



# “Filtro c” para la fuente de alimentación de un inversor trifásico. Una curiosidad técnica

Alberto N. Basanta

Recibido: Septiembre del 2008

Aprobado: Diciembre del 2008

## Resumen/ Abstract

Se presenta el análisis para encontrar, a partir de algunas restricciones y criterios técnicos-prácticos, una expresión matemática útil y también, muy fácil de recordar, que permite calcular el “Filtro C” para el caso del Rectificador Monofásico Onda Completa, tipo Puente, que garantice la Tensión Media de Directa a la entrada del Inversor Trifásico, en versiones de Variadores de Velocidad para motores de pequeña potencia, aunque también dicha expresión podría usarse en otras aplicaciones en la que se permita un rizado del 10%. A partir de esa expresión de cálculo se deriva otra más general que puede ser utilizada en cualquier otra aplicación en la que también se permita un rizado del 10% de la Tensión Media de Directa. Palabras claves: fuente de CD para inversor. Rectificador monofásico tipo puente con Filtro C

*In this document you will find a useful and easy to remember mathematical expression that will help you to calculate the capacitance value needed in the single-phase, full-wave, bridge rectifier to be used as a power supply for a three-phase inverter in a low power variable frequency motor drive application. Also this expression could be used in any other application where a 10% ripple in the power supply voltage signal is permitted.*

*Key words: power supply of CD to Inverter. Single-phase bridge full-wave rectifier whit capacitor filter*

## INTRODUCCIÓN

Los variadores de velocidad para motores trifásicos asincrónicos, que se comercializan, permiten el control de la frecuencia ( $f_s$ ) (y la tensión ( $U_s$ ), ambas referidas a su componente fundamental) y con ella la velocidad del eje, ( $n$ ), de estos motores. Lo anterior se logra en el Bloque Convertidor de Salida, a partir de una Tensión Media de Directa “constante”,

( $U_d$ ), y un adecuado Algoritmo de Control del Inversor. Estos variadores se basan en una topología de esquema de fuerza como la que se esboza en la figura 1.

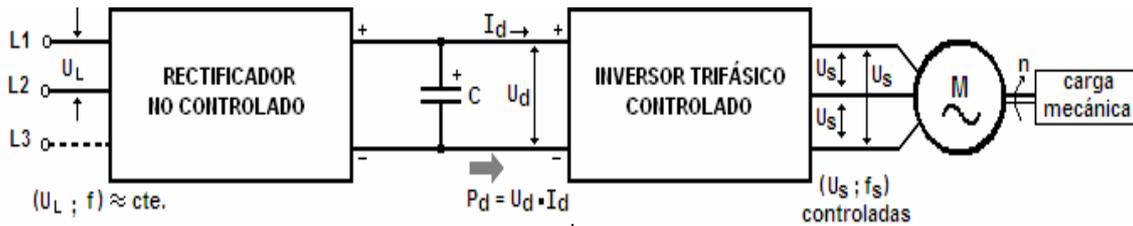


Fig. 1. Topología básica de un variador de velocidad estático.

El Bloque Convertidor de Entrada es generalmente un Rectificador Trifásico no Controlado Onda Completa Tipo Puente (6 diodos), con "Filtro C" a su salida, pero es muy común, cuando el variador es para motores de pequeña potencia, que este Convertidor pueda ser alimentado monofásicamente aplicándosele la Tensión Eficaz de diseño, ( $U_L$ ), entre los terminales L1 y L2 como se indica en la Fig. 1, de esta manera dos de los diodos del rectificador, quedan sin uso. Otras veces se comercializan versiones que solamente pueden alimentarse monofásicamente.

En cualquier caso es necesario el uso de un "Filtro C" (o condensador en paralelo con la salida del Bloque Convertidor de Entrada), que garantice, no solo un adecuado valor de la Tensión Media de Directa, ( $U_d$ ), y su variación máxima, o sea  $\Delta U$  del rizado; sino para permitir el imprescindible intercambio de potencia reactiva con el motor.

Cuando el variador es para motores de pequeña potencia se encuentran versiones que pueden ser alimentadas monofásicamente desde una red eléctrica de  $U_L = 220 \text{ V}/60 \text{ Hz}$ , y en estos valores, en lo fundamental, se basará el estudio que aquí se presenta.

Si adicionalmente se establece como CRITERIO DE DISEÑO "FIJO", para todos los análisis que aquí se

presentan, que el Bloque Convertidor de Entrada sea Monofásico Onda

Completa tipo Puente (y lógicamente con "Filtro C") y entregue a su salida un valor de tensión media de directa, ( $U_d$ ), que coincida en magnitud, con la del Rectificador Trifásico Onda Completa (sin "Filtro C"), entonces, como es conocido<sup>1</sup>:

$$U_d = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_L \quad (1)$$

Como se observa, en (1) no se ha considerado la caída de tensión en los diodos del rectificador por ser esta pequeña frente al valor de la tensión  $U_d$ , pues en estas aplicaciones esta última la supera en 100 veces o más, cuando la tensión  $U_L$  es 220 V o mayor.

Cuando se sustituye  $U_L = 220 \text{ V}$  en (1) entonces

$$U_d = 297,1 \text{ V}$$

Si además se acepta la simplificación y aproximación de que la tensión en los terminales de C tenga una variación o rizado, ( $\Delta U$ ), que pueda calcularse según (2).

$$\Delta U = 2 \cdot (U_{\text{pico}} - U_d) \quad (2)$$

y si se sustituye en (2) el valor de  $U_{\text{pico}}$  (ver figura 2), en función de su Valor Eficaz y también a (1), entonces se obtiene (2')

$$\Delta U = 2 \cdot \left( \sqrt{2} U_L - \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_L \right) \quad (2')$$

Tal simplificación, como se sabe, se sustenta en un "Criterio de diseño Técnico-Práctico" muy conocido<sup>2</sup>, que se basa en aceptar la aproximación de que el condensador, ("Filtro C"), se

carga instantáneamente y se descarga

a corriente constante,  $I_d$ , durante la mitad del período de la tensión de entrada del Rectificador; esto último por ser monofásico onda completa. Esta aproximación de la realidad, aporta un valor de C, conservador.

Al estudiar la figura 2 puede comprenderse mejor los criterios de diseño anteriormente comentados.

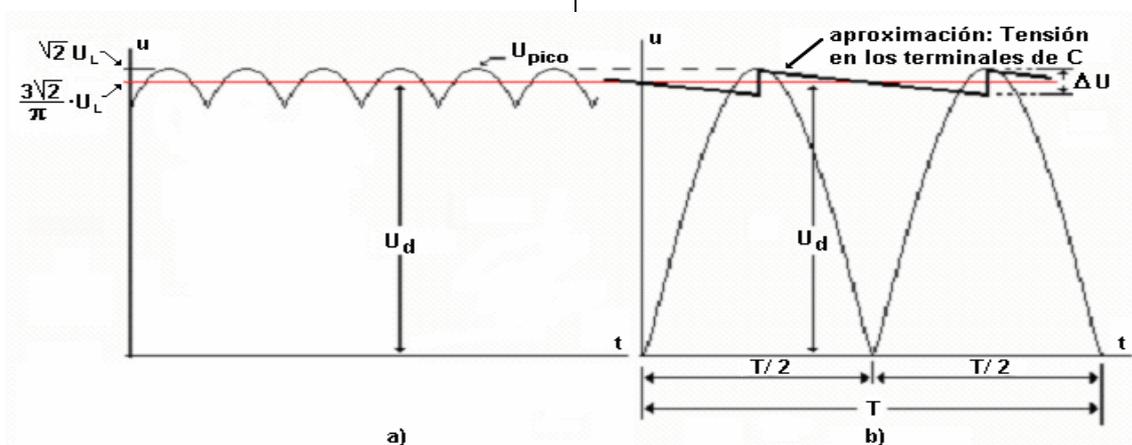


Fig. 2 a) Pulsaciones de la tensión y su valor medio,  $U_d$ , a la salida de un Rectificador Trifásico Onda Completa. En el eje "y", se brindan las expresiones matemáticas de dos valores de interés,

$$U_{\text{pico}} \text{ y } U_d.$$

b) Se aprecia que la tensión,  $U_d$ , para el caso del Rectificador Trifásico Onda Completa sin "Filtro C", puede ser lograda en el Monofásico Onda Completa Tipo Puente, con un adecuado valor de C y garantizando un valor de  $\Delta U$ .

Considerando las restricciones y criterios declarados, se puede calcular el condensador, C, como:

$$C = \frac{I_d \cdot \Delta T}{\Delta U} \quad (3)$$

En este caso:

$\Delta T = T/2$  y como  $T = 1/f$  (siendo f la tensión de la red), entonces

$$C = \frac{I_d}{2 \cdot f \cdot \Delta U} \quad (4)$$

Si ahora se sustituye a (2<sup>1</sup>) en (4)

$$C = \frac{I_d}{4 \cdot \sqrt{2} \cdot \left(1 - \frac{3}{\pi}\right) \cdot U_L \cdot f} \quad (5)$$

Y de sustituir en (5)  $U_L = 220$  V y  $f = 60$  Hz, se obtiene

$$C = (2,971393927 \cdot 10^{-4}) \cdot I_d \quad ; \quad F$$

Si se quisiera el resultado en  $\mu F$ , entonces

$$C = (297,1393927 \cdot 10^{-6}) \cdot I_d \quad ; \quad F$$

$$C = (297,14) \cdot I_d \quad ; \quad \mu F \quad (6)$$

¡ATENCIÓN!, a continuación se revela una CURIOSIDAD TÉCNICA:

... Al observar en (6) al coeficiente 297,14, se evidencia que el mismo es prácticamente coincidente con el valor numérico de  $U_d = 297,1$  V, que resultó de sustituir  $U_L = 220$  V en (1), entonces puede aceptarse que

$$C \approx U_d \cdot I_d \quad ; \quad \mu F$$

$$C \approx P_d \quad ; \quad \mu F \quad (7)$$

Y "UN RECURSO NEMOTÉCNICO" se deriva de (7), pues:...Si se toma como restricciones:

a) al CRITERIO DE DISEÑO "FIJO" antes declarado y formulado en (1).

b) a la aproximación aceptada para el proceso de carga y descarga de  $C$ , para el cálculo del  $\Delta U$ , según (2<sup>1</sup>).

c) y que la tensión de la red de alimentación y frecuencia sean  $U_L = 220$  V y 60 Hz.

Entonces, "EL RECURSO" es:  
"El valor de la capacidad, en  $\mu F$ , del "Filtro  $C$ ", coincidirá prácticamente con el valor numérico de la mayor

Potencia de Directa,  $P_d$ , expresada o calculada en Watt (para la mayor  $I_d$  esperada)".

Si fuese necesaria una expresión de cálculo más general para la selección de  $C$ , que permita trabajar con otros valores de tensión ( $U_L$ ) y de frecuencia ( $f$ ), pero manteniendo lo formulado en (2<sup>1</sup>) y (3), entonces, a partir de la modificación de (6) como se presenta a continuación:

$$C = 297,14 \frac{(220) \cdot (60)}{U_L \cdot f} \cdot I_d \quad ; \quad \mu F$$

podrá ser utilizada (8)

$$C = 3922248 \cdot \frac{I_d}{U_L \cdot f} \quad ; \quad \mu F \quad (8)$$

A continuación se analizan dos situaciones para las cuales se calculará el valor del "Filtro  $C$ " teniendo en cuenta las expresiones matemáticas aquí tratadas.

**"SITUACIÓN A":  $U_L = 220$  V ;  $F = 60$  HZ ;  $I_d = 10$  A**

Utilizando (6);  $C = 2971,4$   $\mu F$

Utilizando (7);  $C \approx 2971,1$   $\mu F$

Quedando demostrada la utilidad de (7). Atendiendo al resultado anterior, se pudiesen seleccionar, por ejemplo, a dos unidades de 1500  $\mu F$  que se interconectarían en paralelo, para lograr uno equivalente de 3000  $\mu F$ . La tensión de los mismos pudiese estar en el orden de  $2U_L$ .

**"Situación B":  $U_L = 440$  V ;  $f = 60$  Hz ;  $I_d = 5$  A**

Utilizando (8);  $C = 742,85$   $\mu F$

Al igual que en la "Situación A", aquí se seleccionaría el estándar o combinación de ellos más adecuada.

En la “**Situación B**”, la **C** calculada es de 4 veces menor capacidad con respecto a la calculada en la “**Situación A**”, pero si se observa, en la “**B**”, respecto a la “**A**”;  $U_L$  es el doble (y lo mismo ocurrirá con  $U_d$  según (1)) mientras que  $I_d$  es la mitad. Es muy importante advertir que en ambas Situaciones la  $P_d$  y la frecuencia (**f**), se han mantenido constantes.

## CONCLUSIONES

Se debe indicar que si después de escoger el valor de la **C** que realmente será físicamente conectada, es de interés conocer el valor real,  $C_{real}$ , (aceptando la aproximación ya declarada) del rizado,  $\Delta U_{real}$ , entonces se hará uso de (4), presentada ahora como la (9).

$$\Delta U_{real} = \frac{I_d}{2 \cdot f \cdot C_{real}} \cdot 10^6 ; V \quad (9)$$

En donde se sustituirá la  $I_d$  en Ampere y **f** en Hz,  $C_{real}$  en  $\mu F$ .

Lógicamente, la tensión media de salida real,  $U_{dreal}$ , también podrá ser calculada usando a (10). Esta última se obtiene a partir de despejar su valor en (2), o sea:

$$U_d = U_{pico} - \frac{\Delta U}{2} ; V$$

sustituyendo en ella el valor de  $U_{pico}$ , en función de su Valor Eficaz y también el valor del  $\Delta U_{real}$  obtenido a partir de (9).

$$U_{dreal} = \sqrt{2}U_L - \frac{\Delta U_{real}}{2} ; V \quad (10)$$

Es importante saber que con los valores de **C** calculados con las expresiones (6), (7) y (8), se logran

rizados, o  $\Delta U$ , en los terminales del “Filtro **C**”, algo menores al 10% del valor de la Tensión Media de Directa, ( $U_d$ ),

La CURISIDAD TÉCNICA convertida en “RECURSO NEMOTÉCNICO”, o sea: “El valor de la Capacidad del “Filtro **C**” en  $\mu F \approx$  al valor de  $P_d$  en Watt, para el caso de 220 V/60 Hz” y lo formulado en (2) y (3); resulta de sumo interés, y además a partir de ella pueden arribarse a otras conclusiones, como por ejemplo la demostrada aquí entre las Situaciones “A” y “B”.

## REFERENCIAS

[1] S.B. Dewan; G.R. Slemon y A. Straughen: “Power Semiconductor Drives”. Cap. 4/Pag. 101. Edición Revolucionaria, Cuba, 1990.

[2] Millman, Jacob: “Micoelectronics. Digital and Analog Circuits and Systems”. Cap. 10/Pag. 353. Edición Revolucionaria, Cuba, 1985.

## AUTOR

Alberto Nilo Basanta Otero  
Ingeniero Electricista, Master en Ingeniería Eléctrica, Categoría Docente Asistente, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” (ISPJAE), Ciudad de La Habana, Cuba.

e-mail: alberto@electrica.cujae.edu.cu