

Principles and Application Technologies
of Automation Systems for Smart Substation

智能变电站

自动化系统原理与 应用技术

黄益庄 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书注意紧跟智能电网的发展形势,系统地阐述了智能变电站自动化系统的功能、原理、理论基础以及相关的应用技术。

全书共分10章。第1章介绍变电站自动化技术的发展过程和智能变电站应具备的条件;第2章详细介绍智能变电站自动化系统的功能,并强调当前应着重开展电能质量监测以及智能决策支持系统相关内容和方向的研究;第3章介绍智能变电站自动化系统的结构及其发展趋势;第4、5章分别介绍继电保护子系统和自动控制子系统的原理;第6章介绍智能电子设备的硬件原理及典型结构;第7、8章介绍交流电量常用算法分析和小波分析在变电站自动化系统中的应用;第9章介绍变电站自动化系统数据通信的原理、技术和通信协议,着重介绍 IEC 61850 变电站通信网络和系统的主要内容和特征,第10章介绍提高智能变电站自动化系统可靠性的措施。

本书理论联系实际,内容具有先进性、系统性和实用性的特点。可供电力行业的工程技术人员,从事电力系统自动化的设计、开发工作的科技人员,大专院校的有关师生参考;还可作为高等院校,学习变电站自动化相关内容的教材,也可作为专题培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

智能变电站自动化系统原理与应用技术/黄益庄编著. —北京:中国电力出版社, 2011.11

ISBN 978-7-5123-2380-3

I. ①智… II. ①黄… III. ①变电所-智能技术-自动化系统
IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 237629 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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012年3月第一版 2012年3月北京第一次印刷

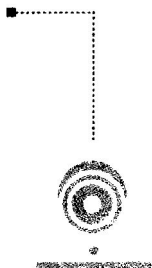
787毫米×1092毫米 16开本 18.25印张 426千字

印数0011-3000册 定价44.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
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

自从 20 世纪 80 年代中期变电站综合自动化系统在我国开始投运以来，变电站综合自动化已深入人心，也取得了可喜的进展。现在无论是老站改造还是新建变电站，都会采用变电站自动化系统，且按无人值班设计。由于其具有继电保护、自动装置微机化，测量显示数字化，系统构成模块化，操作监视屏幕化，通信网络化，系统功能综合化，运行管理智能化等一系列特点，实现了变电站二次系统的一次大变革。20 多年来的运行实践充分表明，变电站综合自动化不仅提高了变电站自身的自动化水平和管理水平，减小占地面积，取得明显的经济效益和社会效益，而且对提高电力调度的可控性和技术水平以及提高电网安全运行水平起到了很大的推动作用。

当前，智能电网已成为近年来国内外有关电网未来发展趋势的热门课题。究其原因是多方面的，也是复杂的。首先，从深层次意义来说，主要是人类对化石能源短缺的担忧，以及全球气候变化的现实威胁。全球资源环境压力的不断增大，人类社会对环境保护、节能减排和可持续性发展的要求日益提高，驱动了能源变革，期望以可再生能源逐步代替化石能源。大部分新能源要转化为电能，新能源变革要求电力系统能够适应多种能源类型发电方式的接入，电网将成为全社会重要的能源输送和配给网络，电网应具有可持续发展能力，因此电网智能化是新能源变革条件下技术发展的必然趋势。同时，电力市场化进程的不断推进以及用户对供电可靠性和电能质量要求的不断提升，要求未来的电网必须能够提供更加安全、可靠、清洁、优质的电力供应。电力企业需要进一步提高庞大的电网资产利用效率和效益，提供更加优质的服务，这也要求未来电网应该向智能化发展。其次，我国电网已实现全国联网，大容量、高电压、远距离输电对一、二次设备提出了更高的要求，稳定性、可靠性问题更加突出，因此发展智能化的电网控制、智能化的保护和调度系统以及智能化的变电站，是实现大容量、高稳定性、高可靠性、低损耗、环境友好的技术保证。因此，建设智能电网是社会经济、技术发展的必然趋势。

智能变电站是智能电网的重要组成部分；是智能电网运行与控制的关键；是智能电网中变换电压、接受和分配电能、控制电力流向和调整电压的重要环节；是智能电网“电力流、信息流、业务流”三流汇集的焦点，对建设坚强智能电网具有极为重要的作用。

智能变电站必须具备以下条件：

- (1) 要有智能化的一、二次设备。一次设备方面，关键是电子式互感器的应用、断路器智能接口技术的应用。
- (2) 系统结构要按照 IEC 61850 变电站通信网络和系统的规定构建。
- (3) 各层次智能电子设备（IED）必须采用 IEC 61850 数据建模和通信服务协议，满

足互操作性要求。

(4) 采用高速工业以太网的通信网络。

(5) 必须具有智能化的高级应用软件。

智能变电站的技术特点应该是：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现实时自动控制、智能调节、在线分析决策、协同互动等高级功能。虽然现在变电站自动化技术已有很大的发展，尤其最近两年，“智能变电站”、“数字化变电站”试点工程的技术水平也不断提高，但距离真正意义上的智能变电站的要求相差还很远。实际上，智能变电站应该是在变电站自动化系统基础上发展的，如果变电站还没有全面实现自动化，就谈不上智能化了。需要深入理解 IEC 61850 对变电站自动化系统（SAS）所作的如下定义：“变电站自动化系统就是在变电站内提供包括通信基础设施在内的自动化”。这是一个很简明扼要、概括性很强的定义，也反映了自动化的内涵、技术是日新月异不断发展的。

应该强调的是，变电站自动化系统的技术和内容并非一成不变的，自动化的程度是随着科学技术的发展而不断深入和不断提高的。数字化是实现自动化的一种技术手段，只有高度的自动化才可能发展智能化。广义地说，智能化是自动化的进一步发展，是自动化的高级阶段。

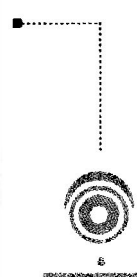
因此，深入了解变电站自动化系统的基本原理和应用技术是研究开发智能变电站的重要基础。本书将对作为智能变电站核心的自动化系统的原理和应用技术进行系统的介绍和论述，全书内容兼顾了先进性与系统性，加强了基础理论的介绍，并对建设智能变电站的技术发展和需要进一步增加和开展研究的内容及方向提出一些看法和建议。在各章内容的安排上，既注意面对现阶段我国大量变电站自动化系统的实际情况，又注意考虑智能变电站自动化技术发展的需要。希望本书能对本领域的教学、科研提供一些参考，对我国智能变电站自动化的发展起一定的推动作用。

2000 年我编著出版的《变电站综合自动化技术》一书，曾先后被广西大学、贵州工业大学、华北电力大学等高校作为教材使用。在使用学习过程中，高校主讲教师和广大读者对该书内容提出了许多宝贵意见和建议，在此表示感谢！在本书编写过程中，我对这些意见和建议进行了充分的采纳和吸收。

由于新技术的不断发展，加之水平所限，书中不足之处在所难免，恳请专家和读者批评指正。

作者

2011 年 8 月于清华园



目 录

前言

第 1 章 概论	1
1.1 变电站在电力系统中的地位和作用	1
1.2 变电站自动化技术的发展过程	1
1.2.1 分立元件的自动装置阶段	2
1.2.2 微处理器为核心的智能自动装置阶段	3
1.2.3 国外变电站综合自动化的发展	3
1.2.4 我国变电站综合自动化的发展过程	5
1.3 变电站综合自动化与无人值班	8
1.3.1 国外变电站无人值班的发展简况	8
1.3.2 国内变电站无人值班的发展	8
1.3.3 变电站实现无人值班的意义	9
1.3.4 现代无人值班变电站需具备的条件	11
1.4 智能变电站自动化系统的发展	12
第 2 章 智能变电站自动化系统的功能	14
2.1 智能变电站自动化系统的内涵	14
2.2 监控子系统	16
2.2.1 数据采集功能	16
2.2.2 数据分类和处理	20
2.2.3 安全监控功能	21
2.2.4 操作与控制功能	21
2.2.5 人机联系功能	22
2.2.6 运行记录功能	23
2.2.7 同步对时功能	23
2.3 继电保护子系统	23
2.3.1 继电保护的基本任务	23
2.3.2 继电保护的重要作用	23
2.3.3 微机保护的优越性	24
2.3.4 微机保护子系统的内容	25

2.4	自动控制子系统	26
2.4.1	电压、无功综合控制功能	26
2.4.2	低频低压减载控制的作用	26
2.4.3	备用电源自投控制的功能	27
2.4.4	单相接地自动选线功能	27
2.5	电能量计量系统	27
2.6	电能质量监测功能	28
2.6.1	电能质量监测是建设智能电网的重要内容之一	29
2.6.2	衡量电能质量的主要指标和相应的国家标准	30
2.6.3	电能质量超限值的危害	32
2.6.4	谐波和间谐波的分析与监视	35
2.6.5	电力系统中谐波的抑制	42
2.7	通信功能	44
2.8	多媒体和光纤网络在变电站自动化系统中的应用	45
2.8.1	多媒体技术在变电站应用的优越性	45
2.8.2	变电站多媒体系统结构	46
2.8.3	实时控制数据和多媒体数据的协调	47
2.8.4	光纤通信网络是传输多媒体信息的最佳选择	48
2.9	变电站自动化系统要适应电力市场化的需求	48
2.10	智能变电站自动化系统功能的发展	49
2.10.1	全景信息采集及统一建模技术研究	49
2.10.2	发展广域动态实时监控系統	50
2.10.3	智能告警及分析决策系统	50
2.10.4	建立故障信息综合分析决策系统	52
2.10.5	发展电力设备状态检修研究	53
2.10.6	柔性交流输电技术的研究和应用	54
2.10.7	分布式安全评估和控制	54
2.10.8	可再生能源接入技术的研究	55
第3章	智能变电站自动化系统的结构	56
3.1	智能变电站自动化系统的设计原则	56
3.1.1	总体设计原则	56
3.1.2	继承与发展相结合原则	56
3.1.3	系统结构的分层分布原则	57
3.1.4	间隔层采用分散式原则	57
3.1.5	可靠性原则	57
3.1.6	资源整合原则	58
3.1.7	系统要满足可扩展性和可适应性原则	58

3.2	IEC 61850 标准定义的变电站自动化系统的分层结构	58
3.2.1	过程层 (process level) 功能	58
3.2.2	间隔层 (bay level) /单元层功能	59
3.2.3	变电站层 (station level) 功能	59
3.3	变电站的智能电子设备	59
3.4	自动化系统的结构模式	60
3.4.1	集中式的综合自动化系统	60
3.4.2	分层分布式系统集中组屏的结构模式	61
3.4.3	分散式与集中组屏相结合的自动化系统的结构模式	64
3.4.4	分布分散式变电站自动化系统结构模式	65
3.5	智能变电站自动化系统结构模式的发展	67
3.5.1	开关设备的智能化	68
3.5.2	变压器的智能化	69
3.5.3	电子式互感器的应用促进智能变电站的发展	69
3.5.4	智能变电站自动化系统现阶段的结构模式	74
第4章	继电保护子系统原理	79
4.1	概述	79
4.1.1	我国继电保护的发展过程	79
4.1.2	电力系统的故障和异常运行状态	79
4.1.3	继电保护的分类	80
4.1.4	对继电保护的基本要求	80
4.2	输电线路继电保护	82
4.2.1	单侧电源网络相间短路的电流保护	82
4.2.2	电网相间短路的方向性电流保护	85
4.2.3	输电线路的接地保护	89
4.2.4	高压输电线路常用保护	91
4.3	微机变压器保护	93
4.3.1	变压器的故障类型及异常运行状况	93
4.3.2	变压器保护的配置	94
4.3.3	变压器差动保护基本原理	95
4.3.4	变压器差动保护中的不平衡电流	96
4.3.5	具有制动特性的差动保护	98
4.3.6	二次谐波制动的差动保护	100
4.3.7	变压器差动速断保护	101
4.3.8	变压器励磁涌流的新判别方法	102
4.4	并联补偿电容器保护	105
4.4.1	电容器故障类型分析	105

4.4.2	电容器内部故障的保护	106
4.4.3	电容器回路的相间短路保护	108
4.4.4	系统电压异常的电容器保护	108
4.5	电子式互感器的应用促进新原理保护的研究	109
第5章	自动控制子系统原理	110
5.1	电压无功综合控制子系统	110
5.1.1	电压和无功控制的重要性	110
5.1.2	电压无功综合调控的目标	111
5.1.3	变电站电压无功综合控制的基本原理	111
5.1.4	微机电压无功综合控制的方式	113
5.1.5	电压无功综合控制的实现方法	115
5.1.6	电压无功综合控制策略	116
5.1.7	MVR—Ⅲ型微机电压无功综合控制系统应用举例	120
5.2	电力系统低频低压减载控制子系统	124
5.2.1	电力系统频率偏移的原因	125
5.2.2	电力系统频率降低的危害	125
5.2.3	低频低压减载的控制方式	126
5.2.4	低频低压减载的实现方法	127
5.3	备用电源自投控制子系统	128
5.3.1	备用电源自动投入的作用	128
5.3.2	备用电源自投装置的基本要求	128
5.3.3	变电站备用电源的配置	129
5.3.4	备用电源自投的动作逻辑	130
5.4	小电流接地系统的单相接地选线	131
5.4.1	利用稳态故障信号的单相接地选线方法分析	132
5.4.2	综合智能选线方法	134
5.4.3	基于暂态信号的单相接地选线技术	136
第6章	智能电子设备的硬件原理	139
6.1	智能电子设备的典型硬件结构	139
6.2	智能电子设备常用的微处理器	141
6.2.1	单片微型计算机	141
6.2.2	DSP 数字信号处理器	143
6.2.3	ARM 处理器	146
6.2.4	ARM+DSP 的微机保护装置的硬件架构	148
6.3	智能电子设备的外围接口电路	149
6.3.1	IED 的模拟量输入/输出通道	149
6.3.2	模/数 (A/D) 转换器	151

6.3.3	V/F (电压/频率) 转换器	154
6.3.4	多路转换器	154
6.3.5	采样保持器	155
6.3.6	高集成度的数据采集系统 DAS	156
6.3.7	IED 的数字量输入/输出	157
6.3.8	开关量输入/输出接口	161
6.4	智能电子设备硬件结构的新发展	162
第 7 章	交流电量常用算法分析	164
7.1	概述	164
7.2	数字滤波算法分析与选择	164
7.2.1	模拟与数字滤波器	164
7.2.2	递归与非递归型数字滤波器的比较	165
7.2.3	数字滤波器的设计	166
7.2.4	常用的数字滤波器及其滤波特性	166
7.3	不同功能的 IED 对算法的不同要求	170
7.4	常用算法	171
7.4.1	基于正弦函数模型的算法	171
7.4.2	基于周期函数模型的算法	175
7.4.3	基于随机函数模型的算法	178
7.4.4	解微分方程算法	180
7.4.5	提高计算精度的傅里叶均值算法	180
7.5	算法的选择	182
第 8 章	小波分析在变电站自动化系统中的应用	184
8.1	概述	184
8.2	小波分析的理论基础	185
8.2.1	小波变换的定义	185
8.2.2	单尺度小波变换的反演	186
8.3	改进递归小波变换的研究	187
8.3.1	递归小波变换	187
8.3.2	改进递归小波变换 (IRWT)	188
8.3.3	改进递归小波变换和递归小波变换的对比	191
8.4	基于 IRWT 的变压器励磁涌流鉴别算法的研究	192
8.4.1	提取信号畸变特征的算法	192
8.4.2	基于 IRWT 的鉴别励磁涌流算法	193
8.4.3	基于 IRWT 鉴别励磁涌流的算例分析	194
8.5	小波分析在电力系统中的应用	196
8.5.1	小波分析在微机保护中的应用	196

8.5.2	小波分析用于输电线路故障定位	198
8.5.3	小波分析用于电力设备的状态监视和故障诊断	199
8.5.4	小波分析在电力系统谐波检测中的应用	199
8.5.5	小波变换应用于电能质量分析	200
8.5.6	小波变换在电力系统负荷预测中的应用	200
8.5.7	小波变换应用于电力系统暂态稳定分析	201
8.6	小结	201
第9章	变电站自动化系统的数据通信	203
9.1	概述	203
9.2	变电站自动化系统信息传输的内容	204
9.2.1	变电站自动化系统内部的信息传输	204
9.2.2	变电站自动化系统与控制中心的通信	205
9.3	变电站自动化系统对通信网络的要求	205
9.3.1	通信网络是变电站自动化系统的命脉	205
9.3.2	信息传输响应速度和优先级	205
9.4	数据通信的基本原理	207
9.4.1	数据通信方式	207
9.4.2	串行数据通信的方向性结构	207
9.4.3	数据通信系统的主要技术指标	208
9.4.4	数据同步方式	209
9.4.5	多路复用技术	211
9.4.6	远距离通信系统的基本结构	212
9.5	变电站自动化系统的通信网络	214
9.5.1	通信网络的拓扑结构	214
9.5.2	串行总线通信网络	217
9.5.3	现场总线通信网络	220
9.5.4	以太网(Ethernet)局域网	224
9.5.5	嵌入式以太网	228
9.5.6	工业以太网技术在变电站应用的优越性	228
9.6	差错检测技术	229
9.6.1	奇偶校验	230
9.6.2	纵向冗余校验	230
9.6.3	循环冗余校验CRC	231
9.6.4	累加和校验	232
9.7	变电站与控制中心的信息传输规约	232
9.7.1	变电站远传信息内容	233
9.7.2	变电站信息传输规约	233

9.8 电力系统的远动无缝通信传输协议 (IEC 61850 标准协议)	237
9.8.1 IEC 61850 变电站通信网络和系统标准协议制定过程	237
9.8.2 IEC 61850 标准协议的主要内容	239
9.8.3 IEC 61850 标准协议的体系结构	240
9.8.4 IEC 61850 标准协议的技术特征	242
9.8.5 变电站采用 IEC 61850 标准协议的优越性	246
9.8.6 IEC 61850 标准的一致性测试	247
9.8.7 IEC 61850 标准在应用中不断发展	250
第 10 章 提高智能变电站自动化系统可靠性的措施	252
10.1 概述	252
10.2 电磁兼容的基本概念	253
10.3 变电站内主要电磁干扰源及其特点	253
10.3.1 变电站的电磁干扰源	253
10.3.2 电磁干扰的耦合途径	256
10.3.3 电磁干扰可能造成的后果	256
10.4 变电站自动化系统抗电磁干扰的措施	258
10.4.1 影响智能电子设备电磁兼容性能的因素	258
10.4.2 抑制干扰源影响的措施	258
10.4.3 接地和减少共阻抗耦合	259
10.4.4 智能电子设备各端口的滤波措施	263
10.4.5 智能电子设备的隔离措施	266
10.4.6 自动化系统供电电源的抗干扰措施	268
10.4.7 电子电路的电磁兼容设计	269
10.5 智能电子设备的故障自诊断和自纠错	270
10.5.1 测量值的自纠错	270
10.5.2 故障自诊断	272
10.5.3 程序出轨的自恢复	274
参考文献	276



概 论

1.1 变电站在电力系统中的地位和作用

变电站按电压等级分为特高压、超高压、高压及中低压 4 种类型。根据我国变电站的电压等级, 1000、750kV 电压等级的变电站为特高压变电站; 500、330kV 的变电站为超高压变电站; 220、110、66kV 的变电站为高压变电站; 35、20、10kV 及以下电压等级为中、低压变电站。变电站按运行管理模式可分为有人值班站和无人值班站。

变电站在电力系统中具有重要地位和关键作用, 是电网中输电和配电的集结点; 是电力系统中变换电压、接受和分配电能、控制电力流向和调整电压水平的重要电力设施; 是电网能量传递的枢纽; 是分布式微网发电系统并入电网的接入点; 是电网运行信息的最主要来源; 也是电网操作控制的执行地; 是智能电网“电力流、信息流、业务流”三流汇集的焦点。由于变电站在电力系统中的重要地位, 它们的运行安全与否, 将直接影响到电力系统的安全、稳定运行和供电可靠性。变电站一旦发生事故, 轻则可能导致事故线路段供电中断, 重则造成大面积停电。为了监视与处理变电站内电气设备的运行状况, 及时处理故障与隐患, 长期以来各级电力部门在变电站采取了许多措施, 包括装设各种保护装置和各种自动装置, 制定各种操作规程和管理规程。但随着电力系统电压等级的不断提高、输电容量的不断扩大, 电力设备的安全可靠运行问题也更加突出。因此一直以来, 各研究单位、高等院校、电力部门为提高变电站的自动化水平, 提高变电站的安全、稳定运行水平, 不断进行新产品的研究开发, 在变电站应用各种新技术、新措施。变电站自动化系统技术, 一直是电力系统在理论研究和工程应用中的热点。尤其是在智能电网背景下, 要实现对电网更加及时、准确地监视, 可靠、柔性地控制, 要实现智能电网先进的运行目标, 必须更加关注变电站自动化水平的进一步提高和变电站的智能化发展方向。

1.2 变电站自动化技术的发展过程

随着工农业生产的持续发展和人民生活水平的不断提高, 各行各业的用电量和家用电器

数量的猛增, 缺电的局面时常发生。为满足不断增长的用电量的需求, 每年有不少新建的发电厂、变电站投入运行, 也有不少老的厂、站需要进行技术改造或扩容。同时由于基本建设和居民住房建设的不断增加, 新建变电站占地面积大的矛盾越来越突出, 如果新建或扩建的变电站仍采用常规的一、二次设备, 必然难以满足以下四方面的要求: ① 缩小变电站占地面积; ② 降低变电站造价, 减少新建变电站的总体投资; ③ 提高变电站的安全、可靠与经济运行水平; ④ 对变电站实行无人值班或减人增效。

解决以上问题的出路是提高变电站的自动化水平, 用先进的技术改造变电站。因此长期以来许多为电力行业服务的技术部门和高等院校、科研单位都在为提高发电厂和变电站的自动化水平而从事各种研究工作和技术改造工作。从变电站自动化技术的发展过程来看, 可分为以下几个阶段。

1.2.1 分立元件的自动装置阶段

通常把变电站的设备分为一次设备和二次设备, 一次设备主要指变压器、母线、电容器、电抗器、断路器和隔离开关、电压互感器、电流互感器、交流和直流电源等; 二次设备有自动装置、继电保护、远动装置、测量仪表和中央信号等, 为了叙述方便, 我们把这些二次设备统称为自动装置。这些一、二次设备都是变电站必不可少的基本组成部分。所谓“老式的变电站”, 是为了与 20 多年来发展起来的已实现自动化的变电站相区别的习惯称呼, 也有人称之为传统或常规变电站。这两大类变电站的一次设备, 除了新发展的电子式电压、电流互感器外, 从目前的情况看来大体上都是相同的, 也即它们选型的理论依据、原理、安装方式都相同。主要的区别是在二次设备上, 即二次设备的技术水平不同。

为了保证电力系统的正常运行, 许多研究单位和生产厂家, 紧跟各时期的科学技术发展水平, 陆续设计、生产出各种功能的自动装置。在微机化以前, 这些自动装置因其功能不同, 其实现的原理和技术也完全不同。因此长期以来, 在各级电力部门形成了不同的专业(如继电保护、自动化、仪表和远动通信等)和不同的管理部门。20 世纪 60 年代以前, 这些装置几乎都是电磁式的。20 世纪 60 年代, 开始出现了晶体管继电器, 可以代替电磁式继电器, 也出现了晶体管式无触点的远动设备。这些晶体管式的自动装置, 其功能与电磁式装置相同, 但实现的原理不同。晶体管式的继电保护和自动装置与电磁式相比, 体积小、重量轻, 这是它们的最大优点; 但因仍是分立元件和硬件布线电路组成的, 它们的主要缺点是抗干扰能力较弱、易受温度影响、可靠性较差。

20 世纪 70 年代, 随着集成电路技术的发展, 不少研究单位和厂家开始研究集成电路的继电保护和远动设备及其他控制装置。这些保护和自动装置的体积比晶体管式的同类装置小, 可靠性和抗干扰能力都有所提高。这个阶段的自动化设备的主要特点是:

(1) 设备全由硬件组成, 即非智能硬件逻辑方式, 没有任何软件。

(2) 核心硬件是晶体管以及小规模集成电路。

(3) 继电保护与电磁式的类似, 仍按保护功能划分为不同的继电器(如过电流继电器、过电压继电器, 欠电压继电器等); 远动设备多数只有遥测、遥信功能。

(4) 厂、站端远动设备与远方控制中心或调度中心之间的通信以电力线载波技术为主。

以上为早期的厂、站自动化的技术水平和基本情况。

1.2.2 微处理器为核心的智能自动装置阶段

由于微处理器和大规模集成电路技术的迅速发展及其显著的优势,美国、欧洲许多国家和日本等国,从20世纪70年代开始,便迅速将微处理器技术应用到发电厂、变电站和调度自动化等电力系统的许多领域,对厂、站自动化起到了很大的促进作用。首先,美国西屋公司于1972年发布了研究成功的计算机保护装置样机的原理结构和现场试验结果,促进了各国微机保护研究工作的蓬勃发展。20世纪70年代中、后期,日本、美国、加拿大、澳大利亚等许多国家先后有一些计算机继电保护装置投入试运行。到20世纪70年代后期,16位微处理器的出现及硬件价格的下降,使微机继电保护进入实际应用的条件和技术也渐趋成熟。但由于继电保护对可靠性的特殊要求,各国都首先在一些降压变电站试点。美国电力研究院和西屋公司进行联合研究,在配电变电站推广应用。在远动技术方面,据1981年5月在英国召开的第6届国际供电会议报道:欧洲多个国家新装的远动装置都是可程序的微机型的,布线逻辑的远动装置开始被淘汰,日本也是如此。

我国微处理器在电力系统的应用研究工作,比日本等国大概晚了将近10年。直至20世纪80年代,微处理器技术和产品开始引入我国,吸引了许多为电力行业服务的科技工作者,他们都把注意力放在如何将大规模集成电路技术和微处理器技术应用于电力系统各个领域上。在电力系统厂、站自动化方面,首先将原来由电磁式或晶体管等分立元件组成的远动装置、继电保护装置和其他自动装置,在保持原有功能的基础上,将硬件结构改为由微处理器和大规模集成电路代替。由于采用了数字式电路,统一数字信号电平,缩小了体积,明显地显示出其优越性。由微处理器构成的远动装置、保护装置和其他自动装置,利用软件实现数据采集和各自的功能,借助微计算机的智能和运算能力,可以应用和发展新的算法,提高了测量的准确度和控制的可靠性,并扩充了一些简单的功能。尤其是微处理器构成的保护装置和其他自动装置,都可以具有一些故障自诊断能力,对提高自动装置自身的可靠性和缩短维修时间很有意义,这也是以前任何电磁式或晶体管式的装置所无法实现的。

这些微机型的远动装置和其他自动装置,虽然提高了变电站的自动化水平和可靠性,但在20世纪80年代,它们基本上还处于维持原有的功能和逻辑关系的框框内,只是组成的硬件改为由微处理器及其接口电路代替。由于当时国内实际条件的限制,计算机和大规模集成电路芯片价格昂贵,通信技术受限制,因此该阶段变电站自动化技术的主要特点是:

(1) 微型自动装置从设计原则上几乎都是面向全厂或全站而不是面向每个间隔或元件的,因此无论是微机继电保护或微机自动装置、远动装置等,都采用集中组屏方式。

(2) 处于厂、站端的远动设备与控制中心或调度中心的接收设备之间的通信,采用一对一方式。

(3) 除了远动装置具有串行通信接口,能与调度中心通信外,多数自动装置和微机保护装置几乎没有对外通信接口,即不具备串行通信功能,因此在厂、站内各微机自动装置只能各自独立运行,不能互相通信,不能共享资源,实际上形成了发电厂、变电站内部的自动化孤岛,仍然解决不了前述有关厂、站设计和运行中存在的各种问题,因此变电站自动化技术必须不断向前发展。

1.2.3 国外变电站综合自动化的发展

国外变电站综合自动化的研究工作始于20世纪70年代中期,由于变电站在电力系统中

的重要性，为了保证先进技术的应用不至于影响电力系统的安全运行，几乎所有国家对变电站综合自动化系统的研究和试运行都是从配电变电站开始的。日本在微处理器应用于电力系统方面的研究工作虽然略晚于欧、美，但后来居上，于 1975 年由关西电子公司和三菱电气有限公司合作，开始研究用于配电变电站的数字控制系统 SDCS-1，于 1979 年 9 月完成样机，同年 12 月在那须其竹克里变电站安装并进行现场试验，1980 年开始商品化生产。SDCS-1 是以 13 台微处理机为基础的系统，其结构框图如图 1-1 所示。

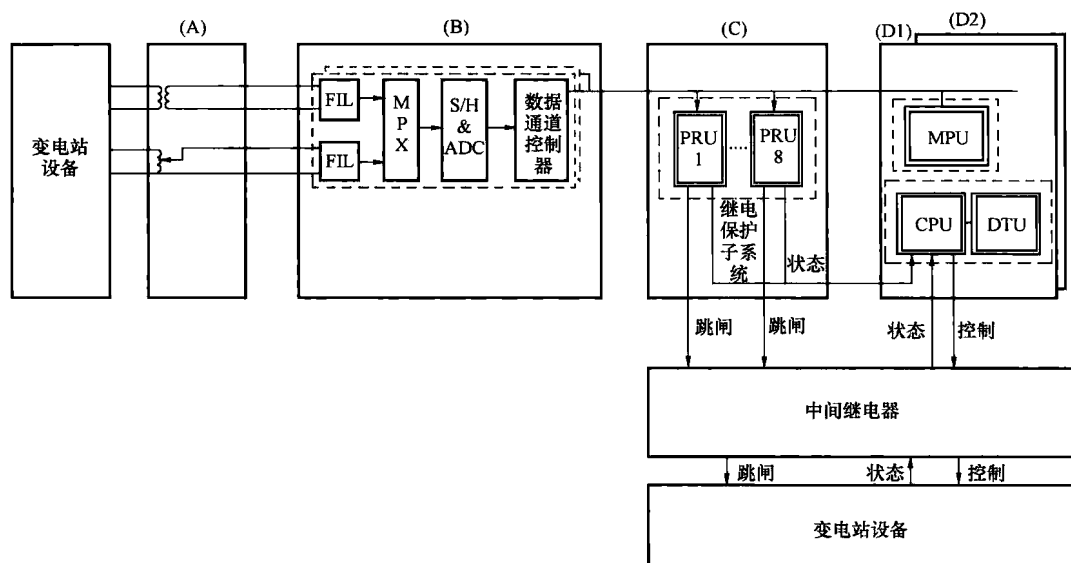


图 1-1 SDCS-1 系统结构框图

FIL—滤波电路；MPX—多路转换器；S/H—采样保持电路；ADC—模数转换器；
PRU—继电保护部件；CPU—中央处理部件；MPU—测量处理部件；DTU—数据传送部件

SDCS-1 具有对一个 77/6.6kV 配电变电站的全部保护和控制功能，该站具有 4 回 77kV 输电线、3 台变压器和 36 回 6.6kV 馈线。

SDCS-1 按功能分成三个子系统。

1. 继电保护子系统

从高速数据通道获取瞬时值，并把保护的動作状态送到中速数据通道。

继电保护子系统有八个保护部件，完成四大部分的保護功能：①77kV 母线保护；②3 台主变压器的保护；③6.6 kV 母线保护；④36 回 6.6kV 馈线保护。

2. 测量子系统

从高速数据通道输入 (u 、 i) 瞬时值，并把计算后的有效值送到低速数据通道上。

测量子系统的功能主要有两个：①测量电压、电流有效值，有功功率，无功功率，以及电能；②监视主变压器负荷。

3. 控制子系统

分别从低速和中速数据通道输入有效值和断路器状态信号。

控制子系统的功能包括：①备用电源自投控制；②故障线路探测；③6.6kV 馈线自动重合闸；④有载调压分接开关控制；⑤排除变压器故障后自动恢复供电；⑥数据传送和远方

控制等。

此外,美、英、法、德、瑞典等发达国家也相继开始将变电站保护和控制集合在一起的研究工作,即研究集数字控制与继电保护技术于一体的系统(国内将此种系统称为变电站综合自动化系统),并取得不同程度的进展。20世纪80年代初,美国西屋公司和美国电力科学研究院(EPRI)联合研制出SPCS变电站保护和控制集成系统。1984年,瑞士BBS公司也首次推出他们的变电站综合自动化系统。

1985年德国西门子又推出他们的第一套变电站自动化系统LSA678,在德国汉诺威正式投运,至1994年已有300多套同类型系统在德国本土及欧洲其他国家不同电压等级的变电站投入运行。至1995年,该公司在中国也陆续得到十几个工程项目,基本上是110kV及66kV城市变电站,也有用于220kV变电站的,如山西运城220kV变电站。

此外,德国AEG公司开发的变电站综合自动化系统ILS,其基本结构类似于西门子公司的ISA系统。美国GE公司的综合自动化系统也于20世纪90年代用于俄亥俄州345kV变电站。

由此可见,国外研究变电站综合自动化系统始于20世纪70年代中、后期,80年代发展较快,90年代技术上有更大的发展,著名的制造厂商颇多。他们研究工作突出的特点是彼此间一开始就十分重视这一领域的技术规范和标准的制定与协调。既避免了各自为政造成不良的后果,而且明显地缩短了样机与成熟产品间的距离,加速了商品进入市场的速度,这很值得我们学习和借鉴。在整个自动化系统的研发过程中,国外学术团体在制定技术规范方面发挥了关键作用。

德国电力行业协会(VDEW)为电子制造商协会(EVEI)制定的关于数字式变电站控制系统的推荐草案于1987年公布,成为IEC TC 57在起草保护与控制之间通信标准的参考,内容非常丰富。该草案规定变电站的结构为站控级和元件/间隔级,并对系统的硬件、软件、参数化、资料、测试、验收和现场调试都作了详细规定。德国的三大电气公司(SIEMENS、ABB、AEG)基本上是按这一推荐规范设计和开发自己的产品的。美国电力科学研究院(EPRI)委托西屋电气公司研究起草的变电站控制与保护项目的系统规范于1983年8月发表(EL-1813),它涉及基于微处理器的一整套变电站控制与保护的设计与实施。1989年又对1983年发表的报告进行了最终修改与增补,该规范列出了该系统可能的功能清单,反映出当时就已经提出了对变电站综合自动化的基本要求。

国际电工委员会第57技术委员会(IEC TC 57)为了配合变电站综合自动化技术的发展,成立了“变电站控制和保护接口”工作组,负责起草该接口的通信标准。该工作组共有12个国家(主要集中在北美和欧洲,亚洲有中国,非洲有南非)2000位成员参加。1994年3月~1995年4月举行了四次讨论会,于1995年2月向IEC秘书处提交了保护通信伙伴标准IEC 870-5-103,为控制与保护之间的通信提供了一个国际标准。2004年,国际电工委员会第57技术委员会颁布了用于变电站通信网络和系统的国际标准IEC 61850(以下简称IEC 61850标准)。

1.2.4 我国变电站综合自动化的发展过程

我国变电站综合自动化的研究工作开始于20世纪80年代中期,也是从中、低压变电站开始应用的。

1987年由清华大学电机系研制成功第一个符合国情的变电站综合自动化系统，在山东威海望岛变电站成功地投入运行。该系统主要由三台微机及其外围接口电路组成，其原理结构如图1-2所示。

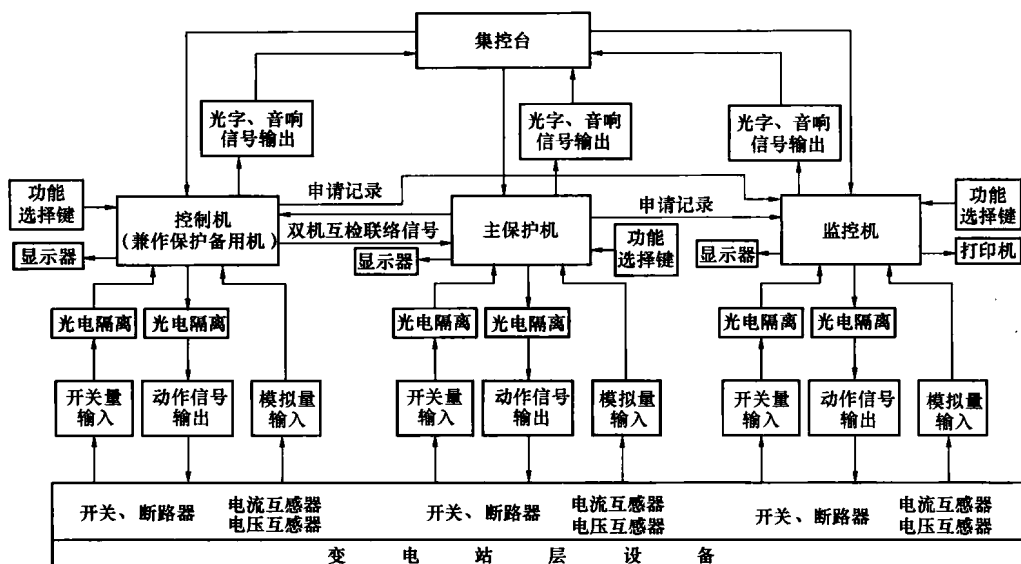


图 1-2 我国第一套变电站微机监测、保护综合控制系统原理结构图

望岛变电站是一座 35kV 的城市变电站，具有 2 回 35kV 进线，2 回 35kV 出线，2 台主变压器，8 回 10kV 馈电线路和 2 组无功补偿电容器。望岛变电站的综合自动化系统主要由三台微机组成，分成三个子系统，担负了变电站安全监控、微机保护、电压无功控制、中央信号等全部任务。

1. 安全监控子系统

安全监控子系统由一台微型计算机系统及其外围接口电路组成，完成当地的监控功能。

(1) 测量：对全站主要设备（变压器，电容器，全部输、配电线路）的电压、电流、有功功率、无功功率、主变压器温度进行采集和处理。

(2) 监视：对所采集的电压、电流、主变压器温度等不断进行越限判断，若有越限，则发告警信号。

(3) 对全站断路器状态进行监视。

(4) 断路器操作：通过监控机键盘和 CRT 显示器，实现对全站断路器的操作。

(5) 记录继电保护动作信息，并记录保护动作前后的短路电流值。

(6) 显示：通过 CRT 显示器，显示全站的实时主接线图和各断路器状态，并以不同画面显示全部巡回检测的量；自动显示保护动作性质和保护动作前后的电流值。

(7) 制表打印：可定时打印报表，可召唤打印实时检测数据，自动打印越限值和越限时时刻，事故记录打印。

2. 微机保护子系统

微机保护子系统的主要功能包括：

(1) 2 回 35kV 出线保护。