

# Control Directo del Torque en Motores AC

## Direct Torque Control of AC-Motors

Arturo Rojas Moreno

### Resumen

Este artículo describe la técnica CDT (Control Directo del Torque) en motores AC (Alternating Current) y su aplicación para la implementación de autos eléctricos. CDT emplea una nueva técnica de modulación: MEV (Modulación Espacial Vectorial).

### Abstract

This paper describes the DTC (Direct Torque Control) technique of AC-motors and its application for EV (Electrical Vehicle) cars implementation. DTC uses a new modulation technique: SVM (Space Vector Modulation).

### Palabras Claves

CDT (Control directo del torque), motores AC, autos eléctricos, MEV (Modulación Espacial Vectorial).

### Key Words

DTC (Direct Torque Control), AC-motors, EV (Electrical Vehicle) car, SVM (Space Vector Modulation).

### INTRODUCCIÓN

Hoy en día, en la industria se aplican varias técnicas de control de motores AC, a saber: control V/f, control vectorial y CDT (Control Directo del Torque) [1], [2].

El control V/f se realiza empleando trenes de pulsos que representan el voltaje V y la frecuencia f del motor necesarios para el control de la frecuencia. El control emplea modulación PWM (Pulse Width Modulation) y se realiza en la electrónica ubicada fuera del motor, más no en el motor mismo.

El control vectorial, denominado también control orientado por campo, emplea la posición angular espacial del flujo magnético del rotor, dentro del motor AC, para lograr una buena respuesta del motor AC en torque y en velocidad. Para lograr aquello, esta técnica requiere de un dispositivo de realimentación.

El control DTC, que es la técnica más reciente con respecto a las anteriores, se explica luego en detalle.

A diferencia de las técnicas de control de motores AC descritas, las cuales se pueden denominar clásicas, existen otras técnicas modernas que poco a poco van entrando al mundo industrial. Estas

nuevas técnicas emplean algoritmos avanzados para el control de la velocidad, torque, voltaje, corriente o frecuencia en los motores AC. Una de estas técnicas, basada en la teoría de la estabilidad del movimiento, se está desarrollando en TECSUP para controlar el torque de un motor de inducción. En este contexto Tecsup está organizando el **Programa Internacional de Especialización de Sistemas de Control Electrónico de Potencia** que se llevará a cabo el 26 de noviembre de 2011, donde se tratarán estos temas.

### CONTROL DIRECTO DEL TORQUE

La Figura 1 muestra la configuración para controlar el torque de un motor AC empleando la técnica CDT. Observar que las mediciones  $i_{sA}$ ,  $i_{sB}$ ,  $i_{sC}$  (corrientes estáticas) y  $\theta_i$  (posición del eje del motor), ingresan al bloque Estimator de flujo y par, el cual contiene el modelo dinámico del motor AC para, precisamente, estimar el flujo magnético  $\hat{\phi}_e$  y el par o torque eléctrico  $\hat{t}_e$ . Tales variables se comparan en bloques ad-hoc con el flujo magnético  $\phi_s^\#$  y el torque  $t_s^\#$  referenciales, respectivamente, para producir los errores de flujo  $\epsilon_{\phi_i}$  y de torque  $\epsilon_{t_i}$ .

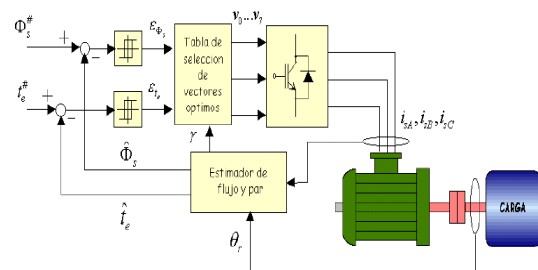


Figura 1: CDT (Control Directo del Torque).

Tales errores ingresan al bloque Tabla de selección de vectores óptimos para producir los vectores de voltaje  $v_0$  al  $v_7$ . Estos vectores son modulados empleando la técnica denominada modulación espacial vectorial (MEV), de acuerdo a la Figura 2.

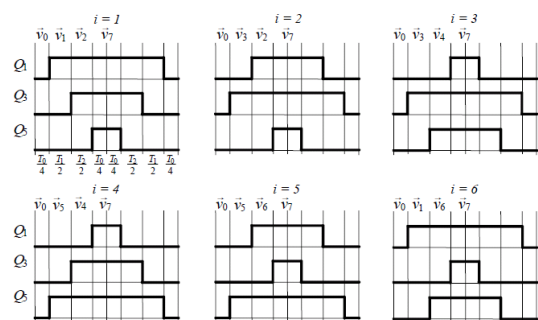


Figura 2: Modulación Espacial Vectorial

Notar en la Figura 2 que los 360° de libertad del eje del motor se ha dividido en 6 sectores de 60° cada uno, denominados como  $i=1, \dots, i=6$ . En tales sectores se generan los pulsos de control  $Q_1, Q_3, Q_5$ , y los negados  $Q_2, Q_4, Q_6$ , los cuales alimentan a las compuertas de los transistores del inversor mostrado en la Figura 3, para producir las corrientes de control  $i_{sA}, i_{sB}, i_{sC}$  y de esta manera se cierra el ciclo.

Con CDT, la orientación del campo se logra sin emplear realimentación, pero si empleando teoría avanzada del motor AC para poder calcular su torque. Esta técnica usa hardware y software avanzados para poder procesar las señales eléctricas con tiempos de muestreo muy pequeños requeridos tanto por el algoritmo CDT, como por el algoritmo MEV. Comparado con las técnicas V/f y control vectorial, con DTC se logra un torque de respuesta que es típicamente diez veces más rápido y una exactitud en velocidad dinámica que es 8 veces mejor.

### CARRO ELÉCTRICO CON MOTOR AC

El control de motores AC no solo se emplea como un dispositivo confiable de potencia controlada en la industria, sino también tiene gran aplicación en los sistemas mecatrónicos, donde es usado para el control de robots, ploteadores, máquinas herramientas, etc.

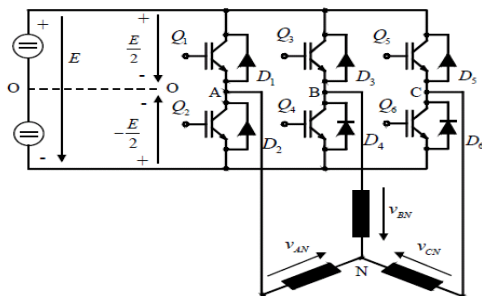


Figura 3: Inversor de Potencia

Una aplicación especial del motor AC controlado por torque, es en la conversión de un auto a gasolina en un auto eléctrico. Para ello, el motor a gasolina se reemplaza por un motor AC controlado por torque, con su respectiva transmisión, tal como se muestra en la Figura 4. La energía que requiere el inversor de la Figura 3 para accionar al motor AC, es decir, la tensión continua E en dicha figura, proviene de un banco de baterías montado en el auto.



Figura 4: Motor con transmisión.

### CONCLUSIONES

El control CDT en motores AC es una técnica que actualmente cuenta con gran aceptación en la industria gracias a sus aplicaciones exitosas. La técnica del control CTD emplea directamente los parámetros del motor AC para controlar el torque y no requiere de un dispositivo de realimentación ni tampoco un dispositivo de excitación externa (ver Figura 1). Estas características lo hacen más ventajosa con respecto a los otros métodos clásicos: control V/f o control vectorial.

Debido al gran rendimiento en torque de respuesta que presenta un motor AC de inducción controlado con DTC, se le emplea actualmente en los autos eléctricos.

### REFERENCIAS

- [1] Piotr Wach (2011), *Dynamics and Control of Electric Drives*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- [2] Mukhtar Ahmad (2010), *High Performance AC Drives. Modeling, Analysis and Control*, Springer-Verlag London Limited.