

CAPITULO 6

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Uma análise crítica dos métodos mostrados nos Capítulos 2, 3 e 4 é feita a seguir.

O método do Capítulo 2, consiste na análise do colapso de tensão pela identificação da região de operação. Foram definidas as Regiões A e B de operação, onde a Região A se caracteriza pelo fato das ações de controle produzirem o efeito esperado e a Região B se caracteriza exatamente pelo oposto, ou seja, as ações de controle têm efeito contrário ao esperado.

Deve-se ressaltar que as conclusões obtidas para esse capítulo são válidas para linhas de impedância indutiva. Se a linha tiver uma impedância capacitiva, ainda que o sistema se encontre na Região A, a qualquer aumento na susceptância, corresponderá a um decréscimo de tensão. Isto porque ao se inserir um capacitor, reduz-se a corrente na linha, reduzindo a tensão na impedância capacitiva da linha.

O raciocínio inverso é válido, ou seja, ao inserir um reator, a corrente na linha aumenta. Isto aumenta a tensão nos terminais da impedância capacitiva da linha, elevando a tensão na barra de carga.

A fronteira entre as Regiões A e B foi identificada analiticamente, sendo necessário que se conheça os dados de linha e o fator de potência da carga. Logo, para uma determinada carga cujo fator de potência é conhecido, pode-se saber a cada ponto de operação, o quão distante o ponto de operação encontra-se da fronteira, através da comparação do módulo e ângulo da tensão de operação com o módulo e ângulo da tensão na fronteira entre as Regiões A e B. Com os valores de módulo e ângulo da tensão na fronteira, pode-se calcular a carga máxima e comparar com a carga do ponto de operação em análise.

Para o sistema de duas barras, os gráficos mostrados nas curvas 2.1 a 2.13, ilustraram completamente as características do estudo. Foram mostrados os efeitos sobre a tensão da carga, provocadas pelo aumento da tensão na barra geradora, troca de tapes, inserção de capacitores e corte de carga. Chegou-se à conclusão que, uma das ações descritas eleva a tensão na Região A e reduz a tensão na Região B.

Para o método proposto no Capítulo 2, não se encontrou nenhuma dificuldade para se determinar a fronteira e analisar o comportamento do sistema para diferentes situações de carga. Entretanto, a análise não é tão simples para um sistema real. Para que se possa obter de um sistema real as mesmas informações obtidas de um sistema de duas barras deste estudo, técnicas de redução do sistema devem ser desenvolvidas. Sugere-se que a redução seja feita da seguinte forma: parte-se

de uma barra de carga e, através da verificação do fluxo de potência ativa para aquela barra de carga, chega-se até a última barra de geração. As cargas das barras intermediárias devem ser transformadas em impedância e o circuito de duas barras equivalente é obtido.

Diversos sistemas de duas barras serão obtidos e a análise poderá ser feita para cada um.

O método do Capítulo 3 parte do ponto de que o sistema é estável de tensão, enquanto a variação de tensão da barra de carga, for positiva em relação a uma variação positiva na tensão das barras geradoras, e a uma variação positiva na susceptância das barras de carga. Deve-se notar que o sistema atender às restrições acima, é o mesmo que considerar que o sistema encontra-se na Região A, pela definição do Capítulo 2.

Essas condições de estabilidade são verificadas pela análise do valor do determinante do Jacobiano do fluxo de carga e seus autovalores, da matriz $C_1 - A_1 A_2^{-1} C_2$, que é obtida pela derivada das equações de potência ativa e reativa em relação à tensão e à susceptância. Analisa-se também, o sinal dos elementos do inverso da matriz Jacobiano reduzida.

Os valores devem ser positivos, logo o valor do determinante também deve ser positivo. Os elementos da diagonal da matriz $C_1 - A_1 A_2^{-1} C_2$ devem ser positivos e os elementos da diagonal do inverso da matriz Jacobiano reduzida também devem ser positivos ou nulos. Todas essas restrições devem ser

atendidas simultaneamente.

Os testes mostraram que os autovalores tornam-se negativos no mesmo ponto de fronteira entre as Regiões A e B definidos no Capítulo 2. Para o sistema de três barras utilizado para os testes, a análise do sinal dos elementos do inverso da matriz Jacobiano reduzida, não foi necessária. Isto porque essa matriz tem apenas um elemento e, como esta matriz é uma matriz M em qualquer caso (elementos da diagonal positivos e fora da diagonal negativos), este elemento é sempre positivo, atendendo à restrição imposta. A matriz $C_1 - A_1 A_2^{-1} C_2$ também é composta de apenas um elemento, que se torna negativo exatamente no ângulo de tensão igual ao ângulo da impedância da linha, ou seja, no limite de estabilidade estática. Portanto, como um dos autovalores torna-se negativo antes do limite de estabilidade estática, pode-se dizer que a análise dos autovalores é suficiente para a identificação da região de operação.

Neste método, as ferramentas computacionais devem fornecer o seguinte: montagem do Jacobiano do fluxo de carga e o cálculo de seus autovalores. Deve ser feita também a redução da matriz Jacobiano ao número de equações de potência reativa nas barras de carga, para depois achar o inverso desta matriz. Deve-se calcular também, os elementos da matriz $C_1 - A_1 A_2^{-1} C_2$ para se fazer uma análise completa. Entretanto, pode-se suprimir o cálculo dos elementos de $C_1 - A_1 A_2^{-1} C_2$, pelas razões expostas anteriormente.

Na medida que um dos autovalores aproxima-se de zero, o sistema se aproxima da fronteira entre as Regiões A e B. Isto é um bom indicativo do quão distante o sistema se encontra do colapso, muito embora o método não forneça informações a respeito de onde e como atuar para evitar o colapso.

O método do Capítulo 4, parte do Jacobiano completo (todas as equações, exceto a equação de potência ativa da barra *swing*). Supõe-se uma variação nula na potência ativa gerada e na carga ativa nas barras de carga. Com essa consideração, faz-se a redução da matriz Jacobiano às equações de potência reativa, de forma a obter a base para a formação das matrizes de sensibilidade.

As matrizes de sensibilidade são:

- S_{QGE} : Relaciona a variação de geração de potência reativa nas barras de geração com a variação de tensão nestas barras.

- S_{VE} : Relaciona a variação da tensão nas barras de carga, com a variação de tensão nas barras de geração.

- S_{QQL} : Relaciona a variação de geração de potência reativa nas barras de geração, com a variação de carga reativa nas barras de carga.

- $SQLV$: Relaciona a variação da tensão nas barras de carga, com a variação de potência reativa nestas barras.

Essas matrizes de sensibilidade, $SQGE$, $SQQQL$, SVE e $SQLV$, trazem todas as informações necessárias para a análise do fenômeno do colapso de tensão. As matrizes $SQQQL$, SVE e $SQLV$ têm seus elementos positivos ou nulos até o instante que o sistema cruza a fronteira entre as Regiões A e B. Portanto, novamente a definição da fronteira entre as Regiões A e B, é confirmada por essas matrizes, pois seus elementos são positivos ou nulos, enquanto as ações de controle têm o efeito esperado.

A matriz $SQGE$, deve ter os elementos da diagonal positivos e, os elementos fora da diagonal, negativos. Esta regra é violada quando o sistema ainda se encontra em uma região onde as ações de controle têm o efeito esperado, ou seja, é uma ferramenta muito importante para a prevenção do colapso. Por exemplo, quando um elemento da diagonal ficar negativo, pode-se elevar a tensão na barra de geração correspondente a aquele elemento. Entretanto, essa matriz não informa a que distância o sistema se encontra do colapso.

Também para este método, há que se desenvolver ferramentas computacionais que tornem possível uma resolução rápida do problema. Portanto, as ferramentas computacionais devem fornecer o seguinte: Montagem do Jacobiano completo (excluindo somente a equação de potência ativa na barra *swing*)

e, redução dessa matriz Jacobiano às equações de potência reativa. Após este passo, montam-se as matrizes de sensibilidade, pela maneira exposta no Capítulo 4.

Como sugestão de trabalho futuro, fica também a tentativa de explicação da violação da matriz S_{QGE} , que não foi obtida neste trabalho, nem na referência citada no Capítulo 4. Acredita-se que esta violação esteja relacionada com o SIL da linha, mas nada ficou provado.

No Capítulo 5, procurou-se fazer uma análise de estabilidade angular, de forma a responder aquela que é a pergunta primeira deste estudo, que é saber se o sistema é ou não estável na Região B.

Analizou-se os autovalores da matriz Jacobiano completa (todas as equações de potência ativa e reativa) reduzida às equações de potência ativa das barras de geração. Esses autovalores devem ser positivos enquanto o sistema for estável e, deve ter um autovalor nulo associado à simetria translacional, uma vez que o Jacobiano completo é singular.

Os testes mostraram que o sistema torna-se instável no ângulo de tensão igual ao ângulo de impedância da linha, como já era esperado, enquanto que pontos de operação na Região B têm ângulo de tensão menor, igual ou maior que o ângulo de impedância da linha. Isto caracteriza a independência entre os fenômenos de instabilidade angular e colapso de tensão.

Para este caso, não serão feitas sugestões de trabalhos futuros, uma vez que a análise de estabilidade angular é um estudo clássico e bastante explorado. Além disso, essa análise não faz parte do estudo de colapso de tensão, como ficou provado.

As contribuições originais são:

- A grande dificuldade no início deste estudo, era a indefinição do fenômeno do colapso de tensão e a consequente diversidade de métodos propostos. Portanto, o fato dos métodos expostos neste estudo fornecerem resultados compatíveis e serem comparáveis entre si, é sem dúvida, uma grande contribuição.

- O método do Capítulo 3, proposto em [2], consiste em analisar o sinal do determinante do Jacobiano e seus autovalores, o sinal do inverso da matriz Jacobiano reduzida às equações de potência reativa das barras de carga e matriz $C_1 - A_1 A_2^{-1} C_2$. Os testes mostraram que a análise dos autovalores e da matriz Jacobiano reduzida às equações de potência reativa das barras de carga, foi suficiente para identificar a fronteira entre as Regiões A e B. Além disso, se o fator de potência for tal que exista Região A após o limite de estabilidade angular, a análise da matriz $C_1 - A_1 A_2^{-1} C_2$ fornece resultados errados.

- No Capítulo 4, sobre as propriedades das matrizes de sensibilidade propostas em [3], foi dito que a matriz S_{QGE} deveria ter a soma dos elementos de cada coluna maior que zero. Na verdade, isto não ocorre em situações normais de operação e, para entender essa característica da matriz S_{QGE} , faz-se a seguinte suposição para o sistema de três barras utilizado neste estudo:

Aumenta-se a tensão de geração na barra 1. A tensão na barra 3 se eleva, e como não há mudança na carga nem na tensão na outra barra de geração, a potência reativa exigida da barra 2 é menor, uma vez que a elevação de tensão na barra 3, reduziu as perdas. Logo, é possível que a variação negativa de geração de potência reativa na barra 2, seja maior que a variação positiva de geração de potência reativa na barra 1, de forma que a soma dos elementos da coluna não precisa ser maior que zero. Portanto, essa regra para a matriz S_{QGE} foi desconsiderada.

Na referência [7] usada no Capítulo 5, é feita uma proposta de análise dos autovalores da matriz Jacobiano do fluxo de carga (que exclui as equações de potência reativa nas barras de geração) reduzida às equações de potência ativa das barras de geração. Este modelo porém, não identificou o instante de instabilidade angular, pois os autovalores continuavam positivos. Usou-se o Jacobiano completo reduzido às equações de potência ativa das barras de geração, que identificou corretamente o limite de estabilidade angular.