

清华大学电气工程系列教材

可编程控制器原理及系统设计

Theory and System Design of Programmable Controller

于庆广 编著

Yu Qingguang

清华大学出版社

清华大学电气工程系列教材

可编程控制器原理及系统设计

Theory and System Design of Programmable Controller

于庆广 编著

Yu Qingguang

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从实际工程应用和便于教学出发,阐述了继电器-接触器控制系统的设计原则、方法等可编程控制器基础知识;以日立 EM-II、施耐德 Quantum 昆腾系列和西门子公司 S7-200/300/400 系列等典型机型为例,全面论述了可编程控制器的基本工作原理、功能、指令系统、编程软件、网络及通信、I/O 接口技术、应用、维护以及系统设计例程;最后,系统介绍了国产上位机组态软件组态王 6.5 和进口上位机组态软件 iFIX 2.1 的功能和应用。此外,还介绍了施耐德 Concept 2.2 编程软件的使用方法和西门子 S7-200 编程软件 S7-Micro/WIN 的使用方法。

作者结合多年教学与科研经验,编制了通用的可编程控制器典型环节应用程序,初学者易于接受和掌握这些典型环节程序,并能在此基础上设计出任意复杂的控制系统程序。为了方便教学和读者自学,书中第 9 章介绍了可编程控制器实验。

本书可作为大专院校电气工程、机电一体化、工业自动化及相近专业的教材,也可作为电气工程技术人员或有关培训班的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

可编程控制器原理及系统设计/于庆广编著. —北京:清华大学出版社,2004

(清华大学电气工程系列教材)

ISBN 7-302-07533-6

I. 可… II. 于… III. ①可编程控制器—理论—高等学校—教材 ②可编程控制器—系统设计—高等学校—教材 IV. TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 099143 号

出 版 者: 清华大学出版社

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

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 陈国新

文稿编辑: 赵从棉

印 装 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印 张: 23.75 字 数: 543 千字

版 次: 2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-07533-6/TP·5545

印 数: 1~4000

定 价: 34.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话: (010)62770175-3103 或 (010)62795704

清华大学电气工程系列教材编委会

主 任 王赞基

编 委	邱阿瑞	梁曦东	夏 清
	袁建生	周双喜	谈克雄
	王祥珩		

序

“电气工程”一词源自英文的“Electrical Engineering”。在汉语中，“电工程”念起来不顺口，因而便有“电机工程”、“电气工程”、“电力工程”或“电工”这样的名称。20 世纪 60 年代以前多用“电机工程”这个词。现在国家学科目录上已经先后使用“电工”和“电气工程”作为一级学科名称。

大致是第二次世界大战之后出现了“电子工程”(Electronic Engineering)这个词。之后，随着科学技术的迅速发展，从原来的“电(机)工程”范畴里先后分出去了“无线电电子学(电子工程)”、“自动控制(自动化)”等专业，“电(机)工程”的含义变窄了。虽然“电(机、气)工程”的专业含义缩小到“电力工程”和“电工制造”的范围，但是科学技术的发展使得学科之间的交叉、融合更加密切，学科之间的界限更加模糊。“你中有我，我中有你”是当今学科或专业的重要特点。因此，虽然高等院校“电气工程”专业的教学主要定位于培养与电能的生产、输送、应用、测量、控制等相关科学和工程技术的专业人才，但是教学内容却应该有更宽广的范围。

清华大学电机系在 1932 年建系时，课程设置基本上仿效美国麻省理工学院电机工程学系的模式。一年级学习工学院共同必修课，如普通物理、微积分、英文、国文、画法几何、工程画、经济学概论等课程；二年级学习电工原理、电磁测量、静动力学、机件学、热机学、金工实习、微分方程及化学等课程；从三年级开始专业分组，电力组除继续学习电工原理、电工实验、测量外，还学习交流电路、交流电机、电照学、工程材料、热力工程、电力传输、配电工程、发电所、电机设计与制造以及动力厂设计等选修课程。西南联大时期加强了数学课程，更新了电工原理教材，增加了电磁学、应用电子学等主干课程和电声学、运算微积分等选修课程。抗战胜利之后又增设了一批如电子学及其实验，开关设备、电工材料、高压工程、电工数学、对称分量、汞弧整流器等选修课程。

1952 年院系调整之后，开始了学习前苏联教育模式的教学改革。电机系以莫斯科动力学院和列宁格勒工业大学为模式，按专业制定和修改教学计划及教学大纲。这段时期教学计划比较注重数学、物理、化学等基础课，注重电工基础、电机学、工业电子学、调节原

理等技术基础课,同时还加强了实践环节,包括实验、实习和“真刀真枪”的毕业设计等。但是这个时期存在专业划分过细,工科内容过重等问题。

改革开放之后,教学改革进入一个新的时期。为了适应科学技术的发展和人才市场从计划分配到自主择业转变的需要,清华大学电机系在 20 世纪 80 年代末把原来的电力系统及其自动化、高电压与绝缘技术、电机及其控制等专业合并成“宽口径”的“电气工程及其自动化”专业,并且开始了更深刻的课程体系的改革。首先,技术基础课的课程设置和内容得到大大的拓展。不但像电工基础、电子学、电机学这些传统的技术基础课的教学内容得到更新,课时有所压缩,而且像计算机系列课、控制理论、信号与系统等信息科学的基础课程以及电力电子技术系列课已经规定为本专业必修课程。此外,网络和通信基础、数字信号处理、现代电磁测量等也列入了选修课程。其次,专业课程设置为专业基础课和专业课两类,初步完成了从“拼盘”到“重组”的改革,覆盖了比原先 3 个专业更宽广的领域。电力系统分析、高电压工程和电力传动与控制等成为专业基础课,另外,在专业课之外还有一组以扩大专业知识和介绍新技术、新进展为主的任选课程。

虽然在电气工程学科基础上新产生的一些研究方向先后形成独立的学科或专业,但是曾经作为第三次工业革命三大动力之一的电气工程,其内涵和外延都会随着科学技术和社会经济的发展而发展。大功率电力电子器件、高温超导线材、大规模互联电网、混沌动力学、生物电磁学等新事物的出现和发展等,正在为电气工程学科的发展开辟新的空间。教学计划既要有相对的稳定,又要与时俱进、不断有所改革。相比之下,教材的建设往往相对滞后。因此,清华大学电机系决定分批出版电气工程系列教材,这些教材既反映近 10 多年来广大教师积极进行教学改革已经取得的丰硕成果,也表明我们在教材建设上还要不断努力,为本专业和相关专业的教学提供优秀教材和教学参考书的决心。

这是一套关于电气工程学科的基本理论和应用技术的高等学校教材。主要读者对象为电气工程专业本科生、研究生以及在本专业领域工作的科学工作者和工程技术人员。欢迎广大读者提出宝贵意见。

清华大学电气工程系列教材编委会

2003 年 8 月于清华园

前言

为了区别可编程控制器 (programmable controller, PC) 和个人计算机 (personal computer, PC) 的英文名称, 本书仍使用以前的名字 PLC (programmable logic controller)。可编程控制器是一种新型的通用自动控制装置, 它将传统的继电器控制技术、计算机技术和通信技术融为一体, 专门为工业控制而设计, 具有功能强、通用灵活、可靠性高、环境适应性好、编程简单、使用方便、体积小、重量轻、功耗低等一系列优点, 近年来发展很快, 在工业上的应用越来越广泛。PLC、CAD/CAM 和机器人技术将发展成为现代工业自动化的三大支柱, 学习和掌握可编程控制器技术已经成为工业自动化、电气技术人员和大专院校有关专业学生的紧迫任务。

本书从实际工程应用和便于教学的角度出发, 阐述了继电器-接触器控制系统的设计原则和方法、可编程控制器原理及系统设计、上位机组态软件的功能和使用方法。第 1 章系统地介绍了继电器-接触器控制系统的设计原则和方法; 第 2 章系统地介绍了可编程控制器的组成、工作原理和编程方法以及应用中的各种问题; 第 3 章比较详细地介绍了日立公司 EM-II 系列可编程控制器的性能指标和指令系统; 第 4 章设计了常用的可编程控制器典型程序; 第 5 章介绍了可编程控制器系统设计方法和在系统设计时要注意的问题, 并给出了作者在实际工程项目中设计的可编程控制器系统以资参考; 第 6 章介绍了和可编程控制器息息相关的上位机组态软件组态王 KingView 6.5 和 iFIX 的功能和使用方法, 以及组态软件的现状和发展趋势; 第 7 章、第 8 章分别介绍了施耐德公司的 Quantum 昆腾系列及 Concept 2.2 编程软件使用方法和西门子公司的 S7-200/300/400 系列可编程控制器的功能和系统设计; 为了方便教学和读者自学, 在第 9 章设计有实验指导书; 附录 A 和附录 B 分别是日立通用编程器操作手册和西门子 S7-200 编程软件 S7-Micro/WIN 的使用说明。

本书中设计的可编程控制器典型程序, 适用于所有厂家和型号的可编程控制器逻辑, 很容易被初学者接受和掌握, 读者在此基础上可以得心应手地设计出任意复杂控制系统的可编程控制器程序。

在编写本书时,收集和参考了大量技术资料,按教材的要求进行了合理取舍以及系统整理,并综合了作者多年的教学和科研经验。内容力图做到系统性强、阐述清楚、通俗易懂、理论联系实际,不仅便于教学,而且也便于自学。

本书在编写过程中,参考了众多有关可编程控制器方面的书籍,使作者受益匪浅,在此谨向原书作者表示感谢。还要感谢日立亚洲公司、北京微电子有限公司、施耐德电气公司、西门子公司、北京亚控公司、爱默生(Intellution)公司提供的技术资料和帮助。由于编者水平有限,书中难免有疏漏之处,恳请读者批评指正。

作 者

2003 年 8 月于清华园

目 录

第 1 章 继电器-接触器控制系统原理	1
1.1 常用控制电器	1
1.1.1 接触器	1
1.1.2 继电器	6
1.1.3 主令电器	9
1.1.4 手动控制器	13
1.1.5 保护电器及组合电器	14
1.2 继电器-接触器控制系统设计原则	17
1.2.1 电气控制系统的组成	17
1.2.2 继电器-接触器原理图的绘制	23
1.2.3 阅读和分析控制线路图	24
1.2.4 继电器-接触器控制线路的设计步骤	25
1.2.5 继电器-接触器控制线路的设计原则	28
1.2.6 继电器-接触器控制线路设计中要注意的问题	30
1.3 继电器-接触器控制系统设计实例	35
1.3.1 控制线路常用的典型环节	35
1.3.2 电动机控制线路常用的基本回路	39
1.3.3 三相异步电动机启动控制	45
1.3.4 异步电动机正反转控制	50
1.3.5 异步电动机变极调速	51
1.3.6 异步电动机电气制动	53
第 2 章 可编程控制器原理	56
2.1 可编程控制器	56

2.1.1	可编程控制器的定义	56
2.1.2	可编程控制器的分类	58
2.1.3	可编程控制器的特点	58
2.1.4	可编程控制器的应用领域	59
2.1.5	可编程控制器的国内外状况	61
2.1.6	可编程控制器的发展趋势	62
2.1.7	可编程控制器的组成	64
2.1.8	可编程控制器的工作方式	68
2.1.9	可编程控制器的选择	69
2.2	可编程控制器和其他工业控制系统的比较	69
2.2.1	基于微处理器的工业控制系统	69
2.2.2	可编程控制器与继电器控制的区别	71
2.2.3	可编程控制器与个人计算机控制的区别	72
2.2.4	可编程控制器与单板计算机控制的区别	73
2.2.5	可编程控制器与集散控制系统的区别	73
第3章	日立 EM 系列可编程控制器	75
3.1	日立可编程控制器	75
3.1.1	日立可编程控制器分类	75
3.1.2	日立 EM 系列可编程控制器特征	76
3.2	日立可编程控制器结构特征	77
3.2.1	EM 系列系统结构	77
3.2.2	EM 系列系统组成	77
3.2.3	EM 系列系统特性	78
3.2.4	可编程控制器各部分名称	80
3.2.5	手持编程器	80
3.2.6	EM 系列可编程控制器特征	81
3.3	输入/输出地址编号	89
3.3.1	输入/输出地址编号	89
3.3.2	输入/输出槽位编号	90
3.3.3	位处理及字处理	90
3.3.4	特殊功能的内部输出	92
3.4	梯形图编程	95
3.4.1	梯形图编程原则	95
3.4.2	编程开始的方法	98
3.4.3	指令系统	99
3.4.4	基本指令的使用方法	101
3.4.5	算术指令的使用方法	108

3.4.6	应用指令的使用方法	111
3.4.7	模拟量输入/输出模块的处理	116
3.5	安装及连线	119
3.5.1	安装	119
3.5.2	电源接线	121
3.5.3	强制输出	121
3.5.4	安装注意事项	122
3.5.5	电源接通后内部时序	124
3.6	维护和保养	125
3.6.1	定期检查	125
3.6.2	故障排除	125
3.6.3	出错显示及处理方法	126
3.7	梯形图程序编制实例	128
3.7.1	测量扫描时间	132
3.7.2	装入3位BCD码数据	133
3.7.3	IF指令应用实例	133
3.7.4	使用模拟量模块的温度控制实例	137
3.7.5	监控模拟量数据	140
3.8	可编程控制器系统联网	140
3.8.1	远程I/O扩展联网	140
3.8.2	CPU扩展联网	141
3.8.3	CPU扩展联网模块的设置	142
3.8.4	CPU扩展联网特性	143
3.8.5	CPU扩展联网系统的联网数据区分配	144
3.8.6	CPU扩展联网系统设计简单实例	145
3.8.7	CPU扩展联网系统设计复杂实例	146
第4章	可编程控制器典型程序设计	148
4.1	可编程控制器应用程序的设计方法	148
4.1.1	经验设计法	148
4.1.2	应用程序的逻辑设计方法	148
4.1.3	利用状态流程图法设计应用程序	149
4.1.4	利用移位寄存器设计应用程序	150
4.1.5	用步进指令设计应用程序	150
4.2	可编程控制器典型程序设计	150
4.2.1	与或非基本逻辑	150
4.2.2	启-保-停控制逻辑	152
4.2.3	自保持控制逻辑	152

4.2.4 联锁/解联锁控制	153
4.2.5 手动、自动和远方控制	154
4.2.6 二分频器	155
4.2.7 顺序步进控制	155
4.2.8 集中控制与分散控制	155
4.2.9 机床动力头控制	157
4.2.10 计时器与计数器的应用	157
4.2.11 单脉冲控制	161
4.2.12 闪烁电路	162
4.2.13 声光报警控制	162
4.2.14 人行道口按钮控制红绿灯	163
4.2.15 三相电动机启动控制	165
4.2.16 移位寄存器的应用	166
4.2.17 往返行程控制	166
4.2.18 多级传送带控制	168
4.2.19 电动阀门开/关控制	169
4.2.20 三位置伸缩装置/电梯控制	170
4.3 其他典型应用	173
4.3.1 自动门的自动化和智能化控制	173
4.3.2 自动售货机控制系统	173
4.3.3 音乐艺术喷泉	173
4.3.4 汽车辅助电气控制系统	173
4.3.5 卷幅式可变画面广告机的控制	174
4.3.6 无功补偿器控制	174
4.3.7 水塔水位控制	175
4.3.8 燃油锅炉控制	175
4.3.9 楼宇式管道直接饮用水系统控制	175
4.3.10 具有多种工作方式的系统控制	176
第5章 可编程控制器系统设计	178
5.1 可编程控制器系统设计过程	178
5.1.1 可编程控制器系统设计的基本原则	178
5.1.2 可编程控制器标准模块的选择	179
5.1.3 可编程控制器系统类型	183
5.1.4 可编程控制器的运行方式	185
5.1.5 施工设计	186
5.1.6 总装调试	186
5.2 可编程控制器模拟量系统	186

5.2.1	模拟量控制系统的基本概念	187
5.2.2	模拟量控制装置的比较	187
5.2.3	模拟量输入模块	187
5.2.4	模拟量输出模块	188
5.2.5	智能 I/O 模块	189
5.3	可编程控制器与工厂自动化通信网络	190
5.3.1	概述	190
5.3.2	工业通信网络	191
5.3.3	计算机网络通信标准	191
5.3.4	网络结构	192
5.4	可编程控制器系统的可靠性设计	192
5.4.1	系统工作环境	192
5.4.2	输入输出配线	193
5.4.3	系统接地设计	193
5.4.4	控制系统的供电系统设计	195
5.4.5	冗余系统与热备用系统	196
5.4.6	电缆设计和敷设	198
5.5	大型火电厂输煤程序控制系统设计与实现	199
5.5.1	概述	199
5.5.2	大型火电厂输煤系统简介	200
5.5.3	大型火电厂输煤程序控制系统的组成	202
5.5.4	大型火电厂输煤程序控制系统的功能	204
5.5.5	输煤程控系统的下位计算机系统配置	209
5.5.6	输煤程控系统的下位计算机系统软件	212
5.6	600MW 机组锅炉保护控制系统设计与实现	213
5.6.1	概述	213
5.6.2	锅炉保护控制系统设计方案及技术要求	213
5.6.3	锅炉保护控制系统的硬件配置	214
5.6.4	锅炉保护控制系统的软件实现	216
5.7	300MW 机组锅炉吹灰控制系统设计与实现	218
5.7.1	概述	218
5.7.2	锅炉吹灰控制系统设计与功能	218
5.7.3	锅炉吹灰控制系统配置	220
5.7.4	锅炉吹灰控制系统软件实现	222
5.8	大型火电厂循环水泵监测控制系统设计与实现	222
5.8.1	概述	222
5.8.2	循环水泵系统	222
5.8.3	控制系统功能	223

5.8.4 控制系统的实现	224
第6章 常用组态软件	226
6.1 通用组态软件的特点	226
6.2 组态软件的发展	227
6.2.1 组态软件在我国的发展历程	227
6.2.2 流行的组态软件	228
6.2.3 市场趋势及展望	229
6.3 组态软件的构成	230
6.4 进口组态软件 iFIX 2.1	232
6.4.1 Intellution Dynamics 概貌	232
6.4.2 iFIX 系统主要功能	233
6.4.3 iFIX 使用环境要求	237
6.5 国产组态软件组态王 KingView 6.5	239
6.5.1 组态王的功能	239
6.5.2 组态王的使用	239
6.5.3 让画面动起来	246
6.5.4 报警和事件	249
6.5.5 趋势曲线	250
6.5.6 配方	252
6.5.7 报表系统	253
6.5.8 组态王与 Access 数据库连接	256
6.5.9 控件	259
6.5.10 增强系统的安全性	261
6.5.11 组态王主要技术指标	262
第7章 施耐德可编程控制器	264
7.1 Quantum 系列可编程控制器	264
7.1.1 Quantum 系列控制器的特点	264
7.1.2 Quantum 系列的电源	265
7.1.3 Quantum 系列 I/O 模块	265
7.1.4 Quantum 系列 I/O 扩展	266
7.1.5 Quantum 系列双机热备	267
7.1.6 Quantum 系列工业控制网络	267
7.2 Quantum 编程软件 Concept 2.2	268
7.2.1 Concept 简介	268
7.2.2 Quantum 984 梯形逻辑指令集	269
7.2.3 Concept 结构和功能	269

7.2.4	用 Concept 设计用户程序	271
7.2.5	Concept 系统配置	277
第 8 章	西门子 S7-200/300/400 可编程控制器	281
8.1	S7-200/300/400 系列可编程控制器性能指标	281
8.1.1	S7-200 系列性能指标	281
8.1.2	技术性能指标	283
8.2	S7 系列可编程控制器的数据区和 I/O 编址	292
8.2.1	S7 系列标准模块	292
8.2.2	S7-200 系列可编程控制器的编址	294
8.2.3	数据类型及标记	295
8.3	S7-200 系列指令系统及编程方法	299
8.3.1	基本逻辑指令	299
8.3.2	比较指令	301
8.3.3	转换指令	301
8.3.4	基本运算指令	302
8.3.5	控制指令	304
8.3.6	计数器、计时器梯形方块图指令	305
8.4	S7-300/400 系列数据区及指令系统	309
第 9 章	可编程控制器实验	314
9.1	可编程控制器验机实验	314
9.1.1	实验目的	314
9.1.2	实验内容	315
9.1.3	验机程序	315
9.1.4	接通延时程序	318
9.1.5	断开延时程序	318
9.1.6	计数器程序	319
9.1.7	实验报告	319
9.2	电动机正反转控制	319
9.2.1	实验目的	319
9.2.2	实验内容	319
9.2.3	实验报告	320
9.3	节日彩灯控制	320
9.3.1	实验目的	320
9.3.2	实验内容	320
9.3.3	实验报告	321
9.4	故障信号声光报警控制	321

9.4.1	实验目的	321
9.4.2	实验内容	321
9.4.3	实验报告	321
9.5	交通红绿灯信号灯控制	321
9.5.1	实验目的	321
9.5.2	实验内容	322
9.5.3	实验报告	323
9.6	全自动洗衣机控制	323
9.6.1	实验目的	323
9.6.2	实验内容	323
9.6.3	实验报告	324
9.7	三层楼电梯控制	325
9.7.1	实验目的	325
9.7.2	实验内容	325
9.7.3	实验报告	326
9.8	可编程控制器联网控制	326
9.8.1	实验目的	326
9.8.2	实验内容	326
9.8.3	实验报告	327
附录 A	日立通用编程器操作手册	328
附录 B	西门子 S7-200 编程软件使用说明	345
参考文献		361

第 1 章

继电器-接触器控制系统原理

1.1 常用控制电器

电器是一种能根据外界的信号和要求,手动或自动地接通、断开电路,断续或连续地改变电路参数,以实现电路或非电路对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节用的电气设备。根据电气设备在电气线路中所处地位和作用的不同,可归纳为控制电器和配电电器两大类。控制电器是指控制电动机完成生产机械要求的启动、调速、反转和停止等状态所用的电器,如接触器、控制继电器、按钮、主令控制器、终端开关等;而配电电器是指在正常或事故状态下接通和断开用电设备或供电电网所用的电器,如刀形开关、转换开关、空气自动开关、油断路器、熔断器及各种保护继电器等。这两类电器功能不同,结构上也有差异。控制电器因需要频繁操作,要求结构坚固、电气寿命和机械寿命长。配电电器一般不经常操作,机械寿命的要求就比较低,只有数千次,但要求分断能力强、动作快、动稳定和热稳定性高、操作过电压低以及保护性能完善等。由于控制电器和配电电器的性能不同,使用时必须正确选择,不允许随便代用或混用,这一点需特别注意。低压电器通常是指工作在交、直流电压 1200V 以下的电路中的电气设备,下面主要介绍其中的常用控制电器。

1.1.1 接触器

接触器是电气控制线路中应用最广泛的电器之一,它适于远距离频繁地接通和分断主电路或大容量控制电路,主要用于控制电动机,也可用于控制其他电力负载。

接触器的种类很多,按工作原理可以分为电磁式、气动式和液压式。本文主要讨论电磁式接触器。电磁式接触器可按下列特征分类:按主触头所在动力回路的电流种类分为交流和直流两种;按主触头对数分为单极(1 对主触头)和多极(2~4 对主触头);按电磁线圈回路(通常叫做控制回路)的电流种类分为交流操作和直流操作;按主回路电压等级分为低压和高压;按铁心结构形式分为转动式(或称角移式)和直动式。

1. 接触器的结构

接触器的主要组成部分包括触头(又称接点)系统、电磁系统、灭弧装置、支架和外壳