

LECCION 6

TEORIA: LECCION N° 6

Capacitores

La intención de almacenar cargas eléctricas en un recipiente data de mucho tiempo. Los elementos que permiten la acumulación de cargas se denominan "capacitores" y su uso es fundamental para la mayoría de circuitos electrónicos. Desde la "rectificación" de una onda pulsante, hasta la captación de señales de radio, TV, comunicaciones, etc., las aplicaciones de estos componentes permiten que se lleven a cabo infinidad de eventos electrónicos. En esta lección nos ocuparemos de la teoría y la práctica necesaria para comprender sus usos y aplicaciones.

Coordinación: Horacio D. Vallejo

Introducción

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.

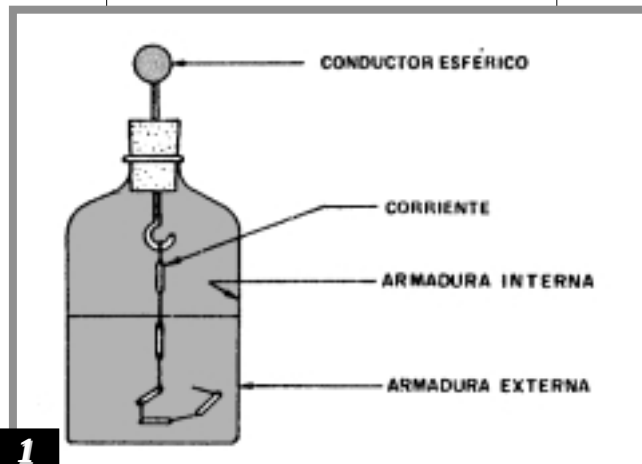
La botella de Ley-

den, 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



1

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.

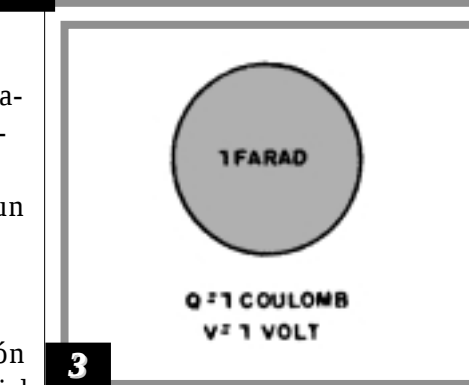
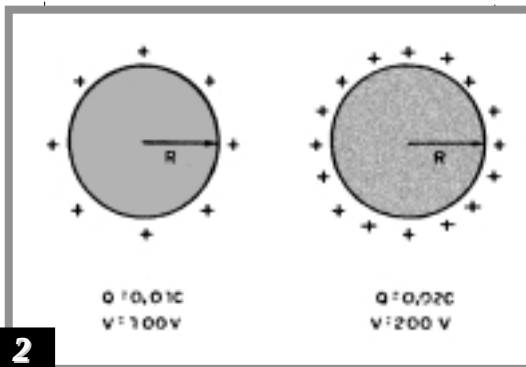
Se verifica que, independientemente del radio del conductor, en las condiciones indicadas existe una proporcionalidad directa entre las cargas que podemos almacenar y la tensión que se manifestará (figura 2).

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:

$$C = Q/V \quad (1)$$

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 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 las relaciones indicadas se tiene que:

- 1 nanofarad equivale a 1.000 picofarad ($1nF = 1.000pF$)

- 1 microfarad equivale a 1.000 nanofarad ($1\mu F = 1.000nF$)

- 1 microfarad equivale a 1.000.000 picofarad ($1\mu F = 1.000.000pF$)

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

Recuerde

- Los dispositivos que almacenan cargas eléctricas se denominan capacitores.

En un capacitor, la relación carga/tensión es constante y se llama capacidad.

La unidad de capacidad es el Farad.

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.

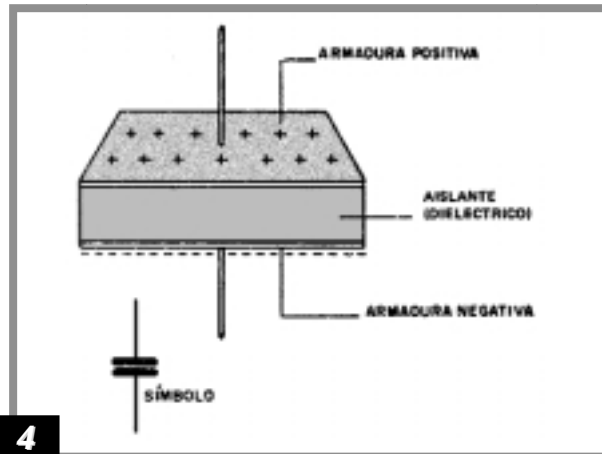
Consiste de dos placas de material conductor separadas por material aislante denominado dieléctrico.

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.

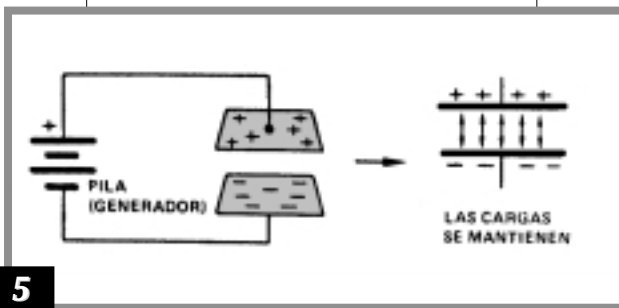
Cuando conectamos la estructura indicada a un generador, como se ve en la figura 5, las cargas fluyen hacia las placas de manera que una se vuelve positiva y la otra negativa.

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

Aun después de desconectar la batería, como se mantienen las cargas, por efecto de la atracción mutua, en las armadu-



4



5

ras 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 $100\mu\text{F}$ (100×10^{-6}) se conecta a un generador de 100 volts, la carga será:

$$Q = CV \quad (2)$$

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

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

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

$$Q = 10^{-2} = 0,01 \text{ Coulomb}$$

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 que 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:

$$C = \epsilon A/d \quad (3)$$

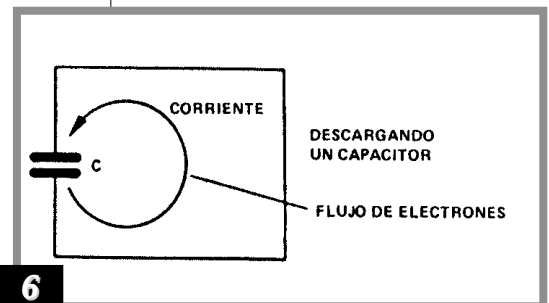
donde:

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



6

CAPACITORES

depende de la naturaleza del dieléctrico.

El valor depende del material considerado.

Ese valor puede calcularse mediante la fórmula:

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot K \quad (4)$$

donde:

ϵ_0 es la permisividad del vacío y vale $8,85 \times 10^{-12}$ F/m

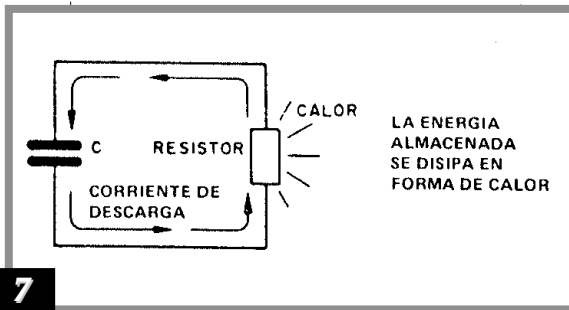
K es la constante dieléctrica y depende del material usado.

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:

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

o

$$W = 0,5 \times C \times V^2 \quad (6)$$

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 capa-

citor 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.

Un poco de cálculo

El dominio de las técnicas de cálculo por el proyectista es tan importante como el dominio de las herramientas por el armador. Enseguida veremos unos ejemplos de cálculos que emplean las fórmulas que aprendimos en esta lección.

• Capacitor esférico

Según vimos, la cantidad de cargas que puede almacenar un capacitor esférico depende de su radio (R) y de la tensión.

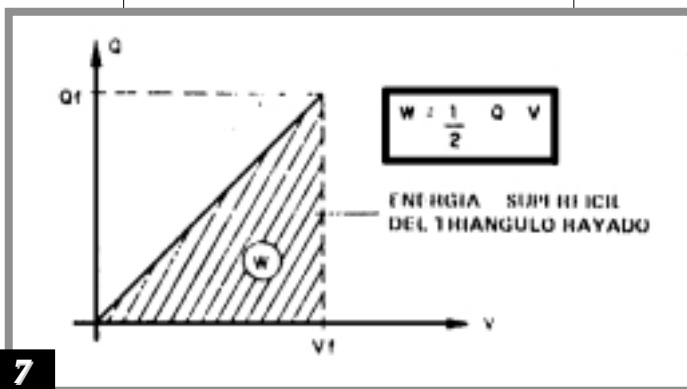
Una fórmula que permite encontrar la capacidad de un capacitor esférico es la siguiente:

$$C = \epsilon_0 \cdot R$$

donde:

C es la capacidad en Farad

ϵ_0 vale $8,85 \times 10^{-12}$



CAPACITORES

R es el radio en metros

Calculemos cuál debería ser el diámetro de una esfera que almacenará una carga de 1 Coulomb bajo la tensión de 1 Volt, o sea que tuviera la capacidad de un Farad.

$$C = 1 \text{ Farad}$$

$$R = ?$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$$

De la fórmula tenemos:

$$R = C/E$$

$$R = 1/8,85 \times 10^{-12}$$

$$R = 1,129 \times 10^{11} \text{ metros}$$

Otro tipo interesante de cálculo es el de los capacitores planos para un capacitor de vidrio (dieléctrico de vidrio) como se muestra en la figura 9, calculamos la capacidad de la manera siguiente:

$$C = E A/d$$

K para el vidrio puede ser aproximadamente 5 (en realidad varía entre 4 y 10). Tenemos el caso de un capacitor de 10 cm de lado con separación entre armaduras de 1 cm:

$$A = 0,1 \times 0,1 = 0,01 \text{ m}^2$$

$$d = 0,01 \text{ m}$$

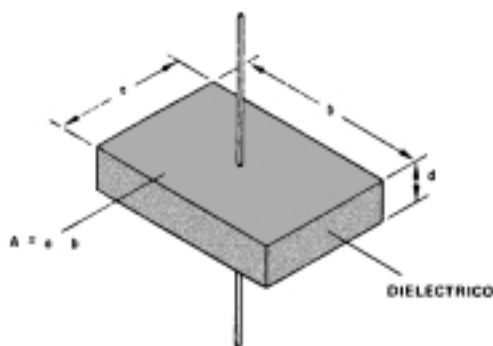
$$E = 5 \times 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

Aplicando la fórmula 3 se tiene:

$$C = 5 \times 8,85 \times 10^{-12}$$

$$C = 44,25 \text{ pF}$$

9



Finalmente tenemos el cálculo de la energía almacenada en un capacitor plano (o de cualquier otro tipo).

Supongamos que queremos calcular cuál es la energía acumulada en un capacitor de 1.000pF (1.000 x 10⁻⁶F) cuando está sometido a una tensión de 30V.

Aplicamos la fórmula:

$$W = 0,5 \times C V^2$$

$$W = 0,5 \times 1.000 \times 10^{-6} \times 900$$

$$W = 0,45 \text{ Joule}$$

Para que el estudiante tenga una idea de lo que significa esta cantidad, basta decir que la energía almacenada en ese capacitor encendería una lámpara de 100 watt por sólo 0,0045 segundos.

Aclaraciones:

— ¿Y la botella de Leyden?, ¿cómo era ese capacitor antiguo?

— La botella de Leyden era un capacitor primitivo. En una botella común existía una arma-

dura interna hecha con una lámina de metal y otra externa hecha con otra lámina de metal. El dieléctrico era el vidrio de la botella.

El contacto de la armadura interna se efectuaba mediante un alambre en la tapa conectado a la fuente de corriente.

La botella de Leyden podía cargarse con tensiones muy altas, a pesar de su

poca capacidad, con un generador electrostático, de manera de producir un "shock" de intensidad considerable durante la descarga, cuando se conectaban entre sí las armaduras.

—¿Por qué no usamos "condensador" en lugar de capacitor?

Porque la electricidad no puede ser condensada, sino almacenada en un componente.

—¿Existe límite para la cantidad de carga que puede almacenarse en un capacitor?

Sí, a pesar de que podemos "comprimir" tantas más cargas en las armaduras cuanto mayor sea la tensión. Pero existe un límite que está dado por la capacidad de la sustancia usada como dieléctrico para aislar altas tensiones.

Esa capacidad se denomina "**rigidez dieléctrica**". Así que cuando se llega al valor máximo de la tensión en el dieléctrico, éste ya no aísla las cargas de las armaduras. En ese instan-

te el capacitor se descarga y puede quedar dañado en forma irreversible. Por lo tanto, los capacitores comunes deben tener especificada no solo la capacidad sino también la tensión máxima que admiten.

Los capacitores en la práctica

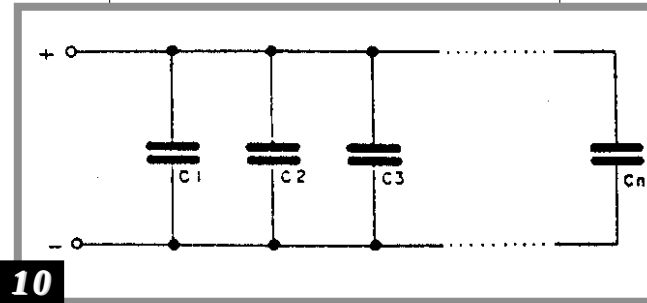
A diferencia de la botella de Leyden que nada tenía de práctica por sus dimensiones y propiedades, los capacitores modernos son compactos y eficientes, con volúmenes centenas de veces menores que la antigua botella de Leyden y capacidades miles de veces mayores.

Estos son los capacitores que encontramos en los aparatos electrónicos 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.

Asociación de capacitores

Podemos obtener un efecto mayor o menor de almacenamiento de cargas, según se asocien distintos capacitores,



10

res, del mismo modo que obtenemos efectos diferentes de resistencias al asociar resistores.

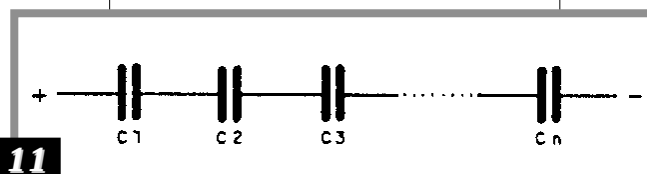
Los capacitores pueden conectarse en serie o en paralelo.

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 10.

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.



11

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \quad (7)$$

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.

Ejemplo práctico:

¿Cuál es la capacidad equivalente si se conectan en paralelo un capacitor de 10μF con uno de 20μF?

Aplicando la fórmula:

$$C_1 = 10\mu F$$

$$C_2 = 20\mu F$$

$$C = C_1 + C_2$$

$$C = 10\mu F + 20\mu F$$

$$C = 30 \mu F$$

b) Asociación de capacitores en serie

En la asociación en serie de capacitores, éstos se conectan como se muestra en la figura 11. 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

CAPACITORES

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 12). Según el valor del capacitor (capacidad) la tensión hallada tendrá valores diferentes.

Puede darse la fórmula:

$$C_1 = Q/V_1; C_2 = Q/V_2; C_3 = Q/V_3...$$

$$C_n = Q/V_n$$

Como la suma de las tensiones de estos capacitores asociados debe ser la tensión en las armaduras del capacitor equivalente; podemos escribir:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + ... + V_n$$

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

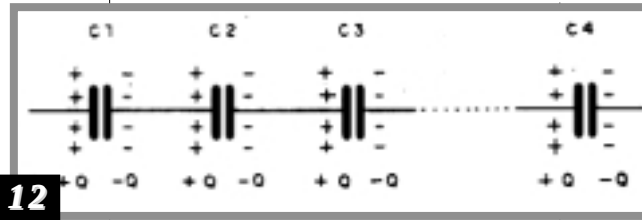
$$V = Q/C_1 + Q/C_2 + Q/C_3 + ... + Q/C_n$$

Sacando Q como factor común:

$$V = Q (1/C_1 + 1/C_2 + ... + 1/C_n)$$

Dividiendo por Q ambos miembros de la igualdad, tenemos:

$$V/Q = 1/C_1 + 1/C_2 + ... + 1/C_n$$



12

$$V/Q = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + ... + 1/C_n$$

Pero:

$$V/Q \text{ es } 1/C$$

Luego:

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + ... + 1/C_n \quad (8)$$

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.

Ejemplo práctico

¿Cuál es la capacidad equivalente en la asociación en serie de dos capacitores de $20\mu F$ y de $30\mu F$?

$$C_1 = 20\mu F$$

$$C_2 = 30\mu F$$

Aplicando la fórmula:

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2$$

$$1/C = 1/20 + 1/30$$

Reduciendo a común denominador:

$$1/C = 3/60 + 2/60$$

$$1/C = 5/60$$

$$C = 60/5$$

$$C = 12\mu F$$

Conclusión

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: $C = C_1/n$

donde

C es la capacidad equivalente.

C_1 es el valor de cada uno de los capacitores asociados.

n es el número de capacitores.

b) Paralelo: $C = n \times C_1$

donde

C , C_1 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 13. Son capacitores tubulares de papel o aceite (el tipo viene marcado normalmente en el componente).

CAPACITORES

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:

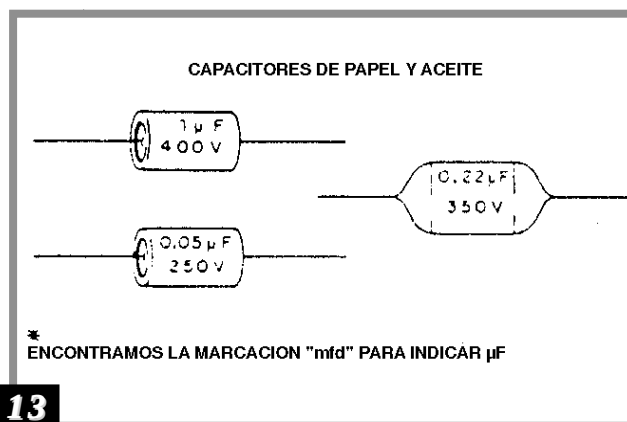
a) La capacidad que se expresa en microfarads (μF), nanofarads (nF) y picofarad (pF) y que puede variar entre 100pF (o,1nf) hasta 1 μF .

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.

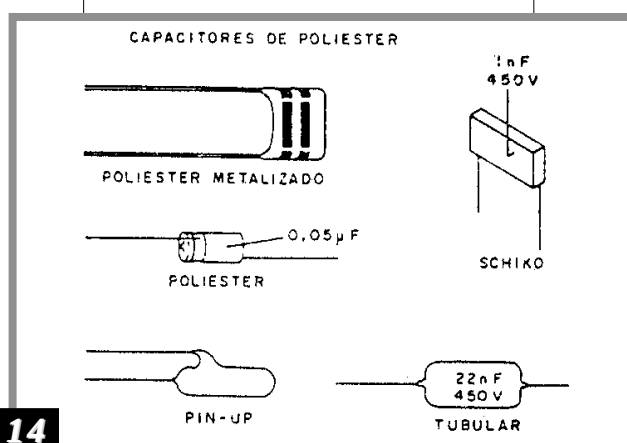
Los capacitores de papel y aceite pueden tener hasta una tolerancia de 10% a 20% y presentan las siguientes características principales:

- 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:



13



14

El problema de la aislación

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 fre-

cuencias y corrientes continuas.

Capacitores de poliéster 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 14 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.

Según el fabricante, los termoplásticos reciben denominaciones especiales.

Tenemos así:

Policarbonatos: LEXAN, MERLON

Poliéster: MYLAR, SCOTCH-PAR, CELANAR

Las especificaciones funda-

CAPACITORES

mentales 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, comúnmente por arriba de 20.000MΩ.
- Banda de tolerancias según las aplicaciones prácticas en electrónica.

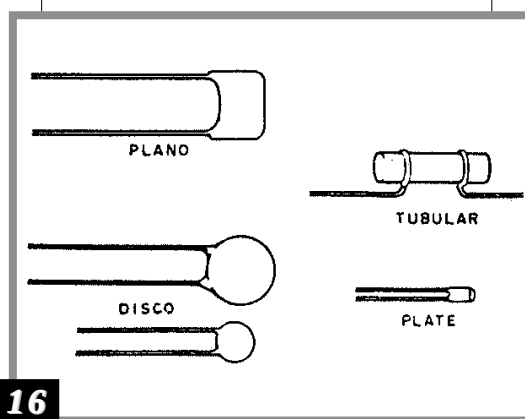
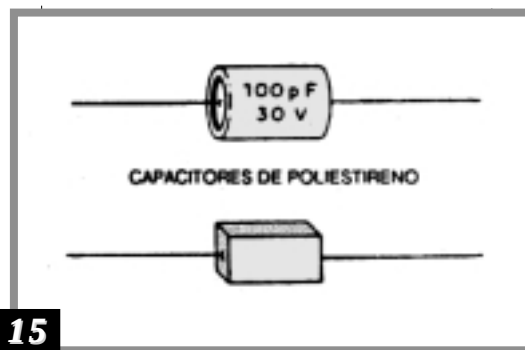
Los capacitores de poliéster y policarbonato pueden usarse en circuitos de bajas frecuencias, corrientes continuas y aplicaciones generales.

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 15 vemos el aspecto de estos capacitores.

También estos capacitores pueden tener estructura plana o



tubular. Las especificaciones básicas son:

- a) Gama de capacidad entre 10pF y 10nF.
 - b) Banda de 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 relativamente altas.
 - Pueden obtenerse con 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 espe-

cialmente indicados para los circuitos de RF (radiofrecuencia) y aplicaciones que exijan alta estabilidad.

Capacitores cerámicos

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 16.

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 de 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 electrolíticos

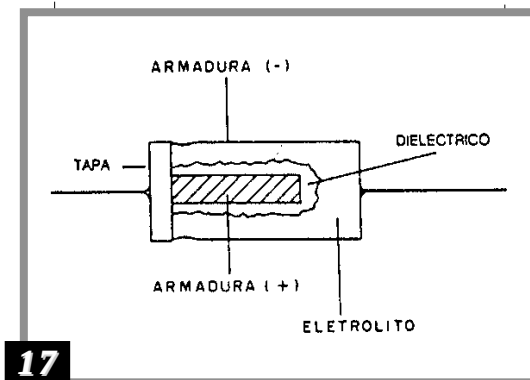
Los capacitores electrolíticos o electrolíticos de aluminio son, de todos, los que tienen una técnica de construcción muy diferente y es por eso que se los encuentra en una gama de valores muy determinada. En la figura 17 tenemos la construcción interna típica de un electrolítico de aluminio con fines 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.

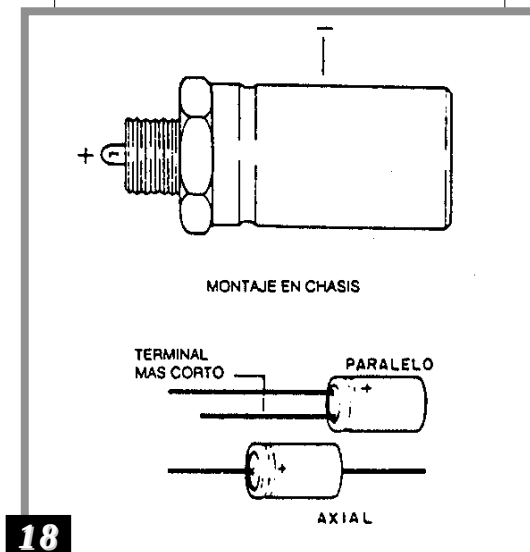
Los electrolíticos pueden encontrarse en una gama de capacidades mucho más alta dado que el dieléctrico tiene dimensiones microscópicas.

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.

Un electrolítico invertido puede causar problemas serios.



17



18

Los del tipo antiguo llegaban a explotar mientras que los modernos apenas se hinchan rompiendo la envoltura plástica y, entonces, exhalan un aroma bastante desagradable.

Las principales características son:

- a) Capacidades en la gama de $1\mu F$ a $220.000\mu F$.
- b) Tensiones de trabajo entre 12 y 1.000V.
- c) Tolerancia entre -20% y +50% comúnmente.

En la figura 18 vemos algunos tipos comunes de capacitores electrolíticos, observándose su polaridad. Otras característi-

cas 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 la polaridad de la 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.

Aclaraciones

¿Qué significa RF o alta frecuencia?

En realidad todavía no estudiamos lo que es la radiofrecuencia (RF) o alta frecuencia, pero como se trata de términos que debemos usar, vamos a adelantar algunas cosas. Según vimos, los generadores comunes como las pilas hacen que la corriente circule en un solo sentido. Se dice que éstos son generadores de corriente continua. Pero existen generadores y hasta dispositivos formados por componentes electrónicos diversos (circuitos) que generan

corrientes que varían rápidamente de intensidad. Si la velocidad de las variaciones fuera lenta, hasta unas 50.000 Hertz o 50 kilohertz (abreviado como 50kHz) decimos que esas corrientes son de bajas frecuencias o audiofrecuencias ya que pueden originar sonidos audibles. En otros casos las variaciones son mucho más rápidas y superan los 50kHz hasta llegar a valores tan altos como 100.000.000Hz o 100MHz. En este caso tenemos una señal de radiofrecuencia o RF.

- La tolerancia para el caso de los capacitores, ¿tiene el mismo significado que en el caso de los resistores?

Sí, porque no podemos hacer un capacitor con el valor exacto ni que cubra toda una gama de valores. Si bien muchos tipos de capacitores no tienen sus valores estandarizados según las mismas series que los resistores, existen tipos que siguen esas normas. Encontramos así valores con el mismo principio que los resistores como 1nF, 2,2nF, 3,3nF, etc., que corresponden a valores como 1k, 2,2k, 2,7k, 3,3k, etc.

Capacitores variables y ajustables

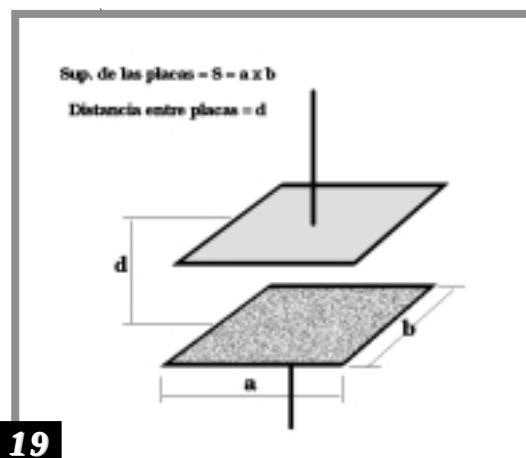
En determinadas aplicaciones, necesitamos disponer de capacitores cuya capacidad pueda ser alterada en una cierta franja de valores, por motivos diversos. Podemos dar el ejem-

plo 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.

Estudiaremos estos componentes:



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.

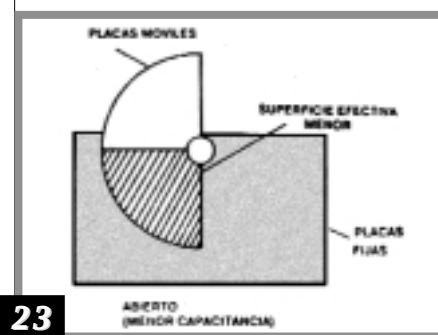
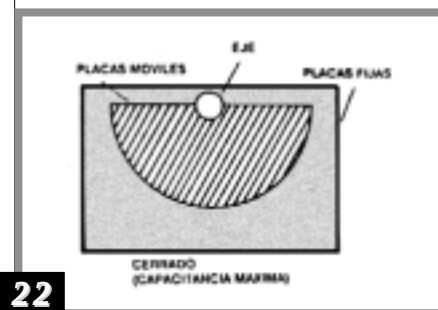
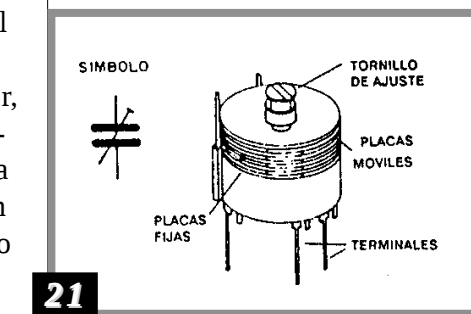
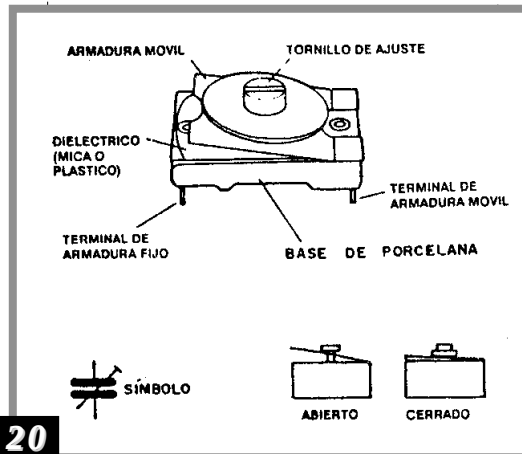
c) Existencia o no de un material entre las placas (dieléctrico). Vea la figura 19.

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 modificando 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 20.

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. Un tipo de trimmer, también bastante popular es que hace uso de placas que giran alrede-



dor de un eje y que poseen dieléctricos formados por hojas finas de material plástico, como muestra la figura 21. En éstos la modificación de la capacidad se

efectúa al alterar el área efectiva de las placas que constituyen las armaduras. Explicaremos mejor lo que es eso: la capacidad del capacitor no depende simplemente del tamaño de las placas sino también de su posición. Es así que en el caso de la figura 22, las placas tienen el mismo tamaño y están en posiciones tales que se enfrentan perfecta-

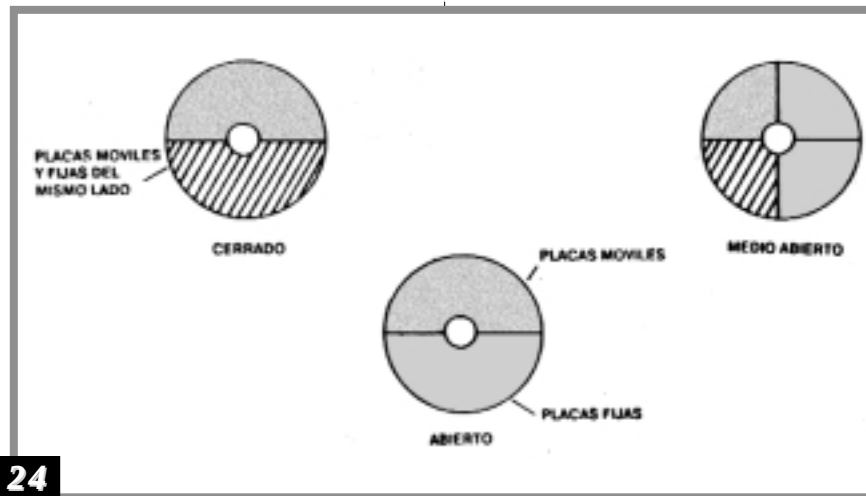
mente. En este caso decimos que la superficie del capacitor es máxima y por consiguiente su capacidad también es máxima. Si desplazamos una de las placas, como lo muestra la figura 23, la superficie efectiva disminuye, de modo que también se altera la capacidad que presenta este capacitor plano.

Vea que podemos cambiar la capacidad de un capacitor si alteramos el tamaño efectivo de las placas, es decir, al desplazarlas como sugiere la figura. Una manera simple de controlar la superficie efectiva de un capacitor es montar una de las placas en un eje, exactamente como en el caso de los trimmers giratorios.

Para tener una capacidad mayor, usamos simplemente una placa fija y una móvil, pero también un conjunto de placas fijas y un conjunto de placas móviles.

El resultado es un comportamiento semejante al de una asociación en paralelo de capacitores.

Con el capacitor abierto, es decir, con un área mínima de



24

enfrentamiento (mínima área efectiva), la capacidad es mínima. Con el capacitor cerrado, es decir, máxima área de enfrentamiento (área efectiva) tenemos la capacidad máxima (Figura 24).

Podemos encontrar estos capacitores con valores en una banda mucho más amplia que los trimmers de base de porcelana, pues todo depende del número de placas que se monta en cada conjunto (fijo y móvil).

Dónde usar los trimmers

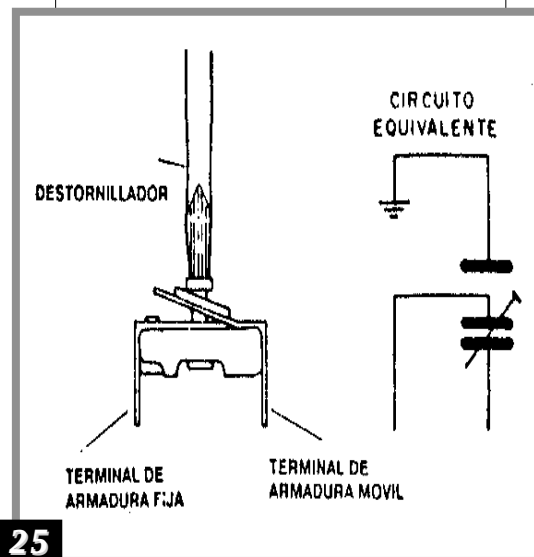
Como destacamos al principio de la lección existen casos en los que necesitamos regular el punto de funcionamiento de un circuito después de haberlo montado, sin que sea posible establecer la capacidad exacta que debemos usar, con antelación, como para poder usar un capacitor fijo. Normalmente los trimmers aparecen en los cir-

cuitos 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

El ajuste de un trimmer no siempre se puede hacer con la ayuda de destornilladores comunes y eso ocurre por un motivo simple: siendo metálico, el destornillador se comporta como una tercera armadura, que al aproximarse al capacitor altera su capacidad, como muestra la figura 25.

Hacemos el ajuste con el destornillador pero después de que lo retiramos, su alejamiento altera el ajuste que acabamos de hacer, dificultando así el trabajo del técnico. El ajuste de los trimmers debe hacerse con la ayuda de herramientas que no sean de metal y que por lo tanto no se comporten como armaduras de un capacitor. Para eso, existen destornilladores hechos de material plástico o de madera como muestra la figura 26. Este tipo de destornillador también se usará en el ajuste de otros componentes que, como veremos, son sensibles a la presencia de metales.



25

Tensión 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 pueden causar la ruptura del material usado como dieléctrico, inutilizando así el componente. Recuerde: la capacidad má-

xima se obtiene con el trimmer cerrado al todo (apretado o con las placas con mayor superficie efectiva).

Aclaraciones

¿Podemos asociar trimmers de la misma manera que otros capacitores para ampliar su franja de acción?

Existen diversos recursos para modificar la franja de actuación de un trimmer. Uno de ellos se muestra en la figura 26 y consiste en conectarlos en paralelo con un capacitor de valor conocido.

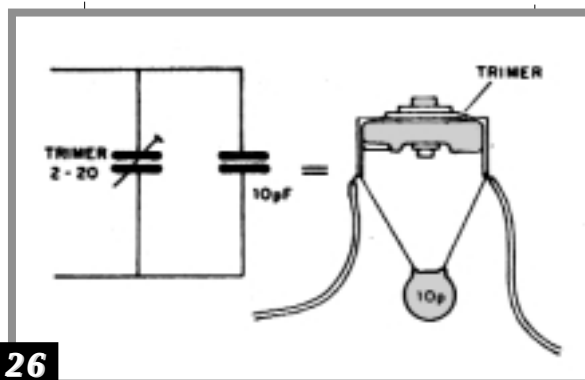
Si tenemos un trimmer de 2-20pF, por ejemplo, y lo conectamos en paralelo, con un capacitor fijo de 10pF, la nueva variación corresponderá a la suma: 12-30pF.

Está claro que si tuviéramos una asociación en serie, los cálculos serían un poco diferentes, pero igualmente llevaríamos el trimmer a "barrer" una banda diferente de capacidad. Tomemos el ejemplo de un trimmer de 2-20pF, conectando en serie con un capacitor fijo de 1pF.

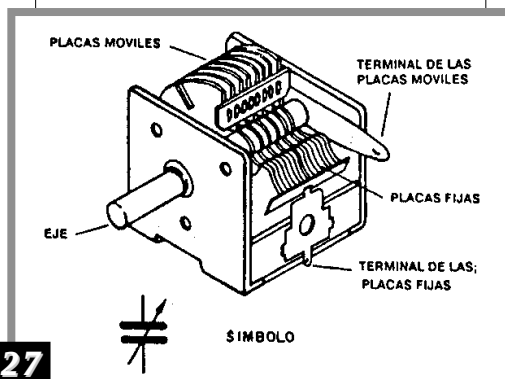
En la capacidad mínima tendremos:

$$\begin{aligned} 1/C &= 1/1 + 1/2 \\ 1/C &= (2 + 1) / 2 \\ 1/C &= 3/2 \\ C &= 2/3 = 0,667\text{pF} \end{aligned}$$

En el punto de capacidad máxima tendremos:



26



27

$$\begin{aligned} 1/C &= 1/1 + 1/20 \\ 1/C &= (20 + 1) / 20 \\ 1/C &= 21/20 \\ C &= 20/21 = 0,952\text{pF} \end{aligned}$$

Por consiguiente, la nueva banda de capacidades estará comprendida entre 0,667 y 0,952.

Será fácil para el lector percibir que con la conexión de un capacitor fijo en paralelo, alargamos la banda para valores

mayores y con la conexión en serie, reducimos la banda para valores menores.

Capacitores variables

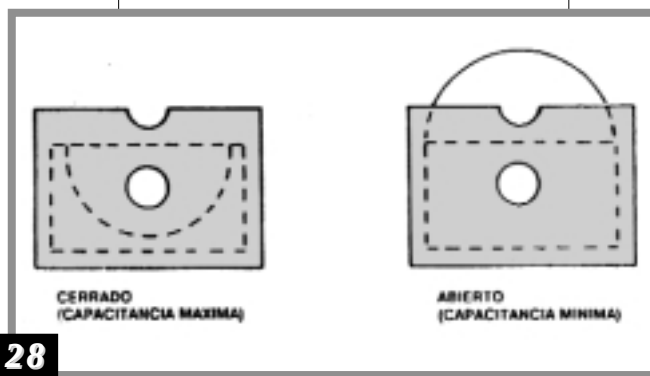
El principio de funcionamiento de los capacitores variables es el mismo que el de los trimmers. La diferencia está en el hecho de tener un acceso más fácil al conjunto de placas móviles de modo que alteramos la capacidad en cualquier momento. En la figura 27 tenemos un capacitor variable común, del tipo 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 mediante un eje, penetrando 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 (ojo: debe ser ejecutiva o eyectora, creo) y con eso la capacidad presentada por el componente.

En la figura 28 vemos que 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.

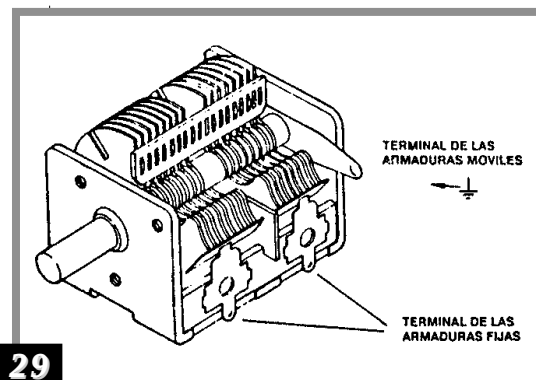
Las dimensiones de las



28

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.

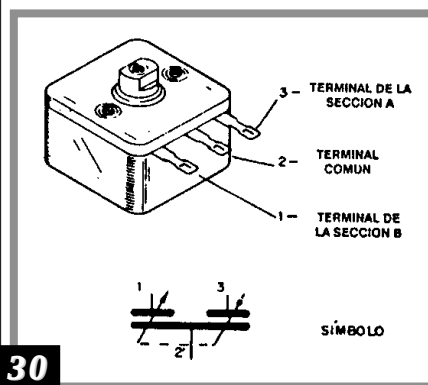
Esta capacidad se denomina residual y está especificada en los manuales de los fabricantes. Los capacitores variables del tipo indicado pueden tener más de un conjunto de placas fijas y móviles, según muestra la figura 29. Podemos entonces encontrar capacitores de 2 y hasta 3 secciones que se usan para alterar simultáneamente las características de varios circuitos. En las radio, estos capacitores se usan para cambiar de estación, al mismo tiempo alteran la frecuencia de operación de diversos circuitos que trabajan en conjunto. Otro tipo de capacitor variable se muestra en la figura 30 y se usa en las radios portátiles y equipos transistorizados en general. En éstos, las placas móviles se deslizan sobre finas hojas plásticas que son el dieléctrico (aislante). Como la presencia de un dieléctrico tiene la propiedad de multiplicar la capacidad, como ya vimos se pueden obtener los mismos valores que tienen grandes capacitores en dimensiones reducidas.



misma banda. En ellos, tenemos conjuntos de 10 a 20 placas formando 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.

En la figura 31 tenemos

una variable cuádruplo en el que observamos dos secciones para una banda de FM y dos secciones para la banda de AM. Observe que existe un terminal común para las placas fijas que vale tanto para la conexión de un capacitor como de otro de la misma banda. El símbolo usado para representar este tipo de capacitor se muestra en la misma figura.



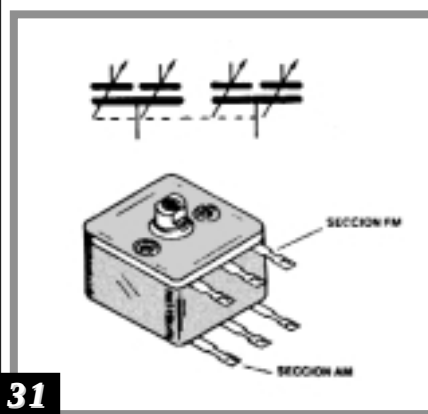
Banda de valores

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

Recursos mecánicos

En algunos casos, el giro completo del eje corresponde a un recorrido muy pequeño para poder hacer la regulación con la precisión deseada. En una radio, por ejemplo, si colocamos directamente la perilla en el eje del variable, un mínimo movimiento puede provocar la fuga de la estación, lo que significa una dificultad muy grande para sintonizar la que se desea, sobre todo en la banda de ondas cortas. Podemos girar el capacitor variable con mucha más precisión en un ajuste, si tuviéramos sistemas de reducción del movimiento.

Dos son las posibilidades del



caso y las analizaremos enseguida:

a) Sistema de transmisión por correas.

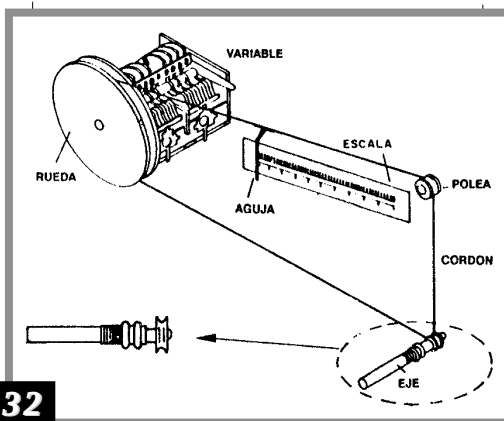
En la figura 32 tenemos un sistema muy común en las radios, en las que el movimiento del eje del variable se hace por un sistema de correa que también sirve para desplazar el puntero indicador en la escala. Una rueda mayor fijada al eje determina la reducción y por consiguiente, la ampliación del movimiento. Si bien es la solución que más emplean muchos receptores, no es la más recomendable cuando se desea precisión, pues la correa puede dilatarse con la humedad, patinar y hasta resbalar en determinadas condiciones.

b) Sistema mecánico por engranajes.

En la figura 33 tenemos un sistema mecánico de reducción que es mucho más preciso, si bien es más caro. Este sistema se usa en receptores profesionales cuando se desea una precisión mayor de ajuste sin los problemas determinados por las correas. Es claro que en los sistemas más económicos, como en las radios portátiles, la perilla de acción de variable está fijada en el propio eje.

Aclaraciones

¿Podemos también alterar la banda de variación de capacidades de un variable con la conexión de capacitores externos?



32

que posea 15 placas y que deba llegar a un nuevo máximo de 200pF, podemos calcular fácilmente cuál debe ser el nuevo número de placas, por simple proporción:

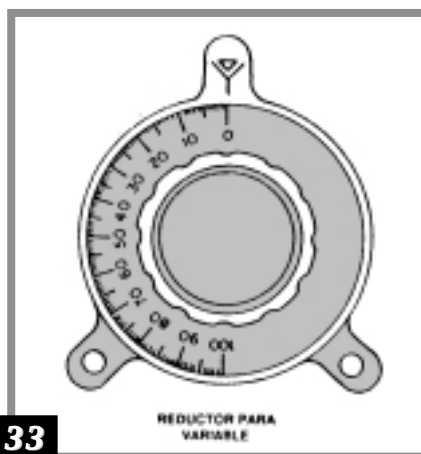
$$\begin{aligned} 300/15 &= 200 / x \\ x &= (15 \times 200) / 300 \\ x &= 3.000 / 300 \\ x &= 10 \text{ placas} \end{aligned}$$

Basta entonces retirar 5 placas de la armadura móvil para obtener esta nueva capacidad. Pero tampoco hace falta insistir al lector que se trata de una operación bastante delicada. El conjunto de placas móviles debe penetrar en el conjunto fijo en línea recta. Eso significa que las placas deben estar perfectamente alineadas.

¿Podemos reparar un capacitor con las placas torcidas y tocando unas con otras?

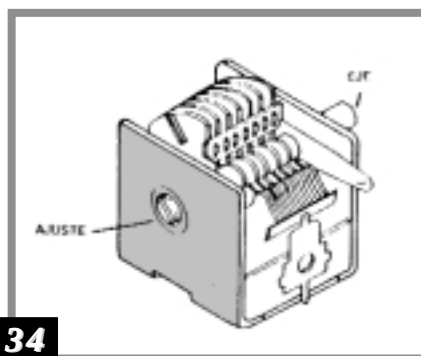
Las armaduras fijas pueden apoyarse en las armaduras móviles por dos motivos: por estar torcidas o rotas. En el primer caso todo el conjunto puede estar desplazado y se raspan unas con otras. Si eso ocurre en los capacitores sin dieléctrico, hay un tornillo de ajuste (mostrado en la figura 34) que permite separar el conjunto de armaduras de modo que sus movimientos se realicen sin que las placas entren en contacto.

En el segundo caso, las placas eventualmente pueden enderezarse con mucho cuidado, pero eso exige mucha habilidad. *****



33

En el caso de los capacitores variables existe una solución más interesante y que puede emplearse con frecuencia. Lo que se puede hacer es retirar placas de un capacitor variable, en el sentido de cambiar la banda de variación, según sea necesario. Suponiendo que un capacitor variable tenga una capacidad máxima de 300pF y



34