

1

Introdução

1.1

Considerações Gerais

Os sistemas elétricos de potência apresentam um comportamento dinâmico, isto é, estão sujeitos a cada instante, a novas condições de operação [1,2]. Devem ser capazes de sofrer variações, se ajustar e permanecer estável, com minimização da interrupção do suprimento de energia e manutenção dos perfis de tensão e frequência dentro de certos limites. O regime de operação chamado de permanente é uma condição hipotética que supõe o sistema estático em um determinado ponto de operação, isto é, sem variações de espécie alguma em determinadas grandezas, como por exemplo, a frequência dos sinais de tensão e corrente. Na realidade, as variações instantâneas existem e podem ser pequenas ou grandes. Para estudar este comportamento dinâmico e a estabilidade do sistema, os programas computacionais chamados de simuladores são ferramentas muito importantes. Um dos problemas atuais enfrentados pela engenharia elétrica é o da análise e operação de sistemas elétricos interligados, sobrecarregados e de grandes dimensões. A simulação destes sistemas, mais complexos e imprevisíveis, torna-se de fundamental importância para a sua operação, seja para testar os efeitos de curto-circuitos, da introdução de novos equipamentos, etc., seja para treinamento de operadores.

Ao implementar-se um simulador para um sistema, é necessário atender aos seus requisitos operativos. Assim, um simulador para o sistema elétrico deve ser capaz de atingir desde frequências elevadas até frequências muito baixas e simular desde fenômenos muito rápidos, da ordem de micro-segundos, até lentos, que necessitam de várias horas de simulação para a sua reprodução. Os modelos utilizados para representar o sistema também variam bastante: para uma simulação atual de curto prazo, por exemplo, devem ser utilizados modelos

dinâmicos de ordem elevada, e incorporando várias não linearidades, enquanto que em uma simulação de longo prazo de regime quase permanente, modelos de ordem zero, isto é, apenas com equações algébricas, podem ser empregados.

Em virtude da sua complexidade, o problema da simulação de sistemas elétricos é dividido em várias partes, de acordo com o tipo do fenômeno envolvido, de forma que já foram desenvolvidas várias ferramentas para cada parte do problema. Para simulações de curto prazo de transitórios eletromagnéticos rápidos e incorporação de efeitos em alta frequência, podem ser utilizados programas computacionais como o EMTP [3]. Para fenômenos eletromecânicos e que excitam uma faixa de frequências menores, programas para estabilidade angular a grandes distúrbios podem ser empregados [4,5]. Outras ferramentas para análise de estabilidade sob pequenos distúrbios [6] e para estabilidade de tensão [7,8,9] estão também disponíveis. Cada um destes programas utiliza determinadas simplificações, modelos e técnicas para possibilitar a simulação do fenômeno investigado, tornando-os muito específicos. Portanto, atualmente é praticamente impossível investigar o comportamento dinâmico de um sistema de potência sem o apoio de diferentes programas e em uma escala de tempo bem maior que a real.

Uma das dificuldades do EMTP, é que durante toda a simulação e para todo o sistema utiliza um único passo de integração muito pequeno (da ordem de μs). Passos de integração pequenos geram soluções precisas, por estender a banda de frequências representada. No entanto, também aumentam a carga computacional, limitando o tamanho da rede e afetando o tempo de resposta do processo, isto é, tornando o processamento lento, praticamente inviabilizando a sua plena utilização em estudos de estabilidade de sistemas de potência. Esta situação conflitante tem sido atacada por vários pesquisadores, muitos procurando formas alternativas de variar o passo de integração. Diversos trabalhos têm sido realizados nesta área e o principal desafio ainda é saber quando e como variar o passo de integração sem perder precisão no processo. Uma das abordagens [10] propõe um método que utiliza 2 ou mais passos de integração, de acordo com a natureza (rápido ou lento) dos componentes do sistema, isto é, a computação de selecionadas barras rápidas podem ser simuladas com passo de integração menor que o sistema restante, interfaces utilizando interpolação linear fazem a conexão dos diversos sub-sistemas. O principal problema não solucionado pelo método é

como dividir na prática, de maneira eficiente, os sub-sistemas rápidos e lentos. O método proposto neste trabalho resolve este problema e apresenta uma metodologia que varia de forma automática e eficiente o passo de integração, através da análise da faixa de frequência do sinal simulado.

1.2

Objetivos e estrutura da tese

Esta pesquisa propõe a implementação de um simulador de passo de integração variável para investigar o comportamento dinâmico dos sistemas elétricos de potência. O simulador conjuga as modelagens mais complexas e técnicas básicas do EMTP (que a partir das equações nodais e da regra de integração trapezoidal, transforma as equações diferenciais do modelo em equações algébricas recursivas), com técnicas de filtragem digital multitaxa [11,12]. Bancos de filtros de reconstrução perfeita dividem o sinal de entrada e a rede elétrica em sub-bandas de frequência, isto é, vários canais, cada um contendo uma certa faixa da frequência original, e que podem ser processados separadamente. O passo de integração de cada sub-banda é sempre maximizado e o simulador detecta e desconecta automaticamente sub-bandas com energia desprezível em seu sinal de entrada. Essas sub-bandas permanecem desconectadas enquanto persistir a condição de energia desprezível no seu sinal de entrada. Este procedimento adaptativo introduz uma grande redução da carga computacional do processo e conseqüente aumento em sua velocidade, sem perda de precisão no resultado final. O objetivo principal da pesquisa é o desenvolvimento de algoritmo para a simulação de sistemas elétricos de potência em tempo real.

A seguir, será apresentado um breve resumo do que será abordado em cada capítulo.

O Capítulo 2 apresenta a técnica tradicional para simulação de transitórios, seus conceitos matemáticos básicos, sua modelagem da rede elétrica, o método de discretização utilizado e exemplos ilustrativos.

O Capítulo 3 revê os conceitos básicos de processamento de sinais envolvidos na teoria de filtragem digital multitaxa, seus principais operadores e algumas estruturas de bancos de filtros.

O Capítulo 4 introduz o simulador multitaxa proposto e sua modelagem da rede elétrica. O método, que combina as técnicas dos capítulos 2 e 3, varia automaticamente o passo de integração, de acordo com a banda de frequência observada no sinal simulado. Através de simplificação no simulador multitaxa proposto, obtém-se o simulador multitaxa para sinais de faixa estreita de frequência. Os simuladores multitaxa são analisados quanto à precisão e carga computacional, através de exemplos comparativos.

O Capítulo 5 apresenta a modelagem das máquinas síncronas e seus controles associados, assim como, exemplos ilustrativos.

O Capítulo 6 compara o simulador proposto com o tradicional quanto a redução da carga computacional obtida.

O Capítulo 7 apresenta as conclusões do trabalho.