

Zbirka računskih nalog pri predmetu Realizacija elektronskih sklopov

Tolerance in izplen

1. Koliko uporov iz serije 1000 uporov z nazivno vrednostjo $1\text{k}\Omega$ in toleranco 1% bo v povprečju imelo vrednost nižjo od $995\ \Omega$. Vrednosti uporov so porazdeljene po normalni porazdelitvi.

Proces izdelave zagotavlja izplen 3σ .

$$\frac{\Delta R}{R} = 1\% \rightarrow \Delta R = 0,01 * 1\text{ k}\Omega = 10\ \Omega$$

$$3\sigma = 10\ \Omega \rightarrow \sigma = 3,33\ \Omega$$

$$z = \frac{995\ \Omega - 1000\ \Omega}{3,33\ \Omega} = -1,5$$

$$p(z, 0) = 0,4332$$

$$p(-\infty, z) = 0,5 - 0,4332 = 0,0668$$

$$N = 0,0668 * 1000 = 66,8$$

2. Vhodna ničelna napetost operacijskih ojačevalnikov je v 99.3% primerih manjša od $\pm 1\text{mV}$. Kolikšen delež operacijskih ojačevalnikov ima ničelno napetost manjšo od $\pm 0,2\ \text{mV}$, če je porazdelitev ničelnih napetosti normalna.

$$p(z) = 0,993 \rightarrow \frac{1}{2}p(z) = 0,4965 \rightarrow z = 2,7$$

$$z_1 = \frac{0,2\text{mV}}{1\text{mV}} z = 0,54 \rightarrow \frac{1}{2}p(z_1) = 0,2054 \rightarrow p(z_1) = 0,4108$$

3. Izhodna napetost napetostnega stabilizatorja je določena za izrazom $U = U_{ref} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$. Izračunajte občutljivost izhodne napetosti napetostnega stabilizatorja na upornost R_1 , če $R_2 = 2 \cdot R_1$. Kolikšna je toleranca izhodne napetosti, če je toleranca upora R_1 enaka 1 %.

$$S_{R_1}^U = \frac{\frac{\partial U}{\partial R_1}}{\frac{U}{R_1}} = \frac{\frac{\partial U}{\partial R_1} R_1}{U} = -\frac{U_{ref} R_2 R_1}{R_1^2 U} = -\frac{U_{ref} R_2}{R_1^2} \frac{R_1}{U_{ref} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)} = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} = -\frac{2}{3}$$

$$\frac{\partial U}{U} = S_{R_1}^U \cdot \frac{\partial R_1}{R_1} = -\frac{2}{3}\%$$

4. Proizvajamo napajalnik, katerega specifikacija izhodne napetosti je od 4,8 V do 5,2 V. Izračunajte izplen proizvodnje napajalnikov, če proces zagotavlja srednjo vrednost 4.9 V in standardno deviacijo 0.1 V.

$$z_1 = 1, z_2 = \frac{5.2 - 4.9}{0.1} = 3$$

$$p_1 = 0.3413, p_2 = 0.4987$$

$$Izplen = p_1 + p_2 = 84\%$$

Zanesljivost

5. Izračunajte potrebno maksimalno pogostost odpovedi MOS tranzistorja (izraženo v FIT), da bo srednji čas do odpovedi integriranega vezja, ki je sestavljeno iz 50 000 enakih MOS tranzistorjev, večji od 2 let. Pri tem upoštevajte časovno konstantno pogostost odpovedi in dejstvo, da odpoved kateregakoli MOS tranzistorja povzroči odpoved vezja.

$$\lambda_{sistema} = \frac{1}{\text{MTTF}} = \frac{1}{2 * 356 * 24} = 5.7178 * 10^{-5} \text{ napak na uro}$$

$$\lambda_{tranzistorja} = \frac{\lambda_{sistema}}{N} = \frac{5.7178 * 10^{-5}}{50000} = 1.1416 * 10^{-9} \text{ napak na uro} = 1.1416 \text{ FIT}$$

6. Izračunajte zanesljivost sistema po preteku enega leta, če je sestavljen iz štirih enakih sklopov, od katerih vsak v povprečju odpove enkrat na leto. Upoštevajte, da sistem deluje, če delujeta najmanj dva sklopa.

$$\lambda t = 1$$

$$e^{-\lambda t} = 0,36788$$

$$R(t) = P(0) + P(1) + P(2) = e^{-\lambda t} + \lambda t e^{-\lambda t} + \frac{(\lambda t)^2}{2} e^{-\lambda t} = 2,5 * 0,36788 = 0,9170$$

7. Verjetnost odpovedi elektrolitskega kondenzatorja je 0,05 %. Določite verjetnost, da boste v seriji 1000 kondenzatorjev našli več kot 3 defektne kondenzatorje.

$$\lambda = 0,0005, t = 1000 \rightarrow \lambda t = 0,5$$

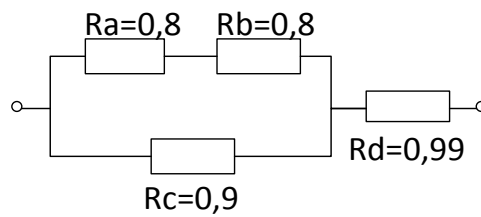
Verjetnost, da se najde točno n defektnih kondenzatorjev:

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}$$

Verjetnost, da najdemo več kot tri defektne kondenzatorje:

$$\begin{aligned} P &= 1 - P_0 - P_1 - P_2 - P_3 = \\ &= 1 - \frac{0,5^0 e^{-0,5}}{0!} - \frac{0,5^1 e^{-0,5}}{1!} - \frac{0,5^2 e^{-0,5}}{2!} - \frac{0,5^3 e^{-0,5}}{3!} = \\ &= 1 - 0,60653 - 0,30327 - 0,07582 - 0,01264 = 0,00175 \approx 0,175\% \end{aligned}$$

8. Izračunajte zanesljivost danega sistema!



$$R = R_a \cdot R_b \cdot R_d - R_a \cdot R_b \cdot R_c \cdot R_d + R_c \cdot R_d = 0,95436$$

9. Izračunajte zanesljivost sistema z dvema enakima hladnima rezervama po preteku enega leta, če ima vsak od sklopov v povprečju 1 odpoved na 2 leti. Upoštevajte, da sistem deluje, če deluje vsaj en sklop.

$$\lambda t = 0.5$$

$$e^{-\lambda t} = 0,60653$$

$$R(t) = P(0) + P(1) + P(2) = e^{-\lambda t} + \lambda t e^{-\lambda t} + \frac{(\lambda t)^2}{2} e^{-\lambda t} = (1 + 0.5 + 0.125) * 0,60653 = 0,9856$$

10. Izračunajte zanesljivost elektronskega sistema z vročo rezervo po 1 letu delovanja, če je pogostost odpovedi primarnega sklopa 0.1 okvara/leto, rezervnega pa 0.5 okvare na leto.

$$R_{sist} = R_1 || R_2 = R_1 + R_2 - R_1 \cdot R_2 = e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2) t}$$

$$R_{sist} = e^{-0.1} + e^{-0.5} - e^{-0.6} = 0.9048 + 0.6065 - 0.5488 = 0.9625$$

Vpliv okolja na zanesljivost

11. Procesor alfa ima 10 milijonov tranzistorjev in dela na temperaturi 75°C. Izračunajte kakšna je zahtevana pogostost odpovedi (okvarah na uro) enega tranzistorja pri sobni temperaturi (25 °C), če v povprečju procesor odpove v 5 letih delovanja. Zanesljivost delovanja se za vsako povečanje temperature za 10 °C prepolovi.

Rezultat = $7,13 \cdot 10^{-14}$ napak/uro

$$MTTF_{sistema@75^{\circ}C} = 5 \cdot 365 \cdot 24 = 43800 \text{ ur}$$

$$MTTF_{tranzistorja@75^{\circ}C} = 43800 \cdot 10^7 \text{ ur} = 4,38 \cdot 10^{11} \text{ ur}$$

$$MTTF_{tranzistorja@25^{\circ}C} = 4,38 \cdot 10^{11} \text{ ur} \cdot 2^{\frac{75-25}{10}} = 1,4 \cdot 10^{13} \text{ ur}$$

$$\lambda_{tranzistorja@25^{\circ}C} = \frac{1}{MTTF_{tranzistorja@25^{\circ}C}} = 7,13 \cdot 10^{-14} \text{ napak/uro}$$

12. Pričakovan srednji čas do odpovedi sistema s konstantno pogostostjo odpovedi je pri sobni temperaturi (300 K) enak 30 let. Pri kateri temperaturi moramo izvajati testiranje pospešenega staranja, če želimo test zaključiti v 10 dneh? Aktivacijska energija prevladujočega procesa staranja sistema je enaka 0,8 eV.

$$E[J] = E[\text{eV}] \cdot q$$

$$\frac{MTTF_2}{MTTF_1} = e^{\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)}$$

$$T_2 = \frac{1}{\frac{1}{T_1} - \frac{k}{E_a} \ln \left(\frac{MTTF_1}{MTTF_2} \right)} = \frac{1}{\frac{1}{300K} - \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \text{ VAs}}{0,8 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}} \ln \left(\frac{10950 \text{ dni}}{10 \text{ dni}} \right)}$$

$$= 387,7K = \mathbf{114,7^{\circ}C}$$

13. Pogostost odpovedi 1 kbit spominskega bloka RAM pri temperaturi 25°C je 10^{-3} FIT. Koliko let pri 75°C v povprečju brezhibno deluje RAM integrirano vezje velikosti 128 Mbyte? Pri tem upoštevajte, da se zanesljivost delovanja pri dvigu temperature za 10 °C prepolovi.

$$N_{blokov} = \frac{128 \cdot 1024 \cdot 1024 \cdot 8}{1024} = 1,048 \cdot 10^6$$

$$\lambda_{sistema@25^{\circ}C} = N \cdot \lambda_{bloka@25^{\circ}C} = 1,048 \cdot 10^6 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{10^{-9}}{\text{uro}} = 1,048 \cdot 10^{-6} / \text{uro}$$

$$\lambda_{sistema@75^{\circ}C} = \lambda_{sistema@25^{\circ}C} \cdot 2^{\frac{75-25}{10}} = 1,048 \cdot 10^{-6} \cdot 32 = 3,355 \cdot 10^{-5} / \text{uro}$$

$$MTTF_{sistema@75^{\circ}C} = \frac{1}{\lambda_{sistema@75^{\circ}C}} = 2,98 \cdot 10^4 \text{ ur} = 3,4 \text{ leta}$$