SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

GPL 13
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO VII

GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GPL

CRITÉRIOS DE INTERLIGAÇÕES INTERNACIONAIS E ENTRE REGIÕES ATRAVÉS DE SISTEMAS HÍBRIDOS

Dietmar Retzmann * **Mário Nelson Lemes(*)** **Miguel Mühlenkamp**

SIEMENS .

RESUMO

Uma tendência mundial no desenvolvimento dos sistemas de potência é se construir interligações com a finalidade de se atingir benefícios econômicos. Estes grandes sistemas de interligação podem cobrir amplas regiões num País extenso como o Brasil, Países vizinhos, ou vastas áreas continentais. As interligações de sistemas podem oferecer vantagens técnicas, econômicas e ambientais significativas, tais como possibilidade do uso de grandes blocos de geração, redução da capacidade de reserva girante do sistema e utilização mais econômica das fontes alternativas de energia.

Como conseqüência, tanto os sistemas CA quanto CC, foram se desenvolvendo no que tange as potências, níveis de tensão e extensão física, mas por outro lado, o aumento do tamanho do sistema interligado traz problemas que reduzem as vantagens oferecidas pela interligação, exigindo medidas adicionais e conseqüente aumento de custo.

O presente trabalho mostra os critérios a serem considerados no planejamento de grandes interligações em CA e CC, tendo como exemplo a expansão do sistema europeu UCTE. Também são mostradas as vantagens obtidas na solução híbrida, que dia a dia tem demonstrado inúmeras vantagens em aplicações em todo mundo, como é o caso da China.

PALAVRAS-CHAVE

Interligações elétricas, eliminação de gargalos, prevenção de blackouts, sistemas híbridos, HVDC, FACTS,critérios de planejamento

1.0 - INTRODUÇÃO

As vantagens de se interligar grandes sistemas de potência estão listadas abaixo, as quais geralmente são válidas ou não dependem do tipo de interligação.

- *Possibilidade de se utilizar usinas geradoras maiores e mais econômicas.*
- *Redução da capacidade de reserva necessária ao sistema*
- *Utilização de fontes de energia mais favoráveis*
- *Aumento da confiabilidade dos sistemas*
- *Redução das perdas através da operação otimizada do sistema*

(*) Av.Mutinga 3800 – CEP o5110-901 São Paulo, SP – Brasil
Tel: (+55 11) 3908-2485 – Fax: (+55 11) 3908-2786 – Email: mario.lemes@siemens.com

Estas vantagens são reduzidas a medida que o sistema interligado vai aumentando de tamanho, tendo-se em vista diversos fatores, tais como fluxo de carga, oscilações de potência , gargalos e riscos de blackouts. , exigindo medidas adicionais com conseqüente aumento de custo.

No passado, a operação síncrona do sistema de potência era o caminho normal para se interligar dois sistemas. Como exemplo, temos o desenvolvimento do UCTE (Europa Ocidental com capacidade instalada de 530 GW) tratado neste artigo, os sistemas da China e Índia e os dos EUA e Brasil , que inclui os grandes projetos de interligação , como o Rio Madeira , Belo Monte e Tucurui- Manaus.

2.0 - CRITÉRIOS DE INTERLIGAÇÒES

Conforme observado acima, para o planejamento das interligações, devem ser observado critérios, os quais permitirão uma avaliação das alternativas de interligação CA, CC ou híbrido.

O primeiro critério é a avaliação dos problemas técnicos listados abaixo, que resultam a medida que o sistema se torna cada vez mais complexo e que se aprofundam pela desregulamentação dos mercados de energia elétrica, onde o fluxo de potência contratual não segue o critério de projeto da configuração existente.

Sistemas Interconectados:

- Controle do fluxo de potência
- Estabilidade de Tensão
- Oscilações no sistema
- Oscilações Inter- Área
- Oscilações subsíncronas

Sistemas de Transmissão em longa distância:

- Controle de Tensão
- Controle de Potência Reativa
- Estabilidade em Regime Permanente
- Estabilidade Dinâmica
- Oscilações Subsíncronas

O segundo critério refere-se à comparação de custos das alternativas, que incluem:

- Custos de operação e de investimento
- Qualidade do fornecimento de energia (segurança contra falhas, estabilidade de tensão e freqüência)
- Administrativa (coordenação com a operação do sistema total Ex. ONS)
- Perdas

O terceiro critério refere-se ao impacto que as limitações técnicas de sistemas muito grandes impõem ao custo benefício da interconexão, tais como.

- Elevados custos na harmonização do sistema (controle de freqüência reserva de geração); do uso de sistemas de proteção e controle avançados e melhoria no sistema de comunicação e monitoramento.
- Necessidade de coordenação da operação conjunta do sistema
- Interconexões CA, que normalmente no início da implementação são fracas (necessidade de linhas adicionais ou expectativa de problemas dinâmicos)
- Gargalos no sistema devido ao fluxo de carga sem controle e riscos de blackouts.(lições apreendidas do blackouts de 2003)
- Redução das vantagens econômicas devido a transmissão em longa distância em tensões mais baixas
- Desvantagens e custos elevados em mercados liberalizados, quando transmitindo potência através de grande número de sistemas e envolvimento de número de parceiros.
- Interconexão com grandes blocos de fontes alternativas

3.0 - EXEMPLIFICANDO:

1) Uma interligação em corrente alternada pede uma coordenação de um número de parâmetros, sendo um dos mais importantes, o fortalecimento da conexão. Se poucas linhas conectam dois sistemas fortes, a interconexão se torna instável. Somente, se linhas adicionais são construídas, o sistema se torna estável. Em sistemas interconectados de grande porte, a potência, que deverá ser transmitida ao longo de grandes distâncias, tem que fluir através do sistema malhado produzindo perdas adicionais e sobrecarga com possibilidade de gargalo. Dessa forma, mesmo que a solução atenda os critérios 1 e 2 , o fato do aparecimento do risco de gargalo e conseqüente blackout (Critério 3), leva a necessidade de uma análise da introdução de um sistema CCAT e/ou reforço com soluções FACTS,
2) Problemas são esperados , quando energias renováveis , tais como, grandes parques eólicos, são integrados ao sistema, especialmente quando as interconexões em corrente alternada são fracas e quando, não há uma reserva de capacidade suficiente disponível no sistema vizinho (Critérios 1 e 2). Se no futuro, uma parte crescente da capacidade instalada for conectada a níveis de distribuição (geração dispersada),os problemas será agravados , acarretando desafios ao planejamento e operação segura dos Sistemas (Critério 3). Nestes casos, eletrônica de potência poderá claramente fortalecer os sistemas e melhorar o seu desempenho. (FACTS)
3) Uma análise de custos em Euro-Cents/kWh incluindo custos de perdas acumuladas mostra que para um sistema de transmissão de 2000 MW numa distância de 900 km, a alternativa em HVDC oferece os custos mais baixos.Resultados de outros estudos similares mostram que em geral , a interconexão HVDC é a mais barata a distancias acima de 700 km e potencias de 1000 MW e acima. (Critério 2).A distância na qual a solução CCAT torna-se mais econômica , denominada " break-even distance",pode diminuir ,caso a necessidade de compensação reativa aumente na alternativa em CA
4) A interconexão híbrida, consistindo de uma transmissão HVDC e uma interconexão em paralelo CA., apresenta portanto a vantagem de atender os critérios , visto que nesta solução , o HVDC pode fornecer suporte adicional à interconexão CA em caso de faltas e controlar o fluxo de carga.

4.0 - INTERCONEXÃO HÍBRIDA - ANALISE DOS CRITERIOS NA INTERCONEXÃO EUROPÉIA IPS/UPS COM O UCTE

Consideremos o sistema europeu, que desde 10/10/2004 encontra-se "re-sincronizado" , ou seja, a primeira zona sincronizada (UCTE/CENTREL – Europa Ocidental mais a Polônia, República Tcheca, Eslováquia, Hungria) foi interligada à segunda zona sincronizada (Grécia, Países da Ex, Iugoslávia, Romênia e Bulgária)(Fig 1)

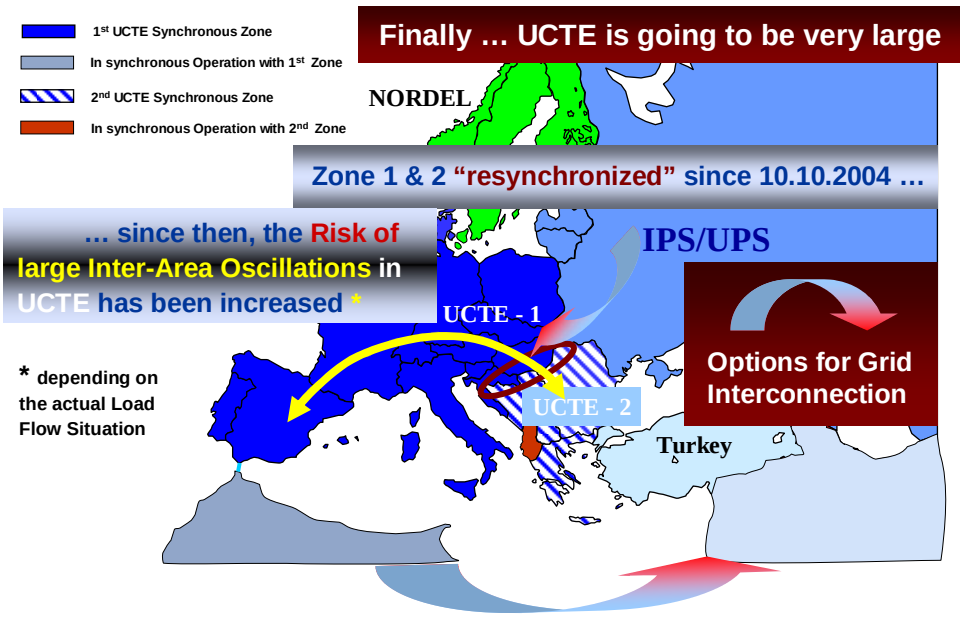

Figura 1 – Interligação do UCTE – Zonas 1 e 2

A experiência operacional , que incluiu medições com o WAMS – Wide Área Measurement , indicaram que com a extensão da UCTE sincronizada , o risco de grandes oscilações inter- área aumentou dependendo da situação do fluxo de carga, , sendo necessárias novamente medidas de amortecimento e efetivo monitoramento e controle , ficando a questão quem pagará por estes investimentos.

Alem disso, estudos já indicaram um gargalo crítico entre a França e Espanha desde a primeira fase da expansão do UCTE, situação esta que se agrava em outras regiões com a expansão do sistema UCTE interligado.

Em 20/4/2005, iniciou-se o estudo da interligação do UCTE (530 GW) com o sistema russo IPS / UPS (315 GW), de maneira que esta interconexão será a maior do Mundo. O passo inicial foi a obtenção de um banco de dados a partir do Questionário de Aquisição de Dados para o IPS/UPS.
Em paralelo, foi instalado um WAMS (Wide Área Measurement System) semelhante ao que opera no UCTE. Este sistema de medições transitórias é um pré-requisito para a validação dos modelos de simulação dinâmica.

Com as informações obtidas, pode-se realizar o processo de análise referente ao critério 1 :

a) Um primeiro modelo de estudo de fluxo de carga refletindo um pico de carga no inverno para o ano 2008, cujos cálculos permitem alocar as possíveis capacidades de transferência através da interligação.
b) Modelos de simulação dinâmica para ambas as áreas síncronas. Sabe-se que um dos maiores desafios técnicos será assegurar a estabilidade dinâmica do sistema
c) Análise do comportamento dinâmico incluindo desempenho do controle em ambos os sistemas
d) Análise de estabilidade, controle de tensão.
e) Oscilações Inter- Área, Subsíncornas

Com bases nos resultados dos estudos acima e levando-se em conta regras de disponibilidade e operacionais, aspectos legais e contratuais, será definido em 2008, uma lista dos investimentos necessários e custos associados (Critério 2) ,bem como o impacto das limitações técnicas sobre os custos (Critério 3)

As perguntas chaves são: Uso de sistema AC ou DC ou ambos? Quantas linhas?

Como limitação técnica já se sabe que:

a) As linhas disponíveis para a interligação são: 3 linhas de 750 kV, sendo uma atualmente danificada, 4 linhas de 400 kV e 4 linhas de 220 kV com uma capacidade total de transmissão de cerca de 7 GW

b) A tensão de 400 kV do UCTE é muito baixa para um sistema de transmissão tão complexo

c) Grande quantidade de gargalos com risco de blackouts , conforme mencionado anteriormente

d)Necessidade de harmonização e ajuste altamente preciso nos controles de freqüência , estratégias de geração e load shedding em ambos sistemas

e)Uma solução para esta interligação seria se expandir a interconexão AC já existente na Ucrânia (Burshtyn Island) , que é limitada a somente uma ou algumas usinas separadas, sendo fácil de sincronizar-se e de controlar o fluxo . Por outro lado, esta fraca interconexão apresentará problemas de instabilidade, com risco de trip das linhas e perda de potências de transferência.

Conclui-se, portanto, a necessidade de uma forte interconexão, que nunca será atendido por uma linha simples ou dupla.

Aliando-se aos problemas de gargalos e risco de blackouts, uma proposição para a interconexão síncrona do UCTE com IPS/UPS é a utilização em estágios de sistemas HVDC ou linhas AC com back to back e HVAC com FACTS, constituindo um sistema híbrido.,conforme indicado na figura 2.

O sistema híbrido utiliza sistemas CCAT ou CAAT com sistema back to back e sistemas CAAT com FACTS. O Intercâmbio de energia mais vantajoso, em áreas vizinhas de sistemas interconectados, pode ser obtido através de sistemas de transmissão em corrente alternada incluindo FACTS, para o aumento da capacidade de transmissão e razões de estabilidade. A transmissão de grandes blocos de potência em longas distâncias deve, entretanto, ser realizada através de sistemas CCAT diretamente às localidades de maior demanda. O sistema CCAT pode ser configurado tanto como um acoplador (solução back-to-back - B2B) ou ponto a ponto.. Estes sistemas fortalecem as interconexões em corrente alternada, de modo a evitar problemas dinâmicos, que ocorrem em grandes interconexões.

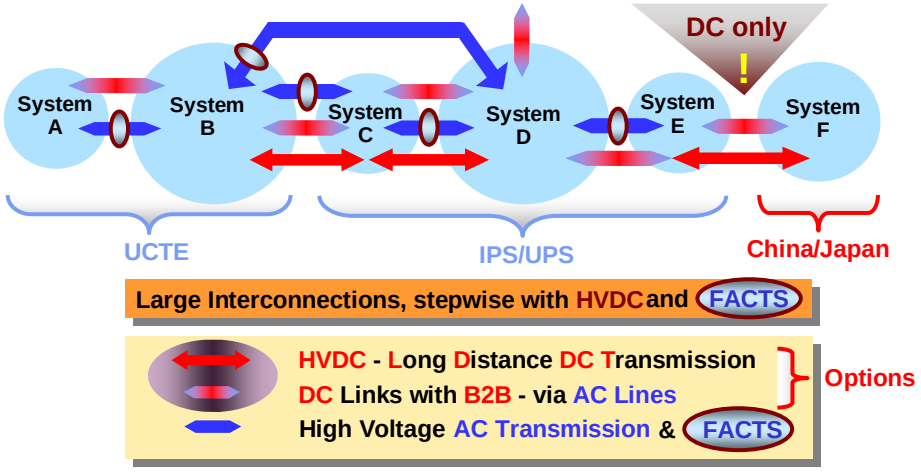

Figura 2 – Proposta para a interligação do UCTE e IPS/UPS .

Os benefícios da interligação híbrida são:

- Aumento da distância de transmissão e redução das perdas utilizando o sistema HVDC
- CCAT serve como reforço na estabilidade e barreira contra blackouts
- Uso de fontes de energia mais econômicas distantes do centro de carga
- Separação de cargas e reserva de capacidade
- Fontes de energia renovável, isto é, grandes usinas hidrelétricas podem ser mais facilmente integradas.

Para melhor visualizar o diagrama da figura 2, podemos considerar:

a) Interligação do sistema A com o B equivale ao gargalo existente na conexão Espanha – França e que poderá ser solucionado por um sistema CCAT e linha CA com FACTS .
b) Sistema C (IPS/UPS), constituído pela Ucrânia e Bielo-Rússia conectado com o sistema B (UCTE) (Polônia, Eslováquia, Hungria, Romênia) . Com as conexões CCAT e CAAT com FACTS alem de se manter a interligação UCTE – IPS/UPS segura e confiável, estas soluções permitem solucionar os gargalos existentes no UCTE entre a Polônia e Alemanha, Eslováquia e Áustria e países da Ex-Iugoslávia.
c) O sistema D refere-se à Rússia com uma interligação CCAT com a Europa e B2B com a Escandinávia (Nordel)
d) O sistema E refere-se a região da Sibéria que poderá ser interconectada no futuro ao sistema chinês para complementar a Interconexão Trans-Européia-Asiática.

5.0 - SISTEMA ASIÁTICO:

Um outro exemplo de uma interligação híbrida é o chinês.
A China é um dos Paises com o mais rápido crescimento de demanda elétrica.A maioria das fontes de energia são hidrelétricas , que se encontram nas areas Central e Sul. Devido as grandes distâncias de cerca 2000 km e os problemas dinâmicos inter areas, soluções híbridas foram adotadas e se encontram em grande expansão, sendo previstas num relativo curto periodo cerca de 10 instalaçòes em HVDC ,incluindo niveis superiores de tensão (800 kV). A Siemens assinou em junho 2007 , o Contrato da primeira interconexão CCAT em +/- 800 kv , 5000 MW.
Planeja-se também sistemas CA em Extra Alta Tensão (1000 kV).

A India é o segundo maior País com intenso crescimento da demanda ,com capacidade instalada de 124 GW (2006) e um crescimento anual de 8-9 % . Grandes fontes de energia encontram-se nas regiões Norte e Nordeste ,com interconexòes hibridas incluindo HVDCe B2B, em franca expansão.

6.0 - CONCLUSÕES

Desregulamentação e privatização colocam novos desafios aos sistemas de transmissão de alta tensão. Elementos do sistema de transmissão estão sendo carregados acima dos seus limites e a ampla área de mercado de energia elétrica com tipo de carga que variam rapidamente contribuem para aumento de congestionamento.

Restrições ambientais, economia de energia, minimização de perdas e redução de CO2, executam um importante papel. O carregamento dos sistemas existentes continuará aumentando, levando a formação de gargalos e problemas de confiabilidade. Como conseqüência das lições aprendidas dos grandes blackouts em 2003, tecnologias avançadas de transmissão, tais como CCAT e FACTS são essenciais para o desenvolvimento dos sistemas de potência.

A medida que as interligações CA aumentam de tamanho, as vantagens tornam-se menores e os custos para ajustar os sistema para uma operação síncrona aumentam.

Dessa forma, para se planejar grandes interligações devem ser considerados:

a) Os problemas técnicos que resultam a medida que os sistemas se tornam mais complexos , tais como, controle de fluxo de potência ,oscilações inter-area , estabilidade

b) Comparação dos custos de alternativas incluindo os de operação e perdas

c) Impactos das limitações técnicas sobre o custo benefício das interligações.

Uma interconexão CCAT não necessita de ajustes do sistema e fornece, portanto uma solução mais econômica. Estudos econômicos demonstram que esta solução é mais econômica para a transmissão a grandes distâncias. Adicionando-se FACTS ao sistema AC, possibilitam-se os ajustes necessários, aumentando a capacidade de transmissão e estabilidade.

CCAT e FACTS fornecem, portanto, as características necessárias para se evitar problemas técnicos em sistemas de potência, aumentando a capacidade de transmissão e estabilidade, suportando o acesso à rede de fontes de energia renováveis e reduzindo as perdas do sistema através da otimização dos fluxos de potência.

Colocando-se em paralelo, sistemas CCAT e AC com FACTS, formando-se os sistemas híbridos, permite-se um melhor intercâmbio de energia, maiores possibilidades de suporte em casos de faltas ao sistema CA evitando-se problemas dinâmicos e melhor desempenho de extensos sistemas interligados . Esta combinação já se encontra com operação comprovada na Europa, Ásia e América.

7.0 - BIBLIOGRAFIA

1 - Povh.D,;Lei,X;Retzmann,D.;Han,Y:Wang,Zh: Role of HVDC and FACTS in future Power Systems;Cigré Symposium,April 8-10,2003,Shangai ,China

2 - Povh,D;Retzmann,D;Fischer,W;Teltsch,E : Use of HVDC for Transmission Improvement – Distributec ,January 20-22,2004 ,Orlando ,USA

3 - Buchholz,B;Povh.D;Retzmann.D : Stability Analysis for large Power System Interconnections in Europe –

IEEE 2004

4 – www.ucte.org