



Motores Síncronos de Imanes Permanentes (MSIP)

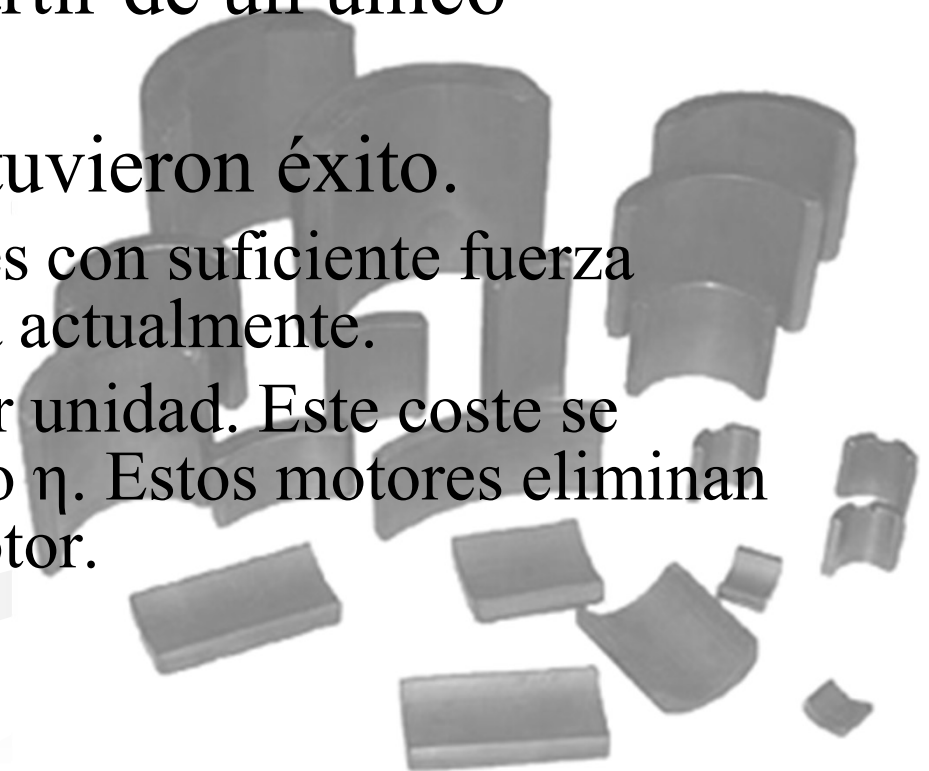
Manuel Pérez Donsión

Índice

- Orígenes de los MSIP
- Introducción a los MSIP
- Características de funcionamiento de los MSIP
- El MSIP frente a los motores convencionales
- Aplicaciones de los MSIP
- Relaciones fundamentales
- Métodos de arranque de los MSIP convencionales

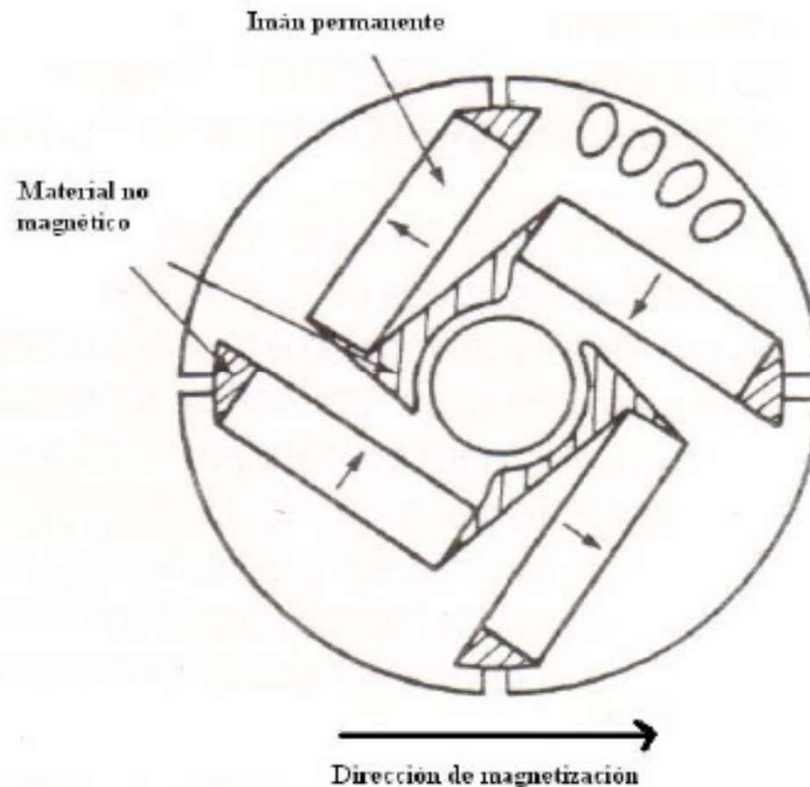
Orígenes de los MSIP

- Se remonta al año 1951, en el que se desarrolló un motor para reemplazar los **motores síncronos de reluctancia**.
- Aplicaciones donde varias máquinas debían girar en sincronismo, alimentadas a partir de un único inversor.
- En sus orígenes los MSIP no tuvieron éxito.
 - Carencia de imanes permanentes con suficiente fuerza coercitiva. Tecnología superada actualmente.
 - Coste relativamente elevado por unidad. Este coste se intentaba compensar con un alto η . Estos motores eliminan las pérdidas en el circuito del rotor.



Orígenes de los MSIP

- En los sucesivos años se desarrollan diferentes tipos de motores.
- Siemens desarrolla en 1970 el motor “Siemosyn” con una disposición de los imanes diferente a lo convencional.



Orígenes de los MSIP

- A partir de 1977 se supera el problema de la desmagnetización, gracias a nuevos materiales.
- El ahorro energético es mayor que la diferencia de precio entre un MSIP y un motor de inducción de idéntica potencia.
- El coste sigue siendo el gran inconveniente, para el desarrollo pleno de estos motores.



Orígenes de los MSIP

- Mejor factor de potencia que un motor de inducción de las mismas características.
- En los últimos años se ha experimentado una gran demanda de este tipo de motores en la industrial téxtil.
- Con los nuevos materiales (aleaciones), más baratos y mecanizables se espera reducir costes.
- Comparando costes entre un MSIP y un motor de inducción.

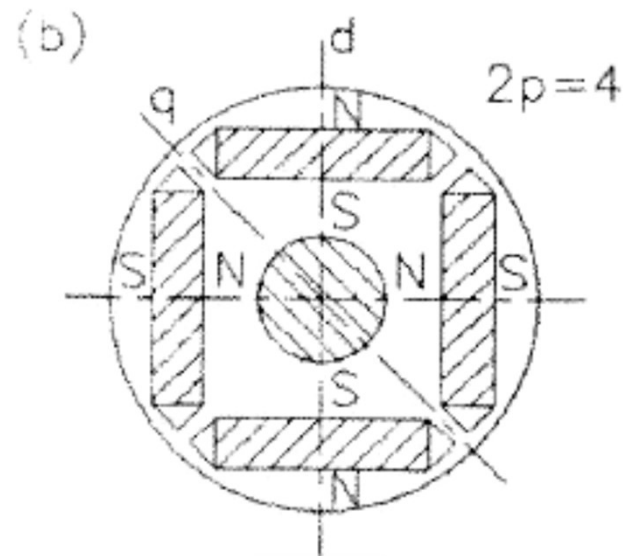
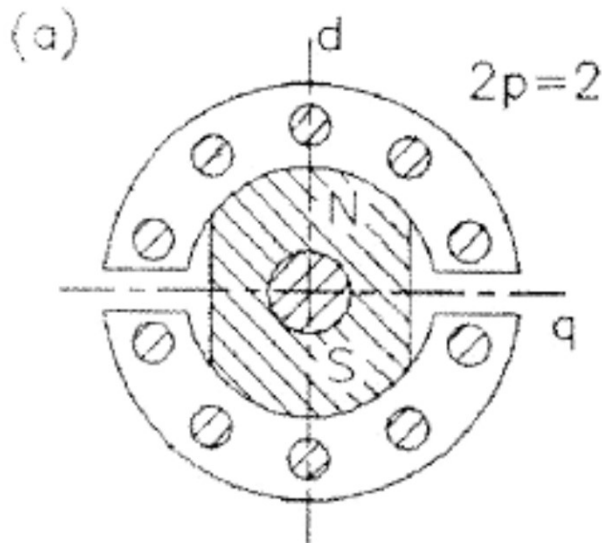
Introducción a los motores síncronos

- Se clasifican de acuerdo con una serie de parámetros como el diseño del rotor, construcción, materiales y operación, en cuatro grupos básicos:
 - Motores de excitación electromagnética
 - Motores de imanes permanentes
 - Motores de reluctancia
 - Motores de histéresis



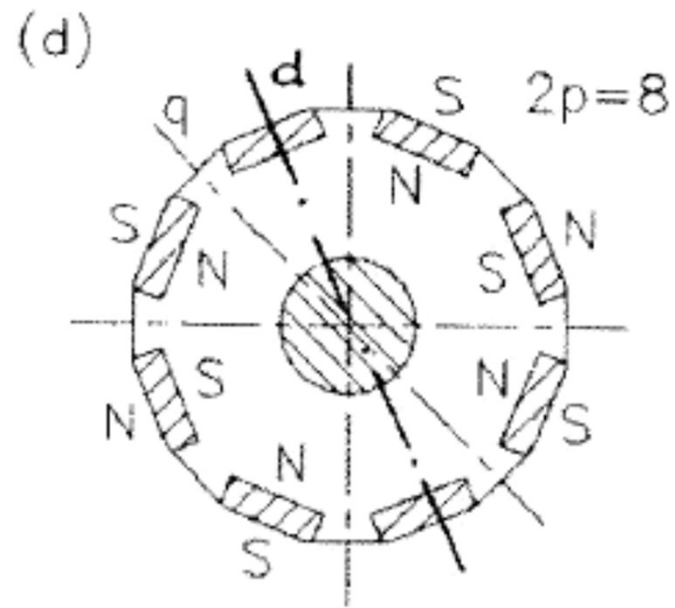
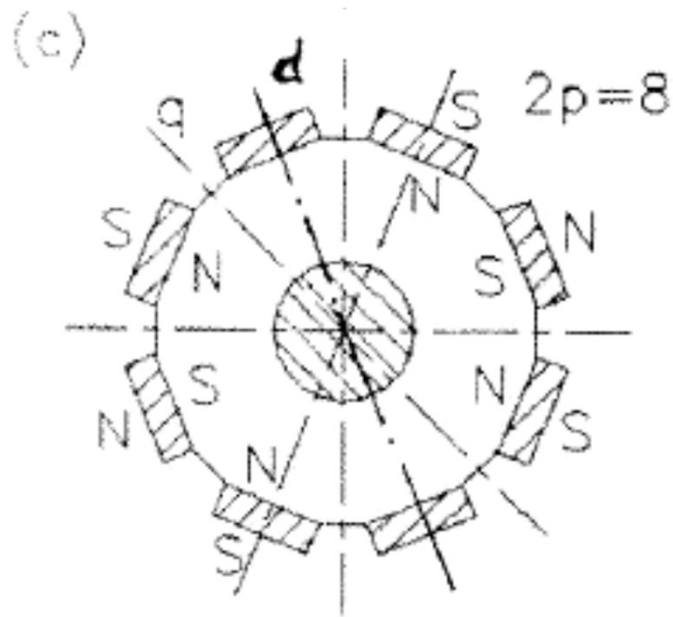
Introducción a los MSIP

- Las configuraciones constructivas del rotor de los motores síncronos de imanes permanentes son:
 - Clásica (rotor Merril) con polos salientes , expansiones polares laminadas y devanado de jaula (a).
 - Rotor con imanes permanentes interiores (b).



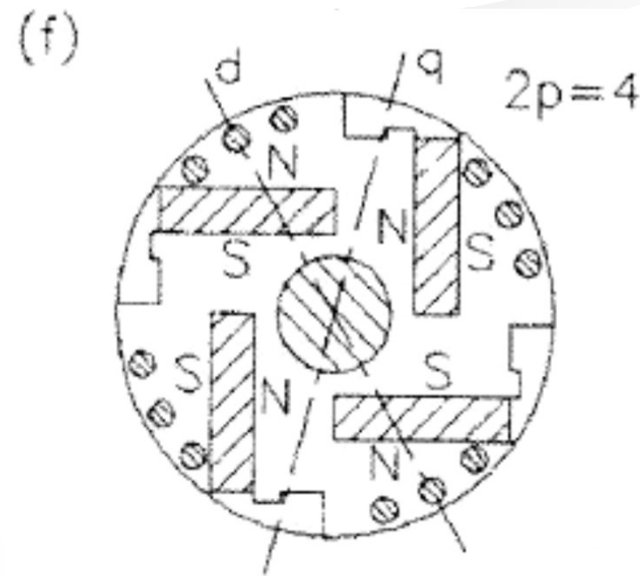
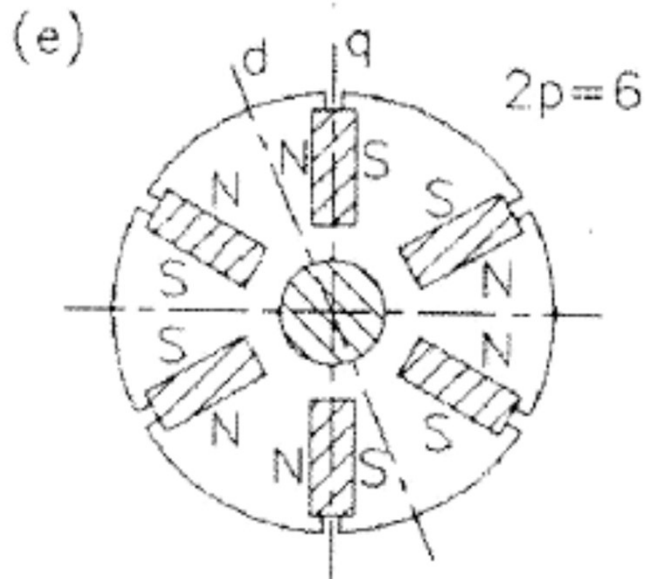
Introducción a los MSIP

- Rotor con imanes permanentes en la superficie (c).
- Rotor con imanes permanentes insertados (d).



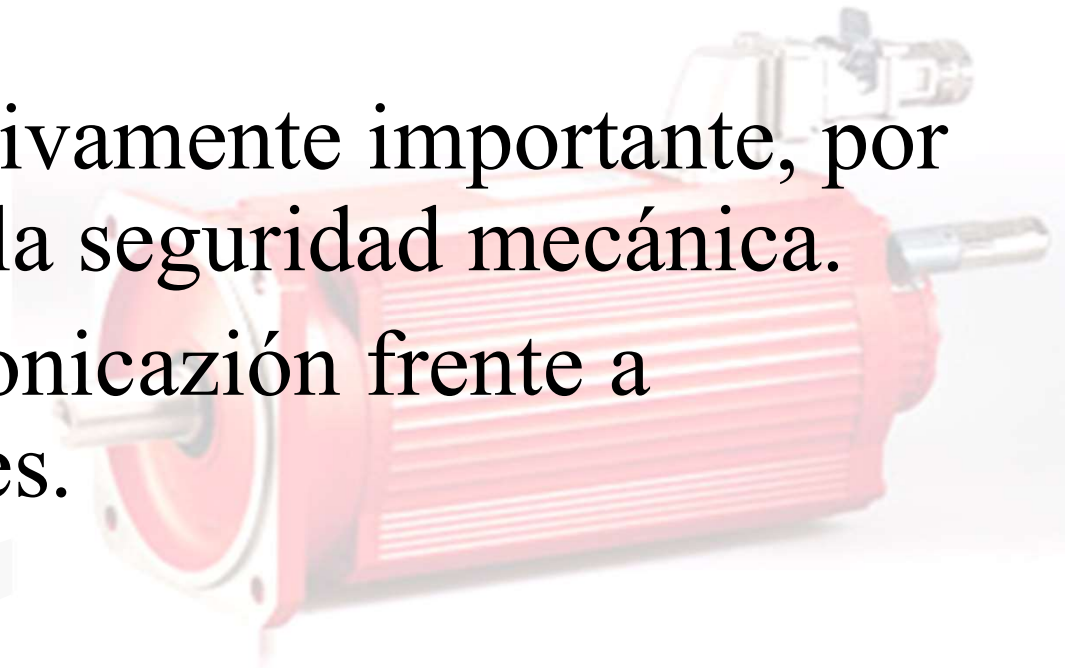
Introducción a los MSIP

- Rotor con imanes perm. internos distribuidos simétricamente (e)
- Rotor con imanes perm. internos distribuidos asimétricamente (f)



Características de funcionamiento de los MSIP

- La velocidad sólo depende de la frecuencia.
- No precisa de energía magnetizante, incluso la puede producir en caso de que fuera necesario.
- El par motor generado es proporcional a la tensión.
- El entrehierro es relativamente importante, por lo que se incrementa la seguridad mecánica.
- Capacidad de resincronización frente a sobrecargas eventuales.



Características de funcionamiento de los MSIP

■ Preferible al motor asíncrono en:

- Aplicaciones que requieran una velocidad constante y un arranque suave.
- Un par permanente con capacidad de frenado
- En general, un funcionamiento silencioso y con escaso rozamiento.



Características de funcionamiento de los MSIP

- La excitación a base de imanes permanentes nos lleva a diseños con menores niveles de densidad de flujo y de corriente magnetizante.
- El alto factor de potencia ($\cos \varphi$) del que dispone reduce la demanda de potencia reactiva al sistema de potencia.
- Si se necesita de un frenado rápido, puede obtenerse cortocircuitando los conductores del motor sin necesidad de una fuente de DC.
- Uso en la industria del vidrio, industria textil, accionamiento de compresores, ventiladores, bombas, así como en la robótica.

El MSIP frente a los motores convencionales

- Ideales en sistemas que requieren:
 - Combinación de motores que han de funcionar de forma precisa a la misma velocidad
 - En los que el deslizamiento entre los sucesivos dispositivos debe estar muy controlado.
- A partir de finales de los años 80, el desarrollo de MSIP tuvo un importante incremento.
- El desarrollo de la tecnología de los semiconductores, inversores, fuentes de AC,...
- Permitted combinar esos elementos con los motores síncronos de imanes permanentes.



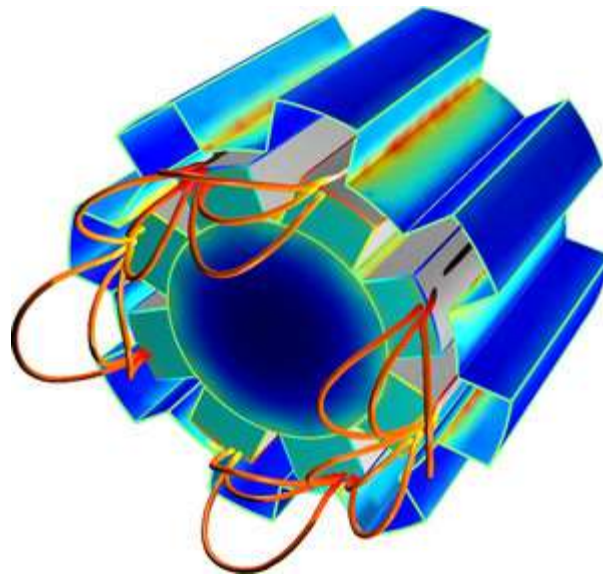
El MSIP frente a los motores convencionales

■ Ventajas de los MSIP frente a los motores convencionales:

- Mantenimiento mucho más sencillo ya que no presentan anillos rozantes ni escobillas.
- Presentan mejor funcionamiento en ambientes difíciles.
- Son capaces de arrancar por sí mismos gracias al montaje de una jaula de ardilla en el rotor.

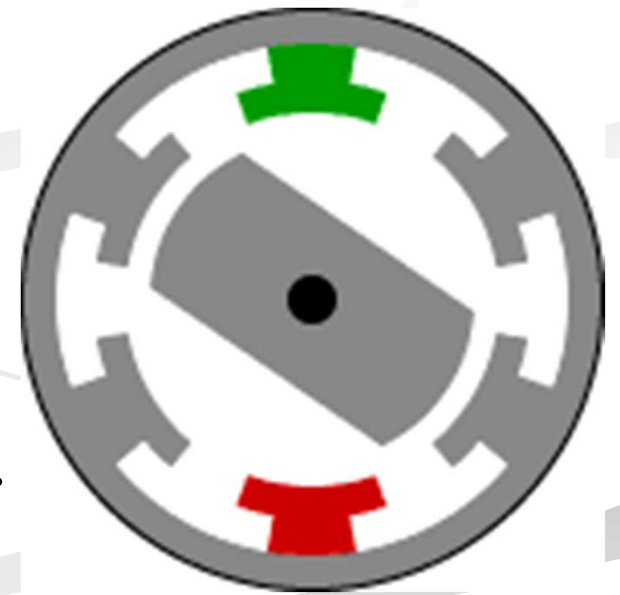
El MSIP frente a los motores convencionales

- Capacidad de resincronización.
- Reducción de las pérdidas en un 25 a 35%.
- Rendimientos y unas condiciones de funcionamiento superiores a las alcanzadas por los motores de inducción.



Aplicaciones de los MSIP

- **Pero el MSIP presenta también ciertas limitaciones:**
 - El precio de los materiales utilizados para los imanes permanentes.
 - Durante el período de aceleración a partir del reposo se producen componentes adicionales del par debido a la presencia de los imanes.
 - Este problema se solventa con un cuidadoso diseño de la máquina.



Aplicaciones de los MSIP

- **Son más adecuados que el motor asíncrono en:**
 - Aquellas aplicaciones que requieran una velocidad constante combinada con un arranque suave.
 - Se necesite un par permanente con capacidad de frenado.
 - Proporcionan un funcionamiento silencioso y con escaso rozamiento.

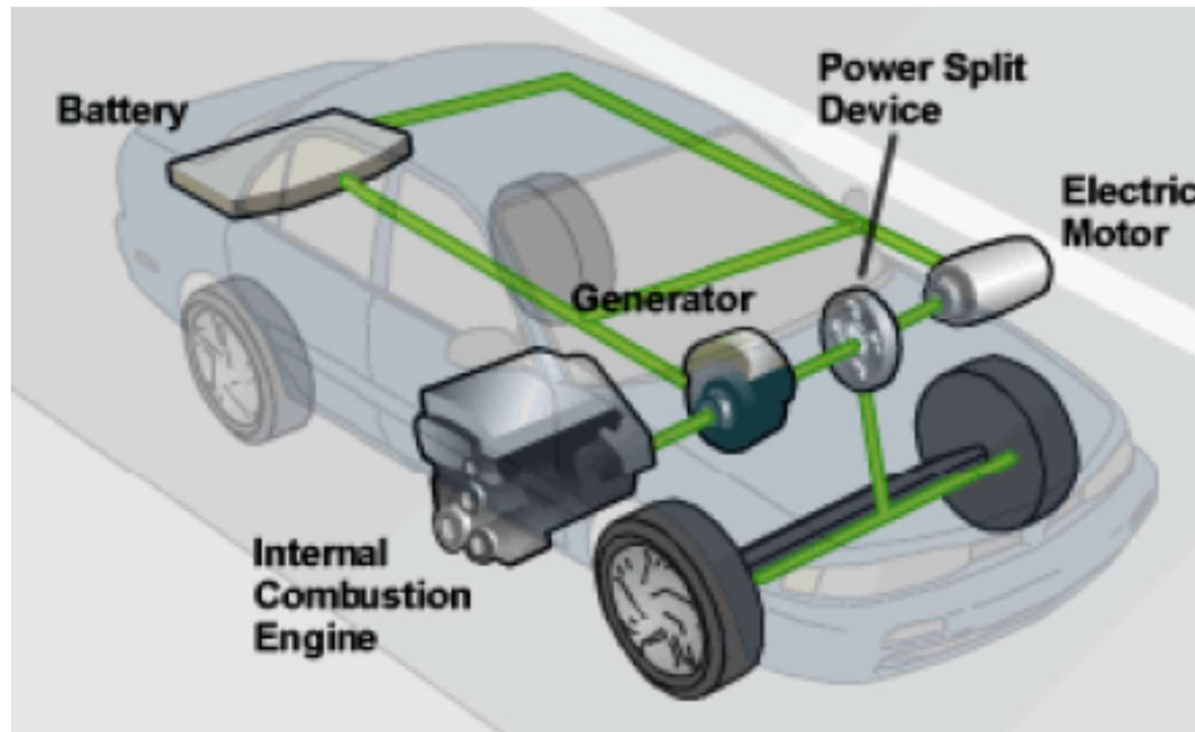
Aplicaciones de los MSIP

- **Las principales aplicaciones de los MSIP se centran en:**
 - Molinos de rodillos, ventiladores, prensas, bombas.
 - También se pueden utilizar en fábricas y talleres grandes como generador de potencia reactiva.
 - Otra aplicación de los MSIP son las máquinas de conformado del cristal.



Aplicaciones de los MSIP

- A principios del año 2000, este tipo de motores comenzaron a ser utilizados en la industria del automóvil.



Aplicaciones de los MSIP

- Están introducidos totalmente en nuestras vidas.
- En todas aquellas aplicaciones que necesiten una velocidad constante y un arranque progresivo sin acelerones.



Relaciones fundamentales

■ Velocidad:
$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

■ Densidad de flujo magnético en el entrehierro:

$$B_{mgl} = \frac{2}{\pi} \int_{-0.5\alpha_i\pi}^{0.5\alpha_i\pi} B_{mg} \cos \alpha \cdot d\alpha = \frac{4}{\pi} B_{mg} \sin \frac{\alpha_i \pi}{2}$$

■ Tensión inducida. (FEM):

$$E_1 = \pi \sqrt{2} \cdot f \cdot N_1 \cdot k_{w1} \cdot \phi_f$$

Relaciones fundamentales

■ Potencia electromagnética:

$$P_{elm} = m_1 \left[\frac{V_1 E_f}{X_{sd}} \sin \delta + \frac{V_1^2}{2} \left(\frac{1}{X_{sq}} - \frac{1}{X_{sd}} \right) \sin 2\delta \right]$$

■ Reactancia síncrona:

$$\begin{aligned} X_{sq} &= X_1 + X_{aq} \\ X_{sd} &= X_1 + X_{ad} \end{aligned} \quad X_1 = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_1$$

■ Par electromagnético:

$$T_d = \frac{P_{elm}}{2 \cdot \pi \cdot n_s} = \frac{m_1}{2 \cdot \pi \cdot n_s} \left[\frac{V_1 E_f}{X_{sd}} \sin \delta + \frac{V_1^2}{2} \left(\frac{1}{X_{sq}} - \frac{1}{X_{sd}} \right) \sin 2\delta \right]$$

Relaciones fundamentales

- Fuerza magnetomotriz:

$$F_{excd} = k_{ad} \cdot F_{ad} = \frac{m_1 \sqrt{2}}{\pi} \frac{N_1 k_{w1}}{p} k_{ad} I_a \sin \psi$$

- Reactancia de reacción de inducido:

$$X_{ad} = k_{fd} \cdot X_a = 4m_1 \mu_0 f \frac{(N_1 k_{w1})^2}{\pi \cdot p} \frac{\tau \cdot L_i}{g'} k_{fd}$$

Aplicaciones Futuras

TENDENCIAS DE DESARROLLO

- Reducción del precio, del volumen y del peso
- Aumento de las funciones.

El mercado exige la máxima relación entre funcionalidad y precio.

Principales especificaciones que se demandan:

- protocolos de comunicación estándar,
- el tipo de control y de motor,
- el comportamiento del eje
- y la interface hombre-máquina.

También es necesario tener en cuenta otros aspectos aparte de su coste:

- Robustez
- Fiabilidad
- Flexibilidad
- Integración

Aplicaciones Futuras

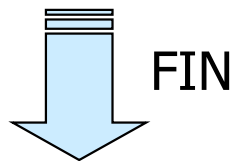
El motor controlado con convertidores con mayor implantación industrial es el motor de inducción.

Una alternativa a considerar son los motores síncronos de imanes permanentes, ya disponibles como estándares en Japón hasta los 300 kW.

Sin embargo, para que el precio de estos motores sea bajo para aplicaciones de propósito general, es necesario controlarlos en lazo abierto → lo que causa problemas de estabilidad y arranque.

Tendencia en la industria a realizar **instalaciones descentralizadas**:

Instalar los equipos lo más próximos a la aplicación → convertidor integrado en el motor o cerca de él



ahorrar espacio y reducir costes de instalación.

Aplicaciones Futuras

POSIBLES DESARROLLOS FUTUROS

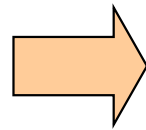
El mercado de los accionamientos eléctricos a corto plazo parece brillante.

Plantas y factorías están controladas informáticamente

son necesarios motores que se conecten a estas interfaces informáticas.



En la actualidad, el coste de los combustibles fósiles crece



aumentará la demanda de estos convertidores



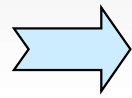
ahorro energético en aplicaciones domésticas

{ calefacción,
ventilación y
aire acondicionado

Aplicaciones Futuras

MOTORES ELECTRÓNICOS

Concepto de
motor electrónico



integración de un convertidor y un motor en un solo equipo.

- ✓ Los motores actuales de estos motores electrónicos regulan la velocidad.
- ✓ La mayoría de las aplicaciones de motores electrónicos (entre ellas, en la industria, en el transporte, en la agricultura, etc.) requieren un control de velocidad.
- ✓ El uso de motores electrónicos en la industria, pero supondrá un ahorro de espacio y de peso.



presentan la primera generación de motores electrónicos que funcionan como reguladores de velocidad.

Los motores eléctricos sin controles electrónicos.

El conjunto motor-convertidor, que reduce el espacio y la logística.

Aplicaciones Futuras

MOTORES ELECTRÓNICOS

Características:

- Dispone de un único motor con posibilidad de conexión a diferentes niveles de tensión y de frecuencia a la entrada
- Dispone de velocidad y par variables a la salida
- Integra una interface de comunicación vía serie.

Pueden sustituir los arranques estrella-triángulo y los sistemas de inversión de giro utilizados para alimentar los motores.





motores síncronos de imanes permanentes

Manuel Pérez Donsión