

袁宇波 高磊 卜强生 宋亮亮 编著



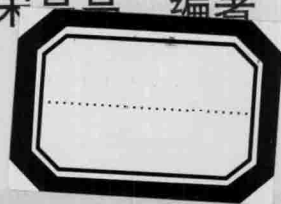
智能变电站

集成测试技术与应用



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

袁宇波 高磊 卜强生 宋亨亨 编著



智能变电站

集成测试技术与应用



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书基于国家电网公司、国网江苏省电力公司重点科技项目“智能变电站集成测试技术及工程应用”、“智能变电站闭环动态仿真及规约测试技术”、“智能变电站标准化及工程应用”的研究成果,从智能变电站技术特点出发,分析测试流程、测试内容、测试方法等方面的变化,系统阐述集成测试过程中的各种测试新方法。

本书共分10章,分别为概述、智能变电站集成测试、智能变电站组态配置及工程应用、智能变电站功能性测试技术、电子式互感器及合并单元校验技术、智能变电站对时同步测试技术、智能变电站实时动态闭环仿真测试技术、智能变电站网络信息安全测试与评估、智能变电站二次回路监测技术及安全隔离措施、工程应用。

本书可为工程调试人员的系统集成测试工作提供技术指导,同时也可供从事系统技术管理、运行、检修等专业人员以及高校、科研单位、制造厂商学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能变电站集成测试技术与应用/袁宇波等编著. —北京:中国电力出版社, 2013. 12

ISBN 978 - 7 - 5123 - 5256 - 8

I. ①智… II. ①袁… III. ①变电所 - 智能技术 - 系统测试 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 286042 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013年12月第一版 2013年12月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 17.75印张 400千字

印数0001—3000册 定价49.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

随着智能变电站进入全面建设和深入应用阶段，迫切需要对智能变电站测试模式和方法进行全面而深入地总结，并不断探索高效的测试新方法、研发便捷的测试新工具，以满足智能变电站大规模建设和安全运行的要求。

本书以智能变电站集成测试流程为主线，在总结、分析现有测试水平的基础上提出了一些创新测试方法和工具。本书在编写过程中吸收了大量智能变电站工程建设和运行维护的宝贵经验，其中主要包括国网首座新建 220kV 西泾智能变电站以及 500kV 玉山变电站、500kV 常熟变电站、500kV 天目湖变电站、500kV 西津渡变电站、220kV 广汇变电站、110kV 何桥变电站等的系统集成测试、现场调试和缺陷处理的经验总结，同时结合多个科技项目的研究成果，从智能变电站中测试环节的变化和特点入手，提出了系统集成测试的概念和必要性，重点介绍了系统组态配置、单体测试、分系统测试的具体方法，详细阐述了电子式互感器、数据同步、动态仿真、信息安全等专项性能测试方法，并以实际工程为依托，介绍了 500、220kV 和 110kV 电压等级典型智能变电站的特色及工程测试重点和方法。

智能变电站技术是一个渐进发展的过程，集成测试的模式和方法也处于不断发展的过程中，本书对现有智能变电站建设模式和应用技术提出相应的测试方法，目的是为目前智能变电站的有序建设和安全运行提供技术保障，为今后智能变电站测试技术发展提供一些经验借鉴，也为电力系统中技术管理、试验、运行、检修等专业人员提供有价值的参考。

本书由国网江苏省电力公司电力科学研究院相关技术人员编著，同时还参阅了有关文献资料、相关国家标准与规程、技术说明书等。在此，对涉及有关单位及作者表示衷心的感谢。

本书共分为 10 章，第 1 章概述由袁宇波、卜强生、刘珂、王业编写；第 2 章智能变电站集成测试由高磊、卜强生、陈久林、宋爽编写；第 3 章智能变电站组态配置及工程应用由高磊、袁宇波、彭志强、崔晓祥编写；第 4 章智能变电站功能性测试技术由宋亮亮、张小易、曾飞、贾晓辉编写；第 5 章电子式互感器及合并单元校验技术由卜强生、嵇建飞、李修金编写；第 6 章智能变电站对时同步测试技术由卜强生、黄浩声、邓洁清、张帆编写；第 7 章智能变电站实时动态闭环仿真测试技术由宋亮亮、李鹏、刘一丹编写；第 8

章智能变电站网络信息安全测试与评估由卜强生、黄伟、杨毅、郭雅娟编写；第9章智能变电站二次回路监测技术及安全隔离措施由卜强生、张佳敏、马长征编写；第10章工程应用由卜强生、宋亮亮、杨明、刘孝刚编写。

由于时间仓促，作者水平有限，书中难免有疏漏和不足之处，恳请读者批评指正。

作者
2013.10

目 录

前言

1 概述	1
1.1 智能变电站基本概念及特点	1
1.2 智能变电站技术特征	4
1.3 智能变电站建设现状及发展趋势	12
1.4 智能变电站测试环节	15
2 智能变电站集成测试	20
2.1 集成测试的提出	20
2.2 集成测试的一般流程	21
2.3 集成测试的重点项目	23
2.4 全景取代集成测试新模式	24
3 智能变电站组态配置及工程应用	33
3.1 SCL 文件的基本结构	34
3.2 SCL 文件与 IED 通信的关系	39
3.3 组态配置的一般过程	50
3.4 SCD 文件的语义校验	58
3.5 SCL 文件的比对方法	59
3.6 SCD 文件与调试的接口	64

4 智能变电站功能性测试技术 70

4.1 虚端子概念 70

4.2 设备单体测试 72

4.3 分系统测试 76

5 电子式互感器及合并单元校验技术 84

5.1 电子式互感器介绍 84

5.2 合并单元介绍 97

5.3 合并单元性能测试 102

5.4 准确度校验 107

5.5 额定延时测试 112

5.6 极性检查 115

5.7 特殊性试验 118

5.8 合并单元电磁骚扰问题 119

6 智能变电站对时同步测试技术 124

6.1 变电站时间系统 124

6.2 采样同步方式 128

6.3 采样同步测试 142

6.4 基于一次升流技术的同步测试技术 152

6.5 基于精确对时的远程同步测试技术 157

6.6 智能变电站对时测试 161

7 智能变电站实时动态闭环仿真测试技术 165

7.1 闭环仿真测试系统 165

7.2 闭环仿真测试方案 175

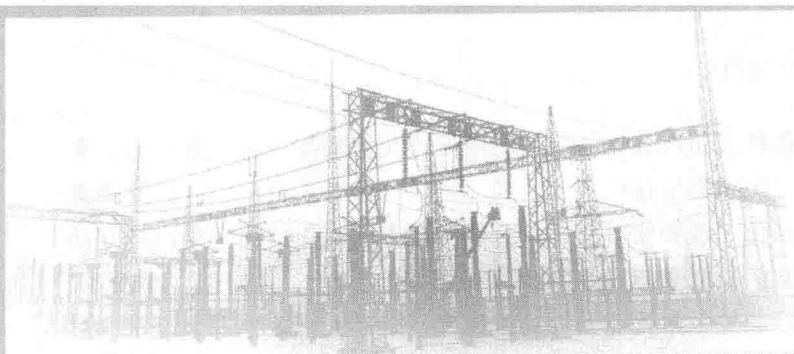
8 智能变电站网络信息安全测试与评估 178

8.1 智能变电站网络系统测试 178

8.2 电网信息安全现状分析 182

8.3 智能变电站信息安全风险评估 187

8.4	智能变电站信息安全测评·····	191
8.5	智能变电站信息安全防护建议·····	196
9	智能变电站二次回路监测技术及安全隔离措施·····	198
9.1	二次回路命名规范·····	198
9.2	二次设备软压板优化配置及可视化技术·····	201
9.3	智能变电站安全隔离措施·····	206
9.4	基于无源光纤开关的二次安全隔离措施·····	208
10	工程应用·····	214
10.1	500kV 天目湖变电站·····	214
10.2	500kV 西津渡变电站·····	230
10.3	220kV 西泾变电站·····	245
10.4	110kV 何桥变电站·····	261
	参考文献·····	270



概 述

智能变电站是智能电网建设中实现能源转换和控制的核心平台之一，是智能电网的重要组成部分，也是衔接智能电网发电、输电、变电、配电、用电和调度六大环节的关键，在技术和功能上能更好地满足智能电网信息化、自动化、互动化的要求。国家电网公司智能电网规划报告变电环节发展目标中提出：“设备信息和运行维护策略与电力调度实现全面互动，实现基于状态的全寿命周期综合优化管理。枢纽及中心变电站全面建成或改造成为智能化变电站，实现全网运行数据的统一采集、实时信息共享以及电网实时控制和智能调节，支撑各级电网的安全稳定运行和各类高级应用。”网络通信技术、传感器技术、信息技术的发展，促进传统的变电站向智能变电站的转变。多座智能变电站的建成投运，大幅提升变电站设备智能化水平和设备运行可靠性，实现无人值班和设备操作的自动化，提高资源使用和生产管理效率，使运行更加经济、节能和环保。

1.1 智能变电站基本概念及特点

1.1.1 基本概念

智能变电站是采用先进、可靠、集成、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。它通过采用先进的传感、信息、通信、控制、人工智能等技术，建立全站所有信息采集、传输、分析、处理的数字化统一应用平台，实现变电站的信息化、自动化、互动化。智能变电站是随着智能电网概念的提出而一并提出的，与智能电网密切相关，是智能电网最重要、最关键的“终端”，承担为智能电网提供数据和控制对象的功能。

常规变电站中各个子系统基本是一个信息的孤岛，相互之间并没有充分的联系。随着新型传感技术、网络技术等的普及及 IEC 61850《变电站通信网络和系统》统一规约的应

用,智能变电站首要任务是将各种应用以统一的规约通信方式交互到统一的信息平台,来实现信息资源共享,并将一、二次状态信息统一应用到一体化的信息平台中去,最终实现变电站的信息化、自动化、互动化。随着变电站内信息数字化、网络化、统一化以及互动化高级应用的实现,智能变电站的研究重点是要攻克变电设备自诊断、智能化一次设备、站域及广域保护控制系统、支持调控一体化业务等关键技术,以及大幅减少占地面积,显著提升安全性、可靠性、经济性,建设“运行安全可靠、系统高度集成、结构布局合理、装备先进适用、经济节能环保”的智能变电站,实现变电站技术、设备从有到优的创新发展。远景的智能变电站将以“推动技术变革、展示理念创新”为重点,围绕“新型设备、新式材料、新兴技术”,构建以电力电子技术为特征的“一次电、二次光”的新一代智能变电站,可实现电能快速灵活控制,具备交直流混供功能,从整个电网性能出发,构建以超导技术为特征的“高容量、低损耗、抗短路”新一代智能变电站,增大传输容量、降低网损、降低电网故障短路电流。

智能变电站采用先进技术与设备,强调优化系统结构与功能,其根本是服务于应用,从业务需求出发,把技术问题、经济问题、管理问题统筹考虑,实现对三态数据(稳态数据、暂态数据、动态数据)的统一采集和处理,提高智能电网对全景信息的感知能力,提高高级应用的深度和广度,从而实现自动化、互动化的目标。

1.1.2 主要特点

1. 通信规约标准化

传统变电站二次设备缺乏统一的信息模型规范和通信标准,为实现不同厂家设备的互连,必须设置大量的规约转换器,增加了系统复杂度和设计、调试和维护的难度;各种功能需建设各自的信息采集、传输和执行系统,增加了变电站的复杂性和成本。

智能变电站的所有智能设备均统一按 IEC 61850 建立信息模型和通信接口,设备间可实现无缝连接。各类设备按统一的通信标准接入变电站通信网络,实现信息共享,不需为不同功能建设各自的信息采集、传输和执行系统,减少了软硬件的重复投资,实现了设备间的互操作,以及信息的共享,甚至为设备的互换性提供了条件。

在此基础上还可建立基于全站信息的数据中心和面向对象的故障录波分析平台。真正建立电力系统运行分析“黑匣子”,为事故分析的可追忆提供完整数据支撑。

2. 光缆取代电缆,提高传输可靠性

传统变电站的二次设备与一次设备之间、二次设备相互之间采用电缆进行连接,电缆感应电磁干扰和一次设备传输过电压可能引起的二次设备运行异常,长电缆的电容耦合干扰以及二次回路两点接地都可能造成继电保护误动作。

智能化变电站与常规站相比增加了过程层网络,通过合并单元、智能终端实现就地采集与控制,光缆取代了传统变电站的大量长电缆。取消了传统 TA、TV 的大功率输入回路,避免电缆带来的电磁兼容、传输过电压、两点接地和负载匹配等问题,从根本上解决抗干扰问题,提高传输可靠性。

3. 高压设备智能化

高压设备智能化是智能变电站的重要特征，也是智能变电站区别于常规变电站的主要标志之一。目前，智能变电站通过配置合并单元和智能终端进行就地采样控制，实现高压设备的测量数字化、控制网络化；通过传感器与设备的一体化安装实现设备状态可视化。通过对各类状态监测后台的集成，建立设备状态监测系统，为状态检修和校验自动化、远程化提供了条件。

4. 电子式互感器

电子互感器相比传统互感器具有体积小、抗饱和能力强、线性度好等优势；可避免传统互感器铁磁谐振、绝缘油爆炸、六氟化硫泄漏、TA 断线导致高压危险等固有问题；同时能够节约大量铁芯、铜线等金属材料，更符合智能变电站低碳环保的设计理念。在高压等级，电子互感器与传统互感器相比具有明显的经济性；在低电压等级，则采用常规互感器配以合并单元实现就地采集数字化，具有更好的经济性。现阶段智能变电站中，以采样值的就地数字化为目的，提倡互感器的选择兼顾技术先进性与经济性。

5. 功能集成，设备简化

采样控制就地化及信息的网络化传输，使二次设备采样、执行机构简化，促进了装置集成。例如，110kV 及以上电压等级的保护测控一体化装置、网络化故障录波的应用，减少了二次设备的数量。同时，也促进了设备接口的规范和简化。智能变电站通过 GOOSE 方式实现各保护装置之间信息的交互、跳合闸出口等，原有传统的端子概念消失，取而代之的是 GOOSE 虚端子，通过虚端子的逻辑连线实现保护装置之间的配合。端子排及电缆接线简化为光口及光缆连接。由于逻辑回路取代了大量的继电器回路，以往的保护功能投退及跳闸出口等硬压板，也可被软压板取代，相应功能由软件内部的控制字设置来实现，也促进了装置硬件的简化。

此外，交直流一体化电源系统实现站内电源各类系统的一体化设计、配置、监控，减少了蓄电池数量，简化了跨屏接线，实现了统一管理，达到高效、可靠控制整个变电站站用电的目的。智能辅助控制系统的建立，解决了常规变电站缺乏全面的环境监视，依赖人工巡检，辅助系统孤立，无智能告警联动，管理难度大等问题。减少了辅助系统的人工干预，减少了误判误动，达到了对变电站辅助系统实行智能运行管理的目的。

6. 调试手段变革，自动化程度提高

随着智能变电站全站信息数字化的推进，标准规约、模型的统一，接线的简化及接口标准化，变电站自动化系统的硬件回路将逐渐减少，以往大量的二次电缆连接模式演变成了虚端子、虚回路的配置。相比于传统变电站围绕着纸质图纸，智能变电站围绕着 SCD 文件，设计和系统集成将逐渐融合，设计可以直接提交出包含全站模型信息的 SCD 文件并提供给各设备厂商，供其直接导入，完全避免了原先对照图纸、依靠人力进行信息输入和现场接线的弊端，从而在工程实施这个关键环节体现智能变电站的魅力和价值，实现“最大化工厂工作量，最小化现场工作量”。

随着设备交互信息的数字化，智能变电站调试越来越多的依赖于软件化的工具实现信息监测、检查，调试的自动化水平不断提高，调试正确性得到保障。

7. 提高运行自动化水平,降低全寿命周期成本

智能变电站采用智能一次设备,所有功能均可遥控实现。通信系统传输的信息更完整,通信的可靠性和实时性都大幅度提高。变电站因此可实现更多、更复杂的自动化功能,提高自动化水平。一次设备、二次设备和通信网络都可具备完善的自检功能,可根据设备的健康状况实现状态检修。在此基础上,还可以开发出完全实用化的故障自动分析及程序化操作软件。

变电站的设备间信息交换均按照统一的 IEC 61850 通过通信网络完成,变电站在扩充功能和扩展规模时,只需在通信网络上接入符合相应国际标准的设备,无需改造或更换原有设备,保护用户投资,减少变电站全寿命周期成本。

智能变电站的各种功能的采集、计算和执行分布在不同设备实现。变电站在新增功能时,如果原来的采集和执行设备已能满足新增功能的需求,可在原有的设备上运行新增功能的软件,不再需要硬件投资。

8. 精简设备配置、优化场地布置

在安全可靠、技术先进、经济合理的前提下,智能变电站的总布置遵循资源节约、环境友好的技术原则,结合新设备、新技术的使用条件,实现配电装置场地和建筑物布置优化。例如,常规变电站为了减少电缆、提高抗干扰能力,在配电装置现场设置多个继电器小室;智能变电站中智能设备(智能终端、电子式互感器)的使用使二次测控保护与现场的长电缆大量减少,因此可根据变电站的配电装置型式、规模等因素尽量减少继电器小室的数量。

结合设备整合,通过优化设备布置和建筑结构,与相同规模的常规变电站相比,智能变电站可实现占地面积和建筑面积的减少。由于少量光缆替代大量电缆,连接介质的减少,可缩小智能变电站内电缆沟截面,减少敷设材料,实现电缆沟的优化。

1.2 智能变电站技术特征

智能变电站作为电力网络的节点,同常规变电站一样需连接线路、输送电能,实现变换电压等级、汇集电流、分配电能、控制电能流向、调整电压等功能。此外,智能变电站能够完成比常规变电站范围更宽、层次更深、结构更复杂的信息采集和信息处理,变电站内、变电站与调度(调控)中心之间、变电站与变电站之间、变电站与大用户和分布式能源的互动能力更强,信息的交换和融合更方便快捷,控制手段更灵活可靠。

智能变电站有以下技术特征:

(1) 可靠性高。智能变电站除了关注站内设备及变电站本身可靠性外,更关注自身的自诊断和自治功能,做到设备故障提早预防、预警,并可以在故障发生时,自动将设备故障带来的供电损失降低到最小程度。

(2) 一次设备智能化。随着基于光学或电子学原理的电子式互感器、智能变压器和智能断路器的技术成熟和应用推广,常规模拟信号和控制电缆将逐步被数字信号和光纤代替,测控保护装置的输入/输出均为数字通信信号,变电站通信网络进一步向现场延伸,

现场的采样数据、开关状态信息能在全站甚至广域范围内共享,甚至一次设备自身具备监测、保护、控制的功能,实现真正意义智能化。

(3) 二次设备集成化。通过一、二次设备的融合和集约化设计,从整体上可以简化硬件配置,提升智能组件功能的一体化程度,二次设备应进一步实现小型化,采用合并单元智能终端一体化装置、多功能测控装置,减少装置数量,简化二次电缆布线;应用层次化保护控制系统,突破间隔化保护控制的局限性,实现站域后备保护和站域智能控制策略。

(4) 全站信息网络化。实现一、二次设备的灵活控制,且具备双向通信功能,能够通过信息网进行管理,满足全站信息采集、传输、处理、输出过程完全数字化,最终构建“两层一网”的系统结构,为智能变电站之间、变电站与调控主站端的数据交互提供传输通道。

(5) 信息共享标准化。基于 IEC 61850 的统一标准化信息模型实现了站内外信息共享。智能变电站将统一和简化变电站的数据源,形成基于同一断面的唯一性、一致性基础信息,通过统一标准、统一建模来实现变电站内的信息交互和信息共享,可以将常规变电站内多套孤立系统集成成为基于信息共享基础上的业务应用。

(6) 高级应用互动化。实现各种站内外高级应用系统相关对象间的互动,服务于智能电网互动化的要求,提供面向主站的实时数据服务和远程数据浏览,满足主厂站信息交互的“告警直传、远程浏览、数据优化、认证安全”的新要求,支撑调控一体化的业务需求,实现变电站与多级调度(调控)中心之间、变电站与变电站之间、变电站与用户之间和变电站与其他应用需求之间的互联、互通和互动。

1.2.1 IEC 61850 通信技术体系

IEC 61850 是目前关于变电站自动化系统及其通信的国际标准,它的全称是“Communication networks and system in substations”,即变电站通信网络和系统,它的技术特点是对变电站的通信进行信息分层、面向对象建模、统一的描述语言和抽象服务接口,它有区别于常用的通信协议,如 TCP/IP 协议、IEC 60870-5-101 和 IEC 60870-5-104,它们只规定了报文的格式和内容。

20 世纪 80 年代,微机远动设备取代了常规远动设备,通信标准从 1985 年开始使用 CDT、Polling、现场总线等十几种协议,到现在通信协议逐渐统一到 IEC 60870-5-101^①、IEC 60870-5-103^②、IEC 60870-5-104^③ 等这几个标准,这也是通信、计算机技术的发展给变电站自动化系统带来的必然结果。网络技术的出现也将给变电站自动化系统带来根本性的改变,必须要有一种适合于百兆、千兆以太网的变电站传输规约技术,IEC 61850 由于采用了面向对象建模、自描述的方式、抽象通信服务接口(ACSI)和特殊通信

① IEC 60870-5-101《远动设备及系统 第 5-101 部分 传输规约 基本远动任务配套标准》。

② IEC 60870-5-103《远动设备及系统 第 5-103 部分 传输规约 继电保护设备信息接口配套标准标准》。

③ IEC 60870-5-104《远动设备及系统 第 5-104 部分 传输规约 采用标准的传输层文件集的 IEC 60870-5-101 的网络访问》。

服务映射 (SCSM) 技术, 使其比其他标准更具生命力, 实现了变电站内不同厂家智能电子设备 (IED) 之间的互操作和信息共享, 同时 IEC 61850 能为智能变电站的一次设备状态监测提供有效的标准。

1.2.2 信息传输网络化

智能变电站采用典型的三层两网结构, 层与层之间采用网络进行信息交互, 过程层与间隔层之间采用光纤网络通信, 间隔层与站控层之间采用光纤网络或常规双绞线网络。智能变电站与常规变电站增加了过程层网络, 通过合并单元、智能终端实现就地采集与控制的数字化, 数字信号通过光纤网络传输至间隔层保护、测控等设备, 光缆取代了常规变电站大量的长电缆, 避免了电缆带来的电磁兼容、传输过电压和两点接地等问题, 从根本上解决抗干扰问题, 提高传输可靠性。由于一根光纤中可以传输大量的网络信息, 因此智能变电站设备之间物理连接关系大大简化。信息传输网络化使设备之间的信息交互变得抽象, 没有明确的可断开点, 装置内部通过软件实现软压板, 取消了原有的硬压板。

1.2.3 新型传感器技术

互感器是电力系统中用于电能计量、继电保护、测量的重要设备之一。电子式互感器的绝缘性能和暂态特性优良, 消除了磁饱和, 能承受高水平的动热稳定, 可适应强电磁环境, 这是常规互感器不可比拟的优势。随着电压等级的升高, 其综合优势更加明显, 而且电子式互感器是智能变电站实现信息化的关键技术。

电子式电流互感器采用低功耗线圈 (LPCT)、罗氏线圈或光学材料作为一次传感器; 电子式电压互感器采用电阻/电容分压器或光学材料作为一次传感器, 利用光纤进行信号传输, 通过对测量电量的信号处理, 实现数字量或模拟量的输出。

电子式互感器区别于常规的互感器, 由连接到传输系统和二次转换器的一个或多个电流或电压传感器组成, 用于传输正比于被测量的量, 供测量仪器、仪表和继电保护或控制装置使用。在数字接口的情况下, 一组电子式互感器共用一台合并单元完成此功能。合并单元可以是互感器的一个组成件, 也可以是一个分立单元, 例如装在控制室内。

1. 电子式电压互感器

电子式电压互感器主要基于常规的电分压原理和光学传感原理。电分压原理的电子式电压互感器主要由电容、电感、电阻三种分压器件组成; 光学传感原理的电子式电压互感器主要由基于电光 Pockels 效应、电网 Kerr 效应、逆电压效应的光学器件组成。

电力系统对电压互感器的稳定性与可靠性要求很高, 稳定性与可靠性是光学电压互感器所要解决的主要问题。美国、日本、法国等虽已研制出高至 765kV 的系列光学电压互感器, 但其稳定性与可靠性还未能达到实用化的要求。影响光学电压互感器稳定性与可靠性的主要是运行环境、振动、温度等因素, 目前智能变电站采用的是电分压原理的电子式电压互感器。

2. 电子式电流互感器

目前, 电子式电流互感器主要有三种, 其中信号转换电路典型的结构配置示意图如图

1-1 所示:

(1) 罗氏线圈 + LPCT。罗氏线圈和 LPCT 属于有源工作方式（即一次侧电路需要电源），敏感元件是空心线圈，与采集电路之间无任何隔离，属于“互感器”，LPCT 为低功耗线圈。

(2) 光学器件电流互感器。主要包括磁光玻璃型电流互感器和全光纤型电流互感器，其属于无源工作方式，敏感元件是磁光玻璃或光纤，与采集电路之间实现了完全的光隔离，属于“传感器”。

(3) 常规互感器 + 合并单元方式。这种方式是常规互感器的二次电流线圈直接接入到合并单元中，转换成数字量送到计量和保护装置，该方式比较适合常规变电站的智能化改造。

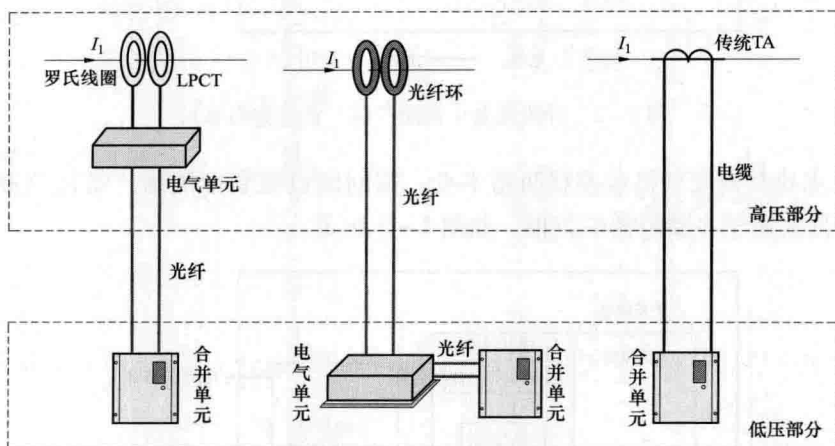


图 1-1 电子式电流互感器信号转换电路典型结构配置示意图

1.2.4 智能化一次设备

开关设备是输配电网络的基础设备，一般分为一次设备和辅助设备。一次设备即开关设备的高压部分，用于高压绝缘、载流和开合等；辅助设备即开关设备的低压部分，用于主元件的控制和监测，随高压部分分散安装。

一次设备例如断路器、隔离开关等高压部件，其技术已非常成熟，它们的故障率远低于控制设备的故障率。由于传统开关设备存在不足和电力系统高可靠性及自动化要求，加之电子技术的快速发展，智能开关设备应运而生。智能开关设备是指具有较高性能的开关设备和控制设备，配装有电子设备、变送器和执行器，不仅具有开关设备的基本功能，还具有附加功能，尤其是监测和诊断功能。目前，智能化一次设备是智能变电站技术体系中技术相对滞后的环节，大部分是在不改变现有一次设备本体结构或是改动较小（加装传感器等）的前提下，将智能终端作为一次设备的智能化接口，实现一次设备部分智能化功能。智能终端是一次设备的智能化接口设备，与一次设备采用电缆连接，与保护、测控等二次设备采用光纤连接。智能终端以 GOOSE 方式上传一次设备的状态信息，同时接收来自二次设备的 GOOSE 下行控制命令，实现对一次设备的实时控制功能。

从发展过程来看，智能化一次设备有以下三种表现形式：

(1) 机构执行器（如弹簧钳夹、液压阀即断路器的脱扣/合闸线圈、隔离开关或接地开关的电动机、弹簧或液压泵的电动机等）及其机电控制回路不变，按间隔设置智能终端、在线监测单元，分散安装于各断路器汇控柜，如图 1-2 所示。

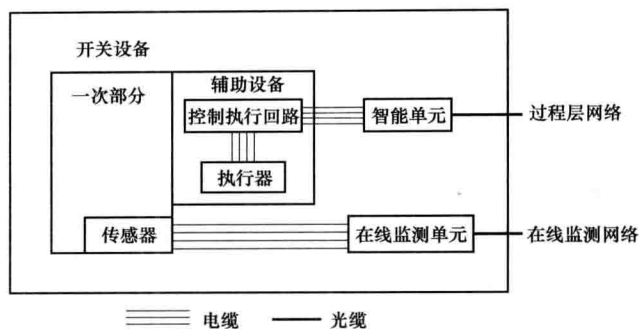


图 1-2 开关设备 + 智能终端 + 在线监测单元

(2) 机构执行器及其机电控制回路不变，按间隔设置智能终端，智能终端兼在线监测功能，分散安装于各断路器汇控柜，如图 1-3 所示。

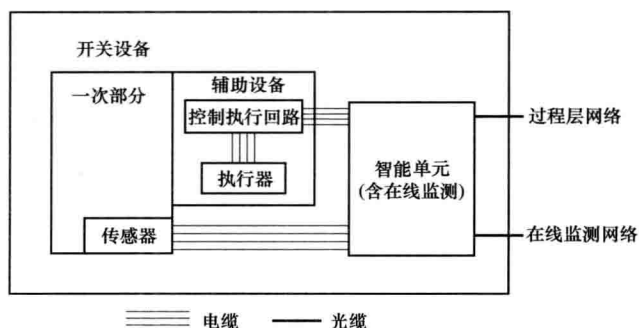


图 1-3 开关设备 + 智能终端（含在线监测单元）

(3) 机构执行器不变，取消其机电控制回路，开关机构集成智能终端，智能终端实现原机电控制回路功能，直接驱动断路器的脱扣/合闸线圈、刀闸的电动机、弹簧或液压泵的电动机等，智能终端兼在线监测功能，形成所谓智能机构，如图 1-4 所示。

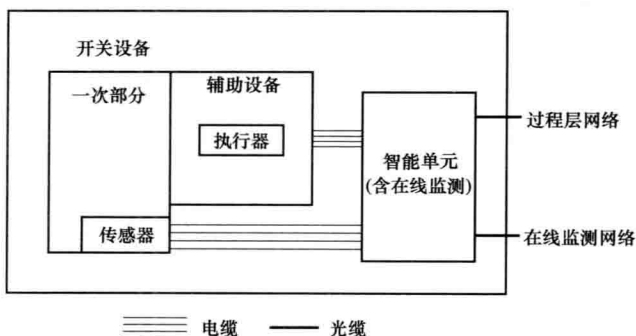


图 1-4 智能开关设备

为掌握开关设备的运行情况,采用在线监测技术,对开关设备进行监测,这不仅能够及时发现电气设备的早期缺陷,防止突发性事故发生,还可以减少不必要的停电检修,将某些预试项目在线化,避免传统试验对电气设备“过度检修”所造成的巨大损失,实现对设备运行状况的综合诊断。

1.2.5 一次设备智能状态监测

电力设备的劣化、缺陷的发展具有统计性和前期征兆,表现为电气、物理、化学等特性参量的渐进变化,通过传感器、计算机、通信网络等技术,及时获取设备的各种特征参量并结合专家系统软件进行分析处理,可对设备的可靠性作出判断,对设备的剩余寿命作出预测,从而及早发现潜在的故障,提高供电可靠性。在线监测的特点是可对处于运行状态的电力设备进行连续和随时的监测和判断,为电力设备的状态检修提供必要的判断依据。

过去对变压器、断路器等变电站一次设备普遍采用定期检修预试,即定期停电后进行预防性试验(离线)来掌握其信息以决定能否继续运行,存在需要停电、试验真实性和实时性差等缺点。随着技术的进步,出现了一些参数的在线监测技术,以变压器为例,目前对套管介损、铁芯电流、油中气体、局部放电、油中微水、热点温度、绕组变形等可实施在线监测技术,部分解决了停电试验的一些缺点,近年来已在此方面取得一定经验和成效,但仍存在诸如检测的参数不全、自成系统、相互兼容性差、不能统筹考虑、有时需要改动设备而实施困难等缺点,还不能保证全面、实时的反映设备的运行状况,且缺乏相应的标准。因此,目前的在线监测技术还不能满足智能变电站在线监测的要求。

1.2.6 物联网技术应用

物联网技术是物理世界通向逻辑世界的一条通途,通过物联网技术可以将物理世界无缝的映射到逻辑世界,是未来智能世界信息获取的主要技术手段。由大量多种类传感器节点组成的传感器网络是物联网的一种具体表现形式,实现更透彻、更细致的信息感知,对所获取的多维信息进行协同感知与处理,获取更可信的信息,为智能决策和智能行为提供准确的、可信的信息。

智能电网的实现,首先依赖于电网各个环节重要运行参数的在线监测和实时信息掌控,传感器网络作为“智能信息感知神经元”,将成为推动智能电网发展的重要技术手段。目前,智能电网对传感器网络技术的应用需求,也将进一步促进传感器网络的发展,促进其行业应用,形成新型产业链。

目前变电站配置的图像监视、安全警卫、火灾报警、主变压器消防、给排水、采暖通风等辅助生产系统,依然是各自独立的、不具备智能对话能力的小型自动化装置,形成多个信息孤岛,需要更多的人工来关注、理解和处理这些设备的信息,没有达到智能变电站的智能运行管理的要求。除了实现变电站的智能运行管理外,验证站内人员的动作行为,减少站内人员的人为工作量也应该是智能变电站的另一个体现。

利用物联网技术,通过对外界的感知,构建传感网监测网络,对影响变电站运行的因