

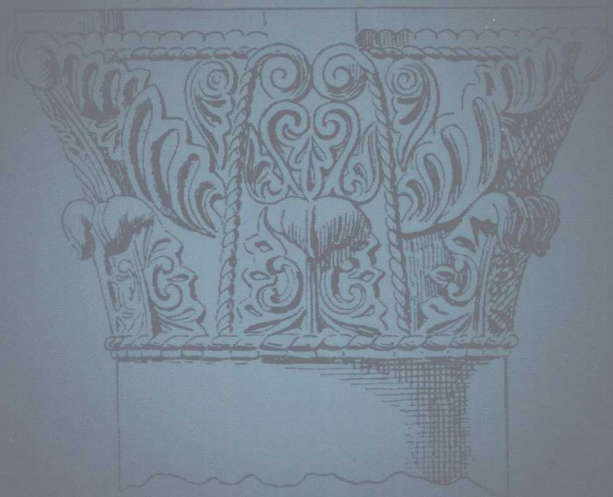
21世纪高等职业教育电气信息类规划教材

电机与 电气控制技术

Dianji Yu
Dianqi Kongzhi Jishu

■ 张华龙 主编

■ 王兆义 审



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21 世纪高等职业教育电气信息类规划教材

电机与电气控制技术

张华龙 主编

王兆义 审

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

电机与电气控制技术 / 张华龙主编. —北京: 人民邮电出版社, 2008.9

21 世纪高等职业教育电气信息类规划教材

ISBN 978-7-115-18089-6

I. 电… II. 张… III. ①电机学—高等学校: 技术学校—教材 ②电气控制—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM3
TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 096706 号

内 容 提 要

本书结合电气控制技术的实际应用和发展情况, 系统地介绍了电机和常用低压电器的结构、工作原理、功能、特点和有关应用知识, 着重讲述了电动机转速的调节、典型电气控制电路及其识读和分析方法。本书在编写时注重对学生应用能力的培养, 力求使基础理论与工程实际紧密结合。为了帮助学生更好地理解 and 掌握相关原理与技术, 本书还提供了大量的应用实例, 并且每章都附有小结和思考与练习题。

本书可作为高等职业教育电气自动化、机电一体化等专业的教学用书, 也可供相关技术人员参考。

21 世纪高等职业教育电气信息类规划教材

电机与电气控制技术

-
- ◆ 主 编 张华龙
 - ◆ 审 王兆义
责任编辑 刘 朋
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市潮河印业有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 13.25
字数: 314 千字 2008 年 9 月第 1 版
印数: 1-3 000 册 2008 年 9 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-18089-6/TN

定价: 25.00 元

读者服务热线: (010) 67129258 印装质量热线: (010) 67129223

反盗版热线: (010) 67171154

前 言

当前,电气信息技术在国民经济中发挥着越来越重要的作用,已经成为衡量一个国家科技和工业发展水平的重要标志之一。伴随着产业规模的持续扩大,社会急需大批高技能型电气信息技术专业人才,而技术的快速发展又需要加快院校的学科建设和专业改革,以实现学校教育 with 上岗就业的无缝衔接。电气信息类专业已成为我国高等职业教育重点建设和发展的专业方向之一,很多高职工科院校都开设有此类专业。根据教育部高等职业教育教学改革精神,我们组织有关人员在深入系统地调查研究的基础上,充分结合教学实际需要,编写了这套“21世纪高等职业教育电气信息类规划教材”。

这套教材在编写时紧密结合电气控制技术的实际应用和发展情况,坚持以“淡化理论,够用为度,培养技能,重在应用”为原则,注重对学生应用能力的培养,力求使基础理论与工程实际紧密结合,突出针对性、实用性和先进性,达到“教师好教,学生好学”的目的。书中在讲解理论知识的同时还提供了大量的应用实例,并注意反映当前电气信息技术领域的新知识、新工艺和新方法。本书在叙述上由简到繁、深入浅出、主次分明、详略得当,并采用了大量的插图,尽可能体现高等职业教育教材的特色。参加教材编写工作的人员均为一线教师,其中一部分教师来自企业并做过大量的工程项目,其他的教师则长期指导高职高专学生的实验和实训,实践经验非常丰富。

高等职业教育电气信息类专业的典型岗位群包括:维修电工,机电设备安装、调试、操作、检修、维护工,自动化生产线工人,工厂供电系统安装、检修、维护工等。这些从业者所面临的大部分工作对象是电动机及其控制环节,因此,“电机与电气控制技术”也是高等职业教育电气信息类专业的核心课程之一。在一个自动化生产线或自动控制系统中,电动机是控制的核心部件,而控制电动机的方式有继电—接触器控制(即电气控制)、PLC控制、单片机控制等。目前,大部分电动机的控制系统还是采用继电—接触器控制,部分采用继电—接触器、PLC、变频器与单片机组组合来形成一个较稳定、可靠的运行系统。可以看出,继电—接触器控制是现代电动机控制的基础。

本书在介绍单相变压器、三相变压器、直流他励电动机、三相异步电动机和常用低压电器等基本知识的基础上,重点介绍了以电动机或其他执行电器为控制对象的生产机械的电气控制基本原理、线路及分析方法,以培养学生解决生产中电气控制方面一般问题的工程能力,并为其今后学习新的电气控制技术打下基础。本书在编写的时候注意与中级维修电工等级考试的内容与需求相结合,加强电工基本操作的训练,提高学生的实践能力。

本书由张华龙担任主编,廊坊职业技术学院谷俊婷、史映红、阚玉怀、曹伟、薛双苓,鹤壁职业技术学院李王辉以及三河职教中心张延东参与编写。其中,第一章由谷俊婷编写,第二章由史映红编写,第三章由薛双苓编写,第四章由曹伟编写,第五章由张延东编写,第六章由李王辉编写,第七章由张华龙编写,第八章由阚玉怀编写。廊坊职业技术学院的王兆

义对全书进行了审阅。

在编写过程中，编者得到了廊坊职业技术学院、鹤壁职业技术学院、三河职教中心等有关领导和同志的大力支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	1
一、电机的广泛应用	1
二、电机及其分类	1
三、电气控制技术	1
四、本课程的性质、内容和任务	2
第一章 变压器	3
第一节 变压器的基本结构与功能	3
一、变压器的基本结构	3
二、变压器的基本功能	4
第二节 变压器的用途及分类	5
一、变压器的用途	5
二、变压器的分类	6
第三节 变压器的运行特性	6
一、变压器的空载运行特性	7
二、变压器的负载运行特性	7
第四节 三相变压器	10
一、油浸式电力变压器	10
二、干式电力变压器	13
三、组合式变压器	14
第五节 同名端及其判别	14
一、单相变压器绕组同名端的判定	15
二、三相变压器绕组同名端的判定	15
第六节 其他用途的变压器	16
一、电流互感器	16
二、电压互感器	17
三、自耦变压器	17
四、交流电焊机	18
第七节 配电变压器的一般试验及故障检修	20
一、配电变压器的一般试验	20
二、配电变压器的故障检修	22

本章小结	23
思考与练习题一	24
第二章 常用低压电器	26
第一节 概述	26
一、电器及其分类	26
二、低压电器的作用	27
三、低压电器结构的基本特点	27
第二节 开关	28
一、刀开关	28
二、转换开关(组合开关)	29
三、倒顺开关	30
四、低压断路器	30
第三节 主令电器	33
一、按钮	33
二、行程开关	34
第四节 熔断器	36
一、熔断器的工作原理	36
二、熔断器的基本结构	36
三、熔断器的主要技术参数	36
四、熔断器的型号	36
五、熔断器的种类	36
六、熔断器的选择和维护	37
七、几种常见熔断器的外形	38
第五节 交流接触器	39
一、交流接触器的结构	39
二、交流接触器的工作原理	40
三、交流接触器的型号和主要技术数据	40
四、交流接触器的选用	40
第六节 继电器	43
一、电磁式电流、电压、中间继电器	43
二、时间继电器	44
三、热继电器	45
四、速度继电器	46
本章小结	48
思考与练习题二	49
第三章 直流电机	50
第一节 概述	50

四、三相单层绕组	74
第四节 三相异步电动机的工作原理	79
一、旋转磁场	79
二、三相异步电动机的旋转原理	80
第五节 三相异步电动机的重要概念	81
一、转差率 s	81
二、转子绕组各电磁量	81
三、功率与转矩	83
第六节 三相异步电动机的机械特性	84
一、三相异步电动机机械特性的 3 种表达式	84
二、三相异步电动机的固有机械特性	85
三、三相异步电动机的稳定运行区	86
第七节 三相异步电动机的启动	87
一、概述	87
二、三相笼型异步电动机的直接启动	87
三、三相笼型异步电动机的降压启动	88
四、绕线转子异步电动机的启动	90
第八节 三相异步电动机的制动	92
一、三相异步电动机的反接制动	92
二、三相异步电动机的能耗制动	93
三、三相异步电动机的再生制动	94
本章小结	94
思考与练习题四	95
第五章 电动机转速的调节	97
第一节 调速的基本概念和性能指标	97
一、调速的基本概念	97
二、调速的性能指标	98
第二节 直流他励电动机的调速	99
一、改变电枢回路电阻的调速	100
二、改变电枢电压调速	101
三、减弱磁通的调速	104
第三节 三相异步电动机的调速	106
一、笼型异步电动机的变极调速	106
二、变转差率调速	107
三、变频调速	110
本章小结	112
思考与练习题五	113

第六章 其他用途的电动机	114
第一节 单相异步电动机	114
一、单相异步电动机的结构	114
二、单相异步电动机的工作原理	114
三、单相异步电动机的分类	116
四、单相异步电动机的反转与调速	119
第二节 三相同步电动机	120
第三节 特种电机	121
一、伺服电动机	121
二、测速发电机	122
三、步进电动机(又称脉冲电动机)	123
四、直线电动机	126
五、交磁电机扩大机	128
本章小结	129
思考与练习题六	130
第七章 典型电气控制环节	131
第一节 电气图的基本知识	131
一、电气图中的图形符号、文字符号和接线端子标记	131
二、电路图	133
三、电器布置图	135
四、接线图	135
第二节 三相笼型异步电动机的直接启动控制电路	136
一、手动直接启动	136
二、带接触器控制的直接启动电路	137
第三节 三相笼型异步电动机的降压启动控制电路	144
一、星-三角(Y- Δ)形降压启动控制电路	144
二、定子回路串电阻降压启动控制电路	149
三、自耦降压启动控制电路	151
第四节 三相笼型异步电动机的制动控制电路	153
一、能耗制动控制电路	153
二、反接制动控制电路	156
第五节 三相笼型异步电动机的有级变速控制电路	158
一、双速电动机定子绕组的连接	158
二、双速电动机控制电路	159
第六节 电气控制电路的简单设计	162
一、经验设计法	162

二、设计举例	165
第七节 电气控制电路安装实例	166
一、安装题目	166
二、安装电路图	166
三、安装目的及要求	167
四、安装前的准备	167
五、安装步骤	168
第八节 电气设备的防火	170
一、引起电气火灾的主要原因	170
二、防止电气火灾的安全措施	170
三、发生触电及电气火灾的急救措施	170
本章小结	171
思考与练习题七	171
第八章 典型机械设备电气控制系统分析	173
第一节 识读电气控制图的方法和步骤	173
一、用查线看图法看主电路的步骤	173
二、用查线看图法看辅助电路的步骤	175
三、查线看图法的要点	176
第二节 C620-1 型普通车床的电气控制	177
一、C620-1 型普通车床的主要结构与运动形式	177
二、C620-1 型普通车床的电力拖动和控制要求	178
三、C620-1 型普通车床的电气控制系统分析	178
第三节 C650 型卧式车床的电气控制	179
一、C650 型卧式车床的结构及工作要求	179
二、C650 型卧式车床的电力拖动及控制要求	180
三、C650 型卧式车床电气控制系统分析	180
第四节 X62W 型铣床的电气控制	183
一、X62W 型铣床的主要结构和运动形式	183
二、X62W 型铣床的电力拖动和控制要求	184
三、X62W 型铣床电气控制系统分析	184
第五节 M7130 型平面磨床的电气控制	190
一、M7130 型平面磨床的主要结构及运动形式	190
二、M7130 型平面磨床的拖动特点和控制要求	190
三、M7130 型平面磨床电气控制系统分析	191
第六节 Z3040 型摇臂钻床的电气控制	193
一、Z3040 型摇臂钻床的主要结构及运动形式	193
二、Z3040 型摇臂钻床的拖动特点和控制要求	194

绪 论

一、电机的广泛应用

在工业企业中，各种生产机械为了完成工艺过程的要求，大多数都需要有机机械能。早期的机械能来源于水力和蒸汽。电机出现以后，由于电能变换、传输、分配、使用和控制等方面都比较方便、经济，易于进行大量生产、集中管理、远距离传输和实现自动控制，因此，电能逐渐代替了水力和蒸汽作为动力。当前，电机在工业、农业、军事等行业的应用极其广泛，如起重机是靠电机来提升和下放重物的，机床是靠电机来拖动的，飞机、汽车乃至家庭使用的电扇、VCD机和DVD机等都是靠电机来驱动的。

二、电机及其分类

利用电磁感应原理，能实现电能变换或电能与机械能间相互转化的电气设备统称为电机。

电机与人们的生产与生活息息相关，其种类繁多，型号各异。要想进一步掌握电机的使用方法，必须对电机进行分类。

按电能的转化形式不同，电机可分为以下几种。

① 发电机：将机械能转化为电能或少量的热能。

② 电动机：将电能转化为机械能。

③ 变压器：对电能进行变换。

④ 控制电机：是一种特殊的电机，有的将电能转化为机械能，有的将机械能转化为电能。

按电机内电流的形式不同，电机可分为以下两种。

① 交流电机：可进一步分为交流发电机、交流电动机和变压器 3 种类型。其中交流发电机一般为同步电机；交流电动机一般为异步电机，包括单相异步电动机和三相异步电动机两种类型。

② 直流电机：可分为直流发电机和直流电动机两种类型。直流电动机包括永磁式直流电动机和励磁式直流电动机。

三、电气控制技术

随着生产的发展，人们对生产工艺不断提出更高的要求，例如要求加工精度高，调速范围广，快速启动、制动和反转等。这些要求必须通过控制设备控制电机来实现，因此形成了由控制设备、电动机、传动机构、生产机械等组成的电力拖动系统。目前仍在使用的控制设备有继电—接触器型有触头式控制系统、晶闸管控制系统、PLC 控制系统以及单片机控制系统等。本书重点介绍继电—接触器型有触头式控制系统，对于其他的控制方式只在最后一章中给出一些实例。

四、本课程的性质、内容和任务

本课程以数学、电工基础等课程为基础，既具有较强的理论性，又具有一定的实践性，是一门重要的技术基础课。其主要内容包括变压器、常用低压电器、直流电机、交流电机等的结构原理、功能特点，以及典型电气控制环节和控制系统应用实例。

通过本课程的学习，要求学生掌握下面一些基本内容和方法。

① 单相变压器的结构、工作原理、外特性、损耗、效率、同名端及其判断等基本知识和基本运算。

② 用以分析电动机结构、机械特性及各种运行状态（点动、制动和反转）的基本理论。

③ 各种调速方式的原理、特点及特性。

④ 电机的选择、维修及使用注意事项。

⑤ 常用低压电器的结构、工作原理、使用方法、参数的选定、故障诊断与排除。

⑥ 基本电气控制电路的原理、组装与调试、故障诊断与排除。

⑦ 典型电气控制实例。

⑧ 电机与电气控制的基本实验方法。

第一章 变 压 器

本章要点提示

本章先讲述单相变压器的结构、分类、主要用途、工作原理及工作特性，再介绍三相变压器和其他用途变压器的结构、工作原理、运行特性等方面的基本知识。

应知内容

- ① 变压器的一般结构、工作原理、用途及分类方法。
- ② 变压器的外特性、电压变化率。
- ③ 三相变压器的连接组别。
- ④ 其他用途变压器的用途及特点。

应会内容

- ① 同名端及其判断方法。
- ② 单相变压器和三相变压器的使用方法。
- ③ 损耗及效率的概念。
- ④ 变压器常见故障的检修方法。

第一节 变压器的基本结构与功能

变压器是一种利用电磁感应原理，通过磁场传递能量的静止的电气设备。它的主要组成部分是闭合的铁芯和绕组，称为变压器的器身。大、中容量的变压器还有散热及保护部件。下面以单相变压器为例说明变压器的基本结构与基本功能。

一、变压器的基本结构

单相变压器的结构如图 1-1 所示。图 1-1 (a) 所示的变压器中绕组环绕在铁芯的外部，称为芯式变压器；图 1-1 (b) 所示的变压器中铁芯环绕在绕组的外部，称为壳式变压器。



(a) 芯式变压器



(b) 壳式变压器

图 1-1 单相变压器的结构

1. 铁芯

铁芯是变压器磁路的主体，分为铁芯柱和铁轭两部分，铁芯柱上套绕组，铁轭起连接作用，使磁路闭合。铁芯由含硅量 2.5%~5%、厚度为 0.35~0.50mm、表面有绝缘层的硅钢片按一定规则叠成。加入硅元素和表面绝缘是为了减小铁芯的涡流损耗和磁滞损耗，但硅的含量要适度，硅含量太高时硅钢片的韧性会下降。

硅钢片的形状多种多样，小型变压器常采用口形、E 形、F 形、C 形、O 形冲片，大、中型变压器的铁芯一般都将硅钢片裁成条状。无论何种形状的硅钢片，叠制时都要将各层磁路的接缝相互错开，以减小气隙和磁阻，提高铁芯的导磁性能。

2. 绕组

绕组是变压器的电路部分，用绝缘铜线或绝缘铝线绕制而成。它的作用是作为电流的载体，产生磁通和感应电动势。一般单相变压器的绕组有两个：一次绕组套装在铁芯柱上，与电源相连，用于接收电能和输入电压；二次绕组套装在铁芯柱上，与负载相连，用于输出电能和电压。

二、变压器的基本功能

变压器的基本功能有 3 个：变电压、变电流以及实现阻抗变换。

1. 变压器的变电压功能

单相变压器的结构原理图及图形符号如图 1-2 所示。设一次绕组匝数为 N_1 ，二次绕组匝数为 N_2 ， u_1 为加在一次绕组上的正弦电压， u_2 为二次绕组的输出电压。当在一次绕组两端加上交流电压后，便会在一次绕组中产生电流 i_1 ，并在铁芯中产生磁通 Φ ，同时在一次和二次绕组中产生感应电动势。在图示的关联参考方向下，一次绕组中的感应电动势为：

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} = -u_1 \tag{1-1}$$

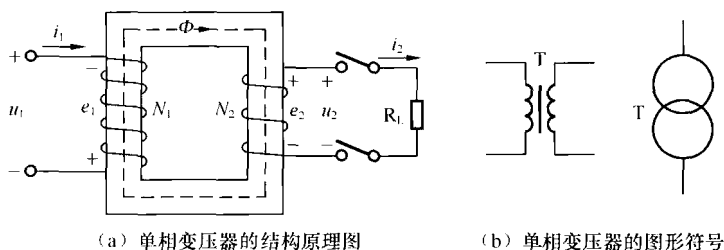


图 1-2 单相变压器的结构原理图和图形符号

二次绕组中的感应电动势为：

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = u_2 \tag{1-2}$$

由上述两式还可看出， e_1 、 e_2 、 u_2 的相位也相同， u_1 则与前三者的相位相反，且有：

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = k \tag{1-3}$$

只要 $N_1 \neq N_2$ ，就有 $k \neq 1$ ， $U_1 \neq U_2$ ，从而实现了变电压功能。 k 称为变压器的变比，若 $k > 1$ ，则 $U_1 > U_2$ ，变压器称为降压变压器；若 $k < 1$ ，则 $U_1 < U_2$ ，变压器称为升压变压器；若 $k = 1$ ，

则 $U_1=U_2$ ，变压器称为隔离变压器或跟随变压器。

结论：变压器的电压与绕组的匝数成正比。

2. 变压器的变电流功能

变压器的二次绕组与负载接通后，在二次绕组中就有电流 i_2 流过。若忽略变压器的各种损耗，认为变压器只传递电能而不消耗电能，则有：

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \quad (1-4)$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{k} \quad (1-5)$$

若 $k \neq 1$ ，则 $I_1 \neq I_2$ ，从而实现了变电流功能（也可根据磁通链守恒的原理推出）。

注意： I_1 的大小由 I_2 决定，变压器空载时 $I_2=0$ ，一次绕组中只有很小的空载电流 I_0 。

结论：变压器的电流与绕组的匝数成反比。

3. 变压器的阻抗变换作用

阻抗变换是指若将一个复阻抗为 Z_L 的负载接在一个变压器的二次绕组上，则变压器一次绕组端的等效复阻抗 $Z' \neq Z_L$ ，如图 1-3 所示。

$$Z' = \frac{U_1}{I_1} = \frac{k U_2}{\frac{1}{k} I_2} = k^2 \frac{U_2}{I_2} = k^2 Z_L \quad (1-6)$$

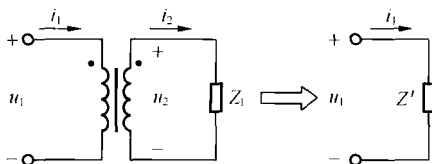


图 1-3 变压器的阻抗变换

阻抗变换的目的是使负载的阻抗与电源的内阻相等，从而在负载上得到最大的功率输出，即实现阻抗匹配。

第二节 变压器的用途及分类

一、变压器的用途

变压器只能改变交流电的大小，但不能改变交流电的频率，主要用于传输和分配交流电能，在通信、广播、冶金、焊接、电子实验、电气测量及自动控制方面也有着广泛的应用。

1. 传输交流电能

工厂所需的电力是由发电厂生产的，但发电厂大多建设在能源基地附近，往往离工厂很远。为了降低对发电设备的要求，发电厂发出的电压一般为 $3.15 \sim 26 \text{kV}$ ，若用这个电压直接远距离输送电能，线路上的电能损失将较大。为了减小输电损失，发电厂发出的电压一般要经升压变压器升至 $35 \sim 500 \text{kV}$ 后再远距离输送至区域变电所。而用电负荷的电压一般为低压 $220/380 \text{V}$ ，因此升压输送的高压还需通过降压变压器逐级降压，最终送至用电负荷。

2. 分配交流电能

经远距离高压输电线送至区域变电所的电能要供给此区域内众多的负荷使用，因此在区域变电所中需要通过降压变压器将电压降至 $6 \sim 10 \text{kV}$ ，并将电能进行合理分配后再送至各用电单位。降压的原因是区域变电所距离用电单位较近，高压配电线上不会有较大的电能损失。