



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

电工与电子技术

冯满顺 骆秋秋 戴玉珍 朱林江 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

URL: <http://www.phei.com.cn>

中等职业教育国家规划教材

电工与电子技术

冯满顺	骆秋秋	编	著
戴玉珍	朱林江	责任主审	
刘蕴陶		审	稿
庄效桓			

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书依据教育部最新制定的《中等职业学校电工与电子技术教学大纲(试行)》编写而成。全书由电路基础、电工技术、模拟电子技术、数字电子技术和实验五个部分组成,包括直流电路、正弦交流电路、交流铁心线圈和铁心变压器、常用电动机、低压电器和控制电路、供电及安全用电、半导体器件、放大电路及集成运放、整流及稳压电路、数字电路的基础知识、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与变换及 A/D、D/A 转换等教学内容。其中选用的部分,在标题前注有 * 号,以供选用。

根据中等职业学校的培养目标,本书以现代电工与电子技术的基础知识和基本技能为主线,以培养学生的实际应用能力为目的,每个知识点都配有相应的课堂练习,每一章末都配有自测题、本章小结和相应的适量的习题;每一部分教学内容都有相应的实验或实训,以培养和提高学生的动手能力和综合素质。

本书采用模块编排方式,以便根据不同的专业、不同的需要,增删教学内容,因而本书适用面广。本书可作为中等职业学校非电类相关专业(三年制)电工与电子技术课程的教材。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术/冯满顺等编著. —北京:电子工业出版社,2001.6

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-5053-6246-1

I. 电… II. 冯… III. ①电工技术—专业学校—教材②电子技术—专业学校—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 041019 号

丛 书 名: 中等职业教育国家规划教材

书 名: 电工与电子技术

编 著 者: 冯满顺 骆秋秋 戴玉珍 朱林江

责任主审: 刘蕴陶

审 稿: 庄效桓

责任编辑: 张孟玮

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京四季青印刷厂

装 订 者: 河北省涿州桃园装订厂

出版发行: 电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 12.5 字数: 320 千字

版 次: 2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-6246-1
TN·1385

印 数: 8 000 册 定价: 13.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换;

若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

前 言

本书是中等职业教育国家规划教材,是在近几年来职业教育特别是职业电子技术教学改革和实践的基础上,依据教育部最新制定的《中等职业学校电工与电子技术教学大纲(试行)》编写而成的,可作为中等职业学校非电类相关专业电工与电子技术课程的教材。

根据中等职业学校的培养目标和现代工厂企业发展的需要,本书在内容取舍上以现代电工与电子技术的基础知识和基本技能为主线,以实际应用为目的,在保证科学性的前提下,删繁就简,使教材重点突出、概念清晰、实用性强。

本书在内容安排上,以培养学生的工作能力为目的,将基础知识的讲授、课堂练习、作业和实验有机结合、融为一体,使能力培养贯穿于整个教学过程。本书采用模块编排方式,以便根据不同的专业、不同的需要,增删教学内容,因而本书适用面广。为方便教学,本书章节顺序和教育部最新制定的《中等职业学校电工与电子技术教学大纲(试行)》基本相同。本书分为5篇13章及实验,第1篇电路基础,包括第1章直流电路、第2章正弦交流电路;第2篇电工技术,包括第3章交流铁心线圈和铁心变压器、第4章常用电动机、第5章低压电器和控制电路、第6章供电及安全用电;第3篇模拟电子技术,包括第7章半导体器件、第8章放大电路及集成运放、第9章整流及稳压电路;第4篇数字电子技术,包括第10章数字电路的基础知识、第11章组合逻辑电路、第12章时序逻辑电路、第13章脉冲波形的产生与变换及A/D、D/A转换;第5篇实验,包括了与电路基础、电工技术、模拟电子技术和数字电子技术的内容相应的12个实验。本书涵盖了教育部最新制定的《中等职业学校电工与电子技术教学大纲(试行)》要求的基础模块、选用模块和实践性教学模块的教学内容,其中选用的部分,在标题前注有*号,以供选用。

本书着力体现中等职业学校电子技术教学改革的先进的成功的经验。本书理论联系实际,遵循循序渐进的认知规律,知识点的引入采用实物示教、演示实验。本书的演示实验都可在 Electronics Workbench EDA 上实现,可运用电子线路仿真的“虚拟电子工作台”(Electronics Workbench)进行课堂教学,使电子技术教学直观可行、生动活泼,具有一定的先进性和可操作性。本书推行目标教学法,边讲边练、讲练结合,每个知识点都配有相应的课堂练习,每章末都配有自测题、本章小结和相应的适量的习题;每一部分教学内容都有相应的实验或实训,使学生通过学习,掌握知识、学会技能,以培养和提高学生的动手能力和综合素质。

本书第1篇和第2篇由骆秋秋高级讲师编写,第3篇由戴玉珍高级讲师编写,第4篇由冯满顺高级讲师编写,第5篇由冯满顺和朱林江高级讲师编写。全书由冯满顺任主编,负责全书的统稿。本书承蒙上海电子技术学校吴汉森高级讲师仔细审阅,他提出了许多十分宝贵的意见;同时,本书通过教育部特邀刘蕴陶、庄效桓等对本书进行审定;本书在编写过程中,参考了不少的文献和教材,在此一并表示衷心的感谢。

由于本书编写时间过于仓促,加上编者水平有限,教材中一定会有不少欠缺或错漏之处。恳请使用本教材的师生和读者提出宝贵意见。

编著者
2001年2月

第1篇 电路基础

第1章 直流电路

1.1 电路模型、电路基本物理量

1.1.1 电路

在日常生活中或在生产实践中人们广泛地使用种类繁多的电路。例如为了采光而使用照明电路；收音机和电视机中为了将微弱信号进行放大使用放大电路；工厂企业中大量使用各种控制电路等。电路就是电流通过的路径。

实物示教 观察手电筒的结构，由二节 1.5V 的干电池，一只小灯泡，一段连接导线和一个开关组成，如图 1-1 所示。其中干电池即电源，小灯泡即负载，开关即控制设备。因此，手电筒电路可用图 1-2 所示的即电路模型图表示。可见，电路是由电源、负载、输电导线和控制设备等组成。

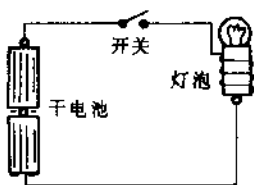


图 1-1 手电筒电路

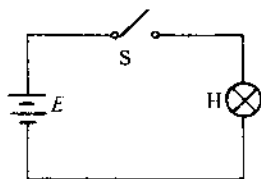


图 1-2 手电筒电路模型

电源 是供应电能的装置，它把其他形式的能量转换为电能。例如，发电机把机械能转换成电能，干电池把化学能转换成电能。

负载 是取用电能的装置，它把电能转换为其他形式的能量。例如，电灯把电能转换成光能和热能，电动机把电能转换成机械能。

对电源来讲，负载、连接导线和开关称为外电路，电源内部的一段称为内电路。

1.1.2 电流、电压和功率

1. 电流

电荷的定向移动就形成电流。电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向。电流的大小用电流强度 I 来度量，简称电流。

演示实验 1.1 用直流电源和函数信号发生器分别产生直流电压和正弦波及锯齿波电压。分别用示波器观察，可以看到如图 1-3 所示的波形。

可见电流可分为两类：一类是大小和方向均不随时间改变的电流称为恒定电流，如图

1-3(a)所示,简称直流,简写作DC。另一类是大小和方向都随时间变化的电流称为变动电流,其中一个周期内电流的平均值为零的变动电流则称为交变电流,如图1-3(b)、图1-3(c)所示,简称交流,简写作AC。

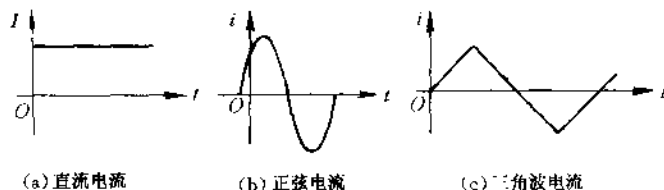


图 1-3 演示实验 1.1

对于直流,单位时间内通过导体横截面的电荷量 Q 是恒定不变的。其电流 I

$$I = Q/t \quad (1.1)$$

对于交流,其电流 i

$$i = dq/dt$$

在国际单位制中,电流的单位是安培,符号为(A)。有时还用到千安(kA),毫安(mA)或微安(μ A)。其关系如下:

$$1\text{kA} = 1000\text{A} = 10^3\text{A}$$

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$$

$$1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

电流在导体中流动的实际方向有两种可能。在复杂电路中某一段电路里电流的实际方向有时很难立即判定。有时电流的实际方向还在不断地改变。因此在电路中很难标明电流的实际方向,为了解决这样的困难,引入了电流的“参考方向”的概念。

在一段电路或一个电路元件中事先选定一个方向。这个选定的方向叫做电流的“参考方向”。我们规定:若电流的实际方向与任意选定的参考方向一致,则电流值为正值,即 $i > 0$ 。若电流的实际方向与任意选定的电流参考方向相反,则电流值为负值,即 $i < 0$,如图1-4所示。

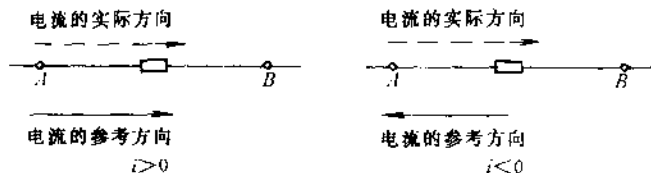


图 1-4 电流参考方向

2. 电压

在电路中电荷之所以能定向移动,是由于电场力作用的缘故。

在图1-2所示的外电路中,正电荷受电场力作用由电源的“+”端通过负载向电源的“-”端移动。正电荷所具有的电位能逐渐减小,从而把电能转换为其他形式的能量。

如图1-5所示,电场力 F 把正电荷从 A 端移到 B 端所做的功 W_{AB} 与被移动的电荷量 Q 的比值称为 A 、 B 两端间的电压,用 U_{AB} 表示,即 $U_{AB} = W_{AB}/Q$ 。

由上式可知, A 、 B 两端间的电压,在数值上就等于电场力把单位正电荷从 A 端移到 B 端

所做的功。在图 1-6 所示电路中任选一点(如 O 点)为参考点,则某点(如 A 点)到参考点电压就叫做这一点的电位(相对于参考点)。用符号 U_A 表示。可知 $U_A = U_{AO}$ 。

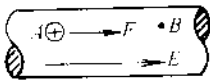


图 1-5 电压的定义

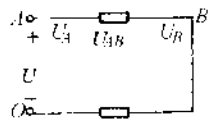


图 1-6 电压和电位

如果 A 、 B 两点的电位分别记为 U_A 、 U_B ，则 $U_{AB} = U_A - U_B$ 。

因此,两点间的电压,就是该两点的电位之差。引入电位概念后,我们可以说,电压的实际方向是由高电位点指向低电位点。所以我们常将电压称为电压降。

在国际单位制中,电压的单位是伏特,符号为(V),有时还需要用千伏(kV),毫伏(mV)或微伏(μ V)作单位。

和分析电流一样,对元件或电路中两点之间可以任意选定一个方向为电压的参考方向,在电路图中一般用实线箭头表示。当电压的实际方向与它的参考方向一致时,电压值为正,即 $U > 0$;反之,当电压的实际方向与它的参考方向相反时,电压值为负,即 $U < 0$,如图 1-7 所示。有时电压用参考极性表示,即在元件或电路两端用“+”和“-”符号表示。“+”号表示高电位端,叫正极。“-”号表示低电位端,叫负极。由正极指向负极的方向就是电压的参考方向。

课堂练习 1.1 图 1-8 中已给出电压参考方向,已知 $U_1 = 5V$, $U_2 = -5V$,试指出电压的实际方向。

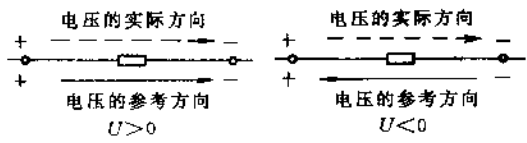


图 1-7 电压的参考方向

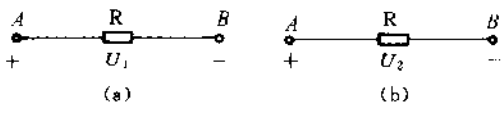


图 1-8 课堂练习 1.1 附图

一般情况下,电流参考方向的选定与电压参考方向的选定是无关的。但是为了方便起见,对一段电路或一个电路元件,如果选定电流的参考方向与电压的参考方向一致,即选定电流从标以电压“-”极性的的一端流入,从标以电压“+”极性的另一端流出,则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向,简称关联方向,如图 1-9 所示。

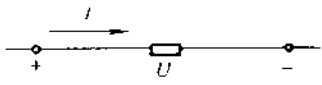


图 1-9 关联参考方向

3. 功率

电流在单位时间内做的标称电功率,简称为功率,在直流情况下,功率用符号 P 表示,有如下公式:

$$P = W/t = UI \quad (1.2)$$

在电压和电流关联参考方向下,当计算出功率值为正,即 $P > 0$ 时,表示元件是吸收或消耗电能;当计算出功率值为负,即 $P < 0$ 时,表示元件是发出电能,若在非关联参考方向下,我们取

$$P = -UI \quad (1.3)$$

这样规定之后, $P > 0$ 时,仍表示元件实际吸收或消耗电能; $P < 0$ 时,表示元件实际发出电

能。在国际单位制中,功率的单位为瓦特,符号为(W)。

1.1.3 电阻元件的电压、电流关系

1. 电阻与电阻元件

电荷在电场力作用下作定向运动时往往要受到阻碍作用。物体对电流的阻碍作用,称为该物体的电阻,用符号 R 来表示。电阻的单位是欧姆(Ω)。

由实验可知,当温度一定时导体的电阻不仅与它的长度和横截面积有关,而且与导体材料的电阻率有关。即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1.4)$$

式中 L 为导体的长度,单位为米(m); S 为导体的截面积,单位为平方毫米(mm^2); ρ 为导体的电阻系数,单位为 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

电阻的倒数称为电导,用 G 来表示,电导在国际单位制中单位为西门子,符号为(s)。

$$G = 1/R \quad (1.5)$$

2. 电阻元件的电压、电流关系——欧姆定律

1827 年德国科学家欧姆通过科学实验总结出:施加于电阻元件上的电压与通过的电流成正比。即

$$U = RI \quad (1.6)$$

这一规律称为欧姆定律。遵循欧姆定律的电阻称为线性电阻。

如果电阻元件上电压的参考方向与电流的参考方向相反时,则欧姆定律为

$$U = -RI \quad (1.7)$$

所以欧姆定律的公式必须与电压、电流的参考方向配合使用,如图 1-10 所示。

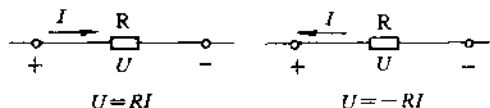


图 1-10 欧姆定律和电压电流的参考方向的关系

课堂练习 1.2 按图 1-11 中给定的参考方向,写出 U_{AB} 的表达式。

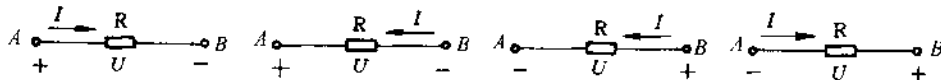


图 1-11 课堂练习 1.2 附图

3. 电阻元件的功率

对于线性电阻元件来说,无论电压与电流参考方向是否关联,都有如下关系:

$$P = RI^2 = U^2/R \geq 0 \quad (1.8)$$

上式表明:任何时刻电阻元件只能从电路中吸收电能,所以电阻元件是耗能元件。

例 1.1 把一个 $100\Omega/5\text{W}$ 的碳膜电阻误接到 220V 电源上,会有什么后果?

解 这时碳膜电阻被迫吸收功率为

$$P = U^2/R = 220^2/100 = 484 \text{ W}$$

但是这个碳膜电阻只能承受 5W 的功率,所以立即引起冒烟起火或碎裂,因此学生在实验时要特别注意,以免引起人身伤害事故。

由于电阻元件是耗能元件,它吸收功率常会引起温度的升高。为了保障安全,电气设备常给出额定值。

电气设备的额定值是制造商给用户提供的,它是考虑设备安全运行的限额值,也是设备经济运行地使用值。电气设备只有在额定值情况下运行,才能保证它的寿命。如果外加电压大大高于额定电压,电气设备将被烧毁。如果通过电气设备的电流超过额定值,设备温度过高,不仅影响寿命,而且绝缘材料会很快变脆,甚至丁炭化燃烧起来,造成设备和人身事故。如果外加电压或工作电流比额定值小得多,有些电气设备就会处于不良工作状态,甚至不能工作。电气设备的额定值一般都在铭牌上标出,使用时必须遵守。

课堂练习 1.3 某一电阻器,其上标明 $1\text{k}\Omega/2\text{W}$,问此电阻器能承受多大的电压?

4. 导线截面的选择

导线通过电流要发热,为了限制导线过分发热,可以增大导线截面积,以减小导线电阻。表 1.1 列出聚氯乙烯绝缘铜导线的最大允许电流。在选择导线时,可先按用电器的额定电流值来决定。

例 1.2 某电动机功率为 10kW ,额定电流为 20A ,穿管敷设,应选多大截面的铜线?

解 根据表 1.1,导线的最大允许电流 $\geq 20\text{A}$,应选择 4mm^2 截面的 $1/2.24$ 硬线或 $19/0.64$ 软线。

表 1.1 聚氯乙烯绝缘铜导线的最大允许电流(A)

芯线截面 (mm^2)	线规		明线敷设	穿管敷设			护套线	
	硬线	软线	铜	二根	三根	四根	二芯	三芯及四芯
	芯线 根数	芯线 根数		铜	铜	铜	铜	铜
1.0	1/1.12	7/0.43	12	10	9	8	9	7
1.5	1/1.37	7/0.52	15	12	10	10	12	8
2.0	1/1.60	7/0.60	17	13	12	11	13	9
2.5	1/1.76	19/0.41	20	17	17	15	15	13
4.0	1/2.24	19/0.52	27	25	22	20	22	17
6.0	1/2.73	19/0.64	33	29	27	25	27	21
10	7/1.33	49/0.52	50	45	37	33	42	32

5. 电能

在直流电路中,负载上的功率不随时间变化,则电路消耗的电能为

$$W = Pt \quad (1.9)$$

若功率的单位为 W,时间的单位为 s,则电能的单位为焦耳(J)。

在实际应用中,电能的单位常用千瓦小时($\text{kW} \cdot \text{h}$), $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 的电能通常叫做一度电。一

度电为 $1\text{ kW} \times 1\text{ h} = 1\,000\text{ W} \times 3\,600\text{ s} = 3.6 \times 10^6\text{ J}$ 。

1.1.4 电压源和电流源

1. 电压源

端电压始终保持不变的电源称为电压源。大多数实际电源如干电池、铅蓄电池及一般直流发电机都可近似看作为电压源。

若电源的内阻 $R_s = 0$, 则电源供给的电压 U 总是等于它的端电压 U_s , 其外特性就是 $U = U_s$ 这样一条水平直线, 如图 1-12(a) 所示, 这是一种理想的情况。我们把这种具有不变的端电压且内阻为零的电压源称为理想电压源, 其符号如图 1-12(b) 所示。

实际电源的电压源模型可用图 1-13(a) 所示的理想电压源和电阻的串联组合来表示。

实际电源的电压源模型接通负载后, 其端电压就会降低, 如图 1-13(b) 所示, 其端电压为

$$U = U_s - IR \quad (1.10)$$

由式(1.10)可知, 负载电流越大, 端电压越小。实际电压源的伏安特性见图 1-13(c)。

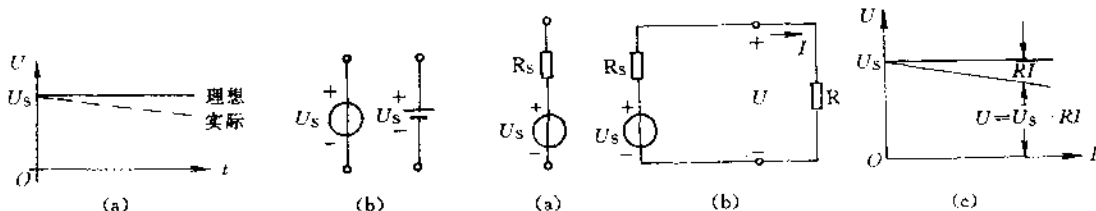


图 1-12 理想电压源及符号

图 1-13 实际电源的电压源模型

2. 电流源

能输出恒定电流且内阻为无穷大的电源称为理想电流源, 其符号和伏安特性如图 1-14 所示。

实际电源的电流源模型可用图 1-15 所示的理想电流源和电阻的并联组合来表示。

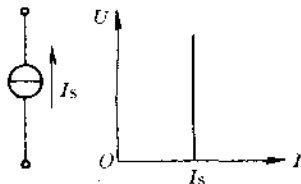


图 1-14 理想电流源及符号和伏安特性

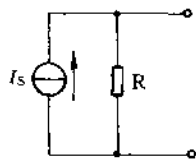


图 1-15 实际电源的电流源模型

1.2 电路的基本定律

1.2.1 电阻的串联和并联

1. 电阻的串联及其分压

将若干个电阻元件顺序地连接成一条无分支的电路称为串联电阻电路。

演示实验 1.2 测量图 1-16(a)中各电阻上的电压 U_1 、 U_2 和总电流 I 。

实验电路参数: $R_1 = 1\text{k}\Omega$, $R_2 = 2\text{k}\Omega$, 外加电压 $U = 3\text{V}$ 。

实验结果 $U_1 = 1\text{V}$, $U_2 = 2\text{V}$, 总电压 U 是 U_1 和 U_2 之和。流过各电阻的电流都是 $I = 1\text{mA}$ 。

上述演示实验告诉我们, 串联电路的基本特点是:

- (1) 流过串联各元件的是同一电流 I ;
- (2) 串联各元件的电压降之和, 等于串联电路总的电压降 U 。

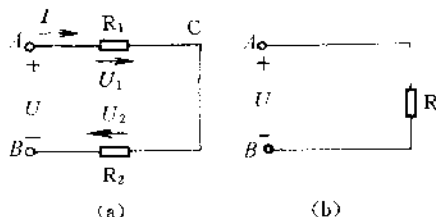


图 1-16 演示实验 1.2 附图

$$U = U_1 + U_2 \quad (1.11)$$

式(1.11)两边都除以 I , 可求得串联电路的等效电阻

$$R = R_1 + R_2 \quad (1.12)$$

即串联电路的等效电阻等于各串联电阻之和。

式(1.11)两边都乘以电流 I , 得

$$P = UI = U_1 I + U_2 I = P_1 + P_2 \quad (1.13)$$

可见串联电路的总功率等于各段电功率之和。

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

这就是串联电路的分压公式。

上述结论可推广到两个以上的电阻串联电路。

2. 电阻的并联及分流

若将若干个电阻元件都接在两个共同端点之间, 这种连接方式称为并联, 这种电路称为并联电阻电路。

演示实验 1.3 测量图 1-17(a)并联电路的电压和电流。

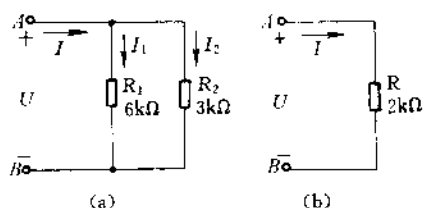


图 1-17 演示实验 1.3 附图

实验电路参数: $R_1 = 6\text{k}\Omega$, $R_2 = 3\text{k}\Omega$, 外加电压 $U = 6\text{V}$ 。

实验结果 $I_1 = 1\text{mA}$, $I_2 = 2\text{mA}$, $I = 3\text{mA}$, 是 I_1 和 I_2 两电流之和; 电阻两端电压都是 $U = 6\text{V}$ 。

上述演示实验告诉我们, 并联电路的基本特点是:

- (1) 并联的各个元件承受同一电压 U 。
- (2) 流过并联各支路的电流之和等于并联电路总电流 I 。

$$I = I_1 + I_2 = U/R_1 + U/R_2 = U(1/R_1 + 1/R_2) = U/R \quad (1.14)$$

$$\text{式中} \quad R = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) \quad (1.15)$$

$$G = 1/R = 1/R_1 + 1/R_2 = G_1 + G_2 \quad (1.16)$$

可见并联电路的等效电导等于各支路电导之和, 它的倒数 $R = 1/G$ 称为并联电路的等效电阻, 如图 1-17(b)所示。

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{RI}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{RI}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

这就是并联电路的分流公式。

上述结论可以推广到两个以上电阻并联电路。

1.2.2 电路的工作状态

1. 通路(负载工作状态)

通路就是电源与负载接成闭合回路,即图 1-18 所示电路中开关 S 合上时的工作状态。如忽略导线电阻,负载的电压降 U_L 就等于路端电压 U

$$U_L = U = U_s \times R_L / (R_s + R_L) \quad (1.17)$$

由式(1.17)可见, R_s 越小,则 U_L 越大越接近于 U_s ,即带负载能力越强。

2. 断路(开路)

断路就是电源与负载没有接通成闭合回路,如图 1-19 所示电路中的开关 S 断开时的工作状态。断路状态相当于负载 R_L 为无穷大,电路的电流 I 为零,即

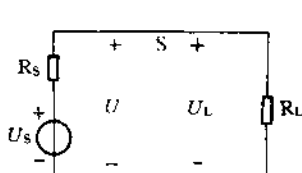


图 1-18 通路(负载工作状态)

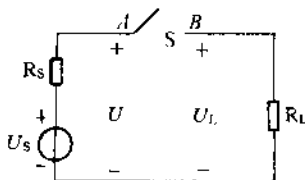


图 1-19 断路(开路)

$$R_L \rightarrow \infty, \quad I \rightarrow 0$$

此时电源不向负载供给电功率,即电源功率 $P_s = 0$,负载功率 $P_L = 0$ 。

这种情况称为电源空载。电源空载时的端电压称为断路电压或开路电压,电源的开路电压 U 就等于电源电压 U_s 。

3. 短路

短路就是电源未经负载而直接由导线接通成闭合回路,如图 1-20 所示。图 1-20 中折线是指明短路点的符号。电源输出的电流就以短路点为回路而不流过负载。

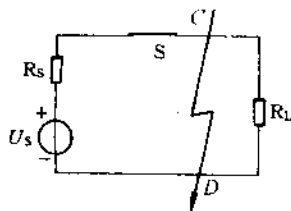


图 1-20 短路

若忽略导线电阻,短路时回路中只存在电源的内阻 R_s 。这时的电流称为短路电流

$$I = U_s / R_s$$

因为电源内阻 R_s 一般比负载电阻小得多,所以短路电流总是很大的。

如果电源短路状态不迅速排除,则由于电流热效应,很大的短路电流将会烧毁电源、导线以及短路回路中接有的电流表、开关等,甚至引起火灾。所以电源短路是一种严重事故,应严加防止。为了避免短路事故引起严重后果,通常在电路中接入熔断器(保险丝)或自动断路器,以便在发生短路时能迅速将故障电源自动切断。有关熔断器的问题我们在第 4 章中还将详细讨论。

1.2.3 基尔霍夫定律

电路的基本定律除了欧姆定律以外,主要还有基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。凡是运用欧姆定律和电阻串并联公式就能求解的电路称为简单电路;否则就是复杂电路。求解复杂电路,一般要应用基尔霍夫的两条定律,它们不仅适用于简单电路,也适用于复杂电路。

1. 几个有关的电路名词

(1)支路 每一段不分支的电路称为支路。如图 1-21 中 AaB , AbB , $AdcB$ 都是支路,而 Ad 不是支路。支路 AaB , $AdcB$ 中有电源称为含源支路,支路 AbB 中没有电源称为无源支路。

(2)节点 三条和三条以上的支路的连接点叫做节点。如图 1-21 中 A 点和 B 点都是节点。

(3)回路 电路中任一闭合路径叫做回路。如图 1-21 中 $AaBbA$, $AdcBbA$ 都是回路。只有一个回路的电路叫做单回路电路。

(4)网孔 在回路内部不含有支路的,这种回路叫网孔。如 $AbBaA$ 和 $AdcBbA$ 都是网孔,而 $AdcBaA$ 则不是网孔。

(5)网络 一般把包含元件较多的电路称为网络。实际上电路和网络两个名词可以通用。

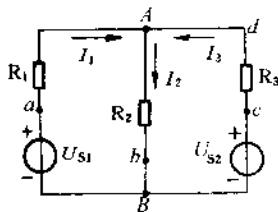


图 1-21 有关的电路名词附图

支路是构成节点、网孔、回路的基础,因而也是构成电路结构的基础。

2. 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律简称 KCL;在任一时刻,流入一个节点的电流之和等于从该节点流出的电流之和,即

$$\sum I_i = \sum I_o \quad (1.18)$$

例 1.3 对图 1-21 所示电路,列出节点的电流方程。

解 先选定各支路的参考方向如图 1-21 所示。

根据 KCL 节点 $A: I_1 + I_3 = I_2$

节点 $B: I_2 = I_1 + I_3$

可以看出上面两个式子是相同的。所以对于具有两个节点的电路只能列出一个独立的节点电流方程。同理,对于具有 n 个节点的电路,只能列出 $n-1$ 个独立的节点电流方程。

我们把上面节点 A 或节点 B 的电流方程也可改写为

$$I_1 + I_3 - I_2 = 0$$

因此式(1.18)又可写成

$$\sum I = 0 \quad (1.19)$$

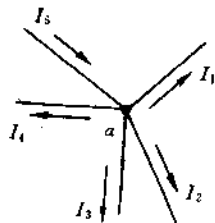


图 1-22 例 1.4 附图

这就是说,任何时刻,流经电路的任一节点的所有电流的代数和恒等于零。此时,若设流入节点的电流前面取正号,则流出节点的电流前面取负号。

例 1.4 图 1-22 中,在给定的电流参考方向下,已知 $I_1 = 1\text{A}$, $I_2 = -3\text{A}$, $I_3 = 4\text{A}$, $I_4 = -5\text{A}$,试求出 I_5 。

解 利用 KCL 先写出

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

将已知数据代入

$$-1 - (-3) - 4 - (-5) + I_5 = 0$$

得

$$I_5 = -3\text{A}$$

I_5 为负值,说明 I_5 是流出节点的电流。

从例 1.4 中可以看出:凡应用 KCL 时,均应按电流的参考方向来列方程式。

3. 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律简称 KVL:任何时刻,在电路中任一闭合回路内电压源电压(电位升)的代数和等于电压降(电位降)的代数和。即

$$\sum U_s = \sum U \quad (1.20)$$

如果电路中的电压降都是电阻电压降,则式(1.20)也可写成

$$\sum U_s = \sum IR \quad (1.21)$$

应用式(1.21)列方程时,式中各项符号的正负,应按下列规则确定:

(1)先选定一个回路上绕行的方向。

(2)方程左边电压源的电压,若其参考方向与绕行方向一致时,则该电压源的电压取负号,反之则取正号。

(3)方程右边电阻的电压,若电流参考方向与绕行方向一致时,则电压降 RI 取正号,反之则取负号。

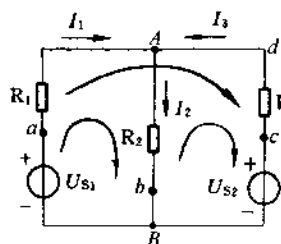


图 1-23 例 1.5 附图

例 1.5 对图 1-23 所示电路,列出回路的电压方程。

解 先选定各支路电流的参考方向和回路的绕行方向,并标在

图 1-23 中,根据 KVL 列出

$$\text{网孔 } AdcBbA: -U_{S2} = -I_2 R_2 - I_3 R_3$$

$$\text{网孔 } AbBaA: U_{S1} = I_1 R_1 + I_2 R_2$$

$$\text{回路 } AdcBaA: U_{S1} - U_{S2} = I_1 R_1 - I_3 R_3$$

上面三个方程中的任何一个方程都可以从其他两个方程中导

出。因此,只有两个电压方程是独立的,通常选用网孔的电压方程。

若将式(1.20)中的 $\sum U_s$ 移到 $\sum U$ 的同一侧,这时式(1.20)也可表示为

$$\sum U - \sum U_s = 0 \quad (1.22)$$

即,基尔霍夫电压定律也可表述为:任何时刻,在电路中任一闭合回路内各段电压的代数和恒等于零。

在应用式(1.22)列回路电压方程时,前面的符号规则变得更为简洁,具体如下:首先选定一个回路的绕行方向;凡电压的参考方向与绕行方向相同就在该电压前面取“+”号,反之则取“-”号。

课堂练习 1.4 对图 1-24 所示电路用式(1.22)列出回路电压方程。

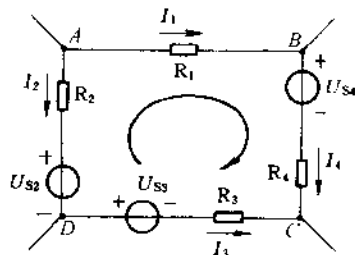


图 1-24 课堂练习 1.4 附图

1.3 直流电路的分析计算

电路的分析是指按已给定电路的结构和参数计算电路的有关的物理量。例如,给定电路的联结方式、电路中电阻和电源的数值,去求某一元件上的电压或某一支路的电流。

1.3.1 支路电流法

以支路电流为未知量,然后列出和未知量数目相等的方程式,再联立解方程组,这种解题方法称为支路电流法。其方法和步骤以例 1.6 说明。

例 1.6 图 1-25 所示电路中,已知 $R_1=10\Omega$, $R_2=5\Omega$, $R_3=5\Omega$; $U_{S1}=13V$, $U_{S2}=6V$ 。求各支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 。

解 (1)先假定各支路电流的参考方向,如图 1-25 所示。

(2)根据 KCL 列出节点电流方程,由节点 A 得到 $I_1+I_3-I_2=0$

(3)选定回路的绕行方向,如图 1-25 所示。

(4)根据 KVL 列出两个网孔的电压方程。

网孔 $AdcBbA$: $-U_{S2}=-I_2R_2-I_3R_3$

网孔 $AbBaA$: $U_{S1}=I_1R_1+I_2R_2$

代入电路参数,得方程组

$$\begin{aligned} I_1 + I_3 - I_2 &= 0 \\ -5I_2 - 5I_3 &= -6 \\ 10I_1 + 5I_2 &= 13 \end{aligned}$$

解方程组,得 $I_1=0.8A$; $I_2=1A$; $I_3=0.2A$

图 1-25 支路电流法附图

课堂练习 1.5 在图 1-25 所示电路中,已知 $R_1=20\Omega$, $R_2=10\Omega$, $R_3=10\Omega$, $U_{S1}=10V$, $U_{S2}=5V$ 。求各支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 。

1.3.2 电路中各点电位的计算

1. 电位的有关概念

在电路分析中经常要用到电位这一物理量。有时根据电路中某些点电位的高低直接来分析电路的工作状态。

演示实验 1.4 在下列两种情况下,测量图 1-26 所示电路中 U_{AO} 和 U_{BO} 的电压。

(1) $U=3V$, 此时小灯泡亮;

(2) $U=-3V$, 此时小灯泡不亮。

测量结果:

(1) $U=3V$ 灯亮时: $U_{AO}=3V$, $U_{BO}=2.7V$ 。

(2) $U=-3V$ 灯不亮时: $U_{AO}=-3V$, $U_{BO}=0V$ 。

如果以 O 点为参考点,即设 $U_O=0V$,则可以认为:只有当二极管正极电位 U_A 大于二极管负极的电位 U_B 时,电路中才有电流通过,灯泡亮;反之,电路中没有电流通过,灯不亮。因此,根据电路中 A 点和 B 点的电位大小就可以判断二极管电路中是否有电流。利用电路中一些点的电位来分析电路的工作

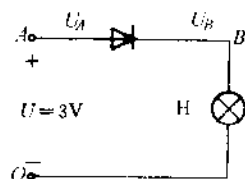


图 1-26 判断晶体二极管电路的电位

情况,在电子电路中是十分有用的。

电路中各点电位是相对的物理量,若不选定参考点,就无法确定各点的电位值。如果选定参考点,就可以确定各点的电位值。上述实验中,以 O 点为参考点,则 A 点和 B 点的电位分别为 $U_A=3V$, $U_B=2.7V$ 。这里,参考点 O 的电位 $U_O=0$,因此参考点又称为零电位点。零电位点可以任意选定,但一经选定以后各点电位的计算即以该点为准。如果换一个参考点,则各点电位也就不同,即电位随参考点的选择而异。因此在电路中不指定参考点而谈论各点的电位是没有意义的。



图 1-27 接地符号

在工程中常选大地作为参考点,即认为大地电位为零。电子线路常取公共点或机壳作为电位的参考点。接地与接公共点(或机壳)的符号如图 1-27 所示。

2. 电路中各点电位的计算

电位虽然是指某一点而言,但实际上还是指两点之间的电压,只不过这第二点是已规定了的,是指参考点。如上述演示实验中, U_A 实际上是指 A 点和 O 点之间的电压。因此会计算电路中任意两点的电压,也就会计算电路中任一点的电位。

要计算电路中某点的电位,就是从该点出发,沿着任意选定的一条路径到零电位点,则该点的电位就等于这条路径上全部电压的代数和。具体方法和步骤以例 1.7 来说明。

例 1.7 在图 1-28 中,已知 $R_1=10\Omega$ 、 $R_2=5\Omega$ 、 $R_3=3\Omega$ 、 $R_4=2\Omega$; $U_{S1}=13V$ 、 $U_{S2}=6V$ 。试计算 A 、 B 、 C 各点的电位。

解 本例题的电路实际上和例 1-5 的电路相同。因此各支路电流分别为 $I_1=0.8A$ 、 $I_2=1A$ 、 $I_3=0.2A$;各支路电流参考方向如图 1-28 所示。

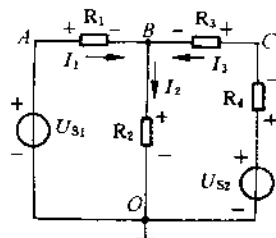


图 1-28 例 1.7 附图

(1)选取 O 点为参考点,即 $U_O=0$ 。

(2)标出电源电压和负载两端电压的参考极性,如图 1-28 所示。

(3) A 点的电位:可选定 $A \rightarrow U_{S1} \rightarrow O$ 这条最简单的路径,由于只经过电源 U_{S1} ,显然 $U_A=U_{S1}=13V$ 。

(4) B 点的电位:选取路径 $B \rightarrow R_2 \rightarrow O$,得

$$U_B = I_2 R_2 = 1 \times 5 = 5 \text{ V}$$

(5) C 点的电位:选取路径 $C \rightarrow R_4 \rightarrow U_{S2} \rightarrow O$,得

$$U_C = -I_3 R_4 + U_{S2} = -0.2 \text{ V} \times 2 + 6 = 5.6 \text{ V}$$

注意:参考点选定以后,电路中各点电位就有了确定的值,但该电位值与计算时所选择的路径无关。因此,例 1.7 中 A 、 B 、 C 三点电位也可以经过其他路径来计算,结果完全相同。例如 C 点电位可通过三条不同的路径来求出:

$$U_C = -I_3 R_4 + U_{S2} = I_3 R_3 + I_2 R_2 = I_3 R_3 - I_1 R_1 + U_{S1} = 5.6 \text{ V}$$

从例 1.7 中还可以看出,电路中两点电压就等于该两端点的电位之差,如

$$U_{AB} = U_A - U_B = U_{AO} - U_{BO} = 13 - 5 = 8 \text{ V}$$

从上述分析也可以看出,电路中两点电压与所选路径无关,与参考点的选择也无关。

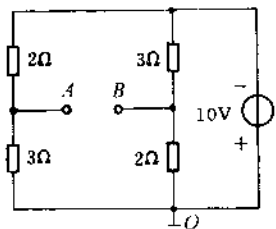


图 1-29 课堂练习
1.6 附图

课堂练习 1.6 试求图 1-29 电路中 A 点的电位 U_A , B 点的电位 U_B 及 A 点和 B 点之间的电压 U_{AB} 。

* 1.3.3 有源电路的等效变换

1. 电压源与电流源的等效互换

在电路分析中,为了分析问题的方便起见,有时一个实际电源可以看作理想电压源和内阻串联,如图 1-30(a)所示;也可以看作理想电流源和内阻并联,如图 1-30(b)所示。这就要求在这两者之间进行等效互换,这里所说的等效变换是指外部等效,就是变换前后端口处伏安关系不变,即 A, B 两端口电压均为 U ,端口处流出(或流入)的电流 I 相同。

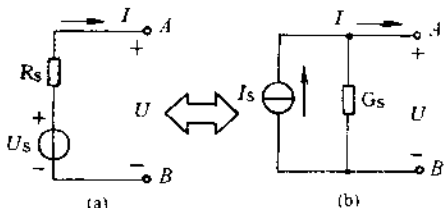


图 1-30 电压源与电流源等效变换

图 1-30(a)中,其输出电流为

$$I = (U_s - U)/R_s = U_s/R_s - U/R_s$$

图 1-30(b)中,其输出电流为

$$I = I_s - UG_s$$

根据等效的要求,上面两个式子中对应项应该相等,即

$$I_s = U_s/R_s$$

$$G_s = 1/R_s \quad (1.23)$$

式(1.23)是实际电压源与实际电流源等效变换的条件。变换中要注意:如果 A 点是电压源的参考正极性,变换后电流源其电流的参考方向应指向 A 点。另外,还必须指出:理想电压源与理想电流源之间是不能进行等效变换的。

课堂练习 1.7 试求图 1-31 所示电路的等效变换。

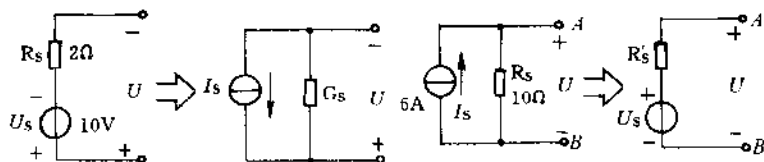


图 1-31 课堂练习 1.7 附图

2. 戴维南定理

(1) 二端网络 一个电路只有两个端钮与外部相连,这个电路就叫做二端网络,或叫做二端口网络。每一个二端元件就是一个最简单的二端网络。内部不含电源的二端网络称为无源二端网络,如图 1-32 所示。内部含电源的二端网络称为有源二端网络,如图 1-33 所示。

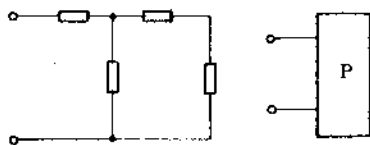


图 1-32 无源二端网络及符号

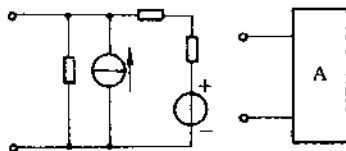


图 1-33 有源二端网络及符号