



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



电子信息与电气学科规划教材·电气工程及其自动化专业

电器智能化

原理及应用(第2版)

王汝文 宋政湘 张国钢 编著
张培铭 邹积岩 主审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
电子信息与电气学科规划教材·电气工程及其自动化专业

电器智能化原理及应用

(第2版)

王汝文 宋政湘 张国钢 编著

张培铭 邹积岩 主审

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材, 全书系统、全面地讨论电器智能化的原理与应用, 全书共分8章。

第1章介绍智能电器及电器智能化的基本概念等内容。第2章讨论智能电器常用的一次设备及其控制特点, 分析了其智能控制的可行性。第3章和第4章主要介绍智能电器元件与开关设备现场的各类运行参量及其测量电路的设计和常用电路元件, 讨论现场模拟参量数字处理方法, 分析测量误差。第5章着重讨论智能电器元件及开关设备监控器的结构组成及软、硬件的设计方法。第6章介绍了与智能电器电磁兼容性有关的基本知识、主要的干扰类型及抑制措施、相关的试验标准和方法。第7章讨论与电器智能化网络相关的基础知识, 分析电器智能化网络的结构特点和设计方法。第8章给出具体智能电器和网络的设计实例, 说明智能电器和电器智能化网络的设计过程。

本书适合作为高等院校电气工程、自动化等相关专业本科生和工程硕士研究生的教材, 也可作为电气工程领域各类电器方向研发进修班的培训教材, 对从事电器智能化研发的科技人员也有很好的参考价值。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电器智能化原理及应用 / 王汝文, 宋政湘, 张国钢编著. —2版. —北京: 电子工业出版社, 2009.1
电子信息与电气学科规划教材·电气工程及其自动化专业
ISBN 978-7-121-07674-9

I. 电… II. ①王…②宋…③张… III. 电器—智能控制—高等学校—教材 IV. TM5

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第169485号

策划编辑: 张 濮

责任编辑: 李秦华

印 刷: 北京智力达印刷有限公司

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 15.75 字数: 434千字

印 次: 2009年1月第1次印刷

印 数: 4000册 定价: 25.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010)88258888。

前 言

作为普通高等教育“十五”国家级规划教材,《电器智能化原理及应用》自 2003 年 6 月出版至今,已经 5 年了。本教材的出版和使用,既为我国普通高等学校相关专业提供了一本比较系统、全面地阐述电器智能化理论及研发方法的教材,也为该领域的科技工作者提供了一本有益的参考书,受到了各方面的好评。但是在这短短的 5 年中,智能电器及电器智能化技术在国内外有了快速的发展,其应用领域更加广泛,设计技术大大提高,人们对它的认识也更加深入。特别是通过这 5 年的教学和科研实践,教材编著者深感第 1 版教材在对电器智能化的认识方面存在不足,而且不少内容已经不能反映当前该领域的最新技术,必须进行较全面地修改,删除已经过时的内容,充实并增加新的理论和方法,使教材能够更加全面地反映电器智能化领域的新理念、新技术和新方法。为此,在西安交通大学和电子工业出版社的大力推荐和支持下,编著者重新编写了《电器智能化原理及应用》第 2 版,并被教育部列入“十一五”国家级规划教材。

本教材对上一版的内容做了较大的修改。一方面对原书各章的内容按照除旧增新的原则进行改编,另一方面对全书的结构进行了调整,将第 1 版的 6 章改为 8 章。在第 1 章“绪论”中,讨论了智能电器和电器智能化的基本概念、电器智能化的主要应用、国内外研究的发展现状和趋势,说明了本课程学习的内容和方法。在第 2 章“智能电器的一次设备”中,说明智能电器一次设备的分类和功能,分别介绍了各类开关元件操作控制方法,分析了实现其操作智能控制的条件和原理。在第 3 章“现场参量及其检测”中,重点讨论各类智能电器设备运行现场需要检测的工作参量类型和测量方法、常用测量通道的结构、电路形式和元件的选择,分析通道误差及其抑制措施。在第 4 章“被测模拟量的信号分析与处理”中,介绍了需要检测的各类现场模拟量信号常用的数字处理方法、测量和保护精度的概念及影响精度的主要因素,说明了数字处理方法引起的主要误差及减小误差的基本方法。在第 5 章“智能电器监控器的设计”中,从硬件和软件两方面介绍智能电器监控器设计的基本原理。硬件部分在讨论其整体结构和模块划分的基础上,分别阐述了中央处理与控制模块、开关量输出模块、通信模块、人机交互模块和电源模块常用电路结构、模块中的 IC 元件及其与处理器件的接口方法;软件部分给出了常用的设计模式及适用场合,重点分析了嵌入式系统软件设计模式中实时多任务调度操作系统基本概念和设计方法。在第 6 章“智能电器监控器的电磁兼容性设计”中,系统地说明了电磁兼容性的基本概念和电磁干扰的传播机制;从系统级和印制电路板级两个层面讨论智能电器电磁兼容性设计的原理和方法;给出了与智能电器电磁干扰相关的 IEC 标准和测试方法。在第 7 章“电器智能化网络”中,介绍与电器智能化网络有关的计算机通信网络和数字通信的基本知识,说明电器智能化网络的功能、结构和信息传输特点,在此基础上着重讨论了直接面向现场智能电器设备的智能化局域网的组成结构、运行方式和设计原理。在第 8 章“智能电器及其应用系统设计实例”中,通过低压断路器智能脱扣器、电能质量智能监控器和变电站综合自动化网络的设计实例,说明智能电器及电器智能化网络的设计过程。

本教材由西安交通大学电器教研室组织编写，大连理工大学副校长、博士生导师邹积岩教授和福州大学电器教研室博士生导师张培铭教授主审。王汝文负责第1章、第2章、第5章、第6章的编写和全书统稿，并协助完成其余各章的编写工作。第3章、第4章和第8章中的8.1节和8.2节由宋政湘执笔编写，第7章和第8章中的8.3节由张国钢执笔编写。西安交通大学电器教研室博士生导师马志瀛教授对本教材编写工作给了全面有益的指导和帮助，秦祖荫教授为电磁兼容性设计一章的编写提供了有用的素材。邹积岩教授和张培铭教授对全书进行了非常仔细的审阅，并对书中内容和部分章节的编写提出了积极中肯的建议。对以上同志为本教材所做的工作，编著者在此表示深深的感谢。

需要特别说明的是，本教材是在总结西安交通大学电器教研室全体教师多年科研和教学工作的基础上编写完成的，是教研室全体教师辛勤工作的成果。同时，教材编写过程中还吸取了国内在这一领域中研发工作的宝贵经验。编著者也在此对从事电器智能化教学、科研和产品开发的全体同行专家致以崇高的敬意。

编著者还要感谢电子工业出版社对本教材出版给予的关注、支持和帮助。

本教材虽然是在第1版基础上改编的，但鉴于编著者对相关领域知识的了解深度和对电器智能化认识仍然存在局限，书中难免有不足和谬误之处，诚挚地希望广大读者给予批评和指正。

编 著 者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 电器智能化概述	1
1.1.1 电器智能化与智能电器	1
1.1.2 智能电器的基本特点	2
1.1.3 智能电器的一般组成结构	3
1.1.4 电器智能化网络的结构和特点	5
1.2 电器智能化技术的应用	6
1.2.1 电器智能化在电力系统自动化中应用	6
1.2.2 电器智能化在工业自动化中的应用	9
1.2.3 电器智能化在楼宇智能化管理中的应用	10
1.3 电器智能化技术的发展	11
1.3.1 智能电器监控器功能的完善与开发	11
1.3.2 监控器设计技术的现状与发展	12
1.3.3 电器元件工作机理的变革	17
1.3.4 电器智能化网络设计的现状与发展	18
1.4 本课程学习内容	19
1.5 本章小结	20
习题与思考题	20
第 2 章 智能电器的一次设备	21
2.1 智能电器一次设备的功能及分类	21
2.1.1 一次设备的基本功能	21
2.1.2 一次设备的分类	21
2.1.3 一次设备实现智能控制的基本要求	23
2.2 断路器及其智能控制	24
2.2.1 传统断路器操动机构的工作特点和控制要求	24
2.2.2 永磁操动机构的基本工作原理及其控制	24
2.2.3 断路器的选相分/合闸操作	27
2.2.4 智能断路器监控器的功能和要求	28
2.3 接触器及其智能控制	30
2.3.1 接触器的特点及应用	30
2.3.2 接触器智能控制的目标及基本方法	31

2.4 其他一次开关元件	33
2.4.1 负荷开关	33
2.4.2 高压隔离开关	33
2.4.3 高压接地开关	34
2.5 成套开关设备	34
2.5.1 概述	34
2.5.2 常用成套开关设备及其智能控制	35
2.6 本章小结	38
习题及思考题	38
第3章 现场参量及其检测	39
3.1 智能电器现场参量类型及数字化测量方法	39
3.2 电量信号检测方法	40
3.2.1 基于电磁感应定律的电压、电流互感器	40
3.2.2 霍尔电流、电压传感器	47
3.2.3 光学电流、电压互感器	51
3.3 非电量信号检测方法	54
3.3.1 温度检测传感器及在智能电器中的应用	54
3.3.2 湿度检测传感器及应用	60
3.3.3 电器操动机构机械特性测量	61
3.4 被测量输入通道设计原理	63
3.4.1 输入通道的基本结构	63
3.4.2 模拟量输入通道中信号调理电路原理及常用芯片	65
3.4.3 多路模拟参量信号与 A/D 转换器的接口	70
3.4.4 模拟量采样环节设计原理及常用电路芯片	71
3.4.5 隔离概念及其措施	75
3.5 测量通道的误差分析	78
3.5.1 误差及其表示方法	78
3.5.2 智能电器监控器被测模拟量输入通道产生的误差	79
3.6 本章小结	81
习题与思考题	81
第4章 被测模拟量的信号分析与处理	82
4.1 被测模拟量的信号分类	82
4.2 被测模拟量的采样及采样速率的确定	83
4.2.1 采样速率对测量结果的影响分析	83
4.2.2 采样频率的选择	86
4.3 数字滤波	86
4.4 非线性传感器测量结果的数字化处理	88

4.4.1	直接计算法	88
4.4.2	查表法	88
4.4.3	插值法	89
4.5	被测电参量的测量和保护算法	91
4.5.1	电压和电流信号的采样方法	91
4.5.2	常用的电量测量算法	92
4.5.3	基本保护算法	93
4.5.4	测量和保护计算的误差分析	98
4.5.5	常用提高计算结果精度的措施	101
4.6	本章小结	103
	习题与思考题	103
第 5 章	智能电器监控器的设计	105
5.1	智能电器监控器的功能和硬件模块的划分	105
5.1.1	监控器的基本功能	105
5.1.2	监控器硬件功能模块的划分	106
5.2	中央处理与控制模块的一般结构和设计方法	108
5.2.1	中央处理与控制模块结构设计步骤	108
5.2.2	中央控制模块常用处理器件和外围电路芯片	113
5.3	其他功能模块的结构组成	120
5.3.1	开关量输出模块的结构组成	120
5.3.2	通信模块的基本功能和设计原则	123
5.3.3	人机交互模块的设计步骤	126
5.3.4	电源模块	132
5.4	监控器的时序设计	134
5.5	监控器的软件设计	135
5.5.1	监控器软件设计的基本要求	135
5.5.2	监控器软件常用的设计模式与适用场合	136
5.6	RTOS 概念及其在监控器软件中的实现	138
5.6.1	任务调度的概念和实时任务操作系统的分类	138
5.6.2	智能监控器软件的数据格式	143
5.7	本章小结	147
	习题与思考题	147
第 6 章	智能电器监控器的电磁兼容性设计	149
6.1	电磁兼容概述	149
6.1.1	电磁兼容基本概念	149
6.1.2	电子产品中电磁发射和磁场干扰的抑制	152
6.1.3	差模干扰和共模干扰	153

6.2	智能电器监控器的电磁兼容性设计问题	154
6.2.1	监控器受到的主要干扰	154
6.2.2	监控器的系统级电磁兼容性设计	154
6.2.3	监控器 PCB 的抗干扰设计	158
6.3	智能电器监控器的 EMI 测试标准和方法	163
6.3.1	静电放电抗扰度试验标准和方法	163
6.3.2	电快速瞬变脉冲群 (EFT) 抗扰度试验	164
6.3.3	浪涌 (冲击) 抗扰度试验	166
6.3.4	电压跌落、短时中断和电压变化抗扰度试验	167
6.4	本章小结	168
	习题与思考题	168
第 7 章	电器智能化网络	169
7.1	数字通信基础	169
7.1.1	数字通信系统的基本概念	169
7.1.2	信道的截止频率与带宽	171
7.1.3	信道的最大数据传输速率	172
7.1.4	数据编码方式	173
7.1.5	数据信号的传输方式	175
7.1.6	多路复用技术	176
7.1.7	信号传输的同步方式	176
7.1.8	数字通信网络的传输介质	178
7.2	计算机网络基础	179
7.2.1	计算机通信网络的基本特点	179
7.2.2	计算机网络的分类与拓扑结构	180
7.2.3	网络通信协议和分层模型	182
7.2.4	开放系统互连参考模型	183
7.2.5	电器智能化网络与通用信息网络的特性比较	185
7.3	电器智能化网络中常用的现场总线	185
7.3.1	现场总线的特点及总线标准类型	186
7.3.2	MODBUS	187
7.3.3	CAN	190
7.3.4	PROFIBUS	196
7.4	电器智能化网络的设计与实施	197
7.4.1	电器智能化网络的基本要求	198
7.4.2	电器智能化局域网的结构与设计	199
7.4.3	现场层网络的设计	203
7.5	电器智能化局域网的软件开发	204
7.5.1	软件功能和设计基本原则	204

7.5.2	保证系统开放性的设计方法	205
7.5.3	软件的可靠性、稳定性设计	206
7.5.4	提高系统配置灵活性的措施	207
7.5.5	常用数据交换方式及数据包格式	208
7.5.6	软件测试	209
7.6	关于网络互连技术的讨论	211
7.6.1	问题的提出	211
7.6.2	网络级互连的概念	211
7.6.3	TCP/IP 参考模型及其特点	212
7.7	本章小结	213
	习题与思考题	213
第 8 章	智能电器及其应用系统设计实例	215
8.1	低压塑壳式断路器的智能脱扣器设计	215
8.1.1	智能脱扣器的基本功能和设计要求	216
8.1.2	智能脱扣器的硬件设计	217
8.1.3	智能脱扣器的程序设计	220
8.2	电能质量在线监测器	221
8.2.1	电能质量在线监测器的设计要求	222
8.2.2	电能质量在线监测器的硬件设计	222
8.2.3	电能质量在线监测器的软件设计	224
8.3	分布式变电站自动化系统	227
8.3.1	分布式变电站自动化系统概述	228
8.3.2	系统功能的分析及整体设计	229
8.3.3	系统后台管理软件的设计	232
8.4	本章小结	237
	习题与思考题	238
	参考文献	239

绪 论

电器智能化是传统电器学科、现代传感器技术、微机控制技术、现代电子技术、电力电子技术、数字通信及其网络技术等多门类学科交叉和融合的结果,是电器学科的一个新的发展领域。本章阐明电器智能化和智能电器的基本概念,根据智能电器和智能开关设备的主要特点给出了它们的定义,说明智能电器的基本结构及电器智能化网络的组成;介绍了智能电器在电力系统自动化、工业自动化和楼宇智能化中的应用;从智能电器的功能、智能控制器的设计技术、电器元件及其操动机机构工作机理的变革以及电器智能化网络几方面,讨论了电器智能化发展的现状和前景;最后介绍了本课程学习的主要内容。

1.1 电器智能化概述

电器是用于完成电路监测,并根据不同的运行状态与要求,实现电路接通或分断操作的设备,如电压、电流互感器和断路器、接触器、各类继电器等开关电器及其成套设备,主要用于电力传输与分配、电力系统继电保护、工业及民用用电设备供电、保护及控制等场合。本书涉及的电器仅指开关电器及其成套设备。

电器智能化是现代社会生产和生活向开关电器领域提出的要求,也是现代科学技术与传统电器技术相结合的产物。它融合了传统电器与现代传感器技术、计算机与数字控制技术、微电子技术、电力电子技术、计算机网络及数字通信等多个学科。可以说,没有这些新兴学科的发展就没有电器智能化。

1.1.1 电器智能化与智能电器

电器智能化的概念,电器智能化与智能电器间的关系,是学习这门课程首先应解决的问题。正如工业自动化与自动化工业设备之间的关系一样,电器智能化包含了智能电器的内容,没有智能电器,就没有电器智能化,但电器智能化绝对不等同于智能电器。智能电器是指智能化了的开关电器元件或成套开关设备,是一种具体的有形产品。而电器智能化应当是一种理念,一种方法,也是一种发展和进步过程。电器智能化一方面涉及与智能电器设计相关的各学科的理论知识和技术,如现代传感器技术、数字信号处理技术、微电子和电力电子技术、现代微机控制系统设计、计算机网络与数字通信技术等;另一方面,还必须关注智能电器的应用,包括如何最充分地发挥智能电器产品的优良性能,如何通过智能电器自身的监测、保护、记录、通信等功能实现对它们的远程管理和控制,如何有效地通过统一的、开放的通信协议

把不同的智能电器产品组成适应用户要求的智能化管理和控制网络的方法。因此,可以认为电器智能化是以智能电器这种有形产品为基础建立的相关学科知识及应用技术的系统集成。

在智能电器发展的初期,对智能电器的定义曾有过一个不很确切的认识,即微机控制+开关电器就是智能电器。从智能电器元件和成套设备的硬件结构看,它们确实主要包含了这两部分。但把这类产品称为智能电器的实质,则是因为微机控制和现场各类参量的数字处理技术的应用,使这类产品不仅具有自动监测和显示开关电器运行工况的能力,还能自动识别电器元件的运行状态、判别故障及其类型,并根据运行工况控制开关电器的操动机构进行智能操作,以充分提高开关电器的性能。目前有关智能电器的定义还没有统一的认识,本书从其具有的基本功能和结构特征出发,分别给出智能电器元件和智能化开关设备的定义。

智能电器元件(Intelligent Apparatus 或 Smart Apparatus)由一次开关元件及其智能监控器组成,是具有自动监测和识别开关电器工作状态及故障类型,并能根据识别的结果发出不同的操作信息,实现操动机构智能操作的电器元件。

智能开关设备(Intelligent Switchgear)也包括一次开关元件和智能监控器,不仅具有开关设备二次系统的测量、保护和控制功能,还能记录并现场(当地)显示设备各种运行状态及事件的历史数据,并通过数字通信网络向系统控制中心传送各类现场参数,接受系统控制中心的远程操作与管理。

在本教材以后的叙述中,若无特别说明,将把智能电器元件和智能开关设备统称为“智能电器”。

1.1.2 智能电器的基本特点

根据前面给出的定义,可以归纳出智能电器的基本特点。

1. 现场参量处理数字化

这是智能电器区别于其他采用电子电路实现控制功能的电器和开关设备最重要的标志。由于采用可编程数字处理和控制技术,电器设备运行现场的各种被测参量全部采用数字化处理,不仅大大提高了测量和保护精度,减小了产品保护特性的分散性,而且可以通过软件改变处理算法,不需修改硬件结构设计,就可以实现不同的控制和保护功能。

2. 电器设备的多功能化

采用微控制器(Micro Control Unit, MCU,也称单片微机,即 Single Chip Micro-computer)或其他大规模可编程数字处理器件对电器设备运行现场的各种参量采样与处理。智能电器可以集成用户需要的各种功能,如作为数字化仪表,可实时显示要求的各种运行参数;可以根据工作现场具体情况设置保护类型、保护特性和保护阈值;对运行状态进行分析和判断,并根据结果操作开关电器,实现被监控对象要求的各种保护;真实记录并显示故障过程,以便用户进行事故分析;按用户要求保存运行的历史数据,编制并打印报表等。

3. 电器设备的网络化

智能电器监控器以 MCU 或其他可编程数字处理器件为核心,实质上是一种独立的微型计算机控制设备,可以把它们当做计算机通信网络中的通信节点,采用数字通信技术,组成电器智能化通信网络,完成信息的传输,实现智能电器设备的网络化的管理及设备资源共享。

4. 真正实现分布式管理与控制

智能电器监控器能够完成对电器设备本身及其监控对象要求的全部监测、控制和保护，使现场设备具有完善的、独立的处理事故和完成不同操作的能力，可以通过它们的通信接口组建成完全不同于集中控制或集散控制系统的分布式控制系统。

5. 可以组成真正全开放式系统

采用计算机通信网络中的分层模型建立起来的电器智能化通信网络，可以把不同生产厂家、不同类型但具有相同通信协议的智能电器互连起来，实现资源共享和不同厂商产品互换，达到系统的最优组合。通过网络互连技术，还可以把不同地域、不同类型的电器智能化通信网络连接起来，组成全国乃至世界范围内的开放式系统。

1.1.3 智能电器的一般组成结构

如上所述，智能电器分为元件和成套电器设备两类，都包括一次开关和监控器，基本结构如图 1.1 所示。从工作原理上看，智能电器监控器具有相同的模块结构，由输入、中央处理与控制、输出、通信和人机交互 5 大模块组成。

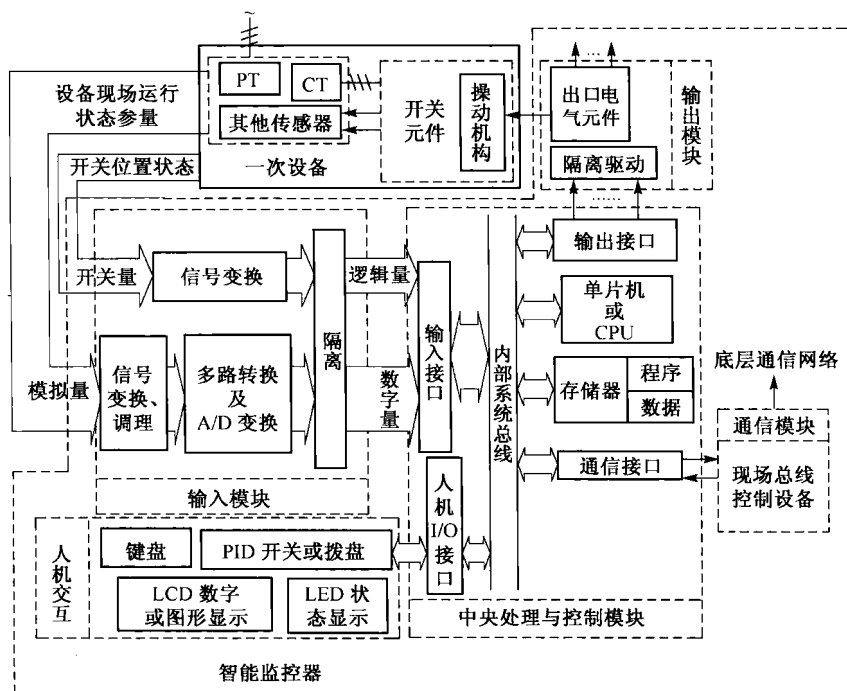


图 1.1 智能电器的基本结构

输入模块主要完成对开关元件和被监控对象运行现场的各种状态、参数和特性的在线检测，并将检测结果送入中央处理与控制模块。来自运行现场的输入参量可分为模拟量和开关量两类，分别经过相应的变换器转换成与中央处理与控制模块输入兼容的数字量信号和逻辑量信号。为提高中央处理与控制模块的可靠性和抗干扰能力，在变换器输出及中央处理与控制模块的输入接口间必须有可靠的隔离。

中央处理与控制模块基本上是一个以 MCU 或其他可编程数字处理器件为中心的最小系

统,完成对一次开关或被保护控制对象的运行状态和运行参数的处理;根据处理结果判断是否有故障,有何种类型的故障;按照判断结果或管理中心经通信网络下达的命令,决定当前是否进行一次开关的合、分操作;输出操作控制信号,并确认操作是否完成。

输出模块接收中央控制模块输出并经隔离放大后的操作控制信号,传送至一次开关的操动机构,使其完成相应的操作。

通信模块把智能电器现场的运行参数、一次开关工作状态等信息通过数字通信网络上传至后台管理系统计算机(上位机),并接收它们发送给现场的有关信息和指令,完成“四遥”功能。

人机交互模块为现场操作人员提供完善的就地操作和显示功能,包括现场运行参数和状态的显示、保护特性和参数的设定、保护功能的投/退以及一次开关的现场控制操作。

尽管智能电器元件和开关设备有基本相同的结构组成,但是无论在实现的主要功能和实际物理结构上,二者仍然存在某些差别。

1. 智能电器元件物理结构及基本功能

从物理结构上看,智能电器元件的监控器总是与一次开关集成为一个整体。例如,当一次开关是断路器时,智能监控器就是附属于它的智能脱扣器,完成传统断路器的脱扣器具有的各种保护和操作控制功能。

智能电器元件不仅能根据监控器发出的指令实现一次开关的简单合、分闸操作,重要的是能根据操作命令发出时一次开关的运行状态,控制其操动机构的运动速度,实现对开关元件的智能操作。在这种情况下,智能监控器的中央处理与控制模块输出的控制信号一般为数字量,输出模块中的执行元件选择取决于一次开关操动机构的工作方式。

根据被控制和保护对象的工作性质,智能电器元件可以独立封闭式使用,也可以作为电器智能化网络中的一个现场设备。

2. 智能化成套电器设备

与智能电器元件的物理结构不同,智能化成套电器设备(以下简称智能电器设备)中的监控器一般安置在设备面板上,空间位置上与一次开关相对独立,在输入、输出端口的设置和处理器完成的功能等方面也有较大的区别。

智能电器设备主要用做电力系统自动化和各种智能化低压配电系统的现场设备,在智能化网络中一般都作为节点设备。为了满足电器设备通用化、标准化以及组成分布式开放系统的要求,智能电器设备的监控器除完成传统成套电器设备中二次电路全部的测量、保护和控制功能外,需要将大量的设备现场记录传至后台管理系统上位机,接收上位机传来的各种操作命令和网络重组命令。因而中央处理与控制模块需要处理、记录和显示的信息量更大。

成套电器设备一次元件应包含设备中所有安装在一次电路侧的电器元件,如电压互感器、电流互感器、变压器、隔离开关、执行电器(断路器、接触器、负荷开关)、接地开关等。监控器通过电压、电流互感器取得设备中一次元件及其被控制和保护对象的运行电参数,从设备内部各开关元件、各种机械联锁开关及相互关联的其他开关设备取得相关的状态信息,作为监控器输入模块的输入。因此,智能电器设备监控器的输入通道数量一般比智能开关元件监控器多。

此外,作为成套电器设备,在内部不同的一次开关元件间,同一系统中不同电器设备的

一次开关元件间往往需要互相联锁,因此输出模块不仅要输出本设备开关元件的操作变位信号,还需要输出与其他设备的一次开关间联锁的信号,输出通道数往往不止一条,信号基本是开关量,操作命令执行元件用继电器或电力电子开关器件。

1.1.4 电器智能化网络的结构和特点

智能电器具有对各类电力设备和电力用户的现场运行参量实时在线采集、数字化处理及网络通信等功能,可以通过现场总线及数字化通信网络技术,把电力系统发电、输电、配电各环节的设备,供电系统中各用户设备组成类似计算机通信网络的结构,对系统各环节的电力设备、供电质量和用电质量进行全面监控,实现电力系统和电力用户的智能化、自动化管理。这种采用现场总线和数字通信网络技术,由系统后台管理设备和现场智能电器组成的网络就称为电器智能化网络。

1. 结构

电器智能化网络通常是一个局域网,典型结构如图 1.2 所示。可以看出,网络基本可分为两个层次。

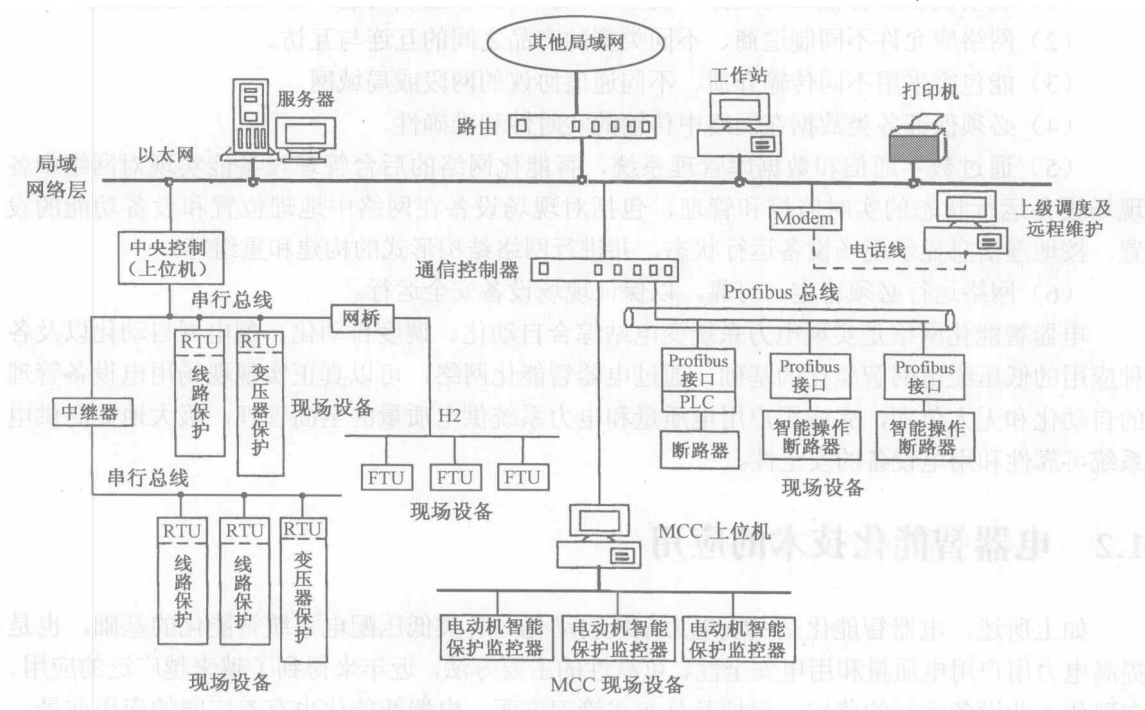


图 1.2 电器智能化网络典型结构

(1) 现场设备网络层

这是网络中面向现场设备的子层。各种不同类型、不同生产厂家提供的智能开关元件或成套开关设备作为这层网络的节点,由选定的现场总线连接。在这一层网络中,可以设置一个微机或可编程控制器(Programmable Logic Controller, PLC)作为管理设备。管理设备也是网络的节点,除完成对同一网络中的现场设备和网络管理外,还实现现场层网络与上层局域网之间通信协议的转换。

通过独立的协议转换接口,现场设备可直接接受局域网络层的管理设备管理。现场层网络还可通过中继器、集线器(Hub)、网桥连接,扩大其覆盖范围。

(2) 局域网络层

局域网络层的网络节点包括不同总线协议的现场层网络、具有独立协议转换接口的现场设备和局域网后台管理设备,它们之间一般采用以太网(Ethernet)连接。采用不同现场总线的现场层网络必须通过通信控制器完成协议转换,实现现场设备层与以太网之间的连接。根据局域网的规模,通信控制器可以是一台专用的物理设备,也可以是后台管理设备中的一个软件模块。

多个局域网经路由器连接,可组成更大的网络。通过网络互连技术,可实现各局域网之间的互连与互访。还可通过调制解调器(Modem)用电话网、电力线载波或无线网与远方的高层管理系统连接。

2. 主要特点

从以上分析可以看出,电器智能化网络有下述特点:

- (1) 现场设备具有独立的监控、测量、保护、操作控制功能,并且具有通信能力。
- (2) 网络应允许不同制造商、不同类型的产品之间的互连与互访。
- (3) 能包容采用不同传输介质、不同通信协议的网段或局域网。
- (4) 必须保证各类数据在网络中传输的实时性和准确性。
- (5) 通过数字通信和数据库管理系统,智能化网络的后台管理设备能实现对网络中各现场设备运行状态的实时监控和管理,包括对现场设备在网络中地理位置和设备功能的设置,按地理信息显示现场设备运行状态,并进行网络结构形式的构建和重组等。
- (6) 网络运行必须稳定、可靠,以保证现场设备安全运行。

电器智能化网络是实现电力系统变电站综合自动化、调度自动化、配电网自动化以及各种应用的低压配电网智能化的基础。通过电器智能化网络,可以真正实现现场用电设备管理的自动化和无人值守,完成用户用电质量和电力系统供电质量的全面管理,极大地提高供电系统可靠性和用电设备的安全性。

1.2 电器智能化技术的应用

如上所述,电器智能化是实现电力系统自动化、各类低压配电系统智能化的基础,也是提高电力用户用电质量和用电安全性、可靠性的主要方法,近年来得到了越来越广泛的应用。在现代工业设备运行的监控、保护及分布式管理方面,电器智能化也有着广阔的应用前景。本节将从以下几方面讨论电器智能化技术的应用。

1.2.1 电器智能化在电力系统自动化中应用

电力系统自动化是保证电力发、输、配、供、用各环节安全性和可靠性,提高电网运行效率,降低运行成本,保证供电质量的基本措施。现代化大工业生产与现代社会生活要求电力系统有更完善可靠的自动化管理、保护、控制和供电质量监测,为各类电力用户提供更高质量的电能。

现代电力系统自动化除了传统的发电厂自动化、输配电设备继电保护和自动控制以外,还包含了电网调度自动化、电力市场自动化等内容。传统电力系统自动化以电磁式继电器或分立的电子电器作为开关设备的控制和保护元件,设备体积庞大、线路复杂、维护困难,更重要的是它们没有数字处理和通信功能,只能组成单一的封闭式监控系统,无法满足现代电力系统自动化的要求。智能电器集成了对运行现场开关设备各种参量与状态的数字化处理,能够根据处理结果完成保护、自动控制和通信功能;通过数字通信网络,可以把从现场得到的系统各环节的运行信息,发送到电力系统自动化各相关职能的管理中心,再将管理中心对现场信息的处理和分析结果发送回现场,对现场设备进行参数调节和操作控制,从而实现现代电力系统自动化要求的各种功能。

原则上,电器智能化技术可以应用在电力系统发、输、配、供、用各个环节。但是由于使用现场环境等原因,当前主要用于发电厂和各类分布式变电站自动化、低压配电网自动化及其电能质量管理。在输电和高压配电系统中的馈电线路自动化方面,智能电器的应用已经开始,但在国内还不够成熟,需要进一步探索。本节简要介绍电器智能化在分布式变电站自动化、低压配电网自动化及其电能质量监控、电力设备在线监测方面的应用。

1. 分布式变电站自动化中的电器智能化技术

变电站是实现电力系统电能再分配的重要组成部分。根据在电力系统中的地位和功能,变电站电压从高到低大致可分为输电、配电和供电 3 类。输电变电站把发电厂发出的电能升压后输送到输电线路;输电线路传输的电能通过配电变电站分配到下级配电变电站或用户供电变电站;供电变电站经低压配电网把电能分配到各电力用户。传统变电站设备的控制、监测、继电保护、远动等功能采用各种电动式、电磁式继电器和仪表组合完成,所以实时数据处理和一次设备控制的实时性较差,电能质量监控能力不高;二次设备和继电保护装置体积庞大,维护困难。特别是这些设备没有数字处理和通信功能,完全不能达到现代电力系统自动化对变电站工作的要求。

分布式变电站自动化也称变电站综合自动化,采用带有智能 RTU (Remote Terminal Unit) 的一次电器设备,组成间隔层微机综合保护与监控装置,配合后台通信处理与数字信息管理设备、微机化的继电保护设备,组成分布式控制与管理系统,对变电站设备的控制、保护、实时数据处理、监测、自动远动等功能进行组合,实现全站的自动监视、测量、控制、保护以及电能质量监测的综合管理。

分布式变电站中的现场智能电器设备按分层、分布式网络结构组成,将设备的保护功能分散到各保护小室或开关设备,现场设备的各种状态只需要通过通信网络与控制室后台管理设备连接。这种设计既减少了控制室中的屏位,减小了占地面积,又大大地减少了传统变电站从现场设备到控制室传送信息电缆的长度和数量,不仅节约了投资,还避免了长电缆对地电容对设备保护可靠性的影响。现场设备的各种运行参数和状态都可以由通信网络发送到控制室后台管理设备,管理设备执行 SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) 软件,处理现场 RTU 上传的各种实时和历史数据,把要下达的各种数据、命令等信息通过通信网络发送到现场 RTU。因此,变电站综合自动化系统可以自动实现现场设备的遥控、遥调、遥信和遥测;可自动根据要求按照定时、事件触发、人工召唤 3 种方式打印所需的报表,为运行管理和调度部门提供需要存档的统计记录文件、运行日报表、月报表、年报表、事件顺序记录、开关动作次数累计、负荷率和电压合格率统计等,从而实现下层配电变电站和供电变