

MÓDULO DOS ELECTROTECNIA

U.D. 2 CIRCUITOS ELÉCTRICOS. ANÁLISIS
FUNCIONAL

M 2 / UD 2

ÍNDICE

Introducción.....	63
Objetivos.....	65
1. Circuito eléctrico.....	67
1.1. Circuito.....	67
1.2. ¿Para qué el cálculo de circuitos?.....	67
2. Tipos y formas de la energía eléctrica (tensión, corriente, potencia...).....	68
3. Generadores de cc y asociación de generadores de cc.....	69
3.1. Noción.....	69
3.2. Tipos de elementos electroquímicos.....	69
3.3. Magnitudes eléctricas.....	69
3.4. Tipos de acumuladores y pilas.....	70
3.5. Obtención de corriente eléctrica.....	70
3.6. Precaución.....	71
3.7. Asociación de generadores de cc.....	71
4. La corriente alterna: tipo y parámetros.....	73
4.1. Recordemos: el generador elemental de ca.....	73
4.2. Magnitudes y valores importantes en ca senoidal.....	73
4.3. Potencia en ca.....	74
5. Generadores y receptores.....	76
5.1. Recordemos.....	76
5.2. Polarización de receptores.....	76
6. Receptores: resistencia pura (R).....	79
6.1. Previo.....	79
6.2. Aspectos constructivos.....	79
6.3. Circuito con resistencia pura.....	79
6.4. Potencia.....	80
6.5. Ejemplos.....	80
7. Receptores: capacidad pura (C).....	81
7.1. Previo.....	81
7.2. Aspectos constructivos.....	81

7.3. Comportamiento del condensador en cc:	
carga/descarga	81
7.4. Circuito con capacidad pura	83
7.5. Otras consideraciones.....	83
7.6. Potencia	84
7.7. Ejemplos	84
8. Receptores: inducción pura (L).....	86
8.1. Previo	86
8.2. Aspectos constructivos	86
8.3. Estudio del comportamiento en CC:	
conexión/desconexión.....	86
8.4. La inductancia, l, en CA	89
8.5. Otras consideraciones.....	89
8.6. Potencia	89
8.7. Ejemplos	90
9. Asociación de receptores: circuitos serie.....	91
10. Asociación de receptores: circuitos paralelo	93
11. Potencia en CA.....	95
Resumen	99

INTRODUCCIÓN

Todos y cada uno de los montajes que podemos llevar a cabo constituyen un “circuito eléctrico”. Éste tiene sus “leyes” de funcionamiento que, normalmente, nos pueden pasar desapercibidas, pero son las que en realidad rigen su comportamiento.

El estudio de los circuitos eléctricos es muy complejo y necesita herramientas matemáticas que en estos momentos aún no se han estudiado. Por ello se describen sólo circuitos sencillos que pueden resolverse con conocimientos matemáticos relativamente sencillos.

OBJETIVOS

Conocer ordenadamente los circuitos eléctricos básicos y ser capaz de resolverlos de forma simple.

1. CIRCUITO ELÉCTRICO

1.1. Circuito

Un circuito eléctrico consta de esencialmente de generador y receptor. Funcionalmente, consta de: fuente, elementos de maniobra y protección, conductores, receptor.

Son generadores o fuentes:

- De cc: las dinamos; las pilas y acumuladores. También las "fuentes de alimentación" electrónicas, que proporcionen una alimentación de cc.
- De ca: los alternadores; la conexión a la red pública de distribución de ca a 50 Hz, sea directamente, sea a través de transformadores separadores y/o reductores.

De una fuente o generador, en la práctica, interesa:

- Para cálculo de teoría de circuitos: tipo de corriente: cc o ca; f.e.m; frecuencia; resistencia o impedancia interna.
- Para diseño de circuitos e instalaciones: tipo de corriente: cc o ca; tensión; potencia y/o corriente nominales que puede proporcionar; otros datos, como tensión de cortocircuito, impedancias,...

1.2. ¿Para qué el cálculo de circuitos?

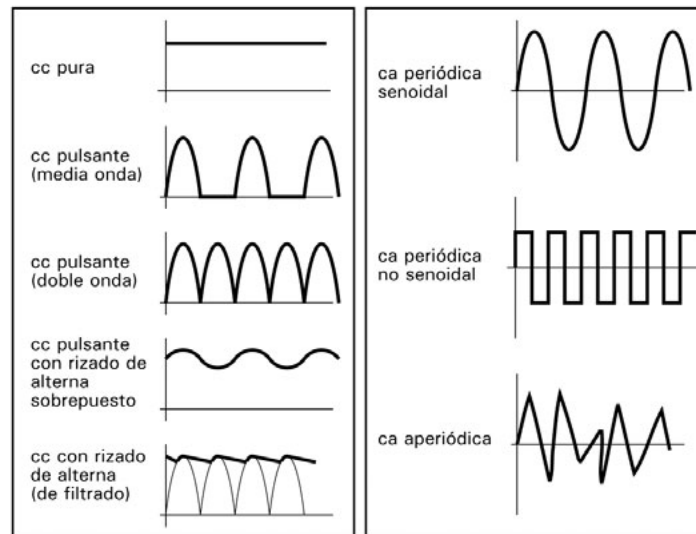
El objetivo inmediato y formal del cálculo de circuitos es conocer todos los parámetros de un circuito.

El objetivo funcional es que el circuito y todos sus elementos trabajen correctamente (cumplan su objetivo) y lo hagan con seguridad (para las persona, animales y bienes).

Para cumplir este objetivo, mediante el cálculo de circuitos se deben de determinar todos los parámetros físico-matemáticos del circuito para poder fijar el punto de funcionamiento y las interrelaciones entre los diversos elementos.

2. TIPOS Y FORMAS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA (TENSIÓN, CORRIENTE, POTENCIA...)

A lo largo del tema se hace referencia a la forma de las diversas señales, de tensión o corriente. El cuadro siguiente resume los principales tipos.



3. GENERADORES DE CC Y ASOCIACIÓN DE GENERADORES DE CC

Cada vez es mayor el número de aparatos portátiles de uso frecuente que se alimentan con generadores de cc: teléfonos móviles, discman, cámaras, receptores de radio y radiotelefonos, ordenadores,...; profesional e industrialmente: sistemas de telefonía (centrales y estaciones), sistemas de seguridad, SAI,s o UPS's, máquinas herramienta portátiles...

3.1. Noción

Los generadores electroquímicos convierten energía química en energía eléctrica. Tienen la ventaja, respecto a los electromecánicos, de que pueden almacenar energía; pero tienen el inconveniente de que la energía que contienen es limitada.

Eléctricamente, constan siempre de unos electrodos (ánodo, positivo y cátodo, negativo) y un electrolito.

Un generador electroquímico está constituido por un recipiente que contiene las placas y el electrolito y, además, unos bornes de conexión.

3.2. Tipos de elementos electroquímicos

- Elementos primarios, pilas o elementos no recargables: son los generadores electroquímicos que, una vez se han agotado, ya no son prácticamente recargables. Son los que normalmente denominamos pilas.
- Elementos secundarios, acumuladores o elementos recargables: son elementos electroquímicos reversibles, es decir, una vez descargados se pueden volver a cargar. Por ejemplo, las baterías de arranque (las de los coches) o las de un teléfono móvil. A los elementos reversibles se les suele denominar baterías.

3.3. Magnitudes eléctricas

- Tensión o f.e.m. El valor de la tensión que proporciona un elemento electroquímico depende del tipo de electrodo.
- Capacidad: es una expresión de la cantidad de electricidad que puede almacenar. Se mide en A.h o en mA.h. Esta magnitud significa, por ejemplo, que una batería de 30 A.h puede dar 30 A durante 1 hora ó 1 A durante 30 horas. En realidad la variación no es lineal: cuanto más suave sea la descarga, más tiempo dura la batería. En general, siempre debe de evitarse la carga y/o descarga rápida de elementos electroquímicos.

3.4. Tipos de acumuladores y pilas

Acumuladores de plomo-ácido: son las baterías de arranque de los coches y de instalaciones fijas de telecomunicaciones. Su tensión es de 2 V/elemento. Las baterías de plomo-ácido (no herméticas) deben de usarse con precaución porque los gases de carga son explosivos y su electrolito es muy corrosivo.

Batería de NiCd: tiene la ventaja de no emitir vapores ácidos o explosivos al ambiente. Se usan en algunas instalaciones industriales. Su tensión es 1,2 V/elemento.

El formato pila (pequeño tamaño, cilíndricas o no) se usan muchos tipos de elementos. Los hay desechables y recargables. En el siguiente cuadro se dan algunos datos técnicos.

Sistema	V/elemento	Comentario
Zn/Ag ₂ O	1,55	de botón
NiMH	1,2	recargable (típicas de móvil)
ZnO ₂	1,4	de botón
NiCd	1,2	recargable
Zn/HgO	1,4 - 1,5	de botón
Li/MnO ₂	3	de botón
Zn/MnO ₂	1,5	clásica; mejorada: alcalinas no recargables

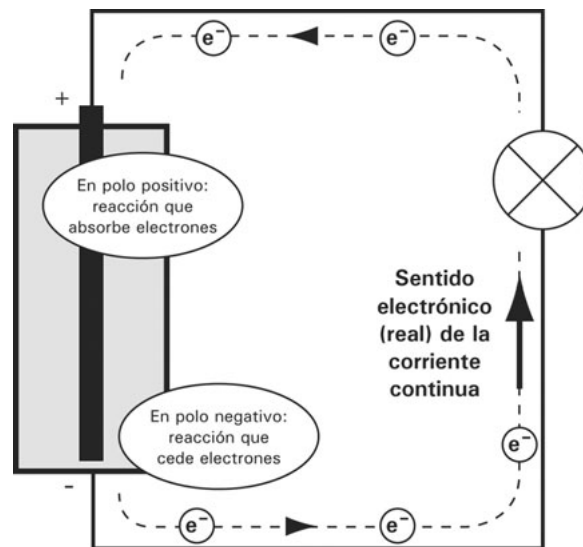
Para conocer mejor los distintos tipos de pilas actuales es aconsejable recurrir a la información (muy completa) que las marcas acreditadas tienen en internet.

3.5. Obtención de corriente eléctrica

La obtención de energía eléctrica se basa en reacciones químicas que se hacen en las placas, o entre placas y electrolito.

Durante la descarga, la reacción en el cátodo libera electrones que, circulando por el circuito exterior, llegan al ánodo en donde se recombinan.

Durante la carga, para trabajar en contra de la f.e.m. del elemento, hace falta una fuente exterior de energía, con una tensión superior a la del elemento a cargar, para conseguir hacer la reacción contraria.



3.6. Precaución

Los generadores electroquímicos, por su propia constitución, tiene tres riesgos importantes:

- **Riesgo eléctrico:** como generadores tiene una energía que puede ser peligrosa. Por ejemplo, la corriente de cortocircuito de una batería de coche puede superar el kA, lo que puede producir muy fácilmente un incendio.
- **Riesgo químico:** los productos usados en pilas y acumuladores son todos químicamente activos, peligrosos y, hasta venenosos. Nunca deben manipularse sin especiales precauciones. Tragarse ciertos tipos de pilas de botón es mortal. El ácido de la batería del coche es muy corrosivo para la piel y peligroso para la vista.
- **Riesgo ecológico:** las pilas y acumuladores viejos siempre deben llevarse a los puntos de recogida. Por ejemplo, algunos tipos de pilas, pueden contaminar cientos o miles de litros de agua de un manantial y hasta de un acuífero, que es más grave.

3.7. Asociación de generadores de cc

La asociación de generadores de cc en serie es muy frecuente, puesto que, como se ha visto, la tensión que puede proporcionar cada elemento es muy baja.

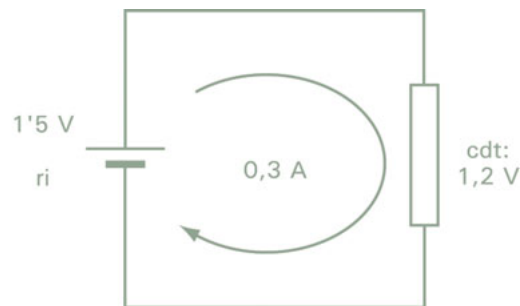
Para que la asociación sea rentable en sentido electrotécnico y económico, los elementos deben ser iguales.

En la asociación serie, se suman las f.e.m. y las resistencias internas de cada elemento. La corriente del conjunto y su capacidad es la misma que la de cada elemento.

La asociación paralelo no se usa en aplicaciones domésticas, pero sí en industriales. Su estudio es complejo; aquí se obvia.

Ejemplo 1.- Hallar la r_i de la pila.

CASO
PRÁCTICO



Solución

$$1) \quad U_b = f_{em} - cdt(i) \Rightarrow cdt(i) = f_{em} - U_b \\ cdt(i) = 1,5V - 1,2V = 0,3 \text{ V}$$

$$2) \quad cdt(i) = r_i \cdot I \Rightarrow r_i = \frac{cdt(i)}{I} \\ r_i = \frac{0,3 \text{ V}}{0,3 \text{ A}} = 1 \Omega$$

Ejemplo 2.- Con qué tensión alimentamos un discman que utiliza 3 elementos en serie, si:

- Utilizamos 3 pilas desechables normales (manganeso - zinc).
- Utilizamos 3 pilas recargables de NiCd.

Solución:

$$f_{em_{total}} = f_{em_1} + f_{em_2} + f_{em_3} = 1,5 + 1,5 + 1,5 = 4,5 \text{ V}$$

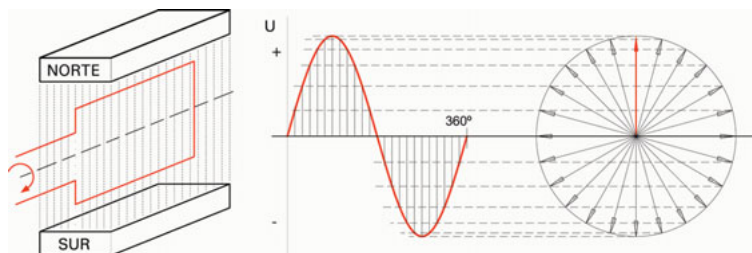
$$f_{em_{total}} = f_{em_1} + f_{em_2} + f_{em_3} = 1,2 + 1,2 + 1,2 = 3,6 \text{ V}$$

¡Por eso parece que duren menos: porque llegan antes a la tensión mínima de funcionamiento del aparato!

4. LA CORRIENTE ALTERNA: TIPO Y PARÁMETROS

4.1. Recordemos: el generador elemental de ca

Si hacemos girar una espira con velocidad angular constante, dentro de un campo magnético uniforme, de forma que el eje de giro sea perpendicular al campo, se produce en la bobina una «f.e.m. inducida alterna y senoidal».



4.2. Magnitudes y valores importantes en ca senoidal

4.2.1. Magnitudes

- Ciclo: conjunto de valores que toma una señal hasta volver al inicial (en valor y sentido).
- Frecuencia: número de ciclos que completa una señal en la unidad de tiempo.

Símbolo de la magnitud: f .

Unidad: hertzio, que corresponde a 1 ciclo por segundo; símbolo de la unidad: Hz.

- Período: es el tiempo que se tarda en completar un ciclo.

Símbolo de la magnitud: P .

Unidad: segundo.

Importante: la frecuencia es el inverso del período.

$$f = \frac{1}{P}; \quad \text{Hz} = \frac{1}{\text{s}}$$

- Pulsación: la velocidad angular de la espira.

Símbolo de la magnitud: ω

Unidad: rad/s; se expresa también en rpm (revoluciones por minuto); su factor de conversión es $2\pi/60$.

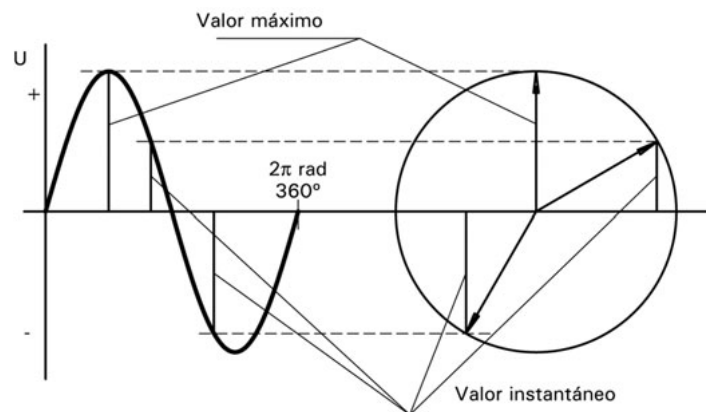
- Fase: ángulo de la espira en un instante dado. Se mide en unidades de ángulo, grados o radianes. Así, en trifásica, hablamos de "3 fases" porque las espiras forman un ángulo (de 120°).

4.2.2. Valores importantes

- Valores instantáneos: evidentemente, los valores cambian continuamente. Por ello, hay que hablar, ante todo, de valores instantáneos. Se representan con las letras minúsculas: e, u, i.
- Valores de pico o máximos: corresponden al punto más alto de la senoide, positivo o negativo. Se suelen expresar con letras mayúsculas y el subíndice "máx": $E_{máx}$, $I_{máx}$. Este valor será útil para saber, por ejemplo, la tensión máxima de carga de un condensador.
- Valores eficaces: éste es el valor que, salvo indicación expresa en contra, se usa normalmente y al que se hace referencia siempre al dar una valor eléctrico. Es el que marcan los aparatos de medida. Corresponde al valor de una cc que produjese los mismos efectos térmicos. Se representa por la letra mayúscula sin subíndices: E, U, I...

Relación matemática de interés:

$$E_{máx} = E \cdot \sqrt{2}; \quad \frac{E_{máx}}{\sqrt{2}} = E_{máx} \cdot 0,707 = E$$

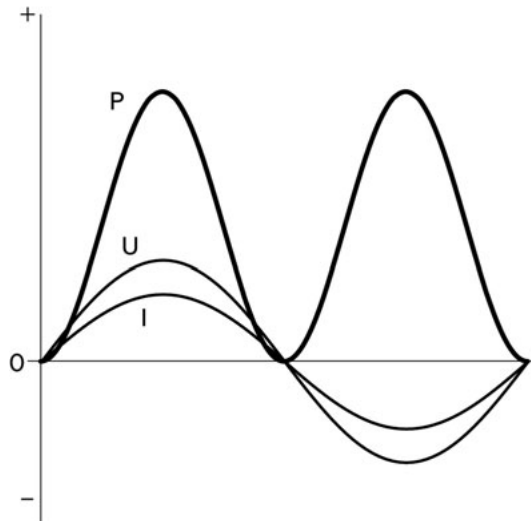


4.3. Potencia en ca

La potencia se define como el producto U.I.

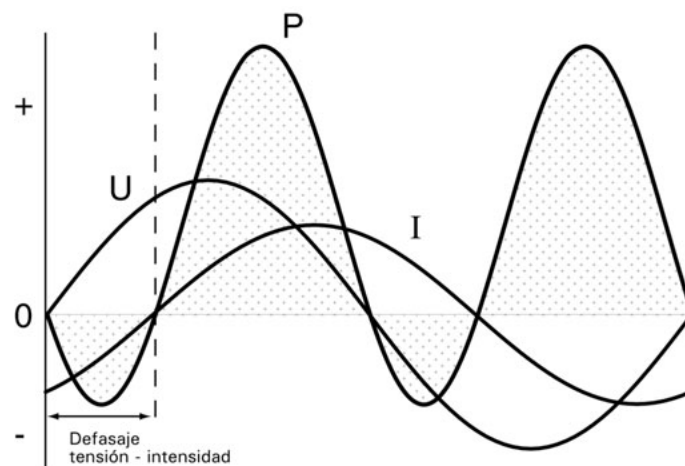
En cc, ambas magnitudes tienen un valor constante, por lo que su producto es, a su vez, un valor constante, es decir, no variable en el tiempo.

En ca, tanto la tensión como la intensidad varían continuamente según una función senoidal. Por tanto, su producto es también variable.



Según se observa en la figura anterior, la potencia es variable en función de los valores de U y de I. Siempre es positiva porque tensión y corriente son siempre del mismo signo.

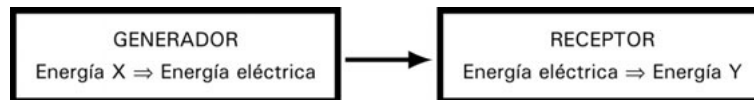
Pero, como se verá, si tensión y corriente se desfasan, aparece un "factor de potencia", menor que la unidad, que modifica el resultado: $P \neq U \cdot I$.



El ángulo de desfase se le suele denominar phi (φ) y tiene mucha importancia en el estudio de las instalaciones reales de ca.

5. GENERADORES Y RECEPTORES

5.1. Recordemos



Del generador, en este capítulo, interesa: cc o ca; frecuencia; fem; impedancia o resistencia interna.

Los receptores pueden ser pasivos, R, C y L o activos, que son los que tienen su propia f.e.m., como las baterías en carga o los motores de cc (los motores de ca, en este tema, se obvian).

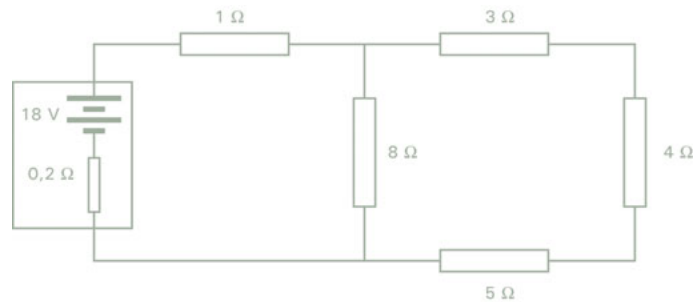
5.2. Polarización de receptores

Tanto en ca, como sobre todo en cc, es muy importante fijar un convencionalismo sobre los sentidos de las ddt y de las cdt. Para ello usaremos los siguientes convenios:

- 1) Salvo indicación en contra, trabajamos siempre con el sentido convencional de la corriente.
- 2) Se utilizan flechas para indicar el sentido de la corriente.
- 3) Se utilizan signos (+ o -) para indicar el sentido de las ddt o de las cdt.
- 4) Los generadores de cc tienen su propia polaridad de tensión. La corriente sale por su polo positivo y entra por el negativo, circulando por dentro del generador en sentido inverso.
- 5) Los generadores de ca no tienen polaridad. Pero señalar su sentido puede ser útil para calcular las ddt entre puntos.
- 6) Los receptores pasivos (R, C o L) no tienen polaridad. Se les asigna polaridad en función del sentido de la corriente, poniendo el + por donde entra la corriente al elemento.
- 7) Los receptores activos, como acumuladores en carga, tienen polaridad propia. La corriente de carga, que entra por su polo positivo, sólo polariza la resistencia interna.

Ejemplo 1.- Calcular valores y señalar sentidos en el circuito de la figura

CASO
 PRÁCTICO



Resolución

1) $R_t = [(3 + 4 + 5) // 8] + 1 + 0,2 = 6 \Omega$

2) $I_t = 18 \text{ V} / 6 \Omega = 3 \text{ A}$

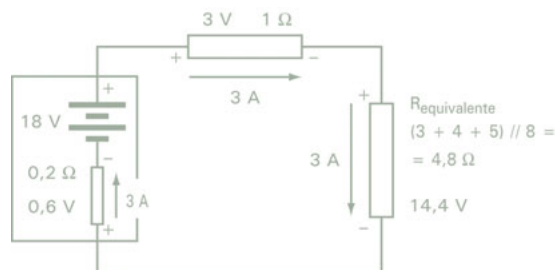
3) cdt parciales: 1ª parte

$cdt(i) = 3 \text{ A} \times 0,2 \text{ V} = 0,6 \text{ V}$

$U_b = fem - cdt(i) = 18 \text{ V} - 0,6 \text{ V} = 17,4 \text{ V}$

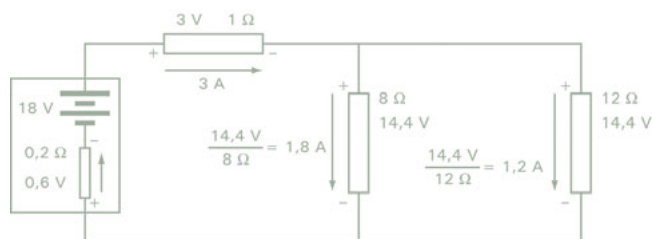
$cdt(1) = 3 \text{ A} \times 1 \Omega = 3 \text{ V}$

$cdt(4,8) = 3 \text{ A} \times 4,8 \Omega = 14,4 \text{ V}$

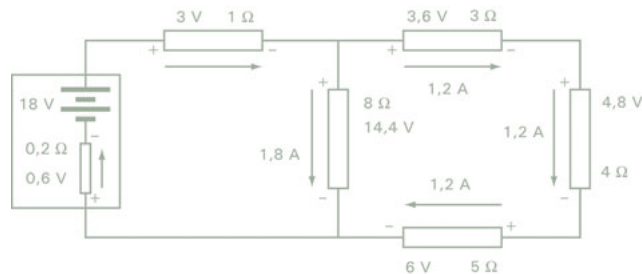


4) Resto ramas.

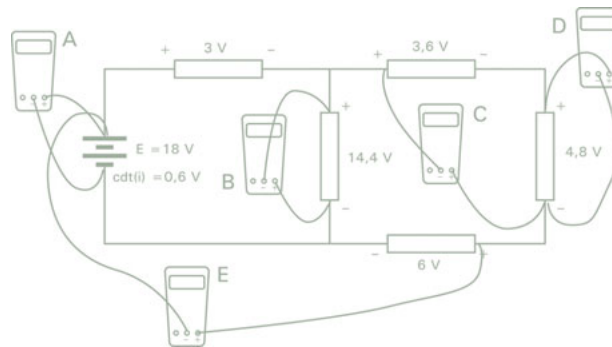
Una vez conocida la ddt sobre la Req del sistema serie/paralelo [(3 + 4 + 5) // 8], se aplica esa ddt a cada una de las ramas para calcular la corriente.



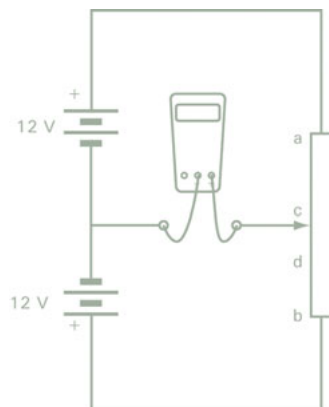
5) Sólo queda calcular la cdt en cada resistencia del sistema serie



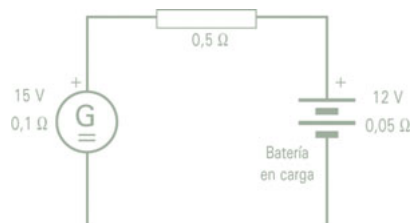
6) Para visualizar claramente el signo de las cdt, indíquese lo que marcaría cada uno de los volímetros de la figura siguiente



Ejemplo 2.- Resolver e indicar la lectura del volímetro cuando el cursor del potenciómetro esté en “a”, en “b”, en “c” (1/2 de su recorrido), en “d” (3/4 hacia abajo).



Ejemplo 3.- ¿Cuál es la corriente de carga de la batería?



6. RECEPTORES: RESISTENCIA PURA (R)

6.1. Previo

La resistencia es una cualidad de los circuitos.

Los resistores son componentes con resistencia (dicho sencillamente, tienen mucha resistencia en poco sitio). Todo conductor tiene resistencia. Todos los aparatos y sistemas eléctricos tienen, por tanto, resistencia.

6.2. Aspectos constructivos

La resistencia de un conductor depende:

- De sus dimensiones y tipo de material:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

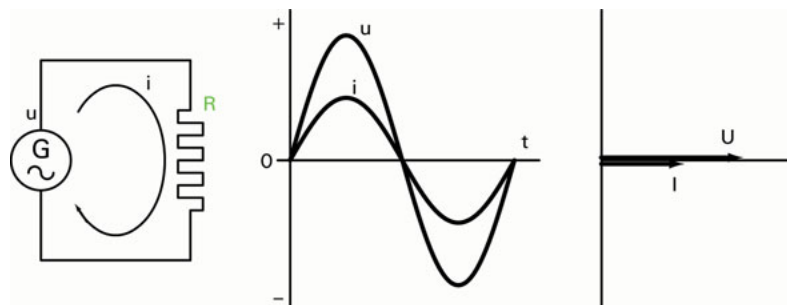
- De su temperatura:

$$R_c = R_{20} [1 + \alpha \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)] = R_{20} (1 + \alpha \cdot \Delta \vartheta)$$

6.3. Circuito con resistencia pura

Al aplicar a un circuito con resistencia pura una tensión alterna sinusoidal, sucede que:

- 1) Aparece una «oposición» a la circulación de la intensidad de corriente que se denomina «resistencia», cuyo símbolo es «R» y se mide en ohmios.
- 2) No aparece inercia a la variación de la tensión o de la intensidad, por lo que no se produce defasaje alguno entre la tensión y la intensidad de corriente



- 3) La intensidad de corriente es también alterna y senoidal.
- 4) La intensidad de corriente queda ligada a la tensión y a la resistencia por la ley de Ohm:

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

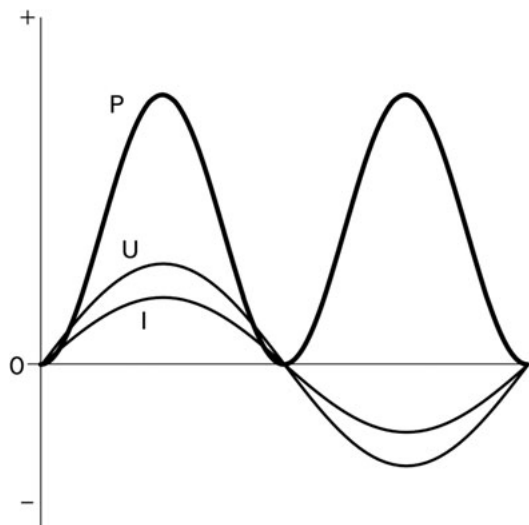
- 5) El valor de esta intensidad no queda ligado a la frecuencia.
- 6) La energía se libera en forma de calor siguiendo la Ley de Joule:

$$W = I^2 \cdot R \cdot t$$

6.4. Potencia

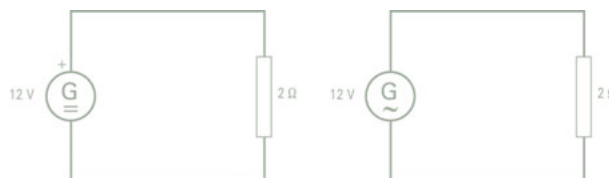
Puesto que no hay defasaje entre la tensión y la intensidad, la potencia es el producto de ambas.

$$P = U \cdot I$$



6.5. Ejemplos

Ejemplo 1.- Resolver el circuito en cc y en ca.



Igual en cc y en ca

$$I = \frac{12V}{2\Omega} = 2A$$

CASO
PRÁCTICO

7. RECEPTORES: CAPACIDAD PURA (C)

7.1. Previo

La capacidad es una cualidad de los circuitos.

Los condensadores son componentes con capacidad (dicho sencillamente, tienen mucha capacidad en poco sitio). Hay aparatos o montajes (por ejemplo, líneas eléctricas muy largas) que tienen una capacidad importante.

El estudio de esta parte es teórico, es decir, no existen circuitos con sólo capacidad, porque, siempre existe una componente resistiva (circuito RC). El objetivo de este estudio es conocer las características que definen la capacidad y las consecuencias que tiene en un circuito la existencia de capacidad.

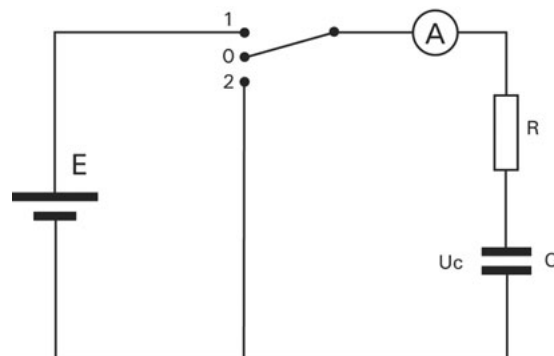
7.2. Aspectos constructivos

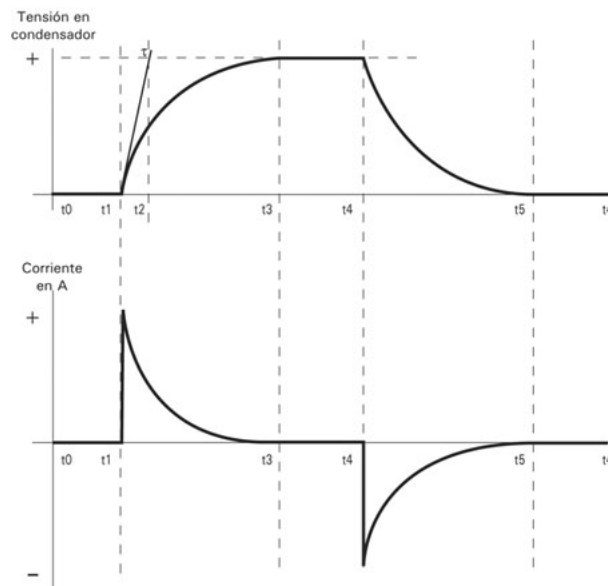
- 1) Los condensadores son componentes cuya principal característica es poseer capacidad.
- 2) La capacidad de un condensador depende de su construcción; es directamente proporcional a la superficie de placa enfrentada y a una constante, ϵ , que depende del aislante o dieléctrico e inversamente a la separación entre placas:

$$C = \epsilon \frac{\text{superficie}}{\text{dis tancia}}$$

7.3. Comportamiento del condensador en cc: carga/descarga

El circuito de la figura consta de una fuente de cc y un condensador; además, se inserta una resistencia para ralentizar el fenómeno y para poder aplicarla en alguna expresión matemática; también se tiene un conmutador para pasar de carga a descarga.





El proceso es el siguiente

- t_0 : $U_c = 0$ V.
- t_1 : Cerrar sobre 1. Inicio de carga. Gran pico de corriente, luego disminuye. U_c va subiendo.
- t_3 : La carga finaliza cuando $U_c = E$, y la corriente de carga es prácticamente 0 A. El tiempo de carga es aproximadamente unas 6 veces t . Pasamos el conmutador a la posición 0.
- t_3 - t_4 : El condensador permanece cargado.
- t_4 : Cerramos el conmutador sobre 2. Inicio de descarga. Gran pico de corriente en sentido contrario al anterior. La tensión disminuye, primero muy deprisa, después muy despacio.
- t_5 : Final de descarga. $U_c = 0$ V; $I = 0$ A.

Comentarios:

- R es, al menos, la resistencia del circuito de carga-descarga. Si se aumenta su valor, el proceso de carga o de descarga es más lento.
- La "constante de tiempo", τ , es la tangente a la curva en el origen.
- Su valor es: $\tau = R.C$ y en unidades: $s = \Omega.F$
- El condensador se considera completamente cargado para un tiempo de 5τ ó 6τ .

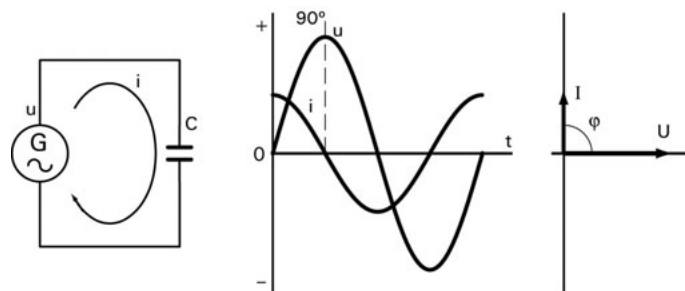
7.4. Circuito con capacidad pura

Al aplicar a un circuito con capacidad pura una tensión alterna senoidal, sucede que:

- 1) Aparece una «oposición» a la circulación de la intensidad de corriente que se denomina «reactancia capacitativa», cuyo símbolo es « X_C », y que se mide en ohmios.
- 2) El valor de esta reactancia capacitativa queda ligado a la frecuencia y a la capacidad por la expresión:

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

- 3) Aparece, además, una inercia a la variación de la tensión, por lo que la I se adelanta 90° respecto a la tensión aplicada



- 4) La intensidad de corriente es también alterna y senoidal.
- 5) La intensidad de corriente queda ligada a la tensión y a la reactancia por la ley de Ohm:

$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{U}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}} = U \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$$

- 6) En el condensador se almacena energía en forma de campo eléctrico, según la expresión:

$$W = \frac{1}{2} C \cdot U^2$$

7.5. Otras consideraciones

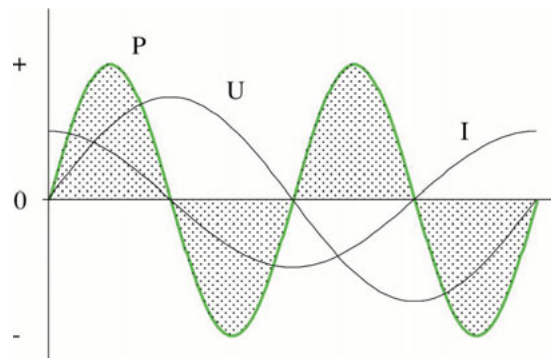
- 1) El condensador en cc (frecuencia cero) es un circuito abierto: la f está como factor multiplicador en la ley de Ohm.
- 2) Precaución con la I de conexión de condensadores.
- 3) Al manipular un circuito con condensadores, prever que pueden estar cargados, aunque hayan pasado horas desde que se han desconectado.

- 4) Las líneas largas de cables pueden tener una capacidad importante respecto a tierra.
- 5) Como se verá, los condensadores se utilizan para corregir el coseno de phi, para el arranque de ciertos tipos de motores monofásicos, suprimir interferencias (antiparasitarios), para separar las componentes de ca. y de cc.

7.6. Potencia

Como se ha visto, la corriente se adelanta 90° a la tensión.

La potencia (P) (área sombreada de la figura) es cero, ya que la suma de áreas positiva y negativa es nula: no se transfiere energía a otro sistema.



7.7. Ejemplos

Ejemplo 1.- ¿Qué X_C tiene un condensador de $4 \mu\text{F}$, como los usados en los fluorescentes, si está conectado a una red de 50 Hz ?

CASO
PRÁCTICO

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 4 \times 10^{-6}} = 795 \Omega$$

Ejemplo 2.- ¿Qué corriente de régimen tomará de una red de 230 V , 50 Hz un condensador de $6 \mu\text{F}$?

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 6 \times 10^{-6}} = 530 \Omega$$

$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{230 \text{ V}}{530 \Omega} = 0,43 \text{ A}$$

Ejemplo 3.- Si el condensador del ejemplo anterior trabaja en una red de 230 V pero de 400 Hz , ¿qué corriente tomará?

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 400 \times 6 \times 10^{-6}} = 66 \Omega$$

$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{230 \text{ V}}{66 \Omega} = 3,48 \text{ A}$$

Ejemplo 4.- ¿Qué corriente de régimen tomará de una red de cc de 230 V un condensador de 6 μF ?

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 0 \times 6 \times 10^{-6}} = \infty \Omega$$

$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{U}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}} = U \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C = 230 \times 2 \times 3,14 \times 0 \times 6 \times 10^{-6} = 0 \text{ A}$$

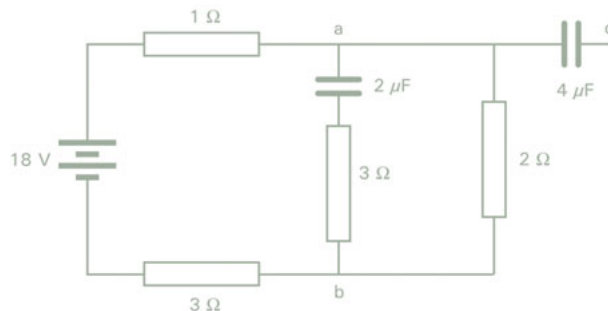
El condensador es un circuito abierto a la cc.

Ejemplo 5.- ¿Cuánto tiempo tarda en cargarse un condensador de 1 μF si tiene en serie una resistencia de 10.000 ohm?

$$\tau = R \cdot C = 10.000 \times 1 \times 10^{-6} = 0,01 \text{ s}$$

$$t_{\text{total}} \approx 6\tau = 0,01 \times 6 = 0,06 \text{ s}$$

Problema propuesto.- En el circuito de la figura, hallar U_{C1} , U_{C2} , U_{ab} , U_{bd} , una vez pasado el transitorio de carga.



8. RECEPTORES: INDUCCIÓN PURA (L)

8.1. Previo

La inductancia (o autoinducción) es una cualidad de los circuitos.

Las bobinas son componentes con inductancia (dicho sencillamente, tienen mucha autoinducción en poco sitio). Hay aparatos (por ejemplo, los contactores o los motores) que tienen autoinducción.

El estudio de esta parte es teórica, es decir, no existen circuitos con sólo autoinducción, porque, evidentemente, cualquier bobina está hecha con conductores y éstos tienen resistencia: es decir, son circuitos RL. El objetivo de este estudio es conocer las características que definen la autoinducción y las consecuencias que tiene en un circuito la existencia de autoinducción.

8.2. Aspectos constructivos

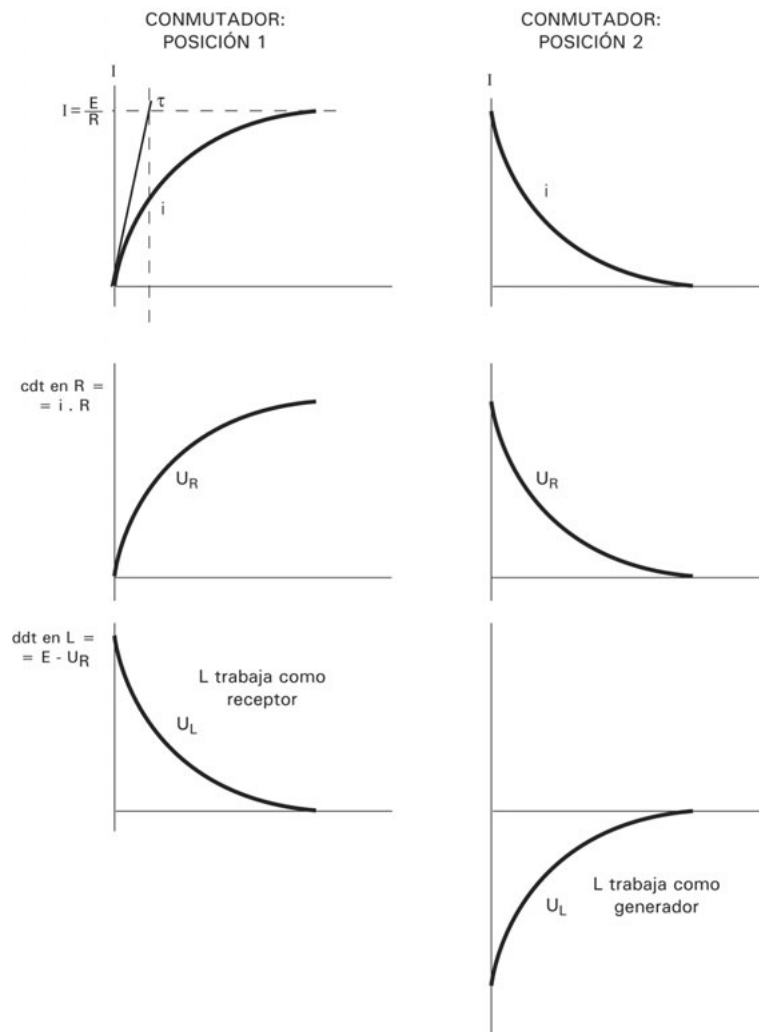
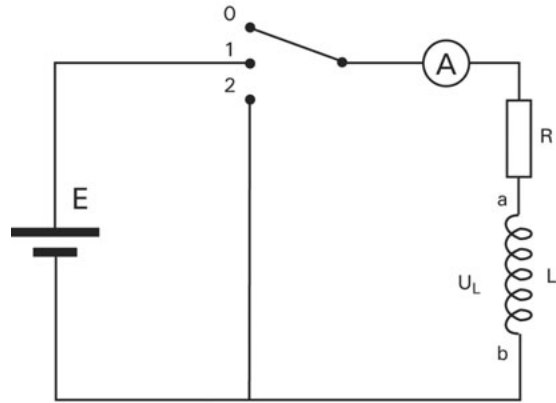
- 1) Las bobinas son componentes cuya principal característica es poseer autoinducción o inductancia, L.
- 2) La autoinducción de una bobina depende de la forma y dimensiones del bobinado y de las características magnéticas del núcleo, según la expresión (esta expresión, sólo da una idea de proporcionalidad; no es directamente aplicable a cualquier bobina real):

$$L \Rightarrow (\text{material y dimensiones del núcleo}) \cdot (n^\circ \text{ espiras})^2$$

$$L \Rightarrow \mu \cdot \frac{\text{secc. núcleo}}{\text{longitud núcleo}} \cdot (n^\circ \text{ espiras})^2$$

8.3. Estudio del comportamiento en cc: conexión/desconexión

Del circuito de la figura nos interesan esencialmente la fuente de cc y la bobina o autoinducción, L; a diferencia del condensador, la resistencia R en serie no es añadida, representa la resistencia del arrollamiento de la bobina; de todos modos, la explicación se hace como si esta resistencia tuviera un valor despreciable, aunque no cero, puesto que se utiliza en ciertos puntos; los circuitos RL se estudiarán más abajo. También se ha insertado un conmutador para pasar de conexión a cortocircuito.



Consideraciones previas:

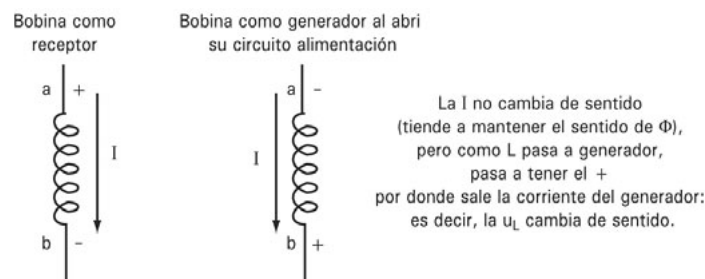
- El cálculo con funciones exponenciales justifica lo que elementalmente se va a explicar.
- La separación de R y L es conceptual. De hecho existe un único componente, la bobina, y sólo dos bornes en los que medir.
- La bobina está desenergizada. $U_L = 0 \text{ V}$.

Se pasa el conmutador a la posición 1:

- La tensión aplicada a la bobina es E. En todo momento $c \frac{d}{dt} (R) + d \frac{d}{dt} (L) = E$.
- La corriente aumenta "lentamente".
- Cuando la bobina, L, está completamente energizada, la corriente es la de régimen, es decir: E/R .
- Nótese que en ese momento, a la bobina le entra la corriente por a, que, por tanto, es su lado positivo. La bobina ha creado un campo N-S que suponemos que tiene el N en a.

Se pasa el conmutador a la posición 2:

- En ese momento, la corriente tiende a disminuir, por tanto, tiende a aparecer una f.e.m. de autoinducción que, por ley de Lenz, tiene que oponerse a esa disminución de corriente y de campo.
- Por tanto, la bobina ha pasado de receptor a generador, devuelve la energía almacenada en ella.



- Este mantenimiento de la I, ralentiza el proceso de cese de corriente en el circuito y atrasa la corriente respecto a la tensión.
- La constante de tiempo es:

$$\tau = \frac{L}{R}; \text{ y en unidades: } s = \frac{H}{\Omega}$$

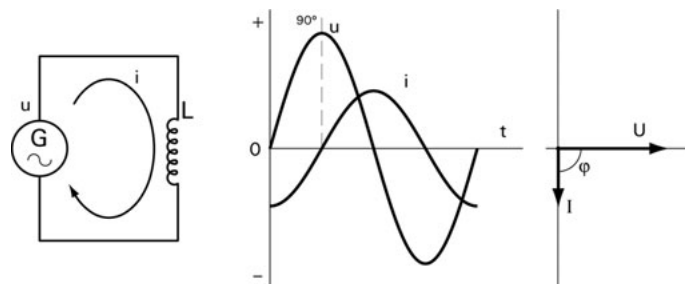
8.4. La inductancia, L, en ca

Al aplicar a un circuito con autoinducción pura una tensión alterna sinusoidal, sucede que:

- 1) Aparece una «oposición» a la circulación de la intensidad de corriente que se denomina «reactancia inductiva», cuyo símbolo es «XL», y que se mide en ohmios,
- 2) El valor de esta reactancia inductiva queda ligado a la frecuencia y a la inductancia por la expresión:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

- 3) Aparece, además, una inercia a la variación de la intensidad de corriente, por lo que la I se atrasa 90° respecto a la tensión aplicada:



- 4) La intensidad de corriente es también alterna y senoidal.
- 5) La intensidad de corriente queda ligada a la tensión y a la reactancia por la ley de Ohm:

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}$$

- 6) En la bobina se almacena energía en forma de campo magnético, según la expresión:

$$W = \frac{1}{2} L \cdot I^2$$

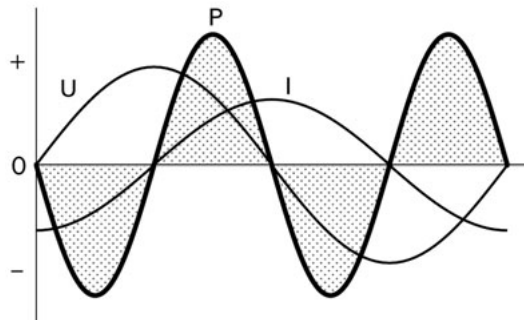
8.5. Otras consideraciones

- 1) En cc (frecuencia 0 Hz), la bobina ideal (sin resistencia) es un cortocircuito.
- 2) Al abrir un circuito con L aparece una extracorrente de ruptura que produce un arco en los contactos del interruptor.

8.6. Potencia

Como se ha visto, la corriente se retrasa 90° a la tensión.

La potencia (P) (área sombreada de la figura) es cero, ya que la suma de áreas positiva y negativa es nula: no se transfiere energía a otro sistema.



8.7. Ejemplos

Ejemplo 1.- ¿Qué corriente tomará de una red de 230 V, 50 HZ, una reactancia de 0,2 H?

CASO
PRÁCTICO

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L} = \frac{230}{2 \times 3,14 \times 50 \times 0,2} = 0,36 \text{ A}$$

Ejemplo 2.- ¿Cuál es el valor de la constante de tiempo de una reactancia, si su resistencia son unos 100 ohm y su inductancia 2 H?

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{2}{100} = 0,02 \text{ s}$$

Ejemplo 3.- ¿Qué X_L tiene una bobina de 0,7 H, alimentándola con una red de 50 Hz?

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \times 3,14 \times 50 \times 0,7 = 220 \text{ H}$$

Ejemplo 4.- Si una reactancia toma una corriente de 0,5 A de una red de 12 V, 50 Hz, ¿qué corriente tomará de una red de 12 V de cc, supuesta una resistencia despreciable?

$$X_L = \frac{U}{I} = \frac{12 \text{ V}}{0,5 \text{ A}} = 24 \Omega$$

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \Rightarrow L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{24}{2 \times \pi \times 50} = 0,076 \text{ H}$$

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L} = \frac{12}{2 \times 3,14 \times 0 \times 0,07} = \frac{12}{0} \Rightarrow \infty \text{ A}$$

9. ASOCIACIÓN DE RECEPTORES: CIRCUITOS SERIE

El estudio de los circuitos RCL requiere una herramienta matemática relativamente complicada. Por ello en este estudio sólo se presentan casos simples que se pueden resolver de forma sencilla pero que deben de dejar claros los conceptos fundamentales.

Técnica de resolución:

- 1) Previos: hallar las X_L y X_C .
- 2) Impedancia y triángulo de impedancias.
- 3) Cálculo de la intensidad.
- 4) Triángulo de cdt.
- 5) Triángulo de potencias.

Ejemplo. Calcular circuito serie $R = 3000 \text{ ohm}$, $C = 2 \mu\text{F}$; 230 V , 50 Hz .

CASO
PRÁCTICO



- 1) Previos.-

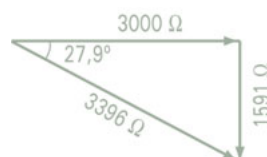
$$X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 2 \times 10^{-6}} = 1591,55 \Omega$$

- 2) Impedancia y triángulo de impedancias

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{3000^2 + 1591,55^2} = 3396,03$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{1591,55}{3000}\right) = 27,9^\circ$$

Puesto que es un circuito serie, se toma la I común como referencia, en el cateto horizontal. La tensión va retrasada $27,9^\circ$



3) Cálculo de la intensidad

$$I = \frac{230 \text{ V}}{3396,03 \Omega} = 0,067 \text{ A}$$

4) Triángulo de cdt



5) Triángulo de potencias



$$\cos \varphi = \cos 27,9 = 0,88 \text{ (capacitivo)}$$

10. ASOCIACIÓN DE RECEPTORES: CIRCUITOS PARALELO

Nota previa: La resolución se limita a circuitos simples. Se evita la utilización de números complejos.

Técnica de resolución:

- 1) Previos: hallar las X_L y X_C . Hallar las admitancias.
- 2) Triángulo de corrientes parciales.
- 3) Triángulo de potencias.

Ejemplo. Calcular circuito paralelo $R = 300 \text{ ohm}$, $C = 3 \text{ } \mu\text{F}$, $L = 0,8 \text{ H}$; 230 V , 50 Hz .

CASO
PRÁCTICO

- 1) Previos: hallar las X_L y X_C

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \times 3,14 \times 50 \times 0,8 = 251,33 \text{ } \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 3 \times 10^{-6}} = 1061,03 \text{ } \Omega$$

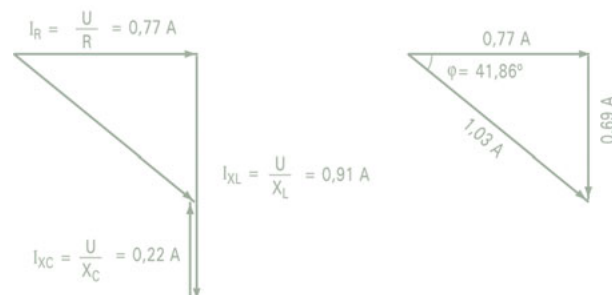
- 2) Triángulo de corrientes.

Como es un circuito paralelo, es más fácil calcular las corrientes parciales y construir con ellas el triángulo de corrientes, evitando trabajar con admitancias. ($1/Z$).

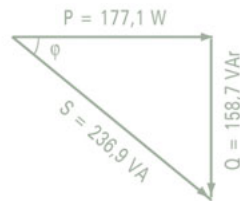
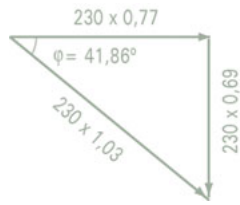
$$I = \frac{U}{R} = \frac{230 \text{ V}}{300 \text{ } \Omega} = 0,77 \text{ A}$$

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{230 \text{ V}}{251,33 \text{ } \Omega} = 0,91 \text{ A}$$

$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{230 \text{ V}}{1061,03 \text{ } \Omega} = 0,22 \text{ A}$$



3) Triángulo de potencias



11. POTENCIA EN CA

Como resumen, y observando los triángulos construidos en la resolución de los ejercicios anteriores, digamos que:

- La potencia activa (P), que se mide en W (o en kW), es la única transferible a otro sistema, sea en forma de potencia luminosa, mecánica, calorífica, acústica, etc.
- La potencia aparente (S), que se mide en VA (o en kVA), es la que corresponde al producto algebraico de la tensión por la intensidad de corriente. Evidentemente ignora el posible defasaje tensión-corriente, y por ello se denomina «aparente».
- La potencia reactiva (Q), que se mide en VAr (o en kVAr), aparece por el defasaje que provocan los componentes C y/o L.

Potencias

$$S = U.I \text{ [VA o kVA]}$$

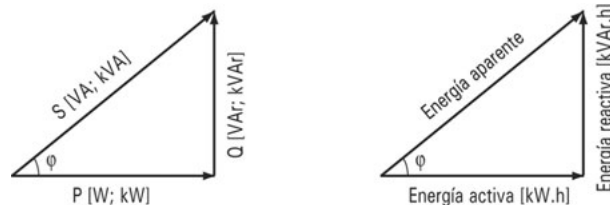
$$P = U.I.\cos \varphi \text{ [W o kW]}$$

$$Q = U.I.\sen \varphi \text{ [VAr o kVAr]}$$

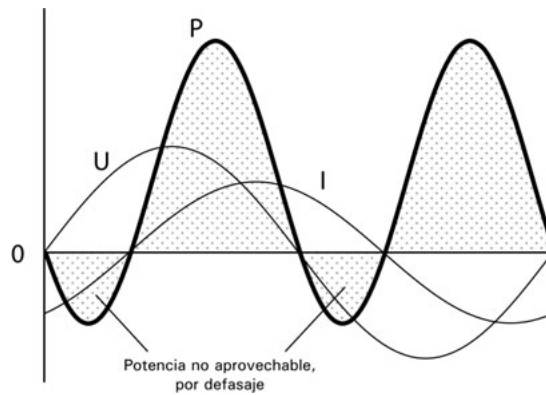
Consumos o energías

$$\text{Energía activa} = U.I.t.\cos \varphi \text{ [kW.h]}$$

$$\text{Energía reactiva} = U.I.t.\sen \varphi \text{ [kVAr.h]}$$



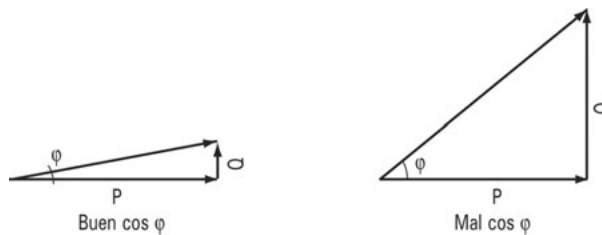
El defasaje tensión – corriente provoca que, para una misma potencia activa se requiera un aumento de la corriente necesaria para producirla. Precisamente el coseno de φ ($\cos \varphi$) cuantifica el defasaje y se suele denominar “factor de potencia”.



Un $\cos \varphi$ próximo a la unidad, indica que hay poco desfase. Un $\cos \varphi$ mucho menor que la unidad indica un gran desfase y, por tanto, un sistema poco eficiente.

$$P = U \cdot I \cdot \boxed{\cos \varphi}$$

^ factor de potencia



La diferencia es importante; por ejemplo, para obtener una potencia de 5 kW, en monofásica a 230 V hace falta, según el factor de potencia:

$$I = \frac{5000}{230 \times 0,6} = 36,2A$$

$$I = \frac{5000}{230 \times 0,98} = 22,2A$$

Este aumento de corriente obliga a aumentar la potencia de los transformadores y la sección de los cables y produce en ellos pérdidas por Joule.

Por ello, se corrige el $\cos \varphi$, con condensadores.

Ejemplo:

Una carga monofásica a 230 V, 50 Hz, de 5000 W y un $\cos \varphi$ de 0,6 se quiere compensar hasta conseguir un $\cos \varphi = 0,98$. Calcular el condensador necesario.

CASO
 PRÁCTICO

- 1) Calcular la Q de la carga y dibujar el triángulo de potencias.

$$\varphi = \arccos 0,6 = 53,1^\circ$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \Rightarrow S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{5000}{0,6} = 8333 \text{ VA}$$

$$\text{sen } \varphi = \frac{Q}{S} \Rightarrow Q = S \cdot \text{sen } \varphi = 8333 \times 0,8 = 6666 \text{ VAR}$$

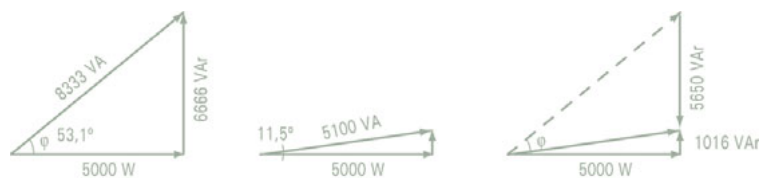


- 2) Calcular la Q a compensar para conseguir un $\cos \varphi$ de 0,98.

$$\varphi = \arccos 0,98 = 11,5^\circ$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \Rightarrow S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{5000}{0,98} = 5100 \text{ VA}$$

$$\text{sen } \varphi = \frac{Q}{S} \Rightarrow Q = S \cdot \text{sen } \varphi = 5100 \times \text{sen } 11,5^\circ = 1016 \text{ VAR}$$



Por tanto, la Q a compensar, para obtener un $\cos \varphi$ de 0,98, con la misma carga, es: $6666 - 1016 = 5650 \text{ VAR}$

- 3) ¿Qué condensador debe de utilizarse?

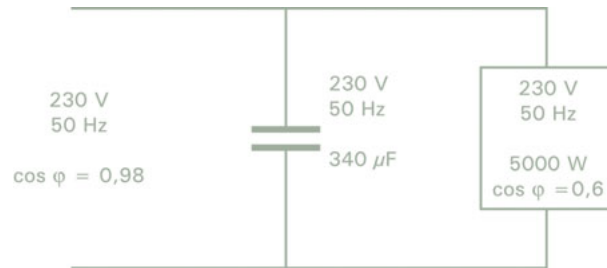
$$Q = 5650 \text{ VAR}$$

$$I = \frac{Q}{U} = \frac{5650}{230} = 24,56 \text{ A}$$

$$X_C = \frac{U}{I} = \frac{230}{24,56} = 9,36 \Omega$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 9,36} = 340 \mu\text{F}$$

Con un condensador de $340 \mu\text{F}$, se obtiene un conjunto con un $\cos \varphi = 0,98$.



RESUMEN

- Los elementos electroquímicos pueden ser primarios o no reversibles (pilas) o reversibles (acumuladores).
- De una pila o una batería interesan su fem, y su capacidad. La capacidad de un elemento electroquímico se expresa en mA.h o en Ah.
- Los valores principales de la ca son: el valor eficaz (es el que se usa normalmente) y el valor de pico o máximo.
- En el estudio de los circuitos es importante conocer el sentido de la cdt. Los componentes activos (generadores y acumuladores en carga) tienen su propia polaridad. A los componentes pasivos les asignamos polaridad en función del sentido de la corriente, poniendo el “más” por donde entra la corriente en el elemento.
- En ca, al calcular la potencia puede aparecer un defasaje entre la tensión y la intensidad, lo que hace que la potencia resultante sea menor que el producto tensión x intensidad.

- Resistencia pura:

Se aplica la ley de Ohm igual que en ca:

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

No se produce defasaje tensión –intensidad.

- Capacidad pura:

La oposición especial que presentan al paso de la ca los condensadores se denomina reactancia capacitativa, X_C .

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

La aplicación de la Ley de Ohm es:

$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{U}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}} = U \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$$

- Inducción pura:

La oposición especial que presentan al paso de la ca las bobinas se denomina reactancia inductiva, X_L .

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

La aplicación de la Ley de Ohm es:

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}$$

- La impedancia es la suma vectorial de las componentes activa y reactiva.
- Potencia: en los circuitos de ca. La asociación de circuitos R, C y L, puede visualizarse fácilmente con el triángulo de potencias:

