

Análisis experimental de cicloconvertidor monofásico para cargas resistivas con submúltiplos de frecuencias

Experimental analysis of single-phase cycloconverter for resistive loads with submultiples of frequencies

Análise experimental de cicloconversor monofásico para cargas resistivas com submúltiplos de frequências

Helarf Calsina¹ , Juan Ñaca² 

DOI: <https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v5i1.209>

RESUMEN

Este artículo se desarrolló por la necesidad de disponer de potencia eléctrica con frecuencias ajustables, diferente a la suministrada por la red eléctrica convencional, para aplicaciones industriales y de control de motores. El cicloconvertidor implementado consta de etapa de potencia con dispositivos SCRs y optoacopladores, etapa de control con microcontrolador para la gestión de las señales de disparo de los semiconductores de potencia. Se realizaron simulaciones y pruebas experimentales para validar el funcionamiento del sistema bajo diversas condiciones. El cicloconvertidor puede modificar eficazmente la frecuencia de entrada de 60 Hz, proporcionando frecuencias de salida ajustables y estables para cargas resistivas. Los resultados muestran frecuencias experimentales muy cercanas a las calculadas: para un submúltiplo de 2, 29.976 Hz; submúltiplo de 3, 20 Hz; submúltiplo de 4, 15Hz, submúltiplo de 5, 11.99 Hz; y para un submúltiplo de 6,10 Hz. Las variaciones mínimas entre las frecuencias simuladas y experimental se deben a factores de tolerancia de los componentes electrónicos. Este método propuesto es de importancia práctica para mejorar el nivel de aplicación del cicloconvertidor en el control de velocidad de variadores de AC.

Palabras claves: Cicloconvertidor, Microcontrolador, Monofásico, Potencia, Submúltiplo.

ABSTRACT

This article is developed due to the need to have electrical power with adjustable frequencies, different from that supplied by the conventional electrical network, for industrial and motor control applications. The implemented cycloconverter consists of a power stage with SCR devices and optocouplers, a control stage with a microcontroller for managing the trigger signals of the power semiconductors. Simulations and experimental tests were carried out to validate the operation of the system under various conditions. The cycloconverter can effectively modify the 60Hz input frequency, providing adjustable and stable output frequencies for resistive loads. The results show experimental frequencies very close to those calculated: for a submultiple of 2, 29.976 Hz; submultiple of 3, 20 Hz; submultiple of 4, 15Hz, submultiple of 5, 11.99 Hz; and for a submultiple of 6.10 Hz. The minimum variations between the simulated and experimentally obtained frequencies are due to tolerance factors of the electronic components. This proposed method is of

¹ Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Nacional de Juliaca, Perú. Correo: hfcalsinac.doc@unaj.edu.pe

² Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Nacional de Juliaca, Perú. Correo: jnacam.doc@unaj.edu.pe

practical importance to improve the application level of cycloconverter in speed control of AC drives.

Keywords: Cycloconverter, Microcontroller, Power, Single-phase, Submultiple.

RESUMO

Este artigo foi desenvolvido devido à necessidade de se ter energia elétrica com frequências ajustáveis, diferentes daquela fornecida pela rede elétrica convencional, para aplicações industriais e de controle de motores. O cicloconversor implementado consiste em um estágio de potência com dispositivos SCR e optoacopladores, um estágio de controle com um microcontrolador para gerenciamento dos sinais de disparo dos semicondutores de potência. Simulações e testes experimentais foram realizados para validar o funcionamento do sistema sob diversas condições. O cicloconversor pode modificar efetivamente a frequência de entrada de 60 Hz, fornecendo frequências de saída ajustáveis e estáveis para cargas resistivas. Os resultados mostram frequências experimentais muito próximas das calculadas: para um submúltiplo de 2, 29,976 Hz; submúltiplo de 3,20 Hz; submúltiplo de 4, 15 Hz, submúltiplo de 5, 11,99 Hz; e para um submúltiplo de 6,10 Hz as variações mínimas entre as frequências simuladas e obtidas experimentalmente são devidas a fatores de tolerância dos componentes eletrônicos. Este método proposto é de importância prática para melhorar o nível de aplicação do cicloconversor no controle de velocidade de inversores CA.

Palavras-chave: Cicloconversor, Microcontrolador, Monofásico, Potência, Submúltiplo

INTRODUCCIÓN

El cicloconvertidor electrónico es un dispositivo que convierte una señal AC de frecuencia fija de una red monofásica en una señal de frecuencia ajustable. Estos dispositivos son ampliamente utilizados en la industria, especialmente para controlar la velocidad de motores en corriente alterna síncronos. Los cicloconvertidores son una solución eficiente para situaciones de variación de frecuencias, gracias a la alta eficiencia energética que ofrecen (Liu et al., 2005), por lo general, los convertidores de CA a CA con conmutación suave se dividen en dos tipos: Convertidores indirectos, que utilizan un enlace de corriente continua (DC) para interconectar dos sistemas de corriente alterna (AC), y los convertidores directos, que realizan la conversión de manera directa entre dos sistemas CA (Suganthi et al., 2016).

Los cicloconvertidores establecen una solución eficiente para soluciones en la variación de frecuencia, gracias a la alta eficiencia energética que ofrecen. Esto ha sido posible gracias a los avances de dispositivos electrónicos de potencia, como los SCRs y los IGBT, y en sistemas de control que utilizan microcontroladores, microprocesadores, DSPs y circuitos integrados específicos. En el desarrollo del trabajo de investigación la primera etapa del diseño implica

la selección de dispositivos electrónicos de potencia, teniendo en cuenta características de la carga, y estableciendo las debidas protecciones eléctricas. Una vez definida la etapa de potencia, se diseña e implementa la etapa de control, configurando y programando los microcontroladores seleccionados según la lógica y estrategia de control desarrollada.

Operación del cicloconvertidor

El funcionamiento de los cicloconvertidores monofásicos a monofásicos se ilustra en la figura 1. En este sistema, se utilizan dos rectificadores controlados operando como rectificadores de puente. No obstante, los ángulos de retardo de estos convertidores se ajustan de manera que la frecuencia de salida de uno sea igual pero opuesto al del otro. Si solo el convertidor positivo (P) está en funcionamiento, el ciclo de salida es positivo, mientras que si solo el convertidor negativo (N) está operando, el ciclo de salida es negativo. Para conseguir las frecuencias deseadas se debe hacer el disparo en pares de los SCRs T1_T2 y T3_T4 para el ciclo positivo y para el ciclo negativo T1'_T2' y T3'_T4'.

Para los cicloconvertidor monofásico se necesita una fuente de voltaje de AC monofásica, mientras para los cicloconvertidores trifásicos se requiere de una fuente de voltaje AC trifásica programable (Biabani y Pasha, 2016).

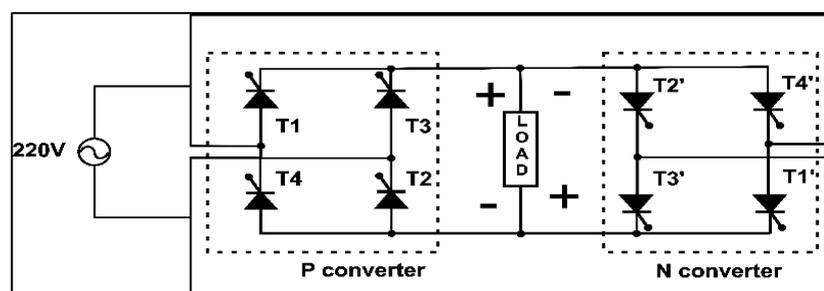


Figura 1. Diagrama de un cicloconvertidor dual

En la Figura 1, el esquema del cicloconvertidor incluye una fuente de alimentación, un convertidor positivo, un convertidor negativo y una carga.

Detector de cruce por cero

Es esencial en sistemas donde se necesita sincronizar eventos con la alternancia de la corriente eléctrica. La función principal es

identificar el momento exacto donde una señal alterna cambia de dirección, pasando de negativa a positiva o viceversa. Facilitando así el control del ángulo de conmutación de dispositivos electrónicos, mejorando la eficiencia y precisión del sistema.

Detector de semi-ciclo positivo

Este detector es usado en sistemas que requieren sincronización basada en la polaridad positiva de la señal eléctrica. Utilizado en controladores AC o rectificadores controladores. El funcionamiento corresponde a identificar el momento preciso en que una señal alterna alcanza polaridad positiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

Dispositivos Electrónicos

Se utilizaron dispositivos electrónicos como SCR BT151 que cuenta con tres conexiones: ánodo, gate y cátodo que funciona como un diodo rectificador controlado, optoacoplador 4N35 funciona como un switch activado a través de la luz emitida por un diodo led, transistor 2N222 utilizado para la entrega de una señal de output frente a una señal de input, amplificador operacional LM358 en modo comparador, microcontrolador Atmega328 que consta de catorce pines de entrada/salida digital los cuales cuatro usados para modulación PWM en la salida y seis entradas análogas con su respectivo resonador cerámico de 16 Mhz.

Diseño de circuito

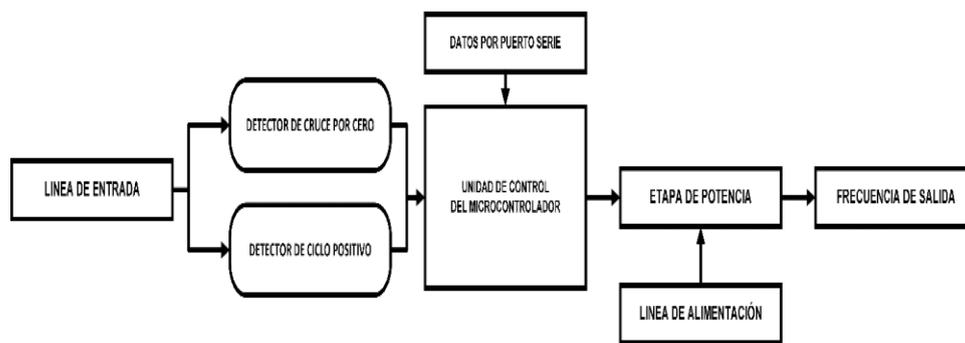


Figura 2. Diagrama de flujo del cicloconvertidor principal con programa

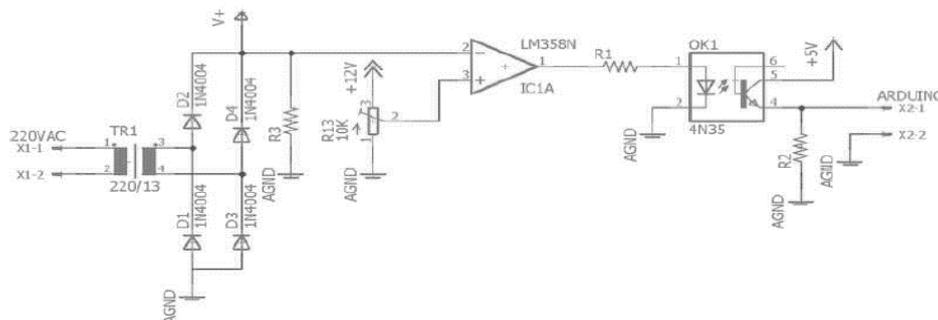


Figura 3. Diagrama de detector de cruce por cero

En la figura 4a se observa que el transformador (TR1) reduce la señal a 13rms, lo cual la señal será rectificada por el puente de diodos (figura 4b) y esta ingresa al amplificador operacional

donde se va a sumar la señal proporcionada por R3 y obtenemos la salida de pulsos (figura 4c) enviada hacia el microcontrolador a través de un optoacoplador en un nivel de TTL.



Figura 4. a) Reducción de señal b) Rectificación de puente de diodos c) Salida de señal en pulsos

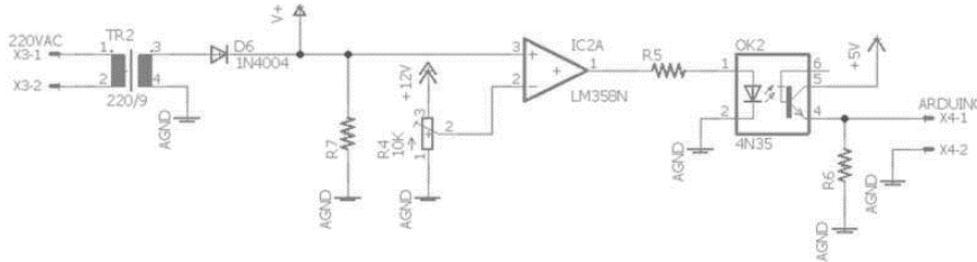


Figura 5. Diagrama de detector de cruce por cero

En la figura 6a la señal de entrada AC es reducida a 9V (rms) por el transformador, esta señal es rectificada por el rectificador de media onda (figura 6b) el cual ingresa hacia el amplificador

operacional sumándose con la señal proporcionada de la resistencia R4 y generando la salida de pulsos TTL hacia el microcontrolador.



Figura 6. a) Reducción de señal b) Rectificación de puente de diodos c) Salida de señal en pulsos



Figura 7. Diagrama del programa del cicloconvertidor

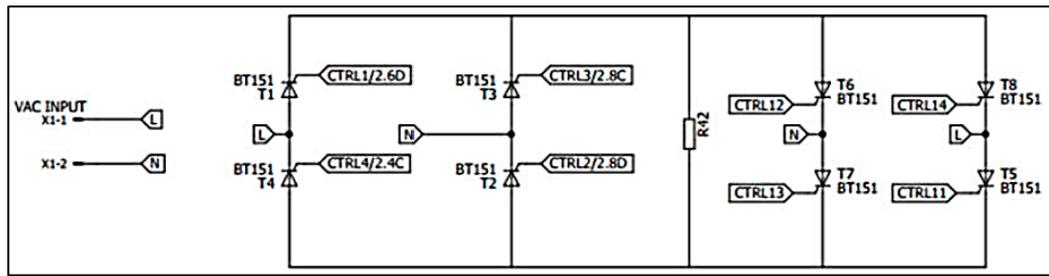


Figura 8. Diagrama de la etapa de potencia

Los parámetros de la carga R

Tabla 2. Parámetros de la implementación del cicloconvertidor con carga resistiva ($R=42\ \Omega$)

Input Source	1 ϕ , 220VAC
Frecuencia de la fuente	60 Hz
Salida de la fuente	30 HZ
Carga	42 Ω
Sub Múltiplo	2

RESULTADOS

Para la simulación la fuente de ingreso de la red eléctrica es de 220 volts(rms) con 60 Hz y una carga resistiva de $R=42\ \Omega$

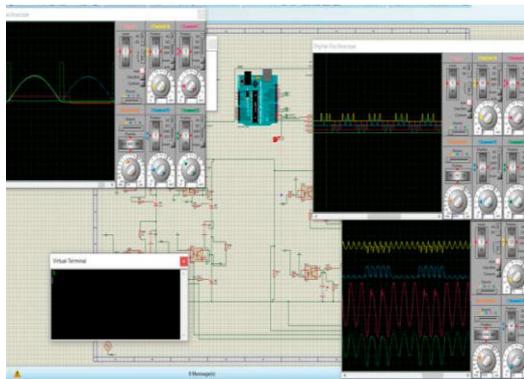


Figura 9. Resultados de simulación

El resultado de la simulación se realizó en el software de Proteus con resultados óptimos. Sin embargo, en el modo experimental los resultados son satisfactorios debido a que se llegó a operar el cicloconvertidor en diferentes frecuencias, así como muestra la tabla 2.

En la figura 10, la frecuencia de 30Hz dividida entre 2, se activa la secuencia de disparo para los

SRCs (T1, T2 y T3, T4) ciclo positivo y los SCRs (T3, T4 y T1, T2) ciclo negativo.

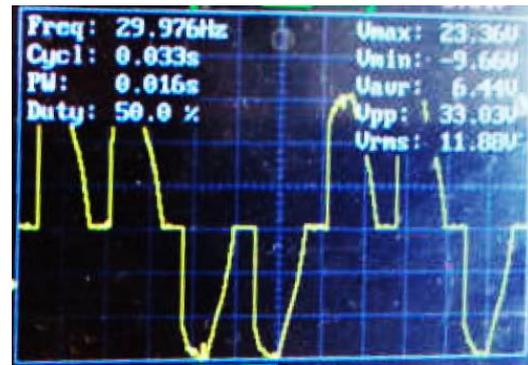


Figura 10. Frecuencia dividida entre 2

En la figura 11, la frecuencia 20Hz dividida entre 3 se activa la secuencia de disparo para los SRCs (T1,T2 ; T3,T4 y T1,T2) ciclo positivo y los SCRs (T1,T2 ; T3,T4 y T1,T2) ciclo negativo.



Figura 11. Frecuencia dividida entre 3

En la figura 12, la frecuencia 15Hz dividida entre 4 se activa la secuencia de disparo para los SRCs (T1, T2; T3, T4; T1, T2 y T3, T4) ciclo positivo y los SCRs (T3, T4; T1, T2; T3, T4 y T1, T2) ciclo negativo.



Figura 12. Frecuencia dividida entre 4

En la figura 13, la frecuencia 12Hz dividida entre 5 se activa la secuencia de disparo para los SRCs (T1,T2; T3,T4; T1,T2; T3,T4 y T1,T2) ciclo positivo y los SCR (T1,T2 ; T3,T4 ; T1,T2 ; T3,T4 y T1,T2) ciclo negativo.

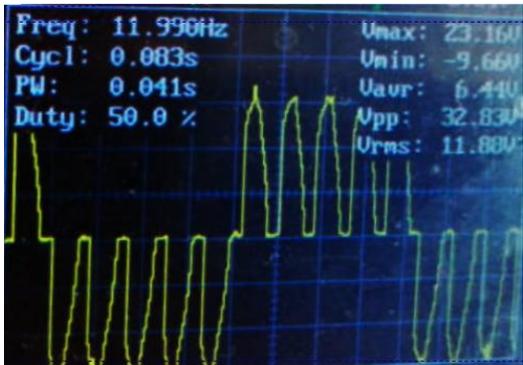


Figura 13. Frecuencia dividida entre 5

En la figura 14, la frecuencia 10Hz dividida entre 6 se activa la secuencia de disparo para los SRCs (T1,T2 ; T3,T4; T1,T2; T3,T4 ;T1,T2 y T3,T4) ciclo positivo y los SCR (T3,T4 ; T1,T2 ; T3,T4 ;T1,T2; T3,T4 y T1,T2) ciclo negativo.

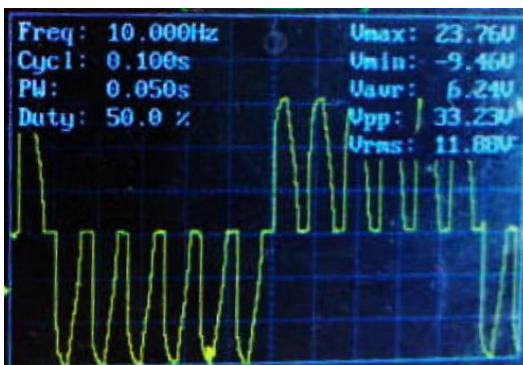


Figura 14. Frecuencia dividida entre 6

Tabla 2. Resultados de la implementación del cicloconvertidor con carga resistiva ($R=42\Omega$)

Frecuencia de la Red (60Hz)	Frecuencia teórica (Hz) (Simulada)	Frecuencia a medidas (Hz) (Experimental)
Dividido entre 2 (Submúltiplo)	30	29.976
Dividido entre 3 (Submúltiplo)	20	20
Dividido entre 4 (Submúltiplo)	15	15
Dividido entre 5 (Submúltiplo)	12	11.996
Dividido entre 6 (Submúltiplo)	10	10

DISCUSIÓN

Goffar et al. (2019), en su artículo de investigación tiene como resultado que a partir de la frecuencia de 50 Hz obtiene una frecuencia de 16.67 Hz como fuente de poder y produce señales sinusoidales alternas cercanas. Si embargo, en el trabajo de investigación desarrollado obtenemos diferentes frecuencias de acuerdo a la variación de los submúltiplos.

Khedekar et al. (2019), en su trabajo de investigación, realizan simulaciones obteniendo resultados de 50Hz de frecuencia de entrada a 10Hz de frecuencia de salida con una carga resistiva de 0.05 ohmios y una inductancia de 0.5 henrios. En contraste, en nuestro proyecto, desarrollamos tanto la simulación como la implementación obteniendo diferentes frecuencias de acuerdo a los submúltiplos.

CONCLUSIONES

El resultado de este trabajo de investigación permite el manejo de diferentes frecuencias

submúltiplos (10, 12, 15, 20 y 30 Hz) a partir de la frecuencia fundamental de la red eléctrica de 60Hz, con el fin de manejar intensidades en una carga resistiva de 42 ohms. El diseño del cicloconvertidor monofásico está compuesto por dos etapas bien definidas: etapa de control con microcontrolador y la etapa de potencia SCR, en la etapa de control se debe sincronizar la red mediante un circuito de cruce por cero compuesto por un OPAM LM358 en modo comparador y un Optotransistor 4N35 para estandarizar la señal a nivel TTL. Con la finalidad de conseguir dichas frecuencias se debe activar los SCR en pares, para una frecuencia de 30Hz debemos activar T_1 y T_2 para ciclo positivo, T_3 y T_4 para el ciclo negativo y para las demás frecuencias como corresponda. Los resultados indican frecuencias muy próximas calculadas teóricamente y simuladas. Los resultados muestran frecuencias experimentales muy cercanas a las calculadas: para un submúltiplo de 2, 29.976 Hz; submúltiplo de 3, 20 Hz; submúltiplo de 4, 15Hz, submúltiplo de 5, 11.99 Hz; y para un submúltiplo de 6, 10 Hz. Las ligeras variaciones entre las frecuencias experimentales y calculadas se deben debido a factores de tolerancia de los componentes electrónicos. El método propuesto es de importancia práctica para mejorar el nivel de aplicación del cicloconvertidor en el control de velocidad de variadores de AC. Es por ello que el diseño y la implementación propuesta valida la señal AC monofásica de la red eléctrica a AC monofásica en diferentes frecuencias submúltiplos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Biabani, Mohammed Abdul Khader Aziz, and Md Akheel Pasha. 2016. "Performance

Analysis of Step up and Step down Cyclo Converter." International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques, ICEEOT 2016 1590–95. doi: 10.1109/ICEEOT.2016.7754953.

Goffar Khan, Muhammad Abdul, Md Abdul Malek, and Md Mahmudul Hasan. 2019. "Experimental Analysis of Modified Single Phase Cycloconverter." 3rd International Conference on Electrical, Computer and Telecommunication Engineering, ICECTE 2019 113–16. doi: 10.1109/ICECTE48615.2019.9303558.

Khedekar, Amey, Dhananjay Badade, Harshal Ugawekar, Saurabh Kale, R. D. Kulkarni, and Madhwi Kumari. 2019. "Simulation of Single Phase to Single Phase Step Down Cycloconverter for Industrial Application." 2019 International Conference on Nascent Technologies in Engineering, ICNTE 2019 - Proceedings (IcnTE). doi: 10.1109/ICNTE44896.2019.8946020.

Liu, Yazhou, Gerald Thomas Heydt, and Ron F. Chu. 2005. "The Power Quality Impact of Cycloconverter Control Strategies." IEEE Transactions on Power Delivery 20(2 II):1711–18. doi: 10.1109/TPWRD.2004.834350.

Suganthi, J., Samuel Rajesh, and J. Aran. 2016. "Single Phase To Single Phase Step-Down Cycloconverter For." International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT) - 2016 SINGLE Ms.J. Sugan:4914–16.