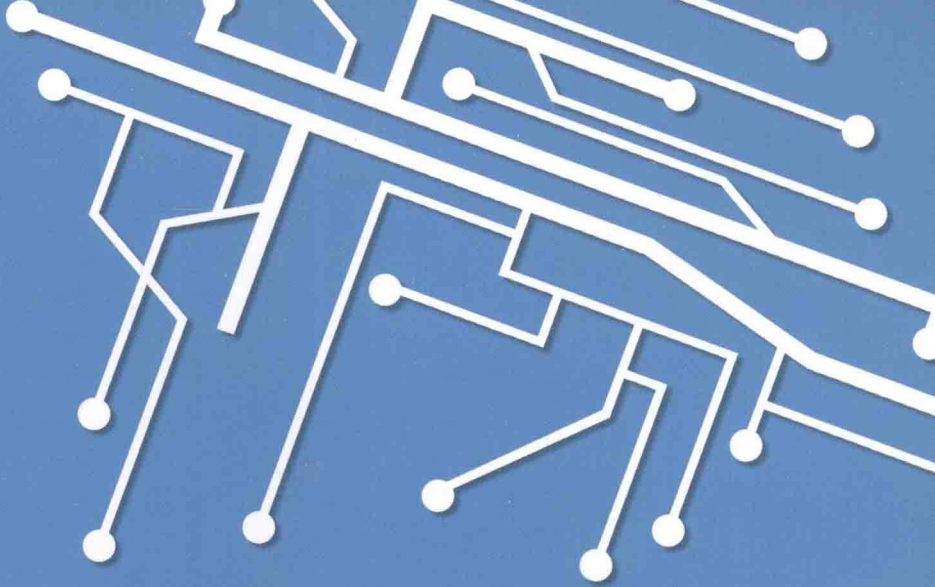




# 电机与电气 控制技术

袁维义 陈 锐 主编  
杨慧英 主审

DJYDQ

 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# 电机与电气控制技术

主 编 袁维义 陈锐  
副主编 高 南 武志兰  
主 审 杨慧英

图书在版编目 (CIP) 数据

电机与电气控制技术/袁维义, 陈锐主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2013. 1  
ISBN 978 - 7 - 5640 - 7204 - 9

I. ①电… II. ①袁… ②陈… III. ①电机学 - 高等学校 - 教材②电气控制 - 高等学校 - 教材 IV. ①TM3②TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 002838 号

---

---

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京兆成印刷有限责任公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 15.5

字 数 / 354 千字

版 次 / 2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 1500 册

定 价 / 45.00 元

责任编辑 / 张慧峰

责任校对 / 贾 苗

责任印制 / 王美丽

本书是根据高等院校电气自动化专业人才培养规格要求,以“强化应用,注重实践,符合行业企业需求,紧密结合生产实际,跟踪先进技术”为原则编写的。

本书参考《维修电工国家职业标准》相关部分,以电机与电气控制技术在实际生产中的应用为编写依据,在内容选择上结合目前我国大、中型企业实际情况,简化了一些与电机实际应用关联不大的理论分析和计算,突出基本知识与操作技能的培养,并总结了一些从业人员在实际工作中常见故障的分析和处理方法。

本书采用传统教学与项目化教学相结合的形式,以工作任务为导向设计教学项目和实施步骤,通过一个个完整的项目学习,使学生掌握课程任务目标的各项知识和技能,有利于教学实施。

本书以能够胜任维修电工岗位相关工作任务为目标精选课程内容,主要内容有变压器的使用、直流电机、直流电动机的电力拖动、三相异步电动机、三相异步电动机的电力拖动、驱动和控制电机、常用低压电器、导线选择与连接、电气识图、基本电气控制线路。

本书可作为高等学校自动化类专业和机电一体化专业教材,也可作为职工培训教材。全书共分十章,由袁维义、陈锐、高南和承德钢铁集团有限公司武志兰共同编写,其中绪论和第1、4、5章由袁维义编写,第2、3、6章由陈锐编写,第9、10章由高南编写,第7、8章由武志兰编写。全书由袁维义、陈锐担任主编,高南、武志兰任副主编,石家庄焦化集团有限责任公司杨慧英担任主审,全书由袁维义统稿。

在本书编写过程中石家庄焦化集团有限责任公司刘泽军、吕建忠两位高级工程师和程彦军、李建波两位高级技师,河北科技大学庞志峰、韩育两位教授以及河北钢铁集团石家庄钢铁有限责任公司刘海涛、陈明两位工程师提出许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于编写时间紧迫,编者水平有限,书中缺点和错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

# Contents 目录

## Contents

|                   |    |
|-------------------|----|
| 绪 论               | 1  |
| 0.1 电机及电力拖动系统概述   | 1  |
| 0.1.1 电机          | 1  |
| 0.1.2 电力拖动        | 1  |
| 0.2 电气控制          | 2  |
| 0.3 本课程的性质、任务和内容  | 3  |
| 0.4 课程目标          | 3  |
| 0.5 本课程的特点及学习方法   | 4  |
| 第1章 变压器的使用        | 5  |
| 1.1 变压器的基本工作原理和结构 | 5  |
| 1.1.1 变压器的基本工作原理  | 5  |
| 1.1.2 变压器的基本结构    | 6  |
| 1.1.3 变压器的铭牌      | 8  |
| 1.2 变压器的运行特性      | 10 |
| 1.2.1 变压器的外特性     | 10 |
| 1.2.2 电压变化率       | 10 |
| 1.2.3 变压器的损耗      | 11 |
| 1.2.4 变压器的效率和效率特性 | 11 |
| 1.3 三相变压器         | 12 |
| 1.3.1 三相变压器的磁路系统  | 12 |
| 1.3.2 三相变压器的联结组别  | 13 |
| 1.4 变压器的并联运行      | 14 |
| 1.4.1 并联运行的理想状态   | 14 |
| 1.4.2 变压器并联运行的条件  | 15 |
| 1.5 其他用途的变压器      | 15 |
| 1.5.1 自耦变压器       | 15 |
| 1.5.2 仪用互感器       | 16 |
| 1.5.3 电焊变压器       | 18 |
| 项目1 电力变压器的运行维护    | 19 |
| 任务1 电力变压器的容量选择    | 19 |

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| 任务 2 变压器的维护 .....             | 19        |
| 任务 3 变压器的异常情况处理 .....         | 20        |
| 任务 4 变压器运行中常见故障分析 .....       | 21        |
| 小结 .....                      | 21        |
| 习题 1 .....                    | 24        |
| <b>第 2 章 直流电机</b> .....       | <b>25</b> |
| 2.1 直流电机的结构 .....             | 25        |
| 2.1.1 定子 .....                | 26        |
| 2.1.2 转子 .....                | 27        |
| 2.2 直流电机的工作原理 .....           | 28        |
| 2.2.1 直流发电机的工作原理 .....        | 28        |
| 2.2.2 直流电动机的工作原理 .....        | 29        |
| 2.2.3 直流电机铭牌数据及主要系列 .....     | 29        |
| 2.3 直流电机的电枢绕组 .....           | 30        |
| 2.3.1 电枢绕组基本知识 .....          | 30        |
| 2.3.2 单叠绕组 .....              | 32        |
| 2.4 直流电机的电枢电动势和电磁转矩 .....     | 34        |
| 2.4.1 直流电机的电枢电动势 .....        | 34        |
| 2.4.2 直流电机的电磁转矩 .....         | 34        |
| 2.5 直流电机的换向 .....             | 35        |
| 2.5.1 换向概述 .....              | 35        |
| 2.5.2 改善换向的方法 .....           | 35        |
| 2.6 直流发电机 .....               | 36        |
| 2.6.1 直流发电机的励磁方式 .....        | 36        |
| 2.6.2 直流发电机的基本方程式 .....       | 37        |
| 2.7 直流电动机 .....               | 37        |
| 2.7.1 直流电动机的工作原理 .....        | 37        |
| 2.7.2 他励直流电动机的工作特性 .....      | 38        |
| 项目 2 直流电动机的运行维护与故障处理 .....    | 39        |
| 任务 1 直流电动机的保养 .....           | 39        |
| 任务 2 直流电动机的运行与维护 .....        | 40        |
| 任务 3 直流电动机常见故障及处理 .....       | 42        |
| 小结 .....                      | 49        |
| 习题 2 .....                    | 52        |
| <b>第 3 章 直流电动机的电力拖动</b> ..... | <b>53</b> |
| 3.1 电力拖动系统的运动方程 .....         | 53        |

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| 3.1.1 运动方程式         | 53        |
| 3.1.2 负载转矩特性        | 54        |
| 3.2 他励直流电动机的机械特性    | 55        |
| 3.2.1 机械特性的表达式      | 55        |
| 3.2.2 固有机械特性和人为机械特性 | 56        |
| 3.2.3 电力拖动系统稳定运行的条件 | 58        |
| 3.3 他励直流电动机的启动      | 59        |
| 3.3.1 电枢回路串电阻启动     | 59        |
| 3.3.2 降压启动          | 60        |
| 3.4 他励直流电动机的制动      | 60        |
| 3.4.1 能耗制动          | 61        |
| 3.4.2 反接制动          | 63        |
| 3.4.3 回馈制动          | 65        |
| 3.4.4 直流电动机的反转      | 65        |
| 3.5 他励直流电动机的调速      | 65        |
| 3.5.1 调速指标的评价       | 65        |
| 3.5.2 调速方法          | 66        |
| 小结                  | 69        |
| 习题3                 | 70        |
| <b>第4章 三相异步电动机</b>  | <b>71</b> |
| 4.1 三相异步电动机的基本结构    | 71        |
| 4.1.1 定子部分          | 72        |
| 4.1.2 转子部分          | 72        |
| 4.2 三相异步电动机的工作原理    | 74        |
| 4.2.1 旋转磁场的产生       | 74        |
| 4.2.2 三线异步电动机的工作过程  | 75        |
| 4.3 三相异步电动机的铭牌      | 77        |
| 4.4 交流电机的绕组         | 79        |
| 4.4.1 交流绕组的基本知识     | 80        |
| 4.4.2 三相单层绕组        | 81        |
| 4.4.3 三相双层绕组        | 82        |
| 项目3 三相异步电动机的试验      | 82        |
| 任务1 试验准备            | 82        |
| 任务2 测量三相绕组的直流电阻     | 83        |
| 任务3 绝缘电阻的测定         | 83        |
| 任务4 空载电流的测量         | 84        |
| 项目4 三相异步电动机的操作      | 85        |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 任务 1 选配电动机 .....                | 85         |
| 任务 2 掌握电动机的运行要求 .....           | 87         |
| 任务 3 电动机启动前的检查 .....            | 88         |
| 任务 4 电动机启动后的检查 .....            | 89         |
| 任务 5 电动机运行中的检查 .....            | 89         |
| 项目 5 电动机常见故障分析与处理 .....         | 91         |
| 任务 1 电动机带载启动故障分析与处理 .....       | 91         |
| 任务 2 电动机负载运行故障分析与处理 .....       | 93         |
| 任务 3 绝缘电阻降低处理 .....             | 96         |
| 任务 4 电动机故障停车分析与处理 .....         | 96         |
| 任务 5 轴承故障处理 .....               | 96         |
| 任务 6 绕组绝缘不良的处理 .....            | 97         |
| 任务 7 绕组接地的处理 .....              | 97         |
| 任务 8 绕组短路故障处理 .....             | 99         |
| 任务 9 绕组断路故障处理 .....             | 100        |
| 项目 6 三相笼型异步电动机的拆装 .....         | 101        |
| 任务 1 三相异步电动机的拆卸 .....           | 101        |
| 任务 2 电动机的装配 .....               | 105        |
| 小结 .....                        | 106        |
| 习题 4 .....                      | 108        |
| <b>第 5 章 三相异步电动机的电力拖动</b> ..... | <b>110</b> |
| 5.1 三相异步电动机的机械特性 .....          | 110        |
| 5.1.1 机械特性的表达式 .....            | 110        |
| 5.1.2 三相异步电动机的固有机械特性 .....      | 112        |
| 5.1.3 三相异步电动机的人为机械特性 .....      | 113        |
| 5.2 三相异步电动机的启动 .....            | 114        |
| 5.2.1 三相笼型异步电动机的启动 .....        | 115        |
| 5.2.2 三相绕线型异步电动机的启动 .....       | 118        |
| 5.2.3 软启动器的应用简介 .....           | 121        |
| 5.3 三相异步电动机的制动 .....            | 124        |
| 5.3.1 能耗制动 .....                | 124        |
| 5.3.2 反接制动 .....                | 126        |
| 5.3.3 回馈制动 .....                | 127        |
| 5.4 三相异步电动机的调速 .....            | 130        |
| 5.4.1 变极调速 .....                | 130        |
| 5.4.2 变频调速 .....                | 133        |
| 5.4.3 变转差率调速 .....              | 135        |



|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 小结 .....                      | 137        |
| 习题 5 .....                    | 138        |
| <b>第 6 章 驱动和控制电机</b> .....    | <b>140</b> |
| 6.1 单相异步电动机 .....             | 140        |
| 6.1.1 单相异步电动机的结构 .....        | 140        |
| 6.1.2 单相异步电动机的工作原理 .....      | 141        |
| 6.1.3 单相异步电动机的主要类型 .....      | 141        |
| 6.2 单相串激电动机 .....             | 143        |
| 6.2.1 单相串激电动机的特点及主要用途 .....   | 143        |
| 6.2.2 单相串激电动机的结构 .....        | 144        |
| 6.2.3 单相串激电动机的工作原理 .....      | 144        |
| 6.2.4 单相串激电动机的转向改变方法 .....    | 145        |
| 6.2.5 单相串激电动机的调速 .....        | 145        |
| 6.3 测速发电机 .....               | 146        |
| 6.3.1 直流测速发电机 .....           | 146        |
| 6.3.2 交流测速发电机 .....           | 147        |
| 6.4 伺服电机 .....                | 148        |
| 6.4.1 直流伺服电机 .....            | 148        |
| 6.4.2 交流伺服电机 .....            | 151        |
| 小结 .....                      | 152        |
| 习题 6 .....                    | 154        |
| <b>第 7 章 常用低压电器</b> .....     | <b>155</b> |
| 7.1 低压断路器 .....               | 155        |
| 7.1.1 低压断路器用途与分类 .....        | 155        |
| 7.1.2 低压断路器的结构 .....          | 156        |
| 7.1.3 低压断路器的工作原理 .....        | 158        |
| 7.1.4 低压断路器的选用 .....          | 158        |
| 7.1.5 低压断路器的安装维护及使用注意事项 ..... | 159        |
| 7.2 刀开关和转换开关 .....            | 160        |
| 7.2.1 刀开关 .....               | 160        |
| 7.2.2 转换开关(组合开关) .....        | 161        |
| 7.3 主令电器 .....                | 162        |
| 7.3.1 控制按钮 .....              | 162        |
| 7.3.2 行程开关 .....              | 163        |
| 7.4 接触器 .....                 | 164        |
| 7.4.1 交流接触器的结构 .....          | 164        |

|       |                  |     |
|-------|------------------|-----|
| 7.4.2 | 交流接触器的工作原理       | 165 |
| 7.4.3 | 接触器的主要技术数据       | 165 |
| 7.4.4 | 接触器的选择           | 166 |
| 7.4.5 | 接触器的安装及使用注意事项    | 166 |
| 7.5   | 继电器              | 167 |
| 7.5.1 | 电磁式(电流、电压和中间)继电器 | 167 |
| 7.5.2 | 时间继电器            | 168 |
| 7.5.3 | 热继电器             | 169 |
| 7.5.4 | 速度继电器            | 170 |
| 7.6   | 低压熔断器            | 171 |
| 7.6.1 | 低压熔断器的特性和技术参数    | 171 |
| 7.6.2 | 常用熔断器简介          | 172 |
| 7.6.3 | 熔断器的选用与安装        | 173 |
|       | 小结               | 174 |
|       | 习题7              | 175 |
| 第8章   | 导线的选择与连接         | 177 |
| 8.1   | 低压导线截面的选择        | 177 |
| 8.1.1 | 算法选择导线截面积        | 177 |
| 8.1.2 | 导线载流量简单算法        | 178 |
| 8.2   | 导线颜色的选择          | 179 |
| 8.3   | 导线连接的规范          | 179 |
| 8.3.1 | 导线连接要求           | 179 |
| 8.3.2 | 导线连接的方法          | 181 |
| 8.3.3 | 恢复导线的绝缘层         | 183 |
|       | 小结               | 184 |
|       | 习题8              | 185 |
| 第9章   | 电气识图             | 186 |
| 9.1   | 电气识图基本知识         | 186 |
| 9.2   | 常用电气图分类          | 187 |
|       | 小结               | 190 |
|       | 习题9              | 191 |
| 第10章  | 基本电气控制线路         | 192 |
| 10.1  | 点动正转控制线路         | 192 |
| 10.2  | 正转控制线路           | 194 |
| 10.3  | 接触器联锁的正反转控制线路    | 195 |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 项目7 接触器联锁正反转控制线路的安装调试 .....           | 197 |
| 任务1 完成项目准备工作 .....                    | 197 |
| 任务2 控制线路安装 .....                      | 198 |
| 任务3 控制线路调试 .....                      | 199 |
| 任务4 考核评价 .....                        | 199 |
| 10.4 时间继电器自动控制星形-三角形(Y-D)降压启动线路 ..... | 200 |
| 10.4.1 Y-D 降压启动过程 .....               | 201 |
| 10.4.2 Y-D 降压启动注意事项 .....             | 202 |
| 项目8 Y-D 降压启动控制线路的安装调试 .....           | 203 |
| 10.5 制动控制线路 .....                     | 203 |
| 10.5.1 电磁抱闸制动器制动 .....                | 203 |
| 10.5.2 反接制动控制线路 .....                 | 205 |
| 10.5.3 能耗制动控制线路 .....                 | 207 |
| 项目9 能耗制动控制线路的安装调试 .....               | 209 |
| 10.6 电气控制线路的故障检查方法 .....              | 209 |
| 10.6.1 故障查询 .....                     | 210 |
| 10.6.2 通电检查法 .....                    | 211 |
| 10.6.3 断电检查法 .....                    | 213 |
| 10.6.4 电压检查法 .....                    | 214 |
| 10.6.5 电阻检查法 .....                    | 216 |
| 10.6.6 短接检查法 .....                    | 218 |
| 小结 .....                              | 219 |
| 习题10 .....                            | 219 |
| 附录 维修电工国家职业标准 .....                   | 222 |
| 参考文献 .....                            | 233 |

# 绪 论

## 0.1 电机及电力拖动系统概述

### 0.1.1 电机

历经百年的发展,电机的应用领域已非常广泛。电机是生产、传输、分配及应用电能的主要设备,是国民经济中主要的耗电大户。目前我国工业能耗约占总能耗的 70%,其中电机能耗约占工业能耗的 60% ~70%。电力拖动系统则是在现代化生产过程中,为了实现各种生产工艺过程所必不可少的传动系统,是生产过程电气化、自动化的重要前提。

电机是利用电磁感应原理工作的机械,他应用广泛,种类繁多,性能各异,分类方法也很多。主要有两种常用的分类方法:一种是按功能用途分,可分为发电机、电动机、变压器和控制电机四大类。发电机是将机械能转换为电能,电动机则是将电能转换为机械能,作为拖动各种生产机械的动力,是国民经济各部门应用最多的动力机械,也是最主要的用电设备。变压器的作用是将一种电压等级的电能转换为另一种电压等级的电能。控制电机主要用于信号的变换与传递,在各种自动化控制系统中作为多种控制元件使用,如国防工业、数控机床、计算机外围设备、机器人和音像设备等均大量使用控制电机。

另一种分类方法是按照电机的结构或转速分类,可分为变压器和旋转电机。变压器为静止不旋转电机。

根据电源电流的不同旋转电机又分为直流电机和交流电机两大类,交流电机又分为同步电机和异步电机两类。

综合以上两种分类方法,可归纳如图 0.1 所示。

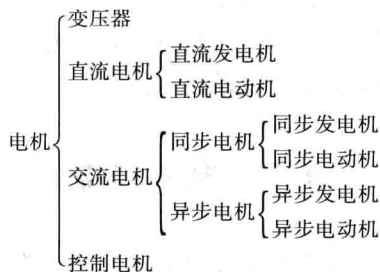


图 0.1 电机分类

### 0.1.2 电力拖动

用电动机作为原动机来拖动生产机械运行的系统,称为电力拖动系统。按照电动机的种

类不同,电力拖动系统分为直流电力拖动系统和交流电力拖动系统两大类。电力拖动系统包括:电动机、传动机构、生产机械、控制设备和电源五个部分,它们之间的关系如图 0.2 所示。

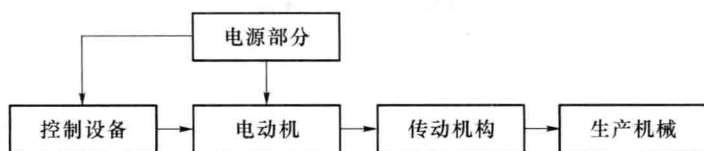


图 0.2 电力拖动系统关系

电动机把电能转换成机械能,通过传动机构把电动机的运动经过中间变速或变换运动方式后,再传给生产机械,驱动生产机械工作。生产机械是执行某一生产任务的机械设备,是电力拖动的对象。控制设备是由各种控制电机、电器、电子元件及控制计算机等组成,用以控制电动机的运动,从而对生产机械的运动实现自动控制。为了向电动机及电气控制设备供电,电源是不可缺少的部分。

由于电力拖动具有控制简单,调节性能好、损耗小、经济、能实现远距离控制和自动控制等一系列优点,因此大多数生产机械均采用电力拖动。

纵观电力拖动的发展过程,交、直流两种拖动方式并存于各个生产领域。在交流电出现以前,直流电力拖动是唯一的一种电力拖动方式。19 世纪末期,由于研制出了经济实用的交流电动机,致使交流电力拖动在工业中得到了广泛的应用。但随着生产技术的发展,特别是精密机械加工与冶金工业生产过程的进步,对电力拖动在启动、制动、正反转以及调速精度与范围等静态特性和动态响应方面提出了新的、更高的要求。由于交流电力拖动比直流电力拖动在技术上难以实现这些要求,所以 20 世纪以来,在可逆、可调速与高精度的拖动技术领域,相当时期内几乎都是采用直流电力拖动,而交流电力拖动则主要用于恒转速系统。

20 世纪 60 年代以后,随着电力电子技术的发展,半导体变流技术的交流调速系统得以实现。尤其是 70 年代以来,大规模集成电路和计算机控制技术的发展,为交流电力拖动的广泛应用创造了有利条件。诸如交流电动机的串级调速、各种类型的变频调速、无换向器电动机调速等,使得交流电力拖动逐步具备了宽的调速范围、高的稳态精度、快的动态响应,以及在四象限作可逆运行等良好的技术性能,在调速性能方面完全可与直流电力拖动媲美。由于交流电力拖动具有调速性能优良、维修费用低等优点,现已广泛地应用于各个工业电气自动化领域中,并逐步取代直流电力拖动而成为电力拖动的主流。

## 0.2 电气控制

不同产品的生产工艺不同,需要生产机械具有不同的动作,这就要求对拖动机械设备的电动机进行控制。控制的方法很多,有电气控制、液压控制、气动控制和机械控制等等,也可以多种控制方式配合使用,但以电气控制最为普遍。

电气控制方式由手动逐步向自动控制方向发展,手动控制是利用刀开关、按钮等手动控制电器,由操作人员操作实现电动机的启动、停止或正转、反转等动作;自动控制是利用自动装置来控制电动机,操作人员只是发出信号,监视生产机械的运行状况。

随着科学技术的进步,生产工艺越来越复杂,对电气控制的要求也越来越高,控制方法由手动控制向手动控制与自动控制并存,进而达到全自动控制。控制功能从简单到复杂,控制技术从单机到群控,推动了生产技术的不断更新和高速发展。各种控制装置像雨后春笋不断出现,从可编程控制器(PLC)、单片计算机、工业控制计算机到计算机群控系统,即直接数控(DNC)系统等等,使自动控制系统的水平不断提高。

电气控制技术的发展是伴随着社会生产规模不断扩大,生产水平不断提高而不断发展的,同时电气控制技术的发展又促进了社会生产力的进一步提高。尽管自动化水平越来越高,但就我国目前多数企业来讲,继电器控制仍然非常普遍,故本书对这方面的内容向读者作了介绍。

### 0.3 本课程的性质、任务和内容

本课程是工业自动化、电气自动化技术、供用电技术和机电一体化等专业的一门专业基础课。他是将“电机学”“电力拖动”“控制电机”和“工厂电气控制设备”等课程有机结合而成的一门课程,在整个专业的课程体系中起着重要的承上启下的作用。

本课程的任务是使学生掌握变压器、交直流电机及控制电机的基本结构和工作原理,以及电力拖动系统的运行性能、分析计算、电机选择及试验方法和电气控制技术,为学习后续课程和今后的工作准备必要的基础知识,本书强化了交直流电动机和变压器的运行维护和故障处理等方面的内容,培养学生在电机及电气控制方面分析和解决问题的能力,为学生参加工作后能尽快适应岗位要求打下良好的基础。

电机及电气控制课程在学生专业素质结构中的主要作用表现在以下几个方面:

(1) 通过层次性循序渐进的学习过程,使学生克服对本课程知识的枯燥、相关概念难理解和畏惧感,激发学生的求知欲,培养学生敢于克服困难、终生探索的兴趣。

(2) 通过电机、拖动及控制方法的学习与技能的训练,让学生掌握电机的应用,了解电机控制的基本知识与发展,从而使学生在未来的工作实践中能够把握该项技术的发展和应用趋势,更好地服务其专业工作。

(3) 通过该课程各项实践技能的训练,使学生经历基本的工程技术工作过程,学会使用相关先进技术工具从事生产实践,形成尊重科学、实事求是、与时俱进、服务未来的科学态度。

(4) 通过对电机及控制方法的认识和深刻领会,以及教学实训过程中创新方法的训练,培养学生独立分析问题、解决问题和技术创新的能力,使学生养成良好的思维习惯,掌握基本的思考与设计的方法,在未来的工作中敢于创新、善于创新。

(5) 通过对电机、控制自身的深入认识,以及对其发展历史、相关边缘学科的现状和水平的了解,使学生明确电气技术和其他专业技术领域的关系;使学生明白掌握好电机及电气控制技术可以更好地为其他专业技术服务,同样也可以借鉴其他学科专业的最新成果促进电机及控制技术的发展;也使学生更加关心相关技术的发展和动态,关注其给生活和生产带来的进步和问题,树立正确的科学观。

### 0.4 课程目标

电机及电气控制课程的目标在于通过电机的理论、应用、电气控制方法、电气控制系统的

构成和设计方法的学习,让学生成为一名电机及控制技术方面的应用型技术人才。本课程的目标是使学生:

(1) 在学习电机及其控制技术的过程中培养学生独立思考、钻研探索的兴趣,在平时学习实践中不断获取成就感、满足感和兴奋感,并引发他们对后续课程中涉及的更先进的控制方法和系统的学习热情和渴望;

(2) 学习基本的电机基础理论和电气控制的基础知识,具有收集和处理信息的能力、获取新知识的能力、综合运用所学知识分析和解决问题的能力,形成良好的思维习惯、工作方法和科学态度,在未来的岗位上有能力进一步学习新技术,解决新问题;

(3) 通过层次性的技能训练,使学生具有初步的电机及其控制系统的维护、设计和推广能力,具有运用和开发先进技术来解决电机及其控制系统的思想和潜力;

(4) 培养学生既具有独立思考,又具有团队精神,掌握系统工程的方法,善于团结协作,共同完成技术问题;

(5) 培养学生关注相关学科发展动态,紧跟技术发展前沿,终生适应科技发展水平,树立创新意识,培养创新精神。

### 0.5 本课程的特点及学习方法

电机及电气控制既是一门理论性很强的技术基础课,又具有专业课的性质,涉及的基础理论和实际知识面广,是电学、磁学、动力学、热学等学科知识的综合,所以理论性较强。而用理论分析各种电机及拖动的实际问题时,必须结合电机的具体结构、采用工程观点和工程分析方法。基本理论够用为度,重在培养学生应用能力和分析解决实际问题的能力,因此实践性较强。鉴于以上原因,为学好电机及电气控制这门课,学习时应注意以下几点:

(1) 从实际应用出发,抓主要矛盾,有条件地略去一些次要因素,找出问题的本质;

(2) 要抓住重点,既应牢固掌握基本概念、基本原理、主要特性和典型的控制方法;

(3) 要有良好的学习方法,可运用对比或比较的学习方法,找出各种电机的共性和特点,以加深对各种电机及拖动系统性能和原理的理解;

(4) 学习时要理论联系实际,重视试验、实训和下厂实践;

(5) 提倡多种教学形式,如讲授、讨论、现场教学、实训和网上查询、搜集资料等教学形式,以体高学生的学习兴趣,及时了解相关技术的最新动态。



# 第1章

## 变压器的使用

### 【本章目标】

知道变压器的结构和工作原理；

能够读懂变压器铭牌；

知道变压器的运行特性；

知道三相变压器的联结组别；

知道变压器并联运行的条件；

知道自耦变压器的用途与结构特点以及电压、电流关系；

学会仪用互感器的安装,并知道使用注意事项；

知道电焊变压器的结构和外特性；

能够维护电力变压器；

能够分析处理变压器运行中的常见故障。

现代化生产和生活离不开电,而电力传输及获得各种等级的电压更离不开变压器。变压器是一种静止的电器,它通过线圈间的电磁感应作用,可以把一种电压等级的交流电能转换成同频率的另一种电压等级的交流电能。

变压器按用途可分为:输电用的电力变压器,包括升、降压变压器等;供特殊电源用的特种变压器,包括电焊变压器、整流变压器、电炉变压器、中频变压器等;供测量用的仪用变压器,包括电流互感器、电压互感器、自耦变压器(调压器)等;用于自动控制系统的小功率变压器;用于通信系统的阻抗变换器等。

### 1.1 变压器的基本工作原理和结构

#### 1.1.1 变压器的基本工作原理

变压器是利用电磁感应原理工作的,图 1.1 为其工作原理示意图。变压器的主要部件是一个铁芯和套在铁芯上的两个绕组。这两个绕组具有不同的匝数且互相绝缘,两绕组间只有磁的耦合而没有电的联系。其中,接于电源侧的绕组称为原绕组或一次绕组;用于接负载的绕组称为副绕组或二次绕组。

若将绕组 1 接到交流电源上,绕组中便有交流电流  $i_1$  流过,在铁芯中产生与外加电压  $u_1$

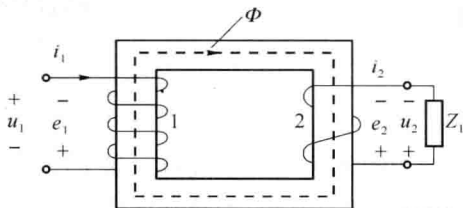


图 1.1 变压器工作原理示意图



相同频率的且与原、副绕组同时交链的交变磁通  $\Phi$ , 根据电磁感应原理, 分别在两个绕组中感应出同频率的电动势  $e_1$  和  $e_2$ 。

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.1)$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.2)$$

式中,  $N_1$  为原绕组匝数;  $N_2$  为副绕组匝数。

若把负载接于绕组 2, 在电动势  $e_2$  的作用下, 就能向负载输出电能, 即电流  $i_2$  将流过负载, 实现电能的传递。

由式(1.1)和(1.2)可知, 原、副绕组感应电动势的大小正比于各自绕组的匝数, 而绕组的感应电动势又近似于各自的电压, 因此, 只要改变绕组的匝数比, 就能达到改变电压的目的, 这就是变压器的变压原理。即

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1.3)$$

### 1.1.2 变压器的基本结构

变压器的主要部件有铁芯、绕组、油箱、冷却装置、绝缘套管和保护装置等。图 1.2 为油浸式电力变压器的结构示意图。

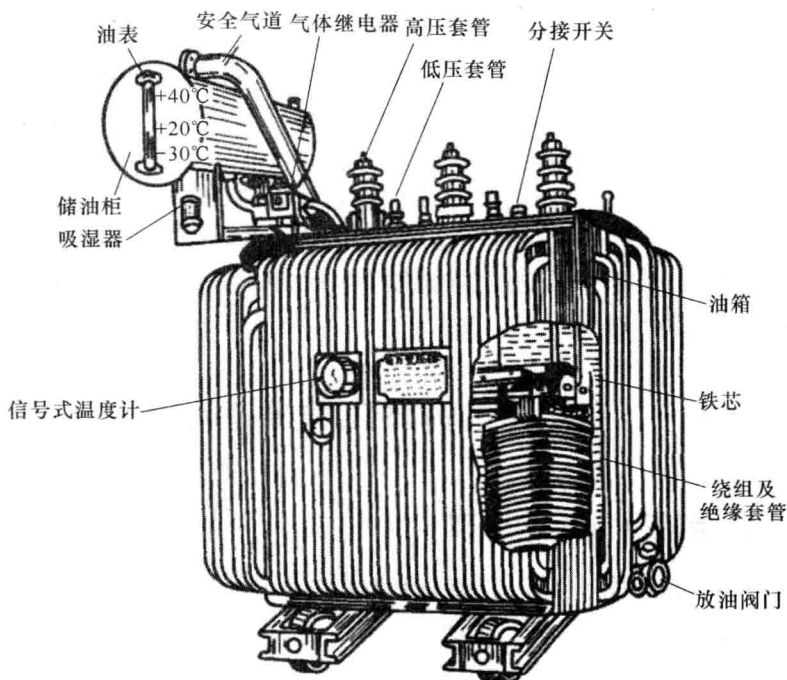


图 1.2 油浸式电力变压器

铁芯和绕组是变压器通过电磁感应进行能量传递的部件, 称为变压器的器身。油箱用于装油, 同时起机械支撑、散热和保护器身的作用; 变压器油起绝缘作用, 同时也起冷却作用; 套管的作用是使变压器引线与油箱绝缘; 保护装置则起保护变压器的作用。