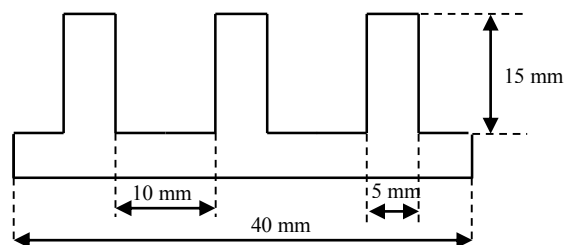


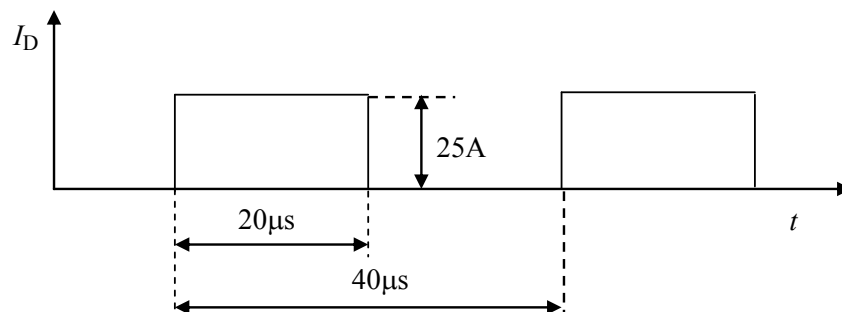
Tentti 10.12.2015, kello 13:00-16:00, sali S5

Tentissä sallitut apuvälineet: kynät, kumit jne., taskulaskin, lukion kaavakokoelma tms., Laplace-taulukko

- Selvitä lyhyesti (max. 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 hakkuritoholähteen tehopuolijohteiden jäähdyttämiseksi 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.



- Määrä SCT2080KE SiC mosfetin vaatiman jäähdytysalueen 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 10.12.2015      RATKAISUT

**Tehtävät 1-2:** Katso kirja,, tehtävä 3 katso handout

## 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

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

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 ei anna tietoja. Kuvassa 15 on annettu fetin kapasitansseihin varautuva energia, joka kuvaa transistorin sisäisiä häviöitä hyvin pienellä kuormavirralla. Nyt kuitenkin virtaa on 25 A.

Arvioidaan kytkenhäviöt yläkanttiin olettamalla virran muuttuvan nousu- ja laskuaikoina lineaarisesti ja jännitteen olevan tänä aikana vakio. Kuvasta 16 saadaan extrapoloimalla 25 A virralla nousuajaksi  $t_{\text{r}}$  noin 60 ns ja laskuajaksi  $t_{\text{f}}$  noin 11 ns.

Siten kytkentähäviöenergiat ovat

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

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

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

Keskimääräiseksi häviötehoksi saadaan

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

Siten jäähdytyslementin lämpövastukseksi fetin ja elementin välinen lämpövastus mukaanlukien saadaan

$$R_{th\text{ CA}} \leq \frac{T_J - R_{th\text{ JC}} P_{H\text{ ave}} - T_A}{P_{H\text{ ave}}} = \frac{150\text{ }^\circ\text{C} - 0,7 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \cdot 60\text{ W} - 45\text{ }^\circ\text{C}}{60\text{ W}} \approx 1,1 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$