



Estimación de los parámetros de operación de un motor de inducción con mínimos recursos de medición

Ignacio Pérez
Miriam Blázquez
Leonardo Rodríguez

Recibido: Octubre del 2007
Aprobado: Diciembre del 2007

Resumen / Abstract

En el trabajo se muestra un procedimiento simple para estimar, con mínimos recursos de medición, los parámetros de operación de un motor de inducción con carga arbitraria. El método propuesto mezcla la estimación del circuito equivalente del motor mediante datos del fabricante con mediciones de voltaje y corriente que son perfectamente realizables en la industria con instrumentos tan asequibles como un amperímetro de gancho. Con la ayuda del Matlab 6.5, se ha desarrollado un programa que implementa prácticamente el método desarrollado y ha permitido comprobarlo en casos prácticos. El método presentado consigue estimaciones más precisas que las que se ofrecen en sistemas computacionales que se emplean internacionalmente.

Palabras clave: Motores de inducción, circuito equivalente, datos del fabricante

The presented paper shows a simple procedure for the estimation of the operation parameters of induction motors with arbitrary load. The proposed method combine the equivalent circuit estimation by manufacturer data, as well as voltage and current measurements obtained with hook-on instruments. Using Matlab 6.5 a practical implementation of this method was obtained and it has served to proof several practical cases. The presented procedure is more accurate than other methods offered by commercial software

Key words: Electric motors, equivalent circuit, manufacturer data

INTRODUCCIÓN

Los motores trifásicos de inducción, consumen una parte considerable de la energía eléctrica utilizada en la industria moderna. De esta forma, la determinación de los parámetros energéticos de dichas máquinas (eficiencia, factor de potencia, potencia de salida, etc.) es un objetivo altamente prioritario en cualquier estudio energético que se realice.

El hecho de que estos receptores operan generalmente fuera de su estado de carga nominal e incluso con régimen de operación variable en el tiempo, complica mucho más la determinación de dichos datos.

Para evaluar con exactitud el comportamiento energético de un motor en sus condiciones reales de

trabajo, es preciso contar con un conjunto de instrumentos y facilidades de medición que no son comúnmente disponibles en la industria. Además, es preciso que las pruebas necesarias afecten lo menos posible la continuidad del proceso productivo.

Se han desarrollado métodos¹ basados en algoritmos genéticos para la determinación de la eficiencia de motores de inducción en condiciones de campo que hacen un uso racional de las mediciones y consideran incluso la presencia de desbalance en la fuente de alimentación.

Si embargo, la evaluación energética de los motores eléctricos no finaliza con la determinación de los

parámetros de operación de dichas máquinas en la industria, sino que comúnmente se persigue el objetivo de estimar medidas de ahorro de energía que pueden modificar la operación del motor existente o incluso conducir a la sustitución del motor analizado por otro de características más apropiadas para accionar la carga. Por lo tanto, en estos casos se impone la necesidad de un modelo matemático que no solo permita caracterizar el motor en operación, sino que también facilite el estudio de la efectividad técnico-económica de las medidas de ahorro de energía que se estimen pertinentes, incluida su sustitución por un nuevo motor.

De esta forma, el objetivo del presente trabajo es determinar un modelo que estime con buena exactitud el comportamiento energético de un motor de inducción en servicio, utilizando los datos del fabricante, con el mínimo de mediciones posibles y sin provocar afectaciones del proceso productivo.

MÉTODO DE ESTIMACIÓN

Las curvas de comportamiento de un motor eléctrico, comprenden entre otras, las características de eficiencia, factor de potencia, corriente y velocidad contra carga del motor en condiciones de voltaje nominal.

La figura 1 muestra las curvas de un motor de 250 HP, 460 V y 1780 RPM modelo P44G6500 de la firma Reliance Electric Motors.²

Contando con estas curvas, es posible estimar con facilidad el comportamiento del motor para una carga dada cuando el voltaje de suministro coincide con el de chapa y cumple los requerimientos de calidad necesarios.

Sin embargo, en muchas ocasiones las curvas que se suministran son el resultado de cálculos basados en los datos de diseño del motor y no se cumplen exactamente para los motores producidos.

No en todos los casos los catálogos de motores suministran las curvas de comportamiento. No obstante, los fabricantes acostumbran ofrecer los datos de comportamiento típicos de los motores para determinados porcentaje de carga característicos (0, 25, 50, 75, 100, 125%, etc.).^{2,3} Estos datos se obtienen en pruebas experimentales a muestras de los motores fabricados, por lo que constituyen una buena aproximación para el comportamiento de dichos motores.

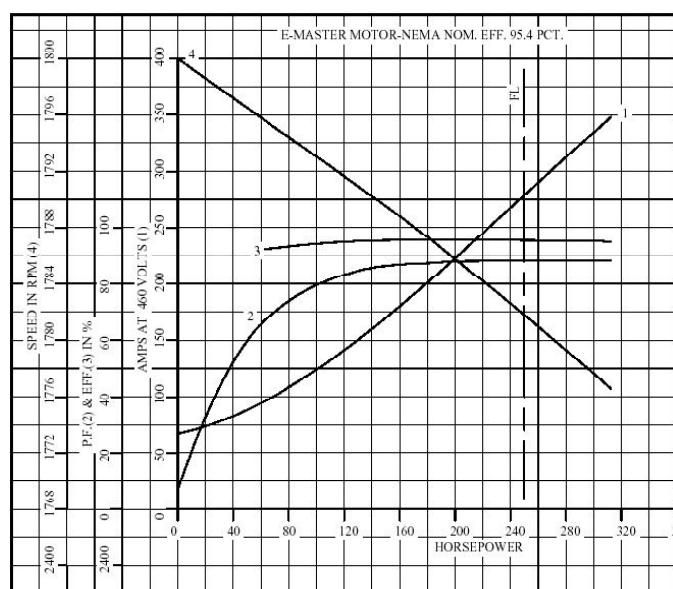
Existen programas computacionales⁴ que hacen uso de estos datos para estimar el comportamiento de un motor bajo carga sin necesidad de realizar pruebas complicadas a los motores instalados.

Sin embargo, el problema consiste en estimar los datos de comportamiento del motor para un estado de carga no contenido en las tablas ofrecidas por los fabricantes.

Una forma de solución para este problema, ha sido realizar una interpolación lineal para determinar los valores intermedios de las curvas.⁴ No obstante, este método puede conducir a inexactitudes y no es adecuado para determinar el comportamiento del motor para voltajes diferentes al nominal.

Por otra parte, se conoce que el comportamiento de un motor puede ser evaluado con buena precisión por su circuito equivalente, el cual permite considerar variaciones en el voltaje de suministro de forma sencilla.

Varios autores han estudiado la identificación de los parámetros del circuito equivalente de un motor a partir de los datos nominales, de momento y corriente de arranque y de momento máximo suministrados por el fabricante con el objetivo fundamental de estimar el comportamiento dinámico del motor.^{5,6}

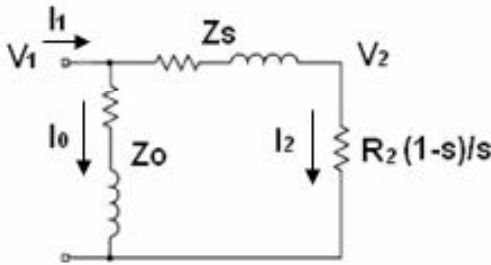


Curvas de comportamiento de un motor de 250 HP, 460 V, 1780 r/min, modelo P44G6500 de la firma Reliance Electric Motors.

Otros autores^{7,8} han presentado un método práctico para la determinación del circuito equivalente de un motor de inducción a partir de los datos de chapa y el momento máximo, con el fin de estimar el comportamiento energético de dicho motor bajo carga.

A diferencia de los métodos referidos, el procedimiento que se propone se basa en determinar el circuito equivalente aproximado del motor a partir de los tablas de comportamiento de la eficiencia, factor de potencia y velocidad contra coeficiente de carga, aportados por el fabricante y sin necesidad de realizarle pruebas de ningún tipo al motor.

El objetivo de este circuito equivalente (figura 2) es modelar el comportamiento energético del motor para a partir del mismo obtener las curvas de comportamiento que mejor se ajusten a dichas tablas de comportamiento.



Circuito equivalente aproximado del motor de inducción.

2

Obtención del circuito equivalente

En este circuito, cuyas magnitudes se han expresado en por unidad, I_1 representa la corriente consumida, I_0 la corriente en vacío e I_2 la corriente en el rotor de la máquina (todas magnitudes complejas), de forma que:

$$I_1 = I_0 + I_2 = V_1 / Z_0 + I_2 \quad \dots(1)$$

V_1 es el voltaje de alimentación y V_2 es el voltaje que se obtiene tras la caída en la impedancia serie Z_s , es decir:

$$V_2 = V_1 - I_2 Z_s \quad \dots(2)$$

La potencia aparente de entrada al motor S_1 depende de:

$$S_1 = P_1 + jQ_1 = V_1 I_1^* \quad \dots(3)$$

donde:

P_1 : Suma de la potencia de salida P_2 más las pérdidas.
 Q_1 : Reactivo consumido por el motor que en su totalidad son pérdidas de reactivo.

Las pérdidas mecánicas se van a considerar representadas junto a las de núcleo en la rama paralelo del circuito, de forma que la potencia de salida se va a determinar como la que aparece en la resistencia $R_2(1-s)/s$ y que puede calcularse, si se conoce V_2 por:

$$P_2 = V_2 I_2^* \quad \dots(4)$$

Por su parte, las pérdidas de potencia activa y reactiva en el motor ΔS , se calculan como la suma de las constantes y las variables.

$$\Delta S = Z_0 |I_0|^2 + Z_s |I_2|^2 = V_1 I_0^* + Z_s |I_2|^2 \quad \dots(5)$$

De esta manera, las impedancias del circuito equivalente quedan determinadas por:

$$Z_0 = R_0 + jX_0 = V_1 / I_0 \quad \dots(6)$$

$$Z_s = R_s + jX_s = (\Delta S - V_1 I_0^*) / |I_2|^2 \quad \dots(7)$$

Existen varias formas de obtener dichas impedancias a partir de los datos de comportamiento que ofrece el fabricante.

Método 1

Una primera variante utiliza los datos nominales de eficiencia y factor de potencia, así como la corriente en vacío y su factor de potencia.

En este caso la obtención de los parámetros es muy simple y parte de determinar Z_0 por (6) y entonces obtener la impedancia serie mediante:

$$Z_s = (\Delta S_N - V_1 I_{1N}^*) / |I_{1N} - I_0|^2 \quad \dots(8)$$

donde:

ΔS_N e I_{1N} : Representan las pérdidas y la corriente consumida en condiciones nominales.

Este método puede emplearse cuando solo se dispone de los datos de chapa. La corriente en vacío puede medirse si se aísla el motor de la carga, pero habría que medir o estimar el factor de potencia en vacío.

Método 2

Si se dispone de los datos de eficiencia y del factor de potencia del motor para dos estados de carga determinados A y B, tomados de las tablas de comportamiento, pueden calcularse las impedancias del circuito mediante el siguiente procedimiento.

Conocidas las pérdidas de potencia activa y reactiva en los dos estados de carga A y B (pueden obtenerse fácilmente de los datos de eficiencia, factor de potencia y coeficiente de carga en dichos estados A y B), se tiene que:

$$\begin{aligned}\Delta S_A &= V_1 I_0^* + Z_S |I_{2A}|^2 \\ \Delta S_B &= V_1 I_0^* + Z_S |I_{2B}|^2\end{aligned}\quad \dots (9)$$

De esta manera, la impedancia serie del circuito puede calcularse para cualquiera de los dos estados como:

$$Z_S = \frac{\Delta S_A - V_1 I_0^*}{|I_{2A}|^2} = \frac{\Delta S_B - V_1 I_0^*}{|I_{2B}|^2} \quad \dots (10)$$

La corriente en vacío es igual para ambos estados de carga y depende de:

$$I_0 = \frac{1}{V_1} \frac{\Delta S_A^* / |I_{2A}|^2 - \Delta S_B^* / |I_{2B}|^2}{1 / |I_{2A}|^2 - 1 / |I_{2B}|^2} \quad \dots (11)$$

Utilizando la expresión anterior y tomando una aproximación inicial para la corriente en vacío y su factor de potencia, puede obtenerse el valor de I_0 por el procedimiento siguiente:

$$k = 0$$

$$I_0^k = I_{\text{vacio}} \left| \cos^{-1}(fp_{\text{vacio}}) \right|$$

REPETIR

$$I_{2A}^k = I_{1A} - I_0^k$$

$$I_{2B}^k = I_{1B} - I_0^k$$

$$I_0^{k+1} = \frac{1}{V_1} \frac{\Delta S_A^* / |I_{2A}^k|^2 - \Delta S_B^* / |I_{2B}^k|^2}{1 / |I_{2A}^k|^2 - 1 / |I_{2B}^k|^2} \quad \dots (12)$$

$$k = k + 1$$

$$\text{HASTA } I_0^{k+1} \approx I_0^k$$

Una vez obtenida la corriente I_0 , quedan evaluadas las corrientes I_{2A} e I_{2B} , por lo que Z_0 puede calcularse mediante (6) y Z_S se calcula por:

$$Z_S = (\Delta S_A - V_1 I_0^*) / |I_{2A}|^2 \quad \dots (13)$$

El circuito así obtenido es en general válido para toda la zona de operación de la máquina, no obstante, deben emplearse dos estados de operación A y B que acoten la zona de operación más probable. Por ejemplo, los estados de 25 y 100 % de carga.

Método 3

Este consiste en una aplicación del método de los mínimos cuadrados, es decir, se determina el circuito equivalente que minimiza el cuadrado de los errores entre las pérdidas de potencia compleja, calculadas por los datos de comportamiento $\Delta S_i^{(dato)}$ y las calculadas por el circuito equivalente para los distintos estados suministrados por el fabricante $\Delta S_i^{(calc)}$.

O sea, si se dispone de datos de n estados de carga diferentes, el problema es determinar Z_0 y Z_S , tal que se obtenga el:

$$\min \sum_{i=1}^n \left| \Delta S_i^{(dato)} - \Delta S_i^{(calc)} \right|^2 \quad \dots (14)$$

Donde, los valores de las pérdidas para cada estado de carga i, dependen, conocidas la potencia de salida P_{2i} y la corriente consumida I_{1i} en forma compleja para dicho estado de las expresiones:

$$\Delta S_i^{(dato)} = V_1 I_{1i}^* - P_{2i} \quad \dots (15)$$

$$\Delta S_i^{(calc)} = Z_0 |V_1 / Z_0|^2 + Z_S |I_{1i} - V_1 / Z_0|^2 \quad \dots (16)$$

La minimización de (14) se consigue haciendo uso de la función lsqnonlin del Matlab 6.5,⁹ utilizando como aproximación inicial los parámetros Z_0 y Z_S obtenidos por el método 1.

En caso de no disponerse de la corriente en vacío para aplicar el método 1, puede utilizarse una aproximación del 30 % de la corriente nominal con factor de potencia 10 % con el fin de obtener los valores de arranque de Z_0 y Z_S .

Estimación para potencia de salida

Una vez obtenido el circuito equivalente por alguno de los métodos previamente discutidos, se puede determinar el comportamiento del motor para cualquier potencia de salida P_2 , resolviendo el sistema no lineal de ecuaciones:

$$\begin{aligned}P_2 &= V_2 I_2^* \\ I_2 &= (V_1 - V_2) / Z_S\end{aligned}\quad \dots (17)$$

Cuya solución es:

$$V_2 = \frac{V_1}{2} + \sqrt{\left(\frac{V_1}{2}\right)^2 - \left(\left(\frac{X_s P_2}{V_1}\right)^2 - R_s P_2\right)} - j \frac{X_s P_2}{V_1} \quad \dots(18)$$

Calculado el voltaje V_2 se determinan las demás variables de interés: Las corrientes I_1 , I_2 e I_0 , la potencia activa y reactiva de entrada P_1 , Q_1 y por lo tanto, las pérdidas, la eficiencia y el factor de potencia, mediante las relaciones correspondientes.

Sin embargo, normalmente no se dispone de la potencia de salida del motor, ya que este dato depende de mediciones difícilmente realizables en las condiciones de la industria.

Estimación para corriente consumida

La medición de la corriente consumida por el motor, puede ser realizada con un instrumento de uso tan común como un amperímetro de gancho y sin necesidad de afectar el proceso productivo. Además, contando con el valor de la corriente, los restantes parámetros de comportamiento del motor quedan establecidos.

El siguiente algoritmo (19), basado en el método numérico de la secante, puede determinar el comportamiento del motor para una corriente medida I_{1M} .

Para su implementación, dicho algoritmo cuenta con dos funciones: $P_{MAX}(V_1)$ y $I_1(V_1, P_2)$.

La primera determina el valor máximo de potencia que es capaz de entregar el motor a un voltaje V_1 dado, límite que es necesario considerar cuando el motor se alimenta a un voltaje inferior al nominal.

La segunda determina, resolviendo el circuito equivalente, el valor de la corriente consumida (módulo y ángulo) para una potencia de salida y un voltaje de suministro dado.

De esta forma, contando solo con la medición de corriente y sin afectar el proceso productivo, puede estimarse el comportamiento energético del motor.

Estimación de la velocidad

Cuando se evalúan medidas de ahorro de energía como la sustitución de un motor por otro, es importante

conocer la velocidad de giro del motor, ya que la potencia de la carga puede variar apreciablemente cuando se producen cambios en la velocidad.

$$P_{2b} = 0,5 P_{MAX}(V_1)$$

$$P_{2a} = 0,5 P_{2b}$$

$$I_{1a} = I_1(V_1, P_{2a})$$

REPETIR

$$I_{1b} = I_1(V_1, P_{2b})$$

$$P_{2c} = P_{2b} - \frac{P_{2b} - P_{2a}}{|I_{1b}|^2 - |I_{1a}|^2} (|I_{1b}| - |I_{1M}|)$$

$$P_{2a} = P_{2b}$$

$$I_{1a} = I_{1b}$$

$$P_{2b} = P_{2c}$$

$$HASTA |I_{1b}| \approx |I_{1M}|$$

$$I_1 = I_{1b}$$

$$P_2 = P_{2b}$$

...(19)

Estimación de la velocidad

A partir del circuito equivalente obtenido, puede evaluarse la velocidad del motor sin necesidad de medirla, o simplemente estimarla para el caso de un motor sustituto si se conoce la característica de potencia contra velocidad de la carga.

A partir del circuito equivalente, la potencia de salida del motor P_2 depende de:

$$P_2 = |I_2|^2 R_2 (1-s) / s \quad \dots (20)$$

Si se conocen la potencia de salida P_{2N} , la corriente I_{2N} y el deslizamiento s_N en condiciones nominales, puede determinarse el deslizamiento para la potencia P_2 por la relación:

$$(1-s)/s = \frac{P_2}{P_{2N}} \left(\frac{I_{2N}}{I_2} \right)^2 (1-s_N)/s_N \quad \dots(21)$$

Y de esta forma la velocidad n_2 queda determinada a partir de la velocidad sincrónica n_1 por:

$$n_2 = n_1 / \left(1 + \frac{P_{2N}}{P_2} \left(\frac{I_2}{I_{2N}} \right)^2 s_N / (1-s_N) \right) \quad \dots(22)$$

RESULTADOS

Utilizando los datos de comportamiento del motor de 250 HP, modelo P44G6500 (tabla 1), se determinaron los errores en la estimación de la corriente, eficiencia, factor de potencia y velocidad empleando los tres métodos previamente desarrollados.

La tabla 2, muestra los valores en por unidad de las impedancias Z_o y Z_s del circuito equivalente estimadas por los tres métodos expuestos, donde se puede apreciar una gran similitud en los resultados.

Por su parte, la tabla 3 muestra los errores porcentuales en la estimación de la corriente, eficiencia y factor de potencia, así como el error en velocidad en revoluciones por minutos con respecto a los datos ofrecidos por el fabricante.

Como puede apreciarse, los errores que se cometen con cualquiera de los métodos empleados son muy pequeños. Nótese que el error de 4,81% en el factor de potencia en vacío con el método 3, representa un error absoluto de solo un 0,32 %.

Desde el punto de vista de los resultados, se considera que el mejor método es el 3, ya que minimiza el cuadrado de los errores en todo el rango de operación de la máquina. Este método sin embargo, es el que requiere la mayor cantidad de datos de comportamiento del motor.

Tabla 1
Características de comportamiento del motor de 250 HP, modelo P44G6500

P_2 (%)	I (A)	F_p (%)	E_f (%)	N_2 (RPM)
0	67,3	0,0	6,7	1800
25	95,0	92,2	66,9	1796
50	147,0	95,0	84,0	1791
75	210,0	95,5	87,7	1787
100	278,0	95,4	88,3	1782
125	348,0	95,0	88,4	1777

Tabla 2
Parámetros estimados en por unidad

Método	Z_o	Z_s
1	0,234 1+ j3,4702	0,025 5 + j0,238 9
2	0,237 7+ j3,00	0,025 3 + j0,239 6
3	0,244 7+ j3,0	0,024 8 + j0,226 5

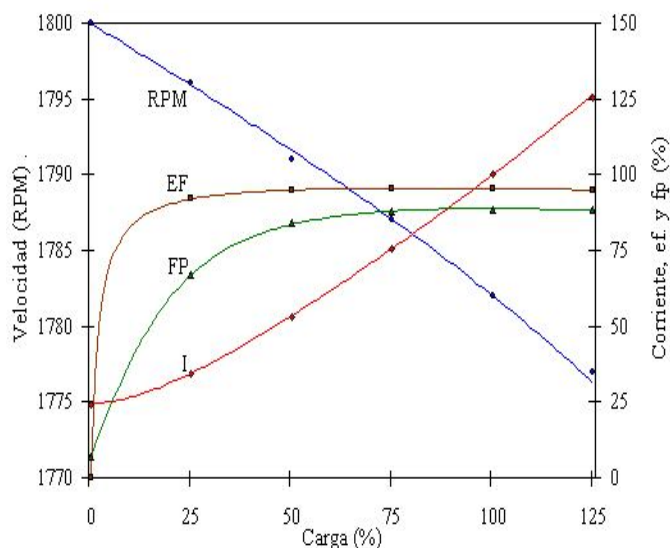
La figura 3 muestra la superposición de los datos de comportamiento originales: I , E_f , F_p , RPM y las curvas obtenidas al aplicar el método de los mínimos cuadrados.

Como puede observarse, las curvas obtenidas de la evaluación del circuito equivalente siguen con una buena precisión los datos de comportamiento del motor que ofrece el fabricante.

Desde el punto de vista de los datos necesarios, el primer método requiere solamente los datos nominales y de corriente de vacío del motor y, por lo tanto, es adecuado para aplicarlo cuando se desconocen los datos de comportamiento a los diferentes estados de carga característicos.

Tabla 3
Errores en las estimaciones

Método	P_2 (%)	error-1 (%)	error- E_f (%)	error- F_p (%)	error- N_2 (r/min)
1	1	0	0,00	0,00	0,00
	25	0,04	-0,06	0,21	0,07
	50	-0,57	-0,06	0,80	0,66
	75	0,13	-0,06	0,10	-0,09
	100	0,04	0,00	0,00	0,00
	125	-1,57	0,13	1,31	0,95
2	0	0,29	0,00	-1,27	0,00
	25	0,16	0,00	0,02	0,07
	50	-0,53	-0,03	0,74	-0,66
	75	0,15	0,05	0,07	-0,09
	100	0,04	-0,00	-0,00	0,00
	125	-1,58	0,12	1,33	0,96
3	0	-0,24	0,00	-4,81	0,00
	25	-0,08	0,28	-0,01	0,11
	50	-0,43	0,09	0,52	-0,60
	75	0,49	-0,01	-0,32	-0,03
	100	0,67	-0,01	-0,62	0,00
	125	-0,52	0,05	0,37	0,77



Curvas de comportamiento del motor modelo P44G6500 obtenidas por el método de estimación por mínimos cuadrados.

3

En general, esta metodología se ha probado con datos de comportamiento de motores de diferente potencia, velocidad y fabricante, y en todos los casos los errores en la estimación en el rango de 25 a 125 % de carga han estado por debajo del 2 % para la corriente, la eficiencia y el factor de potencia o de 2 r/min para la velocidad.

CONCLUSIONES

Considerando los resultados obtenidos en este estudio, puede arribarse a las siguientes conclusiones: A partir de los datos suministrados por los fabricantes, es posible obtenerse un circuito equivalente aproximado mediante el que pueden estimarse con una buena precisión las curvas de comportamiento del motor para todo su rango de carga y para voltajes diferentes al nominal.

Aún cuando los datos de comportamiento de los motores son valores típicos para el conjunto de máquinas producidas y no se tienen que cumplir exactamente para un motor en particular, disponer de las curvas de comportamiento típicas permite estimar los datos reales de operación del motor en los casos en que no se dispone de facilidades de medición y no puede interrumpirse el proceso productivo.

Por otra parte, al disponer del circuito equivalente estimado y mediante el uso del método de la secante, puede determinarse el estado de carga del motor para una corriente consumida determinada, lo que permite simplificar al mínimo las necesidades de medición para estimar la eficiencia, factor de potencia, potencia de salida y velocidad del motor.

El circuito determinado por esta metodología, solo es aplicable para voltaje de secuencia positiva y de

frecuencia fundamental, por lo cual los resultados estimados serán más inexactos en la medida en que esté presente el desbalance de voltaje o la distorsión armónica.

REFERENCIAS

- Gómez, Julio R.:** "Determinación de la eficiencia de los motores asíncronos con tensiones desbalanceadas en condiciones de campo", Tesis Doctoral, Universidad Central de Las Villas, Cuba, 2006.
- Reliance Electric Motors Information Center: Available: <http://www.reliance.com/cgi-bin/mtrquery.pl>
- Baldor Electric Motors Catalogs. Available: <http://www.baldor.com/products/>
- MotorMaster+ software. Available: <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html#mm>
- Johnson, B. K. and J. R. Willis:** "Tailoring Induction Motor Analytical Models to Fit Known Motor Performance Characteristics and Satisfy Particular Studies Needs", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 6, pp. 959-965, August, 1991.
- Pedra, J. and F. Corcoles,** : "Estimation of Induction Motor Double-Cage Model Parameters From Manufacturer Data", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 19, pp. 310-317, June, 2004.
- Costa, A. y M. Vilaragut:** "Determinación del comportamiento energético del motor de inducción a partir de sus datos de catalogo y la lectura de las corrientes del estator", III Taller Caribeño de Energía y Medio Ambiente, Cienfuegos, 2004.
- Vilaragut, M. y A. Costa:** Métodos para la determinación de la eficiencia energética en los motores de inducción trifásicos, Available: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar14/HTML/articulo05.htm>
- Matlab, the Language of Technical Computing, version 6.5. Mathworks Inc.

AUTORES

Ignacio Pérez Abril

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Centro de Estudios Electroenergéticos, Facultad de Ingeniería Eléctrica Universidad Central de Las Villas Marta Abreu, Villa Clara, Cuba
e-mail: iperez@uclv.edu.cu

Miriam Blázquez Casanova

Ingeniera Electricista, Máster en Ciencias, Departamento de Electroenergética, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Central de Las Villas Marta Abreu, Villa Clara, Cuba

Leonardo Rodríguez Jiménez

Ingeniero Electricista, Asistente, Departamento de Electroenergética, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Central de Las Villas Marta Abreu, Villa Clara, Cuba.