4

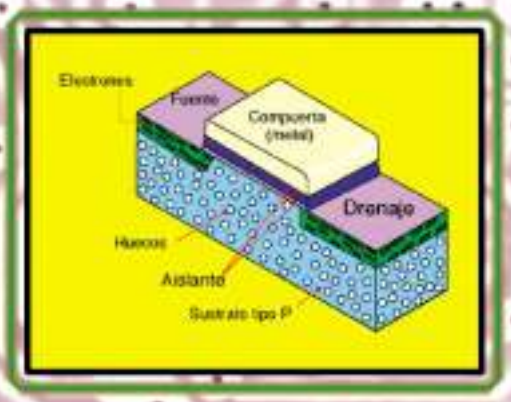
El Mundo de la Electrónica

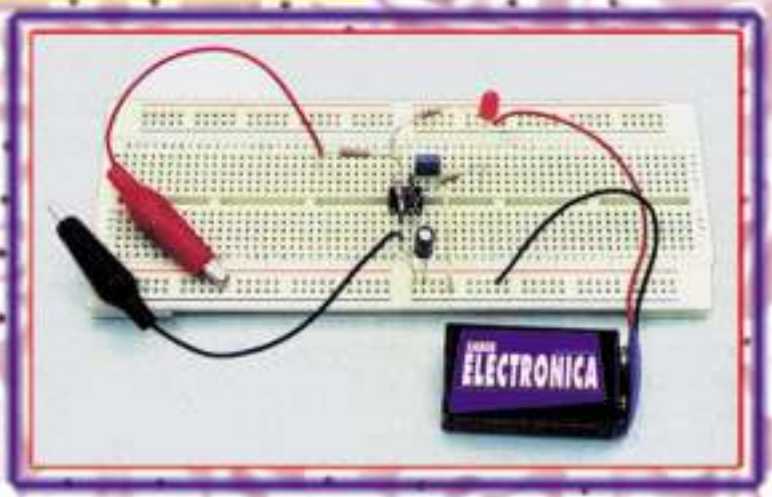
TV
AUDIO
VIDEO
COMPUTADORAS

CAPACITORES

Asociación de Resistencias

Por qué aparecieron los
Transistores





MICROPROCESADORES

Enciclopedia Visual de la Electrónica

INDICE DEL CAPITULO 4

ASOCIACION DE RESISTORES, ASOCIACION DE PILAS, POTENCIA ELECTRICA

Asociación de resistores.....51
Asociación de pilas.....52
Potencia eléctrica.....52
Cálculo de potencia.....54
Aplicación de la ley de Joule.....54
Potencia y resistencia.....54

CAPACITORES

La capacidad.....55
Capacitores planos.....56
La energía almacenada en un capacitor.....57
Los capacitores en la práctica.....57
Asociación de capacitores.....57
Capacitores de papel y aceite.....58
El problema de la aislación.....58
Capacitores de poliéster y policarbonato.....58
Capacitores de poliestireno.....59
Capacitores cerámicos.....59
Capacitores electrolíticos.....59
Capacitores variables y ajustables.....60
Dónde usar los trimmers.....60
Tensión de trabajo.....60
Capacitores variables.....61
Banda de valores.....61

POR QUE APARECIERON LOS TRANSISTORES

Comienza la revolución digital.....61
En el principio fue la válvula de vacío.....61
Surge el transistor.....62
¿Qué es en realidad un semiconductor?.....62
Principio de operación de un transistor.....62
Transistores contenidos en obleas de silicio63
Surgen los microprocesadores.....63
Familias MOS y MOSFET.....64
Transistores de altas potencias.....64
Futuro del transistor.....64

Cupón Nº 4

Guarde este cupón: al juntar 3 de éstos, podrá adquirir uno de los videos de la colección por sólo $5

Nombre: _____

para hacer el canje, fotocopie este cupón y entréguelo con otros dos.

Capítulo 4

Asociación de Resistencias - Capacitores

Asociación de Resistores

A los fines de simplificar circuitos electrónicos es necesario conocer las características de las diferentes combinaciones de resistores para establecer componentes equivalentes. Se dice que dos o más resistores están en serie cuando por ellos circula la misma corriente, de manera que no debe haber ninguna derivación en el camino que origine un cambio en la intensidad de la corriente que circula por ellos. En la figura 1, los resistores R1, R2 y R3 están en serie.

Resistencia equivalente: es una resistencia que puede reemplazar a las del circuito, sin que se modifiquen los parámetros del mismo. Para calcular la resistencia equivalente de dos o más resistores en serie, simplemente se suman sus valores. En el caso anterior, la resistencia equivalente es:

Re = 100Ω + 120Ω + 100Ω = 320Ω.

En general, para resistores en serie, la resistencia equivalente es:

Req = R1 + R2 + R3 + ...

Se dice que dos o más resistores están conectados en paralelo cuando soportan la misma tensión eléctrica, y eso implica que los resistores estén conectados a puntos comunes. Por ejemplo, en la figura 2, R1, R2 y R3 están en paralelo porque los tres soportan la misma tensión (3V). Para calcular la resistencia equivalente, usamos la siguiente fórmula:

$$Req = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$$

que sirve para dos resistores; luego, se vuelve a aplicar al tercer resistor con la resistencia equivalente de los dos resistores anteriores y, así, sucesivamente, hasta terminar con el último resistor.

Para el caso de la figura resulta, tomando a R1 y R2, lo siguiente:

$$Req1\text{-}2 = \frac{6\Omega \cdot 6\Omega}{6\Omega + 6\Omega} = \frac{36\Omega}{12\Omega} =$$

Req1-2 = 3Ω

$$Req = \frac{Req1\text{-}2 \cdot R3}{Req1\text{-}2 + R3} =$$

$$Req = \frac{3\Omega \cdot 3\Omega}{3\Omega + 3\Omega} = \frac{9}{6} =$$

Req = 1,5Ω

Veamos algunos casos de aplicación; para ello sea el circuito de la figura 3, y se desea calcular su resistencia equivalente. Evidentemente, R1 no está en serie con R2 ni con R3 debido a la derivación en A, pero R2 y R3 están en paralelo pues están soldados en A y en B; por lo tanto, hallamos la Req de R2 y R3 con la fórmula dada anteriormente:

$$Req\ 2\text{-}3 = \frac{120\Omega \times 40\Omega}{120\Omega + 40\Omega} =$$

$$Req\ 2\text{-}3 = \frac{4800}{160} = \mathbf{30\Omega}$$

Luego, el circuito queda como lo muestra la figura 4. Se ve claramente que ambos resistores están en serie, por lo cual:

Req= 10Ω + 30Ω = 40Ω

En la figura 5 se tiene otro circuito eléctrico del cual se desea calcular la resistencia equivalen-

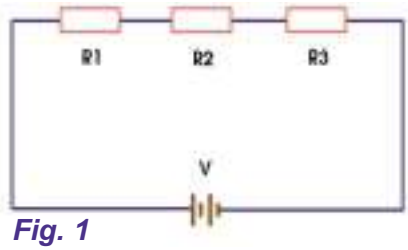


Fig. 1

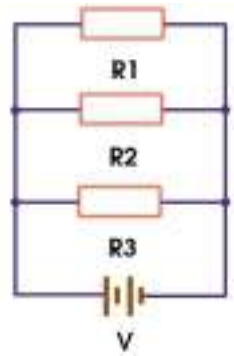


Fig. 2

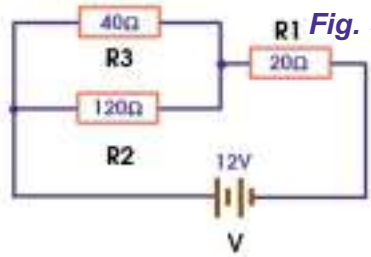


Fig. 3

Fig. 4

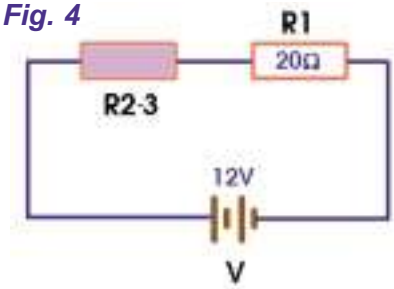


Fig. 5

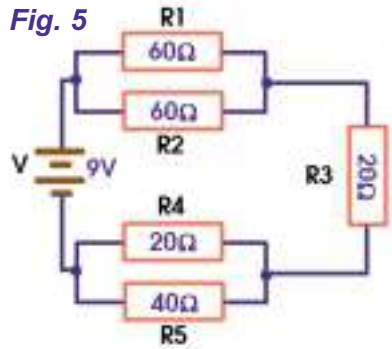


Fig. 6

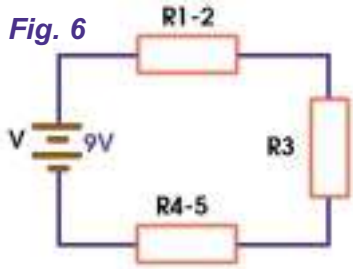


Fig. 7

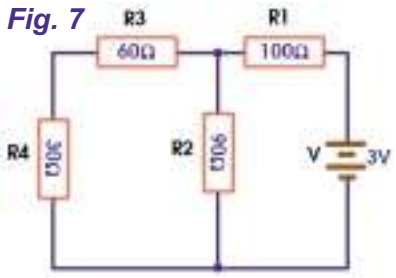


Fig. 8

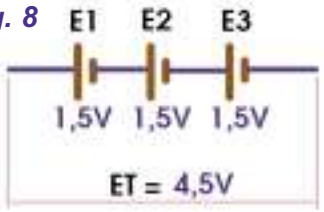
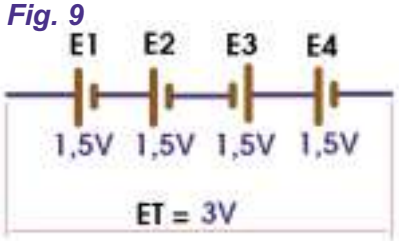


Fig. 9



te. Observando la figura, concluimos que R1 y R2 están en paralelo, así como R4 y R5; sus respectivas resistencias equivalentes son:

$$R1 - 2 = \frac{60\Omega \cdot 60\Omega}{60\Omega + 60\Omega} = 30\Omega$$

$$R4\text{-}5 = \frac{20\Omega \cdot 40\Omega}{20\Omega + 40\Omega} = \frac{800\Omega}{60\Omega} = 13{,}3\Omega$$

Luego, el circuito se reduce al de la figura 6.

Es fácil notar que los 3 resistores están en serie (figura 7), y, en consecuencia, su resistencia equivalente será:

Req = 30 + 20 + 13,3 = 63,3Ω

Debemos, ahora, calcular la resistencia equivalente del circuito de la figura 7. Hallar la Req de la combinación de resistores encerrada por la línea punteada. Observando el circuito vemos que R3 y R4 están en serie, ya que por ellos circula la misma corriente y entre ellos no hay ninguna derivación. R1 no está en serie con R2 ni con R3 o R4 debido a que existe una derivación. Por el momento, calculamos la Req de R3 y R4:

R3-4 = 60 + 30 = 90Ω

ASOCIACI N DE PILAS

En muchas oportunidades necesitamos asociar pilas para conectarlas a un aparato electrónico; así, no es lo mismo conectar polos negativos entre sí que polos de distinto signo. Por ejemplo, en el caso de una radio que lleva cuatro pilas, cuando éstas deben ser reemplazadas para poder obtener una tensión correcta, las cuatro pilas de 1,5V tienen que estar en serie, con el polo positivo haciendo contacto con el polo negativo de la otra. Así, los dos terminales que quedan libres se conectan al circuito y la tensión equivalente de las fuentes en serie es mayor que la de una sola de ellas, tal como muestra la figura 8.

Las pilas pueden estar en serie, pero algunas de ellas pueden conectarse al revés; entonces, la tensión es la diferencia entre las tensiones de las pilas conectadas en forma directa y las de las pilas conectadas en forma inversa, como vemos en la figura 9.

También pueden conectarse en forma paralela a una resistencia de carga y, en tal caso, la corriente total que pasa por ella es la sumatoria de las corrientes que da cada pila en forma separada. Cuando se conectan en forma paralela se tendrá especial cuidado en que la tensión de las dos sean iguales, de lo contrario la pila de tensión más alta tratará de "empujar" una corriente por medio de la tensión más baja, y será una corriente que pierde energía, lo que como consecuencia traerá el deterioro de las pilas, como se ve en la figura número 10.

Una fuente solamente puede entregar una corriente máxima determinada; es por eso que se usan dos o más fuentes en paralelo, de manera que si se necesita una corriente mayor, se deberá conectar dos o más fuentes de tensión en paralelo. El agotamiento de las baterías es más lento, entonces la duración es mayor; vale decir que las "corrientes" de las pilas se suman, según lo mostrado en la figura 11.

Fig. 10

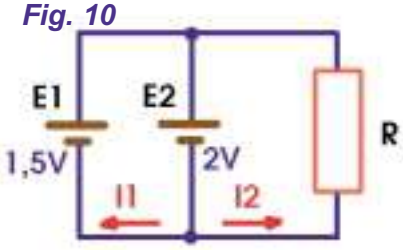


Fig. 11

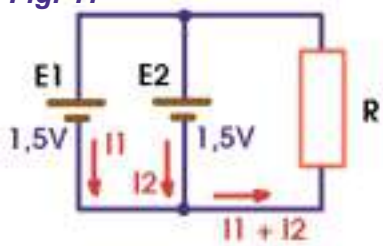


Fig. 12

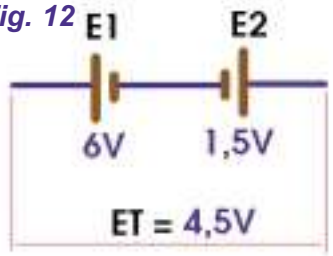
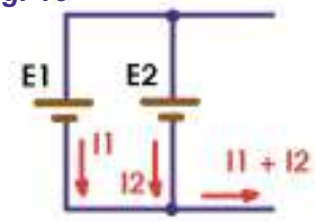


Fig. 13



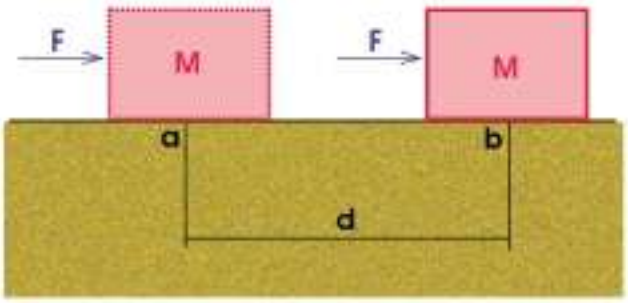
Las tensiones de las pilas en oposición se restan, tal como observamos en la figura 12. La conexión en paralelo solamente es posible si las tensiones de las pilas son iguales, sumadas las corrientes que ellas suministran (figura 13).

POTENCIA EL CTRICA

Se dice que energía es todo aquello que se mueve, capaz de realizar un trabajo, sin importar cuál fuere. Por lo tanto, todo es energía, es decir, la materia lleva implícita alguna forma de energía por el solo hecho de estar formada por átomos en constante movimiento.

En física, el trabajo está relacio-

Fig. 14



nado con la distancia que recorre una fuerza para mover un cuerpo. Como ejemplo podemos citar el trabajo que realiza una fuerza F para mover un cuerpo M desde un punto **a** hasta otro punto **b**, recorriendo una distancia d, de acuerdo a lo mostrado en la figura 14.

El trabajo realizado se calcula cómo:

$$T = F \cdot d$$

También realiza un trabajo un cuerpo que cae desde una altura h debido al propio peso P del cuerpo que actúa como fuerza, según se muestra en la figura 15.

El cuerpo, al caer, es acelerado por la gravedad terrestre y alcanza su máxima velocidad inmediatamente antes de chocar contra el suelo. Además, su velocidad antes de comenzar su caída era nula, lo que significa que el cuerpo fue adquiriendo una energía como producto del trabajo realizado por la fuerza (cuerpo) al caer. A esta energía se la denomina Energía Cinética (energía de movimiento) y es la energía que ha adquirido el cuerpo al realizar un trabajo, o sea:

Trabajo = Energ a Cin tica

matemáticamente:

$$T = Ec$$

Como se sabe, la electricidad se compone de electrones en movimiento, por lo que podemos aplicar un razonamiento análogo al recién efectuado. Los cuerpos en movimiento serán, en este caso, electrones que poseen una carga eléctrica impulsados por una fuerza (fuerza electromotriz o tensión) que es la diferencia de potencial aplicada en los extremos del conductor.

De esta manera, se realizará un Trabajo Eléctrico debido a la energía que adquieren los electrones impulsados por una diferencia de potencial. A la energía así desarrollada se la denomina: Energía Eléctrica, la cual depende de la tensión aplicada al conductor y de la cantidad de carga transportada, es decir, de la cantidad de electrones en movimiento. Matemáticamente:

Energ a El ctrica = Tensi n . Carga El ctrica

También:

$$E = V \cdot Q$$

Como hemos estudiado en lecciones anteriores, la tensión se mide en volt y la carga eléctrica en coulomb. De estas dos unidades surge la unidad de la Energía Eléctrica, que se denomina joule y se abrevia con la letra **J**.

Podemos decir entonces que cuando se aplica a un circuito eléctrico una tensión de 1V transportándose una carga eléctrica de 1C, se pone de manifiesto una energía eléctrica de 1J.

$$1J = 1V \cdot 1C$$

No es lo mismo que esta energía eléctrica se desarrolle en un tiempo de 1s (1 segundo), que en 10s.

Cuanto menor sea el tiempo en que se ha desarrollado la misma cantidad de energía, mayor será la potencia puesta en juego. Por lo dicho, se define Potencia Eléctrica como la cantidad de energía eléctrica desarrollada dividida por el tiempo en que ha sido desarrollada dicha energía; matemáticamente:

$$\text{Potencia Eléctrica} = \frac{\text{Trabajo Eléctrico}}{\text{tiempo}}$$

También:

$$P = \frac{T}{t} = \frac{V \cdot Q}{t} = V \cdot \left(\frac{Q}{t}\right)$$

En la fórmula anterior, lo que figura entre paréntesis (Q/t), es el cociente entre la carga eléctrica que circula y el tiempo durante el cual lo está haciendo, lo que simboliza a la corriente eléctrica I.

Si reemplazamos este concepto en la fórmula anterior nos queda:

$$P = V \cdot I \qquad (1)$$

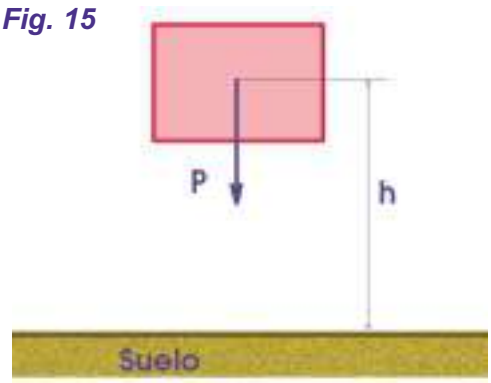
O sea que la potencia eléctrica es el producto de la tensión aplicada a un circuito multiplicada por la corriente que por él circula. En otras palabras, podemos decir que Potencia Eléctrica es la cantidad de trabajo que realiza una carga por unidad de tiempo o el trabajo que desarrolla una carga para vencer una diferencia de potencial.

La unidad de potencia eléctrica es el watt y se la designa con la letra W. Podemos decir que en una carga se desarrolla una potencia de 1W cuando se le aplica una tensión de 1V y que por ella circula una corriente de 1A, tal como muestra la figura 16.

En electrónica de potencia suele utilizarse un múltiplo del watt llamado kilowatt (kW), que representa 1.000W.

En cambio, para la mayoría de los circuitos electrónicos de pequeña señal, el watt resulta una unidad muy grande, razón por la cual se emplean submúltiplos como el miliwatt (mW), que corresponde a la

Fig. 15



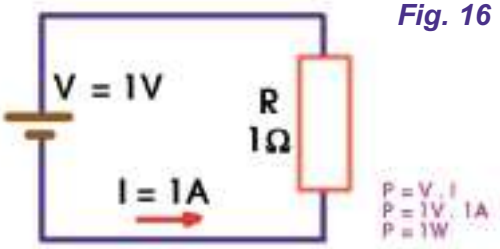


Fig. 16

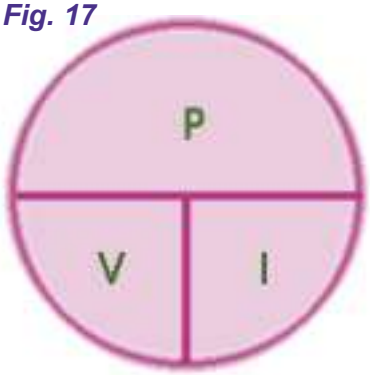


Fig. 17

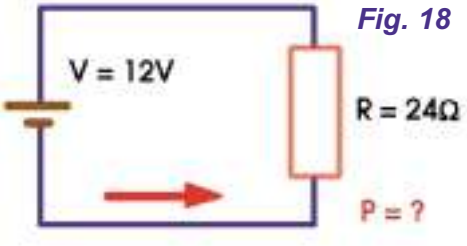


Fig. 18

milésima parte del watt, o el microwatt (µW), que representa a la millonésima parte del watt.

1kW = 1.000W
1mW = 0,001W
1µW = 0, 000001W

Suelen confundirse los conceptos de potencia y energía eléctrica, especialmente cuando se trata de mensurar el consumo eléctrico.

Por ejemplo, una carga de 100W consume una energía eléctrica de 100J por cada segundo de funcionamiento. De esta manera, luego de una hora (60s) habrá consumido una energía igual a:

E = P . t = 100W . 60s = 6.000J

Las compañías de electricidad facturan a los usuarios la energía consumida en un período, es decir, lo hacen en kilowatt-hora (kW-h) y no en joule. De todos modos, el kW-h es una unidad de energía y no de potencia, ya que la energía consumida es el producto de la potencia puesta en juego durante un tiempo determinado.

CÁLCULO DE LA POTENCIA

Para calcular la potencia eléctrica en cualquier circuito basta con multiplicar la tensión aplicada por la corriente que circula.

El mismo concepto es aplicable para cualquier parte constituyente de un circuito siempre que se conozcan las tensiones y corrientes correspondientes.

De la fórmula (1) puede obtenerse el valor de la tensión presente en un circuito, o parte de él, si se conocen la potencia y la corriente que circula. Despejando:

$$V = \frac{P}{I}$$

Puede calcularse la corriente en cualquier parte del circuito, cuando se conocen la potencia y la tensión aplicada. De la fórmula (1) se tiene:

$$I = \frac{P}{V}$$

En la figura 17 se ve el gráfico representativo de la Ley de Joule, que, al igual que lo que ocurre con la Ley de Ohm, permite calcular un parámetro cuando se conocen los otros dos.

APLICACIÓN DE LA LEY DE JOULE

Se desea calcular la potencia que consume el resistor de la figura 18, sabiendo que la tensión aplicada es de 12V y la resistencia tiene un valor de 24Ω.

Para resolver el problema primero calculamos la corriente que fluye por el circuito. Aplicando la ley de Ohm tenemos:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12V}{24\Omega} =$$

I = 0,5A

luego:

P = V . I = 12V . 0,5A = 6W

Si con una tensión de 12V aplicada a una carga, se desea obtener una potencia de 300mW,

¿Cuál debe ser la corriente que debe circular?.

Del diagrama de la figura 17, como queremos calcular I, la tapamos y nos queda:

$$I = \frac{P}{V}$$

Reemplazando valores, teniendo en cuenta que 300mW corresponden a 0,3W:

$$I = \frac{0{,}3W}{12V} = 0{,}025A$$

Luego, por el circuito deberá circular una corriente de 25mA (25mA = 0,025A). Si, para el mismo circuito, deseamos conocer ahora cuál es la tensión que se debe aplicar para obtener una potencia de 300mW cuando circula una corriente de 100mA, aplicando el diagrama de la figura 17 y reemplazando valores, podemos conocer el valor de dicha tensión:

$$V = \frac{P}{I} = \frac{300mW}{100mA} =$$

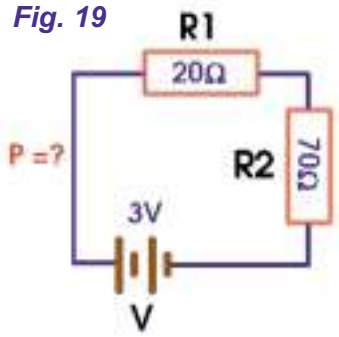
$$V = \frac{0{,}3W}{0{,}1A} = 3V$$

POTENCIA Y RESISTENCIA

Analizando el ejemplo que hemos dado anteriormente, podemos comprender que muchas veces nos vamos a encontrar con circuitos en los cuales se conoce la tensión aplicada y el valor de la resistencia. De esta manera, en primer lugar debemos encontrar el valor de la corriente que circula por dicho resistor para poder efectuar el cálculo de la potencia. Podemos evitar este paso sabiendo que en un resistor la corriente viene dada por:

$$I = \frac{V}{R}$$

Fig. 19



Luego, reemplazando el valor de la corriente en la fórmula de potencia, tenemos:

$$P = E \cdot \frac{E}{R}$$

De lo cual surge que:

$$P = \frac{E^2}{R}$$

Según lo visto, la potencia que disipa la carga del circuito de la figura 18 puede calcularse directamente, o sea:

$$P = \frac{E^2}{R} = \frac{12V^2}{24\Omega} = \frac{144V}{24\Omega} = 6W$$

Como podemos observar, se obtiene el mismo resultado si se aplica un cálculo directo.

Queremos conocer ahora cuál es la potencia que suministra la batería del circuito de la figura 19; para ello calculamos primero la resistencia total. Teniendo en cuenta que las resistencias están en serie:

$$R = R1 + R2 = 70\Omega + 20\Omega = 90\Omega$$

Luego, aplicando la fórmula de potencia para las tensiones, se obtiene:

$$P = \frac{E^2}{R} = \frac{3^2}{90\Omega}$$

$$P = \frac{9V}{90\Omega} = 0{,}1W = 100mW$$

Puede ocurrir que en un circuito, o parte de él, se conozca la corriente y el valor de la resistencia que posee la carga; luego, si se desea conocer la potencia que maneja dicha carga y sabiendo que $V = I \cdot R$, se tiene:

$$P = V \cdot I = (I \cdot R) \cdot I = I \cdot I \cdot R$$

$$\mathbf{P = I^2 \cdot R}$$

Se obtiene así una forma más directa para calcular la potencia de una carga cuando se conoce su valor de resistencia y la corriente que la atraviesa.

Capacitores

INTRODUCCCI N

La tentativa de almacenar electricidad en algún tipo de dispositivo es muy antigua. Se tiene constancia de que en 1745, simultáneamente, en la Catedral de Camin (Alemania) y en la Universidad de Leyden (Holanda), dos investigadores desarrollaron dispositivos cuya finalidad era almacenar electricidad o, como se decía entonces, "condensar" electricidad. La botella de Leyden, como se ve en la figura 1, fue el primer "condensador" y dio origen, por su principio de funcionamiento, a los modernos capacitores (o "condensadores" como todavía los denominan algunos) utilizados en aparatos electrónicos. La estructura de los componentes modernos es muy diferente de la que tenían los primeros, de 250 años atrás, pero el principio de funcionamiento es el mismo.

LA CAPACIDAD

Para entender cómo un conductor eléctrico puede almacenar electricidad, imaginemos la situación siguiente que puede ser el tema de una experiencia práctica:

Al cargar de electricidad un conductor esférico, verificamos que las cargas pueden comprimirse más o menos según el diámetro del conductor y también según la cantidad que pretendemos colocar en ese conductor.

Eso significa que esa compresión de las cargas almacenadas se manifiesta como potencial **V**. La carga **Q** en un conductor de radio **R** manifiesta un potencial **V**.

Si intentamos colocar más cargas en el cuerpo, éstas aumentan el grado de compresión y, por consiguiente, el potencial también debe aumentar. Se verifica que, independientemente del radio del conductor, en las condiciones indicadas existe una proporcionalidad directa entre las cargas que podemos almacenar y la tensión que se manifestará (figura 2).

Si el cuerpo tuviera un radio R y se carga con 0,01 coulomb (unidad de carga), manifestará 100 volt y el mismo cuerpo manifestará 200 volt si se carga con 0,02 coulomb. Podemos entonces definir una magnitud llamada "capacidad" como la relación entre la carga almacenada (Q) y la tensión a que se encuentra (V). Escribimos entonces:

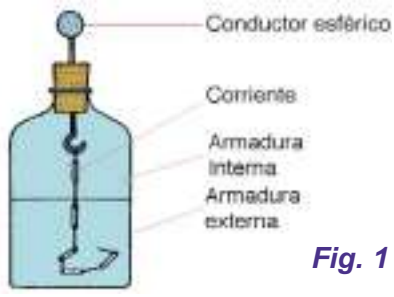


Fig. 1

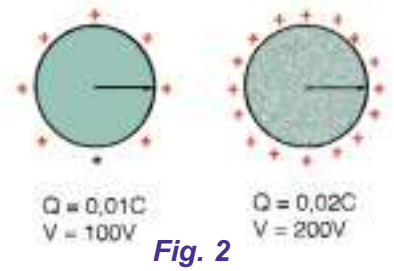


Fig. 2

$$\mathbf{C = Q/V} \qquad (1)$$

En estas condiciones, el conductor esférico funciona como "capacitor esférico".

La capacidad de almacenamiento de carga depende del radio del conductor, y este tipo de dispositivo no es de los más apropiados para los usos electrónicos, pero veremos más adelante cómo hacer algunos

Fig. 3

cálculos interesantes que lo tienen en cuenta. Nos interesa ahora la constancia de la relación Q/V que define la capacidad cuya unidad es el ***Farad*** (F). Un capacitor (no necesariamente esférico) tendrá una capacidad de 1 Farad si almacena la carga de 1 Coulomb y tiene 1 volt de tensión.

(Usamos la palabra tensión y no potencial pero el lector sabe que en este caso la diferencia no importa porque la unidad es la misma - Figura 3). En la práctica, una esfera con la capacidad de 1 Farad debiera ser enorme, de manera que los capacitores que usamos en los aparatos tienen capacidades que son submúltiplos del Farad.

Tres son los submúltiplos del Farad que más se usan:

- Microfarad (µF) que es la millonésima parte de 1 Farad o 0,000001 Farad que representado en forma exponencial es 10^{-6} Farad.

- Nanofarad (nF) que es la billonésima parte del 1 Farad o 0,000000001 Farad y 10^{-9} Farad en forma exponencial.

- El picofarad (pF) que es la trillonésima parte de 1 Farad o 0, 000000000001 Farad o 10^{-12} Farad.

Vea que de la relaciones indicadas se tiene que:

- 1 nanofarad equivale a 1.000 picofarad (1nf = 1.000pF)

1 microfarad equivale a 1.000 nanofarad (1µF = 1.000nF)

- 1 microfarad equivale a 1.000.000 picofarad (1µF = 1.000.000pF)

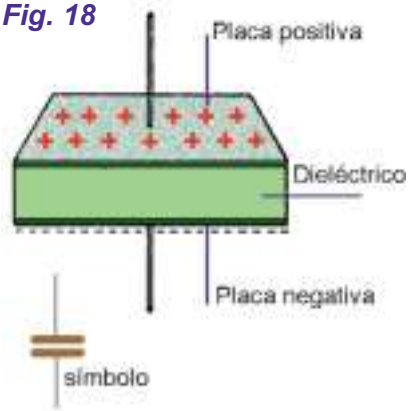
Acostúmbrese a convertir estas unidades, porque aparecen con mucha frecuencia en los trabajos de electrónica.

CAPACITORES PLANOS

Puede obtenerse una capacidad mucho mayor con una disposición adecuada de los elementos conductores. Con eso, una cantidad mucho mayor de cargas puede almacenarse en un volumen menor, dando así un componente de uso más práctico. Un capacitor básico de placas paralelas se ve en la figura 4.

Consiste de dos placas de material conductor separadas por material aislante denominado dieléctrico. El símbolo usado para representar este tipo de capacitor recuerda mucho su disposición real y se muestra en la misma figura. Hay capacitores con disposiciones diferentes, pero como la estructura básica se mantiene (un aislante entre dos conductores) el símbolo se mantiene por lo general con pocas modificaciones.

Fig. 18



Cuando conectamos la estructura indicada a un generador, como se ve en la figura 5, las cargas fluyen hacia las placas de manera que una se vuelva positiva y la otra negativa.

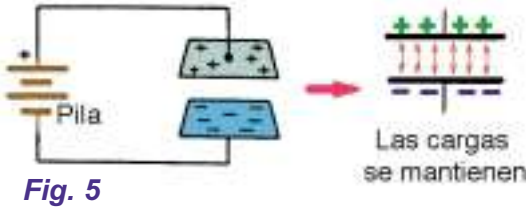


Fig. 5

Se dice que el capacitor tiene una placa (armadura) positiva y otra negativa.

Aun después de desconectar la batería, como se mantienen las cargas, por efecto de la atracción mutua, en las armaduras el capacitor, se dice que éste está "cargado".

Como la carga en Coulombs depende no sólo de la capacidad sino también de la tensión del generador, para calcularla es necesaria la relación:

C = Q/V

Es así que si un capacitor de 100µF (100×10^{-6}) se conecta a un generador de 100 volts, la carga será:

Q = CV (2)

$Q = 100 \times 100 \times 10^{-6}$

$Q = 10.000 \times 10^{-6}$

$Q = 104 \times 10^{-6}$

Q = 10-2 = 0,01 Coulomb

Para descargar un capacitor basta interconectar las armaduras mediante un alambre. Las cargas negativas (electrones) de la armadura negativa pueden fluir a la positiva neutralizando así sus cargas.

Vea qe no importa cuál es el capacitor pues la cantidad de cargas de una armadura es igual a la cantidad de cargas de la otra; sólo es diferente la polaridad.

En la descarga, la neutralización es total (Figura 6).

Para un capacitor plano como el indicado, la capacidad puede calcularse en función de las características físicas, a saber: superficie de las placas, distancia entre ellas y naturaleza del aislante.

Podemos aplicar la fórmula siguiente:

$$C = \varepsilon A/d \qquad (3)$$

donde:

C es la capacidad en Farad (F)

d es la distancia entre placas en metros

A es la superficie de las placas en metros cuadrados

ε es una constante que depende de la naturaleza del dieléctrico.

El valor depende del material considerado.

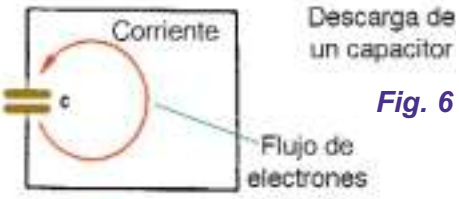
Ese valor puede calcularse mediante la fórmula:

$$\varepsilon = \varepsilon_o \cdot K \qquad (4)$$

donde:

ε_o es la pérmisividad del vació y vale $8{,}85 \times 10^{-12}$ F/m

K es la constante dieléctrica y depende del material usado.



Descarga de un capacitor

Fig. 6

LA ENERGÍA ALMACENADA EN UN CAPACITOR

Para obligar a una cierta cantidad de cargas a permanecer en un capacitor debemos gastar una cierta cantidad de energía. En realidad esa energía que se gasta para colocar las cargas en el capacitor queda disponible para usarla en el futuro, queda almacenada en el capacitor. Cuando descargamos un capacitor mediante un conductor que presenta cierta resistencia, como muestra la Figura 7, la energía que estaba contenida en el capacitor se disipa en forma de calor.

Puede imaginarse la carga del capacitor con el gráfico de la figura 8. Vea que a medida que va aumentando la cantidad de carga, debemos forzarlas cada vez más y eso implica una elevación de tensión.

El área de la figura hasta el punto en que dejamos de cargar el capacitor, representada por W en la figura corresponde a la energía almacenada en el capacitor. Podemos calcular la energía a partir de dos fórmulas:

$W = 0{,}5 \times Q \times V$ (5)

o

$\mathbf{W = 0{,}5 \times C \times V^2}$ **(6)**

Donde:

W es la energía de Joule (J)
Q es la carga en Coulomb (C)
C es la capacidad en Farad (F)
V es la tensión en Volt (V)

Podemos comparar un capacitor cargado a un resorte comprimido. Gastamos energía (potencial) para comprimir el resorte, éste "guarda" esa energía que luego puede usarse para poner en movimiento un mecanismo. Es claro que, según veremos, la cantidad de energía que puede almacenar un capacitor no es grande y entonces su utilidad como fuente de energía es muy restringida, pero este componente tiene otras propiedades que son de gran utilidad en electrónica.

LOS CAPACITORES EN LA PRÁCTICA

A diferencia de la botella de Leyden que nada tenía de práctica por sus dimensiones y propiedades, los capacitores modernos son compactos y eficientes, con volúmenes centenas de veces menores que la antigua botella de Leyden y capacidades miles de veces mayores.

Estos son los capacitores que encontramos en los aparatos eléctrónicos y que pueden variar muchísimo en forma y valor.

Estudiaremos en esta lección lo que sucede cuando conectamos varios capacitores entre sí y los distintos tipos de capacitores que encontramos en la práctica.

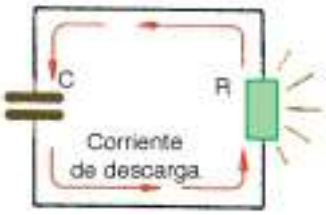


Fig. 7
La energía almacenada se disipa en calor

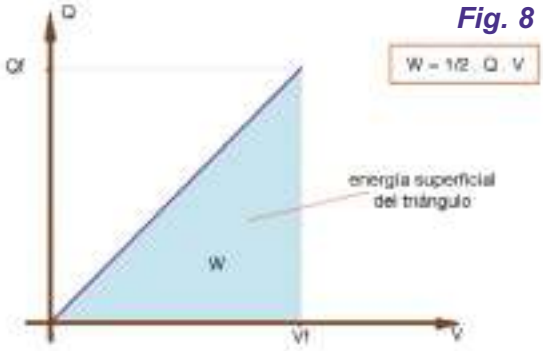


Fig. 8

ASOCIACIÓN DE CAPACITORES

Podemos obtener un efecto mayor o menor de almacenamiento de cargas, según se asocien distintos capacitores, del mismo modo que obtenemos efectos diferentes de resistencias al asociar resistores.

Los capacitores pueden conectarse en serie o en paralelo.

a) Asociación de capacitores en paralelo

Decimos que dos o más capacitores están asociados en paralelo cuando sus armaduras están conectadas de la manera siguiente: las armaduras positivas están conectadas entre sí para formar la armadura positiva equivalente al capacitor; las armaduras negativas están conectadas entre sí y forman la armadura negativa equivalente al capacitor, según muestra la figura 9. Vea el lector que en esas condiciones los capacitores quedan sometidos todos a la misma tensión (V) cuando se cargan. Las cargas dependen de las capacidades.

La capacidad equivalente en esta asociación está dada por la suma de las capacidades asociadas.

$\mathbf{C = C1 + C2 + C3 + ... + Cn}$ **(7)**

Se pueden deducir las siguientes propiedades de la asociación de capacitores en paralelo:

- Todos los capacitores quedan sometidos a la misma tensión.

- El mayor capacitor (el de mayor capacidad) es el que más se carga.

La capacidad equivalente es mayor que la capacidad del mayor capacitor asociado.

b) Asociación de capacitores en serie

En la asociación en serie de capacitores, éstos se conectan como se muestra en la figura 10.

La armadura positiva del primero pasa a ser la armadura positiva del equivalente; la negativa del primero se une a la positiva del segundo; la negativa del segundo da la positiva del tercero y así sucesivamente hasta que la negativa del último queda como la armadura negativa del capacitor equivalente.

Vea que si conectamos de esta manera un conjunto cualquiera de capacitores (aun de valores totalmente diferentes) ocurre un proceso de inducción de cargas, de modo que todas las armaduras queden con las mismas cantidades (figura 11). Según el valor del capacitor (capacidad) la tensión hallada tendrá valores diferentes.

Puede darse la fórmula:

$C1 = Q/V1;\ C2 = Q/V2;\ C3 = Q/V3...$

$\mathbf{Cn = Q/Vn}$

Como la suma de las tensiones de estos capacitores asociados debe ser

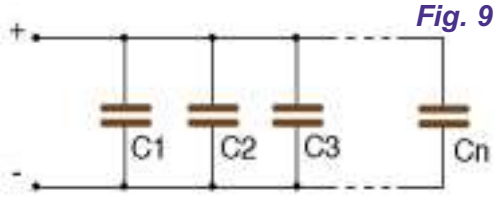
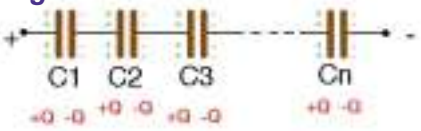


Fig. 9

Fig. 10

Fig. 11



la tensión en las armaduras del capacitor equivalente; podemos escribir:

$$V = V1 + V2 + V3 + ... + Vn$$

Reemplazando el valor de V en cada una de las expresiones de capacidad:

$$V = Q/C1 + Q/C2 + Q/C3 + ... + Q/Cn$$

Sacando Q como factor común:

$$V = Q\ (1/C1 + 1/C2 + ... + 1/Cn)$$

Dividiendo por Q ambos miembros de la igualdad, tenemos:

$$V/Q = 1/C1 + 1/C2 = + 1/C3$$
$$V/Q = 1/C1 + 1/C2 + 1/C3 + ... + 1/Cn$$

Pero:

V/Q es 1/C

Luego:

$$1/C = 1/C1 + 1/C2 + 1/C3 + ... + 1/Cn \quad (8)$$

De esta fórmula podemos deducir las siguientes propiedades de la asociación en serie de capacitores:

-Todos los capacitores quedan con la misma carga.

- El menor capacitor queda sometido a la mayor tensión.

- La capacidad equivalente es menor que la capacidad del menor capacitor asociado.

- Todos los capacitores se cargan y descargan al mismo tiempo.

Conclusi n

Dos casos particulares son interesantes en las asociaciones en serie y en paralelo de capacitores.

Cuando los capacitores son iguales, la asociación puede tener la capacidad equivalente calculada con más facilidad por las fórmulas siguientes:

a) Serie: C = C1/n

donde

C es la capacidad equivalente.

C1 es el valor de cada uno de los capacitores asociados.

n es el número de capacitores.

b) Paralelo: C = n x C1

donde

C, C1 y n son los del caso anterior.

CAPACITORES DE PAPEL Y ACEITE

En muchos aparatos antiguos, principalmente en radios y televisores de válvulas, pueden encontrarse con el aspecto que se ve en la figura 12. Son capacitores tubulares de papel o aceite (el tipo viene marcado normalmente en el componente). Para fabricar estos capacitores se enrollan alternadamente dos hojas de aluminio que forman el dieléctrico y se coloca entre ellas un aislante que puede ser una tira de papel seco (en el tipo de papel) o de papel embebido en aceite (en el caso de los capacitores de aceite). Esos capacitores, así como los otros, presentan dos especificaciones:

a) La capacidad que se expresa en microfarads (µF), nanofarads (nF) y picofarad (pF) y que puede variar entre 100pF (o,1nf) hasta 1µF.

b) La tensión de trabajo que es la tensión máxima que puede aplicarse entre armaduras sin peligro de que se rompa el dieléctrico. Esta tensión varía, en los tipos comunes, entre 200 y 1.000 volt.

Los capacitores de papel y aceite pueden tener hasta una tolerancia de 10% a 20% y presentan las siguientes características principales:

- Son relativamente chicos en relación a su capacidad.

- Tienen buena aislación a tensiones altas.

- Pueden obtenerse en una banda buena de altas tensiones.

- Su gama de valores es apropiada para la mayoría de las aplicaciones electrónicas.

Vea que la aislación es un problema que merece estudiarse en detalle:

El problema de la aislaci n

Ningún dieléctrico es perfecto. No existe un aislante perfecto, lo que significa que ningún capacitor puede mantener indefinidamente la carga de sus armaduras. Una resistencia, por grande que sea, deja pasar una cierta corriente y una corriente es un flujo de cargas que acaba por descargar el capacitor. Un capacitor que tenga una resistencia por debajo de los límites tolerados en las aplicaciones prácticas se dice que tiene una ***"fuga".***

Volviendo a los capacitores de papel y aceite, éstos se usan en los circuitos de bajas frecuencias y corrientes continuas.

CAPACITORES DE POLI STER Y POLICARBONATO

El poliéster y el policarbonato son termoplásticos que presentan excelentes propiedades aislantes y buena constante dieléctrica, por lo que sirven para la fabricación de capacitores. En la figura 13 tenemos algunos tipos de capacitores hechos con esos materiales y que pueden ser planos o tubulares.

En el tipo plano, las armaduras se depositan en las caras de una película de dieléctrico, entonces se obtiene una estructura que recuerda la asociación de muchas capas de capacitores planos. En la disposición tubular, un filme de poliéster o de policarbonato tiene en sus caras depositada una fina capa de conductor (aluminio) que hace las veces de dieléctrico. Las especificaciones fundamentales de estos capacitores son:

a) Gama de capacidades comprendida entre 1nF y 2,2µF o más.

b) Banda de tensiones de trabajo entre 100 y 600 volt.

c) Tolerancia de 5%, 10% y 20%.

Otras características de interés son:

- Buena gama de valores en dimensiones reducidas del elemento en relación a la capacidad.

- Gama de tensiones elevadas.

- aislación muy buena, común-

Fig. 12

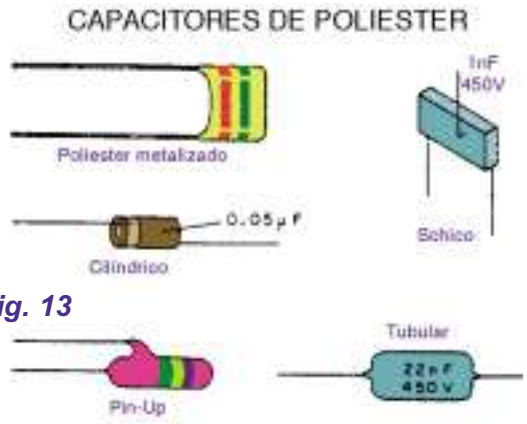


Fig. 13

mente por arriba de 20.000MΩ.

- Banda de tolerancias según las aplicaciones prácticas en electrónica.

Los capacitores de poliéster y policarbonato pueden usarse en circuitos de bajas frecuencias, corrientes continuas y aplicaciones generales.

CAPACITORES DE POLIESTIRENO

El poliestireno también es un termoplástico que tiene excelentes propiedades aislantes, que puede aparecer con nombres diversos según el fabricante, como: STYRON, LUSTREX, REXOLITE, POLYPENCO.

En la figura 14 vemos el aspecto de estos capacitores.

Estos capacitores pueden tener estructura plana o tubular. Las especificaciones básicas son:

a) Capacidad entre 10pF y 10nF.

b) Tensiones entre 30 y 500 volt.

c) Tolerancias entre 2,5% y 10%.

Otras características importantes de estos capacitores son:

- Tamaño reducido en relación a la capacidad.

- Buena estabilidad térmica.

- Tensiones de trabajo altas.

- Tolerancia baja (2,5%).

- Aislación muy alta: normalmente por arriba de 100.000 MΩ.

- Adecuados para operar en circuitos de altas frecuencias.

Estos capacitores son especialmente indicados para los circuitos de RF (radiofrecuencia) y aplicaciones que exijan alta estabilidad.

CAPACITORES CER MICOS

La cerámica presenta excelentes propiedades dieléctricas, pero no puede enrollarse ni doblarse como los aislantes plásticos. Pero aun así tenemos una buena variedad de capacitores cerámicos, como se ve en la figura 15.

Las especificaciones de estos capacitores son las siguientes:

a) capacidades en la gama de 0,5pF hasta 470nF,

b) banda de tensiones de operación desde 3V hasta 3.000V o más,

c) tolerancias entre 1% y 5,0%.

Otras características de importancia son:

- Relativamente chicos en relación a la capacidad.

- Banda relativamente amplia detenciones de trabajo.

- Son adecuados para operar en circuitos de altas frecuencias.

- Banda de tolerancia buena para aplicaciones que exigen precisión.

Estos capacitores son de los más utilizados en las aplicaciones prácticas de electrónica y se los encuentra en los circuitos de altas frecuencias, audio y también de corriente continua.

CAPACITORES ELECTROLÓTICOS

Los capacitores electrolíticos o electrolíticos de aluminio son, de todos, los que tienen una técnica de construcción muy diferente y es por eso que se los encuentra en una gama de valores muy determinada. En la figura 16 tenemos la construcción interna típica de un electrolítico de aluminio con fines didácticos.

En contacto con una sustancia electrolítica, el aluminio es atacado y se forma en su superficie una película aislante. Este material presenta una constante dieléctrica muy alta, pero su espesor es de sólo milésimos de milímetro, lo que garantiza la obtención de capacidades muy elevadas.

Los electrolíticos tienen una característica más en relación a los otros capacitores: la armadura positiva debe cargarse siempre con cargas de ese signo. Si hubiera inversión de las armaduras, podría destruirse la película dieléctrica y quedar inutilizado el capacitor.

Las principales características son:

a) Capacidades en la gama de 1µF a 220.000µF.

b) Tensiones de trabajo entre 12 y 1.000V.

c) Tolerancia entre -20% y +50% comúnmente.

En la figura 17 vemos algunos tipos comunes de capacitores electrolíticos, obsérvese su polaridad. Otras características importantes de estos capacitores son:

- Tamaño pequeño en relación a la capacidad alta.

- Banda de capacidades que llega a valores muy altos.

- La corriente de fuga es relativamente alta o sea que la aislación no es excelente.

- Son polarizados (debe respetarse

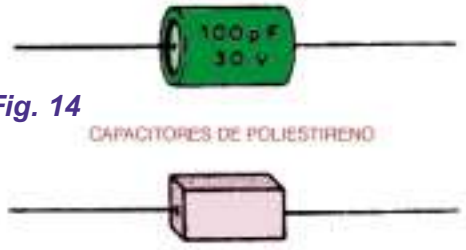


Fig. 14

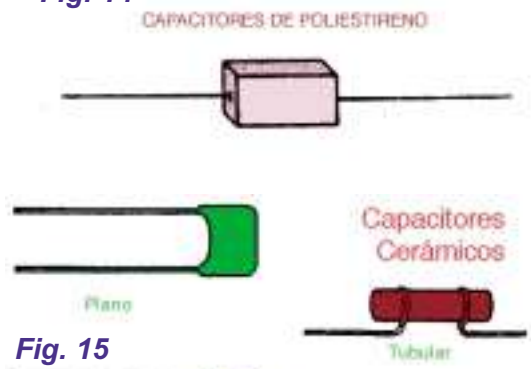


Fig. 15

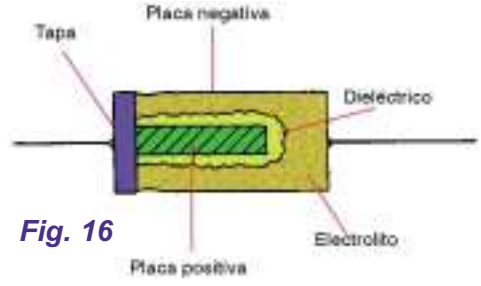


Fig. 16

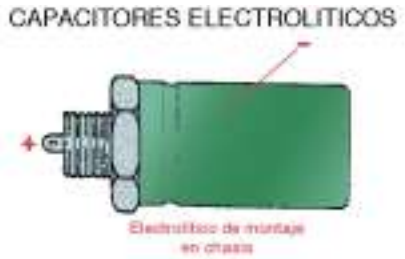
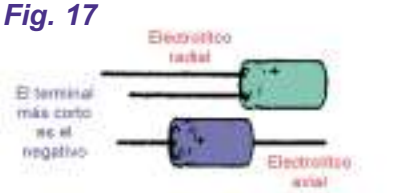


Fig. 17



la polaridad de la placa o armadura).

- La capacidad aumenta a medida que el capacitor envejece.

- Tiene una duración limitada.

- La capacidad varía ligeramente con la tensión.

Los capacitores electrolíticos no se usan en circuitos de altas frecuencias; se usan en circuitos de frecuencias bajas, uso general y corriente continua.

CAPACITORES VARIABLES Y AJUSTABLES

En determinadas aplicaciones, necesitamos disponer de capacitores cuya capacidad pueda ser alterada en una cierta franja de valores, por motivos diversos. Podemos dar el ejemplo de un proyecto en el que el funcionamiento, por ser crítico, no nos permite establecer con exactitud cuál es la capacidad que necesitamos para llevar el circuito al comportamiento deseado. Podemos calcular con cierta aproximación el valor de esta capacidad y después ajustar su valor para tener el comportamiento deseado. En este caso precisamos un capacitor ajustable o regulable. Otra aplicación es el caso en que durante el funcionamiento del aparato debemos cambiar la capacidad de un capacitor para que cambie el comportamiento según nuestras necesidades. Es el caso en el que debemos usar un capacitor variable, como en la sintonía de un aparato de radio para cambiar de estación en el momento querido. Separamos entonces los capacitores que pueden cambiar de valor según nuestra voluntad en 2 grupos.

a) Los capacitores regulables, en los que prácticamente sólo alteramos la capacidad una vez, para llegar al punto deseado de funcionamiento y dejarlo después de esta manera, indefinidamente.

b) Los capacitores variables en los que alteramos continuamente la capacidad, siempre que deseamos alterar el funcionamiento del circuito.

Capacitores regulables

Tal como estudiamos, la capacidad presentada por un capacitor depende de algunos factores.

a) Tamaño de las placas (área).

b) Separación entre las placas.

c) Existencia o no de un material entre las placas (dieléctrico). Vea la figura 18.

Podemos variar la capacidad de un capacitor si alteramos cualquiera de esos factores, pero por cierto existen algunos en los que esa tarea resulta más fácil. En el caso de los capacitores ajustables o regulables, podemos variar la capacidad para modificar dos de esos factores, según el tipo de componente. El tipo más común de capacitor ajustable es el "trimmer" de base de porcelana, que tiene la construcción que se muestra en la figura 19. En este "trimmer" tenemos una base de porcelana en la que están montadas dos placas (armaduras), una de las cuales es fija y la otra móvil. El dieléctrico es una fina hoja de plástico o mica, colocada entre las armaduras.

Un tornillo permite el movimiento de la armadura móvil, para que se aproxime o aleje de la armadura fija.

Con la aproximación (menor distancia) tenemos una capacidad mayor y con el alejamiento (distancia mayor) tenemos una capacidad menor, estos capacitores permiten variaciones de capacidad en una proporción de 10:1. Es común tener un capacitor de este tipo en que la capacidad mínima obtenida es de 2pF y la máxima de 20pF, al pasar de la posición del tornillo totalmente flojo (desatornillado - alejamiento máximo) a la de fuertemente apretado (alejamiento mínimo). Los trimmers resultan especificados por la banda de capacidades en que se encuentran. Un trimmer 2-20pF es un trimmer en el que podemos variar la capacidad entre esos dos valores. Un problema que hay que analizar en este tipo de capacitor es que el ajuste excesivo del tornillo o también problemas mecánicos, no permiten una precisión de ajuste muy grande, lo que lleva a que se usen en casos menos críticos. Para los casos más críticos existen trimmers de precisión.

D nde usar los trimmers

Existen casos en los que necesitamos regular el punto de funcionamiento de un circuito después de haberlo montado, sin que sea posible establecer la capacidad exacta que debemos usar, con antelación, como para poder usar un capacitor fijo. Normalmente los trimmers aparecen en los circuitos que operan en frecuencias elevadas, como receptores y transmisores, en los que es preciso hacer un ajuste del punto de funcionamiento de circuitos que determinan la frecuencia de operación. Encontramos los trimmers en los siguientes tipos de aparato:

Radio, Transceptores, Transmisores, Generadores de señales, Osciladores de alta frecuencia

Tensi n de trabajo

Del mismo modo que los capacitores fijos, los trimmers también tienen limitaciones en relación a la tensión máxima que puede existir entre sus armaduras. Tensiones mayores que las especificadas por los fabricantes pue-

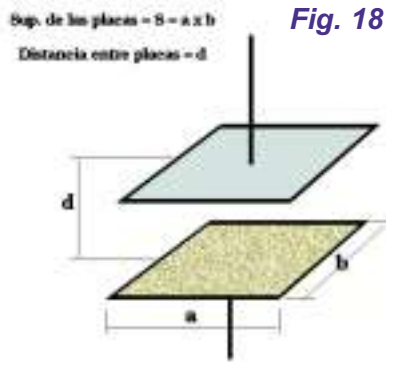


Fig. 18

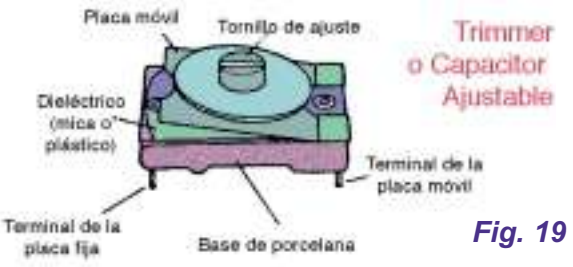


Fig. 19

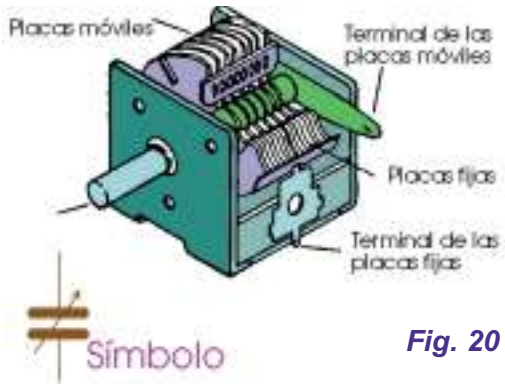


Fig. 20

den causar la ruptura del material usado como dieléctrico y así inutilizar el componente.

Capacitores variables

El principio de funcionamiento de los capacitores variables es el mismo que el de los trimmers. La diferencia está en el hecho de tener un acceso más fácil al conjunto de placas móviles de modo que alteramos la capacidad en cualquier momento. En la figura 20 tenemos un capacitor variable común, del tipo denominado "con dieléctrico de aire", pues ningún aislante especial existe entre las placas del conjunto móvil y fijo.

El conjunto de placas móviles se acciona mediane un eje, para penetrar en el conjunto de placas fijas en forma recta.

A medida que el conjunto de placas penetra en la parte fija, aumenta la superficie efectiva y con eso la capacidad presentada por el componente. Con el capacitor abierto, es decir, las placas móviles fuera de las placas fijas, el capacitor tiene una capacidad mínima. Con el capacitor cerrado, tenemos la capacidad máxima.

Las dimensiones de las placas fijas y móviles, además de su cantidad y separación, determinan la variación de capacidad que se puede obtener: teóricamente, la variación debiera estar entre 0 y un cierto valor máximo dado por la cantidad de placas y otros factores. Y con las placas todas abiertas (armadura móvil) todavía con un efecto residual se manifiesta una cierta capacidad.

Esta capacidad se denomina residual y está especificada en los manuales de los fabricantes.

Banda de valores

Básicamente, los capacitores variables se encuentran en dos franjas de valores determinadas por las aplicaciones más comunes. Tenemos las variables de mayor capacidad que pueden tener valores máximos entre 150pF y 410pF y que se usan en radios de ondas medias y cortas, o transmisores para la misma banda. En ellos, tenemos conjuntos de 10 a 20 placas que forman las armaduras. Para la banda de FM los variables son de capacidad mucho menor, normalmente con máximos inferiores a 50pF, éstos están formados por un número mucho menor de placas.

Por qué aparecieron los *Transistores*

El transistor es el elemento más importante de los dispositivos semiconductores, pues es el "ladrillo" con el que se construye el edificio de la tecnología electrónica moderna.

COMIENZA LA REVOLUCI N DIGITAL

Intel es la empresa que fabricó por primera vez un microprocesador, una pastilla de circuito integrado que contiene todos los elementos necesarios para realizar los complejos cálculos numéricos y lógicos que se ejecutan en una computadora. Nos referimos al ya legendario 4004, un microprocesador con apenas 2.300 transistores, pero con la misma capacidad de cómputo que la ENIAC, la primera computadora (1947), la cual contenía unas 18 mil válvulas, ocupaba una habitación entera para albergar sus gigantescas proporciones y pesaba 30 toneladas. Pero los microprocesadores no son sino un eco o resultado de otro invento sobre el que en última instancia se fundamenta la revolución digital: el transistor.

Hace más de 50 años, el 23 de diciembre de 1947, científicos de los Laboratorios Bell demostraron que un dispositivo construido con base en materiales sólidos, podía comportarse de forma prácticamente idéntica a las válvulas de vacío, pero sin sus inconvenientes.

Por su descubrimiento, ***William Shockley, John Bardeen y Walter Brattain*** fueron acreedores al Premio Nobel de Física en 1956.

EN EL PRINCIPIO FUE LA V LVULA DE VACOEO

El transistor desplazó a otro gran dispositivo, en el que descansó por décadas la incipiente tecnología electrónica: la válvula triodo, inventada en 1906 por ***Lee De Forest***, quien a su vez se apoyó en la válvula diodo, inventada en 1905 por John A. Fleming, que se basó en un fenómeno (el efecto Edison) descubierto por Tomas A. Edison durante las investigaciones que lo llevaron a inventar la bombilla incandescente.

Lee de Forest encontró que una rejilla de alambre electrificada originaba un flujo de electrones cuando se la colocaba dentro de un tubo o válvula de vacío.

Dicho flujo podía ser controlado de distintas maneras: se le podía interrumpir, reducir o incluso detener por completo; así por ejemplo, una muy baja corriente de electrones en la entrada del tubo llegaba a ser amplificada por éste, a fin de producir una intensa corriente en la salida, por lo que este dispositivo fue utilizado en televisores, radios y en cualquier otro equipo electrónico en el que se requiriera aumentar el nivel de una señal de entrada.

Con todo este potencial en el control de la electricidad, el hombre pudo manejar señales electrónicas y así surgieron y se desarrollaron nuevas formas de comunicación como la radio y la televisión, y nuevos avances tecnológicos, como el radar y las primeras computadoras.

SURGE EL TRANSISTOR

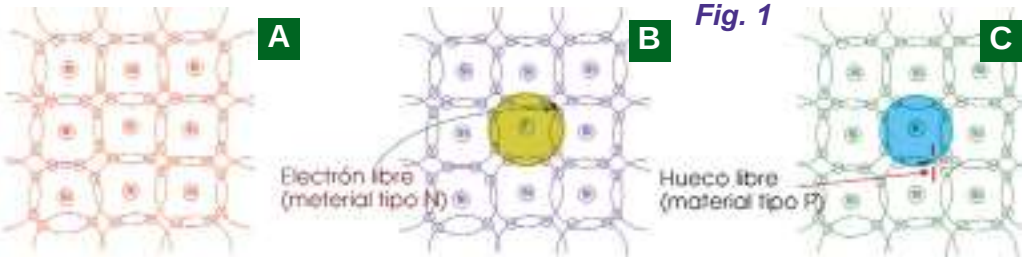


Fig. 1

El primer transistor fue construido en una base plástica en forma de C, en la cual se montaron dos piezas de un elemento por entonces no muy conocido, el germanio, sostenidas por un resorte elaborado a último momento con un clip de oficina. De los terminales de esta estructura salían delgados hilos de oro, que hacían las veces de conectores para la entrada y salida de señales. Con este dispositivo los investigadores pudieron amplificar señales de igual forma como lo hubieran hecho con una válvula triodo; y no había necesidad de una envoltura de cristal al vacío, de filamentos incandescentes o de elevadas tensiones de operación.

En efecto, el transistor (llamado así debido a que transfiere la señal eléctrica a través de un resistor) pudo realizar las mismas funciones del tubo al vacío, pero con notorias ventajas: no sólo sustituyó el complejo y delicado tubo por un sencillo montaje que consiste básicamente en un conjunto de finos alambres ***bigotes de gato ,*** acoplado en un pequeño cristal semiconductor, sino que hizo innecesaria la condición de vacío. Además, no requería de previo calentamiento para empezar a funcionar, ni de un gran volumen para su encapsulado; su estructura fija hacía de él un dispositivo más confiable y duradero; y su consumo de energía era insignificante.

La conducción de electricidad en un sólido depende del grado de libertad de sus electrones.

Los conductores son materiales que poseen uno o dos electrones en la capa externa de los átomos que lo forman.

Los llamados "aislantes" son elementos que, como en el caso del azufre, por tener sus electrones contenidos en estrechos enlaces con los núcleos y con otros átomos, no conducen electricidad.

Pero existe un tercer tipo de materiales que no se comporta ni como conductores ni como aislantes puros: los semiconductores; esporádicamente, éstos proporcionan un electrón libre o un espacio hueco para permitir la conducción de la corriente. Entre los semiconductores más comunes pueden mencionarse el silicio y el germanio, que tienen aproximadamente un electrón libre por cada mil átomos; esto contrasta con el cobre, que suministra un electrón por cada átomo.

Una investigación específica sobre las propiedades eléctricas de los semiconductores, fue lo que condujo al desarrollo del transistor. Con el propósito de apreciar el comportamiento eléctrico de una de estas sustancias, veamos la figura 1A.

Podemos observar un cristal de germanio (o silicio) que tiene en su capa externa cuatro electrones, llamados "electrones de valencia", que en conjunto enlazan a los átomos. Precisamente, como todos los electrones se encuentran ocupados en unir a los átomos, no están disponibles para generar electricidad.

Supongamos que alguna impureza con cinco electrones en la órbita de valencia entra al cristal (fósforo). Esto provoca que cuatro de los electrones formen enlaces con los átomos de germanio, pero el quinto queda libre para conducir la corriente (figura 1B). Otro caso similar muy interesante, es el del átomo de boro introducido en el cristal de germanio (figura 1C). El átomo de boro es una impureza con tres electrones de valencia.

Aquí, uno de los puntos necesarios para la unión con los átomos de germanio está ausente; se crea entonces un estado de desequilibrio, donde alguno de los átomos de la estructura tan sólo cuenta con siete electrones, lo que deja un espacio libre que puede ser llenado con un electrón viajero. Por consecuencia, la falta de un electrón (a la que se considera una entidad física y se le denomina "hueco") posee todas las propiedades de esta partícula; es decir, tiene masa y carga; aunque, como está ausente, su carga es positiva en vez de negativa.

De acuerdo con este comportamiento, se pudo establecer que un cristal semiconductor es capaz de conducir electricidad cuando se da la presencia de impurezas. Con base en ello, fue diseñado un método de control de electrones o huecos en un cristal, que los científicos de los laboratorios Bell consideraron en el invento del transistor. Dependiendo del tipo de impurezas introducidas en el cristal, existen dos tipos de material: el material ***tipo N*** o negativo y el material ***tipo P*** o positivo. Estos materiales se combinan entre sí para construir diversos tipos de dispositivos, el más común de todos ellos es el transistor bipolar, cuya operación explicaremos a continuación.

PRINCIPIO DE OPERACI N DE UN TRANSISTOR

A los transistores con las características citadas se les denomina "bipolares" y su estructura interna es como se muestra en la figura 2A. Note que se forma con tres capas alternadas de material semiconductor: una N, otra P y finalmente otra N (es por ello que se les llama NPN). Observe también que al terminal conectado en la parte superior del dispositivo se le denomina "colector", a la capa intermedia "base" y a la inferior "emisor". Veamos cómo funciona el conjunto.

En primer lugar, para que un transistor funcione tiene que estar polarizado en cierta forma; en el caso que nos ocupa (transistor NPN), esta polarización implica un voltaje positivo aplicado entre colector y emisor y una alimentación positiva de pequeña magnitud entre base y emisor (figura 2B). Cuando esto sucede y la polarización de base es inferior a la tensión de ruptura del diodo formado entre base y emisor, la tensión entre colector y emisor forma un campo eléctrico considerable en el interior del dispositivo; pero como se enfrenta a una estructura semejante a un diodo invertido, no puede haber un flujo de corriente entre el colector y el

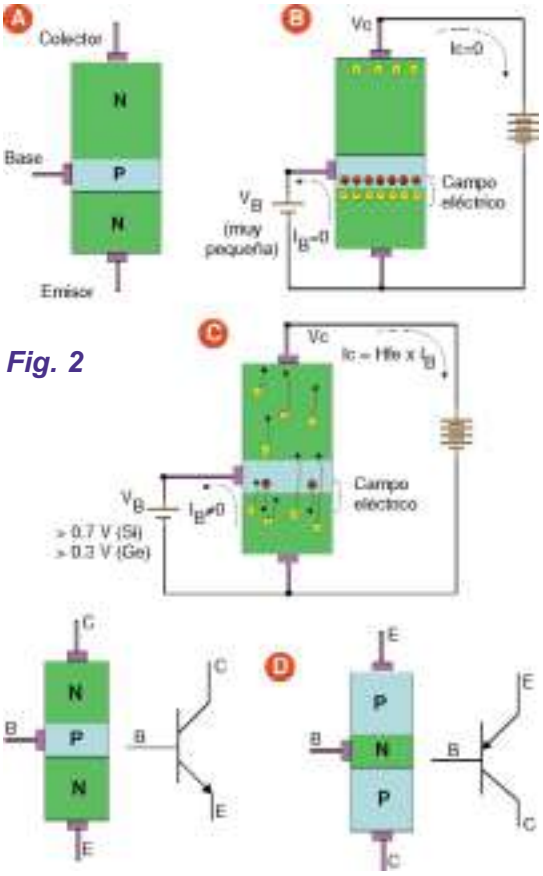


Fig. 2

emisor. Sin embargo, se tiene una condición tal de excitación de los electrones y huecos en el dispositivo, que bastaría con cualquier impulso externo para que el conjunto entrara en conducción.

Este impulso proviene justamente de la corriente aplicada en la base, misma que se dispara al momento en que la tensión aplicada en la base supera el punto de ruptura antes mencionado; entonces, la corriente que circula entre base y emisor provoca una avalancha de electrones entre colector y emisor. Pero esta avalancha no es desordenada, sino que depende muy estrechamente de la cantidad de electrones que circulen a través de la base (figura 2C); de hecho, una de las características principales de un transistor es un ***factor de ganancia de corriente***, el cual indica cuántas veces será amplificada la corriente de la base en el colector. A los fines prácticos, esto significa que el transistor amplifica por un factor Hfe la corriente de su entrada.

La estructura NPN no es la única que se ha desarrollado, sino que también existen transistores con una ***l gica negativa***; esto es, formados por capas alternas de material P, N y P. El comportamiento de tales dispositivos resulta prácticamente idéntico al anterior, sólo varía el sentido de las tensiones de polarización aplicadas en los terminales. Vea en la figura 4D la simbología con que se identifica a los transistores bipolares tipo NPN y PNP.

TRANSISTORES CONTENIDOS EN OBLEAS DE SILICIO

Ya desde fines de los 50 se advertía que la miniaturización de los transistores podía alcanzar niveles extraordinarios. Precisamente, en 1958 en los laboratorios ***Fairchild*** por primera vez se logró algo que parecía imposible: en la superficie de un bloque de silicio se grabaron varios dispositivos a la vez, conectados entre sí para realizar un trabajo en conjunto, y se introdujo este cristal semiconductor en un encapsulado único, de tal manera que se podía manejar como un bloque funcional. Fue así como nacieron los circuitos integrados, siguiente paso en la evolución de la tecnología electrónica.

Más adelante, las técnicas de fabricación de cristales de silicio mejoraron, la producción de máscaras de grabado se depuró y se desarrollaron nuevos e ingeniosos métodos para el dopado de los materiales semiconductores.

Fue posible, entonces, fabricar circuitos integrados mediante un proceso de fotograbado, en el que se tiene una delgada oblea de silicio sobre la cual se proyectan las sombras de unas máscaras donde vienen grabadas las delgadas pistas que posteriormente se convertirán en las terminales de los transistores.

Utilizando métodos fotoquímicos se aprovechan las sombras para ***sembrar*** impurezas en el sustrato semiconductor, y al ir apilando capas alternativas de cristales tipo N y tipo P, finalmente se obtiene una amplia variedad de dispositivos, que pueden ir desde diodos hasta transistores de efecto de campo. Gracias a ello, el transistor pudo ser reducido hasta alcanzar la dimensión de unas cuantas micras, es decir, una milésima de milímetro.

Cabe hacer la aclaración de que, para que estos circuitos sean capaces de realizar cálculos matemáticos complejos en fracciones de segundo, se aprovecha una característica muy especial de los transistores: su capacidad de funcionar como llaves o interruptores de corriente o tensión; esto es, un transistor puede presentar dos estados básicos: uno de conducción y otro de no conducción. A esta aplicación de los transistores se le denomina ***electr nica digital***.

SURGEN LOS MICROPROCESADORES

Intel es la empresa pionera en la fabricación de microprocesadores. Fue fundada en 1968 por Gordon E. Moore, Andrew Grove y Ted Hoff, quienes previamente habían trabajado para IBM y/o Fairchild y, por lo tanto, tenían experiencia en la fabricación en serie de circuitos integrados, lo que les permitió manufacturar los primeros *chips* de memoria RAM. En 1970, una firma japonesa fabricante de calculadoras electrónicas (Busicom) los contactó para que desarrollaran trece nuevos circuitos integrados que serían el corazón de su nueva línea de modelos.

Enfrentados a este compromiso, los ingenieros de Intel advirtieron que no tendrían el tiempo suficiente para desarrollar los trece circuitos individuales; pero a dos de sus fundadores e investigadores más brillantes (Ted Hoff y Gordon E. Moore), se les ocurrió la idea de crear un núcleo común que sirviera a los trece modelos por igual; y los pequeños cambios que atendieran a las particularidades de cada modelo se grabarían en una memoria ROM independiente, en forma de un programa de instrucciones.

Este circuito de propósito general fue el primer microprocesador de la historia; mas los derechos de comercialización no pertenecían a Intel, pues todo el diseño se había hecho por encargo de Busicom. Sin embargo, la fortuna le fue favorable a Intel, ya que en poco tiempo Busicom se vio en serias dificultades financieras y

le vendió los derechos de explotación comercial del circuito que había salido de sus laboratorios. Surge así, en 1971, el primer microprocesador de venta al público: el Intel 4004, un dispositivo que podía manejar palabras de 4 bits de longitud y que estaba construido a partir de un circuito integrado de 2.300 transistores.

Agrupar millones de transistores bipolares en un pequeño bloque de silicio que apenas rebasa el área de una uña, requirió de profundas investigaciones en el ámbito de los semiconductores.

FAMILIAS MOS Y MOSFET

Los transistores que se utilizan en la construcción de circuitos integrados extremadamente complejos, como microprocesadores o bloques de memoria, son del tipo semiconductor metal óxido o MOS (figura 3). Estos transistores tienen dos regiones principales: la fuente (*source*) y el drenado (*drain*); como en este último hay electrones en abundancia, se dice que los transistores son también del tipo N. Entre la fuente y el drenado se encuentra una región del tipo P en la que faltan muchos electrones; como ya se dijo, a estas regiones se les llama "huecos".

En su parte superior, el sustrato de silicio tiene una capa de dióxido de silicio aislante; a su vez, la parte superior es un metal que corresponde a la compuerta (*gate*). Precisamente, de la anterior combinación de un metal con un óxido se deriva el nombre de ***semiconductor metal xido .*** Cuando un voltaje positivo es aplicado en la compuerta de metal, se produce un campo eléctrico que penetra a través del aislante hasta el sustrato. Este campo atrae electrones hacia la superficie del sustrato, justo debajo del aislante, que permite que la corriente fluya entre la fuente y el drenado. Dependiendo de la magnitud de la tensión aplicada en la compuerta, menor o mayor será el "canal" conductor que se abra entre drenaje y fuente, de modo que tendremos un comportamiento idéntico al de un transistor tradicional, pero con la diferencia de que ahora la corriente de salida es controlada por voltaje, no por corriente.

La estructura tan sencilla de este tipo de transistores permitió fabricar, mediante avanzadas técnicas fotoquímicas y el uso de dispositivos ópticos muy sofisticados, transistores de dimensiones francamente inconcebibles. En el mundo de los microprocesadores circula casi como un acto de fe, un principio que hasta la fecha se ha cumplido casi puntualmente: la ley de Moore, según la cual cada aproximadamente 18 meses los circuitos integrados duplican la cantidad de transistores que utilizan, al tiempo que también multiplican por 2 su potencia de cómputo.

TRANSISTORES DE ALTAS POTENCIAS

Otra vertiente en el desarrollo de los transistores, paralela a la miniaturización, ha sido el manejo y control de grandes magnitudes de energía. Para ello, se diseñaron transistores y, en general, semiconductores de switcheo que son capaces de manejar elevadas potencias.

Los transistores de este nuevo tipo, llamados ***transistores bipolares*** de compuerta aislada" (IGBT), son del tamaño de una estampilla postal y pueden agruparse para manejar incluso 1.000 ampere de corriente en rangos de hasta varios miles de volts. Lo más importante, sin embargo, es que los dispositivos ***IGBT s*** pueden conmutar esas corrientes con una gran velocidad.

FUTURO DEL TRANSISTOR

Los transistores se han producido en tales cantidades hasta la fecha, que resultan muy pequeños y baratos; a pesar de ello, son varias las limitaciones físicas que han tenido que superarse para que el tamaño de estos dispositivos continúe reduciéndose.

Asimismo, puesto que la tarea de interconectar elementos cada vez más diminutos puede volverse prácticamente imposible, los investigadores deben considerar también el tamaño del circuito. Si los transistores se someten a fuertes campos eléctricos, éstos pueden afectar en varias formas el movimiento de los electrones y producir lo que se conoce como efectos cuánticos.

En el futuro, el tamaño de los transistores puede ser de tan sólo algunos cientos de angstrom (1 angstrom = una diezmilésima de micra); por esto mismo, la presencia o ausencia de algunos átomos, así como su comportamiento, será de mayor importancia.

Al disminuirse el tamaño, se incrementa la densidad de transistores en un *chip*; entonces éste aumenta la cantidad de calor residual despedido. Además, tomando en cuenta que por su reducido tamaño los elementos del circuito pueden quedar por debajo del rango en que se desenvuelve la longitud de onda de las formas de radiación más comunes, existen métodos de manufactura en riesgo de alcanzar sus máximos límites. Finalmente, podemos señalar que la revolución continúa y que, tal como ha sucedido en los últimos 50 años, seguiremos viendo progresos

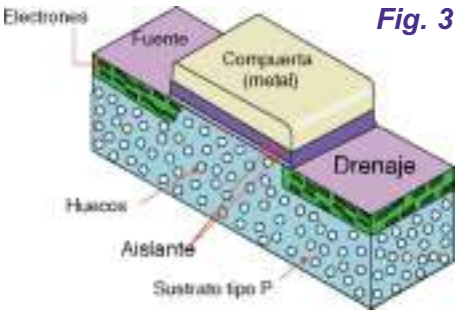


Fig. 3