

AMORTIGUAMIENTO DE OSCILACIONES ELECTROMECAICAS EN CENTRAL HIDRAULICA

J.L. Agüero

IITREE-LAT
Facultad de Ingeniería. UNLP
La Plata. Bs. As. Argentina

M. C. Beroqui

IITREE-LAT. Prof. Ppal. CIC
Facultad de Ingeniería. UNLP
La Plata. Bs. As. Argentina

J. Mastronardi

Hidroeléctrica Futaleufú S.A.
Esquel. Chubut. Argentina

P. Stoeff Belkenoff

Hidroeléctrica Futaleufú S.A.
Esquel. Chubut. Argentina

Resumen: Se describen los estudios, simulaciones y ensayos realizados, para amortiguar oscilaciones electromecánicas, con la instalación de Estabilizadores de Potencia o "Power System Stabilizer" (PSS) en 4 unidades generadoras de 118 MW de una central hidráulica, conectada al sistema mediante una doble terna de 330 KV, en cuyo arribo existe una planta de aluminio con dos series de cubas de electrólisis, cada una de 160 MW. Dada la particularidad del sistema, se realizaron estudios de detalle del mismo. El estudio inició con la validación de una Base de Datos de todo el sistema, incluida la carga de la planta de aluminio. Se realizaron análisis modales junto con simulaciones temporales correspondientes a eventos determinados que excitan a los modos de oscilación electromecánica dominantes. Se hallaron valores de sintonía de los PSS, y se ponderó su influencia sobre los Reguladores Automáticos de Velocidad para no degradar su desempeño. Se realizaron ensayos durante la puesta en servicio de los PSS, cuyos resultados coincidieron con los estudios previos.

Palabras Claves: Modelo de Carga. Estabilizador de Potencia (PSS). Regulador Automático de Tensión (RAT). Regulador Automático de Velocidad (RAV). Estabilidad Dinámica.

I. INTRODUCCIÓN

La República Argentina posee dos sistemas eléctricos desvinculados entre sí, el de mayor porte denominado Sistema Argentino de Interconexión (SADI), ubicado en el centro y norte del país, con interconexiones a países vecinos, Uruguay y Brasil; y el de menor porte denominado Sistema Eléctrico Interconectado Patagónico (SEPI), que abarca la región patagónica al sur del país.

El SEPI es relativamente pequeño, su carga pico es de aproximadamente 600 MW, posee una central hidráulica con cuatro unidades de 118 MW cada una, que se conecta a través de una doble terna de 330 KV y 550 Km, con una planta productora de aluminio por electrólisis. El resto del sistema tiene un desarrollo de 1300 Km en líneas de 132 KV, con carga y generación distribuida, en configuración radial, estando una importante proporción de esta demanda constituida por motores en yacimientos de hidrocarburos.

La planta de aluminio está constituida por dos series, cada una de ellas compuesta por 200 cubas electrolíticas y 160 MW, y posee generación propia a gas

En Fig. 1 se muestra un esquema unifilar simplificado del Sistema Eléctrico Patagónico Interconectado (SEPI), mostrando la situación actual de la planta de aluminio y su futura ampliación en demanda, con la instalación de una tercer serie, y en generación, con la instalación de nuevos

generadores a gas, 2 de ellos en ciclo combinado con un nuevo generador a vapor.

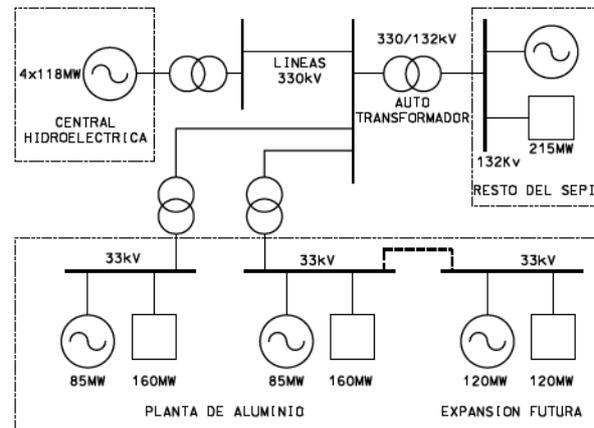


Fig. 1: Esquema unifilar simplificado. Sistema Eléctrico Interconectado Patagónico (SEPI).

Se han indicado los valores de demanda de las series electrolíticas, y las potencias instaladas de generadores en la planta de aluminio y en la central hidráulica. Sobre la doble terna de 330 KV existía una restricción al transporte, debido a que la experiencia de operación y estudios previos indicaban la presencia de oscilaciones electromecánicas con amortiguamientos no aceptables.

Por tal motivo, la central hidráulica, la de mayor porte del SEPI, realizó los estudios necesarios para instalar Estabilizadores de Potencia (PSS) en sus Reguladores Automáticos de Tensión (RAT).

Estos estudios comenzaron con la conformación de una Base de Datos para estudios dinámicos, validada con datos aportados por fabricantes y ensayos realizados. Se presta particular interés en modelar adecuadamente la carga que representa la planta de aluminio, particularmente en el rango de frecuencia de las oscilaciones electromecánicas.

También se validó por ensayos el modelo del RAT de la central hidráulica.

Luego se plantearon distintos escenarios de estudio, que abarcan situaciones actuales y futuras expansiones del SEPI, tanto en líneas, como en instalación de nuevos generadores y nuevas demandas.

Debido a que la central hidráulica está ubicada en un

extremo del SEPI y es la de mayor porte en el sistema, se analizaron todos los casos posibles de participación en el despacho del sistema, con mínima y máxima hidráulica. Se analizó la efectividad de los PSS funcionando bajo el principio de potencia eléctrica o acelerante.

Se minimizó el impacto negativo de los PSS sobre los Sistemas de Regulación de Velocidad de la central hidráulica, seleccionándose el ajuste más apropiado. Por último, se realizaron ensayos de puesta en servicio de los PSS, verificándose su correcto desempeño.

II. BASE DE DATOS

Se determinaron todos los modelos necesarios para el estudio a partir de información de fabricantes, y ensayos de puesta en marcha o específicos a tal fin.

En aquellos casos en que no existía información de ensayos se tomaron como base los ajustes típicos recomendados: en Ref. 1 para los RAT; en Ref. 2 para los RAV; y en Ref. 3 para los parámetros de máquina.

Respecto de los coeficientes de sensibilidad de la carga, activo y reactivo, de la planta de aluminio respecto de la tensión y de la frecuencia, estos se obtuvieron de ensayos realizados con anterioridad por distintos organismos, y fueron comparados con aquellos reportados en diferentes publicaciones. Los valores obtenidos fueron:

$$P = P_0 * V^{2.5}$$

$$Q = Q_0 * V^{2.85}$$

Las potencias activas y reactivas no mostraron susceptibilidad respecto de la frecuencia.

Se destaca que, a largo plazo, estas cargas se comportan como de potencia activa constante, y la potencia reactiva depende del sistema de control de la carga, que trata de mantener la corriente continua de la serie constante, actuando sobre reactores saturables intercalados entre el transformador de alimentación y el puente de diodos.

Los modelos del RAT de la central hidráulica corresponden al IEEE STA1, y fueron verificados por ensayos.

En Fig. 2 se muestra el ensayo de vacío de uno de estos sistemas, realizados de acuerdo a [4], y los resultados obtenidos mediante simulación con el modelo propuesto, notándose una buena concordancia.

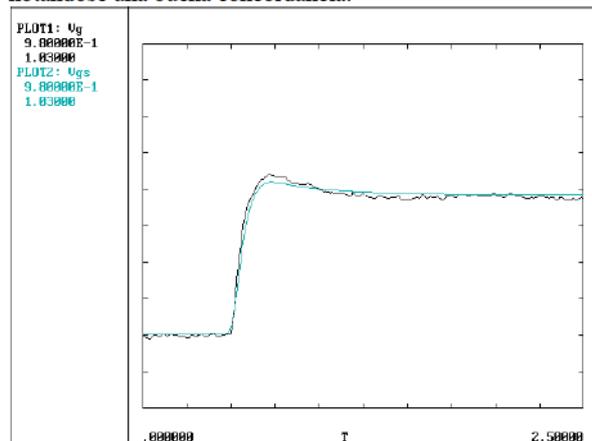


Fig. 2: Ensayo de Vacío. Tensión Generador medida (Vg) y simulada (Vgs).

III. ESTABILIDAD DINÁMICA

Se analizó la estabilidad dinámica para distintos despachos y configuraciones del SEPI, en condiciones actuales y teniendo en cuenta futuras expansiones. Se tubo en cuenta la

presencia actual de una central a gas con PSS instalados. Además se analizaron futuras expansiones del SEPI, con una nueva central a gas de similares características a la anterior, y la expansión en generación y demanda de la planta de aluminio.

Para el estudio de los casos se realizaron análisis modales y simulaciones temporales con el programa PSS/E de PTI Inc, dando ambas herramientas resultados comparables.

Algunos de los casos analizados se muestran en **Tabla 1** y **2**. En **Tabla 1** se muestran los casos correspondientes a la situación actual.

1	415 MW	0 MW	+55 MW	D	N	N	0.5 Hz	4%
2	415 MW	0 MW	+55 MW	D	S	N	0.5 Hz	13%
3	415 MW	80 MW	+55 MW	D	N	S	0.7 Hz	11%
4	415 MW	80 MW	+55 MW	D	S	S	0.7 Hz	14%
5	415 MW	80 MW	+55 MW	D	N	N	0.7 Hz	5%
6	354 MW	80 MW	+35 MW	S	N	S	0.7 Hz	11%
7	354 MW	80 MW	+35 MW	S	S	S	0.7 Hz	14%
8	354 MW	0 MW	+35 MW	S	N	N	0.5 Hz	4%
9	354 MW	0 MW	+35 MW	S	S	N	0.5 Hz	10%

Tabla 1: Casos analizados. Situación actual SEPI.

Columnas:

- 1) Número de caso analizado.
- 2) Generación en central hidráulica.
- 3) Generación en central a gas, con PSS
- 4) Exportación. + = a 132 KV; - = de 132 KV.
- 5) Config. línea 330 KV. S = simple terna; D = doble terna.
- 6) PSS central hidráulica. S = SI; N = NO.
- 7) PSS central gas. S = SI; N = NO.
- 8) Frecuencia de oscilación electromecánica.
- 9) Amortiguamiento de oscilación electromecánica.

En **Tabla 2** se muestran casos futuros, con ampliación de generación en planta de aluminio y nueva generación en el extremo sur similar a la central a gas con PSS (casos 10 a 12); con dos autotransformadores iguales vinculando los sistemas de 132 KV y 330 KV (casos 13 Y 14), y además con un ciclo combinado en planta de aluminio (casos 15 y 16).

10	472 MW	156 MW	+55 MW	D	S	S	0.55 Hz	>15%
11	472 MW	156 MW	+55 MW	D	N	N	0.55 Hz	2%
12	472 MW	156 MW	-18 MW	D	S	S	0.5 Hz	>15%
13	472 MW	140 MW	+101 MW	D	S	S	0.6 Hz	>15%
14	472 MW	140 MW	+101 MW	D	N	N	0.6 Hz	5%
15	472 MW	40 MW	+101 MW	D	S	S	0.45 Hz	>15%
16	472 MW	40 MW	+101 MW	D	N	N	0.45 Hz	7%

Tabla 2: Casos analizados. Situaciones futura SEPI.

Columnas: Idem **Tabla 1**, excepto:

- 3) y 7) Compara ambas centrales a gas, existente y futura.

IV. ANÁLISIS MODAL

Se realizaron análisis modales, sobre los casos planteados, para detectar los modos de oscilación dominantes en el SEPI. Para los casos actuales, y con el vínculo cerrado entre los sistemas de 132 KV y 330 KV, los análisis modales indican la presencia de una oscilación electromecánica entre las unidades de la central hidroeléctrica, con las unidades generadoras de la planta de aluminio prácticamente en fase, y las unidades más alejadas en contrafase, como a priori podía inferirse. Este modo de oscilación resulta dominante, con una frecuencia del orden de 0.5 a 0.7 Hz. El amortiguamiento es pobre, del orden del 4% si no hay PSS en el SEPI, situación que mejora con PSS en la central hidráulica o en la central a gas, con amortiguamientos que superan el 10%, alcanzando valores cercanos al 15% con

ambas centrales con PSS.

Para los casos actuales, y con el vínculo abierto entre los sistemas de 132 KV y 330 KV, los análisis modales indican la presencia de una oscilación electromecánica entre las unidades de la central hidroeléctrica, contra las unidades generadoras de la planta de aluminio. Este modo de oscilación resulta dominante con una frecuencia cercana a 1 Hz, y amortiguamientos del orden del 2% y 10%, sin y con PSS en la central hidráulica respectivamente.

Para los casos futuros, y con el vínculo cerrado entre los sistemas de 132 KV y 330 KV, los análisis modales indican la presencia de una oscilación electromecánica entre las unidades de la central hidroeléctrica, con las unidades generadoras de la planta de aluminio prácticamente en fase, y las unidades más alejadas en contrafase, como a priori podía inferirse. Este modo de oscilación resulta dominante, con una frecuencia del orden de 0.45 a 0.6 Hz. El amortiguamiento es muy pobre, del orden del 2% si no hay PSS en el SEPI, situación que mejora notablemente con PSS en la central hidráulica y en las centrales a gas, con amortiguamientos que superan el 15%.

Aparece otro modo de oscilación, en este caso mecánica, con una frecuencia del orden de 0.03 Hz, y un amortiguamiento inferior al 10%. Analizados los factores de participación, resulta evidente que este modo de oscilación está vinculado al Regulador Automático de Velocidad (RAV) de la central hidráulica. Dado el pobre amortiguamiento de este modo de oscilación mecánico, se puso particular énfasis en que los PSS no degradaran el desempeño del RAV, como se explicará más adelante.

V. SIMULACIONES TEMPORALES

Las simulaciones temporales permitieron confirmar los resultados de los análisis modales. Para excitar el modo de oscilación electromecánica dominante, se introdujo una perturbación en el sistema consistente en variar un 2%, en forma de escalón y simultáneamente, la referencia de tensión de los RAT de la central hidráulica.

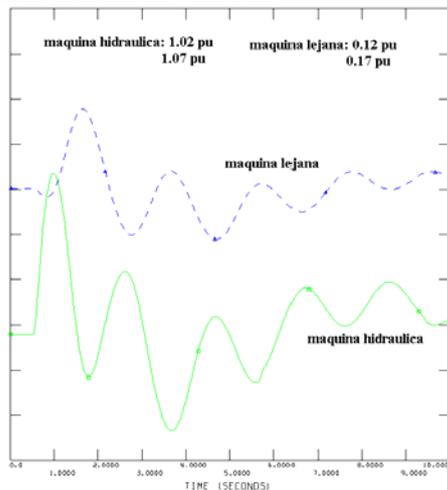


Fig. 3: Caso 1. Potencias de unidades generadoras.

A modo de ejemplo se presentan los resultados de las simulaciones temporales del caso 1, en la Fig. 3, mostrando la evolución de las potencias generadas en una unidad de la central hidráulica y en otra unidad lejana.

VI. INTERACCIÓN ENTRE RAV Y PSS

El PSS utilizado corresponde al modelo PSS2A de IEEE.

En Fig. 4 se plantea un diagrama en bloques simplificado de las acciones del RAV y del PSS sobre la frecuencia. El PSS provee una realimentación negativa de la frecuencia a la potencia acelerante en la banda de las oscilaciones electromecánicas, para lo cual su contribución tendrá parte real positiva.

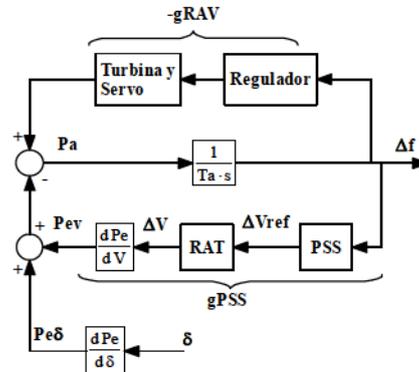


Fig. 4: Diagrama en bloques. Influencia sobre la frecuencia del RAV y PSS.

En Fig. 5 se muestra la respuesta en frecuencia de la transferencia indicada como gPSS (con ganancia estática unitaria en el PSS) en Fig. 4, para un PSS del tipo PSS2A de IEEE, sin lead-lag y con doble wash-out de 0.5 segundos.

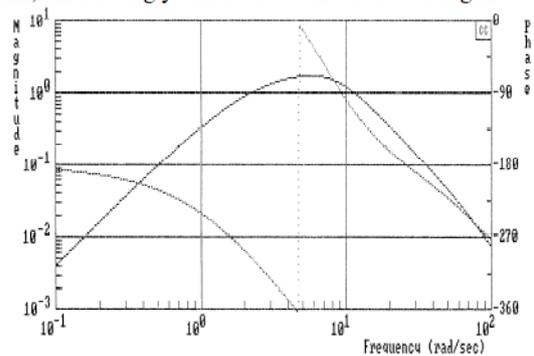


Fig. 5: Respuesta en frecuencia. Transferencia gPSS, con ganancia estática unitaria, sin lead-lag y con doble wash-out de 0.5 segundos

En Fig. 6 se muestra la respuesta en frecuencia de la transferencia indicada como gRAV en Fig. 4, cuya frecuencia crítica, en ausencia de PSS, será aquella para la que gRAV atrase 90 grados, ya que las masas rotantes (1/sTa) proveerán los otros 90 grados.

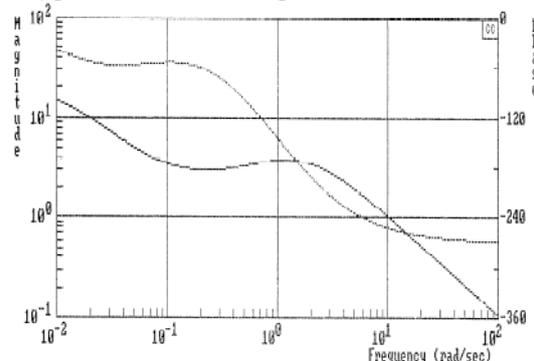


Fig. 6: Respuesta en frecuencia. Transferencia gRAV.

Esta frecuencia crítica será aproximadamente 0.07 Hz, bastante por debajo de la banda de oscilaciones electromecánicas.

En la Fig. 7 se muestra la respuesta en frecuencia a lazo abierto del lazo de velocidad, cuando no existe PSS. De ella se obtiene una frecuencia crítica de 0.07 Hz, un Margen de Ganancia de 1.72, y un Margen de Fase de 26 grados.

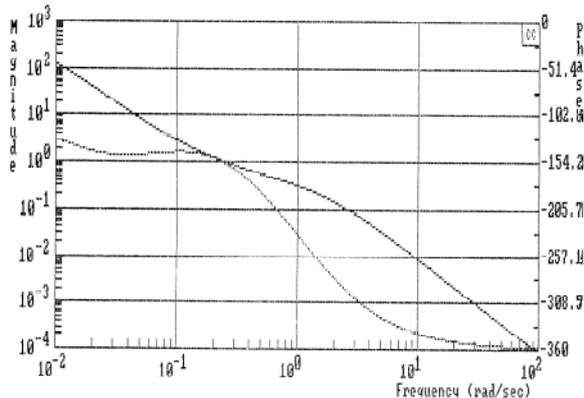


Fig. 7: Respuesta en frecuencia a lazo abierto. Lazo de velocidad.

Efecto del RAV sobre el PSS

La realimentación total desde frecuencia a potencia acelerante estará dada por la contribución de ambos caminos. Para la banda de oscilaciones electromecánicas, se tiene un efecto positivo a través de la transferencia gPSS, y un efecto negativo a través de la transferencia gRAV.

Para una ganancia estática del PSS de 15, la contribución positiva del camino gPSS es aproximadamente 10 veces mayor que la contribución negativa del camino gRAV.

En definitiva, este efecto negativo del RAV, tiene muy bajo impacto en el amortiguamiento de las oscilaciones electromecánicas, respecto del provisto por el PSS.

Efecto del PSS sobre el RAV

Al incluir el PSS, la función de transferencia de lazo abierto del lazo de velocidad será:

$$(gRAV + gPSS) * \frac{1}{T_a * s}$$

En la Fig. 8 se muestra la transferencia gRAV+gPSS, para una ganancia estática del PSS de 15, doble wash-out de 0.5 segundos, y sin lead-lag. Para bajas frecuencias coincide con gRAV, mientras que para altas frecuencias coincide con gPSS.

En la zona de la frecuencia crítica del lazo, el efecto de gPSS no es totalmente despreciable, y produce un corrimiento de la frecuencia crítica de 0.07 Hz a 0.05 Hz, empeorando el Margen de Ganancia (1.52) y el Margen de Fase (23 grados).

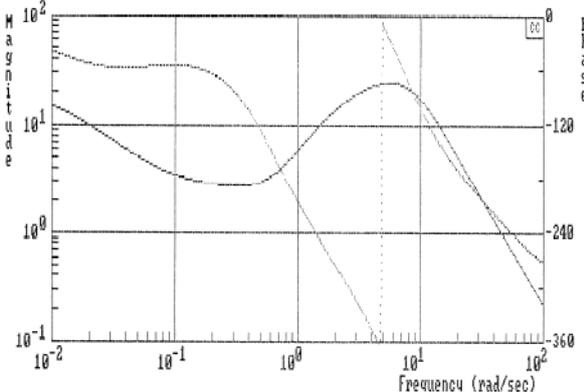


Fig. 8: Transferencia gRAV+gPSS. Ganancia estática PSS 15.

Este impacto negativo del PSS sobre el lazo de velocidad

será tanto peor cuanto más grande sea el tiempo de los wash-out, aumentando también con la ganancia estática del PSS.

PSS de Potencia Acelerante vs PSS de Potencia Eléctrica

Como se ve en el diagrama en bloques de la Fig. 4, la variación de frecuencia está dada por la potencia acelerante y las masas rotantes, según:

$$\Delta f = \frac{\Delta P_a}{T_a * s} = \frac{\Delta P_m - \Delta P_e}{T_a * s}$$

Cuando se utiliza un PSS que reconstruye la potencia acelerante, las variaciones de potencia eléctrica que introduce son:

$$(\Delta P_e)_{Pa} = gPSS * \Delta f = gPSS * \left(\frac{\Delta P_m - \Delta P_e}{T_a * s} \right)$$

Mientras que con un PSS que solamente responde a las variaciones de potencia eléctrica, se obtiene:

$$(\Delta P_e)_{Pe} = gPSS * \left(\frac{-\Delta P_e}{T_a * s} \right) = gPSS * \left(\Delta f - \frac{\Delta P_m}{T_a * s} \right)$$

A su vez, por el camino del lazo de velocidad, resulta:

$$\Delta P_m = gRAV * \Delta f$$

Por lo que:

$$(\Delta P_e)_{Pe} = gPSS * \left(\Delta f - \frac{\Delta P_m}{T_a * s} \right) = gPSS * \left(\Delta f - \frac{gRAV * \Delta f}{T_a * s} \right)$$

$$(\Delta P_e)_{Pe} = gPSS * \left(1 - \frac{gRAV}{T_a * s} \right) * \Delta f$$

O sea que el PSS basado en potencia eléctrica se comporta como uno de potencia acelerante, con una transferencia igual a:

$$gPSS * \left(1 - \frac{gRAV}{T_a * s} \right)$$

En la Fig. 9 se presenta la respuesta en lazo abierto del lazo de velocidad, para el caso que se utilice un PSS del tipo potencia eléctrica, con ganancia estática de 15, dos wash-out de 0.5 segundos, y sin lead-lag. Se observa que respecto del caso sin PSS mostrado en Fig. 7, no se ha alterado la frecuencia crítica ni el Margen de Ganancia, y ha mejorado el Margen de Fase que ahora es de 32 grados.

Por otra parte, en la banda de oscilaciones electromecánicas, el comportamiento de este PSS basado en potencia eléctrica, es similar al de potencia acelerante mostrado en Fig. 5.

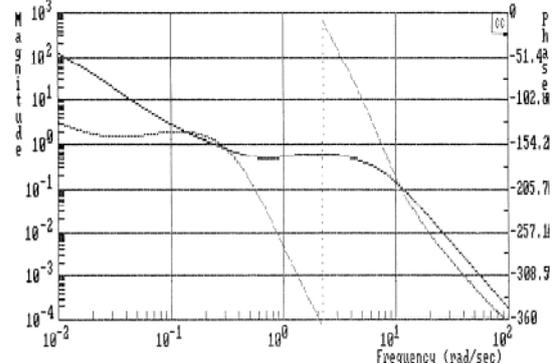


Fig. 9: Transferencia a lazo abierto. Lazo de velocidad. PSS tipo potencia eléctrica.

VII. SINTONIZACIÓN DE LOS ESTABILIZADORES

En el diagrama en bloques de la Fig. 4 se indica la realimentación negativa entre frecuencia y potencia eléctrica que introduce el PSS, cualquiera sea su principio de

funcionamiento. Esta realimentación negativa se sintoniza en la banda de frecuencias de oscilación electromecánicas, siendo idealmente nula la acción para frecuencias más bajas. Por lo tanto, el PSS debe compensar el desfase que pueda introducir el RAT.

Para tal fin, el PSS tipo PSS2A posee 2 wash-out (filtros pasa altos) y dos lead-lag para compensar desfases. Además posee una ganancia ajustable y un filtro de rampa. Para este proceso de sintonía es necesario conocer la transferencia desde la salida del PSS, ingreso al RAT, hasta la potencia eléctrica.

Esta transferencia se halla por simulación. Para que la potencia eléctrica solo dependa de la tensión, es necesario anular la realimentación existente entre el ángulo rotórico y la potencia eléctrica, lo que se realiza aumentando artificialmente las constantes de inercia de las máquinas, de manera tal que los ángulos rotóricos permanezcan constantes.

En la Fig. 10 se observa la evolución temporal de la tensión terminal y de la potencia eléctrica, ante un cambio del 2% en la tensión de referencia del RAT, lugar de ingreso del PSS, con las constantes de inercia de las máquinas aumentada 1000 veces.

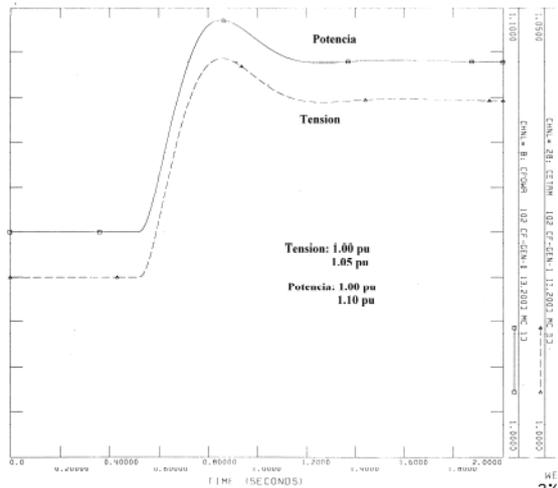


Fig. 10: Respuesta en carga del RAT. Escalón del 2% en referencia tensión. Constantes Inercias aumentadas 1000 veces.

Se aprecia que ambas respuestas son proporcionales, con una ganancia incremental de 1.64 p.u.

Con la anterior respuesta al escalón, se simuló la transferencia del RAT que queda conectada en cascada con la del PSS, según el esquema de Fig. 4.

Teniendo como dato la banda de frecuencias de las oscilaciones electromecánicas, determinadas por: análisis modales, simulaciones temporales, y registros de ensayos sobre el SEPI, que indican que la oscilación interárea, extremo inferior de la banda, es del orden de 0.5 Hz (3.14 rad/s), mientras que los modos locales de oscilación, extremo superior de la banda, son del orden de 1.4 Hz (8.8 rad/s), se determinó el siguiente ajuste para la transferencia entre la tensión y la frecuencia o potencia eléctrica:

$$\Delta V = \left(\frac{0.5 * s}{1 + 0.5 * s} \right)^2 * \left(\frac{1 + 0.25 * s}{1 + 0.06 * s} \right) * \left(\frac{1 + 0.16 * s}{1 + 0.6 * s} \right) * RAT(s) * \Delta f$$

En Fig. 11 se muestra el comportamiento con la frecuencia de la parte real de esta transferencia. Se observa que la parte real es positiva entre aproximadamente las pulsaciones

angulares de 1 rad/s a 10 rad/s.

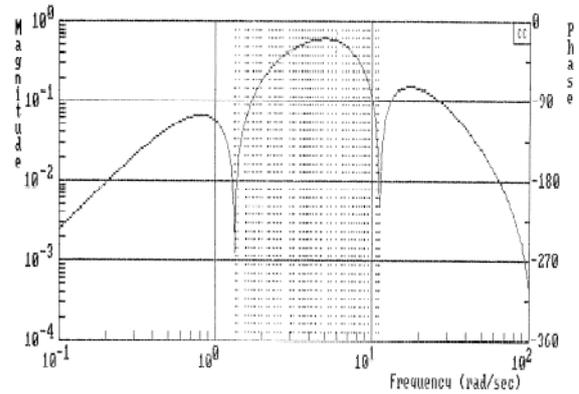


Fig. 11: Respuesta en frecuencia. Transferencia de frecuencia a tensión terminal.

La ganancia estática del PSS se ajustó, a través de sucesivas simulaciones temporales, para obtener un amortiguamiento comprendido entre el 10% y el 15% para la oscilación interárea, ya que el amortiguamiento de los modos locales e interunidades no resultaron críticos. Se encontró una ganancia estática óptima de 20, la que representa una ganancia efectiva de 9 p.u. a 0.5 Hz para el PSS.

VIII. ENSAYOS DE COMISIONAMIENTO

Durante la puesta en servicio de los PSS se realizaron una serie de ensayos para verificar el correcto desempeño de los mismos, para los diferentes modos de oscilación electromecánicos. Durante los ensayos se probaron distintos ajustes del PSS, dejándose en definitiva aquellos previstos en los estudios.

Algunos de estos ensayos fueron simulados a posteriori, con el objeto de validar la información contenida en la Base de Datos utilizada para los estudios previos, lográndose una muy buena concordancia.

Los ensayos destinados a excitar los modos de oscilación electromecánica fueron:

Modo de oscilación local

Para excitar este modo de oscilación se ingresó un escalón de alrededor del 1% en la referencia de tensión del RAT de la máquina ensayada.

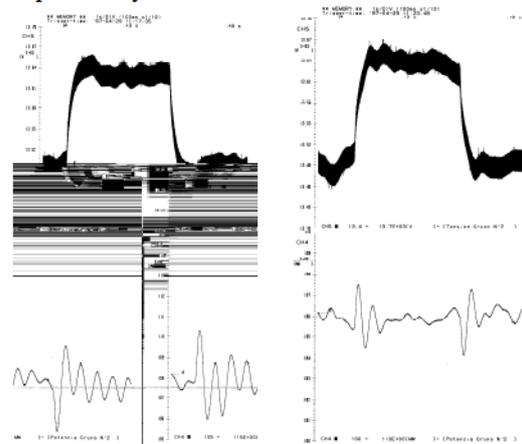


Fig. 12: Modo local. Potencia y Tensión Terminal. PSS fuera y en servicio.

En Fig. 12 se muestran la potencia activa y la tensión terminal del generador ensayado, con el PSS fuera de

servicio. Se observa que la oscilación electromecánica es de 1.4 Hz, con un amortiguamiento del orden del 4%.

En la misma Fig. 12 se muestra el resultado del ensayo con el PSS en servicio. Se observa que la oscilación electromecánica es de 1.4 Hz, con un amortiguamiento superior al 15%.

Modo de oscilación interunidades

Para excitar este modo de oscilación se ingresó el mismo escalón de alrededor del 1%, pero con polaridades diferentes, en las referencias de tensión de los RAT de las dos máquinas ensayadas.

En Fig. 13 se muestran la potencia activa y la tensión terminal de un par de los generadores ensayados, con sus PSS fuera de servicio. Se observa que la oscilación electromecánica es de 1.25 Hz, con un amortiguamiento del orden del 6%.

También en la Fig. 13 se muestran las mismas variables, para el ensayo con los PSS en servicio. Se observa que la oscilación electromecánica es de 1.25 Hz, con un amortiguamiento muy superior al 15%.

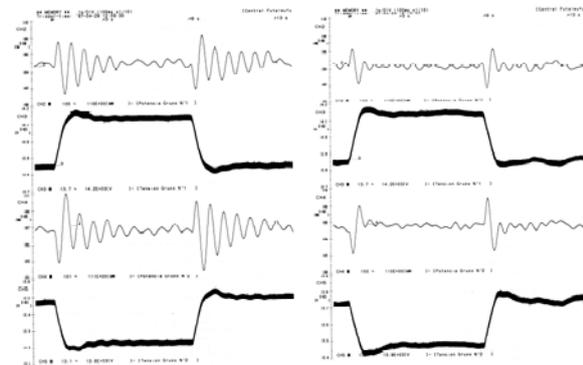


Fig. 13: Modo interunidades. Potencia y Tensión Terminal de los dos generadores ensayados. PSS fuera y en servicio.

Modo de oscilación interárea

Este modo fue excitado a través de la salida de servicio, sin falla previa, de una de las ternas de 330 KV, y por la entrada en servicio de la misma línea.

Las máquinas de la central hidráulica tenían los PSS en servicio, con los ajustes determinados en los estudios previos.

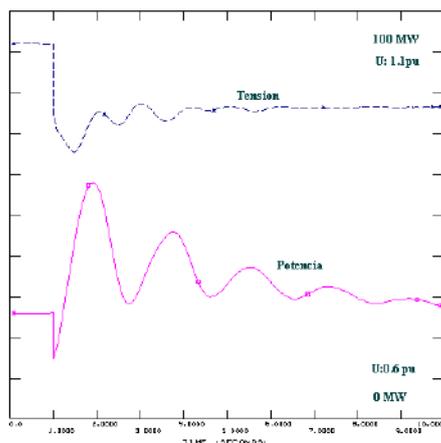


Fig. 14: Modo interárea. Ensayo salida de servicio de una línea de 330 KV. Tensión 330 KV y Potencia Activa Autotransformador 330 /132 KV. PSS en servicio.

En Fig. 14 se muestran la tensión en 330 KV en el

autotransformador 330 KV/132 KV, y la potencia activa en 132 KV entregada por el mismo, registrados en la maniobra de salida de la línea de 330 KV. Se observa que la oscilación es de 0.46 Hz, con un amortiguamiento superior al 10%.

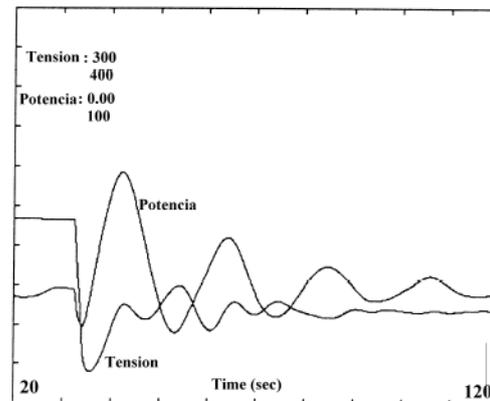


Fig. 15: Modo interárea. Simulación salida de servicio de una línea de 330 KV. Tensión 330 KV y Potencia Activa Autotransformador 330 /132 KV. PSS en servicio.

En Fig. 15 se muestran la simulación de la maniobra anterior, de salida de servicio de la línea de 330 KV.

También se registró durante la maniobra de puesta en servicio de la línea de 330 KV, observándose que el amortiguamiento es superior al 10%.

IX. CONCLUSIONES

- Se elaboró una Base de Datos para estudios de estabilidad, correspondiente al Sistema Eléctrico Patagónico Interconectado (SEPI), la cual fue verificada, a posteriori de los estudios, por simulación de los ensayos realizados en el sistema, lográndose una buena concordancia.
- Esta Base de Datos fue utilizada para realizar todos los estudios necesarios para instalar PSS en la central de mayor porte del sistema, del tipo hidráulica.
- Se describieron los estudios realizados y los resultados obtenidos por análisis modales y simulaciones temporales, los que arrojaron resultados concordantes.
- Se adoptaron PSS de potencia eléctrica, para minimizar el impacto de los mismos sobre los lazos de control de velocidad.
- Se realizaron los ensayos de puesta en servicio de los PSS, durante los cuales se probaron distintos ajustes, resultando ser los mejores aquellos determinados por los estudios previos.
- Los amortiguamientos obtenidos, para los distintos modos de oscilación electromecánica, fueron los previstos en los estudios.

X. REFERENCIAS

- [1] IEEE Std. 421.5-1992. "IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies".
- [2] IEEE Working Group Report. "Hydraulic Turbine and Turbine Control Models for System Dynamic Studies". IEEE Trans., Vol. PWR-7, No. 1, pp. 167-179, February 1992.
- [3] IEEE Std. 1110-1991. "Guide for Synchronous Generator Modeling Practices in Stability Analyses".
- [4] IEEE Std. 421.2-1990. "IEEE Guide for Identification, Testing, and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control Systems".

**VIII ENCUENTRO REGIONAL
LATINOAMERICANO
DE LA CIGRE**

**CIUDAD DEL ESTE – PARAGUAY
30 de mayo al 03 de junio de 1999**

**“AMORTIGUAMIENTO DE OSCILACIONES ELECTROMECAÑICAS
EN CENTRAL HIDRÁULICA”**

RESUMEN

Se describen los estudios, simulaciones y ensayos realizados, para amortiguar oscilaciones electromecánicas, con la instalación de Power System Stabilizer (PSS) en 4 unidades generadoras de 118 MW de la central hidráulica FUTALEUFU, conectada al Sistema Eléctrico Patagónico Interconectado (SEPI) mediante una doble terna de 330 KV, en cuyo arribo existe una planta de aluminio con dos series de cubas de electrólisis, cada una de 170 MW. Dada la particularidad del sistema, se realizaron estudios de detalle del mismo. El estudio inició con la validación de una Base de Datos de todo el sistema, incluida la carga de la planta de aluminio. Se realizaron análisis modales junto con simulaciones temporales correspondientes a eventos determinados que excitan a los modos de oscilación electromecánica dominantes. Se hallaron valores de sintonía de los PSS, y se ponderó su influencia sobre los Reguladores Automáticos de Velocidad para no degradar su desempeño. Se realizaron ensayos durante la puesta en servicio de los PSS, cuyos resultados coincidieron con los estudios previos.

AUTORES

Ing. Jorge Luis Agüero. IITREE-LAT. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata.

Ing. Mario Beroqui. Prof. Ppal. CIC. IITREE-LAT. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata.

Ing. Jorge Mastronardi. Hidroeléctrica Futaleufú S.A.

Ing. Pablo Stoeff Belkenoff. Hidroeléctrica Futaleufú S.A.

COMITÉ 38 – Análisis y Técnicas de Sistemas Eléctricos de Potencia.