

Tentti 11.3.2011, kello 9 ... 12, sali S3

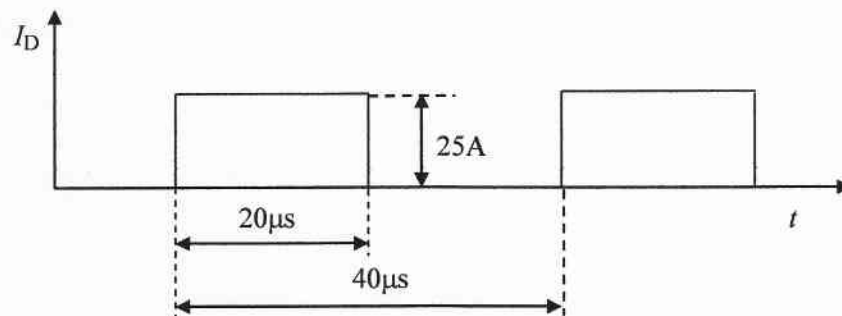
Papereihin

- sukunimi ja etunimet
- opiskelijanumero
- koulutusohjelma.

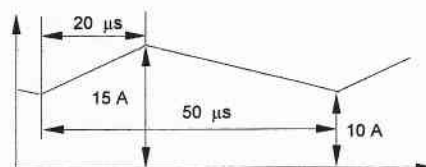
Tentissä sallitut apuvälineet

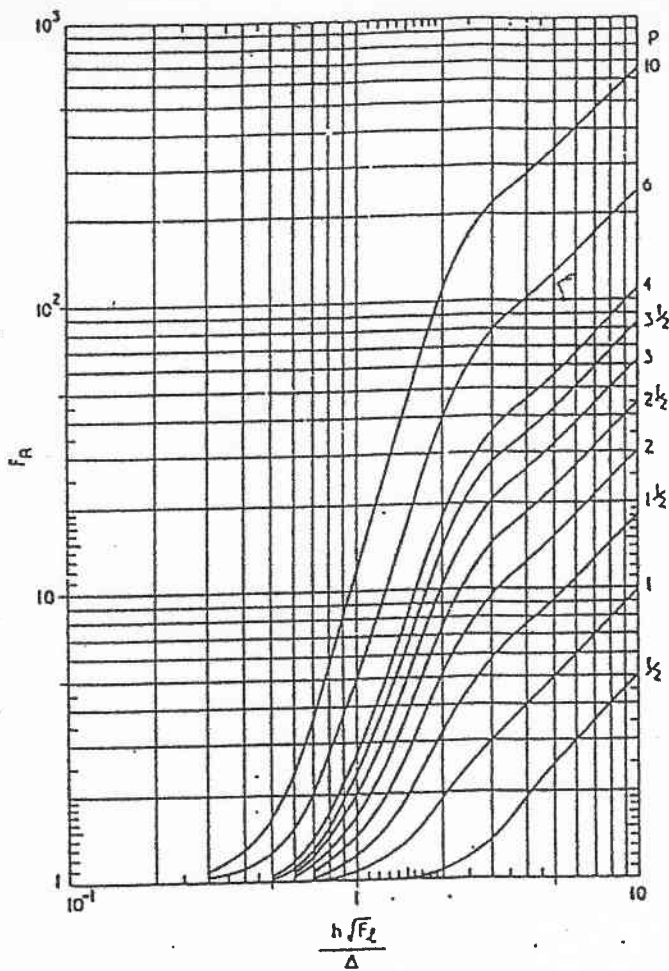
- kynät, kumit jne.
- taskulaskin
- lukion kaavakokoelma tms. + Laplace taulut

- Selvitä lyhyesti (max. 2...4 lausetta + mahdollinen kuva), mitä seuraavilla termeillä tarkoitetaan
 - ioni-istutus
 - takavirta
 - IGCT
 - ESR
 - lähivaikutus.
- Esittele IGBT:n rakenne, toimintaperiaate ja ominaisuudet.
- Esittele syyt puolijohdetehokomponenttien suojaukseen. Esittele myös lyhyesti käytettyjä suojausmenetelmiä.
- Määrä **CMF20120D SiC-MOSFET**:in vaatiman jäähdytyslementin lämpövastus, kun fetin virta on oheisen kuvan mukainen. Hilan jännite on johtotilassa + 22 V ja johtamattomassa tilassa - 2 V. Hilaohjaimen sisäinen resistanssi on 6,8 Ω . Fetin yli oleva jännite on päällekytkennän aikana 600 V ja katkaisun aikana 800 V. Jäähdytysilman lämpötila on 45 °C.



- Erään hakkuriteholähteen pienjännitelähdön tasavirran suodatuksen käytetään ferriittisydämistä kuristinta, joka on käämitty kiertämällä 8 kierrosta 35 mm levyistä ja 0,5 mm paksuista kuparifoliota käämirungon ympäri. Kuparifolioon on teipattu toiselle puolelle eristeeksi 0,2 mm paksu muovikalvo. Käämirungon halkaisija on 40 mm ja leveys 38 mm. Kuristimen virta on oheisen kuvan mukainen. Laske käämin häviöteho. Huom! Mitoituksessa tarvittavia käyriä ym. on tehtäväpaperin sivulla 2.





Kuva 11.13 Resistanssikertoimen määrittäjäkäyrästä /15/

$$F_L = N_L \frac{b}{b_w}$$

N_L kierrosta/kerran

$$\Delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \mu_0 \mu_c f_e}}$$

$$\rho_{Cu}(100^\circ C) = 2.26 \cdot 10^{-8} \Omega m$$

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{m}$$

$$f_e = \frac{1,3 f}{\sqrt{1 + 3 \left(\frac{I_0}{I_{ac}} \right)^2}}$$

$$I_{ac} = \frac{I_p - I}{2}$$

Jos $f_e < 1 \text{ kHz} \Rightarrow I_e^2 = I_0^2 + \frac{I_{ac}^2}{3}$



CMF20120D—silicon Carbide Power MOSFET

Z-FET™ MOSFET

N-Channel Enhancement Mode

V_{DS}	= 1200 V
$R_{DS(on)}$	= 80 mΩ
$I_{D(MAX)}@T_c=25^\circ\text{C}$	= 33 A

Features

- Industry Leading $R_{DS(on)}$
- High Speed Switching
- Low Capacitances
- Easy to Parallel
- Simple to Drive
- Pb-Free Plating, RoHS Compliant, Halogen Free

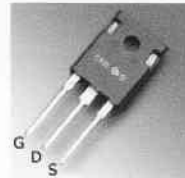
Benefits

- Higher System Efficiency
- Reduced Cooling Requirements
- Avalanche Ruggedness
- Increased System Switching Frequency

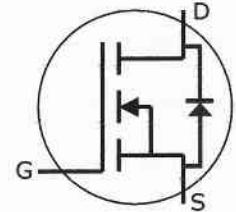
Applications

- Solar Inverters
- High Voltage DC/DC Converters
- Motor Drives

Package



TO-247-3



Part Number	Package
CMF20120D	TO-247-3

Maximum Ratings

Symbol	Parameter	Value	Unit	Test Conditions	Note
I_D	Continuous Drain Current	33	A	$V_{GS}@20V, T_C = 25^\circ\text{C}$	
		17		$V_{GS}@20V, T_C = 100^\circ\text{C}$	
I_{Dpulse}	Pulsed Drain Current	78	A	Pulse width t_p limited by T_{jmax} $T_C = 25^\circ\text{C}$	
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy	2.2	J	$I_D = 20A, V_{DD} = 50 V,$ $L = 9.5 \text{ mH}$	
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy	1.5	J	t_{AR} limited by T_{jmax}	
I_{AR}	Repetitive Avalanche Current	20	A	$I_D = 20A, V_{DD} = 50 V, L = 3 \text{ mH}$ t_{AR} limited by T_{jmax}	
V_{GS}	Gate Source Voltage	-5/+25	V		
P_{tot}	Power Dissipation	150	W	$T_C=25^\circ\text{C}$	
T_J, T_{stg}	Operating Junction and Storage Temperature	-55 to +125	$^\circ\text{C}$		
T_L	Solder Temperature	260	$^\circ\text{C}$	1.6mm (0.063") from case for 10s	
M_d	Mounting Torque	1	Nm lbf-in	M3 or 6-32 screw	
		8.8			



Electrical Characteristics

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit	Test Conditions	Note
$V_{(BR)DSS}$	Drain-Source Breakdown Voltage	1200			V	$V_{GS} = 0V, I_D = 100\mu A$	
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage		2.5	4	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 1mA, T_J = 25^\circ C$	1
			1.8			$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 1mA, T_J = 125^\circ C$	
I_{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current		1	100	μA	$V_{DS} = 1200V, V_{GS} = 0V, T_J = 25^\circ C$	
			10	250		$V_{DS} = 1200V, V_{GS} = 0V, T_J = 125^\circ C$	
I_{GSS}	Gate-Source Leakage Current			250	nA	$V_{GS} = 20V, V_{DS} = 0V$	
$R_{DS(on)}$	Drain-Source On-State Resistance		80	110	m Ω	$V_{GS} = 20V, I_D = 20A, T_J = 25^\circ C$	
			95	130		$V_{GS} = 20V, I_D = 20A, T_J = 125^\circ C$	
g_{fs}	Transconductance		7.3		S	$V_{DS} = 20V, I_{DS} = 20A, T_J = 25^\circ C$	fig. 3
			6.8			$V_{DS} = 20V, I_{DS} = 20A, T_J = 125^\circ C$	
C_{iss}	Input Capacitance		1915		pF	$V_{GS} = 0V$ $V_{DS} = 800V$ $f = 1MHz$ $V_{AC} = 25mV$	fig. 5
C_{oss}	Output Capacitance		120				
C_{rse}	Reverse Transfer Capacitance		13				
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time		17.2		ns	$V_{DD} = 800V$ $V_{GS} = -2/20V$ $I_D = 20A$ $R_G = 6.8\Omega$ $L = 856\mu H$ Per JEDEC24 Page 27	fig. 12
t_r	Rise Time		13.6				
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time		62				
t_f	Fall Time		35.6				
E_{on}	Turn-On Switching Loss	(25 $^\circ C$) (125 $^\circ C$)	530 422		μJ	Per JEDEC24 Page 27	
E_{off}	Turn-Off Switching Loss	(25 $^\circ C$) (125 $^\circ C$)	320 329		μJ		
R_G	Internal Gate Resistance		5		Ω	$V_{GS} = 0V, f = 1MHz, V_{AC} = 25mV$	

NOTES: 1. The recommended on-state V_{GS} is +20V and the recommended off-state V_{GS} is between -2V and -5V

Reverse Diode Characteristics

Symbol	Parameter	Typ.	Max.	Unit	Test Conditions	Note
V_{sd}	Diode Forward Voltage	3.5		V	$V_{GS} = -5V, I_F = 10A, T_J = 25^\circ C$	
		3.1			$V_{GS} = -2V, I_F = 10A, T_J = 25^\circ C$	
t_{rr}	Reverse Recovery Time	220		ns	$V_{GS} = -5V, I_F = 20A, T_J = 25^\circ C$ $V_R = 800V,$ $di_F/dt = 100A/\mu s$	fig. 13,14
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	142		nC		
I_{rrm}	Peak Reverse Recovery Current	2.3		A		

Thermal Characteristics

Symbol	Parameter	Typ.	Max.	Unit	Test Conditions	Note
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance from Junction to Case	0.58	0.7	$^\circ C/W$		fig. 6
$R_{\theta CS}$	Case to Sink, w/ Thermal Compound	0.25				
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance From Junction to Ambient		40			

Gate Charge Characteristics

Symbol	Parameter	Typ.	Max.	Unit	Test Conditions	Note
Q_{gs}	Gate to Source Charge	23.8		nC	$V_{DD} = 800V$ $I_D = 20A$ $V_{GS} = -2/20V$ Per JEDEC24-2	fig.9
Q_{gd}	Gate to Drain Charge	43.1				
Q_g	Gate Charge Total	90.8				



Typical Performance

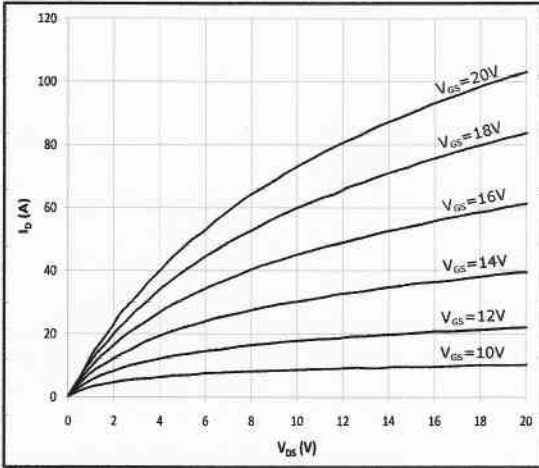


Fig 1. Typical Output Characteristics $T_j = 25^\circ\text{C}$

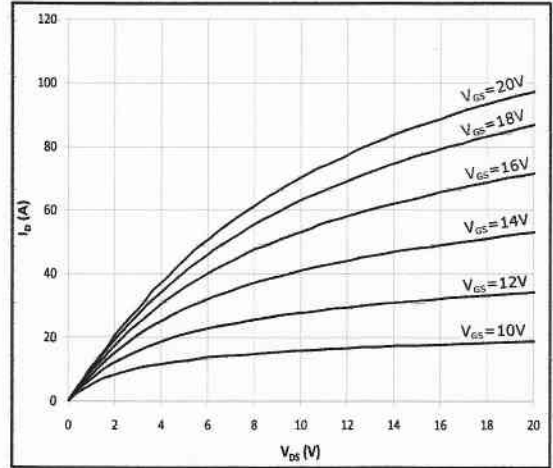


Fig 2. Typical Output Characteristics $T_j = 125^\circ\text{C}$

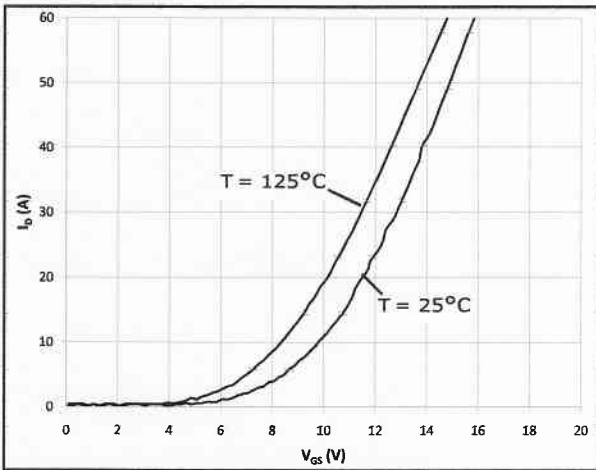


Figure 3. Typical Transfer Characteristics

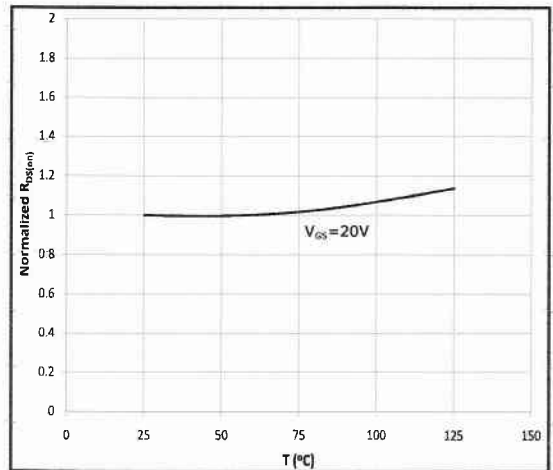


Fig 4. Normalized On-Resistance vs. Temperature

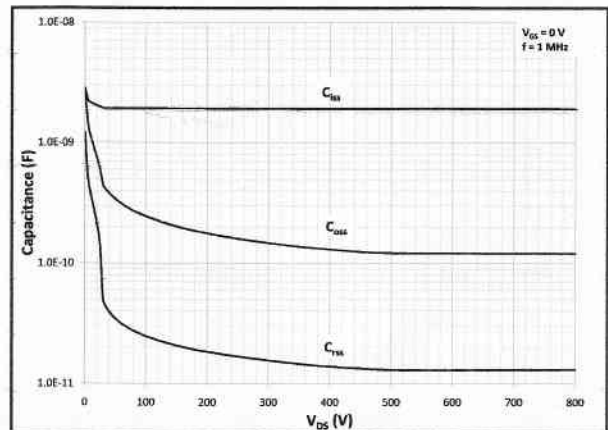
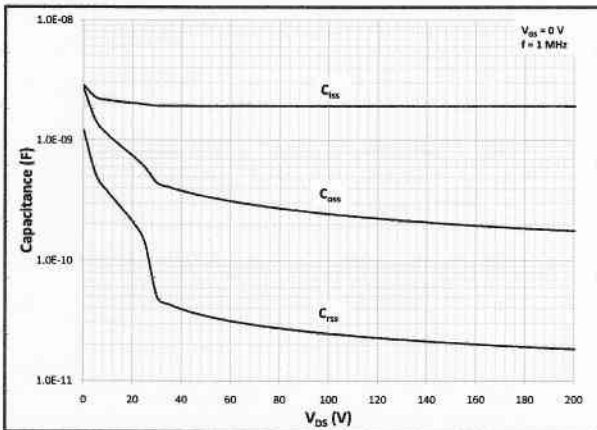


Fig 5A and 5B. Typical Capacitance vs. Drain – Source Voltage



Typical Performance

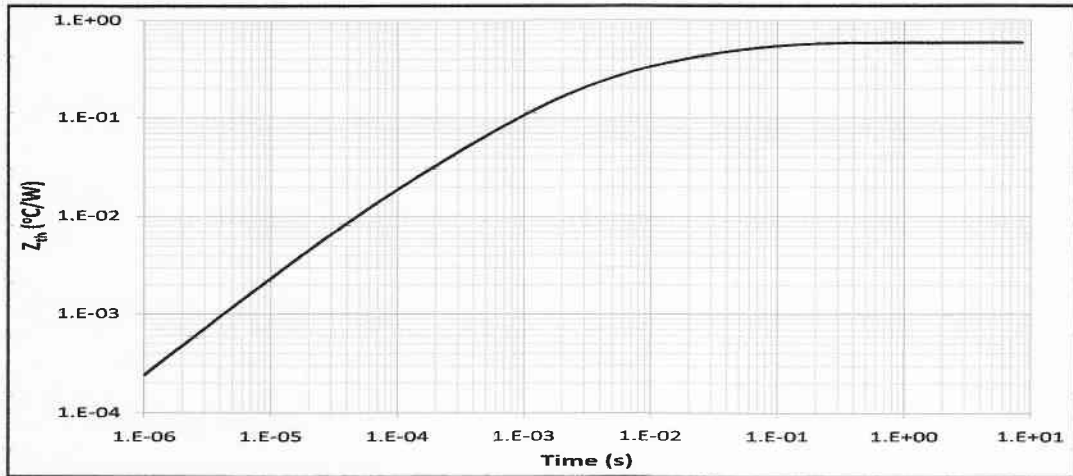


Fig 6. Transient Thermal Impedence, Junction - Case

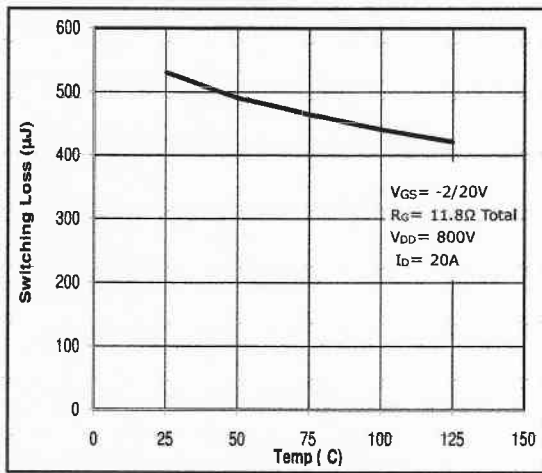


Fig 7. Inductive Switching Energy(Turn-on) vs. T

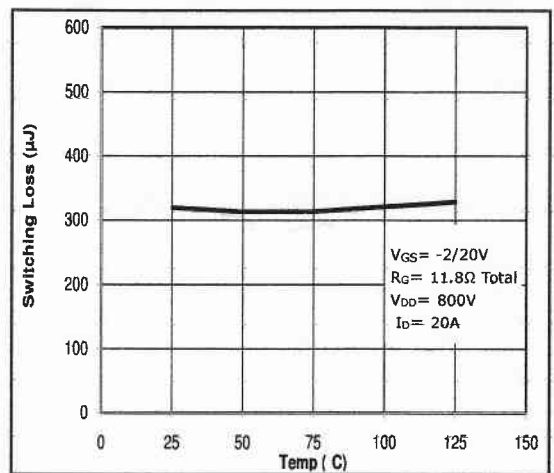


Fig 8. Inductive Switching Energy(Turn-off) vs. T

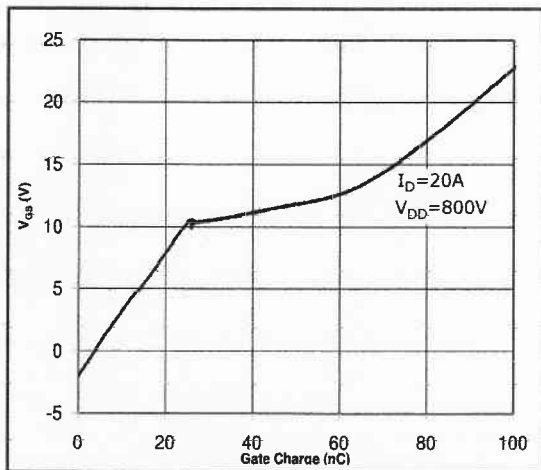


Fig 9. Typical Gate Charge Characteristics @ 25°C

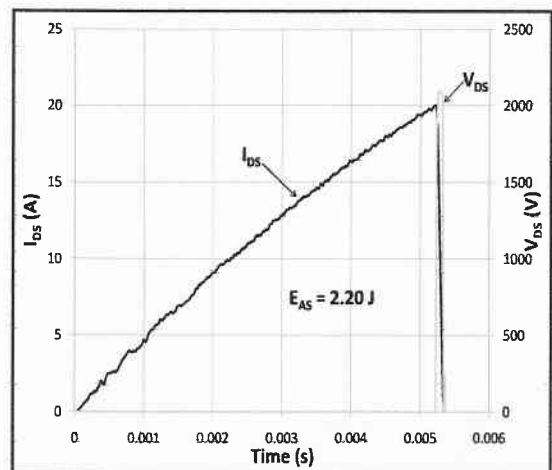


Fig 10. Typical Avalanche Waveform



Clamped Inductive Switch Testing Fixture

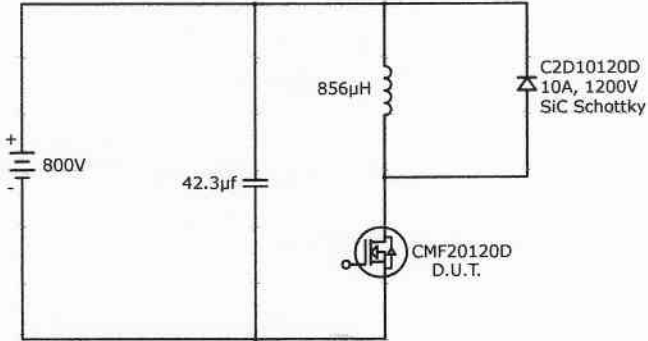


Fig 11. Switching Waveform Test Circuit

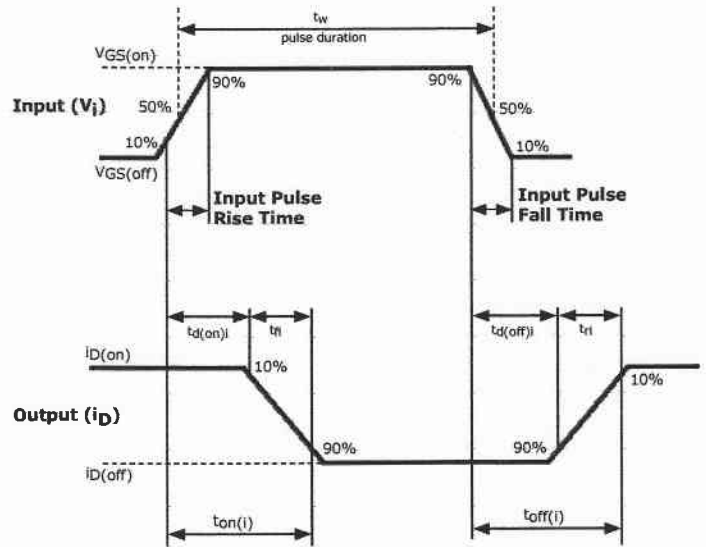


Fig 12. Switching Test Waveform Times

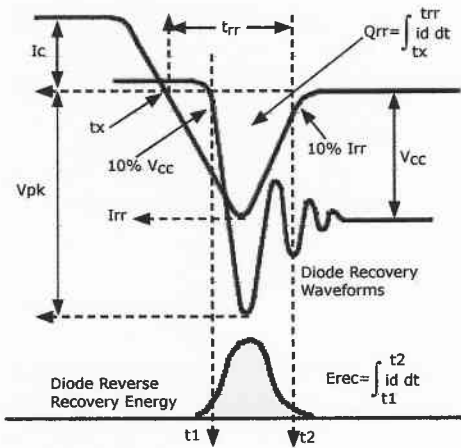


Fig 13. Body Diode Recovery Waveform

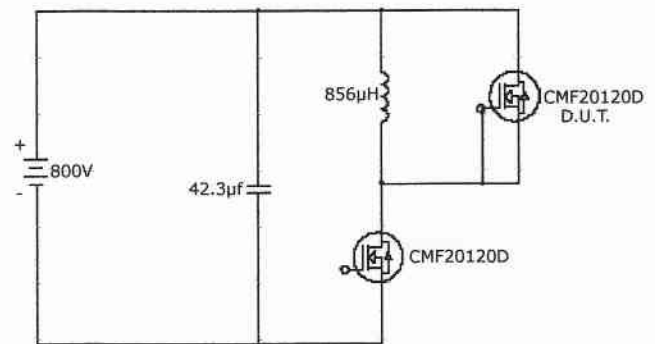


Fig 14. Body Diode Recovery Test

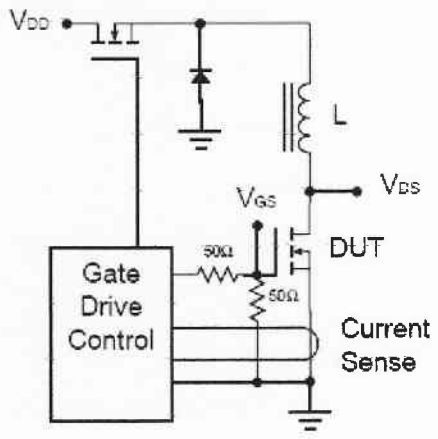
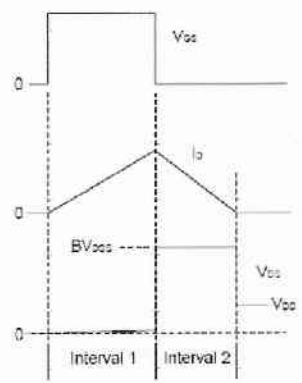


Fig 15. Avalanche Test Circuit

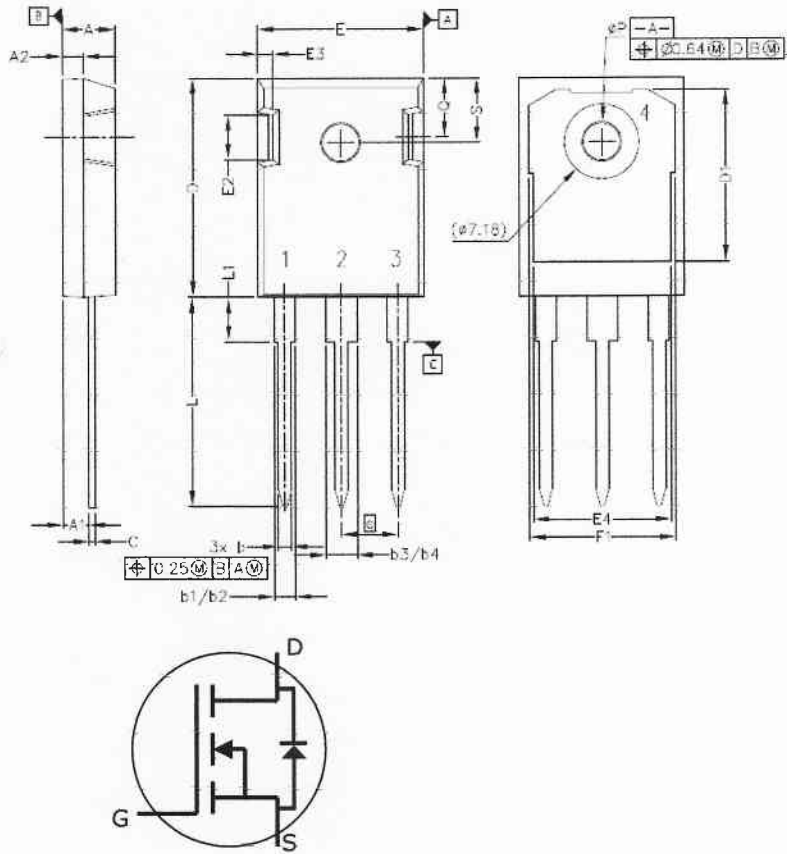


$$E_A = 1/2L \times I_D^2$$

Fig 16. Theoretical Avalanche Waveform

Package Dimensions

Package TO-247-3



POS	Inches		Millimeters	
	Min	Max	Min	Max
A	.190	.205	4.83	5.21
A1	.090	.100	2.29	2.54
A2	.075	.085	1.91	2.16
b	.042	.052	1.07	1.33
b1	.075	.095	1.91	2.41
b2	.075	.085	1.91	2.16
b3	.113	.133	2.87	3.38
b4	.113	.123	2.87	3.13
c	.022	.027	0.55	0.68
D	.819	.831	20.80	21.10
D1	.640	.695	16.25	17.65
D2	.037	.049	0.95	1.25
E	.620	.635	15.75	16.13
E1	.516	.557	13.10	14.15
E2	.145	.201	3.68	5.10
E3	.039	.075	1.00	1.90
E4	.487	.529	12.38	13.43
e	.214 BSC		5.44 BSC	
N	3		3	
L	.780	.800	19.81	20.32
L1	.161	.173	4.10	4.40
ØP	.138	.144	3.51	3.65
Q	.216	.236	5.49	6.00
S	.238	.248	6.04	6.30

S-81.3120 Tehoelektronikan komponentit 1(4)
Tentti 11.3.2011 RATKAISUT

Teht. 1-3: Katso kirja

Teht. 4

Johtohäviöt

Kuvasta 2 saadaan $T_J = 125^\circ\text{C}$ lämpötilassa
 $V_{DS} \approx 2.4\text{V}$, kun extrapoloidaan $V_{GS} = 22\text{V}$
arvoon. (Numeroarvoista $R_{DS(on)} = 95\text{m}\Omega$ tyypillisesti $\Rightarrow 2.38\text{V}$)

$$\text{Siten } \underline{\underline{E_{H(on)}}} = V_{DS} \cdot I_D \cdot t_{on} \approx 2.4\text{V} \cdot 25\text{A} \cdot 20\mu\text{s} \\ \approx \underline{\underline{1.2\text{mJ}}}$$

Päällekytkentähäviöt saadaan kuvasta 7 kun $T_J = 125^\circ\text{C}$

$$E_{H(TON)} \approx 420\mu\text{J} \quad \text{kun } V_{DD} = 800\text{V} \quad \text{ja } I_D = 20\text{A} \\ R_G = 11.8\text{m}\Omega \quad \text{ja } V_{GS} = -2/20\text{A}$$

$$\text{Tehtävän tapauksessa } V_{DD} = 600\text{V} \quad \text{ja } I_D = 25\text{A} \\ R_G = 11.8\Omega \text{ total } (6.8\Omega + 5\Omega) \quad V_{GS} = -2/22\text{V}$$

Oletetaan, että hilajännitteen poikkeama 20V :sta ei vaikuta paljoa. Siten skaalaus jännitteen ja virran suhteen riittää:

$$\underline{\underline{E_{H(TON)}}} \approx 420\mu\text{J} \cdot \frac{600\text{V}}{800\text{V}} \cdot \frac{25\text{A}}{20\text{A}} \approx \underline{\underline{390\mu\text{J}}}$$

Vastaavasti katkaisuhäviöt saadaan kuvasta 8 kun $T_J = 125^\circ\text{C}$

$$E_{H(TOFF)} \approx 330\mu\text{J}$$

Jännite on katkaisussa 800V , joten virralla skaalaus riittää. Siten

$$\underline{\underline{E_{H(TOFF)}}} \approx 330\mu\text{J} \cdot \frac{25\text{A}}{20\text{A}} \approx \underline{\underline{410\mu\text{J}}}$$

S-81.3120 Tehoel. komponentit
Tentti 11.3.2011 Ratkaisut

2(4)

Teht. 4 jatkoa

Oletetaan, että hilan lataus- ja purkaushäviöt sisältyvät E_{HON} ja E_{HTOFF} arvoihin. Siten keskimääräiset häviöt ovat:

$$P_{Have} = \frac{1}{T} (E_{HON} + E_{HTON} + E_{HTOFF})$$
$$\approx \frac{1}{40\mu s} (1200\mu J + 390\mu J + 410\mu J)$$
$$\approx 50 W$$

(Estotilan vastavirta on mitätön \Rightarrow estotilan häviöt voi unohtaa)

Taajuus on $\frac{1}{40\mu s} = 25 \text{ kHz}$ eli reilusti yli 1 kHz

Siten voidaan lämpölaskuissa käyttää keskimääräistä häviötehoa ja pysyvän tilan lämpövastusta

$$T_{Jmax} \approx P_{Have} (R_{\theta JC} + R_{\theta CS} + R_{\theta SA}) + T_A$$

\Rightarrow Jäähdytys elementin lämpövastus on oltava

$$R_{\theta SA} \leq \frac{T_{Jmax} - P_{Have} (R_{\theta JC} + R_{\theta CS}) - T_A}{P_{Have}}$$

$$\approx \frac{125^\circ C - 50 W (0.58^\circ C/W + 0.25^\circ C/W) - 45^\circ C}{50 W}$$

$$\approx \underline{\underline{0.77^\circ C/W}}$$

Teht. 5

$$I_{ac} = \frac{15A - 10A}{2} = 2,5A$$

$$I_0 = 10A + \frac{15A - 10A}{2} = 12,5A$$

$$\Rightarrow f_e = \frac{1,3 \cdot f}{\sqrt{1 + 3\left(\frac{I_0}{I_{ac}}\right)^2}} = \frac{1,3 \cdot 20kHz}{\sqrt{1 + 3\left(\frac{12,5}{2,5}\right)^2}} \approx 3kHz$$

yli 1kHz \Rightarrow lienee syyte lankea FR

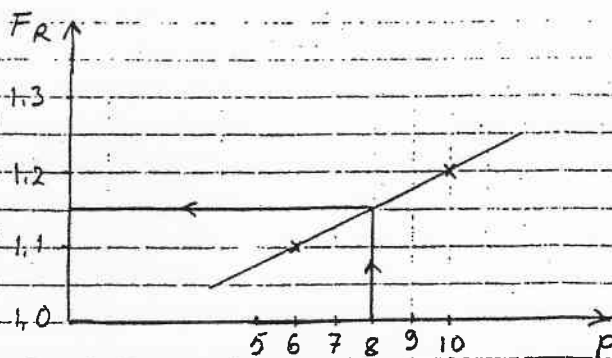
$$\Delta = \sqrt{\frac{S}{\pi \mu_0 \mu_c f}} = \sqrt{\frac{2,26 \cdot 10^{-8} \Omega m}{\pi \cdot 4 \pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{m} \cdot 1 \cdot 3kHz}} \approx 1,4mm$$

($\mu_c = 1$ kuperiille)

$F_L = 1$ foliolla ($N_L = 1$, $b = 3w$)

$$\Rightarrow \frac{h|F_L}{\Delta} \approx \frac{0,5mm}{1,4mm} \approx 0,36$$

Käyrästä aukipiirtämällä ($p = N = 8$ foliolla)



$$\Rightarrow F_R \approx 1,15$$

Johdinten pituus:

$$\text{Keskiahkaisu} \text{ noin } 40mm + 8 \cdot 0,5mm + 8 \cdot 0,2mm = 45,6mm$$

$$\Rightarrow l = N \pi d_w = 8 \pi \cdot 45,6mm \approx 1,15m$$

Teht. 5 jatkoa

Johtimen poikkipinta-ala: $A = 35 \text{ mm} \cdot 0,5 \text{ mm} = 17,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

Vastus tasasähköllä 100°C lämpötilassa:

$$R_{dc} = \frac{\rho l}{A} \approx \frac{2,26 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m} \cdot 1,15 \text{ m}}{17,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} \approx 1,49 \text{ m}\Omega$$

Efektiivinen vastus: $R_e = F_R \cdot R_{dc} = 1,15 \cdot 1,49 \text{ m}\Omega \approx 1,7 \text{ m}\Omega$

Efektiivinen virta $I_e = I_0 = 12,5 \text{ A}$ koska $f_e \gg 1 \text{ kHz}$

Häviöteho käämissä on siten likimain

$$\underline{\underline{P_H = R_e I_e^2 \approx 1,7 \text{ m}\Omega \cdot (12,5 \text{ A})^2 \approx 270 \text{ mW}}}$$