



## PRÁCTICA 8

### TRANSISTOR DE EFECTO DE CAMPO (FET)

#### *Caracterización y Polarización de MOSFET*

Integrantes: Murrieta Villegas Alfonso Valdespino Mendieta Joaquín	
Fechas de realización: 23 / 10 / 2019	Profesor: M.I. Raúl Ruvalcaba Morales
Fecha de entrega: 30 / 10 / 2019	No. Mesa de trabajo: 2



### Objetivos de aprendizaje

Caracterizar y polarizar un MOSFET, para identificar cada una de sus regiones de operación.

### Material y equipo

- Cables (banana-caimán, caimán-caimán, caimán-BNC)
- Tableta de prototipos (Protoboard)
- Herramienta manual (pinzas, desarmadores, etc.)
- Los valores de los dispositivos indicados en el circuito A
- Multímetro, Fuente de poder, Osciloscopio y Generador de Funciones.

### Trabajo previo

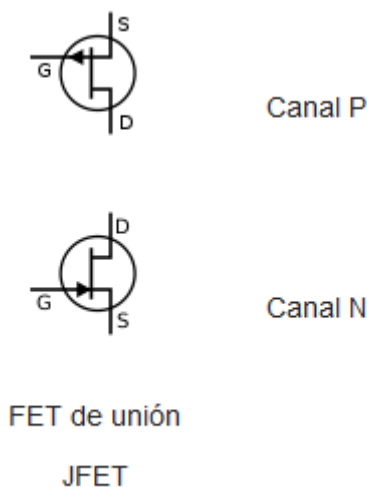
#### 1. ¿Qué es un *Transistor de Efecto de Campo*?

También conocido como FET, es un dispositivo que tiene tres terminales: Fuente(source), Drenaje (Drain), Puerta (Gate), trabajan controlando la corriente entre drain y source a través del campo eléctrico establecido mediante el voltaje aplicado al terminal Gate.

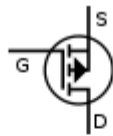
#### 2. ¿Cuántos *tipos de FET's* existen? *Dibuje el símbolo de cada uno de ellos.*

Existen 2 tipos de FET, cada con variantes en el Canal (N o P)

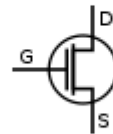
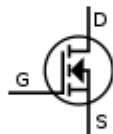
JFET (FET de Juntura):



MOSFET(Metal Oxido Semiconductor FET):



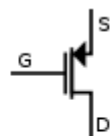
Canal P



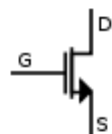
Canal N

MOSFET de Enriquecimiento  
(MOSFET-E)

MOSFET de Enriquecimiento  
(sin sustrato)



Canal P



Canal N

· MOSFET de Empobrecimiento  
o Deplexión (MOSFET-D)

### 3. Mencione por lo menos *cuatro diferencias* entre los transistores *TBJ* y *FET*.

- La impedancia de los FET's es mayor que la de los TBJ's
- Los FET's poseen una mayor estabilidad térmica respecto a los TBJ's
- Los TBJ's poseen una mayor estabilidad estática respecto a los FET'S
- El tamaño del dispositivo FET es menor respecto al TBJ
- Los FET's son mas sensibles ante la radiación frente a los TBJ's
- Los FET's pueden tener un interruptor.

### 4. ¿Qué entiende por los siguientes conceptos?

- a) Corriente de saturación de drain-source ( $I_{DSS}$ ): Corriente máxima que el drain tiene al estar en saturación
- b) Voltaje de corte o apagado o estrangulamiento ( $V_{GS(off)}$  o  $V_P$ ): voltaje de Gate-source en el

cual permanece apagado el transistor o en zona de corte.

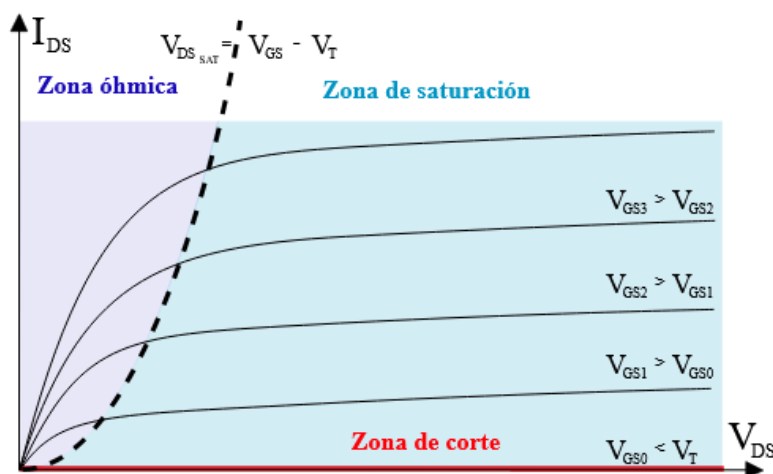
- c) Voltaje de ruptura de gate-source ( $BV_{GSS}$ ): voltaje máximo que puede soportar el MOSFET
- d) Voltaje de umbral ( $V_T$  o  $V_{GS(th)}$ ): Voltaje mínimo necesario para que el MOSFET empiece a operar
- e) Transconductancia de transferencia source ( $g_m$  o  $g_{fs}$ ):  
Es el cambio en la corriente de drenaje dividido por el pequeño cambio en el voltaje de Source con un voltaje de drain constante.
- f) Resistencia drain-source de encendido ( $r_{DS(on)}$ ):  
Resistencia interna del canal del MOSFET al estar en operación

### 5. Obtenga de algún manual las siguientes **características eléctricas** del Transistor **IRF830**:

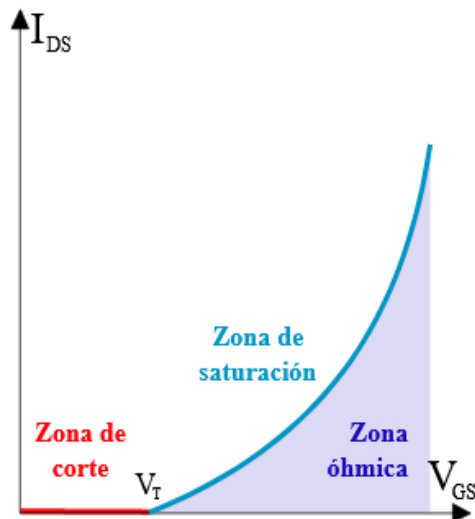
Tipo de FET	IRF830	Resistencia Drain-Source ( $r_{DS(on)}$ )	1.35 $\Omega$
Corriente de Drain máxima ( $I_D$ )	4.5 A	Potencia de disipación ( $P_{TOT}$ )	100 W
Voltaje de umbral Gate-Source ( $V_T$ o $V_{GS(th)}$ )	3.4 V	Transconductancia ( $g_m$ o $g_{fs}$ )	2.5 S
Voltaje de ruptura Gate-Source ( $BV_{GSS}$ )	4 V	Tipo de encapsulado	TO-220AB
Voltaje máximo Drain-Source ( $BV_{DSS}$ )	500 V	Patigrama	

### 6. Dibuje las siguientes **Curvas Características** del MOSFET canal n de enriquecimiento:

- a)  $I_D$  vs  $V_{DS}$  (Indique sus regiones de operación)



b)  $I_D$  vs  $V_{GS}$  (Característica de Transferencia)



7. ¿Cuáles son las ecuaciones que representan las curvas características de transferencia de los MOSFET de empobrecimiento (vaciamiento) y de enriquecimiento (acrecentamiento)?

Empobrecimiento (ecuación de Shockley):

$$I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right)^2$$

Donde:

$I_D$  = Corriente del drain

$I_{DSS}$  = Corriente drain – source de saturación

$V_{GS}$  = Voltaje gate – source

$V_p$  = Voltaje de pinchoff o de estrangulamiento

Enriquecimiento

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$$

$$K = \frac{\mu_n c_{ox} W}{2L}$$



Donde:

$I_D$  = Corriente del drain

$V_{GS}$  = Voltaje gate – source

$V_T$  = Voltaje de umbral

$\mu_n$  = Movilidad del electrón por el canal

$C_{ox}$  = Capacitancia condensador de placas paralelas con la capa de óxido como dieléctrico

$W$  = Ancho del dispositivo

$L$  = Longitud del dispositivo

### 8. ¿Cómo se determinan las transconductancias de los MOSFET de vaciamiento y de acrecentamiento?

La transconductancia para el MOSFET puede expresarse como:

$$g_m = \frac{2I_D}{V_{OV}}$$

$I_D$  es la corriente de drenaje de CC en el punto de polarización.

$V_{OV}$  es la tensión de sobrecarga, que es la diferencia entre la tensión de la fuente de la puerta del punto de polarización y la tensión de umbral

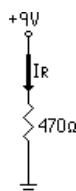
### 9. Mencione las principales configuraciones que hay para polarizar en MOSFET

- Polarización por retroalimentación del drain
- Polarización por divisor de voltaje
- Polarización por graduador

### 10. Para el circuito A, calcule la corriente $I_R$

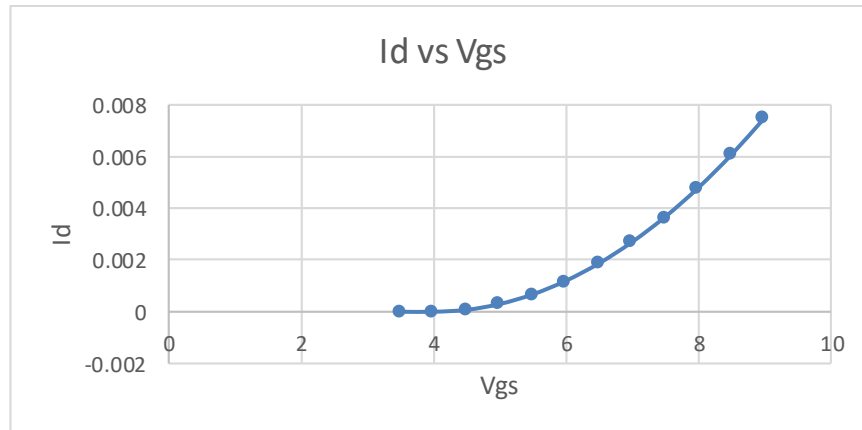
$$V = I_R R$$

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{9}{470} = 0.01914A = 19.14mA$$



### 11. Para el circuito B, considerando un voltaje de umbral de $V_{GS(th)} = 4V$ , y $K = 0.3 mA/V^2$ , calcule las corrientes de Drain ( $I_D$ ) para las condiciones que se solicitan en la siguiente tabla y grafique $I_D$ vs $V_{GS}$ :

$V_{GS}$	$I_D$	$V_{GS}$	$I_D$
3.5 V	0	6.5 V	$1.875 \times 10^{-3}$
4 V	0	7 V	$2.7 \times 10^{-3}$
4.5 V	$7.5 \times 10^{-5}$	7.5 V	$3.675 \times 10^{-3}$
5 V	$3 \times 10^{-4}$	8 V	$4.8 \times 10^{-3}$
5.5 V	$6.75 \times 10^{-4}$	8.5 V	$6.075 \times 10^{-3}$
6 V	$1.2 \times 10^{-3}$	9 V	$7.5 \times 10^{-3}$



12. Para el circuito C, calcule el punto de operación Q ( $I_{D(Q)}$ ,  $V_{DS(Q)}$ )

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 = 0.3 \times 10^{-3} (V_{GS} - 4)^2$$

$$V_{GS} = V_{DD} - I_D R_D = 9 - I_D (100 \times 10^3)$$

$$I_D = 0.3 \times 10^{-3} ((9 - I_D (100 \times 10^3)) - 4)^2 = 0.3 \times 10^{-3} (5 - I_D (100 \times 10^3))^2$$

$$I_D = 0.3 \times 10^{-3} (25 - 1 \times 10^6 I_D + 10 \times 10^9 I_D^2)$$

$$I_D = 7.5 \times 10^{-3} - 300 I_D + 3 \times 10^6 I_D^2$$

$$7.5 \times 10^{-3} - 301 I_D + 3 \times 10^6 I_D^2 = 0$$

Obteniendo las raíces del polinomio

$$I_D = 5.42 \times 10^{-5} A$$

$$I_D = 4.60 \times 10^{-5} A$$

Para  $I_D = 5.42 \times 10^{-5} A$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D = 9 - 5.42 \times 10^{-5} (100 \times 10^3) = 3.58 V$$

Para  $I_D = 4.60 \times 10^{-5} A$

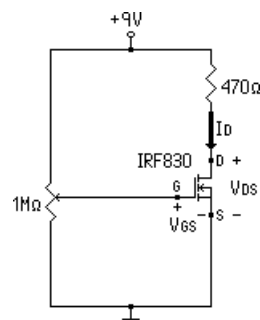
$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D = 9 - 4.60 \times 10^{-5} (100 \times 10^3) = 4.4 V$$

- Realizar la *simulación* de los circuitos B y C y comparar los resultados simulados con los calculados (véase Anexo).
- Llevar *armados* los circuitos B y C en la protoboard para realizar los análisis en el laboratorio.

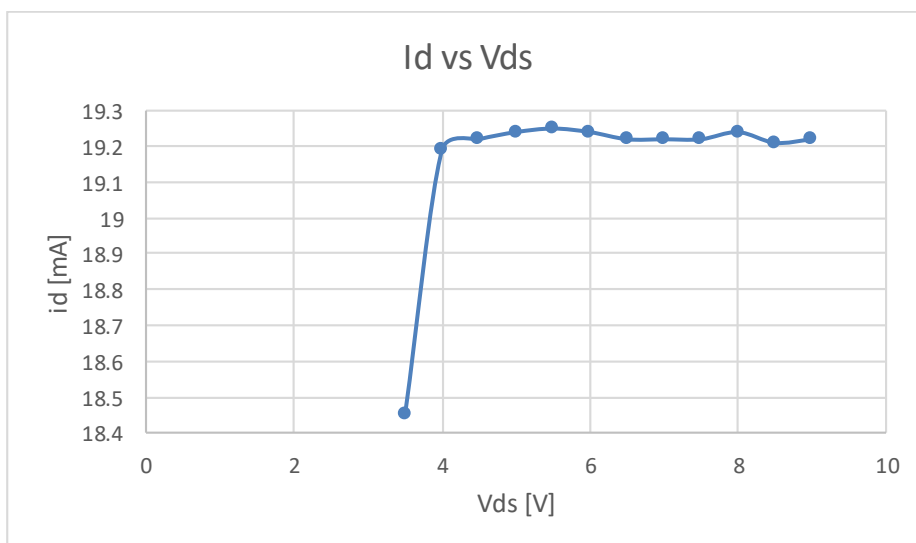
### Desarrollo

13. Una vez armado y revisado el circuito B, obtenga la curva  $I_D$  Vs  $V_{DS}$  para las siguientes condiciones:

$V_{GS}$	$I_D$	$V_{GS}$	$I_D$
3.5 V	18.45 [mA]	6.5 V	19.22 [mA]
4 V	19.19 [mA]	7 V	19.22 [mA]
4.5 V	19.22 [mA]	7.5 V	19.22 [mA]
5 V	19.24 [mA]	8 V	19.24 [mA]
5.5 V	19.25 [mA]	8.5 V	19.21 [mA]
6 V	19.24 [mA]	9 V	19.22 [mA]



A continuación, se muestra la gráfica obtenida del comportamiento del MOSFET:



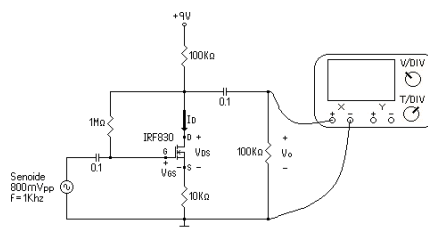
14. Compare la corriente  $I_D$  de saturación que alcanzó este circuito con la corriente  $I_R$  calculada en el punto 10 del trabajo previo.

En los cálculos teóricos (Apartado 10) se obtuvo un valor de 19.14 mA mientras que de forma experimental se obtuvo 19.22, lo cual nos demuestra la cercanía y veracidad de nuestros resultados obtenidos de manera experimental.

15. Una vez armado y revisado el circuito C obtenga:

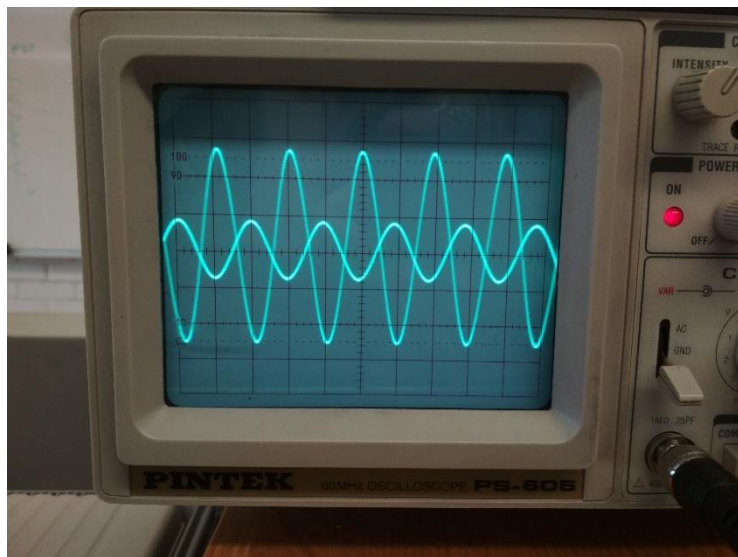
a) Los siguientes datos de la tabla

Corriente de Drain	$(I_D)$	.05 mA
Voltaje Drain-Source	$(V_{DS})$	2.765 V
Voltaje Gate-Source	$(V_{GS})$	2.759 V





- b) Los oscilogramas mostrando al mismo tiempo la señal de entrada ( $V_{in}$ ) y la señal de salida ( $V_o$ )



Oscilograma 1: Oscilograma del circuito C, la señal pequeña es la de la entrada mientras que la señal grande es la salida.

**NOTA:** La señal de salida tiene otra escala (Cada recuadro vale .5 V)

- c) ¿Cuál es la ganancia en voltaje ( $A_v$ ) de este circuito?, es decir ¿Cuánto se amplificó la señal de salida con respecto a la señal de entrada?

Con la siguiente expresión se obtuvo la ganancia:

$$A_v = \frac{v_{pout}}{V_{pin}} = \frac{2.4 V}{.8 V} = 3$$



### Conclusiones

En la presente práctica aprendimos y caracterizamos el comportamiento de un transistor de efecto de campo en específico de un MOSFET.

Además, conocimos algunas diferencias que tiene este tipo transistor respecto a los TBJ desde aspectos físicos como la composición del transistor como el hecho de que los MOSFET tienen 3 terminales; Gate, Drain y Source hasta la misma forma en que estos operan que en el caso del MOSFET es dependiendo del Voltaje y no de la corriente como los TBJ.

Por último, aprendimos una aplicación indirecta de los MOSFET que es el uso de estos como amplificadores aunque cabe destacar que no es la finalidad principal de este tipo de transistores.

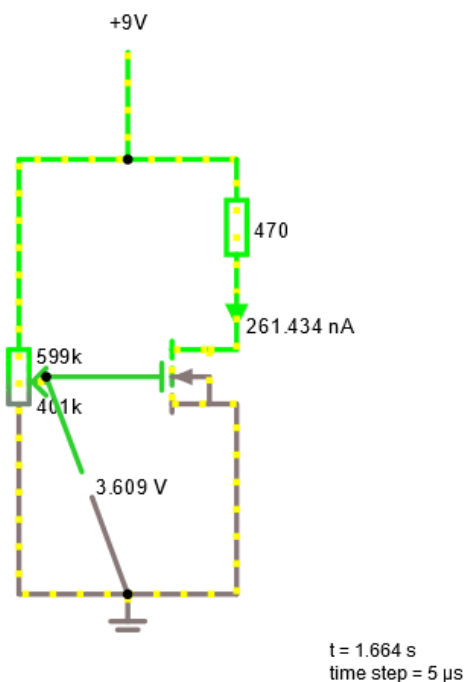
### Referencias

William H. Hayt, Jr. Jack E. Kemmerly. Análisis de circuitos en Ingeniería. Mc Graw Hill. CDMX, México.

### ANEXO (Simulaciones)

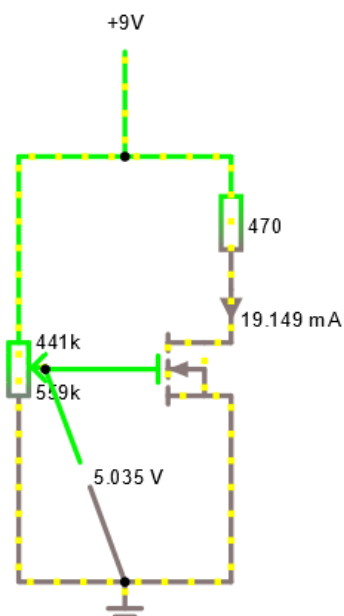
Circuito B

Para 3.5 V



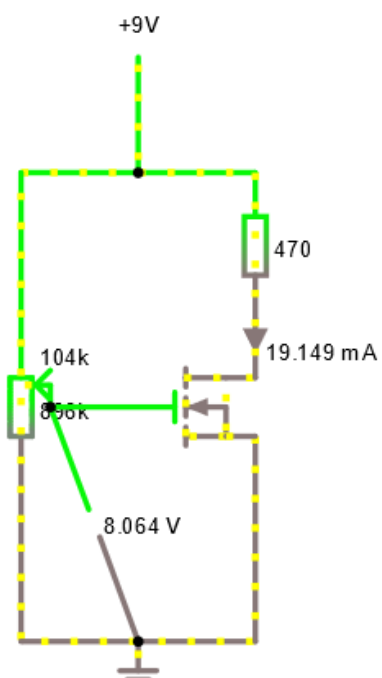


Para 5 V



t = 1.834 s  
time step = 5  $\mu$ s

Para 8 V



t = 1.882 s  
time step = 5  $\mu$ s

