

## CONTROL DE UN MOTOR BRUSHLESS

Andrés Fuentes Hernández, M. en C. Álvaro  
Anzueto Ríos

Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería  
y Tecnologías Avanzadas UPIITA-IPN

Referencia de este artículo [1].

### Introducción

Controlar un motor brushless Maxon ECflat 45, mediante el método de conmutación trapezoidal también conocido como control de los 6 pasos. Estos motores son usados en robots humanoides como por ejemplo el Darwin OP para darle velocidad y precisión a sus movimientos [1]. También son usados en aeromodelismo para la creación de helicópteros y multicopteros.

Existen 2 tipos de motores Brushless, sensored, sensorless. Los del tipo sensored tienen 8 terminales, 3 de ellas pertenecen a sus bobinas, 3 más para salidas de los sensores de efecto Hall, y 2 cables de alimentación de los sensores[2]. Este tipo de motores tiene como principales ventajas su larga vida y su bajo mantenimiento debido a la ausencia de escobillas que logren desgastarlo; además son capaces de alcanzar altas velocidades. En contraste se tiene poca inercia, alto costo debido a su construcción y la necesidad de un controlador aunque solo se requiera una velocidad [2].

Para controlar los motores, existen diversas técnicas las cuales básicamente consisten en conocer la posición del rotor y con base en esto se hace circular una determinada corriente en cada una de sus bobinas. Las 3 formas principales del control de motores brushless son [2]:

1. Conmutación trapezoidal.
2. Conmutación sinusoidal.
3. Control Vectorial.

### Control trapezoidal

En un motor brushless la corriente puede seguir 6 caminos distintos, se considera como un camino diferente cada sentido de flujo de corriente. El control trapezoidal necesita conocer sobre que camino esta fluyendo la corriente por lo cual toma de los sensores las señales, los sensores mandan 6 señales distintas que indican que bobina esta energizada para cada momento de lectura (Fig 1) [2].

Un punto por mencionar es el siguiente: cuando se cumplen de forma secuencial el flujo de corriente por cada una de las bobinas se obtiene una revolución eléctrica, una revolución eléctrica no indica una revolución mecánica. Por lo tanto es necesario más de una revolución eléctrica para obtener una revolución mecánica. que no siempre los 6 pasos indican una revolución mecánica(física), estos 6 pasos son llamados revoluciones eléctricas, y dependiendo de los pares de polos se necesitará cierto número de revoluciones eléctricas para una revolución mecánica(física).Por ejemplo el EC flat 45 es necesario lograr 8 revoluciones eléctricas para obtener una revolución mecánica.

En la Fig.2, se presentan las combinaciones posibles para energizar las bobinas de forma digital un ejemplo es el siguiente; si se recibe un "101" de los sensores, podemos observar que la diferencia de potencial U1-2 es positiva lo que indica que la corriente debe fluir de la bobina 1 a la 2, en U2-3 y U3-1 no existe diferencia de potencial por lo que ninguna corriente debe fluir hacia la bobina 3, o de la misma manera al recibir un "010" de los sensores, U1-2 es negativa por lo que ahora la corriente fluye de 2 a 1, y de nuevo ninguna corriente debe fluir hacia la bobina 3.

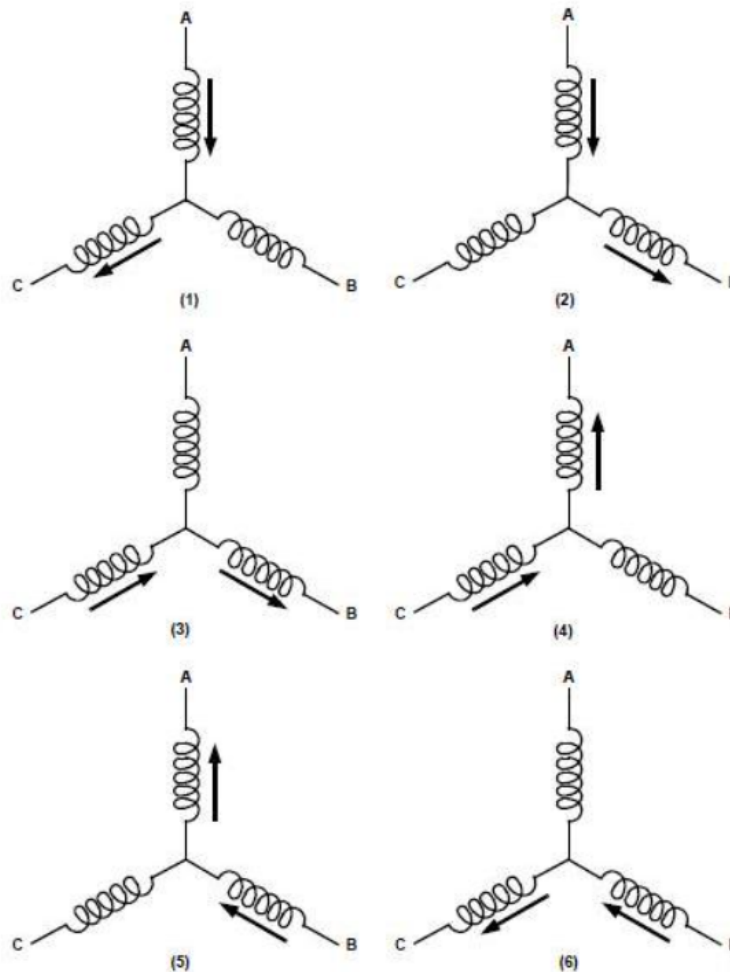


Figura 1: Caminos del flujo de corriente (6 diferentes)

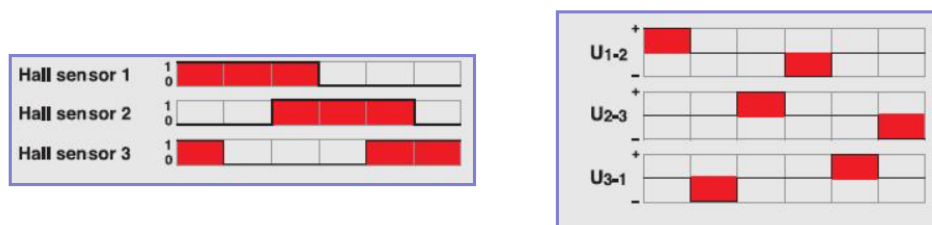


Figura 2: U1-2,U2-3,U3-1, representan las tensiones entre las 3 bobinas

El driver para el motor consiste en 9 transistores, 6 npn y 3 pnp, se usó el TIP41 y el TIP42, para este propósito el diagrama de conexión se puede observar en la (Fig. 3).

Para realizar pruebas físicas y demostrar la eficiencia del control tipo trapezoidal se utilizó el motor EC 45 flat de la compañía Maxom y para la programación de la secuencia de control se empleó la tarjeta Spartan 3 Board que contiene un FPGA XC3S200, de 200 mil compuertas lógicas, de la compañía Xilinx. El programa básicamente consiste en una tabla de verdad la cual dependiendo de la entrada de los 3 sensores, obtenga como respuesta una salida de 6 señales hacia un buffer externo (74LS245) el cual incrementa la salida de LVTTTL entregado por el FPGA a un voltaje mayor el siguiente paso es excitar los transistores ya mencionados.

La velocidad es controlada a través de un PWM que es enviado hacia 3 salidas llamadas PWM1, PWM2, PWM3 que van directamente al driver. Mientras que IN1, IN2, IN3 activan el driver según la secuencia necesitada, por ejemplo si se desea tener una tensión de la bobina 1 a la 3 o U1-3 positiva, se debe activar IN1 y controlar la velocidad con PWM3.

Hasta ahora el control no es en lazo cerrado, el programa el cual se encuentra en el anexo 1, se auxilia de 2 botones, uno que incrementa y otro que disminuye el PWM controlando de esta forma la velocidad.

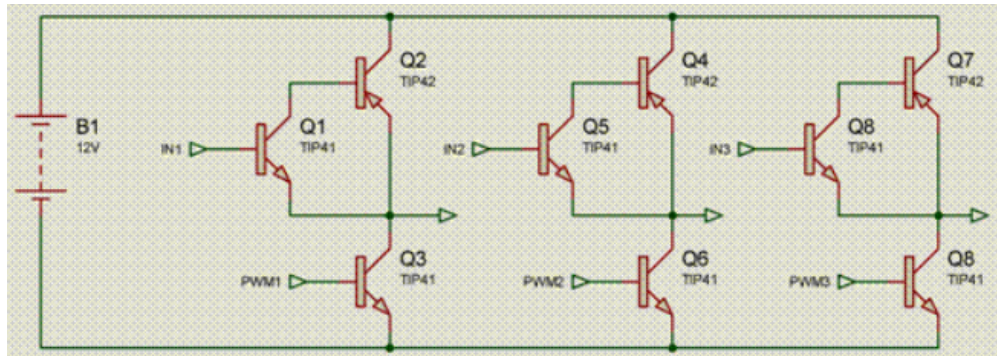


Figura 3: Diagrama eléctrico del driver del motor

## Pruebas

Se obtuvo la velocidad del motor a través de la frecuencia de la señal de salida de uno de los sensores, en este caso se obtuvo que a mínima velocidad el sensor entrega una frecuencia de 60hz y a máxima velocidad una frecuencia de 540hz.

Tomando el valor máximo de frecuencia, podemos decir que a máxima velocidad el motor da 540 revoluciones eléctricas en un segundo, por lo tanto tomando en cuenta que para el motor en cuestión, 8 revoluciones eléctricas equivalen a una revolución física, se tendrá que dividir la frecuencia entre 8, con esto se obtienen las revoluciones por segundo, con las cuales al multiplicarlas por 60 obtenemos la velocidad expresada en RPM. La fórmula que resume lo dicho anteriormente es la siguiente.

$$V_{rpm} = \frac{Frecuencia_{sensor} * 60}{8} \quad (1)$$

Con esto se obtuvo que la máxima velocidad era 4050rpm y la mínima 450.

## Conclusiones

El control Trapezoidal es recomendable para motores Brushless con sensores en aplicaciones que requieran altas velocidades. Para lograr que el motor avance a su máxima velocidad es necesario que el driver proporcione la corriente suficiente, es por esto que se recomienda el uso de transistores bipolares o MOSFETs.

Para aplicaciones que requirieran motores con altas RPMs es aconsejable el uso de los motores tipo brushless sensed con un control de tipo trapezoidal.

**Para ver Programa de Control del Motor da clic AQUÍ**

## Referencias

- [1] <http://www.robotis.com/xe/darwin`en>
- [2] Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals, Padmaraja Yedamale Microchip Technology Inc.

- [3] Técnicas de control para motores Brushless Comparativa entre conmutación Trapezoidal, conmutación Sinusoidal y Control Vectorial, Roger Juanpere Tolrà.

## Referencias

- [1] Albert Einstein, Isaac Newton, Marie Curie, Galileo Galilei, Charles Darwin  
**(mayo - junio, 2025)** *La teoría de la evolución biológica. Boletín UPIITA. año 19, ( 108) 2025* liga del artículo