

5

PRÁCTICA 5. CARACTERIZACIÓN DE CIRCUITOS CON MOSFETS

5.1. Objetivo

Es esta práctica se pretende caracterizar un transistor MOSFET. Para comprender el funcionamiento de este transistor, se medirán las características I-V; se determinarán los parámetros de un MOSFET de canal N (NMOSFET) y se medirá su característica de transferencia.

5.2. Fundamento Teórico

El transistor MOSFET es un dispositivo de tres terminales llamados puerta (G, *Gate*), drenador (D, *Drain*) y fuente (S, *Source*). La corriente que circula entre los terminales de fuente y drenador se controla a través del terminal de puerta. MOSFET son las siglas de Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor y, como su propio nombre indica, es un transistor de efecto de campo basado en la estructura MOS (Metal Oxido Semiconductor).

Existen dos tipos de MOSFET dependiendo de la naturaleza del canal: NMOSFET y PMOSFET. En cuanto a su funcionamiento, pueden distinguirse tres modos de operación que dependerán de la relación entre los voltajes de los terminales. Para un NMOSFET se tiene:

- **Región de Corte.** En este modo, el transistor no funciona, esto es, no hay corriente entre fuente y drenador. En esta región:

$$V_{GS} < V_{th} \quad (5.1)$$

donde V_{th} es la tensión umbral del dispositivo.

- **Región Lineal, Óhmica o de Triodo.** En este modo, el transistor está encendido y el canal que se crea entre fuente y drenador permite la circulación de corriente entre ambos. Este modo se produce cuando $V_{GS} > V_{th}$ y $V_{DS} < (V_{GS} - V_{th})$. La corriente que circula entre la fuente y el drenador es:

$$I_D = \mu_n C_{ox} \frac{W}{2L} [2(V_{GS} - V_{th}) V_{DS} - V_{DS}^2] \quad (5.2)$$

donde μ_n es la movilidad efectiva de los portadores, W es la anchura de la puerta, L es su longitud y C_{ox} es la capacidad del óxido de puerta por unidad de área.

- **Región de Saturación o Activa.** Este modo se produce cuando $V_{GS} > V_{th}$ y $V_{DS} > (V_{GS} - V_{th})$. La corriente que circula entre la fuente y el drenador es:

$$I_D = \mu_n C_{ox} \frac{W}{2L} (V_{GS} - V_{th})^2 \quad (5.3)$$

5.3. Procedimiento Experimental

Para realizar esta práctica utilizaremos un circuito integrado, en concreto el 4007 que contiene 6 transistores MOS según indica la figura 5.1 (3 PMOS los tres de arriba y 3 NMOS los tres de abajo). En particular, trabajaremos con uno de los tres transistores NMOS.

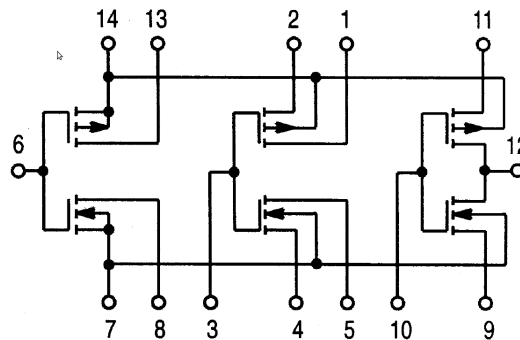


Figura 5.1: Circuito integrado 4007.

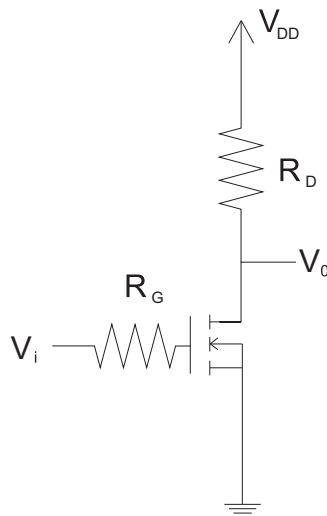


Figura 5.2: Montaje experimental para la medida de la característica de transferencia de un NMOS.

5.3.1. Característica de transferencia

Para calcular la característica de transferencia del transistor NMOS, montaremos el circuito de la figura 5.2, donde V_i es una fuente de alimentación variable cuyo valor cambiaremos en el intervalo de 0 V a 5 V. Para cada uno de los valores de tensión de la fuente variable V_i , tomaremos los siguientes valores:

- tensión drenador-fuente (V_{DS})
- tensión puerta-fuente (V_{GS})
- tensión entre los extremos de R_G

Los valores anteriores se anotarán en la primera de las tablas que vienen en el archivo de Excel que acompaña al guion de esta práctica. A partir de esos datos, se realizará una representación gráfica de la tensión drenador-fuente (V_{DS}) frente a la tensión V_i . Esta gráfica será la característica de transferencia del circuito ya que la entrada es V_i y la salida (V_o) es V_{DS} . Como cualquier característica de transferencia, muestra cómo la salida (V_{DS}) se ve afectada por los cambios en la entrada (V_i).

5.3.2. Curva I-V de un MOSFET en saturación

Para calcular la característica I-V en saturación del transistor NMOS, montaremos el circuito de la figura 5.3, en el que puerta y drenador están cortocircuitados y donde V_i es una fuente de alimentación variable cuyo valor

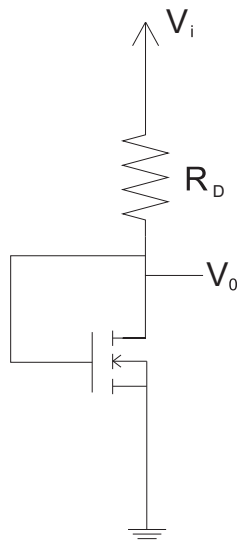


Figura 5.3: Montaje experimental para la medida de la característica I-V de un NMOS.

cambiaremos en el intervalo de 0 V a 5 V. Para cada uno de los valores de tensión de la fuente variable V_i , tomaremos los siguientes valores:

- tensión entre los extremos de R_D (V_{R_D}).
- tensión puerta-fuente ($V_{GS}=V_{DS}$).

Los valores anteriores se anotarán en la segunda de las tablas que vienen en el archivo de Excel que acompaña al guion de esta práctica. A partir de las medidas efectuadas y usando la Ley de Ohm, se calculará la intensidad que circula entre el drenador y la fuente (I_D). Finalmente, se representará en una gráfica la intensidad de drenador (I_D) frente a la tensión puerta-fuente (V_{GS}) y se realizará un ajuste por mínimos cuadrados para estimar la tensión umbral y la constante $\mu_n C_{ox} \frac{W}{L}$. Recuérdese que en esta sección el transistor está en saturación por haber cortocircuitado la fuente con el drenador.

5.4. Trabajo de Laboratorio

Nombre de los alumnos:

Turno de la sesión de prácticas:

1. Para el montaje de la figura 5.2, mida e indique los valores experimentales de R_G y R_D .

$R_G =$	$R_D =$
---------	---------

2. Rellene la primera de las tablas que vienen en el archivo de Excel que acompaña al guion de esta práctica¹ que corresponde con el trabajo experimental de la sección 5.3.1.
3. Explique qué valores esperaría obtener a priori para las intensidades de puerta anteriores, ¿coinciden esos valores con los reflejados en la tabla?

--

4. Represente la característica de transferencia (gráfica $V_o - V_i$) con la ayuda de la hoja de Excel. Para ello, se pondrán en el eje x los valores de la caída de tensión en la entrada V_i (columna B), y en el eje y los de la tensión V_o (columna D).
5. ¿Coincide la característica de transferencia con la esperada teóricamente?

--

¹No hace falta que escriba los errores de las distintas magnitudes en la tabla.

6. Para el montaje de la figura 5.3, mida e indique el valor experimental de R_D .

$R_D =$

7. Rellene la segunda de las tablas que vienen en el archivo de Excel que acompaña al guion de esta práctica² que corresponde con el trabajo experimental de la sección 5.3.2.
8. Represente la característica $I - V$ con la ayuda de la hoja de Excel. Para ello, se pondrán en el eje x los valores de la caída de tensión V_{GS} (columna B), y en el eje y los de la corriente I_D (columna D).
9. Con la ayuda de Excel, realice un ajuste lineal de los datos de la columna E ($\sqrt{I_D}$) frente a los de la columna B (V_{GS}). Usando dicho ajuste, calcule los valores de la siguiente tabla³.

V_{th} (V)	$\mu_n C_{ox} \frac{W}{L}$ (mA/V ²)	coef. de correlación del ajuste

10. Envíe por correo electrónico al profesor de prácticas el archivo Excel donde se vean las tablas rellenas, las gráficas realizadas y el ajuste efectuado.

²No hace falta que escriba los errores de las distintas magnitudes en la tabla.

³Puesto que Excel no facilita los errores de los parámetros del ajuste, los valores de esta tabla se expresarán sin error.