



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

高职高专汽车运用与维修专业系列教材

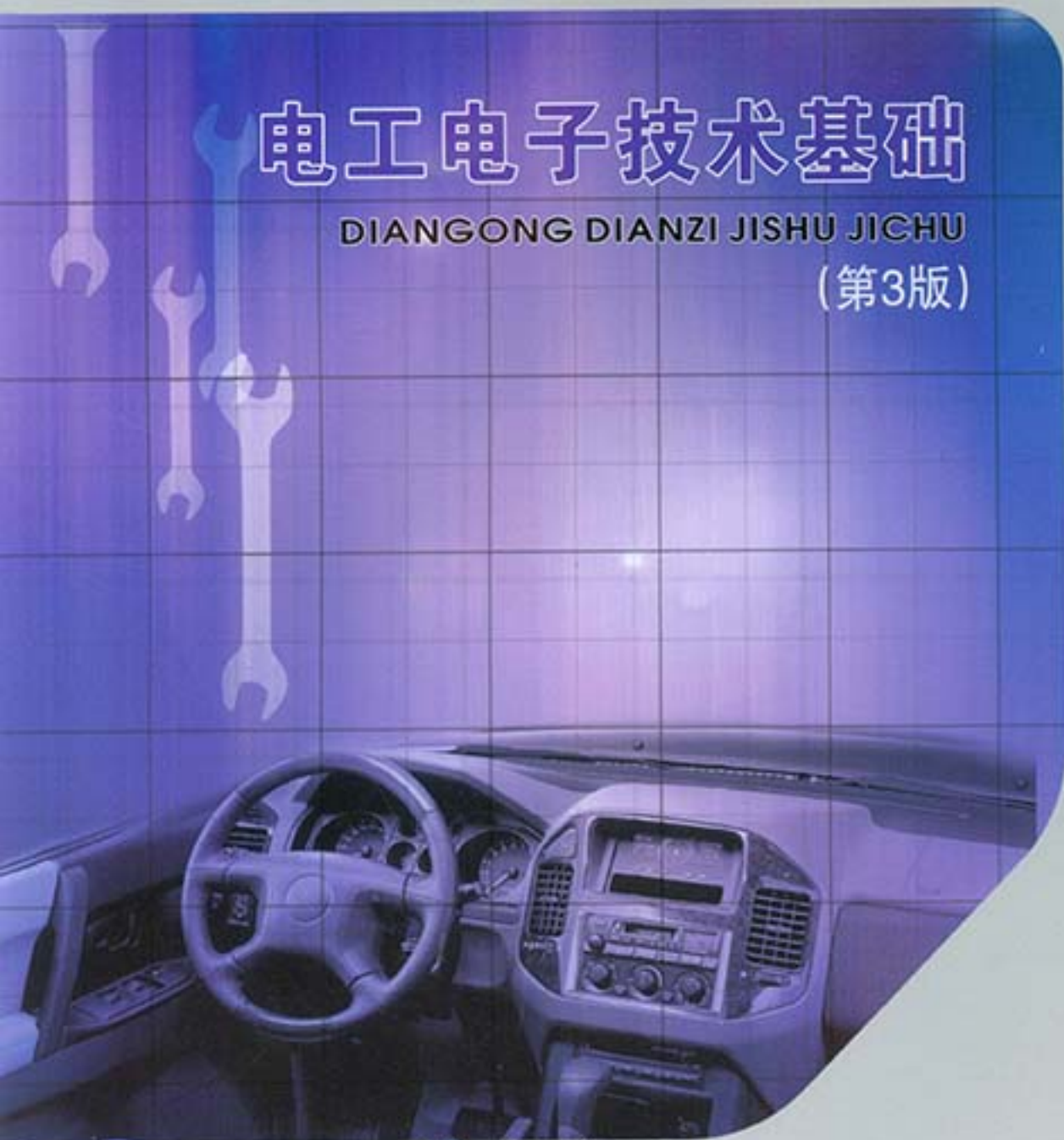
主 编 卢 明 覃日强

主 审 林若森

电工电子技术基础

DIANGONG DIANZI JISHU JICHU

(第3版)



重庆大学出版社

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



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

电工电子技术基础

(第3版)

主 编 卢 明 覃日强
参 编 杨达飞 陈尹梅 谭新曲
主 审 林若森

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书为高职高专汽车运用与维修系列教材之一。全书共分 11 章,内容包括:直流电路、交流电路、磁路及变压器、电动机、电工仪表及测量电路、半导体二极管及交流放大电路、集成运算放大器、数字电路基础、数字电路的基本器件、传感器及其应用。

本书可作为高职高专机械、汽车、冶金、建筑、化工类专业教材,也可供有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术基础/卢明,覃日强主编. —3 版.

—重庆:重庆大学出版社,2015.9

高职高专汽车运用与维修专业系列教材

ISBN 978-7-5624-9375-4

I. ①电… II. ①卢…②覃… III. ①电工技术—高等职业教育—教材②电子技术—高等职业教育—教材
IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 172301 号

高职高专汽车运用与维修专业系列教材

电工电子技术基础

(第 3 版)

主 编 卢 明 覃日强

主 审 林若森

责任编辑:鲁 黎 版式设计:鲁 黎

责任校对:邬小梅 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185 (中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

自贡兴华印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:15.5 字数:387 千

2015 年 9 月第 3 版 2015 年 9 月第 6 次印刷

印数:9 112—10 111

ISBN 978-7-5624-9375-4 定价:31.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

第 3 版 前 言

《电工电子技术基础》教材于 2005 年问世以来,深得各方好评,并多次印刷和再版。喜爱这本书的主要原因是该书的主编和副主编都是有多年企业工作经验的双师型教授,在编写本书时提供了范围广泛的企业案例,其中的一些数据和资料都在实践中得到了验证。此外本书结合了高职高专的特点,这对现阶段的教师和学生无疑是十分宝贵的。

为了使教材更适应高职高专教育事业的进步和工程技术发展的需要,根据教育部最新制订的专业目录要求,结合近几年的教学体会,决定再次修订前版《电工电子技术基础》,使其成为更适合高职高专各工科专业使用的教材。在本版教材修订中,内容选择力求更符合《电工电子技术基础》教学大纲的要求。基本保留前版内容,但对教材的篇和章节安排有些改动:如选用新型的鼠笼型三相交流异步电动机的结构,增加无刷直流电动机的内容。采用电能表来测量负载功率的实际案例,更新了部分插图,将基本原理部分都贯穿到各章节中,等等。

本书虽然取得一定成绩,但有些问题还在探讨。其中最主要的问题是作为技术基础课程所涉及的内容多,但受教材篇幅、授课课时的限制,教师在教学上、学生在学习上怎样运用好是关键。本教材遵循“深入浅出、通俗易懂”的原则,重视学生的动手能力培养,在内容中进一步减少数理推导和论证,在讲清基本概念的同时注重职业技术上岗培训操作内容的联系。

参加第 3 版修订的同志有(以章为序):柳州职业技术学院卢明教授(除负责统稿外,还编修第 2 章)、覃日强教授(编修第 1、3、4、5、6 章)、杨达飞副教授(编修第 7、8、9、10、11 章)。由于编者水平有限,也可能存在着信息输入性错误,恐难尽如人意。若有不当和错误之处,望读者和同行批评指正。(意见反馈邮箱:minglu2101@sina.com)。

编 者
2015 年 4 月

第2版 前言

本书自出版以来受到广大读者的欢迎,作为基础教材一直沿用至今。但近年来以项目驱动的教学改革和课程内容的建设如风起云涌、波澜壮阔,引起了很大变化。应广大读者的要求特将原来一些太理论化的内容作了一些修改,专门针对高等职业技术教育的特性,增加了一些实际应用的内容,同时对原来编写中的一些缺点和错误进行了改正。在此再一次向广大读者表示诚挚的感谢,同时恳切地希望广大读者批评指正。

编 者
2011年5月

前言

本书是根据教育部最新制订的“高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求”而编写的。编者根据多年的教学经验,结合高职高专的特点和要求,在编写过程中为做到深入浅出、通俗易懂。本书注重理论联系实际,重视学生的动手能力和分析、解决问题能力的培养,减少了数理推导和论证过程,在讲清基本概念中,注重职业技术上岗培训操作内容的联系。

本书讲授教学课时数为 80 学时,其中有“*”号的属于加宽加深的内容,供相关专业选择。

本书由广西柳州职业技术学院卢明和覃日强共同主编,由该校的杨达飞、陈尹梅、谭新曲参编,其中卢明教授负责统编全书和编写策划,并负责第 1、5、7 章的编写;覃日强副教授负责第 2、3、4、6 章编写,杨达飞负责第 8、9、10 章的编写,陈尹梅、谭新曲负责第 11 章的编写。本书由柳州职业技术学院的林若森教授主审,他对全书进行了认真、仔细地审阅,提出了许多宝贵和具体的意见,在此表示诚挚的感谢。

本书在编写过程中由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免有错误和缺点,在此恳切地希望广大读者批评指正。

编 者
2005 年 6 月

目 录

第1章 直流电路	1
1.1 电 路	1
1.2 电路的基本物理量	2
1.3 电阻和欧姆定律	5
1.4 电路的工作状态	10
1.5 电压源、电流源及其等效变换	12
1.6 克希荷夫定律	14
1.7 支路电流法	17
1.8 叠加定理	19
1.9 戴维南定理	21
* 1.10 电路中电位的计算	23
习题1	25
第2章 交流电路	27
2.1 正弦交流电的基本概念	27
2.2 正弦量的相量表示法	30
2.3 交流电路的基本元件	33
2.4 负载为单一元件的交流电路	38
2.5 电感线圈与电容器串联电路	42
2.6 电感线圈与电容器并联电路	45
2.7 谐 振	47
2.8 三相交流电路	50
习题2	55
第3章 磁路及变压器	57
3.1 磁路	57
3.2 变压器的基本工作原理和结构	60
3.3 单相变压器	65
3.4 三相变压器	73
* 3.5 其他用途变压器	78
3.6 电磁铁	82
习题3	83
第4章 电动机	84
4.1 三相异步电动机结构与转动原理	84

4.2	三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	89
4.3	三相异步电动机的启动、调速及制动	91
4.4	三相异步电动机的常用控制电路与安全用电	96
4.5	直流电动机	103
4.6	单相异步电动机	110
* 4.7	同步电动机	112
* 4.8	伺服电动机	113
* 4.9	步进电动机	117
4.10	电动机额定功率的选择	119
习题 4		120
第 5 章	电工仪表及测量基础	122
5.1	电工仪表的分类与工作原理	122
5.2	电流表	124
5.3	电压表	126
5.4	功率表	127
5.5	万用表	130
5.6	示波器	132
习题 5		136
第 6 章	半导体二极管及其电路	138
6.1	半导体的基本知识	138
6.2	半导体二极管	141
6.3	整流电路	144
6.4	滤波电路	147
6.5	稳压电路	149
习题 6		150
第 7 章	半导体三极管及交流放大电路	151
7.1	半导体三极管	151
7.2	基本交流放大电路的组成及分析	155
7.3	阻容耦合放大电路	160
7.4	差动放大电路	161
7.5	功率放大电路	162
* 7.6	场效应管	164
习题 7		165
第 8 章	集成运算放大器	166
8.1	集成运算放大器简介	166

8.2 集成运算放大器的反馈和基本运算电路·····	169
8.3 集成运算放大器的应用举例·····	172
习题8 ·····	173
第9章 数字电路基础 ·····	174
9.1 数制与码制·····	174
9.2 逻辑代数及应用·····	176
9.3 晶体管的开关作用·····	179
9.4 基本逻辑门电路·····	180
9.5 组合逻辑电路·····	183
习题9 ·····	186
第10章 数字电路的基本器件 ·····	187
10.1 编码器 ·····	187
10.2 译码器 ·····	191
10.3 触发器 ·····	195
10.4 计数器 ·····	200
10.5 寄存器 ·····	203
10.6 D/A、A/D 转换器·····	204
习题10 ·····	209
第11章 传感器及其应用 ·····	212
11.1 概述 ·····	212
11.2 电阻型传感器 ·····	214
11.3 光敏元件、光电传感器·····	219
11.4 电势型传感器及其应用 ·····	221
11.5 其他类型传感器及其应用 ·····	225
* 11.6 传感器的发展 ·····	230
习题11 ·····	232
参考文献 ·····	233

第 1 章

直流电路

本章主要讨论电路的基本物理量、电路的工作状态、电路的基本定律及其应用、电路中电位的计算等问题,这些问题是对电路进行分析、计算的基本理论,这些基本理论同样适用于对交流电路的分析、计算。

1.1 电 路

1.1.1 电路及其作用

电路是电流流通的路径,电流在电路中流通可以传递电能或电信号。

工矿企业中常常需要电动机带动生产机械,需要电炉给生产原料加热,需要用电灯照明,等等。电动机旋转时将电能转换成机械能,电炉发热时将电能转换成热能,电灯发亮时将电能转换成光能。发电设备通过在电路中流通的电流将电能传递给电动机、电炉、电灯,使它们正常工作。电能主要由水力、火力、核能等发电设备产生。通常,这些发电设备总是远离用电设备的,发电设备依靠电路将电能传送给用电设备。因此,电路具有传输电能的作用。因为用电设备众多,所以每一个用电设备所需要的电能不可能都由发电设备直接传送。一般情况下,先通过输电线将发电设备产生的电能集中传送到用电中心,然后用配电线将电能分配给各个用电设备。因此,电路还具有分配电能的作用。

在日常生活中,电话机、收音机、电视机等用电设备已得到广泛应用。广播、无线电视信号的接收,需要依靠电路先将电磁波信号转换成电信号,然后将电信号进行传输及处理,最后加以还原。电话、有线电视、网络等信号的接收也需要依靠电路进行信号的传输、处理。因此,电路也具有电信号的传输、处理作用,如图 1.1 所示。

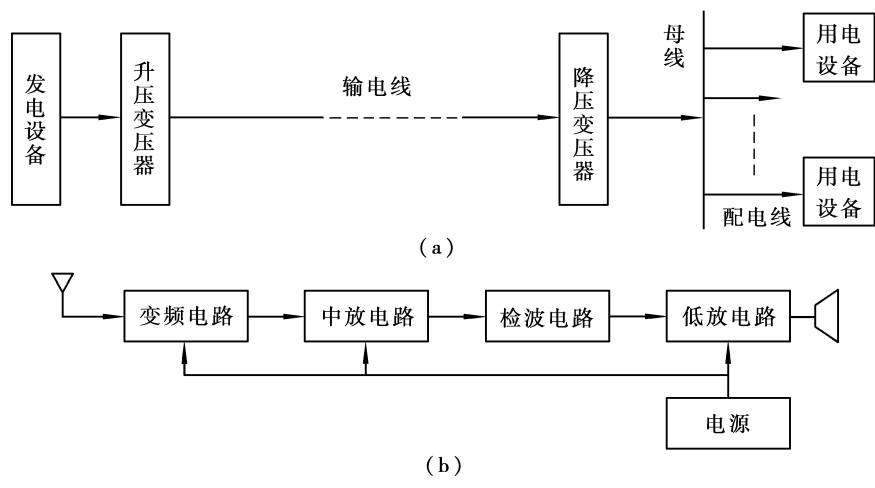


图 1.1 电路的作用
(a)电力系统(电能的传输和分配) (b)收音电路框图(信号的交换、电信号的传输及处理)

1.1.2 电路的组成及其模型

电路一般由电源、负载、中间环节三个基本部分组成。

电源是将其他形式的能转换成电能的设备,电源向电路供应电能。常见的电源有发电机、电池。发电机可以将水流位能、热能、核能等转换成电能,电池将化学能转换成电能。

负载是将电能转换成其他形式的能的设备,负载在电路中吸收电能。常见的负载有电动机、电炉、电灯等。

中间环节是连接电源和负载的部分,中间环节包括连接导线、控制设备、监测仪表等,在电路中起传输电能、控制电能、监测电能等作用。

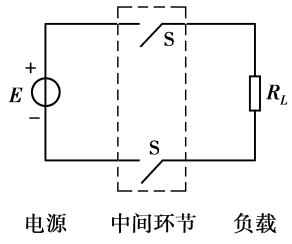


图 1.2 最简单的电路模型

图 1.2 是一个最简单的电路模型。图中,电源用 E 来表示,假设电源为干电池;负载用 R_L 来表示,假设负载为电珠;中间环节有导线和开关 S 。当开关 S 闭合时,电路中有电流通过,干电池发出的电能通过中间环节传递给电珠,使电珠发亮。

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

电荷(带电粒子)在导体中有规则地运动便形成电流。电流的强弱用电流强度来表示,电流强度简称为电流。若在时间 Δt 内通过导体横截面的电荷量为 ΔQ ,则导体中的电流为

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt} \tag{1.1}$$

当电流的大小和方向都不随时间变化时,则这种电流称为恒定电流,简称为直流,如图1.3中直线1所示。此时

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.2)$$

式中 Q 是在时间 t 内流过导体横截面的电荷量。

当电流的大小和方向都随时间作周期性变化且一周期内电流的平均值为零时,则这种电流称为交流电流,简称为交流,如图1.3中曲线2为正弦交流电流曲线。

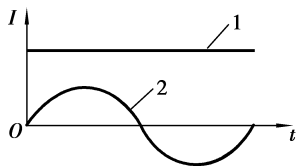


图 1.3

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向。在对复杂电路进行分析、计算时,通常很难直观地判断电流的实际方向,为此要引入参考方向(或正方向)的概念。在分析、计算复杂电路中某一支路的电流之前,先任意选定该支路的某一方向作为电流的参考方向(或正方向),然后再计算该支路的电流代数值。当计算结果为正值,即 $I > 0$ 时,则表示电流的实际方向与参考方向相同;当计算结果为负值,即 $I < 0$ 时,则表示电流的实际方向与参考方向相反,如图1.4所示。

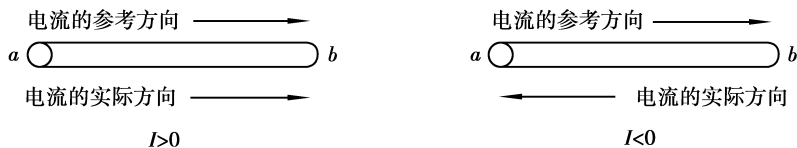


图 1.4 电流的参考方向与实际方向

电流的单位是安[培],符号为 A;也可以用毫安(mA)、微安(μA)、千安(kA)来表示,有

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}, 1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu\text{A}$$

1.2.2 电压、电位

电荷在导体中运动需要电场力的作用。若电荷 Q 在电场力作用下沿着导体从 a 点移到 b 点时所需要的电能为 W_{ab} ,则 a 点对 b 点的电压 U_{ab} 为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1.3)$$

如果选择电路中的某点 O 为零电位参考点,则 a 点对 O 点的电压 U_{ao} 称为 a 点的电位,记作 U_a 。零电位参考点是可以任意选取的,因此电位的高低是相对的,与设定的零电位参考点有关。当 $U_a > 0$ 时, a 点电位为正电位;当 $U_a < 0$ 时, a 点电位为负电位。电路中任意两点 a 、 b 间的电压 U_{ab} ,也可以由这两点对零电位参考点的电位之差(电位差)来计算,有

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1.4)$$

习惯上把高电位指向低电位的方向规定为电压的实际方向。在对复杂电路进行分析、计算时,通常很难直观地判断电压的实际方向,因此要引入参考方向的概念。在分析、计算复杂电路中某两点间的电压之前,先任意选定电压的参考方向(或正方向),然后再计算这两点间的电压代数值。当计算结果为正值,即 $U > 0$ 时,则表示电压的实际方向与参考方向相同;当计算结果为负值,即 $U < 0$ 时,则表示电压的实际方向与参考方向相反,如图1.5所示。

一般地,电路中任意两点间的电压与路径无关。电压的标准单位是伏特,符号为 V;也可

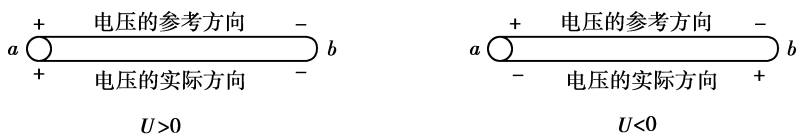


图 1.5 电压的参考方向与实际方向

以用毫伏 (mV)、千伏 (kV) 表示,有

$$1\text{ kV} = 10^3\text{ V}, 1\text{ V} = 10^3\text{ mV}$$

1.2.3 电动势

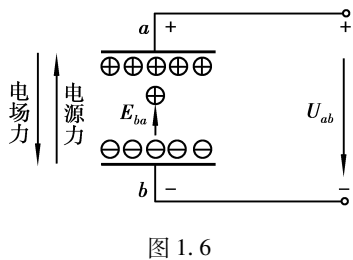


图 1.6

电路中的导体、用电设备流过电流时,将电能转换成其他形式的能量。电路中的电能由电源提供。电源为了将其其他形式的能量转换成电能,必须依靠其他形式的能量所产生的电源力使正电荷逆电场力方向运动,如图 1.6 所示。

若正电荷 Q 在电源力的作用下沿着电源内部从 b 点移到 a 点时所需要的其他形式能量为 W_{ba} ,则 b 点到点 a 的电动势 E_{ba} 为

$$E_{ba} = \frac{W_{ba}}{Q} \tag{1.5}$$

根据能量守恒定律,忽略电源内部的能量损耗时,正电荷 Q 在电源内部移动所需要的其他形式能量 W_{ba} 与正电荷 Q 在电源外部导体、用电设备中移动所需要的电能 W_{ab} 是相等的。从式(1.3)和式(1.5)看出,电源电动势 E_{ba} 与其两端间的电压 U_{ab} 存在以下关系

$$E_{ba} = -U_{ab} \tag{1.6}$$

电动势的标准单位与电压的标准单位相同。习惯上把低电位指向高电位的方向规定为电动势的实际方向。

1.2.4 电功率、电能

电流在电路中流通时,将电源的电能传送给用电设备,用电设备将吸收的电能转换成其他形式的能。单位时间内,某段电路传送或转换的电能称为电功率。电功率 P 与电能 W 的关系为

$$P = \frac{dW}{dt} \tag{1.7}$$

当某段电路两端的电压为 U 、通过该段电路横截面的电荷量为 Q 、流过该段电路的电流为 I 时,将式(1.1)和式(1.3)代入式(1.7)得

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{UdQ}{dt} = UI \tag{1.8}$$

即某段电路吸收或发出的电功率,等于该段电路两端的电压 U 与流过该段电路的电流 I 之乘积。在电压 U 和电流 I 均为实际方向的情况下,当电流由高电位流向低电位、即电能作用于该段电路时,该段电路吸收电功率,此时 $P = UI > 0$;当电流由低电位流向高电位、即非电能作用于该段电路时,该段电路发出电功率,此时 $P = UI < 0$ 。

电功率的单位为瓦[特],符号为 W;也常用千瓦(kW)、毫瓦(mW)作单位,有

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}, 1 \text{ W} = 10^3 \text{ mW}$$

根据电功率的定义,某段电路在 t 时间内吸收或发出的电能为

$$W = Pt \quad (1.9)$$

电能的单位为焦[耳],符号为 J;也常用千瓦时(kW·h)作单位,有

$$1 \text{ kWh} = 1 \times 10^3 \text{ W} \times 3\,600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

电能的单位也常用“度”来表示。功率为 1 kW 的用电设备,在 1 小时内消耗的电能即为 1 度电。

例 1.1 试判断图 1.7 中的某段电路是吸收电功率还是发出电功率。

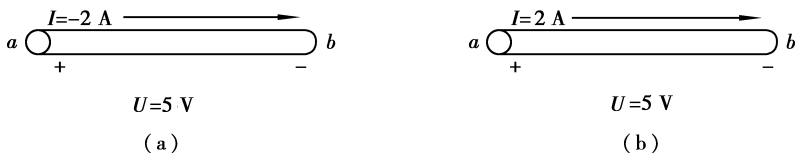


图 1.7 例 1.1 附图

解 由图 1.7(a) 看出, $I = -2 \text{ A}$, 说明电流的实际方向与图中标明的参考方向相反, 即实际电流是由低电位流向高电位的, 此时 $P = UI = 5 \times (-2) \text{ W} = -10 \text{ W} < 0$, 该段电路发出电功率。

由图 1.7(b) 看出, $I = 2 \text{ A}$, 说明电流的实际方向与图中标明的参考方向相同, 即实际电流是由高电位流向低电位的, 此时 $P = UI = 5 \times 2 \text{ W} = 10 \text{ W} > 0$, 该段电路吸收电功率。

1.3 电阻和欧姆定律

1.3.1 电阻元件

电阻元件是电路中最常见的元件,它由各种导电材料做成,在电路中起限制和调节电流等作用。电阻元件流过电流时要消耗电能,因此电阻元件是耗能元件。其实,电流流过电路中的电源、中间环节、负载时,也都会消耗一定的电能,说明电源、中间环节、负载中存在电阻元件成分。可以把电源、中间环节、负载中消耗电能的部分等效成电阻元件。电阻元件的图形符号如图 1.8 所示。

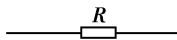


图 1.8 电阻元件的图形符号

把电阻元件两端所加的电压 U 和流过该电阻元件的电流 I 之比值称为电阻元件的电阻值,简称为电阻,其计算式为

$$R = \frac{U}{I} \quad (1.10)$$

电阻元件的特性,可以用流过该电阻的电流及其两端所加的电压两者之间的关系曲线 $I = f(U)$ 来表示,曲线 $I = f(U)$ 也称为伏安特性。

电阻的单位是欧[姆],符号为 Ω ;也常用千欧(k Ω)、兆欧(M Ω)作为电阻的单位。有

$$1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega, 1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$$

一般情况下,电阻元件的电阻值随温度的变化而变化。通常,金属电阻元件的电阻值随温

度的升高而增大,碳电阻元件的电阻值随温度的升高而减小。

当温度一定时,电阻值不随电压或电流的变化而改变的电阻元件称为线性电阻,金属电阻元件一般都是线性电阻,线性电阻的伏安特性如图 1.9(a)所示。当温度一定时,电阻值随电压或电流的变化而改变的电阻元件称为非线性电阻,如半导体二极管的正向电阻是非线性电阻,非线性电阻的伏安特性如图 1.9(b)所示。

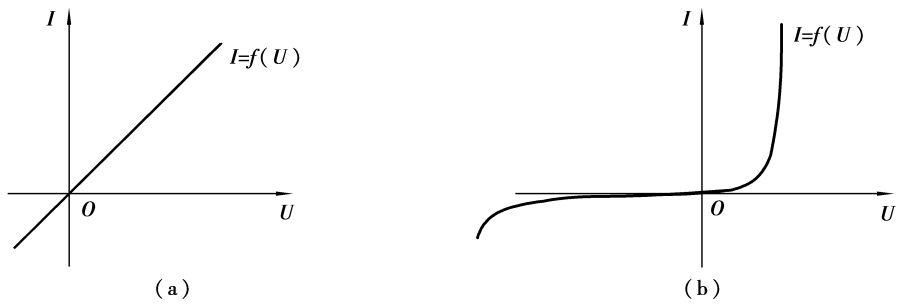


图 1.9 线性电阻、非线性电阻的伏安特性

1.3.2 电阻的串联、并联

(1) 电阻的串联

将两个或两个以上的电阻元件一个接一个地连接成一段无分支的电路,称为串联电阻电路,如图 1.10(a)所示。

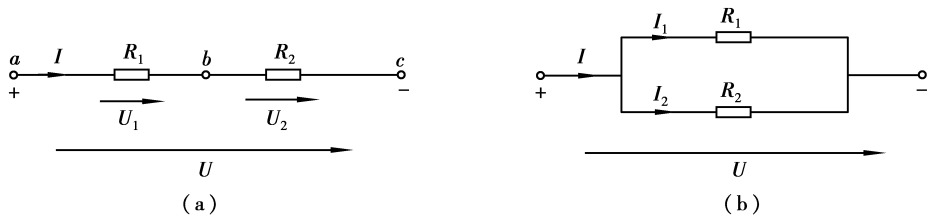


图 1.10 串、并联电阻

从图 1.10(a)中看出

$$\begin{aligned} U &= U_a - U_c = U_a - U_b + U_b - U_c \\ &= U_{ab} + U_{bc} = U_1 + U_2 \end{aligned} \tag{1.11}$$

从图 1.10(a)还看出,串联电阻 R_1 、 R_2 及串联电路的总电阻 R 流过同一个电流 I ,根据电阻的定义式(1.10),有

$$R_1 = \frac{U_1}{I}, R_2 = \frac{U_2}{I}, R = \frac{U}{I} \tag{1.12}$$

式(1.11)两边同时除以电流 I ,得

$$\frac{U}{I} = \frac{U_1 + U_2}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I}$$

将式(1.12)代入上式,得

$$R = R_1 + R_2 \tag{1.13}$$

上式说明,串联电路的总电阻等于各串联电阻之和。

式(1.11)两边同时乘以电流 I , 得

$$P = UI = U_1 I + U_2 I = P_1 + P_2 \quad (1.14)$$

上式说明, 串联电路的总电功率等于各串联电阻的电功率之和。

由式(1.12)得

$$U_1 = \frac{R_1}{R} U, U_2 = \frac{R_2}{R} U \quad (1.15)$$

上式说明串联电阻具有分压作用, 且串联电阻上所分配的电压与其电阻值成正比, 式(1.15)即为电阻分压公式。利用串联电阻可以分压的特点, 可以通过在万用电表表头电路中串联电阻的方法来扩大电压表的量程; 也可以制成电阻分压器, 如图 1.11 所示, 通过调节滑动触头的位置来改变电阻 R 下面一段 R_2 的值, 达到调节输出电压的目的。

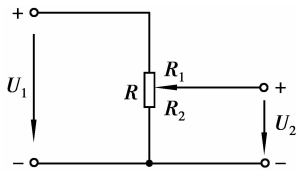


图 1.11 电阻调压器调压示意图

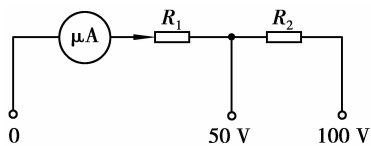


图 1.12 例 1.2 附图

例 1.2 有一个量程 $I_G = 100 \mu\text{A}$ 的表头, 内电阻 $R_G = 1 \text{ k}\Omega$, 现将它改装成量程为 50 V、100 V 的多量程电压表, 如图 1.12 所示。试计算电阻 R_1 及 R_2 的值。

解 当表头满刻度时, 它的端电压 U_G 为

$$U_G = I_G R_G = 100 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^3 \text{ V} = 0.1 \text{ V}$$

要使表头的量程扩大到 50 V, 分配在电阻 R_1 上的电压应为

$$U_{R_1} = 50 \text{ V} - U_G = 49.9 \text{ V}$$

根据串联电阻分压的特点, 应用电阻分压公式(1.15), 有

$$R_1 = U_{R_1} \frac{R_G}{U_G} = 49.9 \times \frac{1 \times 10^3}{0.1} \Omega = 499 \times 10^3 \Omega = 499 \text{ k}\Omega$$

要使表头的量程扩大到 100 V, 分配在电阻 $R_1 + R_2$ 上的电压应为

$$U_{R_1 + R_2} = 100 \text{ V} - U_G = 99.9 \text{ V}$$

同理, 有

$$R_1 + R_2 = U_{R_1 + R_2} \frac{R_G}{U_G} = 99.9 \times \frac{1 \times 10^3}{0.1} \Omega = 999 \times 10^3 \Omega = 999 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = (R_1 + R_2) - R_1 = 999 \text{ k}\Omega - 499 \text{ k}\Omega = 500 \text{ k}\Omega$$

(2) 电阻的并联

将两个或两个以上的电阻元件连接在电路中的两个公共点之间, 称为并联电阻电路, 如图 1.10(b) 所示。从图 1.10(b) 中看出

$$I = I_1 + I_2 \quad (1.16)$$

从图 1.10(b) 还看出, 并联电阻 R_1 、 R_2 及并联电路的总电阻 R 承受同一个电压 U , 根据电阻的定义式(1.10), 有

$$R_1 = \frac{U}{I_1}, R_2 = \frac{U}{I_2}, R = \frac{U}{I} \quad (1.17)$$

式(1.16)两边同时除以电压 U , 变形后得

$$\frac{1}{\frac{U}{I}} = \frac{1}{\frac{U}{I_1}} + \frac{1}{\frac{U}{I_2}}$$

将式(1.17)代入上式,得

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \tag{1.18}$$

上式说明,并联电路的总电阻的倒数等于各并联电阻的倒数之和。当只有两个电阻 R_1 、 R_2 并联时,有

$$R = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \tag{1.19}$$

式(1.16)两边同时乘以电压 U ,得

$$P = UI = UI_1 + UI_2 = P_1 + P_2 \tag{1.20}$$

上式说明,并联电路的总电功率等于各并联电阻的电功率之和。

由式(1.17)及式(1.19)得

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I, I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \tag{1.21}$$

上式说明,并联电阻具有分流作用,且并联电阻上所分配的电流与其电阻值成反比,式(1.21)即为电阻分流公式。利用并联电阻可以分流的特点,可以通过在万用电表表头两端并联电阻的方法来扩大电流表的量程。

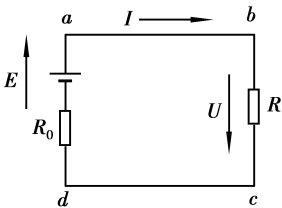


图 1.13

1.3.3 欧姆定律

一定温度下,线性电阻元件的端电压与其流过的电流成正比,这就是欧姆定律。

(1) 一段电路的欧姆定律

图 1.13 中的 bc 段是只有电阻元件的一段电路, bc 段电路两端的电压为 U ,流过该段电路的电流为 I 。图 1.13 中标示的电压 U 、电流 I 的方向均为实际方向,此时欧姆定律表示为

$$I = \frac{U}{R} \tag{1.22}$$

(2) 全电路欧姆定律

图 1.13 中的 $abcd$ 段电路构成了一个闭合电路,是一个电源 E 、中间环节(导线等)、负载 R 齐全的闭合电路,称为全电路。电源流过电流时产生热量而消耗电能,可以将电源中消耗电能的部分等效成一个电阻 R_0 , R_0 称为电源的内阻。全电路欧姆定律表示为

$$I = \frac{E}{R + R_0} \tag{1.23}$$

1.3.4 焦耳定律

电阻元件流过电流时,电阻元件吸收电能并全部转换成热能,使电阻元件发热。电阻元件的发热量 Q 与其吸收的电能 W 相等。由式(1.8)、式(1.9)及式(1.22)可以得出电阻元件在 $t_1 \sim t_2$ 时间内的发热量为