

# motortico

BOLETÍN MENSUAL PREPARADO POR [WWW.MOTORTICO.COM](http://WWW.MOTORTICO.COM), COSTA RICA

AGOSTO 2014

## Control Vectorial en Variadores de Velocidad

Resulta interesante empezar este boletín sobre control vectorial de motores, hablando del principio de operación del motor de CC. Sin embargo, todo tiene sentido cuando se puede resumir que el control vectorial se desarrolló para emular el comportamiento de la máquina de CC. En esta entrega se revisan los conceptos más importantes del control vectorial.

### Principio del motor de CC (Corriente Continua)

El motor de CC dominó por mucho tiempo las aplicaciones de velocidad variable, ya que el motor de CA de Jaula de Ardilla se consideraba una máquina de velocidad constante, al tener variaciones de velocidad de 2% a 5% entre vacío y plena carga. En la máquina de CC se distinguen dos partes eléctricas, estas son: el Bobinado de Campo y el de Armadura. De esta forma, regulando la corriente de campo y armadura se puede controlar el motor. Por lo tanto, la regulación se hace de forma desacoplada, es decir, el control de la corriente de armadura es independiente se la regulación de la de campo, y viceversa. La Fig. 1 muestra una máquina de CC y su diagrama de conexión en configuración de excitación independiente.

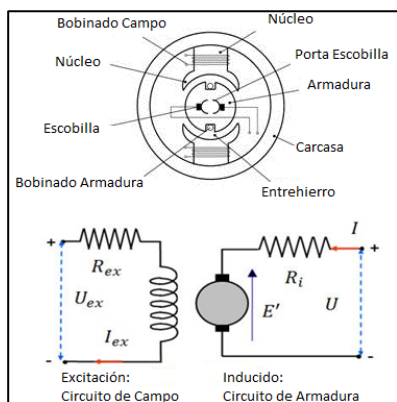


Figura 1 La máquina de Corriente Continua (CC).

La operación típica del motor de CC es alimentar en primera instancia el circuito de excitación (campo), y de seguido se empieza a incrementar la corriente de armadura, con lo cual el motor empieza a girar, y se regula la velocidad según la necesidad. La entrega de torque en la máquina de CC lo establece la relación:

$$T = k_m I \phi_{ex}$$

Donde:

$T$ : Torque entregado por la máquina.

$k_m$ : Constante de la máquina.

$I$ : Corriente de armadura (Ver Fig. 1).

$\phi_{ex}$ : Flujo producido por la corriente de campo  $I_{ex}$  (Ver Fig. 1).

Hay dos modos de operación del motor en lo que respecta a la corriente de excitación: **Con flujo  $\phi_{ex}$  completo** y **flujo  $\phi_{ex}$  debilitado**. ¿Qué se busca con esto? Al operar a flujo completo, y constante además, el control de torque lo realiza la corriente de armadura  $I$ . Por otro lado, el operar en flujo debilitado implica reducir la corriente  $I_{ex}$ , para debilitar el campo  $\phi_{ex}$ , y que el motor modifique su velocidad, con un cambio leve del torque. De esta forma, el flujo se controla por separado, lo que incidirá en la velocidad del motor. Por su parte, la corriente de armadura se destina al control del torque. Nótese que este comportamiento no se puede lograr con el motor de CA de jaula de ardilla, alimentado a voltaje y frecuencia constante. La pregunta es: ¿Se puede controlar la magnitud y el desfase por separado en un motor de CA? ¿Podrá esto lograr que se controle el flujo y torque del motor de CA? Antes de responder estas interrogantes se analiza a continuación un cambio de ejes de coordenadas, necesarios para lograr este propósito.

### Cambio de coordenadas

En un motor trifásico de CA, al alimentar el arreglo de devanados del estator, que se colocan desfasados 120 grados

mecánicos entre ellos, se establecen corrientes trifásicas balanceadas desfasadas 120 grados eléctricos, que producen tres componentes de flujo magnético denominados  $\psi_a$ ,  $\psi_b$ ,  $\psi_c$ . El resultado final en el centro del estator, es producir un flujo magnético rotativo, cuya velocidad de rotación se denomina velocidad sincrónica. Esto se conoce como el principio del campo magnético rotatorio. La Fig. 2 muestra el principio.

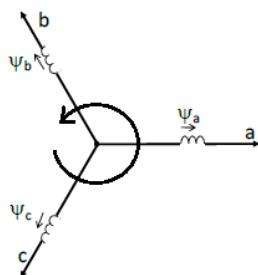


Figura 2 Flujo magnético por fase y resultante rotatorio

Cuando se coloca el rotor en el espacio del estator, se induce un voltaje en las barras, lo que produce la circulación de corriente, que a su vez provocan el flujo magnético del rotor  $\psi_R$ . No todo el flujo del estator  $\psi_S$  alcanza el rotor, en la realidad se presenta alguna dispersión, denominado  $\psi_O$ . Esto se puede representar por medio de un motor de 2 polos girando a  $\omega_e$ , como aparece a la izquierda de la Fig. 3, a la derecha se representan los flujos magnéticos de estator, rotor y dispersión. Además, se han colocado 2 ejes imaginarios rotativos  $d$ - $q$ , que servirán de nuevo eje de coordenadas.

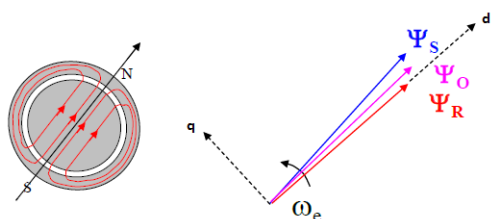


Figura 3 Flujos magnéticos en motor de 2 polos

Si se coloca un **Observador** en el nuevo eje  $d$ - $q$ , verá quietos a los flujos magnéticos, sólo varían su magnitud, pero no se mueven. El objetivo del control vectorial será transformar matemáticamente el motor CA tipo jaula de ardilla, en una máquina CC. De esta forma, se puede controlar el flujo y torque de forma desacoplada. El flujo se controla con un equivalente de la Corriente de Campo, y el torque con un equivalente de la corriente de armadura, como se explicará a continuación.

### Control Vectorial de motores CA

La máquina de inducción de tipo jaula de ardilla, comenzó a utilizarse en aplicaciones de velocidad variable cuando los primeros variadores (inversores) aparecen de forma comercial. Estos se basaron en elementos de conmutación forzada del tipo BJT, o similares. Con estos dispositivos fue posible regular la velocidad de la máquina cambiando la frecuencia y voltaje de las señales aplicadas al estator. Sin embargo, estos controles no podían alcanzar la misma dinámica de respuesta que una máquina de CC con excitación independiente, y con control de

corriente de armadura. Esto se debía a que el esquema de control escalar V/F regula sólo la magnitud del voltaje aplicado al estator, no el desfase de éste con la corriente. Por lo tanto al no existir control de fase no es posible desacoplar el control del torque y del flujo. Pero en los años 80's aparecieron los primeros microprocesadores que podían ser utilizados en sistemas de control digital, como por ejemplo el INTEL 8080 y 8085 y el ZILOG Z80, así empezaron a surgir los primeros esquemas de control vectorial, con trabajos desarrollados por investigadores alemanes, que luego se extendieron al resto de países, y de fabricantes.

La Fig. 3 presenta la teoría del control vectorial, donde se establece un eje rotatorio, que deliberadamente se alinea (orienta) con el flujo del Rotor  $\psi_R$ , con esto se logra lo siguiente:

- Que la corriente de estator  $i_s$  se pueda separar en dos componentes, una para cada nuevo eje, esto es:  $i_{sd}$  y  $i_{sq}$ .
- Obtener una corriente  $i_{sd}$ , denominada corriente de eje directo de estator, y es usada para controlar el flujo magnético, lo que es similar a la corriente de campo en la máquina de CC.
- Obtener una corriente  $i_{sq}$ , denominada corriente de eje en cuadratura de estator, y es usada para controlar el torque entregado, lo que equivale a la corriente de armadura en la máquina de CC.

El sistema de control del variador opera regulando la  $i_{sq}$ , por ejemplo cuando la velocidad de la máquina sea menor a la referencia, la  $i_{sq}$  aumenta para incrementar el torque. Por otro lado, el control mantiene constante la  $i_{sd}$  mientras no sea necesario operar en condición de flujo debilitado y así aumentar la velocidad, por encima de la velocidad base.

### Aplicaciones

El control vectorial fue desarrollado originalmente para aplicaciones de motor con alto rendimiento, y para funcionar sin problemas en todo el rango de velocidad, incluso puede generar torque completo a velocidad cero. Además, es capaz de lograr una rápida aceleración y desaceleración. Se está convirtiendo en cada vez más atractivo para aplicaciones de requerimiento más bajo debido al menor tamaño del motor, con reducción de costos y consumo de energía. Algunos aspectos significativos del control vectorial son:

- Se necesita medición de velocidad o posición del rotor, o algún tipo de estimación.
- El torque y el flujo pueden cambiar rápidamente, en el orden de 5-10 milisegundos, cambiando las referencias.
- La frecuencia de conmutación es generalmente constante.
- La precisión alcanzada en el torque y la velocidad depende de la precisión de los parámetros del motor utilizados en el control.

Una de las aplicaciones típicas de los variadores vectoriales es en la industria plástica, como en máquinas extrusoras.

