

DianGongDianZi
ShiYongJiShu



21世纪中等职业教育精品教材

电工电子

实用技术

主 编 孙国宏

副主编 郝尚文 温绍亮

山西出版集团
山西经济出版社



21世纪中等职业教育精品教材

电工电子 实用技术

主 编 孙国宏

副主编 郝尚文 温绍亮

山西出版集团
山西经济出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工电子实用技术/孙国宏主编. —太原:山西经济出版社,2008.3
21 世纪中等职业教育精品教材
ISBN 978 - 7 - 80636 - 990 - 6

I .电… II .孙… III .①电工技术—专业学校—教材
②电子技术—专业学校—教材 IV .TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 027813 号

电工电子实用技术

主 编:孙国宏
责任编辑:李慧平
装帧设计:王云翠

出 版 者:山西出版集团·山西经济出版社
地 址:太原市建设南路 21 号
邮 编:030012
电 话:0351 - 4922133(发行中心)
0351 - 4922085(综合办)
E - mail: sxjfx@163.com
jingjshb@sxskcb.com
网 址: www.sxjjcb.com

经 销:新华书店
印 刷:山西科林印刷有限公司

开 本:787 毫米 × 1092 毫米 1/16
印 张:5
字 数:120 千字
印 数:1 - 2000 册
版 次:2008 年 3 月第 1 版
印 次:2008 年 3 月第 1 次印刷
书 号:ISBN 978 - 7 - 80636 - 990 - 6
定 价:10.00 元

前 言

本教材从大多数中职学生的认知水平出发,注重教材的实用性,理论知识以“必需、够用”为原则,突出应用能力和操作技能的培养,力争做到深入浅出,使教材具有一定的针对性。

本教材共分五章,包括电路基础知识,电子元器件及放大电路、常用电工工具及印制电路板、应用电工、电子小制作。通过对本课程的学习,使学生基本掌握电工学基础知识,识别并选用电子元器件,熟练掌握常用电工工具的使用方法,并能应用其进行简单电路故障的检修及电子小制作。

本教材在内容选取、章节编排和文字表述方面具有以下特点:

(1) 根据中等职业学校学生的实际,淡化理论难度和深度,强化基本操作能力和应用能力。

(2) 在选取教材内容时,对基础知识和基本理论以必需、够用为度,体现学以致用原则,加大实际操作内容的比例,重在培养学生的动手能力。

(3) 本教材在文字表述上力求简明扼要、通俗易懂,让学生容易理解和接受。

本教材由孙国宏主编。各部分编写分工如下:第一章、第四章由郝尚文编写;第二章、第五章由孙国宏编写;第三章由温绍亮编写。

由于编者水平有限,时间仓促,错误和不妥之处在所难免,敬请使用本教材的读者批评指正。

编者

2008年2月

目 录

第一章 电路基础知识	(1)
第一节 电路和电路模型	(1)
第二节 欧姆定律	(3)
第三节 电阻的串联、并联与混联	(5)
第四节 基尔霍夫定律	(10)
思考与练习	(13)
第二章 电子元器件及放大电路	(14)
第一节 电阻器、电容器、电感器	(14)
第二节 晶体二极管与晶体三极管	(22)
第三节 单晶体管交流放大电路简介	(29)
第四节 集成电路简介	(32)
思考与练习	(35)
第三章 常用电工工具及印制电路板	(36)
第一节 万用表	(36)
第二节 电烙铁	(38)
第三节 试电笔	(42)
第四节 吸锡器简介	(44)
第五节 印制电路板	(44)
思考与练习	(46)

第四章 应用电工	(47)
第一节 导线的选择与连接	(47)
第二节 开关与插座故障的检查维修	(55)
第三节 日光灯的安装与检修	(57)
第四节 家用电器使用常识	(60)
思考与练习	(64)
第五章 电子小制作	(65)
第一节 电子留言盒	(65)
第二节 简易电子门铃	(66)
第三节 给同线电话加装互锁开关	(68)
第四节 密码电子门铃	(70)
第五节 读写姿势提醒器	(72)
思考与练习	(73)

第一章 电路基础知识

电路是电工技术和电子技术的基础，也是分析简单与复杂电路故障的基础。本章主要介绍电路的基本组成及常见电工图形符号的识读，通过本章内容的学习可使学生基本掌握简单电路的组成及分析方法，为判断和处理简单电路故障打下基础。

第一节 电路和电路模型

一、电路的作用及组成

电路是各种电气元器件或设备按一定方式连接起来的总体，它提供电流通过的路径。电路由电源、负载和中间环节三个部分组成，以形成电流的闭合通路。电路可以用电路图来表示，图中的设备或元件用国家统一规定的符号表示。电路图中常用的一部分图形符号如表 1-1 所示。工程上用的电路图可分为原理接线图和实物接线图（也称装配图）两种。由于原理接线图可以方便、清楚地表示出电路组成部分的接法，因而被广泛使用。通常所说的电路图都是指原理接线图。图 1-1 是一个手电筒的电路图。

表 1-1 部分电工常用图形符号

符号	表示	符号	表示	符号	表示
	开关		铁芯线圈		电容
	电池		电阻		电流表
	线圈		电位器		电压表
	二极管		端子		电灯
	接地		连接导线 不连接导线		
	接机壳		熔断器		

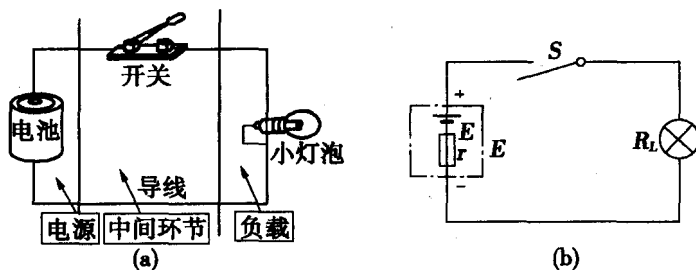


图 1-1 手电筒电路图

电路中各部分的作用如下:

1. 电源

电源是电路中提供能源的设备, 它把非电能转换为电能。常见的电源有干电池、蓄电池、发电机等。

2. 负载 (用电器)

负载是电路中的用电设备。它们是将电能转换成其他形式能量的元器件或设备, 如电灯可以把电能转换成光能, 扬声器可以将电能转换成声能。

3. 中间环节

其作用是把电源和负载连接起来以形成闭合回路, 并对整个电路实行控制、保护及测量。如连接导线、控制电器 (如开关等)、保护电器 (如熔断器等)、测量仪表 (如电流表等)。

电路种类繁多, 由直流电源供电的称为直流电路; 由交流电源供电的称为交流电路; 由晶体管放大元件构成将信号进行放大的称为放大电路等等。此外, 在一个完整的电路 (全电路) 中, 电源内部的电路称为内电路; 电源外部的电路称为外电路。

二、电路模型

组成实际电路的元器件, 其电磁性能比较复杂。例如白炽灯, 主要电磁性能是消耗电能为电阻的特性; 同时由于灯丝中有电流通过周围还要产生磁场, 因此白炽灯又具有电感的特性。又如电感线圈, 它的主要电磁性能是储存磁场能量, 突出表现为电感性; 但是由于线圈是用实际导线缠绕而成的, 必然表现出电阻的性质。再如电源的作用是为电路提供能量, 但由于本身也对电流起到阻碍作用, 即具有电阻的性质。各个元器件的各种电磁性能交织在一起, 给分析电路造成困难。为了简化电路的分析和计算, 我们通常只考虑各元器件的主要电磁性能, 而忽略其次要性能, 这样就得到了只具有某种单一性能的实际元器件的理想化模型, 称之为理想元件。常用的理想元件有电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等, 这些元件分别用相应的单一参数来表征, 如表征电阻元件的参数是电阻 R , 表征电感元件的参数是电感 L 等。通常采用的电路元件有: 电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源、理想电流源。前三种元件均不产生能量, 称为无源元件, 后两种元件是电路中提供能量的元件, 称为有源元件。元件有线性和非线性之分, 线性元件的参数是常数, 与所施加的电压和电流无关。

图 1-2 列出了一些常用理想元件的图形符号。

用理想元件来表示实际的电路元器件或设备, 并用理想导线将它们连接就得到实际电路的电路模型。如图 1-1 (b) 就是图 1-1 (a) 的电路模型。在图 1-1 (b) 中, E 和 r 分别表示电池的电动势和内阻, R_L 表示小灯泡, S 表示开关, 各个理想元件之间用理想导线连接。

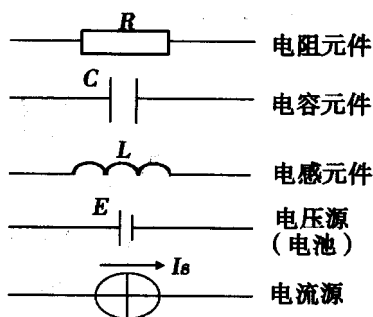


图 1-2 常用理想元件的图形符号

用理想元件建立电路模型,能大大简化实际电路的分析计算。建立电路模型时,其外部特性应与实际设备或元器件尽量接近。同一设备或元器件在不同的条件下可能会有不同的电路模型。电路模型是实际电路的近似,近似程度要求越高,则电路模型越复杂。本课程主要借助于电路模型,来阐述电路的基本规律和基本分析方法。今后所说的电路主要是指这种电路模型。

电路的三种状态,我们通过图 1-3 所示的电路来说明。

1. 通路

即开关 S 闭合,构成闭合回路,电路中有电流流过。

2. 开路

开关 S 断开或电路断开,被切断的电路中没有电流流过,开路也称为断路。

3. 短路

在图 1-3 中,若 A 、 B 两点用导线直接接通,则称为负载 1 被短路。若 A 、 C 两点用导线直接接通,则称为负载全部短路,或称为电源被短路。短路也称捷路,此时电源提供的电流将比通路时大很多倍而使电路损坏,因而一般不允许短路。

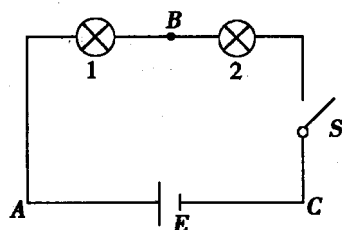


图 1-3 电路的状态

第二节 欧姆定律

一、部分电路欧姆定律

部分电路欧姆定律的内容是:在不包含电源的电路中,通过导体的电流与这段导体两端的电压成正比,与导体的电阻成反比。即:

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

式中, I ——导体中的电流, A ; U ——导体两端的电压, V ; R ——导体的电阻, Ω 。

欧姆定律揭示了电路中的电流、电压、电阻三者之间的联系,是电路分析的基本定律之一,实际应用非常广泛。

【例 1-1】 已知某 $100W$ 的白炽灯在电压 $220V$ 时正常发光,此时通过的电流是 $0.455A$,试求该灯泡工作时的电阻。

【解】 因为 $I = \frac{U}{R}$ 所以 $R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.455} \approx 484 (\Omega)$

【例 1-2】 在一个导体两端加 $12V$ 电压时,测得通过它的电流为 $0.3A$,求这个导体的电阻。当加在这个导体两端的电压变为 $240V$ 时,通过它的电流是多少?

【解】 (1) 由 $I = \frac{U}{R}$ 得:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12}{0.3} = 40 (\Omega)$$

(2) 当导体两端加 240V 电压时, 通过它的电流为:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{240}{40} = 6 \text{ (A)}$$

二、全电路欧姆定律

全电路是指内电路和外电路组成的闭合电路的整体, 如图 1-4 所示。图 1-4 中的虚线框代表一个电源的内部电路, 称为内电路。电源内部一般都是有电阻的, 这个电阻称为内电阻, 简称内阻, 用符号 r 或者 R_0 表示。内电阻也可以不单独画出, 而在电源符号旁边注明内电阻的数值。

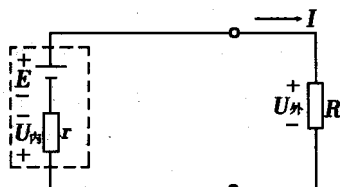


图 1-4 全电路欧姆定律

全电路欧姆定律的内容是: 在全电路中电流强度与电源电动势成正比, 与整个电路的内、外阻之和成反比。其数学表达式为:

$$I = \frac{E}{R+r} \quad (1-2)$$

式中, I ——电路中电流, A; E ——电源的电动势, V; R ——外电路 (负载) 电阻, Ω ; r ——内电路电阻, Ω 。

由式 (1-2) 可得到:

$$E = IR + Ir = U_{\text{外}} + U_{\text{内}} \quad (1-3)$$

式中, $U_{\text{内}}$ 是电源内阻的电压降, $U_{\text{外}}$ 是电源向外电路的输出电压, 也称电源的端电压。因此, 全电路欧姆定律又可以表述为: 电源电动势在数值上等于闭合电路中内外电路电压降之代数和。

三、电路的三种状态

根据全电路欧姆定律, 再来分析电路三种不同的状态下, 电源端电压与输出电流之间的关系。

1. 通路

如图 1-5 所示, 开关 S 接通 “1” 号位置, 电路处于通路状态。电路中的电流为:

$$I = \frac{E}{R+r}$$

端电压与输出电流的关系为:

$$U = E - U_{\text{内}} = E - Ir \quad (1-4)$$

式 (1-4) 表明, 当电源具有一定值的内阻时, 端电压总是小于电源电动势; 当电源电动势和内阻一定时, 端电压随输出电流的增大而下降。这种电源端电压随输出 (负载) 电流变化的关系, 称为电源的外特性。

通常把通过大电流的负载称为大负载, 把通过小电流的负载称为小负载。在电源的内阻一定时, 电路接大负载时, 端电压下降较多; 电路接小负载时, 端电压下降较少。

2. 开路 (断路)

在图 1-5 中, 开关 S 接通 “2” 号位置, 电路处于开路状态。在开路状态下, 负载

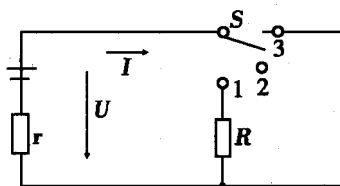


图 1-5 电路的三种状态

电阻 $R \rightarrow \infty$ 或电路中某处的连接导线断线, 则电路中的电流 $I = 0$, 内阻电压降 $U_{\text{内}} = I \times r = 0$, $U_{\text{外}} = E - I \times r = E$, 即电源的开路电压等于电源的电动势。

3. 短路

在图 1-5 中, 开关 S 接通 “3” 号位置, 电源被短路, 电路中的短路电流 $I_{\text{短}} = E / r$ 。由于电源内阻一般很小, 所以 $I_{\text{短}}$ 极大, 此时, 电源对外输出电压 $U = E - I_{\text{短}} \times r = 0$ 。

短路电流极大, 不仅会损坏导线、电源和其他设备, 甚至还会引起火灾。因此, 短路是严重的故障状态, 必须严格禁止, 避免发生。在电路中常串接保护装置, 如熔断器等。一旦电路发生短路故障, 能自动切断电路, 起到安全保护作用。

电路在三种状态下各物理量的关系如表 1-2 所示。

表 1-2 电路在三种状态下各物理量的关系

电路状态	电流	电压
断路	$I = 0$	$U = E$
通路	$I = \frac{E}{R+r}$	$U = E - Ir$
短路	$I = I_{\text{短}} = \frac{E}{r}$	$U = 0$

【例 1-3】 如图 1-6 所示, 不计电压表和电流表内阻对电路的影响, 求开关在不同位置时, 电压表和电流表的读数各为多少?

【解】 (1) 开关 S 接通 “1” 号位置, 电路处于短路状态, 电压表的读数为零; 电流表中流过短路电流。

$$I_{\text{短}} = \frac{E}{r} = \frac{2}{0.2} = 10 \text{ (A)}$$

(2) 开关 S 接通 “2” 号位置, 电路处于断路状态, 电压表的读数为电源的电动势的数值, 即 2V; 电流表无电流流过, 即 $I_{\text{断}} = 0$ 。

(3) 开关 S 接通 “3” 号位置, 电路处于通路状态, 电流表的读数

$$I = \frac{E}{R+r} = \frac{2}{9.8+0.2} = 0.2 \text{ (A)}$$

电压表的读数 $U = IR = 0.2 \times 9.8 = 1.96 \text{ (V)}$ 。

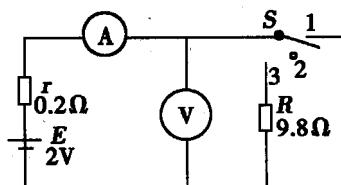


图 1-6

第三节 电阻的串联、并联与混联

一、电阻的串联

图 1-7 (a) 所示为由三个电阻组成的无分支电路。在电路中, 若两个或两个以上的电阻按顺序一个接一个地连成一串, 使电流只有一条通路, 那么电阻的这种连接方式叫做电阻的串联。

在分析电路时,为了方便起见,常用一个电阻来代替几个串联电阻的总电阻,这个电阻叫等效电阻,图 1-7 (b) 就是等效电阻和等效后的电路。

电阻串联电路具有下面一些特点:

(1) 串联电路中流过每个电阻的电流都相等,即:

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \cdots = I_n$$

式中,脚标 1、2、3...n 代表第 1、第 2、第 3...第 n 个电阻 (以下出现的含义相同)。

(2) 串联电路两端的电压等于各电阻两端的电压之和,即:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n \quad (1-5)$$

(3) 串联电路的等效电阻 (即总电阻) 等于各串联电阻之和,即:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n \quad (1-6)$$

若串联的 n 个电阻阻值相等 (均为 R_0), 则式 (1-6) 变为:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n = nR_0$$

在串联电路中,各电阻上分配的电压与各电阻值成正比,即:

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

上式中 R_n 越大,它所分配的电压 U_n 越大。式 (1-7) 常被称为分压公式, R_n/R 称为分压比。在实际应用中,有时一个电源要供给几种不同的电压,这时常通过几个电阻串联的分压器来得到。

在计算中,经常遇到两个或三个电阻串联,它们的分压公式分别是:

两个电阻串联	$\begin{cases} U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \\ U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \end{cases}$	三个电阻串联	$\begin{cases} U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} U \\ U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} U \\ U_3 = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U \end{cases}$
--------	--	--------	---

在实际应用中,电阻串联有如下应用:

- (1) 用几个电阻串联可获得较大的电阻。
- (2) 采用几个电阻串联构成分压器,使同一电源能供给几种不同数值的电压,如图 1-8 所示。
- (3) 当负载的额定电压低于电源电压时,可用串联电阻的方法将负载接入电源。
- (4) 限制和调节电路中电流的大小。
- (5) 扩大电压表量程 (即测量范围)。

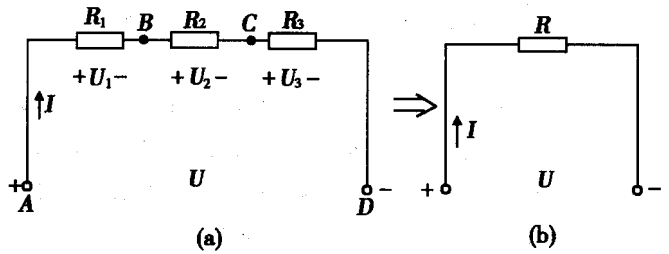


图 1-7 电阻的串联

【例 1-4】如图 1-8 所示的分压器中，已知 $U=300\text{V}$ ， d 点是公共接点， $R_1=150\text{k}\Omega$ ， $R_2=100\text{k}\Omega$ ， $R_3=50\text{k}\Omega$ ，求输出电压 U_{bd} 和 U_{cd} 各为多少 V？

$$\begin{aligned} \text{【解】 } U_{cd} &= U_3 = \frac{R_3}{R_1+R_2+R_3}U \\ &= \frac{50}{150+100+50} \times 300 = 50 \text{ (V)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{bd} &= U_2 + U_3 = \frac{R_2}{R_1+R_2+R_3}U + U_3 \\ &= \frac{100}{150+100+50} \times 300 + 50 = 150 \text{ (V)} \end{aligned}$$

【例 1-5】有一个表头（图 1-9），它的满刻度电流 I_a 是 $50\mu\text{A}$ （即允许通过的最大电流是 $50\mu\text{A}$ ），内阻 R_a 是 $3\text{k}\Omega$ 。若改装成量程为 10V 的电压表，应串联多大的电阻？

【解】当表头满刻度时，表头两端的电压 U_a 为：

$$U_a = I_a \times R_a = 50 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^3 = 0.15 \text{ (V)}$$

显然用它直接测量 10V 电压是不行的，需要串联分压电阻以扩大量程。设量程扩大到 10V 需要串入的电阻为 R_b ，则：

$$R_b = \frac{U_b}{I_a} = \frac{U - U_a}{I_a} = \frac{10 - 0.15}{50 \times 10^{-6}} = 197 \text{ (k}\Omega\text{)}$$

即应串联 $197\text{k}\Omega$ 的电阻，才能把表头改装成量程为 10V 的电压表。

二、电阻的并联电路

图 1-10 (a) 所示为由三个电阻组成的分支电路，它是一个并联电路。两个或两个以上的电阻一端连在一起，另一端也连在一起，使每一电阻两端都承受同一电压的作用。电阻的这种连接方式叫做电阻的并联。

电阻的并联电路具有下面一些特点：

(1) 并联电路中各电阻两端的电压相等，且等于电路两端的电压，即：

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \cdots = U_n \quad (1-8)$$

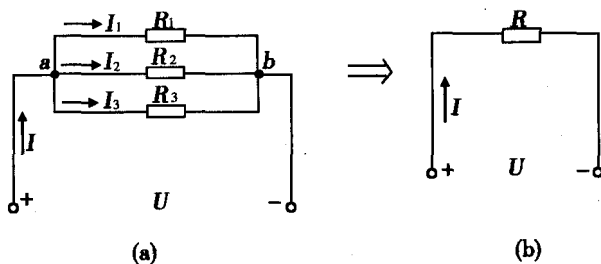


图 1-10 电阻的并联

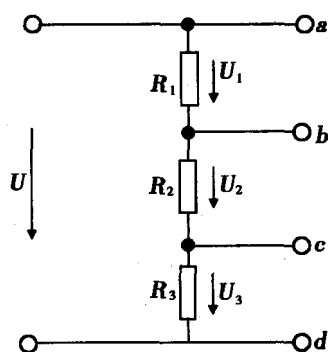


图 1-8 分压器

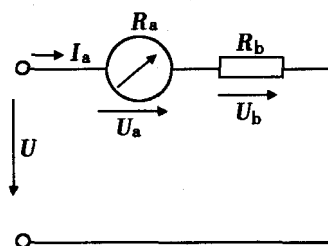


图 1-9 扩大电压表量程

(2) 并联电路中的总电流等于各电阻电路中的电流之和, 即:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n \quad (1-9)$$

(3) 并联电路的等效电阻的倒数, 等于各并联电阻的倒数之和, 即:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_n} \quad (1-10)$$

在并联电路的计算中, 经常遇到两个或三个电阻并联的情况, 根据式 (1-10) 可得出具体公式分别如下 (公式中的 // 是并联记号):

两个电阻并联: $R = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

三个电阻并联: $R = R_1 // R_2 // R_3 = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}$

(4) 在电阻并联电路中, 各支路分配的电流与支路的电阻值成反比, 即:

$$I_n = \frac{R}{R_n} I \quad \text{其中 } R = R_1 // R_2 // R_3 \cdots R_n \quad (1-11)$$

上式中的 R_n 越大, 它所分配的电流 I_n 越小。式 (1-11) 常称为分流公式, R / R_n 称为分流比。在并联电路计算中, 最常用的是两条支路的分流公式, 根据式 (1-11) 可得:

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad (R_1 \text{ 支路的电流})$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (R_2 \text{ 支路的电流})$$

并联电路的应用十分广泛。在实际工作中, 电阻并联有如下应用:

(1) 凡是额定工作电压相同的负载都采用并联的工作方式。这样每个负载都是一个可独立控制的回路, 任意一个负载的正常启动或关断都不影响其他负载的使用。

(2) 获得较小的电阻。

(3) 扩大电流表量程。

(4) 可以采用几个电阻并联电路组成分流器, 以提供各不相同的支路电流。

【例 1-6】 有一个 500Ω 的电阻, 分别与 600Ω 、 500Ω 、 20Ω 的电阻并联, 求并联后的等效电阻各等于多少?

【解】 根据两电阻并联公式直接计算。

$$(1) \quad R = 500 // 600 = \frac{500 \times 600}{500 + 600} = 273 (\Omega)$$

$$(2) \quad R = 500 // 500 = \frac{500 \times 500}{500 + 500} = 250 (\Omega)$$

$$(3) \quad R = 500 // 20 = \frac{500 \times 20}{500 + 20} = 19 (\Omega)$$

从以上的计算结果可以看出三个特点: 第一, 并联等效电阻总比任何一个分电阻都小; 第二, 若两个电阻相等, 并联后等效电阻等于一个电阻的一半; 第三, 若两个相差很大的电阻并联, 可以认为等效电阻近似等于小电阻值。因为电阻大的支路, 电流很小, 可以近似认为是开路。

【例 1-7】有一个表头，满刻度电流 $I_a=50\mu\text{A}$ ，内阻 $R_a=3\text{k}\Omega$ 。若把它改装成量程为 $550\mu\text{A}$ 的电流表，应并联多大的电阻？

【解】表头的满刻度电流只有 $50\mu\text{A}$ ，用它直接测量电流 $550\mu\text{A}$ ，显然是不行的，必须并联一个电阻进行分流，如图 1-11 所示。分流电阻 R_x 需要分流的数值为：

$$I_b = I - I_a = 550 - 50 = 500 (\mu\text{A})$$

电阻 R_x 两端的电压 U_b 与表头两端的电压 U_a 是相等的，因此

$$U_b = U_a = I_a \times R_a = 50 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^3 = 0.15 (\text{V})$$

$$R_x = \frac{U_b}{I_b} = \frac{0.15}{500 \times 10^{-6}} = 300 (\Omega)$$

三、电阻的混联电路

在一个电路中，既有电阻的串联，又有电阻的并联，这种连接方式称为混合连接，简称混联，如图 1-12 所示。混联电路的串联部分具有串联电路的性质，并联部分具有并联电路的性质。

电阻混联电路的分析、计算方法和步骤如下：

首先应把电阻的混联电路分解为若干个串联和并联关系的电路，然后在电路中各电阻的连接点上标注不同的字母，再根据电阻串、并联的关系逐一化简、计算等效电阻，并做出等效电路图。

【例 1-8】已知图 1-13 中的 $R_1=R_2=R_3=R_4=R_5=1\Omega$ ，求 A、B 间的等效电阻 R_{AB} 等于多少？

【解】通过分析电路图，可画出图 1-13 所示的一系列等效电路，然后计算。

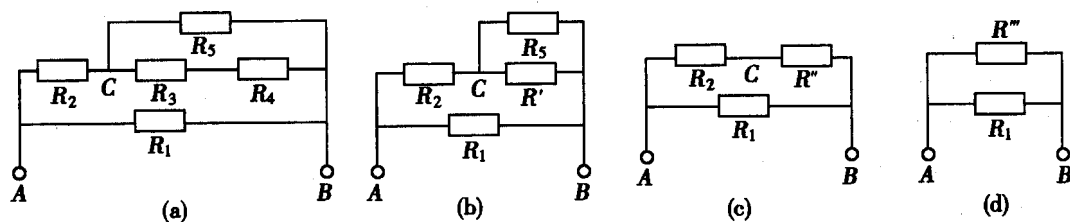


图 1-13 混联电路等效电阻

图 (a) 中 R_3 和 R_4 依次相连，中间无分支，它们是串联，其等效电阻为：

$$R' = R_3 + R_4 = 1 + 1 = 2 (\Omega)$$

从图 (b) 中看出 R_5 和 R' 都接在相同的两点 B、C 之间，它们是并联，其等效电阻为：

$$R'' = R_5 \parallel R' = \frac{R_5 R'}{R_5 + R'} = \frac{1 \times 2}{1 + 2} = \frac{2}{3} (\Omega)$$

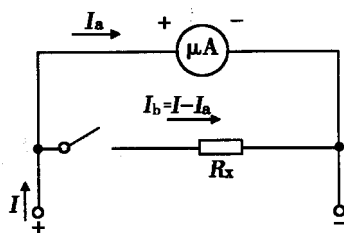


图 1-11 扩大电流表量程

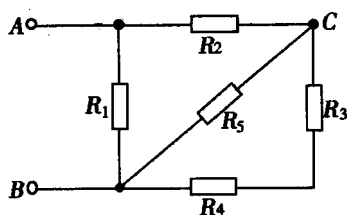


图 1-12 电阻混联电路

从图 (c) 看出, R_2 和 R'' 串联, 等效电阻 $R''' = R_2 + R'' = 1 + \frac{2}{3} = \frac{5}{3} \ (\Omega)$

从图 (d) 看出, 等效电阻 $R_{AB} = R_1 // R''' = \frac{1 \times \frac{5}{3}}{1 + \frac{5}{3}} = \frac{5}{8} \ (\Omega)$

【例 1-9】如图 1-14 所示, 已知 $R_1 = R_2 = R_3 = R$, 求 A、D 间的总电阻 R_{AD} 。

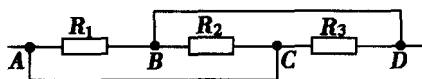


图 1-14

【解】从电阻的连接关系中可看出, 三个电阻为相互并联 (图 1-15), 所以

$$R_{AD} = R_1 // R_2 // R_3 = \frac{R_1 \times R_2 \times R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} = \frac{R^3}{3R^2} = \frac{R}{3}$$

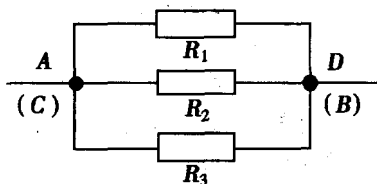


图 1-15

第四节 基尔霍夫定律

在物理学中的电路, 用欧姆定律和电阻串联、并联的方法, 就能对其进行分析和计算, 这样的电路称为简单电路。但实际的电路往往是比较复杂的, 仅用以上方法无法解决, 必须采用新的方法即基尔霍夫定律, 该定律包括基尔霍夫电流定律 (也称基尔霍夫第一定律) 和基尔霍夫电压定律 (也称基尔霍夫第二定律)。

一、电路中几个常用的术语

(1) 支路是由一个或几个元件首尾相接而组成的电路。如图 1-16 所示电路中 R_1 、 U_{s1} 组成的支路, R_3 支路等。

(2) 节点是电路中三个或三个以上支路的汇交点。如图 1-16 所示电路中 a 点、b 点。

(3) 回路是电路中任一闭合路径。如图 1-16 所示电路中 acbda 回路、acba 回路等。

(4) 网孔是只有一个孔的回路或最简单的回路。如图 1-16 所示电路中 acba 回路和 abda 回路。

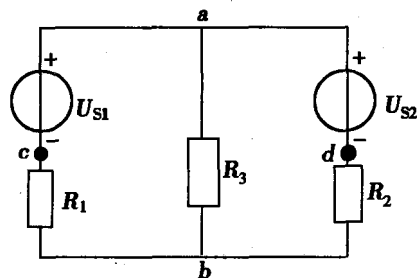


图 1-16

二、基尔霍夫电流定律 (KCL)

基尔霍夫电流定律指出: 通过电路中任意一个节点的电流代数和为零, 即:

$$\sum I = 0$$

(1-12)

我们把流进节点的电流规定为正, 那么流出节点的电流相应为负, 这时电流被引

申为一个代数量。由此可知, 节点电流的代数和为零的实际含义就是: 流进节点的电流等于流出节点的电流 ($I_{\text{进}} = I_{\text{出}}$)。这一定律也称基尔霍夫第一定律。

例如: 对图 1-17 中 A 点, 由基尔霍夫电流定律可得:

$$I_1 + I_4 - I_3 - I_2 - I_5 = 0$$

$$\text{或 } I_3 + I_2 + I_5 = I_1 + I_4$$

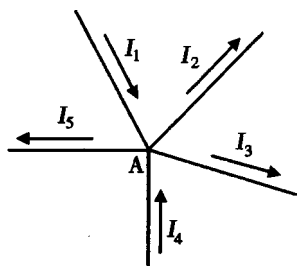


图 1-17 节点电流

三、基尔霍夫电压定律 (KVL)

基尔霍夫电压定律指出: 沿电路中任一回路绕行一周, 其回路中各段电压的代数和为零, 即:

$$\sum U = 0 \quad (1-13)$$

或电压源电压的代数和等于电阻上电压降的代数和, 即:

$$\sum U_s = \sum IR \quad (1-14)$$

根据这一定律列出的方程式叫回路电压方程式。在列方程前首先要确定各电量的正负。通常情况下, 先在回路中选择一个绕行方向。回路的绕行方向原则上是可以任意选定的, 但是绕行方向一旦选定后, 在解题过程中不再改变, 并以这个方向作为标准且根据各量的参考方向来确定各电量的正负。

式 (1-13) 中正负规定为: 回路中电压参考方向与绕行方向一致时为正, 相反为负。

式 (1-14) 中电压源电压正负号规定为: 电压源电压参考方向与绕行方向一致者为负; 相反者为正。电阻上电压降正负号的规定为: 流经电阻上的电流方向与绕行方向一致者电压降取正; 相反者取负。

下面通过一个具体的例题来说明如何利用以上两个定律求解电路。

【例 1-10】如图 1-18 所示, 已知: $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = 10\Omega$, $R_3 = 15\Omega$, $U_{S1} = 180V$, $U_{S2} = 80V$, $I_1 = 12A$, 求 I_2 和 I_3 。

【解】在回路 I 中, 取绕行方向为顺时针, 则回路的电压方程为

$$R_1 I_1 + R_3 I_3 - U_{S1} = 0$$

$$I_3 = \frac{U_{S1} - R_1 I_1}{R_3} = \frac{180 - 5 \times 12}{15} = 8 \text{ (A)}$$

由基尔霍夫第一定律写出 A 节点电流方程

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$I_2 = I_3 - I_1 = (8 - 12) \text{ A} = -4 \text{ A} \quad (I_2 \text{ 的实际方向与参考方向相反})$$

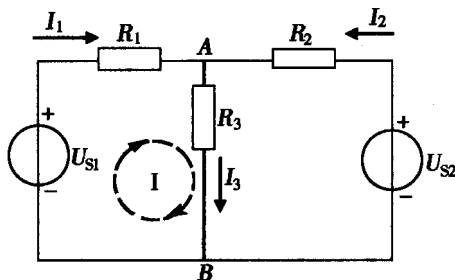


图 1-18 基尔霍夫定律应用

四、复杂电路的计算

在求解复杂电路时, 通常都是已知电源电压和各电阻值, 求各支路电流。最常用的