

Referências bibliográficas

- [1] VEGA, J.L.L. **Avaliação e reforço das condições de estabilidade de tensão em barras de tensão controlada por geradores e compensadores síncronos**. 259f. Tese (Doutorado)- PUC-Rio Departamento de Engenharia Elétrica. Rio de Janeiro, 2009
- [2] PRADA, R.B.; PALOMINO, E.G.C.; DOS SANTOS, J.O.R.; BIANCO, A.; PILOTTO, L.A.S. **Voltage Stability Assessment for Real Time Operation**, Proc. IEE Generation, Transmission and Distribution, Vol. 149, No. 2, 2002.pp.175-181
- [3] KUNDUR, P. **Power System Stability and Control**. McGraw-Hill, New York, 1994.
- [4] TAYLOR, C.W. **Power System Voltage Stability**. McGraw-Hill, 1994.
- [5] CASTRO, M. R. V. **Modelagem do Controle de Tensão por Geradores e de Múltiplas Barras Swing na Avaliação das Condições de Estabilidade de Tensão**. 124 f. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica. 2007.
- [6] VEGA, J.L.L. **Avaliação das Condições de Segurança de Tensão na Presença de Motores de Indução e Capacitores Chaveáveis**. 126f. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, Rio de Janeiro, 2005
- [7] FRANÇA, R.F.; DOS SANTOS, J.O.R.; PRADA, R.B.; FERREIRA, L.C.A.; BIANCO, A. **Índices e Margens para Avaliação da Segurança de Tensão na Operação em Tempo Real**, 5th Latin-American Congress: Electricity Generation and Transmission, São Pedro, São Paulo, Brasil, 2003.
- [8] SOUZA, L. J. **Adequação das Ações de Controle de Tensão em Sistemas Elétricos Objetivando o Reforço das Condições de Segurança de Tensão**. 203 f. Tese (Doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica. 2007.
- [9] GAO, B.; MORISON, G.K.; KUNDUR, P. **Voltage Stability Evaluation Using Modal Analysis**. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. PWRS-7, November 1992, pp. 1529-1542.
- [10] LÖF, P.A.; SMED, T.; ANDERSSON, G.; HILL, D.J. **Fast Calculation of a Voltage Stability Index**. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8 No 1, February 1993, pp. 54-64.
- [11] MANWELL, J.F.; MCGOWAN, J.G.; ROGERS, A.L. **Wind Energy Explained, Theory, Design and Application**. Chichester, England: John Wiley & Sons, 2001. 577p

- [12] ACKERMANN, T. (Ed.). **Wind Power in Power Systems**. Chichester, West Sussex, England; Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2005. 691 p.
- [13] JENKINS, N. **Embedded Generation**, Tutorial, Power Engineering Journal, Junho 1995.
- [14] ACKERMANN, T.; Knyazkin, V. **Interaction between Distributed Generation and the Distribution Network: Operation Aspects**, Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific. IEEE/PES, Vol. 2, pg 1357 – 1362.
- [15] GYUGYI, L.; HINGORANI, N. **Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems**. New York: IEEE Press, 2000. 432 p.
- [16] PRADA, R.B.; SOUZA, L.J.; SOUSA, L.A.P. **The Need for a New Constraint on Voltage / Reactive Power Studies to Ensure Proper Voltage Control**, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 24, Issue 7, June 2002, pp. 535-540.
- [17] SEELIG, B.H.T.; GREENHALGH, A.B.; PRADA, R.B.; BIANCO, A. **Determinação da Adequação de Ações de Controle de Tensão sob o Ponto de Vista da Segurança de Tensão**, IX SEPOPE, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.
- [18] **Radial Test Feeders**, IEEE Distribution System Analysis Sub Committee; <<http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders/index.html>> Acesso em: 24 nov. 2010
- [19] MWAKABUTA, N.; SEKAR, A. **Comparative Study of the IEEE 34 Node Test Feeder under Practical Simplifications**, Power Symposium, 2007, NAPS '07, 39th North American, pp 484-491, 2007.
- [20] KERSTING, W. H. **Distribution System Modeling and Analysis**. 1.ed. USA: Electric Power Engineering Series, CRC Press, 2002. 314 p.
- [21] FREITAS, W. **Apostila do Curso de Pós Graduação da Unicamp**
- [22] BARAN, M. E.; Wu, F. F. **Optimal Capacitor Placement on Radial Distribution Systems**, IEEE Transactions on Power Delivery, 1989, Vol 4, pp.725-734
- [23] PUC-Rio, 2003, **Programa de Estabilidade de Tensão: EstabTen**, versão CTG R A03. 12.2003
- [24] CEPEL ANAREDE, versão VER-DESEN, [200?]
- [26] CEPEL ANAREDE, **Manual do Usuário**, V08-Ago04
- [27] EstabTen, **Leia-me do Programa EstabTen** GTR R A03.12.2003

Apêndice A

A pesquisa e desenvolvimento de métodos e técnicas computacionais para a análise e síntese de redes elétricas, adequadas às condições específicas dos sistemas brasileiros, tem sido objeto de estudos do CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica desde sua fundação [26].

Algumas das técnicas e métodos desenvolvidos para a análise de redes elétricas foram integrados em um conjunto de aplicações computacionais denominado Programa de Análise de Redes – ANAREDE, que consiste dos seguintes programas: programa de fluxo de potência, equivalente de redes, análise de contingências, análise de sensibilidade de tensão, redespacho de potência ativa e fluxo de potência continuado.

A análise do desempenho dos algoritmos e as adaptações particulares dos sistemas brasileiros foram realizadas através de projetos conjuntos com empresas de energia elétrica, destacadamente ELETROBRAS, FURNAS, CEMIG, CEEE, ELETROSUL E ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico).

Neste contexto foi desenvolvido o Programa de Fluxo de Potência Continuado que processa seqüencialmente vários casos de fluxo de potência, aumentando-se a carga de um conjunto de barras de acordo com uma direção especificada através do código de execução *DINC*. Este programa é utilizado para a determinação das margens de estabilidade de tensão e para a análise do perfil de tensão frente ao crescimento da demanda do sistema. Curvas *PV* podem ser obtidas para diferentes cenários de crescimento de carga e geração. As tradicionais curvas *QV*, para barras especificadas, podem também ser automaticamente obtidas.

Para cada incremento na carga, o balanço de potência do sistema é restabelecido entre os geradores de acordo com os respectivos fatores de participação e limites de potência ativa. Esta redistribuição de potência pode ser efetuada entre os geradores da área onde ocorreu o desbalanço (opção BPAR) ou entre todos os geradores do sistema (opção BPSI), dependendo da

simulação requerida (i.e., controle de intercâmbio entre áreas ou resposta inercial dos geradores).

O fator de participação é definido nos dados de barra do código de execução *DGER* do programa ANARDE, e estipula quanto cada gerador do sistema ou da área em questão, em %, participará com sua geração no aumento de carga estipulado no Fluxo de Potência Continuado através do código de execução *DINC* (Incremento Automático de Carga). Assim, por exemplo, estipula-se que: os incrementos de carga serão de 10% na barra 2 e os fatores de participação dos geradores são de 30% e 70% nas barras 0 e 1, respectivamente. Então, se a barra 2 possui 100 MW de carga, após a primeira iteração do Fluxo de Potência continuado, terá 110 MW. O balanço de potência ativa será restabelecido pelos geradores na proporção de seus fatores de participação, portanto 3 e 7 MW para os geradores das barras 0 e 1, respectivamente.

É necessário que a constante *TBPA* seja modificada para um valor bem pequeno, pois seu valor *default* é de 5 MW. Esta constante especifica a tolerância para erro de redistribuição de potência ativa, isto é, o tamanho do degrau mínimo em MW a partir do qual é realizada a redistribuição de potência ativa entre os geradores. Incrementos de carga menores que o valor desta constante são supridos pela barra de referência.

Cada patamar de carregamento, após convergência do algoritmo de fluxo de potência, deu origem a um caso gravado em um arquivo histórico (.SAV). Duas situações foram analisadas: a barra 1 com e sem tensão controlada. As grandezas elétricas monitoradas, para cada ponto de operação, foram: módulo e ângulo da tensão, injeção de potência ativa, reativa e aparente em cada uma das três barras do sistema.

Neste mesmo contexto, o Programa EstabTen de avaliação das condições de estabilidade de tensão, que foi utilizado nesta dissertação, está implementado acoplado a versão VER-DESEN do Programa de Análise de Redes – ANAREDE do CEPEL, Ver. 2003 [27].

O Programa EstabTen calcula os índices de estabilidade de tensão, fornecendo os resultados por áreas, de acordo com o código de execução *DREL*, definidas no código de execução *DARE*. É necessariamente executado após a solução do

problema de fluxo de potência, isto é, após o código de execução *EXLF* seguido não necessariamente da opção de controle *NEWT*.

O código de execução *EXET* ativa o cálculo dos índices. Há a possibilidade de ser executado junto ao Programa de Análise de Contingências, utilizando-se o código de execução *EXET* após o código de execução *EXCT*.

Atualmente, está implementado acoplado à versão V09.04.06 do programa de Análise de Redes, *ANAREDE*, de propriedade do CEPEL, cedida para uso exclusivo de projeto de pesquisa desenvolvido entre a PUC-Rio e o CEPEL, e possui avanços quanto a versão utilizada nesta dissertação.