

Corrector de factor de potencia de alta eficiencia

Resumen

El presente trabajo forma parte del proyecto PIN° 43-07 subsidiado por la SeCyT UNNE, titulado "Instrumentos basados en Microcontroladores". El mismo consiste en el diseño e implementación de un Corrector de Factor de Potencia, también denominado Rele Varimétrico, que realiza la compensación automática del desfase entre tensión y corriente sobre la carga. La técnica empleada en la corrección consiste en el sensado permanente de la tensión de línea y la corriente de carga mediante detectores de cruce por cero. La diferencia entre ambos flancos es medida por un microcontrolador PIC 16F84, que también estima el tipo de carga (inductivo o capacitivo) y, de acuerdo a estos parámetros, realiza la corrección mediante un banco de capacitores que son agregados o retirados de la red, de forma proporcional.

Introducción

Para quienes son los responsables de la generación y distribución de energía eléctrica, el desfase entre tensión y corriente, también conocido como factor de potencia, es un parámetro que se utiliza como índice para realizar una readecuación de las tarifas eléctricas por parte de la Secretaría de Energía. Este ajuste se ve acompañado no sólo



Por:

Felipe Marder¹,
Oscar G. Lombardero²,
Victor Toranzos³,
Carlos de J. Aquino⁴,
Manuel Caceres⁵,
Victor Marder⁶

^{1,2,3,4,5,6} Dto. de Ing. Eléctrica

FACENA UNNE

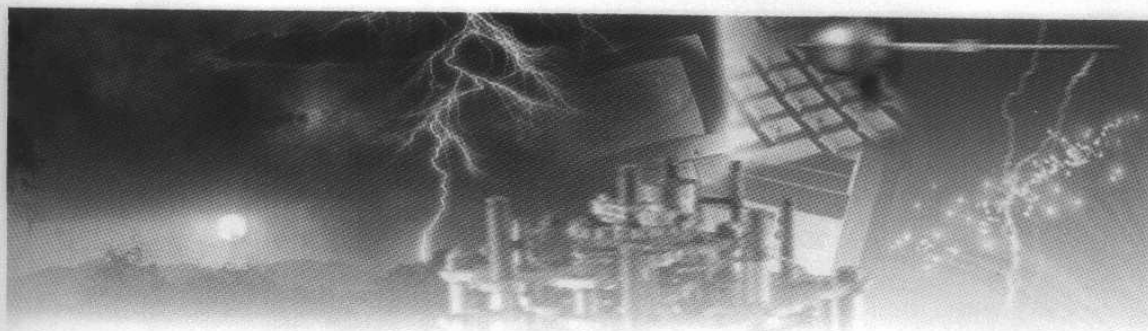
email fmarder@exa.unne.edu.ar

por el costo por KWH consumido, sino también por las penalizaciones a las industrias, que cuentan con equipamientos medianos y grandes. Los regímenes de facturación se establecen en función del $\cos\phi$, el cual debe estar por encima de 0,95 para tener bonificaciones que pueden rondar el 2,5% del valor total del consumo registrado. Por el contrario, la penalización se efectúa en función de la diferencia de fase actual y la máxima permitida, a ra-

zón del 1,5% de la $\tan\phi$. Tomando como ejemplo un desfase actual de $36,86^\circ$, al que le corresponde un $\cos\phi$ de 0,80 y, sabiendo que el máximo permitido es 18° o sea, un $\cos\phi$ de 0,95; la diferencia total es de $18,86^\circ$ cuya tangente correspondiente es de 0,34. Este valor multiplicado por 1,5 da 0,51 o sea, que el recargo final es del 51% sobre el facturado. El factor de potencia es el expresado al pie de la página.

Existen compensaciones individuales en motores, por grupo de cargas, o centralizada. Las empresas que ofrecen dispositivos de corrección presentan tablas para el cálculo o estimación del tipo de banco de capacitores a utilizar, según el $\cos\phi$ actual, el deseado, y el consumo o carga instalada. El presente trabajo consiste en el diseño e implementación de un sistema (también denominado relé varimétrico) para medir el desfase en grados en forma sencilla y económica, y realizar la corrección automática del factor de potencia empleando un microcontrolador. Debe dejarse en claro que las ecuaciones anteriores son válidas en el caso de que las formas de onda de tensión y

$$\text{factor de potencia} = \frac{\text{potencia real o activa} \left[\frac{KW}{KVA} \right]}{\text{potencia total o aparente} \left[\frac{KW}{KVA} \right]}$$



corriente sean senoidales puras. En la realidad, esto no se cumple, ya que los sistemas de control, los procesos de arranque de motores, los transitorios y, el ruido eléctrico en general inducen corrientes poliarmónicas que generan calor como pérdida y, no necesariamente, se traduce en trabajo electromecánico. Los beneficios que reporta la corrección del factor de potencia no solo están circunscritos a la bonificación económica, sino también a otros aspectos técnicos como ser: a) reducción de las pérdidas por calor en los conductores de distribución como consecuencia de la disminución de corriente, b) prolongación de la vida útil de los equipos de distribución, c) estabilización de los niveles de tensión, d) aumento en la capacidad del sistema.

La técnica convencional para la corrección del factor de potencia emplea un medidor analógico de desfase entre la tensión y la corriente por la carga, un detector del carácter inductivo o capacitivo de la misma, y una lógica de control que maneja el banco de capacitores. En este trabajo, se emplean un par de detectores de cruce por cero para señales que son proporcionales a la tensión de línea y de la corriente de carga, y un microcontrolador para el cálculo. La Figura N° 1 muestra el diagrama en bloques del sistema.

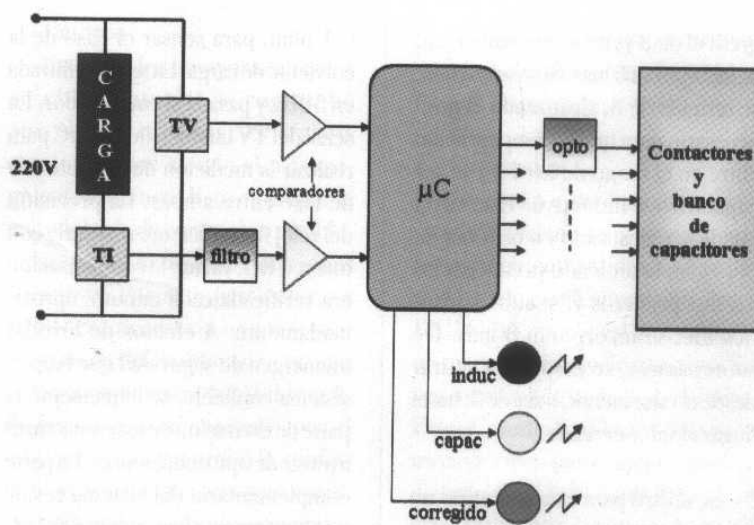
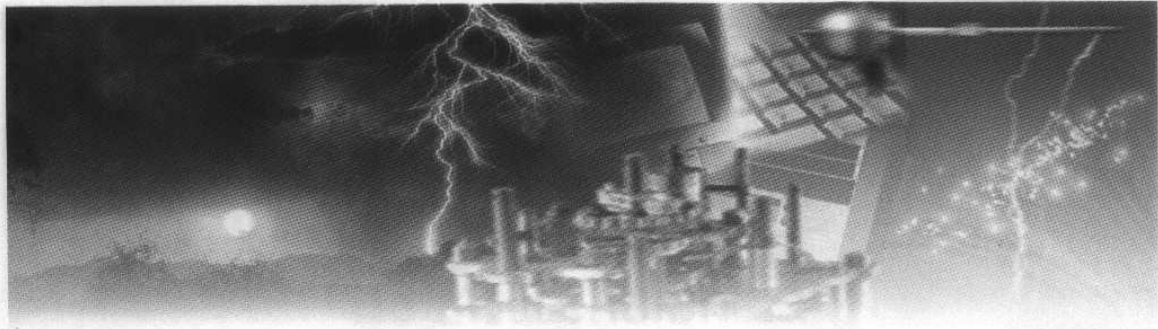


Figura N° 1: Diagrama en bloques del rele varimétrico

Los bloques TI y TV son los transformadores de corriente y tensión respectivamente. La señal proveniente del TI pasa por un filtro pasabanda estrecho, centrado en 50Hz, a efectos de eliminar las señales espúreas producidas en la red por los distintos equipos que conforman la carga. De esa manera, se minimiza el factor de error que provoca disparos que no se corresponden con los cruces por cero. Los comparadores actúan como detectores de cruce por cero, generando pulsos cuya diferencia temporal es proporcional al desfase ϕ entre ambos parámetros. Esta diferencia es medida por el microcon-

trolador, el que, además discrimina la posición relativa entre estos pulsos determinando el tipo de carga (inductiva o capacitiva). Con toda esa información, determina la cantidad de compensación a efectuar. En la figura N° 2, se presenta el diagrama esquemático del circuito empleado.

Un aspecto interesante a resaltar es el número y tamaño de los capacitores, ya que se adoptó por tener cinco con una escala de 3, 5, 8, 8 y 8 KVAR. Con esta disposición, se consigue realizar la compensación arbitrando los valores conforme las necesidades. En el primer caso, in-



grasa el de 3 y, de no ser suficiente, se incorporan 5 más. Si se sobrepasa, se retira el de 3, alcanzando el nivel necesario para que la compensación entre en el rango de los 18°, ya sea capacitivo o inductivo. Este nivel puede ser alcanzado en otro rango, por ejemplo teniendo ya conectados los dos primeros y, si aun es insuficiente, se incorporan 8 más. De sobrepasarse, se empieza a retirar desde el valor menor, o sea de 3, hasta llegar al valor deseado.

Se utilizó para este prototipo un microcontrolador PIC16F84, de fácil obtención en el mercado, cuyas prestaciones técnicas resultaban suficientes para las tareas a realizar, que eran medir el tiempo entre los flancos presentados por los detectores, determinar si la carga es inductiva o capacitiva, y actuar sobre los contactores conforme al grado de desfase que presenta la carga. El resto de los componentes también son de características estándar, que permiten un desempeño confiable.

Prototipo

En la figura N° 2, se representa el esquema del circuito empleado en el proyecto. Puede observarse la disposición de los sensores de tensión y de corriente. Para este último se empleó un Ti con una carga Rs de

0,1 ohm, para sensar el paso de la corriente de carga. La señal es filtrada en 50Hz y pasada al comparador. La señal del TV también llega al μ C para realizar la medición de la diferencia de fase entre ambas. La precisión del reloj fue suficiente realizarla con una red RC, ya que la compensación era verificada cada minuto, aproximadamente. A efectos de brindar un margen de seguridad que haga el sistema confiable, se implementó la parte de excitación de los contactores a través de optoacopladores. La parte complementaria del sistema reside en el programa almacenado en el μ C responsable de la medición, cálculo y accionamiento de los contactores.

Diagrama de flujo del programa

En la figura N° 3, se presenta el diagrama de flujo del programa. Después de las inicializaciones correspondientes, el μ C queda esperando en forma permanente la llegada de los pulsos provenientes de los comparadores. Una vez detectado el primer flanco, puede determinar si la carga es inductiva o capacitiva. En ese momento, empieza el conteo de pulsos de reloj que termina, justamente, cuando recibe el segundo flanco, que se corresponde al segundo parámetro. Existe una temporización de un minuto para que el dispositivo realice la compensación. Durante ese periodo, el led verde se enciende en forma

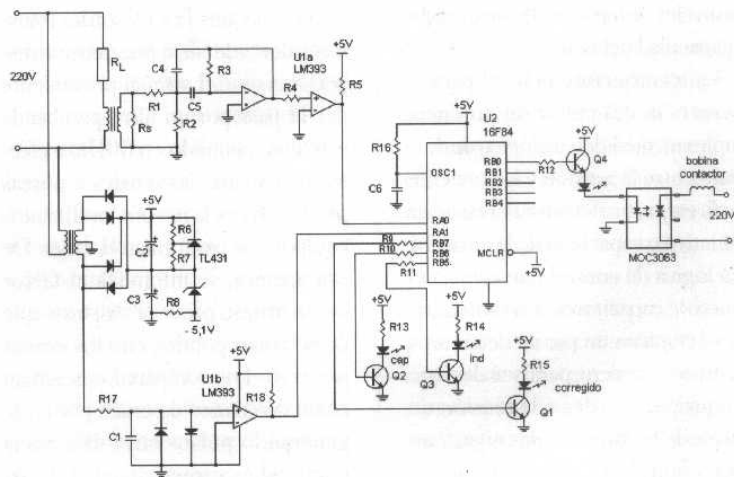


Figura N° 2 Esquema de corrector del factor de potencia



intermitente indicando que está en el proceso de cálculo, comparación y compensación. Solamente cuando se llega al estado de corrección, cuando la diferencia de fase entre tensión y corriente está por debajo de los 18° , en ese momento, dicho led queda encendido permanentemente. El sistema indica, mediante un led rojo, que la carga es inductiva y necesita compensación. De otra manera, se enciende el led amarillo indicando que hay sobrecompensación y debe quitarse reactancia capacitiva. En el diagrama de flujo, no se muestra la secuencia de entrada y salida de capacitores por una cuestión de espacio, pero la misma es de formato secuencial muy sencillo.

Ensayos

En base a los ensayos realizados en el laboratorio, se comprobó que el primer contactor trabaja continuamente siendo el más exigido de los cinco. Esto es así por la metodología de corrección establecida, que es la de aproximaciones sucesivas. Por este particular, se considera necesaria una revisión periódica del contactor, ya que tiene un número preestablecido de operaciones aconsejadas por el fabricante. Se comprobó la confiabilidad del sistema, aun para ondas poliarmónicas, y el funcionamiento del microcontrolador no se vio afectado por el ambiente ruidoso

de trabajo. Se ensayaron diversas variantes de compensación respondiendo acorde a lo previsto.

Conclusión

Se diseñó e implementó un corrector de factor de potencia o relé varimétrico, construido como prototipo basado en un microcontrolador PIC16F84, en el cual se estableció un modo de trabajo de aproximaciones sucesivas de ingreso por mínima. Este μC controla un banco de capacitores de cinco pasos para un manejo de hasta 32 KVAR. Este dispositivo está instalado y funcionando en un establecimiento avícola de la ciudad de Corrientes ■

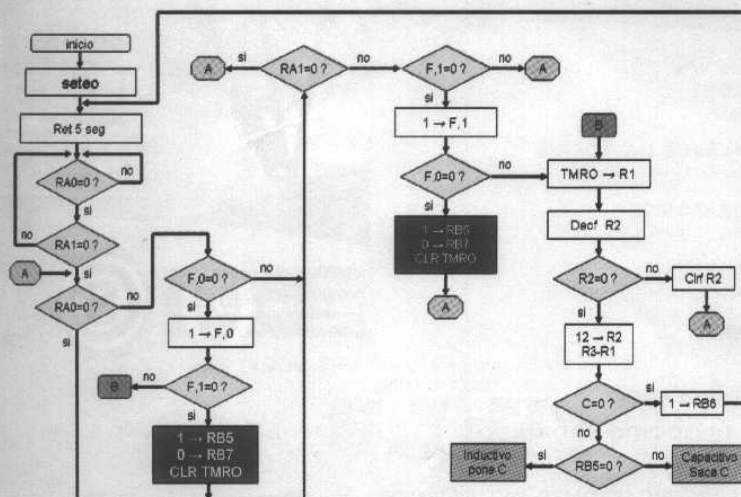


Figura N° 3 Diagrama de flujo del programa

Referencias

1. Marder F, Lombardero OG., "Fasímetro analógico industrial". *Rev. Ing. Eléctrica* Vol 15 N° 164 pag 10-12, Nov 2002.
2. Marder F, Lombardero OG "Cofímetro Digital Industrial" *Rev. Ing. Eléctrica* Vol 15 N° 165 pag 10-12 Dic de 2002.
3. Cooper W., Helfrick A. "Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición".
4. Fasímetro POWERTEK Hojas de datos y especificaciones
5. SGS Thompson "Understanding Power Factor" *Application Notes* N° 824/07/95
6. ASTEC "Power Factor Correction" <http://www.ASTEC.com>
7. INELAP "Guía para corregir el Factor de Potencia" <http://www.inelap.com.mx>
8. P. Guillemín, JM Carreón "Corrección Digital del Factor de Potencia con corrientes no sinusoidales" *Rev. Telegráfica Electrónica* N° 19 Pág. 449-456.