



BIANDIANZHAN ZIDONGHUA JIQI XINJISHU



江智伟 主编

变电站 自动化及其新技术



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

变电站

自动化及其新技术

主 编	江智伟
副主编	提兆旭
参 编	史兴华
	周大平
	张志成



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内容提要

本书从工作实践出发,总结了多年来电力系统自动化技术的经验,参考了大量文献资料编写而成,反映了当前变电站自动化及其新技术。全书共分8章,主要内容有:变电站自动化系统;变电站自动化中其他关键技术及数据通信系统;微机保护的发展和新技术应用;微机线路保护及其新技术;微机变压器保护及其新技术;母线保护及其新技术等。

本书可供电力系统工程技术人员使用;有关专业高等院校师生可作为教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

变电站自动化及其新技术/江智伟主编. —北京:中国电力出版社, 2006

ISBN 7-5083-3677-1

I. 变... II. 江... III. 变电所-自动化技术 IV. TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 126860 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 1 月第一版 2006 年 1 月北京第一次印刷
850 毫米×1168 毫米 32 开本 10 印张 262 千字
印数 0001—4000 册 定价 33.00 元

版权专有 翻印必究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言

我国变电站自动化技术经过多年的发展已经达到一定的水平,中低压变电站提高了自动化水平,逐步实现无人值班,超高压变电站中大量采用了新技术。

计算机技术和通信网络技术的快速发展,为变电站自动化技术和继电保护技术提供了优越的发展空间,使变电站自动化技术可高速向着全数字化方向发展,这将为变电站自动化技术带来重大的变革。因此,对从事变电站自动化工作的人员来说,必须了解并掌握相关的技术和理论,并能熟练地予以运用。编者根据多年从事电力系统自动化技术的经验,从工作实践出发,在参考了大量文献资料的基础上,编写了本书。

本书主要反映当前变电站自动化及其新技术,叙述了变电站自动化系统及其关键技术,变电站设备在线检测及数据通信系统,微机保护的新技术等。

本书在编写过程中,承蒙上海电力公司梁爱裳、廖铀、华东电网公司陆志浩、上海电力设计院林勇峰、华东电力科学研究院王之浩、上海超高压输变电公司徐丙华、西安交通大学徐阳、江苏省电力公司吉宏、国电南瑞科技公司沈兵兵、无锡供电局王振伟、EDMI公司马文达、上海致达智利达系统控制有限公司邱锡为等资深专家认真审稿,在此表示敬意。并向在编写过程中给予支持和帮助的范家正、曾德勤、王君学、杨健、袁建浩、朱文涛、陈诗、张根才等专家深表谢意。

我真诚希望本书能对从事电力事业的同行们在工作中能有点帮助,这是我的心愿。本书内容如有不妥之处,盼请原谅并赐教,不胜感谢。

江智伟

2005年8月

前言

第一章 变电站自动化系统

1

第一节 电力系统自动化技术的发展与展望..... 1

一、引言..... 1

二、厂站自动化技术的发展历程..... 2

三、厂站自动化技术的发展趋势..... 4

第二节 变电站监控系统的远动技术 15

一、远动终端的概念 15

二、远动终端 RTU 一般应具有的功能 16

第三节 变电站自动化系统的基本功能 19

一、基本概念 19

二、变电站综合自动化的功能 21

第四节 变电站自动化系统设计原则和工作模式 26

一、设计原则 26

二、变电站自动化系统工作模式 28

三、网络结构 34

四、电站自动化的实施策略 37

第五节 变电站自动化监控 38

一、对于电力监控系统具体实施时应注意的事项 38

二、变电站自动化系统的控制与操作方式 39

第六节 变电站调度自动化主系统 45

一、调度自动化主系统的特性要求和逻辑构成 45

二、调度自动化硬件结构配置 47

三、系统软件结构 49

第七节 分布式变电站自动化系统概述 65

一、系统特点 65

二、系统组成	65
三、选型原则	72
第八节 无人值班变电站自动化系统	74
一、无人值班变电站自动化的功能	75
二、无人值班变电站综合自动化监控方式	77
三、人机联系的问题	77
四、通信与接口问题	78
五、安全防误闭锁操作	79
六、保护	79
七、关于常规无人值班 35~110kV 变电站 设计原则	80
八、变电站无人值班巡视系统	81
第二章 变电站自动化中其他关键技术	88
第一节 主变压器档位与监控系统的接口方式	88
一、遥信判档方式类型	88
二、遥测判档方式类型	90
第二节 小电流接地选线装置	93
一、小电流接地装置的功能	93
二、小电流系统单相接地的特点	94
三、小电流接地系统接地信号装置的分类	95
四、选线误判原因分析	96
五、小电流接地装置的新技术	99
第三节 关于自动化中防误闭锁	100
一、电气“五防”分类	101
二、微机网络电气“五防”系统	102
第四节 数字光电电气量测量	107
一、新型电压和电流变换器 (ETV 和 ETA)	107
二、数字光电量测系统	111
三、数字光电电气测量应用前景	112

第三章 变电站设备在线检测	114
第一节 变电站主电气设备状态监测内容	114
一、变压器状态在线监测和故障诊断	114
二、电容型设备监测和故障诊断	115
三、高压断路器状态监测	115
四、GIS 监测和故障诊断	116
五、避雷器监测	117
第二节 电力关键设备远程监测与故障诊断系统	117
一、系统结构	118
二、系统的实现	120
三、系统功能	121
第三节 变压器在线监测	124
一、变压器在线监测的主要范围	124
二、变压器在线监测原理	125
三、局部放电的在线监测	126
四、油中气体的在线监测和分析	130
第四节 变压器油色谱在线监测系统实例	135
一、应用原理	136
二、系统组成及工作过程	137
第四章 变电站自动化中的通信系统	142
第一节 我国电力通信技术的发展	142
一、电力通信的意义和作用	142
二、电力通信网的构成及特点	143
第二节 数据通信的基本概念	147
一、数据通信系统组成	147
二、数据通信系统的性能指标	151
第三节 开放系统互联 (OSI) 参考模型	153
一、OSI 参考模型的产生	153
二、OSI 参考模型及各层功能	154

第四节 局域网技术	157
一、概述	157
二、传输媒体	157
三、以太网 (Ethernet)	162
第五节 现场总线	165
一、现场总线技术特点	166
二、当前流行的几类现场总线	167
第六节 变电站自动化系统的通信网络	170
一、变电站通信网路的要求	170
二、变电站通信网络的选择	171
三、远动化系统的网络化	172
第七节 远动信息网络传输方法	177
一、远动数据的网络通信模式	178
二、远动信息网络通信中技术问题	180
第八节 数字化变电站自动化系统的网络选型	182
一、数字化变电站自动化系统的特征及结构	183
二、变电站自动化系统通信网络的要求	185
三、数字化变电站自动化系统的通信网络	187
四、嵌入式以太网的应用方案	188
五、变电站自动化系统的安全问题	191

第五章 微机保护的发展和新技术应用概论 193

第一节 电力系统继电保护技术的现状与发展	193
一、继电保护技术发展的历史	193
二、微机保护的主要特点	197
三、微机保护的应用现状	198
四、继电保护的发展趋势	201
第二节 微机继电保护新技术应用	205
一、自适应控制原理在保护中的应用	205
二、突变量原理在保护中的应用	213

三、光纤电流差动保护在超高压主保护中应用	215
第三节 有关微机保护的设想	218
一、超高压线路微机保护	218
二、中低压保护微机化后的新原理	221
三、继电保护进入 IT 领域后的几个问题	224
第四节 基于多代理系统的继电保护概念	226
一、多代理系统 (Multi-Agent System) 的简述 ..	227
二、多代理系统 (MAS) 的研究	227
三、多代理技术在输电线路后备保护中的应用	229
第六章 微机线路保护及其新技术	232
第一节 新型微机式电流方向继电器原理	232
一、电流方向继电器的原理	232
二、电流方向继电器的实现	234
第二节 反应故障分量的微机线路保护原理	236
一、反应故障分量的继电保护基本原理	237
二、工频变化量方向元件	242
三、微机突变量启动原理	243
四、工频变化量距离元件的基本原理	244
第三节 输电线路的自适应电流保护原理	246
一、利用负序电流区分两相及三相短路	247
二、利用相电流故障分量区分两相及三相短路	247
三、系统运行方式的自适应	248
第四节 纵联保护中直接数字逻辑通信技术的应用	249
一、问题的提出	249
二、SEL-321-5 型距离保护继电器	250
三、继电器间直接数字逻辑通信回路的建立	251
四、继电器间直接数字逻辑通信的技术分析	251
第五节 光纤差动保护的应用	253
一、纵联电流差动保护	253

二、脉码调制 (PCM) 数字式电流差动保护	254
三、数字式分相电流差动保护的应用	257
第六节 两种微机型输电线路继电保护的比较	257
一、装置简介	258
二、阻抗元件	258
三、启动元件和振荡闭锁	259
四、控制与逻辑	260
五、零序保护与过电流保护	261
六、事件报告	262
七、高频保护	262

第七章 微机变压器保护及其新技术 265

第一节 电力变压器的继电保护装置 265

一、变压器保护配置 265

二、变压器新保护的应用状况 267

第二节 比率制动式差动保护原理 268

一、比率制动式差动保护的基本概念 268

二、和差式比率制动的差动保护原理 269

第三节 多原理的数字式变压器保护 271

一、变压器励磁涌流的特点 271

二、励磁涌流的数学分析 272

三、二次谐波制动原理 274

四、间断角原理 276

五、波形对称原理 277

六、三原理的综合使用 279

第八章 母线保护及其新技术 282

第一节 母线保护基本概念 282

一、装设母线保护的基本原则 282

二、母线保护的应用现状 283

三、分布式母线保护 286

第二节 国内外母线保护的特点比较.....	292
一、微机母线差动保护要解决的几个问题.....	292
二、我国几种主要类型母线保护的技术特点.....	295
第三节 几种典型微机母线差动保护原理的比较.....	300
一、几种母线保护继电器原理.....	300
二、母线保护的应用及发展趋势.....	307
参考文献.....	309

变电站自动化系统

第一节 电力系统自动化技术的发展与展望

一、引言

变电站自动化是在计算机技术和网络通信技术的基础上发展起来的。国外在 20 世纪 80 年代已有分散式变电站自动化系统问世。以西门子 (SIEMENS) 公司为例, 该公司第 1 套全分散式变电站自动化系统 LSA678 早在 1985 年就在德国汉诺威投入运行, 至 1993 年初已有 300 多套系统在德国及欧洲的各种电压等级的变电站运行。我国的变电站自动化工作起步较晚, 大约从 20 世纪 90 年代开始, 初始阶段主要研制和生产集中式的变电站自动化系统, 例 DISA-1 型, BJ-1 型, iES-60 型, XWJK-1000A 型, FD-97 等。20 世纪 90 年代中期开始研制分散式变电站自动化系统, 如 DISA-2 型, DISA-3 型, BJ-F3, CSC-2000 型, DCAP 3200 型, FDK 型等, 与国外先进水平相比, 大约有 10 年的差距。许多高校、科研单位、制造厂家以及规划设计、基建和运行部门在学习和借鉴国外先进技术的同时, 正结合我国的实际情况共同努力开发更加符合我国国情的变电站自动化系统。可以预计, 今后其发展和推广的速度会越来越快, 与国外的差距会逐步缩小。

20 世纪 90 年代初期, 微机继电保护的实际应用以及国外技术和产品的引进, 促进了国内厂站自动化技术的飞速发展。从 500kV 和 750kV 的超高压变电站, 至 10kV 的馈线自动化、各种不同用途的工业用户变电站, 以及各种装机容量的发电厂, 几乎都在建设初期或后来改造的过程中采用所谓“厂站综合自动化系统”或类似产品。不可否认, 这一技术的推广应用对于提高我

国电力系统自动化的整体技术水平，保证发、输、配电的可靠性与安全性，提高电网运行效率等诸方面都发挥了积极作用。

纵观厂站自动化技术的发展过程，人们不可能满足于目前已经取得的进步，总是对将来的发展趋势进行着各种研究与预期。本节旨在回顾该领域的发展历程，对这一技术在今后一段时期内的发展趋势进行探讨。

二、厂站自动化技术的发展历程

1. 早期的厂站远动技术

早期远动设备由以下三部分组成。

(1) 被控站远动设备，即厂站远动设备 (RTU)。它包括远动主设备、调制解调器和过程设备三部分。过程设备又包括信息输入设备 (如变送器)、信息输出设备 (如执行盘等) 以及调节器。

过程设备面向电力生产过程，它把强电特性的信息转换为电子技术能处理的小信号，或相反。厂站的各种告警、状态和位置信号经过光电隔离转换之后送入主设备，测量量来自电压和电流互感器，经变送器转换为直流电压或电流信号后送 A/D 转换，再经主设备的组合逻辑和时序逻辑电路处理之后，按一定的通信协议发往控制站。如果有遥控或遥调命令，则由控制站发出，被控站接收后输出给执行盘、调节器，以控制电力生产过程。

(2) 控制站远动设备，包括远动主设备、调制解调器以及人机设备三部分。人机设备有模拟屏、数字显示设备、打印机、记录仪及控制操作台等。

控制站远动设备又称主站。它接收被控站送来的遥测、通信信息，经处理后反映到模拟屏、数字显示设备、打印机及记录仪上，让调度员通过操作控制台发出命令，送往被控站，进行遥控、遥调操作。

(3) 远动通道，包括控制站和被控站的调制解调器 (Modem) 和传输线路。远动通道又称数据电路，通常通过远程通信系统来实现。

2. 中期的厂站远动 (监控) 技术

20 世纪 80 年代到 90 年代前几年，由于微处理器芯片

(CPU) 和各种作为外围电路的大规模集成电路的出现与运用, 以及远动设备与个人计算机 (PC) 的结合, 出现了所谓数据采集与监控 (SCADA, supervisory control and data acquisition) 系统。广义的 SCADA 系统不仅包括这里所述的远动设备, 也包括调度自动化中完整的主站系统。这意味着远动向提高传输速度, 提高编译码的检、纠错能力以及应用智能控制技术对所采集的数据进行预处理和正确性校验等方向发展。因此, 远动一词也逐渐被监控所取代。

中期的远动技术有如下主要特点: ①以单或多 CPU (8, 16, 32 位) 和嵌入式软件为核心; ②PC 机的应用极大地提高了远动设备的应用水平, 拓宽了人机联系的范围和远动技术的应用空间; ③在采用多 CPU 设计时, 设备内部逐渐从并行接口技术转向以串行接口技术为主; ④设计理念仍然面向全厂或全站, 所以仍然采用集中组屏方式; ⑤厂站端内的终端设备与远方控制中心或调度中心的接收设备, 逐步从一对一方式发展为一对 N 方式, 即 1 台或 2 台前置接收设备可以接收多达 32 个以上的厂站端设备的信息; ⑥与远方控制中心或调度中心之间的通信方式, 除了电力线载波之外, 还有诸如微波、特高频、公共电信网、光纤等多种方式; ⑦远动功能由“二遥”发展到“四遥”, 且增添了若干附加功能。

远动接口共有 3 种, 即: 被控站的远动设备与过程设备的接口; 远动设备与调制解调器接口; 主控站的远动设备与人机设备接口。这些设备上的输入、输出接口必须具有符合标准规定的物理特点。

3. 当前的厂站自动化技术

20 世纪末到 21 世纪初, 随着半导体芯片技术、通信技术以及计算机技术的飞速发展, 分层分布式的自动化系统结构被广泛采用。由于传统上相当独立的远动和继电保护的逐步统一, 远动技术就上升到了一个完全崭新的高度, 其传统概念与内涵也有了质的不同。我们把这样的技术称为厂站自动化技术。由此而诞生

的系统（不是一个装置）称之为厂站自动化系统，目前还在继续发展之中。由此可以看出，本文所述的厂站自动化系统，广义上讲，不仅包含传统的远动（监控）系统，也包含继电保护装置与系统及若干附属设备。

当前厂站自动化技术有以下主要特点。

1) 以国际电工委员会（IEC）关于变电站的结构规范为准，真正以分层分布式结构取代传统的集中式；

2) 把厂站分为 3 个层次，即厂站层、间隔层以及过程层。在设计理念上不是以整个厂站作为设备所要面对的目标，而是以间隔和元件作为设计的依据，在中低压系统中，采用物理结构和电气特性完全独立，功能上既考虑测控又涉及继电保护，这样的测控保护综合单元对应一次系统中的间隔出线或发电机、变压器、电容器、电抗器等电气元件，而高压与超高压系统，则以独立的测控单元对应高压或超高压系统中的间隔和元件；

3) 厂站层主单元的硬件以高档 32 位工业级模件作为核心，配有大容量内存、闪存以及电子固态盘和嵌入式软件，构成所谓嵌入式系统；

4) 现场总线的兴起以及光纤通信的应用为功能上的分布和地理上的分散提供了物质基础；

5) 网络，尤其是基于 TCP/IP 的以太网，在厂站自动化系统中广泛应用；

6) 智能电子装置（IED, intelligent electronic device）的大量运用，诸如继电保护装置、自动装置、电源、五防、电子电能表等均可视为 IED 而纳入一个统一的厂站自动化系统之中；

7) 与继电保护、各种 IED、远方调度控制中心交换数据所使用的通信协议更加与国际接轨。

三、厂站自动化技术的发展趋势

发电厂和变电站中的自动化技术发展到今天，以分层分布为主要特征的所谓综合自动化技术，伴随着科学技术的不断进步，还处于方兴未艾的状态，其发展趋势大致包括如下几个方面。

（一）电子、计算机、通信技术加速了厂站自动化技术的发展

1. 智能电子装置的兴起

20 世纪末兴起的 IED 在工业自动化领域获得了广泛的应用，在电力自动化方面也不例外。IED 实际上就是一台具有微处理器、输入输出部件以及串行通信接口，并能满足各种不同的工业应用环境的嵌入式装置，它的软件则因应用场合的不同而不同，比较典型的 IED 如电子电能表、智能电量传感器、各类可编程逻辑控制器（PLC）等。按照这一定义，厂站自动化系统中的间隔层测控装置、继电保护装置、测控保护综合装置、RTU 等都可以作为 IED 来对待。各种 IED 之间一般采用工业现场总线，也有采用工业以太网接口的，其信息交换的协议则因应用环境的不同而有所区别。这里特别要指出的是，PLC 在厂站自动化领域的应用有逐步扩大的趋势。PLC 作为一种比较经典的工业自动化产品已有相当的应用历史，目前还在发展与改进之中，但在电力自动化行业，过去相当长一段时间，除了电厂自动化中的机组单元控制应用较为广泛外，在远动、继电保护领域则少有问津，国外文献偶有报道。近来，PLC 在厂站自动化领域的应用有所扩大和深化，值得关注。

随着计算机技术的发展，IED 或厂站自动化装置的硬件有“趋同”的发展趋势，即对于某类设备，对于采用某一硬件平台设计的厂家来说，其装置的硬件设计有一种相似的感觉，即所谓的“趋同”，其主要差别还在于软件设计。有些厂家为了增加硬件的保密性和专用性，开发了 ASIC 电路，有的使用了 DSP 芯片，这有可能成为硬件电路发展的一种方向。

2. 现场总线和工业以太网的应用

现场总线（Fieldbus）是近年来迅速发展起来的一种工业数据总线，它主要解决现场的 IED、控制器、执行机构等设备间的数字通信以及这些现场控制设备与后台系统或高级控制系统之间的信息传递问题。由于它有简单、可靠、经济、实用等突出的优

点，而成为当今自动化技术领域发展的热点之一。

根据 IEC 标准和现场总线基金会（FF, Fields Foundations）的定义，现场总线是连接智能现场设备和自动化系统的数字式、双向传输、多分支结构的通信网络。其含义表现在以下几方面。

（1）现场通信网络。传统监控系统的通信网络截止于厂站层主控制单元，现场仪表或传感器仍然是一对一模拟信号传输。现场总线是用于过程自动化和制造自动化的现场设备或现场仪表互联的现场通信网络，把通信线一直延伸到过程层或生产设备。这些设备通过一对传输线互联，传输线可以使用双绞线、同轴电缆和光缆等。

（2）互操作性。互操作性的含义是来自不同制造厂的现场设备，不仅可以相互通信，而且可以统一组态，构成所需的控制回路，共同实现控制策略。也就是说，用户选用各种品牌的现场设备集成在一起，实现“即插即用”。现场设备互联是基本要求，只有实现互操作性，用户才能自由地集成系统。

（3）开放式互连网络。现场总线为开放式互连网络，既可与同类网络互联，也可与不同类网络互联。开放式互连网络还体现在网络数据库共享，通过网络对现场设备和功能块统一组态，天衣无缝地把不同厂商的网络及设备融为一体，构成统一的现场总线控制系统。

现场总线的应用给自动化领域带来了一系列变革：①用一对通信线连接多台数字仪表和装置，取代一对信号线只能连接一台仪表；②用多变量、双向、数字式通信方式取代单变量、单向、模拟传输方式；③变革传统的信号标准、通信标准和系统标准；④变革传统的自动化系统体系结构、设计方法及安装调试方法。

当然，现场总线在发展过程中也存在一些困难。就目前状况而言，还处于百家争鸣、百花齐放阶段，还没有任何一种现场总线被国际同行认定为是惟一的数字化通信标准，其中最常用的有 8 类现场总线：FF, Profibus、Controlnet、WorldFIP、P-Net、Interbus、SwiftNet、FFHigh Speed Ethernet，而电力系统自动化设备应用较多