



Ventajas de los motores de flujo axial

Alberto N. Basanta

Junio del 2001

Resumen / Abstract

Es importante conocer sobre una familia de motores que a diferencia de los convencionales o tradicionales no presentan un flujo rotatorio radial, denominados motores de flujo axial. Dichos motores presentan altos valores de par motriz a bajas velocidades, una alta eficiencia y alta densidad de potencia. Este trabajo constituye un breve análisis de algunos motores de la referencia bibliográfica.

Palabras clave: motor de flujo axial, motor de imán permanente, motor de inducción

Is important to know about a family of motors that at difference whit the traditional, don't have a rotator radial flux, called, axial flux motors. These motors have high torque for low speed, high efficiency and high power density. This work is a brief analysis of several motors of the bibliographic references.

Key words: axial flux motor, permanent magnet motor, PM motor, induction motor

INTRODUCCIÓN

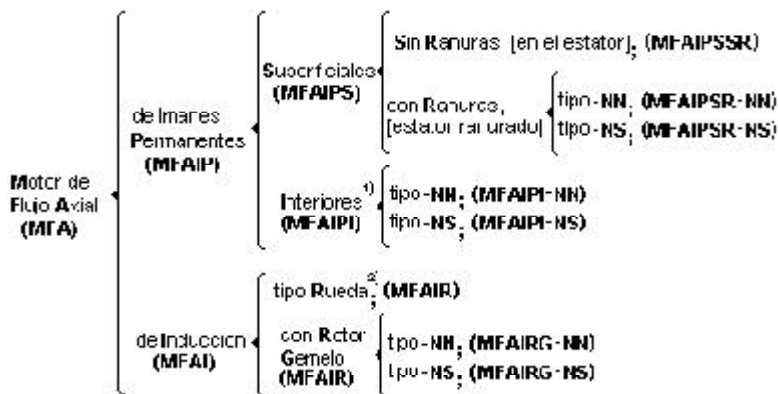
Como se sabe, actualmente, los motores más utilizados en la industria, son los de corriente alterna trifásicos de inducción jaula de ardilla (o de rotor en "cortocircuito"), en su variante convencional o tradicional que lo clasifica como motor de flujo radial (MFR) de inducción (MFRI). Ellos no solo se emplean en los accionamiento eléctricos de velocidad constante, si no que prácticamente han desplazado a los de corriente directa (CD) de velocidad variable (controlada), lo que ha sido posible gracias a la utilización de los convertidores de frecuencia variable, que son cada vez más pequeños, menos pesados, más eficientes y más compatibles con el motor y su entorno, gracias al vertiginoso desarrollo de la electrónica. Por otra parte, el MFRI es mejor que el de CD tradicional (con escobillas) debido, a su menor necesidad de mantenimiento, mayor robustez y hermeticidad, mejor eficiencia, menor peso y volumen y menor costo inicial y de explotación.

Para motores de potencias pequeñas y medianas, indiscutiblemente los de flujo axial (MFA), presentan excelentes índices, que al alimentarlos desde convertidores de frecuencia variable, se logra un conjunto convertidor-motor, compacto, confiable y eficiente.

DESARROLLO

Como antecedente de los motores que aquí se presentan, está el MFA de CD sin escobillas (brushless-DC motor) con rotor a imanes permanentes y con devanado toroidal en un estator no ranurado, dado a conocer en la edición de la "Conferencia Internacional sobre Máquinas Eléctricas" (ICEM-88), efectuada en Pisa, Italia, 1988. La breve información que aquí se brindará tiene como base el análisis de los materiales que aparecen en las referencias¹⁻². A continuación se expone en el juego de llaves a integrantes de dos de las familias de MFA (no son las únicas), apareciendo en cada caso la sigla correspondiente (cuadro 1).

Cuadro 1



1) También conocido como Motor Síncrono de Flujo Axial de Imán permanente
2) También conocido como Motor Rueda

De los MFA anteriores, cinco corresponden a la familia de MFAIP y tres a la de MFAI

¿Por qué motores de flujo axial?

Cuando el campo magnético resultante de un determinado motor, rota cual infinitas agujas de reloj superpuestas a lo largo del eje, o sea, perpendicular a este, entonces el motor es de flujo radial (MFR).

Cuando el campo magnético resultante de un determinado motor rota concéntrico a su eje, entonces el motor es de flujo axial (MFA).

En los MFR la disposición geométrica entre el estator y el rotor es concéntrica, cumpliéndose (para garantizar el entrehierro), que el diámetro externo del dispuesto en el interior es ligeramente menor al diámetro interno del dispuesto en el exterior, con longitudes activas análoga en dirección axial.

En los MFA, el estator tiene forma de anillo y el rotor (o los rotores) de disco, con sus caras activas

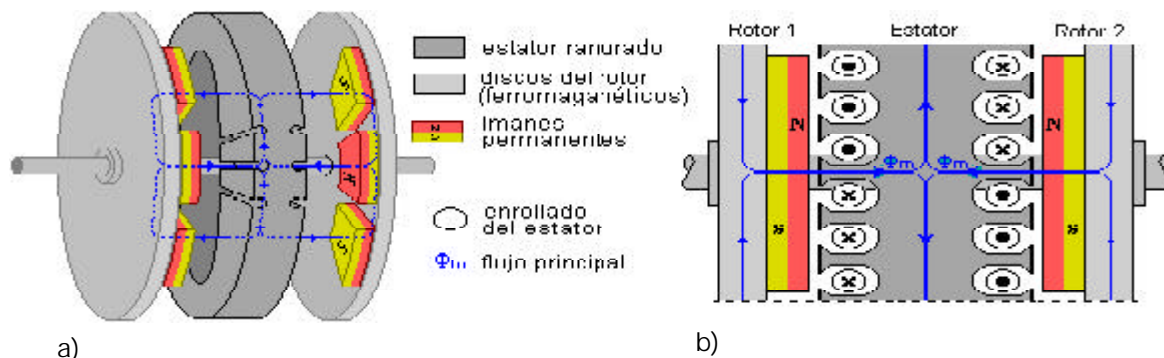
paralelas, cumpliéndose que sus diámetros activos interior y exterior (longitud activa), son iguales respectivamente (figura 1a)).

Mientras que en los MFR el lado activo del devanado del rotor tiene disposición axial, en los MFA el lado activo del devanado del rotor tiene disposición radial.

En la familia de MFAIP se utilizan en la actualidad, imanes permanentes logrados por la aleación de Nd-Fe-B (neodimio-hierro-boro), descubierto en 1983 por sumitomo Special Metals en los que se logra una inducción magnética residual (Br), mucho mayor que su antecesor de samario-cobalto, que se utilizaba en los motores de CD sin escobillas, con un precio relativamente alto, por lo caro de la materia prima para lograr el imán. El nuevo imán de Nd-Fe-B es mucho más barato por estar disponibles en grandes cantidades sus materias primas. Cuando estos imanes se utilizan en MFA los mismos garantizan una Br en el orden de 1,25T y una coercitividad de 1 200 kA/m.

Un MFAIP en el que se utilice este novedoso imán, no solo es mucho más pequeño (menor volumen y peso) y más eficiente, que un motor de inducción convencional (MFRI) debido a la mejor utilización de los materiales activos, si no que también compite con la familia de los MFAI.

A modo de ejemplo, se brindan a continuación algunos esquemas elementales que ilustran la estructura de tres de las variantes de MFA antes presentados, así como alguna de las trayectorias del flujo magnético. En la figura 1a) se dibujan en forma representativa solo algunas ranuras donde se alojará el devanado del estator y en la figura 1b), a los dos flujos magnéticos principales. Los rotores están unidos rígidamente al eje, lo mismo ocurre en la figura 2a).



Estructura aproximada del MFAIPSR-NN: a) Vista ilustrativa del estator y rotores; b) Sección axial del motor en el radio medio del estator. Porción ampliada.

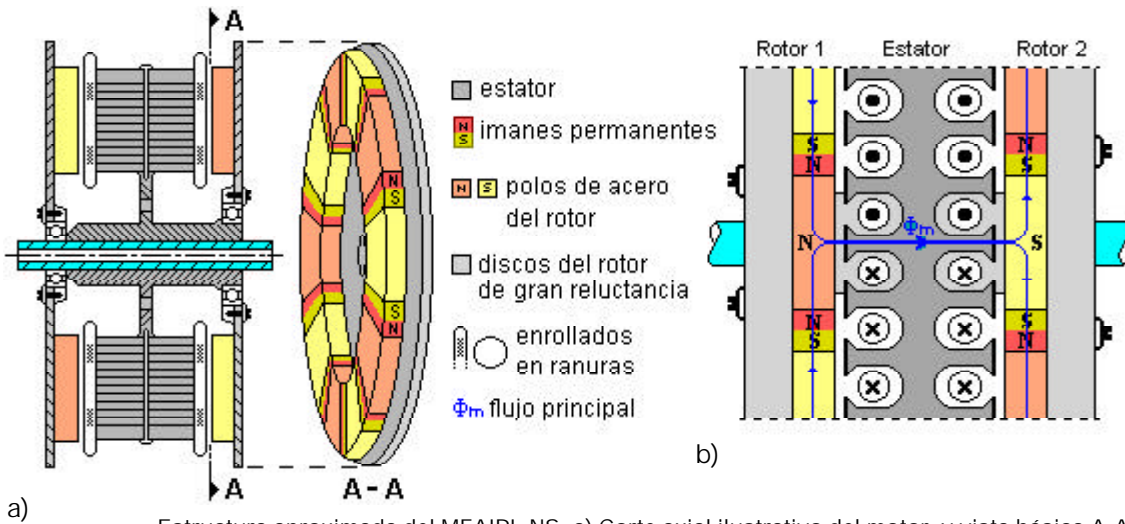
En la figura 2 se representa, de forma aproximada, el MFAIPI-NS y el flujo magnético principal.

En la figura 3 son representados también, de forma aproximada, los rotores de los MFAIP anteriormente presentados.

En la versión del MFAIRG de la figura 4, el devanado de los rotores es del tipo jaula y su estructura general

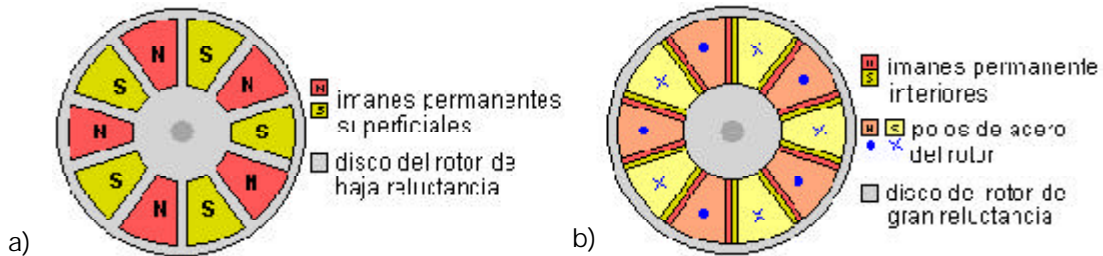
es semejante a la mostrada en la figura 4 a), en la que se dibujan de forma representativa solo algunas ranuras donde se alojará el devanado del estator y del rotor. En este caso cada rotor tiene su eje, pudiendo trabajar cada uno con velocidades distintas.

En todos estos motores el devanado del estator es polifásico (por ejemplo trifásico) distribuido, con una disposición particular en dependencia del tipo que se trate.



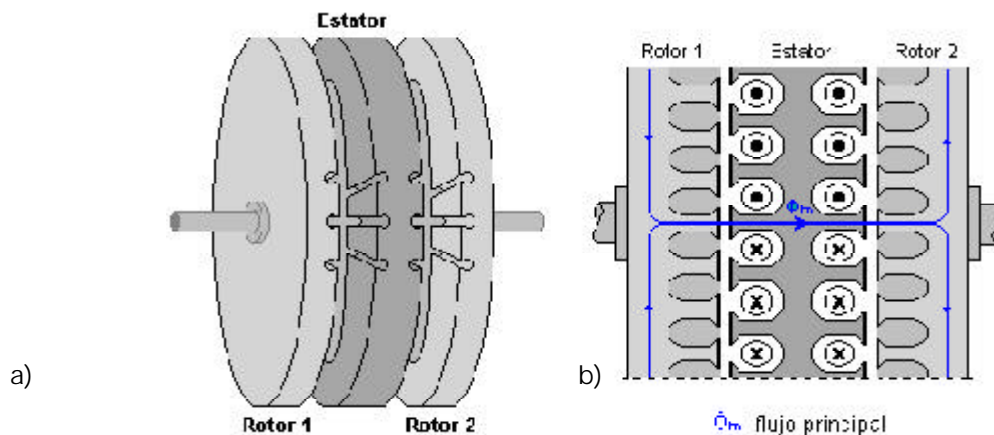
Estructura aproximada del MFAIPI- NS: a) Corte axial ilustrativo del motor y vista básica A-A del rotor; b) Sección axial del motor en el radio medio del estator. Porción ampliada.

2



Esquema de los rotores de los MFAIP: a) Rotor con imanes permanentes superficiales de los MFAIPs; b) Rotor con imanes permanentes interiores de los MFAIPI.

3



Estructura aproximada del MFAIRG-NS: a) Vista ilustrativa del estator y rotores; b) Sección axial del motor en el radio medio del estator. Porción ampliada.

4

DENSIDAD DE POTENCIA Y RAZÓN DE DENSIDAD DE POTENCIA

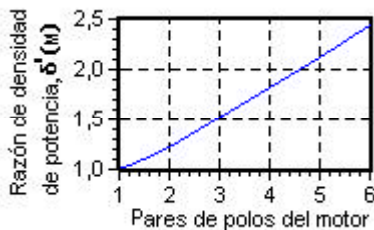
La densidad de potencia de un motor, $\delta_{(M)}$, es un índice importante para muchas aplicaciones y se definirá como:

$$\delta_{(M)} = \frac{\text{Potencia nominal del motor}}{\text{peso del motor}} ; \text{ kW/kg} \quad \dots(1)$$

Por otro lado, la razón (o relación) de densidad de potencia, $d_{(M)}$, sirve para comparar a dos motores, (X y Y), dividiendo sus densidades de potencia respectivas ($\delta_{(M)X}$ $\delta_{(M)Y}$) entre sí o sea:

$$d_{(M)} = \frac{\delta_{(M)X}}{\delta_{(M)Y}} \quad \dots(2)$$

En la figura 5 la curva muestra la dependencia entre la $\delta_{(M)}$ y los pares de polos, en este caso la $\delta_{(M)}$ corresponde al cociente entre la $\delta_{(M)}$ del MFAI y la $\delta_{(M)}$ del MFRI, observándose que para menores velocidades sincrónicas (mayor número de polos) indiscutiblemente el MFAI tendrá mayor $\delta_{(M)}$.



$d_{(M)} = \text{MFAI} / \text{MFRI}$ vs pares de polos del motor

5

Algunos datos de interés se brindan en la tabla 1, estos son una parte de los que aparecen en la referencia 1, que responden a los resultados de los cálculos de diseño, de 5 variantes de las 8 que aparecen en el juego de llaves y que tienen para cada MFA los siguientes datos de partida: Potencia nominal, 10 kW; pares de polos 5; diámetro exterior, 28 cm; e interior, 16 cm.

UN PREÁMBULO A LAS CONCLUSIONES

A continuación se estimará el peso que tendría un MFRI equivalente a su homólogo MFAI:

Si se sustituye (1) en (2)

$$\delta_{(M)} = \frac{(\text{Pot. nom.del MFAI}) / (\text{peso del motor MFAI})}{(\text{Pot. nom.del MFRI}) / (\text{peso del motor MFRI})} \quad \dots(3)$$

Si la potencia nominal del MFAI= Pot. nom.del MFRI ... (4)

entonces, sustituyendo (4) en (3):

$$\delta_{(M)} = \frac{(\text{peso del motor MFRI})}{(\text{peso del motor MFAI})} \quad \dots(5)$$

El valor de $\delta_{(M)} = 2,13$ se obtiene de la figura 5, conociendo que los pares de polos del motor son 5. Si ahora este valor de $\delta_{(M)} = 2,13$ y el peso del motor MFAI= 28 kg (peso del MFAIRG-NS de la tabla1), se sustituyen en (5), se obtiene el peso buscado del MFRI= 59,64 kg. Como algo adicional, este motor tendría una $\delta_{(M)} = 0,1676$ kW/kg, que se obtiene de sustituir la Pot. nom =10 kW y el peso = 59,64 kg en (1). Por último, puede calcularse que este MFAIRG-NS tiene solo el 46,9 % del peso de su equivalente MFRI.

Si ahora se quiere comparar el peso de este MFRI con el de mayor densidad de potencia de los MFAIP presentados en la tabla 1, que corresponde al MFAIPSR-NS con peso 16,5 kg, entonces este MFAIP tiene tan solo el 27,6 % de su equivalente MFRI.

| Algunos datos de interés | Algunos motores de flujo axial (MFA) | | | | |
|--------------------------|--------------------------------------|---------|--------|--------|--------|
| | IPSR-NN | IPSR-NS | IPI-NN | IPI-NS | IRG-NS |
| Eficiencia (%) | 94,3 | 91,3 | 94,3 | 91,2 | 88,0 |
| Longitud axial (cm) | 7,5 | 5,7 | 7,5 | 6,5 | 8,0 |
| Peso de imanes (kg) | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | — |
| Peso del motor (kg) | 20,0 | 16,5 | 19,5 | 18,0 | 28,0 |
| $\delta_{(M)}$ (kW/kg) | 0,487 | 0,606 | 0,512 | 0,555 | 0,357 |

CONCLUSIONES

De analizar los resultados anteriores, es evidente las ventajas del MFAIPSR-NS, en cuanto a peso se refiere, respecto a los de inducción tanto axial como radial (convencional), también su pequeña longitud axial garantiza que este motor ocupe un menor volumen. En general las variantes NS tienen menor peso que sus análogas NN.

De la tabla 1 se infiere, que si la eficiencia es el parámetro a maximizar en determinada solución técnica, entonces las variantes de MFAIP del tipo NN son las idóneas.

Hasta el momento, los MFA no se fabrican en serie, si no contra pedido como ocurre con todo nuevo diseño. La producción no seriada hace por el momento, que estos motores tengan precios superiores, aunque se amortizan rápidamente por la alta eficiencia que los mismos poseen, más aún en las versiones a imanes permanentes.

En gran cantidad de aplicaciones es necesario la utilización de reductores de velocidad para así ganar en par motriz, que no solo aumenta el volumen y el peso de la instalación sino que disminuye la eficiencia y confiabilidad del conjunto y aumentan, los costos de explotación; en este caso, los MFA serían una buena opción.

Debido a la alta densidad de potencia de los MFA, en la actualidad encuentran particular uso en lugares donde el poco espacio, el poco peso y la alta eficiencia, unidos con la necesidad de altos valores de par a bajas velocidades, son factores primordiales, como por ejemplo, en los vehículos eléctricos, realidad del transporte del presente que se impondrán en el futuro.

Todo parece indicar que en los próximos años con los motores de flujo axial hay que contar.

REFERENCIAS

1. Zhang, Z.; F. Profumo and A. Tenconi: "Wheels Axial Flux Machines for Electric Vehicle Applicatios", in Conf. Rec. ICEM-94, Palais des Congrès, Paris, France, 5-8 September, 1994.
2. Profumo, Francesco; Zheng Zhang and Alberto Tenconi: "Axial Flux Machines Drives: A New Viable Solution for Electric Cars", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 44, No.1, February, 1997.

AUTOR

Alberto N. Basanta Otero
Ingeniero Electricista, Máster en Ingeniería Eléctrica,
Asistente, Centro de Investigaciones y Pruebas
Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior
Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE), Ciudad
de La Habana
e-mail: orestes@cipel.ispjae.edu.cu



*Ediciones e Imprenta
Ofrecemos a usted
nuestros servicios*