

Tentti 20.1.2014, kello 16 ... 19, sali S4

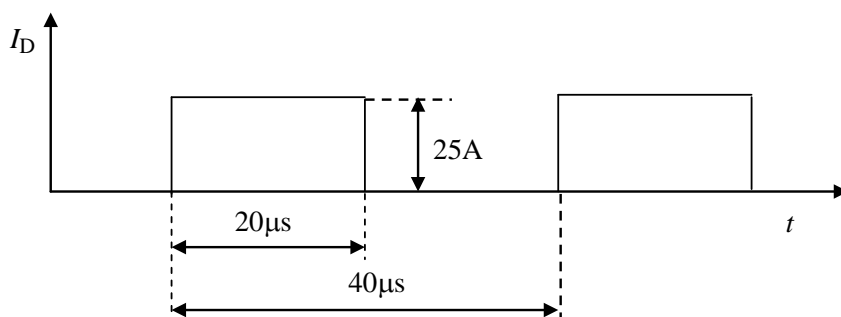
## Papereihin

- 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
  - diffuusiomenetelmä
  - takavirta
  - IGCT
  - heat-pipe
  - kaksoiskerroskondensaattori.
2. Esittele IGBT:n rakenne, toimintaperiaate ja ominaisuudet.
3. Esittele kirjassa esitetyt puolijohdetehokomponenttien jäähdytysmenetelmät ja -laitteet sekä niiden keskinäiset edut ja haitat.
4. Määrää 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  $\Omega$ . Fetin yli oleva jännite on päällekytkennän aikana 600 V ja katkaisun aikana 800 V. Jäähdytysilman lämpötila on 45 °C.



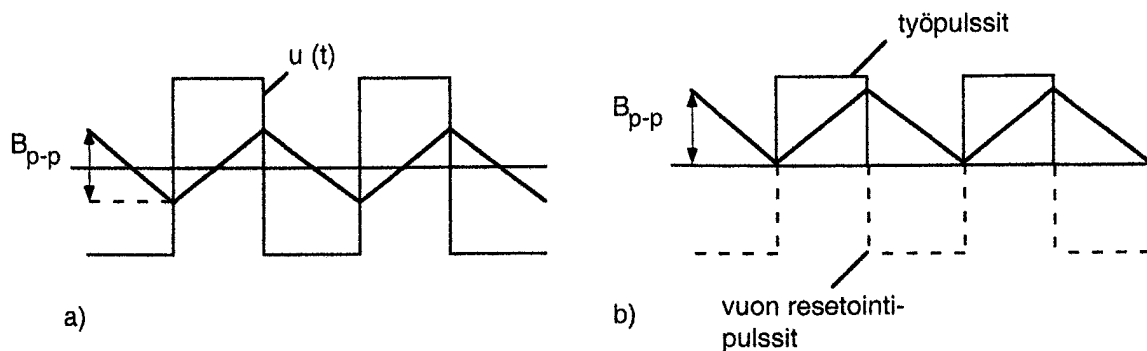
5. Erään jännitettä laskevan tasasähkökatkojan lähtövirtapulssit on tarkoitus muodostaa ferriittirenkaasta TN26/15/10-3C90 tehdyn kuristimen avulla. Kuristimen yli on 19 V jännite 10  $\mu$ s ajan, jona aikana kuristimen virran halutaan kasvavan nolasta noin 0,5 A maksimiarvoon.
  - a) Kuinka monta johdinkierrosta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

Kaavoja seuraavalla sivulla, datalehti viimeisellä sivulla. Huom! ferriittirenkaassa ei ole ilma-  
väliä!

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 ilmvälin pituus ja pinta-ala sekä  $l_e$  ja  $A_e$  ovat efektiivinen magneettipiirin pituus ja pinta-ala.  $\mu_0$  on tyhjän ( $= 4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m) ja  $\mu_e$  ilmvälin sisältävän sydämen efektiivinen permeabiliteetti ja  $C_1$  on sydänvakio.  $A_L$  on induktanssikerroin sydämelle tällä ilmvälillä.



# CMF20120D-Silicon Carbide Power MOSFET

## Z-FET™ MOSFET

N-Channel Enhancement Mode

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

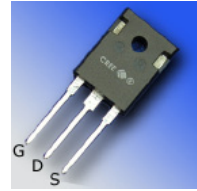
### Benefits

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

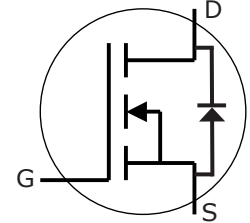
### Applications

- 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	$V_{GS}@20V, T_C = 25^{\circ}C$	
		17		$V_{GS}@20V, T_C = 100^{\circ}C$	
$I_{Dpulse}$	Pulsed Drain Current	78	A	Pulse width $t_p$ limited by $T_{jmax}$ $T_C = 25^{\circ}C$	
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy	2.2	J	$I_D = 20A, V_{DD} = 50 V,$ $L = 9.5 mH$	
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy	1.5	J	$t_{AR}$ limited by $T_{jmax}$	
$I_{AR}$	Repetitive Avalanche Current	20	A	$I_D = 20A, V_{DD} = 50 V, L = 3 mH$ $t_{AR}$ limited by $T_{jmax}$	
$V_{GS}$	Gate Source Voltage	-5/+25	V		
$P_{tot}$	Power Dissipation	150	W	$T_C=25^{\circ}C$	
$T_J, T_{stg}$	Operating Junction and Storage Temperature	-55 to +125	$^{\circ}C$		
$T_L$	Solder Temperature	260	$^{\circ}C$	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	$\mu A$	$V_{DS} = 1200V, V_{GS} = 0V, T_J = 25^\circ C$	
			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 $\Omega$	$V_{GS} = 20V, I_D = 20A, T_J = 25^\circ C$	
			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	$V_{GS} = 0V$	fig. 5
$C_{oss}$	Output Capacitance		120			$V_{DS} = 800V$	
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance		13			$f = 1MHz$ $V_{AC} = 25mV$	
$t_{d(on)i}$	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				
$t_{d(off)i}$	Turn-Off Delay Time		62				
$t_{fi}$	Fall Time		35.6				
$E_{ON}$	Turn-On Switching Loss	(25°C) (125°C)	530 422		$\mu J$		
$E_{Off}$	Turn-Off Switching Loss	(25°C) (125°C)	320 329		$\mu J$		
$R_G$	Internal Gate Resistance		5		$\Omega$	$V_{GS} = 0V, f = 1MHz, V_{AC} = 25mV$	

**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

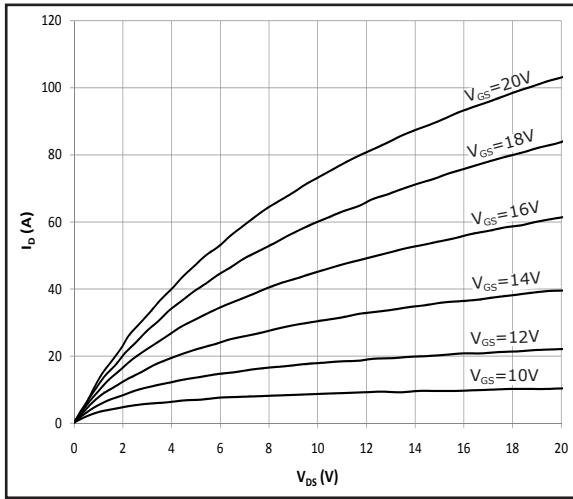


Fig 1. Typical Output Characteristics  $T_j = 25^\circ\text{C}$

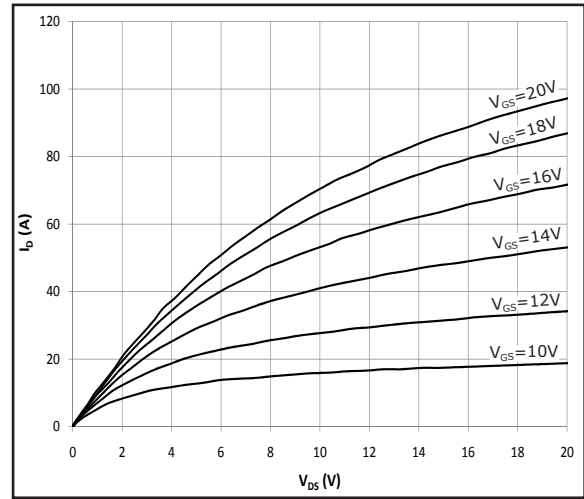


Fig 2. Typical Output Characteristics  $T_j = 125^\circ\text{C}$

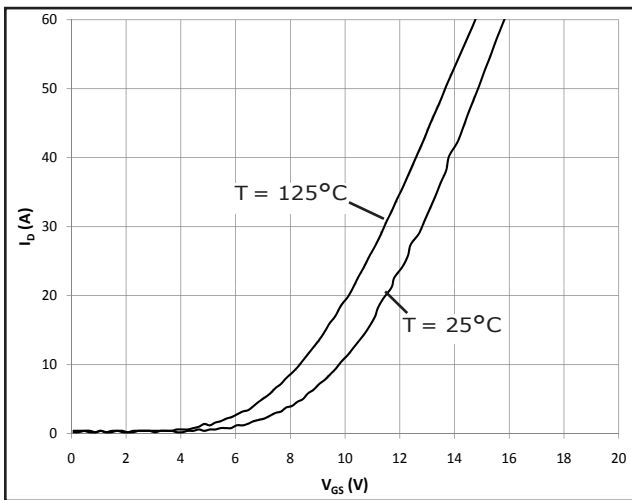


Figure 3. Typical Transfer Characteristics

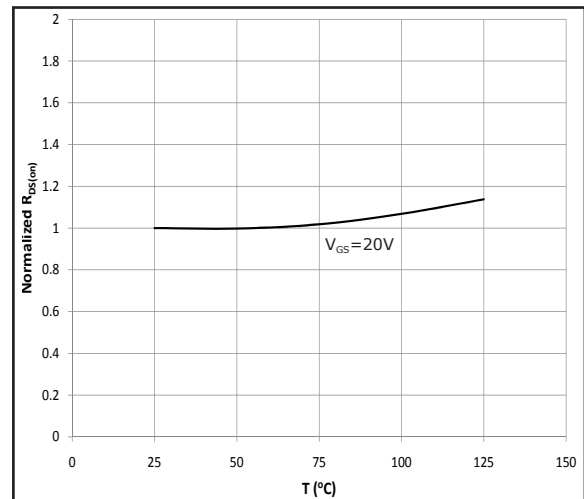


Fig 4. Normalized On-Resistance vs. Temperature

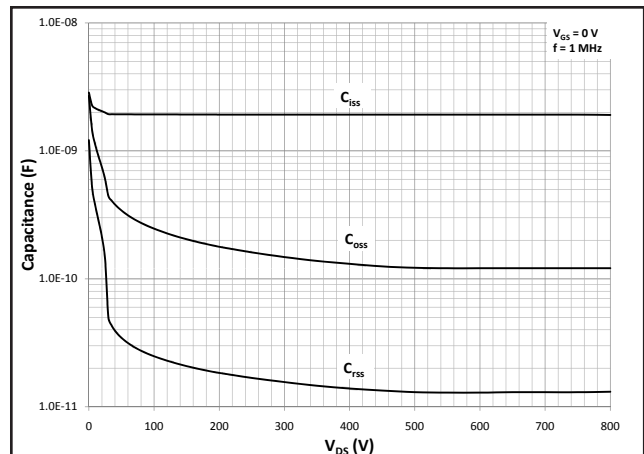
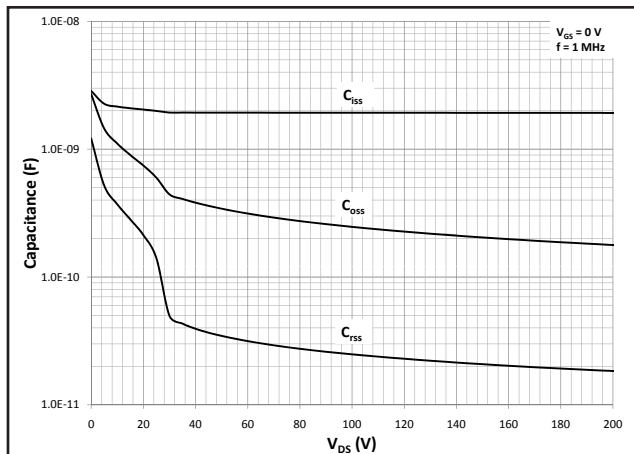


Fig 5A and 5B. Typical Capacitance vs. Drain – Source Voltage

# Typical Performance

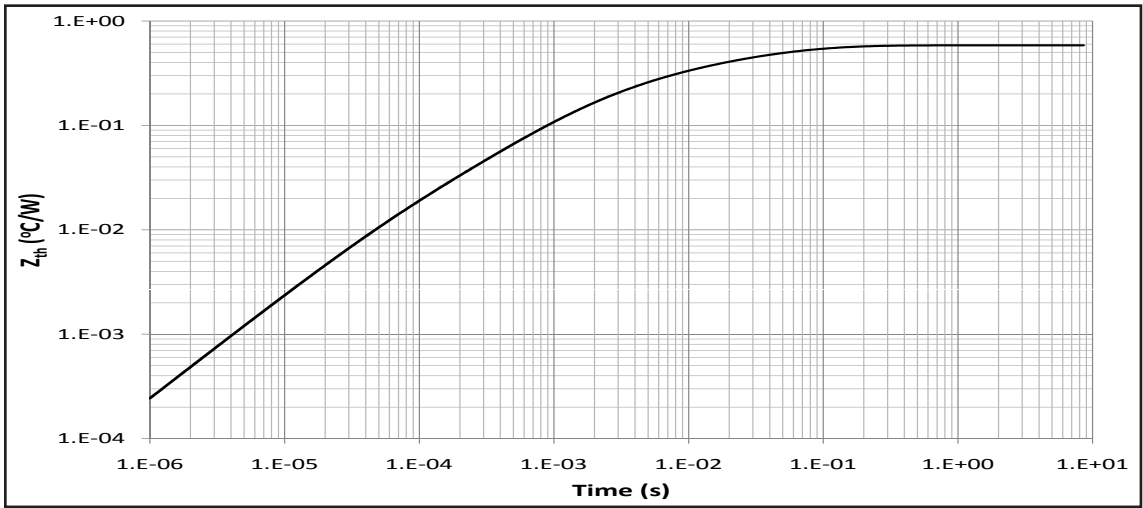


Fig 6. Transient Thermal Impedance, Junction - Case

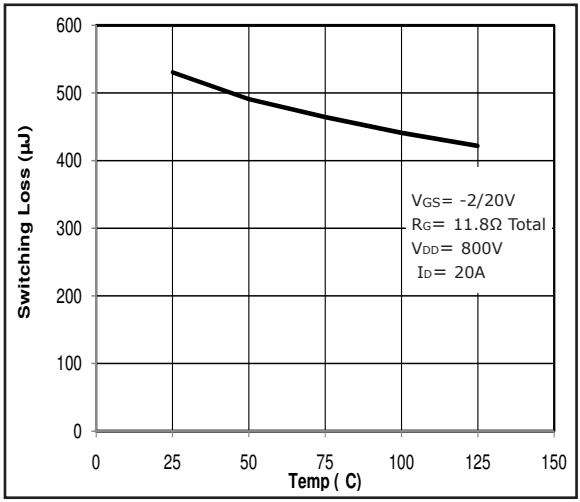


Fig 7. Inductive Switching Energy(Turn-on) vs. T

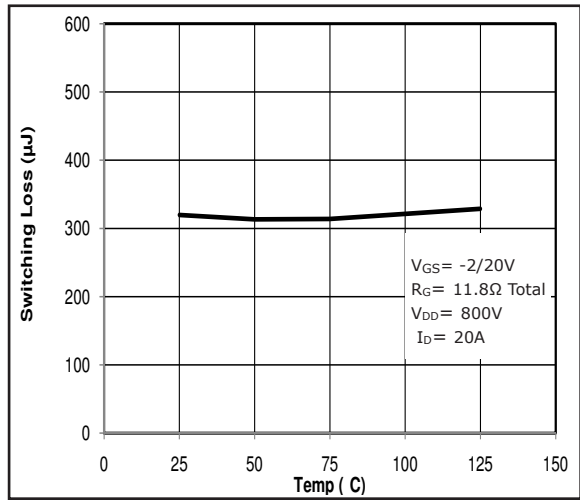


Fig 8. Inductive Switching Energy(Turn-off) vs. T

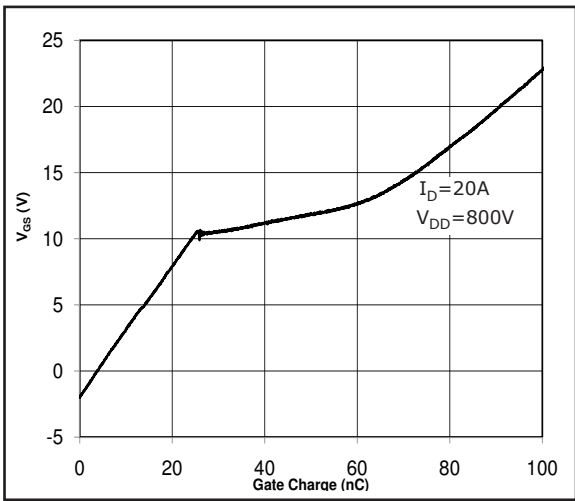


Fig 9. Typical Gate Charge Characteristics @ 25°C

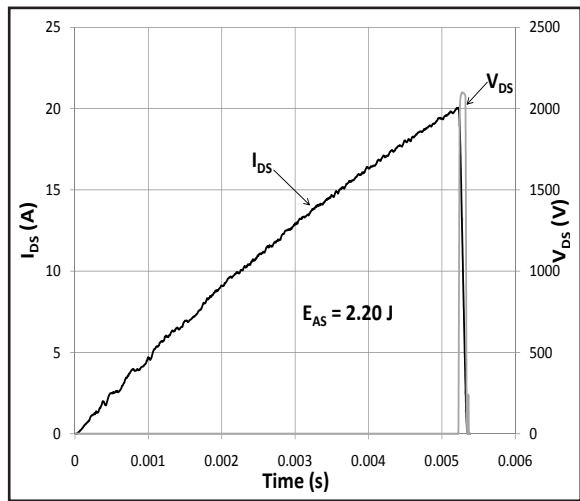


Fig 10. Typical Avalanche Waveform

# Clamped Inductive Switch Testing Fixture

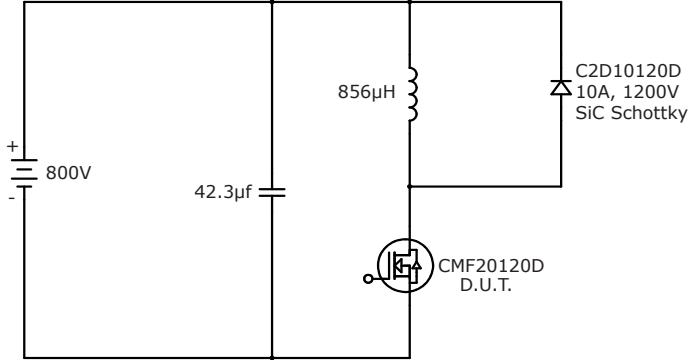


Fig 11. Switching Waveform Test Circuit

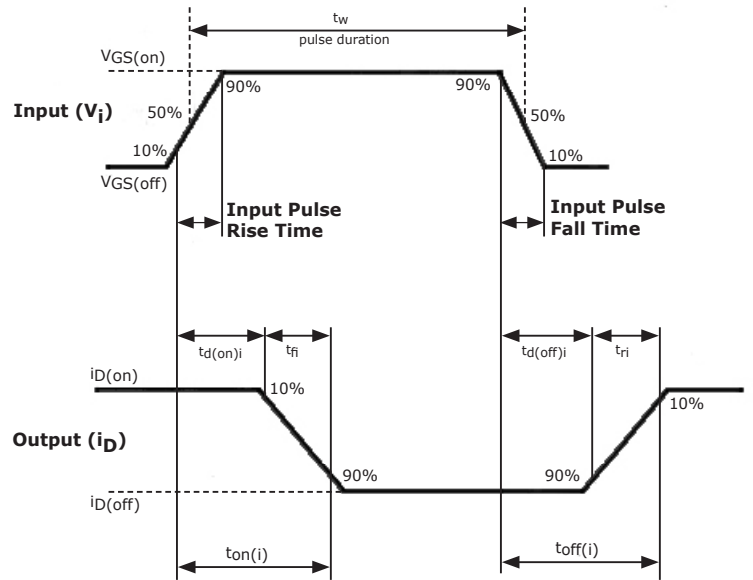


Fig 12. Switching Test Waveform Times

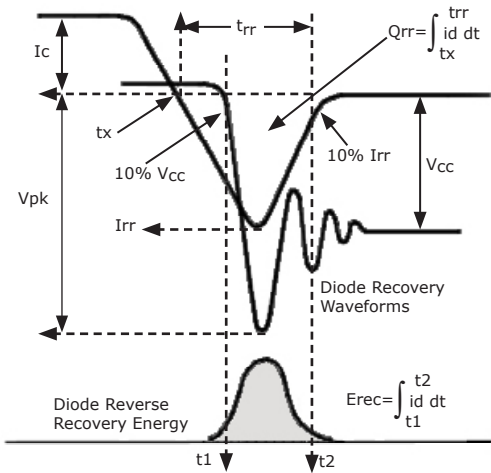


Fig 13. Body Diode Recovery Waveform

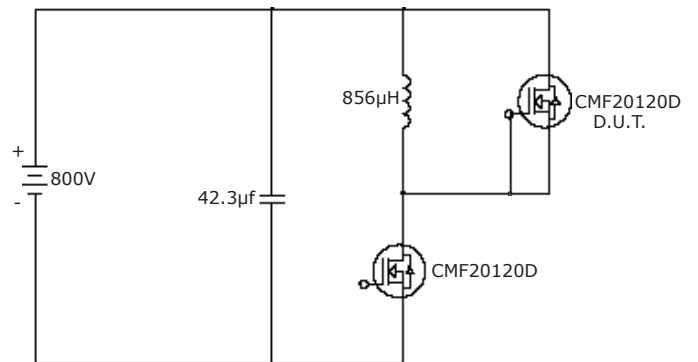


Fig 14. Body Diode Recovery Test

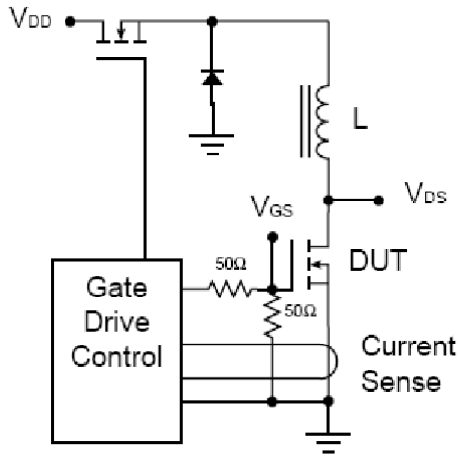


Fig 15. Avalanche Test Circuit

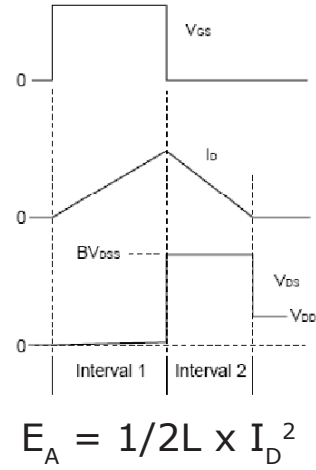
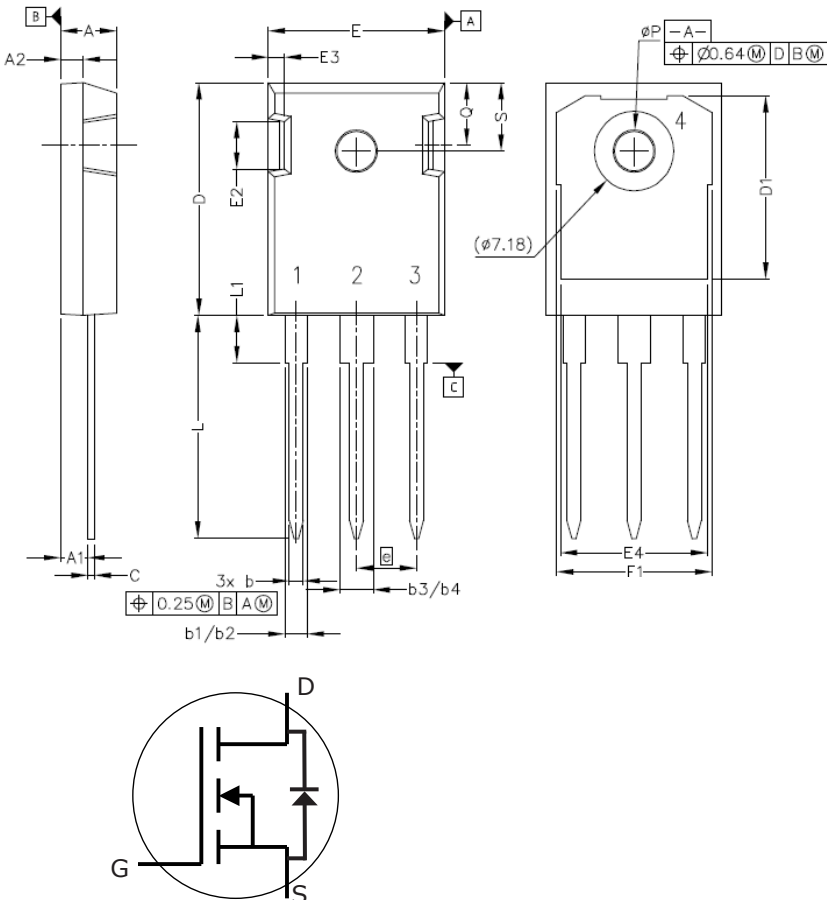


Fig 16. Theoretical Avalanche Waveform

## 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



**RING CORES (TOROIDS)**

**Effective core parameters**

SYMBOL	PARAMETER	VALUE	UNIT
$\Sigma(I/A)$	core factor (C1)	1.08	mm <sup>-1</sup>
$V_e$	effective volume	3360	mm <sup>3</sup>
$l_e$	effective length	60.1	mm
$A_e$	effective area	55.9	mm <sup>2</sup>
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).

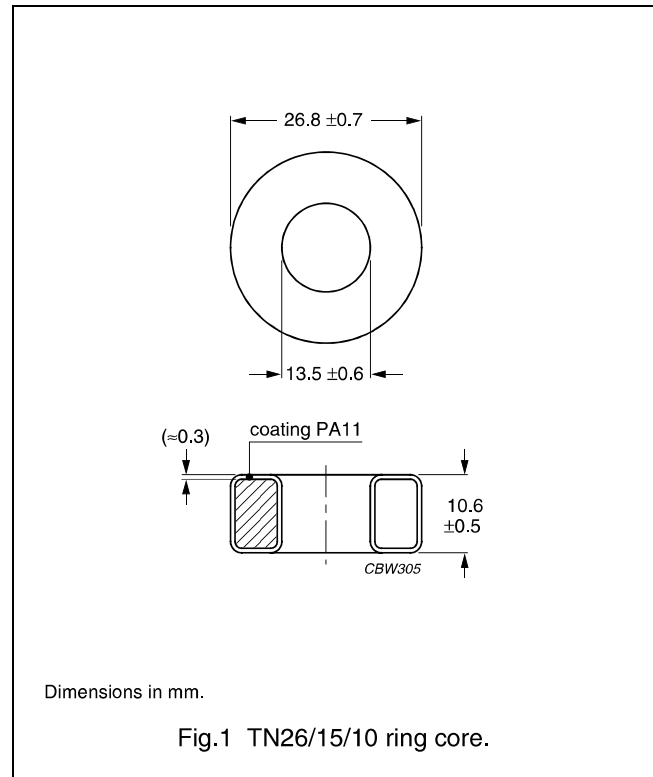
The colour is white.

Maximum operating temperature is 160 °C.

**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)	$\mu_i$	TYPE NUMBER
4A11	817 ± 25%	≈ 700 <sup>(1)</sup>	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; B̂ = 200 mT; T = 100 °C	f = 100 kHz; B̂ = 100 mT; T = 100 °C
3C90	≥ 320	≤ 0.38	≤ 0.38

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  $\Rightarrow 2.38\text{V}$ )

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

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

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

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

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

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

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

$$E_{HTOFF} \approx 330\mu\text{J}$$

Jännite on katkaisussa  $800\text{V}$ , joten virralla skaalaus  
riittää. Siten

$$\underline{\underline{E_{HTOFF}}} \approx 330\mu\text{J} \cdot \frac{25\text{A}}{20\text{A}} \approx \underline{\underline{410\mu\text{J}}}$$

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  $1 \text{ kHz}$

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

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

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

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

5)

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

Induktanssin on siis oltava

$$L = U \cdot \frac{td}{\Delta I} = 19V \cdot \frac{10\mu s}{0,5A} \approx 380\mu H$$

Datalehdessä 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  $A_e = 55,9 \text{ mm}^2$

$$B = \frac{U \cdot td}{A_e \cdot N} = \frac{19V \cdot 10\mu s}{55,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot 12} \approx 280 \text{ mT}$$

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

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