

Practica 2

Polarización del MOSFET

Hernández Prince Cristian Alfonso, cistian2181572@correo.uis.edu.co

Morales Cruz Damián Guillermo, damian2180389@correo.uis.edu.co

Pérez Díaz David Arturo, david2162488@correo.uis.edu.co

Abstract

This laboratory report consists of two experiments carried out using the 2N700 transistor, in each of which it was biased in a different way and relevant data were taken to compare the results obtained in the laboratory with those obtained from the theory.

Resumen

El presente informe de laboratorio consta de dos experimentos realizados con el transistor 2N700, en cada uno de los cuales se polarizo de diferente manera y se tomaron datos de relevancia para comparar los resultados obtenidos en el laboratorio con los calculados a partir de la teoría.

1. INTRODUCCIÓN

En siguiente laboratorio se implementarán dos arreglos de circuitos en los que se analizara el comportamiento de un transistor MOSFET, así como obtener medidas para diferentes transistores en ambos arreglos para corroborar las medidas, de igual forma se pretende analizar el comportamiento de los transistores en ambos arreglos con un aumento en la temperatura del transistor para determinar el efecto de dicho aumento.

2. OBJETIVOS

Comprender el funcionamiento de un transistor MOSFET.

Observar las curvas características de un MOSFET.

Observar la dependencia de las características de polarización de una etapa amplificadora MOSFET, con el cambio del dispositivo por otro de la misma referencia.

3. MARCO TEÓRICO

Si aplicamos una tensión $V_{GS} = 0$, (Figura 1) aunque apliquemos una tensión V_{DS} no circulará corriente alguna por el dispositivo, ya que la unión de drenador está polarizada en inversa.

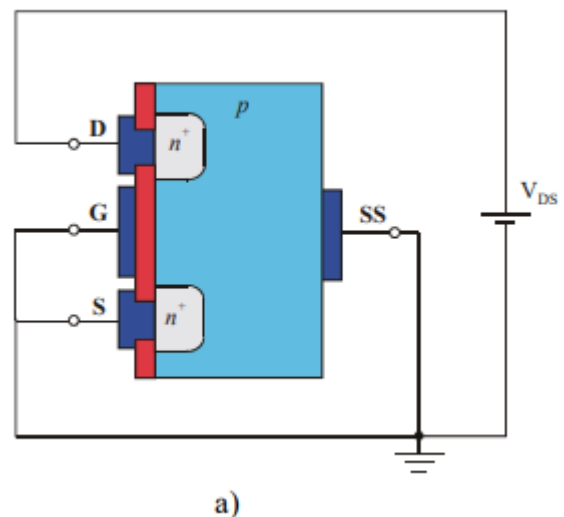


Figura 3.1 $V_{GS} = 0$

Sin embargo, cuando $V_{GS} > 0$ aparece un campo eléctrico que lleva a los electrones hacia la zona de la puerta y aleja de dicha zona a los huecos, no pudiéndose establecer una corriente por estar la puerta aislada. Para valores pequeños de esta tensión V_{GS} aplicada se creará una zona de carga de espacio (sin portadores), sin embargo, si seguimos aumentando el valor de esta tensión, la acumulación de electrones se hará lo suficientemente importante como para decir que tenemos una zona n, es decir, se formará un canal de tipo n que unirá los terminales de drenador y fuente.

De esta forma, cuanto mayor sea la tensión V_{GS} aplicada mayor será la anchura del canal formado, es decir, de nuevo tenemos un efecto de modulación de anchura del canal con la tensión V_{GS} . [1]

Curvas Características.

Las curvas características nos proveen una visión del comportamiento ya sea de la corriente, voltaje o en general parámetros relacionados con el transistor y su funcionamiento en las cuales estos parámetros se ven relacionados entre si por medio de las llamadas “curvas características”.

Algunas curvas características:

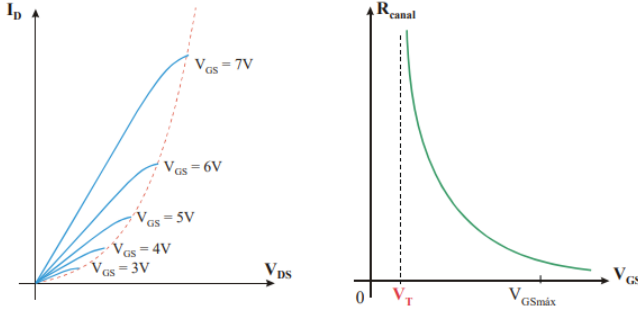


Figura 3.2. Para $V_{DS} < V_{DSsat}$ el MOSFET se comporta como una resistencia variable con V_{GS}

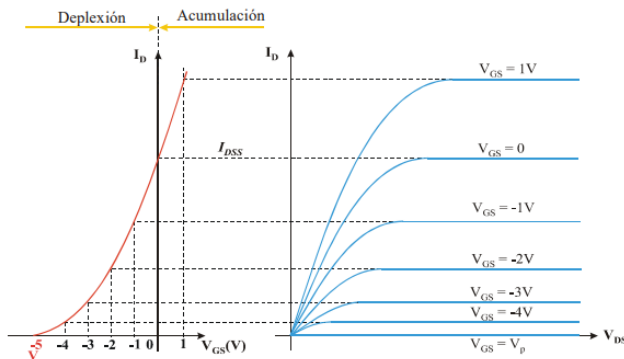


Figura 3. Características ideales de un MOSFET de depleción canal n.

[1]

Consideraciones generales.

las nueve posibles topologías de circuitos que utilizan un transistor bipolar se reducen de hecho a tres configuraciones útiles. La similitud de los modelos de pequeña señal bipolar y MOS (es decir, una fuente de corriente controlada por voltaje) sugiere que lo mismo debe ser válido para los amplificadores MOS. En otras palabras, esperamos tres amplificadores CMOS básicos: la etapa de “fuente común” (CS), la etapa de “puerta común” (CG) y el “seguidor de fuente”. [2]

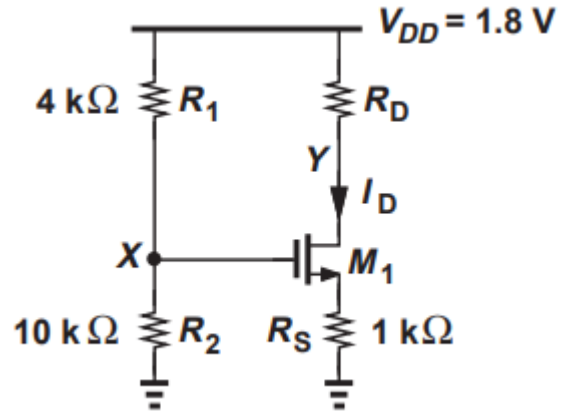


Figura 3.3. Etapa MOS con polarización..

Considere el circuito que se muestra en la figura 4, donde el voltaje de puerta está definido por R_1 y R_2 . Suponemos que M_1 opera en saturación. Además, en la mayoría de los cálculos de sesgo, podemos ignorar la modulación de longitud de canal. Teniendo en cuenta que la corriente de puerta es cero, tenemos:

$$V_X = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD}. \quad (7.1)$$

Since $V_X = V_{GS} + I_D R_S$,

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} = V_{GS} + I_D R_S. \quad (7.2)$$

Also,

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2. \quad (7.3)$$

Equations (7.2) and (7.3) can be solved to obtain I_D and V_{GS} , either by iteration or by finding I_D from Eq. (7.2) and replacing for it in Eq. (7.3):

$$\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} - V_{GS} \right) \frac{1}{R_S} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2. \quad (7.4)$$

That is,

$$V_{GS} = -\left(V_1 - V_{TH} \right) + \sqrt{\left(V_1 - V_{TH} \right)^2 - V_{TH}^2 + \frac{2R_2}{R_1 + R_2} V_1 V_{DD}}, \quad (7.5)$$

$$= -\left(V_1 - V_{TH} \right) + \sqrt{V_1^2 + 2V_1 \left(\frac{R_2 V_{DD}}{R_1 + R_2} - V_{TH} \right)}, \quad (7.6)$$

where

$$V_1 = \frac{1}{\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} R_S}. \quad (7.7)$$

Figura 3.4. Cálculos generales de la polarización.

Este valor de V_{GS} se puede sustituir en la ecuación. (7.2) para obtener la identificación. Por supuesto, V_Y debe exceder $V_X - V_{TH}$ para asegurar la operación en la región de saturación. [2]

4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Parte 1 y 2

Montaje y medición de los circuitos de la Figura 6.

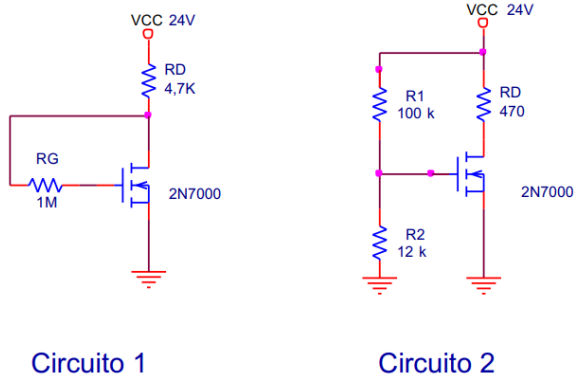


Figura 4.1 Circuitos polarizados con MOSFET

Teniendo en cuenta los valores dados por la figura 6, se procede a hacer el montaje del circuito 1 y 2 en el protoboard y posterior a esto se miden los voltajes y corrientes de polarización de cada uno de ellos.

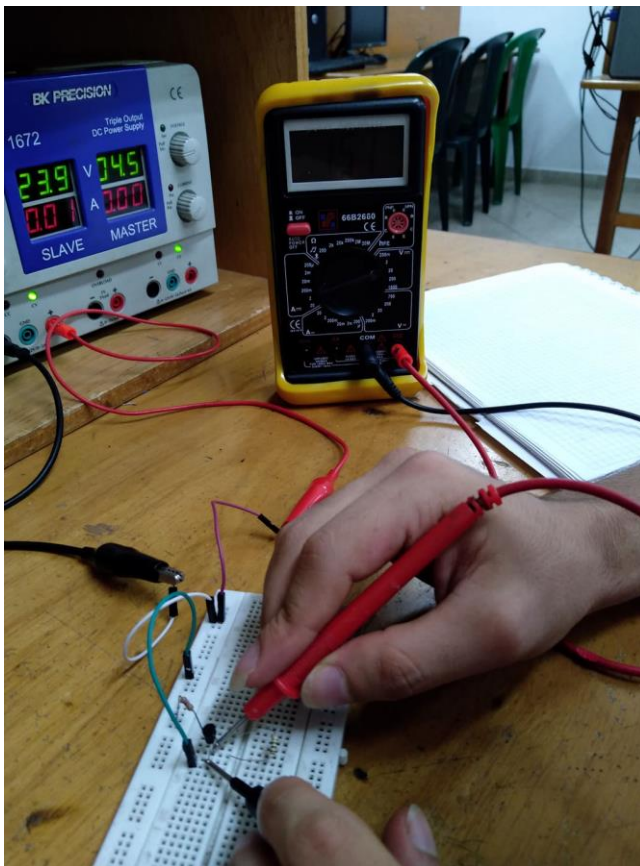


Figura 4.2. Montaje y medición del circuito 1.

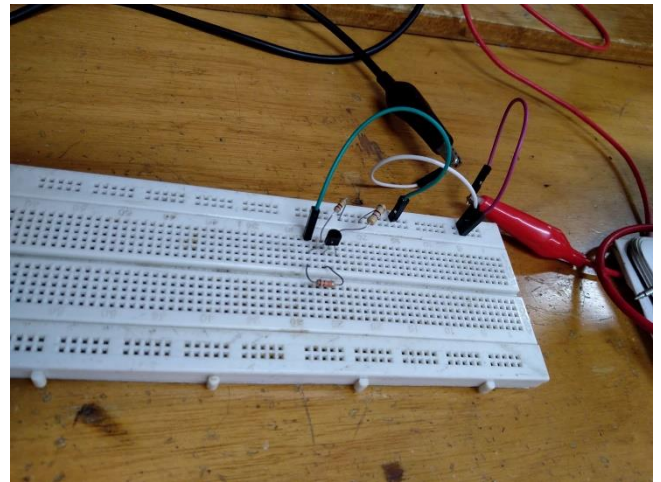


Figura 4.3. Montaje del circuito 2.

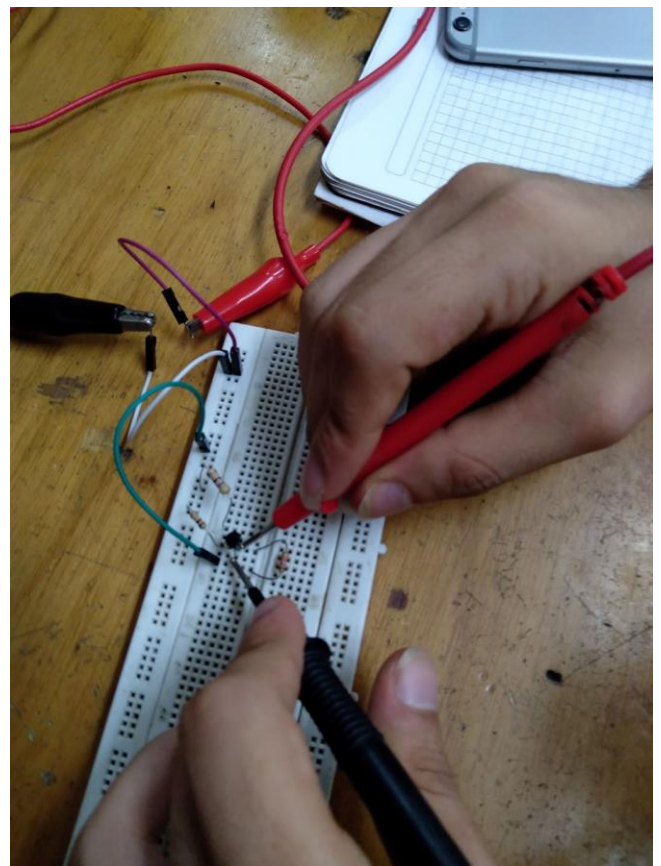


Figura 4.4 Medición para el circuito 2.

Parte 4

Luego se procede a cambiar el transistor de cada circuito y se comprueban si los resultados de los valores de polarización difieren o no al hacer este cambio.

Parte 5

Se procede a aumentar la temperatura del transistor usando un cautín y a su vez volver a medir y verificar si los valores difieren de los tomados en condiciones normales.

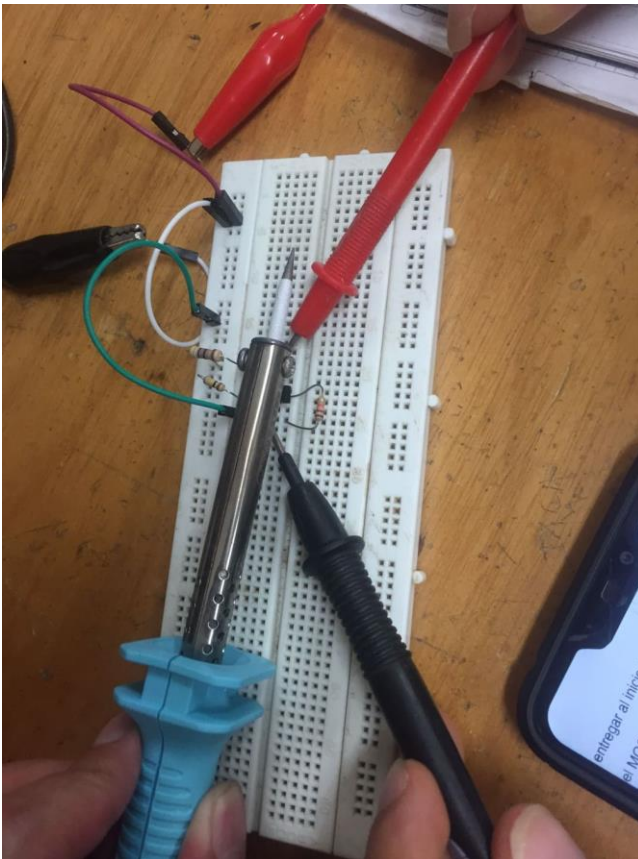


Figura 4.5. Medición usando el cautín para el aumento de temperatura.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el transistor utilizado en ambos experimentos se realizaron pruebas de caracterización polarizándolo con una tensión $V_{gs} = 3 \text{ Vdc} = V_{ds}$ y conociendo de antemano la tensión de $V_{th} = 0.8 \text{ Vdc}$. De esta manera se obtuvo que:

$$k_N = 0,04$$

La corriente del transistor en estado de saturación se define como:

$$i_d = k_N (v_{gs} - v_t)^2$$

Montaje 1:

Cálculos teóricos:

$$\begin{aligned} v_{ds} &= v_{gs} \\ v_{ds} &= 24 - 4.7k i_d \\ i_d &= (0,04)(V_{ds} - 0,8)^2 \\ i_d &= (0,04)(23,2 - 4,7k i_d)^2 \\ i_d &= 4.71[mA] \\ v_d &= 1,8[v] = v_g \end{aligned}$$

Tabla 1:

I_D	V_D	V_S	V_G	Valores
4,67 mA	1.52	0	1.52	Medidos del circuito 1
				Calculados del circuito 1

Figura 5.1. Tabla de resultados obtenidos en el experimento 1

El porcentaje de error medio es de:

$$\bar{E} = 11,9 \%$$

Esto indica que los cálculos obtenidos a partir de la teoría podrían necesitar un ajuste mínimo debido a la desviación de los valores, y este ajuste deber estar relacionado con las no idealidades no consideradas en el planteamiento teórico.

Montaje 2:

Cálculos teóricos:

$$\begin{aligned} v_{gs} &= i_x R_2 \\ i_x &= \frac{24}{112} \cdot 10^{-3} \\ v_{gs} &= \frac{24 \cdot 12}{112} = 2.57 \end{aligned}$$

$$i_d = (0,04)(2.57 - 0,8)^2 = 75 \text{ mA}$$

$$v_d = 0,31v$$

Tabla 2:

I_D	V_D	V_S	V_G	Valores
4,67 mA	1.52	0	1.52	Medidos del circuito 1
				Calculados del circuito 1
73.7 mA	0.24	0	2.49	Medidos del circuito 2
				Calculados del circuito 2

Figura 5.2. Tabla de valores montaje 1 y 2.

El porcentaje de error medio es de:

$$\bar{E} = 15,83\%$$

De nuevo, las no idealidades toman en mayor parte la razón de la diferencia entre los resultados teóricos y prácticos, también se le atribuye desviación en los cálculos al hecho de no tener resistores completamente exactos.

SOMETIMIENTO A CAMBIO DE TEMPERATURA:

I_D	V_D	V_S	V_G	Valores
4.58 mA	1.48	0	1.48	Medidos del circuito 1
				Calculados del circuito 1
78.5 mA	0.48	0	2.47	Medidos del circuito 2
				Calculados del circuito 2

Figura 5.3. Tabla de valores montajes 1 y 2 sometidos a campo térmico.

Se puede observar con precisión que existe una variación de la respuesta del dispositivo al someter al mismo a una temperatura diferente al ambiente, de la misma manera esta respuesta se puede apreciar en la hoja de datos del dispositivo en la cual el fabricante dispone de una gráfica de curvas de respuesta del dispositivo dependiendo de la temperatura a la que este funcione.

6. Conclusiones

Para ambos montajes se tuvo éxito en su implementación ya que se pudieron evidenciar claramente los cálculos teóricos.

Se pudo corroborar los datos de la curva característica del MOSFET dadas las formulas y los cálculos teóricos para el modo de saturación, con algunas variaciones ya que el montaje no era ideal.

Se confirmaron las medidas experimentales con el cambio del transistor para ambos montajes, lo que confiere certeza al análisis teórico de los montajes y las características del transistor.

Se evidencio el cambio en el comportamiento del transistor debido a un aumento considerable de temperatura, el cual incidió en cambios en las medidas los cuales generan cierto porcentaje de error el cual es relativamente considerables.

Se pudo comprender de manera directa el efecto del aumento de la temperatura en un transistor.

Referencias

- [1] UPV/EHUko OpenCourseWare (OCW) proiektua. https://ocw.ehu.eus/file.php/110/electro_gen/teoria/tema-7-teoria.pdf (accedido el 21 de febrero de 2022).
- [2] B. Razavi, *Fundamentals of Microelectronics*. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2013, pp. 309-310.