



## CONMUTACIÓN SIMÉTRICA DEL RECTIFICADOR APLICADO A MICROCENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Henry Bory Prevez<sup>1</sup>, Herminio Martínez García<sup>2</sup>, Luis Vazquez Seisdedos<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de oriente, Avenida de Las Américas S/N, Santiago de Cuba, Cuba, <sup>2</sup>Escuela de Ingeniería de Barcelona Este (EEBE), Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) – BarcelonaTech, Av. de Eduard Maristany, nº 10 – 14, E-08019, Barcelona, España, <sup>3</sup>Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de oriente, Avenida de Las Américas S/N, Santiago de Cuba, Cuba,

<sup>1</sup>e-mail: [bory@uo.edu.cu](mailto:bory@uo.edu.cu)

### RESUMEN

En el presente trabajo se analizó un rectificador trifásico tipo puente con un interruptor en serie con la carga conmutado con ángulo simétrico, con respecto a los índices corriente eficaz, potencia activa, reactiva, aparente, de distorsión y factor de potencia. El objetivo es aplicar este rectificador conmutado con ángulo simétrico para el mejoramiento del factor de potencia en microcentrales hidroeléctricas que operan en régimen autónomo (aisladas del sistema eléctrico), en las que se regulan la frecuencia variando la potencia disipada en cargas lastres mediante convertidores de corriente alterna en corriente alterna (CA-CA). Las expresiones de los índices anteriores del convertidor de CA-CA son resumidos. Se calculó un ejemplo en el cual es desarrollado un caso de estudio donde ambos convertidores son comparados para un punto de operación, luego mediante los resultados de simulación se obtiene que con el circuito rectificador trifásico conmutando el interruptor con ángulo simétrico, se logra una mejora del factor de potencia a la salida del generador en el 94,5% del intervalo de variación de la potencia activa consumida por los usuarios, demostrando la ventaja del circuito rectificador con respecto al factor de potencia del sistema eléctrico.

**PALABRAS CLAVES:** Rectificador Trifásico, Conmutación Simétrica, Convertidor de CA-CA, Factor de Potencia, Control de Frecuencia.

## SYMMETRICAL SWITCHING OF THE RECTIFIER APPLIED TO MICRO HYDRO POWER PLANT

### ABSTRACT

In the present work is analyzed a type bridge three phase rectifier with switch in series with the load commuted with symmetrical angle, assisting to the indexes effective current, power active, reactive, apparent, of distortion and factor of power. The objective is to apply this rectifier switched with symmetrical angle for the improvement of the power factor in micro hydro power plants that operate in autonomous regime (isolated of the electrical system), and that they regulate frequency varying the power dissipated in loads ballasts with alternating current in alternating current converters. The expressions of the previous indexes for the alternating current in alternating current converter are summarized. It is calculated an example, in this is developed a study case, where both converters are compared for one operation point, then by simulation results was obtained that with the tree phase rectifier circuit switched with symmetrical angle, is achieved to improve the power factor at the output terminal of the generator for the 94,5% of the active power consumption interval of the users, demonstrating the advantage of the circuit with rectifier regarding the factor of power of the electric system.

**KEY WORDS:** Three phase rectifier, symmetrical switching, CA-CA converter, power factor, frequency control.

## 1. INTRODUCCIÓN

En Cuba existen actualmente 181 pequeñas centrales hidroeléctricas con una potencia instalada de aproximadamente 60 MW, ubicadas principalmente en las provincias orientales y de éstas 150 no se encuentran conectadas al Sistema Electroenergético Nacional (SEN), [1-3]. En algunas de éstas el control de la frecuencia se realiza manteniendo el caudal constante y modificando la potencia disipada en una carga lastre



conectada en paralelo con la carga de los usuarios, de modo tal que la potencia generada ( $P_G$ ), que se desea mantener constante, sea igual a la potencia disipada por la carga lastre ( $P_L$ ) más la potencia consumida por los usuarios ( $P_C$ ), como se muestra en la Fig. 1. La ecuación de este tipo de regulación es:  $P_G = P_L + P_C$ .

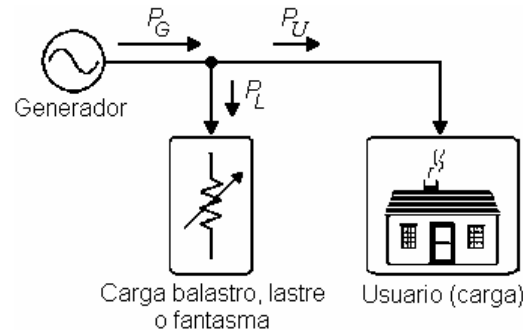


Figura 1: Esquema general de trabajo de control de frecuencia por carga lastre.

Actualmente tanto nacional como internacionalmente para el control de la potencia a disipar en cada una de las tres resistencias lastres se emplea un convertidor de corriente alterna en corriente alterna (CA-CA). Ejemplo de esto, se tiene en los trabajos de Kurtz y Anocibar del 2007, [4], Fong y colectivo de autores en el 2008, [1], Lee Dinh Suu en el 2010, [5] y Peña y colectivo de autores [6].

En la actualidad los investigadores en busca de incrementar la eficiencia de los convertidores electrónicos de energía proponen nuevas topologías y formas de conmutación [7-11]. Por lo cual en el artículo de Kurtz y Botteró, [8], los autores proponen como alternativa del control de la potencia a disipar en la carga balastro, un rectificador trifásico tipo puente a diodos (puente de Graets) con un transistor Mosfet de potencia, que actúa como interruptor en serie con la carga, al cual con el objetivo de mejorar el factor de potencia a su entrada se conmuta por modulación de ancho de pulso. Este control tiene el inconveniente que emplea dispositivos de potencia de respuesta rápida que son más caros y menos disponibles que los dispositivos de la misma potencia, pero conmutados a baja frecuencia.

En los artículos [9] y [10] se aplican nuevas formas de conmutar, denominadas en adelante y simétrico, a un rectificador monofásico tipo puente a diodos con interruptor en serie con la carga, siendo esta resistiva, en ellos se demuestra que, dependiendo de la forma de conmutar al interruptor, el puente puede aportar o no consumir potencia reactiva.

El presente trabajo consiste en la combinación del esquema rectificador propuesto por Kurtz y Botteró, [8], y el empleo de la forma de conmutar simétrica al puente rectificador trifásico que resultará de gran utilidad para el control de la potencia disipada en la carga auxiliar y el mejoramiento del factor de potencia del sistema eléctrico de las microcentrales hidroeléctricas ( $\mu$ CHs).

Los parámetros a analizar son corriente efectiva, potencia activa, reactiva, aparente, de distorsión y factor de potencia.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Reseña sobre el convertidor de CA-CA

A continuación, se resumirán las expresiones de los parámetros de rendimiento y energéticos mencionados anteriormente del convertidor de CA-CA. Como el sistema es trifásico, existe un convertidor en cada fase que regula la cantidad de energía transferida del alternador a las cargas balastos, además al estar los convertidores conectados en estrella, basta analizar uno para obtener los resultados del conjunto.

En la Fig. 2 se muestra el esquema de simulación del convertidor de CA-CA en Psim para una fase.

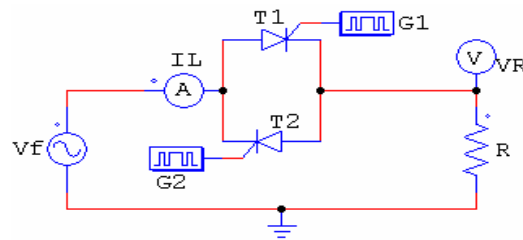


Figura 2: Esquema de simulación del convertidor de CA-CA.

Este esquema de simulación está compuesto por: fuente de tensión sinusoidal ( $V_f$ ) que representa una fase del generador eléctrico, de tensión efectiva ( $V_{ef}$ ) 110 V y frecuencia 60 Hz, convertidor de CA-CA constituido por los tiristores T1 y T2, gatillos (G1 y G2) cuya función es darle el pulso de disparo a los tiristores y sus parámetros son frecuencia (60 Hz), número de puntos de conmutación (dos) y puntos de conmutación (se indica el ángulo de disparo deseado), resistencia de carga que representa la carga lastre ( $R=4.03 \Omega$ ) y los marcadores de corriente y voltaje (IL y VR) para visualizar las formas de onda de la corriente de entrada al convertidor y del voltaje en la carga respectivamente.

El valor efectivo de la corriente de entrada es:

$$I_{rms} = \frac{V_{ef}}{R} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[ \pi - \alpha + \frac{\sin(2\alpha)}{2} \right]} \quad (1)$$

La potencia activa de entrada al convertidor de CA-CA:

$$P_{ent} = \frac{V_{ef}^2}{\pi R} \left[ \pi - \alpha + \frac{\sin(2\alpha)}{2} \right] \quad (2)$$

Para  $\alpha = 0$  la potencia activa es máxima de valor  $P_{\alpha 0} = V_{ef}^2 / R$ , lo que se corresponde con el comportamiento del convertidor, pues para este valor de  $\alpha$ , la fuente ve conectada a ella una resistencia pura y ésta  $P_{\alpha 0}$  es la potencia que se disipa en dicha resistencia. Para  $\alpha = \pi$ , la potencia de entrada alcanza su valor mínimo, cero, pues no se transfiere potencia a la carga.

La potencia reactiva de entrada al convertidor de CA-CA:

$$Q_{ent} = \frac{V_{ef}^2}{\pi R} \left[ \frac{1 - \cos(2\alpha)}{2} \right] \quad (3)$$

Esta potencia es positiva lo que indica que se consume de la red. En la Fig. 3 se grafica la potencia reactiva de entrada entre la potencia activa máxima contra el ángulo de disparo, ésta es cero para  $\alpha = 0$  y  $\alpha = \pi$ . Para  $\alpha = \pi/2$ , alcanza la potencia reactiva su valor máximo de 0.318 veces la potencia activa máxima, ésta es la máxima potencia consumida de la red. Para  $\alpha = 0$ , la potencia reactiva es nula, pues no existe defasaje entre la componente fundamental de la corriente de entrada y el voltaje de alimentación.

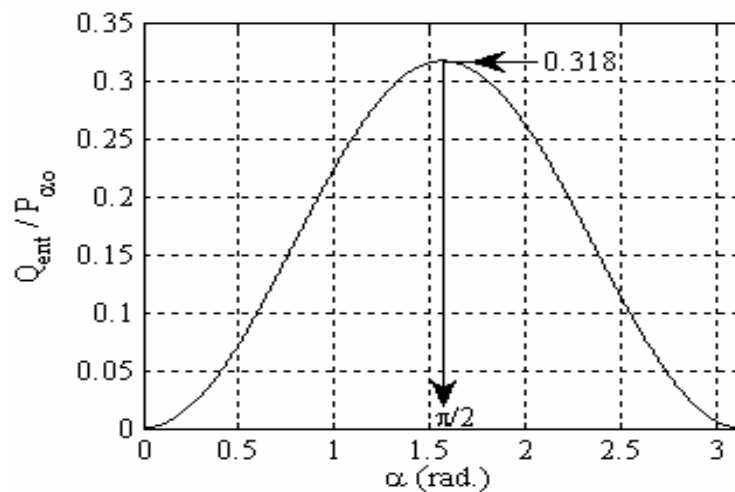


Figura 3: Gráfica de  $Q_{ent} / P_{\alpha 0}$  en función del ángulo de disparo.

La potencia aparente de entrada al convertidor de CA-CA:

$$S_{ent} = \frac{V_{ef}^2}{R} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[ \pi - \alpha + \frac{\text{sen}(2\alpha)}{2} \right]} \quad (4)$$

Para  $\alpha = 0$ , la potencia aparente toma su valor máximo igual a la potencia activa máxima disipada en la resistencia de carga. Para  $\alpha = \pi$ , la fuente no le entrega energía a la carga por lo que la potencia aparente es nula, su valor mínimo.

La potencia de distorsión de entrada al convertidor de CA-CA:

$$T_{ent} = \frac{\sqrt{2} V_{ef}^2}{2\pi R} \sqrt{2\alpha(\pi - \alpha) + (2\alpha - \pi)\text{sen}(2\alpha) + \cos(2\alpha) - 1} \quad (5)$$

Para  $\alpha = 0$ ,  $T_{ent} = 0$  debido a que la corriente de entrada al convertidor no está distorsionada. Para  $\alpha = \pi$ ,  $T_{ent} = 0$  pues la corriente de entrada es nula.

Para  $\alpha = \pi / 2$  la potencia de distorsión alcanza su valor máximo de 0.386 veces la potencia activa máxima. Ahora se determina el factor de potencia:

$$fp = \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[ \pi - \alpha + \frac{\text{sen}(2\alpha)}{2} \right]} \quad (6)$$

Para  $\alpha = 0$   $fp = 1$ , pues para este ángulo la corriente de entrada al convertidor es perfectamente sinusoidal y está en fase con el voltaje de entrada.

### **Análisis del rectificador trifásico tipo puente con interruptor en serie con la carga lastre conmutado con ángulo simétrico**

En esta sección se muestra en la Fig. 4 el esquema de simulación y se resumen las expresiones de los índices de rendimiento y energéticos antes mencionados, según [11].

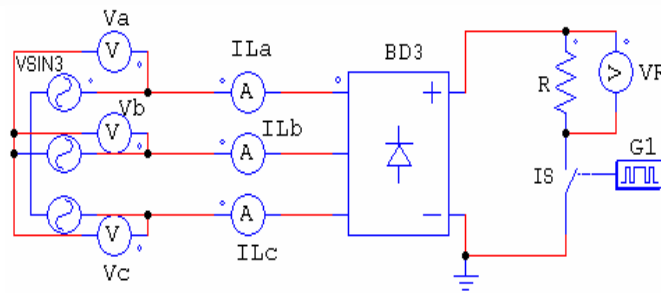


Figura 4: Esquema de simulación del rectificador trifásico propuesto.

Los elementos que componen el esquema son: fuente de tensión sinusoidal trifásica ( $VSIN3$ ) de 60 Hz y de 190.53 V efectiva de línea, y representa al generador; puente rectificador trifásico a diodos ( $BD3$ ), interruptor ( $IS$ ) que representa un componente de conmutación como transistor bipolar de potencia o IGBT; generador de disparo ( $G1$ ) que representa a la unidad de control, y su función es aplicar un pulso al interruptor según la forma de conmutar con ángulo simétrico y con valor del ángulo de conmutación deseado, con parámetros frecuencia (360 Hz), número de puntos de conmutación (2) y puntos de conmutación (ángulo y ancho deseado); y la resistencia de carga ( $R$ ), que representa la carga lastre ( $R=4.03 \Omega$ ) y los marcadores de voltajes y corrientes ( $V_a, V_b, V_c, V_R, I_{La}, I_{Lb}$  e  $I_{Lc}$ ) que visualizan las formas de onda de tensión de cada fase de la fuente de alimentación, tensión en la carga y las corrientes de línea o de entrada al rectificador respectivamente.

En la Fig. 5 se representan las formas de onda más significativas tanto de voltaje como de corriente del circuito rectificador para un ángulo de  $15^\circ$ .

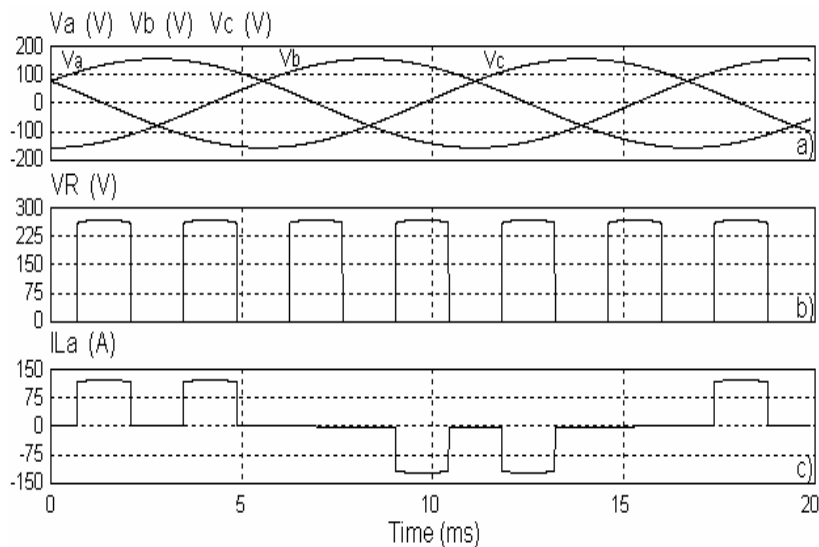


Figura 5: Gráficas de las formas de onda más significativas del rectificador conmutado con ángulo simétrico. (a) Tensión de cada fase de la fuente, (b) Tensión en la carga, (c) Corriente en la línea de fase a. [11]

El ángulo de desplazamiento  $\varphi_1$  es nulo para cualquier valor del ángulo de control, indicando que no existe defasaje entre la tensión de fase y el primer armónico de la corriente de entrada al rectificador.

El valor efectivo de la corriente de entrada es:



$$I_{ms} = \frac{\sqrt{2}\sqrt{3}V_{ef}}{R} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[ \frac{\pi}{3} - 2\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(2\alpha) - \frac{\text{sen}(2\alpha)}{2} \right]} \quad (7)$$

La potencia activa, reactiva, aparente y de distorsión a la entrada del rectificador son:

$$P_{3ent} = \frac{9V_{ef}^2}{\pi R} \left[ \frac{\pi}{3} - 2\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(2\alpha) - \frac{\text{sen}(2\alpha)}{2} \right] \quad (8)$$

Para  $\alpha = 0$ , la potencia activa es máxima.

$$Q_{3ent} = 0 \quad (9)$$

Resultado anteriormente discutido.

$$S_{3ent} = \frac{3\sqrt{6}V_{ef}^2}{R} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[ \frac{\pi}{3} - 2\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(2\alpha) - \frac{\text{sen}(2\alpha)}{2} \right]} \quad (10)$$

Para  $\alpha = 0$ , la potencia aparente es máxima.

$$T_{3ent} = \frac{9V_{ef}^2}{\pi R} \sqrt{\frac{\pi^2}{9} - \left[ 2\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(2\alpha) + \frac{\text{sen}(2\alpha)}{2} \right]^2} \quad (11)$$

Para  $\alpha = 0$ , se tiene que  $T_{3ent} = 0.308P_{3ent\text{máx}}$ , valor diferente de cero debido a que la corriente de entrada al rectificador no es sinusoidal. En cambio, para  $\alpha = \pi/6$ ,  $T_{3ent} = 0$  pues la corriente de entrada es nula.

El factor de potencia:

$$fp = \sqrt{\frac{3}{2\pi} \left[ \frac{\pi}{3} - 2\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(2\alpha) - \frac{\text{sen}(2\alpha)}{2} \right]} \quad (12)$$

Debe notarse que para  $\alpha = 0$ , el factor de potencia queda  $fp = 0.956$ , debido a que la corriente de entrada al rectificador para este ángulo es no sinusoidal.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Ejemplo de aplicación del rectificador trifásico.

Ahora se desarrolla un ejemplo para ilustrar las ventajas del rectificador trifásico conmutado con ángulo simétrico, frente al convertidor de CA-CA que es el esquema actualmente empleado en el control de la frecuencia en una  $\mu\text{CH}$ .

Se supone que luego de tener un registro de mediciones de la potencia, el voltaje y corriente efectiva en una  $\mu\text{CH}$ , se conozca que la potencia activa mínima demandada por los usuarios,  $P_{UMIN}$ , es de 3 kW; que la potencia activa máxima demandada por los usuarios,  $P_{UMAX}$ , es de 12 kW y que en cierto horario la potencia demandada por los usuarios es  $P_U = 7.5$  kW con un factor de potencia,  $fp_U$  de 0.7 en atraso.

*Desarrollo del ejemplo* – Como para el control de la potencia a disipar en la carga lastre se empleara un rectificador trifásicos conmutado con ángulo simétrico, el cálculo de la resistencia lastre se realiza a partir de la



potencia activa máxima que debe consumir el rectificador, sea ésta:  $P_{BD3m\acute{a}x} = P_{UMAX} - P_{UMIN} = 9$  kW, luego evaluando la ecuación (8) para  $\alpha = 0$  se tiene:

$$R_{Lastre} = \frac{9V_{cf}^2}{\pi P_{BD3m\acute{a}x}} \left[ \frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{2} \right] = 7.3 \Omega \quad (13)$$

Los valores de la resistencia e inductancia por fase que representan a la carga de los usuarios son:  $R_U = 2.37 \Omega$  y  $L_U = 6.418$  mH respectivamente. La potencia reactiva total consumida por los usuarios y la corriente efectiva en cada fase para estas condiciones son:  $Q_U = 7.65$  kVAR e  $I_U = 32.47$  A.

En el horario en que los usuarios consumen la potencia  $P_U$ , el rectificador debe consumir una potencia activa,  $P_{BD3}$  de 4.5 kW. Esto se logra con  $\alpha = 0.282$  rad. Para este valor de  $\alpha$  y de  $R_{Lastre}$  la corriente efectiva en cada fase son  $I_{BD3A} = I_{BD3B} = I_{BD3C} = 20.27$  A, la potencia activa total  $P_{BD3} = 4.5006$  kW, la potencia reactiva total  $Q_{BD3} = 0$  kVAR, la potencia aparente total  $S_{BD3} = 6.690$  kVA, la potencia de distorsión total  $T_{BD3} = 4.950$  kVAD y el factor de potencia  $fp_{BD3} = 0.6727$ .

En los terminales del generador para las condiciones de carga impuestas por los usuarios y del rectificador, la potencia activa total  $P_L = 12.00$  kW, la potencia reactiva total  $Q_L = 7.65$  kVAR, la potencia aparente total  $S_L = 15.070$  kVA, la potencia de distorsión total  $T_L = 4.950$  kVAD y el factor de potencia  $fp_L = 0.7966$ .

En el esquema actual las tres resistencias lastres, son  $R_{lastre1} = R_{lastre2} = R_{lastre3} = 4.03 \Omega$ , una por cada convertidor de CA-CA. Para que estos convertidores de CA-CA consuman 1.5 kW, deben ser conmutados con un ángulo de  $90^\circ$ , resultando que: la corriente efectiva de entrada por convertidor es  $I_{CACA} = 19.30$  A, la potencia activa por fase es  $P_{fCACA} = 1.5$  kW y la total  $P_{3CACA} = 4.5$  kW, la potencia reactiva por fase es  $Q_{fCACA} = 0.955$  kVAR y la total  $Q_{3CACA} = 2.864$  kVAR, la potencia aparente por fase es  $S_{fCACA} = 2.123$  kVA y la total  $S_{3CACA} = 6.369$  kVA, la Potencia de distorsión por fase es  $T_{fCACA} = 1.157$  kVAD y la total  $T_{3CACA} = 3.470$  kVAD y el factor de potencia:  $fp_{3CACA} = 0.7071$ .

A la salida del generador, la potencia activa es  $P_G = 12$  kW, la potencia reactiva  $Q_G = 10.514$  kVAR, la potencia de distorsión  $T_G = 4.950$  kVAD, la potencia aparente  $S_G = 16.331$  kVA y el factor de potencia  $fp_G = 0.735$ .

En la Tabla 1, Comparación entre los resultados de las simulaciones de los esquemas con rectificador trifásico conmutado con ángulo simétrico y convertidores de CA-CA, se muestran los resultados de la simulación de ambos esquemas en Psim.

Tabla 1: Comparación entre los resultados de las simulaciones de los esquemas con rectificador trifásico conmutado con ángulo simétrico y convertidores de CA-CA.

Variable	Rectificador trifásicos.	Convertidores de CA-CA.
$I_{La}, I_{Lb}, I_{Lc}$ (salida del generador)	45.61 A	49.45 A
$I_{aBD}, I_{bBD}, I_{cBD}$	20.25 A	-
$I_{aCACA}, I_{bCACA}, I_{cCACA}$	-	19.27 A
$P_G$	12.002 kW	12.004 kW
$Q_G$	7.656 kVAR	10.522 kVAR
$S_G$	15.065 kVA	16.323 kVA
$fp_G$	0.7966	0.7354
$P_{3BD}, P_{3CACA}$	4.501 kW	4.504 kW
$Q_{3BD}, Q_{3CACA}$	-0.067 VAR	2.685 kVAR
$S_{3BD}, S_{3CACA}$	6.690 kVA	6.364 kVA
$fp_{3BD}, fp_{3CACA}$	0.6728	0.7077





De la comparación de los resultados, obtenidos mediante simulación, mostrados en la Tabla 1, y los calculados, mostrados sus valores en párrafos anteriores, se observa una excelente correspondencia entre estos.

El valor dado por la simulación de la potencia reactiva para el esquema con el rectificador, fila  $Q_{3BD}$ ,  $Q_{3CACA}$  de la Tabla 1, puede considerarse nula debido a su pequeña magnitud, esto constituye la diferencia fundamental entre el esquema que emplea el rectificador trifásico conmutado con ángulo simétrico y el esquema actual con convertidores de CA-CA.

En la Tabla 1 se nota que el factor de potencia en los terminales de la fuente que representa al generador eléctrico; octava fila, ( $fp_G$ ); para el esquema con rectificador trifásico conmutado con ángulo simétrico, es mayor que en el esquema con convertidores de CA-CA, debido a que el primero no consume energía reactiva, esto se traduce en la disminución de la corriente efectiva en cada fase del alternador en aproximadamente cuatro amperes, como se observa en la segunda fila de la Tabla 1, aumentando la disponibilidad del generador eléctrico en lo referente a la entrega de potencia activa, resultado que valida al circuito y la forma de conmutar propuesta.

En la Fig. 6 se representan gráficamente el factor de potencia a la salida del generador cuando se emplea el rectificador trifásico,  $fp_{GSBD3}$ , y los convertidores de AC-AC,  $fp_{GSACAC}$ , obtenidos mediante simulación, para el rango de variación de la potencia activa de los usuarios considerada en el ejemplo y con un  $fp_U$  de 0,7 en atraso con el objetivo de establecer una comparación entre estos.

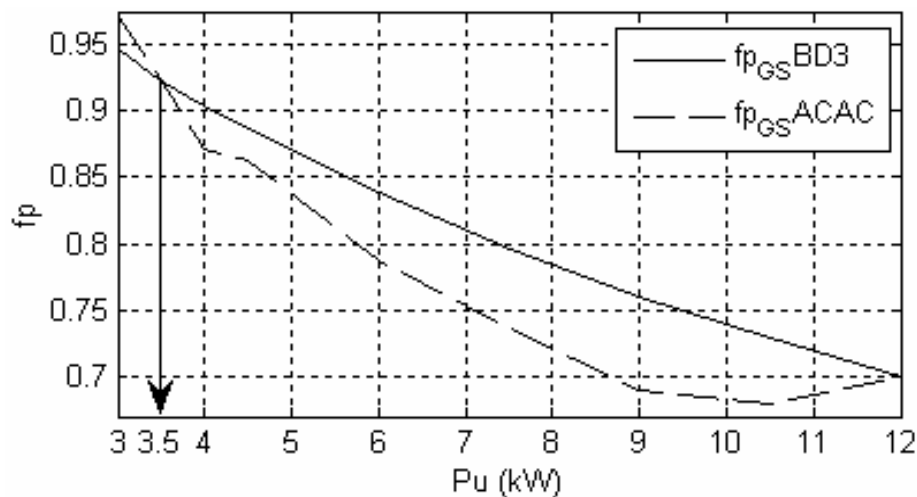


Figura 6: Comparación entre el factor de potencia a la salida del generador cuando se emplea: el rectificador trifásico,  $fp_{GSBD3}$ , y los convertidores de AC-AC,  $fp_{GSACAC}$ .

En la Fig. 6 se aprecia que  $fp_{GSBD3}$  supera a  $fp_{GSACAC}$  en el 94,5 % del rango de variación de la potencia activa consumida por los usuarios, encontrándose el máximo valor de la diferencia de  $fp_{GSBD3}$  y  $fp_{GSACAC}$  igual a 0,06. Ambos factores de potencia a la salida del generador se igualan para una  $P_U$  de 3,5 kW, siendo estos de 0,94, y, para  $P_U$  igual a 12,0 kW, estos alcanzan el valor de 0,699, igual al de la carga de los usuarios. Sólo  $fp_{GSACAC}$  es mayor al  $fp_{GSBD3}$  para mínimo consumo de potencia de los usuarios, de 3,0 kW a 3,5 kW, superándolo como máximo en 0,02.

Los resultados y comparaciones anteriores evidencian claramente que se puede emplear el rectificador trifásico conmutado con ángulo simétrico como alternativa para la mejora del factor de potencia a la salida del generador.

#### 4. CONCLUSIONES

En este artículo se obtuvieron las expresiones de los índices de rendimiento y energético en función del ángulo de conmutación del rectificador trifásico tipo puente con interruptor en serie con la carga resistiva conmutado





con ángulo simétrico, y este bajo la conmutación con ángulo simétrico no aporta ni consume energía reactiva, esto constituye una mejora con respecto al circuito actual, convertidor de CA-CA, se corroboró mediante simulación y los cálculos realizados en el ejemplo desarrollado que el empleo del rectificador conmutado con ángulo simétrico contribuye al mejoramiento o al menos al no empeoramiento del factor de potencia del sistema eléctrico de la  $\mu$ CHs y por tanto al aumento de la disponibilidad del generador.

## REFERENCIAS

1. FONG, J. et al. "Regulador de frecuencia por carga lastre basado en microcontrolador para micro y mini centrales hidroeléctricas en operación aislada". Conferencia Internacional FIE'08, 2008, Cuba. ISBN: 978-84-00-08680-0.
2. *Renovable.cu*. [ref. de 12 de enero 2014]. Disponible en Web: [http://www.google.com/cu/url?q=http://www.cubaenergia.cu/index.php/en/publications/doc\\_download/959-enero-2014&sa=U&ved=0CEUQFjAJahUKEwjlgae\\_0NPHAhVIaT4KHdCwADw&usg=AFQjCNHT\\_k03l36THaOw3a0yaauShBsgBArenovable.cu](http://www.google.com/cu/url?q=http://www.cubaenergia.cu/index.php/en/publications/doc_download/959-enero-2014&sa=U&ved=0CEUQFjAJahUKEwjlgae_0NPHAhVIaT4KHdCwADw&usg=AFQjCNHT_k03l36THaOw3a0yaauShBsgBArenovable.cu).
3. STOLIK, Daniel. "SEÑAL FV # 64. "AGROFOTOVOLTAICA"". Boletín con temas de Fuentes Renovables de Energía. 2018.13.
4. KURTZ, V.; ANOCIBAR, H. "Sistema mixto para control de la generación en microcentrales hidroeléctricas". Hidrored, Universidad Nacional de Misiones, 2007, pp. 24-30. ISSN 0935-0578.
5. DIHN, Su. "Controlador de frecuencia para las micros y mini centrales hidroeléctricas de operación aislada". Director: Julio Fong Barrios. Tesis de Grado, Universidad de Oriente Sede Mella, Ciudad Santiago de Cuba, 2010.
6. Peña, L. et al. *Regulación de frecuencia en una Minihidroeléctrica por carga lastre mediante un pc Embebido* [en línea]. Universidad Politécnica de Cataluña. [ref. de 12 de junio 2013]. Disponible en Web: <http://www.aedie.org/9CHLIE-paper-send/291-PE%D1A.pdf>.
7. LÓPEZ, A.; SOMOLINOS, J.; NÚÑEZ, L. 2014. "Modelado Energético de Convertidores Primarios para el Aprovechamiento de las Energías Renovables Marinas". *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, núm. 11, pp. 224–235. DOI: 10.1016/j.riai.2014.02.005
8. KURTZ, V.; Botteró, F. *Una alternativa para el control de cargas balasto que regulan frecuencia y tensión en PCH de operación aislada*. [ref. de 19 de mayo 2014]. Disponible en Web: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/arquivos/artigos/44c1e4324ee3998d01c61875a2288b61.pdf>.
9. BORY, H. et al. "Conmutación Simétrica para Control de Frecuencia de Minihidroeléctricas". I Conferencia Internacional de Ciencias Técnicas, 2014, Cuba. ISBN: 978-959-207-529-0.
10. BORY, H. et al. "Conmutación en Adelanto para Control de Frecuencia de Minihidroeléctricas". II Conferencia Internacional de Ciencias Técnicas, 2014, Cuba. ISBN: 978-959-207-529-0.
11. BORY PREVEZ, Henry; MARTÍNEZ GARCÍA, Herminio; VAZQUEZ SEISDEDOS, Luis; CHANG MUMAÑ, Francisco; ENRÍQUEZ GARCÍA, Lorenzo. "Comparación entre Rectificador Trifásico con Conmutación Simétrica y Convertidor AC/AC para la Mejora del Factor de Potencia en Microcentrales Hidroeléctricas". *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 2018, vol 15, pp. 101-111. ISSN: 1697-7920.

## SOBRE LOS AUTORES

Henry Bory Prevez, profesor de la Universidad de Oriente Sede Julio Antonio Mella, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Dpto. de Automática, Profesor Auxiliar y Máster en Automática.

Herminio Martínez García, profesor de la Escuela de Ingeniería de Barcelona Este (EEBE), Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Profesor Titular y Doctor en Electrónica.

Luis Vazquez Seisdedos, profesor de la Universidad de Oriente Sede Julio Antonio Mella, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Dpto. de Automática, Profesor Titular y Doctor en Automática.