

RZD – uporaba MIL-HDBK – rešitev naloge za okolje G_B

OP. Zaradi subjektivnega ocenjevanja nekaterih neznanih parametrov je možnih več rešitev podane naloge. Rešitev je podana na osnovi uporabe priročnika MIL-HDBK-217F z dne 2.12.1991.

Pri izračunu T_J vzemi za temperaturo T_C , kar temperaturo okolja v katerem naj bi komponenta delovala (v našem primeru 40°C).

Integrirana vezja

MC68HC000 je 32 bitni mikroprocesor (MC68000UM_glavni str. 1-1). Vgrajen je v PLCC 68 pinsko ohišje (MC68000UMAD str. 2). Iz dokumentacije (MC68000 user manual) je razvidno, da je vezje izdelano v HCMOS tehnologiji (M68000UMAD str. 2), v proizvodnji je že več kot 15 let (glej datum izdaje navodil), tipična disipacija toplote pri 12MHz je 0.19W (str. 10-23 MC68000UM, vrednosti so enake za MC68EC000) pri čemer je tipična vrednost $\theta_{JC}=45^\circ\text{C/W}$.

$$\begin{aligned}\lambda_p &= (C_1 \pi_T + C_2 \pi_E) \pi_Q \pi_L = \\ &= (0.56 \times 0.29 + 0.048 \times 0.50) \times 2.0 \times 1.0 = 0.3728 \text{ odp}/10^6 \text{ ur}\end{aligned}$$

$C_1 = 0.56$... 32 bitni mikroprocesor (glej MIL str. 5-3)

$\pi_T = 0.29$

$$T_J = T_C + \theta_{JC} P = 40 + 45 \times 0.19 = 49^\circ\text{C}$$

$\theta_{JC} = \theta_{JA} = 45^\circ\text{C/W}$ (iz MC68000 user manual, glej za FN na str. 10-1, če primerjaš formulo na strani 10-2 v navodilih z gornjo formulo za T_J opaziš, da velja enakost)

V tabeli 5-8 na strani 5-13 v MIL-HDBK razberemo π_T za $T_J=50^\circ\text{C}$ in sicer za tehnologijo *Digital CMOS*.

$C_2 = 0.048$... za ohišje *DIP with glass seal* za 64 pinov (68 – 4 = 64)
(izbrani tip ohišja ni takšen kot dejanski, je pa najbližje)

$\pi_E = 0.50$... za G_B okolje

$\pi_Q = 2.0$... ker nimamo podatkov o vojaški klasifikaciji razvrstimo v najslabši, B-1 razred

$\pi_L = 1.0$... ker je procesor že več kot 2 leti v proizvodnji

EEPROM Atmel AT28C040 je 512k x 8 bit pomnilni element. Vgrajen je v 32 pinsko DIP ohišje. Iz dokumentacije proizvajalca je razvidno, da je vezje izdelano v CMOS tehnologiji, v proizvodnji je že 10 let (glej izdajo navodil), tipična disipacija toplote znaša 0.44W (str.1 navodil AT28C040) pri čemer podatek za termično upornost ohišja ni znan.

$$\lambda_p = (C_1 \pi_T + C_2 \pi_E + \lambda_{cyc}) \pi_Q \pi_L =$$

$$= (0.0068 \times 0.43 + 0.017 \times 0.50 + 1.26) \times 2.0 \times 1.0 = 2.57 \text{ odp}/10^6 \text{ ur}$$

$C_1 = 0.0068$... vzamemo kar za EEPROM do 1Mbit (glej MIL str. 5-4) (pri tem naredimo napako, vendar po tem priročniku žal ne moremo drugače)

$$\pi_T = 0.43$$

$$T_J = T_C + \theta_{JC} P = 40 + 11 \times 0.44 = 45^\circ\text{C}$$

$\theta_{JC} = 11^\circ\text{C}/\text{W}$... iz tabele (MIL str. 5-17) za DIP ohišje in velikost jedra več kot 14400 mils² (to privzamemo)

V tabeli 5-8 (MIL str. 5-13) razberemo π_T za $T_J=45^\circ\text{C}$ in sicer za tehnologijo *Memories MOS*.

$C_2 = 0.017$... za ohišje *DIP with glass seal* za 32 pinov, izračunano po enačbi (2) (MIL str. 5-14)

$\pi_E = 0.50$... za G_B okolje

$\pi_Q = 2.0$... ker nimamo podatkov o vojaški klasifikaciji razvrstimo v najslabši, B-1 razred

$\pi_L = 1.0$... ker je komponenta že več kot 2 leti v proizvodnji

$$A_2 B_2$$

$$\lambda_{cyc} = \left[A_1 B_1 + \frac{A_2 B_2}{\pi_Q} \right] \pi_{ECC} = 1.26 \quad (\text{MIL str. 5-5})$$

$A_1 = 0.1$... za 10.000 ciklov in Flotox tehnologijo (default ker ne vemo drugače, MIL str 5-4 in NOTES na str. 5-5)

$B_1 = 12.6$... uporabimo enačbo 1 na strani 5-6 za temperaturo spoja 45°C in velikost pomnilnika 4Mbit (tukaj najbrž tudi naredimo napako ker je pomnilnik večji kot jih pa MIL-HDBK obravnava)

$A_2 = 0$... za Flotox, tabela (MIL str. 5-5)

$B_2 = 0$... za Flotox, tabela (MIL str 5-5)

$\pi_{ECC} = 1$... ker ne vemo drugače

SRAM Samsung K6X1008C2D-B je 128k x 8 bit pomnilni element. Vgrajen je v 32 pinsko DIP ohišje. Iz dokumentacije proizvajalca je razvidno, da je vezje izdelano v CMOS tehnologiji, v proizvodnji je že več kot 4 leta, tipična disipacija toplote znaša 0.025W (5mA porabe pri 5V napajalne napetosti (podano v navodilih naloge)) pri čemer podatek za termično upornost ohišja ni znan.

$$\lambda_p = (C_1 \pi_T + C_2 \pi_E + \lambda_{cyc}) \pi_Q \pi_L =$$

$$= (0.062 \times 0.31 + 0.017 \times 0.50 + 0) \times 2.0 \times 1 = 0.055 \text{ odp}/10^6 \text{ ur}$$

$C_1 = 0.062$... vzamemo za SRAM do-enako 1Mbit (MIL str. 5-4)

$\pi_T = 0.31$

$$T_J = T_C + \theta_{JC} P = 40 + 11 \times 0.025 = 40.27^\circ\text{C}$$

$\theta_{JC} = 11^\circ\text{C}/\text{W}$... iz tabele (MIL str. 5-17) za DIP ohišje in velikost jedra več kot 14400 mils² (privzamemo). V tabeli 5-8 (MIL str. 5-13) razberemo π_T za $T_j=40^\circ\text{C}$ in sicer za tehnologijo *Memories MOS*.

$C_2 = 0.017$... za ohišje *DIP with glass seal* za 32 pinov, izračunano po enačbi (2) (MIL str. 5-14)

$\pi_E = 0.50$... za G_B okolje

$\pi_Q = 2.0$... ker nimamo podatkov o vojaški klasifikaciji razvrstimo v najslabši, B-1 razred

$\pi_L = 1$... ker je komponenta že 4 leta v proizvodnji

$\lambda_{cyc} = 0$... ker ni EEPROM, tabela desno spodaj (MIL str. 5-4)

Ostale komponente

Kristal (quartz) 12MHz s tremi priključnimi pini. (poglavje 19 v MIL-HDBK)

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_Q \pi_E =$$

$$= 0.023 \times 2.1 \times 1.0 = 0.048 \text{ odp}/10^6 \text{ ur}$$

$\lambda_b = 0.023$... izračunamo po enačbi, za 12MHz (MIL str. 19-1)

$\pi_E = 1.0$... za G_B okolje

$\pi_Q = 2.1$... ker nimamo podatkov o vojaški klasifikaciji

Led dioda. Delovni pogoji tipični: padec napetosti 0.7V, delovni tok 20mA. (poglavje 6.11 v MIL-HDBK)

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_Q \pi_E =$$

$$= 0.00023 \times 1.6 \times 5.5 \times 1.0 = 0.002 \text{ odp}/10^6 \text{ ur}$$

$\lambda_b = 0.00023$

$\pi_E = 1.0$... za G_B okolje

$\pi_Q = 5.5$... ker nimamo podatkov o klasifikaciji, vzamemo *lower quality*

$\pi_T = 1.6$

$$T_J = T_C + \theta_{JC} P = 40 + 70 \times 0.014 = 41^\circ\text{C}$$

$\theta_{JC} = 70^\circ\text{C}/\text{W}$... privzeta vrednost (MIL str. 6-23)

$$P = U \times I = 0.7\text{V} \times 20\text{mA} = 0.014\text{W} \text{ (tipične vrednosti za diode)}$$

V tabeli na strani 6-19 v MIL-HDBK razberemo π_T za $T_j=40^\circ\text{C}$.

Upori, navadne t.j. kompozitne izvedbe, neznane kvalitete. (poglavje 9.1 v MIL-HDBK)

Za 215E upore:

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_R \pi_Q \pi_E =$$

$$= 0.00049 \times 1.0 \times 15 \times 1.0 = 0.0074 \text{ odp}/10^6 \text{ ur}$$

$$\lambda_b = 0.00049$$

Napetost na uporu: $U = R \times I = 215 \Omega \times 0.02A = 4.3V$ (5V-napetost LED diode), tok je 20mA (po elektrotehničnih zakonih isti kot tok skozi diodo)

$$P_{dej} = U \times I = 4.3 \times 20mA = 0.086W$$

$$S = P_{dej} / P_{nazivna} = 0.086W / 0.25W = 0.344$$

Na osnovi S in temperature okolice 40°C izračunamo λ_b po enačbi s strani 9-2 v MIL-HDBK.

$$\pi_E = 1.0 \dots \text{ za } G_B \text{ okolje}$$

$$\pi_Q = 15 \dots \text{ ker nimamo podatkov o vojaški klasifikaciji, vzamemo nizko kvaliteto}$$

$$\pi_R = 1.0 \dots \text{ za } 215 \Omega \text{ upore}$$

Za 10k upore:

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_R \pi_Q \pi_E =$$

$$= 0.00026 \times 1.0 \times 15 \times 1.0 = 0.0039 \text{ odp}/10^6 \text{ ur}$$

$$\lambda_b = 0.00026$$

Napetost na uporu je 5V, tok pri vezavi med VCC in GND je 0.5mA ($I = U / R = 5V / 10000\Omega = 0.0005A$). Privzet je najslabši možni primer direktne sklenitve upora med VCC in GND. Pri povezavi na integrirana vezja se to še zmanjša zaradi vhodnih in izhodnih upornosti integriranih vezij.

$$P_{dej} = U \times I = 5 \times 0.5mA = 0.0025W$$

$$S = P_{dej} / P_{nazivna} = 0.0025W / 0.25W = 0.01$$

Na osnovi S in temperature okolice 40°C izračunamo λ_b po enačbi s strani 9-2 v MIL-HDBK.

$$\pi_E = 1.0 \dots \text{ za } G_B \text{ okolje}$$

$$\pi_Q = 15 \dots \text{ ker nimamo podatkov o klasifikaciji, vzamemo nizko kvaliteto}$$

$$\pi_R = 1.0 \dots \text{ za } 10 \text{ k}\Omega \text{ upore}$$

Za 1M8 upore:

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_R \pi_Q \pi_E =$$

$$= 0.00025 \times 1.0 \times 15 \times 1.6 = 0.006 \text{ odp}/10^6 \text{ ur}$$

$$\lambda_b = 0.00025$$

Napetost na uporah je 5V, tok pri vezavi med napajanje in GND je 2.8 μ A ($I = U / R = 5V / 1,8 \times 10^6 \Omega = 2.8 \mu A$). Privzet je najslabši možni primer direktne sklenitve upora med VCC in GND. Pri povezavi na integrirana vezja se to še zmanjša zaradi vhodnih in izhodnih upornosti integriranih vezij.

$$P_{dej} = U \times I = 5V \times 2.8 \mu A = 14 \mu W$$

$$S = P_{dej} / P_{nazivna} = 0.000056$$

Na osnovi S in temperature okolice 40°C izračunamo λ_b po enačbi s strani 9-2 v MIL-HDBK.

$$\pi_E = 1.0 \dots \text{ za } G_B \text{ okolje}$$

$$\pi_Q = 15 \dots \text{ ker nimamo podatkov o klasifikaciji, vzamemo nizko kvaliteto}$$

$$\pi_R = 1.6 \dots \text{ za } 1,8 \text{ M}\Omega \text{ upore}$$

Kondenzatorji, elektroliti. (poglavje 10.12 v MIL-HDBK)Za 100nF / 50V / elektrolit kondenzatorje:

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_{CV} \pi_{SR} \pi_Q \pi_E =$$

$$= 0.0051 \times 0.76 \times 0.13 \times 1.0 \times 10 = 0.005 \text{ odp}/10^6 \text{ ur}$$

$$\lambda_b = 0.0051$$

Izračunamo *Voltage stress* faktor

$$S = V_{dej} / V_{nazivna} = 5/50 = 0.1$$

Na osnovi S in temperature okolice 40°C odčitamo λ_b iz tabele

$\pi_{CV} \dots$ za kapacitivnost 100nF (= 0.1 μ F), izračunano po enačbi

$$\pi_{CV} = C^{0.12} = 0.10^{0.12} = 0.76$$

$\pi_{SR} = 0.13 \dots$ ne vemo natančno upornosti povezav na tiskanem vezju, to je odvisno od pozicioniranja komponent po vezju ter dolžine bakrenih povezav; privzamemo srednjo vrednost razmerja upornosti in sicer CR=0.5.

$$\pi_E = 1.0 \dots \text{ za } G_B \text{ okolje}$$

$$\pi_Q = 10 \dots \text{ ker nimamo podatkov o klasifikaciji, vzamemo nizko kvaliteto}$$

Za 2.2uF / 16V / elektrolit kondenzatorje:

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_{CV} \pi_{SR} \pi_Q \pi_E =$$

$$= 0.0072 \times 1.1 \times 0.13 \times 1.0 \times 10 = 0.01 \text{ odp}/10^6 \text{ ur}$$

$$\lambda_b = 0.0072$$

Izračunamo *Voltage stress* faktor

$$S = V_{dej} / V_{nazivna} = 5/16 = 0.3125$$

Na osnovi zaokrožene vrednosti $S=0.3$ in temperature okolice 40°C odčitamo λ_b iz tabele.

$$\pi_{CV} = C^{0.12} = 2.2^{0.12} = 1.1 \dots \text{ za kapacitivnost } 2.2\mu\text{F, izračunano po enačbi}$$

$\pi_{SR} = 0.13 \dots$ ne vemo natančno upornosti povezav na tiskanem vezju, to je odvisno od pozicioniranja komponent po vezju ter dolžine bakrenih povezav; privzamemo srednjo vrednost rzamerja upornosti in sicer $CR=0.5$.

$$\pi_E = 1.0 \dots \text{ za } G_B \text{ okolje}$$

$\pi_Q = 10 \dots$ ker nimamo podatkov o vojaški klasifikaciji, vzamemo nizko kvaliteto

Tiskano vezje

Tiskano vezje. Uporabljeno je dvoslojno tiskano vezje z bakrenimi povezavami in metaliziranimi izvrtinami. Vse komponente so strojno (*wave solder*) spajkane. (MIL-HDBK str. 16.1)

$$\lambda_p = \lambda_b (N_1 \pi_C + N_2 (\pi_C + 13)) \pi_Q \pi_E =$$

$$= 0.000041 \times (302 \times 1.0 + 0 (1.0 + 13)) \times 1.0 \times 2.0 = 0.025 \text{ odp}/10^6 \text{ ur}$$

$\lambda_b = 0.000041 \dots$ za tiskano vezje s PTH izvrtinami

$$N_1 = 68+32+32+32+32+3+3x2+3x2+2x2+8x2+10x2+3x2+45 = 302$$

\dots število vseh strojno spajkanih izvrtin, upoštevamo vse komponente in tudi vse skožnike, izvrtine v tiskanem vezju ki služijo za prenos signalne linije med različnimi plastmi vezja.

$\pi_C = 1.0 \dots$ za dvoplastno tiskano vezje

$N_2 = 0 \dots$ število vseh ročno spajkanih izvrtin

$\pi_E = 1.0 \dots$ za G_B okolje

$\pi_Q = 2 \dots$ ni podatka o tem, da bi bilo vezje izdelano po vojaških specifikacijah, zato privzamemo nižji kakovostni razred

Intenzivnost odpovedovanja celotnega sistema

Intenzivnost odpovedovanja celotnega sistema je po priporočilih priročnika MIL-HDBK-217F enaka vsoti intenzivnosti odpovedovanja vseh komponent vključno s tiskanim vezjem.

$$\begin{aligned}\lambda &= 0.3728 + 2 \times 2.57 + 2 \times 0.055 + 0.048 + 3 \times 0.002 + 3 \times 0.0074 + 2 \times 0.0039 + 8 \times 0.006 + 10 \times \\ &0.005 + 3 \times 0.01 + 0.025 = \\ &= 5.85 \text{ odpovedi / } 10^6 \text{ delovnih ur}\end{aligned}$$

Kot je razvidno iz izračunov, je zanesljivostno najbolj kritična komponenta EEPROM. Oba EEPROMa skupaj imata 10x večjo intenzivnost odpovedovanja kot vse ostale komponente skupaj. Pri konkretni uporabi takšnega sistema je potrebno razmisliti o zamenjavi EEPROM integriranih vezij in sicer s takšnimi, ki imajo vgrajene varnostne ECC mehanizme, ali pa omejiti največje skupno dovoljeno število zapisovanj, saj slednje največ pripomore k veliki intenzivnosti odpovedovanja komponente.