



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE COMPUTO



INVESTIGACIÓN
TRANSISTOR DE EFECTO DE CAMPO (FET)

NOMBRE DEL ALUMNO: GARCÍA QUIROZ GUSTAVO IVAN
GRUPO: 4CV1

MATERIA: ELECTRÓNICA ANALÓGICA
NOMBRE DEL PROFESOR: MARTÍNEZ GUERRERO JOSÉ ALFREDO

FECHA: 02/05/2023

Índice

1.1	Transistor de Efecto de Campo (FET)	4
1.1.1	Conceptos básicos del FET	4
1.1.2	Tipos de Transistores de Efecto de Campo	5
1.2	JFET	6
1.2.1	Principios de operación del JFET	6
1.2.2	Parámetros y características de transferencia	8
1.2.3	Polarización del JFET	11
1.3	MOSFET	16
1.3.1	Principios de operación del MOSFET	16
1.3.2	Parámetros y características de transferencia	20
1.3.3	Polarización del MOSFET	21

Introducción

El transistor de efecto de campo abreviado por las siglas del inglés FET(Field Effect Transistor), es un dispositivo activo de 3 terminales que usa un campo eléctrico para controlar el flujo de corriente y tiene una alta impedancia de entrada que es útil en muchos circuitos y equipos. El transistor de efecto de campo o FET, es un componente electrónico clave que se utiliza en muchas áreas de la industria electrónica como los HEMT, MESFET, Transistor de Puerta Flotante y otros tipos de transistores. El FET se utiliza en muchos circuitos construidos a partir de componentes electrónicos; en áreas que van desde la tecnología de RF hasta el control de potencia y la conmutación electrónica hasta la amplificación general.

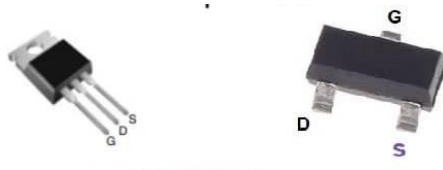
El uso principal del transistor de efecto de campo(FET) se encuentra dentro de los circuitos integrados. En esta aplicación, los circuitos FET consumen niveles mucho más bajos de energía que los circuitos integrados que utilizan tecnología de transistores bipolares. Esto permite que funcionen los circuitos integrados de gran escala. Si se usara tecnología bipolar, el consumo de energía sería órdenes de magnitud mayor y la energía generada sería demasiado grande para disiparse del circuito integrado. Además de utilizarse en circuitos integrados, las versiones discretas de transistores de efecto de campo están disponibles como componentes electrónicos con plomo y también como dispositivos de montaje en superficie.

Antes de que se introdujeron los primeros FET en el mercado de componentes electrónicos, el concepto se conocía desde hacía varios años. Hubo muchas dificultades para realizar este tipo de dispositivo y hacerlo funcionar. Algunos de los primeros conceptos del transistor de efecto de campo se describieron en un artículo de Lilienfield en 1926 y en otro artículo de Heil en 1935.

Después de esto, gran parte de la investigación de semiconductores se centró en mejorar el transistor bipolar, y la idea de un transistor de efecto de campo no se investigó por completo durante algún tiempo. En la actualidad, los FET se utilizan mucho y constituyen el principal elemento activo en muchos circuitos integrados y circuitos electrónicos. Sin estos componentes electrónicos la tecnología moderna sería muy diferente a lo que es ahora mismo.

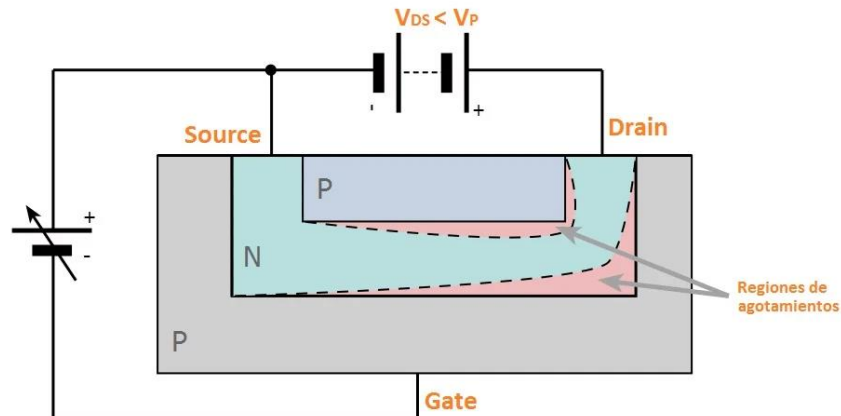
1.1 Transistor de Efecto de Campo (FET)

El transistor de efecto campo (Field-Effect Transistor o FET, en inglés). Es en realidad una familia de transistores que se basan en el campo eléctrico para controlar la conductividad de un "canal" en un material semiconductor.



1.1.1 Conceptos básicos del FET

El concepto de transistor de efecto de campo se basa en el concepto de que la carga en un objeto cercano puede atraer cargas dentro de un canal semiconductor. Básicamente, funciona mediante un efecto de campo eléctrico, de ahí el nombre. El FET consta de un canal semiconductor con electrodos en cada extremo denominado drenaje(D) y fuente(S). Un electrodo de control llamado puerta(G) se coloca muy cerca del canal para que su carga eléctrica pueda afectar el canal. De esta manera, la puerta del FET controla el flujo de portadores (ya sea electrones o huecos) que fluyen desde la fuente al drenaje. Lo hace controlando el tamaño y la forma del canal conductor.

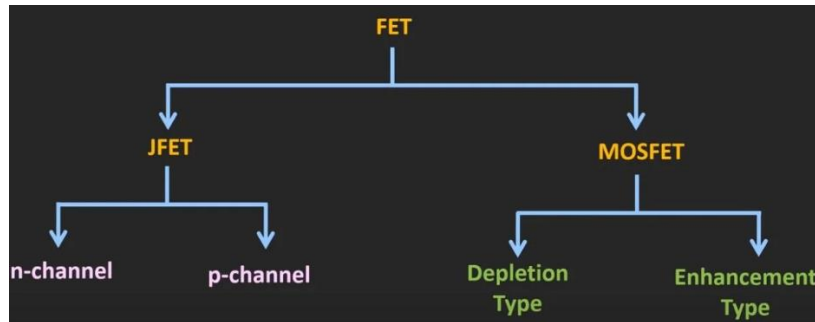


1.1.2 Tipos de Transistores de Efecto de Campo

Hay muchas formas de definir los diferentes tipos de FET disponibles. Los diferentes tipos significan que durante el diseño del circuito electrónico, hay una elección del componente electrónico adecuado para el circuito. Al seleccionar el dispositivo correcto, es posible obtener el mejor rendimiento para el circuito dado.

Los FET pueden clasificarse de varias formas, pero algunos de los principales tipos de FET se pueden cubrir en la imagen de árbol superior. Hay muchos tipos diferentes de FET en el mercado para los que existen varios nombres. Algunas de las categorías principales se muestran a continuación.

- Unión FET, JFET
- FET de puerta aislada / MOSFET de silicio de óxido de metal
- MOSFET de doble puerta
- MESFET
- HEMT / PHEMT
- FinFET
- VMOS



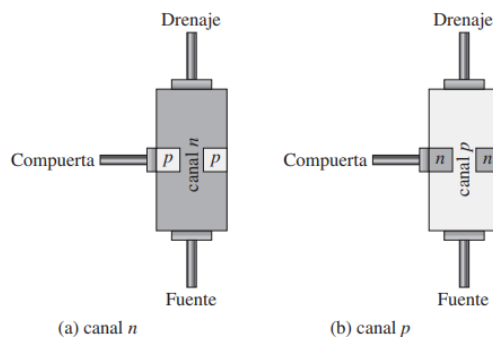
1.2 JFET

El transistor de efecto de campo de unión o JFET es un dispositivo semiconductor unipolar de tres terminales. Es básicamente una barra semiconductora N o P (canal), en unión con otros dos semiconductores contrarios al tipo del canal. Si el Canal es de semiconductor N, los otros 2 semiconductores serán P. Si el Canal es de semiconductor P, los otros 2 semiconductores serán N.

Tiene 3 patillas unidas a los semiconductores por contactos óhmicos, El drenador (D) y la fuente (F) en los extremos del canal, y otra patilla llamada Puerta o Gate (G) en uno de los otros 2 semiconductores.

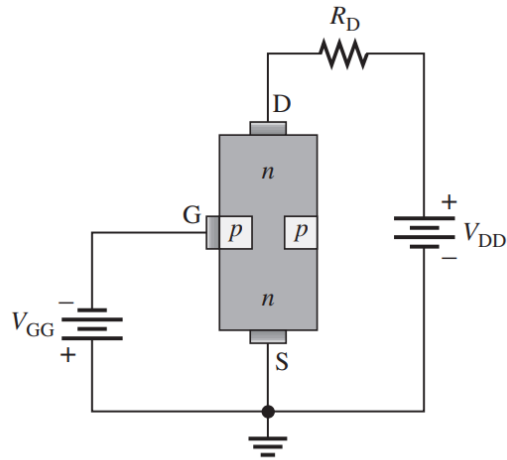
1.2.1 Principios de operación del JFET

La siguiente figura muestra la estructura básica de un JFET de canal n (transistor de efecto de campo de unión). Cada extremo del canal n tiene una terminal; el drenaje se encuentra en el extremo superior y la fuente en el inferior. Se difunden dos regiones tipo p en el material tipo n para formar un canal y ambos tipos de regiones p se conectan a la terminal de la compuerta. Por simplicidad, la terminal de la compuerta se muestra conectada sólo a una de las regiones p. En la figura se muestra un JFET de canal p.



Para ilustrar la operación de un JFET, la siguiente figura muestra los voltajes de polarización de cd aplicados a un dispositivo de canal n. V_{DD} genera un voltaje entre el drenaje y la fuente y suministra corriente del drenaje a la fuente. V_{GG} establece el voltaje de polarización en inversa entre la compuerta y la fuente, como se muestra. El JFET siempre opera con la unión pn de compuerta-fuente polarizada en inversa. La polarización en inversa de la unión de compuerta-fuente con voltaje negativo en la compuerta produce una región de empobrecimiento a lo largo de la unión pn, la cual se extiende hacia el canal n, y por lo tanto, incrementa su resistencia al restringir el ancho del canal. El ancho del canal y, consecuentemente, su resistencia puede controlarse variando el voltaje en la compuerta, controlando de esa manera la cantidad de corriente en el drenaje, I_D . La figura siguiente ilustra este concepto. Las áreas blancas representan la región de empobrecimiento creada por la polarización en inversa, más ancha hacia el drenaje del

canal porque el voltaje de polarización en inversa entre la compuerta y el drenaje es más grande que la que hay entre la compuerta y la fuente.



1.2.1.1 Símbolos de JFET

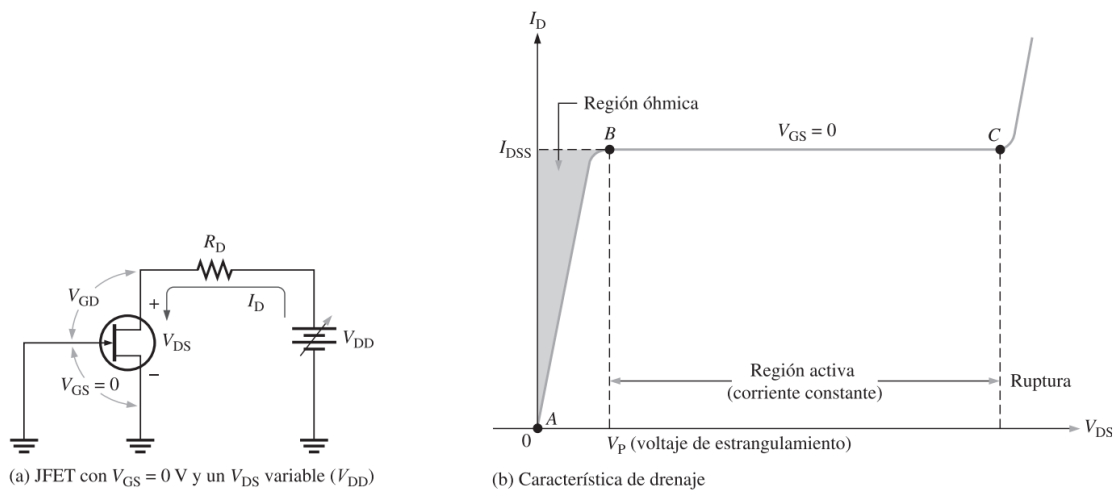
Los símbolos esquemáticos tanto para los JFET de canal n como de canal p se muestran en la figura siguiente. Observe que la flecha en la compuerta señala la “entrada” del canal n y la “salida” del canal p



transistores.info

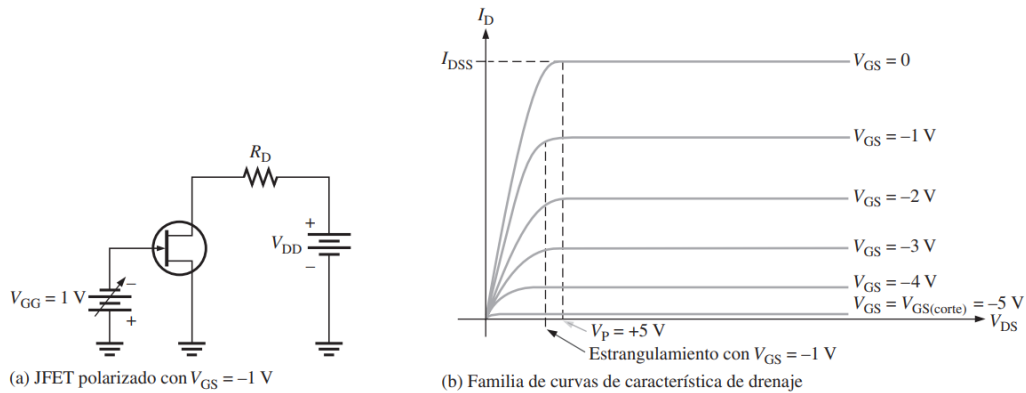
1.2.2 Parámetros y características de transferencia

Considere el caso en que el voltaje entre la compuerta y la fuente es cero $V_{GS} = 0$ V. Esto se produce poniendo en cortocircuito la compuerta con la fuente, como en la figura siguiente cuando ambas se conectan a tierra. A medida que V_{DD} (y por lo tanto V_{DS}) se incrementa a partir de 0 V, I_D lo hará proporcionalmente, como muestra la gráfica de la figura siguiente entre los puntos A y B. En esta área, la resistencia del canal es esencialmente constante porque la región de empobrecimiento no es suficientemente grande como para que tenga un efecto significativo. En el punto B, la curva se nivela y entra a la región activa donde I_D se torna esencialmente constante. A medida que V_{DS} se incrementa desde el punto B hasta el punto C, el voltaje de polarización en inversa de la compuerta al drenaje (V_{GD}) produce una región de empobrecimiento suficientemente grande para compensar el incremento de V_{DS} , por lo que I_D se mantiene relativamente constante.



Con $V_{GS} = 0$, el valor de V_{DS} al cual I_D se vuelve esencialmente constante (el punto B sobre la curva mostrada) es el voltaje de estrangulamiento, V_P .

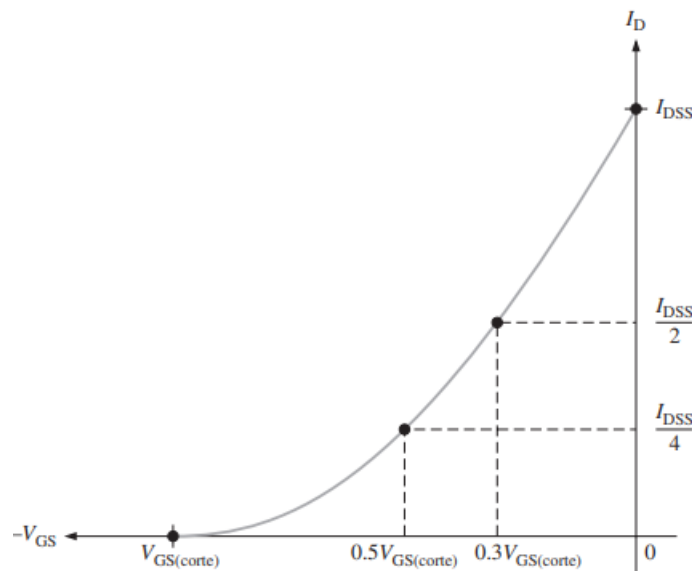
La ruptura ocurre en el punto C cuando I_D comienza a incrementarse muy rápido con cualquier incremento adicional de V_{DS} . La ruptura puede dañar irreversiblemente el dispositivo, así que los JFET siempre se operan por debajo de la ruptura y dentro de la región activa.



El valor de V_{GS} que hace que I_D sea aproximadamente cero es el voltaje de corte. $V_{GS(corte)}$, como muestra la figura. El JFET debe operar entre $V_{GS} = 0 \text{ V}$ y $V_{GS(corte)}$. Con este intervalo de voltajes de compuerta a fuente, I_D varía desde un máximo de I_{DSS} hasta un mínimo de casi cero.

1.2.2.1 Característica de transferencia universal de un JFET

Para un JFET de canal n, $V_{GS(corte)}$ es negativo y para uno de canal p, $V_{GS(corte)}$ es positivo. La figura siguiente es una curva de característica de transferencia que ilustra gráficamente la relación entre V_{GS} e I_D . Esta curva también se conoce como curva de transconductancia.



el extremo inferior de la curva se encuentra en un punto sobre el eje V_{GS} igual a $V_{GS(corte)}$ y el superior se encuentra en un punto sobre el eje I_D igual a I_{DSS} . Esta curva muestra que

$$\begin{aligned}
I_D &= 0 && \text{cuando } V_{GS} = V_{GS(corte)} \\
I_D &= \frac{I_{DSS}}{4} && \text{cuando } V_{GS} = 0.5V_{GS(corte)} \\
I_D &= \frac{I_{DSS}}{2} && \text{cuando } V_{GS} = 0.3V_{GS(corte)}
\end{aligned}$$

$$I_D = I_{DSS} \quad \text{cuando } V_{GS} = 0$$

Una curva de transferencia para un JFET se expresa aproximadamente como

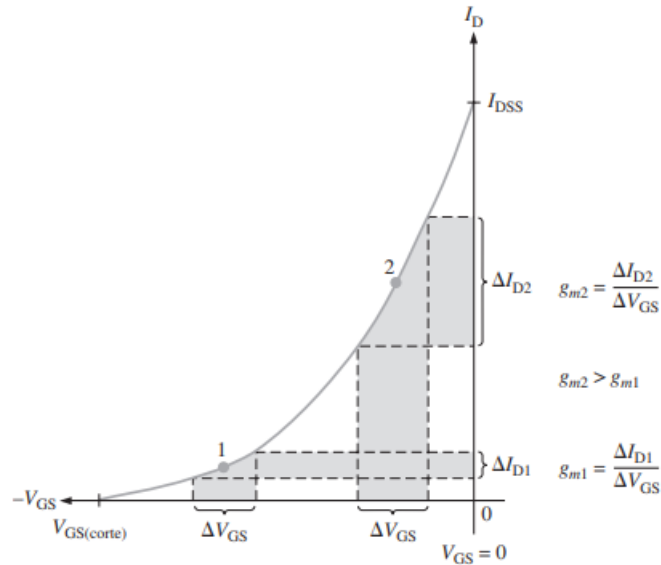
$$I_D \cong I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(corte)}} \right)^2$$

Transconductancia en directa de un JFET

La transconductancia en directa (conductancia de transferencia), g_m , es el cambio de la corriente en el drenaje (ΔI_D) correspondiente a un cambio dado del voltaje entre compuerta y fuente (ΔV_{GS}) con el voltaje entre drenaje y fuente constante. Se expresa como un cociente y su unidad es el siemens (S)-

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}$$

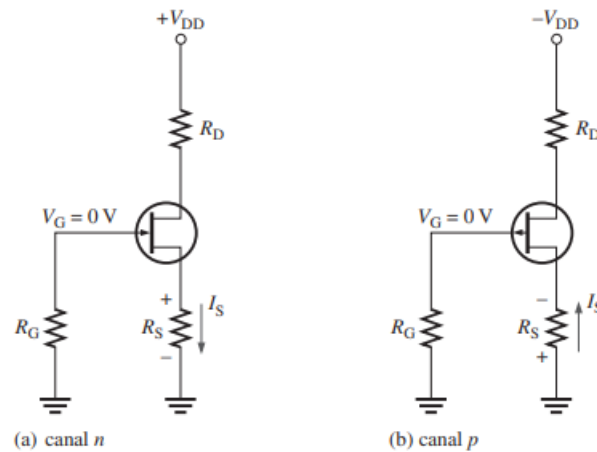
Debido a que la curva de transferencia de un JFET no es lineal, g_m cambia de valor de acuerdo con la ubicación en la curva determinada por V_{GS} . El valor de g_m es más grande cerca del extremo superior de la curva (cerca de $V_{GS} = 0$) que cerca del extremo inferior (casi $V_{GS(corte)}$), como ilustra la figura siguiente.



1.2.3 Polarización del JFET

1.2.3.1 Autopolarización

La autopolarización es el tipo de polarización de JFET más común. Recuerde que un JFET debe ser operado de tal forma que la unión compuerta-fuente siempre esté polarizada en inversa. Esta condición requiere un V_{GS} negativo para un JFET de canal n y un V_{GS} positivo para un JFET de canal p. Esto se puede lograr con la configuración de autopolarización mostrada en la figura siguiente. El resistor, R_G , en serie con la compuerta, no afecta la polarización porque en esencia no hay caída de voltaje a través de él, y por consiguiente, la compuerta permanece a 0 V. R_G se requiere sólo para hacer que la compuerta esté a 0 V y aislar una señal de ca de la tierra en aplicación de amplificador.



Para el JFET de canal n mostrado en la figura, I_S produce una caída de voltaje a través de R_S que hace a la fuente positiva con respecto a tierra. Puesto que $I_S = I_D$ y $V_G = 0$, entonces $V_S = I_D R_S$. El voltaje de compuerta a fuente es

$$V_{GS} = V_G - V_S = 0 - I_D R_S = -I_D R_S$$

$$V_{GS} = -I_D R_S$$

Para el JFET de canal p mostrado en la figura, la corriente que fluye a través de R_S produce un voltaje negativo en la fuente, lo que hace a la compuerta positiva con respecto a la fuente. Por consiguiente, como $I_S = I_D$

$$V_{GS} = +I_D R_S$$

En el ejemplo siguiente se utiliza el JFET de canal n mostrado en la figura como ilustración. Tenga en cuenta que el análisis del JFET de canal p es el mismo, excepto por los voltajes de polaridad opuesta. El voltaje en el drenaje con respecto a tierra se determina como de la siguiente manera:

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D$$

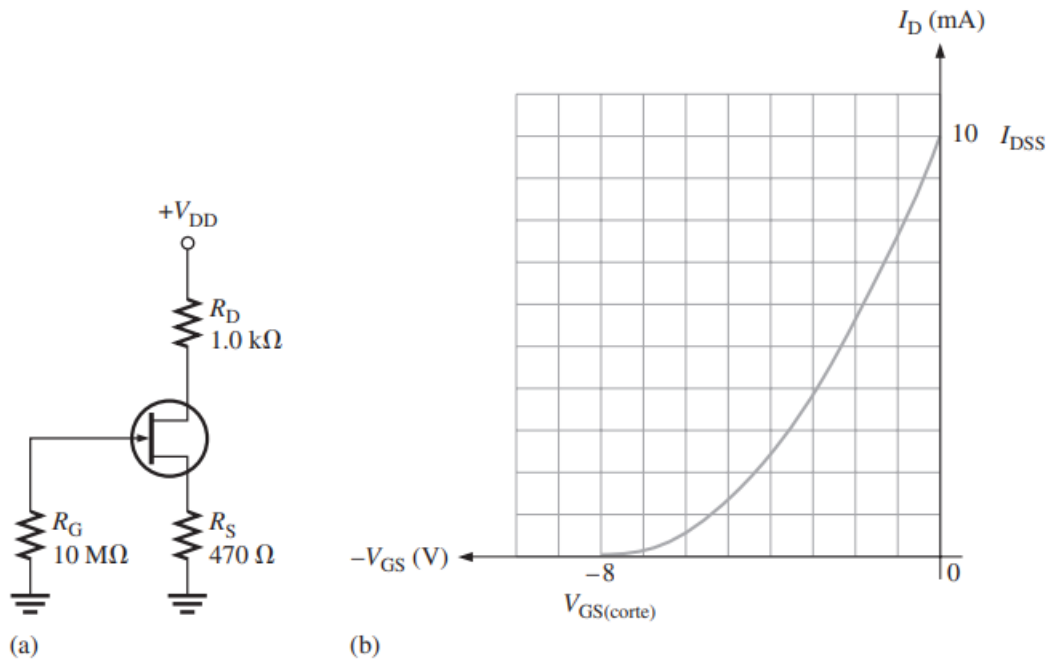
$$V_{DS} = V_D - V_S = V_{DD} - I_D(R_D + R_S)$$

1.2.3.2 Estableciendo del punto Q de un JFET autopolarizado

El método básico para establecer el punto de polarización de un JFET es determinar I_D para un valor deseado de V_{GS} o viceversa; luego se calcula el valor requerido de R_S con las siguientes relaciones. Las líneas verticales indican un valor absoluto.

$$R_S = \left| \frac{V_{GS}}{I_D} \right|$$

Análisis gráfico de un JFET autopolarizado Se puede utilizar la curva característica de transferencia de un JFET y ciertos parámetros para determinar el punto Q (I_D y V_{GS}) de un circuito autopolarizado.



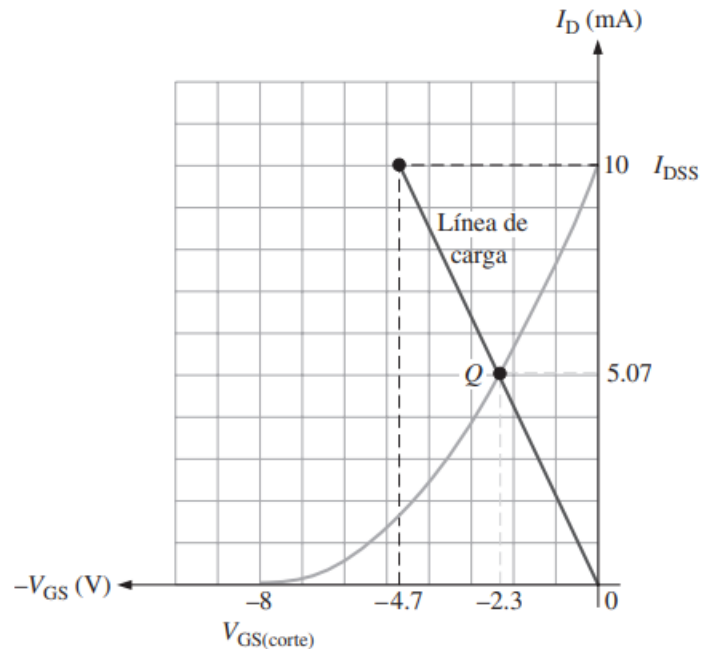
Para determinar el punto Q del circuito de la figura, se establece una recta de carga de cd de autopolarización en la gráfica de la forma descrita a continuación. Primero, se calcula V_{GS} cuando I_D es cero.

$$V_{GS} = -I_D R_S = (0)(470 \Omega) = 0 \text{ V}$$

Esto establece un punto en el origen de la gráfica ($I_D = 0, V_{GS} = 0$). A continuación, se calcula V_{GS} cuando $I_D = I_{DSS}$. En la curva de la figura 8-20(b), $I_{DSS} = 10 \text{ mA}$.

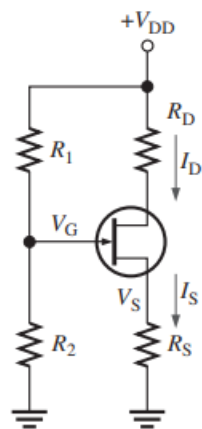
$$V_{GS} = -I_D R_S = -(10 \text{ mA})(470 \Omega) = -4.7 \text{ V}$$

Esto establece un segundo punto en la gráfica ($I_D = 10 \text{ mA}$, $V_{GS} = -4.7 \text{ V}$). Entonces, con dos puntos, se puede trazar la recta de carga sobre la curva de transferencia como se muestra en la figura. El punto donde la recta corta la curva de transferencia es el punto Q del circuito, como se muestra.



1.2.3.3 Polarización con divisor de voltaje

La figura siguiente muestra un JFET de canal n con polarización mediante divisor de voltaje. Éste, en la fuente del JFET, debe ser más positivo que el voltaje en la compuerta para mantener la unión compuerta-fuente polarizada en inversa



Los resistores R_1 y R_2 establecen el voltaje en la compuerta, como lo expresa la siguiente ecuación de acuerdo con la fórmula del divisor de voltaje y después se puede deducir las siguientes formulas.

$$V_S = I_D R_S$$

$$V_G = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{DD}$$

s

$$V_{GS} = V_G - V_S$$

$$V_S = V_G - V_{GS}$$

$$I_D = \frac{V_S}{R_S}$$

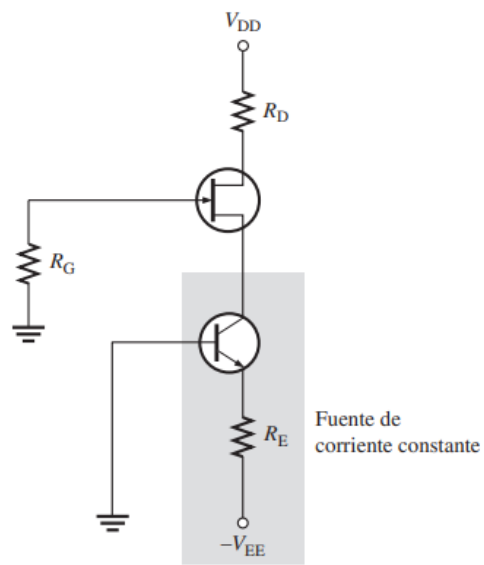
$$I_D = \frac{V_G - V_{GS}}{R_S}$$

1.2.3.4 Polarización mediante fuente de corriente

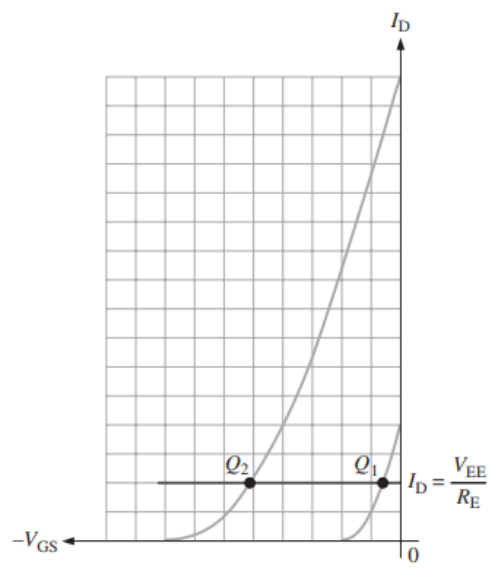
La polarización mediante fuente de corriente es un método para incrementar la estabilidad del punto Q de un JFET autopolarizado al hacer que la corriente en el drenaje sea esencialmente independiente de V_{GS} . Esto se logra con una fuente de corriente constante en serie con la fuente del JFET, como muestra la figura. En este circuito, un BJT actúa como la fuente de corriente constante porque la corriente en su emisor es esencialmente constante si $V_{EE} \gg V_{BE}$. También se puede utilizar un FET como fuente de corriente constante.

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} \cong \frac{V_{EE}}{R_E}$$

$$I_D \cong \frac{V_{EE}}{R_E}$$



(a) Circuito



(b) Característica de transferencia

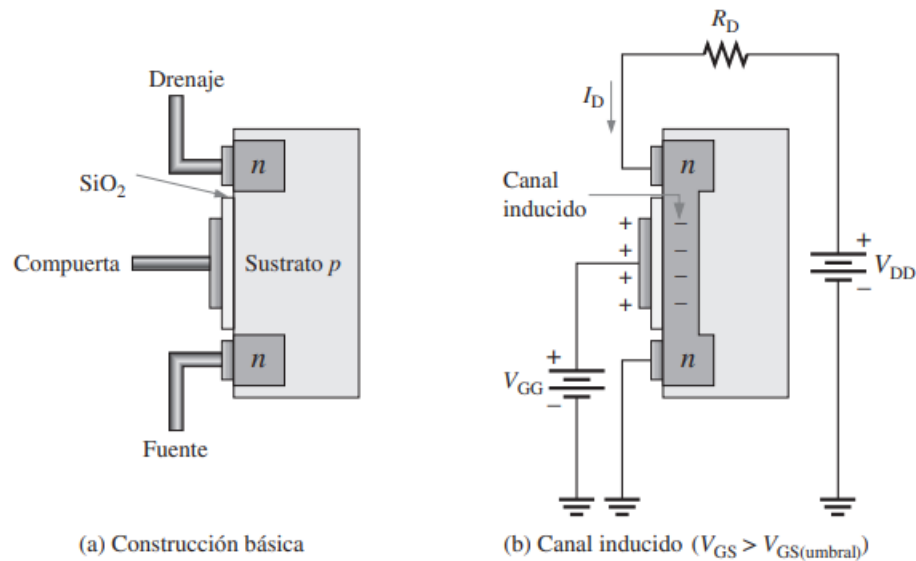
1.3 MOSFET

El MOSFET (transistor de efecto de campo semiconductor de óxido metálico) es otra categoría de transistor de efecto de campo. El MOSFET, diferente del JFET, no tiene una estructura de unión pn; en cambio, la compuerta del MOSFET está aislada del canal mediante una capa de bióxido de silicio (SiO_2). Los dos tipos básicos de MOSFET son el enriquecimiento (E) y el de empobrecimiento (D). De los dos tipos, el MOSFET de mejora es el más utilizado. Debido a que ahora se utiliza silicio policristalino para el material de compuerta en lugar de metal, estos dispositivos en ocasiones se conocen como IGFET (FET de compuerta aislada).

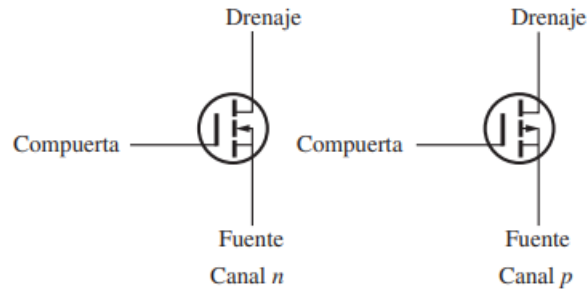
1.3.1 Principios de operación del MOSFET

1.3.1.1 MOSFET de enriquecimiento (E-MOSFET)

El E-MOSFET opera sólo en el modo de enriquecimiento y no tiene modo de empobrecimiento. Difiere en cuanto a construcción del D-MOSFET, el cual se abordará a continuación, en que no tiene ningún canal estructural. Observe en la figura que el sustrato se extiende por completo hasta la capa de SiO_2 . Para un dispositivo de canal n, un voltaje positivo en la compuerta por encima de un valor de umbral induce un canal al crear una delgada capa de cargas negativas en la región del sustrato adyacente a la capa de SiO_2 , como muestra la figura. La conductividad del canal se incrementa al incrementarse el voltaje de compuerta a fuente y, por lo tanto, atrae más electrones hacia el área del canal. Con cualquier voltaje en la compuerta por debajo del valor de umbral, no existe ningún canal

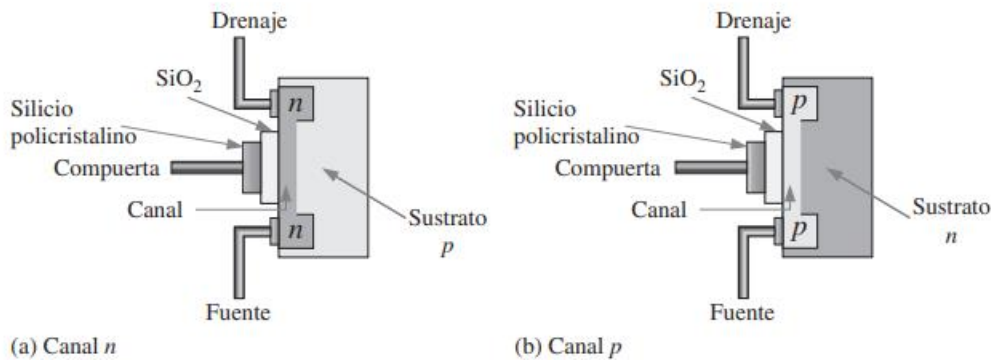


Los símbolos esquemáticos para E-MOSFET de canal n y canal p se muestran en la figura. Las líneas quebradas simbolizan la ausencia de un canal físico. Una flecha en el sustrato que apunta hacia dentro indica un canal n y una flecha que apunta hacia fuera indica un canal p. Algunos dispositivos E-MOSFET tienen conexiones distintas en el sustrato.



1.3.1.2 MOSFET de empobrecimiento (D-MOSFET)

Otro tipo de MOSFET es el MOSFET de empobrecimiento (D-MOSFET); la figura 8-36 ilustra su estructura básica. El drenaje y la fuente se difunden en el material del sustrato y luego se conectan mediante un canal angosto adyacente a la compuerta aislada. En la figura se muestran tanto dispositivos de canal n como de canal p. Se utilizará el dispositivo de canal n para describir la operación básica. La operación de canal p es la misma, excepto porque las polaridades del voltaje se oponen a las del canal n



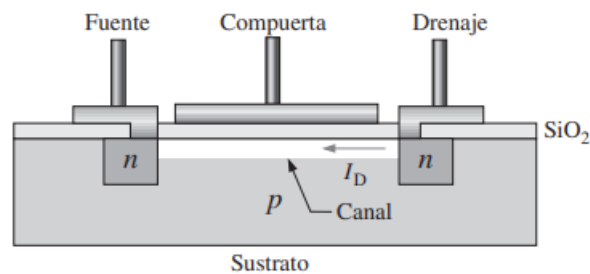
El D-MOSFET puede ser operado en cualquiera de dos modos: el modo de empobrecimiento o el modo enriquecimiento, por ello también se conoce como MOSFET de empobrecimiento/enriquecimiento. Como la compuerta está aislada del canal, se puede aplicar en ella un voltaje positivo o un voltaje negativo. El MOSFET de canal n opera en el modo de **empobrecimiento** cuando se aplica un voltaje positivo de compuerta a fuente, y en modo de **enriquecimiento** cuando se aplica un voltaje positivo de compuerta a fuente. Estos dispositivos en general se operan en el modo de empobrecimiento.

1.3.1.3 Estructuras de MOSFET de potencia

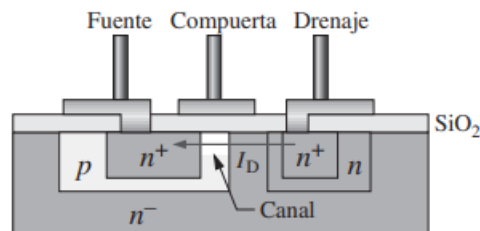
Los MOSFET de enriquecimiento convencionales disponen de un largo y delgado canal lateral, como se muestra en la vista estructural en la figura. Esto produce una resistencia relativamente alta del drenaje a puerta y limita el E-MOSFET a aplicaciones de baja potencia. Cuando la compuerta es positiva, el canal se forma cerca de la compuerta entre la fuente y el drenaje, como se muestra.

MOSFET lateralmente difundido (LDMOSFET) El LDMOSFET tiene una estructura de canal lateral y es un tipo de MOSFET de enriquecimiento diseñado para aplicaciones de potencia. Este dispositivo

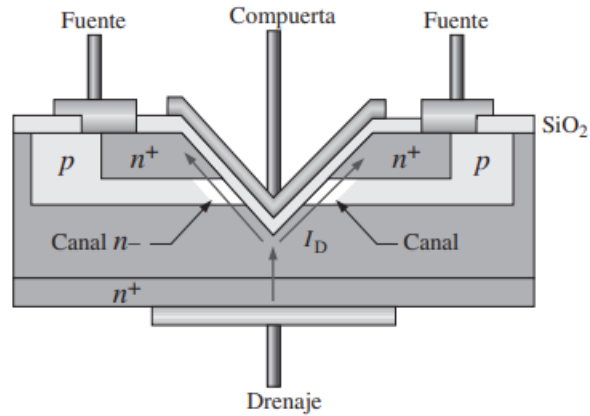
tiene un canal más corto entre el drenaje y la fuente que el E-MOSFET convencional. El canal más corto opone menos resistencia, lo que permite una corriente y voltaje más altos.



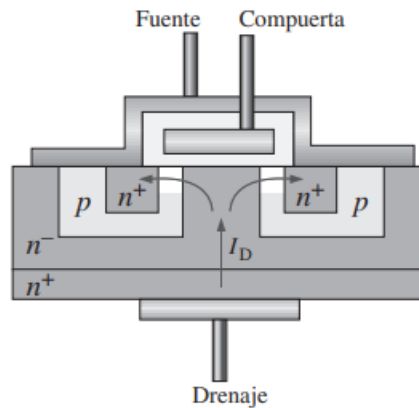
La figura siguiente muestra la estructura básica de un LDMOSFET. Cuando la compuerta es positiva, se induce un canal n muy corto en la capa p entre la fuente levemente dopada y la región n. Hay corriente desde el drenaje, a través de las regiones n y el canal inducido hasta la fuente, como se indica.



VOSFET El MOSFET de ranura en V es otro ejemplo del E-MOSFET convencional diseñado para alcanzar una capacidad de potencia más alta, creando una canal más corto y más ancho con menos resistencia entre el drenaje y la fuente por medio de una estructura de canal vertical. Los canales más cortos y anchos permiten corrientes más altas y, por lo tanto, una disipación de potencia más grande. También mejora la respuesta a frecuencia. El VMOSFET tiene dos conexiones de fuente, una conexión de compuerta en la parte superior y una conexión de drenaje en la parte inferior, como muestra la figura siguiente. El canal se induce verticalmente a lo largo de ambos lados de la ranura en forma de V entre el drenaje (sustrato n donde n significa un nivel de dopado más alto que n) y las conexiones de fuente. El espesor de las capas establece la longitud del canal, lo cual se controla mediante las densidades y el tiempo de difusión del dopado en lugar de las dimensiones del enmascaramiento.

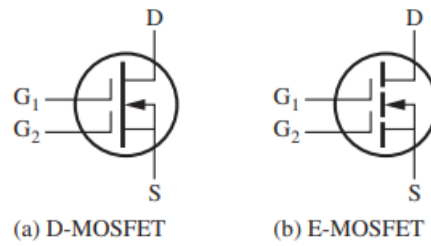


TMOSFET La estructura de canal vertical del TMOSFET se ilustra en la figura siguiente. La estructura de la compuerta está incrustada en una capa de bióxido de silicio y el contacto de fuente es continuo sobre toda el área de superficie. El drenaje se encuentra en la parte inferior. El TMOSFET permite una mayor densidad de encapsulado que el VMOSFET, al mismo tiempo que retiene la ventaja del canal vertical corto



MOSFET de doble compuerta

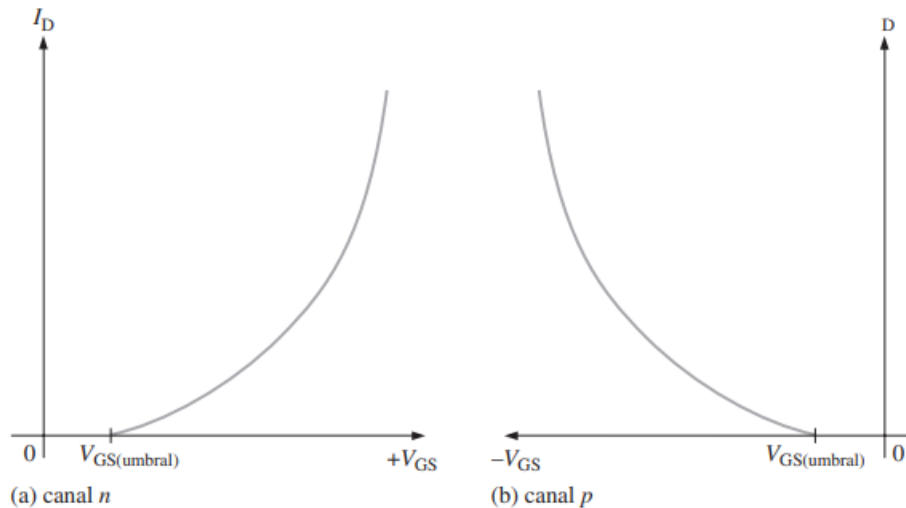
El MOSFET de doble compuerta puede ser o de tipo empobrecimiento o de tipo enriquecimiento. La única diferencia es que tiene dos compuertas, como muestra la figura. Como previamente se mencionó, una desventaja de un FET es su alta capacitancia de entrada, lo cual restringe su uso a altas frecuencias. Utilizando un dispositivo de dos compuertas, la capacitancia se reduce, por lo que el dispositivo es útil en aplicaciones de amplificadores de RF de alta frecuencia. Otra ventaja de la configuración de dos compuertas es que permite una entrada de control automático de ganancia (AGC, por sus siglas en inglés) en amplificadores de RF. Otra aplicación se demuestra en la actividad de aplicación, donde la polarización en la segunda compuerta se utiliza para ajustar la curva de transconductancia.



1.3.2 Parámetros y características de transferencia

1.3.2.1 Característica de transferencia del E-MOSFET

El E-MOSFET utiliza sólo enriquecimiento del canal. Por consiguiente, un dispositivo de canal n requiere un voltaje positivo de compuerta a fuente y un dispositivo de canal p requiere un voltaje negativo de compuerta a fuente. La figura siguiente muestra las curvas de característica de transferencia general para ambos tipos de E-MOSFET. Como se puede ver, no hay corriente en el drenaje cuando $V_{GS} = 0$. Por consiguiente, el E-MOSFET no tiene un parámetro I_{DSS} significativo, como el JFET y el D-MOSFET. Observe también que idealmente no hay corriente en el drenaje hasta que V_{GS} alcanza un cierto valor no cero llamado voltaje de umbral, $V_{GS(umbral)}$.



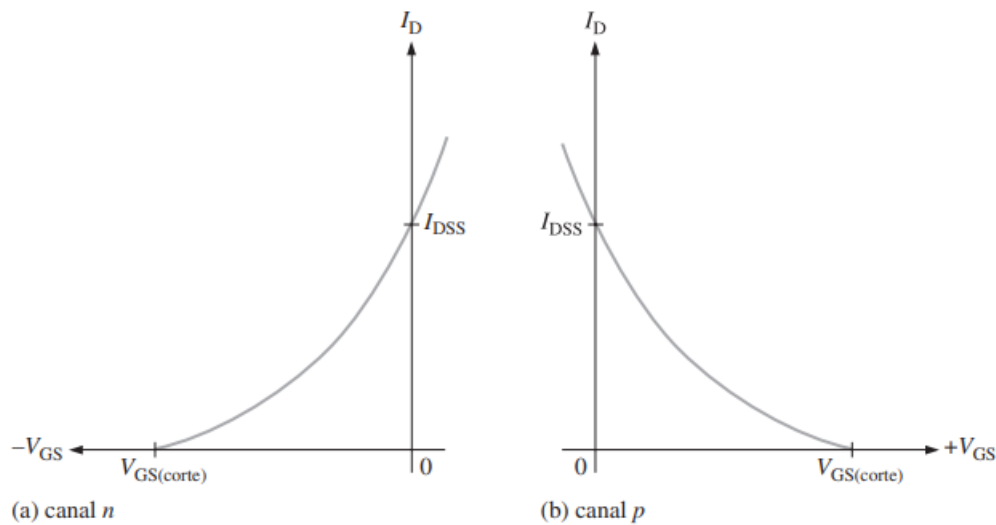
La ecuación para la curva de característica de transferencia parabólica del E-MOSFET difiere de la del JFET y la del D-MOSFET porque la curva se inicia en $V_{GS(umbral)}$ en lugar de $V_{GS(corte)}$ sobre el eje horizontal y nunca corta el eje vertical. La ecuación para la curva de característica de transferencia del E-MOSFET es

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

La constante K depende del MOSFET particular y se determina con la hoja de datos, tomando el valor especificado de I_D , llamado $I_{D(encendido)}$, al valor dado de V_{GS} , y sustituyendo los valores en la ecuación.

1.3.2.2 Característica de transferencia de un D-MOSFET

Como previamente se vio, el D-MOSFET puede operar con voltajes positivos o negativos en la compuerta. Esto se indica en las curvas de característica de transferencia generales mostradas en la figura tanto para MOSFET de canal n como de canal p. El punto en las curvas donde $V_{GS} = 0$ *corresponde a* I_{DSS} . El punto donde $I_D = 0$ *corresponde a* $V_{GS(apagado)}$. Como con el JFET, $V_{GS(apagado)} = -V_p$. La expresión de la ley cuadrática en la ecuación para la curva de JFET también es válida para la curva de E-MOSFET, como el ejemplo lo demuestra



1.3.3 Polarización del MOSFET

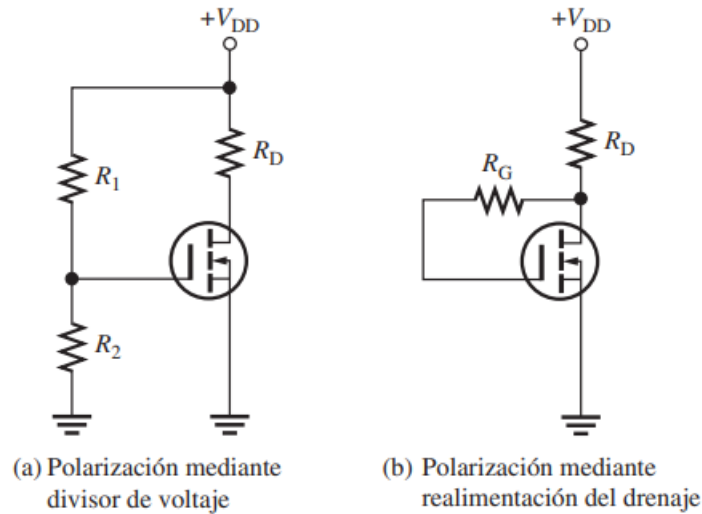
1.3.3.1 Polarización de un E-MOSFET

Debido a que los E-MOSFET deben tener un V_{GS} mayor que el valor de umbral, $V_{GS(umbral)}$, no se puede utilizar la polarización en cero. La figura siguiente muestra dos formas de polarizar un E-MOSFET (Los D-MOSFET también pueden ser polarizados por medio de estos métodos). Se utiliza un dispositivo de canal n para propósitos de ilustración. En la configuración de polarización mediante divisor de voltaje o polarización mediante realimentación del drenaje, el propósito es hacer el voltaje en la compuerta más positivo que el de la fuente en una cantidad que exceda $V_{GS(umbral)}$. Las ecuaciones para el análisis de la polarización mediante divisor de voltaje en la figura siguiente son las siguientes:

$$V_{GS} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{DD}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D$$

donde $I_D = K(V_{GS} - V_{GS(umbral)})^2$ de acuerdo con la ecuación. En el circuito de polarización mediante realimentación del drenaje en la figura, hay corriente despreciable en la compuerta y, por consiguiente, ninguna caída de voltaje a través de R_G . Esto hace $V_{GS} = V_{DS}$.

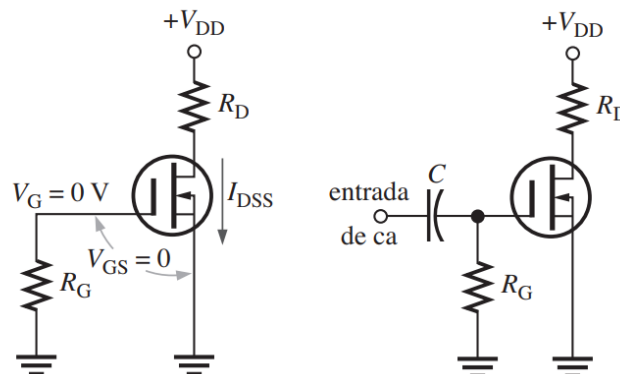


1.3.3.2 Polarización de un D-MOSFET

Un método de polarización simple es hacer $V_{GS} = 0$, de modo que una señal de ca en la compuerta haga variar el voltaje de compuerta a fuente por encima o por debajo de este punto de polarización de 0 V. Un MOSFET con polarización en cero se muestra en la figura. Como $V_{GS} = 0$, $I_D = I_{DSS}$ como se indica. El voltaje de drenaje a fuente se expresa de la siguiente manera:

$$V_{DS} = V_{DD} - I_{DSS}R_D$$

El propósito de R_G es aceptar una entrada de señal de ca aislándola de tierra, como muestra la figura siguiente. Como no hay corriente de cd en la compuerta, R_G no afecta la polarización en cero entre la compuerta y la fuente.



Bibliografía

Abbate, C., Busatto, G., & Iannuzzo, F. (2012). Unclamped repetitive stress on 1200V normally-off SiC JFETs. *Microelectronics and Reliability*, 52(9–10), 2420–2425.

<https://doi.org/10.1016/j.microrel.2012.06.097>

Boylestad, R. L., & Nashelsky, L. (2009). *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*.

Erick, R. (2020, noviembre 23). *Transistor de Efecto de Campo (FET)*. Transistores.

<https://transistores.info/transistor-de-efecto-de-campo-fet/>

Floyd, T. L. (2007). *Electronic devices (conventional current version): United States edition* (8a ed.). Pearson.