

Compte-Rendu Itération 1 : Etude de Documentations IGBT et Mosfet et Etude des causes de pertes énergétiques

Durée : 12 heures

Table des matières

Partie 1 : Etude de documentations IGBT	2
I- Introduction Transistor IGBT	2
II- Etude de transistors IGBT : STMicroelectronics	4
III- Etude de transistors IGBT : Infineon	11
IV- Conclusion sur les IGBT	17
Partie 2 : Etude de documentations Mosfet	18
I- Introduction sur les Transistors Mosfet	18
II- Etude du transistor MOSFET : STMicroelectronics	19
III- Etude du transistor Mosfet : ONSEMI	22
IV- Conclusion sur les Mosfets	26
Partie 3 - Pertes d'énergie dans les transistors	27
Partie 4 : Cycle de vie du silicium (Si) et du carbure de silicium (Sic)	28
Partie 5 : Conclusion Générale	28

Partie 1 : Etude de documentations IGBT

I- Introduction Transistor IGBT

Qu'est ce que le transistor IGBT ?

La technologie IGBT a été créée en 1982, elle s'est imposée dans les gammes de tensions allant de 600V à 3300V.

L'IGBT est un transistor hybride, regroupant un transistor à effet de champ du type MOSFET en entrée et un transistor bipolaire en sortie. Il est ainsi commandé par la tension de grille (entre grille et émetteur. Mais ses caractéristiques de conduction (entre collecteur et émetteur) sont celles d'un bipolaire.

Cette structure lui donne le faible coût énergétique de commande d'un MOSFET, avec les pertes de conduction plus faibles d'un bipolaire. De plus, les IGBT peuvent gérer une tension bien plus élevée que celle gérée par les MOSFET.

Cependant, le transistor IGBT a comme inconvénient d'avoir un temps de blocage lent ce qui augmente les pertes par commutation.

Dans quel domaine ?

On retrouve ce type de semi-conducteur dans la conversion d'énergie (onduleurs, redresseurs et hacheurs pour les alimentations à découpage et la vitesse variable).

Performances du IGBT ?

Caractéristiques moyennes comparées

	MOSFET 600V	IGBT 600V	IGBT 1700V	IGBT 3300V	IGBT 6500V	GTO 6000V
V_{CEsat} ⁸ à 125 °C	2,2 V	1,8 V	2,5 V	3,5 V	5,3 V	3 V
fréquence typique ⁹	15-100 kHz	6-40 kHz	3-10 kHz	1-5 kHz	0,8-2 kHz	0,3-1 kHz

Différentes structures du IGBT :

IGBT NPT : « Pas de coup de poing »

IGBT PT : « Coup de poing »

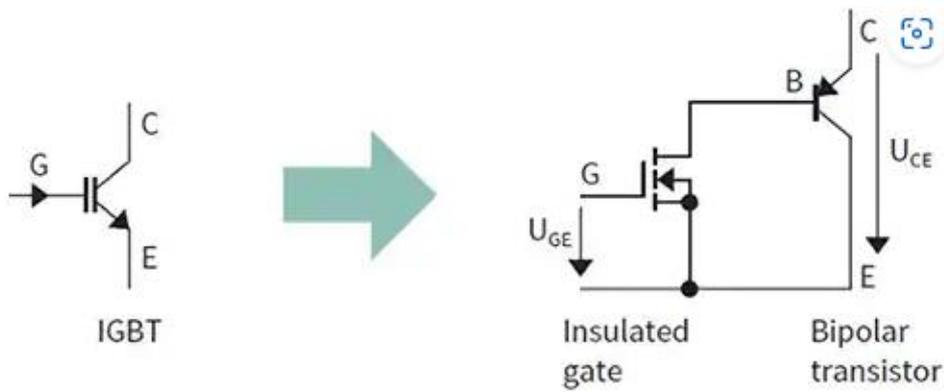
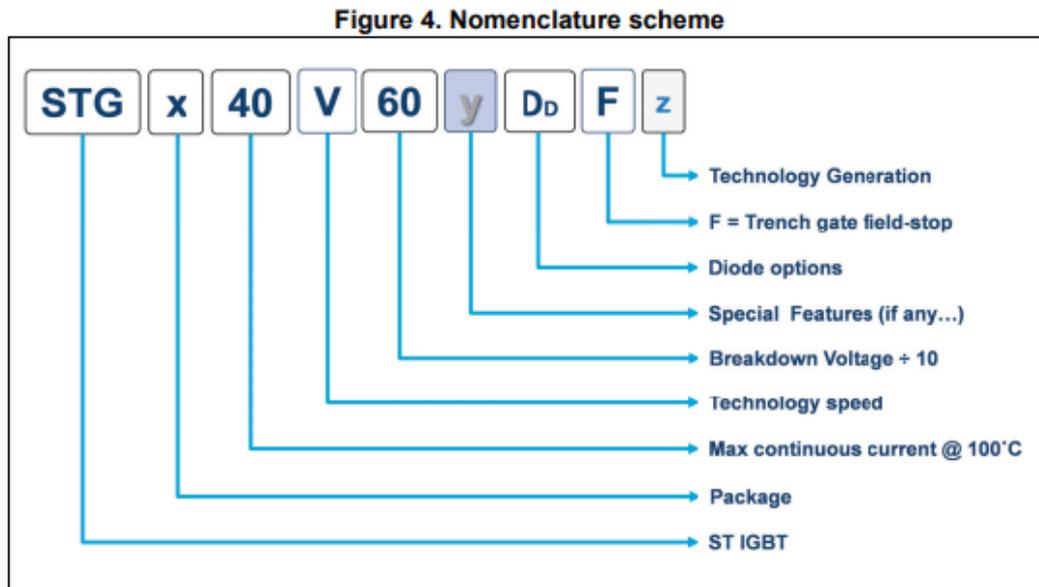


Figure 3 : Structure conceptuelle d'un IGBT montrant le MOSFET qui constitue la grille isolée et la structure du transistor bipolaire qui représente la section de tenue en puissance. (Source de l'image : Infineon Technologies)

La référence de l'IGBT donne déjà de nombreuses informations sur ses caractéristiques : on prend comme exemple les IGBT de la marque STMicroelectronics et Infineon.

II- Etude de transistors IGBT : STMicroelectronics

La référence des composants électroniques tels que IGBT de STmicroelectronics permet d'obtenir des informations sur le composants comme indiqué ci-dessous :



Valeurs maximales des composants de STmicroelectronics :

Pour une température de $T_c=25^\circ\text{C}$

Références	STG FW 40 V 60 D F	STG W 40 V 60 D F	STGFW80V60F, STGW80V60F, STGWT80V60F	NGT G 50 N 60 FWG
Technologie	Non Si	Non si	Si	Non si
Température maximale de jonction (T_j)	175°C	175°C	175°C	150°C
Tension maximale (V_{ce} max avec $V_{ge}=0V$)	600V	600V	600V	600V
Courant collecteur (I_c)	80A, 40A pour $T_c=100^\circ\text{C}$	80A, 40A pour $T_c=100^\circ\text{C}$	120A, 80A pour $T_c=100^\circ\text{C}$	100A, 50A pour $T_c=100^\circ\text{C}$
Option de Paquet (Package option)	TO-3PF	TO-247	TO-3P	TO-247
Courant pulsé du collecteur (I_{CM})	160A	160A	240A	200A
V_{ge}	+20V	+20V	+20V	+20V
Puissance dissipé maximale (P_{tot})	283W	283W	469W	223W

Température maximale de stockage (Tstg)	-55 to 150°C	-55 to 150°C	-55 to 150°C	-55 to 150°C
Température de jonction de fonctionnement (Tj)	-55 to 175°C	-55 to 175°C	-55 to 175°C	-55 to 150°C
Température du plomb pour le soudage, 1/8 po de l'étui pendant 5 secondes				260°C
Resistance thermique boîtier de jonction (RthJC)	0.53°C/W	0.53°C/W	0.32°C/W	0.56°C/W
Resistance thermique diode de jonction (RthJCD)	1.14°C/W	1.14°C/W		
Resistance thermique Jonction Ambiante (RthJA)	50°C/W	50°C/W	50°C/W	40°C/W

Equation 1 :

$$R_{CEO} = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C}$$

Rceo est donc la valeur de la pente de la caractéristique du courant collecteur en fonction de la tension collecteur émetteur.

Equation 2 : Le courant de collecteur peut se calculer avec cette expression :

$$I_C = \frac{-V_{CEO} + \sqrt{V_{CEO}^2 + 4 \cdot R_{CEO} \cdot \left(\frac{T_{Jmax} - T_C}{R_{TH(JC)}} \right)}}{2 \cdot R_{CEO}}$$

Caractéristiques Statiques IGBT Non Silicium :

Pour le STG W 40 V 60 D F :

Table 8. Static characteristics

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{(BR)CES}$	Collector-emitter breakdown voltage ($V_{GE} = 0$)	$I_C = 2 \text{ mA}$	600			V
$V_{CE(sat)}$	Collector-emitter saturation voltage	$V_{GE} = 15 \text{ V}, I_C = 40 \text{ A}$		1.8	2.3	V
		$V_{GE} = 15 \text{ V}, I_C = 40 \text{ A}$ $T_J = 125 \text{ }^\circ\text{C}$		2.15		
		$V_{GE} = 15 \text{ V}, I_C = 40 \text{ A}$ $T_J = 175 \text{ }^\circ\text{C}$		2.35		
V_F	Forward on-voltage	$I_F = 40 \text{ A}$		1.7	2.45	V
		$I_F = 40 \text{ A}, T_J = 125 \text{ }^\circ\text{C}$		1.4		V
		$I_F = 40 \text{ A}, T_J = 175 \text{ }^\circ\text{C}$		1.3		V
$V_{GE(th)}$	Gate threshold voltage	$V_{CE} = V_{GE}, I_C = 1 \text{ mA}$	5	6	7	V
I_{CES}	Collector cut-off current ($V_{GE} = 0$)	$V_{CE} = 600 \text{ V}$			25	μA
I_{GES}	Gate-emitter leakage current ($V_{CE} = 0$)	$V_{GE} = \pm 20 \text{ V}$			250	nA

Pour le NGT G 50 N 60 FWG :

STATIC CHARACTERISTIC						
Collector-emitter breakdown voltage, gate-emitter short-circuited	$V_{GE} = 0 \text{ V}, I_C = 500 \text{ } \mu\text{A}$	$V_{(BR)CES}$	600	-	-	V
Collector-emitter saturation voltage	$V_{GE} = 15 \text{ V}, I_C = 50 \text{ A}$ $V_{GE} = 15 \text{ V}, I_C = 50 \text{ A}, T_J = 150^\circ\text{C}$	V_{CEsat}	1.25 -	1.45 1.7	1.7 -	V
Gate-emitter threshold voltage	$V_{GE} = V_{CE}, I_C = 350 \text{ } \mu\text{A}$	$V_{GE(th)}$	4.5	5.5	6.5	V
Collector-emitter cut-off current, gate-emitter short-circuited	$V_{GE} = 0 \text{ V}, V_{CE} = 600 \text{ V}$ $V_{GE} = 0 \text{ V}, V_{CE} = 600 \text{ V}, T_J = 150^\circ\text{C}$	I_{CES}	-	-	0.5 2	mA
Gate leakage current, collector-emitter short-circuited	$V_{GE} = 20 \text{ V}, V_{CE} = 0 \text{ V}$	I_{GES}	-	-	200	nA

DYNAMIC CHARACTERISTIC

Caractéristiques Statiques IGBT Silicium :

Pour le STG W 40 V 60 D F :

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{(BR)CES}$	Collector-emitter breakdown voltage ($V_{GE} = 0$)	$I_C = 2 \text{ mA}$	600			V
$V_{CE(sat)}$	Collector-emitter saturation voltage	$V_{GE} = 15 \text{ V}, I_C = 80 \text{ A}$		1.85	2.3	V
		$V_{GE} = 15 \text{ V}, I_C = 80 \text{ A}$ $T_J = 125 \text{ °C}$		2.15		
		$V_{GE} = 15 \text{ V}, I_C = 80 \text{ A}$ $T_J = 175 \text{ °C}$		2.4		
$V_{GE(th)}$	Gate threshold voltage	$V_{CE} = V_{GE}, I_C = 1 \text{ mA}$	5	6	7	V
I_{CES}	Collector cut-off current ($V_{GE} = 0$)	$V_{CE} = 600 \text{ V}$			100	μA
I_{GES}	Gate-emitter leakage current ($V_{CE} = 0$)	$V_{GE} = \pm 20 \text{ V}$			250	nA

Caractéristiques dynamique IGBT non Silicium :

Pour le STG W 40 V 60 D F :

Table 9. Dynamic characteristics

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
C_{ies}	Input capacitance	$V_{CE} = 25 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz},$ $V_{GE} = 0$	-	5400	-	pF
C_{oes}	Output capacitance		-	220	-	pF
C_{res}	Reverse transfer capacitance		-	180	-	pF
Q_g	Total gate charge	$V_{CC} = 480 \text{ V}, I_C = 40 \text{ A},$ $V_{GE} = 15 \text{ V}$	-	226	-	nC
Q_{ge}	Gate-emitter charge		-	38	-	nC
Q_{gc}	Gate-collector charge		-	95	-	nC

Pour le NGT G 50 N 60 FWG :

DYNAMIC CHARACTERISTIC						
Input capacitance	$V_{CE} = 20 \text{ V}, V_{GE} = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}$	C_{ies}	-	7300	-	pF
Output capacitance		C_{oes}	-	195	-	
Reverse transfer capacitance		C_{res}	-	170	-	
Gate charge total	$V_{CE} = 480 \text{ V}, I_C = 50 \text{ A}, V_{GE} = 15 \text{ V}$	Q_g	-	310	-	nC
Gate to emitter charge		Q_{ge}	-	60	-	
Gate to collector charge		Q_{gc}	-	150	-	

Caractéristiques dynamique IGBT Silicium :

Pour le STG W 40 V 60 D F :

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
C_{ies}	Input capacitance	$V_{CE} = 25 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz},$ $V_{GE} = 0$	-	10800	-	nF
C_{oes}	Output capacitance		-	390	-	pF
C_{res}	Reverse transfer capacitance		-	220	-	pF
Q_g	Total gate charge	$V_{CC} = 480 \text{ V}, I_C = 80 \text{ A},$ $V_{GE} = 15 \text{ V},$ see Figure 28	-	448	-	nC
Q_{ge}	Gate-emitter charge		-	76	-	nC
Q_{gc}	Gate-collector charge		-	184	-	nC

Caractéristiques de commutation du IGBT non silicium (charge inductive) :

Pour le STG W 40 V 60 D F :

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{d(on)}$	Turn-on delay time	$V_{CE} = 400 \text{ V}, I_C = 40 \text{ A},$ $R_G = 10 \Omega, V_{GE} = 15 \text{ V}$	-	52	-	ns
t_r	Current rise time		-	17	-	ns
$(di/dt)_{on}$	Turn-on current slope		-	1850	-	A/ μ s
$t_{d(off)}$	Turn-off delay time		-	208	-	ns
t_f	Current fall time		-	20	-	ns
E_{on}	Turn-on switching losses		-	456	-	μ J
E_{off}	Turn-off switching losses		-	411	-	μ J
E_{ts}	Total switching losses		-	867	-	μ J
$t_{d(on)}$	Turn-on delay time		$V_{CE} = 400 \text{ V}, I_C = 40 \text{ A},$ $R_G = 10 \Omega, V_{GE} = 15 \text{ V},$ $T_J = 175 \text{ }^\circ\text{C}$	-	52	-
t_r	Current rise time	-		21	-	ns
$(di/dt)_{on}$	Turn-on current slope	-		1538	-	A/ μ s
$t_{d(off)}$	Turn-off delay time	-		220	-	ns
t_f	Current fall time	-		21	-	ns
E_{on}	Turn-on switching losses	-		1330	-	μ J
E_{off}	Turn-off switching losses	-		560	-	μ J
E_{ts}	Total switching losses	-		1890	-	μ J

Temps de résistance au court circuit :

Table 11. Maximum ratings for short-circuit withstand time

Symbol	Description	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
t_{sc}	Short-circuit withstand time	$V_{CC} \leq 360$, $V_{GE} = 15$ V, $T_{jstart} \leq 150$ °C	6	-	-	μ s

Pour le NGT G 50 N 60 FWG :

SWITCHING CHARACTERISTIC, INDUCTIVE LOAD

Turn-on delay time	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 400$ V, $I_C = 50$ A $R_g = 10$ Ω $V_{GE} = 0$ V/ 15 V*	$t_{d(on)}$	-	117	-	ns	
Rise time		t_r	-	43	-		
Turn-off delay time		$t_{d(off)}$	-	285	-		
Fall time			t_f	-	105	-	mJ
Turn-on switching loss		E_{on}	-	1.1	-		
Turn-off switching loss		E_{off}	-	1.2	-		
Total switching loss			E_{ts}	-	2.3	-	
Turn-on delay time	$T_J = 150^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 400$ V, $I_C = 50$ A $R_g = 10$ Ω $V_{GE} = 0$ V/ 15 V*	$t_{d(on)}$	-	112	-	ns	
Rise time		t_r	-	45	-		
Turn-off delay time		$t_{d(off)}$	-	300	-		
Fall time			t_f	-	214	-	mJ
Turn-on switching loss		E_{on}	-	1.4	-		
Turn-off switching loss		E_{off}	-	2.0	-		
Total switching loss			E_{ts}	-	3.4	-	

Caractéristiques de commutation du IGBT silicium (charge inductive) :

Pour le STG W 40 V 60 D F :

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{d(on)}$	Turn-on delay time	$V_{CE} = 400$ V, $I_C = 80$ A, $R_G = 10$ Ω , $V_{GE} = 15$ V, see Figure 27	-	60	-	ns
t_r	Current rise time		-	30	-	ns
$(di/dt)_{on}$	Turn-on current slope		-	2200	-	A/ μ s
$t_{d(off)}$	Turn-off delay time		-	220	-	ns
t_f	Current fall time		-	17	-	ns
$E_{on}^{(1)}$	Turn-on switching losses		-	1.8	-	mJ
$E_{off}^{(2)}$	Turn-off switching losses		-	1	-	mJ
E_{ts}	Total switching losses		-	2.8	-	mJ
$t_{d(on)}$	Turn-on delay time	$V_{CE} = 400$ V, $I_C = 80$ A, $R_G = 10$ Ω , $V_{GE} = 15$ V, $T_J = 175$ °C, see Figure 27	-	60	-	ns
t_r	Current rise time		-	30	-	ns
$(di/dt)_{on}$	Turn-on current slope		-	2100	-	A/ μ s
$t_{d(off)}$	Turn-off delay time		-	240	-	ns
t_f	Current fall time		-	22	-	ns
$E_{on}^{(1)}$	Turn-on switching losses		-	3.8	-	mJ
$E_{off}^{(2)}$	Turn-off switching losses		-	1.25	-	mJ
E_{ts}	Total switching losses		-	5.05	-	mJ

Caractéristiques de commutations des diodes IGBT non silicium (charge inductive) :

Pour le STG W 40 V 60 D F :

Table 12. Diode switching characteristics (inductive load)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
t_{rr}	Reverse recovery time	$I_F = 40 \text{ A}$, $V_R = 400 \text{ V}$, $V_{GE} = 15 \text{ V}$, $di/dt=1000 \text{ A}/\mu\text{s}$	-	41	-	ns
Q_{rr}	Reverse recovery charge		-	440	-	nC
I_{rrm}	Reverse recovery current		-	21.6	-	A
di_{rr}/dt	Peak rate of fall of reverse recovery current during t_b		-	1363	-	A/ μs
E_{rr}	Reverse recovery energy		-	151	-	μJ
t_{rr}	Reverse recovery time	$I_F = 40 \text{ A}$, $V_R = 400 \text{ V}$, $V_{GE} = 15 \text{ V}$, $di/dt=1000 \text{ A}/\mu\text{s}$ $T_J = 175 \text{ }^\circ\text{C}$	-	109	-	ns
Q_{rr}	Reverse recovery charge		-	2400	-	nC
I_{rrm}	Reverse recovery current		-	44.4	-	A
di_{rr}/dt	Peak rate of fall of reverse recovery current during t_b		-	670	-	A/ μs
E_{rr}	Reverse recovery energy		-	718	-	μJ

Toutes ces valeurs permettent de compléter les infos demandées de votre logiciel

III- Etude de transistors IGBT : Infineon

Valeurs maximales des composants de Infineon :

Références	IGW60T120	IGW40N60F	IKWH30N65WR6
Technologie			Si
Température maximale de jonction (Tj)	150°C	150°C	
Tension maximale (Vce max avec Vge=0V)	1200V	600V	650V
Courant collecteur (Ic)	100A	80A	67A à Tc=25°C 30 à Tc=100°C
Option de Paquet (Package option)	PG-TO-247-3	TO-3P	
Courant pulsé du collecteur (ICM)	160A	120A	90A
Vge	+20V	+20V	+20V
Puissance dissipé maximale (Ptot)	375W	280W	136W à 25°C
Température maximale de stockage (Tstg)	-55 to 150°C	-55 to 150°C	
Température de jonction de fonctionnement (Tj)	-40 to +150°C		-40 to 175°C
Température pour le soudage, 1.6mm du boitier pendant 10s(TL)	260°C	300°C	
Resistance thermique boitier de jonction (RthJC)	0.33°C/W	Max 0.446°C/W	0.73K/W
Resistance thermique diode de jonction (RthJCD)		Max 1.25 °C/W	
Resistance thermique Jonction Ambiante (RthJA)	40°C/W	40°C/W	
Courant Diode If		20A	20A
Courant Max		100A	

Caractéristiques statique IGBT sans Silicium :

Pour le IGW60T120 :

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

Parameter	Symbol	Conditions	Value			Unit
			min.	typ.	max.	
Static Characteristic						
Collector-emitter breakdown voltage	$V_{(BR)CES}$	$V_{GE}=0V, I_C=3.0mA$	1200	-	-	V
Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$V_{GE} = 15V, I_C=60A$ $T_j=25^\circ\text{C}$ $T_j=125^\circ\text{C}$ $T_j=150^\circ\text{C}$	- - -	1.9 2.1 2.3	2.4 - -	
Gate-emitter threshold voltage	$V_{GE(th)}$	$I_C=2.0mA, V_{CE}=V_{GE}$	5.0	5.8	6.5	
Zero gate voltage collector current	I_{CES}	$V_{CE}=1200V,$ $V_{GE}=0V$ $T_j=25^\circ\text{C}$ $T_j=150^\circ\text{C}$	- -	- -	0.6 6.0	mA
Gate-emitter leakage current	I_{GES}	$V_{CE}=0V, V_{GE}=20V$	-	-	600	nA
Transconductance	g_{fs}	$V_{CE}=20V, I_C=60A$	-	30	-	S
Integrated gate resistor	R_{Gint}			4		Ω

Pour le IGW40N60F :

Symbol	Parameter	Test Conditions	Rating			Units
			Min	Typ.	Max.	
OFF Characteristics						
$V_{(BR)CES}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$V_{GE}=0V, I_{CE}=250\mu A$	600	--	--	V
I_{CES}	Collector-Emitter Leakage Current	$V_{GE}=0V, V_{CE}=600V$	--	--	1.0	mA
$I_{GES(F)}$	Gate to Emitter Forward Leakage	$V_{GE}=+20V$	--	--	+250	nA
$I_{GES(R)}$	Gate to Source Reverse Leakage	$V_{GE}=-20V$	--	--	-250	nA
ON Characteristics						
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=40A, V_{GE}=15V$	--	2.2	2.7	V
$V_{GE(th)}$	Gate Threshold Voltage	$I_C=1mA, V_{CE}=V_{GE}$	3.5	5.0	6.5	V
Pulse width $t_p \leq 380\mu s, \delta \leq 2\%$						

Caractéristiques dynamique IGBT sans Silicium :

Pour le IGW60T120 :

Dynamic Characteristic

Input capacitance	C_{iss}	$V_{CE}=25V,$ $V_{GE}=0V,$ $f=1MHz$	-	3700	-	pF
Output capacitance	C_{oss}		-	180	-	
Reverse transfer capacitance	C_{rss}		-	150	-	
Gate charge	Q_{Gate}	$V_{CC}=960V, I_C=60A$ $V_{GE}=15V$	-	280	-	nC
Internal emitter inductance measured 5mm (0.197 in.) from case	L_E		-	13	-	nH
Short circuit collector current ¹⁾	$I_{C(SC)}$	$V_{GE}=15V, t_{SC} \leq 10\mu s$ $V_{CC} = 600V,$ $T_j = 25^\circ C$	-	300	-	A

Pour le IGW40N60F :

Dynamic Characteristics						
C_{ies}	Input Capacitance	$V_{CE}=30V, V_{GE}=0V$ $f=1MHz$	--	1830	--	pF
C_{oes}	Output Capacitance		--	169	--	
C_{res}	Reverse Transfer Capacitance		--	47	--	

Caractéristiques statique et dynamique et de commutation IGBT avec Silicium :

Pour le IGW60T120 :

Table 3 Characteristic values

Parameter	Symbol	Note or test condition	Values			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Collector-emitter breakdown voltage	V_{BRCES}	$I_C = 0.2 \text{ mA}, V_{GE} = 0 \text{ V}$	650			V
Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE \text{ sat}}$	$I_C = 30.0 \text{ A}, V_{GE} = 15 \text{ V}$	$T_{vj} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	1.45	1.75	V
			$T_{vj} = 175 \text{ }^\circ\text{C}$	1.70		

Parameter	Symbol	Note or test condition	Values			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Gate-emitter threshold voltage	V_{GEth}	$I_C = 0.30 \text{ mA}, V_{CE} = V_{GE}$	3.20	4.00	4.80	V
Zero gate voltage collector current	I_{CES}	$V_{CE} = 650 \text{ V}, V_{GE} = 0 \text{ V}$	$T_{vj} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$		40	μA
			$T_{vj} = 175 \text{ }^\circ\text{C}$		700	
Gate-emitter leakage current	I_{GES}	$V_{CE} = 0 \text{ V}, V_{GE} = 20 \text{ V}$			100	nA
Transconductance	g_{fs}	$I_C = 30.0 \text{ A}, V_{CE} = 20 \text{ V}$		60.0		S
Input capacitance	C_{ies}	$V_{CE} = 25 \text{ V}, V_{GE} = 0 \text{ V}, f = 100 \text{ kHz}$		2700		pF
Output capacitance	C_{oes}	$V_{CE} = 25 \text{ V}, V_{GE} = 0 \text{ V}, f = 100 \text{ kHz}$		27		pF
Reverse transfer capacitance	C_{res}	$V_{CE} = 25 \text{ V}, V_{GE} = 0 \text{ V}, f = 100 \text{ kHz}$		11		pF
Gate charge	Q_G	$I_C = 30.0 \text{ A}, V_{GE} = 15 \text{ V}, V_{CE} = 520 \text{ V}$		97		nC
IGBT thermal resistance, junction-case	R_{thjc}				0.73	K/W
Operating junction temperature	T_{vj}		-40		175	$^\circ\text{C}$

Caractéristiques de commutation du IGBT sans silicium (charge inductive) :

Pour le IGW60T120 :

T_j=25°C

Switching Characteristic, Inductive Load, at T_j=25 °C

Parameter	Symbol	Conditions	Value			Unit
			min.	typ.	max.	
IGBT Characteristic						
Turn-on delay time	t _{d(on)}	T _j =25°C, V _{CC} =600V, I _C =60A, V _{GE} =0/15V, R _G =10Ω, L _{σ²} =180nH, C _{σ²} =39pF Energy losses include "tail" and diode reverse recovery.	-	50	-	ns
Rise time	t _r		-	44	-	
Turn-off delay time	t _{d(off)}		-	480	-	
Fall time	t _f		-	80	-	
Turn-on energy	E _{on}		-	4.3	-	mJ
Turn-off energy	E _{off}		-	5.2	-	
Total switching energy	E _{ts}		-	9.5	-	

T_j=150°C

Switching Characteristic, Inductive Load, at T_j=150 °C

Parameter	Symbol	Conditions	Value			Unit
			min.	typ.	max.	
IGBT Characteristic						
Turn-on delay time	t _{d(on)}	T _j =150°C V _{CC} =600V, I _C =60A, V _{GE} =0/15V, R _G =10Ω, L _{σ²} =180nH, C _{σ²} =39pF Energy losses include "tail" and diode reverse recovery.	-	50	-	ns
Rise time	t _r		-	45	-	
Turn-off delay time	t _{d(off)}		-	600	-	
Fall time	t _f		-	130	-	
Turn-on energy	E _{on}		-	6.4	-	mJ
Turn-off energy	E _{off}		-	9.4	-	
Total switching energy	E _{ts}		-	15.8	-	

Pour le IGW40N60F :

Switching Characteristics						
t _{d(on)}	Turn-on Delay Time	V _{CE} =400V, I _C =40A, R _G =10Ω, V _{GE} =15V, Inductive Load, Ta=25°C,	--	37	--	ns
t _r	Rise Time		--	46	--	
t _{d(off)}	Turn-Off Delay Time		--	130	--	
t _f	Fall Time		--	30	--	
E _{on}	Turn-On Switching Loss	V _{CE} =400V, I _C =40A, V _{GE} =15V,	--	2.1	--	mJ
E _{off}	Turn-Off Switching Loss		--	0.53	--	
E _{ts}	Total Switching Loss		--	2.63	--	
Q _g	Total Gate Charge	V _{CE} =400V, I _C =40A, V _{GE} =15V,	--	94	--	nC
Q _{ge}	Gate to Emitter Charge		--	18	--	
Q _{gc}	Gate to Collector Charge		--	46	--	

Caractéristiques de commutations des diodes sans silicium (charge inductive) :

Pour le IGW40N60F :

Electrical Characteristics of the Diode						
V_F	Diode Forward Voltage	$I_F=20A$	--	1.8	2.6	V
T_{rr}	Reverse Recovery Time	$I_F=20A$ $di/dt=200A/\mu S$	--	80	--	ns
I_{rr}	Diode Peak Reverse Recovery Current		--	6	--	A
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge		--	240	--	nC

Caractéristiques de commutations des diodes avec silicium (charge inductive) :

Pour le IGW60T120 :

Table 4 Maximum rated values

Parameter	Symbol	Note or test condition	Values	Unit	
Repetitive peak reverse voltage	V_{RRM}	$T_{vj} \geq 25^\circ C$	650	V	
Diode forward current, limited by T_{vjmax}	I_F		$T_C = 25^\circ C$	20	A
			$T_C = 100^\circ C$	11	
Diode pulsed current, limited by T_{vjmax}	I_{Fpuls}		30	A	

Table 5 Characteristic values

Parameter	Symbol	Note or test condition	Values			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Diode forward voltage	V_F	$I_F = 10.0 A$	$T_{vj} = 25^\circ C$		1.30	1.60	V
			$T_{vj} = 175^\circ C$		1.55		
Reverse leakage current	I_R	$V_R = 650 V$	$T_{vj} = 25^\circ C$			40	μA
			$T_{vj} = 175^\circ C$		700		

IV- Conclusion sur les IGBT

L'objectif de cette première phase d'itération était d'étudier les caractéristiques des transistors IGBT. En plus de cela, j'ai réalisé la comparaison avec des marques différentes (STMicroelectronics et Infineo). Il fallait aussi comprendre les informations présentes dans les datasheets et expliquer les significations des différentes résistances et éléments qui influent sur le rendement d'un appareil de conversion d'énergie. Pour les résistances, il faudra aller voir la partie 3.

Nous avons vu que les transistors possèdent des caractéristiques en Statique, dynamique et en commutations (charge inductive).

Les résistances qui influent sur le rendement seront détaillés à la fin de ce doc.

On remarque que les différences entre les composants IGBT de STMicroelectronics et Infineon sont globalement les mêmes, l'échelle est la même. En cas de besoin de précision, les caractéristiques présentes dans ce doc permettront d'apporter des valeurs pour chaque IGBT.

J'ai également placé des références de transistors de technologie Si afin de vous donner un ordre d'idée des caractéristiques par rapport à d'autres technologies

Partie 2 : Etude de documentations Mosfet

I- Introduction sur les Transistors Mosfet

Qu'est ce que le transistor MOSFET?

La technologie MOSFET a été créée en 1950, elle s'est imposée sur le marché à l'aide de sa technologie CMOS.

Contrairement au transistor bipolaire, le transistor MOSFET fait appel à un seul type de porteurs de charge, il est donc unipolaire. Le fonctionnement repose sur l'effet du champ électrique appliqué sur la structure métal-oxyde-semiconducteur c'est-à-dire l'électrode de grille, l'isolant (dioxyde de silicium) et la couche semi-conductrice, aussi appelée substrat. Généralement en micro-électronique la couche métallique est remplacée par du silicium polycristallin.

Ils sont portables, utilisent peu d'énergie, ne consomment pas de courant et sont compatibles avec la technologie de traitement du silicium. Leur manque de courant de grille entraîne une impédance d'entrée élevée. Un avantage majeur supplémentaire du MOSFET par rapport à BJT est qu'il constitue la base d'un circuit avec des commutateurs de signaux analogiques. Ils sont utiles dans les systèmes d'acquisition de données et permettent plusieurs entrées de données. Leur capacité de commutation entre différentes résistances contribue au rapport d'atténuation ou modifie le gain des amplificateurs opérationnels. Les MOSFET forment la base des dispositifs de mémoire à semi-conducteurs tels que les microprocesseurs.

Dans quel domaine ?

Il trouve ses applications dans les circuits intégrés numériques, en particulier avec la technologie CMOS, ainsi que dans l'électronique de puissance.

II- Etude du transistor MOSFET : STMicroelectronics

Références pour Tj=25°C	NTB5860NL et NVB5860NL (ONSEMI)	NTP5860NL (ONSEMI)	NTBG014N120M3P (ONSEMI)	SCTH90N65G2V-7 (STMicroelectronics)
Technologie			Sic	Sic
Température maximale de jonction (Tj)	175°C	175°C	175°C	175°C
Tension maximale drain – source	60V	60V	1200V	650V à Tjmax
Rds(On)			20mOhms Max et 14mOhms typique	24mOhms
Courant drain (Id)	220A pour Ta=25°C 156A pour Ta=100°C	220A pour Ta=25°C 156A pour Ta=100°C	IdMax=104A	116A à 25°C 82A à 100°C
Option de Paquet (Package option)	TO-220AB	<i>D²PAK</i>	<i>D²PAK-7L</i>	PowerPAK 10 x 12
Courant pulsé du drain (IDM)	660A pour tp=10us	660A pour tp=10us	660A pour tp=10us	220A
Vgs	+20V	+20V	-10 to 22V	-10V to 22V
Puissance dissipé maximale (Ptot)	283W	283W	454W	484W
Courant de source (diode de corps) Is	130A	130A	92A	
Température de jonction de fonctionnement (Tj) et stockage (Tstg)	-55 to 175°C	-55 to 175°C	-55 to 175°C	-55 to 175°C
Avalanche drain-source à impulsion unique Énergie (L = 0,3 mH) Eas	735mJ	735mJ	418mJ	226mJ
Température du plomb pour la soudure (1/8" du boîtier pendant 10 secondes)TL	260°C	260°C	245°C	
Resistance thermique boîtier de jonction (RthJC)	0.53°C/W	0.53°C/W	0.33°C/W	0.31°C/W
Resistance thermique Jonction Ambiante (RthJA)	28°C/W	28°C/W	40°C/W	40°C/W

Caractéristiques en statique Mosfet en carbure de silicium :

Pour le SCTH90N65G2V-7 :

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{(BR)DSS}$	Drain-source breakdown voltage	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_D = 1\text{ mA}$	650			V
I_{DSS}	Zero gate voltage drain current	$V_{DS} = 650\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}$			10	μA
		$V_{DS} = 650\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}, T_J = 150\text{ }^\circ\text{C}$		10		
I_{GSS}	Gate-body leakage current	$V_{DS} = 0\text{ V}, V_{GS} = -10\text{ to }22\text{ V}$			± 100	nA
$V_{GS(th)}$	Gate threshold voltage	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 1\text{ mA}$	1.9	3.2	5.0	V
$R_{DS(on)}$	Static drain-source on-resistance	$V_{GS} = 18\text{ V}, I_D = 50\text{ A}$		18	24	m Ω
		$V_{GS} = 18\text{ V}, I_D = 50\text{ A}, T_J = 175\text{ }^\circ\text{C}$		27		

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
E_{on}	Turn-on switching energy	$V_{GS} = -5\text{ to }18\text{ V}, V_{DD} = 400\text{ V}, I_D = 50\text{ A},$ $R_G = 2.2\text{ }\Omega$	-	130	-	μJ
E_{off}	Turn-off switching energy		-	210	-	
E_{on}	Turn-on switching energy	$V_{GS} = -5\text{ to }18\text{ V}, V_{DD} = 400\text{ V}, I_D = 50\text{ A},$ $R_G = 2.2\text{ }\Omega, T_C = 150\text{ }^\circ\text{C}$	-	135	-	
E_{off}	Turn-off switching energy		-	200	-	

Caractéristiques en dynamique Mosfet en carbure de silicium :

Pour le SCTH90N65G2V-7 :

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
C_{iss}	Input capacitance	$V_{DS} = 400\text{ V}, f = 1\text{ MHz}, V_{GS} = 0\text{ V}$	-	3380	-	pF
C_{oss}	Output capacitance		-	294	-	pF
C_{riss}	Reverse transfer capacitance		-	49	-	pF
Q_g	Total gate charge	$V_{DD} = 400\text{ V}, I_D = 50\text{ A}, V_{GS} = -5\text{ to }18\text{ V}$	-	157	-	nC
Q_{gs}	Gate-source charge		-	43	-	nC
Q_{gd}	Gate-drain charge		-	42	-	nC
R_g	Gate input resistance	$f = 1\text{ MHz}, I_D = 0\text{ A}$	-	1	-	Ω

Caractéristiques en commutation Mosfet en Carbure de silicium :

Pour le SCTH90N65G2V-7 :

Table 6. Switching times

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{d(on)}$	Turn-on delay time	$V_{DD} = 400\text{ V}, I_D = 50\text{ A},$ $R_G = 2.2\text{ }\Omega, V_{GS} = -5\text{ to }18\text{ V}$	-	26	-	ns
t_f	Fall time		-	16	-	ns
$t_{d(off)}$	Turn-off delay time		-	58	-	ns
t_r	Rise time		-	38	-	ns

Caractéristiques diodes drain-source Mosfet en carbure de silicium :

Pour le SCTH90N65G2V-7(STmicroelectronics) :

Table 7. Reverse SiC diode characteristics

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{SD}	Forward on voltage	$I_F = 30 \text{ A}$, $V_{GS} = 0 \text{ V}$	-	2.5	-	V
t_{rr}	Reverse recovery time	$I_F = 50 \text{ A}$, $di/dt = 4000 \text{ A}/\mu\text{s}$, $V_{DD} = 400 \text{ V}$	-	17	-	ns
Q_{rr}	Reverse recovery charge		-	308	-	nC
I_{RRM}	Reverse recovery current		-	30	-	A

III- Etude du transistor Mosfet : ONSEMI

Références	NTB5860NL (ONSEMI)	NTP5860NL (ONSEMI)	NVB5860NL(ONSEMI)	NTBG014N120M3P (ONSEMI)
Technologie	/			Sic
Température maximale de jonction (Tj)	175°C	175°C	175°C	175°C
Tension maximale drain – source	60V	60V	60V	1200V
Rds(On)	/			20mOhms Max et 14mOhms typique
Courant drain (Id)	220A pour Ta=25°C 156A pour Ta=100°C	220A pour Ta=25°C 156A pour Ta=100°C	220A pour Ta=25°C 156A pour Ta=100°C	IdMax=104A
Option de Paquet (Package option)	TO-220AB	<i>D²PAK</i>	<i>D²PAK</i>	<i>D²PAK-7L</i>
Courant pulsé du drain (IDM)	660A pour tp=10us	660A pour tp=10us	660A pour tp=10us	660A pour tp=10us
Vgs	+20V	+20V	+20V	-10 to 22V
Puissance dissipé maximale (Ptot)	283W	283W	283W	454W
Courant de source (diode de corps) Is	130A	130A	130A	92A
Température de jonction de fonctionnement (Tj) et stockage (Tstg)	-55 to 175°C	-55 to 175°C	-55 to 175°C	-55 to 175°C
Avalanche drain-source à impulsion unique Énergie (L = 0,3 mH) Eas	735mJ	735mJ	735mJ	418mJ
Température du plomb pour la soudure (1/8" du boîtier pendant 10 secondes)TL	260°C	260°C	260°C	245°C
Resistance thermique boîtier de jonction (RthJC)	0.53°C/W	0.53°C/W	0.53°C/W	0.33°C/W
Resistance thermique Jonction Ambiante (RthJA)	28°C/W	28°C/W	28°C/W	40°C/W

Caractéristiques statique Non silicium :

Pour ceux de la marque ONSEMI :

OFF CHARACTERISTICS

Drain-to-Source Breakdown Voltage	$V_{(BR)DSS}$	$V_{DS} = 0 \text{ V}, I_D = 250 \mu\text{A}$	60			V
Drain-to-Source Breakdown Voltage Temperature Coefficient	$V_{(BR)DSS}/T_J$	$I_D = 250 \mu\text{A}$		6.1		mV/°C
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{GS} = 0 \text{ V}$ $V_{DS} = 60 \text{ V}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$			1.0
		$V_{GS} = 0 \text{ V}$ $V_{DS} = 60 \text{ V}$	$T_J = 125^\circ\text{C}$			100
Gate-Source Leakage Current	I_{GSS}	$V_{DS} = 0 \text{ V}, V_{GS} = \pm 20 \text{ V}$				± 100
						nA

Caractéristiques Statique Silicium :

Pour le NTBG014N120M3P :

OFF-STATE CHARACTERISTICS

$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	$V_{GS} = 0 \text{ V}, I_D = 1 \text{ mA}$	1200			V
$V_{(BR)DSS} / T_J$	Drain-to-Source Breakdown Voltage Temperature Coefficient	$I_D = 1 \text{ mA}, \text{ refer to } 25^\circ\text{C}$		0.3		mV/°C
I_{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current	$V_{GS} = 0 \text{ V}, V_{DS} = 1200 \text{ V},$ $T_J = 25^\circ\text{C}$				100
I_{GSS}	Gate-to-Source Leakage Current	$V_{GS} = +22/-10 \text{ V}, V_{DS} = 0 \text{ V}$				± 1
						μA

Caractéristiques dynamique non carbure de silicium :

Pour ceux de la marque ONSEMI :

ON CHARACTERISTICS (Note 2)

Gate Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250 \mu\text{A}$	1.0		3.0	V
Threshold Temperature Coefficient	$V_{GS(th)}/T_J$			-7.7		mV/°C
Drain-to-Source On-Resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10 \text{ V}, I_D = 20 \text{ A}$		2.4	3.0	mΩ
		$V_{GS} = 4.5 \text{ V}, I_D = 20 \text{ A}$		2.8	3.6	
Forward Transconductance	g_{FS}	$V_{DS} = 15 \text{ V}, I_D = 30 \text{ A}$		47		S

Caractéristiques dynamique carbure de silicium :

Pour le NTBG014N120M3P :

ON-STATE CHARACTERISTICS

$V_{GS(TH)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 37 \text{ mA}$	2.08	3.0	4.63	V
V_{GOP}	Recommended Gate Voltage		-3		+18	V
$R_{DS(on)}$	Drain-to-Source On Resistance	$V_{GS} = 18 \text{ V}, I_D = 74 \text{ A}, T_J = 25^\circ\text{C}$		14	20	$\text{m}\Omega$
		$V_{GS} = 18 \text{ V}, I_D = 74 \text{ A}, T_J = 175^\circ\text{C}$		29		$\text{m}\Omega$
		$V_{GS} = 15 \text{ V}, I_D = 74 \text{ A}, T_J = 25^\circ\text{C}$		16	27	$\text{m}\Omega$
		$V_{GS} = 15 \text{ V}, I_D = 74 \text{ A}, T_J = 150^\circ\text{C}$		27		$\text{m}\Omega$
g_{FS}	Forward Transconductance	$V_{DS} = 10 \text{ V}, I_D = 74 \text{ A}$		29		S

Capacité et charge et résistance de grille non carbure de silicium :

Pour ceux de la marque ONSEMI :

Input Capacitance	C_{iss}	$V_{DS} = 25 \text{ V}, V_{GS} = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}$		13216		pF
Output Capacitance	C_{oss}			1127		
Transfer Capacitance	C_{rss}			752		
Total Gate Charge	$Q_{G(TOT)}$	$V_{GS} = 10 \text{ V}, V_{DS} = 48 \text{ V}, I_D = 40 \text{ A}$		220		nC
Threshold Gate Charge	$Q_{G(TH)}$			13		
Gate-to-Source Charge	Q_{GS}			37		
Gate-to-Drain Charge	Q_{GD}			54		

Capacité et charge et résistance de grille carbure de silicium :

Pour le NTBG014N120M3P :

CHARGES, CAPACITANCES & GATE RESISTANCE

C_{iss}	Input Capacitance	$V_{GS} = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}, V_{DS} = 800 \text{ V}$		6313		pF
C_{oss}	Output Capacitance			259		
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance			27		
$Q_{G(TOT)}$	Total Gate Charge	$V_{GS} = -3/18 \text{ V}, V_{DS} = 800 \text{ V}, I_D = 74 \text{ A}$		337		nC
$Q_{G(TH)}$	Threshold Gate Charge			43		
Q_{GS}	Gate-to-Source Charge			78		
Q_{GD}	Gate-to-Drain Charge			98		
R_G	Gate Resistance	$f = 1 \text{ MHz}$		1.4		Ω

Caractéristiques en commutation non carbure de silicium :

Pour ceux de la marque ONSEMI :

SWITCHING CHARACTERISTICS, $V_{GS} = 10\text{ V}$ (Note 3)						
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	$V_{GS} = 10\text{ V}, V_{DD} = 48\text{ V},$ $I_D = 100\text{ A}, R_G = 2.5\ \Omega$		25		ns
Rise Time	t_r			58		
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$			98		
Fall Time	t_f			144		

Caractéristiques en commutation carbure de silicium :

Pour le NTBG014N120M3P :

$t_{d(ON)}$	Turn-On Delay Time	$V_{GS} = -3/18\text{ V}, V_{DS} = 800\text{ V}$ $I_D = 74\text{ A}, R_G = 2\ \Omega$ Inductive Load (Note 6)		24		ns
t_r	Rise Time			40		
$t_{d(OFF)}$	Turn-Off Delay Time			74		
t_f	Fall Time			14		
E_{ON}	Turn-On Switching Loss			1331		μJ
E_{OFF}	Turn-Off Switching Loss			620		
E_{TOT}	Total Switching Loss		1951			

Caractéristiques diode drain source non carbure de silicium :

Pour ceux de la marque ONSEMI :

DRAIN-SOURCE DIODE CHARACTERISTICS						
Forward Diode Voltage	V_{SD}	$V_{GS} = 0\text{ V}$ $I_S = 40\text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	0.78	1.1	V_{dc}
			$T_J = 125^\circ\text{C}$	0.60		
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_S = 100\text{ A},$ $di_S/dt = 20\text{ A}/\mu\text{s}$		50		ns
Charge Time	t_a			25		
Discharge Time	t_b			25		
Reverse Recovery Stored Charge	Q_{RR}				71	

Caractéristiques diode drain source carbure de silicium :

Pour le NTBG014N120M3P (ONSEMI) :

DRAIN-SOURCE DIODE CHARACTERISTICS

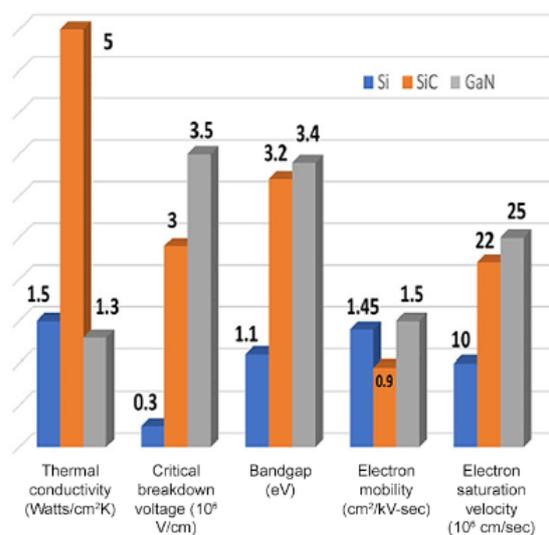
I_{SD}	Continuous Drain-Source Diode Forward Current	$V_{GS} = -3\text{ V}, T_C = 25^\circ\text{C}$			92	A
I_{SDM}	Pulsed Drain-Source Diode Forward Current (Note 3)	$V_{GS} = -3\text{ V}, T_C = 25^\circ\text{C}$			257	A
V_{SD}	Forward Diode Voltage	$V_{GS} = -3\text{ V}, I_{SD} = 74\text{ A}, T_J = 25^\circ\text{C}$		5.1		V
t_{RR}	Reverse Recovery Time	$V_{GS} = -3/18\text{ V}, I_{SD} = 74\text{ A}, \frac{dI_S}{dt} = 1000\text{ A}/\mu\text{s}, V, V_{DS} = 800\text{ V}$		37		ns
Q_{RR}	Reverse Recovery Charge			347		nC
E_{REC}	Reverse Recovery Energy			12		μJ
I_{RRM}	Peak Reverse Recovery Current			19		A
t_A	Charge Time			19		ns
t_B	Discharge Time			17		ns

IV- Conclusion sur les Mosfets

Les mosfets étudiés ont plus de différence entre eux par rapport aux IGBT. Les valeurs de Tensions maximales, courant maximal qu'ils peuvent supporter, temps de commutation etc.. Ils varient beaucoup en fonction du composant choisi. En revanche les valeurs de résistances thermiques sont globalement identiques.

La technologie SiC permet de réduire les coûts du système grâce à l'efficacité énergétique, à la taille réduite du système et à la fiabilité.

Pour surmonter les défis de conception : les propriétés du SiC permettent aux concepteurs de développer des dispositifs plus petits qui fonctionnent plus froid, commutent plus rapidement et fonctionnent à des tensions plus élevées.



On voit sur ce graphique la différence de performance entre les technologies SiC, Si et GaN. La conductivité thermique est plus importante pour le SiC, les électrons sont moins excités donc moins d'échauffements.

Partie 3 - Pertes d'énergie dans les transistors

La puissance totale dissipé par un IGBT s'exprime comme cela :

$$P_{TOT} = \frac{T_{Jmax} - T_C}{R_{th(J-C)}} = V_{CE} \cdot I_C$$

T_{Jmax} : Température maximale de jonction en °C

T_C : Température du collecteur en °C

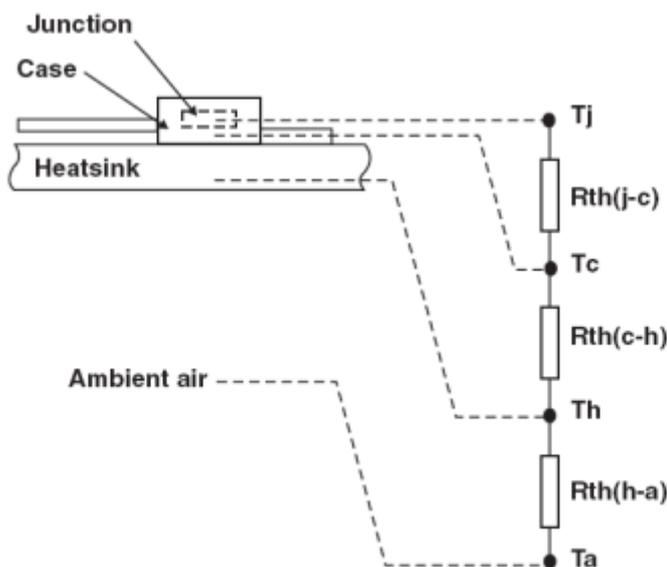
R_{th(J-C)} : Résistance thermique du boîtier de jonction en °C/W

V_{ce} : Tension entre collecteur et émetteur

I_c : Courant collecteur

En réalité, les pertes dépendent de la résistances thermiques de la jonction jusqu'à l'air ambiant.

$$R_{th(j-a)} = R_{th(j-c)} + R_{th(c-h)} + R_{th(h-a)}$$



R_{th(j-a)} : Résistance thermique de la jonction jusqu'à l'air ambiant

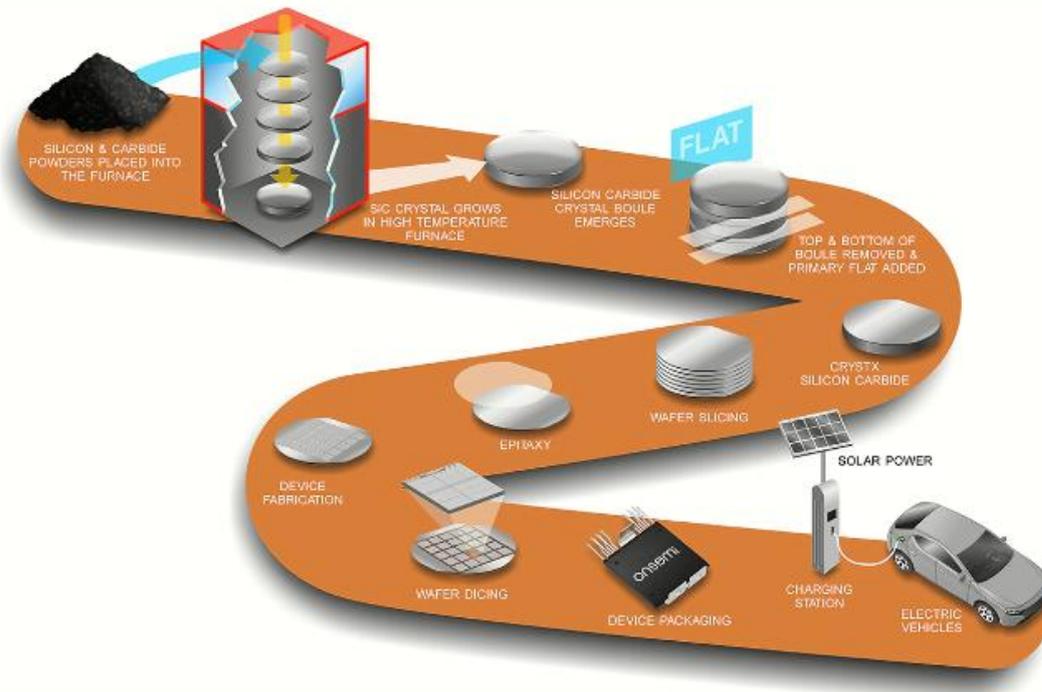
R_{th(j-c)} : Résistance thermique de la jonction de l'appareil au boîtier de l'appareil. C'est la R_{th} lorsque l'emballage est monté sur le dissipateur thermique infini.

R_{th(c-h)} : la résistance thermique de contact entre le boîtier de l'appareil et le dissipateur thermique

R_{th(h-a)} : résistance thermique du dissipateur thermique à l'environnement

$$T_J = T_{Jstart} + \Delta T_J = T_{Jstart} + Z_{thJc}(t_p, \delta) \times P_{tot} = T_{Jstart} + k(t_p, \delta) \times R_{thJc} \times P_{tot}$$

Partie 4 : Cycle de vie du silicium (Si) et du carbure de silicium (SiC)



Le graphique montre le cycle de vie du silicium de l'extraction de matière première jusqu'à l'installations de module photovoltaïque par exemple.

Partie 5 : Conclusion Générale

L'objectif de cette itération était d'étudier les caractéristiques des transistors Mosfets et IGBT. Il fallait par la suite se concentrer sur les causes de pertes d'énergie dans ces composants puis finir par se concentrer sur la technologie Silicium pour les IGBT et carbure de silicium pour les Mosfet. On en conclut que cette technologie est une technologie d'avenir. En effet son potentiel est en plein développement. Elle est aujourd'hui majoritairement utilisée pour développer des installations solaires (module photovoltaïque). Les transistors IGBT et Mosfet ont tous deux des caractéristiques intéressantes. Mais ils ne sont pas performants pour toutes les situations. Par exemple, on préférera utiliser un Mosfet si on veut des temps de commutation très rapide à moyenne fréquence. En revanche, si on veut monter en fréquence et en puissance, le transistor IGBT sera plus approprié. L'échauffement est la principale cause de pertes énergétiques. Ceci est dû au courant qui traverse le composant, à la température extérieure et intérieure du transistor et aux commutations.

Ce document apporte toutes les informations concernant les caractéristiques des transistors avec des exemples pour les technologies demandées. Les formules de résistance et les valeurs associées sont disponibles sur ce doc.

Merci pour ce travail très intéressant pour la découverte de la technologie Silicium.