

**Diego Andrés Cisternas Herrera**

**Armónicas en Sistemas de Baja   
Tensión  
Trabajo N°3**

**Profesor Sr. Domingo Ruiz Caballero**

**Escuela de Ingeniería Eléctrica**

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo proyectar y simular un emulador resistivo (basado en el convertidor Boost) y un filtro activo de potencia (basado en inversor alimentado en tensión de 3 niveles). Los cuáles serán aplicados a solo una fase de los sistemas ya analizados en los trabajos 1 y 2, logrando obtener en el PCC factor de potencia unitario y distorsión armónica cercana a cero. Para ambos filtros activos se realizará el circuito de control de lazo de corriente.

Índice general

[Introducción 1](#_Toc512348988)

[Objetivo general **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc512348989)

[Objetivos específicos **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc512348990)

[1 Antecedente generales y propuestas **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc512348991)

[1.1 Descripción detallada del estudio **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc512348992)

[2 Marco Teórico **¡Error! Marcador no definido.**](#_Toc512348993)

[2.1 Variables eléctricas de estudio 10](#_Toc512348994)

[2.1.1 Armónicos 10](#_Toc512348995)

[2.1.2 Transitorios 11](#_Toc512348996)

[2.1.3 Componentes simétricas 12](#_Toc512348997)

[2.2 Conceptos relevantes del motor de inducción trifásico 13](#_Toc512348998)

[2.2.1 Conceptos básicos del motor y su funcionamiento 13](#_Toc512348999)

[2.2.2 Fallas más comunes en el motor de inducción 15](#_Toc512349000)

[2.2.3 Efecto de la presencia de armónicos en el motor de inducción 16](#_Toc512349001)

[2.3 Aspectos generales del Variador de Frecuencia (VdF) 16](#_Toc512349002)

[2.3.1 Componentes y funcionamiento de un VdF 16](#_Toc512349003)

[2.3.2 Ventajas del uso del VdF 17](#_Toc512349004)

[2.4 Registrador de Variables Eléctricas SAMTE 18](#_Toc512349005)

[2.5 Software Simulink de MATLAB 19](#_Toc512349006)

[Discusión y conclusiones 20](#_Toc512349007)

[Bibliografía 21](#_Toc512349008)

# Introducción

En la mayoría de los sistemas eléctricos alternos, si se visualizan las formas de onda de corriente

.

# Emulador Resistivo

El emulador resistivo basado en el convertidor Boost será aplicado a la ‘peor’ fase del Sistema 2 de la tarea 1 (sistema con carga tipo fuente de tensión). Por tanto para seleccionar la peor de ellas es que se presenta a continuación la Tabla 1-1 especificando el THDi, THDv y Factor de Potencia para cada una de las fases del sistema sin intervenir, obtenidas de PSIM.

Tabla 1-1: THD en el PCC de sistema 2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Fase A | Fase B | Fase C |
| THDi | 109% | 75.9% | 106% |
| THDv | 5.88% | 13.4% | 5.53% |
| FP | 0.667 | 0.749 | 0.677 |

En base a los resultados obtenidos de la Tabla 1-1 se puede observar que la **Fase A** es la que presenta mayor distorsión en la corriente y el peor factor de potencia, por tanto esta es seleccionada para proyectar el filtro activo.

Del enunciado del problema se tiene para proyectar el convertidor Boost lo siguiente:

La parte resistiva de la carga es fija y tiene valor de 25, la cual será aumentada a 250, con el fin de suministrar una potencia de valor más bajo, dada por:

## Cálculo de parámetros

Se elige proyectar el emulador resistivo para condición de **conducción continua**.

A continuación se da paso a calcular los parámetros del emulador resistivo y luego del circuito de control, para los cuales se utilizarán las ecuaciones de proyecto vistas en los apuntes del curso.

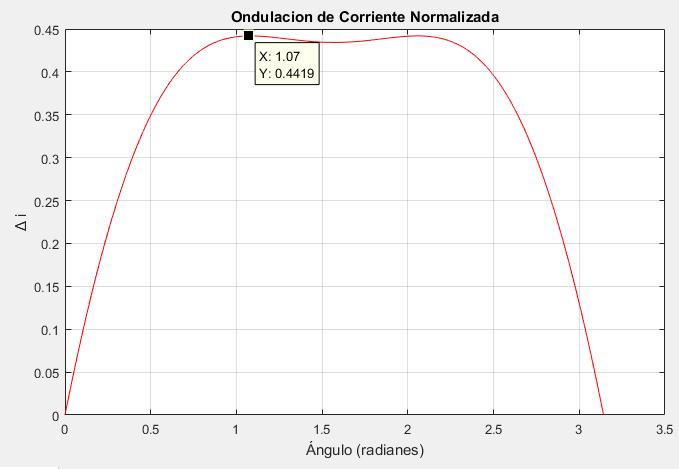
### Cálculo de parámetros convertidor Boost

Se tiene que el inductor Boost está dado por:

Primero se considera el máximo y se debe obtener para:

De los apuntes tenemos la ecuación de la cual se grafica en MATLAB para la razón de tensión indicada, obteniendo:

Figura 1-1: Ondulación de corriente normalizada



Observando el máximo podemos plantear la ondulación normalizada para el proyecto como:

Ahora es necesario encontrar para el cual se considerará una oscilación del 20% de la corriente peak que circulará por la inductancia Boost, el cálculo se presenta a continuación:

Entonces:

Ahora teniendo los datos, se calcula la inductancia del convertidor Boost:

Como la Fase presenta una capacitancia fija de 1.7, a partir de esta se calcula la ondulación de tensión para ver si está dentro de un valor aceptable:

La ondulación de tensión que se espera en la carga es muy baja, esto se debe a que el valor de capacitancia es muy alto. Por lo tanto con la propia capacitancia de la carga ya es suficiente para tener baja ondulación porcentual de 0.37%.

### Cálculo de parámetros del lazo de Control

Primero será necesario calcular las frecuencias angulares definidas como , las cuales serán utilizadas según el criterio descrito a continuación:

- se ubica a la mitad de la frecuencia del interruptor:

- se ubica una década bajo la frecuencia del interruptor:

- se ubica a 70% de :

Si se considera un valor de , obtenemos la capacitancia como:

Luego la capacitancia :

Continuando, ahora se calcula :

Se realizará la consideración que se sugiere en los apuntes de tomar .

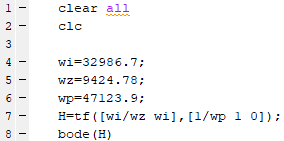
Además se usará una fuente de corriente sinusoidal de amplitud peak , frecuencia 50[Hz] y sin desfase, para ser rectificada y llegar a la entrada no inversora del amplificador operacional.

Luego se calcula :

### Diagrama de Bode del lazo de control

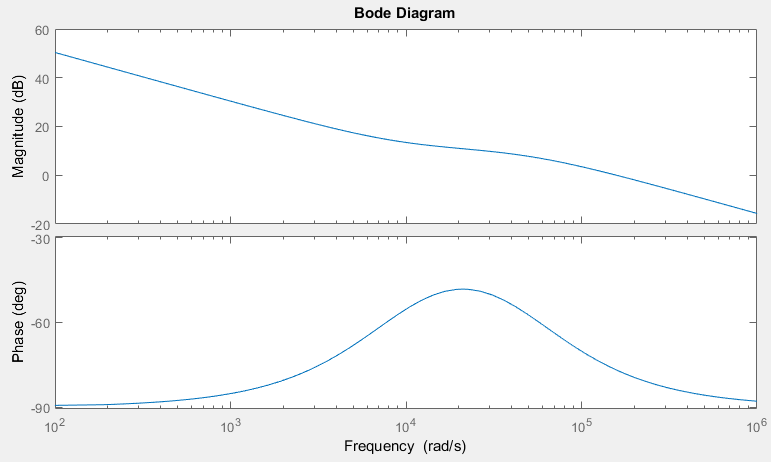
Una vez calculado todos los parámetros se hace uso de MATLAB para graficar el diagrama de Bode del lazo de control de corriente, para ello se escribe la función de transferencia como se muestra en el código:

Figura1-2: Código MATLAB para graficar función de transferencia.



Corriendo el código se obtiene el diagrama mostrado a continuación en la Figura 1-3:

Figura1-3: Diagrama de Bode del lazo de control

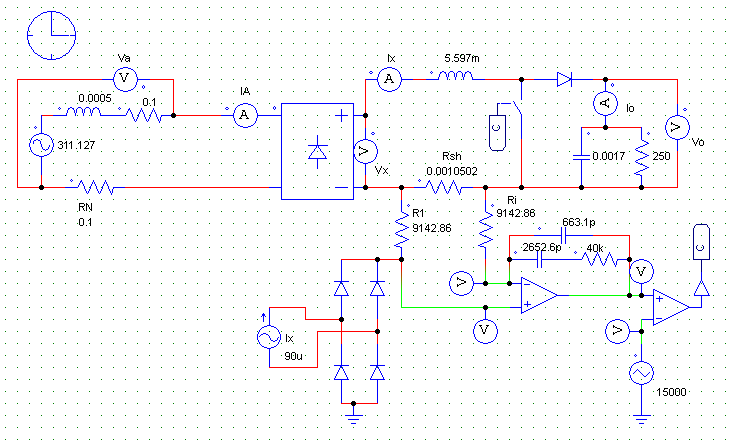


Del diagrama se puede observar a grueso modo la ubicación del polo y cero de la función de transferencia, ubicados cualitativamente en 1KHz y 100KHz.

## Formas de onda de Simulación

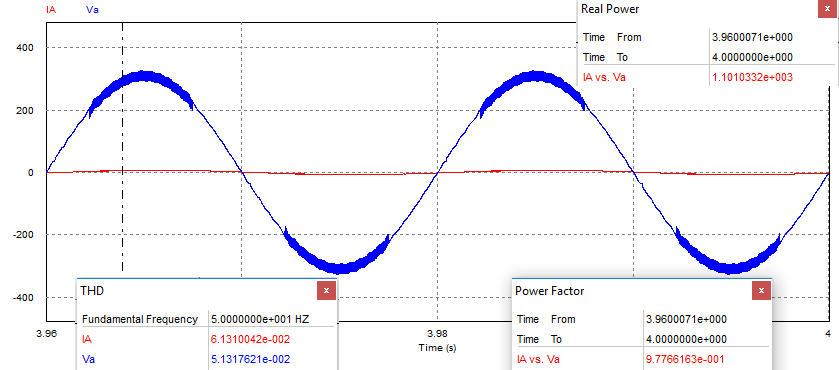
Primero se presenta el circuito en el software Simulink, del cual se obtendrán las formas de onda de tensión y corriente en el PCC (especificando THD y FP), además de la tensión a la Salida del convertidor Boost que conforma el Emulador Resistivo y por último las señales que llegan al comparador que entrega los pulsos de comando al interruptor.

Figura 1-4: Sistema con Emulador Resistivo y los parámetros proyectados en Simulink.



De la simulación se obtuvo las formas de onda en el PCC, como se muestran:

Figura 1-5: Formas de Onda PCC con THD y FP

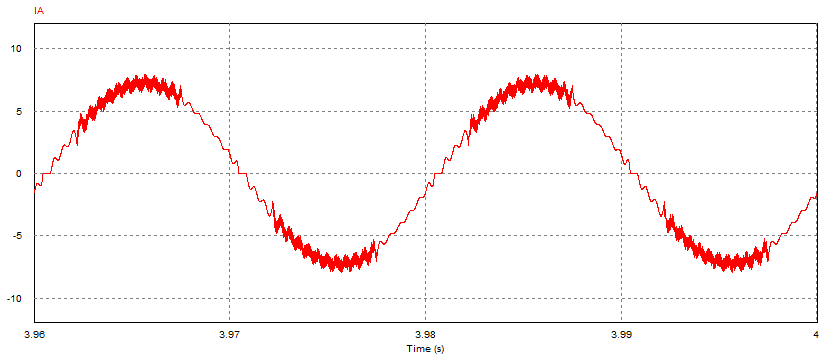


Para esta simulación se tuvo que adicionar un filtrado de baja frecuencia para lograr cumplir con el factor de potencia, tal como fue recomendado por el profesor. Como se puede observar de la imagen el Factor de potencia es muy cercano a unitario siendo 0.977. El THD de tensión es del 6.13% y se atribuye la distorsión a la circulación de corriente por la impedancia de la fuente. Y el THD de corriente es del 5.13%. Ambos valores de THD son bastante bajos.

Además en la Figura 1-5 se especifica la potencia activa en el PCC y corresponde a 1100W, la cual es 9.1% más baja a la esperada de 1210W, esto se atribuye a pérdidas del circuito y en el filtrado.

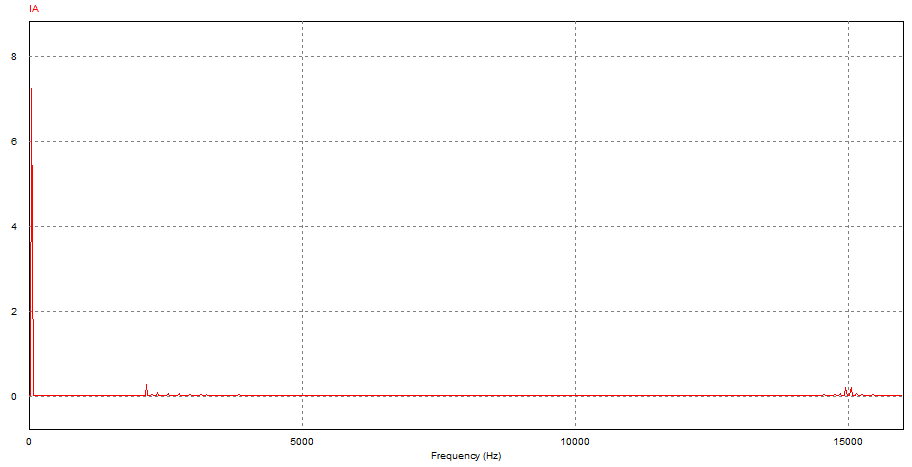
Ahora se presenta con más detalle la forma onda de la corriente en el PCC:

Figura 1-6: Forma de onda de corriente en el PCC.



En la Figura 1-6 se puede apreciar contenido armónico de alta frecuencia en la corriente, adicionalmente la forma de onda presenta una ‘mancha’ correspondiente a la señal triangular propia del control de corriente media. Se presenta a continuación el espectro de la corriente para observar el contenido armónico de esta:

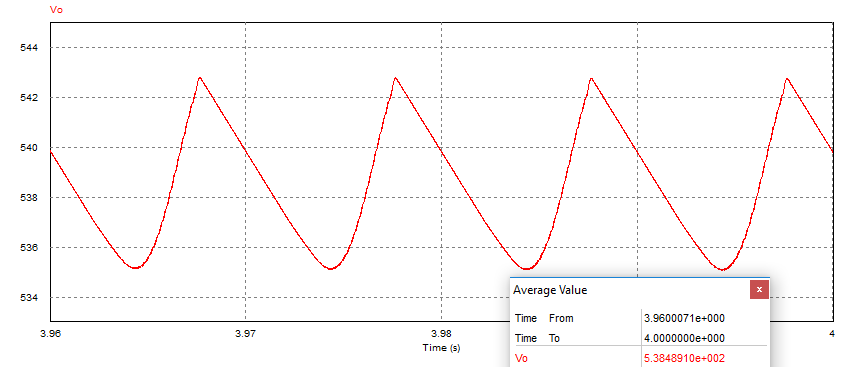
Figura 1-7: Espectro de corriente en el PCC.



En el espectro se puede observar con claridad el contenido armónico en las bandas laterales en 15KHz, lo cual es resultante del control por corriente media, que tiene portadora en este valor de alta frecuencia.

Ahora se muestra la tensión a la salida del convertidor Boost:

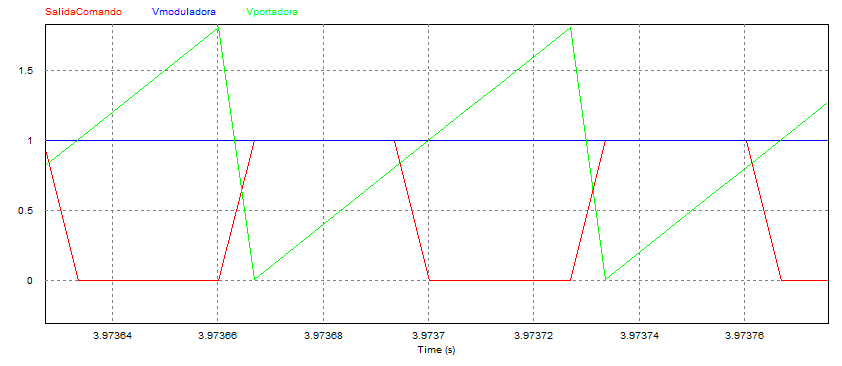
Figura 1-8: Tensión a la salida del convertidor Boost.



El valor medio de la tensión a la salida del convertidor Boost corresponde a 538V, el cual presenta un error respecto a 550V del 2.2%. Se concluye que el control aunque no es perfecto, se encuentra en un nivel aceptable.

Por último se presentan las formas de onda correspondientes a la comparación realizada entre la moduladora y la portadora, y su salida correspondiente que son los pulsos de comando para el interruptor del convertidor Boost:

Figura 1-9: Resultado de comparación de señales.



Como se puede observar la ‘SalidaComando’ va entre 0 y 1, correspondiente a la intercepción de la moduladora y la portadora.

# Filtro Activo

El filtro activo basado en el inversor de 2 niveles será aplicado a la ‘peor’ fase del Sistema 1 de la tarea 1 (sistema con carga tipo fuente de corriente). Por tanto para seleccionar la peor de ellas es que se presenta a continuación la Tabla 2-1 especificando el THDi, THDv y Factor de Potencia para cada una de las fases del sistema sin intervenir, obtenidas de PSIM.

Tabla 2-1: THD en el PCC de sistema 1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Fase A | Fase B | Fase C |
| THDi | 27.8% | 38.4% | 30.9% |
| THDv | 2.06% | 3.79% | 1.99% |
| FP | 0.367 | 0.344 | 0.677 |

En base a los resultados obtenidos de la Tabla 2-1 se puede observar que la **Fase B** es la que presenta mayor distorsión en la corriente y el peor factor de potencia, por tanto esta es seleccionada para proyectar el filtro activo.

Del enunciado del problema se tiene para proyectar el inversor de dos niveles lo siguiente:

La parte resistiva de la carga es fija y tiene valor de 25, la cual será aumentada a 250, con el fin de suministrar una potencia de valor más bajo, dada por:

.

.

# Discusión y conclusiones

El contenido armónico es relevante en el funcionamiento de cualquier sistema, por lo cual realizar un estudio de espectro ayuda a entender bajo qué condiciones trabaja el sistema y en el caso de ser necesario tomar acciones pertinentes para la mitigación de estos.

El uso de VdF en el motor de inducción trifásico permite controlar el funcionamiento de este, evitando principalmente las sobrecorrientes transitorias por cambios de estado en el motor.

Queda aún por definir con exactitud el motor de inducción y el VdF del laboratorio de máquinas que se utilizará para el estudio, y bajo qué situaciones de falla se realizarán tanto las simulaciones como la parte experimental.

# Bibliografía

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | D. Ruiz Caballero, Armónicas en sistemas de baja tensión, Valparaíso, 2018. |