



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电子信息与电气学科规划教材·电子电气基础课程

电工电子技术

(第2版)

徐淑华 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

TM/57=2

2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
电子信息与电气学科规划教材·电子电气基础课程

电工电子技术

(第2版)

徐淑华 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家规划教材。全书共 19 章,分为电路基础理论、模拟电子技术、数字电子技术、EDA 技术、电气控制技术 5 个模块,涵盖了电工电子技术的基本内容。

本书内容处理详略得当,基本概念讲述清楚,分析方法讲解透彻,思考题、例题、练习题配置齐全,难易度适中,方便学生自学和教师施教。本书可作为高等学校非电类专业学生的教科书,也可供其他工科专业选用和社会读者阅读。本书提供配套的电子教案。

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

电工电子技术/徐淑华主编. —2 版. —北京:电子工业出版社,2008.3

电子信息与电气学科规划教材

ISBN 978-7-121-06171-4

I. 电… II. 徐… III. ①电工技术—高等学校—教材 ②电子技术—高等学校—教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 031339 号

责任编辑:冉 哲

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

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:28.75 字数:722 千字

印 次:2008 年 3 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:39.80 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 zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

本书为普通高等教育“十一五”国家规划教材。

电工电子技术课程是高等院校非电类专业一门重要的专业基础课程,担负着使学生获得电路、电子技术及电气控制等领域必要的基本理论、基本知识和基本技能的任务。该课程面向专业多,学生数量大,课程内容涉及电工电子学科各个领域,并有很强的实践性。

在信息时代的 21 世纪,高等教育人才培养特别重视不同专业领域的交叉与渗透。电工电子学科的发展日新月异,新的器件、新的 EDA 方法和各种工具层出不穷,为非电类专业学生学习电类基础理论和知识、技能,与不同学科领域的技术相互融合,奠定了基础。我们编写此书的目的是,适应本课程教学改革的发展需要,着力于培养学生的创新能力,提高综合素质,建立新的电工电子技术教材体系,推进精品课程的建设。

本着“坚实基础、注重综合、强化设计、旨在创新”的理念,本书以最新的“基本要求”为依据,在课程内容的选择上,注意精简传统内容,提高起点,重点突出基本概念、基本理论、基本原理和基本分析方法,尽量减少过于复杂的分析与计算;力求反映电工电子学科的新成就和新进展,反映学科前沿和具有时代特征,加强了可编程控制器(PLC)、EDA 技术等内容;追求内容的系统性,加强实践性和应用性,注意各部分知识的综合,每一模块都安排一些综合应用的实例;例题和习题尽量贴近实际应用;拓展知识面,增加信息量,本次修订,电气控制模块增加了直流电动机和控制电机的内容,模拟电子技术模块增加了开关电源的内容,EDA 模块增加了可编程模拟器件的内容。

本教材主要面对 60~120 学时(含实验)的电工电子技术课程使用。整体结构采用模块式结构,共划分为 5 个模块:模块 1 为电路基础理论,模块 2 为模拟电子技术,模块 3 为数字电子技术,模块 4 为 EDA 技术,模块 5 为电气控制技术。各模块之间既相互独立、又相互联系。教师可以根据专业和学时的不同而选择不同的模块,也可重组模块。每个模块的内容又分为基本内容和加深加宽(*)内容,使之适用于不同的课程层次。

与教材配套的电子教案是凝聚了编者多年的授课经验的结晶,便于教师在课堂上使用和学生自学。需要该电子教案的学校和教师请与本书责任编辑联系,电子邮件:ran@phei.com.cn。

本书文字力求简明,概念清晰,条理清楚,讲解到位,插图规范,使之易教易学。各章开始有学习目标,结束有本章要点与其呼应,每节均配有适量的思考题与习题,供学生课后复习巩固。

目 录

第 1 模块 电路基础理论

第 1 章 电路的基本定律与分析方法	(3)
1.1 电路的基本概念	(3)
1.1.1 电路的组成及作用	(3)
1.1.2 电流和电压的参考方向	(4)
1.1.3 能量与功率	(5)
1.1.4 电源的工作状态	(6)
1.1.5 理想电路元件	(8)
1.1.6 电路模型	(12)
1.2 电路的基本定律	(13)
1.2.1 欧姆定律	(14)
1.2.2 基尔霍夫定律	(14)
1.3 电路的分析方法	(16)
1.3.1 支路电流法	(16)
1.3.2 节点电压法	(17)
1.3.3 电源等效变换法	(18)
1.3.4 叠加原理	(21)
1.3.5 等效电源定理	(23)
1.3.6 电位的计算	(25)
习题 1	(30)
第 2 章 电路的暂态分析	(33)
2.1 换路定则及初始值的确定	(33)
2.1.1 换路定则	(33)
2.1.2 初始电压、电流的确定	(34)
2.2 RC 电路的暂态过程	(35)
2.2.1 RC 电路的零输入响应	(35)
2.2.2 RC 电路的零状态响应	(36)
2.2.3 RC 电路的全响应	(38)
2.3 一阶线性电路暂态分析的三要素法	(39)
2.4 RL 电路的暂态过程	(42)
2.4.1 RL 电路的零输入响应	(42)
2.4.2 RL 电路的零状态响应	(44)
2.4.3 RL 电路的全响应	(44)
习题 2	(46)

第3章 交流电路	(48)
3.1 正弦交流电的基本概念	(48)
3.1.1 正弦量的三要素	(48)
3.1.2 正弦量的相量表示法	(50)
3.2 单一参数的正弦交流电路	(52)
3.2.1 电阻元件的正弦交流电路	(53)
3.2.2 电感元件的正弦交流电路	(54)
3.2.3 电容元件的正弦交流电路	(56)
3.3 简单正弦交流电路的分析	(58)
3.3.1 基尔霍夫定律的相量形式	(58)
3.3.2 正弦交流电路的阻抗	(61)
3.3.3 正弦交流电路的功率	(65)
3.4 电路的谐振	(70)
3.4.1 串联谐振	(70)
3.4.2 并联谐振	(72)
* 3.5 非正弦周期信号的电路	(73)
3.5.1 非正弦周期量的分解	(74)
3.5.2 非正弦周期量的平均值和有效值	(74)
3.5.3 非正弦周期量的线性电路的计算	(74)
习题3	(78)
第4章 三相电路	(81)
4.1 三相电源	(81)
4.2 三相电路中负载的连接	(83)
4.2.1 负载星形连接的三相电路	(84)
4.2.2 负载三角形连接的三相电路	(86)
4.3 三相电路的功率	(88)
4.3.1 三相功率的计算	(88)
4.3.2 三相功率的测量	(89)
4.4 安全用电技术	(90)
4.4.1 安全用电常识	(90)
4.4.2 防触电的安全技术	(91)
4.4.3 静电防护和电气防火、防爆常识	(92)
习题4	(93)

第2模块 模拟电子技术

第5章 常用半导体器件	(97)
5.1 PN结及其单向导电性	(97)
5.1.1 半导体基础知识	(97)
5.1.2 PN结的形成	(98)
5.1.3 PN结的单向导电性	(98)
5.2 半导体二极管	(99)

5.2.1	二极管的基本结构	(99)
5.2.2	二极管的伏安特性	(100)
5.2.3	二极管的主要参数	(100)
5.2.4	二极管的应用举例	(101)
5.3	稳压二极管	(102)
5.4	半导体三极管	(103)
5.4.1	三极管的基本结构	(103)
5.4.2	三极管的工作原理	(104)
5.4.3	三极管的特性曲线	(105)
5.4.2	三极管的主要参数	(106)
* 5.5	绝缘栅型场效应三极管	(107)
5.5.1	基本结构与工作原理	(107)
5.5.2	特性曲线	(108)
5.5.3	场效应管使用注意事项	(109)
5.6	光电器件	(110)
5.6.1	发光二极管	(110)
5.6.2	光电二极管	(110)
5.6.3	光电三极管	(110)
5.6.4	光电耦合器	(111)
5.7	集成电路	(111)
习题 5		(113)
第 6 章	基本放大电路	(115)
6.1	基本放大电路的组成及工作原理	(115)
6.1.1	基本放大电路的组成	(115)
6.1.2	基本放大电路的工作原理	(116)
6.1.3	基本放大电路的性能指标	(117)
6.2	基本放大电路的分析	(120)
6.2.1	放大电路的直流通路与交流通路	(120)
6.2.2	基本放大电路的静态分析	(121)
6.2.3	基本放大电路的动态分析	(122)
6.3	常用基本放大电路的类型及特点	(126)
6.3.1	射极输出器	(126)
6.3.2	差动放大电路	(128)
6.3.3	互补对称功率放大电路	(129)
习题 6		(131)
第 7 章	集成运算放大器及其应用	(135)
7.1	集成运算放大器概述	(135)
7.1.1	集成运算放大器的组成及工作原理	(135)
7.1.2	集成运算放大器的传输特性	(136)
7.1.3	集成运算放大器的主要参数	(137)

7.1.4	理想集成运算放大器及其分析依据	(137)
7.2	放大电路中的负反馈	(138)
7.2.1	反馈的概念	(138)
7.2.2	反馈的类型及判断	(139)
7.2.4	负反馈对放大电路性能的影响	(142)
7.3	集成运算放大器的线性应用	(144)
7.3.1	基本运算电路	(144)
7.3.2	运算放大器在信号处理方面的应用	(149)
7.3.3	RC 正弦波振荡电路	(152)
7.4	集成运算放大器的非线性应用	(155)
7.4.1	电压比较器	(155)
* 7.4.2	信号产生电路	(157)
7.5	集成运算放大器使用时的注意事项	(159)
7.6	集成运算放大器的应用举例	(160)
习题 7		(164)
第 8 章	电力电子技术	(169)
8.1	半导体直流稳压电源	(169)
8.1.1	整流电路	(170)
8.1.2	滤波电路	(172)
8.1.3	稳压电路	(175)
* 8.2	晶闸管及其应用	(182)
8.2.1	晶闸管	(182)
8.2.2	可控整流电路	(184)
8.2.3	晶闸管交流调压	(188)
8.2.4	晶闸管的保护	(190)
习题 8		(192)
第 3 模块 数字电子技术		
第 9 章	门电路与组合逻辑电路	(197)
9.1	数字电路概述	(197)
9.1.1	脉冲信号和数字信号	(197)
9.1.2	二进制数	(198)
9.2	逻辑代数与逻辑函数	(199)
9.2.1	逻辑代数	(199)
9.2.2	逻辑函数及其表示法	(200)
9.2.3	逻辑函数的化简	(202)
9.3	逻辑门电路	(205)
9.3.1	分立元件门电路	(205)
9.3.2	集成逻辑门电路	(206)
9.3.3	对集成门电路多余输入和输出端的处理	(208)
9.4	组合逻辑电路的分析与设计	(209)

9.4.1	组合逻辑电路的分析	(209)
9.4.2	组合逻辑电路的设计	(210)
9.5	常用的组合逻辑模块	(213)
9.5.1	编码器	(213)
9.5.2	译码器	(215)
9.5.3	数据分配器	(218)
9.5.4	数据选择器	(218)
9.5.5	数值比较器	(220)
9.6	应用举例	(222)
9.6.1	交通信号灯故障检测电路	(222)
9.6.2	两地控制一灯电路	(222)
习题 9		(225)
第 10 章	触发器与时序逻辑电路	(227)
10.1	双稳态触发器	(227)
10.1.1	RS 触发器	(227)
10.1.2	边沿触发器	(230)
10.2	寄存器	(233)
10.2.1	数码寄存器	(234)
10.2.2	移位寄存器	(234)
10.3	计数器	(237)
10.3.1	异步计数器	(237)
10.3.2	同步计数器	(241)
10.4	中规模集成计数器组件及其应用	(243)
10.4.1	中规模集成计数器组件	(243)
10.4.2	用集成计数器构成任意进制计数器	(245)
10.5	555 定时器及其应用	(247)
10.5.1	555 定时器内部电路结构	(247)
10.5.2	用 555 定时器组成单稳态触发器	(248)
10.5.3	用 555 定时器组成多谐振荡器	(251)
10.5.4	用 555 定时器组成施密特触发器	(254)
10.6	数字电路的故障诊断与排除	(257)
10.6.1	常见故障错误的检测和排除	(257)
10.6.2	信号追踪和波形分析	(258)
习题 10		(262)
第 11 章	半导体存储器	(266)
11.1	只读存储器(ROM)	(266)
11.1.1	ROM 的基本结构和工作原理	(266)
11.1.2	ROM 的分类	(269)
11.1.3	ROM 的应用	(269)
11.2	随机存取存储器(RAM)	(273)

11.2.1	RAM 的基本结构和工作原理	(273)
11.2.2	RAM 存储容量的扩展	(274)
11.3	闪存(Flash Memories)	(276)
11.3.1	闪存存储单元的基本结构	(277)
11.3.2	闪存的基本操作	(277)
11.3.3	基本闪存阵列	(278)
11.4	数字系统应用举例	(279)
11.4.1	自动药片包装线控制系统	(279)
11.4.2	楼宇安全进入系统	(281)
习题 11		(283)
第 12 章	模拟量和数字量的转换	(285)
12.1	D/A 转换器	(285)
12.1.1	D/A 转换器的组成和工作原理	(285)
12.1.2	D/A 转换器的主要技术指标	(287)
12.2	A/D 转换器	(288)
12.2.1	逐次逼近型 A/D 转换器的组成和工作原理	(288)
12.2.2	A/D 转换器的主要技术指标	(291)
习题 12		(293)

第 4 模块 EDA 技术

第 13 章	电子电路的仿真	(297)
13.1	Multisim(EWB)简介	(297)
13.1.1	Multisim 的操作界面	(298)
13.1.2	Multisim 的常用元件库	(299)
13.2	Multisim 应用举例	(303)
13.2.1	Multisim 仿真的一般过程	(303)
13.2.2	测定电阻元件伏安特性曲线	(303)
13.2.3	测试谐振电路	(305)
13.2.4	测量晶体管输出特性曲线	(306)
13.2.5	设计全减器	(308)
习题 13		(311)
第 14 章	可编程逻辑器件	(312)
14.1	可编程逻辑器件(PLD)	(312)
14.1.1	可编程逻辑器件(PLD)简介	(312)
14.1.2	PLD 器件的基本结构与电路表示法	(314)
14.1.3	可编程只读存储器(PROM)简介	(316)
14.1.4	可编程逻辑阵列(PLA)简介	(317)
14.1.5	可编程阵列逻辑(PAL)简介	(318)
14.1.6	可编程通用阵列逻辑器件(GAL)简介	(320)
14.1.7	复杂可编程逻辑器件(CPLD)简介	(321)
14.1.8	现场可编程门阵列(FPGA)简介	(323)

14.1.9	PLD 的编程	(325)
14.2	可编程模拟器件	(326)
14.2.1	可编程模拟器件简介	(326)
14.2.2	ispPAC10 的结构与原理	(327)
14.2.3	ispPAC10 的设计方法	(328)
14.2.4	ispPAC10 应用示例	(329)
习题 14		(332)

第 5 模块 电气控制技术

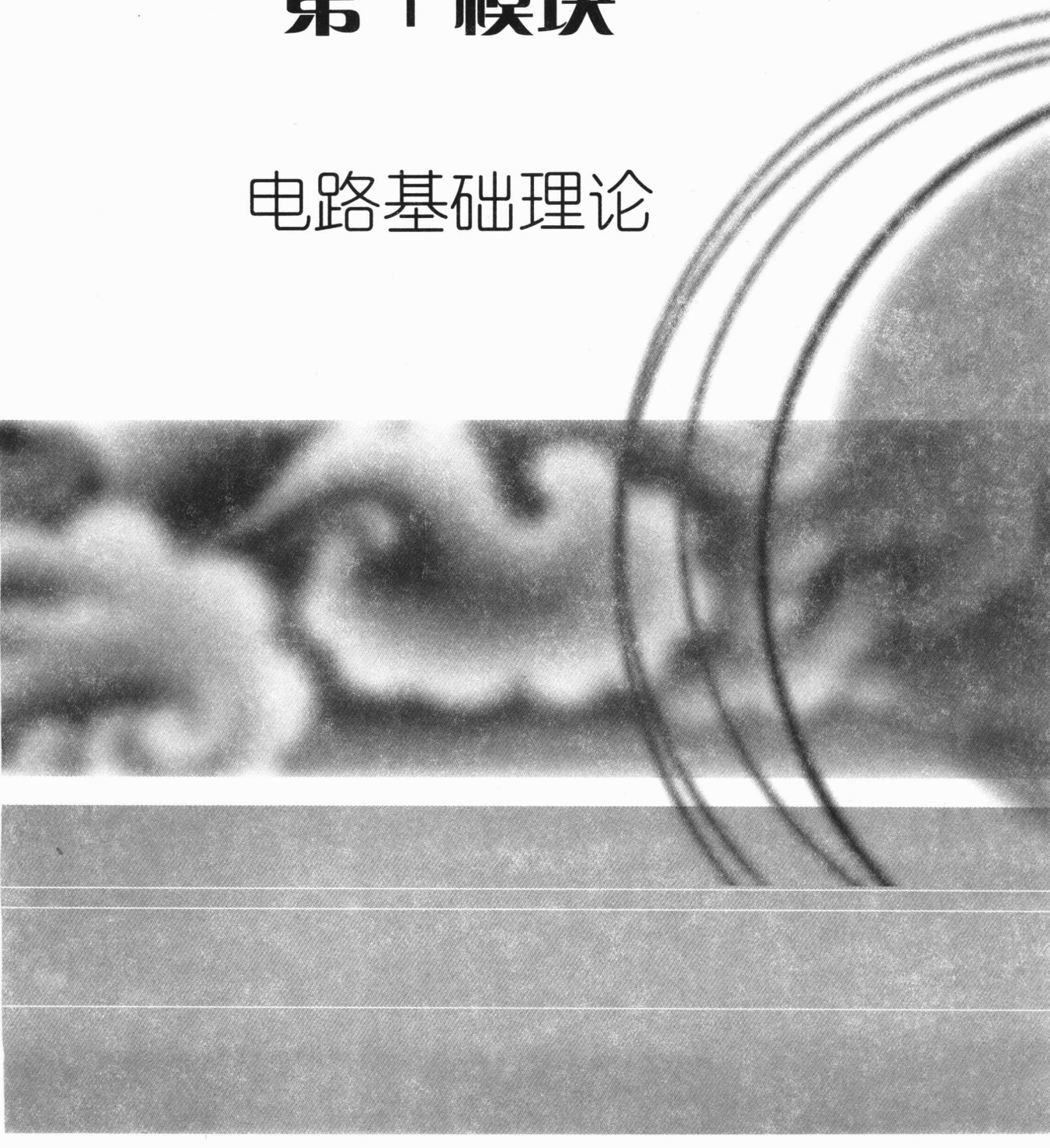
第 15 章	铁芯线圈与变压器	(335)
15.1	磁路的基本概念	(335)
15.1.1	磁场的基本物理量	(335)
15.1.2	铁磁性材料的磁性能	(336)
15.1.3	磁路的欧姆定律	(338)
15.2	铁芯线圈电路	(338)
15.2.1	直流铁芯线圈电路	(339)
15.2.2	交流铁芯线圈电路	(339)
15.3	电磁铁	(340)
15.3.1	直流电磁铁	(341)
15.3.2	交流电磁铁	(341)
15.4	变压器	(342)
15.4.1	变压器的基本结构	(342)
15.4.2	变压器的工作原理	(343)
15.4.3	变压器的主要技术指标和额定值	(346)
15.4.4	变压器的同极性端	(346)
15.4.5	特殊变压器	(347)
习题 15		(350)
第 16 章	异步电动机	(351)
16.1	三相异步电动机的基本结构和工作原理	(351)
16.1.1	三相异步鼠笼式电动机的基本结构	(351)
16.1.2	三相异步电动机的旋转磁场	(352)
16.1.3	三相异步电动机的转动原理	(355)
16.2	三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	(355)
16.2.1	三相异步电动机的电路分析	(356)
16.2.2	三相异步电动机的电磁转矩	(357)
16.2.3	三相异步电动机的机械特性	(358)
16.3	三相异步电动机的额定数据	(360)
16.4	三相异步电动机的使用	(362)
16.4.1	三相异步电动机的启动	(362)
16.4.2	三相异步电动机的调速	(363)
16.4.3	三相异步电动机的制动	(364)

16.5 单相异步电动机	(365)
习题 16	(368)
* 第 17 章 直流电动机和控制电机	(369)
17.1 直流电动机的构造及工作原理	(369)
17.1.1 直流电动机的组成	(369)
17.1.2 直流电动机的工作原理	(370)
17.2 并励(他励)电动机的机械特性	(371)
17.2.1 并励(他励)电动机的机械特性	(372)
17.2.2 电动机的稳定运行	(372)
17.3 并励(他励)电动机的使用	(373)
17.3.1 启动	(373)
17.3.2 制动	(374)
17.3.3 调速	(375)
17.4 控制电机	(377)
17.4.1 伺服电动机	(377)
17.4.2 步进电动机	(379)
习题 17	(383)
第 18 章 继电接触器控制系统	(385)
18.1 常用低压控制电器	(385)
18.1.1 手动电器	(385)
18.1.2 自动电器	(387)
18.2 三相异步鼠笼式电动机的基本控制	(393)
18.2.1 鼠笼式电动机的直接启停控制	(394)
18.2.2 鼠笼式电动机的点动控制	(395)
18.2.3 鼠笼式电动机的异地控制	(396)
18.2.4 鼠笼式电动机的正反转控制	(396)
18.2.5 多台电动机联锁控制	(397)
18.3 行程控制	(398)
18.4 时间控制	(400)
18.5 应用举例	(401)
习题 18	(403)
第 19 章 可编程序控制器及应用	(406)
19.1 PLC 的基本结构和工作原理	(406)
19.1.1 PLC 的基本结构	(406)
19.1.2 PLC 的工作原理	(407)
19.1.3 PLC 的主要性能指标	(408)
19.2 PLC 程序设计基础	(410)
19.2.1 PLC 编程语言与程序结构	(410)
19.2.2 存储器的数据类型与寻址	(411)
19.2.3 位逻辑指令	(414)

19.2.4 定时器与计数器指令	(415)
19.2.5 功能指令	(418)
19.3 PLC 基本编程	(421)
19.3.1 PLC 基本编程原则	(421)
19.3.2 梯形图编程典型电路	(422)
19.4 PLC 应用举例	(424)
19.4.1 PLC 应用系统设计步骤	(424)
19.4.2 三层电梯 PLC 控制设计	(425)
习题 19	(430)
附录 A 电阻器和电容器的命名方法及性能参数	(432)
附录 B 半导体分立器件命名方法及性能参数	(435)
附录 C 半导体集成电路型号命名方法及性能参数	(438)
附录 D 部分习题参考答案	(441)
参考文献	(445)

第 1 模块

电路基础理论



第1章 电路的基本定律与分析方法

引言

电路理论主要研究电路中发生的电磁现象,用电流、电压和功率等物理量来描述其中的过程。本章首先介绍了电路及其相关的基本概念,电压、电流的参考方向的应用,电源的工作状态,以及在电路中经常使用的各种理想电路元件。

因为电路是由电路元件构成的,因而整个电路所体现的特性既要看元件的连接方式,又要看每个元件的特性,这就决定了电路中各支路电流、电压都要受到两种基本规律的约束:①电路元件性质的约束,也称为电路元件的伏安关系,如欧姆定律,它仅与元件性质有关,而与元件在电路中的连接方式无关;②电路连接方式的约束,这种约束关系与电路元件的性质无关,基尔霍夫定律是概括这种约束关系的基本定律。

虽然使用欧姆定律和基尔霍夫定律可以计算和分析电路,但当遇到复杂的电路分析时,往往要根据电路的结构特点去寻找分析与计算的简便方法。本章以直流电路为例讨论了几种常用的电路分析方法,其中有:支路电流法、节点电压法、电源的等效变换、叠加原理和等效电源定理。这些方法不仅适用于直流电路,也适用于交流电路。

学习目标

- 理解物理量的参考方向的概念。
- 能够正确判断电路元件的电路性质,即电源和负载。
- 掌握各种理想电路元件的伏安特性。
- 掌握基尔霍夫定律。
- 能够正确使用支路电流法列写电路的方程。
- 能够使用节点电压法的标准形式列写出节点电压的方程。
- 理解等效的概念,掌握电源等效变换的分析方法。
- 能够正确应用叠加原理分析和计算电路。
- 掌握等效电源定理,在电路分析中能熟练地应用该定理。
- 理解电位的概念,掌握电位的计算。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成及作用

电路是电流通过的路径,是各种电气设备或元件按一定方式连接起来组成的总体。不管是简单的还是复杂的电路,都可分为三大部分:第一,提供电能(或信号)的部分称为电源,如蓄电池、发电机和信号源等;第二,吸收或转换电能的部分称为负载,如电动机、照明灯和电炉等;第三,连接和控制这两部分的称为中间环节。最简单的中间环节可以是两根连接导线,而复杂

的中间环节可以是一个庞大的控制系统。

电路的作用可分为两个方面。一是传输和转换电能。典型的例子是电力系统,其示意图如图 1.1 所示。

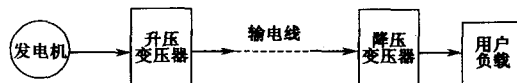


图 1.1 电力系统示意图

发电机是电源,是供应电能的设备,它将热能或原子能等转换成电能。变压器和输电线是中间环节,连接电源和负载,它起传输和分配电能的作用。用户负载包括各种取用电能的设备,它们分别把电能转换成光能、机械能、热能等。显然,该电路的作用是实现能量的传输和转换。

电路的另一作用是进行信号的传递和处理。例如,电视机电路,电视机的接收天线把接收到的载有语言、音乐、图像的电磁波转换为相应的电信号,而后通过电路对信号进行传递和处理,送到扬声器和显示器,还原为声音和图像。

不论电能的传输和转换,还是信号的传递和处理,其中电源或信号源的电压或电流称为激励,激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。所谓电路分析,就是在已知电路的结构和元件的参数条件下,讨论电路中激励和响应的关系。

当电路中电流的大小和方向不随时间发生变化时,称电路为直流电路;当电路中电流的大小和方向随时间按正弦规律变化时,称电路为正弦交流电路。依照国家标准,直流量用大写字母表示,例如,电压、电流、电动势分别表示为: U, I, E 。交流量用小写字母表示,例如,电压、电流、电动势分别表示为: u, i, e 。

1.1.2 电流和电压的参考方向

电流、电压和电动势是电路中的基本物理量,在电路分析中,只有在电路图中标出它们的方向,才能正确的列写方程。电路中关于方向的规定有实际方向和参考方向之分。

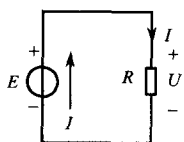


图 1.2 电路中电流、电压和电动势的方向

物理学中规定,电流的实际方向是指正电荷运动的方向;两点间电压的实际方向是从高电位端指向低电位端的方向;电动势的方向是低电位端指向高电位端的方向。实际方向如图 1.2 所示。

但在复杂电路的分析中,某一段电路的电压、电流、电动势的实际方向往往很难事先判断出来,有时它们的方向还在不断地改变。为了分析电路,需要引入参考方向(假定正方向)。

参考方向是任意假定的。电压、电流、电动势的正方向,可用箭头、“+”、“-”号或给电流、电压、电动势加双下标的方法来表示,如图 1.3 所示。

当参考方向设定以后,根据参考方向的假设列写电路的方程,求解电路中未知的电流、电压或电动势。若所得结果为正,则说明该物理量的实际方向与参考方向相同;若所得结果为负,则说明该物理量的实际方向与参考方向相反。若事先没有标出参考方向,则所得结果的正、负是没有任何意义的!因此,只有在选定参考方向之后,电压、电流、电动势的正、负

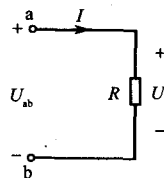


图 1.3 参考方向的表示方法