

GRUPO -4

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

MELHORIA DO DESEMPENHO DINÂMICO DO SIN ATRAVÉS DAS FUNÇÕES DE ESTABILIDADE DO PRIMEIRO BIPOLO DE CORRENTE CONTÍNUA DE BELO MONTE

NOHARA, A.A. (*) AQUINO, A.F.D.C.D. SARDINHA, S.L.D.A.
MASSAUD, A.G. FERNANDES, R.D.O.

Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS

RESUMO

Atualmente, a expansão do Sistema Interligado Nacional (SIN) associada aos grandes aproveitamentos hidrelétricos vem lançando mão da tecnologia de transmissão em corrente contínua (CC) para o escoamento de sua geração. Tal é o caso das usinas hidrelétricas dos rios Madeira e Xingu. Neste último, associados à usina hidroelétrica de Belo Monte, com capacidade instalada de 11.000 MW, existirão dois bipolos de 4.000 MW cada um, além de diversas linhas de transmissão no nível de 500 kV que reforçarão a interligação em corrente alternada (CA) já existente.

Devido a diversos atrasos em reforços estruturais importantes para as interligações regionais do SIN, o escoamento da geração da UHE Belo Monte deverá ser realizado pelo sistema já existente até a entrada em operação do bipolo Xingu – Estreito, ainda assim com restrições. A figura 1 apresenta o sistema de transmissão das regiões Norte e Nordeste e da interligação Norte/Sudeste. As linhas tracejadas representam equipamentos que se integrarão futuramente ao SIN.

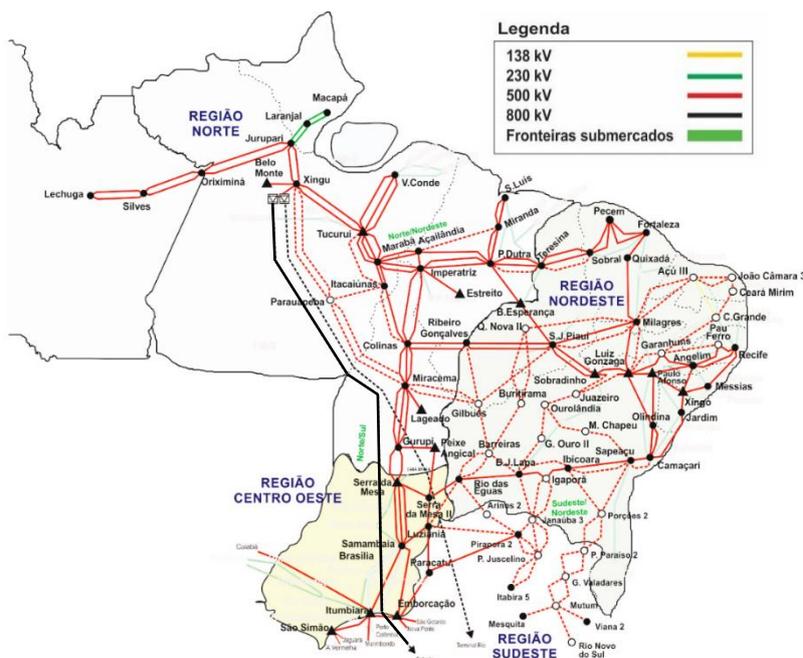


FIGURA 1 – Sistema de transmissão no horizonte da entrada em operação do bipolo Xingu - Estreito

(*) Rua Júlio do Carmo, n° 251 – 6° andar – CEP 20211-160 Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Tel: (+55 21) 3444-9925 – Fax: (+55 21) 3444-9411 – Email: alexandreohara@ons.org.br

Neste contexto, as interligações regionais, notadamente a interligação Norte/Sudeste, serão levadas a operar próximas dos seus limites de transmissão na tentativa de minimizar as restrições oriundas dos atrasos, afetando sobremaneira o desempenho dinâmico do SIN. Para garantir a operação segura do sistema elétrico, serão utilizados recursos de proteção e controle associados ao elo de corrente contínua para fazer frente a diversas contingências visando a estabilização do sistema. Entre tais recursos, serão exploradas a modulação da potência transmitida no elo de corrente contínua e a utilização de registros de medição sincronizada de fasores (MSF) em ações de controle e proteções sistêmicas.

Este trabalho demonstrará, através de simulações dinâmicas, os principais benefícios sistêmicos advindos dos recursos de controle do elo de corrente contínua e potenciais soluções de controle/proteção à fim de garantir o desempenho dinâmico adequado do SIN frente a grandes perturbações, considerando a configuração do SIN prevista para a entrada em operação do bipolo Xingu – Estreito, em fevereiro de 2018.

PALAVRAS-CHAVE

Estabilidade de Sistemas de Potência, Sistemas Especiais de Proteção - SEP, Sistemas de Transmissão em Corrente Contínua, Medição Sincronizada de Fasores

INTRODUÇÃO

Devido a uma série de fatores, os reforços na interligação em CA entre as regiões Norte e Sudeste foram impossibilitados de serem construídos, de forma que a geração da UHE Belo Monte, a partir de 2018, será escoada através do sistema de transmissão existente e, também, do bipolo ± 800 kV Xingu – Estreito, até a entrada do bipolo ± 800 kV Xingu – Terminal Rio. A não entrada em operação das referidas obras resultará em severas restrições para o escoamento em regime permanente e tornará o sistema propenso a problemas de estabilidade quando de contingências no sistema de transmissão.

Diante deste cenário, a utilização dos recursos advindos das últimas tecnologias para controle dos sistemas de potência se apresenta como uma solução técnica atraente para flexibilizar tais restrições. As referências (1) e (2) abordam a experiência da operação e controle de sistemas de potência baseados em medição sincronizada de fasores (MSF). A referência (3) apresenta as vantagens do controle de frequência de sistemas de transmissão em corrente contínua em relação aos sistemas CA conectados.

O bipolo ± 800 kV Xingu - Estreito, considerando a sua localização geoelétrica, apresenta expressiva capacidade de controle sobre o SIN, possuindo grande potencial para a estabilização do sistema frente a grandes distúrbios. Face a esta característica, o edital do leilão de transmissão deste equipamento (4) exigiu a implantação de recursos de controle sistêmicos, que têm como foco a melhoria do desempenho dinâmico do sistema elétrico.

O ONS definirá, na etapa dos estudos pré-operacionais para a integração do bipolo ao sistema elétrico, a parametrização mais adequada dos controladores visando a segurança elétrica e o desempenho dinâmico do sistema, considerando os diversos fenômenos envolvendo um elo de corrente contínua operando em paralelo com a interligação síncrona. Como resultado, espera-se poder minimizar tais restrições sobre a geração na UHE Belo Monte, contribuindo para a otimização energética do SIN.

1.0 - FUNÇÕES DE ESTABILIDADE DISPONÍVEIS NO BIPOLO

Dentre as malhas de controle de maior relevância sistêmica, destacam-se aquelas sensibilizadas pelos desvios de frequência nos terminais das estações conversoras (controle de frequência) e/ou através de sinais externos que indiquem contingências no sistema de transmissão. Entre os sinais externos que estão sendo avaliados, incluem-se sinais digitais que indiquem a ocorrência de determinada contingência, bem como medidas analógicas obtidas através de MSF.

Em função das características do sistema ao qual será integrado o bipolo, será proposto neste trabalho uma malha de controle com a finalidade de estabilizar o SIN para ocorrências envolvendo a interligação CA (síncrona) em 500 kV entre regiões do SIN e contingências envolvendo o elo de corrente contínua.

Como em qualquer ação de controle/proteção, as suas condições de atuação deverão ser bem caracterizadas deverão, bem como as condições para o seu bloqueio, com o intuito de se evitar uma atuação desnecessária ou indevida. O monitoramento em tempo real da qualidade dos sinais envolvidos e as estratégias a serem adotadas quando de falhas de sinais, dos equipamentos, como o GNSS (*Global Navigation Satellite System*) por exemplo, ou dos canais de telecomunicação são extremamente importantes para que se garanta a efetividade das ações de controle adotados e, conseqüentemente, a segurança operativa do sistema.

2.1 Estabilidade angular

Este fenômeno depende, principalmente, do nível de carregamento do sistema e da severidade da contingência. Tradicionalmente, a estabilidade angular é controlada através de esquemas de alívio de geração implantados no SIN. Com a entrada em operação do bipolo Xingu – Estreito, poderá ser explorado o recurso de se modular a potência

transmitida por este, no sentido de se alcançar o mesmo objetivo, preservando as unidades geradoras. A utilização de grandezas fasoriais (módulo e ângulo) se mostra promissora para a detecção de condições instáveis.

Conforme apresentado em (1), existe uma forte correlação entre o fluxo de potência ativa em uma interligação regional e o ângulo entre os fasores de tensão nas suas extremidades. Para a proposta apresentada neste trabalho, será considerada a diferença angular medida entre as SE 500 kV Xingu e Estreito através da rede CA, as quais serão também interligadas através do elo de corrente contínua (bipolo Xingu – Estreito). A Figura 2 apresenta graficamente esta correlação entre os valores de intercâmbio na interligação Norte-Sudeste (FNS) e a diferença angular observada entre as SE 500 kV Xingu e Estreito, obtidos através do sistema de supervisão e controle (SCADA) durante o período de um ano.

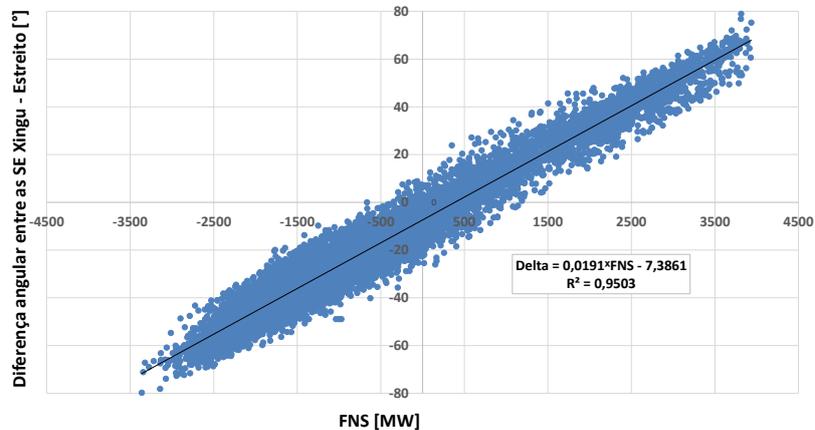


FIGURA 2 – Correlação entre o intercâmbio na interligação Norte-Sudeste (FNS) e a diferença angular entre as SE 500 kV Xingu e Estreito

Observa-se que a relação é preservada durante todo o período em análise, tanto durante o período de exportação da região Norte (período úmido da região Norte, caracterizado por valores positivos de FNS), quanto do período de exportação da região Sudeste (período seco da região Norte, caracterizado por valores negativos de FNS).

A utilização de grandezas elétricas como parâmetro para atuação de controle de estabilidade mostra-se uma alternativa interessante, uma vez que torna tais ações mais robustas e permite a sua atuação durante contingências múltiplas envolvendo condições eventualmente não previstas na fase dos estudos.

Utilizando tal característica do sistema, será apresentado um conceito de Sistema Especial de Proteção baseado em medição sincronizada de fasores para o controle da estabilidade transitória quando de contingências no sistema. Para ilustrar tal conceito serão apresentados os resultados de simulações realizadas através de programa de transitórios eletromecânicos.

2.1.1..Arquitetura proposta para o controle de estabilidade baseado em medição fasorial sincronizada

Quando da ocorrência de contingências no sistema que possam resultar na perda de sincronismo, será observada elevação na diferença do ângulo elétrico entre os sistemas sujeitos à instabilidade. Com base na diferença angular e em valores referenciais, que deverão ser obtidos através de estudos de estabilidade eletromecânica das contingências e dos cenários operativos possíveis, o sistema de controle comandará elevação na potência transmitida pelo elo (runup).

A figura 3 apresenta a arquitetura de sinais proposta para este controle.

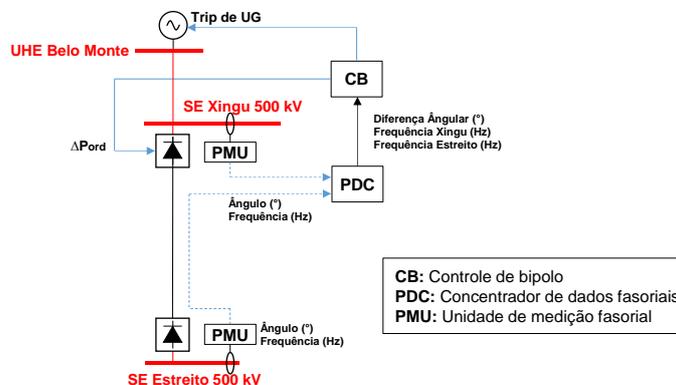


FIGURA 3 – Arquitetura proposta para o controle de estabilidade baseado em medição fasorial sincronizada

As informações de ângulo nos barramentos de 500 kV das SE Xingu e Estreito são adquiridos por unidades de MSF dedicadas e com requisitos de proteção e controle. Os sinais da SE Estreito deverão ser transmitidos pelo sistema de telecomunicação (via OPGW) associado ao sistema de controle do bipolo Xingu – Estreito, o qual possui alta confiabilidade, disponibilidade e velocidade de transmissão de informações. Todas estas informações deverão ser processadas em um concentrador de dados fasoriais (PDC) dedicado. O sistema de controle do bipolo receberá o sinal de diferença angular entre as SE Xingu e Estreito já processada pelo PDC e comandará, com base em referências de diferença angular previamente determinadas com base nos estudos, a variação da potência transmitida do bipolo.

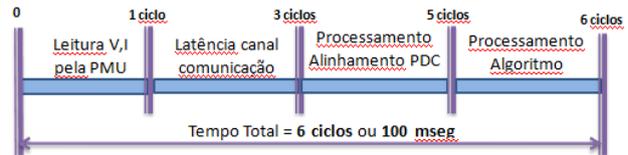
No cenário Norte Exportador, caso exista alguma restrição para a modulação da potência transmitida, o controle do bipolo poderá decidir por comandar o corte de unidades geradoras na UHE Belo Monte. Esta é a única ação cabível para estabilizar o sistema caso ocorra a perda do bipolo, onde o número de unidades geradoras (UG) a serem desligadas seria escolhido em função da diferença angular pré-distúrbio e da potência transmitida. Unidades complementares podem ser desconectadas caso, mesmo após a atuação da lógica, o ângulo assuma valores próximos ao ângulo crítico.

Destaca-se que o controlador proposto deverá atuar somente enquanto o sistema permanecer interligado. Caso ocorra a abertura das interligações, a diferença angular deixará de possuir significado físico. Neste sentido, recomenda-se que o ângulo como sinal de controle seja limitado ao valor crítico (ângulo para o qual ocorrerá a atuação das proteções de perda de sincronismo das interligações) e que as ações de controle para estabilidade angular sejam bloqueadas caso sejam detectados desvios de frequência elevados entre os terminais retificador e inversor (cujos valores estes que deverão ser obtidos através de estudos específicos).

Com relação à latência estimada para esta aplicação, a tabela 1 apresenta um levantamento dos tempos associados à aplicação de medição fasorial sincronizada.

Tabela 1 – Atrasos relacionados à utilização da MFS em SEP

Processo	Ciclos
Processamento da PMU	1
Transmissão de dados	2
Processamento do PDC	2
Processamento do algoritmo	1
Tempo total	6 (100 ms)



A estimativa do tempo total de processamento considera a leitura e processamento do fasor de corrente e tensão pela PMU, a exteriorização dos sincrofasores na rede, o tempo de latência do canal de comunicação, o tempo de processamento e alinhamento dos dados no concentrador de dados fasoriais (PDC) e o tempo de processamento do algoritmo dedicado para a aplicação.

Estes tempos são referenciais, contudo os mesmos podem ser reduzidos em função dos avanços tecnológicos do MFS e também do sistema de telecomunicação dedicado para esta aplicação.

2.1.2. Simulações

Em cenários de Norte Exportador com elevado intercâmbio na interligação Norte/Sudeste, a perda de grandes blocos de geração na região Sudeste poderá resultar na perda de sincronismo, resultando na abertura das interligações entre as regiões Norte/Nordeste e Sudeste agravando ainda mais o déficit de geração na região Sudeste. A Figura 4 apresenta os resultados da simulação da perda de dois circuitos da LT 765 kV Foz do Iguaçu – Ivaiporã, que resulta no corte de 4 UG na UHE Itaipu (perda de aproximadamente 2.800 MW). Foi considerado um cenário de carga leve com intercâmbio na interligação CA Norte-Sudeste (FNS) igual a aproximadamente 4.100 MW e no bipolo Xingu-Estreito 2.100 MW. Neste caso não foi considerada nenhuma ação de controle sobre o bipolo Xingu – Estreito ou sobre a UHE Belo Monte.

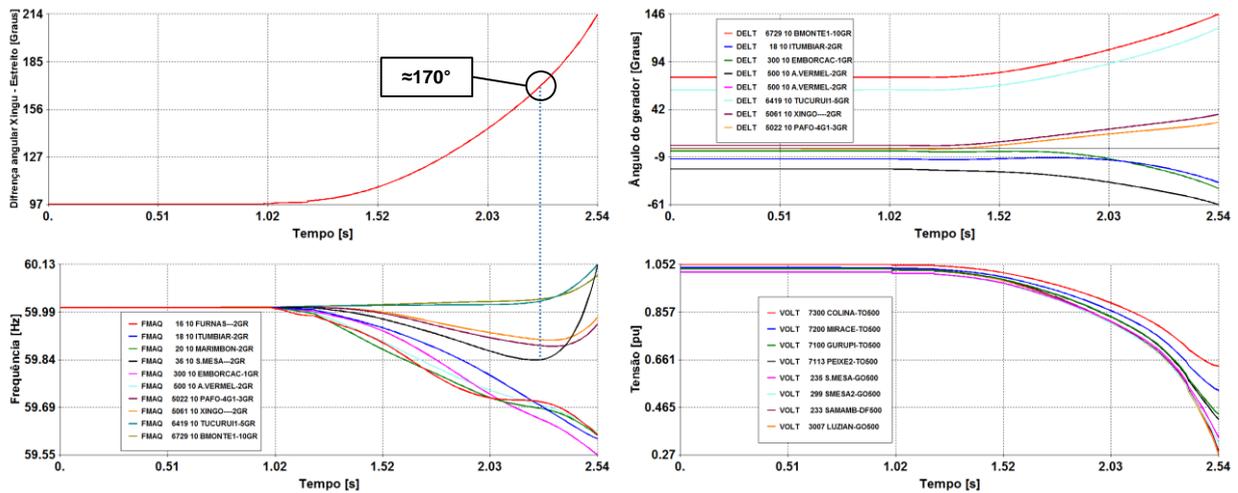


FIGURA 4 – Resultados da simulação (sem ação de controle no bipolo ou na UHE Belo Monte)

Observa-se que o sistema se torna instável, sendo verificada a perda de sincronismo entre as UG da região Norte/Nordeste e o restante do SIN. Nestas condições, ocorrerá a desinterligação destas regiões resultando na perda adicional de 4.100 MW que estariam fluindo através desta.

Nota-se que, através dos registros de frequência das UG, é possível obter uma estimativa do ângulo crítico do sistema, a partir do qual diversas UG perdem o torque de sincronismo. Neste caso ele é de aproximadamente 170° para a diferença angular entre as SE 500 kV Xingu e Estreito, ou seja, a detecção da condição instável, a ação de controle e o restabelecimento do torque sincronizante entre as regiões deverão ser efetuados antes que este limiar seja alcançado.

Assim que for caracterizada uma condição de instabilidade provocada por contingências na interligação CA, o elo de corrente contínua deverá comandar elevação na ordem de potência podendo ser utilizado, se necessário, até o seu valor de sobrecarga máxima (valor de emergência de 30 minutos – 133% da potência nominal). Caso exista déficit na ação de elevação de potência no elo, em face de restrições no equipamento, o sistema de controle deverá complementar a ação promovendo corte de unidades geradoras na UHE Belo Monte.

A referência deverá ser afastada o suficiente dos valores de diferença angular em regime permanente (apresentados na figura 2) para evitar uma atuação em condições normais de operação ou durante transitórios estáveis, e abaixo do limiar de estabilidade para que a ação seja efetiva.

A simulação anterior foi reprocessada considerando agora a aplicação de runup no bipolo igual a 1.200 MW em um instante no qual não ocorra a ultrapassagem dos 170° constatados anteriormente (aproximadamente 750 ms após o corte de máquinas na UHE Itaipu). A Figura 5 apresenta tais resultados.

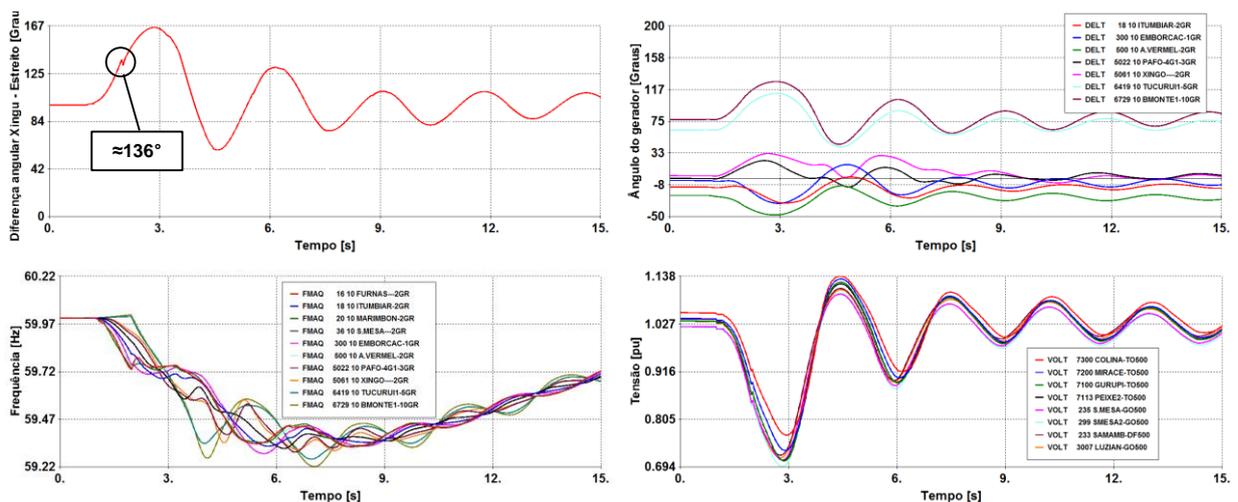


FIGURA 5 – Resultados da simulação (com elevação da potência transmitida pelo bipolo Xingu - Estreito)

2.2 Controle de frequência

A malha de controle de frequência é responsável por modular a potência transmitida em função do desvio de frequência observado nos barramentos onde estão conectadas as estações conversoras. Em geral, consiste de um

controlador do tipo proporcional que monitora o desvio de frequência elétrica nos referidos barramentos onde são conectados os conversores com relação a frequência nominal e atua sobre a ordem de potência do elo no sentido de reduzir tal desvio.

2.2.1..Estrutura do controle de frequência do bipolo

Este controlador é baseado no cálculo da diferença de frequência entre as estações conversoras (em pu). Um limitador deste sinal delimita a faixa de atuação caso o desvio de frequência entre as duas regiões atinja valores inadmissíveis e uma banda-morta para evitar a sua atuação devido a flutuações da frequência no SIN provocadas por modos de oscilações naturais do SIN (normalmente confinada em uma faixa de 0,5 Hz). A figura 6 apresenta um diagrama de blocos simplificado desta malha de controle.

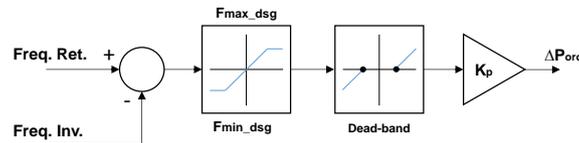


FIGURA 6 – Diagrama de blocos simplificado do controle de frequência do bipolo

Recomenda-se que seja utilizada uma composição dos sinais de frequência de ambos os terminais do elo CC para evitar a modulação desnecessária da potência transmitida pelo elo quando da ocorrência de desvios de frequência no SIN (perda de carga ou geração). Desta forma, espera-se a atuação desta malha de controle somente quando da abertura de interligações resultando na formação de ilhas elétricas.

2.2.2..Simulações

Para demonstrar os benefícios sistêmicos desta malha de controle, foram simuladas contingências múltiplas que resultem na formação de ilhas elétricas conectadas assincronamente através do elo de corrente contínua. No caso em questão, foi realizada a abertura tripla da interligação Norte/Sudeste nas LT 500 kV Serra da Mesa – Gurupi C1 e C2 e Peixe II - Serra da Mesa II.

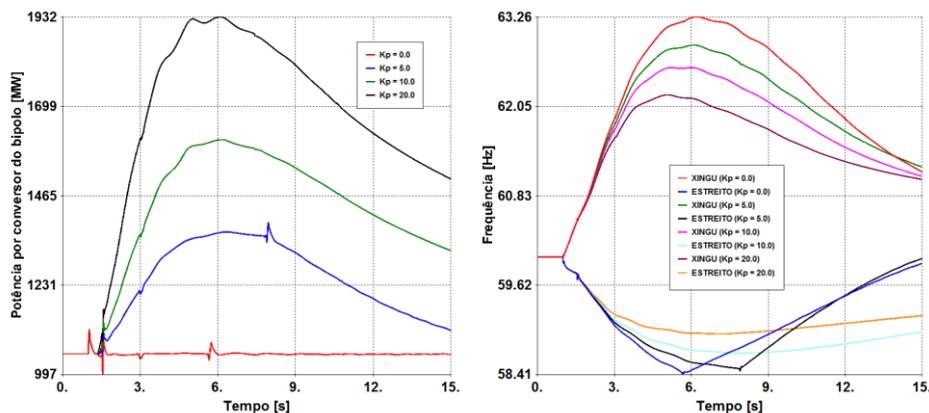


FIGURA 7 – Desvios de frequência observados para diferentes ajustes do controle de frequência do bipolo

Observa-se que, para crescentes valores de ganho proporcional do controlador, os desvios de frequência em ambos os sistemas são decrescentes. Isto ocorre devido à ação mais enérgica do elo de corrente contínua provendo uma maior modulação de potência em função do desvio de frequência, suprindo parte da potência escoada pela interligação CA. Observa-se que esta ação pode ser decisiva para evitar a atuação de esquemas de alívio de carga (ERAC) em casos limites de intercâmbio.

2.3 Estabilidade a pequenos sinais

O sistema de controle de elos HVDC pode ser projetado com malhas de controle adicionais para efetuar a modulação da potência transmitida, no sentido de contribuir para o amortecimento de modos de oscilação eletromecânicos.

A maior parte dos projetos HVDC utilizam a composição de sinais de frequência elétrica nos dois terminais para efetuar tal modulação. A efetividade desta malha de controle, bem como a parametrização a ser utilizada, será estudada sob a ótica da análise linear de sistemas de potência e os resultados validados através de simulação não-linear no domínio do tempo.

2.3.1..Estrutura do sinal adicional estabilizador do bipolo (POD)

Este sinal realiza a modulação da potência transmitida pelo elo de corrente contínua em função da diferença de frequência entre os terminais retificador e inversor. Uma função de transferência é incluída com a finalidade de condicionar a fase dos sinais que podem sofrer atrasos em função dos tempos envolvidos no sistema de processamento e de telecomunicações, bem como delimitar a faixa no espectro de frequências na qual esse controlador deverá atuar. A figura 8 apresenta um diagrama de blocos simplificado da referida malha de controle.

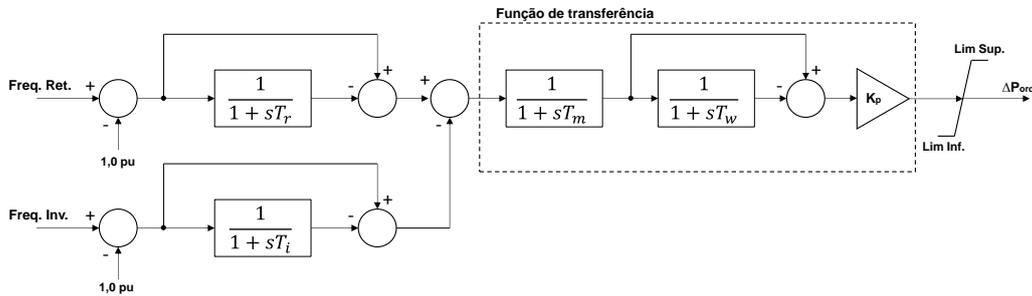


FIGURA 8 – Diagrama de blocos simplificado do sinal adicional estabilizador do bipolo Xingu - Estreito

A finalidade desta malha de controle é a de agregar amortecimento aos modos naturais de oscilação que são observados (e, naturalmente, que sejam controláveis) pelos terminais do elo de corrente contínua. Para garantir tal efeito, a modulação da potência transmitida pelo elo deve ser realizada em fase com o modo de oscilação que se deseja controlar.

A função de transferência considera apenas a parte linear do sinal adicional estabilizador. Para garantir o desempenho apropriado desta função de controle existem lógicas responsáveis por realizar a sua desabilitação em casos, por exemplo, que os terminais retificador e inversor venham a operar de forma assíncrona. Os limites superior e inferior do sinal de modulação também deverão ser definidos de forma a evitar grande excursões da potência transmitida.

2.3.2 Definição dos ajustes do sinal adicional estabilizador do bipolo 1

Os ajustes a serem adotados para o sinal adicional estabilizador do bipolo serão obtidos através da análise linearizada do sistema. Na figura 9 encontra-se os principais resultados obtidos a partir da análise do sistema linearizado: Mode shape (a), resposta em frequência a partir do diagrama de Nyquist (b) da função de transferência $\Delta P_{ord}/\Delta f$ e lugar das raízes para diferentes valores do ganho do POD (c).

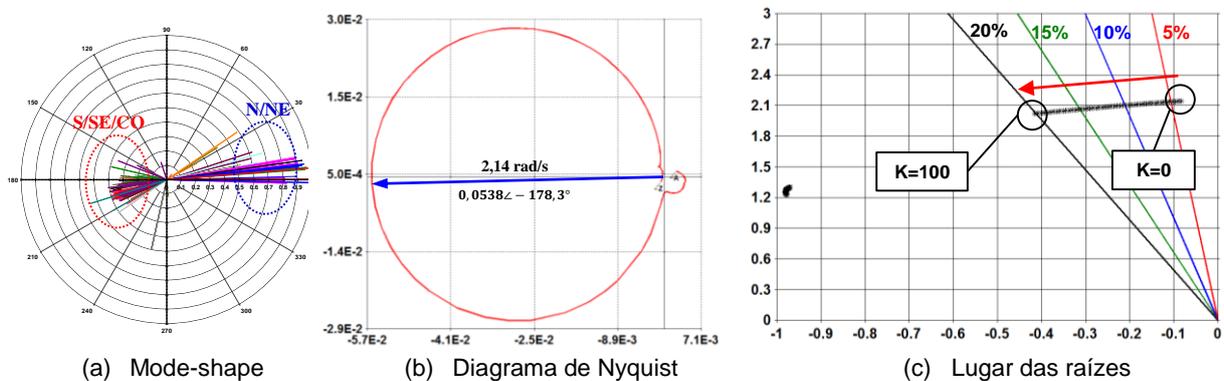


FIGURA 9 – Resultados da análise do sistema linearizado (foco no modo interarea associado à interligação Norte/Sudeste)

O diagrama de Nyquist indica que, após fechar a malha $\Delta P_{ord}/\Delta f$, não haverá necessidade de compensação de fase para garantir que o aumento da contribuição proporcional não resulte em alterações consideráveis na frequência do modo. Este resultado é esperado uma vez que a velocidade de resposta do elo de corrente contínua é muito superior ao período de oscilação que se deseja controlar e a síntese de um sinal de modulação de potência em fase com a diferença entre as frequências dos terminais retificador e inversor introduz, em tese, o maior amortecimento possível.

A figura 10 apresenta a resposta em frequência (diagrama de Bode) da função de transferência do POD. Observa-se que a sua faixa de atuação fica compreendida entre 0,15 Hz e 3,18 Hz, onde estão compreendidos os modos eletromecânicos de interesse (modos interárea e local).

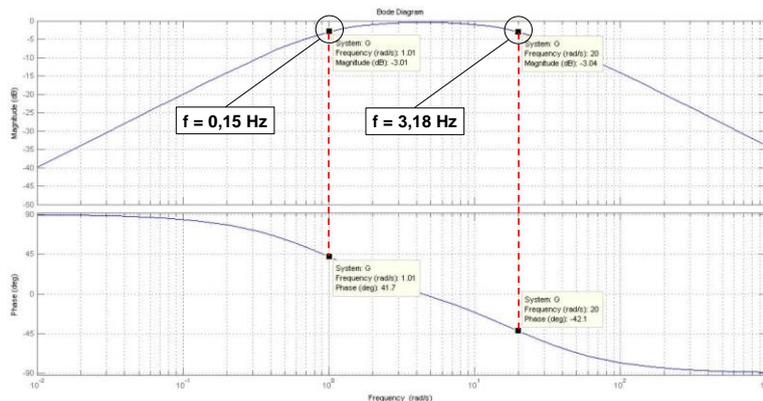


FIGURA 10 – Diagrama de Bode da função de transferência do POD

Para validar os resultados obtidos através da análise do sistema linearizado, foram realizadas simulações não-lineares em programa de transitórios eletromecânicos. A figura 11 apresenta os resultados destas simulações para diferentes parâmetros do POD.

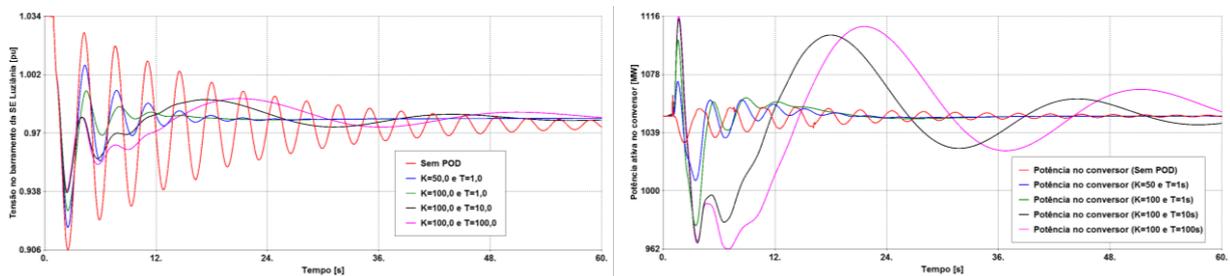


FIGURA 11 – Resultados da simulação não-linear

Constata-se um aumento expressivo do amortecimento do modo de interesse. Observa-se que a adoção de valores elevados para a constante de tempo T_w (Figura 8) insere um modo de baixa frequência associado ao controle do bipolo provocando modulação desnecessária da potência transmitida. Face a este comportamento, recomenda-se que se utilize valores da ordem de 1 segundo para esta constante de tempo.

A parametrização proposta garante o amortecimento dos modos eletromecânicos para ambos os sentidos de intercâmbio (Norte exportador ou Sudeste exportador), sendo que, quando houver inversão do fluxo, deverá ser realizada a compensação de 180° para que o sinal de modulação seja estabilizador.

2.0 - CONCLUSÃO

A utilização de elos de corrente contínua permite explorar os efeitos benéficos da modulação da potência transmitida sobre o desempenho dinâmico e a estabilidade dos sistemas a que estão conectados, desde que as suas respectivas malhas de controle adotem filosofias e parâmetros adequados ao sistema a que estão conectados.

A utilização de grandezas fasoriais (módulo e ângulo) se mostra promissora para a detecção de condições instáveis uma vez que existe uma forte correlação entre o fluxo de potência ativa em uma interligação regional e o ângulo entre os fasores de tensão nas suas extremidades. Esta característica sistêmica estabelece as condições para um novo conceito de Sistema Especial de Proteção baseado em medição sincronizada de fasores (MSF) para controle de estabilidade transitória quando de contingências no sistema.

Com relação ao controle de frequência, constatou-se benefício considerável quando da ocorrência de contingências múltiplas que resultem em formação de ilhas elétricas. O elo de corrente contínua permitirá que estas ilhas operem de forma assíncrona, porém eletricamente interligadas e a modulação de potência transmitida atenuará os desvios de frequência, minimizando o corte de carga por subfrequência (ERAC).

Com relação ao sinal estabilizador, constatou-se que o elo possui grande potencial para amortecer modos interárea de oscilação (modo associado à interligação Norte/Sudeste). Destaca-se que os ajustes obtidos através das ferramentas de simulação de transitórios eletromecânicos e de análise linear de sistemas de potência devem ser admissíveis do ponto de vista de estabilidade dos controladores HVDC, razão pela qual serão necessárias análises complementares do fabricante para validação dos ajustes finais a serem implantados no campo.

3.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) NERC, “Phase Angle Monitoring: Industry Experience Following the 2011 Pacific Southwest Outage Recommendation 27”, Referência Técnica, Junho 2016

- (2) TAYLOR, C. W. Et. Al., “WACS – Wide Area Stability and Voltage Control System: R&D and On-Line Demonstration”, Proceedings of the IEEE, Maio, 2015
- (3) NOHARA, A. A., “Influência da Modulação de Potência de Elos de Transmissão em Corrente Contínua na Estabilidade de Frequência e no Amortecimento de Modos Interáreas”, Dissertação de mestrado, UFRJ/COPPE, 2015
- (4) ANEEL, Anexo técnico do edital de leilão n°011/2013, “Sistema de transmissão em corrente contínua de ±800 kV para reforço à interligação Norte-Sudeste associado ao escoamento da UHE belo Monte”, 2013
- (5) IEEE C37.118.2-2011, Standard for Synchrophasor Data Transfer for Power Systems
- (6) M.A.Pai, A.Stankovic, “Synchronized Phasor Measurements and Their Applications”
- (7) N. Pandit, K. Khandeparkar “Design and Implementation of IEEE C37.118 based Phasor Data Concentrator&PMU Simulator for Wide Area Measurement System”, Indian Institute of Technology, Bombay. Mumbai, India. May 2012
- (8) A. G. Phadke, Synchronized Phasor Measurements - A Historical Overview. IEEE, pp. 476-479, 2002

4.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Alexandre Akio Nohara, engenheiro eletricitista formado pela Universidade Federal Fluminense – UFF em 2011, com mestrado em engenharia elétrica pela COPPE/UFRJ em 2015. Desde 2011 trabalha no Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS como engenheiro pleno na gerência executiva de estudos especiais, proteção e controle.



Antonio Felipe da Cunha de Aquino, engenheiro eletricitista formado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ em 1999, com mestrado e doutorado em engenharia elétrica pela COPPE/UFRJ em 2000 e 2012, respectivamente. Em 2003, concluiu o curso de pós-graduação *latu sensu* em Proteção de Sistemas Elétricos pela UFRJ e, em 2009, o Curso de Capacitação Institucional do Setor Elétrico – CAISE pela PUC-RJ. De 1999 a 2000 trabalhou como pesquisador no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL. Desde 2000 trabalha no Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS com análise de sistemas de potência, ocupando o cargo de gerente na Gerência de Estudos Especiais – GPE2



Rafael de Oliveira Fernandes é engenheiro eletricitista com ênfase em Sistema de Potência graduado pela Universidade Federal de Itajubá em 2001. Trabalhou nas áreas de proteção, controle e estudos elétricos, aonde foi certificado pela Siemens PTI como Expert. Possui experiência nas áreas de Estudos Elétricos e de Proteção Elétrica. Atualmente é Engenheiro Sênior no Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS.



Alexandre Massaud é engenheiro eletricitista graduado pela Universidade Estadual do Estado do Rio de Janeiro em 1971. Entre os anos de 1972 e 1973 trabalhou como engenheiro eletricitista na Light SESA. De 1974 a 1977 trabalhou na Eletrosul – Centrais Elétricas do Sul do Brasil, com análise de sistemas elétricos. De 1978 a 1995 trabalho na Eletrobrás – Centrais Elétricas Brasileiras, atuando em diversas atividades relacionadas ao planejamento de sistemas elétricos. Deste então, trabalha no ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico com análise de sistemas elétricos.



Sergio Luiz de Azevedo Sardinha - Graduou-se em engenharia elétrica em 1974 na Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. Completou curso de pós-graduação em Sistemas Elétricos de Potência na Universidade Federal de Santa Catarina em 1981. Em 1975 ingressou na ELETROBRAS como engenheiro na área de Estudos de Planejamento da Operação. Ingressou no ONS no ano 2000 onde presta serviços como engenheiro especialista na Gerência de Estudos Especiais de Proteção e Controle da Diretoria de Planejamento e Programação da Operação.