structura rezultată prin atribuirea $x_j = 0$ nu este de un tip simplu de tratat, atunci:

$$R_{S/j} = R_{S/j \cap k} R_k + R_{S/j \cap \bar{k}} (1 - R_k) \tag{6.17}$$

Metoda probabilității totale permite evaluarea cu ușurință a așa-ziselor ponderi ale fiecărui subsistem în funcționarea sistemului definite și notate astfel.

$$\frac{\partial R_S}{\partial R_j} = R_{S/j} - R_{S/\bar{j}} \tag{6.18}$$

Exemplul 6.9:

Fie o rețea de comunicații care conectează patru localități prin linii directe între fiecare două localități din sistem, linii permeabile în ambele sensuri. Dată fiind structura rețelei, transmiterea informației între două localități se poate face pe mai multe rute (Figura 6.13).

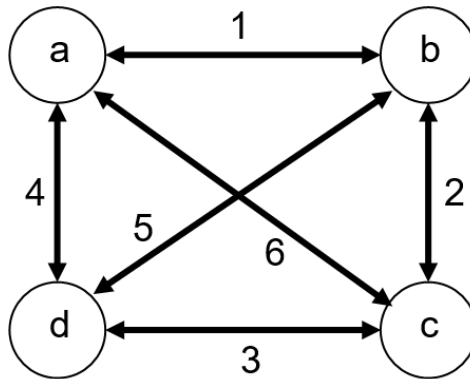


Figura 6.13 Rețeaua de comunicații dintre 4 localități; Starea de funcționare

De pildă, legătura de la orașul (a) la orașul (b) se poate face fie direct, fie pe trasee care includ alte localități. Funcția:

$$S = x_1 \cup x_2x_6 \cup x_4x_5 \cup x_2x_3x_4 \cup x_3x_5x_6 \quad (6.19)$$

exprimă posibilitatea ($S = 1$) sau imposibilitatea ($S = 0$) de a conecta cele două localități. Variabilele binare x_i ($i = 1, 2, \dots, 6$) exprimă starea de funcționare sau nefuncționare a liniilor din Figura 6.13.

Sistemul nu este reducibil la structuri serie și paralel (Figura 6.14). Variabila x_3 , de pildă, se repetă

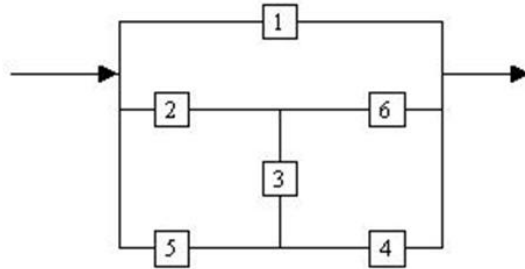


Figura 6.14 Graful de funcționare

și atunci :

$$\begin{aligned} S_{/(x_3=1)} &= x_1 \cup x_2x_6 \cup x_4x_5 \cup x_2x_4 \cup x_5x_6 \\ &= x_1 \cup [(x_2 \cup x_5)(x_4 \cup x_6)] \end{aligned} \quad (6.20)$$

ceea ce se întâmplă când circuitul (3) este un scurtcircuit și :

$$S_{/(x_3=0)} = x_1 \cup x_2x_6 \cup x_4x_5 \quad (6.21)$$

pentru o întrerupere pe același circuit.

Fiabilitățile condiționate sunt:

$$\begin{aligned} R_{S/3} &= 1 - (1 - R)\{1 - [1 - (1 - R)^2]^2\} \\ &= -R^5 + 5R^4 - 8R^3 + 4R^2 + R \end{aligned} \quad (6.22)$$

$$\begin{aligned} R_{S/3} &= 1 - (1 - R)(1 - R^2)^2 \\ &= R^5 - R^4 - 2R^3 + 2R^2 + R \end{aligned} \quad (6.23)$$

și prin formula probabilității totale se obține fiabilitatea sistemului:

$$(6.24)$$

$$R_S = R_{S/3}R + R_{S/3}(1 - R) \\ = -2R^6 + 7R^5 - 7R^4 + 2R^2 + R$$

Ponderea pentru elementul (3) este:

$$\frac{\partial R_S}{\partial R_3} = -2R_5 + 6R_4 - 6R_3 + 2R_2 = 2R_2(1 - R)_3 \quad (6.25)$$

Pentru simplitate, s-a considerat că fiabilitatea oricărei linii la momentul reținut pentru evaluări este R.

Exemplul 6.10:

Dacă structura sistemului este mai complicată (Figura 6.16), calculele pot deveni la rândul lor foarte complicate. În asemenea situații se pot stabili limitele superioară și inferioară pentru fiabilitatea sistemului.

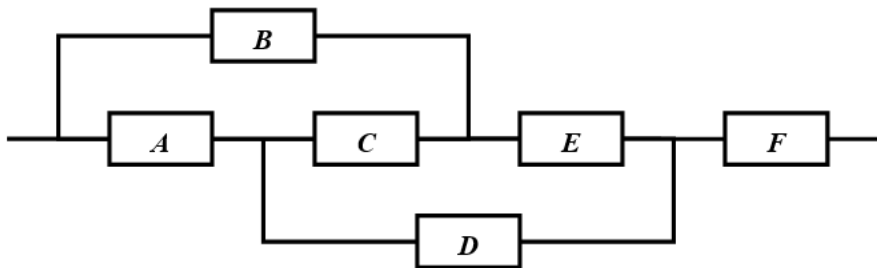


Figura 6.15 Structura unui sistem complex

O margine superioară este:

$$R_{\text{sistem}} \leq 1 - \prod (1 - R_{\text{calea } i}) \quad (6.26)$$

unde $R_{\text{calea } i}$ este fiabilitatea subsistemului alcătuit din modulele serie de pe calea i . În produsul din formulă apar factori asociați tuturor căilor paralele. Pentru sistemul exemplificat imediat mai sus: căile care fac sistemul funcțional sunt în număr de trei, $A-D-F$, $B-E-F$ și $A-C-E-F$. Astfel, fiabilitatea sistemului este:

$$R_{\text{sistem}} \leq 1 - (1 - R_A R_D R_F)(1 - R_B R_E R_F)(1 - R_A R_C R_E R_F) \quad (6.27)$$

În particular, dacă $R_A = R_B = R_C = R_D = R_E = R_F = R$ atunci:

$$R_{\text{sistem}} \leq R_3(R_7 - 2R_4 - R_3 + R + 2) \quad (6.28)$$

Marginea inferioară a fiabilității se calculează pe baza așa-numitelor mulțimi de tăietură minimă a diagramei-graf a sistemului. O mulțime de tăietură minimă este o listă minimală de module constituită astfel încât eliminarea (datorată defectării) a tuturor modulelor din acea listă să facă sistemul disfuncțional. În cazul în discuție, mulțimi de tăietură minimală sunt {F}, {A, B}, {A, E}, {D, E} și {B, C, D}.

Marginea inferioară a fiabilității sistemului din exemplul dat este partea dreaptă a inegalității:

$$R_{\text{sistem}} \geq R_{\text{tăietura } i} = \prod (1 - F_{\text{tăietura } i}) \quad (6.29)$$

unde $F_{\text{tăietura } i} = \prod F_{\text{modul } i}$

cu $F_{\text{tăietura } i}$ probabilitatea ca modulele j din tăietura minimă i să fie toate defecte. În particular, dacă $R_A = R_B = R_C = R_D = R_E = R_F = R$, atunci:

$$R_{\text{sistem}} \geq R^5(24 - 60R + 62R^2 - 33R^3 + 9R^4 - R^5) \quad (6.30)$$

BIBLIOGRAFIE

1. ISO/IEC 25010: {ISO}/{IEC} 25010:2011, *Systems and software engineering — Systems and Software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models*, 2011
2. K.I. Strandberg: *International Standardization of Reliability and Maintainability Terminology*, 3rd International Conference on Reliability and Maintainability, Toulouse, 18-21, October, 1982.
3. V.A. Netes, *New International standard for dependability*, Dependability. 2016, No. 3, P.54-58
4. G.A. Bogdanova, V.A. Netes, *IEC/TC 56: standardization for dependability*, Quality Management Methods, 2009, No. 5
5. IEC 60050-192:2015 - *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Part 192: Dependability*
6. A. Avizienis, J.C. Laprie, B. Randell, C. Landwehr, *Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing*, Ieee Transactions On Dependable And Secure Computing, Vol. 1, No. 1, 2004
7. V. Monev, *Defining and Applying Information Security Goals for Blockchain Technology*, 2020 International Conference on Information Technologies (InfoTech), 2020, pp. 1-4
8. O.P. Stan, S. Enyedi, C. Corches, S. Flonta, I. Stefan, D. Gota, L. Miclea, *Method to Increase Dependability in a Cloud-Fog-Edge Environment*, Sensors, 2021, 21(14):4714.
9. P.C. Rangarajan, F. Khendek, M. Toeroe, *Managing the availability of VNFs with the availability management framework*. 13th International Conference on Network and Service Management (CNSM), 26-30 Nov. 2017, Tokyo, Japan
10. Y. Alahmad, T. Daradkeh, A. Agarwal, *Availability-Aware Container Scheduler for Application Services in Cloud*, IEEE 37th International Performance Computing and Communications Conference (IPCCC), 2018, pp. 1-6

11. M. Niall, B. Treynor, *Google: Site Reliability Engineering*, Disponibil online: <https://sre.google/in-conversation/>, accesat în 14.12.2021
12. R. Arno, P. Gross, R. Schuerger, *What Five 9's Really Means and Managing Expectations*, Conference Record of the 2006 IEEE Industry Applications Conference Forty-First IAS Annual Meeting, 2006, pp. 270-275
13. N. Golafshani, *Understanding reliability and validity in qualitative research*, The Qualitative Report, 8(4), 597-606. Disponibil online: <http://www.nova.edu/ssss/QR/QR8-4/golafshani.pdf>, accesat în 12.12.2021
14. B. Muhammad, T.A. Muhammad, A. Muhammad, *Reliability and Validity of Qualitative and Operational Research Paradigm*, Pakistan Journal of Statistics and Operation Research, 2008, Vol.IV, No.1, pp35-45
15. I. Hill, P. Chanawala, R. Singh, S. A. Sheikholeslam, A. Ivanov, *CMOS Reliability from Past to Future: A Survey of Requirements, Trends, and Prediction Methods*, in IEEE Transactions on Device and Materials Reliability, 30 Nov. 2021
16. C. Pan, M. Lu, H. Zhang B. Xu, *Qualitative Software Reliability Requirements: Concept, Classification and Practical Elicitation Methods*, IEEE International Conference on Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C), 2018, pp. 164-171
17. S. Jiao, L. Shen ,X. Chen, *Research of qualitative evaluation method of the reliability*, Proceedings of 2011 9th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety, 2011, pp. 36-40, 12 August 2011, Guiyang, China
18. L. Chen, X. Yi, P. Lu, T. Ma, P. Hou, *Quantitative reliability analysis method for power systems with multi-level standby structure based on GO method*, 2017 Second International Conference on Reliability Systems Engineering (ICRSE), 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICRSE.2017.8030765.
19. N. Yakymets, M. Adedjouma, *Model-based Quantitative Fault Tree Analysis based on FIDES Reliability Prediction*, 2020 IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops (ISSREW), 2020, pp. 161-162, doi: 10.1109/ISSREW51248.2020.00062.

20. L. Ye, D. Zhao, J. Xiang, L. Carnevali, E. Vicario, *Quantitative Analysis of the Dynamic Relevance of Systems*, IEEE Transactions on Reliability, vol. 70, no. 1, pp. 82-98, March 2021, doi: 10.1109/TR.2020.2965618.
21. W. Dargie, *A Quantitative Measure of Reliability for Wireless Sensor Networks*, IEEE Sensors Letters, vol. 3, no. 8, pp. 1-4, Aug. 2019, doi: 10.1109/LSENS.2019.2931888.
22. F. De Carlo, *Reliability and Maintainability in Operations Management*, in Operations Management. London, United Kingdom: IntechOpen, 2013 [Online]. Available: <https://www.intechopen.com/chapters/41421> doi: 10.5772/54161
23. M.H. Nguyen, S. Kwak, *Enhance Reliability of Semiconductor Devices in Power Converters*, Electronics 2020, 9, 2068. <https://doi.org/10.3390/electronics9122068>
24. H. Ooghe, S. De Prijcker, *Failure processes and causes of company bankruptcy: a typology*, Management Decision, 2008, Vol. 46 No. 2, pp. 223-242. <https://doi.org/10.1108/00251740810854131>
25. IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology, in IEEE Std 610.12-1990, 31 Dec. 1990, doi: 10.1109/IEEESTD.1990.101064.
26. Aaron Estes, *Biba Integrity Model*, In van Tilborg H.C.A., Jajodia S. (eds) Encyclopedia of Cryptography and Security. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5906-5_774
27. J. Hessburg, *Maintainability and Maintenance. In: Reliability, Maintenance and Logistic Support*. Springer, Boston, MA, 2000, https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4655-9_5
28. E. G. Bishard, A. A. Minina, *Automated calculation of reliability indicators*, 2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 2017, pp. 641-644, doi: 10.1109/SCM.2017.7970674.
29. F. Ismagilov, V. Vavilov, R. Karimov, O. Yushkova, A. Timofeev, *Design Reliability Indicators Enhancement on the Example of an Aircraft Air Pressure Control System Electric Drive*, 2021 28th International Workshop on Electric Drives: Improving Reliability of Electric Drives (IWED), 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/IWED52055.2021.9376392.

30. Z. Wang, R. Kang, L. Xie, *Failure rate model of components with the number of load application as life parameter*, 2009 8th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety, 2009, pp. 241-244, doi: 10.1109/ICRMS.2009.5270201.
31. Z. Vintr , M. Vintr, *An assessment of mean time between failures for a group of rolling bearings*, 2011 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering, 2011, pp. 177-181, doi: 10.1109/ICQR2MSE.2011.5976592.
32. Y. -g. Kwak, D. -h. Heo, B. -H. Lee, F. -s. Kang, *Failure-rate Comparison of Single-ended and Double-ended Forward Converter by means of Fault-tree Analysis*, 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 2020, pp. 707-711, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152405.
33. S. W. Ferguson, M. C. Jackson, D. B. Seilhymer, *Mean time between failures (MTBF) and availability of the gyrotron system used on the microwave tokamak experiment at Lawrence Livermore National Laboratory*, 15th IEEE/NPSS Symposium. Fusion Engineering, 1993, pp. 1115-1117 vol.2, doi: 10.1109/FUSION.1993.518519.
34. Miguel, L.F., Henryk, F., Gianluca, F., Wil, K., Joao, P.L., *Reliability Analyses on Distribution Networks with Dispersed Generation - a Review of the State of the Art*, 2010.
35. M. J. Zuo, Renyan Jiang, R. C. M. Yam, *Approaches for reliability modeling of continuous-state devices*, in IEEE Transactions on Reliability, vol. 48, no. 1, pp. 9-18, March 1999, doi: 10.1109/24.765922.
36. Paulina Golińska, Arkadiusz Kawa, *Technology Management for Sustainable Production and Logistics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015, ISSN2193-4614
37. M. Hafidz Omar, *Statistical Process Control Charts for Measuring and Monitoring Temporal Consistency of Ratings*, Journal of Educational Measurement, Vol. 47, no. 1, 2010

