

<b>Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Cuyo</b> <b>TRABAJO PRÁCTICO</b>	
<b>Asignatura:</b>	<b>Microcontroladores y Electrónica de Potencia</b>
<b>Carrera:</b>	<b>Ingeniería Mecatrónica</b>
<b>Año: 2023</b>	<b>UNIDAD 2: PRINCIPIOS DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA</b>

1. Explique el efecto Miller que se da en los transistores mosfet.
2. Explique la diferencia entre los IGBT y los Mosfet. **Dé ejemplos en los que se debe utilizar uno o el otro y justifique.**
3. Realice el cálculo térmico para un mosfet IRFZ44N que deberá funcionar con un motor de CC de 1KW a 40V. La frecuencia de conmutación es de 500KHz y se dispone de un disipador ZD-23. Tomar una temperatura ambiente de 50° en todos los casos.
4. Analice el caso en que en vez de funcionar el circuito del problema anterior a una frecuencia de conmutación de 500KHz funciona a 1KHz y comente conclusiones.
5. Se impone ahora como condición que el semiconductor no supere los 80°C con el disipador ZD-18, elija un mosfet capaz de cumplir esta condición con una frecuencia de conmutación de 500KHz, realice el cálculo térmico.

**Las partes 6 y 7 debe ir respondiéndolas siguiendo el siguiente formulario, que incluye videos demostrativos:**

[https://docs.google.com/forms/d/1m94lCo22gw7neTVqOOcg61seKqJU\\_ZZ4c00gmwQfQt8](https://docs.google.com/forms/d/1m94lCo22gw7neTVqOOcg61seKqJU_ZZ4c00gmwQfQt8)

## 6. DISPOSITIVOS DE POTENCIA – Mosfet

- 6.1. Analice el circuito que se le presenta, coloque el transistor mosfet IRFZ44N en la bornera del transistor, tenga especial atención en la disposición de Gate, Drain y Source.
- 6.2. Analice y comente el funcionamiento del circuito PWM que se le presenta. Conecte la fuente del PWM en la bornera indicada como PWM del circuito del transistor.
- 6.3. Coloque la carga resistiva a la bornera de salida y observe con el osciloscopio la señal entre Vg y masa. Describa la curva.
- 6.4. Anote los valores de ton-toff observados y anote la temperatura del semiconductor
- 6.5. Varíe el ton-toff del PWM, anote los respectivos valores y los valores de la temperatura
- 6.6. Ante un mismo ton-off varíe la frecuencia de conmutación, anote las frecuencia y los valores de temperatura
- 6.7. Quite la carga resistiva y coloque una carga inductiva. Observe las repercusiones en Vgs y comente.
- 6.8. Coloque un diodo PN de protección, observe el resultado y comente. Coloque un diodo schottky de protección y comente las diferencias con el diodo anterior.

6.9. Coloque entre el circuito generador de PWM el circuito del drive de mosfet del IR2110 que se le provee. Observe  $V_{gs}$ , anote los ton-toff y comente conclusiones.

## 7. DISPOSITIVOS DE POTENCIA - IGBT

7.1. En el lugar donde estaba el mosfet coloque el IGBT XXXXX, prestar especial atención a Gate, colector y emisor.

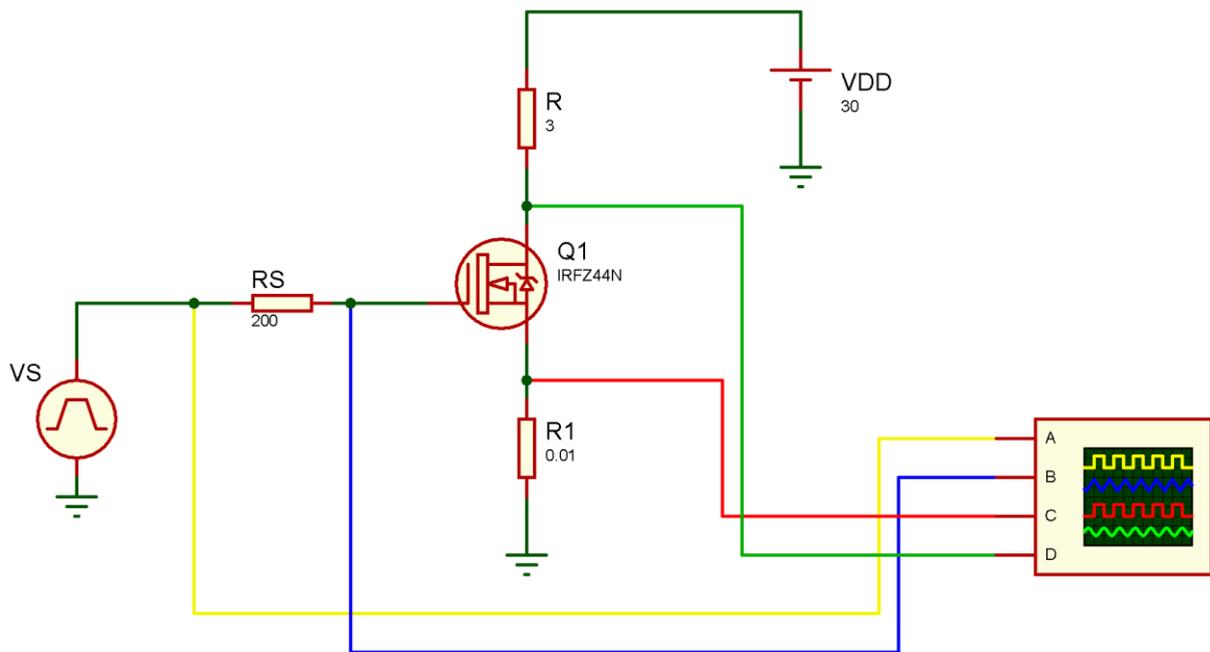
7.2. Observe con el osciloscopio  $V_{ge}$  y  $V_{ce}$ . Describa ambas curvas.

### La parte 8 debe responderla utilizando un simulador de circuitos

## 8. ANÁLISIS DE MOSFET EN SIMULADOR

El objetivo de estos ejercicios es realizar una práctica integral de análisis de circuitos con instrumentos, visualización y determinación de parámetros de interés, con la ayuda del simulador.

### 8.1. MOSFET con carga R



Q1 es un IRFZ44N

$V_s$  es una señal rectangular de 10 volts, 1kHz y duty cycle 50%.  $R_s$  representa la limitación en la capacidad de entregar corriente de la  $V_s$ . Por ejemplo una  $I_{Gmax}$  de 50mA a 10 volts se representa con una  $R_s = 10/0,05 = 200$  ohms.

$R_1$  es muy pequeña (0,01 ohms) y permite medir  $I_s = I_D$  con mínima influencia en la excitación de Q1

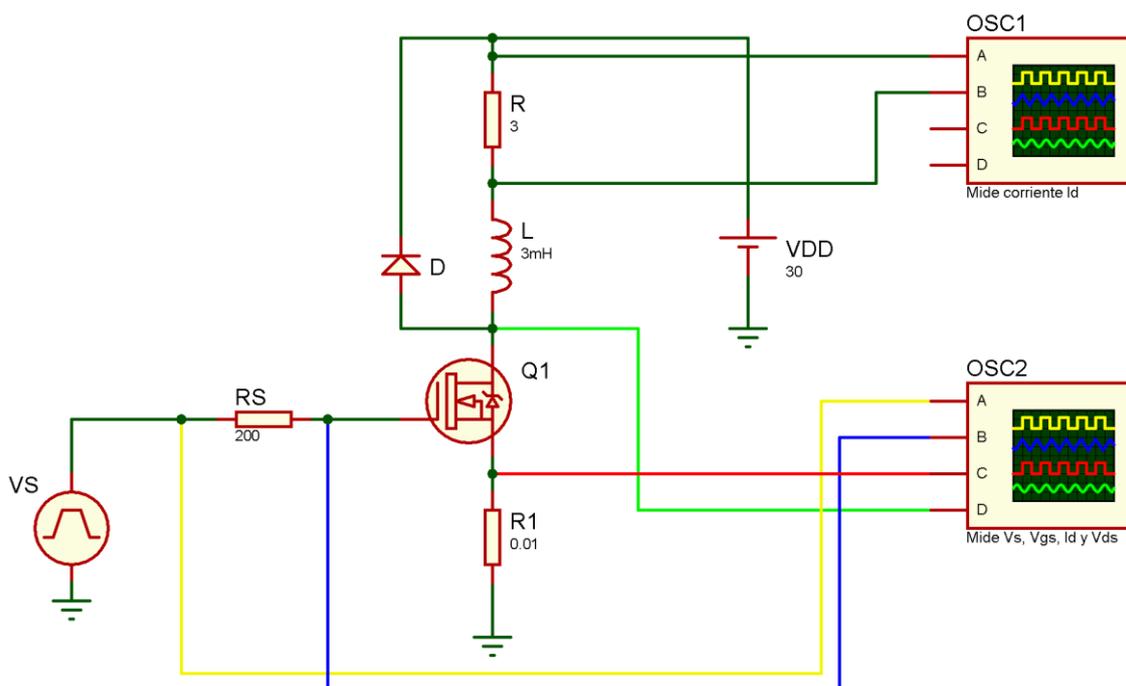
$R$  es la carga puramente resistiva. Midiendo la caída de tensión en  $R$  y dividiendo por  $R$  determinamos la corriente en la carga  $I_R$ , que en este caso es coincidente con  $I_D$  e  $I_s$ .

El osciloscopio mide la  $V_s$ , la  $V_{GS}$ , la  $I_s = I_D$  mediante  $R_1$ , y la  $V_{DS}$ .

Consignas:

- 1- Construir el circuito de la figura. Para  $V_s$  puede utilizar  $V_{pulse}$  (del menú general de componentes) o PULSE (de la paleta de GENERATORS).
- 2- Medir la corriente en la carga  $I_R = I_D = I_S$ .
- 3- **Pérdidas de conducción:** Determine la  $V_{DS}$  durante la conducción (debe poner canal D del osciloscopio en un rango bajo para observar). En este intervalo mida  $V_{DS\_ON}$  (debe descontar la caída en  $R_1$ ). Estime la  $R_{DS\_ON}$  del MOSFET y las pérdidas de conducción  $(I_{D\_ON})^2 \times R_{DS\_ON}$ . ¿Qué comentario tiene respecto a la  $R_{DS\_ON}$  del modelo provisto en el simulador?
- 4- **Pérdidas de conmutación:** Determine los tiempos de subida y bajada de  $V_{DS}$ . Observe la forma de la corriente en esos intervalos. Utilice una aproximación adecuada para estimar las pérdidas de conmutación.  
¿Cómo se mide el tiempo de subida y el tiempo de bajada? Si el valor de  $t_r$  no da aproximadamente 0,25  $\mu s$  y el de  $t_f$  0,25  $\mu s$  revisar cómo se mide el  $t_r$  y  $t_f$ . Colocar la imagen de la medida en el oscilograma.
- 5- **Cálculo térmico:** Determinar la  $R_{TH}$  de disipador máxima admisible para una  $T_{Jmax} = 140^\circ C$  y una  $T_{amb} = 60^\circ C$ .
- 6- Repetir pasos 2 a 5 (que denominaremos caso "A") variando los siguientes parámetros:  
**B:**  $R_s = 1000$  ohms (representa una  $I_{Gmax}$  de 10mA). Tiempo de referencia de  $T_r(1,25\mu s)$  y  $T_f(1,65\mu s)$   
**C:** duty cycle del 95%. (volver  $R_s$  a 200 ohms)  
**D:** Frecuencia de 10kHz (volver duty cycle a 50%).  
*Cuando sea necesario colocar las medidas de los oscilogramas y la foto del mismo.*
- 7- Compare los casos del A al D y obtenga conclusiones.

## 8.2. MOSFET con carga RL



En este circuito, similar al anterior, se ha reemplazado la carga resistiva pura por una carga RL, representada por una R de 3 ohms y una L de 3 mHy. Se ha agregado además un diodo de recirculación D (genérico). Vs rectangular de 10 volts, 1kHz y duty cycle 50%.  $R_s = 200$  ohms.

R1 es para medir  $I_s = I_D$  con mínima influencia en la excitación de Q1

R es la parte resistiva de la carga. Midiendo la caída de tensión en R y dividiendo por R determinamos la corriente en la carga  $I_R = I_L$ . Para eso el osciloscopio OSC1 tiene los canales A y B a los extremos superior e inferior de R respectivamente, y se coloca en modo A+B con canal B invertido, de modo tal que se obtiene A-B, es decir la caída de tensión en R, para determinar la corriente. Cuidar de que ambos canales estén en el mismo rango para que sea válida la medición ( $V_R$  obtenida en canal A), y calcular  $I_R = V_R / R$ . Observar que, si R es la parte resistiva de la carga, indivisible de L, y realmente no será posible determinar  $V_R$  aislada ni la corriente. En la práctica se utilizaría una R de muy bajo valor (similar a R1) en serie con la carga y un amplificador de instrumentación, o un sensor Hall.

El osciloscopio OSC2 mide la Vs, la  $V_{GS}$ , la  $I_s = I_D$  mediante R1, y la  $V_{DS}$ .

Consignas:

- 1- Construir el circuito de la figura. Para Vs puede utilizar Vpulse (del menú general de componentes) o PULSE (de la paleta de GENERATORS).
- 2- Medir la corriente en la carga, y determinar el valor máximo, mínimo y medio.
- 3- Comparar con la forma de la corriente en el transistor ( $I_s$ ) (poner ambos osciloscopios en la misma escala de tiempo) y explique lo observado.
- 4- **Pérdidas de conducción:** Determine la  $V_{DS}$  durante la conducción (debe poner canal D de OSC2 en un rango bajo para observar). En este intervalo mida  $V_{DS\_ON}$  mínima y  $V_{DS\_ON}$  máxima (coincidente con  $I_D$  mínima y máxima). Estime la  $R_{DS\_ON}$  del MOSFET y las pérdidas de conducción  $(I_D)^2 \times R_{DS\_ON}$ . *Utilice para el resto de los cálculos la corriente eficaz, parte rectangular + parte diente de sierra.*
- 5- **Pérdidas de conmutación:** Determine los tiempos de subida y bajada de  $V_{DS}$ . Observe la forma de la corriente en esos intervalos. Utilice una aproximación adecuada para estimar las pérdidas de conmutación.  $T_r$  (0,25us) y  $T_f$ (0,25us) de referencia
- 6- **Cálculo térmico:** Determinar la  $R_{TH}$  de disipador máxima admisible para una  $T_{Jmax} = 140^\circ C$  y una  $T_{amb} = 60^\circ C$ .
- 7- Repetir pasos 2 a 6 (que denominaremos caso "A") variando los siguientes parámetros:
  - B:**  $R_s = 1000$  ohms (representa una  $I_{Gmax}$  de 10mA).
  - C:** duty cycle del 95%. (volver  $R_s$  a 200 ohms)
  - D:** Frecuencia de 10kHz (volver duty cycle a 50%).
- 8- Compare los casos A a D y obtenga conclusiones.
- 9- Compare con el ejercicio 8.1 y comente.
- 10- Coloque una llave SPST en serie con el diodo de recirculación, observe el efecto que tiene abrir y cerrar dicha llave sobre  $I_L$ ,  $I_D$  y  $V_{DS}$ . Comente y explique lo observado.

## NOTA: Conceptos de valor medio y valor eficaz

Retomamos los conceptos de Valor Medio y de Valor Eficaz (en inglés RMS, Root Mean Square)

**Valor Medio:** Matemáticamente el valor medio de una señal es la integral de dicha señal a lo largo de un período, dividida sobre el mismo período.

$$V_{med} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

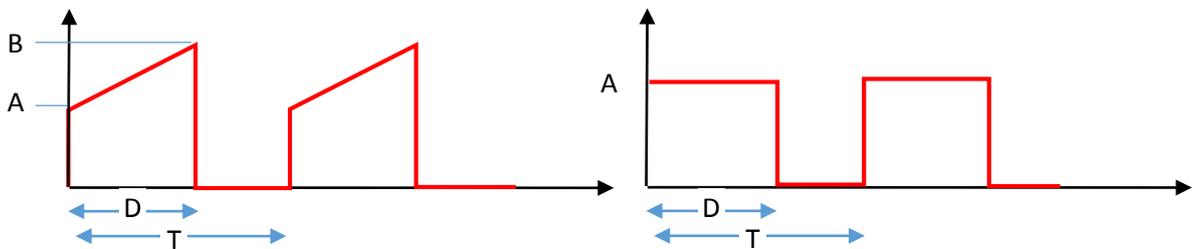
Representa la componente de continua (o *DC*) de la señal. Su determinación es útil en casos en los que alguna magnitud depende linealmente de la componente de continua, por ejemplo la carga que recibe un capacitor o una batería depende de la componente *DC* de la corriente que circula.

**Valor Eficaz :** Matemáticamente el valor eficaz de una señal es la raíz cuadrada de la integral del cuadrado de dicha señal a lo largo de un período, dividida sobre el mismo periodo.

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt}$$

Su determinación es útil en casos en que alguna magnitud depende cuadráticamente de la componente de continua, por ejemplo la potencia disipada en una *R* sometida a un voltaje *V* ( $P=V^2/R$ ) o corriente *I* ( $P=I^2.R$ ). Una señal periódica (voltaje o corriente) de un cierto valor *RMS* produce la misma potencia media que una señal *DC* de valor  $RMS = DC$

En particular nos interesa calcular la potencia disipada en un MOSFET en conmutación PWM con carga *R* o con carga *RL*. Como en el MOSFET la potencia disipada depende cuadráticamente de la  $I_D$ , debemos determinar correctamente su valor eficaz  $I_{ef}$ .



si  $A \neq B$  (onda con flecha ascendente o descendente, se da con carga *RL*)

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{D}{3.T} \cdot (A^2 + B^2 + A.B)}$$

si  $A=B$  (onda rectangular, se da con carga *R*)

$$I_{ef} = A \cdot \sqrt{\frac{D}{T}}$$

Lo visto se aplica a un Duty Cycle <100. ¿Cómo sería con Duty Cycle = 100%?
¿Cómo serían la expresiones de los valores medios de corriente en las señales anteriores?