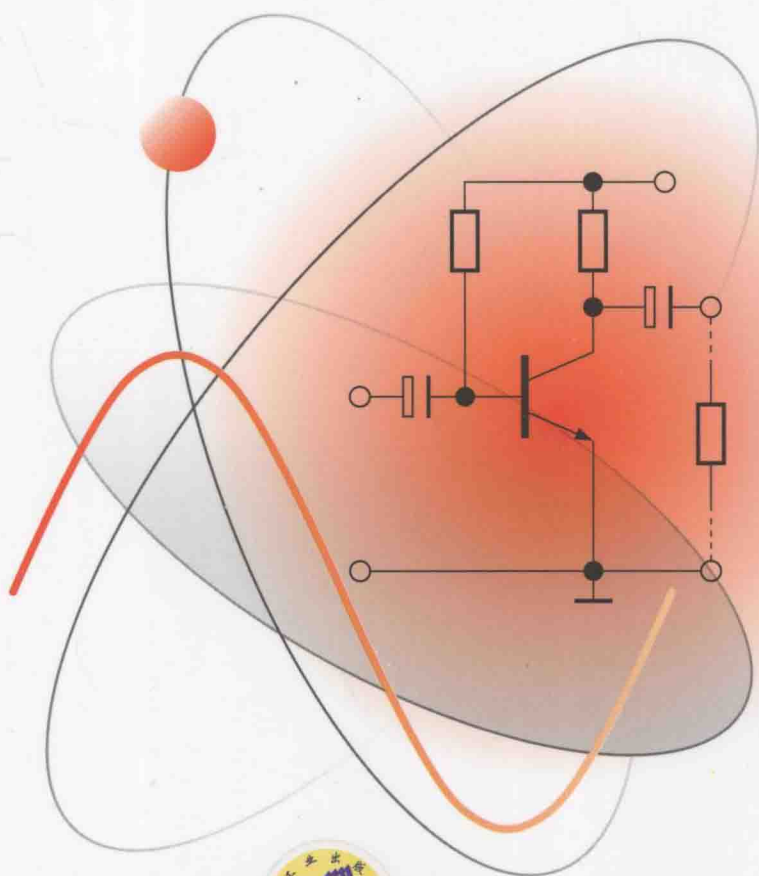




职业教育“十一五”规划教材
焊接专业“双证制”教学改革用书

电工与电子技术

徐咏冬 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



职业教育“十一五”规划教材
焊接专业“双证制”教学改革用书

电工与电子技术

主 编 徐咏冬
参 编 吴晓娜
杨 敏
李占平
主 审 张 虎



机械工业出版社

本书主要介绍电工基础、变压器、电动机及其控制电路、模拟电子技术和数字电子技术等知识。全书共分八个单元,包括直流电路、交流电路、变压器和电动机、常用电动机控制电路、二极管和整流滤波电路、晶体管和基本放大电路、集成运算放大器及其应用、数字集成电路。本书在内容选择上注重知识的实用性,编写模式新颖,将需要掌握的知识点进行分解,以单元、综合知识模块和能力知识点为层次进行编写,每单元首先安排有“学习目标”,单元中安排有“小知识”、“想一想”和“实践技能”等扩展学生知识面的趣味性内容。为便于教学,本书配备了电子教案和部分习题答案,选择本书作为教材的教师可来电索取(010-88379201),或登录 www.cmpedu.com 网站注册、免费下载。

本书可作为高职、高专和各类成人教育焊接专业的教材或培训用书,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术/徐咏冬主编. —北京:机械工业出版社, 2008.8
(2011.1 重印)

职业教育“十一五”规划教材. 焊接专业“双证制”教学改革用书
ISBN 978-7-111-24767-8

I. 电… II. 徐… III. ①电工技术—职业教育—教材②电子技术—职业教育—教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 118409 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:崔占军 齐志刚 责任编辑:罗子超

责任校对:李秋荣 封面设计:姚毅 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(北京振兴源印务有限公司装订)

2011 年 1 月第 1 版第 2 次印刷

184mm×260mm·11.75 印张·289 千字

4 001—6 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-24767-8

定价:24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821 封面无防伪标均为盗版

前 言

为了进一步贯彻《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》的文件精神，加强职业教育教材建设，满足职业院校深化教学改革对教材建设的要求，机械工业出版社于2006年11月在北京召开了“职业教育焊接专业教材建设研讨会”。在会上，来自全国十多所院校的焊接专业专家、一线骨干教师研讨了新的职业教育形势下焊接专业的课程体系，确定了面向高职、中职层次两个系列教材的编写计划。本书是根据会议所确定的教学大纲和高等职业教育培养目标组织编写的。

本书主要介绍电工基础、变压器、电动机及其控制电路、模拟电子技术和数字电子技术等知识，介绍了直流电路和交流电路的基本分析方法、变压器与电动机的结构原理和应用、电气控制元件和控制电路的原理及应用、常用电子元器件的应用方法、模拟电路和数字电路的分析应用方法等内容。本书强调培养学生分析电路及正确应用电子元器件和设备的能力。基础理论以应用为目的，以够用为度，教学内容的选择宽而精，并加强针对性与应用性。本书编写模式新颖，将需要掌握的知识点进行分解，以单元、综合知识模块和能力知识点作为层次进行编写，每单元首先安排有“学习目标”，单元中安排有“小知识”、“想一想”、“实践技能”等扩展学生知识面的趣味性内容。为便于教学，本书配备了部分习题答案。

本书在内容处理上主要有以下几点说明：①第一单元和第二单元是电路的基本理论和基本分析方法，是全书的基础，应要求学生牢固掌握；②变压器、电动机及其控制电路这一部分的教学应注意理论联系实际，使学生了解电气控制技术在生产实际中的应用，培养其分析和解决问题的能力；③模拟电子技术和数字电子技术的教学目的是教会学生分析电子电路的方法，使他们掌握电子技术中常用的基本技能。

本书由徐咏冬担任主编，张虎任主审。全书共分八个单元，吴晓娜编写第一、二单元；徐咏冬编写第三、四单元；杨敏编写第五、六单元；李占平编写第七、八单元。

由于作者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一单元 直流电路 1

综合知识模块一 电路中的基本概念 1

能力知识点 1 电路及电路模型 1

能力知识点 2 电路中的基本物理量 2

能力知识点 3 电压源与电流源 5

综合知识模块二 电路的基本定律 8

能力知识点 1 欧姆定律 8

能力知识点 2 基尔霍夫定律 11

能力知识点 3 戴维南定理和叠加原理 13

综合知识模块三 电功率 17

能力知识点 1 电功率的基本概念 17

能力知识点 2 电功率的计算 18

习题 18

第二单元 交流电路 20

综合知识模块一 正弦交流电 20

能力知识点 1 正弦交流电的基本概念 20

能力知识点 2 正弦交流电的表示方法 23

综合知识模块二 正弦交流电路 25

能力知识点 1 单一元件的交流电路 25

能力知识点 2 交流串联电路 29

能力知识点 3 交流并联电路 33

综合知识模块三 三相正弦交流电路 35

能力知识点 1 三相交流电的形成 35

能力知识点 2 三相电源和三相负载 36

能力知识点 3 三相电功率 42

综合知识模块四 安全用电 43

能力知识点 1 电气安全常识 43

能力知识点 2 防止触电的安全措施 44

能力知识点 3 防雷电措施 47

能力知识点 4 电气防火防爆 48

能力知识点 5 触电急救常识 49

习题 50

第三单元 变压器和电动机 52

综合知识模块一 变压器 52

能力知识点 1 磁路及其应用 52

能力知识点 2 变压器的基础知识 54

能力知识点 3 特殊变压器 57

综合知识模块二 电动机 60

能力知识点 1 三相异步电动机的结构与工作原理 60

能力知识点 2 三相异步电动机的运行特性 66

能力知识点 3 单相异步电动机 68

能力知识点 4 直流电动机 70

习题 73

第四单元 常用电动机控制电路 75

综合知识模块一 常用低压电器 75

能力知识点 1 开关电器 75

能力知识点 2 保护电器 78

能力知识点 3 交流接触器 80

能力知识点 4 时间继电器 81

综合知识模块二 三相异步电动机的控制电路 82

能力知识点 1 三相异步电动机的直接起动控制 82

能力知识点 2 三相异步电动机的减压起动控制 84

能力知识点 3 三相异步电动机的调速及其控制 86

综合知识模块三 电气控制电路读图、绘图训练 90

能力知识点 1 电气控制电路图的绘图原则 90

能力知识点 2 读图方法及实例 91

习题 94

第五单元 二极管和整流滤波电路 96

综合知识模块一 PN 结与半导体二极管 96

能力知识点 1 PN 结的单向导电性 96

能力知识点 2 半导体二极管的结构与伏安特性 97

能力知识点 3 二极管的主要参数 99

能力知识点 4 稳压二极管 99

综合知识模块二 整流、滤波电路 100

能力知识点 1	单相半波整流电路	100	解决措施	136
能力知识点 2	单相桥式整流电路	102	能力知识点 2	互补对称式功率放大
能力知识点 3	三相整流电路	104	电路	137
能力知识点 4	滤波电路	105	习题	139
综合知识模块三	稳压电路	107	第七单元 集成运算放大器及其应用	141
能力知识点 1	硅稳压管稳压电路	107	综合知识模块一	集成运算放大器的结构
能力知识点 2	集成稳压电路	108	和特点	141
习题		111	能力知识点 1	集成运算放大器的
第六单元 晶体管和基本放大电路		112	结构	141
综合知识模块一	半导体晶体管	112	能力知识点 2	理想集成运算放大器的
能力知识点 1	晶体管的结构	112	特点	144
能力知识点 2	晶体管的电流放大		综合知识模块二	集成运算放大器的
作用		113	应用	145
能力知识点 3	晶体管的特性曲线	115	能力知识点 1	比例运算电路
能力知识点 4	晶体管的主要参数	116	能力知识点 2	加法运算电路
综合知识模块二	共射极基本放大电路	118	能力知识点 3	积分运算电路
能力知识点 1	电路的组成和特点	118	能力知识点 4	微分运算电路
能力知识点 2	电路工作原理	120	习题	149
能力知识点 3	共射极基本放大电路的		第八单元 数字集成电路	151
静态分析		120	综合知识模块一	数字电路基础
能力知识点 4	共射极基本放大电路的		能力知识点 1	数字电路与数制
动态分析		122	能力知识点 2	电路中的逻辑关系
综合知识模块三	静态工作点的稳定	127	能力知识点 3	逻辑代数基础
能力知识点 1	温度对静态工作点的		综合知识模块二	组合逻辑电路
影响		128	能力知识点 1	组合逻辑电路的分析方法
能力知识点 2	分压偏置式放大电路	128	和设计方法	159
综合知识模块四	射极输出器	132	能力知识点 2	集成组合逻辑器件
能力知识点 1	静态分析	132	综合知识模块三	时序逻辑电路
能力知识点 2	动态分析和电路特点	132	能力知识点 1	双稳态触发器
综合知识模块五	多级放大电路	133	能力知识点 2	典型时序逻辑电路
能力知识点 1	级间耦合方式	134	习题	177
能力知识点 2	电路分析	135	附录 部分习题参考答案	179
综合知识模块六	功率放大电路	136	参考文献	182
能力知识点 1	功率放大的一般问题和			

第一单元 直流电路

【学习目标】 通过本单元的学习，了解电路和电路模型的概念，理解电流、电压、电位、电动势与电功率等基本物理量的含义，掌握电压源、电流源中的电压与电流的关系，理解电路中的几个基本定律，并能熟练应用欧姆定律、基尔霍夫定律、叠加原理和戴维南定理对电路进行分析与求解。

综合知识模块一 电路中的基本概念

能力知识点 1

电路及电路模型

一、电路的组成与作用

电路是由一些电气器件或电工设备按一定方式连接起来组成的电流通路。

实际电路的形式多种多样，但从电路的作用来看，主要有两类：一类是传输和转换电能的电路，例如电力电路，其框图如图 1-1 所示。另一类是传递和处理信号的电路，例如收音机中的电路，它的接收天线接收载有声音信息的电磁波信号后，将其转换为相应的电信号，然后通过电路来进行信号传递和处理（调谐、变频、滤波和放大等），最后将信号送到扬声器还原为原始的声音信息。

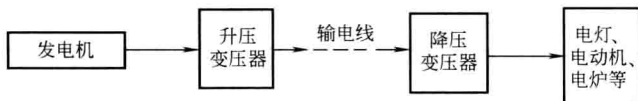


图 1-1 电能的传输和转换

电路中供应电能的设备称为电源，在电力系统中，发电机是电源。除发电机外，电池也是常用的电源。电路中取用电能的设备称为负载，如电灯、电动机和电炉等都是负载。此外，电路中还有连接导线，起传输和分配电能的作用，它们是电路的中间环节。

二、电路模型

实际电路都是由一些具有不同作用的电器元件、设备和材料连接而成的。发电机、电动机、变压器，以及各种电阻器、电容器等，它们都有着不同的电磁特性，例如，当白炽灯中



有电流通过时,白炽灯消耗了电能,说明它具有电阻性;同时还会产生磁场,说明它还具有电感性。只不过电感很小,可以忽略不计,所以可以认为白炽灯是一个电阻元件。

为了便于对实际电路进行研究和分析,可在一定的条件下采用近似的方法来模拟实际电路。其方法就是将实际元器件理想化,即在一定条件下突出其主要的电磁性质,忽略其次要性质,把它近似看作理想元器件。由一些理想元器件所组成的电路就是实际电路的电路模型,它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。常用电路的理想元器件有电阻、电容、电感和电压源等。这些元器件都可以用对应的参数来表征。手电筒实际电路的元器件有干电池、开关、筒体和小灯泡。小灯泡是电阻元件,干电池是电源;筒体和开关是连接干电池与小灯泡的中间环节,其电阻忽略不计。该电路的电路模型如图 1-2 所示。

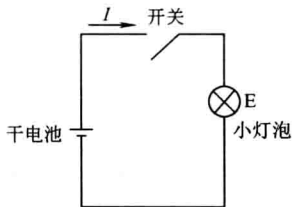


图 1-2 电路模型

本书中未做特殊说明的电路都是指电路模型。在电路图中,所有的元器件都是理想元器件,各种电路元器件用国家规定的标准图形符号来表示。

能力知识点 2

电路中的基本物理量

一、电流及参考方向

1. 电流的定义

带电粒子的定向移动形成电流。习惯上,把正电荷移动的方向称为电流的方向。电流既是一种物理现象,也是表征电荷有序运动强弱的物理量,在量值上等于单位时间内通过横截面的电荷量(简称电荷),用符号 i 表示,即

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

直流电流的大小和方向均不随时间发生变化,用符号 I 表示,即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

交流电流的大小和时间都随时间发生变化,用符号 i 表示。

在国际单位制中,电流的单位是 A(安)。按照电流大小的定义,若在 1s 内通过导体横截面的电荷量为 1C(库)时,则电流为 1A。此外,电流的辅助单位还有 kA(千安)、mA(毫安)和 μA (微安),它们的关系为

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

2. 电流的参考方向

当电路非常简单时,电流的实际方向容易被直接判断出来,但大多数情况下电路模型都是比较复杂的,其电流的实际方向往往难以在电路中事先被标注出来,例如图 1-3 所示复杂电路中元器件的电流。因此,为了分析电路,常采用人为指定电流方向的方法,这种方向称为电流的参考方向。任意指定参考方向后,当电流的实际方向与参考方向一致时,则电流为正值;反之,电流为负值。只有在参考方向选定之后,电流的正负之分才有意义。电流参考方向的标注方法有箭头表示法和双下标表示法两种,如图 1-4 所示。

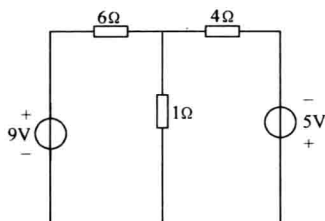


图 1-3 复杂电路

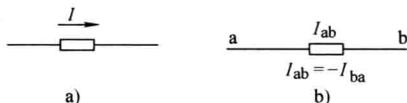


图 1-4 电流的参考方向

a) 箭头表示法 b) 双下标表示法

二、电压和电位

1. 电压

电路中任意两点间的电压等于电场力将单位正电荷从一点移到另一点所做的功，用符号 U 表示。电压的方向规定为由高电位端指向低电位端，即电位降低的方向。其表达式为

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

在国际单位制中，电压的单位是 V（伏）。当电场力把 1C 电荷从一点移到另一点所做的功为 1J 时，则此两点间的电压为 1V。电压的单位还有 kV（千伏）、mV（毫伏）和 μV （微伏），它们的关系为

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

与电流类似，分析电路时也必须事先任意指定电压的参考方向。其标注方法通常有极性表示法、箭头表示法和双下标表示法三种，如图 1-5 所示。其中，极性表示法中电压的参考方向从“+”指向“-”；箭头表示法中电压的参考方向是箭尾指向箭头的方向；双下标表示法中 U_{ab} 表示电压参考方向由 a 指向 b。

2. 电位

在分析电子电路时经常用到电位这个概念。例如对二极管来说，当它的阳极电位高于阴极电位时，二极管才能导通，否则就截止。前面已经讲解了电压的概念，在数学关系上两点间的电压为两点的电位之差，但它只能说明这两点电位的高低，至于某一点的电位具体是多少并不知道。要计算电位，必须在电路中任取一点作为参考点，通常设参考点的电位为 0，则电路中其余各点相对该参考点的电压就称为该点的电位。电位用符号 V 表示，其单位也是 V（伏）。当电路中某点的电位高于参考点的电位时，该点的电位为正值；反之为负值。若两点间的电位分别表示为 V_a 和 V_b ，则这两点间的电压可以表示为

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

需要注意的是，若对某一固定的电路选择不同的参考点，则其他任一点的电位会因参考点的不同而不同，但任意两点间的电压值总是固定不变的，与参考点的选择无关。

三、电动势

电动势是在电源内部由非电场力将单位正电荷从电源一端搬运到另一端所做的功，用符号 E 表示。其单位也是 V（伏）。电源电动势的方向规定为在电源内部由低电位（“-”极性）端指向高电位（“+”极性）端，即为电位升高的方向。

四、电位的计算

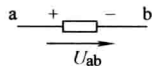


图 1-5 电压的参考方向



例 1-1 在图 1-6 所示的电路中, 符号 “ $\perp$ ” 表示接地点, 即为参考点, 求图中各点的电位。

解: b 点为参考点, 则 $V_b = 0$, 可得出

$$U_{ba} = V_b - V_a \quad V_a = U_{ab} = +60\text{V}$$

$$U_{cb} = V_c - V_b \quad V_c = +140\text{V}$$

$$U_{db} = V_d - V_b \quad V_d = +90\text{V}$$

可见, a 点的电位比 b 点高 60V, 而 c 点和 d 点的电位分别比 b 点高 140V 和 90V。若设 a 点为参考点, 则各点的电位又是多少? 读者可自行分析计算。

图 1-6 也可简化为如图 1-7 所示的电路, 即采用简化画法, 电源不画出来, 各端标出相应的极性和电位值。

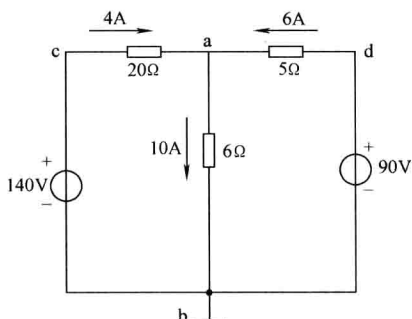


图 1-6 例 1-1 图

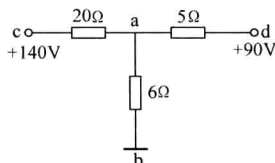


图 1-7 简化电路

例 1-2 图 1-8 为某电路的一条支路, 求 b 点的电位。

$$\text{解: } I = \frac{V_a - V_c}{R_1 + R_2} = \frac{15}{150 \times 10^3} \text{A} = 0.1 \times 10^{-3} \text{A}$$

$$U_{ab} = V_a - V_b = IR_2$$

$$V_b = V_a - IR_2 = 6\text{V} - (0.1 \times 10^{-3}) \times (50 \times 10^3) \text{V} = +1\text{V}$$

图 1-8 的电路也可化成如图 1-9 所示的电路。

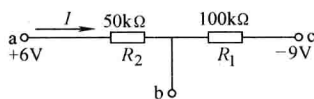


图 1-8 例 1-2 图

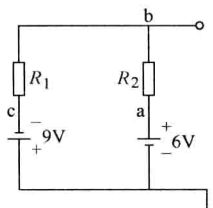


图 1-9 图 1-8 的等效电路

五、基本电量的测量方法

1. 电压的测量

测量直流电压常用磁电式电压表, 电压表与被测电压部分并联, 如图 1-10 所示。此时流过电压表测量机构的电流与被测电压成正比, 而测量机构指针偏转角度与电流成正比。但是测量机构本身的电阻并不大, 允许通过的电流很小, 只能测量很低的电压。为了测量较高的电压, 可以用较大的电阻与测量机构串联, 适当地选择它的阻值可使大部分外加电压施加在该电阻上, 测量机构的电压可以限制在允许范围内, 使得测量的电压量程扩大, 如图 1-11 所示。

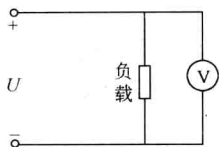


图 1-10 电压的测量

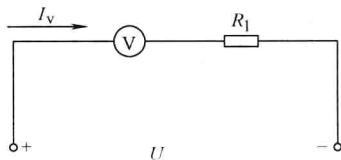


图 1-11 电压测量量程的扩大

实际所需要扩大的量程越大, 则所串联的电阻也应越大。多量程电压表应具有几个标有不同量程的接线端子, 这些端子可分别与相应的电阻串联。

2. 电流的测量

测量直流电流时一般都选择磁电式电流表。电流表工作时, 应串联在被测电路中, 如图 1-12 所示。为了使电路的工作不因接入电流表而受到影响, 电流表的内阻必须很小。因此, 若不小心将电流表直接并联在电源两侧, 电流表很容易被烧毁。

使用磁电式电流表测量直流电流时, 由于表头所允许通过的电流很小, 不能直接接大电流, 为了扩大其量程, 应该在表头两端并联一个起分流作用的低值电阻 R , 这样通过磁电式电流表的测量机构的电流只是被测电流的一部分, 如图 1-13 所示。需要扩大的量程越大, 则分流电阻应该越小。多量程电流表也具有几个标有不同量程的接线端子, 这些端子可分别与相应的分流电阻并联。分流电阻通常放在仪表的内部, 成为仪表的一部分。

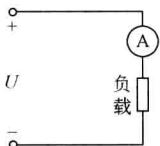


图 1-12 电流的测量

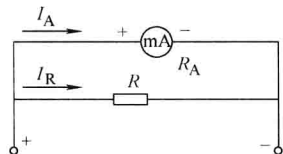


图 1-13 电流测量量程的扩大

能力知识点 3

电压源与电流源

同一个电源可以采用两种不同的电路模型来表示, 一种是用电压的形式表示, 称为电压源; 一种是用电流的形式表示, 称为电流源。

当不考虑电源内阻时, 电压源和电流源就成了理想电压源和理想电流源。

一、理想电压源

在任一时刻理想电压源的电压保持为定值, 与通过它的电流无关。在忽略内阻的情况下, 电池、发电机或稳压电源等都可以用电压源作为它们的理想化模型。理想电压源有以下两个特点:

1) 它的端电压是定值 U_s , 不会随外接电路负载的不同而改变。

2) 元件中电流的大小与外接电路有关, 输出电流 (功率) 可以无穷大。

理想电压源在电路中的图形符号如图 1-14 所示, 其中 U_s (或 u_s) 为电压源的电压。图 1-15 为直流理想电压源的电压与电流关系的特性曲线, 它是平行于横轴的一条直线, 表明理

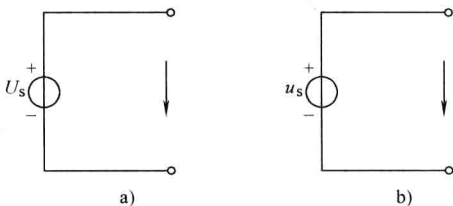


图 1-14 理想电压源

a) 直流电压源 b) 交流电压源



想电压源的电压固定不变，与流过的电流无关。

任何一个电源都有电动势和内阻，所以实际电压源的模型由理想电压源串联一个电阻组成，如图 1-16 所示。其中， R_s 称为电源的内阻或输出电阻。根据图 1-16 所示的电路可以得出

$$U = U_s - IR_s \quad (1-5)$$

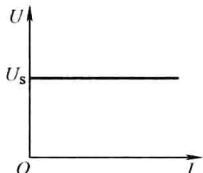


图 1-15 直流理想电压源的特性曲线

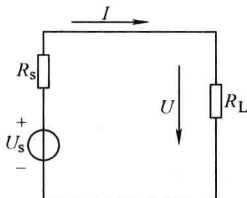


图 1-16 实际电压源供电电路

当电压源开路时， $I = 0$ ， $U = U_s$ ；当短路时， $U = 0$ ， $I = U_s/R_s$ 。内阻 R_s 越小， I_s 就越大。当 $R_s = 0$ 时， $I_s = \infty$ ，电压源模型就变成了理想电压源模型（恒压源）。

二、理想电流源

理想电流源的输出电流是一个与其端电压无关的定值。理想电流源在电路中的符号及其电压与电流的关系如图 1-17 所示。

理想电流源有以下两个特点：

- 1) 输出电流不变，其值恒等于电流源的电流 I_s 。
- 2) 输出电压由外电路决定。

实际电流源的电路模型由理想电流源并联一个电阻组成。 $I = I_s - U_{ab}/R_s$ ，由此可作出电流源的外特性曲线，如图 1-18 所示。

当实际电流源不带负载时， $I = 0$ ， $U_{ab} = I_s R_s$ ；当实际电流源外部短路时， $U_{ab} = 0$ ， $I = I_s$ 。内阻 R_s 越大，则直线越陡。当 $R_s = \infty$ 时，实际电流源模型就变成了理想电流源模型（恒流源）。

三、电压源与电流源的等效变换

同一电源，既可以用电压源表示，也可以用电压源表示。因此，电源的两种电路模型即电压源和电流源可以作等效变换。但要满足什么条件才能进行等效变换呢？下面就来探讨这个问题。

如图 1-19a 所示的电压源模型，其输出电压和电流为

$$U = U_s - IR_0$$

$$I = \frac{U_s - U}{R_0} = \frac{U_s}{R_0} - \frac{U}{R_0}$$

如图 1-19b 所示的电流源模型，其输出电压和电流为

$$U = (I_s - I) R_s$$

$$I = I_s - \frac{U}{R_s}$$

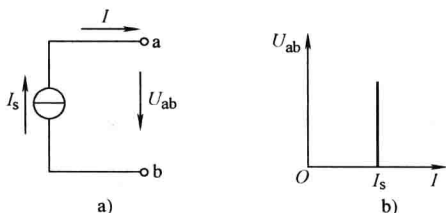


图 1-17 理想电流源

a) 符号 b) 伏安特性

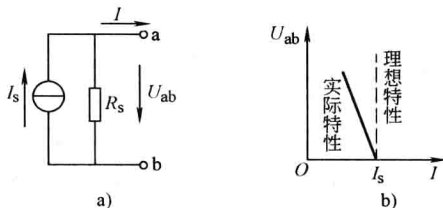


图 1-18 实际电流源

a) 实际电流源电路 b) 电流源的外特性



如果两种模型端口处的电压和电流相等，则这两种模型可以进行等效替换，即

$$I_s - \frac{U}{R_s} = \frac{U_s}{R_0} - \frac{U}{R_0}$$

由上式可得到变换的条件为

$$I_s = \frac{U_s}{R_0} \quad \text{且} \quad R_s = R_0$$

根据上式进行等效变换时应该注意下面几个问题：

1) “等效”是指对“外电路”等效（等效变换前后对外电路的伏安特性一致），对电源内部不等效。

2) 注意变换前后电压源与电流源参考方向的对应关系。

3) 理想电压源（恒压源）和理想电流源（恒流源）不能进行等效变换。

4) 进行电路计算时，恒压源串联电阻和恒流源并联电阻两者之间均可等效变换， R_s 和 R_0 的数值可以包含外电路的电阻。

例 1-3 用等效变换的方法求出图 1-20 所示电路中的电流大小。已知： $U_1 = 12\text{V}$ ， $U_3 = 12\text{V}$ ， $R_1 = 2\Omega$ ， $R_2 = 4\Omega$ ， $R_3 = 4\Omega$ ， $R_4 = 4\Omega$ ， $R_5 = 5\Omega$ ， $I_s = 3\text{A}$ 。

解：原图等效变换的过程如图 1-21、图 1-22 和图 1-23 所示。

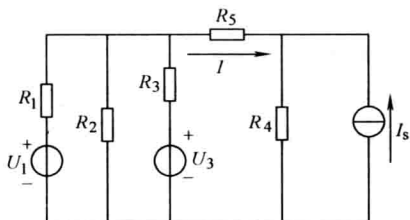


图 1-20 例 1-3 图

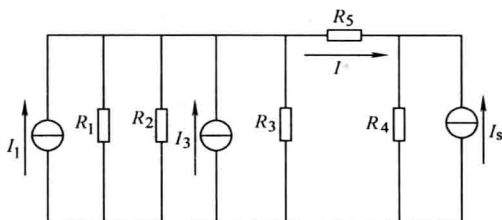


图 1-21 等效变换过程 1

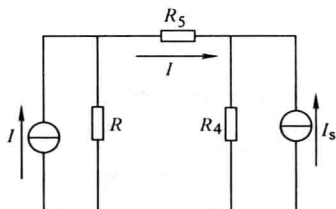


图 1-22 等效变换过程 2

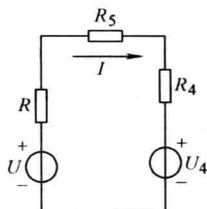


图 1-23 等效变换过程 3

其中

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} \quad I_3 = \frac{U_3}{R_3}$$

其中

$$I = I_1 + I_3 \quad R = R_1 // R_2 // R_3$$

其中

$$U = IR \quad U_4 = I_s R_4$$

则 $I = (U - U_4) / (R + R_5 + R_4)$ ，代入数值计算得 $I = -0.3\text{A}$ （负号表示实际方向与参考方向相反）



【小实验】 使用电压表检查电路故障

按图 1-25 接线，以电路中的 a 点为参考点，用直流电压表（或万用表的直流电压档）测量电路中各点的电位和电压，记录测量结果。将电路中任一点开路或将某个电阻短接，重复以上测量。根据测量结果分析判断故障，检查故障点。

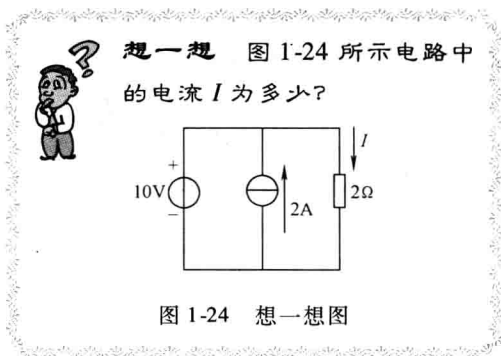


图 1-24 想一想图

综合知识模块二 电路的基本定律

能力知识点 1

欧姆定律

一、电阻

电阻是表示物体对电流阻碍作用的物理量，在国际单位制中，电阻的单位名称是欧姆，符号为 Ω （欧）。计量高电阻时则以 $k\Omega$ （千欧）或 $M\Omega$ （兆欧）为单位，它们之间的关系为

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

对于导体来说，电阻的大小主要由导体的长度、粗细、材料及外界的温度决定。在温度一定的条件下，其电阻的大小与导体的长度成正比，与导体的横截面积成反比，可表示为

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-6)$$

式中 l ——导体的长度（m）；

S ——导体的横截面积（ m^2 ）；

ρ ——材料的电阻率（ $\Omega \cdot m$ ）。

材料的电阻率反映了材料的导电性能，电阻率越大，材料的导电性能越差。按照电阻率的大小可以把材料分为三类：电阻率小于 $10^{-6} \Omega \cdot m$ 的材料称为导体，如镁、铜、铝和铁等金属材料；电阻率大于 $10^7 \Omega \cdot m$ 的材料称为绝缘体，如塑料和陶瓷等；介于导体和绝缘体之间的材料称为半导体，如硅和锗等。

二、欧姆定律的概念

流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比，这就是欧姆定律。它是电路的基本定律之一。欧姆定律可用下式表示：

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

从欧姆定律可以看出，当所加电压一定时，电阻越大，电流越小，可见电阻对电流起阻碍作用。

根据电路图上的所选电压和电流参考方向的不同，在欧姆定律的表达式中可带有相应的正负

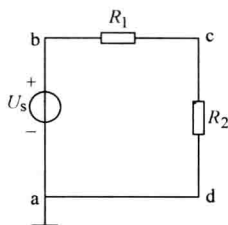


图 1-25 小实验图



号,如图 1-26 所示。需要注意的是,图中等式的正负号是根据电压和电流的参考方向得出的。另外,电压和电流本身也有正负之分。

例 1-4 图 1-26a 中, $U = 6\text{V}$, $I = 2\text{A}$; 图 1-26b 中, $U = 6\text{V}$, $I = -2\text{A}$; 图 1-26c 中, $U = -6\text{V}$, $I = 2\text{A}$, 分别求出电阻 R 。

解: 图 1-26a $R = \frac{U}{I} = \frac{6}{2}\Omega = 3\Omega$

图 1-26b $R = -\frac{U}{I} = -\frac{6}{-2}\Omega = 3\Omega$

图 1-26c $R = -\frac{U}{I} = -\frac{-6}{2}\Omega = 3\Omega$

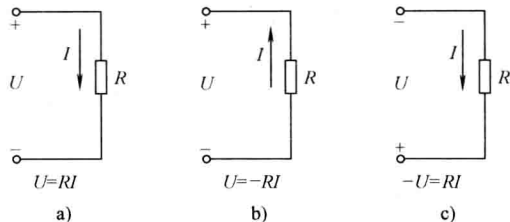


图 1-26 欧姆定律

三、电阻的测量

电阻的测量方法有多种,在这里主要介绍万用表测电阻和伏安法测电阻这两种方法。

1. 万用表测电阻

使用万用表的欧姆档可以直接测量电阻。测量电阻前应先估计被测电阻的大小,并选择合适的量程。若待测电阻为 68Ω ,则应选用 $R \times 1$ 档测量,在欧姆刻度上直接读出被测电阻的电阻值。若待测电阻为 680Ω ,则应选用 $R \times 10$ 档测量,其电阻值是将表盘上显示的读数乘以 10 所得的数值。也就是说,选用不同档位进行测量时,应将刻度读数乘以档位的倍率才是电阻的实际阻值。

利用万用表测电阻时需要注意以下几个方面:

- 1) 测量电阻时,应切断电阻所连接的电源,以免损坏万用表。
- 2) 测量过程中还应将电阻从电路中分离出来,以免电路的其他部分与电阻构成通路而影响测量结果。
- 3) 由于万用表测电阻是利用表内电池,故随着测量的进行,表内电池电量的消耗会影响测量精度,所以每次测量电阻前应先进行调零。
- 4) 在测量电阻的过程中,如需要重新选择档位,则在测量前还应该再次进行调零。
- 5) 测量电阻时,不能用双手同时握住电阻引线或表笔的金属部分进行测量。

2. 伏安法测电阻

伏安法测电阻是利用电压表、电流表测量电阻两端的电压和流过电阻的电流,然后应用欧姆定律计算出被测的电阻值。

测量电阻的电压时,应选用合适的电压表,并将电压表并联在电阻的两端。测量通过电阻的电流时,应选用合适的电流表,并将电流表串联在电阻构成的支路中。在测量电阻两端电压 U 和流过电阻的电流 I 后,可确定被测电阻为

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

伏安法测量电路有两种接法,图 1-27a 所示电路适用于测量阻值较大的电阻,由于电流表的内阻很小,其

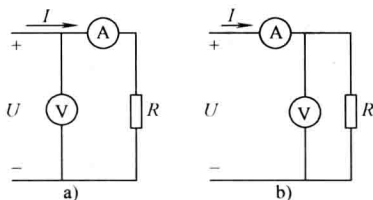


图 1-27 伏安法测电阻

a) 测量大电阻的电路

b) 测量小电阻的电路



电压降远小于被测电阻的电压降，电压表读数近似等于电阻的电压降。图 1-27b 所示电路适用于测量阻值较小的电阻，由于电压表的内阻很大，通过电压表的电流远小于被测电阻中的电流，电流表的读数近似等于流过电阻的电流。



小知识

电阻器的标注

电阻器的标称阻值和允许误差一般都标注在电阻器上，其标注方法有两种：

(1) 直标法 将电阻器的标称阻值和误差等级直接用数字印在电阻器上。例如“ $5.1\text{k}\Omega \pm 10\%$ ”表示阻值为 5100Ω ，误差为 $\pm 10\%$ ，没有标注误差等级的，则一律表示误差为 $\pm 20\%$ 。直标法的识别方法简单，但安装在电路板上的电阻，其标称值可能被电阻体遮挡，无法在线识别。

(2) 色标法 将不同颜色的色环印在电阻器上，以标明电阻器的标称阻值和允许误差。色环并排环绕在电阻器上，由左向右读取，一般最右侧的一道色环与其他色环之间的距离稍宽。色环的意义见表 1-1。

表 1-1 色环的意义

颜 色	有效数字			倍 率	允许误差
	第一位数	第二位数	第三位数		
银	—	—	—	$\times 10^{-2}$	$\pm 10\%$
金	—	—	—	$\times 10^{-1}$	$\pm 5\%$
黑	—	0	0	$\times 10^0$	—
棕	1	1	1	$\times 10^1$	$\pm 1\%$
红	2	2	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$
橙	3	3	3	$\times 10^3$	—
黄	4	4	4	$\times 10^4$	—
绿	5	5	5	$\times 10^5$	$\pm 0.5\%$
蓝	6	6	6	$\times 10^6$	$\pm 0.2\%$
紫	7	7	7	$\times 10^7$	$\pm 0.1\%$
灰	8	8	8	$\times 10^8$	—
白	9	9	9	$\times 10^9$	—
无色	—	—	普通电阻	—	$\pm 20\%$

普通电阻用两位有效数字、一位倍率和一位误差范围标注，共需 4 道色环；精密电阻用 5 道色环标注，前 3 道色环表示有效数字，第 4 道色环表示倍率，第 5 道色环表示允许误差，表 1-1 中列出了各种色环所表示的数字和允许误差的等级。

例如：4 道色环 红 紫 橙 金
 2 7 $\times 10^3$ $\pm 5\%$ $27\text{k}\Omega \pm 5\%$
 5 道色环 棕 红 黑 金 棕
 1 2 0 $\times 10^{-1}$ $\pm 1\%$ $12\Omega \pm 1\%$

用色环标注的电阻器，颜色醒目，标志清晰，从各个方向都能看清阻值和允许误差，在安装、调试和检修电子电气设备时十分方便，因此应用广泛。



能力知识点 2

基尔霍夫定律

分析与计算电路时,除了欧姆定律外,还有基尔霍夫电流定律(KCL)与基尔霍夫电压定律(KVL),它们用来描述电路中各部分电流与电压的关系。其中基尔霍夫电流定律应用于节点,而基尔霍夫电压定律应用于回路。在学习这两个定律之前,先来熟悉与之相关的几个术语。

一、电路中的几个名词术语

1. 支路

电路中的每一条分支称为支路,流过一条支路的电流称为支路电流。在图 1-28 所示的电路中共有 3 条支路。

2. 节点

电路中 3 条或 3 条以上支路的连接点称为节点。在图 1-28 所示的电路中有两个节点,即 a 和 b。

3. 回路

电路中由一条或多条支路所构成的闭合路径称为回路。

在图 1-28 所示的电路中共有 3 个回路。

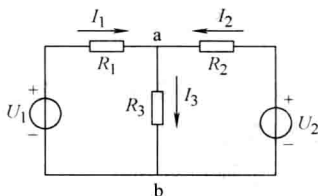


图 1-28 复杂电路

二、基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律用来确定连接在同一节点的各支路中电流间的关系,它实际上是电流的连续性原理在电路各节点上的体现。

基尔霍夫电流定律的内容为:对任一节点,在任一瞬间,流入节点的电流之和等于流出节点的电流之和。或者说,在任一瞬间,一个节点上电流的代数和为 0,即

$$\sum I = 0 \quad (1-8)$$

在图 1-28 所示的电路中,电流的参考方向已给出,对于图中的节点应用基尔霍夫电流定律可写出

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

或

$$\sum I = 0$$

$\sum I = 0$ 是基尔霍夫电流定律的一般表达式。应用时应注意,流入节点的电流前面取正号,流出节点的电流前面取负号。判断电流是流入节点还是流出节点均按其参考方向来判断。因此,应用基尔霍夫电流定律之前,先要在电路中标注出各支路电流的参考方向。

例 1-5 在图 1-29 所示的电路中, $I_1 = 2\text{A}$, $I_2 = -3\text{A}$, $I_3 = -2\text{A}$, 求 I_4 。

解: 由基尔霍夫电流定律可列出

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4$$

则

$$I_4 = 2\text{A} + (-2)\text{A} - (-3)\text{A} = 3\text{A}$$

基尔霍夫电流定律通常应用于节点,也可以应用于电路的任意封闭面。图 1-30 所示点画线所包围的是一个由 3 个电阻组成的闭合回路。电路中的电流关系满足

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$