



## Document réponse DR16

**Tableau1  
Courant conduit**

	$[0 \ \theta[$	$[\theta \ \pi[$	$[\pi \ \pi + \theta[$	$[\pi + \theta \ 2\pi]$
$T_1$	0	$i_s(x)m \cdot \sin(x)$	0	0
$D_1$				
$T_2$				
$DC_1$				

**Tableau2  
Courant commuté**

	$[0 \ \theta[$	$[\theta \ \pi[$	$[\pi \ \pi + \theta[$	$[\pi + \theta \ 2\pi]$
$T_1$	0	$i_s(x)$	0	0
$D_1$				
$T_2$				
$DC_1$				

## Document réponse DR17

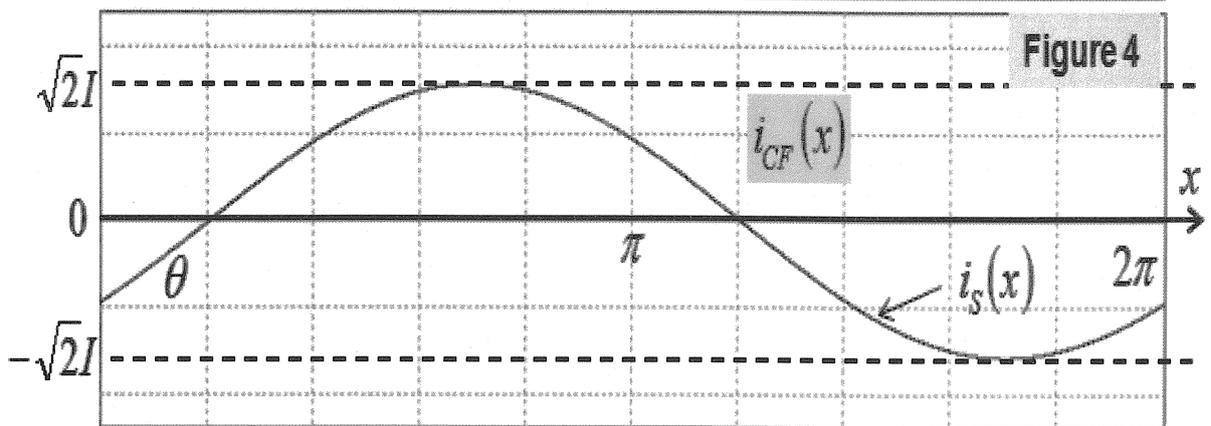
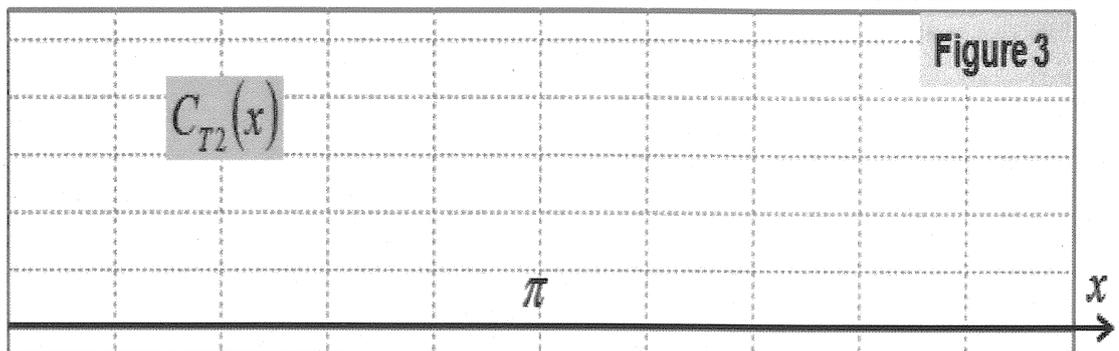
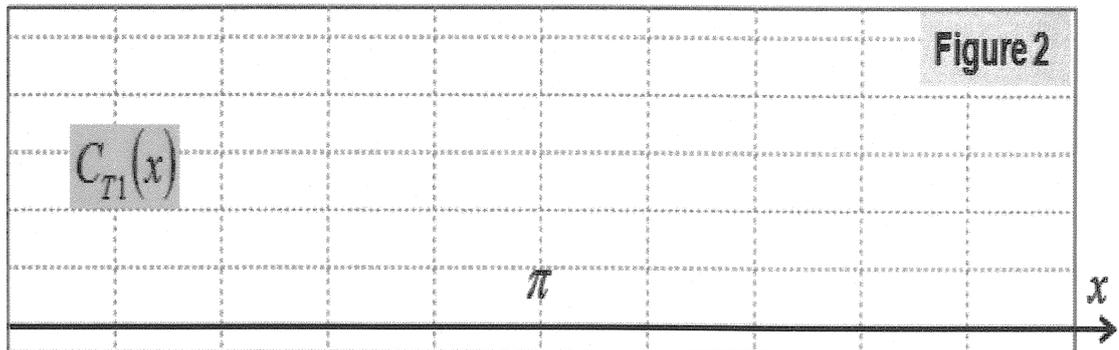
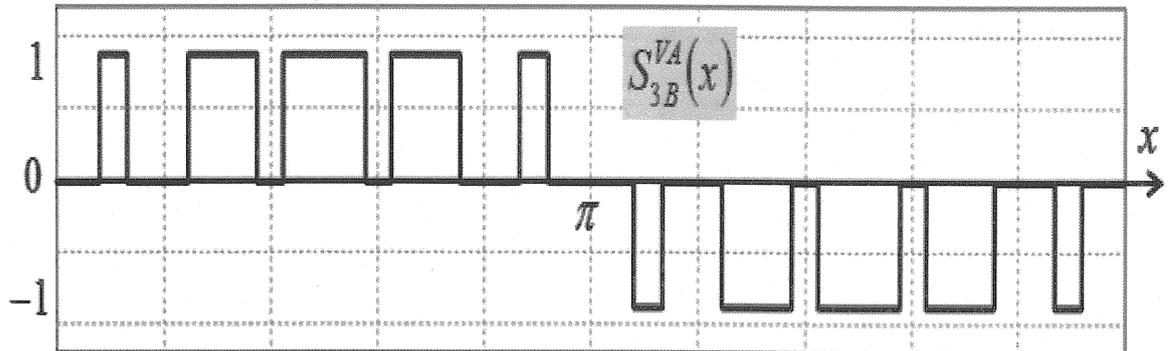
### Tableau 1 - Conduction

	BRAS A			
	T1	D1	T2	DC1
Courant moyen				
Courant Efficace				

### Tableau 2 - Commutation

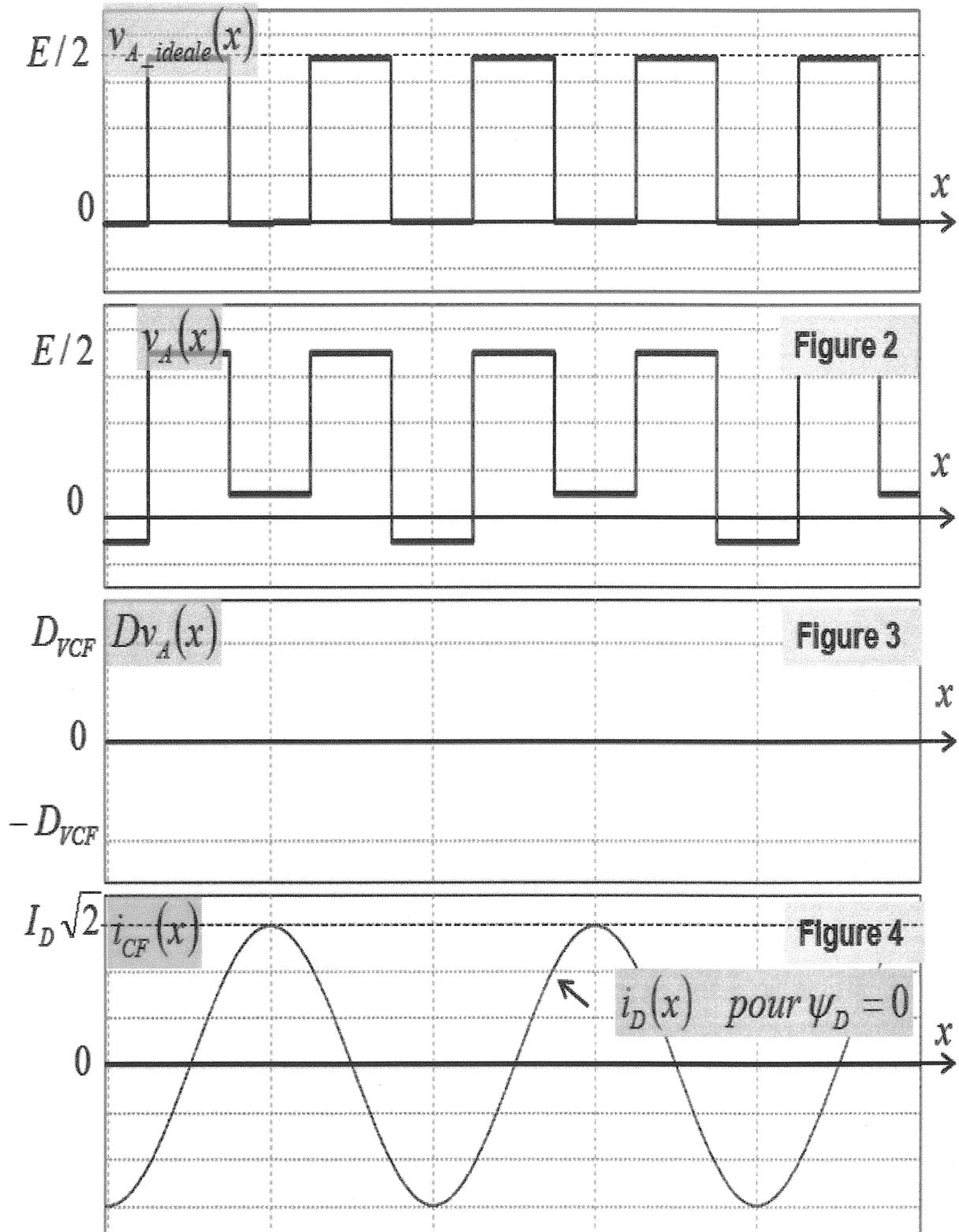
	BRAS A			
	T1	D1	T2	DC1
Courant moyen commuté				
Courant Efficace commuté				

# Document réponse DR18

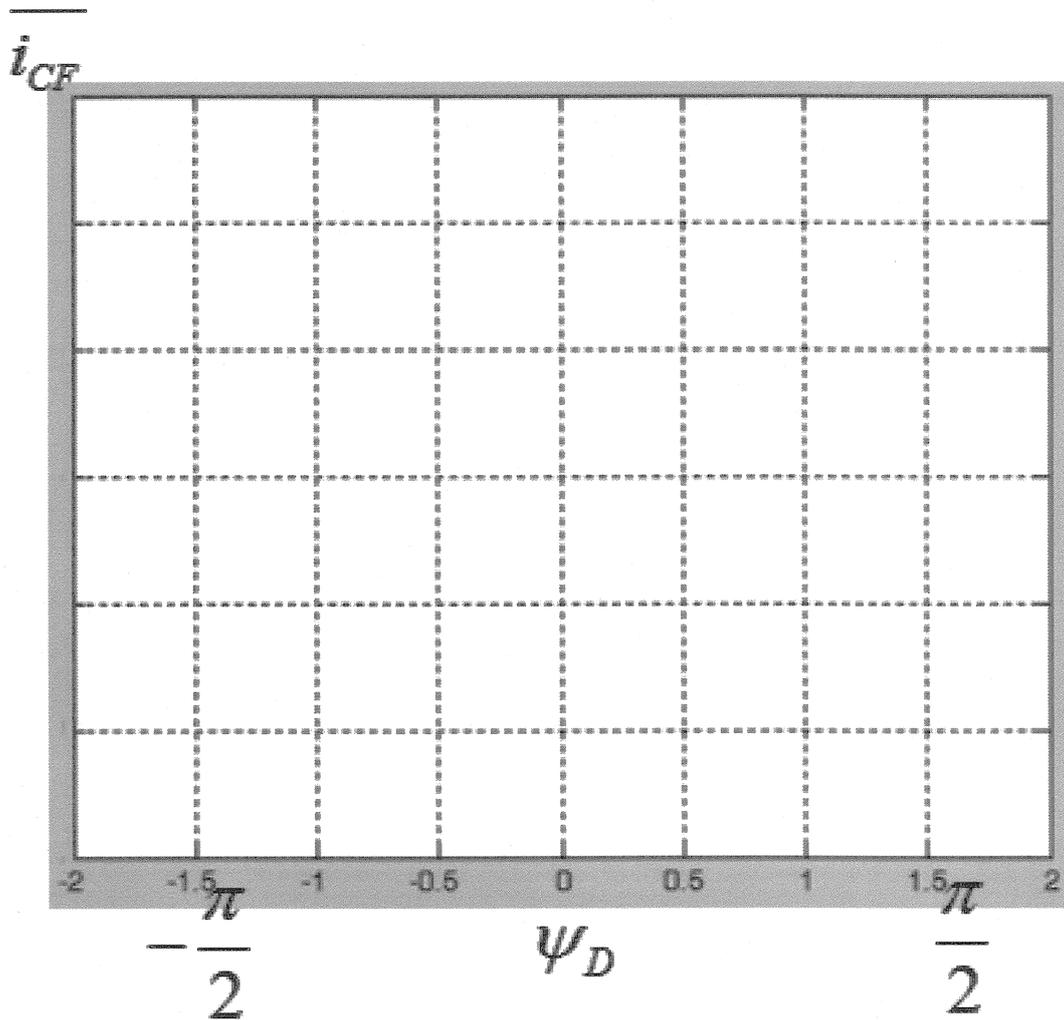




Document réponse DR19



Document réponse DR20



## Document réponse DR21

### Tableau 1 - Commutation

	BRAS A	
	T1	D1
Courant moyen commuté		
Courant Efficace commuté		

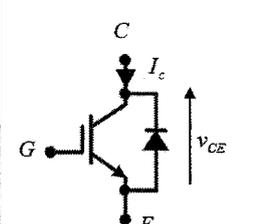
### Tableau 2 - Pertes

	BRAS A	
	T1	D1
Pertes par commutation		

## Annexe 1

### Calcul des pertes en conduction

Les pertes en conduction seront estimées à l'aide du modèle classique linéarisé :

	$V_{CE} = V_{CE0} + R_T \cdot I_c \quad \text{pour l'IGBT}$ $V_F = V_{F0} + R_D \cdot I_D \quad \text{pour la diode}$ <p>On travaillera avec les données à 125°C</p>
---	--

### Calcul des pertes en commutation

L'énergie totale absorbée sur une période de découpage sera approximée par une parabole dépendant du courant. Une simple loi de proportionnalité sera utilisée pour tenir compte de la valeur réelle de la tension commutée par rapport à la tension de définition du composant.

$E(V_{COM}, I) = \frac{V_{com}}{V_{DEF}} (C + B \cdot I_c + A \cdot I_c^2)$ <p><math>A, B, C</math> paramètres constructeur</p>	<p>Avec :</p> <p><math>V_{DEF}</math> tension de définition du composant (calibre tension IGBT/2)</p> <p><math>V_{com}</math> tension de blocage réelle</p> <p><math>I_c</math> Courant commuté</p>
---	---

Pour un semi-conducteur commutant à une fréquence de découpage ( $F_{dec}$ ) durant un intervalle  $[t_1 \dots t_2]$  de chaque période de modulation ( $T_{mod}$ ), on approxime les pertes par commutation par l'intégrale suivante en prenant comme hypothèse que le rapport entre  $F_{dec}$  et  $F_{mod}$  est grand.

$$P_{com}(V_{COM}, I) = \frac{F_{dec}}{2\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left( \frac{V_{com}}{V_{DEF}} (C + B \cdot I_c(x) + A \cdot I_c^2(x)) \right) dx$$

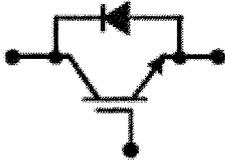
Soit après intégration sur l'intervalle de commutation

$P_{com}(V_{COM}, I) = F_{dec} \cdot \frac{V_{com}}{V_{DEF}} \cdot (C \cdot \Delta_{com} + B \cdot \overline{I_{com}} + A \cdot I_{com\_eff}^2)$	<p><math>\Delta_{com} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{T_{mod}}</math> rapport entre l'intervalle de commutation et période de modulation</p> <p><math>\overline{I_{com}} = \frac{1}{2\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} i_s(x) dx</math> courant moyen commuté</p> <p><math>I_{com\_eff}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} (i_s(x))^2 dx</math> courant efficace commuté</p>
--	--

## Annexe 2

$V_{CE} = 6500 \text{ V}$   
 $I_C = 400 \text{ A}$

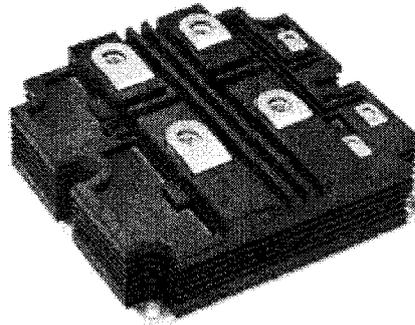
**ABB HiPak™**



**IGBT Module**  
**5SNA 0400J650100**

Doc. No. 5SVA 1592-02 Jan 09

- Low-loss, rugged SPT chip-set
- Smooth switching SPT chip-set for good EMC
- High insulation package
- AlSiC base-plate for high power cycling capability
- AlN substrate for low thermal resistance



### Maximum rated values <sup>1)</sup>

Parameter	Symbol	Conditions	min	max	Unit
Collector-emitter voltage	$V_{CES}$	$V_{GE} = 0 \text{ V}$ , $T_{vj} \geq 25 \text{ °C}$		6500	V
DC collector current	$I_C$	$T_c = 85 \text{ °C}$		400	A
Peak collector current	$I_{CM}$	$t_b = 1 \text{ ms}$ , $T_c = 85 \text{ °C}$		800	A
Gate-emitter voltage	$V_{GES}$		-20	20	V
Total power dissipation	$P_{tot}$	$T_c = 25 \text{ °C}$ , per switch (IGBT)		7350	W
DC forward current	$I_F$			400	A
Peak forward current	$I_{FRM}$			800	A
Surge current	$I_{FSM}$	$V_R = 0 \text{ V}$ , $T_{vj} = 125 \text{ °C}$ , $t_b = 10 \text{ ms}$ , half-sinewave		4000	A
IGBT short circuit SOA	$t_{sc}$	$V_{OC} = 4400 \text{ V}$ , $V_{CEM,CHP} \leq 6500 \text{ V}$ $V_{GE} \leq 15 \text{ V}$ , $T_{vj} \leq 125 \text{ °C}$		10	$\mu\text{s}$
Isolation voltage	$V_{iso}$	1 min, $f = 50 \text{ Hz}$		10200	V
Junction temperature	$T_{vj}$			125	°C
Junction operating temperature	$T_{vj,op}$		-40	125	°C
Case temperature	$T_c$		-40	125	°C
Storage temperature	$T_{stg}$		-40	125	°C
Mounting torques <sup>2)</sup>	$M_s$	Base- heatsink, M6 screws	4	6	Nm
	$M_{t1}$	Main terminals, M8 screws	8	10	
	$M_{t2}$	Auxiliary terminals, M4 screws	2	3	

<sup>1)</sup> Maximum rated values indicate limits beyond which damage to the device may occur per IEC 60747

<sup>2)</sup> For detailed mounting instructions refer to ABB Document No. 5SVA2039

ABB Switzerland Ltd, Semiconductors reserves the right to change specifications without notice.

**ABB**

IGBT characteristic values <sup>3)</sup>

Parameter	Symbol	Conditions	min	typ	max	Unit
Collector (-emitter) breakdown voltage	$V_{IBR/ICES}$	$V_{GE} = 0 \text{ V}$ , $I_C = 10 \text{ mA}$ , $T_{vj} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	6500			V
Collector-emitter <sup>4)</sup> saturation voltage	$V_{CEsat}$	$I_C = 400 \text{ A}$ , $V_{GE} = 15 \text{ V}$				
		$T_{vj} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$		4.2	4.8	V
		$T_{vj} = 125 \text{ }^\circ\text{C}$		5.4	5.9	V
Collector cut-off current	$I_{CES}$	$V_{CE} = 6500 \text{ V}$ , $V_{GE} = 0 \text{ V}$			8	mA
		$T_{vj} = 125 \text{ }^\circ\text{C}$		35	80	mA
Gate leakage current	$I_{GES}$	$V_{CE} = 0 \text{ V}$ , $V_{GE} = \pm 20 \text{ V}$ , $T_{vj} = 125 \text{ }^\circ\text{C}$	-500		500	nA
Gate-emitter threshold voltage	$V_{GE(TH)}$	$I_C = 160 \text{ mA}$ , $V_{CE} = V_{GE}$ , $T_{vj} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	6	7.4	8	V
Gate charge	$Q_{GE}$	$I_C = 400 \text{ A}$ , $V_{CE} = 3600 \text{ V}$ , $V_{GE} = -15 \text{ V} \dots 15 \text{ V}$		5.3		$\mu\text{C}$
Input capacitance	$C_{ies}$	$V_{CE} = 25 \text{ V}$ , $V_{GE} = 0 \text{ V}$ , $f = 1 \text{ MHz}$ , $T_{vj} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$		95.3		nF
Output capacitance	$C_{oes}$			4.41		
Reverse transfer capacitance	$C_{res}$			0.85		
Turn-on delay time	$t_{d(on)}$	$V_{CC} = 3600 \text{ V}$ , $I_C = 400 \text{ A}$ , $R_G = 5.6 \text{ } \Omega$ , $V_{GE} = \pm 15 \text{ V}$ , $L_s = 280 \text{ nH}$ , inductive load	$T_{vj} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	700		ns
			$T_{vj} = 125 \text{ }^\circ\text{C}$	630		
Rise time	$t_r$		$T_{vj} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	250		ns
			$T_{vj} = 125 \text{ }^\circ\text{C}$	220		
Turn-off delay time	$t_{d(off)}$	$V_{CC} = 3600 \text{ V}$ , $I_C = 400 \text{ A}$ , $R_G = 5.6 \text{ } \Omega$ , $V_{GE} = \pm 15 \text{ V}$ , $L_s = 280 \text{ nH}$ , inductive load	$T_{vj} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	1410		ns
			$T_{vj} = 125 \text{ }^\circ\text{C}$	1700		
Fall time	$t_f$		$T_{vj} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	650		ns
			$T_{vj} = 125 \text{ }^\circ\text{C}$	980		
Turn-on switching energy	$E_{on}$	$V_{CC} = 3600 \text{ V}$ , $I_C = 400 \text{ A}$ , $V_{GE} = \pm 15 \text{ V}$ , $R_G = 5.6 \text{ } \Omega$ , $L_s = 280 \text{ nH}$ , inductive load	$T_{vj} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	2250		mJ
			$T_{vj} = 125 \text{ }^\circ\text{C}$	2800		
Turn-off switching energy	$E_{off}$	$V_{CC} = 3600 \text{ V}$ , $I_C = 400 \text{ A}$ , $V_{GE} = \pm 15 \text{ V}$ , $R_G = 5.6 \text{ } \Omega$ , $L_s = 280 \text{ nH}$ , inductive load	$T_{vj} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	1340		mJ
			$T_{vj} = 125 \text{ }^\circ\text{C}$	2120		
Short circuit current	$I_{SC}$	$t_{psc} \leq 10 \text{ } \mu\text{s}$ , $V_{GE} = 15 \text{ V}$ , $T_{vj} = 125 \text{ }^\circ\text{C}$ , $V_{CC} = 4400 \text{ V}$ , $V_{CEM,CHIP} \leq 6500 \text{ V}$		1800		A
Module stray inductance	$L_{s,CE}$			20		nH
Resistance, terminal-chip	$R_{CC+EE}$		$T_C = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	0.1		m $\Omega$
			$T_C = 125 \text{ }^\circ\text{C}$	0.15		

<sup>3)</sup> Characteristic values according to IEC 60747 - 9<sup>4)</sup> Collector-emitter saturation voltage is given at chip level

Diode characteristic values <sup>\*)</sup>

Parameter	Symbol	Conditions	min	typ	max	Unit
Forward voltage <sup>*)</sup>	$V_F$	$I_F = 400 \text{ A}$	$T_K = 25 \text{ °C}$	3.2	3.8	V
			$T_K = 125 \text{ °C}$	3.4	4.0	
Reverse recovery current	$I_{rr}$		$T_K = 25 \text{ °C}$	510		A
			$T_K = 125 \text{ °C}$	680		
Recovered charge	$Q_{rr}$	$V_{CC} = 3600 \text{ V}$ , $I_F = 400 \text{ A}$ , $V_{GE} = \pm 15 \text{ V}$ ,	$T_K = 25 \text{ °C}$	450		$\mu\text{C}$
			$T_K = 125 \text{ °C}$	770		
Reverse recovery time	$t_{rr}$	$R_G = 5.8 \ \Omega$ $L_G = 280 \text{ nH}$ inductive load	$T_K = 25 \text{ °C}$	1840		ns
			$T_K = 125 \text{ °C}$	2120		
Reverse recovery energy	$E_{rec}$		$T_K = 25 \text{ °C}$	670		mJ
			$T_K = 125 \text{ °C}$	1380		

\*) Characteristic values according to IEC 60747 – 2

\*) Forward voltage is given at chip level

Package properties <sup>\*)</sup>

Parameter	Symbol	Conditions	min	typ	max	Unit
IGBT thermal resistance junction to case	$R_{th(j-c)IGBT}$				0.016	K/W
Diode thermal resistance junction to case	$R_{th(j-c)DIODE}$				0.032	K/W
IGBT thermal resistance <sup>*)</sup> case to heatsink	$R_{th(c-s)IGBT}$	IGBT per switch, $\lambda$ grease = $1\text{W/m}^2\text{K}$		0.012		K/W
Diode thermal resistance <sup>*)</sup> case to heatsink	$R_{th(c-s)DIODE}$	Diode per switch, $\lambda$ grease = $1\text{W/m}^2\text{K}$		0.024		K/W
Partial discharge extinction voltage	$V_e$	$f = 50 \text{ Hz}$ , $Q_{FD} \leq 10\text{pC}$ (acc. to IEC 61287)	5100			V
Comparative tracking index	CTI			$\geq 600$		

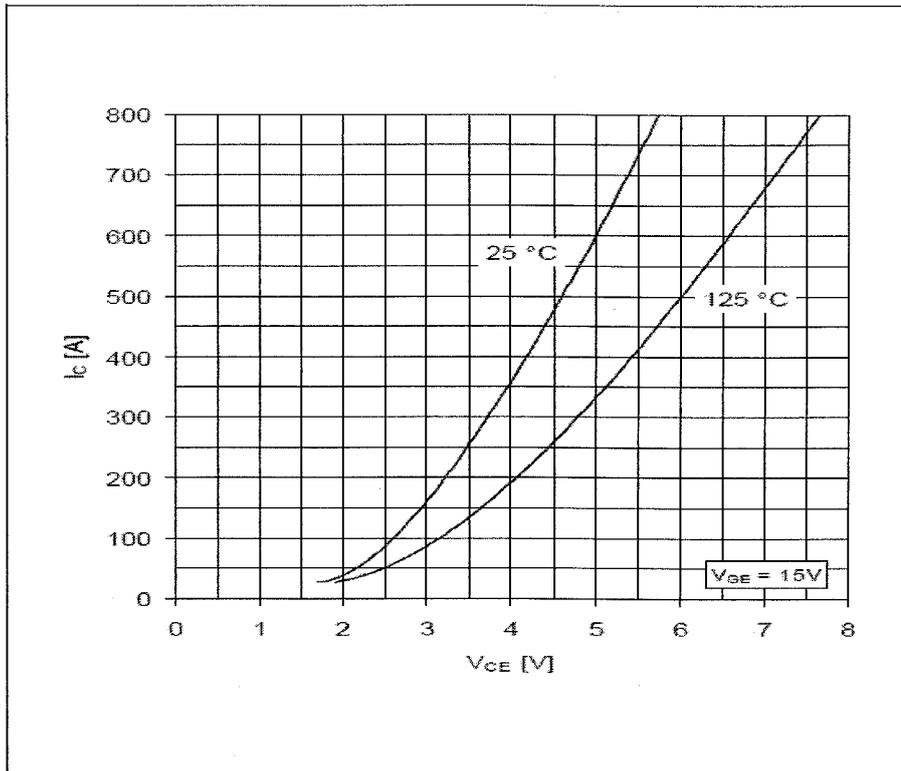
\*) For detailed mounting instructions refer to ABB Document No. 5SVA2039

Mechanical properties <sup>\*)</sup>

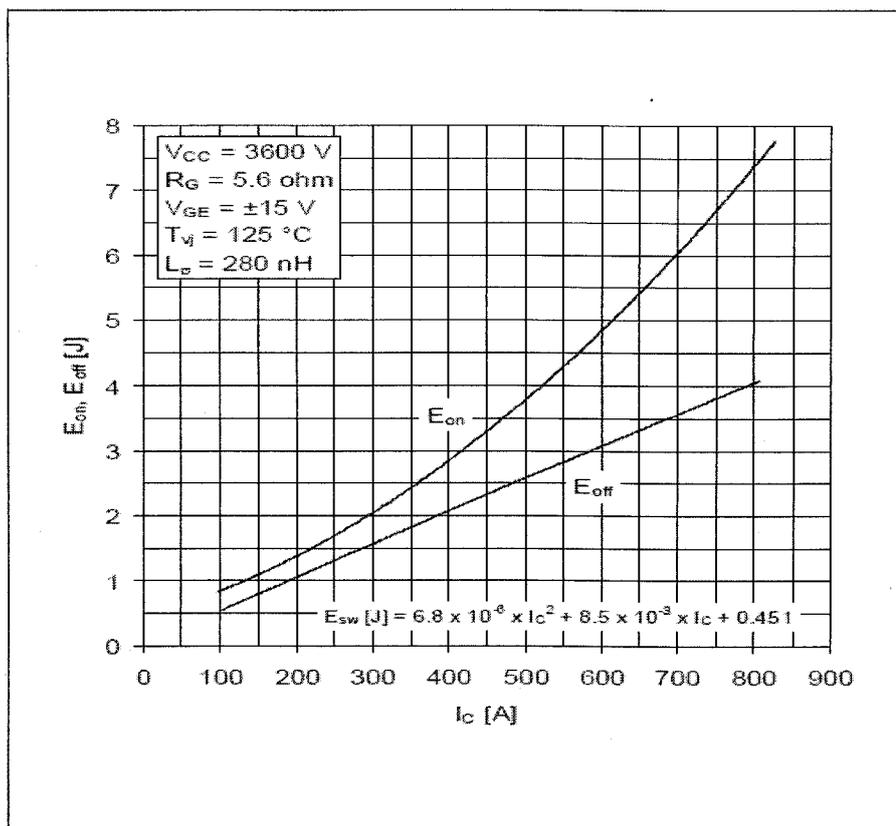
Parameter	Symbol	Conditions	min	typ	max	Unit
Dimensions	$L \times W \times H$	Typical, see outline drawing		$130 \times 140 \times 48$		mm
Clearance distance in air	$d_s$	according to IEC 60664-1 and EN 50124-1	Term. to base:	40		mm
			Term. to term:	26		
Surface creepage distance	$d_s$	according to IEC 60664-1 and EN 50124-1	Term. to base:	64		mm
			Term. to term:	56		
Mass	$m$			1150		g

\*) Package and mechanical properties according to IEC 60747 – 15

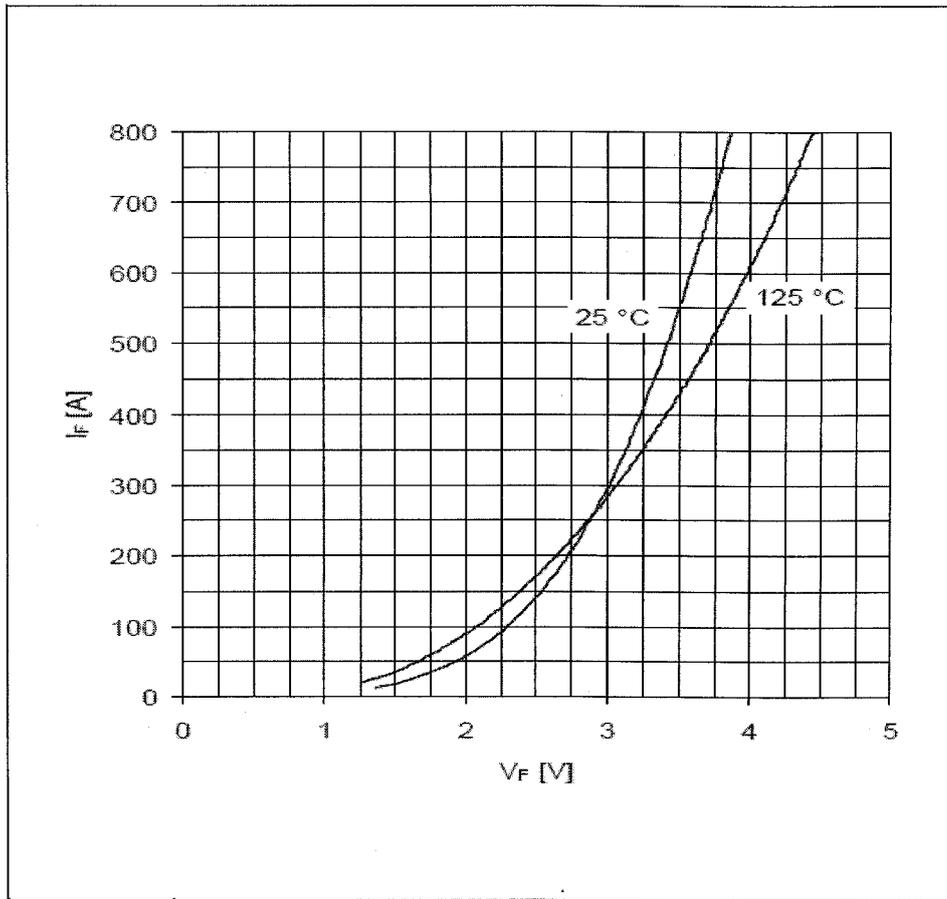




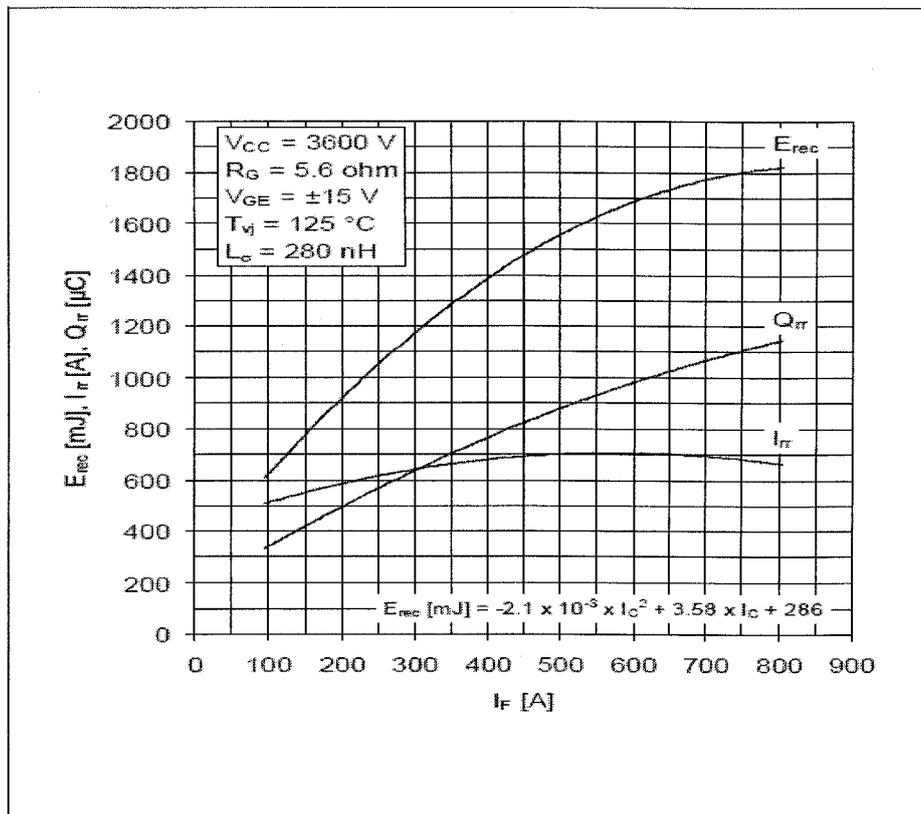
**Fig. 1** Typical on-state characteristics, chip level



**Fig. 5** Typical switching energies per pulse vs collector current



**Fig. 14** Typical diode forward characteristics, chip level



**Fig. 12** Typical reverse recovery characteristics vs forward current

## Annexe 3 Principe de modulation

La commande des interrupteurs du convertisseur est issue d'un modulateur générique à deux étages. Le premier étage est constitué d'un modulateur et génère une forme d'onde idéale  $N$  niveaux. Le second étage dépend de la structure du convertisseur et effectue un décodage de cette forme d'onde idéale et génère les ordres de commande à envoyer à la structure de conversion.

### Exemple 2 niveaux

Pour un convertisseur 2 niveaux, le principe de modulation est représenté sur la Figure 1. Le premier étage génère un signal idéal  $S_{2N}^{VA}(x)$  (possédant 2 niveaux  $(-1 \ +1)$ ) à partir d'un indice de modulation donné par la fonction  $f^{VA}(x)$  comprise entre -1 et 1.

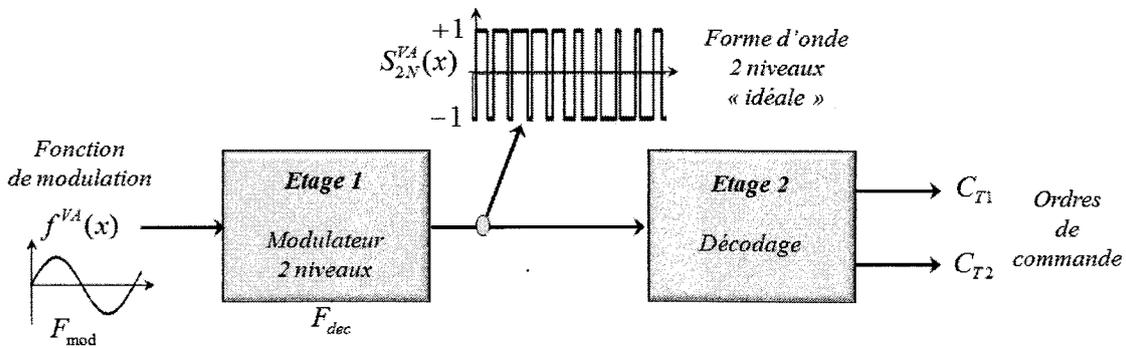


Figure 1 : Cas 2 niveaux : Principe de modulation à 2 étages

Dans le cas 2 niveaux, l'étage 2 (Figure 2) réalisant le décodage est très simple et constitué de 2 états permettant de réaliser les niveaux -1 et +1 associées par 2 transitions données par le signal  $S_{2N}^{VA}(x)$ .

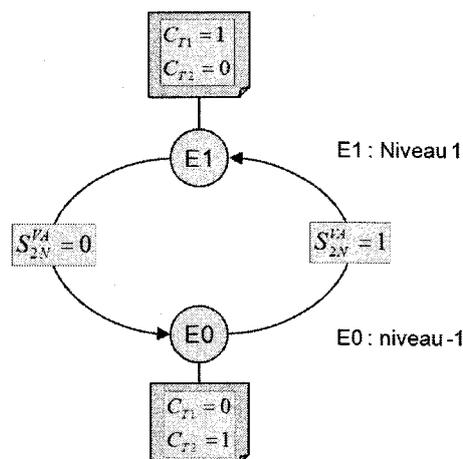


Figure 2 : Cas 2 niveaux : Etage 2 : Machine à états simplifiée

### Exemple 3 niveaux

Pour un convertisseur 3 niveaux, le principe de modulation est représenté sur la Figure 3. Le premier étage génère un signal idéal  $S_{3N}^{VA}(x)$  (possédant 3 niveaux  $(-1 \ 0 \ 1)$ ) à partir d'un indice de modulation donné par la fonction  $f^{VA}(x)$  comprise entre -1 et 1.

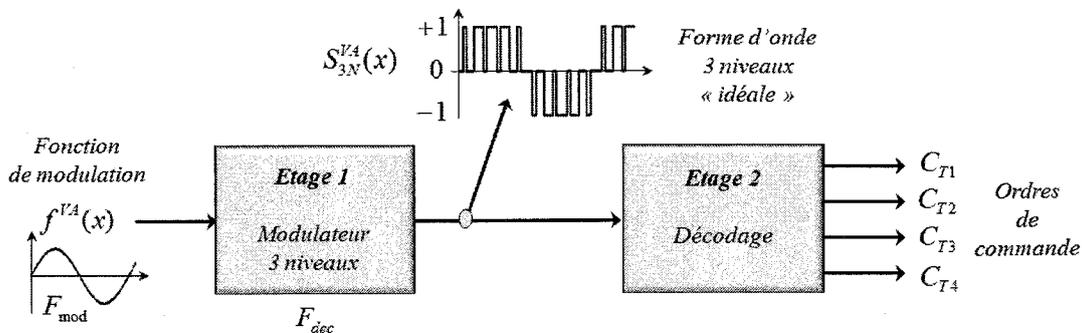


Figure 3 : Cas 3 niveaux : Principe de modulation à 2 étages

Ce signal  $S_{3N}^{VA}(x)$  est ensuite envoyé à un second étage qui effectue le décodage du niveau et impose au convertisseur l'état des interrupteurs afin de réaliser le niveau de tension demandé par le signal  $S_{3N}^{VA}(x)$ .

Le premier étage de ce modulateur est étudié dans la partie 2 de ce sujet.

La description du second étage dépend de la structure du convertisseur utilisé et se fait sous la forme de machine à états simplifiée.

Le second étage sera pour sa part étudiée dans les parties 3 et 4 dans le cas des convertisseurs NPC (Neutral Point Clamp) et FC (Flying Capacitor).

## Annexe 4 Forme d'ondes bras FC

