



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

王汝文 宋政湘 杨 伟 编著

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



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

王汝文 宋政湘 杨 伟 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是一本系统介绍电器智能化原理及应用的教材,是普通高等教育“十五”国家级规划教材。全书分6章,全面阐述了电器智能化的概念、原理、方法、技术和应用。主要内容包括:绪论,现场参量及其检测,现场参量的信号分析与处理,智能电器监控单元的设计,电器智能化局域网设计基础,电器智能化技术在配电网自动化中的应用。

本书适合作为高等学校电气工程学科本科和研究生教材,适当裁剪后也可用做相关高职高专学校教材。本教材也是电力部门电器智能化培训教材和相关科技人员的学习参考书。

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,杨伟编著. —北京:电子工业出版社,2003.4
普通高等教育“十五”国家级规划教材
ISBN 7-5053-8661-1

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 027437 号

责任编辑:童占梅 特约编辑:徐 堃

印 刷:北京兴华印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:13.75 字数:300 千字

版 次:2003 年 4 月第 1 版 2003 年 4 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:19.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话: (010) 68279077

前 言

随着现代文明的发展与进步,社会生产和生活对电能供应的质量和管理提出了越来越高的要求。作为电能传输与控制的主要设备,电器元件和开关设备必须改变传统的设计和控制模式,才能适应现代电力系统、现代化工业生产和社会生活的发展趋势。近年来,微电子技术、微机控制与应用技术、计算机通信与网络技术的高速发展和广泛应用,为电器元件与开关设备的智能化控制提供了强大的技术支持,也为智能电器产品和电器智能化设计与开发奠定了可靠的基础。另一方面,电器智能化还大大地影响着传统电器学科的研究内容,为该学科的发展注入了新的活力。因此,智能电器和电器智能化的研究及产品的开发应用在国内外相关领域内受到了极大关注,并取得了显著成就。

作为传统电器学科中一个新的发展领域,电器智能化是多学科交叉和融合的结果,它涵盖了传统电器、电力系统自动化、微机控制、微电子技术、电力电子技术及数字通信和计算机网络等多种学科的相关知识,这对从事该领域工作的科技人员提出了很高的要求。为了适应本学科发展,并为国内企业培养能独立开发具有自主知识产权的智能化电器产品的科技人才,我们在总结多年教学与科研工作成果的基础上编写了这本教材。本教材已被教育部列为“十五”国家级规划教材。

本教材对智能电器和电器智能化的基本概念、智能电器元件及开关设备的结构、监控单元硬软件设计的基本原理、电器智能化网络结构与设计原则,以及相关的基础知识和方法都做了全面、系统而又简明的阐述,并给出了有关的设计实例,以便初学者学习理解。全书分为6章。第1章绪论。主要讨论智能电器和电器智能化的基本概念、国内外发展现状和趋势,以及本课程学习的内容和方法。第2章现场参量及其检测。重点讨论各类智能电器设备现场参量的类型、测量方法、常用电器元件及电路结构形式。第3章现场参量的信号分析与处理。介绍常用的现场模拟量数字处理方法、测量精度的概念、影响测量误差的主要因素、系统误差分析及提高测量精度的主要措施。第4章智能电器监控单元的设计。分硬件和软件两部分介绍智能电器及开关设备监控单元的基本设计原理:硬件部分主要讨论中央控制模块、输出模块、通信模块和人机交互模块中常用IC元件及其接口设计;软件部分介绍常用设计模式,重点分析实时多任务调度系统的功能、结构及其设计方法。第5章电器智能化局域网设计基础。首先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、设计原理,最后简单介绍网络互连技术及其在电器智能化网络中的应用。第6章电器智能化技术在配电网自动化中的应用。以电器智能化网络的典型应用——配电网自动化为例,介绍配电网的基本组成结构,常用的一次设备和下层的网络功能、保护配

合方式及智能化实现方法。

本教材由西安交通大学电器教研室组织编写，大连理工大学博士生导师邹积岩教授担任主审。王汝文负责第1、5章和各章习题的编写及全书统稿，并协助完成其他各章的编写工作；第2、3章由宋政湘执笔编写；第4、6章由杨伟执笔编写。张杭副教授对全书的结构和内容提出了许多宝贵意见，并为第1章提供了部分素材。西安交通大学电力系统自动化教研室李建华教授对第6章做了仔细的审阅，提出了中肯的修改意见。博士生导师陈德桂教授、马志瀛教授对本教材的编写工作也给予了许多有益的指导和帮助。邹积岩教授在审阅过程中也对本书内容和部分章节的编写提出了积极的修改建议。对以上同志为本教材所做的工作，在此表示由衷的感谢。

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研发工作中的宝贵经验，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教材编辑室和责任编辑童占梅同志对本教材出版给予的关注、支持和帮助。

本教材是国内第一本系统阐述电器智能化基本原理及应用技术的教材，鉴于编著者对相关领域知识的了解深度和对电器智能化本身认识的局限性，书中难免有不足和谬误之处，诚挚地希望广大读者批评指正。

作 者

于西安交通大学

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 电器智能化技术的发展	(7)
1.2.1 智能电器监控单元功能的完善与开发	(7)
1.2.2 监控单元设计技术的现状与发展	(9)
1.2.3 电器元件工作机理的变革	(13)
1.2.4 电器智能化网络的现状与发展趋势	(14)
1.3 本课程的学习内容	(14)
本章小结	(15)
思考练习题	(15)
第 2 章 现场参量及其检测	(16)
2.1 智能电器现场参量类型及数字化测量方法	(16)
2.2 电量信号检测方法	(17)
2.2.1 基于电磁感应定律的电压、电流互感器	(18)
2.2.2 霍尔电流、电压传感器	(25)
2.2.3 光学电流、电压互感器	(30)
2.3 非电量信号检测方法	(34)
2.3.1 温度检测传感器及其在智能电器中的应用	(34)
2.3.2 湿度检测传感器及其应用	(42)
2.3.3 电器操作机构机械特性测量	(43)
2.4 被测量输入通道设计原理	(45)
2.4.1 输入通道的基本结构	(46)
2.4.2 模拟量输入通道中的信号调理电路原理及常用芯片	(48)
2.4.3 多路模拟参量信号与 A/D 转换器接口	(54)
2.4.4 模拟量采样环节设计原理及常用电路芯片	(55)
2.4.5 隔离的概念及其措施	(59)
2.5 测量通道的误差分析	(64)

2.5.1 误差及其表示方法	(64)
2.5.2 智能电器监控单元被测模拟量输入通道产生的误差	(65)
本章小结	(67)
思考练习题	(67)
第3章 现场参量的信号分析与处理	(68)
3.1 智能电器被测参量的信号分类	(68)
3.2 被测参量的采样及采样速率的确定	(69)
3.2.1 运行现场被测参量类型及特点	(69)
3.2.2 采样速率对测量结果影响的分析	(69)
3.2.3 采样频率的选择	(71)
3.3 数字滤波	(72)
3.4 非线性传感器测量结果的数字化处理	(75)
3.4.1 直接计算法	(75)
3.4.2 查表法	(76)
3.4.3 插值法	(76)
3.5 智能电器现场电参量的测量和保护算法	(77)
3.5.1 电压和电流参量信号的采样方法	(78)
3.5.2 常用的电量测量算法	(78)
3.5.3 基本保护算法	(80)
3.5.4 测量和保护计算的误差分析	(85)
3.5.5 提高计算精度的常用措施	(88)
本章小结	(90)
思考练习题	(91)
第4章 智能电器监控单元的设计	(92)
4.1 智能监控单元的功能及结构组成	(92)
4.1.1 智能监控单元的基本功能	(92)
4.1.2 智能监控单元硬件功能模块的划分	(93)
4.1.3 中央控制模块的一般结构和设计方法	(94)
4.1.4 开关量输出模块的结构组成	(102)
4.1.5 通信模块的基本要求和设计原则	(103)
4.1.6 人机交互模块的设计步骤和常用器件	(103)
4.1.7 智能监控单元的时序设计	(106)
4.2 智能监控单元的软件设计	(107)
4.2.1 智能监控单元软件的层次设计	(107)
4.2.2 实时多任务调度系统	(109)
4.2.3 智能监控单元软件的数据格式设计	(113)

4.3 智能电器监控单元的电磁兼容性设计	(116)
4.3.1 电磁兼容性的基本概念和电磁干扰的传播途径	(116)
4.3.2 监控单元硬件的电磁兼容性设计	(117)
4.3.3 印刷电路板 (PCB) 的抗干扰设计	(119)
4.3.4 智能监控单元软件的抗干扰措施	(120)
本章小结	(122)
思考练习题	(122)
第5章 电器智能化局域网设计基础	(124)
5.1 计算机通信网络基础	(124)
5.1.1 计算机通信网络的基本特点	(124)
5.1.2 计算机网络分类	(125)
5.1.3 网络的通信协议和分层模型——网络的体系结构	(127)
5.1.4 开放系统互连参考模型	(128)
5.2 数字通信技术基础知识	(131)
5.2.1 数字通信的有效性和可靠性	(131)
5.2.2 信号的频谱与带宽	(132)
5.2.3 信道的截止频率与带宽	(133)
5.2.4 信道的最大数据传输速率	(134)
5.2.5 数据编码方式	(135)
5.2.6 数据信号的传输方式	(136)
5.2.7 多路复用技术	(137)
5.2.8 信号传输的同步方式	(138)
5.2.9 数字通信网络的传输介质	(139)
5.2.10 数字通信网络的物理层接口	(141)
5.3 现场总线基础	(144)
5.3.1 现场总线系统的特点	(144)
5.3.2 电器智能化网络中常用的现场总线	(145)
5.4 电器智能化网络结构及其设计原则	(153)
5.4.1 电器智能化局域网的特点	(153)
5.4.2 电器智能化局域网的一般结构及设计原则	(155)
5.4.3 现场设备底层网设计原则	(159)
5.5 电器智能化现场总线底层网和局域网的软件设计基础	(160)
5.5.1 软件功能和设计的基本原则	(160)
5.5.2 软件系统设计流程及方法	(162)
5.5.3 保证系统开放性的设计方法	(163)
5.5.4 软件系统可靠性、稳定性设计	(164)

5.5.5 提高系统配置灵活性的措施	(166)
5.5.6 常用数据交换方式及数据包格式	(167)
5.6 网络互连技术在电器智能化系统中的应用	(168)
5.6.1 问题的提出	(168)
5.6.2 网络级互连的概念	(169)
5.6.3 TCP/IP 参考模型及其特点	(169)
5.6.4 关于 IP	(171)
本章小结	(172)
思考练习题	(172)
第 6 章 电器智能化技术在配电网自动化中的应用	(174)
6.1 配电网自动化的基本概念	(174)
6.2 配电网自动化中使用的开关电器元件和成套设备	(177)
6.2.1 重合器	(178)
6.2.2 自动线路分段器	(179)
6.2.3 自动配电开关	(180)
6.2.4 成套组合电器	(181)
6.3 配电网自动化的远方终端设备	(184)
6.3.1 配电网自动化远方终端的基本功能	(184)
6.3.2 DA-RTU 设计中的分布式设计技术	(187)
6.3.3 DA-RTU 的故障检测方法	(187)
6.3.4 馈线自动化技术	(188)
6.4 配电网自动化主站系统	(194)
6.4.1 配电网自动化主站系统的功能及性能要求	(194)
6.4.2 配电网自动化主站系统的软硬件配置	(195)
6.4.3 配电网自动化二级主站	(197)
6.5 配电网自动化通信	(199)
6.5.1 配电网自动化通信的特点与要求	(199)
6.5.2 配电网自动化通信的配置方式	(201)
6.5.3 配电网自动化通信网络方案的选择	(203)
6.5.4 配电网自动化通信协议	(203)
本章小结	(208)
思考练习题	(208)
参考文献	(210)

第1章 绪 论

电器智能化是传统电器学科的一个新的发展领域,是传统电器学科、现代电子技术、电力电子技术、微机控制技术、现代传感器技术、数字通信及计算机网络技术等多门类学科交叉和融合的结果。本章首先阐述电器智能化和智能电器的基本概念,根据智能电器和开关设备的主要特点给出它们的定义,介绍智能电器基本结构及电器智能化网络组成;从智能电器的功能、监控单元的设计技术、电器元件工作机理和操作机构的变革,以及电器智能化网络几方面,讨论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

电器是完成电路监测,控制电路接通或分断操作的设备,如电压、电流互感器及断路器、接触器、各类继电器等开关电器,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与保护等场合。本书涉及的电器仅指开关电器及其成套设备。

电器智能化是现代化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、计算机与数字控制、微电子技术、电力电子技术、计算机通信与网络及现代传感器技术等各门类的学科,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

什么是电器智能化,它与智能电器有何关系,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,应该说,电器智能化包含了智能电器的内容,但它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,是一种具体的有形的产品。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。它不仅涉及到智能电器设计中的理论和技术,还应包含与之相关的各门类学科知识的应用,如数字信号处理、计算机网络与数字通信、芯片开发、现代微机控制系统的软件设计及现代传感器技术等。同时,电器智能化还必须关注如何使智能电器产品最充分地发挥其优良性能,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国籍、不同生产企业出品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等方法。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。从大多数智能电器元件和成套设备的硬件结构看,它们确实主要包含这两部分,但把这类产品称为智能电器的实质是因为微机控制和现场各类参量的数字处理技术的应用,使这类产品具有了自动识别有无故障及故障类别的能力,并能根据现场工况控制开关电器的操作机构进行不同操作,达到提高开关电器性能的目的。尽管目前还没有一个统一的有关智能电器的明确定义,但从其具有的基本特征来看,智能电器元件和智能化开关设备可分别定义如下。

智能电器元件是采用微机控制技术、现代传感器技术、模拟量数字处理技术及计算机数字通信技术,具有自动监测和识别故障类型及操作命令类型的功能,能根据故障和操作命令类别来控制电器元件操作机构动作的电器元件。这一定义给出了智能电器元件最基本的特征。

智能化开关设备由一次开关电器元件和智能监控单元组成。智能控制单元不仅可替代原有开关设备二次系统的测量、保护和控制功能,还应能记录设备各种运行状态的历史数据、各种数据的现场(当地)显示,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方操作与管理。此外,开关设备的一次开关电器为智能电器元件时,也可由控制中心直接进行远方的智能控制。

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化开关设备统称为“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

这是智能电器区别其他采用集成电路实现控制功能的电器设备的最重要标志。由于采用微机处理和控制技术,电器设备运行现场的各种被测参量全部采用数字处理,不仅大大提高了测量和保护精度,减小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,就可以实现不同的保护功能。

2. 电器设备的多功能化

采用微处理器或单片微机对电器设备运行现场的各种参量进行采样与处理,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,可以实时显示要求的各种运行参数;可以根据工作现场的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,完成监控对象要求的各种保护;真实记录并显示故障过程,以使用户进行事故分析;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

智能电器监控单元以微处理器为核心, 实际上就是独立的计算机控制设备, 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, 实现网络化的管理、设备资源的共享。

4. 真正实现分布式管理与控制

智能电器的监控单元能够完成对电器设备本身及其监管对象要求的全部监控和保护, 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. 可以组成真正的全开放式系统

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, 可以把不同生产厂商、不同类型但具有相同通信协议的智能电器互连, 实现资源共享, 不同厂商产品可以互换, 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, 实现全国乃至世界范围内的开放式系统。

1.1.3 智能电器一般组成结构

如上所述, 智能电器包含了元件和成套设备两类, 它们完成的主要功能不同, 相应地, 组成结构也有所区别。

1. 智能电器元件基本结构形式

智能电器元件基本结构包含由输入、中央控制、输出和通信四大模块组成的监控单元, 以及作为一次元件或执行元件的开关电器, 如图 1-1 所示。从物理结构上看, 智能电器元件的监控单元通常与被监控的开关电器集成为一个整体。当开关电器是断路器时, 智能监控单元就是附属于它的智能脱扣器, 完成脱扣器要求的各种保护和操作功能。监控单元的输入模块主要完成对开关元件各种运行状态、参数和特性的在线检测, 并将检测结果送入中央控制模块。来自开关元件的输入量可分为模拟量和开关量两类, 分别经过相应的变换器变成与中央控制模块输入兼容的数字量信号和逻辑量信号。为提高中央控制单元的可靠性和抗干扰能力, 在变换器输出及中央控制单元输入接口间必须加可靠的隔离。

中央控制模块基本上是一个以微机 CPU 或单片微机为中心的最小系统, 完成对开关电器元件运行状态和参数的处理; 根据处理结果或系统控制中心下达的命令, 判断开关电器当前是否进行合、分操作, 是否有故障并识别故障类型。根据不同故障, 按不同的方式(如反时限、短延时、瞬动等)输出保护控制信号。中央控制模块向开关电器元件发出的操作控制信号经过输出模块隔离驱动后传送至电器元件的操作机构, 使其按指定的方式进行操作。

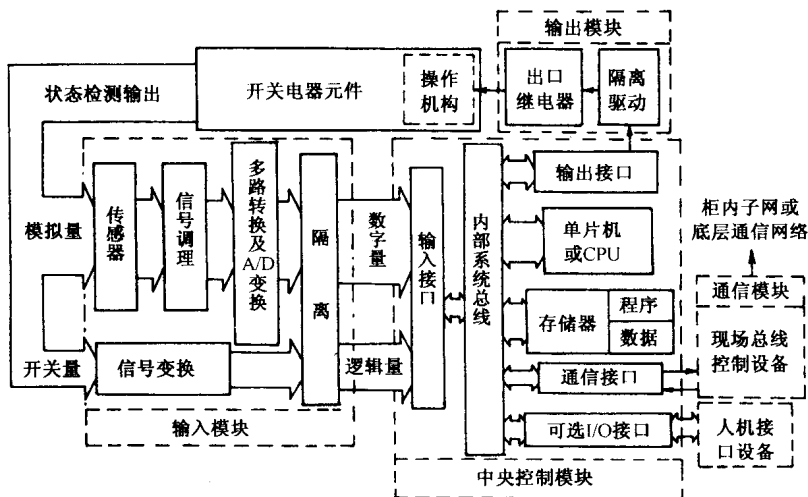


图 1-1 智能电器元件的结构组成

智能电器元件中的运行参数还可以通过现场总线、数字通信网络等上传至开关设备监控单元或系统中央控制室计算机（上位机），并接受它们发送的有关信息和指令。这种情况下，需要设置通信接口，通过现场总线或通信网络实现信息交换。不同类型的现场总线、通信网络有自己的通信协议、通信介质，需要专用的通信接口模块来完成协议转换，实现不同通信介质的相互兼容。

2. 智能开关设备

与智能电器元件不同，智能开关设备由一次电路中的开关电器元件以及一个物理结构上相对独立的智能监控单元组成，其原理结构如图 1-2 所示。

智能监控单元也含有输入、中央处理与控制、输出、监测及通信等主要模块。但与智能电器元件中的监控单元相比，无论在输入、输出端口设置，处理器完成的功能等方面都有较大的区别。迄今为止，大多数智能开关设备的输入信号主要来自开关设备控制和保护的對象，如线路、变压器、功率因数补偿装置、电动机等的运行参数，因而无论是模拟量还是开关量，输入端子数量更多，中央处理单元需要处理和记录、显示的信息量更大。为了满足开关设备通用化、标准化及组成分布式系统的要求，智能控制单元要完成传统成套开关设备中二次电路全部测量、保护和控制功能，还要能在当地完成保护特性和参数的设定，保护功能的投、退等，因此其监控模块必须配置更为完善的操作和显示。作为输、配电系统自动化的底层和现场设备，智能开关成套设备需要将大量受控设备现场记录传至系统控制室中的上位机，接受上位机传来的各种操作命令和网络重组命令，其通信模块需完成与上位机之间的信息传递。此外，作为成套开关设备，内部一次电器元件与控制单元间，同一配电系统中不同开关设备的一次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执行元件的操作信号，还需要输出各种联锁信号，输出开关量信息一般比智能电器元件要多。

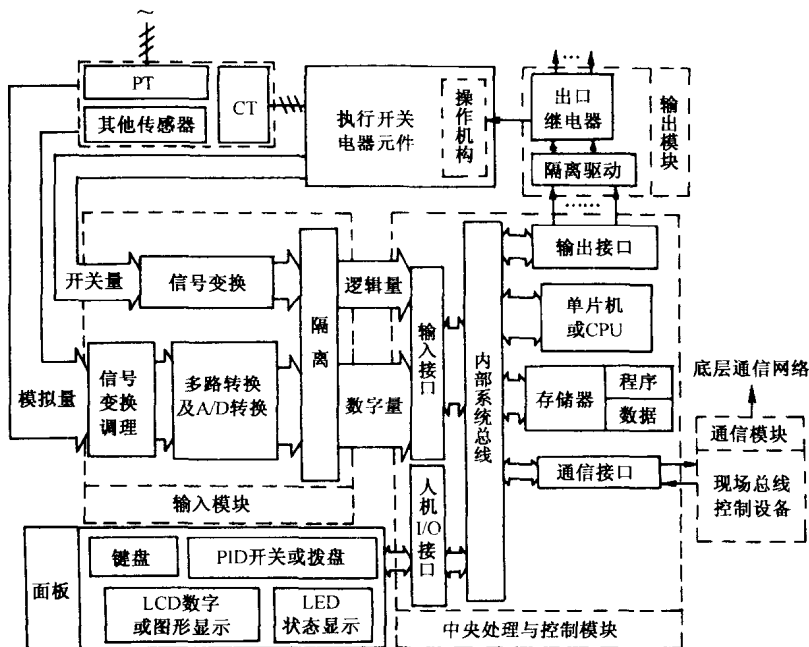


图 1-2 智能化开关设备结构图

成套开关设备一次元件应包含开关柜内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、隔离开关、执行电器（断路器、接触器、负荷开关）、接地开关等。控制单元通过电压、电流互感器取得开关设备控制和保护对象的运行参数，从接地开关和各种机械联锁开关取得相关的状态信息，用做控制单元输入模块的输入。

若开关设备中的一次开关电器本身带有智能监控单元（如带智能脱扣器的断路器），开关设备的监控单元可以通过柜内现场总线与它通信，实现对一次开关工作状态的现场监控及对各种保护特性的就地设置。

1.1.4 电器智能化网络的结构和特点

现代化大工业生产与现代社会生活要求电力系统有更高的供电质量和更完善的自动化管理。总线技术及数字化通信网络技术的应用,可以把现场输、配电设备和用电设备通过智能电器连接成类似计算机通信网络的系统,实现对设备运行、用电质量、供电质量及供电系统的智能化、自动化管理。这种采用现场总线和数字通信网络技术,由系统管理机和现场智能化开关设备组成的网络即可称为电器智能化网络。

1. 结构

电器智能化网络典型结构如图 1-3 所示。可以看出, 网络可分为以下层次。

(1) 现场设备层

这是网络中的底层，由不同类型、不同生产厂商提供的智能开关元件、成套开关

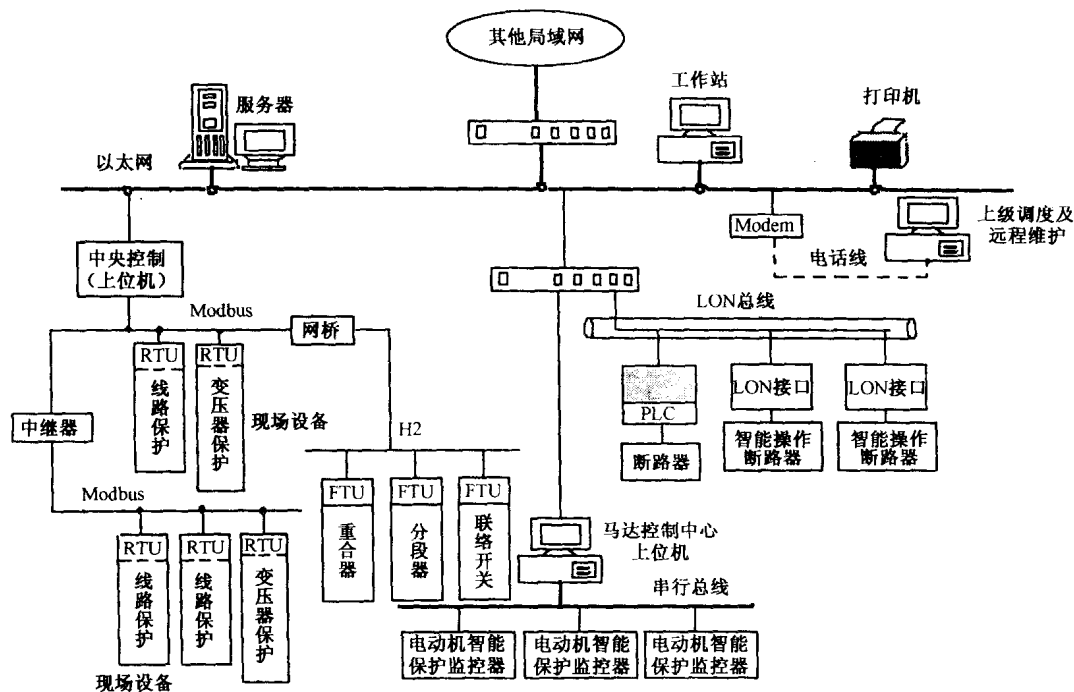


图 1-3 电器智能化网络典型结构

设备组成。现场设备由选定的现场总线，如图 1-3 中的 Modbus, LON, H2 和串行总线等连成底层网段，它由一个处于管理地位的微机或可编程逻辑控制器 PLC (Programmable Logic Controller) 完成对现场设备的管理。现场设备也可直接受局域网络层的管理。底层网络还可通过中继器、HUB (集线器)、网桥连接，以扩大其覆盖范围。

(2) 局域网络层

局域网络层由一些不同总线协议的现场设备层网络和具有独立的协议转换接口的现场设备与系统管理设备组成，它们之间一般采用以太网 (Ethernet) 连接。其底层网段可采用不同现场总线、不同通信介质和与以太网不同的通信协议。因此，必须通过通信控制器或网关与以太网连接。这一层次网络中的节点可以是现场设备，也可以是底层网段。

多个局域网路由器连接，可组成更大的网络。也可通过网关和网络互连技术实现各局域网间的互连互访。还可通过调制解调器 (Modem) 用电话网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、不同类型的产品互连甚至互访。

(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) 必须保证各类实时数据在网络中传输的实时性、准确性。

(5) 通过数字通信和数据库管理系统,智能化网络的上位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,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、配电网自动化及工业设备供电智能化的基础,通过它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 电器智能化技术的发展

电器智能化技术几乎是与微机技术(特别是单片微机控制技术)、微电子技术、计算机网络和数字通信技术同步发展的。早在20世纪70年代末和80年代初,从世界上第一片8位单片机问世起,西欧、日本和美国就开始研究通过超大规模集成电路技术,把单片机及其所需外围电路芯片制成可与电动机供电电器相结合的专用集成电路IC(Integrated Circuit)芯片,替代体积庞大的继电器控制电路,完成电动机启动、控制和多种保护功能。日本和美国在20世纪80年代中期将这类产品成功推向市场,开发出第一代智能电器产品——单片机化电动机多功能保护装置(Single-chip Microcontroller Based Multi-function Protector for Motors)。在我国,西安交通大学电器教研室在1987年采用MCS-48单片机开发出了国内第一台同类型保护装置。随着单片机功能日益完善,传感器技术、计算机网络和数字通信技术的高速发展,在短短的20多年内,智能电器已经从简单的采用微机控制取代传统继电控制功能的单一封闭式装置,发展到具有较完整的理论体系和多学科交叉的电器智能化系统,成为电气工程领域中电力开关设备、电力系统继电保护、工业供配电系统及工业控制网络技术新的发展方向。本节将从控制功能、控制技术、电器元件工作机理变革与智能化网络四方面简述电器智能化技术的现状与发展。

1.2.1 智能电器监控单元功能的完善与开发

早期的电器智能控制单元受到微处理器性能和数字通信网络技术的限制,只能针对某一特定的对象,如电动机保护与起动、停止控制来进行设计,功能比较单一,并且采用封闭式控制模式。随着微电子技术、超大规模集成电路技术和计算机通信网络的发展,各类工业控制用微处理器和单片机在处理速度、数据位数、指令功能、接口功能、通信功能等方面都有了相当大的进步,适合于这类处理器程序设计的高级语言,如PLM语言(Intel-8x96用)、C语言及其与汇编语言的接口软件包的开发,为开关电器智能控制单元功能扩展提供了十分有利的条件。为实现电力系统综合自动化,变电站无人值守,工业、

民用供配电系统及工业控制网络的自动化、智能化,对底层(现场)开关电器智能监控单元的要求不仅仅是实现电器元件的保护和分、合功能,而是要全面完成对控制对象的实时监控,并将其运行状态和数据向系统控制中心上传,接受中心下发的各类操作命令、功能投退和参数设置等信息;还需保证不同生产厂商产品在网络中可以互连,网络中设备的资源可以共享,使用户在系统配置中有更大的自主权。因此,现在投放市场的智能控制单元基本都具有以下功能。

(1) 现场运行参量的监测

测量现场电压,电流,有功和无功功率,功率因数,电源频率,电能及需要监测的其他非电参量,并能本地数字化显示或上传至控制中心。

(2) 保护

根据对现场运行参量的监测结果,判断有无故障及故障类型,在出现故障后完成相应的操作。

(3) 故障诊断

包括对控制单元主要硬件设备的自诊断,被控对象和开关元件自身故障的诊断。

(4) 就地/远方调控

现场通过键盘、面板开关,或由通信口接受控制中心的操作信息,完成智能电器功能投退、保护参数设置,以及被控开关电器的分合操作。

(5) 被控开关运行状态监视及现场运行工况记录

监视开关电器的工作位置、分合闸操作回路的状态,按用户要求显示现场运行的电压,电流,功率,功率因数,线路中各电器设备的连接和工作状态;记录故障时电压、电流波形及开关电器分合闸操作次数等历史数据,经通信口上传至控制中心,或生成报表就地打印、显示。

(6) 通信

这是现代电器智能控制单元最重要的功能之一,也是智能电器元件和开关设备组成全开放式电器智能化网络的基础。有了通信功能,才能保证控制中心与远方运行现场间各类信息的自动交换,实现对整个系统中各现场设备的综合监控和管理。采用统一的通信协议或协议转换技术,即可保证通信网络的开放性。

(7) 一次开关电器元件的监测

在线监测是智能电器元件监控单元功能开发的一个重要内容。通过记录与开关元件工作寿命及可靠性相关的数据,如机械特性、主要部件温升、绝缘强度等,并定期上传至系统控制中心的计算机系统,中心根据这些结果对开关元件进行可靠性分析,决定开关元件是否需要维护或更换,必要时,还可将结果回传至智能电器元件的监控单元。

从未来的发展趋势看,随着现场总线技术日臻完善,各类传感器的数字化、智能化技术的提高,监控单元的功能也将高度分散,形成一个以中央处理模块为核心,由现场总线连接的通信网络。这将大大简化监控单元输入模块硬件设计和模拟量数字运算的软件设计,使中央处理器可以实现其他更新的功能。