

高职高专机电类
工学结合模式教材

电工电子技术

姜献忠 崔 玫 主 编
李 娟 陈亚梅 副主编

清华大学出版社

第2版
教育部推荐教材
“十二五”普通高等教育本科规划教材

电工电子技术

第2版

高职高专机电类
工学结合模式教材

电工电子技术

姜献忠 崔 玫 主 编
李 娟 陈亚梅 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书采用项目式结构和“教、学、做”一体化模式。全书共分为 11 个项目,包括电工技术、电子技术两大部分内容。其中,电工技术部分包括直流电路、正弦交流电路、变压器、电动机等项目的性能与测试;电子技术部分包括半导体器件、三极管放大电路、集成运算放大电路、直流稳压电源、组合逻辑电路、时序逻辑电路、数/模和模/数转换器等项目的性能与测试。

本书可作为高职高专院校机电一体化、电气自动化、机械设计与制造、数控技术、楼宇智能化、汽车运用技术等专业的电工电子技术基础课程的教材,也可供其他相关专业选用和有关技术人员参考,还可供自学者使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/姜献忠,崔玫主编. —北京:清华大学出版社,2013.1

(高职高专机电类工学结合模式教材)

ISBN 978-7-302-29887-8

I. ①电… II. ①姜… ②崔… 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. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 198657 号

责任编辑:刘翰鹏

封面设计:傅瑞学

责任校对:袁 芳

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795764

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:18.5

字 数:423 千字

版 次:2013 年 1 月第 1 版

印 次:2013 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:37.00 元

产品编号:040048-01

为适应高职高专高素质技能型人才培养的需要,编者根据多年来的教学 and 实践经验编写了本教材。电工电子技术是工科非电类专业的一门重要的专业基础课,具有实用性、技术性强的特点。

本书注重实用性、通用性、实践性和先进性,贯彻“教、学、做”一体化模式。在知识内容上以“必需”和“够用”为原则;在电路分析过程中,一般不做烦琐的理论推导,有时只给出定性的结论;在实践环节以基本技能和应用为主。

本书在内容安排上,按照直流电路、交流电路、低压电器控制电路、模拟电路、数字电路的顺序编写,分为11个项目,每个项目中又分为若干个任务,每个任务中在理论阐述之后有相应的实践测试项目,一方面为了加强对理论知识的理解,另一方面为了培养学生的实践动手能力。

本书由无锡商业职业技术学院的姜献忠、崔玫担任主编,姜献忠编写了项目1、项目8、项目9、项目11,并对全书做了统稿;崔玫编写了项目2(任务2.3)、项目5、项目6、项目7;无锡商业职业技术学院的李娟、陈亚梅担任副主编,李娟编写了项目2(任务2.2)、项目3、项目4;陈亚梅编写了项目2(任务2.1)、项目10。

本书在编写过程中,参考了相关的电工技术、电子技术方面的教材,在此对这些作者表示诚挚的感谢。由于编写时间较紧,教材涉及面较宽,加上编者水平有限,不妥之处恳请读者批评指正。

编者

2012年6月



项目 1 直流电路的性能与测试	1
任务 1.1 简单直流电路的性能与测试	1
1.1.1 简单直流电路的性能	1
1.1.2 简单直流电路的测试	12
任务 1.2 复杂直流电路的性能与测试	17
1.2.1 复杂直流电路的性能	17
1.2.2 复杂直流电路的测试	24
任务 1.3 暂态电路的性能与测试	26
1.3.1 暂态电路的性能	26
1.3.2 暂态电路的测试	35
小结	38
习题	39
项目 2 正弦交流电路的性能与测试	44
任务 2.1 正弦交流电路的性能与测试	44
2.1.1 正弦交流电路的性能	44
2.1.2 正弦交流电路的测试	58
任务 2.2 三相正弦交流电路的性能与测试	64
2.2.1 三相正弦交流电路的性能	65
2.2.2 三相正弦交流电路的测试	71
任务 2.3 安全用电常识	73
2.3.1 电流对人体的伤害	73
2.3.2 常见的触电情况	74
2.3.3 常用安全用电措施	75
小结	76
习题	77
项目 3 变压器的性能与测试	81
任务 3.1 变压器的性能与测试	81
3.1.1 变压器的性能	81
3.1.2 变压器的测试	93

小结	93
习题	94
项目 4 电动机的性能与测试	95
任务 4.1 三相异步电动机的性能与测试	95
4.1.1 三相异步电动机的性能	95
4.1.2 三相异步电动机的测试	106
任务 4.2 三相异步电动机的控制线路与测试	108
4.2.1 三相异步电动机的控制线路	108
4.2.2 三相异步电动机控制线路测试	120
任务 4.3 其他电动机的性能	124
小结	129
习题	130
项目 5 半导体器件的性能与测试	133
任务 5.1 二极管的性能与测试	133
5.1.1 二极管的性能	133
5.1.2 二极管的测试	139
任务 5.2 三极管的性能与测试	141
5.2.1 三极管的性能	141
5.2.2 三极管的测试	145
任务 5.3 场效应管的性能与测试	146
5.3.1 场效应管的性能	146
5.3.2 场效应管的测试	152
任务 5.4 晶闸管的性能与测试	153
5.4.1 晶闸管的性能	153
5.4.2 晶闸管的测试	155
小结	156
习题	156
项目 6 三极管放大电路的性能与测试	159
任务 6.1 基本放大电路的性能与测试	159
6.1.1 共发射极放大电路的性能	159
6.1.2 共射放大电路的测试	166
6.1.3 共集电极放大电路的性能	167
6.1.4 共集电极放大电路的测试	169
6.1.5 共基极放大电路的性能	170
6.1.6 共基极放大电路的测试	171

6.1.7 多级放大电路的性能	172
任务 6.2 场效应管放大电路的性能与测试	174
6.2.1 场效应管放大电路的性能	174
6.2.2 场效应管放大电路的测试	176
任务 6.3 反馈放大电路的性能与测试	177
6.3.1 负反馈放大电路的性能	177
6.3.2 负反馈对放大电路性能影响的测试	182
任务 6.4 功率放大电路的性能与测试	183
6.4.1 功率放大电路的性能	183
6.4.2 功率放大电路的测试	187
小结	188
习题	188
项目 7 集成运算放大电路的性能与测试	192
任务 7.1 差分放大电路的性能与测试	193
7.1.1 差分放大电路的性能	193
7.1.2 差分放大电路的测试	195
任务 7.2 集成运算放大电路的性能与测试	196
7.2.1 集成运算放大电路的性能	196
7.2.2 集成运算放大电路的测试	203
小结	204
习题	205
项目 8 直流稳压电源的性能与测试	208
任务 8.1 整流电路的性能与测试	209
8.1.1 整流电路的性能	209
8.1.2 整流电路的测试	211
任务 8.2 滤波电路的性能与测试	212
8.2.1 滤波电路的性能	212
8.2.2 滤波电路的测试	214
任务 8.3 稳压电路的性能与测试	215
8.3.1 稳压电路的性能	215
8.3.2 稳压电路的测试	218
小结	219
习题	219
项目 9 组合逻辑电路的性能与测试	223
任务 9.1 门电路的性能与测试	223

9.1.1 门电路的性能	223
9.1.2 门电路的测试	231
任务 9.2 组合逻辑电路的性能与测试	232
9.2.1 组合逻辑电路的性能	232
9.2.2 组合逻辑电路的测试	240
小结	242
习题	243
项目 10 时序逻辑电路的性能与测试	245
任务 10.1 触发器的性能与测试	245
10.1.1 触发器的性能	245
10.1.2 触发器的测试	251
任务 10.2 寄存器的性能与测试	252
10.2.1 寄存器的性能	252
10.2.2 寄存器的测试	254
任务 10.3 计数器的性能与测试	255
10.3.1 计数器的性能	255
10.3.2 计数器的测试	261
任务 10.4 脉冲发生器的性能与测试	262
10.4.1 脉冲发生器的性能	262
10.4.2 脉冲发生器的测试	266
小结	266
习题	266
项目 11 数/模和模/数转换器的性能与测试	269
任务 11.1 D/A 转换器的性能与测试	270
11.1.1 D/A 转换器的性能	270
11.1.2 D/A 转换器的测试	274
任务 11.2 A/D 转换器的性能与测试	276
11.2.1 A/D 转换器的性能	276
11.2.2 A/D 转换器的测试	282
小结	283
习题	284
参考文献	286

直流电路的性能与测试

学习目标

- (1) 熟悉直流电路的基本概念、基本物理量;
- (2) 理解基尔霍夫基本定律;
- (3) 掌握用支路电流法、叠加定理、戴维南定理分析直流电路的方法。

工作任务

- (1) 万用表的使用;
- (2) 直流稳压电源的使用;
- (3) 电阻、电容、电感元件的识别;
- (4) 直流电压、直流电流的测试;
- (5) 基尔霍夫定律、戴维南定理和叠加定理的验证测试;
- (6) 电容充放电过程的测试。

任务 1.1 简单直流电路的性能与测试

无论是在人们的日常生活中还是在工业生产中,依靠电能工作的电气设备随处可见,每一种电气设备都要构成一定形式的电路,虽然电路的形式各异,但都遵循相同的规律与定律。学习使用电路的基本定律来分析电路是电气工程技术人员的基本技能。

1.1.1 简单直流电路的性能

1. 电路

(1) 电路的组成

电路是由各种电气设备和元器件按一定方式连接起来,为电流流通提供的路径。电路一般由电源、负载和中间环节组成。

① 电源：电路中提供电能或信号的设备。它通常将非电能转换为电能，如干电池、蓄电池、发电机、信号源等。

② 负载：电路中使用电能的设备或元器件。它通常将电能转换为其他形式的能量，如电灯、电炉、电动机等。

③ 中间环节：中间环节连接于电源与负载之间。它通常实现电能的传输与信号的处理，如导线、开关、熔断器、放大器等。

日常生活中使用的手电筒就是一个最简单的实用电路，如图 1-1(a) 所示。它由电池（电源）、电灯（负载）、开关和导线（中间环节）所组成。

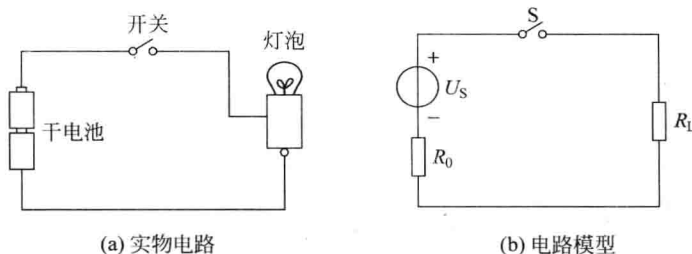


图 1-1 简单直流电路

(2) 电路的作用

实际使用的电路一般起到以下两个方面的作用。

① 实现电能的传输、分配与转换。如发电厂发出的电能通过电缆传输分配到各种电器。这种电路往往是工作电压高、传输电能大，常称为强电电路。

② 实现信号的传递与处理。如电视机电路，由电视台发出信号被电视机接收电路接收，经电路处理后，输出图像和声音信号。这种电路的工作电压低、电流小，传输电能小，常称为弱电电路。

(3) 电路模型

为便于电路的分析与计算，常把实际电路的元件近似化、理想化，在一定的条件下忽略实际元件的次要性质，用其主要特征来表征，将其看成理想的电路元件。理想电路元件具有单一的电或磁的性质，可用简单的数学关系式予以描述。如电阻器、灯泡、电炉等实际电路元器件，就可以用电阻元件这一理想化的模型来近似表示；电感线圈忽略其电阻，就可以用电感元件来表示；电容器忽略其漏电，就可以用电容元件来表示；此外实际电源也可以用理想电压源和电流源来表示。

由理想元件组成的电路，就称为实际电路的电路模型。如图 1-1(b) 所示就是手电筒的电路模型。以后未加特殊说明，所说的电路均指由理想元件组成的电路模型。

2. 电流和电压

(1) 电流

电荷的定向运动形成电流。电流的实际方向习惯上指正电荷定向运动的方向，如图 1-2 所示。电流的大小用电流强度来表示，电流强度简称电流。电流强度在数值上等于单位时间内通过导线某一截面的电荷量。

电流有直流和交流之分,广义的直流电流是指方向不随时间变化的电流,而大小和方向都不随时间变化的电流称为恒定电流,通常简称直流电流,用符号 I 表示,则

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

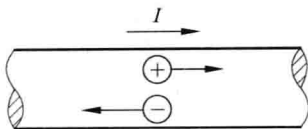


图 1-2 电流的方向

式(1-1)中, Q 为时间 t 内通过导线某一截面的电荷量。

对于大小和方向都随时间变化的电流,称为交流电流,用符号 i 表示,则

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

式(1-2)中, dq 为时间 dt 内通过导线某一截面的电荷量。

图 1-3 所示为几种常见的电流波形,其中图 1-3(a)和图 1-3(b)所示均为直流电流,常记为 DC,图 1-3(c)和图 1-3(d)所示均为交流电流,常记为 AC。

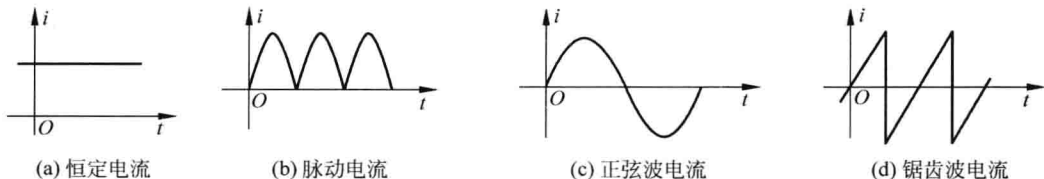


图 1-3 几种电流波形

国际单位制中,电流的单位是安培(A)。常用的单位有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A),其换算关系如下:

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

(2) 电压

如图 1-4 所示电路中,a、b 两点间的电压在数值上等于将单位正电荷从电路中 a 点移到电路中 b 点时电场力所做的功,电压的实际方向习惯上指电场力做功使正电荷移动的方向。

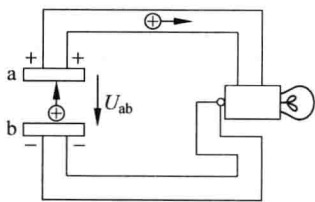


图 1-4 电场力做功

电压有直流和交流之分。广义的直流电压是指方向不随时间变化的电压,而大小和方向都不随时间变化的电压称为恒定电压,通常都简称直流电压,用符号 U 表示。a、b 两点间直流电压用 U_{ab} 表示,则

$$U_{ab} = \frac{W}{Q} \quad (1-3)$$

式(1-3)中, W 为电场力把正电荷 Q 从电路中 a 点移到电路中 b 点时所做的功。

对于大小和方向都随时间变化的电压,称为交流电压,用符号 u 表示。a、b 两点间的交流电压用 u_{ab} 表示,则

$$u_{ab} = \frac{dW_{ab}}{dq} \quad (1-4)$$

式(1-4)中, dW_{ab} 为电场力把正电荷 dq 从电路中 a 点移到电路中 b 点时所做的功。

在电路中任选一点作为参考点,并规定参考点电位为零,则其他各点到参考点的电压叫做该点的电位,用符号 V 表示。例如,电路中 a 、 b 两点的电位分别表示为 V_a 和 V_b ,则 a 、 b 两点间的电压与 a 、 b 两点的电位有以下关系

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-5)$$

引入电位概念后,电压的实际方向可表达成由高电位指向低电位,所以电压常称为电压降。通常高电位用“+”表示,低电位用“-”表示。

国际制单位中,电压和电位的单位为伏特(V)。常用的单位有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V),其换算关系为

$$1\text{kV}=10^3\text{V}, \quad 1\text{mV}=10^{-3}\text{V}, \quad 1\mu\text{V}=10^{-6}\text{V}$$

(3) 电流和电压参考方向

在电路分析与计算时,电流、电压的实际方向往往事先难以确定,这时可任意假定一个电流或电压的方向,这个假定方向称为参考方向,通常用箭头或极性标注在电路上,如图 1-5 所示。若电路分析与计算得到的电流或电压为正值,表示实际方向与参考方向一致;若为负值,则相反。

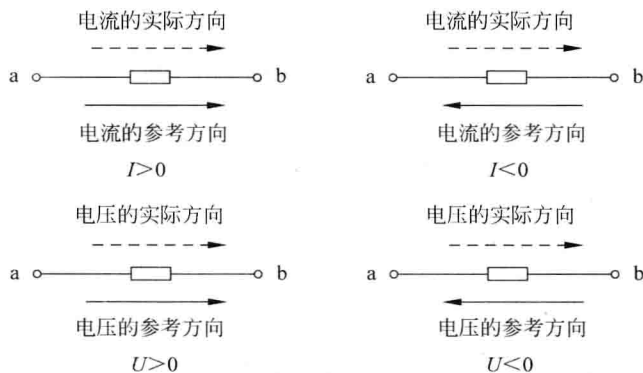


图 1-5 电流、电压的参考方向与实际方向

应当指出,电流与电压的参考方向可以任意假设,彼此无关。但为了方便起见,通常将电流与电压的参考方向假设为一致,称关联参考方向;否则,称非关联参考方向。

参考方向是有关电路分析计算的一个重要概念,不规定参考方向而讨论电流、电压的正负是没有意义的。

例 1.1 在图 1-6 中,电流参考方向已标出,且 $I_1=2\text{A}$, $I_2=-2\text{A}$,试指出电流的实际方向。

解: $I_1=2\text{A}>0$,则 I_1 的实际方向与参考方向相同,电流由 a 点流向 b 点。

$I_2=-2\text{A}<0$,则 I_2 的实际方向与参考方向相反,电流由 b 点流向 a 点。

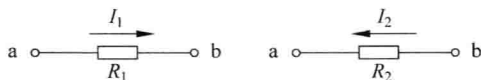


图 1-6 例 1.1 的图

例 1.2 在图 1-7 中,电压参考方向已标出,且 $U_1=10\text{V}$, $U_2=-10\text{V}$,试指出电压的实际方向。

解: $U_1=10\text{V}>0$,表明 U_1 的实际方向与参考方向相同,电压由 a 点指向 b 点,即 a 点电位高于 b 点电位。

$U_2=-10\text{V}<0$,表明 U_2 的实际方向与参考方向相反,b 点电位高于 a 点电位,即电压由 b 点指向 a 点。

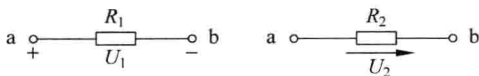


图 1-7 例 1.2 的图

3. 欧姆定律

欧姆定律指出,电路中流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比,它是电路分析中的重要定律之一。

如图 1-8(a)所示,当电压与电流为关联参考方向时,欧姆定律可用式(1-6)表示

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-6)$$

如图 1-8(b)所示,当电压与电流为非关联参考方向时,则欧姆定律可用式(1-7)表示

$$I = -\frac{U}{R} \quad (1-7)$$

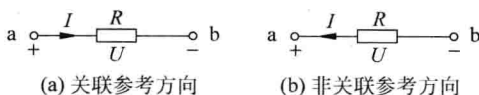


图 1-8 欧姆定律

电流、电压的参考方向不同时,欧姆定律的表达式也不同。实际应用时,通常将电流、电压参考方向假设为关联。

在国际制单位中,电阻的单位是欧姆(Ω)。对于阻值很大的电阻,可用千欧($\text{k}\Omega$)、兆欧($\text{M}\Omega$)为单位,它们的关系是

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

例 1.3 如图 1-9 所示电路,应用欧姆定律求电阻 R 。

解: 在图 1-9(a)中,由于电压与电流参考方向关联

$$R = \frac{U}{I} = \frac{10}{2} = 5(\text{k}\Omega)$$

在图 1-9(b)中,由于电压与电流参考方向非关联

$$R = -\frac{U}{I} = -\frac{10}{-2} = 5(\text{k}\Omega)$$

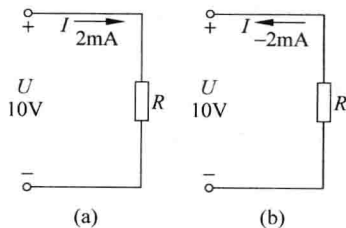


图 1-9 例 1.3 的图

4. 电能与电功率

(1) 电能

在导体两端加上电压,导体内部就建立了电场,电场力在推动自由电子定向移动中所

做的功称为电能。设导体两端的电压为 U , 通过导体横截面的电荷为 Q , 则电场力做功为 $W=QU$, 将 $Q=It$ 代入, 则

$$W = UI t \quad (1-8)$$

电场力做功的过程实际是电能转化为其他形式能的过程, 它遵守能量守恒定律。对于纯电阻电路, 电能全部转化为电阻的热能, 以热量的形式散发到周围空间。

国际制单位中, 电能的单位为焦耳(J)。工程上常以千瓦时(kWh) (俗称度) 为电能单位。

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ 千瓦时} = 3.6 \times 10^6 \text{ 焦耳}$$

(2) 电功率

电场力所做的功跟完成这些功所用时间的比值叫做电功率, 用符号 P 表示。

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-9)$$

在直流电阻电路中, 电阻消耗的功率还可表达为

$$P = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-10)$$

国际制单位中, 电功率的单位为瓦(W)。实际应用中, 也用千瓦(kW)、毫瓦(mW)等单位。

电器设备为了安全可靠地工作, 都规定电流、电压和功率的额定值。额定值通常由制造厂规定, 标明在产品的铭牌上, 设备只有在额定工作状态下运行, 才能确保其安全工作及使用寿命。

例 1.4 教室有 40W 日光灯 8 盏, 每天用电 4 小时, 一个月按 30 天计算, 问一个月耗电多少度? 若每度电收费 0.5 元, 一个月应付电费多少元?

解: 8 只灯的总功率为

$$P = 40 \times 8 = 320 (\text{W}) = 0.32 (\text{kW})$$

一个月的耗电量为

$$W = Pt = 0.32 \times 4 \times 30 = 38.4 (\text{kWh})$$

应付电费为

$$38.4 \times 0.5 = 19.2 (\text{元})$$

例 1.5 标称值为“1/4W、10kΩ”的金属膜电阻, 其允许通过的最大工作电流是多少? 能承受的最大工作电压是多少?

解: 该电阻的额定功率为 1/4W, 正常使用时, 实际功率不能超过额定值。因此, 允许通过的最大工作电流为

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{1}{4} \times 10^{-4}} = 5 (\text{mA})$$

能承受的最大工作电压为

$$U = \sqrt{P \times R} = \sqrt{\frac{1}{4} \times 10^4} = 50 (\text{V})$$

5. 电阻的连接

(1) 电阻的串联

两个或两个以上电阻一个接一个顺序相连, 在这些电阻中通过同一电流, 这样的连接

方式称为电阻的串联。

如图 1-10 所示,串联的各个电阻的电流均相等,总电压为各个电阻电压之和,即

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n = IR_1 + IR_2 + \cdots + IR_n = I(R_1 + R_2 + \cdots + R_n)$$

根据欧姆定律,可以用一个等效电阻 R 来代替串联的各个电阻,该等效电阻等于各个串联电阻之和,即

$$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n \quad (1-11)$$

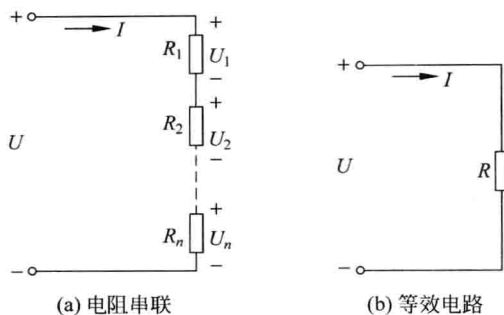


图 1-10 串联电阻及其等效电路

若两个电阻 R_1 和 R_2 串联时,电阻上的分压分别为

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= IR_1 = \frac{U}{R} R_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \\ U_2 &= IR_2 = \frac{U}{R} R_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \end{aligned} \right\} \quad (1-12)$$

可见串联电阻上电压的分配与电阻成正比。电阻串联的应用很多,例如,负载额定电压低于电源电压时,可给负载串联一个适当大小的电阻,以分担部分电压,起降压作用。有时为限制负载中流过的过大电流,也可给负载串联电阻,起到限流作用。

(2) 电阻的并联

两个或两个以上的电阻连接在两个公共的节点之间,在各个并联支路上,受到同一电压的作用,这样的连接方式称为电阻的并联。

如图 1-11 所示,并联的各个电阻的电压均相等,总电压为各个电阻电压之和,即

$$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \cdots + \frac{U}{R_n} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n} \right)$$

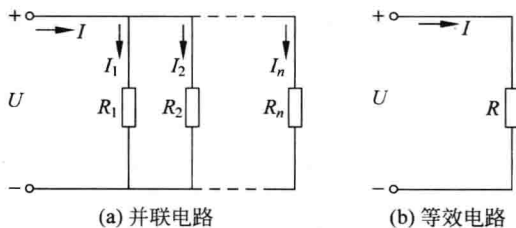


图 1-11 并联电阻等效电路

根据欧姆定律,可以用一个等效电阻 R 来代替并联的各个电阻,该等效电阻的倒数等于各个并联电阻的倒数之和,即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n} \quad (1-13)$$

若两个电阻 R_1 和 R_2 并联时,电阻上的分流分别为

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{U}{R_1} = \frac{IR}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \\ I_2 &= \frac{U}{R_2} = \frac{IR}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \end{aligned} \right\} \quad (1-14)$$

可见并联电阻上电流的分配与电阻成反比。电阻并联方式的应用也很广泛,例如,工厂的动力负载,民用电器照明负载等,都是以并联方式接入电网。测量仪表测量电流时,也是通过并联分流电阻的方式来扩大电流量程。

例 1.6 如图 1-12(a)所示,电路中 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10\text{k}\Omega$,试求 a、b 两端的等效电阻 R_{ab} 。

解: 根据电阻串联和并联的结构特点,将图 1-12(a)电路等效变换为图 1-12(b)。

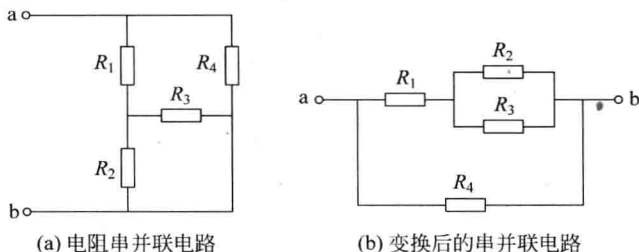


图 1-12 例 1.6 的图

由图 1-12(b)所示电路可得

$$R_{ab} = (R_1 + R_2 // R_3) // R_4 = 6(\text{k}\Omega)$$

6. 电压源与电流源

电源是向电路提供电能或信号的设备。实际电源通常可以用两种模型来等效,一是电压源,二是电流源。电压源和电流源在满足一定条件时可以等效互换。

(1) 电压源

如图 1-13 虚线框所示,电压源由源电压 U_s 与内阻 R_0 串联组成。图 1-13 所示电路中,电压源的输出电压 U 和输出电流 I 的关系为

$$U = U_s - IR_0 \quad (1-15)$$

式(1-15)称为电压源的外特性关系式。当负载开路($R_L \rightarrow \infty$)时,则 $I=0, U=U_s$; 当负载短路($R_L=0$)时,则 $U=0, I=U_s/R_0$ 。当电压源内阻 $R_0=0$ 时,不管输出电流 I 如何变化,电压源输出电压 U 恒等于源电压 U_s ,这样的电压源称理想电压源或称恒压源。图 1-14 所示为电压源外特性曲线。