

CAPITULO III - Transistores Unipolares - Polarización y Bajo Nivel

III.1. - INTRODUCCION:

En el presente Capítulo continuaremos estudiando amplificadores constituidos por una sola etapa en donde ahora el elemento activo será un Transistor Efecto de Campo (TEC o bien FET), y para tal fin aprovecharemos los conceptos ya adquiridos con los transistores bipolares, motivo por el cual resulta oportuno establecer en este punto de partida, las principales diferencias entre este componente activo y el transistor bipolar ya estudiado.

En primer término diremos que los transistores efecto de campo basan su funcionamiento en el establecimiento y control de una corriente formada únicamente por portadores mayoritarios, a diferencia de los transistores bipolares en donde la corriente que se controla es sostenida por electrones y huecos motivo por el cual a los primeros se los denomina como Transistores Unipolares. A los bipolares se los suele reconocer simplemente como transistores debido al hecho de que su característica de amplificación se basa en el efecto de Transresistencia que tiene lugar entre la baja resistencia base-emisor y la alta resistencia base-colector a lo largo de una corriente constante ($I_C = I_E$).

En el caso de los Unipolares, la denominación de Efecto de Campo proviene del hecho de que la acción de gobierno o modulación de potencia eléctrica inherente a la amplificación tiene lugar en base al establecimiento y gobierno de un campo eléctrico desarrollado entre cargas eléctricas fijas en el interior del dispositivo. Otros nombres usuales de los transistores unipolares se derivan de sus métodos de fabricación o bien de su característica particular de funcionamiento: de Unión o Juntura (JFET), de Compuerta Aislada (IGFET), Metal-Oxido-Semiconductor (MOSFET), de Canal Permanente, de Canal Inducido, de Vaciamiento, de Refuerzo o de Vaciamiento/Refuerzo. A su vez todos ellos pueden ser del tipo Canal N o de Canal P.

Para identificarlos circuitalmente suele utilizarse una simbología apropiada, tal como a título de ejemplo se ilustra en la figura III.1 para los Transistores Efecto de Campo de Juntura, en sus variantes Canal N y Canal P. En dicha figura las letras colocadas en los terminales corresponden a la identificación de las regiones de semiconductor en donde se encuentran conectados los mismos y que reciben los nombres de: D - Drenaje, Drenador o Sumidero; S - Fuente; G - Compuerta o Puerta y B - Sustrato.

La resistencia de entrada que presentan los FETs, por ejemplo los JFETs, para una configuración fuente común (análoga al emisor común) como veremos, corresponde a una juntura polarizada en inversa a diferencia de la resistencia base-emisor (r_{be}) que corresponde a una juntura polarizada en directo. Por tal motivo los JFETs tienen resistencia de entrada mucho mayor que la de un transistor bipolar para igual configuración. En el caso de los MOSFETs la resistencia de entrada equivalente corresponde a la aislación de un pequeño capacitor de muy alta calidad (pérdidas despreciables) formado por el "sandwich" METAL-OXIDO-SEMICONDUCTOR.

A partir de esta característica se deriva la principal gran deferencia entre los transistores unipolares y los bipolares: " Los Transistores Efecto de Campo presentan una muy elevada resistencia de entrada", del orden varios cientos de KOhm hasta el MOhm en el caso de los de Juntura y de varios MOhms en el caso de los de Compuerta Aislada, en comparación con los KOhms o a lo sumo decenas de KOhms que presentan los bipolares.

Como consecuencia de esta principal diferencia se deduce otra característica distintiva de este nuevo tipo de componentes activos en comparación con el bipolar y es que, mientras a los transistores bipolares se los controla por corriente (I_B), en los unipolares, precisamente dada su gran resistencia de entrada, no existe tal corriente de control sino que a estos últimos se los maneja por medio de una tensión (V_{GS}).

Visto desde la salida, este nuevo dispositivo posee una característica similar a la de un transistor bipolar, es decir que se lo puede considerar como una fuente de corriente de relativamente alta resistencia interna, tan alta como la de los bipolares (10^5 a 10^6 Ohms), aunque con la ventaja de una mayor constancia debido a que en ellos no tiene lugar el efecto Hall.

En cuanto a la influencia de la temperatura en la operación, a diferencia de los bipolares, en cierto rango de funcionamiento, los transistores unipolares presentan un coeficiente térmico negativo en su corriente de salida.

Desde el punto de vista tecnológico si bien se ven afectados por una apreciable dispersión de fabricación, similar o superior tal vez, a la de los bipolares, en el caso de los FETs, se presenta la ventaja de que para su integración requieren un menor volumen en la pastilla, pudiéndose lograr una mayor densidad de integración, haciéndolos especialmente recomendados en los circuitos integrados de gran escala de integración (LSI).

La principal desventaja que presentan los transistores unipolares respecto a los bipolares es su relativamente bajo producto ganancia por ancho de banda, es decir que a consecuencia de su baja transconductancia, a igual ancho de banda que un amplificador bipolar, los unipolares presentan una menor ganancia.

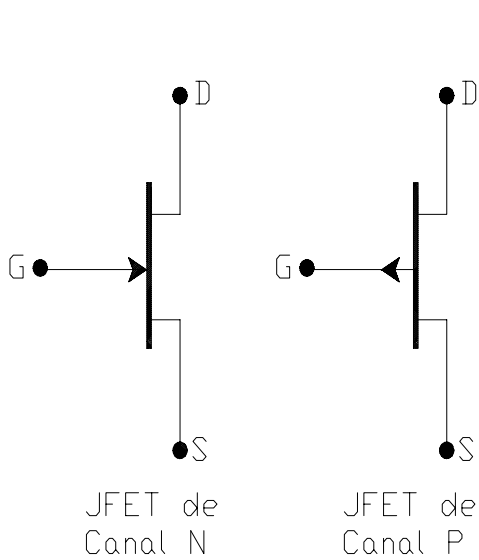
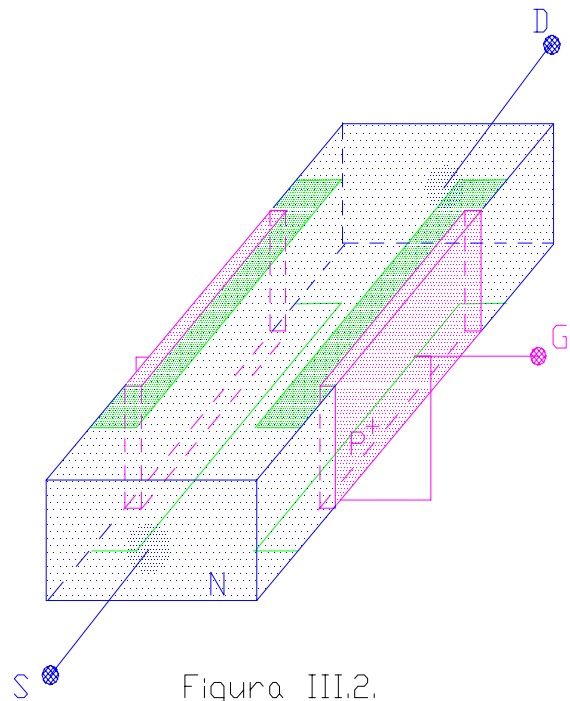


Figura III.1.



III.2.- INTERPRETACIÓN PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL JFET:

El objetivo de este apartado es realizar una breve revisión de las características de funcionamiento de los JFETs, tendiente a reconocer las principales condiciones que deben respetarse para lograr su funcionamiento como amplificador con un comportamiento lo mas lineal posible, tal como se hiciera en su momento con el transistor bipolar.

Una grosera pero a la vez simple interpretación de su constitución física y su mecanismo de funcionamiento se presenta en la figura III.2. Se trata de una barra semiconductor realizada en este caso (canal N) en material

semiconductor del tipo N, levemente impurificado (es decir dopado con limitada cantidad de impurezas donoras). En ambos extremos de dicha barra, por medio de una intensificación del dopado y posterior soldadura se han agregado los terminales metálicos correspondientes a las regiones de Fuente (S) y Drenaje (D).

En ambas caras laterales de la citada barra, por algún procedimiento de difusión o aleación se realizan dos zonas de reducido espesor, fuertemente impurificadas con impurezas aceptadoras, vale decir de semiconductor tipo P con alta concentración de huecos o lagunas. A la barra resultante de material N entre ambas zonas P, se la denomina Canal N. De ambas zonas de material tipo P se toma el terminal de Compuerta (G).

Tal como se explicara en el inicio del primer Capítulo, el solo hecho de poner en contacto dos materiales de polaridad opuesta, produce a ambos lados de la junta metalúrgica, un reajuste de cargas eléctricas móviles (electrones y huecos) que arroja como resultado una zona de transición en donde tales portadores desaparecen y quedan únicamente átomos ionizados con carga de polaridad positiva en el canal N y polaridad negativa en las zonas de compuerta P. Debido a la distinta concentración de impurezas en el material P y en el N, dicha zona de transición, tal como se ha marcado en la figura III.2., penetra mucho más adentro de la región N que en la región P⁺.

Si originalmente la barra N presentaba una dada resistencia entre la fuente (S) y el drenaje (D), ahora, debido al hecho de realizar el canal entre ambas zonas de compuerta (G), dicha resistencia se ha incrementado como consecuencia de haberse vaciado de portadores mayoritarios (electrones) las zonas de transición.

Debido a tal reajuste de cargas aparece el potencial de contacto o barrera de potencial V_u y se crea la barrera de energía que impide que otros portadores mayoritarios pasen del lado N al P y viceversa. Tal como se describía en el primer Capítulo, dicha barrera puede ampliarse o disminuirse aplicando una tensión de polarización externa entre los terminales de compuerta (G) y fuente (S) V_{GS} tal que polarice inversa o directamente a la junta P-N. En la figura III.3. se realiza una representación esquemática de este fenómeno supuesto que se pudieran identificar los diferentes anchos de la zona de transición para cada valor de dicha tensión de polarización.

Es posible aceptar que incrementando la polarización inversa de la junta Compuerta-Canal, para una dada tensión de polarización inversa ambas zonas de transición lleguen a rozarse tangencialmente a lo largo del canal, en cuyo caso se interpreta que se ha "vaciado" totalmente el canal de portadores mayoritarios produciéndose el mayor valor posible de resistencia del canal. A dicha tensión de polarización inversa se la denomina TENSIÓN DE BLOQUEO DEL CANAL (V_p), debiéndose notar que para un JFET de Canal N, dicho valor resulta negativo.

Nuevamente en términos esquemáticos, la figura III.4. representa una conexión típica de nuestro JFET de canal N reconocida como configuración Fuente Común similar al emisor común que se ha estudiado para los bipolares. Puede observarse que ahora, además de la polarización externa en el circuito de compuerta-fuente, se hace interactuar también un circuito de polarización externo entre los terminales de Drenaje y Fuente, tal que en nuestro caso hace positivo al D respecto de la S. En dicho circuito, la presencia del resistor R_D tiene como objetivo adecuar el valor de la diferencia de potencial V_{DS} , mientras que R_G se agrega al solo efecto de no cortocircuitar el circuito de entrada del FET para las señales ya que mientras la junta compuerta-canal permanezca polarizada en inversa no habrá corriente a través de ella ($I_G = 0$).



La distribución de carga espacial en la zona de transición es ahora más compleja, ya que la tensión de polarización inversa de la juntura compuerta-canal depende no solo de la tensión V_{GS} sino que con ella ahora interactúa la tensión V_{DS} resultando que tal polarización inversa es mayor a medida que recorriendo el canal desde S hasta D nos alejamos del terminal de fuente. Esta característica explica el formato que adopta la zona de transición tal como se ha marcado sobre la cara frontal de la barra semiconductor en dicha figura III.4.

A continuación pasaremos a estudiar algunos casos particulares de polarización en donde tienen lugar efectos notables y trascendentes que reflejaremos gráficamente en las figuras III.5. y III.6. suponiendo que al operar con el circuito de polarización antes descrito resultara posible visualizar sobre la cara frontal de la barra semiconductor el formato que para cada caso adopta la zona de transición dentro del canal del semiconductor N:

Figura III.5.a.): Se supone disponer una muy pequeña polarización $V_{DS} > 0$ de modo de establecer una apenas apreciable corriente en el canal entre S y D (I_D), de valor del orden de los nA. Esto se hace así para poder suponer que la pequeña V_{DS} necesaria no influye apreciablemente en la estructura y distribución de cargas asociadas a la polarización inversa compuerta-canal. En estas condiciones incrementamos la polarización negativa de la compuerta respecto de fuente (V_{GS}) hasta que las zonas de vaciamiento de cada lado llegan a ser tangentes entre sí, cosa que se comprueba ya que si a partir de allí luego incrementamos V_{DS} , la corriente I_D permanece invariable en aquel pequeño valor dispuesto al principio de la experiencia. Se observa que el canal se ha vaciado totalmente, es decir que el canal se ha ESTRANGULADO y al no existir portadores en él se impide el incremento en la corriente a través del mismo. Por definición a la tensión V_{GS} que produce dicha condición se la denomina TENSIÓN DE BLOQUEO DE CANAL (V_p).

Alcanzada dicha situación si incrementamos el potencial V_{DS} la corriente I_D no se incrementa ya que en el canal no han quedado portadores capaces de establecer dicho incremento.

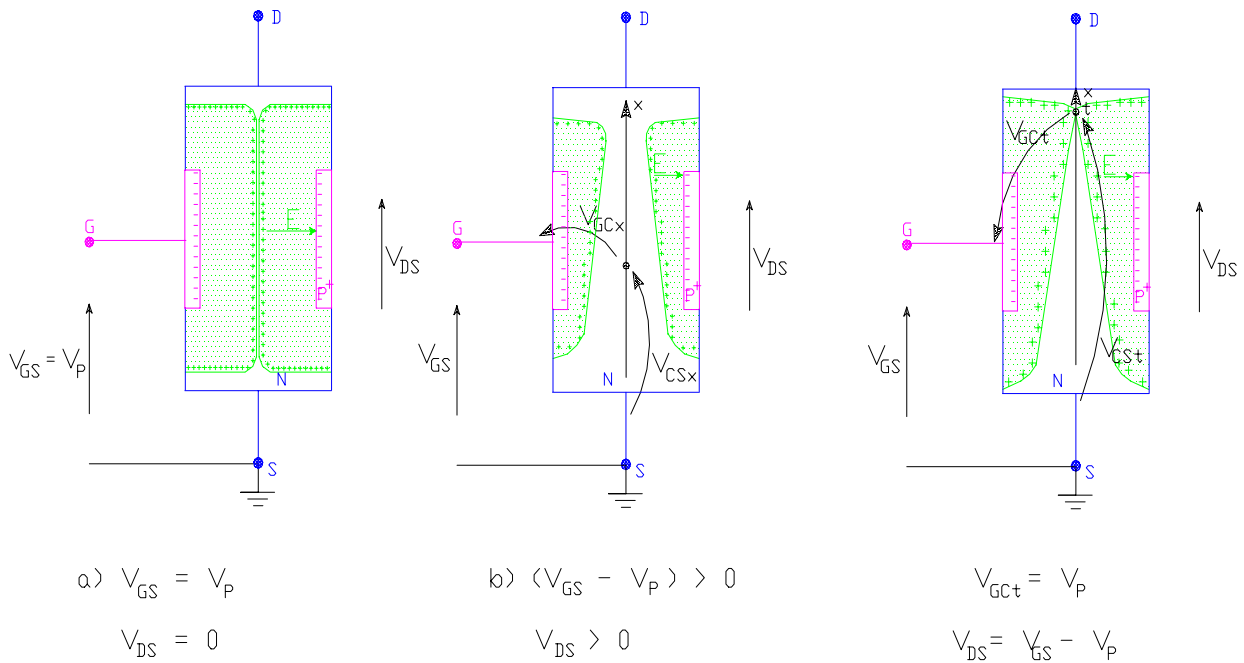


Figura III.5.

Figura III.6.

Figura III.5.b.): Se representa una situación genérica en la que $V_{DS} > 0$, $I_D > 0$ y $V_{GS} < V_p$, destacándose que la polarización inversa de la juntura compuerta-canal para cada punto del eje longitudinal del canal (eje x) depende tanto de la tensión V_{GS} como de la tensión entre ese punto considerado y la fuente, como producto de la corriente del canal (I_D) por la resistencia del canal entre dichos puntos y que hemos llamado V_{CSx} .

En la figura se ha tomado un punto cualquiera "x" marcándose las diferencias de potencial V_{CSx} y V_{GCx} .

Así, planteando la segunda ley de Kirchoff en dicho esquema circuital resulta:

$$V_{GS} - V_{GCx} - V_{CSx} = 0$$

con lo que la polarización inversa compuerta-canal en dicho punto es: $V_{GCx} = V_{GS} - V_{CSx}$

Bajo estas condiciones puede observarse que modificando V_{DS} , al variar la forma de penetración de las zonas vaciadas del canal se modifica la resistencia del mismo, por lo que suele describirse a esta forma de trabajo como de RESISTENCIA CONTROLADA POR TENSIÓN.

En ambas figuras recién descriptas se han marcado las líneas de Campo Eléctrico (E) que se establece entre las cargas fijas de la zona de transición (átomos ionizados positivamente en el canal N y átomos ionizados negativamente en la compuerta P) y que da origen a la denominación del dispositivo.

Figura III.6.: Se representa aquí una nueva condición de trabajo, que corresponde a la situación en que por acción simultánea de V_{DS} y V_{GS} las zonas de transición se disponen en forma tangencial pero ahora en un solo