

## DISEÑO DE UN ESTABILIZADOR DE SISTEMAS DE POTENCIA DIFUSO BASADO EN LA TÉCNICA LMI

### Design of a Power System Stability Fuzzy based in the technique LMI

#### RESUMEN

En este artículo se presenta el diseño de control para un PSS instalado en un sistema de potencia de una máquina síncrona conectada a un barraje infinito (SMIB, single machine infinite bus power system) para el estudio de pequeña señal, usando la técnica de Desigualdades Lineales Matriciales (LMI). Esta metodología permite realizar un diseño adecuado del controlador con restricciones de operación no lineales, calculando simultáneamente un control por realimentación de variables de estado que garantiza que el sistema controlado presenta una serie de características de estabilidad. Se muestran los resultados de las simulaciones comprobando la efectividad del control propuesto para el PSS, ampliando los límites de estabilidad alrededor de un punto de operación. Esta implementación se realizó mediante la utilización del paquete MATLAB.

**PALABRAS CLAVES:** Estabilidad, LMIs, PSS, SMIB.

#### ABSTRACT

*In this article presents the design of control for a PSS (Power System Stability) installed in a single machine infinite bus power system for the study of small signal, using Linear Matrix Inequalities (LMIs). This methodology allows making a suitable design of the controller with restrictions of operation nonlinear, simultaneously calculating a control by feedback of state variables that guarantee that the controlled system presents/displays a series of stability characteristics. Shows the results of the simulations verify the effectiveness of control proposed for PSS, extending the limits of stability around of an operation point. This implementation was performed by the use of the package MATLAB.*

**KEYWORDS:** LMIs, PSS, SMIB, Stability.

#### 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas cruciales para lograr la estabilidad de los sistemas de potencia es el control de las señales de poca variación alrededor de un punto de operación. Las oscilaciones de pequeña magnitud y baja frecuencia, si persisten por períodos prolongados, pueden ocasionar pérdidas en la capacidad de transferencia de potencia. Ya que la preocupación es la desconexión de líneas, las fluctuaciones de potencia que pueden ser toleradas dependen de muchas condiciones, entre las que está el nivel de carga y los impactos a los cuales el sistema está sujeto [1, 2, 3, 4].

Los estabilizadores de sistemas de potencia (PSS) se han considerado desde hace sesenta años como una herramienta útil para amortiguar las oscilaciones electromecánicas en sistemas de potencia. El modelo linealizado puede ser empleado para el estudio y un PSS convencional se puede considerar como un controlador

de una entrada y una salida, montado en la máquina generadora [1].

Debido a que los sistemas de potencia contienen elementos con características no lineales, los estabilizadores convencionales no son capaces de proveer un óptimo funcionamiento para cualquier condición de operación. Al experimentar cambios en las condiciones de operación se da una variación grande correspondiente en el comportamiento dinámico en el modelo de pequeñas señales de un sistema de potencia. Esto puede interpretarse como incertidumbre paramétrica en el modelo linealizado de señales pequeñas. Por tal motivo se busca diseños de controles robustos para el PSS de modo que las oscilaciones sean amortiguadas en una gama muy amplia de puntos de operación. Por lo tanto en años recientes la aplicación de técnicas inteligentes ha tomado un gran valor en el control de este tipo de dispositivos que mejoran y corrigen estabilidad de los sistemas eléctricos [1, 5].

#### ALFONSO ALZATE G.

Ingeniero Electricista, M. Sc.  
Profesor Titular  
Ingeniería Eléctrica  
Universidad Tecnológica de Pereira  
alalzate@utp.edu.co

#### CARLOS ANDRÉS TORRES P.

Ingeniero Electricista, M. Sc.  
Estudiante de Doctorado en  
Ingeniería Electrónica  
Universitat Rovira I Virgili  
carlosandres.torres@urv.cat

#### CARLOS RESTREPO PATIÑO

Ingeniero Electricista, M. Sc.  
Estudiante de Doctorado en  
Ingeniería Electrónica  
Universitat Rovira I Virgili  
carlos.restrepo@urv.cat

**Grupo de Investigación en  
Electrónica de Potencia  
Universidad Tecnológica de  
Pereira**

La lógica difusa es una herramienta que permite realizar un proceso de modelado y control de un sistema no lineal capaz de lograr estabilidad global. La aproximación del sistema no lineal se realiza a través del modelo difuso takagi-sugeno el cual consiste en la descripción aproximada del modelo no lineal como una combinación de un cierto número de modelos lineales invariantes con el tiempo locales representados mediante un conjunto de reglas, que describen aproximadamente el comportamiento dinámico del sistema en diferentes puntos de operación del espacio de estado. Este conjunto de reglas difusas es la base fundamental del diseño del controlador, las cuales pueden ser reducidas a un problema de optimización que considera las ecuaciones dinámicas del sistema, las restricciones de operación y las condiciones de controlabilidad basadas en desigualdades lineales matriciales LMIs. El problema se resuelve como no lineal para la optimización con el modelo del sistema y las restricciones de operación, y como uno lineal, linealizando en cada iteración alrededor del punto de operación óptimo calculado, resolviendo las restricciones tipo LMI. La idea es que para cada modelo lineal local es diseñado un control por realimentación. El controlador total, el cual es en general no lineal, es el resultado de la mezcla de ganancias de cada controlador lineal local, las cuales son calculadas bajo criterios de estabilidad global [5, 6].

Este artículo presenta el diseño de un controlador difuso de un PSS implementado en un sistema de potencia de barraje infinito (SMIB, single-machine infinite-bus power system) basado en la técnica LMI.

## 2. MODELO DEL SISTEMA

El sistema considerado en este artículo es un sistema conformado por una máquina síncrona conectada a un barraje infinito a través de una línea de transmisión tal y como se muestra en la Figura 1.

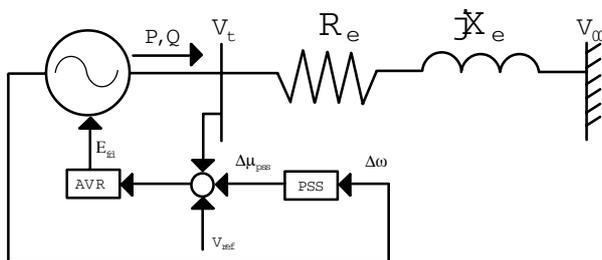


Figura 1. Sistema de Potencia de Barraje Infinito.

Las expresiones que describen el comportamiento del sistema son un conjunto de ecuaciones diferenciales no lineales, con coeficientes dependientes del tiempo ya que las inductancias propias y mutuas tanto del rotor como del estator de la máquina síncrona dependen de la posición angular del rotor [2, 3]. La complejidad del modelo se incrementa en la medida en que se consideren

los efectos subtransitorios y transitorios, con sus reactancias correspondientes. En este artículo se emplea el modelo número 3 descrito en [3], el cual es un modelo que considera constante la fem transitoria del eje directo  $E_d$ , por lo que la ecuación correspondiente desaparece. De la Figura 1 podemos obtener la ecuación de voltaje en barras del generador, tal y como se observa en (1):

$$V_t = (R_e + jX_e) \cdot I_t + V_\infty \quad (1)$$

De igual manera la corriente que circula por el sistema esta dada por (2):

$$(I_{td} + jI_{tq})e^{j(\delta - \frac{\pi}{2})} = \frac{V_t - V_\infty}{R_e + jX_e} \quad (2)$$

Las ecuaciones que a continuación se describen de (3) a (7) se detallan con claridad en [2, 3].

$$I_{tq} = \frac{V_\infty \cdot \text{sen}(\delta)}{X_q + X_e} \quad (3)$$

$$I_{td} = \frac{E'_q - V_\infty \cdot \text{cos}(\delta)}{X'_d + X_e} \quad (4)$$

$$V_{td} + jV_{tq} = V_t e^{j\theta} e^{-j(\delta - \frac{\pi}{2})} \quad (5)$$

Donde:

$$V_{td} = X_q \cdot I_{tq} \quad (6)$$

$$V_{tq} = E'_q - X'_d I_{td} \quad (7)$$

El conjunto de ecuaciones que describen el comportamiento no lineal de la máquina síncrona (Modelo 3) son:

$$\dot{\delta} = \omega - \omega_o \quad (8)$$

$$\dot{\omega} = \frac{\omega_o}{2H} \cdot [P_m - P_e - D \cdot (\omega - \omega_o)] \quad (9)$$

$$\dot{E}_q = \frac{1}{T_{do}} [E_{fd} - E_q] \quad (10)$$

Con:

$$P_e = E'_q I_{tq} + (X_q - X'_d) I_{tq} I_{td} \quad (11)$$

$$E_q = E'_q + (X_d - X'_d)I_{td} \quad (12)$$

Al incluir el regulador automático de tensión, da paso a otra variable de estado del sistema, el cual su propósito principal es el de controlar la corriente entregada al devanado de campo del generador sincrónico. Además, realiza funciones de control y de protección para que el sistema de potencia funcione de forma satisfactoria controlando la tensión aplicada al campo y por tanto su corriente. La corriente de campo es controlada para regular el voltaje terminal de la máquina. Puesto que la constante de tiempo del circuito de campo es alta (del orden de algunos segundos), para el control rápido de esta corriente es necesario forzar el campo. En este artículo se empleó un AVR IEEE: tipo 1 rápido.

$$\dot{E}_{fd} = -\frac{1}{T_A} \cdot [E_{fd} - K_A \cdot (V_{ref} - V_t)] \quad (13)$$

## 2.1 Modelo Lineal de Heffron-Phillips

Definiendo el punto de operación como  $x_o, y_o, \mu_o$ , linealizamos las ecuaciones diferenciales y algebraicas alrededor de este punto de operación, eliminando variables algebraicas como  $V_{td}, V_{tq}, I_{td}, I_{tq}$ , tal y como se muestra a continuación [2, 3].

$$\Delta I_{tq} = \left( \frac{\partial I_{tq}}{\partial \delta} \right)_o \Delta \delta \quad (14)$$

$$\Delta I_{td} = \left( \frac{\partial I_{td}}{\partial \delta} \right)_o \Delta \delta + \left( \frac{\partial I_{td}}{\partial E'_q} \right)_o \Delta E'_q \quad (15)$$

Reemplazando (6) y (7) en (5), y linealizando el valor absoluto de esta expresión alrededor del punto de operación, obtenemos (16).

$$\Delta V_t = \left( \frac{\partial V_{td}}{\partial V_t} \right)_o \Delta V_{td} + \left( \frac{\partial V_{tq}}{\partial V_t} \right)_o \Delta V_{tq} \quad (16)$$

$$\Delta V_t = k_5 \Delta \delta + k_6 \Delta E'_q \quad (17)$$

Las ecuaciones (8) y (9) muestran la relación entre las variables mecánicas de la máquina sincrónica (velocidad angular  $\omega$  y el ángulo interno  $\delta$ ), con las variables eléctricas. Se introduce la frecuencia normalizada

$$v = \frac{\omega}{\omega_o}$$

$$\Delta \dot{\delta} = \omega_o \Delta v \quad (18)$$

La linealización de la ecuación (9) provee la variación del torque eléctrico de la máquina, debido a que internamente se encuentra la ecuación característica de este.

$$\Delta v = -\frac{1}{2H} \cdot [-\Delta P_e - D\omega_o \Delta v] \quad (19)$$

$$\Delta P_e = k_1 \Delta \delta + k_2 \Delta E'_q \quad (20)$$

$$k_1 = (X_q - X'_d)I_{tqo} \left( \frac{\partial I_{td}}{\partial \delta} \right)_o + [E'_{qo} + (X_q - X'_d)I_{tdo}] \left( \frac{\partial I_{tq}}{\partial \delta} \right)_o \quad (21)$$

$$k_2 = \left( 1 + \left( \frac{\partial I_{td}}{\partial E'_q} \right)_o (X_q - X'_d) \right) I_{tqo} \quad (22)$$

Sustituyendo (4) en (12) y reemplazándolo en (10) y linealizando alrededor del punto de operación, se obtiene la ecuación (23).

$$\Delta \dot{E}_q = \frac{1}{T_{do}} [\Delta E_{fd} - \Delta E_q] \quad (23)$$

$$\Delta E_q = k_4 \Delta \delta + k_3 \Delta E'_q \quad (24)$$

$$k_3 = 1 + (X_d - X'_d) \left( \frac{\partial I_{td}}{\partial E'_q} \right)_o \quad (25)$$

$$k_4 = (X_d - X'_d) \left( \frac{\partial I_{td}}{\partial \delta} \right)_o \quad (26)$$

Sustituyendo (17) en (13) se obtiene la ecuación (27), la cual representa la linealización del voltaje de campo de la máquina sincrónica con un AVR de primer orden, donde  $V_{ref}$  es el voltaje de referencia [2, 3].

$$\Delta \dot{E}_{fd} = -\frac{1}{T_A} \cdot [\Delta E_{fd} + K_A (k_5 \Delta \delta + k_6 \Delta E'_q - \Delta V_{ref})] \quad (27)$$

$$k_5 = X_q \frac{V_{tdo}}{V_{to}} \cdot \left( \frac{\partial I_{tq}}{\partial \delta} \right)_o - X'_d \frac{V_{tqo}}{V_{to}} \cdot \left( \frac{\partial I_{td}}{\partial \delta} \right)_o \quad (28)$$

$$k_6 = \frac{V_{tqo}}{V_{to}} - X'_d \frac{V_{tqo}}{V_{to}} \cdot \left( \frac{\partial I_{td}}{\partial E'_q} \right)_o \quad (29)$$

A continuación se establece una representación del modelo de la máquina sincrónica por medio de variables de

estado, utilizando el conjunto de ecuaciones del modelo linealizado, designando a  $\Delta \delta, \Delta v, \Delta E'_q, \Delta E'_{fd}$  como las variables de estado y a  $V_{ref}$  como la entrada.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \omega_o & 0 & 0 \\ \frac{-k_1}{2H} & \frac{-D\omega_o}{2H} & \frac{-k_1}{2H} & 0 \\ \frac{-k_4}{T'_{do}} & 0 & \frac{1}{k_3 T'_{do}} & \frac{-1}{T'_{do}} \\ \frac{-K_A k_5}{T_A} & 0 & \frac{-K_A k_6}{T_A} & \frac{1}{T_A} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \frac{K_A}{T_A} \end{bmatrix}^T \quad (30)$$

$$C = [k_5 \quad 0 \quad k_6 \quad 0] \quad y = \Delta V_t$$

$$x = [\Delta \delta \quad \Delta v \quad \Delta E'_q \quad \Delta E'_{fd}]^T$$

Los parámetros para el sistema de potencia son los mismos asumidos en [7]. Las condiciones de funcionamiento para el sistema SMIB son definidos para ser puesto en prueba dentro del rango que se indica a continuación:

$$\begin{aligned} 0.4 \leq P \leq 1.2 \\ 0.85 \leq V_t \leq 1.15 \end{aligned} \quad (31)$$

El rango de operación de (31), abarca todas las condiciones de funcionamiento prácticas. De acuerdo con las condiciones de funcionamiento descritas, seleccionamos nueve puntos de operación extremos para la estabilización simultánea tal y como muestra en la Tabla 1.

	<b>P</b>	<b>Vt</b>
<b>ξ1</b>	0.4	0.85
<b>ξ2</b>	0.4	1
<b>ξ3</b>	0.4	1.15
<b>ξ4</b>	0.7	0.85
<b>ξ5</b>	0.7	1
<b>ξ6</b>	0.7	1.15
<b>ξ7</b>	1.2	0.85
<b>ξ8</b>	1.2	1
<b>ξ9</b>	1.2	1.15

Tabla 1. Puntos de operación del Sistema de Potencia para la estabilización simultánea.

**2. MODELO TAKAGI-SUGENO**

El modelado de sistemas no lineales mediante lógica difusa usando inferencia Takagi-Sugeno ha sido ampliamente difundido gracias a su versatilidad y sencillez de formulación [9]. En base a este modelo difuso takagi-sugeno se procede a implementar la

aproximación no local mediante el conjunto de reglas que se describen en la Tabla 2.

<b>P/Vt</b>	<b>Small</b>	<b>Medium</b>	<b>Big</b>
<b>Small</b>	<b>ξ1</b>	<b>ξ2</b>	<b>ξ3</b>
<b>Medium</b>	<b>ξ4</b>	<b>ξ5</b>	<b>ξ6</b>
<b>Big</b>	<b>ξ7</b>	<b>ξ8</b>	<b>ξ9</b>

Tabla 2 Reglas con 9 puntos de operación.

Los términos lingüísticos small, medium y big corresponden próximo a los puntos mínimos, medio y máximo de cada variable respectivamente. En las figuras 2 y 3 se muestran las funciones de pertenencia para las reglas.

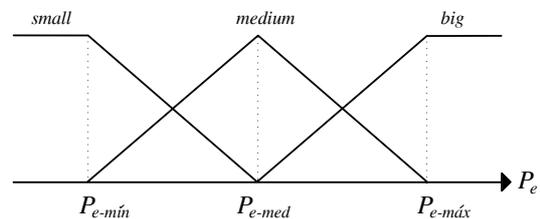


Figura 2. Función de pertenencia de la potencia activa

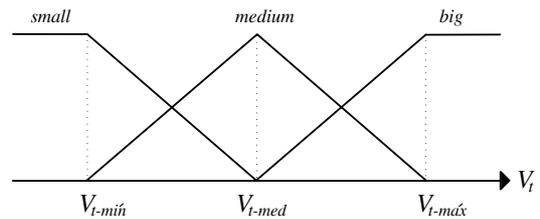


Figura 3. Función de pertenencia del voltaje en terminales de la máquina.

Esta aproximación se establece a partir de la dinámica local para diferentes regiones del espacio de estado mediante modelos lineales [10, 11]. El modelo global del sistema se obtiene al mezclar en forma difusa todos los modelos lineales definidos [9, 11, 12]. Igualmente el controlador global de la aproximación del modelo del sistema, que es no lineal en general, es de nuevo una mezcla difusa de cada uno de los controladores lineales individuales, tal y como se puede observar en la ecuación (32), en donde se puede apreciar la salida del controlador difuso. Este concepto se conoce con el nombre de compensación distribuida paralela (PDC) [9, 10, 11, 12]. En la figura 4 se observa el diagrama de la estructura para la aproximación y el control difuso del sistema.

$$\mu(t) = \frac{\sum_{i=1}^r w_i(t) F_i \cdot x(t)}{\sum_{i=1}^r w_i(t)} = - \sum_{i=1}^r h_i(t) F_i \cdot x(t) \quad (32)$$

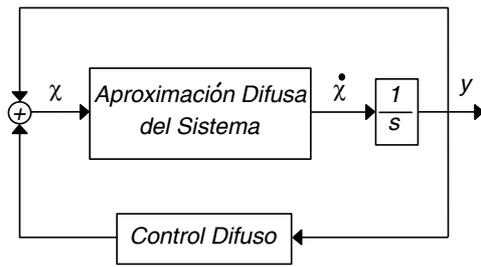


Figura 4. Diagrama de la aproximación difusa del sistema con control difuso.

**3. ESTABILIDAD Y DISEÑO CON LMI**

El uso de las Desigualdades Lineales Matriciales LMIs en los sistemas dinámicos comienza en el año de 1890, cuando Liapunov publicó su trabajo en el cual formuló el estudio de estabilidad de sistemas dinámicos a través de una desigualdad matricial, que fue denominada “desigualdad de Lypunov”. Actualmente, los LMIs están siendo objeto de muchas investigaciones por numerosos investigadores en el mundo, habiendo sido aplicadas en las más diversas áreas, debido a que un gran número de problemas han podido ser resueltos numéricamente al ser reformados como problemas con restricciones LMIs en el sentido que los algoritmos de optimización convexa pueden ser usados para el análisis de estabilidad y el diseño de control en sistemas con modelos difuso takagi-sugeno [9, 10, 11, 12, 13, 14].

**3.1 Estabilidad Asintótica**

Para el sistema dado por  $\dot{x} = Ax$ , la condición de estabilidad asintótica [9] puede expresarse como una Desigualdad Lineal Matricial de la forma:

$$\begin{pmatrix} P & 0 \\ 0 & -A^T P - PA \end{pmatrix} > 0 \tag{33}$$

cuya solución está asociada a que la LMI dada por la expresión (33) sea factible.

**3.2 Diseño de Controladores por realimentación de variables de estado**

El objetivo del control, por realimentación de estados, es ubicar los polos del sistema, en una zona deseada [9, 10,11, 12,13]. Dado un sistema de espacio de estado:

$$\dot{x} = Ax + B\mu \tag{34}$$

$$y = Cx$$

Con  $D=0$ , y  $\mu$  =Señal de entrada, el caso más simple de control por realimentación de estados es utilizando una matriz (ecuación (35)) de  $1 \times n$  llamada ganancia de realimentación.

$$\mu = -Fx \tag{35}$$

Donde los valores propios de la matriz  $(A - BF)$  son los polos deseados en lazo cerrado. Si un sistema es controlable, podemos encontrar una ganancia de realimentación de estados cualquiera.

**3.2.1 Diseño de Controladores usando LMI's**

El estudio de estabilidad según lypunov para un sistema realimentado es realizado a través del estudio de las siguientes desigualdades matriciales [9, 10, 11, 12]:

$$P(A - BF) + (A - BF)^T P < 0 \tag{36}$$

$$P > 0$$

Siendo  $P = P^T$ . Por lo tanto, se debe resolver (36) obteniéndose el valor de F. Note que (36) no es un LMI pues tiene el término PBF. Así, es necesaria la siguiente manipulación de (36):

$$AX - BG + XA^T - G^T B^T < 0 \tag{37}$$

$$X > 0$$

Donde  $X = P^{-1}$  y  $G = F * P^{-1} = F * X$ .

Siendo  $X = X^T$ . Note que  $P^{-1}$  existe pues  $P > 0$ , o sea todos los autovalores de P son diferentes de cero o mejor, mayores que cero. El controlador es dado entonces por  $K = G * X^{-1}$ . Note que con (37) el problema (36) quedó descrito en la forma de LMIs.

Para esta condición los LMIs propuestos son los siguientes:

$$\begin{aligned} A_1 X - B_1 G_1 + X A_1^T - G_1^T B_1^T < 0 \\ A_2 X - B_2 G_2 + X A_2^T - G_2^T B_2^T < 0 \\ A_3 X - B_3 G_3 + X A_3^T - G_3^T B_3^T < 0 \\ A_4 X - B_4 G_4 + X A_4^T - G_4^T B_4^T < 0 \\ A_5 X - B_5 G_5 + X A_5^T - G_5^T B_5^T < 0 \end{aligned} \tag{38}$$

$$A_6 X - B_6 G_6 + X A_6^T - G_6^T B_6^T < 0$$

$$A_7 X - B_7 G_7 + X A_7^T - G_7^T B_7^T < 0$$

$$A_8 X - B_8 G_8 + X A_8^T - G_8^T B_8^T < 0$$

$$A_9 X - B_9 G_9 + X A_9^T - G_9^T B_9^T < 0$$

$$X > 0$$

Estas aplicaciones fueron resueltas utilizando el Toolbox de LMI de Matlab.

**4. SIMULACIONES Y RESULTADOS**

A continuación se ilustran los resultados de la respuesta de la aproximación de la máquina con control difuso empleando las ganancias encontradas por los modelos lineales y con LMI. Se prueba el control sin señal de seguimiento y con perturbación.

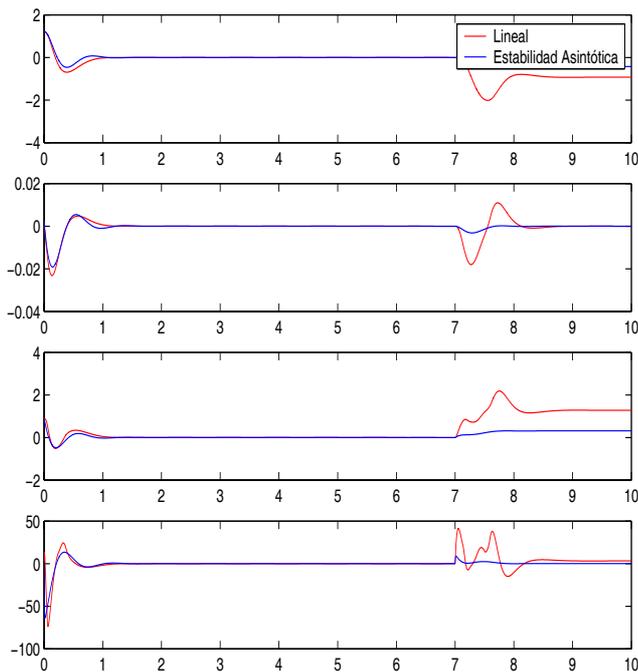


Figura 5. Respuesta de las variables de estado con control difuso empleando ganancias del modelo lineal y LMI asintótica.

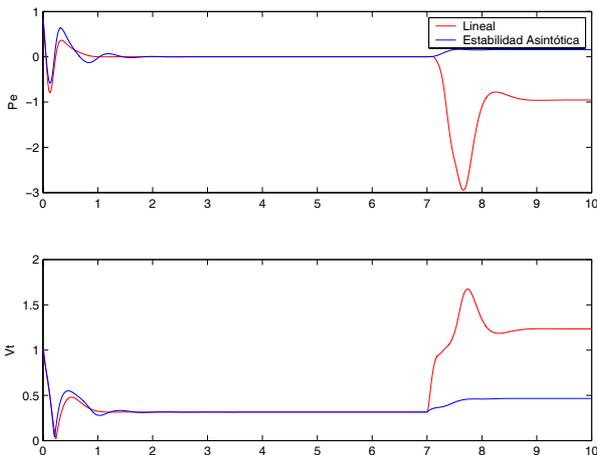


Figura 6. Respuesta del voltaje y la potencia con control difuso empleando ganancias del modelo lineal y LMI asintótica.

#### 4. CONCLUSIONES

El procedimiento planteado en este artículo permite verificar la influencia de las condiciones de controlabilidad basadas en Desigualdades Lineales Matriciales en el problema de diseño de control. Las respuestas de las simulaciones muestran como se mejora el comportamiento dinámico de las variables de estado y de las variables a controlar, respecto a la velocidad de respuesta y al rechazo de las perturbaciones, a medida que se imponen condiciones más exigentes desde el punto de vista dinámico.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Z. Y. Dong, "Advanced Methods for Small Signal Stability Analysis and Control in Modern Power Systems," Ph.D. dissertation, The University of Sidney New South Wales, 2006.
- [2] P.W. Sauer, Power System Dynamics and Stability. vol. I. New Jersey: Prentice Hall p. 221, 1998.
- [3] A. Alzate, Dinámica de Sistemas Eléctricos, Estabilidad y Control. UTP, Pereira-Colombia: Maestría en Ingeniería eléctrica, 2000.
- [4] N. S. D. A. V. A. Oliveira and R. A. Ramos, "Design and Application of Fuzzy PSS for Power Systems Subject to Random Abrupt Variations of the Load," in Proceeding of the 2004 American Control Conference Boston, 2004, pp. Massachusetts June 30–July 2. Peters, Ed. New York: McGraw-Hill, 1964, pp. 15-64.
- [5] S. S. Flores, "Diseño Robusto con Ubicación de polos del Estabilizador de un Sistema de Potencia," Revista Científica Instituto Politécnico Nacional de México, vol. 9, no. 001, pp. pp 45–51, 2005.
- [6] E. A. M. C. Minhoto Teixeira, H.C.Pietrobon, "Novos Resultados Sobre a Estabilidade e controle de Sistemas Nao-Lineares Utilizando Modelos Fuzzy LMI," Revista Controle y Automacao, vol. 11, no. 1, Janury 2000.
- [7] O. E. C. H. Alfonso Alzate G., John Asdrubal Herrera V., "Efecto de un Compensador de VAR Estático en el Amortiguamiento de las Oscilaciones," Scientia Et Technica, 2003.
- [8] A. E. Alfonso Alzate G., Carlos A. Torres, "Diseño de los parámetros de un estabilizador de sistemas de potencia (pss) basado en una técnica evolutiva," Scientia Et Technica, 2007.
- [9] H. O. W. Kazuo Tanaka, Fuzzy Control Systems Design and Analysis: A Linear Matrix Inequality Approach. Electronic: SBNs: 0-471-32324-1 Hardback, 2001.
- [10] Y.-H. M. K.-H. K. Seoog-Joo Kim, Soonman Kwon, "Low-order Robust Power System Stabilizer for Single-Machine Systems: an LMI Approach," IEEE Transactions, 2006.
- [11] J. E. B. A. Alzate, "Estabilidad de Sistemas Difusos con LMIs," Scientia Et Technica, 2006.
- [12] D. P. Jooyoung Park, Jinsung Kim, "LMI Design of Stabilizing Fuzzy Controllers for Nonlinear Systems described by Takagi-Sugeno Fuzzy model," Elsevier Science B.V, Fuzzy sets and Systems, 2001.
- [13] W. C. Omar Pérez, "Desigualdades lineales matriciales en el diseño integrado de procesos," dpto. Procesos y Sistemas, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela, 2002.
- [14] W. C. O. Perez, P. Vega and M. Francisco, "Diseño integrado con realimentación robusta de estados vía desigualdades lineales matriciales," dpto. Procesos y Sistemas, Universidad Simon Bolivar, Caracas, Venezuela, 2002.