

LECCION 12

TEORIA: LECCION N° 12

Transistores

Partiendo del diodo semiconductor que analizamos en las dos lecciones anteriores, en el que tenemos una sola juntura entre dos materiales semiconductores, pasamos al estudio de un nuevo componente: "el transistor". Tal componente reemplazó en la década del 60 a los tubos de vacío (válvulas) y su función es la de generar, amplificar o alterar distintos tipos de señales. El transistor dio paso a la tecnología de equipos compactos y de bajo consumo, fue el pionero de los actuales circuitos integrados, que pueden poseer en su interior miles de transistores, aunque ocupan un espacio muy reducido. El estudio del transistor constituye, sin dudas, el factor más importante para encarar el análisis de cualquier circuito electrónico.

Coordinación: Horacio D. Vallejo

Comenzamos entonces con el estudio del principio general de funcionamiento del llamado transistor bipolar o simplemente transistor. Recordamos que además del transistor bipolar, que es el básico, existen otros tipos como el transistor de efecto de campo, el transistor unijuntura (cuyo funcionamiento es diferente), etc., que serán analizados en ocasión oportuna.

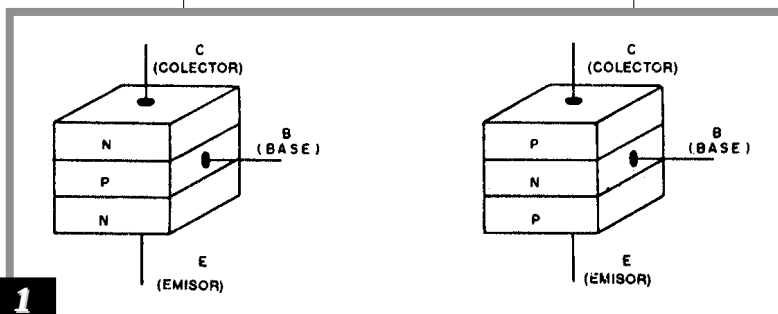
La Estructura del Transistor

De manera simplificada, podemos representar un transistor por 3 bloques de materiales semiconductores de tipos diferentes, dis-

puestos alternadamente.

Esto nos conduce a dos configuraciones posibles, que a su vez nos llevan a dos tipos de transistores, según muestra la figura 1, los transistores PNP y NPN.

Cada uno de los bloques tendrá una terminal de conexión conectada a un electrodo y recibe una denominación. Tenemos entonces en un transistor tres elementos, denominados:



1

TRANSISTORES

Emisor - abreviado E
 Colector - abreviado C
 Base - abreviado B

Para representar los transistores usamos dos tipos de símbolos, según el tipo, que aparecen en la figura 2.

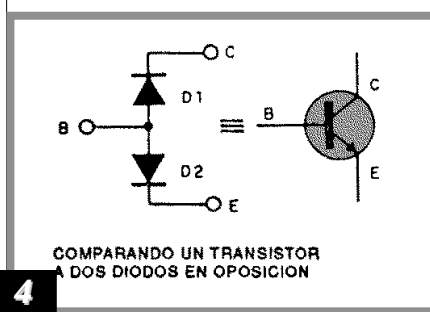
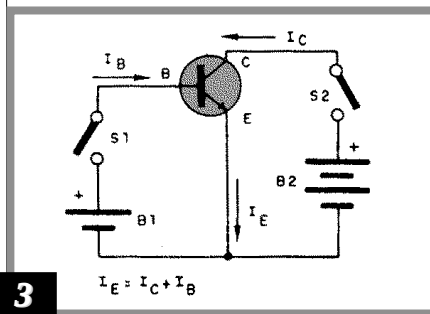
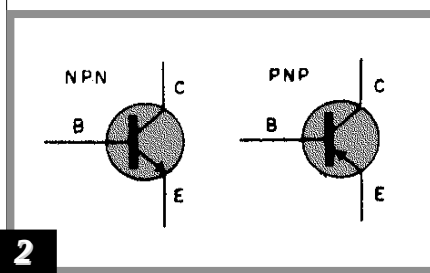
El elemento que posee la flecha es siempre el emisor. Cuando la flecha está vuelta hacia afuera del componente, tenemos un transistor NPN y cuando la flecha está apuntando hacia dentro del componente tenemos un transistor PNP.

Esta flecha corresponde al sentido convencional de la corriente que circula por este componente, cuando está en funcionamiento.

La base corresponde al elemento que entra perpendicularmente a la barra en el interior del símbolo y la otra "pata" es el colector.

Los transistores bipolares pueden ser tanto de silicio como de germanio y actualmente existen tipos para altísimas frecuencias de arseniuro de galio, pero las diferencias existentes de uno a otro se refieren solamente a las características y no a los principios de funcionamiento.

Teniendo en cuenta, entonces, que tanto los transistores PNP como los NPN tienen el mismo principio de funcionamiento y que lo mismo ocurre en relación a los materiales de que están compuestos, para analizar su funcionamiento podemos tomar un único tipo como base: el NPN sin que importe el material.



Cómo Funciona el Transistor

Para que el transistor funcione (de la manera en que normalmente lo usamos) es preciso que sus terminales sean sometidos a determinadas tensiones. La aplicación de estas tensiones de forma de llevar el transistor a su funcionamiento ideal recibe el nombre de polarización. Así polarizar un transistor es aplicar en sus tres terminales (emisor, colector y base) tensiones que lo lleven al funcionamiento normal.

Para analizar el funcionamiento de un transistor de manera simplificada, vamos a suponer

que los potenciales de polarización son aplicados a sus elementos por dos baterías, B1 y B2, controladas por dos interruptores, S1 y S2, como muestra la figura 3.

Observe que la polaridad de las baterías (positivo de B2 al colector y positivo de B1 a la base) corresponde a lo que se exige para el funcionamiento de un transistor NPN. Para un transistor PNP basta invertir la polaridad de las dos baterías, para entender su funcionamiento.

Inicialmente, con las dos llaves abiertas, ninguna corriente circula por el transistor.

Vamos a suponer ahora que, en una primera fase, cerramos la llave S2, dejamos, por lo tanto, abierta la llave S1.

En estas condiciones, la corriente, pasando por la base, tenderá a circular entre el colector y el emisor. Sin embargo, existen dos junturas que deben ser atravesadas. La primera entre el colector y la base, que corresponde a un diodo, estará polarizada en sentido inverso y presentará alta resistencia; mientras tanto, la juntura entre la base y el emisor quedará polarizada en el sentido directo y presentará una baja resistencia.

El resultado es que la corriente no puede circular. Podemos percibir esto mejor, si comparamos el transistor con dos diodos en oposición, como muestra la figura 4.

¡Observe que esta disposición es una comparación, pues dos diodos en oposición no funcionan como un transistor!

¿Ahora, qué ocurriría si en una segunda fase, manteniendo S2 cerrado, también cerráramos el interruptor S1?

El resultado será la aplicación de una tensión en la juntura entre la base y el emisor que la polarizará en sentido directo. Podemos entonces hacer circular una corriente entre esos dos elementos de transistor, cuya intensidad dependería de la tensión de B1 y, eventualmente, de la existencia de algún elemento capaz de limitarla.

Para efectos de estudio vamos a suponer que la batería B1 sea de tensión relativamente baja, lo que significa que la corriente entre la base y el emisor sería débil.

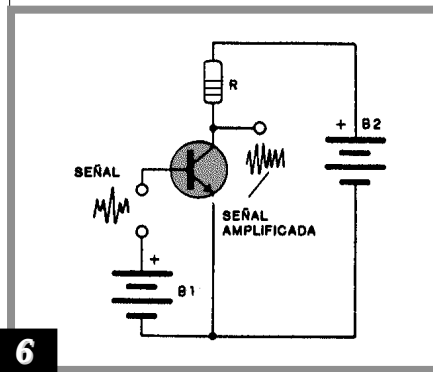
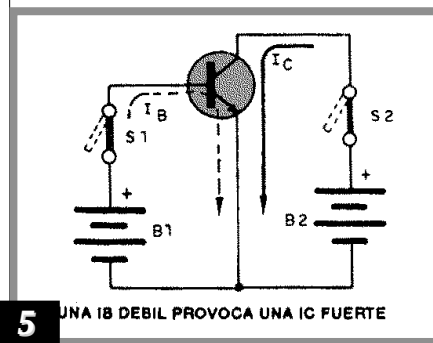
Mientras tanto, el resultado del cierre de S1 no sería solamente la circulación de esta corriente.

Con el establecimiento de una corriente pequeña entre la base y el emisor, hay también el pasaje de una fuerte corriente entre el colector y el emisor. En suma, la corriente de base pequeña "provoca" la aparición de una corriente mucho mayor entre el colector y el emisor (figura 5).

Existe una proporción entre la corriente base/emisor (llamada simplemente corriente de base) y la corriente colector/emisor (corriente de colector).

Así, cuando aumentamos la corriente de base, también aumenta la corriente de colector. Cuando la corriente de colector también lo será.

El número de veces que la corriente de colector es mayor que la corriente de base, es nulo; es



evidente que la corriente de base que la provoca es denominada ganancia de corriente, pero como veremos más adelante, la misma necesita ser definida de una manera más precisa, pues el transistor no tiene características absolutamente lineales.

Este comportamiento permite que el transistor sea usado para amplificar señales y en consecuencia para generarlas y también alterar su forma de onda.

Si tuviéramos un circuito simplificado, como muestra la figura 6, y aplicamos en la entrada una señal que corresponde a una cierta forma de onda, que varía entre dos valores de tensión determinados, estas variaciones influirán directamente en la corriente de base del transistor.

El resultado será una influencia mayor sobre la corriente de colector, pero que corresponde

"en forma" a la señal original.

Tenemos entonces una amplificación de la señal que aparece en el colector del transistor.

Para usar el transistor de forma que tengamos una amplificación fiel a la producción de señales, es preciso conocer más de sus comportamiento. Esto nos lleva a su curva característica.

La Curva Característica del Transistor

Para que un transistor opere convenientemente, existen otras formas, además de la que vimos, de hacer su conexión.

Observe que en el ejemplo que dimos, las tensiones o señales son aplicadas en la base y colector, el emisor queda conectado al mismo tiempo a las dos baterías, o sea, se trata de un elemento común al circuito de entrada (base) y salida (colector). Decimos que el transistor polarizado de esta forma está en la configuración de emisor común.

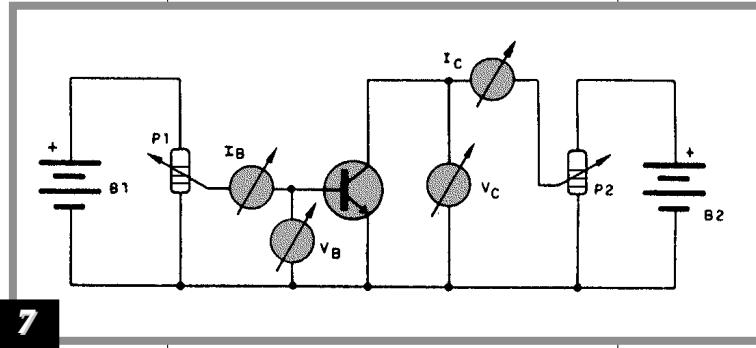
Esta configuración es la más usada y es a partir de ella que estudiaremos las curvas características de un transistor.

Una curva característica no es más que la obtención de un gráfico en el que se representan las diversas magnitudes que varían en un componente cuando está en funcionamiento. En el caso de un transistor, partimos de un circuito básico que aparece en la figura 7.

Vea entonces que, a través de este circuito podemos variar la tensión de base (base/emisor) y

la tensión de colector (colector/emisor).

Lo que se hace es colocar en un gráfico las diversas tensiones y corrientes de base y sus correspondientes de colector.



7

$$h_{ic} = \frac{(600 - 500) \text{ mV}}{(20 - 10) \mu\text{A}}$$

$$h_{ic} = 100 / 10 (10^{-3}/10^{-6})$$

$$h_{ic} = 10 \times 1.000\Omega$$

$$h_{ic} = 10.000\Omega$$

Como no podemos tener un gráfico con 4 variables, lo que se hace es establecer una familia de curvas en que una de las magnitudes es mantenida fija.

Así, en primer lugar, fijamos la tensión de emisor que llamaremos VCE (tensión entre colector y emisor) en un valor determinado, por ejemplo 5V.

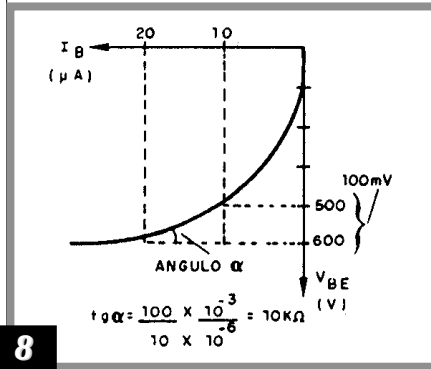
Verificamos entonces qué ocurre con la corriente de base cuando variamos la tensión de base, o sea, colocamos en el gráfico lo que ocurre con IB cuando variamos VBE.

El resultado es una curva como muestra la figura 8.

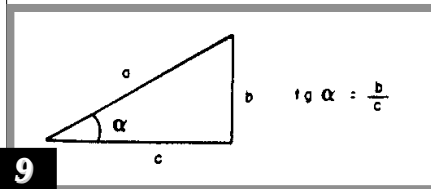
Esta curva es importante porque permite establecer la resistencia de entrada del circuito.

Tomando un pequeño trecho en que tenemos dos tensiones de emisor, por ejemplo, 500 y 600mV, formamos un triángulo donde tenemos las corrientes de base correspondientes, 10 y 20μA por ejemplo.

Calculando la tangente del ángulo mostrado en la figura 9, que es nada más que el cociente



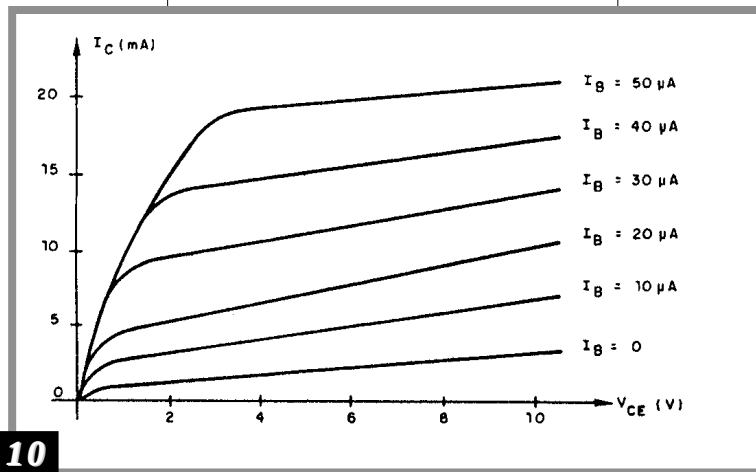
8



9

de la variación de tensión por la variación de la corriente, obtenemos la resistencia de entrada o **hic**.

En nuestro ejemplo tenemos entonces:



10

Otra curva importante es la que da la característica de salida de un transistor.

Esta curva relaciona los valores de la corriente de colector (IC) con la tensión entre el colector y emisor VCE para una corriente de base fija (IB).

Tenemos entonces una "familia" de curvas como las mostradas en la figura 10 que corresponden a un único transistor.

Observe que en la teoría, para una corriente de base nula (IB = 0), deberíamos tener una corriente de colector nula en una buena banda de tensiones. Sin embargo, observamos que esta corriente no es nula, pero sí muy pequeña. Esta corriente es la corriente de fuga (ICEO), que normalmente se debe a la agitación térmica de los átomos de material semiconductor, los cuales liberan portadores de carga.

Si tomamos una de las curvas como referencia y procedemos del mismo modo que en el caso anterior, calculando la tangente del ángulo indicado en la figura 11, obtenemos información muy importante del transistor.

Se trata de la variación de la corriente de base que corresponde a una variación de la corriente de colector o la ganancia del transistor.

La ganancia, llamada beta (β) o **hFE**, puede calcularse dividiendo la variación de la corriente de colector ΔI_C , por la variación correspondiente de la corriente de base ΔI_B .

Si una variación de $50\mu A$ en la corriente de base provoca una variación de $1mA$ en la corriente de colector, la ganancia será:

$$hFE = 10^{-3}/10^{-6} \times 50 = 20$$

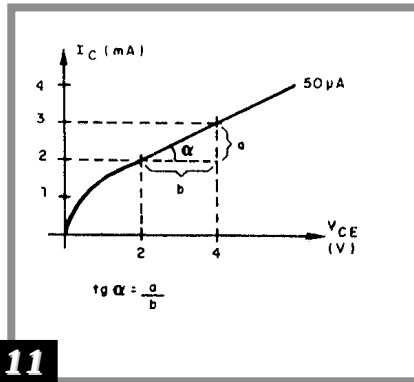
Transistores comunes poseen ganancias que varían entre 2 y 800 o incluso más, según veremos.

Vea entonces que la ganancia es especificada para una determinada corriente de colector. En los tipos llamados pequeños, como el conocido BC548, esta corriente es de $1mA$.

Algunas Aclaraciones

- ¿Cómo se explica el hecho de que, al ser polarizada la base del transistor, la juntura entre colector y base que estaba polarizada en el sentido inverso, reduce su resistencia y deja pasar la corriente?

La juntura emisor/base es polarizada en el sentido directo, lo que significa que fluyen portadores mayoritarios de carga en estas condiciones. La base, mientras tanto, es levemente "dopada", lo



que significa que son pocos los electrones que pasan hacia el emisor a partir de la base. El resultado es que la mayor parte de la corriente es formada por lagunas que fluyen del emisor hacia la base. Por otro lado, la juntura colector/base es polarizada en el sentido inverso, lo que quiere decir que solamente una corriente muy débil, provocada por portadores minoritarios de carga, fluye hacia la base. Un pequeño número de electrones y aun menor, de lagunas, forman esta corriente. Mientras tanto, la base de un transistor es estrecha y el colector más negativo que la base, lo que hace que gran número de lagunas que atraviesa la juntura base/emisor se difunda a través de la base hacia la transición de la capa de depleción de colector, a partir de donde son empujadas hacia el colector. Algunas de estas lagunas se combinan con electrones de la base, pero la mayoría atraviesa hacia el colector para dar origen a una corriente intensa. La combinación de las lagunas y electrones en la base, así como los electrones que pasan de la base hacia el emisor son responsables por la corriente de emisor. Invierta elec-

trones por lagunas y tendrá el comportamiento del transistor PNP.

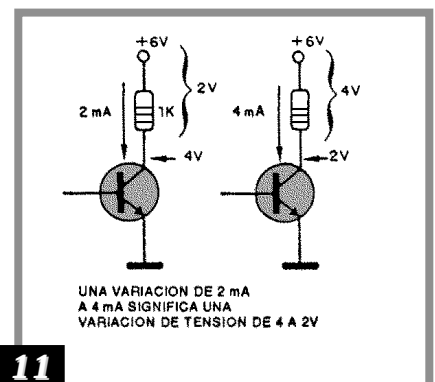
- ¿Si el transistor es una estructura simétrica con materiales NPN o PNP y tanto el emisor como el colector tienen la misma polaridad (ambos P o ambos N) podemos invertirlos en un circuito?

En realidad, la estructura usada para explicar el funcionamiento es simétrica solamente en el ejemplo dado. En la práctica, la construcción del transistor es de tal manera que existen regiones bien definidas para el emisor y el colector, de modo que no podemos hacer el cambio. Si invertimos estos dos elementos, el transistor no funcionará.

Configuraciones del Transistor

Los transistores son típicos amplificadores de corriente, porque las variaciones de la corriente de base acarrear variaciones mayores de la corriente de colector.

Es claro que las variaciones de corriente en una carga pueden ser traducidas por una variación de



tensión correspondiente, como ilustra la figura 12, pero en la práctica debemos siempre considerar que tenemos corrientes de entrada y de salida en los transistores.

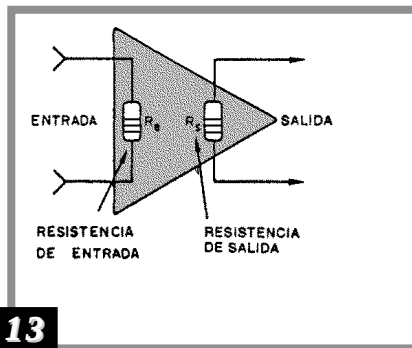
Ahora bien, como una corriente en un elemento de carga significa la presencia de una resistencia, podemos hablar de resistencia de entrada y de salida para un transistor que funcione como amplificador.

Así, representando un transistor como amplificador, de la forma indicada en la figura 13, vemos que la señal de entrada "ve" una cierta resistencia y, del mismo modo, el circuito que es conectado en la salida "siente" una resistencia.

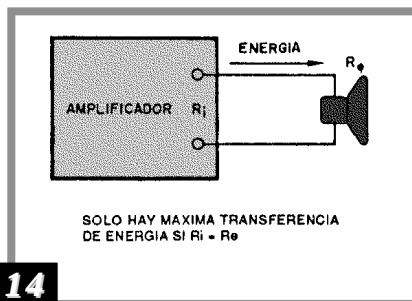
Como el transistor opera con señales de corrientes alternas, de bajas o altas frecuencias, es más interesante tener en cuenta esta resistencia de otra forma: hablamos entonces de una impedancia de entrada y de una impedancia de salida para un transistor.

Esta característica de un transistor como amplificador es muy importante en los proyectos, pues la transferencia de energía de una etapa hacia otra sólo es máxima cuando las impedancias de entrada y salida están adaptadas, o sea, tienen el mismo valor (figura 14).

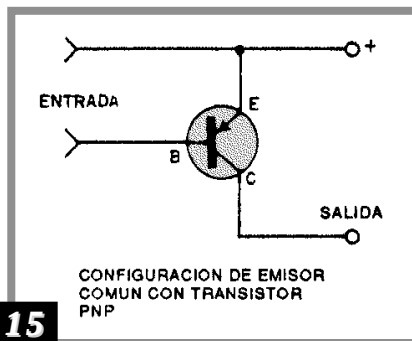
Es lo que ocurre con su amplificador de audio: si la impedancia de salida de la etapa con transistores fuera diferente de la impedancia del parlante, no ocurre la total transferencia de energía y el rendimiento del sistema es bajo.



13



14



15

En algunos casos la energía hasta debe ser disipada de otra forma, calor por ejemplo, y produce la quema de los componentes.

El tipo de características de impedancia que presentan los transistores depende de la manera en que son conectados y es lo que veremos ahora.

Configuración Emisor Común

Podemos conectar los transistores de tres formas diferentes en

una etapa amplificadora. Estas etapas van a diferir por el modo en que son aplicadas las señales y después retiradas, así como por la impedancia de entrada y salida que van a presentar.

Debemos entonces indicar que el transistor puede presentar tres tipos de ganancia para cada configuración, que son definidos de la siguiente forma:

a) Ganancia de tensión: decimos que hay ganancia de tensión cuando las variaciones de la tensión de entrada producen variaciones todavía mayores de la tensión de salida. Si una tensión de entrada (variación) de 100mV produce en la salida una variación de 1V sobre la carga, entonces la ganancia de tensión es 10.

b) Ganancia de corriente: decimos que hay ganancia de corriente cuando las variaciones de la corriente de entrada producen una variación mayor de la corriente de salida. Una variación de 1μA en la entrada, por ejemplo, que produce una variación de 20μA en la carga, significa una ganancia de corriente de 20 veces.

c) Ganancia de potencia: hay ganancia de potencia cuando tenemos un producto "tensión de salida x corriente de entrada", siempre teniendo en cuenta las variaciones. Si una corriente de 1μA producida por una variación de tensión de 100μV, produce en la carga (salida) una variación de corriente de 10μA con una varia-

ción de tensión correspondiente a 1mV entonces, tenemos una ganancia de potencia de 100 veces.

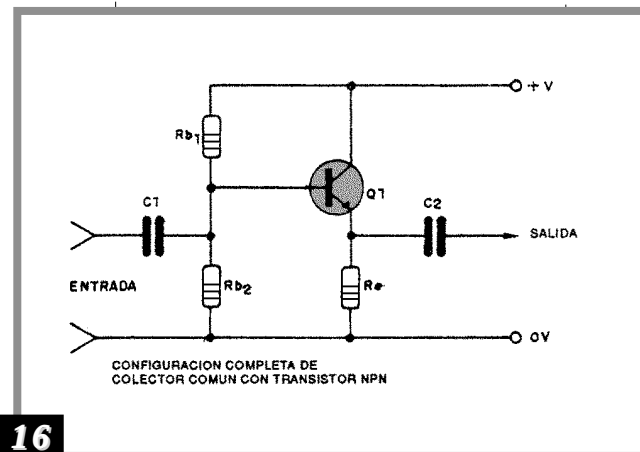
En la configuración emisor común, que aparece en la figura 15, el emisor es un elemento común al circuito de entrada y de salida.

La señal es aplicada entre base y emisor y retirada entre colector y emisor. En la práctica se usan resistores y capacitores tanto para la aplicación y retiro de la señal como también para la polarización. Esto nos lleva a una configuración más completa, como la que muestra la figura 16.

Esta es la configuración más usada en la práctica, por presentar tanto ganancia de corriente como de tensión, lo que significa la mayor ganancia posible de potencia.

Esta configuración se caracteriza por las siguientes propiedades:

- Ganancia de corriente grande
- Ganancia de tensión grande
- Ganancia de potencia elevada
- Impedancia de entrada baja (1.000 a 5.000 ohm)
- Impedancia de salida alta (100.000 a 500.000 ohm)
- Inversión de fase de la señal amplificada



16

La inversión de fase puede ser explicada de la siguiente forma: suponiendo que una señal senoidal sea aplicada a la entrada (base) cuando su tensión sube en el hemiciclo positivo, esto implica un aumento de la corriente de base, que es polarizada en el sentido de la conducción.

Ahora, con el aumento de la corriente de base, aumenta proporcionalmente la corriente de

colector. Esto significa que la resistencia entre el colector y el emisor cae, o sea, la tensión absoluta en el colector del transistor disminuye, de modo que su diferencia de valor, en relación a la tensión de alimentación, aumenta. En un gráfico como el que muestra la figura 17, esto significa que la tensión de colector

cae.

A partir del momento en que se alcanza el máximo (pico positivo) cuando la tensión cae en la base, ocurre una disminución proporcional de la corriente de colector, lo que acarrea un aumento de la tensión en este elemento.

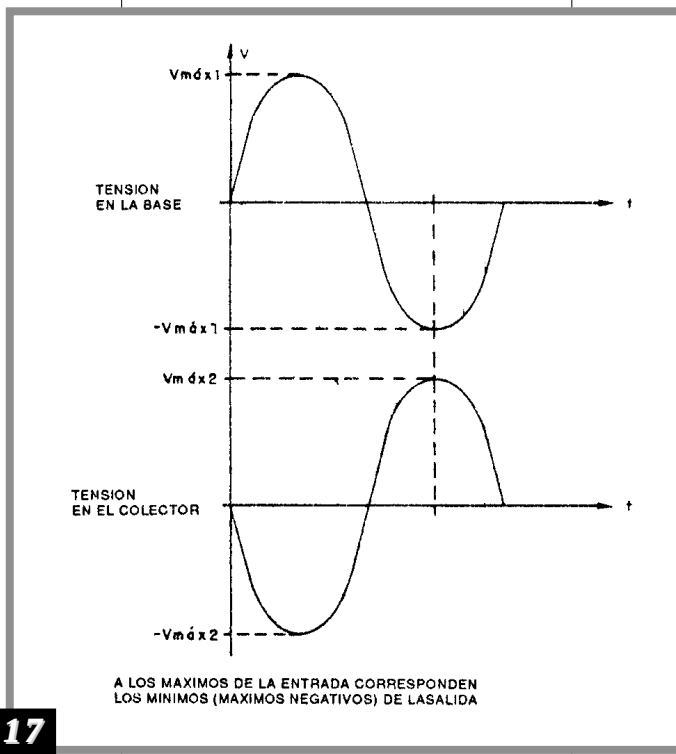
En otras palabras, cuando la tensión de base sube, la tensión del colector cae, lo que caracteriza una inversión de la

fase de la señal.

Observamos también que esta configuración no es indicada para la operación de frecuencias muy altas.

El circuito de entrada de señal del transistor presenta una cierta capacidad, que provoca un retardo en la respuesta a las señales de frecuencias elevadas.

En la configuración de emisor común, esta capacidad aparece de modo evidente con su operación limitada a unos pocos Megahertz (MHz).



17

Configuración Colector Común

En esta configuración, mostrada en forma simplificada en la figura 18, la señal es aplicada entre la base y el colector y retirada entre el emisor y el colector.

En la práctica, con los elementos de polarización (resistores) y de acoplamiento (capacitores) tenemos el circuito mostrado en la figura 19.

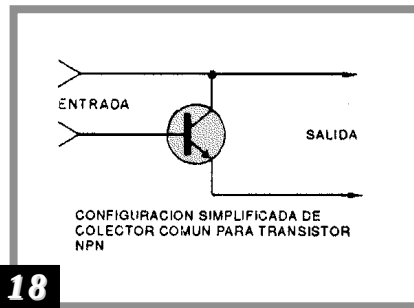
En esta configuración tenemos la ganancia de corriente elevada y la ganancia de tensión inferior a la unidad. Sin embargo, la ganancia de potencia existe (es mayor que la unidad), lo que significa que el circuito puede ser considerado un amplificador de potencia moderada.

Existe una relación bien definida entre la impedancia de entrada y la impedancia de salida en este circuito, en función de la ganancia del transistor.

Así, si la resistencia de salida (carga) fuera de 100Ω , como en el circuito de la figura 20 y la ganancia del transistor fuera de 100 veces (β) la impedancia de entrada será de $100\Omega \times 100 = 10.000\Omega$.

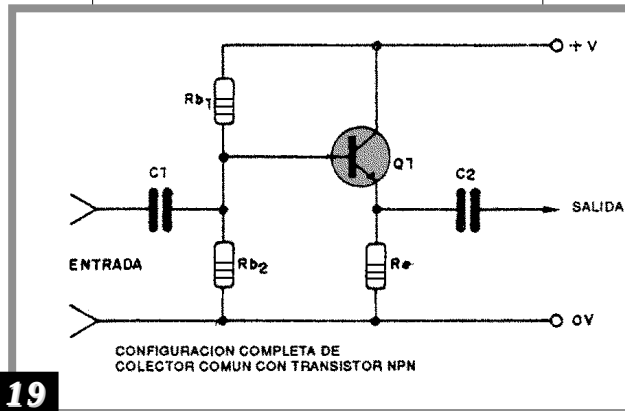
Por poseer las características de alta resistencia de entrada y baja de salida, este tipo de configuración es normalmente usado como "adaptador de impedancias", o sea, para adaptar una etapa de alta impedancia a una etapa o carga de baja impedancia.

Las principales características



18

- Ganancia de tensión inferior a 1 (atenuación)
- Ganancia de potencia mayor que 1
- Impedancia de salida muy baja (entre 10Ω y $1k$)
- No hay inversión de fase de la señal amplificada

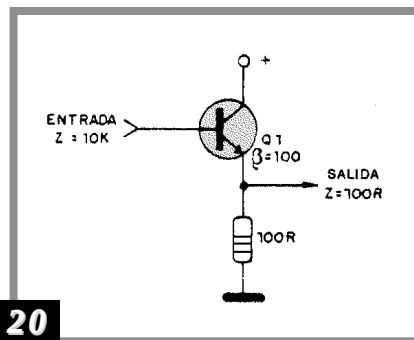


19

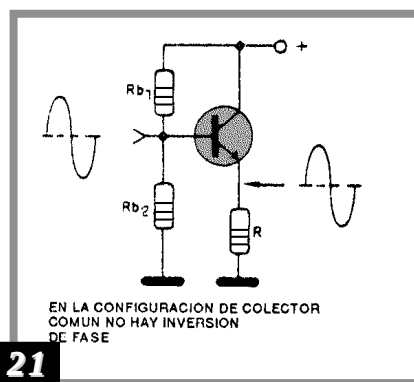
Para la no inversión de fase podemos dar la siguiente explicación: En la subida del hemisiclo de una señal senoidal aplicada a la entrada, hay un aumento de la corriente de base y, en consecuencia, un aumento de la corriente de emisor, que es la corriente de carga. El aumento de

la corriente en la resistencia de carga es acompañado de un aumento de la tensión sobre la misma (figura 21).

Esta configuración no es indicada para aplicaciones de altas frecuencia, dado el efecto de la capacidad de las junturas, que queda multiplicado prácticamente por la ganancia del transistor. Aplicaciones típicas no superan 1 Megahertz (MHz).



20



21

de este circuito son:

- Ganancia de corriente elevada

Configuración Base Común

En un transistor conectado en la configuración de base común, la señal es aplicada entre el emisor y la base y retirada entre el colector y la base, conforme muestra el circuito simplificado de la figura 22.

Con los elementos adicionales

de polarización y acoplamiento, el circuito queda como muestra la figura 23.

En esta configuración existe ganancia de tensión, pero la ganancia de corriente es inferior a la unidad. Se trata, pues, de una configuración amplificadora de tensión. La ganancia de potencia es mayor que la unidad y puede variar entre 20 y 500 para transistores comunes.

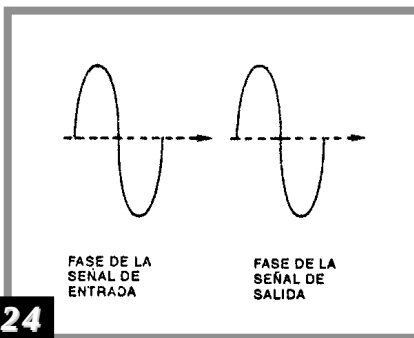
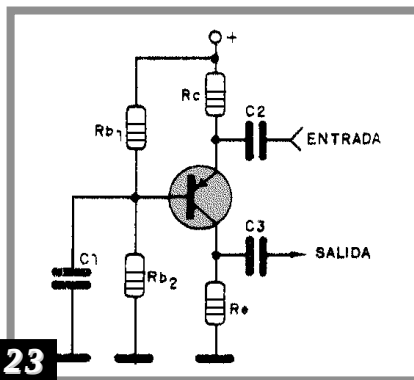
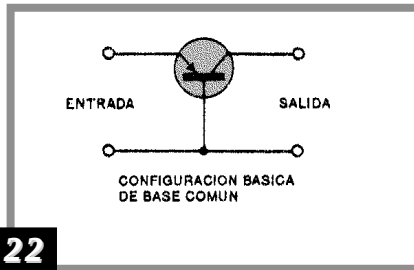
En esta configuración tampoco tenemos inversión de fase, o sea, la fase de la señal de entrada es la misma de la señal de salida, como muestra la figura 24.

La principal característica de este tipo de conexión, sin embargo, es la baja impedancia de entrada, del orden de 30 a 500 Ω y la alta impedancia de salida, del orden de 500k Ω o más. Vea entonces que tenemos un comportamiento opuesto al de la configuración de colector común.

Esta baja impedancia de entrada es responsable también por la reducción de los efectos de las capacidades entre las junturas, lo que lleva al transistor a su mayor capacidad de operación con altas frecuencias. Este tipo de circuito es usado en frecuencias que pueden superar los 100MHz, lo que depende, claro, cada transistor.

Tenemos, entonces, las siguientes características, en resumen:

- * *Ganancia de Corriente inferior a 1;*
- * *Ganancia de Tensión mayor que 1*
- * *Impedancia de entrada*



- muy baja (30 Ω a 500 Ω)*
- * *Impedancia de salida muy alta (superior a 500k Ω)*
- * *No hay inversión de fase para la señal amplificada*

Algunas Aclaraciones

Explique mejor la "ganancia de un transistor".

Decimos que existe ganancia cuando la señal obtenida en la salida es mayor que la aplicada a la entrada.

Esta claro que para que un

transistor "gane", precisamos disponer de energía de una fuente externa, pues no se puede "crear" energía. Esto se consigue a partir de una batería o fuente de alimentación, que polariza al transistor.

Si la señal de salida es mayor que la de entrada, la ganancia es mayor que 1. Por ejemplo, si obtenemos en la salida una señal cuya tensión es dos veces superior a la de la señal aplicada a la entrada, entonces la ganancia es igual a 2.

Es posible que la ganancia sea menor que 1 en cuyo caso se trata realmente de una "pérdida" o atenuación de la señal. Así, una ganancia de 0,5 implica que la salida es la mitad de lo aplicado a la entrada.

¿Cómo se elige la configuración apropiada de un transistor?

La elección dependerá justamente del tipo de señal a ser amplificada y de las condiciones en que esto se hará.

Si tenemos señales de baja frecuencia, no existen problemas de impedancia de entrada y de salida y queremos obtener la mayor ganancia posible, elegimos la configuración emisor común.

Para señales de alta frecuencia se prefiere el uso de la configuración base común y si tenemos alta impedancia de entrada y deseamos aplicar la señal a una carga de baja impedancia, lo más aconsejable es el uso de la configuración colector común.

Es muy común encontrar transistores polarizados en configura-

ción base común en aquellos circuitos que requieren "muy bajo ruido de entrada".

Los Distintos Tipos de Transistores Bipolares

Existen diversos tipos de transistores: desde los muy pequeños, comparables a una lenteja, hasta los mayores que llegan a tener algunos centímetros de diámetro o incluso más (figura 25).

¿Por qué tantas diferencias?

Estructuralmente todos los transistores están formados por trozos de materiales semiconductores (P y N) dispuestos de forma alternada, como ya vimos. Sin embargo, los procesos constructivos que llevan a la obtención de esta estructura no parten de trozos aislados de materiales semiconductores, uniéndolos después para obtener el componente final.

Existen técnicas que parten de trozos únicos de materiales semiconductores y forman directamente en ellos las regiones que deben ser del tipo P o del tipo N, se obtiene así el transistor en su configuración final (figura 26).

El modo cómo se forman las regiones del emisor, colector y base de un transistor van a determinar la "geometría" del componente, la cual es responsable directamente por sus características eléctricas. Para simplificar, si quisiéramos un transistor que sea capaz de trabajar con corrientes intensas, debemos proveerlo de

una región de colector mayor para que haya una superficie de pasaje para los portadores de carga capaz de soportar la corriente final.

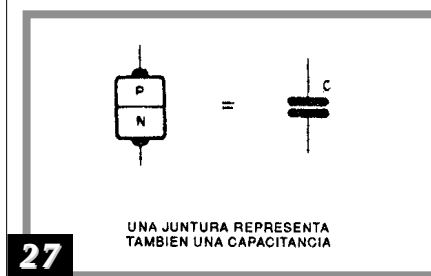
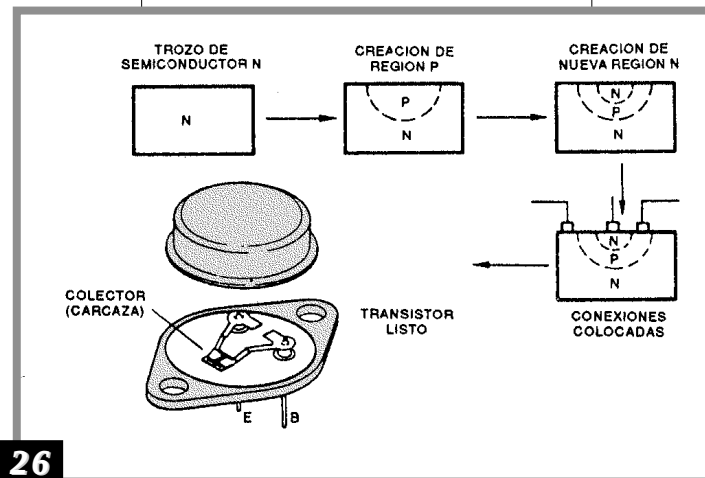
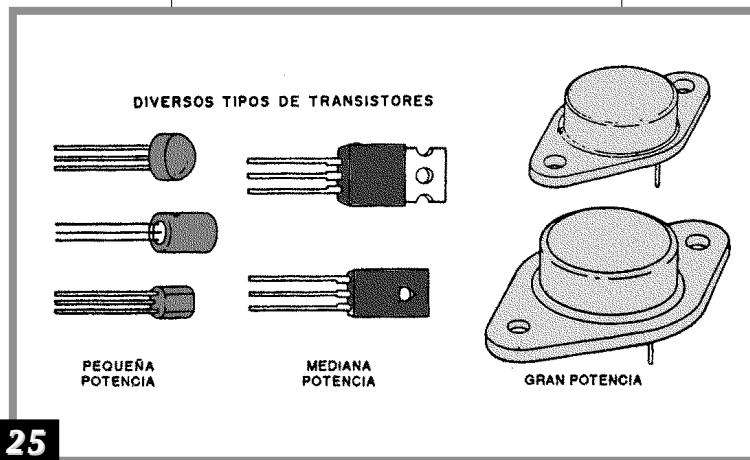
Por otro lado, si queremos un componente rápido, capaz de trabajar con frecuencias elevadas, debe haber un tiempo mínimo de movilización de cargas entre el

colector y el emisor, pasando por la base (este tiempo se denomina "tiempo de tránsito"). Estos transistores deben tener regiones de base bien reducidas, así permite un recorrido mínimo para la corriente.

Pero no es sólo el tamaño lo que importa para la construcción de un transistor: si tenemos una región semiconductor de un tipo en contacto con otra de tipo diferente (P y N), la juntura también representa una capacitancia (figura 27).

Así, aplicando una señal en un transistor que tenga una región de juntura grande entre la base y el emisor,

por ejemplo, antes que esa señal alcance el valor que provoca la conducción, debemos tener la carga del capacitor. Esto significa un retardo en la velocidad de respuesta de este componente. La reducción de la capacidad entre



las regiones es un factor de gran importancia en el proyecto para transistores que deben trabajar con frecuencias altas o conmutar señales en alta velocidad. Vea entonces que existe una cierta contradicción de las posibles mejoras de características de los transistores para las diversas aplicaciones.

Si queremos un transistor de mayor potencia, capaz de trabajar con corrientes más intensas, debemos aumentar la superficie de las junturas, pero eso también provoca un aumento de la capacidad entre los terminales, reduciendo en consecuencia su velocidad.

Si reducimos mucho el tamaño de un transistor para que el mismo pueda operar a una velocidad mayor, también reducimos su capacidad de aislación, lo que quiere decir que el mismo pasa a soportar tensiones menores.

Observe entonces que existen dificultades serias para proyectar transistores que sean ideales, o sea, que puedan trabajar con corrientes intensas, tengan gran velocidad (por no presentar grandes capacidad entre los electrodos) y finalmente que puedan operar con tensiones altas.

Las geometrías estudiadas permiten la construcción de algunos tipos de transistores que pueden ser considerados "excelentes" dentro de la finalidad propuesta, pero eso también significa mayor costo. Así, no precisando una determinada característica, podemos elegir tipos determinados que se comporten dentro de lo que queremos, y con eso bajar el costo

del componente.

Para las aplicaciones prácticas, podemos dividir los transistores por tipos en los siguientes grupos:

Transistores de Uso General de Baja Potencia

Estos son transistores (NPN o PNP) de dimensiones pequeñas, capaces de operar en el máximo con corrientes de colector de 500mA, disipando potencias de hasta 1 watt. Pueden ser de germanio o de silicio, si bien en la actualidad se usan mucho más los de silicio.

Estos transistores se destinan a la amplificación o producción de señales de bajas frecuencias (audio) principalmente, pero poseen la capacidad de operar en frecuencias de hasta algunas decenas de megahertz (MHz), si bien no han sido proyectados específicamente para esta finalidad. Las ganancias de estos transistores están en la banda de 10 a 900 típicamente.

Entre las aplicaciones posibles para los transistores de esta familia, citamos las siguientes: preamplificación de audio, oscilador de audio, excitador (driver) de amplificadores de audio, salida de audio de amplificadores hasta 1 ó 2 watt, conmutación de señales de bajas frecuencias, etc.

Gracias a la escasa generación de calor en la operación de estos transistores se los fabrica en cubiertas de dimensiones reducidas, tanto metálicas como plásticas.

Las cubiertas metálicas (más anti-guas) son más caras, siendo por esto sustituidas en la mayoría por los tipos plásticos, en la actualidad.

Para los transistores europeos, la identificación de un transistor de uso general se hace con la sigla "BC" donde "B" significa silicio y "C" uso general. La sigla "AC" indica transistores de uso general de germanio.

Los transistores de procedencia americana usan otro tipo de codificación. Normalmente se especifican como "2N" seguido de un número. Por la sigla no podemos saber qué tipo de transistor es, y con este fin debe consultarse un manual.

Para los transistores japoneses de uso general tenemos la sigla "2SB" y "2SA".

Transistores de potencia de audio

Los transistores de Potencia de Audio, o simplemente de Potencia, son componentes destinados a la operación con corrientes altas en frecuencias no muy elevadas, que no superen algunos megahertz.

La capacidad de entrada, debido al tamaño de los elementos internos, es el principal factor que impide su operación con señales de frecuencias elevadas.

Así, tales transistores tienen típicamente corrientes de colector en la banda de 1 a 15A, y pueden disipar potencias de 1 a 150 watt, operando con señales de al-

gunas decenas de megahertz como máximo. Sin embargo, a medida que nos aproximamos a su frecuencia límite (f_T) la ganancia cae enormemente y tiende a ser unitaria.

Los transistores de esta familia son dotados de cubiertas que permiten su fijación en disipadores de calor.

En la figura 28 tenemos algunos tipos de disipadores usados con estos transistores.

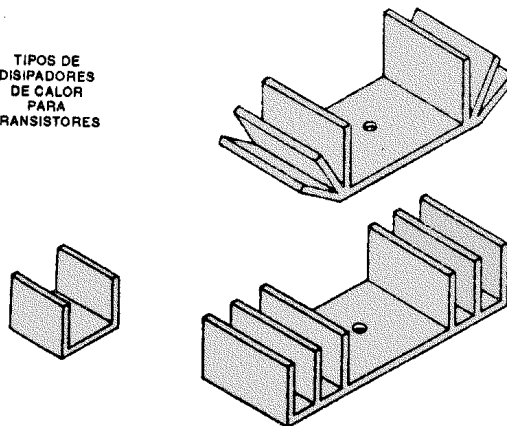
Normalmente en estos transistores la parte semiconductor que forma el colector, está en contacto directo con la cubierta metálica, facilitando así la transferencia del calor generado.

Por este motivo es común la utilización entre el transistor y el disipador de un aislante especial. Este aislante, que puede ser de mica o de plástico, deja pasar el calor pero no la corriente eléctrica; se trata de un aislante eléctrico más un conductor térmico (figura 29).

Para facilitar todavía más la transferencia de calor, este aislante puede ser untado con pasta térmica, hecha a base de silicio (grasa silicanada). Son diversas las aplicaciones de estos transistores como: salida de audio hasta más de 100 watt, regulación de fuentes, excitación de etapas de audio, inversores, excitación de relés y solenoides, etc.

En la línea europea, los transistores de estas categorías son especificados por las letras "BD" donde "B" indica que el compo-

TIPOS DE
DISIPADORES
DE CALOR
PARA
TRANSISTORES



28

nente es de silicio y "D", de potencia. Para los tipos de germanio la indicación es "AD".

Para los tipos americanos tenemos también la designación "2N".

Transistores de Baja Potencia para RF

Estos son transistores que se destinan a la operación con señales de frecuencias elevadas, pero de pequeña intensidad.

Las corrientes máximas de operación de estos transistores no sobrepasan los 100mA pero su frecuencia máxima puede fácilmente llegar a los 1.000MHz o 1GHz (1 Gigahertz).

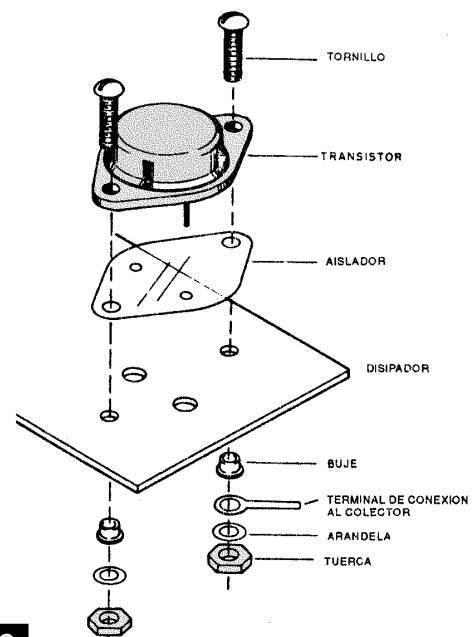
Como no deben disipar potencias elevadas, sus cubiertas son de dimensiones reducidas y no tienen previsto la colocación de disipadores de calor. En algunos tipos de metal existe un

cuarto terminal, además de emisor, colector y base, que es conectado a la propia cubierta, que sirve así de blindaje. La geometría interna es proyectada justamente de modo de realzar ciertas propiedades, como por ejemplo la reducción de la capacidad entre los elementos, la disminución del tiempo de tránsito, etc.

Los tipos de procedencia europea son designados con la sigla "BF" donde "B" significa silicio, y "F" alta frecuencia o "RF". Para los tipos de germanio la designación es "AF".

Los tipos de procedencia americana también aparecen con la designación "2N", es necesario consultar manuales de especificaciones para saber a qué familia pertenecen.

Entre las aplicaciones para estos



29

transistores citamos las siguientes: producción de señales de alta frecuencia, amplificación de RF en receptores de radio y TV, pequeños transmisores, amplificación de FI, convertidores de frecuencia de receptores, etc.

Transistores de Conmutación

Los transistores de esta familia se caracterizan por una elevada capacidad para pasar rápidamente del estado de no conducción (*cor-te*) a la plena conducción (*satura-ción*) sirviendo pues como conmutadores. Para esto es preciso que tengan características especiales que van desde la ganancia elevada hasta la baja capacidad entre sus elementos. Estos transistores operan con corrientes máximas entre 100mA y 1A, poseen capacidad de disipación de potencia hasta 1W típicamente.

Una característica importante de las especificaciones de estos transistores es el tiempo en que pasan de la no conducción a la conducción, que se da en nanosegundos (10^{-9} segundos).

Muchos de los transistores de esta familia, además de las aplicaciones específicas en conmutación, también se pueden usar en RF (como por ejemplo el 2N2218 y el 2N2222), ya que la alta velocidad les posibilita producir o amplificar señales de frecuencias bastante altas. Entre las aplicaciones para estos transistores citamos las siguientes: conmutación en circuitos lógicos, modificación de formas de onda en conformadores, etc.

Otros Transistores

Además de los transistores citados existen otros con características bien específicas que pueden encontrarse en los manuales de muchos fabricantes.

Entre ellos destacamos en primer lugar los denominados "*de banda ancha*" que son transistores que se destinan a la operación con señales de frecuencias muy altas, en la banda de **UHF** y microondas.

Tales transistores tienen frecuencias de transición (frecuencia máxima de operación) bastante elevadas, llegando teóricamente a los 5GHz. En la nomenclatura europea tales transistores aparecen con la sigla "*BFQ, BFT, BFW y BFX*". Para los de origen americano, tenemos siempre la denominación "**2N**"; la averiguación de su verdadera finalidad queda por cuenta de una consulta en los manuales específicos.

Algunas Aclaraciones

— *¿Cómo elegir un transistor para una aplicación específica?*

En la elección de un transistor para una determinada aplicación debemos tener en cuenta sus características y su capacidad de operar convenientemente en dicha aplicación.

Incluso dentro de una familia existen tipos específicos. Sólo a título de ejemplo, dentro de la propia familia de transistores de uso general tenemos tipos con características tan diferentes que uno no es equivalente del otro.

Podemos citar el BC549 y el BC548 que, aunque sean semejantes en las características generales, presentan una diferencia considerable: el BC549 opera con un nivel de ruido interno muy bajo, por esto es indicado para amplificar señales de audio muy débiles, lo que no ocurre con el BC548, aunque ambos son de la misma familia.

Así, en el proyecto de un preamplificador de audio, preferimos colocar en su entrada un BC549 en lugar de un BC548, si bien existen muchas aplicaciones en las que son perfectamente intercambiables.

Otro caso que debe ser tenido en cuenta es que un transistor que se destina a amplificar señales de audio, aunque tenga una frecuencia máxima elevada, no siempre funcionará bien en la amplificación o producción de señales de RF. No será buena idea usar un BD135, aunque el mismo sea especificado hasta 250MHz en un amplificador de FM, porque la capacidad entre sus elementos, no previstas para operación en RF, ciertamente impedirán una buena ganancia en esta banda.

— *¿Además de los transistores indicados, existen otros?*

Sí, además de los tipos NPN y PNP, que son denominados "bipolares", tenemos transistores que obedecen a otras tecnologías de funcionamiento como por ejemplo los unijuntura, los transistores de efecto de campo y los que se usan como sensores, aprovechando su sensibilidad a cierto tipo de radiación (como por ejemplo los fototransistores), etc.

TRANSISTORES

Código pro-electrón

El código que presentamos a continuación es utilizado para la designación de semiconductores.

Este código consta de dos letras seguidas por un número de serie para los tipos comerciales, y de tres letras seguidas por un número para los tipos industriales y militares. Las letras tienen entonces los siguientes significados:

Primera letra

Determina el material usado en la confección de la parte activa del semiconductor (transistor o diodo):

- A – germanio
- B – silicio
- C – arseniuro de galio
- R – materiales compuestos (ej.: sulfuro de cadmio)

Segunda letra

Determina la función más importante del semiconductor:

- A – diodo de baja señal
- B – diodo de capacitancia variable (varicap)
- C – transistor de señal para audiofrecuencia
- D – transistor de potencia para audiofrecuencia
- E – diodo túnel
- F – transistor de baja señal para radiofrecuencia
- G – dispositivos múltiples o disímiles, misceláneos
- H – diodo sensible a campos magnéticos
- L – transistor de potencia para radiofrecuencia
- N – fotoacoplador

P – detector de radiación (ej.: fototransistor)

Q – generador de radiación (ej.: diodo emisor de luz)

R – dispositivos de control y conmutación de baja potencia (ej.: SCR)

S – transistor de baja señal para conmutación

T – dispositivo de control y conmutación de potencia (ej.: SCR)

X – diodo multiplicador (ej.: varactor)

Y – diodo rectificador

Z – diodo de referencia o regulador (con la tercera letra W, supresor de transitorios)

Número de serie

Tres guarismos de 100 a 999: dispositivos destinados a equipos para el consumidor.

Una letra (Z, X, Y etc.) y dos guarismos de 10 a 99: dispositivo destinado a equipos industriales o profesionales. Esta letra no posee significado, excepto la W usada en los diodos supresores de transitorios.

Letra designadora de versión

Indica una variación secundaria, mecánica o eléctrica del tipo básico, no posee significado, excepto R que indica tensión inversa.

1. Diodos de referencia, y reguladores de tensión: una letra y un número.

La letra indica la tolerancia nominal de la tensión zener.

- A = 1% (serie E96)
- B = 2% (serie E48)
- C = 5% (serie E24)

D = 10% (serie E12)

E = 20% (serie E6)

El número designa la tensión zéner típica relacionada con la corriente nominal. Se usa la letra V en lugar de la coma decimal.

2. Diodos supresores de transitorios

Un número que indica la máxima tensión inversa continua recomendada (VR). La letra V puede ser usada con el mismo significado.

3. Diodos convencionales de avalancha controlada y tiristores.

Un número indicando la máxima tensión inversa de pico repetitiva (VRRM) o la tensión repetitiva de pico en estado de no conducción (VDRM). La polaridad inversa es indicada por la letra R después del número.

4. Detectores de radiación

Un número precedido de guión (-). El número indica la capa de deplexión.

- La resolución es indicada por una letra que designa la versión.

5. Conjunto de detectores y generadores de radiación

Un número precedido de barra (/). El número indica cuántos dispositivos básicos están agrupados.

Observación: los diodos y transistores que comienzan por 1N o 2N (1N para diodo y 2N para transistores) siguen el sistema americano y no esta norma que acabamos de presentar. ☛