SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

GAT 31
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO IV
GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA – GAT

DESEMPENHO TRANSITÓRIO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA COM INFORMAÇÃO DE MARGEM DE ESTABILIDADE

Carlos Eduardo Vieira de Mendonça Lopes*

ELETROBRÁS

Sebastião Ércules Melo de Oliveira

COPPE / UFRJ
DEE - Escola Politécnica/UFRJ

RESUMO

O método corrente de avaliação da estabilidade transitória dos sistemas elétricos de potência consiste na resolução, via integração numérica passo a passo, das equações algébrico-diferenciais que descrevem seu comportamento dinâmico. Uma das limitações da simulação passo a passo diz respeito à ausência de resultados diretos que tragam informação sobre o limite de estabilidade quando da ocorrência de uma determinada contingência. Visando contornar esta limitação, este artigo propõe uma pesquisa por uma margem que informe o grau de estabilidade do sistema elétrico frente à perturbação referida.

A investigação é baseada nos métodos diretos de avaliação da estabilidade, dado que, em geral, eles fornecem uma margem ou limite de estabilidade, contudo sem a possibilidade de consideração de modelos detalhados para a maioria dos componentes que influenciam no comportamento dinâmico do sistema elétrico. A partir do exame dos métodos diretos, o presente trabalho resultou na proposição de uma metodologia fundamentada no conceito de equivalência entre um sistema multimáquinas e um sistema máquina-barra infinita.

PALAVRAS-CHAVE

Estabilidade de Sistemas de Potência, Margem de estabilidade, Regime Transitório, Método SIME.

1.0 - INTRODUÇÃO

O aparecimento de novas tecnologias aplicadas nos sistemas elétricos de potência e a operação cada vez mais próximas de seus limites, exigem um esforço permanente para manutenção de uma infra-estrutura capaz de fazer frente aos desafios de planejamento e operação em um ambiente de crescentes incertezas. Diante deste cenário, se torna evidente a necessidade de se desenvolver métodos para que o desempenho dos sistemas elétricos possa ser analisado de uma forma transparente, segura e confiável.

Dentro do contexto acima referido, o objetivo deste trabalho é, portanto, a avaliação do desempenho transitório dos sistemas elétricos de potência no domínio do tempo com informação direta acerca dos limites ou margem de estabilidade, em outras palavras, a identificação do quão estável ele se apresenta diante de uma perturbação. Uma medida para margem de estabilidade, pode ser dada pela determinação do tempo crítico de remoção da falta, notando-se assim, se a remoção do defeito resulta em condição transitória distante ou próxima do limiar de instabilidade. O procedimento para obtenção da margem de estabilidade baseada no tempo crítico de remoção de defeito representa o escopo do presente artigo, em concordância com a referência (1).

(*) Av. Marechal Floreano, 19 / 14º – CEP 20080-003 Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Tel: (+55 21) 2514-5439 – Fax: (+55 21) 2514-5210 – Email: clopes@eletrobras.com

2.0 - ESTABILIDADE NOS DIAS ATUAIS

Para a análise dinâmica precisa de sistemas de potência reais requer-se a modelagem detalhada de uma estrutura complexa de rede, geradores e equipamentos que influenciam na estabilidade, havendo um conjunto de equações algébrico-diferenciais não lineares a ser solucionados. A seguir, são abordadas sumariamente três ferramentas de que se pode dispor para a avaliação da estabilidade transitória.

2.1 Integração Numérica:

Atualmente é o método de avaliação mais preciso e utilizado, consistindo na resolução das equações diferenciais por técnicas de integração numérica. A solução com características iterativas se dá em razão das não linearidade das equações. Este método de avaliação da estabilidade não apresenta qualquer tipo de restrição quanto à modelagem dos componentes e controles do sistema. Suas limitações ficam por conta do tempo computacional e pela ausência de resultados diretos que informem o limite de estabilidade as contingências examinadas.

O uso dos computadores digitais se torna indispensável. Os programas desenvolvidos, em geral, fornecem curvas indicando o comportamento das variáveis de interesse ao longo do tempo.

2.2 Métodos Diretos:

Os métodos diretos avaliam a estabilidade transitória sem a resolução das equações algébrico-diferenciais. São baseados nos conceitos de *Lyapunov* que se traduzem na aplicação de uma função energia e determinação dos pontos singulares instáveis. Devido à dificuldade para a obtenção de uma função precisa de *Lyapunov*, normalmente é utilizada a Função Energia Transitória.

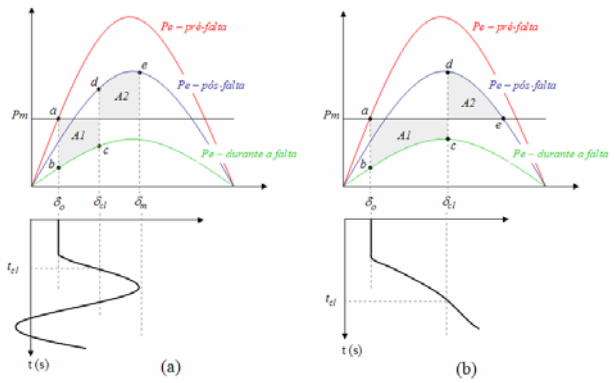
Basicamente, considera-se que se a energia transitória adquirida pelo sistema de potência no instante de remoção do defeito for menor do que um determinado valor de energia crítica, o sistema é estável. Se não, é instável. A computação da energia crítica representa uma das dificuldades do método, dispõe-se de algumas metodologias para este fim, como o *Closest Unstable Equilibrium Point, Potential Energy Boundary Surface* (PEBS) e *Controlling Unstable Equilibrium Point.* A margem de estabilidade associada à contingência simulada é definida, essencialmente, como a diferença entre a energia crítica e a energia transitória no instante de remoção do defeito.

A aplicação dos métodos diretos tem encontrado obstáculos, o principal deles está no fato de serem impróprios para incorporação de modelos realistas, pois, em geral, muitas simplificações são necessárias. Ainda assim, tem evoluído e mostrado um grande potencial, de modo especial para aplicações em tempo real.

2.3 Métodos Híbridos:

Para contornar as limitações dos métodos diretos, podem-se aplicar métodos híbridos, que fazem uso da simulação passo a passo. Em linhas gerais, três diferentes metodologias podem ser apontadas: a função energia transitória (3), a determinação de índices (4) e a definição da equivalência entre um sistema multimáquinas e um sistema maquina-barra infinita (5) e (6).

Esta última é adotada neste trabalho, assim sendo, cabe recordar o exemplo clássico de um sistema composto de um gerador conectado a uma barra infinita através de duas linhas de transmissão. Na figura 1 são apresentadas curvas P-δ, para três condições: pré-falta (as duas linhas em serviço), durante a falta (com curto trifásico aplicado a uma das linhas) e pós-falta (uma linha fora de serviço).



P: potência;
δ: ângulo do rotor;
P_M: potência mecânica;
P_E: potência elétrica;
δ_o: ângulo inicial;
δ_{cl}: ângulo na remoção do defeito;
δ_m: ângulo máximo;
t_{cl}: tempo de remoção do defeito

Figura 1 – Ilustração do fenômeno de estabilidade transitória

Enquanto a Figura 1a diz respeito ao comportamento estável do sistema, a Figura 1b corresponde a uma situação de instabilidade frente a um tempo de eliminação de falta maior. A potência mecânica P_M foi assumida constante.

Sem maior preocupação com a conceituação do critério das áreas iguais, observamos no caso estável que, a energia cinética adquirida durante o período de defeito, representada pela área *A1*, é igual a área *A2* correspondente à energia de frenagem. Considerando um tempo de remoção de defeito maior, pode ocorrer que a energia cinética adquirida durante o defeito, não seja totalmente "absorvida" pelo sistema. Em outras palavras, a área *A2* será menor que a área *A1*, havendo, neste caso, a perda de sincronismo.

3.0 - MÉTODO DA MÁQUINA EQUIVALENTE

A primeira versão da metodologia de aplicação da equivalência de um sistema multimáquinas em um sistema equivalente máquina-barra infinita foi proposta por Y. Xue (5), o chamado *Critério das Áreas Iguais Estendido*. Publicações mais recentes (6) propõem um método generalizado designado SIME (*Single Machine Equivalent*), com aplicação sem quaisquer restrições de modelagem dos componentes do sistema elétrico.

Os métodos baseados na máquina equivalente pressupõem que a perda de sincronismo em um sistema multimáquinas é originada da separação de suas máquinas em dois grupos, daí resultando que o mecanismo de desenvolvimento do processo de instabilidade pode ser inferido por meio de um sistema equivalente máquina-barra infinita adequadamente determinado. Os dois grupos acima citados podem ser denominados grupo crítico (C), contendo as máquinas que provavelmente perdem o sincronismo, e o grupo não-crítico (N), formado pelas máquinas remanescentes.

A idéia básica do método consiste nos seguintes passos:

1- Decomposição adequada do sistema nos dois grupos de máquinas, o crítico e o não-crítico;

2- Agregação das máquinas de cada grupo em equivalentes, cada um com ângulo de carga equivalente representado por seu Centro de Ângulo Parcial (*Partial Center of Angle* - PCOA);

3- Transformação das duas máquinas equivalentes em um equivalente máquina-barra infinita.

Formulação:

Dado um defeito, para o qual foram determinados adequadamente os dois grupos de máquinas, o crítico e o não-crítico, o PCOA de cada um dois conjuntos é definido conforme as equações (1) e (2).

$$\delta_c = \frac{\sum_{k \in C} H_k \, \delta_k}{\sum_{k \in C} H_k} \qquad (1)$$

$$\delta_N = \frac{\sum_{j \in N} H_j \, \delta_j}{\sum_{j \in N} H_j} \qquad (2)$$

O método propõe que o sistema seja reduzido a uma máquina equivalente, adotando-se:

$$\delta = \delta_C - \delta_N \qquad (3)$$

A potência elétrica da máquina equivalente P_E é pode ser deduzida em função da soma das inércias de todas as máquinas do sistema (*H*) e das inércias e potências elétricas das máquinas nos conjuntos C e N, equação (4).

$$P_E = H\left(\frac{1}{H_C} \sum_{k \in C} P_{Ek} - \frac{1}{H_N} \sum_{j \in N} P_{Ej} \right) \qquad (4)$$

A potência mecânica da máquina equivalente P_M apresenta expressão similar. Se todas as potências mecânicas dos geradores individuais são consideradas constantes ao longo do período de tempo de interesse em razão da relativa lentidão de seus sistemas de controle de velocidade, então P_M pode ser considerado constante.

A determinação da margem de estabilidade para uma dada contingência estável se apóia no conceito de estabilidade estabelecido pelo critério convencional das áreas iguais, como ilustrado na figura 2.

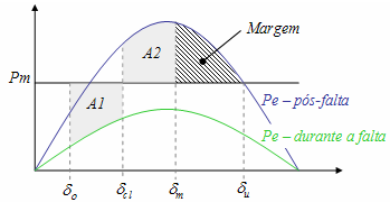


Figura 2 – Margem de estabilidade

Pode-se considerar como margem a área contida entre as curvas de potência mecânica P_M e de potência elétrica P_E pós-falta, desde o ponto de máxima excursão angular dm até o ponto de equilíbrio instável δ_u. Contingências mais severas resultarão em margem menor de estabilidade.

Com base na curva P-δ, aplicando uma extrapolação quadrática para obter uma estimativa da curva de δ_m até δ_u pode-se determinar uma aproximação para a área associada a margem de estabilidade. Naturalmente que a precisão desta avaliação aumenta se contingências com oscilações em que δ_m se aproxime mais de δ_u (defeitos mais severos) são consideradas. De fato, o interesse pela determinação mais precisa das margens de estabilidade aumenta exatamente para estas contingências.

Retornando agora a questão da especificação das máquinas que compõem o grupo crítico e não-crítico, deve ser aplicado um critério de seleção adequado. O sucesso da metodologia da equivalência entre um sistema real multimáquinas e um sistema máquina-barra infinita depende, fundamentalmente, da seleção das máquinas que comporão os grupos. Diante desta questão, foram analisados profundamente diversos critérios de agregação, a partir da observação do comportamento angular dos geradores, levando em consideração características diversas com relação à referencia síncrona, no regime transitório ou em regime permanente pós falta, levando em conta a aceleração inicial, ou ainda observando-se as máquinas com maior excursão angular.

O critério da máxima excursão angular se mostrou o mais adequado. Este é focalizado na máquina que apresenta a maior excursão angular em relação ao centro de ângulo do sistema. O critério de agregação consiste em considerar esta máquina como integrante do grupo crítico juntamente com todas aquelas que apresentarem um comportamento coerente. Todas as demais máquinas são consideradas como pertencente ao grupo não-crítico.

4.0 - PROPOSTA PARA DETERMINAÇÃO DE TEMPO CRÍTICO

Para um sistema elétrico operando sob certas condições, uma dada contingência, para a qual o sistema permaneça estável, pode ter sua severidade aumentada pelo aumento do tempo de remoção do defeito, t_r, o que resultará na diminuição da margem de estabilidade. Em conseqüência, pode-se estabelecer o quanto aumentar t_r para que a margem se torne nula, obtendo-se também o tempo crítico de remoção da falta, t_{cr}.

A figura 3a apresenta as áreas de aceleração e frenagem envolvidas em um caso estável. A margem de estabilidade pode ser reconhecida pela área demarcada. A figura 3b ilustra o mesmo defeito, aplicado agora com um tempo de remoção maior, correspondente exatamente ao tempo crítico de remoção.

Observa-se que, na figura 3a, a área correspondente à margem encontrada no caso estável, corresponde, na figura 3b, à área contida entre as curvas de potência elétrica durante e após o defeito, desde o ângulo de remoção δ_r, obtibo da figura 3a, até o ângulo crítico de remoção.

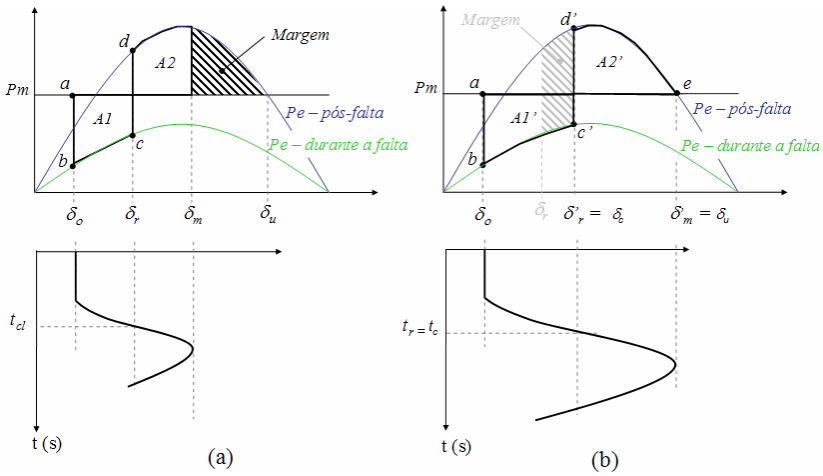


Figura 3 – Limite de estabilidade

Portanto, o procedimento consiste em, dado um caso estável, determinar a área correspondente a margem de estabilidade, e em seguida considerar esta área entre as curvas de potência elétrica durante o defeito e após o defeito, a partir do ângulo no qual houve a remoção. Desta forma, o ângulo crítico de remoção δc, pode ser prontamente estimado, e ainda o tempo crítico de remoção *tc*, de acordo com a evolução angular no tempo. A figura 4 ilustra este procedimento.

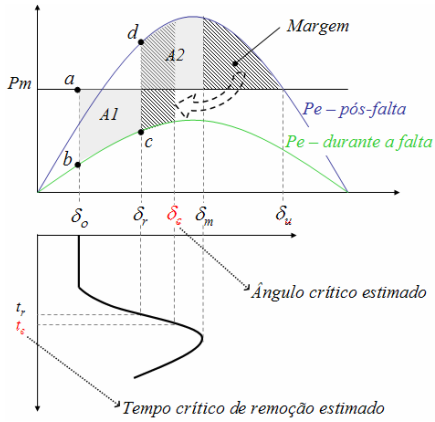


Figura 4 – Limite de estabilidade

5.0 - IMPLEMENTAÇÃO E DETALHAMENTO DA METODOLOGIA

As simulações passo a passo foram realizada com o programa ANATEM, desenvolvido pelo CEPEL, ferramenta utilizada pelo setor elétrico brasileiro para estudos de estabilidade. A metodologia proposta no presente artigo, por outro lado, foi implementada em um programa computacional elaborado em linguagem compilada e cujos dados são obtidos através da leitura dos arquivos de saída do ANATEM. Este programa realiza a leitura das curvas do comportamento no tempo do ângulo do rotor das máquinas síncronas e potência elétrica das mesmas. O aplicativo pode fornecer as curvas parciais dos grupos, bem como a curva P-δ equivalente.

Primeiramente são caracterizados o grupo crítico e não-crítico através do critério de máxima excursão angular. O aplicativo detecta o gerador que apresentou a maior excursão angular e posteriormente encontra quais geradores apresentam um comportamento coerente, ou seja, quais as máquinas que acompanham a oscilação da máquina com a maior excursão. Estas são caracterizadas como pertencentes ao grupo crítico e as demais ao grupo não crítico. Os dois grupos são equivalentados em uma única máquina de acordo com o PCOA de cada grupo, equações (2) e (3), sendo posteriormente determinado o comportamento da máquina equivalente, equação (4). É então aplicada a metodologia para a determinação do tempo crítico conforme abordado no item 4.0.

6.0 - RESULTADOS

Para a validação da metodologia, foi proposta a análise do sistema Norte-Nordeste brasileiro. O diagrama unifilar simplificado apresentando a topologia da malha deste sistema é ilustrado na Figura 5.

O caso base de fluxo de potência utilizado nas simulações é referente à condição de carga pesada do Plano de Ampliação e Reforços, horizonte de abril de 2007, do Operador Nacional do Sistema (ONS). Toda a infra-estrutura para simulação dinâmica é disponibilizada na página eletrônica do ONS (www.ons.com.br).

Salienta-se que todos os geradores são representados através de modelo de máquina de quinta ordem para as máquinas de pólos salientes, com saturação do fluxo de entreferro e presença de seus reguladores de tensão, velocidade e PSS. As cargas são modeladas através do modelo ZIP, a exceção de uma carga especial da ALUMAR, empresa de produção de alumínio. Estão também representados todos os compensadores estáticos.

Foram processadas contingências de perda simples em linhas de transmissão do sistema de 500 kV, consistindo na saída de um circuito após a ocorrência de curto-circuito trifásico em uma das barras terminais, totalizando 33 casos de simulação.

O tempo crítico de remoção adotado como real, para cálculo do erro da metodologia, foi obtido em simulações com o programa ANATEM.

A metodologia, conforme esperado, se mostrou eficaz para contingências severas, desta forma foi fixado para as simulações um tempo de falta múltiplo de 80 ms, sendo adotado aquele que resultasse numa variação angular maior que 60° de ao menos um gerador.

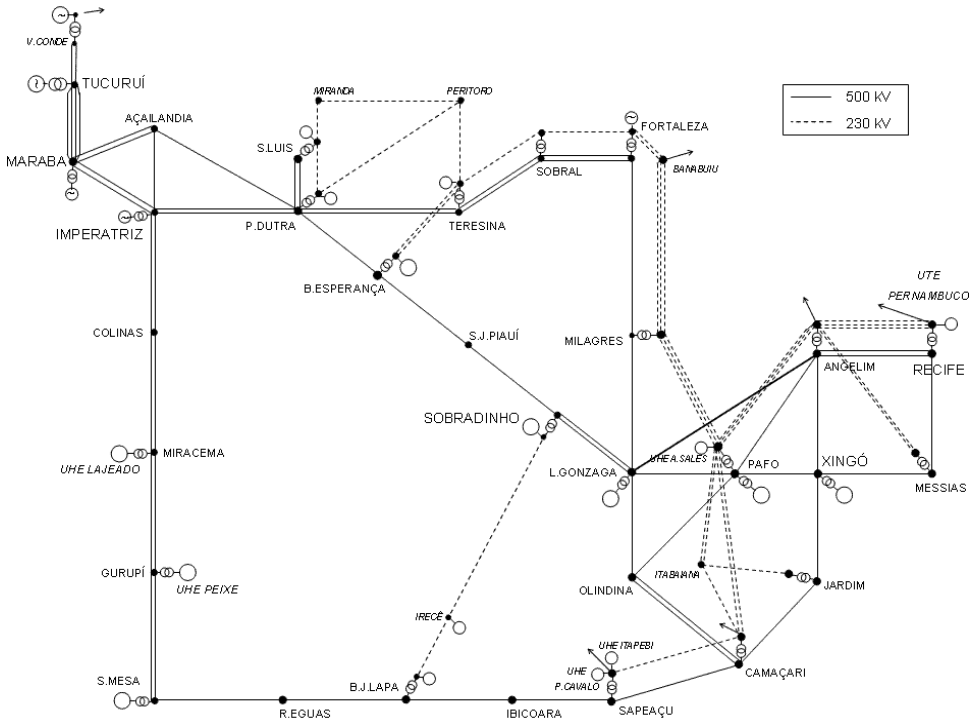
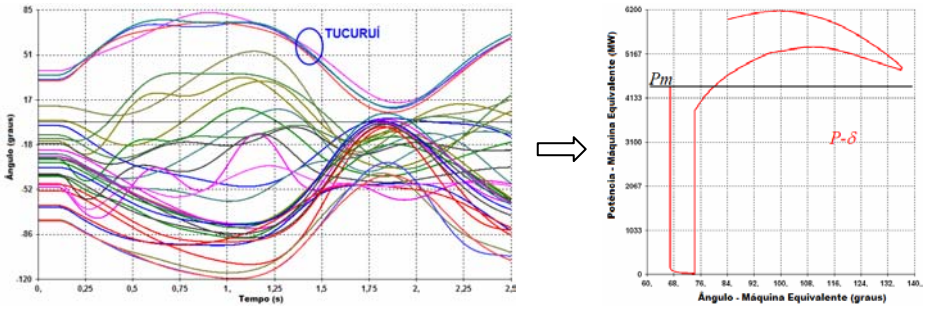


Figura 5 – Diagrama simplificado do sistema Norte-Nordeste

A seguir são apresentados dois casos julgados representativos e posteriormente uma tabela com o resumo de todas as contingências.

a. Curto-circuito na SE Tucuruí 500 kV com saída de um circuito da LT Tucuruí - Marabá.

Esta foi a contingência de maior severidade. A Figura 6a apresenta a excursão angular dos geradores do sistema. O grupo de máquinas críticas foi composto apenas pelas unidades geradoras da UHE Tucuruí. O comportamento P-δ da máquina do correspondente equivalente máquina-barra infinita é ilustrado na figura 6b.



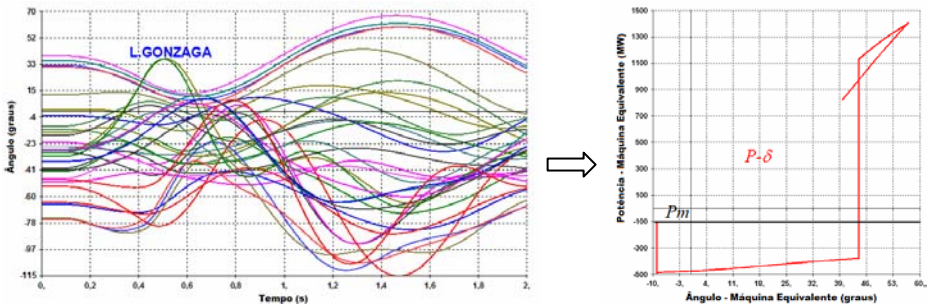
(a) (b)

Figura 6 – Comportamento angular

A simulação desta contingência se deu com um tempo de remoção do defeito igual a 80 ms. O tempo critico de remoção desta contingência é 84 ms, sendo o valor estimado pelo método 82 ms, ou seja, um erro de 2,4%.

b. Curto-circuito na SE Luiz Gonzaga 500kV e saída LT L.Gonzaga – Olindina

A análise desta contingência se torna conveniente, pois o defeito ocorre em uma área com diversas usinas distintas, sendo o comportamento angular de difícil distinção em apenas dois grupos. A figura 7a apresenta a excursão angular dos geradores do sistema. O grupo de máquinas críticas foi composto apenas pelas duas unidades geradoras da UHE Luiz Gonzaga. O comportamento P-δ da máquina do correspondente equivalente máquina-barra infinita é ilustrado na figura 7b.



(a) (b)

Figura 7 – Comportamento angular

A simulação desta contingência se deu com um tempo de remoção do defeito igual a 320 ms. O tempo critico de remoção desta contingência é 502 ms, sendo o valor estimado pelo método de 477 ms, ou seja, um erro de 5,0%.

A Tabela 1 apresenta um resumo dos resultados obtidos nas simulações realizadas com a metodologia proposta.

Tabela 1 – Resultados obtidos

CONTINGENCIA (LTs 500 kV N/NE)	TEMPO DE FALTA (ms)	Δδ (graus)	t_{cr} (ms) ANATEM	t_{cr} (ms) Estimado	ERRO (%)
Tucuruí – Vila do Conde	80	65	99	104	5,0
Tucuruí – Marabá	80	106	84	82	-2,4
Marabá – Açailândia	80	73	89	92	3,4
Marabá – Imperatriz	80	67	95	99	4,2
Imperatriz – Açailândia	80	47	117	123	4,8
Açailândia – Presidente Dutra	80	55	118	123	4,1
Imperatriz – Colinas	80	43	125	124	-0,8
Imperatriz – Presidente Dutra	80	44	134	129	-3,7
Presidente Dutra – São Luiz	160	60	222	234	5,4
Presidente Dutra – Teresina	160	61	224	230	2,7
Boa Esperança – Presidente Dutra	240	76	334	352	5,4
Sobral – Teresina	560	70	770	754	2.1
Fortaleza – Sobral	320	55	473	454	-4,0
Fortaleza – Miracema	320	55	483	513	6,2
São Luis Gonzaga – Milagres	320	89	509	527	3,5
Boa Esperança – S. João do Piauí	240	81	378	368	-2,6
Sobradinho – São João do Piauí	320	85	476	448	-2,3
Sobradinho – São Luis Gonzaga	320	81	508	509	0,2
São Luis Gonzaga – Angelim	320	92	504	519	3,0
Paulo Afonso – São Luis Gonzaga	320	95	476	484	1,7
São Luis Gonzaga – Olindina	320	91	502	477	-5,0
Paulo Afonso – Angelim	240	67	506	541	6,9
Xingó – Paulo Afonso	240	83	344	331	-3,8
Paulo Afonso – Olindina	240	68	505	519	2,8
Xingó – Angelim	240	97	386	375	-2,8
Xingó – Messias	240	98	390	379	-2,8
Xingó – Jardim	240	71	389	379	-2,6
Recife – Angelim	400	69	744	736	-1,1
Recife –Messias	400	70	742	767	3,4
Camaçari – Jardim	160	69	243	232	-4,5
Camaçari – Olindina	160	69	246	239	-2,8
Camaçari – Sapeaçu	160	68	244	233	-4,5
Sapeaçu – Ibicoara	160	63	245	238	-2,9

7.0 - CONCLUSÕES:

O artigo apresenta uma metodologia híbrida para avaliação da estabilidade dos sistemas de potência, de forma tal que procura remover uma das dificuldades do procedimento convencional baseado em simulação por integração numérica: a determinação da margem de estabilidade transitória do sistema.

A validação da metodologia proposta foi realizada através da avaliação de casos de estabilidade do sistema Norte-Nordeste brasileiro, sendo obtidos resultados atrativos. O erro de avaliação do tempo crítico foi inferior a 5%

na quase totalidade dos casos simulados. O erro máximo se situou em 6,9%, mas em um caso em que a contingência não apresentou severidade tão elevada.

A metodologia proposta apresenta erros menores justamente nos casos em que é mais necessário, os de contingências severas. Permitindo que haja uma boa determinação das máquinas críticas, já que se tem excursão angular suficientemente grande, resultando em uma determinação mais precisa das margens de estabilidade. Saliente-se que a metodologia não impõe nenhuma restrição quanto à modelagem dos componentes.

Cabe destacar, ainda, que o critério de agregação adotado conduz a um grupo crítico formado pelas máquinas que são as mais "solicitadas" pelo impacto e um grupo não-crítico com as demais máquinas que, apesar dos seus desempenhos distintos, com diferentes amplitudes e modos de oscilação, são equivalentadas conforme o seu PCOA, sem causar prejuízos aos resultados. Os desempenhos diferentes das máquinas equivalentadas, entretanto, não levam ao comprometimento dos resultados esperados.

Nota-se, ainda, que o campo de aplicação da metodologia proposta pode ser muito amplo. De acordo com as atuais condições de operação dos sistemas de potência, esta metodologia pode abranger áreas como a segurança dinâmica dos sistemas, a confiabilidade, a classificação de contingências, etc.

De acordo com o exposto conclui-se que o método da máquina equivalente constitui-se uma importante ferramenta para auxiliar a avaliação do desempenho transitório dos sistemas elétricos de potência no tempo, fornecendo modo de avaliação precisa das margens de estabilidade para contingências severas.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) C. Lopes, "Desempenho Transitório de Sistemas de Potência com Informação de Margem de Estabilidade", M.Sc. Thesis, Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brazil, 2006.

(2) I.S. Nazareno, "Método Dinâmico para Detecção do PEBS e Shadowing Method para Cálculo do Ponto de Equilíbrio de Controle em Estudos de Estabilidade Transitória," M.Sc. Thesis, Escola de Engenharia de São Carlos / USP, São Carlos, Brazil, 2000.

(3) C.K. Tang,,C.E. Grahan, M. El-Kady, R.T.H. Alden, "Transient Stability Index from Conventional Time Domain Simulation," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 9, no. 3, pp. 1524-1530, Aug 1994.

(4) C. Fu, A. Bose, "Contingency Ranking Based on Severiry Indices in Dynamic Security Analysis," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 14, no.3, pp. 980-986, Aug. 1999.

(5) Y. Xue, Th. Van Cutsem, M.R. Pavella, "Extended Equal Area Criterion Justifications, Generalizations, Applications," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 4, no.1, pp. 44-52, Feb. 1989.

(6) M. Pavella, D. Ernst, D. Ruiz-Veja, " Transient Stability of Power Systems – A Unified Approach to Assessment and Control," Belgium, Kluwer Academic Publishers, 2000.

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Carlos Eduardo Vieira de Mendonça Lopes
Nascido em São Gonçalo, RJ em 11 de dezembro de 1979.
Mestrado (2006): COPPE/UFRJ e Graduação (2001) em Engenharia Elétrica: UFF
Empresas: CEPEL – Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (2001 a 2003)
ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras, desde 2003
Engenheiro da Divisão de Estudos de Elétricos do Departamento de Transmissão de Energia Elétrica.

Sebastião Ércules Melo de Oliveira
Nascido no Rio de Janeiro, RJ, em 20 de janeiro de 1948.
Doutorado (1985) e Mestrado (1973): COPPE/UFRJ e Graduação em Engenharia Elétrica (1969): Universidade do Brasil, Escola Nacional de Engenharia.
Empresas: PTEL Engenharia (1973 a 1978)
CEPEL – Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (1978 a 1996)
Professor da Escola Politécnica da UFRJ (desde 1973)
COPPE/UFRJ (1972/3 e 1996 até o momento)
Professor nas áreas de Transmissão em HVDC, Máquinas Elétricas, Proteção e Dinâmica de Sistemas Elétricos
Orientador de estudantes de mestrado e doutorado
Coordenador e instrutor de curso lato sensu de especialização em Proteção de Sistemas Elétricos de Potência