

ESTRATEGIAS DE CONTROL POR FRECUENCIA DE MOTORES TRIFÁSICOS ASINCRÓNICOS

Ing. Jorge Pablo Vega Borrego¹, Dr. Francisco Eneldo López Monteagudo²,
Dra. María Auxiliadora Araiza Esquivel³ y Dr. Arturo Moreno Báez⁴

Resumen—En el presente artículo se muestra el proceso que involucra el diseño para un control por frecuencia aplicado a un motor de inducción trifásico, donde se presenta el uso de diferentes dispositivos para la obtención de dicho control, el objetivo fundamental es la implementación de tarjetas programables Raspberry Pi 2 model B y la tarjeta Arduino UNO para el procesamiento de la información y la creación de una interfaz gráfica elaborada con software libre. Además se diseñó un sensor para la retroalimentación del sistema mediante el cual se crea un modelo matemático del motor. Los resultados experimentales en la plataforma de prueba del sistema del control implementado demuestran la validez del sistema propuesto.

Palabras clave— motor de inducción, control por frecuencia, sensado, modelado matemático, tarjetas programables.

Introducción

A lo largo de la historia el ser humano ha mejorado las formas de fabricación de diferentes procesos, mejorando la calidad y la velocidad de elaboración de los mismos. Un dispositivo que ha colaborado con esto es el motor de inducción a tal grado que este tipo de motores representan el 80% del gasto energético de la industria (Andrés Vergara, 2016).

Los motores de inducción representan el 80% del gasto energético industrial, son robustos y tienen buen desempeño. Su control es más complejo que los motores de corriente. Existen métodos electrónicos de control de los motores de inducción muy atractivos como el control voltaje/frecuencia (V/Hz), constante y el control vectorial. El más utilizado a escala industrial es el control voltaje/frecuencia constante por tal razón en el presente artículo se analiza este tipo de método de control, descrito en (Sánchez y Giraldo, 2008).

En el presente artículo se describen el diseño e implementación de un control voltaje/frecuencia desde una computadora, como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Esquema de trabajo para implementación del control.

Como se aprecia en la Figura 1, cada bloque tiene una función específica:

- 1) Interfaz gráfica que se aplica para manipular los parámetros del control.
- 2) Sensor utilizado para retroalimentar la salida y hacer modificaciones en el control.
- 3) Variador de frecuencia Siemens Micromaster 420 utilizado para la implementación del control (V / Hz).
- 4) Motor de inducción trifásico tipo jaula de ardilla.

¹ El Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica Jorge Pablo Vega Borrego es Alumno de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, México. jpablo_vega@hotmail.com

² El Dr. Francisco Eneldo López Monteagudo es Profesor-Investigador Titular de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, México. eneldolm@yahoo.com

³ La Dra. María Auxiliadora Araiza Esquivel es Profesora-Investigadora Titular de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas México. araizama@cantera.reduaz.mx

⁴ El Dr. Arturo Moreno Báez es Profesor-Investigador Titular de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, México. moreno20@hotmail.com

Motor asincrónico trifásico

El motor asincrónico trifásico es una máquina que solo tiene devanados de amortiguación, recibe el nombre de máquina de inducción, porque el voltaje del rotor (que produce la corriente y el campo magnético del rotor) es inducido en los devanados del rotor en lugar de estar físicamente conectados a través de alambres.

Una de las características principales del motor asincrónico es que no requiere corriente de campo DC para operar la máquina, cabe mencionar que es posible usar la máquina asincrónica como un motor o un generador.

El rotor jaula de ardilla consiste en una serie de barras conductoras acomodadas entre ranuras labradas en la cara del rotor, las cuales están cortocircuitadas en cada extremo por anillos de cortocircuitado. El rotor devanado contiene un grupo completo de devanados trifásicos. Por lo general las fases de los devanados de rotor están conectadas en estrella, donde los extremos de los tres alambres del rotor están unidos (Chapman, 2005).

Sensado y modelado matemático del motor de inducción

Para el modelado matemático del motor es necesario obtener su comportamiento dinámico ante una entrada conocida mediante el cual se pueda identificar el comportamiento del sistema (Ogata, 2010). Para el sensado se utilizó el diagrama que se muestra en la Figura 2.

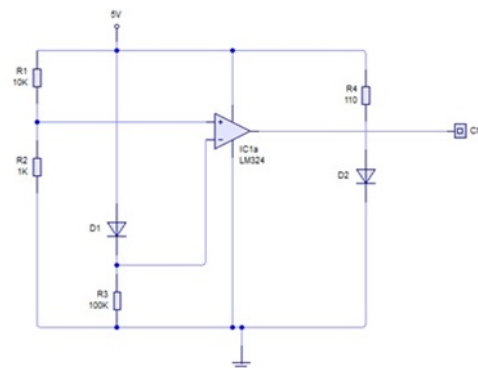


Figura 2. Circuito propuesto para el sensado.

Como se observa en la Figura 2, se utilizó un sensor óptico con un encoder para obtener la velocidad angular del motor, esta información se procesa con la tarjeta programable Arduino para pasar la información por un puerto serial a la tarjeta programable Raspberry Pi 2 model B, que permite graficar dicha información obteniéndose la curva de velocidad angular del sistema. Con la grafica obtenida de velocidad en función del tiempo, se obtienen los parámetros del modelo matemático del motor. Dependiendo de las características del motor se obtienen diferentes comportamientos dinámicos en la Figura 3 se muestran las respuestas típicas para un motor de inducción tipo jaula de ardilla.

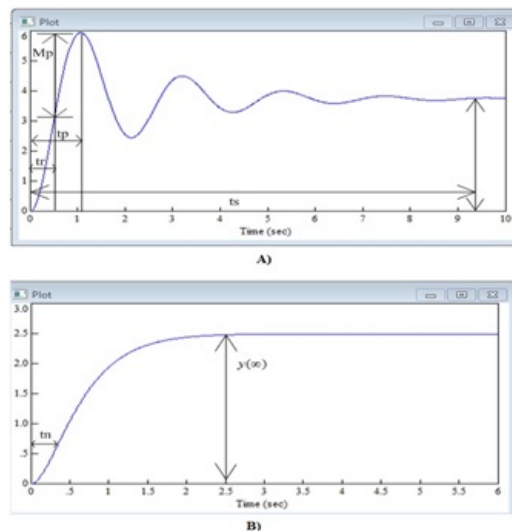


Figura 3. A) Respuesta subamortiguada B) Respuesta críticamente amortiguada.

La respuesta subamortiguada es de segundo orden. Esta respuesta presenta diferentes características que permiten conocer el comportamiento del sistema, sus principales parámetros para una señal de entrada conocida de amplitud A en (V) son:

- Sobreoscilación M_p .
- Tiempo pico t_p , expresado en segundos
- Tiempo de levantamiento t_r , en segundos
- Tiempo de asentamiento t_s , en segundos
- Ganancia del sistema K_e
- Respuesta del sistema en estado estacionario $y(\infty)$.

Para el cálculo de los parámetros se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$M_p = \left(\frac{y(t_p) - y(\infty)}{y(\infty)} \right) \dots (1)$$

$$\omega_d = \frac{\pi}{t_p} \dots (2)$$

$$\omega_n = \frac{\omega_d}{\sqrt{1 - \xi^2}} \dots (3)$$

$$K_e = \frac{y(\infty)}{A} \dots (4)$$

$$\xi = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\pi}{\ln(M_p)} \right)^2 + 1}} \dots (5)$$

La respuesta críticamente amortiguada es de segundo orden. Esta respuesta presenta diferentes características que permiten conocer el comportamiento del sistema, sus principales parámetros para una señal de entrada conocida de amplitud A en (V) son

- Frecuencia natural ω_n en (rad / s)
- Ganancia del sistema K_e
- Tiempo t_n (seg) que demora la señal en alcanzar el 26.4% del valor final
- Valor del sistema en estado estacionario $y(\infty)$

Para el cálculo de los parámetros se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$y(\infty) \cdot 0.264 \dots (6)$$

$$\omega_n = \frac{1}{t_n} \dots (7)$$

$$K_e = \frac{y(\infty)}{A} \dots (8)$$

En la Figura 7 se presenta el motor junto con su circuito para sensar la señal y el variador de frecuencias Micromaster 420 de Siemens, que tiene la función de hacer la inversión para manipular el comportamiento del sistema.

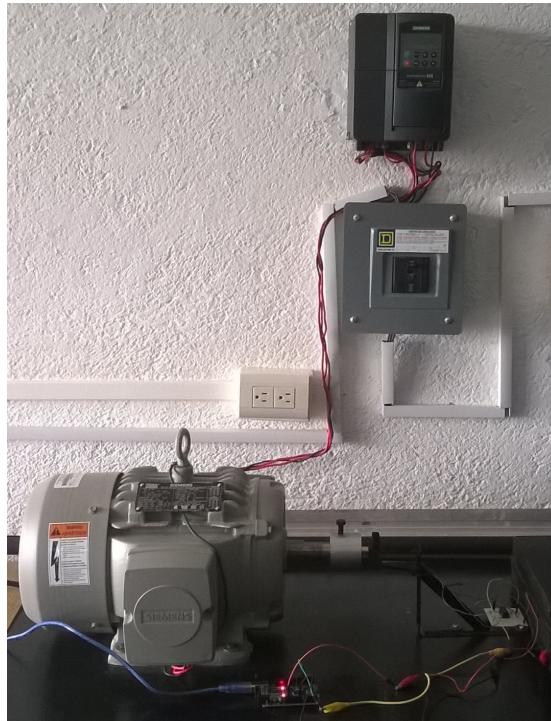


Figura 7. Sistema para la implementación del control en lazo cerrado.

Conclusiones y Recomendaciones para Trabajos Futuros

Se desarrolló una plataforma experimental para obtener el modelado matemático de un motor de inducción trifásico mediante la cual se obtienen los parámetros de la función transferencia del motor con un control voltaje/frecuencia. Para el sensado de la velocidad del motor se diseñó un sensor óptico con el cual se logró medir la velocidad en el eje del motor y graficar su comportamiento dinámico. Para la implementación del sistema de control se utilizó una tarjeta programable Raspberry Pi 2 model B y una tarjeta Arduino UNO sustentadas sobre software libre para la interfaz gráfica y el procesamiento de la información con las cuales se define la ley de control.

El diseño de la plataforma fue exitoso. Para trabajos futuros se recomienda la consideración de avances tecnológicos que puedan mejorar el desempeño de cualquiera de los componentes del sistema.

Referencias

- Chapman, S. "Máquinas eléctricas", McGraw Hill, 2005.
- Córdova, G. "Diseño e implementación de un sistema de control de velocidad con LabView y NI-ELVIS para el Motor DMES8G", ENINVIE, 2005.
- González, M. "Ingeniería de Control (Notas)", McGraw Hill, 2010.
- Ogata, K. "Ingeniería de control Moderna", Pearson, 2010.
- Sánchez, S. y E. Giraldo. "Modelado de inducción en el sistema de coordenadas de campo orientado del flujo del rotor", Scientia et Technica, No. 29, 2008.
- Siemens, "Manual para el sinamics G110", Pag 66, consultado por internet en Abril de 2015 Dirección de Internet: http://www.tecnical.cat/PDF/Siemens/MECATRONICA/manual_sinamics_G110.pdf
- Vergara, A.. "Control escalar aplicado al motor de inducción en lazo cerrado", Universidad de Pamplona en línea, consultado por internet el 20 de Agosto de 2016. Dirección de Internet: www.unipamplona.edu.co/unipamplona/hermesoft/portallIG/home_1/recursos/tesis/contenidos/pdf_tesis/03052007/control_escalar_cerrado.pdf