

Examen de Electrónica de Potencia

13 de diciembre de 2016

Problema 1

Con el objetivo de compensar reactiva en una red de 400 Vca / 50 Hz se le conecta un inversor trifásico mediante una inductancia de desacople de $300 \mu\text{Hy}$. El mismo se alimenta de un bus de continua de 600 Vdc. Cada rama se implementa con cuatro llaves como se muestra en la figura 1, y se comanda de modo de obtener una tensión de fase como se muestra en la figura 2.

- Indicar para un período completo:
 - Cómo deben ser los comandos de cada una de las llaves.
 - Qué elementos conducen en cada momento si el inversor está **entregando** reactiva a la red, con flujo de activa nulo. Explicar en qué sentido mide la corriente.
- Si se fija $\alpha_2 = 90^\circ$, determinar α_1 de modo de eliminar el quinto armónico y maximizar el valor eficaz.
- Para la situación de b) determinar el valor eficaz del primer armónico de corriente no eliminado.
- Para la situación de b) dibujar la tensión de fase y la compuesta en bornes del inversor.

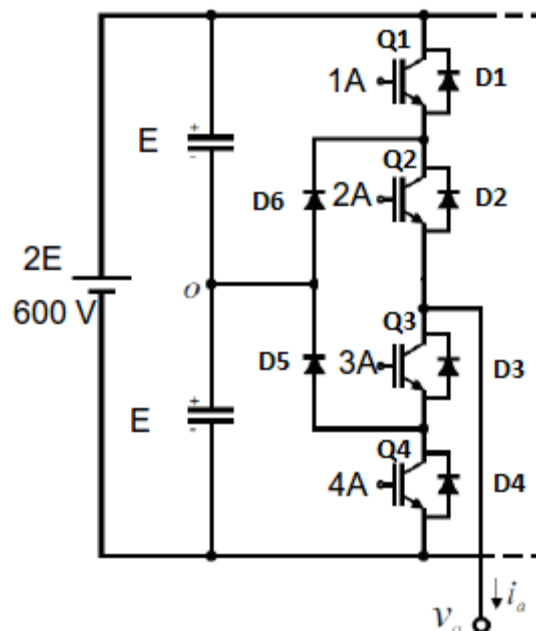


Figura 1: Una rama conectada al bus de continua

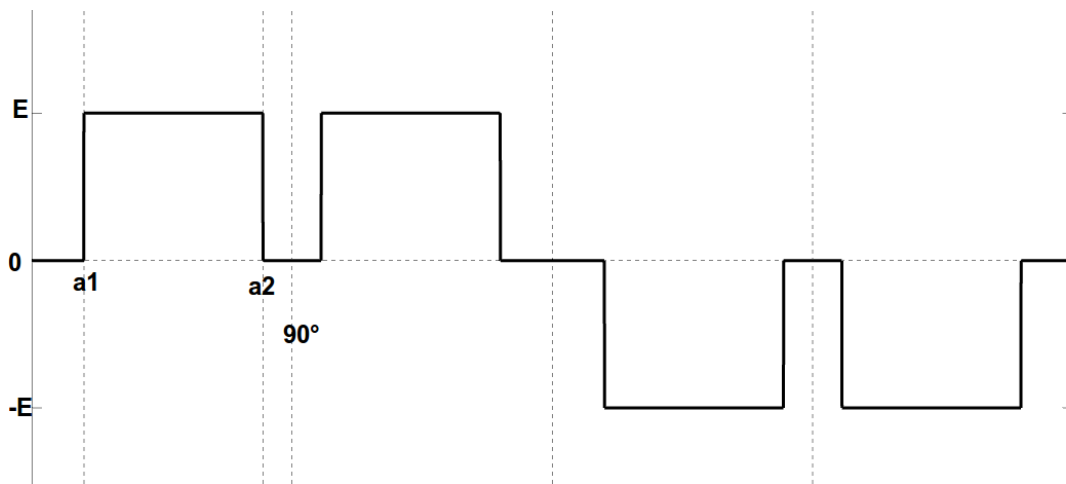
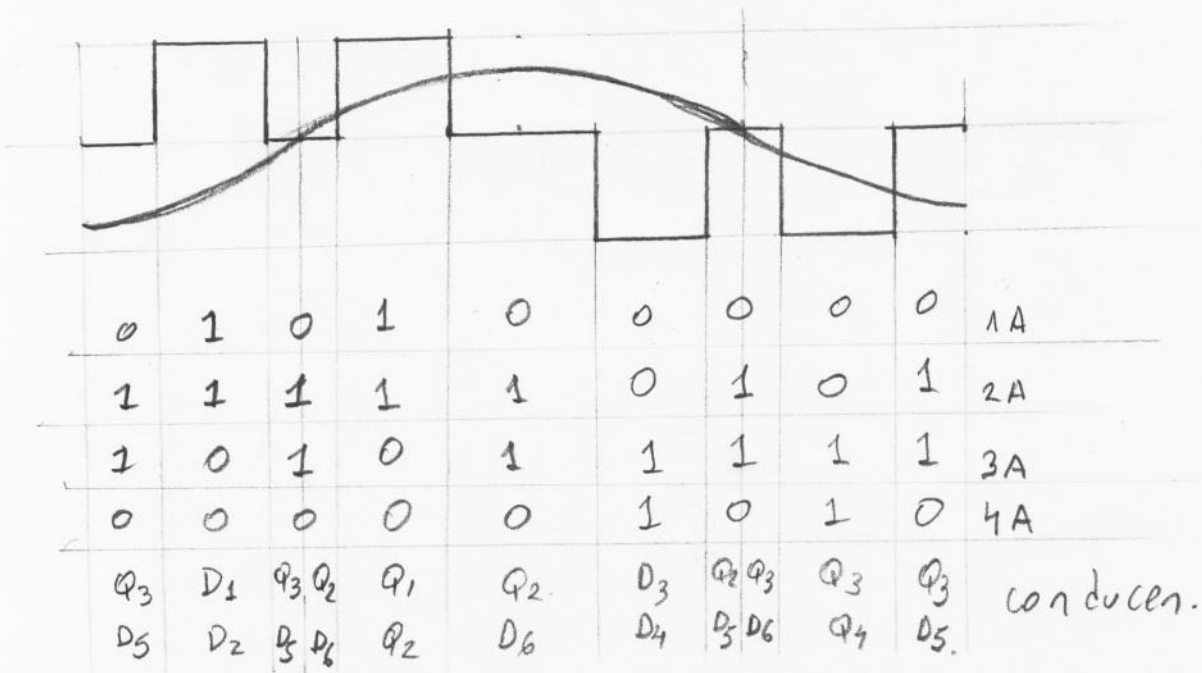
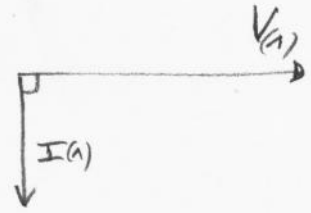


Figura 2: Tensión de una rama

13/12/2016

Problema 1

a) midiendo la corriente saliente:



$$b) \quad V_{AO(n)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{4}{2\pi} \cdot 2 \cdot E \left| \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin(n\theta) d\theta \right| = \frac{2\sqrt{2}}{\pi n} E \left| \cos n\alpha_1 - \cos n\alpha_2 \right|$$

$$V_{AO(s)} = 0 \Rightarrow \cos 5\alpha_1 = \cos 5\alpha_2 = \cos 5 \cdot \frac{\pi}{2} = 0$$

$$\Rightarrow 5\alpha_1 = \frac{\pi}{2} + k\pi$$

$$\alpha_1 = \frac{\pi}{10} + \frac{k\pi}{5}$$

18° → mayor valor eficaz
 54°
 90° → Tensión nula.

$$0 \leq \alpha_1 \leq \frac{\pi}{2}$$

Problema 4 (Cont.)

SE ②

- c) → Armónicos pares no hay por simetría.
→ 3^{er} armónico nulo por no haber neutro.
→ 5^{to} " eliminado explícitamente.
→ 7^{mo} " es el primer no nulo

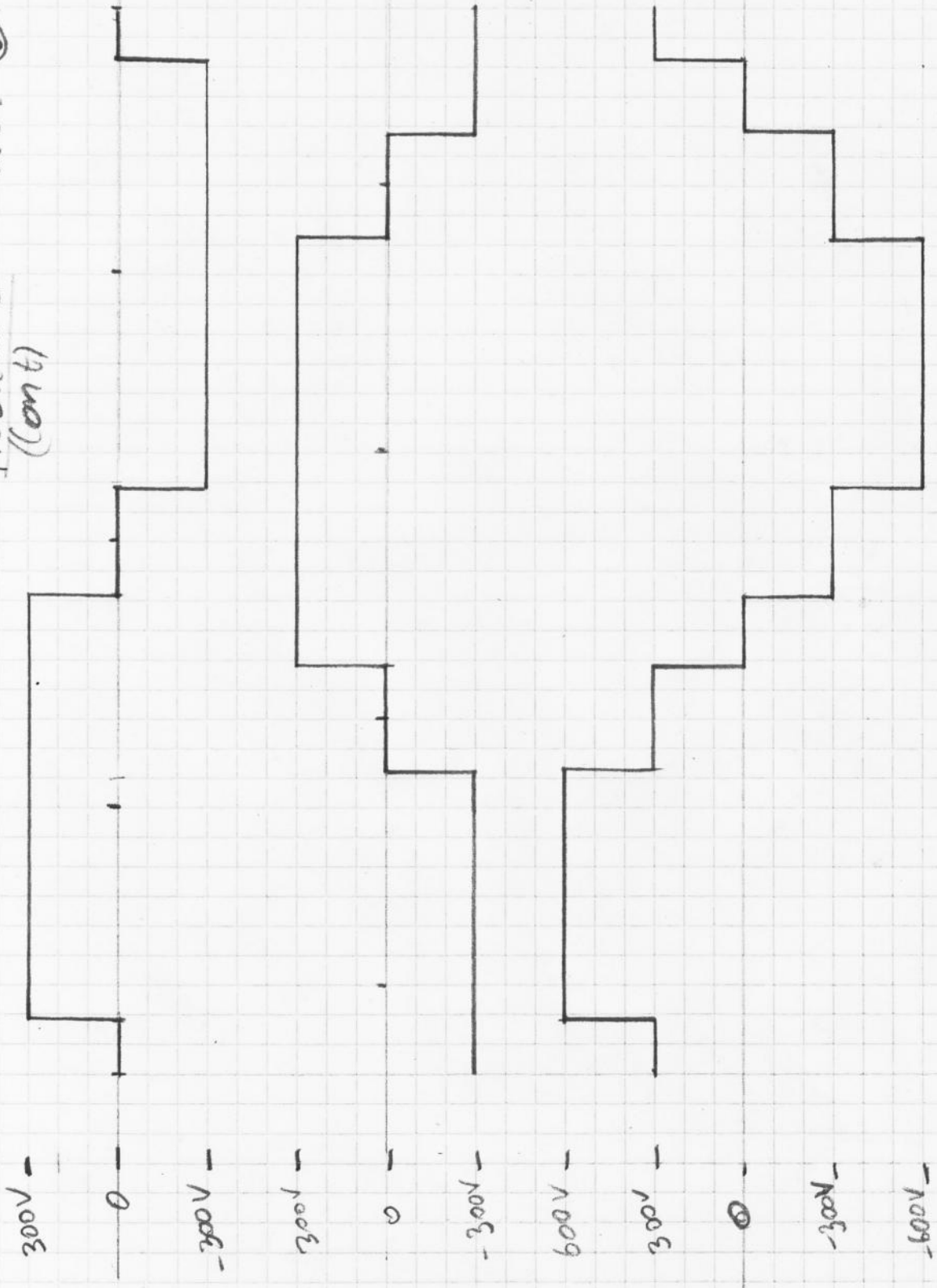
$$I_{ef} = \frac{V_{A0}(7)}{7\omega L}$$

$$V_{A0} = \frac{2\sqrt{2} \cdot 300V}{\pi \cdot 7} \cdot \left| \cos(7 \cdot 18^\circ) - \cos(7 \cdot 90^\circ) \right| = 22,7V$$

$$I_{ef} = \frac{22,7V}{7 \cdot 50Hz \cdot 2 \cdot \pi \cdot 300\mu H} = 34,4A$$

Probleme 1 (cont)

S.E. ③



Examen de Electrónica de Potencia

13 de diciembre de 2016

Problema 2

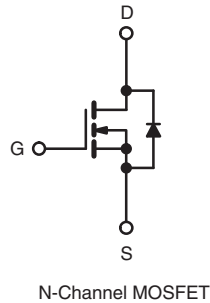
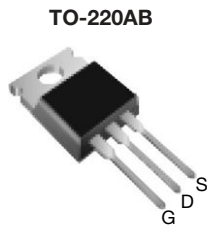
Se desea alimentar de forma aislada a un conjunto de cargas en continua de 48 Vdc que demandarán como máximo 3 A. Se dispone de una alimentación también en continua de 120 Vdc, capaz de entregar la potencia necesaria. La topología a usar debe ser tipo *flyback*, en conducción discontinua. Para el transformador se dispone de un núcleo cuya reluctancia es de $10 \text{ vueltas}^2/\mu\text{Hy}$. Se tiene un control PWM de 30 kHz, y ciclo de trabajo mínimo del 0.05. Se utilizará un MOSFET IRF740 (cuya hoja de datos se adjunta) y se limitará la corriente pico por el mismo a 5 A, utilizándose al máximo.

- a) Determinar el número de vueltas del primario y secundario.
- b) Calcular la carga mínima que siempre se debe consumir para lograr un correcto funcionamiento. Expresar el resultado en Ohm.
- c) Calcular la máxima potencia disipada en la llave. Explicitar las suposiciones y/o aproximaciones realizadas.
- d) Si se tiene una temperatura ambiente máxima de 40 °C y la temperatura de juntura debe permanecer inferior a 100 °C, ¿puede funcionar este convertidor sin disipador en la llave? En caso afirmativo justificar y en caso negativo calcular la resistencia térmica que debe tener el disipador a colocar.
- e) Determinar la capacitancia de salida para que la tensión salida tenga un ripple menor a 500 mVpp. Asumir despreciable la resistencia serie equivalente del condensador.

- Notas:
- Para las partes a) y b) puede considerar que no hay pérdidas en la conversión.
 - Asumir para la parte c) una temperatura de juntura de 100 °C y utilice los valores hallados en a).

Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY	
V_{DS} (V)	400
$R_{DS(on)}$ (Ω)	$V_{GS} = 10\text{ V}$ 0.55
Q_g (Max.) (nC)	63
Q_{gs} (nC)	9.0
Q_{gd} (nC)	32
Configuration	Single



FEATURES

- Dynamic dV/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC



Available
RoHS*
COMPLIANT

DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-220AB package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 W. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220AB contribute to its wide acceptance throughout the industry.

ORDERING INFORMATION	
Package	TO-220AB
Lead (Pb)-free	IRF740PbF SiHF740-E3
SnPb	IRF740 SiHF740

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)					
PARAMETER		SYMBOL	LIMIT	UNIT	
Drain-Source Voltage		V_{DS}	400	V	
Gate-Source Voltage		V_{GS}	± 20		
Continuous Drain Current	V_{GS} at 10 V	I_D	$T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$	10	A
			$T_C = 100\text{ }^\circ\text{C}$	6.3	
Pulsed Drain Current ^a		I_{DM}	40		
Linear Derating Factor			1.0	W/ $^\circ\text{C}$	
Single Pulse Avalanche Energy ^b		E_{AS}	520	mJ	
Repetitive Avalanche Current ^a		I_{AR}	10	A	
Repetitive Avalanche Energy ^a		E_{AR}	13	mJ	
Maximum Power Dissipation	$T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$	P_D	125	W	
Peak Diode Recovery dV/dt ^c		dV/dt	4.0	V/ns	
Operating Junction and Storage Temperature Range		T_J, T_{stg}	- 55 to + 150	$^\circ\text{C}$	
Soldering Recommendations (Peak Temperature)	for 10 s		300 ^d		
Mounting Torque	6-32 or M3 screw		10		lbf · in
			1.1	N · m	

Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- $V_{DD} = 50\text{ V}$, starting $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $L = 9.1\text{ mH}$, $R_g = 25\text{ }\Omega$, $I_{AS} = 10\text{ A}$ (see fig. 12).
- $I_{SD} \leq 10\text{ A}$, $dI/dt \leq 120\text{ A}/\mu\text{s}$, $V_{DD} \leq V_{DS}$, $T_J \leq 150\text{ }^\circ\text{C}$.
- 1.6 mm from case.

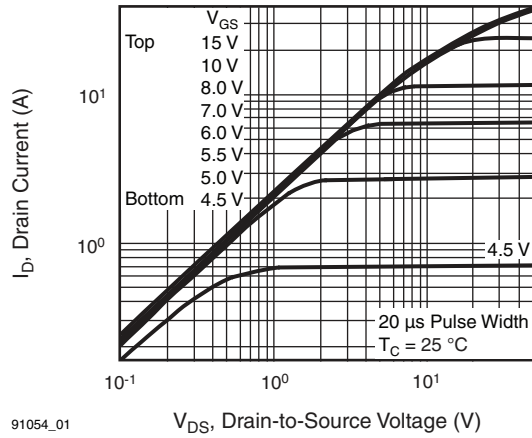
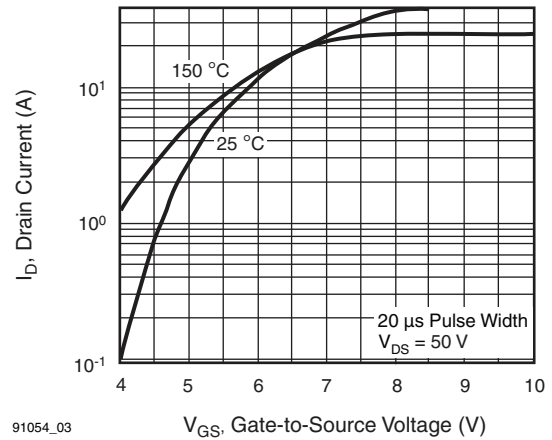
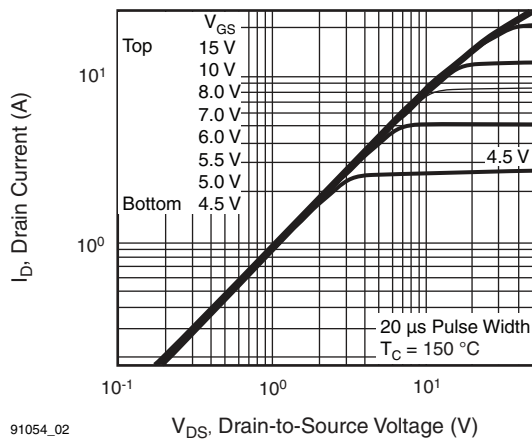
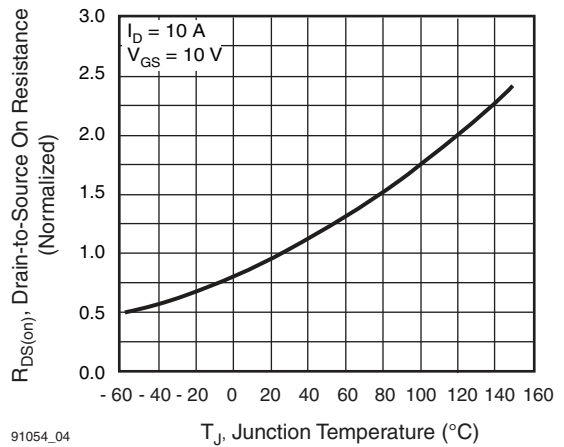
* Pb containing terminations are not RoHS compliant, exemptions may apply

THERMAL RESISTANCE RATINGS				
PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum Junction-to-Ambient	R_{thJA}	-	62	°C/W
Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	R_{thCS}	0.50	-	
Maximum Junction-to-Case (Drain)	R_{thJC}	-	1.0	

SPECIFICATIONS ($T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)							
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Static							
Drain-Source Breakdown Voltage	V_{DS}	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$		400	-	-	V
V_{DS} Temperature Coefficient	$\Delta V_{DS}/T_J$	Reference to $25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_D = 1\text{ mA}$		-	0.49	-	V/°C
Gate-Source Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$		2.0	-	4.0	V
Gate-Source Leakage	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{ V}$		-	-	± 100	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 400\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}$		-	-	25	μA
		$V_{DS} = 320\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}, T_J = 125\text{ }^\circ\text{C}$		-	-	250	
Drain-Source On-State Resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10\text{ V}$	$I_D = 6.0\text{ A}^b$	-	-	0.55	Ω
Forward Transconductance	g_{fs}	$V_{DS} = 50\text{ V}, I_D = 6.0\text{ A}^b$		5.8	-	-	S
Dynamic							
Input Capacitance	C_{iss}	$V_{GS} = 0\text{ V},$ $V_{DS} = 25\text{ V},$ $f = 1.0\text{ MHz}$, see fig. 5		-	1400	-	pF
Output Capacitance	C_{oss}			-	330	-	
Reverse Transfer Capacitance	C_{rss}			-	120	-	
Total Gate Charge	Q_g	$V_{GS} = 10\text{ V}$	$I_D = 10\text{ A}, V_{DS} = 320\text{ V},$ see fig. 6 and 13 ^b	-	-	63	nC
Gate-Source Charge	Q_{gs}			-	-	9.0	
Gate-Drain Charge	Q_{gd}			-	-	32	
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	$V_{DD} = 200\text{ V}, I_D = 10\text{ A}$ $R_g = 9.1\text{ }\Omega, R_D = 20\text{ }\Omega$, see fig. 10 ^b		-	14	-	ns
Rise Time	t_r			-	27	-	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$			-	50	-	
Fall Time	t_f			-	24	-	
Internal Drain Inductance	L_D	Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact		-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	L_S			-	7.5	-	
Drain-Source Body Diode Characteristics							
Continuous Source-Drain Diode Current	I_S	MOSFET symbol showing the integral reverse p - n junction diode		-	-	10	A
Pulsed Diode Forward Current ^a	I_{SM}			-	-	40	
Body Diode Voltage	V_{SD}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}, I_S = 10\text{ A}, V_{GS} = 0\text{ V}^b$		-	-	2.0	V
Body Diode Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}, I_F = 10\text{ A}, di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}^b$		-	370	790	ns
Body Diode Reverse Recovery Charge	Q_{rr}			-	3.8	8.2	μC
Forward Turn-On Time	t_{on}	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S and L_D)					

Notes

- a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- b. Pulse width $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$.

TYPICAL CHARACTERISTICS (25 °C, unless otherwise noted)

Fig. 1 - Typical Output Characteristics, $T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$

Fig. 3 - Typical Transfer Characteristics

Fig. 2 - Typical Output Characteristics, $T_C = 150\text{ }^\circ\text{C}$

Fig. 4 - Normalized On-Resistance vs. Temperature

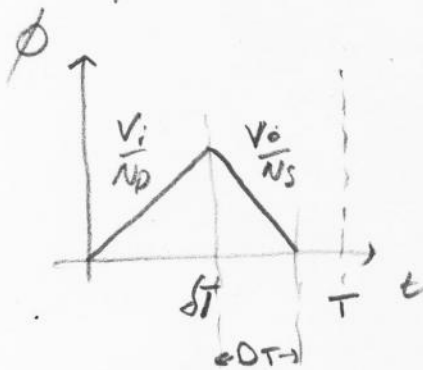
13/12/2016

Problema 2

a) $\frac{1}{2} L_p \hat{I}_p^2 f > P_o = 3A \cdot 48V = 144W$

Llave al máximo: $\hat{I}_p = 5A \rightarrow L_p > \frac{2 \cdot 144W}{(5A)^2 \cdot 30kHz} = 384,4 \mu H$

$N_p > \sqrt{L_p R} = 61,97 \rightarrow \boxed{N_p = 62}$ $L_p = \frac{62^2}{1000000/30} = 384,4 \mu H$



Desprecia \leftarrow
La diferencia debida a la discretización de las vueltas.
Asumo $L_p = 384,4 \mu H$
 $\hat{I}_p = 5A$

$\frac{V_i}{L_p} \cdot \text{área } T = \hat{I}_p \rightarrow \text{área} = \frac{5A \cdot 384,4 \mu H \cdot 30kHz}{120V} = 0,48$

$\frac{V_i}{N_p} \text{área } T = \frac{V_o}{N_s} DT \rightarrow D = \frac{V_i}{V_o} \cdot \frac{N_s}{N_p} \cdot \text{área} < 1 - \text{área}$

$\rightarrow N_s < \frac{1 - \text{área}}{\text{área}} \cdot N_p \cdot \frac{V_o}{V_i} = 26,9 \rightarrow \boxed{N_s = 26}$

b) $\hat{I}_{p \text{ min}} = \frac{V_i}{L_p} \cdot \text{área}_{\text{min}} \cdot T = 521 \mu A$

$P_{o \text{ min}} = \frac{1}{2} \cdot L_p \cdot \hat{I}_p^2 \cdot f = 1,56W \Rightarrow R = \frac{(48V)^2}{1,56W} = \boxed{1476 \Omega}$

c) Conducción discontinua $\rightarrow P_{\text{enc}} = 0$

$P_{\text{ap}} + P_{\text{cond}}$ se maximiza a máxima carga.

$\rightarrow \hat{I}_p = 5A$; $V_{DS} = 120V + \frac{62}{26} \cdot 48V = 234V$; $t_f = 24ns$

$P_{\text{ap}} = \frac{1}{2} 24ns \cdot 5A \cdot 234V \cdot 30kHz = 0,4W$

SE (2)

$$P_{\text{cond}} = \frac{1}{T} \int_0^{d_{\text{max}} T} R_{\text{DS}} \cdot i_D^2 dt$$

$$R_{\text{DS}} = R_{\text{DS}} @ 100^\circ\text{C} = 0,55 \Omega \times 1,75 = 963 \text{ m}\Omega$$

↓
Dato para
 $I_D = 10 \text{ A}$
conservativo

$$i_D = \hat{I}_P \cdot \frac{t}{d_{\text{max}} T}$$

$$P_{\text{cond}} = \frac{1}{T} R_{\text{DS}} \cdot \frac{\hat{I}_P^2}{(d_{\text{max}} T)^2} \cdot \frac{(d_{\text{max}} T)^3}{3} = \frac{R_{\text{DS}} \hat{I}_P^2}{3} \cdot d_{\text{max}} = 3,9 \text{ W}$$

$$P_{\text{TOT}} = P_{\text{cond}} + P_{\text{ap}} = \boxed{4,3 \text{ W}}$$

d) $\Delta T = R_{\text{JA}} \cdot P = 62^\circ\text{C/W} \cdot 4,3 \text{ W} = 267^\circ\text{C} \rightarrow$ No es posible funcionar sin disipador.

$$(R_{\text{JC}} + R_{\text{CS}} + R_{\text{SA}}) P < 100^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C} = 60^\circ\text{C}$$

$$R_{\text{SA}} < \frac{60^\circ\text{C}}{4,3 \text{ W}} - 0,5^\circ\text{C/W} - 1,0^\circ\text{C/W} = 12,5^\circ\text{C/W}$$

e) El mayor ripple de corriente en el condensador se da a máxima carga. Para ese caso $D = 1 - \delta = 0,52$

