RESUMEN DE CONOCIMIENTOS PREVIOS NECESARIOS

Componentes y Circuitos Electrónicos

Grado en Ing. en Sistemas Audiovisuales
Grado en Ing. en Sistemas de Comunicaciones
Grado en Ing. en Tecnologías de Telecomunicación
Grado en Ing. Telemática

2º Curso, 1er Cuatrimestre

Universidad Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

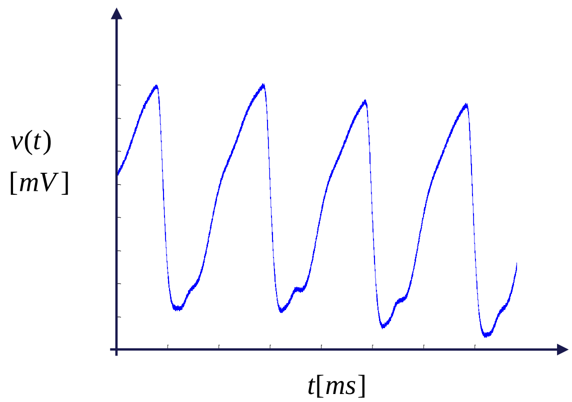
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA
Campus de Leganés
Avenida de la Universidad 30
28911 Leganés

INDICE

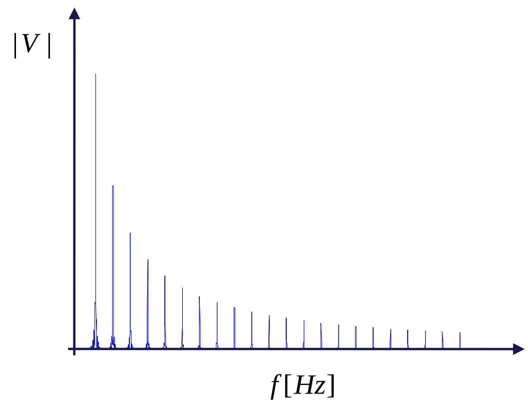
1. SEÑALES EN CIRCUITOS ELÉCTRICOS

En los circuitos eléctricos las señales que se tratan representan variaciones en el tiempo de las magnitudes físicas tensión y corriente. Estas señales son continuas en el tiempo y pueden tomar un número infinito de valores del rango en el que están comprendidas: son señales analógicas.

Se suelen representar en el tiempo o en frecuencia (véase la Figura 1).



a)



b)

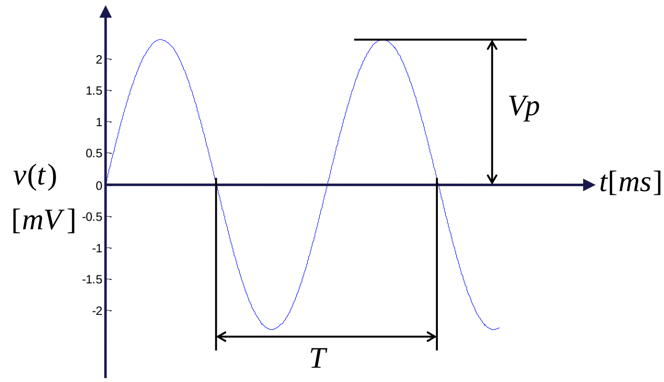
Figura 1. Representación de una tensión v(t). a) Representación frente al tiempo; b) representación frente a la frecuencia

Las señales periódicas tienen una especial relevancia en los circuitos eléctricos y en especial las señales sinusoidales. Los parámetros de interés relacionados con una señal sinusoidal son:

- Periodo (T)
- Frecuencia f(Hz) = 1/T (estando T representado en segundos).
- Frecuencia angular ω(rad) = $2\cdot\pi\cdot f$.
- Valor máximo o de pico (V_{max} o V_p): Valor máximo que toma la señal en un periodo.
- Valor pico a pico $V_{pp} = (V_{max} - V_{min})$
- Amplitud $V_A = V_{pp}/2$.

La Figura 2 muestra una señal sinusoidal con período T y tensión de pico V_p (coincide con la amplitud). Dicha señal puede expresarse como

$$V_p \operatorname{sen}(\omega t) = V_p \cos(\omega t + \varphi),, \qquad \varphi = 90^o$$



- *Figura 2. Señal sinusoidal que representa la variación de la tensión v(t) frente al tiempo.*

Las señales eléctricas pueden ser invariantes con el tiempo (estáticas), lo que se conoce como valor de continua (DC), o variantes en el tiempo (dinámicas) de forma determinista. En general, una señal eléctrica puede ser descompuesta en una componente continua y una componente alterna pura, que se obtendría de restar la componente de continua a la señal total. En la Figura 3 la señal v(t), representada en azul, se puede expresar como la suma de una componente continua (v_{DC}), representada en rojo, y una componente alterna (v_{AC}), representada en negro:

$$v(t) = 1 + 2 \cdot \text{sen}(2\pi t), \text{ donde } v_{DC} = 1 \text{ y } v_{AC} = 2 \cdot \text{sen}(2\pi t)$$

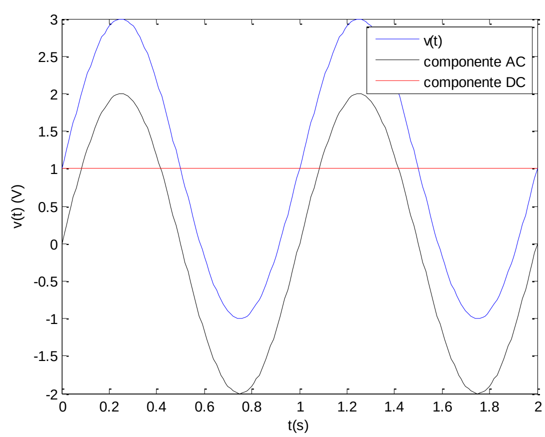


Figura 3. Señal de tensión (en azul) con componente de continua (representada en rojo) y de alterna (representada en negro)

1.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS SEÑALES ELÉCTRICAS

1.1.1. Valor medio

El valor medio de una tensión o corriente se corresponde con el valor de continua (DC) de dicha señal. En general,

$$V_m = \frac{1}{t_2 - t_1}\int_{t_1}^{t_2} v(t)dt$$

Y para señales periódicas el valor medio se calcula sobre un periodo de la señal:

$$V_m = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)dt$$

1.1.2. Valor eficaz

El valor eficaz (V_{ef}) o valor cuadrático medio (V_{rms}) de una señal periódica se define como la raíz cuadrada del valor medio de la señal al cuadrado:

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T [v(t)]^2 dt}$$

¿Por qué es útil usar el valor eficaz? El valor eficaz de una señal de tensión o corriente sinusoidal representa el valor que en continua disiparía la misma **potencia** en una resistencia que la señal original. Véase el ejemplo de la sección 1.1.4.

1.1.3. Potencia instantánea

Es la potencia suministrada a cualquier dispositivo en un instante t. Se mide en Watio (W).

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

Cuando un componente disipa potencia p(t) >0, y cuando la genera p(t) <0.

1.1.4. Potencia media

$$P_m = \frac{1}{T}\int_0^T P_i(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)\cdot i(t)dt$$

Ejemplo: Potencia media disipada en una resistencia R

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

Donde

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T [v(t)]^2 dt} \quad ,, I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T [i(t)]^2 dt}$$

1.2. VALORES MEDIO Y EFICAZ DE LA PARTE CONTINUA (DC), ALTERNA (AC) Y DE LA SEÑAL TOTAL (DC + AC)

Se puede obtener el valor medio de una señal y su valor eficaz en función de los valores medio y eficaz de los correspondientes componentes en continua y alterna:

- El valor medio de una señal es su valor de continua.
- El valor eficaz de una señal se puede calcular como la raíz cuadrada de la suma del valor eficaz al cuadrado de la componente continua más el cuadrado del valor eficaz de la componente alterna.

Veámoslo con unos ejemplos:

a) Señal con únicamente componente de continua. Sea la función x(t) = cte.=V
   - Componente continua: $V_{DC} = V$
     - Valor medio de la componente de continua: $V_m(DC) = V$
     - Valor eficaz de la componente de continua: $V_{ef}(DC) = V$
   - Componente alterna: No tiene. $V_{AC} = 0$
     - Valor medio de la componente de alterna: $V_m(AC) = 0$
     - Valor eficaz de la componente de alterna: $V_{ef}(AC) = 0$
   - Señal total: x(t) = V
     - Valor medio de la señal total: $V_m = V$
     - Valor eficaz de la señal total: $V_{ef} = V$

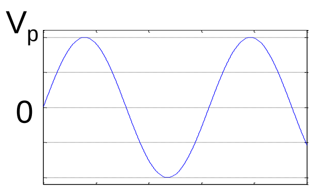
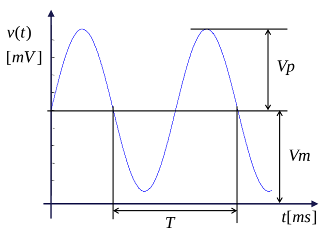
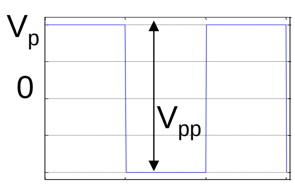
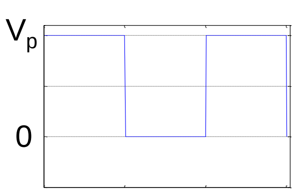
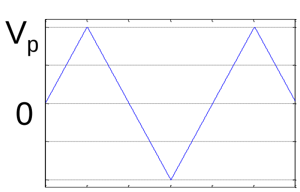
b) Señal con únicamente componente de alterna. Sea la función x(t) = Vsen(ωt+φ)
   - Componente continua: No tiene. $V_{DC} = 0$
     - Valor medio de la componente de continua: $V_m(DC) = 0$
     - Valor eficaz de la componente de continua: $V_{ef}(DC) = 0$
   - Componente alterna: $V_{AC} = V\mathrm{sen}(\omega t+\varphi)$
     - Valor medio de la componente de alterna: $V_m(AC) = 0$
     - Valor eficaz de la componente de alterna: $V_{ef}(AC) = \frac{V}{\sqrt{2}}$
   - Señal total: x(t) = Vsen(ωt+φ)
     - Valor medio de la señal total: $V_m = 0$
     - Valor eficaz de la señal total: $V_{ef} = \frac{V}{\sqrt{2}}$

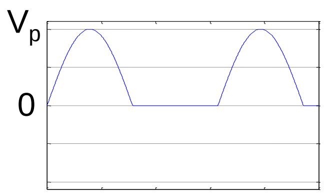
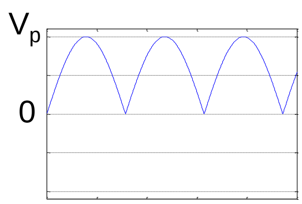
c) Señal con componente de continua y alterna. Sea la función $x(t) = V_0 + V_1 \cdot \mathrm{sen}(\omega t+\varphi)$
   - Componente continua: $V_{DC} = V_0$
     - Valor medio de la componente de continua: $V_m(DC) = V_0$
     - Valor eficaz de la componente de continua: $V_{ef}(DC) = V_0$
   - Componente alterna: $V_{AC} = V_1 \cdot \mathrm{sen}(\omega t+\varphi)$
     - Valor medio de la componente de alterna: $V_m(AC) = 0$
     - Valor eficaz de la componente de alterna: $V_{ef}(AC) = \frac{V_1}{\sqrt{2}}$
   - Señal total: $x(t) = V_0 + V_1 \cdot \mathrm{sen}(\omega t+\varphi)$
     - Valor medio de la señal total: $V_m = V_0$
     - Valor eficaz de la señal total:

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T \left(V_0 + V_1 sen(\frac{2\pi}{T}\cdot t + \varphi)\right)^2 dt} \Rightarrow \boxed{V_{ef} = \sqrt{{V_{ef}}^2(DC) + {V_{ef}}^2(AC)}}$$

1.3. EJEMPLOS DE CÁLCULO DE VALORES MEDIOS Y EFICACES

1.3.1. Resumen con las señales más representativas

Función	Valor medio (V_m)	Valor eficaz (V_{ef})
Sinusoidal pura 	0	$\frac{V_p}{\sqrt{2}}$
Sinusoidal con DC 	V_m	$\sqrt{V_m{}^2 + \frac{V_p{}^2}{2}}$
Cuadrada pura 	0	$\frac{V_{pp}}{2} = V_p$
Pulsos positivos (cuadrada con DC) 	$\frac{V_p}{2}$	$\frac{V_p}{\sqrt{2}}$
Triangular sin DC 	0	$\frac{V_p}{\sqrt{3}}$

Función	Valor medio (V_m)	Valor eficaz (V_{ef})
Media onda 	$\frac{V_p}{\pi}$	$\frac{V_p}{2}$
Onda completa rectificada 	$\frac{2 \cdot V_p}{\pi}$	$\frac{V_p}{\sqrt{2}}$

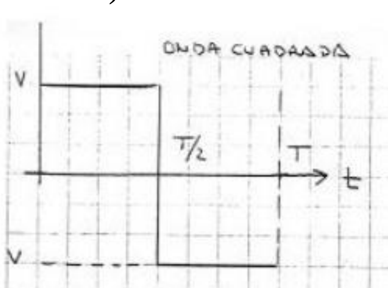
1.3.2. Algunos ejemplos con desarrollos

a) Sinusoidal pura. $v(t) = V_p \cdot sen((2\pi/T)\, t)$

$$V_m = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)dt = \frac{Vp}{T}\int_0^T sen\left(\frac{2\pi}{T}t\right)dt = \frac{Vp}{T}\left[-\frac{T}{2\pi}\cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right)\right]_0^T = 0$$

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T [v(t)]^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T {V_p}^2 sen^2\left(\frac{2\pi}{T}t\right)dt} = V_p\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T \frac{1}{2}\left(1 - cos\left(2\frac{2\pi}{T}t\right)\right) dt} =$$
$$V_p\sqrt{\frac{1}{2\cdot T}\left[\int_0^T dt \; - \int_0^T cos\left(2\frac{2\pi}{T}t\right)dt\right]} = V_p\sqrt{\frac{1}{2\cdot T}[T]} \Rightarrow V_{ef} = \frac{Vp}{\sqrt{2}}$$

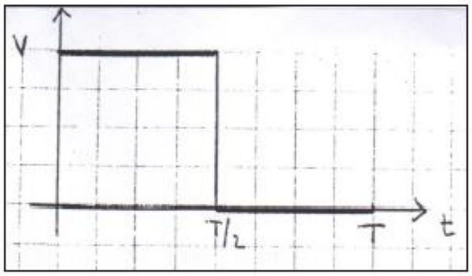
b) Onda cuadrada



$$V_m = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)dt = \frac{1}{T}\left[\int_0^{T/2} V dt - \int_{T/2}^T V dt\right] = 0$$

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T [v(t)]^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T}\left[\int_0^{\frac{T}{2}} V^2 dt + \int_{T/2}^T (-V)^2 dt\right]} = V$$

c) Pulso positivo

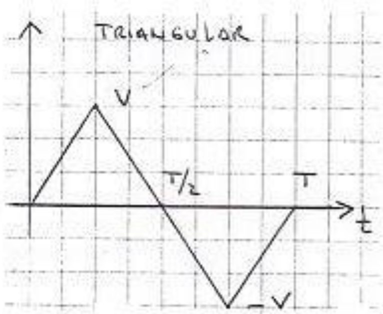


$$V_m = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^{T/2} V dt = \frac{V}{2}$$

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T [v(t)]^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} V^{\;2} dt} =>$$

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

d) Triangular

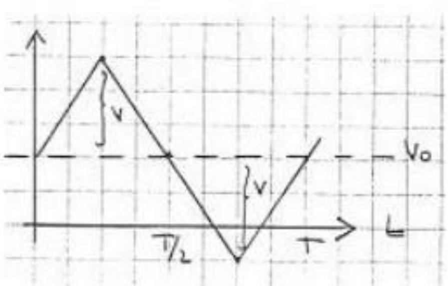


Por simetría con respecto al eje horizontal, el valor medio será 0, $v_m = 0$.

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T [v(t)]^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T}\cdot 4 \cdot \left[\int_0^{T/4} \left(\frac{4V}{T}t\right)^2 dt\right]} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{T}\cdot 4 \cdot \left(\frac{4V}{T}\right)^2 \left[\frac{t^3}{3}\right]_0^{T/4}} = \sqrt{\frac{1}{T} 4 \left(\frac{4V}{T}\right)^2 \frac{T^3}{3\cdot 4^3}} \quad => \quad V_{ef} = \frac{V}{\sqrt{3}}$$

e) Triangular con DC



El valor medio es el valor de continua. Por tanto, $V_m = V_0$

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T [v(t)]^2 dt} = \sqrt{{V_{ef}}^2(DC) + {V_{ef}}^2(AC)}$$

$$= \sqrt{{V_0}^2 + \frac{V^2}{3}}$$

f) Media onda

$$V_m = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)dt = \frac{1}{T}\left[\int_0^{T/2} V_p \cdot sen\left(\frac{2\pi}{T}t\right)dt\right] = \frac{1}{T}\left[\frac{T \cdot V_p}{2\pi}\ (-\cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right))\right]_0^{T/2} = \frac{V_p}{\pi}$$

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T [v(t)]^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{T/2} {V_p}^2 sen^2(\frac{2\pi}{T}t)dt}$$

$$= \sqrt{\frac{{V_p}^2}{T}\int_0^{T/2}\frac{1}{2}\left(1 - cos\left(2 \cdot \frac{2\pi}{T}t\right)\right)dt} = \sqrt{\frac{{V_p}^2}{2T}\left[\frac{T}{2} - \frac{T}{4\pi}\left(sen\left(\frac{4\pi}{T} \cdot \frac{T}{2}\right)\right)\right]}$$

$=> V_{ef} = \frac{V_p}{2}$

2. COMPONENTES BÁSICOS EN CIRCUITOS ELÉCTRICOS

2.1. FUENTES DE CORRIENTE Y TENSIÓN

Una **fuente ideal de tensión** es un dispositivo que mantiene una diferencia de tensión entre sus bornes, independientemente de la corriente que pase por sus terminales. El símbolo se muestra en la Figura 4a.

Una **fuente ideal de corriente** es un dispositivo que mantiene corriente a través de sus terminales, independientemente de la tensión que caiga en ellos. El símbolo se muestra en la Figura 4.b.

Las **fuentes independientes** establecen una tensión o corriente independientemente de cualquier otra tensión o corriente del circuito, mientras de las **fuentes dependientes** generan una tensión o corriente que depende del valor de tensión o corriente de hay en otra parte del circuito. La Figura 4 muestra los símbolos utilizados para las fuentes independientes y la Figura 5 muestra, a la izquierda, el símbolo para una fuente de tensión dependiente (de tensión o corriente), y a la derecha el símbolo para una fuente de corriente dependiente (de tensión o corriente).

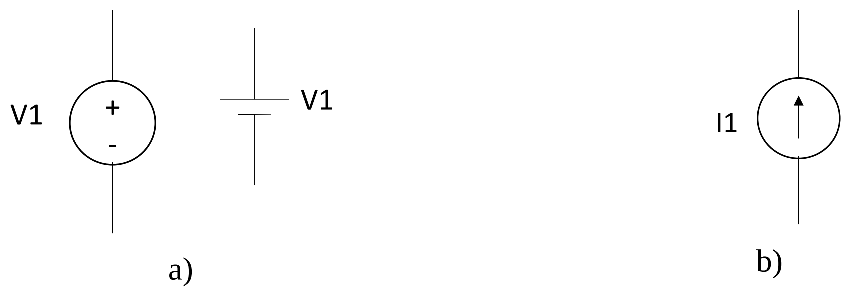


Figura 4. Símbolos de fuentes independientes. a) Símbolo de fuentes de tensión; b) símbolo para una fuente de corriente

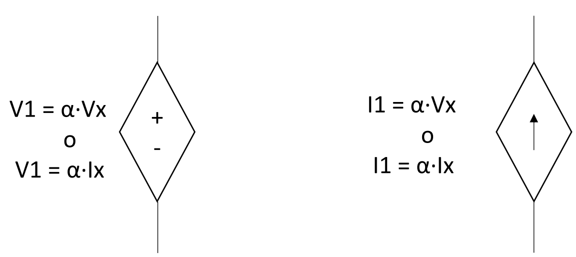
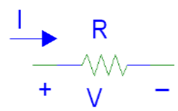
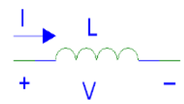
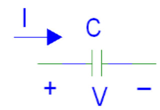
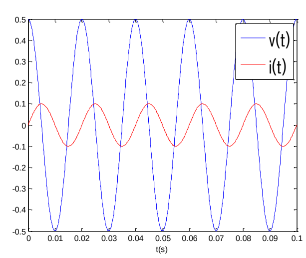
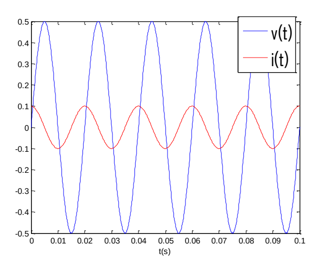


Figura 5. Símbolos de fuentes dependientes

2.2. COMPONENTES PASIVOS

Los componentes pasivos son aquellos que **no** son capaces de generar **energía** eléctrica.

Componente	Resistencia	Bobina	Condensador
Símbolo			
Ecuación característica	V= I·R **(Ley de Ohm)**	$V = L \cdot \frac{dI}{dt}$	$I = C \cdot \frac{dV}{dt}$
Comportamiento en DC	V= I·R	I= cte. => V = 0 (cortocircuito)	V=cte. => I=0 (circuito abierto)
Comportamiento en AC (señal sinusoidal)	Corriente en fase con la tensión	$i(t) = I_0 \cdot sen(\omega t)$ $v(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt} = L\omega I_0 \cos(\omega t) = L\omega I_0 \,sen\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$ La corriente **atrasa** con respecto a la tensión 	$v(t) = V_0 \cdot sen(\omega t)$ $i(t) = C \cdot \frac{dv(t)}{dt} = C\omega V_0 \cos(\omega t) = C\omega V_0 \,sen\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$ La corriente **adelanta** a la tensión 

2.3. ASOCIACIONES SERIE Y PARALELO DE COMPONENTES

2.3.1. Fuentes

Las fuentes de tensión pueden conectarse en serie, mientras que las fuentes de corriente se pueden combinar en paralelo. La tensión o corriente resultante se calcula sumando las distintas tensiones y corrientes considerando el signo correspondiente. Algunos ejemplos se muestran en la Figura 6.

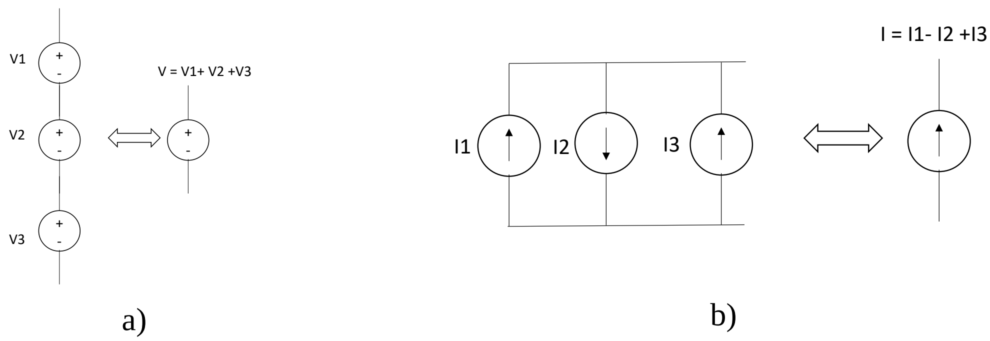


Figura 6. Ejemplo de combinación de fuentes. a) Fuentes de tensión en serie y su equivalente; b) fuentes de corriente en paralelo y su equivalente

2.3.2. Componentes pasivos

La Figura 7 muestra un ejemplo de combinación de resistencias y su valor equivalente para combinaciones serie y paralelo. Una combinación serie de resistencias es equivalente a la suma de todas las resistencias:

$$R_{serie} = \sum R_i$$

Una combinación de resistencias en paralelo es equivalente a una resistencia cuyo inverso es la suma de los inversos:

$$\frac{1}{R_{paralelo}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

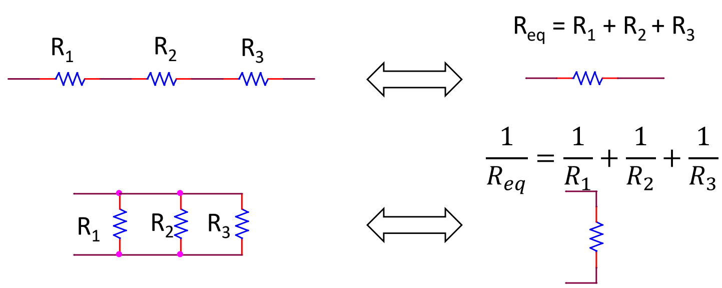


Figura 7. Ejemplo de combinación de resistencias y su valor equivalente

La Figura 8 muestra un ejemplo de combinación de bobinas y su valor equivalente para combinaciones serie y paralelo. Una combinación serie de bobinas es equivalente a una inductancia igual a la suma de todas ellas:

$$L_{serie} = \sum L_i$$

Una combinación de bobinas en paralelo es equivalente a una inductancia total cuyo inverso es la suma de los inversos:

$$\frac{1}{L_{paralelo}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

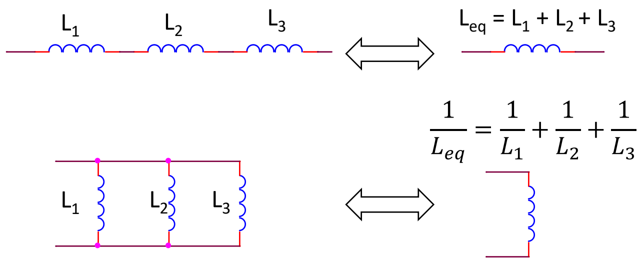


Figura 8. Ejemplo de combinación de bobinas y su valor equivalente

La Figura 9 muestra un ejemplo de combinación de condensadores y su valor equivalente para combinaciones serie y paralelo. Una combinación serie de condensadores resulta en una capacidad total cuyo inverso es la suma de los inversos:

$$\frac{1}{C_{serie}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Una combinación de condensadores en paralelo es equivalente a una capacidad total igual a la suma de todas las capacidades:

$$C_{paralelo} = \sum C_i$$

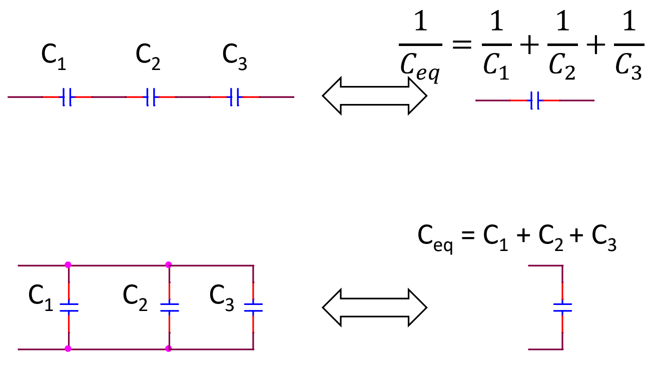


Figura 9. Ejemplo de combinación de condensadores y su valor equivalente

3. ANÁLISIS DE CIRCUITOS

3.1. LEYES DE KIRCHHOFF

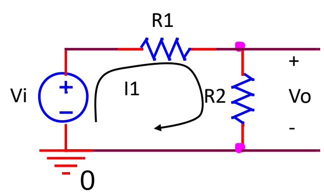
La suma algebraica de todas las corrientes en cualquier nodo del circuito es igual a cero:

$$\sum I_i = 0$$

La suma algebraica de todas las tensiones en cualquier malla del circuito es igual a cero:

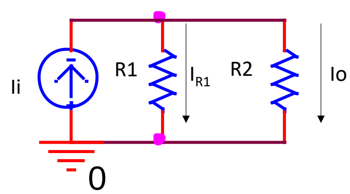
$$\sum V_i = 0$$

3.1.1. Divisor de tensión



$$\left.\begin{array}{c}\sum V_k = 0 => -V_i + V_{R1} + V_o = 0 \\ V_{R1} = I_1 R_1 \\ V_o = I_1 R_2\end{array}\right\} => V_o = V_i \frac{R2}{R1 + R2}$$

3.1.2. Divisor de corriente



$$\left.\begin{array}{c}\sum I_k = 0 => I_i - I_{R1} - I_o = 0 \\ V_o = I_{R1} R_1 \\ V_o = I_o R_2\end{array}\right\} => I_o = I_i \frac{R1}{R1 + R2}$$

3.2. EQUIVALENTE DE THEVENIN Y NORTON.

Teorema de Thévenin.- Todo circuito lineal visto entre dos puntos puede sustituirse por un generador de tensión y una resistencia en serie equivalente (véase la Figura 10).

Teorema de Norton.- Todo circuito lineal visto entre dos puntos puede sustituirse por un generador de corriente y una resistencia en paralelo equivalente.

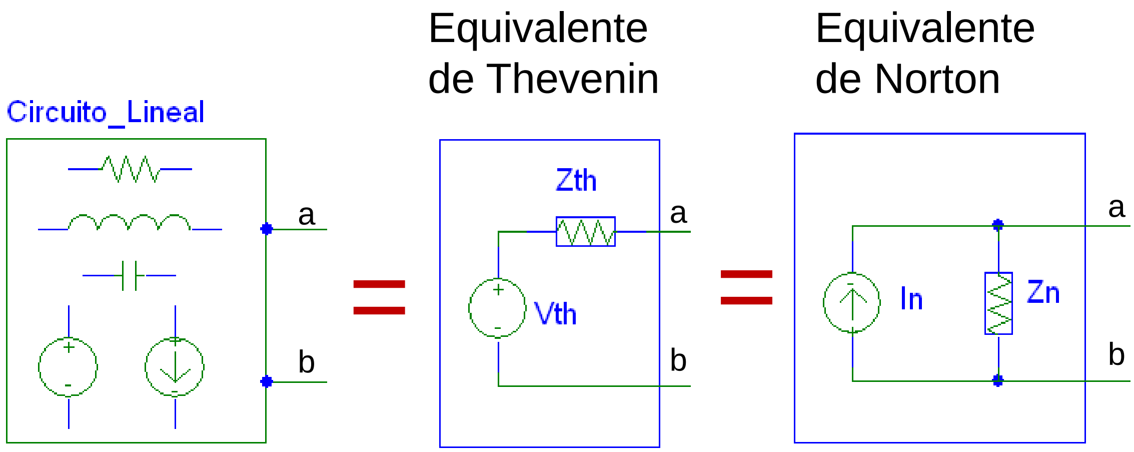


Figura 10. Equivalentes de Thévenin y Norton

Para calcular el equivalente Thévenin hay que seguir los siguientes pasos:

1. Calcular la tensión de Thévenin V_{TH}.:
   a. Se calcula la tensión en abierto entre los puntos del circuito donde se quiere obtener el equivalente. $V_{ab} = V_{TH}$
2. Calcular la resistencia Thévenin R_{TH}:
   a. Se anulan todas las fuentes independientes. Las fuentes de tensión son cortocircuitos (V= 0) y las fuentes de corriente circuitos abiertos (I=0).
   b. Se calcula la resistencia equivalente que se ve entre los nodos a y b obteniendo equivalentes de combinaciones en serie y paralelo de las resistencias del circuito.

Un método alternativo para el cálculo de la R_{TH} consiste en obtener la corriente en cortocircuito I_{ab} de forma que $R_{TH} = V_{TH} / I_{ab}$.

Para calcular el equivalente Norton hay que seguir los siguientes pasos:

1. Calcular la corriente de Norton I_N.:
   a. Se calcula la corriente en cortocircuito entre los puntos del circuito donde se quiere obtener el equivalente. $I_{ab} = I_N$
2. Calcular la resistencia Norton R_N:
   a. Se anulan todas las fuentes independientes. Las fuentes de tensión son cortocircuitos (V= 0) y las fuentes de corriente circuitos abiertos (I=0).
   b. Se calcula la resistencia equivalente que se ve entre los nodos a y b obteniendo equivalentes de combinaciones en serie y paralelo de las resistencias del circuito.

Un método alternativo para el cálculo de la R_N consiste en obtener la tensión en circuito abierto V_{ab} de forma que $R_N = V_{ab} / I_N$.

3.2.1. Relación entre el equivalente Thévenin y el equivalente Norton

$$R_{TH} = R_N$$

$$V_{TH} = R_{TH} \cdot I_N$$

3.3. SUPERPOSICIÓN

Cuando todos los componentes de un circuito presentan relaciones I-V lineales, el circuito es lineal y se puede aplicar el principio de superposición:

Un circuito con varias fuentes independientes se puede analizar por separado para cada una de las fuentes (suponiendo anuladas el resto de las fuentes independientes; las dependientes se deben mantener) y sumando las respuestas individuales al final.

4. RESPUESTA TRANSITORIA DE CIRCUITOS DE PRIMER ORDEN. CONSTANTE DE TIEMPO

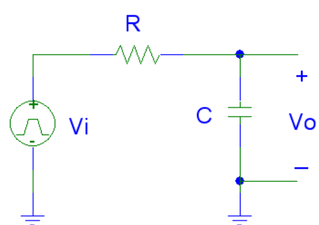
Sea un circuito cuya relación V-I se puede expresar con una ecuación diferencial de primer orden. Estos son circuitos compuestos por fuentes, resistencias, y condensadores o bobinas (pero no ambos). La respuesta genérica a un cambio en las fuentes es:

$$\boxed{Y_{out}(t) = Y_F + [Y_0 - Y_F]e^{-\frac{(t-t_0)}{\tau}}}$$

Donde:

- Y_F es el valor final de la función: $Y_F = Y_{out}(t \rightarrow \infty)$
- Y_0 es el valor inicial de la función: $Y_0 = Y_{out}(t \rightarrow t_0)$
- t_0 es el tiempo inicial
- τ se denomina **constante de tiempo** y caracteriza la velocidad a la cual la función se aproxima a su valor final. Por ejemplo, si se deja evolucionar al circuito, cuando $t=5 \cdot \tau$, el valor de la función sería del 99% del valor final.

Por ejemplo, para el caso particular de un circuito RC, tendríamos:



$$v_{out}(t) = v_F + [v_0 - v_F]e^{-\frac{(t-t_0)}{\tau}}$$

Donde $\boxed{\tau = RC}$

Por ejemplo, sea el circuito de la figura con R=10kΩ y C= 100nF, la tensión inicial $V_0 = 0$, y la tensión final $V_F = 1V$. La respuesta a un escalón sería la mostrada en la Figura 11.

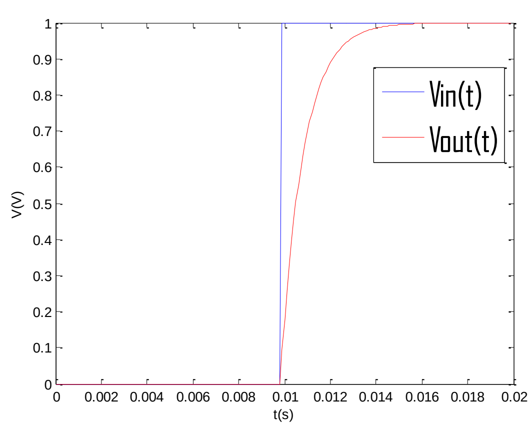
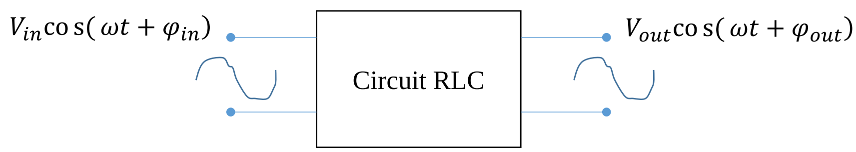


Figura 11. Respuesta al impulso de un circuito RC. En azul se muestra la señal de la tensión de entrada (fuente) y en rojo la salida del circuito

5. RÉGIMEN SINUSOIDAL PERMANENTE.

La respuesta de un circuito a fuentes que varían de forma sinusoidal en régimen permanente es de gran interés puesto que la transmisión y distribución de energía eléctrica ocurre fundamentalmente en estas condiciones y además es útil para el análisis de señales no sinusoidales.

Los circuitos con componentes pasivos que tienen fuentes independientes que varían de forma sinusoidal en régimen permanente proporcionan a la salida tensiones y corrientes que también son sinusoidales, con la misma frecuencia pero que pueden estar desfasadas con respecto a la entrada.



Como la frecuencia es la misma para todas las tensiones y corrientes del circuito, basta con conocer la amplitud y la fase para representar las distintas señales. Para ello, se utilizan los **fasores**.

5.1. FASORES

Un fasor es un número complejo que representa la amplitud y la fase de una función sinusoidal. Se basa en la fórmula de Euler:

$$Ae^{\pm j\varphi} = Acos\varphi \pm jAsen\varphi => \begin{cases} Acos\theta = Re\left(Ae^{j\varphi}\right) \\ Asen\theta = Im(Ae^{j\varphi}) \end{cases}$$

$Ae^{j\varphi}$ se suele representar con la notación simplificada $A\angle\varphi$, que es la más común en el análisis de circuitos.

Ejemplo:

Sea la tensión v(t),

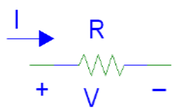
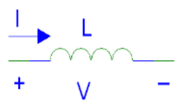
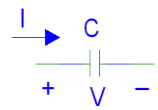
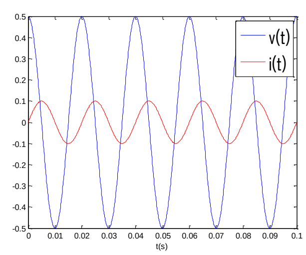
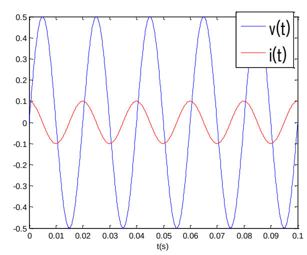
$v(t) = V_1\cos(\omega t+\varphi) \equiv Re(V_1\cdot e^{j(\omega t+\varphi)})=Re(\mathbf{V}\cdot e^{j\omega t})$,, donde $\mathbf{V}= V_1\cdot e^{j\varphi}$ es el fasor que representa la magnitud y fase de v(t).

El análisis de circuitos en régimen permanente sinusoidal con fasores permite usar operaciones algebraicas en lugar de integrales y derivadas.

5.2. CONCEPTO DE IMPEDANCIA

En régimen permanente sinusoidal, al igual que las resistencias, las bobinas y condensadores presentan una característica V-I lineal (Ley de Ohm), siendo el valor que relaciona V-I un número complejo **Z** denominado **impedancia**.

V = I·Z,, donde **I**, y **V** son los fasores de tensión y corriente.

Componente	Resistencia	Bobina	Condensador
Símbolo			
Ecuación característica	**V**= **I**·Z **(Ley de Ohm)**		
Impedancia	R	Z_L=jωL	Z_C=1/jωC
Comportamiento en AC (señal sinusoidal)	Corriente en fase con la tensión	**I** = I_0·∠φ **V** = I_0·ω·L·∠(φ+90º) La corriente **atrasa** con respecto a la tensión 	**I** = I_0·∠φ **V** = I_0·(1/ωC)·∠(φ-90º) La corriente **adelanta** a la tensión 

La impedancia de condensadores y bobinas varía con la frecuencia:

- Si ω = 0 (DC) => Z_L = 0 (cortocircuito), Z_C →∞ (circuito abierto)
- Si ω→∞ (altas frecuencias) => Z_L →∞ (circuito abierto), Z_C →0 (cortocircuito)

Todas las técnicas de análisis de circuitos aplicables a circuitos resistivos son válidas para el análisis en régimen permanente sinusoidal de circuitos RLC:

- Kirchhoff
- Superposición
- Equivalente de combinaciones de impedancias (serie y paralelo)
- Equivalentes Thévenin y Norton