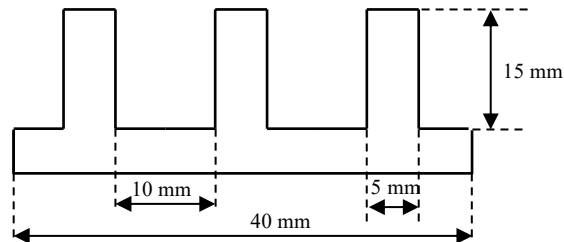


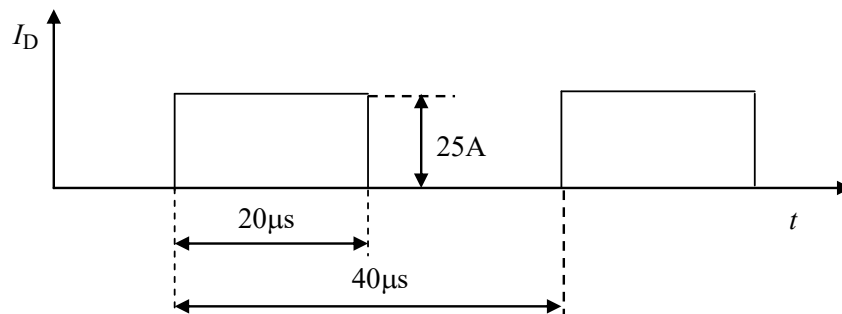
ELEC-E8421 Tehoelektroniikan komponentit

Tentti 13.12.2018, kello 13:00-16:00, sali AS1

1. Explain shortly (2...4 sentences + possible drawing), what the following terms mean
 - ion-injection
 - reverse recovery charge
 - SOA
 - prospective short circuit current
 - ESR.
2. Describe the construction, functioning principle and properties of IGBT.
3. Discuss filters used for the EMC, their operating principles and components used.
4. Cooling element of a switched mode power supply is as shown below and it works with natural convection. Element will cover the backside of the supply, height is 60 mm. What is the allowed power loss when the temperature of the backside cannot be higher than 80 °C when ambient temperature is 50 °C. Use the equation $R_{th} = 11,7 A^{-0,7} P_H^{-0,15}$ where R_{th} is the thermal resistance K/W, A is surface area in dm^2 and P_H loss power. It is assumed that air is not circulating inside the power supply.



5. Calculate the needed thermal resistance of the cooling element for SCT2080KE SiC Mosfet, when the current through it is as shown below. Ambient temperature is 45 °C and $V_{GS} = 18$ V. During turn-on voltage over the device is 520 V and turn-off 700 V.



Tentti 13.12.2018 RATKAISUT

Tehtävät 1-2: Katso kirja, tehtävä 3 katso lisämateriaali

Tehtävä 4

$$R_{\text{thSA}} = 11,7 A^{-0.7} P_H^{-0,15} = \frac{T_S - T_A}{P_H}$$

josta saadaan

$$P_{H \text{ max}}^{0,85} = \frac{T_S - T_A}{11,7 A^{-0.7}}$$

ja edelleen

$$P_{H \text{ max}} = \left(\frac{T_S - T_A}{11,7 A^{-0.7}} \right)^{\frac{1}{0,85}}$$

Kotelon sisällä oletettiin ilman kierron olevan mitättömän. Siten jäähdytys-elementin voi olettaa jäähtyvän vain ulkopinnaltaan.

Ulkopinnan pinta-alaksi saadaan

$$A = (40 \text{ mm} + 6 \cdot 15 \text{ mm}) \cdot 60 \text{ mm} = 7800 \text{ mm}^2 = 0,78 \text{ dm}^2$$

jos elementin ala ja yläpintoja ei huomioida (niiden pinta-ala on $6 \cdot 15 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm} = 450 \text{ mm}^2 = 0,045 \text{ dm}^2$ eli aika pieni. Lisäksi ilma ei niissä välttämättä liiku).

Sijoittamalla arvot kaavaan saadaan komponentin maksimihäviöksi

$$P_{H \text{ max}} = \left(\frac{80^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}}{11,7 \cdot 0,78^{-0.7}} \right)^{\frac{1}{0,85}} = 2,47 \text{ W}$$

Tehtävä 5

Kun $V_{GS} = 18 \text{ V}$, $T_J = 150^\circ\text{C}$ ja $I_D = 25 \text{ A}$ saadaan kuvasta 13 arvioiden 25 A virralla

$$R_{DS} \approx 0,15 \Omega$$

Siten johtohäviöenergia per pulssi on

$$E_{HON} = R_{DS} I_D^2 t_{ON} \approx 0,15 \Omega (25 \text{ A})^2 20 \mu\text{s} \approx 1,9 \text{ mJ}$$

Vaihtoehtoisesti voi kuvasta 6 lukea jännitehäviöksi 25 A virralla kun $V_{GS} = 18 \text{ V}$ ja $T_J = 150^\circ\text{C}$ noin 3.9 V, josta laskemalla päätyy suunnilleen samaan tulokseen.

Kytkehäviöistä valmistaja antaa tietoja eri tavoin. Kuvassa 16 on annettu fetin kapasitansseihin varautuva energia, joka kuvaa transistorin sisäisiä häviöitä hyvin pienellä kuormavirralla. Nyt kuitenkin virtaa on 25 A.

Arvioidaan kytkentähäviöt yläkanttiin olettamalla virran muuttuvan nousu- ja laskuaikoina lineaarisesti ja jännitteen olevan tänä aikana vakio. Kuvasta 17 saadaan extrapoloimalla 25 A virralla nousuajaksi t_r noin 60 ns ja laskuajaksi t_f noin 11 ns.

Siten kytkentähäviöenergiat ovat

$$E_{H\text{TON}} < \frac{t_r U_{SD\text{TON}} I_D}{2} = \frac{60 \text{ ns} \cdot 520 \text{ V} \cdot 25 \text{ A}}{2} \approx 0,39 \text{ mJ}$$

$$E_{H\text{TOFF}} < \frac{t_f U_{SD\text{TOFF}} I_D}{2} = \frac{11 \text{ ns} \cdot 700 \text{ V} \cdot 25 \text{ A}}{2} \approx 0,10 \text{ mJ}$$

Toinen vaihtoehto on käyttää kuvaa 19, jossa vastaavat häviöt on annettu 10 A virralla. Kuvan tuloksia on skaalattava 25/10, jotta ne vastaavat tehtävän lukuarvoja. Siten kuvan perusteella $E_{H\text{TON}} = 2,5 \cdot 130 \mu\text{J} = 325 \mu\text{J}$ ja $E_{H\text{TOFF}} = 2,5 \cdot 70 \mu\text{J} = 175 \mu\text{J}$ eli kohtuu lähellä edellä laskettuja arvoja.

Myös kuvassa 20 annettuja arvoja voi käyttää, mutta nyt jännite on skaalattava kohdalleen

$E_{H\text{TON}} = 520/600 \cdot 660 \mu\text{J} = 572 \mu\text{J}$ ja $E_{H\text{TOFF}} = 700/600 \cdot 200 \mu\text{J} = 233 \mu\text{J}$. Nämä lukuarvot ovat huomattavasti aiempia korkeampia. Yksi syy on se, että varsinkin syttymishäviö kasvaa kuvassa virran kasvaessa enemmän kuin lineaarisesti

Koska taajuus on huomattavasti yli 1 kHz, voidaan mitoitus tehdä keskimääräisen häviötehon ja pysyvän tilan lämpövastuksen perusteella.

Keskimääräiseksi häviötehoksi saadaan ensimmäiseksi laskettujen häviötehojen perusteella

$$P_{H\text{ave}} = \frac{E_{H\text{ON}} + E_{H\text{TON}} + E_{H\text{TOFF}}}{T} = \frac{1,9 \text{ mJ} + 0,39 \text{ mJ} + 0,1 \text{ mJ}}{40 \mu\text{s}} \approx 60 \text{ W}$$

Siten jäähdytyslementin lämpövastukseksi fetin ja elementin välinen lämpövastus mukaan lukien saadaan

$$R_{th\text{CA}} \leq \frac{T_J - R_{th\text{JC}} P_{H\text{ave}} - T_A}{P_{H\text{ave}}} = \frac{150 \text{ }^\circ\text{C} - 0,44 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \cdot 60 \text{ W} - 45 \text{ }^\circ\text{C}}{60 \text{ W}} \approx 1,31 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

Edellä on käytetty varovaisuuden vuoksi 150 °C liitoslämpötilaa, mutta datalehden mukaan nykyinen komponentin versio kestää myös 175 °C.