

## 0.1. Introducción

Se analizó la conmutación de un MOSFET [IRF530](#) de potencia en un circuito con carga inductiva, utilizando un diodo [MUR460](#) de potencia para proporcionar un camino a la corriente durante el apagado del MOSFET y no dañar al circuito.

Para la conmutación del MOSFET se utilizó un periodo de  $T_s = 20\mu s$  y un duty cycle de  $D = 50\%$ .

## 0.2. Circuito en la Teoría

En la teoría, se consideró al diodo MUR460 como ideal excepto por la caída de potencial de la juntura en directa, siendo esta extraída de la datasheet, con un valor de  $V_{D_{on}} = 1.3V$ . Además, se consideró a la bobina como ideal con resistencia serie nula.

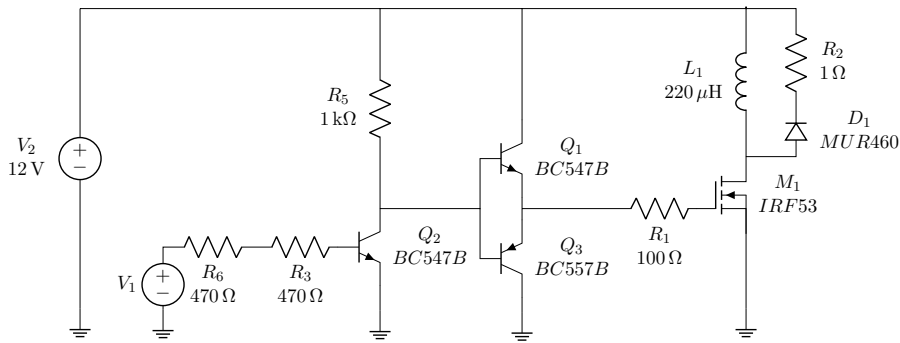


Figura 1: Circuito para el estudio de la conmutación del MOSFET.

### 0.2.1. Primer Hemicircuito: MOSFET ON

Cuando el MOSFET se encuentra encendido, se forma un circuito RL entre la bobina y la  $R_{ds_{on}}$  del MOSFET. Como el diodo se encuentra con su ánodo conectado a aproximadamente tierra, y su cátodo conectado a  $V_i$ , este se encuentra en inversa por lo que no circula corriente a través de él.

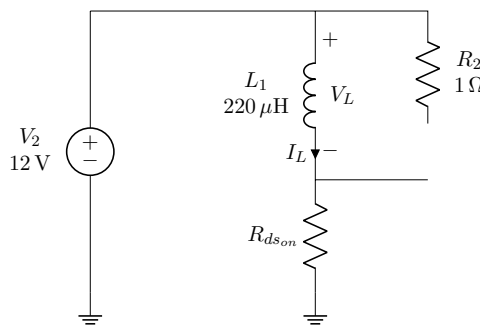


Figura 2: Hemicircuito con MOSFET encendido.

Resolviendo el circuito RL, se puede observar en las ecuaciones (1) y 2 que durante el MOSFET se encuentra encendido aumenta la energía almacenada en la bobina. Sobre el MOSFET caen  $V_{ds_{on}} = I_{L_{on}} \cdot R_{ds_{on}}$

$$I_{L_{on}}(t) = \left( I_{L_{off}} \left( t = \frac{n}{f_{sw}} \right) - \frac{V_2}{R_{ds_{on}} + R_2} \right) e^{-\frac{R_{ds_{on}}}{L}t} + \frac{V_2}{R_{ds_{on}}} \quad n \in \mathbb{N} \quad (1)$$

$$V_{L_{on}}(t) = \left( V_2 - I_{L_{off}} \left( t = \frac{n}{f_{sw}} \right) \cdot (R_{ds_{on}} + R_2) \right) e^{-\frac{R_{ds_{on}} + R_2}{L}t} \quad n \in \mathbb{N} \quad (2)$$

### 0.2.2. Segundo Hemicircuito: MOSFET OFF

Una vez apagado el MOSFET, la bobina posee la tensión  $V_{L_{off}}$  necesaria entre sus bornes para que siga circulando la corriente  $I_{L_{on}}$ . Sobre el MOSFET caen  $V_{ds_{off}} = V_2 + V_D$  circulando la malla formada por el diodo, el MOSFET y la fuente de entrada. En este estado, si se desprecia la corriente parásita del MOSFET, toda la corriente  $I_{L_{off}}$  de la bobina pasa por el diodo el cual se encuentra polarizado en directa a consecuencia de la tensión impuesta por la bobina y no se extrae corriente de la fuente de alimentación.

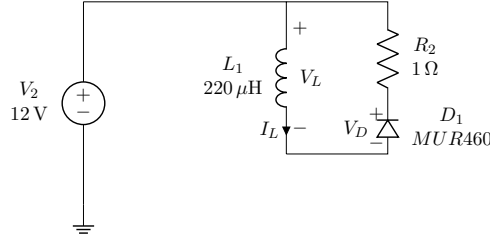


Figura 3: Hemicircuito con MOSFET encendido.

Resolviendo el circuito RL que se obtiene en este estado, se observa que la bobina tiene una pérdida de energía almacenada dada por las ecuaciones (3) y (4).

$$I_{L_{off}}(t) = \left( I_{L_{on}} \left( t = \frac{nD}{f_{sw}} \right) - \frac{V_d}{R_2} \right) e^{-\frac{R_2}{L}t} + \frac{V_d}{R_2} \quad n \in \mathbb{N}_o \quad (3)$$

$$V_{L_{off}}(t) = \left( V_d - I_{L_{on}} \left( t = \frac{nD}{f_{sw}} \right) \cdot R_2 \right) e^{-\frac{R_2}{L}t} \quad n \in \mathbb{N}_o \quad (4)$$

Donde  $t = \frac{nD}{f_{sw}}$  son los momentos en los que el MOSFET conmuta de encendido a apagado.

### 0.2.3. Análisis en estado Permanente

Como la constante de tiempo  $\frac{L}{R} = 189.6\mu s$  es una orden de magnitud mayor que el tiempo que se transcurre en cada estado  $t_{on} = t_{off} = \frac{D}{f_{sw}} = \frac{0.5}{60kHz} = 8.333\mu s$  se pueden aproximar la tensión  $V_L$  como constante y la corriente  $I_L$  como rectas de pendiente  $\frac{V_L}{L}$ .

### 0.2.4. Análisis de los Tiempos de Conmutación: Encendido

Al encender el MOSFET con un escalón de tensión de  $V_{GG} = 12V$ , tomado en el borne izquierdo de  $R_1$  y referido a masa, crece la corriente de gate  $I_G$  instantáneamente a un valor de  $I_G = \frac{V_i}{R_1} = 0.12A$  para luego decrecer exponencialmente según (5). Al mismo tiempo, la tensión entre gate y source pasa de ser nula a crecer exponencialmente según (6).

$$I_G(t) = \frac{V_{GG}}{R_1} e^{-\frac{t}{\tau_1}} \quad (5)$$

$$V_{gs}(t) = V_{GG}(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}) \quad (6)$$

Donde la constante de tiempo  $\tau_1 = R_1(C_{gs} + C_{gd1}) = 75ns$  es regida por la capacitancia de entrada del MOSFET compuesta por la capacitancia entre gate y source y la capacitancia entre gate y drain, con un valor de  $C_{gs} + C_{gd1} = 750pF$  observado en la Figura (8). Cuando la tensión entre gate y source llega al valor de threshold  $V_{gsth} = 5.5V$  (proporcionada por la datasheet del IRF530) luego de un tiempo

$$t_{don} = -\tau_1 \ln \left( 1 - \frac{V_{th}}{V_2} \right) = 30.41ns \quad (7)$$

según la Ecuación (6), comienza a crecer la corriente de drain  $I_{ds}$  con pendiente constante. Una vez que la corriente de drain  $I_{ds}$  alcanza el valor medio de la corriente de la bobina  $I_L$ , se observa en la Figura (6) proporcionada por la datasheet del IRF530 que la tensión  $V_{gs}$  será  $V_{gsio} = 5.5V$ . Utilizando este valor y la Ecuación (6) se obtiene que el tiempo de rise de la corriente de drain es

$$t_{ri} = -\tau_1 \ln \left( 1 - \frac{V_{gs_{io}}}{V_2} \right) - t_{don} = 15.57ns \quad (8)$$

A partir de este momento, se formará la zona de depleción de la body layer por lo que la tensión  $V_{ds}$  comenzará a caer. La tensión  $V_{gs} = V_{gs_{io}}$  y la corriente  $I_G = \frac{V_{GG} - V_{gs_{io}}}{R_1} = 65mA$  se mantendrá constante mientras la capacitancia  $C_{gd}$  se incrementa de  $C_{gd1}$  a  $C_{gd2}$  debido a la formación de la susodicha zona de depleción. Luego de un tiempo  $t_{fv}$  en el que fluyó una carga de  $\Delta Q = 7.3nC$  al gate del MOSFET, dato proporcionado de la datasheet del IRF530 visto en la Figura (7), la tensión  $V_{ds}$  alcanzará un valor  $V_{ds} = V_{ds_{on}} = I_L R_{ds_{on}} = 827.59mV$  utilizando el valor de  $I_L$  calculado en la Ecuación (). El tiempo transcurrido en esta transición puede calcularse teniendo en cuenta la corriente  $I_G = \frac{V_2 - V_{gs_{io}}}{R_1}$  obteniendo

$$t_{fv} = \frac{R_1 \Delta Q}{V_2 - V_{gs_{io}}} = 112.31ns \quad (9)$$

Finalmente, habiendo transicionado la capacitancia  $C_{gd}$  de  $C_{gd1}$  a  $C_{gd2}$ , se terminará de cargar la capacitancia de entrada del MOSFET según las Ecuaciones (10) y (11).

$$V_{gs}(t) = V_{GG}(1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}}) \quad (10)$$

$$I_G(t) = \frac{V_{GG} - V_{gs_{io}}}{R_1} e^{-\frac{t}{\tau_2}} \quad (11)$$

siendo  $\tau_2 = R_1(C_{gs} + C_{gd2})$  donde  $C_{gs} + C_{gd2} = 1150pF$  observado en la Figura (8). Se puede observar en las Figuras (4) y (5) el proceso entero de encendido descrito anteriormente.

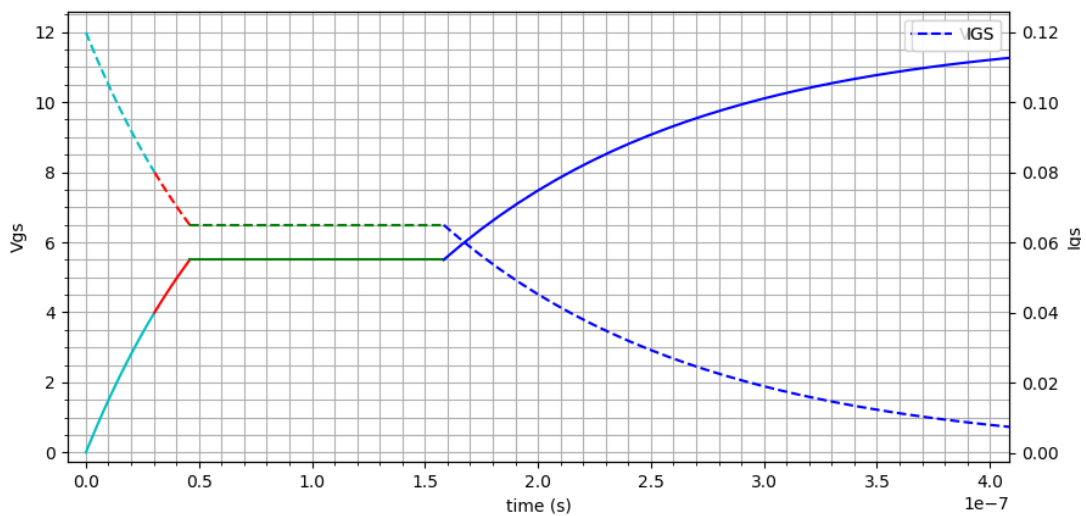


Figura 4:  $V_{gs}$  e  $I_G$  en el encendido del MOSFET.

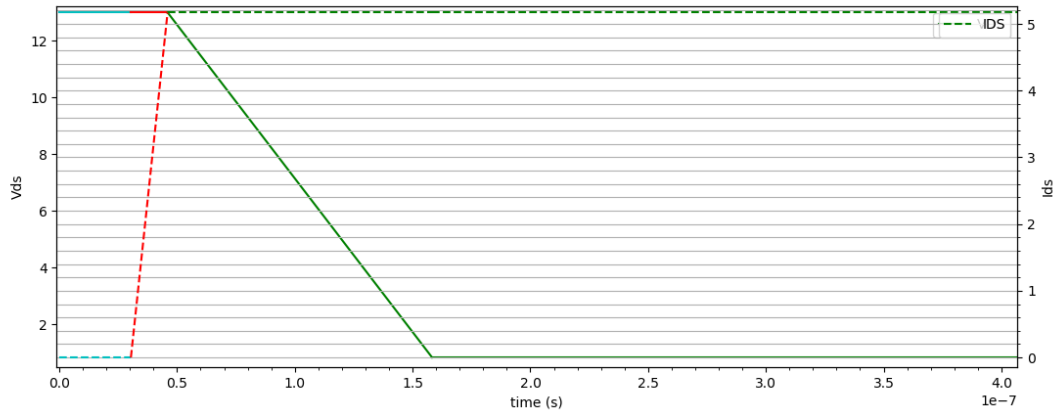


Figura 5:  $V_{ds}$  e  $I_D$  en el encendido del MOSFET.

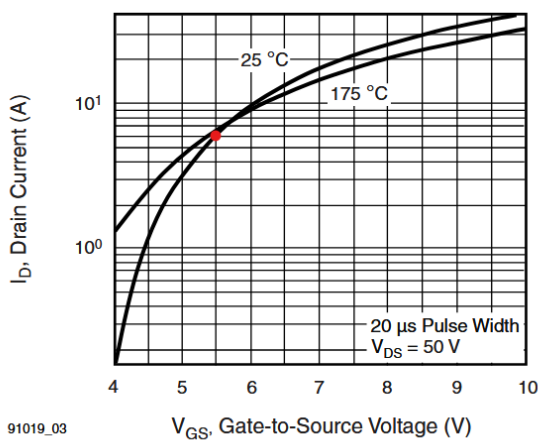


Figura 6:  $V_{gs_{io}}$  de la datasheet del IRF530.

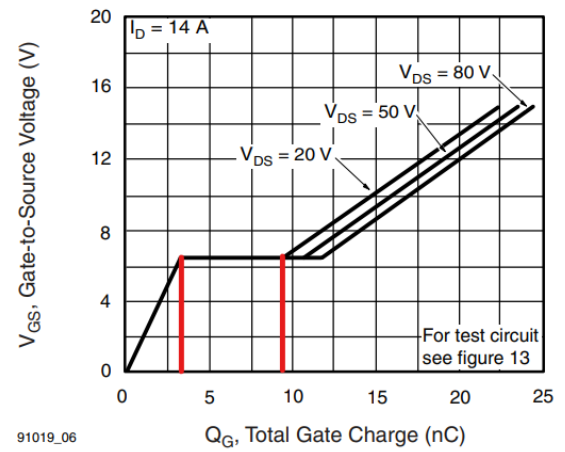


Figura 7:  $\Delta Q$  en la transición de  $C_{gd1}$  a  $C_{gs2}$  de la datasheet del IRF530.

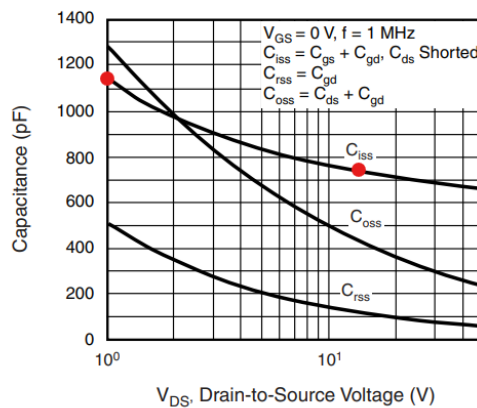


Figura 8: Capacitancia de entrada del MOSFET según la datasheet del IRF530.

**0.3. Circuito en la Simulación**

**0.4. Circuito en la Práctica**

**0.5. Diferencias**

**0.6. Conclusiones**