MOTOR ASÍNCRONO DE ROTOR BOBINADO O DE ANILLOS ROZANTES

OBJETIVOS

- Conocer los sistemas de protección utilizados en los MAR y los criterios para su selección
- Familiarizarse con los dispositivos de sistemas de control, y sus principales características.
- Conocer las normas que regulan el control y protección del MAR
- Conocer el ámbito en que se desarrollan la maquinas de anillos rozantes sus beneficios y sus desventajas.

INTRODUCCIÓN

Las maquinas de anillos rozantes por ser maquinas rotativas presentan una gran variedad de problemas y fallas, por lo que requieren de un sistema de control y protección que permita operar la maquina de manera eficiente y segura.

La buena implementación de los sistemas de protección y control traen consigo innumerables beneficios tanto directo como indirectos. Entre los primeros se encuentran, menor costo de reparación reducción de paradas del motor, aumento de la seguridad para el personal y además de esto producen indirectamente un elevado incremento en la producción.

Dada la importancia que tienen en las diversas áreas en las que se emplean motores especificamanete en el caso de las industrias en donde la producción depende de estas maquinas y que una falla o avería de la maquina pueda sign9ificar una gran perdida.

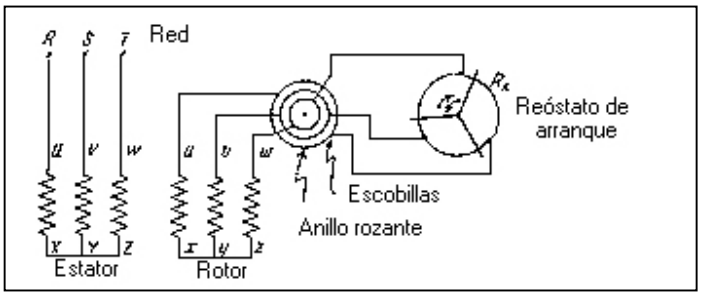
Por este motivo las empresas desarrollan planes coordinados entre las áreas de producción y mantenimiento para poder determinar las características de protección y control de la maquina a adquirir; tales como sensibilidad selectividad, estabilidad, confiabilidad, precisión, modularidad y reducido espacio.

CARACTERISTICAS

En estos motores, el estator posee las mismas características que el motor con rotor en cortocircuito, pero el rotor se construye insertando un devanado trifásico en las ranuras de un núcleo cilíndrico de chapas magnéticas.

Este devanado se conecta normalmente en estrella y los tres terminales restantes se conectan a tres anillos rozantes que a través de unas escobillas permiten la conexión exterior de unas resistencias para limitar la corriente rotórica.

El motor de jaula de ardilla tiene el inconveniente de que la resistencia del conjunto es invariable, no son adecuados cuando se debe regular la velocidad durante la marcha. En estos casos se utiliza el ***motor de rotor bobinado*** que, como su nombre lo indica, está constituido por un bobinado trifásico similar al del estator, cuyos arrollamientos aislados terminan en anillos rozantes que se conectan por medio de escobillas a un dispositivo de control.



Este dispositivo permite:

- Aumentar la cupla de arranque.
- Variar la velocidad del motor en marcha.

Estas características los hacen útiles para aplicaciones en máquinas de gran inercia inicial y variación de velocidad, como grúas, elevadores, mecanismos pesados, etc.

PROTECCIONES ELÉCTRICAS

Las protecciones tratan de detectar:

- Fallas de los arrollamientos o circuitos asociados
- Excesivas sobrecargas
- Reducción o pérdida de la tensión de alimentación
- Inversión de fases
- Desbalance de fases
- Protección de falla de fase
- Protección de falla a tierra
- Protección de rotor bloqueado
- Protección de sobrecarga
- Protección térmica (imagen térmica o detección de temperatura)
- Protección de máxima corriente para sobrecarga
- Protección de baja tensión
- Protección de secuencia de fases
- Protección de secuencia negativa
- Protección de desbalance de fases
- Según la importancia del motor y del servicio

Para estas funciones se utilizan relés de distinto tipo y con mayor o menor grado de integración.

PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITOS

Los dispositivos mas empleados para la protección contra cortocircuitos son:

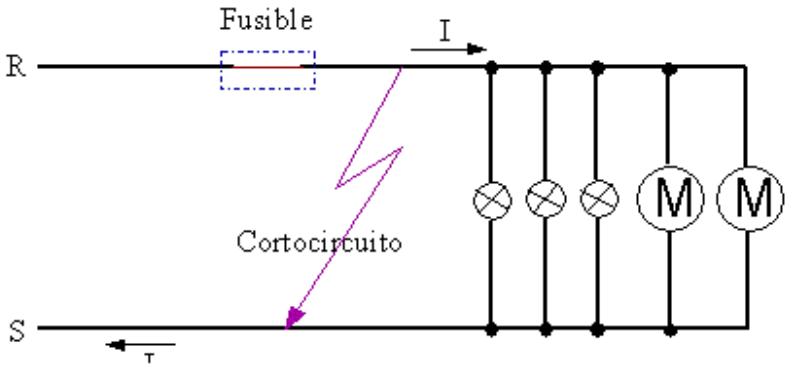
- ✓ **Fusibles calibrados (también llamados cortacircuitos), o**
- ✓ **Interruptores automáticos magneto térmicos**

Fusibles o cortacircuitos

Los fusibles o cortacircuitos, según se ve en la figura, no son más que una sección de hilo más fino que los conductores normales, colocado en la entrada del circuito a proteger, para que al aumentar la corriente, debido a un cortocircuito, sea la parte que mas se caliente, y

por tanto la primera en fundirse. Una vez interrumpida la corriente, el resto del circuito ya no sufre daño alguno.

..



Fundamento del cortacircuitos o fusible

TIPOS DE CARTUCHOS FUSIBLES

Tipo	Según norma UNE	Otras denominaciones
- FUSIBLES RÁPIDOS	gF ----------	gl, gI, F, FN, Instanfus
- FUSIBLES LENTOS	gT ----------	T, FT, Tardofus
- FUSIBLES DE ACOMPAÑAMIENTO	aM ----------	A, FA, Contanfus

Si llamamos **If** a la intensidad a la cual ha de fundir un fusible, los tres tipos antes mencionados, se diferencian en la intensidad que ha de atravesarlos para que fundan en un **segundo**.

- Los **fusibles lentos** funden en **un segundo** para **I = 5 If**
- Los **fusibles rápidos** funden en **un segundo** para **I = 2,5 If**
- Los **de acompañamiento** funden en **un segundo** para **I = 8 If**

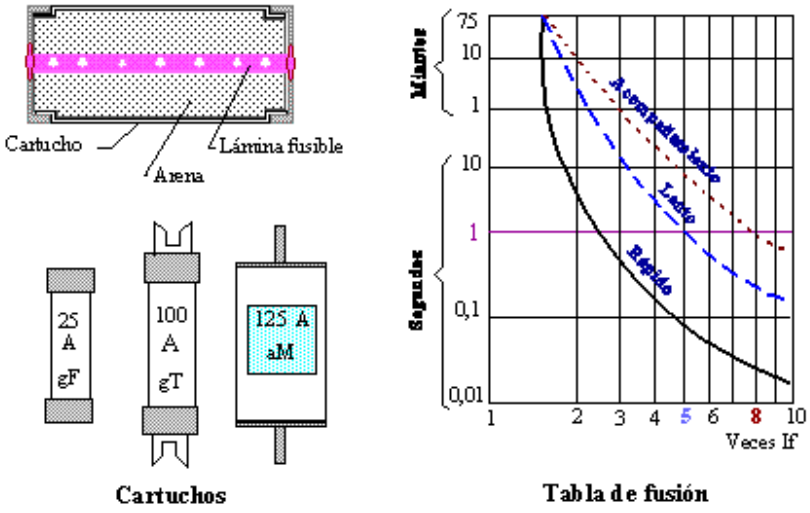
Los fusibles de acompañamiento (aM) se fabrican especialmente para la **protección de motores**, debido a que aguanten sin fundirse las puntas de intensidad que estos absorben en el arranque. Su nombre proviene de que han de ir acompañados de otros elementos de protección, como son generalmente los relés térmicos.

Cada cartucho fusible tiene en realidad unas curvas de fusión, que pueden diferir algo de las definiciones anteriores, dadas por los fabricantes. En la figura, vemos algunos tipos de cartuchos fusibles, así como unas curvas de fusión orientativas, de los tres tipos existentes.

Los **fusibles lentos (gT)** son los menos utilizados, empleándose para la protección de redes aéreas de distribución generalmente, debido a los cortocircuitos momentáneos que los árboles o el viento pueden hacer entre los conductores.

Los **fusibles rápidos (gF)** se emplean para la protección de redes de distribución con cables aislados y para los circuitos de alumbrado generalmente.

Los cartuchos fusibles de los tipos **gF** y **gT** bien elegidos, en cuanto a intensidad de fusión, se emplean también como **protección contra sobrecargas**, principalmente en instalaciones de alumbrado y de distribución, pero nunca debe de emplearse el tipo **aM**, ya que éstos, como ya se dijo, están diseñados especialmente para la protección contra cortocircuitos de los motores eléctricos



Tipos de cartuchos y curvas orientativas de fusión

INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS, MAGNETOTÉRMICOS

Estos dispositivos, conocidos abreviadamente por **PIA** (Pequeño Interruptor Automático), se emplean para la protección de los circuitos eléctricos, **contra cortocircuitos y sobrecargas**, en sustitución de los fusibles, ya que tienen la ventaja de que no hay que reponerlos; cuando desconectan debido a una sobrecarga o un cortocircuito, se rearman de nuevo y siguen funcionando.

Según el numero de polos, se clasifican éstos en: unipolares, bipolares, tripolares y tetrapolares. Estos últimos se utilizan para redes trifásicas con neutro.

En la figura se ve la parte correspondiente a una fase de uno de estos interruptores, dibujado en sección, para que se vean mejor sus principales órganos internos.

Estos aparatos constan de un disparador o **desconectador magnético**, formado por una bobina, que actúa sobre un contacto móvil, cuando la intensidad que la atraviesa su valor nominal (**In**). Éste es el elemento que **protege la instalación contra cortocircuitos**, por ser muy rápido su funcionamiento, y cada vez que desconecta por este motivo debe de rearmarse (cerrar de nuevo el contacto superior), bien sea manual o eléctricamente.

También poseen un **desconectador térmico**, formado por una lámina bimetálica, que se dobla al ser calentada por un exceso de intensidad, y aunque mas lentamente que el dispositivo anterior, desconecta el contacto inferior del dibujo. Esta es la **protección contra sobrecargas** y su velocidad de desconexión es inversamente proporcional a la sobrecarga. Cuando la desconexión es por efecto de una sobrecarga, debe de esperarse a que enfríe la bilámina y cierre su contacto, para que la corriente pase de nuevo a los circuitos protegidos.

Los interruptores automáticos magnetotérmicos, se emplean mucho domésticamente y para instalaciones de Baja Tensión en general y suelen fabricarse para intensidades entre 5 y 125 amperios, de forma modular y calibración fija, sin posibilidad de regulación. Para intensidades mayores, en instalaciones industriales, de hasta 1.000 A o mas, suelen estar provistos de una regulación externa, al menos para el elemento magnético, de protección contra cortocircuitos.

Características de desconexión: Existen varios tipos de estos interruptores automáticos magnetotérmicos o PIA, definidos por sus características de desconexión **tiempo-intensidad**, en cuanto a la desconexión **contra cortocircuitos** se refiere (desconexión magnética), para una mejor protección de los distintos tipos de circuitos a proteger. Los

tipos que hay actualmente en el mercado son muchos, atendiendo a diversas y variadas normas (EN, UNE, CEI, etc.), por lo cual los vamos a clasificar en dos columnas, en una ponemos los mas antiguos, pero aun muy utilizados, y en la otra los mas actuales, normalizados como EN (norma europea), y siendo **In** su intensidad nominal y para que desconecten en un tiempo máximo de **0,1 segundos** son los referidos en la tabla

TABLA. TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS **PIAs**

Mas antiguos	**Normalizados EN 60.898 y 60.947**	**Límites de desconexión**
L		entre 2,4 y 3,5 In
U		entre 3,5 y 8,0 In
G		entre 7,0 y 10 In
B	entre 3 y 5 In	
C	entre 5 y 10 In	
D	entre 10 y 20 In	
MA	fijo a 12 In	
Z	entre 2,4 y 3,6 In	
ICP-M		entre 5 y 8 In

Los tipos **L** y **B** se emplean para la protección de redes grandes de cables y generadores.

Los tipos **U** y **C** se emplean para la protección de receptores en general y líneas cortas.

El tipo **G** se emplea para la protección de los motores y transformadores en general.

El tipo **D** se emplea para la protección de cables y receptores con puntas de carga muy elevadas.

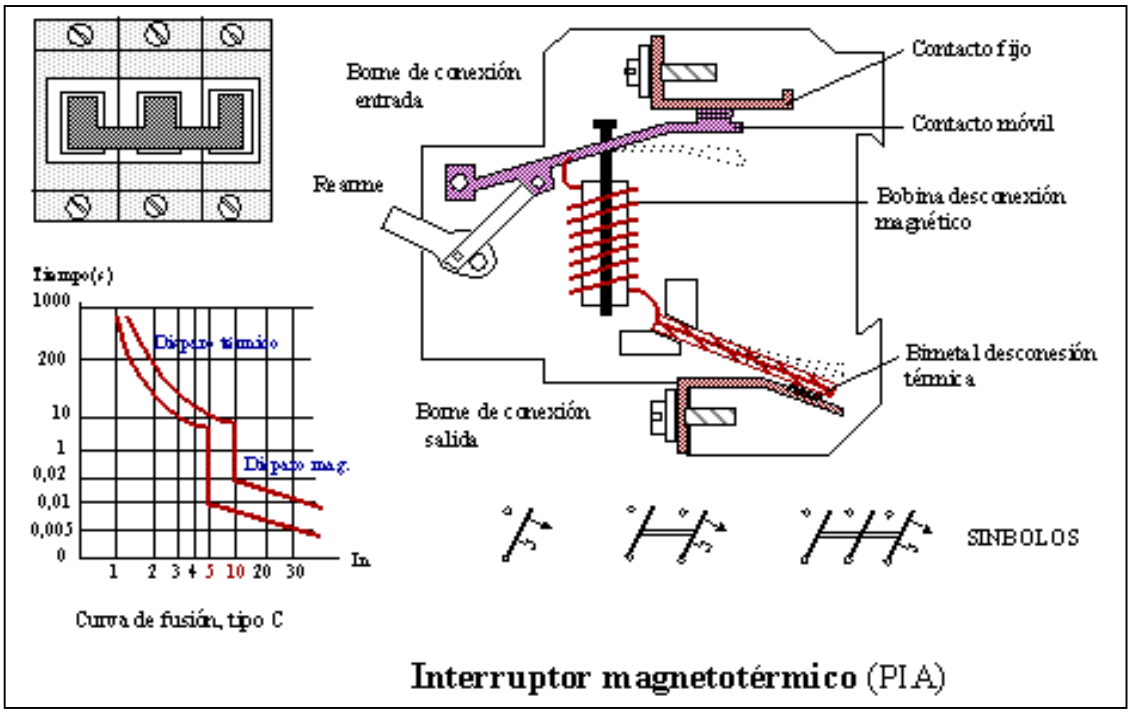
El tipo **MA** es un diseño especial para la protección de motores.

El tipo **Z** es un diseño especial para la protección de circuitos electrónicos.

El tipo **ICP-M** (Interruptor de Control de Potencia con reenganche Manual), es un diseño especial, para el control de potencia por las compañías distribuidoras. Aunque su función principal es de tarifación eléctrica, también se puede emplear como interruptor magnetotérmico de protección general.

Otra característica a tener en cuenta, cuando hemos de seleccionar un interruptor magnetotérmico, es su **poder de corte** en carga, que puede ser distinto dentro de un mismo

tipo de curva de desconexión. Los valores de fabricación más normales de la intensidad máxima que pueden cortar, ante un cortocircuito, son: **1,5; 3; 4,5; 6; 10; 15; 20;** y **25 KA**



SOBRECARGA

Una sobrecarga prolongada del motor puede elevar la temperatura de los devanados más allá de los límites correspondientes a su clase de aislamiento y provocar fallas del aislamiento.

SOBRETENSIONES

Las sobretensiones producidas por maniobras de los circuitos de alimentación o descargas atmosféricas pueden provocar fallas de los aislamientos de los devanados.

Las sobretensiones atmosféricas se presentan en instalaciones expuestas ya sea directamente o a través de los acoplamientos que representa la red de distribución que finalmente se enlaza con las instalaciones de alta tensión expuestas.

Las sobretensiones de maniobra son debidas en particular a interrupciones de corrientes en los circuitos, donde la energía magnética se transforma bruscamente en electrostática. Ciertos dispositivos de maniobra (interruptores, contactores) cuya forma de interrupción es

brusca (anticipan la extinción al cero natural) producen sobretensiones que superan las que corresponden al caso de interrupción ideal, y aparecen ondas de frente escarpado que penetrando en los devanados pueden ser causa de fallas.

En el ámbito de los trabajos dirigidos a la preparación de nuevas normas internacionales, ha adquirido particular importancia la definición de los niveles de sobretensión de frente escarpado que los motores eléctricos deben ser capaces de soportar.

Desde hace algunos años es tema de discusión en el Technical Committee 2 "Rotating Machinery" de IEC, particularmente en el ámbito del Working Group 15 "Isulation Coordination" que tiene el objetivo de especificar niveles adecuados de tensión a impulso para máquinas rotantes.

ARRANQUES REPETIDOS

El arranque es una situación que puede considerarse como primera aproximación adiabática (acumulación del calor sin disipación), varios arranques consecutivos llevan a temperaturas inadmisibles.

Las normas fijan cantidad de arranques por hora.

Una situación parecida al arranque pero más severa se puede presentar cuando se interrumpe la alimentación del motor e inmediatamente se lo vuelve a alimentar. Podría ocurrir que las tensiones de alimentación estén en contrafase con las tensiones remanentes en bornes del motor y entonces se tendría un fenómeno análogo a un arranque con dos veces la tensión nominal.

En motores pequeños la tensión remanente en bornes se extingue rápidamente (2 a 5 ciclos), mientras que en motores muy grandes debido a que la resistencia del devanado tiene menor preponderancia en la constante de tiempo (L/R) el tiempo de extinción es mucho mayor y puede ser necesario hacer un control de fase.

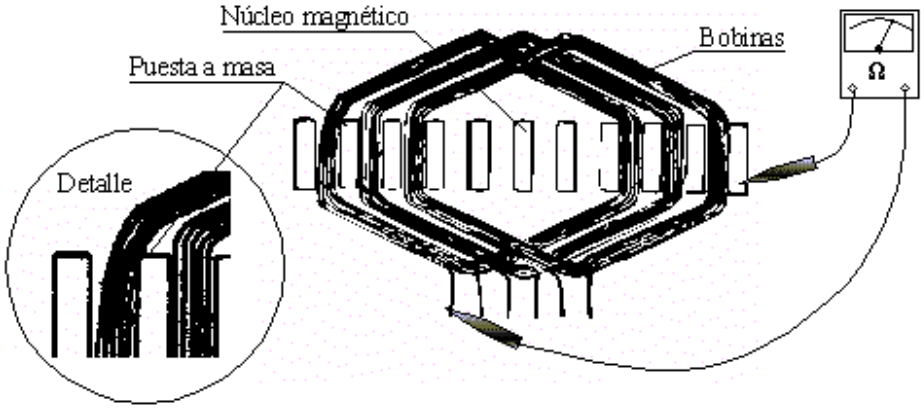
BLOQUEO DEL ROTOR O FRENADO CONTRACORRIENTE

Un deterioro térmico importante de la aislamiento de los devanados de un motor es causado normalmente por corrientes altas en los devanados como consecuencia del bloqueo del rotor.

Excesivos arranques o cambios de sentido de rotación (frenado contracorriente) también puede producir este tipo de fallas

LOCALIZACIÓN DE BOBINAS PUESTAS A MASA

Cuando el **rotor** es de anillos rozantes este puede presentar en él la misma anomalía que en el estator, y la verificación puede realizarse tanto desmontado este como sin desmontarlo, siempre que aislemos correctamente sus escobillas de los anillos rotóricos. La comprobación se realiza de igual forma que en el estator, midiendo la continuidad entre el eje y cada uno de los tres anillos del rotor. En principio solamente detectamos si una fase esta puesta a masa; por el contrario si queremos saber que fase es la dañada, debemos de desconectar las tres fases del punto de la estrella del devanado y verificar las fases una a una.



Localización de la bobina o grupo de bobinas puesta a masa

Una vez localizada la fase averiada, para determinas que bobina o bobinas están puestas a masa, hay que desconectar todos los puentes de conexión entre grupos de bobinas, de dicha fase, e ir comprobando la continuidad entre cada una de las bobinas y masa

Una vez localizada la bobina averiada, se puede extraer y aislar convenientemente o bien sustituirla por otra nueva, siempre que el tamaño del motor y los tipos de bobinas lo hagan posible o bien sustituir el grupo al que pertenece la bobina averiada, e incluso toda la fase averiada o el devanado completo, como suele hacerse en los motores de pequeña potencia

INSTRUMENTACIÓN Y PROTECCIONES

Para tener una buena disponibilidad de los motores es conveniente que la instrumentación y elementos de protección, sea la necesaria para poner en evidencia la aparición de situaciones anómalas o defectos.

La instrumentación y protección tienen asignadas las siguientes funciones:

registrar las reales condiciones de funcionamiento de los motores;

evitar que las máquinas sean sometidas a condiciones de funcionamiento excesivas y los daños que esto implica (eventualmente fallas).

En la tabla "Nivel mínimo de instrumentación y protección para el control térmico y mecánico de motores con tensión superior a 1000 V" se indican algunas recomendaciones preparadas por el Working Group 6 del Study Committee 11 "Rotanting Machines" del CIGRE [1], referentes a la instrumentación mínima que se debe prever en el momento de la compra de la máquina, especialmente para el control térmico y mecánico de motores de media tensión y de potencia elevada.

Tabla Control térmico y mecánico de motores.

MEDIDAS Y CONTROLES	OBSERVACIONES
Medida de la temperatura del arrollamiento estatórico	Se deben instalar por lo menos dos termosondas internas por fase, colocadas en el tramo de ranura de las zonas que se consideran más calientes
Medida de la temperatura del núcleo estatórico	En casos particulares, debería preverse la instalación de por lo menos dos termosondas en los dientes y una en el yugo estatórico
Medida de la temperatura de los cojinetes y/o medida de la temperatura del aceite de los cojinetes	Debería normalmente preverse, convenientemente los transductores se deben conectar con los sistemas de medición, alarma y protección
Medida de la temperatura del aire	La medición se debería efectuar para cada ingreso y salida del aire conectados con los sistemas de medición, alarma y protección
Control de la circulación del aceite en los	

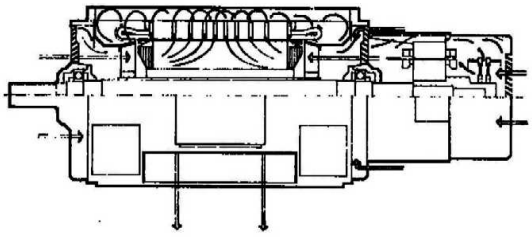
cojinetes Control de la circulación del agua de refrigeración de los cojinetes	En general debería preverse un sistema visual
Control de la circulación y de la presión del agua en los intercambiadores de calor	Se recomienda la instalación de un adecuado dispositivo conectado al sistema de alarma, y un dispositivo indicador de la presión y caudal del circuito
Medida de la presión diferencial en los filtros de aire	Se debería prever el control continuo con umbral de alarma. Si la ventilación se realiza con motores auxiliares separados, se debe prever una señalización por falta de ventilación
Control de las vibraciones	El control se debe prever siempre, recurriendo según el caso a un sistema portátil o no (particularmente en máquinas de potencia superior a 2500 kW)

GRADOS DE PROTECCIÓN

El grado de protección contra la penetración en el interior de la máquina de cuerpos sólidos o de agua está íntimamente vinculado con el tipo de ventilación y refrigeración adoptado, y, además, con el lugar donde la máquina deberá funcionar, es decir, interior o intemperie.

3.15.1 Algunos tipos de ventilación

La Figura muestra un esquema de ventilación de una máquina protegida. Se observa que el aire ingresa por ambos extremos de la máquina (por el lado acoplamiento directamente y por el lado contrario a través de la excitatriz, refrigerando esta última.

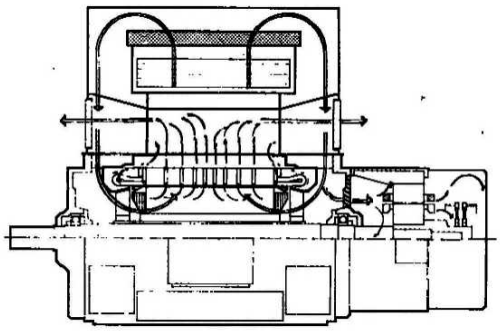


Es conducido adecuadamente e impulsado por dos ventiladores a circular desde los extremos hacia el centro de la máquina.

Parte del aire refrigera las cabezas de bobinas y el resto pasando a través de los canales radiales de refrigeración refrigera las bobinas y el paquete magnético, siendo luego conducido a salir por los costados de la máquina.

La Figura muestra un esquema de ventilación de una máquina protegida contra la intemperie según las normas americanas NEMA.

- La parte superior encierra el sistema de ventilación;
- La parte inferior encierra la máquina propiamente dicha.



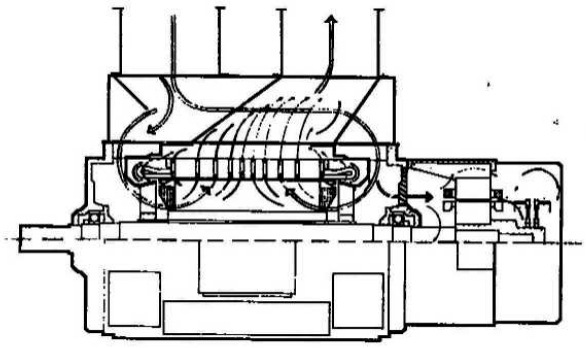
El aire es aspirado a través de amplias aberturas a persiana existentes sobre el cajón superior pasando a través de filtros y, así depurado, experimenta tres cambios de dirección a 90 grados, desciende en la máquina para refrigerar las partes activas en forma análoga a lo descrito en el caso anterior; la sección de los canales debe ser de modo tal de obtener una baja velocidad del aire, no superior a 3 m/s. Por último sale del cajón superior por ambos extremos.

Si se impele demasiado aire la energía necesaria para la ventilación es demasiado grande y ello va en detrimento del rendimiento.

Si el caudal de aire es demasiado bajo la máquina puede superar los niveles de temperatura fijados por las normas.

El caudal de aire que es necesario suministrar a una máquina es proporcional a la energía disipada y depende de la velocidad media del flujo dentro de la misma. Normalmente la velocidad es del orden de 4 a 5 m/s y no debe superar los 7 m/s.

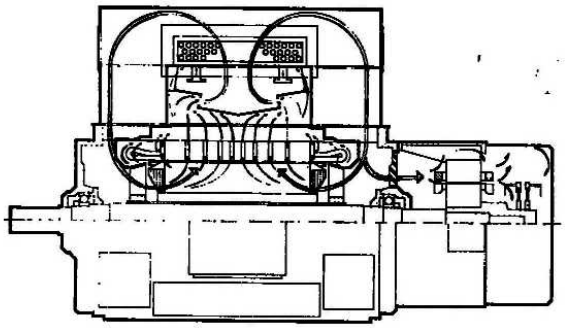
La Figura muestra un esquema de ventilación de una máquina cerrada con bocas de ventilación.



La aspiración y descarga del aire se realiza a través de un cajón dispuesto sobre la carcaza, sobre el cual están ubicadas las bocas para la conexión de los conductos de ventilación. El aire proviene de un ambiente distinto de aquel en el cual está instalada la máquina.

Esta ejecución permite instalar la máquina en ambientes con atmósfera contaminada.

La Figura muestra un esquema de ventilación de máquinas cerradas con refrigeración por agua.



Como se puede observar el circuito de ventilación es cerrado, la refrigeración del aire se realiza mediante un intercambiador de calor aire-agua, montado sobre la carcaza de la máquina que puede ser fácilmente desmontado para el mantenimiento o bien para una eventual reparación, quedando la máquina en condiciones de funcionamiento temporáneo refrigerada con aire a ciclo abierto.

El agua debe ser dulce, sin sustancias que puedan corroer o incrustar los tubos y consecuentemente reducir con el tiempo la capacidad de intercambio de calor del sistema.

MANTENIMIENTO DEL ALTERNADOR.

Durante el mantenimiento rutinario, se recomienda la atención periódica al estado de los devanados (en especial cuando los generadores han estado inactivos durante un largo tiempo)y de los cojinetes. Para los generadores con escobillas se habrá de revisar el desgaste de las escobillas y la limpieza de los anillos rozantes. Cuando los generadores están provistos de filtros de aire, se requiere una inspección y mantenimiento periódico de los mismos.

Estado de los devanados. Se puede determinar el estado de los devanados midiendo la resistencia de aislamiento a tierra, es decir, la resistencia óhmica que ofrece la carcasa de la máquina respecto a tierra. Esta resistencia se altera cuando hay humedad ó suciedad en los devanados, por lo tanto, la medición de aislamiento del generador nos indicará el estado actual del devanado. El aparato utilizado para medir aislamientos es el megóhmetro o Megger. La AVR (regulador automático del voltaje) debe estar desconectado en el caso de que el generador sea del tipo autoexcitado. Para que las medidas tengan su valor exacto la máquina debe estar parada. Es difícil asegurar cuánto es el valor de la resistencia de aislamiento de un generador, pero como norma a seguir se utiliza la fórmula:

R(resistencia en Megohmios) = Tensión nominal en V. / Potencia nominal KW + 1000 siempre y cuando la máquina esté en caliente, es decir, en pleno funcionamiento.

Para medir la resistencia de aislamiento se conecta el polo positivo del megóhmetro a uno de los bornes del motor y el negativo a su masa metálica; hacemos mover la manivela del megóhmetro si la tuviera, ya que existen megóhmetros digitales, y se observará que la aguja se mueve hacia una posición de la escala hasta que se nota que resbala y en ese mismo momento se lee directamente la resistencia de aislamiento en la escala del aparato. Durante la medida, el generador debe separarse totalmente de la instalación, desconectándose de la misma. Si la resistencia de aislamiento resulta menor que la propia resistencia del devanado, sería imprescindibles secarlos.

Se puede llevar a cabo el secado dirigiendo aire caliente procedente de un ventilador calentador o aparato similar a través de las rejillas de entrada y/o salida de aire del generador, aunque otro método rápido y eficaz seria el secado mediante un horno por

calentamiento de resistencias. Alternativamente, se pueden cortocircuitar los devanados del estátor principal, provocando un cortocircuito total trifásico en los bornes principales con el grupo electrógeno en marcha. Con este método se consigue secar los bobinados en muy poco tiempo, aunque para ello debe consultar el método y la forma de realizarlo según el tipo de alternador en su correspondiente manual.

Cojinetes. Todos los cojinetes son de engrase permanente para un funcionamiento libre de mantenimiento. Durante una revisión general, se recomienda, sin embargo, comprobarlos por desgaste o pérdida de aceite y reemplazarlos si fuese necesario. También se recomienda comprobar periódicamente si se recalientan los cojinetes o si producen excesivo ruido durante su funcionamiento útil. En caso de verificar vibraciones excesivas después de un cierto tiempo. Esto sería debido al desgaste del cojinete, en cuyo caso conviene examinarlo por desperfectos o pérdida de grasa y reemplazarlo si fuese necesario. En todo caso se deben reemplazar los cojinetes después de 40.000 horas en servicio.

Cojinetes en generadores accionados por polea están sometidos a más fuerzas que cojinetes en generadores accionados directamente. Por lo tanto, los cojinetes deben ser reemplazados después de 25.000 horas en servicio.

Anillos rozantes y Escobillas. Muy a menudo el chisporreteo en las escobillas se debe a la suciedad en los anillos rozantes, o alguna otra causa mecánica. Hay que examinar la posición de las escobillas de manera que han de tocar los anillos rozantes en toda su superficie, asimismo deben reemplazarse cuando se ha gastado una cuarta parte de su longitud. Se han de limpiar a fondo los anillos rozantes de forma cíclica, quitándoles todo el polvo o suciedad que los cubra, y en especial cuando se cambian las escobillas.

NORMAS PARA PROTECCION DE M.A.R.

Deberán estar dotados del modo de protección por seguridad aumentada «e», según UNE 20.328, con un grado de protección IP 44 para el motor, e IP 54 para la caja de bornes, según UNE 20.324.

También podrán ser utilizados los equipos dotados del grado de protección IP 65, según UNE 20.324, con limitación de temperatura superficial a 120 °C, tras mantener el rotor bloqueado durante un tiempo mínimo de cinco segundos, partiendo del motor calentado por funcionamiento en condiciones nominales.

Este segundo tipo de protección sólo es aplicable en general a motores de rotor en cortocircuito, pues si disponen de colector o anillos rozantes, como aparatos productores de chispas,

CONTROL DE MÁQUINAS ANILLOS ROZANTES

ARRANQUE DE MOTORES ASINCRÓNICOS CON ROTOR BOBINADO

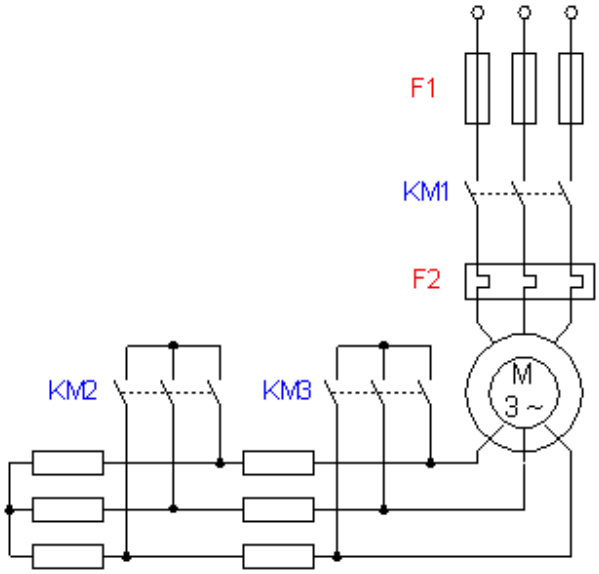
En un motor asincrónico, la velocidad a la que se produce la máxima cupla es función de la resistencia del circuito rotórico. En particular, la máxima cupla de arranque se tiene cuando dicha resistencia es aproximadamente igual a la reactancia del motor.

En los motores de corriente alterna con rotor bobinado, para efectuar el proceso de puesta en marcha se instala un reóstato de arranque conectado a los anillos rozantes del motor de manera de aumentar a voluntad la resistencia rotórica total.

En este método, el motor arranca con toda la resistencia en serie con el circuito del rotor. Luego por medios manuales o automáticos, en forma continua o escalonada, se va reduciendo la resistencia a medida que la máquina gana velocidad, hasta que en régimen permanente el reóstato queda en cortocircuito.

Cabe acotar que se construyen rotores tipo jaula del tipo de ranura profunda que producen una cupla de arranque algo similar a la de un rotor bobinado con reóstato de arranque. En el momento del arranque la circulación de corrientes secundarias localizadas en las cercanías del entrehierro tiene una mayor densidad de corriente, bloqueando el flujo magnético hacia el interior del núcleo, por lo que el conjunto se comporta como si tuviera mayor resistencia efectiva. Al aumentar la velocidad, disminuye la frecuencia secundaria y cesa ese efecto transitorio.

Este devanado se conecta normalmente en estrella y los tres terminales restantes se conectan a tres anillos rozantes que a través de unas escobillas permiten la conexión exterior de unas resistencias para limitar la corriente rotórica.
La inserción de estas resistencias permite la reducción de la intensidad de arranque manteniendo un buen par que incluso puede ser máximo en el arranque.



Su inconveniente es su mayor precio y coste de mantenimiento, llegando casi a desaparecer en la actualidad debido a los sistemas electrónicos de arranque para el motor de rotor de jaula.

1. Se conecta KM1.
2. Temporización.
3. Se conecta KM2.
4. Temporización.
5. Se conecta KM3.

CARACTERISTICAS

Por la velocidad de rotación (rpm):

- ✓ Constante: independientemente de la carga.
- ✓ Variable: con la variación de la carga.
- ✓ Ajustable: independientemente de la carga

CONTACTORES

Podemos definir un contactor como un aparato mecánico de conexión y desconexión eléctrica, accionado por cualquier forma de energía, menos manual, capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito, incluso las de sobrecarga.

Por lo general, los contactores que utilicemos referirán sus características a las recomendaciones C. E. I (Comité Electrotécnico Internacional), que establecen los siguientes tipos de cargas:

AC-1 Para cargas resistivas o débilmente inductivas cos θ = 0,95.

AC-2 Para cargar inductivas (cos j = 0.65) .Arranque e inversión de marcha de motores de anillos rozantes.

AC-3 Para cargas fuertemente inductivas (cos θ = 0.35 a 0.65). Arranque y desconexión de motores de jaula.

AC-4 Para motores de jaula: Arranque, marcha a impulsos y frenado por inversión.

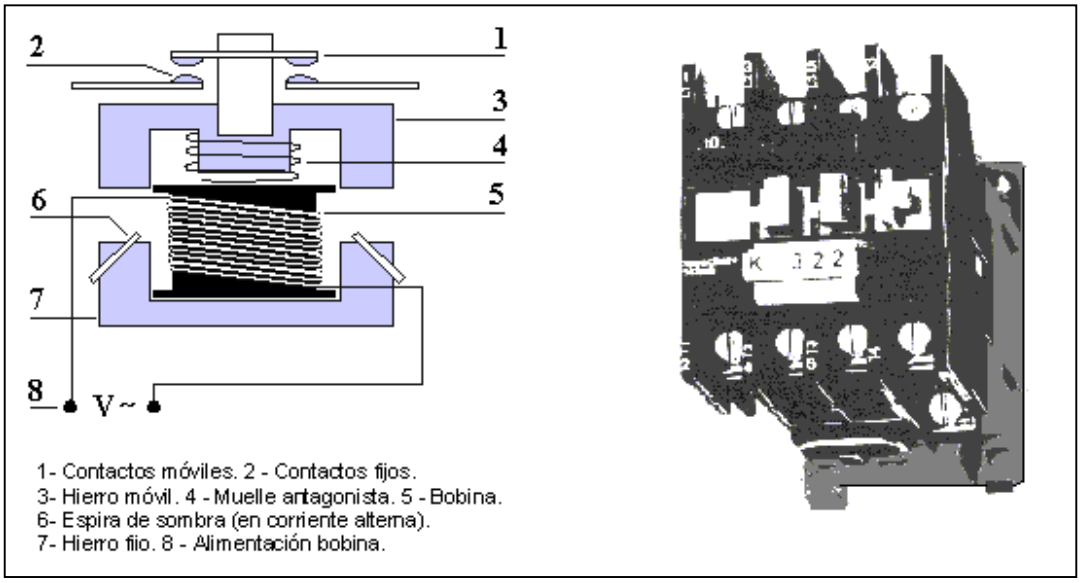
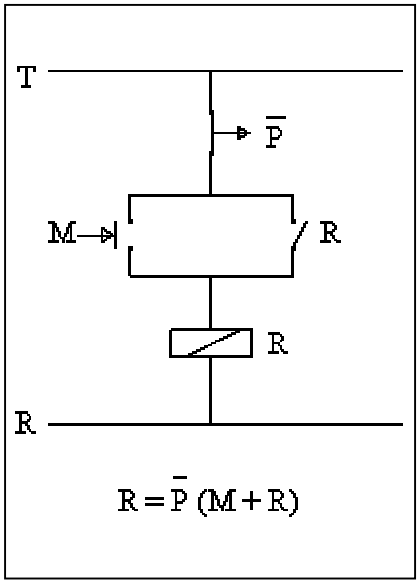
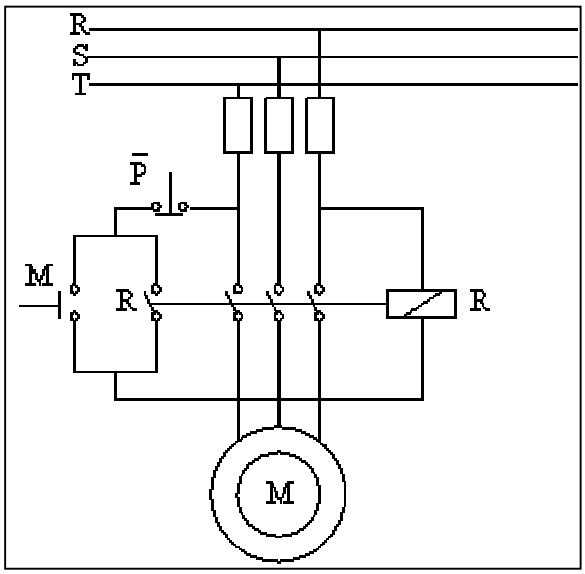


DIAGRAMA DE CONTROL DE MOTOR POR CONTACTORES





Prácticamente, la casi totalidad de las aplicaciones industriales, tales como máquinas-herramientas, equipos para minas, trenes de laminación, puentes-grúas, etc., precisan de la colaboración de gran número de motores para realizar una determinada operación, siendo conveniente que puedan ser controlados por un único operador situado en un "centro de control", desde donde sea posible observar y supervisar todas las partes de la instalación.

Este circuito consta de dos pulsadores, uno de marcha (M) normalmente abierto y otro de paro (P) normalmente cerrado; asimismo, dispone de un contactor con cuatro contactos normalmente abiertos, tres para el accionamiento del motor de Anillos Rozantes y uno para el control de la función memoria. Al pulsar M, la bobina del contactor se excita, el contactor cierra sus contactos y por tanto el contacto R de retención de la función memoria retiene la alimentación aunque dejemos de pulsar M (motor en marcha). Si por alguna circunstancia pulsamos P la alimentación de la bobina del contactor queda cortada, el contacto de retención se abre quedando la función memoria en situación de reposo (motor parado).

CONTROL Y REGULACIÓN DE LA VELOCIDAD EN MOTORES ASINCRÓNICOS TRIFÁSICOS

Una gran parte de los equipos utilizados en la industria moderna funcionan a velocidades variables, como por ejemplo los trenes laminadores, los mecanismos de elevación, las máquinas-herramientas, etcétera. En los mismos se requiere un control preciso de la velocidad para lograr una adecuada productividad, una buena terminación del producto elaborado, o garantizar la seguridad de personas y bienes.

Los principales factores a considerar para el diseño de un sistema de regulación de velocidad son:

a) Límites o gama de regulación.

b) Progresividad o flexibilidad de regulación.

c) Rentabilidad económica.

d) Estabilidad de funcionamiento a una velocidad dada.

e) Sentido de la regulación (aumento o disminución con respecto a la velocidad nominal).

f) Carga admisible a las diferentes velocidades.

g) Tipo de carga (par constante, potencia constante, etcétera).

h) Condiciones de arranque y frenado.

La regulación de velocidad puede realizarse por métodos mecánicos, como poleas o engranajes, o por métodos eléctricos.

VARIADORES DE VELOCIDAD

Los sistemas de variación de velocidad alteran la velocidad del motor cambiando el voltaje y la frecuencia de la electricidad suministrada al motor en base a los requerimientos del sistema. Esto se logra convirtiendo corriente alterna en continua, y luego de múltiples mecanismos de cambio, invirtiendo la corriente continua a corriente alterna sintética con voltaje y frecuencia controlados. Si este proceso es realizado en forma apropiada, la velocidad del motor puede ser controlada en un rango amplio (desde cero RPM hasta el doble de la velocidad nominal) con las características de torque apropiadas para la aplicación.

Para mantener un factor de potencia apropiado y reducir calentamiento excesivo del motor, debe mantenerse el ratio de voltaje/frecuencia original. Esta es la función principal del variador de velocidad. Los cuatro componentes principales que hacen posible la operación de los variadores de velocidad son: convertidor, inversor, circuito de corriente continua (que sirve de enlace entre ambos), y la unidad de control

CAMBIO DE FRECUENCIA

Con este tipo de regulación se puede obtener un amplio control de velocidades, con el máximo par disponible en todas las frecuencias con un elevado rendimiento. Si se prolonga la característica al cuadrante generador se puede obtener un frenado muy eficiente por reducción de frecuencia, con una recuperación de energía hacia la red de alimentación

CAMBIO DEL NÚMERO DE POLOS

La conexión de los arrollamientos se efectúa por conmutación del arrollamiento estatórico de estrella simple a doble estrella (dos estrellas en paralelo), o por conmutación de dicho arrollamiento de triángulo a doble estrella.
Se puede demostrar que la conmutación del arrollamiento estatórico de estrella a doble estrella conduce a una regulación de velocidad a par constante, mientras que la conmutación del arrollamiento estatórico de triángulo a doble estrella conduce a una regulación de velocidad a potencia constante.

CAMBIO DEL RESBALAMIENTO

El resbalamiento s varía con la carga, pero la variación de la carga no proporciona un método práctico de control de la velocidad. Sin embargo, es posible cambiar la característica par/velocidad de varias maneras, de modo que para cada par de carga se necesita un valor distinto.
Estos métodos proporcionan una mala utilización de la potencia y capacidad del motor, pero el control suele ser sencillo y justificable en algunas aplicaciones.

En el caso de variación de la resistencia rotórica se aprovecha la propiedad de los motores asincrónicos de modificar la velocidad a la que se produce la máxima cupla variando la resistencia del circuito rotórico. En este método, por medios manuales o automáticos, en forma continua o escalonada, se va modificando la resistencia rotórica mediante un reóstato conectado a los anillos rozantes del motor de rotor bobinado.

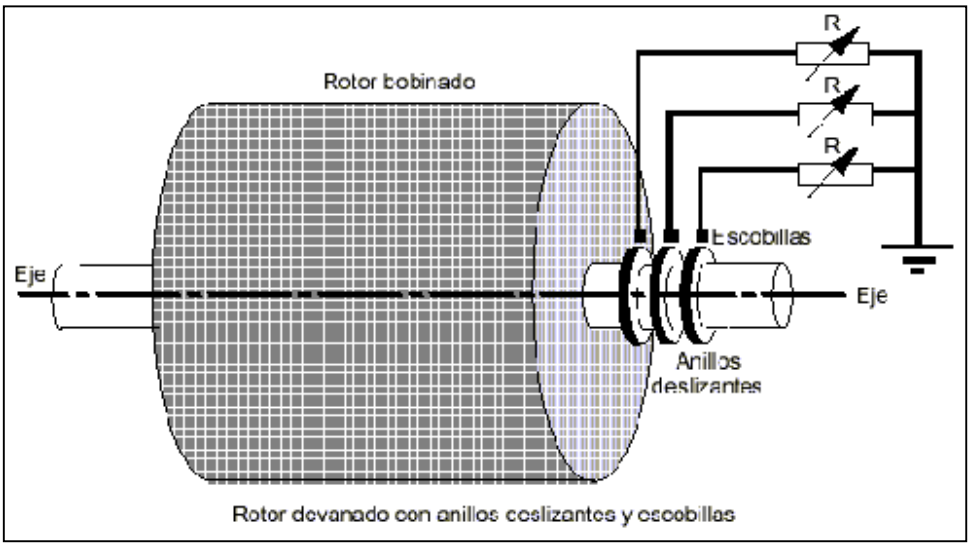
ARRANQUE POR MEDIO DE RESISTENCIAS

En la figura - se observa que una máquina de inducción produce más torque eléctrico de arranque en la medida que la resistencia del rotor aumenta. Una máquina con alta resistencia en el rotor tiene deslizamientos de operación más grandes. Las pérdidas en el rotor se incrementan durante la operación en régimen permanente cuando se utilizan resistencias grandes en estas bobinas, y esto repercute desfavorablemente en el rendimiento de la máquina.

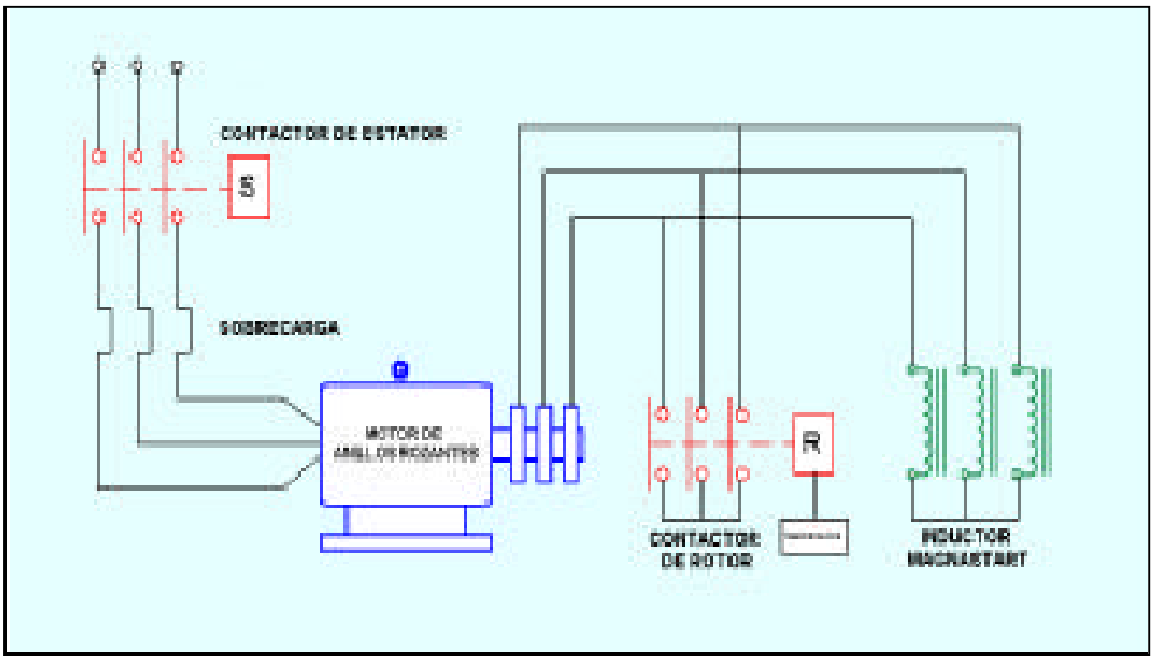
PROTECCIÓN Y CONTROL DE MÁQUINAS DE ANILLOS ROZANTES

Es deseable que una máquina eléctrica produzca un torque de arranque elevado y un rendimiento cercano a la unidad. Estas dos características de la máquina se contrapone con respecto a la variación de la resistencia del rotor. Por esta razón en algunas máquinas de inducción se añade en el eje del rotor anillos deslizantes, cada uno de ellos se conecta a un extremo de las fases del rotor. Estos anillos, permiten conectar elementos en el exterior de la máquina con las bobinas del rotor, mediante contactos deslizantes - carbones o escobillas Al disponer de acceso al circuito del rotor, es posible incluir resistencia adicional con la finalidad de incrementar el torque eléctrico de la máquina durante el arranque. Cuando la máquina está operando en régimen permanente es posible eliminar o cortocircuitar la resistencia adicional para mejorar el rendimiento. El rotor bobinado con acceso mediante anillos rozantes, es capaz de regular el torque de arranque, disminuir las corrientes durante el proceso de aceleración y aumentar el rendimiento en el punto de operación, eliminando la resistencia externa.

Sin embargo, esta solución encarece la máquina, incrementa las pérdidas mecánicas por fricción con las escobillas.



Rotor devanado con anillos deslizantes y escobillas



APLICANDO CONTROLADORES ELECTRONICOS DE VELOCIDAD

Considerando que los motores eléctricos usan aproximadamente el 75% de la electricidad en la industria, energía que se emplea en el accionamiento de equipos tales como bombas, ventiladores, compresores, bandas transportadoras, etc. Es importante que el motor y el equipo operen en el punto óptimo de operación, es decir que el motor consuma la energía necesaria para mover la carga y la velocidad de operación de la carga sea la que corresponda a su eficiencia máxima.

Existen dos equipos electrónicos que pueden usarse para este fin: los troceadores de tensión y los variadores electrónicos de velocidad.

USANDO TROCEADORES DE TENSIÓN

Los Troceadores de Tensión están formados fundamentalmente por dos tiristores conectados en antiparalelo por fase y permiten trocear o cortar la tensión alterna, en la zona positiva o negativa de la honda, controlando el ángulo de disparo delos tiristores. Tienen mucha aplicación como Arrancadores Suaves (Soft Star) y también al ser adquiridos como Soft Stargeneralmente tienen una opción como ahorradores de energía. Estos equipos

electrónicos al trocear la onda de tensión disminuyen el voltaje eficaz aplicado al motor cuando este disminuye su carga; es decir la tensión aplicada al motor depende de la carga del motor de tal forma que el motor opere con un factor de potencia constante, esto a su vez aumenta la eficiencia del motor. Generalmente el rango de voltaje que estos equipos pueden varia entre el 65% al 100% el voltaje nominal.

El uso de estos equipos es recomendable cuando la carga del motor varia desde vacio ó desde una carga leve hasta plena carga. Por ejemplo bandas transportadoras, centrifugas, acerraderos, molinos de piedra. El ahorro de energía que se logra es considerable si el motor opera en vacio ó con carga leve por un tiempo del 75% el tiempo de operación, [1]. Para definir el uso de este equipo es necesario hacer un análisis del ahorro potencial de energía y de la taza de retorno de inversión.

USANDO VARIADORES ELECTRÓNICOS DE VELOCIDAD

El variador electrónico de velocidad también se denomina Accionamiento de Frecuencia Variable y en el idioma ingles se le llama Variable Frecuency Drives (VFD), Adjustable Speed Drive (ASD) ó Inversores. Estos equipos constructivamente constan de dos etapas, una etapa de rectificación que convierte la tensión alterna de la línea en tensión DC y una etapa de inversión que entrega al motor tensión trifásica y frecuencia variable.

Debe considerarse que el punto óptimo de operación de los motores eléctricos generalmente nunca ocurre a la velocidad de operación del motor ni a la tensión nominal del motor, mas bien este punto se encuentra a una velocidad menor a la de placa y a una tensión menor a la nominal. Anteriormente era imposible pensar que el motor opere con tensiones y frecuencias diferentes a las de placa, pero actualmente los VFD permiten que el motor trabaje muy cerca del punto óptimo de operación.

Los variadores electrónicos de velocidad permiten regular el torque que entrega un equipo sin necesidad de recurrir a opciones antieconómicas, que demandan más energía de la requerida o que son impracticables en muchos casos; como es el caso de: la recirculación del fluido, la estrangulación del caudal mediante válvulas (throttle) y la detención del equipo (On-off).

Estos dispositivos permiten lograr considerables ahorros de energía en la operación de los motores eléctricos y otros beneficios adicionales, tales como prolongación de la vida útil de los equipos accionados por los motores, menor ruido, menos desgaste, mejor control y posibilidades de regeneración, en relación a los motores que no disponen de este dispositivo.

Recientes estudios, [1], [6], [15], muestran que las bombas requieren 31% de la energía usada, los compresores 18%, los ventiladores y secadores 18% y las bandas transportadoras cerca del 14%. Las cargas que tienen momento variable son las mejores candidatas a adicionar un VFD para ahorrar energía. Los ventiladores y bombas centrifugas son cargas de torque variable donde la potencia requerida varia con el cubo de la velocidad, de esta manera al disminuir la velocidad de operación disminuirá la potencia requerida por el motor y el ahorro de energía viene de reducir la velocidad del motor. Este hecho hace que en bombas y ventiladores los ASD permitan tener un ahorro del 50% o más, [9]. Para ilustrar consideremos una bomba centrifuga que requiere 100 HP al flujo de diseño. Asumiremos que el costo de energía es de 0.07$/Kwh, que el costo del ASD mas su instalación vale 8800$, que el flujo requerido varia de 40% a 90% la capacidad de diseño. Con estos datos en [6] se muestran los siguientes resultados:

AUTOTRANSFORMADOR

La llave compensadora puede ser usada para la partida de motores sobre carga. Ella reduce la corriente de partida evitando así una sobrecarga en el circuito. dejando no obstante. el motor con un conjugado suficiente para la partida de aceleración. La tensión en la llave compensadora es reducida através de auto transformador que posee normalmente taps de 50.65 y 80% de la tensión nominal.

Para partida en serie. paralelo es necesario que el motor sea reconectable para dos tensiones. la menor de ellas igual a la de la red y la otra dos veces mayor.

Este tipo de conexión exige nueve terminales en el motor y la tensión nominal más común es 220/440V. o sea. durante la partida el motor es conectado en la configuración serie hasta alcanzar su rotación nominal y. entonces. se hace la conmutación para !c\ configuración paralelo.

PARTIDA ELECTRÓNICA (SOFT START)

El avance de la electrónica permitió la creación de la llave de partida a estado sólido. la cual consiste en un conjunto de pares de tiristores (SCR) (o combinaciones de tiristores/ diodos. uno en cada terminal de potencia del motor.

El ángulo de disparo de cada par de tiristores es controlado I electrónicamente para aplicar una tensión variable a los termínales i d~1 motor durante la aceleración. Al final del período de partida. ajustable típicamente entre 2 y 30 segundos. la tension alcanza su valor pleno después de una aceleración suave o una rampa ascendente. en vez de ser sometido a aumentos o saltos repentinos.

Con esto se consigue mantener la corriente de partida (en la linea) próxima de la nominal o con suave variación.

Además de la ventaja del control de la tensión (corriente) durante la partida. la llave electrónica presenta también. la ventaja de no poseer partes móviles lo que genera arco de voltaje. como las llaves mecánicas.

Este es uno de los puntos fuertes de las llaves electrónicas. pues. su vida útil se torna mayor.

BIBLIOGRAFIA

- Manual de mantenimiento de motores de corriente alterna — W E G
- Electricidad industrial — P. ROBERJOT
- Maquinas Eléctricas — Mastch
- Copias de curso de Maquinas Eléctricas 2 y 3 — Msc. Ing. H. Murillo
- Paginas Web de apoyo: www.universia/maquinas/html
  www.elperuano/normaselectricas
  www.google.com
  www.altavista.com
  www.adwel.com