

“Motor de Inducción de una Sola Espira”

F.A. Quizhpi

F. Bresciani

Universidad Politécnica Salesiana - Cuenca, Ecuador

Resumen— El trabajo presenta el proceso completo de diseño y construcción de un motor trifásico de una sola espira. El motor es destinado para uso como máquina normal con la ventaja de trabajar a tensión próxima a cero. Se presenta el dimensionamiento y montaje del devanado estático sobre núcleo magnético. Para verificar el nivel de rendimiento y uso eficiente de energía se realiza el análisis de la respuesta ante el sistema de alimentación nominal, esto es tensión cero, respuestas ante condiciones de funcionamiento en vacío, con carga y cortocircuito de barra aguas arriba. Se verifica que la alimentación de red contaminada es filtrada con el sistema de bobina de sola espira, manteniendo parámetros mecánicos. Se demuestra que el sistema aporta, sobre el sistema contaminado, con reducciones de armónicos conforme cambie las características de la carga máquina.

Palabras clave— motor inducción, eficiencia energética, armónicos, monoespira.

1. INTRODUCCIÓN

El constante cambio de los parámetros de comportamiento de las redes de distribución, debido al constante cambio de las cargas no lineales, lleva a que se busque formas y sistemas que conlleven a mejorar o mantener parámetros dentro de valores de las normalizaciones, garantizando un adecuado valor en los parámetros de calidad de energía, se pueden citar THD (factor de distorsión armónica), FP (factor de potencia), CF (factor de cresta) entre otros. Valores que son normalizados en la IEEE 519-1992 y a nivel nacional con la Regulación 004/01 del CONELEC.

Se realiza un diseño de un sistema que innovará el sistema de alimentación trifásica o monofásica, la introducción de una máquina que pueda, simultáneamente, realizar el trabajo mecánico para el que se le dimensiona y servir, a la vez, como sistema de filtrados de armónicos, es posible lograrlo con la introducción de una máquina monoespira (trifásica o monofásica) en serie a cargas del sistema de distribución.

2. MODELO DE LA MÁQUINA DE INDUCCIÓN

En la Figura 1 se presenta el esquema básico de las bobinas de una máquina de inducción cuyo rotor y estator son trifásicos. En general el modelo se puede establecer para un número general de fases en el estator y otro en el rotor. Como la mayoría de los motores de inducción de uso industrial son trifásicos en el estator, se realizará el modelo para un caso particular donde el rotor y el estator son trifásicos. Normalmente las bobinas rotóricas se encuentran en cortocircuito y en el estator se aplica un sistema trifásico y balanceado de tensiones sinusoidales.

En los modelos convencionales de la máquina de inducción se desprecian los efectos que producen el ranurado, la distribución de los devanados, las excentricidades estáticas y dinámicas y en ciertos casos las pérdidas en el hierro y las pérdidas mecánicas [1].

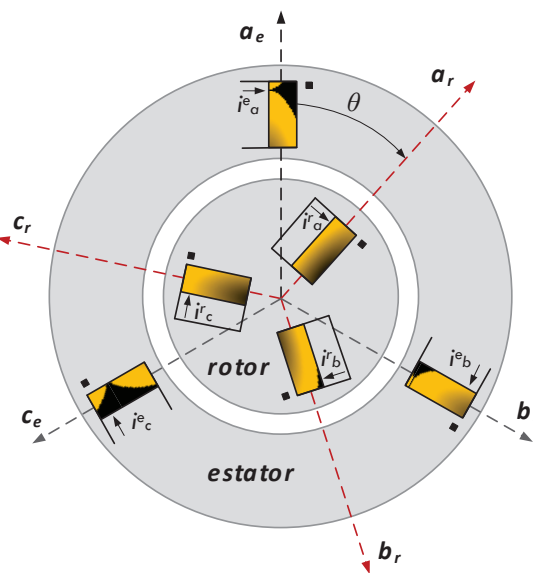


Figura 1: Diagrama esquemático de las bobinas de una máquina de inducción trifásica en el rotor y estator [1]

Las ecuaciones diferenciales que rigen el comportamiento de la máquina de inducción en el sistema de coordenadas indicado en la Figura 1 son:

$$\begin{aligned}
 [v] &= [R][i] + p[\lambda] \\
 &= [R][i] + [L(\theta)]p[i] \\
 &\quad + (\dot{\theta})[\tau(\theta)][i]
 \end{aligned} \quad (1)$$

$$T_e - T_m = \frac{1}{2} [i]^t [\tau] [i] - T_m = J \dot{\theta} \dot{\theta} \quad (2)$$

A partir de las ecuaciones (1) y (2) es posible modelar los comportamientos de las máquinas trifásicas, obteniendo respuestas ante diferentes situaciones, a partir de los modelos presentados en [1] se ha desarrollado un software de análisis usando el mfile de Matlab, en el trabajo se presenta la respuesta para una condición de carga de par mecánico del 100%, Los comportamientos son presentados en las figuras 2, 3, y 4.

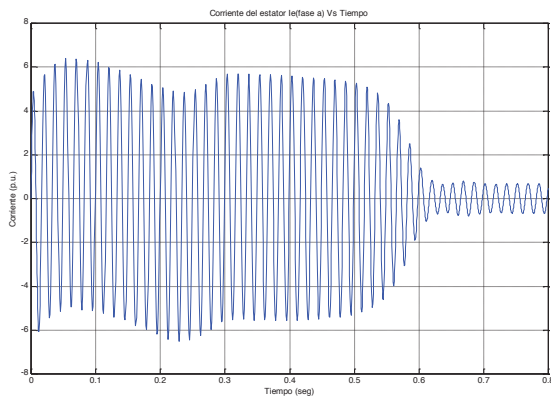


Figura 2: Corriente del estator vs. Tiempo

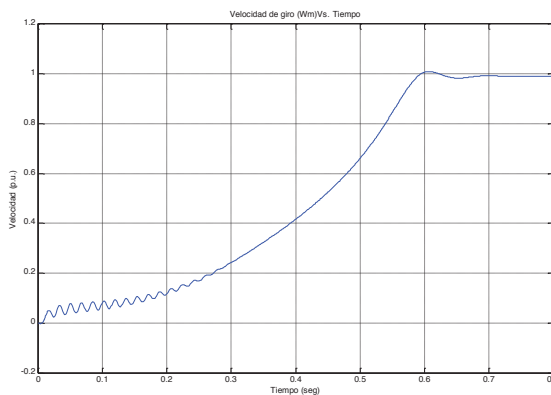


Figura 3: Velocidad de giro vs. Tiempo

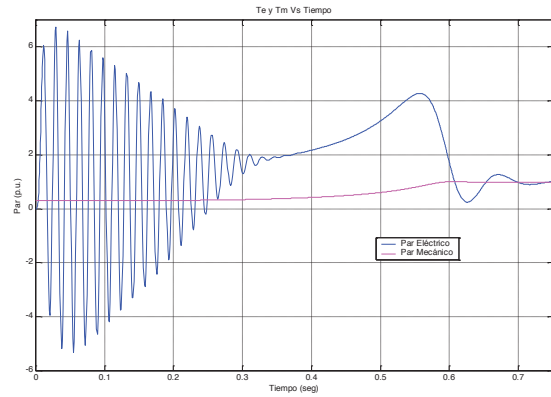


Figura 4: Par mecánico y eléctrico vs. Tiempo

3. DISEÑO DE MAQUINA MONO ESPIRA

La formulación de diseño del devanado se sustenta en el método presentado por Crisci [3] en su tratado de máquinas eléctricas y difundida ampliamente en el Ecuador a través de la síntesis de traducciones y ejemplificaciones realizadas por Bresciani [2] en años anteriores. De igual manera se referencia sistemas de desarrollo de devanados presentados por Lawrie [4].

El objetivo es obtener una máquina que funcione a tensión cero y desarrolle par que alcance al 100%, entonces el desarrollo da como resultado:

Datos de estator tomado para el prototipo

- $L_g = 0,091 \text{ m}$
- $\Phi_i = 0,098 \text{ m}$
- $2p = 4$
- $F = 60 \text{ Hz}$
- $C = 133$ constante para una frecuencia de 60 Hz
- $B = 0,8 \text{ Wb/m}^2$
- $N_{cr} = 1$ conductor por ranura
- Potencia = 2 200W
- Paso entero = 1-10

Ranura por polo fase

$$\begin{aligned}
 q &= \frac{Nr}{4 * Nf} \quad (3) \\
 q &= \frac{36}{4 * 3} \\
 q &= 3rpf
 \end{aligned}$$

Angulo alfa grados eléctricos

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{360 * p}{Nr} \quad (4) \\
 \alpha &= \frac{360 * 2}{36} \\
 \alpha &= 20 \text{ grados}
 \end{aligned}$$

Factor de devanado

$$Ka = \frac{\text{sen}q\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{q\text{sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (5)$$

$$Ka = \frac{\text{sen}3 * \frac{20}{2}}{3 * \text{sen}\left(\frac{20}{2}\right)}$$

$$Ka = 0.96$$

$Kz = Ka$ por ser paso entero.

Calculo del número de conductores por fas°

$$Ncr = 3 * \frac{Zf}{Nr} \quad (6)$$

$$Zf = Ncr * Nr / 3$$

$$Zf = 1 * 36 / 3$$

$$Zf = 12 \text{ conductores}$$

Calculo de alimentación

$$v = \frac{Zf * C * Kz * \Phi_i * Lg * B}{p} \quad (7)$$

$$v = \frac{12 * 133 * 0.96 * 0.098 * 0.091 * 0.8}{2}$$

$v = 12 \text{ voltios por fase}$

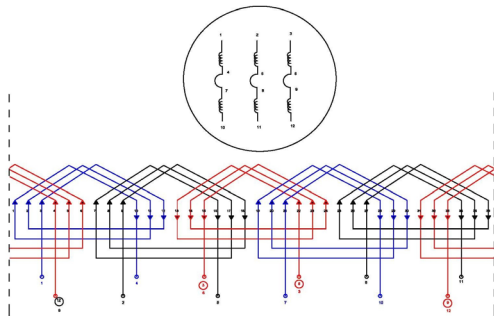


Figura 5: Esquema del devanado



Figura 6: Fotografía del devanado estatórico del prototipo

4. RESULTADOS

4.1. Prueba de la máquina a vacío

Para determinar los parámetros de la máquina y verificar su respuesta ante lo esperado se alimentó al motor con una fuente de corriente (no la red o fuente de tensión, característica que tiene que ser aclarada, para que el lector no se preste a confusión), la fuente se encuentra en proceso desarrollo final, y será presentada para patente. La característica de corriente y tensión sobre la máquina se observa en la Figura 7, los resultados son positivos, se prueba que la corriente y voltaje mantienen una respuesta perfecta para la máquina. Los valores de THD son menores del 4%.

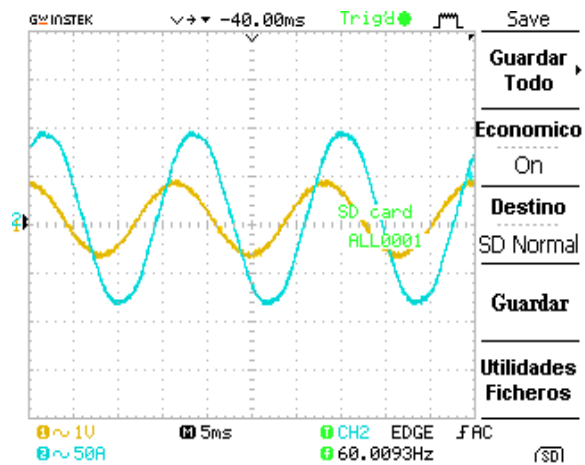


Figura 7: Valores de Voltaje y corriente a vacío

4.2. Prueba con carga mecánica

En una segunda prueba se verifica el sistema en plena carga, características de voltaje y corriente se presentan en la Figura 8, el espectro armónico de la corriente, representado en la Figura 9, se obtiene a partir del procesamiento de la data de corriente

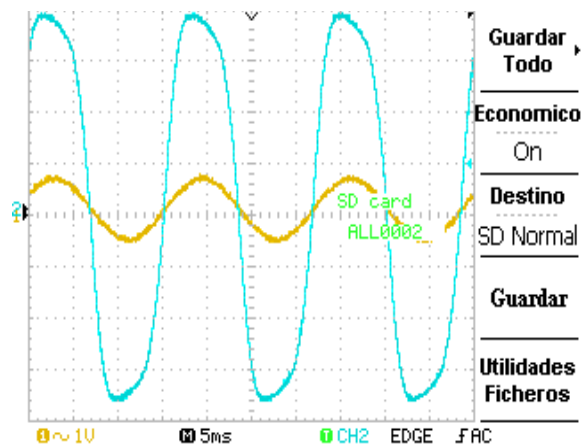


Figura 8: Voltaje y corriente a plena carga

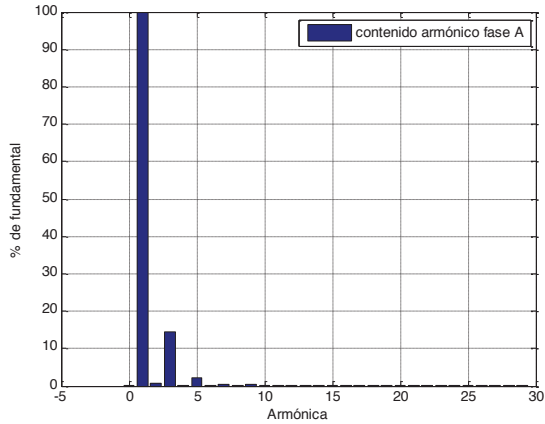


Figura 9: Espectro armónico de la corriente a plena carga

El comportamiento de voltaje y corriente a plena carga expresan claramente que la máquina presenta un, que se evidencia al ver la tensión y corriente en fase.

En la tabla 1, se tiene un resumen de los valores de los ensayos a vacío y carga de la máquina mono espira.

Tabla 1: Valores de los ensayos a vacío y carga de la máquina.

PRUEBA	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	cos θ	THD _v (%)	THD _i (%)
V A C Í O	0,636	56,7	51,16	0,82	3,2	3,8
C A R G A	0,567	148,5	145,84	0,99	3,4	14,5

4.3. Ensayo sobre la red como filtro

Se considero para este análisis una red que alimenta una carga no lineal, las graficas de voltaje de corriente se presentan en la Figura 10, que introduce una serie

de armónicos. En la Figura 11 se tiene el espectro armónico de la corriente de red.

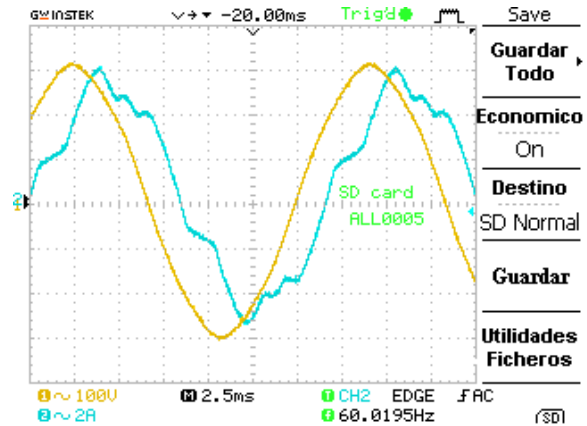


Figura 10 Valores de corriente y voltaje del sistema industrial a colocar la máquina mono espira

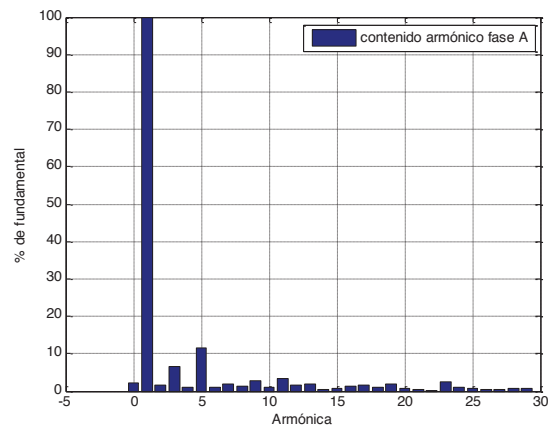


Figura 11: Espectro armónico de la corriente de red

El interés se centra sobre la característica de la corriente que presenta una seria distorsión, los valores Irms=3,1433 y THD = 15,89 son obtenidos de procesamiento realizado de la data capturada de la corriente.

Se coloca el sistema de fuente con el motor mono espira sobre la red industrial motivo del ensayo, los resultados son presentados en la figuras 12 y 13. Los nuevos valores con el sistema sobre la red son Irms=7,03 y THD=6,68

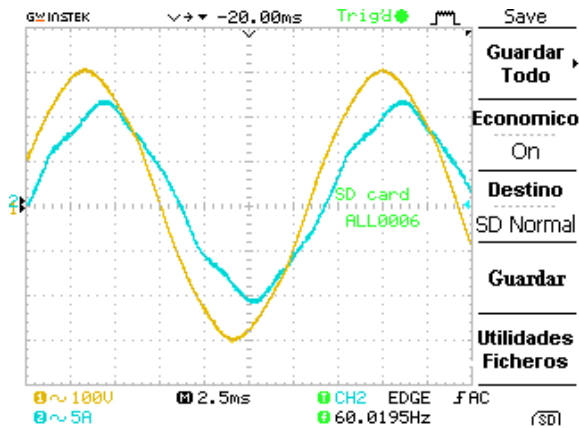


Figura 12: Voltajes y corrientes del sistema sobre una red industrial

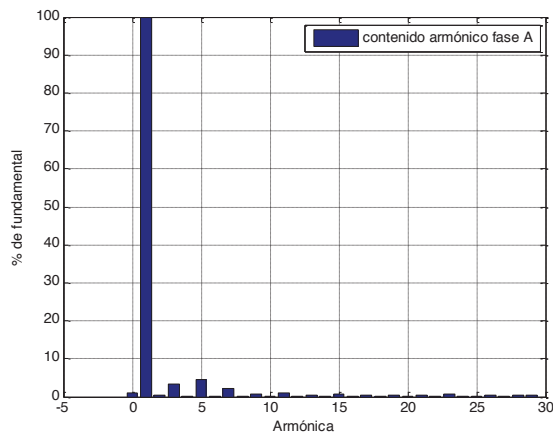


Figura 13: Espectro armónico de la corriente de la red industrial

4.4. Ensayo de cortocircuito aguas arribas

Pretendemos realizar un ensayo que permita verificar el nivel de aporte o consumo de la máquina mono espira en la eventualidad de falla de cortocircuito en el sistema.

Una vez alimentada la máquina mono espira se produce un cortocircuito bifásico aguas arribas de alimentación del motor. El resultado sobre la red no se altera y son similares a los del ensayo con carga mecánica.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

Se tiene que indicar que cada una de las mediciones se realizaron capturando imágenes y serie de datas dadas por un osciloscopio digital, al cual se le han adicionado transductores de corriente y sondas diferenciales de tensión.

El sistema a vacío presenta un comportamiento ideal manteniendo características de THD inferiores a los exigidos en las normativas.

Al colocar par mecánico sobre la máquina, la respuesta de la corriente y voltaje llevan a suponer que el factor de potencia podría llegar a la unidad, al visualizar voltaje y corriente se tiene un, pero el THDi eleva su valor a 14,5%, menor a la norma, pero introduce una potencia por efectos de distorsión, razón que da un Factor de Potencia de 0,94. Si se considera este parámetro como valor de rendimiento de la máquina el resultado es un sistema de muy bajas pérdidas.

La cantidad de armónicos que introduce un sistema de carga no lineal es elevada, se observa en la Figura 11. En el caso del presente trabajo la carga no lineal es el sistema de fuente de corriente en vacío que alimenta la máquina mono espira. Al alimentar a la máquina y colocar carga mecánica sobre el eje de la misma se tiene una disminución significativa de los armónicos, situación evidenciada en la Figura 13, el valor Irms se elevaba en función del trabajo que realiza la máquina razón que justifica el cambio.

En el ensayo de cortocircuito aguas arriba no se observa cambios en la corriente total del sistema, por que al ser una máquina de una sola espira, la misma se pone en paralelo al elemento que actúa como medio de cortocircuito. En consecuencia se verificó que el motor continúa desarrollando su par mecánico.

6. CONCLUSIONES

La posibilidad de simular comportamientos de una máquina mono espira a través del software desarrollando en mfile de Matlab, permitió que el prototipo desarrollado tenga su sustento antes de ser construido. En los ensayos los resultados fueron los que se esperaban.

En el sistema se demostró que es posible que una máquina pueda funcionar en serie a un grupo industrial, la corriente de alimentación a un Sistema Eléctrico al pasar por el sistema mono espira produjo par en el eje del motor.

En la prueba como filtro es destacable la bondad que brinda el sistema, se reduce significativamente el nivel de contaminación armónica.

Se demuestra que es posible tener un sistema de filtro pasivo que, además de realiza un trabajo mecánico, disminuye significativamente el nivel de contaminación armónica.

Estamos aportando con retomar sistemas electromecánicos, ajustando los parámetros de diseño, para mejorar los niveles de THD de la red.

Debido a la bondad del sistema, es posible disminuir el factor K de los transformadores usados aguas arriba cuando se aplica el sistema presentado.

El concepto es aplicable a sistemas monofásicos bajo idénticas consideraciones, por lo tanto se pueden construir filtros pasivos, que siendo motores monofásicos sobre aplicaciones comunes domesticas realicen, además, la función de filtro de armónicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Aller J.M. , Máquinas Eléctricas Rotativas, Editorial Equinoccio, ISBN 980-237-223-4, septiembre 2008.
- [2] Bresciani F., Motor Asíncrono, Ediciones Técnico Salesiano, 1980.
- [3] Crisci Giorgio, Construzione schemi e calcolo degli avvolgimenti delle macchine electriche rotanti. Editorial S.T.E.M., Modena, Itali, 1.972.
- [4] Lawrie, R.J., Biblioteca Práctica de Motores Eléctricos, Tomos 1 y 2, Editorial OCEANO, Bogotá, 1.987.



Flavio Alfredo Quizhpi Palomeque.- Nació en Cuenca-Ecuador, en 1969. Recibió el Título de Ingeniero Electrónico en la Universidad Politécnica Salesiana en el 2003, Licenciado en Ciencias de la Educación en la Universidad Politécnica Salesiana en el 1999, Especialista en Educación Superior en la Universidad del Azuay en el

2002. Actualmente cursando el programa Doctoral en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Simón Bolívar de Venezuela. Dedicado al área de investigación de los Sistemas Eléctricos de Potencia, Confiabilidad, FACTS e Inversores Multinivel.



Franco Bresciani Galli.- Nació en Italia, en 1938. Master en Pedagogía, Tecnólogo Electromecánico, Autor de dos patentes en Módulos de utilidad, Publicaciones en las áreas de electromagnetismo, circuitos eléctricos, máquinas eléctricas.

Dedicado al área de investigación de los Sistemas Eléctricos de Potencia, Máquinas Eléctricas, sistemas de emulsión y aplicación de los campos magnéticos.