

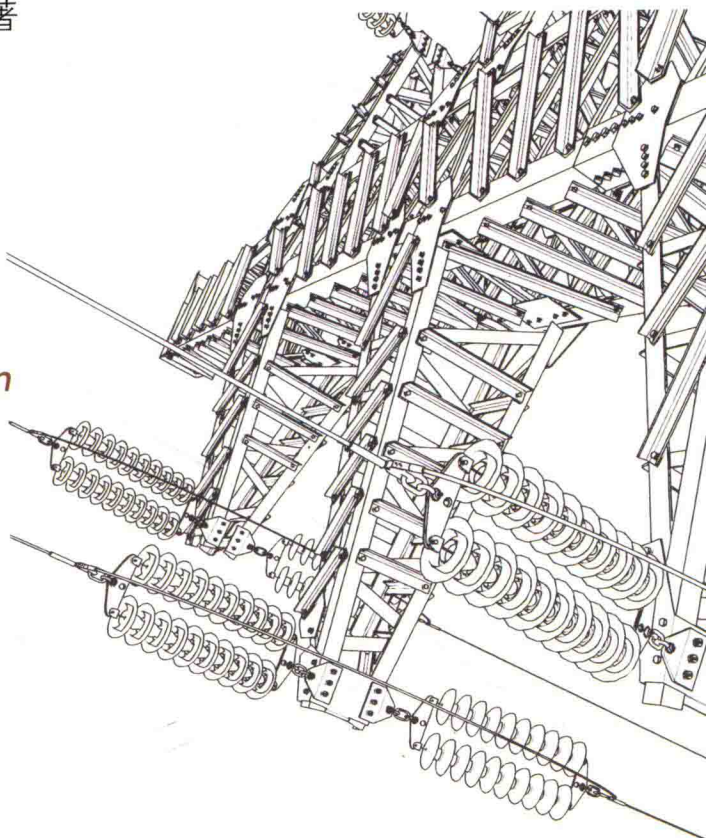


电力系统及其自动化教材

电力系统智能变电站 综合自动化实验教程

◎ 陈歆技 编著

*An Experimental Course on
Intelligent Integrated Substation
Automation of Power Systems*

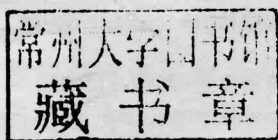


本书可作为普通高等学校电气工程及自动化、电力系统及其自动化及相关专业实验课程的本科或研究生教材及实验教学指导书，也可作为电力技术类相关专业高职高专生的教材及实验指导书，同时还可作为电力工程技术人员的参考书。

东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

电力系统智能变电站 综合自动化实验教程

陈歆技 编著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

· 南京 ·

图书在版编目(CIP)数据

电力系统智能变电站综合自动化实验教程 / 陈歆技编
著. —南京:东南大学出版社,2018.3
ISBN 978-7-5641-7663-1

I. ①电… II. ①陈… III. ①智能系统-变电所-自动化
系统-实验-教材 IV. ① TM63-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 046786 号

电力系统智能变电站综合自动化实验教程

编 著 者 陈歆技
责任编辑 陈 淑
编辑邮箱 535407650@qq.com
出版发行 东南大学出版社
出 版 人 江建中
社 址 南京市四牌楼 2 号(邮编:210096)
网 址 <http://www.seupress.com>
电子邮箱 press@seupress.com
印 刷 南京京新印刷有限公司
开 本 787mm×1 092mm 1/16
印 张 12.75
字 数 320 千字
版 次 2018 年 3 月第 1 版 2018 年 3 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5641-7663-1
定 价 39.00 元
经 销 全国各地新华书店
发行热线 025-83790519 83791830

(本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系,电话:025-83791830)



前 言

PREFACE

随着第三代智能电网技术在我国的大规模推广应用,全数字化智能变电站的应用已经成为主流,其遵循的主要标准为 IEC 61850 标准。对于智能变电站继电保护及自动装置原理所涉及的专业知识,其实验研究及教学方法与传统方法有着重要区别。目前,大学本科电气工程及其自动化专业继电保护与自动装置实验教学大多仍然是基于传统装置与实验设备的,相关实验教学内容与方法已难以满足培养现代电力系统专业技术人才的要求。《电力系统智能变电站综合自动化实验教程》就是为适应新技术发展的需要而编写的。本书以基于 IEC 61850 标准的智能电网技术为基础,根据智能电网继电保护与自动装置的实验教学目标及要求,对相关实验项目及内容进行了更新和重新设计,在此基础上设置适合大学本科电气工程及其自动化专业高年级学生的面向电力系统及其自动化专业方向的《电力系统智能变电站综合自动化实验》专业实验课程,本书是该实验课程的配套教材兼实验指导书。

《电力系统智能变电站综合自动化实验》课程是为电气工程及其自动化专业本科三年级或四年级学生开设的一门面向电力系统及其自动化专业方向的专业实验课程。开设该课程的目的是使学生掌握有关电力系统及其自动化专业方面电力系统稳态、暂态、继电保护、自动装置理论相关的实验基础知识,理解和掌握电力系统科学实验方法,提高理论联系实际的能力及动手能力,以便走上工作岗位后,能够深入理解和应用所学知识解决生产实际问题。该课程的先修课程是《电路》《电机学》《电力系统稳态分析》《电力系统暂态分析》《电力系统继电保护》和《电力系统自动装置原理》及其他基础课程,学生需要具备电力系统的相关基础理论知识。

本实验教程是为《电力系统智能变电站综合自动化实验》课程专门撰写的;由于该课程所涉及的专业知识较为综合,在实验课程教学中,学生需要通过研读此书和其他参考书,理解实验课程中所涉及的基本理论与方法,详细了解各个实验的内容、操作步骤与操作方法,做好课前预习,这样才能顺利完成课程的学习任务。



全书内容分为四章,分别为电力系统智能变电站综合自动化实验课程简介、智能变电站综合自动化实验理论基础、智能变电站综合自动化实验系统、电力系统智能变电站综合自动化实验。主要内容包括基于智能变电站的电力系统继电保护与自动装置理论基础、智能变电站继电保护与自动装置工作原理及主要参数、基于智能变电站的继电保护与自动装置实验项目等。本书实验项目涵盖典型输电线路过电流保护、线路距离保护、变压器差动保护、变压器后备保护等专项实验,还包括自动装置实验及智能变电站综合故障实验,实验内容丰富,资料完整,力图反映电力系统科学实验的最新成果与实验方法,从而使学生通过本教程的实训进一步深刻理解和掌握现代电力系统基础理论知识,满足现代电力系统技术人才素质培养的要求。

本书可作为普通高等学校电气工程及自动化、电力系统及其自动化及相关专业实验课程的本科生或研究生教材及实验教学指导书,也可作为电力技术类相关专业高职高专学生的教材及实验指导书,同时还可作为电力工程技术人员的参考书。

本书在出版过程中,得到了东南大学教务处、东南大学电气工程学院及东南大学出版社的大力支持和帮助,另外,还得到了东南大学电气工程学院陆于平、陆广香、高山等老师的帮助与指导,并提出了许多宝贵意见,此外,美国威斯康星大学陈凌蛟博士对书中部分章节内容给出了参考意见,在此一并表示衷心的感谢!

鉴于编者水平及实践经验有限,书中难免有不当和错误之处,恳切希望同行专家和广大读者不吝批评指正!

编著者
于东南大学



目 录

CONTENTS

1 智能变电站综合自动化实验课程简介

1.1 实验课程主要内容	1
1.2 实验课程教学目标	2
1.3 实验要求	2
1.4 考核办法	3

2 智能变电站综合自动化实验理论基础

2.1 智能变电站与 IEC 61850 标准	4
2.2 基于 IEC 61850 变电站与传统变电站的联系与区别	6
2.2.1 变电站基本结构的差异	6
2.2.2 一次设备的差异	7
2.2.3 二次设备的差异	7
2.2.4 信息数字化基础的差异	7
2.2.5 设备互操作性的差异	7
2.3 电力系统科学实验研究方法	8
2.3.1 数学模拟方法	8
2.3.2 物理模拟方法	8
2.3.3 基于智能电网的数字与物理混合模拟	8
2.4 电力系统继电保护与自动装置基础	9
2.4.1 电力系统继电保护与自动装置的基本概念	9
2.4.2 电力系统继电保护与自动装置原理基础	10
2.4.3 智能变电站继电保护与自动装置特征	11
2.5 电力系统继电保护与自动装置基本理论	12
2.5.1 输电线路保护基本原理	12
2.5.2 电力变压器保护基本原理	36



2.5.3	电力系统自动装置基本原理	41
2.6	电力系统典型继电保护与自动装置	49
2.6.1	输电线路保护装置	49
2.6.2	变压器保护装置	78
2.6.3	智能变电站自动装置	92

3 智能变电站综合自动化实验系统

3.1	电力系统智能变电站综合自动化实验室概况	97
3.2	智能变电站综合自动化实验原理及系统测试环境	99
3.3	智能变电站综合自动化实验室实验系统主接线	99
3.3.1	智能变电站综合自动化实验室实验系统一次主接线	99
3.3.2	智能变电站综合自动化实验主接线原理与结构	101
3.4	电力系统智能变电站综合自动化实验系统的主要设备	102
3.4.1	220 kV 线路保护屏	102
3.4.2	220 kV 母线保护、母联保护屏	103
3.4.3	220 kV 变压器保护屏	104
3.4.4	220 kV 主变高压侧智能控制柜	104
3.4.5	110 kV 线路保护及低周减载屏	105
3.4.6	网络分析及故障录波屏	105
3.4.7	低压保护屏	106
3.4.8	远动柜	106
3.5	综合自动化实验中所涉及元件及装置的主要参数	106
3.5.1	综合自动化实验系统模拟电网主要元件参数	106
3.5.2	综合自动化实验系统主要设备定值参数	107

4 电力系统智能变电站综合自动化实验

4.1	实验一 输电线路三段式电流保护实验	127
4.1.1	实验目的	127
4.1.2	实验原理	127
4.1.3	实验内容及步骤	129
4.1.4	实验结果分析	137
4.1.5	实验报告	138
4.1.6	拓展实验	138
4.1.7	预习要求	138



4.1.8	实验研讨与思考题	138
4.2	实验二 输电线路零序过流继电保护实验	139
4.2.1	实验目的	139
4.2.2	实验原理	139
4.2.3	实验内容及步骤	140
4.2.4	实验结果分析	146
4.2.5	实验报告	147
4.2.6	拓展实验	147
4.2.7	预习要求	147
4.2.8	实验研讨与思考题	147
4.3	实验三 输电线路多段式距离保护实验	148
4.3.1	实验目的	148
4.3.2	实验原理	148
4.3.3	实验内容及步骤	149
4.3.4	实验结果分析	154
4.3.5	实验报告	154
4.3.6	拓展实验	154
4.3.7	预习要求	155
4.3.8	实验研讨与思考题	155
4.4	实验四 输电线路距离保护阻抗特性测定实验	155
4.4.1	实验目的	155
4.4.2	实验原理	155
4.4.3	实验内容及步骤	157
4.4.4	实验结果分析	161
4.4.5	实验报告	162
4.4.6	拓展实验	162
4.4.7	预习要求	163
4.4.8	实验研讨与思考题	163
4.5	实验五 电力变压器差动保护实验	163
4.5.1	实验目的	163
4.5.2	实验原理	163
4.5.3	实验内容及步骤	164
4.5.4	实验结果分析	169
4.5.5	实验报告	170



4.5.6	拓展实验	170
4.5.7	预习要求	171
4.5.8	实验研讨与思考题	171
4.6	实验六 电力变压器后备保护实验	171
4.6.1	实验目的	171
4.6.2	实验原理	171
4.6.3	实验内容及步骤	172
4.6.4	实验结果分析	176
4.6.5	实验报告	176
4.6.6	拓展实验	176
4.6.7	预习要求	177
4.6.8	实验研讨与思考题	177
4.7	实验七 电力系统低周低压自动减载实验	177
4.7.1	实验目的	177
4.7.2	实验原理	177
4.7.3	实验内容及步骤	178
4.7.4	实验结果分析	183
4.7.5	实验报告	183
4.7.6	拓展实验	183
4.7.7	预习要求	183
4.7.8	实验研讨与思考题	184
4.8	实验八 电力系统智能变电站综合故障实验	184
4.8.1	实验目的	184
4.8.2	实验原理	184
4.8.3	实验内容及步骤	185
4.8.4	实验结果分析	194
4.8.5	实验报告	194
4.8.6	拓展实验	194
4.8.7	预习要求	195
4.8.8	实验研讨与思考题	195
	参考文献	196



1 智能变电站综合自动化实验课程简介

随着基于 IEC 61850 标准的第三代智能电网技术在我国的大规模推广应用,全数字化智能变电站的应用已经成为主流,在工程实践中急需大量掌握智能电网技术的工程技术人员,如何培养满足第三代智能电网技术发展要求的人才已成为我国大学本科电气工程及其自动化专业教学必须解决的一个重要课题,这需要在专业基础理论与实验教学两个方面,针对第三代智能电网技术所涉及的相关专业知识体系进行更新与调整。

目前,大学本科电气工程及其自动化专业继电保护与自动装置的实验教学大多仍然是基于传统装置与实验设备的,相关实验教学内容与方法已难以满足培养现代电力系统专业技术人才的要求,为此本教程针对培养满足第三代智能电网技术发展要求的电气工程及其自动化专业人才之目标,在传统实验教学目标与内容的基础上,对相关内容进行了更新和调整,并开设《电力系统智能变电站综合自动化实验》课程,其重点在于围绕基于 IEC 61850 标准的智能变电站技术,结合现已广泛应用的智能变电站继电保护与自动装置相关原理,对实验项目进行重新设计,使学生系统地掌握基于第三代智能电网技术的实验技能,更好地理解 and 掌握相关理论基础知识,从而适应现代电力系统对工程技术人员素质的要求。

1.1 实验课程主要内容

《电力系统智能变电站综合自动化实验》课程围绕第三代智能电网继电保护与自动装置技术中与实验相关的理论、实验方法等相关部分进行了系统性的探讨,其主要内容包括基于智能变电站的电力系统继电保护与自动装置理论基础、智能变电站继电保护与自动装置工作原理、基于智能站的继电保护与自动装置实验项目等,通过这些内容的学习与实践,可使学生系统地掌握智能变电站继电保护与自动装置的实验测试技能,为全面掌握和理解第三代智能电网技术奠定基础。该课程的主要任务是通过讲课、讨论及实验操作等环节讲授现代电力系统继电保护及自动装置实验的基本理论与方法及分析解决实际问题的方法,使学生掌握智能变电站综合自动化系统继电保护及自动装置实验所需要的基础知识与技能,理解和掌握处理复杂电力系统专业问题的一般方法,为从事与电气工程技术相关的科研与生产工作打下良好的基础。

本教程是《电力系统智能变电站综合自动化实验》课程的实验教材和实验指导书,其主要内容围绕智能变电站输电线路及变压器最主要的保护原理设计了多个完整的实验项目,



并详细阐述了智能变电站继电保护与自动装置的相关理论基础和工作原理;实验项目中包含了输电线路过电流保护和零序电流保护、变压器差动保护和后备保护、自动减载等实验,另外,针对智能变电站系统设计了综合性故障实验,以进一步培养和训练学生的综合思维能力以及综合处理工程技术问题的能力,促进学生综合素质的提高。

1.2 实验课程教学目标

(1) 在本科生所学专业课的基础上,通过相关实验,对电力系统中的相关基础性问题 and 物理现象进行综合试验研讨,帮助学生将课堂上所学的专业理论知识与实践相结合,使学生进一步理解现代电能的生产、传输、分配和使用的原理和方法,掌握电力系统中的各种稳态和暂态特性、继电保护与自动装置相关的基础理论知识。

(2) 通过电力系统智能变电站综合自动化实验,引导学生综合运用所学知识,探讨电力科学研究的方法,培养学生的实际动手能力,使学生初步掌握试验研究方法、数据分析处理和撰写科学报告的能力,进一步提高综合应用及创新能力。

(3) 通过实验,使学生深入理解和掌握电力系统智能变电站继电保护与自动装置工作原理,以及相关软硬件装置在实际变电站自动化系统中的应用原理,学会理论联系实际的方法。

(4) 通过实验,使学生站在电力系统全局的高度,了解整个电力系统的构成、运行及故障机理,培养学生的独立思考与综合思维能力以及综合处理问题的方法,促进学生综合素质的提高。

1.3 实验要求

(1) 在进行电力系统智能变电站综合自动化实验前,学生首先应仔细阅读本实验教程,了解各个实验的目的、实验内容与步骤,根据实验内容预习相关基础理论知识。

(2) 熟悉电力系统智能变电站综合自动化系统实验室的一、二次设备和监控系统及布局,在教师的指导下根据实验项目和要求,独立地进行实验方案的设计(初期主要由指导教师进行),确定实验方法、具体操作步骤、拟定实验中所要求记录的信息数据表格等,在指导教师的指导下进行实验与研讨。

(3) 要求学生深入理解和掌握电力系统智能变电站继电保护及自动装置的基本工作原理,根据故障参数及继电保护与自动装置模型设计实验方案,并进行故障模拟及与继电保护装置相关的计算和实验操作。

(4) 学生应尽量独立地进行实验测试,实验完成后,实验者应根据实验过程整理实验数据,分析实验现象及结果,撰写并提交完整的实验报告;实验过程中必须听从指导教师的命令和安排,一定要注意人身及设备安全,严格按照操作要求使用设备。



1.4 考核办法

根据实验课程的基本要求,可选择灵活的实验考核办法。本书建议从以下方面进行考核:

(1) 课程学分

实验课程学分以本科教学方案为准。

(2) 平时考核

主要包括:认真态度、出勤、遵守纪律、动手能力、主动性、仪器设备操作正确性、实验结果正确性、爱护公物、讲究卫生、不烧损设备等方面。

(3) 实验报告

实验报告的主要要求:

- ① 实验报告中需详细阐述实验原理及实验方案;
- ② 在处理实验数据时,需给出实验数据的处理方法;
- ③ 详细给出实验数据处理结果(包括表格和图形);
- ④ 结合相关原理,给出实验结果的分析,对出现的实验现象进行分析和整理(包括必要理论推导与计算),说明产生实验现象的机理及原因;
- ⑤ 实验报告应该独立完成,不得抄袭相关资料和其他实验者的,一经发现实验成绩按不及格处理,并通报;
- ⑥ 实验报告须使用教师提供的标准实验报告模板进行撰写,否则视为无效。



2

智能变电站综合自动化实验理论基础

2.1 智能变电站与 IEC 61850 标准

变电站作为电力系统中变换电压、接受和分配电能、控制电能流向和调整电压的电力设施,在电力系统中已广泛应用。其主要作用是改变电压等级,控制和分配电能,实现电能经济、灵活且远距离输送给用户使用的目的。随着科学技术的发展与进步,特别是工业自动化技术的融合,到上世纪末,自动化技术在变电站中已普遍应用,从而形成了变电站综合自动化系统。然而,随着计算机技术、电子技术及通信技术的发展,这种传统变电站已难以满足电能生产、输送、分配之可靠、智能、低碳、集成的要求。为此,人们提出了以基于先进传感、通信、控制、计算、仿真技术的电网智能化调度和运行控制技术为基础的第三代智能电网技术。针对以智能电网技术为基础的智能变电站技术,国际电工委员会(IEC, International Electrotechnical Commission)第 57 技术委员会于 2003 年正式颁布了应用于变电站通信网络和系统的国际标准 IEC 61850 标准,作为基于网络通信平台的变电站通用的国际标准。IEC 61850 标准吸收了 IEC 60870 系列标准和 UCA(Utility Communication Architecture, 公用通信体系结构)标准的经验,同时吸收了很多先进的技术,其应用范围并不局限于变电站内,还运用于变电站与调度中心之间以及各级调度中心之间,对保护和控制等自动化产品和变电站自动化系统(SAS, Substation Automation System)的设计与应用产生了深远的影响。我国也于 2004 年颁布了对应的中文版 DL/T 860—2004 标准,并在国内大规模推广应用,其主要应用形式是遵循 IEC 61850 标准的全数字化智能变电站为代表。

按照 IEC 61850 标准的定义,所谓智能变电站(Intelligent Substation)是指采用先进、可靠、集成、低碳、环保的智能设备,以全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化为基本要求,自动完成信息采集、测量、控制、保护、计量和监测等基本功能,并可根据需要支持电网实时自动控制、智能调节、在线分析决策、协同互动等高级功能,实现与相邻变电站、电网调度等互动的变电站。

智能变电站内的设备,依据其所处功能和地位,国际电工委员会(IEC)将各类设备归属到过程层、间隔层和站控层等这三个层次,并在 IEC 61850 标准中引入以太网通信技术到过程层,提供了智能变电站从开关、主变、电子式电流互感器和电压互感器等一次设备开始,向上到整个变电站全面数字化的技术方案,其典型结构如图 2.1 所示。

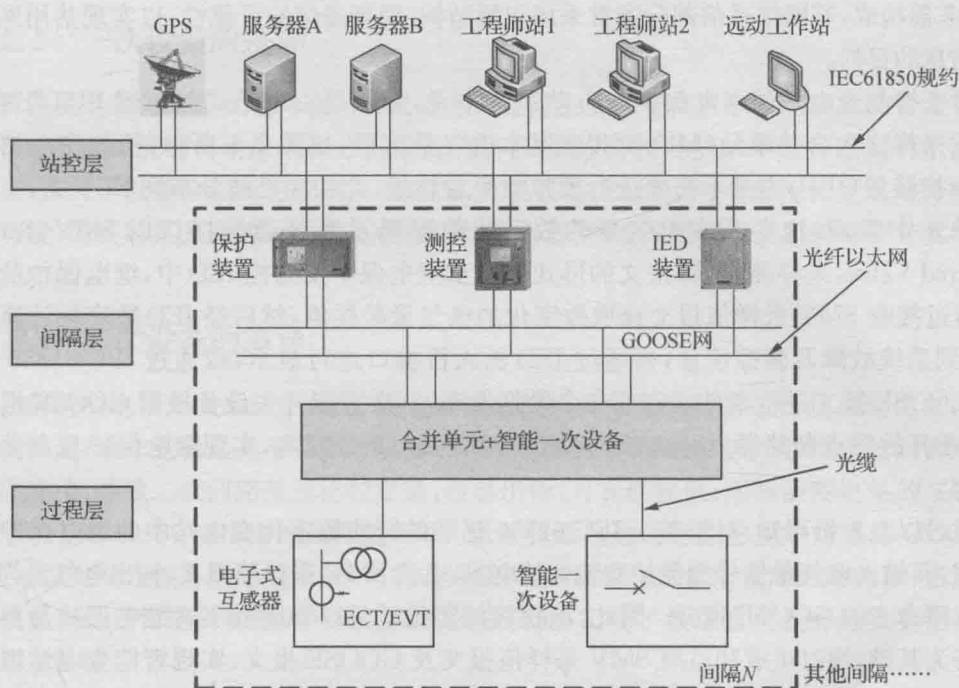


图 2.1 智能变电站自动化系统结构图

过程层:由电子式互感器 ECT/EVT (Electronic Current Transducer/Electronic Voltage Transducer, 电子式电流互感器/电子式电压互感器)、合并单元(MU, Merging Unit)、智能终端(或智能操作箱)等构成,它们与一次设备相配合完成相关的功能,主要包括实时电气量的采集、设备运行状态的监测、控制命令的执行等。目前,智能变电站内实现开关、刀闸的控制功能和上送开关、刀闸的状态信号等功能主要是通过智能操作箱实现的,相关信息以开关量报文的形式上送到智能设备,其通信报文格式通常为面向通用变电站事件对象的 GOOSE (Generic Object Oriented Substation Events, 面向通用对象的变电站事件)报文,而 GOOSE 报文的定义主要是参照 IEC 61850 标准第八部分的规定。合并单元完成对电子式互感器同步采样的控制和收集,并按照 IEC 61850-9-1 和 9-2 标准通过光纤以太网提供给间隔层的 IED(Intelligent Electronic Device, 智能电子设备)使用。

间隔层:包括测控保护装置、计量装置、录波装置、规约转换装置等,实现保护与测控功能。其主要功能是:汇集本间隔过程层的实时信息,实施对一次设备保护控制、间隔操作闭锁、同期及其他控制等功能;其中,数据采集、统计运算及控制命令等信息的发布功能是具有优先级别控制能力的;作为智能变电站三层结构中的中间层,同时高速完成与过程层及变电站层(站控层)的网络通信功能。

站控层:是整个智能变电站自动化系统的顶层;站控层包括变电站自动化系统站级的监视控制系统、站域控制、通信系统和定时系统等,实现对全站设备的监视、控制、告警及信息交互功能,完成数据采集和监视控制(SCADA, Supervisory Control And Data Acquisition)、操作闭锁以及同步相量采集、电能量采集、保护信息管理等相关功能。站控层可由多台计算



机、服务器构成,其网络通信部分通常采用双网结构,提高通信的可靠性,以实现共用网络和共享信息的目的。

对于智能变电站的继电保护与自动装置来说,基础是由电子式互感器 ECT/EVT 进行数据采样送入合并单元(MU)而得到基本电气量数据,如图 2.1 所示;智能变电站的保护与测控装置(IED)本身不需要进行模拟数字量转换,此功能已被分布到 ECT/EVT 以及合并单元中实现,这些基本电气量的数字化数据通过光纤通信接口以 SMV(Sampled Measured Value,采样测量值)报文的形式传输至继电保护及测控 IED 中,继电保护及测控 IED 通过接收 SMV 采样值报文获取数字化的电气量采样值,然后经 IED 数字化计算处理后,得到系统故障及测控信息,再通过 IED 的人机接口进行显示,或通过 IEC 61850 通信接口 GOOSE 报文进行事件状态或命令数据发布,一次智能开关设备根据 GOOSE 报文的命令,断开故障点断路器,切除故障点,使故障设备与系统脱离,实现继电保护与自动装置的功能。

通过以上分析可知,对于基于 IEC 61850 标准的智能数字化变电站中的继电保护与自动装置,其输入电气量信号为保护安装处的电压、电流 SMV 采样值报文,输出电气量为发出切除故障命令的 GOOSE 报文。因此,本教程的实验就是以智能数字式继电保护及自动装置设备为基础,通过生成和监测 SMV 采样值报文及 GOOSE 报文,实现智能变电站继电保护与自动装置原理及功能的实验与测试。

2.2 基于 IEC 61850 变电站与传统变电站的联系与区别

电力系统智能变电站综合自动化实验是以智能变电站综合自动化实验系统为依托的,是基于 IEC 61850 标准的智能变电站自动化系统,其与传统变电站在体系结构、通信标准、运行机理等方面有着重要的不同,为了更好地理解实验的基本原理,有必要深入理解其与传统变电站的联系与区别。

基于 IEC 61850 标准的智能变电站与传统变电站的联系与区别主要有以下几个方面:

2.2.1 变电站基本结构的差异

常规变电站的监控系统通常由间隔层和站控层两层构成,且结构层次并不分明,由于没有统一建模,存在着多种信息标准,接口种类多样且兼容性差;保护与测控装置与传统一次设备通过电缆连接,二次电缆的布线繁复、回路众多;而智能变电站按照功能定位分为过程层、间隔层和站控层三个独立但又相互紧密联系的层次,其中的过程层主要由电子式互感器(ECT/EVT)、合并单元、智能操作箱等构成,它们与一次设备相互配合完成相关的功能;间隔层包括保护测控、计量、录波、规约转换等装置,实现保护与测控的主要功能。站控层包括以远程通信和外部通信为主的站域控制通信系统、调度指挥系统及电力用户职能管理系统等,实现整个系统监控与信息共享。



2.2.2 一次设备的差异

智能变电站与传统变电站在一次设备上的差异主要体现在状态监测功能的智能化特征上。智能变电站能够自动采集和分析设备的状态信息,并将分析结果上传以实现信息交互与共享,扩大了设备自诊断的范围及准确性,方便设备的运行维护;而传统变电站并不具备以上功能,需要对其关键的一次设备(断路器、变压器等)增设相应状态监测功能单元才能实现相关功能。

2.2.3 二次设备的差异

在传统变电站二次系统中,保护装置所需的模拟量信息和设备运行状态等信息需要通过电缆传送,动作逻辑是基于在多个装置之间传递的启动和闭锁信号,各设备之间需用大量的电缆连接,导致二次回路接线比较复杂,容易出错、可靠性较低;而智能变电站的二次设备 IED 采用 IEC 61850 标准中的采样值 SMV 服务和面向通用对象的变电站事件 GOOSE 服务,通过以太网连接各间隔层设备,完成电流量、电压量和开关量信息的网络共享,借助虚端子完成保护的逻辑和相关间隔之间的闭锁功能,实现了真正意义上的全数字化数据采集与信息传输。

2.2.4 信息数字化基础的差异

智能变电站实现了部分或全站的信息传输的数字化、通信平台的网络化和信息共享的标准化,并且智能变电站采用了分布式网络建模和状态评估技术,将传统的“集中式的控制中心模式”改造为“分布式的变电站状态监测模式”,通过变电站内的实时信息高度冗余的先天优势,将信息误差消除在变电站内。采用标准化的配置工具实现对变电站设备和数据的统一建模及通信配置,实现变电站数据采集与信息的高度集成;而常规变电站则最多只是局部的数字化,通信平台缺乏统一的标准,信息化程度较低。

2.2.5 设备互操作性的差异

基于 IEC 61850 标准智能变电站的一个重要特征就是体现在设备的互操作性方面。在传统变电站中,来自同一厂家或不同厂家的 IED 设备由于通信协议及所使用的标准不同,设备之间的信息交互与协同操作的能力是很弱的,兼容性也很差,从而影响到整个系统的性能;而基于 IEC 61850 标准的智能变电站通过面向对象技术将变电站的自动化功能进行分解,使之变为更小的功能模块,且可灵活分布配置到各个 IED 上,实现了功能分布式配置及互操作的便利,为智能化功能的实现奠定了坚实的基础。

由此可见,鉴于智能变电站与传统变电站在体系结构、通信标准、运行机理等方面的差异,基于智能变电站的继电保护与自动装置实验必须按照符合 IEC 61850 标准的定义对实验系统构建、实验项目、实验方法及实验步骤进行设计,以满足智能变电站继电保护与自动装置实验的要求。



2.3 电力系统科学实验研究方法

电力系统的研究方法可以概括为理论分析和科学实验两种途径。显然,理论分析能够阐述电力系统的基本规律,但是,由于电力系统的复杂性,仅有理论分析是不够的,相关理论分析需要必要的实验验证,只有与实验验证相结合,才能够全面探索电力系统中的各种现象和问题,并找到有效解决相关技术问题方法。因此,电力系统科学实验的方法和手段是必不可少的。电力系统的科学实验可以在真实的电力系统中进行(即原型系统),也可以在模拟系统中进行。然而,由于原型系统受到诸多条件限制,特别是一些对系统稳定性和可靠性可能造成严重影响的实验是不能够在原型系统中进行的,否则可能造成重大损失。因此,电力系统模拟实验(即模型实验)是电力系统科学实验的主要手段之一。

电力系统的模型实验方法主要有数学模拟(即数字仿真)和物理模拟(实物模拟)两种,其中电力系统动态模拟是电力系统物理模拟的主要方法,是进行电力系统分析和研究的重要方法之一。随着计算机技术、电子技术及通信技术的发展,以先进传感、通信、控制、计算、仿真技术的电网智能化调度和运行控制技术为基础的第三代智能电网技术已在我国大规模推广应用,其主要应用形式是以全数字化智能变电站为代表,遵循的主要标准为 IEC 61850 标准。对于智能变电站中继电保护及自动装置原理所涉及的专业知识,实验研究方法与传统方法有着重要区别,其实验方法的实质是数学模拟与物理模拟相结合的混合模拟方法。

2.3.1 数学模拟方法

电力系统的数学模拟就是利用数学模型对电力系统进行研究,也称为数字仿真或数字模拟;数学模型是建立在电力系统数学方程式的基础上,即在一定的假设条件下,根据系统中的各种物理现象,利用前人的理论基础,用一组数学方程式来描述原型系统的运动或过渡过程,其本质是采用数学方法在数字计算机或计算装置上对真实电力系统的物理特征进行实时动态模拟与再现。

2.3.2 物理模拟方法

电力系统的物理模拟就是利用物理模型对电力系统进行物理模拟,通常称为电力系统动态模拟。物理模型是根据相似原理建立的一套忠实于原系统的物理本质、各项参数按一定比例缩小或者放大的模型,在模型上所反映的物理过程与实际系统中的物理过程相似。对于电力系统动态模拟,由于物理模型与实际系统只是参数按比例缩小,而模型上的物理过程和原型的物理过程具有相同的物理实质,所以,电力系统动态模拟也就是电力系统在实验室内的复制品的模拟,能够真实模拟电力系统中的各种现象。

2.3.3 基于智能电网的数字与物理混合模拟

基于 IEC 61850 标准的智能电网数字与物理混合模拟就是利用数学模型及物理模型相