



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工电子技术

电工学Ⅲ (第二版)

史仪凯 主编



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家级精品课程主干教材

电工电子技术

(电工学Ⅲ)(第二版)

史仪凯 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,也是2007年国家级精品课程“电工学”主干教材之一。全书共10章,主要内容包括交流电动机、直流电动机、控制电动机、电气自动控制技术、可编程序控制器原理与应用、电力电子技术基础、电气电测技术、信号处理与数据采集系统、现代通信技术、电工电子EDA仿真技术等。每章均附有大量的练习与思考、习题,书后附有试题和部分答案,便于教师教学和学生自学。

本书是在第一版基础上总结提高、不断完善修订而成的,根据编者多年从事教学研究和教学改革的实践体会,对教材内容和结构体系作了适当的整合。本书内容丰富,通俗易懂,应用性强,适用面广,可供不同非电类专业灵活选用。

本书还配有支持教学的多媒体电子教案和网络课程,可以免费提供给使用本书的教师。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子应用技术(电工学Ⅲ)/史仪凯主编. —2版. —北京:科学出版社,2008

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材·国家级精品课程主干教材)

ISBN 978-7-03-022810-9

I. 电… II. 史… III. ①电工学-高等学校-教材②电子技术-高等学校-教材 IV. TM1 TN01

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第124697号

责任编辑:段博原 余 江 / 责任校对:朱光光

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏立印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年1月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2008年9月第 二 版 印张:21

2008年9月第三次印刷 字数:391 000

印数:7 501—11 000

定价:29.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

主 编 简 介



史仪凯 西北工业大学机电学院教授、博士生导师、国家级教学名师。现任西北工业大学电工教学实验中心主任,国家级“电工学精品课程”负责人。兼任陕西省高等学校电工学研究会理事长、中国高等学校电工学研究会副理事长、教育部高等学校高职高专电气技术类专业教学指导委员会委员。

长期从事电工学、机械电子工程、电气工程教学和科研工作。主讲本科生、研究生课程 10 余门。先后主持国家自然科学基金、省部级基金课题等 20 余项,国家和省部级教学研究课题多项。已培养博士、硕士研究生 70 多人。主编(著、译)出版教材和著作 20 余部。在国内外学术刊物、会议发表论文 100 余篇,其中被 SCI、EI、ISTP 收录 30 多篇,申请授权和受理国家发明专利 9 项。先后获国家级教学成果二等奖 1 项、省部级教学成果和科技奖等 8 项、宝钢优秀教师奖 1 项。

联系地址:西安市友谊西路 127 号 西北工业大学 403 信箱

邮编:710072

电话:029—88494893

传真:029—88494893

E-mail:ykshi@nwpu.edu.cn

第二版前言

本书主要根据教育部高等学校电子信息科学与工程类专业基础课程教学指导分委员会 2004 年修订的高等学校工科“电工技术(电工学 I)”和“电子技术(电工学 II)”课程的教学基本要求,在第一版的基础上总结提高、不断完善修订而成。参考学时为 40~60 学时。

本书遵循强化基础性、突出应用性和体现先进性的原则,对教材内容进行了认真的精心设计,力求使之更加符合教学要求,以及各非电类专业需要。对教材体系结构进行了科学的优化整合,力求使之更加符合学生的学习和认知规律,以及课程教学设计的客观规律。

(1) 在“控制电动机”(第 3 章)新增了“超声波电动机”内容。

(2) 将电动机→软启动→继电器接触器控制→PLC 控制→变频调速等内容联接成“一条线”,既有助于学生了解电动机和各种电力电子控制方法,又有助于学生建立起从电动机到系统的概念,掌握电动机及其控制在工程实践中的具体应用。

(3) 在“电气电测技术”(第 7 章)除介绍电工测量外,增加了常用非电量检测的传感器和基本测量电路,以及非电量电测系统。

(4) 改写了“信号处理与数据采集系统”(第 8 章)部分内容。

(5) 新编了“电工电子 EDA 仿真技术”(第 10 章)。

(6) 对部分“练习与思考”、“习题”进行了修改和补充。

(7) 书中带“*”标号的章节属于加深、拓宽内容,教师可根据专业特点和学时取舍。

本书由西北工业大学史仪凯主编和统稿,向平任副主编。其中第 1 章、第 3 章和第 9 章由史仪凯编写;第 2 章、附录、电工电子应用技术试题、部分习题答案由袁小庆编写;第 4 章由向平编写;第 5 章由田梦君编写;第 6 章由卢健康编写;第 7 章由付敏江编写;第 8 章由刘雁编写;第 10 章由赵妮编写。

本书由西安交通大学马西奎教授和西北工业大学张家喜教授审阅,提出了宝贵意见和修改建议;本书第一版还得到了许多教师和读者的关怀,他们提出了许多建设性意见,尤其是得到了科学出版社、西北工业大学的支持和关心。在此作者一并致以诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请使用本书的教师和同学,以及广大读者提出宝贵的批评意见。

史仪凯

2008年7月于西北工业大学

言简意赅

第一版前言

本书是根据教育部最新颁布的高等学校工科“电工学”课程教学基本要求编写的。本教材已被列入西北工业大学 2002 年校规划重点出版教材。参考学时为 40~60 学时。

本书编写的指导思想是,在内容上力求贯彻少而精的原则,既覆盖了教学基本要求所规定的全部内容,又增添了一些拓宽和加深的内容,可以满足非电类各专业根据具体需要进行取舍。在阐述上由浅入深,循序渐进,使之符合人们认识客观事物的规律,便于自学,适当反映了现代科学技术发展的新成就。在体系上注意各部分章节的有机联系,根据编者的教学实践和体会,对传统的体系结构作了适当的整合,加强了各主要部分内容的逻辑性,便于读者应用和科技创新能力的培养。在教学上配有多媒体电子教案,教师可以对电子教案进行修改,有利于教师组织课堂教学和提高教学质量。

本书由西北工业大学史仪凯主编和统稿,卢健康任副主编。其中第 1 章、第 3 章和第 9 章由史仪凯编写;第 2 章由杨坤德编写;第 4 章由向平编写;第 5 章由田梦君编写;第 6 章由卢健康编写;第 7 章由付敏江编写;第 8 章由刘雁编写;附录、电工电子应用技术试题(卷)、部分习题答案由袁小庆编写。

本书由西北工业大学陈麟章教授和张家喜教授审阅,并提出了宝贵的意见和修改建议。在编写过程中,先后得到西北工业大学电工学课程组同志们的关心和支持。同时,作者借鉴了有关参考资料。在此,对主审、参考资料的作者,以及帮助本书出版的科学出版社、西北工业大学教务处和教材科一并致以诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请使用本书的教师和同学,以及广大读者提出宝贵意见。

编 者

2004 年 2 月于西北工业大学

目 录

第二版前言

第一版前言

第 1 章 交流电动机	1
1.1 三相异步电动机的结构与工作原理	1
1.1.1 三相异步电动机的结构	1
1.1.2 三相异步电动机的工作原理	4
1.2 三相异步电动机的电路分析	9
1.2.1 定子电路	9
1.2.2 转子电路	10
1.3 三相异步电动机转矩与机械特性	13
1.3.1 电磁转矩	13
1.3.2 机械特性	14
1.4 三相异步电动机的使用	18
1.4.1 铭牌和技术数据	18
1.4.2 启动	20
1.4.3 调速	25
1.4.4 制动	27
1.5 三相异步电动机的选择与经济运行	29
1.5.1 电动机的选择	29
1.5.2 电动机的经济运行	31
1.6 单相异步电动机	32
1.6.1 单相异步电动机的工作原理	33
1.6.2 单相异步电动机的应用	36
* 1.7 三相同步电动机	38
1.7.1 同步电动机的结构	39
1.7.2 同步电动机的工作原理	39
1.7.3 同步电动机启动	40
本章小结	40
习题	41

* 第2章 直流电动机	43
2.1 直流电机的结构	43
2.1.1 定子	43
2.1.2 转子	45
2.2 直流电机的工作原理	45
2.2.1 直流发电机工作原理	45
2.2.2 直流电动机工作原理	47
2.2.3 直流电机的可逆性原理	48
2.3 直流电机电动势与电磁转矩	48
2.3.1 电枢电动势	48
2.3.2 电磁转矩	48
2.3.3 直流电动机的分类	49
2.4 直流电动机的机械特性	50
2.5 直流电动机的使用	52
2.5.1 启动	52
2.5.2 反转	53
2.5.3 调速	53
2.6 直流电动机制动	58
2.6.1 能耗制动	58
2.6.2 反接制动	58
本章小结	59
习题	60
* 第3章 控制电动机	61
3.1 伺服电动机	61
3.1.1 交流伺服电动机	61
3.1.2 直流伺服电动机	63
3.2 步进电动机	64
3.2.1 单三拍	65
3.2.2 双三拍	66
3.2.3 六拍	67
3.3 力矩电动机	68
3.3.1 交流力矩电动机	69
3.3.2 直流力矩电动机	70
3.4 超声波电动机	71
本章小结	73

习题	74
第 4 章 电气自动控制技术	76
4.1 低压电器	76
4.1.1 刀开关和熔断器	76
4.1.2 自动空气断路器	78
4.1.3 主令电器	79
4.1.4 接触器	82
4.1.5 控制继电器	86
4.2 三相异步电动机基本控制电路	87
4.2.1 三相异步电动机直接启动控制电路	87
4.2.2 继电器控制电路的逻辑函数式	89
4.2.3 热继电器及电动机过载保护	91
4.3 三相异步电动机常用控制系统	94
4.3.1 正反转控制	94
4.3.2 行程控制	96
4.3.3 时间控制	98
4.3.4 其他控制环节	102
本章小结	104
习题	105
第 5 章 可编程序控制器原理与应用	108
5.1 PLC 组成与工作原理	108
5.1.1 PLC 的组成	108
5.1.2 PLC 的工作原理	110
5.1.3 PLC 的主要技术性能	111
5.1.4 PLC 的主要功能和特点	116
5.2 可编程序控制器的基本指令	117
5.2.1 PLC 的编程语言	117
5.2.2 基本指令	118
5.3 可编程序控制器编程原则与方法	127
5.3.1 编程原则	127
5.3.2 常用编程举例	130
5.4 可编程序控制器的应用设计	134
5.4.1 确定系统控制任务	134
5.4.2 PLC 机型的选择	134
5.4.3 系统设计	136

5.4.4 设计举例	136
本章小结	141
习题	141
第6章 电力电子技术基础	146
6.1 电力电子器件	146
6.1.1 普通晶闸管	147
6.1.2 两种特殊晶闸管	153
6.1.3 电力场效应晶体管	154
6.1.4 绝缘栅双极型晶体管	156
6.1.5 MOS 控制晶闸管	157
6.2 可控整流电路	158
6.2.1 单相半波可控整流电路	158
6.2.2 单相半控桥式整流电路	161
6.2.3 单结晶体管和触发电路	163
6.3 交流调压器与直流斩波器	168
6.3.1 交流调压器	168
6.3.2 直流斩波器	170
6.4 直流电动机 PWM 调速系统	171
6.4.1 脉宽调制变换器	171
6.4.2 脉宽调速系统的机械特性	174
* 6.5 变频与逆变电路	175
6.5.1 概述	175
6.5.2 变频装置	176
* 6.6 异步电动机的变频调速	179
6.6.1 变频调速的基本控制方法	179
6.6.2 正弦波脉宽调制逆变器	181
6.6.3 SPWM 波形的生成方法	185
本章小结	186
习题	188
第7章 电气电测技术	190
7.1 电测技术方法分类	190
7.1.1 电测技术主要优点	190
7.1.2 电测方法分类	191
7.2 电气测量误差分析	192
7.2.1 误差定义	192

7.2.2	误差分类和来源	194
7.3	常用电工仪表分类	195
7.3.1	磁电式仪表	196
7.3.2	电磁式仪表	197
7.3.3	电动式仪表	199
7.4	电压、电流与电功率测量	200
7.4.1	电压的测量	200
7.4.2	电流的测量	201
7.4.3	功率的测量	201
7.4.4	万用表	204
7.5	温度传感器与应用	205
7.5.1	热敏电阻	206
7.5.2	热电偶	207
7.5.3	集成温度传感器	210
7.6	压力传感器与应用	211
7.6.1	应变式电阻传感器	211
7.6.2	电感式传感器	212
7.6.3	电容式传感器	214
7.7	其他传感器与应用	215
7.7.1	霍尔传感器	215
7.7.2	光电传感器	217
7.7.3	CCD 图像传感器	218
7.8	非电量电测系统	220
7.8.1	传感器的作用和选择	221
7.8.2	信号处理电路	221
7.8.3	信号显示和记录	221
	本章小结	222
	习题	223
第 8 章	信号处理与数据采集系统	225
8.1	测量放大电路	225
8.1.1	电桥放大电路	225
8.1.2	电荷放大电路	226
8.2	调制与解调电路	227
8.2.1	调制器工作原理	227
8.2.2	解调器工作原理	228

8.3	多路模拟开关	229
8.3.1	CMOS 模拟开关	230
8.3.2	集成模拟多路开关	230
8.4	电压/频率转换电路	233
8.4.1	U/F 转换电路工作原理	233
8.4.2	集成 U/F 转换器	234
8.5	采样保持电路	236
8.5.1	采样定理	236
8.5.2	S/H 电路工作原理	236
8.5.3	集成 S/H 电路	237
8.6	数据采集系统	238
8.6.1	多通道共享 S/H 和 A/D 系统	239
8.6.2	多通道共享 A/D 系统	239
8.6.3	多通道 A/D 系统	240
	本章小结	240
	习题	241
第 9 章	现代通信技术	242
9.1	通信系统分类	242
9.1.1	通信系统按传输介质分类	242
9.1.2	通信系统按传输信号分类	243
9.2	通信方式	245
9.2.1	同频单工方式	245
9.2.2	双频双工方式	245
9.2.3	半双工方式	246
9.3	信道与传输介质	246
9.3.1	信道	246
9.3.2	传输介质	247
9.4	信号调制方式	249
9.4.1	模拟信号调制	249
9.4.2	数字信号调制	251
9.5	光纤通信技术	251
9.5.1	光纤传输特性	251
9.5.2	光纤通信系统	252
9.6	卫星通信技术	253
9.6.1	卫星通信特点	254

9.6.2 卫星通信分类	255
9.6.3 卫星通信系统	256
9.7 移动通信技术	257
9.7.1 移动通信特点和分类	258
9.7.2 移动通信系统	258
9.7.3 公用移动电话系统	260
9.7.4 无绳电话系统	261
9.7.5 无线寻呼系统	261
9.7.6 专用移动通信系统	262
本章小结	262
习题	263
* 第 10 章 电工电子 EDA 仿真技术	264
10.1 Multisim 10 主窗口和工具库	264
10.1.1 主窗口	264
10.1.2 元器件库	265
10.1.3 测试仪器	267
10.2 仿真电路的创建	272
10.2.1 界面设置	272
10.2.2 元器件操作和仪器调用	273
10.2.3 仪器的调用及连接	277
10.3 电路仿真分析	278
10.3.1 模拟电路仿真实例	278
10.3.2 数字电路仿真实例	283
本章小结	284
习题	285
电工电子应用技术试题	287
部分习题答案	295
电工电子应用技术试题答案	298
中英文名词对照	302
参考文献	306
附录 A Y 系列三相异步电动机技术数据	307
附录 B OMRON 公司 CMP1A 基本指令	308
附录 C OMRON 公司 CMP1A 基本梯形图	309
附录 D 国产品闸管主要参数	310
附录 E GTR 主要参数	311

附录 F MOSFET 主要参数	312
附录 G IGBT 主要参数	314
附录 H GE 公司 MCT 主要参数	315
附录 I 电工测量仪表按被测电量分类	316
附录 J 典型光电耦合器主要参数	317
附录 K 常用热电偶主要参数	318
附录 L 部分 NTC 型热敏电阻主要参数	319

第 1 章 交流电动机

实现机械能与电能相互转换的旋转机械称为电机。将机械能转换为电能的电机称为发电机,将电能转换为机械能的电机称为电动机。

电机可分为直流电机和交流电机两大类,交流电机又分为异步电机和同步电机两种。

现代各种生产机械都广泛应用电动机来驱动。电动机按使用电源种类的不同,通常可分为交流电动机和直流电动机,交流电动机又分为异步电动机和同步电动机。电动机根据使用场合的不同可分为动力用电动机和控制用电动机。

本章主要讨论三相异步电动机的基本结构、工作原理、技术性能和使用方法,最后简单介绍单相异步电动机和同步电动机等。

1.1 三相异步电动机的结构与工作原理

在异步电动机中,通常将功率(容量)较大的做成三相异步电动机,其有利于三相电源的负载平衡,而功率较小者做成单相异步电动机。三相异步电动机与其他类型的电动机相比较,具有结构简单、运行可靠、价格低廉、维护方便和运行效率高等优点。其缺点是功率因数较低,调速性能差(尤其是大范围内调速)。在要求调速范围较宽、平滑无级的生产机械中,大多使用直流电动机或者其他类型的电动机。近年来,随着电力电子技术的迅猛发展,较好地解决了异步电动机的调速问题,使三相异步电动机在各个生产领域都得到了最广泛的应用。例如各种机床、起重机械、鼓风机、水泵以及各种动力机械等普遍使用三相异步电动机,各种家用电器、医疗器械和许多小型机械则使用单相异步电动机。三相异步电动机的容量从几十瓦到几百千瓦,约占全国电动机总容量的 85% 左右。

1.1.1 三相异步电动机的结构

三相异步电动机由定子和转子两个基本部分组成,中小型异步电动机定子和转子之间一般有约 0.1~0.2mm 厚度的空气隙,如图 1.1.1 所示。

1. 定子部分

三相异步电动机的定子部分是电动机固定不动的部分。由机座(外壳)、定子铁心、定子绕组和端盖等组成。

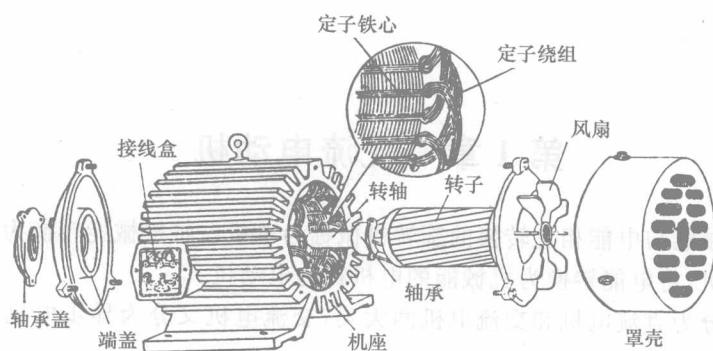


图 1.1.1 三相鼠笼式异步电动机的结构

机座通常由铸铁制成,内装有 $0.35 \sim 0.5\text{mm}$ 圆环状硅钢片叠成的筒形(定子)铁心。机座的主要作用是固定和支撑定子铁心,要求有足够的机械强度和刚度,能够承受运输和运行过程中的各种作用力。

定子铁心是电动机磁路的一部分,为了减小涡流和磁滞损耗,由涂有绝缘漆的硅钢片叠成。定子内圆表面有若干个凹槽,以便使三相绕组放置在槽中,如图 1.1.2 所示。定子铁心是用压力机压入机座内的。

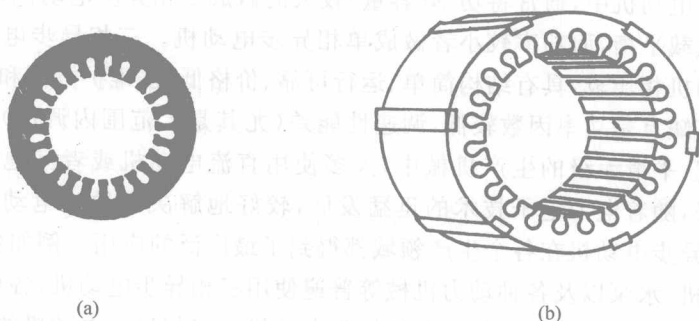


图 1.1.2 定子铁心

(a) 圆环状硅钢片; (b) 筒形定子铁心

定子绕组是定子的电路部分。异步电动机的定子绕组由带绝缘的导线——漆包铜线、铝线或纱包线等制成,安装在线槽内。定子绕组与槽壁之间还嵌有青壳线等绝缘材料。在制造定子绕组时,一般都先用模具把导线绕成线圈,再逐个地嵌入铁心槽中,然后按一定规则将所有线圈连接成三组对称分布于定子铁心中的绕组(称为定子三相对称绕组)。

定子三相绕组共有六个端子,三个首端分别标记为 U_1 、 V_1 、 W_1 ,三个对应的尾