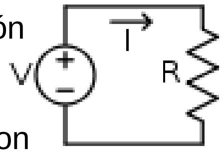
Impedancia



La **impedancia** es una magnitud que establece la relación (cociente) entre la tensión y la intensidad de corriente. Tiene especial importancia si la corriente varía en el tiempo, en cuyo caso, ésta, la tensión y la propia impedancia se describen con números complejos o funciones del análisis armónico.

Su módulo (a veces impropiamente llamado impedancia) establece la relación entre los valores máximos o los valores eficaces de la tensión y de la corriente. La parte real de la impedancia es la resistencia y su parte imaginaria es la reactancia.

El concepto de impedancia generaliza la ley de Ohm en el estudio de circuitos en corriente alterna (AC).El término fue acuñado por Oliver Heaviside en 1886. En general, la solución para las corrientes y las tensiones de un circuito formado por resistencias, condensadores e inductancias y sin ningún componente de comportamiento no lineal, son soluciones de ecuaciones diferenciales. Pero, cuando todos los generadores de tensión y de corriente tienen la misma frecuencia constante y sus amplitudes son constantes, las soluciones en estado estacionario (cuando todos los fenómenos transitorios han desaparecido) son sinusoidales y todas las tensiones y corrientes tienen la misma frecuencia que los generadores y amplitud constante. La fase, sin embargo, se verá afectada por la parte compleja (reactancia) de la impedancia.

El formalismo de las impedancias consiste en unas pocas reglas que permiten calcular circuitos que contienen elementos resistivos, inductivos o capacitivos de manera similar al cálculo de circuitos resistivos en corriente continua. Esas reglas sólo son válidas en los casos siguientes:

- Si estamos en régimen permanente con corriente alterna sinusoidal. Es decir, que todos los generadores de tensión y de corriente son sinusoidales y de la misma frecuencia, y que todos los fenómenos transitorios que pueden ocurrir al comienzo de la conexión se han atenuado y desaparecido completamente.
- Si todos los componentes son lineales. Es decir, componentes o circuitos en los cuales la amplitud (o el valor eficaz) de la corriente es estrictamente proporcional a la tensión aplicada. Se excluyen los componentes no lineales como los diodos. Si el circuito contiene inductancias con núcleo ferromagnético (que no son lineales), los resultados de los cálculos sólo podrán ser aproximados y eso, a condición de respetar la zona de trabajo de las inductancias.

Cuando todos los generadores no tienen la misma frecuencia o si las señales no son sinusoidales, se puede descomponer el cálculo en varias etapas en cada una de las cuales se puede utilizar el formalismo de impedancias (ver más abajo).

Definición

Sea un componente electrónico o eléctrico o un circuito alimentado por una corriente sinusoidal $I_\circ \cos(\omega t)$. Si la tensión a sus extremidades es $V_\circ \cos(\omega t+\varphi)$, la **impedancia** del circuito o del componente se define como un número complejo Z cuyo módulo es el cociente $\frac{V_\circ}{I_\circ}$ y cuyo argumento es φ.

$$\begin{aligned} & |Z| && = \frac{V_\circ}{I_\circ} \\ arg\ & (Z) && = \varphi \end{aligned}$$

o sea $Z = \frac{V_\circ}{I_\circ} e^{j\varphi} = \frac{V_\circ}{I_\circ} (\cos\varphi + j\sin\varphi)$.

Es la oposición total (Resistencia, Reactancia inductiva, Reactancia capacitiva) sobre la corriente

Como las tensiones y las corrientes son sinusoidales, se pueden utilizar los valores pico (amplitudes), los valores eficaces, los valores pico a pico o los valores medios. Pero hay que cuidar de ser uniforme y no mezclar los tipos. El resultado de los cálculos será del mismo tipo que el utilizado para los generadores de tensión o de corriente.

Reactancia

Véase artículo reactancia. La impedancia puede representarse como la suma de una parte real y una parte imaginaria:

$$Z = R + jX$$

R es la parte **resistiva** o **real** de la impedancia y X es la parte **reactiva** o **reactancia** de la impedancia.

Admitancia

Véase artículo admitancia. La **admitancia** es el inverso de la impedancia:

$$Y = \frac{1}{Z} = y_c + jy_s$$

La conductancia y_c es la parte real de la admitancia y la susceptancia y_s la parte imaginaria de la admitancia.

Las unidades de la admitancia, la conductancia y la susceptancia son los Siemens. Un Siemen es el inverso de un Ohmio.

Generadores de tensión o de corriente desfasadas.

Si, en un circuito, se encuentran varios generadores de tensión o de corriente, se elige uno de ellos como generador de referencia de fase. Si la verdadera tensión del generador de referencia es $V_\circ \cos(\omega t)$, para el cálculo con las impedancias escribiremos su tensión como $V_\circ$. Si la tensión de otro generador tiene un avance de fase de α con respecto al generador de referencia y su corriente es $I_1 \cos(\omega t + \alpha)$, para el cálculo con las impedancias escribiremos su corriente como $I_1 e^{j\alpha}$. El argumento de las tensiones y corrientes calculadas será el desfase de esas tensiones o corrientes con respecto al generador tomado como referencia.

Representación gráfica

Se pueden representar las tensiones de los generadores de tensión y las tensiones entre los extremos de los componentes como vectores en un plano complejo. La magnitud (longitud) de los vectores es el módulo de la tensión y el ángulo que hacen con en eje real es igual al ángulo de desfase con respecto al generador de referencia. Este tipo de diagrama también se llama **diagrama de Fresnel**.

Con un poco de costumbre y un mínimo de conocimientos de geometría, esas representaciones son mucho más explicitas que los valores o las fórmulas. Por supuesto, esos dibujos no son, en nuestra época, un método gráfico de cálculo de circuitos. Son una manera de "ver" como las tensiones se suman. Esos dibujos pueden facilitar la escritura de las fórmulas finales, utilizando las propiedades geométricas. Encontrarán ejemplos de la representación gráfica en los ejemplos de abajo.

Cálculo de circuitos con las impedancias

Con lo que se ha explicado arriba, se pueden calcular circuitos que contienen impedancias de la misma manera que se calculan circuitos con resistencias en corriente continua.

Leyes de Kirchhoff

Las Leyes de Kirchoff se aplican de la misma manera: "la suma de las corrientes que llegan a un nodo es cero" y "la suma de todas las tensiones alrededor de una malla es cero". Esta vez, tanto las corrientes como las tensiones, son, en general, complejas.

Generalización de la ley de Ohm

La tensión entre las extremidades de una impedancia es igual al producto de la corriente por la impedancia:

$$V_z = ZI_z$$

Tanto la impedancia como la corriente y la tensión son, en general, complejas.

Impedancias en serie o en paralelo

Las impedancias se tratan como las resistencias con la ley de Ohm. La impedancia es igual a su suma:

Serie $Z = Z_1 + Z_2 + \cdots + Z_n$

La impedancia de varias impedancias en paralelo es igual al inverso de la suma de los inversos:

Paralelo $Z = \frac{1}{\frac{1}{Z_1}+\frac{1}{Z_2}+\cdots+\frac{1}{Z_n}}$

Interpretación de los resultados

El resultado de corriente es, generalmente, un número complejo. Ese número complejo se interpreta de manera siguiente:

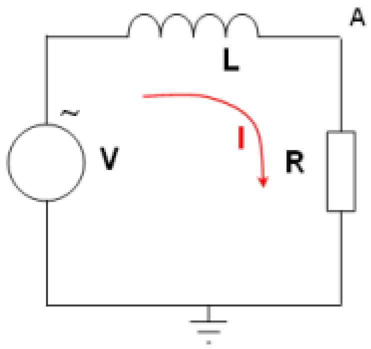
- El módulo indica el valor de la tensión o de la corriente calculada. Si los valores utilizados para los generadores eran los valores pico, el resultado también será un valor pico. Si los valores eran valores eficaces, el resultado también será un valor eficaz.

- El argumento de ese número complejo da el desfase con respecto al generador utilizado como referencia de fase. Si el argumento es positivo la tensión o la corriente calculadas estarán en avance de fase

neutro.-

Ejemplos

Un generador único



Una inductancia y una resistencia en serie alimentadas por un generador sinusoidal.

En el diagrama de la derecha tenemos un generador sinusoidal $V=10\cos(\omega t)$de 10 volts de amplitud y de una frecuencia de 10 kHz. En serie hay una inductancia de 10 mH y una resistencia de 1,2 kΩ. Calculemos la corriente Ique circula en el circuito:

$$I = \frac{V}{Z_L+Z_R} = \frac{V}{j\omega L+R} = \frac{10}{j2\pi 10^4 0{,}01+1200}$$
$$= \frac{10}{1200+j628{,}3} = 0{,}00654 - j0{,}003424\ A$$

Es necesaria la aplicación del cálculo con números complejos si se utiliza esta notación.

El módulo de la corriente es:

$$I = \left|\frac{10}{1200+j628{,}3}\right| = 7{,}38\,mA$$

Como el valor de la tensión del generador que tomamos fue un valor pico (amplitud), el valor de la corriente obtenido también es un valor pico. La corriente eficaz es: $I_{ef}=\frac{7,38}{\sqrt{2}}=5,22\,mA$

La fase de la corriente es el argumento del número complejo $\frac{10}{1200+j628,3}$:

$$\operatorname{artg}\left(\frac{10}{1200+j628,3}\right)=-0,4823\text{ rad}=-27,63^\circ$$

La corriente está en retardo de fase con respecto a la fase del generador. Eso es lógico, ya que el circuito es inductivo.

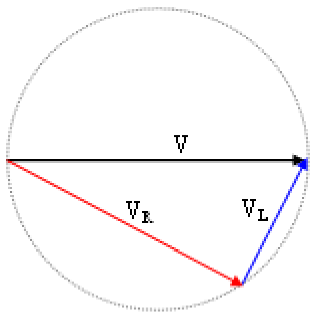


Diagrama de Fresnel (o fasor) de una inductancia y una resistencia en serie. El círculo gris solo sirve de ayuda al dibujo del ángulo recto entre la tensión de la resistencia y la tensión de la inductancia.

Solo la resistencia disipa potencia:

$$P_R=\tfrac{1}{2}R\,|I|^2=\tfrac{1}{2}1200\cdot(7,38\,10^{-3})^2=32,7\ mW$$

La fracción $\frac{1}{2}$aparece porque el valor de la corriente es el valor pico.

La tensión entre los extremos de la resistencia es $V_R=I\,R=(0,00654-j0,003424)\,1200=7,84-j4,109\ V_{\text{pico}}$

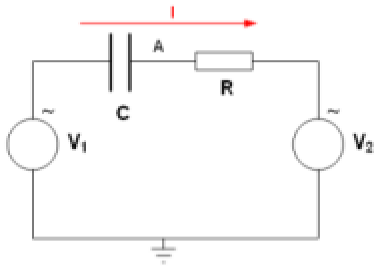
La tensión eficaz que se leería con un voltímetro sería el módulo de esta tensión divido por $\sqrt{2}$: $6,26\ V_{ef}$

La tensión entre las extremidades de la inductancia es $V_L=j\omega L\,I=j628,3\,(0,00654-j0,003424)=2,15+j4,109\ V_{\text{pico}}$

La tensión eficaz leída con el voltímetro sería, igualmente: $3,28\ V_{ef}$

Constatamos que la suma de las dos tensiones "complejas" da (teniendo en cuenta los redondeos) la tension del generador. En cambio, la suma de las dos tensiones leídas con un voltímetro es más grande que la del generador ($7,07V_{ef}$). Ese resultado es típico de las medidas hechas con un voltímetro en circuitos en los cuales las tensiones no están en fase. Un voltímetro nos mide módulos en valor eficaz, los cuales no podemos sumar directamente ya que estamos tratando con fasores con sus distintas orientaciones.

Dos generadores desfasados



Condensador y resistencia en serie entre dos generadores sinusoidales desfasados.

En el circuito de la derecha, un condensador de $1\,\mu F$ y una resistencia de $3\,k\Omega$ en serie, están conectados entre dos generadores sinusoidales. Tomamos como generadores dos fases del suministro trifásico. El generador de izquierda será nuestro generador de referencia $V_1 = 230\sqrt{2}\cos(314\,t)$. El generador de derecha está en avance de fase de $2\pi/3$. Es decir, $V_2 = 230\sqrt{2}\cos(314\,t + \frac{2\pi}{3})$. Con el formalismo de impedancias, el generador de izquierda será $V_1 = 230\,V_{ef}$ y el de derecha $V_2 = 230\,e^{j\frac{2\pi}{3}}\,V_{ef}$. Comencemos calculando la diferencia de tensión entre los dos generadores:

$$V_{12} = 230\left(1 - e^{j\frac{2\pi}{3}}\right) = 230\left(1 - \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) - j\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right)\right)$$
$$= 230\,(1{,}5 - j0{,}866) = 345 - j199{,}19\,V_{ef} = 398{,}37e^{-j0{,}5774}$$

El módulo de esta tensión es $398{,}37 V_{ef}$ y está retardada de 0,5774 radianes (30°) con respecto a la tensión de referencia.

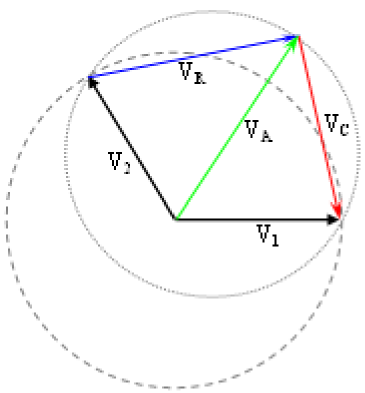


Diagrama de Fresnel correspondiente al segundo ejemplo. El primer círculo sirve de guía a las tensiones de los dos generadores. El segundo para el ángulo recto entre la tensión del condensador y la de la resistencia.

La corriente que circula es:

$$I = \frac{V_{12}}{R+\frac{1}{j\omega C}} = \frac{398{,}37\, e^{-j0{,}5236}}{3000-j3185} = \frac{398{,}37\, e^{-j0{,}5236}}{4375{,}41\, e^{-j0{,}8153}} = 0{,}0910\, e^{j0{,}2917}$$

Como los valores de tensión utilizados para los generadores eran valores eficaces, la corriente calculada también viene como valor eficaz: 91 mA en avance de fase 16,71° con respecto a la tensión de referencia.

La tensión entre los extremos de la resistencia es $V_R = R\, I = 3000 \cdot 0{,}0910\, e^{j0{,}2917} = 273\, e^{j0{,}2917}\, V_{ef}$

La tensión entre los extremos del condensador es: $V_C = Z_C\, I = -j3185 \cdot 0{,}0910\, e^{j0{,}2917} = 3185\, e^{-j\frac{\pi}{2}}\, 0{,}0910\, e^{j0{,}2917} = 289{,}83\, e^{-j1{,}2791}\, V_{ef}$.

La tensión entre las extremidades del condensador está en retardo de 73,3° con respecto a la tensión de referencia. Como en el ejemplo precedente, la suma de los módulos de las tensiones (las que se medirían con un voltímetro) de la resistencia y del condensador (563 V) es más grande que la tensión total aplicada (398 V).

La tensión en el punto A del circuito será:

$$V_A = V_1 - V_C = 230 - 289{,}83\, e^{-j1{,}2791} = 230 - (83{,}35 - j277{,}6)$$
$$= 146.65 + j277{,}6 = 314\, e^{j1{,}085}\, V_{ef}$$

La tensión del punto A es más grande que la de cada generador.

Cuando las impedancias no pueden utilizarse directamente

Si todos los generadores no tienen la misma frecuencia, el formalismo de las impedancias no puede aplicarse directamente. En ese caso lo que se puede hacer es utilizar el Teorema de superposición: se hace un cálculo separado para cada una de las frecuencias (remplazando en cada uno de los cálculos todos los generadores de tensión de frecuencia diferente por un cortocircuito y todos los generadores de corriente de frecuencia diferente por un circuito abierto). Cada una de las tensiones y corrientes totales del circuito será la suma de cada una de las tensiones o corrientes obtenidas à cada una de las frecuencias. Por supuesto, para hacer estas últimas sumas hay que escribir cada una de las tensiones en la forma real, con la dependencia del tiempo y el desfase: $V_i \cos(\omega_i t+\varphi_i)$para las tensiones y las fórmulas similares para las corrientes.

Si las señales no son sinusoidales, pero son periódicas y continuas, se pueden descomponer las señales en serie de Fourier y utilizar el Teorema de superposición para separar el cálculo en un cálculo para cada una de las frecuencias. El resultado final será la suma de los resultados para cada una de las frecuencias de la descomposición en serie.

Origen de las impedancias

Vamos a tratar de ilustrar el sentido físico de la parte imaginaria **j** (donde se utiliza esta letra en vez de *i* para evitar confusiones con la intensidad) de las impedancias calculando, sin utilizar estas, la corriente que circula por un circuito formado por una resistencia, una inductancia y un condensador en serie.

El circuito está alimentado con una tensión sinusoidal y hemos esperado suficientemente para que todos los fenómenos transitorios hayan desaparecido. Tenemos un régimen permanente. Como el sistema es lineal, la corriente del régimen permanente será también sinusoidal y tendrá la misma frecuencia que la de la fuente original. Lo único que no sabemos sobre la corriente es su amplitud y el desfase que puede tener con respecto a la tensión de alimentación. Así, si la tensión de alimentación es $V=V_\circ \cos(\omega t)$la corriente será de la forma $I=I_\circ \cos(\omega t+\varphi)$, donde φ es el desfase que no conocemos. La ecuación a resolver será:

$$V_\circ \cos(\omega t) = V_R + V_L + V_C$$

donde V_R, V_L y V_C son las tensiones entre las extremidades de la resistencia, la inductancia y el condensador.

$V_R$es igual a $RI_\circ \cos(\omega t+\varphi)$

La definición de inductancia nos dice que

$$V_L = L\frac{dI}{dt} = L\frac{d(I_\circ \cos(\omega t+\varphi))}{dt} = -\omega L I_\circ \sin(\omega t+\varphi).$$

La definición de condensador nos dice que $I=C\frac{dV_C}{dt}$. Haciendo la derivada, se puede comprobar que:

$$V_C = \frac{1}{\omega C} I_\circ \sin(\omega t+\varphi).$$

Así, la ecuación que hay que resolver es:

$$V_\circ \cos(\omega t) = RI_\circ \cos(\omega t + \varphi) - \omega L I_\circ \sin(\omega t + \varphi) + \tfrac{1}{\omega C} I_\circ \sin(\omega t + \varphi)$$

Tenemos que encontrar los valores de $I_\circ$ y de φ que hagan que esta ecuación sea satisfecha para todos los valores de t.

Para encontrarlos, imaginemos que alimentamos otro circuito idéntico con otra fuente de tensión sinusoidal cuya única diferencia es que comienza con un cuarto de periodo de retraso. Es decir, que la tensión será $V = V_\circ \cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) = V_\circ \sin(\omega t)$. De la misma manera, la solución también tendrá el mismo retraso y la corriente será: $I = I_\circ \cos(\omega t + \varphi - \frac{\pi}{2}) = I_\circ \sin(\omega t + \varphi)$. La ecuación de este segundo circuito retardado será:

$$V_\circ \sin(\omega t) = RI_\circ \sin(\omega t + \varphi) + \omega L I_\circ \cos(\omega t + \varphi) - \tfrac{1}{\omega C} I_\circ \cos(\omega t + \varphi)$$

Hay signos que han cambiado porque el coseno retardado se transforma en seno, pero el seno retardado se transforma en $-$ coseno. Ahora vamos a sumar las dos ecuaciones después de haber multiplicado la segunda por **j**. La idea es de poder transformar las expresiones de la forma $\cos x + j \sin x$ en e^{jx}, utilizando las fórmulas de Euler. El resultado es:

$$V_\circ e^{j\omega t} = RI_\circ e^{j(\omega t + \varphi)} + j\omega L I_\circ e^{j(\omega t + \varphi)} + \tfrac{1}{j\omega C} I_\circ e^{j(\omega t + \varphi)}$$

Como $e^{j\omega t}$ es diferente de cero, se puede dividir toda la ecuación por ese factor:

$$V_\circ = RI_\circ e^{j\varphi} + j\omega L I_\circ e^{j\varphi} + \tfrac{1}{j\omega C} I_\circ e^{j\varphi}$$

se deduce:

$$I_\circ e^{j\varphi} = \frac{V_\circ}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}$$

A la izquierda tenemos las dos cosas que queríamos calcular: la amplitud de la corriente y su desfase. La amplitud será igual al módulo del número complejo de la derecha y el desfase será igual al argumento del número complejo de la derecha.

Y el término de la derecha es el resultado del cálculo habitual utilizando el formalismo de impedancias en el cual de tratan las impedancias de las resistencias, condensadores e inductancias de la misma manera que las resistencias con la ley de Ohm.

Vale la pena repetir que cuando escribimos:

$$I = \frac{V_0}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}$$

admitimos que la persona que lee esa fórmula sabe interpretarla y no va a creer que la corriente pueda ser compleja o imaginaria. La misma suposición existe cuando encontramos expresiones como "alimentamos con una tensión $Ve^{j\omega t}$" o "la corriente es compleja".

Como las señales son sinusoidales, los factores entre los valores eficaces, máximos, pico a pico o medios son fijos. Así que, en el formalismo de impedancias, si los valores de entrada son pico, los resultados también vendrán en pico. Igual para eficaz u otros. Pero no hay que mezclarlos.

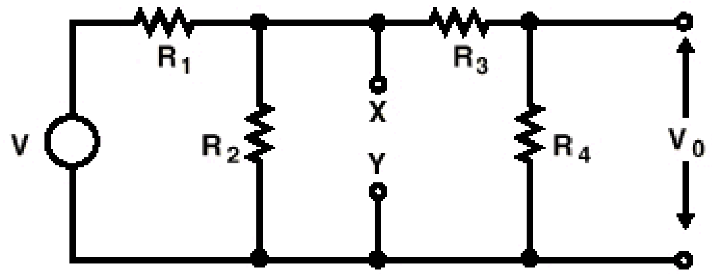
TEOREMA DE THEVENIN

Cualquier circuito, por complejo que sea, visto desde dos terminales concretos, es equivalente a un generador ideal de tensión **en serie** con una resistencia, tales que:

- La fuerza electromotriz del generador es igual a la diferencia de potencial que se mide en circuito abierto en dichos terminales

- La resistencia es la que se "ve" HACIA el circuito desde los terminales en cuestión, cortocircuitando los generadores de tensión y dejando en circuito abierto los de corriente

Para aplicar el teorema de Thévenin, por ejemplo, en el caso de la Figura 6, elegimos los puntos X e Y y, suponemos que desconectamos todo lo que tenemos a la derecha de dichos puntos, (es decir, estamos suponiendo que las resistencias R3 y R4, las hemos desconectado físicamente del circuito original) y miramos atrás, hacia la izquierda.



$$V_{th} = V\frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

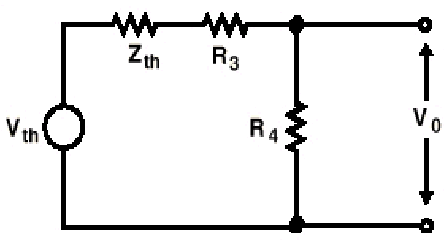
En esta nueva situación calculamos la tensión entre estos dos puntos (X,Y) que llamaremos **la tensión equivalente Thévenin Vth** que coincide con la tensión en bornes de la resistencia R2 y cuyo valor es :

El siguiente paso es, estando nosotros situados en los puntos indicados (X Y) mirar hacia la izquierda otra vez y calcular la resistencia que vemos, pero teniendo en cuenta que debemos suponer que los generadores de tensión son unos cortocircuitos y los generados de corriente son circuitos abiertos, en el caso de nuestro circuito original, sólo hay un generador de tensión que, para el cálculo que debemos hacer lo supondremos en cortocircuito y *¿ que es lo que vemos ?*

$$Z_{th} = Z_{x-y} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \equiv R_1 \parallel R_2$$

Pues si miráis la figura 6, lo que vemos es que, las resistencias R1 y R2 están en paralelo.
Por lo que **la resistencia equivalente Thévenin**, también llamada impedancia equivalente, **Z th.** vale:

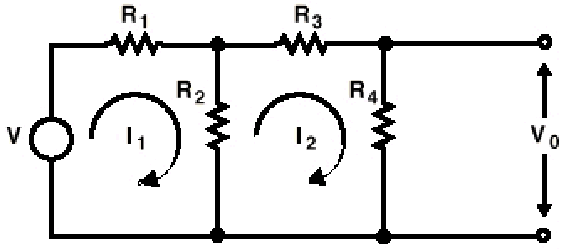
El circuito estudiado a la izquierda de los puntos X, Y se reemplaza ahora por el circuito equivalente que hemos calculado y nos queda el circuito de la figura 7, donde ahora es mucho más fácil realizar los cálculos para obtener el valor Vo



$$V_0 = V_{th}\frac{R_4}{Z_{th} + R_3 + R_4}$$

$$= V\frac{R_2}{R_1 + R_2}\;\frac{R_4}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 + R_4}$$

La otra forma de calcular Vo es, la de la teoría de mallas, que calculamos en la figura 8 y donde observamos que los resultados son los mismos. Pero las ecuaciones resultantes son bastante más



$$V = I_1(R_1 + R_2) - I_2R_2$$

$$I_2(R_2 + R_3 + R_4) = I_1R_2$$

$$I_1 = \frac{R_2 + R_3 + R_4}{R_2} I_2$$

$$I_2\frac{(R_2 + R_3 + R_4)}{R_2}(R_1 + R_2) - I_2R_2$$

$$I_2 = \frac{V}{\frac{R_2 + R_3 + R_4}{R_2}(R_1 + R_2) - R_2}$$

$$V_0 = I_2R_4$$

$$V_0 = V \frac{R_4}{\frac{(R_2 + R_3 + R_4)(R_1 + R_2)}{R_2} - R_2}$$

laboriosas.

En primer lugar se calcula la tensión de salida Vo, proporcionada por el generador V1, suponiendo que el generador V2 es un cortocircuito. A esta tensión así calculada la llamaremos V01 (cuando V2 = 0)

Seguidamente se calcula la tensión de salida Vo, proporcionada por el generador V2, suponiendo que el generador V1 es un cortocircuito. A esta tensión así calculada la llamaremos V02 (cuando V1 = 0)

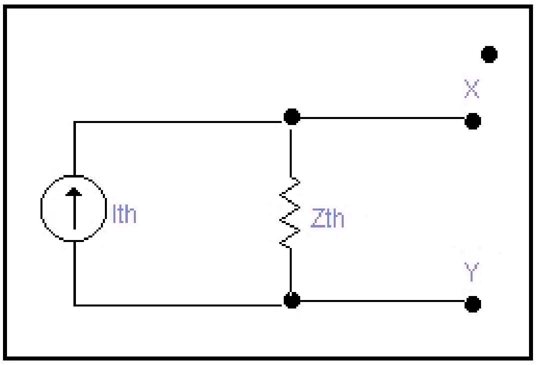
$$V_{01}\Big|_{V_2 = 0} = \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} V_1 \qquad V_{02}\Big|_{V_1 = 0} = \frac{R_1 \parallel R_2}{R_3 + R_1 \parallel R_2} V_2$$

TEOREMA DE NORTON

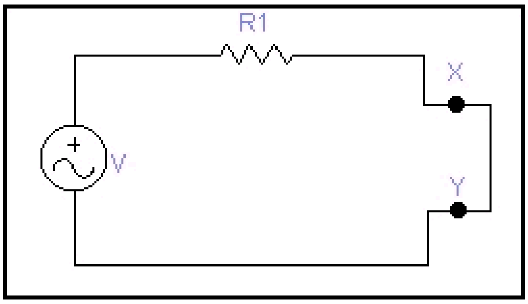
Cualquier circuito, por complejo que sea, visto desde dos terminales concretos, es equivalente a un generador ideal de corriente **en paralelo** con una resistencia, tales que:

- La corriente del generador es la que se mide en el cortocircuito entre los terminales en cuestión.

- La resistencia es la que se "ve" HACIA el circuito desde dichos terminales, cortocircuitando los generadores de tensión y dejando en circuito abierto los de corriente.-(Coincide con la resistencia equivalente Thévenin)

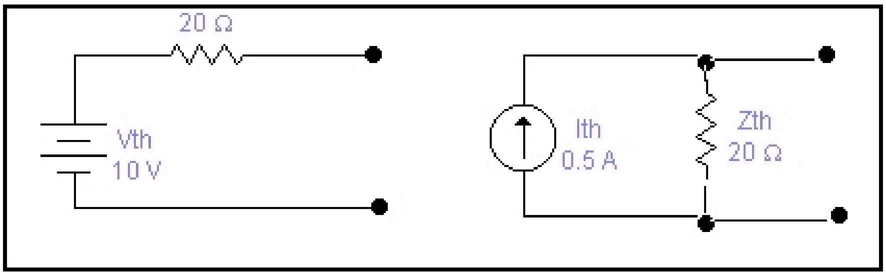


Aplicando el Teorema de Norton al circuito de la figura 6, nos quedará el siguiente circuito:



Donde hemos cortocircuitado los puntos X Y de la figura 6. La corriente que circula por entre estos dos puntos la llamaremos **Ith** y lógicamente es igual a la tensión V del generador de tensión dividido por la resistencia R1 (Ley de OHM)
Ith = V / R1 la resistencia Thévenin es la misma que la calculada anteriormente, que era el paralelo de R1 y R2
Zth =R1//R2 = R1 x R2 / (R1 + R2)

5.4 EQUIVALENCIA ENTRE THEVENIN Y NORTON



Sea cual sea el equivalente obtenido es muy fácil pasar al otro equivalente sin más que aplicar el teorema correspondiente, así por ejemplo, supongamos que hemos calculado el equivalente Thévenin de un circuito y hemos obtenido el circuito de la izquierda de la figura siguiente :
Aplicando el teorema de Norton a la figura de la izquierda, cortocircuitaremos la salida y calcularemos la corriente que pasa entre ellos que será la corriente : **Ith = 10 / 20 = 0,5 A.** y la resistencia Norton es 20 W . por lo que nos quedará el circuito equivalente Norton de la derecha