



国际电气工程先进技术译丛

CRC Press
Taylor & Francis Group

电力系统稳定与控制

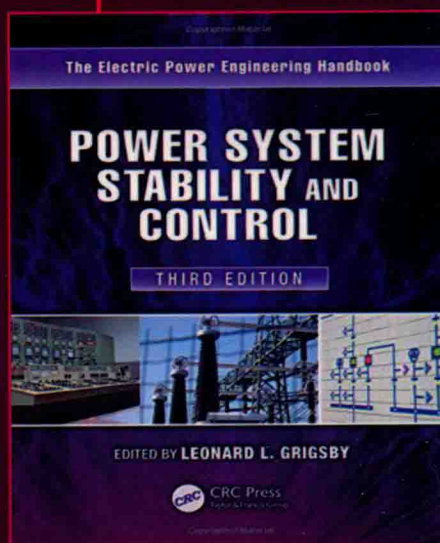
(原书第3版)

Power System Stability and Control (Third Edition)

[美] 雷欧纳德 L. 格雷斯比 (Leonard L. Grigsby) 主编

李相俊 李生虎 金恩淑 等译

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际电气工程先进技术译丛

电力系统稳定与控制 (原书第3版)

Power System Stability and Control (Third Edition)

[美] 雷欧纳德 L. 格雷斯比 (Leonard L. Grigsby) 主编
李相俊 李生虎 金恩淑 等译



机械工业出版社

Power System Stability and Control 3rd Edition/by Leonard L. Grigsby/ISBN: 9781439883204 Copyright © 2012 by CRC Press.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved; 本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下, CRC 出版公司出版, 并经其授权翻译出版。版权所有, 侵权必究。

China Machine Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher. 本书中文简体翻译版授权由机械工业出版社独家出版并限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2013-1810 号。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统稳定与控制: 原书第 3 版/ (美) 雷欧纳德·L. 格雷斯比 (Leonard L. Grigsby) 主编; 李相俊, 李生虎, 金恩淑等译. —北京: 机械工业出版社, 2017. 12

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文: Power System Stability and Control (Third Edition)

ISBN 978-7-111-58257-1

I. ①电… II. ①雷…②李…③李…④金… III. ①电力系统稳定-稳定控制 IV. ①TM712

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 247760 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 赵玲丽 责任编辑: 赵玲丽

责任校对: 刘雅娜 樊钟英 封面设计: 马精明

责任印制: 张博

河北鑫兆源印刷有限公司印刷

2018 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 27.25 印张 · 517 千字

0 001—2600 册

标准书号: ISBN 978-7-111-58257-1

定价: 139.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
电话服务 网络服务

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

本书共分为三部分,第1部分为电力系统保护,介绍了变压器保护,同步发电机保护,输电线路保护,系统保护,数字继电保护,利用录波器录波分析系统性能,系统大停电事故等方面的研究内容。第2部分为电力系统动态与稳定性,介绍了电力系统稳定性,暂态稳定性,小信号稳定性和电力系统振荡,电压稳定性,直接法稳定性分析,电力系统稳定控制,电力系统动态建模,广域监测和态势感知,电力系统稳定性与动态安全性评估,含汽轮发电机电力系统的动态相互作用,电力系统风电接入,柔性交流输电系统(FACTS)的研究内容。第3部分为电力系统运行与控制,介绍了能量管理,发电控制:经济调度和机组组合,状态估计,最优潮流计算,安全性分析的研究内容。

本书深入浅出、通俗易懂,非常适合作为电气工程类专业本科生与研究生的教材,也可作为电力系统控制领域研究人员的参考书。



译者序

本书于2012年由CRC出版社出版，是电力系统控制与稳定性领域的经典著作。主编Leonard L. (“Leo”) Grigsby曾在得克萨斯理工大学、俄克拉荷马州立大学、弗吉尼亚理工大学和奥本大学任教。在他的教学生涯中，Grigsby教授获得了13个优秀教学奖。

Grigsby教授是IEEE会士。在1998~1999年期间，担任IEEE电力和能源部第七部门主管的董事会成员。他获得了7项杰出服务奖，如1984年的IEEE百年勋章，1994年的电力工程学会荣誉服务奖和2000年的IEEE千年奖章。在Grigsby教授的学术生涯中，对网络与控制理论在电力系统建模、仿真、优化与控制应用中的相关项目进行研究。目前，他是CRC出版社出版的“电气工程手册系列丛书”编辑，在电力系统领域享有很高的声誉。

此外，Miroslav M. Begovic, Prabha S. Kundur和Bruce F. Wollenberg分别参与并承担了本书三部分编写工作。Miroslav M. Begovic是佐治亚州亚特兰大佐治亚理工学院电气和计算机工程学院的教授，是美国佐治亚理工学院ECE学院的电力能源小组主席，IEEE PES新兴技术协调委员会主席，IEEE PES杰出讲师。Prabha S. Kundur博士从加拿大安大略省多伦多大学获得电气工程专业博士学位。他在电力行业工作经验超过40年。2003年，Kundur博士入选加拿大工程院院士。2011年，入选美国国家工程院的外籍院士。Wollenberg博士是美国国家工程院院士、IEEE会士。他也是Tau Beta Pi、Eta Kappa Nu和Sigma Xi荣誉会员，IEEE电力工程学会电力系统工程委员会的前任主席。

本书共分为三部分，第1部分为电力系统保护，介绍了变压器保护，同步发电机保护，输电线路保护，系统保护，数字继电保护，利用录波器录波分析系统性能，系统大停电事故等方面的研究内容。第2部分为电力系统动态与稳定性，介绍了电力系统稳定性，暂态稳定性，小信号稳定性和电力系统振荡，电压稳定性，直接法稳定性分析，电力系统稳定控制，电力系统动态建模，广域监测和态势感知，电力系统稳定性与动态安全性能评估，含汽轮发电机电力系统的动态相互作用，电力系统风电接入，柔性交流输电系统(FACTS)的研究内容。第3部分为电力系统运行与控制，介绍了能量管理，发电控制：经济调度和机组组合，状态估计，最优潮流计算，安全性分析的研究内容。

本书深入浅出、通俗易懂，非常适合作为电气工程类专业本科生与研究生的教材，也可作为电力系统控制领域研究人员的参考书。

IV 电力系统稳定与控制 (原书第3版)

本书的翻译分工如下:金恩淑教授负责本书第1部分,李生虎教授负责本书第2部分,李相俊教授级高级工程师负责本书第3部分。

中国电力科学研究院的李相俊对全书译稿在技术内容上进行了审核。同时,金雨薇、黄杰杰、董王朝、孙琪、汪秀龙、唐彩林、王鹏飞、王上行、何宇婷、李跃、孙楠、任杰、张栋、董德华等人也参与了本书部分内容的翻译。在本书出版之际,译者向支持译著出版的机械工业出版社以及本书的责任编辑表示衷心的感谢。感谢中国电力科学研究院刘科研博士对本书出版的关心与帮助。

由于本书涉及了一个非常宽广的研究领域,而译者的学识有限,书中肯定有值得商讨之处,敬请广大读者批评指正。

李相俊

主编简介

雷欧纳德 L. (“Leo”) 格雷斯比 (Leonard L. Grigsby) 在得克萨斯州的拉伯克市得克萨斯理工大学获得了电气工程专业理学学士及理科硕士，并在俄克拉荷马州立大学获得博士学位。先后在得克萨斯理工大学、俄克拉荷马州立大学和弗吉尼亚理工大学电气工程专业任教。1984 年以来，他一直在奥本大学任教，先后担任了佐治亚州的电力教授和阿拉巴马州的电力教授，目前任电气工程专业的名誉教授。1990 年作为东京电力公司的电气工程首席教授，在东京大学工作了 9 个月。其研究方向是网络分析、控制系统以及电力工程。



在其教育生涯中，格雷斯比教授获得了 13 次杰出教师奖。包括 1980 年弗吉尼亚理工大学 William E. Wine 优秀教师奖，1986 年美国工程教育协会、美国电话电报公司优秀教师奖，1988 年爱迪生电力学院动力工程教育工作者奖，1990 到 1991 年度奥本大学杰出研究生讲师，1995 年 IEEE 3 区 Joseph M. Beidenbach 优秀工程学教育奖，1996 年奥本大学 Birdsong 优秀教师奖，以及 2003 年由 IEEE 电力工程学会颁发的杰出电力工程教育者奖。

格雷斯比教授，IEEE 终生会员，1998 到 1999 年担任 IEEE PES 第七处的主任。在该机构 30 个不同的岗位工作过，从分会、部门、大区域到国际层次都有参与。鉴于此，他获得了 7 次杰出服务奖，包括 1984 年的 IEEE 纪念奖章，1994 年的电气工程协会卓越功勋奖和 2000 年的 IEEE 千禧年奖章等。

在其学术生涯中，格雷斯比教授在网络应用和模型控制理论、仿真、优化及电力系统控制等相关项目中进行了大量研究；先后指导了 35 位硕士生和 21 位博士生；并与其学生、同事共同发表了超过 120 篇的技术论文，编写了一本关于工业网络技术的教材；目前担任 CRC 出版社系列出版的《电气工程师手册》的总主编。在 1993 年，因其对电气工程领域的卓越贡献而被正式纳入得克萨斯理工大学电气工程学院。

撰 稿 人

Mark Adamiak

General Electric
Wayne, Pennsylvania

Bajarang L. Agrawal

Arizona Public Service Company
Phoenix, Arizona

Alexander Apostolov

OMICRON Electronics
Los Angeles, California

John Appleyard

S&C Electric Company
and
Quanta Technology
Cary, North Carolina

Miroslav M. Begovic

Georgia Institute of Technology
Atlanta, Georgia

Gabriel Benmouyal

Schweitzer Engineering Laboratories, Ltd.
Pullman, Washington

Anjan Bose

Washington State University
Pullman, Washington

John R. Boyle

Power System Analysis
Signal Mountain, Tennessee

Claudio Cañizares

Department of Electrical and Computer
Engineering
University of Waterloo
Waterloo, Ontario, Canada

Aranya Chakraborty

Department of Electrical and Computer
Engineering
North Carolina State University
Raleigh, North Carolina

Charles Concordia

Consultant

Jeff Dagle

Pacific Northwest National Laboratory
Richland, Washington

Ian Dobson

Department of Electrical and Computer
Engineering
Iowa State University
Ames, Iowa

Mohamed E. El-Hawary

Department of Electrical and Computer
Engineering
Dalhousie University
Halifax, Nova Scotia, Canada

Ahmed Elneweih

British Columbia Hydro
and Power Authority
Vancouver, British Columbia, Canada

Richard G. Farmer

School of Electrical, Computer and Energy
Engineering
Arizona State University
Tempe, Arizona

R. Matthew Gardner

Dominion Virginia Power
Richmond, Virginia

Jay C. Giri

ALSTOM Grid, Inc.
Redmond, Washington

Mevludin Glavic

Quanta Technology
Raleigh, North Carolina

Robert Haas

Haas Engineering
and
KY RESC
Villa Hills, Kentucky

Nouredine Hadjsaid

Institut National Polytechnique
de Grenoble
Grenoble, France

Stanley H. Horowitz

Consultant
Columbus, Ohio

Yi Hu

Quanta Technology
Raleigh, North Carolina

Reza Irvani

Department of Electrical and Computer
Engineering
University of Toronto
Toronto, Ontario, Canada

Danny Julian

ABB Inc.
Raleigh, North Carolina

Dmitry Kosterev

Bonneville Power Administration
Portland, Oregon

Prabha S. Kundur

Kundur Power Systems Solutions, Inc.
Toronto, Ontario, Canada

Einar Larsen

General Electric Energy
Schenectady, New York

Jason G. Lindquist

Siemens Energy Automation
Minneapolis, Minnesota

Vahid Madani

Pacific Gas & Electric
San Francisco, California

Yakout Mansour

California Independent System Operator
Folsom, California

Rui Menezes de Moraes

Universidade Federal Fluminense
Rio de Janeiro, Brazil

Kip Morison

British Columbia Hydro
and Power Authority
Vancouver, British Columbia, Canada

Damir Novosel

Quanta Technology
Raleigh, North Carolina

Reynaldo Nuqui

Asea Brown Boveri
Cary, North Carolina

Manu Parashar

ALSTOM Grid, Inc.
Redmond, Washington

John Paserba

Mitsubishi Electric Power Products, Inc.
Warrendale, Pennsylvania

Arun Phadke

Virginia Tech
Blacksburg, Virginia

Pouyan Pourbeik

Electric Power Research Institute
Palo Alto, California

William W. Price

Consultant
Livingston, Texas

Donald G. Ramey (retired)

Siemens Corporation
Apex, North Carolina

Charles W. Richter Jr.
Charles Richter Associates, LLC
Kenmore, Washington

Juan Sanchez-Gasca
General Electric Energy
Schenectady, New York

Walter Sattinger
Department of System Management Support
Swiss Grid
Laufenburg, Switzerland

Neil K. Stanton
Stanton Associates
Medina, Washington

Glenn W. Swift
APT Power Technologies
Winnipeg, Manitoba, Canada

Carson W. Taylor (retired)
Bonneville Power Administration
Portland, Oregon

James S. Thorp
Virginia Tech
Blacksburg, Virginia

Dan Trudnowski
Department of Electrical Engineering
Montana Tech
Butte, Montana

Rajiv K. Varma
Department of Electrical and Computer
Engineering
University of Western Ontario
London, Ontario, Canada

Vijay Vittal
School of Electrical, Computer and Energy
Engineering
Arizona State University
Tempe, Arizona

Lei Wang
Powertech Labs Inc.
Surrey, British Columbia, Canada

Bruce F. Wollenberg
Department of Electrical and Computer
Engineering
University of Minnesota
Minneapolis, Minnesota

目 录

译者序
主编简介
撰稿人

第 1 部分 电力系统保护

Miroslav M. Begovic

第 1 章 变压器保护	3
Alexander Apostolov, John Appleyard, Ahmed Elneweihi, Robert Haas and Glenn W. Swift	
第 2 章 同步发电机保护	15
Gabriel Benmouyal	
第 3 章 输电线路保护	35
Stanley H. Horowitz	
第 4 章 系统保护	49
Miroslav M. Begovic	
第 5 章 数字继电保护	60
James S. Thorp	
第 6 章 利用录波器录波分析系统性能	78
John R. Boyle	
第 7 章 系统大停电事故	89
Ian Dobson	

第 2 部分 电力系统动态与稳定性

Prabha S. Kundur

第 8 章 电力系统稳定性	97
Prabha S. Kundur	

第9章 暂态稳定性	108
Kip Morison	
第10章 小信号稳定性和电力系统振荡	119
John Paserba, Juan Sanchez - Gasca, Lei Wang, Prabha S. Kundur, Einar Larsen and Charles Concordia	
第11章 电压稳定性	143
Yakout Mansour and Claudio Canizares	
第12章 直接法稳定性分析	155
Vijay Vittal	
第13章 电力系统稳定控制	168
Carson W. Taylor	
第14章 电力系统动态建模	190
William W. Price and Juan Sanchez - Gasca	
第15章 广域监测和态势感知	204
Manu Parashar, Jay C. Giri, Reynaldo Nuqui, Dmitry Kosterev, R. Matthew Gardner, Mark Adamiak, Dan Trudnowski, Aranya Chakraborty, Rui Menezes de Moraes, Vahid Madani, Jeff Dagle, Walter Sattinger, Damir Novosel, Mevludin Glavic, Yi Hu, Ian Dobson, Arun Phadke and James S. Thorp	
第16章 电力系统稳定性与动态安全性能评估	248
Lei Wang and Pouyan Pourbeik	
第17章 含汽轮发电机电力系统的动态相互作用	268
Bajarang L. Agrawal, Donald G. Ramey and Richard G. Farmer	
第18章 电力系统风电接入	293
Reza Iravani	
第19章 柔性交流输电系统 (FACTS)	311
Rajiv K. Varma and John Paserba	

第3部分 电力系统运行与控制

Bruce F. Wollenberg

第20章 能量管理	353
Neil K. Stanton, Jay C. Giri and Anjan Bose	
第21章 发电控制：经济调度和机组组合	365
Charles W. Richter Jr.	
第22章 状态估计	384
Jason G. Lindquist and Danny Julian	
第23章 最优潮流计算	396
Mohamed E. El - Hawary	
第24章 安全性分析	414
Nouredine Hadjsaid	

第1部分 电力系统保护

Miroslav M. Begovic

第1章 变压器保护

Alexander Apostolov, John Appleyard, Ahmed Elneweihi, Robert Haas and Glenn W. Swift

变压器故障类型 · 变压器保护类型 · 特殊情况 · 特殊应用 · 恢复 · 参考文献

第2章 同步发电机保护

Gabriel Benmouyal

功能简介 · 定子故障的差动保护 (87G) · 定子绕组接地故障保护 · 励磁 (回路) 接地保护 · 失磁保护 (40) · 不平衡电流 (46) · 逆功率保护 (32) · 过励磁保护 (24) · 过电压 (59) · 电压不平衡保护 (60) · 系统后备保护 (51V 和 21) · 失步保护 · 汽轮发电机频率异常运行 · 发电机误上电保护 · 发电机断路器失灵 · 发电机切机原则 · 发电机数字多功能继电器的影响 · 参考文献

第3章 输电线路保护

Stanley H. Horowitz

继电保护的性质 · 电流保护 · 距离继电器 · 纵联保护 · 继电器设计 · 参考文献

第4章 系统保护

Miroslav M. Begovic

简介 · 扰动: 原因和补救措施 · 暂态稳定与失步保护 · 过载和低频减载 · 电压稳定性和低压减载 · 特殊保护方案 · 现状: 技术基础 · 未来在控制和保护方面的改进 · 参考文献

第5章 数字继电保护

James S. Thorp

采样 · 抗混叠滤波器 · $\Sigma - \Delta$ A - D 转换器 · 相量采样 · 对称分量 · 算法 · 参考文献

第6章 利用录波器录波分析系统性能

John R. Boyle

第7章 系统大停电事故

Ian Dobson

参考文献



Miroslav M. Begovic 是佐治亚州亚特兰大佐治亚理工学院电气和计算机工程学院的教授。他曾在弗吉尼亚理工学院 (布莱克斯堡) 获得电气工程博士学位, 以及在塞尔维亚贝尔格莱德的贝尔格莱德大学获得电气工程硕士和电气工程学士学位。Begovic 博士的研究方向是电力系统的监测、分析和控制, 以及可再生能源和可持续能源系统的开发和应用。他成为 IEEE PES 电力系统中继委员会成员已经近 20 年, 主持了第一个广域保护和应急控制工作组以及系统保护小组委员会中的一些其他工作组。而且, 作为电压稳定保护工作组的成员之一, 获得 IEEE PES 工作组最佳报告奖。Begovic 博士是美国乔治亚理工学院 ECE 学院的电力能源小组主席、IEEE PES 新兴技术协调委员会主席、IEEE PES 杰出讲师, 还在 2010 - 2011 年被选为 IEEE 权力与能源学会理事。他还是 IEEE 的成员以及 Sigma Xi, Eta Kappa Nu, Phi Kappa Phi 和 Tau Beta Pi 的成员。

第 1 章 变压器保护

Alexander Apostolov OMICRON Electronics	1.1 变压器故障类型
John Appleyard S&C Electric Company	1.2 变压器保护类型 电气量·机械量·热量
Ahmed Elneweihi British Columbia Hydro and Power Authority	1.3 特殊情况 电流互感器·励磁涌流（初始励磁涌流、恢复性涌流、和应涌流）·一—二次侧相移·匝间故障·穿越性故障·后备保护
Robert Haas Haas Engineering	1.4 特殊应用 并联电抗器·Zig-Zag 变压器·相位角调节器和电压调节器·单元系统·单相变压器·持续电压不平衡
Glenn W. Swift APT Power Technologies	1.5 恢复 历史·示波器、事件记录器、气体监测器·生产日期·励磁涌流·继电器动作
	参考文献

1.1 变压器故障类型

很多情况会引起电力变压器故障。统计表明，绕组故障是最常见的变压器故障（ANSI/IEEE，1985）。绝缘老化是造成绕组故障的主要原因，通常是由潮湿、过热、振动、电压浪涌以及变压器穿越性故障期间产生的机械应力引起的。

第二个最有可能引起变压器故障的原因是有载分接开关调压。机械切换装置故障、连接高阻抗负荷、绝缘漏电（痕迹），过热和绝缘油污染都会引起分接头切换失败。

第三个最有可能引起变压器故障的原因是变压器套管（故障）。一般老化、污染、裂缝、内部潮湿，以及漏油都可能造成套管故障。另外两个可能的原因是人为和动物破坏引起套管外部闪络。

变压器的铁心问题来源于铁心绝缘损坏、接地端开路或叠片短路。

其他情况的故障是由电流互感器,漏油是由于油箱焊接不当,金属颗粒油污染、过负荷、过电压引起的。

1.2 变压器保护类型

1.2.1 电气量

1.2.1.1 熔断器

电力熔断器用于变压器故障保护已有很多年。当变压器容量大于10MVA时,通常建议采用更灵敏的装置,如在本节后面所介绍的差动继电器。熔断器的维护(费用)低的经济性保护方案。不需要与保护和控制设备、断路器以及变电站蓄电池(Station Battery)相配合。

然而熔断器也存在一些缺点,它只能对变压器的某些内部故障提供有限的保护。熔断器也是单相设备,某些系统故障可能只由一只熔断器保护。这将导致单相设备连接到三相用户。

熔断器选择标准包括良好的熔断能力,用电高峰和紧急情况下的计算负荷电流,配合研究电源侧和低压侧保护装置,预计变压器体积和绕组配置(ANSI/IEEE, 1985)。

1.2.1.2 过电流保护

过电流继电器通常可提供与电力熔断器同等水平的保护。某些情况下,利用过电流继电器测量零序电流,可以实现更高的灵敏度和更短的故障切除时间。这种应用允许启动值低于预期的最大负荷电流。也可以应用到瞬时过电流继电器,只能反应75%的变压器故障。该方法需要精确计算故障电流,但不需要与低压侧保护装置配合。

过电流继电器不具有与熔断器相同的维护和成本上的优势,它需要与保护和控制设备、断路器以及变电站蓄电池相互配合。过电流继电器只是总投资的一小部分,选用过电流继电器时,通常加入差动继电器来提高变压器保护(性能)。这种情况下,过电流继电器将为差动继电器提供后备保护。

1.2.1.3 差动保护

变压器保护中使用最广泛的装置是制动式差动继电器,该继电器比较变压器绕组流入和流出的电流值。为确保不同条件下保护可靠动作,主保护元件具有多比率制动特性(Multislope Restrained Characteristic)。当变压器分接头处于调节范围极限时(如果采用有载分接开关),初始斜率应确保对变压器内部故障的灵敏性,并允许高达15%的不匹配度。电流高于变压器额定值时,由于CT饱和可能会引起额外的误差。