

1

Introdução

1.1

Considerações Gerais

Depois de seguidas ocorrências de colapso em sistemas elétricos devido ao fenômeno de estabilidade de tensão, o assunto tornou-se tema de muitos estudos. O sistema é dito seguro, do ponto de vista de tensão, se possui a capacidade de não somente operar de forma estável, mas também de manter esta estabilidade frente a distúrbios e aumentos de seu carregamento.

Define-se que um sistema elétrico de potência é estável no ponto de operação se, após um distúrbio, forem mantidos dentro dos limites os estados (tensões, ângulos, etc) do sistema e se for atingido um novo ponto de equilíbrio [1].

A falta de recursos e a questão ecológica têm limitado a expansão dos sistemas de transmissão. Além disso, com o crescimento da carga, atualmente, tendem a operar em condições de carregamento muito elevado.

A compensação de potência reativa é uma das maneiras mais efetivas de se melhorar a capacidade de transmissão de um sistema. No entanto, seu uso acentuado foi responsável por trazer o problema de instabilidade de tensão para a faixa de tensão normal de operação.

Portanto, o problema de estabilidade de tensão está relacionado com intenso uso de linhas de transmissão, que foi possível com o uso de compensação de potência reativa em certas barras do sistema. Assim, como consequência, verifica-se uma máxima injeção de potência em determinada barra e ações corretivas de controle de tensão tendo o efeito oposto ao esperado.

Além disso, com o esgotamento dos grandes aproveitamentos hidroelétricos relativamente próximos aos centros de carga e a necessidade da diversificação da matriz de energia elétrica com fontes alternativas de energia, o paradigma de geração tem mudado. Neste contexto, geradores pequenos são conectados a

redes elétricas em diversos pontos aumentando ainda mais a complexidade do sistema. Usualmente são conectados em tensões mais baixas. Portanto, podem surgir problemas causados pelo fenômeno de estabilidade de tensão ao conectá-los a ramais de sub-transmissão e distribuição muito carregados.

Levando-se em consideração esta nova realidade, faz-se necessário entender o fenômeno adequadamente para inferir métodos capazes de identificar pontos de instabilidade, avaliar e tomar decisões para reforçar e garantir a segurança da operação. Busca-se estudar as manifestações do problema de estabilidade de tensão: a máxima injeção de potência e ações de controle de tensão tendo efeito oposto ao esperado.

Na literatura, raramente é dito que o problema pode ser associado a barras de tensão controlada ou que o controle de tensão pode ter efeito oposto ao esperado em geradores. Neste trabalho trata-se do estudo de estabilidade de tensão na rede devido à inserção de um gerador em rede de distribuição.

Por tudo isso, com a finalidade de manter o sistema estável do ponto de vista da tensão, necessita-se de uma ferramenta de análise capaz de monitorar em tempo real cada ponto de operação para identificar sua proximidade do ponto de colapso de tensão, margens de estabilidade de tensão, máxima transferência de potência, áreas e barras com características suscetíveis à instabilidade [2].

1.2

Objetivo

O problema tratado nesta dissertação é a relação oposta entre a potência reativa gerada e/ou a tensão de excitação e o módulo da tensão em barras de tensão controlada por geradores quando o sistema de distribuição da área encontra-se muito carregado. Neste caso, a capacidade nominal em Mvar de um gerador, poderia não ser útil para manter a tensão controlada. Devido à relação oposta, um aumento da tensão de excitação poderia abaixar a tensão. O controle automático iria continuar a agir abaixando ainda mais a tensão. Este mecanismo pode levar o sistema ao colapso e foi verificado em ponto de operação real do sistema brasileiro.

O outro problema a ser estudado é a possível ocorrência de uma máxima potência que poderia ser injetada na rede por este gerador. Este limite é de suma importância, pois limita a sua capacidade e evita um super dimensionamento nos estudos elétricos para implementar novos projetos de geração.

Esse fenômeno ocorre quando a injeção de potência na rede de transmissão ou distribuição é elevada e/ou quando a rede já está muito carregada. Com o advento da geração distribuída, co-geração, e produtores independentes, usualmente conectados à rede existente em tensões mais baixas, ocorrências do fenômeno são esperadas.

O objetivo do trabalho é entender melhor as situações operativas reais que levam à ocorrência do fenômeno, inclusive quando existem equipamentos de controle de tensão ao redor do gerador em análise.

Além de avaliar o comportamento do gerador pelo problema de estabilidade de tensão, o impacto da integração de geradores é estudado pela análise do perfil de tensão em regime permanente e das perdas de potência ativa. São apresentadas comparações entre as simulações realizadas.

Uma vez entendidas, deve-se estabelecer um procedimento genérico de estudo de estabilidade de tensão para, por exemplo, ser aplicado toda vez que se fizerem estudos da conexão de um novo gerador (como já são feitos estudos de fluxo de carga, estabilidade transitória, etc).

1.3

Estrutura da Dissertação

Este trabalho é composto por capítulos, os quais são descritos em linhas gerais a seguir.

No Capítulo 2, são caracterizados os fundamentos que demonstram o surgimento do fenômeno de estabilidade de tensão. Serão demonstradas características locais observadas em pontos de operação de sistemas elétricos de potência e que possam ser associados a possíveis casos de colapso de tensão. Através de gráficos e análises realizadas em um sistema de 2 barras, é

mostrado a existência de uma máxima potência transmitida e o efeito oposto ao esperado pela introdução de capacitor no sistema.

No Capítulo 3, é mostrado um estudo para a barra de geração. Em um circuito de duas barras, são obtidas as grandezas críticas de tensão e ângulo relacionadas à máxima potência que pode ser gerada. Desta forma, para o ponto de operação em análise, é possível avaliar as condições de carregamento pela comparação com o ponto de máximo através da margem de potência. A solução encontrada para o sistema de duas barras é analítica, mas para o sistema multinó, necessita-se de uma ferramenta que seja baseada na resolução de equações não-lineares.

No Capítulo 4, são apresentadas ferramentas utilizadas na avaliação das condições de estabilidade de tensão baseadas no sistema de equações não-lineares do fluxo de potência. Através da inspeção da matriz $[D']$, isto é, do índice margem de potência e da distância angular β , pode-se avaliar as condições de carregamento do ponto de operação e análise.

No Capítulo 5, são apresentados os princípios do controle de tensão em redes elétricas e o impacto da inserção de geradores eólicos para o controle de tensão em redes de distribuição. São apresentadas as topologias mais utilizadas atualmente em turbinas eólicas e são discutidas suas capacidades de atuar no controle de tensão.

No Capítulo 6, é apresentado um estudo de caso em sistema-teste de 3 barras onde se insere um gerador distribuído e um compensador síncrono. Simula-se, em diferentes configurações, o aumento da carga e obtêm-se conclusões a cerca da máxima potência que pode ser transmitida e de pontos de operação onde ações de controle de tensão do compensador síncrono têm efeito oposto ao esperado.

No Capítulo 7, são realizadas simulações no sistema-teste IEEE de 34 Barras onde se estuda a conexão de um gerador e seus impactos para a rede, levando-se em consideração o problema de estabilidade de tensão, perfil de tensão e perdas. São comparadas diferentes estratégias de controle de tensão diante do aumento do carregamento do sistema. Um estudo sobre as consequências da

variação da tensão de referência do controle automático de tensão para o problema de estabilidade de tensão, perfil de tensão e perdas, é apresentado.

No Capítulo 8, são realizadas simulações no sistema-teste de 70 Barras. Avalia-se o impacto da conexão de um gerador pelas perspectivas do Capítulo 7, onde se verificam resultados diferentes para simulações com as mesmas configurações.

No Capítulo 9 são apresentadas as conclusões referentes aos resultados alcançados e propostas para trabalhos futuros, enquanto que no Capítulo 10 estão as referências bibliográficas.

No Apêndice A é apresentada uma breve descrição dos programas computacionais utilizados: ANAREDE, Módulo de Fluxo de Potência Continuado e EstabTen.