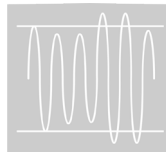


# Regulación de voltaje trifásico para compensación de disturbios eléctricos tipo SAG



## Colaboración

Marcos Almanza Chávez; Raúl Gracia Miranda; Fernando Jurado Pérez, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

**RESUMEN:** Las variaciones en los parámetros del voltaje de alimentación tienen un alto impacto en el desempeño de máquinas y equipos alimentados por una señal de este tipo; dependiendo de la magnitud de las variaciones presentes, el sistema puede considerarse con problemas de calidad de energía. Atendiendo la problemática de la calidad de la energía, la presente investigación describe un regulador de voltaje trifásico, basado en componentes de electrónica de potencia. Este regulador utiliza un convertidor de corriente de CD a CA y un regulador de voltaje buck-boost, con el objetivo de generar una señal de tensión trifásica para la compensación de voltaje en las terminales de cargas sensibles, donde se presenten problemas de calidad de la energía, principalmente eventos de depresión de voltaje (sag), a fin de mantener el perfil de voltaje trifásico dentro de las magnitudes requeridas por la carga.

**PALABRAS CLAVE:** Convertidor trifásico, buck-boost, IGBT, PWM, Regulador de CD. Depresión de voltaje (Sag)

**ABSTRACT:** Variations in the parameters of the supply voltage have a high impact on the performance of machines and equipment powered by a signal of this type; depending on the magnitude of the variations, the system can be considered with problems of power quality. In response to the problem of the power quality, this research describes a three-phase voltage regulator, based on power electronics components. This regulator uses a DC to AC current converter and a buck-boost voltage regulator, with the aim of generating a three-phase voltage signal for the voltage compensation in the terminals of sensitive loads, where exist problems with the power quality, mainly voltage depression events (sag), to maintain the three-phase voltage profile within the magnitudes required by the load.

**KEYWORDS:** Three-phase converter, buck-boost, IGBT, PWM, CD regulator, Sag.

## INTRODUCCIÓN

El diseño del presente regulador de voltaje es propuesto como una opción de solución a la problemática que presentan las cargas eléctricas conectadas a la red de suministro de energía eléctrica con una mala calidad de energía (CE). El dispositivo presentado tiene la finalidad de compensar reducciones temporales en la magnitud del voltaje, conocidas como depresiones de voltaje o sags [1]. La metodología y el diseño con el cual es planteada la solución para la compensación de la señal de voltaje a través de dispositivos de la electrónica de potencia permite regular las señales de voltaje trifásico. Los dispositivos principales que conforman el regulador son un convertidor trifásico de CD a CA hasta niveles de media tensión y un regulador de voltaje de CD que regula el voltaje a la entrada del convertidor,

también llamado buck-boost por su característica de incrementar o reducir la magnitud del voltaje con respecto a la fuente de energía con el que es alimentado [2]. Debido a que la fuente de energía proviene de una fuente de voltaje de CD, permite que en un futuro del proyecto pueda ser conectada una fuente de energía renovable como las celdas fotovoltaicas o generadores de energía eólicos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Convertidor trifásico CD-CA

La función del inversor o convertidor es transformar una señal de voltaje de entrada de cd a una señal de voltaje de salida en CA simétrico, de magnitud y frecuencia deseadas.

Actualmente los inversores son utilizados ampliamente en aplicaciones industriales, por ejemplo, excitadores de motores de CA de velocidad variable, fuentes de energía renovable, fuentes de potencia de reserva, y fuentes de potencia ininterrumpible, etc. El inversor se encarga de modificar la señal de entrada de tensión de CD y por medio de dispositivos semiconductores de potencia, como IGBT's, los cuales permiten el manejo de cantidades de energía considerables y presentan una respuesta rápida a las señales de control.

El diagrama esquemático de un inversor trifásico se muestra en la Figura 1, este contiene seis interruptores S1, S2, S3, S4, S5, S6, cada uno de los cuales está compuesto por un dispositivo semiconductor de potencia y un diodo antiparalelo [1].

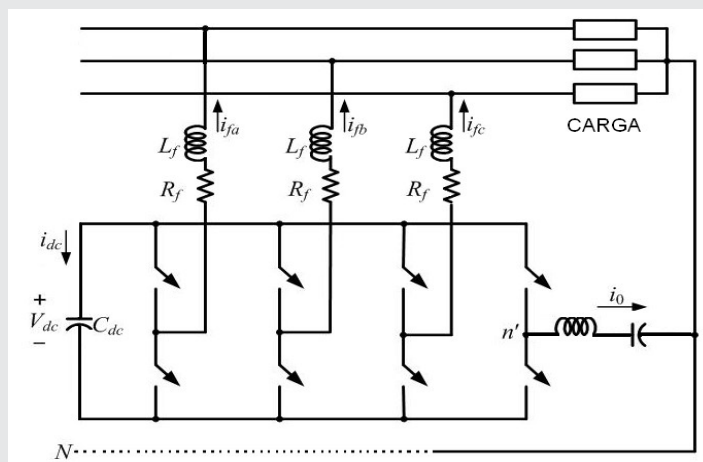


Figura 1. Diagrama esquemático de un inversor trifásico

### Generación de control por Modulación por ancho de pulso (PWM)

El diagrama para la generación de la señal del PWM, en la Figura 2, se muestra una señal portadora y una señal de modulación. Las magnitudes de estas dos señales se comparan a fin de generar una señal PWM.

La señal de control PWM se establece alta cuando las señales moduladoras tienen un valor numérico más alto que la señal portadora y se establece baja cuando la señal portadora tiene un valor numérico más alto. Esto implica que en el puente H, los conmutadores S1 y S2, se cierran cuando la señal de modulación es más alta que la portadora y los conmutadores S3 y S4 se cierran cuando la portadora es más alta que la señal de modulación. Dado que la tensión de salida del inversor para tal disposición es  $\pm V_{dc}$ , se denomina conmutación de tensión bipolar [2].

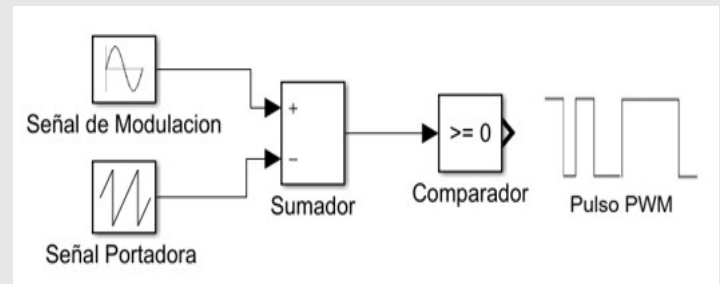


Figura 2. Esquema de generación de señal de control PWM

En la Figura 3, se muestran las señales de voltaje de las tres fases (A, B, C) del sistema, cada una de las cuales se encuentra desfasada  $120^\circ$  de las otras dos, formando así una señal trifásica balanceada. Se muestra, además, la señal triangular de magnitud unitaria, que hace la función de señal portadora. Todas las señales se obtuvieron de generadores de funciones digitales, las cuales se mandan primero a un sumador, para luego enviar la señal a un comparador y se termina con la creación de un pulso PWM.

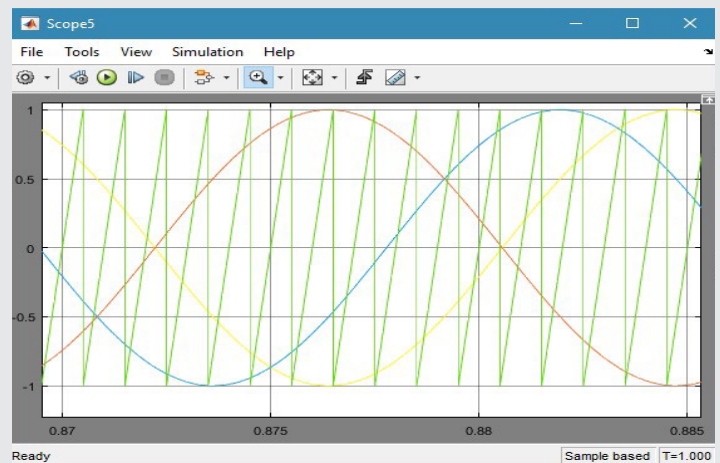


Figura 3. Ondas sinusoidales (A, B, C) y triangular portadora con amplitud unitaria.

### Modelo de simulación del convertidor trifásico.

El convertidor se encarga de conmutar las señales enviadas desde los comparadores de señales, con el fin de generar una onda sinusoidal en las terminales de salida. Los IGBT's son los encargados de que el pul-

so PWM (modulación de ancho de pulso) de positivo a negativo y así poder general una señal SPWM (modulación de ancho de pulso sinusoidal). En la figura 4 y 5 se muestra el diagrama de conexión del puente H del convertidor, y las señales generadas por los IGBT's [2].

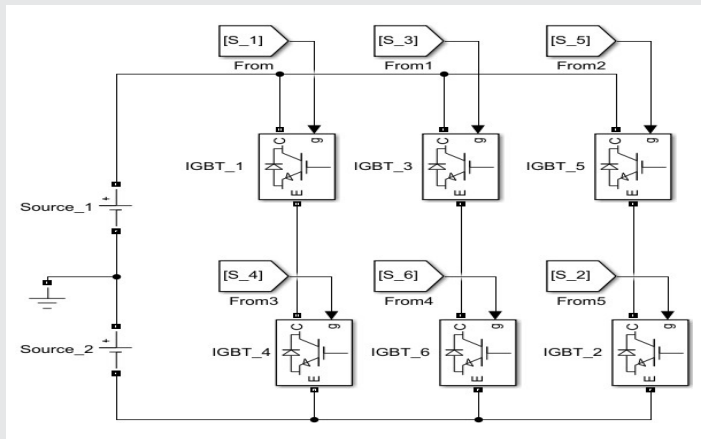


Figura 4. Diagrama de conexión de IGBT's en el puente H del Convertidor.

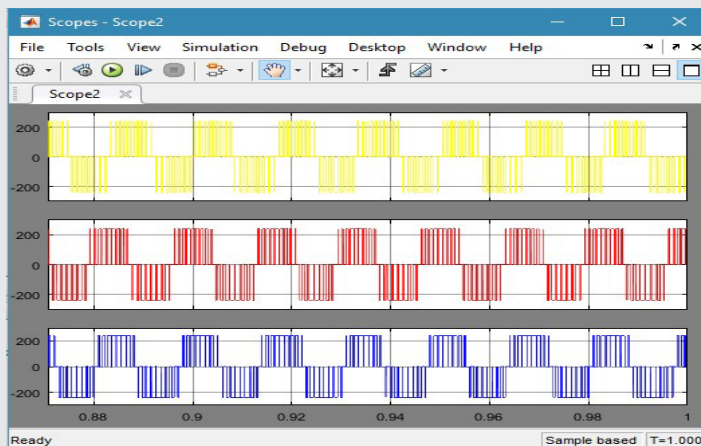


Figura 5. Señal generada por los IGBT's (SPWM).

El inversor toma la corriente que requiere de la fuente de entrada de CD, representada por una batería, solo cuando se conecta la carga a las terminales del inversor. Debido a la conmutación de los dispositivos de electrónica de potencia y sus características no lineales, las señales de tensión en terminales de salida del inversor contienen armónicos que deben eliminarse por medio de un filtrado, como se aprecia en la Figura 1 [1].

Por lo común la calidad de un inversor se evalúa en función a los siguientes parámetros de desempeño.

$$P_{ca} = I_0 V_0 \cos \theta \quad \text{Ec. (1)}$$

$$P_{ca} = I_0^2 R \quad \text{Ec.(1a)}$$

Para un sistema trifásico el  $P_{ca} = P_0$ , se define como:

$$P_{ca} = 3I_0^2 R \quad \text{Ec. (1b)}$$

Donde  $V_0$  y  $I_0$  son el voltaje y corriente rms de la carga,  $\theta$  es el ángulo de desfase entre la señal de voltaje y corriente y  $R$  es la resistencia de la carga.

La potencia de entrada de ca del inversor es,

$$P_S = I_S V_S \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde  $V_S$  e  $I_S$  son el voltaje y corriente promedio de entrada.

### Regulador de voltaje BUCK-BOOST.

El regulador buck-boost reduce o eleva el voltaje en sus terminales de salida y puede ser mayor o menor al voltaje de sus terminales de entrada. El circuito del convertidor buck-boost trabajado se presenta en la Figura 6. El transistor (mosfet) actúa como un interruptor controlado y el diodo como un interruptor no controlado, de tal manera que funciona en dos partes.

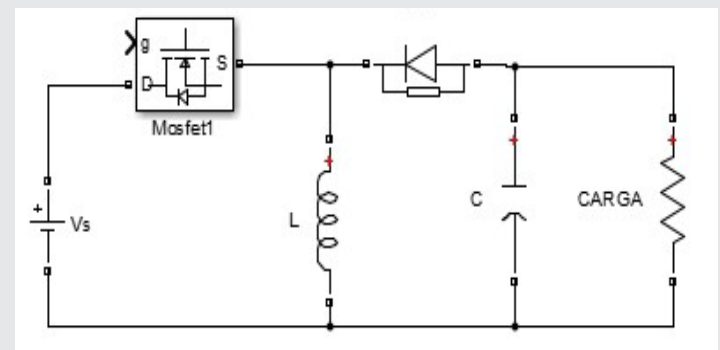


Figura 6. Circuito del regulador.

El regulador estará controlado por una señal PWM donde la modulación del pulso determinará el switcheo del transistor (Mosfet) que permitirá que voltaje de salida se eleve o se reduzca según el control [3].

Suponiendo que la corriente del inductor sube linealmente de  $I_1$  a  $I_2$  en el tiempo  $t_1$

$$V_s = L \frac{I_1 - I_2}{t_1} = L \frac{\Delta I}{t_1} \quad \text{Ec. (3)}$$

$$t_1 = \frac{L \Delta I}{V_s} \quad \text{Ec. (4)}$$

y la corriente del inductor cae linealmente de  $I_2$  a  $I_1$  en el tiempo  $t_2$ ,

$$V_a = -L \frac{\Delta I}{t_2} \quad \text{Ec. (5)}$$

$$t_2 = \frac{-\Delta I L}{V_a} \quad \text{Ec. (6)}$$

## RESULTADOS

La investigación dio como resultado un regulador trifásico el cual se muestra en la Figura 7. Mediante el ensamble de los dos dispositivos de electrónica de potencia el buck-boost y el inversor trifásico.

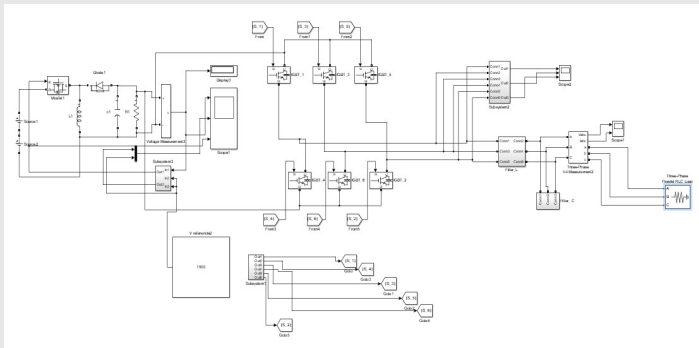


Figura 7. Dispositivo regulador de voltaje trifásico.

En este dispositivo se tiene conectada una carga puramente resistiva, de tal manera que su respuesta sea ideal [2].

El control PWM dictamina la magnitud del voltaje al que se pretenda, insertado durante la simulación como una constante con el fin de manipular fácilmente el dispositivo. El modelo se puede observar en la Figura 8.

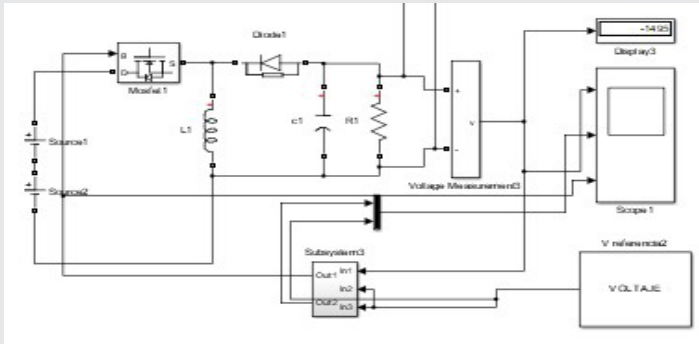


Figura 8. Regulador de voltaje y control.

En la salida del convertidor se obtiene el voltaje trifásico y es mostrado en la Figura 9.

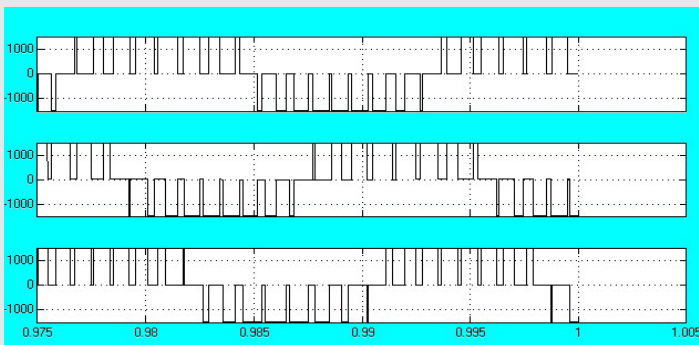


Figura 9. Voltaje a la salida del convertidor.

El voltaje entregado en terminales de la carga es presentado en la Figura 10, al igual que la corriente consumida, en el cual se alcanza el valor del voltaje deseado desde el control del regulador buck-boost [4].

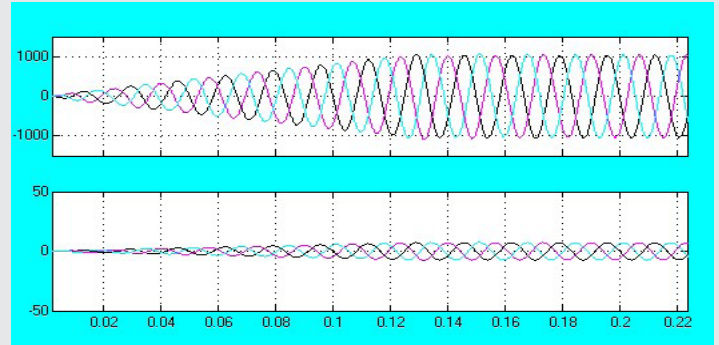


Figura 10. Voltaje y corriente en terminales de la carga entregados por el dispositivo.

El regulador trifásico tiene como característica el poder llevar a un valor deseado de voltaje trifásico balanceado requerido por la carga, cumpliendo con el objetivo.

## CONCLUSIONES

Utilizando un arreglo de dispositivos de electrónica de potencia en el entorno del software, se logró obtener un método para la regulación del voltaje trifásico en terminales de carga, con el objetivo de implementarlo como un compensador de voltaje que funcione en media tensión y tenga la capacidad de mitigar problemas típicos concernientes a la calidad de la energía. En donde uno de sus principales enfoques son las depresiones de voltaje que se presentan por inconvenientes en el sistema eléctrico de potencia debido a la desconexión o conexión de grandes cargas en la red. Derivado de la simulación se demostró que es viable la regulación de voltaje mediante el software simulink y del acoplamiento del convertidor cd-cd a la par del convertidor cd-ca, aplicando los parámetros y metodología adecuada para cumplir con el objetivo.

## Bibliografía

- [1] G. L. Arindam Ghosh, *Power Quality Enhancement Usin Custom Power Devices*, Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [2] M. H. Rashid, *Electronica de Potencia*, Mexico: Pearson, 2015.
- [3] R. C. Dugan, *Electrical power Systems Quality*, California: McGraw Hill, 2004.

- [4] T. U. N. Mohan, *Power Electronics Converters Applications and Desing*, Berlin: Wiley&Springer, 1990.

## Agradecimientos

Con el agradecimiento a la institución que permite lograr el sueño de muchos estudiantes hoy por hoy ITESI, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.