

Clase 7 Primera parte: repasar teoría de bandas El Diodo

Corriente Total Repaso último tema clase anterior:

Si unimos dos pedazos de semiconductores de distinto tipo uno "n" y el otro "p" aparecerá una densidad de corriente de electrones desde el material tipo "n" hacia el material tipo "p" dado que la concentración de electrones en la banda de conducción del lado "n" es mucho mayor que la concentración de electrones en la zona tipo "p".

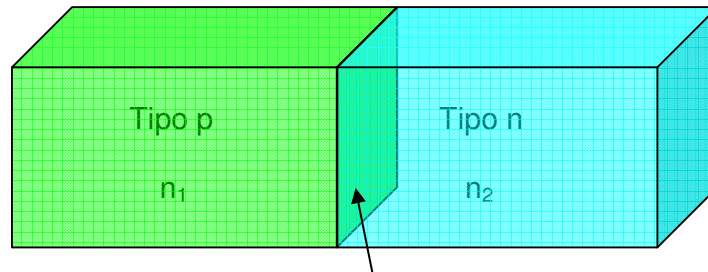


Figura 2-1 Juntura o Unión

Pero a medida que los electrones migran por efecto de la corriente de difusión, se generará una distribución de carga que será distinta de cero en virtud de la neutralidad eléctrica de la materia. Ésta densidad de carga generará un campo eléctrico que se opondrá al desplazamiento de las mismas.

$$J_n = q\mu_n nE - qD_n \frac{dn}{dx}$$

Tenemos entonces dos fenómenos concomitantes que cada uno se opone al otro. Se llegará a un estado de equilibrio cuando la intensidad del campo eléctrico sea lo suficientemente grande como para frenar la corriente de difusión. En ese estado la corriente total será nula y podrá calcularse el valor del campo eléctrico a partir de los otros parámetros.

$$E = \frac{v(T)}{n} \frac{dn}{dx}$$

Conociendo la variación en la concentración y expresando el campo eléctrico en función del potencial queda

$$dV = -Edx = -v(T) \frac{dn}{n}$$

De integrar ésta ecuación tenemos que la diferencia de potencial interna formada

$$V_{21} = V_2 - V_1 = v(T) \ln \frac{n_1}{n_2}$$

debida sólo al gradiente de concentración de portadores vale

Esta ecuación me define la existencia de una diferencia de potencial interna debida al sólo hecho de tener distintas concentraciones de portadores de carga en diferentes sitios. Esta es la base de la conformación de un diodo.

Diodo

Como dijimos, cuando juntamos dos cristales de un semiconductor dopados con aceptores (Impurezas trivalentes x ej boro, galio) por un lado e impurezas pentavalentes o donores (x ej fósforo, arsénico) por el otro, se forma una unión pn.

Si a ésta configuración le colocamos un par de bornes metálicos que actúen como contactos eléctricos en los extremos tendremos un diodo:

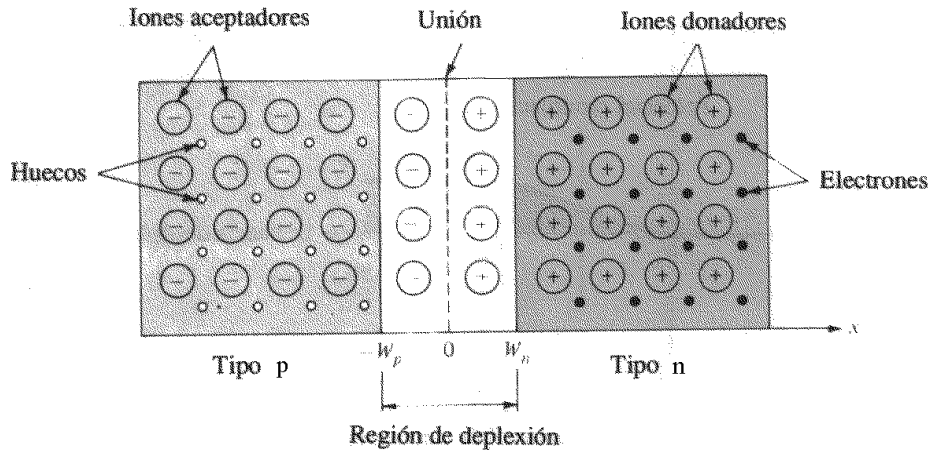


Figura 2-2 Representación de la distribución de cargas en un diodo.

Tratado desde el punto de vista de electrones en banda de valencia y electrones en banda de conducción lo entendemos de la misma manera pues los electrones de la región del material tipo "n" ocupan valores en la banda de conducción en tanto que en el material tipo "p" hay niveles disponibles en la banda de valencia. Esto hace que los electrones de la zona "n" migren hacia la zona tipo "p".

Como ya se mencionó esta migración sumado a la neutralidad de la materia hace que se altere la homogeneidad de la carga generándose la distribución de carga ya mencionada.

Distribución de cargas con éste sistema a circuito abierto :

Inicialmente existen electrones en banda de conducción a la derecha de la unión y electrones en banda de valencia a la izquierda de la unión. Los electrones de banda de conducción tienden a ocupar los niveles de la banda de valencia del otro lado de la unión, por ser niveles de menor energía que la que tienen. Hay entonces una migración neta de electrones de la derecha hacia la izquierda. Por lo tanto quedarán iones positivos a la derecha de la unión.

Los iones no neutralizados en las proximidades de la unión se conocen con el nombre de *cargas descubiertas* y se manifiestan como una densidad de carga r_v como puede apreciarse en la figura 2-3 [parte(a)]. La parte de la unión que no contiene cargas móviles se la denomina *región de depleción de carga espacial* o de transición. El ancho de esta región es del orden de 100 Nm (0.1 μm). Sólo existen portadores de carga fuera de ésta región;

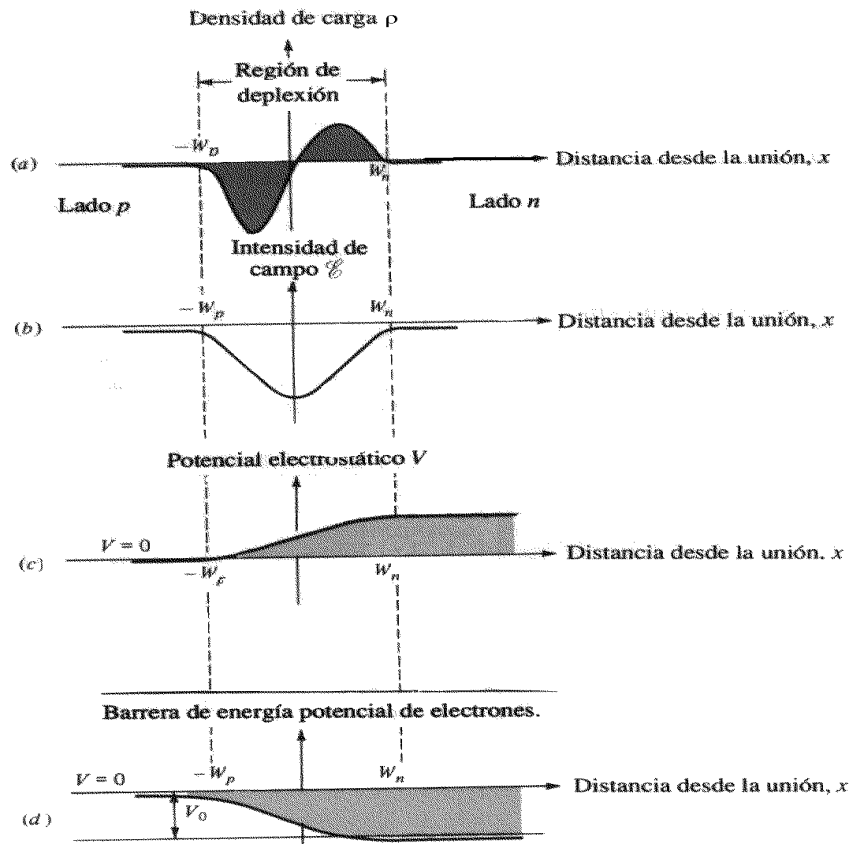


Figura 2-3 Descripción de los fenómenos en la zona de deplexión

Debido a esta distribución de cargas se genera entonces un campo eléctrico fig. 2-3(b) y en consecuencia una diferencia de potencial fig 2-3(c). El valor de dicho campo y del potencial lo hemos calculado ya como función de la concentración de portadores. otra forma de ver la distribución final de cargas es usando las ecuación de Gauss

que me asegura que la divergencia del campo es proporcional a la distribución en

$$\text{div}E = 4 \cdot \pi \cdot \rho$$

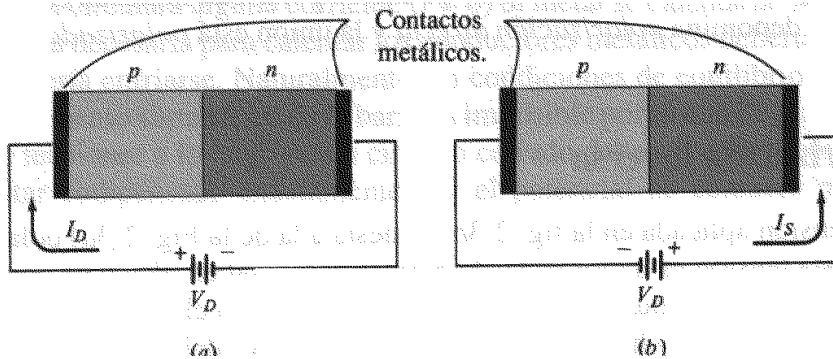
volumen de carga, o lo que es lo mismo el flujo del campo a través de una superficie cerrada es igual a la carga neta encerrada

Éstas relaciones nos aseguran que fuera de la región de deplexión no hay campo eléctrico, o sea donde hay cargas móviles no hay agente que provoque movimiento de ellas por lo tanto a circuito abierto no hay circulación de cargas. Si unimos los extremos de un diodo con un cable (Un conductor) estaremos en presencia de un diodo en corto circuito, pero por el mismo motivo que antes no puede haber corriente eléctrica por el conductor.

Polarización del diodo

Si conectamos el diodo a una fuente de tensión continua (por ejemplo una pila) se generará una diferencia de potencial que tratará de provocar una corriente eléctrica ($I_{S,D}$); la respuesta del diodo dependerá de la forma en que se conecte la pila al mismo, existen dos posibilidades, 1) el borne positivo de la pila al material tipo “p” y el negativo al material tipo “n” y 2) el borne positivo al material tipo “n” según se muestra en la figura siguiente:

Figura 2-4 Formas posibles de entregar tensión a un diodo.



El primer caso se llama polarización directa y el segundo polarización inversa;

Diodo con polarización directa

En éste caso estamos inyectando electrones libres del lado “n”, así se incrementará la concentración de los mismos generándose una corriente de los mismos hacia la región tipo “p”; al ingresar los electrones a ésta región comenzarán a equilibrarse los huecos de manera que los electrones inyectados no alcanzarán fácilmente el contacto metálico externo. Todo dependerá de cuán intensa sea la diferencia de potencial generada por la pila V_D . Estudiemos cómo varía la corriente I_D en éstas condiciones como función de la tensión de entrada V_D (para esto en vez de la pila tendremos que conectar una fuente de tensión que podamos variar a gusto su intensidad)

De manera que a medida que aumenta la tensión nos encontramos que inicialmente la corriente casi no varía hasta alcanzar una tensión umbral, luego aumenta exponencialmente.

Entonces en esta zona la corriente se puede expresar como función de la tensión en el diodo de la forma:

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{\eta \cdot V_T}} - 1 \right)$$

Es evidente que tiene que existir el uno porque para cercano a cero la corriente tiene que ser nula. En esta relación entra el valor V_T que es la tensión equivalente de temperatura y vale

$$V_T [volts] = \frac{T [K]}{11600}$$

Es interesante saber que las corrientes máximas que pueden soportar los diodos de silicio, prácticamente no superan el ampere.

Diodo con polarización inversa:

Si polarizamos el diodo en inversa, esto es si conectamos el borne positivo de la fuente de tensión continua variable al semiconductor dopado con impurezas pentavalentes, notaremos que los electrones de la región “n” serán atraídos por la pila hacia la derecha, dejando más huecos cerca de la unión pues en la zona de depleción no hay cargas móviles por un lado, mientras que en la región tipo “n” los huecos se

acercarán a la parte metálica (mas a la izquierda) y dejarán más electrones cerca de la zona de deplexión. Si miramos la distribución de cargas alrededor de la zona de deplexión, veremos que ésta es la situación que genera el campo que deja ésta zona sin cargas conductoras libres pero con mayor densidad de carga, consecuentemente con mayor campo eléctrico y con mayor barrera de potencial. La conclusión es una sola a medida que aumenta el potencial en éstas condiciones aumentará la barrera de potencial de la zona de deplexión y se impedirá la corriente eléctrica (I_S), sólo podrá pasar un poco de corriente debida a la agitación térmica de los electrones.

La figura 2-5 se representa este comportamiento.

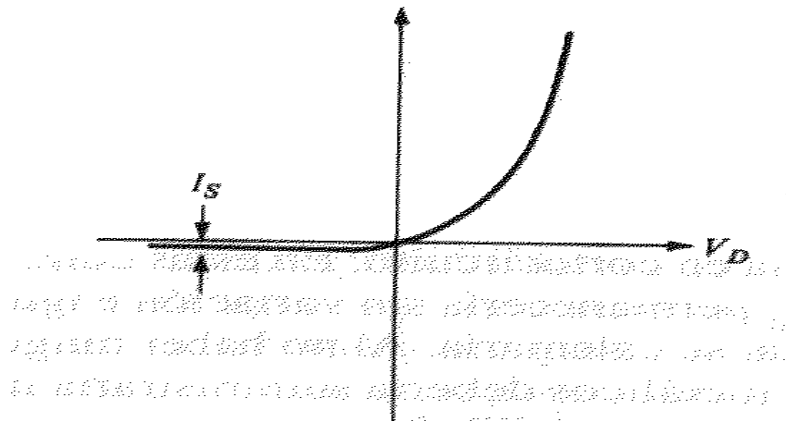


Figura 2-5 comportamiento de la corriente como función de la tensión en el diodo

En realidad esto solo ocurre para ciertos valores de tensión por debajo de uno determinado V_Z más allá de éste se puede producir una aumento brusco de corriente, que en la mayoría de los casos destruye el diodo pero en otros (que, por ahora, no nos interesa estudiar) se los aprovecha en forma particular.

La representación con un poco más de detalle de la curva característica de un diodo es por lo tanto

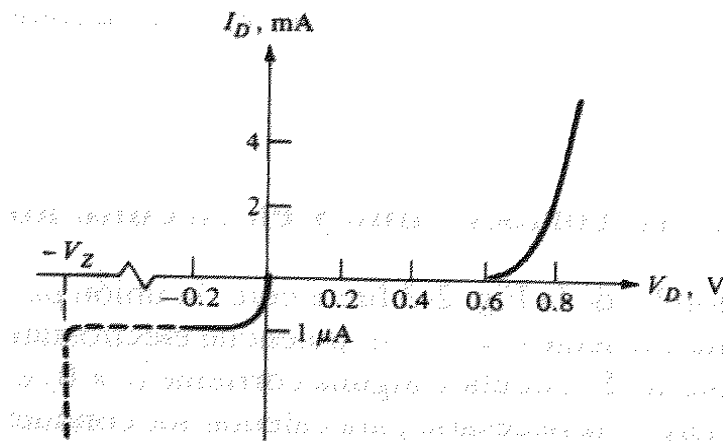


Figura 2-6 Detalle del comportamiento de un diodo para tensiones pequeñas.

Conclusión: Comportamiento de un Diodo:

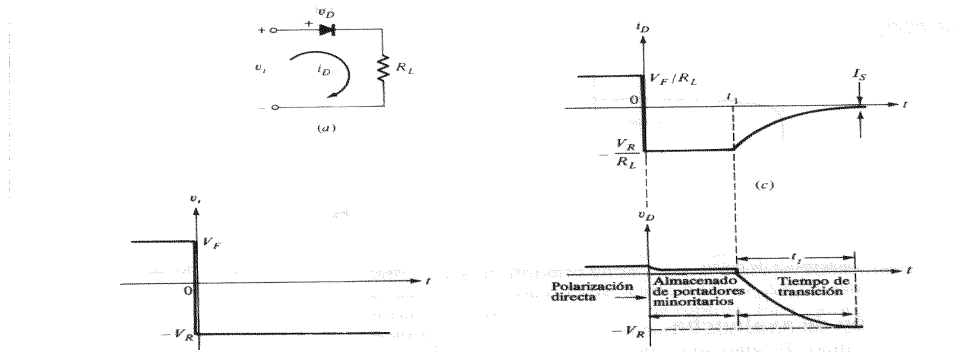
Lo estudiado me permite asegurar que los diodos tienen la característica de permitir el paso de la corriente eléctrica sólo en un sentido, o sea con polarización directa. Tanto en los casos de circuito abierto como de corto circuito no hay corriente eléctrica; en el caso de polarización inversa sólo hay un pequeño valor de corriente llamado corriente de saturación (I_S) valor que en realidad depende de la temperatura.

Esta característica lo permite usar como elemento de conmutación como veremos más adelante.

Tiempos de conmutación de los diodos

La respuesta transitoria de un diodo al pasar del estado de conducción al de corte (o al revés) supone que transcurre cierto tiempo antes que alcance el nuevo estado. Consideremos que se aplica la tensión de entrada en escalón V_i al circuito diodo resistencia y supongamos que durante un lapso anterior a $t=0$ el diodo ha estado polarizado en directo con la tensión $V_i = V_F$. En el instante $t=0$ la tensión aplicada pasa súbitamente a $-V_R$ manteniéndose a ese nivel para $t>0$. Si suponemos que la resistencia interna del diodo es despreciable frente a la externa y que la tensión aplicada es varias veces la tensión umbral V_g (tensión a la cual en diodo comienza a permitir el paso de corriente cuando se lo polariza en directo).

Entonces la corriente antes de la conmutación era $i_D = V_F/R_L$ hasta que se reacomodan las cargas dentro de diodo todos los portadores libres remanentes que estaban presentes mientras la polarización era directa formarán parte de una corriente inversa $i_D = -V_F/R_L$, o sea igual a la anterior pero de sentido inverso, el lapso que transcurre se llama tiempo de almacenamiento. A partir de ese momento la tensión en el diodo empieza a invertirse hacia $-V_R$ y la corriente decrece hasta I_S . El tiempo transcurrido entre t_1 y el momento en que el diodo se ha recuperado totalmente se denomina tiempo de transición t_t . Normalmente los fabricantes de diodos entregan estos tiempos dan el tiempo



de recuperación del diodo $t_s + t_t$ e indican con que resistencia u otros componentes hicieron la medición del mismo. En el diodo 1N4153 el tiempo de recuperación inversa es de unos pocos nanosegundos en determinados circuitos tipo. El tiempo de recuperación directa es el tiempo necesario para que la tensión del diodo pase del 10 al 90% de su valor final cuando se pasa de OFF a ON. Como es mucho más pequeño que el tiempo de recuperación inversa se lo desprecia.

Figura 2-7 tiempos de retardo de un diodo.

Se puede ver que inicialmente se comporta como un conductor y en el momento en que aparece la zona de deplexión y se transforma en un aislador, la respuesta es como si se tratara de un condensador descargándose.

Clase 7

El transistor bipolar de unión (Bipolar Junction Transistor) BJT

El transistor bipolar de unión es un dispositivo de tres capas semiconductoras dopadas en forma alternada. Los dos tipos de dichos transistores son *npn* y *pnp* dibujados a continuación:

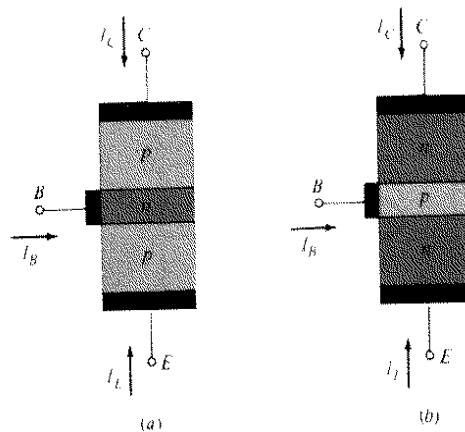
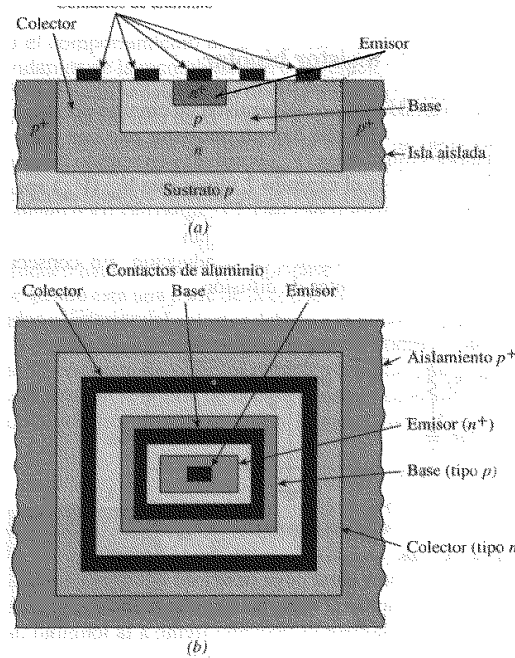


Figura 2-8 Distribución de las tres capas de un transistor bipolar de unión (juntura).

Tienen tres contactos que van unidos a cada región del transistor; el Colector, Base y Emisor. En realidad en la fabricación seriada de transistores en los que se utiliza la tecnología planar, adoptan diferencias geométricas, sin por ello cambiar la disposición general, favoreciendo algunos aspectos específicos de su funcionamiento. En la figura siguiente se muestra un transistor tipo *npn* en corte y vista superior

Figura 2-9 Estructura de fabricación de un transistor *npn* planar



Los signos + de la figura indican que dicha zona tiene mayor concentración de impurezas que las otras del mismo tipo (esto favorece el funcionamiento del transistor). Es de hacer notar que la gran superficie inferior del colector favorece su disipación térmica en los momentos en que circula por él mucha corriente.

Se muestra además los contactos de aluminio que van unidos a cada borne.

La representación gráfica en circuitos se muestra en el gráfico 2-9; nótese la diferencia en la flechita que identifica los transistores *npn* y *pnp*. Las corrientes se expresan según a que parte del transistor ingresan y las tensiones (con doble subíndice) indican entre que dos bornes del transistor se están tomando.

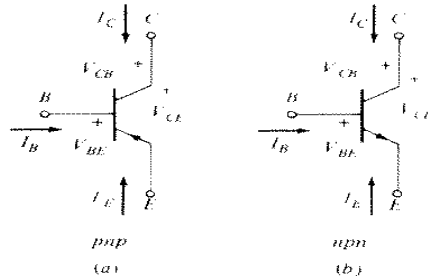


Figura 2-10 Símbolos electrónicos de un transistor.

Comportamiento de un transistor bipolar

Dada la disposición geométrica de la junturas del transistor, se lo puede considerar como formado por dos diodos en oposición. Pero al transistor BJT se lo fabrica con una región de base sumamente estrecha (considerablemente menor a una longitud de difusión). La intención es lograr que las corrientes que pueden establecerse en cada juntura interactúen con la zona de deplexión de la otra juntura, provocando así corrientes de interacción.

Si analizamos la corriente en un transistor BJT con distribución de semiconductores en la forma *pnp*, en configuración base común (la base conectada a tierra), con el diodo emisor-base polarizado en directa y el diodo colector-base polarizado en inversa, tendremos que, como ocurría en los diodos, no hay corrientes de conducción pues el potencial es constante en cada región (colector, emisor y base). Recordar que el campo eléctrico queda reducido a la zona de deplexión siendo nulo en el resto del semiconductor.

Figura 2-11 circuito en base común mostrando las fuentes de tensión V_{EE} y V_{CC}

Tenemos entonces que la tensión V_{EE} inyecta una corriente de huecos en el emisor la que puede atravesar la zona de la base, perdiendo algunos huecos en dicha

zona y alcanzar el borne del colector, además la polarización inversa del diodo colector-base genera una corriente de saturación inversa.

Figura 2-12 Componentes de corriente en un transistor con la unión emisor-base en polarización directa y la unión colector-base en polarización inversa.

Una forma de representar las corrientes dentro de un transistor bipolar de unión en términos cuantitativos teniendo en cuenta cada uno de las corrientes en los diodos y la correspondiente interacción en el otro en mediante la representación de EBERS-MOLL en la que se representa la corriente de interacción por una proporcional a la del otro diodo

Figura 2-13 Componentes de la corriente

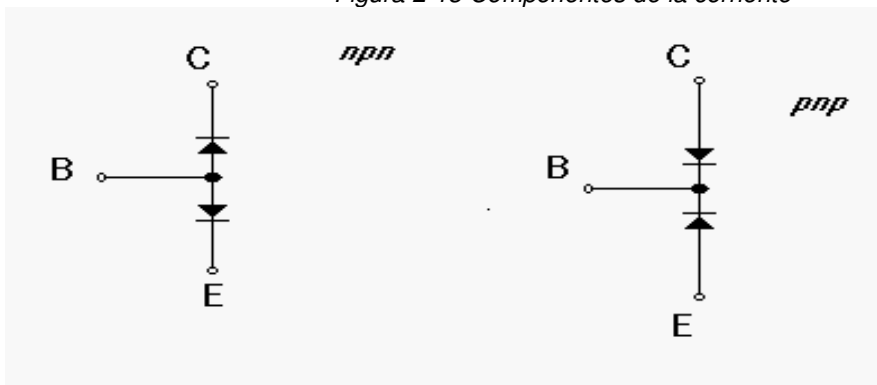


Figura 2-14 Representación de EBERS-MOLL

De tal manera que la corriente de emisor estará formada por la corriente que directamente responde el diodo emisor-base menos la corriente de interacción proporcional a la corriente producida en el otro diodo.

$$I_E = I_{ED} - a_R I_{CD}$$

Y análogamente la corriente de colector valdrá

$$I_C = -a_F I_{ED} + I_{CD}$$

Éstas expresiones se conocen con el nombre de ecuaciones de Ebers-Moll, intervienen las corrientes de los diodos presentes y los parámetros α_R y α_F indican la fracción de la corriente de un diodo que afecta al otro.

Dependiendo cómo estén polarizados dichos diodos el transistor funcionará de una manera u otra atendiendo a los respectivos valores de corriente vistos en la parte anterior:

Polarización del diodo Emisor -Base	Polarización del diodo Colector-Base	Valores de las componentes corrientes según el modelo Ebers Moll
Directa	Directa	$I_E = I_{ES} \left(e^{V_{EB}/V_T} - 1 \right) - \alpha_R I_{CS} \left(e^{V_{CB}/V_T} - 1 \right)$ $I_C = -\alpha_F I_{ES} \left(e^{V_{EB}/V_T} - 1 \right) + I_{CS} \left(e^{V_{CB}/V_T} - 1 \right)$
Directa	Inversa	$I_E = I_{ES} \left(e^{V_{EB}/V_T} - 1 \right) - \alpha_R I_{CS}$ $I_C = -\alpha_F I_{ES} \left(e^{V_{EB}/V_T} - 1 \right) + I_{CS}$
Inversa	Directa	$I_E = I_{ES} - \alpha_R I_{CS} \left(e^{V_{CB}/V_T} - 1 \right)$ $I_C = -\alpha_F I_{ES} + I_{CS} \left(e^{V_{CB}/V_T} - 1 \right)$
Inversa	Inversa	$I_E = I_{ES} - \alpha_R I_{CS}$ $I_C = -\alpha_F I_{ES} + I_{CS}$

De ésta tabla se desprende que con los dos diodos polarizados en directa tendré la máxima conducción (dependientes de los valores de tensión de polarización), el transistor será una llave abierta cuando ambos diodos estén polarizados en inversa y los otros dos estados corresponden a los modos activos.

Cabe acotar que los valores involucrados no son totalmente independientes sino que

$$\alpha_F I_{ES} = \alpha_R I_{CS}$$

Con $0.98 < \alpha_F < 0.998$ y $0.4 < \alpha_R < 0.8$

Y que

$$I_B = - (I_E + I_C)$$

Configuración en emisor común. Para un BJT tipo *npn*

En muchos circuitos de transistores de unión bipolar tipo *npn* se emplea la configuración de emisor común representado en la figura 2-15 en la que se ve que el emisor va conectado a tierra.

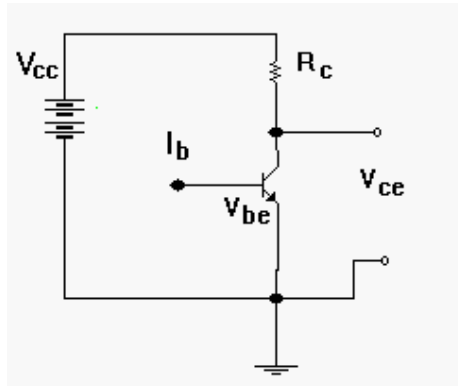


Figura 2-15 Circuito en emisor común con un transistor npn

En dicha configuración las variables independientes son la corriente de base I_B y la tensión de salida V_{CE} , en tanto que la tensión de entrada V_{BE} corriente de salida I_C son las variables dependientes. La configuración presentada de base común, en la que se explicó el comportamiento básico de un transistor resulta muy útil para comprender el funcionamiento en tanto que la presente configuración resulta mas comúnmente utilizada en el resto del curso.

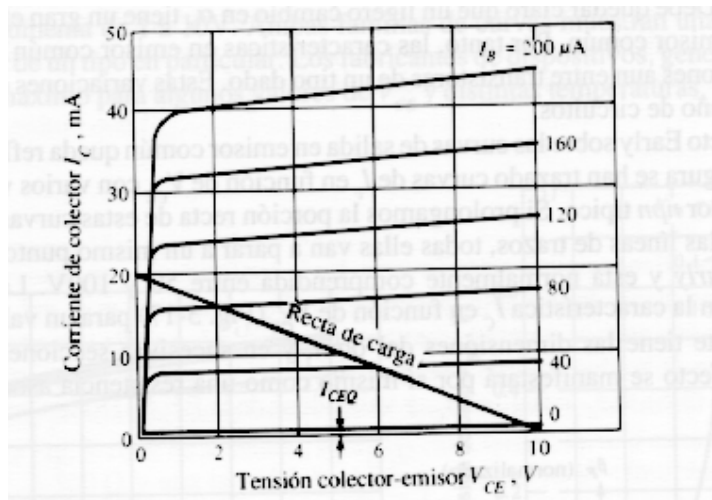


Figura 2-16 Curvas características de salida de un emisor común. La recta de carga corresponde a una tensión $V_{CC}=10V$ y una resistencia de carga $R_C = 500\Omega$

En esta configuración se ve que si el transistor no conduce, (llave abierta), la tensión entre colector y emisor es V_{CC} , en éste caso si la tensión de base es levemente inferior a la de emisor (0V, tensión de referencia), los dos diodos que forman el transistor estarán polarizados en inversa y por lo tanto no conducirán. Por otro lado, si está conduciendo sin oponer resistencia al paso de la corriente la diferencia de tensión entre colector y emisor será prácticamente nula. De modo tal que si la tensión de la base es levemente superior a la de colector, se cumplirá que ambos diodos están polarizados en directo y por lo tanto conduciendo.

Polarización para el estado de corte: para lograr esto tenemos que llevar ambos diodos al estado de polarización inversa, esto se logra haciendo que el potencial en el emisor y en el colector sea mayor que en la base. Una forma sencilla de lograr esto es colocar la base a un potencial negativo, en la práctica alcanza con poner la base a tierra.

Polarización en estado de conducción: Si elevamos la tensión de base respecto del emisor, comenzará a circular entre éstos una corriente eléctrica ya que éste diodo quedará polarizado en directa. Ésta corriente afecta la zona de deplexión, y de la intensidad de la corriente de base depende cuanto. En el gráfico siguiente se muestra los valores de la corriente de colector I_C en función de la tensión colector emisor V_{CE} para varios valores de corriente de base I_B . El valor de $R_C = 500 \Omega$ y $V_{CC} = 10V$.

Se ve que para valores de tensión de V_{CE} de unos pocos mV la corriente de colector crece abruptamente hasta llegar a un valor máximo. En esta situación (de saturación) se cumple que $V_{CE} = 0,2V$, $V_{BE} = 0,8 V$ como era de prever el potencial de la Base es mayor que la de colector y que la de emisor esto significa que los diodos base-colector y base-emisor están polarizados en directo y la conducción del transistor es máxima.

Estudiemos dinámicamente estas situaciones: Veamos un circuito en el que el transistor de tipo *npn* actúa como un interruptor comandado por la tensión aplicada sobre la base del mismo. Supongamos que la onda de tensión de entrada V que varía entre los valores $-V_1 = -0.8V$ para $t < T_1$ y $V_2 = 0.8V$ para $T_1 < t < T_2$, para $V = -V_1$ el diodo emisor-base tiene polarización inversa.

Si despreciamos las componentes de corriente inversa, ya que el diodo colector-base está polarizado en inverso, el BJT está en corte y no hay corriente alguna en ningún punto del circuito. En consecuencia $v_0 = V_{CC}$, y como $i_C=0$ estamos en presencia de un interruptor abierto. En la práctica $i_C \sim I_{CO}$ y $v_0 = V_{CC} - I_{CO} \cdot R_L$. Sin embargo como I_{CO} es muy pequeña (del orden de los nanoamperes) y R_L del orden de los Kilo-ohmios, v_0 diferirá de V_{CC} , en tan sólo unos pocos milivolt y por lo tanto, a efectos prácticos $v_0 = V_{CC}$.

A manera de repaso vemos nuevamente los modos de operación del transistor según el estado de polarización posible para los diodos que lo forman:

Modo	Polarización de la Unión	
	Emisor-Base	Colector-Base
Activo-directo	Directa	Inversa
Umbral (Corte)	Inversa	Inversa
Saturación	Directa	Directa
Activo-inverso	Inversa	Directa

Los modos segundo y tercero de ésta son tabla son los que nos interesa para utilizar un transistor como una llave de corte y conducción comandada electrónicamente. Los otros dos modos de operación, el transistor trabaja como fuente controlada de corriente, no nos interesa tratarlos en éste entorno.

Está claro que si colocamos la base a tierra el diodo CB queda polarizado en inversa en tanto que el diodo EB queda en corto, asegurándose así que la corriente de base sea completamente nula y por lo tanto la corriente de colector es nula y el transistor está abierto no hay conducción alguna por el mismo. El transistor entonces estará en corte, situación que se mantendrá si se baja aún mas la tensión en la base o manteniendo una corriente de base negativa, pues se asegura así la polarización inversa del diodo EB.

En el estado de saturación por el contrario la tensión V_{CE} deberá ser casi nula en tanto que las dos tensiones de polarización de los diodos también debe ser muy pequeña. Esto se logra asignando una corriente de base positiva y muy pequeña.

Tensiones típicas de un transistor BJT en configuración emisor común a 25 C

Cantidad	V_{CE} al punto de saturación	V_{CE} (saturación)			V_{BE}	
			Umbral	Activo	Saturación	Corte
Valor (en V)	0.3	0.2	0.5	0.7	0.8	0

Con esto se ve en la figura 2-16 el estado de corte corresponde al punto en la que la corriente de colector es nula y la tensión V_{CE} es V_{CC} a circuito abierto y que la zona de saturación corresponde a una región de tensión entre los 0.5 y 0.8 V para V_{CE} (el estado se alcanza si la corriente de base es suficiente). Los tiempos de conmutación para el paso de un estado al otro no son despreciables pues además de reacomodarse las cargas para (por ejemplo) formar la zona de deplexión en el caso de pasar de conducción a corte, y luego, con el transistor en corte, el tiempo necesario para que se produzca la estabilización del condensador asociado, son los tiempos que sumados dan lo que llamamos tiempo de conmutación.

Tiempos de conmutación de un transistor BJT

En la figura 2-16 se muestra esta situación.

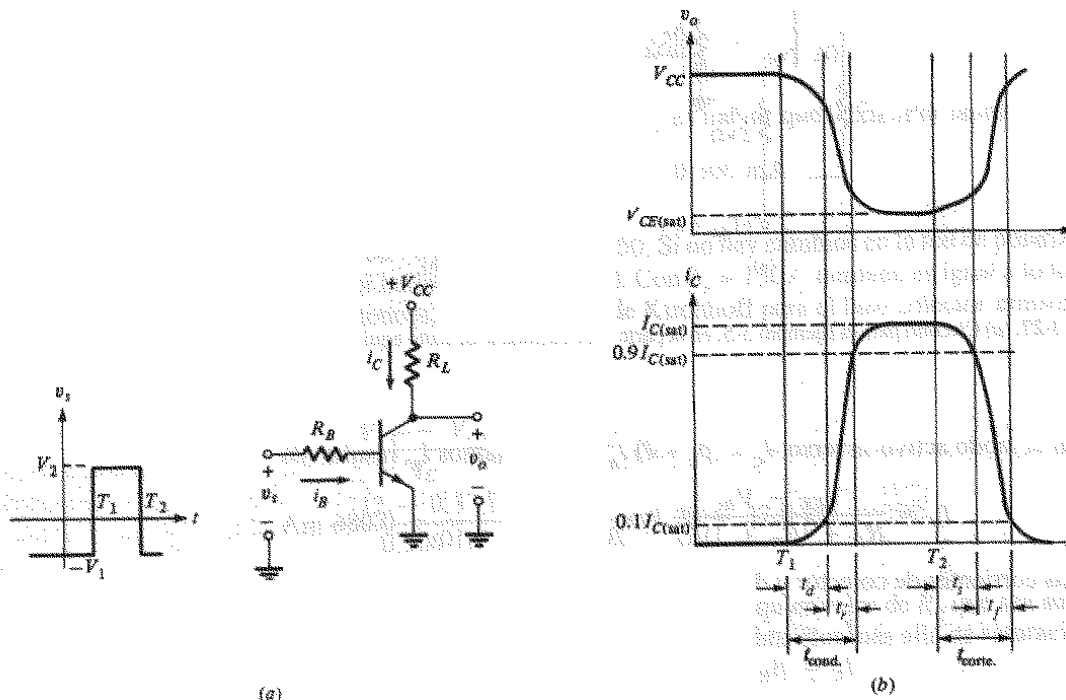


Figura 2-17 tiempos de conmutación de un transistor BJT en configuración emisor común.

A partir del instante T_1 la tensión de entrada pasa a ser V_2 . Dicho valor se lo elige de forma tal que el transistor esté por lo menos en el límite de la saturación, dicho valor es de aproximadamente 0.3 V, entonces:

$$i_C = (V_{CC} - V_{CE(sat)}) / R_L$$

lo que se aproxima a los de un interruptor cerrado. Téngase en cuenta que la corriente en un interruptor cerrado viene determinada por elementos externos V_{CC} y R_L . Se ve que para valores de $V_{CC} \gg 0.3 \text{ V}$, $i_C = V_{CC} / R_L$. (Téngase en cuenta que un valor típico de V_{CC} es de 4 a 5 V)

En el momento $t = T_2$ la tensión de entrada cae nuevamente a $-V_1$ ocasionando eventualmente que el transistor retorne al estado de corte. Se ve en la figura la representación en función del tiempo de las tensiones de entrada y la corriente de salida.

Como se aprecia en la figura anterior la corriente no responde inmediatamente a la señal de entrada, sino que por el contrario hay un retraso. El tiempo que transcurre durante este retraso junto con el necesario para que la corriente alcance un 10% de su valor máximo (saturación) constituye el tiempo de retraso t_d . La onda de corriente tiene un tiempo de subida t_r no nulo, que es el tiempo necesario para que la corriente suba a través de la región activa desde el 10 al 90% de $I_{C(sat)}$.

El tiempo total de conmutación t_{ON} será la suma de los tiempos de retraso y de subida $t_{ON} = t_d + t_r$. Cuando la señal de entrada retorna a su estado inicial en el momento $t = T_2$ tampoco la corriente responde inmediatamente. El intervalo que transcurre desde la transición de la onda de entrada hasta que i_C haya bajado hasta el 90% de I_{CS} se denomina tiempo de almacenamiento t_s . A éste tiempo le sigue el tiempo de caída t_f que es necesario para que i_C caiga desde el 90% al 10% de $I_{C(sat)}$. El tiempo de corte t_{OFF} es la suma de tiempos de almacenamiento y de caída $t_{OFF} = t_s + t_f$.

Clase 3

Repaso clase anterior

Comportamiento físico de un transistor bipolar

Dada la disposición geométrica de la junturas del transistor, se lo puede considerar como formado por dos diodos en oposición con zonas de deplexión tan cercanas que interfieren entre sí.

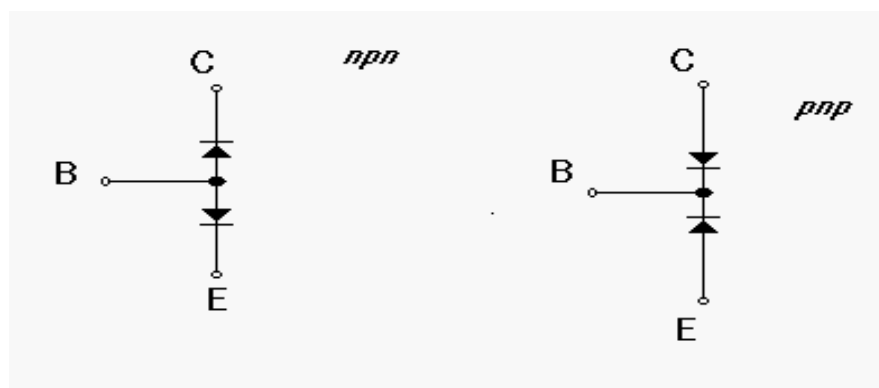


Figura 3-1 Representación de transistores según el modelo de Ebers-Moll

Dependiendo cómo estén polarizados los diodos, el transistor funcionará de una manera u otra; así, si los dos diodos están polarizados en directa, por ellos podrá circular una corriente de difusión, mientras que estando los dos diodos polarizados en inversa prácticamente, no habrá corriente por los mismos

Repetimos la tabla que muestra los modos de conducción de los transistores según el estado de polarización posible para los diodos que lo forman:

Modo	Polarización de la Unión
------	--------------------------

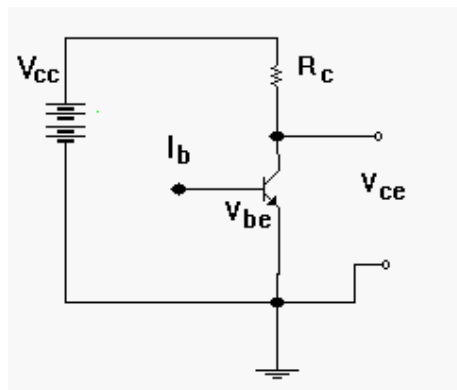
	Emisor-Base	Colector-Base
Activo-directo	Directa	Inversa
Umbral (Corte)	Inversa	Inversa
Saturación	Directa	Directa
Activo-inverso	Inversa	Directa

Los modos segundo y tercero de ésta son tabla son los que nos interesa para utilizar un transistor como una llave de corte y conducción comandada electrónicamente. Los otros dos modos de operación, el transistor trabaja como fuente controlada de corriente, no nos interesa tratarlos en éste entorno.

En el ejemplo estudiado, vimos un tipo de configuración para un transistor *npn* llamada emisor común para mostrar el funcionamiento del (BJT) en conmutación (SPG)

Configuración en emisor común (CE) de un BJT tipo npn como ejemplo de transistor de unión bipolar en conmutación

Figura 3-2 Configuración de emisor común para un transistor npn



En esta configuración se ve que si la base está conectada a tierra, el diodo de colector estará polarizado en inversa en tanto que por el diodo de emisor no podrá circular corriente, (situación que se mantiene si la tensión en la base es negativa), así el transistor está en estado de corte, se lo considera una llave abierta y la tensión entre colector y emisor es V_{CC} a circuito abierto, o $V_{CC} - I \cdot R_C$ con I fijada por lo que se conecte a continuación sobre V_{CE} .

Por otro lado, si la tensión de base está entre 0.5 y 0.8 V provocamos que el diodo de emisor conduzca y con el correspondiente efecto sobre la juntura de colector, lo hará también ésta, y si la corriente de base es lo suficientemente alta (fig 2-16) el transistor estará en estado de saturación y estará conduciendo casi sin oponer resistencia al paso de la corriente (para bajas valores de éstas), la diferencia de tensión entre colector y emisor será prácticamente nula. Y se lo puede considerar una llave cerrada.

Recordemos también que desde que se producen los cambios correspondientes sobre la base hasta que el transistor cambia de estado (entre colector y emisor), transcurre un lapso (tiempo de corte o de encendido según corresponda), asociados a los tiempos de conmutación propios de los diodos en cuestión.