

Programador Lógico para control de potencia

Gustavo J. Boschi¹, Guillermo A. Molina², Luis A. S. Carrazán³, Mariano Deleu⁴

¹ Jefe del Laboratorio de Electrónica - Universidad de la Marina Mercante, Buenos Aires, Argentina

`gustavo.boschi@docentes.udemm.edu.ar`

² Jefe del Laboratorios - Universidad de la Marina Mercante, Buenos Aires, Argentina

`gmolina@udemm.edu.ar`

³ Profesor, Catedra Técnicas Digitales III - Universidad de la Marina Mercante, Buenos Aires, Argentina

`luis.carrazan@docentes.udemm.edu.ar`

⁴ Profesor, Cátedra Electrónica Aplicada I - Universidad de la Marina Mercante, Buenos Aires, Argentina

`mariano.deleu@docentes.udemm.edu.ar`

Resumen. En el presente trabajo se exponen los avances logrados en el desarrollo de conmutadores de potencia aplicado a motores eléctricos de inducción, con el objeto de ahorrar energía. Para lograrlo se recurre al desarrollo de un programador lógico cuyo ciclo de actividad será variable de acuerdo al requisito del proceso. El proyecto está orientado a motores de corriente alterna aplicados a sistemas de ventilación industrial. La metodología planteada pretende variar los tiempos de aplicación de la señal eléctrica al motor. Esto da por resultado un ahorro de energía con consecuencias casi imperceptibles para los usuarios. Otros campos de aplicación de esta tecnología de conmutación podrían darse en sistemas de climatización, procesos industriales de calentamiento mediante resistencias eléctricas, etc.

Palabras clave - programador lógico, control de potencia, eficiencia energética

1 Introducción

El objetivo del dispositivo de conmutación de potencia es reducir la demanda de energía eléctrica en un motor de corriente alterna en uso continuo. Por ejemplo, el utilizado en equipos de ventilación industrial. Esto se consigue modificando el tiempo de aplicación de la tensión de alimentación a través de un control electrónico de costo moderado, implementado con un Kit Arduino. Este tipo de dispositivo electrónico es de tecnología flexible y abierta.

Es práctica general de los proyectistas de sistemas de ventilación, que al seleccionar el motor de accionamiento de dicho ventilador la potencia nominal calculada para el motor no se encuentre exactamente dentro de los valores ofertados

por el catálogo de los fabricantes, teniendo que colocar un motor de potencia inmediatamente superior a la exigida para la aplicación proyectada.

Esto trae aparejado una disminución en el rendimiento del motor y de su factor de potencia, ambos parámetros encuentran su valor óptimo cuando la potencia mecánica demandada al motor adopta el valor nominal para el que fue proyectado dicho motor [1].

El diseño propuesto tiene la característica de llevar la potencia exigida al motor por el ventilador a la potencia de cálculo del motor para el diseño del sistema de ventilación en cuestión. Con la finalidad de lograr dicha reducción, se aprovecha la inercia mecánica del sistema.

La inercia es la propiedad que tienen los cuerpos de permanecer en su estado de reposo relativo o movimiento relativo. Dicho de otra forma, es la resistencia que opone la materia a modificar su estado de movimiento, incluyendo cambios en la velocidad o en la dirección del movimiento. Como consecuencia, un cuerpo conserva su estado de reposo relativo o movimiento rectilíneo uniforme relativo si no hay una fuerza que, actuando sobre él, logre cambiar su estado de movimiento [2].

Podríamos decir que la inercia es la resistencia que opone un sistema de partículas a modificar su estado dinámico.

2 Metodología

El proyecto consta de dos etapas, a saber:

- Desarrollo de la etapa de potencia.
- Desarrollo de la programación del circuito lógico.

El estudio presentado en este artículo está basado en el concepto de la modulación digital del tipo ASK aplicada a una señal senoidal que alimenta un motor de inducción como por ejemplo, el utilizado en equipos de ventilación industrial. Esto se consigue modificando el tiempo de aplicación de la tensión de alimentación a través de un control electrónico de costo moderado, implementado con un Kit Arduino. El Kit Arduino UNO el cual dispone en su arquitectura un módulo PWM (pulse width modulation) como parte del conjunto de módulos periféricos internos del mismo y tiene la característica de generar una señal rectangular periódica con ancho de pulso variable.

Esta placa es capaz de variar el ciclo de actividad de la señal rectangular generada, lo cual tiene una gran importancia ya que como una de sus aplicaciones permitirá controlar la potencia suministrada a la carga.

La Fig. 1 muestra la señal a aplicar al mando del relé de estado sólido de modo de energizar y des energizar al motor de inducción monofásico. Una señal de similares características fue generada mediante la programación del módulo PWM de la placa Arduino.

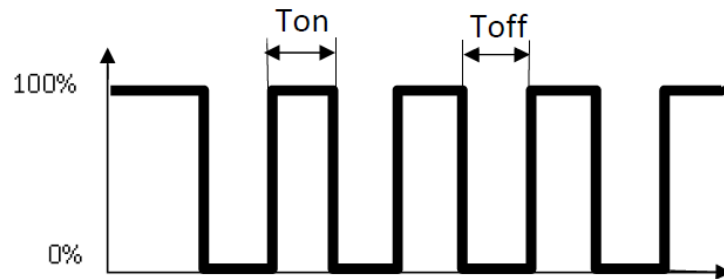


Fig. 1 Esquema de la señal de mando del relé de estado sólido [5].

Se denomina ciclo de actividad a la relación entre el tiempo de alto de la señal en un ciclo y al período total de la señal rectangular. El ciclo de actividad será una magnitud adimensional mayor a cero y menor que uno. Mientras más cercano a uno, mayor será la transferencia de potencia, pues mayor será el valor medio de la señal. [3]

La configuración adoptada para el presente desarrollo permite variar tanto la frecuencia como el ciclo de actividad de la señal rectangular.

Esta señal rectangular (señal moduladora) se utilizará para modular a la señal sinusoidal de la red pública, resultando una modulación digital del tipo ASK, tal como indica la figura 2:

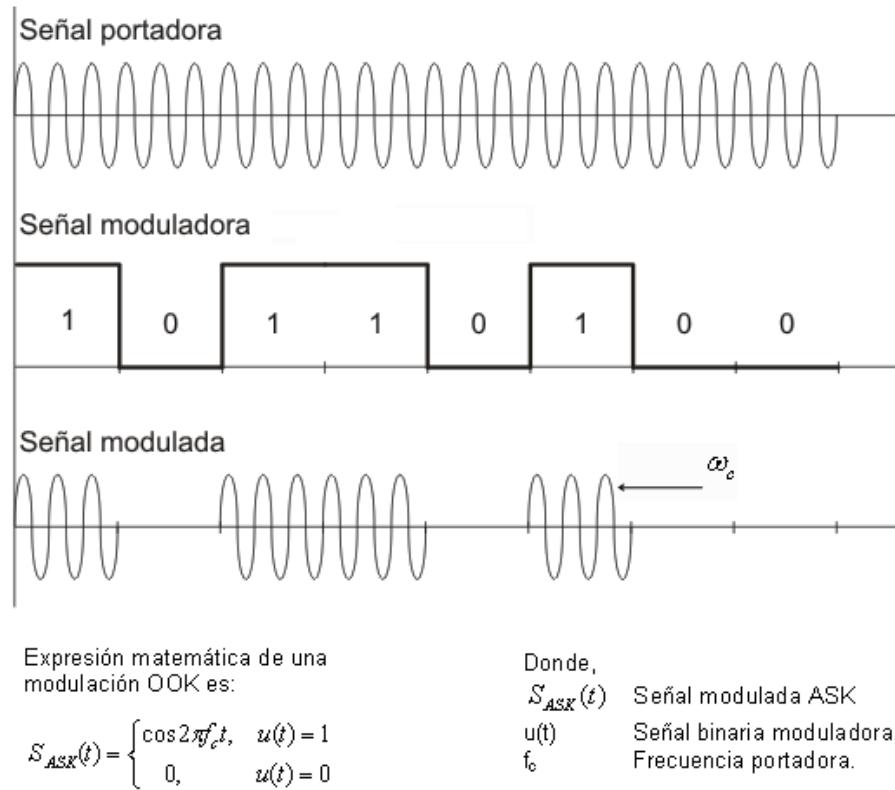


Fig. 2 Modulación digital de la señal senoidal (ASK) [4].

Dado que visto desde la red, la impedancia del motor tiene una componente reactiva inductiva, se cuidó que por software exista un sincronismo entre la señal modulante y la señal a modular (portadora), de modo que el relé de estado sólido se active en el instante cruce de cero con pendiente positiva de la señal sinodal.

De esta manera se evita excesivos picos de corriente durante la activación del motor [1].

El hecho de alimentar la carga mediante una señal modulada del tipo ASK como la de la figura 2, implica que la misma tendrá un espectro en frecuencia como muestra la figura 3:

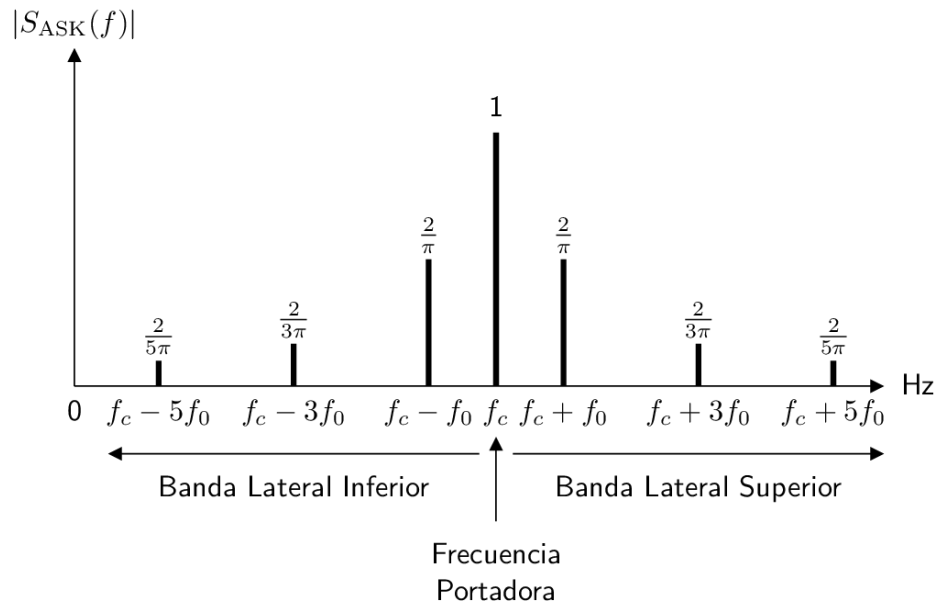


Fig. 3 Espectro de frecuencias de modulación ASK [4].

Dado que – como se verá en el ensayo en régimen continuo- la mayor parte de la impedancia del motor es resistiva, la corriente tendrá un espectro en frecuencias similar al de la figura 3.

Por tratarse de un motor de baja potencia (ensayado en el presente trabajo) se asumirá que el efecto de dichas frecuencias interarmónicas es despreciable, dejando para otra etapa (motores de mayor potencia) el análisis del mencionado efecto.

En cuanto al motor asincrónico monofásico se realizaron los ajustes de la señal modulante, la frecuencia y el tiempo de apagado (T_{off}) de modo que se garantice que el motor trabaje dentro de la zona de estabilidad tal como muestra la figura 4.

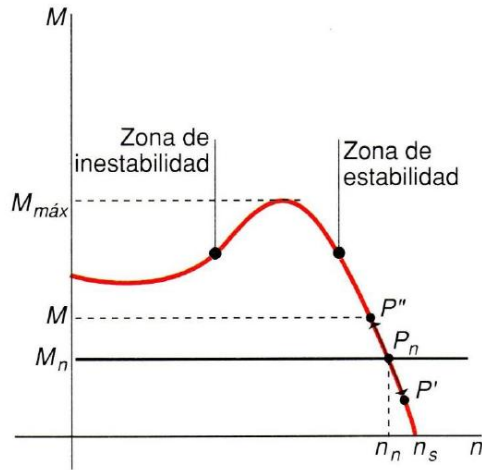


Fig. 4 Diagrama momento versus velocidad de un motor de inducción[1].

Donde P_n es el Par Nominal y M_n es el Momento nominal dónde el motor está en funcionamiento estable.

La duración del “corte energético” debe ser tal que el motor no abandone la zona de estabilidad, lo cual permite un arranque “rápido” sin gran consumo de corriente (menor o igual a dos veces la corriente nominal).

La figura 5 se muestra la corriente en función del tiempo durante el arranque del motor de inducción.

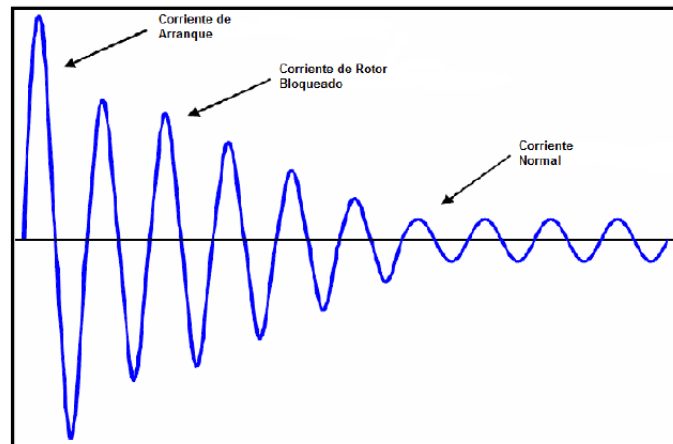


Fig. 5 Corriente del motor en distintas fases de funcionamiento[1].

Lógicamente, al producirse la interrupción de alimentación al motor y el posterior restablecimiento, se efectuará un nuevo “pico de arranque” el cual debe cuidarse de no ser muy superior del valor nominal.

3 Desarrollo

Se propuso construir un sistema que controle el accionamiento de un relé de estado sólido mediante control por ancho de pulso (PWM), donde el control del ciclo activo se pueda modificar a través de un potenciómetro analógico, dicha señal aplicada a un relé de estado sólido permitirá modula la señal sinodal de red (50Hz).

Se estableció un rango variable para el período de la señal de control, que fuera de 10 milésimas de segundos hasta 7 segundos.

Para resolver el problema se utilizó una placa ARDUINO UNO con una placa accesoria que cuenta con un LCD de 16x2 caracteres y 5 pulsadores. El LCD permite visualizar tanto la frecuencia como el ciclo de actividad de la señal rectangular (señal modulante).

Además, se emplearon dos potenciómetros rotativos, uno para variar la frecuencia de la señal modulante y el otro para variar su ciclo de actividad.

El diagrama en bloques se muestra en la Fig. 6.

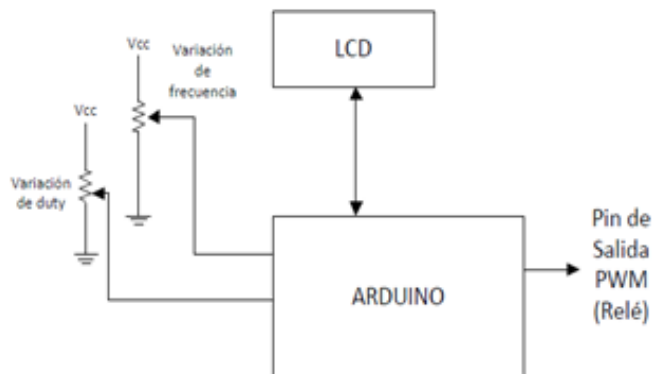


Fig. 6 Diagrama en bloques del circuito

Se realizó la programación en lenguaje C, utilizando el compilador propio del sistema Arduino, la figura 7 muestra el diagrama de flujo del programa:



Fig. 7 Diagrama de flujo del programa

Las figuras 8 y 9 permiten ver la placa experimental y la señal obtenida durante las pruebas del circuito.

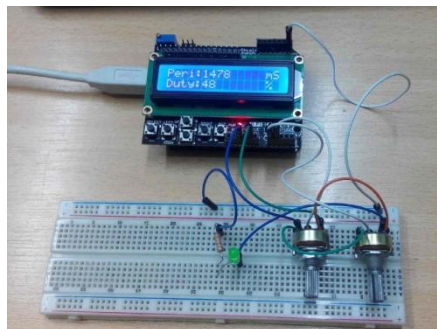


Fig.8. Imagen del circuito implementado

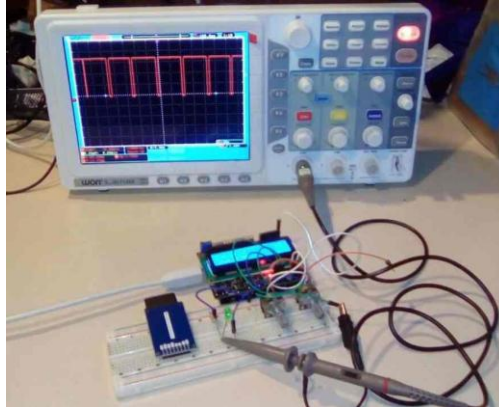


Fig. 9. Visualización del ciclo de trabajo y período de la señal

La figura 9 muestra la verificación de la señal modulante, para corroborar dicha señal se empleó un osciloscopio digital con la finalidad de poder constatar el ancho de pulso y período de la señal en todo el rango proyectado.

La señal modulante se aplicó a un relé de estado sólido el cual se encarga de energizar y des energizar al motor de inducción, siguiendo la idea del control On-Off de la figura 10, en la cual puede observarse el efecto en el sistema (variación de la velocidad en el eje del motor) debido a dicha conmutación.

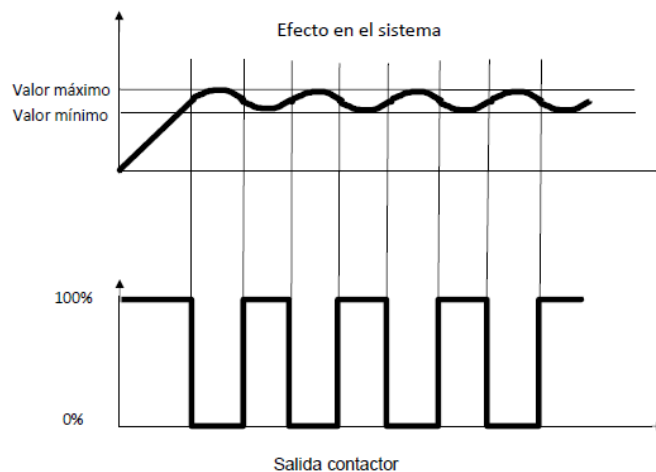


Fig. 10. Señal de mando del relé y su relación con la velocidad en el eje del motor [5].

Con la finalidad de evitar un considerable pico de corriente se eligió un relé de estado sólido que posee la característica de cruce por cero. El modelo seleccionado es el 70S2-03-C-25-S.

El hecho de efectuar la conmutación en el cruce por cero de tensión, permite reducir notablemente la corriente en el motor al inicio del tiempo ON (Tiempo activo indicado en la figura 2).

4 Pruebas realizadas

A los efectos de comprobar el ahorro energético se realizaron los ensayos pertinentes sobre un motor que acciona un ventilador centrífugo mostrado en las figura 1, el cual impele presión al aire del conducto de la figura 12.



Fig.11. Conjunto ventilador-motor



Fig.12. Conducto conectado al ventilador

Los datos del motor a inducción son:

- Marca: Czerweny tipo monofásico,

- Potencia nominal = 0,5 CV,
- Velocidad 2830 RPM,
- Corriente nominal 2,1A.

La figura 13 muestra el diagrama eléctrico del “Programador lógico para el control de potencia”

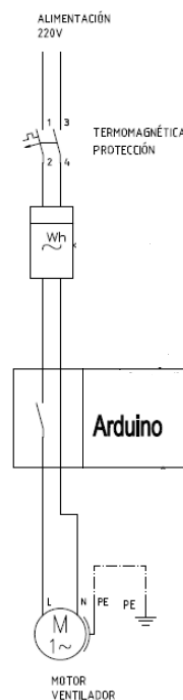


Fig.13. Esquemático del control de potencia del motor

Para la medición de potencia se utilizará un analizador de consumo de energía marca Hiking con comunicación Modbus RTU, este analizador permite enviar a una computadora los datos de tensión, corriente y potencia, además de otros valores para poder posteriormente procesarlos.

En cuanto a los parámetros característicos del aire del conducto se efectuó la medición de la velocidad con un anemómetro digital, mientras que la presión se midió con un manómetro digital. Dichas mediciones fueron efectuadas en el conducto azul de la figura 12.

Como primer parte del ensayo se conectó el conjunto ventilador- motor de la figura 11 de forma directa a la red eléctrica, con esta conexión se obtuvieron los datos de los parámetros a analizar en régimen continuo.

La segunda parte del ensayo consistió en conectar el conjunto ventilador-motor siguiendo el esquema de la figura 13 durante una hora. Se ajustó el controlador de forma tal de obtener en la señal de conmutación de la figura 1: $T_{on} = 5$ segundos, $T_{off} = 1$ segundo; es decir el funcionamiento del mencionado conjunto fue en régimen intermitente.

Esta parte del ensayo permitió tomar datos para posteriormente contrastarlos con las de la primer parte y evaluar ahorro energético versus modificación de los parámetros del aire en el conducto (velocidad y presión).

5 Conclusión

De la comparación del funcionamiento entre el régimen continuo y el régimen intermitente surge la siguiente tabla con los parámetros evaluados:

Régimen	Potencia consumida [W]	Presión en el conducto de aire [mBar]	Velocidad en el conducto de aire [m/s]
Continuo	391	14,9	28
Intermitente	337 (valor máximo medido)	14,3 (valor mínimo medido)	26 (valor mínimo medido)

Puede verificarse un ahorro energético del 13,8 % con una imperceptible reducción del 4 % en la presión del conducto y un disminución del 7,14 % en la velocidad del aire en el conducto.

Queda abierta la experimentación -para otra etapa- con una realimentación en velocidad del motor con la finalidad de mejorar la estabilidad en la disminución de dicha magnitud y en consecuencia valores más estables de presión y velocidad en el conducto de aire, dado que pudieron apreciarse fluctuaciones en las mismas.

Referencias

1. Chapman, S: Máquinas Eléctricas (2a. ed.). Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana (1993).
2. Resnick, R & Halliday, D: Física Parte1 (1a.ed.). México, D.F., México: Compañía Editorial Continental (1980).
3. Pueyo, H & Marco,C: Análisis de Modelos Circuitales (1a. Ed.). Buenos Aires, Argentina: Arbó (1993).
4. Kustra,R: Comunicaciones Digitales (1a. Ed.). Buenos Aires, Argentina: Hasa (1986).
5. Maloney, T: Electrónica industrial moderna (5a. Ed.). México, D.F., México: Pearson (2006).