



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ÁREA DE INGENIERÍA EN COMPUTADORES

LABORATORIO DE ELEMENTOS ACTIVOS

Experimento 6: Curvas características de componentes de tres terminales (transistores)

Estudiantes:

Arturo CHINCHILLA S.
Gustavo SEGURA U.

Profesor:

Ing. José DÍAZ

8 de marzo de 2019

Índice

| | |
|---|----------|
| 1. Resumen | 2 |
| 2. Introducción | 2 |
| 2.1. Construcción y Características de los JFET | 3 |
| 2.2. MOSFET | 3 |
| 2.3. Ecuación de Shockley | 4 |
| 2.4. La región óhmica | 4 |
| 3. Objetivos | 4 |
| 3.1. Objetivo General | 4 |
| 3.2. Objetivos Específicos | 5 |
| 4. Equipo y materiales | 5 |
| 5. Mediciones y tablas | 5 |
| 6. Análisis de resultados | 6 |
| 6.1. Gráficas de los datos obtenidos | 6 |
| 6.2. Medición de R_{GS} | 6 |
| 7. Conclusiones | 7 |
| 8. Recomendaciones | 7 |
| 9. Apéndices y anexos | 7 |

Índice de figuras

| | |
|--|---|
| 1. Primer Transistor | 2 |
| 2. PNP | 2 |
| 3. Construcción JFET | 3 |
| 4. Gráfica JFET | 3 |
| 5. Región óhmica | 4 |
| 6. Curva de transferencia experimental | 6 |
| 7. Curva característica experimental | 6 |

Índice de cuadros

| | |
|---|---|
| 1. Lista de materiales y equipo | 5 |
| 2. Curva de transferencia | 5 |
| 3. Valores del voltaje entre el Drain y Source del transistor y su I_{DS} asociada. | 6 |

1. Resumen

En este experimento se analizan el comportamiento de elementos electrónicos de 3 terminales (transistores), además se obtienen y analizan las curvas características de salida de transistores de efecto de campo de unión (JFET o FET) y transistores FET de metal-óxido-semiconductor (MOSFET) y sus parámetros más importantes como valores máximos y mínimos de voltajes y corrientes para su correcto funcionamiento. Es importante tener las hojas de datos de los componentes, éstas nos brindan datos únicos del elemento.

2. Introducción

"Durante el periodo de 1904 a 1947, el tubo de vacío, o bulbo, fue sin duda el dispositivo electrónico de mayor interés y desarrollo. J. A. Fleming presentó en 1904 el diodo de tubo de vacío. Poco tiempo después, en 1906, Lee de Forest agregó un tercer elemento, llamado rejilla de control al diodo de tubo de vacío y el resultado fue el primer amplificador, el triodo. El 23 de diciembre de 1947, sin embargo, la industria de la electrónica iba a experimentar el advenimiento de una dirección completamente nueva en cuanto a interés y desarrollo. Fue en la tarde de este día en que Walter H. Brattain y John Bardeen demostraron la acción amplificadora del primer transistor en los laboratorios Bell. El transistor original (un transistor de punto de contacto) se muestra en la figura 1. Las ventajas de este dispositivo de estado sólido de tres terminales sobre el bulbo fueron obvias de inmediato. Era más pequeño y más liviano; no tenía que calentarse ni perdía calor; su construcción era robusta; era más eficiente, puesto que el dispositivo consumía menos potencia; estaba disponible al instante para su uso, ya que no requería un periodo de calentamiento, y se podían obtener voltajes de operación más bajos." [1]

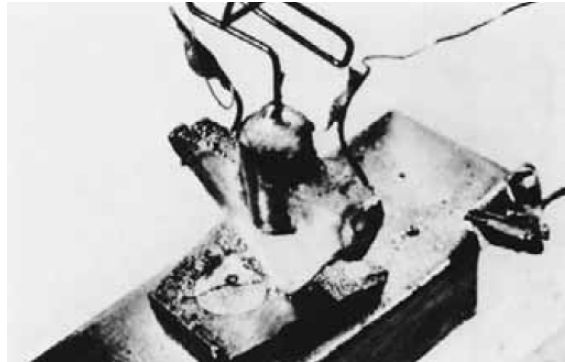


Figura 1: El primer transistor (Cortesía de Bell Telephone Laboratories.) (tomado de [1])

El transistor es un dispositivo semiconductor de tres capas, consta de dos capas de material tipo n y una de material tipo p (nnp) o de dos capas de material tipo p y una de material tipo n (pnp).

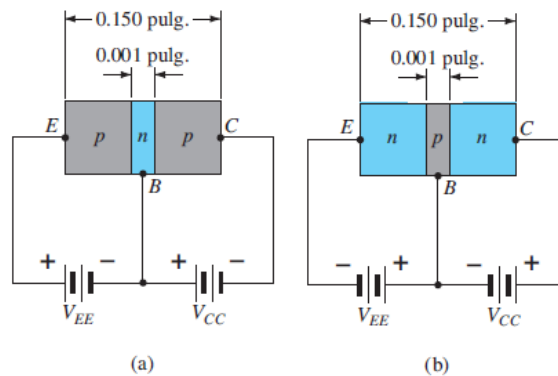


Figura 2: Tipos de transistores: (a) pnp; (b) npn. (tomado de [1])

2.1. Construcción y Características de los JFET

El transistor JFET es un dispositivo de tres terminales, donde una de esas terminales es capaz de controlar la corriente que pasa por las otras dos. La construcción básica del transistor JFET de canal n (Observe la figura 3). La parte principal de su estructura es el material del tipo n , el cual forma un canal entre las capas incrustadas de tipo p . La parte superior del canal tipo n está conectada mediante un contacto óhmico a un material conocido como Drenaje/Drain (D), en tanto que el extremo inferior del mismo material está conectado mediante un contacto óhmico a una terminal conocida como Fuente/Source (S). Mientras que los dos materiales de tipo p están conectados entre sí y a una terminal llamada Compuerta/Gate (G). El drenaje y la fuente están conectados a los extremos del canal tipo n y la compuerta a las dos capas de material tipo p . Sin potenciales aplicados, el JFET tiene dos uniones p - n en condiciones sin polarización. El resultado es una región de empobrecimiento en cada unión, como se muestra en la figura 3, la cual se asemeja a la misma región de un diodo en condiciones sin polarización. Hay que recordar también que una región de empobrecimiento no contiene portadores libres, y por consiguiente es incapaz de conducir.

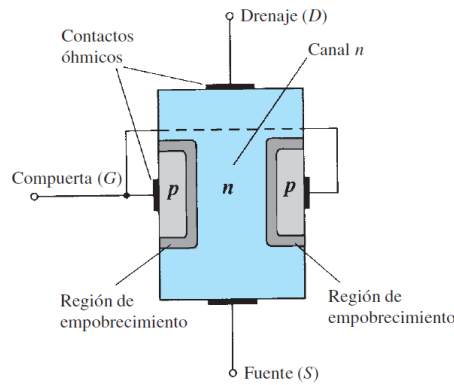


Figura 3: Transistor de efecto de campo de unión (JFET). (tomado de [1])

A continuación se muestra una gráfica para las curvas del transistor JFET de canal n V_{GS} con V_{GS} variable:

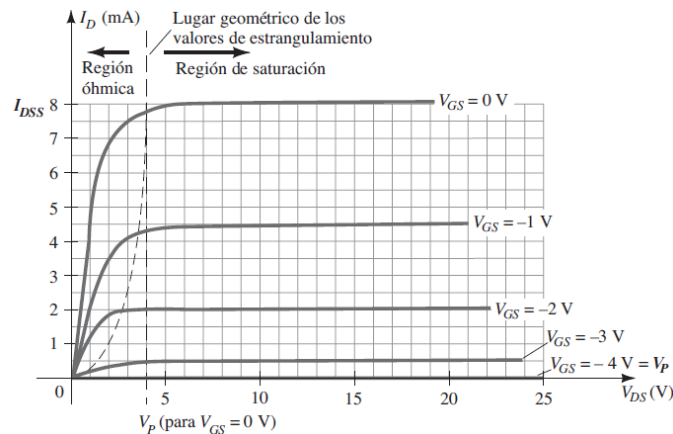


Figura 4: Características de un canal n con I_{DSS} 8 mA y $V_p = -4$ V. (tomado de [1])

2.2. MOSFET

"La delgada capa de SiO_2 entre la compuerta y el canal de los MOSFET tiene el efecto positivo de proporcionar una característica de alta impedancia de entrada para el dispositivo, pero su manejo se dificulta por su capa extremadamente delgada, lo que no sucedía con los transistores BJT o JFET. A menudo se acumula suficiente carga estática (captada de los alrededores) para establecer una diferencia de potencial a través de la delgada capa que puede destruirla y establecer

conducción a través de ella. Es por consiguiente imperativo dejar la envoltura de embarque (o anillo) de cortocircuito (o conducción) conectando los cables entre sí hasta que el dispositivo se vaya a insertar en el sistema. El anillo de cortocircuito evita que se aplique un potencial a través de dos terminales cualesquiera del dispositivo. Con el anillo, la diferencia de potencial entre dos terminales cualesquiera se mantiene a 0 V. En el último de los casos siempre tocan tierra para que se descargue la carga estática acumulada antes de manipular el dispositivo y siempre toca al transistor por su cápsula."[1].

2.3. Ecuación de Shockley

Es uno de los modelos más utilizados para representar el comportamiento de un diodo:

$$I = I_S(e^{\frac{qV_D}{nkT}} - 1) \quad (1)$$

Donde:

- I: intensidad de la corriente que atraviesa el diodo
- I_S : corriente de saturación (aproximadamente $10^{-12} A$)
- q: carga del electrón
- T: temperatura absoluta de la unión
- K: constante de Boltzmann
- n: coeficiente de emisión
- V_D : diferencia de tensión entre sus 2 extremos

2.4. La región óhmica

Es la parte de la curva característica de los transistores FET donde es posible aplicar la ley de Ohm. Cuando se polariza correctamente, este valor de resistencia es controlable mediante V_{GS}

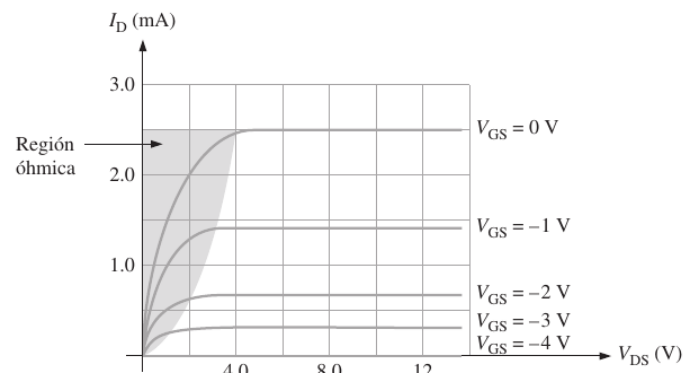


Figura 5: Gráfica identificando la región óhmica

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Al finalizar el experimento y su análisis, el estudiante estará en capacidad de obtener las curvas características de salida de transistores de efecto de campo de unión (JFET o FET) y transistores FET de metal-óxido-semiconductor (MOSFET) y sus parámetros más importantes.

3.2. Objetivos Específicos

Al terminar el laboratorio y su análisis, el estudiante estará en capacidad de:

1. Obtener las curvas características de componentes de 3 terminales.
2. Obtener las curvas características del transistor JFET.
3. Obtener las curvas características de MOSFET de enriquecimiento canal N y P.
4. Explicar el funcionamiento de los transistores FET y MOSFET.
5. Determinar los parámetros más importantes de los transistores FET y MOSFET a partir de sus curvas características en surtidor común.
6. Representar transistores FET y MOSFET mediante modelos de CD y CA adecuados para el análisis de circuitos.

4. Equipo y materiales

Cuadro 1: Lista de materiales y equipo

| Cantidad | Componente |
|----------|---|
| 1 | Fuente CD |
| 1 | Multímetro |
| 1 | Generador de funciones (sinusoidal, rectangular, triangular) |
| 1 | ORC |
| 1 | Placa para prototipos ("protoboard"). Debe traer los circuitos bien alambrados y listos |
| 1 | Diodos de Si o Ge. |
| 1 | Transistor JFET NTE132, NTE312, 2SK30ATM (K30A), o equivalente |
| | Resistencias determinadas por el estudiante. |
| | Alambre aislado 26/24AWG, alicates de punta, cortadora de cable |
| | Cables con terminales de banana. |
| | Enchufe aislador de tierras (tapón aislador o cable sin pata de tierra) |

5. Mediciones y tablas

Cuadro 2: Curva de transferencia

| Vgs(V) | Ids(A) |
|--------|----------|
| -0,420 | 189,5E-6 |
| -0,2 | 4,55E-04 |
| -0,046 | 5,71E-04 |
| 0,103 | 6,78E-04 |
| 0,314 | 8,28E-04 |
| 0,501 | 9,78E-04 |
| 0,589 | 1,05E-03 |
| 0,697 | 1,13E-03 |
| 0,707 | 7,21E-03 |
| 0,816 | 1,30E-03 |

Cuadro 3: Valores del voltaje entre el Drain y Source del transistor y su I_{DS} asociada.

| Vds | Ids |
|------|------|
| 0,19 | 2,28 |
| 0,22 | 2,63 |
| 0,26 | 3,02 |
| 0,3 | 3,48 |
| 0,33 | 3,82 |
| 0,37 | 4,21 |
| 0,4 | 4,61 |
| 0,46 | 4,99 |
| 0,5 | 5,34 |
| 0,55 | 5,67 |

6. Análisis de resultados

6.1. Gráficas de los datos obtenidos

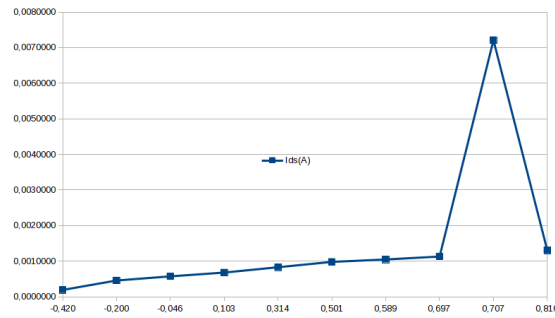


Figura 6: Curva de transferencia experimental del transistor JFET

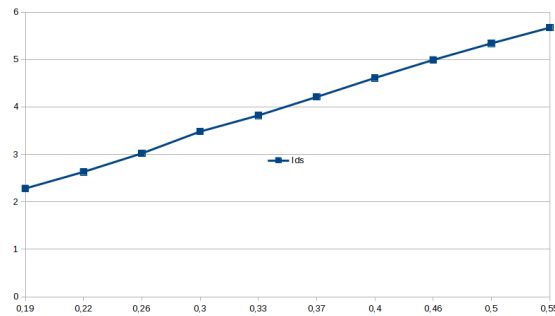


Figura 7: Curva característica experimental del transistor JFET

6.2. Medición de R_{GS}

Esta resistencia tiende un valor teórico infinito, debido a que no hay un flujo de corriente entre las terminales de Gate y Source en los transistores FET. Pero en la practica esto no se cumple, aun así la resistencia de entrada de un transistor JFET es extremadamente alta. Seria posible aproximar el valore teórico de esta al colocar un potenciómetro en serie, este nos permite tener un resistencia variable. Según el teorema de la máxima transferencia de potencia y el dicisor de voltaje, cuando 2 resistencias en serie tienen el mismo valor, el voltaje sobre ellas será el mismo. En este caso podemos deducir que cuando el voltaje sobre el potenciómetro corresponde a la mitad del voltaje de entrada, la otra mitad será disipada por R_{GS} y obtenemos su valor aproximado al medir el potenciómetro tras desconectarlo del circuito.

7. Conclusiones

La hoja de datos del fabricante es indispensable para conocer los valores mínimos, máximos para el correcto funcionamiento de los dispositivos electrónicos, esto no solo aplica para los transistores, sino para todos los dispositivos en general.

En la gráfica de la figura 6 se muestra como el transistor JFET muestra un pico de corriente en $V_{GS} = 0.7V$ que es su punto de operación.

En la gráfica de la figura 7 se observa la dependencia lineal de la corriente I_{DS} con el voltaje aplicado V_{DS} .

8. Recomendaciones

- Es indispensable dimensionar correctamente las resistencias y voltajes del circuito, para poder distinguir las diferentes zonas y comportamientos del dispositivo.
- En dispositivos más complejos como los transistores FET, es necesario verificar los valores máximos de voltaje recomendados por el fabricante, permitiendo un correcto funcionamiento del dispositivo.
-

9. Apéndices y anexos

Referencias

- [1] R. Boylestad, L. Nashelsky, R. Navarro and F. Rodríguez *Electrónica*. México: Pearson Prentice Hall, 2009.