



高职高专“十一五”规划教材

电工电子技术

王锁庭 张翼翔 主编



化学工业出版社

本书可作为中等职业学校、技工学校、成人教育、函授、夜大、广播电视大学、职工大学、干部管理学院、干部轮训班、干部进修班、干部培训班的教材，也可供从事本专业工作的工程技术人员参考。

高职高专“十一五”规划教材

电工电子技术

王锁庭 张翼翔 主编

许素玲 王志平 副主编

- 1 于占河, 电工基础. 北京: 电子工业出版社, 2002
- 2 陈小虎, 电工电子技术. 北京: 高等教育出版社, 2002
- 3 周志敏, 电工电子技术. 北京: 人民邮电出版社, 2005
- 4 周志敏, 电工电子技术实训. 北京: 电子工业出版社, 2004
- 5 刘润奇, 电工电子技术(电工学). 北京: 人民邮电出版社, 2006
- 6 李永强, 电工电子技术. 北京: 人民邮电出版社, 2002
- 7 高文, 电工电子技术. 北京: 人民邮电出版社, 2006
- 8 张翼翔, 电工电子技术. 北京: 电子工业出版社, 2004
- 9 陈国明, 电工电子技术. 北京: 高等教育出版社, 2001
- 10 陈国明, 电工电子技术. 北京: 高等教育出版社, 2000
- 11 周志敏, 电工电子技术. 北京: 人民邮电出版社, 2002
- 12 王锁庭, 许素玲, 王志平, 副主编. 北京: 人民邮电出版社, 2006
- 13 王吉强, 王吉强, 电工电子技术技能训练. 北京: 石油工业出版社, 2000
- 14 陈国明, 电子技术基础. 北京: 高等教育出版社, 2006

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术 / 王锁庭, 张翼翔主编. —北京: 电子工业出版社, 2007.7
ISBN 978-7-302-16607-2
I. 电… II. 王… III. 张… IV. TM 156
电工—电子技术; 电工—电子技术—教材
中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第102407号

责任编辑: 张翼翔

责任编辑: 张翼翔
封面设计: 张翼翔

出版发行: 电子工业出版社 (北京市西城区百万庄大街24号) 邮政编码: 100037
印刷: 北京中农印刷厂
印张: 12 字数: 278千字 2007年8月第1版第1次印刷

电话: 010-64218888 (传真: 010-64218886) 010-64218839 电子邮箱: zhangyixiang@pup.com.cn



化学工业出版社

北京

定价: 24.00元

定价: 24.00元

本书分别介绍了直流电路、正弦交流电路、三相交流电路、磁路与变压器、电动机、低压电器与电动机控制电路、工厂供电与安全用电技术、半导体二极管与整流滤波电路、半导体三极管与放大电路以及数字电路基础等。每章后安排了相应的技能训练内容,可作为实训教学。各章还编有习题。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校的教材,也可供有关工程技术人员参考。

林峰 殷敏 “五一十” 李高 郑高

电工电子技术

主 编 殷敏 李高
副主编 王立志 李素书

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/王锁庭,张翼翔主编. —北京:化学工业出版社,2007.7
高职高专“十一五”规划教材
ISBN 978-7-5025-9667-5

I. 电… II. ①王…②张… III. ①电工技术-高等学校:技术学院教材②电子技术-高等学校:技术学院教材 IV. TM TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第105407号

责任编辑:廉 静 张建茹

装帧设计:韩 飞

责任校对:宋 夏

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京市彩桥印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张15 字数379千字 2007年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:24.00元

版权所有 违者必究

前 言

为满足全国高职院校非电类专业的教学要求,加快我国应用型人才培养的步伐,为把学生培养成为具有一定电工电子技术知识和能力的高等技术人才,本教材的内容在保证必要的基本概念和基本知识基础上,以定性分析和定量估算为主,突出实用、注重实践,注意培养学生分析问题和解决问题的能力。例如,在学习元器件知识的同时,结合器件性能,介绍一些实用的测试或判别方法,并结合一些电路实例,进一步培养学生的综合应用能力。

本教材在每章后面都编写了一些经过认真筛选的习题,以便使学生系统地掌握所学的基础理论知识。本教材的突出特点是在每章后面都编写了相应的技能训练的内容,加强对学生的实际技能的培养。教材中有些内容是在教学基本要求的基础上加深(或加宽)的内容,可根据专业需要和学时数的多少选择使用。

本书由王锁庭、张翼翔主编。具体分工如下:第1章由张翼翔编写;第2章由陈惠琴编写;第3章由王惠编写;第4章由王志平编写;第5章由杨泽晖编写;第6章由陈德娥编写;第7章由刘占敏、许素玲共同编写;第8章由樊秀娟、许素玲共同编写;第9章由王锁庭、郭鲜宇共同编写;第10章由齐文礼、王锁庭共同编写,王锁庭、张翼翔负责全书的统稿工作。

天津大学刘鲁源教授主审了全书内容。在本书的编写过程中还得到了天津石油职业技术学院自动化教研室全体老师的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不妥之处,敬请广大师生和读者批评指正。

编 者
2007年5月

目 录

1 直流电路	1
1.1 电路的基本概念与基本物理量	1
1.2 电路中电阻的连接和欧姆定律	6
1.3 电路的工作状态	11
1.4 电压源与电流源模型及其等效变换	15
1.5 基尔霍夫定律及其应用	19
1.6 叠加定理	22
1.7 电路中电位的计算	24
技能训练	26
习题	31
2 正弦交流电路	33
2.1 正弦电压与正弦电流	33
2.2 正弦量的相量表示法	36
2.3 纯电阻交流电路	39
2.4 纯电感交流电路	41
2.5 纯电容交流电路	43
2.6 电阻、电感、电容串联电路	46
2.7 串联谐振电路	50
2.8 电阻、电感、电容并联电路和无功功率的补偿	52
技能训练	57
习题	59
3 三相交流电路	62
3.1 三相交流电源	62
3.2 负载的连接	65
3.3 三相电功率	70
技能训练	71
习题	73
4 磁路与变压器	75
4.1 磁场的基本物理量	75
4.2 磁性材料的主要特性	76

4.3	磁路与磁路欧姆定律	78
4.4	变压器	80
4.5	其他变压器	85
	技能训练	88
	习题	89
5	电动机	90
5.1	三相交流旋转磁场	90
5.2	三相异步电动机的基本原理	92
5.3	三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	93
5.4	三相异步电动机的铭牌与参数	96
5.5	三相异步电动机的启动、调速与制动	99
5.6	其他用途的电动机	103
	技能训练	112
	习题	114
6	低压电器及电动机控制线路	116
6.1	常用低压电器	116
6.2	三相异步电动机基本控制线路	131
6.3	三相异步电动机正反转控制线路	133
6.4	其他类型的控制线路	135
	技能训练	138
	习题	139
7	工厂供电与安全用电技术	141
7.1	电力系统的基本知识	141
7.2	工厂供电概述	143
7.3	触电与触电急救	145
7.4	安全用电	149
7.5	电气火灾	152
7.6	节约用电	153
	习题	154
8	半导体二极管与整流滤波电路	156
8.1	半导体二极管	156
8.2	特殊二极管	159
8.3	整流电路	163
8.4	滤波电路	166
8.5	硅稳压管稳压电路	169
	技能训练	170
	习题	171

9 半导体三极管与放大电路	173
9.1 半导体三极管	173
9.2 单管电压放大电路的基本工作原理	178
9.3 放大电路的工程估算法	181
9.4 放大电路的图解分析法	184
9.5 放大器的偏置电路与静态工作点稳定	187
9.6 射极输出器	189
9.7 多级放大电路	191
9.8 功率放大器	193
9.9 差动放大电路	197
9.10 集成运算放大器	199
9.11 集成运放的应用	201
技能训练	207
习题	208
10 数字电路简介	211
10.1 数制与编码	211
10.2 基本逻辑门电路	213
10.3 基本逻辑及应用	215
10.4 集成逻辑门电路	216
10.5 集成触发器	218
10.6 计数器	223
10.7 译码与显示电路	224
技能训练	228
习题	229
参考文献	231

1

直流电路

1.1 电路的基本概念与基本物理量

1.1.1 电路的组成和功能

电路是电流的通路。它是由若干个实际的电器装置或电器元件，根据某些特定的需要，按一定的方式组合起来的。在电路中既有可以把其他形式的能量（热能、风能、水位能、太阳能等）转换成电能的电源元件，也有可以把电能转换成其他形式的能量的用电器。

电路具有两个主要功能：其一，是实现电能与其他形式能量的转换、传输和分配。例如，发电厂把热能转换成电能，再通过变压器、输电线送到各用户，各用户把它们再转换为光能、热能和机械能等加以利用；其二，实现信号的传递和处理。通过电路可以把输入的信号变换或“加工”成其他所需要的输出。例如，一台半导体收音机或者电视机，其天线接收到的是一些很微弱的电信号，这些很微弱的电信号，必须通过调节选择到你所需要的某个频率信号，再经过一系列的放大环节，最后从输出端重现能满足工作需要的信号（图像、声音）。

无论电路的结构简单或复杂，电路必须由电源、负载和中间环节三大部分组成。图 1-1 所示为手电筒电路。电路的左边是电源（电池），它是提供电能的装置；电路的右边是负载（小灯泡），它是消耗电能的装置；电路的中间部分由一个开关和导线组成，称为中间环节，它是连接电源和负载的部分，具有输送、分配、控制电路通断的功能。

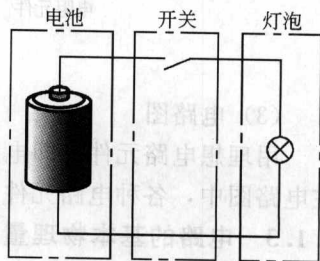


图 1-1 手电筒电路

1.1.2 电路模型和电路图

由理想元件组成的足以表征实际电路物理性质的电路称为电路模型。

实际电路是由一些电工设备、器件和电路元件所组成的。为便于分析和计算，往往把这些器件和元件理想化并用国家统一的标准符号来表示。这样，电工设备和器件在电路原理图中，就成为一种用抽象的电路模型形式表示的电路元件。这种电路模型表征了这些设备在电路中所表现出的主要电气特性，所以，由电路模型构成的电路原理图能够代表实际电路图，从电路原理图中得到的分析结论能够适用于实际电路。这样，实际电路的分析就得到了简化。

(1) 理想电路元件

能表征电路的特征，并且具有单一电磁性质的假想元件称为理想电路元件。为了表征电路中某一部分的主要电磁性能以便进行定性、定量分析，可以把该部分电路抽象成一个理想的电路元件来代替这部分电路。所谓单一电磁性质是指突出该部分电路的主要电或磁的性质，而忽略了次要的电或磁的性质。实际电路元件的电磁性质，可以用理想电路元件以及它

们的组合来反映。例如，电感线圈是由导线绕制而成的，它既有电感量又有电阻值，在考虑其主要电磁性质时往往忽略了线圈的电阻性质，而突出了它的电磁性质，把它表征为一个储存磁场能量的电感元件。同样，电阻丝是用金属丝一圈一圈绕制而成的，那么，它也既有电感量也有电阻值，在实际分析时往往忽略电阻丝的电感性质，而突出其主要的电阻性质，把它表征为一个消耗电能的电阻元件。

(2) 理想电路元件的分类及符号

理想电路元件共有五种：电阻、电感、电容、电压源、电流源。

电阻元件是一种只表示消耗电能并把其转化为热能或其他能量的元件，用符号 R 表示。电感元件和电容元件都是储能元件，也称为动态元件。电感元件把电能转化为磁场能量储存在电感线圈当中，用符号 L 表示。电容元件把电能转化为电场能量储存在电容器当中，用符号 C 表示。电压源也称为理想电压源，它两端的电压固定不变，且所通过的电流可以是任意值，其大小取决于与它相连接的外电路，用符号 U_s 表示。电流源也称为理想电流源，它向外提供一个恒定不变的电流，其两端的电压可以是任意值，其大小取决于与它相连接的外电路，用符号 I_s 表示。如图 1-2 所示。

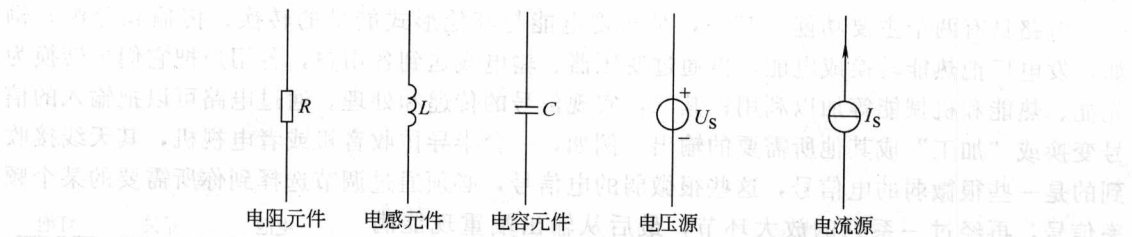


图 1-2 理想电路元件名称及符号

(3) 电路图

用理想电路元件（即电路模型）构成的理想化电路图，称为电路原理图，简称电路图。在电路图中，各种电路元件必须使用国家统一标准的图形和符号表示。

1.1.3 电路的基本物理量及参考方向

(1) 电路的基本物理量

① 电流 在电场的作用下，电荷有规则的移动形成电流。正电荷顺电场方向运动，负电荷逆电场方向运动，而电流的实际方向规定为正电荷的运动方向。

衡量电流大小、强弱的物理量称为“电流强度”。电流强度的数值是指：在电场作用下，单位时间里通过导体某一截面 S 的电荷量，如图 1-3 所示。

设在极短的时间 dt 内通过导体某截面 S 的电荷量为 dq ，则电流强度为

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

在一般情况下，电流强度 i 是随时间而变化的，是时间 t 的函数。如果电路中电流的大小、方向都不随时间 t 而变化，则称为恒定电流，简称直流电流，用大写字母 I 表示，即

$$I = \frac{q}{t}$$

按国际单位制规定，电流的单位是：库 [仑]/秒，即安 [培]，简称“安”，用符号“A”表示。在电力系统中电流都比较大，常以 kA（千安）作为电流强度的计量单位，而在

电子线路中电流都比较小，常以 mA（毫安）、 μA （微安）作为电流强度的计量单位。

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

在直流电路中，某些支路电流的实际方向很容易判定，但一些支路电流的实际方向很难确定。因此，引入“电流参考方向”这个概念。在电路中可以任意选定一个方向作为电流的参考方向，用箭头表示，如图 1-3 中的 i 方向。确定了参考方向后，电流就成为一个代数量。经过分析计算后，若电流为正值，则表明电流的实际方向与参考方向相同；反之，则表明电流的实际方向和参考方向相反。

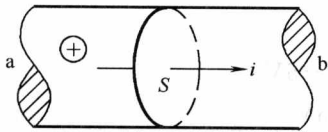


图 1-3 电流的示意图

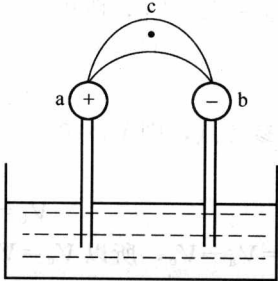


图 1-4 电压的示意图

② 电压 在电场力的作用下，电荷有规律的运动产生电流，电荷在移动过程中会发生能量转换，使电荷失去或获得能量。图 1-4 所示为电池中的两个电极，a 为正极，带正电荷，b 为负极，带负电荷。在 a、b 两极之间产生了一个均匀而且恒定的电场，其方向是从 a 指向 b。如果用导体将 a、b 两极连接起来，那么在电场作用下，电极 a 中的正电荷将通过导体移动到电极 b。由于正电荷在电场中被移动了一段距离，电场力对正电荷做了功。把电场力将单位正电荷 q 从 a 点移动到 b 点所做的功称为 a、b 两点之间的电压，记为

$$U_{ab} = \frac{W_{q,ab}}{q} \tag{1-2}$$

大小和方向随时间变化而变动的电压称为交变电压，用小写字母 u 表示；如果电压的大小和方向都不随时间变动，则称为恒定电压或直流电压，用大写字母 U 表示。由恒定电压产生的电场是恒定电场，在恒定电场中，任意两点 a、b 之间的电压只与 a、b 两点的位置（起点与终点）有关，而和电荷移动的路径无关。

按国际单位制规定：电压单位焦 [耳]/库 [仑]，即伏 [特]，用符号“V”表示。在各类型电路中计量电压的单位可以不同，有 V（伏）、mV（毫伏）、 μV （微伏）。

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

③ 电位 在电工技术中，通常使用电压的概念，例如，日光灯的电压是 220V，电动机的电压是 380V。而在电子技术中，则经常要用到电位的概念。

为了便于分析，在恒定电场中选取某一点 O 为参考点，电场力把单位正电荷 q 从电路中任意一点 a 移动到参考点 O 电场力所做的功，称为 a 点的电位，记为 V 。

在此规定下，参考点 O 本身的电位为零，即 $V_O=0$ ，那么，参考点 O 就被称为电位参考点。参考点的选择是任意的，选取不同的参考点，电场中各点的电位数也就不同。但是，参考点一旦选定后，电场中各点的电位就只能有一个数值，这就是电位的“单值性”。

由于 a 点的电位 $V_a=U_{ao}$ ，b 点的电位 $V_b=U_{bo}$ ，那么，任意两点 a、b 之间的电压就等于 a、b 两点的电位之差，即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-3)$$

因此，一旦 a、b 两点位置确定，不管其参考点如何变更，a、b 两点之间的电压只有一个数值，这就是电压的“绝对值”。

同时，正电荷在电场的作用下总是从高电位端指向低电位端。

【例 1-1】 在图 1-4 中，设 $U_{ab} = 5\text{V}$ ， $U_{ac} = 3\text{V}$ ，如分别以 a、b 为参考点，求 V_a 、 V_b 、 V_c 。

解 以 b 为参考点，则 $V_b = 0$

因为 $U_{ab} = V_a - V_b$ ，所以

$$V_a = U_{ab} + V_b = (5 + 0)\text{V} = 5\text{V} \quad \text{又 } U_{ac} = V_a - V_c$$

$$\text{所以 } V_c = V_a - U_{ac} = (5 - 3)\text{V} = 2\text{V}$$

以 a 为参考点，则 $V_a = 0$

因为

$$U_{ab} = V_a - V_b$$

$$\text{所以 } V_b = V_a - U_{ab} = (0 - 5)\text{V} = -5\text{V}$$

$$\text{又 } U_{ac} = V_a - V_c, \text{ 所以 } V_c = V_a - U_{ac} = (0 - 3)\text{V} = -3\text{V}$$

从上面的例子分析可以得到这样的结论：电位的数值与参考点的选择有关，而电压的数值与参考点的选择无关。

④ 电动势 电动势是一个专门描述电源内部特性的物理量。在图 1-4 中可见，由于电场力的作用，正电荷不断地从 a 极经过导体移动到 b 极，其结果势必会改变电荷的分布。a 极的正电荷数不断减少，电位逐渐下降，而 b 极不断地得到从 a 极来的正电荷，电位不断升高。随着时间的推移，a、b 两极之间的电位差将越来越小，它所产生的电场也就越来越弱，一旦 a、b 两极的电位相等时，导体中不再有电荷的移动。为了维持导体中电荷源源不断地把正电荷从低电位端（b 极）移到高电位端（a 极），使 a 极的电位升高，以保持导体中正电荷不断移动。在电源内部就存在着一种外力，把它称为电源力。电源力把单位正电荷从低电位端 b 经过电源内部移动到高电位端 a 所做的功称为电源的电动势，用 E 表示。在国际单位制中，电动势的单位也是伏 [特]。

必须注意：电动势只存在于电源内部。其方向规定为从低电位端指向高电位端。当电动势为正时，电动势的方向是电位升高的方向。其次，电动势 E 的大小在数值上与电源的开路电压相等。

【例 1-2】 在图 1-5 中电动势 $E_1 = 20\text{V}$ ， $E_2 = 10\text{V}$ ，方向已在图中标明，求 U_{AB} 及 U_{BA} 的大小。

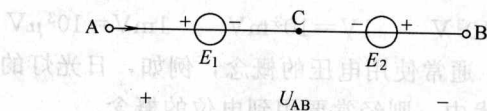


图 1-5 例 1-2 图

解 假设电压降的方向为 U_{AB} （即箭头方向），显然 U_{AC} 、 U_{CB} 的方向与 U_{AB} 的方向一致，也就是说 A、B 两点间的电压是该支路上各段电压降（ U_{AC} 、 U_{CB} ）的代数和。所以 $U_{AB} = U_{AC} + U_{CB} = E_1 + (-E_2) = (20 - 10)\text{V} = 10\text{V}$ 则 $U_{BA} = -U_{AB} = -10\text{V}$

⑤ 电功率 电路在工作状态下总伴随着能量的转换。对于任何一个电器元件，当有电流流过时，该元件都会获得或失去能量。电路元件在单位时间内吸收的能量称为电功率，简

称为功率。

在图 1-6 所示的电路中 a、b 两点间的电压为 U ，流过的电流为 I ，根据电压的定义可知，正电荷 q 在电场的作用下通过电阻 R 从 a 点移到 b 点，电场所做的功为

$$W = Uq = UI t \quad (1-4)$$

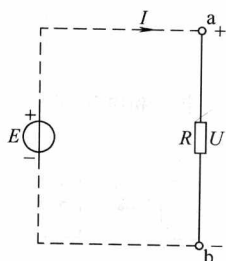


图 1-6 电阻吸收功率

这个功也就是电阻 R 在 t 时间内所吸收的电能，对于电阻来说吸收的电能全部转换成热能，其大小为

$$W_R = UI t = RI^2 t$$

在国际单位制中，电能、热能的单位是焦 [耳]，用字符 J 表示。

电阻吸收的功率可定义为：单位时间里能量的转换率，其数学表达式为

$$P = \frac{W_R}{t} = \frac{UI t}{t} = UI = RI^2 \quad (1-5)$$

在国际单位制中，功率的单位是“瓦”，用字符 W 表示，还可以用 kW、mW 作单位，它们之间的换算关系为

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

式 (1-4) 表明电阻上的电压与电流的实际方向是相同的。也可以把功率的计算 $P = UI$ 用于任何一段有源电路。计算得到的功率 P 有正、负号，所得功率为正，说明该段电路吸收（消耗）功率，反之则是发出（提供）功率。

(2) 参考方向及选择原则

在电路分析或计算之前，很难对电路中某一段电流的流向和电压的极性立刻作出判断，因此，必须对待求的电流假定一个流向和对待求的电压假定一个极性或电位的高低，这种假定被称为电流和电压的参考方向，又称电流和电压的正方向。参考方向的选择是任意的。当参考方向选定以后在计算过程中就不可再作变更，电路中的电压或电流必须按照选定的参考方向列写电路方程式。

由于电压、电流的参考方向不一定是它们的实际方向，所以，此时的电压、电流就成为有正、负值之分的代数量。经过分析计算，若电压、电流的数值为正，则说明电压、电流的实际方向与参考方向一致；若为负值，则说明实际方向与参考方向相反，如图 1-7 (a) 所示。

另外，电路方程式中的正、负号与代数量本身的正、负值必须严格区别，不可混淆。

【例 1-3】 电路中有四个元件按图 1-8 的方式连接，每个元件上电压的方向如图中所示，且 $U_1 = -100\text{ V}$ ， $U_2 = -50\text{ V}$ ， $U_3 = 80\text{ V}$ 。求 U_4 及 U_{CD} 的数值。

解 先设定电压 U_{AB} 的参考方向，根据已假设的参考方向列写电路方程式

$$U_{AB} = -U_1 + U_2$$

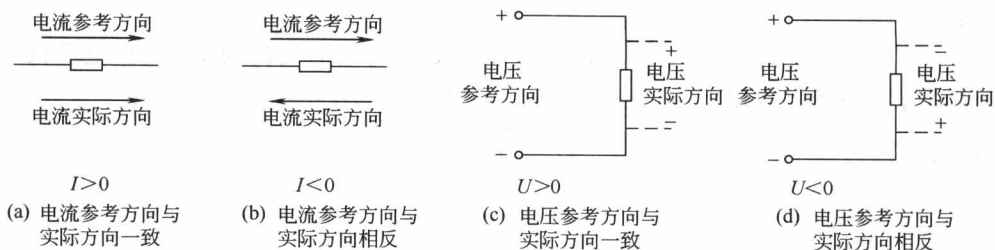


图 1-7 电压和电流的参考方向

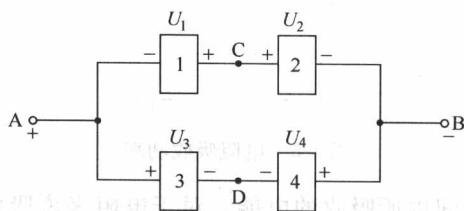


图 1-8 例 1-3 图

将已知数据代入, 可得

$$U_{AB} = [-(-100) + (-50)] \text{V} = (100 - 50) \text{V} = 50 \text{V}$$

注意: 括号里的“—”表示代数量为负值, 括号外的正、负号是电路方程式的正负号, 表示参考方向间的关系, 二者之间不能混淆。

因为电路中任意两点的电压与路径无关, 所以 $U_{AB} = U_3 - U_4$, 将 $U_{AB} = 50 \text{V}$ 代入可解得

$$U_4 = U_3 - U_{AB} = (80 - 50) \text{V} = 30 \text{V}$$

$$U_{CD} = U_2 + U_4 = (-50 + 30) \text{V} = -20 \text{V}$$

或

$$U_{CD} = U_1 + U_3 = (-100 + 80) \text{V} = -20 \text{V}$$

1.2 电路中电阻的连接和欧姆定律

1.2.1 电阻的连接

(1) 电阻的串联

如果一个电路中有若干电阻按顺序首尾相连, 中间没有分支, 在电源的作用下各电阻上流过的电流相等, 那么, 这种连接方式称为电阻的串联, 如图 1-9 (a) 所示。

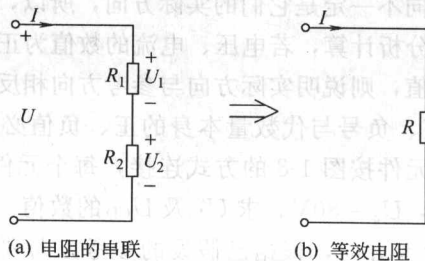


图 1-9 电阻的串联和等效电阻

电阻串联时具有以下两个特点。

① 电阻在串联时，可以用一个等效电阻 R 表示，等效电阻的大小等于各串联电阻之和，即

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

显然，电路在同一电压 U 的作用下流过的电流 I 保持不变。

② 串联时，虽然流过的电流相等，但各个电阻两端的电压是不等的。

电路总电压 U 等于各个电阻上的电压之和，即

$$U=U_1+U_2 \quad (1-7)$$

电阻在串联时的电流为 $I=\frac{U}{R_1+R_2}$ ，各电阻两端的电压可通过下式求得

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= U \times \frac{R_1}{R_1+R_2} \\ U_2 &= U \times \frac{R_2}{R_1+R_2} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

式 (1-8) 称为分压公式。显然，串联电阻上电压的分配与电阻阻值的大小成正比。当其中某个电阻比其他电阻小得多时，其两端的电压也比其他电阻上的电压低得多。

电阻串联的应用很多。例如，电流表内阻和被测负载的电阻是串联的。在实际单路中，当电源电压高于负载额定电压时，可以在负载上串联电阻，以降低负载上的电压。当负载变化（或电源电压变化）时，为了防止电路中的电流过大，可以在电路中串联电阻来限制电流。

【例 1-4】 已知指示灯的额定电压为 6V，额定功率为 0.3W，电源电压为 24V，应如何选择降压电阻大小。

解 指示灯的额定电压是 6V，所以不能直接接在 24V 的电源上（否则会烧坏），所以要串联一个电阻 R ，在电阻上降掉大部分电压，剩余的 6V 电压加在指示灯上才能保证正常工作，其电路如图 1-10 所示。

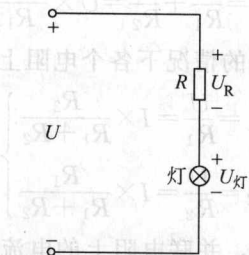


图 1-10 例 1-4 图

指示灯上额定电流

$$I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{0.3}{6} \text{ A} = 0.05 \text{ A}$$

串联电阻上的电压

$$U_R = (24 - 6) \text{ V} = 18 \text{ V}$$

串联电阻的阻值

$$R = \frac{U_R}{I} = \frac{18}{0.05} \Omega = 360 \Omega$$

降压电阻消耗的功率

$$P_R = RI^2 = 360 \times (0.05)^2 \text{ W} = 0.9 \text{ W}$$

应选取 360Ω 、 1W 的降压电阻。

(2) 电阻的并联

如果在一个电路中，若干个电阻的首端、尾端分别相连在一起，在电源的作用下，各个电阻两端的电压相等，那么，这种连接方式称为电阻的并联，如图 1-11 (a) 所示。

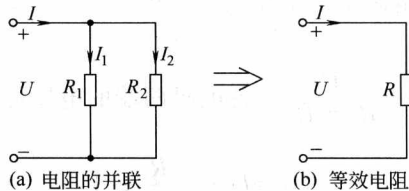


图 1-11 电阻的并联和等效电阻

电阻并联时具有以下两个特点。

① 电阻在并联时可以用一个特等效电阻 R 表示，等效电阻的倒数等于各个电阻的倒数之和，即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1-9)$$

值得指出的是：这个等效电阻一定小于并联电阻中最小的一个。电阻的倒数也称为电导，用 G 表示，即 $G = \frac{1}{R}$ 。在国际单位中，电导的单位是西 [门子] (S)，式 (1-9) 也可以写成

$$G = G_1 + G_2$$

② 电阻在并联时，虽然两端的电压相等，但各个电阻中流过的电流是不等的，电路总电流等于各个电阻上流过的电流之和。

$$I = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U \times \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} = \frac{U}{R}$$

两个电阻并联时，在已知总电流的情况下各个电阻上流过的电流可以通过下式求得

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{U}{R_1} = I \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\ I_2 &= \frac{U}{R_2} = I \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

式 (1-10) 称为分流公式。显然，并联电阻上的电流分配与电阻成反比，当其中某个电阻比其他电阻大很多时，经过此电阻上的电流就比其他电阻上通过的电流小得多。

一般负载都是并联接入电路的。负载并联时，它们处于同一电压之下，任何一个负载的工作情况基本不受其他负载的影响。但如果并联的负载电阻过多（负载增加）则总电阻太小，这样在电源电压不变的条件下，电路的总电流增加，输电线路压降随之增加，而用电器的端电压减小，每个用电器消耗的功率也减小。人们在用电高峰时开灯，经常会发现电灯亮度不够，就是这个缘故。

有时为了某种需要，可将电路中的某一段与电阻或变阻器并联，达到分流或调节电流的目的。例如，利用这一原理可以扩大磁电系电流表的量程。

③ 电阻的混联 电阻的串联和并联混合连接的方式称为电阻的混联。混联电路可通过

电阻的串联和并联来逐步变换，最终可简化成一个等效电阻 R 。

【例 1-5】 图 1-12 (a) 电路是一个电阻混联电路，各参数如图中所示，求 a、b 两端的等效电阻 R_{ab} 。

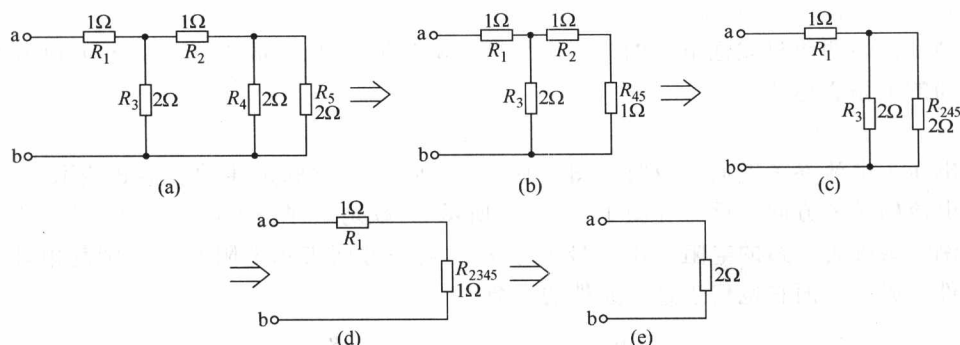


图 1-12 例 1-5 图

解 首先从电路结构根据电阻串、并联的特征来区分哪些电阻属串联，哪些属并联。在图 1-12 (a) 中可见： R_4 、 R_5 并联，可得

$$R_{45} = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}} \Omega = 1 \Omega$$

电路简化为图 1-12 (b) 所示，可见 R_2 与 R_{45} 为串联

$$R_{245} = (1+1) \Omega = 2 \Omega$$

电路简化为图 1-12 (c) 所示，可见 R_3 与 R_{245} 为串联

$$R_{2345} = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}} \Omega = 1 \Omega$$

所以 $R_{ab} = R_1 + R_{2345} = (1+1) \Omega = 2 \Omega$

【例 1-6】 图 1-13 电路中 $R_1 = 6 \Omega$ ， $R_2 = 8 \Omega$ ， $R_3 = R_4 = 4 \Omega$ ，电源电压为 100V，求电流 I_1 、 I_2 、 I_3 。

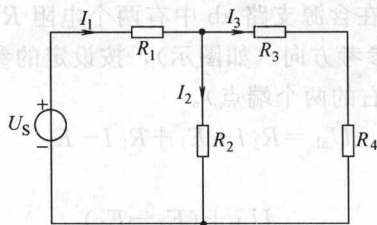


图 1-13 例 1-6 图

解

$$R_{34} = R_3 + R_4 = (4+4) \Omega = 8 \Omega$$

$$R_{234} = R_2 // R_{34} = (8 // 8) \Omega = 4 \Omega$$

$$R_{1234} = R_1 + R_{234} = (6+4) \Omega = 10 \Omega$$

$$I_1 = \frac{U_s}{R_{1234}} = \frac{100}{10} \text{ A} = 10 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{R_{34}}{R_2 + R_{34}} \times I_1 = \frac{8}{8+8} \times 10 \text{ A} = 5 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{R_2}{R_2 + R_{34}} \times I_1 = \frac{8}{8+8} \times 10\text{A} = 5\text{A}$$

1.2.2 欧姆定律

(1) 欧姆定律的一般形式

欧姆定律表明流过线性电阻的电流 I 与电阻两端的电压 U 成正比。从图 1-14 中可写出它们之间的关系表达式为

$$U = \pm RI \quad (1-11)$$

当电压、电流参考方向一致时 [图 1-14 (a) 所示], 欧姆定律的表达式应取 “+”; 当电压、电流的参考方向相反时 [图 1-14 (b) 所示], 欧姆定律的表达应取 “-”。式 (1-11) 中的比例常数称为电路的电阻, 用符号 R 表示。它一方面表示电阻是一个消耗电能的理想电路元件, 另一方面它也代表这个元件的参数。

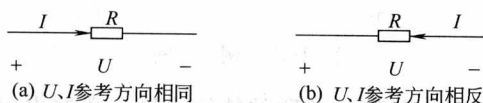


图 1-14 欧姆定律

电阻的单位是欧 [姆], 用符号 Ω 表示。对大电阻则常以 “千欧” ($\text{k}\Omega$)、 “兆欧” ($\text{M}\Omega$) 为单位。

电阻的大小与金属导体的有效长度、有效截面积及电阻率有关, 它们之间的关系可写为

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-12)$$

如果电阻是一个常数, 与通过它的电流无关, 这样的电阻称为线性电阻。线性电阻上电压、电流的相互关系遵守欧姆定律。当流过电阻上的电流或电阻两端的电压变化时, 电阻的阻值也随之改变, 这样的电阻称为非线性电阻。显然, 非线性电阻上的电压、电流是不遵守欧姆定律的。本章所阐述的电阻如无特殊说明则均指线性电阻。

(2) 含源支路的欧姆定律

如果在电路的某一条电路中不但有电阻元件, 而且含有电动势 E , 那么, 这条支路就称为含源支路, 如图 1-15 所示。在含源支路 ab 中有两个电阻 R_1 、 R_2 和两个电动势 E_1 、 E_2 。首先设定该支路电压、电流的参考方向 (如图示), 按设定的参考方向列出 a 、 b 两点之间的电压 (a 、 b 分别是含源支路左右的两个端点)。

$$U_{ab} = R_1 I + E_1 + R_2 I - E_2$$

经整理后可得

$$I = \frac{U_{ab} + (E_2 - E_1)}{R_1 + R_2}$$

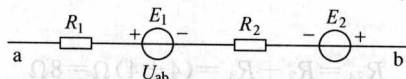


图 1-15 含源支路的欧姆定律

如果含源支路中含有多个电阻及多个电动势, 那么, 就可以写出

$$I = \frac{\pm U \pm E}{\sum R} \quad (1-13)$$

式 (1-13) 中的分母是含源支路中所有电阻的代数和; 分子是该含源支路两端的电压和含源支路中所有电动势的代数和。当端电压 U 与电流 I 的参数方向一致时, 端电压取 “+”, 反