

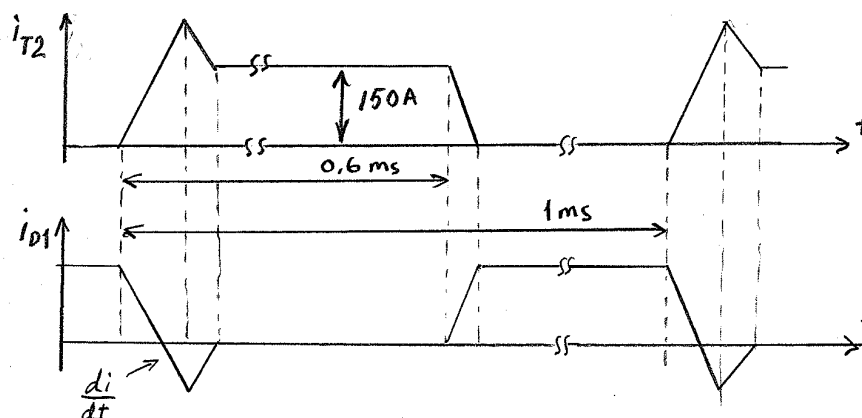
Papereihin

- 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
  - neutronisäteilytys
  - tyristorin toipumisaika
  - SOA
  - varistori
  - lähivaikutus.
2. Esittele IGBT:n rakenne, toimintaperiaate ja ominaisuudet.
3. Esittele kirjassa esitetyt vastustyytit, niiden ominaisuudet ja käyttötarkoitukset. Kerro myös mitä asioita on otettava huomioon vastuksen valinnassa ja mitoituksessa.
4. Yksivaiheisen diodisiltamoduulin SKB 26 (datalehti oheisena) jäähdytykseen käytetään jäähdytuselementtiä, jonka lämpövastus  $R_{thsa} = 5 \text{ °C/W}$ . Kuinka isoa tasavirtaa sillalla voidaan syöttää, kun jäähdytysilman lämpötila on  $65 \text{ °C}$ ? Sillan lähdössä on iso suotokondensaattori.
5. SiC MOSFET moduuli BSM180D12P2C101 (datalehti oheisena) sisältää kaksi MOSFET transistoria (diodit ovat fetin sisäisiä). Yläpuolen fetin diodiosa ja alapuolen fet johtavat alla olevan kuvan mukaisesti vuorotellen kuormaan menevää virtaa. Jäähdytuselementin lämpövastus  $R_{th SA}$  on  $0,08 \text{ °C/W}$  ja jäähdytysilman lämpötila on  $45 \text{ °C}$ . Mitkä ovat fettien liitoslämpötilat, kun fettien hilasyötön resistanssi on  $5.6 \Omega$  ja jännite  $18 \text{ V}$  fetin tai sen diodiosan johtoaikana ja  $0 \text{ V}$  muulloin? (Huom. datalehdessä alaindeksi f = jäähdytuselementti). Tasasähkösyötön jännite on  $560 \text{ V}$ .





## Power Bridge Rectifiers

### SKB 26

#### Features

- Square plastic case with isolated metal base plate and wire leads
- Ideal for printed circuit boards
- Blocking voltage up to 1600 V
- High surge currents
- Notch moulded in casing for easy polarity identification
- Easy chassis mounting

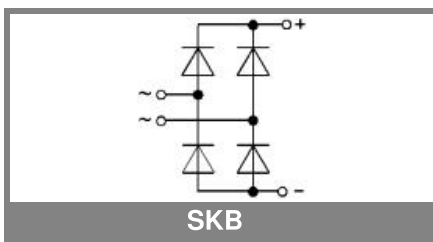
#### Typical Applications\*

- Single phase rectifiers for power supplies
- Input rectifiers for variable frequency drives
- Rectifiers for DC motor field supplies
- Battery charge rectifiers
- Recommended snubber network:  
RC: 0.1  $\mu$ F, 50  $\Omega$  ( $P_R = 1$  W)

- 1) Soldered directly onto a p.c.b. of 100 x 160 mm with tinned tracking of min. 2.5 mm
- 2) Mounted on a painted metal sheet of min. 250 x 250 x 1 mm

$V_{RSM}, V_{RRM}$ V	$V_{VRMS}$ V	$I_D = 18$ A ( $T_c = 75$ °C) Types	$C_{max}$ $\mu$ F	$R_{min}$ $\Omega$
200	60	SKB 26/02		0,15
400	125	SKB 26/04		0,3
600	185	SKB 26/06		0,4
800	250	SKB 26/08		0,5
1000	310	SKB 26/10		0,65
1200	380	SKB 26/12		0,75
1400	440	SKB 26/14		0,9
1600	500	SKB 26/16		1

Symbol	Conditions	Values	Units
$I_D$	$T_a = 45$ °C, isolated <sup>1)</sup>	3,5	A
	$T_a = 45$ °C, chassis <sup>2)</sup>	10	A
$I_{DCL}$	$T_a = 45$ °C, isolated <sup>1)</sup>	3	A
	$T_a = 45$ °C, chassis <sup>2)</sup>	9,5	A
	$T_a = 45$ °C, P1A/120	14	A
$I_{FSM}$	$T_{vj} = 25$ °C, 10 ms	370	A
	$T_{vj} = 150$ °C, 10 ms	320	A
$i^2t$	$T_{vj} = 25$ °C, 8,3 ... 10 ms	680	A <sup>2</sup> s
	$T_{vj} = 150$ °C, 8,3 ... 10 ms	500	A <sup>2</sup> s
$V_F$	$T_{vj} = 25$ °C, $I_F = 150$ A	max. 2,2	V
$V_{(TO)}$	$T_{vj} = 150$ °C	max. 0,85	V
$r_T$	$T_{vj} = 150$ °C	max. 12	m $\Omega$
$I_{RD}$	$T_{vj} = 25$ °C, $V_{RD} = V_{RRM}$	300	$\mu$ A
	$T_{vj} = 150$ °C, $V_{RD} = V_{RRM} \geq V$		$\mu$ A
$I_{RD}$	$T_{vj} = 25$ °C, $V_{RD} = V_{RRM}$	5	mA
	$T_{vj} = 150$ °C, $V_{RD} = V_{RRM} \geq V$		mA
$t_{rr}$	$T_{vj} = 25$ °C	10	$\mu$ s
$f_G$		2000	Hz
$R_{th(j-a)}$	isolated <sup>1)</sup>	15	K/W
	chassis <sup>2)</sup>	4,7	K/W
	total	1,9	K/W
	total	0,15	K/W
$T_{vj}$		- 40 ... + 150	°C
$T_{stg}$		- 55 ... + 150	°C
$V_{isol}$	a. c. 50 ... 60 Hz; r.m.s.; 1 s / 1 min.	3000 / 2500	V~
$M_s$	to heatsink	2 $\pm$ 15 %	Nm
$M_t$			Nm
$a$			m/s <sup>2</sup>
$w$		20	g
$F_u$		20	A
Case		G 50a	



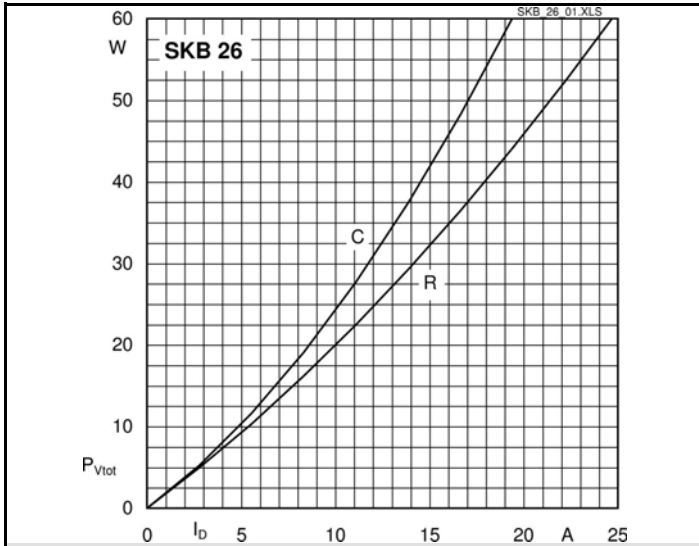


Fig. 1L Power dissipation vs. output current

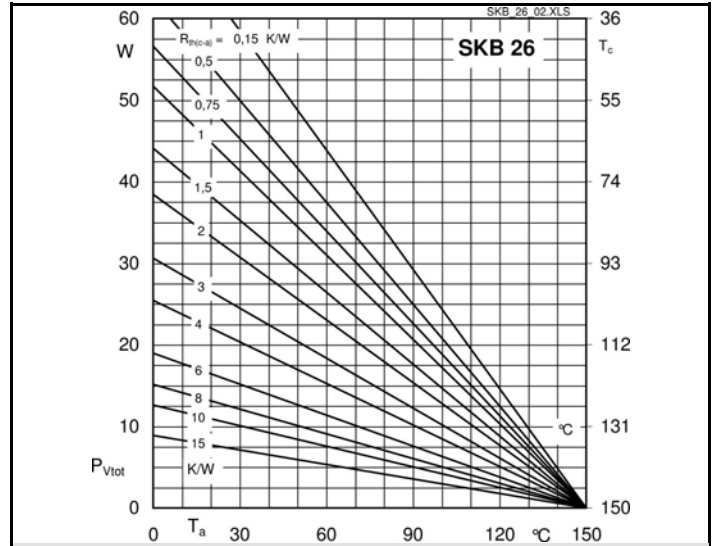


Fig. 1R Power dissipation vs. case temperature

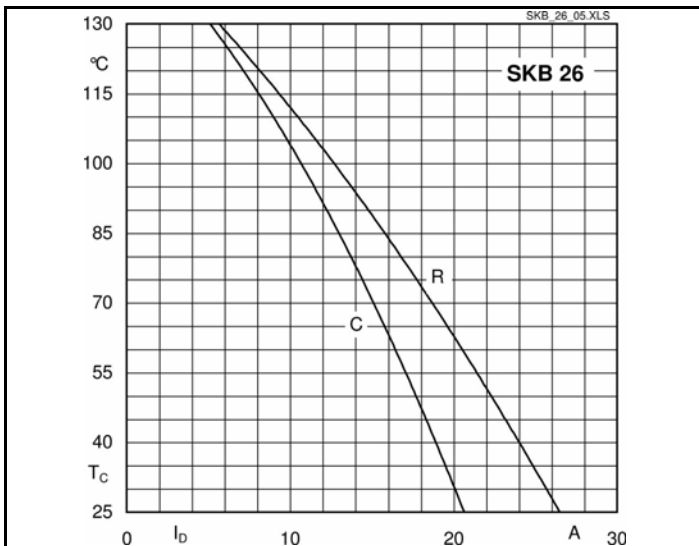


Fig. 2 Output current vs. case temperature

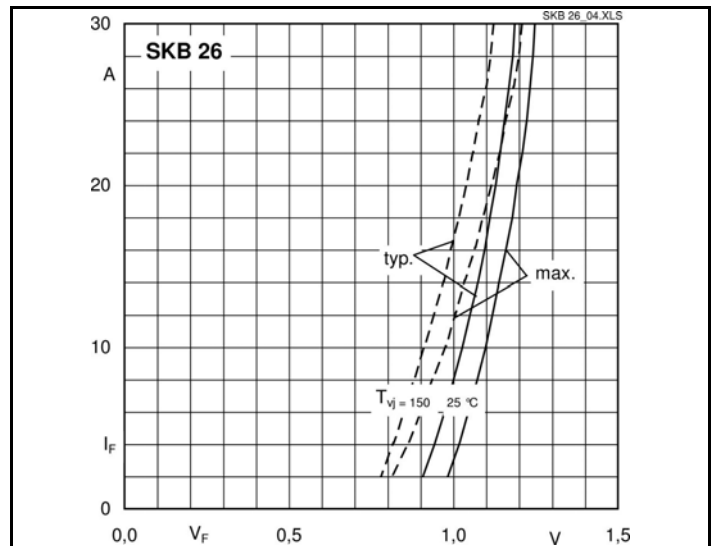


Fig. 9 Forward characteristics of a diode arm

### ●Application

- Motor drive
- Inverter, Converter
- Photovoltaics, wind power generation.
- Induction heating equipment.

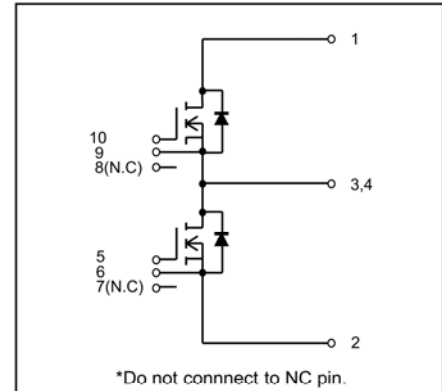
### ●Features

- 1) Low surge, low switching loss.
- 2) High-speed switching possible.
- 3) Reduced temperature dependence.

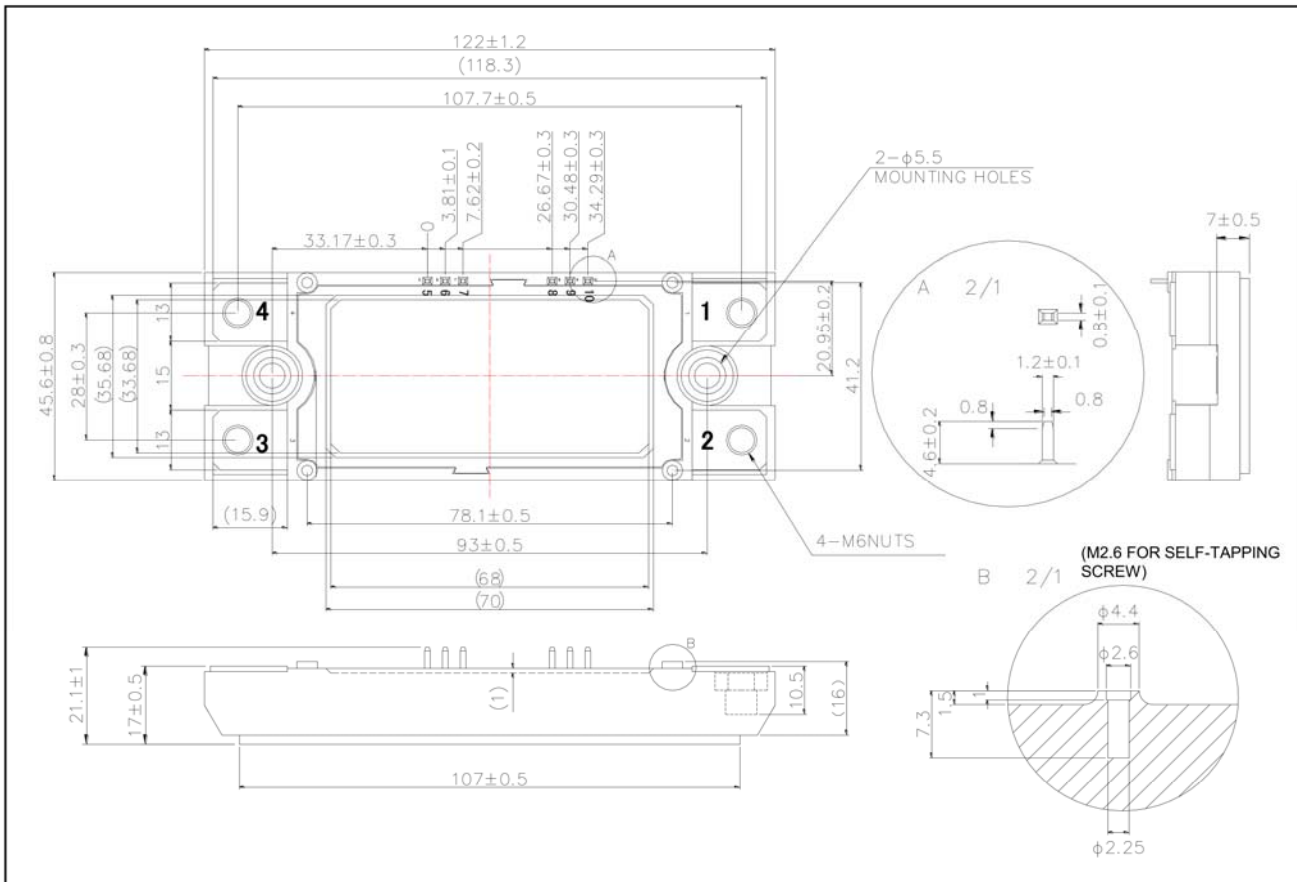
### ●Construction

This product is a half bridge module consisting of SiC-DMOS from ROHM.

### ●Circuit diagram



### ●Dimensions & Pin layout (Unit : mm)



● **Absolute maximum ratings** (T<sub>j</sub> = 25°C)

Parameter	Symbol	Conditions	Limit	Unit
Drain-source voltage	V <sub>DSS</sub>	G-S short	1200	V
Gate-source voltage(+)	V <sub>GSS</sub>	D-S short	22	V
Gate-source voltage(-)			-6	V
Drain current *1	I <sub>D</sub>	DC(T <sub>c</sub> =60°C)	180	A
	I <sub>DRM</sub>	Pulse (T <sub>c</sub> =60°C) 1ms *2	360	A
Source current *1	I <sub>S</sub>	T <sub>c</sub> =60°C	180	A
	I <sub>SRM</sub> *2*3	Pulse (T <sub>c</sub> =60°C) 1ms V <sub>GS</sub> =18V	360	A
		Pulse (T <sub>c</sub> =60°C) 10μs V <sub>GS</sub> =0V	360	A
Total power dissipation *4	P <sub>tot</sub>	T <sub>c</sub> =25°C	1130	W
Junction temperature	T <sub>j</sub>		-40 to 150	°C
Storage temperature	T <sub>stg</sub>		-40 to 125	°C
Isolation voltage*5	Visol	Terminals to baseplate, f=60Hz AC 1min.	2500	Vrms
Mounting torque	-	Main Terminals : M6 screw	4.5	N · m
		Mounting to heat sink : M5 screw	3.5	N · m

(\*1) Measurement of T<sub>c</sub> is to be done at the point just under the chip.

(\*2) Repetition rate should be kept within the range where temperature rise of die should not exceed T<sub>j</sub> max.

(\*3) Duration of current conduction at gate-off state should not exceed 10μsec.

(\*4) T<sub>j</sub> is less than 150°C (\*5) Actual measurement is 3000Vrms/1sec. in accordance with UL1557.

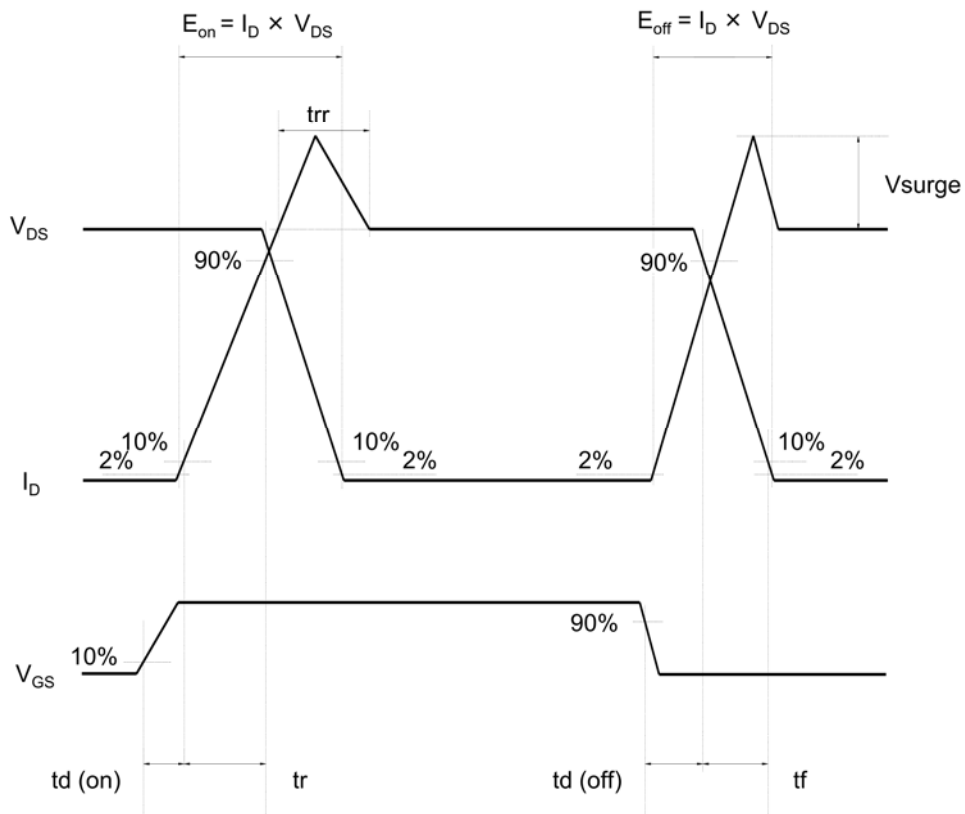
● **Electrical characteristics** (T<sub>j</sub>=25°C)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Static drain-source on-state voltage	V <sub>DS(on)</sub>	I <sub>C</sub> =180A, V <sub>GS</sub> =18V	T <sub>j</sub> =25°C	-	2.3	3.2	V
			T <sub>j</sub> =125°C	-	3.3	4.4	V
Drain cutoff current	I <sub>DSS</sub>	V <sub>DS</sub> =1200V, V <sub>GS</sub> =0V	-	-	10	μA	
Source-drain voltage	V <sub>SD</sub>	V <sub>GS</sub> =0V, I <sub>S</sub> =180A	T <sub>j</sub> =25°C	-	5.4	-	V
			T <sub>j</sub> =125°C	-	5.1	-	
		V <sub>GS</sub> =18V, I <sub>S</sub> =180A	T <sub>j</sub> =25°C	-	2.3	-	
			T <sub>j</sub> =125°C	-	3.3	-	
Gate-source threshold voltage	V <sub>GS(th)</sub>	V <sub>DS</sub> =10V, I <sub>D</sub> =35.2mA	1.6	2.7	4.0	V	
Gate-source leakage current	I <sub>GSS</sub>	V <sub>GS</sub> =22V, V <sub>DS</sub> =0V	-	-	0.5	μA	
		V <sub>GS</sub> =-6V, V <sub>DS</sub> =0V	-0.5	-	-	μA	
Switching characteristics	td(on)	V <sub>GS(on)</sub> =18V, V <sub>GS(off)</sub> =0V	-	80	-	ns	
	tr	V <sub>DS</sub> =600V	-	90	-	ns	
	trr	I <sub>D</sub> =180A	-	50	-	ns	
	td(off)	R <sub>G</sub> =5.6Ω	-	300	-	ns	
	tr	inductive load	-	90	-	ns	
Input capacitance	C <sub>iss</sub>	V <sub>DS</sub> =10V, V <sub>GS</sub> =0V, f=1MHz	-	23	-	nF	
Internal gate resistor	R <sub>Gint</sub>	T <sub>j</sub> =25°C	-	1.15	-	Ω	
Junction-to-case thermal resistance	R <sub>th(j-c)</sub>	DMOS (1/2 module) *6	-	-	0.11	°C/W	
Case-to-heat sink Thermal resistance	R <sub>th(c-f)</sub>	Case to heat sink, per 1 module, Thermal grease applied *7	-	0.035	-	°C/W	

(\*6) Measurement of T<sub>c</sub> is to be done at the point just beneath the chip.

(\*7) Typical value is measured by using thermally conductive grease of λ=0.9W / (m · K).

●Waveform for switching test



●Electrical characteristic curves (Typical)

Fig.1 Typical Output Characteristics

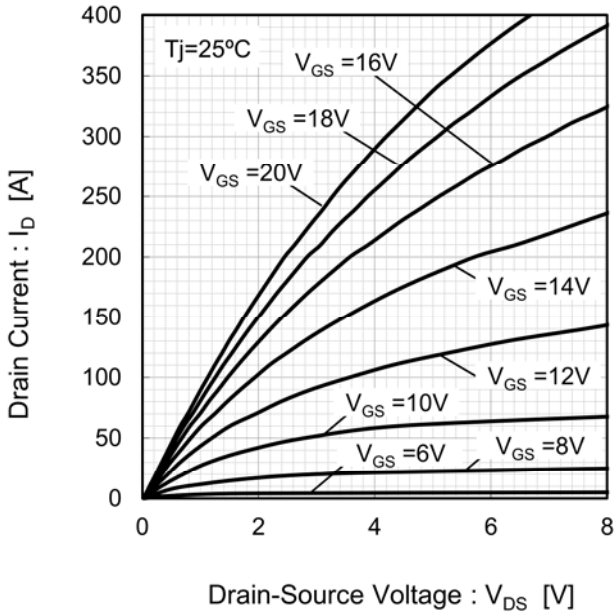


Fig.2 Drain-Source Voltage vs. Drain Current

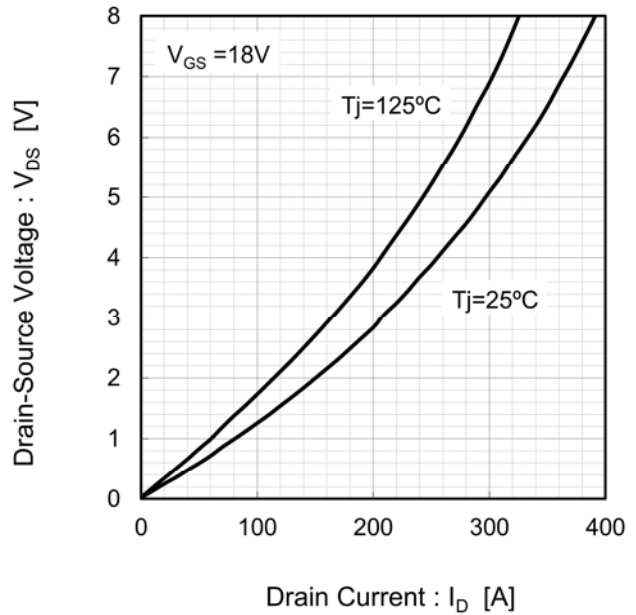


Fig.3 Drain-Source Voltage vs. Gate-Source Voltage

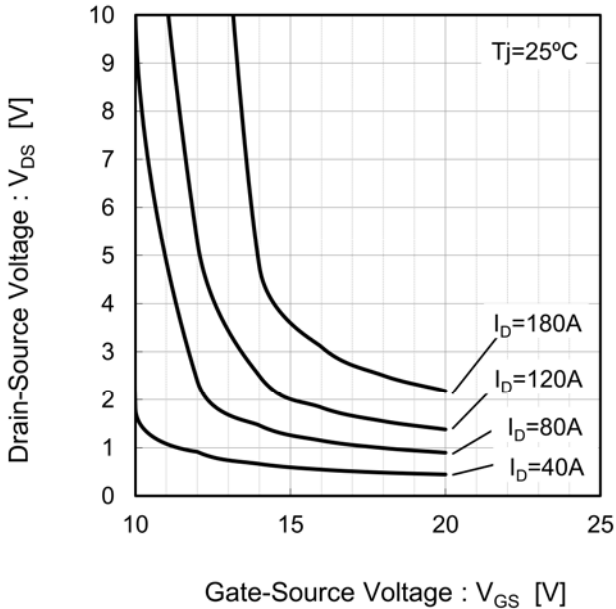
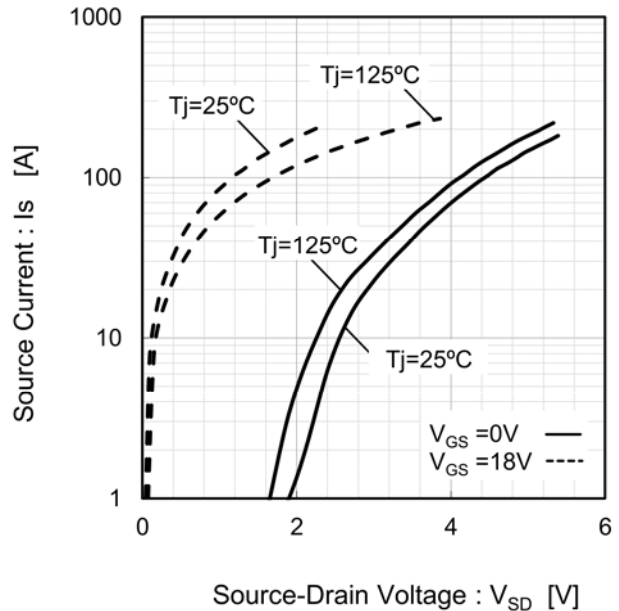


Fig.4 Forward characteristic of Diode



●Electrical characteristic curves (Typical)

Fig.5 Drain Current vs. Gate-Source Voltage

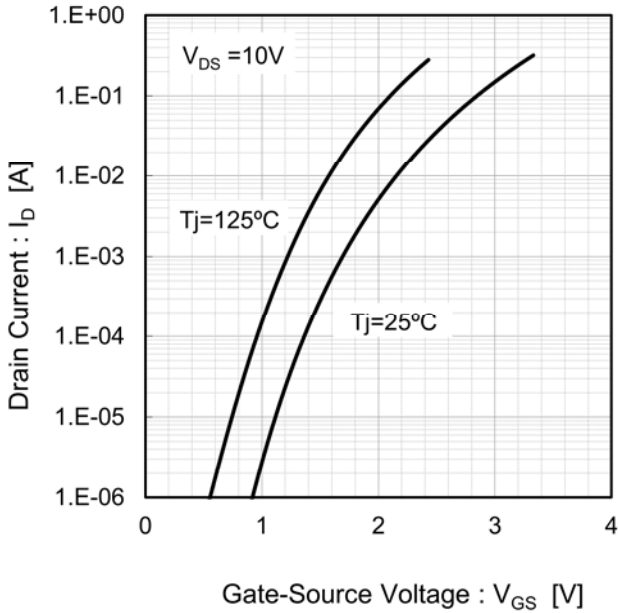


Fig.6 Drain Current vs. Gate-Source Voltage

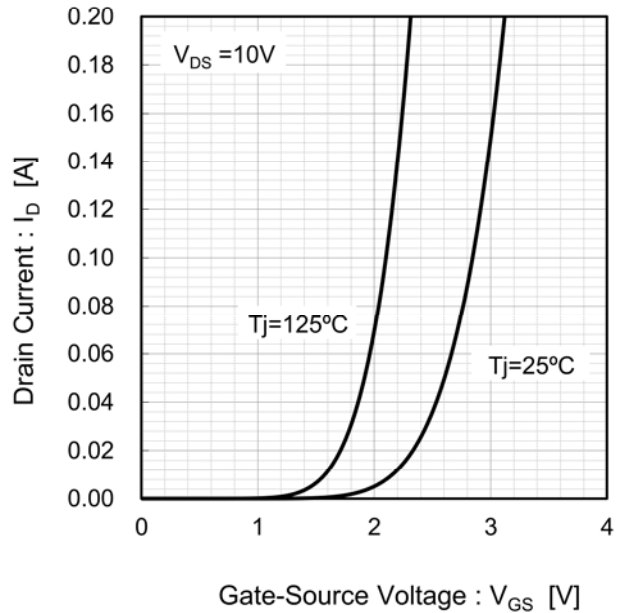


Fig.7 Switching Characteristics [  $T_j = 25^\circ C$  ]

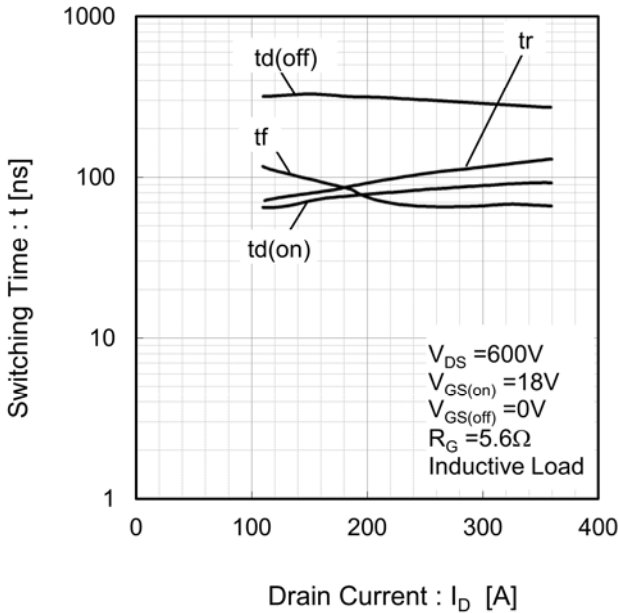
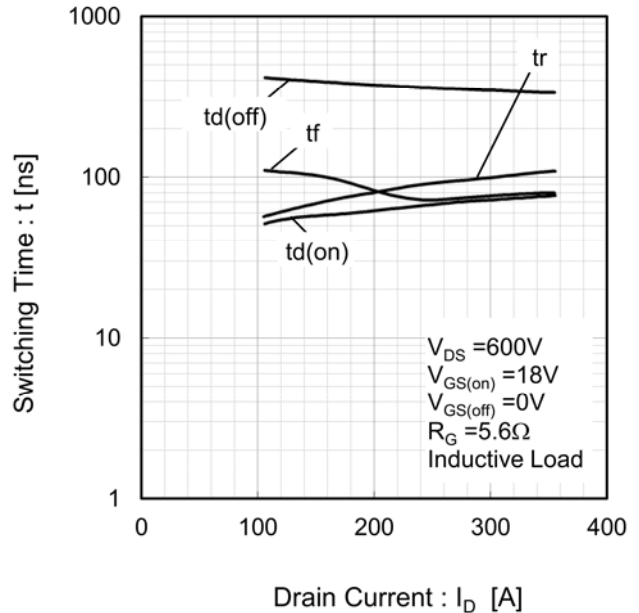


Fig.8 Switching Characteristics [  $T_j = 125^\circ C$  ]





●Electrical characteristic curves (Typical)

Fig.9 Switching Loss vs. Drain Current [ Tj=25°C ]

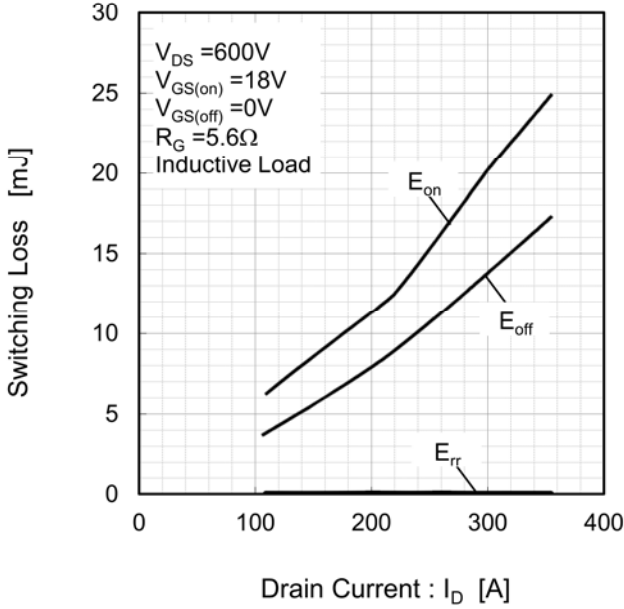


Fig.10 Switching Loss vs. Drain Current [ Tj=125°C ]

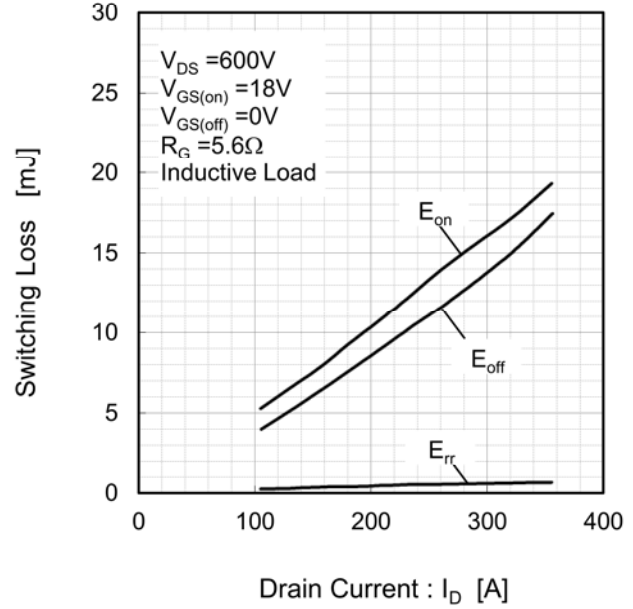


Fig.11 Recovery Characteristics vs. Drain Current [ Tj=25°C ]

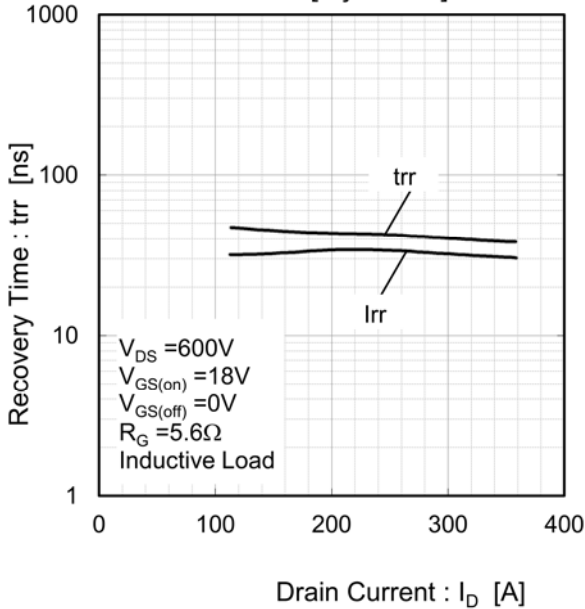
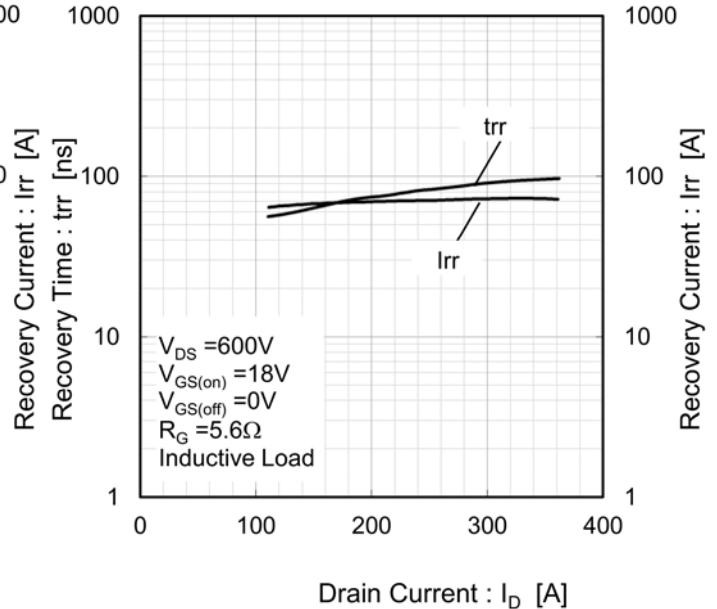


Fig.12 Recovery Characteristics vs. Drain Current [ Tj=125°C ]



●Electrical characteristic curves (Typical)

Fig.13 Switching Characteristics vs. Gate Resistance [ Tj=25°C ]

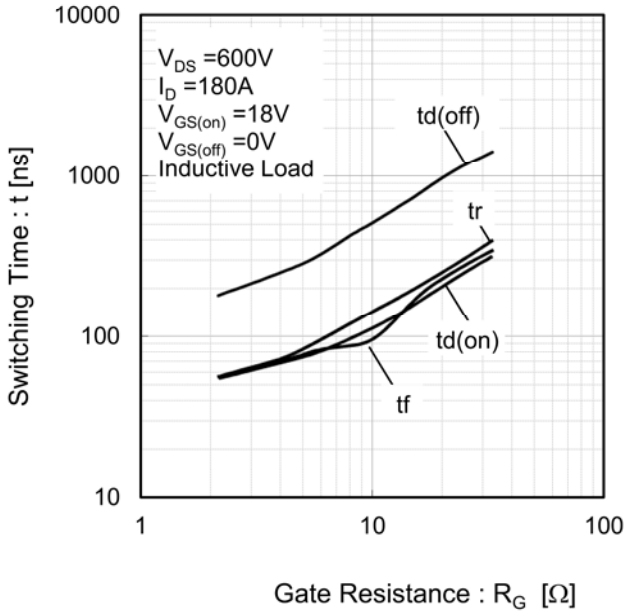


Fig.14 Switching Characteristics vs. Gate Resistance [ Tj=125°C ]

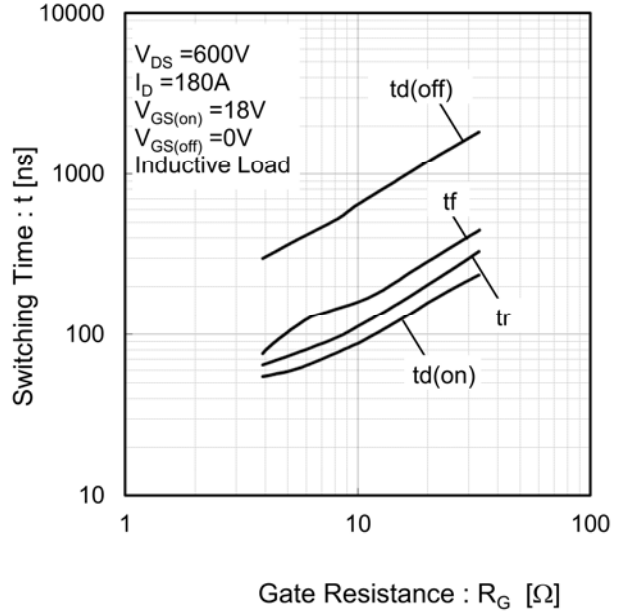


Fig.15 Switching Loss vs. Gate Resistance [ Tj=25°C ]

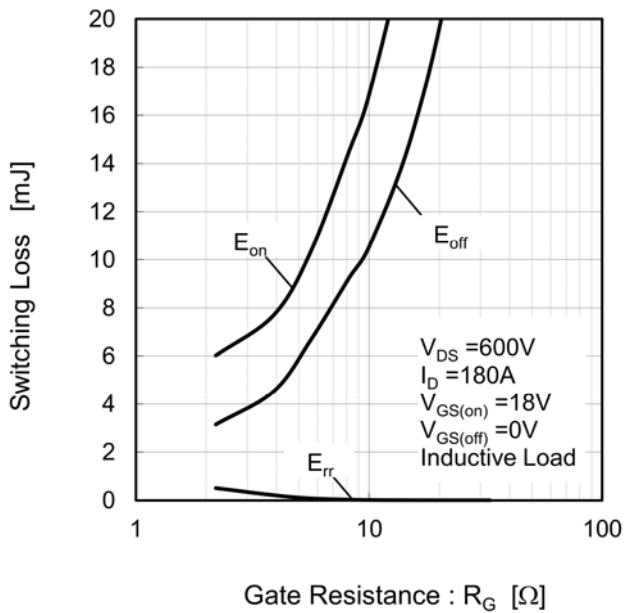
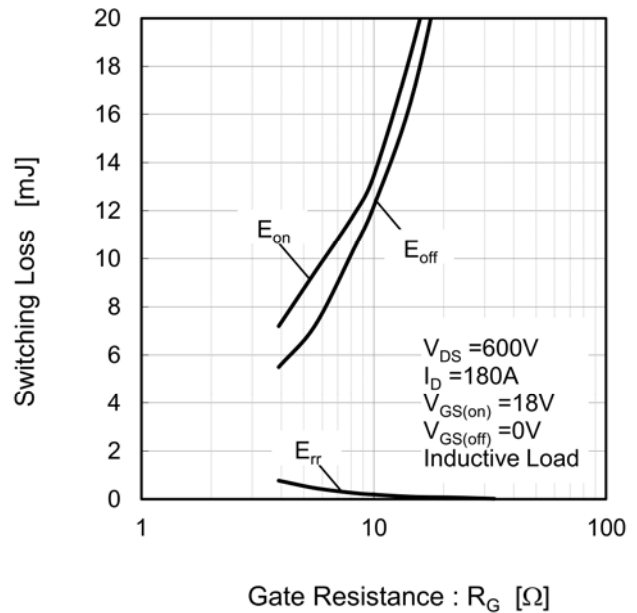


Fig.16 Switching Loss vs. Gate Resistance [ Tj=125°C ]



●Electrical characteristic curves (Typical)

Fig.17 Typical Capacitance vs. Drain-Source Voltage

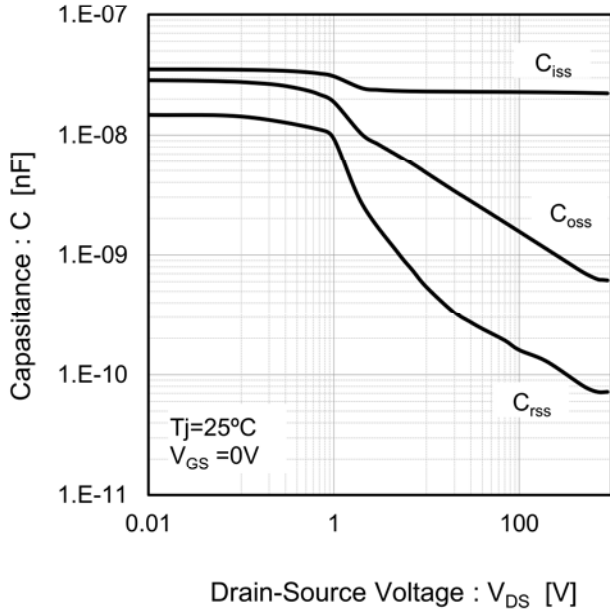


Fig.18 Gate Charge Characteristics [  $T_j=25^\circ\text{C}$  ]

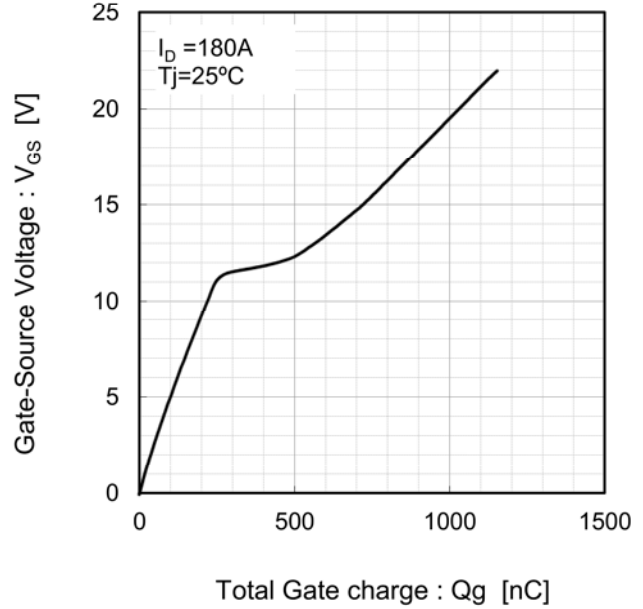


Fig.19 Normalized Transient Thermal Impedance

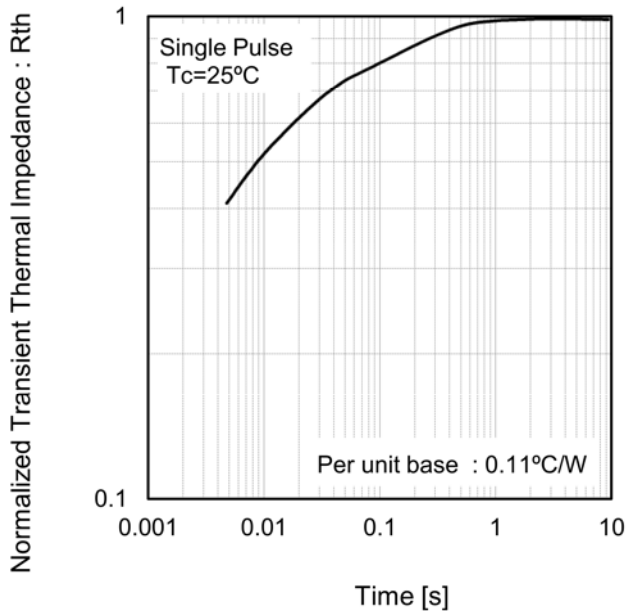
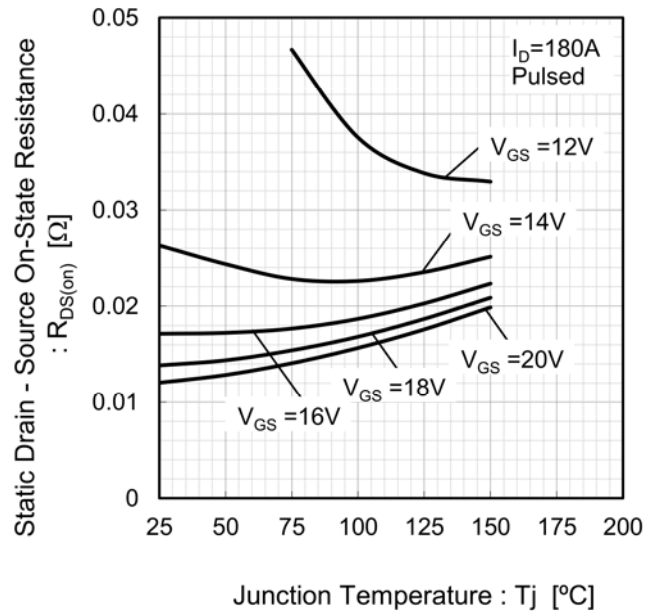


Fig.20 Static Drain - Source On-State Resistance vs. Junction Temperature



Teht. 1-3: Katso kirja

Teht. 4

Datalehdessä löytyy kuvapari Fig. 1L ja Fig. 1R joiden avulla tasavirta  $I_D$  voidaan määrittää suoraan.

Kuvassa 1R on parametrina  $R_{th(c-a)}$  eli lämpövastus kuoresta jäähdytysaineeseen

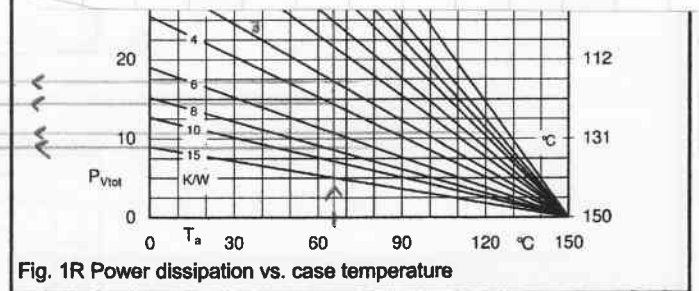
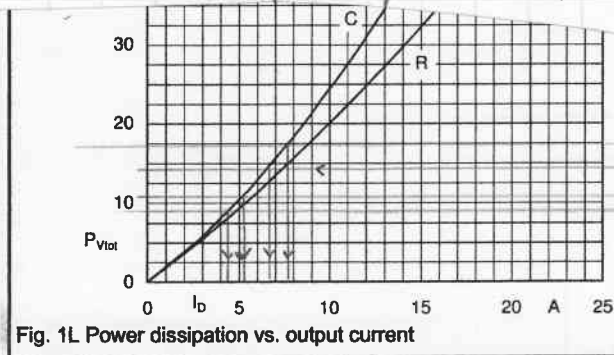
$$R_{th(c-a)} = R_{th(c-s)} + R_{th(s-a)}$$

Näistä datalehdessä annetaan numeroarvoissa

$$R_{th(c-s)} = 0,15 \text{ K/W} \quad \text{ja tehtäväpaperissa } R_{th(s-a)} = 5 \text{ K/W}$$

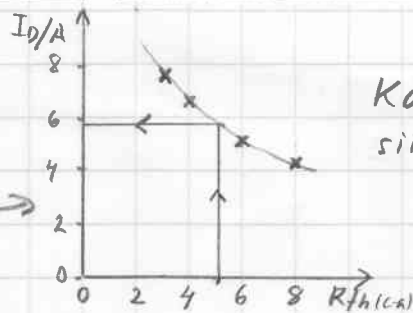
$$\text{Siten } R_{th(c-a)} = 0,15 \text{ K/W} + 5 \text{ K/W} = 5,15 \text{ K/W}$$

Kuvasta 1R huomataan, että 5,15 K/W ja 65°C kohdalla lukeminen on vaikeata epälineaarisuuden takia. Luetaan varmuuden vuoksi C-käyrältä arvot  $R_{th(c-a)} = 3, 4, 6$  ja  $8 \text{ K/W}$  kohdalla (C käyrä pätee kapasitiiviselle tasajännitteen suodolle)



$R_{th(c-a)}$	$I_D / A$
3	7,7
4	6,7
6	5,2
8	4,3

Näistä piirretään käyrä



Käyrältä saadaan siis  $I_D \approx 5,8 A$

(Tentissä hyväksyttävä myös suoraan luku ilman piirtämistä)

Tentti 12.12.2013 Rath.

Teht. 5Mosfet  $T_2$ in häviöenergiat pulssia kohden

Kuva 10 pätee kun  $V_{GS} = 18V$  johtavassa tilassa ja  $0V$  kun  $T_2$  ei johda.  $R_G = 5.6\Omega$ . Siten se on lähellä tehtävän tilannetta, mutta jännite on  $600V$

Siten saadaan  $150A$  virralle ja  $560V$  jännitteelle kun  $T_J = 125^\circ C$ . Datalehdessä  $125^\circ C$  esiintyy useissa paikoissa, joten se on tulkittavissa suositukseksi.

$$E_{HTON} \approx 7.7mJ \cdot \frac{560V}{600V} \approx \underline{\underline{7.2mJ}}$$

$$E_{HTOFF} \approx 6.0mJ \cdot \frac{560V}{600V} \approx \underline{\underline{5.6mJ}}$$

Johtuhäviöenergia saadaan laskettua kuvan 2 jännitteellä  $150A$  virralle:

$$U_{DS} \approx 2.7V \text{ kun } T_J = 125^\circ C \text{ ja } V_{GS} = 18V$$

$$E_{HCOND} = U_{DS} \cdot I_D \cdot t_{ON} = 2.7V \cdot 150A \cdot 0.6ms$$

$$\approx \underline{\underline{243mJ}}$$

(Kuvan 20  $R_{DSon}$  pätee  $180A$  virralle, mutta siitä voisi päätellä mitä  $150^\circ C$  mitoitus vaikuttaisi)

(Kytkenäajat  $t_r$  ja  $t_f$  ovat kuvan 8 mukaan noin  $100ns$  luokkaa eli  $\ll 0.6ms$ , joten ne voidaan jättää huomiotta  $t_{ON}$  arvossa)

Mosfet  $T_2$ in häviöteho on siten

$$\begin{aligned} \underline{\underline{P_{HT2}}} &= f (E_{HTON} + E_{HTOFF} + E_{HCOND}) \\ &\approx 1000 \frac{1}{s} (7.2mJ + 5.6mJ + 243mJ) \\ &\approx \underline{\underline{255W}} \end{aligned}$$



Tentti 12.12.2013 Rath.

Teht. 5 jatkoa

Diodin toimivan mosfetin  $T_1$  häviöt

$T_1$  hilajännite on 18V kun virta kulkee source  $\rightarrow$  drain suunnassa. Siten virta kulkee fetin osan kanavassa ainakin suurimman osan johtoaikaa.

Jännitehäviö 150 A virralla saadaan kuvasta 4  
 $V_{GS} = 18V$  ja  $T_J = 125^\circ C$  käyrästä

$$U_{SD} \approx 2,5 V$$

(kuvaa voi olla hankala lukea logaritmisella virta-asteikon takia. Koska dekadi on viivottimella mitattuna noin 20,5 mm, on 150 A virta

$$20,5 \text{ mm} \cdot \log \frac{150 \text{ A}}{100 \text{ A}} \approx 3,6 \text{ mm} \quad 100 \text{ A viivan yläpuolella$$

Siten johtohäviöenergia on

$$E_{H, \text{COND} T_1} = 2,5 V \cdot 150 A \cdot 0,4 \text{ ms} \approx 150 \text{ mJ}$$

Virran siirtyessä  $T_1$ :ltä  $T_2$ :lle voi hilajännite olla nolla ennen kuin virta on tullut nolaksi (tai alkanut kulkea drain-source suunnassa), joten fetin sisältämä diodi on voinut alkaa johtaa ja siten syntyy takavirtakin.

Kuvasta 10 saadaan tähän liittyvä häviöenergia

$$E_{H, r} \approx 0,4 \text{ mJ} \cdot \frac{560 V}{600 V} \approx 0,37 \text{ mJ}$$

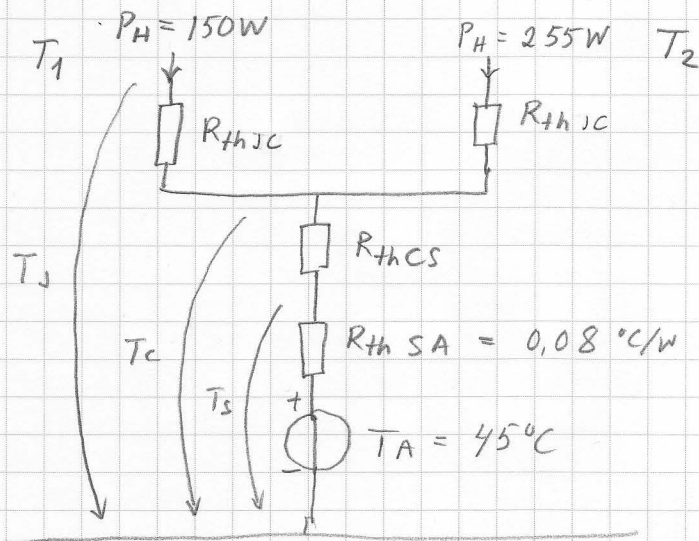
Siten  $T_1$ :n keskimääräinen häviöteho on

$$\underline{\underline{P_{H, T_1}}} = f (E_{H, \text{COND} T_1} + E_{H, r}) \approx 1000 \frac{1}{s} (150 \text{ mJ} + 0,37 \text{ mJ})$$

$$\underline{\underline{\approx 150 \text{ W}}}$$

Tentti 12.12.2013 Rauh

Teht. 5 jatkoa

Moduulin terminen sijaistyyntä, kun taajuus  $f \geq 1 \text{ kHz}$  ( $\approx$  pysyvätila)

Datalehden numeroarvoista löytyvät numeroarvot:

$$R_{thJC} = 0,11 \text{ °C/W} \quad \left( \frac{1}{2} \text{ module tarkoittaa yhden fetin arvoa sama arvo johti sitten fet taikka sen diodi} \right)$$

$$R_{thCS} = 0,035 \text{ °C/W}$$

$$\text{Siten } T_c = (P_{HT1} + P_{HT2}) (R_{thCS} + R_{thSA}) + T_A$$

$$\approx (150 \text{ W} + 255 \text{ W}) \left( 0,035 \frac{\text{°C}}{\text{W}} + 0,08 \frac{\text{°C}}{\text{W}} \right) + 45 \text{ °C}$$

$$\approx 92 \text{ °C}$$

$$\text{Joten } \underline{\underline{T_{j,T1}}} = T_c + P_{HT1} \cdot R_{thJC} = 92 \text{ °C} + 150 \text{ W} \cdot 0,11 \frac{\text{°C}}{\text{W}} \approx \underline{\underline{109 \text{ °C}}}$$

$$\underline{\underline{T_{j,T2}}} = T_c + P_{HT2} \cdot R_{thJC} = 92 \text{ °C} + 255 \text{ W} \cdot 0,11 \frac{\text{°C}}{\text{W}} \approx \underline{\underline{120 \text{ °C}}}$$