

Estimación de los Parámetros de Rendimiento para un Rectificador Controlado Monofásico Mediante la Técnica PWM de Múltiples Pulsos

Investigación

Cruz Cruz Mario, Gómez González Francisco Javier, Muñoz Arzate Guillermo, Méndez Ancona Javier.

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Instituto Tecnológico de Veracruz, Veracruz, México.

Tel. y Fax. (229) 9388104 correo electrónico: ruzmario@hotmail.com

Resumen

En este artículo se presenta la aplicación de la técnica de modulación por ancho de pulso (PWM) de múltiples pulsos para el control de un rectificador semicontrolado monofásico, que permite la estimación de los parámetros de rendimiento como son la eficiencia, el factor de forma, el factor de rizo y el factor de potencia. Para la implementación de la etapa de control se utilizaron amplificadores operacionales y un microcontrolador PIC16F84, mientras que la etapa de potencia consta de un arreglo de diodos y power MOSFETs. A partir de las pruebas realizadas en el rectificador con carga resistiva, se obtienen graficas comparativas de los parámetros evaluados para diferente número y ancho de los pulsos. Estos resultados pueden ser comparados con los obtenidos en la aplicación de la técnica tradicional de control por ángulo de fase, permitiendo de esta manera, comprobar que la técnica PWM de múltiples pulsos mejora los parámetros de rendimiento del rectificador.

Palabras Clave: Parámetros de rendimiento, Factor de forma, factor de potencia, factor de rizo, eficiencia, modulación por ancho de pulso (PWM), rectificador controlado monofásico.

Abstract

This article presents the application of the Multiple Pulse Width Modulation technique in the control of a monophase semiconverter, which let estimation of some performance parameters like efficiency, form factor, ripple factor and power factor. Control stage is based in operational amplifiers arrays and a PIC16F84 microcontroller, while power stage is based in diodes and power MOSFETs. From tests using a resistive load, performance graphics were obtained for different number of pulses and pulse width. Results can be compared with those obtained during application of the phase control technique for demonstrating PWM technique presents better performance parameters.

Key word: Performance parameters, form factor, power factor, ripple factor, efficiency, Pulse Width Modulation (PWM), monophase semiconverter.

Introducción

La técnica de modulación por ancho de pulso ha sido tratada en diferentes artículos [2, 5, 6, 9 y 11]; sin embargo, éstos no tratan su aplicación en el cálculo del rendimiento de un rectificador controlado. Lo anterior, motivó la elaboración de este artículo.

En algunas aplicaciones tales como cargadores de baterías y en algunas clases de controles de velocidad para motores de CD y CA, es necesario contar con un voltaje de alimentación de CD controlable. La conversión de CA a CD controlable se consigue con convertidores controlados por fase por medio de tiristores [7].

Tradicionalmente, la potencia de salida en un rectificador controlado se consigue variando el ángulo de disparo de los tiristores (normalmente SCRs) que constituyen su topología.

A esta técnica de control se le conoce como técnica de control por ángulo de fase [4].

La técnica de control PWM de múltiples pulsos consiste en generar varios pulsos durante cada medio ciclo de la señal de alimentación de CA. Los pulsos se obtienen comparando una señal triangular (señal portadora) con una señal de referencia, tal y como se muestra en la figura 1.

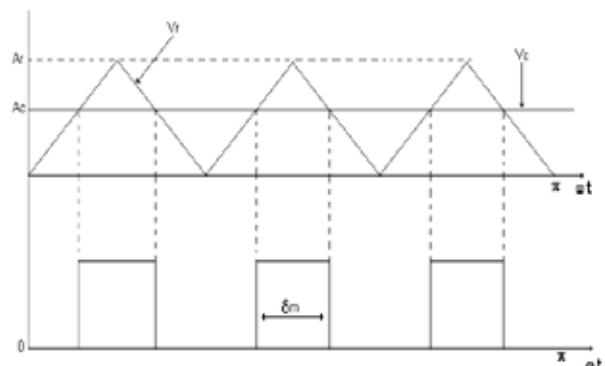


Figura 1.- Control PWM de múltiples pulsos.

En esta técnica, la frecuencia de la señal portadora determina el número de pulsos por cada medio ciclo, mientras que la magnitud de la señal de referencia permite el control del ancho de pulso. Es importante señalar que la señal triangular deberá estar en todo momento en sincronía con la señal de alimentación de CA.

La figura 1 ejemplifica el caso de 3 pulsos en un medio ciclo y la figura 2 muestra la sincronía de la señal portadora con la señal de alimentación, caso en el que se obtiene un solo pulso por cada medio ciclo.

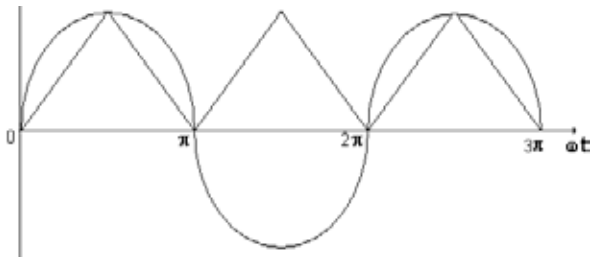


Figura 2.- Señal triangular sincronizada para un solo pulso por cada medio ciclo.

Método

En la referencia [1] se muestran los diagramas de la etapa de control para la implementación de esta técnica PWM de múltiples pulsos, explicando detalladamente cada una de las etapas que la conforman.

En la figura 3 se presenta el circuito correspondiente al rectificador implementado para la validación del circuito de control diseñado. Se trata de la topología de un rectificador semicontrolado monofásico, el cual emplea como elementos principales de conmutación MOSFET's. También se aprecian un par de optoacopladores (tipo opto transistor), los cuales tienen la función de aislar eléctricamente las etapas de control y de potencia.

Una vez implementadas ambas etapas, se procedió a llevar a cabo las pruebas que permitieron obtener resultados.

Pruebas Realizadas

Primeramente se comprobó el funcionamiento del circuito haciendo uso de software de simulación. Los resultados obtenidos en la simulación fueron los esperados, por lo que se procedió a la implementación física.

Posteriormente se realizaron pruebas en el laboratorio de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Veracruz. Las pruebas consistieron en la medición de voltajes (V_{rms} y V_{cd}) para diferente

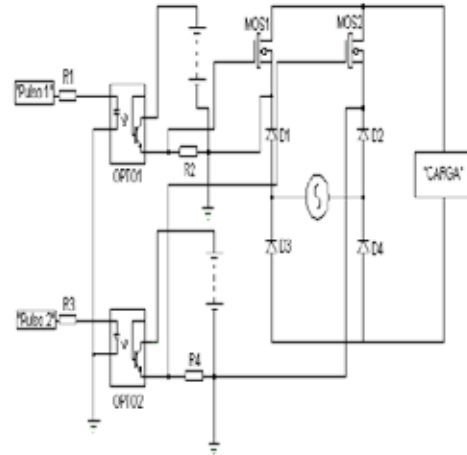


Figura 3.- Circuito del rectificador implementado.

número y ancho de pulsos, tanto para carga resistiva como para carga inductiva. En este artículo se presentan únicamente los resultados obtenidos con carga resistiva.

Se llevaron a cabo dos grupos de mediciones para el rectificador semicontrolado, uno con la técnica de control PWM de múltiples pulsos y otro con la técnica de control por ángulo de fase.

Con las mediciones obtenidas se calcularon los siguientes parámetros: eficiencia, factor de forma, factor de rizo y factor de potencia. Todas estas mediciones se realizaron para uno y dos pulsos por cada medio ciclo de la señal de alimentación de CA, para el caso de múltiples pulsos.

Resultados Obtenidos

I.- Control PWM, un pulso por cada medio ciclo.

En la figura 4 se muestra la gráfica para la eficiencia. Como se observa, a mayor ancho de pulso la eficiencia del rectificador tiende a incrementarse.



Figura 4.- Eficiencia con control PWM, un solo pulso.

En la figura 5 se aprecia el comportamiento del factor de forma para diferentes anchos de pulso. Conforme se incrementa el ancho de pulso, el factor de forma disminuye, es decir, mejora.



Figura 5.- Factor de forma con control PWM, un solo pulso.

La figura 6 presenta el factor de rizo obtenido. Como se puede ver en la gráfica, el factor de rizo es bajo para anchos de pulso grandes.



Figura 6.- Factor de rizo con control PWM, un solo pulso.

La figura 7 muestra la gráfica correspondiente al factor de potencia. Como se observa a mayor ancho de pulso el factor de potencia es cercano a la unidad.

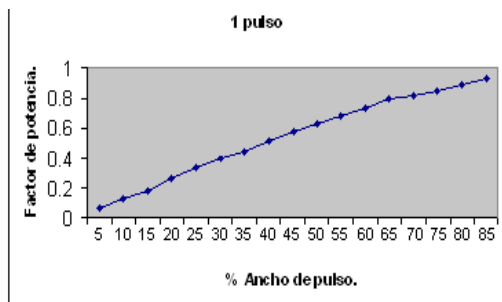


Figura 7.-Factor de potencia con control PWM, un solo pulso.

II.- Control PWM, dos pulsos por cada medio ciclo.

La gráfica de la eficiencia se muestra en la figura 8. Comparando este resultado con el obtenido para el caso de un solo pulso por cada medio ciclo, se aprecia una mejora en este parámetro. Como se observa, a mayor ancho de pulso la eficiencia del rectificador se incrementa.



Figura 8.- Eficiencia con control PWM, dos pulsos.

En la figura 9 se muestra el factor de forma del rectificador semicontrolado. Analizando y comparando esta gráfica con la de la figura 5, se observa que el factor de forma mejora también.



Figura 9.- Factor de forma con control PWM, dos pulsos.

La figura 10 presenta el factor de rizo obtenido. Como se puede ver en la gráfica, el factor de rizo es bajo para anchos de pulso grandes. Si comparamos ésta con la de la figura 6, se nota que el factor de rizo se reduce.

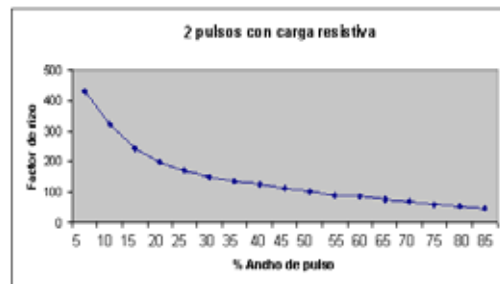


Figura 10.- Factor de rizo con control PWM, dos pulsos.

La figura 11 muestra los valores correspondientes al factor de potencia. Comparando con la gráfica de la figura 7, este parámetro mejora para el caso de 2 pulsos por medio ciclo.

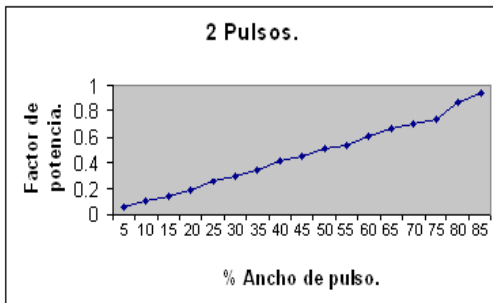


Figura 11.-Factor de potencia con control PWM, dos pulsos.

III.- Control por ángulo de fase.

Para esta técnica la gráfica de la eficiencia se muestra en la figura 12. Se puede apreciar una diferencia en comparación con los resultados indicados en las figuras 4 y 8.

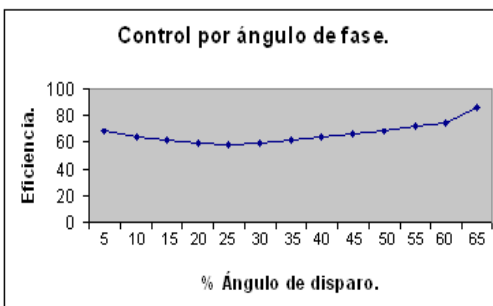


Figura 12.- Eficiencia con control por ángulo de fase.

La figura 13 presenta el factor de forma obtenido. Al igual que la eficiencia, este parámetro muestra variación en su comportamiento en relación a las figuras 5 y 9.

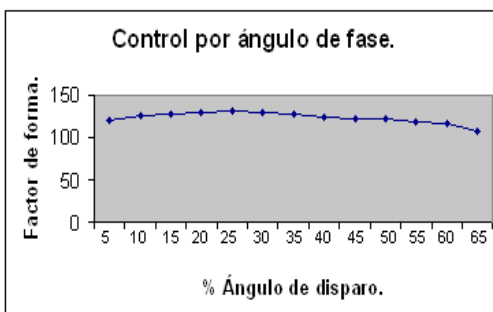


Figura 13.- Factor de forma con control por ángulo de fase.

Por otra parte, en la figura 14 se aprecia el factor de rizo obtenido.

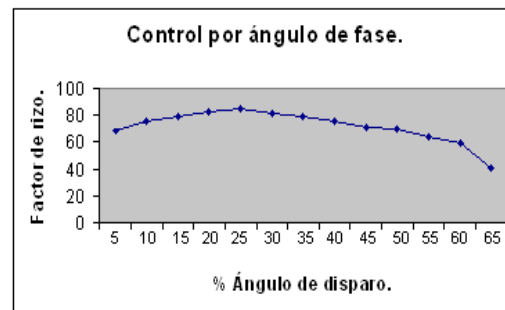


Figura 14.- Factor de rizo con control por ángulo de fase.

Comparando con los resultados de las figuras 6 y 10, se puede notar una diferencia importante.

En la figura 15 se muestra la gráfica del factor de potencia obtenido. Para este caso, el comportamiento respecto al señalado en las figuras 7 y 11 es similar.



Figura 15.-Factor de potencia con control por ángulo de fase.

Finalmente, en la figura 16 se muestra la forma de onda en la carga para el caso de la técnica PWM con dos pulsos por cada medio ciclo, para un ancho de pulso cercano al 100%.

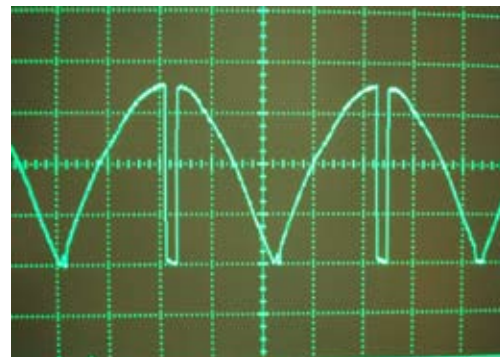


Figura 16.- Forma de onda en la carga con control PWM, dos pulsos.

Conclusiones

Se presentaron los resultados obtenidos de la evaluación de las técnicas de modulación por ancho de pulso (PWM) de múltiples pulsos y de control por ángulo de fase, para el cálculo de los parámetros de rendimiento de un rectificador semicontrolado monofásico con carga resistiva.

Para el caso de la técnica PWM de múltiples pulsos, se consideraron uno y dos pulsos por cada medio ciclo de la señal de alimentación de CA; sin embargo, cabe mencionar que el diseño implementado permite la operación para tres, cuatro y hasta cinco pulsos por cada medio ciclo.

De los resultados mostrados en este artículo se concluye que, para la técnica PWM de múltiples pulsos, el rendimiento es superior en el caso de dos pulsos por cada medio ciclo.

Para el caso de la eficiencia, la técnica de control por ángulo de fase presenta una mayor eficiencia que la de múltiples pulsos, e incluso ésta mejora también al incrementarse el número de pulsos para el caso de la técnica PWM.

Para el factor de forma y el factor de rizo los valores obtenidos por la técnica de control por ángulo de fase son mejorados. Sin embargo, al igual que en la eficiencia se observa que al incrementar el número de pulsos, se mejoran los valores de estos parámetros.

Con respecto al factor de potencia, la técnica de múltiples pulsos presenta mejores resultados respecto a los obtenidos con la técnica de control por ángulo de fase. Al igual que en los casos anteriores, este parámetro mejora al incrementarse el número de pulsos.

Como trabajo futuro, se estimarán los parámetros presentados en este artículo para el caso de tres, cuatro y cinco pulsos por cada medio ciclo, con la intención de compararlos con los aquí documentados y comprobar si la técnica PWM de múltiples pulsos es superior a la tradicional de control por ángulo de fase.

Referencias

[1] M. Cruz, F. J. Gómez y G. Muñoz, “Cálculo del Rendimiento de la Técnica PWM de Múltiples Pulsos para un Rectificador Controlado Monofásico”. Aceptado para presentación en la *Semana Nacional de Ingeniería Electrónica (SENIE)*, Aguascalientes, México. Octubre 1-3 2008.

[2] J. A. Lerma, F. J. Gómez y J. Méndez, “Cálculo del Rendimiento de la Técnica de Control por Ángulo Simétrico para un Rectificador Controlado Monofásico.” Aceptado para presentación en la *Semana Nacional de Ingeniería Electrónica (SENIE)*, Aguascalientes, México. Octubre 1-3 2008.

[3] E. Palacios, F. Remiro, *Microcontrolador PIC16F84. Desarrollo de proyectos*. 2a. Edición. Editorial Alfa-Omega.

[4] M. H. Rashid; *Electrónica de Potencia. Circuitos y Aplicaciones*. 2ª. Edición. Ed. Prentice Hall.

[5] M. H. Rashid y M. Aboudina, “Analysis of forced-commutated techniques for AC-CD converters”. *1st European Conference on Power Electronics and Applications*, Bruselas.

[6] M. A. Boost y P. Ziogas. “State-of Art PWM techniques”. *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 24, No. 2.

[7] Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins. *Power Electronics. Converters, Applications, and Design*. Second Edition.

[8] Robert F. Coughlin, Fedrerik F Driscoll. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 2a. Edicion. Editorial Prentice Hall.

[9] R. Wu, S. B. Dewan y G. R. Slemon; “Analysis o an AC-to-DC voltage source converter using PWM with phase and amplitude control”. *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 27 No. 2.

[10] TMOS Power MOSFET. Transistor Data. Motorola.

[11] X. Ruan, L. Zhou y Y. Yan. “Sof-switching PWM three-level converters”. *IEEE Transactions Electronic*, Vol. 16, No. 5.

Artículo recibido: 7 de noviembre de 2008

Aceptado para publicación: 26 de noviembre 2008