

X Simpósio Brasileiro de Arquitetura de Computadores

MELHORIA DA SEGURANÇA DINÂMICA DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO PROCESSAMENTO DISTRIBUÍDO

I. C. Decker

M. C. A. Castro

M. R.V. Vanti

Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Santa Catarina
88040-900 – Florianópolis – SC - Brasil
e-mail: {decker, claudia, marcia}@gpse.ufsc.br

Resumo - Neste artigo descrevem-se a implementação paralela de uma metodologia de Avaliação e Melhoria da Segurança Dinâmica usando modelos simplificados; e os resultados de experimentos computacionais em um *cluster* de estações de trabalho. A melhoria da segurança dinâmica é formulada como um problema de otimização, utilizando-se coeficientes de sensibilidade de primeira e segunda ordem da margem de segurança e ações de controle do tipo redespacho de potência ativa. Os resultados obtidos em sistemas de grande porte mostram elevados ganhos na utilização da computação paralela e potencial viabilidade para o atendimento dos requisitos de tempo computacional no ambiente da operação *on-line*.

Abstract - This paper describes the parallel implementation of a dynamic security assessment methodology using simplified models. The improvement of dynamic security is formulated by an optimization approach, with the use of first and second order sensitivity coefficients of security margin and control actions such as active power redispach. The methodology was applied to a model of a large power system and the results have shown high performance with the use of a cluster of workstations and a potential viability to satisfy computational time constraints for on-line applications.

1. Introdução

A especificação da potência a ser gerada em cada máquina síncrona de sistemas elétricos é usualmente realizada através de um programa de fluxo de potência ótimo (FPO), buscando otimizar algum índice de desempenho. O perfil de geração assim obtido deve ser preservado, a menos que o nível de segurança esteja comprometido considerando-se um elenco de contingências. A análise em regime permanente pós-contingências para o elenco de contingências citado é conhecido como análise de segurança estática. Do ponto de vista do desempenho dinâmico, o objetivo é avaliar se o sistema poderá atingir um ponto de operação aceitável quando sujeito a uma grande perturbação do tipo curto-circuito, perda de uma grande unidade geradora, etc. Se o sistema for instável para qualquer contingência ou apresentar uma margem de estabilidade inferior à especificada, torna-se necessário a implementação de ações de controle preventivo. No entanto, a incorporação da função Avaliação da Segurança Dinâmica *on-line* em centros de controle de sistemas de energia elétrica (*Energy Managment System*) é um problema desafiador, tanto sob o ponto de vista metodológico quanto computacional[1-4].

2. Metodologia Desenvolvida

Um procedimento geral para a avaliação e melhoria da segurança dinâmica pode ser constituído pelas seguintes etapas [2]:

- estabelecimento de um valor mínimo para a margem de segurança;
- avaliação da segurança e identificação das contingências que não satisfazem o nível mínimo estabelecido;
- identificação e quantificação de ações de controle que conduzam o sistema a uma condição de operação segura.

X Simpósio Brasileiro de Arquitetura de Computadores

Na figura 1 apresenta-se uma visualização da forma como foi implementado este procedimento no presente trabalho. Os detalhes de cada fase são descritos nos próximos subitens.

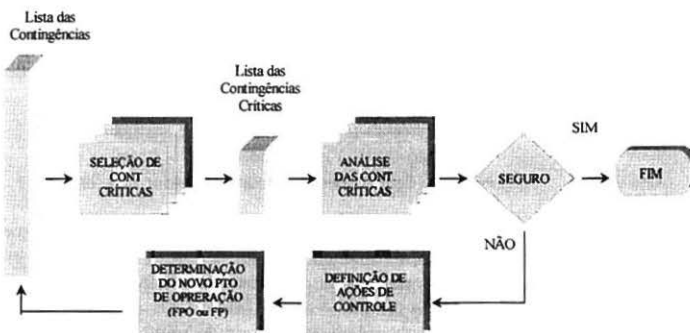


Figura 1 – Visualização da metodologia de avaliação e melhoria da segurança dinâmica

2.1 Avaliação da Segurança Dinâmica

A avaliação da segurança dinâmica é feita utilizando-se o método híbrido SLEP iterativo [1-3]. Especificamente, é utilizado o modelo dinâmico clássico, preservando a estrutura original da rede elétrica, a Função Energia Transitória como função de Liapunov e o conceito de Superfície Limite de Energia Potencial (SLEP). A energia potencial crítica, o correspondente tempo crítico de eliminação do defeito, as máquinas críticas e a margem em energia, de cada contingência, são determinados através de um processo iterativo que envolve o cálculo de trajetórias estáveis e instáveis, identificadas com o uso da SLEP. A margem em energia para qualquer contingência pode ser interpretada como uma medida da distância em relação à condição limite de estabilidade, sendo definida pela diferença entre a energia potencial crítica E_{crit} e a energia total do sistema no instante de eliminação do defeito E_e :

$$\eta_e = (E_{crit} - E_e) / E_{crit}, \quad (1)$$

2.2 Melhoria da Segurança Dinâmica

A melhoria da segurança dinâmica envolve as fases de definição de ações de controle preventivo, baseada na formulação de um problema de otimização, e determinação do novo ponto da operação, através da solução de um problema de fluxo de carga convencional [1-3].

No problema de otimização busca-se atender as restrições de estabilidade transitória com o mínimo desvio do ponto de operação previamente definido. Essas restrições são formuladas utilizando-se coeficientes de sensibilidade da margem de energia à variação da potência ativa gerada, através do conceito de OMIB (*One Machine Infinite Bus*) equivalente do sistema elétrico. A expressão da margem em energia da equação (1) é, então, definida em termos de áreas das curvas potência-ângulo do OMIB equivalente.

2.3 Formulação Geral

Definindo-se para cada unidade geradora: α_i - fator de ponderação que pode combinar o custo incremental e a efetividade para a melhoria da segurança; ΔP_{gi} - variação de geração ativa; P_{min_i} e P_{max_i} - limites de potência ativa mínimo e máximo, respectivamente; $P_{g_i}^0$ - valor inicial de geração ativa; $\Delta P_{g_i}^{min} = P_{min_i} - P_{g_i}^0$; $\Delta P_{g_i}^{max} = P_{max_i} - P_{g_i}^0$; considerando-se para a k-ésima contingência: η_k^0 - margem de segurança atual, η_{min} - valor mínimo especificado para a margem de segurança, $S_{P_{ms}} = [d\eta_e / dP_{m_s}]$ e $S'_{P_{ms}} = [d^2\eta_e / dP_{m_s}^2]$ - coeficientes de sensibilidade de primeira e segunda ordem, respectivamente, da margem de energia em

X Simpósio Brasileiro de Arquitetura de Computadores

relação a potência mecânica equivalente das máquinas críticas; o problema de melhoria da segurança dinâmica é descrito matematicamente como:

$$\text{Minimizar } f(\Delta P g_i) = \sum_{i=1}^{n_g} [\alpha_i (\Delta P g_i)^2] \quad (2a)$$

sujeito a :

$$\eta_k^0 + S_{k,Pm_{s,k}} \Delta P m_{s,k} + \frac{1}{2} S'_{k,Pm_{s,k}} (\Delta P m_{s,k})^2 \geq \eta_{\min}; \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (2b)$$

$$\Delta P g_i \leq \Delta P g_i^{\max}; \quad i = 1, 2, \dots, n_g \quad (2c)$$

$$\Delta P g_i \geq \Delta P g_i^{\min}; \quad i = 1, 2, \dots, n_g \quad (2d)$$

$$\sum_{i=1}^{n_g} \Delta P g_i = 0 \quad (2e)$$

onde $\Delta P m_{s,k} = \sum_{i=1}^{n_g} \Gamma_{k,i} \Delta P g_i$, $e \Gamma_{k,i}$ indica se a máquina faz parte do conjunto crítico para a

k-ésima contingência.

A formulação é genérica o suficiente para incluir outras restrições da operação em regime que não foram consideradas no presente trabalho.

2.4 Métodos de Solução

Neste trabalho foram usadas as duas estratégias heurísticas do método ACUCSO (Ações de Controle Utilizando Coeficientes de Sensibilidade do OMB) de solução do problema de melhoria da segurança dinâmica descrito anteriormente [2]: o ACUCSO para a pior contingência, onde considera-se somente a contingência mais severa a cada iteração; e o ACUCSO Simultâneo onde são consideradas simultaneamente todas as contingências críticas. A solução do problema por métodos de programação não-linear está atualmente em desenvolvimento. Além disso, foram realizadas novas formulações do problema para resolução por métodos de programação linear e quadrática com resultados promissores [3].

3. Implementações Computacionais [1]

Foram realizadas implementações computacionais paralelas utilizando-se as bibliotecas de troca de mensagens do PVM (*Parallel Virtual Machine*) e também MPI (*Message Passing Interface*) e o paradigma do paralelismo de dados. Adotou-se uma estratégia de balanceamento dinâmico da carga computacional onde uma única contingência ou um pequeno bloco de contingências é enviado inicialmente a cada processador. A medida que um determinado processador encerra a análise das contingências a ele atribuídas, o mesmo sinaliza ao processo de controle a disponibilidade para analisar novas contingências. Esta estratégia, apesar de aumentar a frequência de comunicação, resulta em menor tempo de processamento [1].

A identificação e quantificação das ações de controle e a determinação do novo ponto de operação são realizadas seqüencialmente por representarem esforço computacional desprezível quando comparado à análise das contingências.

4. Experimentos Computacionais

Foram realizados experimentos com diversos sistemas elétricos, porém, neste trabalho são apresentados somente os resultados obtidos em uma configuração do sistema elétrico das regiões sul e sudeste do Brasil, constituído de 730 barras, 1146 linhas de transmissão e transformadores e 82 máquinas síncronas. Utilizou-se o ambiente de computação científica da UFSC, formado por um computador paralelo IBM/SP2 com 9 processadores POWER 2 e de

X Simpósio Brasileiro de Arquitetura de Computadores

um *cluster* heterogêneo composto de vinte e oito estações de trabalho IBM RISC/6000 Power PC, quatro estações Sun Ultra Sparc e doze estações Sun Sparc 10 e Sparc 20.

4.1 Resultados Numéricos

Na figura 2 apresentam-se, respectivamente, os valores de eficiência computacional paralela e tempos de processamento obtidos em várias configurações do *cluster* de estações de trabalho, considerando conjuntos de 50, 300, 700 e 1464 contingências. Todas as estações de trabalho utilizadas são do tipo IBM RISC/6000 Power PC.

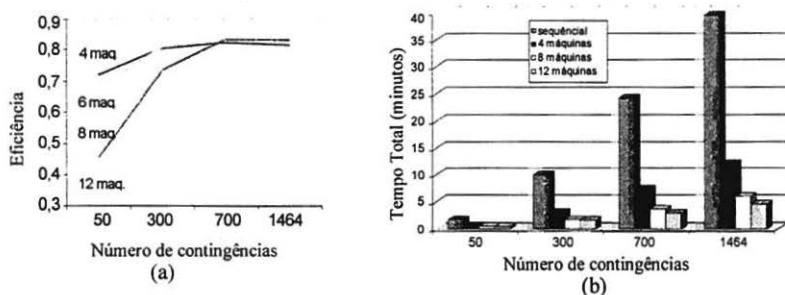


Figura 2 – Valores de eficiência e tempos de processamento (em minutos)

Note que os valores de eficiência dependem do número de contingências processadas e tendem a saturar na faixa de 70 a 80%. Os tempos de processamento apresentados na Figura 2b referem-se apenas a fase de avaliação da segurança, realizada pelo método híbrido SLEP iterativo. Estes valores foram contabilizados para uma única iteração do processo avaliação e melhoria da segurança dinâmica, cuja convergência ocorre em cerca de 3 ou 4 iterações.

5. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi descrever a implementação paralela e experimentos computacionais de uma metodologia de avaliação e melhoria da segurança dinâmica de sistemas de energia elétrica. Os resultados obtidos em uma configuração do sistema elétrico brasileiro mostram elevados ganhos na utilização da computação paralela e potencial viabilidade para o atendimento dos requisitos de tempo computacional no ambiente da operação *on-line*.

6. Agradecimentos

Esta pesquisa foi parcialmente financiada pela FINEP/RECOPE, contratos 77970728-00 e projeto SAGE 0626/96, e pelo CNPq, projeto integrado 523128/95-9. O segundo e terceiro autores também agradecem ao apoio financeiro do programa de formação de pesquisadores do CNPq.

7. Referências Bibliográficas

- [1] CASTRO, M.C.A., *Avaliação e Melhoria da Segurança Dinâmica Utilizando Computação de Alto Desempenho*, Florianópolis, SC, 1997, Dissertação (Mestrado) – EEL/UFSC.
- [2] DECKER, I.C., J. E. Gómez Castro, “Melhoria da Segurança Dinâmica de Sistemas de Energia Elétrica Usando Otimização”, *XI Congresso Brasileiro de Automática (CBA)*, (São Paulo, SP), pp. 191-196, Setembro 1996.
- [3] COSTA, L., *Melhoria da Segurança Dinâmica Utilizando Técnicas de Otimização*, Florianópolis, SC, 1997, Dissertação (Mestrado) – EEL/UFSC.
- [4] KUNDUR, P.; MORISON, K.; *On-Line Dynamic Security Assessment of Power Systems; VI SEPOPE – Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning*, May 24 to 29, 1998, Salvador, BA, Brazil.