cet ISSN 1668-9178 Investigación y Desarrollo 32: (2010)

Cálculo de la Potencia Reactiva en el Dominio del Tiempo con Tensión Senoidal Pura Aplicada a Componentes Lineales

Miguel A. Estévez[1], Raúl Pando[1], Santiago F. Bueso[1]

(1) Departamento de Electricidad, Electrónica y Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.

Resumen

El trabajo presenta una propuesta para el cálculo de la potencia reactiva en una resistencia, en una inductancia, en una capacidad, y en un circuito serie con los tres elementos. Se considera que la tensión de alimentación es una función senoidal de amplitud constante y frecuencia única. La potencia reactiva se calcula a partir de los valores u(t) e i(t) medidos y se procesan las variables exclusivamente en el dominio del tiempo.

Palabras clave: energía reactiva, flujo magnético, carga eléctrica.

Calculation of the Reactive Power in the Time Domain with Pure Sinusoidal Voltage Applied to Linear Components

Abstract

This paper introduces a proposal for the calculation of the reactive power in a resistor, an inductance, a capacitance and a series circuit with the three elements. It is considered that the voltage supply is a sinusoidal function of constant amplitude and frequency. The reactive power is calculated from the measured values u(t) and i(t) and the variables are processed exclusively in the time domain.

Key words: reactive energy, magnetic flux, electric charge.

Introducción

El presente trabajo pretende ser un aporte para la determinación de la potencia reactiva en cargas lineales analizando y procesando las variables eléctricas exclusivamente en el dominio de la variable tiempo (t).

Se utiliza para el cálculo una expresión matemática que contiene funciones en el dominio del tiempo obtenidas por integración de los valores de tensión u(t) y corriente i(t), medidos en bornes de la impedancia de carga. La medición debe abarcar un periodo completo de la tensión u(t).

Con intención de mostrar la validez de la expresión y la metodología propuesta para el cálculo de la potencia reactiva, se analizan y calculan los valores teóricos que resultan al alimentar con una fuente ideal de tensión senoidal de frecuencia única, el comportamiento de elementos también ideales de circuitos, es decir constantes: a) una inductancia L (H), b) una capacidad C (F), c) una resistencia R (Ω) y d) un circuito RLC serie.

El valor de la potencia reactiva obtenido en cada caso se compara con el cálculo convencional por medio de los fasores de tensión, de corriente y el seno del ángulo de desfasaje entre ambos.

La validez de la fórmula y la metodología propuesta para el cálculo de la potencia reactiva en cargas no lineales es tarea que podrá encararse en un próximo trabajo.

Expresión para el cálculo de la potencia reactiva

Si bien este trabajo utiliza como tensión de alimentación u(t) una onda senoidal de amplitud constante y frecuencia única, la expresión que se utiliza para el cálculo de la energía reactiva en función del tiempo tiene validez para cualquier forma de onda periódica de tensión.

Si i(t) (A), también periódica, es la corriente total que circula por el circuito conectado como carga, la energía reactiva se calcula según la propuesta de **Wyatt, Ilic** (1990) mediante:

$$e_q(t) = \frac{1}{2} \cdot [\, \phi_m(t) \cdot i(t) - q_e(t) \cdot u(t)] \quad (VAs)_r \tag{1}$$

donde:

- $e_q(t)$ es la energía reactiva instantánea en Volt-Ampere segundo. El subíndice se utiliza para marcar la relación entre esta energía y la potencia reactiva que luego se calculará.
- $\varphi_m(t)$ es la integral de la tensión u(t) en un intervalo definido.

$$\phi_m(t) = \int_0^t u(\tau)\, d\tau \quad (V.s) \equiv (Wb) \tag{2}$$

Donde τ es una variable comodín. La letra "φ" y el subíndice "m" se utilizan para destacar que esta integral tiene la dimensión de un flujo magnético en Webber (Wb).

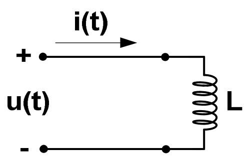
- $q_e(t)$ es la integral de la corriente i(t) en el mismo intervalo definido y tiene la dimensión de una carga eléctrica en Coulomb (C).

$$q_e(t) = \int_0^t i(\tau)\, d\tau \quad (A.s) \equiv (C) \tag{3}$$

Resulta claro que la expresión (1) es coherente desde el punto de vista dimensional; en lo que sigue se pretende mostrar su validez cuando se aplica al cálculo de la energía reactiva en elementos simples de circuito.

Cálculo de la energía reactiva en elementos simples de circuito

A) Inductancia L (H) como carga



La potencia instantánea en L es:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt} \cdot i(t) \tag{4}$$

Matemáticamente es válido expresar que:

$$p(t)\, dt = L \cdot i(t)\, di(t)$$

por lo tanto:

$$\int_0^t p(\tau)\, d\tau = L \cdot \int_0^t i(\tau)\, di(\tau)$$

La integral de la potencia en función del tiempo nos da la energía asociada (se sabe que esta energía es reactiva).

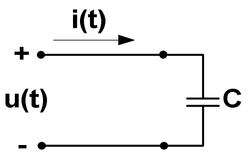
$$e_q(t) = \int_0^t p(\tau)\, d\tau = L \cdot \left(\frac{i^2(t)}{2} + K_1 \right)$$

Siendo $L.K_1$ el valor inicial de la energía en la bobina para t=0. Si se considera nula la energía en la bobina para t=0, se obtiene:

$$e_q(t) = L \cdot \frac{i^2(t)}{2} = \frac{1}{2} \cdot [L \cdot i(t)] \cdot i(t) = \frac{1}{2} \cdot \phi_m(t) \cdot i(t) \qquad (5)$$

Esta igualdad expresa la energía reactiva en una inductancia L. Corresponde denominarla entonces "energía reactiva inductiva". En este caso "$\varphi_m(t)=L.i(t)$" representa el flujo concatenado por las espiras de la bobina.

B) Capacidad C (F) como carga



La potencia instantánea en C es:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = u(t) \cdot C \cdot \frac{du(t)}{dt} \qquad (6)$$

ó también:

$$p(t)\, dt = C \cdot u(t)\, du(t)$$

Integrando en el mismo intervalo a ambos lados del signo igual y suponiendo energía nula en el condensador para t=0, resulta:

$$\int_0^t p(\tau)\, d\tau = C \cdot \int_0^t u(\tau)\, du(\tau)$$

La energía en este caso es la energía reactiva en un condensador.

$$e_q(t) = \int_0^t p(\tau)\, d\tau = C \cdot \left(\frac{u^2(t)}{2} + K_2 \right)$$

Siendo $C.K_2$ el valor inicial de la energía en el capacitor para t=0. Si se considera nulo el valor inicial (k_2=0).

$$e_q(t) = C \cdot \frac{u^2(t)}{2} = \frac{1}{2} \cdot [C \cdot u(t)] \cdot u(t) = \frac{1}{2} \cdot q_e(t) \cdot u(t) \qquad (7)$$

Esta igualdad expresa la energía reactiva en un condensador C. Corresponde denominarla entonces "energía reactiva capacitiva". En este caso "$q_e(t)=C.u(t)$" representa la "carga eléctrica" en placas del condensador.

La inductancia L y la capacidad C son los únicos elementos simples del circuito que pueden intercambiar energía reactiva con el generador. Aceptando que ambas energías son de signo contrario, las mismas deberán restarse cuando coexistan en un mismo circuito. Por convención en el sistema de referencia utilizado, el signo positivo corresponde a la energía reactiva en una inductancia. Consecuentemente la energía reactiva en una capacidad es un valor negativo.

En el caso que un circuito contenga elementos reactivos conectados de cualquier manera, la energía reactiva resultante puede calcularse como:

$$e_q(t) = \frac{1}{2} \cdot \left[\phi_m(t) \cdot i(t) - q_e(t) \cdot u(t) \right]$$

Debe considerarse aquí a $\varphi_m(t)$ solo como la integral de la tensión total u(t) que alimenta al circuito y a $q_e(t)$ solo como la integral de la corriente i(t) que circula por la carga (entra a los bornes donde está aplicada la tensión u(t)).

Cálculo de la potencia reactiva

Recordando que la energía reactiva instantánea es la obtenida en el apartado anterior medida en (Vas), debemos considerar dos posibilidades:

I) Si la energía reactiva instantánea es variable en el tiempo, la potencia reactiva instantánea se puede calcular como:

$$q(t) = \frac{de_q(t)}{dt} \qquad (8)$$

De manera que la potencia reactiva promedio en medio ciclo será:

$$Q = \frac{2}{T} \cdot \int_0^{T/2} q(t)\, dt = \frac{2}{T} \cdot \left[e_q(t) \right] \Big|_0^{T/2} \qquad (VA)_r \qquad (9)$$

ó bien:

$$Q = 2 \cdot f \cdot \left[e_q(t) \right] \Big|_0^{T/2} \qquad (VA)_r \qquad (10)$$

II) Si la energía reactiva instantánea $e_q(t)$ es independiente del tiempo, "$e_q(t)=K$", su derivada resulta nula, pero se puede calcular la potencia reactiva promedio multiplicando ese valor constante por ω,

$$Q = K \cdot \omega \qquad (VA)_r \qquad (11)$$

Siendo ω la frecuencia angular en rad/s de la onda periódica.

La explicación más simple que puede darse para este cálculo tan particular consiste en decir que cuando se utiliza la transformada de Fourier se pasa del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia y la operación de derivar en el dominio del tiempo se convierte en la multiplicación por ω en el dominio de la frecuencia. En última instancia se podría calcular también la potencia reactiva promedio como:

$$Q = K \cdot \frac{2 \cdot \pi}{T} \qquad (VA)_r \qquad (12)$$

A los efectos de constatar la validez de la expresión y de la metodología propuesta, se efectúa el cálculo de la potencia reactiva promedio asociada con cada uno de los elementos ideales de circuito R, L y C conectados independientemente a un generador ideal de tensión alterna senoidal de frecuencia única y amplitud constante:

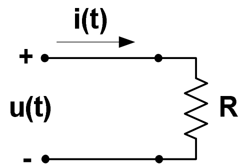
$$u(t) = \hat{U} \cdot \mathrm{sen}(\omega t)$$

$\hat{U}$ = Valor máximo (amplitud) (V)).

ω= frecuencia angular en radianes por segundo (1/s)

A) Potencia reactiva cuando la carga es una resistencia R

Si bien una resistencia sólo disipa potencia y no puede haber potencia reactiva asociada con ella, se prueba el resultado que da la expresión (1) cuando la tensión senoidal se aplica a una resistencia.



$$i(t) = \frac{u(t)}{R} = \frac{\hat{U}}{R} \cdot \mathrm{sen}(\omega t)$$

$$\phi_m(t) = \int_0^t u(\tau)\, d\tau = -\frac{\hat{U}}{\omega} \cdot \cos(\omega\tau)\Big|_0^t = \frac{\hat{U}}{\omega} \cdot [1 - \cos(\omega t)] \qquad (13)$$

$$q_e(t) = \int_0^t i(\tau)\, d\tau = -\frac{\hat{U}}{\omega \cdot R} \cdot \cos(\omega\tau)\Big|_0^t = \frac{\hat{U}}{\omega \cdot R} \cdot [1 - \cos(\omega t)] \qquad (14)$$

$$e_q(t) = \frac{1}{2} \cdot [\, \phi_m(t) \cdot i(t) - q_e(t) \cdot u(t)]$$

$$e_q(t) = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{\hat{U}}{\omega} \cdot [1 - \cos(\omega t)] \cdot \frac{\hat{U}}{R} \cdot \mathrm{sen}(\omega t) - \frac{\hat{U}}{\omega \cdot R} \cdot [1 - \cos(\omega t)] \cdot \hat{U} \cdot \mathrm{sen}(\omega t) \right]$$

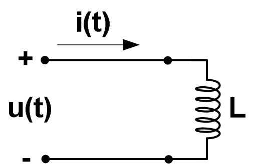
$$e_q(t) = 0 \qquad (15)$$

Por lo tanto,

$$Q = \omega \cdot e_q(t) = 0 \qquad (\mathrm{VA})_r$$

Es obvio que no puede haber energía reactiva asociada a una resistencia.

B) Potencia reactiva cuando la carga es una inductancia L



$$i(t) = \frac{1}{L} \cdot \int_0^t u(\tau)\, d\tau = \frac{1}{L} \cdot \int_0^t \hat{U} \cdot \mathrm{sen}(\omega\tau)\, d\tau$$

$$i(t) = \frac{1}{L} \cdot \int_0^t u(\tau)\, d\tau = -\frac{\hat{U}}{\omega \cdot L} \cdot \cos(\omega\tau)\Big|_0^t$$

$$i(t) = \frac{\hat{U}}{\omega \cdot L} \cdot [1 - \cos(\omega t)]$$

$$\phi_m(t) = \int_0^t u(\tau)\, d\tau = -\frac{\hat{U}}{\omega} \cdot \cos(\omega\tau)\Big|_0^t = \frac{\hat{U}}{\omega} \cdot [1 - \cos(\omega t)]$$

El análisis se realiza considerando el circuito en régimen permanente por lo tanto si $u(t) = \hat{U} \cdot \mathrm{sen}(\omega t)$, la corriente será:

$$i(t) = -\frac{\hat{U}}{\omega \cdot L} \cdot \cos(\omega t)$$

De modo que en t=0, u(t)= u(0)= 0 e i(t)= i(0)= $-\dfrac{\hat{U}}{\omega\cdot L}$.

Consideración similar vale para $\varphi_m(t)$.

$$i(t)=-\frac{\hat{U}}{\omega\cdot L}\cdot\cos(\omega t) \tag{16}$$

$$\phi_m(t)=-\frac{\hat{U}}{\omega}\cdot\cos(\omega t) \tag{17}$$

La integral de la corriente es:

$$q_e(t)=\int_0^t i(\tau)\,d\tau=-\frac{\hat{U}}{\omega\cdot L}\cdot\int_0^t\cos(\omega\tau)\,d\tau=-\frac{\hat{U}}{\omega^2\cdot L}\cdot\operatorname{sen}(\omega t)$$

$$q_e(t)=-\frac{\hat{U}}{\omega^2\cdot L}\cdot\operatorname{sen}(\omega t) \tag{18}$$

La energía reactiva es:

$$e_q(t)=\frac{1}{2}\cdot\left[\,\phi_m(t)\cdot i(t)-q_e(t)\cdot u(t)\right]$$

$$e_q(t)=\frac{1}{2}\cdot\left[\left(-\frac{\hat{U}}{\omega}\cdot\cos(\omega t)\right)\cdot\left(-\frac{\hat{U}}{\omega\cdot L}\cdot\cos(\omega t)\right)-\left(-\frac{\hat{U}}{\omega^2\cdot L}\cdot\operatorname{sen}(\omega t)\right)\cdot\hat{U}\cdot\operatorname{sen}(\omega t)\right]$$

$$e_q(t)=\frac{1}{2}\cdot\frac{\hat{U}^2}{\omega^2\cdot L}\cdot\left[\cos^2(\omega t)+\operatorname{sen}^2(\omega t)\right]=\frac{1}{2}\cdot\frac{\hat{U}^2}{\omega^2\cdot L} \tag{19}$$

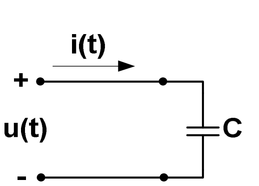
La energía reactiva resulta constante (independiente de t)

$$e_q(t)=\frac{\hat{U}^2}{2\cdot\omega^2\cdot L}=K_L$$

La potencia reactiva resulta positiva y vale:

$$Q=\omega\cdot K_L=\frac{\hat{U}^2}{2\cdot\omega\cdot L}$$

C) Potencia reactiva cuando la carga es una capacidad C



La corriente en un capacitor es:

$$i(t)=C\cdot\frac{du(t)}{dt}=C\cdot\frac{d\left(\hat{U}\cdot\operatorname{sen}(\omega t)\right)}{dt}$$

$$i(t)=\hat{U}\cdot\omega\cdot C\cdot\cos(\omega t)$$

La integral de la tensión es:

$$\phi_m(t)=\int_0^t u(\tau)\,d\tau=-\frac{\hat{U}}{\omega}\cdot\cos(\omega\tau)\Big|_0^t=\frac{\hat{U}}{\omega}\cdot\left[1-\cos(\omega t)\right]$$

El análisis se realiza considerando el circuito en régimen permanente, por lo tanto:

$$\phi_m(t) = -\frac{\hat{U}}{\omega}\cdot\cos(\omega t) \qquad (20)$$

La carga eléctrica es:

$$q_e(t) = \int_0^t i(\tau)\,d\tau = \int_0^t \hat{U}\cdot\omega\cdot C\cdot\cos(\omega\tau)\,d\tau = \frac{\hat{U}\cdot\omega\cdot C}{\omega}\cdot\operatorname{sen}(\omega\tau)\,\Big|_0^t$$

$$q_e(t) = \hat{U}\cdot C\cdot\operatorname{sen}(\omega t) \qquad (21)$$

La energía reactiva

$$e_q(t) = \frac{1}{2}\cdot\left[\,\phi_m(t)\cdot i(t) - q_e(t)\cdot u(t)\right]$$

$$e_q(t) = \frac{1}{2}\cdot\left[-\frac{\hat{U}}{\omega}\cdot\cos(\omega t)\cdot\hat{U}\cdot\omega\cdot C\cdot\cos(\omega t) - \hat{U}\cdot C\cdot\operatorname{sen}(\omega t)\cdot\hat{U}\cdot\operatorname{sen}(\omega t)\right]$$

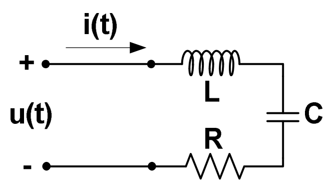
$$e_q(t) = -\frac{\hat{U}^2\cdot C}{2}\cdot\left[\cos^2(\omega t) + \operatorname{sen}^2(\omega t)\right]$$

$$e_q(t) = -\frac{\hat{U}^2\cdot C}{2} = K_C \qquad (22)$$

La energía reactiva resulta constante (independiente del tiempo) y resulta negativa:

$$Q = \omega\cdot K_C = -\frac{1}{2}\cdot\hat{U}^2\cdot\omega\cdot C$$

D) Potencia reactiva cuando la carga es un circuito RLC



Sí la tensión aplicada al circuito es:

$$u(t) = \hat{U}\cdot\operatorname{sen}\,(\omega t)$$

La integral será:

$$\phi_m(t) = \int_0^t u(\tau)\,d\tau = -\frac{\hat{U}}{\omega}\cdot\cos(\omega\cdot\tau)\Big|_0^t = \frac{\hat{U}}{\omega}\cdot\left[1-\cos(\omega\cdot t)\right]$$

En el análisis en régimen permanente se considera nulo el valor inicial, por lo tanto:

$$\phi_m(t) = -\frac{\hat{U}}{\omega}\cdot\cos(\omega t) \qquad (23)$$

La corriente de régimen permanente en el circuito es:

$$i(t) = \hat{I}\cdot\operatorname{sen}(\omega t \pm \phi) \qquad (24)$$

Se toma el signo positivo de φ para cargas de naturaleza capacitiva y el signo negativo para cargas de carácter inductivo.

La carga eléctrica es:

$$q_e(t) = \int_0^t i(\tau)\, d\tau = \int_0^t \hat{I} \cdot \operatorname{sen}(\omega\tau \pm \phi)\, d\tau$$

$$q_e(t) = -\frac{\hat{I}}{\omega} \cdot \cos(\omega\tau \pm \phi)\, \Big|_0^t = -\frac{\hat{I}}{\omega} \cdot \left[\cos(\omega t \pm \phi) - \cos(\phi)\right]$$

Para régimen permanente podemos considerar nula la condición inicial:

$$q_e(t) = -\frac{\hat{I}}{\omega} \cdot \cos(\omega t \pm \phi) \tag{25}$$

La energía reactiva

$$e_q(t) = \frac{1}{2} \cdot \left[\phi_m(t) \cdot i(t) - q_e(t) \cdot u(t)\right]$$

$$e_q(t) = \frac{1}{2} \cdot \left[-\frac{\hat{U}}{\omega} \cdot \cos(\omega t) \cdot \hat{I} \cdot \operatorname{sen}(\omega t \pm \phi) + \frac{\hat{I}}{\omega} \cdot \cos(\omega t \pm \phi) \cdot \hat{U} \cdot \operatorname{sen}(\omega t) \right]$$

Se conoce de las relaciones trigonométricas que:

$$\operatorname{sen}(\omega t \pm \phi) = \operatorname{sen}(\omega t) \cdot \cos(\phi) \pm \cos(\omega t) \cdot \operatorname{sen}(\phi)$$

$$\cos(\omega t \pm \phi) = \cos(\omega t) \cdot \cos(\phi) \mp \operatorname{sen}(\omega t) \cdot \operatorname{sen}(\phi)$$

Con lo cual

$$e_q(t) = \frac{\hat{U} \cdot \hat{I}}{2 \cdot \omega} \cdot \left[-\cos(\omega t) \cdot (\operatorname{sen}(\omega t) \cdot \cos(\phi) \pm \cos(\omega t) \cdot \operatorname{sen}(\phi)) + \operatorname{sen}(\omega t) \cdot (\cos(\omega t) \cdot \cos(\phi) \mp \operatorname{sen}(\omega t) \cdot \operatorname{sen}(\phi)) \right]$$

$$e_q(t) = \frac{\hat{U} \cdot \hat{I}}{2 \cdot \omega} \cdot \left[-\cos(\omega t) \cdot \operatorname{sen}(\omega t) \cdot \cos(\phi) \mp \cos^2(\omega t) \cdot \operatorname{sen}(\phi) + \operatorname{sen}(\omega t) \cdot \cos(\omega t) \cdot \cos(\phi) \mp \operatorname{sen}^2(\omega t) \cdot \operatorname{sen}(\phi) \right]$$

Se obtienen dos expresiones

$$e_q(t) = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\hat{U} \cdot \hat{I}}{\omega} \cdot \operatorname{sen}(\phi) \cdot \left[\cos^2(\omega t) + \operatorname{sen}^2(\omega t)\right] = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\hat{U} \cdot \hat{I}}{\omega} \cdot \operatorname{sen}(\phi) = K_C \tag{26}$$

$$e_q(t) = +\frac{1}{2} \cdot \frac{\hat{U} \cdot \hat{I}}{\omega} \cdot \operatorname{sen}(\phi) \cdot \left[\cos^2(\omega t) + \operatorname{sen}^2(\omega t)\right] = +\frac{1}{2} \cdot \frac{\hat{U} \cdot \hat{I}}{\omega} \cdot \operatorname{sen}(\phi) = K_L \tag{27}$$

El signo (-) vale si en i(t) φ>0 y el signo(+) vale si en i(t) φ<0.

La energía reactiva resulta constante (independiente del tiempo) en ambos casos:

$$Q_C = \omega \cdot K_C = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\hat{U} \cdot \hat{I}}{\omega} \cdot \omega \cdot \operatorname{sen}(\phi) = -\frac{1}{2} \cdot \hat{U} \cdot \hat{I} \cdot \operatorname{sen}(\phi)$$

$$Q_L = \omega \cdot K_L = +\frac{1}{2} \cdot \frac{\hat{U} \cdot \hat{I}}{\omega} \cdot \omega \cdot \operatorname{sen}(\phi) = +\frac{1}{2} \cdot \hat{U} \cdot \hat{I} \cdot \operatorname{sen}(\phi)$$

Conclusiones

Es posible calcular la potencia reactiva en una carga eléctrica lineal (R, L, C constantes), cuando está conectada a un generador ideal de tensión senoidal y frecuencia única (ω) constante; y procesando los valores de la tensión u(t) y la corriente i(t) en bornes de la carga, exclusivamente en el dominio del tiempo.
Al utilizar elementos simples como carga (R, L, C) las potencias reactivas resultan nula, positiva y negativa respectivamente, de acuerdo con la convención de signos utilizado.
Los valores de potencia reactiva obtenidos para una conexión en serie de R, L y C muestran que los resultados son coincidentes con los que se obtienen con el método clásico de cálculo, es decir en el dominio de la frecuencia, resultado que amplia lo expuesto en trabajos anteriores (**Pando, Estévez, Bueso, Assaf** (2009)).
Podría demostrarse también que el cálculo de la potencia reactiva por el método propuesto es válido para cualquier tipo de conexión de elementos ideales R, L y C.
Las integrales de u(t) e i(t) resultan calculables con relativa facilidad cuando son funciones trigonométricas de argumento (ωt) con ω constante y única.
En el caso más general, que la tensión de alimentación sea periódica pero no sinusoidal, que la carga conectada al circuito sea no lineal pero con la condición que la corriente i(t) sea periódica, con igual período que la tensión u(t), se podrán calcular las integrales por métodos numéricos. Especial cuidado habrá que tener en estos casos a la asignación de valores iniciales en las integrales.

Referencias

Pando, R., Estévez, M., Bueso, S., y Assaf, L. (2009) Medición y cálculo de las potencias y el factor de potencia en un circuito eléctrico no lineal con procesamiento de las variables en el dominio del tiempo. En: *V Jornadas de Ciencia y Tecnología de las Facultades de Ingeniería del NOA*, Salta-Argentina, Vol. 2, pp. 152 – 157.

Wyatt, J. and Ilic, M. (1990) "Time-domain reactive power concepts for nonlinear, nonsinusoidal or nonperiodic networks", *Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, Vol. 1, pp. 387–390.

Reconocimiento: El presente trabajo está enmarcado en las actividades del proyecto de investigación E403/3, "Efecto del uso intensivo de equipos de baja potencia de impedancia no-lineal en las redes de distribución de energía eléctrica" correspondiente al programa "Sistemas Conversores de Energía" financiado por el CIUNT.

Este artículo se escribió en el 1er. semestre de 2010 en el Departamento de Electricidad, Electrónica y Computación de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán.

Miguel A. Estévez
Ingeniero Electricista (Orientación Industrial). Egresado de la U.N.T. en el año 1987.
Profesor Adjunto de Circuitos Eléctricos I en el Departamento de Electricidad, Electrónica y Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán.
mestevez@herrera.unt.edu.ar

Raúl Pando
Ingeniero Electricista (Orientación Industrial). Egresado de la U.N.T. en el año 1971.
Diplôme d´Étude Approfondies (Electrotechnique). Institut Nacional Politechnique de Grenoble (Francia), Julio de 1976. Profesor Titular de Circuitos Eléctricos II y Propagación Electromagnética en el Departamento de Electricidad, Electrónica y Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán.

rpando@rectorado.unt.edu.ar

Santiago F. Bueso
Ingeniero Electrónico, Egresado de la UNT en el año 2000. Auxiliar Docente Graduado en la Cátedra de Circuitos Eléctricos II y Propagación Electromagnética en el Departamento de Electricidad, Electrónica y Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán.
sbueso@herrera.unt.edu.ar