

# Examen Práctico de Electrónica de Potencia

24 de febrero de 2021

## Problema 1 (40 puntos)

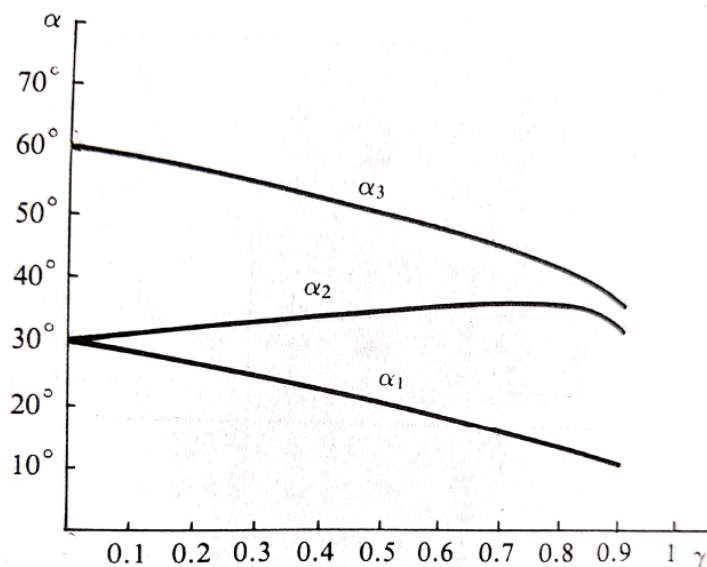
Sea un inversor trifásico compuesto por tres ramas inversoras de dos estados. La tensión de continua es  $U_d = 300 V$  con punto medio.

- Calcular el valor eficaz del fundamental de la tensión de la fase R respecto al punto medio de la fuente de continua cuando el comando se realiza con una onda cuadrada no modulada de  $50 Hz$ .
- Se desea controlar la tensión del fundamental y eliminar los dos primeros armónicos distintos de cero de la tensión compuesta, mediante PWM calculado.

Dibujar la forma de onda de potencial correspondiente a este caso y plantear el sistema de ecuaciones para el cálculo de los ángulos de conmutación.

- Se define  $\gamma$  como el cociente entre la tensión eficaz del fundamental deseada y la tensión eficaz del fundamental de la onda no modulada.

En la gráfica adjunta se representan los ángulos solución del sistema planteado en b), medidos desde el cruce por cero de la componente fundamental, para distintos valores de  $\gamma$ . Determinar los ángulos correspondientes a una tensión compuesta de salida de valor eficaz  $110 V$ .



## Problema 2 (60 puntos)

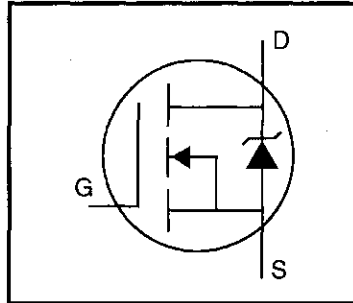
Se dispone de un convertidor DC-DC implementado a través de un convertidor Buck o Step-Down que admite entre 170 V y 264 V de tensión de entrada. Puede suministrar una potencia máxima de salida de 2,5 kW y controla la tensión de salida en 110 V. Está implementado con un MOSFET IRFP 460 que se comanda a través de un control PWM de 100 kHz y está montado sobre un disipador que limita la temperatura de juntura máxima a 100 °C.

El convertidor obtiene su alimentación a través de la salida de un puente de seis pulsos dos vías con tiristores que se encuentra conectado a una red trifásica de  $230V_{ca} \pm 20\%$  que tiene una impedancia de cortocircuito puramente inductiva de 0,3 mH por fase.

- a) Determine el mínimo valor de la inductancia del Buck si se desea que trabaje en modo de conducción continua para potencias superiores al 10% de la potencia máxima.
- b) Si el puente de seis pulsos dos vías tiene que trabajar con un ángulo de disparo fijo para los tiristores, determine el rango de este ángulo que permite que el convertidor DC-DC opere dentro del rango de tensión de entrada admisible entregando la potencia máxima de salida, considerando las pérdidas por conmutación asociadas al rectificador. Desprecie el *ripple* de la corriente de entrada al Buck y considere los componentes del circuito como ideales.
- c) Determine las pérdidas de funcionamiento del MOSFET y el rendimiento del Buck cuando se encuentra suministrando la carga máxima con tensión de entrada máxima.
- d) Diseñe completamente un circuito de ayuda al apagado (*snubber* de apagado) para reducir las pérdidas del MOSFET al 30%. ¿Le parece que la incorporación del *snubber* al circuito del Buck mejora el rendimiento complejo del convertidor?

## HEXFET® Power MOSFET

- Dynamic dv/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements



$$V_{DSS} = 500V$$

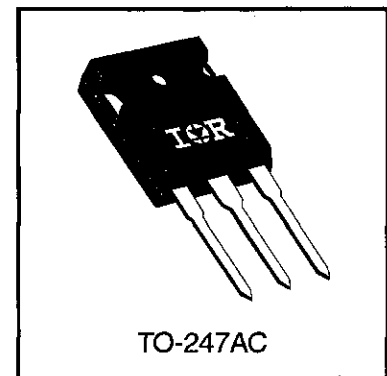
$$R_{DS(on)} = 0.27\Omega$$

$$I_D = 20A$$

### Description

Third Generation HEXFETs from International Rectifier provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distance between pins to meet the requirements of most safety specifications.


 DATA  
SHEETS

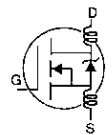
### Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	20	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	13	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current ①	80	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	280	W
	Linear Derating Factor	2.2	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy ②	960	mJ
$I_{AR}$	Avalanche Current ①	20	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy ①	28	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	3.5	V/ns
$T_J$ $T_{STG}$	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +150	°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1 N•m)	

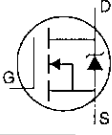
### Thermal Resistance

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	—	0.45	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	—	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	—	40	

## Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

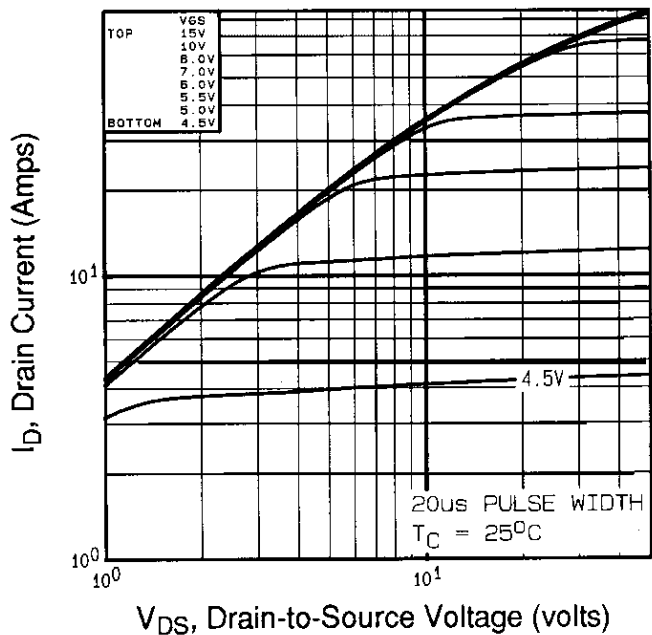
	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	$V_{GS}=0V, I_D=250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}$ , $I_D=1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.27	$\Omega$	$V_{GS}=10V, I_D=12A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS}=V_{GS}, I_D=250\mu A$
$g_{fs}$	Forward Transconductance	13	—	—	S	$V_{DS}=50V, I_D=12A$ ④
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	$\mu A$	$V_{DS}=500V, V_{GS}=0V$
		—	—	250		$V_{DS}=400V, V_{GS}=0V, T_J=125^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS}=20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS}=-20V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	210	nC	$I_D=20A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	29		$V_{DS}=400V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	110		$V_{GS}=10V$ See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	18	—	ns	$V_{DD}=250V$
$t_r$	Rise Time	—	59	—		$I_D=20A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	110	—		$R_G=4.3\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	58	—		$R_D=13\Omega$ See Figure 10 ④
$L_D$	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact
$L_S$	Internal Source Inductance	—	13	—		
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	4200	—	pF	$V_{GS}=0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	870	—		$V_{DS}=25V$
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	350	—		$f=1.0\text{MHz}$ See Figure 5

## Source-Drain Ratings and Characteristics

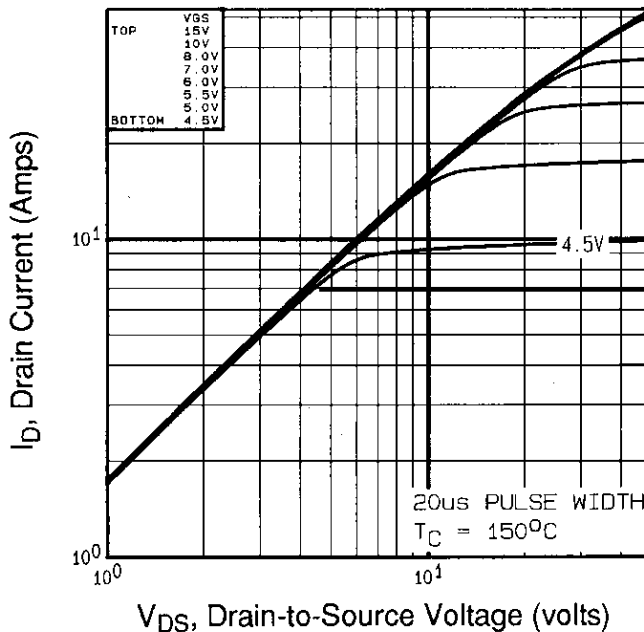
	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	20	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	80		
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	1.8	V	$T_J=25^\circ\text{C}, I_S=20A, V_{GS}=0V$ ④
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	570	860	ns	$T_J=25^\circ\text{C}, I_F=20A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	5.7	8.6	$\mu C$	$di/dt=100A/\mu s$ ④
$t_{on}$	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S+L_D$ )				

### Notes:

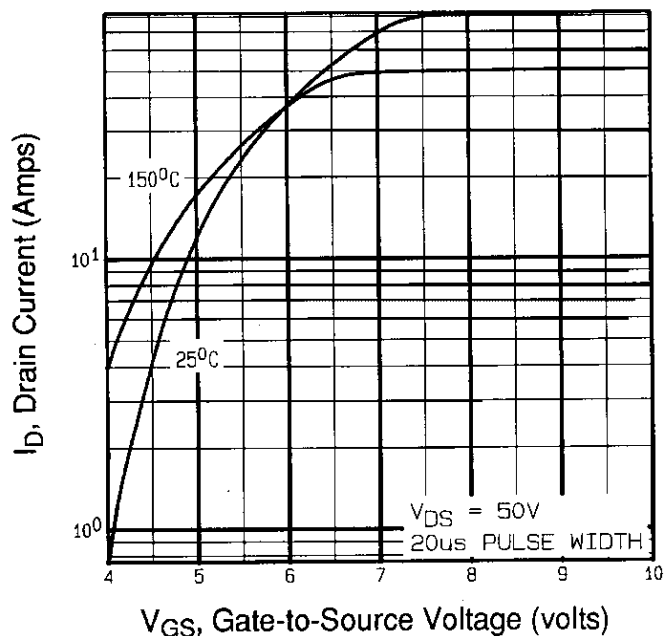
- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)
- ②  $V_{DD}=50V$ , starting  $T_J=25^\circ\text{C}$ ,  $L=4.3\text{mH}$ ,  $R_G=25\Omega$ ,  $I_{AS}=20A$  (See Figure 12)
- ③  $I_{SD}\leq 20A$ ,  $di/dt\leq 160A/\mu s$ ,  $V_{DD}\leq V_{(BR)DSS}$ ,  $T_J\leq 150^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width  $\leq 300\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .



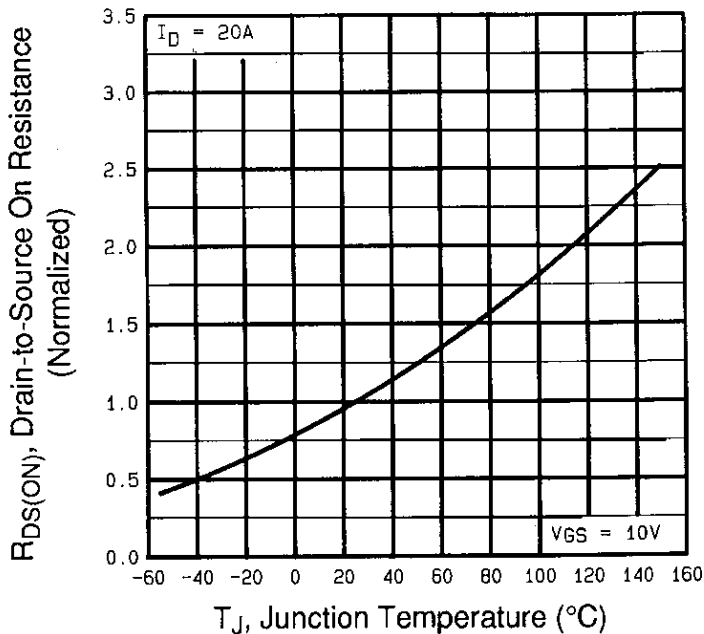
**Fig 1.** Typical Output Characteristics,  $T_C=25^\circ\text{C}$



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



**Fig 3.** Typical Transfer Characteristics



**Fig 4.** Normalized On-Resistance Vs. Temperature

DATA SHEETS