



Operador Nacional
do Sistema Elétrico

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

GAT

Alexandre Akio Nohara

Antonio Felipe da Cunha de Aquino

Rafael de Oliveira Fernandes

Alexandre Garcia Massaud

Sergio Luiz de Azevedo Sardinha



Seminário Nacional de Produção e
Transmissão de Energia Elétrica

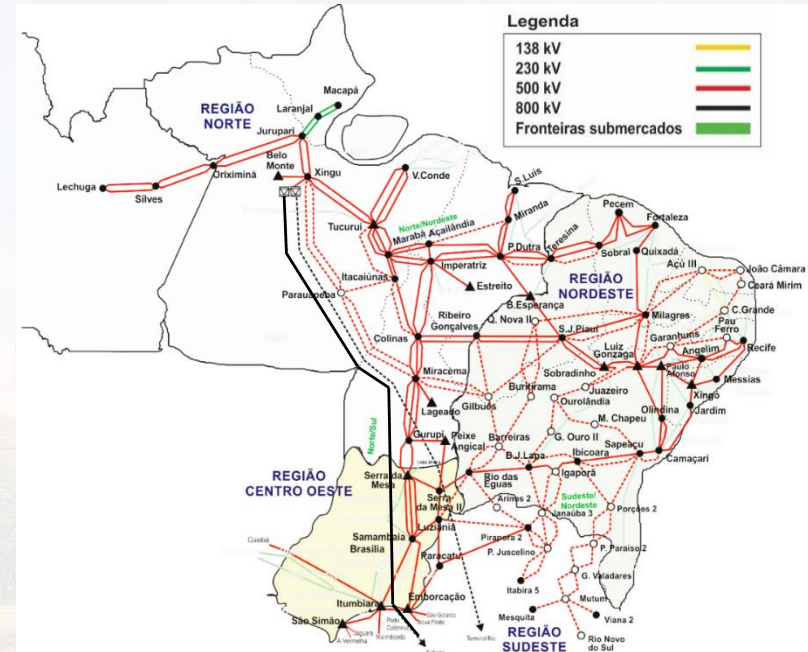
INTRODUÇÃO

A inserção de elos de corrente contínua no SIN impõe mudanças no seu comportamento e na sua filosofia de operação, dando origem a novos fenômenos e precauções adicionais a serem consideradas.

Ao mesmo tempo, representam um recurso que deve ser explorado como elemento agregador de segurança operativa para SIN, considerando a controlabilidade sobre a potência transmitida.

Fatores como o aumento da oferta de geração (em especial na região Norte) e atrasos em reforços estruturais levarão as interligações regionais a operar cada vez mais estressadas, próximo aos seus limites de segurança.

Serão apresentados os benefícios de tal capacidade para o caso do bipolo Xingu – Estreito, em paralelo com a interligação CA já existente, considerando diferentes aspectos do desempenho dinâmico: Estabilidade transitória, controle de frequência e estabilidade a pequenos sinais.

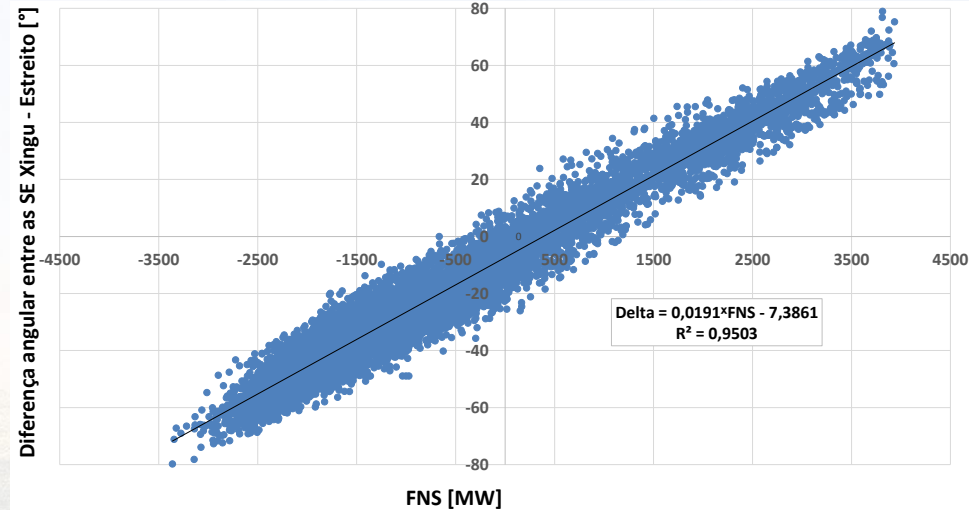


ESTABILIDADE ANGULAR

O edital de leilão do respectivo empreendimento já vislumbrava a possibilidade da modulação da potência transmitida pelo bipolo para fazer frente a contingências no SIN que resultassem na perda de sincronismo. A questão é: Para quais contingências e quais cenários?

A diferença angular entre os barramentos em 500 kV das SE Xingu e Estreito caracteriza possui correlação quase linear com o nível de carregamento na interligação CA. Esta grandeza também possui boa representatividade da margem de estabilidade transitória do sistema.

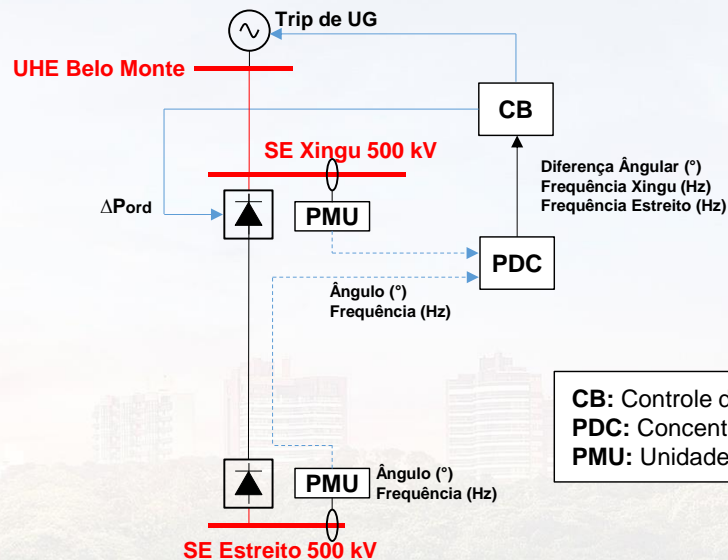
A utilização de recursos tecnológicos atualmente disponíveis, como unidades de medição fasorial sincronizada (PMU) e canais de telecomunicações por fibra óptica permitem aquisição e a transmissão de informações com baixo tempo de latência.



Relação entre diferença angular observada entre as SE Xingu e Estreito e o fluxo na interligação Norte/Sudeste (FNS)

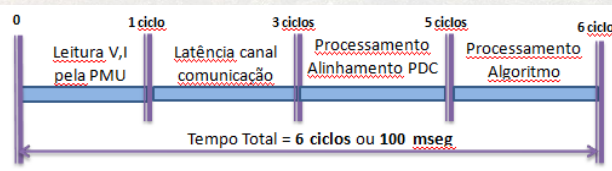
A utilização destes recursos viabiliza a implementação de sistema especial de proteção baseado em grandezas elétricas, cujas referências para atuação deste sistema devem ser obtidas através de estudos específicos.

Os equipamentos envolvidos devem atender a requisitos específicos de proteção de forma a garantir o desempenho apropriado em termos de latência, redundância, etc.



CB: Controle de bipolo
PDC: Concentrador de dados fasoriais
PMU: Unidade de medição fasorial

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

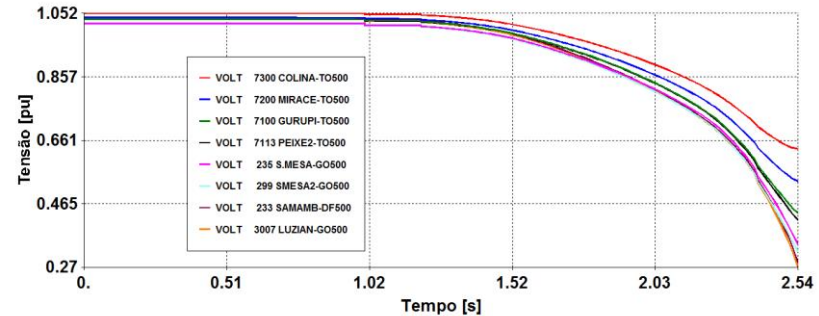
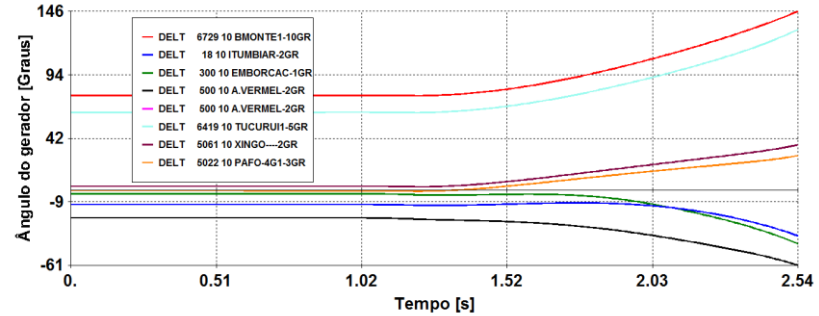
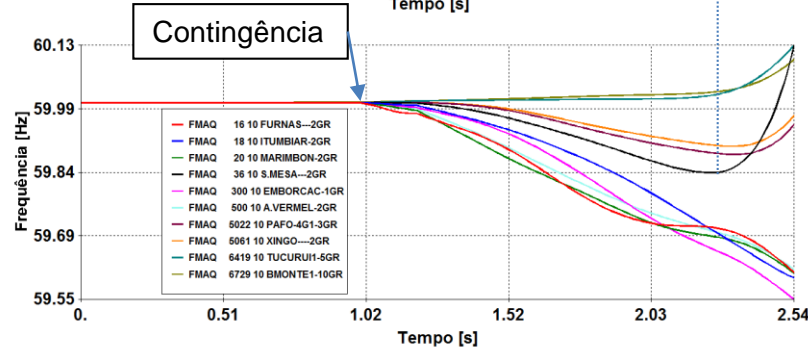
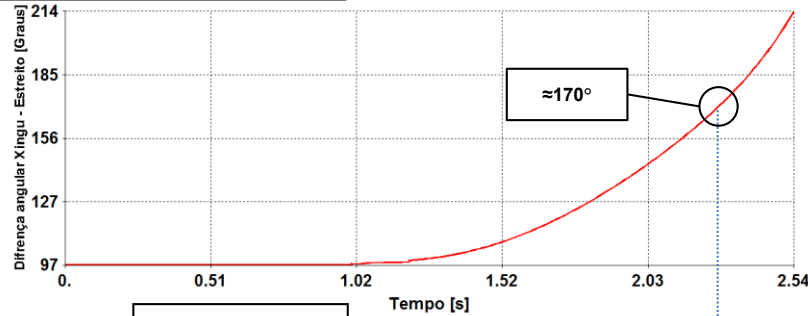


SIMULAÇÃO (SEM AÇÃO DE CONTROLE)

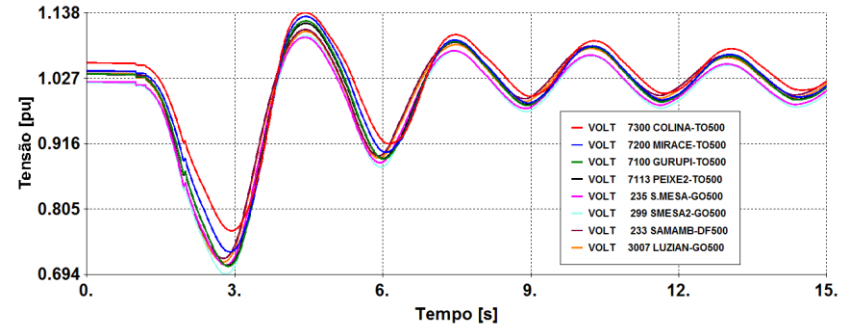
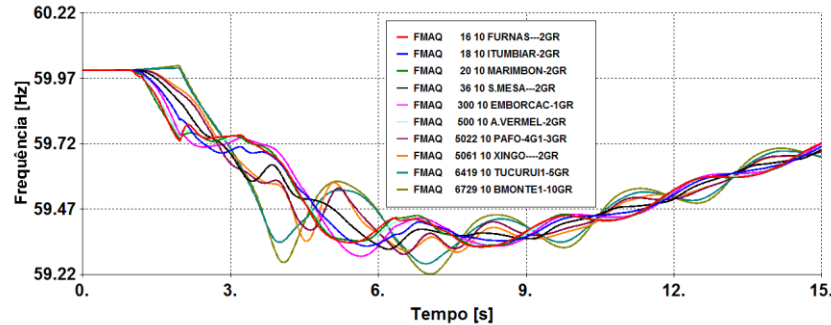
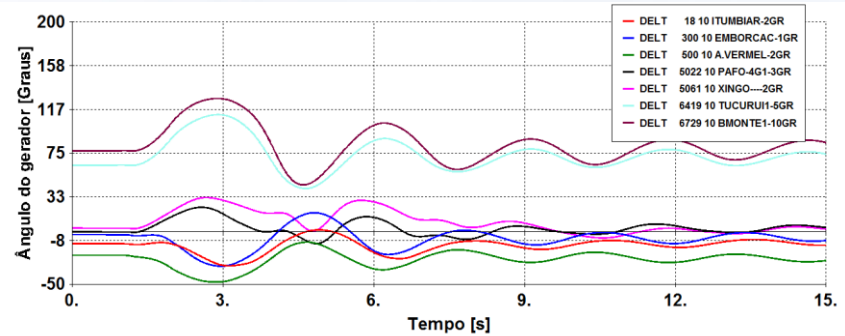
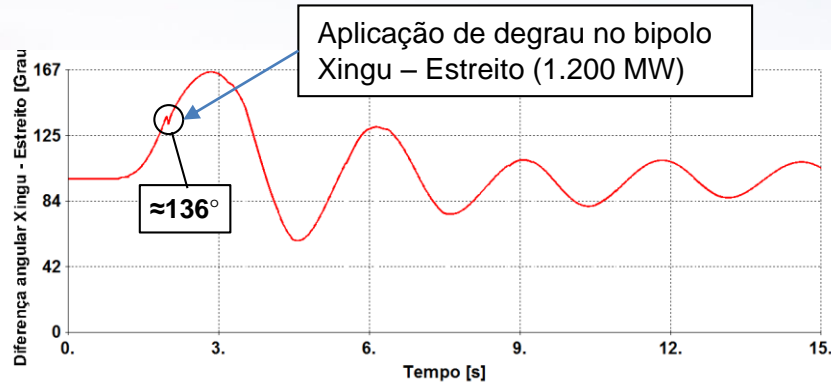
Carga leve

FNS = 4.100 MW

Pot. Bip. XG – ES = 2.100 MW



SIMULAÇÃO (COM AÇÃO DE CONTROLE)



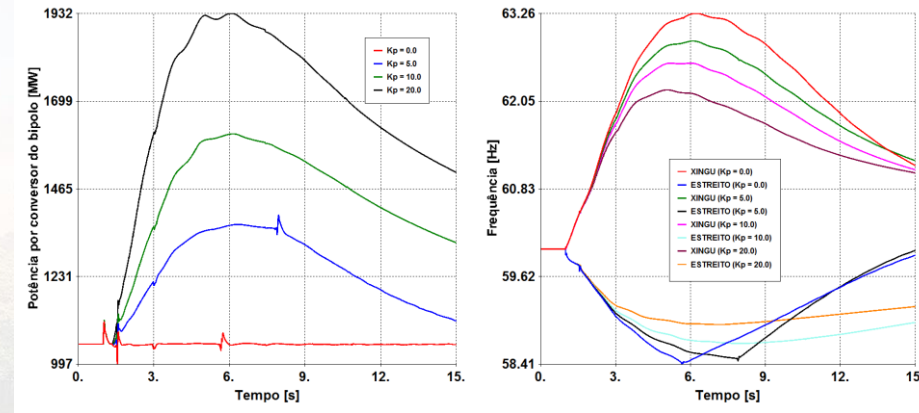
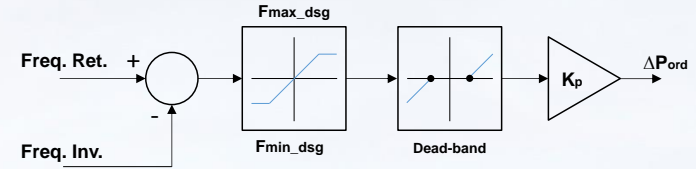
CONTROLE DE FREQUÊNCIA

Considerando a ocorrência de contingência múltiplas, a abertura das interligações síncronas entre regiões geoeletricas poderá ocorrer formando ilhas interligadas assincronamente através do bipolo.

A depender do carregamento pré-distúrbio nas interligações síncronas perdidas, estas ilhas poderão experimentar expressivos desvios de frequência.

A possibilidade de modular a potência transmitida de forma a compensar parte da potência transmitida pode reduzir tais desvios podendo resultar em menor perda de carga e/ou de geração.

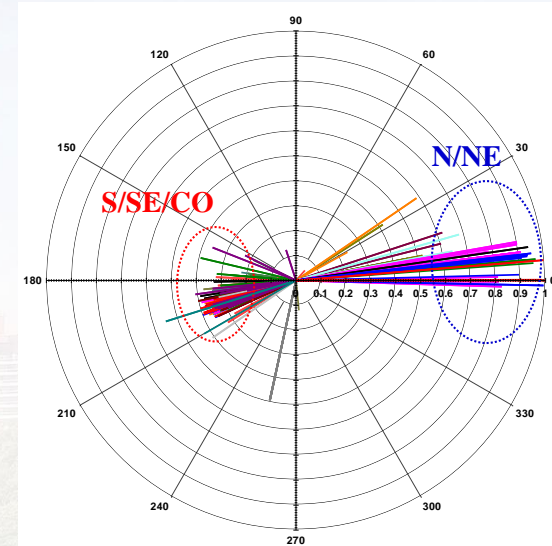
A filosofia proposta baseia-se em modular a potência transmitida proporcionalmente à diferença de frequência entre os terminais retificador e inversor do bipolo Xingu – Estreito.



A interligação Norte/Sudeste em CA possui modo de oscilação eletromecânico bem caracterizado cuja frequência se situa atualmente entre 0,3 Hz a 0,45 Hz, a depender da configuração da rede e da inércia sincronizada.

Atualmente, o amortecimento destes modos é garantido pelos estabilizadores (PSS) de unidades geradoras nas regiões Norte e Nordeste do SIN e pelos bancos série controláveis (TCSC).

A posição geoeletrica dos conversores do bipolo Xingu – Estreito garante um bom compromisso entre observabilidade e controlabilidade do respectivo modo, de tal forma que este elo representa em um elemento em potencial para garantir o bom amortecimento deste modo.



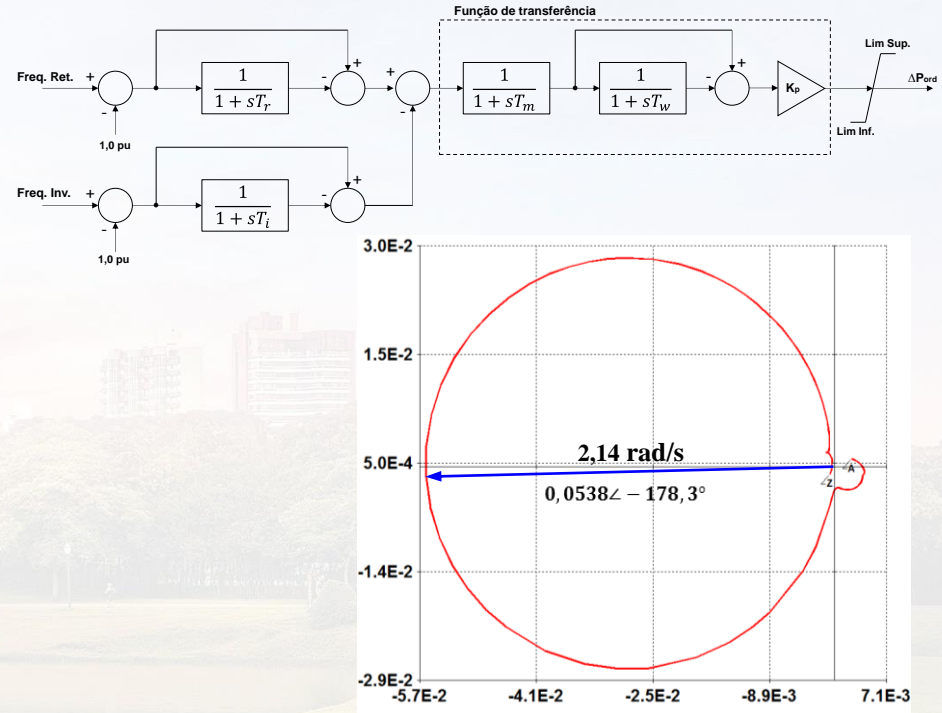
Mode-shape de velocidade para o modo inter-área N/NE vs. S/SE/CO

FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA

Utilizando grandezas elétricas medidas nas extremidades do bipolo Xingu – Estreito (no caso, a frequência elétrica), é possível sintetizar um sinal estabilizador capaz de atuar sobre a referência de potência deste no sentido de agregar maior amortecimento ao modo eletromecânico de interesse.

A parametrização e a polarização apropriada deste sinal é crucial para o alcançar tal objetivo. Tais insumos foram obtidos através de estudos de análise linearizada de sistemas de potência cujos resultados ainda são validados através de simulação não-linear.

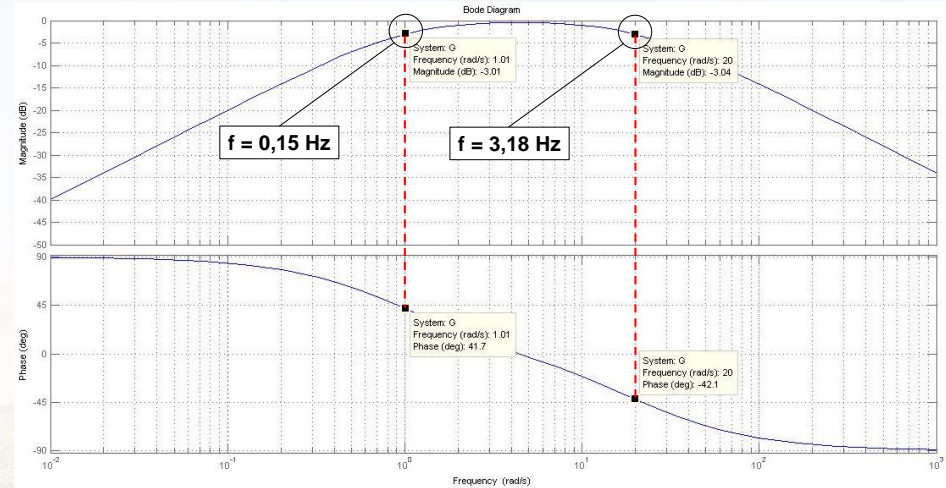
A resposta em frequência da função de transferência proposta indica que praticamente nenhuma compensação de fase é necessária.



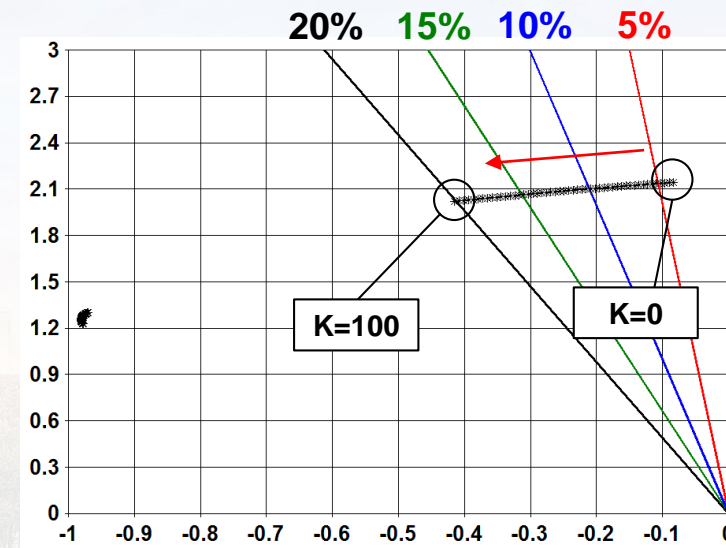
FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA

A função de transferência da malha atua como um filtro tipo passa-faixa cuja frequência de centro é ajustada no modo de interesse e frequências de corte que permitam apenas frequências associadas a modos eletromecânicos.

A faixa entre 0,15 Hz e 3,18 Hz (frequências de corte para este filtro passa-faixa) garante um desempenho apropriado do elo CC para os modos eletromecânicos presentes no SIN.



Não se observa degradação em amortecimento e/ou frequência de outros modos eletromecânicos ou de controle.

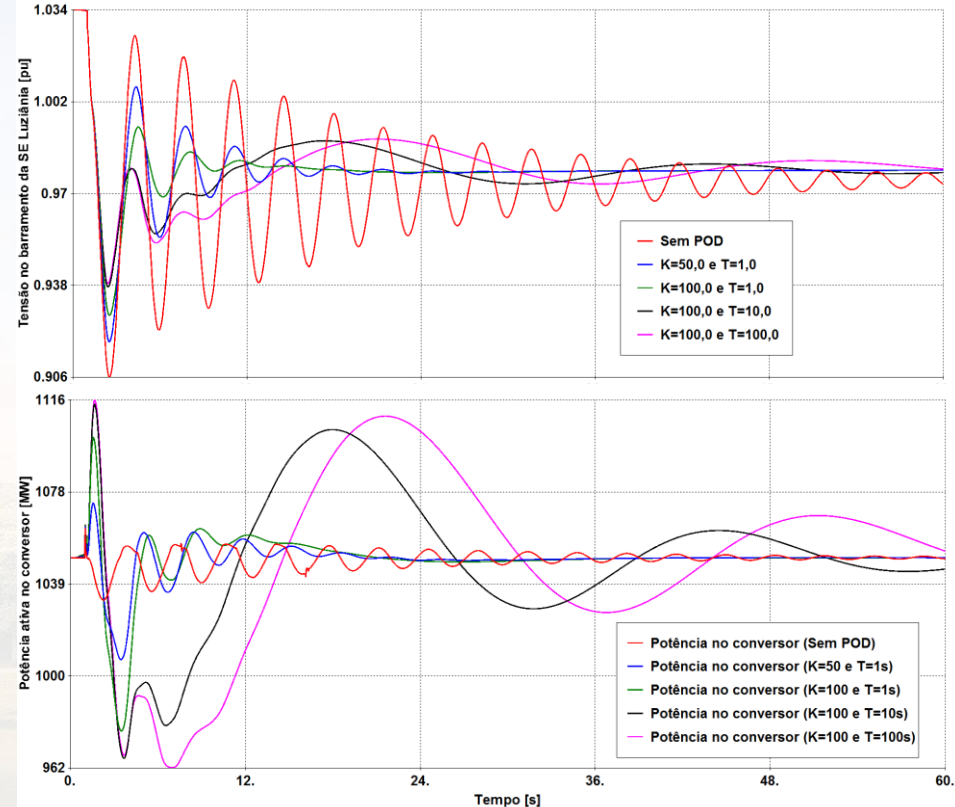


SIMULAÇÃO NÃO-LINEAR

Com base na parametrização obtida através da análise linear, os resultados foram validados considerando a simulação não-linear.

Observa-se que o ganho encontrado de 100 pu/pu garante o amortecimento desejado sem comprometer o desempenho de outros modos ou malhas de controle. Constata-se também a necessidade do filtro para eliminar modos de baixíssima frequência associada ao próprio controle do bipolo.

Por possuir elevado ganho e considerando eventuais dinâmicas que não são representadas em um modelo para transitórios eletromecânicos, é desejável ainda que tal malha de controle seja avaliada em ambiente PSCAD/EMTDC para garantir a estabilidade das malhas de controle e interações nocivas com o sinal estabilizados.



COORDENAÇÃO ENTRE CONTROLADORES

Os resultados apresentados consideram a atuação independente de cada lógica.

Na prática, em contingências de grande porte, todos os controladores atuarão simultaneamente, de tal forma que devem ser consideradas estratégias adicionais que inibam a sua atuação caso se verifique comportamento anormal ou indesejado. Por exemplo:

- Bloqueio do sistema especial de proteção baseado em PMU após a detecção de ilhamento (abertura de interligações);
- Desligamento/Chaveamento entre modos de controle de frequência em cenários de recomposição do sistema;
- Desligamento do sinal estabilizador em caso de ilhamento (grandes desvios de frequência).

Tais precauções visam garantir a correta atuação do sistema de controle, garantindo que cada malha de controle cumpra o propósito para qual foi destinada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

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.

ALEXANDRE AKIO NOHARA

 (21) 3444-9925

 (21) 97958-9091

 alexandrenohara@ons.org.br

 www.ons.org.br