

ELECTRÓNICA

Guía de estudio 4:

Capacitancia

Nivel: Secundario - Modalidad Educación Técnico-Profesional.

Ciclo: Segundo ciclo.

Especialidades: Electrónica, Electricidad.

Introducción

En esta guía veremos que es un capacitor, capacitancia, unidades, expresión de la capacidad en función de la carga eléctrica y la tensión, interconexión de capacitores, comportamiento del capacitor en corriente alterna, reactancia capacitiva.

¿Qué estamos aprendiendo? Capacidad en circuitos electrónicos.

Antes de comenzar con esta guía es necesario haber completado la Guía N° 1 - Resistencias y la Guía N° 2 - Ley de Ohm.

Materiales de estudio

Recurso 1: Electricidad y Electrónica Parte 1 – Lic. Agustín Rela
<https://www.educ.ar/recursos/151487/electricidad-y-electronica-parte-1>



Recurso 2: Características y tipos de capacitores. El recurso es una página Web de la Universidad de la Patagonia:
<http://www.ing.unp.edu.ar/electronica/asignaturas/ee016/tutoriales/capacitores/capacitores.htm>



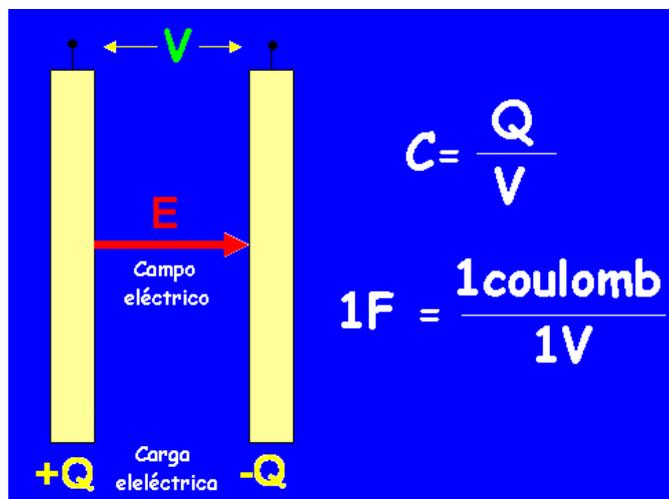
Conceptos relevantes, explicaciones y ejercitaciones.

Capacitor

Los capacitores son elementos lineales y pasivos que pueden almacenar y liberar energía.

Si se enfrentan dos placas conductoras, se construye un capacitor. Las placas están separadas por un dieléctrico que puede variar de capacitor en capacitor según el material que se use. El dieléctrico de un capacitor influye fuertemente en el valor de la capacidad resultante. La capacidad es directamente proporcional al área o superficie de las placas e inversamente proporcional a la distancia de separación de las mismas.

La tensión V entre las placas del capacitor es directamente proporcional a la carga Q almacenada.



La relación entre la cantidad de carga Q almacenada entre las placas de un capacitor y la tensión V producida, será una constante que refleja la capacidad del capacitor para almacenar carga y se llama capacidad C .

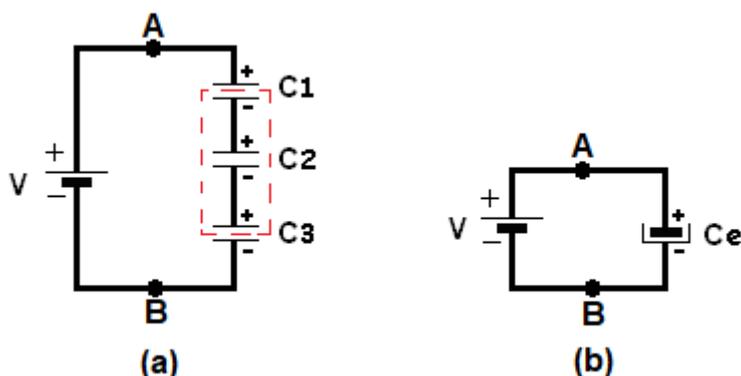
$$C = \frac{Q}{V}$$

La unidad de capacitancia es el coulomb por volt o farad (F). Por tanto, si un capacitor tiene una capacitancia de un farad, una transferencia de carga de un coulomb al capacitor elevará su potencial en un volt.

$$1 \text{ farad (F)} = \frac{1 \text{ coulomb (C)}}{1 \text{ volt (V)}}$$

No se puede aumentar indefinidamente el valor de una tensión a un capacitor. Si aumenta la tensión, aumenta la carga almacenada. Por la distribución de carga en las placas del capacitor, aparece un campo eléctrico en el dieléctrico. El valor límite de la intensidad del campo eléctrico para el cual el material dieléctrico pierde su propiedad aisladora, se llama **rigidez dieléctrica del material**. Este valor límite no debe ser alcanzado, para lo cual es aconsejable que la tensión aplicada al capacitor esté por debajo de la máxima con un margen razonable.

Capacitores en Serie



Consideremos primero el efecto de varios capacitores conectados a lo largo de una sola rama de un circuito. Este tipo de conexión se llama conexión en serie. Todo el conjunto de capacitores del circuito (a) se comporta como un único capacitor de capacidad equivalente C_e en el circuito (b).

La batería mantiene una tensión V entre la placa positiva C_1 y la placa negativa C_3 . El polo negativo de la batería provee electrones a la placa derecha de C_3 mientras que el polo positivo atrae a los electrones de la placa izquierda de C_1 que se carga positivamente. La carga no puede pasar entre las placas de los capacitores porque el dieléctrico interrumpe la continuidad del circuito; por lo tanto, toda la carga contenida dentro del rectángulo punteado de la figura anterior es carga inducida. Por esta razón, la carga en cada capacitor es idéntica. Se escribe:

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

Puesto que la tensión entre A y B es una única malla, la tensión de la batería debe ser igual a la suma de las tensiones a través de cada capacitor.

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

Si se sabe que la capacitancia C se define como Q/V , entonces $V = Q/C$ y:

$$\frac{Q}{C_e} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3}$$

Para una conexión en serie,

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

Así, que la expresión anterior queda:

$$\frac{Q}{C_e} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

Si ahora se divide ambos miembros de la igualdad por la carga, se obtiene:

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

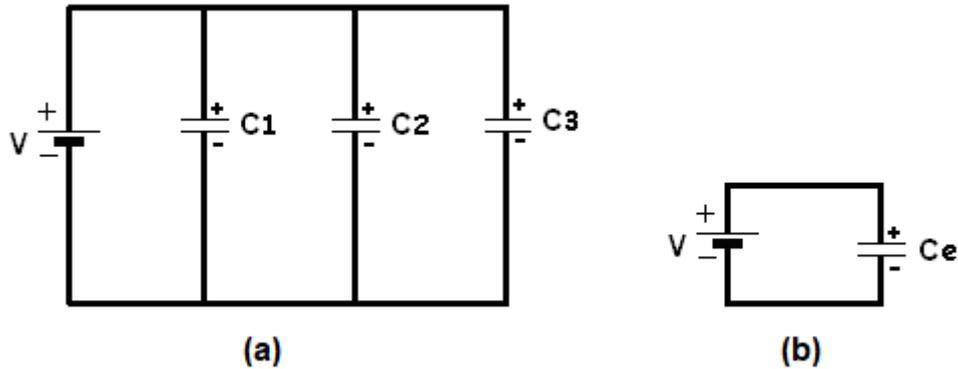
La capacitancia total para dos capacitores en serie es:

$$C_e = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad \text{Conexión en serie}$$

Observe que tiene la misma forma que el paralelo de dos resistencias.

Capacitores en Paralelo

Con capacitores en serie, una única carga se encuentra por igual en todos los capacitores y la tensión total es la suma de las tensiones. ¿Qué ocurre si la carga se distribuye entre varias placas de capacitores? Si se conectan dos o más capacitores a la misma tensión, quedan conectados en paralelo. El capacitor C_e en el circuito (b) es equivalente a los tres capacitores del circuito (a).



De la definición de capacitancia, la carga en un capacitor conectado en paralelo es:

$$Q1 = C1.V1 \quad Q2 = C2.V2 \quad Q3 = C3.V3$$

La carga total Q es igual a la suma de las cargas individuales:

$$Q = Q1 + Q2 + Q3$$

La capacitancia equivalente a todo el circuito es

$$Q = Ce.V$$

así que la ecuación se transforma en

$$Ce.V = C1.V1 + C2.V2 + C3.V3$$

Ya vimos que en una conexión en paralelo todos los capacitores tienen la misma tensión porque están igualmente conectados a la misma fuente,

$$V = V1 = V2 = V3$$

Por tanto, la ecuación anterior queda:

$$Ce.V = C1.V + C2.V + C3.V$$

Al dividir por la tensión V se obtiene:

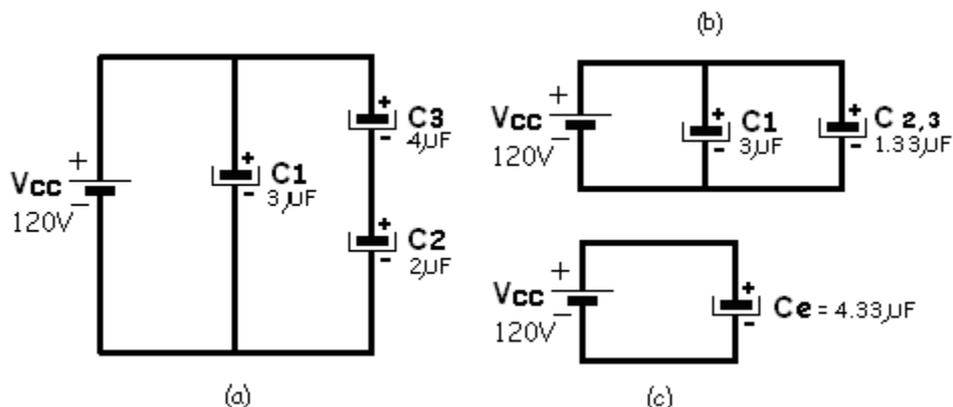
La capacitancia total para tres capacitores en paralelo es:

$$Ce = C1 + C2 + C3 \quad \text{Conexión en paralelo}$$

Observe que tiene la misma forma que tres resistencias en serie.

Ejemplo:

- a) Encuentre la capacitancia equivalente del circuito mostrado en la figura siguiente.
 b) Determine la carga en cada capacitor.
 c) Cuál es la tensión entre las placas del capacitor de $4\mu\text{F}$.



- a) Los capacitores de $C_3 = 4\mu\text{F}$ y $C_2 = 2\mu\text{F}$ están conectados en serie; su capacitancia combinada se encuentra en la siguiente ecuación:

$$C_{2,3} = \frac{C_2 \cdot C_3}{C_2 + C_3} = \frac{(2\mu\text{F})(4\mu\text{F})}{2\mu\text{F} + 4\mu\text{F}} = 1.33\mu\text{F}$$

Estos dos capacitores pueden reemplazarse por su equivalente, como se ve en la figura b. Quedan dos capacitores que están conectados en paralelo. Por tanto, la capacitancia equivalente es:

$$C_e = C_1 + C_{2,3} = 3\mu\text{F} + 1.33\mu\text{F} = 4.33\mu\text{F}$$

- b) La carga total en el circuito es

$$Q = C_e \cdot V = (4.33\mu\text{F}) \cdot (120\text{V}) = 520\mu\text{C}$$

La carga Q_1 en el capacitor C_1 de $3\mu\text{F}$ es

$$Q_1 = C_1 \cdot V = (3\mu\text{F}) \cdot (120\text{V}) = 360\mu\text{C}$$

El resto de la carga es

$$Q - Q_1 = 520\mu\text{C} - 360\mu\text{C} = 160\mu\text{C}$$

La carga debe almacenarse en los capacitores en serie, por lo tanto,

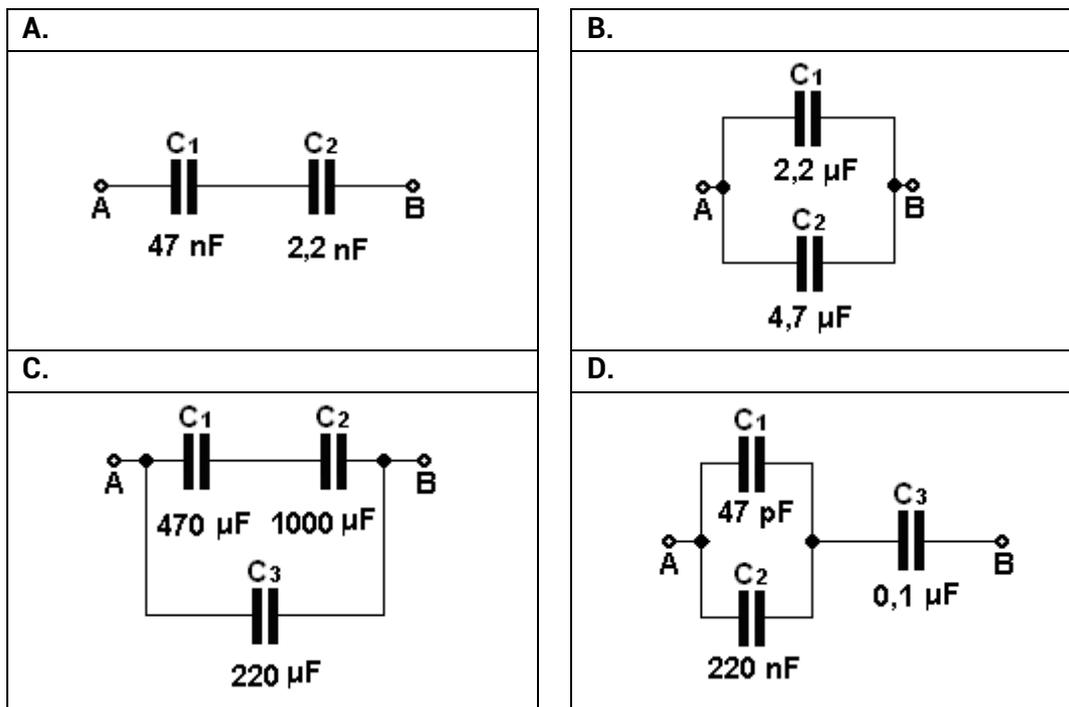
$$Q_2 = Q_3 = 160 \mu\text{C}$$

c) La caída de tensión a través del capacitor C3 de $4 \mu\text{F}$ es

$$V_3 = \frac{Q_3}{C_3} = \frac{160 \mu\text{C}}{4 \mu\text{F}} = 40\text{V}$$

Ejercicio N°1

Para las configuraciones que se dan a continuación se pide hallar la capacidad equivalente.



Tensión y corriente alternas

La tensión y la corriente alterna son funciones periódicas formadas por ciclos idénticos que se repiten indefinidamente. Supondremos de aquí en adelante que la forma de onda es senoidal.

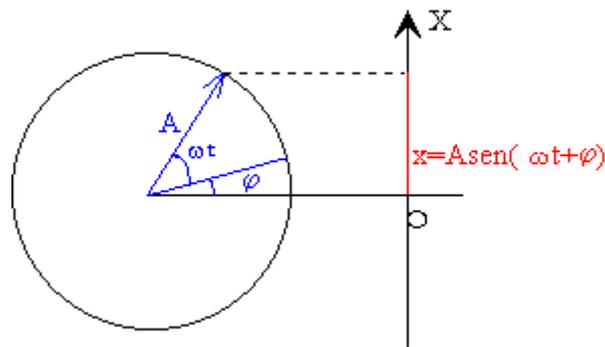
El período y la frecuencia son inversamente proporcionales y dado que 2π radianes son 360° , la frecuencia angular ω , el periodo T y la frecuencia f están relacionados por:

$$T = \frac{1}{f} \quad [T] = \text{seg}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad [f] = \text{Hz}$$

$$\quad \quad \quad [\omega] = \text{rad/seg}$$

En la siguiente figura, se observa la interpretación de un movimiento armónico simple como proyección sobre el eje X, del extremo de un vector rotatorio de longitud igual a la amplitud A, y que gira con velocidad o frecuencia angular constante ω (rad/seg), en el sentido contrario a las agujas del reloj.



Fuente de la imagen:

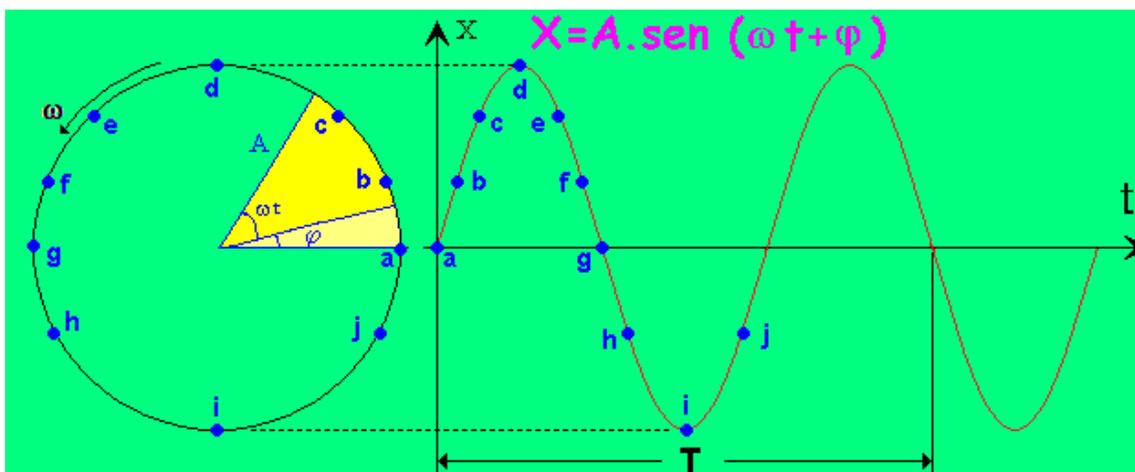
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/induccion/alterna/alterna.htm>

La expresión de dicha proyección es:

$$X = A \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi)$$

El ángulo $(\omega t + \varphi)$ que forma el vector rotatorio con el eje horizontal se denomina fase del movimiento. El ángulo φ que forma en el instante $t=0$, se denomina fase inicial.

Si un punto se mueve hacia la derecha del eje X a la misma velocidad que el movimiento angular, siguiendo la proyección sobre el eje X, tendremos una senoidal en un par de ejes X-Tiempo. Cada punto sobre el círculo se corresponde con un punto en la senoidal.



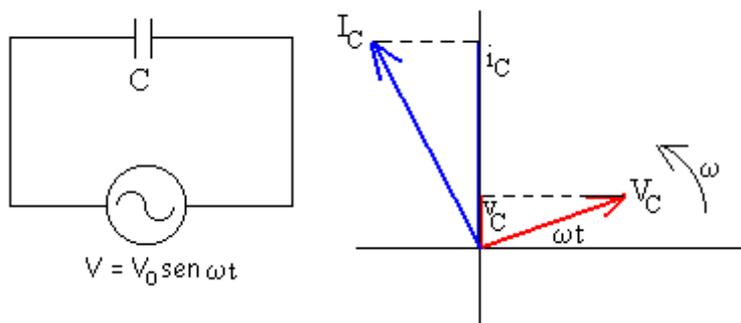
Debido a que las formas de onda de tensión y corriente están en constante movimiento, se las suele describir mediante vectores giratorios o fasores.

El periodo T está relacionado con la frecuencia angular a través de:

$$T = 1/f = 2\pi/\omega$$

El capacitor en corriente alterna

En la siguiente figura puede verse un capacitor en un circuito de una única malla con un generador de onda senoidal de frecuencia angular ω y amplitud V_0 .



Fuente de la imagen:

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/inducccion/alterna/alterna.htm>

A la derecha de la figura vemos un diagrama fasorial de tensión y corriente en el capacitor. La explicación física del atraso de 90° de la tensión respecto de la corriente es que la corriente se establece instantáneamente, pero la tensión no, debido al tiempo que tardan las placas del capacitor en cargarse. Por eso, al módulo de la reactancia capacitiva X_C debemos anteponerle $-j$ para indicar que está en el eje imaginario negativo del plano complejo.

La explicación desde el punto de vista matemático es la siguiente:

En un capacitor la carga q , la capacidad C y tensión V entre sus placas están relacionadas entre sí por:

$$q = C \cdot v$$

Si se conecta las placas del capacitor a un generador de corriente alterna:

$$q = C \cdot V_0 \text{sen}(\omega t)$$

La intensidad se obtiene derivando la carga respecto del tiempo, $i = dq/dt$:

$$i_c = C \omega V_0 \text{sen} \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

En un capacitor, la tensión atrasa 90° respecto a la corriente.

Recordemos que en una resistencia la corriente y la tensión están en fase.

Todo circuito en el cual la tensión atrase respecto a la corriente, se dice que tiene comportamiento capacitivo.

Reactancia capacitiva

La relación entre las amplitudes de la tensión y la corriente en un capacitor se denomina **Reactancia Capacitiva** y es:

$$\frac{V_C}{I_C} = |X_C| = \frac{1}{\omega C}$$

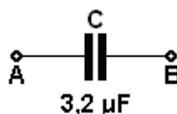
Podemos ver, a partir de la Ley de Ohm, que la unidad de la reactancia capacitiva es el Ohm (Ω) ya que es una relación entre tensión y corriente.

Esta cantidad de ohm que representa la reactancia capacitiva es diferente a la cantidad de ohm de la resistencia porque aquí depende de la frecuencia. Además, en una resistencia la tensión y la corriente están en fase, mientras que en un capacitor la tensión atrasa 90° a la corriente.

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

Ejemplo

Hallar la reactancia capacitiva para el siguiente capacitor a $f = 50\text{Hz}$



$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ radianes/seg}$$

$$X_c = -j \cdot 1 / (314 \cdot 3,2 \cdot 10^{-6}) = -j995 \Omega$$

Ejercicio N°2

Para los circuitos del ejercicio N° 1 hallar la reactancia capacitiva de todos los capacitores para las frecuencias $f = 50\text{Hz}$ y $f = 1.5\text{KHz}$

Para seguir aprendiendo:

Ejercicio 3

En el libro "Electricidad y Electrónica Parte 1" del autor Lic. Agustín Rela, indicado como Recurso N°1, puede verse en la página 16 "Modelo mecánico de un capacitor" una analogía entre un capacitor y un Sistema mecánico.

- ¿Cuál es el componente mecánico que tiene el mismo comportamiento que un capacitor?
- ¿Qué magnitud física representa la tensión eléctrica en ese modelo?

Ejercicio 4

Consulta el siguiente recurso y contesta las preguntas:

<http://www.ing.unp.edu.ar/electronica/asignaturas/ee016/tutoriales/capacitores/capacitores.htm>



- ¿En qué circuitos se utilizan los capacitores cerámicos?
- ¿De qué materiales están hechos los capacitores electrolíticos?

A modo de cierre de esta guía, te proponemos resaltar aquello que te ha resultado más difícil, que te diste cuenta que requiere más explicaciones, ejercitaciones, etc. Repasá la guía, revisá tus apuntes y respuestas. ¡¡¡Escribilo todo!!! Para el momento en que te encuentres con tus profesoras y profesores.