

“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA CONTROLADOR DE VELOCIDAD DE UN MOTOR TRIFASICO USANDO MATLAB”

Adrián Aranda Sánchez¹, Omar Vásquez Suárez², Juan Del Pozo Lemos³.

¹Ingeniero Electrónico Industrial 2005.

²Ingeniero Electrónico Industrial 2005.

³Director de Tópico, Ingeniero en Electricidad, ESPOL,1968. Postgrado en Ingeniería Eléctrica 1971, Master of Science in Electrical Engineering, 1978, Profesor Principal de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación.

RESUMEN

En este proyecto se desarrolla el control de velocidad de un motor trifásico utilizando la técnica de control de PWM, este es uno de los varios módulos que conforman el sistema de Plantas de Procesos Industriales del Laboratorio de Control Automático.

La finalidad del diseño y construcción de estas plantas es estudiar el comportamiento y los métodos de control utilizados en los procesos más comunes de la industria; así mismo, la incorporación de las nuevas tendencias tecnológicas como es el control de procesos mediante computadores.

Con la ayuda de las herramientas que tiene este software, y el conocimiento dinámico de la planta construida en este proyecto, se creará un modelo matemático, al cual se aplicarán las técnicas clásicas aprendidas en el curso de Control Automático para seleccionar el controlador. El propósito principal del proyecto, es el desarrollo y ajuste de controladores virtuales para los diferentes módulos o plantas creadas, los cuales se realizarán mediante software, en este caso MATLAB.

La aplicación de las plantas diseñadas es básicamente para la realización de prácticas de laboratorio, dentro del curso Control Automático. Esto permitirá al estudiante familiarizarse y reforzar las teorías expuestas en clase. De igual manera este proyecto se puede tomar como una base, para las personas que se encuentren interesadas en realizar la optimización del controlador, mediante métodos modernos.

SUMMARY

In this project the speed control is developed for a three-phase motor using the technique to control from PWM, this it is one to the several modules that conform the System of Plants from Industrial Processes to the Laboratory of Automatic Control.

The purpose gives the design and construction gives these plants it is to study the behavior and the methods it gives control used in the most common processes

he/she gives the industry; likewise, the incorporation gives the new technological tendencies as it is the control he/she gives processes by means of computers.

With the help he/she gives the tools that he/she has this software, and the dynamic knowledge gives the plant built in this project, a mathematical model will be created, to which the classic techniques will be applied learned in the course she gives automatic control to select the controller. The main purpose of proyect, is the development and adjustment gives virtual controllers for the different modules or created plants, which will be carried out by means of software, in this case MATLAB.

The application gives the sketch plants it is basically for the realization he/she gives practical he/she gives laboratory, inside the course automatic control. This will allow the student to familiarize and to reinforce the theories exposed in class. Give same way this project it can take like a base, for people that are interested in carrying out the optimization gives the controller, by means of modern methods.

INTRODUCCIÓN

Gracias entre otros factores al desarrollo de la electrónica de potencia y a la tecnología hoy en día podemos controlar un proceso automáticamente, debido a esto los motores de inducción están sustituyendo a los de corriente continua en aquellas aplicaciones en que se necesita un control de la velocidad.

En comparación a otros tipos de circuitos, los de electrónica de potencia tienen características únicas que hacen su simulación particularmente desafiante, entre estas se puede mencionar la conmutación a altas frecuencias, gran tamaño y complejidad, largos tiempos de simulación, problemas de convergencia, etc.

Pero no es necesario contar con paquetes especiales, ya que por medio de la manipulación de modelos se puede reducir considerablemente los tiempos de simulación, además de los problemas de convergencia presentes en las técnicas tradicionales de simulación. Para ello se utilizará el software Matlab que corre bajo varios sistemas operativos; y, es un lenguaje no solo de instrumentación sino de varias aplicaciones y análisis desarrollados para PCs.

CONTENIDO

1. MODULO DE CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR TRIFASICO

1.1 Generalidades.

La planta construida para el desarrollo del sistema controlador esta constituida por un variador de frecuencia, un motor trifásico de inducción, un tacogenerador y una bomba de dirección hidráulica vehicular, las

señales que necesita la planta para operar correctamente las proporciona un computador mediante una tarjeta de adquisiciones 6024E de National Instruments.

1.2. Descripción del Módulo de Control de Velocidad de un Motor Trifásico

El módulo que se muestra en la figura 1.2.1, está diseñado para que trabaje en un lazo realimentado, este sistema permite el control de la velocidad del motor trifásico manteniendo como estrategia la velocidad constante.

El motor va conectado al variador de frecuencia, el cual es controlado por una señal analógica de 0[V] a 10[V] enviadas desde el controlador que será desarrollado en el software Matlab.



FIGURA 1.2.1 MODULO DE CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR TRIFASICO

Para que la planta permanezca en la velocidad establecida por el set point, se utiliza el lazo de realimentación el cual está comprendido por un tacó generador, que al girar a las revoluciones del motor proporcionará en sus terminales una tensión proporcional a esa velocidad instantánea. Y para crear una señal de perturbación en la planta se utiliza la bomba hidráulica del sistema de dirección vehicular.

1.3 Sensores y Actuadores.

El sensor de velocidad que utilizaremos, es un equipo compuesto de un motor de corriente continua de imanes permanentes, acoplado con una banda al eje motriz interno y un potenciómetro lineal divisor de tensión de 10K Ω , de donde se toma la señal de voltaje proporcional a la velocidad del eje motriz.

El variador de frecuencia a utilizarse es Micromaster 420, este tipo de actuador se alimenta con una tensión de 220 [V] trifásico, y esta controlado por microprocesadores que utilizan tecnología IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) de última generación

1.4 Circuitos Auxiliares de Control

Para la ejecución del proceso se emplearon circuitos de control y fuerza que sirven para la activación y desactivación del módulo propiamente dicho. El diseño eléctrico del funcionamiento de fuerza de la planta, y el diagrama eléctrico de control constan de breaker trifásico, contactor de fuerza y control, botonera de marcha y paro.

2. INTERFASE Y PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DEL SISTEMA CONTROLADOR DE VELOCIDAD EN SIMULINK.

2.1 Conexión y comunicación entre Host y target.

En este caso los computadores son conectados, mediante una red de cableado estructurado usando el protocolo de comunicación TCP/IP como se muestra en la figura 2.1.2. Esta forma de comunicación es utilizada por la facilidad que brinda al operador para controlar la planta desde cualquier lugar, solo se necesita saber el IP de la Target PC.

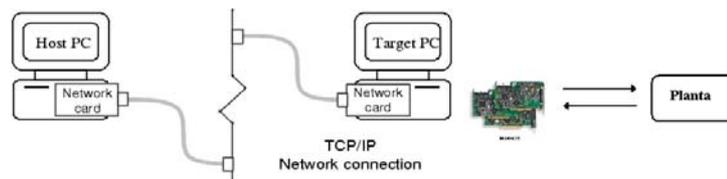


FIGURA 2.1.2. CONEXIÓN POR RED

2.2 Interfase y programación en Simulink.

La herramienta Simulink del software Matlab provee un ambiente de programación gráfico y de diagrama de bloques con todas las herramientas necesarias para la adquisición análisis y presentación de datos.

Después de crear el programa con diagrama de bloques, Simulink construye el proceso para generar código C, Compilar, comunicar y descargar la aplicación al *Computador Remoto (Target)*.

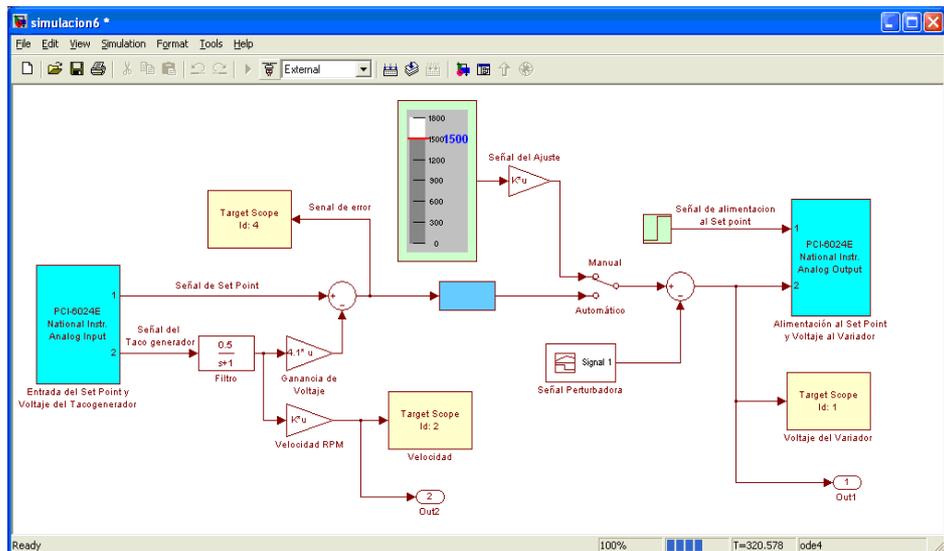


FIGURA 2.2.1 PROGRAMACIÓN EN SIMULINK

3. ADQUISICION DE DATOS Y CREACION DEL MODELO DINAMICO DEL SISTEMA CONTROLADOR DE VELOCIDAD

3.1 Equipos de Adquisición de Datos.

Para el envío y recepción de señales de la planta y el computador target se utilizó la tarjeta PCI 6024 de National Instrument, esta fue seleccionada debido a las características básicas y estándar que presenta, y que cumple con las necesidades del proyecto. Para facilidad del operador al realizar la adquisición de datos con la tarjeta PCI 6024E, se utilizará un bloque de adquisiciones CB-68LP

3.2 Configuración del Simulink.

Para poder iniciar la simulación en Modo Externo, en la programación de bloques construida en Simulink que se presentó en la figura 2.2.1, se debe realizar algunos procedimientos, como principal, la configuración de parámetros del sistema en Simulink. Una vez seleccionado los parámetros se procede a construir la codificación y descargar la aplicación en el Target PC.

3.3 Utilización de la Herramienta de Trabajo de Matlab “Identificador de Sistemas (System Identifications)”.

El modelo matemático sirve para encontrar los parámetros del controlador con las restricciones que se crean necesarias sin necesidad de utilizar la planta. El variador de frecuencia y el motor trifásico se comportan como

un motor DC, con lo cual el sistema tendría un modelo de la siguiente forma:

$$T(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$$

El Identificador de Sistemas es una herramienta que se utiliza para construir modelos matemáticos aproximados de plantas o procesos reales, basándose en la adquisición de datos de los mismos.

En la Figura 3.3.2 se exponen la señal de entrada a la planta y la respuesta de la misma respectivamente.

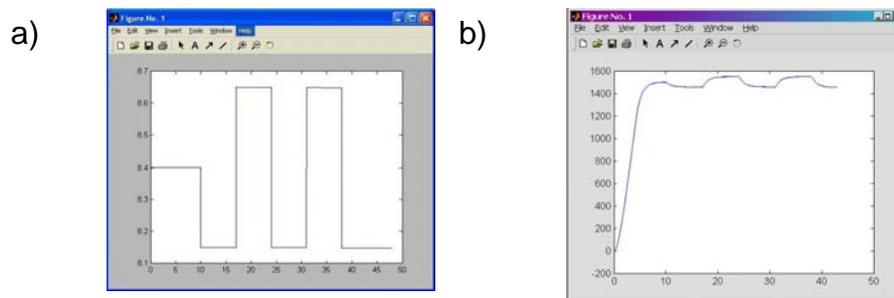


FIGURA 3.3.2 a) SEÑAL DE ENTRADA AL SISTEMA, b) SEÑAL DE SALIDA DEL SISTEMA.

Después de efectuar la labor correspondiente con los datos de la respuesta de la planta en el System Identification; es decir, se selecciona la cantidad de datos para evaluar distintos modelos, entre estos tenemos los siguientes: ARX, ARMAX, OE, BJ, STATE SPACE, luego de esto se realiza la validación de los modelos propuestos con parte restante de los datos que se ingresaron. Todas estas operaciones se ejecutan en las Pizarras de Datos y de Modelos, como se puede apreciar en la Figura 3.3.4 y sus respectivas respuestas a una entrada de tipo escalón unitario.

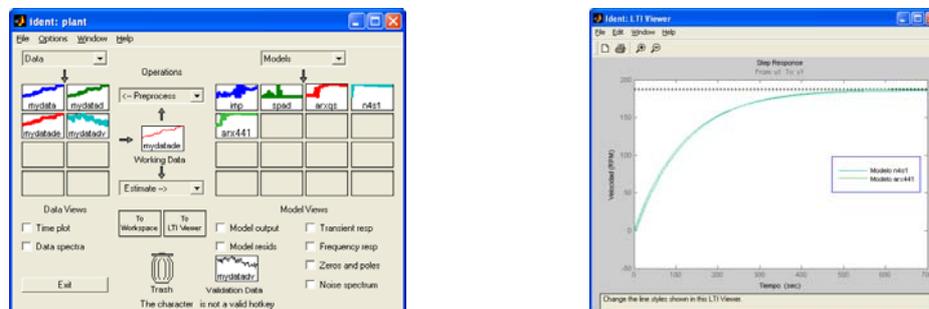


FIGURA 3.3.4 PIZARRA DE DATOS DE MODELOS PARAMÉTRICOS Y RESPUESTA DE MODELOS A UNA ENTRADA ESCALÓN UNITARIO.

Los modelos mas aproximados son llevados al Workspace y transformados a Funciones de transferencia, entre ellos se opta por el

que define mejor la dinámica de la planta cuando se ejercen variaciones de la señal de entrada o set point, dando por resultado un modelo de primer orden que es el siguiente.

$$T(s) = \frac{R(s)}{C(s)} = \frac{158.3}{s + 0.8536}$$

4. ELABORACION DE PRACTICAS

4.1 Ajuste de la Respuesta del Sistema utilizando la herramienta SISO de Matlab.

Como el objetivo es el control de la velocidad de un motor, se emplearon las técnicas del control clásico para la selección del controlador, que permita cumplir con las especificaciones de trabajo, en este caso se probó dos situaciones.

Controlar el sistema mediante acción proporcional usando el error de estado estacionario, se efectuará los cálculos para encontrar el valor de K que cumpla con un error de sistema del 5%.

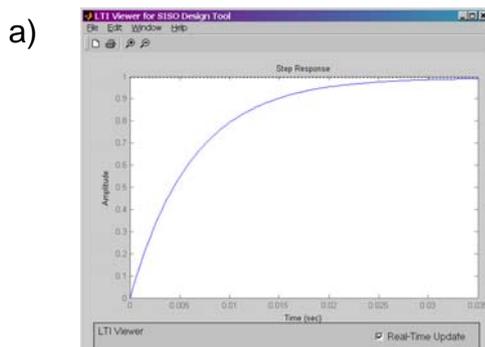
Se realizan los siguientes cálculos en base a la estabilidad del sistema empleado, y el error de estado estacionario.

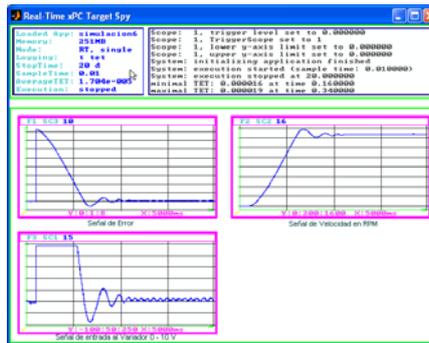
$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{sR(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

$$0.05 = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s \frac{1500}{s}}{1 + \frac{158.3K}{s + 0.8536}} = \frac{1500}{1 + \frac{158.3K}{0.8536}} = \frac{1280.4}{0.8536 + 158.3K}$$

$$K = 161.76$$

La Función de transferencia del sistema es ingresado al Matlab y con la ayuda de la herramienta SISO, se grafican las curvas de respuestas a una entrada escalón antes y después del controlador en la figura 4.1.1 se puede apreciar la diferencia entre ellas.





c)

FIGURA 4.1.1 RESPUESTAS DEL SISTEMA a) SIN CONTROLADOR b) CON CONTROLADOR PROPORCIONAL, c) REAL DE LA PLANTA CON CONTROLADOR

Controlar el sistema mediante acción proporcional integral que cumpla con un error de sistema del 0%, para ello se ajustará el controlador PI, con un sobre nivel porcentual de 10%, y un tiempo de estabilización menor a 4 segundos.

$$P.O. = 100e^{-\frac{\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}}$$

$$\zeta = 0.591155$$

$$Ts = \frac{4}{\zeta\omega_n}$$

$$\omega_n = 1.6916$$

$$T(s) = \frac{G(s)G(c)}{1 + G(c)GH(s)}$$

$$T(s) = \frac{\frac{K_p 158.3(s+1)}{s(s+0.8536)}}{1 + \frac{K_p 158.3(s+1)}{s(s+0.8236)}} = \frac{K_p 158.3(s+1)}{s(s+0.8536) + 158.3K_p(s+1)}$$

$$q = s^2 + 0.8536s + Ks + K$$

$$q = s^2 + (0.8536 + K)s + K$$

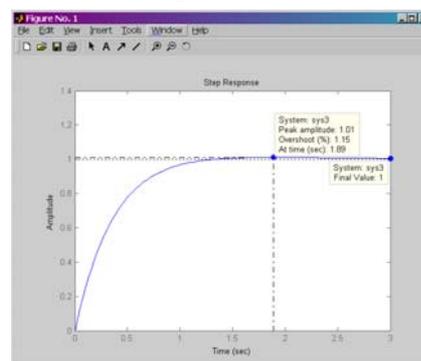
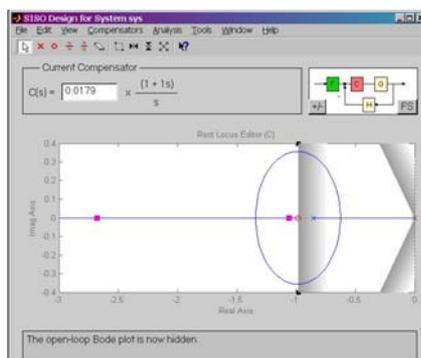
$$K = \omega_n^2$$

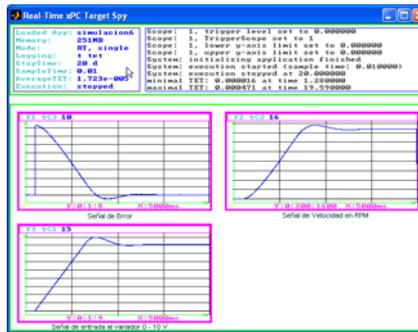
$$K = 2.68615$$

$$K_p = \frac{K}{158.3}$$

$$K_p = 0.018$$

Con los datos encontrados, ingresamos la Función de Transferencia al SISO y comparamos las respuestas de este con las efectuadas por la planta en el proceso real como se muestra en la figura 4.1.2.



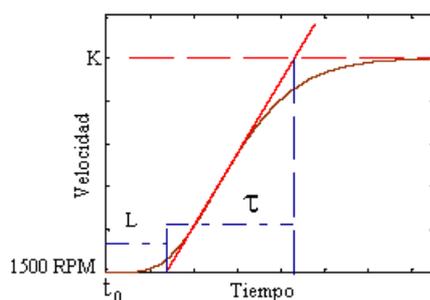


4.2 Determinación del Modelo matemático usando el software System Identification.

El objetivo de esta práctica es la determinación del modelo matemático de la planta con la ayuda del Software Matlab mientras trabaja en su *Set point*.

4.3. Determinación de los Parámetros del Controlador por el método de Ziegler-Nichols.

Utilizando el programa de Simulink para la adquisición de datos en tiempo real, se determinará los parámetros del controlador PI por el método de Curva de Reacción de Ziegler-Nichols, Esto es con la curva de respuesta de la planta a una entrada Escalón, que represente un 10% a un 20% de su valor nominal de trabajo, el cual es 1500 R.P.M. La siguiente gráfica muestra los parámetros a obtener de la curva, que representan cada uno de ellos y como utilizarlos para hallar los parámetros del controlador.



K: ganancia
 Tau: constante de tiempo
 L: retardo
 R=K/tau: pendiente

	K_p	T_i	T_d
P	$1/RL$		
PI	$0.9/RL$	$L/0.3$	
PID	$1.2/RL$	$2L$	$L/2$

De lo cual obtenemos que los parámetros del controlador son:

$$K_p = 4.005$$

$$K_i = 1.299$$

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES

Se comprobó que el sistema formado por un variador de velocidad y un motor trifásico se comportan como un motor DC, cuyo funcionamiento es

parecido al control de velocidad por control de campo; esto se debe, a que al variador se lo controla con una señal de 0-10 [V], la misma que al variar cambia en forma proporcional a la velocidad del motor trifásico.

En el controlador Proporcional se aprecia una oscilación en la respuesta del sistema, esto es debido a la ganancia proporcional de 161.76, que es multiplicada por el error actuante manteniendo un error constante menor al 5%.

Con el controlador Proporcional Integral se observa un error del 0%, con una constante proporcional de 0.018 y un integrador de 1/s, las cuales se pueden apreciar tanto en las gráficas de simulación como en la planta real.

En el caso de este proyecto el controlador seleccionado fue PI, debido a que este ofrece un control suave al sistema cuando este recibe alguna perturbación y logra la estabilización en el menor tiempo posible

5.2 RECOMENDACIONES

Al tener en mente construir proyectos de este tipo hay que conocer que variables hay que medir y controlar, que equipos de instrumentación se van a utilizar al igual que los actuadores para ayudar a controlar el proceso en base al controlador.

Es muy necesario conocer el número de señales de entrada y salida que se van a manejar en el proyecto, y cuantas son de tipo analógicas y de tipo digital, pues, según esto se escoge la tarjeta de adquisición de datos.

REFERENCIAS

- 1.- Modern Control Systems; Richard C. Dorf & Robert H. Bishop
- 2.- Simulink user guide; The MathWorks
- 3.- Power System Blockset for use with Simulink; The MathWorks
- 4.- The Real-Time Workshop for use with Simulink; The MathWorks
- 5.- xPC Target for use with Real-Time Workshop; The MathWorks
- 6.- System Identifications user guide; The MathWorks
- 7.- http://www.chemkeys.com/esplagluyc_3/sidu_2/vds_2.htm
- 8.- <http://prof.usb.ve/jaller/Ascenso/capitulo4.pdf>
- 9.- <http://www.elo.utp fsm.cl/elo383/apuntes/controlvectorial.pdf>.
- 10.- <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/xpc/xpc.html>