

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN CONTROL DE VELOCIDAD Y TENSIÓN PARA UN GENERADOR SINCRÓNICO - *PARTE I*

Botero C., Hector A.
Sarmiento M., Henry O.
Alvarez S.
J. Libardo*

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es proponer un procedimiento para simular el generador sincrónico (*Parte I*) y diseñar controladores óptimos (*Parte II*), con la ayuda de herramientas de fácil trabajo y amplia divulgación como son MATLAB y su módulo de simulación SIMULINK.

INTRODUCCIÓN

En el campo de la Ingeniería Eléctrica moderna es necesario modelar el comportamiento dinámico de las máquinas sincrónicas para el diseño de reguladores que garanticen cambios pequeños en las variaciones de tensión y frecuencia alrededor de valores establecidos. Sin embargo los modelos de los generadores son complejos y los programas de simulación que se tienen para simplificar la manipulación matemática no son de uso común, ya que la forma en que se ingresan los datos es tediosa y requieren de mucha experiencia y conocimiento.

La simulación y verificación de la bondad de los controladores óptimos diseñados se hace con la ayuda de MATLAB y su módulo de simulación SIMULINK.

En este artículo se presentan los resultados de la simulación de la máquina sincrónica con carga y en lazo abierto. La simulación del modelo se hace con programación en MATLAB [9] MATLAB es un programa matemático que trabaja con base en matrices y que incluye comandos para la simulación de sistemas lineales. SIMULINK es un ambiente gráfico de simulación de sistemas dinámicos basado en diagramas de bloques [9][11].

Hasta hoy se han hecho esfuerzos para la modelación de los generadores sincrónicos. Los modelos se describen con ecuaciones diferenciales no lineales, con coeficientes variables debido al cambio de las inductancias de la máquina con la posición del rotor. Desde 1929 la modelación de la máquina sincrónica se ha simplificado, con la aplicación de las transformaciones de Park-Concordia, las cuales eliminan la variación en los coeficientes de las ecuaciones

* Profesores Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia

diferenciales al proyectar todos los fenómenos electromagnéticos y electromecánicos sobre un marco de referencia [1][3].

Con el conjunto de ecuaciones ubicadas sobre el marco de referencia seleccionado, se realiza la manipulación para definir las variables por integrar y obtener así la respuesta del sistema ante cambios en las entradas: tensión de campo y par mecánico [4][5].

Como resultado de las simulaciones se obtienen gráficos que muestran la respuesta en el tiempo de las principales variables de la maquina sincrónica.

Por último, este trabajo constituye una mejora de trabajos anteriores realizados por algunos de los autores [8][10].

GENERALIDADES SOBRE EL MODELO DEL GENERADOR SINCRÓNICO TRIFÁSICO

El control de cualquier sistema físico requiere un conocimiento previo del comportamiento del sistema. Una de las herramientas que utiliza la ingeniería para prever este comportamiento es la modelación matemática.

El generador sincrónico se modela con base en las leyes y principios fundamentales como la ley de Lenz, la ley de Faraday, el teorema del flujo enlazado constante y la segunda ley de Newton. Como resultado se obtiene un conjunto de ecuaciones diferenciales no lineales, que describen el comportamiento dinámico del generador sincrónico.

Hoy se utilizan los generadores sincrónicos para producir la mayor parte de la energía eléctrica que se transforma. Existen turboalternadores que consisten en máquinas con rotor cilíndrico que es impulsado por turbinas de gas o vapor. Así mismo se tienen generadores cuyo rotor es impulsado por turbinas hidráulicas, son de baja velocidad y tiene la característica de presentar polos salientes con barras de amortiguamiento. El modelo que se describe a continuación es aplicable a ambos tipos de

generadores. La diferencia fundamental radica en que un turboalternador tiene igual valor para X_d y X_q , donde:

X_d = reactancia sincrónica de eje directo

X_q = reactancia sincrónica de eje de cuadratura

Lo anterior no ocurre en las máquinas de polos salientes, debido a los cambios que se presentan en la permeancia del circuito magnético de eje directo y eje de cuadratura [1-3].

Las ecuaciones que describen el comportamiento del generador sincrónico trifásico se establecen en [1-6]. Estas ecuaciones tienen el inconveniente de que las inductancias están en función del ángulo θ donde este indica la posición del rotor con respecto a una referencia estacionaria.

Existe un cambio de variables que consiste en proyectar los fenómenos a tres ejes d, q y 0.

Donde:

d : eje directo

q : eje cuadratura

0: eje estacionario

El conjunto de estos tres ejes perpendiculares se conoce como marco de referencia, el cual puede estar rotando a una velocidad w diferente de la velocidad del rotor de la máquina [4].

El marco de referencia adoptado para este trabajo se ilustra en la figura número 1, donde:

F_{as}, F_{bs}, F_{cs} son los ejes magnéticos de los devanados a, b, y c respectivamente.

F_{qs}: eje magnético q.

F_{ds}: eje magnético d.

F_{os}: eje magnético cero, sale de la página

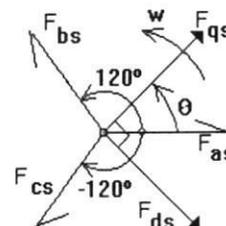


Figura 1. Marco de referencia para el generador sincrónico

No es el objetivo de este trabajo ser exhaustivos en la explicación de la transformación; existen variados textos, documentos y proyectos de grado que ilustran este aspecto [1-6], [8,10].

El generador síncrono se considera con tres devanados estatóricos correspondientes a las fases a, b y c, cuyos ejes magnéticos están desfasados 120 grados entre sí; sobre el rotor un devanado de campo y las barras de amortiguamiento, como se muestra en la figura número 2. Se trasladan los fenómenos electromagnéticos a un marco de referencia sobre el rotor de la máquina según la transformación de Park-Concordia; se obtiene entonces el siguiente grupo de ecuaciones:

- Tensiones

$$\begin{aligned} \omega_o * V_d &= -\omega_o * r_d * i_d + p \Psi_d - \omega_y q \\ \omega_o * V_q &= -\omega_o * r_q * i_q + p \Psi_q + \omega_y d \\ \omega_o * V_f &= \omega_o * r_f * i_f + p \Psi_f \\ \omega_o * V_{kd} &= \omega_o * r_{kd} * i_{kd} + p \Psi_{kd} \\ \omega_o * V_{kq} &= \omega_o * r_{kq} * i_{kq} + p \Psi_{kq} \end{aligned} \quad (1)$$

El primer término al lado derecho de la igualdad corresponde a la caída de tensión por resistencia óhmica, el segundo a la tensión por inducción electromagnética y el tercero a la tensión de velocidad.

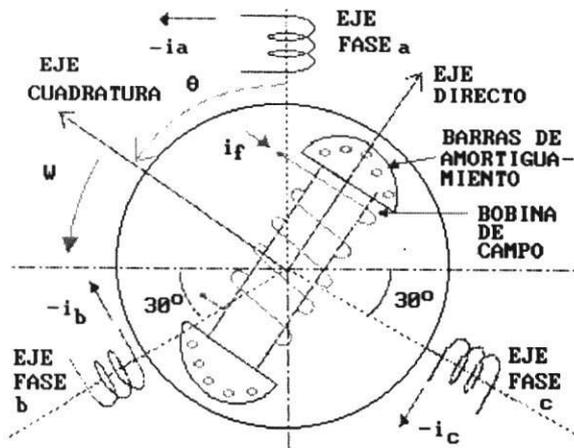


Figura 2. Esquema del generador síncrono trifásico

$$\begin{aligned} \Psi_d &= -X_d i_d + X_{md} (i_{kd} + i_f) \\ \Psi_q &= -X_q i_q + X_{mq} i_{kq} \\ \Psi_f &= X_{fr} i_f + X_{md} (-i_d + i_{kd}) \\ \Psi_{kd} &= X_{kd} i_{kd} + X_{md} (-i_d + i_f) \\ \Psi_{kq} &= X_{kq} i_{kq} + X_{mq} (-i_q) \end{aligned} \quad (2)$$

El primer término al lado derecho de la igualdad corresponde al flujo ligado normalizado propio y el segundo al flujo ligado normalizado mutuo.

Corrientes:

$$-i_d = \frac{\Psi_d - \Psi_{md}}{X_{ld}} \quad \text{Corriente de la bobina de eje d}$$

$$i_{kd} = \frac{\Psi_{kd} - \Psi_{md}}{X_{lkd}} \quad \text{Corriente de la bobina de amortiguamiento eje d}$$

$$i_f = \frac{\Psi_f - \Psi_{md}}{X_{lf}} \quad \text{Corriente de campo} \quad (3)$$

$$-i_q = \frac{\Psi_q - \Psi_{mq}}{X_{lq}} \quad \text{Corriente de la bobina de eje q}$$

$$i_{kq} = \frac{\Psi_{kq} - \Psi_{mq}}{X_{lkq}} \quad \text{Corriente de la bobina de amortiguamiento eje q}$$

Ecuaciones electromecánicas:

$$\begin{aligned} \tau_e &= i_q * \Psi_d - i_d * \Psi_q \\ \tau_m - \tau_e &= \frac{2 * H * P_o^2}{\omega_o} * \delta \end{aligned} \quad (4)$$

$$\delta = \omega - \omega_o$$

Ecuaciones de conexión a la barra infinita:

$$\omega_o * V_d = \omega_o * |V_a| * \text{sen}(\delta) + \omega_o * i_d * r_e - \omega * X_e * i_q$$

$$\omega_o * V_q = \omega_o * |V_a| * \text{cos}(\delta) + \omega_o * i_q * r_e + \omega * X_e * i_d$$

Donde:

- X_d : Reactancia sincrónica de eje d
- X_q : Reactancia sincrónica de eje q
- X_f : Reactancia de campo
- X_{kd} : Reactancia de la bobina de amortiguamiento de eje d
- X_{kq} : Reactancia de la bobina de amortiguamiento de eje q
- X_{ld} : Reactancia de dispersión eje d
- X_{lq} : Reactancia de dispersión eje q
- X_{lr} : Reactancia de dispersión de campo
- X_{lkd} : Reactancia de dispersión de la bobina de amortiguamiento de eje d
- X_{lkq} : Reactancia de dispersión de la bobina de amortiguamiento de eje q
- V_d : Tensión estatórica en el circuito del eje d
- V_q : Tensión estatórica en el circuito del eje q
- V_f : Tensión de campo
- V_{kd} : Tensión en la bobina de amortiguamiento del eje d
- V_{kq} : Tensión en la bobina de amortiguamiento del eje q
- r_d : Resistencia de las bobinas estatóricas en el eje d
- r_q : Resistencia de las bobinas estatóricas en el eje q
- r_f : Resistencia de la bobina de campo
- r_{kd} : Resistencia de la bobina de amortiguamiento de eje d
- r_{kq} : Resistencia de la bobina de amortiguamiento de eje q
- X_{md} : Inductancia magnetizante del circuito del eje d
- X_{mq} : Inductancia magnetizante del circuito del eje q
- y_d : Flujo ligado del estator en el eje d
- y_q : Flujo ligado del estator en el eje q
- y_f : Flujo ligado de campo
- y_{kd} : Flujo ligado de la bobina de amortiguamiento del eje d
- y_{kq} : Flujo ligado de la bobina de amortiguamiento del eje q
- w : Frecuencia angular
- r_e : Resistencia de la línea de transmisión

- x_e : Reactancia de la línea de transmisión
- V_a : Tensión de la barra infinita
- δ : Angulo de carga
- p : Factor d/dt
- τ_e : Par electromagnético
- τ_m : Par mecánico
- H : Constante de Inercia
- P_o : Número de pares de polos

Las ecuaciones (1) a (3) sugieren los diagramas circuitales de las figuras 3 y 4 :

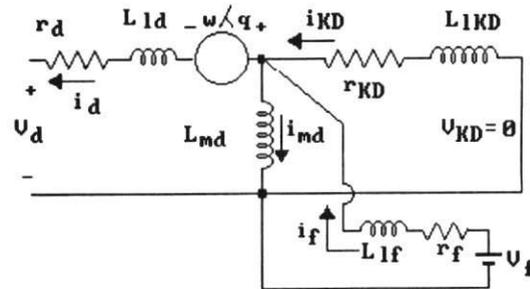


Figura 3. Circuito equivalente del generador sincrónico eje d

En las figuras 3 y 4:

- L_{md} : Inductancia magnetizante del circuito del eje d
- L_{mq} : Inductancia magnetizante del circuito del eje q
- L_{ld} : Inductancia de dispersión eje d
- L_{lq} : Inductancia de dispersión eje q
- L_{lr} : Inductancia de dispersión de campo
- L_{lkd} : Inductancia de dispersión de la bobina de amortiguamiento de eje d
- L_{lkq} : Inductancia de dispersión de la bobina de amortiguamiento de eje q

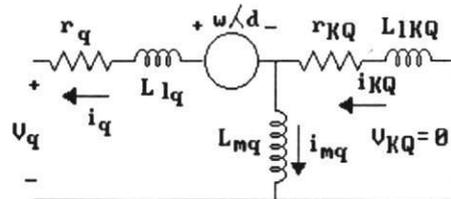


Figura 4. Circuito equivalente del generador sincrónico eje q

Desde las ecuaciones (1) a (5), y los circuitos equivalentes de las figuras 3 y 4, se obtiene un modelo matemático en el cual los flujos ligados normalizados, el ángulo de carga, y la frecuencia angular son las variables por integrar. El modelo fue planteado inicialmente por H. Riaz, C.H. Thomas y perfeccionado por Paul C. Krause de la universidad de Purdue U.S.A. [4], y se obtuvo el siguiente grupo de ecuaciones:

Eje d:

$$\dot{\Psi}_d = \omega_0 * V_d - \frac{\omega_0 * r_d}{X_{ld}} * \Psi_d + \frac{\omega_0 * r_d}{X_{ld}} * \Psi_{md} + \omega * \Psi_q$$

$$\dot{\Psi}_{kd} = 0 - \frac{\omega_0 * r_{kd}}{X_{lkd}} * \Psi_{kd} + \frac{\omega_0 * r_{kd}}{X_{lkd}} * \Psi_{mdq}$$

$$\Psi_f = \omega_0 * V_f - \frac{\omega_0 * r_f}{X_{lf}} * \Psi_f + \frac{\omega_0 * r_f}{X_{lf}} * \Psi_{md} \quad (6)$$

$$\Psi_{md} = \frac{X_{ad}}{X_{ld}} * \Psi_d + \frac{X_{ad}}{X_{lkd}} * \Psi_{kd} + \frac{X_{ad}}{X_{lf}} * \Psi_f$$

$$\frac{1}{X_{ad}} = \frac{1}{X_{md}} + \frac{1}{X_{ld}} + \frac{1}{X_{lkd}} + \frac{1}{X_{lf}}$$

Eje q:

$$\dot{\Psi}_q = \omega_0 * V_q - \frac{\omega_0 * r_q}{X_{lq}} * \Psi_q + \frac{\omega_0 * r_q}{X_{lq}} * \Psi_{mq} - \omega * \Psi_d$$

$$\dot{\Psi}_{kq} = 0 - \frac{\omega_0 * r_{kq}}{X_{lkq}} * \Psi_{kq} + \frac{\omega_0 * r_{kq}}{X_{lkq}} * \Psi_{mq} \quad (7)$$

$$\Psi_{mq} = \frac{X_{aq}}{X_{lq}} * \Psi_q + \frac{X_{aq}}{X_{lkq}} * \Psi_{kq}$$

$$\frac{1}{X_{aq}} = \frac{1}{X_{mq}} + \frac{1}{X_{lq}} + \frac{1}{X_{lkq}}$$

Ecuaciones electromecánicas:

$$\tau_e = i_q * \Psi_d - i_d * \Psi_q$$

$$\tau_m - \tau_e = \frac{2 * H * p_0^2}{\omega_0} * \delta \quad (8)$$

Ecuaciones de conexión a la barra infinita:

$$\omega_0 * V_d = \omega_0 * |V_a| * \sin(\delta) + \omega_0 * i_d * r_c - \omega * X_c * i_q$$

$$\omega_0 * V_q = \omega_0 * |V_a| * \cos(\delta) + \omega_0 * i_q * r_c + \omega * X_c * i_d \quad (9)$$

Las ecuaciones (6) a (9) son no lineales porque contienen multiplicación de variables de estado de la forma $X_i * X_j$ y funciones trigonométricas. Este conjunto representa un modelo de séptimo orden, lo que implica que se deben integrar siete variables de estado y sugiere una representación muy completa del sistema.

Las ecuaciones (1) a (5) son linealizadas alrededor de un punto de operación, con lo que se obtiene el sistema matricial de la ecuación (10):

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega_0 V_{fd} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ T_{m\Delta} \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_0(r_d+r_e) & 0 & 0 & -\omega_0(x_q+x_e) & \omega_0 x_{mq} & V_{q0} - x_{e0} i_{q0} & \omega_0 V_{cos\delta_0} \\ 0 & \omega_0 r_{kd} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \omega_0 r_f & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\omega_0(x_d+x_e) & -\omega_0 x_{md} & -\omega_0 x_{md} & \omega_0(r_d+r_e) & 0 & -V_{d0} + x_{e0} i_{d0} & -\omega_0 V_{sen\delta_0} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \omega_0 r_{kq} & 0 & 0 \\ -\omega_0 x_{d0} i_{q0} & x_{md0} i_{q0} & x_{md0} i_{q0} & \Psi_{d0} + x_{e0} i_{d0} & -x_{mq0} i_{d0} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{d\Delta} \\ i_{kd\Delta} \\ i_{f\Delta} \\ i_{q\Delta} \\ i_{kq\Delta} \\ w_{\Delta} \\ \delta_{\Delta} \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} x_d & -x_{md} & -x_{md} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -x_{md} & x_{kd} & x_{md} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -x_{md} & x_{md} & x_f & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_q & -x_{mq} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -x_{mq} & -x_{kq} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2H/\omega_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{d\Delta} \\ i_{kd\Delta} \\ i_{f\Delta} \\ i_{q\Delta} \\ i_{kq\Delta} \\ w_{\Delta} \\ \delta_{\Delta} \end{bmatrix} \quad (10)$$

En el sistema descrito por (10) cada variable de estado representa el cambio alrededor de un punto de operación y por eso el subíndice Δ ; el subíndice 0 indica las condiciones iniciales.

Por otro lado las ecuaciones (6) a (9) son representadas por medio de los bloques de SIMULINK, constituyendo el modelo no lineal del generador. Ver figura número 5.

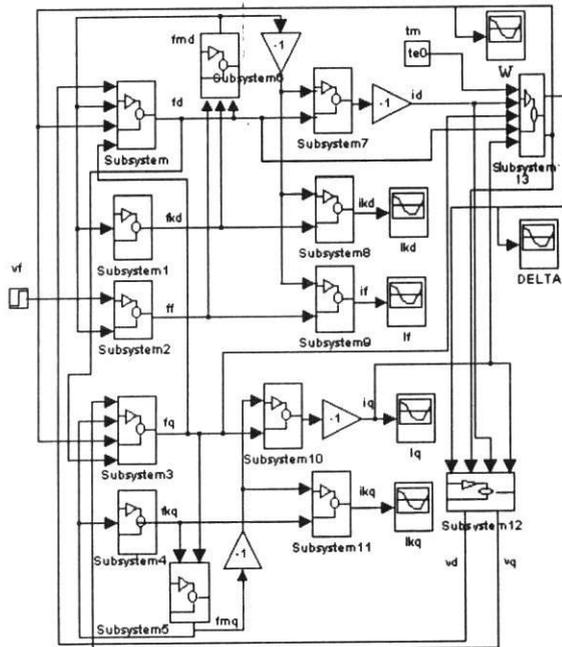


Figura 5. Diagrama en Simulink del Generador Síncrono

A la izquierda de la anterior figura se observan cinco subsistemas que realizan la integración de los flujos ligados normalizados, ecuaciones (6) y (7); continuando hacia la derecha se visualizan cinco subsistemas en los cuales se obtienen las corrientes, ecuación (3); en la parte superior derecha subsistema 13 se incorpora la ecuación (8) del sistema electromecánico y el subsistema 12 contiene la ecuación (9) de la conexión a la barra infinita. Las entradas al sistema son la tensión de campo V_f y el par mecánico suministrado por el motor primario T_m .

Los parámetros del generador se obtienen desde pruebas de laboratorio, que se rigen por el Standard 115 de IEEE, Test procedures for Synchronous machines; en nuestro caso los parámetros se obtuvieron de la referencia [7], porque no es el alcance de este trabajo medirlos:

$$x_d=1.2; x_{md}=1; x_q=0.8; x_{mq}=0.6; r_d=0.01; r_q=0.01; x_f=1.1; r_f=0.0011 \\ x_{kd}=1.1; x_{kq}=0.8; r_{kd}=0.02; r_{kq}=0.04; H=6; r_e=0.05; x_e=0.3$$

Todos los valores por unidad, excepto H que está en segundos.

Los estados iniciales para la simulación se obtienen de los datos que arroja un flujo de carga del sistema de potencia. En nuestro caso, asumimos que la máquina está conectada a una barra infinita, entregando una potencia activa P , con factor de potencia F.P. y una tensión terminal V . Con estos datos se analiza el diagrama fasorial de la figura número 6 y se obtiene los estados iniciales de las variables por integrar.

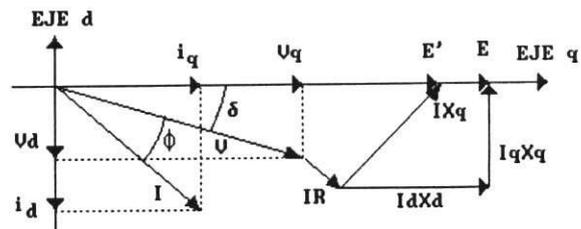


Figura 6. Diagrama fasorial del generador síncrono en estado estable

Se realizó la simulación del sistema lineal en lazo abierto con la herramienta computacional Matlab. Para esto se utiliza la ecuación (10) y el comando LSIM que resuelve la ecuación de estado por medio de métodos de Runge-Kutta de quinto orden. Los resultados se observan en las figuras 7 y 8.

Los datos de entrada fueron:

Potencia activa, $P=0.9$

Factor de potencia, F.P.=0.86

Tensión en terminales del generador, $V=1.0$

El cambio en la tensión de campo fue un incremento del 10%.

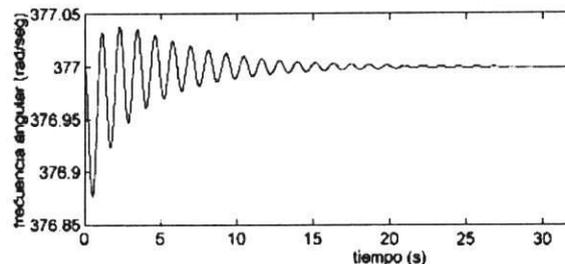


Figura 7. Frecuencia angular vs tiempo - Sistema lineal en lazo abierto.

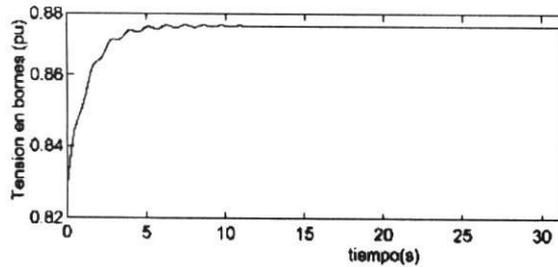


Figura 8. Tensión en bornes vs tiempo - Sistema lineal en lazo abierto.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El tiempo de establecimiento es alto para la tensión en bornes y para la velocidad angular. Esta respuesta transiente es nociva para las cargas conectadas al sistema porque existen equipos altamente sensibles a los cambios de tensión como las máquinas de inducción, cuyo par mecánico es proporcional al voltaje al cuadrado. Es decir si la tensión cae x fracción, el par mecánico cae x^2 fracción, lo que lleva a calentamiento en los devanados y reducción de la vida útil. Por otro lado muchos sistemas industriales utilizan relo-

jes sincronizados con la línea de alimentación de 60 ciclos, es decir una frecuencia angular de 377 rad/s, y si la frecuencia cambia u oscila bruscamente salen de sincronismo.

Así las respuestas obtenidas en la simulación no son admisibles en un sistema de potencia.

CONCLUSIONES.

Se logró una importante simplificación en la manipulación de ecuaciones para obtener la simulación de la máquina síncrona, con ayuda de las herramientas computacionales MATLAB Y SIMULINK.

De acuerdo con los resultados de la simulación y los requisitos de calidad de la energía es necesario diseñar controladores que garanticen desviaciones menores de las variables del generador respecto a su punto de operación. Las metodologías de diseño y resultados de las simulaciones se mostrarán en la parte II de este trabajo.

REFERENCIAS

- ADKINS, B. and HARLEY, R. G. The General Theory of Alternating Current Machines, Chapman & Hall, London, 1975.
- ALVAREZ, L, OSORIO M. «Determinación de los Parámetros para Modelar la Máquina Sincrónica», Proyecto de Grado, Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Medellín, 1991.
- ANDERSON, P. C. and FOUAD, A. A. Power System Control and Stability, The Iowa State University Press, Iowa, 1977.
- BOTERO C, HECTOR A. «Diseño y Simulación de un Control de Tensión para un Generador Sincrónico», Proyecto de Grado, Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Medellín, 1995.
- CONCORDIA, C. Synchronous Machines, Wiley, New York, 1951.
- HINDMARSH, J. Máquinas Eléctricas y sus Aplicaciones, Urmo, Bilbao, 1974.
- KRAUSE, P. C. Analysis of Electric Machinery, Mc Graw-Hil, New York, 1986.
- KIMBARK, E. W. Power System Stability, Wiley, New York, 1948.
- RAMAMOORTY, M. and ARUMUGAM, M. «Design of Optimal Regulators for Synchronous Machines». IEEE Trans on Power App. & Syst.: PAS-92 (1): 269-277, Feb 1973.
- SHAIAN, B and HASSUL, M. Control System Design Using Matlab, Prentice Hall, New Jersey, 1993.
- The MATH WORKS Inc. «The Student Edition of SIMULINK», Prentice Hall, New Jersey, 1996.

NORMAS PARA LA PUBLICACIÓN DE ARTÍCULOS

1. Presentar trabajos inéditos de preferencia en español.
2. Los trabajos no pueden exceder de 30 páginas, tamaño carta a doble espacio.
3. Acompañar el artículo con un resumen (abstract) no mayor de 15 renglones tanto en español como en inglés, que sintetice su contenido.
4. Agradecemos la colaboración para la ambientación del artículo con el aporte de fotografías e ilustraciones con que se quiere acompañarlo, y los cuerpos de texto a resaltar.
5. Anexar los datos del autor: Nombre, número de fax o correo electrónico, nombre de la institución donde labora y curriculum breve, para reconocimiento de los créditos respectivos.
6. Entregar impresión del original y el disquete correspondiente en procesador de texto, compatible con Word de Microsoft.
7. Presentar las citas, referencias bibliográficas y hemerográficas al final del artículo bajo el siguiente formato:
 - a. Las referencias bibliográficas y notas deberán presentarse numeradas en la forma siguiente: apellido y nombre del autor, título de la obra en cursiva, edición, lugar de edición, editorial, año de edición y páginas de referencia. Ejemplo:

FOUCAULT, Michel. *Un diálogo sobre el poder*. Madrid. Alianza. 1981. P. 135
 - b. Presentar las referencias hemerográficas en el siguiente orden: Apellido y nombre del autor, título del artículo entre comillas, nombre de la revista o periódico en cursivas, volumen (sí lo hay), número, lugar de edición, fecha de publicación, páginas de referencia. Ejemplo:

SALCEDO, Salomón. "Política agrícola y maíz en México: hacia el libre comercio norteamericano"
En: *Comercio Exterior*. Vol. 43 No. 4 México D.F. abril de 1993.
 - c. En caso de que las referencias bibliográficas o hemerografías tengan más de dos autores usar el formato siguiente: nombre del autor que aparezca en primer lugar, seguida de la expresión latina et - al (que significa "y otros") en cursivas y continuando con los formatos ya referidos para bibliografía y hemerografía.
8. Las notas de pie de página deberán contener solamente aclaraciones o complementos del trabajo que, sin afectar la continuidad del texto, aporten información adicional que el autor considere necesario incluir.
9. Si se desea resaltar palabras o frases en el texto, usar de referencia letra cursiva.
10. Cuando se empleen siglas o abreviaturas, anotar primero la equivalencia completa seguida de la sigla o abreviatura correspondiente entre paréntesis y en lo subsecuente escribir sólo la sigla o abreviatura respectiva.
11. La Revista recibe, revisa y envía los trabajos al dictamen del Comité Editorial, de cuyo criterio depende su publicación, con base en el concepto de evaluadores especializados.
12. Los originales se conservarán como parte del archivo de la Revista.
13. Al autor se le entregarán cuatro ejemplares de la Revista, en la cual aparece su artículo.
14. La recepción de un trabajo no implica obligación para su publicación, ni compromiso con respecto a su fecha de aparición.
15. Los juicios emitidos por los autores en los artículos son de su entera responsabilidad, en consecuencia no comprometen a la Universidad en general, ni a la Facultad de Ingeniería, ni al Comité Editorial.
16. La fecha límite de envío de trabajo para la edición No. 18 de REVISTA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA será el 15 de febrero de 1999.
17. Favor enviar la colaboración a:

REVISTA FACULTAD DE INGENIERIA
Universidad de Antioquia
Ciudad Universitaria, Bloque 21, Oficina 431. Medellín
Tel: 210 55 30 Apartado Aéreo: 1226
Correo Electrónico: Revista@nutibara.udea.edu.co

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA FACULTAD DE INGENIERÍA

DIPLOMAS EN ADMINISTRACIÓN PARA INGENIEROS

1. DIPLOMA EN FUNDAMENTOS DE LA GERENCIA PARA INGENIEROS

OBJETIVO: Ofrecer a los ingenieros las herramientas gerenciales básicas que les permitan su formación y práctica administrativa y habilitarse para estudios posteriores en esta área.

- 1 Los modelos administrativos (35 Horas)
- 2 Finanzas (45 horas)
- 3 Gestión Tecnológica I (35 horas)
- 4 Aseguramiento de la calidad (Normas ISO 9000, ISO 14000) (45 horas)

Duración: 160 horas

2. DIPLOMA EN FUNDAMENTOS DEL ORDENAMIENTO INTERNACIONAL PARA INGENIEROS

OBJETIVO: Ubicar a los ingenieros en las realidades de la globalización y de la internacionalización para que puedan incursionar con sus profesiones en este ambiente y además fundamentar estudios avanzados de la Gerencia de la Informática.

- 1 Gestión Tecnológica III (Negociación) (35 horas)
- 2 Gerencia de la comercialización (35 horas)
- 3 Economía Internacional (45 horas)
- 4 Negocios Internacionales (45 horas)

Duración: 160 horas

3. DIPLOMA EN GESTIÓN TECNOLÓGICA

OBJETIVO: Brindar a los profesionales los conocimientos e instrumentos básicos para el estudio, evaluación, aplicación y negociación de la tecnología.

1. Gestión Tecnológica I. (45 horas)
2. Gestión tecnológica II (45 horas)
3. Gestión tecnológica III (35 horas)
4. Aseguramiento de la Calidad (Normas ISO 9000, ISO 14000) (45 horas)

Duración: 170 horas

4. DIPLOMA EN GERENCIA DE LA PRODUCTIVIDAD Y LA CALIDAD PARA INGENIEROS

OBJETIVO: Introducir a los ingenieros en los conceptos e instrumentos de las técnicas de apoyo a la calidad y la productividad.

- 1 Los Modelos Administrativos (40 horas)
- 2 La Gestión Fundamentada en los Procesos (30 horas)
- 3 Aseguramiento de la calidad (Normas ISO 9000, ISO 14000) (45 horas)
- 4 Proceso de Certificación (45 horas)

Duración: 160 horas

5. DIPLOMA EN SISTEMAS BASADOS EN CONOCIMIENTOS

OBJETIVO: Ofrecer los conceptos y técnicas básicas, que utiliza la inteligencia artificial, para respaldar la búsqueda de soluciones computacionales a problemas complejos con base en conocimientos, que se encuentren o no formalizados.

- 1 Modelos de Representación de Conocimientos (40 horas)
- 2 Métodos de Solución a Problemas (40 horas)
- 3 Sistemas Expertos, Ingeniería de Conocimiento, y Aprendizaje (40 horas)
- 4 Sistemas Basados en Casos (40 horas)

Duración: 160 horas

6. DIPLOMA DE NEGOCIOS INTERNACIONALES

1. Gestión Tecnológica III (35 horas)
2. Negocios Internacionales (45 horas)
3. Técnicas de Negociación I (Tipos y estrategias de Negociación) (45 horas)
4. Técnicas de Negociación II (Planificación y conducción de la negociación) (45 horas)

Duración: 170 horas

NOTA: Los diplomas 1,2 y 3 se pueden considerar como la prueba de admisión para la Especialización en GERENCIA DE LA INFORMÁTICA que ofreceremos posteriormente.

PARA RESERVAR SU CUPO, LE SOLICITAMOS HACER PREINSCRIPCIÓN TELEFÓNICA EN EL CENTRO DE EXTENSIÓN ACADÉMICA. TELÉFONOS: 2105517, 2105548 TELEFAX: 2105518

ESPECIALIZACIONES EN:
GESTIÓN DE SISTEMAS Y BASES DE DATOS
TELEMÁTICA
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Inscripciones: Noviembre a diciembre 4 de 1998
Inducción: Diciembre 10 7:00 a.m.
Curso de nivelación: Enero 27 a Abril 30 de 1.999 (Validos como examen de admisión)
Horario: Lunes a viernes 6:00 a 8:00 a.m. o 6:00 a 8:00 p.m.
Sábados 8:00 a 12:00 m- (Según programación).
Duración: 2 Semestres
Iniciación de clases: Mayo de 1999

MAYOR INFORMACIÓN
Facultad de Ingeniería
Departamento de Electrónica y Sistemas
Bloque 21 Oficina 113 Tel: 210 55 80 - 210 55 81
Fax: (94) 263 82 82 Apartado 1224 Medellín

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIPLOMAS EN EL ÁREA DE INFORMÁTICA

DIPLOMA EN GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

- Algoritmos y Estructuras de Datos
- Administración de la Información
- Gestión Tecnológica y evaluación de proyectos
- Administración de las Bases de Datos

(ORACLE)

DURACIÓN: 160 horas

DIPLOMA EN INGENIERÍA DE SOFTWARE

- Metodología para la formulación de proyectos
- Administración de la Información
- Ingeniería de Software
- Comunicación de Datos
- Programación Orientada a Objetos

DURACIÓN: 180 horas

DIPLOMA EN PROGRAMACIÓN ORIENTADA OBJETOS

- Programación orientada a objetos
- Diseño de clases contenedoras (Algoritmos y Estructuras de Datos.
- Manejo de Estructuras de Datos bajo Windows
- Programación avanzada
- Visual Basic -Visual C++

DURACIÓN: 160 HORAS

DIPLOMA EN BASES DE DATOS AVANZADAS

- Bases de Datos Relacionales
- Nuevas Tendencias en Bases de Datos
- Bases de Datos en ambientes distribuidos
- Data Warehouse

DURACIÓN: 165 horas

DIPLOMA EN GESTIÓN DE SISTEMAS ORIENTADOS A OBJETOS

- Programación orientada a objetos
- Algoritmos y Estructuras de Datos
- Ingeniería de Software
- Nuevas Tendencias en las Bases de Datos.

DIPLOMA EN OPTIMIZACIÓN DEL MANEJO DE LA INFORMACIÓN

- Algoritmos y Estructuras de Datos
- Bases de Datos Relacional
- Sistemas Manejadores de Bases de Datos
- Administración de las Bases de Datos.

DURACIÓN: 165 horas

DIPLOMA EN NUEVAS TENDENCIAS EN BASES DE DATOS

- Ingeniería de Software
- Nuevas tendencias en Bases de Datos
- Bases de Distribuidas
- Sistemas de Información Geográfica

DURACIÓN: 165 horas

DIPLOMA EN GESTIÓN AVANZADA DE LA INFORMACIÓN

- Sistemas Manejadores de Bases de Datos
- Nuevas Tendencias en Bases de Datos
- Bases de Datos en un Ambiente Distribuido
- Data Warehouse.

DURACIÓN: 165 horas

INFORMES
CENTRO DE EXTENSIÓN ACADÉMICA
Bloque 21 Oficina 136
Teléfonos 2105515 - 2105517 Telefax 2105518
e-mail: ceset@nutibara.udea.edu.co

CENTRO DE EXTENSIÓN ACADÉMICA

Universidad de Antioquia Facultad de Ingeniería

El Centro de Extensión Académica de la Facultad de Ingeniería es la instancia administrativa que proyecta el hacer académico del claustro hacia la comunidad.

Se creó inicialmente como el Centro de Servicios Técnicos CESET y mediante este nombre abreviado se sigue identificando actualmente.

El Centro de Extensión Académica CESET está inscrito dentro del Sistema Universitario de Extensión (SUE) y por esto le son propios los siguientes objetivos:

Propiciar el encuentro y diálogo de estamentos, organismos, asociaciones, instituciones, comunidades y grupos locales, nacionales e internacionales, con el fin de establecer el intercambio de conocimientos, de saberes y de prácticas.

- Fomentar y divulgar los conocimientos en ciencia, técnica y tecnología, las prácticas e innovaciones investigativas y pedagógicas.
- Coordinar y articular acciones con el fin de ofrecer alternativas de solución a las necesidades que se puedan presentar en los ámbitos local, nacional e internacional.
- Promover la difusión de la identidad cultural mediante la organización de actividades y eventos pertinentes.
- Establecer relaciones de intercambio y de cooperación con el mundo del trabajo, mediante programas de capacitación acordes con las necesidades y con los nuevos avances en el conocimiento.
- Propiciar un intercambio productivo con las instituciones gubernamentales para establecer una necesaria cooperación en el diseño y en la ejecución de políticas.

Para alcanzar estos objetivos el Centro de Extensión Académica desarrolla sus actividades mediante las siguientes estrategias o formas de extensión:

LAS PRÁCTICAS ACADÉMICAS

Este programa se está replanteando de la manera que se potencien los aspectos académicos, sociales y de promoción empresarial, a través de diferentes tipos de prácticas como: -Semestre de Industria, -Asistencia técnica comunitaria, -Ejercicios de diagnóstico técnico, -Elaboración de proyectos y alternativas empresariales

LA EDUCACIÓN CONTINUADA – EDUCACIÓN NO FORMAL

Estas actividades se desarrollarán por medio de cursos, seminarios, talleres, pasantías, congresos o simposios, y en las modalidades presencial, semipresencial, y a distancia.

PRESTACIÓN DE SERVICIOS

Los servicios son actividades que realiza la Universidad para responder a intereses y a necesidades del medio, entre ellas se tienen: Ensayos de laboratorio, exámenes especializados, servicios administrativos. Etcétera.

CONSULTORÍA PROFESIONAL

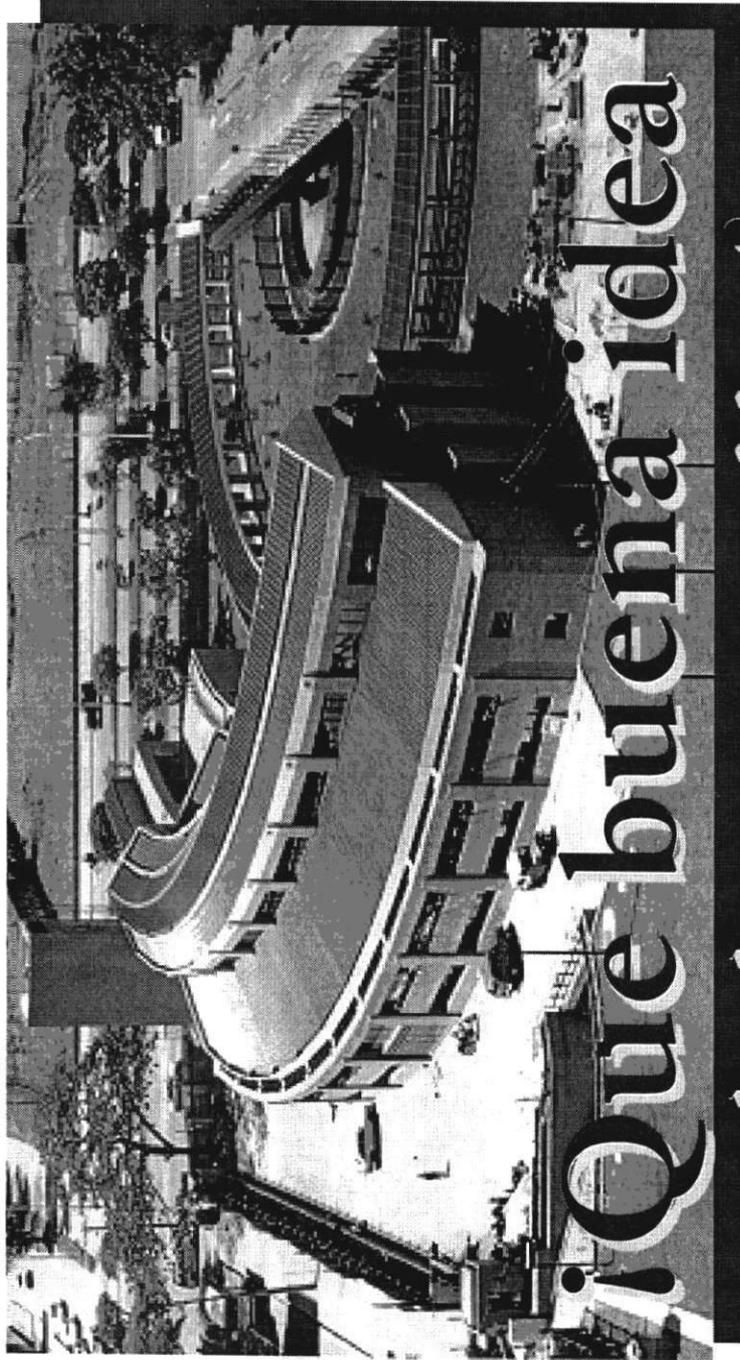
Mediante la consultoría profesional la Facultad de Ingeniería se vincula y coopera con el medio, para la transferencia del conocimiento, de manera que le permita ser dinámica en la solución de problemas y en la satisfacción de necesidades que conduzcan al mejoramiento de la calidad de vida. Las distintas modalidades de consultoría son las siguientes: Asesoría, Consultoría, Asistencia Técnica, Interventoría y Veeduría.

GESTIÓN TECNOLÓGICA

La gestión tecnológica comprende todas aquellas acciones relacionadas con la innovación, generación, adecuación, transferencia o actualización de tecnología; y con la difusión, comercialización y protección de la propiedad intelectual de procesos tecnológicos resultantes de las actividades de investigación, docencia o asistencia realizadas por los grupos y centros de la Facultad.

INFORMES
CENTRO DE EXTENSIÓN ACADÉMICA
Bloque 21 Oficina 136
Teléfonos 2105515 - 2105517 Telefax 2105518
e-mail: ceset@jaibana.udea.edu.co

IDEA
INSTITUTO PARA EL DESARROLLO DE ANTIOQUIA



**¡Que buena idea
..... el desarrollo!**



ANTIOQUIA NOS UNE

CIA

CENTRO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES Y DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

SERVICIOS EN INVESTIGACIÓN ASESORÍA Y CONSULTORÍA

- Control de calidad de aguas
- Estudios de suelos, Sedimentos, Lodos y desechos sólidos
- Estudios hidrológicos
- Control de calidad del aire en ambientes internos y externos
- Análisis en muestras biológicas de alimentos
- Estudios de declaración y evaluación del impacto ambiental
- Planificación y ordenamiento del territorio
- Planes de desarrollo
- Estudios de optimización de procesos, ahorro de energía y reutilización de desechos



CIUDAD UNIVERSITARIA Calle 67 No. 53 - 108
Facultad de Ingeniería - Bloque 21 Oficina 103
Teléfonos: 210 55 10 - 210 55 09

REVISTA FACULTAD DE INGENIERIA
CUPON DE SUSCRIPCION

Suscripción y factura a nombre de: _____

Dirección de envío: _____

Tel. _____ Fax: _____

Residencia: _____ Oficina: _____

Ciudad: _____ País: _____

Suscripción a partir del número _____

Fecha: _____

_____ Firma: _____

Cheque N° _____ Banco: _____ Ciudad: _____

Efectivo: _____

Valor de la suscripción (4 números):

- | | |
|------------------|-----------|
| * Colombia | \$ 14.000 |
| * Exterior | US \$ 50 |

IMPORTANTE:

Todo pago se hace a nombre de: Universidad de Antioquia - CIA -, Centro de Costo 8703.

Para su comodidad, usted puede cancelar en cheque y enviarlo al A.A. 1226 o consignar el valor de la suscripción en la Cuenta Nacional N° 180-01077-9 del Banco Popular, en cualquier oficina del país, a nombre de la UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA -CIA-, Centro de Costo 8703.

Si usted paga por este sistema, debe sacar una fotocopia del recibo de consignación y enviarla junto con la suscripción.

NOTA: Los precios en dólares incluyen el valor del correo y la transferencia.

. La fecha límite de entrega de artículos para el próximo número, será el 15 de febrero de 1999

*Esta Revista se terminó de imprimir
en el mes de noviembre de 1998,
en los talleres gráficos de la
**Empresa Cooperativa de Impresores
de Artes Gráficas de Antioquia***

COOIMPRESOS

Calle 48 No. 41 - 18

Tel: 239 39 55 Fax: 239 54 75

E-mail: cooimpresos@yahoo.com

Medellín - Colombia