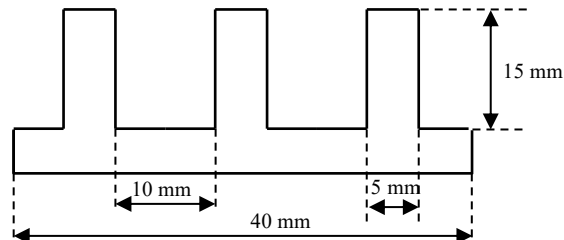


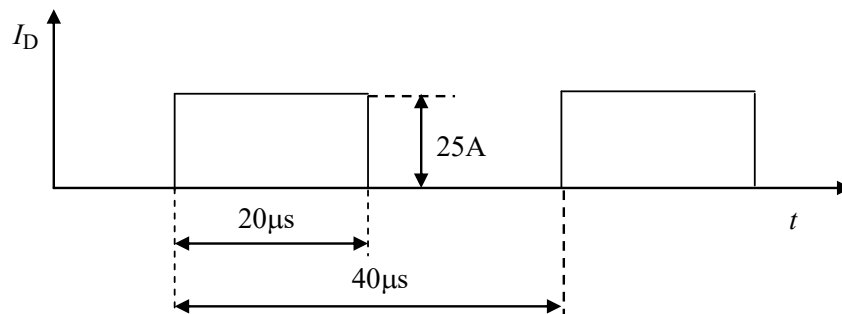
ELEC-E8421 Tehoelektroniikan komponentit

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

- Selvitä lyhyesti (2...4 lausetta + mahdollinen kuva), mitä seuraavilla termeillä tarkoitetaan
 - ioni-istutus
 - takavirran varaus
 - SOA
 - prospektiivinen oikosulkuvirta
 - ESR.
- Esittele IGBT:n rakenne, toimintaperiaate ja ominaisuudet.
- Esittele johtuvien sähkömagneettisten häiriöiden suodattamiseen käytettyjä suodattimia, niiden toimintaperiaatteita ja niissä käytettyjä komponentteja.
- Erään laitteen hakkuriteholähteen tehovuolijohdeiden jäädyttämiseksi luonnollisella tuuletuksella on aiottu muotoilla laitteen 60 mm korkea takaseinä oheisen kuvan poikkileikkauksen mukaiseksi rivoitukseksi (vain yhden komponentin osuus esitetty). Kuinka suuri saa komponentin häviöteho korkeintaan olla, kun takaseinän sisäpinnan lämpötila ei saa ylittää 80 °C lämpötilaa ulkolämpötilan ollessa 50 °C? Käytä kaavaa $R_{th} = 11,7 A^{-0,7} P_H^{-0,15}$ jossa R_{th} on lämpövastus, yksikkö K/W, A on pinta-ala neliödesimetreissä ja P_H häviöteho watteina. Tehtävässä oletetaan, että laitteen sisällä ei ilma kierrä.



- Määrää SCT2080KE SiC mosfetin vaatiman jäähtyselementin lämpövastus, kun fetin virta on oheisen kuvan mukainen. Jäähdytysilman lämpötila on 45 °C ja $V_{GS} = 18$ V. Fetin yli oleva jännite on päällekytkennän aikana 520 V ja katkaisun aikana 700 V.



Tentti 13.12.2018 RATKAISUT

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

Tehtävä 4

$$R_{\text{thSA}} = 11,7 A^{-0.7} P_{\text{H}}^{-0,15} = \frac{T_{\text{S}} - T_{\text{A}}}{P_{\text{H}}}$$

josta saadaan

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

ja edelleen

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

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

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

Tehtävä 5

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

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

Siten johtohäviöenergia per pulssi on

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

Vaihtoehtoisesti voi kuvasta 6 lukea jännitehäviöksi 25 A virralla kun $V_{\text{GS}} = 18 \text{ V}$ ja $T_{\text{J}} = 150^{\circ}\text{C}$ 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.