

LUCRARE DE LABORATOR

**Influența solicitărilor și a mediului ambiant  
asupra ratei defectărilor componentelor electronice**

**1. Scopul lucrării**

Studiul influenței solicitărilor și a mediului ambiant asupra ratei defectărilor componentelor electronice.

**2. Noțiuni teoretice**

Rata (intensitatea) defectărilor este modelată folosind legea lui Arrhenius și depinde de:

- solicitările electrice;
- solicitările mecanice;
- solicitările termice.

S-a stabilit următoarea *relație generală*, care aproximează în bune condiții legătura dintre rata defectărilor pentru o componenta și nivelul de solicitare:

$$\lambda = \lambda_r + \left( \sum_{i=1}^m A_i \right) \cdot \exp\left(-\frac{B}{T}\right) \quad (1)$$

unde:  $\lambda_r$  - rata de defectare care nu este sensibilă la temperatură sau alte solicitări;  
 $A_i$  = coeficienți de tip Arrhenius, care evidențiază suprapunerea efectelor temperaturii și altor solicitări;

În cazul elementelor sensibile la temperatură și solicitări electrice, se obține o bună aproximație cu rezultatele experimentale considerând  $m = 2$  și:

$$\sum_{i=0}^2 A_i = \lambda_0 + \lambda_1 K + \lambda_2 K^n \quad (2)$$

unde:  $\lambda_0$  = rata de defectare sensibilă la temperatură, dar nu este sensibilă la alte solicitări;

$\lambda_1, \lambda_2$  = coeficienți care evidențiază contribuția solicitărilor electrice;

$K$  = raportul dintre solicitarea electrică de lucru și solicitarea electrică maximă prescrisă, iar  $n > 1$ .

Ținând cont de relația (2), relația (1) devine:

$$\lambda = \lambda_r + (\lambda_0 + \lambda_1 K + \lambda_2 K^n) \cdot \exp\left(-\frac{B}{T}\right) \quad (3)$$

Relația (2) reprezintă un model matematic general, care are în vedere similitudinea comportării componentelor electronice în timp și sub influența temperaturii și solicitării electrice.

$$B = \frac{Q_a}{k}$$

$Q_a$  = energia de activare a mecanismului de defectare;

$k$  = constanta Boltzmann =  $1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K

## 2.1. Rata defectărilor pentru rezistoare

Rezultatele din exploatare au evidențiat faptul că, deși legea lui Arrhenius este considerată aplicabilă în cazul rezistoarelor, se obțin rezultate bune dacă se folosește un model matematic ce aproximează log-liniar această lege, potrivit căruia rata de defectare a rezistoarelor se dublează pentru fiecare creștere a temperaturii mediului ambiant cu o anumită valoare  $\Delta\theta_R$  (caracteristica tipului de rezistor).

Exemplu: pentru **rezistoarele cu peliculă de carbon**, pe baza datelor experimentale rezultă:

$$\Delta\theta_R = 27,5^\circ \text{ grade C}; \lambda_r = 0,2 \cdot 10^{-9} \text{ ore}^{-1}; \lambda_0 = \lambda_1 = 0; \lambda_2 = 4,8 \cdot 10^{-9} \text{ ore}^{-1} \text{ și}$$

$n = 2$ , ceea ce conduce la:

$$\lambda_R = 0,2 + 4,8 \cdot K^2 \cdot 2^{\frac{\Theta - 30}{27,5}} \quad (4)$$

și  $K = \frac{P_d}{P_{\max}}$ ;  $P_d$  = putere disipată de rezistor în condiții reale de lucru,

$P_{\max}$  = putere disipată maximă prevăzută în specificații pentru acest tip de rezistor.

$K$  = raport între solicitarea electrică de lucru și solicitarea electrică maximă prescrisă (pentru rezistor).

Pe baza relației (4) a fost trasată familia de curbe care dau dependența ratei de defectare a **rezistoarelor cu pelicula de carbon** în funcție de solicitările electrice și termice.

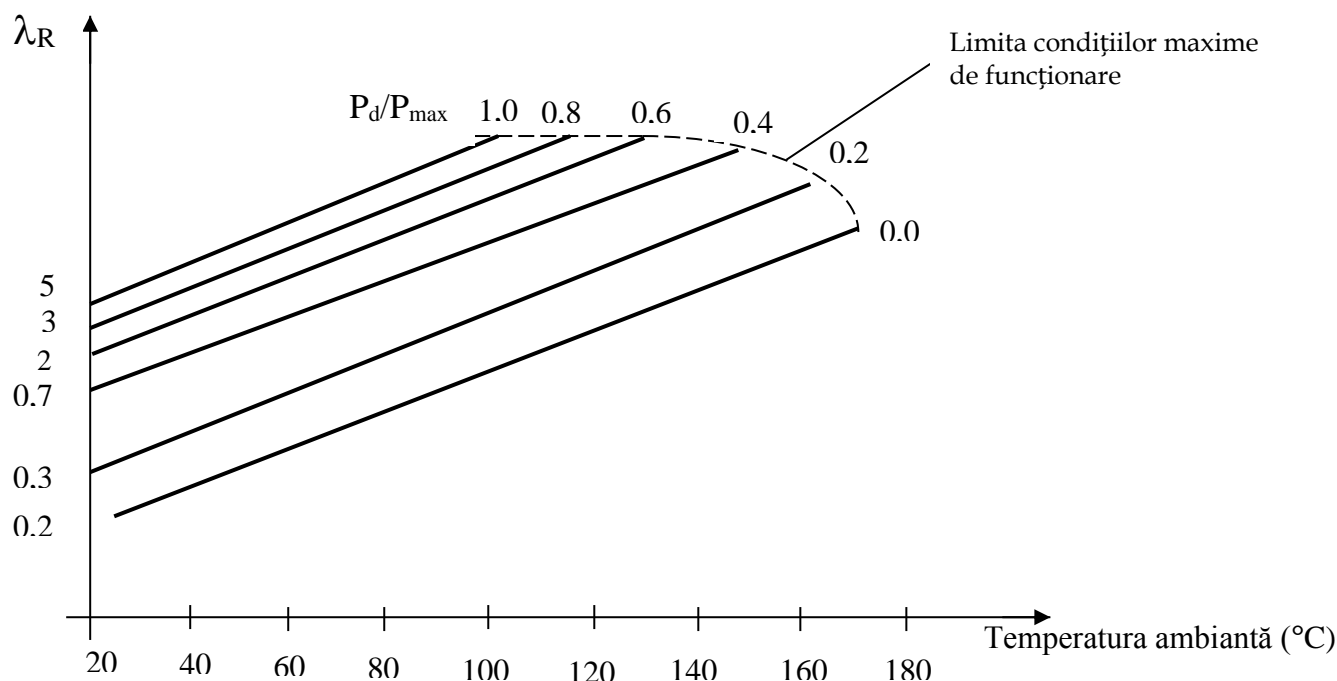


Fig. 1 Variația ratei de defectare a rezistoarelor cu peliculă de carbon în funcție de solicitările electrice și termice

În Fig.1 s-a reprezentat prin linie întreruptă limita condițiilor maxime de lucru, care se extinde de la intersecția curbei pentru  $P_d/P_{\max} = 0$  cu ordonata de  $165^\circ \text{ C}$ . Rezultă că la solicitarea electrică maximă a rezistorului ( $P_d = P_{\max}$ ) temperatura de lucru se va reduce la  $70^\circ \text{ C}$ , la solicitare nulă. Asemănător se pot trasa familii de curbe de solicitare și pentru alte categorii de rezistoare; aceste curbe sunt date în cataloagele și normativele specializate fiind utilizate în calculele de fiabilitate previzională.

Expresia generală, în cazul predicției (conform MIL-HDBK-217) care se recomandă în cazul rezistoarelor, este :

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_P \pi_S \pi_Q \pi_E \times 10^{-6} \text{ defectari/ore} \quad (5)$$

unde:

$\lambda_p$  – rata de defectare în condiții preconizate de funcționare pentru componenta analizată;

$\lambda_b$  – rata de defectare de bază (cunoscută), din standard;

$\pi_E$  – factorul de ajustare referitor la mediu, care ține cont de influența mediului, alta decât temperatura (se referă la condițiile de operare, cum ar fi: vibrația, umiditatea etc.);

$\pi_T$  – factorul de corecție de temperatură, din standard;

$\pi_Q$  – factorul de corecție în calitate (este folosit pentru a lua în considerare gradul de control al fabricației sub care componenta a fost fabricată și testată înainte de a fi expediată);

$\pi_P$  – factori de putere, din standard;

$\pi_S$  – factori de stres, din standard;

Factorul de temperatură ( $\pi_T$ ) se calculează după următoarea formulă:

$$\pi_T = \exp \left( \frac{-Ea}{8,617 \times 10^{-5} \left( \frac{1}{T + 273} - \frac{1}{298} \right)} \right) \quad (6)$$

unde:

$Ea=0,2$  (vezi MIL-HDBK-217);

$Ea=0,08$  (vezi MIL-HDBK-217).

$T$  – Temperatura carcasei rezistorului. Poate fi aproximată ca fiind temperatura ambiantă a componentei pentru puteri disipate mici.

## 2.2. Rata defectărilor pentru condensatoare

În cazul condensatoarelor rata defectărilor se calculează după următoarea formulă (conform MIL-HDBK-217):

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_C \pi_V \pi_{SR} \pi_Q \pi_E \times 10^{-6} \text{ defectari/ore} \quad (7)$$

unde:

$\lambda_p$  – rata de defectare în condiții preconizate de funcționare pentru componenta analizată;

$\lambda_b$  – rata de defectare de bază (cunoscută), din standard;

$\pi_E$  – factorul de ajustare referitor la mediu, care ține cont de influența mediului, alta decât temperatura (se referă la condițiile de operare, cum ar fi: vibrația, umiditatea etc.);

$\pi_T$  – factorul de corecție de temperatură, din standard;

$\pi_Q$  – factorul de corecție în calitate (este folosit pentru a lua în considerare gradul de control al fabricației sub care componenta a fost fabricată și testată înainte de a fi expediată);

$\pi_{SR}$  – factori modelare componenta rezistivă (series resistance factor);  $\pi_{SR} = 1$ .

$\pi_V$  – factori de solicitare tensiune (voltage stress factor), din standard;

Aproximația matematică log-liniară pentru relația lui Arrhenius prezintă de asemenea interes în gama de temperaturi, potrivit căreia rata de defectare se dublează la fiecare creștere a temperaturii mediului ambiant cu o anumită valoare  $\Delta\theta_c$ , caracteristică fiecărui tip de condensator.

De aceea, pentru determinarea curbelor care dau variația ratei defectărilor condensatoarelor, în funcție de solicitări, se poate utiliza o relație de forma:

$$\lambda_c = \lambda_r + \left( \sum_{i=0}^2 A_i \right) 2^{\frac{\Theta-30}{\Delta\theta_c}} \quad (8)$$

unde:  $\lambda_c$  – rata de defectare a condensatorului în condiții de solicitare;

$\Delta\theta_c$  - creșterea temperaturii mediului ambiant pentru care se dublează rata de defectare a condensatorului;

### 2.3. Rata defectărilor pentru tranzistoare

În cazul tranzistoarelor de tip NPN și PNP (frecvența < 200MHz), rata defectărilor se calculează după următoarea formulă (conform MIL-HDBK-217):

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_R \pi_S \pi_Q \pi_E \times 10^{-6} \text{ defectari / ore} \quad (9)$$

unde:

$\lambda_p$  – rata de defectare în condiții preconizate de funcționare pentru componenta analizată;

$\lambda_b$  – rata de defectare de bază (cunoscută), din standard;

$\pi_T$  – factorul de corecție de temperatură, din standard;

$\pi_A$  – factorul ce depinde de domeniul de aplicare a tranzistorului (ca amplificator liniar);

$\pi_R$  – factorul de putere nominală, din standard;

$\pi_S$  – factori de stres, din standard;

$\pi_Q$  – factorul de corecție în calitate (este folosit pentru a lua în considerare gradul de control al fabricației sub care componenta a fost fabricată și testată înainte de a fi expediată);

$\pi_E$  – factorul de ajustare referitor la mediu, care ține cont de influența mediului, alta decât temperatura (se referă la condițiile de operare, cum ar fi: vibrația, umiditatea etc.);

**Valori ale coeficientului de corecție  $K_m$  pentru diferite condiții de utilizare a componentelor electronice**

Condiții de utilizare a componentei	$K_m$
Încăperi amenajate și laboratoare	1
Instalații staționare, la sol	16
Aparatura montată pe nave în compartimente protejate	28
Aparatura dispusă pe platforme de cale ferată	50
Aparatura alpină	90
Aparatura de bord montată pe avioane	120
Aparatura de bord montată pe rachete moderne puternice	500

**Funcția de fiabilitate** pentru componentele electronice se calculează cu relația:

$$R(t) = e^{-\lambda_p t} \quad (10)$$

**Media timpului de bună funcționare** pentru componentele electronice se calculează cu relația:

$$MTBF = \frac{1}{\text{Rata de defectare}} = \frac{1}{\lambda_p} \quad (11)$$

**Bibliografie:**

1. <https://www.quanterion.com/wp-content/uploads/2014/09/MIL-HDBK-217F.pdf>

### 3. Desfășurarea lucrării

Se va analiza fiabilitatea a două tipuri de componente electronice:

- rezistor cu peliculă de carbon;
- condensator ceramic.

Se consideră că aceste componente funcționează în 3 medii diferite:

- a) condiții de laborator și încăperi amenajate (temperatura mediului ambiant: 20 °C);
- b) mediul aerian (la o temperatură de 40 °C);
- c) mediul naval (la o temperatură de 60 °C).

Se va accesa [www.sqconline.com](http://www.sqconline.com) (meniul Reliability -> MIL-HDBK-217). Standardul MIL-HDBK-217: *Predicția fiabilității componentelor electronice prezintă modele de predicție a ratelor de defectare a componentelor, care au fost obținute dintr-o colectare a datelor pe scară largă și activități de analiză, moduri de defectare și fizica studiilor de defectare.*

**3.1.** Pentru cele două tipuri de componente pasive se va completa un tabel ca mai jos, în care se vor introduce valorile calculate ale  $\lambda_p$  (rata de defectare previzională) din meniul *Resistor MTBF*, respectiv *Capacitor MTBF* (sugestie: se poate utiliza Microsoft Excel sau alt program de calcul tabelar pentru efectuarea calculelor și trasarea graficelor de la următorul punct).

Mediul de funcționare	Temperatura (°C)	$\lambda_p$	
		Rezistor	Condensator
Laborator	20		
Aerian	40		
Naval	60		

Specificațiile celor două tipuri de componente se pot lua la alegere (același tip de componentă se va compara în cele 3 medii de funcționare) sau se pot folosi:

- Resistor Style: fixed, film; quality style R, Actual Power Dissipation (Watts) 0,5W, Rated Power (Watts) 1W;
- Capacitor Style: fixed, ceramic; capacitance 1 $\mu$ F, Capacitor Rated Power (V) 1V, Applied (Operating) Power (V) 5V, Effective Resistance Between Capacitor and Power Supply ( $\Omega$ ) 100.

Mediul de funcționare (*Environment*): se va alege succesiv GB (Ground, Benign) / Naval, Sheltered / Airborne, Inhabited, Fighter.

**3.2.** Se vor trasa 2 grafice (unul pentru rezistor și unul pentru condensator) în care se vor prezenta comparativ evoluțiile funcției de fiabilitate în cele 3 condiții de funcționare date mai sus, pentru un interval de 1000 de ore de funcționare. Funcția de fiabilitate se va calcula cu relația (10), în care  $\lambda_p$  a fost calculat la punctul 3.1.

Timp (ore)	Funcția de fiabilitate					
	Rezistor			Condensator		
	Laborator	Aerian	Naval	Laborator	Aerian	Naval
100						
200						
300						
400						
500						
600						
700						
800						
900						
1000						

**3.3.** Comentați rezultatele.

**3.4.** Analizați cum se modifică rata defectărilor în cazul modificării unor parametri, la alegere - exemplu: reducerea temperaturii de funcționare la 30°C, creșterea nivelului de calitate a produsului (established quality) etc.

Suplimentar (bonus):

**3.5.** Se vor prezenta modelele matematice și se vor calcula ratele de defectare (în condiții electrice, termice și mecanice favorabile, respective nefavorabile) pentru cel puțin două categorii de componente active (exemplu: diode, circuite integrate) folosind *RDF 2000 : RELIABILITY DATA HANDBOOK. A universal model for reliability prediction of Electronics components, PCBs and equipment.*

**3.6.** Folosind RDF 2000 se va analiza și modelul ratei defectărilor pentru o componentă complexă (de exemplu un circuit hibrid).