

Unidad 8

MÁQUINAS ELÉCTRICAS:

ESPECIALES

**ELECTROTECNOLOGÍA, ELECTRÓNICA Y
MÁQUINAS ELÉCTRICAS**

(INGENIERÍA MECÁNICA)

M - 14

Ing. Julián J. Ronco (Prof. Adj.)

Ing. Jorge C. Ronco (Aux.)

Bruno Sebastiani (Aux.)

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

MÁQUINAS ESPECIALES

8. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se estudian una serie de máquinas eléctricas especiales que por razones de coherencia didáctica no se incluyen en capítulos anteriores, y las cuales separaremos en dos sub-ítems: 8.1 y 8.2.

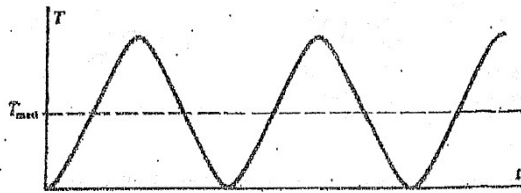
Se estudia en primer lugar el motor universal que podía ser incluido en el capítulo VII de "Máquinas de Corriente Continua", pero al funcionar también en corriente alterna no pareció muy oportuno incluirlo. Se incluyen también algunos motores utilizados en sistemas de control como ser elementos posicionadores o de arrastre, de muy poca potencia; que a menudo se los reconoce por el nombre de "micromotores". Todas estas máquinas eléctricas serán las incluidas dentro del *ítem 8.1*.

Dentro del *ítem 8.2*, se estudian una serie de motores eléctricos especiales ya de mayor potencia nominal como lo son los motores eléctricos brushless Vdc (sin escobillas, sin carbonos, sin colector de delgas); y se introduce el concepto de los servomotores, relevantes en aplicaciones dentro del sector automotriz, aeroespacial, la electromedicina, la automatización de procesos, etc. Debiendo invocarse a los dispositivos de electrónica de potencia, como los controladores electrónicos de velocidad (ESC), los sistemas electrónicos con control por modulación por ancho de pulsos (PWM), etc.

8.1 MICROMOTORES

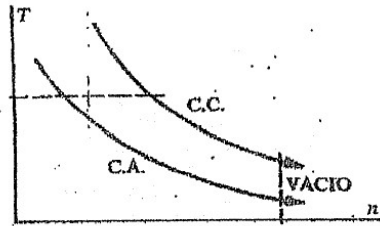
8.1.1. MOTOR UNIVERSAL

Un motor serie de corriente continua como el descrito en el capítulo VII puede funcionar alimentado por corriente alterna, ya que el cambio de polaridad provocado por la misma se produce simultáneamente en el inducido y en el devanado de excitación, de tal manera que el par se mantiene con el mismo signo, pero pulsante y de frecuencia doble a la de la red de alimentación.



La conexión serie garantiza la simultaneidad en la inversión de la polaridad en ambos arrollamientos. El funcionamiento en corriente alterna es peor que en corriente continua, pues los efectos de reactancia que se manifiestan ahora en los arrollamientos dan lugar a caídas de tensión adicionales; por lo tanto, se obtienen menores pares de salida, para la misma tensión aplicada.

Además, con corriente alterna pueden presentarse problemas de saturación cuando la onda de la corriente pase por sus valores máximos, aumentando sus pérdidas. La conmutación con corriente alterna se hace más difícil y los arcos en el colector son mayores que con corriente continua. Todo esto hace que el rendimiento disminuya con corriente alterna.

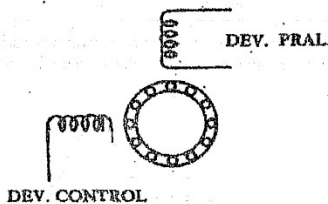


A pesar de lo expresado, este tipo de motor se utiliza frecuentemente en numerosas aplicaciones debido a las ventajas que presenta respecto al motor monofásico de inducción. En primer lugar, se tiene la posibilidad de alcanzar velocidades muy altas, que con un monofásico de 50 Hz. se limita a las 3000 RPM. En segundo lugar, la regulación de la velocidad se puede conseguir muy sencillamente variando la tensión de alimentación, con dispositivos económicos y fiables, mientras en los monofásicos es compleja y costosa. En tercer lugar, el par de arranque es mucho mayor que el que puede conseguir cualquier monofásico, lo que es fundamental en muchas aplicaciones. Por otro lado, el monofásico es menos ruidoso y tiene mayor mantenimiento.

Aplicaciones: las más típicas son los electrodomésticos y en herramientas portátiles.

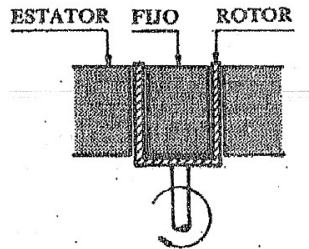
8.1.2. MOTOR BIFÁSICO

Este motor está compuesto por dos devanados situados en el estator geoméricamente con sus ejes en cuadratura (a 90°). El rotor es del tipo jaula, igual que en los motores de inducción. Si a cada uno de los arrollamientos los alimentáramos con tensiones alternas senoidales desfasadas en el tiempo $\pi/2$ tendríamos un campo magnético giratorio, y consecuentemente obtendríamos un par que hará girar al motor.



El principal inconveniente es que necesitaremos un sistema de alimentación bifásico de energía eléctrica, para obtener permanentemente una potencia determinada. Sin embargo, su aplicación no suele ser de este tipo, sino como elemento de control con muy poca potencia involucrada. El mismo actúa de la siguiente manera. Mientras uno de los devanados está permanentemente conectado a una tensión alterna de valor eficaz constante; el otro recibe una tensión de control de un transductor del sistema de control. De

esta manera, el motor girará en uno u otro sentido, según sea el desfase entre la tensión principal y la de control.

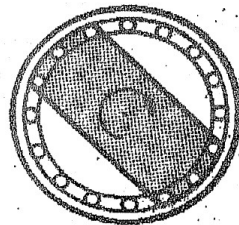


Por lo tanto, su aplicación más usual es en posicionadores poco sensibles, o como accionador de elementos de sistemas; por ejemplo: válvulas.

En este tipo de aplicaciones es muy importante que el rotor tenga un momento de inercia muy pequeño, para obtener del mismo una respuesta suficientemente rápida. Es por ellos que en muchos casos, la configuración del rotor es en forma de vaso o hueco, como se aprecia en la figura adjunta.

8.1.3. MOTOR DE RELUCTANCIA

El estator de este motor es como el de un motor de inducción trifásico o monofásico, si bien el más corriente es de este último tipo. El rotor es del tipo jaula de ardilla, pero con una masa magnética como se aprecia en la siguiente figura.

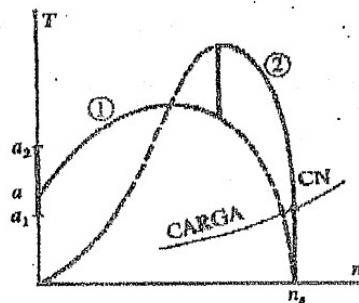


Esta masa hace que el entrehierro no sea uniforme, teniendo la configuración de polos salientes. El par ocasionado sobre el rotor por el campo giratorio del estator tiene dos componentes. Una actúa sobre la jaula, de manera similar al motor de inducción estudiado oportunamente, y la otra sobre la masa magnética que se comportará como un imán, que se ha creado por consecuencia del campo magnético del estator.

Este es el par que se denomina *de reluctancia* ya que es debido a que la reluctancia del circuito magnético entre el estator y el rotor depende de la posición de este último y que aparece un par que trata de poner el rotor en la posición en que la reluctancia sea mínima.

En la siguiente figura, se tiene una variación típica del par vs. la velocidad. La curva 1 representa el par debido a los dos devanados del estator. El par de arranque varía entre a_1 y a_2 debido a que el par de reluctancia, antes mencionado, depende de la posición relativa en que se encuentre el rotor en el instante del arranque. La curva 2 es el par exclusivo

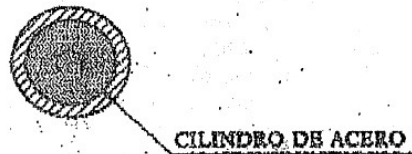
debido al devanado principal del estator. El motor está diseñado para que esta curva sea muy vertical cerca de la velocidad de sincronismo, ya que de esta manera el par de reluctancia alcanzará para llevar al rotor a la velocidad sincrónica.



Así el motor de reluctancia gira a la velocidad sincrónica donde el campo del rotor se consigue por imantación de una masa magnética por efecto del estator, siendo las corrientes rotóricas nulas. El par logrado es pequeño comparado con un motor sincrónico. Sin embargo, en muchas aplicaciones en donde se requiera mucha potencia, este tipo de motor es muy útil, al ser robusto y no requiere prácticamente mantenimiento.

8.1.4. MOTOR DE HISTÉRESIS

En estos motores, el estator es del mismo tipo que el de los motores de inducción monofásicos; siendo el rotor de acero macizo magnético, con un ciclo de histéresis ancho, presentando exteriormente el aspecto de cilindro liso, como se esquematiza en la figura.

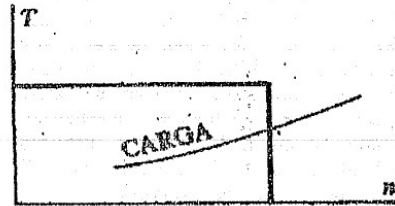


Por efecto del campo magnético giratorio producido por el estator, el rotor se ve sometido a un campo que varía con el tiempo, obligando al material (del rotor) a recorrer un ciclo de histéresis para cada vuelta del estator.

El campo inducido en el rotor es también giratorio y de misma velocidad que el estator, pero desplazado un ángulo respecto del del estator debido a la fuerte histéresis del material del rotor. Para una mejor visualización del principio de funcionamiento supongamos que en la representación $\beta - H$ (característica magnética) del circuito magnético, los valores del eje de H representan los del campo giratorio del estator y en el de β los valores del campo del rotor. Ahí vemos que el desfasaje que va tomando el campo del rotor al recorrer el ciclo de histéresis es irregular, pasando por los máximos ambos campos a la vez, pero no por los ceros. En otras palabras, cuando sobre un punto del rotor se analiza cómo es el campo inducido respecto del campo del estator, se observa que

cuando la excitación magnética del estator es nula, existe un campo magnético en el rotor como una consecuencia del magnetismo remanente.

La figura muestra la relación que se obtiene entre el Par y la Velocidad de giro.



Como consecuencia del ángulo de desfase que existe entre ambos campos aparece una cupla sobre el rotor que lo obligará a girar. El par será entonces proporcional al ángulo entre los campos y por ende el "ancho" del ciclo de histéresis, resultando el mismo constante.

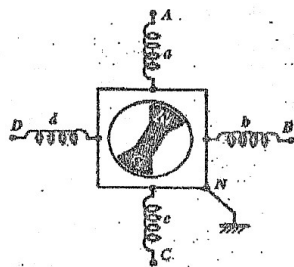
Si la carga conectada al rotor es pequeña, éste puede alcanzar una velocidad cada vez mayor, pero como máximo la velocidad de sincronismo correspondiente a la frecuencia de las corrientes del rotor y del número de pares de polos de este.

Aplicación: Este tipo de motores suele ser utilizado en sistemas que requieran poca potencia de arrastre a velocidad constante, siendo su funcionamiento muy uniforme, ya que el motor de histéresis posee una configuración mecánicamente muy equilibrada, ya que su rotor es sencillamente un cilindro liso.

8.1.5. MOTOR DE IMPULSOS (PASO A PASO)

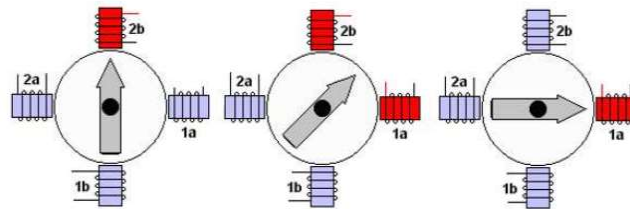
El motor de impulsos, o paso a paso (stepper motor), es en esencia un motor sincrónico que gira un determinado ángulo cada vez que recibe un impulso eléctrico en uno de sus devanados. El estator está constituido por una serie de bobinas uniformemente distribuidas en el espacio del estator. El rotor puede ser del tipo reluctancia variable o de imán permanente.

En la figura de la izquierda, se ve en forma simplificada un motor con cuatro bobinas en el estator y el rotor de imán permanente.

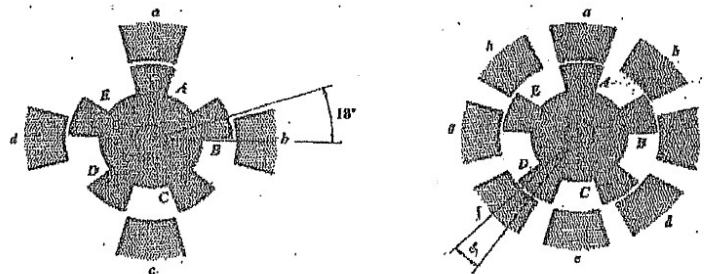


El impulso de entrada se aplica a los devanados del estator, de manera que el campo resultante tenga una dirección determinada. Así aplicando un impulso de tensión entre A y N, el rotor se situará en posición vertical (se alinean los campos). Si el próximo impulso se aplicara entre A y B, el rotor girará 45° en sentido horario. Sucesivamente excitaremos, entre B y N, B y C, C y N, C y D, D y N, etc., lograremos que el rotor gire de saltos (pasos) de 45°. Incrementando el número de bobinas se pueden conseguir "pasos" mas pequeños.

En la siguiente figura, se observa con mayor nitidez el movimiento del rotor continuo en el sentido horario con "pasos" de 45°, con mismas 4 bobinas en el estator, pero únicamente con diferente nomenclatura.



Si el rotor es del tipo reluctancia, se tendrán configuraciones como la de las siguientes figuras donde el rotor es sencillamente una pieza metálica (no imán permanente) con polos salientes (en los ejemplos: 5) y los estatores poseen dos y cuatro pares de polos, consiguiendo "pasos" de 18° y 9° respectivamente.



En la figura de la izquierda, la secuencia de los impulsos será hacia las bobinas **a,b,c,d** y en la figura de la derecha hacia las **a,f,c,h,e,b,g,d** para conseguir los ángulos de paso deseados.

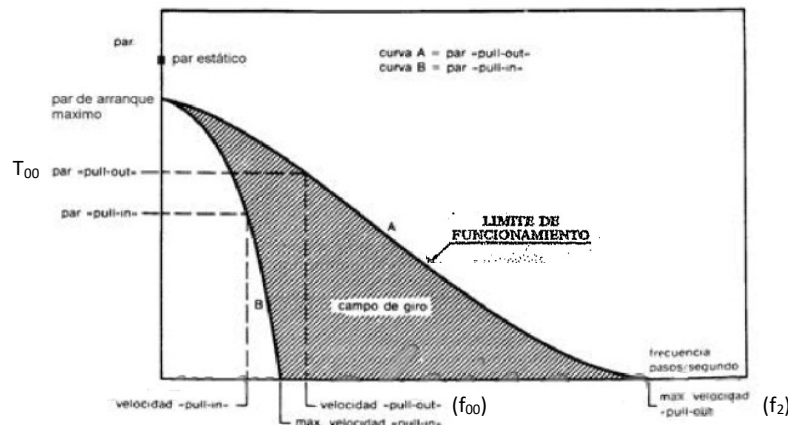
En la siguiente figura, se observa un motor paso a paso de rotor de reluctancia de 6 polos salientes y un estator de 4 pares de polos (8 polos).



La posición final se alcanza luego de una pequeña oscilación en torno al equilibrio, y el tiempo que tarda en alcanzarlo es una característica propia de cada motor y su inversa representa el número máximo de pulsaciones a que puede responder cada motor.

Una característica Cupla Vs. Frecuencia típica de este tipo de motores se representa en la siguiente figura (curva de características dinámicas); donde la curva inferior **B** está determinada para situación donde cada pulso genera una cupla partiendo del rotor en reposo; y la curva superior **A** es la curva límite sobre la cual se "**pierde sincronización**".

Para un Par como el T_{00} la frecuencia límite (con el motor en movimiento será f_{00}); y f_2 será la "**frecuencia máxima de desincronización**".



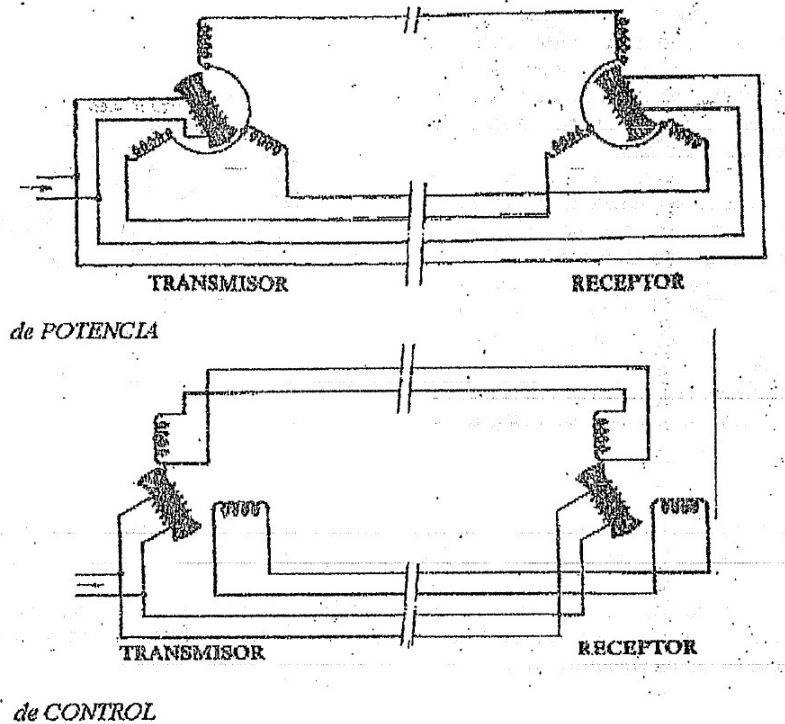
Los parámetros más característicos de un motor paso a paso o de impulsos, son:

- La aceleración o mejor dicho el momento de inercia del rotor;
- El ángulo de paso;
- El par estático y el dinámico a una frecuencia determinada;
- Las frecuencias máximas anteriormente que se obtienen, disponiendo de las curvas características que provee el fabricante, de manera sencilla;
- Finalmente también suele indicarse la tensión de alimentación.

Aplicaciones: son múltiples y cada día son más utilizados. A modo de ejemplo citaremos: posicionadores, registradores, impresoras, plataformas inerciales, movimiento de cámaras y antenas en satélites, etc, etc....

8.1.6. "SELSYN" DE POTENCIA Y DE CONTROL

Estas máquinas tienen la configuración de máquinas sincrónicas, con conexiones entre dos; como se muestra en las siguientes figuras:



La **selsyn de potencia** posee en los estatores tres bobinas desplazadas 120° y el rotor es un electroimán alimentado por una señal de referencia.

En el caso de los **selsyn de control**, los estatores poseen dos bobinas desplazadas 90° , con el mismo tipo de rotor que la anterior.

Estas máquinas se las utiliza para transmitir información sobre la posición angular de un dispositivo mecánico a una gran distancia. Para ello las máquinas deben ser iguales; una oficiando de transmisor y la otra de receptor. Las bobinas estáticas estarán alimentadas por la misma tensión alterna y al girar el eje del transmisor se induce una tensión en el estator de éste tal que hace pasar una corriente por los devanados del estator del receptor, la que crea un campo en éste último que coloca a su rotor en la misma posición que el del transmisor.

El eje del receptor seguirá fielmente las posiciones que adopte el transmisor.

Se pueden armar selsyns con varios transmisores sobre un solo receptor, obteniendo una señal suma, ó diferencia, de todas las señales.

Aplicaciones: control de posición de válvulas, compuertas, traslación de puentes grúas, etc.

8.2 MOTORES ELÉCTRICOS ESPECIALES DE POTENCIA

8.2.1 MOTORES BRUSHLESS DC (SIN ESCOBILLAS)

Los motores eléctricos del tipo brushless Vdc son de gran potencia, sin la presencia de escobillas ni carbones, evitando los problemas de mantenimiento a la hora de la conmutación dado no hay contacto físico entre las escobillas y el rotor; lo cual reduce el desgaste y aumenta la eficiencia energética de estas máquinas eléctricas. Este tipo de motores integra una tecnología avanzada que ha cambiado la forma en que se diseñan y se construyen las máquinas eléctricas modernas. Esta eficiencia energética y su funcionamiento y características, lo convierten en la opción ideal para una amplia variedad de aplicaciones, desde la industria automotriz hasta la aeroespacial o la electrónica de consumo.

Estos motores brushless, en lugar de escobillas, tienen un controlador electrónico que envía señales a los bobinados del estator para generar el campo magnético rotante. El rotor, podrá ser diseñado del tipo imanes permanentes, y se alineará con el campo magnético rotante del estator, haciendo que el rotor gire en consecuencia.

Entre las características de los motores brushless, destacan las siguientes:

- Eficiencia energética: Los motores brushless son mucho más eficientes que los motores con escobillas, lo que significa que generan menos calor y consumen menos energía.
- Durabilidad: Debido a que no hay fricción entre las escobillas y el rotor, estos motores tienen una vida útil más larga que los motores tradicionales.
- Potencia: son capaces de generar una potencia mucho mayor que los motores con escobillas, lo que los hace ideales para aplicaciones de alto rendimiento.
- Control electrónico: la posibilidad de controlarlos electrónicamente, por ejemplo, para ajustar la velocidad y el par en tiempo real, permite una mayor precisión en el manejo de cualquier máquina.
- Tamaño compacto y peso reducido: se tratan de motores más pequeños y más ligeros, lo que los hace ideales para aplicaciones en las que el espacio y el peso son un factor importante y determinante.

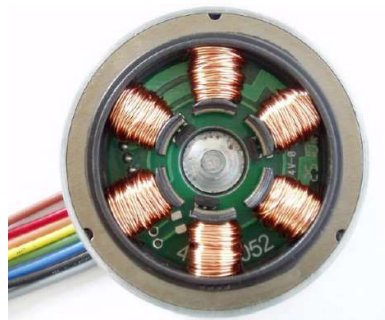
Las principales diferencias de los motores brushless frente a los motores tradicionales, son las siguientes:

- Funcionamiento: como hemos comentado antes, en los motores tradicionales, las escobillas hacen contacto con el rotor para transferir energía eléctrica y permitir su movimiento. En los motores brushless, en cambio, el rotor tiene imanes permanentes y el estator es el que genera el campo magnético rotativo mediante el control electrónico. Esto reduce el desgaste y la fricción, lo que se traduce en una mayor eficiencia energética (leer a continuación) y una vida útil más larga.
- Eficiencia: Los motores brushless son más eficientes que los motores tradicionales porque no generan tanto calor ni tienen pérdidas de energía debido a la fricción entre las escobillas y el rotor.
- Control: como también hemos comentado, el motor brushless puede controlarse electrónicamente para ajustar la velocidad y el par en tiempo real, lo que permite una

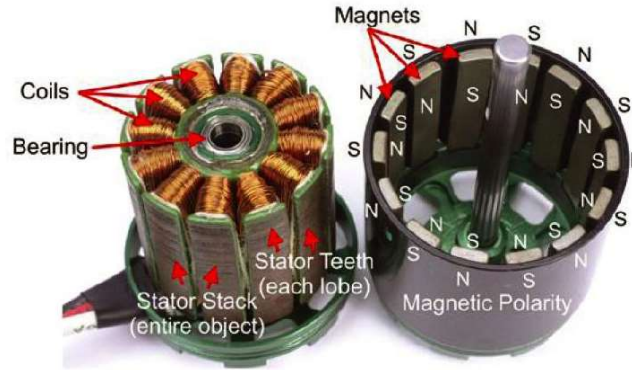
- mayor precisión en el control de la máquina. Los motores tradicionales, por su lado, tienen un control limitado y generalmente solo pueden funcionar a una velocidad constante.
- Tamaño y peso: otra diferencia importante y relevante, puesto que los motores brushless son más pequeños y más ligeros que los motores tradicionales, lo que los hace ideales para aplicaciones en las que el espacio y el peso son aspectos cruciales.
 - Coste: debido a la tecnología avanzada y de momento, el coste de un motor brushless suele ser más caro frente al de un motor tradicional. Sin embargo, su eficiencia y durabilidad a largo plazo pueden justificar su mayor costo.

El motor de corriente continua sin escobillas (**BLDC**) *o motor brushless* es uno de los tipos de motores que más popularidad ha ganado en los últimos años. Actualmente, los motores BLDC se emplean en sectores industriales tales como: Automóvil, Aeroespacial, Consumo, equipos de automatización e instrumentación, etc. Los motores BLDC tienen la característica de que no emplean escobillas en la conmutación para la transferencia de energía; en este caso, *la conmutación se realiza electrónicamente*. Esta propiedad elimina uno de los grandes problemas que poseen los motores eléctricos convencionales con escobillas: La disminución del rendimiento debido al rozamiento, con su consecuente producción de calor, que deriva en motores más ruidosos con una necesidad más alta de mantenimiento.

El estator de un motor BLDC consiste en un conjunto de láminas de acero apiladas con bobinados colocados en las ranuras de forma axial a lo largo de la periferia interna como se muestra en la siguiente figura. Tradicionalmente, el estator se asemeja a un motor de inducción, sin embargo, las bobinas se distribuyen de una manera diferente. La mayoría de los motores BLDC tienen tres fases en el estator conectado en estrella. Cada una de estas fases está construida por numerosas espiras interconectadas para formar cada una de éstas. Una o más bobinas colocadas en las ranuras se interconectan para que formen una fase. Cada una de estas bobinas se distribuye en la periferia del estator para formar un número par de polos.



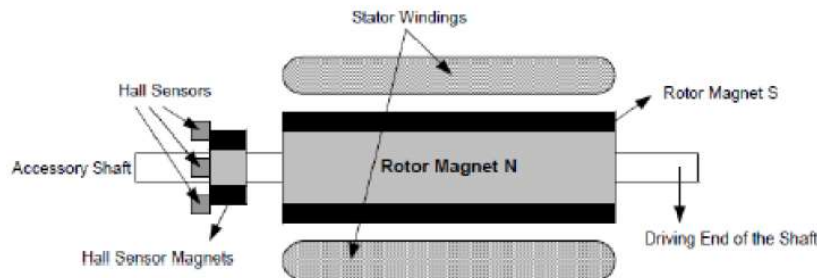
El rotor es de imán permanente y puede variar desde dos hasta ocho pares de polos alternativos de Norte (N) y Sur (S). En función de la densidad de campo magnético requerido en el rotor, se escoge el material magnético adecuado para hacer el rotor. Los **imanes de ferrita** se utilizan tradicionalmente para hacer imanes permanentes.



Estator de un motor Brushless – BLDC (izquierda) / Rotor (derecha)

La mayoría de los motores BLDC tienen **tres sensores Hall integrados en el estator**, en el extremo opuesto al rotor del motor. Cada vez que los polos magnéticos del rotor pasan cerca de los sensores Hall, ofrecen una señal de “alto o bajo”, lo que indica el polo N o S está pasando cerca de los sensores. Basado en la combinación de estas tres señales del sensor Hall, se puede determinar la secuencia exacta de conmutación.

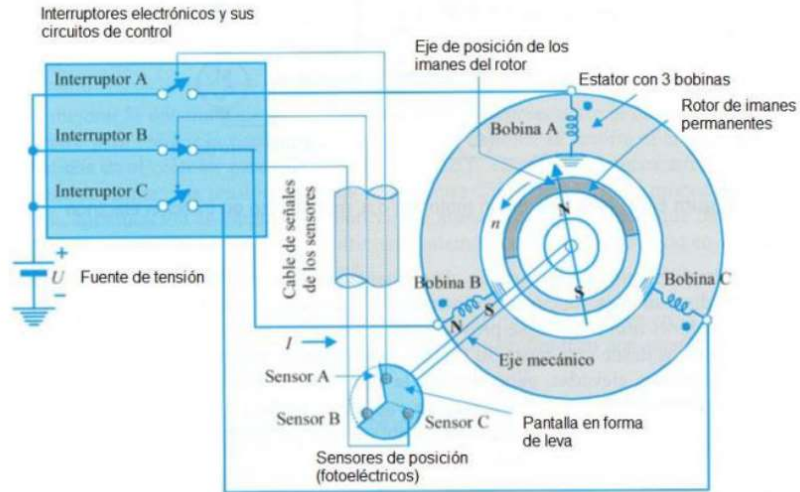
La siguiente figura, muestra una sección transversal de un motor BLDC con un rotor que tiene imanes alternativos N y S permanentes. Los sensores Hall se incrustan en la parte fija del motor. La incorporación de estos sensores en el estator es un proceso complejo, ya que cualquier desajuste en los mismos con respecto a los imanes del rotor, generaría un error en la determinación de la posición rotórica.



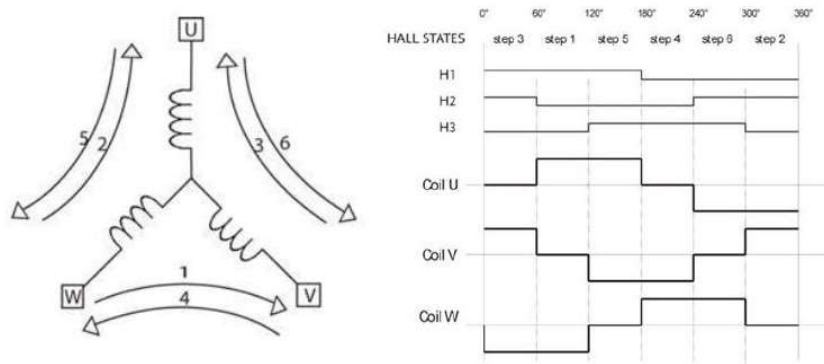
Los sensores Hall requieren una fuente de alimentación. La tensión puede variar de 4 voltios a 24 voltios. La corriente necesaria puede variar desde 5 hasta 15 miliamperios. Durante el diseño del controlador, es necesario consultar las propias especificaciones técnicas del motor, para poder trabajar con el rango de tensión y corriente requerida por los sensores de efecto Hall utilizado.

8.2.1.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO MOTOR BRUSHLESS DC

A cada secuencia de conmutación le corresponde un estado de activación de las bobinas del estator, de tal forma que mientras uno de los devanados tiene una tensión de alimentación positiva (corriente entra en el devanado), un segundo devanado tiene una tensión de alimentación negativa (las salidas de corriente de la bobina) y el tercero se encuentra sin corriente. Obsérvese la siguiente figura, para su mejor comprensión.



El par motor se produce debido a la interacción entre el campo magnético generado por las bobinas del estator y los imanes permanentes. Idealmente, el par máximo se produce cuando estos dos campos se encuentran a 90° uno del otro y decae a cero cuando ambos campos magnéticos se mueven juntos. A fin de mantener el motor en marcha, el campo magnético producido por las bobinas debe cambiar de posición (debe cambiar la activación y desactivación de las bobinas), de tal forma que según el movimiento del campo magnético del rotor varíe, se actualice el campo magnético del estator. En la siguiente figura, se observa la secuencia de alimentación de la bobina para una revolución eléctrica de un motor BLDC (tipo Brushless).



En los motores Brushless o sin escobillas, la generación del torque del motor sucede debido a la interacción entre el rotor que está formado por los imanes permanentes y el campo magnético generado por las bobinas del estator. El mayor valor de torque que se puede obtener de estos motores sucede cuando están distanciados 90° , y cuando estos se acercan, su valor va decreciendo. Para que el motor se mantenga en rotación permanente, se necesita que el campo magnético producido por las bobinas en el estator cambie de posición continuamente, esto se hace para que el rotor se mantenga en movimiento tratando de alcanzar el campo magnético generado por el estator.

La rotación se mantiene porque el flujo del imán permanente que forma el rotor trata de alcanzar al campo magnético resultante que es inducido por las bobinas del estator. Esto significa que la energización de las bobinas A, B y C del estator, deben

estar sincronizadas para asegurar que el flujo resultante siga en movimiento, y se produzca el giro.

- Los devanados están conectados en estrella.
- Conmutación de la posición de flujo del estator cada 60° .
- Solo dos fases conectadas al mismo tiempo.

La densidad de potencia en un motor es un indicador de rendimiento crítico que relaciona el tamaño del motor y la potencia que este puede suministrar. Un motor BLDC es capaz de generar un par más continuo y una mayor potencia, en comparación con un motor DC convencional. En algunas aplicaciones automotrices o para drones, la densidad de potencia es un criterio de gran importancia para su correcto desarrollo.

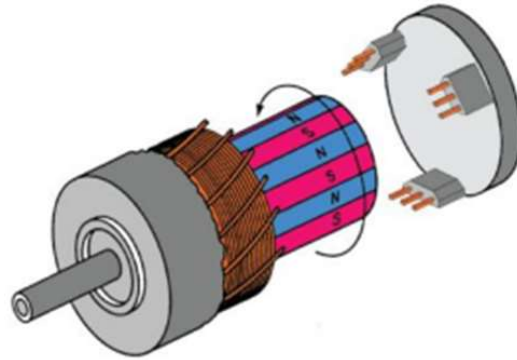
En los motores brushless DC, la conmutación se realiza de manera electrónica, y uno de los métodos más sencillos y eficientes para realizarla es el método trapezoidal o también conocido como método seis pasos, el cual permite el giro del motor. Una rotación completa equivale a 360 grados eléctricos y el estudio de este método se realiza cada 60° , el cual, multiplicado por seis, completa la rotación, de ahí proviene el nombre de conmutación de seis pasos.

El algoritmo de conmutación de seis pasos requiere un valor de retroalimentación de la posición del rotor, el cual se obtiene generalmente mediante sensores de efecto hall. Las seis fases de conmutación mueven un campo electromagnético el cual genera que los imanes permanentes del rotor muevan el eje del motor. Una de las características más importantes del motor brushless DC, es que solamente se mantienen dos fases conectadas al mismo tiempo, mientras que el tercer devanado se encuentra flotante o libre.

Se necesita de una alta precisión del controlador, en consecuencia, se debe conocer la posición exacta del estator en relación con el rotor en todo momento. En el caso de existir alguna desalineación, entre la posición esperada y la posición real, el rendimiento del motor se verá afectado y disminuirá.

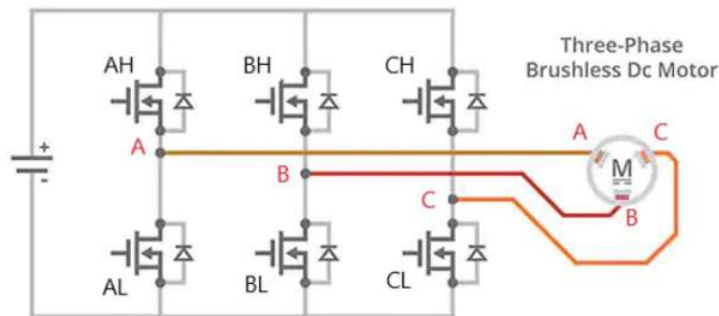
Este tipo de control de velocidad del motor brushless DC, se caracteriza por la presencia de sensores de posición. Los sensores pueden estar configurados de diversas maneras, pero en general se encuentran distribuidos en intervalos de 60 a 120 grados. La ventaja que presentan los motores brushless DC con sensores, es que logran crear un sistema de circuito cerrado que permite al controlador conocer la posición del rotor en todo momento, haciendo que el patrón de transmisión se ejecute con mucha precisión.

Los sensores magnéticos, tienen la función de convertir información magnética o codificada magnéticamente en señales eléctricas las cuales posteriormente serán procesadas por diversos circuitos electrónicos para su interpretación. Dentro de la familia de sensores magnéticos, se encuentran los sensores de efecto Hall cuya señal de salida se encuentra en función de la densidad del campo magnético a su alrededor. En la siguiente figura, se observa un motor brushless DC junto con tres sensores de efecto Hall, los cuales tienen la función de proporcionar la posición del rotor al controlador.



Los sensores de efecto Hall están presentes desde el comienzo de la construcción de los motores sin escobillas, ya que se encargan de realizar la retroalimentación para la conmutación. El motor BLDC trifásico, necesita únicamente de tres sensores ubicados en el estator para poder conocer la posición del rotor en todo momento. Esta posición obtenida, sirve para cambiar los transistores activados en el puente trifásico y de esta forma seguir impulsando al motor. Las salidas del sensor Hall son denominadas de forma común como A, B y C.

En la siguiente figura, se muestra el motor BLDC, junto con sus sensores de efecto Hall, conectados a un puente trifásico, siendo esta la idea principal del control del motor BLDC. Los sensores de efecto Hall, permiten el control de un motor BLDC, debido a que pueden proporcionar la posición angular dentro de cada ciclo eléctrico. La retroalimentación es dada mediante un cambio de valor de "OFF" a "ON", o de cero a uno lógico. Sin sensores y sin electrónica de potencia para los circuitos de accionamientos / control / nuevas tecnologías, imposible controlar y conocer precisamente la posición inicial del rotor (recordar que además existe el campo magnético remanente del circuito magnético de la máquina, y que hay un controlador para activar cada base o gate de cada semiconductor de potencia de estado sólido en el momento apropiado).

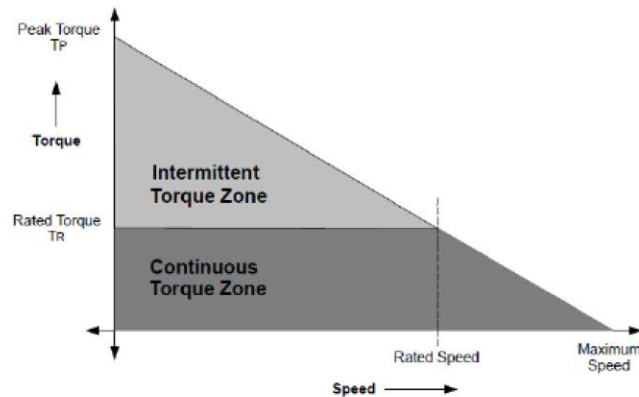


8.2.1.2. CARACTERÍSTICA CUPLA/VELOCIDAD MOTOR BLDC (BRUSHLESS)

Existen dos parámetros de par utilizados para definir un motor BLDC: la cupla máxima o de pico (TP -Peak Torque) y la cupla nominal (TR - Rated Torque). En un funcionamiento continuo, el motor es cargado con la cupla nominal manteniéndose constante hasta la velocidad nominal. El motor puede funcionar a velocidades superiores a la nominal (hasta el 150% de la misma), con la consecuente disminución de la cupla.

En aplicaciones en las que aparecen arranques y paradas frecuentes y cambios

frecuentes de rotación con carga en el motor, la demanda superará la cupla nominal. Este requisito se debe a que, durante un breve período de tiempo, (especialmente cuando el motor arranca desde parado y durante una aceleración) es necesario disponer de una cupla adicional para poder superar la inercia de la carga y el propio rotor. En la siguiente figura, se observa la gráfica de cupla/velocidad de un motor BLDC.



8.2. SERVOMOTORES

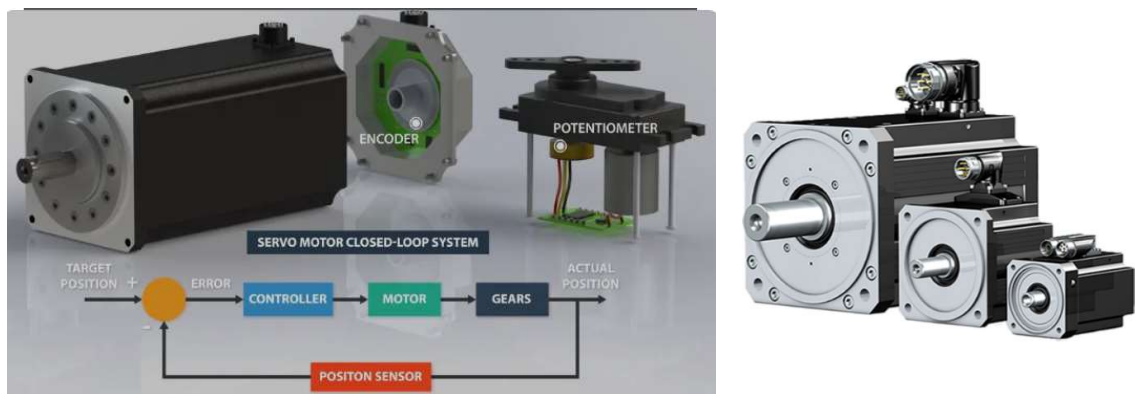
Los servomotores son una maravilla compacta y potente de la ingeniería moderna. A pesar de su tamaño reducido, son capaces de generar una gran cantidad de potencia y son reconocidos por su gran eficiencia energética. Los principales tipos son, los servomotores de CA, los servomotores de CC, los servomotores de rotación posicional, los servomotores de rotación continua y los servomotores lineales. Pueden servir como actuadores rotativos para brazos robóticos, ofreciendo un control preciso en términos de posición angular, aceleración y velocidad; capacidades que un motor eléctrico común simplemente no puede igualar. En resumen, un servomotor toma un motor estándar (Vdc y Vca), y lo eleva a un nuevo nivel de rendimiento, al integrarlo con un sensor para la retroalimentación de posición. No obstante, es importante aclarar que **los servomotores no son una categoría específica de motor. En realidad, son una combinación ingeniosa de componentes específicos, que incluyen un motor de corriente continua o alterna.**

Por lo tanto, una definición más precisa de un servomotor sería un servomecanismo de bucle cerrado, que utiliza la retroalimentación de posición, para controlar su velocidad de rotación y posición. La señal de control, que puede ser analógica o digital, representa el comando de posición final para el eje. El codificador, o encoder, juega un papel crucial en este sistema, actuando como sensor y proporcionando retroalimentación de velocidad y posición.

Por otro lado, los **servomotores destinados al uso industrial** están equipados con **sensores de posición y velocidad**, así como con algoritmos de control proporcional-integral-derivativo. Esto permite que el motor alcance su posición de manera rápida y eficiente. Hoy en día, los servomotores son una parte integral de una gran cantidad de industrias, desde la **robótica** hasta la aeroespacial, y continúan evolucionando y mejorando para satisfacer las crecientes demandas de precisión y control.

8.2.1. APLICACIONES Y FUNCIONAMIENTO - SERVOMOTORES

Los servomotores se utilizan, desde la **robótica industrial** hasta la fabricación con **sistemas de automatización**, para las aplicaciones de **mecanizado de control numérico (CNC) por ordenador**, en la industria aeroespacial, etc. Los servomotores se manejan enviando un **pulso eléctrico de ancho variable**, también conocido como **modulación de ancho de pulso (PWM)**, a través del cable de control. Este pulso puede variar en duración, con un pulso mínimo, un pulso máximo y una frecuencia de repetición. La siguiente figura, muestra las partes que constituyen a un servomotor



Características de los servomotores: Gran precisión de posicionado / Estabilidad de velocidad / Alta estabilidad de par / Repetitividad del movimiento / Elevada respuesta dinámica.

Los primeros servos utilizaban motores de corriente continua de baja inercia. Pero el uso de escobillas reducía su fiabilidad, y por ende, se pasó a los motores sincrónicos de imanes permanentes.

Existen principalmente dos tipos de drives para motores sincrónicos de imanes permanentes, diferenciados por la forma de la señal de corriente que comunican el motor y por el tipo de sistema de retroalimentación:

- Drivers con conmutación tipo bloque / Brushless DC.
- Drivers con conmutación Sinusoidal / Brushless AC.

La tecnología Brushless DC fue la primera que se aplicó para el control de motores Brushless sincrónicos, el desarrollo de la tecnología del tratamiento digital de la señal ha permitido el desarrollo de la tecnología Brushless AC. Los drivers Brushless DC requieren de un encoder de baja resolución para realizar la conmutación, por motivos de coste se opta por sensores de efecto Hall, normalmente hay seis puntos de conmutación por rev. eléctrica. Mientras que los Brushless AC necesitan un encoder absoluto de alta resolución (4096 -16384 puntos de conmutación por vuelta). Finalmente, los Brushless DC producen un rizado de cupla mayor a los brushless AC, pero la electrónica de control es mucho más sencilla y por ende son más económicos.