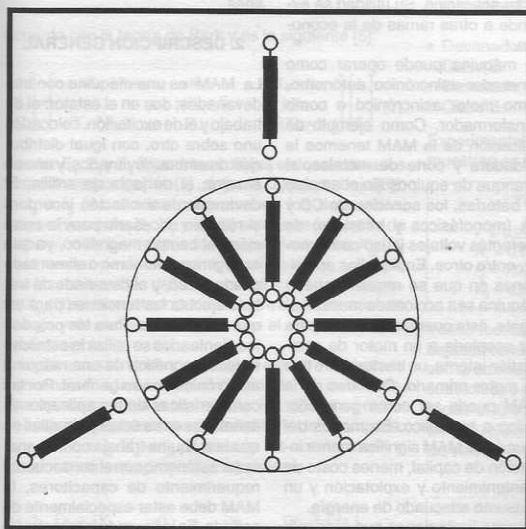


Máquina asincrónica multipropósito de tres devanados



□ **Marcos A. de Armas Teyra**
Ingeniero Electricista
Especialista en Generación Eléctrica
Delegación Provincial del Ministerio de la Industria Azucarera
Cienfuegos, Cuba

□ **Percy R. Viego Felipe, Ph.D.**
Ingeniero Electricista
Profesor Titular
Universidad de Cienfuegos,
Cuba

* Este texto se recibió, para ser publicado, en marzo de 1998.

RESUMEN

En el artículo se establecen las ecuaciones matriciales básicas para el estudio de una máquina asincrónica multipropósito de tres devanados, desarrollada con el objetivo de realizar un grupo de funciones, en condiciones especiales, con la existencia o no de energía eléctrica exterior. Se justifica porque es posible, en el cálculo del momento, trabajar solamente con el primer armónico, tanto de espacio como de tiempo y considerar en el cálculo térmico los efectos de los armónicos temporales debidos a las cargas no lineales. Se deducen de esas ecuaciones el circuito equivalente y se presentan resultados experimentales que validan el modelo desarrollado.

Los aspectos considerados son fundamentales para el análisis y el cálculo de los diferentes regímenes de operación a que puede estar sometida esta máquina. Se brinda información sobre el diseño y las características que la hacen económicamente ventajosa frente a otras técnicas conocidas. Queda evidenciada su utilidad en variadas aplicaciones, en particular, en aquellos lugares donde poseer un complejo multifuncional confiable y compacto es importante.

PALABRAS CLAVES

Máquinas Eléctricas, Máquinas Asincrónicas, Generadores Asincrónicos, Diseño de Máquina Eléctricas.

ABSTRACT

In this paper, the general matrix equations that are essential for analyzing the operation of a three-winding-multipurpose induction machine are established. The machine has been developed for performing a group of functions under especial conditions, with or without external electric energy. The use of only the first space and time harmonics for calculating torque is justified, while the need of considering time harmonics (arising from non-linear loads) in thermal calculations is emphasized. The equivalent circuit of the machine derived from the matrix equations is presented. The experimental results validating the model developed are shown. The results hereby presented, are necessary for further studies related to the design and the operational characteristics of the machine. Information about the characteristics that make this machine advantageous from the economic point of view is given, as well as how useful it is in several applications, particularly when a reliable, multipurpose and compact unit is needed.

KEY WORDS

Electric Machines, Induction Machines, Induction Generators, Electric Machine Design.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las técnicas digitales y la electrónica de potencia, ha facilitado el empleo de las máquinas asincrónicas con rotor de jaula de ardilla en accionamientos y aplicaciones que tradicionalmente eran reservadas a otros tipos de máquinas eléctricas. Las ventajas en el uso de este tipo de máquina están en su sencillez, poco peso, construcción robusta, carencia de anillos, escobillas y carbones, volumen más reducido, mayor eficiencia y más fiabilidad. Para hacer extensiva estas propiedades a las máqui-

nas asincrónicas que poseen un destino especial, el diseño debe realizarse con determinadas particularidades. Tal es el caso de la Máquina Asincrónica Multipropósito (MAM) [1], desarrollada en la Delegación Provincial del Ministerio del Azúcar (MINAZ) en Cienfuegos, Cuba, destinada a satisfacer las necesidades de las reparaciones ligeras y el auxilio multifuncional durante la explotación de la maquinaria agrícola, proporcionando energía eléctrica o mecánica, en dependencia de cuál pueda estar ausente en el momento de su aplicación. Su utilidad se extiende a otras ramas de la economía.

La máquina puede operar como generador asincrónico autónomo, como motor asincrónico o como transformador. Como ejemplo de aplicación de la MAM tenemos la soldadura y corte de metales, el arranque de equipos sin el empleo de baterías, los servicios de CD y CA (monofásicos y trifásicos) de diferentes voltajes y uso como motor, entre otros. En aquellas aplicaciones en que se requiere que la máquina sea accionada mecánicamente, ésta puede adecuarse para ser acoplada a un motor de combustión interna, un tractor u otro tipo de motor primario. Otro uso de la MAM puede ser como generador eólico o hidráulico. En manos del usuario, la MAM significa menor inversión de capital, menos costo de mantenimiento y explotación y un consumo adecuado de energía.

Algunas limitaciones que presenta la máquina son, fundamentalmente, operacionales, por ejemplo: resulta menos eficiente para cumplir una de sus funciones que una máquina específicamente diseñada para ello, no puede forzarse la excitación ante un cortocircuito externo, posee un margen de regulación del voltaje terminal más elevado en régimen autónomo (aproximadamente un 10%) en comparación con otras técnicas. Sin embargo, para trabajos eventuales de corta duración, éstas no resultan de importan-

cia y las ventajas señaladas se vuelven determinantes, especialmente las económicas.

Internacionalmente existen reportes bibliográficos de máquinas asincrónicas de tres devanados en generadores autónomos de alta frecuencia [2][3] y ejemplos de aplicación en grupos motosoldadores y electrógenos [4]. No obstante, no se han encontrado análisis operacionales ni características de este tipo de máquina cuando a ellas se acoplan cargas asimétricas o no lineales que puedan corresponder a otros fines.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL

La MAM es una máquina con tres devanados; dos en el estator: el de trabajo y el de excitación, colocados uno sobre otro, con igual distribución de ambos devanados, y uno en el rotor: el de jaula de ardilla. El devanado de excitación incorpora el reactivo necesario para la creación del campo magnético, ya sea en régimen autónomo o alimentado desde la red, y el devanado de trabajo ejecuta las funciones para las que es diseñado. Para los propósitos planteados se utiliza la estructura ferromagnética de una máquina asincrónica de uso general. Por las características de las aplicaciones señaladas entre éstas y aquellas en que la máquina trabaja como generador autónomo con el consecuente requerimiento de capacitores, la MAM debe estar especialmente diseñada. En la figura 1 se muestra un diagrama de bloques funcional para el caso de entrada de energía eléctrica por uno de los devanados del estator.

3. ECUACIONES DE VOLTAJE Y CORRIENTE. CIRCUITO EQUIVALENTE

La ecuación matricial de voltajes y corrientes, que caracteriza el comportamiento de la MAM, se obtiene a partir de la modelación matemática de la máquina en los ejes d y q , de

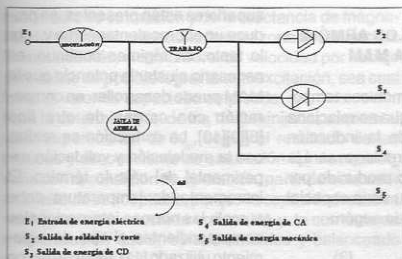


Figura 1. Diagrama de bloques funcional con entrada de energía eléctrica por uno de los devanados del estator.

acuerdo con la teoría de Park y es la siguiente [5]:

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 + j(X_m + X_1) & jX_m & j(X_m + X_3) \\ jX_m & r_2 + js(X_m + X_2) & jsX_m \\ j(X_m + X_3) & jX_m & r_3 + j(X_m + X_3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

donde: E_1, E_2 y E_3 (V) son los voltajes en los devanados respectivos (excitación (1), de jaula (2) y de trabajo (3)); I_1, I_2 e I_3 (A) son las corrientes en los devanados, respectivamente; X_1, X_2 y X_3 (Ω) son las reactancias de dispersión de los devanados, respectivamente; X_m (Ω) es la reactancia de la rama magnetización; r_1, r_2 y r_3 (Ω) son las resistencias de los devanados, respectivamente; X_{31} (Ω) es la reactancia mutua entre los devanados de trabajo y de excitación alojados en el estator y s es el deslizamiento.

En esta ecuación todos los valores están referidos a la frecuencia fundamental y al devanado de excitación. Una aproximación a la representación clásica se obtiene luego de reconocer que para el diseño de la máquina: $E_3 = 0$ e $I_1 + I_2 + I_3 = I_m$. Haciendo las sustituciones y transformaciones apropiadas se obtiene:

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ 0 \\ E_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 + jX_1 & 0 & jX_{31} & jX_m \\ 0 & \frac{r_2}{s} + jX_2 & 0 & jX_m \\ jX_{31} & 0 & r_3 + jX_3 & jX_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_m \end{bmatrix} \quad (2)$$

En la figura 2 se muestra el circuito equivalente.

4. PRUEBAS EXPERIMENTALES Y VALIDACIÓN

La validación del modelo y de las ecuaciones resultantes se efectuó mediante la comparación de los resultados teóricos obtenidos con las mediciones reales de las pruebas experimentales. Para este proceso, previamente se determinan los parámetros resistivos e inductivos que caracterizan la MAM.

Para determinar los parámetros se utilizan las pruebas establecidas convencionalmente [6]. La validez del circuito equivalente y de los parámetros calculados para los devanados 1 y 2, se comprobó en operación como máquina asincrónica, comparando los resultados de la corriente en el devanado 1, obtenidos por medio del software CMI (© de la UCLV, Cuba), con los obtenidos experimentalmente [7]. La correspondencia de los parámetros de inducción mutua, resistencias y reactancias de dispersión del devanado 3, se verifican con las características externas de ese devanado.

Así, se diseñó una MAM a partir de la estructura de un motor asincrónico trifásico de 18,8 HP; 440/220 V; conexión Y/Y; 24/49,5 A; 1740 r.p.m; aislamiento Clase B; IP44, S1; cuyos devanados tienen los siguientes parámetros [7]:

- Devanado 1: 220 V; 18 A; conexión Y; aislamiento Clase B.
- Devanado 3: 40 V; 78 A; conexión Y; aislamiento Clase B

Experimentalmente se determinaron los valores que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de la MAM.

$r_1 = 0,25 \Omega$	$r_2 = 0,635 \Omega$
$X_1 = 0,51 \Omega$	$X_2 = 1,54 \Omega$
$r_3 = 0,0242 \Omega$	$X_m = 14,125 \Omega$
$X_3 = 0,51 \Omega$	$X_{31} = 0,11 \Omega$

Varios resultados experimentales, con la máquina trabajando como motor, en comparación con los obtenidos con el software CMI [7], se muestran en la tabla 2. Los subíndices e y t se refieren a los valores experimentales y con el CMI, respectivamente. Se dan también los errores relativos correspondientes, tomando como base los valores experimentales.

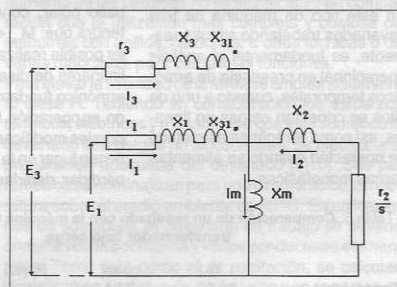


Figura 2. Circuito equivalente de la máquina multipropósito refiriendo las magnitudes al devanado de excitación.

Tabla 2. Resultados obtenidos

E_1/E_n (V)	I_1/I_n (V)	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

La prueba para determinar la característica externa del devanado [7], en el caso de alimentación de la MAM de la red eléctrica, define no sólo la validez de los parámetros del diagrama equivalente, sino, además, su comportamiento como transformador con carga simétrica. En la tabla 3 se compara un resultado obtenido a partir del experimento con el de cálculo. En ella, P_1 y P_2 indican la potencia en los devanados respectivos; $\cos\phi_1$ significa el factor de potencia en el devanado correspondiente η_{12} corresponde a la eficiencia en función de las potencias que se señalan.

Las desviaciones que se presentan 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 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. En este tipo de máquina de tres devanados trabajando simultáneamente, es fundamental el análisis operacional en presencia de armónicos temporales, cuando a uno de ellos se conectan cargas no lineales, así como el régimen asimétrico de operación cuando se alimentan cargas monofásicas.

5. ANÁLISIS DE LOS ARMÓNICOS EN LA MAM

En presencia de armónicos temporales, el momento que se relaciona con el cuadrado de la inducción magnética en el entrehierro, será la suma del momento producido por cada armónico y su serie espacial asociada, expresado según:

$$M = \sum M_n \quad (3)$$

donde n es el orden del armónico de tiempo y v es el orden del armónico de espacio.

La relación entre el momento debido al n -ésimo armónico temporal y su v -ésima componente espacial con el momento producido por el primer armónico de tiempo y espacio, se determina por:

$$M_n/M_{11} = (1/v^2)(\text{Kenrv}/\text{Kenr}_1)^2 (Bm\delta_{nv}/Bm\delta_{11})^2 (I_n/I_1)^2 \quad (4)$$

donde Kenr_v es el coeficiente del devanado y $Bm\delta_{nv}$ es la inducción en el entrehierro (T) para los armónicos correspondiente; I_n es la corriente del n -ésimo armónico temporal (A).

Como $(1/v^2)(\text{Kenrv}/\text{Kenr}_1)^2 (Bm\delta_{nv}/Bm\delta_{11})^2 (I_n/I_1)^2 \ll 1$, para una máquina con un número de bobinas por polo y por fase igual o superior a tres, un paso reducido en 1/5 del paso polar, conexión estrella, se tendrá que: $M_n \ll M_{11}$. Entonces, es posible realizar los cálculos preliminares de diseño basados en el armónico fundamental. Sin embargo, en operación, los armónicos temporales modifican las pérdidas que tienen lugar en la MAM. Cuando las pérdidas debidas a los armónicos

superiores están presentes, se produce un sobrecalentamiento y, por lo tanto, en régimen continuo, es necesario ajustar la potencia que la MAM puede desarrollar en comparación con cargas de otro tipo [8][9][10]. La corrección se realiza con la modelación y validación experimental del cálculo térmico. El incremento de temperatura debe cumplir las normas internacionales correspondientes al tipo de aislamiento utilizado [11]. Con cargas no lineales, el calentamiento depende además de la magnitud y espectro armónico presente.

En presencia de armónicos impares (estando ausentes el tercer armónico y sus múltiplos) en máquinas con aislamiento clase B, TEFC con una corriente rms igual a la nominal sinusoidal, se han experimentado incrementos de temperatura [11]. No obstante, en régimen intermitente o de corta duración, esa sobrecarga no es determinante, tal como puede ocurrir en algunos servicios de soldadura y de otro tipo.

6. RÉGIMEN ASIMÉTRICO DE OPERACIÓN

Cuando se alimentan cargas monofásicas, las fases implicadas se sobrecargan, reduciéndose la reactancia de magnetización y, consecuentemente, crece la corriente de magnetización. Se incrementan las pérdidas de núcleo y se produce un calentamiento adicional que limita la potencia útil a desarrollar, aunque las corrientes de las fases no excedan de forma considerable a la nominal. En la tabla 4 se muestra un ejemplo de cálculo en régimen asimétrico de carga de la MAM.

7. REACTANCIA CAPACITIVA NECESARIA

Determinar el valor de los VA reactivos necesarios para obtener la autoexcitación de la MAM es importante. La capacidad mínima necesaria depende del estado de carga, del

Tabla 3. Comparación de un resultado con la máquina trabajando como transformador bajo carga.

	I_1 (A)	$\cos\phi_1$	P_1 (W)	$\eta_{12} (P_2/P_1)$
Experimento	19,27	0,84	6400	0,875
Cálculo	19,18	0,84	6324	0,885
Error relativo (%)	0,467	0,0	1,202	1,143

coeficiente de saturación y de la reactancia de magnetización máxima, seleccionada en la zona de saturación. Existe, además, cierto umbral de velocidad por debajo del cual no es posible lograr la autoexcitación, sea cual fuere el valor de capacidad empleada.

Para la determinación de los VAR mínimos, se toma el valor experimental de X_m , según el resultado de las pruebas y el coeficiente de saturación k_μ . Aunque X_m varía con la condición de operación, partir de este valor en el cálculo es aceptable, porque la capacidad reactiva necesaria está asociada con los VA y la corriente de magnetización que en estado simétrico y balanceado se corresponde con X_m .

En el régimen autónomo, la frecuencia es una variable adicional; por tal razón, los parámetros del circuito equivalente que han sido calculados para $f_1 = 60$ Hz, pueden tomarse como parámetros a la frecuencia base. La frecuencia no sólo depende de la velocidad del accionamiento mecánico, sino también del deslizamiento el cual, a su vez, depende de la potencia demandada por la carga.

En operación, las reactancias inductivas son funciones

directas de la frecuencia y, la capacitancia necesaria, función inversa.

El problema básico a resolver, conocido el voltaje y la frecuencia, es determinar la capacitancia necesaria y la velocidad para una carga dada. En nuestro caso, $f_1 = 60$ Hz y $V = 220$ V $\pm 10\%$. Luego el problema se reduce al cálculo de una ecuación [12]: $I \cdot Z = 0$ donde, como en estado estable $I \neq 0$, la impedancia del circuito equivalente resultante será $Z = 0$. Entonces, $\text{Re}[Z] = 0$ e $\text{Im}[Z] = 0$.

8. ELEMENTOS DE DISEÑO

En el diseño se debe tomar en consideración, además del efecto de los armónicos temporales y las cargas asimétricas, la característica de regulación de la tensión en régimen autónomo. Obtener una MAM con los criterios generales de diseño de las máquinas asincrónicas no sería posible. También se perderían los atributos de peso, volumen y sencillez, si fuese necesario adicionar un sistema de regulación de la tensión o se escogiera un generador asincrónico ordinario para este fin.

En el cálculo de la MAM, el devanado de excitación se calcula para el voltaje nominal de los capacitores de modo que el peso, costo y volumen de estos sea mínimo. El devanado de trabajo se selecciona teniendo en consideración un coeficiente de saturación elevado. Aumentar el coeficiente de saturación significa que se puedan alimentar cargas del tipo motor sin necesidad de equipos compensadores auxiliares y, a la vez, mantener el margen de regulación de la tensión dentro del 10%, como es usual en los generadores de inducción en régimen autónomo [3][4]. También posibilita aproximar la carga a la potencia nominal de diseño.

El alto coeficiente de saturación implica mayores pérdidas de núcleo, en comparación con una máquina convencional. Como la operación en vacío de estas máquinas es una fracción del tiempo total de explotación, este aumento de las pérdidas no es significativo en comparación con la utilización más compleja y costosa de máquinas con anillos, carbones, u otras técnicas o de varias máquinas, para cumplir las funciones.

Para elevar la fiabilidad de la MAM se emplea aislamiento clase H. Teniendo en consideración los esfuerzos térmicos, eléctricos y mecánicos a que está sometido el devanado con cargas no sinusoidales, se efectúa una preparación adecuada del devanado [9][10]. Sus parámetros se nominalizan para un incremento de temperatura sobre el medio ambiente de 80 °C. En aplicaciones de soldadura, el devanado de trabajo se devana con una vuelta por bobina y varios conductores elementales. Tanto éste como el de excitación, se calculan para régimen continuo de explotación y se conectan en estrella con un número de ranuras por polo y fase superior o igual a tres y con un paso próximo a los 150

Tabla 4. Tabla resumen general con régimen asimétrico de explotación de la MAM.

CÁLCULOS TEÓRICOS.			
Devanado de Excitación (1)			
	FASE A	FASE B	FASE C
Voltaje (V)	134.1 $\angle 0^\circ$	134.1 $\angle 0^\circ$	134.1 $\angle 0^\circ$
Corriente de secuencia positiva (A)	15.05 $\angle -43^\circ$	15.05 $\angle 197^\circ$	15.05 $\angle 77^\circ$
Corriente de secuencia negativa (A)	6.856 $\angle 168^\circ$	6.856 $\angle 288^\circ$	6.856 $\angle 48^\circ$
Corriente (A)	9.82 $\angle -64^\circ$	16.43 $\angle 219^\circ$	21.29 $\angle 68^\circ$
Fuerza electromotriz (V)	178.5 $\angle 0^\circ$	127.43 $\angle -123^\circ$	122.31 $\angle 119^\circ$
Pérdidas de cobre (W)	24.1	67.45	113.31
Pérdidas de núcleo (W)	58.18	403.57	562.77
Pérdidas mecánicas (W)	113.82	113.82	113.82
Pérdidas totales (W)	196.1	584.84	789.9
Potencias de entrada (W)	576.63	2090.26	1759.19
Devanado de Trabajo (3)			
Voltaje (V)	23.26 $\angle 0^\circ$	23.16 $\angle -123^\circ$	22.23 $\angle 119^\circ$
Corriente de secuencia positiva (A)	7.106 $\angle -12^\circ$	7.106 $\angle 228^\circ$	7.106 $\angle 108^\circ$
Corriente de secuencia negativa (A)	7.106 $\angle 168^\circ$	7.106 $\angle 288^\circ$	7.106 $\angle 48^\circ$
Corriente (A)	0	12.3 $\angle 258^\circ$	12.3 $\angle 78^\circ$
Pérdidas de cobre (W)	0	96.07	96.07
Voltaje de línea (AB, BC, CA) (V)	42.65 $\angle 24^\circ$	34.78 $\angle -86^\circ$	40.91 $\angle 155^\circ$
Devanado de Jaula de Ardilla (2)			
Corriente de secuencia positiva (A)	2.898 $\angle -1^\circ$	2.898 $\angle 239^\circ$	2.898 $\angle 119^\circ$
Corriente de secuencia negativa (A)	0.0807 $\angle -1^\circ$	0.0807 $\angle 119^\circ$	0.0807 $\angle 239^\circ$
Corriente (A)	2.842 $\angle -2^\circ$	2.86 $\angle 240^\circ$	2.91 $\angle 151^\circ$
Pérdidas de cobre (W)	0.195	0.198	0.20
n (rpm)	1799	1799	1799

RESUMEN DE VALORES EXPERIMENTALES (e) Y TEÓRICOS (t)					
Devanado	IA (A)	IB (A)	IC (A)	Potencia	Eficiencia

grados eléctricos. Para este destino, se pueden emplear las estructuras ferromagnéticas existentes.

9. CONCLUSIONES

1. La máquina asincrónica multipropósito que se encuentra en desarrollo permite realizar, de un modo más eficaz y económico, un grupo de funciones principales y auxiliares con o sin la existencia de energía eléctrica exterior. Se emplea la estructura ferromagnética de una máquina asincrónica convencional, pero con dos devanados en el estator.
2. La máquina puede considerarse simétrica y el efecto de los flujos dispersos puede enfocarse en forma análoga a como se hace en la máquina asincrónica convencional.
3. Se deduce una ecuación matricial general y una particular de estado estable. A partir de una ecuación sintetizada, semejante a la de una máquina de dos devanados, se llega a su circuito equivalente.
4. Para calcular el momento resulta suficiente considerar sólo el efecto de los primeros armónicos de espacio y de tiempo.
5. La validación experimental del modelo, mediante la realización de pruebas, resultó satisfactoria, con desviaciones aceptables en este campo.
6. Las cargas asimétricas y de naturaleza no lineal, modifican las características operacionales en régimen continuo, por lo que se reduce la capacidad equivalente. Esto depende de la magnitud de la carga y del espectro armónico presente.
7. La MAM es una máquina fiable, sencilla, compacta y económicamente ventajosa dentro del rango de potencia necesario y en su esfera de servicio.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1.] DE ARMAS. M. Solicitud de Registro de Patente. Máquina Asincrónica Multipropósito, 12 pp, Delegación Provincial MINAZ - Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba, 1995.
- [2.] KOSTIRIEV. M.L. Uravnenia i Parametri Mnogobmotochnovo Asinironnovo Ventilnovo Gueneratora s Korotkozamutim Rotorom, Elektrichestvo, 4, 1979, pp.32-35.
- [3.] FRISHMAN. V.S, PROJORO-VA. G.A, O Raschotie Asinironnovo Gueneratora s Dvumia Statornimi Obmotkami, Elektrichestvo, 3, 1979, pp. 60-62
- [4.] MOSA, Motosoldatrici. Gruppi Electtrogeni. Manuale: Uso e Manutenzione, Cusago, Italia, 1995.
- [5.] ADKINS. B, Teoría General de las Máquinas Eléctricas, 241 pp, Ediciones Urmo, Bilbao, España, 1967.
- [6.] IEEE STD, 112-1991, IEEE Standards Collection, Electric Machinery, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 1995.
- [7.] DUARTE. O, Trabajo de Diploma: Ecuaciones y Parámetros de una Máquina Asincrónica Multipropósito, UCLV, Sta. Clara, Cuba, 1997.
- [8.] DAUGHERTY. R. H, Need for Industry Standards for AC Inductions Motors Intended for Use with Adjustable Frequency Controllers, IEEE Transactions on Industry Applications, Nov/ Dec 1991, pp. 1175-1185.
- [9.] SEN. P. K, Derating of Inductions Motors Due to Wave Form Distortion, IEEE Transactions on Industry Applications, Nov/ Dic 1990, pp. 1525-1537.
- [10.] BONNETT. A. H, Analysis of the impact of PWM Inverter Voltage Wave Form in AC Induction Motors, IEEE Pulp and Paper Industry Technical Conference, 1994.
- [11.] BONNETT. A. H, A Comparison Between Insulation Systems Available for PWM Inverter Fed Motors, U.S. Electrical Motors. Division of Emerson Electric Co., 1994.
- [12.] AL JABRI. A.K, ALOLAH. A.I, Capacitance Requirement for Isolated Self Excited Induction Generator, IEE Proceedings, May 1990, pp. 154-159

AUTORES

Marcos A. De Armas Teyra.

Ingeniero Electricista de la Universidad Central de las Villas (UCLV) Cuba, 1977. Responsable del mantenimiento, montaje, puesta en marcha y desarrollo de equipos e instalaciones eléctricas industriales MINAZ, en la Provincia de Cienfuegos. Especialización postgraduada en Sistemas Energéticos Industriales en la República de Ucrania. Es autor de numerosos trabajos de investigación y desarrollo, en el campo de las máquinas eléctricas. Desarrolla su doctorado en la especialidad de máquinas eléctricas.



Percy R. Viego Felipe.

Ingeniero Electricista de la Universidad Central de las Villas, Cuba, 1965. Ph.D. en Ciencias Técnicas UCLV, 1978. Estudios posdoctorales en el Instituto Politécnico de Kiev, Ucrania y en la Lappeenranta University of Technology de Finlandia. Vicedecano de Investigaciones y Profesor Titular de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Cienfuegos (UCF) Cuba. Jefe del Grupo de Investigación del Centro de Energía y Medio Ambiente de la UCF. Es autor de numerosos trabajos de investigación y publicaciones en el campo de las máquinas asincrónicas.

