

ANÁLISIS DE UN RECTIFICADOR TRIFÁSICO DE ONDA COMPLETA

PAPER de Electrónica de Potencia 2017

Belbruno Gustavo. Estudiante de Ingeniería Electrónica. Legajo:57658
Facultad Regional Cordoba, Universidad Tecnológica Nacional.
gustavobelbruno@gmail.com

Abstract—En el presente paper se describirá el funcionamiento de un Rectificador Trifásico de Onda Completa. Apreciado en la materia, se analizará mediante simulaciones los voltajes y corrientes correspondientes a cada caso y dependiendo si la carga sea resistiva pura o con una componente inductiva. Por último se hará un análisis del contenido espectral en la señal de salida del mismo.

I. INTRODUCCIÓN

Un rectificador es un dispositivo básico de electricidad y electrónica que hace la conversión Voltaje Alterno a Voltaje Continuo. Se utilizan los rectificadores trifásicos principalmente porque podemos obtener de ellos mucha más potencia y más rendimiento que de un rectificador monofásico, otra ventaja de los rectificadores trifásicos es que el ripple y las componentes armónicas son mucho menos notorias que en el monofásico, a expensas de mayor pérdida de conmutación.

II. DESARROLLO

El diseño utilizado será uno que fue presentado en la materia y los dispositivos usados son Diodos Regulares de potencia media-alta, ya que no se necesita una velocidad de respuesta rápida de los diodos porque la frecuencia de la alimentación es baja (60 Hz).

Podemos hacer análisis de 2 circuitos:

- Con Carga Resistiva Pura

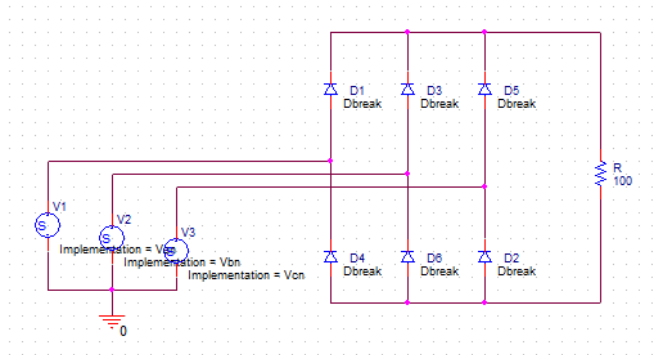


Fig. 1. Circuito con Carga Puramente Resistiva

- Con Carga Inductiva

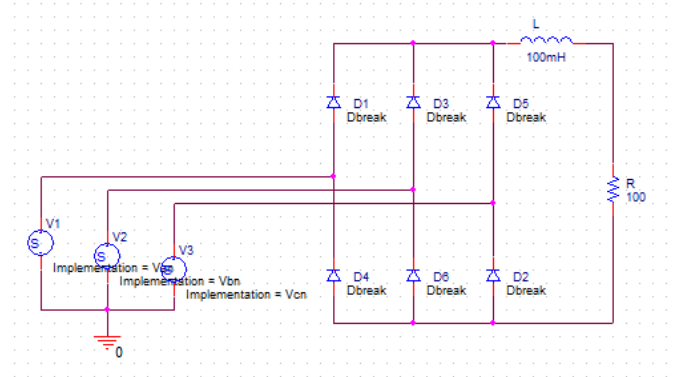


Fig. 2. Circuito con Carga Inductiva

Se utilizó el software *ORCAD PSpice* para generar las simulaciones y analizar los resultados.

III. ANÁLISIS DE PD3 CON CARGA RESISTIVA PURA

La tensión media de salida es:

$$V_{AV} = \frac{1}{\pi/3} \int_{\pi/6}^{-\pi/6} V_{maxL-L} \cos(wt) d(wt) \quad (1)$$

$$V_{AV} = \frac{3}{\pi} V_{maxL-L} = 0,955 V_{maxL-L} \quad (2)$$

La tensión eficaz de la carga es:

$$V_{rms} = \left[\frac{1}{\pi/3} \int_{\pi/6}^{-\pi/6} V_{maxL-L}^2 \cos^2(wt) d(wt) \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$V_{rms} = \left(\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \right)^{1/2} V_{maxL-L} = 0,95577 V_{maxL-L} \quad (4)$$

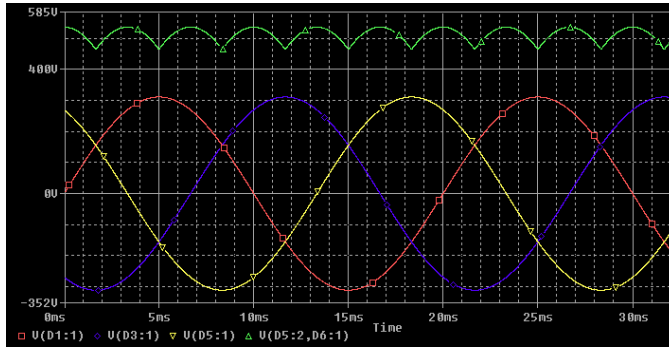


Fig. 3. Tensiones de Alimentación trifásicas y tensión obtenida en R_L

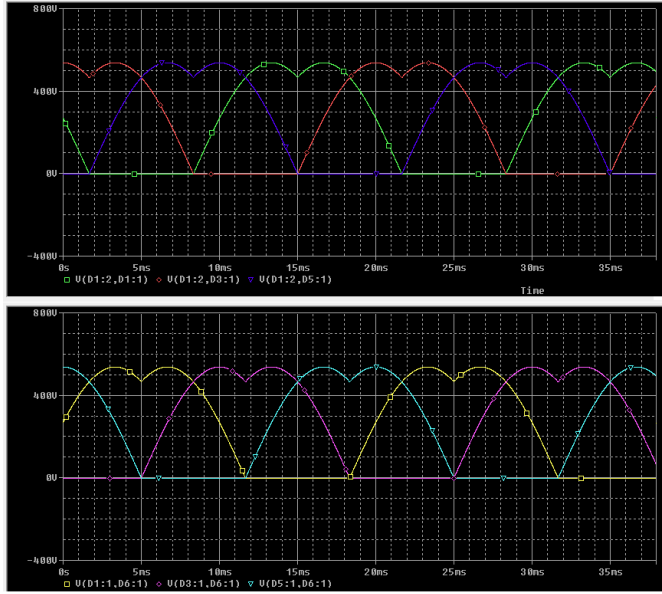


Fig. 4. Tensiones de caída de los diodos

Las corrientes en los diodos son:

$$I_{DAV} = \frac{I_{outAV}}{3} \quad (5)$$

$$I_{D_{rms}} = \frac{I_{out_{rms}}}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

$$I_{in_{rms}} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_{out_{rms}} \quad (7)$$

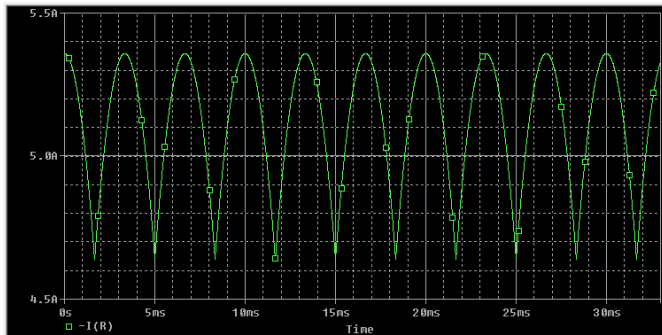


Fig. 5. Corriente medida en R_L

La tensión periódica de salida está definida como $v_{out}(wt) = V_{maxL-L} \sin(wt)$ para $\pi/3 \leq wt \leq 2\pi/3$, con período $\pi/3$, con el fin de determinar los coeficientes de la serie de Fourier.

$$v_{out}(wt) = V_{AV} + \sum V_n \cos(nwt + \pi) \quad (8)$$

ya que:

- La pulsación fundamental es $6w$.
- La simetría de una señal par indica que no hay términos senoidales, por lo que: $b_n = 0$

Las amplitudes de los términos de alterna son:

$$V_n = \frac{6V_{maxL-L}}{\pi(n^2 - 1)} \quad n = 6, 12, 18, \dots$$

Como la tensión de salida es periódica, con un período de $1/6$ respecto a a tensión del generador de alterna, los armónicos a la salida son de orden $6k$, siendo $k = 1, 2, 3, \dots$ una gran ventaja de este convertidor respecto al trifásico de media onda es que tiene los armónicos de mayor frecuencia y más baja amplitud que permiten que el filtro sea mas eficiente.

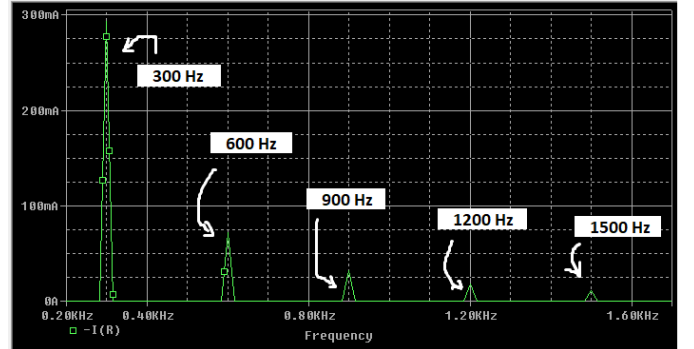


Fig. 6. Componentes armónicas de la I_{RL}

La potencia aparente del generador trifásico es:

$$S = \sqrt{3} V_{L-L,rms} I_{in,rms} \quad (9)$$

La tensión inversa máxima en cada diodo es la tensión de línea a línea máxima, o si se relaciona con la tensión máxima de una fase respecto al neutro:

$$V_{D_{R-max}} = \sqrt{3} V_{max} \quad (10)$$

IV. ANÁLISIS DE PD3 CON CARGA INDUCTIVA

Se pone en serie con R_L un inductor L de $100mH$ que en conjunto simula una carga real como puede ser por ejemplo un motor. Algunas de las fórmulas obtenidas son las mismas que las obtenidas en el cálculo de carga puramente resistiva. Al igual que las respuestas en las mediciones de Voltaje tanto de R_L como de los Diodos. Se encuentran diferencias en las corrientes ya que la inductancia presente en R_L produce un desfase.

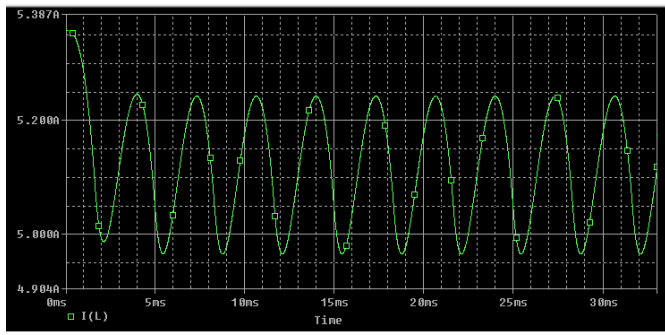


Fig. 7. Corriente medida en R_L

En casos de carga altamente inductiva en serie, la corriente de salida es esencialmente continua, y la corriente de entrada tiene la forma se muestra en la fig anterior. La serie de Fourier de las corrientes de entrada en cada fase es:

$$i_1(t) = \frac{\sqrt{3}}{\pi} I_{out} (\cos w_0 t - \frac{1}{5} \cos 5 w_0 t + \frac{1}{7} \cos 7 w_0 t - \dots \\ \frac{1}{11} \cos 11 w_0 t + \frac{1}{13} \cos 13 w_0 t - \dots)$$

Los armónicos de la corriente de fase de entrada están formados por los términos del sistema de alterna a la frecuencia fundamental w_0 y por los armónicos de orden $6K \pm 1$, $k = 1, 2, 3 \dots$

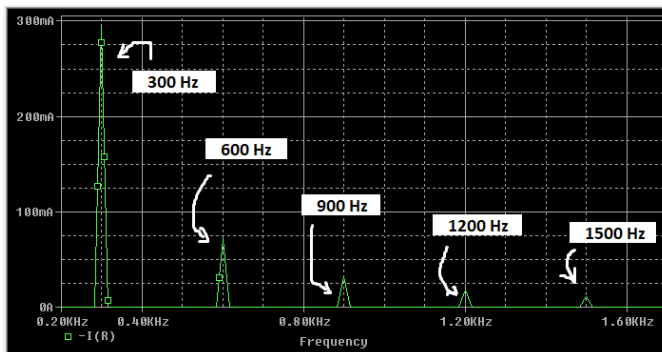


Fig. 8. Componentes armónicas de la I_{RL}

Como estas corrientes armónicas podrían presentar problemas en el sistema de alterna, suele ser necesario utilizar filtros para impedir que entren a la red. Los armónicos más importantes (debido a que son bajos y de gran amplitud) son el 5to y el 7mo, por lo que en estas dos frecuencias se utilizan filtros resonantes para eliminarlos, y para el 11vo armónico en adelante se usa un filtro pasa alto.

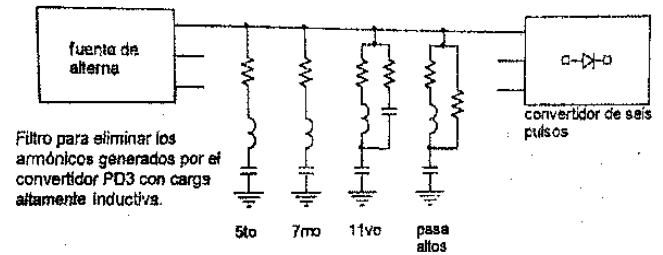


Fig. 9. Filtro usado para eliminar armónicos

V. CONCLUSIÓN

En el presente paper se presentó la forma mas simple de Rectificación Trifásica de Onda Completa, existen otros, pero por su simplicidad y eficacia suele ser uno de los mas usados. Podemos apreciar claramente la diferencia de la respuesta en la corriente que pasa por R_L cuando ésta es Puramente Resistiva y Con una componente inductiva (como suele ser en las aplicaciones de la vida real). Aunque estas diferencias son notables, no afectarán en gran medida el funcionamiento de la carga que se coloque. Lo que si puede afectar en ciertos dispositivos son las componentes armónicas que presentan los voltajes e intensidades de corriente de salida, (aunque vale decir que son de mucha menor magnitud que los obtenidos en los rectificadores monofásicos), si se necesita alimentar un dispositivo que requiera una exigencia máxima de calidad de señal continua pueden aplicarse diversos filtros. Para finalizar, se llegó a la conclusión de que este rectificador es una excelente opción para operaciones industriales de alta potencia que requieran un nivel de continua fijo ya que se aprovecha casi toda la potencia que la alimentación trifásica puede ofrecer y las pérdidas son mínimas (caída de los diodos y las pérdidas de transformador en caso de usarse).

APPENDIX

REFERENCES

- [1] Electrónica de Potencia, Parte I – Ramón Ceferino Oros
- [2] OrCAD PSpice – Programa Computacional de Simulación de Circuitos Electrónicos.
- [3] Bliibliografía variada obtenida de Internet.