

# FUENTE DE ALIMENTACIÓN TRIFÁSICA DE FRECUENCIA VARIABLE PARA LABORATORIO DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA

O. DOMÍNGUEZ, R. MARTÍN, I. NUEZ

*DPTO. Ingeniería Electrónica y Automática. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.*

*En muchas ocasiones, durante el aprendizaje de la electrónica de potencia sería deseable disponer de una fuente de alimentación regulable en amplitud y frecuencia. Este trabajo presenta un convertidor estático de transformación directa de frecuencia, que permite obtener, a partir de un sistema trifásico de entrada, otro sistema trifásico de salida cuya frecuencia puede ser superior o inferior a la de entrada y cuya amplitud puede variar de 0 a 0,5 la tensión de entrada.*

## 1. Introducción.

Cuando se aborda el estudio práctico de la electrónica de potencia o en aplicaciones de ésta, tales como la regulación de velocidad de las máquinas eléctricas, resulta muy interesante disponer en el laboratorio de una fuente de alimentación regulable en amplitud y frecuencia.

Los convertidores estáticos de frecuencia, basados en circuitos que incorporan interruptores electrónicos, transforman la señal alterna de una frecuencia dada en otra de frecuencia predeterminada de forma directa o indirecta:

- a) Directa: donde la transformación se realiza en una sola etapa.
- b) Indirecta: transformando la potencia alterna de entrada a continua, normalmente, y posteriormente a la alterna deseada.

Empleando esquemas básicos del circuito de potencia similares al del presente convertidor, se han desarrollado complejas formas para realizar esta transformación de energía [1]. El método de conversión que se propone, surge de adaptar la técnica de modulación del ancho del pulso (PWM) [2], para ser aplicada directamente al sistema de tensiones alternas de entrada.

## 2. Principios de operación.

La figura 1 muestra el esquema básico del convertidor. Su entrada consta de un sistema trifásico de tensiones  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  y neutro, de amplitud  $V_e$  y frecuencia  $f_e$ . Cada una de las fases de salida,  $s_1$ ,  $s_2$  y  $s_3$ , dispone de cuatro interruptores estáticos bidireccionales que permiten conmutar a cualquiera de los cuatro niveles de la tensión de entrada.

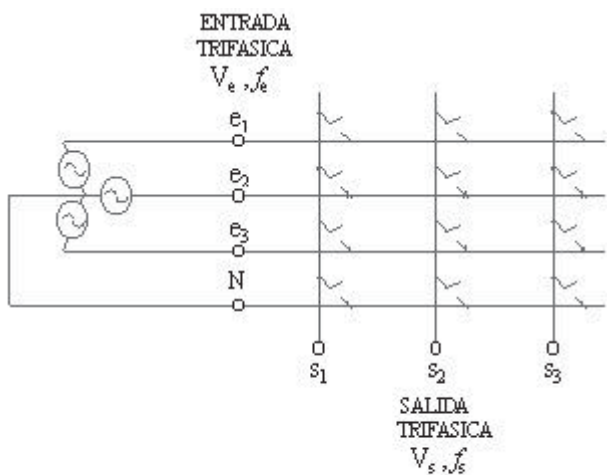


Figura 1: Esquema del convertidor

modulación del ancho del pulso PWM (figura 2).

Para ello, se subdividen los ciclos  $T_e$  de la tensión de entrada en un número entero  $T_e/T$  de intervalos de troceo  $i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ ) de pequeña duración  $T$ , dentro de los cuales se conmuta durante una fracción de tiempo  $d_i \cdot T$  ( $0 \leq d_i \leq 1$ ), el terminal de salida  $s_\lambda$  con aquella fase  $e_k$  de entrada ( $k = 1, 2$  ó  $3$ ) que, en esos momentos, presente igual polaridad y superior valor absoluto a un valor elegido  $V_{s\lambda}(t_{is})$  de los que tome la tensión de referencia en el intervalo  $i$ . El resto del intervalo el terminal es conectado al neutro.

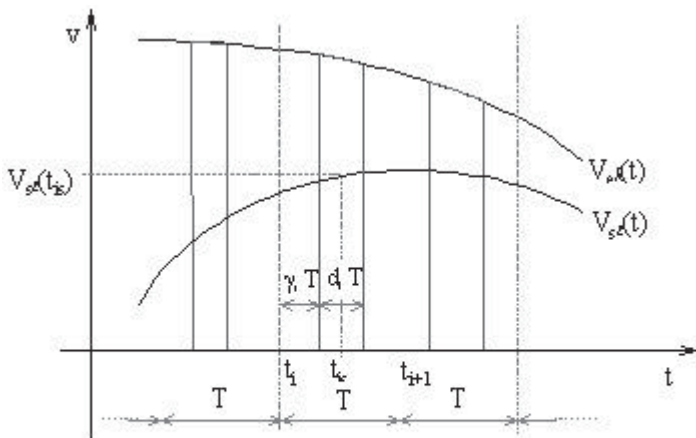


Figura 2: Esquema básico de troceo

La salida trifásica se obtiene aproximando en estos tres terminales  $s_1, s_2$  y  $s_3$ , tres tensiones de referencia respecto al neutro, desplazadas  $120^\circ$  entre sí y de igual amplitud  $V_s$  y frecuencia  $f_s$ . La forma general de dichas tensiones es la siguiente:

$$V_{s\lambda}(t) = V_s \text{sen}(2\pi f_s t + \varphi_{s\lambda}) \quad (1)$$

donde  $\lambda$  designa el terminal de salida correspondiente ( $\lambda = 1, 2$  ó  $3$ ).

La aproximación de cada una de las tensiones de referencia monofásicas  $V_{s\lambda}(t)$  en cada terminal  $s_\lambda$  se lleva a cabo aplicando la técnica de

El valor de la relación de troceado  $d_i$  ha de ser tal que el valor medio  $v_{s\lambda}^{im}$  de la tensión pulsátil así obtenida durante el intervalo  $i$ , sea igual al de referencia  $V_{s\lambda}(t_{is})$

Para minimizar el error de fase en la salida, es conveniente elegir  $t_{is}$  en el instante medio del intervalo  $i$ ,  $t_{is} = \frac{1}{2}(t_i + t_{i+1})$ .

Si la tensión de entrada  $v_{e_k}(t)$  se aproxima a un valor constante  $V_{e_k}(t_{ie})$  dentro del intervalo  $i$ , se obtiene:

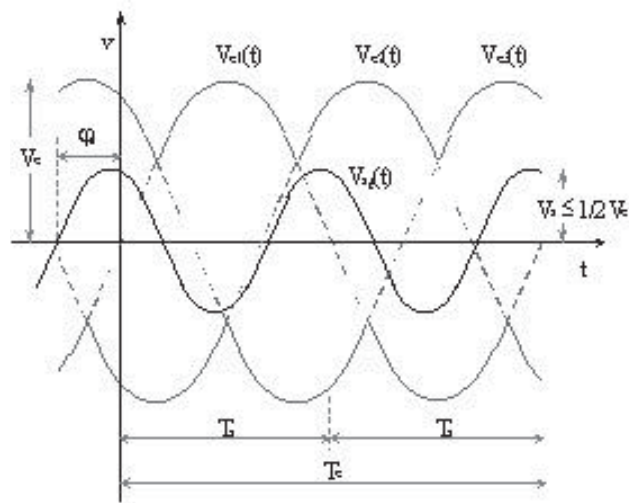
$$d_i = \frac{V_{s\lambda}(t_{is})}{V_{e_k}(t_{ie})} \quad (2)$$

Por tanto, para obtener un valor correcto de  $d_i$  y para que sea posible el troceo descrito, es necesario disponer, en todo momento, de una tensión de entrada  $V_{ek}(t)$  no nula, superior en valor absoluto a la de referencia  $V_{s\lambda}(t)$  y de su misma polaridad. En el ejemplo de la figura 3, estas condiciones son satisfechas por el sistema trifásico de entrada cuando, cualquiera que sea la frecuencia  $f_s$  y fase la  $\varphi_{s\lambda}$ , la amplitud de la tensión de referencia  $V_s$  es inferior a la mitad de la amplitud de entrada  $V_e$ .

Se obtiene así, para cada intervalo, una secuencia de troceo repetida cada  $n$  ciclos de entrada  $T_e$ , siendo  $n$  el número entero de estos períodos en los que se completan  $m$  ciclos enteros de la tensión de referencia  $T_s$ , es decir, el período  $nT_e$  de la tensión de salida  $v_{s\lambda}(t)$ , compuesta por pulsos, se determina hallando los enteros  $n$  y  $m$  mínimos no nulos que verifiquen la relación:

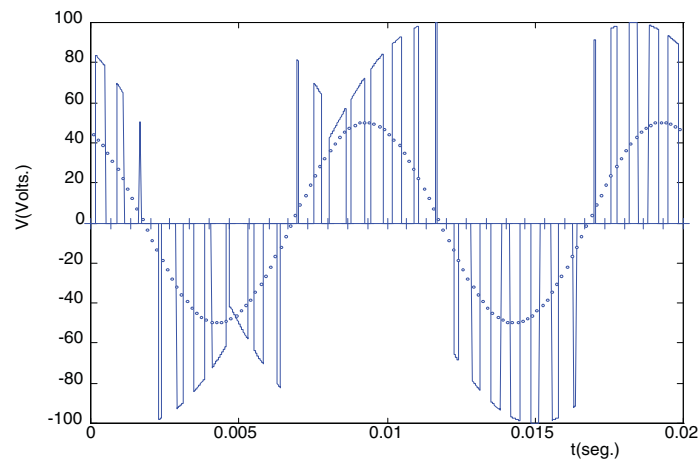
$$nT_e = mT_s \quad (3)$$

La figura 4 representa la forma de onda de la tensión de salida correspondiente al caso de la figura 3, al ser  $T_e = 2T_s$ , resulta:  $n=1$ ,  $m=2$ . Con línea de puntos se indica la tensión de referencia. El troceo ha sido simétrico, es decir, el pulso centrado en todos los intervalos de frecuencia  $f_t = 1'5\text{kHz}$ .



**Figura 3:** Tensiones de referencia de entrada y de salida

El método de conversión expuesto es adaptable para una salida continua, tomando como tensión de referencia un valor constante  $V_s$  ( $|V_s| \leq \frac{1}{2} V_e$ ) y teniendo en cuenta que  $n=1$ .



**Figura 4:** Tensión de salida del cicloconvertidor

## 5. Conclusiones.

Con el fin de obtener una fuente de alimentación trifásica de frecuencia variable, se ha desarrollado una estrategia de troceo basada en la modulación del ancho del pulso (PWM) sobre un sistema trifásico de entrada para obtener directamente de él tensiones alternas (o continuas) de salida. Para ello la relación  $f_s/f_t$  ha de ser lo suficientemente pequeña, con el fin de lograr una buena aproximación y una baja distorsión en las tensiones obtenidas.

Gracias a que la transformación se realiza en una sola etapa, es posible obtener un amplio rango de frecuencias de salida para una frecuencia de entrada determinada, mejorando, al mismo tiempo, el rendimiento del dispositivo al reducir el número de etapas de potencia.

Este tipo de fuente de alimentación regulable en frecuencia y en amplitud (hasta  $\frac{1}{2} V_e$ ), resulta especialmente adecuado para su empleo en el estudio y la práctica de la electrónica de potencia, el control de velocidad de motores (modificación de  $f_s$  y  $V_s$ ), la compensación de energía reactiva (mediante el control de  $\varphi_s$ ), etcétera.

## 6. Referencias.

- [1] P. D. Ziogas, S. I. Khan and M. H. Rashid. *Analysis and Design of Forced Commutated Cycloconverter Structures with Improved Transfer Characteristics*. IEEE Trans. Ind. Electron., vol, IE-33, N° 3, 271-280 (1986).
- [2] M. B. Boost and P. D. Ziogas. *State of the art PWM Techniques: A Critical Evaluation*. IEEE Conf. Rec.Power Elec. Spec. Conf., 425-433 (1986).
- [3] B. K. Bose and H. A. Sutherland. *A high-performance pulsewidth Modulator for an Inverter-fed Drive System Using a Microcomputer*. IEEE Trans. Ind. Appl. ,vol. IA-19. N° 2, 235-243 (1983).