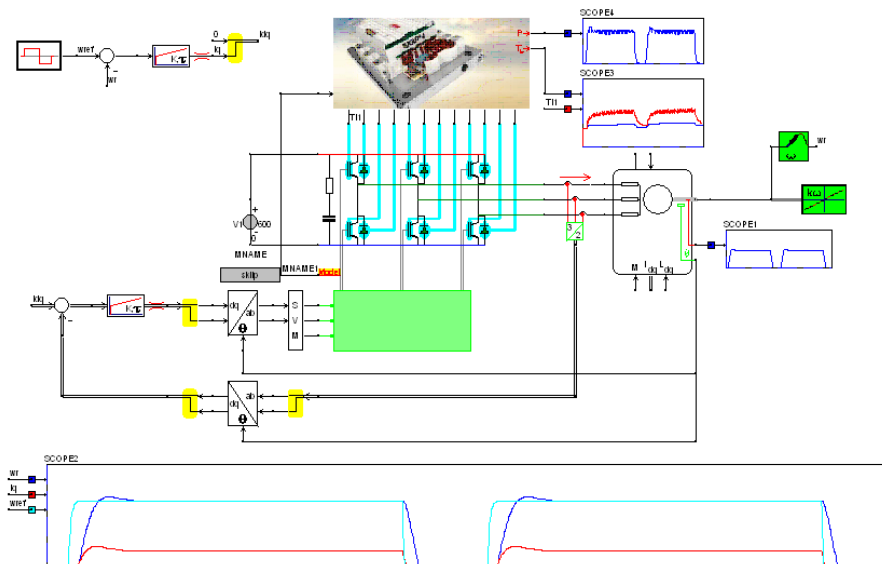


# Overzicht

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

## Inverter



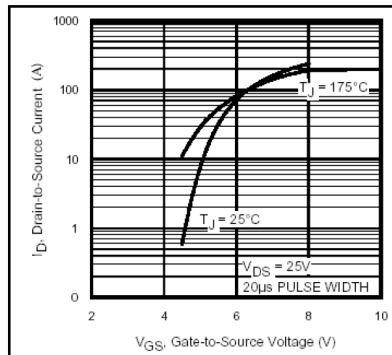
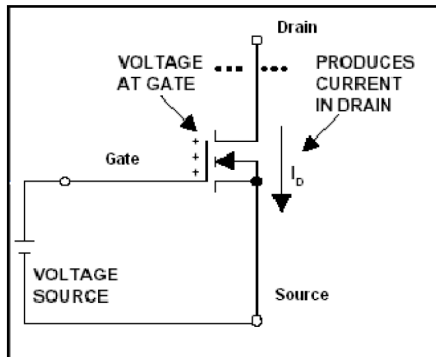
# Inverter

https:

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

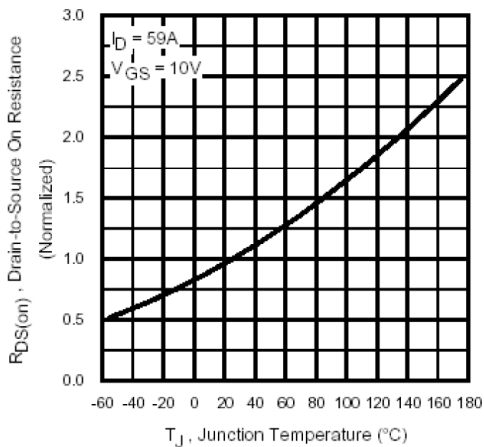
<https://www.caspoc.com/tools/powerelectronics/dcac/pwm/>

## Mosfet



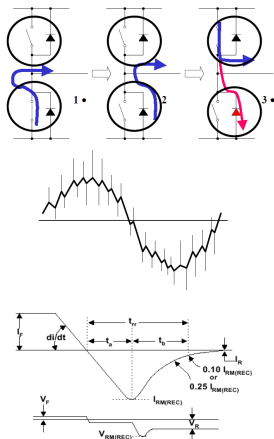
Figuur: Left: Mosfet and maximum current  $I_{DS}$  as function of the gate-source voltage  $V_{GS}$

# Doorlaatweerstand



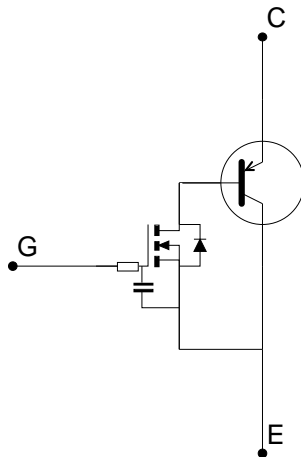
Figuur: Genormaliseerde doorlaatweerstand  $R_{ds(on)}$  als functie van de temperatuur

# Reverse Recovery



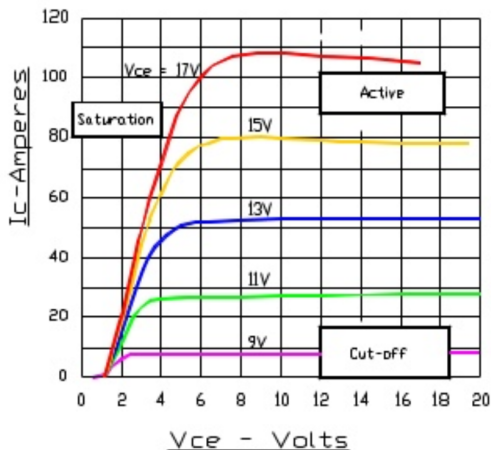
Figuur: Parameters die de reverse recovery van een diode beschrijven.

# IGBT Darlington



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

# Doorlaatkarakteristiek



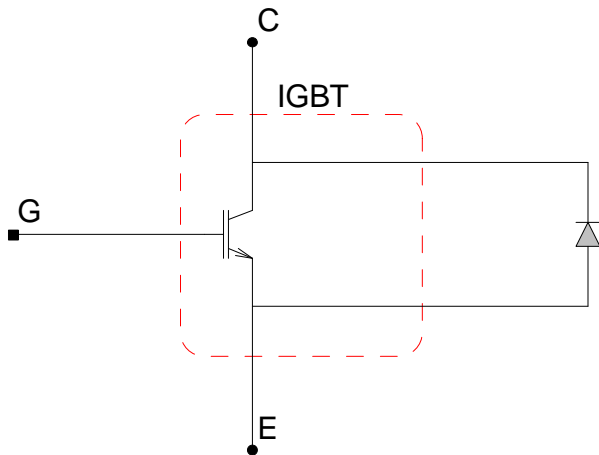
Figuur: Doorlaatkarakteristiek  $I_{ce} - V_{ce}$  van de IGBT voor toenemende Gate-Emitter spanning.



## 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

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

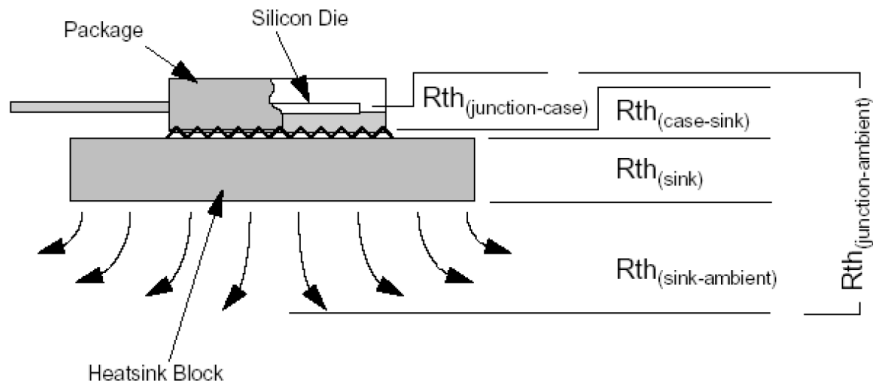
# Totale verliezen

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



# 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  $6 \cdot 123 = 738 \text{ Watt}$

# 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.



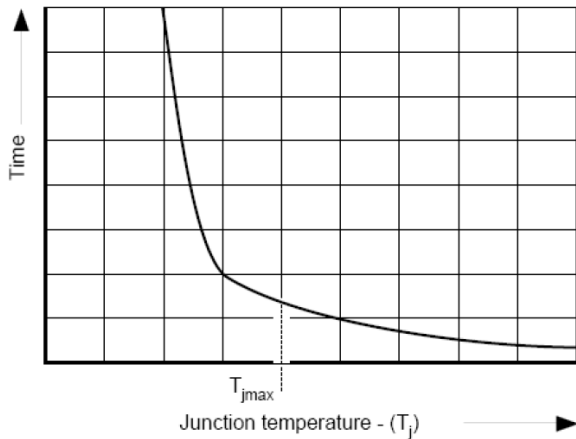
# Temperatuur

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

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

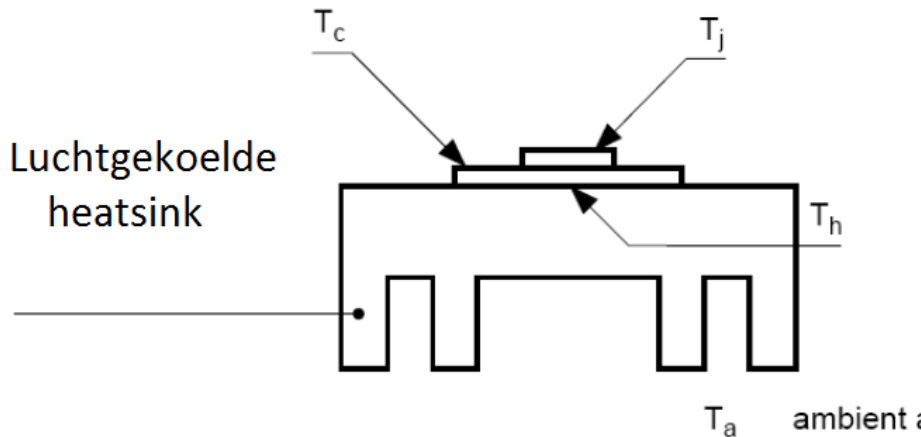
Dit is toch wel een aanzienlijke koelplaat in het geval er geen geforceerde koeling door middel van een luchtstroom van met ventilator gebruikt wordt.

# IGBT Lifetime



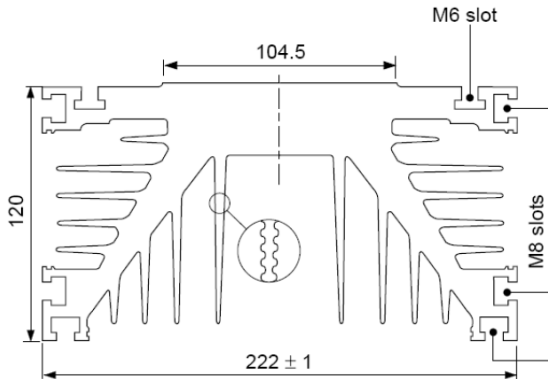
Figuur: IGBT Lifetime

## IGBT Luchtgekoelde



Figuur: IGBT Luchtgekoelde

# IGBT Luchtgekoelde Typisch

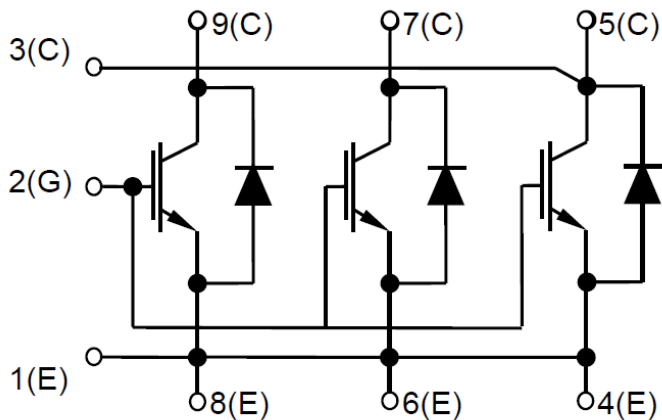


Cross sectional area =  $124.08\text{cm}^2$

Weight =  $31\text{kg/m}$

Figuur: IGBT Luchtgekoelde Typisch

# Example schema



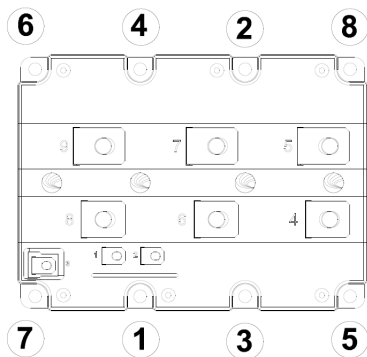
Figuur: Example schema

## Example foto



Figuur: Example foto

# IGBT Montagevolgorde



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

Figuur: IGBT Montagevolgorde

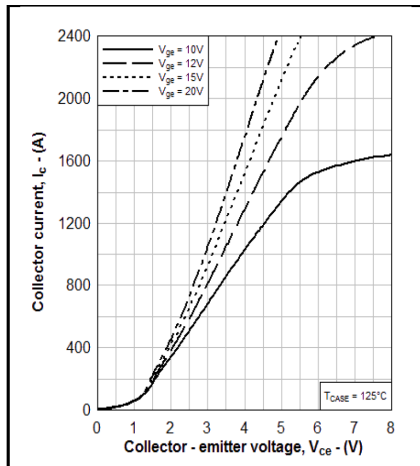
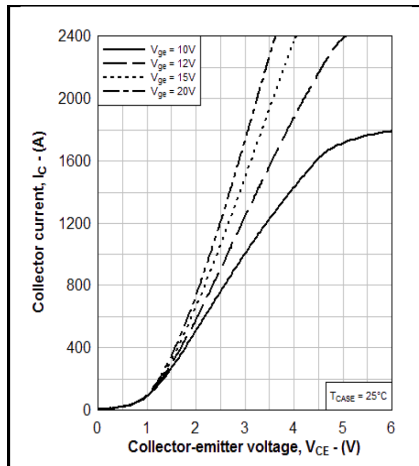
## IGBT datasheet

<b>Datasheet</b>			
<b>DIM1200ASM45-TS000</b>			
<b>Temp=125°C</b>			
<b>IGBT</b>		<b>DIODE</b>	
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 ( $\Omega$ )	0.001677	Rd ( $\Omega$ )	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

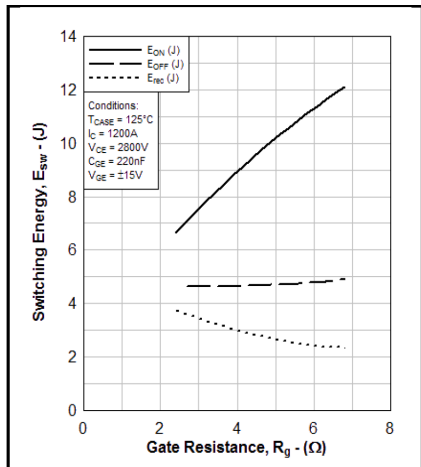
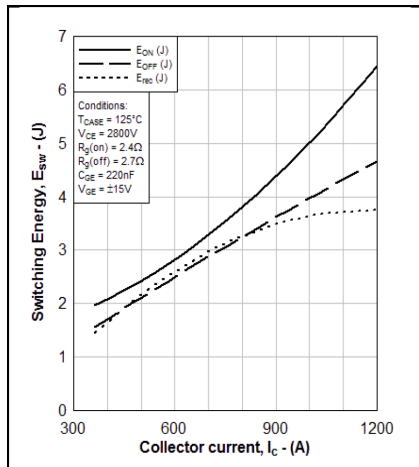


## Example vce



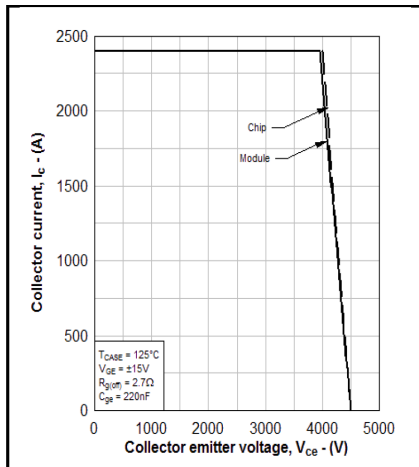
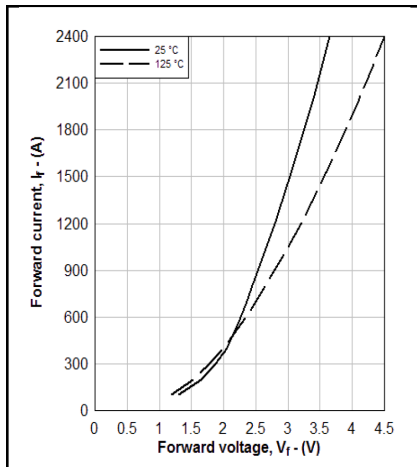
Figuur: Example vce

## Example E



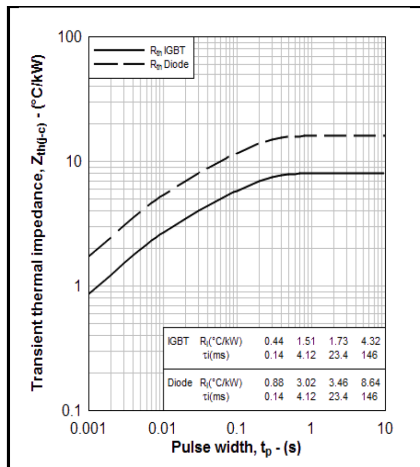
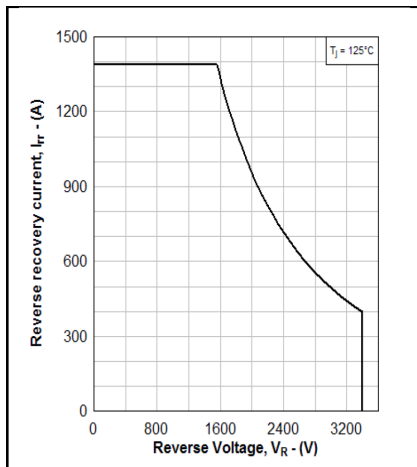
Figuur: Example E

## Example Vd

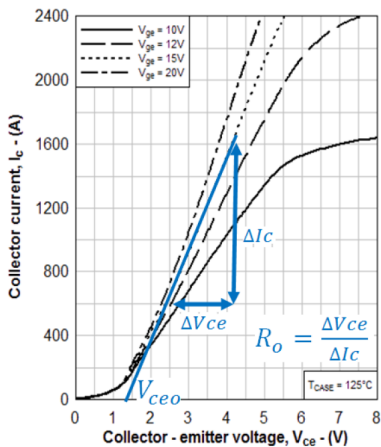


Figuur: Example Vd

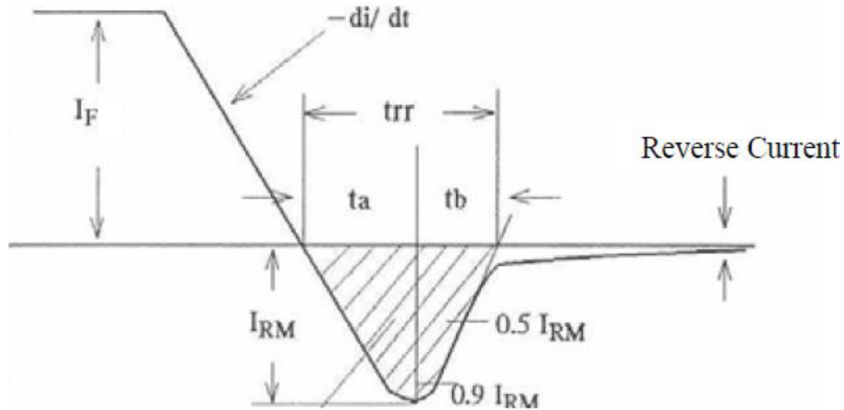
## Example Rth



Figuur: Example Rth

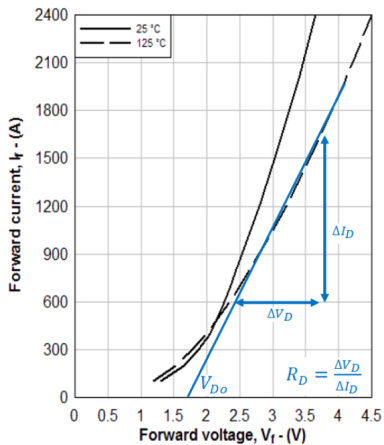
IGBT R<sub>ce</sub>Figuur: IGBT R<sub>ce</sub>

## IGBT Revrec

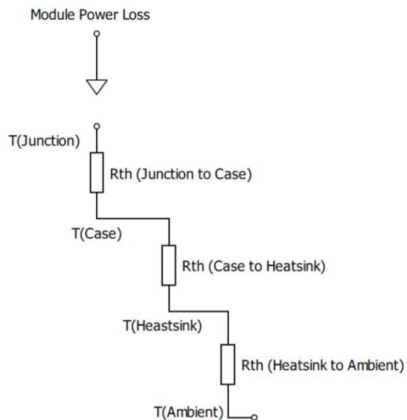


Figuur: IGBT Revrec

## IGBT Rd



Figuur: IGBT Rd

IGBT R<sub>th</sub>Figuur: IGBT R<sub>th</sub>



## IGBT input

<b>Input</b>	
<b>Vdc (V)</b>	<b>2800</b>
<b>I<sub>orms</sub> (A)</b>	<b>800</b>
<b>Freq.sw (Hz)</b>	<b>400</b>
<b>PF (Cos<math>\phi</math>)</b>	<b>0.85</b>
<b>Modulation Index m</b>	<b>1</b>
<b>Ambient Temp °C</b>	<b>60</b>

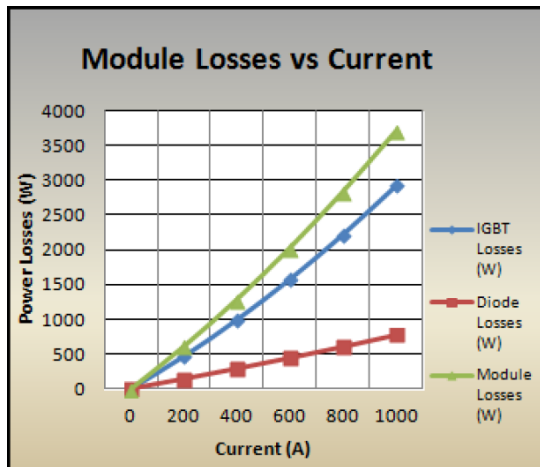
Figuur: IGBT input

## IGBT output

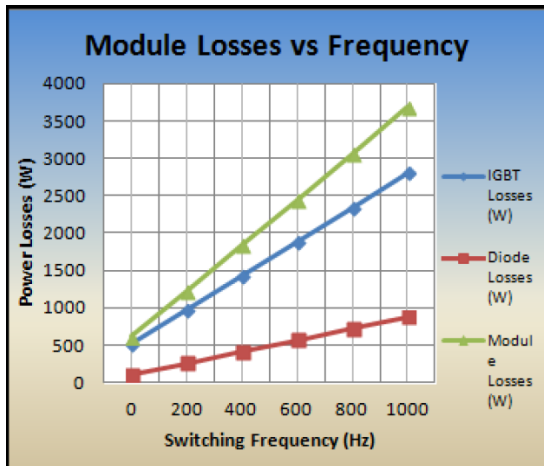
<b>Results</b>	<b>IGBT</b>	<b>Diode</b>
<b>Pconduction losses (W)</b>	<b>894</b>	<b>159</b>
<b>Pswitching losses (W)</b>	<b>1332</b>	<b>450</b>
<b>Ptotal losses per device (W)</b>	<b>2227</b>	<b>609</b>
<b><math>\Delta T(j-hs)</math> (<math>^{\circ}C</math>)</b>	<b>31</b>	<b>13</b>
<b>Total losses per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

Figuur: IGBT output

## IGBT Losses current



Figuur: IGBT Losses current

IGBT Losses  $F_s$ Figuur: IGBT Losses  $F_s$