MODULO Nº12

TRANSISTORES MOSFET

UNIDAD: ***CONVERTIDORES CC - CC***

TEMAS:

- Transistores MOSFET.
- Parámetros del Transistor MOSFET.
- Conmutación de Transistores MOSFET.

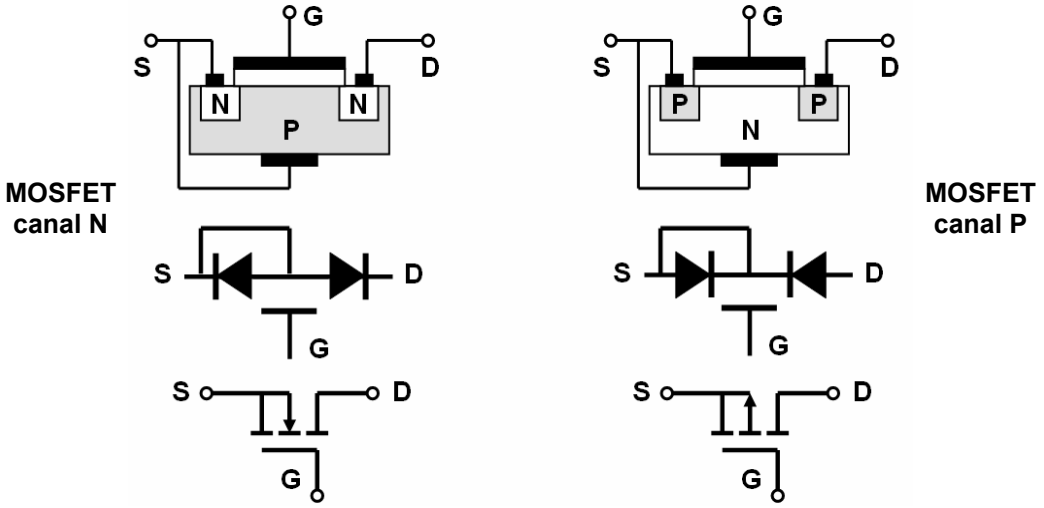
OBJETIVOS:

- Comprender el funcionamiento del transistor MOSFET.
- Explicar los parámetros del transistor MOSFET.
- Realizar el cálculo de circuitos de conmutación para el transistor MOSFET.

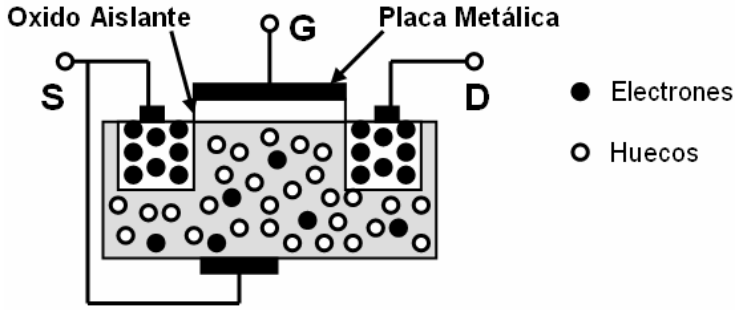
DESARROLLO DE TEMAS

1. Transistores MOSFET:

Los transistores MOSFET o también conocidos como Transistores de Efecto de Campo de Metal Oxido Semiconductor (*Metal-Oxide-Semiconductor Field-Efect Transistor*), es un dispositivo similar al transistor BJT, en el hecho que se compone básicamente de 3 capas de semiconductor N y P, pero con ciertas modificaciones tal como se muestra a continuación:



Observe que se pueden tener dos tipos de MOSFET, de canal N y canal P. El nombre de sus terminales son respectivamente: S = Source (Fuente), D = Drain (Drenador) y G = Gate (Compuerta). Se puede apreciar también que se ha utilizado una representación con diodos, dicha representación teórica será útil más adelante para explicar el funcionamiento de este dispositivo. A continuación se muestra la distribución interna de cargas para un MOSFET N:



Se observa que el semiconductor P tiene cierta cantidad de electrones libres, a los cuales se les llama impurezas (en un MOSFET P las impurezas son huecos), aún así son la clave para la operación del MOSFET, además *no existe conexión eléctrica entre la compuerta y el material P*, esta está aislada por una capa de óxido aislante.

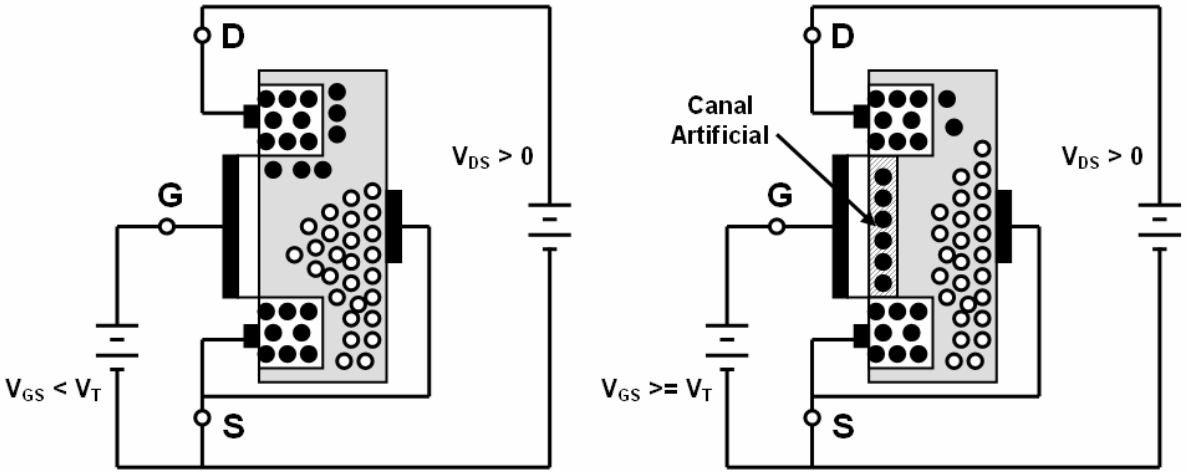
Básicamente *un MOSFET es el resultado de combinar la estructura de un transistor BJT con la operación de un condensador*, dicho condensador se ubica entre la compuerta G y la parte de la fuente S que esta en contacto con el material P.

La explicación que sigue se basará en el transistor MOSFET de canal N, pero es igualmente válida para el MOSFET de canal P solo que se cambian polaridades de las fuentes y electrones por huecos.

Para empezar, el MOSFET funcionará solo si se cumplen las siguientes condiciones: *Debe existir un voltaje positivo entre Compuerta y Fuente (**G = +, S = -**), y un voltaje positivo entre Drenador y Fuente (**D = +, S = -**)*.

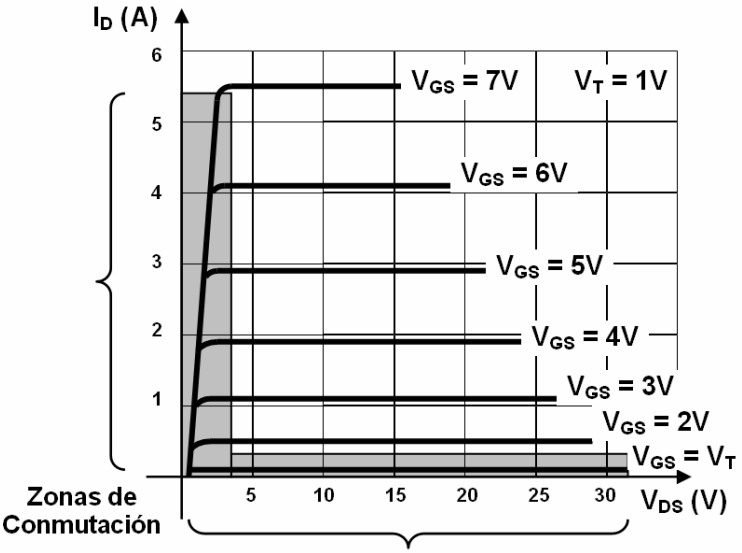
Si solo aplica un voltaje VDS, el diodo cercano al drenador tendrá polarización inversa, por lo que el MOSFET no conducirá. Por otra parte si se aplica un voltaje positivo VGS por encima de cierto valor conocido como ***Voltaje de Umbral (VT)***, se provocará la separación de los huecos y de las impurezas del material P (ley de las cargas eléctricas), estas últimas se juntarán a lado del óxido aislante sin poder cruzar (como en las placas de un condensador), por lo que IG = 0. *El resultado de este proceso es la formación de un **canal N artificial**, de aquí el nombre de MOSFET de canal N*. Gracias a la existencia de este canal artificial, se puede establecer una corriente entre drenador D y fuente S, cuyo valor dependerá de la cantidad de impurezas reunidas cerca de la compuerta, las cuales finalmente dependen del voltaje VGS.

Este proceso se explica gráficamente en las siguientes figuras:



En base al último gráfico se observa que, *con un voltaje de compuerta se crea un canal artificial que une a la fuente con el drenador, el ancho del canal será mayor mientras mayor sea el voltaje de compuerta, y por ende mayor será la corriente entre fuente y drenador.*

A continuación se presenta un ejemplo de curva característica del MOSFET:



Como se puede observar, *para cada valor de voltaje VGS existirá una corriente de drenador ID*. También se comprueba que para VGS = VT el MOSFET se encuentra en modo corte y que su relación con ID no es lineal, lo que se puede entender a través de la siguiente relación matemática:

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

El factor K también conocido como ***Transconductancia,*** *representa la relación entre ID y VGS y se mide en* ***A / V***^{2}, siendo el equivalente del HFE en transistores BJT.

2. Parámetros del Transistor MOSFET:

Los parámetros más importantes del Transistor MOSFET a la hora del diseño son:

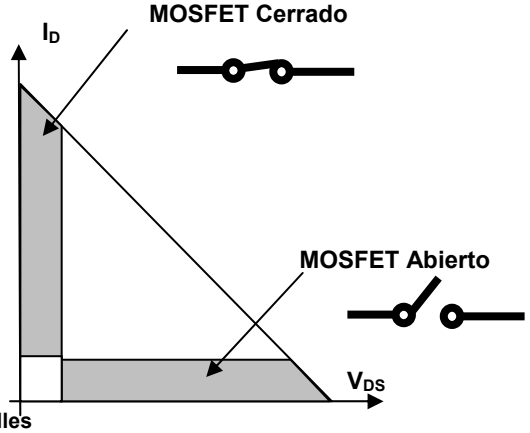
- **Máxima Corriente de Drenador (IDMAX):** Se encuentra valores desde 0.1A a 200A, en general los MOSFET pueden soportar mayor cantidad de corriente que los BJT. *Para valores más elevados de corriente se conectan MOSFET en paralelo*.
- **Máximo Voltaje Drenaje Fuente (VDSMAX):** Este valor es muy importante cuando el MOSFET trabaja como interruptor. Su valor se encuentra entre 10V hasta 600V.
- **Voltaje de Umbral (VT):** Su valor se encuentra entre 1V hasta 6V.
- **Transmitancia:** No es muy común encontrar valores numéricos de este parámetro sino más bien se lo obtiene en base a curvas o a valores de referencia de ID, VGS y VT, dadas por el fabricante utilizando la ecuación antes estudiada.
- **Resistencia de Encendido (rd_on):** Solo tiene utilidad cuando el MOSFET trabaja como interruptor, representa la resistencia del canal artificial cuando el MOSFET está cerrado. Su valor varía entre 5mΩ a 10Ω
- **Máxima Potencia de Disipación (PD):** En general depende del tipo de empaque utilizado. Su valor se encuentra entre 0.1W a 150W. Debido a la baja resistencia de encendido los MOSFET no disipan tanta potencia como los BJT por lo que pueden ser más pequeños.
- **Tipo de Empaque:** Todos los empaques analizados para transistores BJT son aplicables a transistores MOSFET.

3. Conmutación de Transistores MOSFET:

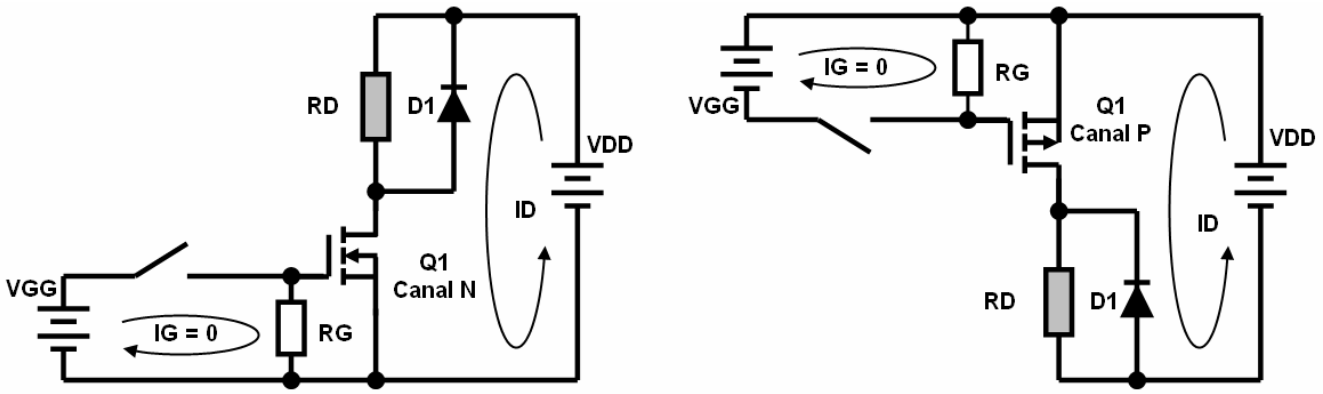
En general todas las aplicaciones realizables con transistores BJT, SCR y TRIAC pueden ser realizadas con MOSFET, de hecho estos transistores cada vez más están reemplazando a los anteriores, debido en gran manera a sus características, tales como:

- Mayor velocidad de conmutación.
- Menor pérdida de potencia por calentamiento.
- Facilidad para controlar el circuito de salida (control por voltaje).
- Menor tamaño de encapsulado para similares características de otros dispositivos.

De igual manera que el transistor BJT, el MOSFET puede operar de diferentes maneras, sin embargo nos enfocaremos en aquellas en las que el MOSFET funciona como interruptor. Para estas aplicaciones el objetivo es simplemente cerrar o abrir al MOSFET. Esto se aprecia mejor en la siguiente figura:



A continuación se muestra el esquema básico de conmutación para transistores MOSFET canal N y P, así como también el listado de ecuaciones para su cálculo:



FORMULAS:

ID = VCC / (RC + rd_on)
$VGSmin = VT + (ID / K)^{1/2}$
VGG >= VGSmin
RG > 1MΩ
$PT = ID^2 * rd_on$

En base a lo anterior se pueden obtener los siguientes análisis:

- En la práctica es común que VDD sea mayor que VGG (ej: VGG = 5V, VDD = 100V).
- El voltaje VGG siempre se debe aplicar entre Compuerta y Fuente.
- Un MOSFET canal N necesita un voltaje más positivo que VT para operar, en cambio un MOSFET canal P necesita un voltaje negativo más negativo que -VT.
- El interruptor que activa la base puede ser entre otros: una compuerta digital, un puerto de un microcontrolador o computadora, un transistor, un optotransistor, etc.
- Siempre que RD sea de tipo inductiva, se debe colocar D1, a fin de evitar que la tensión inversa generada por bobina dañe al transistor.
- D1 puede ser colocado en antiparalelo a RD o al transistor.
- El conjunto de fórmulas es aplicable para MOSFET canal N como para canal P.
- El sufijo "***min***", hace referencia a que VT puede ser mayor que el valor calculado, garantizando que el MOSFET esté completamente cerrado, sin embargo se debe evitar valores exagerados del voltaje VGS (ver hojas del fabricante).
- El calentamiento producido en el MOSFET se debe a la resistencia de encendido, mientras mayor sea su valor, mayor calor producirá.
- Debido a que el MOSFET posee un condensador entre la compuerta y la fuentes, *es susceptible a electricidad estática*, pudiendo incluso destruir dicho condensador por exceso de voltaje *para evitar esto es necesario colocar una resistencia de alto valor (RG) que actúa como medio de descarga* sin afectar el funcionamiento del MOSFET.

EJERCICIOS

1. Se tiene un MOSFET N con una transconductancia de 20. Si el MOSFET tiene un voltaje de umbral de 2V y un voltaje de compuerta de 6, ¿Cuál es el valor de ID?
2. Se tiene un MOSFET P con una transconductancia de 2.5. Si el MOSFET tiene un voltaje de umbral de 2V y una corriente ID = 5A, ¿Cuál es el valor de VGS?

3. Utilizando un MOSFET N, se pretende controlar un portero eléctrico constituido por un electroimán de 30V / 1A. Si el transistor a utilizarse tiene como datos: rd_on = 0.5Ω, VT = 1.5V y K = 0.8A/V^2. Calcule los elementos del circuito y redondee los parámetros del transistor, además dibuje el esquema correspondiente.
4. Utilizando un MOSFET P, se pretende controlar un motor para ventanas de 12V / 5A. Si el transistor a utilizarse tiene como datos: rd_on = 3Ω, VT = 4V y K = 2.5A/V^2. Calcule los elementos del circuito y redondee los parámetros del transistor, además dibuje el esquema correspondiente.
5. Utilizando un MOSFET P, se pretende controlar 5 bombillos incandescentes de 110V / 100W c/u. Si el transistor a utilizarse tiene como datos: rd_on = 0.1Ω, VT = 2V y K = 10A/V^2. Calcule los elementos del circuito y redondee los parámetros del transistor, además dibuje el esquema correspondiente.

Realizado por: Ing. José Trelles