

TEMA 3.3

Modelación de Generador de Imanes Permanentes

Prof. Francisco M. Gonzalez-Longatt

fglongatt@ieee.org

<http://www.giaelec.org/fglongatt/SistGD.html>

Contenido

Capítulo III. Aspectos de Modelación de Fuentes de Generación Distribuida.

- Procesos Dinámicos en Sistemas Eléctricos de Potencia.
- Simulación de la Dinámica de Sistemas de Potencia.
- Modelo General del problema y Solución Numérica.
- Modelos de Generadores Eléctricos: generador sincrónico, generador de inducción, generador de imanes permanentes.

Contenido

Capitulo III. Aspectos de Modelación de Fuentes de Generación Distribuida.

- Modelos de Interfaz Electrónica: convertidor del lado de la red, convertidores del lado del generador:
- Modelación de Fuentes: micro turbina de eje simple, micro turbina de eje partido, celda de combustible, turbina a gas, sistemas de conversión de energía del viento.

8082139
Sistemas de Generación Distribuida

Generador Sincrónico de Imanes Permanentes

Generador de Imanes

- La máquina sincrónica de imanes permanentes, en la actualidad, es *aplicada en una amplio número de aplicaciones* comerciales, industriales y de transporte por su *robustez y simplicidad*.
- La maquina de imanes permanentes es una máquina sincrónica en la cual *el devanado de campo es remplazado por imanes permanentes*.

Generador de Imanes: Ventajas

- Esta máquina posee una serie de *ventajas* sobre las máquinas sincrónicas con devanado de campo en el rotor, incluyendo:
 - Eliminación de las pérdidas del cobre en el rotor.
 - Más alta densidad de potencia y eficiencia.
 - Menor inercia del rotor. Sin embargo el material de empelado para los imanes permanentes de alta energía son frágiles y tienen el límite de resistencia a la tracción marginal, y así requieren estructuras en rotor para soportar los imanes contra las grandes fuerzas centrífugas experimentadas durante la operación de alta velocidad. Esto considerablemente limita el diseño de rotores de alta velocidad, de alta potencia.

Generador de Imanes: Ventajas

- Esta máquina posee una serie de *ventajas* sobre las máquinas sincrónicas con devanado de campo en el rotor, incluyendo:
 - Entrehierro de más grande debido a la mayor densidad de fuerza coercitiva.

Generador de Imanes: Desventajas

- Algunas de las *desventajas* de las máquinas sincrónicas de imanes permanentes son:
 - Pérdida de flexibilidad del control del flujo del rotor.
 - El alto costo de imanes permanentes de alta densidad de flujo. A fin de lograr altos niveles de potencia, los diseños típicamente usan imanes con materiales de alta energía como neodimio-hierro-boro $-Nd-Fe-B$. Algunos autores afirman que aun no se han alcanzado las bases como para poder afirmar que en futuro los altos costos de estos materiales disminuyan.

Generador de Imanes: Desventajas

- Algunas de las *desventajas* de las máquinas sincrónicas de imanes permanentes son:
 - Las características magnéticas cambian con el tiempo. Incluso, si la magnitud del campo magnético dentro del imán permanente excede la coercitividad intrínseca del material (por ejemplo, debido a la excesiva reacción de armadura), el material se desmagnetiza. Cuando esto ocurre la máquina es inoperable hasta que los imanes sean re-magnetizados, lo cual típicamente involucra el desensamblaje a la máquina.

Generador de Imanes: Desventajas

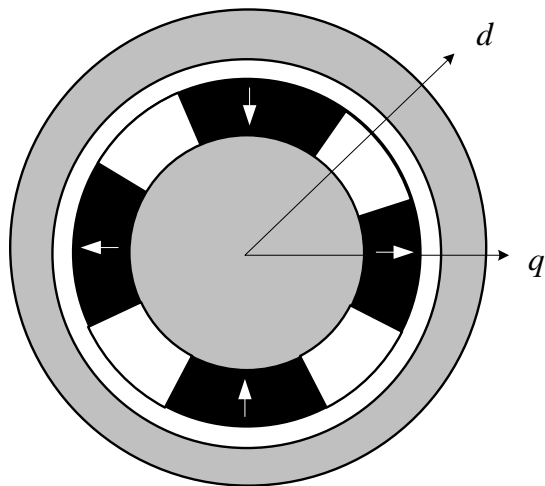
- Algunas de las *desventajas* de las máquinas sincrónicas de imanes permanentes son:
 - Pérdida de magnetización por encima de la temperatura Curie. La coercitividad intrínseca de un imán permanente es marcadamente afectada por la temperatura, de tal modo que es posible la desmagnetización, por ejemplo, la coercitividad intrínseca del neodimio-hierro-boro, decrece un factor mayor de dos cuando la temperatura se incrementa desde 20°C a 100°C.
 - Propiedad física que se define como la resistencia de los materiales magnetizados

Generador de Imanes

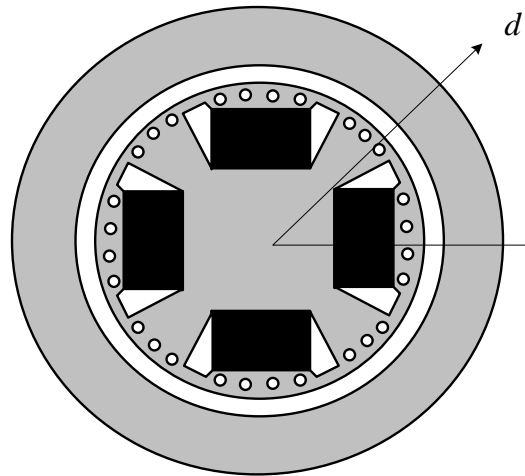
- Las ventajas en los materiales magnéticos que se ha alcanzado en los últimos años han producido un dramático impacto en las máquinas eléctricas.
- Y en particular la máquina sincrónica de imanes permanente ha surgido como una máquina especialmente atractiva en una serie de aplicaciones.

Forma Constructiva

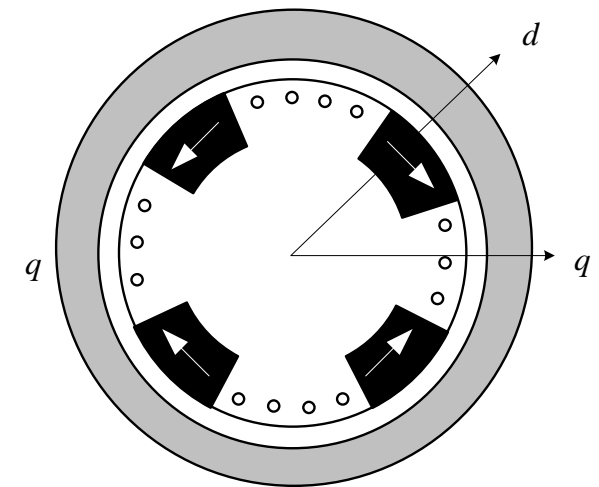
- Constructivamente, se distinguen dos tipos de diseños:
 - Máquina de imanes permanentes superficial: Senoidal, Trapezoidal.
 - Máquina de imanes permanente interiores: Regular y Transversal.



(a) Superficie



(b) Interior



(c) Interior Transverso

Forma Constructiva

- Maquina de imanes permanentes superficial: Senoidal, Trapezoidal.
- Maquina de imanes permanente interiores: Regular y Transversal.
- *Ambos diseños son ampliamente usados, siendo los diseños de imanes permanentes interiores, más complejos de fabricar y con limitantes de diseño en la velocidad de operación.*

Forma Constructiva

- Maquina de imanes permanentes superficial: Senoidal, Trapezoidal.
- Maquina de imanes permanente interiores: Regular y Transversal.
- Más allá de las consideraciones mecánicas en la construcción del rotor, desde el punto de vista eléctrico *solo afecta los valores de los parámetros característicos de la máquina.*

Forma Constructiva

- Cualquiera que sea la construcción del rotor, el estator *posee una construcción idéntica a la del generador sincrónico*, un devanado trifásico, el cual produce una distribución muy cercana a la senoidal de fuerzas magnetomotrices, basadas en el valor de la corriente del estator.
- Los *imanes son montados en el rotor*.
- Ellos poseen *el mismo papel que el devanado de campo en una máquina sincrónica* con la excepción que su *campo magnético es constante y no se tiene control sobre este*

8082139

Sistemas de Generación Distribuida

Modelo Transitorio del Generador Sincrónico de Imanes Permanentes

Modelo de Régimen Transitorio

- El modelo para el generador de imán permanente puede ser obtenido a partir del modelo equivalente obtenido para el generador sincrónico desarrollado para los ejes $dq0$.
- Asumiendo que el generador de imanes permanentes posee un devanado de amortiguamiento en forma de jaula y *no posee ningún devanado de amortiguamiento*.

Dinámica Eléctrica

- Ecuaciones Diferenciales:

$$\begin{cases} \dot{i}_d = \frac{E_d}{x_d} - \frac{r_s}{x_d} i_d + \frac{x_q}{x_d} p \omega i_q \\ \dot{i}_q = \frac{E_q}{x_q} - \frac{r_s}{x_q} i_q + \frac{x_d}{x_q} p \omega i_d - \frac{1}{x_q} p \omega \lambda \end{cases}$$

- Ecuaciones Algebraicas:

$$\begin{cases} E_q = r_s i_q + \omega (x_d i_d + \lambda) \\ E_d = r_s i_d - \omega x_q i_q \\ T_{elec} = \frac{3p}{2} (\lambda i_q + (x_d - x_q) i_d i_q) \end{cases}$$

p : Número de pares de polos.
 λ : Amplitud del flujo de campo magnético inducido en el estator por los imanes permanente del rotor.
 ω : Velocidad angular del rotor

Dinámica Mecánica

- Ecuaciones Diferenciales

$$\begin{cases} \dot{\delta} = \omega - \omega_s \\ \dot{\omega} = \frac{1}{M} [T_{mec} - T_{elec} - D(\omega - \omega_s)] \end{cases}$$