

## RELEVADOR QUE DETECTA SECUENCIA DE FASES EN UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA TRIFÁSICA

Maestro en Ciencias José Alfredo Colín Ávila  
Jcolin@Ipn.Mx

Maestro en Ciencias Rogelio Colín Ávila  
Rcolin@Ipn.Mx

Maestro en Ciencias Jorge Fonseca Campos  
Jfonseca@Ipn.Mx

Docentes de UPIITA IPN

### ABSTRACT

En la industria los motores eléctricos son el corazón de la operación de las plantas, ya que al convertir la energía eléctrica que los alimenta a energía mecánica, transmiten movimiento a mecanismos de sistemas como son neumáticos e hidráulicos, que mueven elementos del aparato productivo que existe tanto en las líneas de producción, como en otros sitios y si alguno de ellos falla o no entregan la potencia requerida, surgen paros que provocan pérdidas económicas importantes, en estos sistemas las protecciones eléctricas juegan un papel importante, de ellas depende la continuidad de la producción. Existe otra protección para estos que va relacionada con su sentido de giro, en el caso de los que se alimentan con energía eléctrica trifásica y que son puestos en marcha a través de arrancadores electromagnéticos y además deben entregar un movimiento en un solo sentido, puede usarse un dispositivo que permita su conexión a la red eléctrica, sólo cuando la secuencia de fases sea la que hará que gire en el sentido requerido, este dispositivo se llama RELEVADOR QUE DETECTA SECUENCIA DE FASES EN UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN TRIFÁSICA. Una vez conectado este relevador al circuito de control para el arranque del motor, el correcto sentido de giro quedará garantizado, aquí se describe como se diseñó y se desarrolló este relevador, mediante teoría de circuitos se determinó los componentes pasivos que son necesarios para construir el sensor, y elementos electrónicos de comportamiento lineal, para acondicionar la señal sensada, la salida es a relevador de accionamiento electromagnético.

## 1. Introducción

Regularmente el sentido de giro de un motor trifásico puede verse alterado, durante las maniobras de mantenimiento que se realizan a los circuitos de potencia donde se conecta, debido a que en la mayoría de los casos no se sigue un procedimiento cuando deben desconectarse, ya sea para sustituir el interruptor que lo alimenta y/o el arrancador electromagnético que lo pone en marcha o incluso la misma sustitución de los cables de los circuitos de fuerza del motor. Esta situación llega a generar daños en los equipos que son movidos por los motores, si no se detecta a tiempo, el problema se torna sumamente peligroso en el caso de sistemas hidráulicos y mecanismos

## 2. Requerimientos

El Relevador a diseñar debe:

1. Contener un contacto normalmente abierto, NA, que permitirá a la bobina del arrancador ser conectada a la energía eléctrica.

2. Conectarse a una red trifásica de alimentación eléctrica de 220 VAC.
3. El consumo de energía debe ser bajo.
4. Indicar la secuencia de fases.
5. Debe ser de bajo costo.

### 3. Especificaciones

Las especificaciones técnicas del prototipo comprometidas fueron:

1. Para obtener un bajo costo, se emplean elementos pasivos en el sensor.
2. Tiene capacidad de conectarse a una red de alimentación trifásica de 220 VAC, con neutro.
3. Tiene un relevador con un contacto NA, para manejar una corriente de hasta 5 amp.
4. Dos LEDs indican secuencia AB o BA.
5. Tiene un rango de operación de  $\pm 5\%$  del voltaje de alimentación.

### 4. Fase de diseños

Los sistemas eléctricos trifásicos tienen 3 líneas que proporcionan corriente a las cargas que se conectan a él, tienen el mismo valor de Voltaje rms (root mean square) por fase, aunque con un desfaseamiento entre sí de 120° eléctricos, la representación se hace a través de fasores, Figura 1, para nuestro caso consideramos el Sistema de alimentación de 220 VAC, trifásico a 60 Hz., que es el que se maneja en la industria de nuestro país, por comodidad se elige usar un sistema trifásico que baje el voltaje de fase a 12 VAC, para ello se usa un banco trifásico compuesto por transformadores de 127/12 VCA, 100 mA, entonces los voltajes por fase que entrega son:

$$\begin{aligned} V1 &= 120^{\circ} \text{ (12 cis de } 0^{\circ}\text{)} \\ V2 &= 12120^{\circ} \text{ (12 cis de } 120^{\circ}\text{)} \\ V3 &= 12240^{\circ} \text{ (12 cis de } 240^{\circ}\text{)} \end{aligned}$$

Figura 1.- Representación fasorial de un sistema de alimentación trifásica

Para invertir el sentido de giro en un motor trifásico, es suficiente con intercambiar dos fases en su conexión, esta particularidad es considerada para el inicio del diseño del relevador, para ello también por comodidad elegiremos V1 y V2, quienes nos proporcionan la información suficiente de la secuencia de fases, como se puede apreciar en la Figura 2.



Figura 2.- Representación a bloques del circuito sensor del relevador

El uso de fasores llevó a considerar impedancias para desarrollar el sensor, además de facilitar el diseño, tienen un costo bajo. Las impedancias que tienen una componente reactiva ya sea inductiva o capacitiva, provocan el desfaseamiento de la corriente eléctrica con respecto del voltaje, esta propiedad la usamos para iniciar el diseño del circuito sensor del relevador, este circuito se muestra a bloques en la Figura 3, consideraremos dos fases cualesquiera de las tres fases disponibles

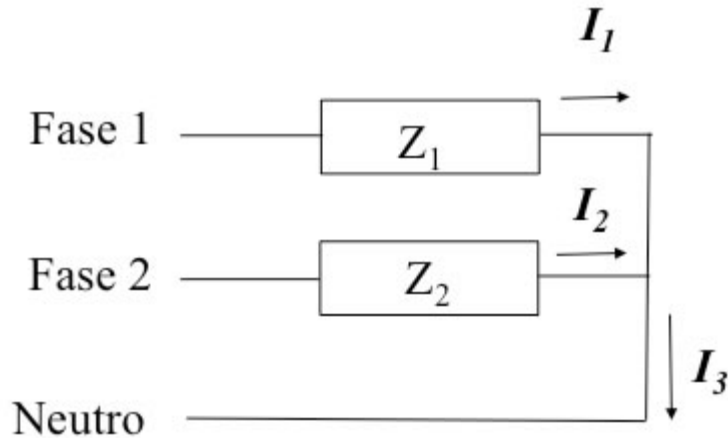


Figura 3.- Diagrama de bloques inicial para el diseño del sensor

Al considerar impedancias,  $Z_1$  y  $Z_2$ , la corriente  $I_3$  toma valores diferentes para cada una de las secuencias de fases AB y BA y para el diseño se consideró lo siguiente:

Cuando  $I_3 = 0$ , se considerará que la secuencia de fases es AB. y

Cuando  $I_3 = 0$ , la secuencia de fases es BA.

Por Ley de Ohm, se tiene las expresiones siguientes:

$$I_1 = \frac{V_1}{Z_1} \quad I_2 = \frac{V_2}{Z_2}$$

También del diagrama:

$$I_3 = I_1 + I_2 \quad (3); \text{ si } I_3 = 0 \text{ entonces } I_1 + I_2 = 0$$

Sustituyendo (1) y (2), en su forma cis en esta última expresión, se tendrá

$$\frac{V \text{ cis de } 0}{Z_1 \text{ cis de } \theta_1} + \frac{V \text{ cis } 120^\circ}{Z_2 \text{ cis de } \theta_2} = 0; \text{ que también puede quedar como:}$$

Realizando las operaciones, tenemos:

$$\frac{V}{Z_1} \text{ cis de } (-\theta_1) + \frac{V}{Z_2} \text{ cis de } (120^\circ - \theta_2) = 0$$

$$\frac{V}{Z_1} \text{ cis de } (-\theta_1) + \frac{V}{Z_2} \text{ cis de } (120^\circ - \theta_2) = 0$$

Para que se de la condición  $I_3 = 0$ , las impedancias deben tener el mismo módulo, por lo que

$$\frac{V}{Z_1} = \frac{V}{Z_2}$$

; y si por conveniencia suponemos que la impedancia  $Z_1$  es puramente resistiva,  $\theta_1 = 0$ , entonces la expresión queda:

$$\frac{V}{Z_1} \text{ cis de } (0) + \frac{V}{Z_2} \text{ cis de } (120^\circ - \theta_2) = 0$$

Para que la ecuación se cumpla, se requiere que  $120^\circ - \theta_2 = 180^\circ$ , pues de esta manera los fasores de corrientes  $I_1 + I_2$ , quedan en direcciones totalmente opuestas, pero de la misma magnitud, Figura 4, entonces se obtiene que  $\theta_2 = -60^\circ$

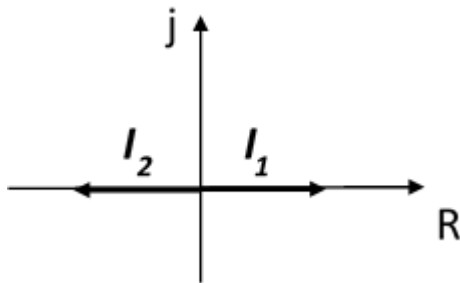


Figura 4.-Representación fasorial para  $i_3=0$

Como se aprecia la impedancia  $Z_2$  tiene característica de reactancia capacitiva, por lo que entonces el circuito que sensorá la secuencia de fases queda como se muestra en la siguiente Figura 5.

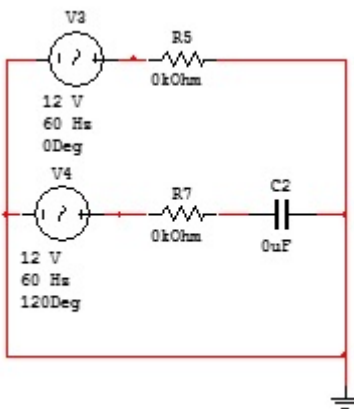


Figura 5.- Circuito del sensor que detecta la secuencia de fases

La corriente  $I_3$  se suministra a un circuito electrónico para transformarla en una señal discreta, por ello considera que será del orden de miliamperes, así se determinan los valores de los componentes que se ajustarán al diseño, además se ha elegido un valor de voltaje de 12 Vrms, que provendrá del banco de transformadores de 127VAC/12VAC, en la siguiente tabla se manejan estos valores; y se ha hecho así para encontrar la combinación de componentes con valores comerciales que más se ajusten.

$$Z_2 = \sqrt{R_1^2 - X_c^2}, \text{ y } \theta_2 = -60^\circ = \text{Tan}^{-1} \frac{-X_c}{R_1}, \text{ además sabemos que: } X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

Sabemos que la frecuencia  $f = 60$  Hz, por lo que entonces trabajamos en el llenado de la tabla, de la Figura 6 y como es mayor el número de valores comerciales de los resistores, que el de los capacitores, se propondrán los valores de capacitores para encontrar los de los resistores.

La combinación que elige es, la que aparece en rojo debido los valores son próximos a los comerciales, y nos permite conducir una corriente del orden de mA, así entonces tendremos los siguientes componentes:

$$C = 1.0 \mu\text{F} , R1 = 1.5 \text{ KOhms} , Z2 = 3.0 \text{ KOhms} (1.5 \text{ KOhms} + 1.5 \text{ KOhms})$$

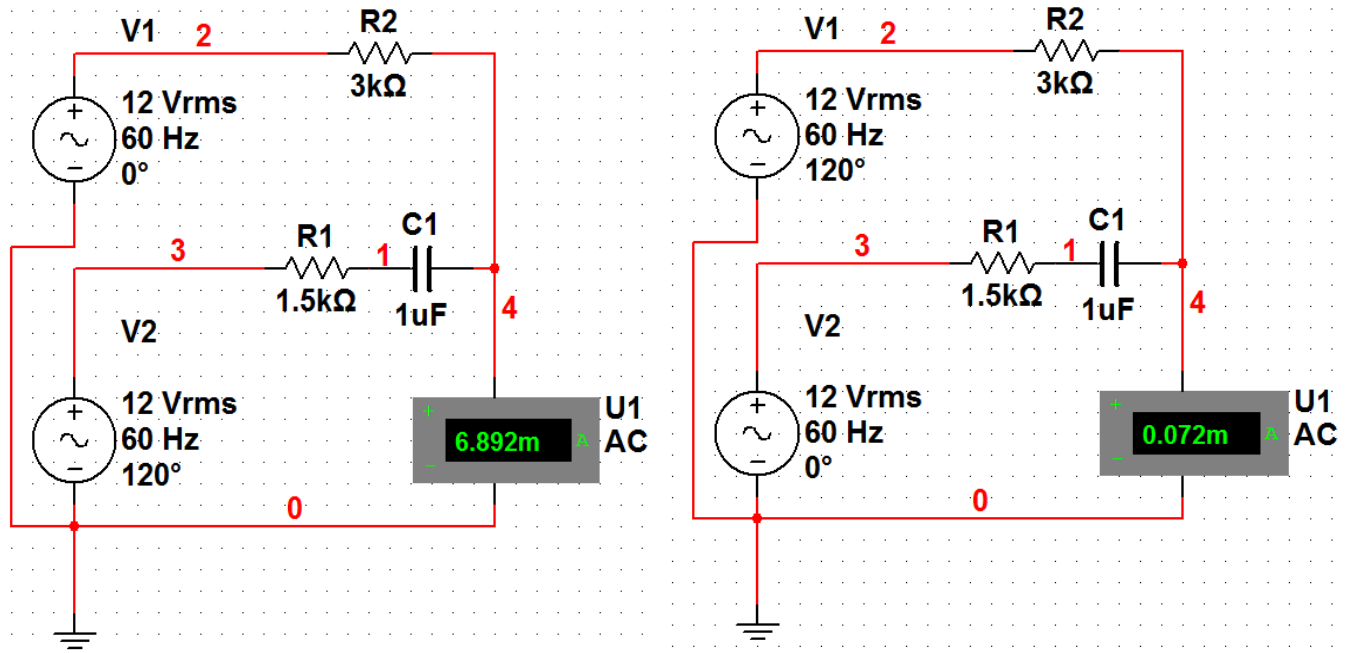
**TABLA 1.- Valores resultado de los cálculos.**

C ( $\mu\text{F}$ )	Xc (Ohms)	R1 (Ohms)	Z2 (Ohms)
0.33	8,038.14	4,640.82	9,281.64
0.47	5,643.80	3,258.45	6,516.90
0.56	4,736.76	2,734.77	5,469.54
0.68	3,900.86	2,252.16	4,504.32
<b>1.00</b>	<b>2,652.58</b>	<b>1,531.47</b>	<b>3,062.94</b>
2.20	1,205.72	696.12	1,392.25
3.30	803.81	464.08	928.16
4.70	564.38	325.84	651.69
5.60	473.68	273.48	546.95
6.80	390.09	225.22	450.43

Usando estos datos se simula en Multisim® el comportamiento del circuito para ambas condiciones que se han descrito, si la secuencia es BA, la corriente I3 tiene un valor de 6.892 mA y en el caso de la secuencia incorrecta AB, la corriente I3 tiene un valor de 0.072 mA, valor muy cercano a cero, como era de esperarse, ver Figura 7.

Ya que se verificó que el circuito propuesto tiene el desempeño que se requiere para detectar la secuencia de fases, se adecuará para obtener una señal de voltaje que será la que se procese para aplicarla al control del contacto que protegerá en el circuito de control del motor eléctrico, se introduce un resistor de 1 KOhm al circuito para obtener la señal que será procesada por el circuito electrónico, que se describirá más adelante, con este nuevo elemento, se hace la simulación con Multisim® para una secuencia AB, y posteriormente para una secuencia BA, ver Figuras 8 y 9, en el primer caso el voltaje en el resistor R<sub>3</sub> es 4.528 Vdc y en el segundo caso es 47 mVdc, estos valores son con los cuales se diseñará la siguiente etapa de procesamiento.

□@||@



a) b)

En la etapa de procesamiento de esta señal enviada por el circuito sensor de la secuencia de fases, se usa un comparador de voltaje,  $\frac{1}{4}$  de un C.I. LM339, acompañado de la electrónica necesaria para operar un relevador de accionamiento electromagnético, Figura 10, que aportara el contacto NA, que se alojará en el circuito de control del motor eléctrico al cual se le desea controlar su operación en un solo sentido de giro; el diseño queda validado con esta simulación virtual.

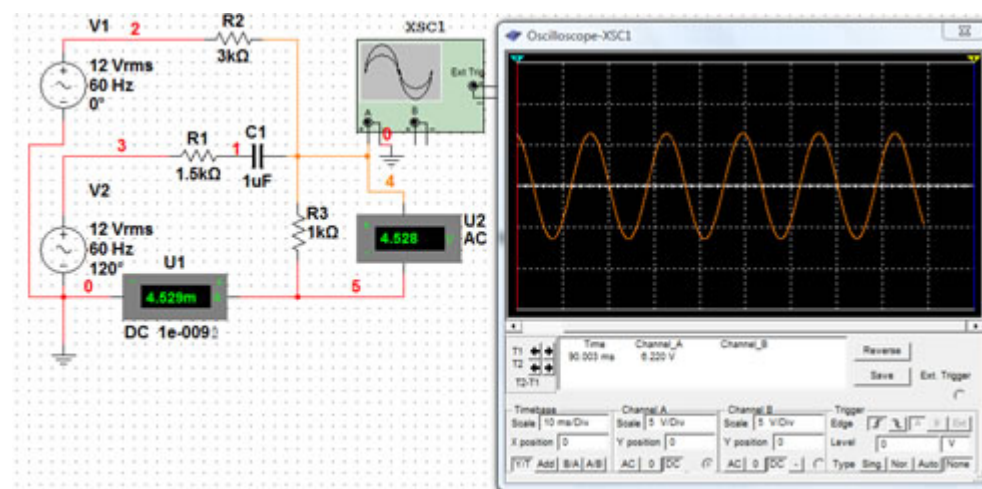


Figura 8.- Resultados de la simulación en Multisim® para secuencia BA

Se ha ajustado el nivel de comparación a 2.76 Volts, en el OpAmp, con la finalidad de: primero asegurar la señal discreta que se requiere ya acondicionada y segundo, con ello se considera la posible variación de hasta el -5% en el voltaje de entrada en el banco trifásico de transformadores.

En una siguiente etapa se realiza el diseño de ingeniería y la construcción del prototipo con características definidas para su operación en una planta industrial, lo denominamos Industrialización del Prototipo.

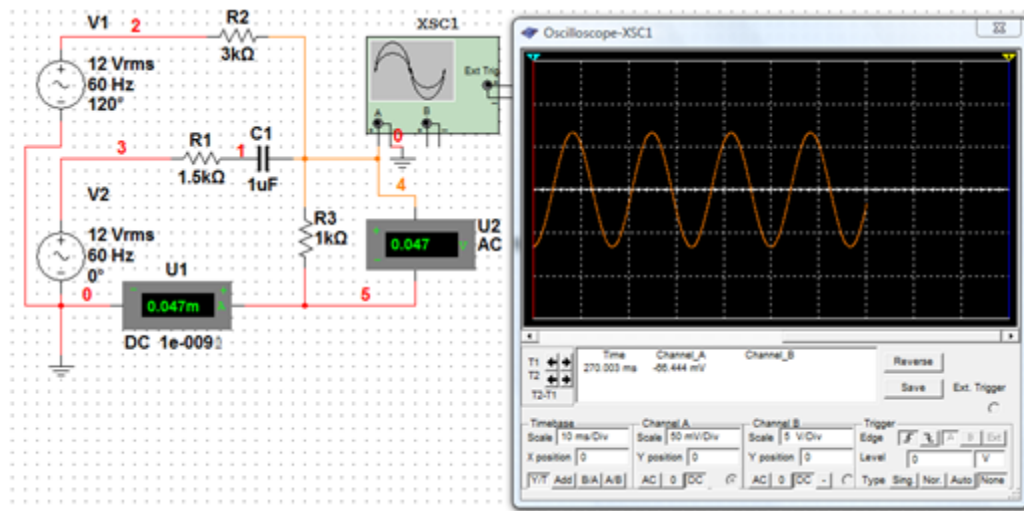


Figura 9.- Resultados de la simulación en Multisim® para secuencia AB

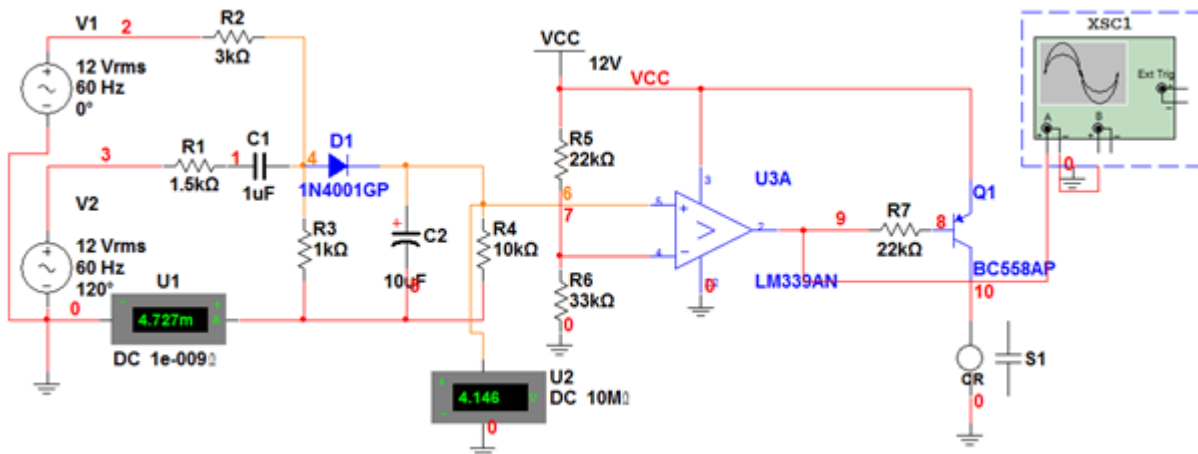


Figura 10.- Circuito final del relevador que detecta la secuencia de fases en un sistema de alimentación trifásico

## 5. Conclusiones

El diseño de Ingeniería nos permite desarrollar soluciones con alto grado de precisión en el acercamiento al producto final, un trabajo de diseño o desarrollo empleando una metodología, siempre nos conducirá a soluciones óptimas, en el caso que nos ocupa, nos ha permitido obtener un modelo validado por una herramienta computacional, a partir de este se empezaría a desarrollar la ingeniería del producto (Proyecto Ejecutivo), que ya validado nos dará los elementos necesarios para la construcción del prototipo, y validado también, nos conducirá a lo que llamamos, industrialización del prototipo, listo para la producción en serie.

## 6. Referencias

1. Lilen, H. (1991). Tiristores y triacs, 1ª Ed., Marcombo
2. Charles R, A; Mathew, S. (2006). Fundamentos de Circuitos Eléctricos, 3ª Ed.
3. Verein Deustcher Ingenieure. Design methodology for mechatronic systems, VDI 2206, Edi. 2004.