

1 Introdução

1.1 Considerações Gerais

Os investimentos em linhas de transmissão têm sido limitados por restrições ambientais e incertezas econômicas. Por outro lado, verifica-se um aumento na demanda por energia elétrica. Estes dois fatores resultam em sistemas elétricos altamente carregados.

A necessidade de se operar sistemas elétricos nestas condições tornou-os vulneráveis a problemas de estabilidade de tensão, que são decorrentes do carregamento excessivo da rede de transmissão. Alguns exemplos de ocorrências de colapso de tensão são descritos em [Kundur, 1994; Knight, 1997]:

- 22 de setembro de 1970 em Nova York, USA
- 19 de dezembro de 1978 na França
- 04 de agosto de 1982 na Bélgica
- 28 de dezembro de 1982 na Flórida, USA
- 27 de dezembro de 1983 na Suécia
- 12 de janeiro de 1987 na França
- 23 de julho de 1987 no Japão
- 17 de janeiro de 1994 na área do WSCC, USA
- 14 de dezembro de 1994 na área do WSCC, USA
- 02 de julho de 1996 na área do WSCC, USA
- 10 de agosto de 1996 na área do WSCC, USA
- 24 de abril de 1997 no Sistema S/SE, Brasil

Como consequência, os termos “estabilidade de tensão”, “colapso de tensão” e “segurança de tensão” estão aparecendo frequentemente na literatura e em discussões de planejamento e operação do sistema.

Estabilidade de tensão é definida em [Kundur, 1994] como a habilidade de um sistema de potência em manter tensões aceitáveis em todas as barras, sob condições normais e após distúrbios. Um sistema entra num estado de instabilidade quando um distúrbio, um aumento de demanda de carga, ou uma outra mudança nas condições do sistema, causa um declínio progressivo e incontrolável da tensão.

O sistema é considerado inseguro quanto à tensão se qualquer contingência possível causar violação de critérios de estabilidade de tensão [IEEE-PES, 2003]. Empresas diferentes têm critérios de estabilidade de tensão diferentes e necessidades diferentes para a avaliação da estabilidade de tensão on-line. Estes critérios podem especificar as margens de segurança exigidas em termos de aumento de carga, aumento de transferência ou outro parâmetro-chave do sistema, assim como também reservas reativas exigidas em partes (zonas) diferentes do sistema. Os distúrbios ocorridos em 1996 na área da WSCC deram origem a definições de políticas e critérios para lidar com o problema [WSCC, 1998].

Ações de controle de tensão mal sucedidas podem levar o sistema ao colapso. [Yorino, 1997] aponta o OLTC como um dos elementos com maior participação na instabilidade de tensão. Em [Venkatasubramanian, 1992] é investigado o colapso de tensão causado por OLTCs. Em [Ohtuski, 1991] e [Yorino, 1991], é estudado o controle reverso de OLTCs.

O risco de instabilidade de tensão tem levado pesquisadores do mundo todo a desenvolver técnicas analíticas para se avaliar as condições de carregamento da rede de transmissão e assim poder evitar colapsos no fornecimento de energia elétrica. Algumas das ferramentas desenvolvidas para esta avaliação estão no uso diário da operação de sistemas grandes e complexos.

A ferramenta de avaliação da estabilidade de tensão on-line tem que determinar a segurança de tensão do sistema em sua dada condição. Se o sistema se encontra inseguro quanto à tensão para qualquer contingência possível, devem ser buscadas ações de controle preventivas ou corretivas para melhorar a segurança de tensão do sistema. De acordo com [IEEE-PES, 2003], onde são apresentados requisitos globais para a avaliação da estabilidade de tensão, a ferramenta de avaliação da estabilidade de tensão on-line tem que validar a eficácia das ações de controle.

Um sistema, enquanto estável sob o ponto de vista de tensão, pode ser analisado em estado permanente e fica, portanto, passível de uma análise estática. [Taylor, 1989] recomenda métodos de análise para o planejamento dos sistemas de potência baseados em modelos estáticos. Em [dos Santos, 2003] é mostrada uma ferramenta de análise estática do carregamento da rede de transmissão para uso em estudos operacionais.

Neste trabalho é proposta a criação de uma ferramenta computacional, que pode ser usada em tempo real, capaz de relacionar as grandezas usadas para o controle de tensão com a tensão controlada, isto é, capaz de determinar a adequação ou não da ação de controle. Esta informação, que permite conhecer o efeito das diversas ações de controle de tensão, poderá ser usada na lista de restrições físicas e operacionais de um programa de fluxo de potência ótimo, bloqueando o funcionamento dos equipamentos de controle de tensão cujo funcionamento é oposto ao esperado.

Esta ferramenta poderá ser usada no estudo de contingências de tensão, permitindo a análise de diversos pontos de operação associados a contingências diversas, uma vez que o tempo de processamento é extremamente pequeno.

Esta ferramenta poderá avaliar também a interdependência entre os controles, porque além de indicar o efeito do controle sobre a tensão da barra controlada pelo mesmo, poderá indicar também o efeito do controle sobre as outras barras de tensão controlada do sistema.

1.2 Estrutura da Tese

No Capítulo 2 é mostrada uma abrangente ferramenta de avaliação do carregamento da rede de transmissão [dos Santos, 2003], composta de índices obtidos a partir da matriz Jacobiana do sistema.

No Capítulo 3 são mostrados exemplos numéricos com o funcionamento reverso dos controles de tensão. Foram usados sistemas de pequeno porte para fins demonstrativos, assim como sistemas reais de grande porte em pontos de operação reais.

No Capítulo 4 são criados índices que verificam a adequação das ações de controle de tensão. Estes índices relacionam a grandeza física efetivamente usada para controlar a tensão e a tensão a ser controlada. No Capítulo 5 é feita uma avaliação de eficiência computacional, visando a utilização dos índices criados em tempo real. O Capítulo 6 é de conclusões e sugestões para trabalhos futuros.