



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材



电子·教育

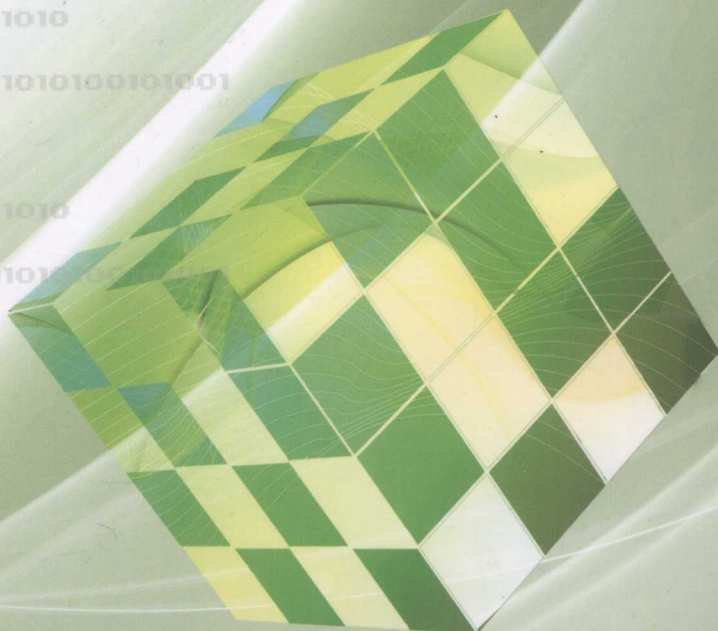
电气自动化技术专业

电气控制 与PLC原理及应用

(欧姆龙机型) (第3版)

程 周 主 编
洪 应 主 审

010101001
010101001010010101010010100101010
01010100101001010101
0101010010100101010100101001010100101001
01010100101
010101001010010101010010100
010101001010010101010010100101010
01010100101001010101
0101010010100101010100101001010100101001
01010100101
010101001010010101010010100
010101001
010101001010010101010010100101010
01010100101001010101
0101010010100101010100101001010100101001
01010100101
010101001010010101010010100
010101001
010101001010010101010010100101010
01010100101001010101
0101010010100101010100101001010100101001
01010100101
010101001010010101010010100
010101001



 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
新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·电气自动化技术专业

电气控制与 PLC 原理及 应用（欧姆龙机型） （第 3 版）

程 周 主 编
洪 应 主 审

電子工業出版社·

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是电子工业出版社高等职业教育电气自动化专业系列教材之一。

本书在第 2 版的基础上增加了电机内容,将电机技术、电气控制技术与可编程序控制器控制技术相互贯通,对传统内容进行提炼和重组,着重加强对新型控制技术的介绍。本书主要内容包括变压器、交流异步电动机、直流电机、低压电器及控制环节、电动机基本控制线路、直流电动机控制线路、常用机床电气控制、交流桥式起重机的电气控制、可编程序控制器的组成与原理、可编程序控制器技术性能和编程语言、欧姆龙 C 系列 P 型机的内部资源、欧姆龙 C 系列 P 型机的指令系统、欧姆龙 CPM1A 系列的结构与资源、欧姆龙 CPM1A 系列 PLC 的指令系统、PLC 系统的设计、可编程序控制器编程应用基础举例、PLC 工业控制的应用实例。

本书可供电气自动化专业、机电控制技术专业、电子技术及应用专业、自动化仪表专业使用,也可作为工程技术人员的参考书。

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

电气控制与 PLC 原理及应用:欧姆龙机型 / 程周主编. —3 版. —北京:电子工业出版社, 2009.6

(新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·电气自动化技术专业)

ISBN 978-7-121-08856-8

I. 电… II. 程… III. ① 电气控制—高等学校:技术学校—教材 ② 可编程序控制器—高等学校:技术学校—教材 IV. TM921.5 TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 077016 号

策 划: 陈晓明

责任编辑: 陈晓明 特约编辑: 高文勇

印 刷: 北京东光印刷厂

装 订: 三河市万和装订厂

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: 21 字数: 538 千字

印 次: 2009 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 31.00 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。

第 3 版前言

本书是 2006 年 12 月出版的“教育部普通高等教育“十一五”国家级规划教材”《电气控制与 PLC 原理及应用》(欧姆龙机型)(第 2 版)一书的修订本。根据教育部“关于申报普通高等教育‘十一五’国家级教材规划选题的通知”的精神编写。

本书的编写思路是:抓住高等职业教育特点,进一步使教材结构符合职业教育教学规律;教材内容符合社会经济对职业教育的要求;教材程度符合高等职业学校学生的知识水平。

本书对各部分的重点和难点进行了调整,使内容安排更加科学、严谨、合理。就整体而言,修订后的书稿内容突出了工程技术应用的基础知识与中高级技能型、应用型人才应该具备的专业知识。

本书强调“学以致用”,对构成电气工程技术的各种环节或器件以“用”为目标进行编排。在注重基础知识与理论为技术应用服务的前提下,强调了元器件的外部特性与使用,淡化其内部机理,删除深奥的理论说明和复杂的参数计算及公式的推导等。这种编写方法有利于学生把握学习重点,分清主次,明确该课程的学习目的。

考虑到目前电气自动化等电类专业的学生在学习“电气控制与可编程控制器”技术时,需要电机方面的知识,本书增加了这方面的内容,它们是“第 1 章 变压器;第 2 章 交流异步电动机;第 3 章 直流电机”。根据第 1、2 版读者的反映,“可编程控制器的编程器使用”和“可编程控制器系统故障一般诊断与排除”可以参考相应的用户手册,所以本书删除了原第 2 版中“第 12 章 PLC 编程器及其使用、第 16 章 PLC 系统故障诊断与排除”。

书稿内容突出了工程技术应用的基础知识与中高级技能型、应用型人才应该具备的专业知识内容,教材内容组织上不以学科体系知识为核心、重点突出职业教育特色,特别注重基础知识与技术应用之间的关系。在解决知识与技能、理论与实践、通用知识与专业知识的关系上处理得恰到好处。各部分知识内容比例协调,深浅适宜,选材上渗透职业教育的理念,体现了以就业为导向,适应经济社会和科学进步的需要。

本书由安徽职业技术学院实训中心程周主编。在修订过程中得到杨林国、常辉、温小玲、宋国富、黄有金、杨洁霞老师的支持和帮助。安徽职业技术学院电气系洪应主审了全书,并提出许多宝贵的修改意见,在此一并表示衷心的感谢。由于编者水平有限,书中难免有缺点和疏漏,恳请广大读者批评指正。联系电子邮箱:ahchzh@163.com。

为了方便教师教学,本书还配有教学指南、电子教案及习题答案(电子版)。请有此需要的教师登录华信教育资源网(www.huaxin.edu.cn 或 www.hxedu.com.cn)、职业技术网(www.zyjs.net)免费注册后再进行下载,有问题时请在网站留言板留言或与电子工业出版社联系(E-mail:hxedu@pei.com.cn)。

程 周
2008 年 12 月

参加“新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材”
编写的院校名单（排名不分先后）

- | | |
|--------------|----------------|
| 桂林工学院南宁分院 | 湖北孝感职业技术学院 |
| 江西信息应用职业技术学院 | 江西工业工程职业技术学院 |
| 江西蓝天职业技术学院 | 四川工程职业技术学院 |
| 吉林电子信息职业技术学院 | 广东轻工职业技术学院 |
| 保定职业技术学院 | 西安理工大学 |
| 安徽职业技术学院 | 辽宁大学高职学院 |
| 杭州中策职业学校 | 天津职业大学 |
| 黄石高等专科学校 | 天津大学机械电子学院 |
| 天津职业技术师范学院 | 九江职业技术学院 |
| 福建工程学院 | 包头职业技术学院 |
| 湖北汽车工业学院 | 北京轻工职业技术学院 |
| 广州铁路职业技术学院 | 黄冈职业技术学院 |
| 台州职业技术学院 | 郑州工业高等专科学校 |
| 重庆工业高等专科学校 | 泉州黎明职业大学 |
| 济宁职业技术学院 | 浙江财经学院信息学院 |
| 四川工商职业技术学院 | 南京理工大学高等职业技术学院 |
| 吉林交通职业技术学院 | 南京金陵科技学院 |
| 连云港职业技术学院 | 无锡职业技术学院 |
| 天津滨海职业技术学院 | 西安科技学院 |
| 杭州职业技术学院 | 西安电子科技大学 |
| 重庆职业技术学院 | 河北化工医药职业技术学院 |
| 重庆工业职业技术学院 | 石家庄信息工程职业学院 |
| 广州大学科技贸易技术学院 | 三峡大学职业技术学院 |

桂林电子工业学院高职学院
桂林工学院
南京化工职业技术学院
湛江海洋大学海滨学院
江西工业职业技术学院
江西渝州科技职业学院
柳州职业技术学院
邢台职业技术学院
漯河职业技术学院
太原电力高等专科学校
苏州经贸职业技术学院
金华职业技术学院
河南职业技术师范学院
新乡师范高等专科学校
绵阳职业技术学院
成都电子机械高等专科学校
河北师范大学职业技术学院
常州轻工职业技术学院
常州机电职业技术学院
无锡商业职业技术学院
河北工业职业技术学院
天津中德职业技术学院
安徽电子信息职业技术学院
合肥通用职业技术学院
安徽职业技术学院
浙江工商职业技术学院

河南机电高等专科学校
深圳信息职业技术学院
河北工业职业技术学院
湖南信息职业技术学院
江西交通职业技术学院
沈阳电力高等专科学校
温州职业技术学院
温州大学
广东肇庆学院
湖南铁道职业技术学院
宁波高等专科学校
南京工业职业技术学院
浙江水利水电专科学校
成都航空职业技术学院
吉林工业职业技术学院
上海新侨职业技术学院
天津渤海职业技术学院
驻马店师范专科学校
郑州华信职业技术学院
浙江交通职业技术学院
江门职业技术学院
广西工业职业技术学院
广州市今明科技公司
无锡工艺职业技术学院
江阴职业技术学院
南通航运职业技术学院

目 录

第 1 章 变压器	(1)
1.1 变压器的基本结构与铭牌技术数据	(1)
1.1.1 变压器的基本结构	(1)
1.1.2 变压器的铭牌技术数据	(2)
1.2 变压器的工作原理	(3)
1.2.1 变压器的空载运行	(3)
1.2.2 变压器的负载运行	(5)
1.2.3 变压器的运行特性	(6)
1.3 三相变压器	(7)
1.3.1 三相变压器的连接组	(7)
1.3.2 三相变压器的并联	(9)
1.4 其他用途的变压器	(10)
1.4.1 自耦变压器	(10)
1.4.2 仪用互感器	(10)
1.4.3 电焊变压器	(12)
本章小结	(12)
习题 1	(14)
第 2 章 交流异步电动机	(17)
2.1 三相交流异步电动机的基本原理、结构与类型	(17)
2.1.1 三相交流异步电动机的基本原理	(17)
2.1.2 三相交流异步电动机的基本结构与类型	(19)
2.1.3 三相交流异步电动机的额定值与型号	(21)
2.2 三相交流异步电动机的运行特性	(21)
2.2.1 三相交流异步电动机的机械特性	(21)
2.2.2 三相交流异步电动机的工作特性	(23)
2.3 三相交流异步电动机的启动	(24)
2.3.1 笼型异步电动机的启动	(24)
2.3.2 绕线式异步电动机的启动	(27)
2.4 三相交流异步电动机的调速	(28)
2.4.1 变极调速	(28)
2.4.2 变频调速	(30)
2.4.3 变转差率调速	(31)
2.5 三相交流异步电动机的制动	(32)
2.5.1 反接制动	(32)
2.5.2 回馈制动	(34)

2.5.3	能耗制动	(34)
2.6	单相交流异步电动机	(35)
2.6.1	单相交流异步电动机的工作原理与机械特性	(35)
2.6.2	单相交流异步电动机的启动类型	(36)
	本章小结	(38)
	习题 2	(39)
第 3 章	直流电机	(42)
3.1	直流电机的工作原理、基本结构及励磁方式	(42)
3.1.1	直流电机的工作原理	(42)
3.1.2	直流电机的基本结构	(44)
3.1.3	直流电机的励磁方式	(46)
3.1.4	直流电机的铭牌数据及系列	(47)
3.2	直流电机的电枢绕组	(48)
3.2.1	电枢绕组概述	(48)
3.2.2	电枢绕组的基本形式	(49)
3.3	直流电机的感应电动势和电磁转矩	(50)
3.4	直流电动机的工作特性	(51)
3.4.1	他励(并励)电动机的工作特性	(51)
3.4.2	串励电动机的工作特性	(52)
3.5	直流电动机的机械特性	(52)
3.5.1	他励电动机的机械特性	(53)
3.5.2	电动机的稳定运行条件	(54)
3.6	他励直流电动机的启动与反转	(55)
3.6.1	启动条件	(55)
3.6.2	启动方法	(55)
3.6.3	反转	(56)
3.7	他励直流电动机的调速	(56)
3.7.1	电枢串电阻调速	(56)
3.7.2	弱磁调速	(57)
3.7.3	降压调速	(57)
3.8	他励直流电动机的电气制动	(58)
3.8.1	能耗制动	(58)
3.8.2	反接制动	(58)
3.8.3	回馈制动(再生制动)	(59)
	本章小结	(60)
	习题 3	(62)
第 4 章	低压电器及控制环节	(64)
4.1	低压电器与电气图的基本知识	(64)
4.1.1	低压电器的基本知识	(64)

4.1.2	电气图形符号和文字符号	(65)
4.1.3	电气图的分类与作用	(66)
4.2	手动启、停控制	(67)
4.2.1	刀开关	(67)
4.2.2	熔断器	(70)
4.2.3	空气断路器	(71)
4.2.4	手动直接启动控制线路	(72)
4.3	点动与长动控制	(72)
4.3.1	按钮	(72)
4.3.2	接触器	(73)
4.3.3	点动控制线路	(75)
4.3.4	长动控制线路	(75)
4.3.5	热继电器	(76)
4.3.6	中间继电器	(77)
4.3.7	长动与点动控制线路	(78)
4.4	正、反转控制	(79)
4.4.1	接触器互锁正、反转控制线路	(80)
4.4.2	按钮互锁正、反转控制线路	(80)
4.4.3	双重互锁正、反转控制线路	(81)
4.5	顺序和多点控制	(81)
4.5.1	顺序控制线路	(82)
4.5.2	多点控制线路	(84)
4.6	时间控制	(84)
4.6.1	时间继电器	(84)
4.6.2	通电型时间继电器控制线路	(85)
4.6.3	断电型时间继电器控制线路	(85)
4.7	行程控制	(86)
4.7.1	行程开关	(86)
4.7.2	行程控制	(87)
	本章小结	(88)
	习题 4	(89)
第 5 章	电动机基本控制线路	(91)
5.1	三相异步电动机降压启动控制	(91)
5.1.1	定子串电阻降压启动控制线路	(91)
5.1.2	星形-三角形降压启动控制线路	(92)
5.1.3	自耦变压器降压启动控制线路	(94)
5.1.4	三相交流绕线式异步电动机的启动控制	(96)
5.2	三相笼型异步电动机制动控制线路	(99)
5.2.1	速度继电器	(99)

5.2.2	反接制动控制线路	(100)
5.2.3	能耗制动控制线路	(101)
5.3	三相交流异步电动机调速控制线路	(102)
5.3.1	变极调速控制线路	(102)
5.3.2	变频调速控制线路	(105)
	本章小结	(106)
	习题 5	(106)
第 6 章	直流电动机控制线路	(108)
6.1	他励直流电动机启动控制	(108)
6.1.1	手动控制启动线路	(108)
6.1.2	利用时间继电器自动控制的启动线路	(109)
6.2	他励直流电动机正、反转控制	(110)
6.2.1	改变电枢电流方向控制线路	(110)
6.2.2	改变励磁电流方向控制线路	(112)
6.3	直流电动机制动控制	(112)
6.3.1	反接制动控制线路	(112)
6.3.2	能耗制动控制线路	(113)
6.4	直流电动机的保护	(114)
6.4.1	直流电动机的过载保护	(114)
6.4.2	直流电动机的励磁保护	(114)
	本章小结	(114)
	习题 6	(115)
第 7 章	常用机床电气控制	(116)
7.1	普通车床电气控制	(116)
7.1.1	普通车床的主要结构与运动形式	(116)
7.1.2	车床拖动特点及控制要求	(117)
7.1.3	C650 车床的电气控制	(117)
7.2	磨床的电气控制	(120)
7.2.1	平面磨床的主要结构及运动形式	(121)
7.2.2	磨床的拖动特点及控制要求	(121)
7.2.3	M7130 平面磨床电气控制	(122)
7.2.4	M7475B 立轴圆台平面磨床电气控制	(124)
7.3	铣床的电气控制	(126)
7.3.1	铣床的主要结构及运动形式	(126)
7.3.2	X62W 万能铣床的电气控制	(127)
7.4	钻床的电气控制	(130)
7.4.1	摇臂钻床的主要结构及运动形式	(130)
7.4.2	Z3040 摇臂钻床的电气控制	(131)
	本章小结	(133)

习题 7	(134)
第 8 章 交流桥式起重机的电气控制	(136)
8.1 凸轮控制器	(136)
8.1.1 凸轮控制器的结构与工作原理	(136)
8.1.2 触点分合展开图	(137)
8.1.3 控制器型号意义	(137)
8.2 交流桥式起重机的结构及控制要求	(137)
8.2.1 交流桥式起重机的结构	(137)
8.2.2 桥式起重机对电气控制的要求	(138)
8.3 10t 桥式起重机	(138)
8.3.1 10t 桥式起重机线路基本情况	(138)
8.3.2 10t 桥式起重机控制小车工作情况	(138)
8.3.3 保护电路	(139)
本章小结	(140)
习题 8	(140)
第 9 章 可编程序控制器的组成与原理	(141)
9.1 可编程序控制器的基本概况	(141)
9.1.1 可编程序控制器的历史与发展	(141)
9.1.2 可编程序控制器的分类与特点	(142)
9.2 可编程序控制器的基本结构	(143)
9.2.1 中央处理单元	(144)
9.2.2 存储器	(144)
9.2.3 输入/输出模块	(144)
9.2.4 电源模块	(145)
9.2.5 其他接口及外设	(145)
9.3 可编程序控制器的基本工作过程	(145)
9.3.1 可编程序控制器应用举例	(145)
9.3.2 可编程序控制器的工作过程	(146)
本章小结	(148)
习题 9	(148)
第 10 章 可编程序控制器技术性能和编程语言	(149)
10.1 可编程序控制器的技术性能	(149)
10.1.1 可编程序控制器的基本技术性能	(149)
10.1.2 可编程序控制器的应用领域	(151)
10.2 可编程序控制器的编程语言	(152)
10.2.1 梯形图编程	(152)
10.2.2 指令语句编程	(153)
10.2.3 功能块图(逻辑图)编程语言	(154)
10.2.4 高级语言	(154)

本章小结	(155)
习题 10	(155)
第 11 章 欧姆龙 C 系列 P 型机的内部资源	(156)
11.1 欧姆龙 C 系列 P 型机的技术指标	(156)
11.2 欧姆龙 C 系列 P 型机内部资源分配	(160)
11.2.1 内部资源 (存储区) 的分配	(160)
11.2.2 输入、输出继电器	(160)
11.2.3 内部继电器	(161)
11.2.4 专用内部辅助继电器	(163)
11.2.5 定时器、计数器	(164)
本章小结	(164)
习题 11	(164)
第 12 章 欧姆龙 C 系列 P 型机的指令系统	(165)
12.1 基本指令	(165)
12.2 专用 (功能) 指令	(177)
本章小结	(208)
习题 12	(208)
第 13 章 欧姆龙 CPM1A 系列的结构与资源	(210)
13.1 结构与内部器件	(210)
13.1.1 外形结构	(210)
13.1.2 I/O 扩展单元	(211)
13.1.3 编程工具	(212)
13.1.4 主机的技术指标	(213)
13.2 欧姆龙 CPM1A 系列机的内部资源	(218)
13.2.1 内部继电器 (IR)	(218)
13.2.2 特殊辅助继电器 (SR)	(218)
13.2.3 暂存继电器 (TR)	(220)
13.2.4 保持继电器 (HR)	(220)
13.2.5 辅助记忆继电器 (AR)	(220)
13.2.6 链接继电器 (LR)	(222)
13.2.7 定时器/计数器 (TC)	(222)
13.2.8 数据存储区 (DM)	(222)
本章小结	(225)
习题 13	(226)
第 14 章 欧姆龙 CPM1A 系列 PLC 的指令系统	(227)
14.1 基本指令	(227)
14.1.1 IL/ILC 指令	(227)
14.1.2 JMP/JME 指令	(227)
14.1.3 定时器/计数器指令	(228)

14.2	数据传送和数据比较指令	(229)
14.2.1	数据传送指令	(229)
14.2.2	数据比较指令	(234)
14.3	数据移位和数据转换指令	(236)
14.3.1	数据移位指令	(236)
14.3.2	数据转换指令	(241)
14.4	数据运算指令	(245)
14.4.1	十进制运算指令	(245)
14.4.2	二进制运算指令	(251)
14.4.3	逻辑运算指令	(252)
14.5	子程序控制指令	(254)
14.5.1	子程序调用、子程序定义和子程序返回指令	(254)
14.5.2	宏指令	(255)
14.6	高速计数器控制指令	(255)
14.6.1	旋转编码器	(256)
14.6.2	高速计数器的计数功能	(256)
14.6.3	高速计数器的中断功能	(257)
14.6.4	高速计数器的控制指令	(258)
14.7	脉冲输出控制	(259)
14.8	中断控制指令	(261)
14.8.1	外部输入中断功能	(261)
14.8.2	间隔定时器的中断功能	(262)
14.8.3	中断的优先级	(263)
14.8.4	中断控制指令	(263)
14.9	步进控制指令	(265)
14.10	特殊指令	(266)
	本章小结	(268)
	习题 14	(268)
第 15 章	PLC 系统的设计	(269)
15.1	顺序控制设计法	(269)
15.1.1	流程图的基本结构	(269)
15.1.2	流程图类型	(271)
15.1.3	流程图与梯形图的对应关系	(272)
15.1.4	根据流程图画梯形图	(273)
15.2	其他设计法	(274)
15.2.1	逻辑设计法	(274)
15.2.2	经验设计法	(277)
	本章小结	(281)
	习题 15	(281)

第 16 章 可编程序控制器编程应用基础举例	(282)
16.1 梯形图编程格式与规则	(282)
16.1.1 梯形图编程格式	(282)
16.1.2 梯形图编程规则	(282)
16.2 三相异步电动机单向直接启动、点动控制	(285)
16.2.1 继电器-接触器控制电路	(285)
16.2.2 可编程序控制器控制的 I/O 配线图	(286)
16.2.3 可编程序控制器控制的梯形图	(286)
16.2.4 I/O 配线图与梯形图的改进	(288)
16.3 三相异步电动机的正、反转控制	(290)
16.3.1 继电器-接触器控制电路	(290)
16.3.2 可编程序控制器控制的 I/O 配线图	(290)
16.3.3 防止电弧短路的控制电路	(292)
16.3.4 梯形图设计	(293)
16.4 三相异步电动机的星形-三角形降压启动控制	(296)
16.4.1 继电器-接触器控制电路	(296)
16.4.2 可编程序控制器控制的 I/O 配线图	(297)
16.4.3 可编程序控制器控制的梯形图	(297)
本章小结	(229)
习题 16	(229)
第 17 章 PLC 工业控制的应用实例	(300)
17.1 P 型机实现的顺序启、停多台电动机控制	(300)
17.2 P 型机实现的自动售货机控制	(301)
17.3 PLC 实现的折板机控制	(301)
17.4 CPM1A PLC 实现的十字路口交通灯控制	(306)
17.5 P 型机实现的三种液体自动混合控制	(311)
17.6 C 系列 P 型机可编程序控制器在机械手控制中的应用	(313)
17.7 C 系列 P 型机可编程序控制器在组合机床控制中的应用	(315)

第1章 变 压 器

内容提要

变压器的基本结构与工作原理。变压器的铭牌技术数据。变压器的空载运行、负载运行和运行特性。三相变压器及其连接组。三相变压器的并联。自耦变压器。仪用互感器。电焊变压器。

本章主要介绍单相变压器的结构和原理，分析在稳态对称运行条件下，变压器空载运行和负载运行时的电磁关系。本章还对变压器运行时的输出电压变化率、变压器效率及三相变压器并联运行加以介绍，并简要概述其他类型的变压器。

1.1 变压器的基本结构与铭牌技术数据

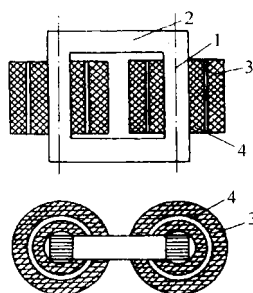
1.1.1 变压器的基本结构

电力变压器的基本部件是铁芯和绕组，此外还有油箱及其他附件。

1. 铁芯

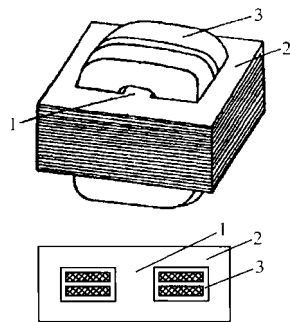
铁芯是变压器中的磁路部分。为了减少铁芯内的涡流损耗和磁滞损耗，铁芯通常采用表面经绝缘处理的冷轧硅钢片叠装而成。硅钢片具有较优良的导磁性能和较低的损耗。

铁芯分为铁芯柱和铁轭（磁轭）两部分，铁芯柱上套有绕组，磁轭作为连接磁路之用。铁芯结构的基本形式有心式和壳式两种，如图 1.1 和图 1.2 所示。



1—铁芯柱；2—铁轭；3—高压绕组；4—低压绕组

图 1.1 单相心式变压器



1—铁芯柱；2—铁轭；3—绕组

图 1.2 单相壳式变压器

2. 绕组

绕组是变压器的电路部分，应具有较高的耐热性、机械强度及良好的散热条件，以保证变压器的可靠运行。与电源相连的叫一次绕组或原绕组，与负载相连的叫二次绕组或副绕组。也可根据电压大小分为高压、低压绕组。

3. 油箱和其他附件

(1) 油箱。变压器油是经提炼的绝缘油，绝缘性能比空气好。它是一种冷却介质，通过热对流方法，及时将绕组和铁芯产生的热量传到油箱和散热油管壁，向四周散热，使变压器的温升不致超过额定值。变压器油按要求应具有低的黏度、高的发火点和低的凝固点，不含杂质和水分。

(2) 储油柜。储油柜又称油枕，一般装在变压器油箱上面，其底部有油管与油箱相通，当变压器油热胀时，将油收进储油柜内，冷缩时，将油灌回油箱，始终保持器身浸在油内。油枕上还装有吸湿器，内含氧化钙或硅胶等干燥剂。

(3) 安全气道。较大容量的变压器油箱盖上装有安全气道，它的下端通向油箱，上端用防爆膜封闭。当变压器发生严重故障或气体继电器保护失败时，箱内产生很大压力，可以冲破防爆膜，使油和气体从安全气道喷出，释放压力以避免造成重大事故。

(4) 气体继电器。气体继电器安装在油箱与油枕之间的三连通管中。当变压器发生故障时，内部绝缘材料及变压器油受热分解，产生气体沿连通管进入气体继电器，使之动作，接通继电器保护电路发出信号，以便工作人员进行处理，或引起变压器前方断路器跳闸保护。

(5) 绝缘套管。作为高、低压绕组的出线端，在油箱上装有高、低压绝缘套管，使变压器进、出线与油箱（地）之间绝缘。高压（10kV 以上）套管采用空心充气式或充油式瓷套管，低压（1kV 以下）套管采用实心瓷套管。

(6) 分接开关。箱盖上的分接开关，可以在空载情况下改变高压绕组的匝数（ $\pm 5\%$ ），以调节变压器的输出电压，改善电压质量。

1.1.2 变压器的铭牌技术数据

为保证变压器的安全运行和方便用户正确使用变压器，在其外壳上设有一块铝制刻字的铭牌。铭牌上的数据为额定值。

1. 额定电压 U_{1N}/U_{2N}

额定电压 U_{1N} 是指交流电源加到一次绕组上的正常工作电压； U_{2N} 是指在一次绕组加 U_{1N} 时，二次绕组开路时（空载）的端电压。在三相变压器中，额定电压是指线电压，通常在铭牌上以分数的形式 U_{1N}/U_{2N} 表示。

2. 额定电流 I_{1N}/I_{2N}

额定电流是变压器绕组允许长时间连续通过的最大工作电流，由变压器绕组的允许发热程度决定。在三相变压器中额定电流是指线电流。

3. 额定容量 S_N

额定容量是指在额定条件下，允许变压器最大功率输出，即视在功率。通常把变压器一、二次绕组的额定容量设计得相同。在三相变压器中 S_N 是指三相总容量。额定电压、额定电流、

额定容量三者关系如下。

$$\begin{aligned} \text{单相:} \quad & I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}}, \quad I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}} \\ \text{三相:} \quad & I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{1N}}, \quad I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}} \end{aligned}$$

4. 额定频率 f_N

我国规定标准工业用电的频率为 50Hz。除此之外，铭牌上还有效率 η 、温升 τ 、短路电压标称值 u_k 、连接组别号、相数 m 等。

1.2 变压器的工作原理

变压器的工作原理可参考图 1.3。当一次绕组输入端接交流电源时，产生交流电流，这一电流将产生交变磁通从铁芯通过，由于一、二次绕组套在同一铁芯上，所以，交变磁通同时交链一、二次绕组。根据电磁感应定律，必然在两绕组上都感生出电动势，在二次绕组上感应的电动势即作为负载的直接电源，若负载接上，便有电流通过。可见，一次绕组从交流电源获得电能并转换成磁场能传递到二次绕组，然后还原成不同于交流电源电压等级的电能再供给负载。负载所消耗的电能最终还是来自一次绕组的交流电源，变压器本身不产生电能，仅起传递电能、变换电压的作用。

1.2.1 变压器的空载运行

1. 变压器中各物理量正方向的规定

变压器中各物理量的正方向一般按照电工惯例来规定，称为“惯例方向”，如图 1.4 所示。图中同一支路，电压降的正方向与电流的正方向一致；磁通的正方向与电流的正方向之间符合右手螺旋定则关系；由交变磁通所产生的感应电动势，其正方向与产生该磁通的电流正方向一致。或者说，感应电动势的正方向与产生它的磁通正方向成右手螺旋定则关系。在此关系下， $e = -Nd\Phi/dt$ 。

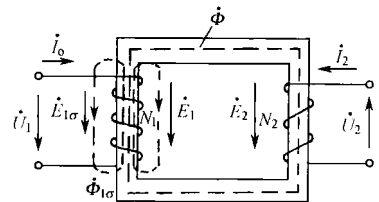


图 1.3 变压器空载运行原理图

2. 空载运行时的物理情况

变压器的一次绕组接在额定电压、额定频率的交流电源上，二次绕组开路无电流的运行状态，称为空载运行。

变压器的一次绕组匝数为 N_1 ，二次绕组匝数为 N_2 ，一次绕组接电源电压 U_1 ，空载时一次绕组中的电流为 I_0 ，叫空载电流，它在一次绕组中建立空载磁动势 $F_0 = I_0 N_1$ 。在 F_0 作用下，铁芯磁路中产生磁通，因此，空载磁动势又叫励磁磁动势，空载电流又叫励磁电流。变压器中磁通分布较复杂，为便于研究，将其分为两部分：一部分是同时交链着一次绕组和二次绕组的主磁通 Φ ；另一部分是只交链一次绕组本身而不交链二次绕组的漏磁通 $\Phi_{1\sigma}$ 。主磁通 Φ 沿