TEMA 4

CONDENSADORES

4.1. CONDENSADORES. CAPACIDAD

Un sistema binario es el constituido por dos conductores próximos entre los cuales se producen fenómenos de influencia. Si la influencia es total, se trata de un condensador.

Si los dos conductores que constituyen las armaduras del condensador se conectan a un generador de corriente continua, se cargan, adquiriendo el que está conectada al polo positivo una carga **+q**, y el que está conectada al negativo otra igual y de signo contrario **-q**.

Se define capacidad [1] de un condensador a la relación:

$$C = \frac{q}{U} \qquad (4.1)$$

Siendo:

q : La carga que adquiere el condensador.
U : La diferencia de potencial a la que se conectan las armaduras.

En el S.I. la unidad de capacidad es el **Faradio**

$$1\ Faradio = \frac{1\ Culombio}{1\ Voltio}$$

[1] La capacidad de un condensador es constante. La explicación es la siguiente: Si **Q** es la carga del condensador y **V** el potencial, en la superficie de cada placa del condensador la densidad de carga es $\varepsilon_0.\mathbf{E}$, o bien $-\varepsilon_0$ veces la variación de **V** (en dirección normal). El potencial **V** cumple la ecuación de Laplace $\nabla^2 \mathbf{V} = \mathbf{0}$, como se trata de una ecuación lineal, cualquier múltiplo de **V** será solución de la ecuación. Supóngase que se aumenta **V** multiplicando por un factor **α**. La densidad de carga superficial aumentará de acuerdo con el mismo factor **α**, ya que $\mathbf{E} = -\nabla \mathbf{V}$, y en consecuencia la carga total **Q** sobre la superficie del condensador aumentará de forma idéntica. Por tanto, la carga sobre el conductor es proporcional al potencial. El coeficiente de proporcionalidad se designa por **C**, y recibe el nombre de *capacidad*.

4.2. CONDENSADORES DE LÁMINAS PARALELAS

También llamado *condensador plano*.

Está constituido por dos láminas conductoras planas y paralelas, separadas por una pequeña distancia **d**. Fig. 4.1

Aunque siempre exista dispersión en los bordes de las láminas, ésta se considera despreciable y en consecuencia el campo es uniforme en el espacio comprendido entre las láminas. Esto sucede cuando la distancia **d** es suficientemente pequeña.

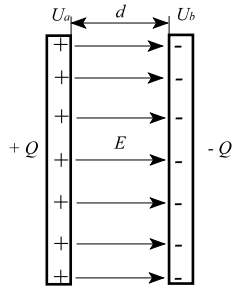


Fig.4.1

Para determinar la intensidad del campo eléctrico se recurre al teorema de Gauss.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{1}{\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{A} \qquad (4.2)$$

Donde:

E = Intensidad del campo eléctrico entre las láminas.
ε_0= Permitividad.
Q = Carga de cada lámina.
A = Superficie de cada lámina.
d = Distancia entre las dos láminas.

Puesto que el gradiente del potencial entre las láminas se considera uniforme, se verifica:

$$\frac{dU}{dx} = - E \qquad (4.3)$$

Integrando (4.3), resulta:

$$U_{ab} = E.d = \frac{1}{\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{A} \cdot d \qquad (4.4)$$

Por tanto, la capacidad del condensador plano, según (4.4) es:

$$C = \frac{Q}{U_{ab}} = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \qquad (4.5)$$

En él supuesto que para un determinado condensador, $\boldsymbol{\varepsilon_0}$, **A** y **d** sean constantes, lo será su capacidad, **C**.

De (4.5) se deduce que *la capacidad del condensador plano es directamente proporcional a la superficie de sus láminas e inversamente proporcional a la distancia que las separa.*

De (4.5) se obtiene:

$$\varepsilon_0 = \frac{C.d}{A} \qquad (4.6)$$

Si **C** se expresa en faradios, **d** en metros y **A** en metros cuadrados, la permitividad, $\boldsymbol{\varepsilon_0}$ se expresará en *faradios por metro*.

4.3. COEFICIENTE DIELÉCTRICO

Supongamos que se tiene un condensador plano tal como se ha representado en Fig. 4.1, cuyo espacio entre láminas está ocupado por una sustancia cuyo coeficiente dieléctrico sea $\mathbf{K_e}$. La intensidad del campo eléctrico entre láminas será:

$$E = \frac{\sigma}{K_e.\varepsilon_0} = \frac{1}{K_e.\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{A} \qquad (4.7)$$

La diferencia de potencial entre láminas es:

$$U_{ab} = E.d = \frac{1}{K_e.\varepsilon_0} \cdot \frac{Q.d}{A} \qquad (4.8)$$

y la capacidad es:

$$C = \frac{Q}{U_{ab}} = K_e.\varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d} = \varepsilon \cdot \frac{A}{d} \qquad (4.9)$$

Si llamamos $\mathbf{C_0}$ a la capacidad del condensador cuando el dieléctrico es el vacío, se obtiene:

$$C_0 = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \qquad (4.10)$$

Dividiendo miembro a miembro (4.9) entre (4.10), se obtiene:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \frac{\varepsilon_0 . K_e}{\varepsilon_0} = K_e \qquad (4.11)$$

La ecuación (4.11) se puede utilizar para definir el *coeficiente dieléctrico* K_e. En consecuencia, se define coeficiente dieléctrico de una sustancia como *la razón entre la capacidad del condensador, cuyo dieléctrico sea dicha sustancia, y la capacidad del condensador en vacío.*

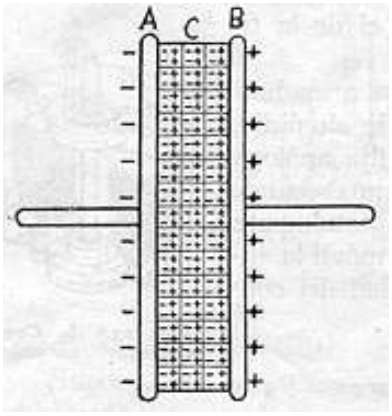


Fig. 4.2

En la Fig. 4.2 se ha representado un condensador de láminas planas paralelas. Si se considera el dieléctrico, **C** dividido en celdas de pequeñísimo tamaño, dentro de éstas los electrones se desplazan ligeramente orientándose con arreglo a la carga que poseen las armaduras metálicas **A (-)** y **B(+)** (polarización).

A partir de la medida del coeficiente dieléctrico se puede obtener el valor de la *susceptibilidad eléctrica* η mediante la ecuación:

$$K_e = 1 + \frac{\eta}{\varepsilon_0} \qquad (4.12)$$

4.4. CONDENSADORES DE CAPACIDAD VARIABLE

Son aquellos en los que la capacidad puede modificarse (siempre entre ciertos límites). Se utilizan preferentemente en los circuitos de sintonía de los aparatos de radio. En general son de aire, de capacidad reducida.

Las armaduras están constituidas por un cierto número de placas metálicas paralelas móviles conectadas entre sí, que se colocan frente a otro grupo de placas metálicas paralelas fijas, también conectadas entre sí. Mediante un eje solidario las placas móviles giran frente a las fijas con lo que se logra que la superficie común de ambos grupos de placas sea variable, y en

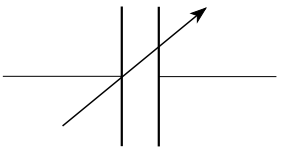
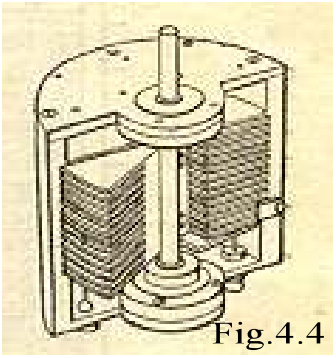


Fig. 4.3


Fig.4.4

consecuencia también lo es la capacidad.

Para representarlos se utiliza el símbolo de la Fig.4.3.

La Fig. 4.4 representa un condensador de capacidad variable de los empleados en los aparatos de radio.

4.5. ASOCIACIÓN DE CONDENSADORES EN SERIE

La asociación de condensadores en serie, es aquella en la que la armadura positiva de uno de ellos está unida eléctricamente a la negativa del siguiente, y así sucesivamente.

Todos los condensadores adquieren la misma carga.

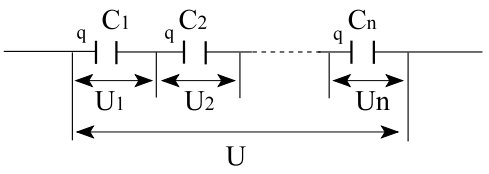


Fig. 4.5

En la Fig. 4.5, se verifica:

$$U = U_1 + U_2 + \ldots\ldots + U_i + \ldots\ldots + U_n$$

Donde:

$$U_i = \frac{q}{C_i}$$

$$U = \frac{q}{C} = \sum_{i=1}^{n} \frac{q}{C_i}$$

Siendo **C** la capacidad del condensador equivalente. En consecuencia se tiene:

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^{i} \frac{1}{C_i} \qquad (4.13)$$

En la asociación de condensadores en serie se verifica que, *la inversa de la capacidad equivalente del conjunto, es igual a la suma de las inversas de las capacidades de cada uno de ellos.*

4.6. ASOCIACIÓN DE CONDENSADORES EN PARALELO

La asociación de condensadores en paralelo es aquella en que todas las armaduras positivas se conectan entre sí, y todas las negativas también, Fig.4.6.

Cada condensador, dependiendo de su capacidad, adquiere una carga.

$$q = q_1 + \ldots\ldots + q_i + \ldots\ldots + q_n \;\; ; \;\; q_i = U.C_{i_{(i=1,2,..,n)}}$$

Ahora bien, en el condensador equivalente **C** se cumple:

$$q = C.U \;\; ; \;\; q = \sum_{i=1}^{n} q_i = \sum_{i=1}^{n} C_i.U = U \sum_{i=1}^{n} C_i$$

$$C = \sum_{i=1}^{n} C_i \qquad (4.14)$$

En la asociación de condensadores en paralelo se verifica que, *la capacidad del condensador equivalente es igual a la suma de las capacidades de cada uno de ellos.*

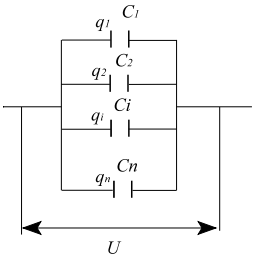


Fig.4.6

4.7. ENERGÍA DE UN CONDENSADOR CARGADO

Supongamos un condensador de capacidad **C**, conectado a una diferencia de potencial **U**, y que en un instante ha adquirido una carga **q**. En un **dt** posterior, el generador que lo alimenta ha realizado un trabajo **dW** para llevar una carga **dq** desde la armadura negativa a la positiva.

Según (3.25), se verifica:

$$dW = U.dq$$

O bien:

$$dW = \frac{q}{C}.dq \qquad (4.15)$$

Si suponemos que el condensador se encuentra inicialmente descargado, y que en el instante **t** ha adquirido la carga **Q**, integrando (4.4) se tiene:

$$W = \int_0^Q \frac{q}{C}.dq = \frac{1}{2}.\frac{Q^2}{C} \qquad (4.16)$$

También:

$$W = \frac{1}{2}.Q.U \;\; ; \;\; W = \frac{1}{2}.C.U^2 \qquad (4.17)$$

Esta energía la libera el condensador cuando se descarga[2].

[2] Para realizar la descarga no hay más que poner las dos armaduras en contacto por intermedio de un conductor. En los laboratorios de emplea un *excitador* que está formado por un arco metálico provisto de un mango aislado. Si se pone un extremo del arco en contacto con una de las armaduras y se aproxima el otro a la otra armadura, antes de que se produzca el contacto de produce la descarga eléctrica a través del aire en forma de chispa.