USO DE PROGRAMAS DE SIMULACION DE CIRCUITOS PARA EL ESTUDIO DE POTENCIA EN SISTEMAS ELECTRICOS

USE OF CIRCUIT SIMULATIONS PROGRAMS TO ANALIZE ELECTRIC POWER COMSUMED IN ELECTRIC SYSTEMS

Fernando N. Bertolotti[1], Gustavo Hafelfinger[2], Fabiana Ferreira[3]

Abstract *— This work present some examples of electric circuit simulations to study the electric power delivered to consumers. There are various electric power theories which give definitions about the different power components that an electric load can consume. The reason is because some components must be limited; it is preferable deliver only active electric power ideally with the rest components in zero. To determine the different power components is necessary to measure over the electric load; however, when the electric load model is kneed, these components can be obtained using simulation programs. It will present the examples in detail and will show how electric loads can be classified from the point of view of the electric power delivered. It will analyze the convenience to use these simulation examples in electric circuits and power electronics courses. .*

Index Terms —ATP, Electric Power, Simulation program.

INTRODUCCION

Existen diversas teorías [1]-[2]-[3] que explican como se transfiere potencia eléctrica a un consumo. Estas teorías tienen en común que definen la potencia activa, denotada con *P*, como la potencia eléctrica media que se convierte en otro tipo de potencia útil. Los sistemas eléctricos y los consumos están diseñados para operar en corriente alterna, por ello también se define una potencia de diseño llamada potencia aparente denotada con *S* y que siempre será mayor o igual a la potencia activa. Asociada a esta idea esta la definición de impedancia de un circuito, que se denota con *Z*.

Por otra parte se observa la tendencia a mantener sistemas eléctricos interconectados dentro de un mercado regulado con concesiones de servicio cuyas obligaciones incluyen asegurar el abastecimiento con un nivel adecuado de calidad. Desde el punto de vista técnico el sistema debe entregar la energía activa demandada con limitaciones a los restantes tipos de energía eléctrica.

Los medidores de potencia son diseñados para poder medir cada una de las componentes de potencia en base a alguna de las teorías de potencia eléctrica; los mismos se conectan en bornes de la instalación de los consumidores. La medición cumple dos propósitos, por un lado para fines comerciales o de compra-venta de energía, por otro lado se mide para poder limitar los valores de algunos tipos de potencia por razones técnicas.

Debe tenerse presente que los consumos son muy variados desde el punto de vista de las componentes de potencia que requieren y no son simples cargas de laboratorio como resistores, inductores o capacitores. Podemos mencionar a modo de ejemplo calefactores, motores eléctricos y tubos fluorescentes. Otros consumos se caracterizan por poseer dispositivos de electrónica de potencia y vistos como cargas tienen características no lineales por trabajar en conmutación. Como ejemplo podemos mencionar las computadoras personales, las lámparas fluorescentes compactas, las fuentes para circuitos de comando de motores y los variadores de velocidad de motores. En algunos casos se utilizan modelos eléctricos para representarlos y se ensayan para determinar sus parámetros eléctricos característicos.

El conocimiento del principio de medición usado es fundamental para interpretar los valores entregados por el medidor, en especial cuando se trata de trata de entender el mecanismo de transferencia de potencia eléctrica.

Adicionalmente las mediciones sobre los consumos como los mencionados permiten estudiarlos y clasificarlos en función del tipo y cantidad de potencia que requieren del sistema eléctrico.

MEDIDOR DE POTENCIA ELECTRICA

La programación del medidor de potencia se implementa con el programa de simulación ATPDraw [3]. Se calculan tres tipos de potencias: la potencia activa *P*, la potencia reactiva *Q* y la potencia aparente *S*. El cálculo de las potencias es similar al que efectúan los medidores digitales. Las señales de entrada al medidor son la tensión y la corriente del circuito.

Para obtener la potencia activa se utiliza la formula dada en (1) siendo ΔT el intervalo de muestreo y $\nu = T_{red}/\Delta T$ la

[1] Fernando N. Bertolotti, Integrante del LABCAYP –Departamento de Electrónica-Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires fbertol@fi.uba.ar
[2] Gustavo Hafelfinger , Alumno de Ingeniería Electricista-Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
[3] Fabiana Ferreira, Directora del Departamento de Electrotecnia- Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, fferreir@fi.uba.ar

DOI 10.14684/ICECE.9.2015.209-212
© 2015 COPEC

cantidad de muestras tomadas en un periodo de la tensión de alimentación T_{red}=0.02s (f_{red}=50Hz). El resultado se actualiza para cada intervalo de ν muestras y se observa como un pulso cuya altura vale P_ν .

$$P_\nu = \frac{1}{\nu(\Delta T)} \sum_{k=1}^{\nu} v_k i_k \Delta T \qquad (1)$$

El esquema del medidor de potencia activa puede verse en la Figura 1. La medición de la tensión sobre la carga aparece en el bloque superior de la Figura 1 cuya salida es *VAN*. El cálculo mencionado en (1) se observa en la parte media de la Figura 1, cuya salida se denomina *PA*. La sincronización con la tensión de red se efectúa a través de la señal *CC* cuyo cálculo se muestra en la parte inferior de la Figura 1. Como resultado se genera un pulso *CC* cada T_{red} . Este pulso indica el momento en que se actualiza la salida *PA*. Se muestra en la Figura 2 las señales obtenidas por este bloque.

Para obtener la potencia reactiva se utiliza la formula dada en (2) siendo v_k^T la tension desfasada $T_{red}/4$, con ΔT y ν= $T_{red}/\Delta T$ aquellos mismos mencionados al calcular P. El resultado se actualiza para cada intervalo de ν muestras y se observa como un pulso cuya altura vale Q_ν. El esquema del medidor de potencia reactiva tiene una estructura similar con la tensión de entrada *VANT* en lugar de *VAN*. Cabe aclarar que *VANT* es *VAN* desfasada $T_{red}/4$.

$$Q_\nu = \frac{1}{\nu(\Delta T)} \sum_{k=1}^{\nu} v_k^T i_k \Delta T \qquad (2)$$

Para obtener la potencia aparente se utiliza la formula indicada en (3) donde los términos entre corchete son el valor eficaz de la tensión y la corriente. Dichos valores eficaces deben ser calculados previamente en función de las muestras v_k e i_k .

$$S_\nu = \sqrt{\left[\frac{1}{\nu(\Delta T)} \sum_{k=1}^{\nu} (v_k)^2 \Delta T\right]\left[\frac{1}{\nu(\Delta T)} \sum_{k=1}^{\nu} (i_k)^2 \Delta T\right]} \qquad (3)$$

EJEMPLOS DE SIMULACIONES

Se consideran dos casos de estudio, el primero es un circuito monofásico con una carga representada por un resistor y un inductor; el segundo caso, también monofásico, donde la carga es un Triac que regula la tensión sobre un resistor. Vemos a continuación cada uno de ellos.

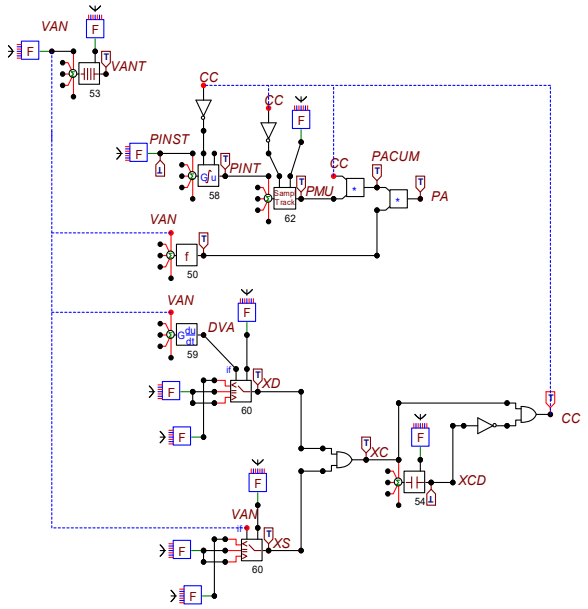

FIGURA. 1
ESQUEMA DEL MEDIDOR DE POTENCIA ACTIVA

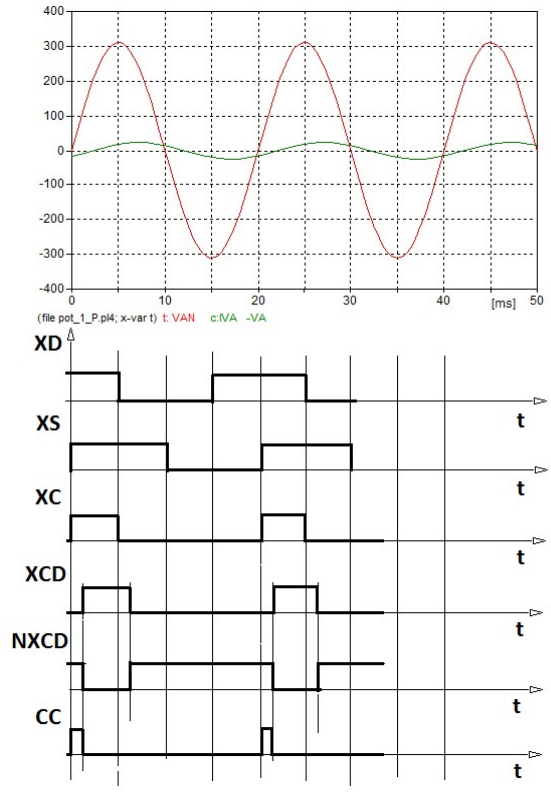

FIGURA. 2
DETALLE DE LA GENERACION DEL PULSO *CC* SINCRONIZADO CON *VAN*

Caso I: Circuito con resistor e inductor

El circuito se grafica en la Figura 3. Para este ejemplo los parámetros del consumo utilizados son R=10Ω y L=100mH, siendo la fuente perfectamente senoidal de tensión 220 V (eficaz) y f_{red}=50Hz. En este caso existe consumo de potencia activa y potencia reactiva, además son las únicas componentes de la potencia aparente ya que al no existir armónicos la potencia de deformación D es nula. Los valores teóricos de potencia se calculan a través de las ecuaciones mostradas en (4),

$$\begin{aligned} P &= VI\cos\theta \\ Q &= VIsen\theta \\ S &= \sqrt{P^2+Q^2} = VI \end{aligned} \tag{4}$$

Los valores de potencia activa, reactiva y aparente obtenidos se muestran en la Tabla I junto a los resultados teóricos. Se observa que los resultados son similares a los valores calculados.

TABLA I
CASO I: COMPARACION DE RESULTADOS

Potencias	ATPDraw	Teorico
P [W]	445.32	445.36
Q[VAR]	1398.9	1398.85
S[VA]	1467.4	1468.04

Caso II: Circuito con Triac y resistor

El circuito se muestra en la Figura 4, como se indica en la parte superior el Triac regula la tensión sobre un resistor. Cabe aclarar que el medidor es idéntico al usado en el Caso I

En este ejemplo el resistor es de R=10Ω y el Triac conduce a partir de un ángulo α=45° medido respecto del cruce por cero de la tensión de entrada llamada VA. La tensión de entrada es perfectamente senoidal de valor 220 V eficaz.

En este caso se tendrá potencia de deformación que no es calculada, además habrá potencia activa y potencia reactiva. Es interesante destacar que hay potencia reactiva aun sin existir elementos que almacenan de energía.

TABLA II
CASO II: COMPARACION DE RESULTADOS

Potencias	ATPDraw	Teorico
P [W]	2418.5	2419.96
Q[VAR]	1540.6	1540.59
S[VA]	3421.4	3422.39

Los valores teóricos de potencia se calculan a través de las ecuaciones mostradas en (5) .

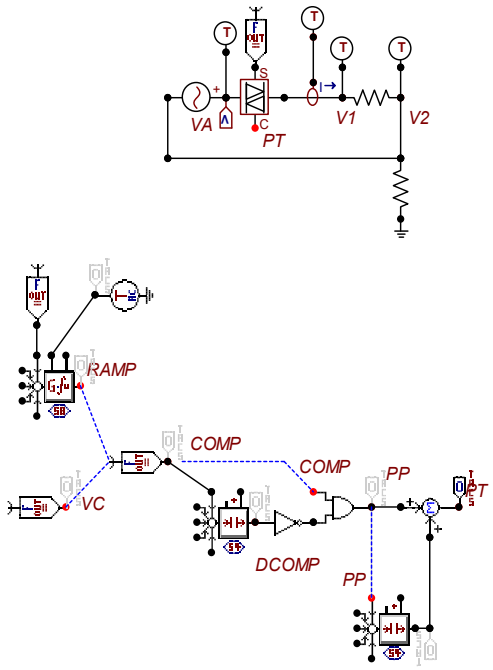

FIGURA. 4
CASO II: CIRCUITO CON TRIAC Y RESISTOR

$$\begin{aligned} P &= VI_1\cos\theta_1 \\ Q &= VI_1\cos\theta_1 \\ S &= \sqrt{P^2+Q^2+D^2} = VI \end{aligned} \tag{5}$$

Dado que el Triac produce una corriente con armónicos de índice h impar, para calcular la corriente eficaz total deberá tenerse en cuenta todos los armónicos de la manera se indica en (6), donde THD_I es la tasa de armónicos de corriente.

$$I = \sqrt{I_1^2 + \sum_h^{\infty} I_h^2} = I_1\sqrt{1+\left(THD_I^2\right)} \tag{6}$$

Sin embargo, en este caso donde se regula la tensión sobre un resistor, para calcular el valor eficaz total de corriente se usa la ecuación indicada en (7)

$$I = \frac{V}{R}\sqrt{\frac{\pi-\alpha}{\pi} + \frac{sen2\alpha}{2\pi}} \tag{7}$$

Los resultados de la simulación se muestran junto con los valores calculados en la Tabla II. Comparando los valores obtenidos de la simulación con los valores teóricos se observa que resultan similares.

CONCLUSIONES

Cuando se conoce la característica de la carga eléctrica y por lo tanto se obtiene un modelo de la misma es posible utilizar programas de simulación de circuitos para determinar los diferentes tipos de potencias de acuerdo a las teorías de potencia existentes. Es necesario conocer el principio de medida que emplea el medidor de potencia porque hay varias teorías que no usan las mismas definiciones.

Si bien los ejemplos mostrados son monofasicos, todo lo dicho puede extenderse a circuitos trifasicos. Dada la importancia y complejidad del caso en que el circuito sea trifasico, se pretende analizarlo por separado del caso monofasico en otros trabajos posteriores.

REFERENCIAS

[1] Emanuel, A, E , "Power definitions and the physical mechanism of power flow", *Libro,* Ed. John Willey & Sons, 2010.

[2] Baggini, A, "Handbook of power quality", *Libro, Ed. John Willey & Sons,2008*.

[3] Seguier, G, "Electronica de potencia-Los convertidores estaticos de energia-Funciones de base", *Libro,Ed. Gustavo Gilli,1987*.

[4] Cano Plata, E, A, Tacca, H, E, "Modelado y simulación en electrónica de potencia con ATP", *Libro,* Ed. Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales,2008.

[5] Prinkler, L, Heidalen ,H,K, "ATPDraw-version 3.5 for Windows 9x/NT/2000/XP Users Manual", *Libro,* 2002.

[6] Dommel, H,W, "Electromagnetic Transients Program Reference Manual", *EMTP Theory book*., Portland 1986.