

Testes Acelerados de Confiabilidade

Definição:

Testes Acelerados de Confiabilidade consistem na exposição de componentes/sistemas a cargas de stress suficientes para reduzir seu tempo-médio-até-falha (MTTF) à níveis aceitáveis.

O engenheiro(a), então, usará a informação obtida para o comp/sistema sob stress acelerado para prever seu comportamento mediante condições normais de operação.

Variáveis (ou Fatores) de Stress

- Variáveis de stress a serem usadas dependem do tipo de comp/sistema.
- Variáveis comuns são: temperatura, pressão, voltagem, carga e vibração.
- Variáveis de stress são designadas por s_j ($j=1, \dots, m$).
- Em um teste, pode-se ter até m var. de stress, cada uma atuando em n_j níveis.

Modelos para Dados Acelerados de Falha

Três modelos p/ relacionar dados acelerados de falha à medidas de confiabilidade sob condições normais de operação:

- A. Modelos Estatísticos (paramétricos);
- B. Modelos Físico-Estatísticos;
- C. Modelos Físico-Experimentais.

Suposições comuns a todos os modelos

- Se a distribuição dos tempos até falha em condições de alto stress for conhecida, e se o **fator de aceleração** também for conhecido, então...
 - Podemos derivar matematicamente a distribuição dos tempos até falha em condições normais de operação.
- Supõe-se que o *fator de aceleração*, A_F é constante e linear.

Relações entre condições normais e aceleradas

Seja:

o - índice que indica condições normais de operação;

s - índice que indica condições aceleradas de operação.

❶ Relação $TTF_o \rightarrow TTF_s$: $t_o = A_F \times t_s$

❷ Relação $CDF_o \rightarrow CDF_s$: $F_o(t) = F_s(t/A_F)$

❸ Relação $PDF_o \rightarrow PDF_s$: $f_o(t) = (1/A_F) f_s(t/A_F)$

Relações entre condições normais e aceleradas (*Cont.*)

④ Relação $h_o(t) \rightarrow h_s(t)$:

$$h_o(t) = \left(\frac{1}{A_F}\right) h_s\left(\frac{1}{A_F}\right)$$

A. Modelos Estatísticos

- Usados quando a relação entre os stresses aplicados e o tempo-até-falha (*TTF*) do item não pode ser descrita por modelos **físicos ou químicos**.
- Supõe-se uma **relação linear** entre os tempos-até-falha em diferentes níveis de stress.
- A densidade dos *TTFs* é considerada como sendo a mesma em todos os níveis de stress:
 - O parâmetro de **escala** da distribuição varia p/ os diversos níveis de stress, mas o parâmetro de **forma** permanece o mesmo.

A. Modelos Estatísticos

Modelo Exponencial de Aceleração

- O *TTF* em um nível acelerado de stress s é exponencial com parâmetro λ_s .
- A função acumulada no nível de stress s é: $F_s(t) = 1 - e^{-\lambda_s t}$
- A *cdf* em condições normais de operação é:

$$F_o(t) = F_s\left(\frac{t}{A_F}\right) = 1 - e^{-\frac{\lambda_s t}{A_F}}$$

Modelo Exponencial de Aceleração

Taxa de Falha

- A taxa de falha, a um nível s de stress, p/ dados inspecionados ou não é dada por:

$$\lambda_s = \frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

Exemplo

- Em testes de stress altamente acelerados (HAST), comp. são submetidos a altas temperatura, pressão e umidade.

- Vinte circuitos são testados em condições aceleradas, apresentando os seguintes *TTFs* (em *min*):

91, 145, 257, 318, 366, 385, 449, 576, 1021, 1141, 1384, 1517, 1530, 1984, 3656, 4000⁺, 4000⁺, 4000⁺, 4000⁺, 4000⁺.

- O fator de aceleração usado no teste é $A_F = 100$.

Determine a *MTTF* dos circuitos em condições normais e sua confiabilidade num tempo $t = 10.000$ min.

Exemplo (*Cont.*)

- A hipótese de dados exponencialmente distribuídos não pode ser rejeitada pelo teste de Bartlett.
- O parâmetro λ_s da distr. vem dado por:

$$n = 20; \quad r = 15$$

$$\lambda_s = \frac{r}{\sum_{i=1}^r t_i + \sum_{i=1}^{n-r} t_i^+} = \frac{15}{14820 + 20000} = 4,3078 \times 10^{-4} \text{ falhas / min}$$

- O parâmetro λ_o da distr. em condições normais é:

$$\lambda_o = \frac{\hat{\lambda}_s}{A_F} = \frac{4,3078 \times 10^{-4}}{100} = 4,3078 \times 10^{-6}$$

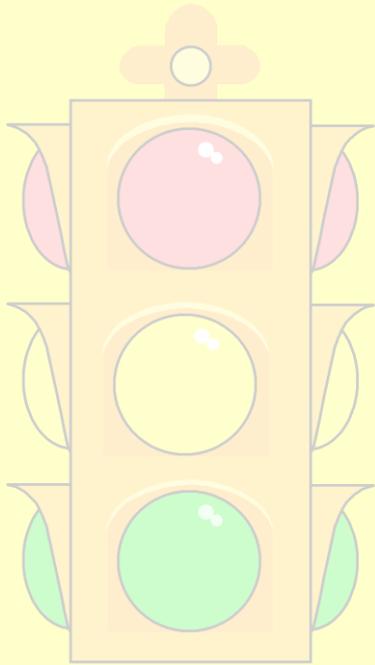
Exemplo (*Cont.*)

- A MTTF do circuito é:

$$MTTF = \frac{1}{\hat{\lambda}_o} = 2.3 \times 10^5 \text{ min}$$

- A confiabilidade em $t = 10000$ min é:

$$R(10000) = e^{-4.3078 \times 10^{-6} \times 10^4} = 0.9578$$



Pausa para prática:

Em um teste acelerado de confiabilidade, vinte circuitos integrados são submetidos a uma temperatura de 150°C e têm seus TTF registrados. Suponha que o TTF distribua-se exponencialmente, com uma $MTTF$ sob stress dada por $MTTF_s = 6000$ horas. Em condições normais, os circuitos operam a 30°C ; estima-se um fator de aceleração $A_F = 40$ para este teste. Determine a taxa de falha, a $MTTF$ e a confiabilidade de um circuito operando em condições normais no tempo $t = 10000$ horas (um ano).

A. Modelos Estatísticos

Modelo Weibull de Aceleração

- A distr. do *TTF* em cond. normais ou de stress apresentam o mesmo parâmetro de forma. Se este não for o caso, a suposição de aceleração linear é inválida ou a distr. de Weibull não modela o *TTF*.
- A *cdf*, *MTTF* e taxa de falha em condições normais é:

$$F_o(t) = F_s\left(\frac{t}{A_F}\right) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{A_F\theta_s}\right)^{\gamma_s}} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta_o}\right)^{\gamma_o}}$$

$$h_o(t) = \frac{\gamma}{A_F\theta_s} \left(\frac{t}{A_F\theta_s}\right)^{\gamma-1} = \frac{h_s(t)}{(A_F)^\gamma}$$

$$MTTF_o = \theta_o \Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right)$$

parâmetro de forma
Confiabilidade PROMINP

B. Modelos Físico-Estatísticos

- Consideram o efeito da natureza do stress sob a taxa de falha dos componentes em teste.
- P.ex., testes acelerados utilizando altas temperaturas modelados considerando o efeito da temperatura sob as condições físicas e químicas dos componentes.
- Como os *TTF* nestes testes são estocásticos, sua distribuição de probabilidade é considerada.

B. Modelos Físico-Estatísticos

Modelo de Arrhenius

- **Temperatura** é o fator de stress mais utilizado em testes acelerados com componentes eletrônicos.
- O efeito da temperatura sobre os componentes pode ser modelado pela **equação de Arrhenius**, para a taxa de reação:

$$r = Ae^{-\frac{E_a}{kT}}$$

r = velocidade da reação;

A = constante não-térmica desconhecida;

E_a = energia de ativação (eV);

k = constante de Boltzmann (8.623×10^{-5} eV/K);

T = temperatura (°K).

Modelo de Arrhenius

Considerações sobre E_a

- A **Energia de Ativação** descreve o efeito da temperatura sobre a taxa da reação.
- Na maioria das aplicações, E_a é tratado como a inclinação da curva de taxa de reação, e não propriamente como energia.
- Um valor baixo de E_a indica uma reação com pequena dependência na temperatura.

Modelo de Arrhenius

Considerando a **vida do componente**, L , proporcional ao inverso da taxa de reação do processo, temos:

$$L = Ae^{+(E_a/kT)}$$

A relação entre a vida do componente em condições normais e aceleradas é dada por:

$$\frac{L_o}{L_s} = \frac{e^{(E_a/kT_o)}}{e^{(E_a/kT_s)}} \longrightarrow L_o = L_s \exp \frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_s} \right)$$

Modelo de Arrhenius

O modelo de Arrhenius supões tempos de vida exponenciais; a taxa de falha em condições normais de operação é:

$$\lambda_o = \frac{1}{L_o}$$

O fator de aceleração térmico A_T é dado por:

$$A_T = \frac{L_o}{L_s} \longrightarrow A_T = \exp\left[\frac{E_a}{k}\left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_s}\right)\right]$$

Exemplo

Um teste acelerado é conduzido a 200°C; a *MTTF* dos componentes em teste é determinada, $L_s = 4000$ h.

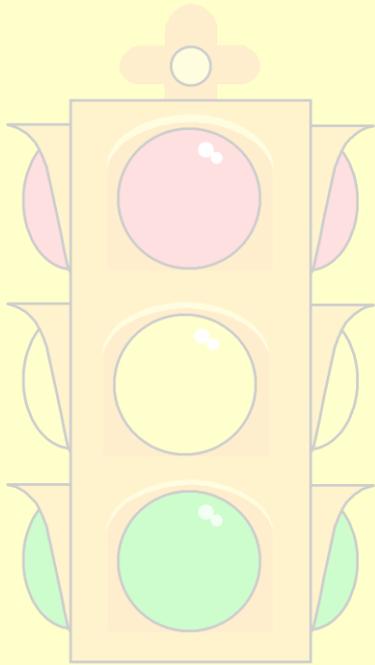
Qual a expectativa de vida dos comp. em condições normais de operação (ou seja, a uma temp. de 50°C)?

$$L_s = 4000 \text{ h}; \quad T_s = 200 + 273 = 473^\circ\text{K};$$

$$T_o = 50 + 273 = 323^\circ\text{K}; \quad E_a = 0.191 \text{ eV (suposição)}$$

$$L_o = 4000 \exp \left[\frac{0.191}{8.623 \times 10^{-5}} \left(\frac{1}{323} - \frac{1}{473} \right) \right] = 35198 \text{ h}$$

$$A_T = 35198 / 4000 = 8.78$$



Pausa para prática:

Deseja-se estimar a vida média de componentes eletrônicos em condições normais de operação ($T = 28^{\circ}\text{C}$). Para tanto, acelera-se o tempo-até-falha de 12 componentes em um teste a uma temperatura de 70°C . Os tempos-até-falha obtidos (em min) vêm dados abaixo. Considere uma energia de ativação de 0.15eV . A relação entre TTF e temperatura é descrita pelo modelo de Arrhenius.

300, 340, 345, 349, 361, 362, 363, 369, 374, 379, 380, 390

Use o ProAcel na análise!

B. Modelos Físico-Estatísticos

Modelo de Eyring

- Pode ser utilizado em testes onde **Temperatura** ou **Campo Eletromagnético** são os fatores de stress.
- Está baseado na distribuição exponencial.
- O modelo de Eyring para temperatura é:

$$L = \frac{1}{T} \exp\left[\frac{\beta}{T} - \alpha\right]$$

$\alpha, \beta =$ constantes determinadas a partir dos dados de teste;

$L =$ vida média;

$T =$ temperatura ($^{\circ}\text{K}$).

Modelo de Eyring

Relação entre tempos de vida

$$L_o = L_s \left(\frac{T_s}{T_o} \right) \exp \left[\beta \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_s} \right) \right]$$

Como o modelo pressupõe dados exponencialmente distribuídos, o fator de aceleração é dado por:

$$A_F = \frac{L_o}{L_s}$$

Outros Modelos Físico-Estatísticos

Modelo da Regra da Potência Inversa - baseia-se na distribuição de Weibull. Indicado quando o fator de stress aplicado é voltagem.

Modelo Combinado - combina os modelos de Arrhenius e de Potência Inversa. Admite dois fatores de stress, usualmente temperatura e voltagem.

A tabela apresenta dados obtidos em um teste acelerado onde o isolamento classe-B de motores elétricos foi testado. 10 motores foram testados em 4 temperaturas. O objetivo é estimar a MTTF dos motores na temperatura de *design* de 130°C. No momento da análise, nenhum motor havia falhado a 150°C, 7 haviam falhado a 170°C, e 5 haviam falhado a 190°C e 220°C. O símbolo + indica motores ainda em funcionamento no momento da análise. A relação entre a vida dos motores e a temperatura de operação segue o modelo de Arrhenius (ao menos nas temperaturas de teste). Estime a MTTF dos motores a 130°C.

TTF a 150°C (h)	TTF a 170°C (h)	TTF a 190°C (h)	TTF a 220°C (h)
8064+	1764	408	408
8064+	2772	408	408
8064+	3444	1344	504
8064+	3542	1344	504
8064+	3780	1440	504
8064+	4860	1680+	528+
8064+	5196	1680+	528+
8064+	5448+	1680+	528+
8064+	5448+	1680+	528+
8064+	5448+	1680+	528+