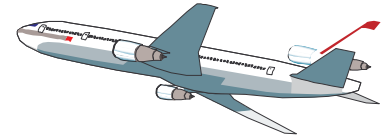


EVALUATION : LA GÉNÉRATION ÉLECTRIQUE EN AÉRONAUTIQUE

Temps imparti = 1 heure ;
Tous documents autorisés excepté la copie du voisin(e)
Lire tout l'énoncé avant de commencer.



Le besoin en énergie électrique à bord des avions est sans cesse croissant. Cette tendance tend à se renforcer avec le futur avion « tout électrique » dont les commandes de vol seront mues par des motorisations électriques.

La structure simplifiée d'un réseau électrique de bord est représentée par le schéma de la *figure 1*.

En vol, la génération électrique d'un avion est fondamentalement assurée par un **alternateur triphasé** associé à chaque réacteur. Au sol, le *réseau aéroportuaire*, s'il existe, se substitue à l'alternateur par la *prise de parc*.

La distribution s'effectue en alternatif triphasé **115 V/200 V - 400 Hz** via le *cœur électrique* qui inclut :

- . un module de régulation de la tension de l'alternateur U_{GS} ;
- . un module de désexcitation rapide de l'alternateur ;
- . un module de protection des circuits distribués.

Le cœur électrique alimente la *barre normale* (jeu de barres). Jusqu'à présent, la fréquence constante (400 Hz) est obtenue par des moyens hydro- ou électromécaniques.

Les tous derniers progrès observés en *Electronique à grande vitesse* laissent entrevoir le développement de nouveaux systèmes de génération électrique, notamment la suppression du système de régulation hydro- ou électromécanique. La tendance est donc à des entraînements à grande vitesse variable.

Afin d'assurer la sécurité de l'appareil à tout moment, même en cas de perte des alternateurs, certains organes vitaux de l'avion (ordinateurs de bord, commandes de vol électriques, ...) doivent continuer à être alimentés; Ces organes sont connectés à la *barre essentielle courant alternatif monophasé (AC)* qui est elle-même alimentée :

- . en configuration normale, par un des alternateurs via la barre normale ;
- . en cas de perte des sources de génération principale, par un **Générateur Dernier Secours**.

Le Générateur Dernier Secours est principalement composé d'un convertisseur statique monophasé alimenté par les batteries via la *barre essentielle courant continu (DC)*.

Un *dispositif de commutation Normal/Secours* entièrement automatique assure :

- . la commande de démarrage du Générateur Dernier Secours ;
- . l'alimentation de la barre essentielle courant alternatif ;
- . l'isolement de la barre essentielle courant alternatif de la barre normale.

Les valeurs typiques relatives à l'avion de type AIRBUS A 320 sont :

- puissance nominale d'un alternateur : 90 kVA (triphase) ;
- puissance nominale du Générateur Dernier Secours : 1 kVA (monophasé) ;
- tension nominale des batteries : 28 V.

ÉTUDE DU GÉNÉRATEUR DERNIER SECOURS

Le Générateur Dernier Secours permet de reconstituer un réseau alternatif 115 V/400 Hz monophasé à partir d'une alimentation de 28 V en courant continu.

On ne se préoccupe pas des dispositifs :- de démarrage du Générateur Dernier Secours ;
- de surveillance (de sa tension d'alimentation, de la température...).

CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU GÉNÉRATEUR

- . Tension d'entrée : $V_{\text{bat}} = 17 \text{ à } 32 \text{ V}$ (28 V nominal).
- . Tension de sortie : $V_S = 115 \text{ V} \pm 5 \text{ V}$
- . Fréquence de sortie : $f_S = 400 \text{ Hz} \pm 1 \%$
- . Puissance nominale : $P_S = 1000 \text{ VA}$.
- . Facteur de puissance : $0,7 \text{ AR} \leq \cos \phi \leq 1$.
- . Distorsion de la tension de sortie (sur charge linéaire) :- partielle : $d_p < 3 \%$;
- globale : $d_T < 5\%$.

Le Générateur Dernier Secours est un convertisseur direct Continu - Alternatif (génération avion Airbus A 310).

Ce convertisseur dont la structure est indiquée à la *figure 2*, est constitué d'un transformateur associé à deux interrupteurs monté en push-pull parallèle.

Les IGBT permettent d'appliquer au transformateur des impulsions d'amplitude égale à celle de la tension aux bornes des batteries et dont la largeur varie suivant une loi de modulation sinusoïdale.

Un filtre passe bas connecter au secondaire du transformateur permet d'obtenir une tension V_S sinusoïdale.

👉 Sous prétexte de simplifié cette évaluation, Mr Dehaupas en accord avec lui-même, a décidé pour cette partie de remplacer la commande en modulation sinusoïdale par une *commande* « pleine onde » (document réponses) ce qui revient au même d'un point de vue valeur moyenne du courant dans les semi-conducteurs.

4 pts 🖋️ .1) En fonction de la forme des signaux de commande SW1 et SW2, en déduire les chronogrammes de V_{ce1} , V_{ce2} , V_t et V_s , préciser la valeur de la période. (Voir document réponses)

📁 Le courant dans la charge (et aussi dans les batteries) étant non linéaire et déphasé par rapport à la tension (déphasage d'environ 45° entre les fondamentales tensions et courants). Pour simplifier, *on considérera pour la suite du problème* les valeurs suivantes :

- courant maximum dans un transistor = **35 A**
- Courant moyen dans un transistor = **13 A**
- courant maximum dans une diode = **35 A**
- Courant moyen dans une diode = **8 A**
- Courant efficace dans une diode = **21 A**

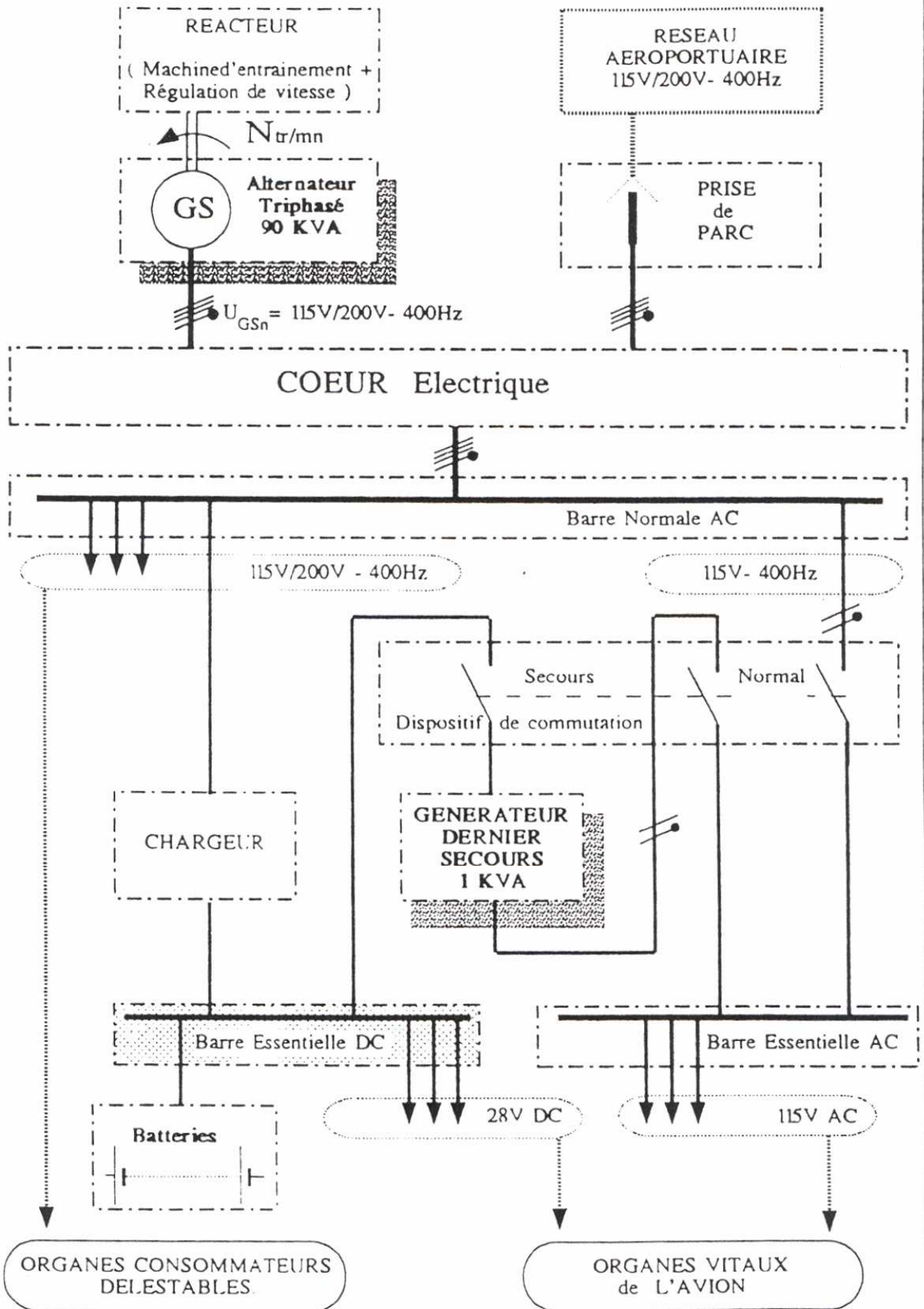
4 pts 🖋️ .2) Montrer que les composants **IRG4PH40K** et **SKN 2F50/04** conviennent.

4 pts 🖋️ .3) Déterminer les pertes par conduction dans une diode, les pertes par commutation sont négligeables. ($T_{vj} = 150^\circ\text{C}$)

4 pts 🖋️ 4) Déterminer les pertes par conduction et par commutation dans un transistor IGBT.
($V_{GE} = \pm 15 \text{ V}$, $R_G = 10 \Omega$, $T_j = 150^\circ\text{C}$)

4 pts 🖋️ .5) Déterminer la résistance thermique du dissipateur ayant un couple diode, transistor monté dessus. Cette valeur est-elle une valeur minimale ou maximale ? ($T_a = 15^\circ\text{C}$)

**SCHEMA ELECTRIQUE SIMPLIFIE D'UN RESEAU DE BORD
EN AERONAUTIQUE. (Figure 1)**



(Valeurs typiques relatives à l'avion de type AIRBUS A320)

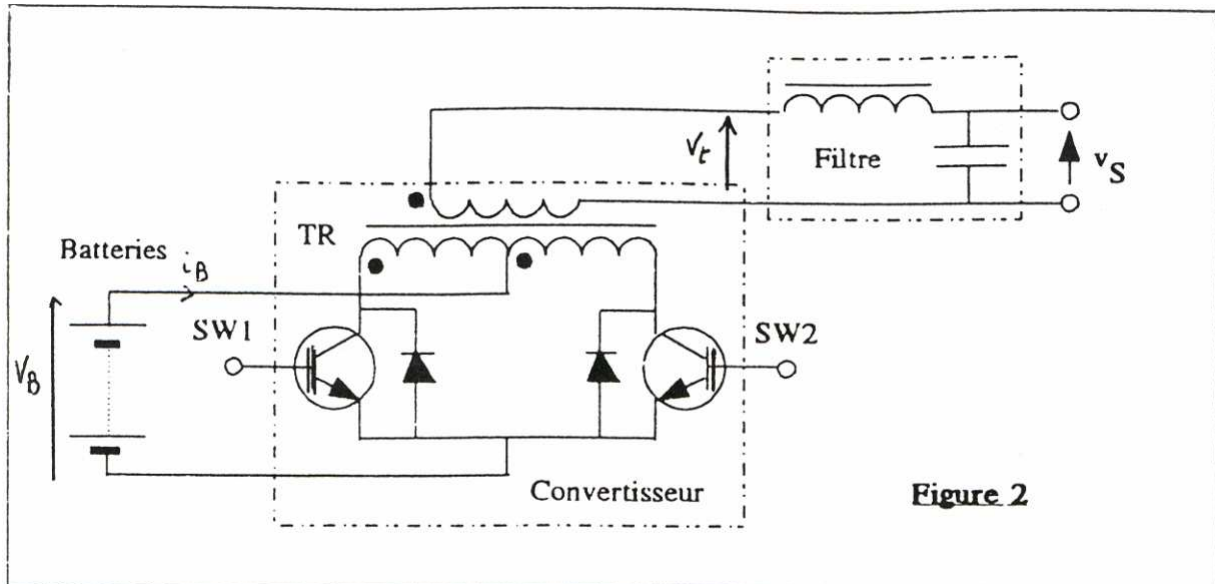


Figure 2

International
IR Rectifier

INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR

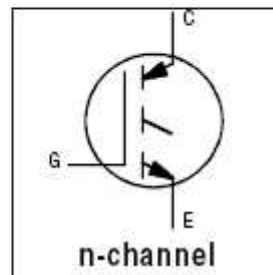
PD - 91578B

IRG4PH40K

Short Circuit Rated
 UltraFast IGBT

Features

- High short circuit rating optimized for motor control, $t_{sc} = 10\mu s$, $V_{CC} = 720V$, $T_J = 125^\circ C$, $V_{GE} = 15V$
- Combines low conduction losses with high switching speed
- Latest generation design provides tighter parameter distribution and higher efficiency than previous generations



$V_{CES} = 1200V$
$V_{CE(on) typ.} = 2.74V$
@ $V_{GE} = 15V, I_C = 15A$

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units
V_{CES} Collector-to-Emitter Voltage	1200	V
$I_C @ T_C = 25^\circ C$ Continuous Collector Current	30	A
$I_C @ T_C = 100^\circ C$ Continuous Collector Current	15	
I_{CM} Pulsed Collector Current ①	60	
I_{LM} Clamped Inductive Load Current ②	60	
t_{sc} Short Circuit Withstand Time	10	μs
V_{GE} Gate-to-Emitter Voltage	± 20	V
E_{ARV} Reverse Voltage Avalanche Energy ③	180	mJ
$P_D @ T_C = 25^\circ C$ Maximum Power Dissipation	160	W
$P_D @ T_C = 100^\circ C$ Maximum Power Dissipation	65	
T_J Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +150	$^\circ C$
Soldering Temperature, for 10 sec.	300 (0.063 in. (1.6mm) from case)	
Mounting torque, 6-32 or M3 screw.	10 lbf·in (1.1N·m)	

Thermal Resistance

Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$ Junction-to-Case	—	0.77	$^\circ C/W$
$R_{\theta CS}$ Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.24	—	
$R_{\theta JA}$ Junction-to-Ambient, typical socket mount	—	40	
Wt Weight	6 (0.21)	—	g (oz)

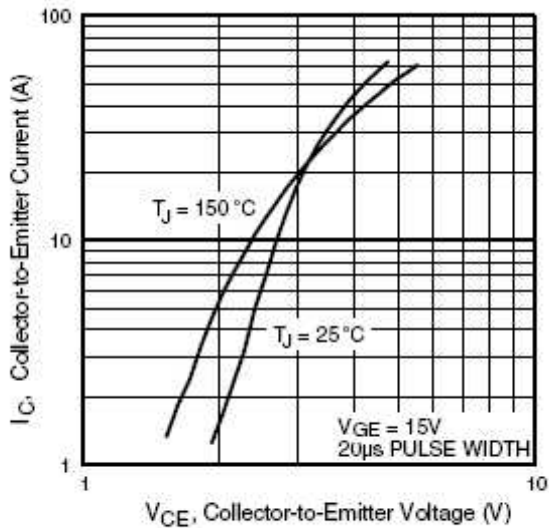


Fig. 2 - Typical Output Characteristics

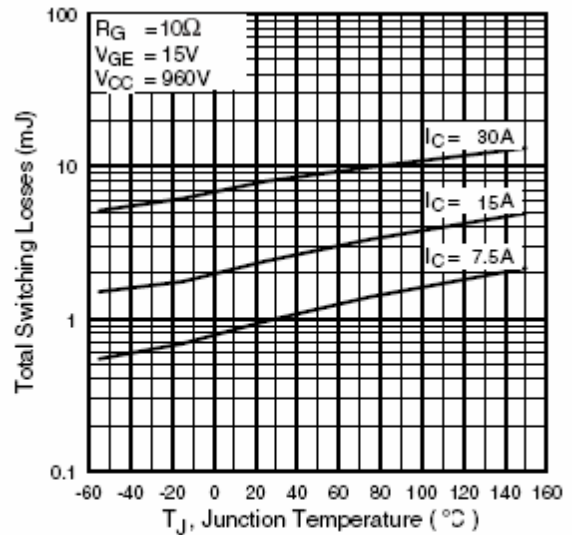


Fig. 10 - Typical Switching Losses vs. Junction Temperature

SKN 2F50



Stud Diode

Fast Recovery Rectifier Diode

SKN 2F50

Features

- Small recovered charge
- Soft recovery
- Up to 1000 V reverse voltage
- Hermetic metal case with glass insulator
- Threaded stud ISO M6 or 1/4-28 UNF
- SKN: anode to stud

Typical Applications

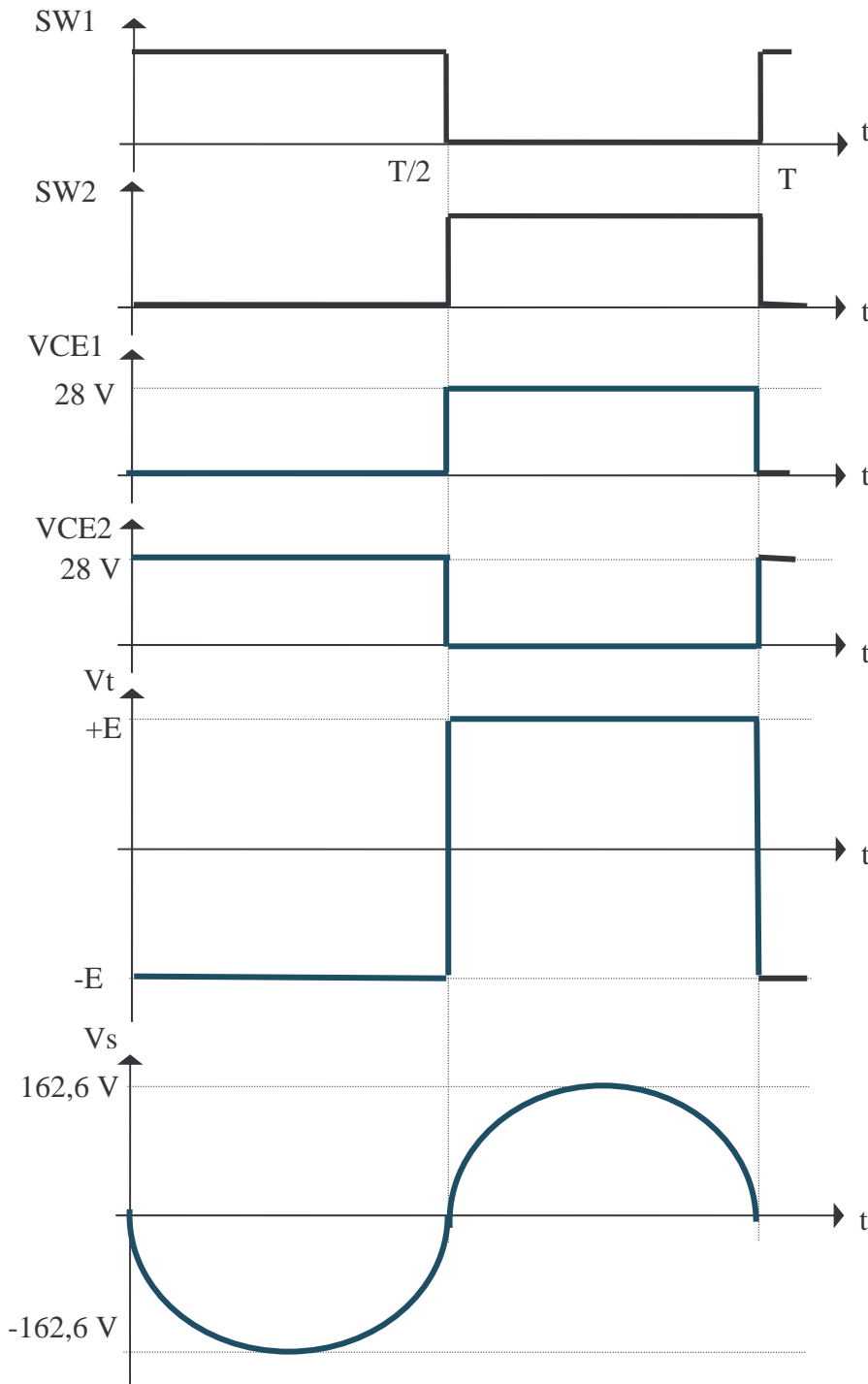
- Inverse diodes for power transistors, GTO thyristors, asymmetric thyristors
- SMPS, inverters, choppers
- For severe ambient conditions

V_{RSM} V	V_{RRM} V	$I_{FRMS} = 100$ A (maximum value for continuous operation) $I_{FAV} = 50$ A (sin. 180; 5000 Hz; $T_c = 105$ °C)
400	400	SKN 2F50/04
400	400	SKN 2F50/04UNF
600	600	SKN 2F50/06
600	600	SKN 2F50/06UNF
800	800	SKN 2F50/08
800	800	SKN 2F50/08UNF
1000	1000	SKN 2F50/10
1000	1000	SKN 2F50/10UNF

Symbol	Conditions	Values	Units
I_{FAV}	sin. 180; $T_c = 85$ (100) °C	69 (57)	A
I_{FAV}	K3; $T_a = 45$ °C; sin. 180; 5000 Hz	18	
I_{FSM}	$T_{vj} = 25$ °C; 10 ms	1100	A
	$T_{vj} = 150$ °C; 10 ms	940	A
i^2t	$T_{vj} = 25$ °C; 8,3 ... 10 ms	6000	A ² s
	$T_{vj} = 150$ °C; 8,3 ... 10 ms	4400	A ² s
V_F	$T_{vj} = 25$ °C; $I_F = 50$ A	max. 1,8	V
$V_{(TO)}$	$T_{vj} = 150$ °C	max. 1,2	V
r_T	$T_{vj} = 150$ °C	max. 4	mΩ
I_{RD}	$T_{vj} = 25$ °C; $V_{RD} = V_{RRM}$	max. 0,4	mA
I_{RD}	$T_{vj} = 130$ °C; $V_{RD} = V_{RRM}$	max. 50	mA
Q_{rr}	$T_{vj} = 130$ °C; $I_F = 100$ A, $-di/dt = 30$ A/μs, $V_R = 30$ V	3	μC
I_{RM}		10	A
t_{rr}		600	ns
E_{rr}		-	mJ
$R_{th(j-c)}$		0,5	K/W
$R_{th(c-s)}$		0,25	K/W
T_{vj}		- 40 ... + 150	°C
T_{stg}		- 55 ... + 150	°C
V_{isol}		-	V~
M_s	to heatsink	2,5	Nm
a		$5 \cdot 9,81$	m/s ²
m	approx.	20	g
Case		E 10	

Document réponses correction

Question 1



Question 3

Pertes dans une diode

$$\begin{aligned} \langle I \rangle &= 8 \text{ A} \\ I_{\text{eff}} &= 21 \text{ A} \\ V_o &= 1,2 \text{ V} \\ R_t &= 4 \text{ m}\Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= V_o \cdot \langle I \rangle + R_t \cdot I^2 \\ P &= 1,2 \cdot 8 + 0,004 \cdot 21^2 \end{aligned}$$

$$\mathbf{P = 11,4 \text{ W}}$$

Question 4

Pertes dans un transistor

Par conduction

$$\begin{aligned} P_c &= V_{ce} \cdot \langle I_c \rangle \\ P_c &= 2,74 \cdot 13 \end{aligned}$$

$$\mathbf{P_c = 35,6 \text{ W}}$$

Par commutation

Lecture courbe :

$$\begin{aligned} E &= 5 \text{ mJ à } 960 \text{ V} \\ \text{D'où a } &28 \text{ V } \quad 5 \cdot 28 / 960 \\ E &= 0,15 \text{ mJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_s &= E \cdot F \\ P_s &= 0,00015 \cdot 400 \end{aligned}$$

$$\mathbf{P_s = 60 \text{ mW}}$$

Question 2

	Montage	diode	IGBT
$\langle I \rangle$	8A et 13A	< 18 A	15 A
I_{max}	35 A	< 100 A	60A
V_{max}	32 V	< 400V	1200V
Periode	2,5 ms	> 600 ns	10 μ s

Question 5

Dissipateur thermique :

$$R_{th_{r-a}} \leq \frac{T_j - T_a}{P_t} - \frac{(R_{th_{j-c}} + R_{th_{c-r}}) \cdot (R_{th_{j-c}} + R_{th_{c-r}})}{R_{th_{j-c}} + R_{th_{c-r}} + R_{th_{j-c}} + R_{th_{c-r}}}$$

$$R_{th_{r-a}} \leq \frac{150 - 15}{11,4 + 35,66} - \frac{(0,5 + 0,25) \cdot (0,77 + 0,24)}{0,5 + 0,25 + 0,77 + 0,24}$$

$$\mathbf{R_{th_{r-a}} \leq 2,43 \text{ } ^\circ\text{C/W}}$$