

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Cuyo TRABAJO PRÁCTICO	
Asignatura:	Microcontroladores y Electrónica de Potencia
Carrera:	Ingeniería Mecatrónica
Año: 2024	UNIDAD 2: PRINCIPIOS DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA

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 400KHz y se dispone de un disipador ZD-23. Tomar una temperatura ambiente de 60° 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 400KHz - funciona a 2KHz. Comente conclusiones.
5. Se impone ahora como condición que el semiconductor no supere los 100°C con el disipador ZD-18, elija un MOSFET capaz de cumplir esta condición con una frecuencia de conmutación de 400KHz, realice el cálculo térmico. Tener presente en encapsulado del dispositivo elegido y el disipador. Muchos encapsulados no se pueden colocar en el disipador dado.
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 frecuencias 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 Vgs, 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

Opciones **libres** recomendadas para la simulación analógica:

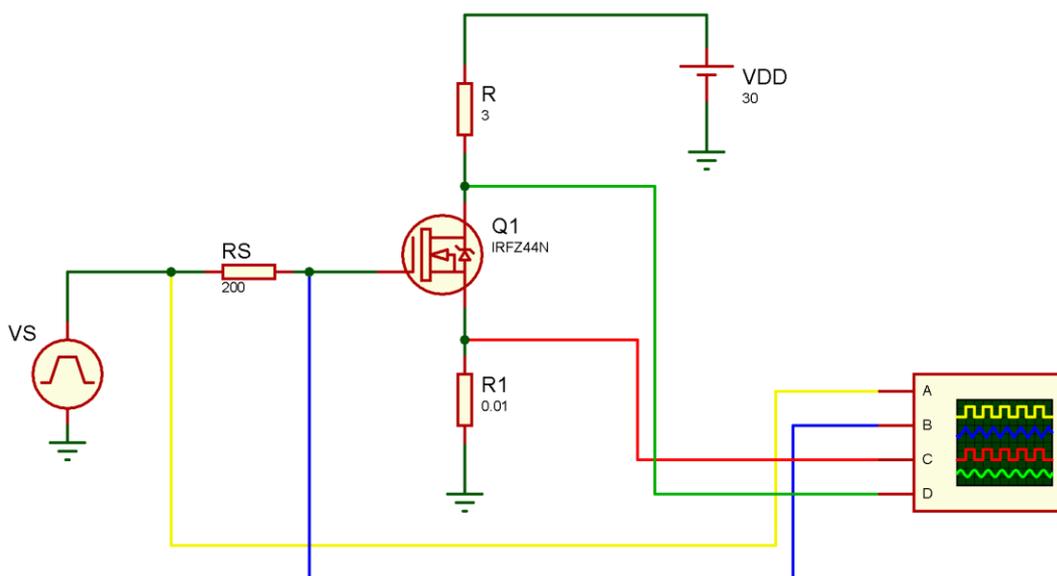
- 1) [TINA, de Texas Instruments](#)
- 2) [LTSpice, de Linear Technology/Analog Devices](#)
- 3) [QucsStudio](#)
- 4) [Kicad](#) y [bibliotecas complementarias de modelos para simulación](#)

[Aquí](#) hay un resumen comparativo de simuladores de circuitos, libres y pagos

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 .

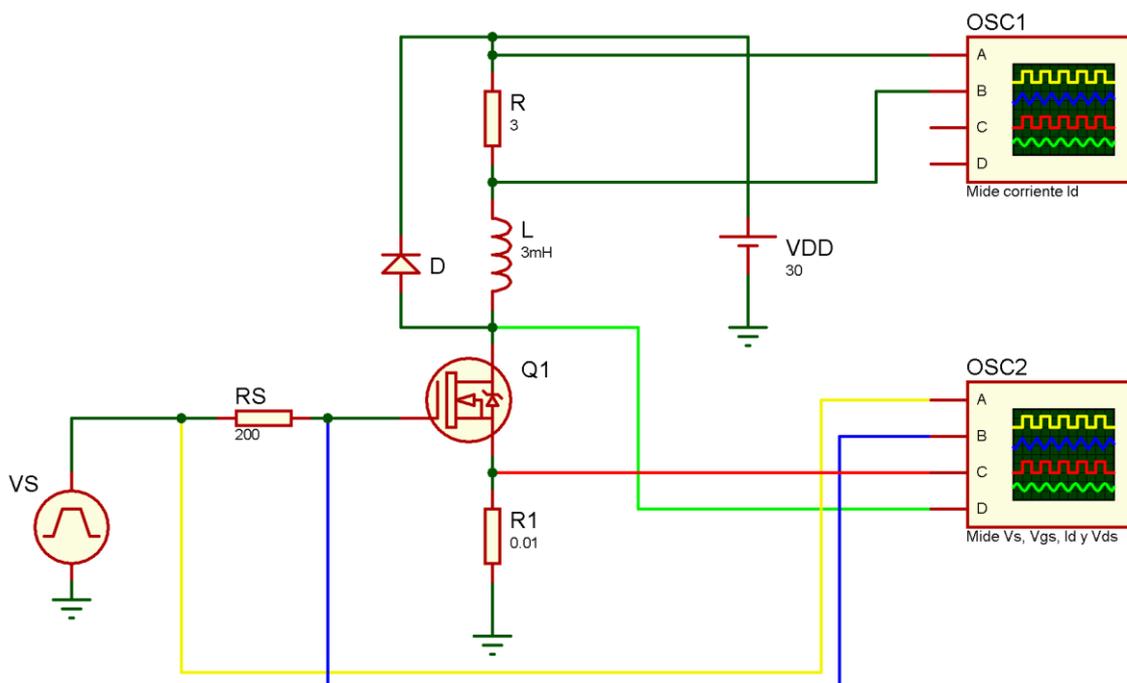
El osciloscopio mide la V_s , la V_{GS} , la $I_s = I_D$ mediante R_1 , y la V_{DS} . (utilizando probes de corriente y gráficas de análisis transitorio es posible medir directamente).

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 μs y el de t_f 0,25 μs 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%).

Quando 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.

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

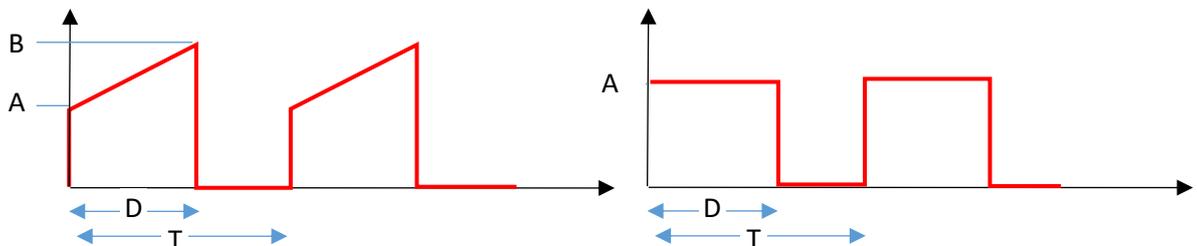
Representa la componente de continua (o DC) de la señal. Su determinación es útil en casos en los que alguna magnitud depende linealmente de la componente de continua, por ejemplo la carga que recibe un capacitor o una batería depende de la componente DC de la corriente que circula.

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 las expresiones de los valores medios de corriente en las señales anteriores