



**UNIVERSIDAD DE MATANZAS
"CAMILO CIENFUEGOS"
FACULTAD DE INGENIERIAS QUÍMICA – MECANICA.**

MONOGRAFÍA

DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES BÁSICOS

Ing. Carlos R. Molina Hernández
Dr. Evaristo González Milanés
Departamento de Física

Noviembre, 2007

DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES BÁSICOS

Autores: Ing. Carlos R. Molina Hernández
Dr. Evaristo González Milanés

Departamento de Física
Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”
Cuba

INTRODUCCION:

Este documento constituye una bibliografía complementaria para la asignatura de Electrónica, que se imparte a las carreras de Ingeniería que no son derivadas de la especialidad de Ingeniería Eléctrica, como es el caso de las asignaturas de las facultades de Industrial-Economía y de Ingeniería Química y Mecánica.

Queda lejos del propósito de los autores exponer un estudio profundo y detallado de los temas que aquí aparecen. Solamente se pretende dar una breve caracterización que sirva como introducción a un estudio posterior para aquellos que les resulte de interés, y cumplir con los objetivos definidos por las diferentes Comisiones de Carreras para las asignaturas y disciplinas que tienen vínculo con los dispositivos y circuitos de la Electrónica.

Este material aún se encuentra en fase de elaboración, como parte de un libro de texto de la asignatura, pero decidimos que la versión digitalizada de este capítulo se publicara en formato de monografía, debido a la necesidad de que el alumno posea un material actualizado y a su vez organizado de manera que se ajuste y responda a los objetivos y contenidos de los programa de las asignaturas.

Para su elaboración se consultó una extensa bibliografía que incluyó artículos, libros de texto y manuales así como sitios Web en Internet.

Temáticas que serán abordadas en el presente trabajo:

Materiales semiconductores. Semiconductor tipo N y P. Unión PN como diodo. Polarización de una unión PN. Característica volt-ampere de un diodo. Uso del diodo como rectificador. Diodo Zener. Diodo Varactor. Diodo Shottky. Diodos Varistores. Diodos emisores de luz. Parámetros mas usados en los diodos.

El transistor bipolar. Características funcionales del transistor bipolar. Zonas de trabajo del transistor bipolar. Configuraciones circuitales básicas. Parámetros de los transistores bipolares. El transistor como amplificador y como interruptor. Polarizaciones de los transistores y estabilización del punto de operación.

El transistor de efecto de Campo (FET). Principio de funcionamiento y zonas de trabajo.

El transistor de efecto de campo de Compuerta Aislada (MOSFET). Estructura y tipos. Principio de Funcionamiento.

Tiristores. Características.. Tipos. Circuitos integrados.

Desarrollo

1. Materiales Semiconductores.

De acuerdo a la capacidad de conducir la corriente eléctrica, las sustancias que se encuentran en la naturaleza se pueden dividir en tres grandes grupos según sea sus estructuras de bandas de energía. Ellos son:

- 1 Conductores.
- 2 Dieléctricos o aisladores.
- 3 Semiconductores.



Los **conductores** generalmente son metales y poseen electrones libres. Podemos apreciar en la grafica de la estructura energética, que la banda de valencia está llena de electrones, la zona prohibida, no posee electrones y la banda de conducción está parcialmente llena de niveles de energía lo que permite que los electrones se muevan libremente entre ellos y, por lo tanto, por todo el material. Por lo general los conductores son sólidos que poseen una resistividad en el rango de $10 e^{-6}$ y $10 e^{-14}$ ohm - cm.

Los materiales **dieléctricos** o aislantes, a diferencia de los conductores no poseen electrones libres en la banda de conducción y su resistividad está en el orden de $10 e^5$ a $10 e^{22}$ ohm - cm.

Un aislante tiene una banda completamente llena y, por lo tanto, una gran separación energética antes de la siguiente banda vacía más baja. Los electrones sólo se pueden mover si adquieren la energía necesaria para saltar hasta ese conjunto de niveles vacíos. Cuanto mayor es la separación energética, más difícil es que lo consigan y, por lo tanto, mejor es el aislante. Los materiales **semiconductores**, poseen la región de energía prohibida estrecha, de aproximadamente 1 eV, existiendo electrones libres en su banda de valencia y a la vez no poseen electrones en la banda de conducción a bajas

temperaturas por lo que se comportan como aislantes.

Conductores, semiconductores y aislantes

$\rho = R \frac{A}{l}$

$\rho \equiv$ resistividad (ohm cm)

$A \equiv$ área de la sección transversal

$l \equiv$ longitud

$R \equiv$ resistencia de la muestra

$\sigma = \frac{1}{\rho}$

$\sigma =$ conductividad (mho/cm)

1 siemen (S) = 1 mho/m

$\text{mho} = \frac{1}{\text{ohm}} = \frac{1}{\Omega}$

escala logarítmica de conductividad (S)

6.071 Semiconductores

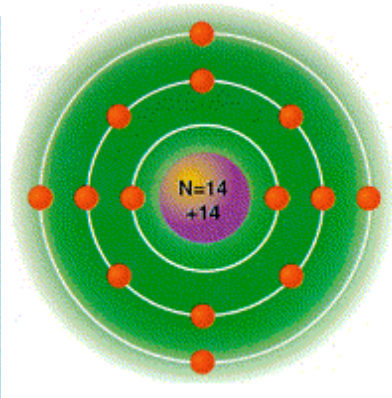
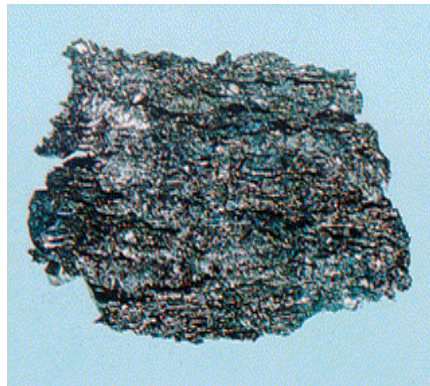
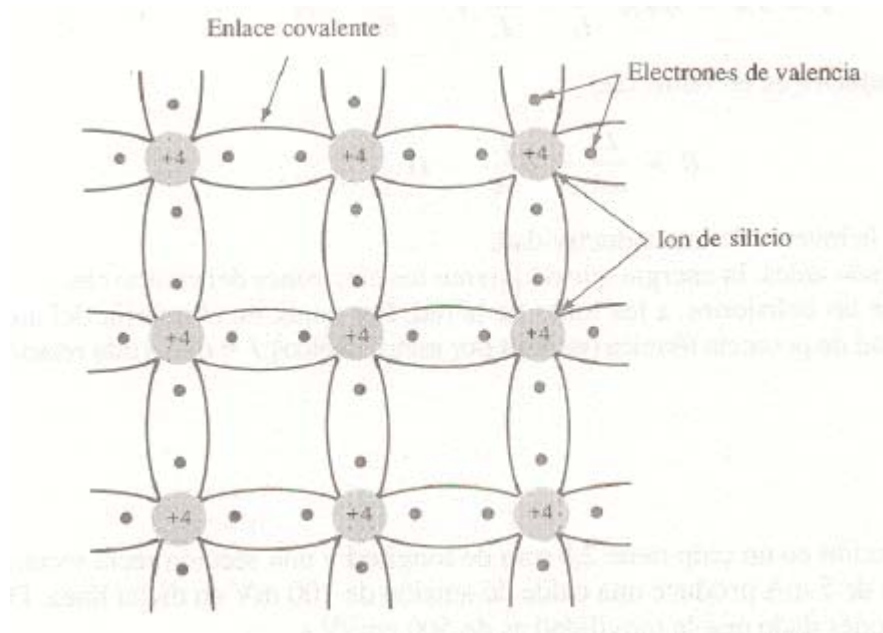
Los materiales semiconductores que más se emplean en la actualidad son el germanio (Ge), silicio (Si) y arseniuro de galio (AsGa). La estructura cristalina de estos materiales consiste en una repetición regular en tres dimensiones de una celdilla unida que tiene la forma de un tetraedro, con un átomo en cada vértice. El silicio es un material excelente para su aplicación como semiconductor. Al principio la conducción es bastante baja para el silicio puro. No es cero, pero por lo común se puede pensar en él como un conjunto de átomos con enlaces covalentes. Además, se puede purificar mucho, para que cualquier impureza que se le añada intencionadamente pueda dominar fácilmente efectos no intencionados.

Silicio y semiconductores

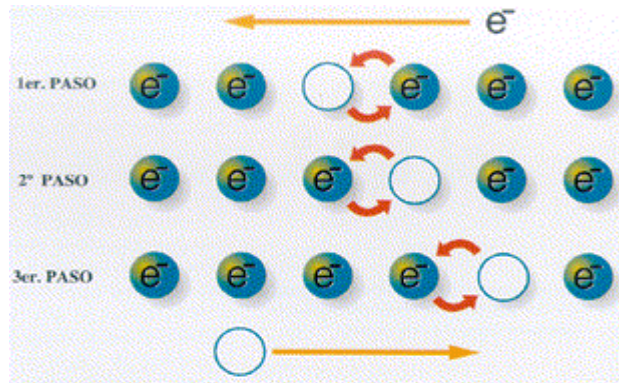
- El silicio es abundante y cristaliza en grandes cristales muy puros.
- La conductividad del silicio puro es bastante baja, porque todos los electrones están enlazados como electrones de valencia.
- Es fácil formar una capa de óxido en el Si y la conductividad de este cristal es extremadamente baja (y es un excelente aislante).
- El Si se puede *dopar* para añadir electrones o espacios vacíos como conductores.

6.071 Semiconductores 4

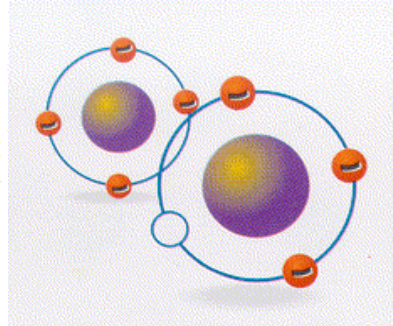
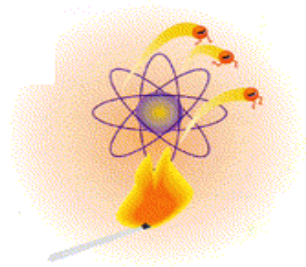
El silicio posee cuatro electrones en su último nivel, los que comparte con sus cuatro vecinos, quedando así fuertemente unidos al núcleo, formando parte de los enlaces covalentes que componen la red cristalina



Al aumentar la temperatura, se produce la ruptura de algunos enlaces covalentes, y los electrones de valencia adquieren energía térmica y saltan a la banda de conducción. El electrón que pasó a la otra banda, dejó un hueco, y de esa forma se puede hacer referencia a los niveles de energía vacíos de la banda de valencia y que pueden servir como portadores de electricidad, y con una efectividad comparable a la del electrón.



En la medida que se sigue aumentando progresivamente la temperatura, se generan pares de electrón-huecos, existiendo un equilibrio entre la cantidad de electrones (e^-) existente en la banda de conducción y la cantidad de huecos (h^+) en la banda de valencia. A este tipo de material se le denomina **semiconductor intrínseco**, y en el mismo se cumple que la concentración de electrones se iguala a la de los huecos, o sea: $(e^-) = (h^+)$



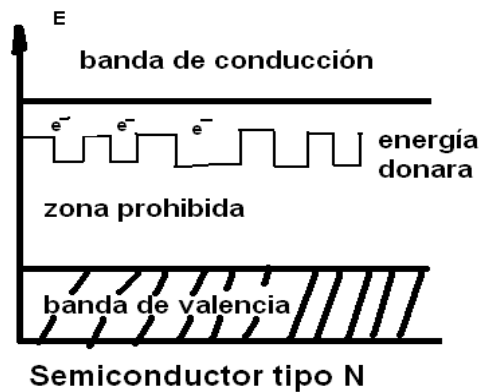
Impurezas donoras yceptoras

Existen dos tipos de impurezas que se le pueden introducir a un material semiconductor, y son las llamadas impurezas donoras e impurezasceptoras. Un semiconductor que se haya dopado, con cualquier tipo de impurezas, se le denomina **semiconductor extrínseco**.

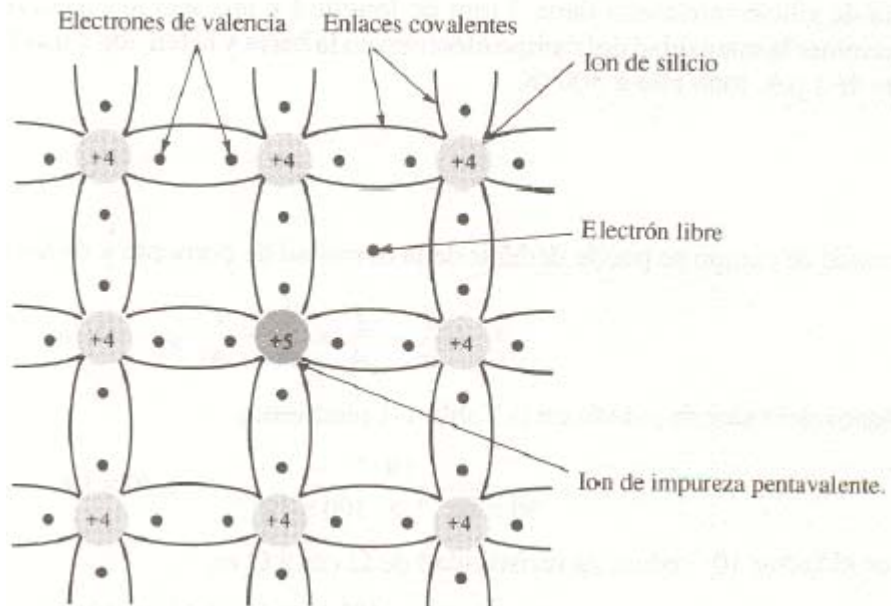
El dopaje consiste en alterar la estructura interna del semiconductor, añadiendo dentro de él una pequeña cantidad de átomos de otro elemento bastante similar al original, manteniendo las propiedades físicas y químicas iniciales, pero variándose acentuadamente las propiedades eléctricas. Las impurezas se introducen por procesos tecnológicos de difusión o implantación iónica, en el vacío y a alta temperatura.

1.1.1 Semiconductor tipo N.

Se le llama así al semiconductor que se dopa con **impurezas pentavalentes**, las cuales se caracterizan por donar electrones.



El quinto electrón aportado por la impureza en la estructura cristalina del semiconductor queda inicialmente sin enlace covalente, por lo que la energía que hay que aplicar para liberar este electrón del átomo es muy pequeña comparada con la energía que se debe aplicar para romper un enlace covalente. Se crea un nivel discreto de energía permitido en la banda prohibida, muy cercana a la banda de conducción. Este material es de **tipo N** y las sustancias con las cuales se dopa el semiconductor son el antimonio, el fósforo, o el arsénico.

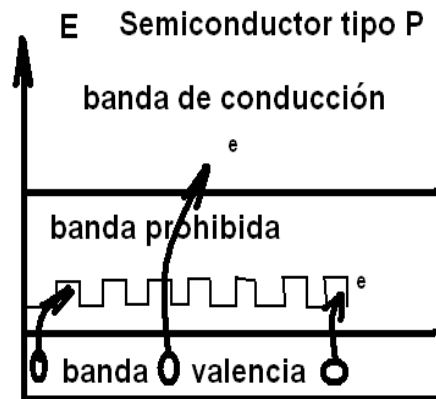


A temperatura ambiente, los electrones del **nivel donador**, saltan a la banda de conducción. Al producirse el aumento de la temperatura, los electrones que se encuentran en la banda de valencia, también saltan a la banda de conducción, siendo mayor la cantidad de electrones (e^-) en la banda de conducción que de huecos (h^+) rompiéndose el equilibrio en cuanto al número de pares electrón hueco. Por lo que este material semiconductor tipo N posee como portadores mayoritarios los electrones.

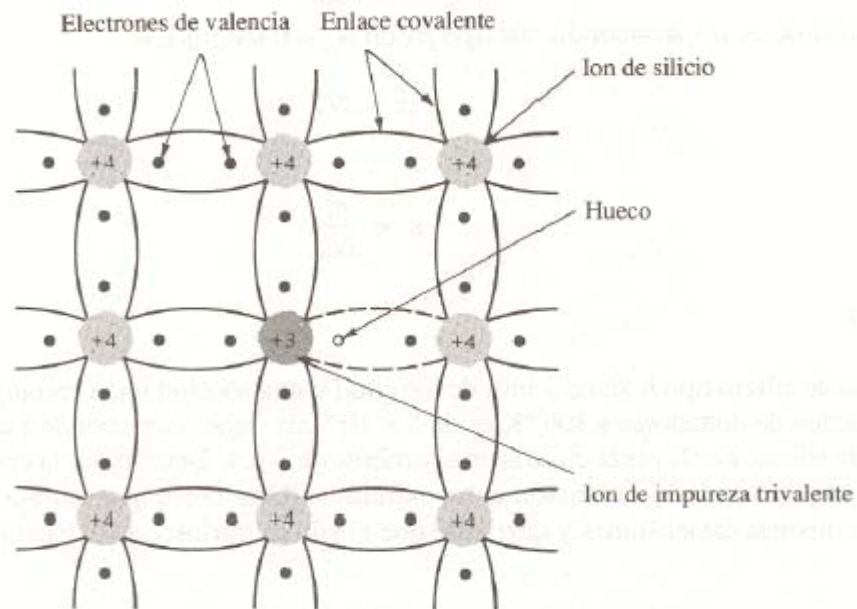
$$(e^-) > (h^+)$$

1. 1.2 Semiconductor tipo P.

Se le llama así al semiconductor que se dopa con **impurezas trivalentes**, las cuales se caracterizan por aceptar electrones. Al agregar esta sustancia solamente se forman tres enlaces covalentes, por lo que faltaría un electrón para poseer los cuatro enlaces covalentes que caracterizan a esta estructura, apareciendo en su lugar un hueco que puede aceptar un electrón, y se crea un nivel discreto de energía permitida en la banda prohibida, muy cercana a la banda de valencia. Este material es de **tipo P** y las sustancias con las cuales se dopa el semiconductor son el boro, el galio, o el indio.



A temperatura ambiente, los electrones de la banda de valencia pasan al nivel aceptor, dejando un hueco en esta banda. Al aumentar la temperatura, los electrones que se encuentran en la banda de valencia también saltan a la



banda de conducción, siendo mayor la cantidad de huecos (h^+) que de electrones (e^-) en la banda de valencia, rompiéndose el equilibrio electrón

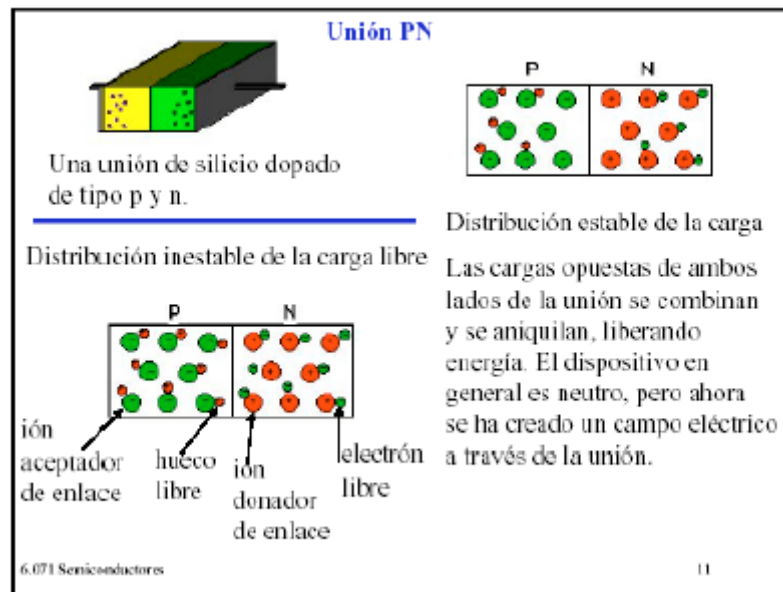
hueco. Por lo que este material semiconductor tipo P posee como portadores mayoritarios los huecos y por tanto

$$(e^-) < (h^+) .$$

1.1.3 Unión P-N

Un cristal sencillo que contenga dos regiones, una tipo n y otra tipo p, se puede preparar introduciendo las impurezas donantes y receptoras en germanio o silicio fundido en un crisol en diferentes fases de formación del cristal. El cristal resultante presentará dos regiones diferenciadas de materiales tipo n y tipo p.

La franja de contacto entre ambas áreas se conoce como unión pn. Tal unión se puede producir también colocando una porción de material de impureza donante en la superficie de un cristal tipo p o bien una porción de material de impureza receptora sobre un cristal tipo n, y aplicando calor para difundir los átomos de impurezas a través de la capa exterior.



El dispositivo que aparece arriba a la izquierda es una unión PN (un material dopado P se coloca junto a un material dopado N). Así se forma un diodo.

En la esquina inferior izquierda aparece la configuración de los semiconductores: cómo estarían los electrones y los huecos si se colocasen ambos materiales uno junto a otro, pero sin tocarse.

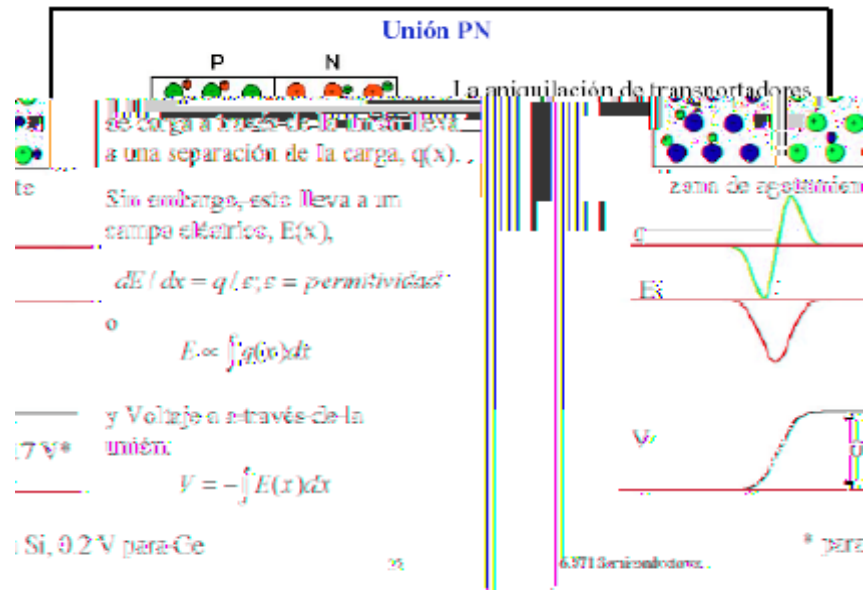
Al colocarse los dos tipos de semiconductores uno frente al otro, ocurre el proceso de **difusión**.

¿Qué es el proceso de difusión?

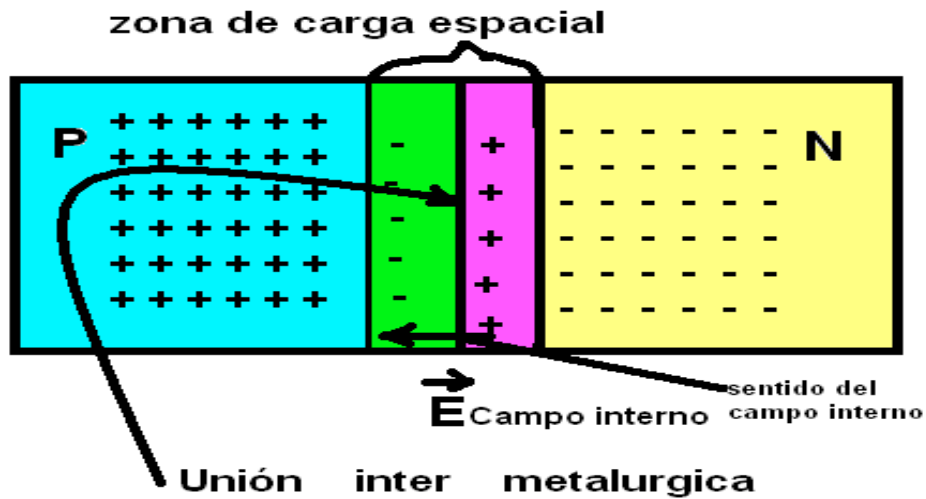
El proceso de difusión ocurre muy frecuentemente en la naturaleza y **es el paso de una sustancia de donde hay mayor gradiente de concentración ([])** a donde hay menor concentración y ocurre en el momento que se

ponen en contacto ambas uniones. Esto implica que exista una **corriente de difusión** para los portadores mayoritarios de cada parte de la unión.

En las proximidades de la unión se difunden los huecos hacia la parte N y los electrones hacia la parte P. En las zonas muy próximas a la unión intermetalúrgica ocurre la recombinación electrón-hueco convirtiéndose los átomos en iones debido a que no van a ser eléctricamente neutros. Como el material N ceden electrones, muy próximo a la unión quedan cargados positivamente (+), convirtiéndose en iones positivos, por otra parte y muy próximo a la unión en el material P aceptan electrones, quedando cargados negativamente (-), convirtiéndose en iones negativos.



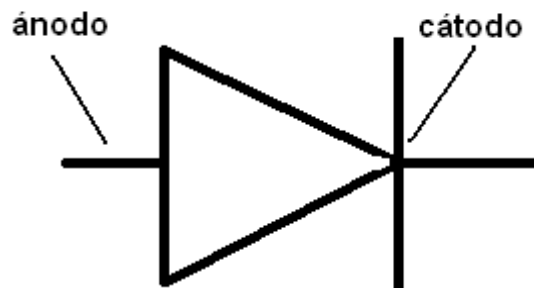
La región próxima a la unión no contiene cargas móviles y aparece un campo eléctrico interno. El campo interno, conocido también como barrera de potencial, se opone al movimiento de los portadores mayoritarios y favorece el movimiento de los portadores minoritarios generados por efecto térmico, a este proceso se le conoce como **corriente de deriva**. Se alcanzara el equilibrio cuando el campo llegue a ser suficientemente grande como para compensar el proceso de difusión. La **zona de carga espacial** o zona de agotamiento, es la zona donde se recombinaron los pares electrón-hueco, y se caracteriza por ser una zona donde no hay portadores de cargas libre y posee una alta impedancia.



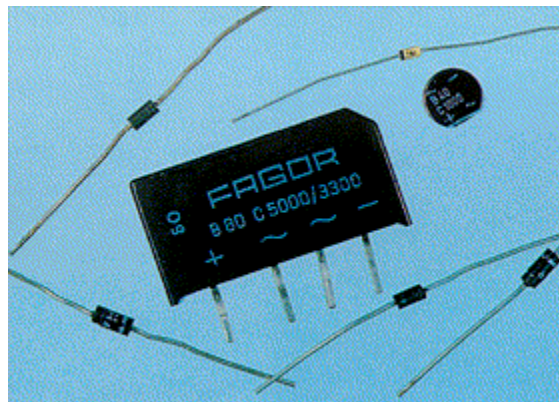
1.1.4 Diodo semiconductor.

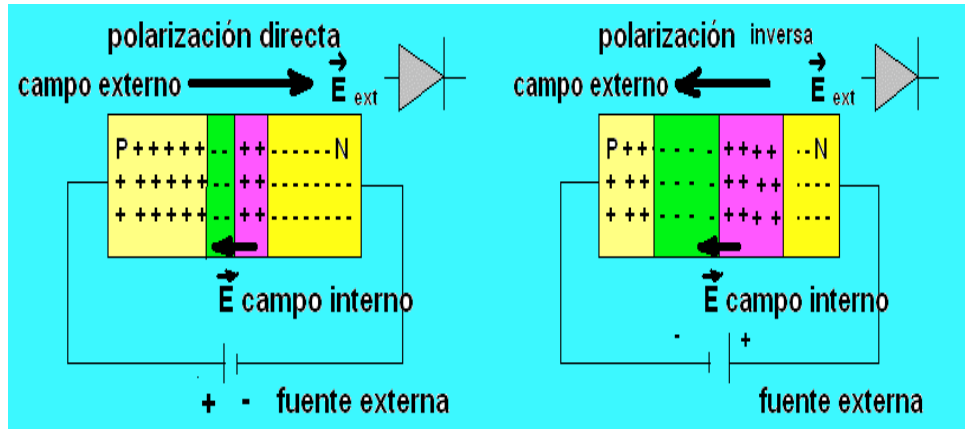
El diodo es un componente activo porque controla el paso de la corriente. En sus inicios en la Electrónica existió el llamado diodo de vacío, cuya propiedad esencial era el permitir el paso de la corriente eléctrica en un solo sentido.

La característica eléctrica esencial de la unión P-N es que se comporta como un diodo, permitiendo la circulación de corriente en un sentido y oponiéndose a su paso en el opuesto. Esta facilidad permite **rectificar la corriente alterna**.



simbología del diodo semiconductor



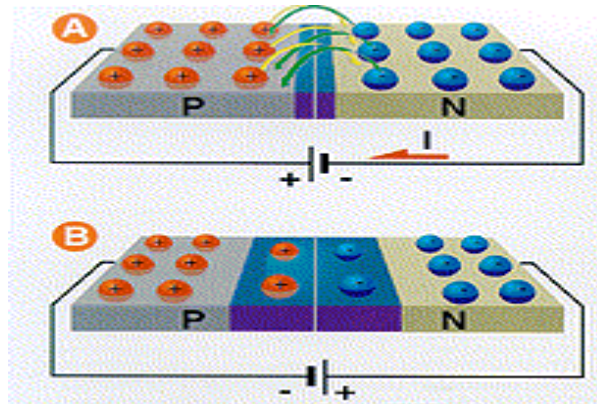


Polarización directa e inversa de la unión P-N.

La polarización directa, utiliza un campo externo, que polariza al semiconductor extrínseco tipo P con carga positiva y con carga negativa al tipo N, por lo cual existe un campo externo (E_{ext}) intenso y dentro de la unión P-N un campo interno (E_{int}) producto del proceso de difusión. El campo interno y el externo interactúan entre sí, provocando un campo externo resultante (E_r), que hace que la zona de carga espacial disminuya su longitud considerablemente, favoreciendo la circulación de portadores mayoritarios en ambos sentidos, la magnitud de esta corriente de los portadores mayoritarios depende del voltaje externo aplicado y la magnitud de la corriente de los portadores minoritarios es función de la temperatura. El valor resistivo que presenta la unión P-N con esta polarización es muy bajo.

$$\vec{E}_{ext} + \vec{E}_{int} = \vec{E}_r$$

La polarización inversa, utiliza un campo externo, que polariza al semiconductor extrínseco tipo P con carga negativa y con carga positiva el tipo N; por lo cual existe un campo externo E_{ext} intenso y dentro de la unión P-N un campo interno E_{int} producto del proceso de difusión. El campo interno y el externo interactúan entre sí, dando un campo externo resultante E_r , que hace que la zona de carga espacial aumente considerablemente su longitud, obstaculizando la circulación de portadores mayoritarios en ambos sentidos. La corriente que circula se denomina corriente de saturación inversa de la unión. En esta polarización el valor resistivo que presenta la unión P-N es muy alto y solamente pasa por ella la corriente de saturación inversa.



Cuando se polariza al diodo y se le pone una fuente externa de polaridad conmutable, este deja pasar la corriente en un sentido y se opone en otro sentido, presentando el diodo característica rectificadora.

1.1.5 Característica voltampérica de un diodo

La característica voltampérica de un diodo tiene su expresión en la fórmula siguiente.

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{V_D}{\eta V_T}} - 1 \right) \quad \text{Amperes}$$

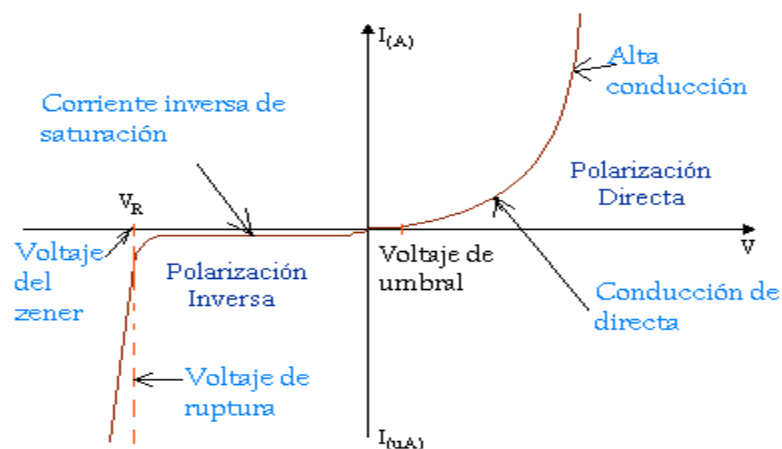
V_D - Voltaje aplicado entre los terminales del diodo.

η - clase del semiconductor empleado. $\eta = 1$ Germanio $\eta = 2$ Silicio

I_0 - corriente inversa de saturación.

V_T - Voltaje en función de la temperatura. $26\text{mV}/^\circ\text{C}$

Característica voltampérica del diodo.



La grafica anterior muestra la característica voltampérica del diodo. Note las zonas de trabajo. Existe un voltaje positivo V_0 denominado voltaje de umbral y es el voltaje en cual el diodo comienza a conducir. La corriente de saturación inversa depende de la concentración de huecos y electrones en la zona de la unión. La corriente de directa e inversa difiere notablemente en la magnitud de

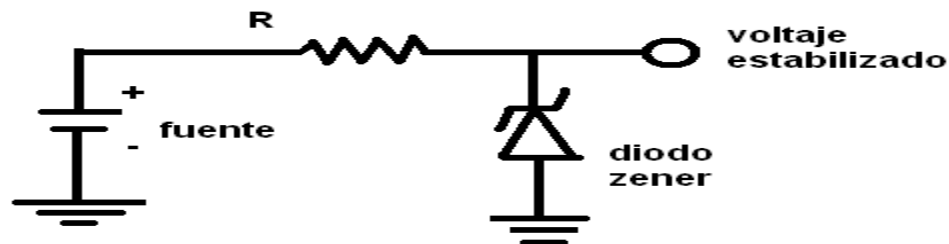
las mismas. La zona de ruptura es aquella zona donde no se debe poner a funcionar el diodo porque se deteriora el componente, aunque más adelante veremos una aplicación interesante en esta zona.

1.1.6 Uso del diodo como Rectificador.

El diodo ante todo rectifica la corriente alterna, dejando pasar el semiciclo positivo porque posee polaridad directa. Al llegar el semiciclo negativo, este pone al ánodo del diodo con polaridad inversa, ofreciendo una alta impedancia al paso de este semiperíodo. Sí se utiliza un rectificador para alta frecuencia, se debe tener en cuenta entre otros parámetros el tiempo de conmutación para la selección adecuada de esta aplicación.

1.1.7 Diodo de ruptura, avalancha o Zener

Como se expresó anteriormente, existe una aplicación en la que el diodo se pone a trabajar en la zona de ruptura, el cual se utiliza como voltaje de referencia de tensiones constantes; estos son los llamados **diodo Zener** y están diseñados para trabajar en la zona de ruptura sin que lleguen a la destrucción del componente. Por esta razón tienen una corriente máxima y mínima de trabajo.



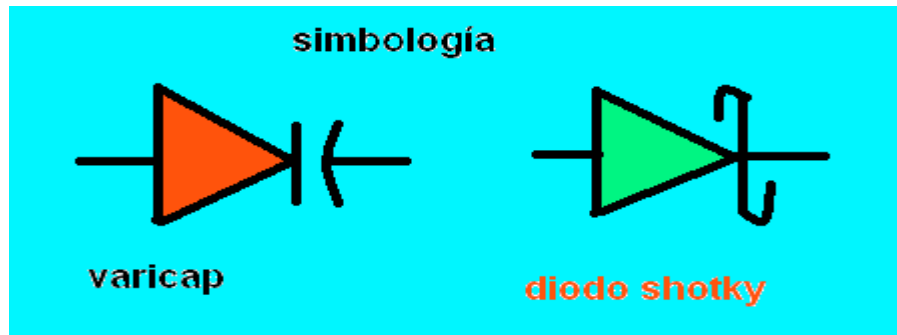
El diodo Zener **polarizado inversamente**, regula la tensión de la carga, oponiéndose a las variaciones de la corriente de la carga y de la tensión de alimentación. Al observar la característica voltampérica se puede apreciar en la región de ruptura que grandes variaciones en la corriente, producen cambios muy pequeños en la tensión del diodo.

El funcionamiento del Zener radica en poner el diodo a trabajar con una polarización inversa. Al alcanzar el voltaje del Zener, los electrones y huecos generados térmicamente adquieren energía como para producir nuevos portadores los que a la vez producen otros nuevos portadores; este proceso continuo se denomina multiplicación por avalancha, circulando corrientes inversas en la región de ruptura. Si los portadores no adquieren la energía necesaria, el campo aplicado es tan intenso como para romper los enlaces covalentes y generar los portadores, esta ruptura se denomina Zener.

1.1.8 Diodo varactor o varicap

Este diodo varicap utiliza la zona de carga espacial como dieléctrico, y sus extremos, que se pueden considerar como dos placas situadas en paralelo una frente a la otra. Se está ante la presencia de un componente clásico: el

condensador. Este dispositivo se utiliza en la zona inversa de trabajo del mismo y no debe sobrepasar el voltaje de ruptura. La variación del voltaje, variará el ancho de la zona de carga espacial y con ello la capacidad de este componente. La capacidad es inversamente proporcional al ancho de la zona de carga espacial, y tiene un valor máximo para cuando la tensión inversa aplicada se aproxima a cero. Remplazan muy eficiente los antiguos condensadores ajustables.



1.1.9 Diodo Shottky.

El diodo Shottky posee una alta velocidad, debido a que el mismo es construido con una parte de la unión de metal y la otra un semiconductor extrínseco, el tiempo disminuye notablemente ya que no existe recombinación.

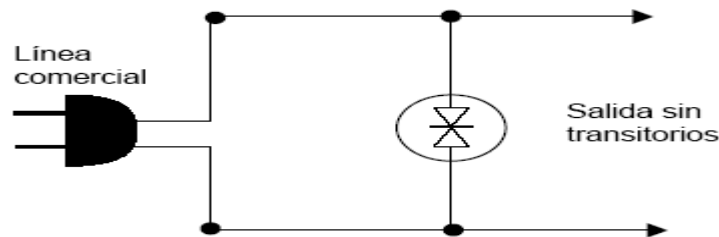
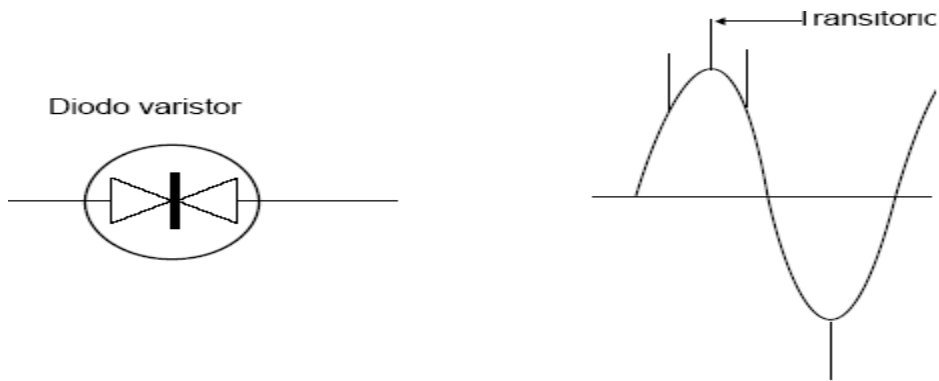
1.1.10 Diodos Varistores.

Los relámpagos que se producen durante una tormenta eléctrica, el ruido de los motores eléctricos y los fallos de la red de alimentación eléctrica, inducen picos de alto voltaje en las líneas de alimentación de energía. A tales picos o variaciones se les conoce como transitorios. Estos transitorios por lo general son de corta duración, pero alcanzan valores de hasta 2000V, produciendo la destrucción de los circuitos que tienen los equipos electrónicos por lo que para prolongar su vida es necesario utilizar ciertas protecciones.

Uno de los dispositivos empleados para estabilizar la línea es el **varistor**, el que también es conocido como “supresor de transitorios”. Este dispositivo equivale a dos diodos Zener conectados en paralelo con sus polaridades invertidas y con un valor de voltaje de ruptura muy alto.

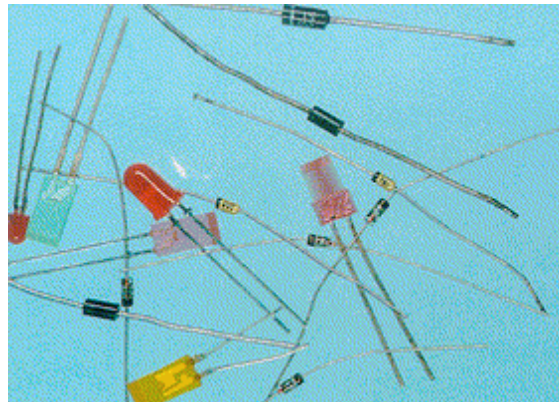
Los varistores son construidos con diferentes valores de voltaje de rupturas. Por ejemplo si se emplea uno de 180V para la línea de 127 V, este se mantendrá inactivo para valores de voltaje inferior a 180V; una vez alcanzado o sobrepasado el mismo, el dispositivo se disparará, conduciendo y reduciendo el efecto dañino del transitorio en el circuito, debido a que el varistor recortará todos los transitorios que se presentan en la línea.

Existen un grupo de diodos llamados **TVS** (Transistor Voltaje Supresor) diseñados para suprimir los voltajes transitorios de directa. Estos TVS no son más que diodos Zener con voltaje de ruptura alto y con una buena capacidad de conducción de corriente en tiempos muy pequeño, los cuales son ideales para utilizarlos en fuentes de alimentación de corriente directa.

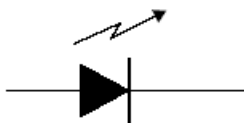


1.1.11 Diodo Emisor de LUZ

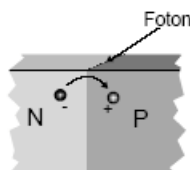
Cuando un diodo semiconductor se polariza de manera directa, los electrones pasan de la sección N del mismo, atraviesan la unión y salen a la sección P. En la unión se efectúa la recombinación, en donde los electrones se unen a los huecos, al unirse se libera energía mediante la emisión de un fotón (energía electromagnética). Esta emisión de energía que en un diodo normal es pequeña, puede aumentarse con la utilización de materiales como el galio, arsénico, fósforo, en lugar de silicio o el germanio. Estos diodos diseñados especialmente para emitir luz son conocidos como LEDS



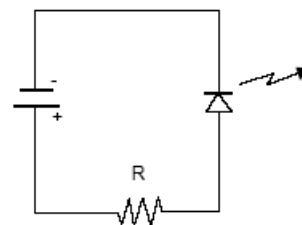
Símbolo esquemático de un led



Durante la recombinación, en la unión del diodo se libera energía a través de la emisión de luz.



Los LEDs se polarizan de manera directa

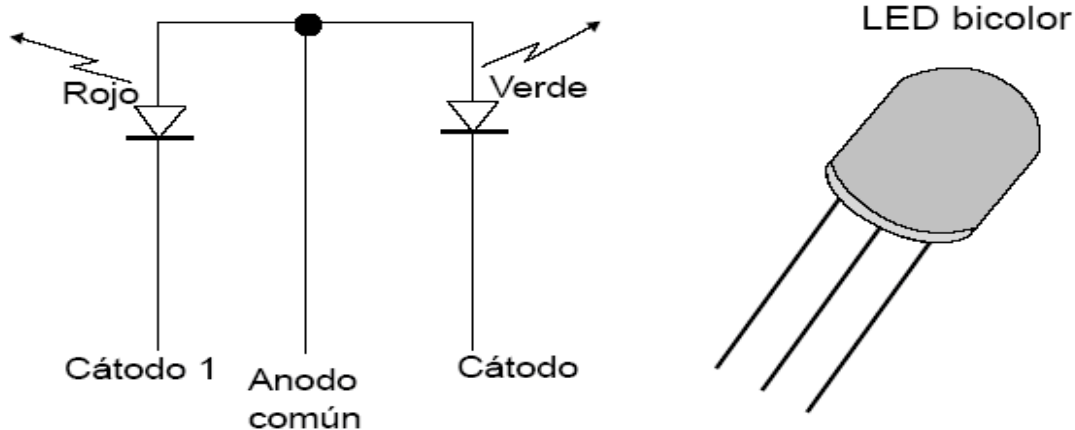


2.1.12 Otros tipos de LEDs.

El **led bicolor** es un dispositivo de tres terminales que dentro del cual se han incluido dos diodos led de diferentes colores; puede emitir colores como el rojo verde o ámbar, en este último si se produce que los dos leds estén polarizados.

El Led **Flasher** al ser polarizado se enciende intermitentemente debido que se ha incluido dentro del mismo un circuito oscilador que controla su emisión intermitente.

Los diodos bicolor son un par de LEDs dentro de un mismo encapsulado.



El fotodiodo, es otro dispositivo semiconductor, que en dependencia de la iluminación que recibe como estímulo, circulará una corriente a través de él. Al abordarse en este material el tema de sensores, este dispositivo se estudiará con más detenimiento. Por el momento, se desea puntualizar su existencia.

2.1.13 Parámetros más usados en diodos.

En los catálogos de los fabricantes aparecen estos parámetros, así como la distribución de los terminales y el tipo de encapsulado. La identificación del componente aparece impresa en el cuerpo del mismo. Existen manuales que muestran las equivalencias de los componentes, o sea, la identificación del componente por el cual se puede sustituir sin que se altere los parámetros del circuito.

Dentro de los parámetros que informan los fabricantes se encuentran:

- 1 Frecuencia máxima de trabajo
- 2 Temperatura máxima que pueden soportar
- 3 Potencia máxima
- 4 VD voltaje máximo en sentido directo.

- 5 ID corriente máxima en sentido directo.
- 6 I_o corriente de saturación inversa
- 7 V_I voltaje máximo inverso sin alcanzar el voltaje de Zener.

A continuación se puede observar una página que aparece en el catálogo del fabricante NTE donde se muestran los parámetros del diodo semiconductor NTE572 de alta velocidad de conmutación.



NTE572 Silicon Rectifier General Purpose, Fast Recovery

Features:

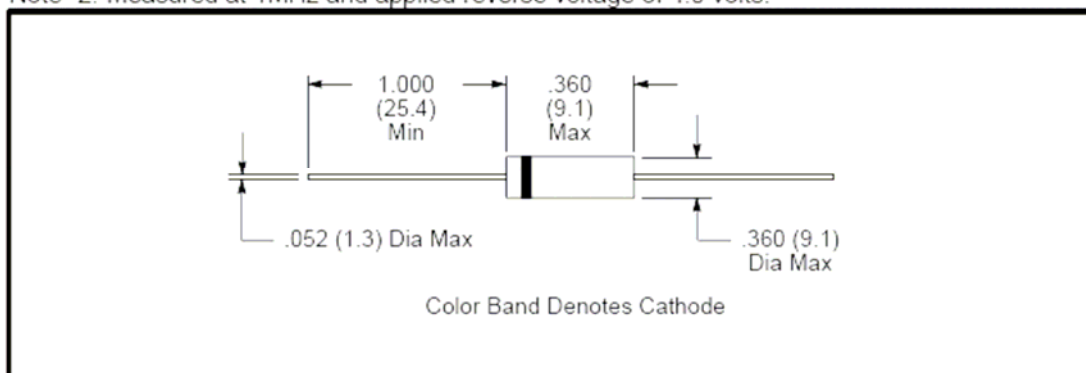
- Fast Switching
- Low Leakage
- Low Forward Voltage Drop
- High Current Capability
- High Current Surge
- High Reliability

Maximum Ratings and Electrical Characteristics: (T_A = +25°C unless otherwise specified. Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load. For capacitive load, derate current by 20%.)

Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	1000V
Maximum RMS Voltage	700V
Maximum DC Blocking Voltage	1000V
Maximum Average Forward Rectified Current (.375" (9.5mm) lead length, T _A = +55°C)	6A
Peak Forward Surge Current (8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load) ...	300A
Maximum Instantaneous Forward Voltage (I _F = 6A DC)	1.3V
Maximum DC Reverse Current (At Rated DC Blocking Voltage, T _A = +25°C)	10µA
Maximum Full Load Reverse Current (Full Cycle Average .375" (9.5mm) lead length, T _L = +55°C)	150µA
Maximum Reverse Recovery Time (Note 1)	500ns
Typical Junction Capacitance (Note 2)	100pF
Operating Junction Temperature Range, T _J	-65° to +175°C
Storage Temperature Range, T _{stg}	-65° to +175°C

Note 1. Reverse Recovery Test Conditions: I_F = 500mA, I_R = 1A, I_{RR} = 250mA.

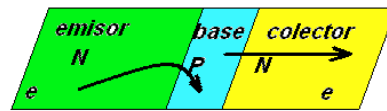
Note 2. Measured at 1MHz and applied reverse voltage of 4.0 volts.



1.2 El transistor bipolar.

1.2.1 Características funcionales del transistor bipolar.

El transistor bipolar es un componente activo. Es un dispositivo semiconductor que permite el control y la regulación de una corriente grande mediante una señal muy pequeña. Un transistor bipolar posee 3 regiones compuestas por dos uniones P-N; la región central es la más estrecha y se conoce con el nombre de **base**, y las dos regiones restantes son llamadas **colector** y **emisor**. El emisor se diferencia del colector porque el primero tiene mayor concentración de impurezas (más dopado). El transistor bipolar posee dos tipos portadores: los huecos y los electrones. De ahí su nombre de Bipolar.



TRANSISTOR NPN

1.2.2 Principio de funcionamiento.

Al polarizarse directamente la unión emisor base, los portadores mayoritarios del emisor cruzan a la base, existiendo una recombinación en ella. Los portadores del emisor son minoritarios en la base. Mientras más estrecha sea la base del transistor, menor será la cantidad de portadores del emisor que se recombinan en la base, continuando los restantes portadores su viaje hacia el colector debido a que son atraídos por el campo eléctrico externo aplicado.

El transistor bipolar es un elemento de circuito de tres terminales que puede cumplir funciones de amplificador (zona lineal) o conmutación (operación en la zona de corte a saturación y viceversa)

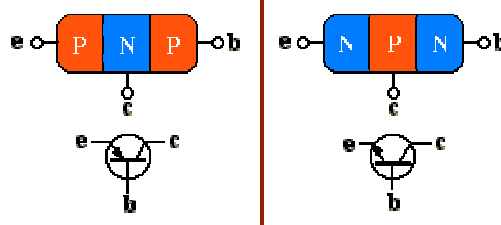
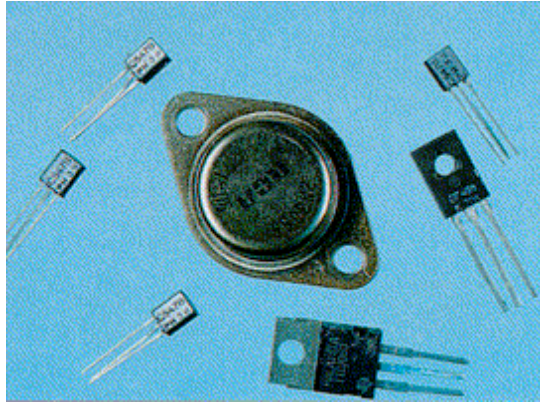


Fig. 1.- Símbolos del transistor Bipolar. a) Transistor NPN b) Transistor PNP

Si la base del transistor es construida con impurezas P, entonces el transistor es denominado NPN, o si la base es construida con impurezas N, el transistor será PNP.

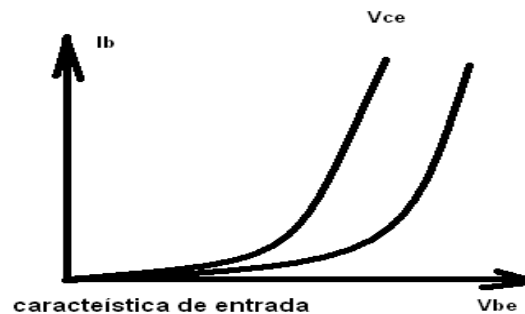
Esta clasificación es válida tanto para los transistores de Germanio como para los transistores de silicio



El comportamiento del transistor puede analizarse tomando en consideración sus características de entrada (terminales base emisor) y sus características de salida (terminales colector emisor).

1.2.3 Características de entrada: terminales base-emisor.

Desde el punto de vista de su funcionamiento eléctrico, los terminales base-emisor se asemejan a un diodo semiconductor.



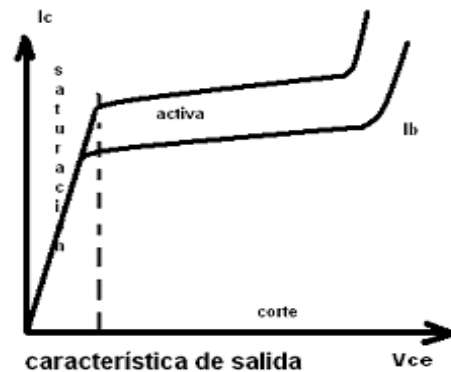
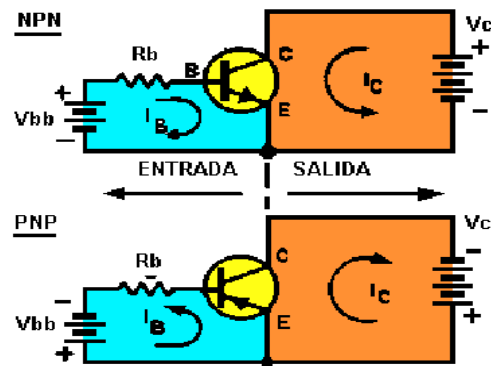
En la característica de entrada podemos apreciar que el voltaje base emisor está en función de la corriente de base, manteniendo constante el voltaje colector emisor.

Por lo expuesto, es evidente que los terminales de entrada del transistor conducirán solamente cuando la polaridad del potencial aplicado corresponda a la polarización directa del diodo base-emisor.

1.2.4 Características de salida: efecto de control base-colector.

Al aplicar una fuente de tensión de polaridad adecuada para polarizar directamente a la unión base-emisor, aparece una corriente I_B , cuyo valor estará determinado por la tensión de alimentación, la resistencia R_B y la resistencia propia del diodo (en general esta resistencia será pequeña por tratarse de un diodo polarizado en su sentido de conducción).

Esta situación se muestra para un tanto para transistor bipolar PNP como para un transistor bipolar NPN en la figura que aparece a continuación:



1.2.5 Zonas de trabajo del transistor bipolar.

Las zonas de trabajo que más se emplean en el transistor bipolar son las que se definen a continuación:

Zona activa. Cuando el transistor es usado como amplificador, la unión base emisor se polariza en directa (baja resistencia) y la unión base colector en inversa (alta resistencia). Este elemento transfiere el flujo de corriente de un elemento de baja resistencia a otro de alta resistencia.

Esta característica de control entrada-salida se especifica por medio de la relación entre el efecto (I_C) y la causa (I_B) (Componentes de corriente continua), denominada Ganancia de corriente continúa:

$$\text{Ganancia de corriente continua } \beta \approx I_C / I_B$$

Existe poca dependencia de la corriente de colector con el voltaje aplicado entre el colector y el emisor. Puede demostrarse que

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CO}$$

En la característica de salida mostrada en la figura anterior se observa que en esta zona de trabajo I_C es función del voltaje colector si se mantiene constante la corriente de base I_B .

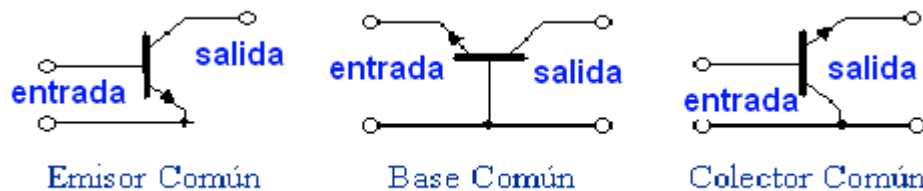
Debe mencionarse que si no circula corriente por el circuito base emisor de entrada, la corriente circula por el circuito de salida I_C es prácticamente nula.

Zona de saturación. La unión base emisor y la unión base colector están polarizados directamente. La corriente de colector (I_C) depende sensiblemente del voltaje colector emisor (V_{CE}). El voltaje colector emisor varía hasta que alcanza aproximadamente el valor 0.2 V en transistores de silicio.

Zona de corte. La unión base emisor y la unión base colector están inversamente polarizadas. I_C es aproximadamente igual a la corriente inversa de saturación (I_{CO}).

1.2.6 Configuraciones circuitales básicas:

El nombre de las configuraciones está dado por el terminal que es común a los circuitos de entrada y salida.



Dado que el transistor es un componente de tres terminales, es obvio que uno de ellos deberá formar parte tanto de la entrada como de la salida. Por tanto existen tres configuraciones posibles:

- Emisor común
- Base común
- Colector común

El Amplificador **emisor común** posee una ganancia de voltaje muy superior a la unidad $A_v \gg 1$, resistencia de entrada media, resistencia de salida alta, e invierte la fase de salida.

Amplificador **con base común** posee una ganancia de voltaje muy superior a la unidad $A_v \gg 1$, posee una ganancia de corriente muy superior a la unidad $A_i \gg 1$, resistencia de entrada baja, resistencia de salida alta, y no invierte la fase de salida.

Amplificador con **colector común** posee una ganancia de voltaje por debajo de la unidad $A_v < 1$, posee una ganancia de corriente muy superior a la unidad $A_i \gg 1$, resistencia de entrada muy alta, resistencia de salida baja, y no invierte la fase de salida.

1.2.7 Parámetros de los transistores bipolares.

Al igual que se estudió en el caso de los diodos, existen un grupo de parámetros que son propios de los transistores bipolares, que los diferencian y caracterizan a cada uno de ellos entre sí.

Uno de los más importantes, ya fue definido con anterioridad. Nos referimos a

la ganancia de corriente β definida como aproximadamente igual al cociente entre las corrientes del colector y de la base. Esta relación de las corrientes del colector y la base ofrece una idea de la ganancia del dispositivo, concepto este que analizaremos mas adelante.

$$\beta = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B}$$

Los valores típicos de β se hallan entre 10 y 600. Haciendo la sustitución para β se tiene:

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} - I_{CBO}$$

La ganancia de corriente en base común, α , se define como la razón del cambio en la corriente de colector al cambio en la corriente de emisor, suponiendo que la tensión entre el colector y la base es constante. Por tanto,

$$\alpha = \left. \frac{\Delta i_C}{\Delta i_E} \right|_{V_{CB}=\text{constante}}$$

La ganancia de corriente en base común, α , suele estar entre 0.9 y 0.999.

Otros parámetros que aparecen en los manuales de transistores bipolares son los siguientes:

- 1 **V_{ce}max** - voltaje colector emisor que es capaz de soportar el componente.
- 2 **F_t** - Frecuencia máxima a la que puede trabajar el componente.
- 3 **P_cmax** - Potencia que puede soportar el componente.
- 4 **T_{jc}** - temperatura de trabajo de la unión
- 5 **I_cmax** - Corriente de colector máxima. Continua y de pico
- 6

El encapsulado en los transistores dependen de la función que realicen y la potencia que disipen; los transistores de pequeña señal tienen un encapsulado de plástico, normalmente son los más pequeños (TO- 18, TO-39, TO-92, TO-226 ...); los de mediana potencia, son algo mayores y tienen en la parte trasera una chapa metálica que sirve para evacuar el calor disipado convenientemente refrigerado mediante un radiador (TO-220, TO-218, TO-247...) ; los de gran potencia, son los que poseen una mayor dimensión siendo el encapsulado enteramente metálico . Esto favorece, en gran medida, la evacuación del calor a través del mismo y un radiador metálico que se coloca unido a el transistor (TO-3, TO-66, TO-123, TO-213...).

A continuación se muestra un ejemplo de cómo se pueden conocer estos parámetros, consultando el catálogo del fabricante del componente. Se muestra el NTE27, que es un transistor de germanio, PNP, de alta corriente y alta ganancia. Debe señalarse que existen parámetros que no han sido analizados en nuestro texto por no estar dentro de los contenidos comprendidos en nuestro curso.



ELECTRONICS, INC.
44 FARRAND STREET
BLKIMFIELD, NJ 07023
(973) 748-0889

NTE27 Germanium PNP Transistor High Current, High Gain Amp

Description:

The NTE27 is a PNP germanium power transistor designed for high current applications requiring high-gain and low saturation voltages.

Absolute Maximum Ratings:

Collector-Emitter Voltage, V_{CEO}	45V
Collector-Emitter Voltage, V_{CES}	60V
Collector-Base Voltage, V_{CB}	60V
Emitter-Base Voltage, V_{EB}	30V
Continuous Collector Current, I_C	60A
Total Device Dissipation ($T_C = +25^\circ\text{C}$), P_D	170W
Derate Above 25°C	2W/ $^\circ\text{C}$
Operating Junction Temperature Range, T_J	-65° to $+110^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range, T_{stg}	-65° to $+110^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction to Case, $R_{\theta JC}$	$+0.5^\circ\text{C/W}$

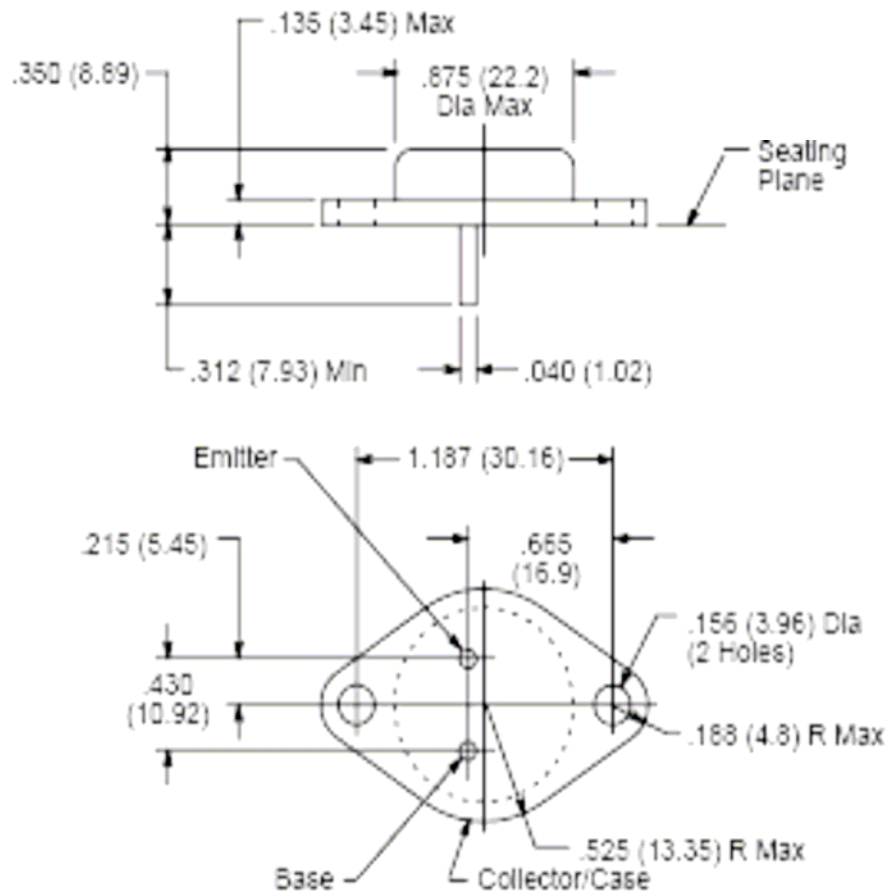
Electrical Characteristics: ($T_C = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
OFF Characteristics						
Collector-Emitter Breakdown Voltage	$V_{BR}(CEO)$	$I_C = 1\text{A}$, $I_B = 0$, Note 1	45	-	-	V
Collector-Emitter Breakdown Voltage	$V_{BR}(CES)$	$I_C = 300\text{mA}$, $V_{BE} = 0$	60	-	-	V
Floating Potential	V_{EBF}	$V_{CB} = 60\text{V}$, $I_E = 0$	-	-	0.5	V
Collector Cutoff Current	I_{CBO}	$V_{CB} = 45\text{V}$, $V_{BE(ON)} = 2\text{V}$, $T_C = +71^\circ\text{C}$	-	-	15	mA
		$V_{CB} = 60\text{V}$, $I_E = 0$	-	-	4	mA
Emitter Cutoff Current	I_{EBO}	$V_{BE} = 30\text{V}$, $I_C = 0$	-	-	4	mA
		$V_{BE} = 30\text{V}$, $I_C = 0$, $T_C = +71^\circ\text{C}$	-	-	15	mA

Electrical Characteristics (Cont'd): ($T_C = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

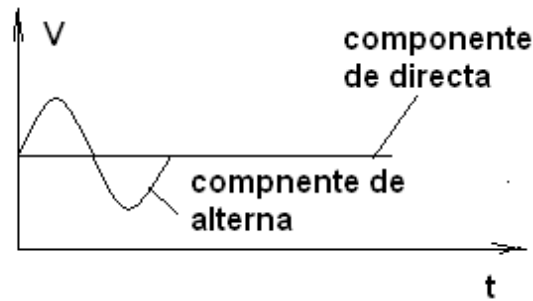
Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
ON Characteristics						
DC Current Gain	h_{FE}	$I_C = 15\text{A}, V_{CE} = 2\text{V}$, Note 1	60	-	180	
		$I_C = 60\text{A}, V_{CE} = 2\text{V}$, Note 1	15	-	-	
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C = 15\text{A}, I_B = 1\text{A}$, Note 1	-	-	0.15	V
		$I_C = 60\text{A}, I_B = 6\text{A}$, Note 1	-	-	0.3	V
Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{BE(sat)}$	$I_C = 15\text{A}, I_B = 1\text{A}$, Note 1	-	-	0.6	V
		$I_C = 60\text{A}, I_B = 6\text{A}$, Note 1	-	-	1.0	V
Small Signal Characteristics						
Common-Emitter Cutoff Frequency	f_{os}	$I_C = 15\text{A}, V_{CE} = 2\text{V}$	2	-	-	kHz

Note 1. To avoid excessive heating of the collector junction, perform test with pulse method.



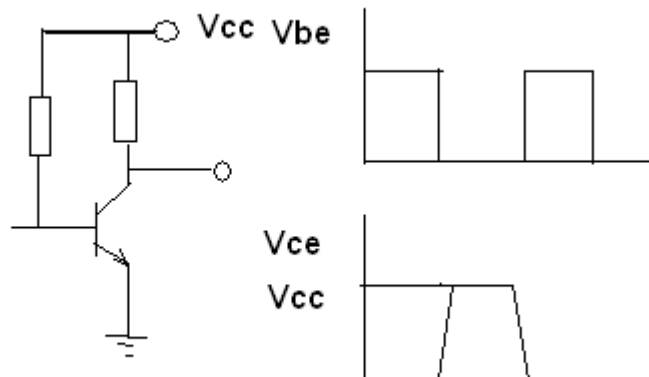
1.2.8 El transistor como amplificador.

Una variación pequeña de señal de alterna en la base del transistor, provoca una variación grande en la corriente de colector del transistor, actuando el mismo como amplificador. Constituye una conversión de voltaje directo de alimentación a voltaje alterno a la salida del circuito. Superponiendo la señal alterna (VCA) al circuito de continua. En este caso como ya fue señalado anteriormente, el transistor bipolar debe trabajar en la zona activa.

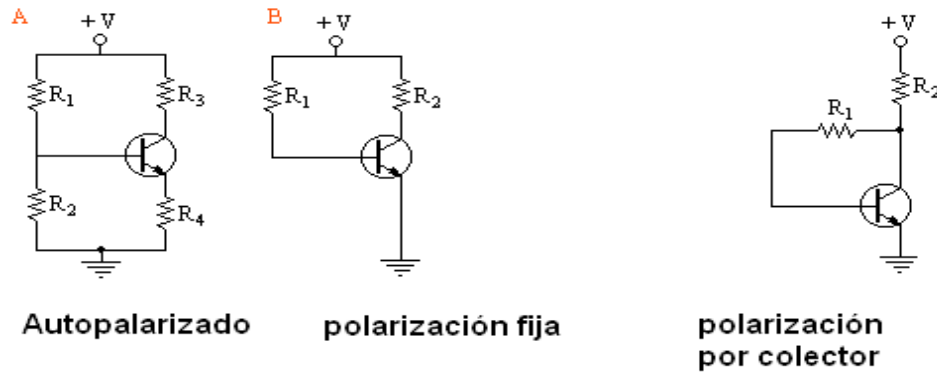


1.2.9 El transistor como interruptor.

Cuando el transistor funciona como interruptor opera en las zonas de corte y saturación, con transiciones de una zona a otra pasando rápidamente por la zona activa. Cuando se polariza al transistor de manera que el voltaje de la base este muy por encima del voltaje de umbral, se encuentra en la zona de saturación, por ende el voltaje colector emisor es de 0.2v aproximadamente para transistores de silicio, de no tener la polarización adecuada en la base, estaría en la zona de corte y el voltaje colector emisor seria aproximadamente V_{cc} .

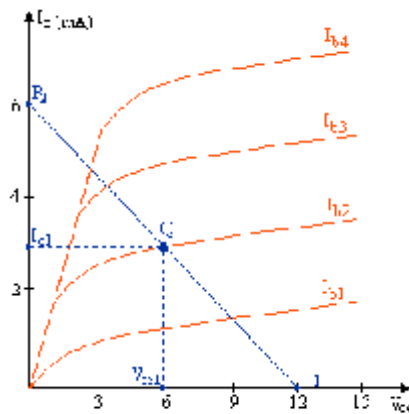


1.2.10 Polarizaciones de los transistores y estabilización del punto de operación.



El circuito de **polarización** no es más que el conjunto de componentes y fuente que permiten poner al transistor bipolar en un determinado **punto de operación**, o sea, poner a operar al transistor en la zona de trabajo deseada por el diseñador. (activa, corte o saturación).

Resulta importante mantener la llamada **estabilización del punto de operación** que no es otra cosa que diseñar un circuito y escoger el valor de las componentes, de manera que el punto de operación no varíe ante cualquier cambio de temperatura o de envejecimiento de los componentes que pudieran producir efectos indeseables.



En el circuito de polarización fija, el valor de la resistencia de la base no varía, lo cual implica que la corriente de la base es fija y no es compensada ante las posibles variaciones de I_c .

En el circuito de polarización por colector, la corriente de colector no está determinada por un potencial fijo, puesto que el voltaje colector emisor en este caso depende de la corriente del colector. Por tanto al variar la corriente de colector por la temperatura, aumenta I_{c0} y a su vez disminuye el voltaje colector emisor, por lo que la corriente de colector tiende a bajar y el punto de operación retorna a su posición C .

En el circuito auto polarizado, los resistores R1 y R2 polarizan la base, mientras que R4 posee una caída de voltaje que permite la compensación. Al aumentar la corriente de colector, aumenta el voltaje en el emisor, y disminuye la corriente de base, por lo que se estabiliza el punto de operación C.

1.3 El transistor de efecto de Campo (FET)

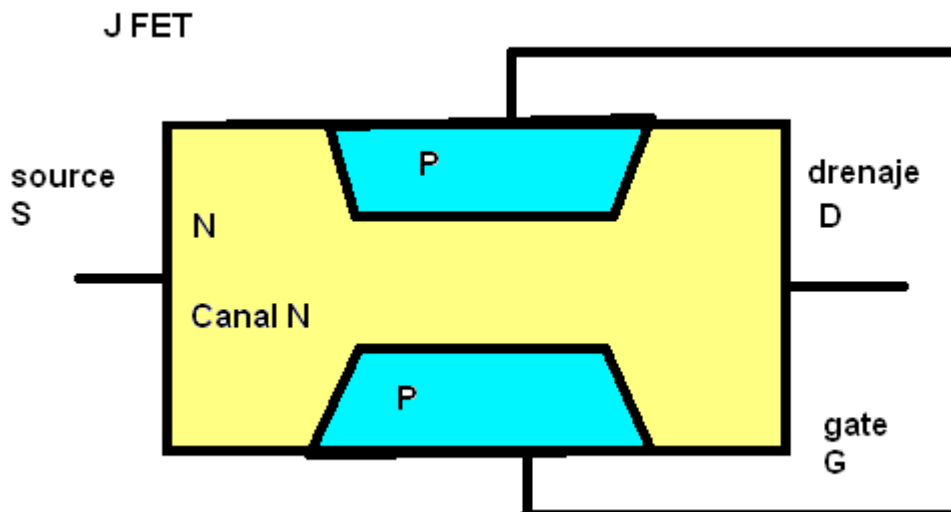
Otro tipo de transistor además del bipolar (BJT) es el llamado transistor de efecto de campo (FET, acrónimo inglés de Field-Effect Transistor), que funciona sobre la base del principio de repulsión o de atracción de cargas debido a la superposición de un campo eléctrico. Los transistores de efecto de campo funcionan de forma más eficaz que los bipolares, ya que es posible controlar una señal grande con una cantidad de energía muy pequeña.

Los transistores de efecto de campo son transistores unipolares porque poseen un solo tipo de portadores (mayoritarios). Se consideran tres tipos principales de FET:

1. FET de unión (JFET)
2. FET metal óxido semiconductor de empobrecimiento (MOSFET de empobrecimiento)
3. FET metal óxido semiconductor de enriquecimiento (MOSFET de enriquecimiento)

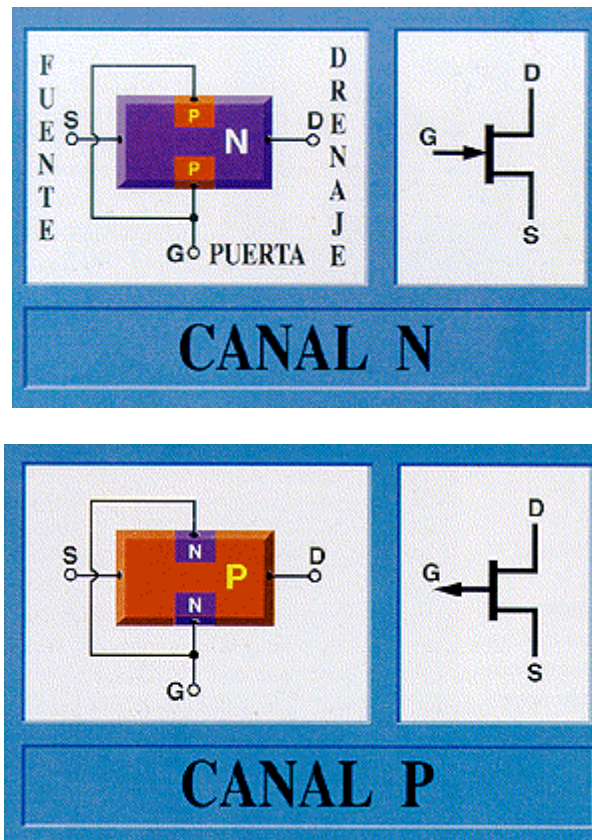
1.3.1 Transistor J FET

El JFET de canal n, mostrado en la figura, se construye utilizando una cinta de material de tipo n con dos materiales de tipo p difundidos en ella, uno en cada lado. El JFET de canal p tiene una cinta de material de tipo p con dos materiales de tipo n difundidos en ella.



En la figura se muestra que el dispositivo posee 3 terminales: el gate o compuerta (g), el source o fuente (S) fuente, y el drain (D) o drenaje. En este tipo de transistores la corriente es controlada por un campo eléctrico externo. La zona tipo N se denomina canal, pero puede ser construido un dispositivo

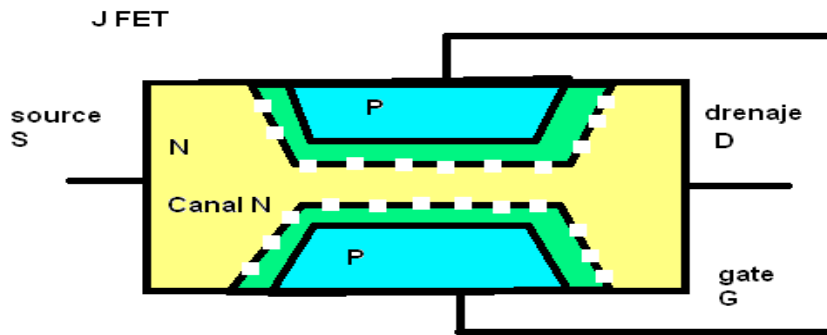
donde las zonas se encuentren cambiadas y se obtiene un J FET con el canal tipo P.



1.3.2 Principio de funcionamiento.

Analicemos el caso del dispositivo denominado como J FET canal N. La zona intermedia que se encuentra rodeada por la compuerta es la que se denomina canal. En una parte extrema de este canal se encuentra el drenaje y en el lado opuesto se halla la fuente; las dos zonas tipo p interconectadas entre sí en el esquema, se denominan compuerta. Tanto el drenaje como la compuerta se polarizan con respecto a la fuente.

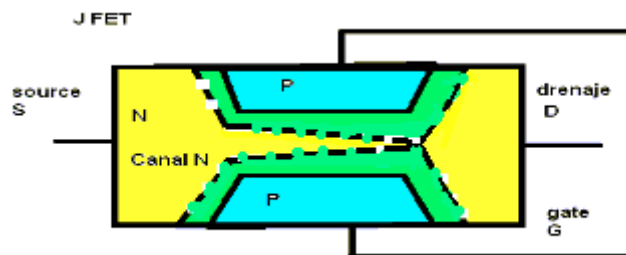
Cuando el voltaje $V_{GS} = 0$ existe una pequeña diferencia de potencial entre el drenaje y la fuente y circula una corriente pequeña I_D . La zona de carga espacial (ZCE) de la unión P-N formada entre el canal y la compuerta es uniforme. Para pequeños valores de voltaje drenaje fuente V_{DS} el canal se comporta como una resistencia por lo que existe una relación lineal entre I_D y V_{DS} .



A medida que aumenta la corriente de drenaje I_D la ZCE va aumentando en las cercanías del drenaje producto de la caída de potencial a lo largo del canal.

Para valores de voltaje drenaje fuente V_{DS} grande, las ZCE tienden a tocarse. Este fenómeno se denomina **pellizco del canal** y es a partir de este momento que la corriente de drenaje permanece constante. El valor del V_{DS} a partir del cual la corriente se hace constante cuando $V_{GS} = 0$ se llama **voltaje de pellizco V_{DSP}** .

La corriente de drenaje I_D de saturación para $V_{DS} = 0$ se denomina I_{DSS}



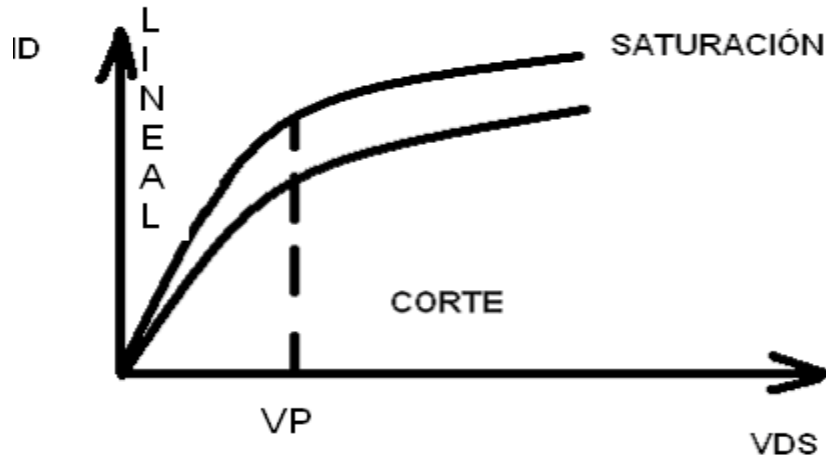
Analicemos qué ocurre cuando se varía el voltaje entre la compuerta y la fuente.

Si aplicamos ahora un voltaje compuerta fuente V_{GS} de forma que polarizar la unión en inversa, la ZCE se hace mas ancha desde el principio, y por tanto para el mismo valor de V_{DS} , la corriente I_D que circula se hace cada vez más pequeña al aumentar V_{GS} , (lo que equivale a un canal más resistivo). Igualmente se observa que la condición de saturación se alcanza para valores de V_{DS} cada vez menores.

Si el valor de V_{GS} es muy elevado, se puede dar la situación que desde el inicio las ZCE se tocan y el canal se encuentra totalmente empobrecido de portadores. En este caso entre el drenaje y la fuente no circula prácticamente corriente. El voltaje de V_{GS} al cual sucede esto se llama voltaje de pellizco, siendo esta otra definición del voltaje de pellizco.

1.3.3 Zonas de trabajo del J FET

Al igual que ocurre con en transistor bipolar, en el JFET existen tres zonas de trabajo cuyas características se describen a continuación:



Zona lineal. En ella la corriente de drenaje I_D , varía linealmente con el voltaje aplicado entre drenaje y fuente V_{DS} . El canal se comporta como una resistencia para $V_{DS} < V_{DSP}$

Zona de saturación. En esta situación se cumple que $V_{DS} > V_{DSP}$. La corriente I_D es prácticamente constante y el canal se ha pellizcado

Zona de corte. En este caso no existe corriente a través del canal, por lo que la $I_{DS} = 0$.

Las ventajas del J FET pueden resumirse como sigue:

1. Son dispositivos sensibles a la tensión con alta impedancia de entrada (del orden de $10^7 \ \Omega$). Como esta impedancia de entrada es considerablemente mayor que la de los BJT, se prefieren los FET a los BJT para la etapa de entrada de un amplificador multietapa.
2. Los FET generan un nivel de ruido menor que los BJT.
3. Los FET son más estables con la temperatura que los BJT.
4. Los FET son, en general, más fáciles de fabricar que los BJT pues suelen requerir menos pasos de enmascaramiento y difusiones. Es posible fabricar un mayor número de dispositivos en un circuito integrado (es decir, puede obtener una densidad de empaque mayor).
5. Los FET se comportan como resistores variables controlados por tensión para valores pequeños de tensión de drenaje a fuente.
6. La alta impedancia de entrada de los FET les permite almacenar carga el tiempo suficiente para permitir su utilización como elementos de almacenamiento.
7. Los FET de potencia pueden disipar una potencia mayor y conmutar corrientes grandes.

Existen varias desventajas que limitan la utilización de los FET en algunas aplicaciones:

1. Los FET exhiben una respuesta en frecuencia pobre debido al alto valor de la capacidad de entrada.
2. Algunos tipos de FET presentan una linealidad muy pobre.
3. Los FET se pueden dañar al manejarlos debido a la electricidad estática.

1.4 Transistor de efecto de campo de compuerta aislada. (MOSFET)

En el FET descrito anteriormente, la conductividad del canal entre S y D se controla mediante el voltaje aplicado a una placa de metal aislado, que descansa sobre la parte superior de este canal.

1.4.1 Estructura y tipos de MOSFET.

En el MOSFET, dos regiones similares muy contaminadas llamadas igualmente la fuente y el drenaje se difunden en la superficie superior de un cristal semiconductor menos contaminado, que se conoce como sustrato. Para que fluya corriente de una de estas regiones a la otra tiene que hacerlo por el estrecho canal del sustrato entre ellas.

Una capa suavemente delgada de dióxido de silicio, un aislador casi perfecto, se deposita sobre la superficie del sustrato, practicándosele una pequeña abertura para permitir realizar el contacto con la fuente (S) y el drenador (D). Una placa metálica llamada compuerta (G) se coloca sobre esta capa en el espacio comprendida entre la puerta y el drenador. Observe que la compuerta, el aislador y el sustrato forman un condensador. Por causa de esta construcción, el transistor de compuerta aislada se llaman con frecuencia FET de metal –Oxido – Semiconductor (MOSFET).

Hay dos tipos de MOSFET: el de enriquecimiento, acumulación o acrecentamiento, que tiene el sustrato de un tipo de material distrito que el de la fuente y el drenaje, por ejemplo, sustrato N y fuente y drenaje tipo P, por lo que se forma un conjunto PNP.

1.4.2 Principio de funcionamiento.

Normalmente no fluiría corriente entre la fuente y el drenaje, porque la unión PN que se forma entre D y el Substrato, en el paso de la corriente, se polariza inversamente por la fuente VDD. Pero como la fuente VGG aplica una carga negativa sobre la placa metálica G, esta carga mediante la acción del condensador, repele todos los electrones del canal en la porción del sustrato colocado directamente debajo de la compuerta. Cuanto más electrones sean repelidos de esta zona del canal, más adoptará el material en este lugar las características de una región P. El voltaje de polarización de VGG se mantiene en un punto en el que el canal aún tiene suficientes características del tipo N para bloquear el flujo de corriente entre la fuente y el drenaje..

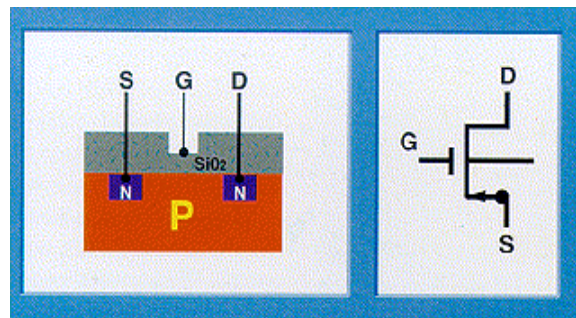
Ahora, si el voltaje de la señal aumenta el voltaje VGG, la región del canal perderá aún más electrones, de manera que empezará en efecto, a transformarse en una región P. Entonces, la zona de paso entre la fuente y el

drenaje cambiará algo del tipo PNP al tipo PPP, y la corriente comenzará a fluir entre la fuente y el drenaje. Cuanto más negativa hace a la compuerta la señal de entrada, mayor será la conductividad del canal y más grande será el flujo de la corriente. La caída del voltaje en R_c producida por esta corriente, será la que da la señal a la salida del amplificador.

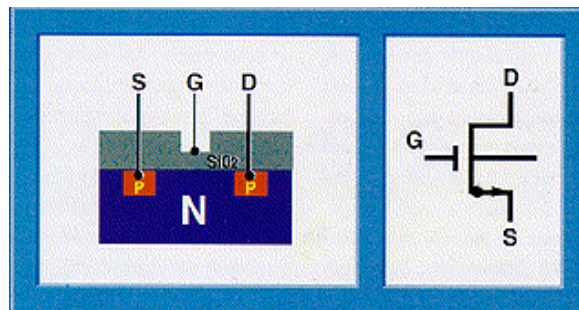
El otro tipo de MOSFET tiene la zona del canal del mismo tipo de material que la fuente y el drenaje y se llama de agotamiento, deplexión o empobrecimiento.

Observe que como aquí tenemos un conjunto PPP como en la figura, o NNN, sin unión de polarización inversa, por lo que la corriente fluirá entre S y D con una polarización cero en la compuerta. Si la señal de entrada hace negativa la compuerta, el canal atraerá los huecos del substrato, aumentando la conductividad del canal y por tanto, el flujo de corriente a través del mismo.

Si por el contrario la compuerta se hace positiva, se repelen los huecos del canal hacia el substrato. Como resultado se reduce la conductividad del canal y la corriente que fluye por el se reduce. Si la compuerta se hace bastante positiva, se repelarán suficientes huecos para que el canal adopte las características de una región N. En este punto, debido a la unión de polarización inversa entre ellas, cesará la corriente entre la fuente y el drenaje. Se puede ver que el voltaje que se aplica en la compuerta en un MOSFET de este tipo, es efectivo en ambas direcciones.



Canal N



Canal P

El MOSFET es muy usado en los circuitos digitales, además de poder utilizarse como amplificador.

Un MOSFET de agotamiento puede funcionar también como de acumulación. Basta con aplicar una tensión positiva a la puerta, de modo que se induzcan cargas negativas en el canal tipo N.

En la característica $V. A$ de salida de este dispositivo se aprecia fácilmente las regiones de depleción y acumulación asociadas a las curvas de V_{GS} negativas y positivas respectivamente.

Actualmente los MOSFET de canal P de acumulación es el más difundido en los sistemas MOS ya que son mucho más fáciles de producir, a pesar de tener ciertas desventajas con respecto a los del canal N.

Los MOSFET de canal N ocupan menos espacio en un Circuito Integrado, además de ser más rápidos

1.4.3 Protección de las puertas en los MOSFET

Como la capa de $S_i O_2$ de puerta es muy fina, se puede estropear fácilmente con una tensión excesiva. Para prevenir este deterioro, algunos dispositivos MOS se fabrican con un diodo Zener entre puerta y sustrato. En funcionamiento normal este diodo está abierto y no tiene efecto sobre el circuito. En cambio si la tensión de puerta llega a ser excesiva, se produce la ruptura del diodo y el potencial de puerta queda limitado a un valor máximo igual a la tensión del Zener.

1.4.4 Comparación de los J FET y los MOSFET.

Los MOSFET tienen las mismas ventajas de los J FET respecto a los transistores bipolares pero en ellos es muy importante su alta resistencia de entrada.

Los J FET son utilizados básicamente como primeros elementos de un sistema electrónico de amplificación.

- Entrada de un instrumento de medición
- Entrada de un receptor
- Entrada de un amplificador de señales débiles

Esto es posible por su alta resistencia de entrada y su bajo recibo.

Las aplicaciones más comunes de los MOSFET son digitales ya sea como puertas lógicas y registradores o como dispositivos de memoria. Debido a sus capacidades parásitas son más lentos que los bipolares, pero su menor potencia de disipación y la mayor densidad de formación hacen que sean más atractivos y económicos para muchas aplicaciones.

Seguidamente se muestra un ejemplo de cómo se puede observar los parámetros de un MOSFET consultando el catálogo del fabricante del componente:

Se pueden observar los datos del NTE66, el cual es un transistor MOSFET canal N de alta velocidad de conmutación.



NTE66
MOSFET
N-Ch, Enhancement Mode
High Speed Switch

Description:

The NTE66 is a TMOS Power FET in a TO220 type package designed for high voltage, high speed power switching applications such as switching regulators, converters, solenoid and relay drivers.

Features:

- Lower $R_{DS(on)}$
- Improved Inductive Ruggedness
- Fast Switching Times
- Lower Input Capacitance
- Extended Safe Operating Area
- Improved High Temperature Reliability

Absolute Maximum Ratings:

Drain-Source Voltage ($T_J = +25^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$), V_{DS}	100V
Drain-Gate Voltage ($R_{GS} = 1M\Omega$, $T_J = +25^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$), V_{DGR}	100V
Gate-Source Voltage, V_{GS}	$\pm 20V$
Continuous Drain Current, I_D	
$T_C = +25^\circ\text{C}$	14A
$T_C = +100^\circ\text{C}$	10A
Pulsed Drain Current (Note 2), I_{DM}	56A
Pulsed Gate Current, I_{GM}	$\pm 1.5A$
Single Pulsed Avalanche Energy (Note 3), E_{AS}	69mJ
Avalanche Current, I_{AS}	14A
Total Power Dissipation ($T_C = +25^\circ\text{C}$), P_D	77W
Derate Above 25°C	0.62W/ $^\circ\text{C}$
Operating Junction Temperature Range, T_J	-55° to $+150^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range, T_{STG}	-55° to $+150^\circ\text{C}$
Lead Temperature (During Soldering, $1/8"$ from case, 5sec max.), T_L	$+300^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case, $R_{\theta JC}$	1.62K/W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient, $R_{\theta JA}$	80K/W
Thermal Resistance, Case-to-Sink (Mounting surface flat, smooth, and greased), $R_{\theta CS}$	0.5K/W

- Note 1. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2\%$.
 Note 2. Repetitive rating: Pulse width limited by max. junction temperature.
 Note 3. L = 0.53mH, $V_{SD} = 25V$, $R_G = 26\Omega$, Starting $T_J = +25^\circ\text{C}$.

Electrical Characteristics: ($T_C = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Drain-Source Breakdown Voltage	BV_{DS}	$V_{GS} = 0V$, $I_D = 250\mu\text{A}$	100	-	-	V
Gate Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}$, $I_D = 250\mu\text{A}$	2.0	-	4.0	V
Gate-Source Leakage, Forward	I_{GSF}	$V_{GS} = 20V$	-	-	100	nA
Gate-Source Leakage, Reverse	I_{GSR}	$V_{GS} = -20V$	-	-	-100	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{D0}	$V_{GS} = \text{Max. Rating}$, $V_{DS} = 0V$	-	-	250	μA
		$V_{GS} = \text{Max. Rating} \times 0.8$, $V_{DS} = 0V$, $T_C = +125^\circ\text{C}$	-	-	1000	μA
On-State Drain-Source Current	$I_{D(on)}$	$V_{GS} > I_{D(on)} \times R_{DS(on)}$, $V_{DS} = 10V$, Note 1	14	-	-	A
Static Drain-Source On-State Resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10V$, $I_D = 8.3A$, Note 1	-	0.10	0.16	Ω
Forward Transconductance	g_{fs}	$V_{DS} \geq 50V$, $I_D = 8.3A$, Note 1	5.1	7.6	-	mhos
Input Capacitance	C_{iss}	$V_{GS} = 0V$, $V_{DS} = 25V$, $f = 1\text{MHz}$	-	640	-	pF
Output Capacitance	C_{oss}		-	240	-	pF
Reverse Transfer Capacitance	C_{rss}		-	72	-	pF
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	$V_{GS} = 0.5BV_{GS}$, $I_D = 8.3A$, $Z_{\theta} = 12\Omega$ (MOSFET switching times are essentially independent of operating temperature)	-	10	15	ns
Rise Time	t_r		-	34	51	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$		-	23	35	ns
Fall Time	t_f		-	24	36	ns
Total Gate Charge (Gate-Source Plus Gate-Drain)	Q_g	$V_{GS} = 10V$, $I_D = 14A$, $V_{DS} = 0.8$ Max. Rating (Gate charge is essentially independent of operating temperature)	-	17	26	nC
Gate-Source Charge	Q_{gs}		-	3.7	6.5	nC
Gate-Drain ("Miller") Charge	Q_{gd}		-	7	11	nC

Note 1. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2\%$.

Source-Drain Diode Ratings and Characteristics:

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Continuous Source Current (Body Diode)	I_S		-	-	14	A
Pulse Source Current (Body Diode)	I_{SM}	Note 2	-	-	56	A
Diode Forward Voltage	V_{SD}	$T_C = +25^\circ\text{C}$, $I_S = 14A$, $V_{GS} = 0V$	-	-	2.5	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = +25^\circ\text{C}$, $I_S = 14A$, $dI/dt = 100A/\mu\text{s}$	-	120	260	ns

Note 1. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2\%$.

Note 2. Repetitive rating: Pulse width limited by max. junction temperature.

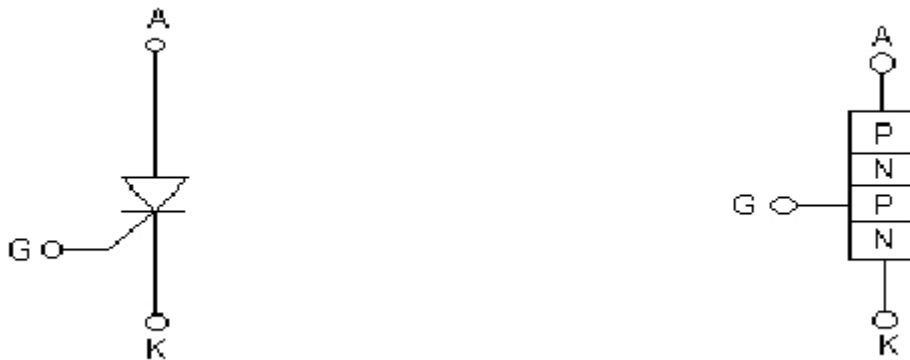
1.5 Tiristores:

Un tiristor es uno de los tipos más importantes de los dispositivos semiconductores de potencia. Los tiristores se utilizan en forma extensa en los circuitos electrónicos de potencia. Se operan como conmutadores biestables, pasando de un estado no conductor a un estado conductor. Para muchas aplicaciones se puede suponer que los Tiristores son interruptores o conmutadores ideales, aunque los tiristores prácticos exhiben ciertas características y limitaciones.

1.5.1 Características de los tiristores:

Un Tiristor es dispositivo semiconductor de cuatro capas de estructura pnpn con tres uniones pn tiene tres terminales: ánodo cátodo y compuerta. La figura mas abajo muestra el símbolo del tiristor y una sección recta de tres uniones pn. Los tiristores se fabrican por difusión.

Cuando el voltaje del ánodo se hace positivo con respecto al cátodo, las uniones J1 y J3 tienen polarización directa o positiva. La unión J2 tiene polarización inversa, y solo fluirá una pequeña corriente de fuga del ánodo al cátodo. Se dice entonces que el tiristor está en condición de bloqueo directo o en estado desactivado llamándose a la corriente fuga corriente de estado inactivo I_D . Si el voltaje ánodo a cátodo VAK se incrementa a un valor lo suficientemente grande la unión J2 polarizada inversamente entrará en ruptura. Esto se conoce como ruptura por avalancha y el voltaje correspondiente se llama voltaje de ruptura directa VBO. Dado que las uniones J1 y J3 ya tienen polarización directa, habrá un movimiento libre de portadores a través de las tres uniones que provocará una gran corriente directa del ánodo. Se dice entonces que el dispositivo está en estado de conducción o activado.

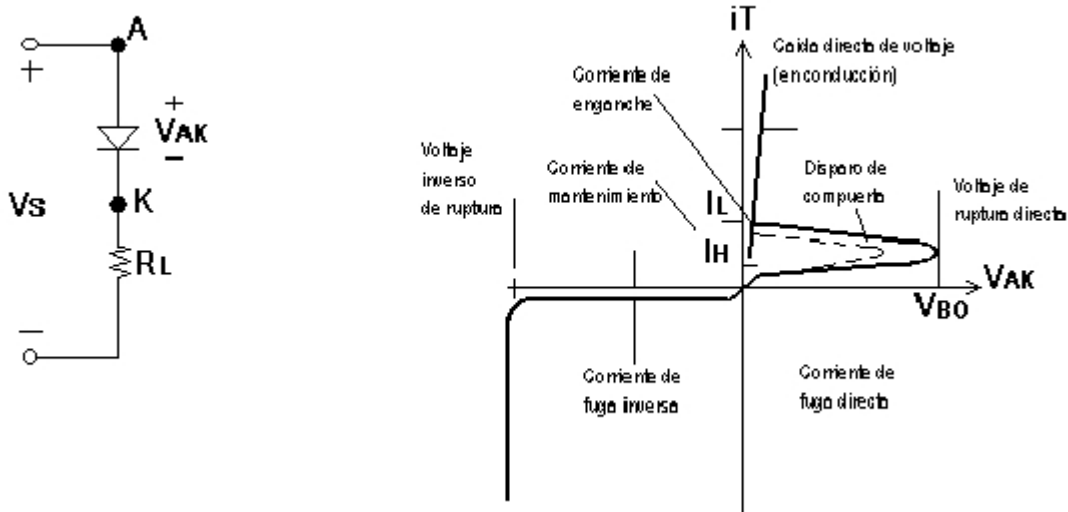


Símbolo del tiristor y tres uniones pn

La caída de voltaje se deberá a la caída óhmica de las cuatro capas y será pequeña, por lo común 1V. En el estado activo, la corriente del ánodo está limitada por una impedancia o una resistencia externa, R_L , tal y como se muestra en la figura.

La corriente del ánodo debe ser mayor que un valor conocido como corriente de enganche I_L , a fin de mantener la cantidad requerida de flujo de portadores

a través de la unión; de lo contrario, al reducirse el voltaje del ánodo al cátodo, el dispositivo regresará a la condición de bloqueo. La corriente de enganche, I_L , es la corriente del ánodo mínima requerida para mantener el tiristor en estado de conducción inmediatamente después de que ha sido activado y se ha retirado la señal de la compuerta. En la figura inferior aparece una gráfica característica v-i común de un tiristor.



Circuito Tiristor y característica v-i

Una vez que el tiristor es activado, se comporta como un diodo en conducción y ya no hay control sobre el dispositivo. El tiristor seguirá conduciendo, porque en la unión J2 no existe una capa de agotamiento de vida a movimientos libres de portadores. Sin embargo si se reduce la corriente directa del ánodo por debajo de un nivel conocido como corriente de mantenimiento I_H , se genera una región de agotamiento alrededor de la unión J2 debida al número reducido de portadores; el tiristor estará entonces en estado de bloqueo. La corriente de mantenimiento es del orden de los miliamperios y es menor que la corriente de enganche, $I_L > I_H$. La corriente de mantenimiento I_H es la corriente del ánodo mínima para mantener el tiristor en estado de régimen permanente.

Cuando el voltaje del cátodo es positivo con respecto al del ánodo, la unión J2 tiene polarización directa, pero las uniones J1 y J3 tienen polarización inversa. Esto es similar a dos diodos conectados en serie con un voltaje inverso a través de ellos. El tiristor estará en estado de bloqueo inverso y una corriente de fuga inversa, conocida como corriente de fuga inversa I_R , fluirá a través del dispositivo.

1.5.2 Activación del tiristor

Un tiristor se activa incrementando la corriente del ánodo. Esto se puede llevar a cabo mediante una de las siguientes formas:

Térmica. Si la temperatura de un tiristor es alta habrá un aumento en el número de pares electrón-hueco, lo que aumentará las corrientes de fuga. Este aumento en las corrientes hará que 1 y 2 aumenten. Debido a la acción

regenerativa ($1+2$) puede tender a la unidad y el tiristor pudiera activarse. Este tipo de activación puede causar una fuga térmica que por lo general se evita.

Luz. Si se permite que la luz llegue a las uniones de un tiristor, aumentaran los pares electrón-hueco pudiéndose activar el tiristor. La activación de tiristores por luz se logra permitiendo que esta llegue a los discos de silicio.

Alto voltaje. Si el voltaje directo ánodo a cátodo es mayor que el voltaje de ruptura directo VBO, fluirá una corriente de fuga suficiente para iniciar una activación regenerativa. Este tipo de activación puede resultar destructiva por lo que se debe evitar.

dv/dt. Si la velocidad de elevación del voltaje ánodo-cátodo es alta, la corriente de carga de los capacitores formados en las uniones puede ser suficiente para activar el tiristor. Un valor alto de corriente de carga puede dañar el tiristor por lo que el dispositivo debe protegerse contra dv/dt alto. Los fabricantes especifican el dv/dt máximo permisible de los tiristores.

Corriente de compuerta. Si un tiristor está polarizado en directa, la inyección de una corriente de compuerta al aplicar un voltaje positivo de compuerta entre la compuerta y las terminales del cátodo activará al tiristor. Conforme aumenta la corriente de compuerta, se reduce el voltaje de bloqueo directo.

1.5.3 Tipos de tiristores.

Los tiristores se fabrican casi exclusivamente por difusión. La corriente del ánodo requiere de un tiempo finito para propagarse por toda el área de la unión, desde el punto cercano a la compuerta cuando inicia la señal de la compuerta para activar el tiristor. Para controlar el di/dt, el tiempo de activación y el tiempo de desactivación, los fabricantes utilizan varias estructuras de compuerta.

Dependiendo de la construcción física y del comportamiento de activación y desactivación, en general los tiristores pueden clasificarse en nueve categorías:

1. Tiristores de control de fase (SCR).
2. Tiristores de conmutación rápida (SCR).
3. Tiristores de desactivación por compuerta (GTO).
4. Tiristores de triodo bidireccional (TRIAC).
5. Tiristores de conducción inversa (RTC).
6. Tiristores de inducción estática (SITH).
7. Rectificadores controlados por silicio activados por luz (LASCR)
8. Tiristores controlados por FET (FET-CTH)
9. Tiristores controlados por MOS (MCT)

1.6 Circuitos integrados

Un circuito integrado, como su nombre lo indica, es un conjunto de componentes concentrados dentro de una sola pastilla de material semiconductor y puede verse como un pequeño circuito electrónico utilizado para realizar una función electrónica específica, como la amplificación.

Se combina por lo general con otros componentes para formar un sistema más

complejo y se fabrica mediante la difusión de impurezas en silicio monocristalino, que sirve como material semiconductor, o mediante la soldadura del silicio con un haz de flujo de electrones. Varios cientos de circuitos integrados idénticos se fabrican a la vez sobre una oblea de pocos centímetros de diámetro. Esta oblea a continuación se corta en circuitos integrados individuales denominados chips. En la integración a gran escala (LSI, acrónimo de Large-Scale Integration) se combinan aproximadamente 5.000 elementos, como resistencias y transistores, en un cuadrado de silicio que mide aproximadamente 1,3 cm. de lado. Cientos de estos circuitos integrados pueden colocarse en una oblea de silicio de 8 a 15 cm. de diámetro.

Se presentan en encapsulados plásticos con terminales en forma de patas de araña, que salen por el costado del encapsulado. Dependiendo del tipo de encapsulado, se los conocen como SIP (Single In-line Package = Encapsulado en hilera simple), o DIP (Dual In-line Package = Encapsulado en hilera doble). Existen otros encapsulados, pero no los trataremos por ser más específicos para ciertos tipos de integrados.

La integración a mayor escala puede producir un chip de silicio con millones de elementos. Los elementos individuales de un chip se interconectan con películas finas de metal o de material semiconductor aisladas del resto del circuito por capas dieléctricas. Para interconectarlos con otros circuitos o componentes, los chips se montan en cápsulas que contienen conductores eléctricos externos. De esta forma se facilita su inserción en placas. Durante los últimos años la capacidad funcional de los circuitos integrados ha ido en aumento de forma constante, y el coste de las funciones que realizan ha disminuido igualmente. Esto ha producido cambios revolucionarios en la fabricación de equipamientos electrónicos, que han ganado enormemente en capacidad funcional y en fiabilidad. También se ha conseguido reducir el tamaño de los equipos y disminuir su complejidad física y su consumo de energía. La tecnología de los ordenadores o computadoras se ha beneficiado especialmente de todo ello. Las funciones lógicas y aritméticas de una computadora pequeña pueden realizarse en la actualidad mediante un único chip con integración a escala muy grande (VLSI, acrónimo de Very Large Scale Integration) llamado microprocesador, y todas las funciones lógicas, aritméticas y de memoria de una computadora, pueden almacenarse en una única placa de circuito impreso, o incluso en un único chip. Un dispositivo así se denomina microordenador o microcomputadora.

En electrónica de consumo, los circuitos integrados han hecho posible el desarrollo de muchos nuevos productos, como computadoras y calculadoras personales, relojes digitales y videojuegos. Se han utilizado también para mejorar y rebajar el coste de muchos productos existentes, como los televisores, los receptores de radio y los equipos de alta fidelidad. Su uso está muy extendido en la industria, la medicina, el control de tráfico (tanto aéreo como terrestre), control medioambiental y comunicaciones.

El desarrollo de los circuitos integrados ha revolucionado los campos de las comunicaciones, la gestión de la información y la informática. Los circuitos integrados han permitido reducir el tamaño de los dispositivos con el consiguiente descenso de los costes de fabricación y de mantenimiento de los sistemas. Al mismo tiempo, ofrecen mayor velocidad y fiabilidad. Los relojes digitales, las computadoras portátiles y los juegos electrónicos son sistemas

basados en microprocesadores. Otro avance importante es la digitalización de las señales de sonido, proceso en el cual la frecuencia y la amplitud de una señal de sonido se codifica digitalmente mediante técnicas de muestreo adecuadas, es decir, técnicas para medir la amplitud de la señal a intervalos muy cortos. La música grabada de forma digital, como la de los discos compactos, se caracteriza por una fidelidad que no era posible alcanzar con los métodos de grabación directa.

La electrónica médica ha llegado hasta a sistemas que pueden diferenciar aún más los órganos del cuerpo humano. Se han desarrollado asimismo dispositivos que permiten ver los vasos sanguíneos y el sistema respiratorio. También la alta definición promete sustituir a numerosos procesos fotográficos al eliminar la necesidad de utilizar plata.

La investigación actual dirigida a aumentar la velocidad y capacidad de las computadoras se centra sobre todo en la mejora de la tecnología de los circuitos integrados y en el desarrollo de componentes de conmutación aún más rápidos. Se han construido circuitos integrados a gran escala que contienen varios centenares de miles de componentes en un solo chip. Han llegado a fabricarse computadoras que alcanzan altísimas velocidades en las cuales los semiconductores son reemplazados por circuitos superconductores que utilizan las uniones de Josephson y que funcionan a temperaturas cercanas al cero absoluto.

Recientemente, se alcanzó la barrera de la integración. Los fabricantes llegaron a un punto que no pudieron comprimir más los transistores para aumentar las prestaciones de los procesadores. Por eso, ahora comenzó una nueva era en la historia de los procesadores: los “doble núcleo”, dos procesadores totalmente independientes dentro de una sola pastilla

Conclusiones:

En el trabajo se han expuesto las principales características de los dispositivos semiconductores que se emplean más comúnmente en los circuitos electrónicos básicos. En temas posteriores de la asignatura, se profundizará en sus aplicaciones como parte de amplificadores, fuentes, circuitos digitales, etc., No se entrará en aspectos referentes al diseño de estos circuitos por estar ajeno a los propósitos planteados para los usuarios a quienes van dirigidas los presentes apuntes.

Bibliografía

- Circuito eléctricos digitales II. Antonio García Guerra, Antonio Golderos Sánchez, Carlos López Barrio, Elías Muñoz Merino, José Ramón Nombela Cano, Isidoro Padilla González. Edición Revolucionaria.
- Circuitos de pulsos digitales y de conmutación. Jacob Millman y Herbert Taub. Editorial Pueblo y Educación.
- Circuitos de soldadura superficial. Oscar Montoya Figueroa. Revista "Electrónica y servicio" No. 10, Diciembre de 1998.
- Códigos y series de las resistencias. <http://www.arrakis.es/>
- Componentes y materiales electrónicos. Manuel García Gómez Cordobés. Edición Revolucionaria.
- Conozca y actualice su PC, guía ilustrada. Jim Óbice, Sheldon Duna, Chis Turkstra, Jason Massarelli, Keith R. Aleshire y Kevin Kloss.
- Curso de electrónica digital. <http://www.cienciasmisticas.com.ar/>
- Diodos semiconductores. Oscar Montoya Figueroa. Revista "Electrónica y servicio" No. 6, Agosto de 1998.
- Diseño de equipos electrónicos. Dania Valdés, María Elena Uguet e Ivan Quezada Bolet. ISPJAE. Facultad de Electrónica.
- Dispositivos y circuitos electrónicos. Jacob Millman y Cristos C. Halkias.
- Electricidad básica. Van Valkenbureh. Editorial científico técnico.
- Electronic, instruments & measurements. Larry Jones & Foster Chin.
- Electrónica digital. Ing Julio Díaz. Ministerio de Educación Superior. ISPJAE.
- Electrónica industrial. Ing. Claudio Herrera Valdés. Editorial Pueblo y Educación.
- Electrónica y sus aplicaciones. Ing. Emilio F. González. . Editorial Pueblo y Educación.
- Enciclopedia Electrónica.
- Equipos electrónicos para transmisión de datos. Juan V. Lorenzo Ginori. Editorial Pueblo y Educación.
- Estado sólido en ingeniería de radiocomunicación.