

# Control de un motor CC sin escobillas monofásico

Artículo cedido por Microchip



MICROCHIP

www.microchip.com

Autores: Mike Gómez, Ingeniero de Aplicaciones en Microchip Technology, y Mark Pallones, Jefe de Equipo en Microchip Technology

*Cómo utilizar un microcontrolador de bajo coste para controlar un motor CC sin escobillas monofásico de un solo devanado*

En una aplicación de motor de bajo consumo, en la cual el coste es más importante que la complejidad y la necesidad de par es más reducida, un motor CC sin escobillas (brushless DC, BLDC) monofásico supone una buena alternativa frente a un motor trifásico.

Este tipo de motor tiene un bajo coste por su sencilla construcción, fácil de realizar. Además, tan solo necesita un sensor de una sola posición y unos pocos interruptores para controlar y alimentar el devanado del motor. Por tanto, la combinación entre motor y electrónica de control puede funcionar adecuadamente.

Para mantener la rentabilidad se necesita un controlador de motor de bajo coste. El circuito de control aquí descrito puede aprovechar dos lazos de realimentación. El primero, el lazo interior, es el responsable del control de conmutación, mientras que el segundo, el lazo exterior, se encarga del control de velocidad. La velocidad del motor toma como referencia una tensión analógica externa y la detección de fallos se puede activar en caso de sobrecorriente y sobretensión.

La Fig. 1 muestra el controlador monofásico basado en el microcontrolador de 8 bit PIC16F1613

de Microchip, escogido por su reducido número de patillas y sus periféricos integrados que pueden controlar los interruptores, medir la velocidad del motor, predecir la posición del rotor e implementar detección de fallos.

Esta aplicación utiliza los siguientes periféricos: generador de forma de onda complementaria (complementary waveform generator, CWG); temporizador de medida de señal (signal measurement timer, SMT); convertidor A/D (ADC); convertidor D/A (DAC); captura comparación PWM (capture compare PWM, CCP); referencia de tensión fija (fixed voltage reference, FVR); temporizador; comparador; e indicador de temperatura. Estos periféricos están conectados internamente por firmware, lo que reduce el número de patillas externas necesarias.

El circuito de puente completo que alimenta el devanado del motor está controlado por la salida del CWG. Se emplea un sensor Hall para determinar la posición del rotor. La corriente que atraviesa el devanado del motor se traduce en una tensión en la resistencia de sensado Rshunt para protección frente a sobrecorriente.

La velocidad puede tomar como referencia una entrada analógica externa. La Fig. 2 ofrece el diagrama de control del motor; para esta aplicación, la tensión nominal del motor es de 5V y la velocidad no-

mineral es de 2400rpm. La tensión de alimentación del controlador del motor es de 9V.

La referencia de la velocidad puede ser cualquier entrada analógica. El módulo convertidor A/D del microcontrolador tiene 10bit de resolución y hasta ocho canales, por lo que está indicado para diferentes tipos de entradas analógicas. Se utiliza para controlar la referencia de velocidad y el ciclo de trabajo inicial del PWM, que se utiliza para inicializar la velocidad del motor a partir de la fuente de la referencia de velocidad.

El ciclo de trabajo inicial se puede aumentar o disminuir mediante el controlador proporcional-integral (PI) y el nuevo valor del ciclo de trabajo cargado en el CCP, la salida PWM del cual se emplea como fuente inicial del CWG para controlar la modulación de los interruptores en el lado de bajo potencial del controlador de puente completo y, por tanto, la velocidad del motor.

## Lazo interior

El lazo de interior de realimentación es el responsable del control de conmutación. La salida del CWG, que controla la excitación del devanado del estator, depende del estado de la salida del sensor Hall, que se compara con un FVR mediante el comparador. La histéresis del comparador se activa para ignorar el ruido de salida del sensor.

La salida del comparador oscila entre el modo directo e inverso del puente completo para producir una rotación en sentido horario o antihorario.

La salida del CWG alimenta la entrada de los interruptores del circuito de puente completo.

Para producir un ciclo eléctrico se debe ejecutar una combinación directa-inversa. Una revolución mecánica del motor necesita dos ciclos eléctricos, y por tanto se deben ejecutar dos combinaciones directas-inversas para completar una sola rotación del motor en sentido horario.

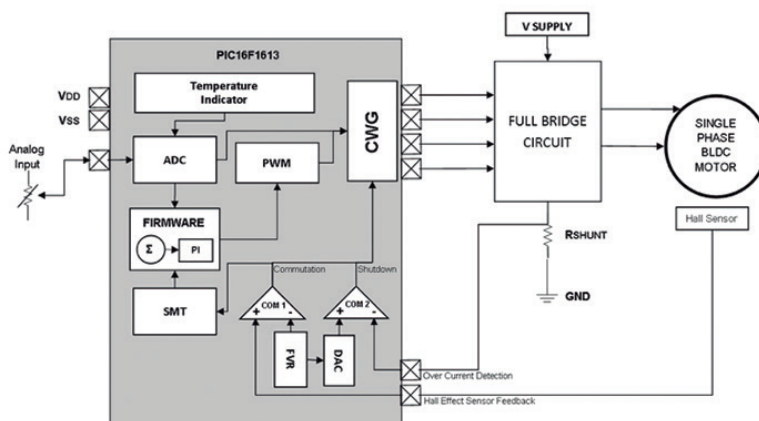
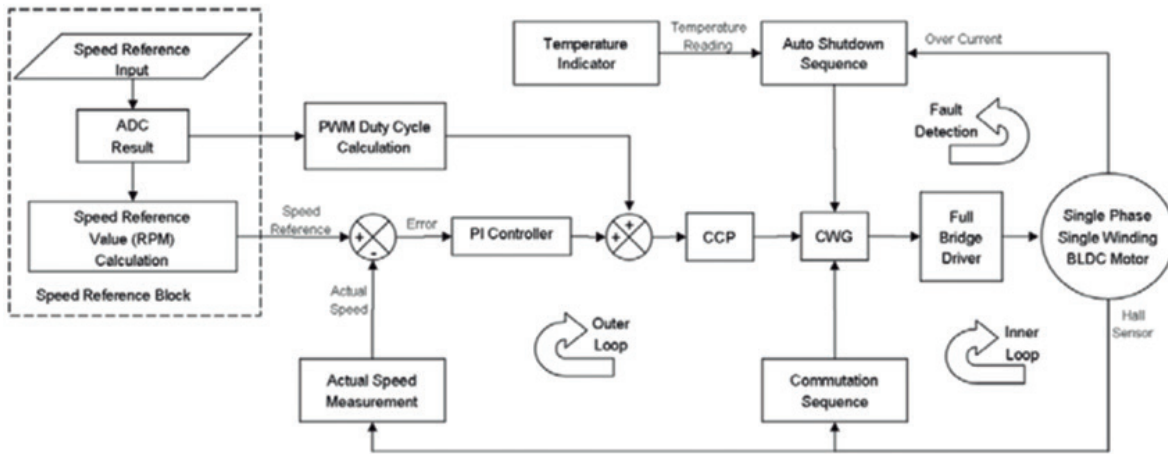


Figura 1. Diagrama de bloques de un controlador de motor BLDC monofásico.

Figura 2. Diagrama de control del motor.



### Circuito de puente completo

El circuito de puente completo de la Fig. 3 está compuesto principalmente por dos MOSFET de canal p como interruptores en el lado de alto potencial (high-side) y dos MOSFET de canal n como interruptores en el lado de bajo potencial (low-side). La principal ventaja del

transistor de canal p es la sencillez de la técnica de control de puerta en la posición del interruptor en el lado de alto potencial, reduciendo así el coste del circuito de control de puerta.

Aunque los interruptores en el lado de alto y bajo potencial pueden entrar en conducción al mismo tiempo – conducción cruzada – este tipo de conmutación se debería

evitar ya que de lo contrario generaría un disparo de corriente que podría dañar los componentes del controlador. Para evitarlo se puede implementar una banda muerta utilizando los registros de recuento del CWG.

Esto proporciona señales de salida sin solapamiento que detienen al mismo tiempo la conducción en el lado de alto y bajo potencial.

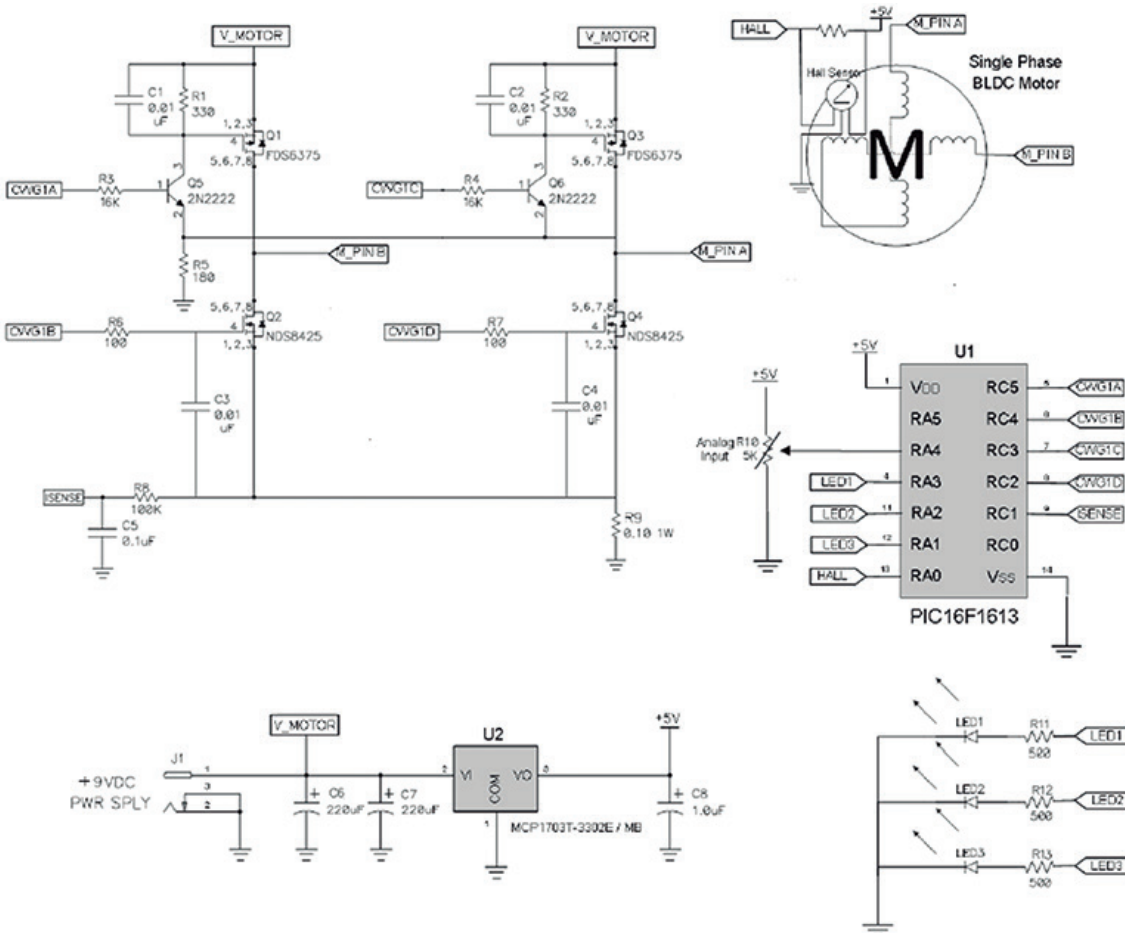


Figura 3. Esquema del circuito de control de un motor BLDC monofásico.

Lo ideal sería que los MOSFET de canal n y canal p tuvieran la misma resistencia en conducción (RDSon) y la misma carga total (QG) para obtener las prestaciones de conmutación óptimas.

Por tanto, si bien sería bueno escoger un par complementario de MOSFET que se adapte a estos parámetros, en realidad esto es imposible debido a su diferente construcción; el tamaño del chip del dispositivo de canal p debe ser de dos a tres veces el del dispositivo de canal n para adaptarse a RDSon. Pero cuanto mayor es el tamaño del chip, mayor es el efecto de QG. Por tanto, al seleccionar los MOSFET es importante decidir si RDSon o QG afectarán más a las prestaciones de conmutación y escoger en consecuencia.

### Detección de fallos

Superar la carga del par máximo que permite el motor puede provocar que el motor se pare y que el devanado tome la corriente máxima. Por tanto, para proteger el motor se debe implementar detección de fallos en caso de sobrecorriente y parada del motor.

Para implementar la detección de sobrecorriente se añade Rshunt a la circuitería de control, lo cual proporciona una tensión correspondiente a la corriente que circula por el devanado del motor. La caída de tensión en la resistencia varía linealmente respecto a la corriente del motor. Esta tensión alimenta la entrada inversora del comparador y se compara con la tensión de referencia basada en el producto de la resistencia Rshunt y la corriente máxima permitida de parada del motor.

El FVR puede suministrar la tensión de referencia y aún se puede delimitar más mediante el convertidor D/A. Esto permite utilizar una tensión de referencia muy reducida, lo cual mantiene una baja resistencia y por tanto reduce la potencia disipada en Rshunt. Si la tensión en Rshunt supera a la referencia, la salida del comparador activa la función de apagado automático del CWG, la salida del cual permanecerá inactiva mientras se esté produciendo el fallo.

La sobretensión se puede detectar mediante el indicador de temperatura integrado en el dispositivo, que puede medir temperaturas de -40 a +85°C. El circuito interno del indicador genera una tensión variable relativa a la temperatura y su tensión se convierte a digital por medio del convertidor A/D. Para disponer de un indicador más preciso de temperatura se puede implementar una calibración de un punto.

### Lazo exterior

El lazo exterior mostrado en la Fig. 2 controla la velocidad del motor bajo diferentes condiciones como cambios en la demanda de carga, perturbaciones y deriva de temperatura. La velocidad se mide mediante el SMT, que es un contador-temporizador de 24bit con lógica de reloj y de puerta que se puede configurar para medir varios parámetros de la señal digital, como anchura de pulso, frecuencia, ciclo de trabajo y la diferencia de tiempo entre los flancos de dos señales de entrada.

La medida de la frecuencia de salida del motor se puede realizar a lo largo del período del SMT y el modo de adquisición de ciclo de trabajo. En este modo se puede adquirir el ciclo de trabajo o el período de la señal del SMT con relación al reloj del SMT. El SMT cuenta el número de relojes del SMT presentes en un período de rotación del motor y almacena el resultado en el registro del período capturado. Este registro

permite obtener la frecuencia real del motor. Cuando se compara la referencia de velocidad con la velocidad real, se produce un error positivo o negativo dependiendo de si la velocidad real es mayor o menor que la referencia establecida.

Este error entra en el controlador PI, que es un algoritmo de firmware que calcula un valor que compensa la variación de velocidad. Este valor de compensación se sumará o restará del ciclo de trabajo inicial del PWM para generar un nuevo valor.

### Conclusión

La incorporación de un microcontrolador eficiente y flexible puede tener un efecto muy favorable en las aplicaciones de control de motores sensibles al coste. La eficiencia del dispositivo se puede medir respecto al nivel de periféricos integrados para optimizar la tarea de control junto con el número de pastillas y la memoria y el tamaño del encapsulado.

Además, la facilidad de uso y el plazo de comercialización son importantes, especialmente si se necesitan diferentes versiones del diseño.

Este artículo ha explicado cómo un microcontrolador de bajo coste puede cumplir estos requisitos y permitir que el controlador establezca la referencia de velocidad deseada, predecir la posición del rotor, implementar un algoritmo de control, medir la velocidad real del motor y añadir detección. 