



MOTORES Y GENERADORES

CURSO 2

Índice: 00

Página 1 de 18


MOTORES Y GENERADORES

Revisó
OSVALDO SILVESTRI
Depto. INGENIERÍA

Aprobó

Copyright © 2006 SILCON

Prohibida la reproducción o divulgación sin consentimiento previo de SILCON Ascensores

	MOTORES Y GENERADORES	CURSO 2	
		Índice: 00	Página 2 de 18

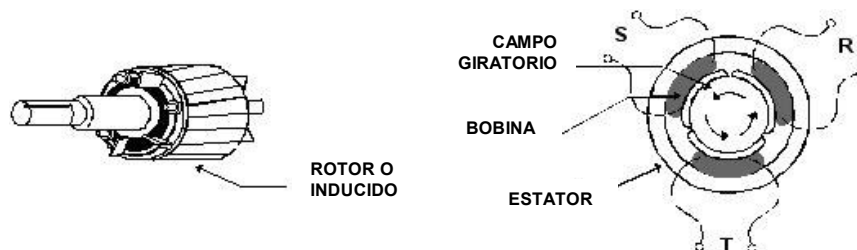
SUMARIO

- 1- MOTORES ELECTRICOS DE C.A. DE INDUCCION
- 2- CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE C.A.
- 3- MOTORES ELECTRICOS DE CORRIENTE CONTINUA
- 4- CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE C.C.
- 5- MOTORES ELECTRICOS PASO A PASO
- 6- MOTORES ELECTRICOS DE IMAN PERMANENTE
- 7- GENERADORES DE CORRIENTE ALTERNA
- 8- GENERADORES DE CORRIENTE CONTINUA

1- MOTORES ELÉCTRICOS TRIFÁSICOS DE INDUCCION (TIPO JAULA DE ARDILLA)

El motor asíncrono de corriente trifásica con rotor tipo jaula de ardilla es el motor mas simple, mas seguro en operación y el mas económico. Un motor de corriente continua de 3 kW / 1500 rpm cuesta aproximadamente el triple de un motor de corriente trifásica equivalente con rotor en corto circuito.

Funcionamiento: El motor está formado por tres bobinas dispuestas en su interior (estator) de modo que si conectamos sus terminales a una red de tensión alterna trifásica se formará un campo magnético giratorio.



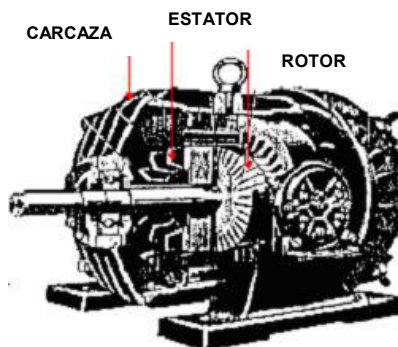
El rotor está formado por un núcleo de chapas de hierro con ranuras, donde son colocadas barras de aluminio o cobre corto-circuitadas en sus extremos por anillos.

La variación de flujo magnético provocada por el campo giratorio induce corrientes en el cobre del rotor. Estas corrientes inducidas producen un campo magnético que tiende a acompañar al campo giratorio del estator haciendo que el motor gire. Se entiende aquí que el rotor nunca alcanza a girar a la velocidad del estator (velocidad de sincronismo o sincrónica) ya que en el momento en que eso ocurra deja de haber corriente en el rotor y por ende campo magnético inducido y entonces deja de haber fuerza que haga girar al rotor.

La diferencia entre la velocidad del campo giratorio del estator y la velocidad de giro del rotor se llama RESBALAMIENTO (o SLIP en ingles) y esta relacionada con la carga aplicada en el eje del motor. Entonces decimos que el resbalamiento en un motor de inducción nunca es cero.

Construcción: El motor de inducción trifásico con rotor en corto circuito esta dividido en tres partes:

1. Carcaza
2. Estator (bobina)
3. Rotor



Simbología:





Sentido de giro

El sentido de giro de un motor de inducción depende del sentido de giro del campo magnético giratorio y éste depende de la secuencia en la que aparecen en los bobinados del estator las fases de alimentación trifásica.

Si se intercambian solamente 2 fases de alimentación la secuencia pasa de, por ejemplo, R-S-T a R-T-S y el sentido de rotación cambia.

2- CONTROL DE VELOCIDAD EN EL MOTOR JAULA DE ARDILLA

Por su principio de funcionamiento, el motor a inducción jaula de ardilla es un motor de velocidad fija, cuya velocidad está controlada por el número de polos y la frecuencia de alimentación a la que está conectado.

Un pequeño cambio de velocidad se nota a medida que la carga en el motor cambia, como resultado del deslizamiento.

La ecuación de la velocidad del motor es:

$$N = \frac{f \times 120}{p} - s$$

N = velocidad del motor en revoluciones por minuto

f = frecuencia de alimentación del motor en Hz

p = número de polos en el estator

s = deslizamiento del motor en revoluciones por minuto

De esta ecuación, se desprende que la velocidad de un motor a inducción puede ser controlada de tres maneras:

a) Cambio en el número de polos.

Esto requiere un rotor con dos conjuntos de bobinados y un conjunto de contactos de potencia para permitir la energización de cada bobinado.

Note que la velocidad no es continuamente variable. Por ejemplo, un motor de 2/8 polos conectado a 50 Hz tiene dos velocidades sincrónicas (3000 y 750 rpm).

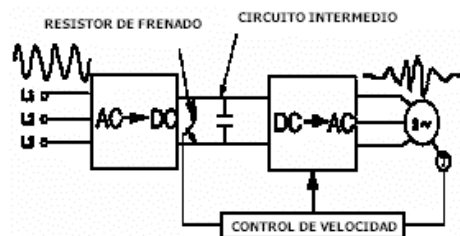
b) Cambio en el valor de deslizamiento.

Esto se puede hacer mediante el ajuste de la tensión suministrada al motor. Esto causa que la curva torque / velocidad se vuelva menos abrupta, causando así más deslizamiento a medida que la carga del motor aumenta. En general, la reducción de torque es proporcional al cuadrado de la reducción de velocidad.

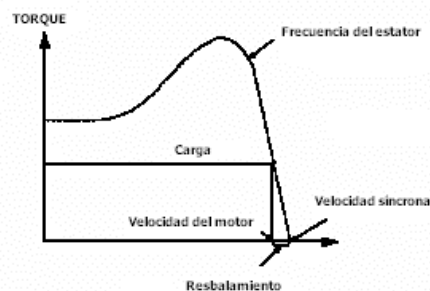
El problema de este tipo de control de velocidad es el calentamiento que se genera en el motor.

c) Ajuste de la frecuencia de alimentación del motor.

Este es el método usado por los Variadores de velocidad electrónicos. Esto genera una familia completa de curvas Torque / Velocidad, cada una con una velocidad de sincronismo correspondiente a la frecuencia suministrada al motor en cualquier instante. Este es el mejor método de control de velocidad, ya que se mantiene una alta eficiencia en todo el rango de velocidades



El principio de operación de un equipo de control de velocidad de frecuencia y tensión variables (VVVF o V3F: Variable Voltage Variable Frequency) es simple. Primero la tensión de red se rectifica y alimenta un circuito intermedio donde se obtiene tensión continua filtrada por capacitores. Cuando el motor está en operación esta tensión constante del circuito intermedio es convertida nuevamente en alterna pero la frecuencia y tensión generadas dependen de los requerimientos del motor.





La figura de la derecha muestra el torque del motor y sus conceptos relacionados, como velocidad de sincronismo y resbalamiento.

El resbalamiento se define como la disminución de la velocidad de rotación causada por la carga.

La velocidad síncrona es la velocidad sin carga aplicada, la cual en la practica no es posible conseguir debido a fricción en rodamientos u otras causas que produzcan perdidas en el motor.

La formula de la velocidad de un motor de inducción de corriente alterna muestra que la velocidad del motor es directamente proporcional a la frecuencia.

Sin embargo, si solo se ajusta la frecuencia del motor la corriente del mismo cambia significativamente.

La reactancia del motor es proporcional a la frecuencia. Esto es, a bajas frecuencias la reactancia del motor es baja. Si la resistencia del estator es pequeña (1 ohm) la corriente en el motor seria muy grande si se aplica una tensión grande. De allí la necesidad de controlar también la tensión aplicada al motor y no solo la frecuencia. Los drivers que

Por otro lado, la frecuencia debería seguir linealmente la tensión aplicada al motor pero debido a la resistencia del bobinado del motor y la inductancia del mismo (que es variable dependiendo de la frecuencia) en la practica no es así. A mayor carga mayor perdida en el estator. Para compensar estas perdidas la tensión aplicada debe cambiar para mantener la corriente constante.

Esta tarea es controlada por la electrónica del driver, usando componentes de ultima generación e IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistor).

Pulse With Modulation (PWM)

Para girar, un motor de inducción necesita una corriente alternada senoidal. Cambiando la frecuencia de esta corriente es posible cambiar la velocidad de rotación del motor.

En la modulación por ancho de pulso (PWM) esta corriente alternada está formada por pulsos. Todos los pulsos son de igual tensión pero su ancho puede ser ajustado. Si los pulsos son cortos y el espacio ente ellos es grande resulta una tensión baja (U_1).

Cuando los pulsos se hacen mas anchos la tensión resultante es mas alta (U_2).

Cuando los pulsos son primero cortos, luego largos y luego cortos nuevamente, la resultante es una tensión senoidal de media onda.

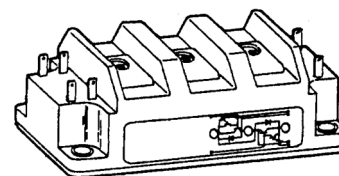
De la misma forma si el procedimiento se repite para valores negativos se obtiene una onda senoidal completa.

Con esta resultante se alimenta al motor de inducción.

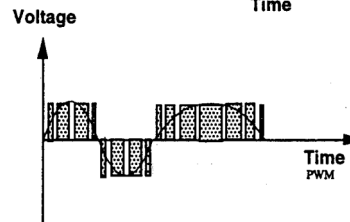
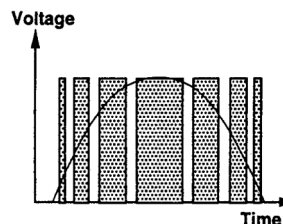
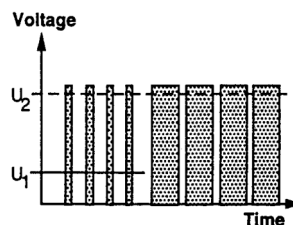
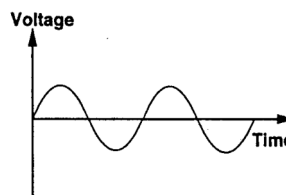
La modulación por ancho de pulsos hace uso del hecho que es mas simple la generación de pulsos que el ajuste del nivel de tensión.

La generación de pulsos se realiza simplemente conectando o desconectando los IGBTs, que actúan como simples llaves.

Si la velocidad de operación de los IGBTs es suficientemente rápida el rotor del motor no nota los pulsos individuales sino que



Los transistores IGBTs son diferentes de los tiristores. Pueden ser abiertos y cerrados en cualquier momento y muy rápidamente.



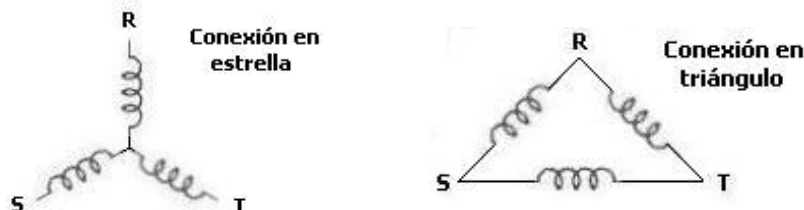


se mueve de acuerdo a la corriente senoidal resultante.

La frecuencia de operación de los IGBTs es 6 KHz., lo que significa que cada transistor es encendido y apagado 6000 veces por segundo. Esta alta frecuencia hace innecesario el uso de filtros.

Tipos de conexiones

Los bobinados del estator de los motores de corriente alterna pueden ser conectados de dos formas: en estrella o en triángulo.



Como puede verse en los esquemas, en el conexionado en estrella las tensiones R-S, S-T y T-R se aplican a dos bobinados, a diferencia de la conexión en triángulo donde se aplican a cada bobinado. Como consecuencia de esto, la corriente que circula por los bobinados en estrella es menor que la que circula en el conexionado triángulo.

En los arranques de motores de gran potencia generalmente se conectan en estrella y luego de entrada en régimen el motor se pasa a una conexión en triángulo.

3- MOTORES ELÉCTRICOS DE CORRIENTE CONTINUA

Los motores de corriente continua son máquinas que convierten energía eléctrica de corriente continua en energía mecánica. La mayoría las máquinas de corriente continua son semejantes a las máquinas de corriente alterna ya que en su interior tienen corrientes y voltajes de corriente alterna. Las máquinas de corriente continua tienen corriente continua sólo en su circuito exterior debido a la existencia de un mecanismo que convierte los voltajes internos de corriente alterna en voltajes de corriente continua en los terminales. Este mecanismo se llama colector y por ello las máquinas de corriente continua se conocen también como máquinas con colector.

Simbología:



Funcionamiento

El principio de funcionamiento de un motor de corriente continua es relativamente simple: dentro de un campo magnético fijo formado por imanes permanentes o electroimanes existe una parte móvil llamada rotor que tiene un bobinado que al alimentarlo convenientemente se forma un electroimán, cuyos polos se repelerán con los del campo fijo generando un par que hará girar el rotor. Si esta situación se mantiene, se tendrá un rotor girando dentro del campo magnético fijo.

	MOTORES Y GENERADORES	CURSO 2	
		Índice: 00	Página 7 de 18

La máquina de corriente continua consta básicamente de las partes siguientes:

Inductor o Campo o Excitación

Es la parte de la máquina destinada a producir un campo magnético, necesario para que se produzcan corrientes inducidas, que se desarrollan en el inducido.

El inductor consta de las partes siguientes:

- **Polo:** Es la parte del circuito magnético situada entre la culata y el entrehierro, incluyendo el núcleo y la expansión polar.
- **Núcleo:** Es la parte del circuito magnético rodeada por el bobinado inductor.
- **Bobinado inductor:** es el conjunto de espiras destinado a producir el flujo magnético, al ser recorrido por la corriente eléctrica.
- **Expansión polar:** es la parte de la pieza polar próxima al inducido y que bordea al entrehierro.
- **Polo auxiliar o de conmutación:** Es un polo magnético suplementario, provisto o no, de devanados y destinado a mejorar la conmutación. Suelen emplearse en las máquinas de mediana y gran potencia.
- **Culata:** Es una pieza de sustancia ferromagnética, no rodeada por devanados, y destinada a unir los polos de la máquina.

Inducido o Armadura

Es la parte giratoria de la máquina, también llamado rotor.

El inducido consta de las siguientes partes:

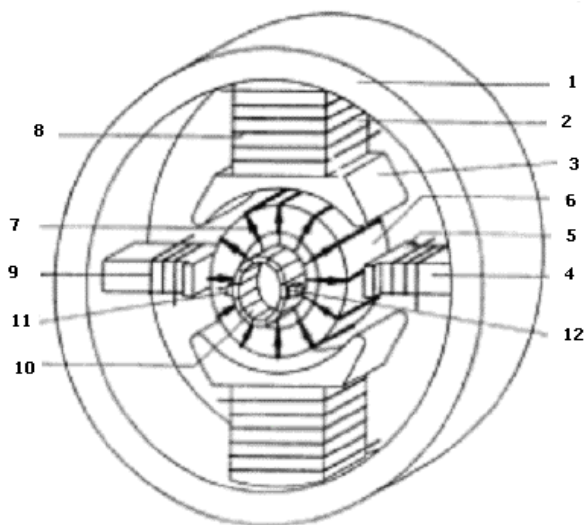
- **Bobinado inducido:** es el devanado conectado al circuito exterior de la máquina y en el que tiene lugar la conversión principal de la energía
- **Colector:** es el conjunto de láminas conductoras (delgas), aisladas unas de otras, pero conectadas a las secciones de corriente continua del devanado y sobre las cuales frotan las escobillas.
- **Núcleo del inducido:** Es una pieza cilíndrica montada sobre el cuerpo (o estrella) fijado al eje, formada por núcleo de chapas magnéticas. Las chapas disponen de unas ranuras para alojar el bobinado inducido.

Escobillas

Son piezas conductoras destinadas a asegurar, por contacto deslizante, la conexión eléctrica de la armadura con los cables de conexión.

Entrehierro

Es el espacio comprendido entre las expansiones polares y el inducido; suele ser normalmente de 1 a 3 mm, lo imprescindible para evitar el rozamiento entre la parte fija y la móvil.



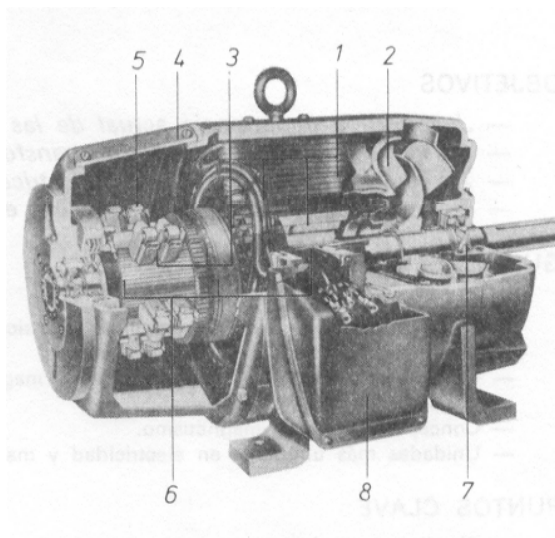
Las partes 1 a 5 forman el inductor. Las partes 2 y 3 son el polo inductor.

La parte 6 constituye el inducido, en el que va bobinado un conductor de cobre formando el arrollamiento del inducido.

Alrededor de los núcleos polares va el bobinado de excitación (8). Análogamente cada núcleo de los polos de conmutación lleva un bobinado de conmutación (9). La parte 10 representa el conmutador o colector, que está constituido por varias láminas aisladas entre sí formando un cuerpo cilíndrico.

El bobinado del inducido está unido por conductores con las laminas del colector. Inducido y colector giran conjuntamente. Sobre la superficie del colector rozan unos contactos a presión mediante unos muelles que son las escobillas o carbones (por el material con que están construidas). El espacio libre entre los polos polares y el inducido se llama entrehierro.

Los generadores de corriente continua son las mismas máquinas de corriente continua cuando funcionan como generadores. Son máquinas que producen energía eléctrica por transformación de la energía mecánica.



	MOTORES Y GENERADORES	CURSO 2	
		Índice: 00	Página 9 de 18

Los motores de corriente continua se usan en una amplia variedad de aplicaciones industriales en virtud de la facilidad con la que se puede controlar la velocidad. En tanto que los motores de corriente alterna tienden a pararse, los motores de corriente continua pueden entregar más de cinco veces el par nominal (si lo permite la alimentación de energía eléctrica). Se puede realizar la operación en reversa sin conmutar la energía eléctrica.

Clases de motores de corriente continua:

Se pueden dividir dentro de dos grandes tipos:

Motores de imán permanente

Motores de corriente continua de campo devanado:

- Motor en derivación: es el que el bobinado del campo está conectado en paralelo con la armadura.
- Motor bobinado en serie: es el que el bobinado del campo está conectado en serie con la armadura.
- Motor en compound: es el que se tiene un devanado del campo en serie y otro en paralelo.

Motores de corriente continua de imán permanente

Los motores de corriente continua de imán permanente tienen campos alimentados por imanes permanentes que crean dos o más polos en la armadura, al pasar flujo magnético a través de ella. El flujo magnético hace que se cree un par en la armadura que conduce corriente. Este flujo permanece básicamente constante a todas las velocidades del motor: las curvas velocidad-par y corriente-par son lineales.

Existen motores de imán permanente (PM, permanent magnet) en tamaños de fracciones de caballo y de números pequeños enteros de caballos. Tienen varias ventajas respecto a los del tipo de campo devanado. No se necesitan las alimentaciones de energía eléctrica para excitación ni el devanado asociado. Se mejora la confiabilidad, ya que no existen bobinas excitadoras del campo que fallen y no hay probabilidad de que se presente una sobrevelocidad debida a pérdida del campo. Se mejoran la eficiencia y el enfriamiento por la eliminación de pérdida de potencia en un campo excitador. Así mismo, la característica par contra corriente se aproxima más a lo lineal. Un motor de imán permanente (PM) se puede usar en donde se requiere un motor por completo encerrado para un ciclo de servicio de excitación continua.

Las desventajas son la falta de control del campo y de características especiales velocidad-par. Las sobrecargas pueden causar desmagnetización parcial que cambia las características de velocidad y de par del motor, hasta que se restablece por completo la magnetización. En general, un motor PM de número entero de caballos es un poco más grande y más caro que un motor equivalente con devanado en derivación, pero el costo total del sistema puede ser menor.

Motores de corriente continua con campo bobinado

La construcción de esta categoría de motores es prácticamente idéntica a la de los generadores de corriente continua. Con un pequeño ajuste, la misma máquina de corriente continua se puede operar como generador o como motor de corriente continua.

Motores en derivación:

Es el tipo de motor de corriente continua cuya velocidad no disminuye mas que ligeramente cuando el par aumenta.

Los motores de corriente continua en derivación son adecuados para aplicaciones en donde se necesita velocidad constante a cualquier ajuste del control o en los casos en que es necesario un rango apreciable de velocidades (por medio del control del campo). Se utiliza en aplicaciones de velocidad constante, como en los accionamientos para los generadores de corriente continua en los grupos motogeneradores.

Motor bobinado en serie:

El motor bobinado en serie se usa en aplicaciones en las que se requiere un alto par de arranque, como en la tracción eléctrica, grúas, malacates, etcétera.



Motor en compound:

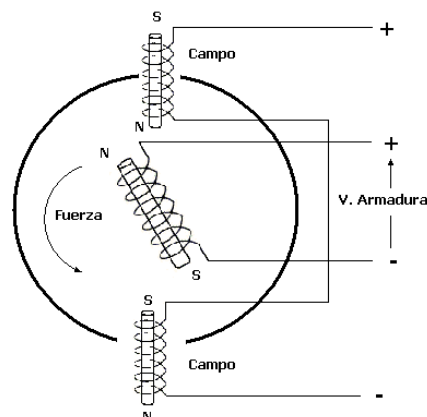
En los motores en compound, la caída de la característica velocidad-par se puede ajustar para que se adecue a la carga.

La velocidad de un motor de C. C. es proporcional a la tensión aplicada a la armadura e inversamente proporcional al campo magnético de excitación. Por esta razón es que los circuitos de comando de motores de este tipo deben contener una protección para detectar la falta de campo magnético para evitar su “embalamiento”.

SENTIDO DE GIRO DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

El sentido de giro de un motor de corriente continua depende de la polaridad del campo y de la polaridad de la armadura, debido a que el sentido de la corriente genera la ubicación de los polos norte y sur de ambas partes.

Para invertir el giro de un motor de corriente continua solo es necesario cambiar la polaridad del campo o de la armadura, pero no ambas simultáneamente.



4- CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

Instalación Ward-Leonard

Es un sistema para regular la velocidad por variación de tensión. Muy utilizado principalmente para trabajos de potencias elevadas como en ascensores. Aunque es un sistema antiguo aun hoy sigue habiendo instalaciones de este tipo.

Una instalación Ward-Leonard está compuesta por los siguientes elementos:

Grupo convertidor corriente alterna/continua, compuesto por un motor trifásico de corriente alterna y un generador de corriente continua de excitación independiente.

El motor de corriente continua o de trabajo, de excitación independiente.

Una excitatriz para alimentar los circuitos de excitación, si bien puede ser sustituido por un rectificador, por ser este último el que ha reemplazado ventajosamente a la excitatriz.

En este sistema el control de la velocidad se realiza de la siguiente forma: la armadura del motor esta conectada a la armadura del generador. El campo del motor puede ser fijo o variable.

Variando el campo del generador se obtiene la variación de la tensión en

su armadura y por consiguiente la

variación en la armadura del motor.

Para variar el campo del generador

existen dos formas: intercalando

resistencias en serie o, como el

campo del generador es de baja

potencia (hasta 10 A), puede

controlarse en forma electrónica con

tiristores.

El control por tiristores es bastante

simple: el tiristor se dispara en algún

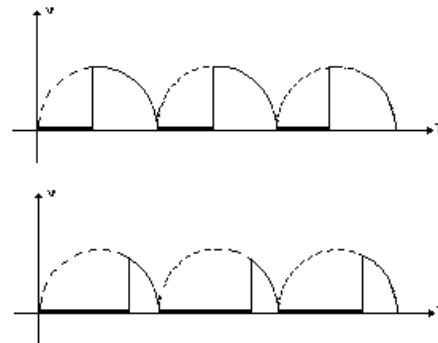
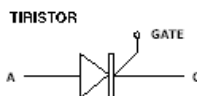
punto del semiciclo y conduce desde

ese momento hasta que la tensión llega a cero. Como se puede ver en los gráficos, en el primer caso el

tiristor conduce mas tiempo que en el segundo caso, por consiguiente el valor promedio del primer caso es

superior al del segundo. Como los bobinados sólo “ven” valores de tensión promedio, la tensión aplicada

en el primer caso es superior al segundo caso.



	MOTORES Y GENERADORES	CURSO 2	
		Índice: 00	Página 11 de 18

Si el circuito de control tiene la correspondiente realimentación (feedback) de velocidad del motor, disparando mas o menos tiempo el tiristor se controla la tensión del campo del generador y por consiguiente se mantiene la velocidad del motor e el valor deseado.

Instalación sin generador

Con el avance de los procesos industriales se ha logrado reducir significativamente el costo de los tiristores de gran potencia y esto permite manejar directamente la corriente del motor por medios electrónicos prescindiendo de los generadores.

El control de velocidad en este caso es similar a lo descrito en el caso anterior.

5- MOTORES ELÉCTRICOS PASO A PASO

Los motores paso a paso ocupan un lugar único en el mundo del control. Estos motores son usados comúnmente en mediciones y aplicaciones de control.

Ejemplo de estas aplicaciones son impresoras chorro de tinta, máquinas de control numérico computarizado (CNC) y bombas volumétricas entre otras.

Ventajas de los motores PaP

1. El ángulo de rotación es proporcional a los pulsos de entrada.
2. El motor tiene torque máximo cuando el mismo está enclavado (bobinas energizadas).
3. Exactitud en la posición y repetición de movimientos. Los motores PaP tienen un error de 3 a 5% del paso y dicho error no es acumulativo de un paso a otro.
4. Excelente respuesta ante arranque, parada y reversa.
5. Muy fiable dado que no existe contacto de escobillas en el motor.
6. El motor responde a pulsos de entrada digitales, lo que permite un control de lazo abierto, haciendo un control más simple y barato.
7. Es posible lograr una velocidad de rotación muy baja en forma sincrónica con carga acoplada directamente sobre el eje.
8. Pueden tener un gran rango de velocidades de rotación, dado que la misma es proporcional a la frecuencia de los pulsos de entrada.

Desventajas de los motores PaP

1. Puede ocurrir un fenómeno de resonancia si el motor no es controlado adecuadamente.
2. Muy difícil de operar a altas velocidades.

Clases de motores paso a paso

Existen tres clases básicas de motores PAP:

- De imán permanente
- De reluctancia variable
- Híbridos

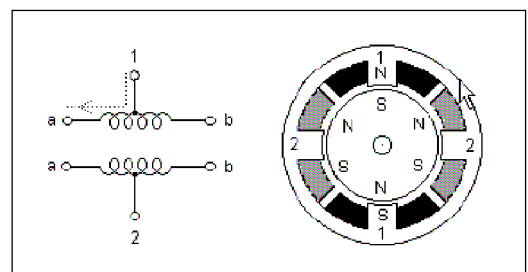
Los motores con imán permanente tienen magnetizado el rotor, y los de reluctancia variable tienen rotores dentados de hierro dulce mientras que los híbridos son una combinación de ambas tecnologías.

Motores de imán permanente unipolares

Los motores PAP unipolares están compuestos de dos bobinas con punto medio.

Los puntos medios están fuera del motor como dos cables separados (como se muestra en la figura) conectado uno al otro internamente y traído fuera del motor con un cable.

Como resultado estos motores unipolares tienen 5 o 6 cables. Los cables de los puntos medios, se conectan a la fuente de energía y los finales de las bobinas están conectados alternativamente a tierra.



Los motores PAP unipolares de imanes permanentes y los motores híbridos, operan de manera diferente que los motores de reluctancia variable. Estos motores funcionan por atracción del polo norte o del polo sur del rotor permanentemente magnetizado a los polos del estator.



Así, en estos motores, la dirección de la corriente por el arrollamiento del estator determina que polo del rotor será atraído a que polo del estator.

La dirección de la corriente en los motores PAP unipolares es dependiente de la mitad de la bobina que es energizada. Físicamente, las mitades de las bobinas son enrolladas paralelamente una con otra. Por lo tanto, una bobina actúa tanto como polo norte o polo sur dependiendo de que media bobina fue energizada.

La figura muestra la sección transversal de un motor unipolar de 30 grados por fase. El arrollamiento número 1 está distribuido entre la parte superior e inferior de los polos del estator, mientras que el arrollamiento número 2 está distribuido entre los polos izquierdos y derechos del motor. El rotor es un imán permanente con seis polos, tres polos norte y tres polos sur, como el mostrado.

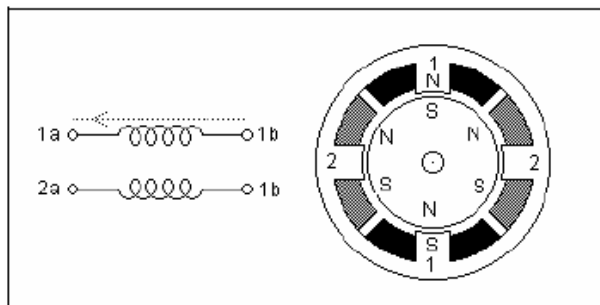
La diferencia entre los motores PAP de imán permanente y un motor PAP híbrido está en como son construidos el multi-polo del rotor y el multi-polo estator.

La figura anterior ilustra el motor unipolar más básico. Para resoluciones angulares más grandes, el rotor debe tener más polos. Existen rotores de imán permanente con 100 polos, y este número de polos es comúnmente alcanzado para rotores híbridos, usando capuchones dentados sobre un imán permanente bipolar. Cuando el rotor tiene una alta cantidad de polos, los polos del estator son siempre dentados para que cada bobina del estator trabaje contra un número grande de polos del rotor.

Motores de imán permanente Bipolares

Los motores PAP bipolares están compuestos por dos bobinas y tienen cuatro cables. A diferencia de los motores unipolares, los bipolares no tienen punto medio.

La ventaja de no tener punto medio es que la corriente circula por una bobina entera a la vez en vez de por media bobina. Como resultado, los motores bipolares producen más momento de rotación que los motores unipolares del mismo tamaño. El inconveniente de los motores bipolares, comparados con los motores unipolares es que el circuito de control requerido es más complejo.



El flujo de corriente en la bobina de un motor bipolar es bidireccional. Esto requiere un cambio de la polaridad de los bobinados.

Como se muestra en la figura, la corriente fluirá de la izquierda a la derecha en la bobina 1 cuando 1a es positivo y 1b es negativo. La corriente fluirá en la dirección contraria cuando la polaridad es cambiada. Un circuito de control conocido como Puente H es usado para cambiar la polaridad sobre los bobinados. Cada motor bipolar tiene dos bobinados, por lo tanto son necesarios dos circuitos Puente H para cada motor.

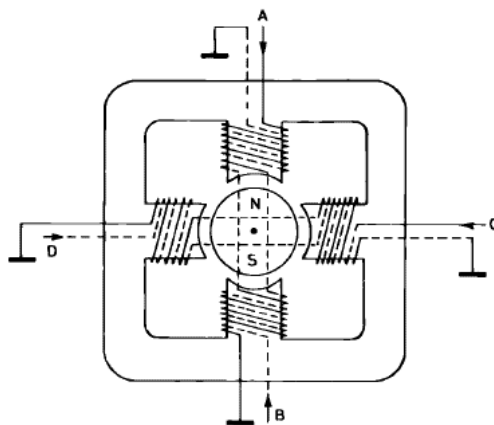
La figura ilustra un motor bipolar de 30 grados por paso. La bobina 1 del motor está distribuida entre la parte superior e inferior del estator, mientras que la bobina 2 del motor está distribuida entre los polos izquierdos y derechos del estator. El rotor es un imán permanente con 6 polos, 3 sur y 3 norte alineados a su alrededor en circunferencia. Como los motores unipolares, los motores bipolares pueden dar solo un paso con dos secuencias de control diferentes. Utilizando polaridades + y - para indicar la polaridad de la fuente aplicada a cada terminal del motor y 0 para indicar que no hay polaridad. La primera secuencia reduce al mínimo el consumo de energía por energizar solo una bobina a la vez, mientras la segunda secuencia maximiza el torque de rotación por energizar ambas bobinas a la vez. La combinación de estas dos secuencias en una secuencia, resulta en que el motor avanza de a medio paso, es decir 15 grados.

Uso y polarización de Motores Paso a Paso

El Motor Paso a Paso es un dispositivo electromecánico que convierte pulsos eléctricos en movimientos discretos. El eje del motor rota incrementalmente de a pasos cuando se le aplica pulsos eléctricos en la secuencia correcta. La rotación del motor esta directamente relacionada con estos pulsos. La secuencia de los mismos define el sentido de giro del motor y la frecuencia con la que se aplican los pulsos impone la velocidad del motor.

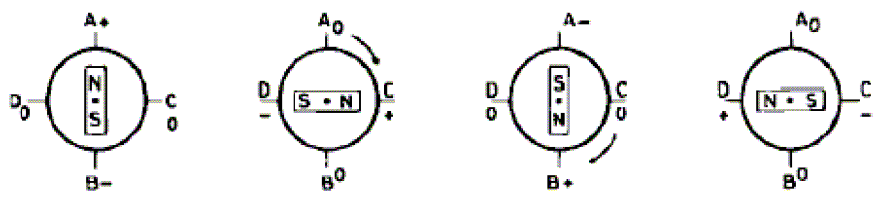
Motores bipolares

Esencialmente, los motores bipolares de imán permanente consisten de un imán permanente rotante, que se encuentra rodeado por polos del estator en el cual se ubican las bobinas.

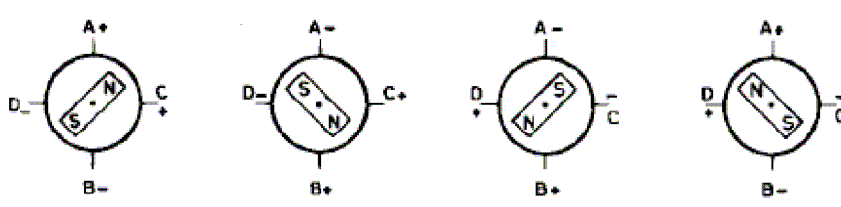


Para el manejo, se utiliza un control de corriente bidireccional o bipolar. Conjuntamente con un direccionamiento adecuado en secuencias de la corriente que circule por ambas bobinas se logra que el motor rote controladamente.

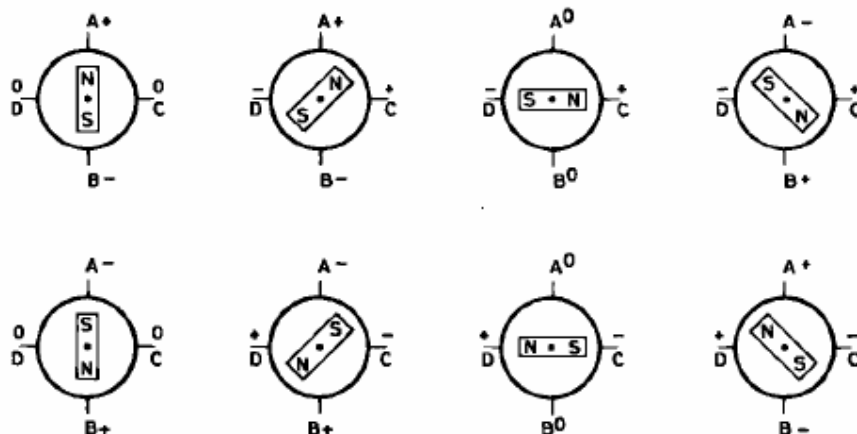
En principio se energizan las bobinas en la secuencia AB/CD/BA/DC. Esta secuencia de pasos completos se conoce como "one phase on" (sola una bobina activa). Una sola bobina es la que entrega el par necesario.



Otra posibilidad es de energizar dos bobinas al mismo tiempo, en este caso el rotor se alinea entre las posiciones de los dos polos. Este modo de operación se llama "two phase on" y es el que se utiliza habitualmente para el control de motores bipolares dado que el mismo maximiza el torque entregado.



Una tercera opción es utilizar las dos anteriores en forma conjunta, logrando ubicar el rotor en un polo, luego entre los polos y rotar nuevamente hacia el segundo polo. Este modo de operación se denomina "half step" dado que el mismo se mueve en incrementos de medio paso.



6- MOTORES ELÉCTRICOS DE IMAN PERMANENTE

Esencialmente un motor de imán permanente es una maquina sincrónica con la frecuencia del estator, capaz de desarrollar altos torques (hasta 3 o 4 veces su torque nominal) en forma transitoria para oponerse a todo esfuerzo que trate de sacarla de sincronismo.

En comparación con motores asíncronos de jaula de ardilla (para el mismo torque/velocidad) la inercia de este tipo de motor es sustancialmente menor.

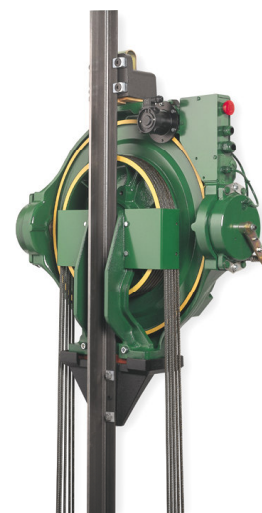
Ambas características (sobretorques importantes e inercias reducidas son características apreciadas y útiles para el control del movimiento pues permiten rápidas aceleraciones y desaceleraciones así como control preciso de posición en altas velocidades.

Constructivamente el motor posee un estator parecido al de un motor de jaula con un núcleo laminado y un bobinado trifásico uniformemente distribuido.

El rotor esta constituido por un grupo de imanes permanentes fijados en el eje de rotación. La forma de los rotores e imanes varia de acuerdo al diseño.

La fijación de los imanes al rotor ha sido uno de los puntos críticos en la construcción de estos motores debido a las altas fuerzas centrifugas a las que se encuentran sometidos durante los procesos de aceleración y frenado. Actualmente se combinan fijaciones mecánicas de diferentes tipos (atadura con fibra de vidrio, chavetado con diferentes materiales, etc.) con pegado utilizando adhesivos especiales.

Haciendo circular corriente alterna en las fases del bobinado del estator producimos un campo magnético rotante en el entrehierro del motor. Si en cada instante el campo magnético generado en el estator corta en el ángulo correcto al campo magnético generado por los imanes del rotor, generamos torque para lograr el movimiento del motor y la carga acoplada a él.



GENERADORES

Para generar corriente eléctrica debemos transformar energía mecánica de algún tipo en energía eléctrica. En las represas hidroeléctricas se transforma la energía potencial del agua almacenada en la represa, en las plantas de generación por combustible fósil se transforma la energía química del combustible, etc.



Cualquiera sea el tipo de conversión de energía siempre se tendrá una maquina con un eje principal o rotor adonde irá montado solidariamente en un extremo ya sean las paletas de la turbina (en el caso de la represa) o el eje del motor de combustión (en el caso de la generación por combustible fósil) y en el otro extremo un gran electroimán de dos, cuatro o mas polos que giran dentro de un conjunto de bobinados que constituyen el estator.

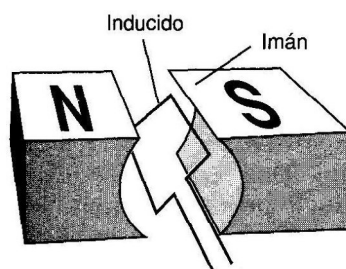
Lo primero que debe entenderse es que una corriente circulando en un conductor genera un campo magnético. Pero también en un conductor que se mueve dentro de un campo magnético fijo se genera en este una corriente eléctrica.

Observando el esquema, vemos que tenemos un conductor eléctrico doblado en forma de espira que gira dentro de un campo magnético.

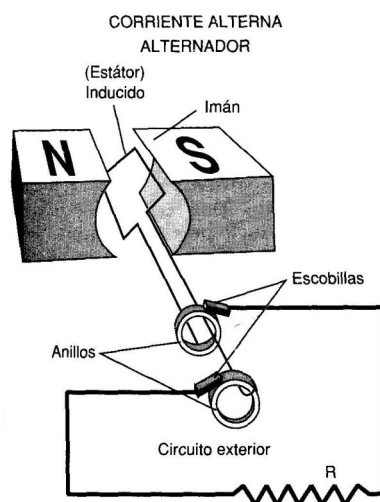
Cuando la espira esta en posición horizontal no está cortando ninguna línea del campo magnético dentro del cual esta girando, por lo tanto no hay corriente eléctrica.

Cuando la espira esta en posición vertical esta cortando la máxima cantidad de líneas de campo magnético, o sea que este es el máximo punto de generación de cada semiciclo.

En cualquier otra posición se generan valores de corriente intermedios entre cero y el máximo en forma senoidal.



7- GENERADORES DE CORRIENTE ALTERNA



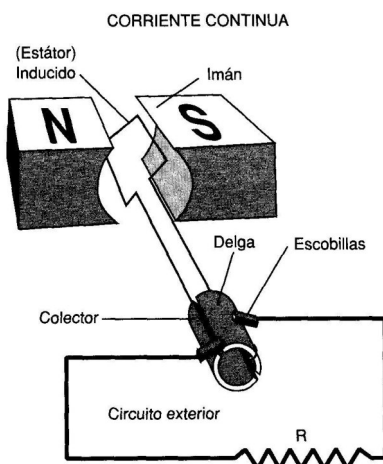
Una corriente alterna cambia su sentido una vez en cada periodo, la mitad del tiempo es positiva y la otra mitad es negativa.

En la practica se hace que gire el imán en vez de la espira, pero para entender el principio de funcionamiento sirve el esquema de arriba.

8- GENERADORES DE CORRIENTE CONTINUA

Para obtener una corriente continua debemos tener en cuenta la forma de realizar el contacto de las escobillas con los extremos de la espira.

En el momento en que la corriente es cero en los extremos del conductor ambas escobillas tendrán también un valor de tensión cero. Como variará el sentido de giro el valor de tensión de cada escobilla cambiará cuando cambie de delga. Pero hay que tener en cuenta que una de las dos escobillas siempre tendrá un valor de tensión mas positivo que la otra a excepción del momento en que las dos valen cero. Así, la corriente obtenida será siempre del mismo sentido, ya que una escobilla siempre tendrá un valor de tensión mas positivo que el otro. La corriente saldrá siempre por la misma escobilla y regresara por la otra. A pesar de ser continua, la corriente tendrá una variación en el tiempo. Para que sea verdaderamente continua son necesarias muchas espiras, todas colocadas en diferentes ángulos con sus dos extremos cada una.



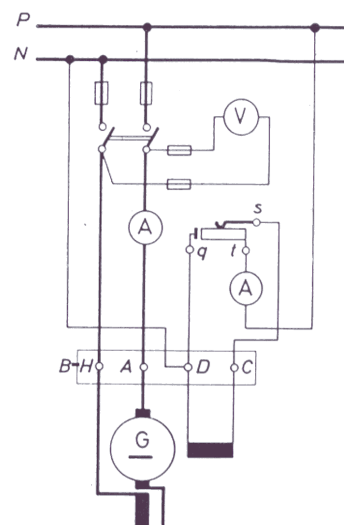
En la practica es difícil encontrar generadores con campos de imán permanente. Generalmente los campos son bobinados y conectados según las siguientes configuraciones:

Generador con excitación independiente

En este tipo de generador, la tensión en los bornes es casi independiente de la carga de la máquina y de su velocidad, ya que la tensión se puede regular por medio del reóstato de campo, aunque naturalmente dentro de ciertos límites, porque la excitación del campo inductor no puede aumentar más allá de lo que permite la saturación.

En la figura se representa el esquema de conexiones completo de un generador de corriente continua con excitación independiente. Se supone que el sentido de giro de la máquina es a derechas lo que, por otro lado, es el que corresponde a casi todas las máquinas motrices. Si hubiere que cambiar el sentido de giro, bastará con cambiar, las conexiones del circuito principal.

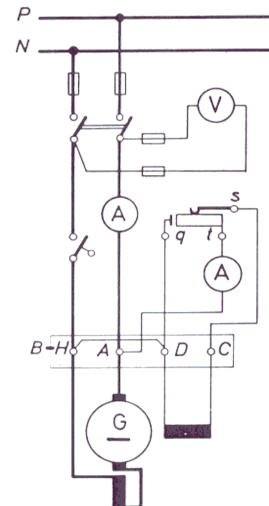
En el circuito pueden observarse: dos barras generales, una de las cuales se conecta al borne positivo del generador y la otra al borne negativo. Un interruptor bipolar principal para abrir y cerrar el circuito que une los bornes del generador con las barras generales (se acciona bruscamente y nunca deberá abrirse estando la máquina bajo carga máxima, porque puede producirse un arco peligroso). Dos fusibles generales que también podrían estar instalados entre las barras generales y el interruptor. Un amperímetro para el circuito principal del generador. Un voltímetro para este mismo circuito que debe montarse tal como está indicado en la figura, es decir; en los bornes del interruptor correspondientes al circuito del generador. De ésta forma se puede medir la tensión en bornes de éste aunque el interruptor esté desconectado, cosa muy importante. Una resistencia variable de campo. Un amperímetro para medir la corriente de excitación.



Variando la resistencia de campo se varia la corriente de campo y con esto se varia la tensión generada en los bornes de la armadura.

Generador con excitación en paralelo (shunt)

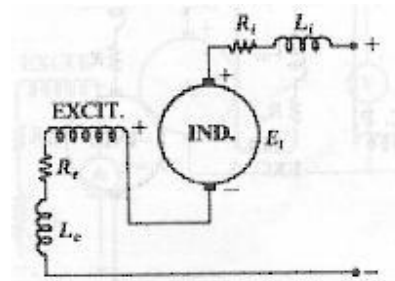
El generador con excitación shunt suministra energía eléctrica a una tensión aproximadamente constante, cualquiera que sea la carga, aunque no tan constante como en el caso del generador con excitación independiente. Cuando el circuito exterior está abierto, la máquina tiene excitación máxima porque toda la corriente producida se destina a la alimentación del circuito de excitación; por lo tanto, la tensión en bornes es máxima. Cuando el circuito exterior está cortocircuitado, casi toda la corriente producida pasa por el circuito del inducido y la excitación es mínima, la tensión disminuye rápidamente y la carga se anula. Por lo tanto, un cortocircuito en la línea no compromete la máquina, que se desexcita automáticamente, dejando de producir corriente. Esto es una ventaja sobre el generador de excitación independiente en donde un cortocircuito en línea puede producir graves averías en la máquina al no existir éste efecto de desexcitación automática. Respecto a los generadores de excitación independiente, los generadores shunt presentan el inconveniente de que no pueden excitarse si no están en movimiento, ya que la excitación procede de la misma máquina.



Los generadores shunt se recomiendan cuando no haya cambios frecuentes y considerables de carga o bien cuando haya elementos compensadores, tales como generadores auxiliares, baterías de acumuladores, entre otros.

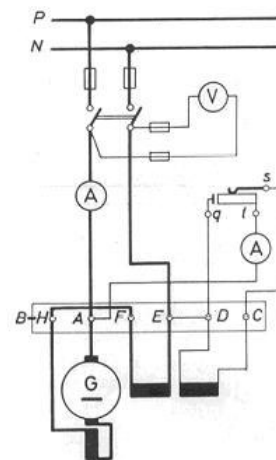
Generador con excitación en serie

La excitación de un generador en serie se lleva a cabo cuando los devanados de excitación y del inducido se conectan en serie y por lo tanto la corriente que atraviesa el inducido en este tipo de generador es la misma que la que atraviesa la excitación. Este último devanado, está constituido por pocas espiras con hilo conductor de gran sección, pues la f.e.m. necesaria para producir el campo principal se consigue con fuertes corrientes y pocas espiras.



Generador con excitación compound

El generador con excitación compound tiene la propiedad de que puede trabajar a una tensión prácticamente constante, es decir, casi independiente de la carga conectada a la red, debido a que por la acción del arrollamiento shunt la corriente de excitación tiende a disminuir al aumentar la carga, mientras que la acción del arrollamiento serie es contraria, o sea, que la corriente de excitación tiende a aumentar cuando aumente la carga. Eligiendo convenientemente ambos arrollamientos puede conseguirse que se equilibren sus efectos siendo la acción conjunta una tensión constante cualquiera que sea la carga. Incluso, se puede obtener dimensionando convenientemente el arrollamiento serie, que la tensión en bornes aumente si aumenta la carga, conexión que se denomina hipercompound y que permite compensar la pérdida de tensión en la red, de forma que la tensión permanezca constante en los puntos de consumo.



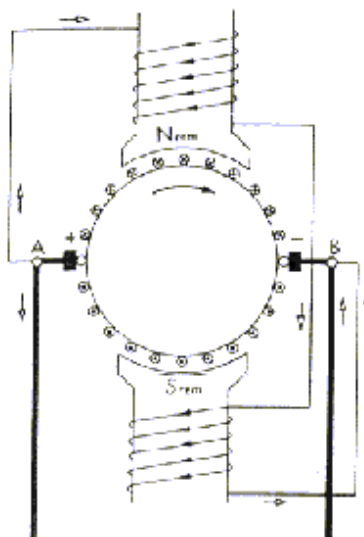
Autoexcitación

El sistema de excitación independiente solamente se emplea en la práctica en casos especiales debido al inconveniente de necesitar una fuente independiente de energía eléctrica. Este inconveniente puede eliminarse con el denominado principio dinamoeléctrico o principio de autoexcitación, que ha hecho posible el gran desarrollo alcanzado por las máquinas eléctricas de corriente continua en el siglo pasado.



En las máquinas que utilizan este principio, la corriente de excitación procede del inducido de la propia máquina. Por eso se denominan máquinas autoexcitadas.

Para comprender bien el principio de autoexcitación, recordemos que en los materiales magnéticos, la inducción magnética no se anula cuando el campo magnético se hace nulo, sino que el material magnético en cuestión conserva una pequeña inducción residual, que se denomina magnetismo remanente. También se debe recordar que en una bobina ya construida, el campo magnético solamente depende de la corriente que atraviesa dicha bobina; por lo tanto, variando esta corriente se puede variar a voluntad el campo magnético de la bobina y, por consiguiente, la inducción en el núcleo magnético de dicha bobina. Conocido esto se puede explicar el principio de la autoexcitación.



En la figura se ha representado esquemáticamente un generador con giro a derechas. Supongamos que la máquina en reposo conserva un magnetismo remanente en sus polos inductores que, como ya sabemos, están contruidos de materiales magnéticos. La polaridad de los polos inductores debida a este magnetismo remanente se designa por N_{rem} y S_{rem} . El arrollamiento de excitación, en ambas figuras, está conectado directamente a los bornes del inducido (bornes A y B). Las conexiones están realizadas de tal manera que la corriente de excitación que se produzca cuando la máquina esté en movimiento, refuerce las polaridades N_{rem} y S_{rem} .

Al activar la máquina, el pequeño campo magnético creado por N_{rem} y S_{rem} produce, en el inducido, una fuerza electromotriz muy débil. Es decir que en los primeros instantes el funcionamiento de la máquina es idéntico al de un magneto. A consecuencia de esta débil fuerza electromotriz inducida, circulará una pequeñísima corriente por el arrollamiento de excitación; esta corriente produce un flujo magnético del mismo sentido que el producido por el magnetismo remanente y que, por lo tanto, lo refuerza. Esto trae como consecuencia un aumento de la fuerza electromotriz inducida, un nuevo aumento de la corriente de excitación y un nuevo refuerzo del campo magnético inductor. Los efectos se van acumulando hasta que, al cabo de cierto tiempo, se alcanza el valor de la fuerza electromotriz nominal de la máquina lo que representa, en el circuito magnético, que el material que lo constituye ha llegado a la saturación magnética.

El tiempo que precisan las máquinas autoexcitadas para alcanzar la fuerza electromotriz nominal, oscila entre unos segundos para las máquinas de pequeña potencia y algunos minutos para las máquinas de gran potencia.