



GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - GAT

UTILIZAÇÃO DOS PSS DAS UNIDADES DE ITAIPU 50 Hz PARA ESTABILIZAÇÃO E MELHORIA DO DESEMPENHO DINÂMICO DO SISTEMA INTERLIGADO PARAGUAIO-ARGENTINO-URUGUAIO

**JONAS ROBERTO PESENTE(1); MANUEL LEONARDO SOSA-RIOS(1);
MARLON PIENITZ(1); RONY GARCIA(1); BLAS CIRILO SANCHEZ ALVARENGA(1);
ITAIPU BINACIONAL (1)**

RESUMO

A interligação energética da América latina é um projeto de grande extensão já discutido há anos e que demanda amplos esforços de diferentes esferas políticas, econômicas e técnicas de quase a totalidade dos países que a compõe.

O sincronismo entre Itaipu 50 Hz e Yacyretá, complementando a interligação elétrica entre os sistemas elétricos do Paraguai e da Argentina é uma das obras-chave de tal integração, tanto pela conexão do potencial gerador de Yacyretá com seu centro consumidor, como também pelo aumento da segurança energética e pelo fortalecimento das práticas operacionais que podem ser estendidas aos países do bloco econômico.

Esta interligação é um projeto que vem sendo amadurecido há mais de uma década e que, dentre outros desafios, dependia da solução de diversos problemas de cunho técnico, como aspectos de regulação de frequência, ajuste de controladores e concepção de ações de controle de emergência de forma a garantir uma operação interligada segura.

Dentre tais desafios figura também o projeto e colocação em serviço dos estabilizadores de sistemas de potência (*Power System Stabilizers - PSS*) das unidades de Itaipu em 50 Hz, fundamentais para a segurança operacional do sistema após esta interligação. Desde o início das atividades referentes ao planejamento da interligação elétrica e sua operação, os estudos realizados já demonstravam a existência de um modo eletromecânico instável e oscilatório entre Itaipu 50 Hz e a área composta por Yacyretá conectada ao sistema argentino, originado dos grandes montantes de geração e de carga associados às redes limitadas de transmissão. Sobretudo, a análise das propriedades deste modo oscilatório mostra que os geradores da usina hidrelétrica de Itaipu são os que possuem os maiores fatores de participação deste modo, sendo, portanto, os geradores candidatos para sua estabilização e controle.

Embora o ajuste, implantação e teste de estabilizadores seja uma atividade bem estabelecida na comunidade acadêmica e também nas rotinas das principais empresas dos setores elétricos de cada país, as particularidades deste trabalho trazem aspectos que podem ser agregados à experiência dos profissionais do setor.

Destaca-se, dentre estes aspectos, (i) a limitação topológica do estabilizador de Itaipu, que impede um ajuste independente de fase e ganho, para a qual se desenvolveram práticas para auxiliar a determinação do ajuste, (ii) a análise e o detalhamento das reações adversas da resposta transitória de Itaipu com reação à parametrização do estabilizador, e sobretudo, (iii) o ciclo limite identificado em simulações pela ação concorrente entre controles e limitadores dinâmicos, que apresentam ações de chaveamento no sistema elétrico.

Neste trabalho também se apresentam, analisam e discutem-se a localização e as características dos zeros das funções de transferência associadas ao modo instável que figuram no sistema elétrico, com especial atenção àquelas relacionadas aos geradores do sistema argentino, pois tais características influenciam e limitam suas capacidades de contribuir com a estabilização e controle do modo instável a partir dos referidos geradores.

Diante desse cenário, o presente Informe Técnico (IT) aborda questões teóricas e práticas do ajuste e da colocação em serviço dos estabilizadores dos geradores de Itaipu em 50 Hz e sistematiza essas informações para que possam também promover a discussão e auxiliar atividades de outras empresas do setor.

PALAVRAS-CHAVE

Estabilizadores de Sistemas de Potência, Transitórios Adversos de Tensão, Ciclo-limite, Interação entre controles.

1.0 - INTRODUÇÃO

Atualmente a carga do sistema elétrico paraguaio (SIN-PY) é assistida por dois subsistemas, um interligado à Itaipu (SS1) abastecendo as regiões da capital, do norte e parte do sul, correspondendo à cerca de 85% de sua demanda, e outro conectado à Yacyretá e ao sistema elétrico Argentino (SADI), alimentando parcialmente a região sul, e correspondente à cerca de 15% de sua carga (SS2).

No intuito de fazer o aproveitamento dos recursos hidroenergéticos da usina de Yacyretá para alimentar as cargas da região metropolitana, fortalecer sua rede de transmissão e prover intercâmbio entre subsistemas, a *Administración Nacional de Electricidad* (ANDE) construiu a linha LT 500 kV AYO-VHA, com 347 km e capacidade de 2215 MVA [1], ilustrada na Figura 1 pela linha pontilhada¹.

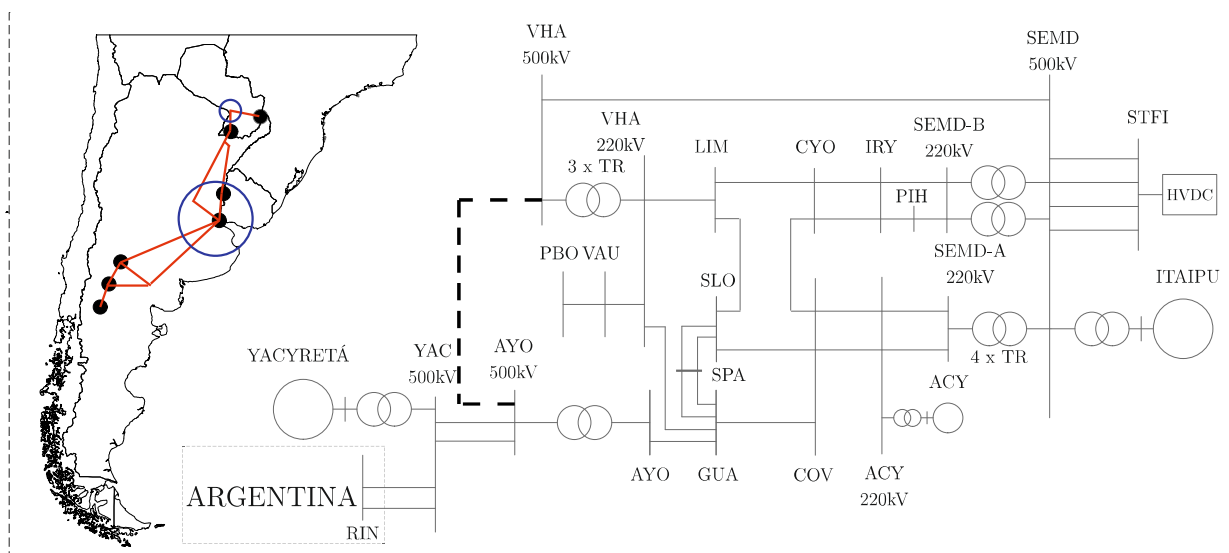


Figura 1 – Diagramas esquemático e geográfico dos elementos fundamentais da análise.

A Figura 1 ilustra também, de forma simplificada, a disposição geográfica dos geradores de Itaipu (7.000MW), Yacyretá (3.000MW), Salto Grande (1.890MW), Piedra del Águila (1.400MW), El Chocón (1.328MW), Atucha 1 e 2 (745MW e 362MW), Alicurá (1.050MW) e Embalse (683MW) nos pontos pretos, assim como os centros de carga do SIN-PY (máxima histórica de 3.632MW) e do SADI (máxima histórica de 26.500MW [2]) nos círculos azuis. O diagrama unifilar da Figura 1 apresenta, adicionalmente, as principais subestações do SIN-PY.

A configuração ilustrada de centros de carga eletricamente distantes dos centros geradores no SADI implica na existência de três modos interárea ([3],[4]), e estudos realizados de estabilidade à pequenas perturbações indicam que a interligação do SADI com Itaipu 50 Hz origina um modo interárea adicional, fracamente amortecido. A análise de pequenas perturbações realizada é descrita na seção subsequente.

2.0 - NATUREZA DA DINÂMICA DE PEQUENAS PERTURBAÇÕES APÓS A INTERLIGAÇÃO DOS SISTEMAS PARAGUAIO E ARGENTINO-URUGUAIO

A segurança operativa dos sistemas interligados prevê minimamente considerar a combinação das condições de carga do SADI e do SIN-PY e intercâmbio entre si. Em Itaipu, os estudos consideraram adicionalmente a variação do número de geradores (de 5 a 10) e de seu carregamento (de 500 MW a 750 MW), totalizando 1.536 casos de regime permanente. Dentre eles, sete casos limítrofes serão utilizados neste trabalho para ilustrar as análises e resultados. Estes casos, assim como o modo interárea originado da interligação e o modo intraplanta de Itaipu, para a condição de geradores em Itaipu sem PSS (condição operativa para o sistema não interligado) são apresentados na Tabela 1.

Os modos apresentados na Tabela 1 mostram que a natureza do modo interárea é tal que sua frequência natural varia cerca de 0,08Hz entre 0,33Hz e 0,41Hz (máximo de 15,1% de variação com relação à média), e com

¹ Esses sistemas possuem também um ponto de conexão em duas linhas de 220kV entre as subestações de GUA e SPA, porém essa conexão não viabiliza a operação segura entre os sistemas devido à sua limitada capacidade de transmissão (2x238MVA) e elevada impedância (5 vezes superior à da linha de 500kV).

amortecimento entre -1,65% e 5,01%. Analogamente, o modo intraplanta varia 0,07Hz entre 1,24 e 1,31 (máximo de 4,2% de variação com relação à média), e com amortecimento entre 8,9% e 13,8%.

Tabela 1 – Casos limítrofes de regime permanente e autovalor associado ao modo interárea originado da interligação, à malha aberta (sem PSS nos geradores de 50Hz de Itaipu)

Caso	Acrônimo	Carga SADI	Carga SIN-PY	Intercâmbio	N. Ger. Itaipu	MW. Ger. Itaipu	Autovalor interárea Autovalor intraplanta
1	Baixo carregamento dos geradores	26.581MW (NOCHE)	3.825MW	1.350MW	5	500MW	-0,128 ± j2,553, 0,406Hz/5,01% -1,119 ± j8,039, 1,279Hz/13,8%
2	Número mínimo de geradores	26.581MW	3.825MW	1.350MW	5	700MW	-0,096 ± j2,553, 0,406Hz/3,74% -1,242 ± j8,905, 1,242Hz/8,90%
3	Base (máximo em todos)	26.581MW	3.825MW	1.350MW	10	700MW	-0,046 ± j2,163, 0,344Hz/2,14% -0,737 ± j8,262, 1,315Hz/8,89%
4	Baixo intercâmbio PY-AR	26.581MW	3.825MW	540MW	10	700MW	0,031 ± j1,892, 0,301Hz/-1,65% -0,734 ± j8,252, 1,313Hz/8,89%
5	Baixa carga SIN-PY	26.581MW	1.490MW	1.260MW	10	700MW	-0,065 ± j2,163, 0,344Hz/3,02% -0,794 ± j8,257, 1,314Hz/9,58%
6	Carga SIN-PY e interc. baixos	26.581MW	3.825MW	0MW	10	700MW	-0,018 ± j2,095, 0,333Hz/0,87% -0,732 ± j8,158, 1,298Hz/8,93%
7	Baixa carga SADI	16.964MW (VALLE)	3.825MW	1.350MW	10	700MW	-0,081 ± j2,373, 0,370Hz/3,49% -0,737 ± j8,258, 1,314Hz/8,89%

A análise a pequenas perturbações relativa ao modo interárea indica que os geradores de Itaipu são os únicos que efetivamente proveem amortecimento, como ilustrado da Tabela 2, o que pode ser verificado pela magnitude superior do resíduo da função de transferência $\Delta\omega(s)/V_{REF}(s)$ para Itaipu quando comparado ao dos demais geradores.

Tabela 2 – Resíduos da função de transferência $\Delta\omega(s)/V_{REF}(s)$ no modo interárea ilustrado para o caso base

Gerador	Resíduo
Itaipu	1 / +171,8°
El Chocón	0,087 / -175,9°
Piedra del Aguila	0,055 / -166,4°
Alicura	0,030 / -151,3°
Embalse	0,024 / -152,7°
Yacyretá	0,017 / +140,6°
Atucha	0,008 / -136,4°
Salto Grande	0,004 / -173,0°

Esta conclusão é reforçada pela participação muito superior de Itaipu na composição do modo, como apresentado no formato de modo da Figura 2, e sobretudo porque os geradores das demais usinas principais apresentam pares de zeros complexo conjugados de fase não-mínima em seus laços de estabilização, indicando sua inabilidade em estabilizar adequadamente o modo interárea [5], como ilustrado na Figura 3.

Formatos de modo do modo interarea dominante da interligação PY-AR

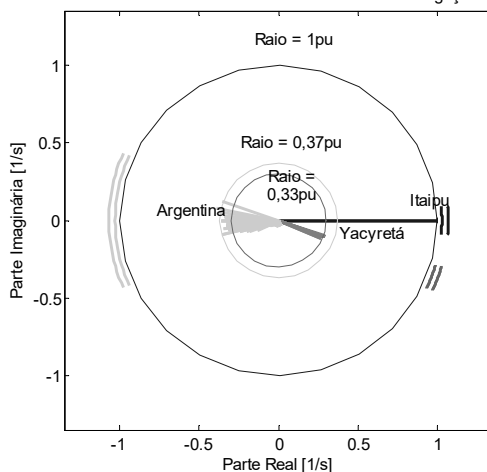


Figura 2 – Fatores de participação do modo.

Zeros das funções de transferência $\Delta\omega/\Delta V_{REF}$ dos geradores

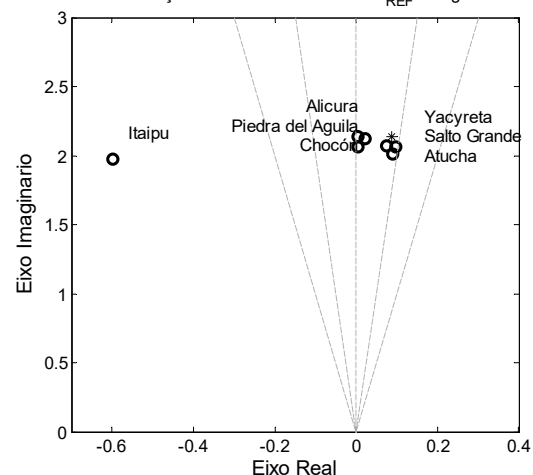


Figura 3 – Zeros de fase não mínima.

3.0 - ESTABILIZAÇÃO DO MODO INTERÁREA DOMINANTE PELO AJUSTE DOS PSS DE ITAIPU 50HZ

Muito embora o PSS dos geradores de Itaipu 50Hz devam prover bom amortecimento ao modo interárea, Itaipu também apresenta o modo intraplanta apresentado na Tabela 1. O amortecimento destes modos demanda a compensação de fase no laço estabilizante $\Delta\omega(s)/V_{REF}(s)$ entre -5° e 12° para o modo interárea e 92° e 111° para o modo intraplanta, como ilustrado na Figura 4, considerando os casos de regime avaliados. Na Figura 4 a região de ambos os modos está ilustrada pelos retângulos nos gráficos de magnitude e fase do GEP de Itaipu 50Hz.

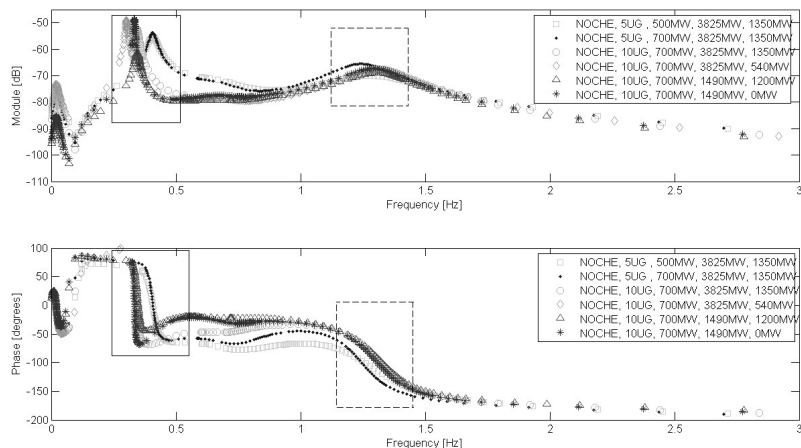


Figura 4 – Magnitude e fase da resposta em frequência da função GEP dos geradores de Itaipu 50Hz.

Compensações de fase tão distintas implicam em desafios à compensação de fase pelos PSSs. Sobretudo, o de Itaipu possui dois laços de compensação ($\Delta\omega(s)/V_{PSS}(s)$ e $P_E(s)/V_{PSS}(s)$), como apresentado na Figura 5 e não possui um componente específico para avanço-atraso da fase do PSS, de modo que a sua fase é modulada pela amplitude diferencial dos sinais dos canais, através dos ganhos K_P e K_F .

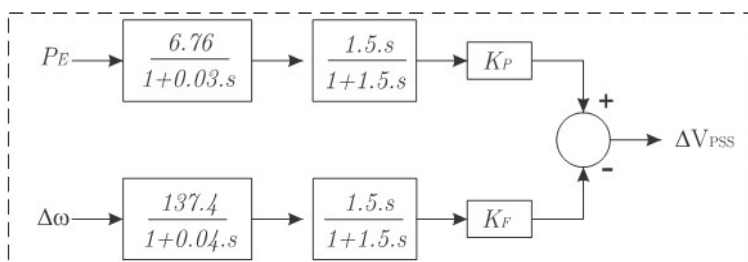


Figura 5 – Estrutura do PSS de Itaipu.

Considerando a faixa de ganhos possíveis (0 a 6,4pu para K_P e 0 a 29pu para K_F), suas combinações permitem uma compensação mínima na frequência média do modo interárea de cerca de 13° para uso exclusivo do ramo K_F ($K_P = 0$) até uma compensação máxima de cerca de 105° para uso exclusivo do ramo K_P ($K_F = 0$). Valores intermediários de compensação podem ser obtidos mantendo-se razões entre os ganhos constantes, como ilustrado na Figura 6 para os casos extremos e para a relação $K_P/K_F = 0,5$ (compensação de fase igual à 40°).

O efeito da adoção de combinações diferentes de compensações sobre os modos interárea e intraplanta apresentados na Tabela 1 é ilustrado na Figura 7 de onde se percebe que optar por uma combinação de ganhos que efetua o amortecimento eficiente de um modo corresponde a sacrificar o amortecimento do modo remanescente. Assim, adotou-se uma combinação de ganhos que provê fase suficiente para que o aumento dos ganhos se mantendo sua razão implica no deslocamento de ambos os modos para o semiplano esquerdo e propôs-se o uso do ganho que maximizava o amortecimento conjunto dos modos para os casos considerados.

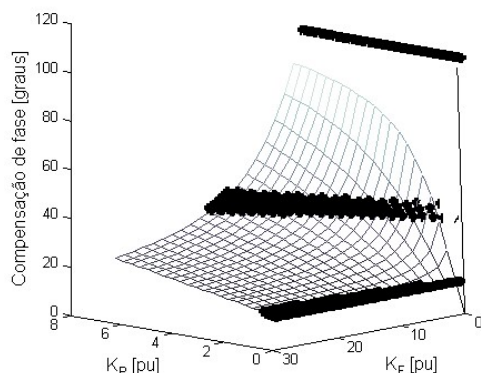


Figura 6 – Compensações de fase do PSS.

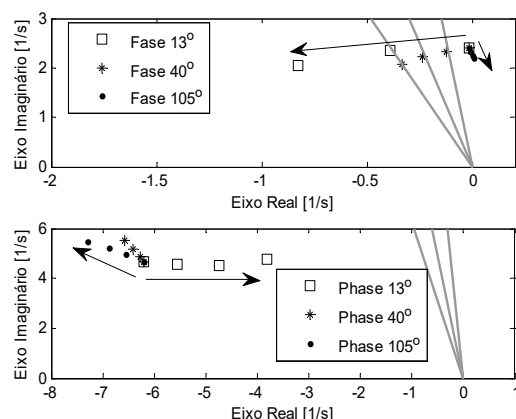


Figura 7 – Efeito de cada compensação de fase.

Uma visão da região abrangida pelo modo interárea considerando os geradores de Itaipu sem PSS e com dois ajustes de PSS (amortecimentos intermediário e máximo) é ilustrado na Figura 8 para os casos definidos para os estudos de planejamento da operação da interligação, juntamente com os modos do sistema considerando Itaipu sem PSS.

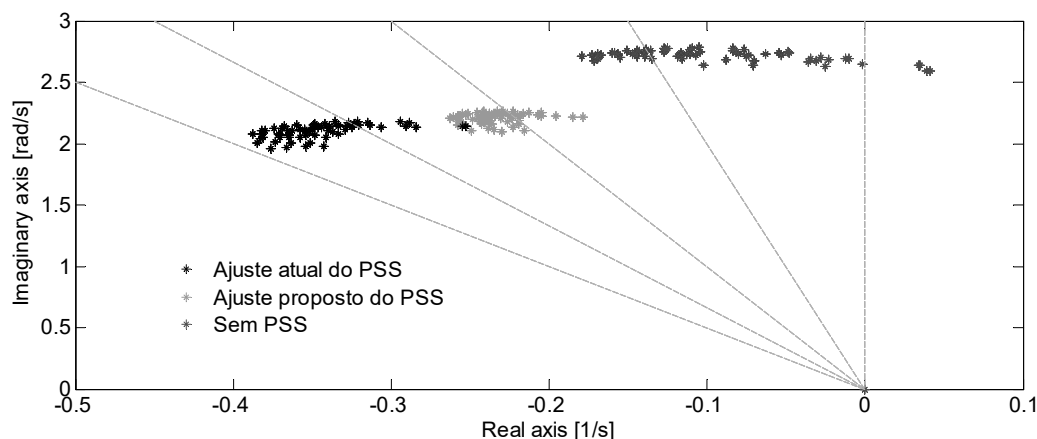


Figura 8 – Polos do modo interárea para os casos da base de dados

4.0 - EFEITO DO PSS SOBRE OUTROS MODOS DE OSCILAÇÃO DO SISTEMA INTERLIGADO

É desejável que o PSS seja minimamente invasivo nos demais modos de oscilação do sistema elétrico ao qual se conecta, de forma que foi analisada a sensibilidade dos principais modos associados à equipamentos de controle (geradores, AVR's, RV's, CER etc.) com a alteração dos parâmetros do PSS de onde foi atestadas pequenas variações, o que é ilustrado na Figura 9 pelo locus dos modos eletromecânicos para variações do ajuste atual.

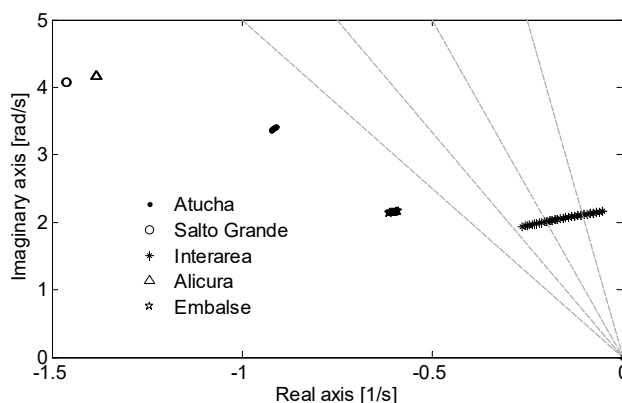


Figura 9 – Sensibilidade dos modos do sistema interligado a variações na parametrização do PSS de Itaipu

5.0 - TRANSITÓRIOS ADVERSOS DE TENSÃO

Os transitórios de tensão que podem ser intensificados pelo PSS dos geradores de Itaipu são um ponto de particular interesse devido à potencial perda súbita de seu carregamento quando do bloqueio de polo ou bipolo do HVDC de Furnas. Da série de simulações realizadas, se verificou transitórios significantes de tensão para eventos severos, podendo resultar em variações de até 10% da tensão terminal de Itaipu, como ilustrado na Figura 10. Por outro lado, estas variações de tensão não são suavizadas de forma significativa com a alteração da constante de tempo do *wash-out*, inclusive afetando a fase compensada no projeto original do PSS e deteriorando a estabilidade do sistema para constantes baixas, como apresentado na Figura 11. Considerou-se, portanto, que os valores da constante de do *wash-out* está adequada para os PSS de Itaipu 50Hz.

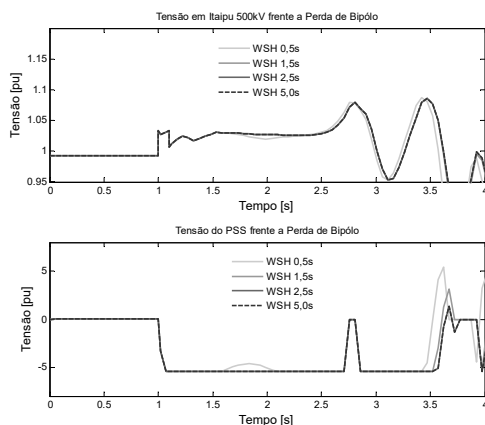


Figura 10 – Variações da constante do *washout*

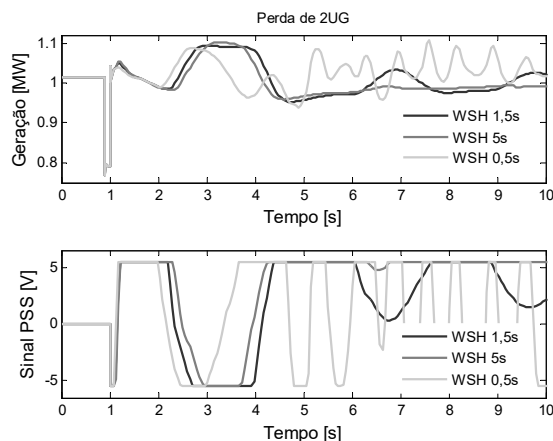


Figura 11 – Variações da constante do *washout*.

6.0 - LIMITES DO SINAL DE CONTROLE DO PSS

As simulações realizadas variando-se os limites do sinal de controle do PSS dos geradores de Itaipu mostrou que mesmo em casos severos o aumento dos limites provê pouca melhoria e sua redução pode ser determinante no desempenho dinâmico do sistema elétrico conectado à Itaipu 50 Hz, como ilustrado na Figura 12. Desta forma, se considerou também que os limites do PSS estão adequados e ajustados em 5,41 pu.

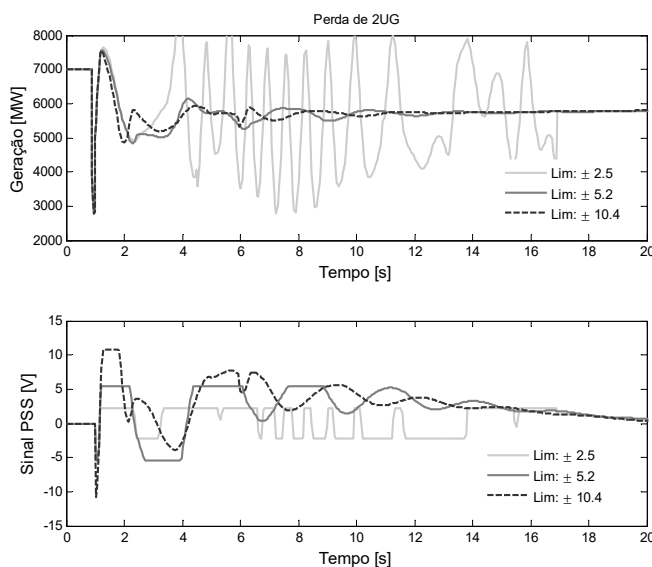


Figura 12 – Ilustração do efeito das variações dos limites do PSS sobre a dinâmica do sistema

7.0 - CICLO LIMITE

A interação dos controles da malha de regulação de tensão de Itaipu e do Elo de Corrente Contínua de Furnas foram identificados já nas primeiras simulações dos estudos pré-operacionais da interligação de Itaipu à Yacretá. A investigação deste fenômeno em detalhes mostrou que eventos de grande porte podem dar origem a um ciclo-limite permanente pela ação concorrente do controle do PSS de Itaipu e do limitador de Ângulo de Disparo Mínimo do

Retificador (*Rectifier Alpha Minimum Limiter* – RAML) e que esta condição de oscilação indesejada pode ser superada pelo ajuste coordenado do PSS e do RAML [6].

A ilustração do mecanismo é efetuada para a abertura da LI 500kV MD-VHA 1. O ROCOF negativo implica na atuação do PSS no sentido de reduzir a tensão terminal do gerador de Itaipu. Em condições de tensões CA transitoriamente baixas, o limitador RAML é ativado para aumentar o ângulo de disparo do retificador e reduzir a potência transmitida pelo HVDC, no intuito de restabelecer condições normais de tensão em seus terminais. Essa ação concorrente de ambos os controles faz com que atuem ativando e desativando o RAML indefinidamente, como ilustrado na Figura 13, que apresentam a trajetória formada pela geração de Itaipu 50 Hz e pelo sinal de controle do PSS (superior) e a variação do ângulo de disparo do HVDC no tempo (inferior).

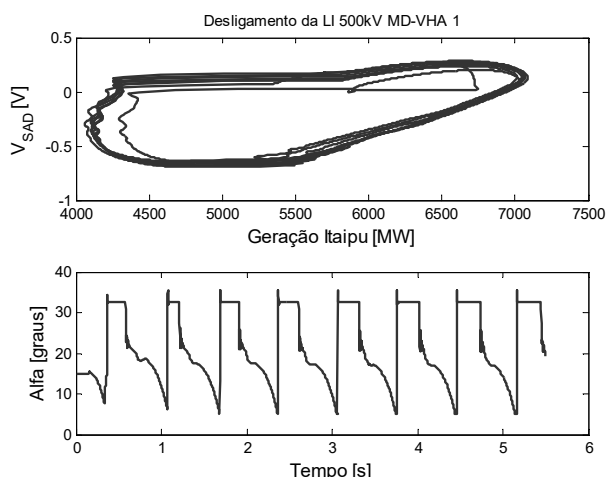


Figura 13 – Trajetória do sinal do PSS e da geração de Itaipu e variação do ângulo alfa no tempo.

Esta taxa de variação de tensão decorrente do PSS pode ser diminuída pela reparametrização adequada do PSS. Um estudo detalhado a respeito está sendo executado.

8.0 - ANÁLISE À GRANDES PERTURBAÇÕES, COM REDE ALTERADA E PSS INDISPONÍVEIS

A análise dinâmica do sistema foi efetuada em conjunto com os estudos de planejamento elétrico, empregando simulações em lote considerando 18 perturbações e os 1536 casos de regime permanente citados, totalizando, 26680 casos (certos casos não factíveis foram excluídos da base de simulação). Os resultados obtidos reforçaram o bom desempenho que os PSS agregam ao sistema original, apresentando excelentes contribuições à melhoria da estabilidade transitória, além da contribuição à estabilidade à pequenas perturbações.

Da mesma forma, foram avaliados seus efeitos em rede alterada, mostrando manter os benefícios verificados para rede completa. Adicionalmente, foram analisados impactos operacionais da perda de PSSs individualmente, de onde se verificou que o sistema mantém desempenho equivalente ao estudo original apenas considerando um PSS indisponível, o que motivou a redação de procedimentos operacionais para a futura operação interligada na perda de PSSs de geradores de Itaipu 50Hz.

9.0 - ENSAIOS DE CAMPO

Inicialmente, para colocação em serviço dos PSS, foram realizados ensaios em todos os cartões eletrônicos com as unidades geradoras conectadas e alimentando o sistema elétrico. Nesses ensaios foi verificado ruído na saída do estabilizador, que afetava a regulação de tensão de Itaipu, como ilustrado na Figura 14. Assim, como medida inicial, o ponto de conexão do PSS foi alterado do ponto de soma de V_{REF} para um ponto de soma na saída do AVR. Esse processo auxiliou a redução do ruído, porém não mitigou totalmente, e é um processo que se encontra em melhoria contínua.

O ajuste do PSS dos geradores de Itaipu pôde ser avaliado durante o ensaio do principal sistema especial de proteção associado à interligação. Nele foi realizado o sincronismo entre os dois sistemas e se pode perceber uma oscilação de potência de 0,39Hz e 14,9% de amortecimento como ilustrado na Figura 15, correspondente então ao modo interárea e com amortecimento tal como previsto.

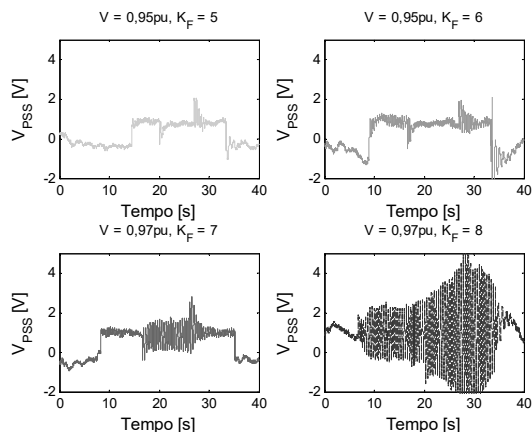


Figura 14 – Ruídos verificados em campo

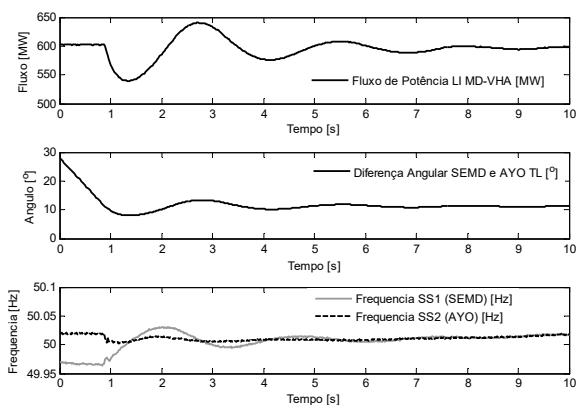


Figura 15 – Oscilação de potência verificada no ensaio de fechamento dos sistemas SS1 e SS2.

10.0 - AMORTECIMENTO EMPREGANDO MODULAÇÃO DA POTÊNCIA TRANSMITIDA NO HVDC

Uma vez que foi aprovado recentemente a modernização do Bipólo 1 de Furnas, se motivou estudar o efeito da adoção de um elemento amortecedor de oscilações de potência no controle do HVDC. Verificou-se que empregando a frequência medida no terminal CA do HVDC é possível amortecer de forma consistente o modo dominante do sistema elétrico conectado à Itaipu 50Hz, como mostrado pelo lugar das raízes na Figura 16. O ajuste deste controle pode ser coordenado com o ajuste do PSS de Itaipu e resultar em um sistema com uma resposta dinâmica ainda melhor do que o atualmente verificado nos estudos de planejamento da operação interligada Paraguaia-Argentina-Uruguia.

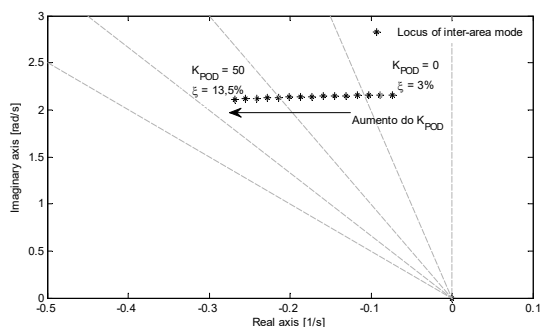


Figura 16 – Lugar das raízes variando-se K do POD

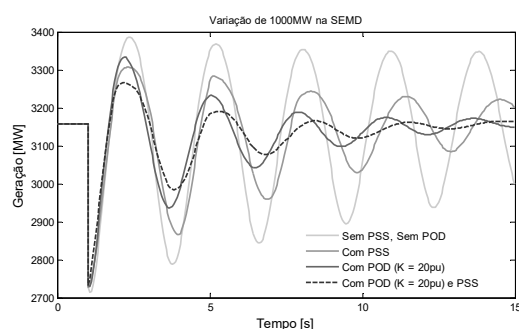


Figura 17 – Resposta temporal frente à variação de 1000MW na SE-MD

11.0 - CONCLUSÕES

Neste informe técnico as atividades principais da colocação em serviço dos PSS dos geradores de Itaipu 50Hz foram relatadas. A colocação dos PSS dos geradores de Itaipu 50Hz em operação é mandatória para a operação estável dos sistemas Paraguaio, Argentino e Uruguia interligados.

A etapa inicial tratou do projeto e ajuste do PSS. Inicialmente a natureza do modo interárea associado ao sistema interligado foi investigada, se verificando que não somente Itaipu é o local mais adequado para sua estabilização e amortecimento, como outros geradores do sistema podem não ser eficientes nesta tarefa.

Em seguida, a determinação dos parâmetros do PSS foi estabelecida baseado em técnicas de estabilidade à pequenas perturbações. Embora nessa tarefa métodos no espaço de estados foram também utilizados, os métodos baseados na análise no domínio da frequência fruíram melhores resultados particularmente porque proveram um diálogo fluído entre os participantes do grupo de estudo.

Além da determinação das fases de compensação na frequência média natural dos modos interárea e intraplanta de Itaipu, e dos ganhos dos canais de potência e frequência, foram também analisados os ajustes da constante de tempo do filtro wash-out e dos limites do sinal de controle dos PSS resultando em um conjunto completo de ajustes para o PSS de Itaipu. Do ponto de vista de grandes perturbações, a análise considerou simulações em lote de 18 perturbações e 1536 estados de regime permanente, ilustrando excelente contribuição dos PSS na estabilidade do

sistema interligado.

Na investigação dos fenômenos dinâmicos associados às perturbações no sistema interligado, se verificou o risco de ocorrência de ciclos-limite devido à ação concorrente do PSS dos geradores de Itaipu e o limitador de ângulo de disparo do retificador do HVDC.

Todos os PSS foram ensaiados em campo, para verificar a operação dos cartões eletrônicos que os compõe, inferindo-se sua capacidade de efetuar a funcionalidade demandada. Embora funcionais, foram verificados ruídos que interferem na regulação de tensão, de forma que trabalhos estão sendo realizados para melhorar este ponto específico.

Por fim, considerando que há previsão de modernização de um dos bipolos do HVDC com participação de Itaipu, foram analisados os efeitos da incorporação de um controle de amortecimento usando a modulação da transmissão de potência. Foi verificado que esta modulação pode prover amortecimento de forma contundente, de modo que será solicitada a avaliação desta funcionalidade durante as etapas de modernização.

12.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) ANDE, Plan Maestro de Expansion de la Transmisión 2014-2023 (in Spanish), 2014.

(2) <https://cammesaweb.cammesa.com/2021/07/03/maximos-historicos-de-energia-y-potencia-estacionales/>, acessado em 29/07/2021.

(3) MARTINS, Nelson, QUINTÃO, Paulo, PINTO, Herminio, CASTRO, Alex, GOMES, Sergio, FERRAZ, Julio. A small-signal stability program incorporating advanced graphical user interface, VII SEPOPE, 2000.

(4) Soares, J.; Neves, F; Zeni, N. Implantação de Estabilizadores de Sistemas de Potência na Argentina: Usinas dotadas de controles conjuntos de ações rápidas. Revista Eletroevolução do CIGRE. CIGRE 1997.

(5) MARTINS, Nelson. Efficient eigenvalue and frequency response methods applied to power system small-signal stability studies. IEEE Transactions on Power Systems, v. 1, n. 1, p. 217-224, 1986.

(6) SOSA-RÍOS, Manuel L. et al. Stable Limit Cycles Induced by the Interaction of HVDC Limiters and PSSs. In: 2020 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM). IEEE, 2020. p. 1-5.

(7) A.R. Carvalho, L.P. Almeida, L.O. Daniel, e J.G.C. Barros. Princípios de Controle Aplicados a Elos HVDC. XI Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica - SEPOPE, Mar. 2009.

13.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as discussões e atividades em conjunto que contribuíram com a qualidade das ações para colocação dos PSS de 50Hz de Itaipu, em particular com os colegas Robson Almir de Oliveira, Paulo Henrique Galassi, Willian Oliveira Viana, Carlos Leopoldo Wentz, Marcos Antônio Kasprzak, Nelson Martins, Paulo Cesar Pellanda e Thiago Henrique Sanches Bossa.

14.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Jonas Pesente é colaborador da divisão de Estudos Elétricos/Normas de Itaipu Binacional, e doutor pela Universidade Federal de Santa Catarina (2018).

- 1 Manuel Leonardo Sosa-Rios atualmente é colaborador da Divisão de Estudos Elétricos e Normas (OPSE.DT) da Itaipu Binacional e doutorando em engenharia elétrica na Universidade de São Paulo (USP/EESC). Recebeu o título de Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Nacional do Leste, Faculdade Politécnica (FPUNE), Paraguay, em 2012. Seus interesses de pesquisa incluem ajustes de controladores do sistema de excitação de geradores síncronos (AVR e PSS) para pequenas perturbações, utilizando técnicas clássicas de controle e metaheurísticas; estabilidade eletromecânica de sistemas de potência; caracterização de ciclos limites causados por interações entre controladores não lineares de sistemas de potência.
- 2 Marlon Pienitz é engenheiro eletricista com ênfase em eletrônica, formado pela UFSM em 2004. Mestrado em Eletrônica de Potência e Controle, realizado na UFSM e defendido em 2006. Colaborador na Itaipu Binacional na área de Regulação de Velocidade/Tensão e sistemas eletrônicos desde 2006.
- 3 Rony Cesar Garcia Romero é formado em Engenharia Elétrica pela Universidad Nacional Del Este – Facultad Politécnica. Trabalha em Itaipu Binacional na divisão de Manutenção Eletrônica.
- 4 Blas Cirilo Sanchez Alvarenga é formado em engenharia elétrica pela faculdade de Engenharia de Assunção – Paraguay. Colaborador da Itaipu Binacional na divisão de Manutenção Eletrônica.

