

工学结合

中等职业教育课程改革规划新教材

理实一体

电工电子 技术与技能

温风燕 主编

DIANGONG DIANEI JISHU YU JINENG



赠电子教案

掌握就业的技能

体验学习的快乐



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



中等职业教育课程改革规划新教材

电工电子技术与技能

主 编 温风燕
副主编 宁江梅
参 编 闫玉兰 黄笑梅 陈志光
 张永新 张小卫 杨志辉
主 审 陈永芳



机械工业出版社

本书是根据教育部最新颁布的中等职业学校“电工电子技术与技能”课程大纲以及有关的职业技能鉴定标准编写的，并以培养技能型人才为出发点，遵循实用、够用、好用的原则。

编写中汲取了先进的教学理念，采用理实一体化教学法。全书由十个课题组成，涵盖了电工技术和电子技术的基本知识和技能，包括：直流电阻电路的故障检测；荧光灯电路的组装与测试；常用低压电器的识别与检测；CA6140型普通车床电气控制电路的安装与调试；常用电子元器件的识别与检测；电子助记器的制作与调试；直流稳压电源；调光台灯的组装与调试；交通信号灯故障检测；四人抢答器的组装与调试。每个课题分成若干个任务来完成，每个任务除了学习必要的知识以外，还配有技能训练、思考与练习，且每个课题最后一个任务为课题实施训练，充分体现“做中学，学中做”的职业教育理念。

本书可以作为中等职业学校机电类及其相关专业“电工电子技术与技能”课程的教材，也可作为相关专业从业人员岗位培训或自学教材。

为了方便教学，本书配有免费电子教案，凡是选本书作为教材的单位可以登录 www.cmpedu.com 注册下载或直接联系编者索取（编者邮箱 wfy929@163.com）。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术与技能/温风燕主编. —北京: 机械工业出版社, 2009. 8

中等职业教育课程改革规划新教材

ISBN 978-7-111-27776-7

I. 电… II. 温… 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(2009)第 119787 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 王娟 版式设计: 霍永明 责任校对: 张晓蓉

封面设计: 马精明 责任印制: 李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2009 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 14.5 印张 · 356 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-27776-7

定价: 25.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010)68326294

购书热线电话: (010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010)88379934

封面无防伪标均为盗版

前 言

本教材吸收了先进的教学理念，参照教育部最新颁布的中等职业学校“电工电子技术与技能”的教学要求以及有关的职业技能鉴定标准，以培养技能型人才为出发点，遵循实用、够用、好用的原则编写而成。

本教材的最大特点是采用了理实一体化教学的编排方式，即以课题为载体，以设计安装一件具体的、有实际应用价值的产品为目标，把理论知识与实践技能有机结合起来，提高学生对所学知识的内化程度，达到了“教、学、做”合一的目的。

本教材在编写过程中力求突出以下特点：

1. 突出课题的趣味性和实用性。每个项目的设计不仅考虑到理论知识和技能操作的够用，还考虑到激发学生的学习兴趣，同时兼顾实用性。

2. 突出课题的层次性。每个课题分若干个任务，前面几个任务主要完成课题所应具备的知识和技能，最后一个任务为课题实施训练。遵循由简到繁、由易到难的原则，层次分明，便于操作。

3. 突出“理实一体化”。将理论学习与技能操作紧密结合起来，丰富课堂教学和实践教学环节，注重培养学生动手能力，提高教学质量。

教学建议如下：

1. 教学中应以“行为导向教学法”为指导。以“课题”、“任务”为载体，引导学生学习探究。教学过程中应包括收集信息、制定计划、实施目标、反馈检测和总结反思几个方面。

2. 学生采用小组学习、自主学习等方法，让学生在生生互动、师生互动中获得知识。

3. 考评方法应包括两方面内容：一是过程性评价，包括自我评价、小组评价和教师评价；二是终结性评价。通过评价的过程和结果，激励学生不断进步。

学时分配建议：

序 号	课 题 名 称	学 时 数
1	直流电阻电路的故障检测	8
2	荧光灯电路的组装与测试	12
3	常用低压电器的识别与检测	4
4	CA6140 型普通车床电气控制电路的安装与调试	14
5	常用电子元件的识别与检测	4
6	电子助记器的制作与调试	12
7	直流稳压电源	12
8	调光台灯的组装与调试	8
9	交通信号灯故障检测	12

(续)

序 号	课 题 名 称	学 时 数
10	四人抢答器的组装与调试	10
合计		96

本书由温风燕担任主编并统稿，宁江梅担任副主编，参加编写的还有闫玉兰、黄笑梅、陈志光、张永新、张小卫、杨志辉。其中，温风燕编写了课题七和课题九；张永新和张小卫分别编写了课题三和课题一；杨志辉编写了课题十；闫玉兰编写了课题二和课题五；黄笑梅编写了课题六和课题八；陈志光编写了课题四。

本教材由同济大学职业技术学院的陈永芳教授担任主审，她对本教材进行了全面详细的审阅并提出宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

我们为本书的编写投入了满腔热情，但由于初次采用理实一体化的编写方式，同时因水平有限，因此难免会出现差错和疏漏，迫切希望使用本书的广大师生对书中存在的问题提出宝贵的意见和建议(编者邮箱:wfy929@163.com)。

编 者

目 录

前言	
课题一 直流电阻电路的故障检测····· 1	任务一 识别与检测二极管····· 96
任务一 学习直流电阻电路基础 知识····· 1	任务二 识别与检测晶体管····· 101
任务二 使用万用表测量电路电 压、电流及电阻····· 15	任务三 课题实施训练····· 106
任务三 课题实施训练····· 22	课题六 电子助记器的制作与调试····· 110
课题二 荧光灯电路的组装与测试····· 27	任务一 学习晶体管基本放大电 路的相关知识····· 110
任务一 学习正弦交流电的基本 概念····· 27	任务二 认识多级放大电路和放大 电路的负反馈····· 116
任务二 认识正弦交流电路····· 34	任务三 课题实施训练····· 124
任务三 学习荧光灯电路的工作 原理····· 45	课题七 直流稳压电源····· 128
任务四 课题实施训练····· 46	任务一 学习变压器基本知识····· 129
课题三 常用低压电器的识别与 检测····· 50	任务二 认识整流电路····· 132
任务一 低压开关的识别与检测····· 50	任务三 认识滤波电路····· 138
任务二 低压熔断器和主令电器 的识别与检测····· 55	任务四 认识稳压电路····· 141
任务三 接触器和继电器的识别 与检测····· 59	任务五 课题实施训练····· 145
任务四 课题实施训练····· 64	课题八 调光台灯的组装与调试····· 151
课题四 CA6140 型普通车床电气 控制电路的安装与调试····· 67	任务一 学习晶闸管和单结晶体管 基本知识····· 151
任务一 学习三相交流电的基础 知识····· 68	任务二 认识可控整流电路和晶闸 管触发电路····· 155
任务二 认识三相笼型异步电动 机的结构与工作原理····· 73	任务三 课题实施训练····· 158
任务三 三相笼型异步电动机基 本控制的实现····· 76	课题九 交通信号灯故障检测····· 162
任务四 课题实施训练····· 89	任务一 学习数字电路基本知识····· 162
课题五 常用电子元器件的识别与 检测····· 96	任务二 分析组合逻辑电路····· 173
	任务三 课题实施训练····· 188
	课题十 四人抢答器的组装与调试····· 193
	任务一 认识触发器电路····· 194
	任务二 分析时序逻辑电路····· 201
	任务三 认识脉冲信号的产生与 变换电路····· 208
	任务四 课题实施训练····· 215
	附录····· 220
	附录 A 希腊字母表····· 220

附录 B	常用单位换算表及国际单位制词头表·····	220	附录 D	进口常用半导体器件的主要参数·····	222
附录 C	国产半导体分立器件型号命名方法·····	222	参考文献	·····	224

课题一 直流电阻电路的故障检测

课题指南

【学习目标】

- 熟悉电路的组成，掌握描述电路的基本物理量。
- 掌握电阻的串、并联电路及其特点。
- 了解万用表的结构，熟悉表盘刻度线及各种符号的含义。
- 能用万用表测量交流电压、直流电压、电流和电阻的方法，并能正确读数。
- 掌握电阻电路的连接方法，并能正确检测和排除电路中的故障。

【课题介绍】

用电过程中可能会出现一些故障，如短路、断路、接触不良、接线错误等，这些故障会影响到电路的正常工作，甚至会导致设备的损坏，造成人身伤亡事故、重大经济损失等。所以当电路出现故障时，应及时切断电源检查并排除故障。

电阻电路故障的检测方法主要有观察法和测量法两种，其中测量法是寻找电路故障点最直接有效的方法。

【课题内容】

本课题包括以下几个任务：学习直流电阻电路基础知识；使用万用表测量电路电压、电流及电阻；课题实施训练。

任务一 学习直流电阻电路基础知识



理论知识

一、电路的组成

电路就是电流所流经的路径。常见的手电筒电路就是一个最简单的电路，如图1-1所示。组成电路的基本部件是：电源、负载、控制和保护装置及连接导线等。

电源：电路中把其他形式的能量转换为电能的元件或装置。例如：手电筒电路中的干电池把化学能转换为电能；发电机把机械能转换为电能等。电源在电路中起提供电能的作用，可以使电路中产生电流和维持电压。

负载：即用电设备。它将电能转换成其他形式的能量。如电动机将电能转换为机械能，电炉将电能转换为热能，灯泡将电能转换为光能和热能等。

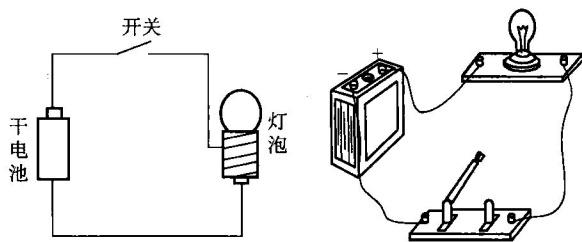


图 1-1 手电筒电路

控制和保护装置：用于控制电路的通断，以保证电路安全而可靠地工作，使其自动完成某些特定的功能。如开关可以把负载与电源接通与断开，熔断器可以保证电路安全运行等。

连接导线：它是连接负载和电源的导体，起输送和分配电能的作用。

可见，电路的基本作用就是进行电能与其他形式能量之间的转换。

在分析电路时，画实物图往往很不方便，也没有必要，一般都是用规定的电路符号画出电路原理图。表 1-1 是一些常用的电路元件及符号。通常将这些理想化的元件用理想导线(没有电阻)适当组合连接起来即可表示实际电路，即为电路图。图 1-2 所示为手电筒的电路图。其中 E 和 R_0 的串联组合反映实际电源(干电池)的情况， R 反映灯泡的发热(发光)情况。

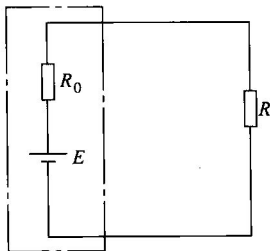


图 1-2 手电筒电路图

表 1-1 常用的电路元件及符号

名称	符号	名称	符号
电阻		电压表	
电池		接地	
灯泡		熔断器	
开关		电容	
电流表		电感	

【例 1-1】 图 1-3 所示的电路中，哪个电路不完整，哪个电路有错误？

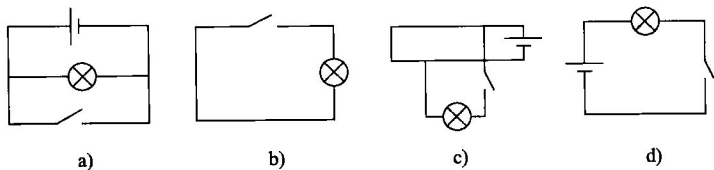


图 1-3 例 1-1 图

分析：电路是由电源、用电器、开关和导线四部分组成的。图 1-3b 所示电路中没有电源，闭合开关后灯泡不亮，所以这个电路不完整。图 1-3a 所示电路中开关断开时，灯泡仍能发光，但当开关闭合后，电流从电源正极流出，不经过灯泡而直接从开关流回电源负极，将电源短路，电源要烧坏。图 1-3c 中用导线直接把电源两极连接起来，电源短路将会烧坏。图 1-3d 由电源、开关、用电器、导线四部分组成，且没有形成短路，所以图 1-3d 是正确的电路。

解：图 1-3b 所示电路不完整，图 1-3a、c 所示电路有错误，图 1-3d 所示电路正确。

【例 1-2】 根据图 1-4 所示的实物图，画出相应的电路图。

分析：根据实物图画电路图，先应分辨电路中各元件的连接情况，找清电流的路径；再从电源的一个极开始画起，沿着电流路径画上各元件的符号，直到电源负极。所画出的电路图中各元件的顺序应与实物图中保持一致，位置要安排适当，尽量美观、匀称。

解：图 1-4 所示实物图的电路图如图 1-5 所示。

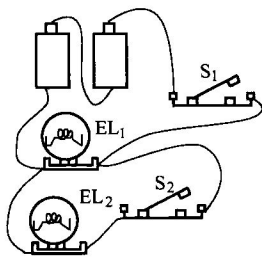


图 1-4 实物图

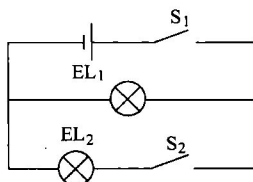


图 1-5 电路图

二、电路的状态

1. 通路

处处连通的电路称为通路。通路也称为闭合电路，此时电路中会产生电流，如图 1-6a 所示。

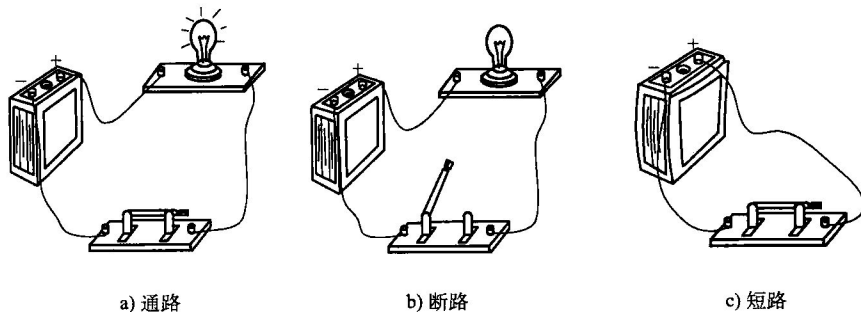


图 1-6 电路的状态

通路特征：电路中有电流，用电器工作。

2. 断路

断开的电路称为断路。断路也称为开路，此时电路某一处断开，不再有电流，如图 1-6b 所示。

断路特征：电路中无电流，用电器不工作。

3. 短路

不经过用电器，直接用导线将电源正负极相连的电路叫短路，如图 1-6c 所示。将电源短路是非常危险的，这时电流过大，很可能把电源烧坏，必须防止电源短路出现。

短路特征：短路电流很大，往往会损坏电气设备或引起火灾。

【例 1-3】 在图 1-7 所示的电路图中，下列说法正确的是()。

- A. 断开 S_1 、 S_3 ，闭合 S_2 ，电路是断路， EL_1 、 EL_2 都不亮
- B. 断开 S_2 、 S_3 ，闭合 S_1 ，电路是通路， EL_1 、 EL_2 都亮

C. 断开 S_1 、 S_2 ，闭合 S_3 ，电路是短路

D. 断开 S_1 ，闭合 S_2 、 S_3 ，电路是短路

分析：根据电路图判断电路中各元件的连接情况，要注意开关关闭合相当于用导线接通。断开 S_1 、 S_3 ，闭合 S_2 ，电流从电源正极流出经 EL_1 、 EL_2 、 S_2 回到电源负极，构成通路，灯 EL_1 、 EL_2 都亮。断开 S_2 、 S_3 ，闭合 S_1 ，电流从电源正极流出，经 EL_1 、 S_1 回到电源负极，此时灯 EL_1 亮， EL_2 不亮。断开 S_1 、 S_2 ，闭合 S_3 ，电路是开路，而不是短路。断开 S_1 ，闭合 S_2 、 S_3 ，从电源正极流出的电流将直接经 S_1 、 S_2 回到负极，形成短路。

解：由分析可知，答案为 D。

【例 1-4】在图 1-8 所示的电路中，当开关 S 闭合时，灯 EL_1 、 EL_2 均不亮。某同学用一根导线去查找电路的故障，他将导线先并联在灯 EL_1 两端时发现灯 EL_2 亮、灯 EL_1 不亮，然后将导线并联在 EL_2 两端时发现两灯均不亮，由此可以判断（ ）。

- A. 灯 EL_1 断路
- B. 灯 EL_2 断路
- C. 灯 EL_1 短路
- D. 灯 EL_2 短路

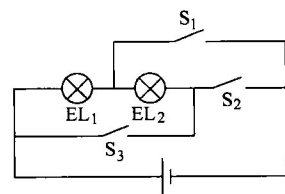


图 1-7 例 1-3 图

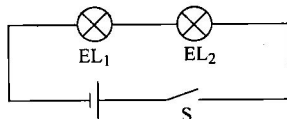


图 1-8 例 1-4 图

分析：本题考查通路、开路及用电器被短路时会出现的情况。

由 S 闭合时灯 EL_1 、 EL_2 均不亮的现象可判断此电路中没有电流流经灯 EL_1 、 EL_2 ，因此电路中有断开的地方，C、D 被排除。将导线并联在 EL_1 两端时， EL_1 被短路，但灯 EL_2 亮，说明 EL_2 没有断路；将导线并联在 EL_2 两端， EL_2 被短路，这时灯 EL_1 仍不亮，说明灯 EL_1 断路。

解：答案为 A。

三、电路的基本物理量

1. 电流

(1) “电流”的含义 在闭合电路中，电荷在电源的作用下规则地定向移动形成电流，其大小用单位时间内通过导体横截面的电荷量来表示。大小和方向都不随时间变化的电流称为恒定电流，也称为直流。这时电流大小可表示为

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

式中， q 是 t 时间间隔内通过导体横截面的电荷量。电流的单位是安培，简称安，用大写字母 A 表示。此外，对于较大的电流可以用千安 (kA) 作单位，较小的电流可以用毫安 (mA) 或微安 (μA) 作单位，它们之间的关系是

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

(2) 电流的真实方向和参考方向 形成电流的电荷，可能是正电荷，也可能是负电荷，习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向，如图 1-9 所示。一段金属导体中的自由电子由 B 向 A 运动，其效果与等量正电荷自 A 向 B 运动相同。导体中电流的方向是从 A 到 B，这是电流的真实方向或实际方向。

但是在实际问题中，电流的真实方向往往难以在电路图中标出。为了解决这样的困难，

引入参考方向这一概念。参考方向又叫假定正方向，简称正方向。

所谓参考方向，就是一段电路中，在电流两种可能的真实方向中，任意选择一个作为标准，或者说作为参考。当实际的电流方向与它相同时，是正值；相反时，就是负值。例如，在图 1-10 中，实线箭头是选定的参考方向，虚线箭头表示的是该段电路中电流的真实方向。其中图 1-10a 表示电流真实方向与参考方向一致，电流 I 是正值；图 1-10b 表示二者相反，电流 I 是负值。

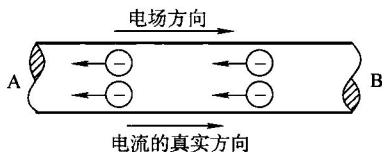


图 1-9 电流的真实方向

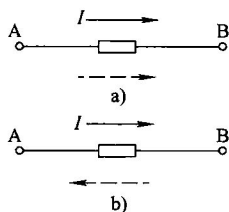


图 1-10 电流的参考方向

在图 1-11a 中选定的参考方向向右(用实线箭头表示)，电流 $I = +0.5A$ ；在图 1-11b 中选定的参考方向向左，电流 $I = -0.5A$ 。二者参考方向不同，数值符号相反，但是实际上是同一个电流。

2. 电位和电压

由生活经验可知，水总是从高处流向低处，高处的水位高，低处的水位低，它们之间存在水位差而形成水流，如图 1-12 所示。

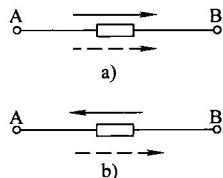


图 1-11 电流正负值的讨论

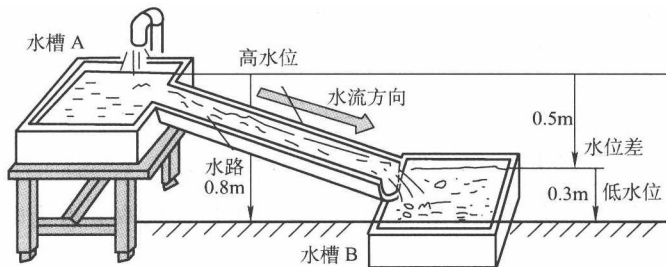


图 1-12 水往低处流

同样，在电路中，各点均有一定的电位，两点间存在电位差而形成电流。在电源外部电路中，电流总是从高电位流向低电位。通常电路中 A 点电位用 V_A 表示。在国际单位制中，电位的单位是伏特，简称伏，用大写字母 V 表示，辅助单位有千伏(kV)及毫伏(mV)。它们之间的关系为

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

电路中各点的电位是相对的物理量，要确定电路中某点的电位值，需首先选定计算电位的起点，即参考点。参考点的电位通常规定为零，所以参考点又称为零电位点。零电位点可以任意选定，但为了统一，习惯上取大地为参考点，用符号“ \perp ”表示，电子线路中一般选很多元器件的汇集处为参考点，用符号“ \perp ”表示。电路中各点的电位值与参考点的选择有关，参考点不同，各点电位的大小和方向也就不同，即电位具有多值性。在同一个电路中，参考点选定后，电路中各点的电位就都有惟一、确定的数值。当某点的电位为正值时，

说明其电位高于参考点电位；为负值时，说明其电位低于参考点电位。

如水位差形成水压一样，电位差即为电压，且电压与参考点的选取无关。两点之间的电位差称为此两点间的电压，即

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

式中， U_{AB} 表示电路中A、B两点间的电压，其单位与电位的单位相同，也为V。和电流相似，习惯规定电压的实际方向就是由高电位点指向低电位点。也就是说，沿着电压的实际方向，电位是逐渐降低的。

在分析和计算电路时，若某一段电路两端的电压实际方向难以确定，或者该段电压的极性随时间不断变化，则也可以像为电流规定参考方向那样，给电压规定一个参考方向。电压的参考方向也可以任意规定。当电压的实际方向与规定的参考方向一致时，电压为正值；不一致时就是负值。

电压的参考方向根据习惯可以用三种方法表示，如图1-13所示。用箭头的指向来表示，它由假定的高电位端指向低电位端；用“+”、“-”符号分别表示假定的高电位端和低电位端；用双下标字母表示，图1-13可用 U_{AB} 表示其参考方向，第一个下标A表示假定的高电位点，第二个下标字母B表示假定的低电位点。

【例1-5】图1-14所示电路中，电压 U_1 、 U_2 的参考方向已用箭头标出。已知 $U_1 = -5V$ ， $U_2 = 2V$ 。试问：1)电路中a、b、c三点的电位高低情况如何？2)电压 U_{ac} 和 U_{ca} 各为何值？

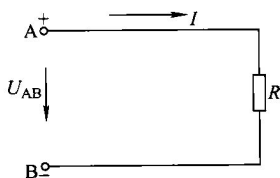


图 1-13 电压的参考方向

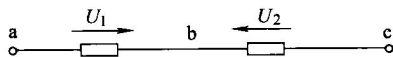


图 1-14 例 1-5 图

解：1) 为了比较a、b、c三点的电位，选取b点为电位参考点，即 $V_b = 0$ 。此时

$$U_1 = V_a - V_b = -5V$$

所以

$$V_a = -5V$$

又由于

$$U_2 = V_c - V_b = 2V$$

所以

$$V_c = 2V$$

故a、b、c三点的电位情况是 $V_c > V_b > V_a$ 。

2) 选b为参考点时， $V_a = -5V$ ， $V_c = 2V$

故电压

$$U_{ac} = V_a - V_c = -7V, U_{ca} = V_c - V_a = 7V$$

3. 电动势

要保持水持续流动，需要不断用水泵向水槽A中抽水，如图1-15所示。同理，要使电流持续流动，需靠电池不断提供电能。电池(电源)具有使电流持续流动的能力，这种能力用电源的电动势 E 表示，单位为伏(V)，方向从电源的负极“-”指向电源的正极“+”。

电动势也可以设定参考方向。当电动势的真实方向和参考方向相同时，电动势为正值；相反时，电动势为负值。例如图1-16中，图a所示是电动势的真实方向， $E = +5V$ ；在图b

所示的参考方向下, $E = -5V$; 在图 c 所示的参考方向下, $E = +5V$ 。以后电路中标出的均为物理量参考方向。若电动势已知极性, 则参考方向的标注应尽可能和真实方向一致。

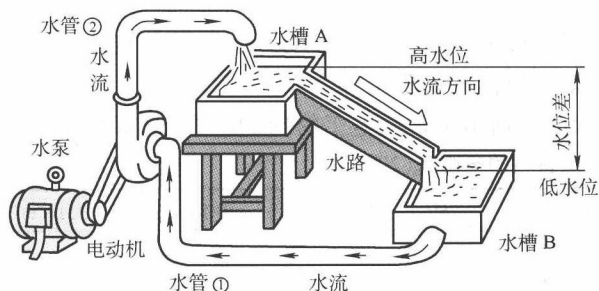


图 1-15 水泵与水流

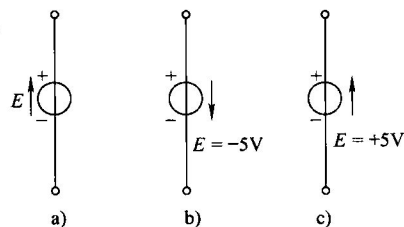


图 1-16 电动势及其参考方向

电动势与电压是两个不同的概念, 但是, 都可以用来表示电源正负极之间的电位差, 且从电源对外部电路所表现的客观效果来看, 既可用正、负极间的电动势来表示, 也可用其间的电压来表示, 但要注意二者的区别和联系。

对于图 1-17 所示的电源, E 和 U_{AB} 的参考方向刚好相反。这是因为它们的物理意义不同: 电动势的参考方向表示电位升; 电压的参考方向表示电位降。但它们反映的是同一客观事实。A 点电位比 B 点电位高, 所以 $E = U_{AB}$ 。正因为如此, 许多电路中常用一个与电源电动势大小相等、方向相反的电压来表示电源。

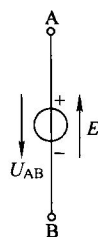


图 1-17 电动势与电压

4. 电能和电功率

(1) 电能 在导体两端加上电压 U , 通过导体的电流为 I , 则电路所消耗的电能

$$W = UIt$$

在国际单位制中, W 、 U 、 I 、 t 的单位分别是焦耳(J)、伏特(V)、安培(A)、秒(s)。在生产和生活实际中, 电能的另一个常用单位是千瓦时($kW \cdot h$), $1kW \cdot h$ 就是常说的 1 度电, 即

$$1 \text{ 度} = 1kW \cdot h$$

(2) 电功率 电功率是用电设备单位时间所消耗的电能, 用字母 P 表示, 其表达式为

$$P = \frac{W}{t}$$

即

$$P = UI$$

式中, P 、 U 、 I 、 W 、 t 的单位分别为瓦特(W)、伏特(V)、安培(A)、焦耳(J)、秒(s), 若电流在 1s 内所做的功为 1J, 则电功率就是 1W。电功率常用的单位还有千瓦(kW), 它们之间的关系为

$$1kW = 1 \times 10^3 W$$

5. 电阻及电阻定律

导体中的自由电子在定向移动时, 将遇到一定的阻碍作用, 这种阻碍作用称为电阻, 用字母 R 表示, 单位为欧姆, 简称欧(Ω)。对于一根均匀截面积的金属导体来说, 在保持温度(如 $20^\circ C$)不变的条件下, 它的电阻值与导体的长度成正比, 与导体的截面积成反比, 还

与材料的导电能力有关, 即

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

式中, ρ 为导体材料的电阻率, 单位为欧·米($\Omega \cdot \text{m}$); l 为导体的长度, 单位为米(m); S 为导体的截面积, 单位为平方米(m^2)。这就是导体的电阻定律。

不同的金属材料, 有不同的电阻率。表 1-2 列出了常用电工材料的电阻率(20°C)。

表 1-2 常用电工材料的电阻率(20°C)

材 料	电阻率 $\rho / \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$	材 料	电阻率 $\rho / \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$
银	0.0159	钢	0.13 ~ 0.25
铜	0.0175	康铜	0.48
铝	0.0283	锰铜	0.47
铁	0.0978	黄铜	0.07
钨	0.0578	镍铬合金	1.09

【例 1-6】 一台电动机的绕组由直径为 1.13mm 的高强度漆包铜线绕成。在 20°C 时测得电阻为 1.64Ω , 求该绕组共用了多长的导线。

解:

$$S = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} \times (1.13\text{mm})^2 \approx 1.003\text{mm}^2$$

根据 $R = \rho \frac{l}{S}$ 得

$$l = R \frac{S}{\rho} = 1.64 \times \frac{1.003}{0.0175} \text{m} \approx 94\text{m}$$

实践证明, 金属导体的电阻率与温度有关。一般金属材料的电阻率随着温度的升高而增加。

四、欧姆定律

1. 部分电路的欧姆定律

图 1-18 所示为一个电阻构成的部分电路。实验证明, 流过电阻的电流 I , 与电阻两端所加的电压 U 成正比, 与电阻的阻值 R 成反比, 这就是部分电路的欧姆定律, 即

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

还可以改写为

$$U = IR$$

或

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

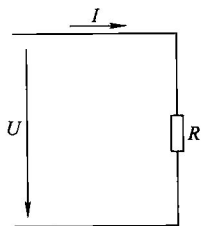


图 1-18 部分电路

【例 1-7】 电路中有一个 300Ω 的电阻, 流过它的电流为 600mA , 问该电阻两端的电压是多少? 所消耗的功率是多少?

解: 根据欧姆定律得电阻两端的电压为

$$U = IR = 600 \times 10^{-3} \text{A} \times 300\Omega = 180\text{V}$$

① 注意: 计算时 mA 必须化为 A。

消耗的功率为

$$P = UI = 180\text{V} \times 600 \times 10^{-3}\text{A} = 108\text{W}$$

或

$$P = I^2 R = (600 \times 10^{-3}\text{A})^2 \times 300\Omega = 108\text{W}$$

2. 全电路的欧姆定律

全电路是指含有电源的闭合回路，如图 1-19a 所示。图中点画线框为电源的内部电路，叫内电路。电源内部的电阻叫内电阻，用字母 r 表示。内电阻也可以不单独画出，只在电源旁边予以注明，如图 1-19b 所示。电源外部的电路叫外电路。

全电路的欧姆定律内容是：闭合电路的电流与电源电动势成正比，与整个电路的电阻（内电阻和外电阻之和）成反比。其数学表达式为

$$I = \frac{E}{R+r} \text{ 或 } E = IR + Ir$$

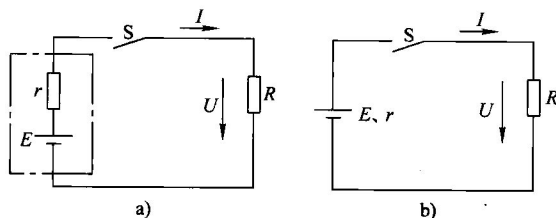


图 1-19 全电路

式中， R 为负载电阻； r 为电源的内阻； E 为电源的电动势。 Ir 是指电源内阻上的电压降； $IR = U$ 是指电源向外电路输出的电压，简称外电路电压，也叫电源的端电压，因此全电路的端电压

$$U = E - Ir$$

在一般情况下，电源的电动势和内电阻是不变的，因此电流的大小主要决定于负载 R 的大小。若负载增大，则电流将减小；反之，若负载电阻减小，则电流将增大。

【例 1-8】 有一闭合电路，电源电动势 $E = 9\text{V}$ ，负载电阻 R 为 8Ω ，电源的内电阻为 1Ω 。试求：电路中的电流、负载两端的电压以及内阻上的电压降。

解：据全电路的欧姆定律得

$$I = \frac{E}{R+r} = \frac{9\text{V}}{8\Omega + 1\Omega} = 1\text{A}$$

又据部分电路的欧姆定律可得

$$U_{\text{外}} = IR = 1\text{A} \times 8\Omega = 8\text{V}$$

电源内电阻上的电压为

$$U_{\text{内}} = Ir = 1\text{A} \times 1\Omega = 1\text{V}$$

五、电阻串并联及混联电路与应用

1. 电阻串联电路及应用

(1) 电阻串联电路 如图 1-20 所示，假定有 n 个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 、 \dots 、 R_n 顺序相接，其中没有分岔，则称为这 n 个电阻串联。串联电路特点是：

➤ 电路中流过每个电阻的电流都相等，即

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

这是由于串联电路只有惟一通路，并且电荷不会在电路中任何地方积累或消失。

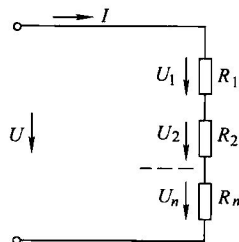


图 1-20 串联电路

- 电路两端的总电压等于各电阻两端的电压之和，即

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n$$

- 电路的总电阻等于各串联电阻之和，即

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

串联电路的总电阻大于任何一个分电阻。

- 串联电路的总功率等于各个电阻消耗的功率之和，且电阻越大消耗功率越大，即

$$P = I(U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n) = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_n$$

- 各串联电阻上分得的电压的大小与各电阻值的大小成正比，即

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \cdots = \frac{U_n}{R_n} = I$$

- 电阻串联电路可以等效成一个电阻。

两个电路相互等效，是指结构、元件完全不同的两个电路的端电压、电流关系相同，如图 1-21 所示。相互等效的两部分电路可以相互代换，代换前的电路与代换后的电路与任意外电路相连时，外电路的电流、电压、功率是相等的。



图 1-21 等效电路

等效是电路理论中很重要的概念。在分析计算时，常用等效电路代替原电路，使计算得到简化。

【例 1-9】 图 1-20 所示的电阻串联电路中 $n=3$ 。已知 $R_1=2\Omega$ ， $R_2=4\Omega$ ， $U_1=6\text{V}$ ， $U=21\text{V}$ 。求：1) 通过 R_1 、 R_2 、 R_3 的电流 I_1 、 I_2 、 I_3 ；2) R_2 和 R_3 两端的电压；3) 电阻 R_3 ；4) 等效电阻 R 。

解：1) 根据欧姆定律有

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{6\text{V}}{2\Omega} = 3\text{A}$$

由于是电阻串联电路，所以

$$I_1 = I_2 = I_3 = 3\text{A}$$

2) R_2 两端的电压

$$U_2 = I_2 R_2 = 3\text{A} \times 4\Omega = 12\text{V}$$

由于

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

所以

$$U_3 = U - U_1 - U_2$$

即 R_3 两端的电压

$$U_3 = 21\text{V} - 6\text{V} - 12\text{V} = 3\text{V}$$

3) 电阻

$$R_3 = \frac{U_3}{I_3} = \frac{3\text{V}}{3\text{A}} = 1\Omega$$

4) 等效电阻

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 2\Omega + 4\Omega + 1\Omega = 7\Omega$$