

1 Introdução

1.1. Considerações Gerais

Os estudos de estabilidade transitória desempenham um importante papel tanto no planejamento quanto na operação dos sistemas de potência. Tais estudos são realizados, em grande parte, através de simulação digital no domínio do tempo utilizando integração numérica para resolver as equações não-lineares que modelam a dinâmica do sistema.

A necessidade de desenvolver técnicas de análise de estabilidade mais rápidas e com menores custos tem motivado pesquisas na área de redução da ordem dos modelos dinâmicos de sistemas de potência. Esta necessidade advém do fato do constante crescimento em tamanho e complexidade dos sistemas de potência interligados. Na operação é freqüente a realização de estudos de análise de estabilidade para os quais são importantes ajustes adequados dos diversos controladores do sistema. Assim, esforços devem ser concentrados no sentido de se criar ferramentas adequadas para que se possa analisar um número grande de condições reais que possa existir.

Além do avanço tecnológico de computadores, e da aplicação de métodos numéricos eficientes, o equivalente dinâmico se constitui em uma importante ferramenta para atingir tal objetivo, já que permite uma redução do esforço computacional e do tempo de análise dos resultados através da redução confiável da dimensão dos modelos dinâmicos do sistema. A utilização dos equivalentes dinâmicos na avaliação da segurança dinâmica de sistemas de energia elétrica tem se mostrado também eficiente em outras aplicações, tais como: a integração com outras técnicas, por exemplo, avaliação da estabilidade transitória utilizando

equivalentes dinâmicos e funções de energia [1], e a determinação de reduções drásticas da rede elétrica visando estudos com simuladores em tempo real [2].

A metodologia utilizada para o cálculo de equivalentes dinâmicos é baseada em coerência de geradores [3], que permite a redução do sistema original a um sistema equivalente confiável, cujo tamanho pode ser determinado através de um índice que traduz a qualidade da coerência dos grupos dos geradores formados. A representação reduzida do sistema, que consiste de um número menor de barras, linhas, transformadores, geradores e seus controles, permite reproduzir, sem perda significativa de precisão, o comportamento dinâmico do sistema completo original.

Para empregar tal metodologia, o sistema de potência completo deve ser dividido em sistema em estudo, consistindo do sistema interno e das barras de fronteira, e em sistema externo. A figura 1.1 ilustra este conceito. Os distúrbios são aplicados e analisados no sistema interno, que é a área de interesse imediato. A dinâmica do sistema externo é representada por um equivalente dinâmico.

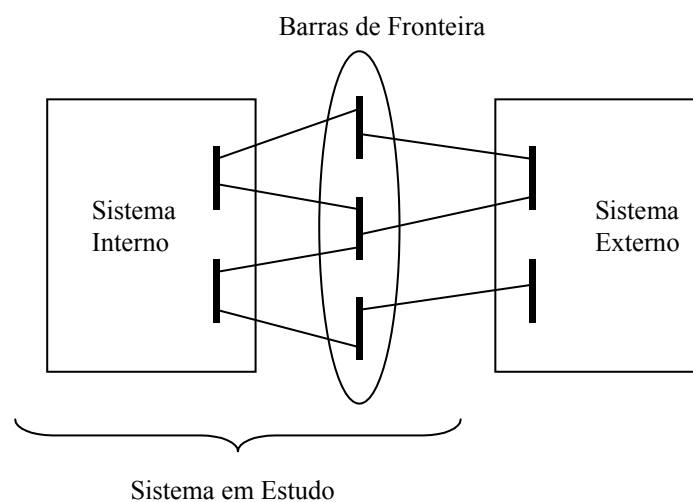


Figura 1.1 – Representação do sistema de potência para o cálculo de equivalentes dinâmicos

A metodologia empregada para o cálculo de equivalentes dinâmicos apresenta três etapas básicas: a identificação de geradores coerentes, a redução

estática da rede e a agregação dinâmica dos modelos das unidades geradoras coerentes.

A agregação dinâmica dos modelos de reguladores de tensão das unidades geradoras coerentes é o objeto desta dissertação, tratando de identificar o melhor modelo equivalente que represente uma determinada composição do grupo. Tal objetivo será alcançado quando da obtenção do melhor ajuste entre as funções de transferência equivalente e agregada.

Finalmente, deve-se comparar as curvas de oscilação dos geradores do sistema em estudo obtidas com as simulações utilizando o sistema equivalente e o sistema completo. Caso o equivalente dinâmico tenha sido corretamente calculado em todas as suas etapas, o resultado é a similaridade entre ambas as curvas de oscilação para cada unidade geradora do sistema em estudo.

1.2. Desenvolvimento Histórico

O cálculo de equivalentes dinâmicos foi inicialmente baseado em métodos empíricos, tais como substituição de todos os geradores do sistema externo por uma unidade geradora equivalente [4], e determinação de geradores equivalentes, um para cada barra de fronteira, através de uma distribuição empírica das potências ativas e inércias das unidades geradoras do sistema externo [5]. Ambos os métodos utilizaram as idéias propostas por Ward [6].

Os métodos apresentados posteriormente para o cálculo dos equivalentes dinâmicos são baseados principalmente na técnica de análise modal [7,8] e na propriedade dos geradores coerentes de oscilar juntos no período transitório [9-12].

A técnica de análise modal do modelo linearizado requer o cálculo dos autovalores, que consome tempo, e fornece um sistema reduzido com equações

diferenciais que não podem ser interpretadas, em geral, como representantes de modelos de unidades físicas. Então, os modelos reduzidos obtidos por análise modal devem ser utilizados mediante alteração nos programas de estabilidade. Os equivalentes dinâmicos baseados em análise modal consideram, em geral, o modelo clássico para representar as unidades geradoras equivalentes.

Para o cálculo dos equivalentes dinâmicos baseados em coerência, a identificação dos grupos de unidades geradoras coerentes foi inicialmente realizada pela análise das curvas de oscilação dos estudos prévios de estabilidade transitória. Cada grupo coerente do sistema externo era representado por um dos geradores do grupo considerando o modelo clássico [9], ou por um ou mais geradores equivalentes [10]. Este último trabalho representa um importante avanço no desenvolvimento deste tipo de equivalente dinâmico, pois foi demonstrado pela primeira vez que esta técnica poderia ser aplicada a sistemas de potência em larga escala, sem perda significativa de precisão nos estudos de estabilidade transitória. A agregação dinâmica das unidades geradoras coerentes e seus controles foi então realizada considerando um método empírico, onde os parâmetros dos modelos equivalentes eram calculados pela média logarítmica ponderada pela potência dos geradores pertencentes ao grupo [10].

Finalmente, o problema de identificação de unidades geradoras coerentes passou a ser resolvido utilizando um método de simulação linear, sem a necessidade de realizar um estudo prévio de estabilidade transitória [11], e o problema da agregação dinâmica das unidades geradoras coerentes começou a ser resolvido através do ajuste de parâmetros da função de transferência dos modelos equivalentes, a partir da resposta em frequência dos modelos individuais [12].

O método de simulação linear será utilizado nesta dissertação para resolver a etapa de identificação dos geradores coerentes para o cálculo de equivalentes dinâmicos. Este método considera o desvio médio da velocidade angular dos geradores como medida de coerência para a identificação dos grupos de geradores [3]. O processo da agregação dinâmica é feito pelo método proposto por Germond & Podmore [12]. O método de Levenberg-Marquardt (LM) [13,14] é utilizado para ajustar numericamente os parâmetros lineares de cada modelo equivalente.

1.3. Objetivo e Estrutura da Dissertação

O objetivo principal é a implementação de novos modelos de reguladores de tensão no programa EDINCO (Equivalentes DINâmicos por COerência) [15], e determinar o melhor modelo equivalente para uma dada composição de modelos de reguladores de tensão num grupo de geradores coerentes.

Serão considerados modelos do banco de dados de estabilidade do sistema elétrico brasileiro. Os programas de Análise de Redes – ANAREDE [16] e Análise de Transitórios Eletromecânicos – ANATEM [17] foram utilizados nos testes realizados nesta dissertação.

Esta dissertação possui cinco capítulos descritos sucintamente a seguir:

O presente capítulo 1 apresenta uma introdução ao trabalho realizado.

O capítulo 2 descreve o método de agregação dinâmica, dando enfoque aos modelos de reguladores de tensão implementados.

O capítulo 3 apresenta os resultados obtidos com a aplicação da metodologia de agregação dinâmica dos reguladores de tensão, analisando as curvas de resposta em frequência para a verificação do ajuste entre as funções de transferência equivalente e agregada.

O capítulo 4 descreve a metodologia de cálculo de equivalentes dinâmicos baseados em coerência, e também apresenta os resultados obtidos com um programa convencional de estabilidade transitória, analisando as curvas de oscilação das unidades geradoras do sistema em estudo obtidas com as simulações utilizando o sistema equivalente reduzido e o sistema original completo.

O capítulo 5 encerra a dissertação com as conclusões obtidas e sugestões para trabalhos futuros.