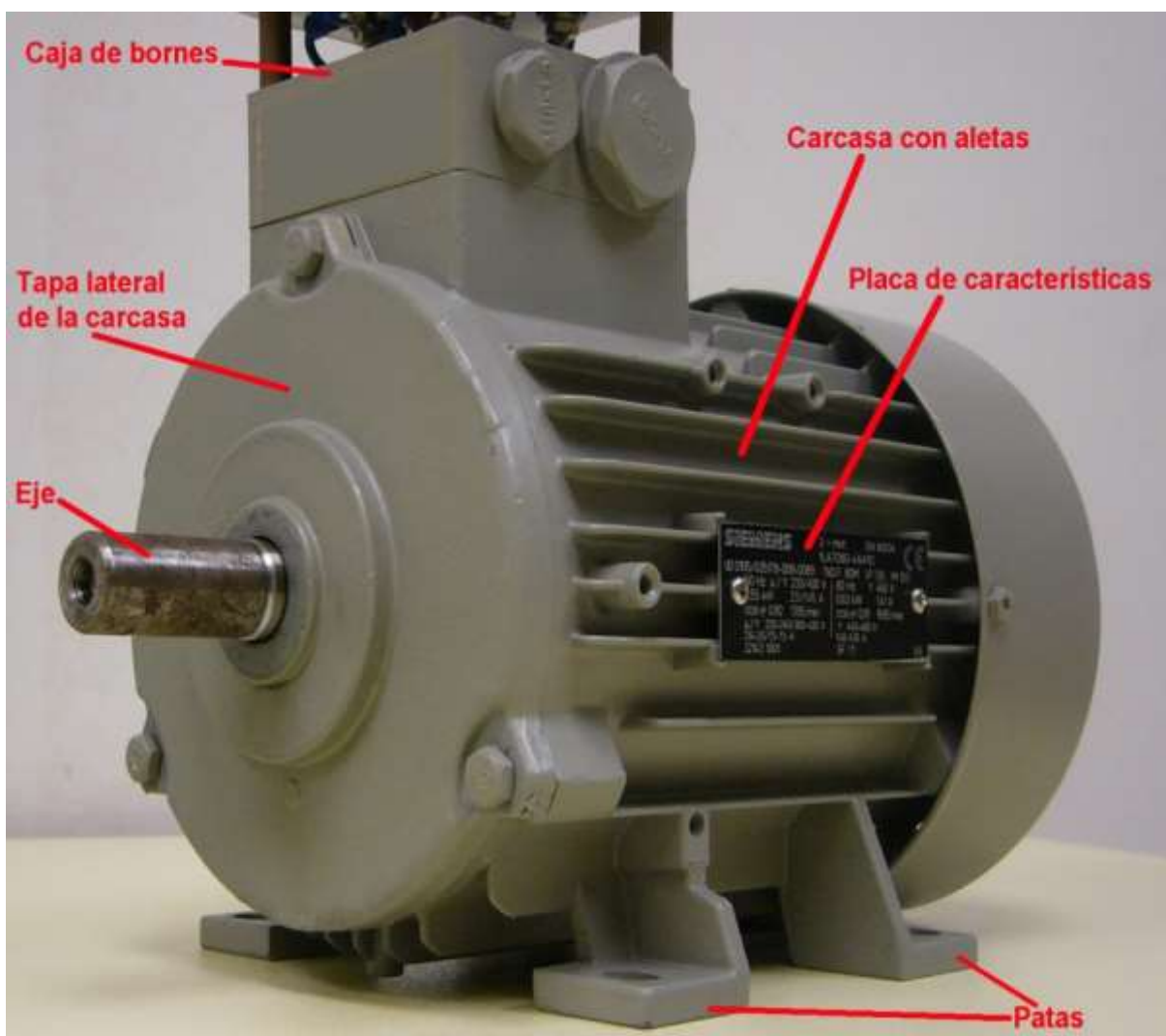


Temas Complementarios de las Máquinas asincrónicas

1. [Introducción](#)
2. [Consideraciones generales de las máquinas asincrónicas](#)
3. [Corrientes de arranque de los motores asíncronos](#)
4. [Diferentes sistemas de arranque de los motores asíncronos](#)
5. [Arranque de motores asincrónicos con rotor en jaula por dispositivos electrónicos](#)
6. [Arranque de los motores asíncronos con rotor bobinado](#)
7. [Diferentes métodos de regulación de velocidad de los motores asincrónicos](#)
8. [Consideraciones generales, funcionamiento y circuito eléctrico equivalente del motor asincrónico monofásico](#)
9. [Algunas aplicaciones del motor asíncrono monofásico](#)
10. [Motor monofásico de arranque por condensador](#)
11. [Motor de fase partida](#)
12. [Circuito eléctrico equivalente de un motor monofásico](#)
13. [Circuitos equivalentes precisados de un motor asincrónico monofásico](#)
14. [Consideraciones generales sobre el generador asincrónico](#)
15. [Generador de corriente alterna asíncrono o de inducción](#)
16. [Máquinas asincrónicas para dispositivos automáticos](#)
17. [Regímenes especiales de trabajo de las máquinas asincrónicas](#)
18. [Funcionamiento de un motor asincrónico en el régimen de alimentación doble \(bilateral\)](#)
19. [Conclusiones Generales](#)
20. [Bibliografía](#)



Introducción

Contrariamente a las máquinas síncronas empleadas normalmente como generadores, las máquinas asíncronas han encontrado su principal aplicación como motores, debido a la sencillez de su construcción. El motor asíncrono trifásico es hoy el motor usual de accionamiento en todas las redes de distribución.

Los motores asíncronos o de inducción son un tipo de motores eléctricos de corriente alterna. El primer prototipo de motor eléctrico capaz de funcionar con corriente alterna fue desarrollado y construido por el ingeniero Nikola Tesla y presentado en el American Institute of Electrical Engineers (en español, Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos, actualmente IEEE) en 1888.

El motor asíncrono trifásico está formado por un rotor, que puede ser de dos tipos: a) de jaula de ardilla; b) bobinado, y un estator, en el que se encuentran las bobinas inductoras. Estas bobinas son trifásicas y están desfasadas entre sí 120° . Según el Teorema de Ferraris, cuando por estas bobinas circula un sistema de corrientes trifásicas, se induce un campo magnético giratorio que envuelve al rotor. Este campo magnético variable va a inducir una tensión en el rotor según la Ley de inducción de Faraday.

En este trabajo trataremos todos los temas relacionados con el estudio y los diversos temas relacionados con la maquina asincrónica o motor de inducción en el caso de que siempre que hablemos de maquinas asincrónicas el 98% de los casos este trabaja como motor.

Consideraciones generales de las máquinas asincrónicas

El principio de funcionamiento de las maquinas asincrónicas se basa en el concepto de campo magnético giratorio, al igual que cualquier otro dispositivo de conversión electromecánica de la energía de tipo rotativo, está formada por un estator y un rotor. En el estator se coloca normalmente el inductor, alimentado por una red monofásica o trifásica. El rotor es el inducido, y las corrientes que circulan por él aparecen por consecuencia de la interacción con el flujo del estator. Dependiendo del tipo de rotor, estas maquinas se clasifican en: a) rotor en jaula de ardilla o en cortocircuito, y b) rotor bobinado o con anillos.

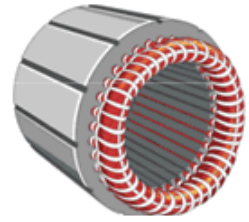
El descubrimiento original fue publicado en 1888 por el profesor Galileo Ferraris en Italia y por Nikola Tesla en los EE.UU. Ambos diseños de motores asíncronos se basaban en la producción de campos magnéticos giratorios con sistemas bifásicos, es decir, utilizando una bobina a 90° . A principios del siglo XX se impuso el sistema trifásico europeo ante el bifásico americano, por lo que las maquinas asincrónicas comenzaron a ser y son trifásicas.

La diferencia de la maquina asincrónica con los demás tipos de maquinas se debe a que no existe corriente conducida a uno de los arrollamientos. La corriente que circula por uno de los devanados generalmente situado en el rotor, se debe a la f.e.m inducida por la acción del flujo del otro, y por esta razón se denomina maquinas de inducción. También reciben el nombre de maquinas asincrónicas debido a que la velocidad de giro del rotor no es la de sincronismo impuesta por la frecuencia de la red. La importancia de los motores asíncronos se debe a su construcción simple y robusta, sobre todo en el caso del rotor en forma de jaula de ardilla, que les hace trabajar en circunstancias más adversas, dando un excelente servicio con pequeño mantenimiento. Hoy en día se puede decir que más del 80% de los motores eléctricos industriales emplean este tipo de maquinas, trabajando con una frecuencia de alimentación constante. Sin embargo, históricamente su inconveniente más grave ha sido la limitación para regular su velocidad, y de ahí cuando esto era necesario, en diversas aplicaciones como la tracción eléctrica, trenes de laminación, etc., eran sustituidos por motores de c.c., que eran más idóneos para este servicio. Desde finales del siglo XX y con el desarrollo tan particular de la electrónica industrial, con accionamientos electrónicos como inversores u onduladores y cicloconvertidores, que permiten obtener frecuencia variable a partir de la frecuencia de la red, y con la introducción del microprocesador en la electrónica de potencia, se han realizado grandes cambios, y los motores asíncronos se están imponiendo poco a poco en los accionamientos eléctricos de velocidad variable.

Estator

Devanado trifásico distribuido en ranuras a 120°

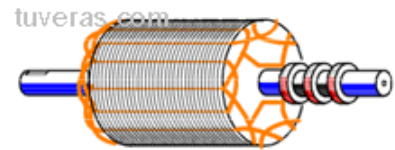
Tienen tres devanados en el estator. Estos devanados están desfasados $2\pi/(3P)$, siendo P el número de pares de polos de la máquina.



Rotor

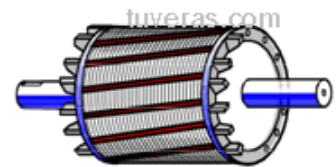
Bobinado

Rotor devanado: los devanados del rotor son similares a los del estator con el que está asociado. El número de fases del rotor no tiene por qué ser el mismo que el del estator, lo que sí tiene que ser igual es el número de polos. Los devanados del rotor están conectados a anillos colectores montados sobre el mismo eje.



Jaula de ardilla

Los conductores del rotor están igualmente distribuidos por la periferia del rotor. Los extremos de estos conductores están cortocircuitados, por tanto no hay posibilidad de conexión del devanado del rotor con el exterior. La posición inclinada de las ranuras mejora las propiedades de arranque y disminuye los ruidos.



Corrientes de arranque de los motores asíncronos

Los motores de inducción no tienen los mismos problemas de arranque que presentan los motores síncronos. En muchos casos los motores de inducción se pueden poner en marcha simplemente conectándolos a la línea de potencia. Sin embargo en algunos casos hay muy buenas razones para no hacerlo de esta manera. Por ejemplo, la corriente de arranque requerida puede causar una caída en el voltaje del sistema de potencia por lo cual no es aceptable el arranque a través de la línea.

Los motores de inducción con rotor devanado se pueden poner en marcha con corrientes relativamente bajas por medio de la inserción de una resistencia extra en el circuito del rotor en el momento del arranque. Esta resistencia extra no solo incrementa el par de arranque sino que también reduce la corriente de arranque.

Para los motores de inducción de jaula, la corriente de arranque puede variar en forma amplia, depende principalmente de la potencia nominal del motor y de la efectividad de la resistencia del rotor en condiciones de arranque. Para estimar la corriente del rotor en condiciones de arranque, todos los motores de jaula tienen una letra código de arranque (no se debe confundir con la letra clase de diseño) en su placa de características. Esta letra código establece los límites de la cantidad de corriente que el motor puede aceptar en condiciones de arranque.

Estos límites se expresan en términos de potencia aparente de arranque del motor en función de los caballos de fuerza nominales. La tabla al final de este tema contiene los kilovoltamperes de arranque por caballo de fuerza para cada letra código.

Para determinar la corriente de arranque de un motor de inducción, léase el voltaje nominal, los caballos de fuerza y la letra código de su placa de características. Entonces, la potencia aparente de arranque del motor será:

$$S_{\text{arranque}} = (\text{caballaje nominal}) (\text{factor de la letra de código})$$

Y la corriente de arranque se puede calcular con la ecuación

$$I_L = S_{\text{arranque}} / \sqrt{3} V_T$$

Si se requiere, la corriente de arranque de un motor de inducción se puede reducir con un circuito de arranque. Sin embargo, esto también reducirá el par de arranque del motor. Una forma de reducir la corriente de arranque es insertar un inductor o resistor extra en la línea de potencia durante el arranque. Aun cuando en el pasado esta era una práctica común, este enfoque casi no se utiliza hoy en día. Una manera alternativa consiste en reducir el voltaje en los terminales del motor durante el arranque por medio de la utilización de autotransformadores. Es importante tomar en cuenta que aun cuando se reduce la corriente de arranque en proporción directa a la disminución del voltaje en los terminales, el par de arranque disminuye con el cuadrado del voltaje aplicado. Por lo tanto, solo se puede lograr una cierta reducción de la cantidad de corriente si el motor debe arrancar con una carga en su eje.

Diferentes sistemas de arranque de los motores asíncronos

Arranque de motores asíncronos con rotor en jaula:

Los motores de corriente alterna con rotor en jaula de ardilla se pueden poner en marcha mediante los métodos de arranque directo o a tensión reducida.

En ambos casos, la corriente de arranque generalmente resulta mayor que la nominal, produciendo las perturbaciones comentadas en la red de distribución. Estos inconvenientes no son tan importantes en motores pequeños, que habitualmente pueden arrancar a tensión nominal. **La máxima caída de tensión en la red no debe superar el 15% durante el arranque.**

Los circuitos con motores deben contar con interruptores que corten todas las fases o polos simultáneamente y con protecciones que corten automáticamente cuando la corriente adquiera valores peligrosos.

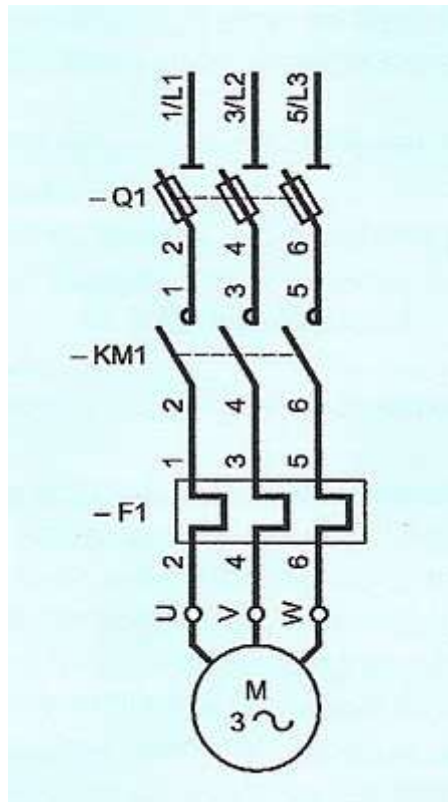
En los motores trifásicos debe colocarse una protección automática adicional que corte el circuito cuando falte una fase o la tensión baje de un valor determinado.

Arranque directo

Este método se emplea únicamente en máquinas de una potencia inferior a 5Kw.

Un motor arranca en forma directa cuando a sus bornes se aplica directamente la tensión nominal a la que debe trabajar.

Si el motor arranca a plena carga, el bobinado tiende a absorber una cantidad de corriente muy superior a la nominal, lo que hace que las líneas de alimentación incrementen considerablemente su carga y como consecuencia directa se reduzca la caída de tensión. **La intensidad de corriente durante la fase de arranque puede tomar valores entre 6 a 8 veces mayores que la corriente nominal del motor. Su ventaja principal es el elevado par de arranque, que es 1.5 veces el nominal.**



Siempre que sea posible conviene arrancar los motores a plena tensión por el gran par de arranque que se obtiene, pero si se tuvieran muchos motores de media y gran potencia que paran y arrancan en forma intermitente, se tendrá un gran problema de perturbaciones en la red eléctrica.

Por lo tanto, de existir algún inconveniente, se debe recurrir a alguno de los métodos de arranque por tensión reducida.

Arranque a tensión reducida de motores asíncronos con rotor en jaula de ardilla

Este método se utiliza para motores que no necesitan un gran par de arranque. Este método consiste en producir en el momento de arranque una tensión menor que la nominal en los arrollamientos del motor. Al reducir la tensión se reduce proporcionalmente la corriente, la intensidad del campo magnético y el par motriz.

Entre los métodos de arranque por tensión reducida más utilizados podemos citar; **el arranque por autotransformador, conmutación estrella-triángulo y el de arrancador electrónico**

Arranque por autotransformador

Consiste en intercalar un autotransformador entre la red y el motor, de tal forma que la tensión aplicada en el arranque sea solo una fracción de la asignada. El proceso puede realizarse en dos o tres escalones y con tensiones no inferiores al 40, 60 y 75% de la tensión de la línea.

Se aplica a motores cuya potencia nominal es mayor que 5Kw. El autotransformador de arranque es un dispositivo similar al estrella-triángulo, salvo por el hecho de que la tensión reducida en el arranque se logra mediante bobinas auxiliares que permiten aumentar la tensión en forma escalonada, permitiendo un arranque suave.

Su único inconveniente es que las conmutaciones de las etapas se realizan bruscamente, produciendo en algunas ocasiones daños perjudiciales al sistema mecánico o a la máquina accionada. Por ejemplo, desgaste prematuro en los acoplamientos (correas, cadenas, engranajes o embragues de acoplamiento) o en casos extremos roturas por fatiga del eje o rodamientos del motor, producido por los grandes esfuerzos realizados en el momento de arranque.

Este método de arranque es posible solo en los casos cuando el par de frenado durante el arranque no es grande. De lo contrario el motor no podrá iniciar la marcha.

Una variante menos usada es la conexión **Kusa**, en la que durante el proceso de arranque se intercala una resistencia en uno de los conductores de línea.

Es decir, que la corriente de arranque depende de la tensión de alimentación del motor. Si disminuimos la tensión de alimentación en el momento del arranque, reduciremos la corriente de arranque. Una vez que el motor alcance una determinada velocidad, con $s < 1$, procederemos a restablecer la tensión nominal de alimentación.

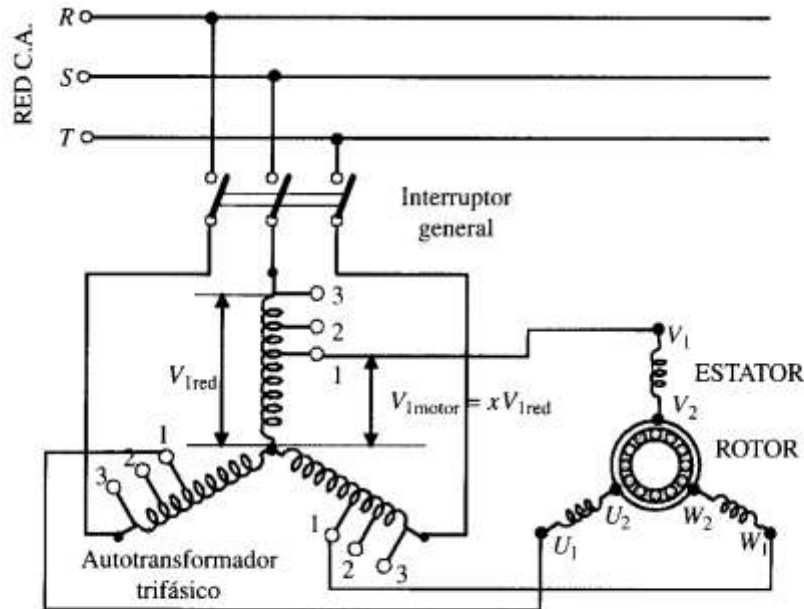


Figura 4.30. Esquema eléctrico del arranque con autotransformador.

En la **fig. 4.30** se muestra un arranque por autotransformador, con dos etapas de tensión. En la posición 1 del conmutador se alimenta el autotransformador con tensión de la red, aplicando al motor solamente una fracción de esta tensión de la red (etapa de arranque). Cuando la máquina ha aumentado su velocidad hasta un valor adecuado, cercano al asignado, el conmutador se pasa a la posición 2, lo que eleva la tensión que llega al motor y este sigue aumentando de velocidad. Finalmente se pasa el conmutador a la posición 3, de tal forma que la tensión de la red queda aplicada directamente al estator de la red.

Conmutación estrella-Delta

Este método de arranque se puede aplicar tanto a motores de rotor devanado como a motores de rotor jaula de ardilla, la única condición que debe cumplir el motor para que pueda aplicarse este método de arranque es que tenga acceso completo a los devanados del estator (6 bornes de conexión).

Este método solamente se puede utilizar en aquellos motores que estén preparados para funcionar en delta con la tensión de la red, si no es así no se le puede conectar. La máquina se conecta en estrella en el momento del arranque y se pasa después a delta cuando está en funcionamiento.

La conmutación de estrella-delta generalmente se hace de forma automática luego de transcurrido un lapso (que puede regularse) en que el motor alcanza determinada velocidad.

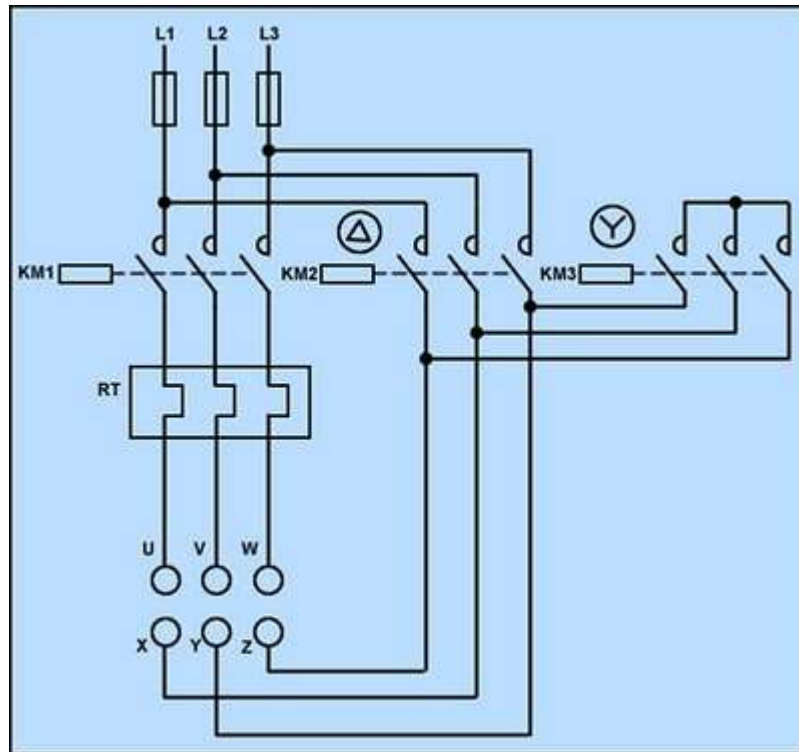
El arranque estrella-delta es el procedimiento más empleado para el arranque a tensión reducida debido a que su construcción es simple, su precio es reducido y tiene una buena confiabilidad.

En el caso más simple tres contactos realizan la tarea de maniobrar el motor, disponiendo de enclavamientos adecuados. La protección del motor se hace por medio de un relé térmico. El térmico debe estar colocado en las fases del motor.

La regulación del mismo debe hacerse a un valor que resulta de multiplicar la corriente de línea por 0,58. La protección del circuito más adecuada también es el fusible.

Algunas indicaciones que se deben tener en cuenta sobre el punto de conmutación son: el pico de corriente que toma el motor al conectar a plena tensión (etapa delta) debe ser el menor posible; por ello, la conmutación debe efectuarse cuando el motor esté cercano a su velocidad nominal (95% de la misma), es decir cuando la corriente de arranque baje prácticamente a su valor normal en la etapa de estrella.

Asimismo, el relé de tiempo debe ajustarse para conmutar en este momento, no antes ni mucho después. Habitualmente, un arranque normal puede durar hasta 10 segundos, si supera los 12 segundos se debe consultar al proveedor del equipo. Si no se cumple con lo anterior, el pico de corriente que se produce al pasar a la etapa de triángulo es muy alto, perjudicando a los contactos, al motor y a la máquina accionada. El efecto es similar al de un arranque directo.



La operación se realiza en la actualidad con automatismos de contactores, con un circuito de fuerza y otro con mando o control; se requiere tres contactores, uno denominado principal, para la alimentación de los principios de la bobina de los devanados del motor; otro un contactor que se encarga de realizar la conexión al devanado en estrella, y el tercero ejecuta la conexión triángulo; además se necesita de un relé de tiempo para ajustar el momento en que se pasa de la conexión estrella a la conexión triángulo.

Arranque de motores asincrónicos con rotor en jaula por dispositivos electrónicos

Los arrancadores electrónicos son una mejor solución que los autotransformadores gracias a la posibilidad de su arranque suave, permitiendo un aumento en la vida útil de todas las partes involucradas.

Los mismos consisten básicamente en un convertidor estático alterna-continua-alterna ó alterna-alterna, generalmente de tiristores, que permiten el arranque de motores de corriente alterna con aplicación progresiva de tensión, con la consiguiente limitación de corriente y par de arranque. En algunos modelos también se varía la frecuencia aplicada. Al iniciar el arranque, los tiristores dejan pasar la corriente que alimenta el motor según la programación realizada en el circuito de maniobra, que irá aumentando hasta alcanzar los valores nominales de la tensión de servicio.

La posibilidad de arranque progresivo, también se puede utilizar para detener el motor, de manera que vaya reduciendo la tensión hasta el momento de la detención.

Estos arrancadores ofrecen selección de parada suave, evitando por ejemplo, los dañinos golpes de ariete en las cañerías durante la parada de las bombas; y detención por inyección de corriente continua para la parada más rápida de las masas en movimiento.

Además poseen protecciones por asimetría, contra sobre temperatura y sobrecarga, contra falla de tiristores, vigilancia del tiempo de arranque con limitación de la corriente, control de servicio con inversión de marcha, optimización del factor de potencia a carga parcial, maximizando el ahorro de energía durante el proceso y permiten un ahorro en el mantenimiento por ausencia de partes en movimiento que sufran desgastes.

Arranque de los motores asíncronos con rotor bobinado

En los motores de rotor devanado o con anillos se puede reducir la corriente de arranque introduciendo una resistencia adicional en cada una de las fases del rotor. La operación se realiza con la ayuda de un reóstato trifásico, como se indica en la figura, donde se ha supuesto que los devanados de la maquina están conectados en estrella.

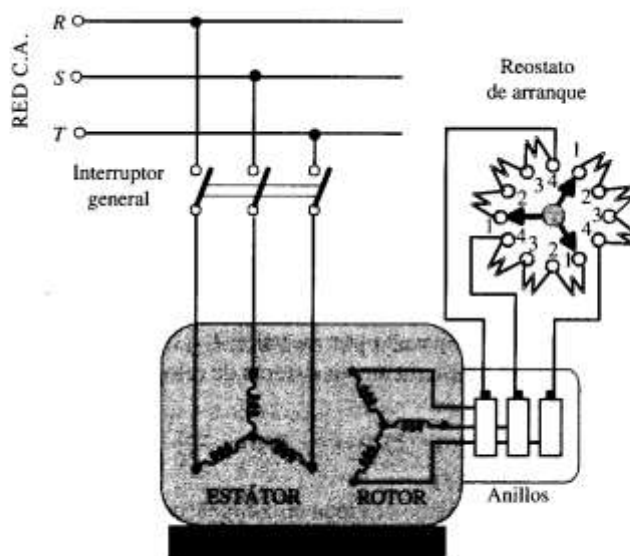


Figura 4.33. Motor asíncrono de rotor devanado y reóstato de arranque correspondiente.

En el arranque se introduce toda la resistencia adicional (posición 1), de esta forma aumenta la impedancia de la maquina y se reduce la corriente inicial; conforme al motor inicia su marcha, se va eliminando la resistencia del reóstato pasando el mando móvil a las posiciones 2,3 y 4, que conforman una serie de contactos, en la última parte queda cortocircuitado el rotor y finaliza la operación de arranque.

En esta situación, para reducir las pérdidas mecánicas del motor y también el desgaste de anillos y escobillas, estas maquinas llevan a menudo dispositivos para levantar las escobillas y poner en cortocircuito los anillos. Hoy día esta operación de arranque se realiza automáticamente por mediación de contactores y relés de tiempo que van eliminando secuencialmente las resistencias adicionales.

Este método de arranque sólo se puede aplicar a motores de rotor devanado. Como se comprueba fácilmente, al introducir una resistencia adicional en el devanado del rotor, se disminuye la corriente de arranque con relación a la corriente absorbida por el método de arranque directo.

Diferentes métodos de regulación de velocidad de los motores asíncronos

Regulación por variación de número de polos

Variando el numero de polos del estator de la maquina, cambia la velocidad del campo giratorio y en consecuencia varia la velocidad de rotación del rotor. El procedimiento utiliza diversos devanados en el estator dependiendo de las velocidades que se quiera obtener; generalmente, por limitación de espacio de las ranuras suelen emplearse dos combinaciones diferentes, dando lugar a dos r.p.m., asíncronas cercanas

a 3.000, 1.500, 750, 500, etc., (a 50Hz). Para que el funcionamiento sea posible **es preciso que el rotor sea jaula de ardilla**, ya que este tipo de rotor adapta automáticamente por inducción su número de polos al existente en el estator. Con frecuencia se emplean dos escalones de velocidad en la relación 2:1, y con un solo devanado que se conmuta adecuadamente, lo que se denomina **conexión Dahlander**.

En este caso, cada fase del devanado consta de dos partes iguales, que pueden ponerse en serie o en paralelo, dando lugar a una reducción de pares de polos a la mitad del original, aumentando en consecuencia la velocidad del rotor a prácticamente el doble.

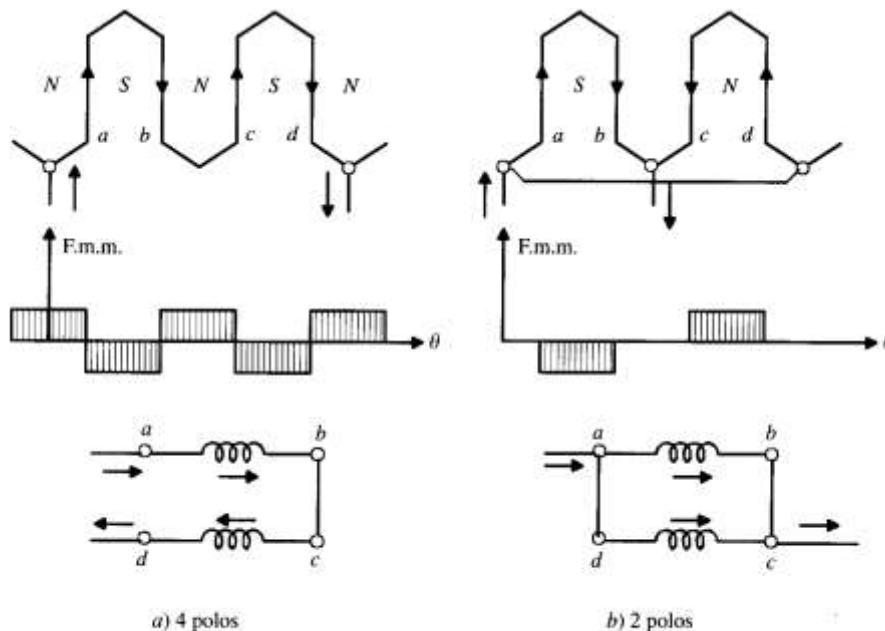


Figura 4.38. Conexión Dahlander. Formación de los polos.

En la fig. se muestra el procedimiento adecuado utilizado. En a) se muestra el devanado formado por 4 polos, estando las bobinas conectadas en serie. En b) se muestra el devanado formado por 2 polos, con bobinas conectadas en paralelo; se observa en este caso que la corriente en la bobina c-d ha sufrido una inversión.

Regulación por variación de frecuencia

La preferencia actual por la regulación a frecuencia variable se debe a la posibilidad de utilizar el sencillo y robusto motor de jaula de ardilla; cuyo mantenimiento es mucho más fácil que el de un motor de contactos deslizantes, lo que resulta muy importante en máquinas que operan bajo condiciones ambientales difíciles.

Además este tipo de motor eléctrico resulta más económico y compacto que los restantes. Asimismo, este método permite transformar fácilmente un equipo de velocidad fija en un accionamiento de velocidad variable, sin realizar grandes modificaciones.

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. Si bien pueden utilizarse distintos tipos de convertidores de frecuencia rotativos (semejantes al sistema Ward-Leonard), en la actualidad la modificación de la frecuencia se realiza fundamentalmente por medio de variadores estáticos electrónicos que ofrecen una regulación suave, permitiendo un aumento en la vida útil de todas las partes involucradas y originando un ahorro en el mantenimiento por ausencia de partes en movimiento que sufran desgastes.

Los mismos se construyen generalmente con tiristores gobernados por un microprocesador que utiliza un algoritmo de control vectorial del flujo, y consisten básicamente en un convertidor estático alterna-alterna (cicloconvertidor) ó alterna-continua-alterna (convertidor de enlace), que permiten la modificación progresiva de la frecuencia aplicada, con la consiguiente modificación de la corriente y el par motor. En algunos casos se agregan filtros de armónicas. En el cicloconvertidor se sintetiza una onda de menor frecuencia a partir de una alimentación polifásica de mayor frecuencia, conectando sucesivamente los terminales del motor a las distintas fases de la alimentación.

La onda sintetizada generada es rica en armónicos y en algunos casos el circuito puede generar subarmónicos que podrían llegar a producir problemas si existiera alguna resonancia mecánica del sistema.

Por otro lado, el cicloconvertidor ofrece una transformación simple de energía de buen rendimiento, permite la inversión del flujo de potencia para la regeneración y la transmisión de la corriente reactiva; proporcionando una gama de frecuencias de trabajo que va desde valores cercanos a cero hasta casi la mitad de la frecuencia de alimentación, con fácil inversión de fase para invertir el sentido de rotación. En ciertos casos este tipo de convertidor se emplea en motores asíncronos de rotor bobinado con alimentación doble, estando el estator conectado a la red y el rotor al convertidor.

En el convertidor de enlace la alimentación de la red de corriente alterna se rectifica en forma controlada y luego alternativamente se conmutan las fases del motor al positivo y al negativo de la onda rectificada, de manera de crear una onda de alterna de otra frecuencia.

La tensión y frecuencia de salida se controlan por la duración relativa de las conexiones con las distintas polaridades (modulación del ancho de pulso) de manera de conservar constante el cociente tensión / frecuencia para mantener el valor del flujo magnético en el motor.

Aunque la onda de tensión obtenida no es sinusoidal, la onda de corriente tiende a serlo por efecto de las inductancias presentes. Además, de este modo se obtiene una amplia gama de frecuencias por encima y por debajo de la correspondiente al suministro, pero exige dispositivos adicionales c.c. /c.a. para asegurar el flujo de potencia recuperada.

Hay que considerar que las corrientes poliarmónicas generan un calentamiento adicional que disminuye el rendimiento y puede llegar a reducir el par (por ejemplo, el 5º armónico produce un campo giratorio inverso).

También cabe acotar que la vibración de los motores aumenta cuando se les alimentan con convertidores electrónicos de frecuencia y que la componente de alta frecuencia de la tensión de modo común de los convertidores de frecuencia puede causar un acoplamiento con la tierra a través de la capacidad que se forma en los rodamientos, donde las pistas actúan como armaduras y la capa de grasa como dieléctrico.

Asimismo digamos que los variadores de velocidad generalmente también sirven para arrancar o detener progresivamente el motor, evitando por ejemplo, los dañinos golpes de ariete que pueden aparecer en las cañerías durante la parada de las bombas.

Ventajas de la utilización del Variador de Velocidad en el arranque de motores asíncronos.

- El variador de velocidad no tiene elementos móviles, ni contactos.
- La conexión del cableado es muy sencilla.
- Permite arranques suaves, progresivos y sin saltos.
- Controla la aceleración y el frenado progresivo.
- Limita la corriente de arranque.
- Permite el control de rampas de aceleración y deceleración regulables en el tiempo.
- Consigue un ahorro de energía cuando el motor funcione parcialmente cargado, con acción directa sobre el factor de potencia
- Puede detectar y controlar la falta de fase a la entrada y salida de un equipo. Protege al motor.
- Puede controlarse directamente a través de un autómatas o microprocesador.
- Se obtiene un mayor rendimiento del motor.
- Nos permite ver las variables (tensión, frecuencia, r.p.m, etc...).

Inconvenientes de la utilización del Variador de Velocidad en el arranque de motores asíncronos.

- Es un sistema caro, pero rentable a largo plazo.
- Requiere estudio de las especificaciones del fabricante.
- Requiere un tiempo para realizar la programación.

Regulación por variación del deslizamiento

El deslizamiento 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 de S 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 tensión se pueden utilizar tiristores conectados en serie con el estator para interrumpir el paso de la corriente durante una fracción del período (control de fase) o en algunos períodos completos (encendido alternado), reduciéndose así la tensión media aplicada.

El control de fase produce armónicos de orden elevado, mientras que el encendido intermitente puede generar subarmónicos que podrían entrar en resonancia con el sistema mecánico. La regulación permite disminuir la velocidad nominal y la utilización óptima del motor se produce en caso de regulación a par constante.

La gama de regulación no es constante y resulta muy sensible a las variaciones de la carga. Asimismo, el inconveniente de este sistema de variación está en las grandes pérdidas de energía. La modificación de la resistencia rotórica puede verse como un caso especial de inyección de una tensión al rotor, pues se crea una caída de tensión en la resistencia agregada externamente.

Si se sustituye la resistencia por un elemento activo, la energía no se desperdicia y se puede alcanzar velocidades supersíncronas y corregir el factor de potencia. De esta manera, inyectando una tensión secundaria de frecuencia de resbalamiento y con un ángulo de fase determinado se puede variar el deslizamiento resultante e introducir una componente reactiva adecuada.

Un método para lograr esto consiste en acoplar mecánicamente un segundo motor asíncrono y alimentarlo de los anillos rozantes del primero (control en cascada), otro es utilizar un convertidor de frecuencia de colector y un tercero es emplear un motor polifásico de inducción a colector con rotor alimentado (motor Schrage). Dado que estos métodos en la actualidad sólo tienen un interés meramente académico no serán desarrollados.

Regulación por impulsos

La regulación por impulsos de la velocidad generalmente se aplica en motores de pequeña potencia, y básicamente consiste en provocar variaciones periódicas y de corta duración de los parámetros del motor, de tal manera y a una frecuencia tal, que la velocidad requerida se obtiene como una velocidad promedio de las aceleraciones y desaceleraciones producidas durante el ciclo completo de variación de los parámetros. Estas variaciones pueden realizarse mediante contactores o tiristores que conectan y desconectan la alimentación de los distintos arrollamientos, cortocircuitan alternativamente ciertas impedancias o invierten periódicamente la polaridad del suministro.

Variadores de velocidad electrónicos

Las principales funciones de los variadores de velocidad electrónicos son las siguientes:

Aceleración controlada

La aceleración del motor se controla mediante una rampa de aceleración lineal o en «S». Generalmente, esta rampa es controlable y permite por tanto elegir el tiempo de aceleración adecuado para la aplicación.

Variación de velocidad

Un variador de velocidad no puede ser al mismo tiempo un regulador. En este caso, es un sistema, rudimentario, que posee un mando controlado mediante las magnitudes eléctricas del motor con amplificación de potencia, pero sin bucle de realimentación: es lo que se llama «en bucle abierto».

La velocidad del motor se define mediante un valor de entrada (tensión o corriente) llamado consigna o referencia.

Para un valor dado de la consigna, esta velocidad puede variar en función de las perturbaciones (variaciones de la tensión de alimentación, de la carga, de la temperatura). El margen de velocidad se expresa en función de la velocidad nominal.

Regulación de la velocidad

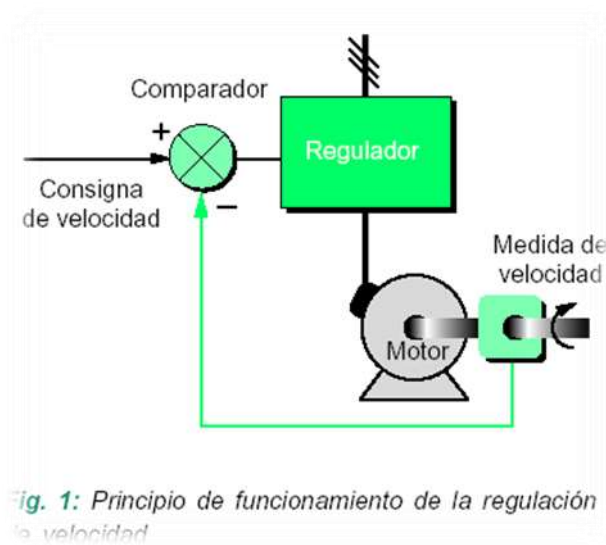
Un regulador de velocidad es un dispositivo controlado. Posee un sistema de mando con amplificación de potencia y un bucle de alimentación: se denomina, «bucle cerrado».

La velocidad del motor se define mediante una consigna o referencia. El valor de la consigna se compara permanentemente con la señal de alimentación, imagen de la velocidad del motor. Esta señal la suministra un generador tacométrico o un generador de impulsos colocado en un extremo del eje del motor.

Si se detecta una desviación como consecuencia de una variación de velocidad, las magnitudes aplicadas al motor (tensión y/o frecuencia) se corrigen automáticamente para volver a llevar la velocidad a su valor inicial.

Gracias a la regulación, la velocidad es prácticamente insensible a las perturbaciones.

La precisión de un regulador se expresa generalmente en % del valor nominal de la magnitud a regular.



Deceleración controlada

Cuando se desconecta un motor, su deceleración se debe únicamente al par resistente de la máquina (deceleración natural). Los arrancadores y variadores electrónicos permiten controlar la deceleración mediante una rampa lineal o en «S», generalmente independiente de la rampa de aceleración.

Esta rampa puede ajustarse de manera que se consiga un tiempo para pasar de la velocidad de régimen fijada a una velocidad intermedia o nula:

- Si la deceleración deseada es más rápida que la natural, el motor debe desarrollar un par resistente que se debe sumar al par resistente de la máquina; se habla entonces de frenado eléctrico, que puede efectuarse reenviando energía a la red de alimentación, o disipándola en una resistencia de frenado.
- Si la deceleración deseada es más lenta que la natural, el motor debe desarrollar un par motor superior al par resistente de la máquina y continuar arrastrando la carga hasta su parada.

Inversión del sentido de marcha

La mayoría de los variadores actuales tienen implementada esta función. La inversión de la secuencia de fases de alimentación del motor se realiza automáticamente o por inversión de la consigna de entrada, o por una orden lógica en un borne, o por la información transmitida a mediante una red.

Frenado

Este frenado consiste en parar un motor pero sin controlar la rampa de desaceleración.

Con los arrancadores y variadores de velocidad para motores asíncronos, esta función se realiza de forma económica inyectando una corriente continua en el motor, haciendo funcionar de forma especial la etapa de potencia. Toda la energía mecánica se disipa en el rotor de la máquina y, por tanto, este frenado sólo puede ser intermitente.

En el caso de un variador para motor de corriente continua, esta función se realiza conectando una resistencia en bornes del inducido.

Consideraciones generales, funcionamiento y circuito eléctrico equivalente del motor asíncrono monofásico

El motor asíncrono monofásico

Los motores monofásicos, como su propio nombre indica son motores con un solo devanado en el estator, que es el devanado inductor, tampoco en estos existe conexión física entre el rotor y el estator, ya que se encuentran separadas uniformemente (entrehierro).

Prácticamente todas las realizaciones de este tipo de motores son con el rotor en jaula de ardilla. Suelen tener potencias menores de 1KW, aunque hay notables excepciones como los motores de los aires acondicionados con potencias superiores a 10KW.

Se pueden alimentar entre una fase y el neutro o entre dos fases. No presentan los problemas de excesiva corriente de arranque como en el caso de los motores trifásicos de gran potencia, debido a su pequeña potencia, por tanto todos ellos utilizan el arranque directo. La denominación "motor pequeño" se aplica a motores de potencia inferior a un caballo de fuerza, es decir, menor a un HP. También es llamado motor de potencia fraccional y casi la totalidad de los motores monofásicos son de potencia fraccional.

Aun cuando, se fabrican en potencias enteras normalizadas: 1.5, 2.5, 5, 7.5 y 10 HP tanto para tensiones de 115, 230 e incluso 440 volt para las potencias de 7.5 y 10 HP.

El motor monofásico de inducción es netamente inferior al motor de inducción trifásico. Para iguales pesos, su potencia bordea solo el 60% de la del motor de inducción trifásico; tiene un factor de potencia más bajo y menor rendimiento.

Comparado con el trifásico:

- Más ruidoso
- Menor rendimiento
- Menor $\cos \phi$
- No tiene par de arranque

Consta de:

- Una sola bobina
- Rotor tipo jaula de ardilla

El motor asincrónico monofásico presenta los siguientes inconvenientes:

Se caracterizan por sufrir vibraciones debido a que la potencia instantánea absorbida por cargas monofásicas es pulsante de frecuencia doble que la de la red de alimentación.

No arrancan solos, debido a que el par de arranque es cero. Para explicar esta última afirmación recordemos la expresión general del campo magnético en el entrehierro generado por una corriente monofásica.

Sea $i = I_0 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t)$ la corriente que circula por el inductor, el campo que genera tiene la forma:

$$B = K \cdot i \cdot \cos(P\theta)$$

donde P es el número de pares de polos de la máquina.

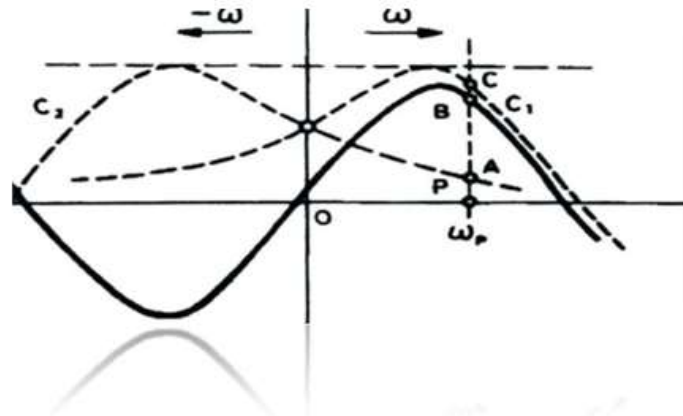
Sustituyendo la corriente por su valor

$$B = K \cdot I_0 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot \cos(P\theta)$$

Si desarrollamos este producto de cosenos llegamos a la expresión siguiente:

$$B = [(K \cdot I_0) / 2] \cdot \cos(P\theta + \omega_1 \cdot t) + [(K \cdot I_0) / 2] \cdot \cos(P\theta - \omega_1 \cdot t)$$

Que no es más que la expresión de dos campos giratorios de la misma amplitud (que es constante) de valor $[(K \cdot I_0) / 2]$, de la misma velocidad de giro, $\omega_s = \omega_1 / P$, pero de sentidos opuestos. Por tanto, el par desarrollado por este campo, tiene una curva par velocidad de la forma siguiente:



En la que se observa cómo el par de arranque vale cero. Si provocamos un desequilibrio en el momento del arranque, es decir, si $\omega \neq 0$, el motor comenzará a girar en uno u otro sentido, en función de cuál sea el desequilibrio aplicado.

Algunas aplicaciones del motor asíncrono monofásico

- Se utilizan fundamentalmente en electrodomésticos, bombas y ventiladores de pequeña potencia, pequeñas máquinas-herramientas, en los mencionados equipos de aire acondicionado, etc.
- Este también se utiliza en aplicaciones de baja potencia (de hasta 1CV).

Principio de funcionamiento del motor asíncrono monofásico.

Este tipo de motor una vez conectado no gira, necesita un movimiento inicial para salir del punto de inestabilidad.

El motor monofásico de inducción una vez que comienza a girar el rotor se producirá en este un momento inducido. Existen dos teorías básicas que explican por qué se produce momento en el rotor cuando este comienza a girar. La teoría del doble campo giratorio de los motores de inducción monofásicos y la teoría de campo cruzado de dicho motores. Ambas explicadas a continuación.

Teoría del doble campo giratorio

Básicamente, esta teoría sostiene que un campo magnético pulsante y estacionario puede descomponerse en dos campos magnéticos giratorios de igual magnitud pero que giran en direcciones opuestas. El motor responde separadamente a cada campo magnético, y el momento neto de la máquina será la suma de los momentos correspondientes a cada uno de los dos campos magnéticos.

Que a la velocidad cero no tendrá momento neto, y lo cual explica el par que este tipo de motor no tiene momento de arranque.

Por otra parte, en un motor monofásico los campos magnéticos tanto de avance como de inversión están presentes y ambos son producidos por la misma corriente.

Teoría del campo cruzado

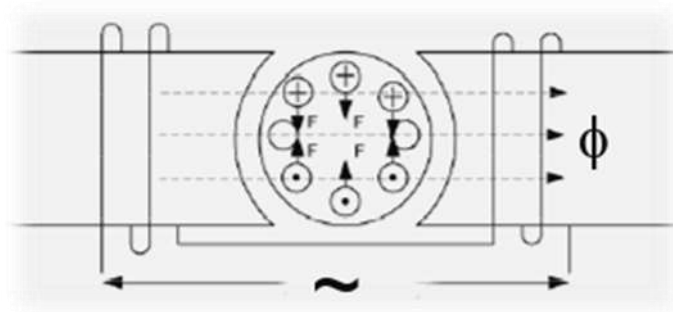
Esta teoría considera el motor de inducción desde un punto de vista totalmente diferente, y se ocupa de las tensiones y corrientes que el campo magnético estacionario del estator puede inducir en las barras del rotor cuando esta se halla en movimiento.

Las tensiones del rotor producen un flujo de corriente en el mismo, pero debido a la alta reactancia del rotor la corriente atrasa a la tensión en cerca de 90° . Como el rotor está girando casi a la velocidad sincrónica, este retardo de tiempo de 90° en la corriente produce una desviación angular de casi 90° entre el plano de la tensión máxima del rotor y el plano de la corriente máxima.

El campo magnético del rotor es, por tanto, un poco menor que el campo magnético del estator debido a las pérdidas del rotor, pero difieren en casi 90° tanto en espacio como en tiempo.

En estos motores la corriente en el devanado auxiliar se encuentra retrazada aproximadamente en 15° respecto de la tensión de alimentación. En tanto que la corriente del devanado principal, que es mayor, está retrazada en unos 40° respecto de la tensión monofásica. A pesar del hecho que la corriente en los dos devanados en cuadratura en el espacio no es igual, aún cuando las componentes en cuadratura son prácticamente iguales.

Si los devanados están desplazados en 90° en el espacio y si las componentes en cuadratura de la corriente, que están desfasadas en 90° , son prácticamente iguales, se produce entonces un campo giratorio bifásico equivalente en el arranque que desarrolla el par suficiente para acelerar el rotor en el sentido del campo giratorio producido por las corrientes. Cuando el rotor acelera genera su propia F.e.m. De rotación (teoría del campo transversal) y tiende a producir un par resultante en virtud de su propia rotación en un sentido particular (teoría del campo giratorio). El par desarrollado por el campo principal pulsatorio (producido por el devanado principal) supera al desarrollado por ambos devanados a un valor del deslizamiento de alrededor del 15%. Asimismo, es evidente, que la corriente sola produciría menos pérdida ya que se eliminarían las pérdidas del devanado auxiliar. Por estas dos razones se utiliza un interruptor centrífugo (normalmente cerrado en reposo) que se accione a un deslizamiento de alrededor de un 25% (par máximo como motor monofásico), con lo que el motor alcanza su deslizamiento nominal (aproximadamente el 5% o menos según la carga aplicada) como motor monofásico en virtud de su propio campo transversal.



Los sistemas ideados para el arranque de los motores asíncronos monofásicos se basan por tanto en provocar un desequilibrio entre los pares antagonistas que generan ambos campos magnéticos. Las principales realizaciones se basan en cambiar, al menos durante el arranque, el motor monofásico por un bifásico (que "arranca sólo"). Un motor bifásico tiene dos devanados en el estator, desplazados $\pi/(2 \cdot P)$. Las principales realizaciones de motores monofásicos utilizando esta técnica son: a) **Motor de arranque por condensador** b) **Motor de fase partida**

Motor monofásico de arranque por condensador

Se trata de motores asíncronos monofásicos que en el momento del arranque son bifásicos. Tienen por tanto dos devanados en el inductor (que siempre está en el estator) desplazados $\pi/(2 \cdot P)$. Estos devanados son:

El devanado principal, así denominado porque es el que recibe energía durante todo el tiempo en el que el motor está funcionando.

El devanado auxiliar, de características idénticas al principal, pero al que se le ha añadido un condensador en serie, que es el que permite conseguir el desfase suficiente entre las dos corrientes. Se denomina devanado auxiliar porque sólo recibe energía eléctrica en el momento del arranque, ya que posteriormente, dicho devanado se desconecta por la acción de un interruptor centrífugo.

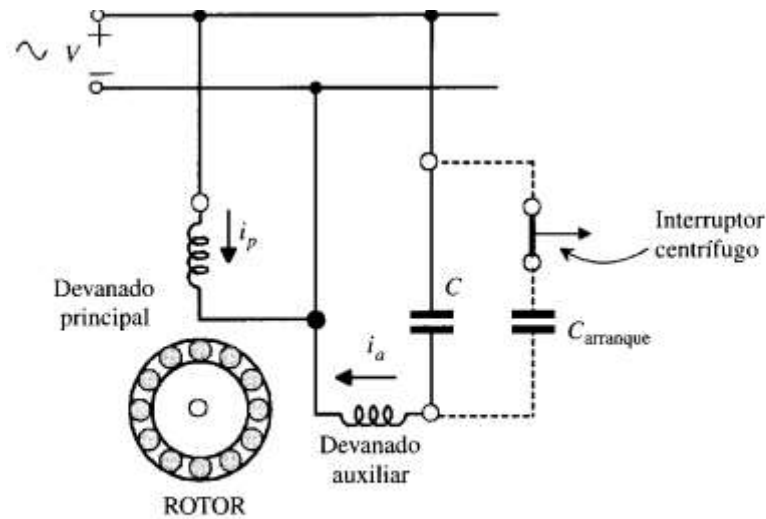
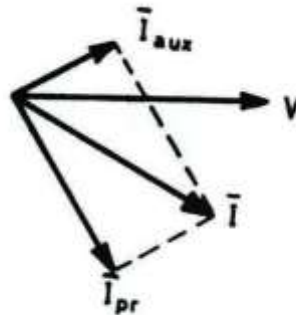


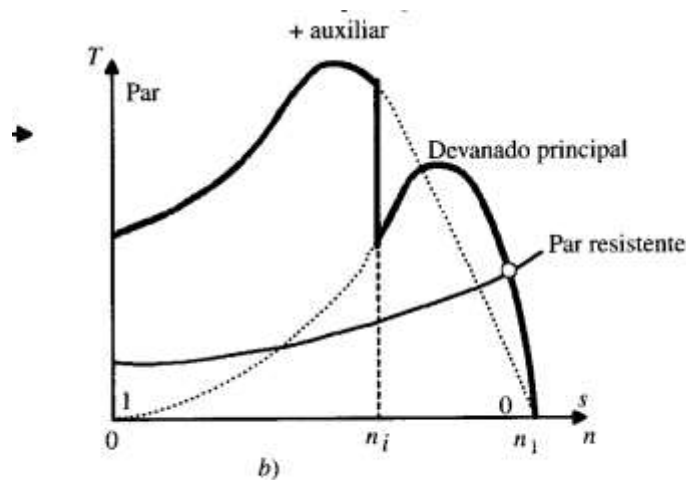
Figura 4.47. Motor monofásico de arranque por condensador.

Para conseguir el arranque es necesario que las corrientes de los dos devanados estén desfasadas como puede apreciarse en la figura adjunta:

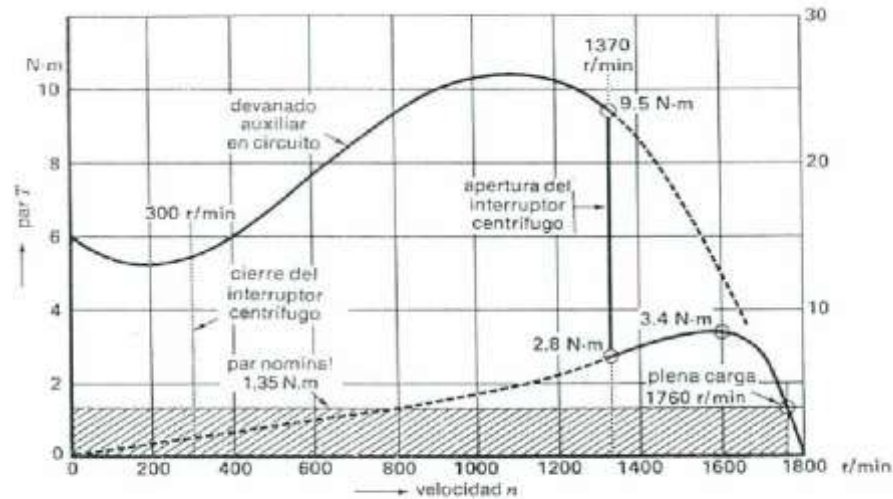


En la mayor parte de los motores monofásicos de arranque por condensador, el motor arranca como bifásico, pero cuando se alcanza una velocidad, de aproximadamente el 75% de la velocidad de sincronismo, se abre el interruptor centrífugo, funcionando a partir de ese momento como un motor monofásico propiamente dicho.

Curva par-velocidad típica de este tipo de motores.



curva par-velocidad de un motor monofásico con condensador.



Curvas par-velocidad de un motor con condensador de arranque, de 250 W, 1760 rpm, 115 V, 60 Hz, aislamiento clase A

La potencia activa absorbida por un motor monofásico es pulsante a la frecuencia $2 \cdot \omega$, razón por la cual, este tipo de máquinas eléctricas estarán siempre sujetas a vibraciones mecánicas.

Motor de fase partida

En este motor se sitúan en el estator dos devanados desfasados 90° eléctricos. En este se crea un campo magnético giratorio que mueva el inducido durante el período de arranque. El campo magnético se obtiene por capacidad o por inductancia.

El primer devanado, se denominado principal, cubre $2/3$ de las ranuras y tiene gran reactancia y baja resistencia, mientras que el otro, denominado auxiliar, cubre el resto del estator y tiene alta resistencia y baja reactancia se realiza con hilo más delgado), de tal forma que está en serie con un interruptor centrífugo situado en el eje del motor.

Para obtener el campo giratorio por capacidad, se utilizan dos arrollamientos de bobinas en serie, llevando una de ellas condensador, que es la que realiza el desfase y por tanto el arranque del motor. El valor de la capacidad del condensador a conectar en el motor viene dado por la siguiente fórmula:

$$C = \frac{3,18 \cdot P \cdot 10^6}{U^2 \cdot \cos \Phi}$$

C= capacidad en microfaradios

P= potencia del motor en kw

U= tensión de alimentación en V

CosΦ= factor de potencia del motor

Este tipo de motores se utiliza en ventiladores, bombas centrífugas, lavadoras, etc. Se construyen generalmente desde potencia 50W hasta 500W.

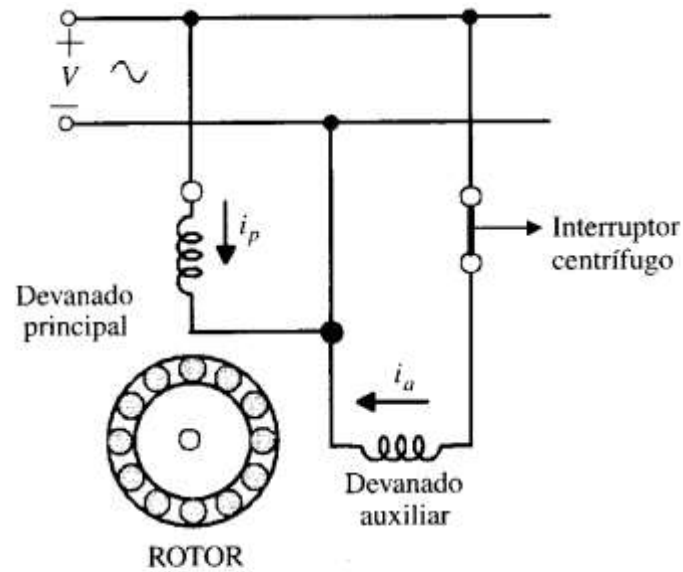


Figura 4.45. Motor de fase partida.

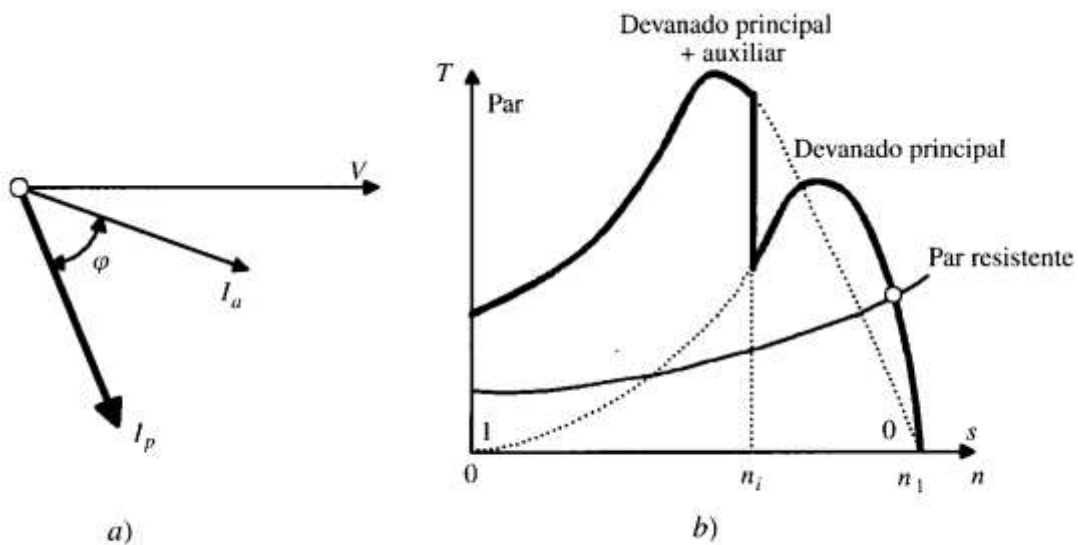
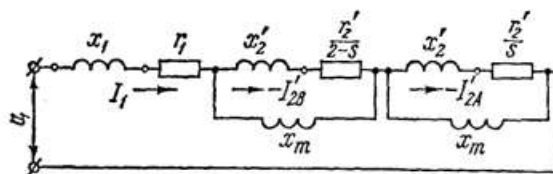


Figura 4.46. Diagrama fasorial y curva par-velocidad de un motor de fase partida.

Circuito eléctrico equivalente de un motor monofásico

A base de lo dicho, el circuito equivalente de un motor monofásico tiene la forma representada en la Figura, donde el circuito secundario con las resistencias x'_2 y r'_2/s corresponde al campo giratorio directo, y con las resistencias x y r corresponde al campo giratorio inverso.



La resistencia de este circuito será:

$$Z_{2-s} = \frac{\left(\frac{r_2'}{2-s} + jx_2' \right) jx_m}{\frac{r_2'}{2-s} + jx_2' + jx_m} = \frac{\frac{r_2'}{2-s} + jx_2'}{1 + \frac{r_2'}{x_m} - j \frac{r_2'}{(2-s)x_m}} \approx \frac{r_2'}{2-s} \frac{1}{\sigma_2} + jx_2' \frac{1}{\sigma_2},$$

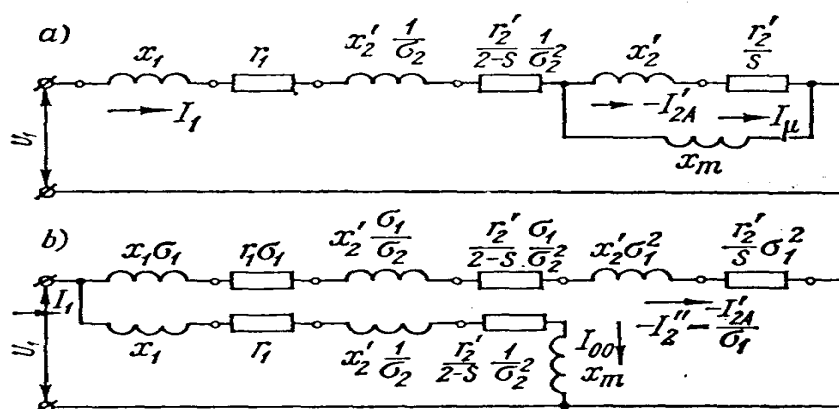
Donde

$$\sigma_2 = 1 + \frac{r_2'}{x_m}$$

es un coeficiente de corrección igual al coeficiente de dispersión del rotor.

Aquí hemos despreciado la parte imaginaria $j r_2' / (2-s) x_m$ que en la gama examinada del resbalamiento s es relativamente pequeña.

Después de esta unión, el circuito equivalente adquiere la forma representada en la Figura.



Circuitos equivalentes precisados de un motor asincrónico monofásico

Saquemos en este circuito el circuito en paralelo con la resistencia X_m a los terminales primarios. Entonces obtendremos el circuito equivalente de la Fig. b) donde el coeficiente de corrección σ_1 , si se desprecia su parte imaginaria, es igual a:

$$\sigma_1 = 1 + \frac{x_1 + x_2' \frac{1}{\sigma_2}}{x_m}$$

En el circuito magnetizante (Fig. b) se puede hacer $s = 0$, puesto que en este circuito X_m es grande en comparación con las otras resistencias de este circuito. La corriente en vacío ideal ($s = 0$), igual a la corriente del circuito magnetizante del circuito de la Fig. B, teniendo en cuenta la resistencia óhmica del circuito magnetizante r_m será y la corriente del circuito principal del circuito de la Fig. B será igual a

$$-I_2' = \frac{U_1}{\left(r_1 \sigma_1 + \frac{r_2'}{s} \sigma_1^2 + \frac{r_2'}{2-s} \frac{\sigma_1}{\sigma_2^2}\right) + j \left(x_1 \sigma_1 + x_2' \sigma_1^2 + x_2' \frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right)}.$$

A base del circuito equivalente de la Fig.b se puede escribir las expresiones para las potencias, los momentos y las pérdidas en los devanados.

$$p_{\text{cob.0}} = I_{20}'^2 \left(r_1 + \frac{r_2'}{2} \frac{1}{\sigma_2^2} + r_m \right).$$

Las pérdidas en el régimen de marcha en vacío ideal ($s = 0$) son para los resbalamientos $s = 0$ y $s = 2$ las resistencias óhmicas r_2'/s y $r_2'/(2-s)$ se hacen respectivamente iguales a la infinidad, por lo cual corriente del circuito principal $I_2' = 0$.

En el caso en que $s \neq 0$ las pérdidas en los circuitos primario y secundario aumentan en la magnitud

$$p_{\text{cob1}} = I_2'^2 r_1 \sigma_1; \quad p_{\text{cob2}} = I_2'^2 \left(r_2' \sigma_1^2 + r_2' \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right).$$

La potencia electromagnética transmitida del circuito primario al secundario es

$$P_{\text{e.m.}} = P_{\text{e.m. A}} + P_{\text{e.m. B}} = I_2'^2 \frac{r_2'}{s} \sigma_1^2 + I_2'^2 \frac{r_2'}{2-s} \times \frac{\sigma_1}{\sigma_2^2} \approx 2I_2'^2 r_2' \frac{1}{s(2-s)}.$$

La potencia correspondiente al momento electromagnético del motor es

$$P_M = P_{\text{e.m. A}} - P_{\text{e.m. B}} \approx 2I_2'^2 r_2' \frac{1-s}{s(2-s)} = p_{\text{cob2}} \frac{1-s}{s(2-s)}.$$

En el régimen de marcha en vacío ideal ($s = 0$) y en el régimen de cortocircuito ($s = 1.0$) tendremos que $P_M = 0$, puesto que en el primer caso $I_2' = 0$, y en el segundo caso $(1-s)=0$.

En el caso de pequeños resbalamientos correspondientes a los regímenes de funcionamiento del motor, se puede aceptar que $s^2 = 0$, por lo cual

$$P_M \approx \frac{P_{\text{cob}}}{2} \frac{1-s}{s} = I_2^2 r_2' \frac{1-s}{s}.$$

El resbalamiento del motor puede ser determinado valiéndose de la ecuación que define la potencia electromagnética de más arriba:

$$s(2-s) = \frac{P_{\text{cob}}}{P_{\text{e.m}}}.$$

La potencia mecánica del motor, en virtud de la ecuación que define a P_M , en los límites de los resbalamientos de trabajo es

$$P_{\text{mec}} = P_M(1-s) = \frac{(1-s)^2}{s(2-s)} P_{\text{cob}} = \frac{(1-s)^2}{s(2-s)} 2I_2^2 r_2'.$$

Consideraciones generales sobre el generador asincrónico

Un motor trifásico asíncrono que marcha conducido por una máquina motriz (turbina de vapor, motor diesel, etc....) en la dirección del movimiento del motor y a una velocidad mayor que la del sincronismo, es capaz de producir energía eléctrica cuando su estator recibe una tensión determinada. A estas máquinas se las denomina **generadores trifásicos asíncronos**. La corriente necesaria para la excitación ha de ser totalmente reactiva y debe proceder de un generador síncrono o de la red. Es decir, que el generador asíncrono no tiene funcionamiento autónomo, ya que no puede producir por sí mismo, la corriente de excitación que necesita para su funcionamiento.

La velocidad de accionamiento es, en la práctica, aproximadamente 7% superior a la velocidad del sincronismo. Se dice entonces que el deslizamiento es negativo, también, que la máquina marcha en hipersincronismo.

Funcionamiento del generador asíncrono trifásico

El generador asíncrono trifásico puede ser una máquina de inducción con rotor en cortocircuito. Por lo tanto, resulta una máquina sencilla y barata que no necesita corriente continua para la excitación y carece de anillos colectores y de escobillas.

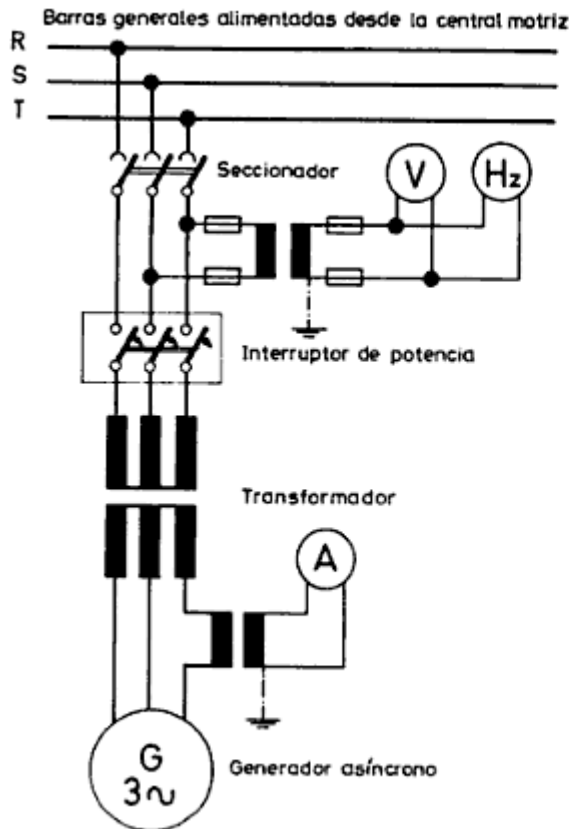


Fig. 225. — Esquema de conexiones de un generador asíncrono trifásico.

En la figura 225 se representa el esquema de conexiones de un generador de esta clase, en donde puede apreciarse la sencillez de la instalación. Se prescinde totalmente de dispositivos para el arranque, sincronización y regulación; por lo tanto no es necesario personal de servicio especializado y el mantenimiento es casi nulo, exceptuando la limpieza, engrase de los cojinetes, etc....

La corriente proporcionada por un generador asíncrono es totalmente activa. La constancia del deslizamiento está garantizada por la central con generador síncrono que suministra la tensión de forma que, aun cuando la maquina motriz que acciona el generador carezca de regulador de velocidad, las oscilaciones de carga y de tensión de la central principal quedan absorbidas y autorreguladas.

Dadas sus condiciones de funcionamiento, el generador asíncrono tiene la extraña propiedad de alimentar una red con una frecuencia determinada, sin que su velocidad corresponda a esa frecuencia.

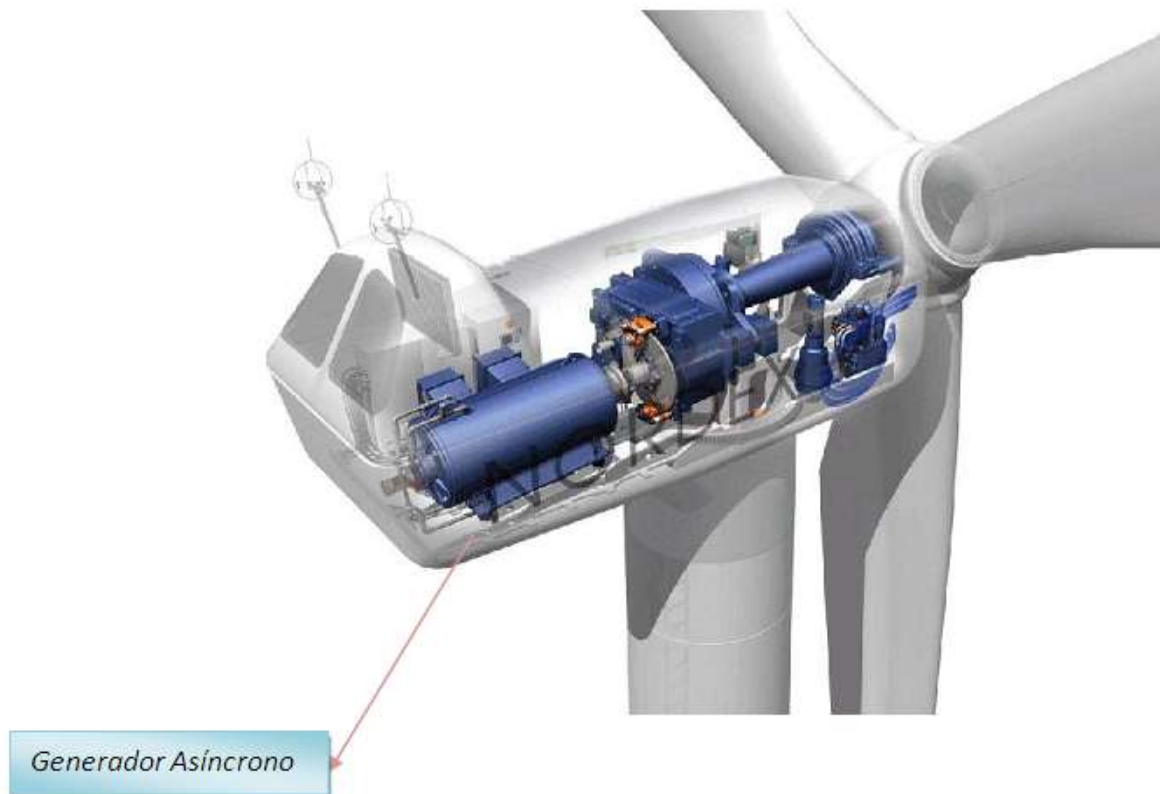
Además de las ventajas indicadas, el generador asíncrono es más económico, tiene menor peso y las dimensiones, y tiene mejor rendimiento que el generador síncrono de la misma potencia.

Las desventajas del generador asíncrono con respecto al generador síncrono son:

- Su funcionamiento no es autónomo, puesto que su corriente de excitación ha de tomarla de una red ya existente.
- Como la corriente de excitación es totalmente reactiva y ha de proporcionarla el generador síncrono principal, disminuye el factor de potencia de este generador principal.
- Cuando ocurre un brusco descenso de la carga de la red, o se desconecte de la misma, el generador asíncrono, bajo carga, existe el peligro de que la maquina motriz se embale, a causa de que el generador está trabajando prácticamente en vacío. Debe evitarse este peligro mediante la instalación de interruptores automáticos de intensidad mínima.

Los generadores asíncronos se utilizan en centrales de reserva o en centrales de punta, para trabajar conjuntamente con grandes centrales; las puntas de carga quedan cubiertas con el generador asíncrono.

Particularidades sobre el uso del generador asincrónico en la generación eólica



En un aerogenerador transforma energía cinética del viento en energía mecánica mediante el giro del rotor eólico. Esta energía mecánica que aparece en el eje de éste rotor en forma de par y vueltas por unidad de tiempo, se transforma en energía eléctrica mediante una máquina eléctrica, que opera en modo generador de energía eléctrica, gracias al giro del eje del rotor del aerogenerador, provocado por la acción del viento sobre las palas.

En las aplicaciones eólicas, la energía eléctrica habitualmente se genera en forma de corriente alterna (ca). Los generadores de corriente alterna (alternadores) pueden ser de dos tipos.

a) **Síncronos**

- De polos formados por electroimanes alimentados con corriente continua.
- De polos formados por imanes fijos o permanentes.

b) **Asíncronos o de inducción**

- De jaula de ardilla.
- De rotor devanado.

Generador de corriente alterna asíncrono o de inducción

La utilización de la máquina asíncrona o de inducción en generación de energía eléctrica mediante aerogeneradores es actualmente mayoritaria

En este tipo de máquina eléctrica, el campo magnético giratorio se crea a través del estator, cuyos devanados deberán estar conectados a una fuente exterior de tensión alterna. Esta es la razón básica por la que la máquina asíncrona es consumidora de energía reactiva, ya que al ser el bobinado una carga inductiva, para generar el campo magnético consumirá corriente desfasada de la tensión.

Si partimos de una máquina asíncrona con el rotor en reposo, la acción del campo magnético giratorio sobre las bobinas de rotor induce una fuerza electromotriz en las mismas. Esta fuerza electromotriz inducida motiva el paso de corrientes por las bobinas del rotor, las cuales normalmente están cerradas en cortocircuito (máquina de jaula de ardilla) presentando apenas resistencia. El campo giratorio ejerce fuerzas sobre los conductores recorridos por una corriente eléctrica, originándose un par de giro que pone en movimiento al rotor en el mismo sentido que el campo magnético giratorio. El rotor irá girando cada vez más rápido reduciéndose la diferencia de velocidades de giro entre el campo magnético y el rotor. Al disminuir la diferencia de velocidad, las tensiones inducidas, al igual que las corrientes en el rotor decrecen llegando a

ser nulas cuando el rotor alcanza casi la velocidad de rotación del campo giratorio, denominada velocidad de sincronismo.

La velocidad de sincronismo vendrá definida al igual que en las máquinas síncronas por la frecuencia de la señal eléctrica externa y por el número de pares de polos alojados en este caso en el estator.

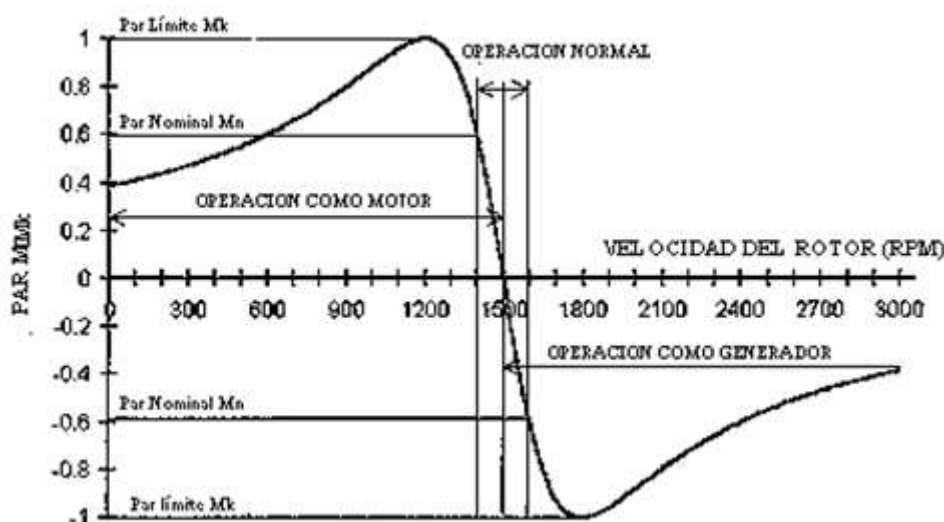
A la diferencia entre la velocidad de giro del campo magnético y del rotor se le denomina deslizamiento (S).

Hasta este punto se ha descrito el funcionamiento de la máquina asíncrona como motor, ya que se ha utilizado energía eléctrica para mover un rotor - energía mecánica.

Pero que ocurre si mediante una aeroturbina acoplada a esta máquina hacemos girar el rotor en el mismo sentido del campo giratorio, a una velocidad superior a la de sincronismo. El deslizamiento cambiará de signo, el sentido de la fuerza electromotriz inducida en la fase del rotor se invierte, al igual que la corriente que ésta determina, ambas tendrán una frecuencia correspondiente a la diferencia de velocidades y la máquina pasará a funcionar como generador, cediendo a la red a la que está conectada la potencia que desarrolla la aeroturbina.

Tal circunstancia, evidentemente, no se da si en la máquina no existe previamente un campo magnético giratorio, lo cual exige que la red suministre a la máquina de inducción la corriente magnetizante que excite el campo magnético. Por ello, el generador asíncrono se define como no autoexcitable.

A medida que aumenta la diferencia de velocidad de giro entre el rotor y el campo magnético producido por el estator, se produce una mayor tensión en el rotor y, consiguientemente crece la corriente que circula por él. Con mayor corriente, el campo magnético debido al rotor también crece y el flujo de potencia activa hacia la red eléctrica será mayor, al igual que el consumo de potencia reactiva por parte de la máquina. Esta tendencia se mantendrá hasta llegar al par resistente máximo del generador.



Dentro de un rango limitado la potencia y el par son proporcionales al deslizamiento, obteniéndose una característica ligeramente inclinada. En este tramo la energía reactiva consumida es capaz de mantener el flujo magnético necesario para que el generador presente un par resistente creciente, pero a partir de un determinado deslizamiento (entre el 5 y el 10%, según la máquina) el incremento de la corriente en el rotor hace que las pérdidas debido a la resistencia del mismo (pérdidas Joule), disminuyan el par resistente y, por lo tanto, se puede producir el embalamiento del rotor. Además, el excesivo aumento de las pérdidas produce un sobrecalentamiento del rotor, que por radiación puede afectar también al estator.

Este último inconveniente puede reducirse en parte dependiendo del modo de ventilación utilizado y de su propia construcción, ya que si todos los detalles del diseño son conocidos se pueden aplicar límites más ajustados mediante el cálculo cuidadoso de los transitorios térmicos que puedan aparecer.

Por las anteriores razones, no es recomendable operar en el rango cercano al deslizamiento máximo, aunque también se puede incrementar el deslizamiento para un par dado, aumentando la resistencia de las barras del rotor, pero el producto del par y el deslizamiento creciente representa mayores pérdidas, disminuyendo el rendimiento del generador.

A la hora de seleccionar un determinado generador asíncrono se deberá tener en cuenta el par máximo en tanto por ciento, ya que el coste del generador guarda cierta relación con la raíz cuadrada del par máximo del mismo.

Como recomendación en el proceso de selección, una vez conocida la potencia de la turbina a utilizar, el rango de velocidades de viento en el emplazamiento determinado y la característica par - velocidad del generador, solo queda valorar la garantía y el precio. Normalmente, se dan pocos casos en los cuales una velocidad de viento excesiva haga que el par de la turbina pueda exceder del par máximo del generador, no obstante se debe programar en el control la desconexión de la línea, si la potencia máxima se supera durante 10 segundos. Posteriormente, el generador podrá volverse a conectar a la línea en el momento en que la velocidad de la turbina esté por debajo de la velocidad máxima del generador. Por el contrario, con velocidades de viento muy bajas, la velocidad de la turbina puede llevar a funcionar al generador a velocidades por debajo de la velocidad de sincronismo, invirtiéndose el par generador y poniéndose la máquina a funcionar como motor. Si esta situación se da durante un intervalo de tiempo determinado, la máquina deberá ser desconectada de la línea.

El aerogenerador con generador asíncrono o de inducción sólo tiene, al igual que el basado en generador síncrono una velocidad de viento óptima, para la cual da la potencia nominal. Por debajo de esa velocidad su rendimiento baja mucho, aunque se ajusta mejor al par ofrecido por el rotor eólico gracias a la capacidad de disminuir un poco su velocidad (deslizamiento).

Otra característica del generador de inducción es su factor de potencia, el cual varía con la carga. Una excesiva demanda de potencia reactiva es peligrosa, ya que causa caídas de tensión en la línea y en los transformadores. Recordemos que parte de esa corriente reactiva demandada se utiliza como corriente magnetizante para obtener un flujo magnético. La corriente de magnetización para carga máxima varía desde el 20% para generadores de 4 y 6 polos y el 40% para los generadores de 10 polos o más. Respecto al porcentaje que representa la potencia reactiva demandada por el generador sobre su potencia máxima, éste suele suponer entre el 15 y el 20%.

Para pequeños generadores, el consumo de potencia reactiva no es muy importante, pero para grandes máquinas hay que tenerlo en cuenta sobre todo para efectuar la compensación de corriente reactiva en vacío. Esta compensación se realiza mediante baterías de condensadores en paralelo con la línea de salida del generador. La regulación de estas baterías se hace por tensión mediante un relé, el cual desconectará los condensadores si la tensión supera el valor de 1.15 p.u. de la tensión nominal. Esta protección suele estar ajustada para que abra a los 15 ciclos de detectar que la corriente del condensador supera a la de magnetización, o la tensión sube demasiado.

El alto par motor que presentan las máquinas asíncronas en el momento de su conexión a una red eléctrica hace que absorban corrientes muy superiores a la nominal (hasta 6 veces). Para evitar estas corrientes habitualmente se instalan los denominados sistemas de arranque suave (soft-start) compuestos por dos dispositivos semiconductores en anti paralelo, por fase que limitan la corriente de conexión, evitando variaciones de tensión en la red que afecten a la calidad de suministro. Este hecho se hace más palpable en sistemas eólico-diesel o aerogeneradores conectados a redes débiles.

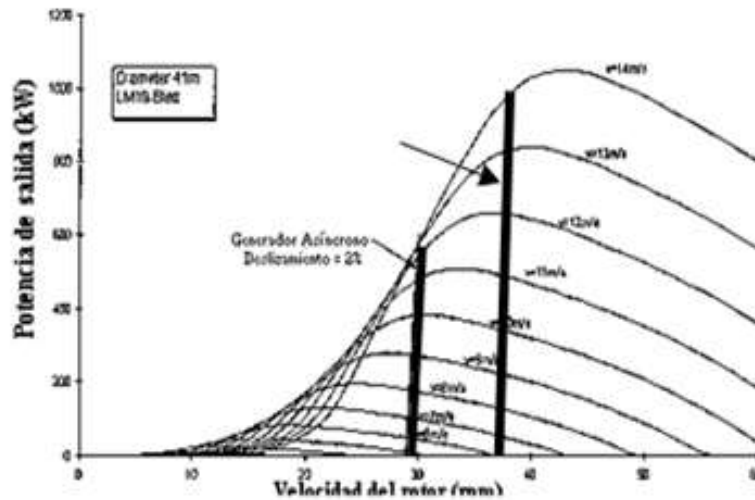
Ya se ha dicho que la solución del generador asíncrono para aerogeneradores conectados a red bien sean redes de gran potencia o débiles (sistemas eólicos - diesel o redes en antena) es la más extendida por su fiabilidad, sencillez de operación y mantenimiento y coste. Con respecto a la eficiencia del aerogenerador de velocidad fija, cuando el aerogenerador opera bajo vientos con velocidades inferiores a la nominal o de diseño (la velocidad de viento a la que el aerogenerador alcanza su potencia nominal suele encontrarse entre 10 y 14 m/s normalmente) su eficiencia baja bastante por no poder acoplar la velocidad de rotación a las variaciones de la velocidad del viento.

Para mejorar el rendimiento del aerogenerador con generador de inducción (velocidad constante), la mayoría de los fabricantes diseñan el sistema de generación con dos velocidades de sincronismo, de forma que el sistema opere a una velocidad de rotación menor para bajas velocidades de viento y mayor para altas velocidades de viento.

Hay varias formas para obtener la operación a doble velocidad:

1. Caja multiplicadora dos doble eje de salida con distinta relación Par/vueltas.
2. Dos generadores de distinta potencia y número de polos instalados sobre el mismo eje y sistema de conmutación de las conexiones.
3. Generador de doble bobinado, la más utilizada. (ABB, SIEMENS etc.)

Figura. Representación de las características de un generador de inducción de doble bobinado.



Las principales características que deben tener los generadores de inducción para aplicaciones en aerogeneradores son:

- Capacidad de operar a dos velocidades de sincronismo.
- Buen rendimiento a carga parcial.
- Buena relación potencia/peso.
- Gran capacidad de sobrecarga instantánea.
- Bajo consumo de potencia reactiva.
- Alta calidad de bobinado de los devanados especialmente en unidades de gran Potencia.

Describe los regímenes especiales de la máquina asincrónica

Las máquinas asincrónicas pueden estar divididas en:

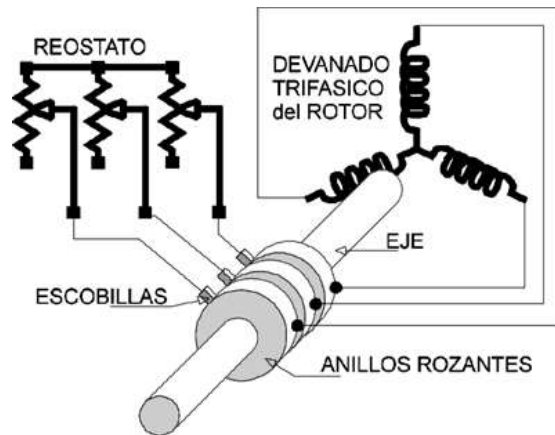
Trifásica: Para medias y grandes potencias, hasta la orden de grandeza de los megavatios

Monofásica: Ampliamente utilizadas para pequeñas potencias (desde pocos vatios hasta algún centenar de vatios).

Máquinas de rotor bobinado (o de anillos):

En este tipo de máquina el rotor tiene bobinados análogos a aquellos de estator, con igual número de fases y de polos.

En el caso trifásico ellos están conectados en estrella y los tres terminales libres están enlazados a tres anillos metálicos, engargolados sobre el eje a una extremidad del rotor que, a través de tres escobillas, realizan contactos rastreros, con los cuales los bobinados del rotor están conectados al reóstato de arranque.



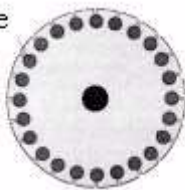
Máquinas de jaula de ardilla (o de cortocircuito)

En el empleo como motores de pequeña y media potencia, las máquinas de jaula de ardilla están frecuentemente preferidas al motor de rotor bobinado para su simplicidad constructiva y robustez, acompañadas además por una menor flexibilidad de funcionamiento.

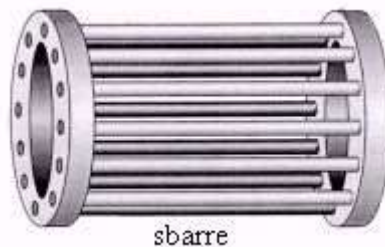
Máquinas de jaula individual

En este tipo de máquina cada ranura de rotor aloja un solo conductor o barra, en cobre o en bronce o en aluminio. Todas las barras están conectadas entre ellas en correspondencia de cada cabeza a través de dos anillos soldados, que las ponen permanentemente en cortocircuito.

sbarre



Rotor de jaula individual



sbarre

Máquinas asincrónicas para dispositivos automáticos

A. Máquinas Bifásicas Con rotor Hueco

Estas máquinas encuentran amplia aplicación en calidad de motores accionados (servomotores). En los esquemas de la automática estos motores deben reaccionar a la variación de una magnitud eléctrica determinada (señal) y de acuerdo con la intensidad y la duración de la acción de esta magnitud ejercer una influencia determinada e los otros elementos del dispositivo automático.

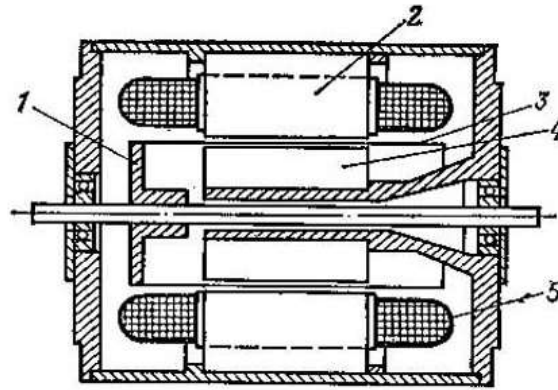


Fig. 26-5. Máquina asincrónica bifásica con rotor hueco

1 — casquillo del rotor; 2, 4 — estator; 3 — rotor hueco; 5 — devanado del estator

La construcción del motor con rotor hueco se muestra en la **fig. 26-5**. El estator (2) de este motor es de construcción análoga, al estator de una máquina asincrónica normal y tiene un devanado (5) compuesto por dos fases desplazadas en el espacio una de la otra a 90 grados eléctricos. El motor tiene también un estator interior (4), es decir, un paquete fijo de hojas de acero para transformadores. El fin de este estator consiste en disminuir la resistencia del circuito magnético del motor. El rotor (3) del motor está hecho en forma de cilindro hueco de paredes delgadas (menos de un milímetro) de metal o de aleación amagnética (por lo general aluminio). El rotor está sujeto al casquillo (1) por intermedio del cual el movimiento se transmite al árbol.

Con esta construcción el rotor posee una inercia insignificante, cosa de extraordinaria importancia desde el punto de vista de la rapidez de respuesta del motor a la aparición o desaparición de la señal.

Una de las fases del devanado del estator es el devanado de excitación y durante el trabajo del dispositivo automático está conectado a una tensión de corriente continua de magnitud constante. La otra fase es el devanado de control al cual se transmite la así llamada señal en forma de tensión de corriente alterna desfasada 90° de la tensión de excitación y puede variar desde cero hasta una magnitud determinada.

Las máquinas con rotor hueco se emplean ampliamente también en calidad de generador tacométrico. En los dispositivos automáticos el generador tacométrico es un elemento de medida de velocidad de rotación y actúa sobre un elemento determinado del circuito por medio de la f.e.m. inducida en el devanado de control.

B. transformadores giratorios

En los dispositivos automáticos surge la necesidad de obtener tensiones que son funciones del ángulo de giro α de un mecanismo determinado. Estas tensiones actúan, a su vez, sobre otros elementos del sistema realizando la regulación en función del ángulo de giro.

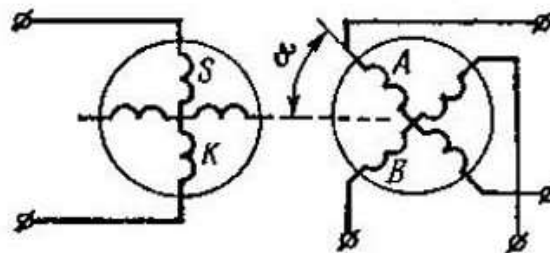
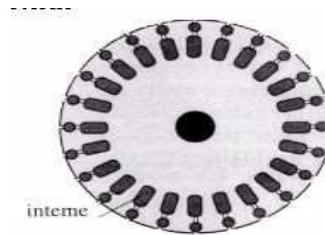


Fig. 26-8. Circuito de conexión de los devanados de un transformador rotatorio de senos y cosenos

Para semejantes fines se emplean transformadores giratorios (**fig. 26-8**), análogos por su construcción a las máquinas asincrónicas normales con dos devanados (S, K) en el estator y dos devanados semejantes (A, B) en el rotor. En estos transformadores se toman medidas para que la distribución de la inducción magnética a lo largo del entrehierro sea en lo posible a la sinusoidal.

Máquina de doble jaula

En este tipo de máquina cada ranura de rotor aloja dos barras, una externa de pequeña sección y una interna de sección mucho mayor, realizando así dos jaulas coaxiales, cada una análoga a la máquina de jaula individual. También en este caso todas las barras están conectadas entre ellas en correspondencia de cada cabeza a través de anillos soldados que las ponen permanentemente en cortocircuito.



Rotor de doble jaula

Este transformador se llama de senos y cosenos y las tensiones de los devanados A y B serán también proporcionales a $\sin \alpha$ y $\cos \alpha$, si estos devanados y sus cargas externas son iguales. En caso contrario surgen distorsiones provocadas por el flujo de la reacción transversal dirigido perpendicularmente al eje del devanado S. Estas distorsiones se pueden reducir al mínimo cortocircuitando el devanado K a una resistencia pequeña exterior. Esta medida se llama sincronización o equilibraje.

Esta solución está utilizada en los motores que deben arrancar cargados, porque aumenta el par de arranque disminuyendo la corriente de arranque.

La dificultad se encuentra en el planeamiento de los entrehierros que limitan su mejor funcionamiento. La ventaja es también de poder estar arrancado con tensión reducida al vacío. En este caso no es necesario aislar los conductores rotóricos desde el hierro.

Regímenes especiales de trabajo de las máquinas asincrónicas

El resbalamiento por unidad resulta:

$$s = (n_s [\text{RPM}] - n[\text{RPM}]) / n_s [\text{RPM}]$$

- Con resbalamiento negativo (velocidad mayor que la sincrónica) la máquina asincrónica es un generador.
- Con resbalamiento positivo entre 0 y 1 (velocidad menor que la sincrónica) la máquina asincrónica es un motor.
- Con resbalamiento positivo mayor que 1 (velocidad negativa) la máquina asincrónica es un freno.

Régimen de Frenado eléctrico de los motores asincrónicos

El cumplimiento correcto del proceso de producción requiere en toda una serie de instalaciones un frenado rápido y suave del motor, que sucede en concordancia exacta con el diagrama dado de velocidades. El frenado se puede realizar por vía mecánica o eléctrica, pero el frenado eléctrico posee una serie de ventajas ante el frenado mecánico, en particular en aquellos casos cuando se exige una regulación precisa del momento de parada y suavidad de la operación.

Existen tres métodos principales de frenado eléctrico de los motores asincrónicos: a) régimen de contracorriente o régimen de freno electromagnético, b) régimen de frenado por generador y c) régimen de frenado dinámico.

Frenado del motor por el método de contracorriente.

Al frenar el motor por este método se cambia el sentido de rotación del campo conmutando dos conductores de líneas cualesquiera de los que están conectados al estator.

En este caso el rotor gira en sentido contrario al campo con el resbalamiento $s > 1$. Si el motor tiene rotor con anillos de contacto, entonces para limitar la contracorriente, en el circuito del rotor se intercala una resistencia óhmica r_{ad} . Sabemos que con el aumento de r_{ad} conlleva el máximo del momento, permaneciendo constante de magnitud, se desplaza hacia el lado de cada vez mayores resbalamientos positivos.

Por consiguiente, se puede tomar tal resistencia r_{ad} , con la cual el motor asincrónico, pasando al régimen de freno electromagnético, desarrolle el par de frenado necesario.

En la Figura se muestra el circuito que ha obtenido mayor divulgación. Su particularidad característica consiste en que, en primer lugar, durante el frenado el estator del motor se conecta a la red como monofásico y, en segundo lugar, en que dos devanados de fase están cortocircuitados. Es sobre todo de gran importancia esta última circunstancia, puesto que sin el circuito cortocircuitado tendríamos un motor monofásico corriente sin régimen de frenado.

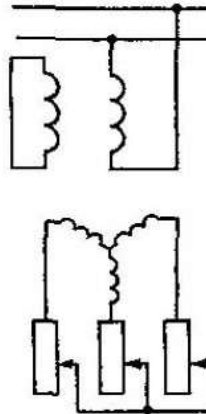


Fig. 26-1. Circuito de frenado de un motor asincrónico

Circuito de frenado de un motor asincrónico

El análisis de este circuito demuestra que todo sucede como si tuviéramos en un mismo árbol dos motores trifásicos que desarrollan momentos dirigidos en sentidos opuestos. Las características de frenado de este circuito son favorables.

A los defectos de este circuito se refieren: peor utilización de la máquina monofásica en comparación con la trifásica, la influencia desfavorable de la carga monofásica en la simetría de la tensión de la red trifásica y un factor de potencia reducido de la máquina. No obstante, en la mayoría de los casos estos defectos no tienen gran importancia.

A. Régimen de frenado por generador.

Este régimen se emplea principalmente en los motores con conmutación de los polos. Si el motor funciona con el menor número de polos $2p$, es decir, con la mayor velocidad $n_1 = f/p$, entonces, conmutándolo al mayor número de polos $2 \cdot 2p$, realizaremos el frenado por generador en los límites desde $n_1 = f/p$ hasta $n'_1 = f/2p$. Para continuar frenado hasta una velocidad inferior a n_1 hay que hacer pasar la máquina al régimen de contracorriente.

El régimen de frenado por generador se emplea también en los mecanismos de elevación y transporte al bajar cargas pesadas. En este caso la máquina devuelve a la red la energía recibida debido a la carga que desciende.

B. Régimen de frenado dinámico.

En este caso el estator se desconecta de la red y se excita por la corriente continua de una fuente cualquiera de corriente continua: un excitador o un rectificador. En la **Fig. 2** se representa uno de los circuitos posibles. Aquí, **Est** es el estator, dos devanados de fase del cual se alimentan durante el frenado por el rectificador seco **RS**; **Rot** es el rotor en cortocircuito; **Int 1** e **Int 2** son los interruptores que conectan el rectificador durante el frenado. Son posibles también otros circuitos de conexión de los devanados del estator, por ejemplo: los tres devanados de fase conectan en serie por el esquema (A—X) — (Y—B) — (Z—C), dos devanados paralelos se conectan en serie con el tercero, etc.

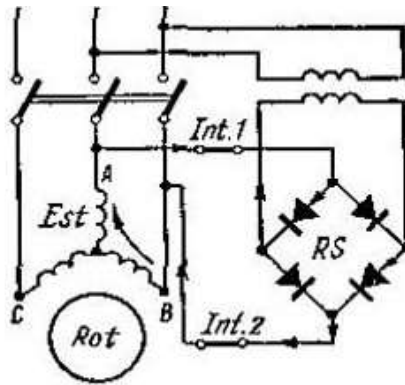


Fig. 26-2. Circuito de frenado dinámico de un motor con rotor en cortocircuito

En el circuito de la Fig. 26-2 se ve que en el régimen de frenado dinámico la máquina asincrónica representa un generador síncrono inverso en el que el estator crea un campo magnético inmóvil en el espacio, y el rotor es el inducido del generador. La energía de frenado se absorbe en el rotor. En los motores con anillos de contacto, durante el frenado se puede insertar la resistencia r_{ad} y con esto influir sobre la curva del momento de frenado de la máquina, que como muestra el análisis es casi igual que la curva del momento de una máquina asincrónica.

En los motores de jaula de ardilla la variación del par de frenado se alcanza regulando la tensión de la corriente continua. En este caso se deben considerar las fuerzas de tracción unilateral entre el estator y el rotor.

Funcionamiento de un motor asincrónico en el régimen de alimentación doble (bilateral)

Habitualmente al motor asincrónico se suministra energía eléctrica sólo por el lado del estator. Pero en los motores con anillos de contacto se puede suministrar la energía a ambas partes de la máquina, es decir, al estator y al rotor, conectando para ello sus devanados en serie o en derivación. Este motor se llama **motor de alimentación doble o. bilateral**.

Supongamos que el estator y el rotor están conectados en paralelo, y aclaremos las condiciones necesarias para el funcionamiento de un motor de alimentación bilateral.

La corriente I_1 suministrada de la red al estator, crea una f.m., el primer armónico de la cual gira con respecto del estator con la velocidad $n_1 = f/p$.

La corriente I_2 suministrada de la red al rotor, crea una f.m. que gira con respecto del rotor con la velocidad $n_2 = n_1 = f/p$. El sentido de rotación de esta f.m. puede coincidir con el sentido de rotación del rotor y puede ser contrario a este último. Si n es la velocidad de rotación del rotor, entonces, en el primer caso, la velocidad de rotación de la f.m. del rotor en el espacio es igual a $n + n_2$ y, en el segundo caso, a $n - n_2$.

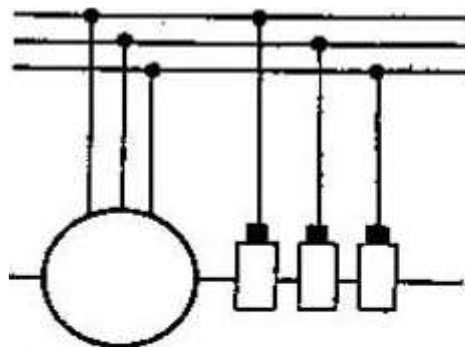


Fig. 26-3 Máquina de alimentación doble

Máquina de alimentación doble

Para crear el momento de rotación es necesario que las f.m. del estator y del rotor (los primeros armónicos) sean inmóviles una respecto a otra, o sea, que

$$n_1 = n \pm n_2 \text{ o bien } n = n_1 - (\pm n_2)$$

En la última expresión del signo superior se refiere al caso cuando la f.m. del rotor gira en el mismo sentido que el rotor, y el inferior, al caso cuando gira en sentido contrario al rotor. Dado que $n_1 = n_2$, el motor funciona en el régimen de alimentación bilateral siendo a) $n = 0$ y b) $n = 2n_1$. En el Segundo caso tenemos una máquina que gira con doble velocidad sincrónica y que posee una serie de propiedades de la máquina sincrónica. En particular, para realizar el régimen de doble velocidad el motor debe ser acelerado hasta esta velocidad por medios ajenos. También es un defecto de esta máquina su mayor tendencia a las oscilaciones.

Si $U = \text{const.}$, prácticamente permanece también constante el flujo Φ de la máquina de la alimentación bilateral y, por consiguiente, la f.m. resultante F_m de los devanados del rotor y el estator. En el régimen de marcha en vacío los ejes de las f.m. de los devanados del estator F_1 y del rotor F_2 coinciden, por lo cual, considerando F_1 y F_2 como vectores espaciales, se puede escribir que

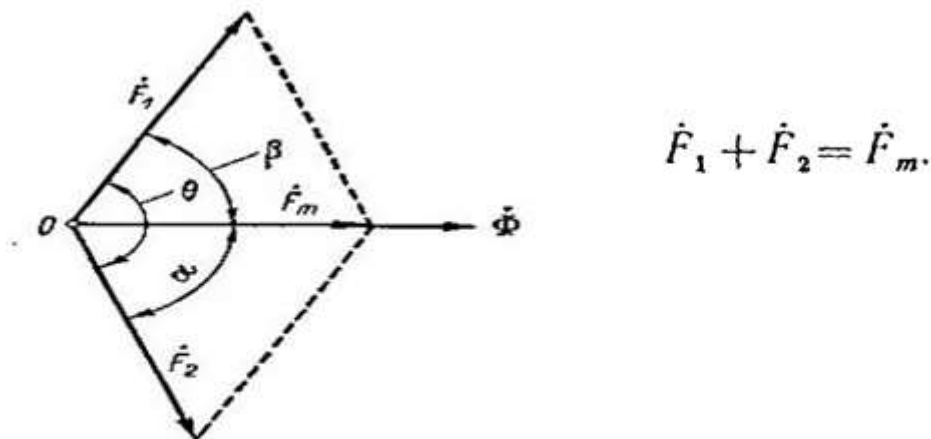


Fig. 26-4. Diagrama de f.m. de un motor de alimentación doble

Durante la carga del motor su rotor se desplaza cierto ángulo θ con respecto al estator y entonces a lo que corresponde el diagrama vectorial de la Fig. 6.4. En este caso aumentan correspondientemente las magnitudes de las f.m. F_1 y F_2 y simultáneamente aumentarán las corrientes en el estator y en el rotor.

$$\dot{F}_1 + \dot{F}_2 e^{-i\theta} = \dot{F}_m$$

El motor de alimentación bilateral puede también funcionar en el régimen de velocidad asincrónica, pero, en este caso, la máquina entrega a la red corrientes con frecuencia de resbalamiento, cosa que se refleja negativamente tanto en el funcionamiento de la red, como de los generadores sincrónicos que la alimentan. Por esta razón, el significado práctico de la máquina asincrónica de alimentación bilateral en los regímenes de velocidades sincrónica y asincrónica no es muy grande.

En el caso general la máquina de alimentación bilateral puede funcionar alimentada por la red con distintas tensiones y frecuencias y tener un estator y un rotor con distintos parámetros.

Este caso fue investigado por V. T. Kasyanov, que dio las expresiones generales para las corrientes y f.e.m. de esta máquina, y que mostró que se puede considerar como un caso general de las máquinas de corriente alterna. Las máquinas de alimentación bilateral, tanto las trifásicas, como sobre todo las monofásicas, tienen gran aplicación en los sistemas de enlace por aparatos sincrónicos.

Embrague electromagnético deslizante

El embrague electromagnético deslizante se emplea para el enlace elástico entre el motor primario y el mecanismo accionado. Este embrague está compuesto por a) la parte conducida, generalmente la interior, que prácticamente representa el rotor de una máquina asíncrona con devanado de fase o, con más frecuencia, en jaula, y b) la parte conductora, la exterior, con polos salientes excitados por corriente continua. La parte conducida del embrague está acoplada mecánicamente con el mecanismo accionado; la parte conductora, con el motor primario.

Durante la rotación la parte conductora excitada entra en interacción electromagnética con la parte conducida y la arrastra con cierto resbalamiento s , así como el campo giratorio de un motor asíncrono arrastra el rotor. En el régimen de funcionamiento estable $s = 1-2\%$.

Regulando la corriente de excitación tenemos la posibilidad de embragar y desembragar simple y muy suavemente las partes conductora y conducida. Al mismo tiempo, correspondientemente a cada valor dado de la corriente de excitación el embrague desarrolla un momento de vuelco determinado y, por consiguiente, es una especie de seguro que protege al motor primario contra las sobrecargas excesivas y los saltos de la carga.

Haciendo la parte conducida con dos jaulas de ardilla se puede obtener un embrague que desarrolla pares de arranque bastante considerables. La rama principal de aplicación de los embragues electromagnéticos son las instalaciones de hélice en los barcos. En la actualidad estos embragues se emplean en las instalaciones aerodinámicas. La potencia de una de estas instalaciones es de 8800 Kw.

Conclusiones Generales

El motor asíncrono o de inducción es el tipo de motor de corriente alterna más popular debido a la simplicidad y facilidad de operación. Un motor de inducción no tiene circuito separado de campo; en su lugar, depende de la acción de un transformador para inducir voltajes y corrientes en su circuito de campo. En efecto un motor, de inducción es básicamente un transformador rotante y su circuito equivalente es similar al de un transformador, excepto en lo que respecta a la variación de la velocidad.

También cabe destacar, que el motor asíncrono opera normalmente a una velocidad cercana a la sincrónica, pero nunca puede operar a esa velocidad. Siempre debe haber algún movimiento relativo para inducir voltaje en el circuito de campo del motor asíncrono.

Por otro lado, en un motor de inducción, el deslizamiento o velocidad al cual ocurre el par máximo puede ser controlado variando la resistencia del rotor. El valor del par máximo es independiente de la resistencia del rotor. Si la resistencia del rotor es alta, disminuye el valor de la velocidad a la cual ocurre el par máximo e incrementa el par de arranque del motor.

Las máquinas de inducción se pueden utilizar como generador si hay una fuente de potencia reactiva (capacitores estáticos o una máquina sincrónica) disponible en el sistema de potencia. Un generador de inducción aislado presenta graves problemas de regulación de voltaje, pero cuando opera en paralelo con un gran sistema de potencia, este puede controlar el voltaje de la máquina. Los generadores de inducción son máquinas pequeñas que se utilizan en fuentes de energía alternativas como molinos de viento o en sistemas de recuperación de energía. Casi todos los generadores grandes en uso son generadores sincrónicos.

Bibliografía

- Máquinas Eléctricas 5ta ed. - Jesús Fraile Mora
- Máquinas Eléctricas 2da ed. – Irving L. Kosow
- Máquinas Eléctricas 4ta ed. – Stephen J. Chapman
- Máquinas Eléctricas II - M. Kostenko - L. Piotrovski
- Máquinas de corriente alterna - Juan María Ortega Plana
- Energía Eólica - Miguel Villarrubia
- http://www.ute.com.uy/empresa/entorno/Energias_Renovables/eolica/Actividad_2002/Eolica_Generadores.pdf
- <http://www.monografias.com/trabajos61/motor-induccion-monofasico/motor-induccion-monofasico.shtml>

Autor:

Buscador

capeluca45@hotmail.com