

MODELO SIMPLIFICADO DE CONVERTIDORES DE FRECUENCIA PARA ESTUDIOS DE CONTAMINACIÓN ARMÓNICA EN PLANTAS INDUSTRIALES MEDIANTE EMTP.

Tomás Pagá
Universidad Simón Bolívar
Caracas Venezuela
tpaga@usb.ve

Antonio Ginart
Universidad Simón Bolívar
Caracas Venezuela
aginat@usb.ve

Resumen

Se presenta un modelo simplificado de convertidores de frecuencia para ser implementado en ATP, basado en la agrupación de varios conjuntos convertidor-motor en puntos específicos del sistema. Cada grupo es modelado como un puente rectificador no controlado con su circuito LC de filtrado y una carga resistiva.

Se presenta una metodología para determinar los parámetros del modelo del convertidor equivalente en función de la carga conectada y en función de la distribución porcentual de cargas contaminantes y no contaminantes conectadas.

Los resultados de una simulación efectuada con el modelo propuesto son comparados con mediciones efectuadas en terreno.

Abstract

A simplified model of frequency converters for ATP simulations is presented. The simplified model is based on the agrupation of several converters at specific locations of the electrical system. Each group of converters is model as a diode rectifier bridge with the dc filter circuit and a pure resistive load.

A methodology for parameters estimation of the equivalent converter, obtained from total load connected and the porcentual distribution of harmonic and linear loads, is presented.

Correspondencia a:

* Tomás Pagá. Universidad Simón Bolívar, Depto. de Conversión y Transporte de Energía, Valle de Sartenejas, Caracas, Venezuela.

* Antonio Ginart. Universidad Simón Bolívar, Núcleo del Litoral, Depto. de Tecnología Industrial, Camuri Grande, Venezuela.

The simulation results are compared with oscilographic registers obtained at an industrial plant.

Introducción

Durante las etapas de diseño del sistema de distribución eléctrica de una planta industrial en la cual se utilizarán convertidores basados en sistemas de electrónica de potencia, resulta importante predecir la magnitud de la circulación de corrientes armónicas para así diseñar los circuitos de distribución (así como la posible colocación de filtros) tomando en cuenta la distorsión armónica en las tensiones producida por dichas corrientes.

En un sistema industrial que ya se encuentra en operación es de gran utilidad la modelación de los circuitos que producen contaminación armónica para determinar los patrones de circulación de las corrientes armónicas, para el diseño de filtros así como para estudiar los efectos que tendrá sobre el sistema la instalación de nuevas cargas contaminantes.

El inconveniente principal en la modelación de convertidores de frecuencia para estudiar sus efectos contaminantes en un sistema eléctrico, estriba en la complejidad circuital debida al gran número de dispositivos que es necesario introducir en el modelo. La inclusión de todos los dispositivos de cada convertidor conlleva un grado tal de complejidad que resulta en tiempos de procesamiento extremadamente largos y cantidades imprácticas de memoria, en sistemas industriales medianamente grandes puede resultar imposible efectuar el estudio.

Descripción del Modelo

El modelo propuesto (fig.1) consiste en un rectificador no controlado con su circuito LC de filtrado y una carga resistiva. Adicionalmente las cargas lineales ($R_L + j\omega L_L$) conectadas en el punto escogido son modeladas como impedancias constantes cuya magnitud

y factor de potencia coincide con el de las cargas reales conectadas.

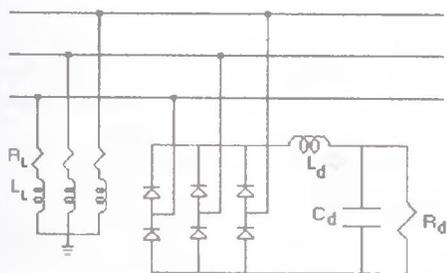


Figura 1.
Modelo de carga mixta.

El circuito anterior modela la totalidad de la carga conectada en una barra específica del sistema, donde la carga de impedancia lineal corresponde a la fracción de la carga correspondiente a todos los equipos que no generan corrientes armónicas y el circuito rectificador-filtro-resistencia corresponde a la fracción de la carga constituida por todos los convertidores de frecuencia conectados en ese punto, pueden incluirse en este circuito todos aquellos equipos que funcionen en base a rectificadores no controlados como son; equipos para alimentación en corriente continua, UPS, etc.

La agrupación de todos los convertidores en un solo modelo equivalente, cuando están conectados a un mismo punto de alimentación, se justifica ya que por estar operando con la misma tensión de alimentación todas las componentes armónicas de sus corrientes se encuentran aproximadamente en fase.

Determinación de los Parámetros del Convertidor equivalente

Para determinar los parámetros del circuito equivalente es necesario conocer las siguientes variables:

- Carga total conectada a la barra.
- Relación porcentual entre carga lineal y carga contaminante.
- Características de diseño de los convertidores.

A partir de los datos anteriores puede determinarse la potencia activa total que es manejada por los convertidores (P_c) y en base a este valor y mediante la relación (1) se determina el valor de la resistencia R_d .

$$R_d = \frac{V_d^2}{P_c} = \frac{(1.35V_{LL})^2}{P_c} \quad (1)$$

En un convertidor cuya etapa de entrada está constituida por un rectificador no controlado, el espectro armónico de las corrientes de entrada está, en gran medida, determinado por los valores de los elementos del circuito LC de filtrado. La inductancia del circuito de filtrado usualmente se diseña para que el factor de potencia al cual opere el convertidor sea lo más alto posible.

El condensador de filtrado se diseña dependiendo de la estrategia de conmutación del puente inversor.

En base a las dos restricciones anteriores es posible determinar los valores aproximados de los parámetros del filtro.

Cálculo de la Inductancia L_d

El valor de la inductancia L_d es determinante en el factor de potencia de entrada al convertidor (fig. 2) [1] y en el valor promedio de la tensión de (fig. 3) [1].

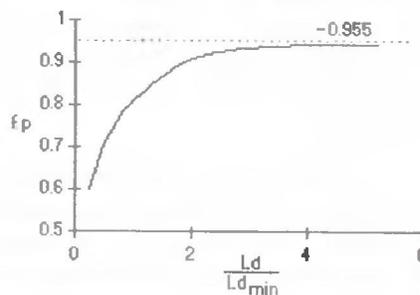


Figura 2.

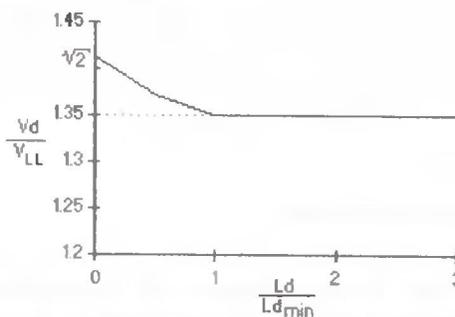


Figura 3.

Como se observa de la figura 2 para obtener un factor de potencia aceptable es necesario que la inductancia del circuito de filtrado sea entre 3 y 4 veces el valor de $L_{d_{\min}}$.

$$L_{d_{\min}} = \frac{0.013 \cdot V_{LL}}{\omega \cdot I_d} \quad (2)$$

$L_{d_{\min}}$ es el valor mínimo de inductancia necesario para lograr un patrón de conducción continuo para la corriente suplida por el puente rectificador [1].

Con el valor de inductancia así determinado se obtiene un voltaje de promedio de 1.35 veces la tensión de alimentación.

Cálculo de la capacitancia Cd.

El valor de la capacitancia de filtrado en un convertidor está relacionado con el factor de potencia de la carga que alimenta el inversor y con la estrategia de conmutación de este. El cálculo exacto de la capacitancia para el convertidor equivalente resulta sumamente complicado por lo que se hace necesario efectuar ciertas aproximaciones.

El efecto global de los capacitores de filtrado del conjunto de convertidores es aproximadamente igual al de un convertidor equivalente cuya capacitancia sea igual al paralelo de todos los condensadores de filtrado de todos los convertidores.

El valor de diseño de la capacitancia de filtrado se incrementa en forma aproximadamente lineal con la potencia nominal del convertidor, de manera que conociendo el valor de diseño de la capacitancia de un convertidor de una potencia nominal dada, es posible estimar el valor de la capacitancia del convertidor equivalente. De acuerdo a simulaciones efectuadas para diversos convertidores, la sensibilidad del patrón armónico de corrientes con respecto al valor de la capacitancia de filtrado es lo suficientemente baja como para que el cálculo aproximado de esta sea suficiente para obtener resultados satisfactorios.

Validación del Modelo

Los resultados obtenidos con el modelo simplificado de convertidores se compararon con mediciones efectuadas en el sistema eléctrico de la planta de procesamiento de bauxita BAUXIVEN de la Corporación Venezolana de Guayana.

El sistema eléctrico de la planta es esquematizado en la figura (4).

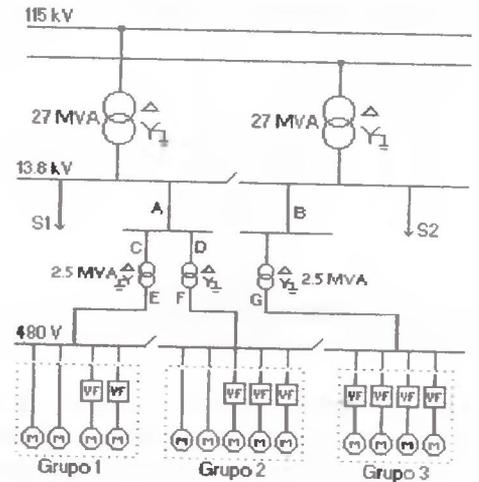


Figura 4.
Sistema eléctrico de la planta.

Para el momento de la medición la carga total de la planta era de 53 MVA de los cuales corresponden 2000 kVA al alimentador "A", 500 kVA al alimentador "B" y el resto a las cargas S1 y S2.

El sistema eléctrico de la figura 4 fue simulado en ATP. Los grupos cargas 1, 2 y 3 fueron modelados por separado con el circuito propuesto en la figura (1).

Algunos resultados de las simulaciones se presentan en las siguientes figuras.

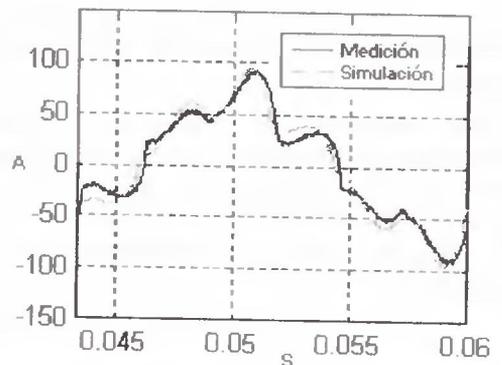


Figura 5.
Corriente de línea en el punto "A"

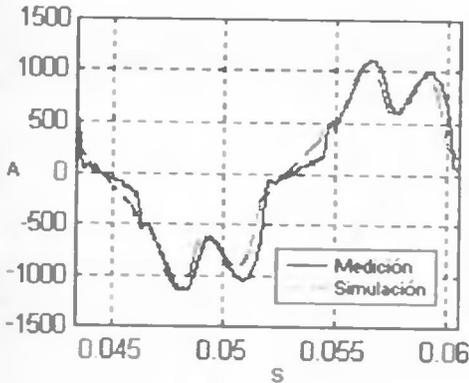


Figura 6.
Corriente de línea en el punto "E"

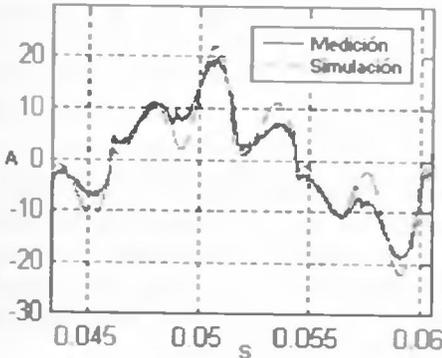


Figura 7.
Corriente de línea en el punto "B".

Biografía

TOMÁS PAGA

Profesor ayudante del Departamento de Conversión y Transporte de Energía de la Universidad Simón Bolívar. Ingeniero Electricista USB, 1994. Candidato a Magister en Ingeniería Eléctrica en la USB con el proyecto "Diseño y construcción de un sistema de control para motores sincrónicos de imán permanente mediante técnicas de electrónica de potencia". Participación en proyectos de asesoría a la industria en el área de contaminación armónica y máquinas eléctricas.

ANTONIO GINART

Profesor agregado de la Universidad Simón Bolívar (USB). Ingeniero Electricista USB, 1986. Magister en Ingeniería Eléctrica USB, 1991. Estudiante del programa de PhD en la Universidad Tecnológica de Tennessee, USA. Participación en proyectos de asesoría a la industria en el área de contaminación armónica y máquinas eléctricas.

Conclusiones

El modelo propuesto permite efectuar, en forma relativamente simple, simulaciones en ATP para determinar los patrones de circulación de corrientes armónicas en sistemas eléctricos en los cuales se utilizan convertidores basados en tecnología de electrónica de potencia.

Se recomienda un estudio más detallado de la metodología para determinar el valor de la capacitancia de filtrado del convertidor equivalente con la finalidad de obtener una técnica de estimación más general.

Referencias

- [1] MOHAN, UNDELAND, ROBINS. Power Electronics: Converters, Applications and Design. John Wiley & Sons, 1989