

湖南省职业教育与成人教育规划教材

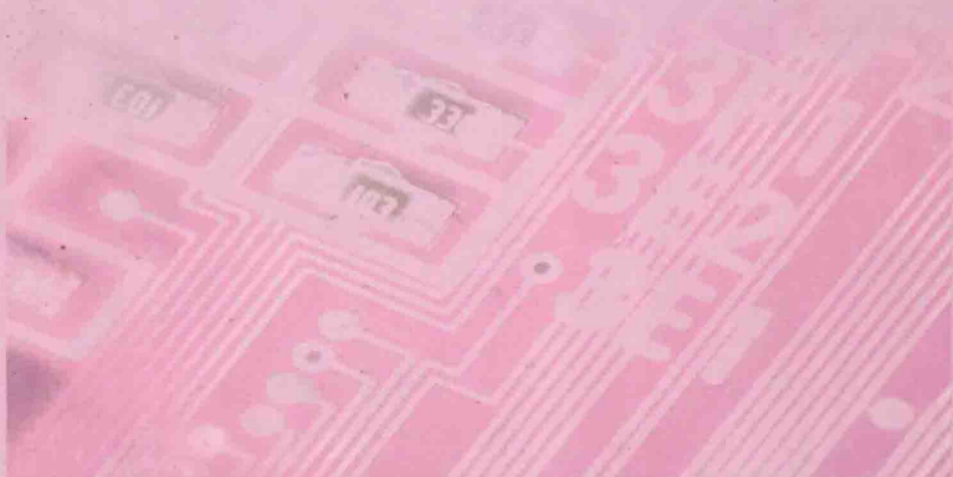


电工与电子技术

DGYDZJS

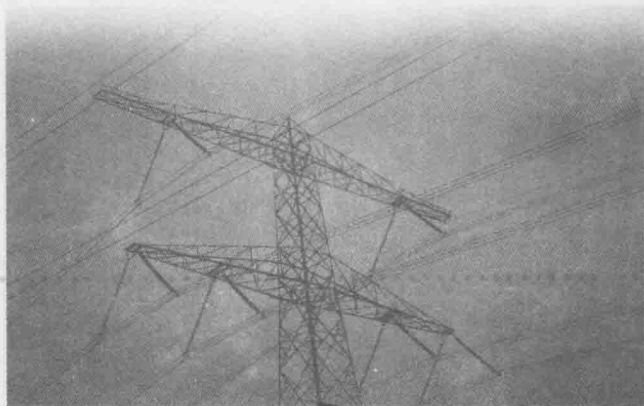
[中等职业教育与五年制高等教育通用]

湖南省职业教育与成人教育教材编审委员会 编审



湖南科学技术出版社
Hunan science & technology press

湖南省职业教育与成人教育规划教材



电工与电子技术

DGYDZJS

[中等职业教育与五年制高等教育通用]

湖南省职业教育与成人教育教材编审委员会 编审

主 编 巴 扬

副主编 陈应华

主 审 孙红英

编写者 巴 扬 陈应华 陈 越

刘国联 刘晓魁 李高明

邓 纘 陈 莉

职教教材，版权所有，不得翻印、盗印。
发现盗版举报有奖。(举报电话：0731-4462773 4375852)

湖南省职业教育与成人教育规划教材
(中等职业教育与五年制高等教育通用)

电工与电子技术

编 审：湖南省职业教育与成人教育教材编审委员会

责任编辑：陈澧晖

出版发行：湖南省科学技术出版社

社 址：长沙市湘雅路276号

<http://www.hnstp.com>

印 刷：湖南省星城彩色印刷有限公司印装

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址：长沙市书院南路397号

邮 编：410002

出版日期：2003年12月第2版 2005年12月第15次印刷

开 本：787mm×1092mm 1/16

印 张：14.75

书 号：ISBN 7-5357-1354-8/TM·14(课)

定 价：16.50元

(版权所有·翻印必究)

湖南省职业教育与成人教育教材编审委员会

湖南省职业教育与成人教育教材编审委员会

顾 问 许云昭 蒋作斌 张作功

主任委员 王 键 张学军

副主任委员 葛建中 唐国庆

总 审 葛建中

副 总 审 彭四龙 贺安溪

总 编 欧阳河

副 总 编 梁炆松 成力争

主 审

主 编

审 主

参 审 李 莉 李 莉 李 莉

李 莉 李 莉 李 莉

李 莉 李 莉

内 容 简 介

本书是湖南职业教育与成人教育规划教材，供中等职业学校和五年制高等职业教育工科非电类专业电工与电子技术课程使用，也可作为培训教材和工程技术人员的参考书。

本书内容多、覆盖面广，包括电工技术与电子技术两大部分。电工技术部分内容为：直流电路、正弦交流电路、磁路与变压器、电动机、常用低压电器与控制电路、供电及安全用电；电子技术部分内容为：半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、直流电源电路、数字电路基本知识、常用逻辑电路。各章后均附有相应的思考与练习题，书后还附有实训内容及要求。

前 言

会员委审融村造育培人职己育培业职省南湖

日 01 年 2002

本书是根据教育部 2000 年 8 月颁布的《中等职业学校工科非电类专业电工与电子技术教学大纲》，并结合湖南省中等职业学校和五年制高等职业教育具体情况编写的。可供全省中等职业教育和五年制高等职业教育工科非电类专业学生使用，也可作为培训教材。本书包括电工技术与电子技术两部分内容，教学参考时数为 70~100 学时（包括实验），各专业可根据教学计划安排进行适当取舍。

本书在编写过程中，力图体现中等职业学校教学的特点和学生的实际需要，又力求反映现代电工与电子技术的发展。因此，在内容深度和广度等方面，对教材内容及编写方式重新进行了一些处理。如：对定律与定理的应用均阐述了步骤和注意事项。内容安排上重点突出，条理清晰，逻辑分明，编写语言浅显易懂，简洁明了。每章后均附有思考与练习题，从不同侧面、不同角度提出问题，使学习者能更好地理解、掌握或熟悉基本理论、基本概念、基本运算。本书既便于教师组织教学，又便于学生的学习。

电工与电子技术是一门实践性较强的课程，本教材后还附有实训教学内容的安排。各校可根据这些内容结合学校的具体情况组织实训教学。

本教材是在湖南省教育厅领导下，由湖南省职业教育与成人教育教材编审委员会组织编审的，湖南省教科院职教研究所陈拥贤同志为责任编审。本书由株洲铁路机械学校巴扬同志任主编，株洲铁路机械学校陈应华同志任副主编，湖南师大职业技术学院孙红英同志任主审。主要编写人员有：湖南生物机电职业技术学院陈越同志（第 1 章及实训 1），陈应华同志（第 2、3 章及实训 2、3、4），株洲铁路机械学校刘国联同志（第 4、11 章及实训 10），湖南铁道职业技术学院邓颀同志（第 5、6 章及实训 5），长

目 录	第 1 章 直流电路	(1)
	1.1 电路与电路的物理量	(1)
	1.2 电阻及欧姆定律	(4)
	1.3 电阻的连接	(5)
	1.4 电功率、电能和电路的三种状态	(10)
	* 1.5 电压源与电流源	(13)
	1.6 基尔霍夫定律	(16)
	* 1.7 叠加原理	(20)
	1.8 戴维南定理	(22)
	思考与练习	(24)
	第 2 章 正弦交流电路	(28)
	2.1 正弦交流电的基本知识	(28)
	2.2 正弦交流电的相量表示法	(31)
	2.3 单一参数的正弦交流电路	(33)
	2.4 RLC 串联电路	(39)
	* 2.5 串联谐振电路	(43)
	2.6 三相交流电路	(45)
	思考与练习	(50)
	第 3 章 磁路与变压器	(54)
	3.1 铁磁材料与磁路	(54)
	3.2 单相变压器	(57)
	* 3.3 特殊变压器	(60)
	思考与练习	(62)
	第 4 章 电动机	(63)
	4.1 三相异步电动机结构和基本工作原理	(63)
	4.2 三相异步电动机的机械特性与铭牌	(67)
	4.3 三相异步电动机的使用	(70)
	4.4 单相异步电动机	(73)
	* 4.5 直流电动机	(75)
	思考与练习	(78)
	第 5 章 常用低压电器与控制电路	(81)
	5.1 常用低压电器	(81)
	5.2 三相异步电动机的正、反转控制	(85)
	5.3 三相异步电动机降压起动控制	(89)
	5.4 单相异步电动机的简单控制	(94)
	* 5.5 行程开关和限位控制电路	(97)
	思考与练习	(98)
	第 6 章 供电及安全用电	(101)
	6.1 供电系统与供电质量概述	(101)
	6.2 安全用电	(105)

(1)	思考与练习	(109)
(1)	第 7 章 半导体器件	(110)
(4)	7.1 晶体二极管	(110)
(2)	7.2 晶体三极管	(117)
(01)	7.3 晶闸管	(121)
(21)	*7.4 场效应管	(122)
(01)	思考与练习	(125)
(05)	第 8 章 基本放大电路	(128)
(55)	8.1 共发射极放大电路	(128)
(45)	*8.2 静态工作点稳定电路	(133)
(85)	8.3 射极输出器	(134)
(85)	*8.4 多级放大电路	(135)
(1E)	8.5 负反馈放大电路	(137)
(E4)	8.6 功率放大器	(140)
(0E)	思考与练习	(142)
(E4)	第 9 章 集成运算放大器	(145)
(24)	9.1 集成运算放大器	(145)
(02)	9.2 集成运算放大器组成的基本运算电路	(148)
(42)	*9.3 集成运算放大器非线性应用	(152)
(42)	思考与练习	(154)
(72)	第 10 章 直流电源电路	(156)
(00)	10.1 单相桥式整流与滤波电路	(156)
(50)	10.2 稳压电路	(159)
(E0)	10.3 晶闸管单相可控整流电路	(161)
(E0)	思考与练习	(164)
(70)	第 11 章 数字电路基本知识	(166)
(07)	11.1 数制与码制	(166)
(E7)	11.2 逻辑门电路	(169)
(27)	思考与练习	(174)
(87)	第 12 章 常用逻辑电路	(176)
(18)	12.1 组合逻辑电路的分析	(176)
(18)	12.2 译码器与显示器	(177)
(28)	12.3 触发器	(180)
(08)	12.4 寄存器	(184)
(40)	12.5 计数器	(187)
(70)	*12.6 555 定时器	(190)
(80)	思考与练习	(195)
(101)	实训内容	(199)
(101)	实训 1 基尔霍夫定律的验证	(199)
(201)	实训 2 日光灯电路与提高功率因数	(201)

实训 3	三相电路负载的连接	(203)
*实训 4	单相变压器使用实验	(206)
实训 5	三相异步电动机正、反转控制	(208)
实训 6	常用电子仪器的使用及二极管、三极管的简单 测试实验	(209)
*实训 7	单管电压放大电路的组装与调试	(211)
实训 8	运算放大器线性应用	(213)
实训 9	整流、滤波和稳压电路	(216)
实训 10	集成与非门逻辑功能及应用	(218)
*实训 11	计数、译码、显示电路	(220)

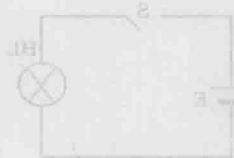


图 1-1-1 (a)

第1章 直流电路

本章主要介绍电路，电路的基本物理量，电路的基本定律，常用的电路分析方法。本章内容是电路分析与计算的基础。

1.1 电路与电路的物理量

1.1.1 电路及其组成

1. 电路

电路是电流流通的路径。它是由一些电气元件和设备按一定的方式组合而成的。

实际的电路形式很多，但就其功能而言，大致可分为两大类，即供电电路和电子电路。供电电路主要用来实现能量的转换、传输和分配。如常见的输配电线路和用户负载构成的电力系统。在这一系统中，发电机将其他形式的能量转换成电能，再通过变压器、输电线送到用户负载，负载又将电能转换成机械能（如电动机）、光能（如电灯）、热能（如电炉）等其他形式的能量，如图 1-1-1(a) 所示；电子电路主要用来实现信号的传送和处理。如电话线路、电视机等电子电路。这类电路将输入信号处理、放大后送到负载，负载将电信号转换成声音或图像等信号，如图 1-1-1(b) 所示。



(a) 电力系统供电电路



(b) 扩音机电路

2. 电路的组成

电路形式各种各样，但一般都由电源、负载和中间环节组成。电源是将其他形式的能量转换成电能的设备，如电池，发电机等。负载是将电能转换成其他形式能量的设备，如电灯、电动机和扬声器等。中间环节是介于电源与负载之间的传输、控制设备及保护装置，如输电导线、开关、熔断器等。

实际电路中使用的电气元件的电磁性能较为复杂,为了便于对实际电路进行分析和数学计算,我们将实际的电气元件和设备进行科学的抽象与概括,成为电路的理想元件,简称为元件。主要有电阻元件、电感元件、电容元件及电压源、电流源等等。由理想元件组成的电路称之为电路模型。今后简称为电路。在分析电路时,根据国家标准,用相应的符号表示各种电路元件,这样画成的图形称为电路图。如图 1-1-2 为手电筒电路。图 1-1-3 为最常用的几种理想电路元件的图形符号。

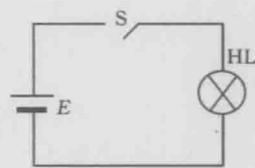


图 1-1-2 手电筒电路

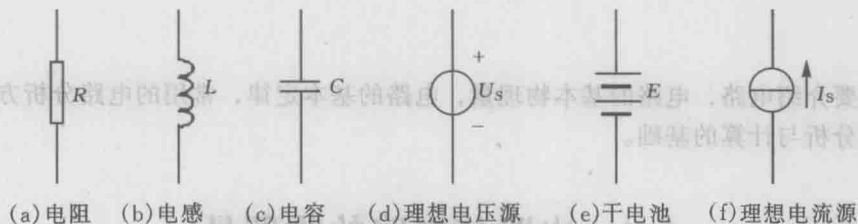


图 1-1-3 电路元件的图形符号

如果电路中的电压电流是恒定的,则称为直流电路,若电压电流随时间而变化,则称为交流电路。本章主要介绍直流电路,所分析的都是实际电路的电路模型。

1.1.2 电路的基本物理量

1. 电流

(1) 定义 电荷的定向运动形成电流。

(2) 电流的方向 习惯上规定正电荷移动的方向为电流的实际方向。即由电源正端出发回到电源负端。如图 1-1-4 (a) 所示。

(3) 电流的大小 衡量电流大小的物理量是电流强度,简称为电流。电流强度定义为:单位时间 (t) 内通过导体横截面的电荷量 (q),如图 1-1-4 (b) 所示。

大小和方向均不随时间变化的电流称为直流电流。直流电流用大写字母 I 表示,它与电荷量 q 之间的关系为

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

(4) 单位 在国际单位制中,电流的单位为 A (安培),简称安。大电流可用 kA (千安),小电流可用 mA (毫安)、 μ A (微安)、nA (纳安),它们之间的关系为

$$1\text{kA} = 10^3\text{A} \quad 1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A} = 10^9\text{nA}$$

(5) 参考方向 一个简单电路,电流的实际方向是较易判断的。但当电路较复杂时,电流的实际方向就很难直接看出。如果是交流电流,实际方向还会不断变化,因此,为了分析电路的方便,引出参考方向的概念。

参考方向(又称正方向)是在分析计算电路之前,先任意假定的方向。在电路图中,电流的

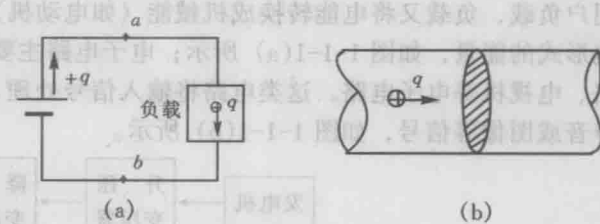


图 1-1-4 电荷运动示意图

参考方向用箭头表示。依据参考方向求解电路,若解得的电流为正值,说明电流的参考方向与实际方向一致;若解得的电流为负值,则说明参考方向与实际方向相反。如图 1-1-5 所示。

2. 电压

(1) 定义 电压是衡量电场力对电荷做功能力大小的物理量。在图 1-1-4 中,正电荷 q 在电场力作用下,从 a 端移动到 b 端时,电场力所做的功为 W ,则 a, b 两点之间的电压为

$$U = \frac{W}{q} \quad (1-1-2)$$

式 (1-1-2) 中电压为恒定值,称为直流电压,用大写字母 U 表示。

(2) 电压的方向 电压的实际方向规定为电场力移动正电荷的方向。正电荷被电场力从 a 移到 b 时,损失了电位能,所以 a 点的电位高于 b 点的电位,即电压的方向是由高电位指向低电位的,故电压又称为电压降。在电路图中,电压的方向可用箭头表示:从高电位端指向低电位端;或用极性符号表示:“+”表示高电位,“-”表示低电位;也可用双下标表示:如 U_{ab} ,表示该电压方向是从 a 指向 b 。如图 1-1-6 所示。

(3) 单位 在国际单位制中,电压的单位为 V (伏特),简称为伏。大电压可用 kV (千伏),小电压可用 mV (毫伏)、 μ V (微伏),它们的关系为

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

(4) 参考方向 与电流一样,在分析计算电路之前,各元件电压的实际方向事先难以判断,所以在分析电路之前,也要给电压设定一个参考方向。分析电路算出结果后,计算值为正,则参考方向与实际方向相同,计算值为负,则相反。

参考方向原则上是任意设定的,但为了分析计算的方便,对同一段电路或同一个元件(电源除外),通常将电流与电压的参考方向设为一致。当电压与电流的参考方向设为一致时,称为关联参考方向,否则称为非关联参考方向。如图 1-1-7 中 I_1 与 U_1 为关联参考方向, I_2 与 U_2 为非关联参考方向。

值得注意的是,电流和电压的参考方向是很重要的概念,在分析计算电路时,必须首先在电路上标出参考方向。虽然参考方向可任意选定,但一经选定,在分析和计算过程中就不能再改变。没有选定参考方向时,电流值或电压值前的“+”、“-”号无意义。

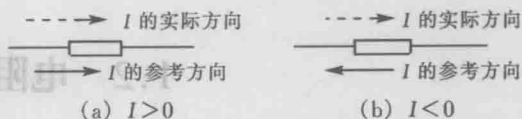


图 1-1-5 电流的参考方向与实际方向

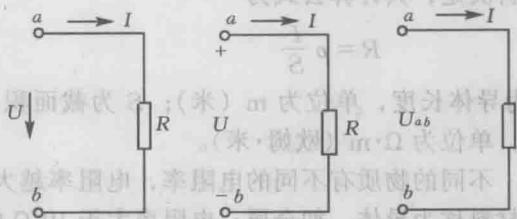


图 1-1-6 电压的表示方法



图 1-1-7 关联参考方向

1.2 电阻及欧姆定律

1.2.1 电阻元件

1. 电阻

电阻是表示导体对电流起阻碍作用的参数,用 R 表示。只具有电阻的二端元件称为电阻元件,也简称为电阻。实验表明:在一定温度下,金属导体的电阻由它的长度、截面积及材料决定,其计算公式为

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

l 为导体长度,单位为 m (米); S 为截面积,单位为 m^2 (平方米); ρ 为导体材料的电阻率,单位为 $\Omega \cdot m$ (欧姆·米)。

不同的物质有不同的电阻率,电阻率越大,表示导电性能越差。电阻率小于 $10^{-6} \Omega \cdot m$ 的材料称为导体,如金属;电阻率大于 $10^7 \Omega \cdot m$ 的材料称为绝缘体,如橡胶、塑料等。

【例 1-2-1】从配电间至实验室架设一条输电线,全长 $200m$,用截面为 $35mm^2$ 的铜导线,求输电线电阻为多少(铜的电阻率为 $1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$)。

解 输电线电阻为

$$R = \rho \frac{l}{S} = 1.7 \times 10^{-8} \frac{200}{35 \times (10^{-3})^2} \approx 0.1(\Omega)$$

可见,输电线较短时通常可忽略其电阻值,但远距离输电时,其输电线电阻增大,不可忽略。

2. 单位

在国际单位制中,电阻的单位是 Ω (欧姆),计量大电阻用 $k\Omega$ (千欧)或 $M\Omega$ (兆欧),它们的关系为:

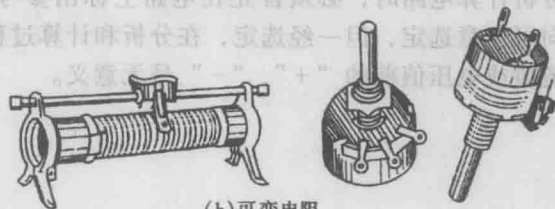
$$1M\Omega = 10^3k\Omega = 10^6\Omega$$

3. 常用电阻

电阻元件是一种最常见的电路元件。常用的碳膜电阻、绕线电阻、钨丝灯泡等都可看成电阻元件。如图 1-2-1 所示为常用固定电阻 [图 1-2-1 (a)] 和可变电阻 [图 1-2-1 (b)] 的外形图。



(a) 常用固定电阻



(b) 可变电阻

1.2.2 欧姆定律

1826年,德国科学家欧姆通过实验总结出:电阻中的电流与加在电阻两端的电压成正比,而与电阻值成反比,这一结论被称为欧姆定律,是分析电路的基本定律之一。

图 1-2-1 常用电阻的外形图

如果一个电阻 R 上的电流和电压方向是关联的 (如图 1-2-2 中 R_1)，则欧姆定律可表示为

$$U = IR \quad (1-2-2)$$

若一个电阻上的电压和电流参考方向是非关联的 (如图 1-2-2 中 R_2)，则欧姆定律应写成

$$U = -IR \quad (1-2-3)$$

其中负号表示 U 、 I 的参考方向相反。

【例 1-2-2】如图 1-2-3 所示电路中， $I_1 = 2\text{A}$ 、 $I_2 = -3\text{A}$ 、 $I_3 = -1\text{A}$ 、 $R_1 = 1\Omega$ 、 $R_2 = 3\Omega$ 、 $R_3 = 2\Omega$ 。

求 U_{ao} 、 U_{bo} 、 U_{co} 。

解 R_1 上的电压与电流是关联参考方向，则可用式 (1-2-2)：

$$U_{ao} = I_1 R_1 = 2 \times 1 = 2 \text{ (V)}$$

R_2 的电流 I_2 本身为负值，但 I_2 的方向与 U_{bo} 关联，故仍用式 (1-2-2)：

$$U_{bo} = I_2 R_2 = -3 \times 3 = -9 \text{ (V)}$$

R_3 的电压与电流是非关联参考方向，要用式 (1-2-3)：

$$U_{co} = -I_3 R_3 = -(-1) \times 2 = 2 \text{ (V)}$$

图 1-2-3 例 1-2-2 图

1.2.3 电阻元件的伏安特性

电阻元件的电流与电压的关系曲线称为电阻元件的伏安特性。其电压和电流比值恒定的电阻称为线性电阻，线性电阻的阻值是由其材料和结构决定的，其伏安特性为过原点的直线，如图 1-2-4(a) 所示。非线性电阻的阻值除了与其材料和结构有关外，还与其电压和电流有关，其伏安特性是一条曲线，如图 1-2-4(b) 所示为晶体二极管的伏安特性，它是非线性的。

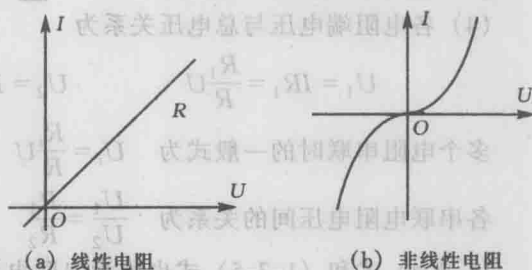


图 1-2-4 电阻及二极管的伏安特性

1.3 电阻的连接

电路的连接形式很多，最常见的有电阻的串联、并联及串并联的组合，即电阻的混联。

1.3.1 电阻的串联

1. 电阻的串联连接

几个电阻首尾相联，且各电阻上电流相等，则这几个电阻称为串联连接。如图 1-3-1(a) 所示， R_1 、 R_2 为串联。图 1-3-1(b) 中当 $I_3 = 0$ 时， R_1 、 R_2 为串联，但若 $I_3 \neq 0$ ，则 R_1 与 R_2 中间有了一条分流支路，它们就不是串联的了。



图 1-3-1 电阻的串联连接

2. 电阻串联电路的特点

以图 1-3-1(a) 电路为例, 电阻串联电路的特点为:

- (1) 通过各电阻的电流相同, 即 $I = I_1 = I_2$ (1-3-1)
- (2) 几个电阻串联可用一个等效电阻 R 代替, R 等于各电阻之和, 即 (1-3-2)

$$R = R_1 + R_2$$

多个电阻串联时的一般式为 $R = \sum_{i=1}^n R_i$ (1-3-2)

- (3) 总电压等于各电阻上电压之和, 即 (1-3-3)

$$U = U_1 + U_2$$

多个电阻串联时的一般式为 $U = \sum U_i$ (1-3-3)

- (4) 各电阻端电压与总电压关系为

$$U_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R} U \quad U_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R} U$$

多个电阻串联时的一般式为 $U_i = \frac{R_i}{R} U$ (1-3-4)

各串联电阻电压间的关系为 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$ (1-3-5)

(1-3-4) 式和 (1-3-5) 式也称为串联电路的分压公式。显然电阻值越大, 分得的电压就越高。

电阻串联应用较多, 如在电工测量中, 用串联电阻分压来扩大电压表的量程; 在电子电路中, 用串联电阻组成分压器以分取部分信号电压。

【例 1-3-1】 有一只量程为 10V 的电压表, 内阻 $R_g = 20\Omega$ 。欲将其电压量程扩大到 250V, 求需串联的分压电阻值。

解 如图 1-3-2 所示, 依题意, 虚线框内为量程 10V 的电压表, 串联电阻 R 后, 应能测 250V 电压。表的内阻只能承受 10V, 所以分压电阻应承受 240V。

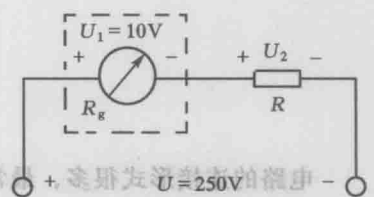


图 1-3-2 例 1-3-1 图

由分压公式 (1-3-4) 式: $U_1 = \frac{R_g}{R_g + R} U$

$$10 = \frac{20 \times 10^3}{20 \times 10^3 + R} \times 250$$

$$R = 480 \times 10^3 (\Omega) = 480 (\text{k}\Omega)$$

或根据 (1-3-5) 式 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_g}{R}$

求得 $R = 480 \text{ (k}\Omega\text{)}$

1.3.2 电阻的并联

1. 电阻的并联连接

两个或两个以上的电阻首端与首端相连，尾端与尾端相连，则称这些电阻为并联。

如图 1-3-3 所示，图 1-3-3(a) 中的 R_1 与 R_2 为并联，图 1-3-3(b) 中的 R_1 与 R_2 ， R_3 与 R_4 均为并联，图 1-3-3(c) 中 R_1 与 R_2 不是并联。

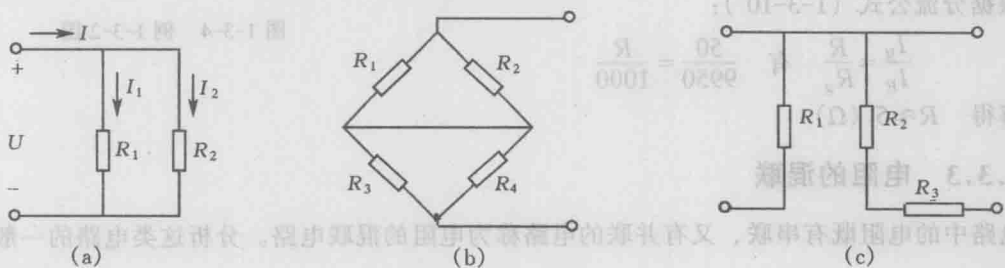


图 1-3-3 电阻的并联连接

2. 电阻并联电路的特点

以图 1-3-3(a) 为例，电阻并联电路的特点为：

(1) 各电阻端电压相同，即 $U = U_1 = U_2$ (1-3-6)

(2) 总电流等于各电阻电流之和，即

$$I = I_1 + I_2$$

多个电阻并联时的一般式为 $I = \sum I_i$ (1-3-7)

(3) 两个电阻并联，可用一个等效电阻代替，等效电阻的倒数等于各电阻倒数之和，即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}, \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

多个电阻并联时的一般式为 $\frac{1}{R} = \sum \frac{1}{R_i}$ (1-3-8)

(4) 各电阻中电流与总电流关系为

$$I_1 = \frac{R}{R_1} I, \quad I_2 = \frac{R}{R_2} I$$

写成一般式为 $I_i = \frac{R}{R_i} I$ (1-3-9)

两个电阻电流间的关系为 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$ (1-3-10)

(1-3-9) 式和 (1-3-10) 式又称为并联电路的分流公式。显然，电阻越小分配到电流越大。

只有两电阻并联时，有

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

电阻并联应用也很多，如电灯、电动机等都是并联接入电路中。在电工测量中，用电阻并联的分流作用，能扩大电流表的量程。