Conceptos básicos

OCW: Curso Electrónica de Potencia

Autores (orden alfabético): A. Barrado, C. Fernández, A. Lázaro,
E. Olías, M. Sanz, P. Zumel

uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

Índice tema

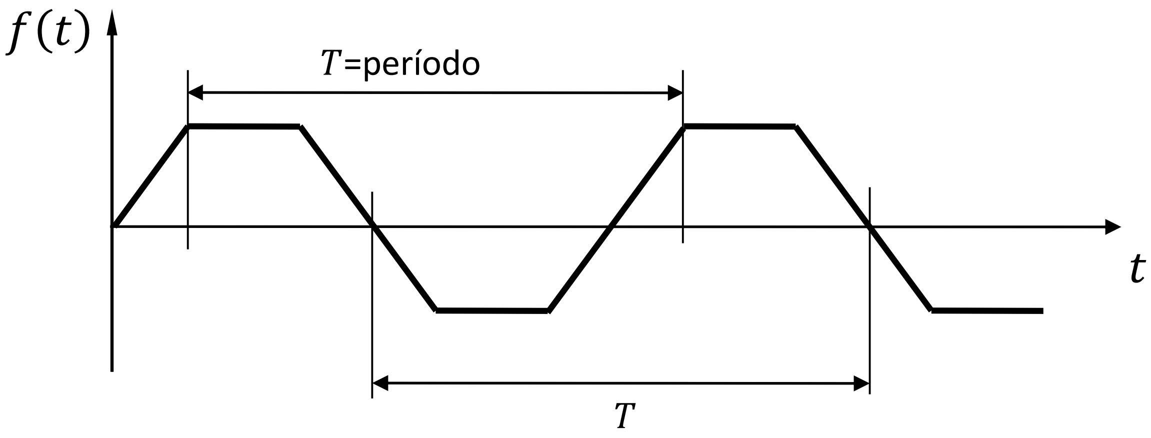
- Valor instantáneo, valor medio y valor eficaz
- Potencia y energía
- Componentes eléctricos:
  - Resistencia
  - Bobina
  - Transformador
  - Condensador
- Señales no sinusoidales periódicas: descomposición en series de Fourier
- Valor eficaz y potencia en función de los armónicos
- Parámetros de calidad de la conversión energética
  - Factor de potencia
  - Factor de rizado
  - Distorsión armónica
- Análisis de circuito empleando series de Fourier
- Resumen

Índice tema

- Valor instantáneo, valor medio y valor eficaz
- Potencia y energía
- Componentes eléctricos:
    - Resistencia
    - Bobina
    - Transformador
    - Condensador
- Señales no sinusoidales periódicas: descomposición en series de Fourier
- Valor eficaz y potencia en función de los armónicos
- Parámetros de calidad de la conversión energética
    - Factor de potencia
    - Factor de rizado
    - Distorsión armónica
- Análisis de circuito empleando series de Fourier
- Resumen

Valor instantáneo de una señal

- Valor que toma una tensión, corriente o potencia para un instante de tiempo concreto (notación en minúscula)
- Función $f(t)$ periódica con período T: $f(t+T) = f(t)$



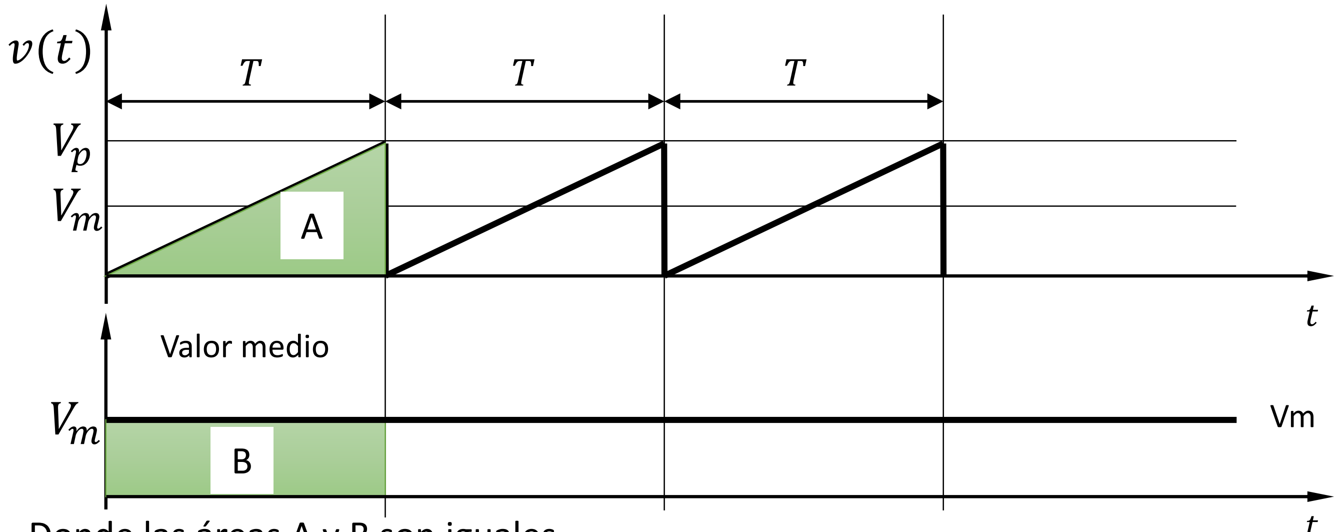
Valor medio de una señal periódica: definición

- Cálculo del valor medio V_m ó $\overline{v(t)}$ de una señal $v(t)$ de período T:

VALOR MEDIO

$$V_m = \overline{v(t)} = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)dt = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v(\theta)d\theta$$

- Representa un valor constante que encierra el mismo área que la función periódica en un periodo T



Donde las áreas A y B son iguales

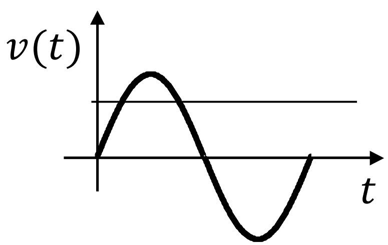
Valor eficaz de una señal periódica: definición

- Cálculo del valor eficaz V_{ef} de una señal $v(t)$ de período T:

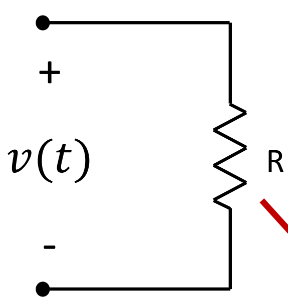
VALOR EFICAZ

$$V_{ef}^2 = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)^2 dt = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v(\theta)^2 d\theta$$

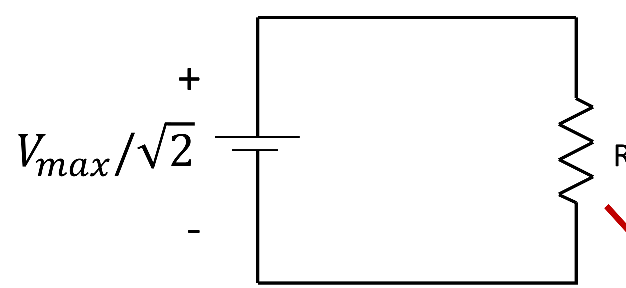
- Es igual al valor de continua que habría que aplicar a una resistencia para que ésta disipara la misma potencia que si se le aplicara la forma de onda original $v(t)$
- Siempre es mayor o igual que cero



$$V_{ef} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$$



$$P = \frac{V_{ef}^2}{R} = \frac{V_{max}^2}{2R}$$

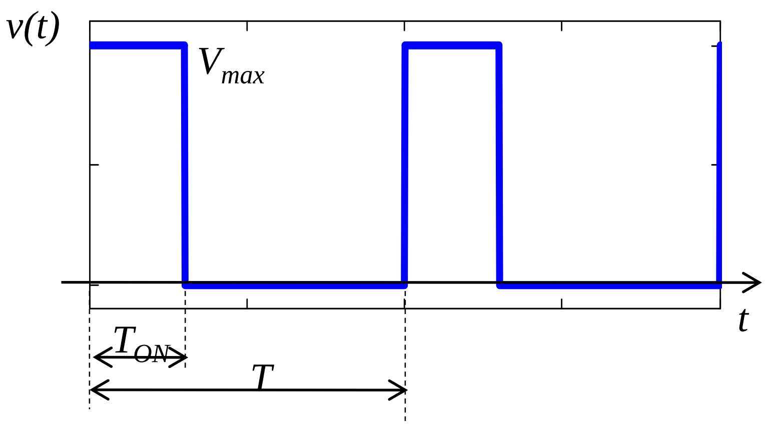


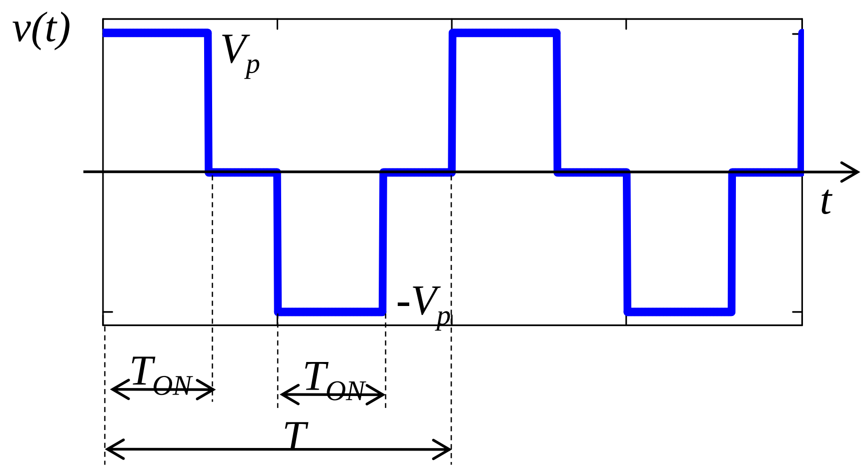
$$P = \frac{V_{ef}^2}{R} = \frac{V_{max}^2}{2R}$$

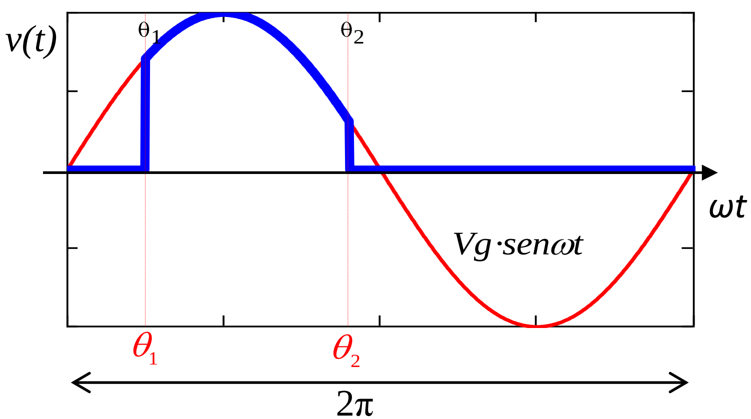
Ejemplos

Trabajo personal propuesto

- Calcular el valor medio y el valor eficaz de las siguientes formas de onda







Índice tema

- Valor instantáneo, valor medio y valor eficaz
- Potencia y energía
- Componentes eléctricos:
    - Resistencia
    - Bobina
    - Transformador
    - Condensador
- Señales no sinusoidales periódicas: descomposición en series de Fourier
- Valor eficaz y potencia en función de los armónicos
- Parámetros de calidad de la conversión energética
    - Factor de potencia
    - Factor de rizado
    - Distorsión armónica
- Análisis de circuito empleando series de Fourier
- Resumen

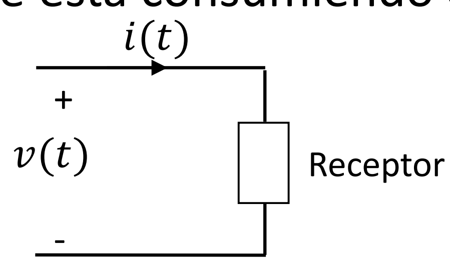
Potencia instantánea

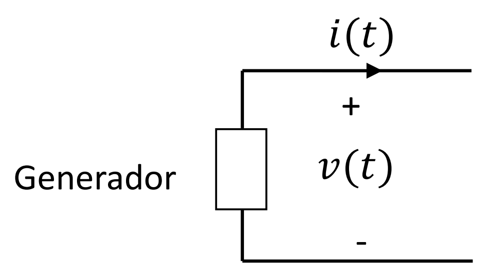
- La potencia instantánea se calcula como el producto de los valores instantáneos de tensión y corriente

POTENCIA INSTANTÁNEA

$$p(t) = v(t) \cdot i(t)$$

- Convenio de signos:
    - Convenio de signos del receptor: potencias negativas indican que está entregando energía
    - Convenio de signos del generador: potencias negativas indican que realmente está consumiendo energía





Potencia media y energía

- Potencia media: valor medio de la potencia instantánea

POTENCIA MEDIA

$$P = \overline{p(t)} = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)\cdot i(t)dt$$

- Energía: integral de la potencia instantánea

ENERGÍA

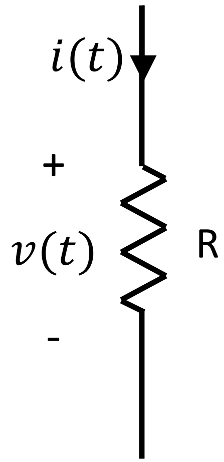
$$E(t) = \int_{t_0}^{t} p(\tau)d\tau = \int_{t_0}^{t} v(\tau)\cdot i(\tau)d\tau$$

Índice tema

- Valor instantáneo, valor medio y valor eficaz
- Potencia y energía
- Componentes eléctricos:
  - Resistencia
  - Bobina
  - Transformador
  - Condensador
- Señales no sinusoidales periódicas: descomposición en series de Fourier
- Valor eficaz y potencia en función de los armónicos
- Parámetros de calidad de la conversión energética
  - Factor de potencia
  - Factor de rizado
  - Distorsión armónica
- Análisis de circuito empleando series de Fourier
- Resumen

Resistencia: ecuación característica

- La **ley de Ohm** relaciona los valores de tensión y corriente en una resistencia:



$$\boxed{v(t) = R \cdot i(t)}$$

- La resistencia depende de la resistividad del material ρ, su longitud l y el área de su sección S:

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

Resistencia: energía y potencia

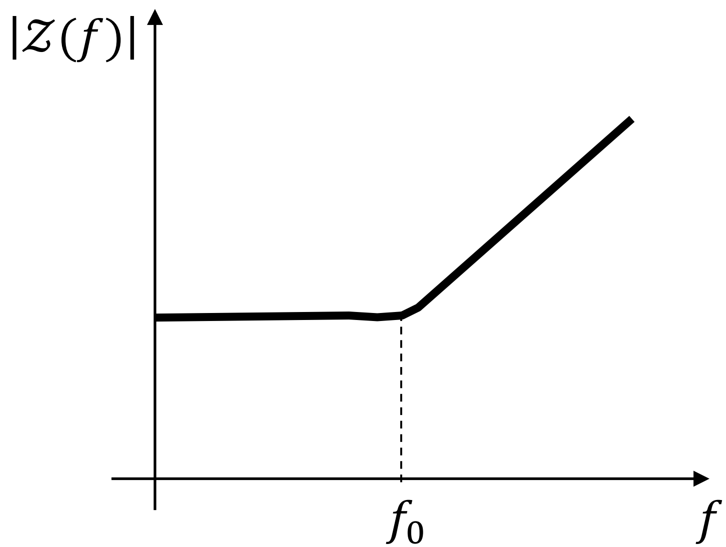
- Es un **elemento disipativo**, no almacena energía sino que la consume → transformación en calor
- Si la tensión o corriente es periódica, la potencia media disipada por período es:

$$P = \overline{p(t)} = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)\cdot i(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^T R\cdot i(t)\cdot i(t)dt = \frac{R}{T}\int_0^T i(t)^2 dt = \boxed{R\cdot I_{ef}^2}$$

$$= \frac{1}{T}\int_0^T v(t)\cdot\frac{v(t)}{R}dt = \frac{1}{T}\int_0^T \frac{v(t)^2}{R}dt = \boxed{\frac{V_{ef}^2}{R}}$$

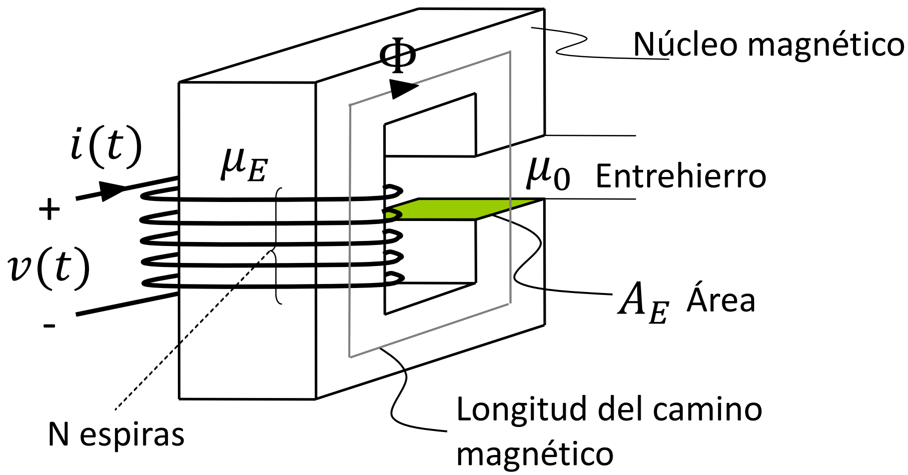
Resistencia: parámetros y modelo equivalente

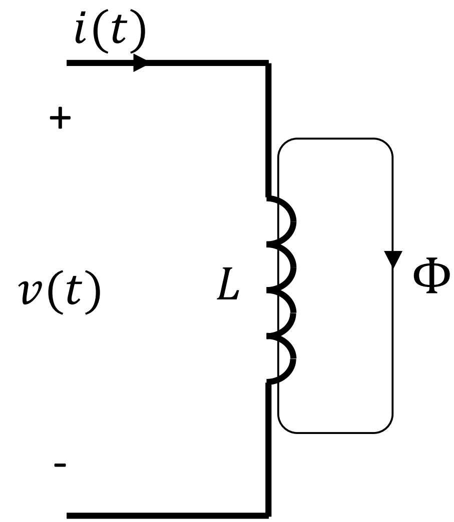
- El modelo de la resistencia, debido a efectos parásitos, es una resistencia en serie con una inductancia parásita, cuyo comportamiento empieza a ser notorio a partir de una determinada frecuencia f_0
- Los parámetros más importantes de una resistencia real son:
  - Resistencia
  - Tolerancia
  - Potencia disipable media



Bobina: ecuación característica

- La representación matemática del comportamiento "físico" de la bobina en magnitudes eléctricas se expresa según la **Ley de Faraday**





$$\boxed{v(t) = L \cdot \frac{di}{dt}}$$

$$v(t) = N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

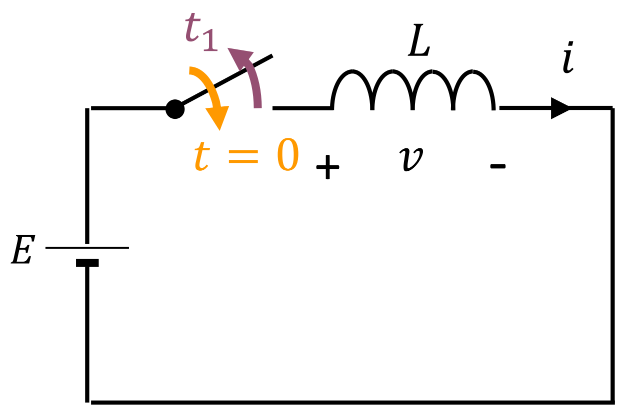
- Si la corriente crece en el sentido de la figura, la tensión que aparece en sus terminales es positivo según el convenio marcado para la tensión
- Esta ecuación relaciona la variación temporal de la corriente con el valor de la tensión

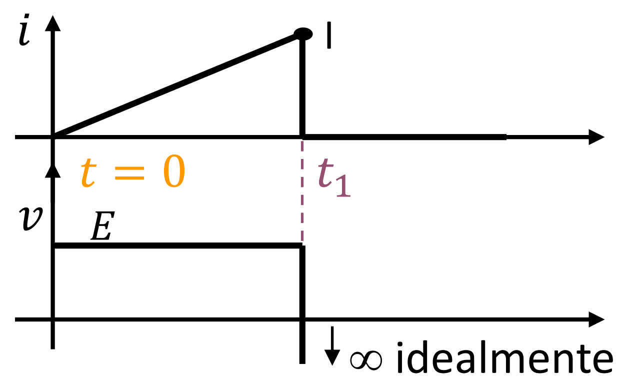
Bobina: energía almacenada

- Energía almacenada en una bobina:

$$E(t) = \int_0^t p(\tau)d\tau = \int_0^t v(\tau) \cdot i(\tau)d\tau = \int_0^t L \cdot \frac{di(\tau)}{d\tau} \cdot i(\tau)d\tau = L \int_0^t i(\tau) \cdot di(\tau) = \boxed{\frac{1}{2} \cdot L \cdot i(t)^2}$$

- La bobina almacena energía en el campo magnético H





  - $0 \leq t < t_1$ Cuando se aplica una tensión continua $v = E = L \cdot \frac{di}{dt}$, la corriente crece de forma lineal
  - $t = t_1$ Si se interrumpe de forma brusca la corriente y el flujo magnético, se requeriría una tensión infinita (inviable en la práctica) $v = L \cdot \frac{di}{dt} \rightarrow \infty$

Bobina: condición régimen permanente

- En un circuito que contiene una bobina, para que éste opere en régimen permanente, la tensión media en la bobina ha de ser nula:

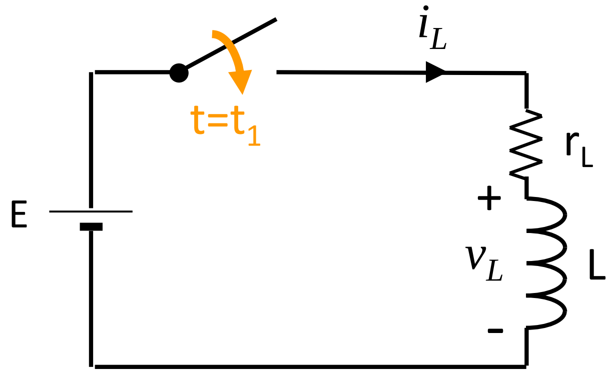
$$\bar{v} = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^T L \cdot \frac{di(t)}{dt}dt = \frac{L}{T} \cdot [i(T) - i(0)] = 0 \qquad \boxed{\bar{v} = 0}$$

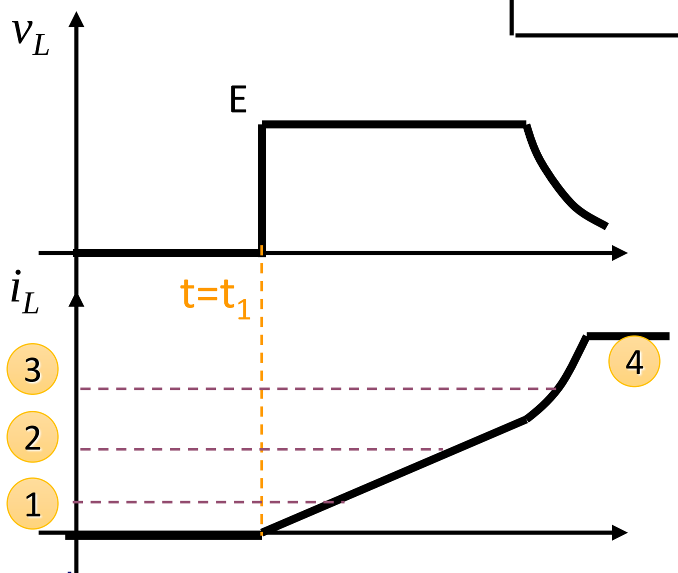
Régimen permanente: $i(T) = i(0)$

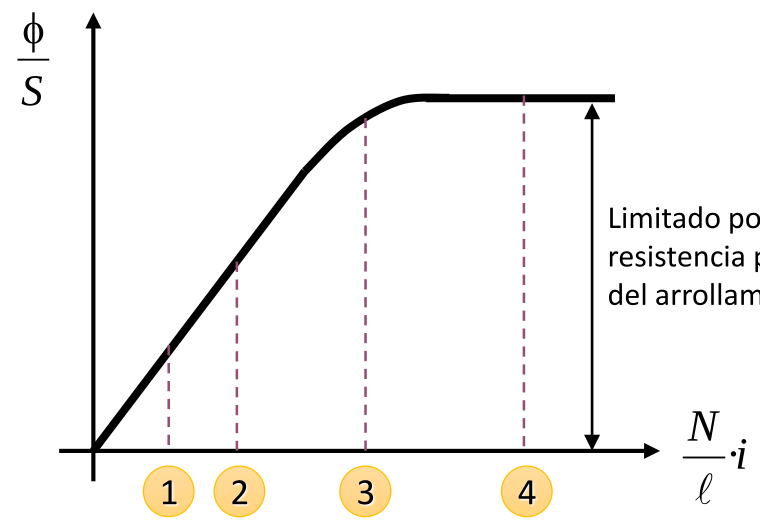
- Si el valor medio de la tensión en la bobina es distinto de cero, su corriente crece hasta alcanzar la saturación del material magnético

Bobina: componente real

- La corriente en el circuito está limitada por la resistencia serie equivalente de la bobina real:



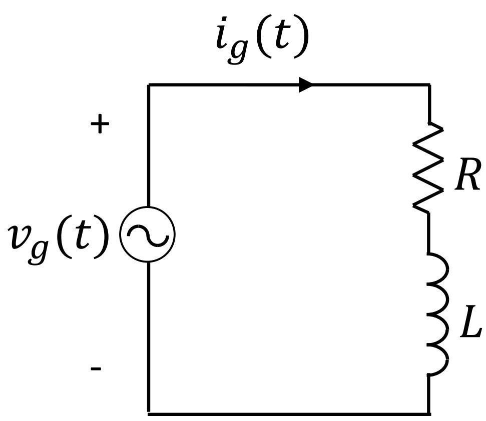




Cálculo potencias

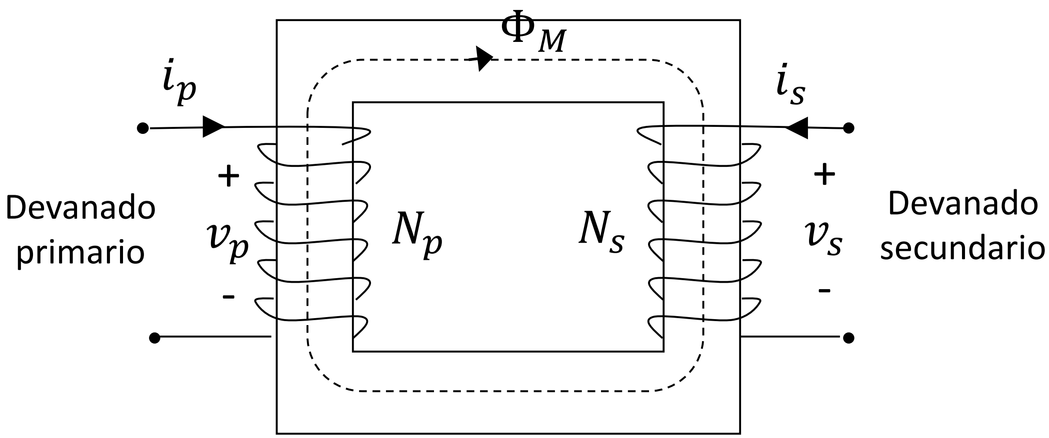
Trabajo personal propuesto

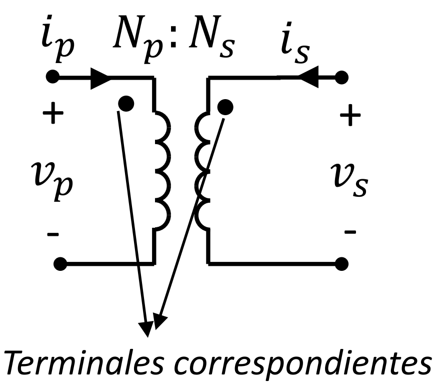
- Dibujar la potencia instantánea y calcular la potencia media en cada elemento, donde:
  - $v_g(t) = V_g \cdot sen(\omega t)$
  - $i_g(t) = I_g \cdot sen(\omega t - \varphi)$, donde $I_g = \frac{V_g}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}$ y $\varphi = arctg\left(\frac{\omega L}{R}\right)$



Transformador: ecuación característica

- Proporciona aislamiento galvánico entre primario (fuente de energía) y secundario (carga)





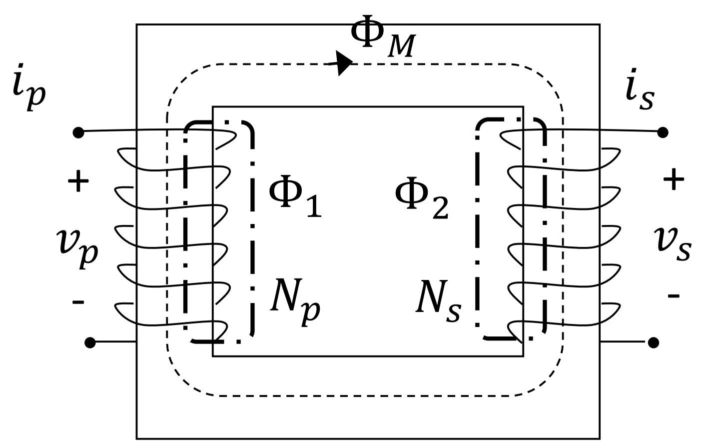
- Transformador ideal: No hay almacenamiento de energía ni pérdidas

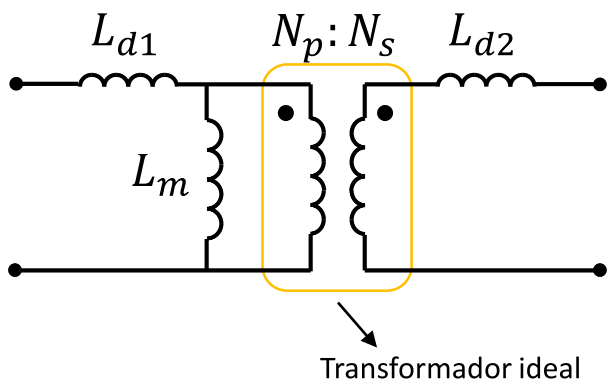
$$\left.\begin{aligned} v_p &= N_p \cdot \frac{d\Phi_M}{dt} \\ v_s &= N_s \cdot \frac{d\Phi_M}{dt} \end{aligned}\right\} \Longrightarrow \boxed{\frac{v_p}{N_p} = \frac{v_s}{N_s}}$$

$$\left.\begin{aligned} N_p \cdot i_p + N_s \cdot i_s = \Phi_M \cdot \mathcal{R} \\ \Phi_M \cdot \mathcal{R} = 0 \end{aligned}\right\} \Longrightarrow \boxed{N_p \cdot i_p + N_s \cdot i_s = 0}$$

Transformador: modelo componente real

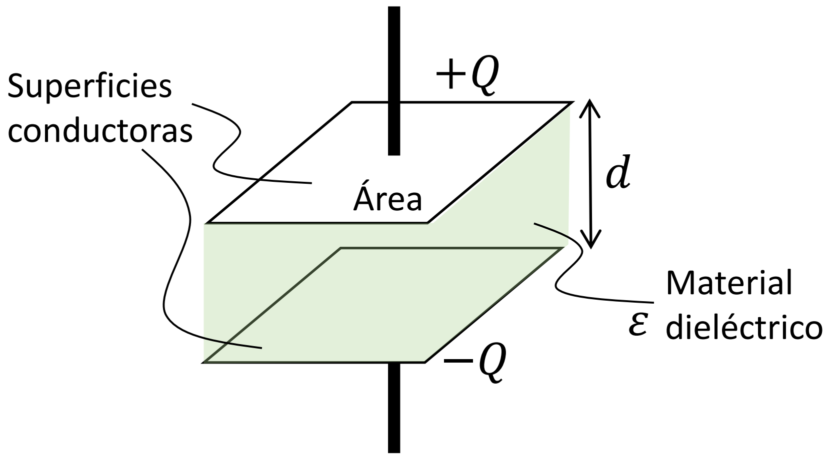
- Φ_M: Flujo mutuo que concatena los dos devanados
  - Existe cierto almacenamiento de energía en el núcleo magnético que se modela mediante la inductancia magnetizante. Esta inductancia se puede referir tanto al primario L_m como al secundario: $L_m \cdot (N_p/N_s)^2$
- Φ_1 y Φ_2: Flujos de dispersión, flujos asociados a cada devanado que no se comparten con el otro
  - Se representan mediante inductancias de dispersión: L_{d1} y L_{d2}

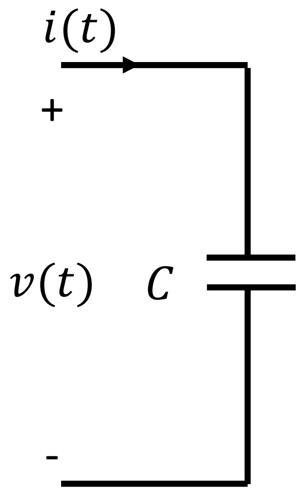




Condensador: ecuación característica

- Se denomina condensador al dispositivo formado por dos conductores cuyas cargas son iguales pero de signo opuesto





$$\boxed{i = C \cdot \frac{du}{dt}}$$

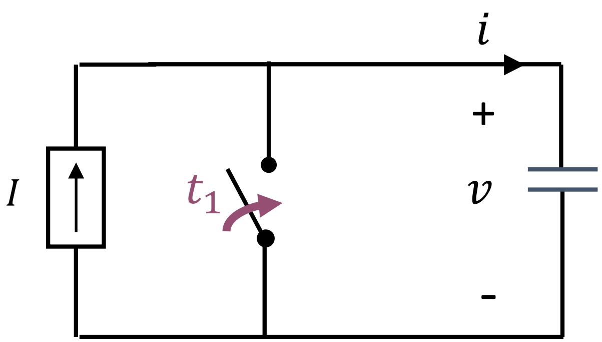
- Si la tensión crece en el sentido de la figura, la corriente que circula entre sus terminales se incrementa según el convenio marcado para la corriente
- Esta ecuación relaciona la variación temporal de la tensión con el valor de la corriente

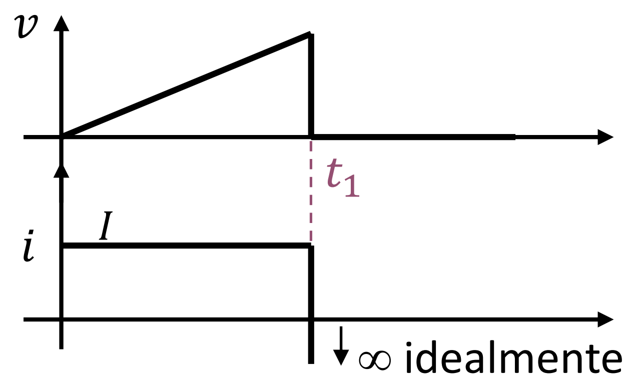
Condensador: energía almacenada

- Energía almacenada en un condensador:

$$E(t) = \int_0^t p(\tau)d\tau = \int_0^t v(\tau)\cdot i(\tau)d\tau = \int_0^t v(\tau)\cdot C\cdot \frac{dv(\tau)}{d\tau}d\tau = C\int_0^t v(\tau)\cdot dv(\tau) = \boxed{\frac{1}{2}\cdot C\cdot v(t)^2}$$

- El condensador almacena energía en el campo eléctrico E





- $0 \leq t < t_1$ Cuando se aplica una corriente continua $i = I = C\cdot\frac{dv}{dt}$, la tensión crece de forma lineal
- $t = t_1$ Para variar de forma brusca la tensión y el campo magnético, se requeriría una corriente infinita (inviable en la práctica) $i = C\cdot\frac{dv}{dt}\rightarrow\infty$

Condensador: condición régimen permanente

- En un circuito que contiene un condensador, para que éste opere en régimen permanente, la corriente media en el condensador ha de ser nula:

$$\bar{\imath} = \frac{1}{T}\int_0^T i(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^T C \cdot \frac{di(t)}{dt}dt = \frac{C}{T} \cdot [i(T) - i(0)] = 0 \qquad \boxed{\bar{\imath} = 0}$$

Régimen permanente: $i(T) = i(0)$

- Si el valor medio de la corriente en el condensador es distinto de cero, su tensión crece hasta que se rompe el material dieléctrico

Índice tema

- Valor instantáneo, valor medio y valor eficaz
- Potencia y energía
- Componentes eléctricos:
  - Resistencia
  - Bobina
  - Transformador
  - Condensador
- Señales no sinusoidales periódicas: descomposición en series de Fourier
- Valor eficaz y potencia en función de los armónicos
- Parámetros de calidad de la conversión energética
  - Factor de potencia
  - Factor de rizado
  - Distorsión armónica
- Análisis de circuito empleando series de Fourier
- Resumen

Descomposición en armónicos señal periódica

Una señal periódica *u(t)* puede aproximarse por la suma de un valor constante más la suma de funciones sinusoidales

SERIE DE FOURIER

$$v(t) \approx \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \cos(n \cdot \omega \cdot t) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \cdot \operatorname{sen}(n \cdot \omega \cdot t)$$

- La pulsación del armónico fundamental o armónico de orden 1 es la misma pulsación que la de la señal periódica original ω
- El primer término ($A_0/2$) representa el valor medio de la señal $v(t)$

Cálculo de los coeficientes: $A_n = \frac{2}{T} \cdot \int_0^T v(t) \cdot \cos(n \cdot \omega \cdot t)\ dt$ $\quad B_n = \frac{2}{T} \cdot \int_0^T v(t) \cdot \operatorname{sen}(n \cdot \omega \cdot t)\ dt$

Otra forma de representar la serie de Fourier

$$v(t) \approx \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cdot \operatorname{sen}(n \cdot \omega \cdot t + \beta_n) \quad \left\{ \begin{array}{l} C_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \\ \beta_n = arctg\left(\dfrac{A_n}{B_n}\right) \end{array} \right.$$

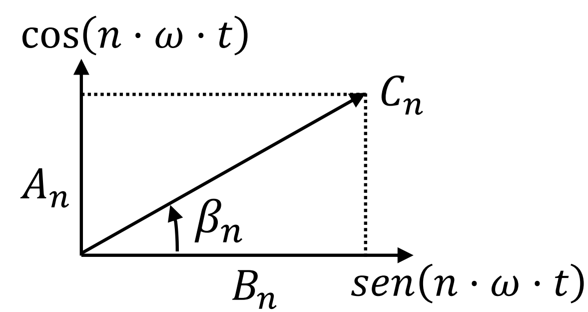
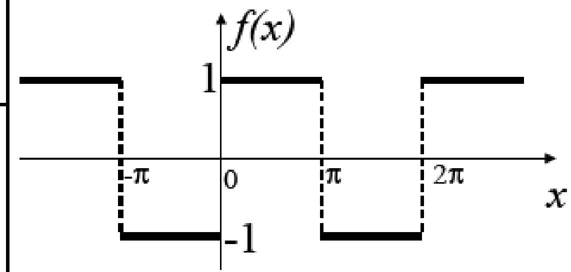


Tabla de series de Fourier

Funciones normalizadas

$$f(x)=\begin{cases}1 \rightarrow 0<x<\pi \\ -1 \rightarrow -\pi<x<0\end{cases}$$

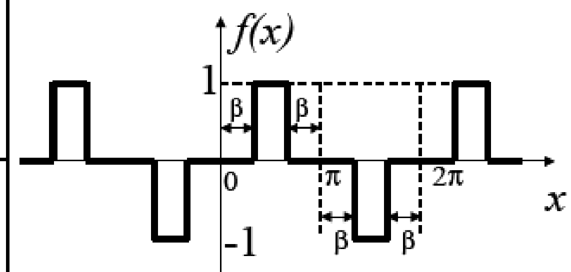
$$\frac{4}{\pi}\cdot\left(\frac{sen(x)}{1}+\frac{sen(3\cdot x)}{3}+\frac{sen(5\cdot x)}{5}+\ldots\right)$$



$$f(x)=\begin{cases}0 \rightarrow 0<x<\beta \\ 1 \rightarrow \beta<x<\pi-\beta \\ 0 \rightarrow \pi-\beta<x<\pi\end{cases}$$

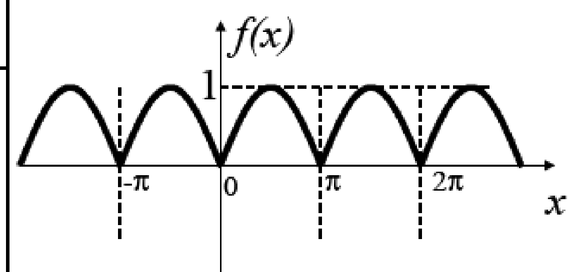
$$\frac{4}{\pi}\cdot\left(\frac{\cos(\beta)\cdot sen(x)}{1}+\frac{\cos(3\cdot\beta)\cdot sen(3\cdot x)}{3}+\frac{\cos(5\cdot\beta)\cdot sen(5\cdot x)}{5}+\ldots\right)$$

$$=\frac{4}{\pi}\cdot\frac{1}{n}\cos(n\cdot\beta)$$



$$f(x)=|sen(x)| \rightarrow -\pi<x<\pi$$

$$\frac{2}{\pi}-\frac{4}{\pi}\cdot\left(\frac{\cos(2\cdot x)}{1\cdot 3}+\frac{\cos(4\cdot x)}{3\cdot 5}+\frac{\cos(6\cdot x)}{5\cdot 7}+\ldots\right)$$



Índice tema

- Valor instantáneo, valor medio y valor eficaz
- Potencia y energía
- Componentes eléctricos:
  - Resistencia
  - Bobina
  - Transformador
  - Condensador
- Señales no sinusoidales periódicas: descomposición en series de Fourier
- Valor eficaz y potencia en función de los armónicos
- Parámetros de calidad de la conversión energética
  - Factor de potencia
  - Factor de rizado
  - Distorsión armónica
- Análisis de circuito empleando series de Fourier
- Resumen

Valor eficaz a partir de la descomposición en armónicos

El valor eficaz V_{ef} una señal periódica $v(t)$se puede calcular a partir de los coeficientes de su serie de Fourier

$$V_{ef}^2 = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)^2 dt = \frac{1}{T}\int_0^T \left(V_m + \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cdot \operatorname{sen}(n \cdot \omega \cdot t + \varphi_n)\right)^2 dt$$

FÓRMULA DE PARSEVAL

VALOR EFICAZ

$$V_{ef}^2 = V_m^2 + V_{1\,ef}^2 + V_{2\,ef}^2 + \cdots$$

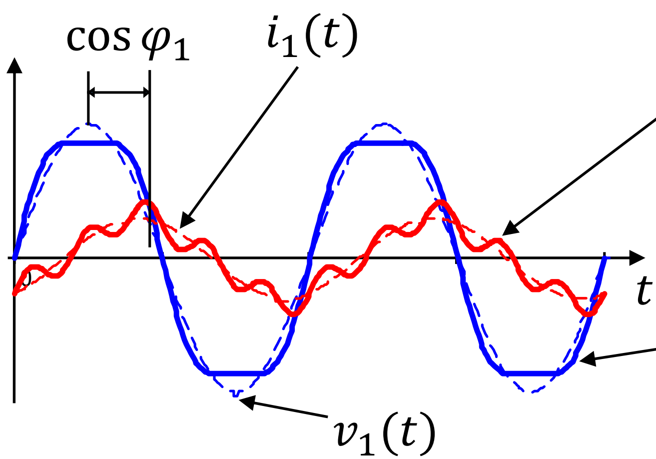
VALOR EFICAZ RIZADO

$$V_{er}^2 = V_{1\,ef}^2 + V_{2\,ef}^2 + \cdots = \sum_{n=1}^{\infty} V_{n\,ef}^2$$

$$V_{er}^2 = V_{ef}^2 - V_m^2$$

Potencia con descomposición armónicos (I)

TENSIÓN Y CORRIENTE CON CONTENIDO ARMÓNICO



$$i(t) \approx I_m + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cdot \mathrm{sen}(n \cdot \omega \cdot t + \beta_n)$$

$$v(t) \approx V_m + \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cdot \mathrm{sen}(n \cdot \omega \cdot t + \alpha_n)$$

Potencia instantánea:

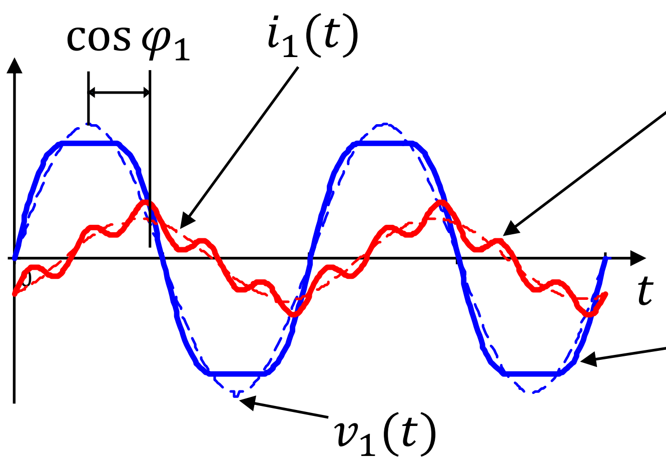
$$p(t) = v(t) \cdot i(t) \approx \left(V_m + \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cdot \mathrm{sen}(n \cdot \omega \cdot t + \alpha_n)\right) \cdot \left(I_m + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cdot \mathrm{sen}(n \cdot \omega \cdot t + \beta_n)\right)$$

Potencia media:

$$P = \overline{p(t)} = \frac{1}{T}\int_0^t v(t) \cdot i(t) dt = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v(\theta) \cdot i(\theta) d\theta = \quad \textit{Operando...}$$

Potencia con descomposición armónicos (II)

TENSIÓN Y CORRIENTE CON CONTENIDO ARMÓNICO



$$i(t) \approx I_m + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cdot \mathrm{sen}(n \cdot \omega \cdot t + \beta_n)$$

$$v(t) \approx V_m + \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cdot \mathrm{sen}(n \cdot \omega \cdot t + \alpha_n)$$

Potencia media

Operando…

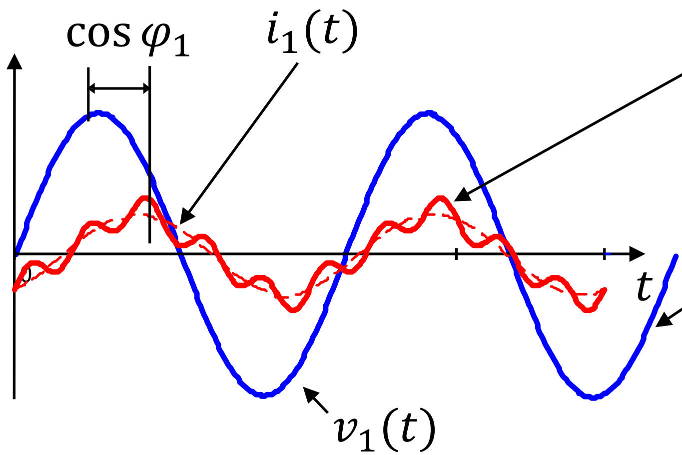
$$P = V_m \cdot I_m + V_{1\,ef} \cdot I_{1\,ef} \cdot \cos(\varphi_1) + V_{2\,ef} \cdot I_{2\,ef} \cdot \cos(\varphi_2) + \cdots$$

Donde φ_n es el desfase del armónico de orden n de tensión (α_n) respecto al armónico de orden n de corriente (β_n)

Solo producen potencia activa los armónicos de igual frecuencia

Potencia con tensión sinusoidal

TENSIÓN SINUSOIDAL Y CORRIENTE CON CONTENIDO ARMÓNICO



$$\boxed{i(t) \approx I_m + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cdot \mathrm{sen}(n \cdot \omega \cdot t + \beta_n)}$$

$$\boxed{v(t) \approx V_1 \cdot sen(\omega \cdot t)}$$

Puesto que la tensión $v(t)$ es sinusoidal y solo tiene el primer armónico de tensión:

Potencia media: $$P = V_{1\,ef} \cdot I_{1\,ef} \cdot \cos(\varphi_1)$$

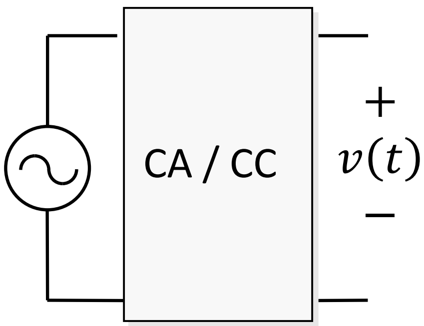
Factor de desplazamiento del primer armónico $F\varphi = \cos(\varphi_1)$

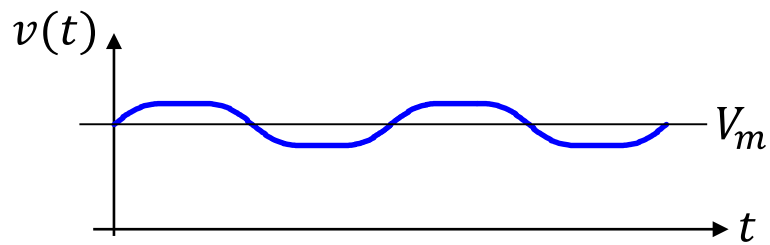
Índice tema

- Valor instantáneo, valor medio y valor eficaz
- Potencia y energía
- Componentes eléctricos:
  - Resistencia
  - Bobina
  - Transformador
  - Condensador
- Señales no sinusoidales periódicas: descomposición en series de Fourier
- Valor eficaz y potencia en función de los armónicos
- Parámetros de calidad de la conversión energética
  - Factor de potencia
  - Factor de rizado
  - Distorsión armónica
- Análisis de circuito empleando series de Fourier
- Resumen

Factor de rizado (I)

- Medida de la calidad de una conversión de energía eléctrica CA a CC





$v(t)$ puede aproximarse por un valor medio V_m más las suma de algunos armónicos residuales: $V_1, V_2, V_3 \ldots V_n$

$$\overbrace{V_{ef}^2}^{\text{Valor eficaz de } v(t)} = \underbrace{V_m^2}_{\text{Valor medio al cuadrado}} + \underbrace{V_{1\,ef}^2 + V_{2\,ef}^2 + \cdots}_{\text{Valor eficaz del rizado al cuadrado}}$$

Cuanto más pequeño sea el valor eficaz del rizado frente al valor medio, más parecida será la señal a una continua

Factor de rizado (II)

- Medida de la calidad de una conversión de energía eléctrica CA a CC
- El factor de rizado es igual a la **relación entre el valor eficaz de los armónicos y el valor medio**

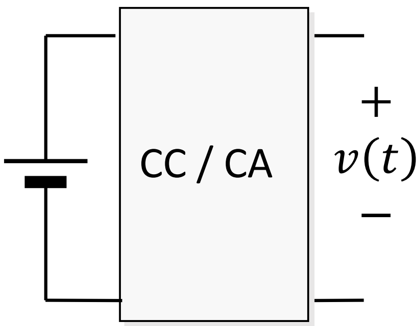
FACTOR DE RIZADO
FR

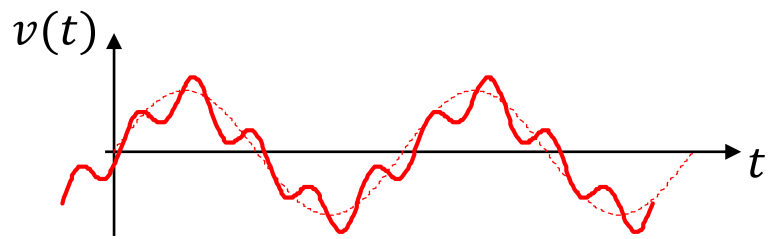
$$FR = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_{n\,ef}^2}}{V_m} = \frac{V_{er}}{V_m} = \frac{\sqrt{V_{ef}^2 - V_m^2}}{V_m}$$

Señal continua pura → $FR = 0$

Distorsión armónica (I)

- Medida de la calidad de una conversión de energía eléctrica CC a CA





$v(t)$ puede aproximarse por la suma de un primer armónico V_1 más algunos armónicos residuales: $V_3, V_5 \ldots V_n$

$$\overbrace{V_{ef}^2}^{\text{Valor eficaz de } v(t)} = \underbrace{V_{1\,ef}^2}_{\substack{\text{Valor eficaz primer}\\ \text{armónico al cuadrado}}} + \underbrace{V_{3\,ef}^2 + V_{5\,ef}^2 + \cdots}_{\substack{\text{Suma cuadrática del}\\ \text{resto de armónicos}}}$$

Cuanto más pequeño sea el primer armónico respecto al resto de los armónicos, más parecida será la señal a una sinusoide

Distorsión armónica (II)

- Medida de la calidad de una conversión de energía eléctrica CC a CA
- La distorsión armónica es igual a la **relación entre el valor eficaz de los armónicos de mayor orden que el primero y el armónico fundamental**

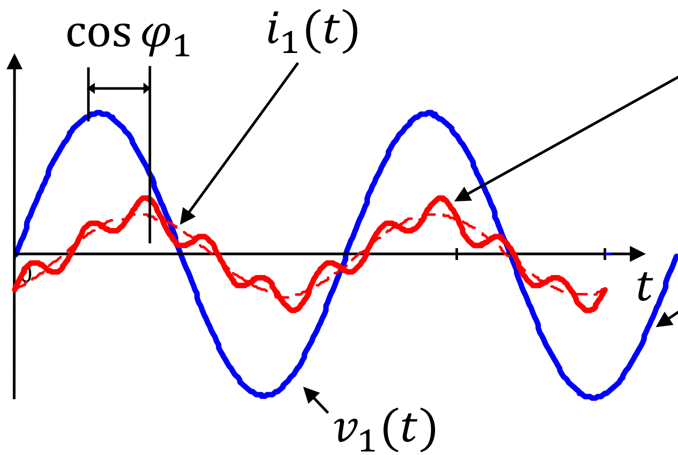
FACTOR DE RIZADO
DAT

$$DAT = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_{n\,ef}^{2}}}{V_{1\,ef}} = \frac{\sqrt{V_{ef}^{2} - V_{1\,ef}^{2}}}{V_{1\,ef}}$$

Señal sinusoidal pura → $DAT = 0$

Factor de potencia

TENSIÓN SINUSOIDAL Y CORRIENTE CON CONTENIDO ARMÓNICO



$$\boxed{i(t) \approx I_m + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cdot \mathrm{sen}(n \cdot \omega \cdot t + \beta_n)}$$

$$\boxed{v(t) \approx V_1 \cdot sen(\omega \cdot t)}$$

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{V_{ef} \cdot I_{1\,ef} \cdot \cos(\varphi_1)}{V_{ef} \cdot I_{ef}} = \underbrace{\frac{I_{1\,ef}}{I_{ef}}}_{\text{Factor de distorsión } F_D} \cdot \underbrace{\cos(\varphi_1)}_{\text{Factor de desplazamiento } F_\varphi} = \frac{1}{\sqrt{1 + DAT^2}} \cdot \cos(\varphi_1)$$

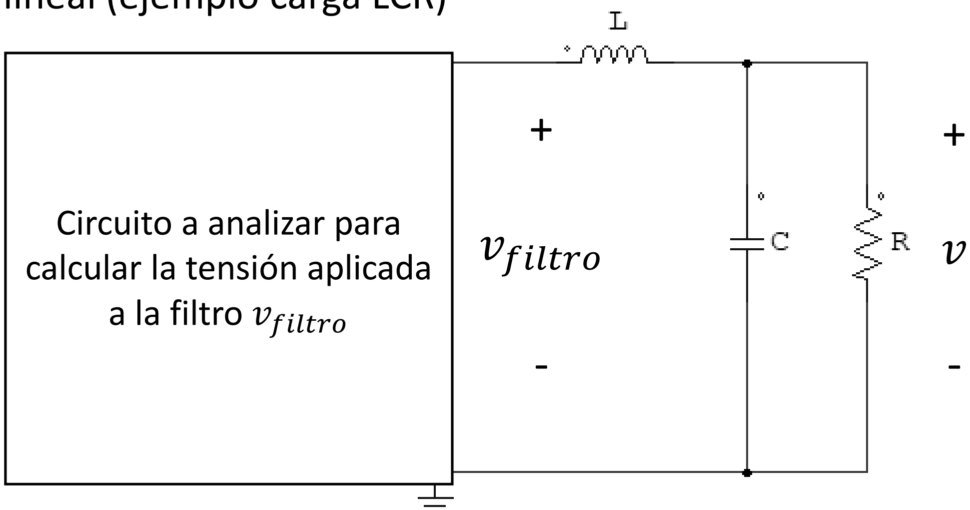
$$FP = F_D \cdot F_\varphi$$

Factor de potencia sólo es igual a $\cos(\varphi)$ en régimen permanente sinusoidal, no en presencia de armónicos

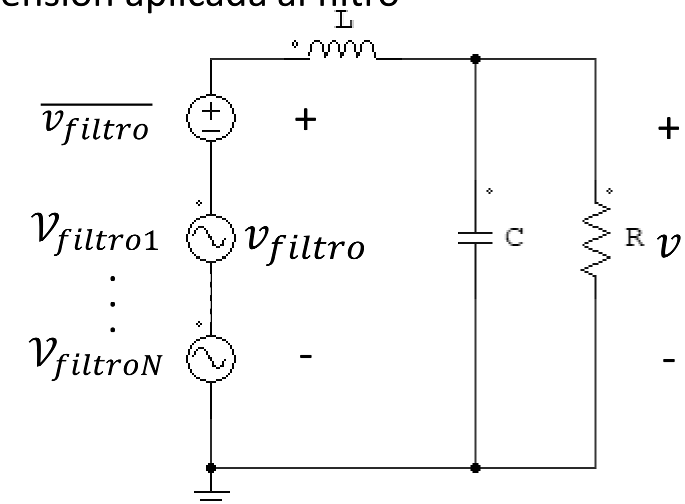
Índice tema

Análisis de circuitos por armónicos

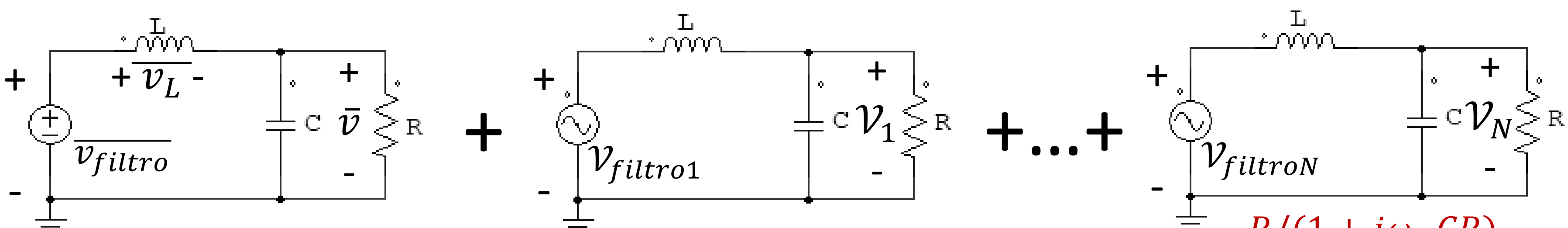
1. Análisis del circuito y de la tensión aplicada al circuito lineal (ejemplo carga LCR)



2. Cálculo de la series de Fourier de la tensión aplicada al filtro



3. Se aplica superposición y se resuelve cada circuito (régimen sinusoidal permanente) a una frecuencia



$$\overline{v_{filtro}} = \bar{v}$$

$$\mathcal{V}_N = \mathcal{V}_{filtroN} \cdot \frac{R/(1 + j\omega_N CR)}{j\omega_N L + R/(1 + j\omega_N CR)}$$

$$\boxed{V_{ef}^2 = \bar{v}^2 + \left(\frac{|\mathcal{V}_1|}{\sqrt{2}}\right)^2 + \cdots + \left(\frac{|\mathcal{V}_N|}{\sqrt{2}}\right)^2}$$

Índice tema

- Valor instantáneo, valor medio y valor eficaz
- Potencia y energía
- Componentes eléctricos:
  - Resistencia
  - Bobina
  - Transformador
  - Condensador
- Señales no sinusoidales periódicas: descomposición en series de Fourier
- Valor eficaz y potencia en función de los armónicos
- Parámetros de calidad de la conversión energética
  - Factor de potencia
  - Factor de rizado
  - Distorsión armónica
- Análisis de circuito empleando series de Fourier
- Resumen

Resumen (I)

Valor medio: $$V_m = \overline{v(t)} = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)dt = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v(\theta)d\theta$$

Valor eficaz: $$V_{ef}^2 = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)^2 dt = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v(\theta)^2 d\theta$$

Una señal periódica u(t) se puede descomponer en armónicos:

$$v(t) \approx \underbrace{V_m}_{\text{Valor medio de } v(t)} + \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cdot \mathrm{sen}(n \cdot \omega \cdot t + \alpha_n)$$

La frecuencia del armónico fundamental o armónico de orden 1 es la misma frecuencia que la de la señal periódica original

Resumen (II)

Ecuaciones características de los principales componentes:

Resistencia: $u = R \cdot i$

Condensador: $i = C \cdot \dfrac{du}{dt}$

Condición régimen permanente: la corriente media tiene que ser igual a cero

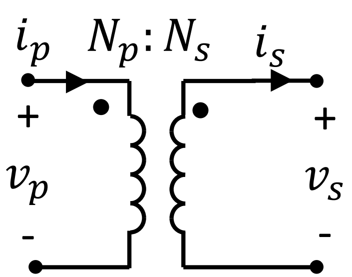
Bobina: $u = L \cdot \dfrac{di}{dt}$

Condición régimen permanente: la tensión media tiene que ser igual a cero

El condensador y la bobina no disipan potencia, sólo almacenen energía. Su potencia media tiene por tanto que ser igual a cero

La resistencia sí es un elemento que disipa potencia: $P = R \cdot I_{ef}^2 = \dfrac{U_{ef}^2}{R}$

Transformador:



$$\frac{v_p}{N_p} = \frac{v_s}{N_s}$$

$$N_p \cdot i_p = N_s \cdot i_s$$

Condición régimen permanente: la tensión media en todos los devanados tiene que ser igual a cero

Resumen (III)

Fórmula de Parseval:

Cálculo del valor eficaz V_{ef} de una señal periódica $v(t)$ a partir de los coeficientes de su serie de Fourier:

$$V_{ef}^2 = V_m^2 + \underbrace{V_{1\,ef}^2 + V_{2\,ef}^2 + \cdots}_{\text{Valor eficaz del rizado}}$$

$$V_{er}^2 = V_{1\,ef}^2 + V_{2\,ef}^2 + \cdots = \sum_{n=1}^{\infty} V_{n\,ef}^2$$

$$V_{er}^2 = V_{ef}^2 - V_m^2$$

Factor de rizado:

Medida de la calidad de una conversión de energía eléctrica de CA a CC, relación entre el valor eficaz de los armónicos y el valor medio

$$FR = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_{n\,ef}^2}}{V_m} = \frac{V_{er}}{V_m} = \frac{\sqrt{V_{ef}^2 - V_m^2}}{V_m}$$

Distorsión armónica:

Medida de la calidad de una conversión de energía eléctrica de CC a CA, relación entre el valor eficaz de los armónicos de mayor orden que el primero y el armónico fundamental

$$DAT = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_{n\,ef}^2}}{V_{1\,ef}} = \frac{\sqrt{V_{ef}^2 - V_{1\,ef}^2}}{V_{1\,ef}}$$

Resumen (IV)

Potencia instantánea: $p(t) = v(t) \cdot i(t)$

Potencia media: $P = \overline{p(t)} = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^T v(t) \cdot i(t)dt = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v(\theta) \cdot i(\theta)d\theta$

Cálculo de la potencia cuando la tensión y la corriente son periódicas y se pueden representar mediante series de Fourier:

$$P = V_m \cdot I_m + V_{1\,ef} \cdot I_{1\,ef} \cdot \cos(\varphi_1) + V_{2\,ef} \cdot I_{2\,ef} \cdot \cos(\varphi_2) + \cdots$$

Potencia aparente: $S = V_{ef} \cdot I_{ef}$

Factor de potencia: $FP = \frac{P}{S}$

Factor de potencia para fuentes de tensión sinusoidales:

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{V_{ef} \cdot I_{1\,ef} \cdot \cos(\varphi_1)}{V_{ef} \cdot I_{ef}} = \underbrace{\frac{I_{1\,ef}}{I_{ef}}}_{\text{Factor de distorsión } F_D} \cdot \underbrace{\cos(\varphi_1)}_{\text{Factor de desplazamiento } F_\varphi} = \frac{1}{\sqrt{1 + DAT^2}} \cdot \cos(\varphi_1)$$