INVERSOR TRIFÁSICO DE Voltaje CONSTANTE CON VARIACIÓN DE FRECUENCIA DESDE 80 HASTA 400 HZ E INTERFASE OPTOACOLOPADA

Alex Calero Vega[1], Alfredo Márquez Yagual[2], Víctor Gallino Cardona[3], Carlos Valdivieso[4]

[1] Ingeniero Eléctrico en Industrial y Automatización 2005; e-mail: alex_calero@yahoo.com
[2] Ingeniero Eléctrico en Industrial y Automatización 2005; e-mail: alfmaryag@yahoo.com
[3] Ingeniero Eléctrico en Industrial y Automatización 2005; e-mail: vgallino29@hotmail.com
[4] Director de Tópico, Ingeniero Electrónico, Universidad de Southern California, 1975, Postgrado: Ecuador, Universidad Estatal de Guayaquil, 1988. Profesor de ESPOL desde 1976., e-mail: cvaldiv@fiec.espol.edu.ec

RESUMEN

Los convertidores de DC a AC se conocen como inversores. La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada en DC a un voltaje simétrico de salida en AC, con la magnitud y frecuencia deseadas. Tanto el voltaje de salida como la frecuencia pueden ser fijos o variables. El Inversor 3-fásico de frecuencia variable e interfase opto acoplada consta básicamente de dos partes: el circuito de control y el circuito de Fuerza.

El Circuito de control está formado por un circuito de reloj tipo ráfaga de tonos, que consta de dos circuitos integrados en cascada, desde donde se varia la frecuencia mediante un pot (resistencia variable); los cuales habilitan a dos Flip-Flop en cascada donde los pulsos que están desfasados 180 º llegan a los opto acopladores, de allí se conectan al circuito de fuerza.

El circuito de Fuerza consta de un arreglo de seis transistores con diodos que corresponden a un inversor trifásico alimentado con una fuente de 12 voltios DC. Es aquí donde se conectan las cargas resistivas y/o inductivas ya sea en delta o estrella; cabe indicar que la alimentación de éste equipo es alterna (AC), pero la alimentación de los circuitos integrados es DC por lo que se diseñaron e implementaron fuentes rectificadas para el efecto.

SUMMARY

The converters of DC to AC they are known as inverters. The function of an inverter is to change an entrance voltage in DC to an exit voltage in AC, with the magnitude and wanted frequency. So much the exit voltage as the frequency can be fixed or variables. The Inverter 3-phase of variable frequency and interface opto-Isolated it consists basically of two parts: the control circuit and the circuit of force.

The Control circuit is formed by a circuit of clock type blast of pulses that consists of two circuits integrated in cascade, of where the frequency is varied by means of a pot (variable resistance); which enable two Flip-Flop in cascade where the pulses that are displaced 180 º arrive to opto-Isolators, of there they are connected to the circuit of force.

The Circuit of force consists of an arrangement of six transistors of power with diodes that correspond to an investor 3-phase DC, fed with a source of 12 volts. It is here where the loads are connected that they are either resistances and/or inductances in delta or it shatters; it is necessary to indicate that the feeding of this team is alternating (AC), but the feeding of the integrated circuits is DC, for what were

designed and implemented sources rectified for the effect.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo propone el diseño y construcción de un equipo de trabajo para el uso didáctico en el Laboratorio de Electrónica de Potencia de la FIEC. También puede ser usado en sitios donde no haya disponibilidad de voltaje Trifásico ya que éste convierte voltaje DC a voltaje AC.

El presente trabajo muestra el comportamiento de un Inversor Trifásico de Frecuencia Variable con interfase Optoacoplador el cual demuestra el comportamiento de todas las señales del circuito en especial la de los voltajes y corrientes en las cargas aplicadas con respecto a la variación de la frecuencia obteniendo señales sin distorsión, muestra además el comportamiento de las corrientes en cada fase y su variación con respecto a la frecuencia.

Se aplicaron la técnica de aislamiento de circuitos de control y fuerza de manera Opto acoplada, lo cual es de gran utilidad y seguridad en circuitos de aislamiento.

CONTENIDO

1 Diseño del Circuito de Control

1.1 Aplicación del CI 555 para propósitos del Proyecto

Para propósitos del proyecto se utilizó como modelo el circuito que se muestra en la Fig. 1, el cual es un oscilador por ráfagas de tonos y de trabaja como multivibrador Astable. Con este circuito se puede variar la frecuencia con un potenciómetro y se evita la distorsión de la señal de reloj en el momento en que se varía la frecuencia. Es un circuito en el cual podemos establecer valores de frecuencias mínimas y máximas con tan sólo cambiar algunos de los valores de los elementos del circuito.

El potenciómetro de 1K es utilizado para variar la frecuencia; La señal de reloj que se obtiene en el terminal tres del segundo temporizador se muestra en la Fig.2

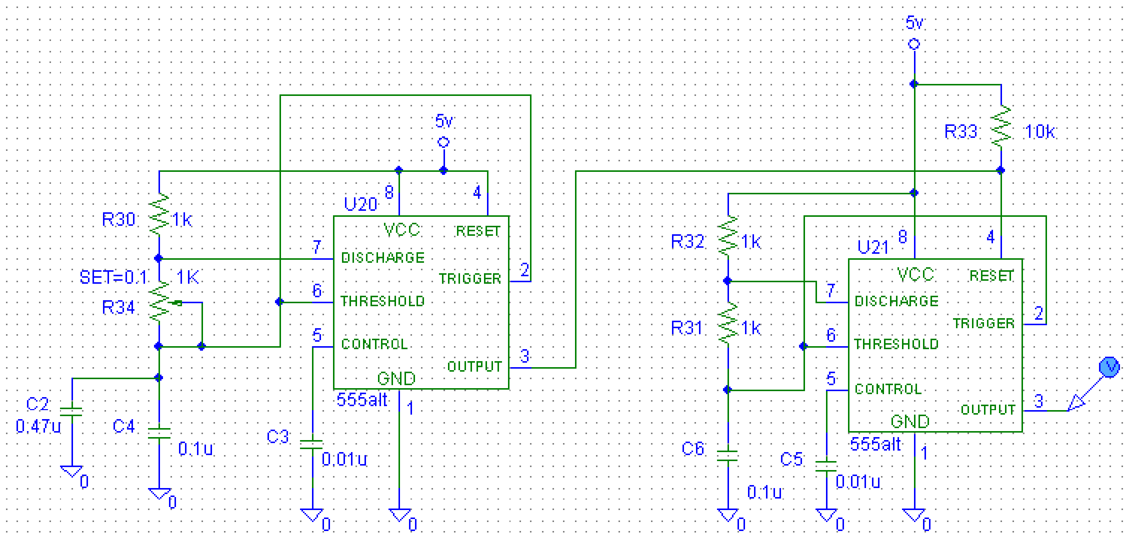


Fig. 1 Configuración Ráfaga de Tonos

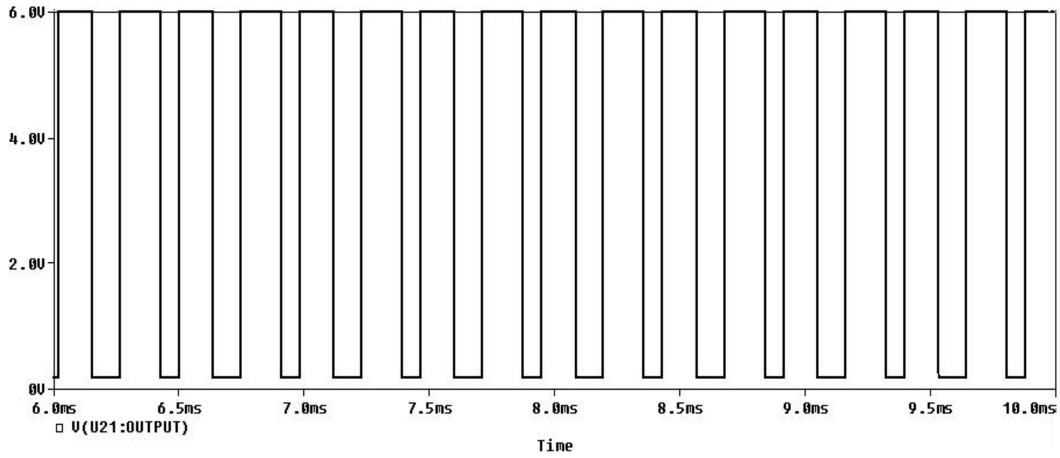


Fig.2 Señal de Reloj

1.2 Diseño del Desfazamiento de Pulsos

El circuito utilizado en el proyecto se muestra en la Fig.3, en el cual se utilizan tres F/F 7473, se generan seis pulsos los cuales están desfasados un período de T/3

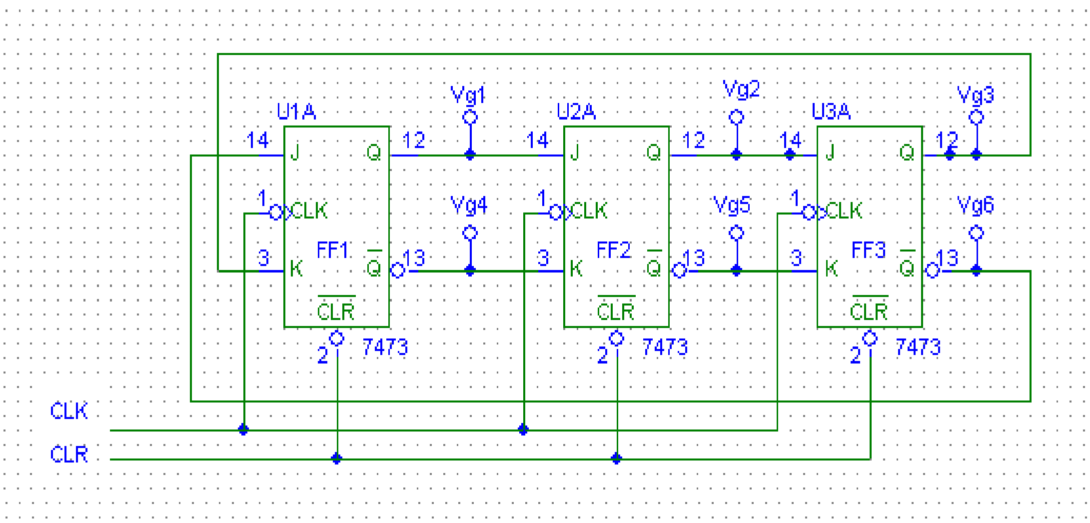


Fig. 3 Circuito Interruptor de Cola

Las señales de los pulsos generados y sus desfases se muestran en la Fig.4

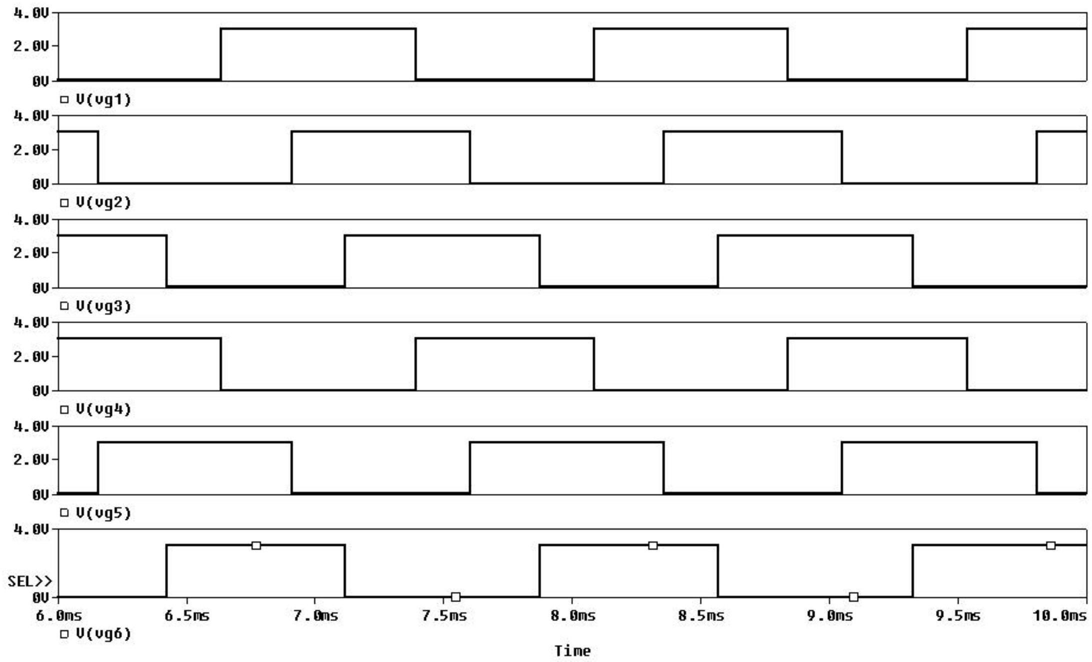


Fig. 4 Pulsos Generados

1.3 Aplicación del Optoacoplador para propósitos del Proyecto

El acoplador óptico que utilizamos para los propósitos del proyecto fue el MOC 8113 Es básicamente un fototransistor y el circuito de conexión se observa en la Fig.5

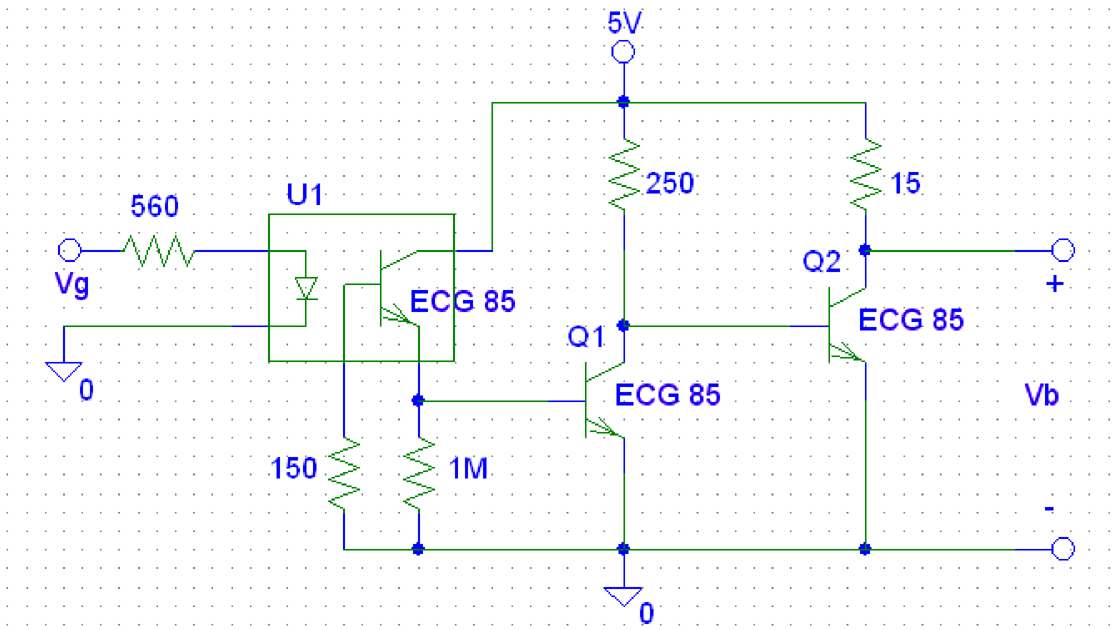


Fig. 5 Diseño del Opto-acoplador

Se puede observar la utilización de dos transistores ECG 85 para elevar la corriente y una resistencia de 5 Watt para que soporte la corriente que circula por éste.

1.3.1 Corriente en el Acoplador Óptico

Según la Hoja de Datos del NTE 3041 por el diodo led circula una corriente de 10 mA cuando se le aplica un voltaje entre 0.8 y 1.5 Voltios. Por esta razón escogimos una resistencia de 560 Ω conectada al pin 1 del NTE 3041 para asegurar estos niveles de voltaje y corriente al diodo led.

$$\mathbf{I\ led\ max = V\ pulso\ max / R = 4\ V / 560\ \Omega = 7.14\ mA.}$$

Con este valor de corriente se asegura que el circuito integrado no sufra daño alguno.
El objetivo de usar acopladores ópticos es aislar eléctricamente el Circuito de Control del Circuito de Fuerza. Con el circuito mostrado en la Fig.5, lo que se hace es reflejar las señales de pulsos que se obtuvieron en los Flip-Flops manteniendo los valores de voltaje máximos y mínimos con los cuales se podrán activar los transistores que forman el Circuito Inversor Trifásico.

2 Circuito de Fuerza

2.1 Inversor Trifásico

El diseño del circuito de Fuerza corresponde a un inversor trifásico, donde los transistores de potencia utilizados son los TIP 122; hay que tomar en cuenta que las fuentes Vs/2 que se muestran se las reemplaza por una sola de 12 Vdc.
El diseño experimental se lo muestra en la Fig. 6

2.2 Dimensionamiento de la Carga

La carga resistiva que se utilizó tanto para Delta como en Estrella son tomados de un reóstato y la conexiones se muestran en la Fig. 7.

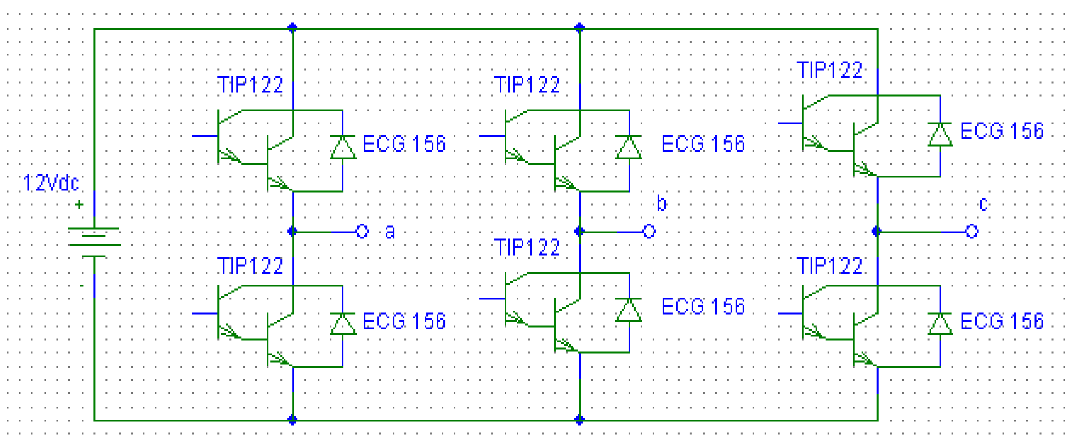
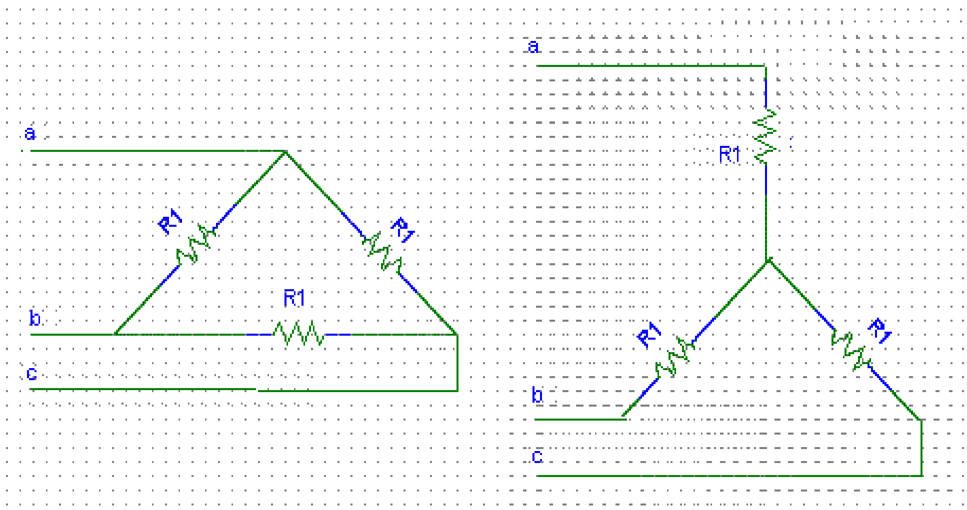


Fig. 6 Diseño del circuito de Fuerza



(a) **(b)**

Fig.7 Carga conectada en (a)Delta ; (b)Estrella

Respecto a la carga Inductiva ésta se la obtiene del banco de inductores el cual se detalla a continuación:

# Posición	INDUCTANCIA (mH)
1	905
2	461
3	305
4	230
5	183
6	154
7	132
8	115
9	101
10	92
11	84

Tabla I

3 Resultados Teóricos y Experimentales

3.1 Frecuencia y Periodo de Oscilación de la Señal de Reloj

A partir de la ecuación (1) se calcula el valor máximo y mínimo de la frecuencia de oscilación de la señal de Reloj. La frecuencia es máxima cuando el valor del Potenciómetro RB es cero y será mínima cuando RB alcance su máximo valor de 5KΩ

$$\mathbf{F} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{T}} = \frac{\mathbf{1.44}}{\mathbf{(R_A + 2R_B)\,C}} \qquad \mathbf{(1)}$$

$$\text{F máx} = \frac{1.44}{[(1)\text{x } 0.57]} = 2.5263\text{x}10^3 \text{ Hz}$$

$$\text{T mín} = \frac{1}{\text{F máx}} = \frac{1}{2.5263\text{x}10^3 \text{ Hz}} = 0.00039 \text{ seg.}$$

$$\text{F mín} = \frac{1.44}{[(1+10)\text{x } 0.57]} = 0.22966\text{x}10^3 \text{ Hz}$$

$$\text{T máx} = \frac{1}{\text{F mín}} = \frac{1}{0.22966\text{x}10^3 \text{ Hz}} = 0.004354 \text{ seg.}$$

Los resultados experimentales fueron:

Tmáx = 4.2 mseg. = 0.0042 seg.

$$\text{F mín} = \frac{1}{\text{T máx}} = \frac{1}{0.0042} = 2380.9 \text{ Hz}$$

T mín = 0.37 mseg. = 0.00037 seg.

$$\text{F máx} = \frac{1}{\text{T mín}} = \frac{1}{0.00037} = 2702.7 \text{ Hz}$$

Los porcentajes de error para los valores de frecuencia son:

$$\%E_{Fmáx} = \frac{(2702.7 - 2526.31)}{2702.7} \times 100 = 6.52\ \%$$

$$\%E_{Fmin} = \frac{(238.09 - 229.65)}{238.09} \times 100 = 3.54\ \%$$

3.2 Señal experimental y simulada del CI 555

La señal de reloj experimental que se obtiene como resultado del diseño se observa en la Foto 1, (el osciloscopio esta ajustado en 5V/Div). y la Fig. 8 correspondiente a la simulación

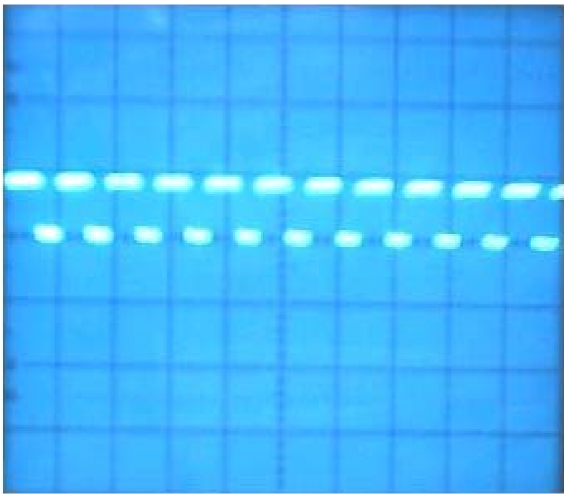


Foto 1: Señal de reloj (experimental)

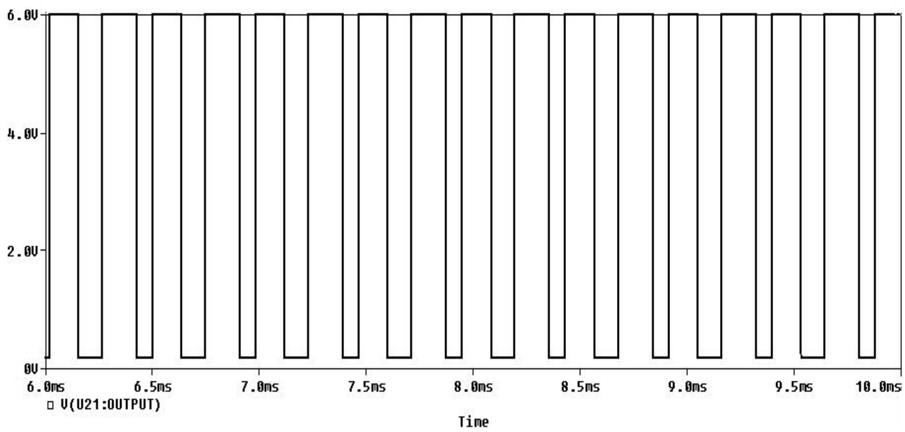


Fig. 8 Señal de reloj (simulación)

3.3 Generación de Pulsos Desfasados

Podemos notar que cada uno de los pulsos generados tiene un período de duración igual a seis veces el período de oscilación del circuito de reloj, entonces los resultados teóricos son:

$$T\ pulso\ máx = 6 \times T\ reloj\ máx = 6 \times 0.004354168 = 0.0261246\ seg.$$

$$T\ pulso\ min = 6 \times T\ reloj\ min = 6 \times 0.0039 = 0.00234\ seg.$$

Por tanto:

$$F\ pulso\ máx = \frac{1}{T\ \ Pulso\ mín} = \frac{1}{0.00234} = 427.35\ Hz$$

$$F\ pulso\ mín = \frac{1}{T\ \ Pulso\ máx} = \frac{1}{0.02612} = 38.278\ Hz$$

Experimentalmente se obtiene:

$$T\ pulso\ máx = 6 \times T\ reloj\ máx = 6 \times 0.0042 = 0.0252\ seg.$$

$$T\ pulso\ mín = 6 \times T\ reloj\ mín = 6 \times 0.00037 = 0.00222\ seg.$$

Por tanto:

$$F\ pulso\ máx = \frac{1}{T\ \ Pulso\ mín} = \frac{1}{0.00222} = 450.45\ Hz$$

$$F\ pulso\ mín = \frac{1}{T\ \ Pulso\ máx} = \frac{1}{0.0252} = 39.68\ Hz$$

Estos valores de frecuencia máxima y frecuencia mínima es el rango de valores dentro del cual el Circuito Inversor Trifásico puede variar su frecuencia

3.4 Señal experimental y simulada del FF 7473

La señal de pulso experimental que se obtiene como resultado del diseño se observa en la Foto 2. Podemos observar la señal del circuito de reloj y la señal del pulso de desfazamiento y se puede observar que la señal del pulso de desfazamiento tiene un periodo de duración de seis veces la señal del circuito de reloj. La señal simulada se muestra en la Fig. 9

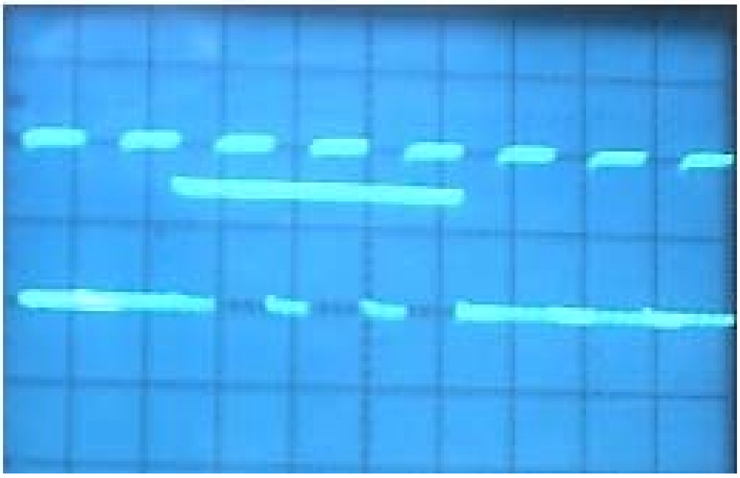


Foto 2: Señal de reloj y desfazamiento (experimental)

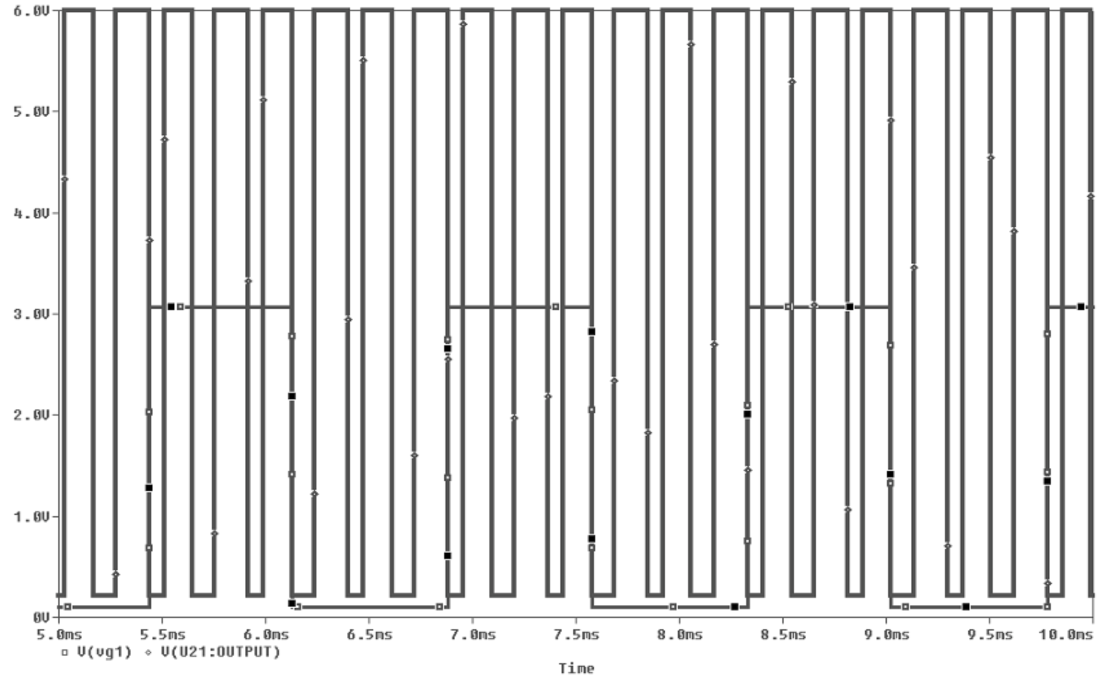


Fig. 9 Señal de reloj y desfazamiento (simulación)

3.5 Señales de Voltaje y Corriente

3.5.1 Voltajes línea-línea y línea-neutro para conexiones delta y estrella

Los resultados experimentales se los obtiene a partir de un reóstato y un banco de inductores cuyos valores de inductancia se los detalla en la Tabla I, Experimentalmente se obtienen las formas de onda mostradas en las Fotos 3, 4 y 5 para voltajes línea a línea en carga R , L y R-L en Delta y Estrella respectivamente.

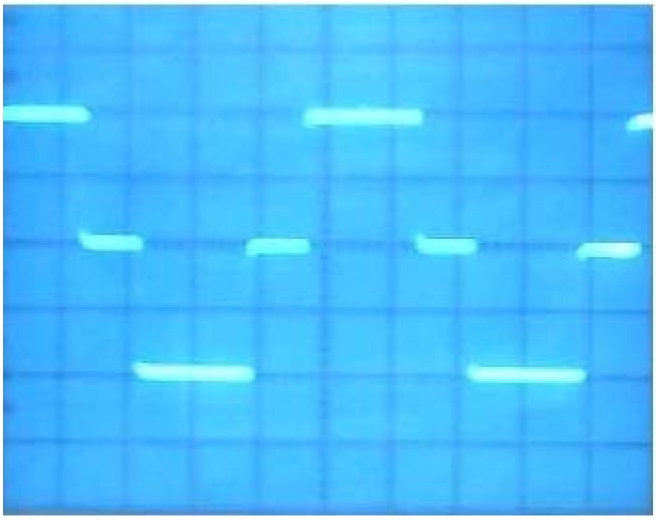
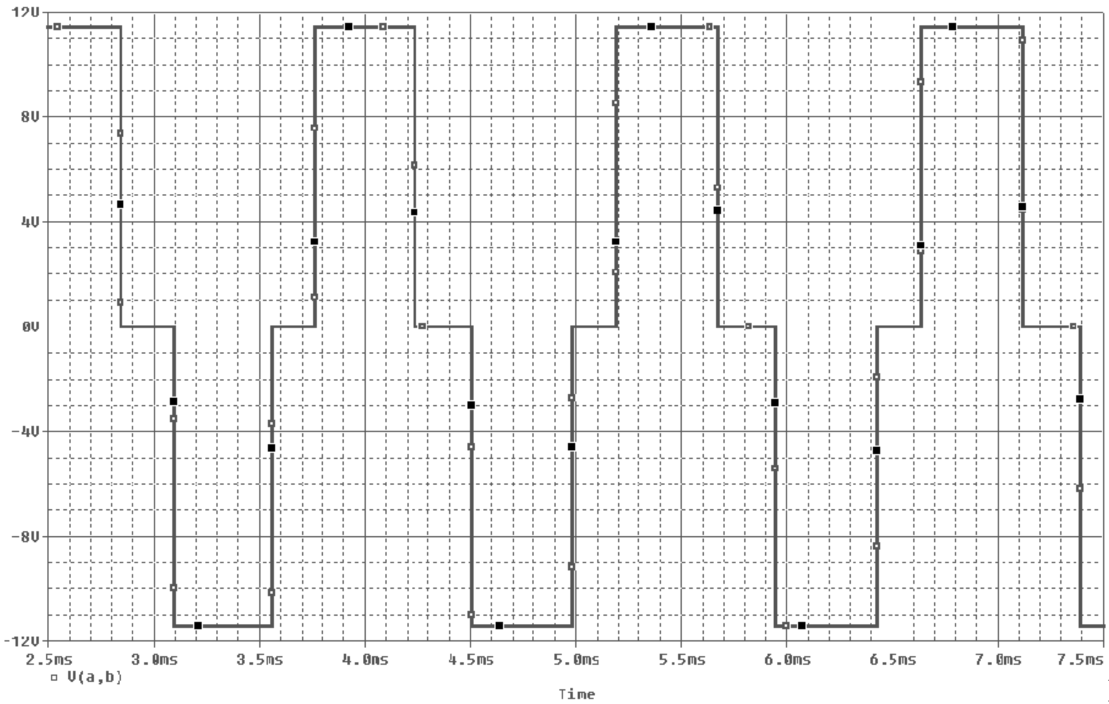


Foto 3: V L-L para carga resistiva conectada en estrella o delta (experimental)

La Fig. 10 muestra los resultados teóricos de las formas de onda para los Voltajes de Línea a Línea para cargas conectadas en Estrella o Delta, sean estas cargas: Resistivas, Inductivas o Resistiva – Inductiva.



Fi

Fig. 10 Voltaje L-L para carga resistiva conectadas en estrella o delta (simulación)

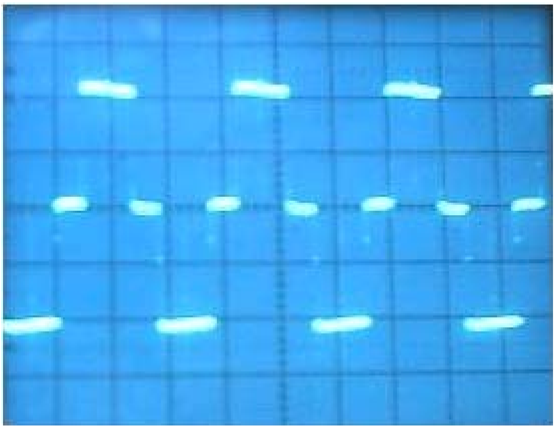


Foto 4: V L-L para carga inductiva conectada en estrella o delta (experimental)

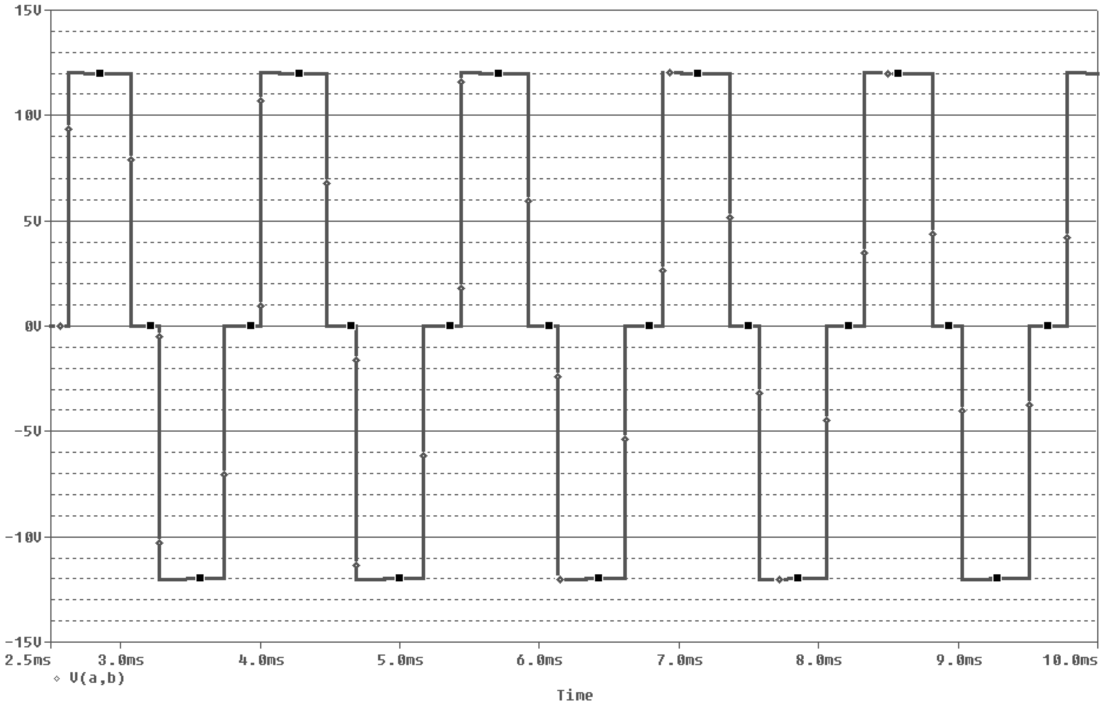


Fig. 11 V L-L para carga inductiva conectada en estrella o delta (simulación)

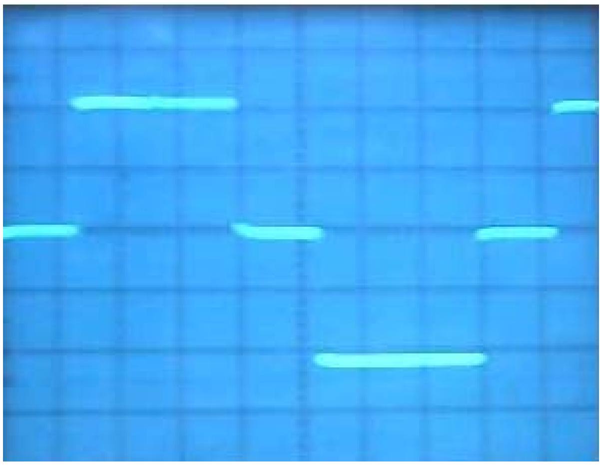


Foto 5: V L-L para cargas R-L conectada en estrella o delta (experimental)

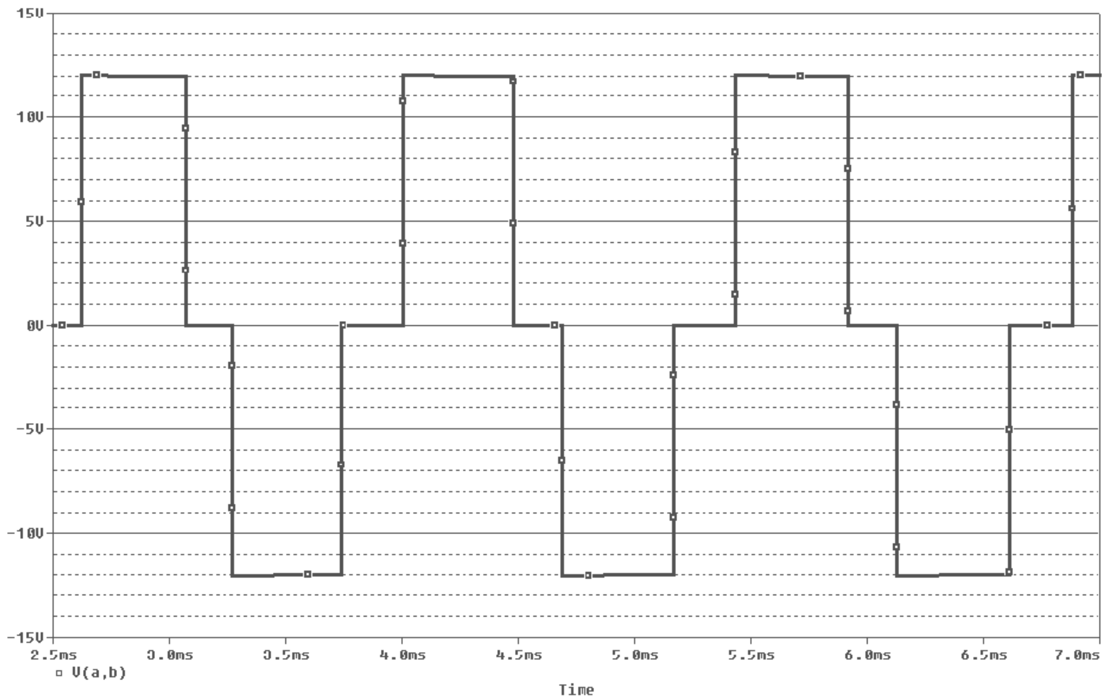


Fig. 12 V L-L para cargas R-L conectada en estrella o delta (simulación)

Podemos notar que experimentalmente el valor máximo que alcanza el Voltaje de Línea a Línea es de 11 Voltios ya que las divisiones verticales del osciloscopio están establecidos en 5 Voltios / División, el cual es un valor muy cercano al teórico que es de 12 Voltios que si se refleja en la simulación.

La Fig. 13 muestra los resultados simulados de las formas de onda para los Voltajes de Línea a Neutro para cargas conectadas en Estrella, sean estas cargas puramente Resistivas, Inductivas o R–L, Los resultados experimentales se muestran a continuación (Foto 6).

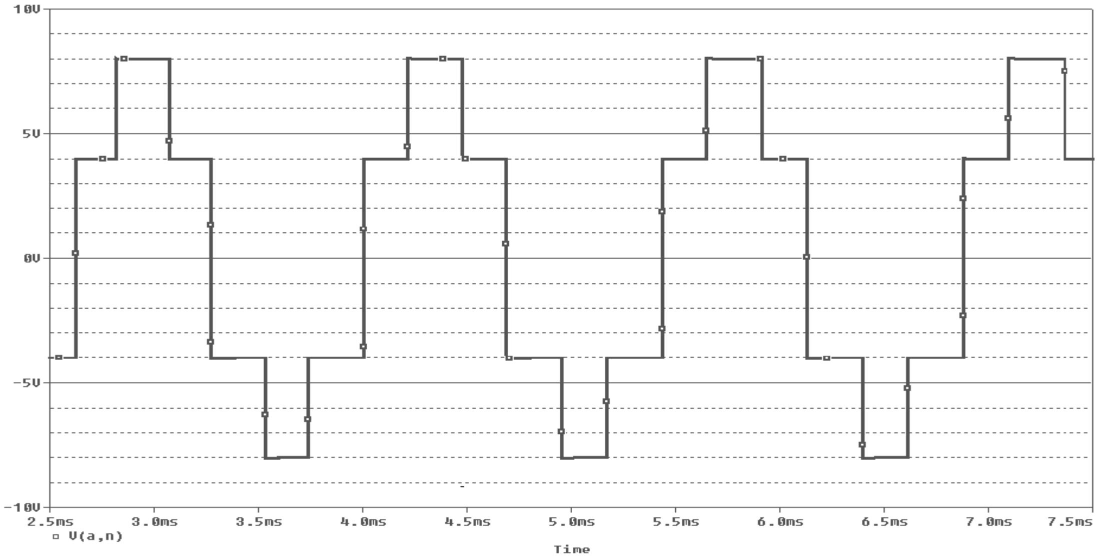


Fig. 13 Voltaje L-N para cargas conectadas en estrella tanto R, L o R-L (simulación)

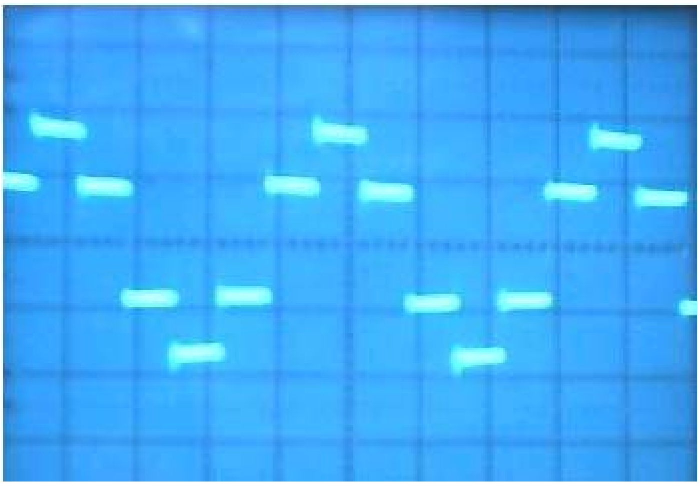


Foto 6: V L-N para carga R-L conectada en estrella (experimental)

La forma de onda de la Corriente de Línea (experimental) se muestra en la Foto 7; así como la forma de onda correspondiente a la simulación, para una carga R-L en delta

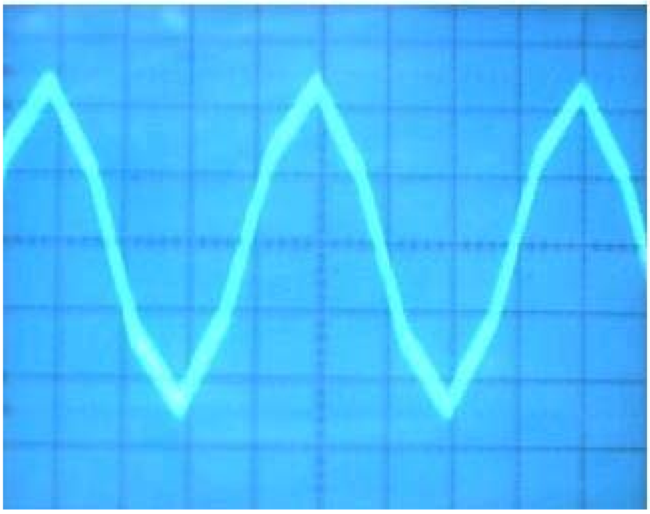


Foto 7: Corriente de L-N para carga R-L conectada en estrella (experimental)

Cuando variamos los valores de las inductancias del banco de inductores el valor de la corriente varía, si la inductancia aumenta la corriente disminuye y si la inductancia disminuye la corriente aumenta. Para obtener el gráfico de corriente de línea de manera experimental fue necesario colocar una resistencia de muy bajo valor para que el osciloscopio pueda capturar la señal.

La simulación se la representa en la Fig.14 correspondiente a una carga R-L en conexión estrella.

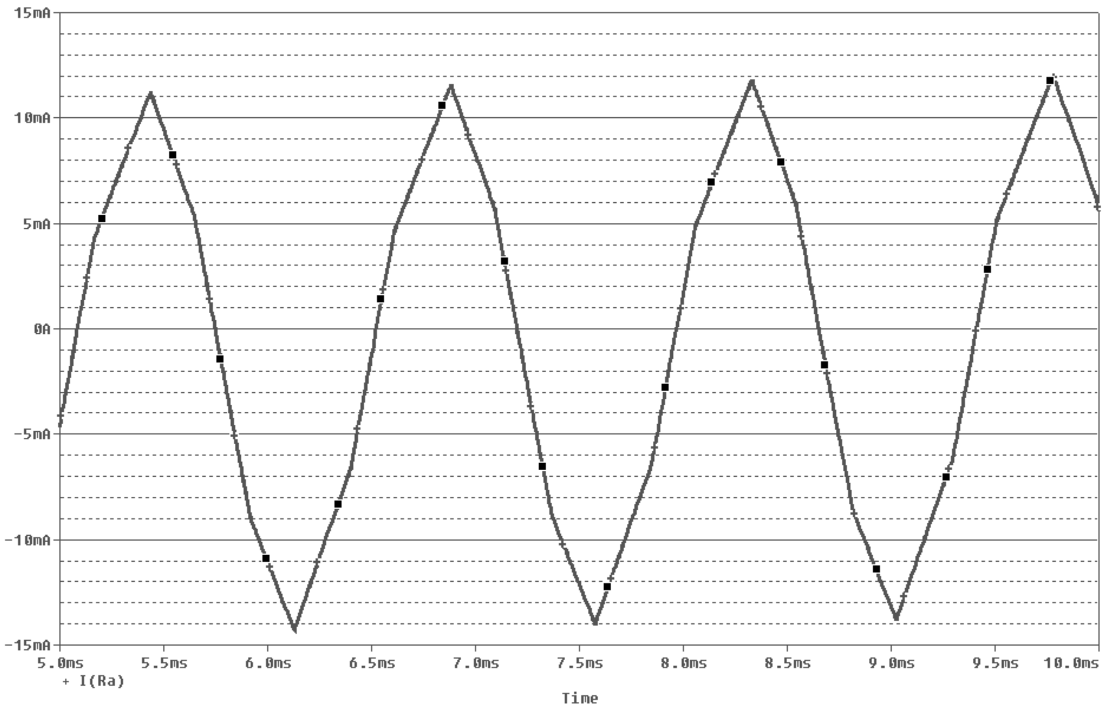


Fig. 14 Corriente de L-N para carga R-L conectada en estrella (simulación)

CONCLUSIONES

Cabe indicar que la frecuencia de oscilación del circuito de reloj no es la misma que la frecuencia de oscilación del Circuito Inversor Trifásico, los valores de frecuencia del circuito de reloj se ajustan de tal manera que el Circuito Inversor Trifásico posea una variación de frecuencia entre 80 Hz. y 400 Hz.

Teóricamente el nivel de voltaje máximo es de 5 Voltios, pero experimentalmente podemos notar en la Foto 1 que es de 4 Voltios, en la foto cada división vertical del osciloscopio está establecido en 2 Voltios / División. El voltaje mínimo es de 0 Voltios.

Al variar los valores de las Inductancias, la forma de onda de los voltajes de línea a línea no sufre cambio alguno, lo que varia es la forma de onda y valor de la Corriente de Línea. El resultado experimental de la forma de onda de la Corriente de Línea se la puede observar en la Foto 7.

BIBLIOGRAFIA

1. R.G. Seippel, Optoelectronics (Reston-Virginia, Prentice-Hall, 1981), pp. 60
2. M. Rashid, Electrónica de Potencia; Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones pp. 356
3. R. Boylestad, Electrónica de Circuitos pp. 155
4. NTE, Electronics Cross Reference 11/08/2005, http://www.nteinc.com/specs/900to999/NTE955.html
5. NTE, Electronics Cross Reference 11/08/2005, http://www.nteinc.com/specs/3000to3099/NTE3041.html
6. NTE, Electronics Cross Reference 11/08/2005, http://www.nteinc.com/specs/200to299/NTE261.html