



Implementación de un modelo de controlador para compensador de VAR

Juan Carlos Ramírez Vázquez, Fortino Vázquez Elorza, Guadalupe Esmeralda Rivera García
carlos.ramirez@itspanuco.edu.mx,
Instituto Tecnológico Superior de Pánuco

RESUMEN

El valor del F.P. (Factor de potencia) está determinado por el tipo de cargas conectadas en una instalación y expresa la relación entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S). F.P. Toma valores entre 0 y 1 ($\cos(\varphi)$). Donde φ , expresa el desplazamiento del ángulo entre voltaje y corriente. Si hay cargas inductivas o capacitivas, se presenta la denominada potencia reactiva(Q). La relación entre los diversos poderes están dados por el llamado triángulo de poder.

Palabras clave: Factor de potencia, Potencia Reactiva, Potencia Aparente.

INTRODUCCIÓN

El control del Factor de potencia es importante mantenerlo a un nivel óptimo (alrededor de 1) para evitar recargos o multas por parte del proveedor del servicio de energía eléctrica. El control se hace de manera simple conectando capacitores y así evitar el desperdicio de energía o funcionamiento irregular de cargas conectadas como en el caso de motores. En la presente propuesta se plantea el diseño de un prototipo que realice la compensación de manera automática del factor de potencia sin requerir elementos adicionales o complejidad de instalación.

Los sistemas modernos de procesos, producción y consumo de energía utilizan sistemas electrónicos que demandan en forma discontinua la energía y provocan afectaciones a la calidad de la energía. Debido a la complejidad de la operación de las cargas; éstas requieren un suministro de energía a un nivel específico con el mínimo de variaciones. Esto se logra adicionando elementos de almacenamiento de energía como inductores para inducir un funcionamiento elevador y filtros capacitivos para filtrar la salida y reducir la amplitud de oscilación.

La adición de estos elementos produce una desviación en la fase de la corriente de entrada del rectificador con respecto al voltaje de alimentación. Esta desviación de fase se denomina factor de potencia (F.P.) y es expresada mediante un índice numérico de

entre 0 y 1. El valor de 0 indica un desfase de 90° , el cual representa una reversión de energía hacia la fuente de alimentación. El valor de 1 indica un desfase de 0° y por lo tanto, toda la potencia es consumida por la carga y no existe regresión de energía a la fuente de alimentación. Las aplicaciones que consumen energía de la red eléctrica requieren mantener un factor de potencia unitario para evitar el desperdicio de energía dado por la aparición de la potencia reactiva.

Un bajo factor de potencia provoca que la demanda de corriente de la red se incremente lo cual puede originar una sobrecarga en los cables e incrementar las pérdidas. Debido a esto el rectificador además de compensar los cambios de la entrada debe mantener un factor de potencia alto (A & BR, 2014). Otra de las desventajas o problemas que acarrea un bajo factor de potencia es que debido a las regulaciones y normas comerciales, un factor de potencia por debajo de un valor mínimo genera un cargo extra por parte del proveedor del servicio. En México, la CFE penaliza cuando el F.P. es menor al 90% y bonifica cuando es mayor al 90%.

MÉTODO

En la actualidad los estudios sobre calidad de la energía han aumentado significativamente para plantear soluciones y poder evitar el desperdicio de energía o el mal funcionamiento de equipos. Existen diversas normativas o estándares internacionales que definen los mínimos necesarios de distorsión o afectaciones al suministro de energía, para que los equipos o maquinarias conectados a la línea de suministro operen con un desempeño óptimo y además eviten afectaciones adicionales debidas a su funcionamiento. Existen diversas afectaciones en la calidad de la energía, pero en general son dadas en dos formas: las producidas por el suministrador del servicio de energía (depresiones, dilataciones, sobre voltaje, impulsos, etc.) y las producidas por el funcionamiento del equipo (armónicos, bajo factor de potencia, ruido, etc.). Especial atención requiere el caso de un bajo factor de potencia. El factor de potencia (F.P.) representado de forma numérica (0 a 1), el desfase existente entre la corriente y el voltaje suministrado a algún sistema eléctrico, dispositivo o maquinaria. Este desfase ocurre por la conexión de cargas de tipo inductivo o capacitivo y tiene como principal afectación el desperdicio de energía ya que no toda la potencia es consumida por la carga. En la mayoría de los casos se conectan capacitores en paralelo con la línea de alimentación del equipo y así se corrige el desfase existente y por consiguiente el F.P. se aproxima a 1. El que exista un bajo F.P. provoca además la multa por parte del proveedor del servicio de energía (en el caso de México es Comisión Federal de Electricidad (CFE)) ya que desestabiliza sus líneas de transmisión. La corrección del F.P. por medio de capacitores es de manera

fija y por consiguiente si aumenta el número de equipos conectados a la línea de transmisión hace insuficiente que los capacitores puedan mantener el F.P. en un valor idóneo y evitar multas. Una solución ideal para evitar esto es diseñar e implementar un sistema que pueda aumentar el valor capacitivo de acuerdo a la manera en como se ve modificada la carga o la demanda de energía. Este dispositivo debe conectar y desconectar de forma automática capacitores y medir el F.P. en todo momento para mantenerlo en el valor ideal.

RESULTADOS

Desde hace algunos años que la compensación del F.P. (J, L, J, & R, 2005) paso a ser de mucha importancia se diseñaron prototipos que permiten actuar en el momento adecuado para llevar a cabo la compensación ante la aparición de cargas reactivas. Estos son denominados compensadores estáticos de potencia reactiva SVC (Static VAR Compensator) (ver figura 1) y funcionan a base de la conexión de cargas capacitivas pero son mediante interruptores magnéticos (A & GD, 2016).

La presente innovación se basa en utilizar diversos dispositivos electrónicos como interruptores y con ello se mejore la respuesta ante la conexión de cargas de tipos muy diversos. El funcionamiento del compensador es muy básico. El sistema tiene que sensor la fase entre el voltaje y corriente y a partir de ahí estimar cual es la carga reactiva predominante en el sistema. Mediante la ejecución de un algoritmo calcular el valor requerido de la carga capacitiva para realizar la compensación y seleccionar de un rango de valores predefinidos la carga a conectar.

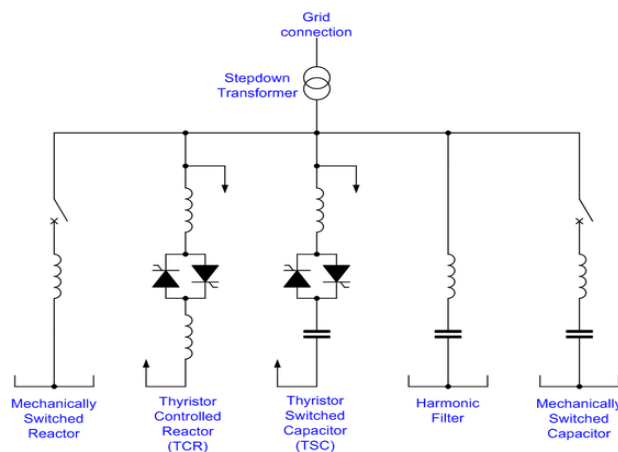


Figura 1. SVC Típico

Los anteriores dispositivos fueron utilizados en aplicaciones de alta potencia pero en el caso particular de aplicación se requirió desarrollar un prototipo de pequeña potencia y se considera que solo compensará potencia reactiva de tipo inductiva.

El diagrama general de la estructura del proyecto es mostrado en la Figura 2. Se consideran diversas etapas que van desde el sensado de variables hasta la activación del banco de capacitores para corregir el factor de potencia.

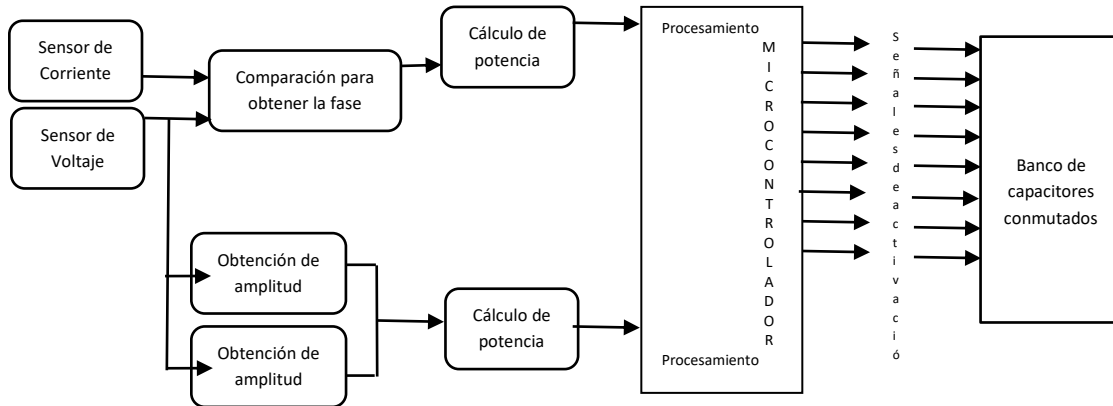


Figura 2. Estructura general del prototipo.

El diagrama mostrado en la Figura 2 está compuesto por diversos bloques que a continuación se explican.

Sensor de corriente y sensor de voltaje: Este bloque está compuesto por un circuito que obtiene una señal, misma que será proporcional a la magnitud de voltaje y corriente y con la misma forma (sinusoidal). La magnitud de las señales de salida de estos circuitos deberá estar en un rango adecuado para que puedan ser procesadas en los bloques siguientes (M & M, 2016). La magnitud máxima será determinada considerando escenarios reales de aplicación. Para el sensor de voltaje se propone utilizar un amplificador de instrumentación por su capacidad de amplificar señales en forma diferencial y para el sensor de corriente se propone un arreglo de sensor de efecto Hall y amplificador (ver figura 3).

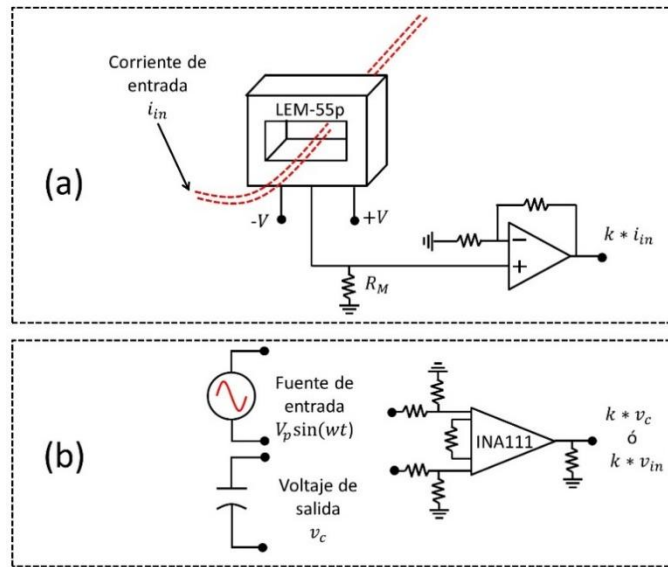


Figura 3. Sensores de a). Corriente y b). Voltaje

Comparación para obtener la fase: Dado que existe un desplazamiento de fase entre el voltaje y la corriente se obtuvo una señal que expresara de forma precisa el desplazamiento. Se usó la conversión a señales cuadradas de magnitud TTL y se hicieron comparaciones entre ellas, mediante compuertas lógicas y al final se obtuvo una señal que está presente con una duración igual al desplazamiento de fase (ver figura 4).

Detector de flanco: Una vez que se obtuvo la señal anterior, se requirió determinar cuándo empieza la señal y cuándo acaba para poder determinar su duración. Se planteó usar un arreglo de compuertas en configuración de detector de flanco positivo y detector de flanco negativo.

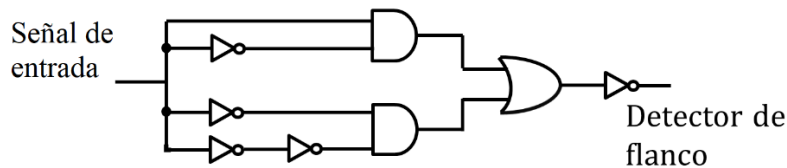


Figura 4. Detector de flanco con compuertas.

Obtención de amplitud: Estos bloques determinaron la amplitud de la señal sinusoidal de corriente y de voltaje. Dicho módulo consta de circuitos que hacen operaciones aritméticas para quitar la componente sinusoidal y solo quede una señal de la magnitud puramente en CD. La Figura 5, muestra cómo una señal se mantiene siguiendo la amplitud de la señal sinusoidal con pocas variaciones y a un valor proporcional al valor

pico de la señal de la red eléctrica (kVp). El hecho de quitar la componente sinusoidal es para facilitar la obtención de la potencia activa más adelante.

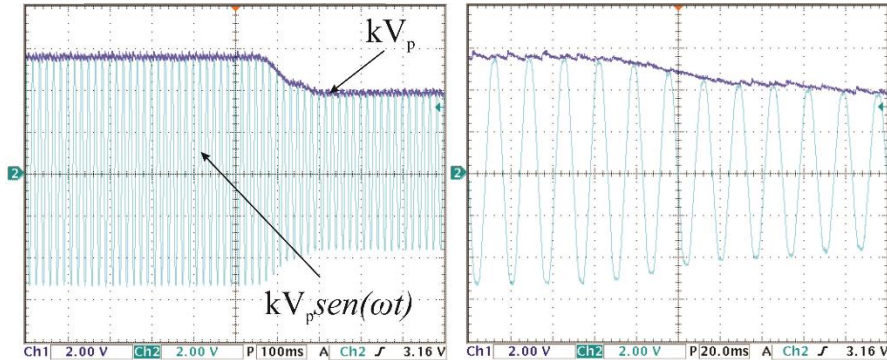


Figura 5. Aspecto de obtención de magnitud de una señal sinusoidal

Cálculo de potencia: Nuevamente se utilizaron circuitos que hacen operaciones aritméticas (multiplicación) para obtener un valor de potencia. El valor obtenido se verificó se encuentre por debajo del nivel máximo que soporta el microcontrolador.

Microcontrolador: Este dispositivo realiza el procesamiento de las señales que representan la fase y la de potencia y convirtiéndolas a valores binarios, y después presentar en su salida la decodificación de estas señales, para que cada salida active o desactive algún arreglo en el banco de capacitores. Internamente el algoritmo del microcontrolador discrimina la secuencia de valores binarios que se presentan a la salida mediante la comparación entre la fase y la potencia obtenida.

Banco de capacitores conmutados: Este banco recibe las señales del microcontrolador para conectar a la red eléctrica alguna combinación o arreglo de capacitores. Los capacitores dentro del banco están conformados por diversas ramas donde cada rama cuenta con un interruptor que conecta a la red eléctrica o desconecta los capacitores dependiendo de la potencia reactiva necesaria para corregir el Factor de Potencia (Véase Figura 6). Esto aún se encuentra en proceso de diseño ya que se requiere definir la potencia reactiva máxima de la red eléctrica así como dimensionar los dispositivos de potencia.

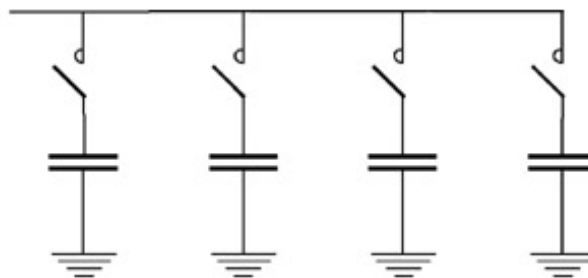


Figura 6. Banco de capacitores conmutados.

CONCLUSIÓN

Durante el desarrollo del proyecto se pudieron aplicar los conceptos de control de parámetros en un sistema eléctrico con el fin de cumplir con estándares de aplicación. El prototipo en una primera etapa fue considerado realizarse mediante un sistema de procesamiento de datos pero estos son muy sensibles al ruido presente así como también su uso requeriría aislar perfectamente la conexión a la red del circuito de control, lo cual es complicado en redes de alta potencia. Se prefirió utilizar lógica combinatoria y circuitos digitales (ADC, compuertas lógicas, Flip-Flops, etc.) ya que son más robustos ante el ruido. Así como también, simplifican el diseño mediante tablas de verdad y no programación. El objetivo de realizarlo de esta manera lleva a plantear un posible diseño de circuito completo en un solo circuito integrado. Las simulaciones y pruebas experimentales llevadas a cabo muestran que el circuito tiene una buena respuesta para compensar el factor de potencia a gran variedad de modificaciones de la potencia reactiva.

DISCUSIÓN

Se diseñó e implementó un prototipo de compensador de factor de potencia que evita la utilización de componentes complejos.

Se estableció una lógica de operación sencilla que tiene un amplio rango de acción sobre diversas modificaciones al factor de potencia.

El prototipo diseñado es susceptible de ajustes para lograr su aplicación en diversos escenarios.

Se obtuvieron resultados de formación de recursos humanos en forma de estudiantes de servicio social y residencias.

LITERATURA CITADA

A, P., & GD, Y. (2016). Comparison of Different types of Compensating Devices in Power System. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 420-426.

A, R., & BR, R. (2014). Determination of Volume of Capacitor Bank for Static VAR Compensator. *International Journal of Electrical and Computer Engineering.*, 512-519.

J, D., L, M., J, R., & R, D. (2005). Reactive power compensating technologies: State of Art. *Proceedings of the IEEE*, 93(12: 2144-2164.).

M, B., & M, O. (2016). Automatic Power Correction Unit. *Electronic and Electrical Engineering*, 283-288.