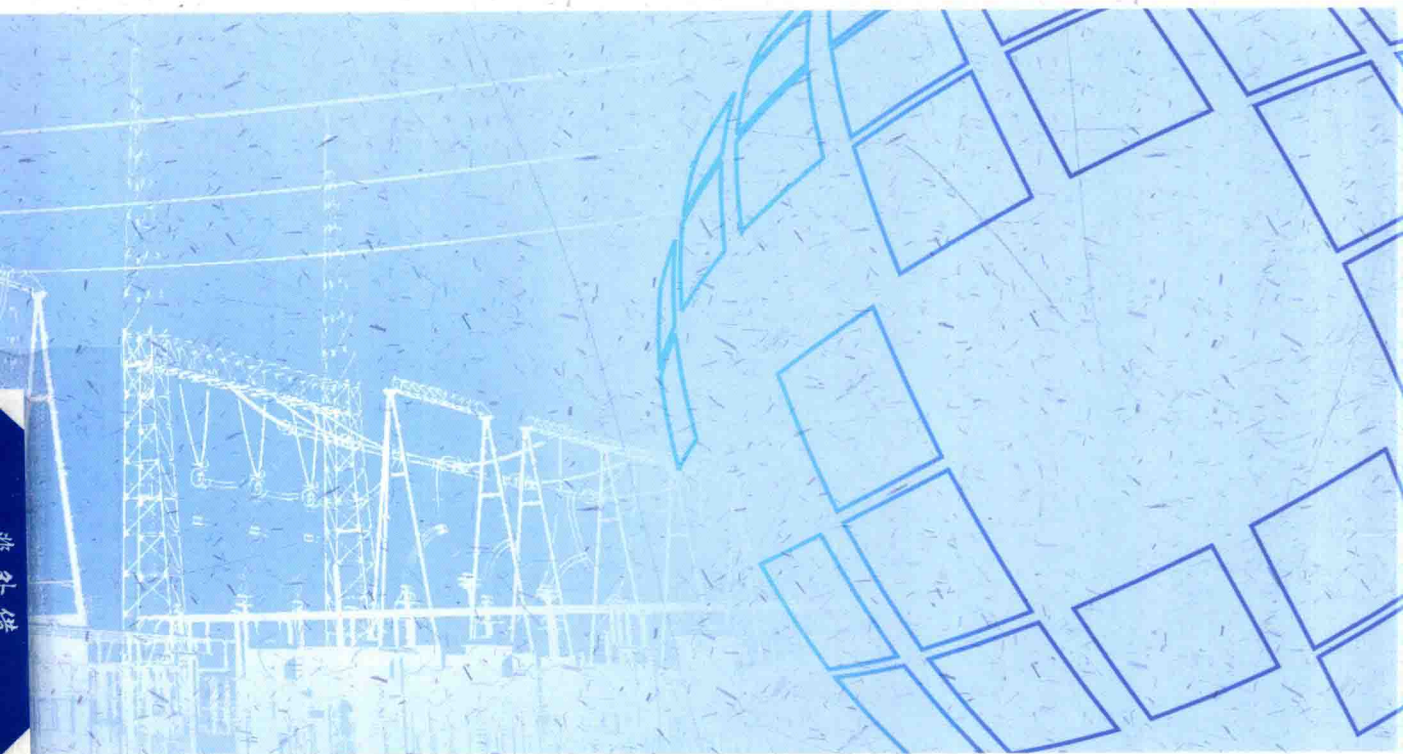


DIANZISHI HUGANQI YUANLI YU SHIYONG JISHU

电子式互感器 原理与实用技术

主 编 肖智宏

副主编 罗苏南 宋璇坤 于文斌 刘东伟



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

DIANZISHI HUGANQI YUANLI YU SHIYONG JISHU

电子式互感器 原理与实用技术

主 编 肖智宏

副主编 罗苏南 宋璇坤 于文斌 刘东伟



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

电子式互感器是国内外电力行业翘首期待的一种先进的电力测量设备,其技术发展将为电力系统带来诸多变革。我国智能电网全面建设开启了电子式互感器工程应用的序幕,电子式互感器的实用化又持续推动了互感器的技术进步。

本书共分为10章,包括概述,有源电子式互感器,无源光学互感器,中低压电子式互感器,特种电子式互感器,合并单元,电子式互感器工程应用方案、试验与调试、运维与检修,工程案例。本书总结了电子式互感器设备研制和工程应用中取得的创新成果,建立了以基础原理、设备制造、设计方案和检测运维为重点的完备的电子式互感器实用技术体系,对推动我国电子式互感器的理论研究、技术应用和工程建设具有重要的参考价值。

本书可供从事电子式互感器研究与设计工作的专家学者、工程技术人员阅读,也可供高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子式互感器原理与实用技术 / 肖智宏主编. —北京: 中国电力出版社, 2018.11
ISBN 978-7-5198-2414-3

I. ①电… II. ①肖… III. ①互感器 IV. ①TM45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 212153 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 马 青 (010-63412784, 610757540@qq.com)

责任校对: 黄 蓓 太兴华

装帧设计: 张俊霞

责任印制: 石 雷

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

版 次: 2018 年 11 月第一版

印 次: 2018 年 11 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张: 21.75

字 数: 540 千字

印 数: 0001—2000 册

定 价: 105.00 元



版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

《电子式互感器原理与实用技术》

编 委 会

主 编 肖智宏

副 主 编 罗苏南 宋璇坤 于文斌 刘东伟

编写组成员 韩 柳 陈旭海 余宏伟 肖 浩

张国庆 李建光 陈 盼 卢 为

陈 启 谷松林 周 源 徐 明

李震宇 刘有为 易永辉 叶国雄

须 雷 王贵忠 黄宝莹 闫培丽

刘 颖 于 熙 刘亚辉 李永兵

刘文轩 庄 博 李建华 吕铭镐

史京楠 李深旺 程 嵩 刘博阳



序

电子式互感器是电网的新生事物，它做两件事情。第一件事是“测”，就是测量电流或电压，这是互感器的原本功能；第二件事是“传”，就是将电流或电压信息传输到信息网络中，这是电子式互感器的特有功能。可以将电子式互感器理解为是具有物联功能的互感器。如果认为智能电网是物联网的电网体现，电流和电压是电网最重要的运行物理量，那么就会同意电子式互感器是智能电网关键设备的说法。

作为智能电网的关键设备，电子式互感器的普及应用对智能电网建设具有重要意义。目前看来，距离这个目标还有一段路要走。应用实践表明，电子式互感器出现的技术问题都不是颠覆性的，假以时日都是能够解决的。在电力界相关单位和人员的共同努力下，电子式互感器一定会有灿烂的明天。

实用化的电子式互感器要具备长期运行的可靠性，就是要“用得住”。运行情况表明，与常规互感器相比，电子式互感器故障率较高，尚未达到预期，一个重要原因是电子式互感器含有电子部件。电子式互感器不仅使电子部件走入了一次设备，而且还从户内走到了户外。提高复杂环境下电子部件的运行可靠性是电子式互感器实用化必须解决的技术问题。令人高兴的是，在研制、试验、生产和运行人员的共同努力下，电子式互感器的运行可靠性得到了不同程度的提高，可靠运行了7年的整站工程已经出现。

实用化的电子式互感器应该具有更高的测量精度，就是要“测得准”。常规互感器的稳态工频测量精度还是令人满意的，但是暂态精度差强人意。暂态测量准确且迅捷的电子式互感器是显著提高电网保护装置可靠性和速动性的关键。基于已有测量原理的“技术改良”可以提高测量精度。如罗柯夫斯基线圈电流互感器，测量原理还是法拉第电磁感应原理，但由于用空心线圈代替了铁芯线圈，有效解决了测量故障大电流时的磁路饱和问题。采用全新测量原理的“技术革命”可以提高测量精度。如基于法拉第磁致旋光效应的光学电流互感器，不仅不存在电磁式电流互感器的磁路饱和问题，而且在原理上没有测量频带问题，具有理想的暂态测量精度。

实用化的电子式互感器必须满足电网一次设备集成化的需求，就是要“组得成”。在传统意义上，互感器是独立的电网一次设备。电网一次设备集成是智能电网的重要发展方向，要求电子式互感器丧失独立性，“寄生”在高压开关、组合电器等其他一次设备上，共用绝缘甚至省去绝缘，恢复其“传感器”的本来面目。

电子式互感器的实用化还需要运行及维护人员了解和掌握必要的电子式互感器原理和相

关技术。本书面向电网运行及维护人员，从类别、原理、技术、标准、试验、应用等方面对电子式互感器实用化技术进行了理论联系实际的、全面系统的阐述。

本书的写作人员均来自电子式互感器研究、生产、试验和使用的第一线，有着较高的学术与技术水平；主编肖智宏博士对不均匀磁场环境光学电流传感理论和技术进行过深入系统的研究。本书聚合了写作人员对电子式互感器的理解和体会。本书的出版对提高电子式互感器的运行维护水平是一件很有意义的事情，感谢写作团队的辛勤付出。



2018 年 10 月于北京



前 言

随着我国新能源的大规模开发利用,能源生产消费的再电气化转型,我国电网已经发展为具有广泛互联、智能互动、灵活柔性、安全可控、开放共享等特征的新一代电力系统。在交直流混联、电力电子化特征明显的新型电力系统中,需要研究传统电气设备的适应性,以期能够适应智能电网的发展要求。电流、电压互感器是电网测量的重要设备,为继电保护、安全稳定控制、同步相量测量、调度 SCADA、电能计量等提供基础的电流电压数据,其可靠性与精度在电网中占有举足轻重的地位。常规电磁型互感器存在诸如暂态测量准确度低、绝缘安全性差、体大笨重、存在磁路饱和和铁磁谐振等缺点。而电子式互感器具有无磁路饱和、绝缘性能好、动态范围大、频率响应宽、可准确测量暂态信号、消除铁磁谐振、数字化输出等优点。目前电子式互感器在直流工程中已作为首选方案普遍应用,但在交流电网中应用不多。但随着特高压远距离输电以及交直流混联电网的发展,对继电保护速动性、动态监测宽频性、暂态录波准确性提出了更高要求,电子式互感器可为保护控制设备提供快速、准确的暂态量电流和电压,从而可提升互联电网抵御故障的能力。发展小型化、轻量化电气设备是智能电网建设的重要方向,电子式互感器体积小、重量轻,更容易与高压电器一体化集成设计,从而可推动变电站更加节能、节材、节地。电力电子化特征下的智能电网,要求互感器对谐波具有较强的适应性,电子式互感器无磁路饱和现象,可以准确监测宽频、高次谐波,是多谐波源背景下理想的测量设备。虽然目前电子式互感器在长期运行可靠性方面还有待进一步检验,但因其具有理想互感器的诸多优点,越来越引起国内外的广泛关注,未来有望成为电磁型互感器的替代产品。

一、电子式电流电压传感测量技术取得重大突破

电子式互感器是国内外电力行业领域翘首期待的一种电力设备,将带来诸多变革,自 1963 年世界上第一台电子式电流互感器“Tracer”在美国问世以来,电子式互感器的发展已经经历了半个多世纪。在发展进程中,有源电子式互感器和无源光学互感器同时存在、共同发展。在不同的阶段,人们的关注重点不同。20 世纪 70 年代,由于存在高压侧供能等问题,有源电子式互感器未能实现实用化。直到 20 世纪 80 年代中期,激光技术和光电池技术的发展使得利用高压侧激光供能成为可能,以空心线圈为代表的有源电子式互感器才得到快速发展。20 世纪 90 年代以后,有源电子式互感器的研究呈现多类型、多用途的发展趋势,取得了显著的研究成果,有源电子式互感器开始应用于换流站等场合,并逐步与封闭组合电器和断路器集成设计。基于法拉第磁光效应的无源光学电流互感器的研究从磁光玻璃型开始,1967 年由日本东京大学的学者研制。20 世纪 70 年代中后期,随着对光纤的各种物理特性研究的不断深入,英国电力研究中心提出了全光纤光学电流互感器,但受困于光纤的固有双折射问题。于是,研究者的重点又转向了磁光玻璃型光学电流互感器。从 20 世纪 80 年代开始,随

着温度补偿理论和方法的发展,磁光玻璃型光学电流互感器的研究进入突破性发展期,其标志性成果是1986年在美国田纳西州161kV电网中挂网运行。20世纪90年代中期,随着特种光纤技术的发展,光纤传感新结构和抑制双折射的研究取得了进展,全光纤光学电流互感器再次引起了研究者的关注,在此期间成立的加拿大NxtPhase公司成为全光纤电流传感技术领域的领跑者,并逐步推出了实用化的全光纤电流互感器及与其他设备组合的产品。

我国电子式互感器的研究始于20世纪70年代,早期主要是跟随国外技术研究,研究人员主要是以高校为主。进入21世纪,许多企业单位和科研院所加入到研究中,电子式互感器的研究逐步实现产业化,出现了一批生产电子式互感器的企业,产学研结合使我国电子式互感器技术取得了长足进步。目前我国已在电子式互感器的高精度测量技术、温度稳定性提升技术、抗外磁场干扰技术和抗外部振动干扰技术等关键技术方面取得了多项自主知识产权,并在运行规模和运行数量上国际领先,取得了丰富的现场运行和维护经验。

二、智能电网发展推动电子式互感器的工程应用

我国2009年启动了智能电网建设,智能变电站作为智能电网的重要环节,自2011年开始全面推广建设,智能变电站以数字化采集、网络化传输、智能化分析、模块化建设为特征,电子式互感器因数字化、易集成的优点,在智能变电站中得到大量应用,截至2017年底,交流电子式互感器在我国的应用数量达到3500台。目前电子式互感器在直流换流站中已处于主导地位,但在交流变电站中尚处于试点示范阶段,且交流电网比直流电网具有更广阔的应用空间。在中低压配电网中,因电子式互感器体积小,便于在现有屏柜中加装,适应配电自动化改造要求,也开始了小范围的应用。针对有高频、宽频、暂态大电流及暂态电压等特殊测量要求的冶金、可控核聚变等特种工业用户,具有动态范围大、频率响应宽、故障响应快等特征的特种电子式互感器也得到了一定应用。

“在科学上没有平坦的大道”,电子式互感器在实用化进程中也暴露出诸多问题,科研人员不停地改进电子式互感器技术,使其满足长期可靠运行的需求。近10年电子式互感器的研究工作着重解决了制约其实用化的测量准确度、温漂影响、电磁兼容、抗外部振动以及有源供能等问题,完善了设备功能,提高了设备质量;同时,通过制定更为严格的技术及检测标准,推动企业改进产品设计与元器件制造工艺,提高了电子式互感器长期运行的稳定性,电子式互感器也逐渐被用户认可与接受。

三、本书的特色和亮点

本书总结了编写组历年研究成果,建立了以基础原理、设备制造、设计方案和检测运维为重点的电子式互感器完整的实用技术体系。本书包含有源、无源电子式电流和电压互感器,囊括了在交流变电站、直流换流站、中低压配电网、特种环境等各类场景的工程应用,实现了各类型、全电压、多用途电子式互感器全覆盖。围绕推动电子式互感器实用化,本书系统分析了电子式互感器的4大类关键技术、35个难点解决方案、13个工程应用实例。本书深入浅出地阐述了基本原理、分析了技术演进、提出了实用化解决方案、展望了发展趋势,对推动电子式互感器从理论研究向工程应用,指引未来电子式互感器科学发展具有指导意义。

本书可供从事电子式互感器研究与设计工作的专家学者、工程技术人员阅读。全书共分10章。第1章介绍了电子式互感器的发展背景、技术分类和标准体系;第2章介绍了有源电子式互感器的整体结构、传变特性及其一次转换器,重点论述了高精度测量、温度稳定性提升、电磁干扰防护、可靠性设计与制造工艺4项关键技术;第3章介绍了无源光学互感器的

整体结构、传变特性及其二次转换器，重点论述了小电流精确测量、高次谐波精确测量、温度稳定性提升、抗外磁场干扰、抗外部振动、状态监测、高可靠性设计与制造工艺 7 项关键技术；第 4 章介绍了中低压电子式互感器的整体结构、传变特性及其一次转换器，重点论述了温度稳定性提升、安全使用、环氧树脂浇注制造工艺 3 项关键技术；第 5 章介绍了脉冲大电流、工频大电流有源空心线圈互感器，直流大电流、宽频大电流无源全光纤互感器，无源光学电压互感器 5 类典型特种电子式互感器的参数结构和技术特征等；第 6 章介绍了电子式互感器接口装置合并单元的功能特征、整体结构、关键技术、接口协议和工程应用等；第 7 章论述了在交流变电站、直流换流站和中低压配电网 3 种典型场景中电子式互感器的工程设计方案；第 8 章介绍了交流、直流电子式互感器试验标准与调试要求；第 9 章介绍了交流、直流电子式互感器检修操作、巡视维护要求；第 10 章对不同形式和用途的 4 类实例工程进行分析。

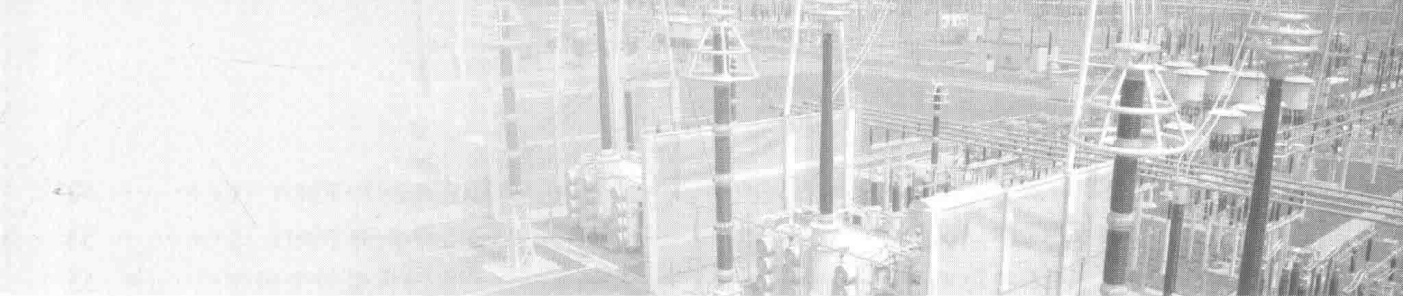
本书由国网经济技术研究院有限公司组织编写，第 1 章由于文斌、张国庆、肖智宏编写，第 2 章由罗苏南、卢为、肖智宏编写，第 3 章由刘东伟、肖浩、肖智宏、于文斌、于熙编写，第 4 章余宏伟、陈启编写，第 5 章由肖浩、李建光、余宏伟编写，第 6 章由宋璇坤、谷松林编写，第 7 章由陈旭海、陈盼、肖智宏、闫培丽编写，第 8 章由王贵忠、刘颖、刘文轩编写，第 9 章由韩柳、刘亚辉、黄宝莹编写，第 10 章由谷松林、卢为、余宏伟、肖浩编写。全书由肖智宏统稿。

本书在编写期间得到国家电网公司、南瑞继保电气有限公司、武汉和沐电气有限公司、北京世维通光智能科技有限公司、易能乾元（北京）电力科技有限公司、中国电力科学研究院有限公司、南瑞科技股份有限公司、许继电气股份有限公司、北京四方继保自动化股份有限公司、ABB（中国）有限公司、哈尔滨工业大学、华中科技大学、浙江大学、北京交通大学、中国电建集团福建省电力勘测设计院有限公司、中国能源建设集团辽宁电力勘测设计院有限公司、中国电建集团河北省电力勘测设计研究院有限公司等单位的大力支持与无私帮助，在此深表感谢。本书中还参考了其他学者的部分论著，在此也向这些学者表示由衷感谢。此外，对在本书编写过程中给予大力支持的中国电力出版社马青编辑表示由衷感谢。

由于本书编写工作量大、时间仓促，难免存在不足之处，希望广大专家和读者批评指正。

编 者

2018 年 10 月



目 录

序
前言

第 1 章 概述	1
1.1 电子式互感器的发展背景	1
1.1.1 电力系统对互感器的需求	1
1.1.2 电子式互感器的优点	2
1.2 电子式互感器的发展历程	4
1.2.1 电子式电流互感器的发展	4
1.2.2 电子式电压互感器的发展	14
1.2.3 直流电子式互感器的发展	18
1.3 电子式互感器的分类	20
1.3.1 电子式电流互感器的分类	21
1.3.2 电子式电压互感器的分类	23
1.3.3 电子式电流电压组合互感器	24
1.4 电子式互感器的标准体系	25
1.4.1 电子式互感器的基本概念	25
1.4.2 电子式互感器的通用结构	25
1.4.3 电子式互感器的输出说明	26
1.4.4 电子式互感器的误差定义	28
1.4.5 电子式互感器的标准介绍	30
1.5 电子式互感器的应用研究	33
1.5.1 电子式互感器的应用情况	33
1.5.2 电子式互感器的关键技术	35
参考文献	38
第 2 章 有源电子式互感器	42
2.1 有源电子式互感器的整体结构	42
2.1.1 有源交流电子式互感器	42
2.1.2 有源直流电子式互感器	47
2.2 有源电子式互感器的传变特性	49
2.2.1 有源交流电子式互感器	49

2.2.2	有源直流电子式互感器	52
2.3	有源电子式互感器的一次转换器	55
2.3.1	基本功能	55
2.3.2	供能方式	56
2.3.3	安装方式	57
2.4	高精度测量技术	58
2.4.1	交流电流传感器高精度测量技术	58
2.4.2	交流电压分压器高精度测量技术	61
2.4.3	直流电流分流器高精度测量技术	63
2.4.4	直流电压分压器高精度测量技术	64
2.5	温度稳定性提升技术	65
2.5.1	空心线圈温度稳定性技术	65
2.5.2	低功率线圈温度稳定性技术	66
2.5.3	电压分压器温度稳定性技术	67
2.6	电磁干扰防护技术	68
2.6.1	电磁干扰的实现途径	68
2.6.2	电磁干扰的综合防护	69
2.6.3	空心线圈的电磁干扰防护	71
2.7	可靠性设计与制造工艺	73
2.7.1	一次转换器的可靠性设计	73
2.7.2	光纤复合绝缘子制造工艺	74
	参考文献	76
第3章	无源光学互感器	78
3.1	无源光学互感器的整体结构	78
3.1.1	无源交流光学互感器	78
3.1.2	无源直流光学互感器	82
3.2	无源光学互感器的传变特性	83
3.2.1	无源全光纤光学电流互感器	83
3.2.2	无源磁光玻璃光学电流互感器	90
3.2.3	无源电光晶体光学电压互感器	95
3.2.4	无源全光纤光学电压互感器	97
3.3	无源光学互感器的二次转换器	98
3.3.1	全光纤光学电流互感器	98
3.3.2	磁光玻璃光学电流互感器	103
3.4	小电流精确测量技术	104
3.4.1	噪声源的影响	104
3.4.2	噪声特性分析	106
3.4.3	提高信噪比方法	107
3.5	高次谐波精确测量技术	110

3.5.1	FOCT 传递函数模型	111
3.5.2	FOCT 提升带宽方法	113
3.6	温度稳定性提升技术	115
3.6.1	光源管芯温度控制	116
3.6.2	FOCT 一次传感器温度自补偿	117
3.6.3	FOCT 二次转换器温度软补偿	117
3.6.4	MOCT 自愈光学电流传感技术	118
3.7	抗外磁场干扰技术	119
3.7.1	离散环路磁场积分	119
3.7.2	零和御磁屏蔽技术	121
3.7.3	零和御磁结构设计	122
3.8	抗外部振动技术	123
3.8.1	FOCT 光路结构抗振技术	123
3.8.2	MOCT 共模差分消振技术	124
3.9	状态监测技术	125
3.9.1	光源管芯温度	125
3.9.2	光源发射光功率	127
3.9.3	探测器接收光功率	128
3.9.4	相位调制器半波电压	129
3.9.5	传感环工作温度	131
3.10	高可靠性设计与制造工艺	133
3.10.1	高圆双折射光纤拉制	133
3.10.2	保偏光纤显微对轴熔接	134
3.10.3	磁光传感单元非接触光连接	135
	参考文献	136
第 4 章	中低压电子式互感器	139
4.1	中低压电子式互感器的特点与应用模式	139
4.1.1	中低压电子式互感器的特点	139
4.1.2	中低压电子式互感器的应用模式	140
4.2	中低压电子式互感器的整体结构	143
4.2.1	中低压电子式电流互感器	143
4.2.2	中低压电子式电压互感器	145
4.2.3	中低压电子式电流电压组合互感器	146
4.3	中低压电子式互感器的传变特性	148
4.3.1	电流传感方式与空心线圈设计	148
4.3.2	电压传感方式与分压器的设计	151
4.3.3	中低压零序电压测量方法	153
4.3.4	中低压一次传感器补偿法	153
4.4	中低压电子式互感器的一次转换器	154

4.4.1	基本功能	154
4.4.2	积分器的时间常数	155
4.4.3	光电线性隔离技术	157
4.5	温度稳定性提升技术	158
4.5.1	环氧浇注互感器的温升分析	158
4.5.2	内接采样电阻温升控制技术	159
4.5.3	一次传感器的温升控制技术	160
4.5.4	电阻分压器的温升控制技术	161
4.6	安全使用技术	161
4.6.1	电流互感器的等电位技术	161
4.6.2	电压互感器的接地点选择	162
4.7	环氧树脂浇注制造工艺	163
4.7.1	环氧树脂浇注的方式类别	163
4.7.2	环氧树脂浇注的工艺过程	164
	参考文献	165
第5章	特种电子式互感器	166
5.1	特种电子式互感器的特点与应用模式	166
5.2	特种脉冲大电流有源空心线圈互感器	168
5.2.1	高频空心线圈的参数与结构设计	168
5.2.2	高频空心线圈的积分信号处理	174
5.3	特种工频大电流有源空心线圈互感器	178
5.3.1	分布式空心线圈的结构设计	179
5.3.2	分布式空心线圈的测量准确度	180
5.4	特种直流大电流无源全光纤互感器	181
5.4.1	大电流非线性误差修正方法	182
5.4.2	在线安装的外卡式结构设计	185
5.5	特种宽频大电流无源全光纤互感器	185
5.5.1	全光纤电流互感器的动态响应模型	186
5.5.2	全光纤电流互感器的宽频测量特性	187
5.6	特种无源光学电压互感器	190
5.6.1	特种高频光学电压互感器	190
5.6.2	自愈式光学电压互感器	191
5.6.3	分布式光学电压互感器	192
	参考文献	193
第6章	合并单元	195
6.1	合并单元的功能特征	195
6.2	合并单元的整体结构	196
6.2.1	硬件结构	196
6.2.2	软件结构	198

6.3	合并单元的关键技术	199
6.3.1	合并单元采样处理	199
6.3.2	合并单元采样同步	201
6.3.3	合并单元时钟同步	203
6.4	合并单元的接口协议	205
6.4.1	与电子式互感器的接口协议	205
6.4.2	与二次设备的接口协议	206
6.5	合并单元的工程应用方案	210
6.5.1	技术参数与设备选型	210
6.5.2	交流变电站典型配置方案	212
6.5.3	直流换流站典型配置方案	214
	参考文献	218
第7章	电子式互感器工程应用方案	220
7.1	交流电子式互感器	220
7.1.1	技术参数与设备选型	220
7.1.2	有源交流电子式电流互感器	223
7.1.3	无源磁光玻璃光学电流互感器	231
7.1.4	无源全光纤光学电流互感器	234
7.1.5	无源光学电压互感器	237
7.1.6	交流变电站典型配置方案	238
7.2	直流电子式互感器	242
7.2.1	技术参数与设备选型	242
7.2.2	有源直流电子式电流互感器	245
7.2.3	无源直流光学电流互感器	248
7.2.4	直流电压分压器	251
7.2.5	直流换流站典型配置方案	255
7.3	中低压电子式互感器	256
7.3.1	技术参数与设备选型	256
7.3.2	开关柜用电子式互感器	260
7.3.3	柱上断路器用电子式互感器	262
7.3.4	配电网工程典型配置方案	263
7.4	电子式互感器的输出接口	265
7.4.1	输出接口的参数设置	265
7.4.2	输出接口的技术要求	266
7.5	电子式互感器的接地设计	267
7.5.1	电子式互感器接地的技术特征	267
7.5.2	电子式互感器接地的功能分类	267
7.5.3	电子式互感器接地的设计方案	268
	参考文献	270

第 8 章	电子式互感器试验与调试	272
8.1	整体试验	272
8.1.1	试验分类	272
8.1.2	准确度试验	274
8.1.3	温升试验	276
8.1.4	振动试验	278
8.2	交流电子式互感器相关试验	279
8.2.1	测量级准确度试验	279
8.2.2	保护级准确度试验	280
8.2.3	复合误差和暂态性能试验	281
8.2.4	长期性能带电考核试验	282
8.2.5	暂态电磁干扰试验	283
8.3	直流电子式互感器相关试验	284
8.3.1	测量准确度试验	284
8.3.2	极性反转试验	285
8.3.3	阶跃响应试验	285
8.3.4	频率响应试验	286
8.4	现场检验与调试验收试验	287
8.4.1	电子式互感器的现场检验	287
8.4.2	电子式互感器的调试试验	288
8.4.3	电子式互感器的验收试验	288
	参考文献	289
第 9 章	电子式互感器运维与检修	291
9.1	交流电子式互感器	291
9.1.1	运行维护影响	291
9.1.2	设备检修与操作	292
9.1.3	设备巡视与维护	294
9.2	直流电子式互感器	297
9.2.1	运行维护影响	297
9.2.2	设备检修与操作	298
9.2.3	设备巡视与维护	300
	参考文献	302
第 10 章	工程案例	304
10.1	智能变电站工程案例	304
10.1.1	新一代智能变电站示范工程	304
10.1.2	许昌皓月 220kV 智能变电站	308
10.1.3	朝阳何家 220kV 智能变电站	310
10.2	直流输电工程案例	312
10.2.1	沂南特高压换流站工程	313

10.2.2	厦门柔性直流输电工程	316
10.3	中低压配电网工程案例	318
10.3.1	开关柜用电子式互感器	318
10.3.2	环网柜用电子式互感器	319
10.3.3	充气配电设备用电子式互感器	320
10.3.4	柱上开关用电子式互感器	321
10.3.5	接地故障指示器用电子式互感器	322
10.4	特种电流测量工程案例	322
10.4.1	某电石冶炼炉工程	323
10.4.2	某 600kA 电解铝工程	324
10.4.3	某超导托卡马克实验装置	325
	参考文献	327
	索引	328



第1章 概 述

电子式互感器作为电网的基础测量设备，经历了长达半个多世纪的发展，在理论、技术和应用方面取得了丰硕的研究成果。本章介绍了电子式互感器的发展背景、分类和标准的相关内容，对电子式互感器的发展历程进行了回顾。首先从电力系统对互感器的需求角度介绍了发展电子式互感器的必要性以及电子式互感器的优势，并对电子式互感器进行分类和说明；然后对电子式电流互感器、电子式电压互感器和电子式直流互感器的国内外研究现状和技术发展历程进行了回顾，对电子式互感器现有标准的部分概念和定义进行解读，并简要介绍了电子式互感器新标准的发展情况和对旧标准的替代关系；最后介绍了电子式互感器在我国智能变电站的应用情况以及在产品制造和使用过程中需要重点关注的关键技术。电子式互感器易于数字输出，天然绝缘，便于寄生安装，是互感器未来的发展方向。

1.1 电子式互感器的发展背景

1.1.1 电力系统对互感器的需求

互感器是电力系统中不可缺少的重要测量设备，包括电流互感器（Current Transformer, CT）和电压互感器（Voltage Transformer, VT）。它们实现了一次与二次系统的电气隔离，将高压侧的大电流或高电压变换为低压侧的小电流或低电压，为电力系统的继电保护、电能计量和测量控制提供所需的电流和电压信息。

长期以来，具有优良品质的互感器一直是世界电力工程与学术界研究的热点。随着智能电网建设的全面展开，我国将加快建设以特高压电网为骨干网架，各级电网协调发展，具有信息化、数字化、自动化、互动化特征的统一的坚强智能电网，这使得传统互感器因其自身传感机理的原因难以适应现代电网建设的需要。

从电力系统发展和需求的角度考虑，理想的互感器应同时满足以下几方面的要求：

（1）测量准确度满足电能计量要求——稳态测量品质。电力系统电能计量要求稳态测量准确度必须达到 0.2 级或 0.2 级以上。现代工业的发展，特别是随着电力电子技术的发展，电力电子设备的增多导致电网谐波含量较大，理想的电流互感器还应同时具有较高的谐波测量准确度，以满足电能质量测量和监控的需要。

（2）具有良好的动态测量能力——动态测量品质。动态测量品质是推动电流互感器研究的重要驱动力，良好的动态测量品质是保证电力系统安全、稳定和可靠运行的需要：

1) 提高继电保护正确动作率和动作速度的需要。电力系统的飞速发展对继电保护不断提出新的要求，电子技术、计算机技术与通信技术的飞速发展又为继电保护技术的发展不断地