Tendencias de la eficiencia en el control de motores

Artículo cedido por Microchip

www.microchip.com

Autor: Erlendur Kristjansson, Jefe de Marketing de Producto División de Microcontroladores de 16 bit, Microchip Technology Inc.

Introducción

La eficiencia es el Santo Grial en todas las aplicaciones basadas en el control de motores eléctricos. Si vemos las diferentes aplicaciones que utilizan motores eléctricos en la actualidad, se observa la tendencia hacia una continua mejora hacia una mayor eficiencia y un menor coste.

Por ejemplo, en los coches el accionamiento de bombas y ventiladores bajo el capó se basaba en correas de transmisión. Ahora bien, aunque se trata de una manera cómoda de utilizar la rotación del motor para controlar estos accionamientos, no es muy eficiente. En estos mismos accionamientos, la incorporación de motores añade flexibilidad y mejora la eficiencia. Otro ejemplo es el de las lavadoras, que tradicionalmente han utilizado un motor CA de inducción. Ante las mayores exigencias relacionadas con la eficiencia energética en los electrodomésticos y el mayor control del ciclo de lavado para disminuir el consumo de agua, los motores síncronos de imán permanente vienen siendo dominantes en los nuevos diseños.

Desde luego, esta tendencia ha dependido enormemente de los avances introducidos en los componentes semiconductores necesarios para la etapa del inversor y el control.

En el pasado, el coste del accionamiento del motor necesario para la conmutación electrónica ha sido un factor relevante para limitar el uso de los motores síncronos en numerosas aplicaciones. Hoy los costes han disminuido y estos motores son la norma en muchas aplicaciones.

Opciones para el motor

Los principales tipos de motores contemplados en la mayoría de aplicaciones en las que son importantes la eficiencia el control dinámico son:

- Motor CA de inducción (AC Induction Motor, ACIM)
- Motor CC sin escobillas (Brushless DC, BLDC)
- Motor síncrono de imán permanente de montaje superficial (Surface Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM o SPM)
- Motor síncrono de imán permanente interno (Internal Permanent Magnet Synchronous Motor, IPMSM o IPM)
- Motor de reluctancia conmutado (Switched Reluctance Motor, SRM)
- Motor de reluctancia síncrono (Synchronous Reluctance Motor, SyncRM)

La eficiencia de los diversos tipos de motores se puede clasificar así, del más al menos eficiente: IPMSM, PMSM, BLDC, SynchRM, SRM y ACIM, para el mismo orden de densidad de potencia/par.

El ACIM es el caballo de batalla de las aplicaciones industriales y el motor más utilizado en aplicaciones de alta potencia (>1kW). Sin embargo, ante la creciente demanda de una mayor eficiencia, se están modernizando muchos ACIM instalados con accionamientos de conmutación electrónica para mejorar la eficiencia.

En aplicaciones que necesiten un control más dinámico tiene más sentido recurrir al PMSM. En algunas aplicaciones donde el coste sea crucial y sean importantes factores como la relación peso/par y la robustez se están utilizando SRM. Otra aplicación tradicional del ACIM en la industria es en los compresores de alta potencia (>15 CV). En este segmento han empezado a aparecer los motores SyncRM ya que su estructura es muy similar a los ACIM, incluyendo el mismo diseño de estator con un motor diferente. Sin embargo, para un mismo tamaño de bastidor se pueden incrementar el par y la eficiencia, o bien reducir el tamaño del bastidor.

También existen aplicaciones en las que no había motores, como por ejemplo bajo el capó del coche. Aquí el motor eléctrico se está usando como sustituto de la correa de transmisión mecánica con el consiguiente aumento de la eficiencia ya que la carga puede ir y venir con los motores, mientras que la correa siempre está allí, aunque no se necesite.

A día de hoy, todo cuenta cuando se trata de eficiencia y ahorro de combustible. En este sentido,

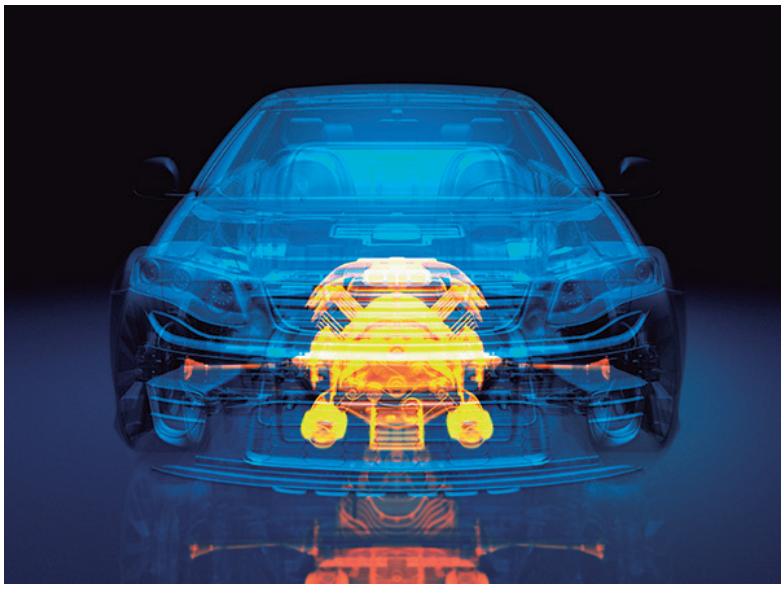

Figura 1. Los motores eléctricos mejoran la eficiencia del combustible.

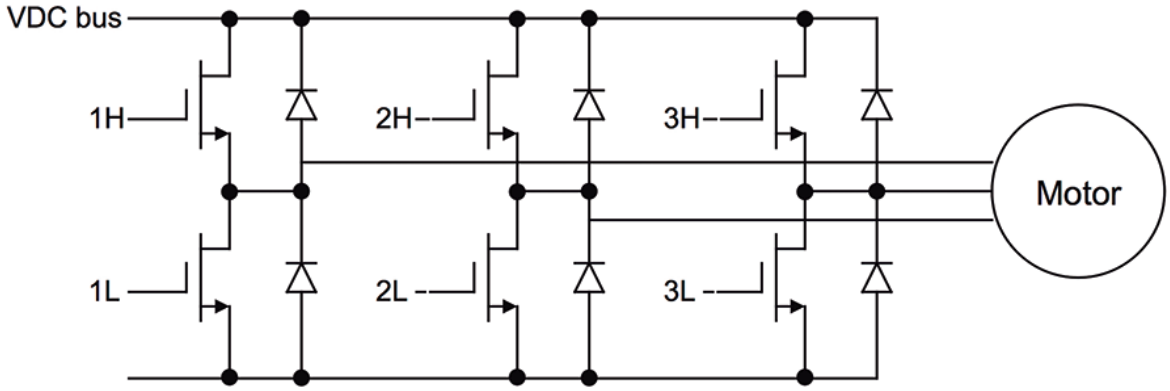

Figura 2a. Circuito de accionamiento de un motor síncrono.

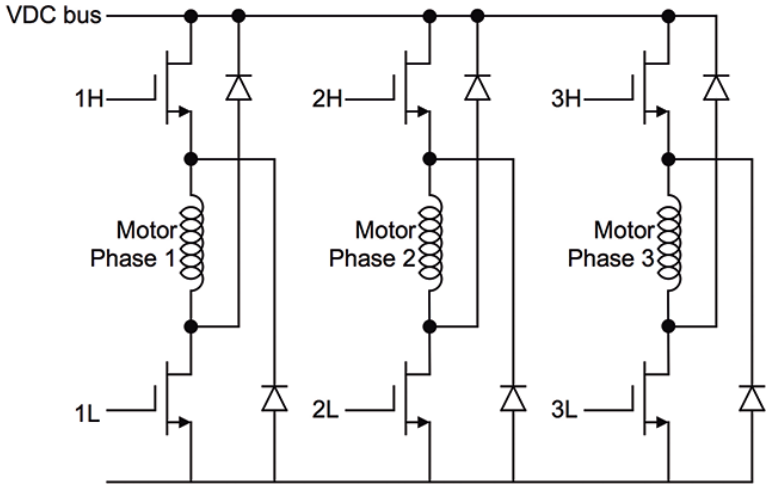

Figura 2b. Circuito de accionamiento de SRM.

la tendencia pasa de la correa al motor BLDC y al PMSM. Otra aplicación en los coches que está empleando motores eléctricos es el accionamiento por cable. En este caso, se están utilizando SRM, por ejemplo, para accionar las bombas hidráulicas en los frenos. La capacidad de alta velocidad del SRM puede elevar la presión con rapidez con el fin de permitir una rápida respuesta.

Otro segmento de aplicación muy distinto y en el cual está logrando un gran impacto el uso de motores conmutados eléctricamente es el de las herramientas y aparatos alimentados mediante baterías. Gracias a las mejoras introducidas en las tecnologías de la batería, como las litio-ion, ahora disponemos de aspiradores y herramientas eléctricas que aprovechan la eficiencia de los motores BLDC.

En un principio, estas aplicaciones utilizaban principalmente motores CC con escobillas, pero con una limitación de la velocidad y el par. La mayor densidad de potencia/par de los motores BLDC permite alcanzar un peso, una longevidad y unas prestaciones cercanas a las de la versión con escobillas.

En electrodomésticos como lavadoras, frigoríficos, lavavajilla, aparatos de aire acondicionado, etc., el principal caballo de batalla, al igual que el segmento industrial, ha sido el ACIM. Desde que empezó el nuevo milenio han ido ganando importancia los motores síncronos sin escobillas, principalmente los motores BLDC y PMSM. La principal razón tiene que ver con los requisitos de eficiencia administrativas. El problema con esta transición a partir de los ACIM dentro del segmento de consumo siempre ha sido el coste, tanto para el motor como para el circuito de accionamiento. Afortunadamente, el coste ha caído notablemente para ambos para permitir que la mayoría de nuevos aparatos utilicen la tecnología más eficiente.

Tecnología de accionamiento

Como se ha señalado antes, el circuito de accionamiento es una parte importante cuando se utilizan motores conmutados electrónicamente, y de hecho es imprescindible. Sin él no se produce nada. La estructura del circuito de accionamiento es muy similar prácticamente para todos los motores de los que estamos hablando (Figura 2a).

La excepción es SRM (Figura 2b). La mayor diferencia entre estos tipos de motores se encuentra en los controles, es decir, en cómo se genera la señal de accionamiento para los circuitos en la Figura 2. Esto está relacionado con la construcción de cada motor, que da como resultado un comportamiento electromagnético distinto. Esto se ha de tener en cuenta al generar las formas de onda de tensión/corriente para el motor, de forma que funcione de manera óptima/eficiente.

Durante la primera fase de la transición hacia los motores conmutados electrónicamente, muchas de las aplicaciones a las que se dirigían eran muy sensibles al coste y, debido a ello, se seleccionaba el motor BLDC porque se podía controlar con un microcontrolador de 8 bit mediante conmutación trapezoidal. Aun así, el coste seguía siendo elevado en algunos casos. Demos un salto de 15 años, y los costes de los controladores de señal digital y los microcontroladores de altas prestaciones han disminuido lo suficiente como para permitir que las aplicaciones sensibles al coste utilicen algoritmos de control más avanzados, como el

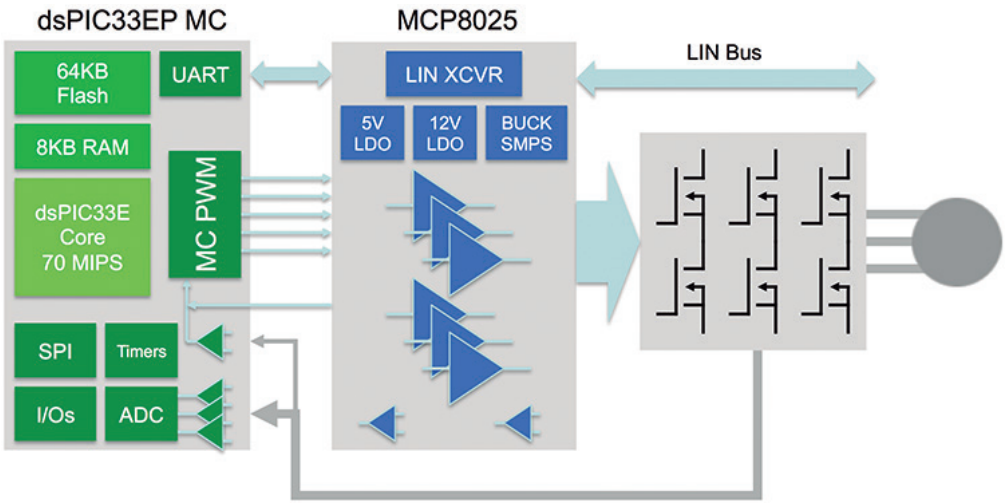

Figura 3. Implementación de un ventilador de refrigeración en un automóvil.

control orientado a campo (Field Oriented Control, FOC) sin sensor. Esto se ve claramente, por ejemplo, en las bombas de circulación para sistemas de calefacción doméstica o ventilador de refrigeración para automóviles.

¿Qué ofrecen en la práctica estos nuevos algoritmos de control? ¿Por qué ya no es lo bastante bueno el motor BLDC con control trapezoidal?

Eficiencia

Se habla mucho sobre motores y accionamientos más eficientes, pero en última instancia lo que importa es la eficiencia de todo el sistema. Por ejemplo, hemos hablado sobre la correa de transmisión en los motores de los coches. Las correas de transmisión son muy eficientes por encima del 90%, pero no se paran cuando no se necesitan, sino que permanecen al ralentí, lo cual provoca importantes pérdidas. Por tanto, si observamos los sistemas electromecánicos, hay pérdidas añadidas, como la vibración, que pueden venir provocadas por el rizado de par, y que a su vez son efectos secundarios de la manera de trabajar de los motores BLDC y SRM. En función de las necesidades de la aplicación, la eficiencia se puede maximizar si el motor funciona con suavidad. Esto se puede lograr utilizando un algoritmo FOC o un control vectorial equivalente.

Otro factor es la carga del motor. Todos los motores tienen una curva de eficiencia de carga que se parece a la mostrada en la Figura 4 (accionamiento incluido). Como puede verse, hay un pico que es el par nominal del motor, pero en la mayoría de aplicaciones no hay una carga operativa fija. Algunos tienen que trabajar incluso en todo el rango operativo.

Un ejemplo es un compresor de aire acondicionado. En este caso, la carga varía dependiendo de cuánto tenga que enfriar o calentar el sistema, y también durante cada ciclo del pistón.

Debido a que los compresores están en funcionando casi todo el tiempo se ha generalizado el uso de motores IPM ya que ofrecen la eficiencia más elevada. Pero si observamos la curva de eficiencia de un motor IPM y la comparamos con un SyncRM equivalente (Figura 4), vemos que si bien el motor IPM es más eficiente para la carga nominal, la curva del SyncRM es más plana. En otras palabras, el SyncRM conserva una mayor eficiencia para cargas más pequeñas, por lo que su eficiencia total es muy parecida a la del motor IPM.

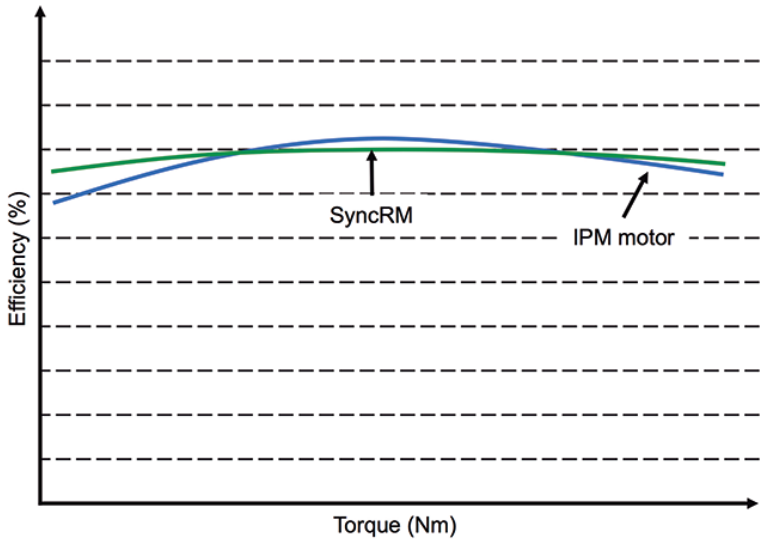

Figura 4. Curvas de carga/eficiencia (motor y accionamiento).

Conclusión

La tendencia hacia una mayor eficiencia los motores eléctricos empezó a acelerarse con el inicio del nuevo milenio ante la llegada de los motores de imán permanente sin escobillas y las mejoras de coste y prestaciones en los semiconductores.

Esta tendencia se expandió hacia los productos de consumo con el motor BLDC. Desde entonces ha ido evolucionando para incluir la conmutación electrónica de los ACIM, el resurgir del SRM e incluso de nuevo la supresión de los imanes con el SyncRM.

Lo que es importante recordar en todo esto es que la eficiencia de un sistema es la suma de todas las piezas, y lo que se maximice ha de tener una correspondencia económica.

Por tanto, dependiendo de la aplicación hay diferentes tipos de motores y algoritmos a escoger. No existe una tecnología de motores dominante, de ahí que quien diseñe un sistema basado en un motor eléctrico tenga que comprender los puntos a favor y en contra para cada tecnología disponible, y seleccionar la opción que mejor se adapte a sus necesidades.