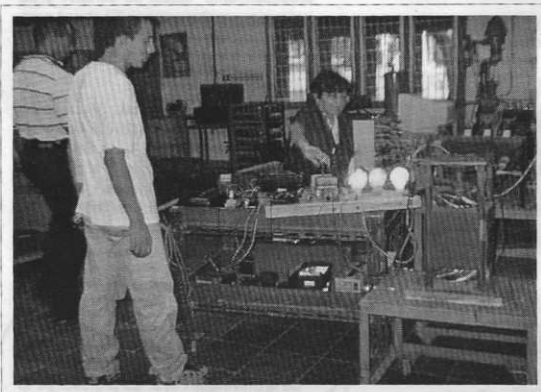


.....

Parámetros de una máquina sincrónica

ENSAYOS DE CORTO CIRCUITO SÚBITO Y RESTABLECIMIENTO DE VOLTAJE

Método de los Elementos Finitos MEF



RESUMEN

En este artículo se utiliza el Método de los Elementos Finitos MEF para calcular los parámetros en eje directo de un generador sincrónico de polos salientes, mediante la simulación de los ensayos de corto circuito trifásico súbito y restablecimiento de voltaje. Las simulaciones se realizaron a diferentes niveles del voltaje para mostrar la influencia de la saturación. Los resultados se validaron con los ensayos de campo a una máquina de 4 KVA, 220/127 V, 60 Hz, 1200 RPM.

PALABRAS CLAVES

Máquina sincrónica, parámetros subtransitorios, transitorios y de estado estable, método de los elementos finitos, FLUX2D.

ABSTRACT

In this article the finite elements method is used to calculate the direct axis parameters of a salient pole synchronous generator by simulations of the sudden short circuit and recovery voltage tests. These simulations were carried out to different voltage levels to show the influence of the saturation. The results are validated with the field tests to a 4 KVA, 220/127 V, 60 Hz, 1200 RPM Machine.

• **MARTHA CECILIA AMAYA E., Ph.D.**
Profesora Titular
Universidad del Valle
Colombia.

• **JAIRO ARCÉSIO PALACIOS P. Ph. D.**
Profesor Titular
Universidad del Valle
Colombia.

• **JAVIER ALVEIRO ROSERO G., Ing.**
Ingeniero Proyectista.
CENERCOL S. A.
Colombia.

Grupo de Investigación en
Conversión de Energía
CONVERGIA

32

.....

* Recibido : Diciembre 2002
* Aceptado : Septiembre 2003

KEYWORDS:

Synchronous machine, sub-transient transient and steady parameters, finite elements method, FLUX2D, RODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Es necesario realizar estudios de estabilidad con el fin de determinar los requerimientos de futuras expansiones de los sistemas de potencia. También se deben determinar los límites de operación ante disturbios y contingencias, y realizar los correctivos necesarios para evitar interrupciones y mala calidad en el suministro de energía eléctrica. Un estudio de estabilidad requiere del modelamiento de todos los componentes del sistema de potencia y el generador es uno de tales elementos. La máquina generadora define casi en su totalidad la estabilidad del sistema de potencia [1].

Los modelos más comunes del generador síncrono se basan en la transformación de los modelos descritos [2], [3] que sustituyen los devanados estáticos de las fases **a, b, c**, cuyos conductores y ejes magnéticos son inmóviles con respecto al estator, en dos devanados **d** y **q** cuyos ejes magnéticos son solidarios con el rotor. El objeto de esta transformación es eliminar los coeficientes variables de forma periódica de las inductancias del sistema de ecuaciones diferenciales que rigen el comportamiento de la máquina, para facilitar el análisis dinámico.

Los ensayos de corto circuito trifásico súbito y restablecimiento de voltaje proporcionan los parámetros en eje directo del modelo operacional de la máquina. Los inconvenientes de dichos ensayos pueden resumirse así:

- Si se realizan a voltaje reducido, los resultados no tienen en cuenta el efecto de la saturación sobre los parámetros que se presentan en condiciones de operación normal o transitoria.
- Si se realizan a voltaje nominal, se pueden encontrar parámetros saturados, pero la máquina se somete a esfuerzos considerables que reducen su vida útil.
- La norma ignora los procedimientos para determinar parámetros que involucren el campo.

Con la utilización del MEF se eliminan estos inconvenientes si se dispone de la geometría detallada y características de los devanados y materiales de la máquina.

2. EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS Y FORMULACIÓN EVOLUTIVA

Los sistemas físicos se representan frecuentemente por un sistema de ecuaciones en derivadas parciales

asociado a condiciones de frontera en el espacio y el tiempo [4]. Estos sistemas en general no pueden resolverse directamente debido a la no linealidad de las ecuaciones y la variación de la permeabilidad; es necesario entonces discretizar las ecuaciones, es decir reemplazarlas por ecuaciones algebraicas. El método de los elementos finitos MEF, permite la discretización de dichas ecuaciones. No obstante, el MEF utiliza una formulación integral en lugar de las ecuaciones en derivadas parciales y por lo tanto es necesario efectuar una transformación de ecuaciones por ejemplo, por el método de los residuos ponderados, según la formulación de Galerkin. El MEF discretiza, entonces, esta formulación integral para obtener un sistema de ecuaciones algebraicas que proporcionan una aproximación a la solución del problema. El esquema representativo de este proceso se presenta en la figura 1.



Figura 1. Proceso de resolución numérica del MEF

Las ecuaciones de Maxwell son la base para la formulación de todos los fenómenos electromagnéticos. En el dominio de la electrotecnia podemos realizar algunas simplificaciones debido a que las frecuencias presentes son bajas (0 - 100 Hz). Esto nos permite despreciar las corrientes de desplazamiento y así estudiar separadamente los campos eléctricos y magnéticos. Cuando la magnetización remanente es despreciable, y en la ausencia de dieléctricos o de cargas, las ecuaciones de Maxwell, la ley de Ohm y las relaciones constitutivas del medio son:

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{J} \quad (1)$$

$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2)$$

$$\text{div } \vec{B} = 0 \quad (3)$$

$$\text{div } \vec{J} = 0 \quad (4)$$

$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (5)$$

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H} \quad (6)$$

donde:

- $\vec{H}$ campo magnético (A/m)
- $\vec{E}$ campo eléctrico (V/m)
- $\vec{B}$ inducción magnética (T)
- $\vec{J}$ densidad de corriente total (A/m²)
- μ permeabilidad magnética (H/m)
- σ conductividad eléctrica (Ohms⁻¹.m⁻¹)

Si se define:

$$\vec{B} = \text{rot } \vec{A} \quad (7)$$

La ecuación general no lineal variante en el tiempo que caracteriza la máquina síncrona es:

$$\text{rot} \left[\nu \cdot \text{rot } \vec{A} \right] = \vec{J} + \sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \frac{\partial \vec{A}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \frac{\partial \vec{A}}{\partial y} \right) = \sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \vec{J}$$

donde:

- $\vec{A}$ vector potencial magnético:
- $\nu = 1/\mu$ reluctividad magnética (H⁻¹.m)

Los ensayos de corto circuito súbito y recuperación de voltaje constituyen un transitorio magnético donde se debe considerar la formulación integral de la ecuación en derivadas parciales [4], la alimentación simultánea de los devanados en corriente y voltaje, el acoplamiento a un circuito externo [5], la discretización del paso de tiempo [6] y el movimiento del rotor [7] para obtener la formulación evolutiva:

$$\begin{bmatrix} [S] + \frac{[G]}{\Delta t} & -[C] & -[C'] [D]^{-1} \\ -\frac{[C]}{\Delta t} & +[R]^{-1} \Delta t & -[D]^{-1} \Delta t \\ -\frac{[D']}{\Delta t} & -[D] & -[Z'_m] \left[\frac{L'_m}{\Delta t} \right] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [A] \\ [\Delta I] \\ [I_m] \end{bmatrix}_{t+\Delta t} = \begin{bmatrix} \frac{[G]}{\Delta t} [A]_t \\ \frac{[C]}{\Delta t} [I]_t \\ -[E'_m] - \left[\frac{L'_m}{\Delta t} \right] [I_m]_t - \frac{[D]^{-1} [C]^{-1}}{\Delta t} [A]_t \end{bmatrix}_t \quad (9)$$

donde:

$$s_{ij} = L \cdot \iint_{S_k} \frac{1}{\mu} \cdot \text{grad } \alpha_i \cdot \text{grad } \alpha_j \cdot \partial S$$

$$G_{ij} = L \cdot \iint_{S_k} \sigma \alpha_i \alpha_j \cdot \partial S$$

$$C_i = L \cdot \iint_{S_k} \sigma \alpha_i \cdot \partial S$$

$$R_k = \frac{L}{\iint_{S_k} \sigma \partial S}$$

- A_i vector potencial magnético en el nodo i
- I_k corriente que atraviesa el conductor k .
- S_k superficie de la región del conductor de bobina
- N_s número de espiras de esta región.
- I_m vector de corriente de malla
- E'_m vector suma de las fem de malla
- $[Z'_m]$ matriz de resistencia externa
- $[L'_m]$ matriz de inductancias externas
- $[D]$ matriz de sentido de la corriente
- ΔV_k caída de tensión en los bordes del conductor.
- $[D']$ [C'] matriz de conductores de bobina.

3. ENSAYOS DE CORTO CIRCUITO TRIFÁSICO SÚBITO Y RECUPERACIÓN DE VOLTAJE

La evaluación de las corrientes y voltajes luego de un corto circuito trifásico súbito y una recuperación de voltaje se obtiene a partir de la transformación de Park, despreciando las variaciones de velocidad, lo que conlleva a un sistema de ecuaciones lineales que se puede resolver en forma operacional por la aplicación de la transformada y la transformada inversa de Laplace [8].

En el caso de corto circuito trifásico súbito aplicado a una máquina que marcha en vacío y considerando las condiciones iniciales

$(i'_{d0} = i'_{d0} = i'_{q0} = i'_{q0} = 0, \quad \psi'_{d0} = \psi'_{d0}, \quad \psi'_{q0} = \psi'_{q0})$. Luego la corriente de fase a se expresa:

$$i_a(t) = e^{-\alpha_1 t} \left[\frac{1}{x_d} + \left(\frac{1}{x_d'} - \frac{1}{x_d} \right) e^{-\frac{t}{T_d}} + \left(\frac{1}{x_d''} - \frac{1}{x_d'} \right) e^{-\frac{t}{T_d'}} \right] \cos(\omega t + \theta_0) + \frac{e_0}{2} \left(\frac{1}{x_d'} + \frac{1}{x_d''} \right) e^{-\alpha_1 t} \cos \theta_0 + \frac{e_0}{2} \left(\frac{1}{x_d'} - \frac{1}{x_d''} \right) e^{-\alpha_1 t} \cos(2\omega t + \theta_0) \quad (10)$$

donde:

- i_a Corriente en la fase a (pu)
- ω frecuencia (Hz)
- e_0 fem de excitación (pu)
- x_d, x_d', x_d'' Reactancias síncrona, transitoria y subtransitoria de eje directo (pu)
- t_d, t_d' Constantes de tiempo transitoria y subtransitoria de eje directo en corto circuito (s)

lo ángulo de referencia entre eje de la fase *a* y eje *d*

De forma similar se puede obtener la expresión para el régimen transitorio de la corriente de campo:

$$i_f(t) = i_{f0} + i_{f0} \frac{x_d - x_d'}{x_d} e^{-t/\tau_d} - \left(1 - \frac{\tau_D}{\tau_d}\right) e^{-t/\tau_d} \quad (11)$$

$$- i_{f0} \frac{x_d - x_d'}{x_d} \frac{\tau_D}{\tau_d} e^{-\alpha t} \cos \omega t$$

donde:

τ_D constante de tiempo de fuga de amortiguador de eje directo

Para el caso de recuperación de voltaje de fase después de un corto circuito trifásico sostenido teniendo en cuenta las condiciones iniciales

($v_{d0} = v_{q0} = \psi_{d0} = \psi_{q0} = i_{d0} = i_{q0} = -1$) se obtiene el voltaje en la fase *a*:

$$V_a(t) = \left[\frac{(x_d - x_d')}{\omega \tau_{d0}} e^{-\frac{t}{\tau_{d0}}} - \frac{(x_d' - x_d'')}{\omega \tau_{d0}'} e^{-\frac{t}{\tau_{d0}'}} \right] \cos(\omega t)$$

$$+ \left[x_d - (x_d - x_d') e^{-\frac{t}{\tau_{d0}}} - (x_d' - x_d'') e^{-\frac{t}{\tau_{d0}'}} \right] \sin(\omega t) \quad (12)$$

donde:

V_a Voltaje en la fase *a* (pu)

τ_{d0} , τ_{d0}' Constante de tiempo transitoria y subtransitoria de eje directo a circuito abierto (s)

El transitorio de la corriente de campo está regido por:

$$i_f(t) = \frac{x_{mf} i_{d0}}{\omega \tau_f x_d} \left[e^{-t/\tau_d} - \left(1 - \frac{\tau_D}{\tau_d}\right) e^{-t/\tau_d} \right] \quad (13)$$

4. SIMULACIONES

Las simulaciones se realizan bajo condiciones de las normas [9], [10], [11], que describen los procedimientos y métodos para determinar los parámetros a partir de los ensayos de corto circuito trifásico súbito y recuperación de voltaje. Se utiliza la aplicación transitorio magnético del paquete de software FLUX2D v 7.5 [7]. La figura 2 muestra el dominio de estudio de un tercio de la geometría de la máquina y en la figura 3 se presenta el circuito externo de acople a la máquina donde cada elemento se caracteriza en la tabla 1.

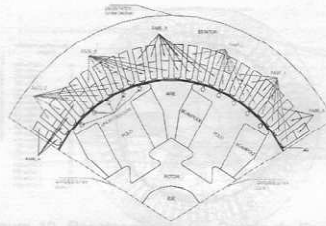


Figura 2. Sección simulada en FLUX2D v 7.5 Transitorio Magnético

Tabla 1 – Características de los Elementos del Circuito Externo para la Simulación del Ensayo de Corto Circuito Trifásico Súbito.

elemento	estado	elemento	estado
Interrupción 20, 21 y 22	Ron = $1 \cdot 10^{-3} \Omega$ Roff = $1 \cdot 10^5 \Omega$ ton = 0.17 s toff = 0.6 s	Interrupción 23	Ron = $1 \cdot 10^{-3} \Omega$ Roff = $1 \cdot 10^5 \Omega$ ton = 0.1 $\cdot 10^{-3}$ s toff = 2 s
Resis16, Resis17, Resis18			R = $1 \cdot 10^{-6} \Omega$

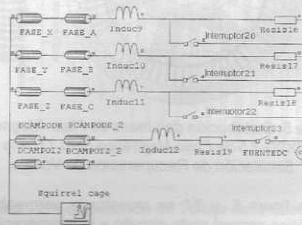


Figura 3. Circuito de Simulación del Ensayo de Corto Circuito Trifásico Súbito y Restablecimiento de la Tensión

Los interruptores 20, y 22 se cierran a 600 ms después de estabilizarse el voltaje en vacío, para simular el corto circuito por un tiempo de 400 ms con un delta de tiempo de $\Delta t = 0.5$ ms. Luego el ensayo de recuperación de voltaje se simula abriendo los interruptores 20, 21 y 22 y se simula por un tiempo de 300 ms con un $\Delta t = 0.5$ ms. La simulación se realiza para 25, 50, 60, 80, 100 % del voltaje nominal en vacío.

En las figura 4, y 5, se muestra la distribución de líneas de flujo magnético para el corto circuito y la recuperación de voltaje para 4.5 ms y 115 ms respectivamente.

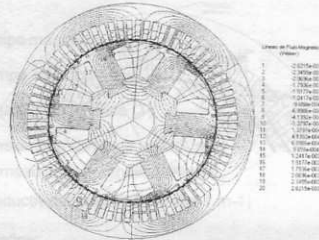


Figura 4. Distribución de Líneas de Flujo Magnético FLUX2D 7.5 para 4.5 ms en Simulación de Corto Circuito Trifásico Súbito

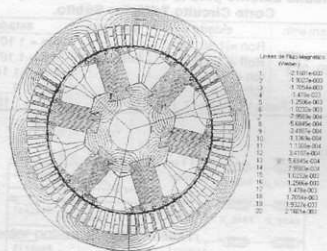


Figura 5. Distribución de Líneas de Flujo Magnético FLUX2D 7.5 de Flujo Magnético para 115 ms en Simulación de Recuperación de Voltaje

En las figura 6. y 7." se muestra la permeabilidad magnética para el corto circuito y la recuperación de voltaje para 4.5 ms y 115 ms respectivamente.

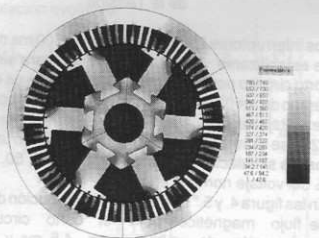


Figura 6. Permeabilidad Magnética Flux2D 7.5 para 4.5 ms. en Simulación de Corto Circuito Trifásico Súbito

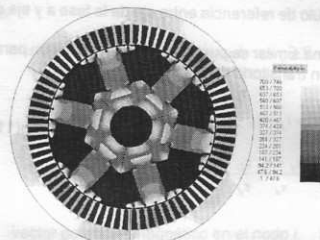


Figura 7. Permeabilidad Magnética para 115 ms en Simulación de Recuperación de Voltaje

5. RESULTADOS

Simultáneamente se realizaron las pruebas de laboratorio en la misma máquina con el fin de comparar y validar el método propuesto para la determinación de los parámetros por MEF.

En la figura 8 se realiza una comparación entre los oscilogramas de corriente de fase por ensayo [12] y simulación [13], y la figura 9 muestra la corriente de campo por simulación.

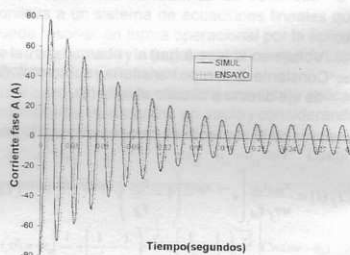


Figura 8. Comparación de Corriente de la Fase A a Voltaje Nominal por Ensayo y Simulación

En las tabla 2 y 3 se resumen los resultados de los parámetros de eje directo calculados de ensayo [12] y simulación de corto circuito trifásico súbito [13] para diferentes niveles de tensión de vacío. La figura 10 muestra la influencia de la saturación sobre las reactancias de eje directo.

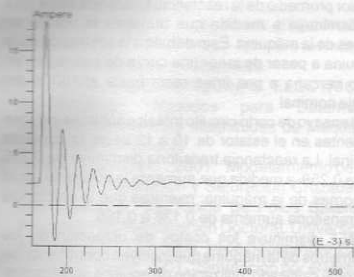


Figura 9. Oscilograma FLUX2D 7.5 de Corriente de Campo a Voltaje Nominal

Tabla 2 - Ensayo y simulación de corto circuito trifásico súbito - Reactancias de eje directo

% Vn	Xd(pu)			Xd'(pu)			Xd''(pu)		
	ENSAYO	SIMUL	% ERROR	ENSAYO	SIMUL	% ERROR	ENSAYO	SIMUL	% ERROR
25	1.170	1.174	-0.34	0.220	0.225	-5.45	0.133	0.135	-2.25
50	1.184	1.180	2.68	0.222	0.224	-8.60	0.132	0.131	-8.04
60	1.101	1.140	1.65	0.223	0.227	-1.68	0.134	0.134	-8.41
80	1.119	1.115	1.28	0.223	0.220	-2.23	0.164	0.172	-4.67
100	0.993	1.020	-3.74	0.222	0.229	-2.28	0.160	0.165	-2.55

Tabla 3 - Ensayo y Simulación de Corto Circuito Trifásico Súbito - Constantes de Tiempo de Eje Directo

% Vn	τ_d' (ms)			τ_d'' (ms)		
	ENSAYO	SIMUL	% ERROR	ENSAYO	SIMUL	% ERROR
25	60.44	56.70	6.19	11.29	10.62	5.93
50	58.10	56.53	2.70	10.52	9.72	7.60
60	61.25	56.46	7.82	9.48	9.62	-1.48
80	57.78	55.60	3.77	10.00	9.58	4.20
100	52.95	54.75	-3.40	8.34	9.00	-7.91

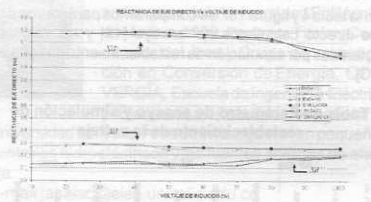


Figura 10. Reactancias de Eje Directo de Ensayo y Simulación de Corto Circuito Trifásico Súbito

En la figura 11 se realiza una comparación entre los oscilogramas de voltaje de fase por ensayo [12] y simulación [13] y en la figura 12 la corriente del devanado de campo en simulación de restablecimiento de voltaje.

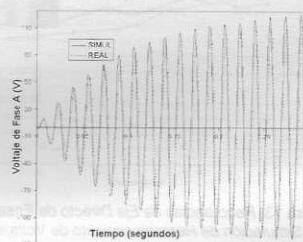


Figura 11. Comparación de Voltaje de la Fase A a Voltaje Nominal por Ensayo y Simulación

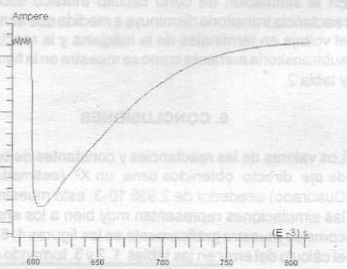


Figura 12. Oscilograma Flux2D 7.5 de Corriente de Campo a Voltaje Nominal

En la tabla 4 y figura 13, se comparan los parámetros de eje directo calculados del ensayo [12] y los valores obtenidos por simulación de restablecimiento de voltaje [13].

Tabla 4 - Parámetro de ensayo y simulación de restablecimiento de la voltaje

% Vn	Xd (pu)			Xd' (pu)			T _d (ms)		
	ENSAYO	SIMUL	% ERROR	ENSAYO	SIMUL	% ERROR	ENSAYO	SIMUL	% ERROR
20	0.225	0.230	-2.22	0.144	0.146	-3.000	62.30	61.51	1.268
50	0.231	0.230	4.762	0.142	0.150	-5.634	61.51	61.68	-0.276
60	0.218	0.210	3.667	0.136	0.146	-7.176	60.95	60.86	0.148
80	0.215	0.205	4.420	0.141	0.149	-5.674	61.29	62.86	-2.592
100	0.209	0.201	3.821	0.145	0.151	-4.170	62.11	60.23	3.027

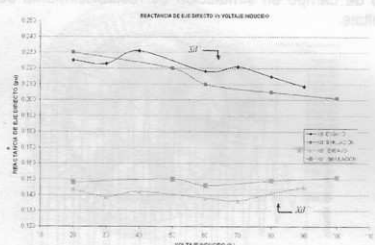


Figura 13. Reactancias de Eje Directo de Ensayo y Simulación de Restablecimiento de Voltaje

En el ensayo de restablecimiento de voltaje la reactancia sincrónica de eje directo tiene el mismo valor que en el ensayo de corto circuito trifásico por compartir las mismas condiciones de ensayo o simulación.

En la simulación de corto circuito trifásico súbito la reactancia transitoria disminuye a medida que aumenta el voltaje en terminales de la máquina y la reactancia subtransitoria aumenta como se muestra en la figura 10 y tabla 2.

6. CONCLUSIONES

Los valores de las reactancias y constantes de tiempo de eje directo obtenidos tiene un X^2 (estimador Ji-Cuadrado) alrededor de $2.936 \cdot 10^{-3}$, esto muestra que las simulaciones representan muy bien a los ensayos como se muestra gráficamente en las figuras 4, 8 y con el cálculo del error en las tablas 1, 2 y 3, tomando como valor real el valor obtenido a partir del ensayo. Esta cercanía permite aceptar y validar el método de los elementos finitos para la determinación de los parámetros de eje directo.

El valor promedio de la reactancia sincrónica es de 1.12 pu disminuye a medida que aumenta la voltaje en bornes de la máquina. Esto debido a la saturación de la máquina a pesar de tener una curva de saturación en vacío cercana a una línea recta hasta el 100 % del voltaje nominal.

En el ensayo de corto circuito trifásico súbito se inducen corrientes en el estator de 10 a 12 veces la corriente nominal. La reactancia transitoria disminuye de 0.295 hasta 0.259 a medida que aumenta la voltaje de vacío en bornes de la máquina, mientras que la reactancia subtransitoria aumenta de 0.136 a 0.185.

El MEF disminuye los costos de obtención de los parámetros de la máquina que incluyen contratación de personal calificado, utilización de equipos sofisticados, adecuados y necesarios para una prueba. Sustituye la planeación de ensayos y evita que la máquina tenga que sacarse de la red para un ensayo.

El MEF permite realizar cualquier tipo de prueba sin exponer a la máquina a esfuerzos mecánicos o electromagnético. Además se puede realizar la prueba repetitivamente cambiando las variables hasta puntos de operación que no se logran al realizar el ensayo por considerarse peligrosos para la integridad de la máquina y/o el personal a cargo.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] IEEE Std 1110-1991, IEEE Guide for Synchronous Generator Modeling in Stability Analyses.
- [2] R. H. Park, 1929, "Two-Reaction Theory of Synchronous Machines", Generalized Method of Analysis -Part I", Transactions AIEE, No 48, pp. 716-730.
- [3] R. H. Park, 1933, "Two-Reaction Theory of Synchronous Machines-II", Transactions AIEE, pp. 352-355.
- [4] Nabeta S. I., 1994, "Etude des régimes transitoires des machines synchrones par la méthode des éléments " Thèse Doctoral, Institut National Polytechnique de Grenoble, France.
- [5] Lombard P., 1992, "Couplage des équations électriques et magnétiques" Thèse Doctoral, Institut National Polytechnique de Grenoble, France.
- [6] Vassent E., 1990, "Contribution a la modélisation de moteurs asynchrones par la méthode des éléments finis", Thèse Doctoral, Institut National Polytechnique de Grenoble, France.
- [7] CEDRAT, 2001, "CAD package for electromagnetic and thermal analysis using finite elements", FLUX2D Version 7.50. User's guide. Vol. 1-5. 10 Chemin de Pré Carré - Zirst. 38246 MEYLAN Cedex, France.
- [8] P. Barret., 1982, "Régimes Transitoires des Machines Tournantes Électriques." Editions Eyrolles, Paris.

- [9] ANSI/IEEE-STD 115 - 1983 Test Procedures for Synchronous Machines.
- [10] IEC 34 - 4, 1985. "ROTATING ELECTRICAL MACHINES." Methods for Determining Synchronous Machine Quantities.
- [11] NTC 1515. 1999. "MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATORIAS." Métodos para Determinar Mediante Ensayos las Magnitudes de Máquinas Sincrónicas. Colombia
- [12] Amaya E. Martha C., 2001, "Modelamiento de los Efectos de Saturación y Saturación Cruzada en una Máquina Sincrónica de Polos Saliente", Propuesta de Investigación Doctoral, Universidad del Valle, Cali - Colombia. 14 de Septiembre 2001.
- [13] Rosero G. Javier, 2001, "Simulación por el Método de Elementos Finitos de los Ensayos en el Dominio del Tiempo para Determinar los Parámetros de una Máquina Sincrónica", Tesis de grado, Universidad del Valle, Cali - Colombia. 14 Diciembre de 2001.



JAVIER ALVEIRO ROSERO GARCÍA.

Bachiller Académico, Instituto Integrado Nuestra Señora de Lourdes, Potosí, (Nariño), 1996. Ingeniero Electricista, Universidad del Valle, 2002. Ingeniero de proyectos CENERCOL S. A. Bogotá.
E-mail:javrosga@latinmail.com



AUTORES



MARTHA CECILIA AMAYA ENCISO.

Ingeniero Electricista de la Universidad del Valle, 1983. Magister en Sistemas de Generación de Energía Eléctrica Universidad del Valle, 1991, Diplôme d'Etudes Approfondies Instituto Nacional Politécnico de Grenoble-Francia, 1994, Ph. D. en Ingeniería en la Universidad del Valle. Profesora Titular del Área y Grupo de Investigación en Conversión de Energía, CONVERGIA, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle. Área de investigación en modelamiento y simulación de máquinas eléctricas.
E-mail:martha.amaya@eiee.univalle.edu.co

JAIR ARCESIO PALACIOS PEÑARANDA. Ingeniero Electricista

Las palabras son de poco valor cuando lo que se necesita son obras
San Juan