

José Geraldo Barreto Monteiro de Andrade

**Uma contribuição ao estudo da estabilidade
de tensão em sistemas elétricos de potência:
novos aspectos relacionados à representação
da carga**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Doutor em Engenharia Elétrica.

São Paulo
2007

José Geraldo Barreto Monteiro de Andrade

**Uma contribuição ao estudo da estabilidade
de tensão em sistemas elétricos de potência:
novos aspectos relacionados à representação
da carga**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Doutor em Engenharia Elétrica.

Área de concentração:
Sistemas de Potência

Orientador:
Prof. Dr. Hernán Prieto Schmidt

São Paulo
2007

Esse exemplar foi revisado e alterado em relação a versão original, sob responsabilidade única do autor e com anuência de seu orientador.

São Paulo, 7 de novembro de 2007

Assinatura do autor

Assinatura do orientador

Ficha Catalográfica - Edição Revisada

Andrade, José Geraldo Barreto Monteiro de

Uma contribuição ao estudo da estabilidade de tensão em sistemas elétricos de potência: novos aspectos relacionados à representação da carga. São Paulo, 2007.

117p.

Tese (Doutorado) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1. Modelagem da Carga. 2. Estabilidade de Tensão. 3. Análise Modal. 4. Modelagem Multimáquina I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas. II. Título.

À minha noiva Daniela pelo carinho e compreensão.

Aos meus pais e à minha irmã.

Agradecimentos

Ao professor Hernán Prieto Schmidt pelo apoio, crédito e estímulo durante a execução desse trabalho.

Ao professor Clóvis Goldemberg pela ajuda no entendimento, modelagem e implementação dos dispositivos de controle utilizados nesse trabalho.

Aos professores Carlos Márcio Vieira Tahan e José Antônio Jardini pelo envolvimento em projetos de pesquisa.

Ao amigo Eduardo Lorenzetti Pellini pelas discussões relacionadas à modelagem da máquina síncrona.

Ao Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas pelo suporte financeiro concedido à publicação e apresentação de parte desse trabalho no exterior.

Aos amigos Adriano, Chicão, Giovanni, Mikio, Ricardo e Su.

Aos demais amigos e colegas cujos nomes deixaram de ser citados por inteira culpa e esquecimento do autor.

Resumo

Esse trabalho investiga o impacto do comportamento transitório e em regime permanente da carga sobre a estabilidade de tensão do sistema elétrico. Para isso, utiliza-se uma modelagem detalhada da rede elétrica, capaz de representar os principais eventos inerentes aos fenômenos de instabilidade e colapso de tensão. A simulação numérica do sistema algébrico-diferencial resultante é realizada utilizando-se o solver *DASSL*C. Ao final desse trabalho, faz-se uma análise da resposta dos diferentes modelos de carga sobre a estabilidade de tensão do sistema de 14 barras do IEEE.

Abstract

This work investigates the impact of transient and steady state load behavior on power systems voltage stability. In order to do this, a detailed electric power system model is used to reproduce the main aspects of voltage instability and collapse phenomena. The numerical solution of the resulting non-linear differential-algebraic equations is carried out by using the *DASSLC* solver. An analysis of different load models behaviour for some voltage instability situations is presented for IEEE 14 bus system.

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Abreviaturas

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	2
1.2	Contribuições	3
1.3	Organização da tese	3
2	O Problema da Estabilidade de Tensão	5
2.1	Introdução	5
2.2	Descrição e causas do Colapso de Tensão	5
2.3	Um exemplo de colapso de tensão	7
2.4	Escopo do presente trabalho	9
3	Revisão Bibliográfica	12
3.1	Introdução	12
3.2	Controle de Segurança	12
3.3	Monitoramento de Segurança	13
3.4	Análise de Segurança	14
3.4.1	Avaliação de Contingências	15
3.4.2	Metodologias baseadas no fluxo de potência pós-contingência	16

3.4.3	Metodologias baseadas no Fluxo de Potência para casos não-resolvíveis	17
3.4.4	Metodologia baseada em Curvas VQ	18
3.4.5	Metodologias baseadas na simulação temporal	19
3.5	Metodologias para Determinação da Margem de Segurança	20
3.5.1	Métodos de Continuação	21
3.5.2	Métodos de Otimização	22
3.5.3	Métodos baseados nas múltiplas soluções do fluxo de potência	25
3.5.4	Métodos baseados na análise de bifurcações	25
3.5.5	Simulação temporal acoplada com análise de sensibilidade	26
3.6	Determinação dos Limites de Segurança	28
4	Modelagem dinâmica do sistema elétrico voltada para o problema da estabilidade de tensão.	33
4.1	Objetivos	33
4.2	Modelagem dinâmica do sistema elétrico	33
4.2.1	Unidade Geradora	34
4.2.1.1	Máquina Síncrona	34
4.2.1.2	Controle de Excitação (Regulador de Tensão)	36
4.2.1.3	Limitador de Sobre-Excitação	37
4.2.2	Transformadores com Controle Automático de Tape	38
4.2.3	Modelos de cargas	38
4.2.3.1	Modelos estáticos das cargas	38
4.2.3.2	Modelos dinâmicos das cargas	39
4.2.3.3	Motor de Indução	41
4.2.4	Demais elementos da rede elétrica	42
4.2.5	O equacionamento multi-máquina	42
4.3	A Representação Genérica do Sistema Elétrico	43

4.4	O integrador algébrico-diferencial DASSLC	44
4.4.1	Uma visão geral sobre métodos de integração numérica	44
4.4.2	Uma análise breve da estabilidade dos métodos de integração	45
4.4.3	Sobre sistemas de equações rígidas (<i>stiff</i>)	46
4.4.4	O método de Diferenciação Regressiva	47
4.5	Ferramentas desenvolvidas neste trabalho	48
4.5.1	O programa de fluxo de potência FLOW	49
4.5.1.1	Solução do fluxo de potência	49
4.5.1.2	Análise modal	52
4.5.2	O programa DSIM	55
4.5.2.1	Recursos disponíveis	55
4.5.2.2	Tratamento dos limites nos controles	56
4.6	Resultados para o sistema de 10 barras da BPA	58
5	Análise de estabilidade de tensão utilizando modelos de carga estáticos e dinâmicos	63
5.1	Objetivos	63
5.2	Alguns aspectos sobre o comportamento da carga	63
5.3	Impacto das sensibilidades da carga sobre a estabilidade de tensão	67
5.3.1	Impacto das sensibilidades em regime permanente (α_S e β_S)	68
5.3.2	Impacto das sensibilidades transitórias (α_T e β_T)	69
5.4	Impacto dos controles sobre a resposta transitória da carga	71
5.5	Impacto das cargas dinâmicas sobre a estabilidade de tensão	74
5.5.1	Avaliação do ponto de máximo carregamento	75
5.5.2	Avaliação do limite de carregamento pós-contingência	80
5.5.3	Impacto sobre o "alívio de carga"	82
6	Conclusões	84

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

