

1 Introdução

1.1. Considerações Gerais

Problemas de colapso de tensão em sistemas de potência tem sido uma preocupação permanente para a operação do sistema com tensões dentro de seus limites operacionais, com vários blackouts em todo o mundo associados diretamente a este fenômeno. Atualmente nos sistemas elétricos altamente desenvolvidos, os problemas de estabilidade são resultado do acréscimo no nível de carregamento não acompanhado por aumento da capacidade de transmissão, às vezes associado com um inadequado suporte de potência reativa em barras críticas da rede de transmissão. O fenômeno de instabilidade de tensão é mais provável de existir quando o sistema opera em condições de carga pesada onde grandes quantidades de fluxo de potência ativa e reativa são transportados por linhas de transmissão longas ou linhas sobrecarregadas. Poderia ocorrer quando um sistema de potência for submetido a uma contingência. Assim, é importante desenvolver uma ferramenta de cálculo capaz de determinar a distância ao ponto de colapso em um sistema de potência.

A estabilidade de tensão está relacionada com a capacidade de um sistema de potência de manter níveis de tensão aceitáveis em todas as barras do sistema sob condições de operação normal ou após for submetido a uma contingência. Um sistema entra em um estado de instabilidade de tensão quando um distúrbio, acréscimo na carga, ou alguma mudança nas condições operativas do sistema, provoca uma diminuição progressiva e incontrolável na tensão [1].

O fenômeno de instabilidade de tensão também pode apresentar-se em resposta a um inadequado suporte de potência reativa nas barras críticas do sistema de potência. Além da robustez da rede de transmissão e os níveis de transferência de potência, os principais fatores que contribuem para o colapso de tensão são os limites de controle de tensão no gerador ou compensador síncrono, características da carga, características dos dispositivos de compensação de potência reativa, e a

atuação inversa dos dispositivos de controle de tensão em geradores ou compensadores síncronos e compensadores estáticos [1].

1.2. Objetivos

Em vários sistemas de potência ao redor do mundo, inclusive o brasileiro, o algoritmo de fluxo de potência continuado (ou parametrizado) é utilizado para determinação da margem de potência do sistema. A diferença entre a carga no ponto de operação em análise e o seu ponto máximo, é a margem do sistema. Valores fixos são arbitrados, por exemplo, 6% para a margem mínima no caso-base e 3% no caso-contingência. Supõe-se que o sistema é seguro do ponto de vista de estabilidade de tensão se essa margem é mantida.

Neste contexto, entende-se que um sistema é seguro do ponto de vista de estabilidade se não há possibilidade de ações de controle ter efeito oposto ao esperado, risco de operação na parte inferior da curva ϕ constante no plano SV, e não há possibilidade de experimentar sensibilidades não usuais, por exemplo, grande variação de tensão para pequena variação na injeção de potência, ocorrendo perto do máximo carregamento (operação “longe” do “nariz” da curva). Esse critério é, fundamentalmente, nodal.

Para estudar-se a correlação entre a margem sistêmica e a margem nodal, o primeiro passo é a identificação dos nós (barras) que impedem o crescimento da carga do sistema.

1.3. Estrutura da Dissertação

No Capítulo 2 abordam-se as diretrizes e critérios de segurança relativos à estabilidade de tensão e os métodos e critérios estabelecidos para estudos de estabilidade de tensão no sistema interligado brasileiro.

No Capítulo 3, apresentam-se os conceitos básicos relacionados ao estudo do fluxo de potência e fluxo de potência continuado, tais como a modelagem dos equipamentos, expressões gerais dos fluxos, a formulação matricial do problema e a aplicação do método de Newton-Raphson à solução do problema.

No Capítulo 4 traz-se uma abordagem do fenômeno da estabilidade de tensão contendo o estudo das regiões de operação da curva ϕ constante no plano SV, dos limites de estabilidade estática angular e de estabilidade de tensão, a relação entre o uso de linhas de transmissão perto de sua capacidade máxima e os problemas de estabilidade de tensão, bem como ações de controle de tensão tendo o efeito oposto ao esperado.

No Capítulo 5 apresenta-se uma ferramenta analítica de avaliação das condições nodais associadas ao máximo fluxo de potência ativa e reativa de uma rede de transmissão através da determinação de índices abrangentes e significativos que indicam a região de operação na curva ϕ constante no plano SV, a margem em MVA para o máximo carregamento e a importância relativa entre as barras. A utilização desta ferramenta analítica foi aplicada a todas as barras do sistema, mas também, são apresentados outros três métodos encontrados na literatura e que são comumente usados para avaliar condições de estabilidade de tensão. Estes métodos são: Vetor Tangente, Índice L e Análise de Autovalores e Autovetores.

No Capítulo 6 apresentam-se os índices de avaliação das condições de estabilidade de tensão dos quatro métodos descritos no Capítulo 5. Estas simulações foram feitas para seis sistemas e para níveis de carregamento que vão desde um caso-base, até o máximo carregamento.

No Capítulo 7 apresentam-se as conclusões deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

No Capítulo 8 apresentam-se as referências bibliográficas deste trabalho.