
UNIDAD Nº 5

Motores de Reluctancia. Motores de Histéresis. Motores de Inductor. Distintos tipos.

MOTORES SINCRÓNICOS DE POTENCIA FRACCIONARIA

Siguiendo la gama de los motores de potencias enteras, los *motores sincrónicos de potencia fraccionaria (m.s.p.f.)*, conservan la característica sobresaliente de mantener la *velocidad proporcional a la frecuencia* (50 o 60 hz.). A su vez, desde el punto de vista constructivo, poseen también, el estator como los motores de inducción, de tal manera de producir, un campo magnético giratorio, cuando se lo excita con CA

A diferencia de aquellos, los rotores de los *m.s.p.f.* no son excitados con CC, se *utilizan imanes permanentes* para éste fin. De esta manera, se logra que el rotor enlace con el campo magnético giratorio del estator y gire a la misma *velocidad de sincronismo* del campo.

De estas disposiciones, se pueden clasificar a los *m.s.p.f.*:

- 1- por la forma de construcción del rotor
- 2- por la disposición del arrollamiento del estator (monofásico)

Las construcciones más corrientes de los *m.s.p.f.* son los motores *de reluctancia, de histéresis y de inductor*. Adaptándonos a la clasificación señalada, los motores de reluctancia y de histéresis se corresponden con el tipo 1, dado que sus arrollamientos de estator son similares a los de un motor monofásico de inducción, mientras que los de inductor, tienen una construcción especial tanto para el rotor como para el estator.

Generalidades de uso de los *m.s.p.f.*:

La gama de potencias va desde 1/8 HP a 1/1000 HP y menor. Las velocidades son proporcionales a la frecuencia, por lo que para 400 hz. se pueden lograr 24.000 r.p.m. Como la exactitud de la velocidad es la característica sobresaliente, son utilizados para aplicaciones en los accionamientos eléctricos de teleimpresores, transmisores de imágenes, aparatos reproductores y de registro o de reproducción del sonido, aplicaciones textiles con control de velocidad por frecuencia. En las potencias *subfraccionarias* (inferiores a 1/1000 HP), son usados para relojes y todo tipo de dispositivo temporizador. Por regla general, son monofásicos y de autoarranque.

MOTORES DE RELUCTANCIA

Definiciones: Las normas ASA definen el motor de reluctancia como *un motor síncrono similar en construcción al motor de inducción, en el cual el miembro que lleva el circuito secundario tiene polos salientes, sin excitación de CC (rotor). Arranca como un motor de inducción pero funciona normalmente a la velocidad síncrona.*

Construcción y principios de funcionamiento:

Se basa en la propiedad del motor síncrono con rotor de polos salientes, en que es capaz de producir un par motor y girar a la velocidad síncrona, sin excitación del campo con CC.¹

El reducido motor de reluctancia, está concebido a partir del motor de inducción, por lo que al rotor de jaula de ardilla, se le han suprimido algunos dientes (por sectores) con el objeto de lograr los polos salientes. Dado que este motor síncrono arranca como motor de inducción, los anillos que cierran las barras del rotor deben estar completos en toda la

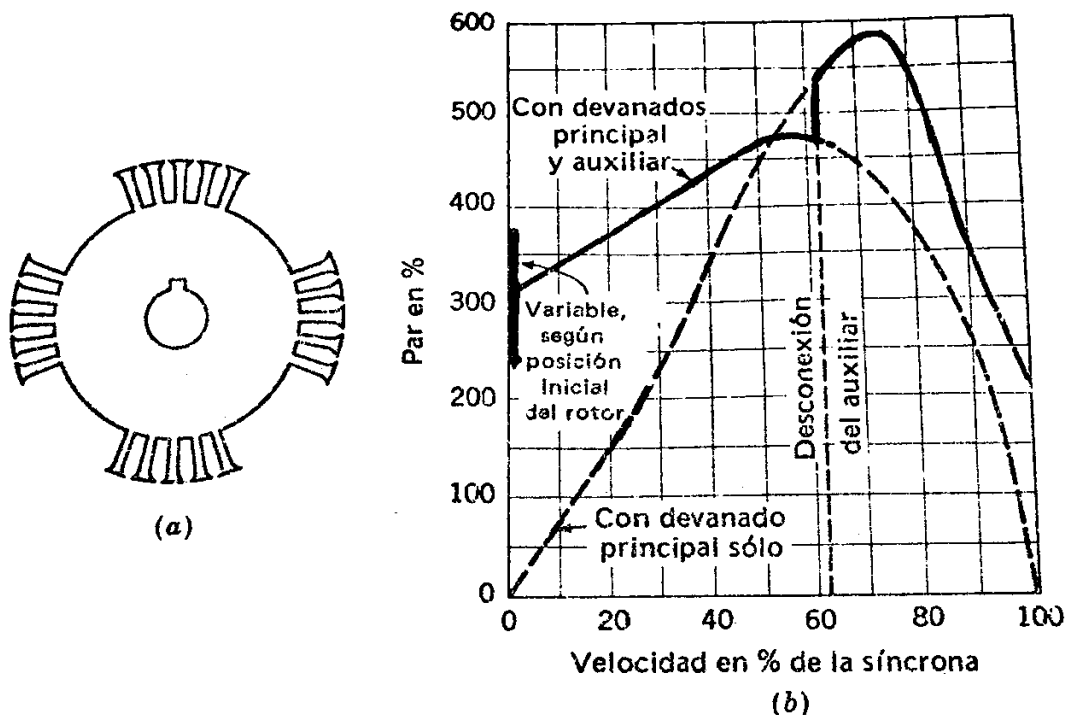
¹ Véase a M.Liwschitz-Garik C.C.Whipple Máquinas de Corriente Alterna. Cap.42-1.

periferia, conservándose así, el arrollamiento amortiguador en jaula de ardilla, utilizado no solo para el arranque, sino que también, proporciona suficiente estabilidad contra las oscilaciones cuando se alcanza la velocidad sincrónica.

Al igual que para los motores síncronos excitados con CC, la puesta en sincronismo se facilita cuando la velocidad alcanzada como motor de inducción es tan elevada como sea posible. Para ello, es importante hacer baja la resistencia del rotor. También mejora ésta situación, cuanto menor sea el WR^2 de la masa giratoria del rotor (rotor + carga acoplada al eje)²

El estator del motor de reluctancia puede ser del tipo de fase auxiliar, del tipo de condensador y del tipo bobina pantalla (espira sombra).

La figura, representa una de las láminas dispuestas para un rotor destinado a un motor de reluctancia de cuatro polos en el estator. El motor arrancará como un motor de inducción y se irá acelerando hasta una velocidad de escaso resbalamiento (carga ligera). El *par de reluctancia* nace de la tendencia del rotor a situarse por sí mismo en la posición de mínima reluctancia respecto al campo giratorio (a la onda de flujo) que gira en el entrehierro a la velocidad sincrónica.

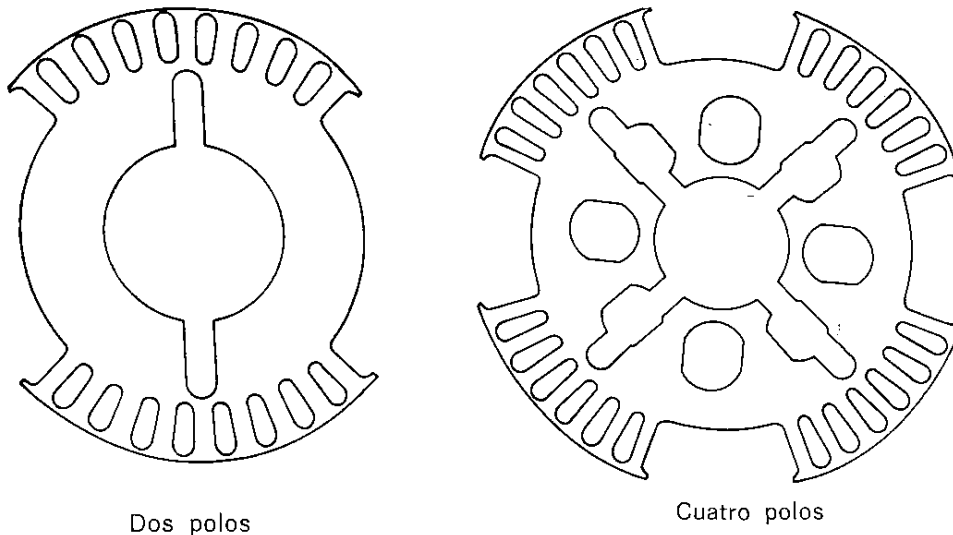


Figuras: a) Chapa troquelada para el rotor de un motor síncrono de reluctancia de cuatro polos.
b) Características de arranque

En la figura b esta representada la curva característica par-velocidad de un motor de reluctancia monofásico de fase partida. El alto valor del par de éste motor, esta basado en la necesidad de obtener características satisfactorias. Para ello, se hace necesario construir el motor de reluctancia, con una estructura equivalente a un motor de inducción de 2 a 3 veces mayor la potencia que el síncrono.

Ranuras *barreras de flujo* se practican en las chapas del rotor de los motores de reluctancia para aumentar el par motor sincronizante, ya que el mismo, es función de la diferencia entre la reactancia axial x_a y la reactancia en cuadratura x_c

² Véase C. Veinott Motores Eléctricos de Potencia Fraccionaria y... Motores de Reluctancia. Cap.11-4



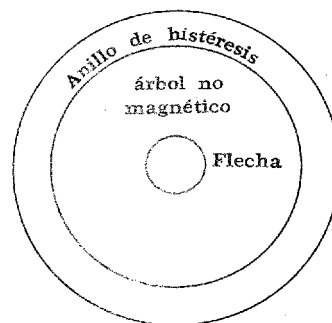
Dos polos

Cuatro polos

Figura: chapas de rotor para motores de reluctancia polifásicos, con representación de las ranuras "barreras de flujo".

MOTOR DE HISTÉRESIS

Definiciones: Las normas ASA definen el motor de histéresis como *un motor síncrono sin polos salientes y sin excitación de corriente continua, que arranca en virtud de las pérdidas por histéresis inducidas en el rotor de acero endurecido, por el campo magnético giratorio del primario (estator) y funciona a la velocidad síncrona debido a la fuerza coercitiva del núcleo secundario (rotor).*

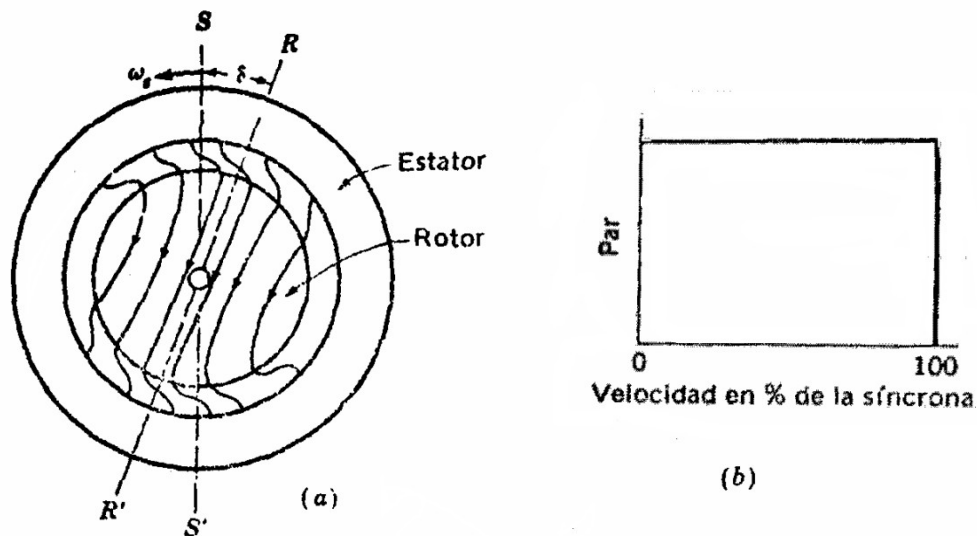


Rotor de un motor de histéresis

Construcción y principios de funcionamiento:

El campo magnético giratorio producido por el bobinado del estator, inducirá sobre la superficie lisa del rotor (sin ranuras ni polos salientes), formada por un cilindro de acero duro magnético, corrientes de Foucault y pérdidas por histéresis. Cada una de las partículas que lo forman, quedará sujeta a un ciclo de histéresis a la frecuencia de deslizamiento s . Desde el arranque, las corrientes de Foucault se comportan de igual manera que las corrientes que circulan por las barras de un rotor de jaula de ardilla. De allí

que el par motor T_f producido entre las corrientes de Foucault y el flujo giratorio del estator, sea proporcional al resbalamiento s , disminuyendo con el incremento de la velocidad del rotor, para anularse al alcanzar éste la velocidad sincrónica n_1 . Por otra parte, el par motor T_h que se corresponde con las pérdidas por histéresis, es independiente de la frecuencia de magnetización del rotor: $f_2 = s f_1$ y por tanto de s y de n_2 dependiendo únicamente del material empleado para construir el anillo superficial del rotor. De allí que convenga utilizar acero con altas pérdidas por histéresis (ciclos anchos y grandes).



Figuras: a) Disposición gral. del campo magnético en el entrehierro y rotor de un motor de histéresis.
b) Característica par-velocidad ideal.

Debido a la histéresis, la magnetización del rotor retrasa respecto de la onda de fmm del inducido en un ángulo δ (ángulo del par) (figura b). Como el par de arranque desarrollado depende de las componentes de las fmm del flujo principal y del rotor, estará sujeto al **sen δ** . Al acelerarse el rotor y mientras el flujo sea constante, el retraso δ se conservará constante porque solo depende del ciclo de histéresis. De allí que, al alcanzarse la n_s en el rotor, este par se mantendrá. Esta es la característica sobresaliente de este motor, como puede verse en el diagrama 'b' ($T-n_s$). Mientras el par motor sea suficiente para arrastrar al par resistente, el *motor de histéresis* puede acomodarse para acelerarse sin importar cuán grande pueda ser su inercia ($G.D^2$). A la velocidad sincrónica n_1 , el motor continúa girando, ajustándose por sí mismo el ángulo de carga δ de tal forma que se equilibren el par desarrollado al de la carga.

Este es un motor silencioso y de suave aceleración, apto para arrastrar cargas de gran momento de inercia. Para conseguir distintas velocidades de trabajo en sincronismo, las bobinas del estator se devanan en varios grupos para permitir conectarse, dando lugar a varios números de pares de polos.

MOTOR DE INDUCTOR

Características generales:

Es un *motor sincrónico de potencia fraccionada*. En esencia, es un generador sincrónico monofásico.

Velocidad de funcionamiento: solo a la velocidad de sincronismo. Tiene un arranque prácticamente instantáneo (entre 4 ms y 8 ms). Paron muy rápido también.

Par de frenado: proporcionado por el rotor de imán permanente.

Par de retención: ídem de hasta 720 gr-cm, y mayores.

Aplicaciones como *servomotor* y *paso a paso*.

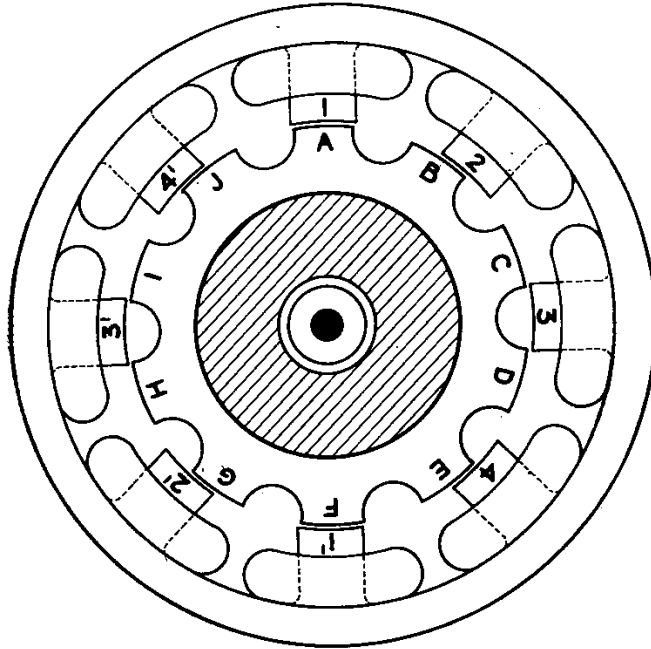
Principios de funcionamiento:

Observemos la figura con la vista esquemática del motor de inductor. En el estator se cuenta con ocho bobinas con sus correspondientes expansiones polares o dientes, están espaciadas cada 45° para permitir la producción de un campo magnético giratorio, cuando se les aplica un sistema bifásico de tensiones. El rotor cuenta con diez dientes y está construido con material magnético (imán permanente). Si para el instante representado en la figura, excitamos las bobinas 1 y 3 de tal forma que 1 sea un polo sur y 3 un norte, cuando la cara mostrada del rotor es norte, resultará que el rotor quedará retenido en esa posición, porque la bobina 1 atrae al diente 'a' y la bobina 3 repele por igual a los dientes 'c' y 'd'. Si bien las bobinas 2 y 4 no están excitadas, los dientes 'b' y 'e' son atraídos por igual y opuestamente hacia los mismos polos. Un cuarto de periodo más tarde, las bobinas 2 y 4 se excitan formando un polo sur y norte respectivamente, quedando la 1 y 3 desexcitadas. Esto provocará un giro del rotor en el sentido de las agujas del reloj, por la atracción ejercida sobre el diente 'b' y la repulsión sobre el 'e', hasta quedar enfrentados el diente 'b' con el polo, quedando así retenido nuevamente el rotor. Con esto, el rotor habrá girado $\frac{1}{4}$ de paso de los dientes en un $\frac{1}{4}$ de periodo de la tensión aplicada (1 paso diente = 1 diente + 1 vano) los polos 1, 2, 3, 4 se van convirtiendo en Sur sucesivamente cada $\frac{1}{4}$ de periodo de la tensión, como en Norte sus pares 3, 4, 1, 2 respectivamente. De esta manera, para un periodo de frecuencia de la red, el rotor habrá avanzado 1 paso de diente.

Cálculo de la velocidad del rotor: $n = \frac{60 \times f}{p}$ (r.p.m.) donde "p" es el N° de pares de polos.

En virtud del penúltimo párrafo, por cada diente del rotor se deben considerar dos polos, por lo que para un motor que tenga 8 dientes en el rotor, con una $f = 50$ Hz y $p = 8$

$$n = \frac{60 \times 50}{8} = 375 \cdot \text{rpm} ; \text{ para 40 dientes } n = \frac{60 \times 50}{40} = 75 \cdot \text{rpm}$$

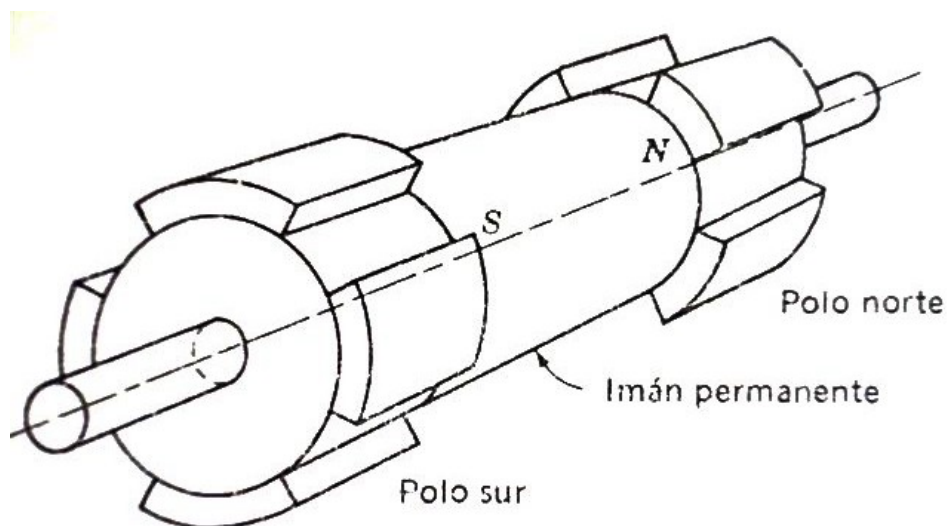


Vista esquemática en corte de un motor de inductor con un diente del estator para cada bobina del mismo. El motor real tiene varios dientes por bobina.

Características constructivas:

Para el caso ilustrado, el rotor en su conjunto, está formado por dos "chapas rotor" montadas sobre un eje de alnico (imán permanente), dando así una polaridad Norte o Sur a cada chapa, como puede verse en la figura. Los dientes de ambas chapas están desplazados entre sí, 180° eléctricos o bien $\frac{1}{2}$ paso de diente.

El estator está también constituido por dos bloques de dientes o expansiones polares, para que se correspondan con las chapas del rotor. Las bobinas se arrollan para ser comunes a ambos bloques y en la polaridad correspondiente con el rotor. Los dientes del estator están alineados.



Aplicaciones:

Estos motores, toman la velocidad de sincronismo casi instantáneamente (entre 4 a 8 ms), además, paran también con mucha rapidez por el par de frenado que les provee el rotor magnético, lo que sumado al par de retención lo hacen aptos para aplicaciones de **servomotor**. Además, mediante conexiones adecuadas pueden operar como **motor paso a paso**.