

Tentti 17.3.2014, kello 16 ... 19, sali S4

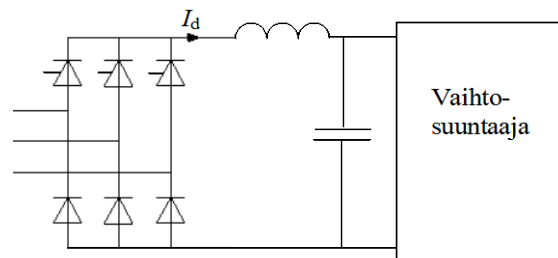
Papereihin

- sukunimi ja etunimet
- opiskelijanumero
- koulutusohjelma.

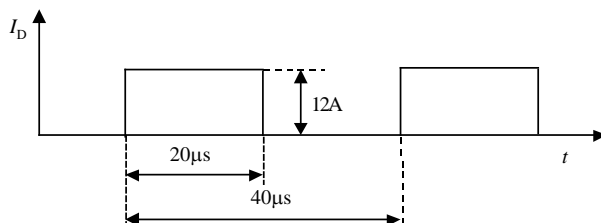
Tentissä sallitut apuvälineet

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

- Selvitä lyhyesti (max. 2...4 lausetta + mahdollinen kuva), mitä seuraavilla termeillä tarkoitetaan
 - ioni-istutus
 - tyristorin toipumisaika
 - muutoslämpövastus
 - ESR
 - lähivaikutus.
- Esittele IGBT:n rakenne, toimintaperiaate ja ominaisuudet.
- Selvitä, miten verkkotaajuiset ja suurtaajuiset muuntajat eroavat toisistaan. Kuvaile sanallisesti suurtaajuusmuuntajan (esim. 50 kHz, 100 W, 400 V/15 V) suunnittelun vaiheet ja kussakin vaiheessa huomioon otettavat seikat.
- Kolmea tyristori/diodi -moduulia SKKH 57/16 E G6 (datalehti oheisena) käytetään allaolevassa kolmivaiheisessa tasasuuntaajasillassa. Mikä on moduulien yhteisen jäähdytyslementin lämpövastuksen $R_{th(s-a)}$ oltava, jotta silta kykenisi syöttämään 120 A tasavirran jäähdytysilman lämpötilan ollessa 65 °C?



- Määrää IPP60R199CP -fetin vaatiman jäähdytyslementin lämpövastus, kun fetin virta on oheisen kuvan mukainen. Jäähdytysilman lämpötila on 45 °C ja $V_{GS} = 10$ V. Fetin yli oleva jännite on päällekytkennän aikana 360 V ja katkaisun aikana 500 V.





SEMIPACK® 1

Thyristor / Diode Modules

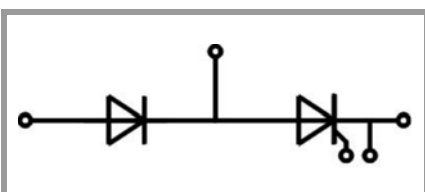
SKKH 57/16 E G6

Features

- Heat transfer through aluminium oxide ceramic isolated metal baseplate
- UL recognized, file no. E63532

Typical Applications

- DC motor control (e. g. for machine tools)
- AC motor soft starters
- Temperature control (e. g. for ovens, chemical processes)
- Professional light dimming (studios, theaters)



SKKH

Absolute Maximum Ratings				
Symbol	Conditions		Values	Unit
Chip				
$I_{T(AV)}$	sinus 180°	$T_c = 85\text{ °C}$	61	A
		$T_c = 100\text{ °C}$	45	A
I_{TSM}	10 ms	$T_j = 25\text{ °C}$	1500	A
		$T_j = 130\text{ °C}$	1200	A
i^2t	10 ms	$T_j = 25\text{ °C}$	11250	A ² s
		$T_j = 130\text{ °C}$	7200	A ² s
V_{RSM}			1700	V
V_{RRM}			1600	V
V_{DRM}			1600	V
$(di/dt)_{cr}$	$T_j = 130\text{ °C}$		140	A/μs
$(dv/dt)_{cr}$	$T_j = 130\text{ °C}$		1000	V/μs
T_j			-40 ... 130	°C
Module				
T_{stg}			-40 ... 125	°C
V_{isol}	a.c.; 50 Hz; r.m.s.	1 min	3000	V
		1 s	3600	V

Characteristics						
Symbol	Conditions		min.	typ.	max.	Unit
Chip						
V_T	$T_j = 25\text{ °C}$, $I_T = 180\text{ A}$			1.5	1.75	V
$V_{T(TO)}$	$T_j = 130\text{ °C}$			0.85	1	V
r_T	$T_j = 130\text{ °C}$			4.00	4.50	mΩ
$I_{DD}; I_{RD}$	$T_j = 130\text{ °C}$, $V_{DD} = V_{DRM}$; $V_{RD} = V_{RRM}$				20	mA
t_{gd}	$T_j = 25\text{ °C}$, $I_G = 1\text{ A}$, $di_G/dt = 1\text{ A/μs}$			1		μs
t_{gr}	$V_D = 0.67 * V_{DRM}$			2		μs
t_q	$T_j = 130\text{ °C}$			170		μs
I_H	$T_j = 25\text{ °C}$			150	250	mA
I_L	$T_j = 25\text{ °C}$, $R_G = 33\text{ Ω}$			300	600	mA
V_{GT}	$T_j = 25\text{ °C}$, d.c.		2.5			V
I_{GT}	$T_j = 25\text{ °C}$, d.c.		100			mA
V_{GD}	$T_j = 130\text{ °C}$, d.c.				0.25	V
I_{GD}	$T_j = 130\text{ °C}$, d.c.				4	mA
$R_{th(j-c)}$	cont.	per chip			0.420	K/W
		per module			0.210	K/W
$R_{th(j-c)}$	sin. 180°	per chip			0.440	K/W
		per module			0.220	K/W
$R_{th(j-c)}$	rec. 120°	per chip			0.460	K/W
		per module			0.230	K/W
Module						
$R_{th(c-s)}$	chip			0.22		K/W
	module			0.11		K/W
M_s	to heatsink M5		4.25		5.75	Nm
M_t	to terminals M5		2.55		3.45	Nm
a					5 * 9,81	m/s ²
w				75		g

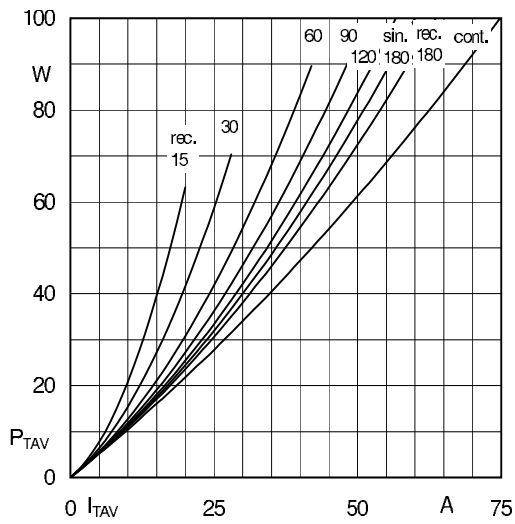


Fig. 1L: Power dissipation per thyristor/diode vs. on-state current

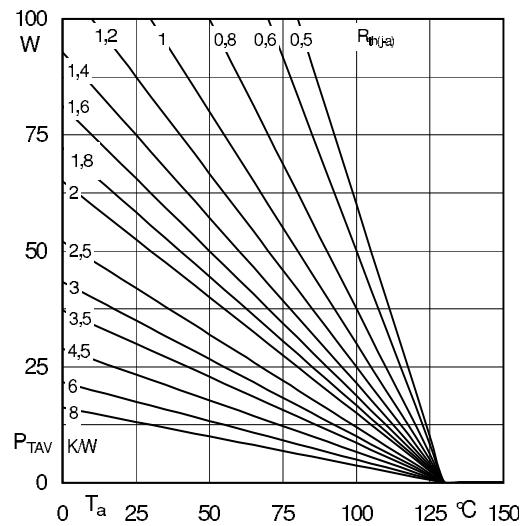


Fig. 1R: Max. power dissipation per chip vs. ambient temperature

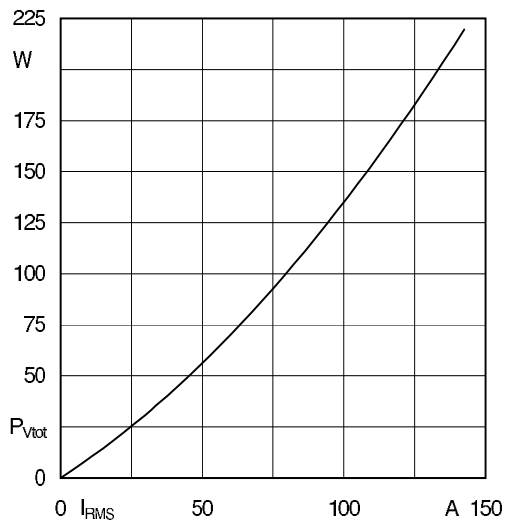


Fig. 2L: Max. power dissipation of one module vs. rms current

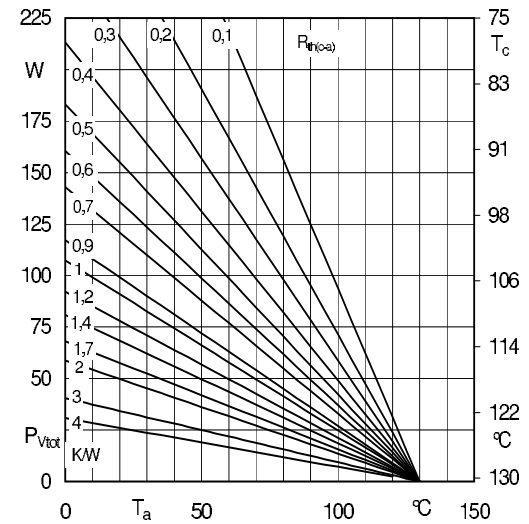


Fig. 2R: Max. power dissipation of one module vs. case temperature

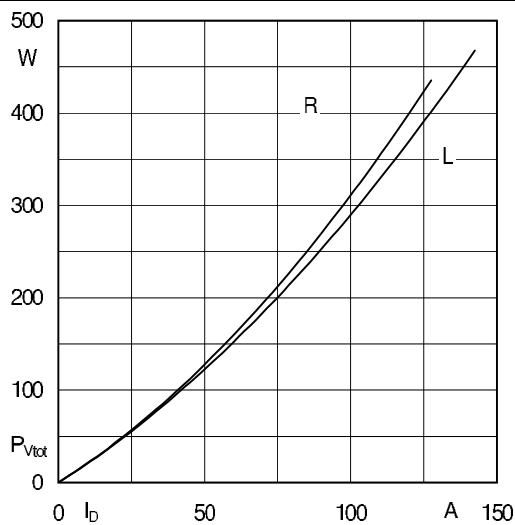


Fig. 3L: Max. power dissipation of two modules vs. direct current

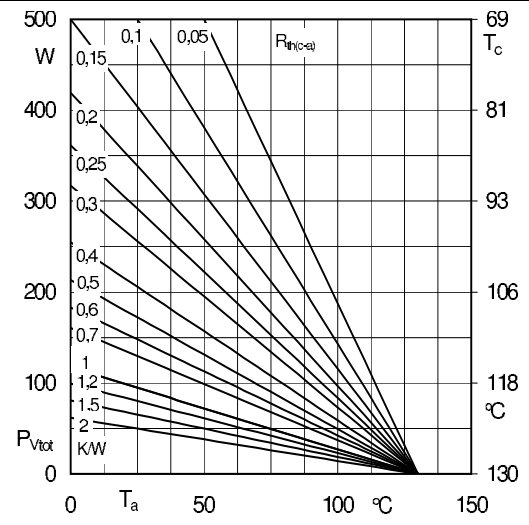


Fig. 3R: Max. power dissipation of two modules vs. case temperature

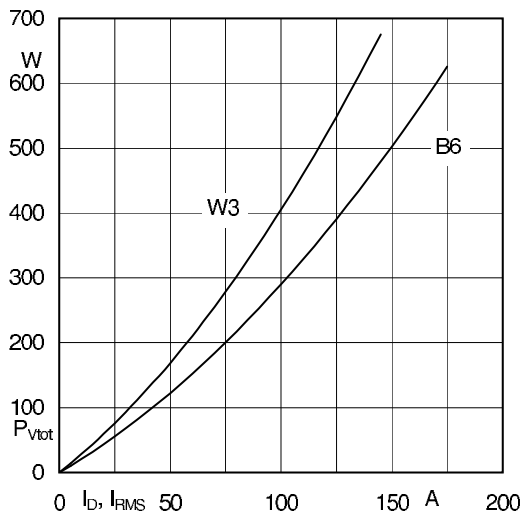


Fig. 4L: Max. power dissipation of three modules vs. direct current

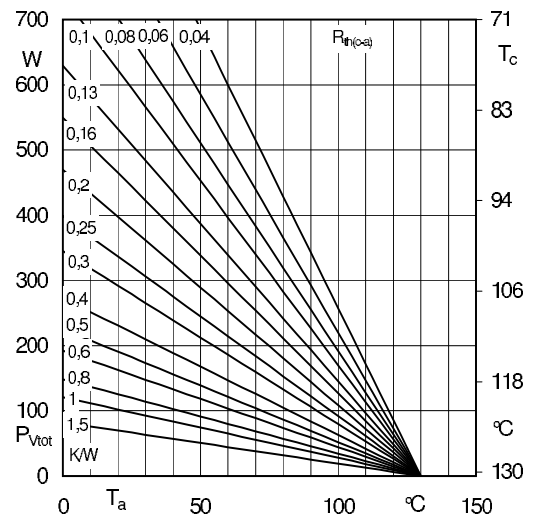


Fig. 4R: Max. power dissipation of three modules vs. case temperature

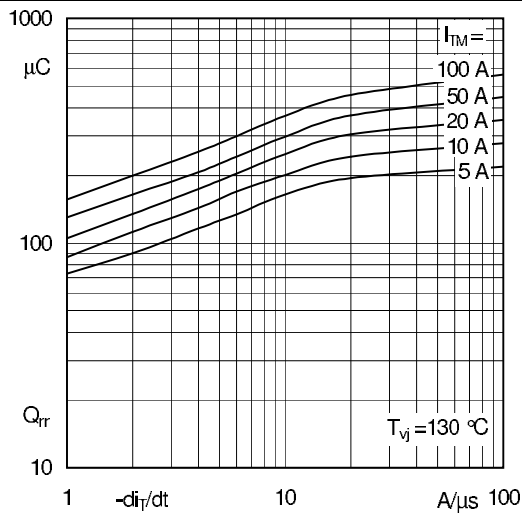


Fig. 5: Recovered charge vs. current decrease

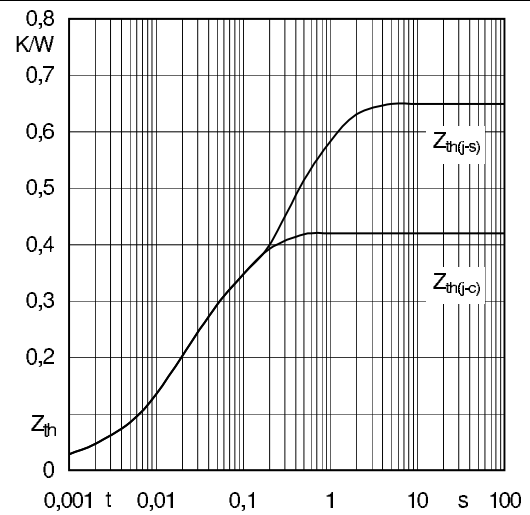


Fig. 6: Transient thermal impedance vs. time

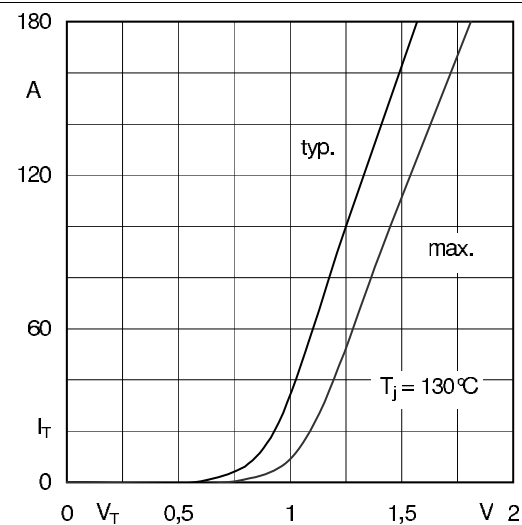


Fig. 7: On-state characteristics

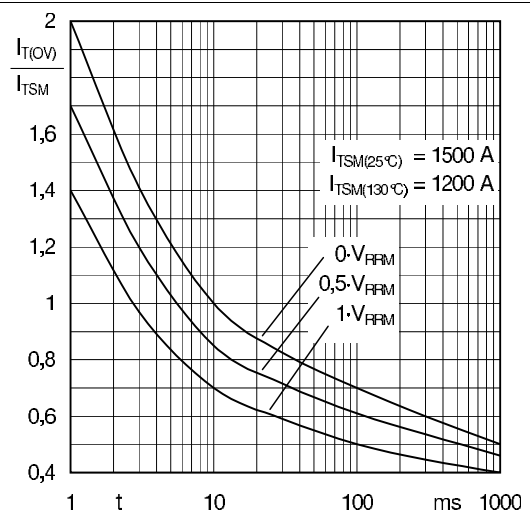


Fig. 8: Surge overload current vs. time

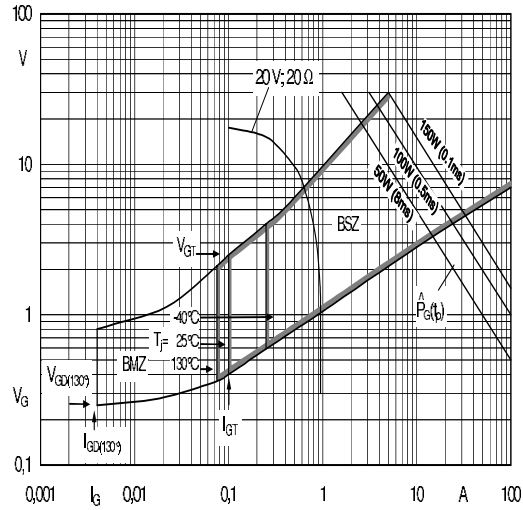
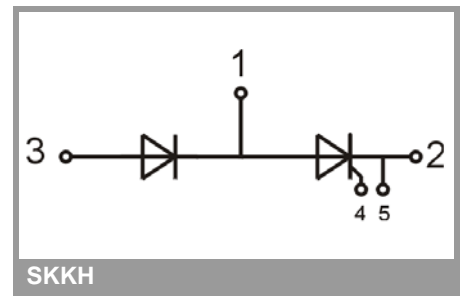
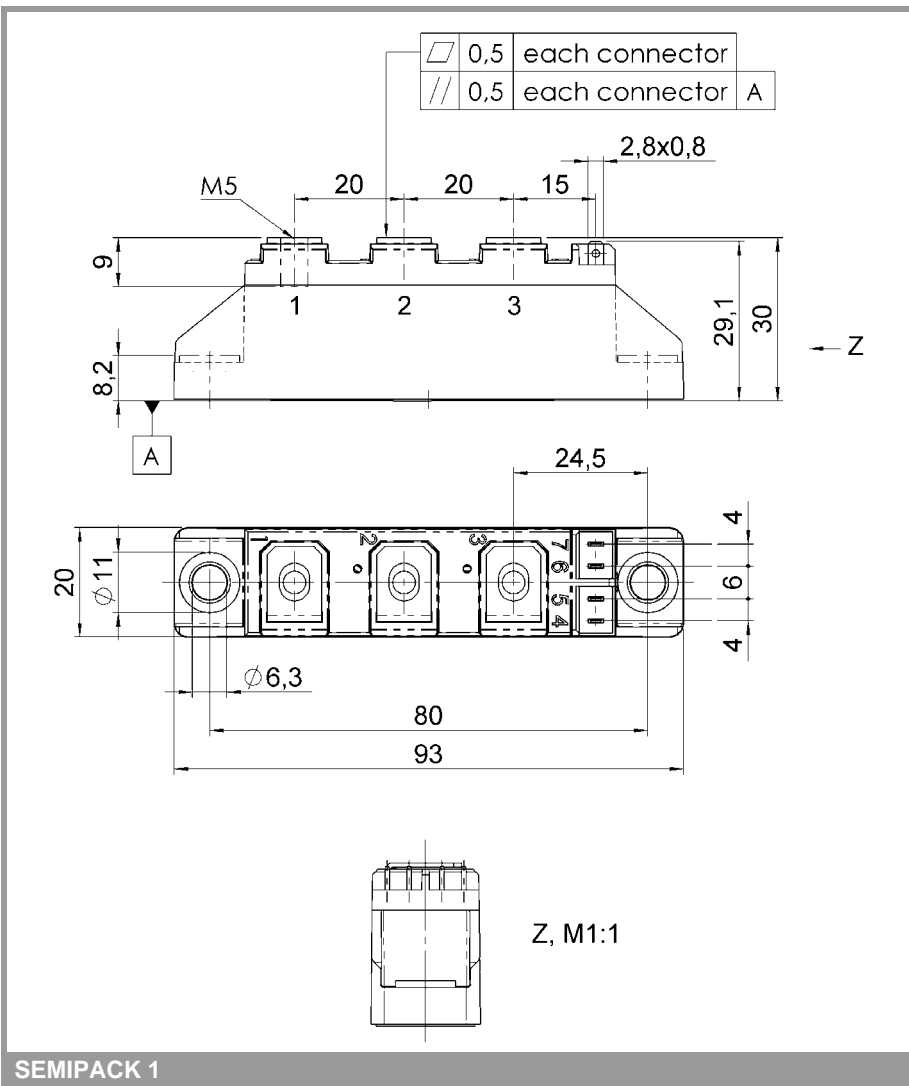


Fig. 9: Gate trigger characteristics



This technical information specifies semiconductor devices but promises no characteristics. No warranty or guarantee expressed or implied is made regarding delivery, performance or suitability.

CoolMOS® Power Transistor
Features

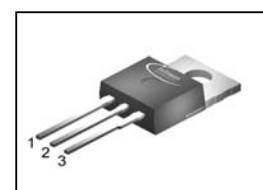
- Lowest figure-of-merit $R_{ON} \times Q_g$
- Ultra low gate charge
- Extreme dv/dt rated
- High peak current capability
- Qualified according to JEDEC⁽¹⁾ for target applications
- Pb-free lead plating; RoHS compliant

Product Summary

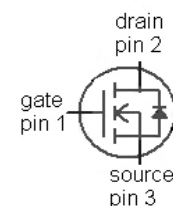
$V_{DS} @ T_{j,max}$	650	V
$R_{DS(on),max}$	0.199	Ω
$Q_{g,typ}$	32	nC

CoolMOS CP is specially designed for:

- Hard switching topologies, for Server and Telecom

PG-TO220


Type	Package	Ordering Code	Marking
IPP60R199CP	PG-TO220	SP000084278	6R199P


Maximum ratings, at $T_j=25\text{ °C}$, unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Conditions	Value	Unit
Continuous drain current	I_D	$T_C=25\text{ °C}$	16	A
		$T_C=100\text{ °C}$	10	
Pulsed drain current ⁽²⁾	$I_{D,pulse}$	$T_C=25\text{ °C}$	51	
Avalanche energy, single pulse	E_{AS}	$I_D=6.6\text{ A}, V_{DD}=50\text{ V}$	436	mJ
Avalanche energy, repetitive t_{AR} ^(2),3)	E_{AR}	$I_D=6.6\text{ A}, V_{DD}=50\text{ V}$	0.66	
Avalanche current, repetitive t_{AR} ^(2),3)	I_{AR}		6.6	A
MOSFET dv/dt ruggedness	dv/dt	$V_{DS}=0\dots480\text{ V}$	50	V/ns
Gate source voltage	V_{GS}	static	± 20	V
		AC ($f > 1\text{ Hz}$)	± 30	
Power dissipation	P_{tot}	$T_C=25\text{ °C}$	139	W
Operating and storage temperature	T_j, T_{stg}		-55 ... 150	$^{\circ}\text{C}$
Mounting torque		M3 and M3.5 screws	60	Ncm

Maximum ratings, at $T_j=25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Conditions	Value	Unit
Continuous diode forward current	I_S	$T_C=25\text{ }^\circ\text{C}$	9.9	A
Diode pulse current ²⁾	$I_{S,pulse}$		51	
Reverse diode dv/dt ⁴⁾	dv/dt		15	V/ns

Parameter	Symbol	Conditions	Values			Unit
			min.	typ.	max.	

Thermal characteristics

Thermal resistance, junction - case	R_{thJC}		-	-	0.9	K/W
Thermal resistance, junction - ambient	R_{thJA}	leaded	-	-	62	
Soldering temperature, wavesoldering only allowed at leads	T_{sold}	1.6 mm (0.063 in.) from case for 10 s	-	-	260	$^\circ\text{C}$

Electrical characteristics, at $T_j=25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified

Static characteristics

Drain-source breakdown voltage	$V_{(BR)DSS}$	$V_{GS}=0\text{ V}$, $I_D=250\text{ }\mu\text{A}$	600	-	-	V
Gate threshold voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS}=V_{GS}$, $I_D=0.66\text{ mA}$	2.5	3	3.5	
Zero gate voltage drain current	I_{DSS}	$V_{DS}=600\text{ V}$, $V_{GS}=0\text{ V}$, $T_j=25\text{ }^\circ\text{C}$	-	-	1	μA
		$V_{DS}=600\text{ V}$, $V_{GS}=0\text{ V}$, $T_j=150\text{ }^\circ\text{C}$	-	10	-	
Gate-source leakage current	I_{GSS}	$V_{GS}=20\text{ V}$, $V_{DS}=0\text{ V}$	-	-	100	nA
Drain-source on-state resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS}=10\text{ V}$, $I_D=9.9\text{ A}$, $T_j=25\text{ }^\circ\text{C}$	-	0.18	0.199	Ω
		$V_{GS}=10\text{ V}$, $I_D=9.9\text{ A}$, $T_j=150\text{ }^\circ\text{C}$	-	0.49	-	
Gate resistance	R_G	$f=1\text{ MHz}$, open drain	-	2	-	Ω

Parameter	Symbol	Conditions	Values			Unit
			min.	typ.	max.	

Dynamic characteristics

Input capacitance	C_{iss}	$V_{GS}=0\text{ V}, V_{DS}=100\text{ V},$ $f=1\text{ MHz}$	-	1520	-	pF
Output capacitance	C_{oss}		-	72	-	
Effective output capacitance, energy related ⁵⁾	$C_{o(er)}$	$V_{GS}=0\text{ V}, V_{DS}=0\text{ V}$ to 480 V	-	69	-	
Effective output capacitance, time related ⁶⁾	$C_{o(tr)}$		-	180	-	
Turn-on delay time	$t_{d(on)}$	$V_{DD}=400\text{ V},$ $V_{GS}=10\text{ V}, I_D=9.9\text{ A},$ $R_G=3.3\ \Omega$	-	10	-	ns
Rise time	t_r		-	5	-	
Turn-off delay time	$t_{d(off)}$		-	50	-	
Fall time	t_f		-	5	-	

Gate Charge Characteristics

Gate to source charge	Q_{gs}	$V_{DD}=400\text{ V}, I_D=9.9\text{ A},$ $V_{GS}=0\text{ to }10\text{ V}$	-	8	-	nC
Gate to drain charge	Q_{gd}		-	11	-	
Gate charge total	Q_g		-	32	43	
Gate plateau voltage	$V_{plateau}$		-	5.0	-	V

Reverse Diode

Diode forward voltage	V_{SD}	$V_{GS}=0\text{ V}, I_F=9.9\text{ A},$ $T_j=25\text{ }^\circ\text{C}$	-	0.9	1.2	V
Reverse recovery time	t_{rr}	$V_R=400\text{ V}, I_F=I_S,$ $di_F/dt=100\text{ A}/\mu\text{s}$	-	340	-	ns
Reverse recovery charge	Q_{rr}		-	5.5	-	μC
Peak reverse recovery current	I_{rrm}		-	33	-	A

¹⁾ J-STD20 and JESD22

²⁾ Pulse width t_p limited by $T_{j,max}$

³⁾ Repetitive avalanche causes additional power losses that can be calculated as $P_{AV}=E_{AR} \cdot f$.

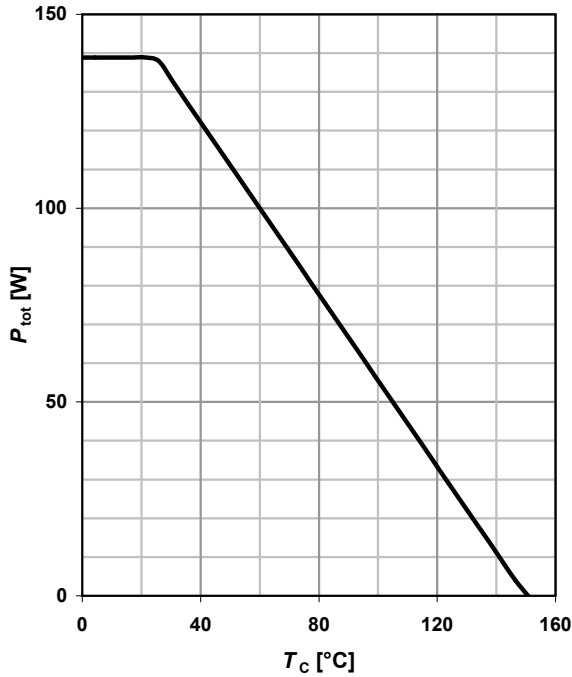
⁴⁾ $I_{SD} < I_D$, $di/dt < 200\text{ A}/\mu\text{s}$, $V_{DClink}=400\text{ V}$, $V_{peak} < V_{(BR)DSS}$, $T_j < T_{j,max}$, identical low side and high side switch.

⁵⁾ $C_{o(er)}$ is a fixed capacitance that gives the same stored energy as C_{oss} while V_{DS} is rising from 0 to 80% V_{DSS} .

⁶⁾ $C_{o(tr)}$ is a fixed capacitance that gives the same charging time as C_{oss} while V_{DS} is rising from 0 to 80% V_{DSS} .

1 Power dissipation

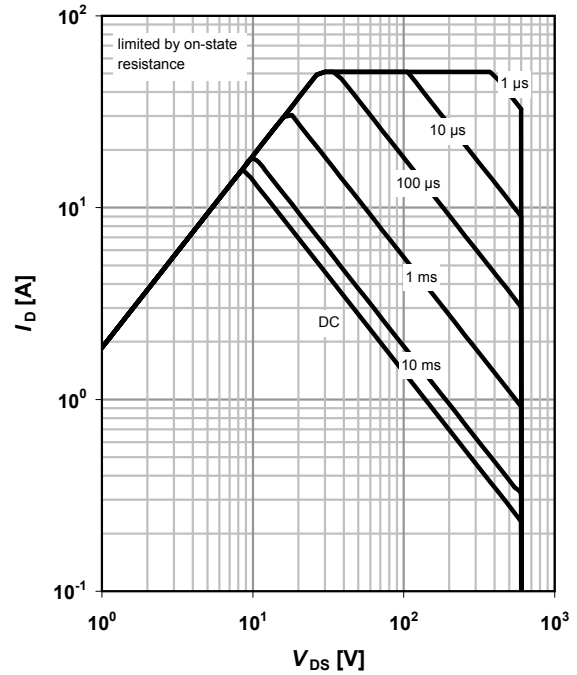
$$P_{tot} = f(T_C)$$



2 Safe operating area

$$I_D = f(V_{DS}); T_C = 25^\circ\text{C}; D = 0$$

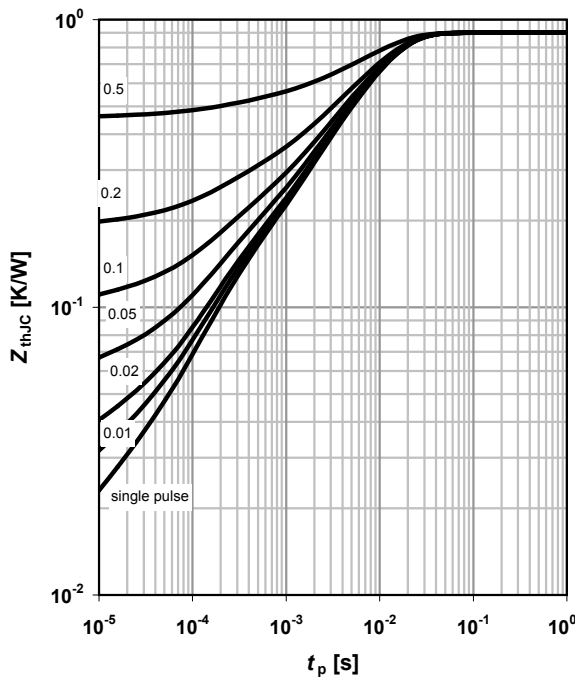
parameter: t_p



3 Max. transient thermal impedance

$$Z_{thJC} = f(t_p)$$

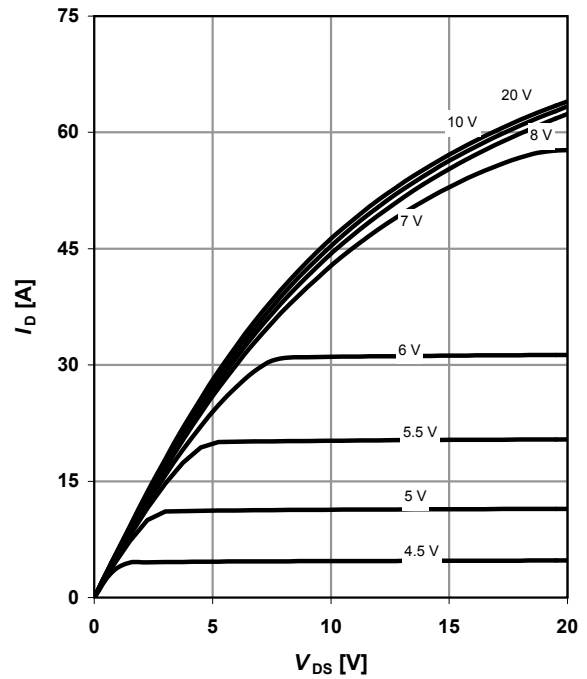
parameter: $D = t_p / T$



4 Typ. output characteristics

$$I_D = f(V_{DS}); T_j = 25^\circ\text{C}$$

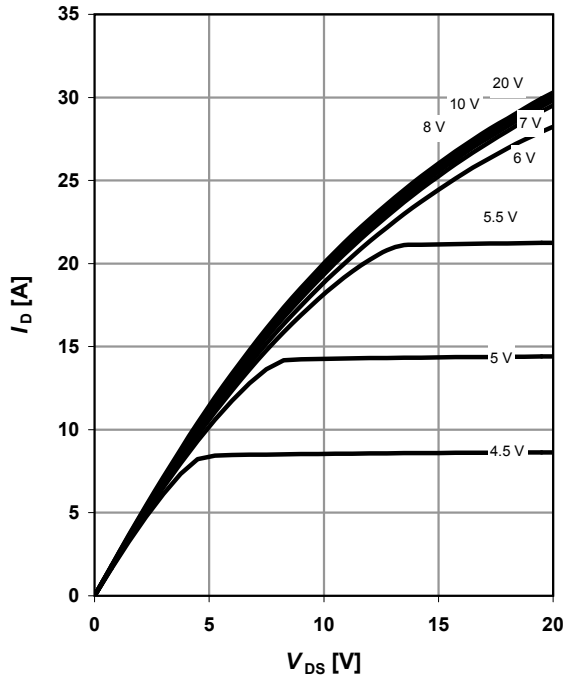
parameter: V_{GS}



5 Typ. output characteristics

$I_D = f(V_{DS}); T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$

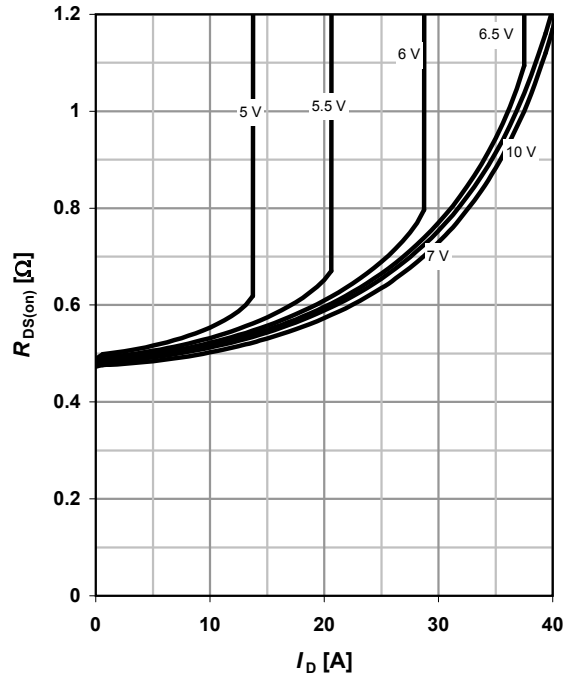
parameter: V_{GS}



6 Typ. drain-source on-state resistance

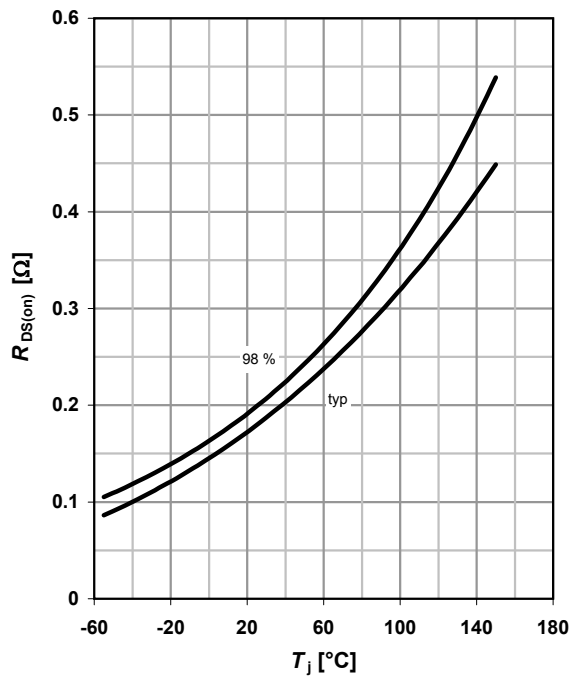
$R_{DS(on)} = f(I_D); T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$

parameter: V_{GS}



7 Drain-source on-state resistance

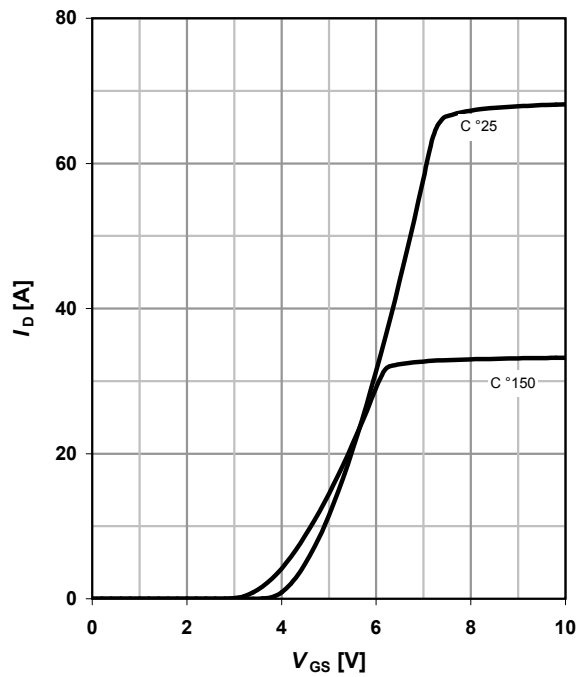
$R_{DS(on)} = f(T_j); I_D = 9.9\text{ A}; V_{GS} = 10\text{ V}$



8 Typ. transfer characteristics

$I_D = f(V_{GS}); |V_{DS}| > 2|I_D|R_{DS(on)max}$

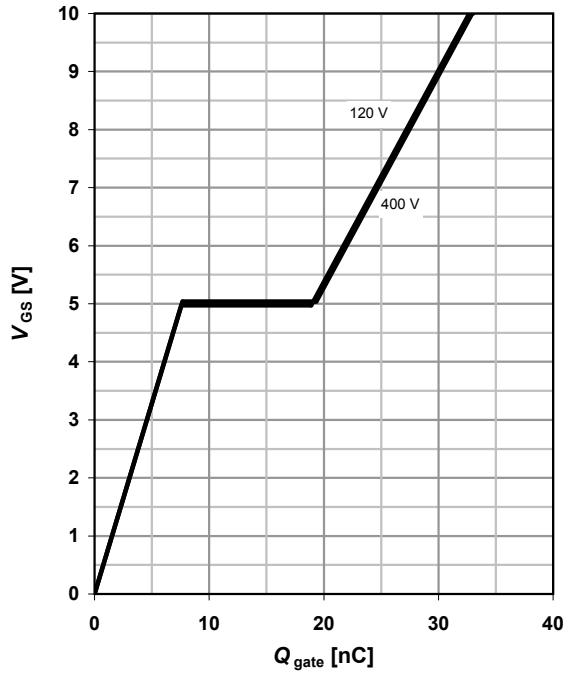
parameter: T_j



9 Typ. gate charge

$V_{GS}=f(Q_{gate}); I_D=9.9\text{ A pulsed}$

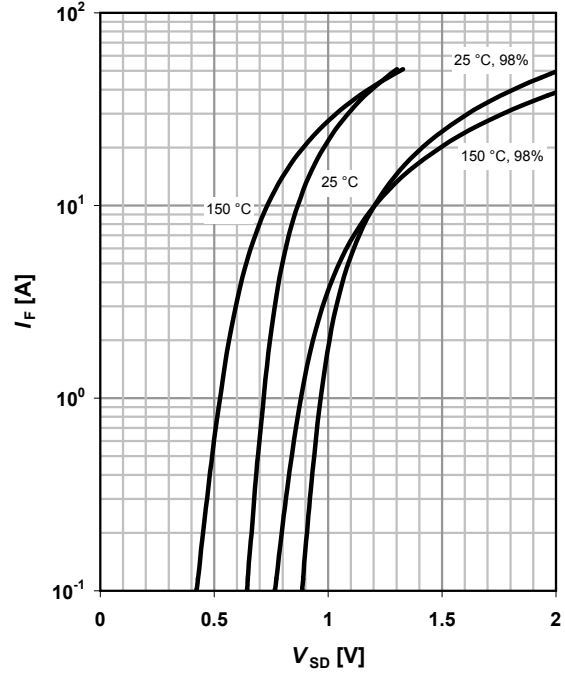
parameter: V_{DD}



10 Forward characteristics of reverse diode

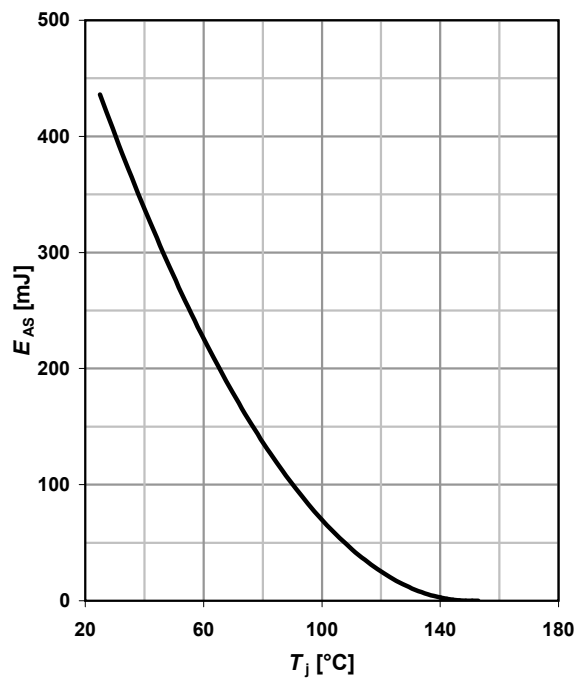
$I_F=f(V_{SD})$

parameter: T_j



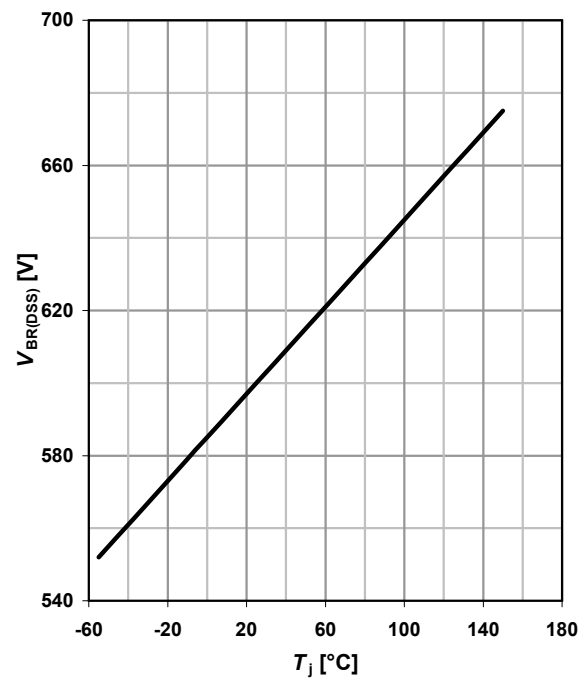
11 Avalanche energy

$E_{AS}=f(T_j); I_D=6.6\text{ A}; V_{DD}=50\text{ V}$



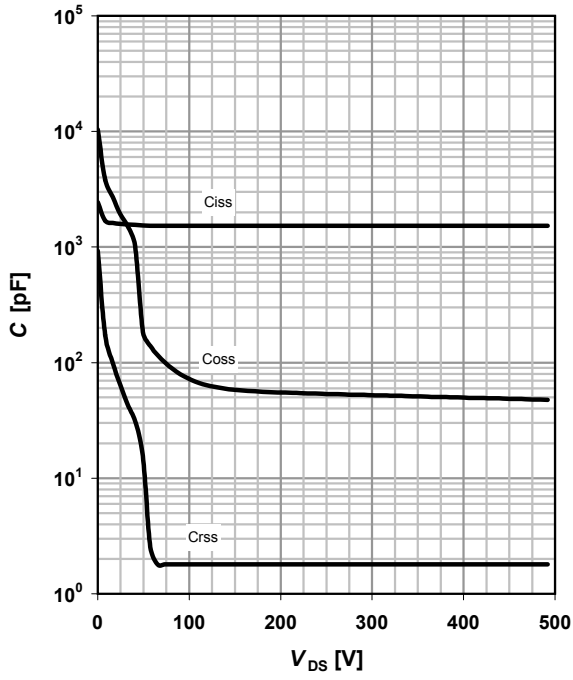
12 Drain-source breakdown voltage

$V_{BR(DSS)}=f(T_j); I_D=0.25\text{ mA}$



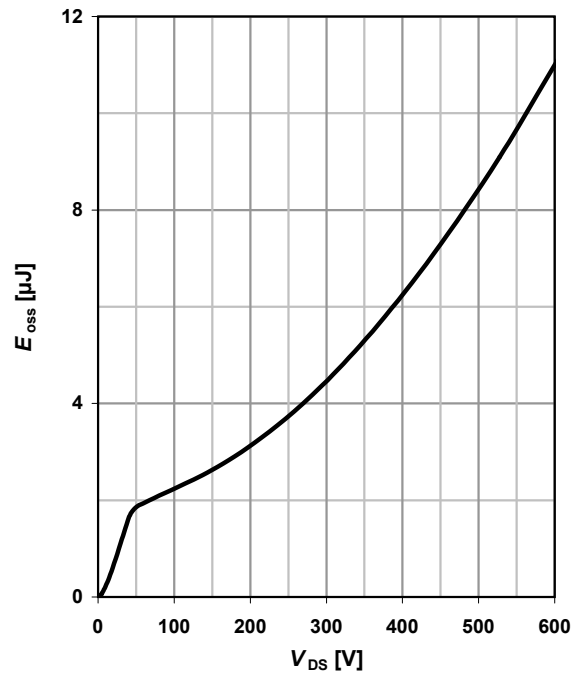
13 Typ. capacitances

$C=f(V_{DS}); V_{GS}=0\text{ V}; f=1\text{ MHz}$

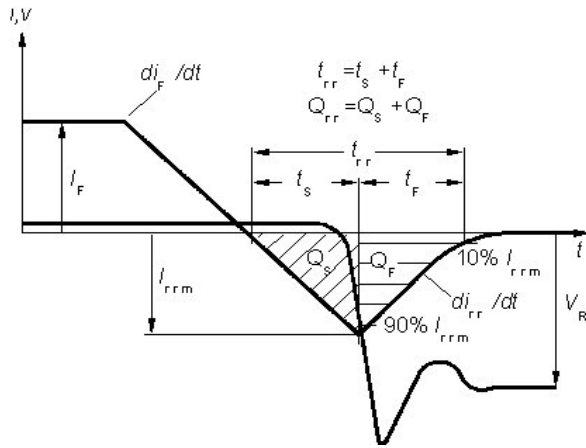


14 Typ. Coss stored energy

$E_{oss}=f(V_{DS})$



Definition of diode switching characteristics



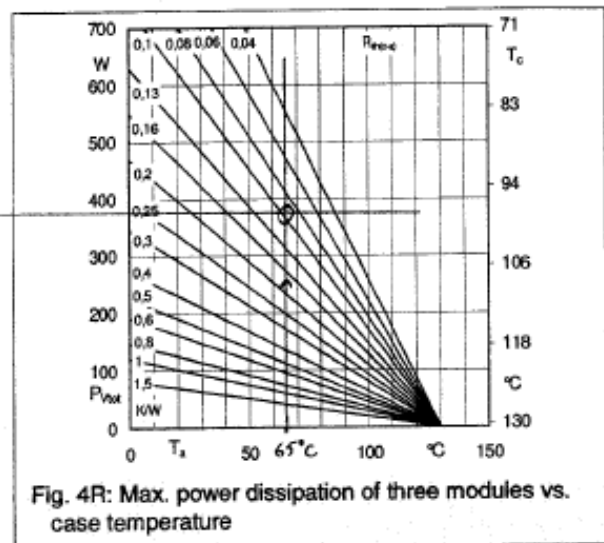
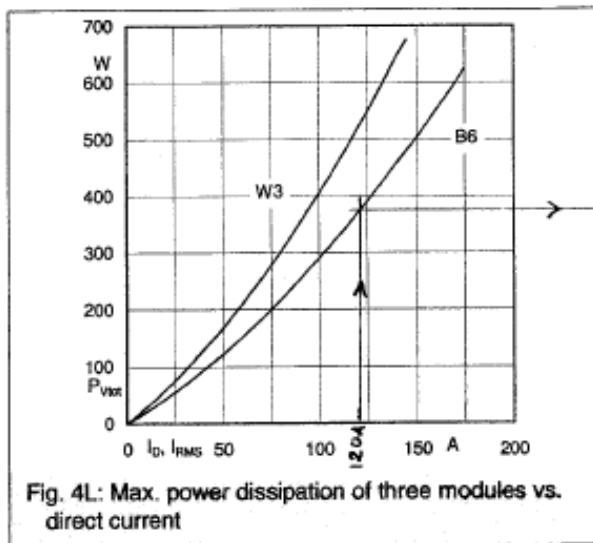
Tentti 17.3.2014 RATKAISUT

Tehtävät 1-3: Katso kirja

Tehtävä 4

Datalehden kuvat 4L ja 4R pätevät kolmelle moduulille. Kuvan 4L käyrä B6 pätee näistä tehtyyn kuusipulssisiltaan. Vaaka-asteikolla on valmiiksi I_p eli tasavirta. Siten piirtämällä pystysuora viiva kohtaan 120 A ja käyrän B6 leikkauspisteestä vaakasuora viiva oikeanpuoleiseen käyrästöön nähdään että sen ja 65°C kohtaan piirretyn suoran leikkauspisteessä on

$$R_{th(c-a)} \approx 0,095 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$



Datalehden sivulla 1 annetaan $R_{th(c-s)} = 0,11 \frac{\text{K}}{\text{W}}$ per moduuli. Nyt kyseessä on kolme moduulia, joten

$$\underline{\underline{R_{th(s-a)} \approx 0,095 \frac{\text{K}}{\text{W}} - \frac{0,11 \frac{\text{K}}{\text{W}}}{3} \approx 0,058 \frac{\text{K}}{\text{W}}}}$$

Tehtävä 5Johto häviö:

Kuvasta 5 saadaan $T_J = 150^\circ\text{C}$ lämpötilassa 12A virralle kun $V_{GS} = 10\text{V}$ tyypillinen arvo:

$$V_{DS} \approx 5.6\text{V} \quad (\text{tosin kuva aika vaikea lukea tarkasti})$$

[Voi myös lukea R_{DS} arvon kuvasta 6 $I = 12\text{A}$ $V_{GS} = 10\text{V}$ tapaukselle: $R_{DS} \approx 0,5\ \Omega$ joden $V_{DS} \approx 0,5 \cdot 12\text{A} = 6\text{V}$
Lisäksi kuvassa 7 on annettu 98% raja R_{DS} vastukselle 9,9A virralle, eli ei kovin kaukana 12A:sta
 $R_{DS98\%} \approx 0,54\ \Omega$ (tyypillinen arvo $R_{DS} \approx 0,45\ \Omega$)
joten $V_{DS98\%} = 6,5\text{V}$ (tyypillinen 5,4V)]

Jos käytetään arvoa 5,6V, saadaan johtoajan energiahäviöksi

$$E_{\text{HON}} = 5,6\text{V} \cdot 12\text{A} \cdot 20\ \mu\text{s} \approx 1,3\text{mJ}$$

Kytkevähäviöistä valmistaja ei anna tietoja. Arvioidaan ne nousu- ja laskeutumisajan avulla olettaen jännitteen olevan vakio ja virran muuttuvan lineaarisesti. Siten häviöenergiat voidaan laskea kolmion pinta-ala-kaavalla

Päällekytkentähäviöt: $t_r \approx 5\text{ns}$ (tyypillisesti)

$$E_{\text{H TON}} \approx \frac{t_r \cdot V_{DS\text{TON}} \cdot I_D}{2} = \frac{5\text{ns} \cdot 360\text{V} \cdot 12\text{A}}{2} \approx 11\ \mu\text{J}$$

Katkaisu häviöt: $t_f = 5\text{ns}$ (tyypillisesti)

$$E_{\text{H TOFF}} \approx \frac{t_f \cdot V_{DS\text{TOFF}} \cdot I_D}{2} = \frac{5\text{ns} \cdot 500\text{V} \cdot 12\text{A}}{2} \approx 15\ \mu\text{J}$$

Tehtävä 5 jatkoa

Kuten edellä olevasta näkyy, virran kytkemiseen ja katkaisuun liittyvät energiat ovat hyvin pieniä johtuen komponentin suuresta nopeudesta.

Tämän johdosta on hyvä tarkistaa myös transistorin kapasitanssien latautumisesta ja purkautumisesta aiheutuvat häviöt. Energia kapasitanssissa $C_{oss} = C_{DS} + C_{DG}$ on annettu kuvassa 14.

$$E_{oss_TON} \approx 5,5 \mu\text{J} \quad \text{kun } V_{DS} = 360\text{V} \quad (\text{pöällekytkentä})$$

$$E_{oss_TOFF} \approx 8,4 \mu\text{J} \quad \text{kun } V_{DS} = 500\text{V} \quad (\text{katkaisu})$$

Siten kokonaishäviöt ovat 40 μs jakson ajalta

$$\begin{aligned} E_H &= E_{HON} + E_{HTON} + E_{HTOFF} + E_{oss_TON} + E_{oss_TOFF} \\ &\approx 1300 \mu\text{J} + 11 \mu\text{J} + 15 \mu\text{J} + 5,5 \mu\text{J} + 8,4 \mu\text{J} \\ &\approx 1340 \mu\text{J} \end{aligned}$$

Ja edelleen keskimääräinen häviöteho

$$P_H = \frac{E_H}{T} = \frac{1340 \mu\text{J}}{40 \mu\text{s}} \approx 34 \text{ W}$$

Koska toimintataajuus on huomattavasti isompi kuin 1 kHz voidaan mitoitus tehdä keskimääräisen häviötehon perusteella

$$T_J \geq (R_{thJC} + R_{thCA}) \cdot P_H + T_A$$

joten

$$\begin{aligned} R_{thCA} &\leq \frac{T_J - T_A}{P_H} - R_{thJC} \\ &\leq \frac{150^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C}}{34 \text{ W}} - 0,9 \frac{\text{K}}{\text{W}} \approx \underline{\underline{2,2 \frac{\text{K}}{\text{W}}}} \end{aligned}$$

Johon siis sisältyy myös kotelon ja jäähdytysalueen välinen lämpövastus, jota valmistaja ei ilmoita datalehdessä.