

Monitoreo de Condición para la Detección de los Cortocircuito entre Espiras en Bobinado del Estátor utilizando la Teoría de la Potencia Instantánea

Manuel A. Mazzoletti ^{a,*}, Guillermo D. Yucheche ^b, Pablo D. Donolo ^c, Guillermo R. Bossio ^c

^a LIDEE, FI-UNaM, Juan Manuel de Rosas 325, Oberá, Misiones - Argentina

^b Becario Proyecto de Investigación 16/I162 - LIDEE, FI-UNaM

^c IITEMA-UNRC, CONICET Ruta Nacional #36, km #601, Río Cuarto, Córdoba - Argentina

e-mails: armando.mazzoletti@fio.unam.edu.ar, guillermoyucheche@fio.unam.edu.ar, gbossio@ing.unrc.edu.ar, pdonolo@ing.unrc.edu.ar

Resumen

Este trabajo se presenta un método para la detección de un cortocircuito entre espiras en los bobinados de estátor de la Máquina de Inducción (MI) trifásica utilizando la Teoría de la Potencia instantánea. La detección se realiza analizando los patrones de las trazas en el plano α - β de las componentes de corrientes activa y reactiva instantánea. Para la validación experimental se utilizó un prototipo de MI con bobinados modificados la cual permite introducir cortocircuitos entre espiras de diferentes severidades. Con el objetivo de analizar los efectos de una avería cuando las tensiones presentan distorsión armónica, una fuente de alimentación trifásica programable se utilizó para sintetizar tensiones con diferentes grados de distorsión y desbalances. Se presentan resultados de simulación a partir de un modelo analítico con falla y experimentales para la MI prototipo operando con una avería en los bobinados bajo tensiones de red distorsionadas y con diferentes grados de desbalances usuales en el ámbito industrial.

Palabras Clave – Detección de Averías, Cortocircuito entre Espiras, Máquina de Inducción, Teoría de la Potencia Instantánea.

1. Introducción

En la mayoría de las aplicaciones industriales, las Máquinas de Inducción (MI) trifásicas son el principal eslabón en la cadena de producción. Diversos esfuerzos eléctricos y mecánicos durante la vida útil de las MI producen el envejecimiento natural de sus partes constitutivas, incrementando la probabilidad de producirse falla. Una falla imprevista en las máquinas eléctricas provoca paradas de procesos fuera de planificación y, además, pérdidas económicas asociadas a la interrupción de la producción y a la reparación del equipamiento dañado.

Una de las averías de origen eléctrico de mayor relevancia en el estátor de las MI, entre el 30% - 40%, se debe a los cortocircuitos entre espiras de los bobinados [1]. Un bobinado con averías ocasiona la sobreelevación de la temperatura en la zona afectada debido a una corriente de falla de magnitud varias veces superior a la magnitud de la corriente nominal [13]. Por lo tanto, es importante detectar las averías en bobinados en su estado incipiente con el fin de evitar las fallas de mayor gravedad como los cortocircuitos entre dos fases o entre una fase a tierra.

Existen varios métodos para la detección de averías en el estátor de las MI [3]. Las técnicas basadas en la medición de las tensiones y las corrientes despiertan mayor interés por ser de carácter no invasivo. Estos métodos analizan el comportamiento de las variables eléctricas con el objetivo de detectar diferentes asimetrías tanto en el estator como el rotor [4][5]. Una técnica propuesta para la detección de un cortocircuito entre espiras en bobinado de la MI fue publicada recientemente en [6].

En dicho trabajo fue propuesto un modelo analítico que considera la falla en los bobinados de estátor de una MI incluyendo en el análisis los efectos de los armónicos de la red. El modelo desarrollado en componentes de secuencias para el estado estacionario deriva del modelo dinámico con falla en un marco de referencia qd con el fin de analizar los armónicos de corrientes en redes de secuencia. El uso de la teoría de la potencia instantánea o, comúnmente denominada teoría de potencia $p-q$, ha sido objeto de publicación en trabajos anteriores para la detección y el diagnóstico de fallas. Algunos estudios refieren a esta técnica para el diagnóstico de barras rotas en el rotor y las oscilaciones de carga en MI empleando las componentes de corrientes activa y reactiva en marco de referencia $\alpha-\beta$ [7], [8]. Los resultados demostraron la factibilidad de separar los efectos de una rotura de barras en el rotor de las perturbaciones que se generan por las oscilaciones de carga en el eje. La detección y el diagnóstico de averías en el estátor basado en las componentes del espectro de frecuencia de las corrientes activa y reactiva fue estudiado en [9]. En este caso, un cortocircuito entre espiras se evidencia con mayor notoriedad sobre la componente de corriente reactiva, mientras que la activa puede ser utilizada para la detección de excentricidades. Se debe tener en cuenta que los desbalances de la tensión de alimentación provocan iguales efectos sobre las componentes que debe ser analizado de manera conjunta con la inclusión de una nueva señal de tensión.

En este trabajo se presenta una técnica de monitoreo de condición para la detección de cortocircuito entre espiras de los bobinados del estator de una MI utilizando la Teoría de la Potencia Instantánea. La propuesta actual es un avance de trabajos anteriores [10][10] y [11] en donde fue analizado en profundidad un modelo analítico de la MI con falla y su comportamiento en diferentes condiciones. La técnica propuesta se basa en la medición de las tensiones y corrientes sobre la MI en operación. Luego, las señales son procesadas para obtener dos componentes de corriente en marco de referencia $\alpha-\beta$, una de ellas dependiente de la potencia activa y la otra de la potencia reactiva. La detección de la avería se realiza evaluando los patrones de las trazas en el plano $\alpha-\beta$ para la MI bajo diferentes condiciones de severidades de falla con tensiones de alimentación desbalanceadas y distorsionadas. Con el objetivo obtener resultados experimentales, una fuente de tensión trifásica programable se utilizó durante los ensayos de laboratorio para sintetizar las formas de onda de la tensión aplicadas sobre los bornes de una MI prototipo. La MI utilizada presenta bobinados de estátor modificados para incluir de manera intencional cortocircuitos entre espiras. Las averías se generan a través de salidas adicionales desde la 1era, 2da, 3era, 4ta, 5ta y 10ma espiras del bobinado de una fase.

2. Estrategia de Detección de Falla utilizando la Teoría de la Potencia Instantánea

Los efectos de un cortocircuito entre espiras en los bobinados fueron analizados mediante la evaluación de un modelo dinámico de la MI con falla que puede consultarse en [6]. El modelo propuesto se formula a partir del esquema que se muestra en la Fig. 1. En el esquema se representa un bobinado trifásico de una MI con un cortocircuito entre espiras en la fase a . El total de espiras que compone el bobinado de una fase se indica por N_s . El porcentaje de espiras en cortocircuito se define por el coeficiente μ . Para el caso de la MI sin averías, $\mu=0$. Las variables r_f e i_f representan la resistencia de contacto entre las espiras afectadas y la corriente de falla. El modelo dinámico de la MI con falla permitió analizar y evaluar los efectos que producen los cortocircuitos entre espiras en bobinados de estátor de diferentes severidades, analizando el comportamiento de las señales de corrientes considerando desbalance y distorsión en la tensión de alimentación.

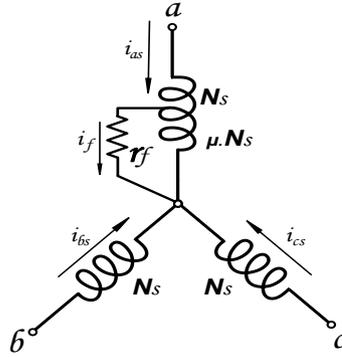


Fig. 1 - Modelo simplificado de la máquina de inducción con avería en bobinados de estátor

2.1. Componentes de Corrientes Activas y Reactivas

Para la implementación de la técnica se utiliza la Teoría de la Potencia Instantánea [12], conocida como teoría p - q , basada en la transformación de las tensiones y corrientes en el marco de referencia α - β con el fin de obtener las componentes de potencias activa y reactiva de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ v_\beta & -v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (1)$$

A partir de las potencias p y q , es posible calcular dos componentes de corrientes en los ejes de referencias α - β tal como se realiza a continuación:

Corriente activa instantánea α :

$$i_{\alpha p} = \frac{v_\alpha}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \cdot p \quad (2)$$

Corriente activa instantánea β :

$$i_{\beta p} = \frac{v_\beta}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \cdot p \quad (3)$$

Corriente reactiva instantánea α :

$$i_{\alpha q} = \frac{v_\beta}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \cdot q \quad (4)$$

Corriente reactiva instantánea β :

$$i_{\beta q} = \frac{-v_\alpha}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \cdot q \quad (5)$$

Las corrientes activas y reactivas pueden reescribirse en dos vectores de corrientes como se muestra en las ecuaciones (11) y (12), conocido como el vector de Park [13].

$$I_p = \begin{bmatrix} i_{\alpha p} \\ i_{\beta p} \end{bmatrix} = \frac{p}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$I_q = \begin{bmatrix} i_{\alpha q} \\ i_{\beta q} \end{bmatrix} = \frac{q}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} \begin{bmatrix} v_{\beta} \\ -v_{\alpha} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Para la MI en condiciones normales de operación alimentada con tensiones sinusoidales y balanceadas, las trazas del vector Park en el plano α - β describirán una circunferencia ideal [14]. Las trazas se obtienen mediante la función $i_{\alpha} = f(i_{\beta})$. Por lo tanto, bajo iguales condiciones de operación mencionadas se espera que los vectores de corrientes (11) y (12) describan una traza circular ideal. Por el contrario, las trazas en el plano se verán alteradas frente a perturbaciones que modifiquen el estado de operación normal de funcionamiento de la M. El análisis y la evaluación de ambos vectores de corrientes permiten realizar el monitoreo de condición en una MI con el fin de detectar averías incipientes basado en las potencias activas y reactiva instantánea.

3. Efectos de la avería sobre las trazas de las componentes de corriente activa y reactiva

El comportamiento de la MI con un cortocircuito entre espiras en bobinados de estátor se evaluó mediante resultados de simulación empleando el modelo dinámico propuesto en [6]. Los parámetros requeridos para la implementación digital se muestran en la Tabla 1. Estos datos se corresponden con las características de la MI prototipo empleada en los ensayos experimentales.

Tabla 1 - Características de la MI simulada

11,8 A	380 V	1450 rpm	50 Hz
r_s	0,9 Ω	r_r	0,4 Ω
L_{ls}	4 mH	L_m	125 mH
Conexión Bobinas	Serie	Bobinas/Fase	8
Espiras/Bobina	18	Espiras/Fase	144

En este caso, las simulaciones fueron realizadas considerando diferentes grados de desbalance, VUF (Factor de desbalance de tensión), y distorsión de tensión, THD (distorsión armónica total). Para los estados de funcionamiento con falla en bobinados se consideraron severidades de avería entre el 3,5% y 14% que corresponden a cortocircuitar entre 5 y 20 espiras del total que conforma el bobinado de una fase. Los efectos sobre las componentes de corriente activa y reactiva instantánea cuando se produce un cortocircuito entre espiras en los bobinados de estátor de una MI fueron analizados de manera exhaustiva en trabajos anteriores [10] y [11].

En la Fig. 2 se muestra las trazas de los vectores de corriente en el plano α - β para la MI sin averías con carga nominal, alimentada por tensiones de red balanceadas, $VUF=0$, y con distorsión producto de la inclusión del 5^{to} armónico, $THD_v = 15\%$. En la Fig. 2 (a) se muestra la traza del vector de Park. Es posible observar trazas en el plano bien diferenciadas del vector de corriente activo y reactivo, en las Fig. 2 (b) y Fig. 2 (c), respectivamente. Cuando las tensiones de alimentación son desbalanceadas se obtienen las trazas que se muestran en la Fig. 3. La condición de desbalance introducido, $VUF=0.5\%$, representa un caso habitual que suelen encontrarse en el entorno industrial. Comparando los resultados de la Fig. 3 con la Fig. 2, se observa que las trazas mantienen el mismo patrón en el plano α - β , sin presentar una significativa alteración al introducir el desbalance de las tensiones de red.

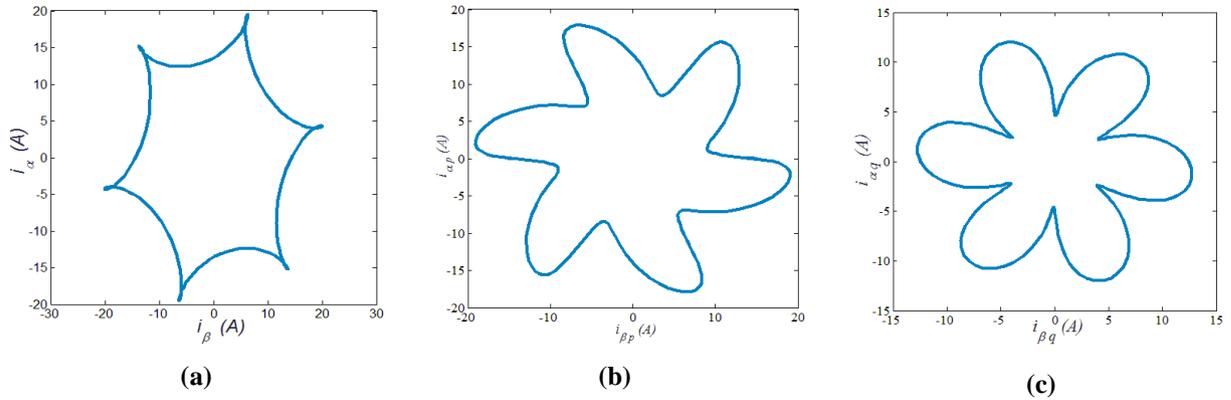


Fig. 2 – MI sin avería con tensiones de alimentación distorsionadas. (a) Vector de Park. (b) Vector de corriente activo. (c) Vector de corriente reactivo.

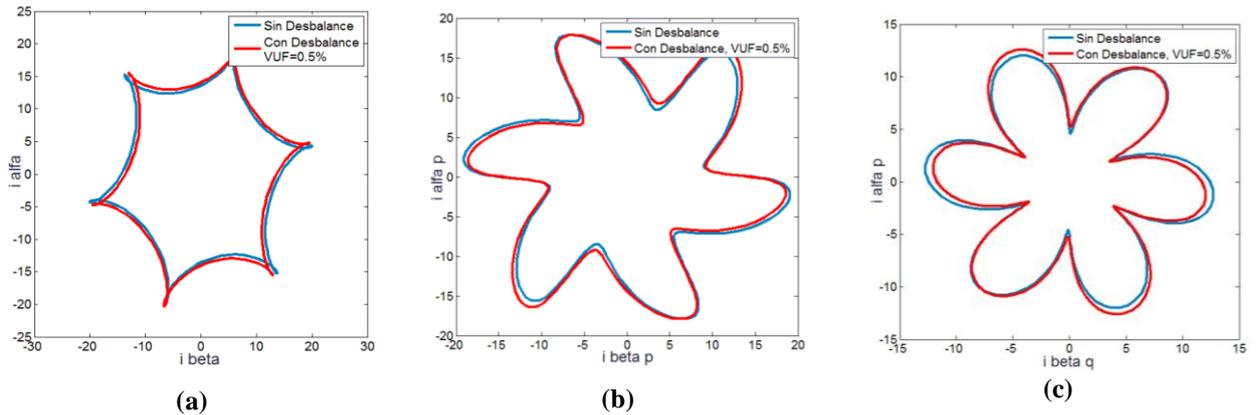


Fig. 3 – MI sin avería con desbalance y distorsión de tensión. (a) Vector de Park. (b) Vector de corriente activo. (c) Vector de corriente reactivo.

En la Fig. 4 se presenta los resultados para la MI con un cortocircuito entre espiras en bobinados (14% de severidad) con tensiones desbalanceadas, $VUF=0,5\%$ y 2% , y distorsionadas, $THD_v=15\%$. Se observa que la presencia de la avería modifica las trazas de manera significativa respecto a los casos analizados previamente. Notar que los diferentes grados de desbalances en la tensión de red no producen cambios significativos en los patrones de un mismo vector. Sin embargo, es de esperar que las trazas tiendan a deformarse aún más con el incremento de la severidad de la falla.

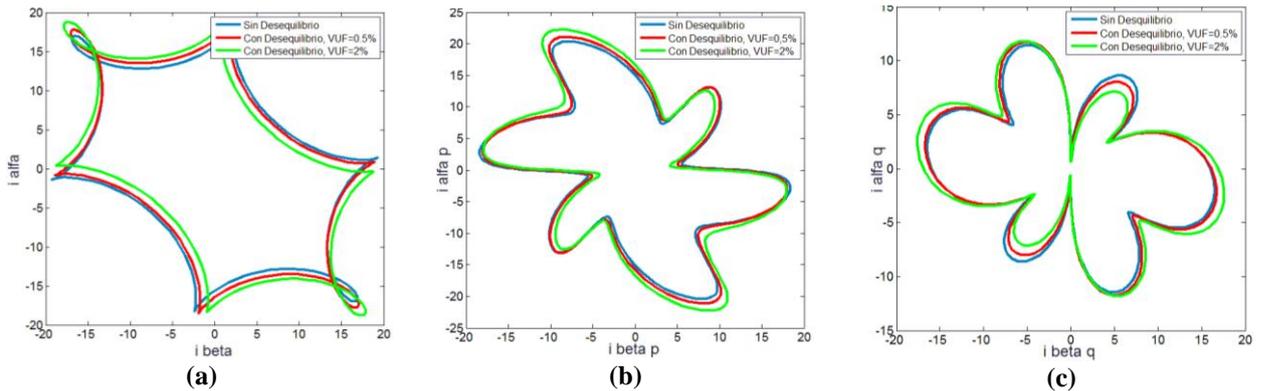


Fig. 4 - MI con avería (14% espiras en cortocircuito) con tensiones de alimentación desbalanceadas y distorsionadas (a) Vector de Park. (b) Vector de corriente activo (c) Vector de corriente reactivo.

4. Validación mediante ensayos experimentales

Los ensayos experimentales se llevaron a cabo utilizando un banco de laboratorio especialmente montado para la validación de la técnica propuesta. En la Fig. 5 se muestra una imagen del banco implementado. El mismo consta de una fuente de alimentación trifásica programable que permite sintetizar diferentes formas de onda de amplitud y frecuencia variable. La fuente está compuesta por un autotransformador que permite ajustar el nivel de tensión de entrada. Luego un rectificador trifásico y finalmente un inversor controlado mediante un Procesador Digital de Señales (DSP). La referencia de tensión se genera mediante modulación vectorial a partir de la componente fundamental y los armónicos de secuencia positiva y negativa seleccionados por el usuario. En la salida del inversor se conectó un transformador elevador con conexión estrella-estrella y relación 1:1.73, el cual permite incrementar la tensión de alimentación del MI, evitando la sobre modulación del inversor. En la etapa final, un filtro pasivo permite eliminar la mayoría de las componentes asociadas al control dejando solamente la componente fundamental y los armónicos programados desde la fuente.

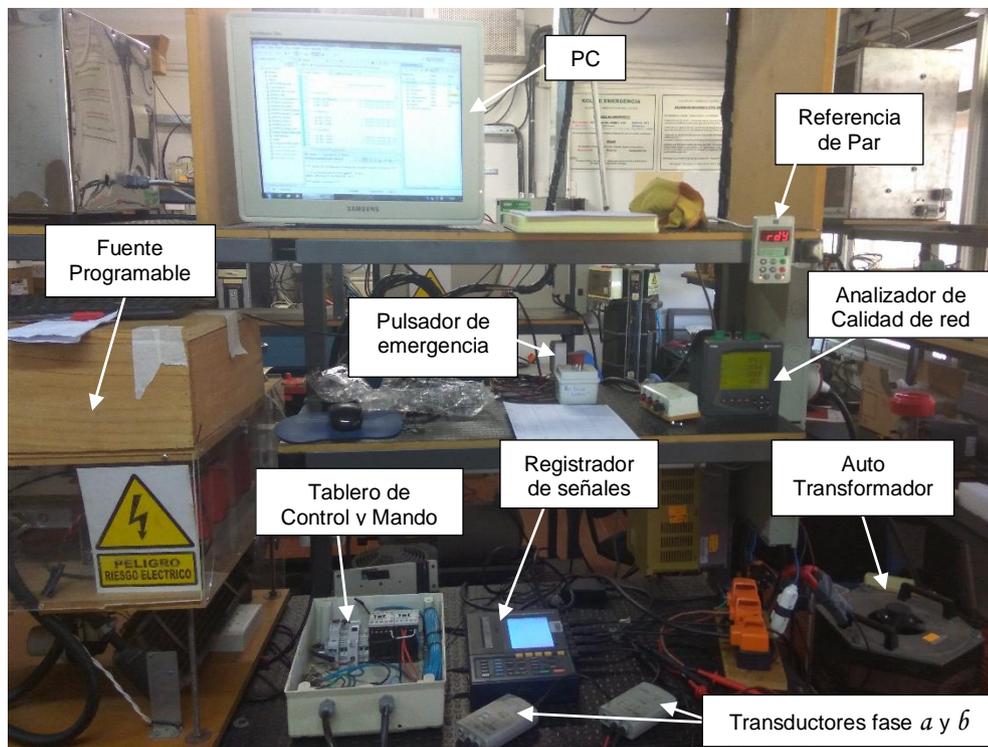


Fig. 5 - Diagrama secuencial de la metodología aplicada en el Banco de Ensayos.

Los ensayos con carga fueron realizados acoplando mecánicamente el eje de la MI prototipo con otro MI impulsado por un accionamiento comercial con control de par. La MI de carga opera en modo generador disipando la energía sobre una carga resistiva. La medición de par y de velocidad se realizó mediante un sensor de par de 0 - 100 Nm. La referencia de par se ajusta externamente a los valores de carga requeridos para cada ensayo, entre 0 y 100 % de carga nominal.

El prototipo de la MI consta de bobinados de estátor modificados con salidas adicionales en la 1^{era}, 2^{da}, 3^{era}, 4^{ta}, 5^{ta} y 10^{ma} espiras de una fase para generar cortocircuitos entre espiras de severidad variable, entre un 0,7 % y 7 %, respecto del total que conforma el bobinado completo.

Las condiciones de falla fueron generadas durante el funcionamiento normal de la MI desde un tablero de mando para facilitar el control y el registro de las variables eléctricas. La fuente de alimentación programable permitió generar diferentes grados de desbalances para $VUF=0,5\%$, 1% y 2% , y distorsión con $THD_v=5\%$, 10% y 15% debido a la incorporación del 5^{to} armónico. La Fig. 6 muestra varias imágenes del prototipo de la MI utilizada (ver las características en la Tabla 1).

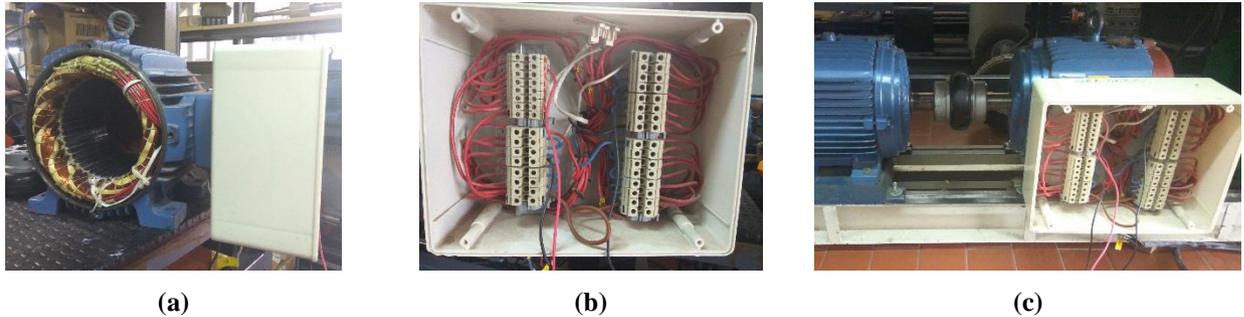


Fig. 6 - Prototipo de la MI. (a) Bobinado de estátor. (b) Bornera con acceso a los bobinados de las fases y a las salidas adicionales. (c) MI acoplada al eje de la MI de Carga.

4.1. Monitoreo de condición a partir del registro y procesamiento de variables eléctricas

El monitoreo de condición se realiza a partir del registro y procesamiento de las variables eléctricas medidas sobre los bornes del estátor de la MI. La técnica implementada se muestra en un esquemático detallado en Fig. 7.

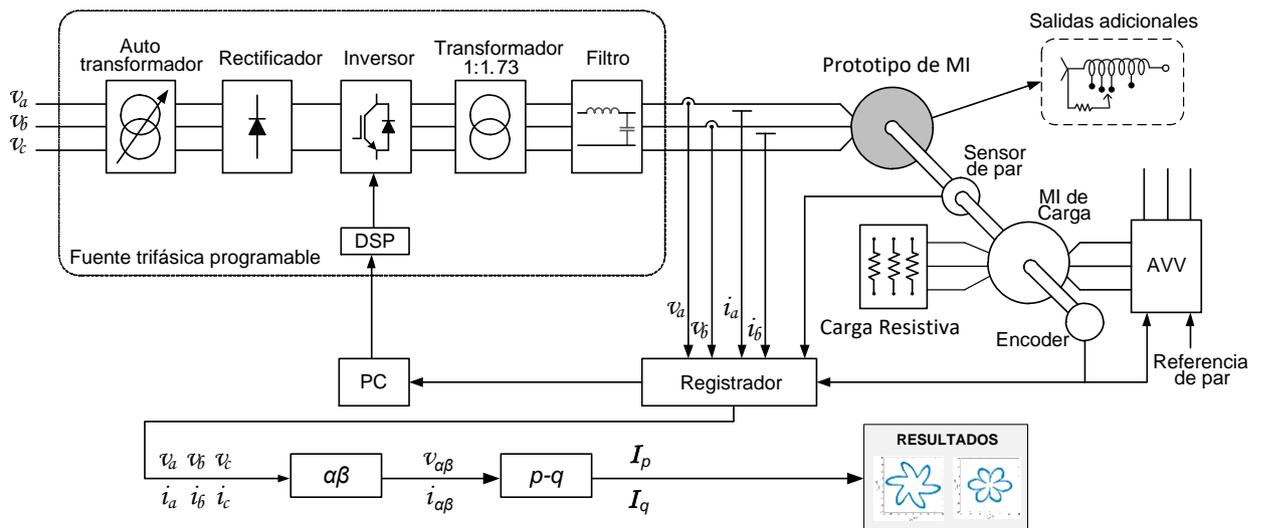


Fig. 7 - Diagrama secuencial de la metodología aplicada.

En primer lugar, las corrientes y las tensiones se miden sobre los bornes de la MI prototipo para su posterior procesamiento y análisis. Las variables eléctricas medidas fueron adquiridas mediante un registrador oscilográfico durante 3.2 s a 40kS. Luego, las variables registradas en marco de referencia abc son transformadas al marco de referencia estacionario $\alpha-\beta$. En este referencial se obtiene dos componentes de corrientes aplicando la Teoría de la Potencia Instantánea, I_p-I_q . Finalmente, para evaluar los resultados se calcula la norma euclidiana de cada componente armónica [10] y [11].

4.2. Detección de averías a partir de las componentes de corrientes activa y reactiva

En la Fig. 8 se muestra las trazas de los vectores de corriente en el plano α - β para la MI sin averías con carga nominal alimentada por tensiones de red balanceadas, $VUF=0$, y con distorsión armónica, $THD_v = 15\%$. Se observa que las trazas en el plano α - β presentan gran similitud a las obtenidas mediante el modelo analítico sin averías con carga nominal mostradas en la Fig. 3.

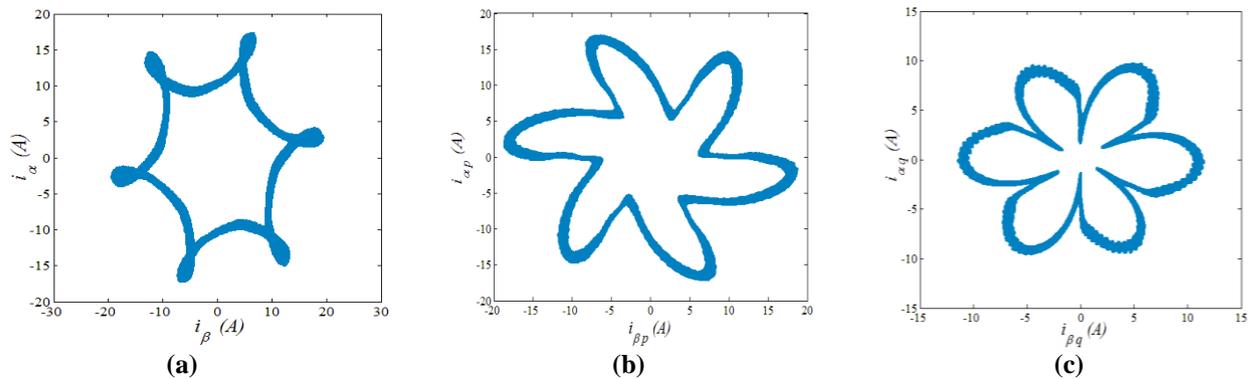


Fig. 8 – Resultados experimentales para la MI sin avería. (a) Vector de Park. (b) Vector de corriente activo. (c) Vector de corriente reactivo.

En la Fig. 9 se muestra las trazas de los vectores de corriente en el plano α - β obtenidas para la MI con 10 espiras en cortocircuito (7% de severidad) y 100 % de carga nominal, alimentada con tensiones balanceadas, $VUF=0$, y con distorsión armónica de $THD_v = 15\%$. En la figura se observan trazas en el plano α - β que presentan gran similitud a las obtenidas en las simulaciones utilizando el modelo analítico con averías, mostradas en la Fig. 5.

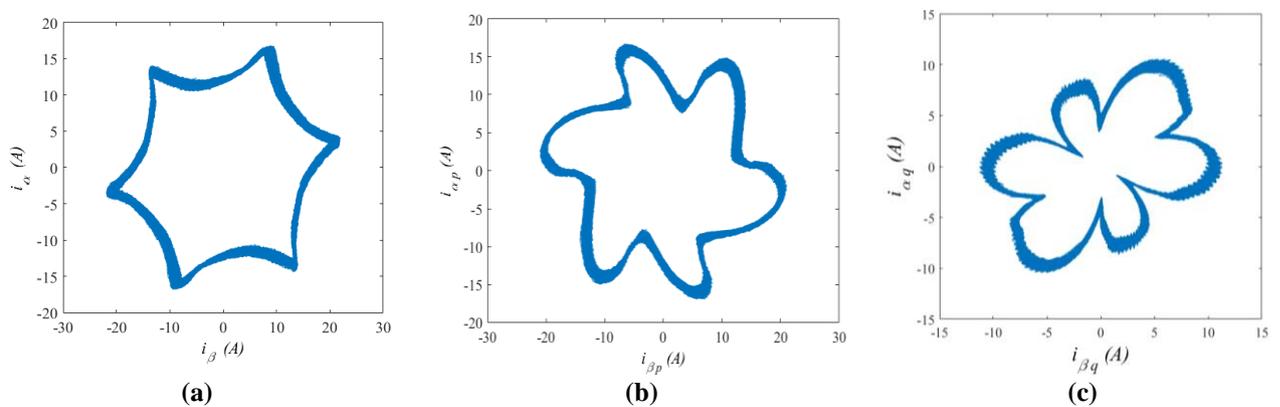


Fig. 9 – MI con avería (7% espiras en cortocircuito). (a) Vector de Park. (b) Vector de corriente activo. (c) Vector de corriente reactivo.

Los casos con falla considerando diferentes grados de desbalance en la tensión de alimentación se muestran en la Fig. 10, $VUF = 0,5\%$ y $VUF = 2\%$. Estos resultados consideran 10 espiras en cortocircuito en los bobinados de la fase a para la MI con 100 % de carga nominal. De manera similar a los resultados de simulación, el desbalance en la tensión de alimentación no produce cambios significativos en los patrones de las trazas de cada componente de corriente. Sin embargo, es evidente que las trazas describen un patrón diferente en el plano ante la presencia de una avería en bobinados.

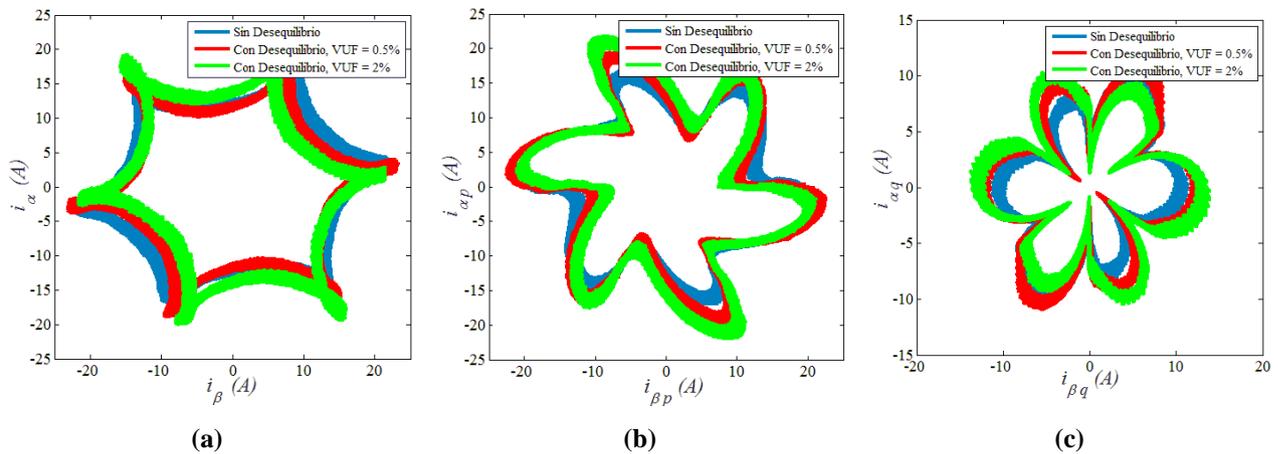


Fig. 10 - MI con avería (7% espiras en cortocircuito) con tensiones de red desbalanceadas (a) Vector de Park. (b) Vector de corriente activo (c) Vector de corriente reactivo.

5. Conclusiones

En este trabajo se presentó una técnica de monitores de condición para la detección de cortocircuito entre espiras de los bobinados del estator de una MI utilizando la Teoría de la Potencia Instantánea. La técnica propuesta se basa en la medición de las tensiones y corrientes sobre los bornes de la máquina. La detección se realizó mediante el análisis de las trazas de los vectores de corrientes que dependen de las potencias activa y reactiva. Los diferentes patrones obtenidos en el plano α - β permitieron visualizar los efectos de una avería considerando las tensiones de red desequilibradas y distorsionadas con la inclusión del armónico de orden cinco en la tensión de alimentación. Para la validación experimental de la técnica, se utilizó un prototipo de MI construido en el laboratorio que permite incluir cortocircuito entre espiras de diferentes severidades. Para severidades del orden del 7% (10 espiras en cortocircuito) las trazas analizadas tienden a rotar y a deformarse en el plano en comparación a los resultados obtenidos para el estado de operación normal. Por lo tanto, es de esperar que las trazas tiendan a deformarse manteniendo el mismo patrón con el incremento de la severidad de un cortocircuito entre espiras. Así también se observó que la inclusión de diferentes grados de desbalance de tensión de alimentación no altera de manera significativos los patrones de las trazas en el plano sobre cada componente de corriente. La particularidad de analizar el comportamiento de las trazas de corriente incluyendo el armónico de orden cinco en la tensión de alimentación se debe a que, ésta y otras frecuencias, se encuentran presentes en las señales aplicadas a la MI cuando es controlada por accionamiento de velocidad variable de uso industrial. A raíz de esto, como trabajo futuro se pretende estudiar la evolución de las componentes armónicas de la corriente activa y reactiva en redes de secuencias. De este modo, no solo se realiza la detección de una avería en bobinados sino también se pretende realizar el diagnostico eficiente considerando otros tipos de perturbaciones.

Agradecimientos

Este trabajo se llevó a cabo gracias al financiamiento otorgado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET); a la Secretaria General de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Misiones (UNaM) y al Grupo de Electrónica Aplicada (GEA) del IITEMA-CONICET de la Universidad Nacional de Rio Cuarto (UNRC).

6. Referencias

- [1] H. Henao, G.-A. Capolino, M. Fernandez-Cabanas, F. Filippetti, C. Bruzzese, E. Strangas, R. Pusca, J. Estima, M. Riera-Guasp, and S. Hedayati-Kia, "Trends in fault diagnosis for electrical machines: A review of diagnostic techniques," *IEEE, Industrial Electronics Magazine*, vol. 8, no. 2, pp. 31–42, June 2014.
- [2] M. A. Mazzoletti, G. R. Bossio, C. H. De Angelo, and D. R. Espinoza-Trejo, "Efectos del cortocircuito entre espiras en maquinas síncronas de imanes permanentes"; *en 2014 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, June 2014, pp. 531–536.
- [3] M. Eftekhari, M. Moallem, S. Sadri and A. Shojaei, "Review of induction motor testing and monitoring methods for inter-turn stator winding faults," *2013 21st Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, Mashhad, 2013, pp. 1-6.
- [4] F. Briz, M. W. Degner, J. M. Guerrero, and P. Garcia, "Stator windings fault diagnostics of induction machines operated from inverters and soft-starters using high-frequency negative-sequence currents"; *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 45, no. 5, pp. 1637–1646, 2009.
- [5] J. Burriel-Valencia, R. Puche-Panadero, M. Riera-Guasp, A. Sapena Bano, M. Pineda-Sanchez, and J. Martinez-Roman, "Low computational cost algorithm for detecting rotor asymmetries in im based on the negative sequence component of the startup currents"; *in 2017 IEEE 11th International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED)*, Aug 2017, pp. 628–634.
- [6] Manuel A. Mazzoletti, Luis A. Barruffaldi, Julio A. Potschka, Mario O. Oliveira, Guillermo R. Bossio; "Un Modelo de la Maquina de Inducción con Falla en los Bobinados de Estator considerando los armónicos de la red"; *en 2018 IEEE Congress of Argentina (ARGENCON)*, Junio 2018, pp. 1–6.
- [7] C. Pezzani, P. Donolo, A. Castellino, G. Bossio and C. De Angelo, "Nuevo enfoque del vector corriente para el diagnóstico de barras rotas y oscilaciones de carga en motores de inducción"; *XIII Reunión en Procesamiento de la Información y Control (RPIC'09)*, 16 al 18 de Setiembre de 2009. Rosario, Argentina. ISBN: 950-665-340-2.
- [8] G. R. Bossio, C. H. De Angelo, J. M. Bossio, C. M. Pezzani and G. O. Garcia, "Separating Broken Rotor Bars and Load Oscillations on IM Fault Diagnosis Through the Instantaneous Active and Reactive Currents," *in IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, no. 11, pp. 4571-4580, Nov. 2009.
- [9] M. Drif and A. J. M. Cardoso, "Stator Fault Diagnostics in Squirrel Cage Three-Phase Induction Motor Drives Using the Instantaneous Active and Reactive Power Signature Analyses," *in IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 10, no. 2, pp. 1348-1360, May 2014.
- [10] G. D. Yuchechen; M. A. Mazzoletti, "Efectos de un Cortocircuito Entre Espiras en Bobinados de la Máquina de Inducción utilizando la Teoría de la Potencia Instantanea"; *en 8va Jornada de Investigación, Desarrollo Tecnológico, Extensión y Vinculación (JIDETEV)*, Agosto 2018, FIO UNaM, Oberá, Misiones.

- [11] G. D. Yuchechen; M. A. Mazzoletti; and G. R. Bossio; “Effects of Stator Winding Interturn Short-Circuit Faults of the IM by Using Instantaneous Power Theory”; *in 2018 Argentine Conference on Automatic Control (AADECA)*, Nov 2018, pp. 533-538.
- [12] H Akagi, EH Watanabe, M Aredes - 2017 Instantaneous Power Theory And Applications To Power Conditioning. Chapter 3 – The instantaneous power theory.
- [13] P. Krause, O. Wasynczuk, s. Sudhoff, and S. Pekarek, *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems*, 3rd ed. New Jersey, USA: IEEE Press, 2013.
- [14] A. J. Marques Cardoso, S. M. A. Cruz, J. F. S. Carvalho, and E. S. Saraiva, "Rotor cage fault diagnosis in three-phase induction motors, by Park's vector approach"; *in Industry Applications Conference, 1995. Thirtieth IAS Annual Meeting, IAS '95.*, Conference Record of the 1995 IEEE, 1995, pp. 642-646 vol.1.