

1

Introdução

1.1

Considerações Gerais

Estudos de planejamento da expansão dos sistemas elétricos têm como principal objetivo indicar as obras necessárias para atendimento da carga ao menor custo, preservando a segurança e a confiabilidade na operação do sistema. Nesse sentido, os sistemas vêm se expandindo, sobretudo através das interligações internacionais e inter-regionais, as quais permitem a troca de energia entre bacias hidrográficas, propiciando a otimização na operação do sistema.

Para suprir o crescimento da carga de forma ótima, os sistemas elétricos atuais estão operando, em geral, próximos dos limites de estabilidade, comprometendo a segurança.

A determinação das condições operativas limites requer uma análise detalhada devido à existência de uma gama de cenários operativos, somado ao aumento do nível de complexidade oriundo da permanente expansão do sistema.

Este é mais um motivo pelo qual a avaliação da segurança tem se tornado fundamental, evidenciada quando da ocorrência de diversos “blackouts” no mundo inteiro. Daí a necessidade cada vez maior de se avaliar a segurança dinâmica de sistemas de energia elétrica. O objetivo é sempre a busca de uma forma rápida e, sobretudo, confiável, de analisar o comportamento dinâmico de um sistema de energia elétrica, dada uma grande perturbação.

Feita a análise da segurança dinâmica, deve-se agir preventivamente, através de medidas de controle, de modo a melhorar as condições operativas do sistema.

Após o controle preventivo, deve-se avaliar a efetividade das medidas preventivas, isto é, se o sistema é estável para uma dada contingência que, anteriormente, o levava à perda de sincronismo.

Um dos principais estudos para avaliação da segurança dinâmica é o estudo da estabilidade transitória. A estabilidade transitória pode ser avaliada através de simulações no domínio do tempo. O método de simulação no domínio do tempo

calcula a resposta no tempo de todas as variáveis de estado de um sistema de energia elétrica. Esses métodos fornecem resultados eficazes, podendo representar detalhadamente modelos bastante sofisticados. Contudo, são apresentadas respostas do tipo instável/estável, não fornecendo qualquer indicação do grau de estabilidade ou instabilidade dos sistemas. Diversas simulações são necessárias para a determinação, por tentativa e erro, dos limites de estabilidade transitória, considerando as diferentes condições operativas.

Assim sendo, margens ou índices de estabilidade podem ser determinados para cada contingência, para diversos tempos de eliminação da falta, analisando os resultados de simulações no domínio do tempo.

Uma das formas de cálculo da margem de estabilidade baseia-se nos ângulos e nas velocidades angulares das máquinas, conseqüentemente nas potências acelerantes. Tal margem pode ser definida pelo quadrado da razão entre a potência acelerante do gerador no instante em que o ângulo atinge um pico, e a maior potência acelerante ocorrida entre o instante de eliminação da falta e o mesmo instante em que o ângulo atinge um pico [1].

Portanto, para cada tempo de eliminação da falta, o sistema apresenta uma margem de estabilidade. Quando o valor da margem torna-se nulo, o tempo crítico é determinado. Assim, é bastante atraente a determinação direta de margens ou índices de estabilidade que possam indicar o quão estável ou instável é um sistema, determinando-se os limites de estabilidade transitória.

A idéia é hierarquizar as contingências, por nível de severidade, com base nos tempos críticos obtidos, atribuindo uma margem de estabilidade do sistema para cada falta. Deste modo, sabem-se quais são as contingências críticas que restringem os limites de estabilidade, e o quão próximo dele o sistema está. A medida preventiva tem como objetivo eliminar esta restrição, de maneira que se possa otimizar a operação do sistema, ou seja, aumentar os intercâmbios de potência.

Portanto, uma rápida classificação das perturbações com a indicação de estável ou instável, em termos de estabilidade transitória, é fundamental para a análise dinâmica de contingências, que deve apresentar como principais características precisão, confiabilidade e eficiência computacional.

1.2

Desenvolvimento histórico

Diversos métodos vêm sendo difundidos nas análises de estabilidade de sistemas de energia elétrica, tais como: métodos diretos utilizando funções de energia [2,3], métodos que utilizam os resultados de simulação no domínio do tempo através da análise das variáveis de estado [1,4,5,6,7,8,9,10], métodos híbridos que combinam funções de energia com simulação no domínio do tempo [11,12].

Muitos métodos diretos estão sendo utilizados na análise da estabilidade de sistemas elétricos, especialmente a teoria de estabilidade de Lyapunov [2]. Estes métodos utilizam os conceitos de função de energia. A aplicabilidade destes métodos na avaliação da estabilidade transitória de sistemas elétricos [13] indica como principais vantagens a velocidade de solução e a habilidade de atribuir um grau de estabilidade. Contudo, é necessário um maior esforço computacional, devido à necessidade de calcular o ponto criticamente instável, que é distinto para cada falta aplicada. Além disso, estes métodos apresentam limitações de modelagem, seja dos geradores, dos efeitos dos controladores ou das características dinâmicas da carga, além de não indicar quais máquinas perdem o sincronismo e quais sobrevivem ao colapso.

Os métodos que combinam os métodos diretos com os métodos de simulação no domínio do tempo são conhecidos como métodos híbridos. Utilizam-se os resultados das simulações no domínio do tempo, através de funções de energia individuais, para determinação do grau de estabilidade de cada máquina de um sistema de energia elétrica [11]. Ou ainda determina-se a margem de estabilidade de apenas uma máquina do sistema, chamada de máquina crítica, através das funções de energia individuais de cada máquina, utilizando os resultados da simulação no domínio do tempo [12].

Os métodos que utilizam os resultados de simulação no domínio do tempo também vêm sendo bastante aplicados. Um deles baseia-se na taxa de variação de energia cinética, no instante de eliminação da falta, para avaliar a estabilidade transitória de um sistema [5].

Também são utilizados os produtos escalares entre as variáveis de estado para determinar índices de estabilidade [8]. Ou ainda a determinação de índices

baseado em coerência, que mensuram as diferenças angulares entre os geradores no período pós-falta, a fim de classificar as contingências quanto ao nível de severidade, bem como definir medidas de controle que garantam a estabilidade do sistema [15].

Ainda se tratando dos métodos que utilizam os resultados de simulação no domínio do tempo, destaca-se aquele em que se define um conjunto de geradores severamente perturbados para, posteriormente, determinar a margem de estabilidade de um sistema multimáquina, com base no critério das áreas iguais [1].

Em muitos destes métodos, modelos dos mais sofisticados podem ser usados para gerar os resultados das simulações no domínio do tempo, mas não podem ser usados nas análises via método das funções de energia transitórias, devido à dificuldade em determinar funções de energia para tais modelos.

Ressalta-se que alguns artigos propõem, além da avaliação da estabilidade transitória, medidas de controle preventivo [14, 15,16] tal como o redespacho de geração, que garanta um melhor desempenho do sistema quanto à estabilidade.

1.3

Objetivo da dissertação

Esta dissertação trata do problema da avaliação da segurança dinâmica de sistemas de energia elétrica. Esta avaliação é realizada através da determinação das margens de estabilidade de um sistema de energia elétrica, com base nos resultados de simulações no domínio do tempo.

Margens de estabilidade de geradores severamente perturbados são determinadas para vários tempos de eliminação da falta. A menor das margens é que define a margem de estabilidade do sistema. A margem de estabilidade nula determina o tempo crítico de eliminação da falta [1].

Deste modo, pode-se classificar as contingências, de acordo com o nível de severidade, em função dos tempos críticos. Tal hierarquização tem como objetivo reduzir o conjunto de contingências a ser estudado.

1.4

Estrutura da dissertação

Esta dissertação é composta por quatro capítulos, descritos resumidamente a seguir:

O presente capítulo 1 apresenta uma introdução do trabalho.

O capítulo 2 apresenta a metodologia de avaliação da segurança dinâmica de sistemas de energia elétrica.

O capítulo 3 contém os resultados obtidos com a aplicação da metodologia em sistemas de energia elétrica de pequeno porte, utilizando a ferramenta desenvolvida em FORTRAN [17]. São apresentados os tempos críticos de eliminação da falta e uma classificação das contingências por nível de severidade. Estes resultados são comparados com os resultados obtidos através do programa ANATEM [18], bem como com aqueles apresentados na literatura [1,2,6,7,12].

O capítulo 4 apresenta as conclusões do trabalho.