

Tentti 19.05.2010, kello 9 ... 12, sali S1

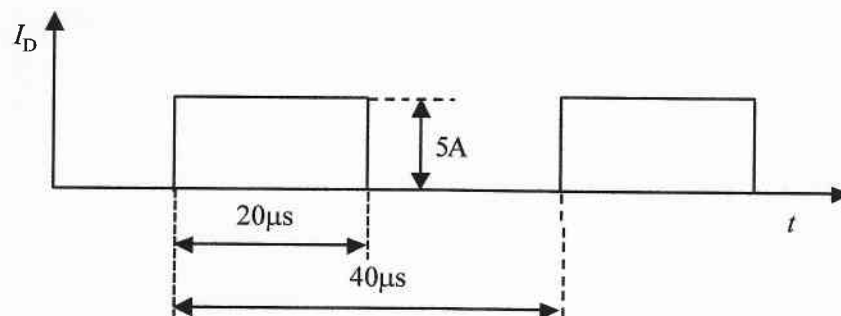
Papereihin

- 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
 - Float Zone -menetelmä
 - vyöry- eli avalanche-diodi
 - NTC-vastus
 - heat-pipe
 - ESR.
2. Esittele IGBT:n rakenne, toimintaperiaate ja ominaisuudet.
3. Selvitä, mitä vaikeuksia on puolijohdetehokomponenttien rinnankytkennässä ja mitä menetelmiä on käytettävissä niiden voittamiseen. Miten diodien sekä MOSFET- ja IGBT-komponenttien ominaisuudet vaikuttavat niiden toimintaan rinnankytkennässä?
4. Määrä IRG4BC20UPbF -IGBT:n vaatiman jäähdytysalustan lämpövastus, kun IGBT:n virta on oheisen kuvan mukainen. Jäähdytysilman lämpötila on $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_{GE} = 15\text{ V}$ ja $R_G = 50\ \Omega$. IGBT:n yli oleva jännite on päällekytkennän aikana 360 V ja katkaisun aikana 500 V .



5. Erään jännitettä laskevan tasasähkökatkojan lähtövirtapulssit on tarkoitus muodostaa ferriittirenkaasta TN26/15/10-3C90 tehdyn kuristimen avulla. Kuristimen yli on 19 V jännite $10\ \mu\text{s}$ ajan, jona aikana kuristimen virran halutaan kasvavan nolasta noin $0,5\text{ A}$ maksimiarvoon.
 - a) Kuinka monta johdinkierrosta pitää olla tarvittavan induktanssin aikaansaamiseksi?
 - b) Mikä on renkaan vuontiheys B maksimivirralla kyseisellä kierrosmäärällä?
 - c) Onko kyseinen ferriittirengas sopiva tähän sovellukseen? Perustele päätelmäsi.

Kaavoja ja datalehti viimeisillä sivulla. Huom! ferriittirenkaassa ei ole ilmaväliä!

International IR Rectifier

PD - 95445

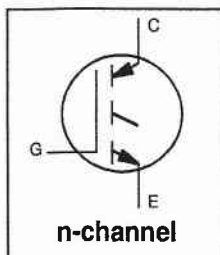
IRG4BC20UPbF

INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR

UltraFast Speed IGBT

Features

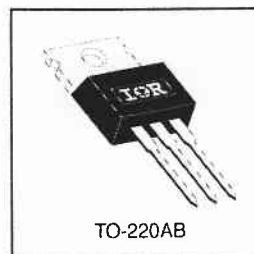
- UltraFast: optimized for high operating frequencies 8-40 kHz in hard switching, >200 kHz in resonant mode
- Generation 4 IGBT design provides tighter parameter distribution and higher efficiency than Generation 3
- Industry standard TO-220AB package
- Lead-Free



$V_{CES} = 600V$
$V_{CE(on)typ.} = 1.85V$
@ $V_{GE} = 15V, I_C = 6.5A$

Benefits

- Generation 4 IGBTs offer highest efficiency available
- IGBTs optimized for specified application conditions
- Designed to be a "drop-in" replacement for equivalent industry-standard Generation 3 IR IGBTs



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Parameter	Max.	Units
V_{CES}	Collector-to-Emitter Breakdown Voltage	600	V
$I_C @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Collector Current	13	A
$I_C @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Collector Current	6.5	
I_{CM}	Pulsed Collector Current ①	52	
I_{LM}	Clamped Inductive Load Current ②	52	
V_{GE}	Gate-to-Emitter Voltage	± 20	V
E_{ARV}	Reverse Voltage Avalanche Energy ③	5.0	mJ
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Maximum Power Dissipation	60	W
$P_D @ T_C = 100^\circ C$	Maximum Power Dissipation	24	
T_J	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to + 150	°C
T_{STG}	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (0.063 in. (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw.	10 lbf·in (1.1N·m)	

Thermal Resistance

Parameter	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	2.1	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient, typical socket mount	—	80	
Wt	Weight	2.0 (0.07)	—	g (oz)

IRG4BC20UPbF

International
IR RectifierElectrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)CES}$	Collector-to-Emitter Breakdown Voltage	600	—	—	V	$V_{GE} = 0V, I_C = 250\mu A$
$V_{(BR)ECS}$	Emitter-to-Collector Breakdown Voltage ①	18	—	—	V	$V_{GE} = 0V, I_C = 1.0A$
$\Delta V_{(BR)CES}/\Delta T_J$	Temperature Coeff. of Breakdown Voltage	—	0.69	—	V/°C	$V_{GE} = 0V, I_C = 1.0mA$
$V_{CE(ON)}$	Collector-to-Emitter Saturation Voltage	—	1.85	2.1	V	$I_C = 6.5A, V_{GE} = 15V$ See Fig. 2, 5
		—	2.27	—		
		—	1.87	—		
$V_{GE(th)}$	Gate Threshold Voltage	3.0	—	6.0		$V_{CE} = V_{GE}, I_C = 250\mu A$
$\Delta V_{GE(th)}/\Delta T_J$	Temperature Coeff. of Threshold Voltage	—	-11	—	mV/°C	$V_{CE} = V_{GE}, I_C = 250\mu A$
g_{fe}	Forward Transconductance ②	1.4	4.3	—	S	$V_{CE} = 100V, I_C = 6.5A$
I_{CES}	Zero Gate Voltage Collector Current	—	—	250	μA	$V_{GE} = 0V, V_{CE} = 600V$ $V_{GE} = 0V, V_{CE} = 10V, T_J = 25^\circ C$ $V_{GE} = 0V, V_{CE} = 600V, T_J = 150^\circ C$
		—	—	2.0		
		—	—	1000		
I_{GES}	Gate-to-Emitter Leakage Current	—	—	± 100	nA	$V_{GE} = \pm 20V$

Switching Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Q_n	Total Gate Charge (turn-on)	—	27	41	nC	$I_C = 6.5A$ $V_{CC} = 400V$ See Fig. 8 $V_{GE} = 15V$
Q_{ge}	Gate - Emitter Charge (turn-on)	—	4.5	6.8		
Q_{gc}	Gate - Collector Charge (turn-on)	—	10	16		
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	21	—	ns	$T_J = 25^\circ C$ $I_C = 6.5A, V_{CC} = 480V$ $V_{GE} = 15V, R_G = 50\Omega$ Energy losses include "tail"
t_r	Rise Time	—	13	—		
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	86	130		
t_f	Fall Time	—	120	180	mJ	See Fig. 10, 11, 13, 14
E_{on}	Turn-On Switching Loss	—	0.10	—		
E_{off}	Turn-Off Switching Loss	—	0.12	—		
E_s	Total Switching Loss	—	0.22	0.4	ns	$T_J = 150^\circ C,$ $I_C = 6.5A, V_{CC} = 480V$ $V_{GE} = 15V, R_G = 50\Omega$ Energy losses include "tail"
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	20	—		
t_r	Rise Time	—	14	—		
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	190	—	mJ	See Fig. 13, 14
t_f	Fall Time	—	140	—		
E_s	Total Switching Loss	—	0.42	—		
L_E	Internal Emitter Inductance	—	7.5	—	nH	Measured 5mm from package
C_{ies}	Input Capacitance	—	530	—	pF	$V_{GE} = 0V$ $V_{CC} = 30V$ See Fig. 7 $f = 1.0MHz$
C_{oes}	Output Capacitance	—	39	—		
C_{res}	Reverse Transfer Capacitance	—	7.4	—		

Notes:

- ① Repetitive rating; $V_{GE} = 20V$, pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 13b)
- ② $V_{CC} = 80\%(V_{CES}), V_{GE} = 20V, L = 10\mu H, R_G = 50\Omega,$ (See fig. 13a)
- ③ Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature.
- ④ Pulse width $\leq 80\mu s$; duty factor $\leq 0.1\%$.
- ⑤ Pulse width $5.0\mu s$, single shot.

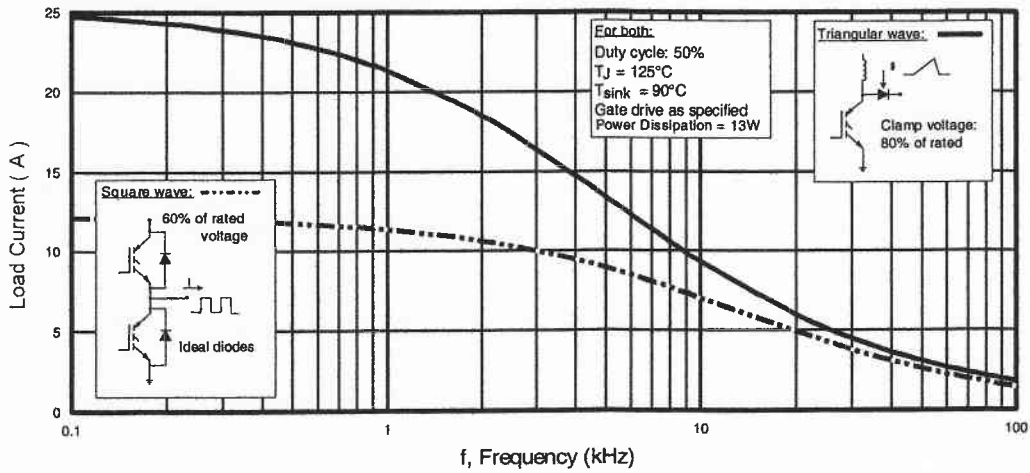


Fig. 1 - Typical Load Current vs. Frequency
(For square wave, $I = I_{\text{RMS}}$ of fundamental; for triangular wave, $I = I_{\text{PK}}$)

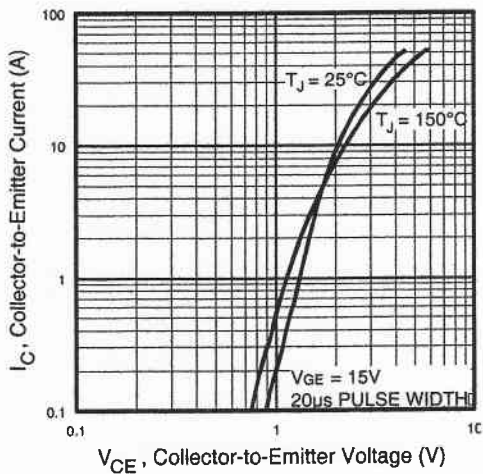


Fig. 2 - Typical Output Characteristics

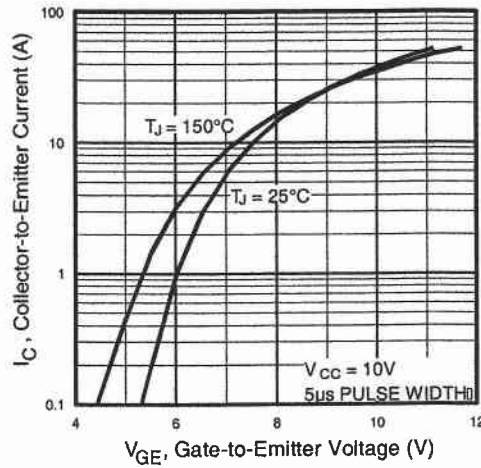


Fig. 3 - Typical Transfer Characteristics

IRG4BC20UPbF

International
IR Rectifier

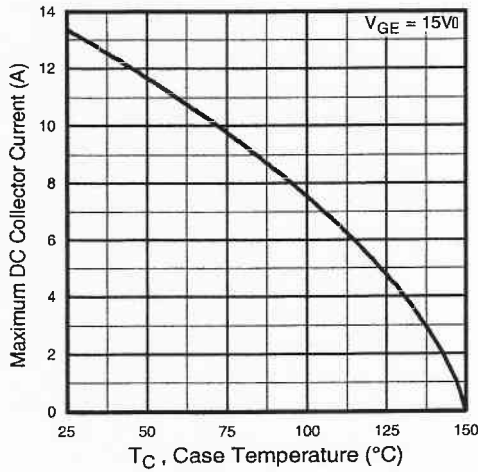


Fig. 4 - Maximum Collector Current vs. Case Temperature

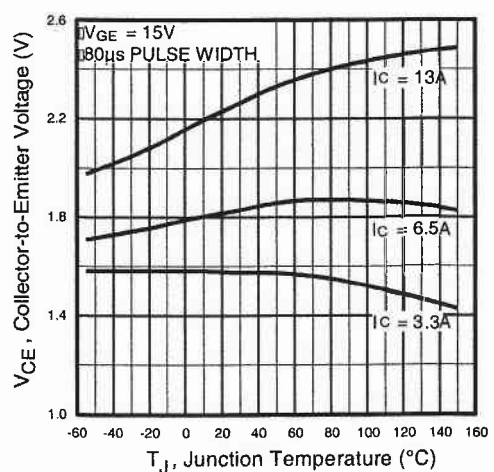


Fig. 5 - Collector-to-Emitter Voltage vs. Junction Temperature

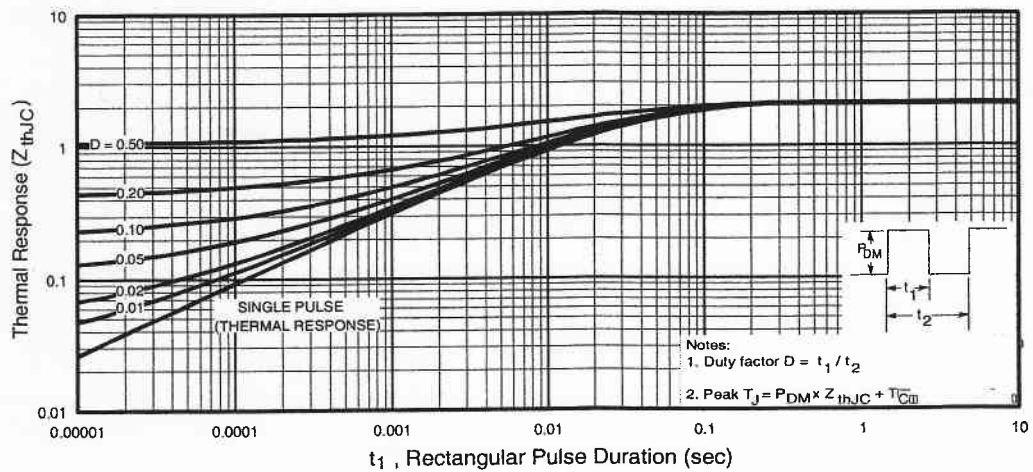


Fig. 6 - Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

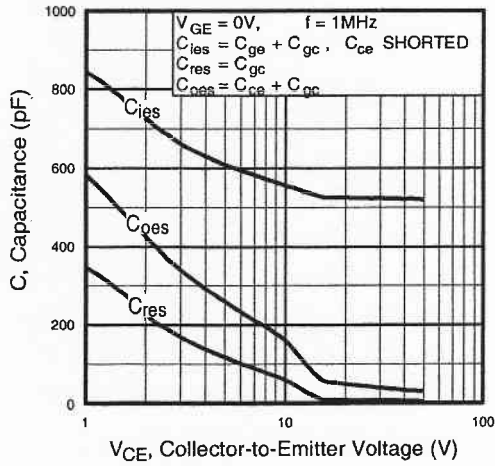


Fig. 7 - Typical Capacitance vs. Collector-to-Emitter Voltage

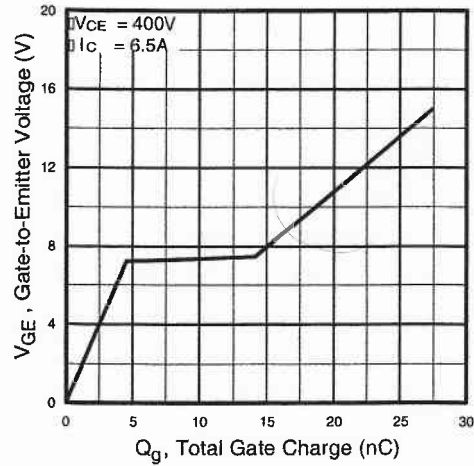


Fig. 8 - Typical Gate Charge vs. Gate-to-Emitter Voltage

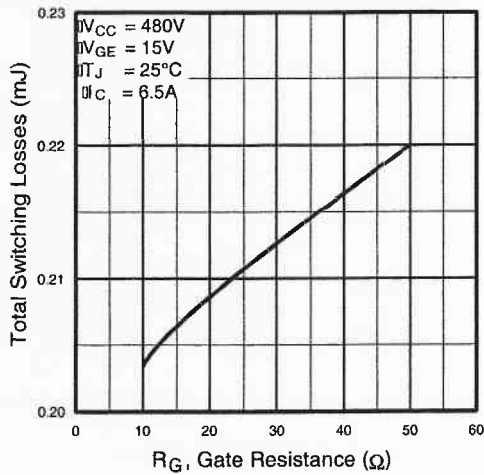


Fig. 9 - Typical Switching Losses vs. Gate Resistance

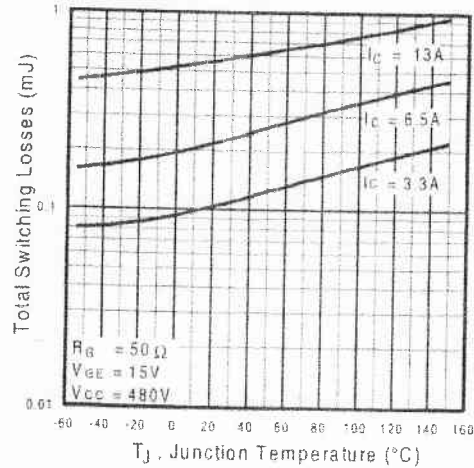


Fig. 10 - Typical Switching Losses vs. Junction Temperature

IRG4BC20UPbF

International
IR Rectifier

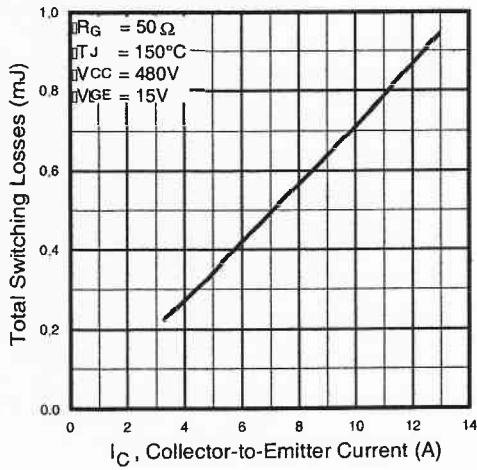


Fig. 11 - Typical Switching Losses vs. Collector-to-Emitter Current

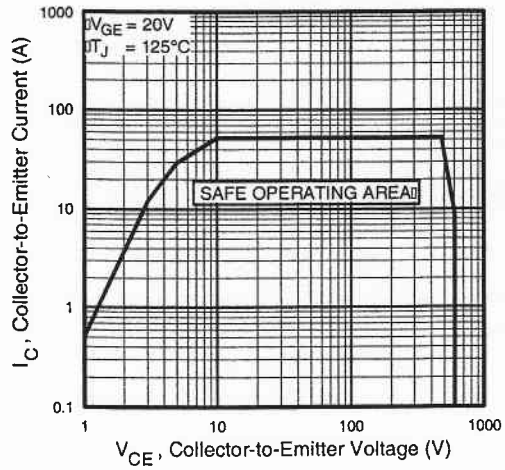
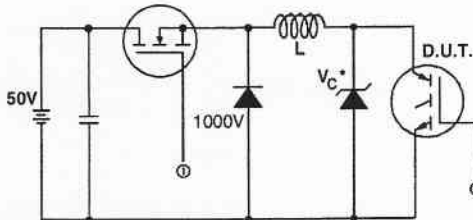


Fig. 12 - Turn-Off SOA



* Driver same type as D.U.T.; $V_c = 80\%$ of $V_{ce(max)}$
* Note: Due to the 50V power supply, pulse width and Inductor will increase to obtain rated I_d .

Fig. 13a - Clamped Inductive Load Test Circuit

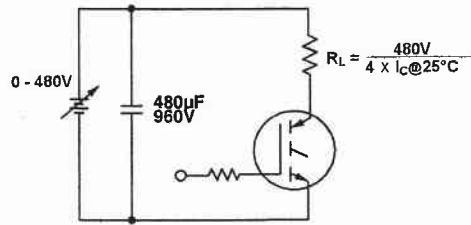


Fig. 13b - Pulsed Collector Current Test Circuit

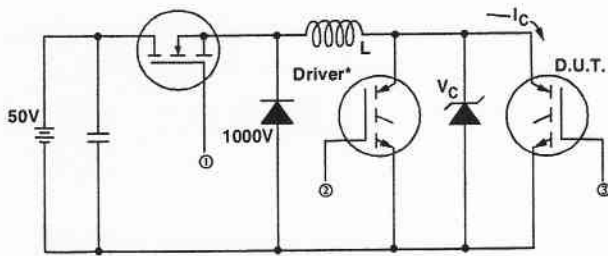


Fig. 14a - Switching Loss Test Circuit

* Driver same type as D.U.T., $V_c = 480V$

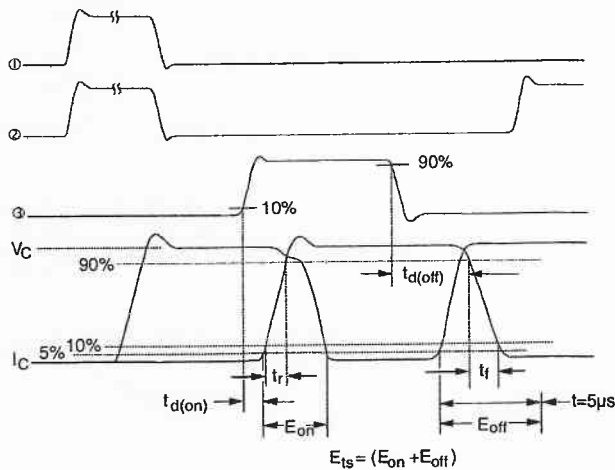


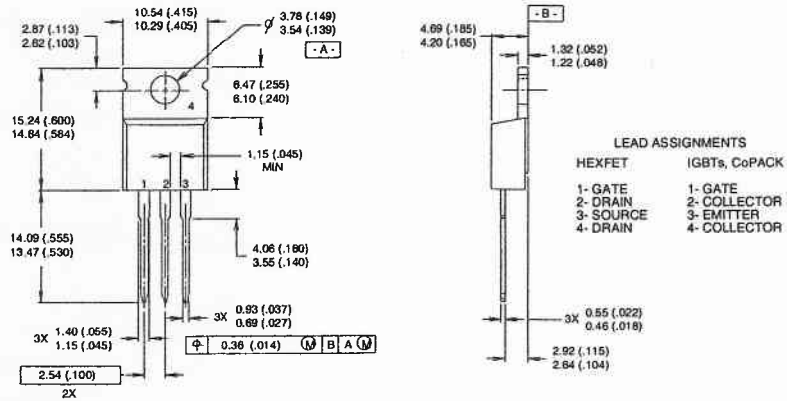
Fig. 14b - Switching Loss Waveforms

IRG4BC20UPbF

International
IR Rectifier

TO-220AB Package Outline

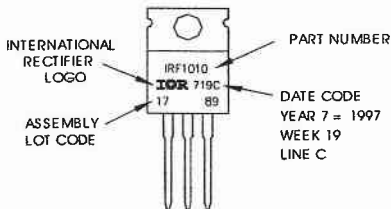
Dimensions are shown in millimeters (inches)



- NOTES:
- 1 DIMENSIONING & TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 - 2 CONTROLLING DIMENSION : INCH
 - 3 OUTLINE CONFORMS TO JEDEC OUTLINE TO-220AB.
 - 4 HEATSINK & LEAD MEASUREMENTS DO NOT INCLUDE BURRS.

TO-220AB Part Marking Information

EXAMPLE: THIS IS AN IRF1010
 LOT CODE 1789
 ASSEMBLED ON WW 19, 1997
 IN THE ASSEMBLY LINE "C"
 Note: "P" in assembly line position indicates "Lead-Free"



Data and specifications subject to change without notice.

International
IR Rectifier

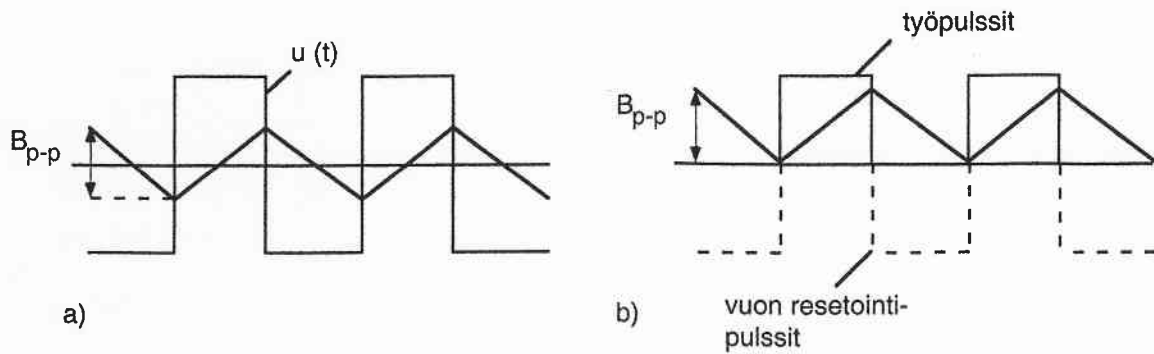
IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105
 TAC Fax: (310) 252-7903
 Visit us at www.irf.com for sales contact information.06/04

www.irf.com

Hakkuriteholähteissä tavallisille kantimuotoisille jännitteille pätee, kuva 11.4:

$$B_{p-p} = \frac{\int U(t) dt}{A N} \approx \frac{U t_d}{A N} \quad (11.16)$$

jossa U on t_d -mittaisen pulssin jännite, A on ferriitin poikkileikkauspinta-ala ja N on ko. käämin kierrosluku.



Kuva 11.4. Jännite ja vuontiheys eräissä tyypillisissä hakkuriteholähdemuuntajissa /8/; (a) balansoitu vuorovaihe; (b) forward-hakkuri, vertaa kuva 11.6.

$$L = \frac{N \phi}{I} \quad (11.18)$$

$$\phi = \frac{\mu_0 N I}{\frac{l_g}{A_g} + \sum \frac{l_m}{\mu A_m}} \approx \frac{\mu_0 N I}{\frac{l_g}{A_g} + \frac{l_e - l_g}{\mu A_e}} \approx \frac{\mu_0 N I}{\frac{l_g}{A_g} + \frac{C_1}{\mu}} \quad (11.19)$$

$$L \approx \frac{\mu_0 N^2}{\frac{l_g}{A_g} + \frac{C_1}{\mu}} = \frac{\mu_0 \mu_e N^2 A_e}{l_e} = A_L N^2 \quad (11.20)$$

jossa l_g ja A_g ovat ilmvälän pituus ja pinta-ala sekä l_e ja A_e ovat efektiivinen magneettipiirin pituus ja pinta-ala. μ_0 on tyhjän ($= 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m) ja μ_e ilmvälän sisältävän sydämen efektiivinen permeabiliteetti ja C_1 on sydänvakio. A_L on induktanssikerroin sydämelle tällä ilmvälillä.

RING CORES (TOROIDS)

Effective core parameters

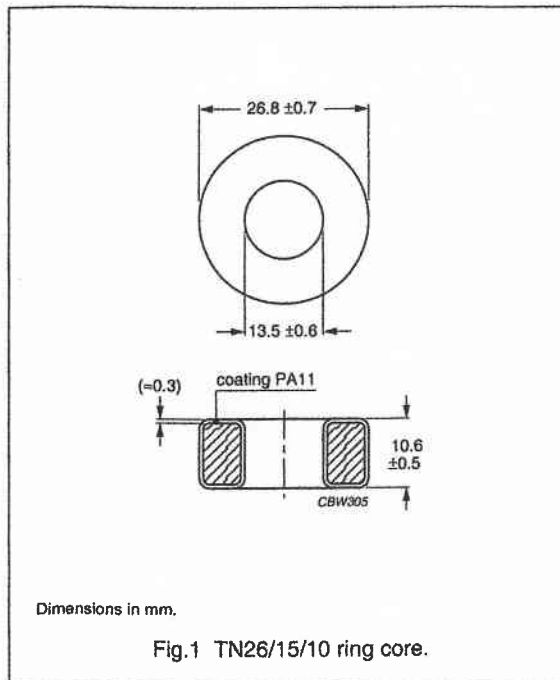
SYMBOL	PARAMETER	VALUE	UNIT
$\Sigma(l/A)$	core factor (C1)	1.08	mm ⁻¹
V_e	effective volume	3360	mm ³
l_e	effective length	60.1	mm
A_e	effective area	55.9	mm ²
m	mass of core	≈ 17	g

Coating

The cores are coated with polyamide 11 (PA11), flame retardant in accordance with "UL 94V-2"; UL file number E 45228 (M).
The colour is white.

Isolation voltage

DC isolation voltage: 2000 V.
Contacts are applied on the edge of the ring core, which is also the critical point for the winding operation.



Ring core data

GRADE	A_L (nH)	μ_i	TYPE NUMBER
4A11	990 ± 25%	≈ 700 ⁽¹⁾	TN26/15/10-4A11
3C90	2645 ± 25%	≈ 2300	TN26/15/10-3C90
3C11	5000 ± 25%	≈ 4300	TN26/15/10-3C11
3E25	6420 ± 25%	≈ 5500	TN26/15/10-3E25

1. Old permeability specification maintained.

Properties of cores under power conditions

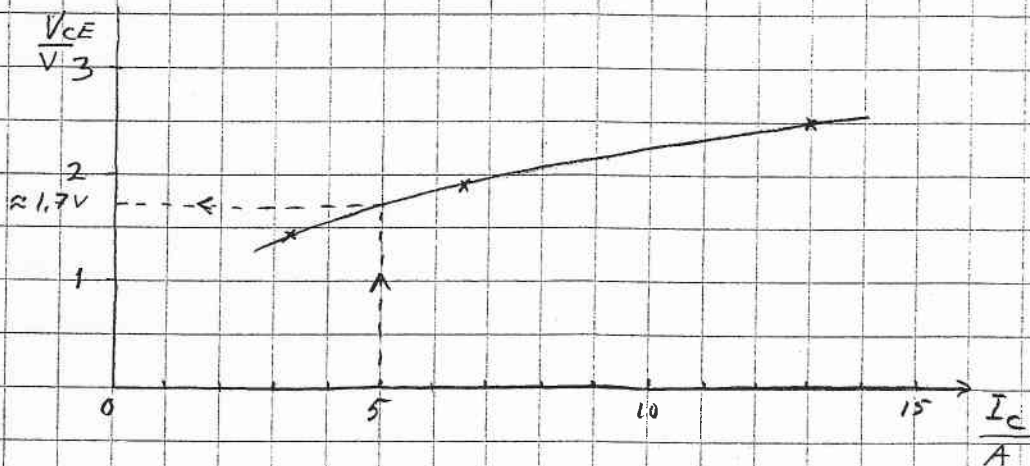
GRADE	B (mT) at	CORE LOSS (W) at	
	H = 250 A/m; f = 25 kHz; T = 100 °C	f = 25 kHz; B = 200 mT; T = 100 °C	f = 100 kHz; B = 100 mT; T = 100 °C
3C90	≥ 320	≤ 0.38	≤ 0.38

Teht. 1 - 3 : Katso kirja

Teht. 4

Johtohäviöt

Suoraan kuvasta 2: $V_{CE} = 14 \cdot 10^{\frac{6\text{mm}}{26\text{mm}}} \approx 1,7\text{V}$ tai
Kuva 5 aukkipiirrettynä; kun $T_J = 150^\circ\text{C}$



Siksi $V_{CE} \approx 1,7\text{V}$

$$E_{\text{HON}} = V_{CE} \cdot I_C \cdot t_{\text{ON}} = 1,7\text{V} \cdot 5\text{A} \cdot 20\mu\text{s} = 170\mu\text{J}$$

Kytkentähäviöt

Kaikkiaan kuvissa 9, 10 ja 11 on päällekytkentä ja katkaisuhäviöiden summa 480 V jännitteelle. Nyt päällekytkennän aikana jännite on 360V ja katkaisussa 500V. Numeroarvista nähdään (switching characteristics) että 25°C lämpötilassa suhde $E_{\text{on}} / E_{\text{off}} = 0,1\text{mJ} / 0,12\text{mJ} \approx 0,833$. Oletetaan, että sama suhde pätee myös isommissa lämpötiloissa.

Teht. 4 jatkoa

Kuvasta 11 saadaan 5 A virralla ja 480 V jännitteellä

$$E_{rs} \approx 340 \mu\text{J} \quad \text{joten} \quad E_{on} = \frac{0,1 \text{ ms}}{0,22 \text{ ms}} \cdot 340 \mu\text{J} \approx 155 \mu\text{J}$$

$$E_{off} = \frac{0,12 \text{ ms}}{0,22 \text{ ms}} \cdot 340 \mu\text{J} = 185 \mu\text{J}$$

Jos oletetaan häviön olevan verrannollinen jännitteeseen, ovat kytkentähäviöt

$$E_{on} \approx \frac{500 \text{ V}}{480 \text{ V}} \cdot 155 \mu\text{J} \approx 116 \mu\text{J}$$

$$\dots \quad E_{off} \approx \frac{360 \text{ V}}{480 \text{ V}} \cdot 185 \mu\text{J} = 193 \mu\text{J}$$

Siten

$$P_{H_{ave}} = \frac{1}{T} (E_{cond} + E_{on} + E_{off}) = \frac{1}{40 \mu\text{s}} (170 \mu\text{J} + 116 \mu\text{J} + 193 \mu\text{J})$$

$$= 12,0 \text{ W}$$

Määritetään kuoren lämpötila kuvan 6 perusteella

Keskimääräinen teho johtoajalle laskettuna on

$$P_{DM} = \frac{T}{t_{on}} \cdot P_{H_{ave}} = \frac{40 \mu\text{s}}{20 \mu\text{s}} \cdot 12,0 \text{ W} = 24,0 \text{ W}$$

$$\text{Kuvasta 6 kun} \quad D = \frac{t_{on}}{T} = \frac{20 \mu\text{s}}{40 \mu\text{s}} = 0,5 \quad \text{ja} \quad t_i = t_{on} = 20 \mu\text{s}$$

$$Z_{th,JC} \approx 1,1 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$\Rightarrow T_c = T_J - P_{DM} \cdot Z_{th,JC} = 150 \text{ } ^\circ\text{C} - 24,0 \text{ W} \cdot 1,1 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} = 124 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Jäähdytysalueen lämpövastuksen on siten oltava

$$\underline{R_{th,SA}} \leq \frac{T_c - T_A}{P_{H_{ave}}} - R_{th,CS} = \frac{124 \text{ } ^\circ\text{C} - 45 \text{ } ^\circ\text{C}}{12,0 \text{ W}} - 0,5 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$\approx \underline{6,1 \text{ } ^\circ\text{C/W}}$$

5)

- a) Halutaan siis että 19V jännite aiheuttaa 0,5A virranmuutoksen 10 μ s aikana.

Induktanssin on siis oltava

$$L = U \cdot \frac{t_d}{\Delta I} = 19V \cdot \frac{10\mu s}{0.5A} \approx 380\mu H$$

Datalehdestä nähdään, että induktanssi-kerroin $A_L = 2645\text{ nH}$. Siten kierroksia on oltava:

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}} = \sqrt{\frac{380\mu H}{2645\text{ nH}}} \approx 12$$

- b) Kaavan (11.16) avulla, kun $A_e = 55.9\text{ mm}^2$

$$B = \frac{U \cdot t_d}{A_e \cdot N} = \frac{19V \cdot 10\mu s}{55.9 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2 \cdot 12} \approx 280\text{ mT}$$

(Saman tuloksen saa tietenkin myös kaavasta $B = \frac{\Phi}{A_e} = \frac{L \cdot I}{A_e N}$)

- c) Saatu vuontihyden arvo 280 mT on aika korkea, joten sydämen häviöt voivat olla liian suuret jos kytkentätaajuus on suuri. Tämä voidaan päävälttää datalehden alimmasta taulukosta, jossa esitetyt häviöt on annettu oikeellisesti pienemmillä vuontihyksillä. Lisäksi arvo 280 mT on jo lähellä hyllystysvuontihyettä, joka on $\approx 320\text{ mT}$. Voisi olla järkevää valita isompi ferrittirengas tai käyttää ilmarälin omaavaa sydäntä.