

Tentti 15.12.2008, kello 13 ... 16, sali S3 + RATKAISUT

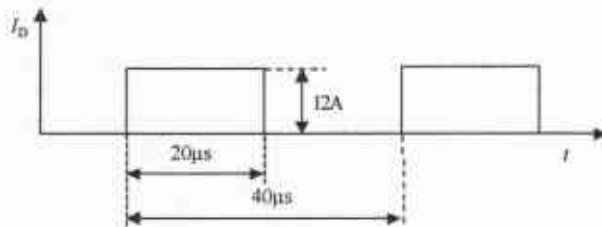
Papereihin

- sukunimi ja etunimet
- opiskelijanumero
- koulutusohjelma.

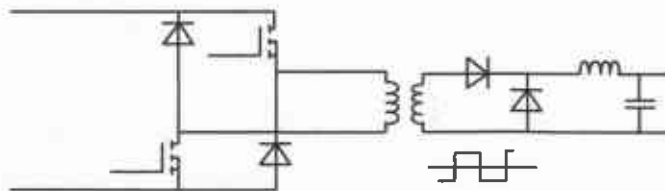
Tentissä sallitut apuvälineet

- kynät, kumit jne.
- taskulaskin
- lukion kaavakokoelma tms. + Laplace taulut

1. Selvitä lyhyesti (max. 2...4 lausetta + mahdollinen kuva), mitä seuraavilla termeillä tarkoitetaan
 - FZ-menetelmä
 - SiC
 - triak
 - heat-pipe
 - ferriitti.
2. Esittele IGBT:n rakenne, toimintaperiaate ja ominaisuudet.
3. Esittele kiihdytetty superpositiomenetelmä. Mitä muita menetelmiä on komponentin lämpenemän laskuun yleisessä tapauksessa? Mitkä ovat niiden edut ja haitat?
4. Määrää IXFH15N60 -fetin vaatiman jäähdytysalustan lämpövastus, kun fetin virta on oheisen kuvan mukainen. Jäähdytysilman lämpötila on $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $V_{GS} = 10\text{ V}$. Fetin yli oleva jännite on päällekytkennän aikana 360 V ja katkaisun aikana 500 V .



5. Erään forward-hakkuriteholähteen (kuva alla) muuntajassa on lieriökäämitys, jonka leveys $b_w = 24,7\text{ mm}$ ja keskimääräinen kierrospituus $l_w = 85,5\text{ mm}$. Ensio- ja toisiokäämityksen paksuudet ovat $h_{w1} = 1,91\text{ mm}$ ja $h_{w2} = 2,3\text{ mm}$ sekä kierrosluvut 193 ja 6. Ension ja toision välissä olevan eristekerroksen paksuus on $0,4\text{ mm}$ sekä $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\text{ H/m}$.



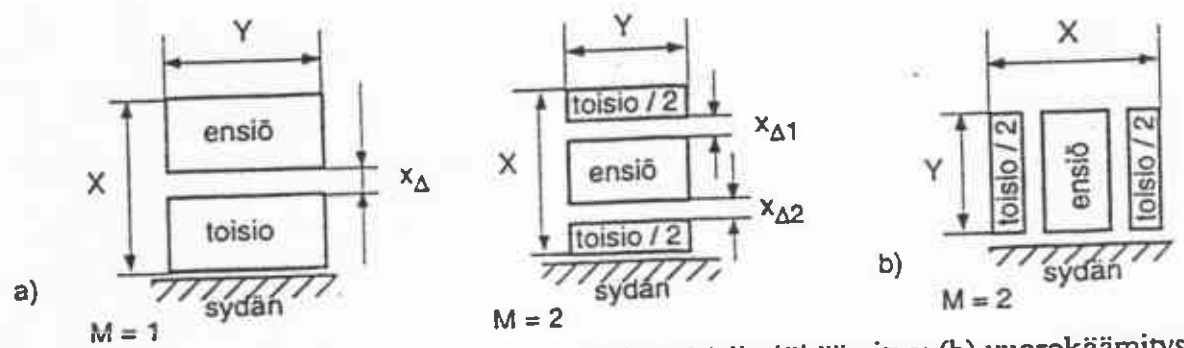
- a) Laske muuntajan toisioon redusoidun hajainduktanssin suuruus (kaava seuraavalla sivulla)
- b) Kuinka pitkä aika kuluu virran kommutointiin toisiossa olevien diodien välillä, kun suotokuristimessa kulkee vakio 30 A virta ja toision tyhjäkäyntijännite on $20\text{ }\mu\text{s}$ kestävästä $+12\text{ V}$ positiivisista ja -12 V negatiivisista pulsseista koostuvaa kantiaaltoa. Oleta yksinkertaisuuden vuoksi, että muuntajan käämityksien resistanssi on nolla, diodeilla ei ole takavirtaa ja että niiden päästöjännite on 1 V .
- c) Miten paljon kommutointi alentaa hakkuriteholähteen lähtöjännitettä edellämainsussa tapauksessa?

Ensiön ja toision välisen hajainduktanssin aiheuttama jännitehäviö on useimmiten hallitseva resistiiviseen nähden. Tavallisesti muuntaja syöttää tasasuuntaajaa, jolloin hajainduktanssien vaikutus näkyy pääasiassa diodien kommutoinnin aikaisena jännitteen alenemana. Eräissä sovelluksissa hajainduktanssista on hyötyäkin, koska se rajoittaa toision oikosulkuvirran.

Kuvan 11.15 mukaisille tapauksille on olemassa kaava:

$$L_{\sigma} = \frac{\mu_0 N^2 l_w}{3Y M^2} (X + 2 \Sigma x_{\Delta}) \tag{11.31}$$

- jossa N = sen käämin kierrosmäärä, johon hajainduktanssi halutaan redusoida,
- $Y = b_w$ jos kyseessä lieriökäämitys (ja ensiö ja toisio ovat yhtä leveitä, $b_{w1} = b_{w2}$)
- $Y = h_w$ jos kyseessä vuorokäämitys (ja ensiö ja toisio ovat yhtä paksuja, $h_{w1} = h_{w2}$)
- Σx_{Δ} = ensiön ja toision välisten eristeiden tai ilmapäliien paksuuksien summa
- X = lieriökäämituksen kokonaispaksuus tai vuorokäämituksen kokonaisleveys
- l_w = keskimääräinen johdinkierroksen pituus
- M = ensiön ja toision välisten eristeiden lukumäärä



Kuva 11.15. Hajainduktanssin määrittämisen mitat; (a) lieriökäämitys; (b) vuorokäämitys.



HiPerFET™ Power MOSFETs

IXFH/IXFM15N60
IXFH/IXFM20N60

| V _{DSS} | I _{D25} | R _{DS(on)} |
|------------------|------------------|---------------------|
| 600 V | 15 A | 0.50 Ω |
| 600 V | 20 A | 0.35 Ω |

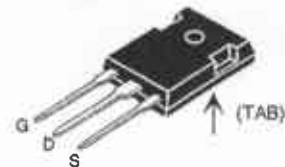
t_{rr} ≤ 250 ns

N-Channel Enhancement Mode
High dv/dt, Low t_{rr}, HDMOS™ Family

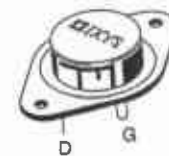


| Symbol | Test Conditions | Maximum Ratings | |
|------------------|---|-----------------------------|-----------|
| V _{DSS} | T _J = 25°C to 150°C | 600 | V |
| V _{DGR} | T _J = 25°C to 150°C; R _{GS} = 1 MΩ | 600 | V |
| V _{GS} | Continuous | ±20 | V |
| V _{GSM} | Transient | ±30 | V |
| I _{D25} | T _C = 25°C | 15N60: 15 20N60: 20 | A |
| I _{DM} | T _C = 25°C, pulse width limited by T _{JM} | 15N60: 60 20N60: 80 | A |
| I _{AR} | T _C = 25°C | 15N60: 15 20N60: 20 | A |
| E _{AR} | T _C = 25°C | 30 | mJ |
| dv/dt | I _S ≤ I _{DM} , di/dt ≤ 100 A/μs, V _{DD} ≤ V _{DSS} , T _J ≤ 150°C, R _{GS} = 2 Ω | 5 | V/ns |
| P _D | T _C = 25°C | 300 | W |
| T _J | | -55 ... +150 | °C |
| T _{JM} | | 150 | °C |
| T _{sig} | | -55 ... +150 | °C |
| T _L | 1.6 mm (0.062 in.) from case for 10 s | 300 | °C |
| M _s | Mounting torque | 1.13/10 | Nm/lb.in. |
| Weight | | TO-204 = 18 g, TO-247 = 6 g | |

TO-247 AD (IXFH)



TO-204 AE (IXFM)



G = Gate, D = Drain,
S = Source, TAB = Drain

Features

- International standard packages
- Low R_{DS(on)} HDMOS™ process
- Rugged polysilicon gate cell structure
- Unclamped Inductive Switching (UIS) rated
- Low package inductance - easy to drive and to protect
- Fast intrinsic Rectifier

Applications

- DC-DC converters
- Synchronous rectification
- Battery chargers
- Switched-mode and resonant-mode power supplies
- DC choppers
- AC motor control
- Temperature and lighting controls
- Low voltage relays

Advantages

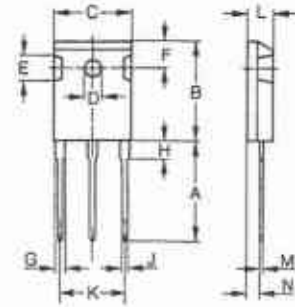
- Easy to mount with 1 screw (TO-247) (isolated mounting screw hole)
- Space savings
- High power density

| Symbol | Test Conditions | Characteristic Values (T _J = 25°C, unless otherwise specified) | | |
|---------------------|---|--|------|--------------------------------|
| | | min. | typ. | max. |
| V _{DSS} | V _{GS} = 0 V, I _D = 250 μA | 600 | | V |
| V _{GS(th)} | V _{DS} = V _{GS} , I _D = 4 mA | 2.0 | | 4.5 V |
| I _{QSS} | V _{GS} = ±20 V _{DC} , V _{DS} = 0 | | | ±100 nA |
| I _{DSS} | V _{DS} = 0.8 · V _{DSS} , V _{GS} = 0 V T _J = 25°C T _J = 125°C | | | 250 μA 1 mA |
| R _{DS(on)} | V _{GS} = 10 V, I _D = 0.5 · I _{D25} Pulse test, t ≤ 300 μs, duty cycle d ≤ 2 % | | | 15N60: 0.50 Ω 20N60: 0.35 Ω |

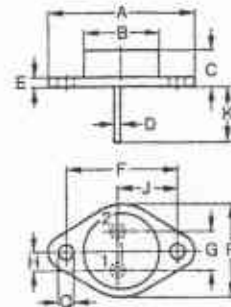
IXYS reserves the right to change limits, test conditions, and dimensions.

| Symbol | Test Conditions | Characteristic Values ($T_J = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified) | | |
|--------------|---|---|------|--------|
| | | min. | typ. | max. |
| g_{fs} | $V_{DS} = 10\text{ V}; I_D = 0.5 \cdot I_{D25}$, pulse test | 11 | 18 | S |
| C_{iss} | $V_{GS} = 0\text{ V}, V_{DS} = 25\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$ | | 4500 | pF |
| C_{oss} | | | 420 | pF |
| C_{rss} | | | 140 | pF |
| $t_{d(on)}$ | $V_{GS} = 10\text{ V}, V_{DS} = 0.5 \cdot V_{DSS}, I_D = 0.5 \cdot I_{D25}$ $R_G = 2\ \Omega$ (External) | | 20 | 40 ns |
| t_r | | | 43 | 60 ns |
| $t_{d(off)}$ | | | 70 | 90 ns |
| t_f | | | 40 | 60 ns |
| $Q_{g(on)}$ | $V_{GS} = 10\text{ V}, V_{DS} = 0.5 \cdot V_{DSS}, I_D = 0.5 \cdot I_{D25}$ | | 151 | 170 nC |
| Q_{gs} | | | 29 | 40 nC |
| Q_{gd} | | | 60 | 85 nC |
| R_{thJC} | | | 0.42 | K/W |
| R_{thCK} | | 0.25 | | K/W |

| Symbol | Test Conditions | Characteristic Values ($T_J = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified) | | |
|----------|---|---|------|---------------|
| | | min. | typ. | max. |
| I_S | $V_{GS} = 0\text{ V}$ | 15N60 20N60 | | 15 A 20 A |
| I_{SM} | Repetitive; pulse width limited by T_{JM} | 15N60 20N60 | | 60 A 80 A |
| V_{SD} | $I_F = I_S, V_{GS} = 0\text{ V}$, Pulse test, $t \leq 300\ \mu\text{s}$, duty cycle $d \leq 2\%$ | | | 1.5 V |
| t_{rr} | $I_F = I_S$ $-di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}$, $V_R = 100\text{ V}$ | $T_J = 25^\circ\text{C}$ | | 250 ns |
| | | $T_J = 125^\circ\text{C}$ | | 400 ns |
| Q_{RM} | $I_F = I_S$ $-di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}$, $V_R = 100\text{ V}$ | $T_J = 25^\circ\text{C}$ | 1 | μC |
| | | $T_J = 125^\circ\text{C}$ | 2 | μC |
| I_{RM} | $I_F = I_S$ $-di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}$, $V_R = 100\text{ V}$ | $T_J = 25^\circ\text{C}$ | 10 | A |
| | | $T_J = 125^\circ\text{C}$ | 15 | A |

TO-247 AD (IXFH) Outline


| Dim. | Millimeter | | Inches | |
|------|------------|-------|--------|-------|
| | Min. | Max. | Min. | Max. |
| A | 19.81 | 20.32 | 0.780 | 0.800 |
| B | 20.80 | 21.46 | 0.819 | 0.845 |
| C | 15.75 | 16.26 | 0.610 | 0.640 |
| D | 3.55 | 3.65 | 0.140 | 0.144 |
| E | 4.32 | 5.49 | 0.170 | 0.216 |
| F | 5.4 | 6.2 | 0.212 | 0.244 |
| G | 1.65 | 2.13 | 0.065 | 0.084 |
| H | - | 4.5 | - | 0.177 |
| J | 1.0 | 1.4 | 0.040 | 0.055 |
| K | 10.8 | 11.0 | 0.426 | 0.433 |
| L | 4.7 | 5.3 | 0.185 | 0.209 |
| M | 0.4 | 0.6 | 0.016 | 0.031 |
| N | 1.5 | 2.49 | 0.087 | 0.102 |

TO-204 AE (IXFM) Outline


| Dim. | Millimeter | | Inches | |
|------|------------|-------|--------|-------|
| | Min. | Max. | Min. | Max. |
| A | 38.81 | 39.12 | 1.520 | 1.540 |
| B | - | 22.22 | - | 0.875 |
| C | 6.40 | 11.40 | 0.252 | 0.449 |
| D | 1.45 | 1.60 | 0.057 | 0.063 |
| E | 1.52 | 3.43 | 0.060 | 0.135 |
| F | 30.15 | BSC | 1.187 | BSC |
| G | 10.67 | 11.17 | 0.420 | 0.440 |
| H | 5.21 | 5.71 | 0.205 | 0.225 |
| J | 16.64 | 17.14 | 0.655 | 0.675 |
| K | 11.18 | 12.19 | 0.440 | 0.480 |
| Q | 3.84 | 4.19 | 0.151 | 0.165 |
| R | 25.16 | 26.66 | 0.991 | 1.050 |

Fig. 1 Output Characteristics

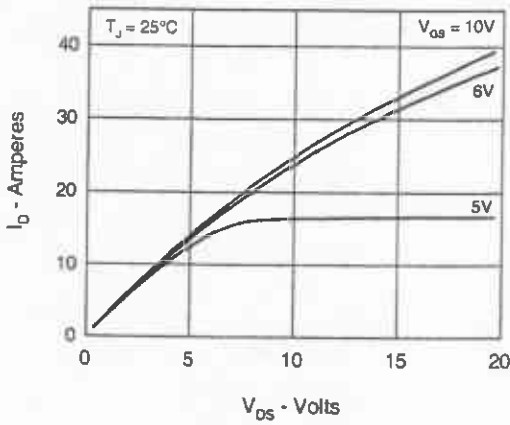


Fig. 2 Input Admittance

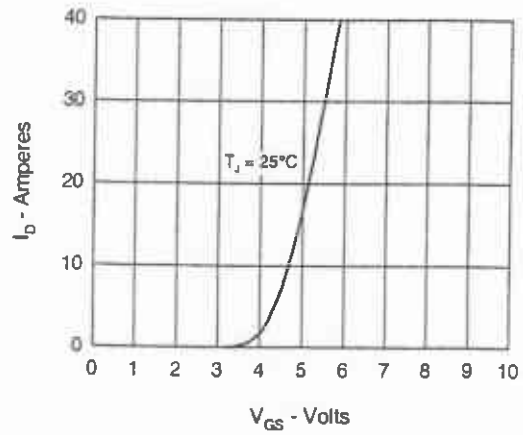


Fig. 3 $R_{DS(on)}$ vs. Drain Current

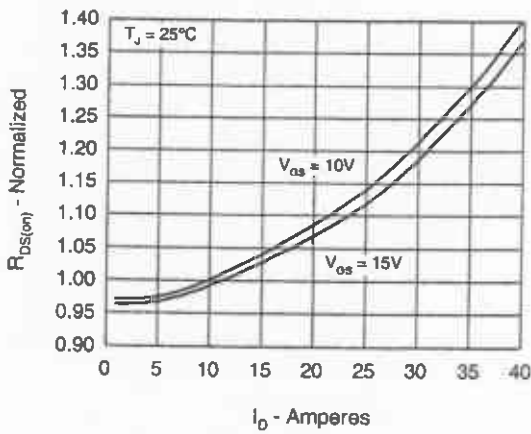


Fig. 4 Temperature Dependence of Drain to Source Resistance

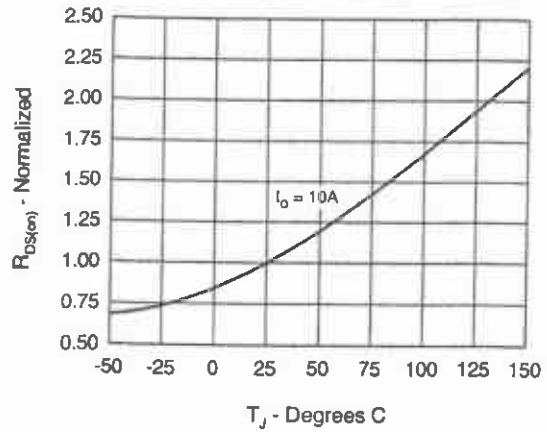


Fig. 5 Drain Current vs. Case Temperature

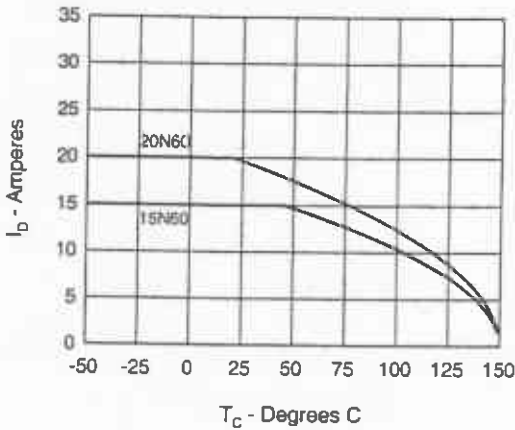


Fig. 6 Temperature Dependence of Breakdown and Threshold Voltage

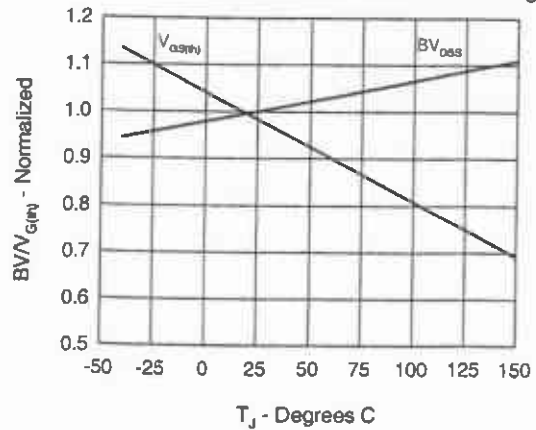


Fig.7 Gate Charge Characteristic Curve

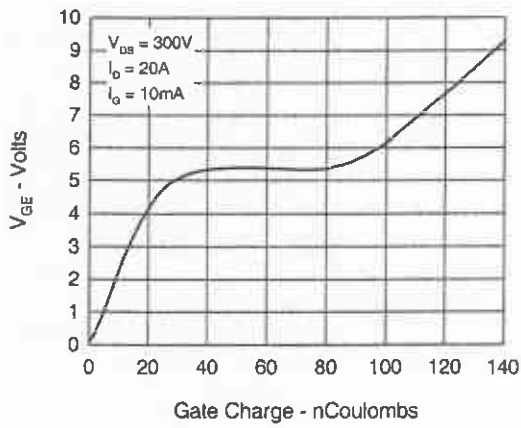


Fig.8 Forward Bias Safe Operating Area

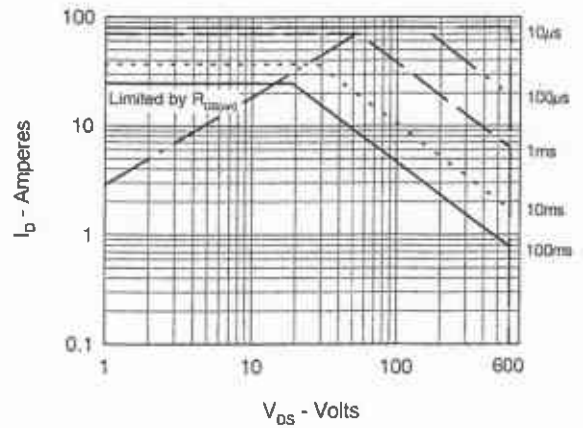


Fig.9 Capacitance Curves

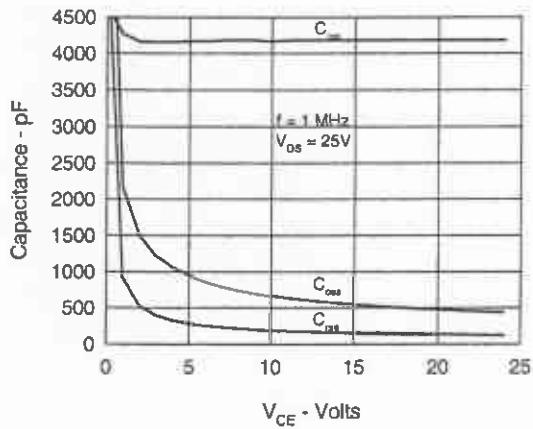
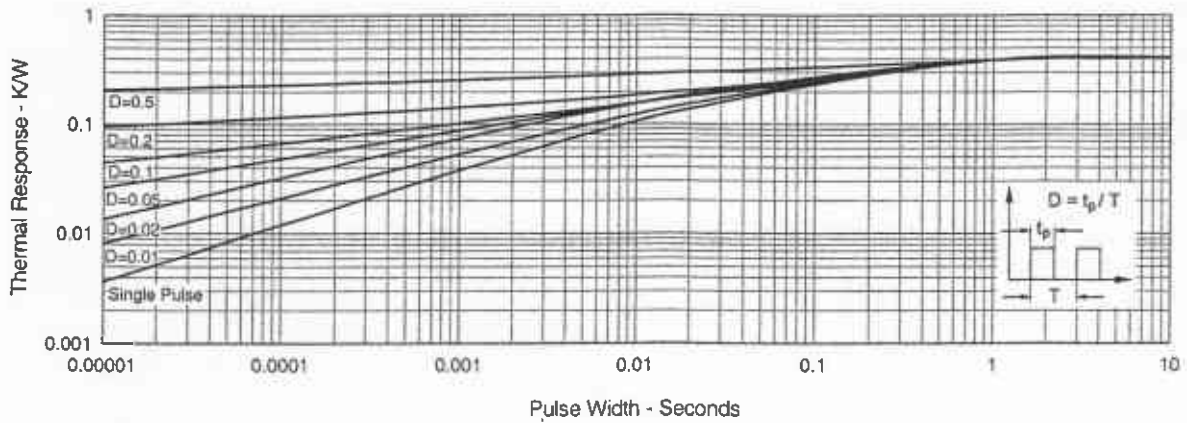


Fig.10 Transient Thermal Impedance



Tentti 15.12.2008 RATKAISUT

Tehtävät 1-3 : Katso kirja

Tehtävä 4

Katso laskuharjoitus 5, tehtävä 2

Tehtävä 5

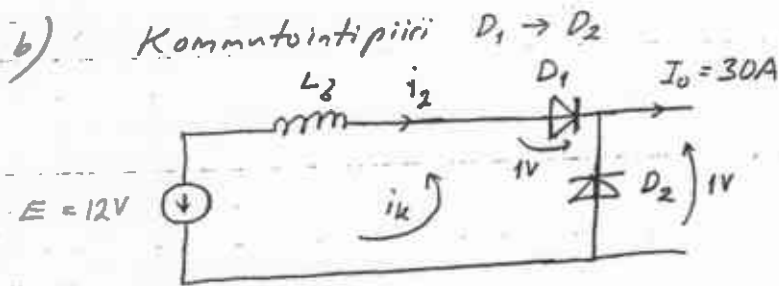
$$a) L_0 = \frac{\mu_0 N^2 l_w}{3 Y M^2} (X + 2 \sum X_\Delta)$$

Toisioon redusointi $\Rightarrow N=6$

$$X = h_{w1} + h_{w2} + \sum X_\Delta = 1,91 + 2,3 + 0,4 \text{ mm} \\ = 4,61 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow L_0 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} \cdot 6^2 \cdot 85,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{3 \cdot 24,7 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 1^2} (4,61 \cdot 10^{-3} \text{ m} + 2 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ m})$$

$$\approx \underline{\underline{282 \text{ nH}}}$$



Kommutointipiirin diodien jännitehäviöt kumoavat kommutointipiirin kannalta toisensa, jos ne ovat oletetut.

⇒ Kommutointipiirin differentiaaliyhtälö

$$E = L \frac{di_k}{dt}$$

Tästä ratkaisuna, kun $i_k(t=0) = 0 \text{ A}$

$$i_k = \int \frac{E}{L} dt = \frac{E}{L} \cdot t$$

Kommutointi loppuu, kun $i_k = I_0 = 30 \text{ A}$
 (Oletetaan että diodin takavirta mitätön, käytännössä se vaikuttaa jonkin verran lopputulokseen)

$$\Rightarrow \underline{t_{\text{kom}}} = \frac{L}{E} I_0 = \frac{282 \text{ nH}}{12 \text{ V}} \cdot 30 \text{ A} = \underline{\underline{0.705 \mu\text{s}}}$$

Kommutointi $D_2 \rightarrow D_1$ on identtinen, jos $I_0 = 30 \text{ A}$ edelleenkin, kuten on oletettu.

5c)

Forward-hakkuri, 25 kHz toimintataajuus

$$\Rightarrow T = \frac{1}{25 \text{ kHz}} = 40 \mu\text{s}$$

Pulssien pituudet $t_{on} = 20 \mu\text{s}$ ja $t_{off} = 20 \mu\text{s} \Rightarrow 50\%$ teoreettinen pulssisuhdeLähtöjännite on positiivisen pulssin aikana (t_{on})

$$E - U_{D1} = 12\text{V} - 1\text{V} = 11\text{V}$$

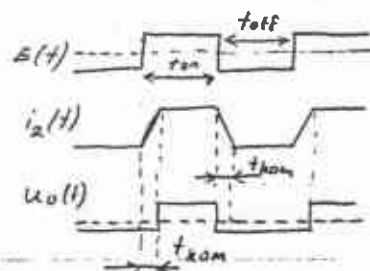
Negatiivisen pulssin aikana (off) jännite on $-U_{D2} = -1\text{V}$

Jos kommutointia ei ole, on lähtöjännitteen keskiarvo

$$\begin{aligned} \bar{u}_o &= \frac{t_{on} \cdot (E - U_{D1}) + t_{off} \cdot (-U_{D2})}{T} \\ &= \frac{20 \mu\text{s} \cdot 11\text{V} + 20 \mu\text{s} \cdot (-1\text{V})}{40 \mu\text{s}} = 5\text{V} \end{aligned}$$

Kommutoinnin aikana lähtöjännite on $-U_{D2} = -1\text{V}$

Siten lähtöjännite on



$$\bar{u}_o = \frac{(t_{on} - t_{kom})(E - U_{D1}) + (t_{off} - t_{kom}) \cdot (-U_{D2}) + 2t_{kom}(-U_{D2})}{T}$$

$$= \frac{19,30 \mu\text{s} \cdot 11\text{V} + 19,3 \mu\text{s} (-1\text{V}) + 1,41 \mu\text{s} (-1\text{V})}{40 \mu\text{s}}$$

$$= 4,79\text{V}$$

$$\Rightarrow \text{Alenema } \Delta u_o \approx 5\text{V} - 4,79\text{V} = 0,21\text{V} \quad (\approx 4,2\%)$$