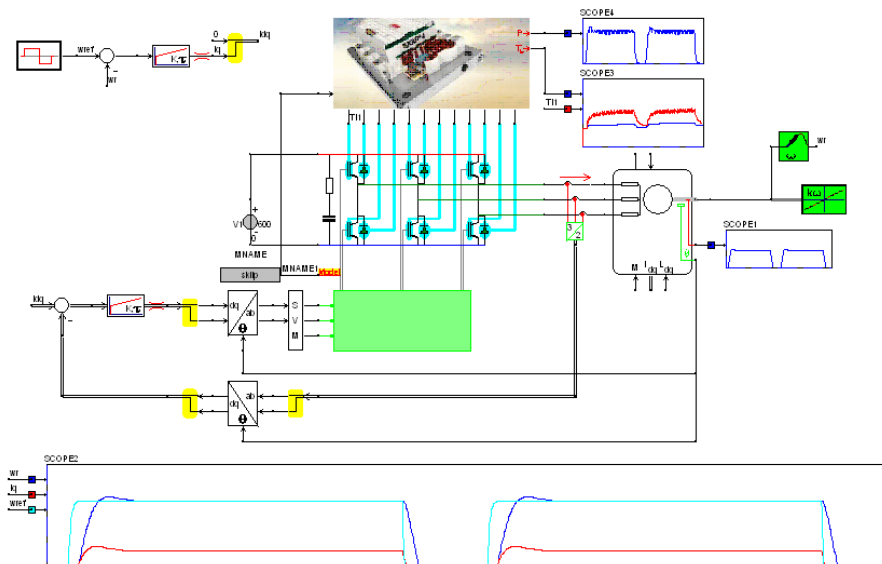


Overzicht

- ① Inverter
- ② Mosfet
- ③ IGBT
- ④ Schakelverliezen

Inverter



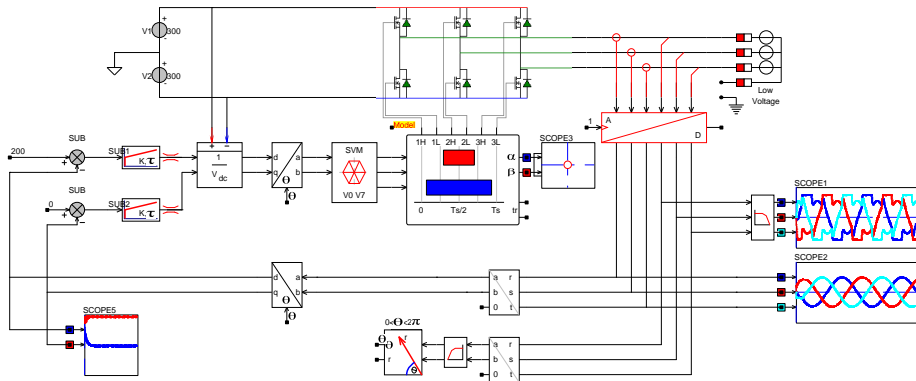
Inverter

https:

[//www.caspoc.com/tools/powerelectronics/dcac/threephase/](https://www.caspoc.com/tools/powerelectronics/dcac/threephase/)

<https://www.caspoc.com/tools/powerelectronics/dcac/pwm/>

Inverter



Figuur: Current control

Inverter

Current control PI parameters

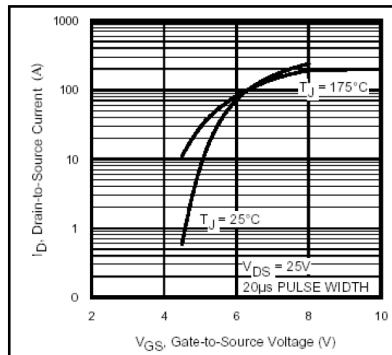
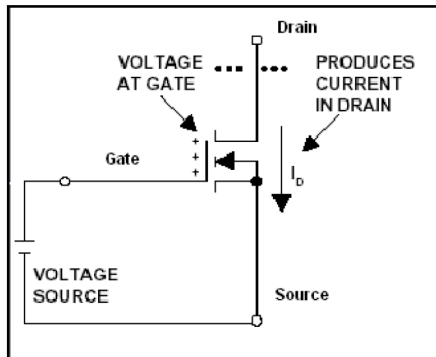
$$K_{\tau}$$

$$\tau = L/R$$

Meest erge afwijking:

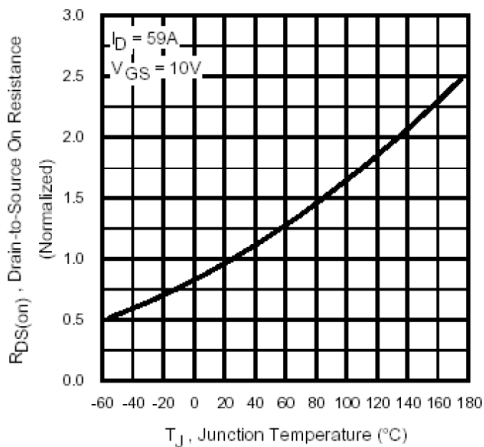
$$K$$

Mosfet



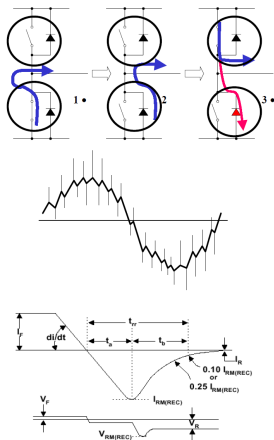
Figuur: Left: Mosfet and maximum current I_{DS} as function of the gate-source voltage V_{GS}

Doorlaatweerstand



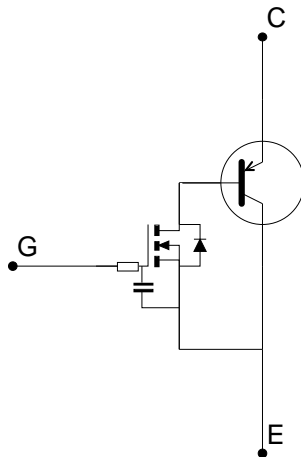
Figuur: Genormaliseerde doorlaatweerstand $R_{ds(on)}$ als functie van de temperatuur

Reverse Recovery



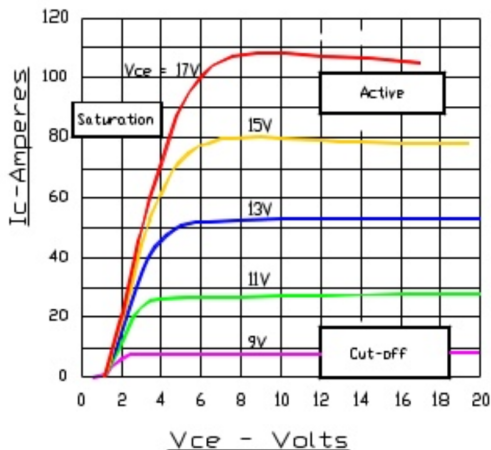
Figuur: Parameters die de reverse recovery van een diode beschrijven.

IGBT Darlington



Figuur: IGBT als darlingtonschakeling van een Mosfet met bipolaire transistor.

Doorlaatkarakteristiek

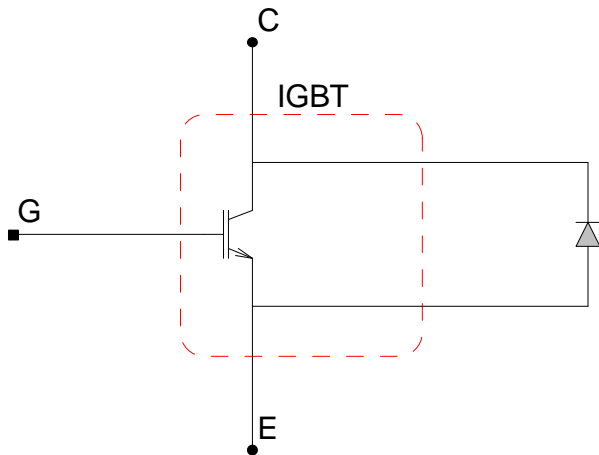


Figuur: Doorlaatkarakteristiek $I_{ce} - V_{ce}$ van de IGBT voor toenemende Gate-Emitter spanning.

Bipolaire component

Omdat het een bipolaire component is moeten er altijd vrijloop dioden parallel aan de IGBT geplaatst worden, om de vrijloop stroom te laten lopen.

Vrijloop diode



Figuur: Bij de IGBT moet altijd een externe vrijloop diode geplaatst worden.

De IGBT kan een veel hogere spanning blokkeren dan de Mosfet en wordt daarom toegepast in de hogere vermogensklasse.

Maximaal vermogen

De schakelverliezen spelen een belangrijke rol met betrekking tot het maximale vermogen dat de inverter kan verwerken.

Berekenen schakelverliezen

De schakelverliezen E_{SW} zijn met behulp van de golfvormen van I_{CE} en V_{CE} te berekenen.

$$E_{SW} = \int_0^T V_{CE}(t) \cdot I_{CE}(t) dt \quad (1)$$

Alleen schakelverliezen als er geschakeld wordt

$$P_{Schakelen} = ESW * F_s \quad (2)$$

Doorlaatverliezen

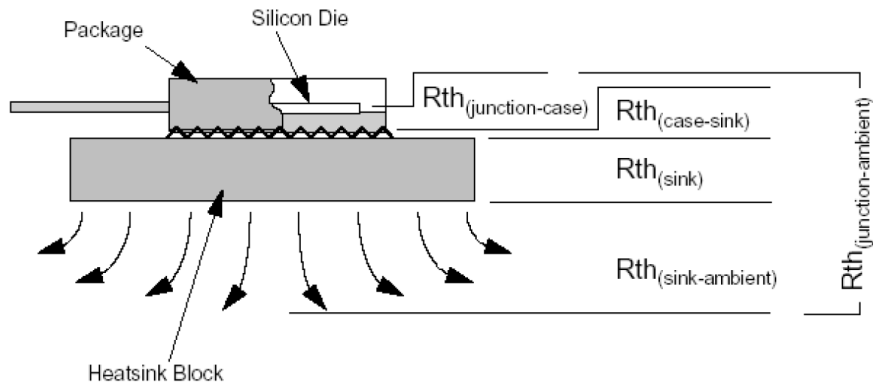
$$P_{\text{Doorlaat}} = \left(I_{CE}^{\text{RMS}}\right)^2 \cdot R_{CE(\text{on})} + (I_{CE} \cdot V_{CE0}) \quad (3)$$

Totale verliezen

$$P_{max} = P_{Schakel} + P_{Doorlaat} \quad (4)$$

Heatsink

Doorlaat weerstand is temperatuurafhankelijk



Figuur: Thermische weerstanden

Thermische vergelijking

$$T_{Junctie} = T_{Omgeving} + P_{max} \cdot (R_{thjc} + R_{thcs} + R_{ths} + R_{thsa}) \quad (5)$$

Thermische weerstanden

- $T_{Omgeving}$ = Omgevingstemperatuur in deg Celsius
- $T_{Junctie}$ = Temperatuur van de halfgeleiderjunctie in deg Celsius
- R_{thjc} = Thermische warmteweerstand tussen de junctie en da behuizing(case)
- R_{thcs} = Thermische warmteweerstand tussen de behuizing(case) en het koellichaam(sink)
- R_{ths} = Thermische warmteweerstand van het koellichaam(sink)
- R_{thsa} = Thermische warmteweerstand voor de warmtegeleiding van het koellichaam naar de omgeving

Berekening Verliezen

- Schakelfrequentie van $F_s = 5\text{kHz}$
- Doorlaatspanning van de IGBT $V_{ce} = 2.4$ volt
- Duty-cycle van 50% $\Rightarrow d = 0.5$
- DC link spanning van 600 volt
- moet een stroom van 50 ampere leveren
- Inschakelverlies (Volgens de grafiek uit de datasheet bij $I_{ce} = 50$ ampere en $U_{ce}^{max} = 600$ volt), $E_{on} = 6.4$ mWs
- Uitschakelverlies (Volgens de grafiek uit de datasheet bij $I_{ce} = 50$ ampere en $U_{ce}^{max} = 600$ volt), $E_{off} = 6.2$ mWs

De verliezen per IGBT

$$P_{max} = P_{Schakel} + P_{Doorlaat} \quad (6)$$

$$= d \cdot V_{ce} \cdot I_{ce} + F_s \cdot E_{on} + F_s \cdot E_{off} \quad (7)$$

$$= 0.5 \cdot 2.4 \cdot 50 + 5000 \cdot (0.0064 + 0.0062) \quad (8)$$

$$= 60 + 63 = 123 \text{ Watt} \quad (9)$$

Totale verliesvermogen voor 6 IGBT's op $6 \cdot 123 = 738$ Watt

Rendement

- Vermogen van de inverter van $50 \cdot 600 = 30$ kilowatt
- Rendement van de inverter hierdoor boven de 95% .

25 Ampere

Stroom is nu nog maar 25 ampere
Verliezen per IGBT

$$P_{max} = P_{Schakel} + P_{Doorlaat} \quad (10)$$

$$= d \cdot V_{ce} \cdot I_{ce} + F_s \cdot \frac{I_{ce}}{I_{ce}^{max}} E_{on} + F_s \cdot \frac{I_{ce}}{I_{ce}^{max}} E_{off} \quad (11)$$

$$= 0.5 \cdot 2.4 \cdot 25 + 5000 \cdot \left(\frac{25}{50} 0.0064 + \frac{25}{50} 0.0062 \right) \quad (12)$$

$$= 30 + 31.5 = 62.5 \text{ Watt} \quad (13)$$

Een halvering dus van de verliezen.

Hogere Schakelfrequentie

Schakelfrequentie verdubbeld.

De verliezen per IGBT worden dan

$$P_{max} = P_{Schakel} + P_{Doorlaat} \quad (14)$$

$$= d \cdot V_{ce} \cdot I_{ce} + F_s \cdot E_{on} + F_s \cdot E_{off} \quad (15)$$

$$= 0.5 \cdot 2.4 \cdot 50 + 10000 \cdot (0.0064 + 0.0062) \quad (16)$$

$$= 60 + 126 = 186\text{Watt} \quad (17)$$

Een verdubbeling van de schakelverliezen, terwijl de doorlaatverliezen gelijk blijven.

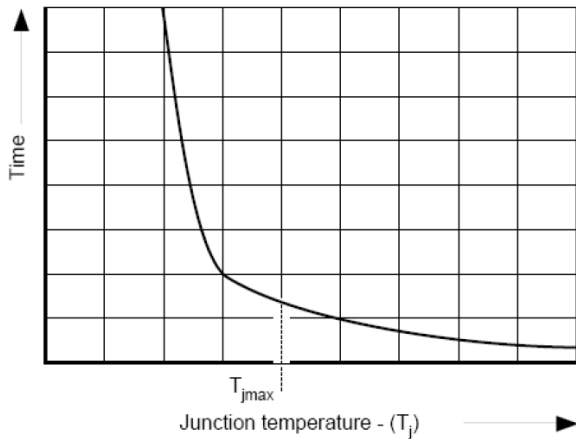
Temperatuur

Willen we dat de IGBT's in de inverter niet warmer worden dan 125 deg Celsius, dan kan de maximale warmte weerstand R_{thJA} bij een omgevingstemperatuur van 25 deg Celsius, berekend worden op

$$R_{thJA} = \frac{125 - 25}{123} = 813\text{mK/W} \quad (18)$$

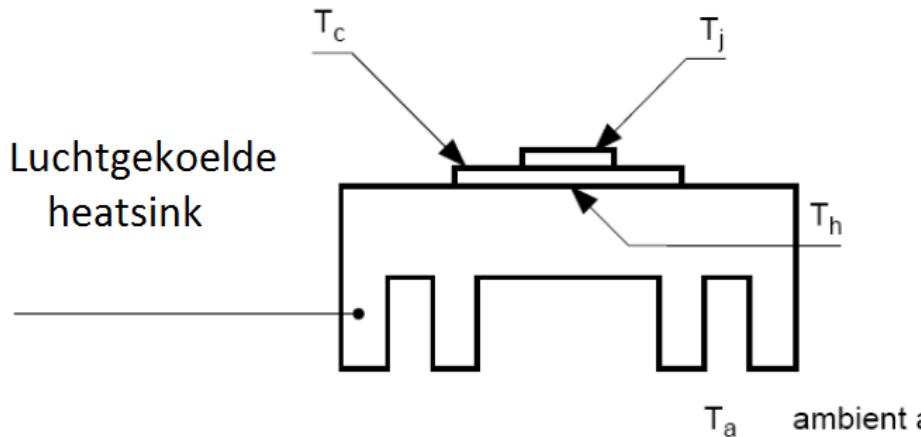
Dit is toch wel een aanzienlijke koelplaat in het geval er geen geforceerde koeling door middel van een luchtstroom van met ventilator gebruikt wordt.

IGBT Lifetime



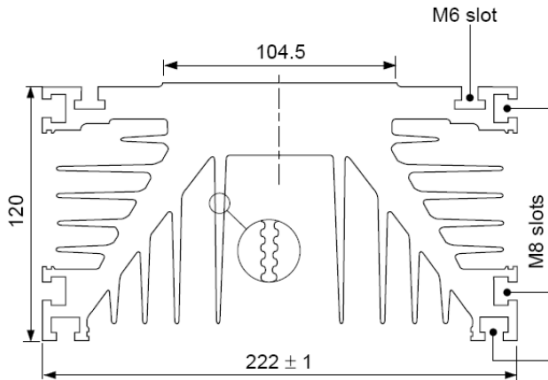
Figuur: IGBT Lifetime

IGBT Luchtgekoelde



Figuur: IGBT Luchtgekoelde

IGBT Luchtgekoelde Typisch

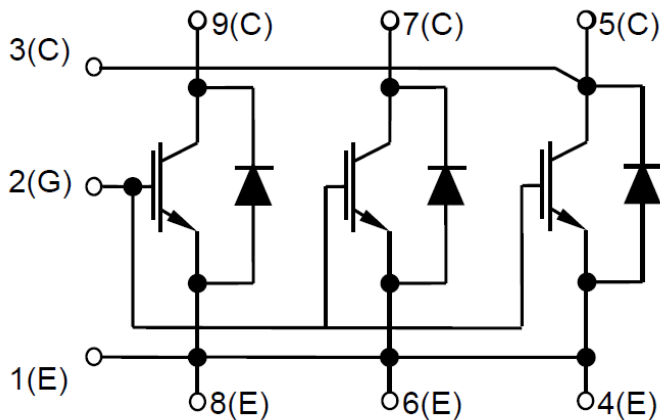


Cross sectional area = 124.08cm²

Weight = 31kg/m

Figuur: IGBT Luchtgekoelde Typisch

Example schema



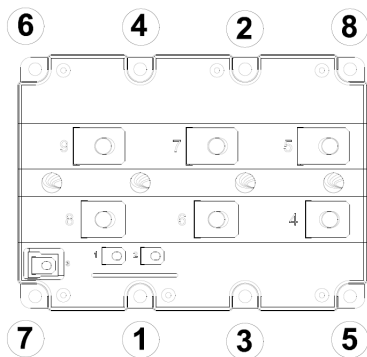
Figuur: Example schema

Example foto



Figuur: Example foto

IGBT Montagevolgorde



Tightening best Sequence: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

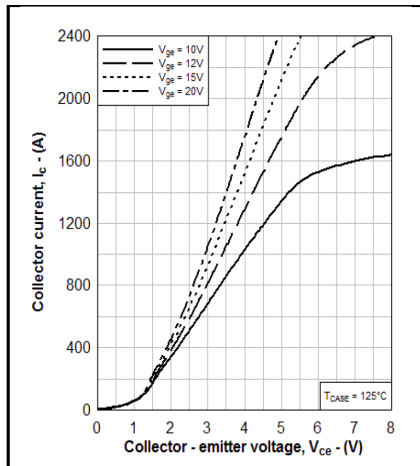
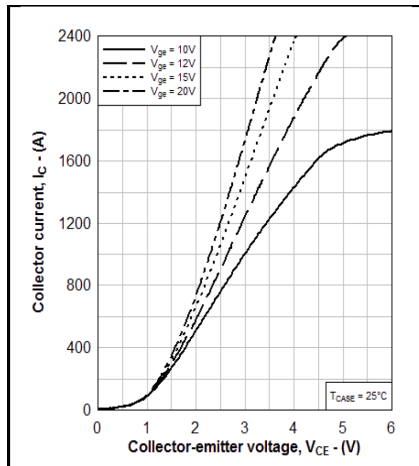
Figuur: IGBT Montagevolgorde

IGBT datasheet

Datasheet			
DIM1200ASM45-TS000			
Temp=125°C			
IGBT		DIODE	
Eon (J)	6.45	Erec (J)	3.75
Eoff (J)	4.65		
Inom (A)	1200	Inom (A)	1200
Vnom (V)	2800	Vnom (V)	2800
Vceo (V)	1.44	Vdo (V)	1.79
Ro (Ω)	0.001677	Rd (Ω)	0.001167
Rth(j-c) ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)	0.008	Rth(j-c) ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)	0.016
Rth(c-h) ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)	0.006	Rth(c-h) ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)	0.006
Rth(j-h) ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)	0.014	Rth(j-h) ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)	0.022
Rth(hs-a) ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)	0.007	Rth(hs-a) ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)	0.007

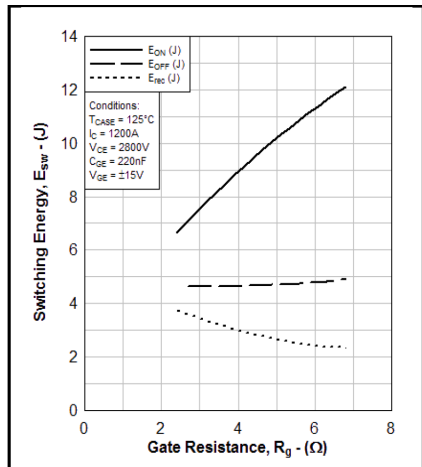
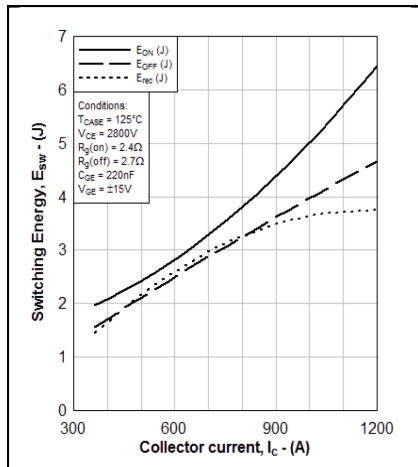
Figuur: IGBT datasheet

Example vce



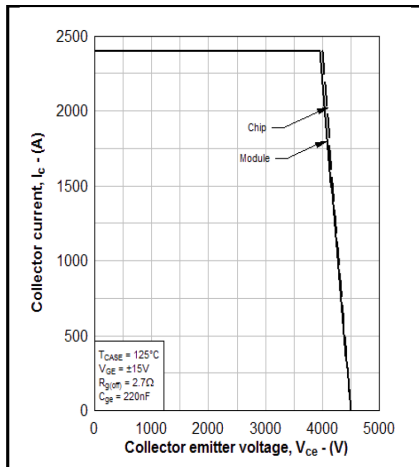
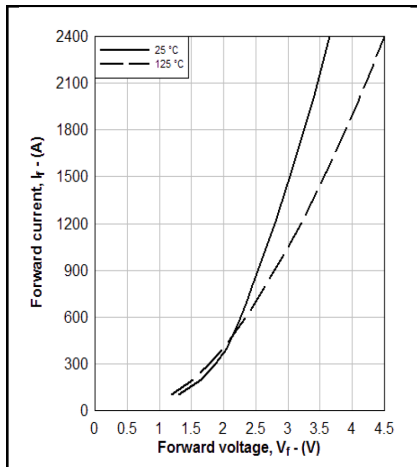
Figuur: Example vce

Example E



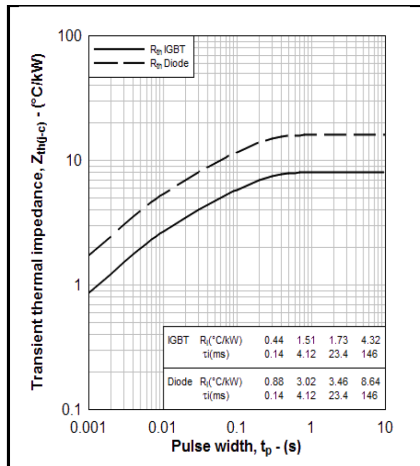
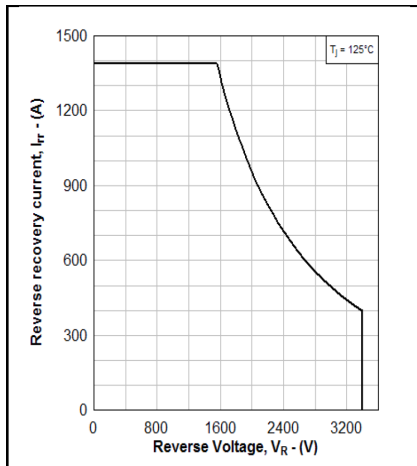
Figuur: Example E

Example Vd

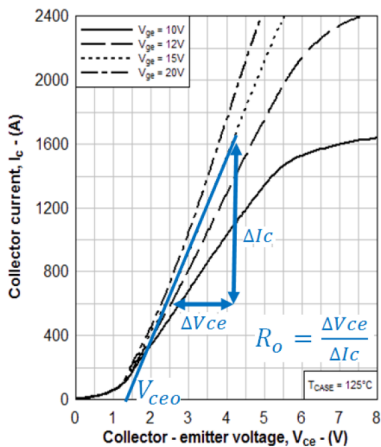


Figuur: Example Vd

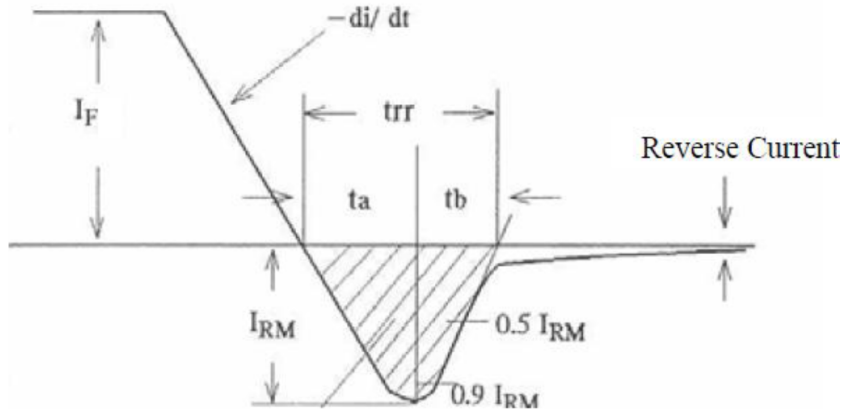
Example Rth



Figuur: Example Rth

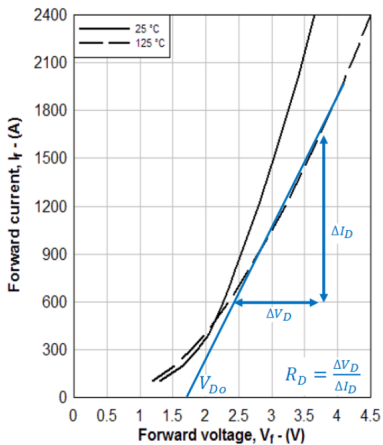
IGBT R_{ce}Figuur: IGBT R_{ce}

IGBT Revrec

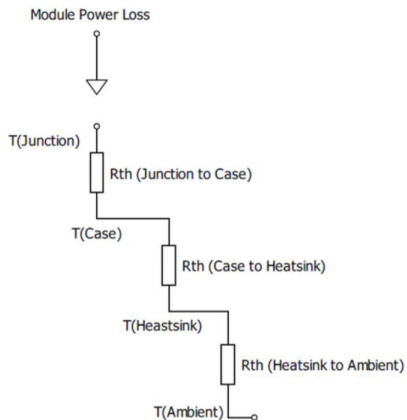


Figuur: IGBT Revrec

IGBT Rd



Figuur: IGBT Rd

IGBT R_{th}Figuur: IGBT R_{th}

IGBT input

Input	
Vdc (V)	2800
I_{orms} (A)	800
Freq.sw (Hz)	400
PF (Cosϕ)	0.85
Modulation Index m	1
Ambient Temp °C	60

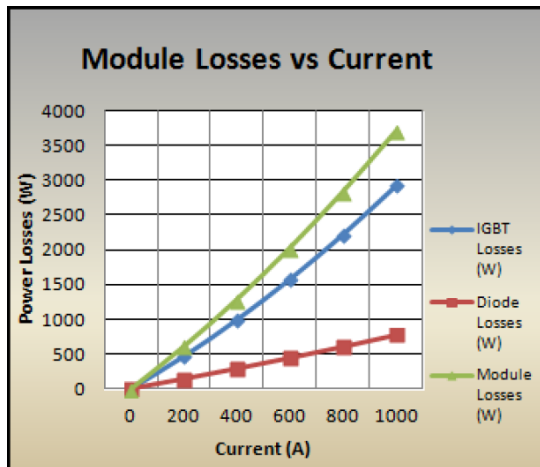
Figuur: IGBT input

IGBT output

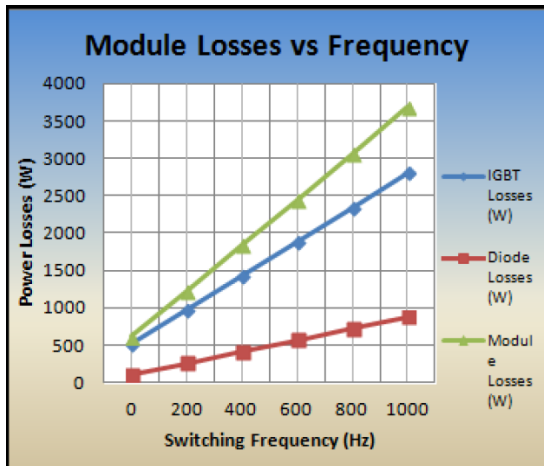
Results	IGBT	Diode
Pconduction losses (W)	894	159
Pswitching losses (W)	1332	450
Ptotal losses per device (W)	2227	609
$\Delta T(j-hs)$ ($^{\circ}C$)	31	13
Total losses per module (W)	2836	
$\Delta T(hs-a)$ ($^{\circ}C$)	20	
T_j ($^{\circ}C$)	111	93

Figuur: IGBT output

IGBT Losses current



Figuur: IGBT Losses current

IGBT Losses F_s Figuur: IGBT Losses F_s