

## **Implementación de un modelo de controlador para compensador de VAR como método de asimilación de conocimientos**

### **Implementation of a controller model for VAR compensator as a method of knowledge assimilation**

RAMIREZ-VÁZQUEZ, Juan Carlos†\*, HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, Patricia y MORENO-PÉREZ, Héctor

*Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Pánuco*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Juan Carlos, Ramírez-Vázquez* / **ORC ID:** 0000-0003-0125-6502, **Researcher ID Thomson:** G-5980-2018, **CVU CONACYT ID:** 428839

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Patricia, Hernández-Rodríguez* / **ORC ID:** 0000-0002-1451-151X, **CVU CONACYT ID:** 898409

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Héctor, Moreno-Pérez* / **ORC ID:** 0000-0001-7488-461XX, **CVU CONACYT ID:** 913114

Enviado: Octubre, 18, 2019; Aceptado (Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

J. Ramírez, P. Hernández y H. Moreno

carlos.ramirez@itspanuco.edu.mx

V. Luna, (Dir.). Ingeniería, Proceedings-©ECORFAN-México, CDMX, 2019.

## Abstract

Currently, studies on energy quality have increased significantly to propose solutions and avoid wasting energy or equipment malfunction. The development of a prototype is proposed that automatically compensates the power factor without requiring additional elements or complexity of installation, for purposes of appropriation of knowledge by the students of the Higher Technological Institute of Panuco. During the development of the project, the concepts of parameter control could be applied in an electrical system in order to comply with application standards. The prototype was made using combinatorial logic and digital circuits as they are more robust to noise and simplify the design, with the intention of forming an integrated circuit. The simulations and experimental tests carried out show that the circuit has a good response to compensate the power factor to a wide variety of reactive power modifications.

## Power factor, Reactive power, Apparent power

### Introducción

En la actualidad los estudios sobre calidad de la energía han aumentado significativamente para plantear soluciones y 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.

El control del Factor de Potencia (FP) 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 realiza de manera simple conectando capacitores y así evitar el desperdicio de energía o funcionamiento irregular de cargas conectadas como en el caso de los 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. Lo anterior con fines de apropiación del conocimiento por los estudiantes del Instituto Tecnológico Superior de Pánuco.

El prototipo en una primera etapa se planeaba realizar mediante un sistema de procesamiento de datos, pero son muy sensibles al ruido presente, y 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 entonces utilizar lógica combinatoria y circuitos digitales (ADC, compuertas lógicas, flip-flops, entre otros) ya que son más robustos ante el ruido. Así 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.

### Fundamentos técnicos

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 FP, 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 FP se aproxima a 1. El hecho de que se presente un bajo FP provoca además una multa por parte del proveedor del servicio de energía (en el caso de México es la Comisión Federal de Electricidad) ya que desestabiliza sus líneas de transmisión. La corrección del FP 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 FP en un valor idóneo y evitar multas.

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 alto el valor del FP (Ruhul y Rajib, 2014). Otra de las desventajas o problemas que acarrea un bajo FP es que debido a las regulaciones y normas comerciales, un FP por debajo de un valor mínimo genera un cargo extra por parte del proveedor del servicio. En México, la CFE penaliza cuando el FP es menor al 90% y bonifica cuando es mayor al 90%.

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 FP y es expresada mediante un índice numérico de entre 0 y 1. El valor de 0 indica un desfase de  $90^\circ$ , el cual representa una reversión de energía hacia la fuente de alimentación. El valor de 1 indica un desfase de  $0^\circ$  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.

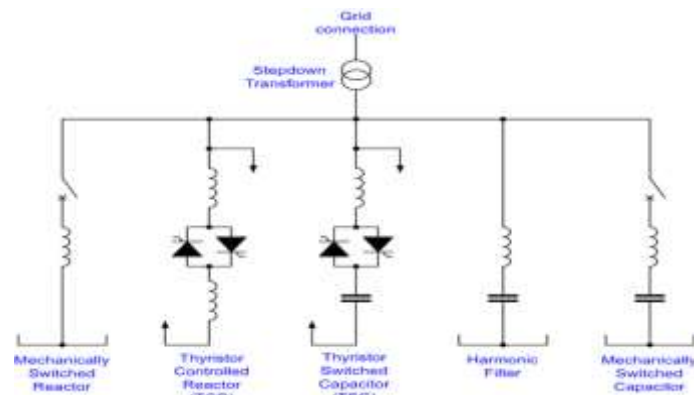
Una solución ideal para evitar esto es diseñar e implementar un sistema que pueda aumentar el valor capacitivo de acuerdo a la manera en como se ve modificada la carga o la demanda de energía. Este dispositivo debe conectar y desconectar de forma automática capacitores, medir el FP en todo momento y mantenerlo en el valor ideal.

## Desarrollo

Desde hace algunos años que la compensación del FP (Dixon, Moran, Rodríguez, & Domke, 2005) adquirió relevancia, 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 11.1) y que funcionan a base de la conexión de cargas capacitivas pero son mediante interruptores magnéticos (Pundir & Yadab, 2016).

La propuesta que se presenta está basada en el uso de diversos dispositivos electrónicos como interruptores para mejorar la respuesta ante la conexión de cargas de tipos muy diversos. El funcionamiento del compensador es muy básico: el sistema tiene que detectar la fase entre el voltaje y corriente y a partir de ahí estimar cuál es la carga reactiva predominante en el sistema. Mediante la ejecución de un algoritmo calcula el valor requerido de la carga capacitiva para realizar la compensación y seleccionar de un rango de valores predefinidos la carga a conectar.

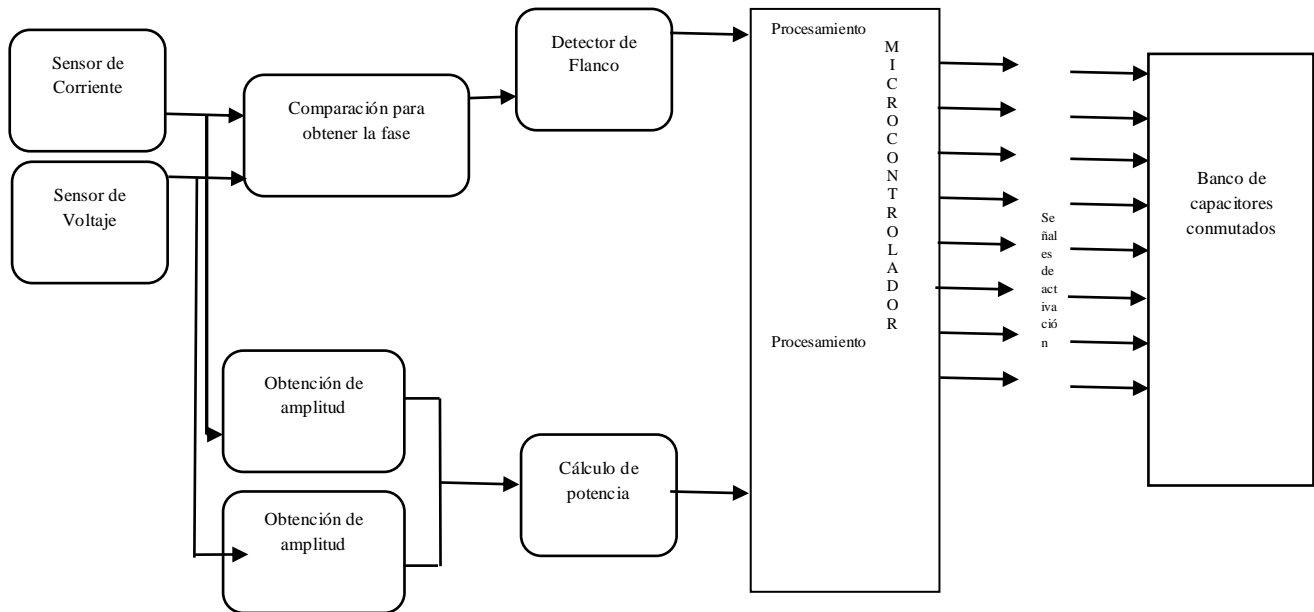
**Figura 11.1** SVC típico



Fuente: Elaboración propia

Los anteriores dispositivos son utilizados en aplicaciones de alta potencia pero en el caso particular de esta propuesta se requiere 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 11.2. Se consideran diversas etapas que van desde la detección de variables hasta la activación del banco de capacitores para corregir el FP.

**Figura 11.2** Estructura general del prototipo



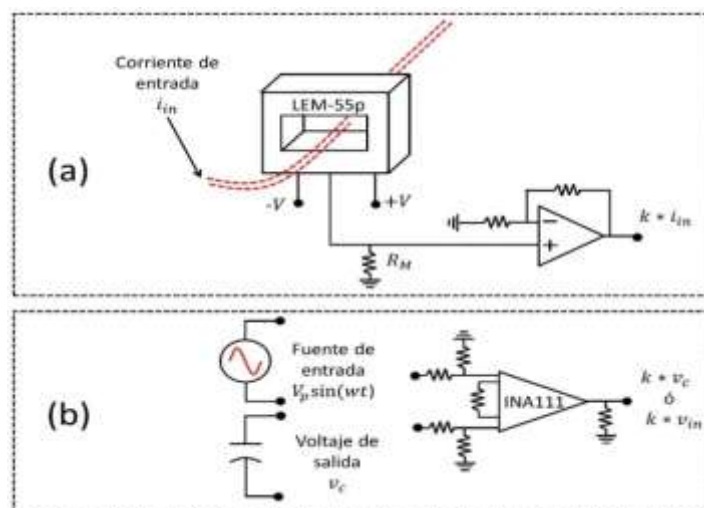
*Fuente: Elaboración propia*

El diagrama mostrado en la Figura 11.2 está compuesto por diversos bloques que a continuación se explican.

**Sensor de corriente y sensor de voltaje:** Este bloque estará compuesto por un circuito que obtendrá una señal 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 pueda ser procesada en los bloques siguientes (Bilal & Owais, 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, los que se muestran en la figura 11.3.

**Figura 11.3** Sensores de a) corriente y b) voltaje

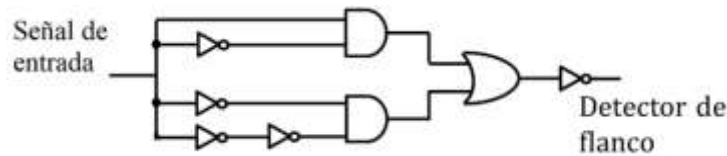


*Fuente: Elaboración propia*

Comparación para obtener la fase: Dado que existirá un desplazamiento de fase entre el voltaje y la corriente, debe de obtenerse una señal que pueda expresar de forma precisa el desplazamiento. Se propone usar la conversión a señales cuadradas de magnitud TTL y hacer comparaciones entre ellas mediante compuertas lógicas y al final obtener una señal que esté presente con una duración igual al desplazamiento de fase.

Detector de flanco: Una vez que se obtenga la señal anterior, se requiere determinar cuándo empieza la señal y cuándo acaba para poder determinar su duración. Se plantea usar un arreglo de compuertas en configuración de detector de flanco positivo y detector de flanco negativo (figura 11.4).

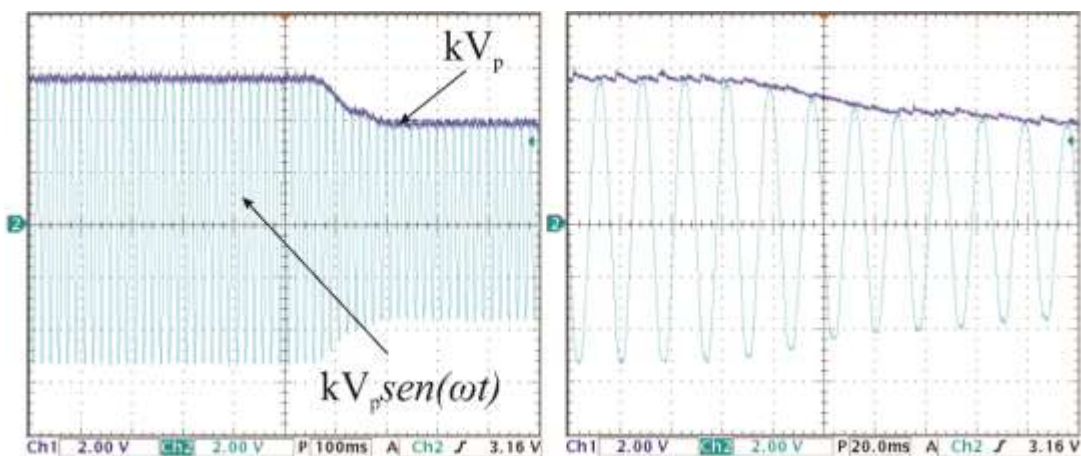
**Figura 11.4** Detector de flanco con compuertas



*Fuente: Elaboración propia*

Obtención de amplitud: Estos bloques determinarán la amplitud de la señal sinusoidal de corriente y de voltaje. Este bloque constará de circuitos que harán operaciones aritméticas para quitar la componente sinusoidal y dejar solamente una señal de la magnitud puramente en corriente directa. La figura 11.5 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 ( $kV_p$ ). El hecho de quitar la componente sinusoidal es para facilitar la obtención de la potencia activa más adelante.

**Figura 11.5** Aspecto de obtención de magnitud de una señal sinusoidal



*Fuente: Elaboración propia*

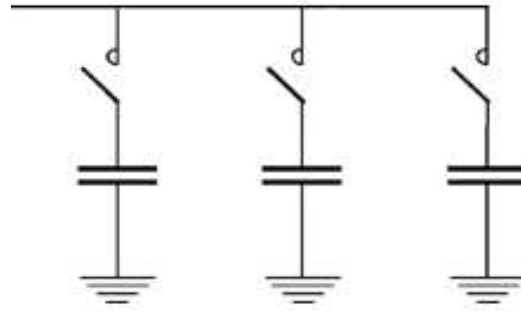
Cálculo de potencia: Nuevamente se utilizarán circuitos que hagan operaciones aritméticas (multiplicación) para obtener un valor de potencia. El valor obtenido deberá estar por debajo del nivel máximo que soporta el microcontrolador.

Microcontrolador: Este dispositivo realizará el procesamiento de las señales que representan la fase y la de potencia para convertirlas a valores binarios y después presentar a 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 discriminará la secuencia de valores binarios que se presentaran a la salida mediante la comparación entre la fase y la potencia obtenida.

Banco de capacitores conmutados: Este banco recibirá las señales del microcontrolador para conectar a la red eléctrica alguna combinación o arreglo de capacitores. Los capacitores dentro del banco estarán conformados por diversas ramas donde cada rama contará con un interruptor que conectará a la red eléctrica o desconectará los capacitores dependiendo de la potencia reactiva necesaria para corregir el FP (véase la figura 11.6).

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 11.6** Banco de capacitores conmutados mecánicamente.



*Fuente: Elaboración propia*

## Resultados

Se diseñó e implementó un prototipo de compensador de FP 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 FP.

El prototipo diseñado es susceptible de ajustes para lograr su aplicación en diversos escenarios, y como estrategia didáctica de enseñanza en ingeniería para los estudiantes del Instituto Tecnológico Superior de Pánuco.

Se obtuvieron resultados de formación de recursos humanos a través de estudiantes que prestaron su servicio social y realizaron sus residencias profesionales.

## Agradecimiento

Se agradece al Instituto Tecnológico Superior de Panuco, porque a través de él y de la convocatoria para proyectos con financiamiento, provista por el Tecnológico Nacional de México, fue posible contar con recursos económicos para el desarrollo del prototipo.

## Conclusiones

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, sin embargo por diversas razones se prefirió utilizar lógica combinatoria y circuitos digitales ya que son más robustos ante el ruido y simplifican el diseño. La decisión 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. Se continuará trabajando sobre ello con los estudiantes del Instituto Tecnológico Superior de Pánuco.

## Referencias

Bilal, M., y Owais, M. (2016). Automatic Power Correction Unit. *Electronic and Electrical Engineering*, 283-288.

Dixon, J., Moran, L., Rodríguez, J., y Domke, R. (2005). Reactive power compensating technologies: State of Art. *Proceedings of the IEEE*, 93(12): 2144-2164.).

Pundir, A., y Yadab, G. D. (2016). Comparison of Different Types of Compensating Devices in Power System. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 420-426.

Ruhul, A., y Rajib, B. (2014). Determination of Volume of Capacitor Bank for Static VAR Compensator. *International Journal of Electrical and Computer Engineering.*, 512-519.