



Conciencia Tecnológica

ISSN: 1405-5597

contec@mail.ita.mx

Instituto Tecnológico de Aguascalientes
México

Esparza González, Mario Salvador; Franco Alba, Bernardo; Soto de la Trinidad, Juan Alejandro
Sistema de control de velocidad de un motor de corriente directa
Conciencia Tecnológica, núm. 18, diciembre, 2001, pp. 6-10
Instituto Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94401803>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Sistema de Control de Velocidad de un motor de Corriente Directa Serie

M.C. Mario Salvador Esparza González, Ing. Bernardo Franco Alba, Ing. Juan Alejandro Soto de la Trinidad,
Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Departamento de Ing. Eléctrica y Electrónica.
Av. López Mateos No. 1801 Ote. Fracc. Balcones de Ojocaliente. Aguascalientes, Ags.
Tel: (01-449)-9-10-50-02, Fax (01-449)-9-70-04-23 msepa@hotmail.com

Resumen

El control de velocidad del motor de CD serie, es un sistema de control electrónico de lazo cerrado. Con la ayuda de un microcontrolador se esta monitoreando la velocidad del motor a través de una máquina de CA, al pasar el voltaje generado por un circuito rectificador hasta llegar a un convertidor análogo digital. La finalidad del controlador es mantener la velocidad constante del motor a cambios bruscos de carga en la flecha del mismo, desplegar la velocidad de manera digital y de igual manera poder programar la velocidad deseada externamente, aún cuando la máquina este en funcionamiento, además de ser un control proporcional-integral digital.

Palabras clave: Sistema de lazo cerrado, regulador reductor, modulación de ancho de pulso, proporcional-integral.

I. Introducción.

El presente trabajo se desarrolló en el laboratorio de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de Aguascalientes durante el año de 2001 a raíz de la necesidad de mantener la velocidad constante en un motor de corriente directa (CD) conexión serie. Típicamente el control de la velocidad de los motores de CD se realiza mediante un reóstato, resistencia en serie con el devanado del motor. Este método resulta deficiente ya que su uso repercute en el ahorro de energía eléctrica debido a las pérdidas por calentamiento que se tienen en dicha resistencia, además, de ser del tipo manual por medio de palancas o perillas, siendo éstos, algunos de los problemas en grandes empresas de transformación y manufactura, ya que se tiene que estar monitoreando en algunas ocasiones con personal la velocidad de las bandas transportadoras y de las grúas de carga. Otro de los problemas a resolver es que los motores serie de corriente directa, tienden a desbocarse al no tener carga en su flecha y de manera recíproca, llegar a disminuir la velocidad o hacerlo mas lento al aplicarle carga. Con el sistema se pretende regular con precisión

en la velocidad del motor. Se desarrolla un aparato electrónico basado en un microcontrolador con un sistema de lazo cerrado.

Para monitorear la velocidad del motor de CD serie se acopla un generador de CA mediante una banda dentada, en el cual el voltaje generado por el mismo, servirá como señal de entrada al sistema de control para monitorear la velocidad real y además para cargar al motor consumiendo energía eléctrica del generador. El voltaje generado de C.A. es proporcional a la velocidad del motor.

El dispositivo para regular el voltaje aplicado al motor de CD es un regulador reductor tipo Buck, diseñado a una frecuencia de 10KHz, por los dispositivos de aislamiento óptico con los que se cuenta. El programa almacenado en el microcontrolador manipula el ancho de pulso en base a un control (PI), con el fin de obtener una mejor respuesta del sistema.

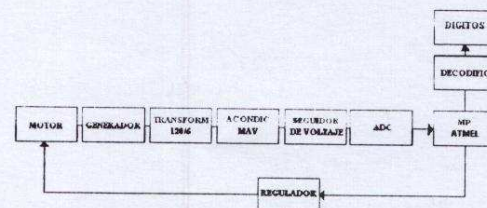


Figura 1. Diagrama a bloques del control de velocidad del motor de CD

II- Fundamento teórico.

Descripción general: El cerebro del regulador de velocidad es un microcontrolador ATMEL 89S8253, el cual esta sensando la velocidad en proporción a un voltaje generado previo acondicionamiento por un circuito rectificador llamado MAV (Valor Medio Absoluto), esta señal es convertida a un valor discreto utilizando ADC (Convertidor analógico digital). El circuito MAV se compone de amplificadores operacionales, un capacitor de tantalio, varias resistencias y diodos. Con esta señal el microcontrolador calcula el ancho de pulso necesario para mantener el motor operando a la velocidad deseada; mediante un

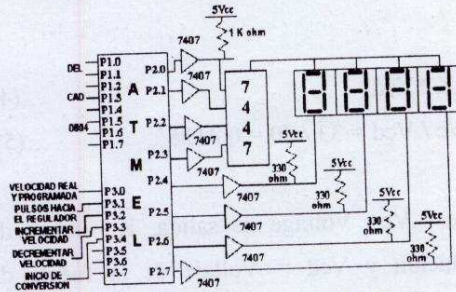


Figura 2. Despliegado de velocidad y conexión de entradas de programación.

selector despliega el valor de velocidad deseada o real según su estado. (ver fig. 1).

La figura 2 muestra la conexión de los displays de 7 segmentos y la asignación de terminales del microcontrolador, el ADC se conectó al puerto 1, en el puerto 2 se tienen las salidas para los displays utilizando un sistema de multiplexado para controlarlos a través de un solo decodificador. En el puerto 3 se tiene la salida de pulsos hacia la fuente buck, la entrada para seleccionar la velocidad a desplegar (real o deseada), los botones de interrupción para incrementar o decrementar la velocidad real o deseada.

Cálculo del circuito MAV. Para una onda senoidal tenemos que su valor máximo está determinado por:

$$V_{\text{máx}} = \sqrt{2} V_{\text{ef}} = 0.707 V_{\text{máx}} \quad \dots(1)$$

La función de transferencia del circuito MAV es la siguiente en términos de $V_{\text{máx}}$.

$$V_{\text{mav}} / 3.1416 = 0.636 V_{\text{máx}} \quad \dots(2)$$

El circuito convertidor MAV nos entrega a la salida un voltaje de valor medio absoluto, que en este caso será proporcional a las revoluciones del motor de corriente directa. Este valor entra en un convertidor analógico digital (ADC) el cual produce un valor discreto proporcional a la velocidad con una resolución de: 7 rpm/bit. El voltaje del generador es reducido de 127Vrms a 6Vrms mediante un transformador convencional. Este valor es considerando una velocidad de 1800rpm, (máxima de operación del motor utilizado), mediante un divisor de tensión se ajustó el voltaje de tal forma que se tuvieran 5.55Vrms, dando un $V_{\text{máx}}$ de 7.8539 para tener a la salida 5 Volts en 1785rpm. (valor máximo considerado). Esta señal se envía a un seguidor de voltaje para no consumir corriente del MAV y alterar su valor, de tal forma que el seguidor de voltaje suministra la corriente necesaria en el ADC0804 el cual está conectado en forma típica.

III.- Desarrollo del prototipo

Algoritmo de control. Un diagrama de flujo simplificado muestra el algoritmo de control de velocidad para motores de CD. A continuación se hace una breve descripción. (ver figura 3).

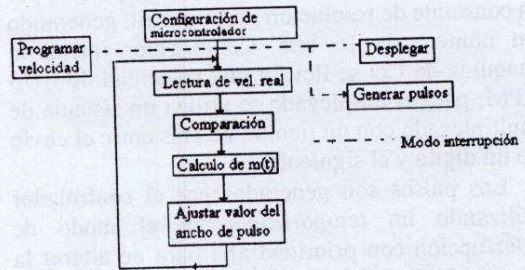


Figura 3. Algoritmo de control simplificado

En la primera parte se configuran las interrupciones y se inicializan los registros así como las salidas a valores convenientes. Las líneas discontinuas indican que estas subrutinas operan en el modo de interrupción de tal forma que pueden ocurrir en cualquier momento. En la primera parte el algoritmo lee la velocidad real y establece una comparación con la velocidad programada, el error puede ser 0, positivo o negativo dependiendo de esto utiliza una subrutina para calcular el valor de $m(t)$ (Ancho de pulso del controlador), El sistema de control es por lo tanto de lazo cerrado utilizándose un algoritmo que aplica un control del tipo PI basado en la siguiente ecuación de diferencias:

$$m(t) = e(t) * (k_p + k_i/T) - e(t)_{n-1} * k_p + m(t)_{n-1} \quad \dots(3)$$

Donde:

K_p =constante proporcional, K_i =constante integral y T = es el periodo de muestreo.

En este caso las constantes se programaron como números enteros sin signo, creando 4 rutas de solución dependiendo del signo del error actual (e_n) y del error anterior (e_{n-1}). Debido a las multiplicaciones se tienen variables temporales de 16bits; el resultado final de salida es limitado al valor máximo (100) o mínimo (0) posible del control el cual es de 100 μ S ya que se conmutará el transistor a 10KHz. Este valor es depositado en un registro que utiliza la interrupción de un temporizador para generar la señal de salida.

Las interrupciones externas son conectadas a través de botones, para programar la velocidad del motor a voluntad del usuario, una de las interrupciones incrementa la variable interna (vel. deseada) y otro la decremента, estas

modificaciones son de 7rpm ya que es la resolución que se tiene con el ADC utilizado.

Para visualizar las revoluciones programadas ó las reales con solo presionar un botón (normalmente presenta las reales), se desarrolló un algoritmo para convertir a decimal números de 16bits, el valor leído del ADC es multiplicado por la constante de resolución 7rpm por bit, generando un número de 16 bits. Como valor inicial la máquina de CD se lleva a una velocidad de 1075 RPM; para el desplegado se utiliza un sistema de multiplexado con un tiempo de 1ms entre el envío de un dígito y el siguiente.

Los pulsos son generados por el controlador utilizando un temporizador en el modo de interrupción con prioridad alta para no alterar la frecuencia de la fuente buck ya que al principio se tenían ciclos repentinos de otra frecuencia o de muy larga duración, afectando esto a la estabilidad del sistema.

Diseño del regulador de salida: La regulación de velocidad de los motores de CD se lleva a cabo controlando el voltaje de alimentación, por lo cual se diseña un regulador reductor (fig. 4) como elemento actuador en nuestro sistema de control. Este circuito será capaz de variar el voltaje de CD de entrada a diferentes valores de salida siendo controlado por un solo transistor, es sencillo y tiene una alta eficiencia, mayor del 90%. La variación de la corriente con respecto al tiempo (di/dt) de la carga está limitada por el inductor L. El regulador se alimenta con una fuente de corriente directa de 80 volts, para el diseño del regulador se toma un punto intermedio, cuando el voltaje de salida sea de 33 volts. La corriente de la carga es de 1.15 amperes y tendrá como máximo un rizo de corriente del 5%. Lo anterior para tener un margen de regulación al momento ajustar la velocidad del motor, ya que si se toman los valores nominales se tendría una mala calidad del voltaje de salida en bajas velocidades.

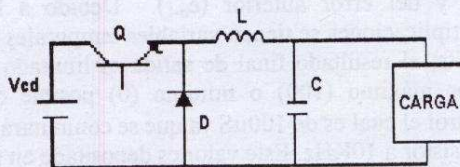


Figura 4. El regulador reductor

Considerando los datos mencionados con anterioridad y de acuerdo a las formulas de un regulador tipo Buck, aplicando una frecuencia de conmutación de 10 KHz y un máximo rizo de 1% en el voltaje.

$$V_c = K * V_{cd} \quad \dots(4)$$

$$K = V_c / V_{cd} = 33 / 80 = 0.4125 \quad \dots(5)$$

Donde: V_c = Voltage de salida, K = indice de modulación y V_{cd} = Voltaje de la fuente de alimentación.

La variación de corriente máxima deseada es:

$$\Delta I = (0.05)(1.15) = 0.0575 \text{ amp}$$

y la variación de voltage de salida:

$$\Delta V_c = (33)(0.01) = 0.33 \text{ V}$$

El inductor lo calculamos mediante:

$$L = [K * V_{cd} (1-K)] / (f)(\Delta I) \quad \dots (6)$$

$$= [(0.4125 * 80)(1 - 0.4125)] / (10 \text{ KHz})(0.0575)$$

$$= 33.717391 \text{ mH}$$

para el cálculo del capacitor

$$C = K * V_{cd} (1 - K) / 8 f^2 L \Delta V_c \quad \dots(7)$$

$$C = [(0.4125 * 80 \text{ V})(1 - 0.4125)] / [(8)(10 \text{ KHz})^2 (33.717391 \text{ mH})(0.33 \text{ V})] = 2.1780304 \text{ uf}$$

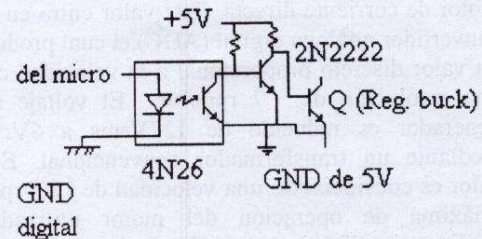


Figura5. Circuito de acoplamiento control digital y etapa de potencia.

Circuito de acoplamiento. En la figura 5 se muestra el circuito de aislamiento utilizado entre el control digital y el sistema de potencia, el aislamiento es del tipo óptico y se realiza mediante un opto transistor 4N26, la salida es amplificada en corriente mediante un transistor

2N2222 para controlar finalmente el transistor de potencia; esto implica como puede observarse en la figura 5, que se requieran 2 fuentes aisladas eléctricamente, una para el control con salidas de +5, +12 y -12Volts y otra para el control en +5V, esto ayuda a referenciar correctamente la polarización del transistor. La tierra de esta fuente

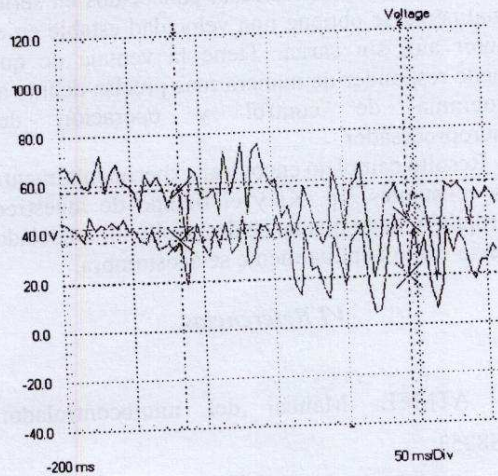


Figura 6. Voltaje de salida del regulador reductor con velocidad 1045 rpm.

es independiente de la de 180V y por lo tanto puede conectarse en el emisor del transistor que no esta directamente a tierra.

IV Resultados y discusión.

Cuando se realizaron los cálculos por primera vez para los dispositivos del regulador reductor, se observó que el sistema no respondía de manera óptima, ya que tardaba mucho tiempo en regular la velocidad a un valor deseado e incluso presentaba oscilaciones, esto es, que el motor oscilaba al momento de llegar a un punto crítico de operación después de un tiempo relativamente grande. El voltaje de salida aplicado al motor se puede observar en la figura 6. El voltaje oscila entre las dos líneas mostradas, esta prueba fue realizada sin carga en la flecha del motor.

La figura 7 muestra el comportamiento del motor de CD ante variaciones de carga, inicialmente se encuentra en vacío, a los 31 segundos se aplica carga bajando la velocidad al valor programado, se observa un comportamiento muy estable del sistema. Al eliminar la carga a los 90s se tiene que el motor tiende a acelerarse alcanzando un pico de vel. de 1616 rpm; actuando el control rápidamente para mantener la velocidad del motor cercana a las 1337rpm, para $k_p=3$ y

$k_i=2$ del control PI se tiene una brecha diferencial entre la velocidad real y la velocidad programada la cual se mantiene eficientemente con carga, sin embargo el motor no se desboca como sucedería habitualmente en esta conexión.

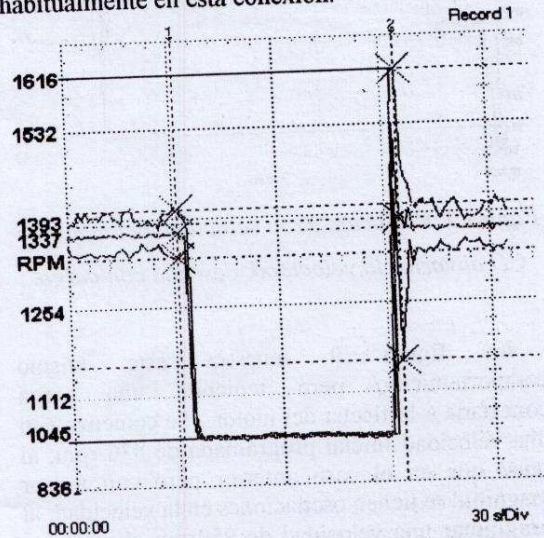


Figura 7. Respuesta del sistema ante variaciones de carga.

La figura 8 muestra el comportamiento del motor en vacío al modificar la velocidad programada. A los 90 segundos se arrancó la máquina alcanzando la velocidad programada en forma predefinida, a un tiempo de 140s se incrementó la velocidad programada a 1112 rpm, después de un pequeño transitorio la máquina se estabiliza, oscilando en una velocidad muy cercana a la deseada; al programar a los 210s una velocidad de 830 rpm se observa que la máquina se mantiene en promedio a esta velocidad pero presentando oscilaciones desde las 590rpm hasta las 852 rpm.

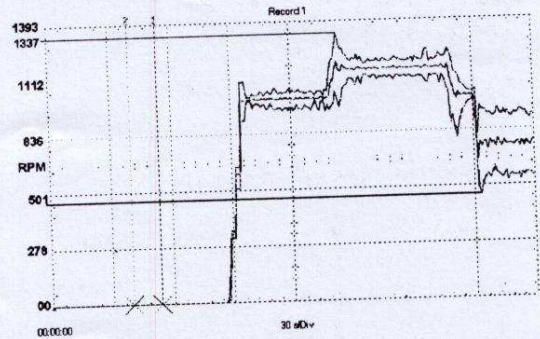


Figura 8. Comportamiento de la velocidad del motor ante variación de la velocidad Programada en vacío.

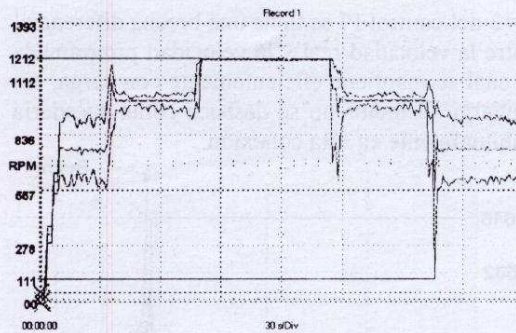


Figura 9. Variación de la velocidad del motor de CD al variar la velocidad deseada con carga.

La figura 9 muestra este mismo comportamiento pero teniendo una carga conectada a la flecha del motor. Se comenzó con una velocidad inicial programada de 836 rpm, al igual que en el caso anterior pero con menor magnitud se tienen oscilaciones en la velocidad, al programar una velocidad de 950rpm el motor se comportó de una manera más estable observándose una oscilación inicial en la que el motor incrementa su velocidad a más de lo programado y posteriormente se estabiliza. A una velocidad de 1212 rpm el motor se comporta estable, esto es debido a que el diseño del regulador esta cerca de estos parámetros. Se observa que al modificar la velocidad a una inferior se tiene una oscilación fuerte en la que el motor se desacelera hasta las 550 rpm repitiéndose el efecto cada que se disminuye la velocidad pero siendo este de una duración corta (máximo 2 s).

V Conclusiones.

El control electrónico es mucho más eficaz que el control reostático, además de ser automático consume poca energía y es de menor peso y tamaño.

Este control esta diseñado especialmente para motores de corriente directa conectados en serie, finalmente se obtiene una velocidad estable en el motor aún sin carga. Tiene la ventaja de que puede responder de manera mas precisa debido al programa de control y operación del microprocesador.

Resultó complejo encontrar experimentalmente las constantes K_p , K_i y el tiempo de muestreo apropiado, dado que no se desarrolló un modelado previo como habitualmente se acostumbra.

VI Referencias.

- [1] ATMEL. Manual del microcontrolador 89S8253.
- [2] Cohuglin Richard, Amplificadores operacionales y circuitos lineales, Pearson, 1999.
- [3] I. L. Kosow, Control de motores eléctricos, 1985.
- [4] Motorola, Optoelectronic Devices. 1989
- [5] Muhamed H. Rashid. Electrónica de potencia, 1990.