

Nombre de la asignatura

Máquinas Síncronas y de CD

Sistema de Universidades Tecnológicas

ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

Programa 2004

Créditos

Elaboró: Ing. Francisco Javier Rodríguez Sáenz.

Revisó:

Colaboradores:

Autorizó:

Contenido

Objetivo general

Seleccionar motores de c-d e identificar la máquina síncrona .

Habilidades por desarrollar en general.

- Conocer el funcionamiento y conexión de una maquina síncrona para que trabaje como generador, así como también como Motor
- Describir el funcionamiento, características generales y conexiones de los diferentes tipos de motores de c-d, así como conocer los tipos de frenados que se utilizan en estos
- Visualizar y realizar diferentes tipos de mantenimientos en maquinas de c-d
- Detallar el funcionamiento, aplicación y conexión de los motores universales
- Detallar el funcionamiento, aplicación y conexión de los motores paso a paso

	Teoría	Horas Práctica	Total	Página
I Principio de la máquina síncrona	6	4	10	3
II Fuerza motriz y características de operación de la máquina síncrona	6	12	18	18
III Principio y clasificación de la máquina de c-d	8	12	20	28
IV Selección y mantenimiento de motores de c-d	8	14	22	44
V Motores especiales	8	12	20	48
Guía de practicas				61

I Principio de la máquina síncrona

Objetivo

Que el alumno conozca el principio de funcionamiento de las máquinas eléctricas

Habilidades por desarrollar en la unidad

1. Conocer el funcionamiento y las partes principales de una máquina síncrona
2. Hacer funcionar una máquina síncrona como generador
3. Poder realizar el emparellamiento de un generador síncrono con la red
4. Conocer los tipos de pérdidas que se presentan en una máquina de a.c.

Saber en la Teoría (7hrs.)

I.1 LEYES BÁSICAS DEL ELECTROMAGNETISMO

Recordar las leyes básicas del electromagnetismo

EL Campo magnético .

El Campo Magnético es el mecanismo fundamental mediante el cual los motores, generadores y transformadores convierten la energía de una forma en otra. La manera como el campo magnético actúa en los diferentes equipos, se pueden describir mediante cuatro principios básicos, que son:

- Al circular corriente por un conductor se produce un campo magnético alrededor de él.
- Si a través de una espira se pasa un campo magnético variable con el tiempo, se induce un voltaje en dicha espira.(Esta es la base de la acción transformadora).
- Si un conductor por el cual circula corriente, se encuentra dentro de un campo magnético, se produce una fuerza sobre dicho conductor. (Esta es la base de la acción motora).
- Cuando un conductor en movimiento se encuentra inmerso dentro de un campo magnético, en dicho conductor se induce un voltaje. (Esta es la base de la acción generadora.).

La ley de Faraday de la inducción electromagnética

Si un conductor se mueve por un campo magnético de modo que corte las líneas magnéticas de flujo, se inducirá un voltaje por el conductor, como se observa en la figura 12.1. Entre mayor sea la cantidad de líneas de flujo cortadas por unidad de tiempo (incrementando la velocidad con la cual el conductor pasa por el campo) o entre más fuerte sea la fuerza del campo magnético (para la misma velocidad de recorrido), mayor será el voltaje inducido por el conductor. Si el conductor se mantiene fijo y el campo magnético se mueve para que sus líneas corten el conductor, se producirá el mismo efecto.

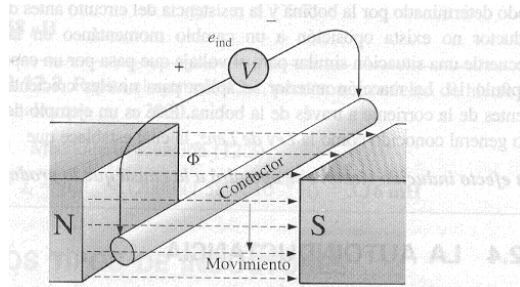
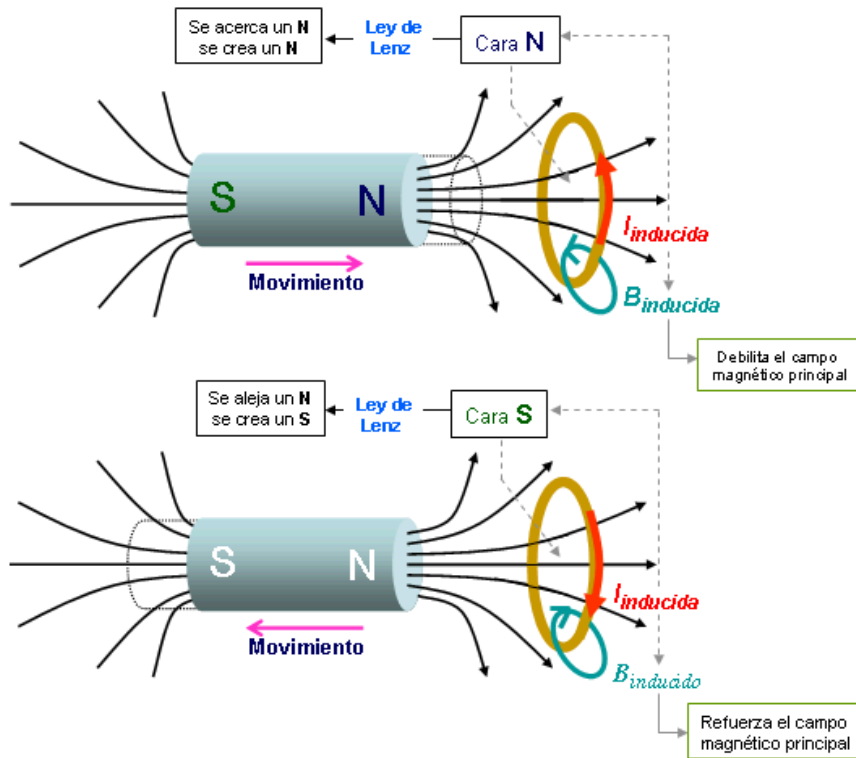


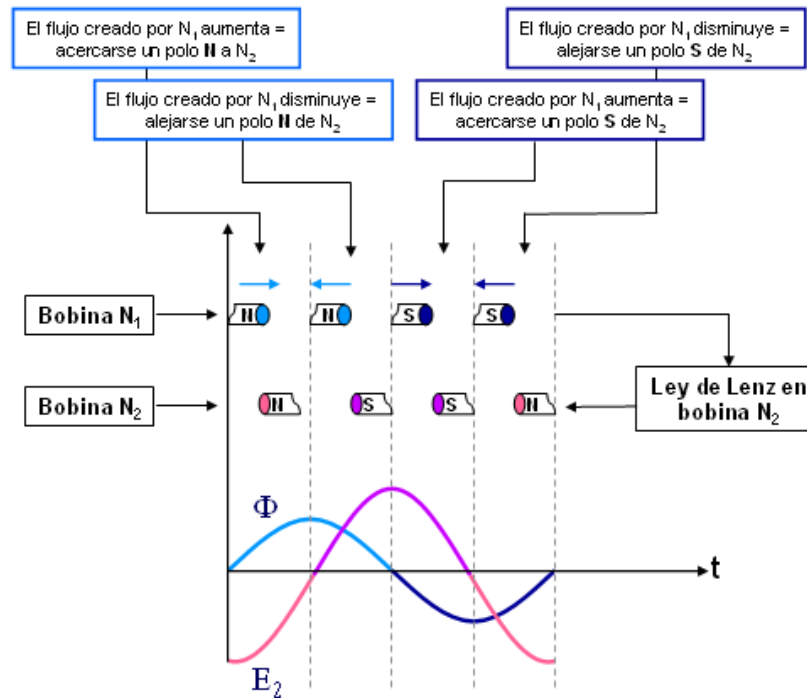
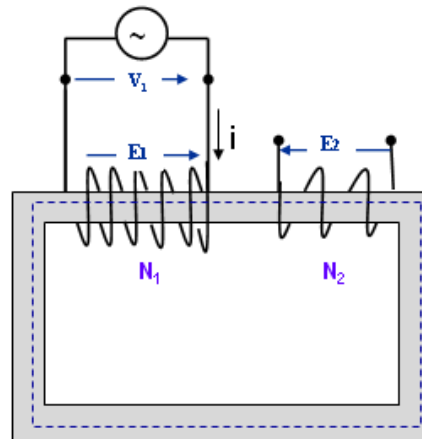
FIGURA 12.1
Generación de un voltaje inducido moviendo un conductor por un campo magnético.

Ley de Lenz

Las fem inducidas tiene un sentido tal que con sus efectos tienden a oponerse a las causas que las producen



Si en lugar de un imán permanente el flujo magnético es creado por una corriente alterna sinusoidal, la variación de flujo producida por esta corriente es sinusoidal. Entonces teniendo en cuenta esto y comparándolo con el caso anterior tendremos:



En todos los casos el valor de la f. e. m. inducida vale:

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

La polaridad de la fem inducida es tal que está tiende a producir una corriente que crea un flujo magnético que se opone al cambio en el flujo magnético a través del circuito ".

Ley de ampere

Siempre que circula una corriente eléctrica en un hilo conductor aparece un campo magnético, cuyas líneas son circunferencias situadas en planos perpendiculares al conductor y con sus centros en él.

La producción de un Campo Magnético por una corriente, esta regida por la Ley de Ampere:

La ley de Ampere se convierte en :

$$Hl_c = Ni$$

donde H es la intensidad del campo magnético producido por la corriente I_{net} .

Unidades: I se mide en amperios

H en amperios-vuelta por metro

N= Número de vueltas en la bobina

l_c = longitud de la trayectoria magnética

En esta ecuación, H es la magnitud del vector de intensidad de campo magnético H. Por lo tanto, la magnitud de la intensidad de campo magnético en el interior del núcleo es:

$$H = \frac{Ni}{l_c}$$

Puede decirse que la intensidad de campo magnético H es una medida del "esfuerzo" que hace una corriente para crear un campo magnético. La intensidad del flujo magnético producido depende del material del cual esté hecho el núcleo.

1.2 PÉRDIDAS EN MÁQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA

Los generadores de corriente alterna toman potencia mecánica para producir potencia eléctrica, mientras que los motores de c-a toman potencia eléctrica y producen potencia mecánica. En todo caso, no toda la potencia que entra a la máquina aparece en forma útil en el otro extremo pues siempre hay algunas pérdidas en el proceso.

La eficiencia de una máquina de c-a se define a través de la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$$

La diferencia entre potencia de entrada y potencia de salida de la máquina corresponde a las pérdidas que ocurren en el interior.

Las pérdidas que ocurren en las máquinas de a-c se pueden dividir en 4 categorías básicas:

- 1.- Pérdidas eléctricas en el cobre
- 2.- Pérdidas eléctricas en el núcleo
- 3.- Pérdidas mecánicas
- 4.- Pérdidas dispersas o adicionales

PERDIDAS ELÉCTRICAS O PÉRDIDAS EN EL COBRE.

Pérdidas que ocurren por calentamiento resistivo en los devanados del estator (armadura) y del rotor (campo) de la máquina. En una máquina ac trifásica, las pérdidas en el cobre del estator (SCL) están dadas por la ecuación:

$$P_{SCL} = 3I_A^2 R_A$$

donde I_A es la corriente que fluye en cada fase de la armadura y R_A es la resistencia de cada fase de la armadura.

Las pérdidas en el cobre del rotor (RCL) de una máquina alterna sincrónica están dadas por:

$$P_{RCL} = 3I_F^2 R_F$$

donde I_F es la corriente que fluye en el devanado de campo del rotor y R_F es la resistencia del devanado de campo. En general, la resistencia utilizada en estos cálculos es la del devanado a la temperatura normal de operación.

PÉRDIDAS EN EL NÚCLEO.

Pérdidas por histéresis y pérdidas por corrientes parásitas ocurren en la parte metálica del motor. Estas pérdidas varían con el cuadrado de la densidad de flujo (B^2) y, para el estator, como la 1.5 ava potencia de la velocidad de rotación de los campos magnéticos ($n^{1.5}$).

PÉRDIDAS MECÁNICAS.

En una máquina ac, son aquellas asociadas a los efectos mecánicos. Existen dos tipos básicos de pérdidas mecánicas: el *rozamiento* mecánico propiamente dicho y el *rozamiento con el aire*. Las pérdidas por rozamiento son causadas por fricción en los cojinetes de las máquinas, en tanto que las pérdidas por rozamiento con el aire se deben a la fricción entre las partes móviles de la máquina y el aire encerrado en la carcasa del motor. Estas pérdidas varían con el cubo de la velocidad de rotación de la máquina.

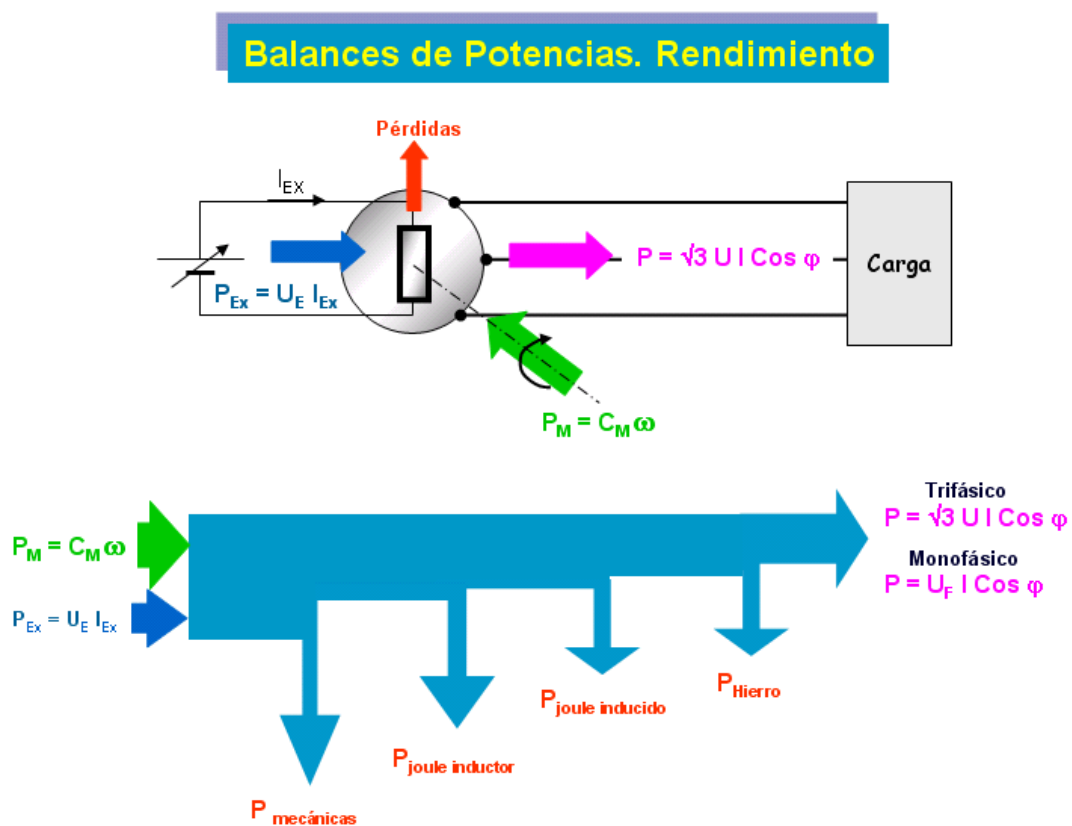
Las pérdidas mecánicas y las pérdidas en el cobre de la máquina se agrupan con frecuencia bajo el nombre de *pérdidas rotacionales de vacío (sin carga)* de la máquina. En vacío toda la potencia de entrada debe utilizarse para superar estas pérdidas. Entonces, midiendo la potencia

PÉRDIDAS DISPERSAS (O PÉRDIDAS MISCELÁNEAS).

Son aquellas que no pueden situarse dentro de las categorías anteriores. Sin importar con qué cuidado se consideran pérdidas, algunas siempre se escapan de las categorías anteriores y por eso se agrupan como pérdidas dispersas. En la mayoría de las máquinas, estas pérdidas se toman convencionalmente como el 1 % de la plena carga.

Diagrama de flujo de potencia

Una de las técnicas más convenientes de considerar las pérdidas de potencia en una máquina es el *diagrama de flujo de potencia*



I. 3 MAQUINAS SINCRONAS

La máquina síncrona está compuesta básicamente de una parte activa fija que se conoce como *inducido* o ESTATOR y de una parte giratoria coaxial que se conoce como *inductor* o ROTOR. El espacio comprendido entre el rotor y el estator, es conocido como entrehierro.

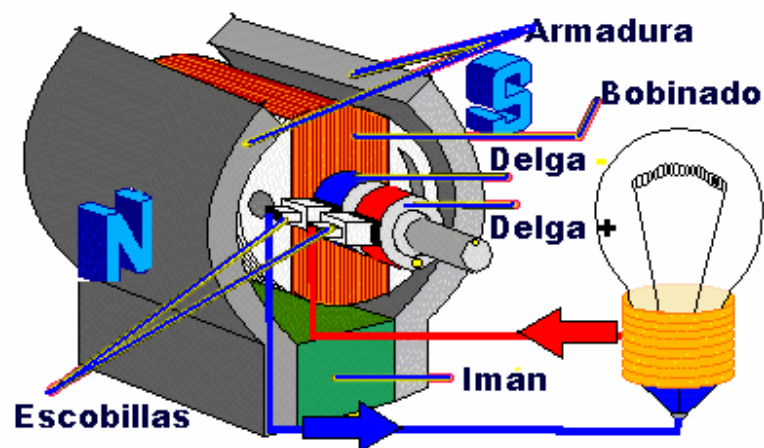
Esta máquina tiene la particularidad de poder operar ya sea como generador o como motor.

Su operación como alternador se realiza cuando se aplica un voltaje de c-c en el campo de excitación del rotor y a su vez éste es movido o desplazado por una fuente externa, que da lugar a tener un campo magnético giratorio que atraviesa o corta los conductores del estator, induciéndose con esto un voltaje entre terminales del generador

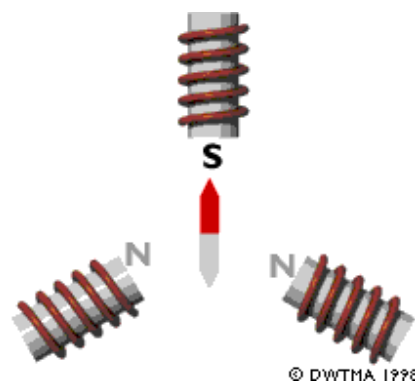
Su operación como motor sincrónico se realiza cuando el estator es alimentado con un voltaje trifásico de c.-a y consecutivamente el rotor es alimentado con un voltaje de c-c.

El Generador Síncrono

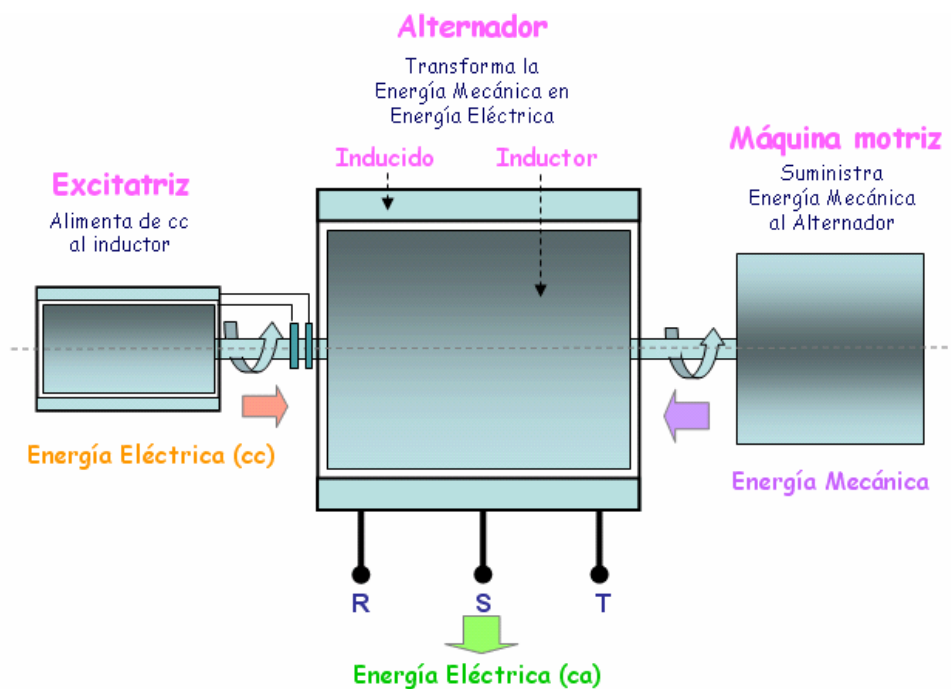
Los generadores síncronos o alternadores son máquinas sincrónicas que se usan para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica de corriente alterna.



El generador síncrono consiste en un electroimán girando, llamado rotor cilíndrico generalmente, al lado de una bobina, estator conectado en estrella el cual por efecto de la rotación del rotor va a inducir tensión trifásica en el estator, para esto tiene que haber una velocidad relativa entre el rotor (también llamado campo) y el estator (o armadura).



Si en un generador síncrono se aplica al embobinado del rotor una corriente continua, se producirá un campo magnético en el rotor. Entonces el rotor del generador se impulsará por medio de un motor primario, lo cual producirá un campo magnético rotatorio dentro de la máquina. Este campo magnético rotatorio inducirá un sistema trifásico de voltajes dentro del embobinado del estator del generador.



EL rotor

El rotor de un generador síncrono es un gran electroimán y los polos de éste pueden ser contruidos de forma salientes o no salientes, dependiendo del tipo de aplicación donde se requiere.

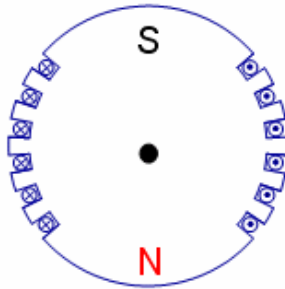
Los rotores de polos no salientes (Lisos) se utilizan en rotores de dos y cuatro polos, mientras que los rotores de polos salientes se utilizan en rotores de cuatro o más polos. Puesto que el rotor está sujeto a campos magnéticos variables, se construye con láminas delgadas agrupadas para reducir las pérdidas por corrientes parásitas

Rotor de Polos Lisos

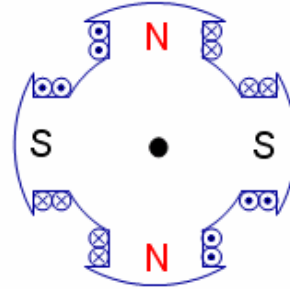
- Elevadas velocidades de giro (2 – 4 polos)
- Se usa con turbinas de gas y de vapor

Rotor de Polos Salientes

- Bajas velocidades de giro (+ de 4 polos)
- Se usa con turbinas hidráulicas



Rotor de polos lisos
 $p = 1$



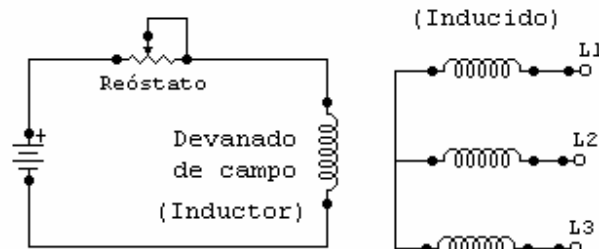
Rotor de polos salientes
 $p = 2$

Se debe suministrar un corriente c-d al circuito de campo del rotor. Puesto que el rotor esta girando, se requiere un arreglo especial para entregar potencia c-d a sus devanados de campo.

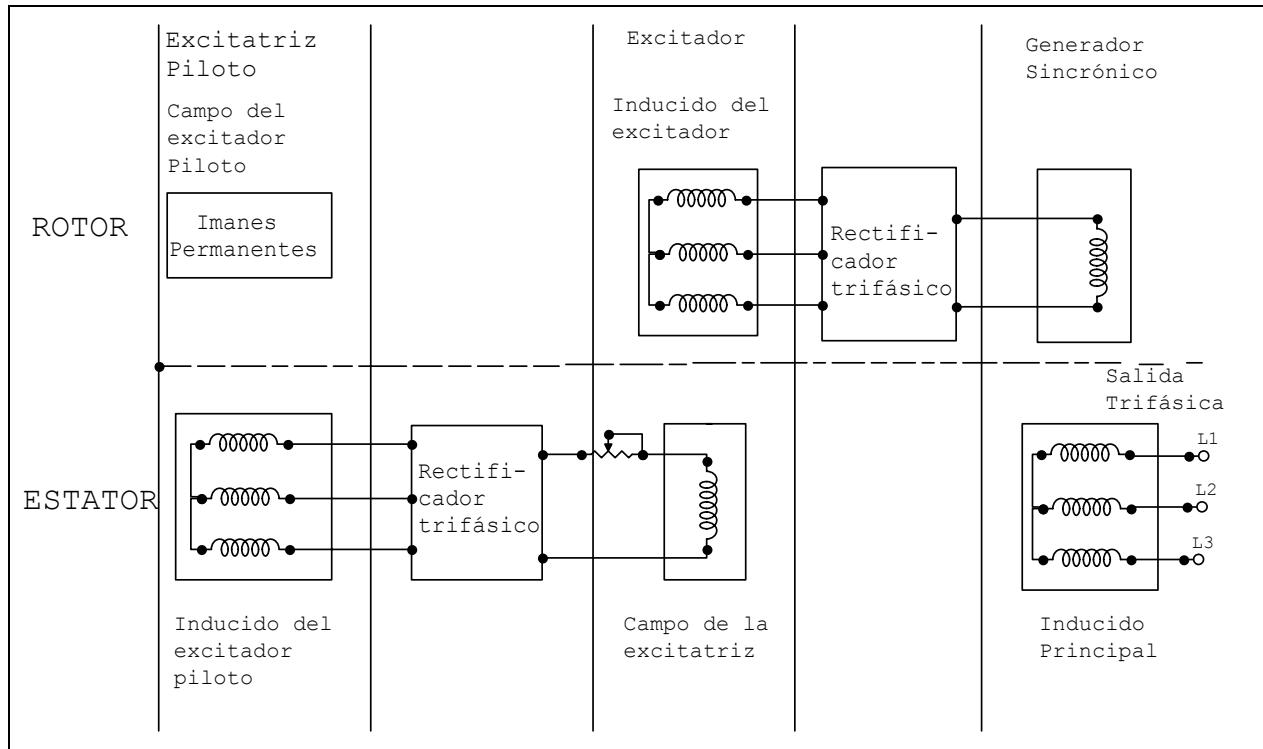
Existen dos maneras comunes de suministrar potencia de corriente directa al devanado de campo y son:

- a).- Suministrando potencia de c-d desde una fuente externa hacia el rotor por medio de escobillas y anillos rozantes.
- b).- Suministrando potencia de c-d desde una fuente especial montada directamente en el eje del generador síncrono

I. 4 ESQUEMA DE UN GENERADOR SÍNCRONO



Esquema de un generador síncrono con circuito excitador sin escobillas



Velocidad de rotación de un generador síncrono

Los generadores síncronos son por definición síncronos, lo cual significa que la frecuencia eléctrica producida está entrelazada o sincronizada con la tasa mecánica de rotación del generador. La relación entre la tasa de giro de los campos magnéticos de la máquina y la frecuencia eléctrica del estator se expresa mediante la ecuación.

$$f = \frac{np}{120}$$

f = frecuencia eléctrica, n = velocidad del campo magnético, P = número de polos

Puesto que el rotor gira con la misma velocidad que el campo magnético, esta ecuación relaciona la velocidad de rotación con la frecuencia eléctrica resultante. Dado que la potencia eléctrica es generada a 50 ó 60 Hz, el generador debe girar a una velocidad fija que depende del número de polos de la máquina.

Velocidades de un genrador síncrono (r.p.m)

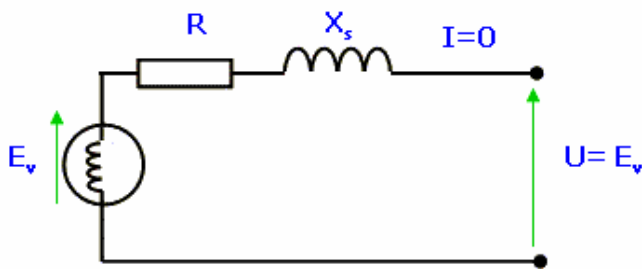
Número de polos	50 Hz	60 Hz
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720
12	500	600

1.5 CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN GENERADOR SÍNCRONO

Los alternadores son la fuente más importante de energía eléctrica y generan voltajes de c-a cuya frecuencia depende totalmente de la velocidad de rotación y del número de polos que se tienen. El valor del voltaje generado depende de la velocidad, de la excitación de campo y del factor de potencia de la carga.

El alternador en vacío

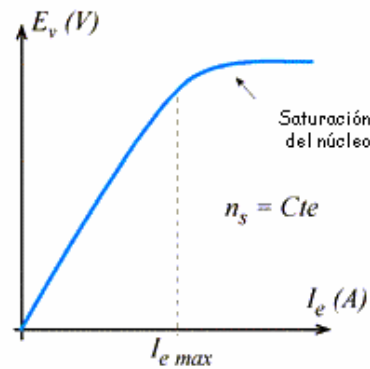
El voltaje de salida de un alternador también depende del flujo total que se tenga en el entrehierro, cuando está en vacío este flujo se establece, y se determina exclusivamente mediante la excitación de campo de c.d.



Cuando el alternador trabaja en vacío no hay caída de tensión y la tensión de salida U coincide con la fem E_v

$$E_v = K \cdot N \cdot \Phi$$

$$\Phi = f(I_e)$$



N = rpm
 Φ = flujo del inductor
 I_e = Intensidad de excitación
 K = cte. De proporcionalidad

El alternador con carga

Cuando se tiene carga en un alternador, el flujo en el entrehierro queda determinado por las amper-vueltas del rotor y los amper-vueltas del estator. Estos últimos pueden sumarse u oponerse a la FMM (Fuerza Magnetomotriz) del rotor dependiendo del factor de potencia de la carga. Los factores de potencia adelantados magnetizan el rotor mientras las atrasados lo desmagnetizan.

El voltaje E_v es el voltaje interno generado en una fase del alternador. Sin embargo, este voltaje E_v no es usualmente el voltaje de fase que aparece en las terminales de generador.

La única vez en el cual el voltaje interno E_v es igual al voltaje de salida “U” de una fase, es cuando no fluye corriente de armadura en la máquina.

Existen varios factores que ocasionan la diferencia entre E_v y “U” :

1. La distorsión del campo magnético del entrehierro debido a la corriente que fluye en el estator, llamada reacción del inducido .
2. La autoinductancia de las bobinas de armadura.
3. La resistencia de las bobinas de la armadura.
4. El efecto de la forma de los polos salientes del rotor.

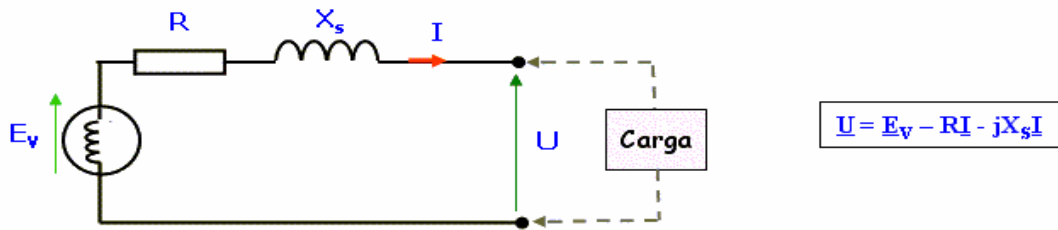
Los efectos de la reacción del inducido y la autoinductancia de la máquina son representados por reactancias, y es costumbre combinarlas en una sola llamada reactancia sincrónica de la máquina.

$$X_s = X + X_A$$

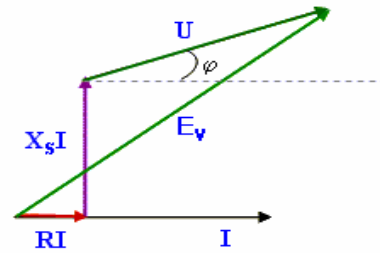
La ecuación que describe el voltaje de una fase de un alternador es:

$$U = E_v - RI - jX_s I$$

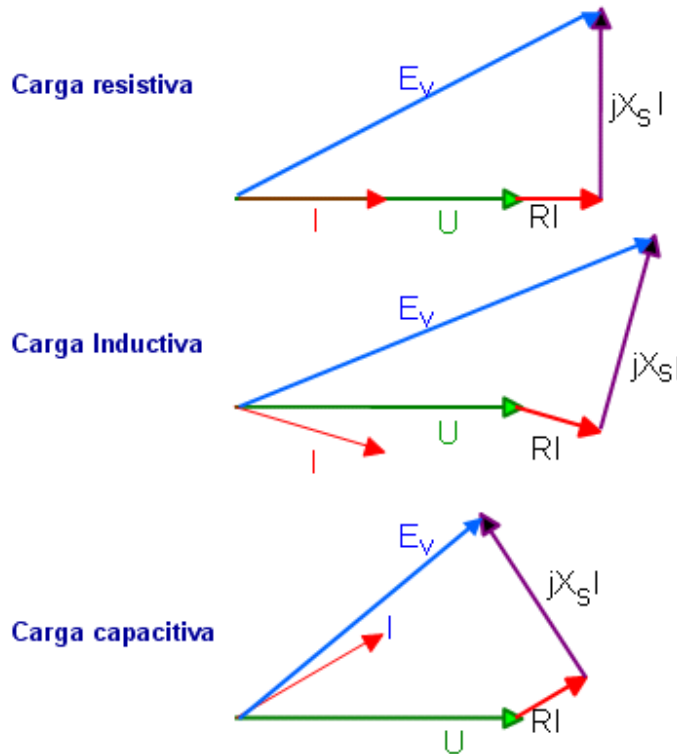
Para una máquina de polos lisos y circuito magnético no saturado



- R** = resistencia inducido por fase
- X_s** = reactancia síncrona por fase = reactancia de dispersión + reactancia de reacción del inducido
- E_v** = tensión en vacío por fase
- U** = tensión en carga por fase



El Alternador con Diferentes Cargas

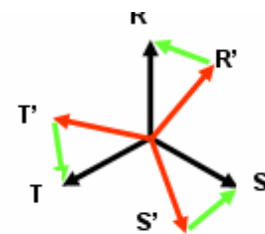
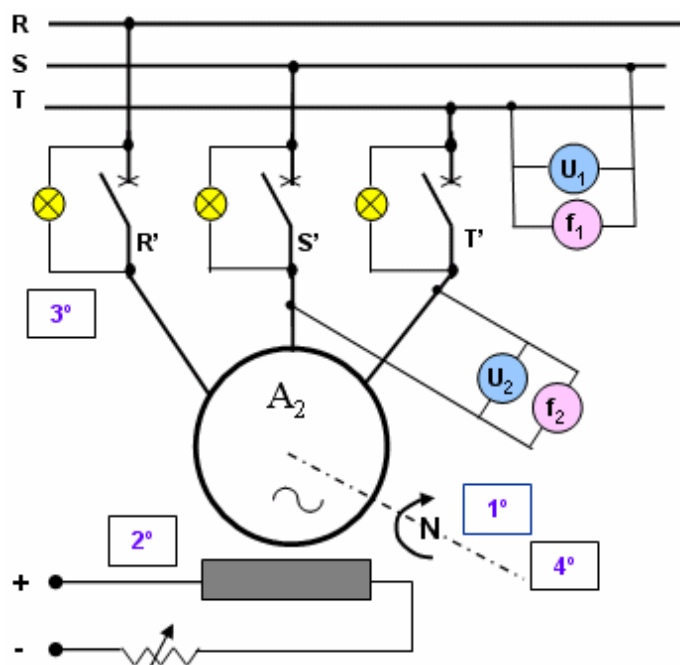


Acoplamiento de alternadores en paralelo

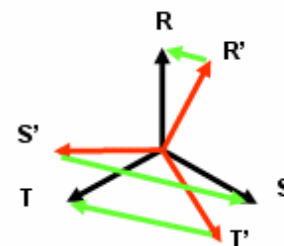
La aplicación de alternadores en paralelo es con la finalidad suministrar mayor potencia cuando se requiere una mayor demanda de carga en un sistema eléctrico. Para poder llevar a cabo el emparellamiento de alternadores se deben de cumplir con las siguientes condiciones:

- 1.- Los voltajes rms de línea de los alternadores en paralelo deben de ser iguales.
- 2.- Los alternadores en paralelo deben de tener la misma secuencia de fase.
- 3.- Los ángulos de fases de los alternadores deben de ser iguales.
- 4.- La frecuencia de los alternadores deben de ser iguales.

Alternador en paralelo con la red eléctrica



Existe igualdad de secuencias en el orden de las fases.
Las lámparas brillan simultáneamente



No existe igualdad de secuencias en el orden de las fases.
Las lámparas No brillan simultáneamente

Procedimiento de acoplamiento

1.- Se lleva la máquina A₂ hasta una velocidad próxima a la de sincronismo.

$$n = \frac{120 f}{P}$$

2.- Se excita la máquina A₂ de forma que el voltímetro U₂ indique mismo valor que el voltímetro U₁.

3.- Controlamos la velocidad de A₂ para que la frecuencia f₂ sea aproximadamente igual a la frecuencia " f₁" de la red eléctrica .

4.- Se comprueba que las lámparas se enciendan y apaguen simultáneamente.
"Si se encienden y se apagan alternadamente es preciso cambiar dos conexiones".

5.- Se cierra el interruptor de acoplamiento cuando el apagado de las lámparas dure unos 3 segundos.

II Fuerza motriz y características de operación de la Máquina Síncrona

Objetivo

Que el alumno aprenda las características de operación de un motor síncrono

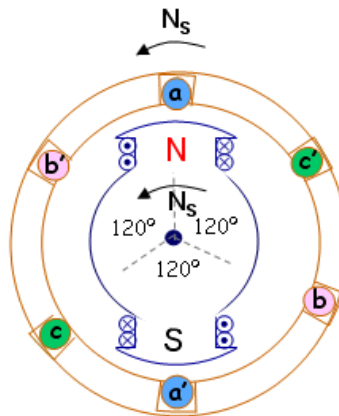
Habilidades por desarrollar en la unidad

Conocer el funcionamiento y arranque de un motor síncrono por diferentes métodos.
Utilizar el motor síncrono como dispositivo de corrección de factor de potencia

Saber en la Teoría (7hrs.)**II.1 OPERACIÓN DE UN MOTOR SÍNCRONO**

El motor síncrono recibe este nombre debido a que el rotor gira a la misma velocidad que el campo magnético del estator, es decir, están sincronizados

El motor síncrono es en esencia un alternador trifásico que funciona a la inversa. Los imanes del campo se montan sobre un rotor y se excitan mediante corriente continua, y las bobinas de la armadura están divididas en tres partes y alimentadas con corriente alterna trifásica.



Para entender el concepto básico de un motor síncrono, véase la figura siguiente, que muestra un motor síncrono de dos polos. La corriente de campo I_F del motor produce un campo magnético de estado estacionario B_R . Un conjunto trifásico de voltajes se aplica al estator de la máquina, que produce un flujo de corriente trifásica en los devanados, ,

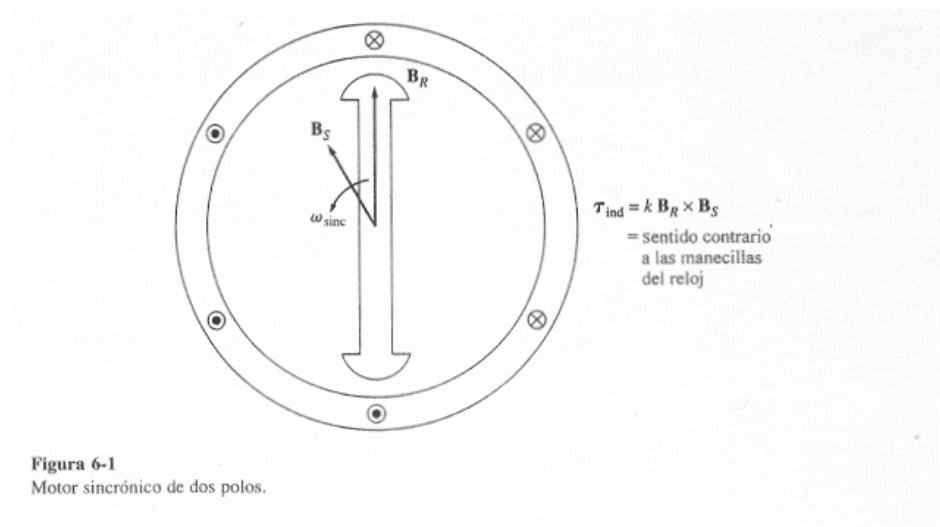
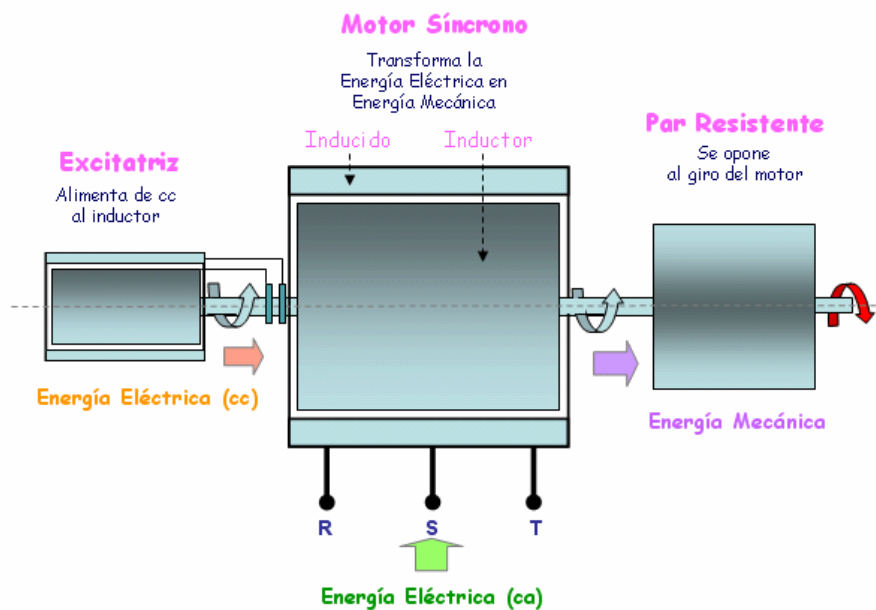
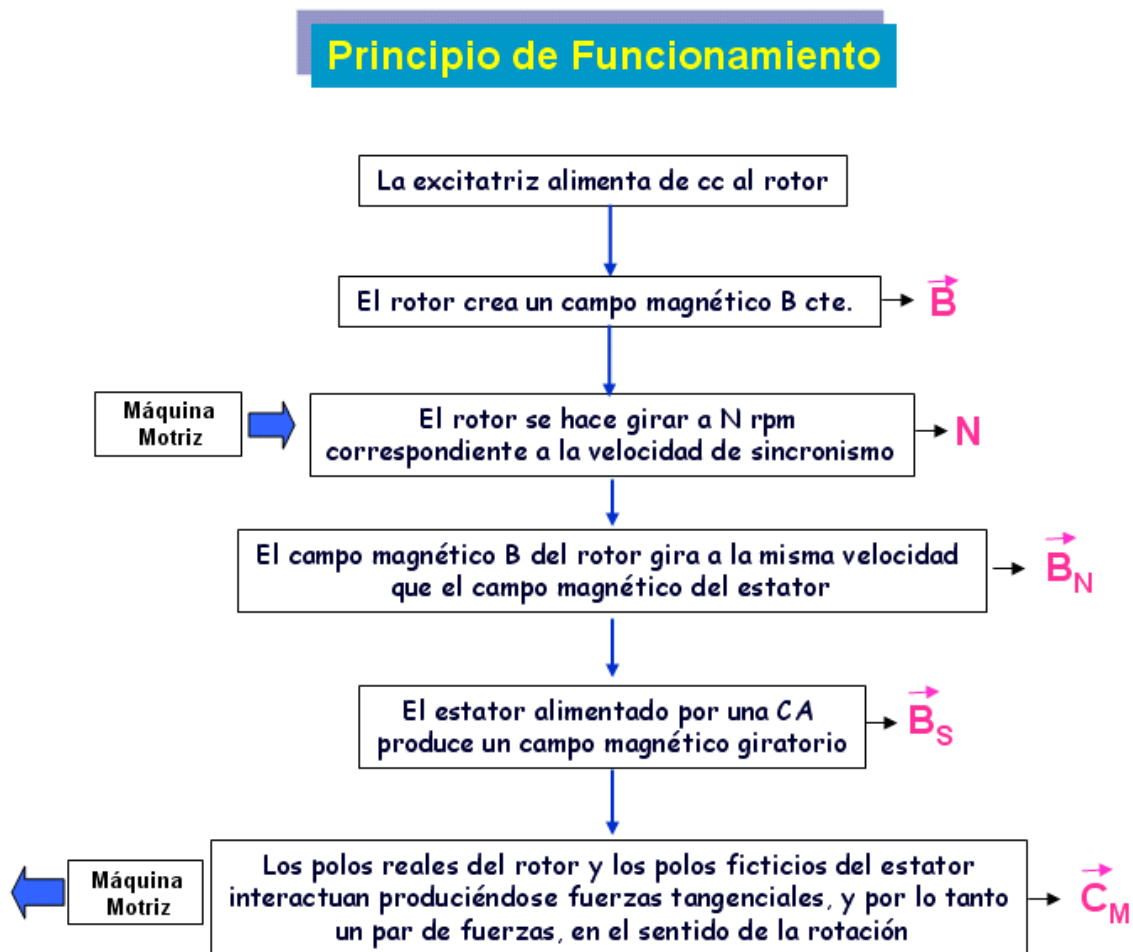


Figura 6-1
Motor síncrono de dos polos.

El conjunto trifásico de corrientes en el devanado inducido produce un campo magnético uniforme rotacional B_s . Entonces, hay dos campos Magnéticos presentes en la máquina, y el campo rotórico tenderá a alinearse con el campo estatórico así como dos barras magnéticas tenderán a alinearse si se colocan una cerca de la otra. Puesto que el campo magnético del estator es rotante, el campo magnético del rotor (y el rotor e mismo) tratará constantemente de emparejarse con él. Cuanto mayor sea el ángulo entre los campos magnéticos (hasta cierto máximo), mayor es el par sobre el rotor de la máquina. El principio básico de operación del motor sincrónico es que el rotor "persigue" el campo magnético rotante del estator alrededor de un círculo, sin emparejarse del todo con él.



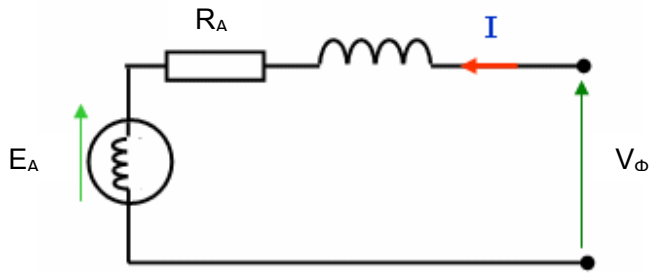


II.2 CIRCUITO EQUIVALENTE POR FASE DE UN MOTOR SÍNCRONO

El circuito equivalente por fase de un motor síncrono es exactamente igual al del generador síncrono, excepto que la dirección de referencia de I_A está invertida. Debido al cambio de dirección de I_A , la ecuación correspondiente a la ley de voltajes de Kirchoff cambia para el circuito equivalente de un motor síncrono

$$E_A = V\Phi - jX_S I_A - R_A I_A$$

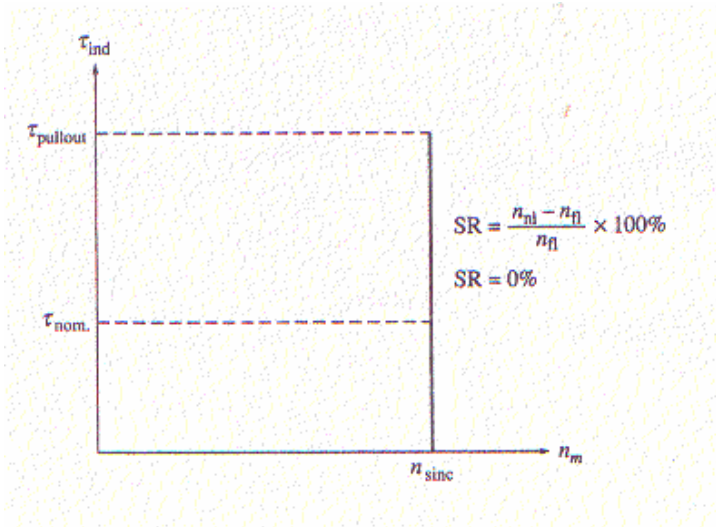
X_S



- R_A = Resistencia de inducido por fase
- X_S = Reactancia sincrónica por fase
- V_ϕ = Voltaje de fase
- E_A = Voltaje autoinducido por fase

II.3 CURVA CARACTERÍSTICA DE PAR-VELOCIDAD EN EL MOTOR SINCRÓNICO

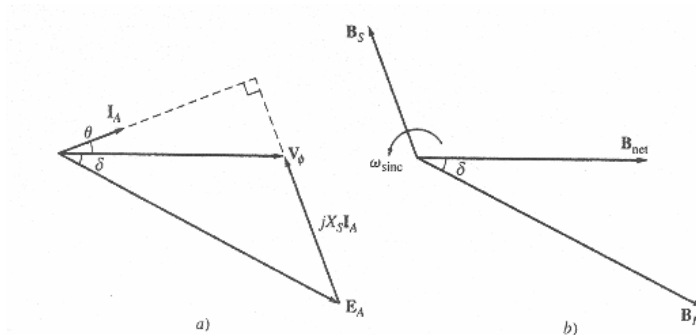
Los motores sincrónicos suministran potencia a cargas que son básicamente dispositivos de velocidad constante. Al estar conectados a sistemas de potencia mucho más grandes que los motores individuales, los sistemas de potencia aparecen como barrajes infinitos frente a los motores. Esto significa que el voltaje en los terminales y la frecuencia del sistema serán constantes, independientemente de la cantidad de potencia tomada por el motor. La velocidad de rotación del motor está asociada a la frecuencia eléctrica aplicada, de modo que la velocidad del motor será constante, independientemente de la carga. La curva característica resultante par-velocidad se muestra en la siguiente figura.



La velocidad de estado estacionario del motor es constante desde vacío hasta el par máximo que puede suministrar el motor, tal que la regulación de velocidad de este motor es 0%. La ecuación del par es:

$$T_{ind} = k B_R B_{net} \text{sen } \delta$$

$$T_{ind} = \frac{3V_\phi E_A \text{sen } \delta}{\omega_m X_S}$$



El par máximo ocurre cuando $\delta = 90^\circ$. Sin embargo, los pares normales de plena carga son mucho menores que aquéllos. En efecto, el par máximo puede triplicar el par de plena carga de la máquina.

Cuando el par aplicado en el eje de un motor síncrono excede el par máximo, el rotor no puede permanecer más enlazado a los campos magnéticos estático y neto. En cambio, el rotor comienza a disminuir la velocidad frente a ellos. Como el rotor disminuye la velocidad, el campo magnético estático se entrecruza con él repetidamente, y la dirección del par inducido en el rotor se invierte con cada paso. El enorme par resultante oscila primero en una forma y luego en otra causando que el motor entero vibre con fuerza. La pérdida de sincronización después que se ha excedido el par máximo, se conoce como *deslizamiento de polos*.

El par máximo del motor está dado por:

$$T_{\text{máx.}} = k B_R B_{\text{net}}$$

$$T_{\text{max}} = \frac{3 V_\phi E_A}{W_m X_s}$$

B_R Densidad de campo en el rotor

B_{net} = Densidad de campo resultante o neto

El campo magnético neto es el vector suma de los campos del, rotor y el estator

$$B_{\text{net}} = B_R + B_S$$

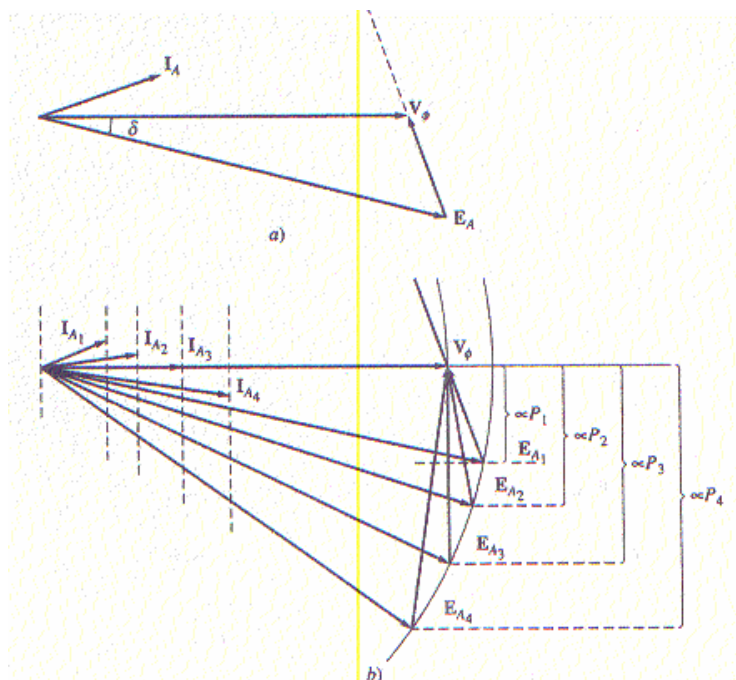
Estas ecuaciones indican que cuanto mayor sea la corriente de campo (y por tanto E_A), mayor será el máximo par del motor. Por tanto, hay una ventaja en la estabilidad, si se opera el motor con una gran corriente de campo o un gran E_A

II.4 EFECTO DE LOS CAMBIOS DE CARGA EN UN MOTOR SINCRÓNICO

Si se fija una carga al eje de un motor sincrónico, éste desarrollará suficiente par para mantenerse girando a la velocidad sincrónica junto con su carga. ¿Qué ocurre en un motor sincrónico cuando la carga cambia?

Para responder este interrogante es preciso examinar un motor sincrónico que opera inicialmente con un factor de potencia en adelanto, como se muestra en la siguiente figura. Si la carga sobre el eje del motor se incrementa, el rotor disminuirá su velocidad al comienzo. Cuando eso ocurre, el ángulo de par δ llega a ser mayor, y aumenta el par inducido. Con el tiempo, el incremento del par inducido acelera el rotor y el motor gira de nuevo con velocidad sincrónica, pero con un ángulo de par δ mayor.

¿Qué apariencia toma el diagrama fasorial durante este proceso? Para responder este interrogante es necesario examinar las restricciones sobre la máquina durante un cambio de carga. La figura "a" muestra el diagrama fasorial del motor antes que se incrementen las cargas. El voltaje interno generado E_A es igual a $K\Phi\omega$ y por tanto, depende sólo de la corriente de campo y de la velocidad de la máquina. La velocidad está restringida a permanecer constante debido a la fuente de potencia de entrada y, puesto que no se ha tocado el circuito del campo, la corriente de campo también es constante. Entonces E_A debe ser constante cuando cambia la carga. Las distancias proporcionales a la potencia ($E_A \sin \delta$ e $I_A \cos \theta$) se incrementarán, pero la magnitud de E_A debe permanecer constante. Cuando la carga se incrementa, E_A se mueve hacia abajo, como se observa en la figura b. Como E_A se mueve hacia abajo cada vez más, la cantidad $jX_s I_A$ debe incrementarse para alcanzar desde la punta de E_A a V_ϕ , y entonces la corriente del inducido I_A también se incrementa. Nótese que el ángulo θ del factor de potencia también cambia, y es cada vez menor cuando está en adelanto y luego cada vez mayor cuando está en atraso.



II.5 TIPOS DE ARRANQUES DE UN MOTOR SINCRONO.

Existen tres métodos básicos para el arranque seguro de un motor sincrónico.

Arranque del motor reduciendo la frecuencia eléctrica

Reducir la velocidad del campo magnético del estator a un valor suficientemente bajo para que el rotor pueda acelerar y se enlace con él durante medio ciclo de rotación del campo magnético. Esto se puede llevar a cabo reduciendo la frecuencia de la potencia eléctrica aplicada.

Arranque del motor mediante un motor primario externo

El segundo método para arrancar un motor sincrónico consiste en fijarle un motor externo de arranque y llevar la máquina sincrónica hasta su velocidad plena con ese motor.. Entonces la máquina sincrónica puede ser emparejada con un sistema de potencia como un generador, y el motor de arranque puede desacoplarse del eje de la máquina. Desconectando el motor de arranque, el eje de la máquina se desacelera, el campo magnético del rotor B_R queda atrás de B_{net} y la máquina sincrónica comienza actuar como motor.

Arranque de un motor utilizando devanado amortiguador

La técnica más popular para el arranque de motores sincrónicos es utilizar devanados amortiguadores: Estos devanados son barras especiales dispuestas en ranuras labradas en la cara del rotor del motor sincrónico y cortocircuitadas en cada extremo por un anillo de cortocircuito.

Estos devanados tienen dos objetivos :

- a).- Hacer que el motor arranque como un motor de inducción
- b).- Impedir la oscilación de velocidad o penduleo

El penduleo es una fluctuación o variación periódica de la velocidad del rotor con respecto a la del campo magnético rotatorio del estator y puede ser producido por los siguientes aspectos

- 1.- Un cambio brusco de carga mecánica.
- 2.- Un cambio brusco de la tensión de c-a
- 3.- Un cambio brusco de la excitación o intensidad de c-c

II.5 MOTOR SINCRONO TRIFÁSICO CON DEVANADO AMORTIGUADOR

Las funciones y partes principales de este motor son:

El devanado de estator o inducido : Produce un campo magnético rotatorio cuando circula por el corriente trifásica de una línea.

El devanado de rotor o inductor : Magnetiza en forma fija los polos del rotor cuando es alimentado por una fuente de c-c exterior.

El devanado amortiguador : Se utiliza para arrancar el motor y para evitar las oscilaciones de velocidad bajo carga

Escobillas : La función de las escobillas es transmitir la tensión y corriente de la fuente de alimentación hacia el colector y, por consiguiente, al bobinado del rotor.

Portaescobillas: La función del portaescobillas es mantener a las escobillas en posición de contacto firme con los segmentos del colector.

Dispositivos auxiliares para el arranque del motor

Interruptor y resistencia de descarga: Son elementos utilizados para proteger el devanado polar contra las altas tensiones inducidas (Por transformación) por el devanado principal o de estator durante el arranque, así como de las autoinducidas en el devanado de campo cuando se desconecta la fuente de excitación.

Reóstato de campo: Este dispositivo se utiliza para variar la corriente del circuito de campo. Los cambios de corriente de campo afectan la fuerza del campo magnético establecido por el rotor giratorio de campo. Las variaciones de la fuerza del campo del motor no afecta la velocidad del motor, puesto que este último seguirá funcionando a velocidad constante: Sin embargo, los cambios en la excitación del campo de c-c cambiarán el factor de potencia del motor sincrónico.

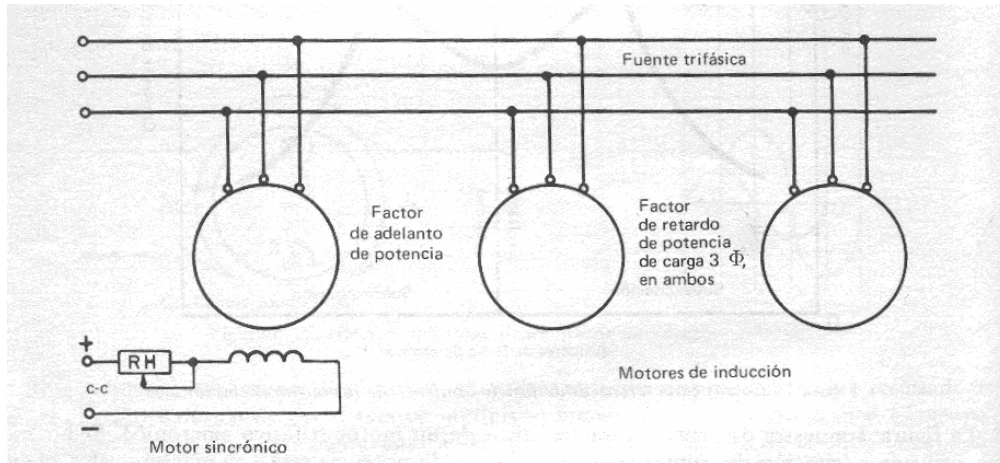
Ventajas del motor síncrono:

- 1.- Velocidad constante
- 2.- Factor de potencia ajustable

El factor de potencia se controla variando la excitación del rotor y puede ser del 100% o unitaria con la excitación normal, de corriente atrasada con subexcitación y de corriente adelantada con sobreexcitación

EL motor corrige el F.P de un sistema porque cuando se le sobreexcita su estator toma corriente adelantada que neutraliza o compensa la corriente atrasada que toman los aparatos inductivos conectados al mismo sistema.

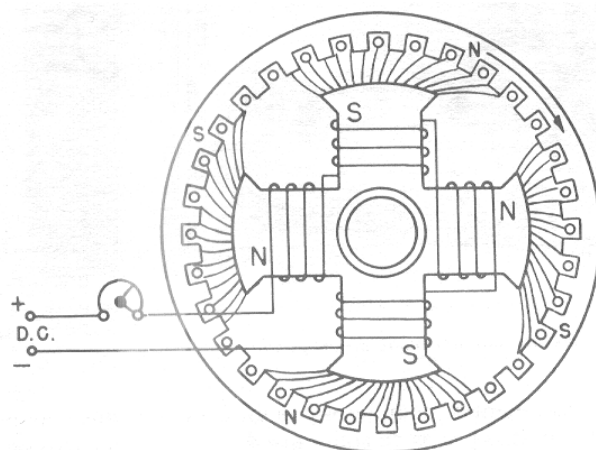
Esquema de motor síncrono para corregir factor de potencia de un sistema



Principio de funcionamiento del motor síncrono con devanado amortiguador

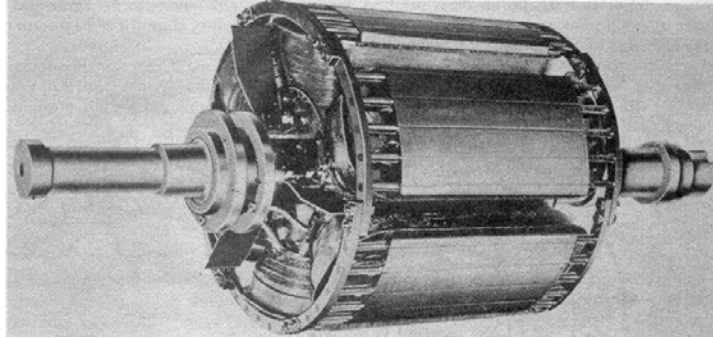
Cuando el voltaje trifásico de régimen se aplica a los devanados del estator, se establece un campo magnético giratorio que se mueve a velocidad sincrónica, establecida por los devanados del estator, la que depende de la frecuencia del voltaje trifásico y del número de polos de estator: La velocidad sincrónica del campo de un estator se calcula por medio de la fórmula:

$$\text{Velocidad sincrónica} = \frac{120 \times F}{P}$$



Esquema que muestra el principio de funcionamiento de un motor síncrono

El campo magnético, establecido por los devanados del estator, al girar a velocidad sincrónica, corta a través del devanado en jaula de ardilla del rotor y hace que se induzca voltaje corriente en las barras de este devanado. El campo magnético del devanado amortiguador o de caja de ardilla así establecido reacciona con el campo del estator en tal forma que hace que el rotor gire.



El rotor aumentará su velocidad hasta un punto ligeramente por debajo de la velocidad sincrónica del estator. Dicho en otras palabras, hay un ligero resbalamiento del rotor que lo devuelve al campo magnético establecido por el estator. Por lo tanto, el motor se ha puesto en marcha igual que lo hace un motor con inducido en jaula de ardilla.

A continuación el circuito de campo se excita desde una fuente exterior de corriente continua y en los núcleos de campo del rotor se establecen polos magnéticos fijos. Los polos magnéticos del motor son atraídos a los polos magnéticos contrarios del campo magnético establecido por el estator.

III Principio y clasificación de la máquina de c- d

Objetivo

Que el alumno conozca e identifique las maquinas de c-d, sus partes y parámetros

Habilidades por desarrollar en la unidad

Entender el funcionamiento de una maquina de c-d como generador y motor, así como también conocer cada una de las partes que la integran

Realizar cálculos de parámetros de medición en motores de c-d

Realizar circuitos de control y regulación de velocidad de un motor de c-d

Controlar el cambio de rotación y frenado de un motor de c-d

Saber en la Teoría (7hrs.)

III.1 FUNCIONAMIENTO Y PARTES DE UNA MAQUINA DE C-D

Las máquinas de corriente continua transforman la energía mecánica en energía eléctrica (de corriente continua), o viceversa, se las llama generadores o motores respectivamente.

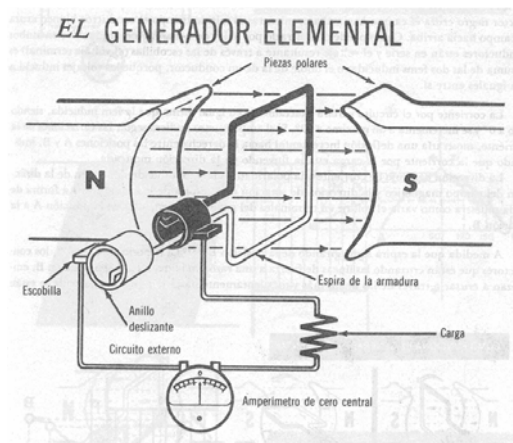
También estas máquinas están esencialmente constituidas por una parte fija, que produce el flujo de inducción, llamada inductor y otra parte giratoria, que contiene el arrollamiento en el cual se produce la f.e.m. inducida (o contra f.e.m.), llamada inducido o armadura.

La parte giratoria incluye el colector (rectificador u ondulator mecánico) componente esencial para el funcionamiento de la máquina.

El Generador Elemental

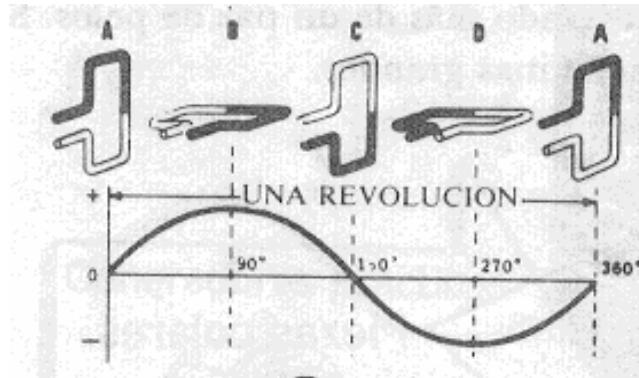
Un generador elemental consiste de una espira de alambre colocada de manera que pueda girar en un campo magnético uniforme para causar una fem inducida en la espira. Se emplea un par de contactos deslizantes para conectar en orden la espira a un circuito externo y utilizar la fem inducida. Las piezas polares son los polos norte y sur del imán que proporciona el campo magnético.

La espira de alambre que gira a través del campo se denomina la armadura. Los extremos de la espira de la armadura se conectan a los anillos llamados anillos deslizantes o de contacto que giran con la armadura.



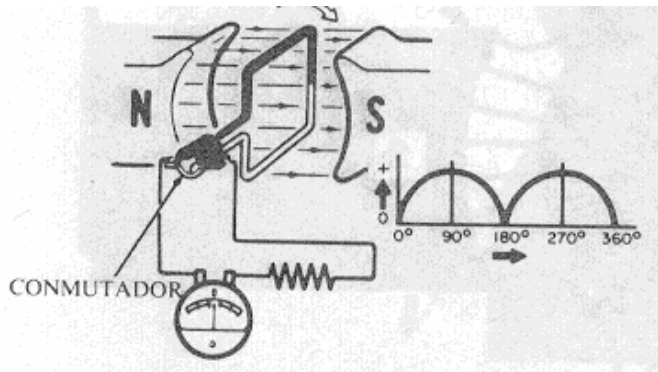
Unas escobillas se montan rozando a los anillos deslizantes para conectar la armadura al circuito externo

La fem y el flujo de corriente de un generador elemental invierte su polaridad cada vez que la espira de la armadura gira 180° . La salida de tal generador es de c-a



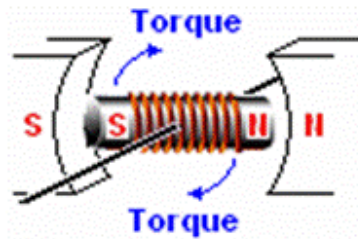
Conmutador

Es un interruptor de inversión automática sobre la flecha del generador, el cual cambia las conexiones de la bobina hacia las escobillas en cada mitad de revolución de un generador elemental. Su propósito es proveer una salida de cd. El proceso se llama conmutación.



PRINCIPIO BÁSICO DE FUNCIONAMIENTO COMO MOTOR

Cuando un conductor por el que fluye una corriente continua es colocado bajo la influencia de un campo magnético, se induce sobre él (el conductor) una fuerza que es perpendicular tanto a las líneas de campo magnético como al sentido del flujo de la corriente. Ver la figura.



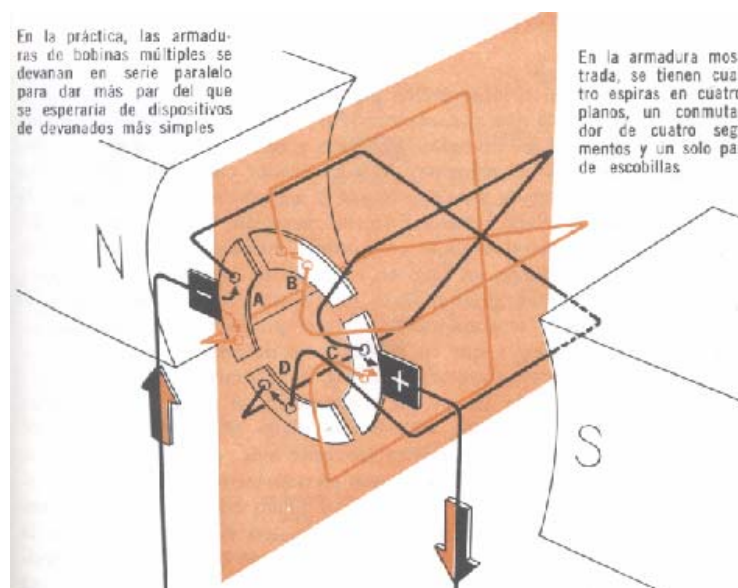
El sentido de esta fuerza viene dado por la regla de los tres dedos de la mano derecha:

Pulgar: Sentido convencional de la corriente

Índice: Sentido del campo magnético

Medio: Sentido de la fuerza

Se puede lograr que el motor elemental de cc arranque por sí solo si se le instala una armadura de dos o más espiras. En este tipo de armadura, las espiras se colocan de modo que formen un ángulo recto entre sí; así, cuando una de ellas está en el plano neutro, la otra está en el plano de par máximo. En este caso, el conmutador está dividido en dos pares de segmentos, es decir, en cuatro partes; cada segmento está conectado con una terminal de cada espira de la armadura, con lo que obtienen dos circuitos en paralelo, ahora bien, si el número de espiras incrementa, la impulsión en la armadura es más continua y constante.



Para controlar el sentido del flujo de la corriente en los conductores se usa un conmutador que realiza la inversión del sentido de la corriente cuando el conductor pasa por la línea muerta del campo magnético.

La fuerza con la que el motor gira (el par motor) es proporcional a la corriente que hay por los conductores. A mayor tensión, mayor corriente y mayor par motor.

PARTES BÁSICAS DE LAS MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA REALES

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

Inductor

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:

Pieza polar: 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 devanado inductor.
- *Devanado 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

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

El inducido consta de las siguientes partes:

Devanado 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 devanado inducido.

Escobillas

Son piezas conductoras destinadas a asegurar, por contacto deslizante, la conexión eléctrica de un órgano móvil con un órgano fijo.

Entrehierro

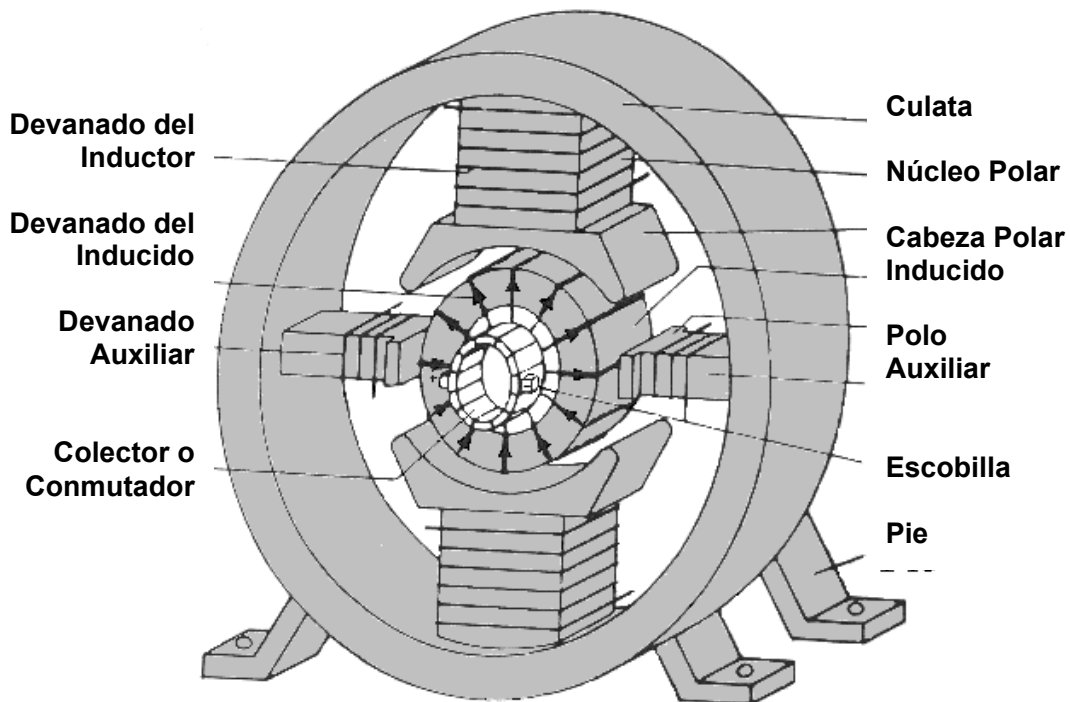
Es el espacio comprendido entre las expansiones polares y el inducido; suele ser normalmente de 1 a 3 mm, lo imprescindible para evitar el rozamiento entre la parte fija y la móvil.

Cojinetes

Son las piezas que sirven de apoyo y fijación del eje del inducido.

Diagrama de una máquina de corriente continua.

Los componentes de la máquina de corriente continua se pueden apreciar claramente en la siguiente figura.



EFICIENCIA Y PÉRDIDAS EN UNA MÁQUINA DE C-D

Los generadores dc toman potencia mecánica y producen potencia eléctrica, mientras que los motores dc toman potencia eléctrica y producen potencia mecánica. En cualquier caso, no toda la potencia de entrada a la máquina es útil en el otro lado *pues siempre* hay alguna pérdida asociada al proceso.

La eficiencia de una máquina dc se define por la ecuación

La diferencia entre la potencia de entrada y la de salida de la máquina son las pérdidas que ocurren en su interior. Entonces,

Pérdidas en máquinas dc

Las pérdidas que ocurren en las máquinas dc se pueden dividir en cinco categorías básicas:

1. Pérdidas eléctricas o pérdidas en el cobre (pérdidas I^2R)
2. Pérdidas en las escobillas
3. Pérdidas en el núcleo
4. Pérdidas mecánicas
5. Pérdidas misceláneas o dispersas

Pérdidas eléctricas o pérdidas en el cobre. Las pérdidas en el cobre ocurren en los devanados del inducido y del campo de la máquina. Para los devanados del inducido campo, las pérdidas en el cobre están dadas por

$$\text{Pérdidas en el inducido: } P_A = I_A^2 \times R_A$$

$$\text{Pérdidas en el campo: } P_F = I_F^2 \times R_F$$

Donde

P_A = pérdidas en el inducido

P_F = pérdidas en el circuito de campo

I_A = corriente del inducido

I_F = corriente de campo

R_A = resistencia del inducido

R_F = resistencia del campo

La resistencia utilizada en estos cálculos es la resistencia del devanado a la temperatura normal de operación.

Pérdidas en las escobillas. Las pérdidas por caída en las escobillas corresponden a la potencia perdida a través del contacto potencial en las escobillas de la máquina. Están dadas por la ecuación

$$P_{BD} = V_{BD} I_A$$

donde P_{BD} = Pérdidas por caída en las escobillas

V_{BD} = Caída de voltaje en la escobilla

I_A = Corriente del inducido

Pérdidas en el núcleo. Las pérdidas en el núcleo son las pérdidas por histéresis y por corrientes parásitas que ocurren en el metal del motor.

Pérdidas mecánicas. Las pérdidas mecánicas en una máquina dc son las pérdidas asociadas a los efectos mecánicos. Hay dos tipos básicos de pérdidas mecánicas: *rozamiento propio* y *rozamiento con el aire*. Las pérdidas por rozamiento propio son las causadas por fricción de los rodamientos de la máquina, mientras que las pérdidas por rozamiento con el aire son las causada por fricción entre las partes móviles de la máquina y el aire encerrado en la estructura de ella. Estas pérdidas varían con el cubo de la velocidad de rotación de la máquina.

Pérdidas dispersas (o pérdidas misceláneas). Las pérdidas dispersas son aquellas que no se pueden clasificar en alguna de las categorías indicadas anteriormente. No tiene importancia el cuidado con que se contabilicen las pérdidas, pues casi siempre algunas quedan por fuera de las categorías mencionadas. Todas esas pérdidas se reúnen en las pérdidas misceláneas. Para la mayoría de las máquinas, las pérdidas misceláneas se toman convencionalmente como el 1% de la plena carga.

Diagrama de flujo de potencia

Una de las técnicas más apropiadas para explicar las pérdidas de potencia en una máquina es el *diagrama de flujo de potencia*. La figura siguiente muestra un diagrama de flujo de potencia para un generador y un motor de corriente directa.

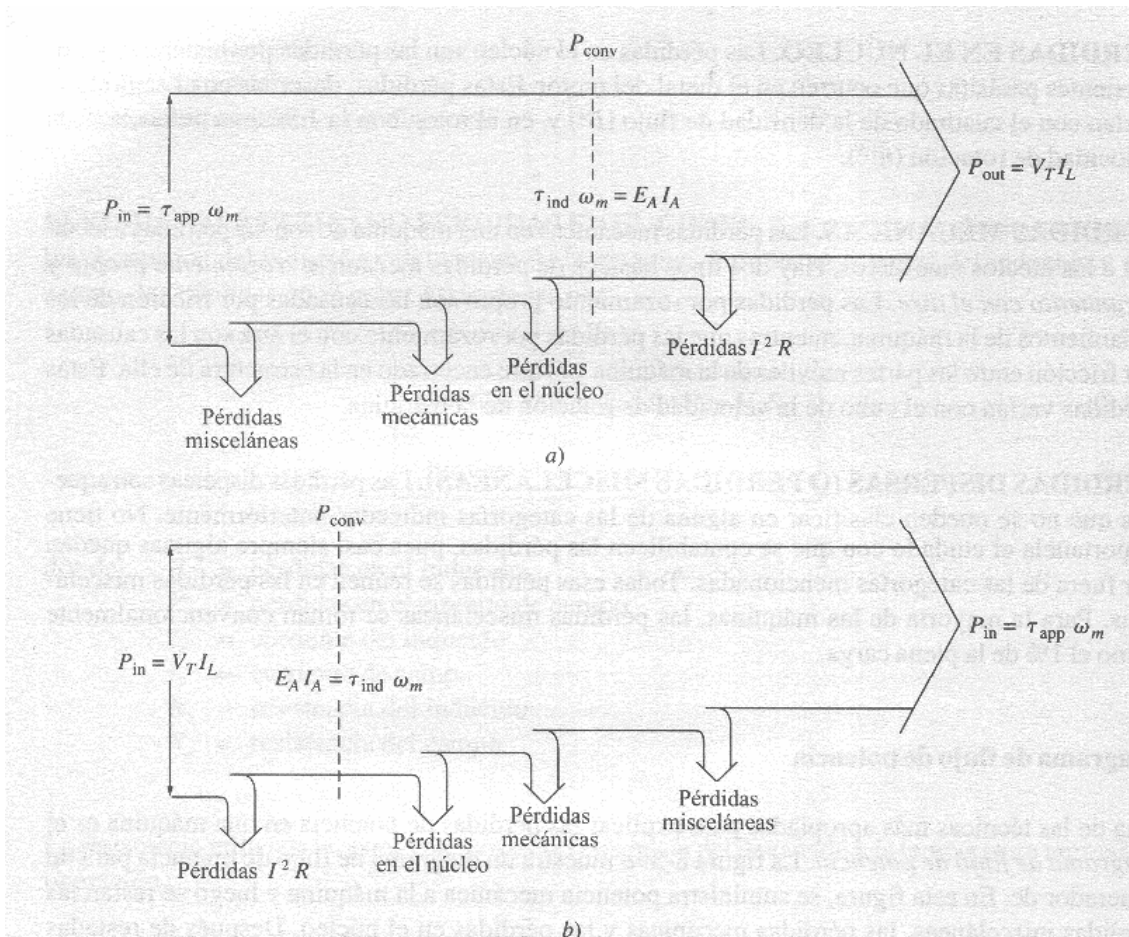


Diagrama de flujo de potencia para una máquina dc: a) Generador. b) Motor

VOLTAJE Y PAR INDUCIDO EN UNA MAQUINA DE CORRIENTE DIRECTA

Voltaje Inducido

En algunos motores y generadores, los conductores o bobinas se mueven con respecto a un flujo constante. El movimiento rotativo produce un cambio en el eslabonamiento de flujo de las bobinas y, en consecuencia se induce un voltaje a través de los conductores de ésta. El valor del voltaje inducido depende de tres factores:

- 1.- El flujo en la máquina
- 2.- La velocidad del rotor de la máquina
- 3.- Una constante que depende de la construcción de la máquina

El voltaje inducido en cualquier conductor individual bajo las caras polares está dado por la siguiente ecuación :

$$E = Blv$$

E = voltaje inducido (en volts)

B = Densidad de flujo (Teslas)

l = Longitud activa de los conductores en el campo magnético (m)

v = velocidad relativa del conductor (m/s)

El voltaje de salida inducido en una máquina real de corriente directa es :

$$E_A = \frac{ZP}{2\pi a} \phi \omega$$

Z = número de conductores

a = es el número de trayectorias de corriente en la máquina

P = es el número de polos en la máquina

ϕ = Flujo por polo (webers)

ω = Velocidad angular (rad/s)

Todos los detalles estructurales de un motor como son; longitud y diámetro del rotor, cantidad de polos, cantidad total de conductores del devanado de armadura y la manera específica de interconectarse los devanados individuales del devanado global, serán representados en agrupamiento a través de una constante de proporcionalidad que se simbolizará con la letra K.

El valor de la constante de proporcionalidad varía de un motor a otro de acuerdo a los detalles de construcción de como están diseñados.

Por lo tanto $K = \frac{ZP}{2\pi a}$ Si sustituimos K en la ecuación $E_A = \frac{ZP}{2\pi a} \phi \omega$

nos quedaría la siguiente igualdad

$$E_A = K \phi \omega$$

Es común expresar la velocidad de la máquina en revoluciones por minuto en lugar de radianes por segundo. Para convertir revoluciones por minuto a radianes por segundo se utiliza la ecuación:

$$\omega = \frac{2\pi}{60} n$$

Donde n es la velocidad del motor en revoluciones por minuto

Si sustituimos la velocidad angular en la ecuación. $E_A = K \phi \omega$ tendremos la siguiente igualdad:

$$E_A = \frac{2\pi}{60} K \phi n$$

Pero $K = \frac{ZP}{2\pi a}$ por lo tanto $E_A = \frac{ZP}{60a} \phi n$

Si decidimos que la nueva constante de proporcionalidad sea $K'' = \frac{ZP}{60a}$

entonces tendremos que el voltaje inducido en la armadura será igual a la siguiente ecuación.

$$E_A = k'' \phi n$$

Par Inducido

En toda maquina dc el par depende de tres factores:

- 1.- El flujo ϕ en la máquina
- 2.- La corriente de armadura (Rotor) I_A en la máquina
- 3.- Una constante que depende de la construcción de la máquina

El par desarrollado por el eje del motor es directamente proporcional al flujo en el campo y a la corriente en la armadura. El par Inducido en una máquina se puede expresar como:

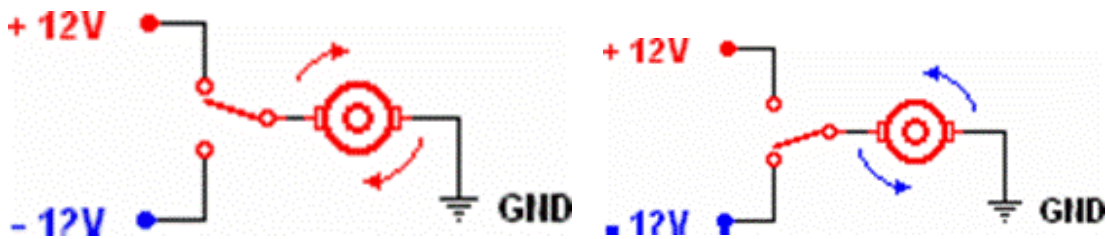
$$\tau_{ind} = k\phi I_A$$

Donde $K = \frac{ZP}{2\pi a}$

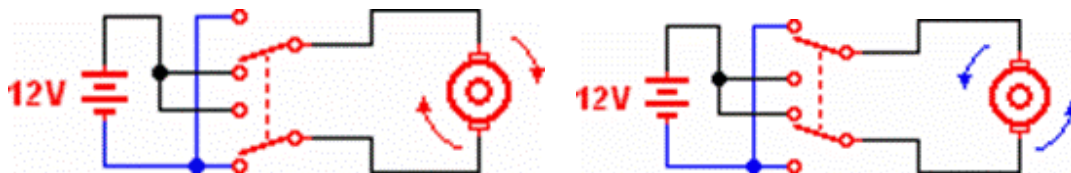
CONTROL DE SENTIDO DE GIRO PARA MOTORES-CC

Existen varias formas de lograr que estos motores inviertan su sentido de giro, una es utilizando una fuente simétrica o dos fuentes de alimentación con un interruptor simple de dos contactos y, otra es utilizar una fuente común con un interruptor doble, es decir uno de 4 contactos-

Con Fuente Simétrica o Doble Fuente



Con una Fuente Simple



CLASIFICACION DE LOS MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

Hay cinco clases principales de motores de cd de uso general

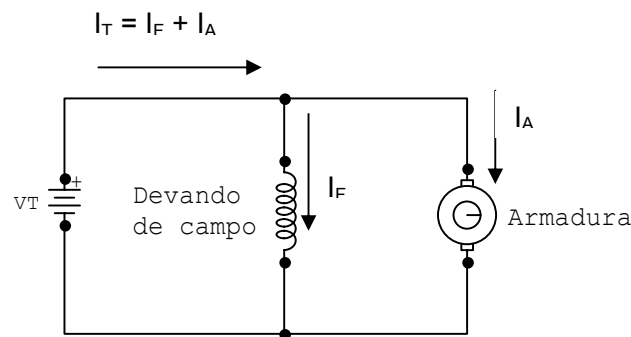
- a) Motor con excitación en derivación
- b) Motor con devanado en serie
- c) Motor compuesto
- d) Motor de excitación separada
- e) Motor de imán permanente

Motor con excitación en derivación

El motor en derivación, tiene las bobinas de campo conectadas en paralelo con la armadura y por lo tanto el campo es independiente de las variaciones de la corriente de la armadura; de este modo el par desarrollado varía en forma directa con la corriente de armadura. Por lo general en un motor en paralelo, las variaciones de velocidad de la condición sin carga a la de plena carga es aproximadamente el 10% de la velocidad sin carga. Por esta razón los motores con excitación en paralelo se consideran como motores de velocidad relativamente constante.

Las bobinas polares principales de un motor en derivación son construidas de muchas vueltas y de alambre delgado, por lo que la resistencia del bobinado inductor principal es muy grande.

El siguiente dibujo muestra el diagrama esquemático de un motor con excitación en derivación, así como las corrientes que absorbe durante su funcionamiento.



La intensidad de la corriente de excitación de campo vale:

$$I_F = V_T / R_F$$

El valor de la corriente de campo permanece constante mientras no se modifique la tensión de la línea V_T , ni la resistencia del circuito en el cual se halla incluido el bobinado inductor principal, lo cual también determina que es constante el valor del flujo polar.

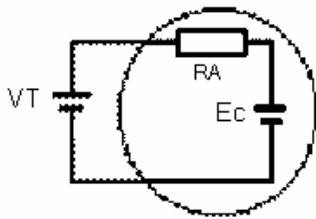
Si hay un reóstato ajustable colocado en serie con el devanado de campo, entonces I_F se vuelve ajustable, de acuerdo con la siguiente ecuación

$$I_F = \frac{V_T}{R_F + R_{REO}}$$

La trayectoria de la corriente de campo se puede obtener directamente con solo aplicar la ley de ohm. En cambio la corriente en el devanado de armadura presenta una situación diferente, ya que esta es afectada por la resistencia interna de los devanados y por el voltaje inducido que se presenta cuando la armadura del rotor se encuentra en movimiento. Este voltaje se opone al voltaje de alimentación por lo que se conoce como voltaje contraelectromotriz inducido en la armadura

La FCEM es proporcional a la velocidad del motor y a la intensidad del campo

Cuando un motor de corriente continua es alimentado, el voltaje de alimentación se divide entre la caída que hay por la resistencia de los arrollados del motor y una tensión denominada fuerza contraelectromotriz (FCEM).



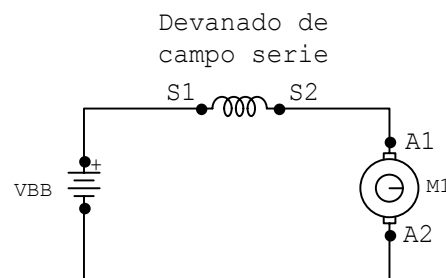
Aplicando la ley de tensiones de Kirchoff

$$V_T = I_A R_A + E_c \quad \text{o} \quad E_c = V_m - I_A R_A$$

$$I_A = \frac{V_T - E_c}{R_A}$$

Motor Serie:

Se designa así al motor de corriente continua cuyo bobinado inductor principal está conectado en serie con el bobinado inducido. Al igual que en las máquinas serie, las bobinas polares principales son construidas de pocas espiras y con conductor de gran sección.



Si al efectuar el arranque del motor serie se conecta directamente a la línea, la intensidad de corriente absorbida tomará un valor exagerado. En efecto, cuando el rotor está parado no se genera fuerza contraelectromotriz en el bobinado inducido (por no tener movimientos los conductores.) Entonces la intensidad de corriente absorbida recibe el nombre de corriente de cortocircuito

El motor serie se caracteriza por tener un elevado par de arranque.

El bobinado inductor principal, conectado en serie con el bobinado inducido, es recorrido por la corriente total. Por consiguiente, la excitación del campo magnético aumenta mucho en el arranque.

El motor serie gira muy lento con cargas pesadas y muy rápido con cargas ligeras. Si se retira la carga por completo, el motor serie aumentará peligrosamente su velocidad y puede dañarse, porque la corriente requerida es muy pequeña y el campo muy débil, por esta razón el motor serie nunca debe trabajar en condiciones *sin carga*.

El par depende directamente de la intensidad del campo magnético. Con una carga elevada la rotación de la armadura será más lenta, esto reduce la fcem en la armadura y aumenta la corriente a través de la misma, aumentando la intensidad del campo. Por consiguiente una

carga elevada origina tanto un aumento en el flujo magnético de la armadura como en el flujo magnético del campo y en esta forma el par del motor resulta incrementado.

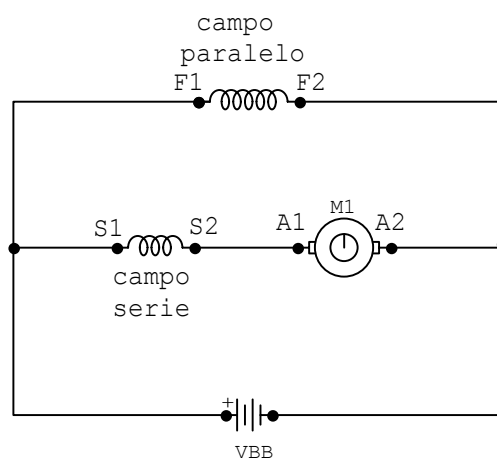
Si no existe carga en el motor y se le aplica un voltaje constante, la única oposición a la velocidad del motor es la f_{cem} y la fricción en las churnaceras o baleros; al ir adquiriendo velocidad el motor, la f_{cern} *aumenta dado que la velocidad de corte de líneas de fuerza aumenta* y la corriente a través de la armadura disminuye. Una disminución en la corriente de armadura significa una disminución en la corriente del campo debido a que ambos devanados están en serie, produciendo un debilitamiento del campo

Los motores serie tienen un alto par de arranque, por esta razón nunca deben de arrancarse sin carga, debido a que el motor alcanzaría una velocidad peligrosa.

Motor Compuesto :

El motor compuesto o mixto, es una combinación del motor serie y el motor paralelo. Este tipo de motor tiene dos devanados diferentes para el campo: uno formado de un gran número de vueltas de alambre delgado conectado en paralelo con la armadura, el otro formado de pocas espiras de alambre grueso conectadas en serie con la armadura.

El motor compuesto, dispone de las características del motor serie y las del motor paralelo.



El motor Compuesto puede ser acumulativo o diferencial. ...

Motor compuesto acumulativo

El motor compuesto acumulativo es aquel cuyos campos en serie y paralelo se conectan de tal modo que se suman y se refuerzan entre sí; este tipo de motor es el que más se usa porque un incremento en la carga, decrece la velocidad y aumenta considerablemente el par desarrollado. También posee un gran par de arranque. Por consiguiente un motor compuesto acumulativo es de velocidad relativamente constante, posee gran potencia de arrastre para cargas pesadas y tiene buen par de arranque.

El motor compuesto diferencial

En este tipo de motor el campo en serie se opone al campo en paralelo y el campo total se debilita cuando la carga aumenta. Esto permite que la velocidad se incremente con el aumento de carga hasta una situación segura de operación. Como el par de arranque es muy bajo rara vez se usa el motor compuesto diferencial.

Arranque y control de velocidad de motores de c-d

En los motores de c-d la FEM inducida en reposo es cero, y por consiguiente, la corriente y el par de arranque sólo quedan limitados por la resistencia del circuito de inducido.

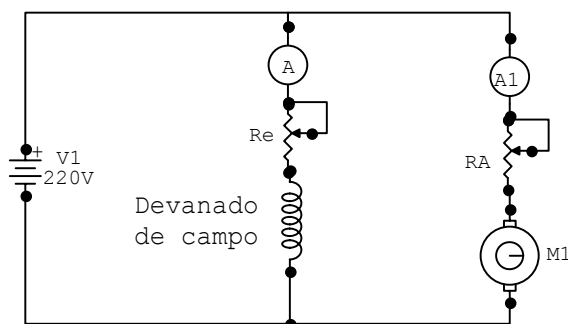
Para impedir que la corriente absorbida en el arranque tome un valor excesivo, es preciso intercalar, en serie con el circuito del inducido, un reóstato de arranque, cuya resistencia esté calculada para que la intensidad de corriente en el arranque se encuentre dentro de los valores reglamentados.

Los motores de corriente continua pueden arrancar por diferentes procedimientos actuando sobre la tensión. Los más utilizados son el reóstato de regulación y los dispositivos electrónicos de rectificación controlada.

Arranque de motores de corriente continua por reóstatos

Los motores de corriente directa de pequeña capacidad se pueden arrancar al conectar directamente el motor al voltaje de línea. Los motores con capacidad nominal de 2 caballos de fuerza o más en general requieren un arrancador con voltaje reducido. El voltaje reducido para el arrancador se obtiene al emplear resistencias reóstatos en serie con la armadura del motor, o bien, al hacer variar el voltaje de alimentación a la armadura. Se puede usar control manual o magnético.

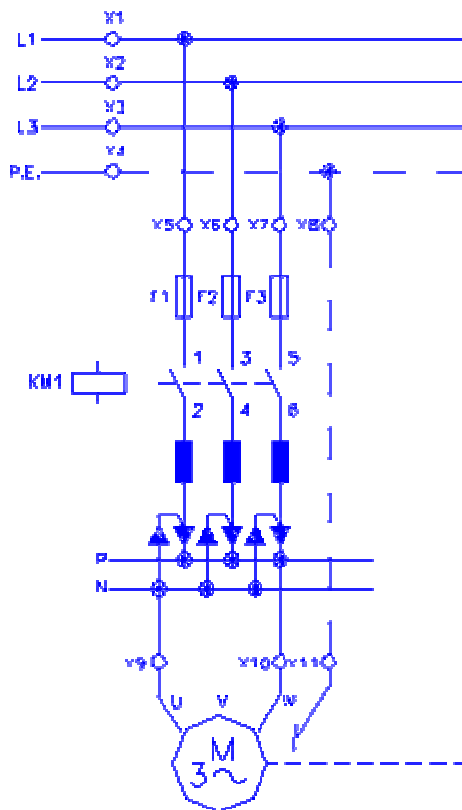
Los motores de corriente continua en accionamientos de voltaje ajustable y velocidad ajustable se arrancan al hacer girar el control de la velocidad hacia arriba, desde cero hasta la velocidad deseada, o bien, mediante circuitos internos que elevan paulatinamente el voltaje de la armadura hasta el valor deseado.



Circuito de control por reóstatos de un motor c-d de conexión paralelo

Arranque de motores de corriente continua por dispositivos electrónicos

En estos arrancadores el equipo electrónico, generalmente de tiristores, recibe un suministro de corriente alterna monofásica o trifásica y lo convierte en un suministro de tensión continua variable, que permiten el arranque con aplicación progresiva de tensión, con la consiguiente limitación de corriente y par de arranque.



Tipos de Frenados de Motores de C-d

Algunos motores eléctricos son frenados mediante dispositivos mecánicos operados magnéticamente. Otros, con frenados reostáticos.

En los frenos mecánicos existe el inconveniente que el frenado depende fundamentalmente del estado de las superficies rozantes y en los frenos reostáticos aparece el problema de los relays y otros dispositivos electromecánicos, desgastables y sujetos a fallas. Ambos sistemas requieren una mantención periódica.

A continuación describimos tres tipos de frenados eléctricos que son: contramarcha, frenado dinámico y frenado regenerativo.

Contramarcha

Este sistema es utilizado en algunas aplicaciones especiales como, por ejemplo, algunas laminadoras las cuales deben detenerse súbitamente para luego cambiar de sentido de giro. Esto se efectúa sin suspender la excitación del motor e invirtiendo la tensión en la armadura. En el instante en que se ha invertido la tensión, el voltaje aplicado a la armadura y la f.c.e.m. son casi iguales y aditivas, luego, luego, para no ocasionar daños por el impulso de sobre corriente es necesario intercalar en serie una resistencia que es usualmente un 85% mayor que la resistencia de arranque normal.

Frenado Dinámico

Es motor es llevado rápidamente a reposo haciendo uso de la acción generativa del motor. Si los terminales de la armadura son desconectados y se conecta a la armadura una resistencia de valor bajo, manteniendo la excitación, entonces se produce una detención del motor ya que la fuerza electromotriz produce una corriente en la resistencia con lo que la energía cinética acumulada en las partes rotatorias se disipa rápidamente en forma de calor.

El valor ohmico de la resistencia es determinante en la rapidez, con lo que se consume la energía mecánica y por ello el tiempo requerido para frenar, generalmente se ha adoptado un valor de esta resistencia tal que produzca un impulso inicial del orden de 180% del valor inicial, sin embargo puede ser traspasado para frenados más violentos permitiendo mayores corrientes y el consiguiente chisporroteo en el colector. Esta forma de frenado sin embargo, no provee un frenado constante ya que a medida que la velocidad baja, en forma proporcional baja la generación, al principio el frenado es máximo y luego va reduciéndose a cero cuando el motor se detiene. Esto significa que el motor no está bloqueado cuando el motor no gira, luego se hace necesaria la existencia de frenado mecánico que provea este bloqueo.

Si bien el frenado no es constante, es posible hacerlo controlando la excitación del generador, para lo cual basta con implementar un control realimentado mediante tiristores.

Frenado Regenerativo

El término frenado regenerativo, a diferencia de los anteriores en que el motor es llevado a completo reposo, se aplica a un sistema donde la carga ejerce torque negativo sobre el motor, impulsándolo como si fuese un generador logrando devolver energía a la fuente. Este tipo de frenado es una modificación del frenado dinámico, requiere que la tensión inducida sea mayor que la tensión de la fuente. Esto significa que la rotación debe ser mayor que la normal, condición que es posible alcanzar solamente si la carga es de un carácter persecutorio, como en un ferrocarril en marcha cuesta abajo, un ascensor que está descendiendo o un automóvil cuesta abajo. Fuera del exceso de velocidad, se puede general si se aumenta la intensidad de excitación lo suficiente como para superar la tensión de la fuente; en otros casos, cuando varios motores impulsan una carga común, pueden ser conectados en diversas combinaciones serie o paralelo. El frenado regenerativo es de aplicación también, cuando se desea mantener limitada la velocidad de una carga dada.

IV Selección, instalación y mantenimiento de un Motor c- d

Objetivo

Conocer los criterios para seleccionar y dar mantenimiento a motores de c-d

Habilidades por desarrollar en la unidad

Selección de motores de c-d para diferentes aplicaciones de carga

Conocer el mantenimiento y fallas mas frecuentes en las máquinas de c-d

Saber en la Teoría (8 hrs.)

La selección de una máquina de c-d, se realiza en función de las condiciones paramétricas de velocidad, carga mecánica, par de arranque, así como del voltaje de la fuente, condiciones de trabajo y situación de montaje, entre otros.

Una vez sabiendo las características de operación (analizadas en la unidad anterior), corresponde a la habilidad del encargado de montaje, la instalación del mismo. Para el caso del mantenimiento de éstos motores, es imprescindible, conocer el principio de operación, distinguir sus componentes y su forma de montaje y construcción

Motor en derivación

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).

El motor en derivación se utiliza en aplicaciones de velocidad constante, como en los accionamientos para los generadores de corriente continua en los grupos motogeneradores de corriente directa, así como también en aplicaciones como son ventiladores y bombas

Motor serie

El motor devanado en serie se usa en aplicaciones en las que se requiere un alto par de arranque, como en la tracción eléctrica, grúas, malacates, bombas hidráulicas de pistón y en general en aquellos procesos donde lo importante sea vencer un par de gran precisión en la velocidad.

Motor compound

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

El mayor uso del motor compound aditivo es en estrujadoras, grúas tracción, calandras, ventiladores, prensas, limadores, etcétera.

El motor compound diferencial presenta el peligro de embalsarse para fuertes cargas, por lo que su empleo es muy limitado.

Los motores de excitación independiente tienen como aplicaciones industriales el torneado y taladrado de materiales, trefilación, extrusión de materiales plásticos y goma, ventilación de horno, retroceso rápido en vacío de ganchos de grúas, desenrollado de bobinas y retroceso de útiles para serrar.

Los motores de imán permanente se emplean para el movimiento de maquinaria (tornos) en procesos de fabricación automática, arrastres de cintas de audio y video, movimiento de cámaras, etc.

Características de los motores de c-d

Motor con excitación en derivación (shunt)

- Par de arranque menor que en el motor serie.
- Muy estable.
- Requiere reóstato de arranque en el inducido.
- Utilizado en máquinas herramientas.

Motor de excitación serie

- Par de arranque muy elevado.
- Difícil control de velocidad.
- Requiere reóstato de arranque.
- Se utiliza para tracción eléctrica.

Motor con excitación compuesta

- Par de arranque más elevado que el motor en derivación.
- Muy estable.
- Requiere reóstato de arranque en el inducido.
- Utilizado en máquinas herramientas y para tracción.

Motor de excitación independiente

- Par de arranque muy elevado.
- Fácil control de velocidad en forma automática.
- Requiere reóstato de arranque.
- Se utiliza en motores pequeños.

Mantenimiento de motores eléctricos

Los mantenimientos de los motores eléctricos son de gran importancia para el funcionamiento óptimo de estos, ya que con esto se logra mayor vida útil del motor y menores fallas en los procesos.

Hay dos tipos de mantenimientos, el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo.

Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo reduce la necesidad de reemplazar las partes, ya que a lo largo del tiempo permite un mayor cuidado del motor.

Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se lleva a cabo cuando aparece algún problema. Durante esta fase es común el reemplazo de partes y componentes de los motores.

El cumplimiento de un programa de mantenimiento para inspeccionar, limpiar, lubricar, ajustar y probar todos los motores accesibles de una instalación, debe ser en forma sistemática, ya que con esto prevenimos fallas prematuras en el sistema eléctrico.

Un programa de mantenimiento preventivo ayuda a limitar el número de interrupciones en el servicio, para esto podemos verificar periódicamente los siguientes puntos:

- 1) Limpieza general
- 2) Las condiciones eléctricas
- 3) La temperatura ambiente y la ventilación apropiada
- 4) El alineamiento del motor con la carga.
- 5) La lubricación apropiada y el desgaste de las chumaceras del motor y de la carga
- 6) El deterioro del aislamiento de los devanados del motor
- 7) Las condiciones en que se encuentran el conmutador o anillos rozantes del rotor (en el caso de rotor devanado)
- 8) Las condiciones en que se encuentran escobillas y porta escobillas (en el caso de rotor devanado)
- 9) Efectuar mediciones de las características eléctricas del motor (Voltaje y corriente de trabajo) y compararlos con los valores nominales marcados por el fabricante.
- 10) Inspección de los circuitos de control de mando, así como los dispositivos de potencia con los que se arranca el motor.
- 11) Verificación del juego que pueda tener la flecha del rotor, para determinar el estado de las chumaceras
- 12) Conservar los registros de mantenimiento y verificar las reparaciones hechas del motor

Fallas y causas probables en máquinas eléctricas de c-d

1.- El generador no genera voltaje

- a. Velocidad muy baja o invertida
- b. Campo en circuito abierto
- c. Magnetismo residual insuficiente
- d. La salida en cortocircuito

2.- Voltaje del generador muy alto (o bajo)

- a. Corriente de campo alta (o baja)
- b. El motor propulsor muy rápido (o lento)
- c. .Regulador defectuoso

3. El motor no arranca

- a. No hay potencia (circuito abierto)
- b. Conexiones impropias
- c. Sobrecarga eléctrica intensa: cojinetes o conmutador averiado
- d. Arrancador defectuoso

4. El motor gira muy rápido (o muy lento)

- a. Corriente de campo baja (alta)
- b. Campo abierto (parcialmente en corto circuito).
- c. Conexiones incorrectas
- d. Bobinas de la armadura en cortocircuito
- e. Carga incorrecta - muy pequeña (o excesiva)

5.-Chisporroteo entre escobillas y conmutador

- a. Sobrecarga
- b. Contacto ligero de las escobillas, conmutador desgastado
- c. Las escobillas están en un ángulo incorrecto o la bobina de conmutación defectuosa
- d. Bobinas de la armadura abiertas o en cortocircuito
- e. Corriente de campo incorrecta

6.- Ruido, vibración excesiva

- a. Cojinetes defectuosos -juego excesivo
- b. Golpeo de la armadura con los polos
- c. Desbalance de la armadura

7. Cojinetes calientes

- a. Falta de lubricante o cojinetes sucios
- b. Cojinetes defectuosos
- c. Alineamiento defectuoso o cojinetes muy apretados
- d. Flecha torcida o desbalanceada

8. Partes eléctricas sobrecalentadas

- a. Sobrecarga (todas las partes calientes)
- b. Corriente de campo excesiva (campo caliente)
- c. Escobillas y conmutador desalineados o desgastados (escobillas y conmutador calientes)
- d. Bobinas de la armadura en cortocircuitos (armadura caliente)

V Motores Especiales

Objetivo

Que el alumno conozca el funcionamiento de los motores especiales y de inducción monofásicos

Habilidades por desarrollar en la unidad

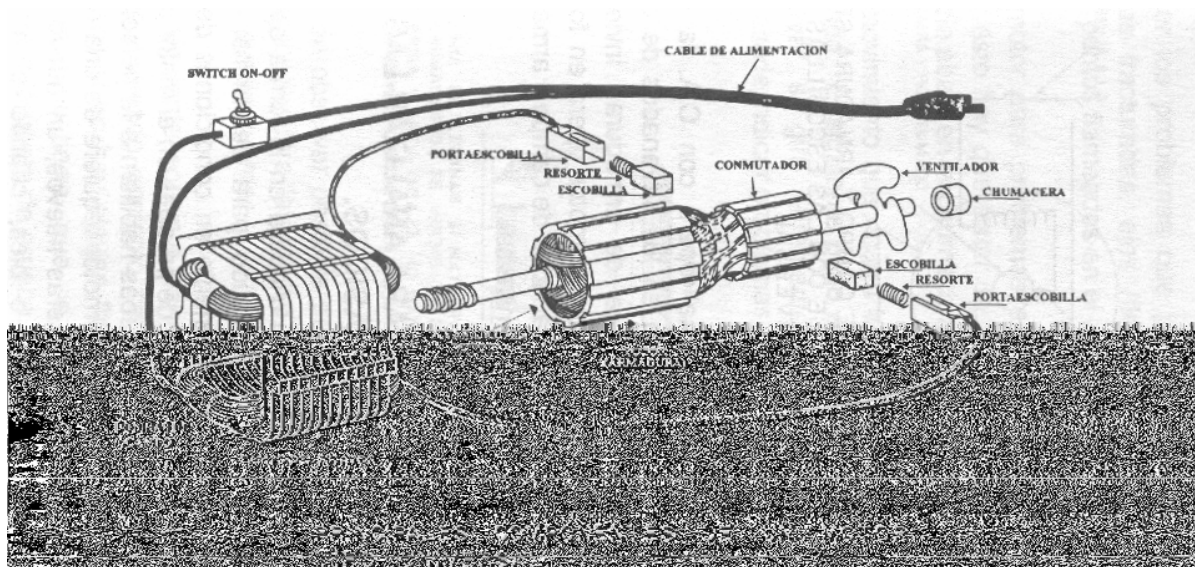
Conocer y controlar el funcionamiento de un motor universal
Conocer y controlar el funcionamiento de un motor paso a paso
Conocer el principio de funcionamiento de los motores de reluctancia

Saber en la Teoría (4 hrs.)

Motores Universales

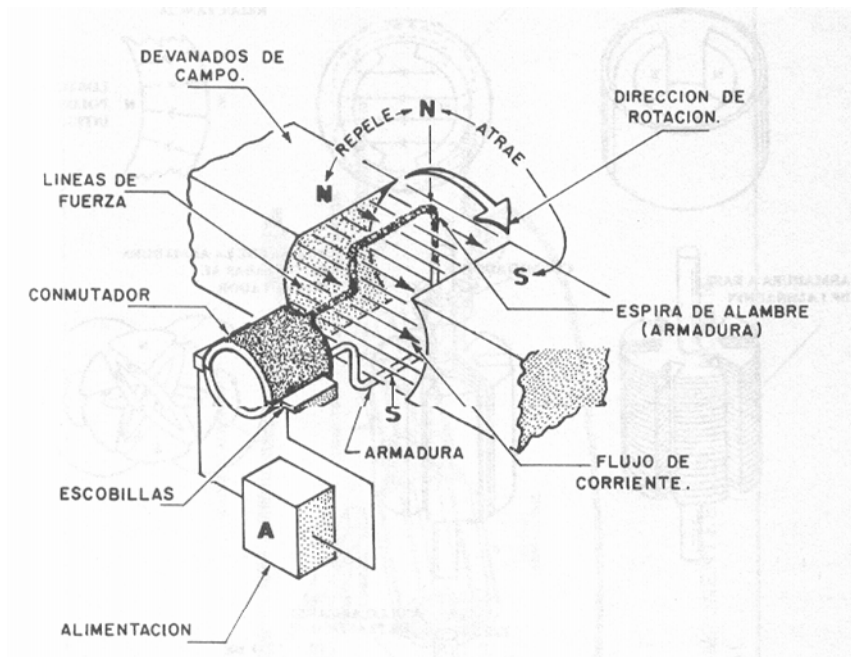
Los motores universales son pequeños motores con devanado en serie que operan con voltaje de corriente directa (C.D.) o de corriente alterna (C.A.). El motor de hecho se debe comportar de la misma manera ya sea que se use con C.A. o con C.D, se diseñan y construyen en tamaños de 3/4 de **HP** o menores. Los motores universales tipo fraccionario pueden ser de 1/150 menores.

Los motores universales tienen prácticamente la misma construcción que los motores de C.D. ya que tienen un devanado de campo y una armadura con escobillas y conmutador.



El conmutador mantiene a la armadura girando a través del campo magnético del devanado de campo, también cambia el flujo de corriente con relación al devanado de campo y la armadura; es decir, cumple con una función de empujar y jalar.

Esta acción de jalar y empujar esta creada por los polos norte y sur de los devanados de campo y armadura. El polo norte de los devanados de campo jala al polo sur de la armadura (espira) hacia el interior de la parte principal del campo magnético. El conmutador y las escobillas invierten el flujo de corriente a través de la armadura, creando un polo norte en la espira. El polo norte del devanado de campo repele entonces al polo norte de la armadura. Esta acción de empujar y jalar produce la acción de giro de la armadura a través del campo magnético del devanado de campo, estableciendo de esta manera la operación del motor



Aplicaciones de los motores universales

El motor universal tiene la característica par - velocidad descendente, de modo que no es adecuado para aplicaciones de velocidad constante. Sin embargo por ser compacto y dar más amperio que cualquier otro motor monofásico, se utiliza en aplicaciones donde se requieren un peso ligero y alto par.

Aplicaciones típicas de este motor son las aspiradoras eléctricas, los taladros y las herramientas manuales similares, así como los utensilios de cocina.

Motores paso a paso



Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos.

La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° .

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas está energizada, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

En este capítulo trataremos solamente los motores P-P del tipo de imán permanente, ya que estos son los mas usados en robótica.

Principio de funcionamiento

Básicamente estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator.

Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) deber ser externamente manejada por un controlador.

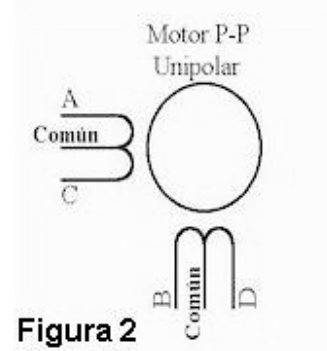
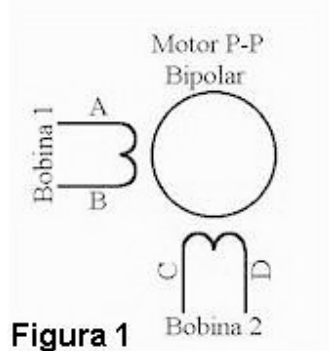


Imagen del rotor



Imagen de un estator de 4 bobinas

Existen dos tipos de motores paso a paso de imán permanente:



- **Bipolar:** Estos tienen generalmente cuatro cables de salida (ver figura 1). Necesitan ciertos trucos para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. En figura 3 podemos apreciar un ejemplo de control de estos motores mediante el uso de un puente en H (H-Bridge). Como se aprecia, será necesario un H-Bridge por cada bobina del motor, es decir que para controlar un motor Paso a Paso de 4 cables (dos bobinas), necesitaremos usar dos H-Bridges iguales al de la figura 3. El circuito de la figura 3 es a modo ilustrativo y no corresponde con exactitud a un H-Bridge. En general es recomendable el uso de H-Bridge integrados como son los casos del L293 (ver figura 3 bis).

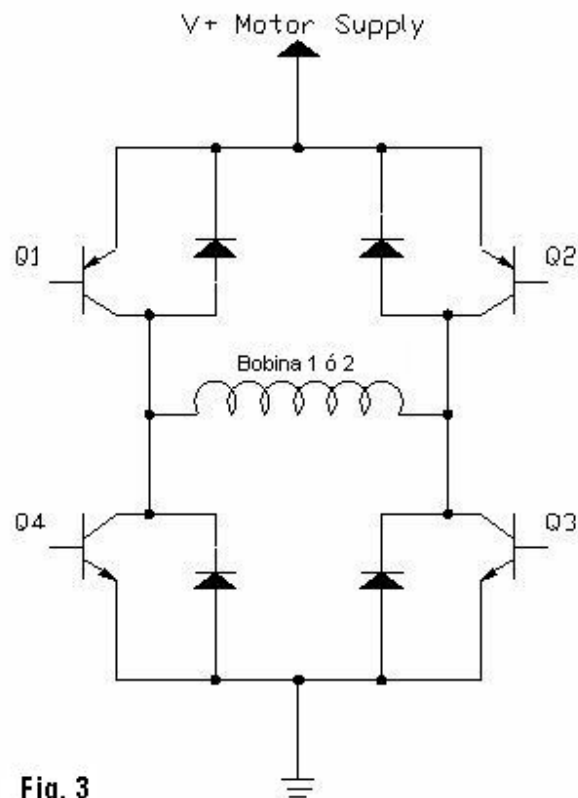


Fig. 3

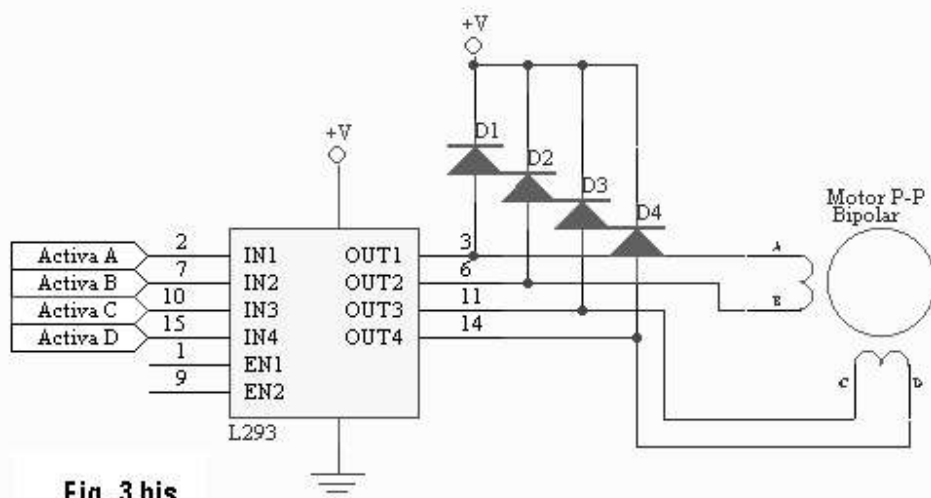
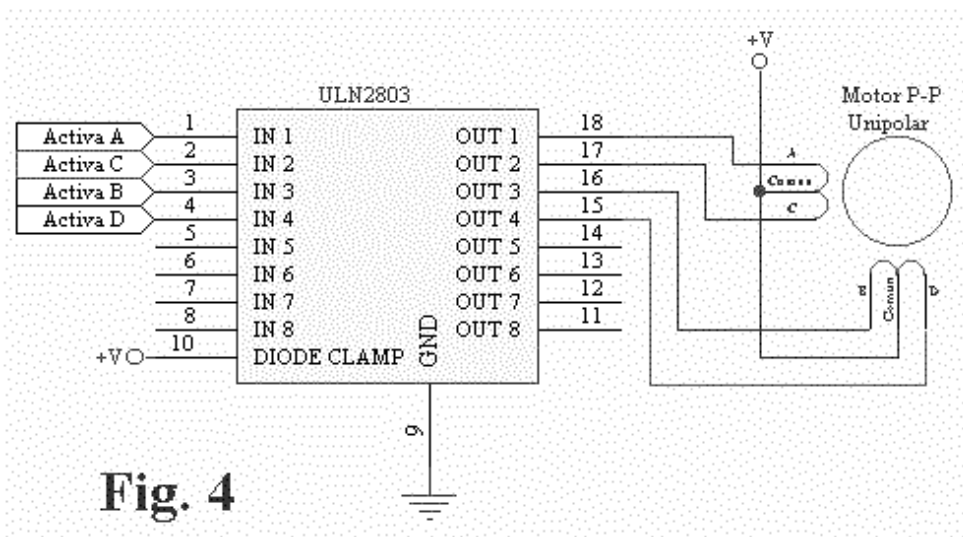


Fig. 3 bis

- **Unipolar:** Estos motores suelen tener 6 o 5 cables de salida, dependiendo de su conexionado interno (ver figura 2). Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar. En la figura 4 podemos apreciar un ejemplo de conexionado para controlar un motor paso a paso unipolar mediante el uso de un ULN2803, el cual es una array de 8 transistores tipo Darlington capaces de manejar cargas de hasta 500mA. Las entradas

de activación (Activa A, B , C y D) pueden ser directamente activadas por un microcontrolador.



Secuencias para manejar motores paso a paso Bipolares

Como se dijo anteriormente, estos motores necesitan la inversión de la corriente que circula en sus bobinas en una secuencia determinada. Cada inversión de la polaridad provoca el movimiento del eje en un paso, cuyo sentido de giro está determinado por la secuencia seguida. A continuación se puede ver la tabla con la secuencia necesaria para controlar motores paso a paso del tipo Bipolares:

PASO	TERMINALES			
	A	B	C	D
1	+V	-V	+V	-V
2	+V	-V	-V	+V
3	-V	+V	-V	+V
4	-V	+V	+V	-V

Secuencias para manejar motores paso a paso Unipolares

Existen tres secuencias posibles para este tipo de motores, las cuales se detallan a continuación. Todas las secuencias comienzan nuevamente por el paso 1 una vez alcanzado el paso final (4 u 8). Para revertir el sentido de giro, simplemente se deben ejecutar las secuencias en modo inverso.

Secuencia Normal: Esta es la secuencia más usada y la que generalmente recomienda el fabricante. Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto torque de paso y de retención.

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	ON	OFF	OFF	
2	OFF	ON	ON	OFF	
3	OFF	OFF	ON	ON	
4	ON	OFF	OFF	ON	

Secuencia del tipo wave drive: En esta secuencia se activa solo una bobina a la vez. En algunos motores esto brinda un funcionamiento mas suave. La contrapartida es que al estar solo una bobina activada, el torque de paso y retención es menor.

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	

2	OFF	ON	OFF	OFF	
3	OFF	OFF	ON	OFF	
4	OFF	OFF	OFF	ON	

Secuencia del tipo medio paso: En esta secuencia se activan las bobinas de tal forma de brindar un movimiento igual a la mitad del paso real. Para ello se activan primero 2 bobinas y luego solo 1 y así sucesivamente. Como vemos

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	ON	ON	OFF	OFF	
3	OFF	ON	OFF	OFF	

4	OFF	ON	ON	OFF	
5	OFF	OFF	ON	OFF	
6	OFF	OFF	ON	ON	
7	OFF	OFF	OFF	ON	
8	ON	OFF	OFF	ON	

Como comentario final, cabe destacar que debido a que los motores paso a paso son dispositivos mecánicos y como tal deben vencer ciertas inercias, el tiempo de duración y la frecuencia de los pulsos aplicados es un punto muy importante a tener en cuenta. En tal sentido el motor debe alcanzar el paso antes que la próxima secuencia de pulsos comience. Si la frecuencia de pulsos es muy elevada, el motor puede reaccionar en alguna de las siguientes formas:

- Puede que no realice ningún movimiento en absoluto.
- Puede comenzar a vibrar pero sin llegar a girar.
- Puede girar erráticamente.
- O puede llegar a girar en sentido opuesto.

Para obtener un arranque suave y preciso, es recomendable comenzar con una frecuencia de pulso baja y gradualmente ir aumentándola hasta la velocidad deseada sin superar la máxima tolerada. El giro en reversa debería también ser realizado previamente bajando la velocidad de giro y luego cambiar el sentido de rotación.

Se desarrollará en esta sección, exclusivamente, la parte teórica que se indica. Utilizar díganme

este tipo de letra, tamaño y espacio entre párrafos. (arial, tamaño 11, justificado sin negrillas, interlineado sencillo)¹

Saber Hacer en la practica (Número hrs.)

Texto del contenido de la columna Saber hacer (práctica) de la hoja de asignatura con desglose de unidades temáticas

¹ De esta forma se harán las referencias bibliográficas.

Se desarrollará explicativamente la actividad de la práctica. Esto será un ejercicio o una práctica resueltos. Es importante que en esta parte el profesor enseñe a los alumnos como hacer o resolver la parte practica. Usar el mismo tipo de letra, tamaño y párrafo.²

Resolver las prácticas de la Guía de Prácticas de la asignatura.

Guía de Prácticas

Prácticas de la unidad 1

**PRÁCTICA No. _1_
GENERADOR SINCRONO
(Parte I)**

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

1. Objetivo.

- Conocer físicamente las partes que conforman una máquina síncrona

2. Materiales y/o equipos.

- 1 Generador Síncrono
- 1 Pinzas Mecánicas
- 1 Desarmador Plano
- 1 Matillo de Bola de Plástico
- 1 Llave Perica
- 1 Juego de llaves allen milimétricas

3. Desarrollo general.

a.- Tome los datos de placa del generador síncrono que le sea proporcionado por el instructor

b.- Dibuje e identifique de la cara frontal del generador , el devanado de campo y el devanado de armadura

c.- Desarme el generador y dibuje e identifique cada una de las siguientes partes que lo integran.

- Devanado de campo
- Devanado de armadura
- Anillos deslizantes
- Escobillas
- Porta escobillas

e.- Describa brevemente la función de cada uno de los componentes anteriores

f.- Describa brevemente el funcionamiento básico de un Generador síncrono

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

Prácticas de la unidad 1

**PRÁCTICA No. 2
GENERADOR SINCRONO
(Parte II)**

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

1. Objetivo.

- Observar y medir el voltaje de salida de un generador sincrónico cuando se varía la intensidad de campo o bien la velocidad de movimiento de rotación de la armadura.

2. Materiales y/o equipos.

- a).- 1 Generador Sincrono
- b).- 1 Motor de inducción trifásico
- c).- 2 Multímetros
- d).- 25 Cables de conexión
- e).- 1 Frecuencímetro
- f).- Fuente variable de energía c-a (0 –220 Vca)
- g).- Fuente variable de energía de c-d (0-220 Vcd)

3. Desarrollo general.

- a).- Conecte el circuito ilustrado en la figura que aparece en el punto de anexos
 - El motor de jaula de ardilla se usará para impulsar el generador sincrónico durante este experimento
 - Acople el motor de jaula de ardilla al alternador.
- b).- Ajuste el reostato de campo del alternador a su posición extrema moviendo el control en el sentido de las manecillas de reloj (Para una resistencia cero) .
- c).- Ponga la perilla de control del voltaje de la fuente a su posición extrema haciéndola en sentido contrario a las manecillas de reloj (para un voltaje en c-d igual a cero)

- d).- Conecte la fuente de alimentación . El motor debe comenzar a funcionar
- e).- Siendo nula la excitación de c-d, mida y anote E_1 , E_2 y E_3
- f).- Explique por que se genera un voltaje de c-a cuando no hay excitación de c-d
- g).- Aumente gradualmente la excitación de c-d, para cada uno de los siguientes valores que aparecen en la tabla del punto de anexos
- h).- Mida y anote en la tabla 1 del punto de anexos los parámetros que se le piden
- i).- Varíe la velocidad del motor impulsor con la corriente nominal de campo del generador y explique lo que sucede con el voltaje generado

ANEXOS (Diagramas, dibujos, formulas, ayuda visual, etc.)

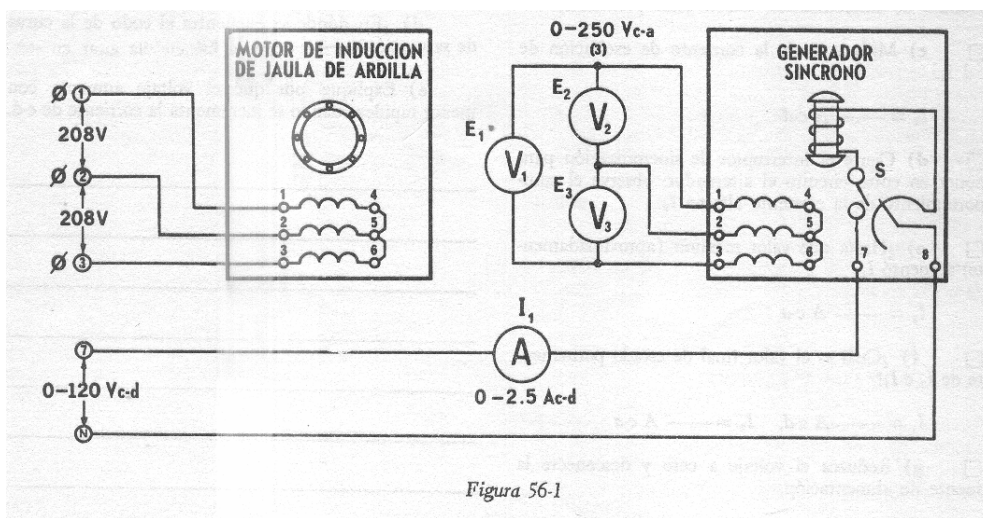


Figura 56-1

Velocidad	Frecuencia	Corriente de campo	Voltaje E1	Voltaje E2	Voltaje E3
		0.1 Amper			
		0.2 amper			
		0.3 Amper			
		0.4 Amper			

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

Prácticas de la unidad 1

PRÁCTICA No. 3
EL GENERADOR SÍNCRONO CON CARGA

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

1. Objetivo.

- Determinar el voltaje de salida y el porcentaje de regulación de un generador cuando se opera con carga resistiva, inductiva y capacitiva

2. Materiales y/o equipos.

- 1 Generador Sincrono
- 1 Motor de inducción trifásico
- 2 Multímetros
- 25 Cables de conexión
- 1 Frecuencímetro

3. Desarrollo general.

- a).- Con al ayuda del maestro conecte el circuito ilustrado en la figura que aparece en el punto de anexos
 - El motor de c-d se usará para impulsar el generador síncrono durante este experimento

Observe que la carga resistiva balanceada está conectada en estrella a la salida trifásica del alternador. (Ajuste cada sección de resistencia a un valor de 300 ohms)

- b) El interruptor del módulo de la fuente de alimentación de c-d debe de estar colocado en posición abierta antes de efectuar cualquier operación con el motor de c-d
- c).- Ajuste el reóstato de arranque del motor de c-d a su posición máxima para una resistencia grande .
- d).- Ajuste el reóstato de campo del motor de c-d a su posición mínima para una resistencia cero.
- e).- Alimente el motor de c-d y controle su velocidad siguiendo los siguientes pasos.

- Ajustar la fuente de alimentación variable de c-c hasta obtener 220 volts entre terminales del motor
- Disminuya el reóstato de arranque hasta obtener una velocidad máxima en el motor
- Aumente el reóstato de excitación de campo hasta obtener una velocidad de 3600 RPM en el motor impulsor

Nota:

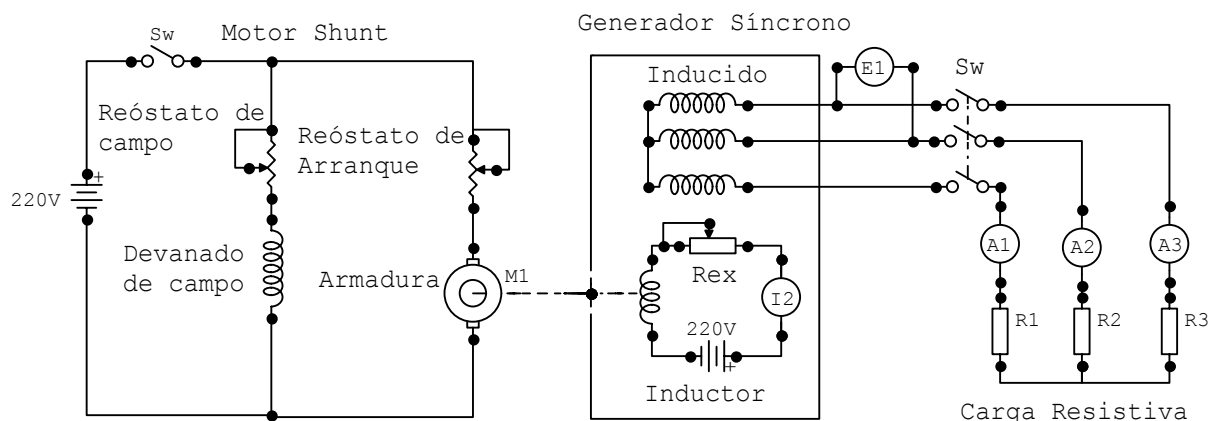
Esta velocidad se debe mantener constante durante el resto de este experimento de laboratorio

f).-Ajuste la excitación de c-d del alternador hasta que el voltaje de salida $E_1 = 220V$ c-a

g).- Mida y anote la corriente de campo del generador y la corriente se está suministrando a la carga

$$I_2 = \text{_____ A c-d}, \quad I_L = \text{_____ A c-a}$$

ANEXOS (Diagramas, dibujos, formulas, ayuda visual, etc.)



h) Abra los interruptores de las 3 resistencias de carga, para que el alternador trabaje en vacío, y mida y anote E_1 e I_2 . Recuerde que debe comprobar la velocidad del motor y ajustarla a 3600 Rev/min, si fuera necesario.

$$E_1 = \text{_____ Vc-a}, \quad I_2 = \text{_____ A c-d}$$

e) Reduzca el voltaje a cero y desconecte la fuente de alimentación.

.- Calcule la regulación del alternador con carga resistiva.

$$\% \text{ de regulación} = \frac{\text{volts en vacío} - \text{volts a plena carga}}{\text{volts a plena carga}}$$

volts a plena carga

Carga Inductiva

- Reemplace la carga resistiva con una inductiva, utilizando el bloque de inductancias
- Ajuste cada sección de inductancia a una reactancia X_L de 300 ohms.
- Repita los procedimientos del inciso "b" hasta el inciso "h" , y anote los valores a plena carga de I_L e I_2

$$I_L = \text{_____} \text{ A c-a, } I_2 = \text{_____} \text{ A c-d}$$

- Mida y anote los valores de E_1 e I_2 en vacío

$$E_1 = \text{_____} \quad I_2 = \text{_____}$$

- Calcule la regulación del alternador con carga Inductiva .

$$\% \text{ de regulación} = \frac{\text{volts en vacío} - \text{volts a plena carga}}{\text{volts a plena carga}}$$

- Con carga inductiva, ¿ cómo influye la fuerza magnetomotriz del estator en la del rotor, magnetiza el rotor o lo desmagnetiza?. _____

Carga Capacitiva

- Reemplace la carga inductiva con una capacitiva , utilizando el bloque de capacitancias
- Ajuste cada sección de capacitancia a una reactancia X_C de 300 ohms.
- Repita los procedimientos del inciso "b" hasta el inciso "h" , y anote los valores a plena carga de I_L e I_2

$$I_L = \text{_____} \text{ A c-a, } I_2 = \text{_____} \text{ A c-d}$$

- Mida y anote los valores de E_1 e I_2 en vacío

$$E_1 = \text{_____} \text{ V c-a } \quad I_2 = \text{_____} \text{ A c-d}$$

- Calcule la regulación del alternador con carga Inductiva .

$$\% \text{ de regulación} = \frac{\text{volts en vacío} - \text{volts a plena carga}}{\text{volts a plena carga}}$$

- Con carga capacitiva, ¿ cómo influye la fuerza magnetomotriz del estator en la del rotor, magnetiza el rotor o lo desmagnetiza? _____

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

Prácticas de la unidad 2

PRÁCTICA No. 1
LA MÁQUINA SÍNCRONA COMO GENERADOR Y MOTOR

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

1. Objetivo.

- Demostrar la forma de como se puede empáralelar un generador síncrono con la red de distribución eléctrica
- Hacer funcionar el generador síncrono como motor

2. Materiales y/o equipos.

- 1 Generador Sincrono
- 1 Motor Shunt de c-d
- 2 Multímetros
- 40 Cables de conexión
- 2 Frecuencímetro
- 1 Módulo de sincronización
- 1 Medidor de velocidad
- 1 Modulo de medición de potencia eléctrica, corriente y voltaje
- 1 Reóstato de excitación y un reóstato de arranque
- 1 Fuente variable de energía c-a (0 –220 Vca)
- 1 Fuente variable de energía de c-d (0-220 Vcd)

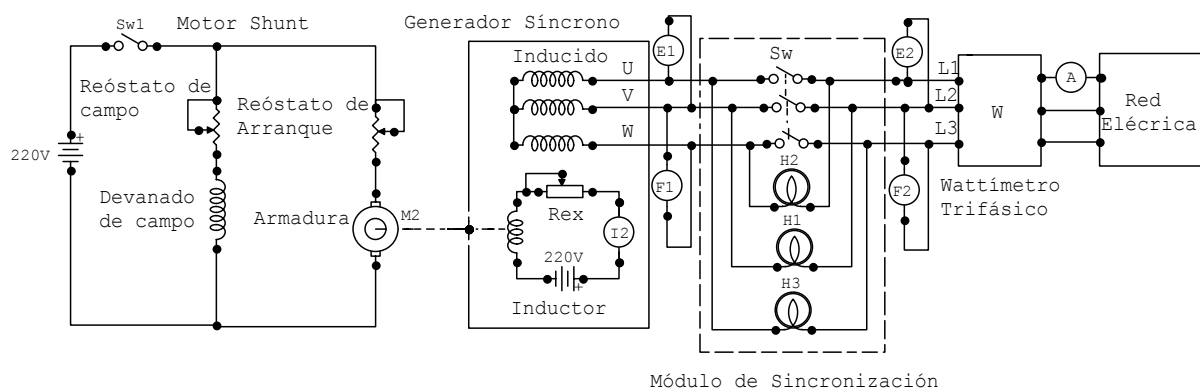
3. Desarrollo general.

- a).- Conecte el circuito ilustrado en la figura que aparece en el punto de anexos
 - El motor de c-d se usará para impulsar el generador síncrono durante este experimento
- b) El interruptor del módulo de sincronización debe de estar colocado en posición abierta antes de efectuar cualquier operación con el motor de c-d
- c).- Ajuste el reóstato de arranque del motor de c-d a su posición máxima para una resistencia grande .

- d).- Ajuste el reóstato de campo del motor de c-d a su posición mínima para una resistencia cero.
- e).- Alimente el motor de c-d y controle su velocidad siguiendo los siguientes pasos.
- Ajustar la fuente de alimentación variable de c-c hasta obtener 220 volts entre terminales del motor
 - Disminuya el reóstato de arranque hasta obtener una velocidad máxima en el motor
 - Aumente el reóstato de excitación de campo hasta obtener una velocidad de 3600 RPM en el motor
- f).- Medir el voltaje el voltaje y la frecuencia de la red eléctrica
- $E1 = \underline{\hspace{2cm}}$ $f = \underline{\hspace{2cm}}$
- g).- Mencione 4 condiciones que deben de cumplirse par realizar el acoplamiento paralelo de 2 alternadores
- h).- Regule la intensidad de la corriente de campo del alternador hasta obtener un voltaje generado igual a la tensión de la red eléctrica.
- i).- Mida y anote la frecuencia de salida del alternador, debe de ser igual a la frecuencia de red
- j).- Observar las luces H1,H2 y H3 del modulo de sincronización, se notara que se prenden y se apagan con un orden de sucesión
- k).- En el instante en el cual H1 esta apagada y H2 y H3 presentan la misma luminosidad cerrar el interruptor en paralelo, el alternador se conectara entonces en paralelo con la red de distribución de energía eléctrica sin que exista ningún problema de cortocircuito

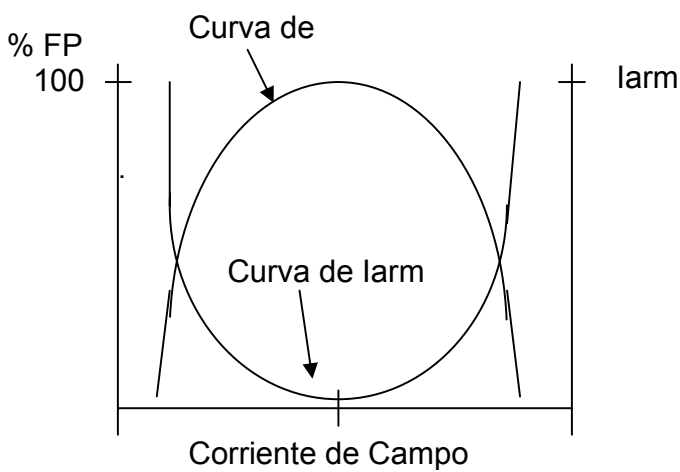
Nota : Si las luces no siguen la secuencia indicada anterior cambiar una fase del generador o de la red

ANEXOS (Diagramas, dibujos, formulas, ayuda visual, etc.)



- L.- Con el paralelo realizado, abrir el interruptor de la salida de cc variable. El motor de arrastre se desconectará y será arrastrado por el alternador que ha pasado automáticamente a funcionar como motor sincrónico.
- M.- Aumente la corriente de excitación de campo de la máquina sincrónica de manera que el motor tome una corriente de armadura aproximadamente del 10 – 20 % superior al valor nominal.. Tomar anotaciones de los valores indicados en los instrumentos
- N.- Reducir progresivamente la excitación y anotar los valores indicados en los instrumentos. Se notara que al reducir la corriente de excitación también se reduce la corriente absorbida hasta alcanzar un valor mínimo, para a continuación volver aumentar, determinando de esta manera la curva típica en V del motor síncrono, cuando éste se trabaja en estado subexcitado , normal y sobreexcitado.

I_{exc}	I_{arm}	P_{abs}	Q_{react}	$\cos\theta$	Notas



4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

Prácticas de la unidad 3**PRÁCTICA No. _1_****CONTROL DE VELOCIDAD UN MOTOR SHUNT DE C-D**

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

1. Objetivo.

- Observar el comportamiento de un motor de conexión shunt cuando se controla su velocidad por el devanado de campo o por el devanado de armadura
- Realizar el cambio de rotación de un motor shunt de c-d
- Observar el comportamiento delo motor shunt cuando su devanado de campo se abre

2. Materiales y/o equipos.

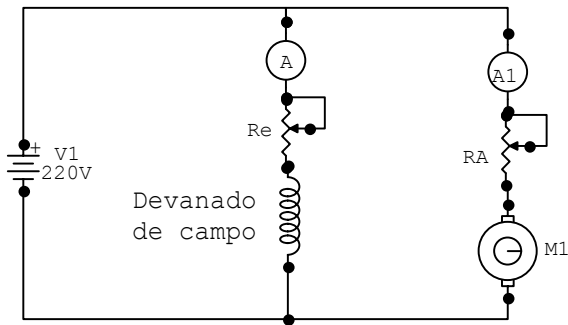
- 1 Motor Shunt de corriente directa de 220 V dc de 1 KW
- 2 Multímetros
- 25 Cables de conexión de 1m
- 1 Reóstato de excitación de campo
- 1 Reóstato de Arranque
- 1 Fuente variable de 0 –220 V c-d

3. Desarrollo general.

a.- Conecte el siguiente circuito como se ilustra en la siguiente figura.

Nota

No active la fuente de alimentación de corriente directa sin antes ajustar los reóstatos de control de velocidad del motor



- b.- Ajuste el reóstato de arranque a máxima resistencia.
- c.- Ajuste el reóstato de excitación a mínima resistencia
- d.- Active la fuente de alimentación variable de corriente directa y ajuste el voltaje al valor nominal de alimentación del motor
- e.- Disminuya gradualmente el reóstato de arranque y describa lo que sucede
- f.- Aumente el reóstato de campo y describa lo que sucede.
- g.- Intercambie las conexiones del devanado de armadura y describa lo que sucede
- h.- Intercambie las conexiones del devanado de campo y describa lo que sucede
- i.- Pídale a su instructor que realice la prueba de campo abierto y describa lo que sucede.
- j.- Explique por que es necesario tener una resistencia alta en el devanado de armadura cuando el motor se arranca.

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

Prácticas de la unidad 3

**PRÁCTICA No. 2
POTENCIA , PAR Y EFICIENCIA DE UN MOTOR DE CONEXIÓN SHUNT”**

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

1. Objetivo.

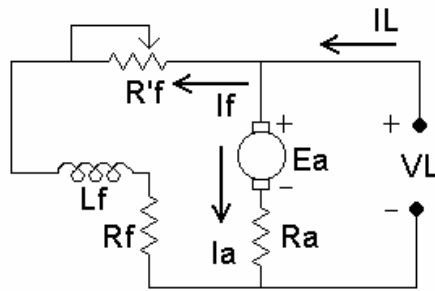
- Determinar las características de par - velocidad con corriente de excitación nominal de campo
- Determinar las características de velocidad – corriente absorbida con corriente de excitación nominal de campo
- Determinar el porcentaje de regulación de velocidad

2. Materiales y/o equipos.

- Motor Shunt de corriente directa de 220 V dc de 1 KW
- Multímetros
- 25 Cables de conexión
- Fuente variable de 220 Vcd

3. Desarrollo general.

- Conectar el circuito como se ilustra en la figura
- Ajustar la fuente de alimentación variable de c-c hasta obtener 220 volts entre terminales del motor
- Ajustar el reóstato de arranque hasta obtener la velocidad nominal del motor
- Ajustar el reóstato de excitación de campo hasta obtener el voltaje y la corriente nominal de trabajo



Motor en derivación

Nota

En ocasiones es necesario ajustar los dos reóstatos para obtener la velocidad nominal del motor, pero teniendo cuidado de no sobrepasar los valores nominales de corriente y voltaje de campo.

CALCULOS

a).- Calcular el Par nominal con los datos de placa del motor

Utilizar el freno electromagnético como dispositivo de carga, ajustándolo desde un par inicial cero hasta el par nominal del motor ($T = 0, \frac{1}{4} T, \frac{2}{4} T, \frac{3}{4} T, \frac{4}{4} T$)

Una vez obtenido el par nominal del motor se puede calcular el brazo de medida correspondiente. (Distancia)

Nota : Utilizar el peso de medida de 20 N

$$T = Fd$$

Calcular la distancia o brazo de medida para cada uno de los valores prefijados de par
($T = 0, \frac{1}{4} T, \frac{2}{4} T, \frac{3}{4} T, \frac{4}{4} T$)

Anotar en la siguiente tabla los valores correspondientes obtenidos durante la practica

Par	F	d	Velocidad	$I_t = I_a + I_f$	Pent	Psal	Eficiencia
T = 0							
1/4 T							
2/4 T							
3/4 T							
4/4 T							

Calcular el porcentaje de regulación de velocidad del motor desde vacío hasta plena Carga.

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

Prácticas de la unidad 3

PRÁCTICA No. 3
POTENCIA , PAR Y EFICIENCIA DE UN MOTOR COMPUESTO”

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

1. Objetivo.

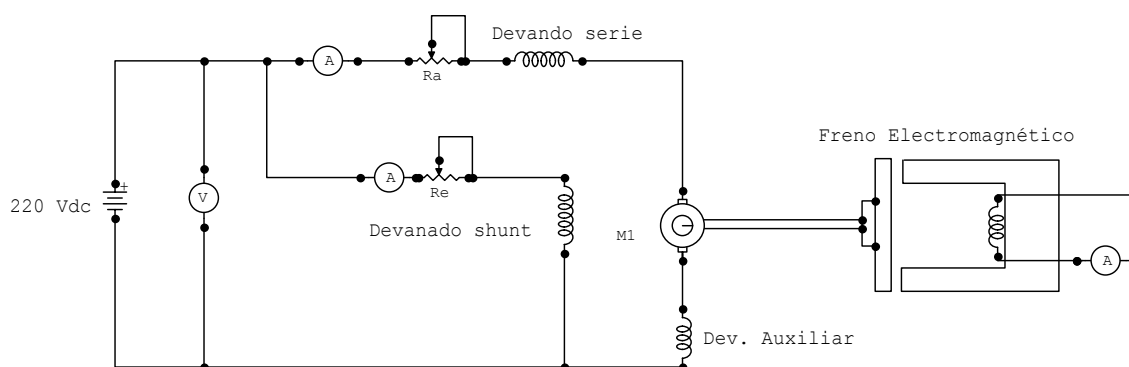
- Estudiar las características del par en función de la velocidad de un motor compuesto de c-d

2. Materiales y/o equipos.

- Motor compuesto de corriente directa de 220 V dc de 1 KW
- Multímetros
- 25 Cables de conexión
- Fuente variable de 220 Vcd

3. Desarrollo general.

a) Conecte el circuito tal como se ilustra en la siguiente figura.



b) Ajustar la fuente de alimentación variable de c-c hasta obtener 220 volts entre terminales del motor

c) Ajustar el reostato de arranque hasta obtener la velocidad nominal del motor

- d) Ajustar el reostato de excitación de campo hasta obtener el voltaje y la corriente nominal de trabajo

Nota

En ocasiones es necesario ajustar los dos reóstatos para obtener la velocidad nominal del motor, pero teniendo cuidado de no sobrepasar los valores nominales de corriente y voltaje de campo.

CALCULOS

- a).- Calcular el Par nominal con los datos de placa del motor

Utilizar el freno electromagnético como dispositivo de carga, ajustándolo desde un par inicial cero hasta el par nominal del motor ($T = 0$, $\frac{1}{4} T$, $\frac{2}{4} T$, $\frac{3}{4} T$, $\frac{4}{4} T$)

Una vez obtenido el par nominal del motor se puede calcular el brazo de medida correspondiente. (Distancia)

Nota : Utilizar el peso de medida de 20 N

$$T = Fd$$

Calcular la distancia o brazo de medida para cada uno de los valores prefijados

De par

($T = 0$, $\frac{1}{4} T$, $\frac{2}{4} T$, $\frac{3}{4} T$, $\frac{4}{4} T$)

Anotar en la siguiente tabla los valores correspondientes obtenidos durante la práctica

Par	F	d	Velocidad	$I_t = I_a + I_f$	Pent	Psal	Eficiencia
T = 0							
$\frac{1}{4} T$							
$\frac{2}{4} T$							
$\frac{3}{4} T$							
$\frac{4}{4} T$							

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

Prácticas de la unidad 3

**PRÁCTICA No. 4
FRENADO DINAMICO DE UN MOTOR SHUNT”**

Fecha	Grupo	
No de alumnos por práctica	No. de alumnos por reporte	
Nombre y firma del profesor		
Nombre (s) del alumno (s)		
Tiempo estimado	Hrs	Calificación

1. Objetivo.

- Realizar el arranque y frenado dinámico de un motor shunt

Marco teórico

En los frenados dinámicos la energía mecánica almacenada en las partes rotativas del sistema (Inercia de armadura del motor e inercia rotativa de la carga), se disipa convirtiéndola en energía eléctrica (Permitiendo que el motor funcione como generador), que se absorbe en una resistencia de frenado dinámico.

El propósito de frenado dinámico es obtener una parada rápida. La armadura se desconecta de la línea y se conecta una resistencia de frenado a través de la misma.

Por lo general la corriente de frenado es 150 % de la corriente nominal de armadura

2. Materiales y/o equipos.

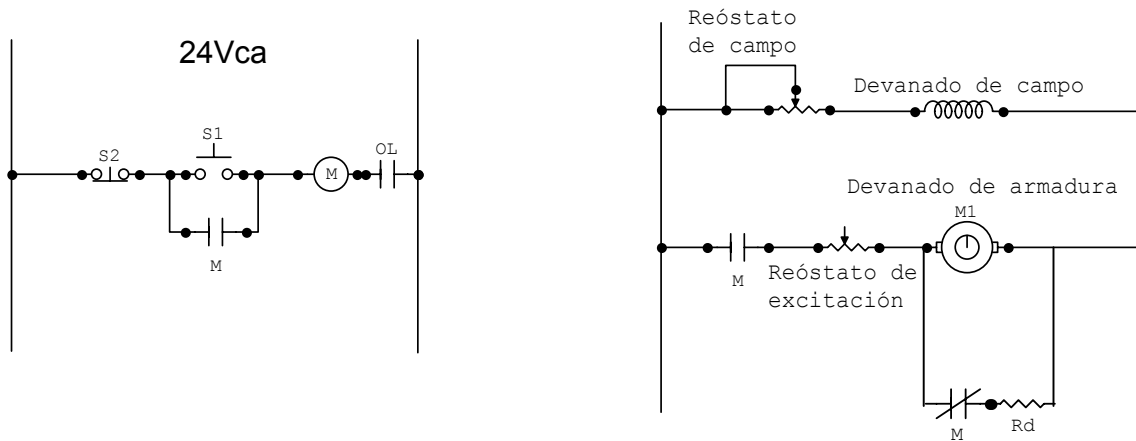
- a) .- Motor Shunt de corriente Directa de 220 V dc de 1 KW
- b).- 2 Multímetros
- c).- Cables de conexión
- d).- Banco de resistencias
- e).- Focos de 60 Watts

I**Herramienta, equipo:**

- a).- Fuente variable de 220 Vcd
- b).- 1 Desarmador plano
- c).- 2 llaves españolas de 3/16

3. Desarrollo general.

a).-Conecte el circuito el circuito de control y potencia tal como se ilustra en la siguiente figura. (No realice ninguna alimentación de los circuitos) .



- b).- Una vez realizado el circuito de control y de potencia, coloque el reóstato de arranque en máxima resistencia y el reóstato de campo en mínima resistencia.
- c).- Alimente el circuito de control con 127 volts, y al circuito de potencia con los valores nominales especificados con datos de placa del motor.
- d).- Arranque el motor y regule su velocidad con el reóstato de arranque hasta llegar a la velocidad nominal determinada por datos de placa.
- e).- Pare el motor y describa lo que sucede
- f).- Mida el tiempo en que tarda el motor en detenerse completamente.
- g).- Coloque una resistencia en paralelo con la resistencia de frenado dinámico de igual valor y repita los pasos anteriores.
- h).- Quite las resistencias y coloque en su lugar una lámpara de 60 watts
- i).- Repita la secuencia de operaciones del inciso d y e

4. Resultados y conclusiones de la práctica por parte del alumno.

Bibliografía

- 1 Manuales Delmar de electricidad y electrónica
Electricidad Tomo II
Editorial Diana
Primera edición de 1971
- 2 Máquinas Eléctricas
Stephen J. Chapman
Editorial Mc Graw Hill
Tercera edición
- 3 Experimentos con Equipo Eléctrico
Autor: Wildi y De Vito
Editorial Limusa
- 4 Electricidad Básica 5
Autor: Van Valkenburgh
Editorial: Cecsa
Primera edición
- 5 Paginas de internet

Motor Paso – Paso. <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>

Motor de corriente continua:
<http://html.rincondelvago.com/motores-de-corriente-continua.html>

Máquinas Eléctricas:
<http://endrino.cnice.mecd.es/~jhem0027/maquinaselectricas.htm>

Motores de corriente continua:
<http://personales.com/peru/arequipa/compuvari/>

Motores de corriente continua:
<http://html.rincondelvago.com/generadores-y-motores-de-corriente-continua.html>

Generadores:
<http://www.windpower.org/es/tour/wtrb/syncgen.htm>

Máquinas Eléctricas
http://alek.pucp.edu.pe/cursos/pregrado/iee215/pag_principal/maquinasel.htm