



Fundamentos de una máquina asincrónica multipropósito

Marcos A. de Armas
Percy R. Viego

Agosto del 2001

Resumen / Abstract

El trabajo aborda el estudio teórico y experimental de una máquina asincrónica especial de rotor de jaula de ardilla con dos devanados en el estator. Mediante la teoría, los ensayos de laboratorio y la experimentación, se establecen el modelo matemático, el circuito equivalente y las pruebas para determinar sus parámetros. Este es un equipo competente y justificado en las condiciones de Cuba, con aplicación en diversas esferas de la vida económica y productiva de la nación, con un espacio en el mercado.

Palabras clave: máquinas eléctricas, máquinas asincrónicas

In this paper, a theoretical and experimental study of a special squirrel-cage asynchronous machine with two stator windings is developed. The mathematical model, the equivalent circuit, and the tests necessary for determining the operational parameters are established. It can be asserted that the multipurpose asynchronous machine is a competitive equipment, with several applications and a clear space in the Cuban market.

Key words: electrical machines, asynchronous machines

INTRODUCCIÓN

En estos tiempos es importante para Cuba tener máquinas que puedan construirse con recursos propios y gastos mínimos. Particularmente son necesarias en aquellas aplicaciones como pueden ser la producción de alimentos, la agricultura, la construcción, el transporte, la defensa, y la Industria Azucarera.

Muchas de las dificultades actuales se resuelven con una adecuada asistencia técnica a los medios de producción en las propias condiciones de explotación. Necesariamente, para ello deben existir máquinas afines y, por dos razones básicas, no todas las soluciones están en importar: o no existe el recurso financiero, o hay determinada especificidad que tiene

que ver con las condiciones de trabajo, para las cuales no se adaptan las tecnologías existentes, necesitándose algo más integral, más eficiente o más económico.

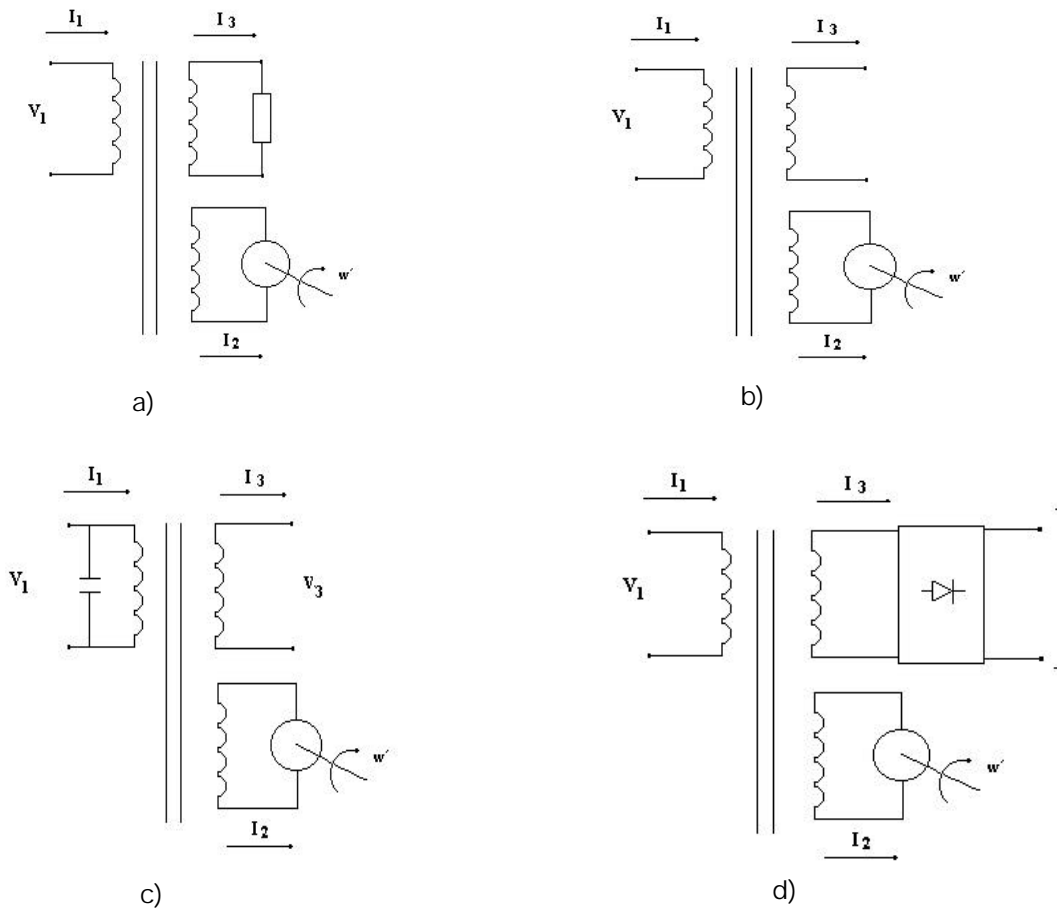
Este clima es propicio para desarrollar una máquina capaz de satisfacer las exigencias derivadas de la explotación de diferentes equipos y sistemas, en condiciones de recursos limitados, de producción nacional, con gastos adecuados y una eficiencia y versatilidad superior a la técnicas establecidas.

El trabajo que se presenta aborda la concepción de este tipo de máquina. Los métodos de análisis y las conclusiones que se derivan tienen un carácter general y pueden aplicarse a otros tipos de máquinas asincrónicas semejantes.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA MÁQUINA ASINCRÓNICA MULTIPROPÓSITO

La máquina que se estudia, es similar a un motor ordinario de jaula de ardilla con dos devanados en el estator diseñados para realizar funciones específicas.

La figura 1 muestra los esquemas funcionales de una de estas máquinas.



Esquemas de los regímenes de operación: a) funcionamiento como transformador; b) funcionamiento como motor; c) funcionamiento como generador; d) funcionamiento en soldadura.

1

En la construcción de la máquina asincrónica multipropósito (MAM), se emplea la estructura ferromagnética de una máquina asincrónica de uso general. La figura 2 muestra un corte de las ranuras donde se aprecia, de una forma simplificada, la disposición de los devanados y flujos magnéticos a ellos asociados.

El devanado de excitación, identificado como devanado 1, se aloja en el interior de la ranura. Sin el empleo de este devanado, no es posible obtener una máquina con las características señaladas anteriormente.

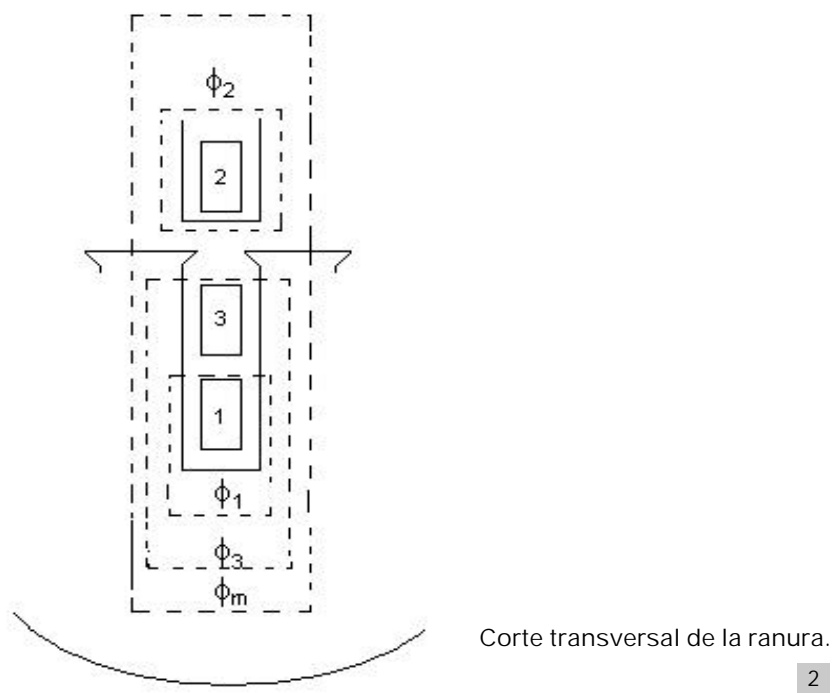
El rotor de jaula de ardilla o devanado 2, acciona la ventilación y la carga mecánica en operación como motor. En régimen generador, suministra energía a las cargas eléctricas conectadas en los devanados del estator, a través del campo magnético del entrehierro.

El devanado de trabajo, denominado devanado 3, se aloja en la parte exterior de la ranura sobre el devanado de excitación. Posee diferentes voltajes y derivaciones de forma similar a un transformador.

La red de acople exterior consta de los accesorios de mando, medición y protección, los bloques de rectificación (controlados o no controlados), la fuente de reactivo y el sistema de adaptación al accionamiento mecánico.

Los devanados 1 y 3 trabajan de forma similar a como funciona un transformador: la energía de la red de alimentación se transforma del devanado primario (devanado de excitación) al devanado secundario (devanado de trabajo). A la vez, mediante transformación electromecánica, se transfiere la potencia del devanado primario al devanado rotatorio de jaula de ardilla. Así se incorpora a un equipo rotatorio los servicios que puede brindar un transformador.

En régimen autónomo, como generador, la energía se transfiere del rotor a los devanados situados en el estator; uno de los cuales, el devanado primario, de mayor voltaje nominal, aporta el reactivo necesario mediante capacitores y se convierte en suministrador de energía eléctrica de voltaje y frecuencia comercial. El devanado de trabajo, acoplado por el flujo mutuo al devanado primario, mantiene la capacidad de realizar sus funciones.



ESTADO ACTUAL DE LA TÉCNICA

En forma general, el nivel conocido de la técnica emplea transformadores y máquinas rotatorias de corriente directa o alterna en un soporte mecánico apropiado. Habitualmente usan sistemas de regulación y control de mayor o menor complejidad y rotores especialmente devanados; poseen anillos, escobillas, delgas y carbones, lo cual introduce determinadas pérdidas de energía, cierto nivel de ruido y piezas desgastables que necesitan revisión y mantenimiento periódico complicando, además, el diseño para lograr la ventilación y el grado de protección necesario.

Los diseños actuales¹ son monolíticos y su accionamiento se concibe eléctrico o mecánico, de modo que se dificulta o se hace imposible acoplarlos a un motor primario o a la propia red eléctrica, sin mediar una modificación sustancial y la pérdida de algunas de sus propiedades. Por otra parte, estas técnicas en algunas situaciones son de utilidad reducida, pues no pueden ser empleadas, por ejemplo, como motor o transformador para otros fines. En consecuencia, estos servicios resultan costosos.

En Cuba, especialmente en las actividades vinculadas con la agricultura y el transporte, hay una gran cantidad de brigadas, pequeños talleres y servicios móviles que no cuentan con máquinas apropiadas para solucionar las necesidades de reparación que se presentan en la producción.

Esto provoca pérdida de tiempo y dificultades varias, como pueden ser la necesidad de transportar la pieza o equipo hacia donde se disponga de los medios para repararlos, la espera por las obligaciones prioritarias y los compromisos establecidos, etcétera.

En otros casos, se alquilan equipos a organismos y empresas, en detrimento del costo de la producción y las finanzas o se produce la paralización temporal de las actividades productivas.

La utilidad de esta máquina abarca varias ramas de la economía y los servicios, y en especial, aquellos lugares apartados o de difícil acceso donde es importante poseer un complejo multifuncional, en un mínimo de espacio, de poco peso y fiable. Además, este tipo de máquina constituye una fuente que en situaciones extremas, como en casos de desastres naturales y en la defensa, confirma nuevas posibilidades de prestar servicios y esto es una cuestión importante que se debe considerar.

APLICACIONES

La MAM puede operar como motor, como transformador o como generador asíncrono autónomo.

Entre sus aplicaciones se tiene:

1. Soldadura y corte de metales.
2. Servicios de CD y CA de diferentes voltajes.
3. Arranque de equipos automotores.
4. Acción motora.
5. Generador asíncrono con las funciones 1, 2 y 3 incorporadas.

EJEMPLOS

- En un taller agrícola, automotor o industrial, se emplea para soldar en lugar de una máquina electrodinámica o un transformador. Cuando es ocasión, puede usarse en el arranque de equipos automotores o como fuente de voltaje para ensayos eventuales, carga de baterías, para accionar una piedra o un cepillo, etcétera.
- En la industria, durante el período de mantenimiento y en averías, se emplea como equipo de soldar. Puede accionar una carga mecánica (conductor, bomba, ventilador, etc.). Es capaz de actuar simultáneamente como transformador, y alimentar un sistema de fuerza o iluminación de bajo voltaje, típico de los casos cuando se realizan trabajos en equipos tecnológicos metálicos y cerrados o en situaciones semejantes por razones de seguridad.
- En labores agrícolas y en lugares apartados se acopla a un accionamiento mecánico tal como un motor diesel, un tractor, una turbina eólica o hidráulica y se utiliza como generador asíncrono con la posibilidad de brindar, además de energía eléctrica, los servicios auxiliares mencionados.

PROTOTIPOS

Se diseñaron dos prototipos de la MAM. El prototipo 1, a partir de la estructura de un motor asíncrono trifásico, tipo SBD Md 64 G; No. 1014027 de 18,8 hp; 440/220 V; conexión Y/YY; 24/49,5 A; 1 740 r/min; aislamiento clase B; IP44; S1. Sus enrollados tienen los datos nominales siguientes:

	V (V)	I (A)	S (kVA)	Conexión
Devanado 1	220	18	6,8	Y
Devanado 3	40	78	5,4	Y

El prototipo 2, a partir de un motor tipo 4AM 180-52-T2 de 22 kW; 3 600 r/min.; 440/220 V. Los datos de sus devanados son:

	V (V)	I (A)	S (kVA)	Conexión
Devanado 1	220/110	20	7,6	Y/YY
Devanado 3	31/24/12	105	5,6	Y

Estas máquinas son las empleadas en el desarrollo experimental y teórico de este trabajo.

ECUACIONES GENERALES Y CIRCUITO EQUIVALENTE

Con el propósito de representar esta máquina, es importante definir el sistema de ecuaciones y el circuito equivalente. Como en todos estos casos la realidad es más compleja que incluso una formulación detallada, se establecen algunas consideraciones.

Consideraciones generales

Esta teoría está basada necesariamente sobre relaciones de tipo lineal y condiciones de simetría. Por supuesto, si se tratasen inicialmente, como se verá en trabajos posteriores, los efectos de los armónicos superiores, la saturación, las asimetrías magnéticas del entrehierro y de las fases, y las variaciones probables de la velocidad, las ecuaciones finales resultarían muy complicadas, ocultando el sentido físico de las transformaciones fundamentales, lo cual dificulta el análisis teórico.

Cuando la forma de onda de la corriente contiene un espectro armónico, el momento desarrollado por los armónicos superiores de tiempo n y espacio v , puede despreciarse y el cálculo es satisfactorio cuando se considera solamente el componente fundamental. En consecuencia, puede plantearse que para sintetizar las ecuaciones de voltaje, es adecuado trabajar solamente con el armónico fundamental.

Sistema de ecuaciones

El esquema generalizado de la máquina en los ejes d y q , con su devanado secundario rotatorio (devanado de jaula de ardilla) y los devanados 1 y 3 sobre el estator,²⁻⁵ se muestra en la figura 3.

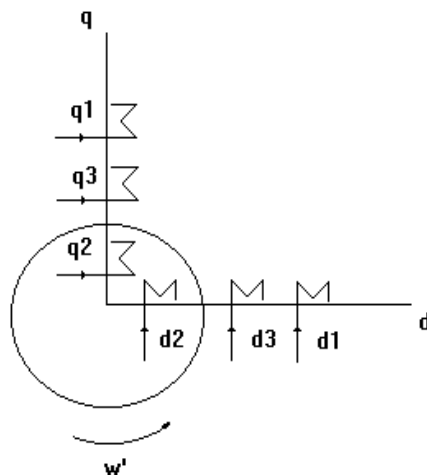


Diagrama generalizado en los ejes d y q .

3

Partiendo del mismo, se puede desarrollar la ecuación matricial general. Para ello se considera:

- La máquina gira uniformemente a una velocidad

$\omega = \omega_s(1-s)$, donde ω_s es la velocidad sincrónica angular del campo rotatorio (rad/s) y s es el deslizamiento.

- Como la máquina es simétrica con respecto a las resistencias, se cumple que: $r_{d1} = r_{q1} = r_1$; $r_{d2} = r_{q2} = r_2$; $r_{d3} = r_{q3} = r_3$ (Ω), donde los subíndices d y q especifican los ejes directo y cuadrático; y 1, 2 y 3 especifican los devanados respectivos.

- El concepto general de dispersión utilizado en el caso convencional de dos enrollados puede extenderse en forma sencilla a esta máquina de tres enrollados. Como se observa en la

figura 2, si se supone que el flujo principal está concatenado con todos los devanados, lo único que se requiere es conocer la inductancia de dispersión de cada uno de ellos, y tan solo una de las inductancias mutuas del estator.³

Por la construcción de la máquina,^{6,7} en la que el enrollado 3 se coloca en la parte externa de la ranura y el enrollado 1 en el fondo de esta (además de que el paso y la distribución de ambos devanados son idénticos), se puede considerar, aproximadamente, que parte del flujo disperso del enrollado 3 (ϕ_3) concatena con el enrollado 1 (ϕ_{31}), mientras que los flujos dispersos del enrollado 2 (ϕ_2) sólo concatenan con él mismo. A los flujos dispersos les corresponden las reactancias de dispersión X_1 , X_2 , X_3 y X_{31} . Al flujo mutuo fundamental ϕ_m , concatenado con todos los devanados, le corresponde la reactancia de magnetización X_m .

De lo anterior: $\omega L_1^* = X_m + X_1$; $\omega L_2^* = X_m + X_2$; $\omega L_3^* = X_m + X_3$; $\omega M_{23} = X_m$; $\omega M_{13} = X_m + X_{31}$ y $\omega M_{12} = X_m$ donde M son las inductancias mutuas (H), (L) son las autoinductancias (H) y (X) las reactancias (Ω), relacionadas con los devanados indicados por los subíndices. Todas las reactancias están referidas a la frecuencia de la red de alimentación f_1 (Hz) y al devanado 1.

Para las ecuaciones de voltaje, la resistencia de la rama de excitación se desprecia.

De las consideraciones anteriores, se puede escribir la expresión matricial de la forma:^{2,3}

$$\begin{bmatrix} V_{d1} \\ V_{d2} \\ V_{d3} \\ V_{q3} \\ V_{q2} \\ V_{q1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{d1} + L_1^* p & M_{12} p & M_{13} p & 0 & 0 & 0 \\ M_{12} p & r_{d2} + L_2^* p & M_{23} p & \omega' M_{23} & \omega' L_2^* & \omega' M_{12} \\ M_{13} p & M_{12} p & r_{d3} + L_3^* p & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_{q3} + L_3^* p & M_{23} p & M_{13} p \\ -\omega' M_{12} & -\omega' L_2^* & -\omega' M_{23} & M_{23} p & r_{q2} + L_2^* p & M_{12} p \\ 0 & 0 & 0 & M_{13} p & M_{12} p & r_{q1} + L_1^* p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{d1} \\ i_{d2} \\ i_{d3} \\ i_{q3} \\ i_{q2} \\ i_{q1} \end{bmatrix} \quad \dots(1)$$

Para estado estable, teniendo que, la ecuación se transforma en:

$$\begin{bmatrix} V_{d1} \\ V_{d2} \\ V_{d3} \\ V_{q3} \\ V_{q2} \\ V_{q1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 + j\omega L_1^* & jX_m & j\omega M_{13} & 0 & 0 & 0 \\ jX_m & r_2 + j\omega L_2^* & jX_m & (1-s)X_m & (1-s)\omega L_2^* & (1-s)X_m \\ j\omega M_{13} & jX_m & r_3 + j\omega L_3^* & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_3 + j\omega L_3^* & jX_m & j\omega M_{13} \\ -(1-s)X_m & -(1-s)\omega L_2^* & -(1-s)X_m & jX_m & r_2 + j\omega L_2^* & jX_m \\ 0 & 0 & 0 & j\omega M_{13} & jX_m & r_1 + j\omega L_1^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{d1} \\ I_{d2} \\ I_{d3} \\ I_{q3} \\ I_{q2} \\ I_{q1} \end{bmatrix} \quad \dots(2)$$

donde I (A), y V (V), representan los valores efectivos en forma fasorial de las corrientes y de los voltajes en los diferentes devanados, referidos al enrollado 1.

Si se realizan algunas transformaciones, se llega a:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 + j(X_m + X_1) & jX_m & j(X_m + X_{31}) \\ jsX_m & r_2 + js(X_m + X_2) & jsX_m \\ j(X_m + X_{31}) & jX_m & r_3 + j(X_m + X_3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} \quad \dots(3)$$

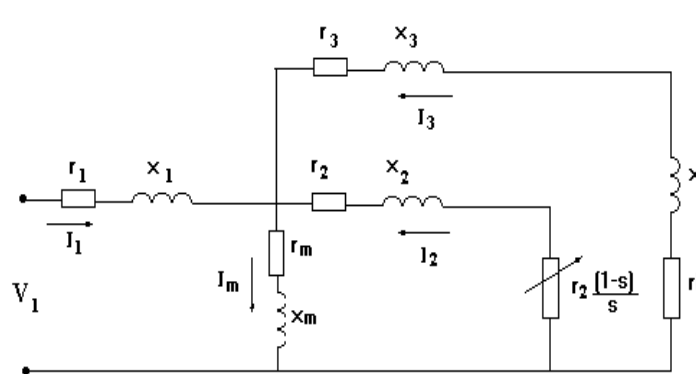
Una aproximación a la representación clásica se obtiene luego de reconocer que para el diseño de esta máquina el voltaje del rotor (V_2) es cero, y que la corriente de magnetización está dada por: $I_m = I_1 + I_2 + I_3$. Haciendo las sustituciones y transformaciones apropiadas, se obtiene:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ 0 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 + jX_1 & 0 & jX_{31} & jX_m \\ 0 & \frac{r_2}{s} + jX_2 & 0 & jX_m \\ jX_{31} & 0 & r_3 + jX_3 & jX_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_m \end{bmatrix} \quad \dots(4)$$

Como puede apreciarse en la figura 2, a los flujos mutuos de dispersión en las ranuras y las zonas frontales del devanado se asocian las reactancias de inducción mutua $X_{13} = X_{31}$. Como estos flujos poseen básicamente su trayectoria por el aire y zonas de alta reluctancia, y su magnitud es muy inferior al flujo mutuo principal, no se introducen desviaciones significativas al desprestigiar la acción mutua de los devanados del estator debido a los flujos de dispersión. Así, se puede considerar que $X_{13} \approx 0$ y su influencia no se tendrá en consideración en los análisis que se presentan en este trabajo.

Circuito equivalente

De la ecuación matricial (4) y de las anteriores consideraciones, se infiere el circuito equivalente de la figura 4.



Circuito equivalente de la MAM refiriendo las magnitudes al enrollado 1.

4

En este circuito r_1, r_2, r_3, r_m (Ω); y x_1, x_2, x_3 y X_m (Ω), representan las resistencias y las reactancias de los devanados 1, 2 y 3 y la rama de magnetización, respectivamente. La resistencia y reactancia de la carga se representan por r_l y x_l . I_1, I_2, I_3 e I_m (A), representan las corrientes por los devanados y la rama de magnetización, respectivamente. V_1 (V), es el voltaje aplicado al devanado de excitación.

Las ecuaciones de momento en función del deslizamiento, pueden obtenerse por los métodos tradicionales.^{7,8} El circuito equivalente es útil, además, para el cálculo de las pérdidas, la eficiencia y la temperatura de estado estable, entre otras características operacionales.

PARÁMETROS DE LA MÁQUINA

Para estudiar el comportamiento de la MAM, es necesario utilizar el circuito equivalente conformado por parámetros. Estos pueden determinarse a partir de las dimensiones físicas, las propiedades de los materiales electrotécnicos y con la realización de pruebas experimentales.

Los parámetros a considerar son la resistencia de los devanados de excitación, trabajo y jaula de ardilla y las inductancias principales, mutuas y de dispersión.

Si se observan los detalles constructivos de la MAM, los devanados y sus circuitos magnéticos, se evidencia que no se diferencian de los correspondientes a las máquinas asincrónicas ordinarias. Por tanto, es posible emplear las ecuaciones dadas por la literatura para el cálculo de las inductancias de dispersión de los devanados del estator y rotor.

Como se desconocen las propiedades de los materiales y algunas de sus formas geométricas en las máquinas ejecutadas y sometidas a experimentación, y dado que las posibilidades reales de construcción en estos momentos de máquinas de este tipo son con estructuras disponibles de motores ordinarios, resulta necesario un procedimiento experimental que permita determinar sus parámetros.

Las pruebas para determinar los parámetros son las siguientes:

1. Determinación de las resistencias del estator.
2. Ensayo en vacío con el devanado de trabajo en circuito abierto.
3. Prueba de segregación a velocidad sincrónica.
4. Ensayo de cortocircuito con el devanado de trabajo en circuito abierto.
5. Característica externa del devanado de trabajo.

Las primeras cuatro son básicamente las pruebas establecidas por la Norma IEEE 112 para las máquinas asincrónicas de jaula de ardilla, considerando en este caso un devanado más.^{9,10} La característica externa se utiliza para determinar la reactancia de dispersión del devanado de trabajo debido al flujo disperso del mismo. Su resultado depende del grado de saturación del circuito magnético. Este factor influye en la reactancia de dispersión y, por lo tanto, en la característica externa.

Esta prueba se efectúa con carga variable. Para ello, se varía la corriente del devanado de trabajo desde cero hasta un 20 % superior a su valor nominal, y se registran los valores de voltaje, potencia y corriente de los devanados 1 y 3. Esta prueba refleja el comportamiento como transformador y se usó en la validación integral del modelo matemático de la MAM.

PARÁMETROS DE LOS PROTOTIPOS

Las pruebas efectuadas a los prototipos se muestran en la tabla 1.

Parámetros	Prototipo 1	Prototipo 2
r_1	0,25	0,469
r_2	0,024 2	0,286
r_3	0,635	0,327
x_1	0,51	0,687
x_2	0,51	0,687
x_3	1,54	1,011
r_m	1,85	0,981
x_m	14,12	10,52
$k\mu$	1,48	1,63

VALIDACIÓN DEL MODELO

La validación del modelo y sus ecuaciones se llevó a cabo mediante la comparación de los resultados teóricos obtenidos con las mediciones reales de las pruebas experimentales.

Por ejemplo, a partir del prototipo elaborado con el motor SBD Md 64 G, se compararon varios resultados experimentales con la máquina trabajando como motor, con los obtenidos con el software CMI¹¹ mostrados en la tabla 2. Los subíndices *e* y *t* se refieren a los valores experimentales y con el CMI, respectivamente. En esta tabla aparecen los errores relativos correspondientes, tomando como base los valores experimentales.

La prueba para determinar la característica externa del devanado 3,⁴ define integralmente la validez de los parámetros y el circuito equivalente. En la tabla 3 se compara un resultado obtenido a partir del experimento con el de cálculo. En ella, *P*₁ y *P*₃ indican la potencia en los devanados respectivos; $\cos \phi_1$ significa el factor de potencia en el devanado correspondiente; η_3 corresponde a la eficiencia en función de las potencias que se señalan.

Las desviaciones que se presentan aquí y en otras partes posteriores del trabajo están dentro de las aceptaciones de ingeniería y, por lo tanto, validan el procedimiento llevado a cabo. Con esta base se podrán estudiar otras problemáticas de la máquina, como son la determinación de la capacitancia necesaria para la generación en régimen autónomo, el estudio del régimen térmico, la influencia de los armónicos de tiempo cuando se presentan cargas no lineales (en régimen de soldadura, por ejemplo) y la operación con cargas asimétricas.

Tabla 2 Resultados obtenidos		
V_{1e} / V_{1t} (V)	I_{1e} / I_{1t} (A)	Error relativo (%)
220 / 220	8,91 / 9,01	-1,1
220 / 220	9,33 / 9,4	-0,8
220 / 220	9,786 / 9,52	2,7
220 / 220	10,50 / 10,04	4,4

Tabla 3 Comparación de un resultado trabajando como transformador bajo carga				
	I_1 (A)	$\cos \phi_1$	P_1 (W)	η_3 (P_3 / P_1)
Experimento	19,27	0,80	6 040	0,79
Cálculo	19,18	0,80	6 034	0,80
Error relativo (%)	0,46	0,00	0,09	0,01

CONCLUSIONES

La insuficiencia de equipos de asistencia técnica y el elevado número de máquinas, mecanismos y medios que intervienen en diferentes esferas de la producción, muestran la necesidad de ampliar la solución de los principales problemas relacionados con los equipos especiales para reparar y mantener en explotación estos sistemas.

En Cuba, no se ha desarrollado una máquina para estos servicios, recurriéndose a diversas opciones de mercado. Usualmente, se compra más de una máquina para satisfacer un determinado nivel de necesidad y en ocasiones se emplean tecnologías menos eficientes. En correspondencia, los costos son elevados.

Constituye una variante atractiva por su fiabilidad y otras ventajas, el empleo de máquinas asincrónicas de jaula de ardilla en la asistencia técnica.

Mediante la teoría de Park, se obtienen las ecuaciones que representan a una máquina de tres devanados trabajando simultáneamente. El circuito equivalente es similar al de una máquina de dos enrollados con una rama adicional que representa al segundo devanado del estator. Aparece, además, una fem de inducción mutua entre estos devanados caracterizada por la reactancia X_{13} que se ha despreciado según justifican los cálculos en el desarrollo de este trabajo.

Se establecen las pruebas para determinar los parámetros de esta máquina, basadas en las Normas IEEE 112. Esencialmente son pruebas de cortocircuito, circuito abierto y segregación, pero considerando un devanado más.

Los resultados de los cálculos teóricos a partir de los parámetros, comparados con los valores experimentales, poseen una aproximación adecuada, por lo cual se consideran validados la representación matricial y el circuito equivalente.

REFERENCIAS

1. Mosa, "Manual: Grupos electrógenos y motosoldatrices", Cusago, Italia, 1996.
2. Alger, L.: *The Nature of Induction Machines*, Gordon and Breach, 516pp., New York, 1965.
3. Adquins, B.: *Teoría generalizada de las máquinas eléctricas*, 241pp., Bilbao, España, 1967.
4. Duarte, O.: "Determinación de los parámetros de una máquina asincrónica multipropósito", Trabajo de Diploma, UCLV, 1997.
5. Dzhendubaiev, Z. R.: "Osnobie Urabnenia Trejfaznovo Asinjrionovo Dbigatelia s Uprabliaiochei Otmotkou", *Electromejanika*, No. 2, pp. 28-32, 1988.
6. Armas, M. A. de: "Solicitud de registro de patente: máquina asincrónica multipropósito, 12 pp., septiembre, 1995.
7. Armas, M. A. de y P. R.Viego: "Máquina asincrónica multipropósito", *Energía y Computación*, Vol. 7, No. 1, pp. 39-44, Colombia, 1998.
8. Chapman, S.: *Máquinas eléctricas*, McGraw-Hill, 1994.
9. Douglas, G. J.: *Efficacy of Methods for Estimating in Service Motor Efficiency*, Washington State University, June, 1997.
10. Gray, G. and W. Martiny: "Efficiency Testing of Medium Induction Motors. A Comment on IEEE Std 112- 1991", *IEEE Transaction on Energy Conversión*, Vol. II, No. 3, sept., 1996.
11. Zerquera, M. y A. Martínez: "Cálculos de motores de inducción", Software CADEV, UCLV, 1997.

AUTORES

Marcos A. de Armas Teyra, Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Asistente, Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA), Universidad de Cienfuegos.

Percy R. Viego Felipe, Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, CEEMA, Universidad de Cienfuegos, Cuba
e-mail: orestes@cipel.ispjae.edu.cu