



Universidad de Concepción  
Dirección de Postgrado  
Facultad de Ingeniería - Programa de Doctorado en Ciencias de La Ingeniería  
con mención en Ingeniería Eléctrica

## **Efectos de la Saliencia en la Operación de Máquinas Sincrónicas de Imanes Permanentes**

## **Effects of Saliency on the Performance of Permanent Magnet Machine Drives**



ROBERTO HERNÁN MONCADA GATICA  
CONCEPCIÓN-CHILE  
2012

Profesor Guía: Juan Tapia Ladino  
Dpto. de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería  
Universidad de Concepción

# Resumen

Efectos de la Saliencia en la Operación de Máquinas Síncronas de Imanes Permanentes

Roberto Hernán Moncada Gatica.

Universidad de Concepción, 2012

El presente informe muestra el análisis, resultados, y conclusiones de la investigación desarrollada en el área de Análisis y Control de Máquinas Síncronas de Imanes Permanentes para obtener el grado de Doctor en Ciencias de la Ingeniería con mención en Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Concepción, Chile.

Como resultado de este trabajo, se obtiene una extensión de la teoría asociada al estudio de las máquinas de imanes permanentes, para analizar los diseños que presentan la característica de *saliencia negativa* o *inversa*. Esta denominación de *saliencia negativa* surge del signo de la componente de reluctancia en el torque de una máquina de imanes permanentes, el cual, resulta contrario a la componente de excitación cuando la inductancia de eje directo es mayor que la de eje de cuadratura, tal como se aprecia en la ecuación (2.38).

La extensión de la teoría lograda con esta Tesis permite describir el efecto de la saliencia en la producción de torque y los requerimientos de corriente y tensión junto a las consideraciones y consecuencias en el diseño y funcionamiento del sistema de control.

Las máquinas de imanes permanentes se han convertido en un tópico de alto interés en el desarrollo de accionamientos de corriente alterna modernos. Esto se explica por hecho de que este tipo de máquinas ofrecen diversas ventajas respecto de las máquinas de inducción y máquinas síncronas convencionales, tales como una alta densidad de potencia, alta eficiencia,

confiabilidad y baja inercia. Sin embargo, debido a que la excitación provista por los imanes es fija, este tipo de máquina puede ver disminuida su utilización en aplicaciones de velocidad variable que deban operar en un amplio rango de velocidad. Para solucionar este inconveniente, se han propuesto una serie de diseños con capacidad de control de flujo que permiten incrementar el rango de velocidad de operación. Algunos de estos diseños presentan la condición de que la inductancia de eje directo ( $L_d$ ) puede llegar a ser mayor que la inductancia de eje de cuadratura ( $L_q$ ). Esta condición se denomina *saliencia negativa* o *inversa*, y resulta ser poco común en las máquinas de imanes permanentes disponibles en el mercado o en aquellas reportadas mayormente en la literatura tales como las máquinas con imanes montados en la superficie y aquellas con imanes interiores.

Debido a que el torque total en una máquina de imanes permanentes resulta de una combinación de un *torque de excitación*, que es proporcional a los enlaces de flujo del imán, y un *torque de reluctancia*, que es proporcional a la diferencia entre las inductancias de *eje-q* y *eje-d*, denominada *saliencia*, resulta conveniente utilizar este parámetro para realizar un análisis del funcionamiento de la máquina, permitiendo obtener una visión más profunda de la producción de torque junto a los requerimientos de tensión y corriente, además del desempeño de las dos principales técnicas de control (control directo de torque y control vectorial), cuando son aplicadas a máquinas de imanes permanentes.

La investigación comienza con el desarrollo de un modelo de máquina de imanes permanentes que permita estudiar y explicar su principio de operación enfocándose en la producción de torque en términos de la saliencia. Se continúa con el análisis de las dos técnicas de control más populares como son el *control directo de torque* y el *control de campo orientado* o *control vectorial* con especial énfasis en el efecto de la saliencia en el desempeño de la máquina, la estrategia de control y su estabilidad. Finalmente, se desarrollan simulaciones computacionales y pruebas experimentales comparando sus resultados, y validando el análisis teórico.