



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO



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 2 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 por corriente media.

Índice general

Introducción.....	1
1 Emulador Resistivo	2
1.1 Cálculo de parámetros.....	3
1.1.1 Cálculo de parámetros convertidor Boost.....	3
1.1.2 Cálculo de parámetros del lazo de Control	4
1.1.3 Diagrama de Bode del lazo de control.....	5
1.2 Formas de onda de Simulación	6
2 Filtro Activo	10
Discusión y conclusiones.....	12
Bibliografía	13

Introducción

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

.

1 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:

$$V_o = 550 [V]$$

$$F_s = 15000 [Hz]$$

$$\eta = 0.95 [-]$$

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

$$P_o = \frac{V_o^2}{R} = \frac{550^2}{250} = 1210[W]$$

1.1 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.

1.1.1 Cálculo de parámetros convertidor Boost

Se tiene que el inductor Boost está dado por:

$$L_B = \frac{\overline{\Delta I(wt)} \cdot V_p}{\Delta I_{MAX} \cdot F_S}$$

Primero $\overline{\Delta I(wt)}$ se considera el máximo y se debe obtener para:

$$\frac{V_p}{V_o} = \frac{311.127}{550} = 0.565685$$

De los apuntes tenemos la ecuación de $\overline{\Delta I(wt)}$ la cual se grafica en MATLAB para la razón de tensión indicada, obteniendo:

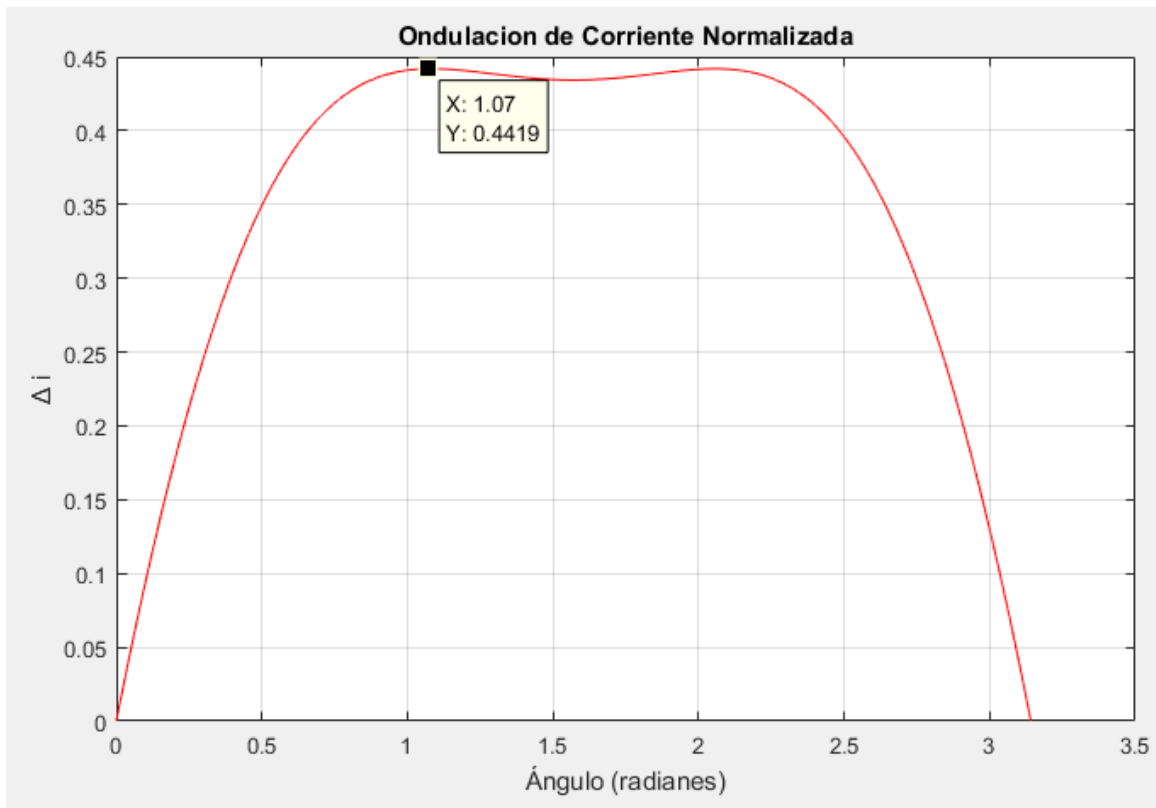


Figura 1-1: Ondulación de corriente normalizada

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

$$\overline{\Delta I(wt)} = 0.4419$$

Ahora es necesario encontrar ΔI_{MAX} 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:

$$I_{1ef} = \frac{P_o}{\eta \cdot V_{1ef}} = \frac{1210}{0.95 \cdot 220} = 5.7895[A_{rms}]$$

$$I_p = I_{1ef} \cdot \sqrt{2} = 8.1875[A]$$

Entonces:

$$\Delta I_{MAX} = I_p \cdot 0.2 = 1.6375[A]$$

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

$$L_B = \frac{0.4419 \cdot 311.127}{1.6375 \cdot 15000} = 5.597[mH]$$

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

$$\Delta V_o = \frac{P_o}{2\pi \cdot f_s \cdot V_o \cdot C} = \frac{1210}{2\pi \cdot 100 \cdot 550 \cdot (1.7 \cdot 10^{-3})} = 2.059[V]$$

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%.

1.1.2 Cálculo de parámetros del lazo de Control

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

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

$$w_p = 2\pi \cdot \frac{F_s}{2} = 2\pi \cdot \frac{15000}{2} = 47123.9[rad/s]$$

- w_z se ubica una década bajo la frecuencia del interruptor:

$$w_z = 2\pi \cdot \frac{F_s}{10} = 2\pi \cdot \frac{15000}{10} = 9424.78[rad/s]$$

- w_i se ubica a 70% de w_p :

$$w_i = 0.7 \cdot w_p = 0.7 \cdot 47123.9 = 32986.7[rad/s]$$

Si se considera un valor de $R_f = 40[K\Omega]$, obtenemos la capacitancia C_{fz} como:

$$C_{fz} = \frac{1}{R_f \cdot w_z} = \frac{1}{40000 \cdot 9424.78} = 2652.58[pF]$$

Luego la capacitancia C_{fp} :

$$C_{fp} = \frac{C_{fz}}{R_f \cdot C_{fz} \cdot w_p - 1} = \frac{2.6526 \cdot 10^{-9}}{40000 \cdot 2.6526 \cdot 10^{-9} \cdot 47123.9 - 1} = 663.1[pF]$$

Continuando, ahora se calcula R_1 :

$$R_1 = \frac{1}{w_i \cdot (C_{fz} + C_{fp})} = \frac{1}{32986.7 \cdot (2.6526 + 0.6631) \cdot 10^{-9}} = 9142.86[\Omega]$$

Se realizará la consideración que se sugiere en los apuntes de tomar $R_i = R_1 = 9142.86[\Omega]$.

Además se usará una fuente de corriente sinusoidal de amplitud peak $I_x = 90[\mu A]$, frecuencia 50[Hz] y sin desfase, para ser rectificada y llegar a la entrada no inversora del amplificador operacional.

Luego se calcula R_{sh} :

$$R_{sh} = \frac{I_x \cdot R_i}{I_p} = \frac{90 \cdot 10^{-6} \cdot 9142.86}{8.1875} = 1.005[m\Omega]$$

1.1.3 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:

```

1 - clear all
2 - clc
3
4 - wi=32986.7;
5 - wz=9424.78;
6 - wp=47123.9;
7 - H=tf([wi/wz wi],[1/wp 1 0]);
8 - bode(H)
```

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

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

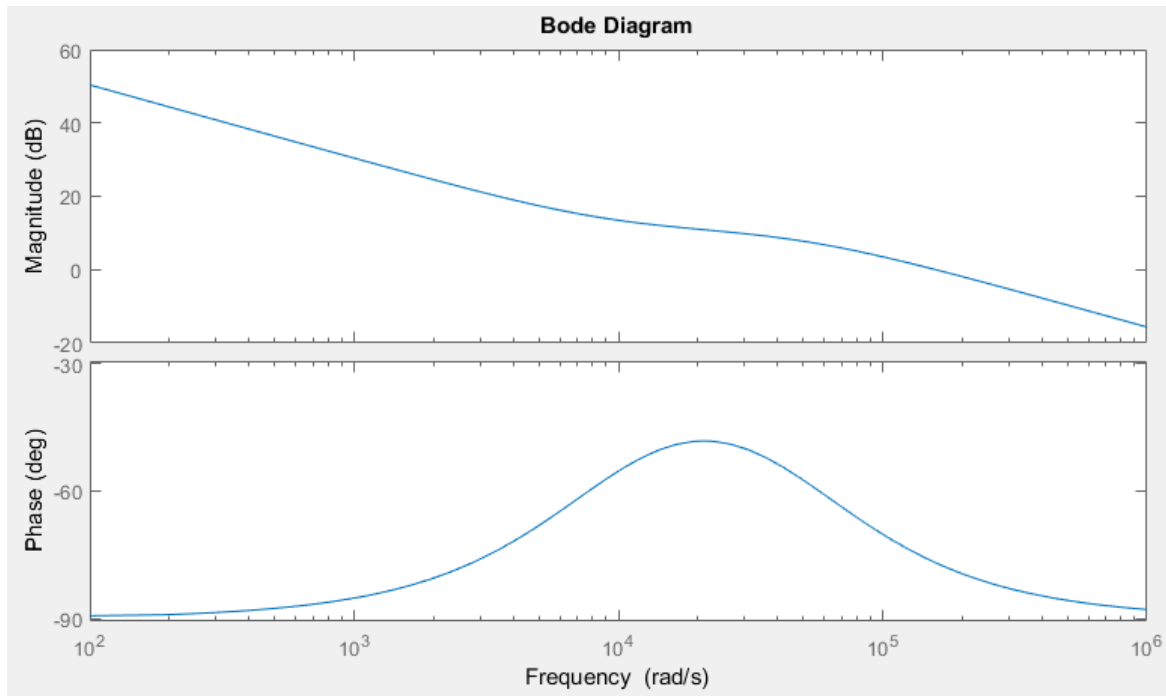


Figura1-3: Diagrama de Bode del lazo de control

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

1.2 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.

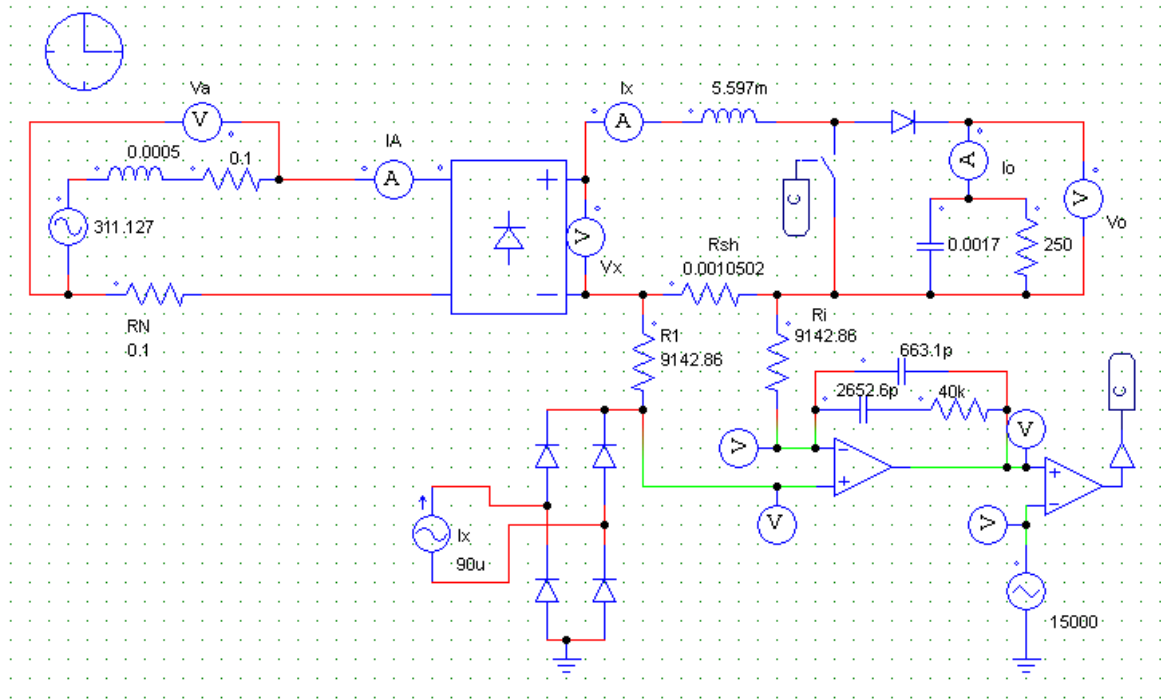


Figura 1-4: Sistema con Emulador Resistivo y los parámetros proyectados en Simulink.

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

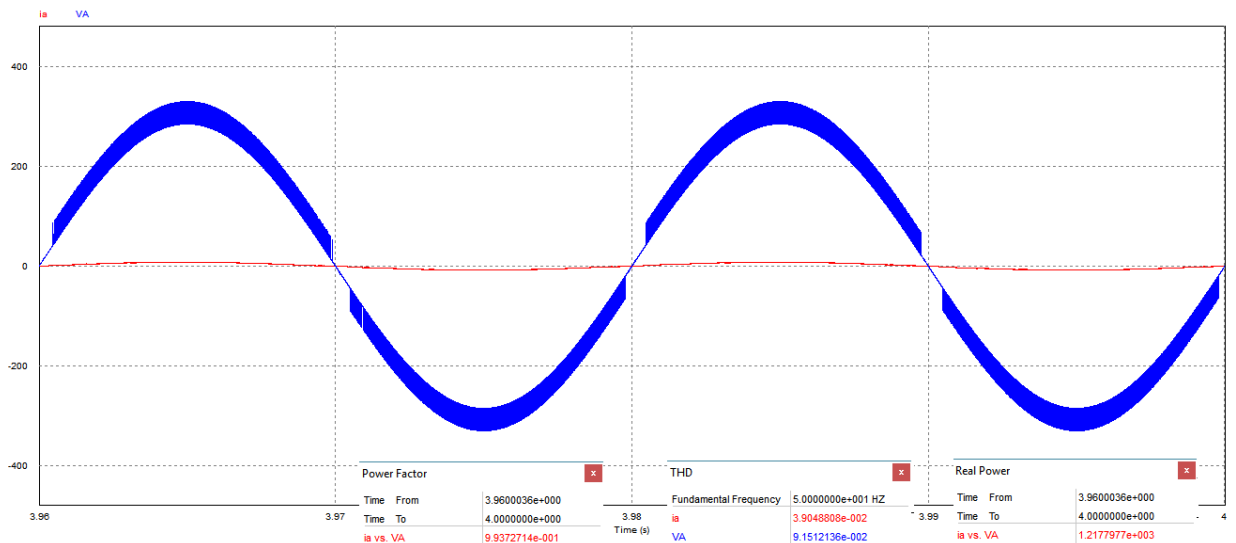


Figura 1-5: Formas de Onda PCC con THD y FP

Como se puede observar de la imagen el Factor de potencia es muy cercano a unitario siendo 0.994[-]. El THD de tensión es del 9.15% y se atribuye la distorsión a la circulación de corriente por la impedancia de la fuente. Y el THD de corriente es del 3.9%. Ambos valores de THD son bastante bajos cercanos a cero.

Además en la Figura 1-5 se especifica la potencia activa en el PCC y corresponde a 1217[W], por tanto se concluye que el control actúa como se espera.

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

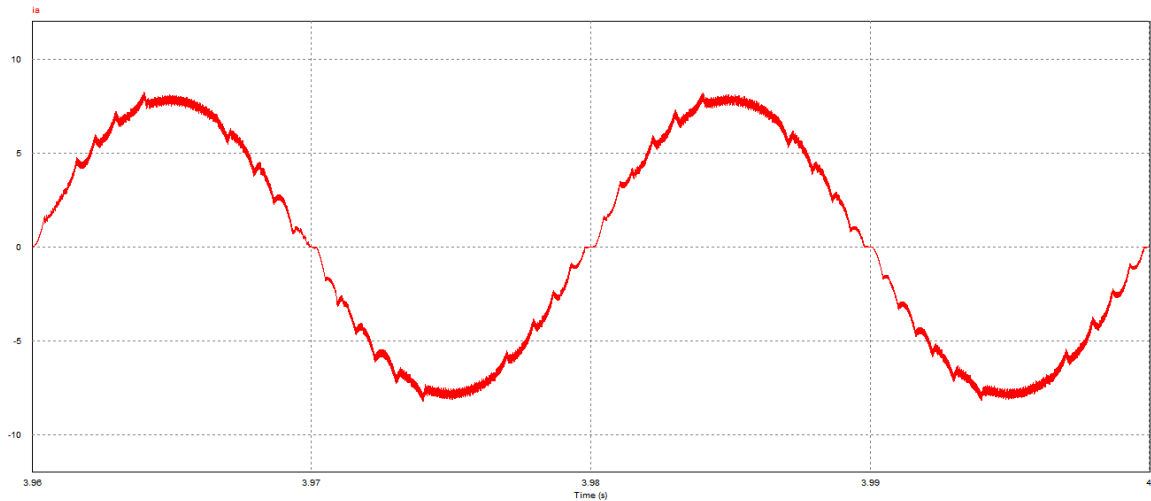


Figura 1-6: Forma de onda de corriente en el PCC.

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.

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

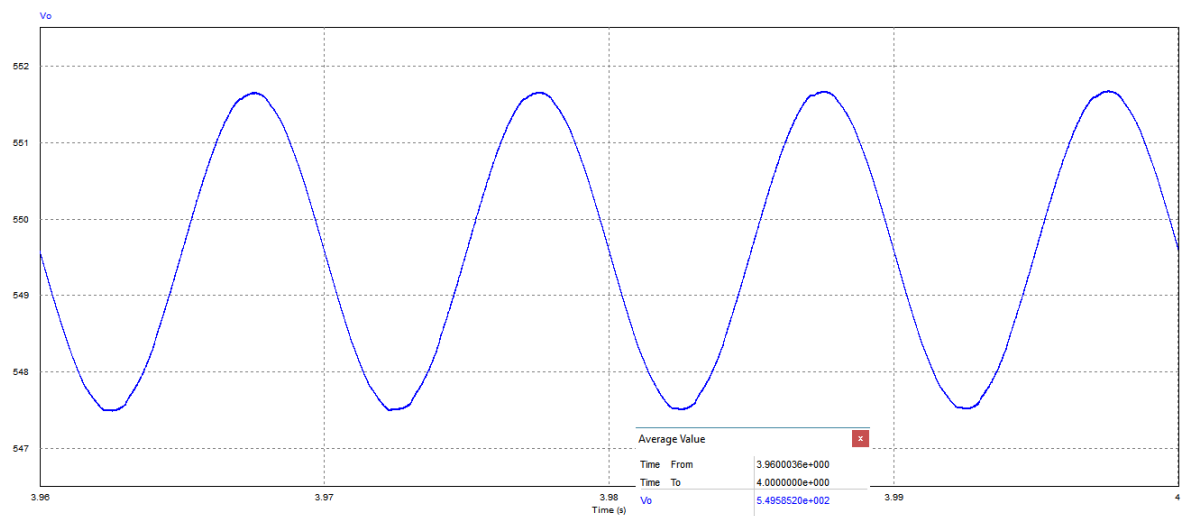


Figura 1-7: Tensión a la salida del convertidor Boost.

El valor medio de la tensión a la salida del convertidor Boost corresponde a 549.5V, el cual presenta un error mínimo respecto a 550V. Se concluye que el control aunque no es perfecto, se encuentra en un nivel aceptable. Además la ondulación de tensión es la esperada.

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:

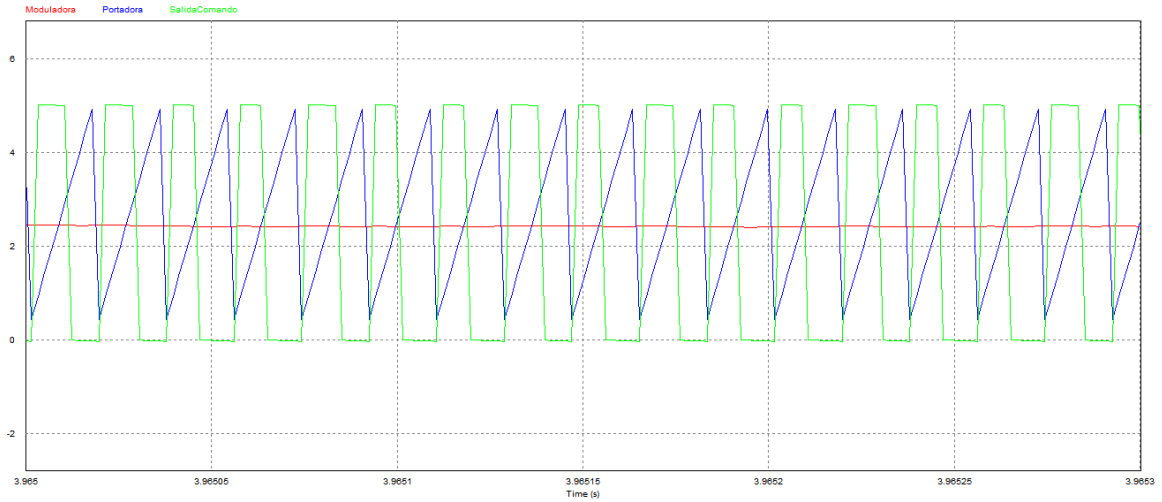


Figura 1-9: Resultado de comparación de señales.

Como se puede observar la 'SalidaComando', es correspondiente a la intercepción de la moduladora y la portadora, generando así los pulsos de accionamiento del interruptor del convertidor Boost.

2 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:

$$V_o = 350 [V]$$

$$F_s = 40000 [Hz]$$

$$\eta = 0.95 [-]$$

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

$$P_o = \frac{V_o^2}{R} = \frac{350^2}{250} = 490[W]$$

.



Discusión y conclusiones



Bibliografía

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