

2.-CONDENSADORES

Los condensadores son componentes pasivos diseñados con el fin de almacenar energía electrostática o presentar una capacidad eléctrica determinada. Otra forma de definirlo sería la siguiente: componentes pasivos de dos terminales en los que la intensidad que los atraviesa (aparentemente) es proporcional a la variación de tensión existente entre sus terminales respecto al tiempo. Su unidad de medida en el S.I. es el Faradio aunque por las limitaciones características de los mismos se usan distintos submúltiplos (*micro*, μ / *nano*, *n* / *pico*, *p*).



Desde el punto de vista constructivo, un condensador está constituido por dos placas conductoras separadas por un material dieléctrico. En su interior se establece un campo eléctrico, sin pérdida de energía, como consecuencia de la polarización dieléctrica (no confundir material aislante y dieléctrico, todos los dieléctricos son aislantes, pero no todos los aislantes son dieléctricos; los dieléctricos son materiales no conductores en los que resulta posible su polarización). La capacidad de un condensador va a depender del tamaño de sus placas, de la distancia que las separa y del material del que está formado el dieléctrico.

Igual que en las resistencias nos vamos a encontrar con condensadores:

-Condensadores fijos: Su valor capacitivo no se puede alterar.

-Condensadores variables: Se puede modificar su capacidad dentro de unos márgenes determinados.

Características técnicas

Capacidad nominal (C_n): Es la capacidad que se espera que tenga el condensador. Estos valores suelen corresponderse con valores normalizados de la serie E-12, aunque también se usan los de las series E-6 y E-24, que son los mismos que se dan para resistencias .

Tolerancia: Es la variación que puede presentar respecto al valor nominal del condensador dado por el fabricante. Se expresa en % y puede ser asimétrica (-a +b %).

Coefficiente de temperatura: Expresa la variación del valor del condensador con la temperatura. Se suele expresar en $\%/^{\circ}\text{C}$ (tanto por ciento por grado centígrado), o en ppm/ $^{\circ}\text{C}$ (partes por millón por grado centígrado).

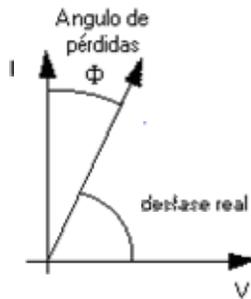
Tensión máxima de funcionamiento (V_n): También llamada tensión nominal, es la máxima tensión continua o alterna eficaz que se le puede aplicar al condensador de forma continua y a una temperatura menor a la máxima de funcionamiento, sin que este sufra algún deterioro.

Tensión de pico (V_p): Máxima tensión que se puede aplicar durante un breve intervalo de tiempo. Su valor es superior a la tensión máxima de funcionamiento.

Corriente nominal (I_n): Es el valor continuo o eficaz de la corriente máxima admisible para una frecuencia dada en la que el condensador puede trabajar de forma continua y a una temperatura inferior a la máxima de funcionamiento.

Corriente de fugas (I_f): Pequeña corriente que hace que el condensador se descargue a lo largo del tiempo.

Factor de pérdidas ($\text{tg}\Phi$): Teóricamente cuando se aplica una tensión alterna a un condensador se produce un desfase de la corriente respecto a la tensión de 90° de adelanto, pero en la práctica esto no es así. La diferencia entre estos 90° y el desfase real se denomina ángulo de pérdidas.



2.1.-CONDENSADORES FIJOS

Estos condensadores tienen una capacidad fija determinada por el fabricante y su valor no se puede modificar. Sus características dependen principalmente del tipo de dieléctrico utilizado, de tal forma que los nombres de los diversos tipos se corresponden con los nombres del dieléctrico usado.

De esta forma podemos distinguir los siguientes tipos:

- Cerámicos.
- Plástico.
- Mica.
- Electrolíticos.
- De doble capa eléctrica.

2.1.1.-Condensadores cerámicos

El dieléctrico utilizado por estos condensadores es la cerámica, siendo el material más utilizado el dióxido de titanio. Este material confiere al condensador grandes inestabilidades por lo que en base al material se pueden diferenciar dos grupos:

Grupo I: Caracterizados por una alta estabilidad, con un coeficiente de temperatura bien definido y casi constante.

Grupo II: Su coeficiente de temperatura no está prácticamente definido y además de presentar características no lineales, su capacidad varía considerablemente con la temperatura, la tensión y el tiempo de funcionamiento. Se caracterizan por su elevada permitividad.

Las altas constantes dieléctricas características de las cerámicas permiten amplias posibilidades de diseño mecánico y eléctrico.

2.1.2.-Condensadores de plástico

Estos condensadores se caracterizan por las altas resistencias de aislamiento y elevadas temperaturas de funcionamiento.

Según el proceso de fabricación podemos diferenciar entre los de **tipo k** y **tipo MK**, que se

distinguen por el material de sus armaduras (metal en el primer caso y metal vaporizado en el segundo).

Según el dieléctrico usado se pueden distinguir estos tipos comerciales:

KS: Styroflex, constituidos por láminas de metal y poliestireno como dieléctrico.

KP: Formados por láminas de metal y dieléctrico de polipropileno.

MKP: Dieléctrico de polipropileno y armaduras de metal vaporizado.

MKY: Dieléctrico de polipropileno de gran calidad y láminas de metal vaporizado.

MKT: Láminas de metal vaporizado y dieléctrico de teraftalato de polietileno (poliéster).

MKC: Makrofol, metal vaporizado para las armaduras y policarbonato para el dieléctrico.

A nivel orientativo estas pueden ser las características típicas de los condensadores de plástico:

TIPO	CAPACIDAD	TOLERANCIA	TENSION	TEMPERATURA
KS	2pF-330nF	+/-0,5% +/-5%	25V-630V	-55°C-70°C
KP	2pF-100nF	+/-1% +/-5%	63V-630V	-55°C-85°C
MKP	1,5nF-4700nF	+/-5% +/-20%	0,25KV-40KV	-40°C-85°C
MKY	100nF-1000nF	+/-1% +/-5%	0,25KV-40KV	-55°C-85°C
MKT	680pF-0,01mF	+/-5% +/-20%	25V-630V	-55°C-100°C
MKC	1nF-1000nF	+/-5% +/-20%	25V-630V	-55°C-100°C

2.1.3.-Condensadores de mica

El dieléctrico utilizado en este tipo de condensadores es la mica o silicato de aluminio y potasio y se caracterizan por bajas pérdidas, ancho rango de frecuencias y alta estabilidad con la temperatura y el tiempo.

2.1.4.-Condensadores electrolíticos

En estos condensadores una de las armaduras es de metal mientras que la otra está constituida por un conductor iónico o electrolito. Presentan unos altos valores capacitivos en relación al tamaño y en la mayoría de los casos aparecen polarizados.

Podemos distinguir dos tipos:

-Electrolíticos de aluminio: La armadura metálica es de aluminio y el electrolito de tetraborato amónico.

-Electrolíticos de tántalo: El dieléctrico está constituido por óxido de tántalo y nos encontramos con mayores valores capacitivos que los anteriores para un mismo tamaño. Por otra parte las tensiones nominales que soportan son menores que los de aluminio y su coste es algo más elevado.

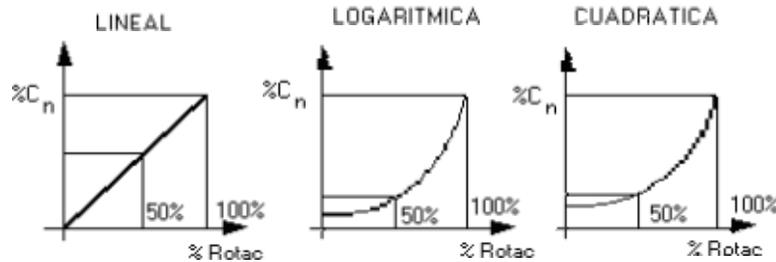
2.1.5.-Condensadores de doble capa eléctrica

Estos condensadores también se conocen como supercondensadores o CAEV debido a la gran capacidad que tienen por unidad de volumen. Se diferencian de los condensadores convencionales en que no usan dieléctrico por lo que son muy delgados. Las características eléctricas más significativas desde el punto de su aplicación como fuente acumulada de energía son: altos valores capacitivos para reducidos tamaños, corriente de fugas muy baja, alta resistencia serie, y pequeños valores de tensión.

2.1.6.-CONDENSADORES VARIABLES

Estos condensadores presentan una capacidad que podemos variar entre ciertos límites. Igual que pasa con las resistencias podemos distinguir entre condensadores variables, su aplicación conlleva la variación con cierta frecuencia (por ejemplo sintonizadores); y condensadores ajustables o trimmers, que normalmente son ajustados una sola vez (aplicaciones de reparación y puesta a punto).

La variación de la capacidad se lleva a cabo mediante el desplazamiento mecánico entre las placas enfrentadas. La relación con que varían su capacidad respecto al ángulo de rotación viene determinada por la forma constructiva de las placas enfrentadas, obedeciendo a distintas leyes de variación, entre las que destacan la lineal, logarítmica y cuadrática corregida.



En electricidad y electrónica, un **condensador** o **capacitor** es un dispositivo formado por dos conductores o armaduras, generalmente en forma de placas o láminas, separados por un material dieléctrico (siendo este utilizado en un condensador para disminuir el campo eléctrico, ya que actúa como aislante) o por el vacío, que, sometidos a una diferencia de potencial (d.d.p.) adquieren una determinada carga eléctrica.

A esta propiedad de almacenamiento de carga se le denomina capacidad o capacitancia. En el Sistema internacional de unidades se mide en Faradios (F), siendo 1 faradio la capacidad de un condensador en el que, sometidas sus armaduras a una d.d.p. de 1 voltio, éstas adquieren una carga eléctrica de 1 culombio.

La capacidad de 1 faradio es mucho más grande que la de la mayoría de los condensadores, por lo que en la práctica se suele indicar la capacidad en micro- $\mu F = 10^{-6}$, nano- $F = 10^{-9}$ o pico- $F = 10^{-12}$ -faradios. Los condensadores obtenidos a partir de supercondensadores (EDLC) son la excepción. Están hechos de carbón activado para conseguir una gran área relativa y tienen una separación molecular entre las "placas". Así se consiguen capacidades del orden de cientos de faradios. Uno de estos condensadores se incorpora en el reloj Kinetic de Seiko, con una capacidad de 1/3 de Faradio, haciendo innecesaria la pila. También se está utilizando en los prototipos de automóviles eléctricos.

El valor de la capacidad viene definido por la ecuación siguiente:

$$C = \frac{Q}{V}$$

en donde:

- C:** Capacidad
- Q:** Carga eléctrica
- V:** Diferencia de potencial

En cuanto al aspecto constructivo, tanto la forma de las placas o armaduras como la naturaleza del material dieléctrico es sumamente variable. Existen condensadores formados por placas,

usualmente de aluminio, separadas por aire, materiales cerámicos, mica, poliéster, papel o por una capa de óxido de aluminio obtenido por medio de la electrolisis.

2.2.-Energía almacenada

El condensador almacena energía eléctrica en forma de campo eléctrico cuando aumenta la diferencia de potencial en sus terminales, devolviéndola cuando ésta disminuye. Matemáticamente se puede obtener que la energía, \mathcal{E} , almacenada por un condensador con capacidad C , que es conectado a una diferencia de potencial V , viene dada por:

$$\mathcal{E} = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} CV^2$$

Este hecho es aprovechado para la fabricación de memorias, en las que se aprovecha la capacidad que aparece entre la puerta y el canal de los transistores MOS para ahorrar componentes.

2.3.-Comportamientos ideal y real

El condensador ideal (figura 2) puede definirse a partir de la siguiente **ecuación diferencial**:

$$i(t) = C \frac{du(t)}{dt}$$

donde C es la capacidad, $u(t)$ es la función **diferencia de potencial** aplicada a sus bornes e $i(t)$ la intensidad resultante que circula.

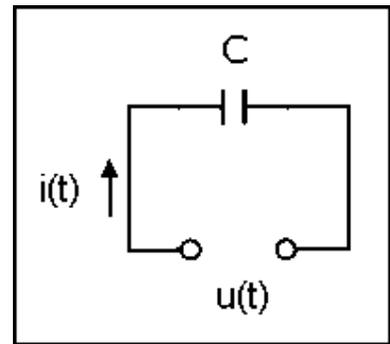
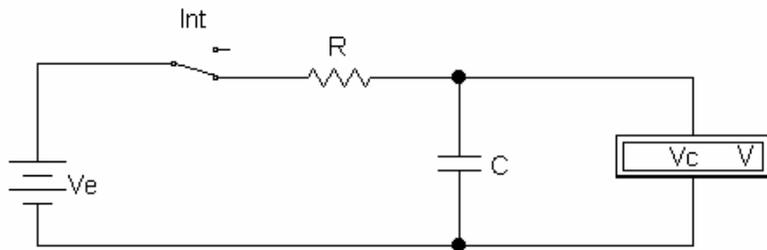


Fig. 2: Condensador ideal

2.4.-Comportamiento en corriente continua

Un condensador real en CC (DC en Inglés) se comporta prácticamente como uno ideal, esto es, como un circuito abierto. Esto es así en régimen permanente ya que en régimen transitorio, esto es, al conectar o desconectar un circuito con condensador, suceden fenómenos eléctricos transitorios que inciden sobre la d.d.p. en sus bornes.

La ley matemática que sigue la evolución de la tensión en bornes del condensador, la podemos expresar:



$$V_c = V_e (1 - e^{-t/\sigma})$$

Donde:

V_e : Alimentación del circuito, también llamada **tensión final**

V_c : Tensión en bornes del condensador, proporcional a la carga eléctrica que tiene almacenado el condensador

σ : τ , constante de tiempo del circuito, que es el producto de $R \times C$

t : Es el tiempo que ha transcurrido desde el comienzo de la carga.

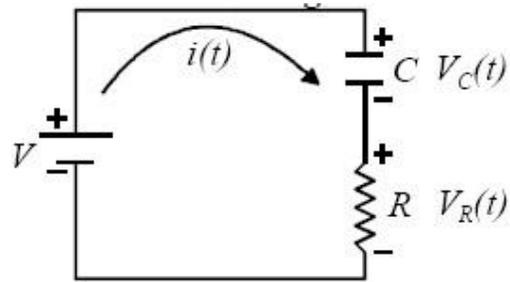
La demostración de esta ecuación la tenemos a continuación.

Considerando el siguiente circuito como referencia:

Observamos que quitando la “ V ”, que es la de alimentación, el resto de variables dependen del tiempo, por lo tanto aplicando la segunda ley de Kirchoff al circuito

tenemos:

$$V = V_C(t) + V_R(t)$$



Al sustituir a cada termino por su valor nos queda :

$$V_C(t) = \frac{q(t)}{C} \quad \text{y} \quad V_R(t) = R \cdot i(t)$$

la ecuación queda de la siguiente forma:

$$V = \frac{q(t)}{C} + R \cdot i(t)$$

como resulta que la intensidad de carga y la carga están relacionadas a través del tiempo, el resultado final será una ecuación diferencial, tal que:

si $i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$ entonces $V = \frac{q(t)}{C} + R \frac{dq(t)}{dt}$

Para resolverla separaremos variables (el término “separar variables” significa que los términos que contienen una variable se sitúen en un miembro de la ecuación y los términos que contienen la otra variable en el otro miembro. En este caso las variables son “ q ” y “ t ”, mientras que V , C y R son constantes):

$$\frac{dq(t)}{VC - q(t)} = \frac{dt}{RC}$$

la solución a esta ecuación es resolver la integral en el intervalo $(0, t)$, es decir: realizamos la integral definida desde $t=0$ a $t=t$ limites a los cuales corresponde una carga de, para $t=0$ $q=0$ y para el tiempo t corresponde $q(t)$ por lo tanto:

$$\int_0^{q(t)} \frac{dq(t)}{VC - q(t)} = \frac{1}{RC} \int_0^t dt \quad \text{cuya solución es:} \quad -\ln(VC - q(t)) \Big|_0^{q(t)} = \frac{t}{RC} \Big|_0^t$$

$$-\ln \frac{VC - q(t)}{VC} = \frac{t}{RC}$$

$$\frac{VC - q(t)}{VC} = e^{-\frac{t}{RC}} \Rightarrow$$

que nos da la ecuación presentada en la cabecera de esta sección es decir:

$$q(t) = VC \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

que organizándola nos queda de la siguiente forma conocida:

$$V_c = V_e (1 - e^{-t/\sigma})$$

2.5.-Comportamiento en corriente alterna

En CA (AC en Inglés), un condensador ideal se comporta como una resistencia que opusiera un valor resistivo que recibe el nombre de reactancia capacitiva, X_C , cuyo valor viene dado por la inversa del producto de la pulsación ($\omega = 2\pi f$) por la capacidad, C :

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

Si la pulsación se expresa en radianes por segundo (rad/s) y la capacidad en faradios (F), la reactancia resultará en ohmios.

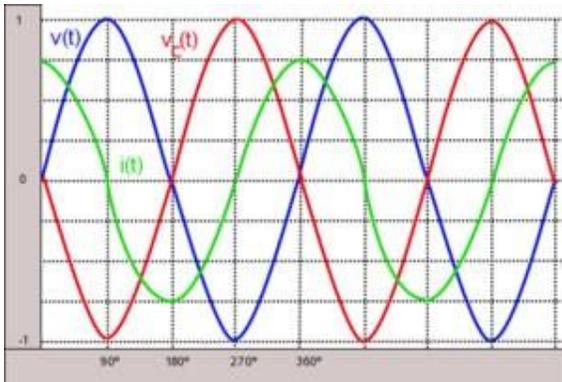


Fig. 3: Diagrama cartesiano de las tensiones y corriente en un condensador.

Al conectar una CA senoidal $v(t)$ a un condensador circulará una corriente $i(t)$, también senoidal, que lo cargará, originando en sus bornes una caída de tensión, $-v_c(t)$, cuyo valor absoluto puede demostrarse que es igual al de $v(t)$. Al decir que por el condensador "circula" una corriente, se debe puntualizar que, en realidad, dicha corriente nunca atraviesa su dieléctrico. Lo que sucede es que el condensador se carga y descarga al ritmo de la frecuencia de $v(t)$, por lo que la corriente circula externamente entre sus armaduras.

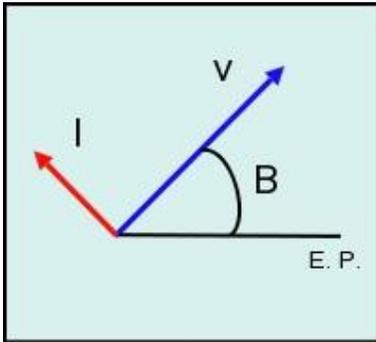


Fig. 4: Diagrama vectorial

El fenómeno físico del comportamiento del condensador en CA se puede observar en la figura 3. Entre los 0° y los 90° $i(t)$ va disminuyendo desde su valor máximo positivo a medida que aumenta su tensión de carga $v_c(t)$, llegando a ser nula cuando alcanza el valor máximo negativo a los 90° , puesto que la suma de tensiones es cero ($v_c(t) + v(t) = 0$) en ese momento. Entre los 90° y los 180° $v(t)$ disminuye, y el condensador comienza a descargarse, disminuyendo por lo tanto $v_c(t)$. En los 180° el condensador está completamente descargado, alcanzando $i(t)$ su valor máximo negativo. De los 180° a los 360° el razonamiento es similar al anterior.

De todo lo anterior se deduce que la corriente queda adelantada 90° respecto de la tensión aplicada. Considerando, por lo tanto, un condensador C , como el de la figura 2, al que se aplica una tensión alterna de valor:

$$u(t) = V_0 \cdot \sin(\omega t + \beta)$$

De acuerdo con la ley de Ohm circulará una corriente alterna, adelantada 90° ($\pi/2$) respecto a la tensión aplicada (figura 4), de valor:

$$i(t) = I_0 \cdot \sin(\omega t + \beta + 90^\circ)$$

donde $I_0 = \frac{V_0}{X_C}$. Si se representa el **valor eficaz** de la corriente obtenida en forma polar:

Y operando matemáticamente:

$$\vec{I} = \frac{V}{X_C} \mid \beta + 90^\circ = \frac{V \mid \beta}{X_C \mid 90^\circ}$$

Por lo tanto, en los circuitos de CA, un condensador ideal se puede asimilar a una magnitud compleja sin parte real y parte imaginaria negativa:

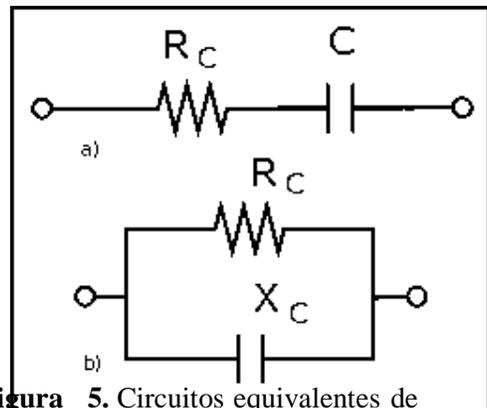


Figura 5. Circuitos equivalentes de un condensador en CA.

En el condensador real, habrá que tener en cuenta la resistencia de pérdidas de su dieléctrico, R_C , pudiendo ser su circuito equivalente, o modelo, el que aparece en la figura 5a) o 5b) dependiendo del tipo de condensador y de la frecuencia a la que se trabaje, aunque para análisis más precisos pueden utilizarse modelos más complejos que los anteriores.

2.6.-Asociaciones de condensadores

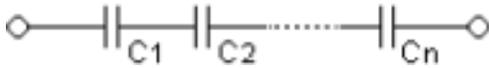


Figura 4: Asociación serie general.

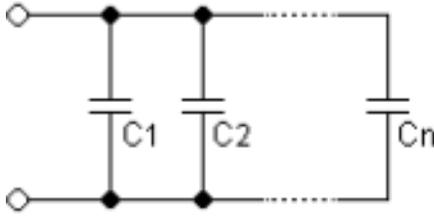


Figura 6: Asociación paralelo general.

Al igual que las resistencias, los condensadores pueden asociarse en serie (figura 4), paralelo (figura 5) o de forma mixta. En estos casos, la capacidad equivalente resulta ser para la asociación en serie:

$$\frac{1}{C_{AB}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{C_k}$$

y para la **paralelo**:

$$C_{AB} = C_1 + C_2 + \dots + C_n = \sum_{k=1}^n C_k$$

Para la asociación mixta se procederá de forma análoga que con las resistencias

