

21 世纪高等职业教育精品规划教材

电工技术

主审 ○ 梁南丁 主编 ○ 周 斐

 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

21 世纪高等职业教育精品规划教



- 数字电子技术
- 模拟电子技术
- 无线电装接工
- 电工技术
- 电工电子技术
- 传感器与检测技术
- 高频电子线路

策划编辑：钟志刚
责任编辑：胡 毅
封面设计：广通文化

ISBN 978-7-81133-754-9



9 787811 337549 >

定价：32.00元

21 世纪高等职业教育精品规划教材

电 工 技 术

主 审 梁南丁
主 编 周 斐
副主编 梁晓红 任 伟 张会娜

内容提要

本书是 21 世纪高等职业教育电类规划教材之一, 全书包括电工技术基础和低频电子技术两部分。电工技术基础主要介绍电路的基本概念及基本定律, 直流电阻分析, 单相交流电路, 三相交流电路, 电工测量, 电动机、变压器; 低频电子技术主要介绍半导体器件, 基本放大电路, 集成运算放大器及其应用, 直流稳压电源。

本书为高等职业院校和高等专科学校机械类、机电类专业及非电类专业电工电子技术课程的教材, 也可作为成人高等教育相关专业的教学用书, 同时可供相关专业的工程技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术/周斐等主编. —哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2010.8

ISBN 978-7-81133-754-9

I. ①电… II. ①周… III. ①电工技术 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 169492 号

出版发行: 哈尔滨工程大学出版社

社 址: 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号

邮 编: 150001

发行电话: 0451-82519328

传 真: 0451-82519699

经 销: 新华书店

印 刷: 北京市通州京华印刷制版厂

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 18

字 数: 449 千字

版 次: 2010 年 8 月第 1 版

印 次: 2010 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 32.00 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

网上书店: www.kejibook.com

对本书内容有任何疑问及建议, 请与本书责编联系。邮箱: jixie_book@sina.com

出版说明

近年来,我国的高等职业教育事业实现了跨越式发展,为社会主义现代化建设事业培养了大批急需的各类人才,在提高劳动者的素质、建设社会主义精神文明、促进社会进步和经济发展方面发挥了重要的作用。

随着我国科技的发展和经济的腾飞,高技能人才的缺乏逐渐成为影响社会快速、健康发展的瓶颈。高等职业院校作为培养各类高素质人才的重要基地,必然要对教育教学制度进行改革,以转变教育思想和教育观念为先导,以促进就业为目标,实行多样、灵活、开放的人才培养模式,把教育教学与生产实践、社会服务、技术推广结合起来,逐步形成适应我国社会主义现代化建设需要的高等职业教育思想和教育理念。

要加快高等职业教育改革和发展的步伐,就必须对课程体系和教学模式等问题进行探索。在这个过程中,教材的建设与改革无疑起着至关重要的基础性作用,高质量的教材是培养高素质人才的保证。高等职业教育教材作为知识的载体和教学的基本工具,直接关系到高等职业教育能否为社会培养并输送符合要求的高技能人才。

为推动高等职业教育教材的建设,加快高等职业教育改革和发展的步伐,我们精心组织了一批具有丰富教学和科研经验的教师,针对高等职业院校的教学特点,编写了“21世纪高等职业教育精品规划教材”,旨在使学生在具有必备的基础理论知识和专业知识的基础上,重点掌握从事本专业领域实际工作的基本能力和基本技能,致力于培养基础理论知识适度、技术应用能力强、知识面宽、素质高的应用型人才。

本系列教材非常注重培养学生的实践技能,力避传统教材“全而深”的教学模式,将“教、学、做”有机地融为一体,在教给学生知识的同时,强化对学生实际操作能力的培养。在编写过程中,教材力求从实际应用的需要出发,尽量减少枯燥、实用性不强的理论灌输,充分体现出“以行业为导向,以能力为本位,以学生为中心”的特色,更具有实用性和前瞻性,与就业市场结合更为紧密。

本系列教材的编写力求突破陈旧的教育理念,采用了“以案例导入教学”的编写模式。在对某一理论进行讲解的同时,紧密结合实际,援引大量鲜明、实用的案例进行分析说明,以达到编写高质量教材的目标。这些精心设计的案例不但可以方便教师授课,同时还可以启发学生思考,加快对学生实践能力的培养,改革人才的培养模式。

本系列教材可供高等职业院校、成人高校及各类培训学校相关专业使用。在编写过程中,得到了许多教师的大力支持,在此特向他们致以衷心的感谢,同时也对所有参与本系列教材出版工作的人员表示感谢!

哈尔滨工程大学出版社

前 言

在本书编写过程中,强调学生的技能操作能力的培养,注重实用性和可操作性,紧紧围绕电工、电工测量、控制、电子技术的应用,根据生产生活中常见的工程施工项目,设置操作性强的技能训练项目,将理论知识与实际应用有机结合起来,在保证必需的基础理论与常规技术的同时,充分考虑到教材的先进性和通用性,以满足各类教学的需要。

本书的教学学时数建议为 72 学时,其中标有“*”符合的内容属于拓展部分。

本书的图形、文字符合均采用国家标准 GB 4728.1—85 和 GB 3102.5—1993。

本书由周斐担任主编,由梁晓红、任伟、张会娜担任副主编。具体编写分工如下:平顶山工业职业技术学院梁晓红负责编写第 1、2、3 章,周斐负责编写第 4、5、6 章,任伟负责编写第 7、8、9 章,张会娜负责编写第 10、11、12 章。全书由周斐统稿。

本书由平顶山工业职业技术学院梁南丁教授主审并提出许多宝贵意见,在此谨表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中若有不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一篇 电工技术基础

第 1 章 电路	2
1.1 电路的基本概念	2
1.1.1 电路	2
1.1.2 电路模型	3
1.1.3 电流及其参考方向	3
1.1.4 电压及其参考方向	4
1.1.5 功率的计算	6
1.1.6 电阻元件与欧姆定律	7
1.2 基尔霍夫定律	8
1.2.1 支路、节点、回路、网孔	8
1.2.2 基尔霍夫电流定律	9
1.2.3 基尔霍夫电压定律	10
1.3 电压源与电流源	12
1.3.1 理想电压源	12
1.3.2 理想电流源	13
1.3.3 实际电源的电路模型	14
1.4 电位及其计算	14
第 2 章 线性电阻电路分析	19
2.1 电阻元件的联接	19
2.1.1 电阻的串联	19
2.1.2 电阻的并联	20
2.1.3 电阻的星角变换	22
2.2 电源元件的等效变换	24
2.3 支路电流法与节点电压法	26
2.3.1 支路电流法	26
2.3.2 节点电压法	29
2.4 戴维南定理	33

2.4.1 无源线性二端网络的等效电阻	34
2.4.2 戴维南定理及其应用	35
第3章 电工测量	47
3.1 电工测量概述	47
3.1.1 常用电工仪表的符号	47
3.1.2 电工仪表的型号	47
3.2 万用表	49
3.2.1 万用表结构简介	49
3.2.2 万用表使用方法及注意事项	49
3.3 电压、电流及功率的测量	50
3.3.1 电流与电压的测量方法	50
3.3.2 钳形电流表的用途与工作原理	53
3.3.3 电功率的测量方法	54
3.3.4 三相有功功率和无功功率的测量方法	57
3.4 电阻、电容与电感的测量	59
3.4.1 电阻的测量	59
3.4.2 电容的测量	63
3.4.3 电感的测量	65
第4章 单相交流电路	71
4.1 正弦交流电路	71
4.1.1 正弦交流电量的参考方向	71
4.1.2 正弦量的三要素	71
4.1.3 正弦交流电的有效值	73
4.2 正弦交流电的表示法	74
4.2.1 正弦量的相量图表示法	74
4.2.2 正弦量的复数表示法	76
4.3 单一参数的交流电路	77
4.3.1 电阻元件的交流电路	78
4.3.2 电感元件的交流电路	79
4.3.3 电容元件的交流电路	81
4.4 电阻、电感和电容元件串联的交流电路	84
4.4.1 电压与电流之间的关系	84
4.4.2 正弦交流电路的功率	85
4.5 阻抗的串联和并联	87
4.5.1 阻抗的串联	87
4.5.2 阻抗的并联	88

4.6 正弦交流电路中的谐振	90
4.6.1 串联谐振电路	90
4.6.2 并联谐振电路	92
4.7 功率因数提高	94
4.7.1 提高功率因数的意义	94
4.7.2 提高功率因数的措施	95
4.8 非正弦周期信号电路	97
4.8.1 谐波分析	97
4.8.2 非正弦周期信号电路分析	98
4.9 实例分析	100
第5章 三相交流电路	106
5.1 三相电源	106
5.1.1 三相电源的产生	106
5.1.2 三相电源的连接	107
5.2 负载星形连接的三相电路	110
5.3 负载三角形连接的三相电路	111
5.4 三相功率	113
5.4.1 瞬时功率	113
5.4.2 有功功率	113
5.4.3 无功功率	114
5.4.4 视在功率	114
5.4.5 功率因数	114
5.5 实例分析	115
5.5.1 不对称三相负载电路分析	115
5.5.2 三相四线制应用电路	117
第6章 电路的暂态分析	122
6.1 稳态与瞬态	122
6.1.1 换路	122
6.1.2 换路初始值	123
6.1.3 换路后的新稳态	123
6.2 RC 串联电路在直流激励下的响应	124
6.2.1 零输入响应	124
6.2.2 零状态响应	126
6.2.3 RC 串联电路的全响应	128
6.3 RL 串联电路在直流激励下的响应	129
6.3.1 零输入响应	129

6.3.2 零状态响应	130
6.3.3 RL 串联电路的全响应	131
6.4 一阶直流线性电路暂态过程的三要素法	132
6.5 实例分析	133
第7章 电动机	139
7.1 三相异步电动机的结构和工作原理	139
7.1.1 三相异步电动机的结构	139
7.1.2 三相异步电动机的工作原理	141
7.2 三相异步电动机的特性和铭牌数据	143
7.2.1 机械特性	143
7.2.2 运行特性	145
7.2.3 铭牌数据	146
7.3 三相异步电动机的运行控制	148
7.4 单相异步电动机	153
7.4.1 电容分相式电动机	153
7.4.2 罩极式电动机	154
7.4.3 三相异步电动机的单相运行	155
7.5 直流电动机	155
7.5.1 直流电动机的结构和工作原理	155
7.5.2 直流电动机的励磁方式和机械特性	158
7.5.3 直流电动机的使用	160
第8章 变压器	165
8.1 磁路的基本概念及其简单计算	165
8.1.1 磁路的基本物理量	165
8.1.2 磁路的基本定律	166
8.2 变压器的工作原理及特性	167
8.2.1 变压器的原理	167
8.2.2 变压器的结构	169
8.2.3 变压器的种类	170
8.2.4 变压器的额定值	170
8.2.5 变压器的运行特性	170
8.3 变压器绕组的极性及其连接组	172
8.3.1 绕组的标记和极性	172
8.3.2 变压器的连接组	173
8.4 三相变压器与特殊用途变压器	175
8.4.1 三相电力变压器	175

8.4.2 自耦变压器	176
8.4.3 仪用互感器	177

第二篇 低频电子技术

第9章 半导体器件	184
9.1 半导体的基础知识	184
9.1.1 半导体的性质	184
9.1.2 半导体原子结构	184
9.1.3 PN结的形成及特性	186
9.2 半导体二极管	187
9.2.1 半导体二极管及其基本电路	187
9.2.2 二极管基本应用电路	189
9.3 半导体三极管	192
9.3.1 三极管的工作原理	192
9.3.2 三极管的伏安特性	194
9.3.3 三极管的主要参数	197
9.4 场效应管	198
9.4.1 绝缘栅型场效应管	198
9.4.2 使用注意事项	201
第10章 基本放大电路	206
10.1 放大电路的基本概念	206
10.1.1 放大电路的种类	206
10.1.2 基本放大电路的组成	206
10.2 放大电路的三种基本组态	208
10.2.1 共发射极放大电路	208
10.2.2 共集电极放大电路	214
10.2.3 共基极放大电路	217
10.3 多级放大电路	217
10.4 差动放大电路	220
10.4.1 基本差动放大电路	220
10.4.2 典型差动放大电路	223
10.5 放大电路的调整与测试	224
10.5.1 通电前检查	224
10.5.2 通电调试	225
10.5.3 故障排除	228

10.6 场效应管放大电路	228
10.6.1 自给偏压偏置电路	229
10.6.2 分压式偏置电路	229
第 11 章 集成运算放大器及其应用	239
11.1 集成运算放大器简介	239
11.1.1 集成运算放大器的基本组成	239
11.1.2 集成运算放大器的主要参数	241
11.1.3 理想的集成运算放大器	241
11.2 用集成运放构成放大器	244
11.2.1 反相比例运算电路	244
11.2.2 同相比例运算电路	245
11.2.3 差分比例运算电路	245
11.3 用集成运放构成信号运算电路	246
11.3.1 反相输入运算电路分析方法	246
11.3.2 同相输入加法运算电路的分析方法	249
11.3.3 差分输入运算电路的分析方法	250
11.4 用集成运放构成信号处理电路	252
11.4.1 滤波电路的作用和分类	252
11.4.2 电压比较器	254
11.5 使用集成运算放大器应注意的几个问题	258
11.5.1 合理选用集成运算放大器的型号	258
11.5.2 集成运放的消振和调零	258
11.5.3 集成运放的保护措施	259
第 12 章 直流稳压电源	265
12.1 直流稳压电源的组成	265
12.2 整流电路	265
12.2.1 单相半波整流电路	265
12.2.2 单相桥式整流电路	267
12.3 滤波电路	269
12.3.1 电容滤波电路	269
12.3.2 电感滤波电路	271
12.4 直流稳压电路	272
12.4.1 稳压二极管稳压电路的工作原理	272
12.4.2 稳压电路元件的选择	273
参考文献	278

第一篇

电工技术基础

第 1 章

电 路

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路

电路是电流的通路，在电路中随着电流的通过，将进行能量的转换、传输、分配过程。实际电路是为了实现某种功能由电气设备或电子器件相互连接而成的整体。常见的电气设备有发电机、变压器、电动机、电热炉等；常见的电子器件有二极管、三极管、晶闸管等。它们可统称为电路元件。

实际电路形式多样，千差万别，功能各不相同。例如图 1-1 (a) 所示的电力系统电路，在发电厂内发电机把热能、水能、核能等能量转换为电能，再经变压器升压后由输电线路完成电能的传输，建在用户端的变电站经变压器降压后将电能分配给负荷，通过负荷（电动机、电热炉、家用电器等）把电能最后转化为机械能、热能或其他形式的能量。又如图 1-1 (b) 所示的扩音机电路，话筒将语言或音乐信号转化为相应的电压和电流，通过放大器将信号放大后传递到扬声器，扬声器再把经放大的电信号还原为语言或音乐。类似的例子还有电视机、收音机中的信号接收和放大电路、控制计算机中的电路，可以对采集的外部信号进行分析、计算、处理和存储，仪表电路可以对电压和电流等电信号进行测量等，不胜枚举。

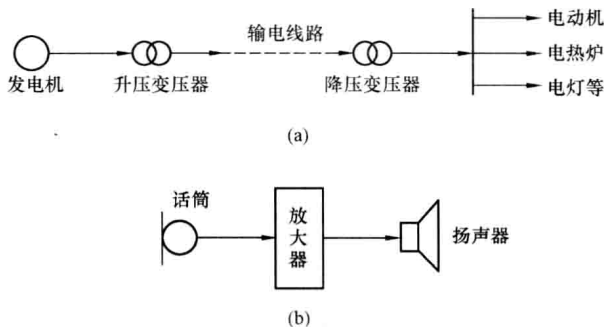


图 1-1 电路示意图

(a) 电力系统电路；(b) 扩音机电路

电路结构可划分为三部分，即电源、负载、中间环节。电源是产生电能或信号的设备，是

电路中信号或能量的来源,工作时将其他形式的能量变为电能,如发电机、干电池、光电池等。负载是各种用电设备的总称,是消耗电能的装置,工作时将电能变为其他形式的能量,例如电动机、电阻器等。中间环节是电路中除电源和负载之外其他部分的统称,在电路中传输、分配、控制电能,如连接导线、开关、熔断器、控制电器等。

1.1.2 电路模型

将一个实际电路抽象为电路模型的过程,也是突出电路及电路模型的主要电磁特性和忽略其次要因素的过程,又称建模过程,其结果与实际电路的工作条件以及对计算精度的要求有关。例如手电筒电路:其实际电路器件有干电池、灯泡、开关和筒体,接线图如图 1-2 (a) 所示;电路模型如图 1-2 (b) 所示,其中理想电阻元件 R 是灯泡的电路模型,理想电压源 E 和理想电阻元件 R_0 的串联组合是干电池的电路模型,筒体起到传导电流的作用,其电阻可忽略不计,用理想导线表示。可见,实际电路器件的电路模型是由理想电路元件或理想电路元件的串、并联组合与理想导线组成的。

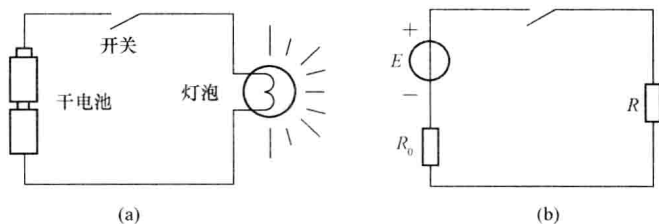


图 1-2 手电筒电路及其电路模型

(a) 手电筒电路; (b) 电路模型

图 1-2 (b) 所示的电路模型又称电路图。在电路图中,将理想电路元件用特定的电路符号表示;理想导线可以画成直线、折线或曲线,其特点是处处等电位。

1.1.3 电流及其参考方向

电荷的定向移动形成电流,我们把单位时间内通过导体横截面积的电荷定义为电流强度,用以衡量电流的大小。电流强度通常简称为电流,用 $i(t)$ 或 i 表示,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

大小和方向随时间而变化的电流称为交变电流,简称交流,一般用小写字母 $i(t)$ 表示。大小和方向都不随时间改变的电流,称为恒定电流,或直流电流,直流电流用大写字母 I 表示。

在国际单位制中,电荷 q 的单位是 C (库仑),时间单位是 s (秒),电流 i 的单位是 A (安培)。

电流的方向是客观存在的,习惯上把正电荷移动的方向规定为电流的方向,为了与以后常用的参考方向相区别,又把正电荷移动的方向称为电流的实际方向。

对结构比较复杂的直流电路,可能无法直接判断各电流的实际方向。在交流电路中,电流的大小和方向随时间时刻在变化,也无法准确得知其实际方向。这就给电流的计算带来不便。为此,在分析和计算电路时,可先任意选定某一方向作为电流的方向,并把这个方向称为电流的参考方向或正方向。图 1-3 所示为电流参考方向的两种表示方法 (其中方框表示一个元件或

是一部分电路):用箭头“→”表示,如图 1-3 (a) 所示;用带双下标的字母表示,如图 1-3 (b) 所示, i_{ab} 表示 i 的参考方向由 a 指向 b。

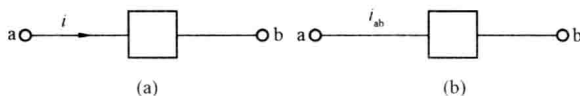


图 1-3 电流的参考方向

(a) 用箭头表示; (b) 用双下标表示

由于参考方向是人为任意选定的,可能与实际方向相同,也可能与实际方向相反,我们用电流的正、负值加以区别。当参考方向与实际方向相同时,电流取正值,即 $i > 0$;当参考方向与实际方向相反时,电流取负值,即 $i < 0$ 。或者按照选定的参考方向对电路进行计算:当计算结果 $i > 0$ 时,表示参考方向与实际方向相同; $i < 0$ 时,表示参考方向与实际方向相反,如图 1-4 所示。

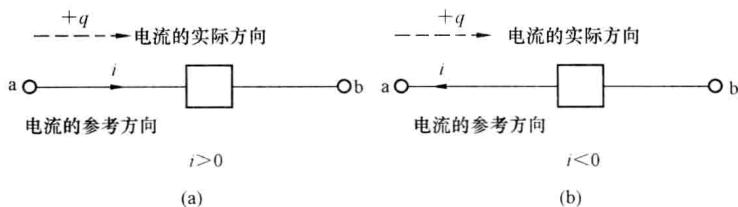


图 1-4 电流的参考方向与实际方向的关系

(a) 参考方向与实际方向相同; (b) 参考方向与实际方向相反

1.1.4 电压及其参考方向

电压是用来描述电场力对电荷做功能力的物理量。如果电场力将单位正电荷 dq 从电场的高点位点 a 经过电路移动到低电位点 b 所做的功是 $d\omega$, 则 ab 两点之间的电压为

$$u = \frac{d\omega}{dq} \quad (1-2)$$

如果电压的大小或方向随时间变化,则称为交流电压,用 $u(t)$ 或 u 表示;如果电压的大小和方向都不随时间变化,则称为恒定电压或直流电压,用大写字母 U 表示。

在国际单位制中,功的单位是 J (焦耳),电荷的单位是 C (库仑),电压的单位是 V (伏特)。

电压是个标量,为了表示电场力对电荷做功的方向,习惯上将由高电位指向低电位的方向规定为电压的方向,并称作电压的实际方向或实际极性。

与电流一样,在分析计算电路以前,要先给电压任意选定一个方向(极性),并把这个方向(极性)称作电压的参考方向(参考极性)。图 1-5 所示为电压参考方向的三种表示方法:用符号“+”表示参考高电位,用符号“-”表示参考低电位,如图 1-5 (a) 所示;用箭头“→”所指方向表示电位降落方向,如图 1-5 (b) 所示;用带双下标的字母表示,如图 1-5 (c) 所示,其中“ u_{ab} ”表示 a 点是参考高电位, b 点是参考低电位。当参考方向与实际方向相同时,电压取正值,即 $u > 0$;当参考方向与实际方向相反时,电压取负值,即 $u < 0$,如图 1-6 所示。