

Toetsvoorblad

Naam Student: _____

Studentnummer: _____

Locatie: **Delft**

Opleiding: Elektrotechniek	Toetsnaam: Klik hier om te typen
Opsteller: Peter van Duijsen Tweede lezer: Paul Witte	Datum: 18-06-21 Tijd: 11:30 - 13:00
Groep: ECK, ECKD Cursuscode: VRMEL2	Aantal bladzijden: inclusief datasheet 14 (inclusief voorblad) Aantal vragen: 5

Bij deze toets worden verstrekt:

- | | |
|---|--|
| ☒ Gelineeerd papier | ☐ Opgavenbladen met ruimte om de vragen te beantwoorden |
| ☐ Ruitjes papier | ☐ Antwoordformulier ABCDE |
| ☒ Kladpapier | ☐ Antwoordformulier Ja/Nee |
| ☐ Omslag voor gemaakt tentamen | ☐ Antwoordformulier Ja/Nee/Vraagteken |
| ☐ Overig: _____ | |
| ☒ Bijlage(n): datasheet IGBT zit in de toets blad 7 t/m14 | |

Toegestane eigen hulpmiddelen bij het maken van deze toets:

- | | |
|---|---|
| ☒ Eenvoudige rekenmachine | ☐ Eigen aantekeningen: _____ |
| ☒ Grafische rekenmachine | ☐ Boeken/dictaten: _____ |
| ☐ Computer | |
| ☐ Formuleblad(en): _____ | |

Opmerkingen:

Cesuur (voorlopig):

Cijfer is aantal punten

In te leveren door student bij surveillant:

- ☐ Alle documenten voorzien van naam en studentnummer, per document gesorteerd
- ☒ Alle documenten voorzien van naam en studentnummer, per student gesorteerd (in omslag)

Belangrijk:

Voor dit tentamen gelden de regels uit de toetsregeling van het Onderwijs- en Examenreglement. Dit document is aanwezig in het toetslokaal;

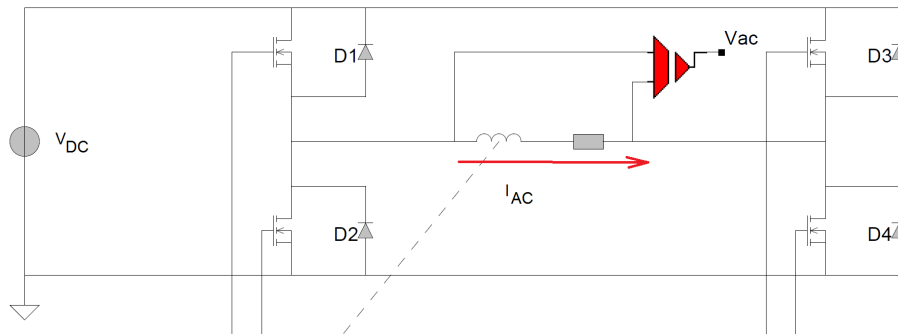
Je dient zelf te controleren of je alle pagina's en vragen van dit tentamen hebt ontvangen;

Dit tentamen is dubbelzijdig geprint;

Schrijf je naam en studentnummer op alle documenten.

Vraag 1, (2 punten)

De waarde van de weerstand R in een enkelfase belasting is niet bekend. In de onderstaande éénfase inverter wordt door de AC last een sinusvormige stroom met een RMS waarde van 2 Ampere gemeten.



De uitgangsfrequentie is 50Hz .

De DC-link spanning is gelijk aan 48 volt

De last is een serieschakeling van een weerstand $R = (\text{uitrekenen})\Omega$ en $L = 50\text{mH}$.

De schakelfrequentie is 20kHz en de modulatie index van de bipolaire PWM is gelijk aan $m = 1$.

De doorlaatverliezen van de halfgeleiders mag je verwaarlozen.

De stroom door de R-L last heeft een rms waarde van 2 Ampere.

$$V_{dc} = 48\text{volt} \quad L = 50\text{mH} \quad I_{AC} = \hat{I} \cdot \sin(2\pi \cdot 50) \quad F_s = 20\text{kHz} \quad m = 1 \quad I_{RMS} = 2\text{A}$$

(a) Bereken de waarde van de belastingsweerstand R ?

$$\text{Antwoord: } V_{dc} = \hat{V} = V_{rms} \cdot \sqrt{2}$$

$$Z = \frac{V_{rms}}{I_{rms}}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}$$

$$V_{dc} = \hat{V} = 48\text{V} \quad \hat{V} = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 48$$

$$V_{rms} = 33.94$$

$$Z = \frac{V_{rms}}{I_{rms}} = \frac{33.94}{2} = 16.97$$

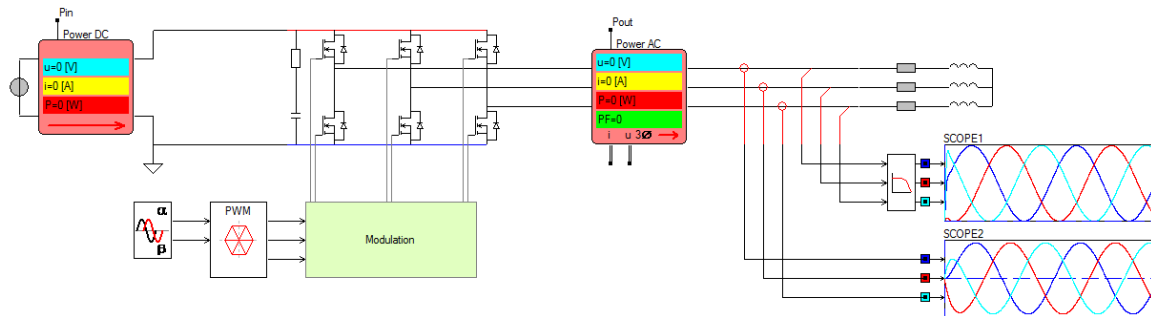
$$X_L = L \cdot 2\pi f = 50\text{m} \cdot 314.159 = 15.7$$

$$R = \sqrt{Z^2 - X_L^2} = \sqrt{16.97^2 - 15.7^2} = \sqrt{287.98.96 - 246.49} = \sqrt{41.26} = 6.4$$

Vraag 2, (2 punten)

Gegeven is een driefasen mosfet inverter. Zowel de Mosfet als de antiparallele diode hebben een doorlaatweerstand van $R_{ds} = 100m\Omega$ en $R_d = 100m\Omega$

Door de R-L belasting wordt een sinusvormige stroom gemeten met een amplitude van 28.35 Ampere. De top-top waarde van deze stroom is dus 56.7 Ampere

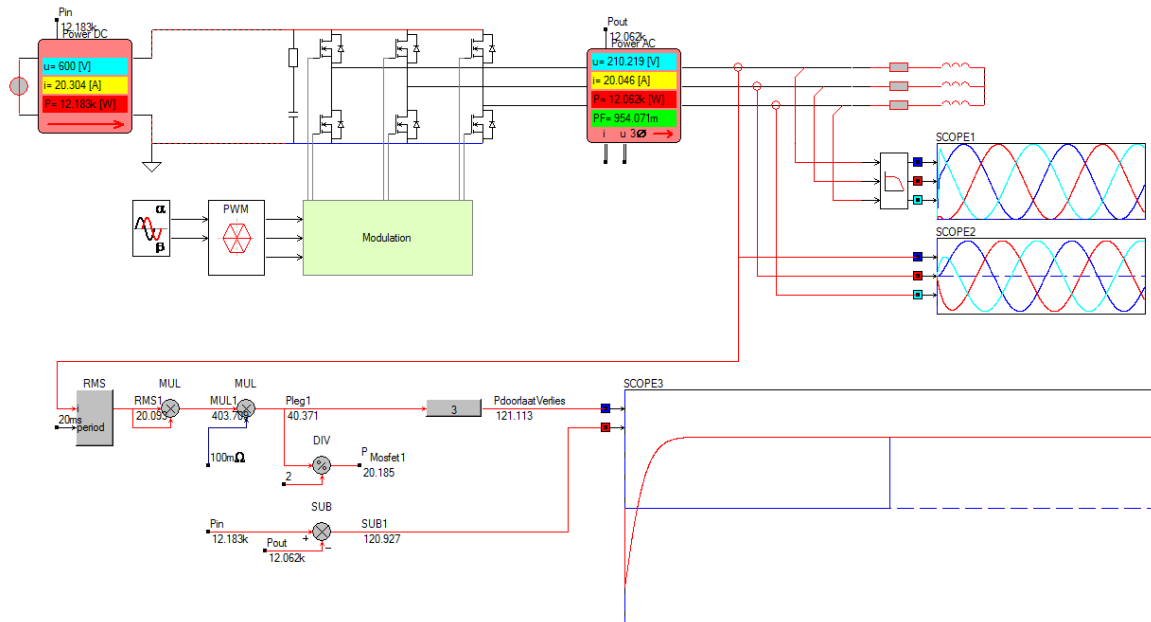


(a) Bereken de totale doorlaatverliezen van deze inverter (6 mosfets en 6 diodes)

$$I_{rms} = 28.35 / \sqrt{2} = 20 \text{ Ampere}$$

Per leg loopt de stroom of door de mosfet of door een vrijlooptiode, dus verlies per leg is $I_{rms}^2 \cdot R_{doorlaat} = 20 \cdot 20 \cdot 0.1 = 40 \text{ Watt}$

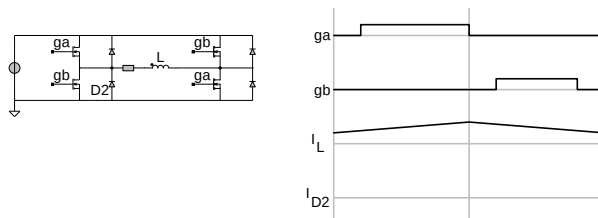
Totale verliesvermogen is $3 \cdot 40 = 120 \text{ Watt}$



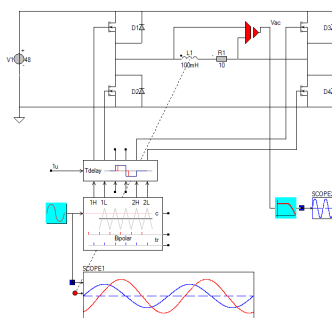
Vraag 3, (1 + 1 punten)

Bij een 1-fase inverter met RL belasting wordt een deadtime in een inverter gemeten van $1\mu s$. Teken en bereken de top waarde van de stroom door D2 voor een R-L belasting van $R = 10\Omega$ en $L = 100mH$. $V_{dc} = 48volt$ modulatie index $m = 1$

(a) Teken in onderstaande figuur de stroom door D2



(b) Bereken de maximale waarde van de stroom door D2 als de inverter een sinusvormige stroom van 50Hz maakt.



Antwoord: $V_{dc} = \hat{V} = V_{rms} \cdot \sqrt{2}$

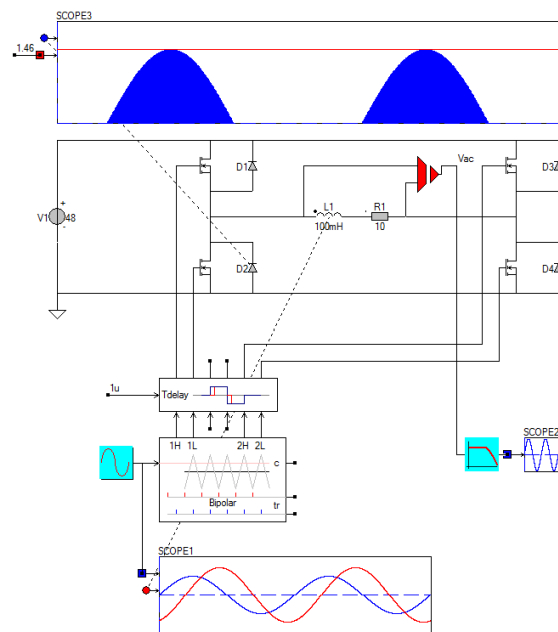
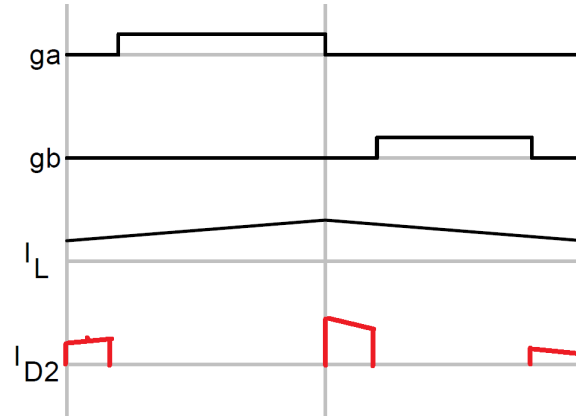
$V_{rms} = 33.94$

$X_L = L \cdot 2\pi f = 100m \cdot 314.159 = 31.4$

$Z = \sqrt{R^2 + (X_L)^2} = \sqrt{10^2 + 31.4^2} = 32.97$

Topwaarde vande AC stroom welke natuurlijk ook tijdens deadtime door de vrijloop diode D2 moet lopen $I_{rms} = \frac{V_{rms}}{Z} = 33.94/32.97 = 1.03A$

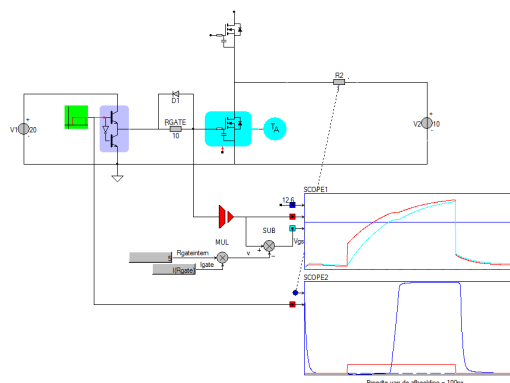
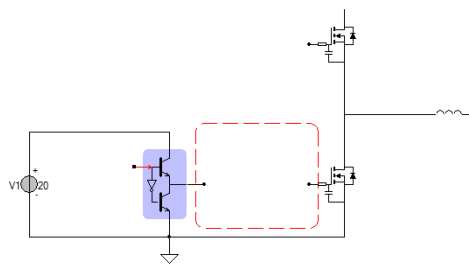
$\hat{I} = \text{sqrt}2 \cdot I_{rms} = 1.46Ampere$



Vraag 4, (1 + 1 punten)

Een Mosfet in een inverter heeft een $C_{iss} = 1nF$ en een interne gateweerstand van $R_{gate}^{intern} = 50\Omega$. De mosfet gaat aan zodra $V_{gs} > 12.6V$. We gebruiken een gatedriver met een interne weerstand in de totempole van $R_{ce} = 10\Omega$ per transistor. De spanning voor de gate driver is $V_{gatedriver} = 20V$. Teken het schema van de aansluiting tussen de gate driver en mosfet als we de mosfet sneller dan $20ns$ willen aanschakelen, maar binnen $5ns$ willen uitschakelen.

- Teken het schema tussen de gatedriver en de mosfet.
- Je kan kiezen tussen $R_{gate} = 1 \text{ ohm}$, 10 ohm , 22 ohm , 47 ohm en 100 ohm . Beargumenteer je keuze als je ook de EMI tijdens schakelen wil beperken. Welke Weerstand kies je?



Vraag 5, (1 + 1 punten)

Een IGBT inverter wordt gemaakt met een *FS400R07A1E3* Hybridpack module, zie de appendix. De temperatuur van de Junction van de IGBT mag maximaal *125graden* worden en die temperatuur gebruik je voor het aflezen van de verliezen in de datasheet!

De inverter moet $I_{rms} = 400 \text{ Ampere}$ leveren bij een DC spanning van $V_{dc} = 300 \text{ volt}$

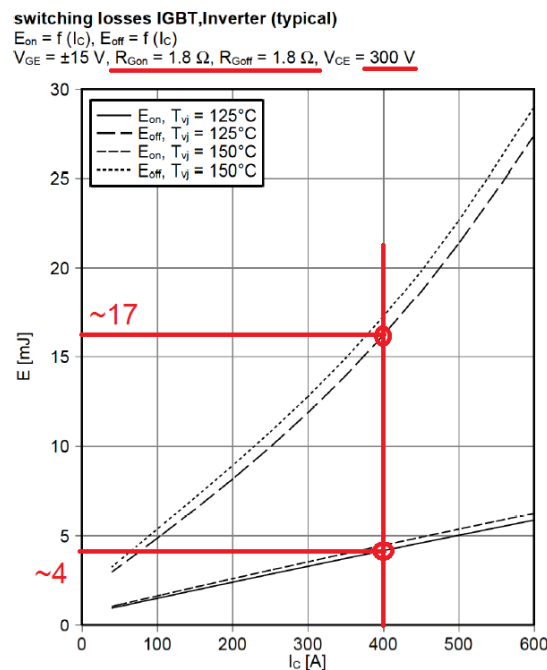
Verder is nog: $F_s = 10 \text{ kHz}$, $V_{gate} = 15 \text{ volt}$, $R_{gate} = 1.8$, $V_{ce-max} = 300 \text{ volt}$

- Bereken de aan- en uitschakelverliezen in de IGBT bij een schakelfrequentie van $F_s = 10 \text{ kHz}$. De overige verliezen laten we nu buiten beschouwing.
- Als we alleen deze schakelverliezen beschouwen en de rest verwaarlozen, wat mag de maximale temperatuur zijn van de CASE waar deze IGBT op gemonteerd wordt. Let op: kijk goed naar de verschillende thermische weerstanden op de datasheet!

Inschakelverliezen $E_{on} = 4 \text{ mJ}$

Uitschakelverliezen $E_{off} = 17 \text{ mJ}$

Totale schakelverliezen $P_{schak} = F_s * (E_{on} + E_{off}) = 10 \text{ k} * (4 \text{ m} + 17 \text{ m}) = 10 \text{ k} * 21 \text{ m} = 210 \text{ Watt}$



$$R_{thJC} = 0.12 \text{ K/Watt}$$

$$T_{casemax} = 125 - 210 * 0.12 = 125 - 25.2 = 100$$

HybridPACK™ 1 Module

FS400R07A1E3

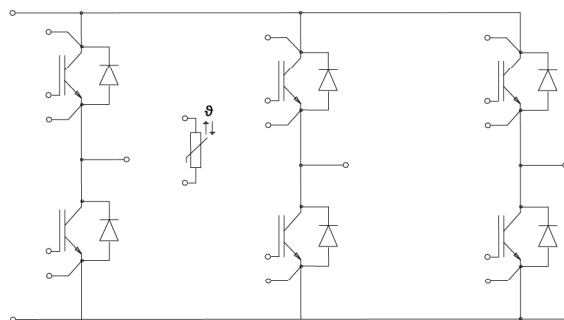
Final Data Sheet

V3.4, 2018-08-09

Automotive High Power

1 Features / Description

HybridPACK™ 1 module with Trench/Fieldstop IGBT3 and Emitter Controlled 3 diode and NTC



$V_{CES} = 650V$

$I_{C\ nom} = 400A$

Typical Applications

- Automotive Applications
- Hybrid Electrical Vehicles (H)EV
- Commercial Agriculture Vehicles
- Motor Drives
- Optimized for automotive applications with DC link voltages up to 420 V

Electrical Features

- Low Switching Losses
- LOW V_{CESat}
- $T_{vj\ op} = 150^{\circ}C$
- V_{CESat} with positive Temperature Coefficient

Mechanical Features

- 2.5kV AC 1min Insulation
- Al_2O_3 Substrate with Low Thermal Resistance
- High mechanical robustness
- Integrated NTC temperature sensor
- Copper Base Plate
- RoHS compliant

Description

Infineon®'s HybridPACK™ 1 is an automotive qualified power module designed for electric vehicle applications for a power range up to 20–30kW. Designed for a 150°C junction operation temperature, the module accommodates a 3-phase Six-Pack configuration of Trench-Field-Stop IGBT3 and matching emitter controlled diodes.

The HybridPACK™ 1 power module is built on Infineon's long time experience in the development of IGBT power modules, intense research efforts of new material combinations and assembly technologies. HybridPACK™ 1 is suitable for air or liquid cooling. The copper base plate combined with high-performance ceramic substrate and Infineon's enhanced wire-bonding process provides unparalleled thermal and power cycling capability and highest reliability for mild hybrid inverter or generator applications. For a compact design the driver stage PCB can easily be soldered on top of the module. All power connections are realized with screw terminals.

Product Name	Ordering Code
FS400R07A1E3	SP000663446

2 IGBT, Inverter

2.1 Maximum Rated Values

Parameter	Conditions	Symbol	Value	Unit
Collector-emitter voltage	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	V_{CES}	650	V
Continuous DC collector current	$T_C = 65^{\circ}\text{C}, T_{vj \text{ max}} = 175^{\circ}\text{C}$ $T_C = 25^{\circ}\text{C}, T_{vj \text{ max}} = 175^{\circ}\text{C}$	$I_{C \text{ nom}}$	400	A
		I_C	500	A
Repetitive peak collector current	$t_p = 1 \text{ ms}$	I_{CRM}	800	A
Total power dissipation	$T_C = 25^{\circ}\text{C}, T_{vj \text{ max}} = 175^{\circ}\text{C}$	P_{tot}	1250	W
Gate-emitter peak voltage		V_{GES}	+/-20	V

2.2 Characteristic Values

				min.	typ.	max.	
Collector-emitter saturation voltage	$I_C = 400 \text{ A}, V_{GE} = 15 \text{ V}$ $I_C = 400 \text{ A}, V_{GE} = 15 \text{ V}$ $I_C = 400 \text{ A}, V_{GE} = 15 \text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	$V_{CE \text{ sat}}$		1.45 1.60 1.70	1.90	V
Gate threshold voltage	$I_C = 6.40 \text{ mA}, V_{CE} = V_{GE}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	V_{GEth}	4.90	5.80	6.50	V
Gate charge	$V_{GE} = -15 \text{ V} \dots 15 \text{ V}$		Q_G		4.30		μC
Internal gate resistor		$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	R_{Gint}		1.0		Ω
Input capacitance	$f = 1 \text{ MHz}, V_{CE} = 25 \text{ V}, V_{GE} = 0 \text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	C_{ies}		26.0		nF
Reverse transfer capacitance	$f = 1 \text{ MHz}, V_{CE} = 25 \text{ V}, V_{GE} = 0 \text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	C_{res}		0.76		nF
Collector-emitter cut-off current	$V_{CE} = 650 \text{ V}, V_{GE} = 0 \text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	I_{CES}			1.0	mA
Gate-emitter leakage current	$V_{CE} = 0 \text{ V}, V_{GE} = 20 \text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	I_{GES}			400	nA
Turn-on delay time, inductive load	$I_C = 400 \text{ A}, V_{CE} = 300 \text{ V}$ $V_{GE} = \pm 15 \text{ V}$ $R_{Gon} = 1.8 \Omega$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	t_{don}		0.10 0.11 0.12		μs
Rise time, inductive load	$I_C = 400 \text{ A}, V_{CE} = 300 \text{ V}$ $V_{GE} = \pm 15 \text{ V}$ $R_{Gon} = 1.8 \Omega$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	t_r		0.08 0.08 0.08		μs
Turn-off delay time, inductive load	$I_C = 400 \text{ A}, V_{CE} = 300 \text{ V}$ $V_{GE} = \pm 15 \text{ V}$ $R_{Goff} = 1.8 \Omega$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	t_{doff}		0.46 0.50 0.50		μs
Fall time, inductive load	$I_C = 400 \text{ A}, V_{CE} = 300 \text{ V}$ $V_{GE} = \pm 15 \text{ V}$ $R_{Goff} = 1.8 \Omega$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	t_f		0.05 0.07 0.08		μs
Turn-on energy loss per pulse	$I_C = 400 \text{ A}, V_{CE} = 300 \text{ V}, L_S = 25 \text{ nH}$ $V_{GE} = \pm 15 \text{ V}, di/dt = 5500 \text{ A}/\mu\text{s} (T_{vj} = 150^{\circ}\text{C})$ $R_{Gon} = 1.8 \Omega$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	E_{on}		2.90 4.20 4.50		mJ
Turn-off energy loss per pulse	$I_C = 400 \text{ A}, V_{CE} = 300 \text{ V}, L_S = 25 \text{ nH}$ $V_{GE} = \pm 15 \text{ V}, du/dt = 3000 \text{ V}/\mu\text{s} (T_{vj} = 150^{\circ}\text{C})$ $R_{Goff} = 1.8 \Omega$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	E_{off}		13.0 16.0 17.0		mJ
SC data	$V_{GE} \leq 15 \text{ V}, V_{CC} = 360 \text{ V}$ $V_{CEmax} = V_{CES} - L_{sCE} \cdot di/dt$	$t_p \leq 8 \mu\text{s}, T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $t_p \leq 6 \mu\text{s}, T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	I_{SC}		2800 2000		A
Thermal resistance, junction to case	per IGBT		R_{thJC}			0.120	K/W
Thermal resistance, case to heatsink	per IGBT $\lambda_{Paste} = 1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) / \lambda_{grease} = 1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$		R_{thCH}		0.080		K/W
Temperature under switching conditions	$t_{op} \text{ continuous}$		$T_{vj \text{ op}}$	-40		150	$^{\circ}\text{C}$

3 Diode, Inverter

3.1 Maximum Rated Values

Parameter	Conditions	Symbol	Value	Unit
Repetitive peak reverse voltage	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$	V_{RRM}	650	V
Continuous DC forward current		I_F	400	A
Repetitive peak forward current	$t_P = 1 \text{ ms}$	I_{FRM}	800	A
I^2t - value	$V_R = 0 \text{ V}, t_P = 10 \text{ ms}, T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $V_R = 0 \text{ V}, t_P = 10 \text{ ms}, T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	I^2t	8800 8500	A^2s A^2s

3.2 Characteristic Values

			min.	typ.	max.	
Forward voltage	$I_F = 400 \text{ A}, V_{GE} = 0 \text{ V}$ $I_F = 400 \text{ A}, V_{GE} = 0 \text{ V}$ $I_F = 400 \text{ A}, V_{GE} = 0 \text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	V_F	1.55 1.50 1.45	1.95	V
Peak reverse recovery current	$I_F = 400 \text{ A}, -di_F/dt = 5500 \text{ A}/\mu\text{s} (T_{vj} = 150^{\circ}\text{C})$ $V_R = 300 \text{ V}$ $V_{GE} = -15 \text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	I_{RM}	210 280 300		A
Recovered charge	$I_F = 400 \text{ A}, -di_F/dt = 5500 \text{ A}/\mu\text{s} (T_{vj} = 150^{\circ}\text{C})$ $V_R = 300 \text{ V}$ $V_{GE} = -15 \text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	Q_r	18.0 30.0 34.0		μC
Reverse recovery energy	$I_F = 400 \text{ A}, -di_F/dt = 5500 \text{ A}/\mu\text{s} (T_{vj} = 150^{\circ}\text{C})$ $V_R = 300 \text{ V}$ $V_{GE} = -15 \text{ V}$	$T_{vj} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 125^{\circ}\text{C}$ $T_{vj} = 150^{\circ}\text{C}$	E_{rec}	3.60 7.25 8.30		mJ
Thermal resistance, junction to case	per diode		R_{thJC}		0.200	K/W
Thermal resistance, case to heatsink	per diode $\lambda_{Paste} = 1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K}) \quad / \quad \lambda_{grease} = 1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$		R_{thCH}	0.085		K/W
Temperature under switching conditions	t_{op} continuous		$T_{vj op}$	-40	150	$^{\circ}\text{C}$

4 NTC-Thermistor

			min.	typ.	max.	
Parameter	Conditions	Symbol	Value			Unit
Rated resistance	$T_C = 25^{\circ}\text{C}$	R_{25}		5.00		k Ω
Deviation of R100	$T_C = 100^{\circ}\text{C}, R_{100} = 493 \Omega$	$\Delta R/R$	5		5	%
Power dissipation	$T_C = 25^{\circ}\text{C}$	P_{25}			20.0	mW
B-value	$R_2 = R_{25} \exp [B_{25/50}(1/T_2 - 1/(298,15 \text{ K}))]$	$B_{25/50}$		3375		K
B-value	$R_2 = R_{25} \exp [B_{25/80}(1/T_2 - 1/(298,15 \text{ K}))]$	$B_{25/80}$		3411		K
B-value	$R_2 = R_{25} \exp [B_{25/100}(1/T_2 - 1/(298,15 \text{ K}))]$	$B_{25/100}$		3433		K

Specification according to the valid application note.

5 Module

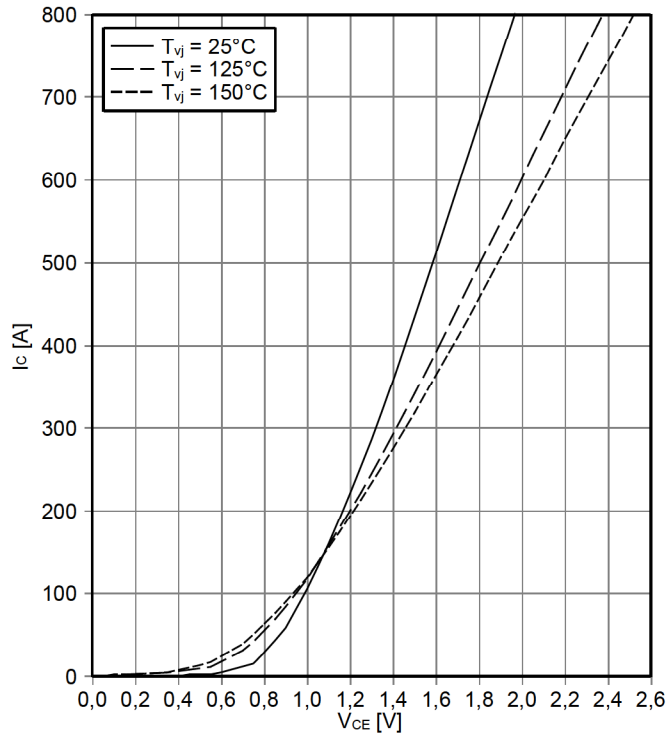
Parameter	Conditions	Symbol	Value	Unit
Isolation test voltage	RMS, f = 50 Hz, t = 1 min.	V _{ISOL}	2.5	kV
Material of module baseplate			Cu	
Internal isolation	basic insulation (class 1, IEC 61140)		Al ₂ O ₃	
Creepage distance	terminal to heatsink terminal to terminal	d _{Creep}	12.0 6.1	mm
Clearance	terminal to heatsink terminal to terminal	d _{Clear}	12.0 6.1	mm
Comperative tracking index		CTI	> 200	
			min. typ. max.	
Stray inductance module		L _{sCE}		30 nH
Module lead resistance, terminals - chip	T _C = 25 °C, per switch	R _{CC'+EE'}	1.00	mΩ
Storage temperature		T _{stg}	-40	125 °C
Mounting torque for modul mounting	Screw M5 baseplate to heatsink	M	3.00	6.00 Nm
Terminal connection torque	Screw M6	M	3.0	- 6.0 Nm
Weight		G	485	g

Der Kollektor-Dauergleichstrom / Dioden-Dauergleichstrom ist durch die Lastanschlüsse begrenzt.
 DC-collector current / diode forward current limited by power terminals.

6 Characteristics Diagrams

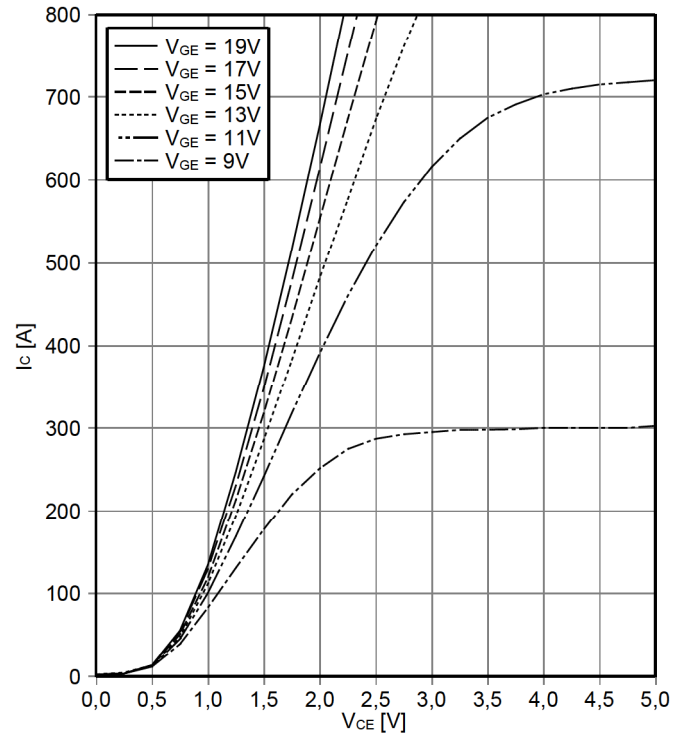
output characteristic IGBT, Inverter (typical)

$I_C = f(V_{CE})$
 $V_{GE} = 15 \text{ V}$



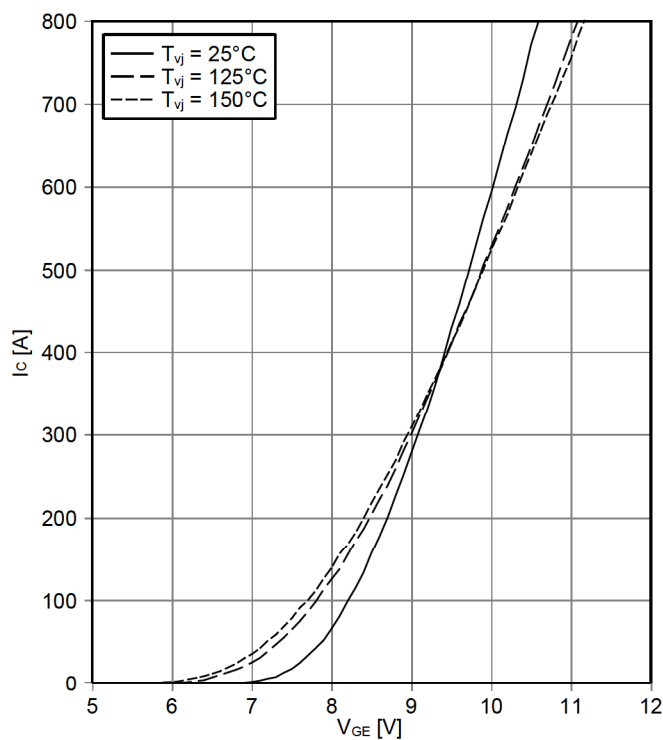
output characteristic IGBT, Inverter (typical)

$I_C = f(V_{CE})$
 $T_{vj} = 150^\circ\text{C}$



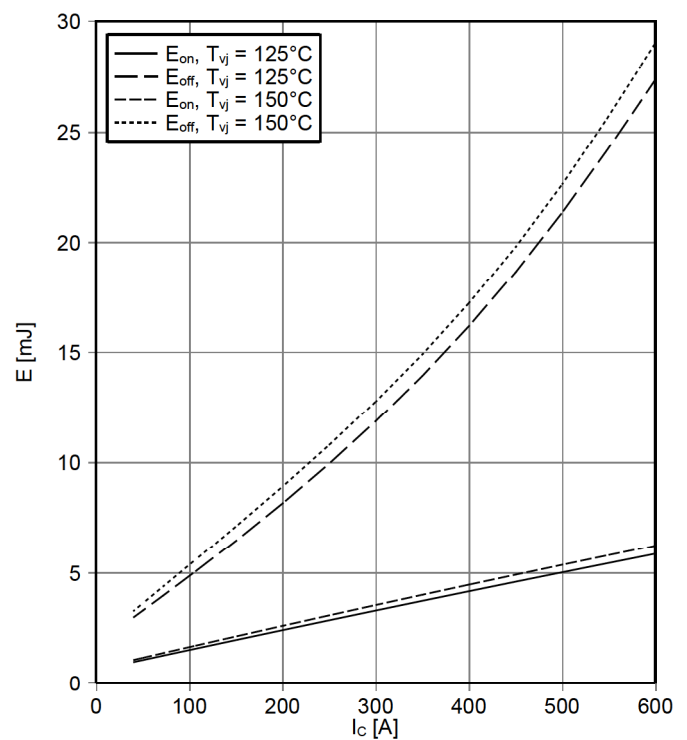
transfer characteristic IGBT, Inverter (typical)

$I_C = f(V_{GE})$
 $V_{CE} = 20 \text{ V}$



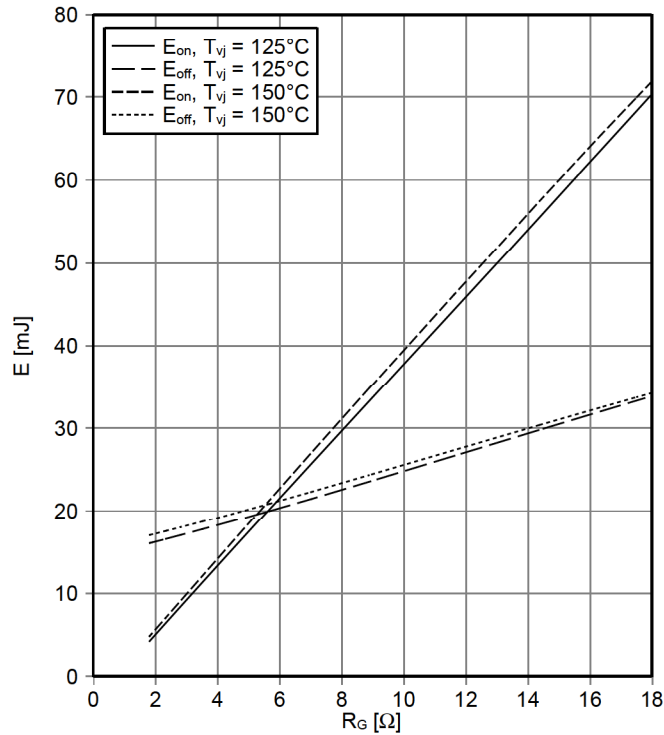
switching losses IGBT, Inverter (typical)

$E_{on} = f(I_C)$, $E_{off} = f(I_C)$
 $V_{GE} = \pm 15 \text{ V}$, $R_{Gon} = 1.8 \Omega$, $R_{Goff} = 1.8 \Omega$, $V_{CE} = 300 \text{ V}$



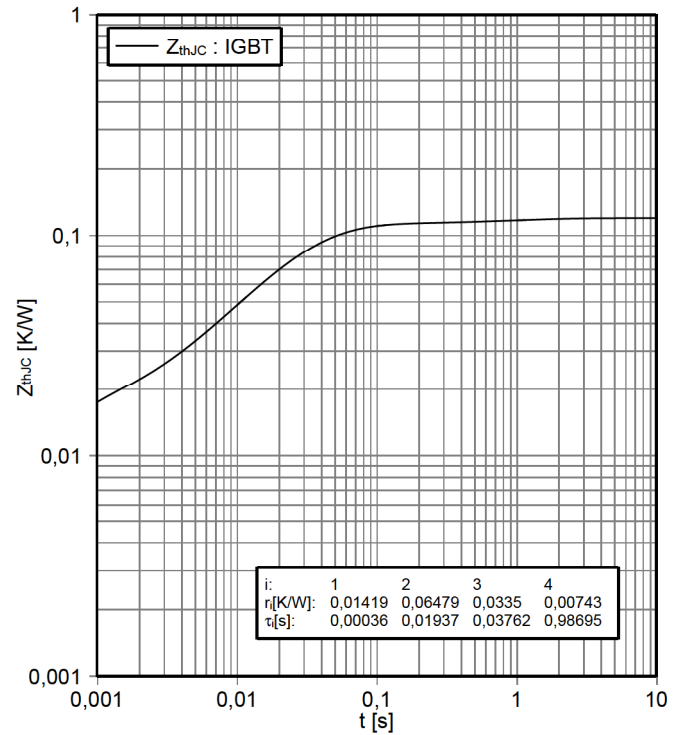
switching losses IGBT, Inverter (typical)

$E_{on} = f(R_G)$, $E_{off} = f(R_G)$
 $V_{GE} = \pm 15 \text{ V}$, $I_C = 400 \text{ A}$, $V_{CE} = 300 \text{ V}$



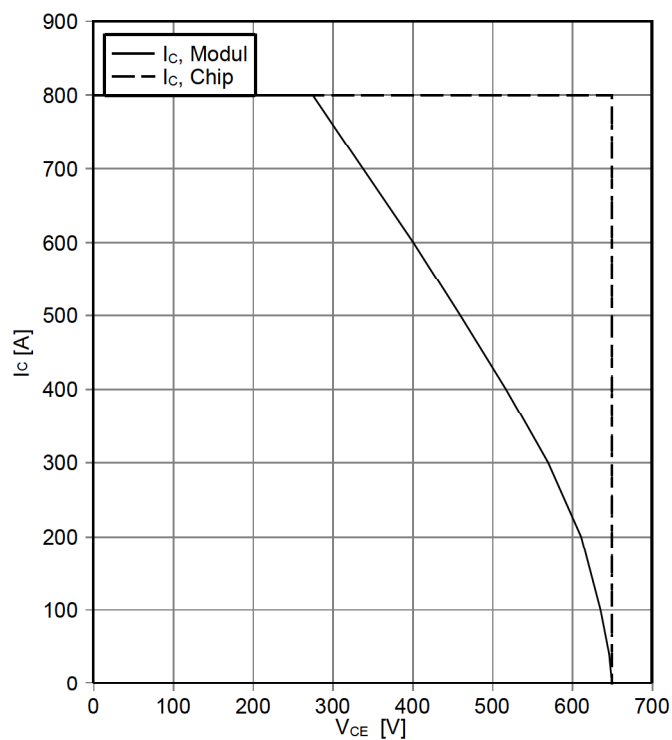
transient thermal impedance IGBT, Inverter

$Z_{thJC} = f(t)$



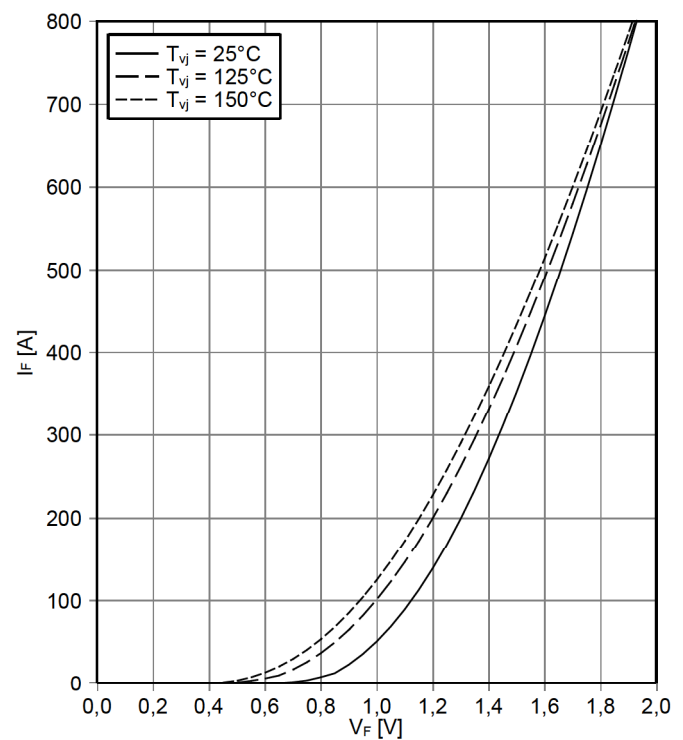
reverse bias safe operating area IGBT, Inverter (RBSOA)

$I_C = f(V_{CE})$
 $V_{GE} = \pm 15 \text{ V}$, $R_{Goff} = 1.8 \Omega$, $T_{vj} = 150^\circ\text{C}$



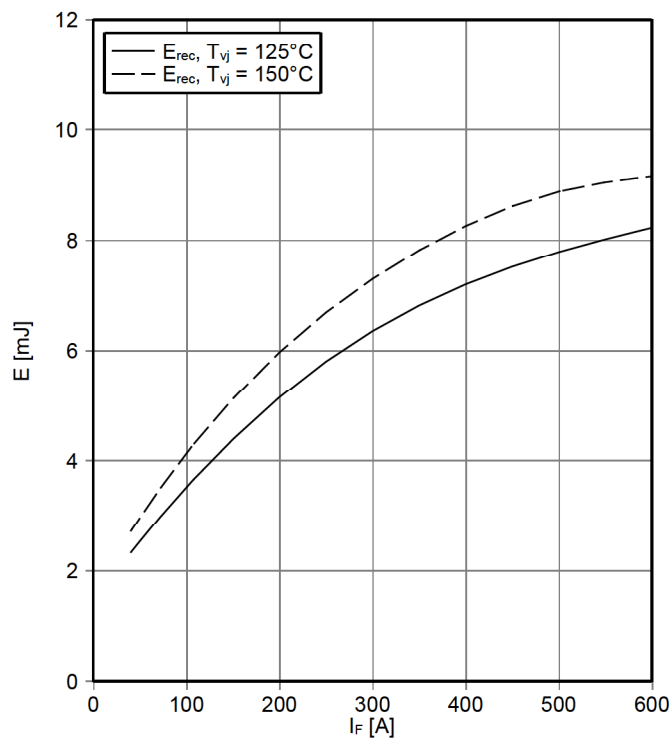
forward characteristic of Diode, Inverter (typical)

$I_F = f(V_F)$



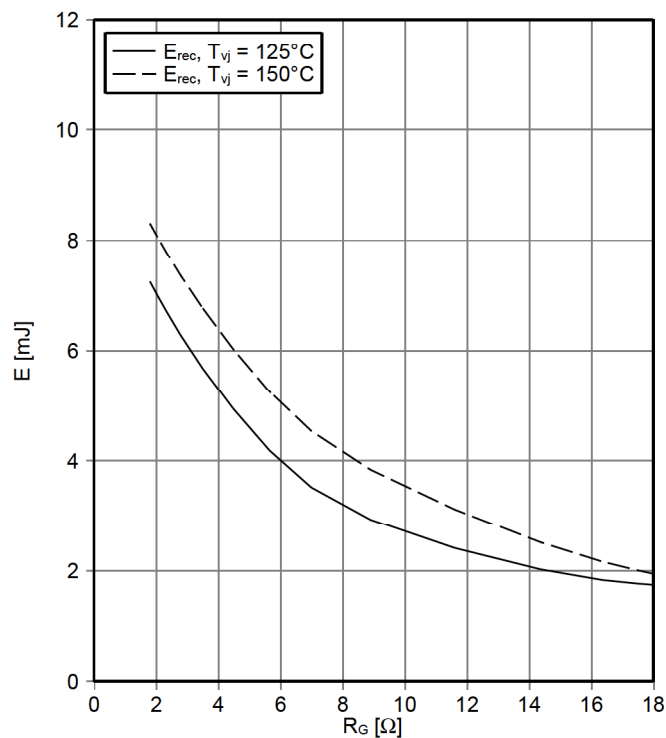
switching losses Diode, Inverter (typical)

$E_{rec} = f(I_F)$
 $R_{Gon} = 1.8 \Omega$, $V_{CE} = 300 V$



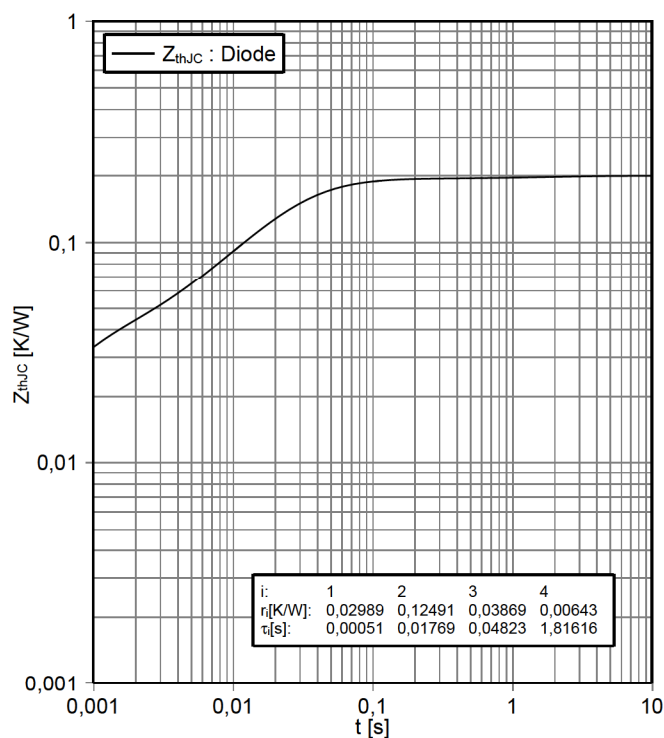
switching losses Diode, Inverter (typical)

$E_{rec} = f(R_G)$
 $I_F = 400 A$, $V_{CE} = 300 V$



transient thermal impedance Diode, Inverter

$Z_{thJC} = f(t)$



NTC-Thermistor-temperature characteristic (typical)

$R = f(T)$

