

Ubicación de PSS y Control de Modos Deslizantes para Amortiguar Oscilaciones en el Sistema Nacional Interconectado

Carlos Gallardo, Edison Guanochanga, Mauricio Cuichan, Merwin Ocaña

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

Mayra Espinoza

Facultad de Ingeniería Química, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador

Resumen – En este documento se presenta la metodología para ubicar de manera óptima el control de modo deslizante y PSS's con el propósito de amortiguar oscilaciones electromecánicas, para esto se utiliza el método del residuo, el residuo brinda una estimación de sensibilidad de un modo a través del PSS. Para verificar el funcionamiento del control propuesto se realiza varias simulaciones en el sistema nacional interconectado (SNI). Se presenta y analiza los gráficos de modos locales e inter-áreas. Se realiza un análisis modal para verificar numéricamente el amortiguamiento de los modos locales e inter-áreas con el fin de evaluar el efecto del sistema de control propuesto. Las matrices A, B, C y D se exportan desde el programa computacional DigSilent al software MATLAB para el cálculo del residuo. La ubicación se consigue identificando los generadores que muestren la mayor magnitud del residuo en los modos de oscilación problema. El control de modo deslizante se encuentra implementado en el AVR de los generadores seleccionados.

Índices—Control de Modo Deslizante(SMC), Método del Residuo, Factores de Participación, oscilaciones locales e inter-área.

I. INTRODUCCIÓN

La estabilidad de un sistema de potencia robusto está determinada por la capacidad del sistema para operar en un estado de equilibrio en condiciones normales y perturbadas. Los sistemas de potencia presentan dificultades para lograr mantener su estabilidad debido a que son muy grandes y complejos. Estos sistemas presentan oscilaciones electromecánicas particulares de los mismos, los cuales se ven reflejados en su respuesta natural ocasionados por la interacción de elementos dinámicos de dicho sistema. Estas oscilaciones se muestran en los llamados modos de oscilación, si el amortiguamiento de estos modos es insuficiente, las oscilaciones producidas por una perturbación pueden llevar a una pérdida de sincronismo de los generadores provocando así un funcionamiento deficiente del sistema de potencia [1].

La aptitud de un sistema de potencia para mantener la estabilidad depende en gran medida de los controles disponibles en el sistema para amortiguar las oscilaciones electromecánicas [2].

Aunque hay artículos basados en el control de modo deslizante, estos trabajos se centran principalmente en aplicaciones para el área de la electrónica, en nuestro conocimiento ninguno de ellos ha realizado un estudio aplicado a un sistema eléctrico de potencia ahí el beneficio del estudio desarrollado, debido a que se implementará el control de modos deslizantes dentro del regulador de voltaje para que conjuntamente con el estabilizador de potencia se consiga un sistema robusto que permita mejorar la estabilidad de un sistema de potencia [3], [4].

De igual manera en algunos trabajos se ha propuesto la aplicación del método del residuo para obtener una estimación de la ubicación adecuada de STATCOM y PSS's para amortiguar oscilaciones, pero no se la ha realizado en el Sistema Nacional Interconectado del Ecuador. El residuo sirve también para sintonizar los parámetros del PSS [5], [6].

El propósito de este trabajo es encontrar la mejor ubicación del PSS's y SMC, con la finalidad de amortiguar oscilaciones electromecánicas, utilizando el método del residuo. Para verificar la ubicación seleccionada se realiza una comparación con el concepto de factor de participación, el cual indica cuanta participación tiene determinada en un modo. El diseño del SMC está basado en una función de transferencia de segundo orden y se encuentra modelado en el AVR de la unidad seleccionada. Por último, una vez ubicados y determinados los parámetros del SMC y PSS's se realiza una simulación dinámica, incorporando un evento de apertura de una línea de transmisión, con el propósito de observar los efectos de control.

II. ANÁLISIS MODAL

En esta sección se introducen algunos conceptos básicos sobre el análisis modal, que son necesarios para comprender los métodos de diseño del controlador. Los sistemas eléctricos son esencialmente sistemas no lineales [7].

Un modelo lineal de un sistema no lineal, la linealización se realiza en un punto de funcionamiento dado. El sistema linealizado total puede representarse mediante la siguiente ecuación [8]:

$$\Delta \dot{x} = A \Delta x + B \Delta u \quad (1)$$

$$\Delta y = C\Delta x + D \Delta u \quad (2)$$

Donde:

Δx : es el vector de estado de dimensión n .

Δy : es el vector de salida de dimensión m .

Δu : es el vector de entrada de dimensión r .

A : es la matriz de estado de dimensión $m \times m$.

B : es la matriz de entrada de dimensión $n \times r$.

C : es la matriz de salida de dimensión $m \times n$.

D : es la matriz de transmisión directa $m \times r$.

La ecuación:

$$\det(A - \lambda I) = 0 \quad (3)$$

Se denomina la ecuación característica de la matriz A y los valores de λ que satisfacen dicha ecuación son los valores propios de la matriz A . Debido a que la matriz A es una matriz $n \times n$, tiene n soluciones de valores propios.

$$\lambda = \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n \quad (4)$$

Donde: $\lambda_i \neq \lambda_j, i \neq j$.

Para cualquier valor propio λ_i , existe el vector propio ϕ_i , que satisface la ecuación:

$$A\phi_i = \lambda_i\phi_i \quad (5)$$

ϕ_i : se denomina el vector propio derecho de la matriz de estado A asociado con el valor propio λ_i .

Cada vector propio derecho es un vector columna cuya longitud es igual al número de estados.

El vector propio izquierdo asociado con el valor propio λ_i es el vector fila que satisface la siguiente ecuación:

$$\psi_i A = \lambda_i \psi_i \quad (6)$$

Sea $\lambda_i = \sigma_i \mp j\omega_i$ el i -ésimo valor propio de la matriz de estado A . La parte real de los valores propios da el amortiguamiento y la parte imaginaria da la frecuencia de oscilación. El factor de amortiguamiento viene dado por:

$$\xi = \frac{-\sigma}{\sqrt{\sigma^2 + \omega^2}} \quad (7)$$

Para modificar un modo de oscilación por realimentación, la entrada elegida debe excitar el modo y debe ser visible en la salida elegida. Las medidas de estas dos propiedades son controlabilidad y observabilidad, respectivamente.

$$B' = \Phi^{-1}B \quad (8)$$

$$C' = C\Phi \quad (9)$$

Si un modo no es controlable o no observable, la realimentación entre la salida y entrada no tendrá ningún efecto en el modo. Un modo de interés debe ser controlable por la entrada elegida para que un control de realimentación tenga algún efecto en el modo. Por lo tanto, la determinación de variables de realimentación adecuadas es un objetivo importante en el procedimiento de diseño del controlador.

III. MÉTODO DEL RESIDUO

La función de transferencia de un sistema SISO (una sola entrada una sola salida) es [9]:

$$G(s) = \frac{\Delta y(s)}{\Delta u(s)} = C\Phi[sI - \Lambda^{-1}]\Psi B \quad (10)$$

$G(s)$ se puede expandir en fracciones parciales, quedando como:

$$G(s) = \sum_{i=1}^N \frac{C\phi(:, i)\psi(i, :)B}{(s - \lambda_i)} = \sum_{i=1}^N \frac{Ri}{(s - \lambda_i)} \quad (11)$$

Cada término en el numerador, el escalar Ri se denomina residuo, el residuo de un modo particular da la medida de sensibilidad de ese modo a una realimentación entre la salida y la entrada u . También se puede definir al residuo como el producto de la observabilidad y controlabilidad.

$$Ri = C\phi(:, i)\psi(i, :)B \quad (12)$$

A. Estabilizadores de Sistemas de Potencia

Un estabilizador de sistemas de potencia es un dispositivo que normalmente se añade en el sistema de excitación de un generador para mejorar la estabilidad de pequeña señal del mismo.

El objetivo principal del PSS es añadir una componente de torque eléctrico en el rotor de la máquina sincrónica que sea proporcional a la desviación de la velocidad real con respecto a la velocidad sincrónica, modificando de esta manera la fase de las oscilaciones de potencia.

La ecuación dinámica para la velocidad del rotor es:

$$\dot{\omega} = \frac{1}{2H}(T_m - T_e) \quad (13)$$

Donde:

H : constante de inercia del generador.

T_m : Torque mecánico.

T_e : Torque eléctrico.

Si el PSS produce una señal que conduce a un par eléctrico adicional en fase con $\Delta\omega$, entonces la ecuación puede reescribirse como:

$$\dot{\omega} = \frac{1}{2H}(T_m - (T_e + T_{e,PSS})) \quad (14)$$

$$\dot{\omega} = \frac{1}{2H}(T_m - T_e - k\Delta\omega) \quad (15)$$

En este modelo simplificado, si la velocidad del rotor aumenta, el par de aceleración resultante disminuirá y también la velocidad del rotor (y viceversa) [10].

Considerando el sistema de bucle cerrado mostrado en la Fig.1, donde $G(s)$ representa la función de transferencia del sistema de potencia original y $H(s)$ es la función de transferencia del PSS, por lo tanto, la señal de entrada $u(s)$ está disponible. La señal de salida $y(s)$ se puede elegir en base al

residuo máximo proporcionado por las salidas seleccionadas.

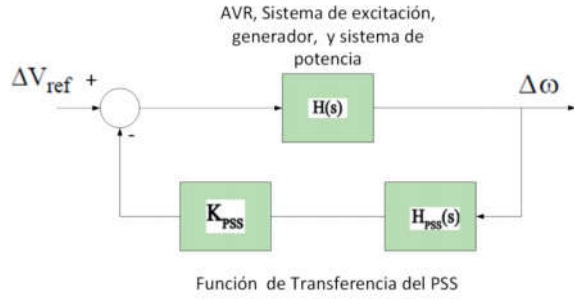


Fig. 1. Sistema de Bucle cerrado.

La ecuación (16) permite identificar la variación del modo.

$$\Delta\lambda_i = -R_i K_{PSS} * H_{PSS} = \Delta\lambda_i = \lambda^1 - \lambda^0 \quad (16)$$

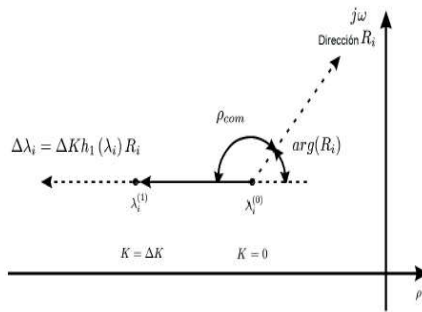


Fig. 2. Efecto del residuo en los modos.

A continuación, se muestra la representación del modelo básico de un PSS.

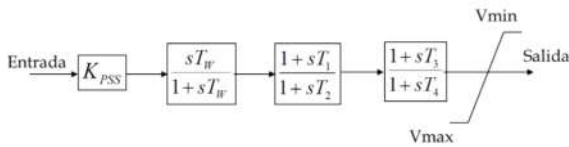


Fig. 3. Diagrama de bloques del modelo de PSS.

La función de transferencia del PSS se presenta en la siguiente ecuación, el propósito de esta es desplazar el componente real de λ_i hacia la izquierda como muestra la Figura anterior [11].

$$H(s) = K_{PSS} * \frac{T_W s}{(1+sT_W)} * \frac{1+sT_1}{1+sT_2} * \frac{1+sT_3}{1+sT_4} \quad (17)$$

Los parámetros T_1, T_2, T_3 y T_4 , pueden calcularse usando las siguientes ecuaciones:

$$\varphi_{comp} = 180 - \arg(R_i) \quad (18)$$

$$\alpha c = \frac{T_1}{T_2} = \frac{1 - \sin(\varphi_{comp}/2)}{1 + \sin(\varphi_{comp}/2)} \quad (19)$$

$$T_2 = \frac{1}{\omega_i \sqrt{\alpha c}} \quad (20)$$

$$T_1 = \alpha c T_2 \quad (21)$$

Donde:

$\arg(R_i)$: Es el ángulo del residuo R_i

ω_i : Es la frecuencia del modo de oscilación en rad/s

T_1, T_2 : Son las constantes de tiempo de los bloques de compensación de fase.

Para el cálculo de la ganancia K_{PSS}

$$K_{PSS} = \frac{|\Delta\lambda_i|}{|R_i| |H_{PSS}|} \quad (22)$$

Donde:

$$|\Delta\lambda_i| = |\sigma_i - \sigma_{i,des}| \quad (23)$$

$$\zeta_{i,des} = -\frac{\sigma_{i,des}}{\sqrt{\sigma_{i,des}^2 + \omega_i^2}} \leftrightarrow \sigma_{i,des} = -\frac{\zeta_{i,des} \omega_i}{\sqrt{1 - \zeta_{i,des}^2}} \quad (24)$$

B. Diseño del control de modos deslizantes

La idea del SMC es definir una superficie a lo largo de la cual el proceso pueda deslizarse hasta su valor final deseado.

La ecuación (25) contiene dos partes aditivas; una parte continua, U_{eq} , y una discontinua, U_D .

$$U_{SMC} = U_{eq} + U_D \quad (25)$$

La estructura del controlador se altera intencionalmente a medida que su estado cruza la superficie de acuerdo con una ley de control prescrita.

La superficie deslizante S , se elige para representar un comportamiento global deseado para el caso de estabilidad y el rastreo de la función. S se selecciona como controlador PID que actúa sobre la expresión de error de rastreo.

$$PID = K_p e + K_i \int e + K_d \dot{e} = S \quad (26)$$

La parte continua es una función de la variable controlada, y el valor de referencia

$$U_{eq} = \frac{K_p \dot{e}}{K_d K} + \frac{K_i e}{K_d K} + \frac{\ddot{y}_d}{K} + \frac{\dot{y}_d}{K} + \frac{by}{K} \quad (27)$$

La parte discontinua incorpora un elemento no lineal que incluye el elemento de conmutación de la ley de control.

$$U_D = \frac{\rho S}{|S| + \delta} \quad (28)$$

Donde ρ es el parámetro de ajuste responsable del modo a alcanzar, δ es un parámetro de ajuste utilizado para reducir el problema de chattering [12].

$$U_{SMC} = \frac{K_p \dot{e}}{K_d K} + \frac{K_i e}{K_d K} + \frac{\ddot{y}_d}{K} + \frac{\dot{y}_d}{K} + \frac{by}{K} + \frac{\rho S}{|S| + \delta} \quad (29)$$

IV. RESULTADOS

Con el propósito de mostrar el buen funcionamiento del método del residuo, se escogió realizar las pruebas en el

sistema nacional interconectado, en el cual se considera que la razón de amortiguamiento debe ser superior al 5%.

Se reemplaza el sistema eléctrico colombiano con un equivalente dinámico con la finalidad de disminuir el tiempo de simulación y poder realizar el estudio únicamente en el sistema ecuatoriano.

El modelo de PSS utilizado corresponde al de simple entrada, cuyo diagrama se muestra en la Fig. 3., el cual ha sido modelado en las unidades seleccionadas mediante el residuo. Dicha modelación se realizó en la base de datos presente en el programa Power Factory de DigSilent.

El primer objetivo de este trabajo es determinar la ubicación óptima de los PSS y SMC, utilizando el método de los residuos; el siguiente paso es el de la incorporación del SMC dentro del AVR, del generador seleccionado.

A continuación, se presenta los diagramas de bloques del SMC.

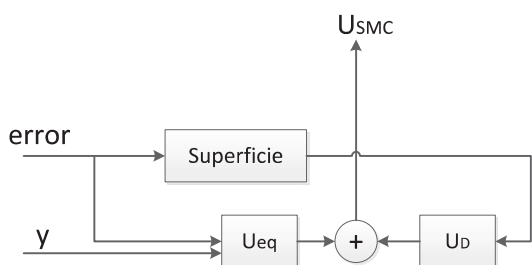


Fig. 4. Diagrama de bloques del SMC.

Con el fin de verificar la metodología propuesta se realizó el estudio en un punto de operación.

A. Demanda mínima

Se realiza un estudio detallado de estabilidad de pequeña señal, en el sistema nacional interconectado, para obtener los modos problema o poco amortiguados, para este trabajo se considera modos poco amortiguados a aquellos que presentan un factor de amortiguamiento menor al 5%.

Para realizar las simulaciones de análisis modal se procede a desconectar los PSS's de la red, resultando de esta manera los valores propios de la matriz de estado con razón de amortiguamiento menor al 5%, tal como se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis modal sin la activación de PSS's.

Sistema Nacional Interconectado				
Nombre	Parte real	Parte imaginaria	Frecuencia de amortiguamiento	Razón de amortiguamiento
	[1/s]	[rad/s]	[Hz]	
Mode 00230	-0.35271902	7.22291603	1.14956279	0.0487752
Mode 00231	-0.35271902	-7.22291603	1.14956279	0.0487752
Mode 00238	-0.49832768	8.34164246	1.32761363	0.05963344
Mode 00239	-0.49832768	-8.34164246	1.32761363	0.05963344
Mode 00092	-1.46912385	21.9192343	3.48855449	0.06687437
Mode 00093	-1.46912385	-21.9192343	3.48855449	0.06687437
Mode 00248	-0.5279188	7.10569179	1.13090597	0.074091
Mode 00249	-0.5279188	-7.10569179	1.13090597	0.074091
Mode 00186	-0.84272082	10.8470899	1.72636797	0.07745755
Mode 00187	-0.84272082	-10.8470899	1.72636797	0.07745755
Mode 00228	-0.68744344	8.84526773	1.40776808	0.07748512
Mode 00229	-0.68744344	-8.84526773	1.40776808	0.07748512
Mode 00236	-0.65036219	8.32406991	1.32481687	0.07789293
Mode 00237	-0.65036219	-8.32406991	1.32481687	0.07789293

Mode 00234	-0.69019524	8.6988313	1.384462	0.07909487
Mode 00235	-0.69019524	-8.6988313	1.384462	0.07909487
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

Al analizar la Tabla se observa que existe un modo poco amortiguado, el cual debe ser mejorado con la incorporación de PSS's y SMC. Una vez determinada la lista de modos problema, se procede a calcular los residuos y factores de participación referidos a los modos problema, como se explicó anteriormente la ubicación se la debe realizar en las unidades que presentan el mayor valor del residuo en los modos de oscilación.

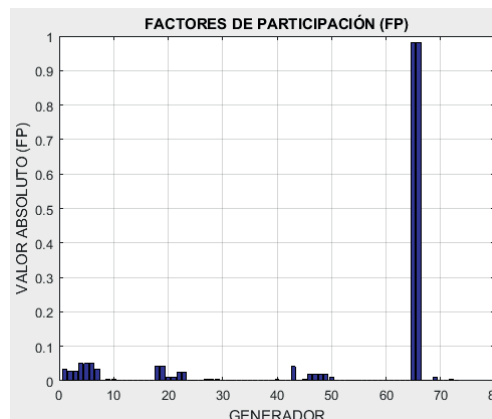


Fig. 5. Factor de Participación del modo 230.

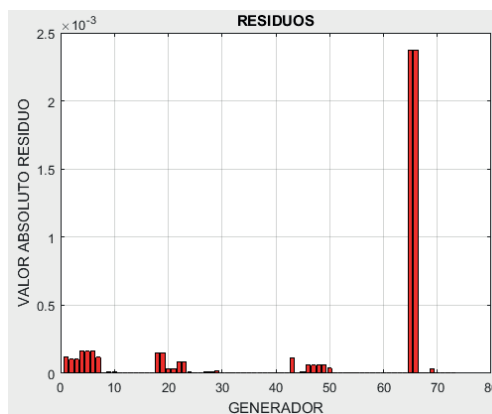


Fig. 6. Residuos del modo 230.

Los resultados expresados en las Figuras, muestran que la mejor ubicación de PSS's y SMC es en las unidades 1 y 2 de la central Daule Peripa (65, 66) de la zona Santo Domingo – Quevedo.

Con la aplicación de las formulas (18) a (24) se determinan los valores de T1, T2, T3, T4 y K a ser ingresados en el PSS's, ubicados en las unidades de generación de la central Daule Peripa la tabla 2 muestra los parámetros ingresados en el PSS.

Tabla 2. Parámetros ingresados en el PSS

Generador	Módulo [p.u.]	Angulo [°]	Kpss	T1
Daule-Peripa U1 y U2	0.00274	87.735668	3.115192	0.271319

Una vez activados los PSS's, se procede a realizar el análisis modal obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 3. Análisis modal con la activación de PSS's.

Sistema Nacional Interconectado				
Nombre	Parte real	Parte imaginaria	Frecuencia de amortiguamiento	Razón de amortiguamiento
	[1/s]	[rad/s]	[Hz]	
Mode 00092	-1.46921946	21.9191557	3.48854198	0.06687895
Mode 00093	-1.46921946	-21.9191557	3.48854198	0.06687895
Mode 00235	-0.53151494	7.71065404	1.22718871	0.06876934
Mode 00236	-0.53151494	-7.71065404	1.22718871	0.06876934
Mode 00249	-0.52686025	7.10493844	1.13078607	0.07395105
Mode 00250	-0.52686025	-7.10493844	1.13078607	0.07395105
Mode 00229	-0.68743838	8.84525566	1.40776616	0.07748466
Mode 00230	-0.68743838	-8.84525566	1.40776616	0.07748466
Mode 00187	-0.84337556	10.8471733	1.72638125	0.07751677
Mode 00188	-0.84337556	-10.8471733	1.72638125	0.07751677
Mode 00237	-0.64989673	8.32415189	1.32482992	0.07783676
Mode 00238	-0.64989673	-8.32415189	1.32482992	0.07783676
Mode 00233	-0.69019515	8.69883113	1.38446197	0.07909486
Mode 00234	-0.69019515	-8.69883113	1.38446197	0.07909486
Mode 00223	-0.729878	9.15754139	1.45746798	0.07945044
Mode 00224	-0.729878	-9.15754139	1.45746798	0.07945044
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

Se incorpora el control de modos deslizantes (SMC) e igualmente se realiza un análisis modal obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 4. Análisis modal con la activación de PSS's y SMC.

Sistema Nacional Interconectado				
Nombre	Parte real	Parte imaginaria	Frecuencia de amortiguamiento	Razón de amortiguamiento
	[1/s]	[rad/s]	[Hz]	
Mode 00098	-1.46915963	21.9190678	3.488528	0.0668765
Mode 00099	-1.46915963	-21.9190678	3.488528	0.0668765
Mode 00251	-0.52718915	7.10522957	1.13083241	0.07399394
Mode 00252	-0.52718915	-7.10522957	1.13083241	0.07399394
Mode 00249	-0.55693265	7.31800912	1.16469733	0.07588495
Mode 00250	-0.55693265	-7.31800912	1.16469733	0.07588495
Mode 00231	-0.68746632	8.84523732	1.40776324	0.07748795
Mode 00232	-0.68746632	-8.84523732	1.40776324	0.07748795
Mode 00191	-0.84322143	10.8477115	1.72646691	0.07749887
Mode 00192	-0.84322143	-10.8477115	1.72646691	0.07749887
Mode 00239	-0.6516762	8.32249849	1.32456677	0.078064
Mode 00240	-0.6516762	-8.32249849	1.32456677	0.078064
Mode 00237	-0.69019561	8.69883093	1.38446194	0.07909491
Mode 00238	-0.69019561	-8.69883093	1.38446194	0.07909491
-	-	-	-	-
Mode 00229	-0.85650439	9.17609628	1.46042108	0.09293685
Mode 00230	-0.85650439	-9.17609628	1.46042108	0.09293685

Mostrándose así los valores propios del sistema nacional interconectado con la ubicación óptima de PSS y SMC, mejorando así la razón de amortiguamiento.

Se procede a realizar un análisis dinámico de un evento de conmutación con la línea de transmisión. Las gráficas en color rojo corresponden al sistema sin la presencia de PSS y SMC, la de color azul corresponde únicamente a la presencia del PSS, y la de color magenta corresponde a la operación combinada de PSS y SMC.

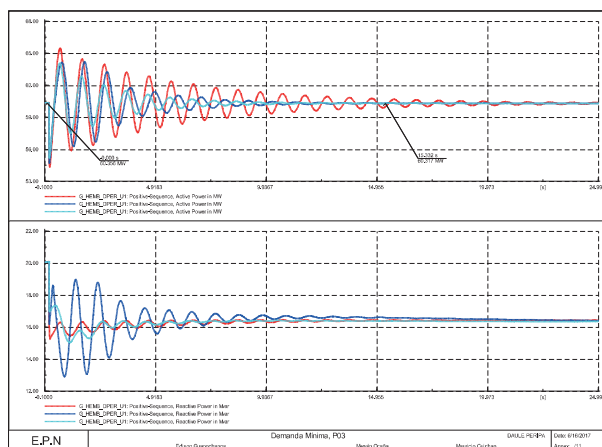


Fig. 7. Potencia Activa y Reactiva, ante apertura de la L/T Daule Peripa – Quevedo 1 y 2.

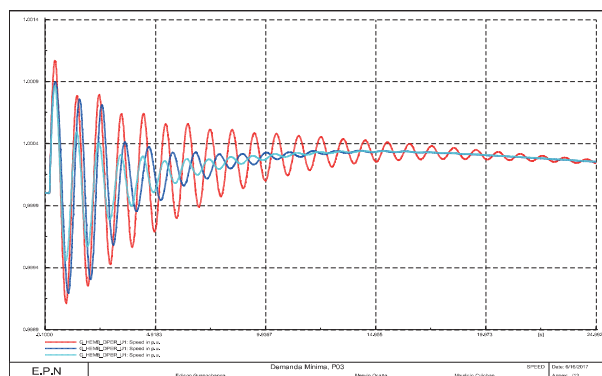


Fig. 8. Velocidad, ante apertura de la L/T Daule Peripa – Quevedo 1 y 2.

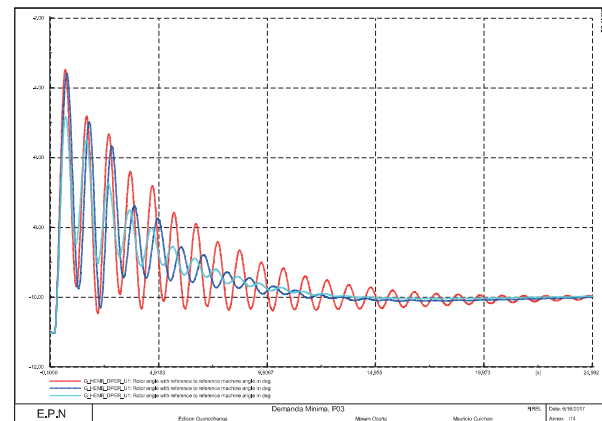


Fig. 9. Ángulo del rotor, ante apertura de la L/T Daule Peripa – Quevedo 1 y 2.

V. CONCLUSIONES

Es notorio que la incorporación del SMC hace que la relación de amortiguamiento de los modos poco amortiguados mejore, los parámetros del PSS calculados mediante el residuo arrojan resultados favorables.

Cuando la magnitud del residuo del generador es baja en el modo de oscilación poco amortiguado, indica que

probablemente el PSS no tenga el efecto anhelado sobre dicho modo.

Como resultado de la sintonización de los parámetros del PSS mediante la utilización del residuo, se obtuvo la mejora de la respuesta dinámica del sistema ante la presencia de perturbaciones.

La incorporación de un control de modos deslizantes al regulador de voltaje permite que el sistema sea más robusto, logrando de esta manera mantener la estabilidad del sistema en los límites establecidos incluso ante la presencia de perturbaciones de mayor gravedad.

VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración prestada al Dr. Carlos Gallardo y al MSc. Marco Herrera. Por impulsarnos a realizar este trabajo de estudio.

VII. REFERENCIAS

- [1] Kundur, Prabha. "Power system stability and control". Eds. Neal J. Balu, and Mark G. Lauby. Vol. 7. New York: McGraw-hill, 1994.
- [2] Cai, Lijun. "Robust coordinated control of FACTS devices in large power systems". Diss. Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Ingenieurwissenschaften» Elektrotechnik und Informationstechnik, 2004.
- [3] Sankeswari, S. S., and R. H. Chile. "Sliding mode control for performance improvement of linear systems." Emerging Technological Trends (ICETT), International Conference on. IEEE, 21-22 Oct. 2016.
- [4] Kolabi, Atabak, et al. "Comparing the Power system stabilizer based on sliding mode control with the fuzzy power system stabilizer for single machine infinite bus system (SMIB)." Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 5 (2012): 16-22.
- [5] G. Cakir, G. Radman, K. Hatipoglu, "Determination of the best location and performance analysis of STATCOM for damping oscillation" Southeastcon Proceedings of IEEE, 2013
- [6] C. Su, W. Hu, J. Fang, "Residue-based coordinated selection and parameter design of multiple power system stabilizers (PSSs)" Industrial Electronics Society, IECON 2013-39th Annual Conference of the IEEE. IEEE, 2013.
- [7] L. Malesani, L. Rosetto, G. Spiazzi, and P. Tenti, "Performance optimization of cuk converters by sliding-mode control", IEEE Transactions on Power Electronics 10.3 (1995): 302-309.
- [8] Carlos Gallardo, "Estabilidad y Amortiguamiento de Oscilaciones en Sistemas Eléctricos con Alta penetración Eólica", Tesis Doctoral, Universidad Carlos III de Madrid, 2009
- [9] A. Khairuddin, Development of Power System Dynamic for Damping Oscillation, Penerbit Universiti Teknologi Malaysia, 2008.
- [10] Sadikovic, Rusejla, Göran Andersson, and Petr Korba. "Damping controller design for power system oscillations." Article in Intelligent Automation & Soft Computing 12(1):51-62, 2006.
- [11] Francois Dussaud, "An application of modal analysis in electric power systems to study inter-area oscillations". Degree Project, In Electric Power System, Second Level, STOCKHOLM, Sweden (2015)
- [12] Camacho, Oscar, and Carlos A. Smith. "Sliding mode control: an approach to regulate nonlinear chemical processes." ISA transactions 39.2 (2000): 205-218.

VIII. BIOGRAFÍAS



Carlos Fabián Gallardo. - Nació en Riobamba en 1973. Se graduó de Ingeniero Eléctrico en la Escuela Politécnica Nacional en 1999. Recibió su Maestría en la Universidad de Flensburg en Alemania en 2004. Recibió su Doctorado en Ingeniería Electrónica y Eléctrica Automática en la Universidad Carlos III de Madrid en 2009.

Posteriormente, realizó el Postdoctoral Conjunto entre las Universidades Carlos III de Madrid en España - Iowa Estados Unidos, en el año 2011. Entre 2005 y 2009, trabajo en el Área Eléctrica Red de España y E.ON Alemania. Actualmente es profesor principal en la Escuela Politécnica Nacional y profesor a tiempo parcial en la Universidad Politécnica Salesiana. Sus áreas de interés incluyen Estabilidad, Operación y Control de SEP, Electrónica de Potencia Aplicada a SEP (FACTS-HVDC), Unidades Eléctricas, Modelación Estática y Dinámica de Energía Renovable.



Mayra Espinoza. – Nació en Riobamba – Ecuador el 5 de junio de 1969. Completó sus estudios de Maestría Y Doctorado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, actualmente es Profesora Principal.



Edison Fabricio Guanochanga.– Nació en Quito el 17 de noviembre de 1991. Completó sus estudios secundarios en el Colegio Técnico "Don Bosco" de la Kennedy. Actualmente está realizando su tesis de grado en la carrera de Ingeniería Eléctrica en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional. Sus áreas de interés incluyen estabilidad, protecciones eléctricas, operación y control de SEP.



Mauricio Cuichan. –Nació en Quito-Ecuador el 5 de junio de 1991. Completó sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico Superior Central Técnico. Actualmente realiza su tesis de grado en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional. Sus áreas de interés son Estabilidad, Operación y Control de SEP, automatización y control industrial, Protección eléctrica.