

Utilización de Dispositivos de Control en la Red de Transmisión para Amortiguar Oscilaciones de Potencia

Jesús H. Hernández López , A. R. Messina

Resumen: En este trabajo se investiga la aplicación de dispositivos de control en la red de transmisión para amortiguar oscilaciones interárea en sistemas de potencia. El método propuesto de análisis y diseño se basa en la utilización del análisis de residuos para seleccionar las señales del sistema de potencia más adecuadas para retroalimentarse a través de los controladores de amortiguamiento de dispositivos. Se describe además un procedimiento de diseño para estabilizadores de dispositivos basado en el concepto de sensibilidades de primer orden de eigenvalores con respecto a parámetros de funciones de transferencia del sistema de potencia. Se presenta la aplicación de los métodos propuesto al estudio de dispositivos de control en un sistema hipotético derivado de la red Mexicana.

Palabras Clave– Oscilaciones interárea, análisis modal, dispositivos FACTS

I. INTRODUCCIÓN

La estabilidad de oscilaciones electromecánicas débilmente amortiguadas entre grupos de generadores es un requerimiento fundamental para la operación adecuada de un sistema de potencia [1-4]. En el presente trabajo se investiga la aplicación de esquemas flexibles de transmisión de corriente alterna (FACTS por su denominación Inglesa) para amortiguar oscilaciones interárea. Específicamente, se discute la aplicación de Compensadores Estáticos de VARs (CEV) y Capacitores Serie Controlados por Tiristores (CSCT).

El estudio de oscilaciones electromecánicas y el desarrollo de medidas de refuerzo del sistema se aborda desde la perspectiva del análisis modal de las ecuaciones de estado del sistema. Se presenta primero una breve introducción a la técnica de análisis modal y se discute la aplicación del método del arreglo de la ganancia relativa como herramienta de diseño para reducir la interacción entre controles. A continuación se propone un método basado en el análisis de residuos para coordinar los parámetros de los sistemas de control.

Artículo recomendado y aprobado por el Comité Nacional de CIGRÉ – México para presentarse en el Segundo Congreso Bienal, del 13 al 15 de junio del 2001, en Irapuato, Gto.

Por último, se presenta la aplicación de los métodos desarrollados al análisis y control de dos modos interárea dominantes en un sistema de prueba con características reales. El estudio se centra en el análisis y control de dos modos interárea débilmente amortiguados. Se investiga la aplicación de CSCT y CEV y se investiga el problema de coordinación de controles.

II. ANÁLISIS MODAL

Considere un sistema dinámico descrito por el modelo lineal:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{B} \mathbf{u} \\ \mathbf{y} &= \mathbf{C} \mathbf{x} \end{aligned} \quad (1)$$

donde $\mathbf{x} \in R^n$ es el vector de variables de estado y $\mathbf{u} \in R^m$ es el vector de entradas de control; el vector $\mathbf{y} \in R^z$ representa las señales de salida del sistema.

En coordenadas modales, la representación de estado en (1) puede reescribirse en la forma desacoplada [5,6]:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{z}} &= \mathbf{\tilde{E}} \mathbf{z} + \mathbf{\tilde{O}} \mathbf{B} \mathbf{u} \\ \mathbf{y} &= \mathbf{C} \mathbf{\tilde{O}} \mathbf{z} \end{aligned} \quad (2)$$

donde $\mathbf{x} = \mathbf{\tilde{O}} \mathbf{z}$, y:

\mathbf{F} es la matriz formada por los eigenvectores derechos de la matriz \mathbf{A} como columnas.

\mathbf{Y} es la matriz formada por los eigenvectores izquierdos de la matriz \mathbf{A} como filas.

\mathbf{L} es la matriz diagonal de eigenvalores de la matriz \mathbf{A}

La matriz \mathbf{YB} se conoce como la matriz de controlabilidad modal. Al inspeccionar la fila i de esta matriz se puede determinar, como primera aproximación, que entrada del sistema afecta en mayor proporción al modo i ; si todos los elementos de la i -ésima fila de la matriz de controlabilidad modal son iguales a cero significa que las entradas del sistema no tienen efecto en el control del modo i .

En este contexto, se define el factor de controlabilidad del modo k con respecto a la entrada i (CO_{ki}) como:

$$CO_{ki} = \mathbf{\Phi}(k, *) \mathbf{B}(*, i) \quad (3)$$

en donde:

- $\mathbf{\Phi}(k, *)$ es la k -ésima fila de la matriz de eigenvectores izquierdos
- $\mathbf{B}(*, i)$ es la i -ésima columna de la matriz de controlabilidad

Similarmente, la matriz \mathbf{CF} se define como la matriz de observabilidad modal. La i -ésima columna de esta matriz determina la contribución de la variable z_i en la formación de las salidas; es decir, es posible determinar que salida del sistema contiene mayor información del modo i .

Siguiendo un proceso de análisis similar, el factor de observabilidad de modo k con respecto a la salida j (OB_{kj}) se define como:

$$OB_{kj} = \mathbf{C}(j, *) \mathbf{\ddot{O}}(*, k) \quad (4)$$

donde:

- $\mathbf{\ddot{O}}(*, k)$ es la k -ésima columna de la matriz de eigenvectores derechos
- $\mathbf{C}(j, *)$ es la j -ésima fila de la matriz de observabilidad

La matriz de funciones de transferencia entre la entrada y la salida del sistema lineal representado por las ecuaciones de estado \mathbf{y} de salida desacopladas (2), puede expresarse como:

$$\mathbf{y}(s) = \mathbf{C} \mathbf{\ddot{O}} (s\mathbf{I} - \mathbf{\ddot{E}})^{-1} \mathbf{\Phi} \mathbf{B} \mathbf{u}(s) = \mathbf{G}(s) \mathbf{u}(s) \quad (5)$$

Más concretamente, la función de transferencia entre la j -ésima entrada y la i -ésima salida puede expresarse como:

$$G_{ij} = \sum_{k=1}^n \frac{C(i, *) \Phi(*, k) \Psi(k, *) B(*, j)}{(s - \lambda_k)} = \sum_{k=1}^n \frac{R_{ij}}{(s - \lambda_k)} \quad (6)$$

donde

$$R_{ij} = \mathbf{C}(i, *) \mathbf{\ddot{O}}(*, k) \mathbf{\Phi}(k, *) \mathbf{B}(*, j) \quad (7)$$

es el residuo entre la i -ésima salida y la j -ésima entrada. El residuo proporciona una medida de la sensibilidad del eigenvalor a la retroalimentación de la i -ésima salida. Además, el residuo puede expresarse en términos de los factores modales de controlabilidad y observabilidad correspondientes al par entrada – salida como:

$$R_{ij} = OB_{ki} CO_{kj} \quad (8)$$

Los factores de controlabilidad y observabilidad se definen como una medida de la efectividad entre la elección de la

señal de entrada y la señal de retroalimentación. Si ambos factores son iguales a cero el residuo también es cero.

III. MEDIDAS DE INTERACCIÓN PARA EL CONTROL DECENTRALIZADO

Sean u_j y y_i una entrada y una salida específicas para la planta multivariable $\mathbf{G}(s)$. Considere ahora que la entrada u_j se utiliza para controlar la salida y_i .

En el análisis de interacción entre lazos de control resulta de interés analizar dos casos extremos [5]:

1. *Todos los otros Lazos de Control Abiertos:* Todas las otras entradas son cero. Es decir, $u_k = 0, \quad k \neq j$.
2. *Todos los otros Lazos de Control Cerrados:* Todas las otras salidas son cero, es decir, $y_k = 0, \quad k \neq i$.

En el segundo caso se asume que los otros lazos están cerrados con control ideal. El control perfecto solamente es posible en estado estable, pero es una buena aproximación en frecuencias dentro del ancho de banda de cada lazo. Por consiguiente, la relación entrada-salida y_i / u_j para los dos casos extremos puede obtenerse como:

$$\left(\frac{\partial y_i}{\partial u_j} \right)_{u_k=0, k \neq j} = g_{ij} \quad (9)$$

$$\left(\frac{\partial y_i}{\partial u_j} \right)_{y_k=0, k \neq i} = \hat{g}_{ij} \quad (10)$$

donde:

$g_{ij} = [G]_{ij}$, es el ij -ésimo elemento de \mathbf{G} .

$\hat{g}_{ij} = \frac{1}{[G^{-1}]_{ji}}$, es el inverso de ji -ésimo elemento de \mathbf{G}^{-1}

La relación entre las ganancias en (9) y (10), correspondientes a los dos casos extremos, es una medida útil de interacciones. Si se define ahora el ij -ésimo término de ganancia relativa como:

$$\mathbf{I}_{ij} = \frac{g_{ij}}{\hat{g}_{ij}} = [G]_{ij} [G^{-1}]_{ji} \quad (11)$$

el arreglo de ganancias relativas estará dado por

$$RGA(\mathbf{G}) = [\mathbf{G}] \otimes [\mathbf{G}^{-1}]^T \quad (12)$$

donde \otimes denota el producto elemento por elemento. Se desea que el par entrada-salida u_j, y_i sea tal que \mathbf{I}_{ij} sea cercano a 1; esto implica que la ganancia de u_j a y_i no se afecta al cerrar otros lazos. Al ordenar la matriz \mathbf{G} de tal forma que los candidatos de pares entrada-salida para el control

decentralizado se encuentren en la diagonal principal, se define el número RGA como:

$$\text{Número RGA} = \sum_{i=1}^n (RGA(i,i) - 1) \quad (13)$$

Esta medida puede utilizarse para determinar el grado de interacción del sistema de control descentralizado completo.

El proceso de selección de pares entrada – salida para ubicar controladores de amortiguamiento en dispositivos FACTS es el siguiente:

1. Se determinan los modos de oscilación que se desean controlar.
2. Se calculan los residuos para cada modo de interés con el fin de detectar los pares entrada - salida con mayor sensibilidad para controlar dicho modo.
3. Con la información del punto 2, se forman los conjuntos de pares entrada – salida, candidatos para utilizarse en el esquema de control descentralizado.
4. Para cada conjunto de pares entrada - salida, se calcula la matriz planta $\mathbf{G}(s)$ asociada. Los pares entrada – salida deben encontrarse en la diagonal principal.
5. Para cada matriz planta $\mathbf{G}(s)$ se grafica el número RGA en función de la frecuencia para detectar interacciones en el rango de frecuencias de operación. Se eligen los conjuntos de pares entrada - salida de menor magnitud

IV. DISEÑO DE CONTROLES

A continuación se describen brevemente los algoritmos computacionales utilizados para la coordinación de controles. Para propósitos de estudio, se utiliza una estructura simple para el j -ésimo estabilizador en la forma

$$M_j(s) = k_j Q_j(s) = k_j \frac{(1 + T_{1j}s)(1 + T_{3j}s)}{(1 + T_{2j}s)(1 + T_{4j}s)}$$

en donde k_j es la ganancia del circuito de estabilización y se asume que las constantes de tiempo T_{2j} y T_{4j} son conocidas y los parámetros restantes k_j , T_{1j} y T_{3j} , se determinan mediante procedimiento de diseño propuesto.

La sensibilidad del eigenvalor \mathbf{I}_h con respecto al cambio en la función de transferencia del j -ésimo estabilizador de un dispositivo FACTS se obtiene como [6]:

$$\frac{\partial \mathbf{I}_h}{\partial M_j(\mathbf{I}_h)} = R_{mq}^h \quad (14)$$

donde R_{mq}^h representa el residuo en lazo abierto de la q -ésima entrada y la m -ésima salida para el modo \mathbf{I}_h .

Calculando el diferencial total en la función de transferencia del estabilizador j , se tiene que:

$$\Delta M_j(\mathbf{I}_h) = \frac{\partial M_j(\mathbf{I}_h)}{\partial k_j} \Delta k_j + \frac{\partial M_j(\mathbf{I}_h)}{\partial \mathbf{I}_h} \Delta \mathbf{I}_h \quad (15)$$

Por tanto, substituyendo (15) en (14) y resolviendo para $\Delta \mathbf{I}_h$, se obtiene:

$$\Delta \mathbf{I}_h = \frac{R_{mq}^h Q_j(\mathbf{I}_h)}{1 - R_{mq}^h \left[\frac{\partial M_j(\mathbf{I}_h)}{\partial \mathbf{I}_h} \right]} \Delta k_j \quad (16)$$

El proceso de análisis puede simplificarse al elegir k_j que satisfaga la relación

$$\left\| R_{mq}^h \left[\frac{\partial M_j(\mathbf{I}_h)}{\partial \mathbf{I}_h} \right] \right\| \ll 1 \quad (17)$$

En consecuencia, el cambio en el modo de interés puede obtenerse como

$$\Delta \mathbf{I}_h \approx R_{mq}^h Q_j(\mathbf{I}_h) \Delta k_j \quad (18)$$

El procedimiento de diseño del estabilizador comprende los siguientes pasos.

1. Se seleccionan las constante de tiempo T_{1j} y T_{3j} , de acuerdo al criterio

$$\arg\{R_{mq}^h Q_j(\mathbf{I}_h)\} = \pm 180^\circ \quad (19)$$

2. Se selecciona k_j , que satisfaga (17).
3. Se ajustan los parámetros (Δk_j , k_j) para satisfacer el punto 2. Se elige Δk_j de tal forma que se logre el cambio deseado en el eigenvalor mediante la relación (18).

V. APLICACIÓN

En la figura 1 se muestra un diagrama simplificado del sistema en estudio el cual representa una red hipotética derivada del sistema interconectado Mexicano. El sistema utilizado comprende 46 generadores, 194 líneas de transmisión y 4 CEVs.

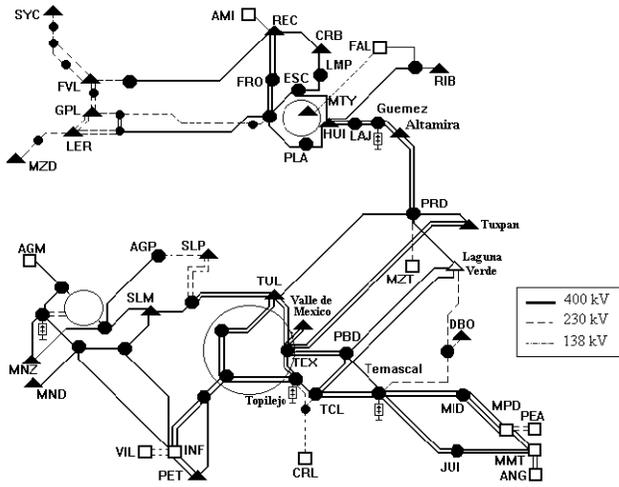


Fig. 1. Diagrama unifilar del sistema de estudio

En esta representación se consideran modelos detallados de reguladores automáticos de voltaje y modelos subtransitorios d-q para los principales generadores.

En la Tabla I se presentan los modos electromecánicos de menor frecuencia del sistema indicando su frecuencia y patrón de oscilación [7].

TABLA I. MODOS ELECTROMECAÑICOS DE INTERÉS

No.	Modo	Patrón de Oscilación	Frecuencia (Hz)
1	$-0.1331 \pm j$ 2.6795	NR,NE ↔ SE,CE,OC	0.426
2	$-0.0877 \pm j$ 4.6273	SE ↔ CE,OC	0.736

Caso 1: Análisis del efecto de CEVs en Temascal y Guemez
En la figura 1 se presentan los factores de controlabilidad modal de los modos críticos del sistema con respecto al voltaje de referencia ΔV_{ref} de los CEVs en Temascal y Guemez.

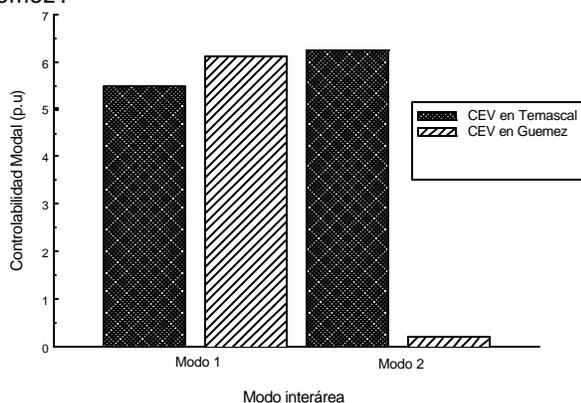


Figura 2. Factores de controlabilidad de los modos de oscilación con respecto a cada entrada de control

Los pares entrada-salida con mayor valor de residuo para controlar cada modo de oscilación se presentan en la Tabla II. Por simplicidad, las señales de salida consideradas para el análisis de residuos son potencias y corrientes en líneas de transmisión. Los conjuntos seleccionados para el control descentralizado se muestran en la Tabla III.

TABLA II. PARES ENTRADA - SALIDA CON MAYOR VALOR DE RESIDUO PARA CADA MODO DE INTERÉS

Modo	Salida	Entrada	Residuo
	Residuo		
1	PL GUZ-400 HUI-400	ΔV_{ref} GUZ-CEV	0.3006
	PL GUZ-400 ALT-400	ΔV_{ref} GUZ-CEV	0.2219
	PL LAJ-400 GUZ-400	ΔV_{ref} GUZ-CEV	0.2023
2	PL TMD-400 TEC-400	ΔV_{ref} TMD-CEV	0.2018
	PL TMD-400 PBD-400	ΔV_{ref} TMD-CEV	0.1954
	PL MND-400 TMD-400	ΔV_{ref} TMD-CEV	0.1857

PL: potencia de línea.

TABLA III. CONJUNTOS DE PARES ENTRADA - SALIDA, SELECCIONADOS PARA EL CONTROL DESCENTRALIZADO

Conjunto	Señal de retroalimentación para el CEV- Temascal	Señal de retroalimentación para el CEV-Guemez
1	PL GUZ-400 HUI-400	PL TMD-400 TEC-400
2	PL GUZ-400 HUI-400	PL TMD-400 PBD-400
3	PL GUZ-400 HUI-400	PL MND-400 TMD-400
4	PL GUZ-400 ALT-400	PL TMD-400 TEC-400
5	PL GUZ-400 ALT-400	PL TMD-400 PBD-400
6	PL GUZ-400 ALT-400	PL MND-400 TMD-400
7	PL LAJ-400 GUZ-400	PL TMD-400 TEC-400
8	PL LAJ-400 GUZ-400	PL TMD-400 PBD-400
9	PL LAJ-400 GUZ-400	PL MND-400 TMD-400

PL: potencia de línea.

En la figura 3 se muestran los números RGA en función de la frecuencia para cada conjunto mostrado en la Tabla III. En el criterio de diseño seleccionado, se desea que el conjunto de pares entrada - salida seleccionado, para el control descentralizado, tenga el grado mínimo de interacción por lo que se elige el conjunto 3.

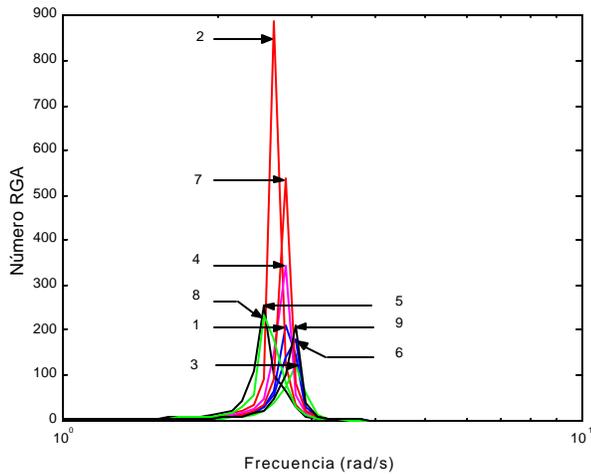


Figura 3. Número RGA para cada uno de los candidatos de Pares Entrada-Salida mostrados en la Tabla III.

Por último, se eligen los pares entrada – salida con mayor valor de residuo para controlar cada modo de oscilación y se diseñan los controles suplementarios mediante el procedimiento descrito en la sección IV. Los parámetros de los controladores diseñados son:

Para el modo interárea 1:

$$M_1(s) = 0.761 \left(\frac{1+0.508s}{1+0.120s} \right) \left(\frac{1+0.508s}{1+0.120s} \right)$$

Para el modo interárea 2:

$$M_1(s) = 0.520 \left(\frac{1+0.543s}{1+0.120s} \right) \left(\frac{1+0.543s}{1+0.120s} \right)$$

El circuito suplementario incluye además, un bloque de restablecimiento con $T_w = 3$ seg., y un bloque de retardo del sensor de medición de la señal de retroalimentación con $T_m = 0.001$ seg. En la tabla IV se muestra los modos de oscilación de interés del sistema en lazo cerrado.

TABLA IV. MODOS ELECTROMECANICOS PARA EL CASO 1

No.	Modo	Patrón de Oscilación	Frecuencia (Hz)
1	$-0.2069 \pm j$ 2.7202	NR,NE ↔ SE,CE,OC	0.433
2	$-0.2123 \pm j$ 4.7336	SE ↔ CE,OC	0.740

Como se observa, el diseño propuesto permite mejorar en forma conjunta el amortiguamiento de los modos críticos de oscilación.

Caso 2: Aplicación de CEV y CSCT

En este caso se consideró la operación de un CEV en Temascal y un CSCT en la línea de 400 kV entre los nodos Altamira y Güemez. En la figura 6 en el Apéndice se muestra el diagrama de bloques del modelo del CSCT utilizado en

los estudios presentados. Los modos interárea de interés para ésta alternativa de operación así como los pares de entrada salida con mayores residuos se presentan en las tablas V y VI.

TABLA V. MODOS ELECTROMECANICOS PARA EL CASO 2

No.	Modo	Patrón de Oscilación	Frecuencia (Hz)
1	$-0.1122 \pm j$ 2.6963	NR,NE ↔ SE,CE,OC	0.429
2	$-0.0875 \pm j$ 4.6295	SE ↔ CE,OC	0.737

TABLA VI. PARES ENTRADA - SALIDA CON MAYOR VALOR DE RESIDUO PARA CADA MODO DE INTERÉS (CASO 2).

Modo	Salida	Entrada	Residuo
	Residuo		
1	PL PRD-400 ALT-400	ΔX_{ref} ALT-TCS	0.6841
	PL GUZ-400 ALT-SC1	ΔX_{ref} ALT-TCS	0.6775
	PL ALT-230 PRI-230	ΔX_{ref} ALT-TCS	0.5961
2	PL TMD-400 TEC-400	ΔV_{ref} TMD-CEV	0.2027
	PL TMD-400 PBD-400	ΔV_{ref} TMD-CEV	0.1962
	PL MND-400 TMD-CS1	ΔV_{ref} TMD-CEV	0.1863

PL: significa Potencia de Línea.

Es importante observar que el análisis de factores de controlabilidad en la figura 4 muestra que la instalación de un CSCT en la línea Altamira-Güemez puede mejorar el margen de estabilidad del modo 1. Su efecto sobre el modo 2, por otro lado, es despreciable.

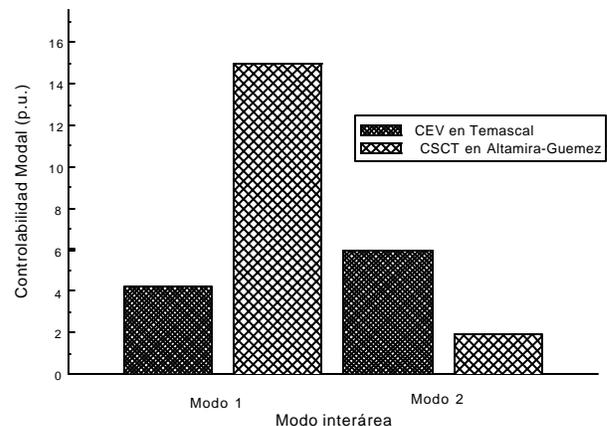


Figura 4. Factores de controlabilidad de los modos de oscilación considerando la instalación de CEV y un CSCT (Caso 2)

Para este caso, los pares entrada-salida con mayor valor de residuo para controlar cada modo de oscilación se presentan en la Tabla VII. Los números RGA se muestran en la figura 5 sugiriendo la elección del conjunto 2 en la tabla VII.

TABLA VII. CONJUNTOS DE PARES ENTRADA – SALIDA, CANDIDATOS PARA EL CONTROL DECENTRALIZADO (CASO 2)

Conjunto	Señal de Retroalimentación para ALT-TCS	Señal de Retroalimentación Para TMD-CEV
1	PL PRD-400 ALT-400	PL TMD-400 TEC-400
2	PL PRD-400 ALT-400	PL TMD-400 PBD-400
3	PL PRD-400 ALT-400	PL MND-400 TMD-400
4	PL GUZ-400 ALT-SC1	PL TMD-400 TEC-400
5	PL GUZ-400 ALT-SC1	PL TMD-400 PBD-400
6	PL GUZ-400 ALT-SC1	PL MND-400 TMD-400
7	PL ALT-230 PRI-230	PL TMD-400 TEC-400
8	PL ALT-230 PRI-230	PL TMD-400 PBD-400
9	PL ALT-230 PRI-230	PL MND-400 TMD-400

PL: significa Potencia de Línea.

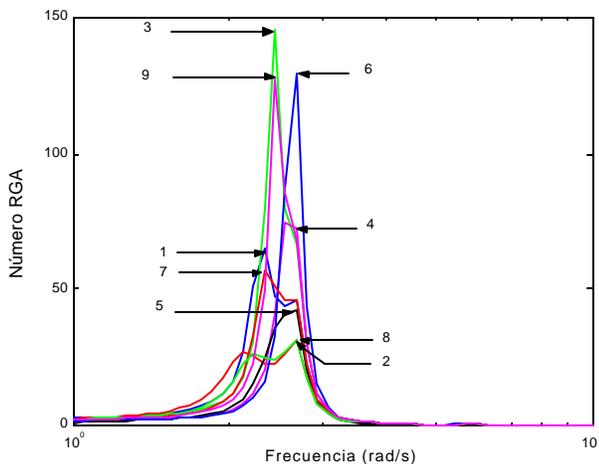


Figura 5. Número RGA para cada uno de los candidatos de pares entrada-salida mostrados en la Tabla VII.

Los parámetros de los circuitos suplementarios de amortiguamiento obtenidos mediante el procedimiento descrito, correspondientes a los pares entrada salida con mayor valor de residuo para cada modo son:

Para el modo interárea 1:

$$M_1(s) = 0.040 \left(\frac{1+0.040s}{1+0.500s} \right) \left(\frac{1+0.040s}{1+0.500s} \right)$$

Para el modo interárea 2:

$$M_2(s) = 0.520 \left(\frac{1+0.545s}{1+0.120s} \right) \left(\frac{1+0.545s}{1+0.120s} \right)$$

Se adicionan un bloque de restablecimiento con $T_w = 3$ seg. y un bloque de retardo del sensor de medición de la señal de retroalimentación con $T_m = 0.001$ seg para ambos controladores.

En la tabla VIII. se muestran los modos de oscilación de interés del sistema en lazo cerrado.

TABLA VIII. MODOS ELECTROMECAÑICOS PARA EL CASO 2

No.	Modo	Patrón de Oscilación	Frecuencia (Hz)
1	$-0.2158 \pm j$ 2.6944	NR,NE ↔ SE,CE,OC	0.428
2	$-0.1726 \pm j$ 4.6542	SE ↔ CE,OC	0.740

Como se aprecia, la aplicación de dispositivos FACTS permite también en este caso, mejoran el amortiguamiento de los modos críticos de oscilación del sistema.

VI. CONCLUSIONES

En el estudio realizado se demuestra la efectividad de los dispositivos FACTS para mejorar el desempeño dinámico de un sistema de potencia. El método propuesto permite comparar la efectividad del CSCT y del CEV para amortiguar oscilaciones interárea y puede ser utilizado para minimizar la interacción entre controles. Se muestra que la instalación de un CSCT en la línea Altamira y Güemez presenta una mayor controlabilidad para el modo 1, que el CEV en la subestación Güemez. Se demuestra que se necesita una menor ganancia para el controlador de amortiguamiento del CSCT en el caso 2, que para el estabilizador del CEV en el caso 1, para lograr un cambio similar en el amortiguamiento del modo de oscilación 1. El método propuesto es general y puede aplicarse al diseño de dispositivos FACTS con características distintas.

VII. REFERENCES

1. Advisory Group 01 of Study Committee 38, Analysis and control of power system oscillations, CIGRE Task Force 07, 1996.
2. Y. H. Song, and A.T. Johns; "Flexible ac transmission systems (FACTS), The Institution of Electrical Engineers, 1999.
3. G. Rogers; Power System Oscillations, Kluwer Academic Publishers, 2000.
4. IEEE Committee, Eigenanalysis and Frequency Domain Methods for System Dynamic Performance, IEEE Tutorial Course 90TH0292-3-PWR, 1989.
5. S. Skogestad, I. Postlethwaite, Multivariable Feedback Control: Analysis and Design, John Wiley & Sons, 1996.
6. P. Pourbeik, and M. J. Gibbard; Damping and Synchronizing Torques Induced On Generators by FACTS Stabilizers in Multimachine Power Systems, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No. 4, pp. 1920–1925, November 1996.
7. M. Nayebzadeh, A. R. Messina, "Advanced Concepts of Analysing Static Var Compensators to Damp Inter-Area Oscillations Modes", ETEP Vol. 9, No. 3, May/June 1999, pp. 159-165.

Apéndice

En la figura 6 se muestra el diagrama de bloques del CSCT.

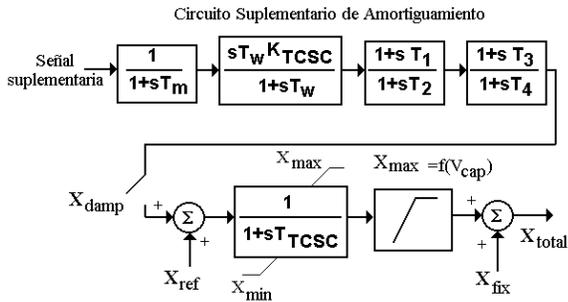


Figura 6.- Modelo del CSCT

VIII. BIOGRAFÍAS.

Jesús Héctor Hernández López recibió su grado de Licenciatura en Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de Sonora, México en 1997, desde 1996 hasta 1999 fue empleado de Comisión Federal de Electricidad en Sonora, México. Actualmente estudia Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional en Guadalajara, Jalisco, México.

A. R. Messina es Profesor Investigador en el CINVESTAV-Unidad Guadalajara.