

Modelado de un sistema de frenado por inyección de corriente directa a motores de inducción trifásico.

Modeling of a braking system by injection of direct current to three-phase induction motors.

Ruben Dario Ramos Ciprian¹, Leonardo Darien Sandoval de la Cruz¹, Yeuris Adolfo Lopez Jaime¹, Dario Alexander Ramos Ciprian¹, José Miguel Salavert Fernández², ¹Universidad Central del Este (UCE), República Dominicana, ²Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España, rubenramos@uce.edu.do, lsandoval@uce.edu.do, yalopez@uce.edu.do, dramos@uce.edu.do, jmsalavert@mot.upv.es.

Abstract. *The objective of this project is to create a model / prototype of a braking system by injection of direct current to three-phase induction motors, with the purpose of providing braking solutions that are easier to apply and that further ensure the integrity of the motor to be applied. The type of braking to use varies depending on the type of motor, the application in which it is used and the braking need of the application.*

DC injection braking is a smooth-acting braking applied to AC electric motors. The latter has a certain advantage over other types of mechanical brakes, since it does not cause wear due to friction, in comparison they are easier to install, they have a lower equipment cost and the versatility they present.

Keywords: Induction motors; DC; model

Resumen. *Este proyecto tiene como objetivo la creación de un modelo / prototipo de un sistema de frenado por inyección de corriente directa a motores de inducción trifásicos, con el propósito de dar soluciones de frenado más fáciles de aplicar y que aseguren más la integridad del motor a aplicar. El tipo de frenado a utilizar varía dependiendo del tipo de motor, la aplicación en que se utilice este y la necesidad de frenado de la aplicación. El frenado por inyección de corriente continua es uno de acción suave aplicado a motores eléctricos de corriente alterna. Este último cuenta con cierta ventaja con respecto a los otros tipos de frenados mecánicos, ya que no provoca desgaste por rozamiento, en*

comparación son más fáciles de instalar, cuentan con un menor coste de equipamiento y la versatilidad que presentan.

Palabras claves: *Motores de inducción; corriente directa; modelo*

I. INTRODUCCIÓN

Suele ser complejo cuando no tedioso la simulación de escenarios de sobre fallas en máquinas eléctricas trifásicas basadas en su vida útil, basado en arranques y frenados de estos, este trabajo permitirá alargar la vida útil del equipo aplicando un tipo de frenado suave, como lo es el frenado por inyección de corriente continua.

Se considerarán en este trabajo como puntos de referencia:

- Consumo de corriente en frenado del motor eléctrico.
- Coste de la reparación y cambio de los motores eléctricos trifásicos.
- Mantenimiento correctivo en motores eléctricos trifásicos de uso continua.

Se podrá caracterizar la situación en la que se encuentra un motor trifásico tipo de uso continuo en industrias, permitiendo determinar el sistema de frenado por inyección de corriente continua es idónea para garantizar una fiabilidad elevada del equipo basado en el desgaste de los materiales y en ocasiones difícil instalación en sistemas por frenado mecánico.

Para las pruebas se utilizará un motor tipo trifásico de uso continuo, a través de pruebas eléctricas se encontrarán los parámetros necesarios para formar el

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

circuito equivalente del mismo para modelarlo y simular la prueba de frenado por inyección.

II. METODOLOGÍA

2.1 Obtención de los datos experimentales

Tabla 1: Placa del motor Tipo para modelado:

OUTPUT	2 HP	kW	1.5
Hz	60	POLE	4
VOLT	230	HEAT	60oC
AMP	6.2	CLASS	A
RPM	1725	DATE	2017
PHASE	3	160916	

En la Tabla 1 está la placa del motor que se estará realizando los experimentos obtener los datos experimentales, de los cuales se realizaran el modelado.

Para poder obtener los datos y así calcular los elementos del circuito equivalente del motor, es necesario hacer pruebas experimentales en el mismo para poder parametrizarlo. Se realizarán en principio tres pruebas:

Ensayo en vacío a tensión nominal, como su nombre lo indica se desacoplará el motor del cabezal de la fresadora, se alimentará a tensión nominal y se tomaran las medidas de voltaje y corriente en cada una de sus fases.

Ensayo en vacío a tensión reducida en vacío, se reducirá la tensión nominal a un 50% y se tomaran medidas de voltaje y corriente en cada fase del motor.

Ensayo a cortocircuito, también llamada ensayo a rotor bloqueado, en esta prueba el eje del motor está bloqueado de manera que no se pueda mover y el devanado del motor está en cortocircuito. Esta prueba se hace a tensión reducida, recomendada por la norma IEEE a un 25% de la tensión nominal del motor. Al igual que con los anteriores se toman las medidas de voltaje y corriente en cada una de las fases.

Tabla 2: Ensayo en vacío a tensión nominal

Fases	Voltaje (V)	Corriente (A)
-------	-------------	---------------

U - V	217.6	3.94
V - W	218.1	3.38
U - W	217.9	3.51
Potencia (W)		151.5

Tabla 3: Ensayo en vacío a tensión reducida

Fases	Voltaje (V)	Corriente (A)
U - V	110.3	2.016
V - W	110.9	1.998
U - W	110.5	2.012
Potencia (W)		76.1

Tabla 4: Ensayo en cortocircuito

Fases	Voltaje (V)	Corriente (A)
U - V	47.3	5.97
V - W	47.1	5.99
U - W	46.9	5.96
Potencia (W)		270

Tabla 5: Recopilación de datos del Motor JET 3PH 2HP

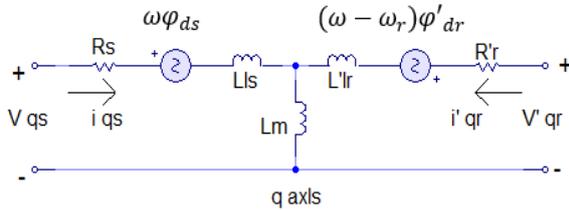
V_n	230	V
I_n	5.6	A
no. Polos	4	
f	60	Hz
R_s	5	Ohm
L_s	15	mH
L_m	0.2576	H
L_r	15	mH
R'_r	2.567	Ohm
C. fricción	0.0052	N.m. s

M. inercia	0.061	kg.m ²
-----------------------	-------	-------------------

2.2 Modelado del motor en Simulink

La figura 2 y figura 3 tiene es una representación del circuito equivalente del motor a modelar para las pruebas, este circuito equivalente no es más que la representación de un sistema electromagnético complejo, como lo es un motor de inducción, a un sistema equivalente en forma de resistencias e inductancias las cuales modelan su comportamiento.

Figura 1: Representación circuito equivalente eje "q"



A partir de la figura 1 se generan las siguientes ecuaciones, que representan el funcionamiento del eje q.

Voltaje del eje "q" del estator

$$V_{qs} = R_s i_{qs} + d\phi_{qs} / dt + \omega \phi_{ds} \quad (1)$$

Voltaje del eje "d" del estator

$$V_{ds} = R_s i_{ds} + d\phi_{ds} / dt + \omega \phi_{qs} \quad (2)$$

Voltaje del eje "q" del rotor

$$V'_{qr} = R'_r i'_{qr} + d\phi'_{qr} / dt + (\omega - \omega_r) \phi'_{dr} \quad (3)$$

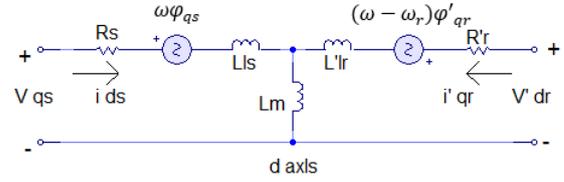
Voltaje del eje "d" del rotor

$$V'_{dr} = R'_r i'_{dr} + d\phi'_{dr} / dt + (\omega - \omega_r) \phi'_{qr} \quad (4)$$

Torque electromagnético

$$T_e = 1.5 p (\phi_{ds} i_{qs} - \phi_{qs} i_{ds}) \quad (5)$$

Figura 2: Representación circuito equivalente eje "q"



A partir de la figura 2 se generan las siguientes ecuaciones, que representan el funcionamiento del eje d.

Flujo magnético eje "q" del estator

$$\phi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i'_{qr} \quad (6)$$

Flujo magnético eje "d" del estator

$$\phi_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i'_{dr} \quad (7)$$

Flujo magnético eje "q" del rotor

$$\phi'_{qr} = L'_r i'_{qr} + L_m i_{qs} \quad (8)$$

Flujo magnético eje "r" del estator

$$\phi'_{dr} = L'_r i'_{dr} + L_m i_{ds} \quad (9)$$

Inductancia total del estator

$$L_s = L_{ls} + L_m \quad (10)$$

Inductancia total del rotor

$$L'_r = L'_{lr} + L_m \quad (11)$$

Para el sistema mecánico

Velocidad angular del rotor

$$\frac{d}{dt} \omega_m = \frac{1}{2H} (T_e - F \omega_m - T_m) \quad (12)$$

2.3 Prueba de frenado natural

Una vez visto y probado el motor en condiciones iniciales se procederá a desconectar la alimentación. De esta manera se probará cómo se comporta en condiciones de apagado normales una vez llegada a su velocidad nominal.

Figura 3: Diagramas de bloques en Simulink (Frenado natural)

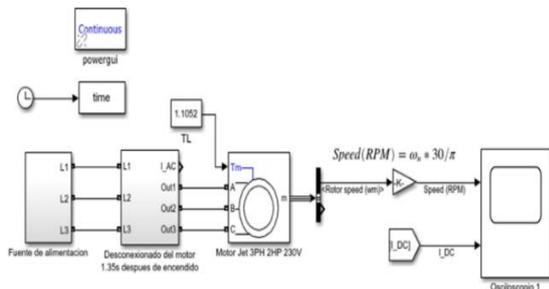
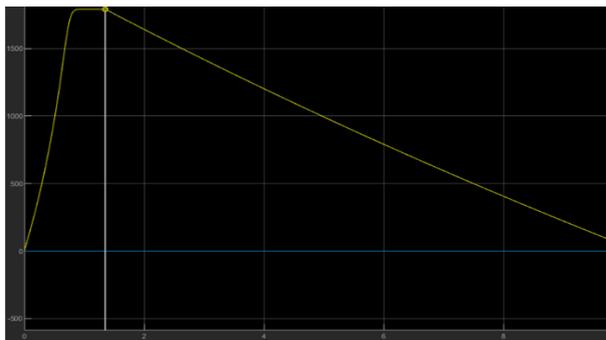


Figura 4: Grafica resultante del frenado natural.



En la *Figura 5* se observa la curva de desaceleración del motor con carga, hay que destacar que estas son condiciones ideales del mismo y son aproximaciones de los valores reales que este brindaría en campo. En la prueba se observa que el motor tarda aproximadamente **nueve segundos** en llegar a su condición de reposo.

2.4 Prueba de inyección de corriente directa

Para las pruebas se preparó el motor para que arranque desde su posición de descanso, rompa la inercia inicial y llegue a una velocidad estable. Una vez llegado a la marca de 1.35 segundos de la simulación se desconectará de la fuente de alimentación y 200ms después se procederá a inyectar corriente DC. La razón por la cual es necesario esperar un tiempo entre la inyección de la corriente DC al sistema es porque se necesita disipar hasta cierto punto la Fuerza Electromotriz del motor. Se monitoreará el consumo y velocidad del motor en

todo momento, en conjunto con el tiempo que tarda este en pararse.

Figura 5: Diagramas de bloques en Simulink (Frenado por inyección de corriente directa)

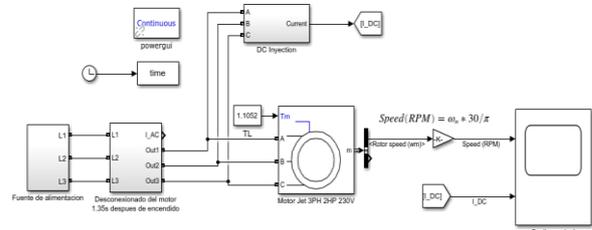


Figura 7: Diagrama de bloques del subsistema "Fuente de alimentación"

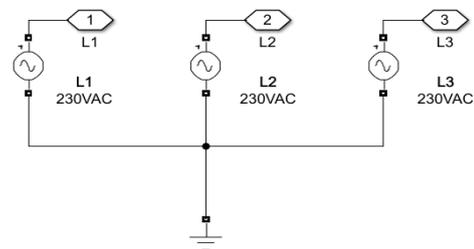


Figura 8: Diagrama de bloques del subsistema "Desconexión del motor 1.35s después de encendido"

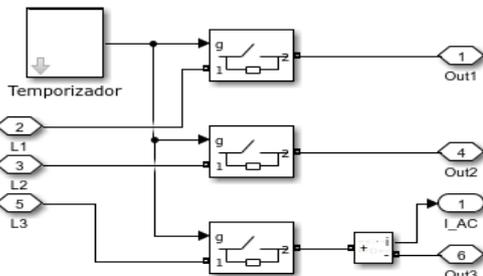


Figura 9: Diagrama de bloques del subsistema "DC Injection"

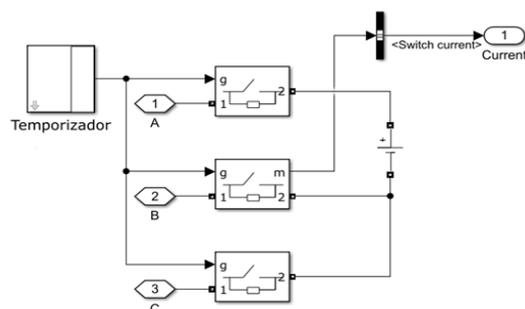
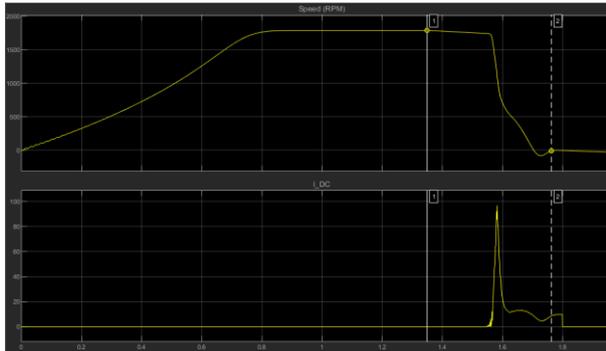


Figura 10: Grafica resultante del frenado por inyección de corriente directa.



En la *Figura 10* se puede observar los resultados de las pruebas de inyección de corriente directa al devanado del motor.

III. CONCLUSIONES

El sistema detiene completamente el motor en alrededor de **413 ms** lo cual es una mejora al frenado natural de un **95.35%**. Según estos resultados el sistema, en estimado, da alrededor de 12 vueltas, pero es de aclarar que son con un torque reducido porque el torque eléctrico que está provocando la inyección de corriente directa está en contra de la inercia que conserva el motor, haciendo que este pierda fuerza en su accionar. Se pudo observar como el motor tipo fue parado exitosamente en referencia con el frenado natural, demostrando la eficiencia del sistema frenado por inyección de corriente continua.

Basados en la clase del motor tipo asumimos la corriente y el tiempo máximo de frenado que podemos aplicar antes de comprometer la integridad del devanado del estator del motor y provocar daños. En los resultados obtenidos se observa que esta

acción de frenado no generaría ningún problema al motor en cuestión.

REFERENCIAS

- [1] Krause, P.C., O. Wasynczuk, and S.D. Sudhoff, Analysis of Electric Machinery, IEEE® Press, 2002.
- [2] Mohan, N., T.M. Undeland, and W.P. Robbins, Power Electronics: Converters, Applications, and Design, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1995, Section 8.4.1.
- [3] Chapman, S. J. “Máquinas eléctricas”. Editorial McGrawHill-Interamericana, Cuarta Edición. México 2005.
- [4] IEEE 112-2004: “Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators”
- [5] Frailes Mora, “Máquinas Eléctricas”. Editorial McGraw Hill – Interamericana, 2003.
- [6] A. Gastli, “Indetification of induction motor equivalent circuit parameters using the single-phase test”, IEEE Transaction on energy conversión”, Vol. 14, No.1, March 1999.
- [7] M. Kostenko, L.Piotrovski. Máquinas Eléctricas II 1ra Edicion.
- [8] Revuelta Garcira, Jose Gonzales Parada, Adrian y Bosh Tous. Comparación de métodos experimentales para obtener los parámetros eléctricos de un motor de inducción, 2016
- [9] N K.S. Huang, Q.H. Wu, D.R. Turner Effective indentification of induction motor parameters base don fewer measurements”, IEEE Transaction on energy conversión, Vol. 17 No. 1, March 2002.