

◎ 免费下载教学参考资料包

◎ 网站免费答疑

◎ 图片 + 表格清晰阐述

电工/电子技能实践课堂系列丛书 ④

电工入门

知识与实践课堂

◎ 蔡杏山 主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

电工/电子技能实践课堂系列丛书④

电工入门 知识与实践课堂

蔡杏山 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是一本电工技术入门的图书。本书主要介绍了电工入门基础、常用电工仪表的使用、电感器和电容器、变压器、低压电器、室内配电线路的安装、安全用电、电动机及三相异步电动机的控制线路等内容。

为了使初学者通过阅读本书就能轻松快速迈入电工技术大门，本书在章节内容安排上按照循序渐进的原则，在语言表达上注重通俗易懂，在形式上采用了大量的表格和图片，另外，在书的重点和关键内容上采用了粗体和阴影处理，以让读者能够掌握并记住这些内容。

本书具有起点低、内容由浅入深、语言通俗易懂的特点，并且内容结构安排符合学习认知规律。本书适合作为电工初学者学习电工技术的自学图书，也适合作为职业院校电类专业的电工入门教材。

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，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电工入门知识与实践课堂 / 蔡杏山主编. —北京：电子工业出版社，2010.1

(电工/电子技能实践课堂系列丛书)

ISBN 978-7-121-10088-8

I. 电… II. 蔡… III. 电工技术 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 230616 号

策划编辑：赵丽松

责任编辑：雷洪勤

印 刷：涿州市京南印刷厂

装 订：涿州市桃园装订有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：14.75 字数：378 千字

印 次：2010 年 1 月第 1 次印刷

印 数：4 000 册 定价：28.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010) 88258888。

前 言

电工技术和电子技术都属于电类技术，两者的区别在于，电工技术是强电技术，其处理的电信号电压高、电流大；而电子技术属于弱电技术，主要处理电压低、电流小的电信号。在早期，电工技术和电子技术区分还比较明显，但现代社会两种技术的融合越来越紧密，大量的电气设备既含有电工技术，又含有电子技术。当今社会既需要电子技术人才和电工技术人才，更需要同时掌握电子、电工技术的复合型人才。

一、本书章节简介

本书为电工技术的入门图书，共有 9 章，各章节内容简要说明如下。

章 节	内 容 说 明
第 1 章 电工入门基础	学习电工技术，必须先掌握电工基础知识，为后面的学习打下扎实的根基。本章主要介绍了电路的基本概念及规律、电阻的连接、电磁知识、直流电与交流电及三相交流电的产生与供电方式
第 2 章 常用电工仪表的使用	电工仪表是检测电气线路的电阻、电压、电流、电量和绝缘电阻等参数的工具。本章主要介绍了指针万用表、数字万用表、电度表、钳形电流表和兆欧表的使用
第 3 章 电感器和电容器	电感器和电容器是电气线路中的常用器件。本章主要介绍了电感器、电容器的性质、参数、种类和检测等内容
第 4 章 变压器	变压器是一种用来升降电压和改变电流大小的电气设备。本章主要介绍了变压器的基础知识、三相变压器、电力变压器和自耦变压器
第 5 章 低压电器	低压电器是指用在交流电压 1200V 或直流电压 1500V 以下的电气器件。本章主要介绍了开关、熔断器、断路器、接触器和继电器等低压电器的结构、原理、选用和检测等内容
第 6 章 室内配电线路的安装	在室内安装配电线路是电工技术的一项基本功。本章主要介绍了照明光源、导线的选择与连接和室内配电布线
第 7 章 安全用电	在电工作业时，由于所接触的电压电流都比较大，为了避免操作时出现触电而造成人体伤害，需要掌握一些安全用电方面的知识。本章主要介绍了人体触电的几种方式、接地与接零和接地装置的安装
第 8 章 电动机	电动机是一种将电能转换为机械能的设备。本章主要介绍了三相异步电动机、直流电动机和单相异步电动机
第 9 章 三相异步电动机的控制线路	大多数工业机械设备采用三相异步电动机作为动力源，对它进行各种控制需用到相应的控制线路。本章主要介绍了正转控制线路、正反转控制线路、限位控制线路、自动往返控制线路、顺序控制线路、多地控制线路、降压启动控制线路、绕线转子电动机启动控制线路、制动控制线路和多速异步电动机调速控制线路

二、本书特点

本书主要有以下特点：

1. 章节安排符合人的认识规律。读者只需从前往后逐章节阅读本书，便会水到渠成掌握书中内容。

2. 起点低，语言通俗易懂。读者只需有初中文化程度便可阅读本书，由于语言通俗易懂，阅读时会感觉很顺畅。

3. 采用大量的图片和表格来阐述知识。

4. 知识要点用加粗文字，重点标注。

5. 免费网络答疑。读者在学习过程中遇到疑难问题，可以登录易天教学网（www.eTV100.com）进行提问，也可观看网站上与图书有关的辅导材料。

本书在编写过程中得到了易天教学网很多教师的支持，参加编写的人员有：蔡杏山、蔡玉山、詹春华、何慧、黄晓玲、蔡春霞、邓艳姣、黄勇、刘凌云、刘元能。

由于我们水平有限，书中存在错误和疏漏在所难免，望广大读者和同仁予以批评指正。

为适应教学要求，本书提供了电子教学参考资料包，有需求的教师可与电子工业出版社赵丽松联系（E-mail:zls@phei.com.cn）。

编 者

目 录

第 1 章 电工入门基础	1
1.1 电路的基本概念及规律	2
1.1.1 电路与电路图	2
1.1.2 电流与电阻	2
1.1.3 电位、电压和电动势	4
1.1.4 电路的三种状态	5
1.1.5 欧姆定律	5
1.1.6 电功、电功率和焦耳定律	8
1.2 电阻的连接	9
1.2.1 电阻的串联	9
1.2.2 电阻的并联	10
1.2.3 电阻的混联	11
1.3 电磁知识	11
1.3.1 磁铁与磁性材料	11
1.3.2 通电导体产生的磁场	12
1.3.3 通电导体在磁场中受到的力	13
1.3.4 电磁感应	14
1.4 直流电与交流电	16
1.4.1 直流电	16
1.4.2 交流电	17
1.5 三相交流电的产生与供电方式	21
1.5.1 三相交流电的产生	21
1.5.2 三相交流电的供电方式	22
第 2 章 常用电工仪表的使用	24
2.1 指针万用表	25
2.1.1 面板介绍	25
2.1.2 使用前的准备工作	27
2.1.3 测量直流电压	28
2.1.4 测量交流电压	29
2.1.5 测量直流电流	29
2.1.6 电阻的测量	30
2.1.7 万用表使用注意事项	31
2.2 数字万用表	31
2.2.1 面板介绍	32

2.2.2	测量直流电压	32
2.2.3	测量交流电压	33
2.2.4	电阻的测量	34
2.3	电度表	34
2.3.1	电度表的结构与原理	34
2.3.2	电度表的接线方式	36
2.3.3	用电度表测量电器的功率	38
2.3.4	电子式电度表	39
2.4	钳形表	40
2.4.1	钳形表的结构与测量原理	41
2.4.2	指针式钳形表	41
2.4.3	数字式钳形表	43
2.5	兆欧表	44
2.5.1	摇表	44
2.5.2	指针式兆欧表	48
2.5.3	数字式兆欧表	50
第 3 章	电感器和电容器	53
3.1	电感器	54
3.1.1	外形与符号	54
3.1.2	主要参数与标注方法	54
3.1.3	性质	55
3.1.4	种类	57
3.1.5	检测	58
3.2	电容器	58
3.2.1	结构、外形与符号	58
3.2.2	主要参数	59
3.2.3	性质	59
3.2.4	种类	62
3.2.5	电容器的串联与并联	66
3.2.6	容量与误差的标注方法	67
3.2.7	常见故障及检测	69
第 4 章	变压器	71
4.1	变压器的基础知识	72
4.1.1	结构	72
4.1.2	功能	73
4.1.3	极性	74
4.2	三相变压器	75
4.2.1	电能的传送	75
4.2.2	三相变压器	76

4.2.3	三相变压器的供电连接方式	77
4.3	电力变压器	79
4.3.1	外形与结构	79
4.3.2	型号说明	80
4.3.3	连接方式	81
4.4	自耦变压器	81
4.4.1	结构与原理	81
4.4.2	实物外形	82
第 5 章	低压电器	83
5.1	开关	84
5.1.1	开启式负荷开关	84
5.1.2	封闭式负荷开关	85
5.1.3	组合开关	85
5.1.4	倒顺开关	86
5.1.5	按钮开关	87
5.1.6	行程开关	88
5.1.7	接近开关	89
5.1.8	万能转换开关	90
5.1.9	开关的检测	90
5.2	熔断器	91
5.2.1	型号含义	91
5.2.2	种类及特点	92
5.2.3	熔断器的检测	93
5.3	断路器	94
5.3.1	结构与原理	94
5.3.2	种类	95
5.3.3	型号含义	96
5.3.4	断路器的检测	96
5.3.5	漏电保护器	97
5.4	接触器	98
5.4.1	交流接触器	98
5.4.2	直流接触器	99
5.4.3	接触器的选用	100
5.4.4	接触器的检测	100
5.5	继电器	101
5.5.1	热继电器	101
5.5.2	电流继电器	103
5.5.3	电压继电器	104
5.5.4	中间继电器	105

5.5.5	时间继电器	106
5.5.6	速度继电器	107
5.5.7	压力继电器	109
5.5.8	继电器的检测	109
第 6 章	室内配电线路的安装	111
6.1	照明光源	112
6.1.1	白炽灯	112
6.1.2	荧光灯	112
6.1.3	卤钨灯	114
6.1.4	高压汞灯	115
6.2	导线的选择与连接	117
6.2.1	导线的选择	117
6.2.2	导线的连接	122
6.3	室内配电布线	128
6.3.1	配电方案的设计	128
6.3.2	布线	130
6.3.3	插座和开关的安装	137
6.3.4	配电箱的安装	140
第 7 章	安全用电	143
7.1	人体触电的几种方式	144
7.1.1	电流对人体的伤害	144
7.1.2	触电的几种方式	145
7.2	接地与接零	147
7.2.1	接地	147
7.2.2	接零	148
7.2.3	重复接地	148
7.3	接地装置的安装	150
7.3.1	接地体的安装	150
7.3.2	接地线的安装	151
第 8 章	电动机	154
8.1	三相异步电动机	155
8.1.1	工作原理	155
8.1.2	外形与结构	157
8.1.3	接线方式	159
8.1.4	电动机的铭牌	160
8.2	直流电动机	161
8.2.1	工作原理与结构	161
8.2.2	种类与特点	164
8.3	单相异步电动机	166

8.3.1	分相式单相异步电动机	166
8.3.2	罩极式单相异步电动机	171
第 9 章	三相异步电动机的控制线路	173
9.1	正转控制线路	174
9.1.1	简单的正转控制线路	174
9.1.2	点动正转控制线路	174
9.1.3	自锁正转控制线路	176
9.1.4	带过载保护的自锁正转控制线路	178
9.1.5	连续与点动混合控制线路	178
9.2	正、反转控制线路	180
9.2.1	倒顺开关正、反转控制线路	180
9.2.2	接触器连锁正、反转控制线路	181
9.2.3	按钮连锁正、反转控制线路	182
9.2.4	按钮、接触器双重连锁正、反转控制线路	184
9.3	限位控制线路	185
9.4	自动往返控制线路	187
9.5	顺序控制线路	188
9.6	多地控制线路	190
9.7	降压启动控制线路	191
9.7.1	定子绕组串接电阻降压启动控制线路	191
9.7.2	自耦变压器降压启动控制线路	193
9.7.3	星形—三角形 (Y— Δ) 降压启动控制线路	198
9.7.4	延边三角形降压启动控制线路	201
9.8	绕线转子电动机启动控制线路	203
9.8.1	绕线转子电动机转速调速与启动方式	203
9.8.2	转子绕组串接电阻启动控制线路	205
9.8.3	转子绕组串接频敏变阻器启动控制线路	208
9.8.4	凸轮控制器启动、调速和正反转控制线路	210
9.9	制动控制线路	212
9.9.1	机械制动线路	212
9.9.2	电力制动线路	215
9.10	多速异步电动机调速控制线路	221
9.10.1	双速异步电动机调速控制线路	221
9.10.2	三速异步电动机调速控制线路	224

第1章

电工入门基础



问：老师，初学者应该如何学习
电工技术呢？

答：初学者在学习电工技术时先要掌握基础知识，如电学基本概念、规律和电磁知识等，为后面的学习打下理论基础。





1.1

电路的基本概念及规律

1.1.1 电路与电路图

图 1-1 (a) 所示是一个比较简单的实物电路。

从图 1-1 (a) 可以看出, 该电路由电源、开关、导线和灯泡组成。电源的作用是提供电能; 开关、导线的作用是控制和传递电能, 称为中间环节; 灯泡是消耗电能的用电器, 它可将电能转变为光能, 称为负载。因此, **电路是由电源、中间环节和负载组成的。**

用绘制实物的方式来画电路很不方便, 为此人们就用一些简单的图形符号表示实物的方法来画电路, 这样画出的图形就称为电路图。如图 1-1 (b) 所示的图形就是图 1-1 (a) 实物电路的电路图, 可以看出, 用电路图来表示实际的电路非常方便。

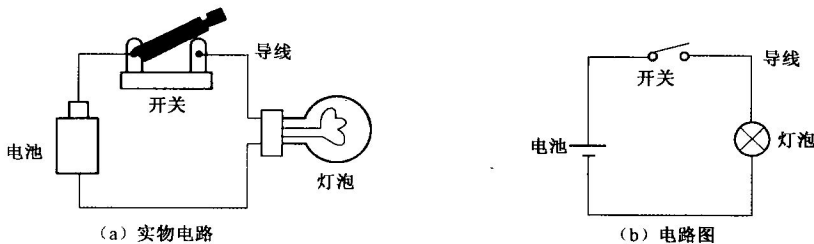


图 1-1 一个简单的电路

1.1.2 电流与电阻

1. 电流

在如图 1-2 所示的电路中, 将开关闭合, 灯泡会发光, 为什么会这样呢? 下面就来解释其中的原因。

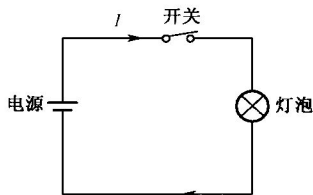


图 1-2 电流说明图

当开关闭合时, 电源正极会流出大量的电荷, 它们经过导线、开关流进灯泡, 再从灯泡流出, 回到电源的负极, 这些电荷在流经灯泡内的钨丝时, 钨丝会发热, 温度急剧上升从而发光。

大量的电荷朝一个方向移动 (也称定向移动) 就形成了电流, 这就像公路上有大量的汽车朝一个方向移动就形成“车流”一样。一般把正电荷在电路中的移动方向规定为电流的方向。如图 1-2 所示电路的电流方向是: 电源正极→开关→灯泡→电源负极。



电流通常用“ I ”表示，单位为安培（简称安），用“ A ”表示，比安培小的单位有毫安（mA）、微安（ μA ），它们之间的关系是： $1A=10^3mA=10^6\mu A$ 。

2. 电阻

在如图 1-3（a）所示的电路中，给电路增加一个元器件——电阻器，发现灯泡会变暗，该电路的电路图如图 1-3（b）所示。为什么在电路中增加了电阻器后，灯泡会变暗呢？原来电阻器对电流有一定的阻碍作用，从而使灯泡流过的电流减少，灯泡就会变暗。

导体对电流的阻碍称为电阻，电阻通常用“ R ”表示，电阻单位为欧姆（简称欧），用“ Ω ”表示，比欧姆大的单位有千欧（ $k\Omega$ ）、兆欧（ $M\Omega$ ），它们之间的关系是： $1M\Omega=10^3k\Omega=10^6\Omega$ 。

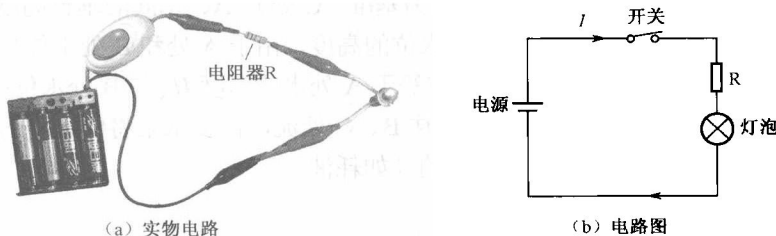


图 1-3 电阻说明图

导体的电阻计算公式为：

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

式中， L 为导体长度（单位：m）， S 为导体的横截面积（单位： m^2 ）， ρ 为导体的电阻率（单位： $\Omega\cdot m$ ），不同的导体， ρ 的值一般不同。表 1-1 列出了一些常见导体的电阻率（ $20^\circ C$ 时）。

表 1-1 一些常见导体的电阻率（ $20^\circ C$ 时）

导 体	电阻率/ $\Omega\cdot m$	导 体	电阻率/ $\Omega\cdot m$
银	1.62×10^{-8}	锡	11.4×10^{-8}
铜	1.69×10^{-8}	铁	10.0×10^{-8}
铝	2.83×10^{-8}	铅	21.9×10^{-8}
金	2.4×10^{-8}	汞	95.8×10^{-8}
钨	5.51×10^{-8}	碳	3500×10^{-8}

在长度 L 和横截面积 S 相同的情况下，电阻率越大的导体其电阻越大，例如 L 、 S 相同的铁线和铜线，铁线的电阻是铜线的 5.9 倍，由于铁线的电阻率较铜线大很多，为了使负载能得到较大电流并减小供电线路损耗，供电线路通常采用铜线。

导体的电阻除了与材料有关外，还受温度的影响。一般情况下，导体温度越高，其电阻越大，例如常温下灯泡（白炽灯）内部钨丝的电阻很小，但是当钨丝的温度升高到 $1000^\circ C$ 以上，其电阻会急剧增大；导体温度下降，其电阻会减小，有些金属材料在温度下降到某一值（如 $-109^\circ C$ ）时，电阻会突然变为零，这种现象称为超导现象，具有这种性质的材料称为超导材料。



1.1.3 电位、电压和电动势

电位、电压和电动势对初学者较难理解,下面通过如图 1-4 所示的水流示意图来说明这些术语。首先来分析图 1-4 中的水流过程。

水泵将河中的水抽到山顶的 A 处,水到达 A 处后再流到 B 处,到达 B 处后再流往 C 处(河中),然后水泵又将河中的水抽到 A 处,这样使得水不断循环流动。水为什么能从 A 处流到 B 处,又从 B 处流到 C 处呢?这是因为 A 处水位较 B 处水位高, B 处水位较 C 处水位高。

要测量 A 处和 B 处水位的高度,必须先要找一个基准点(零点),就像测量人体身高要选择脚底为基准点一样,在这里以河的水平面为基准(C 处)。AC 之间的垂直高度 H_A 为 A 处水位的高度, BC 之间的垂直高度 H_B 为 B 处水位的高度,由于 A 处和 B 处水位高度不一样,它们存在着水位差,该水位差用 H_{AB} 表示,它等于 A 处水位高度 H_A 与 B 处水位高度 H_B 之差,即 $H_{AB}=H_A-H_B$ 。为了让 A 处源源不断有水往 B、C 处流,需要水泵将低水位的河中的水抽到高处的 A 点,这样做水泵是需要消耗能量的(如耗油)。

1. 电位

电路中的电位、电压和电动势与上述水流情况很相似。在如图 1-5 所示的电路中,电源的正极输出电流,流到 A 点,再经 R_1 流到 B 点,然后通过 R_2 流到 C 点,最后流到电源的负极。

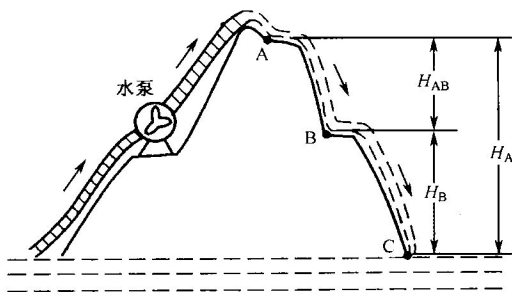


图 1-4 水流示意图

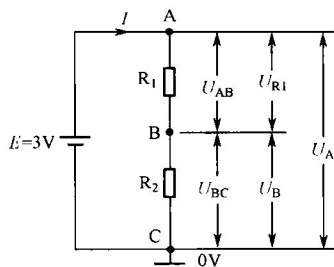


图 1-5 电位、电压和电动势说明图

与图 1-4 水流示意图相似,图 1-5 电路中的 A、B 点也有高低之分,只不过不是水位,而称做电位, A 点电位较 B 点电位高。为了计算电位的高低,也需要找一个基准点作为零点,为了表明某点为零基准点,通常在该点处画一个“ $\perp$ ”符号,该符号称为接地符号,接地符号处的电位规定为 0V,电位单位不是米,而是伏特(简称伏),用 V 表示。在如图 1-5 所示电路中,以 C 点为 0V(该点标有接地符号), A 点的电位为 3V,表示为 $U_A=3V$, B 点电位为 1V,表示为 $U_B=1V$ 。

2. 电压

图 1-5 电路中的 A 点和 B 点的电位是不同的,有一定的差距,这种**电位之间的差距称为电位差,又称电压**。A 点和 B 点之间的电位差用 U_{AB} 表示,它等于 A 点电位 U_A 与 B 点电位 U_B 的差,即 $U_{AB}=U_A-U_B=3V-1V=2V$ 。因为 A 点和 B 点电位差实际上就是电阻器 R_1 两端的电位差(电压), R_1 两端的电压用 U_{R1} 表示,所以 $U_{AB}=U_{R1}$ 。



3. 电动势

为了让电路中始终有电流流过,电源需要在内部将流到负极的电流源源不断地“抽”到正极,使电源正极具有较高的电位,这样正极才会输出电流。当然,电源内部将负极的电流“抽”到正极需要消耗能量(如干电池会消耗掉化学能)。**电源消耗能量在两端建立的电位差称为电动势**,电动势的单位也为伏特(V),图1-5电路中电源的电动势为3V。

由于电源内部的电流方向是由负极流向正极,故**电源的电动势方向规定为从负极指向正极**。

1.1.4 电路的三种状态

电路有三种状态:**通路、开路和短路**,这三种状态的电路如图1-6所示。

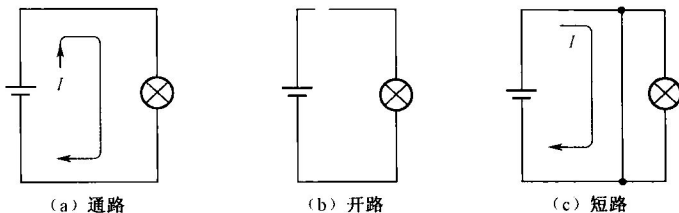


图 1-6 电路的三种状态

1. 通路

图1-6(a)中的电路处于通路状态。**电路处于通路状态的特点有:电路畅通,有正常的电流流过负载,负载正常工作。**

2. 开路

图1-6(b)中的电路处于开路状态。**电路处于开路状态的特点有:电路断开,无电流流过负载,负载不工作。**

3. 短路

图1-6(c)中的电路处于短路状态。**电路处于短路状态的特点有:电路中有很大的电流流过,但电流不流过负载,负载不工作。由于电流很大,很容易烧坏电源和导线。**

1.1.5 欧姆定律

欧姆定律是电子技术中的一个最基本的定律,它反映了电路中电阻、电流和电压之间的关系。欧姆定律包括部分电路欧姆定律和全电路欧姆定律。

1. 部分电路欧姆定律

部分电路欧姆定律的内容是:在电路中,流过电阻的电流 I 的大小与电阻两端的电压 U 成正比,与电阻 R 的大小成反比。即

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



也可以表示为 $U=IR$ 和 $R=\frac{U}{I}$ 。

为了更好地理解部分电路欧姆定律，下面以图 1-7 为例来说明。

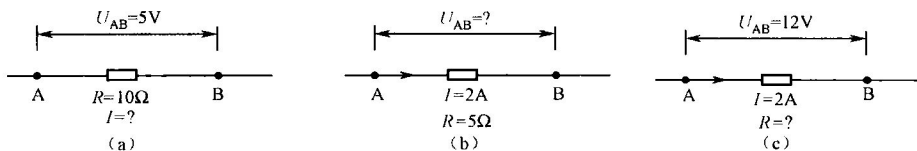


图 1-7 部分电路欧姆定律的几种形式

在图 1-7 (a) 中，已知电阻 $R=10\Omega$ ，电阻两端电压 $U_{AB}=5V$ ，那么流过电阻的电流 $I=\frac{U_{AB}}{R}=\frac{5}{10}=0.5A$ 。

在图 1-7 (b) 中，已知电阻 $R=5\Omega$ ，流过电阻的电流 $I=2A$ ，那么电阻两端的电压 $U_{AB}=I \cdot R=2 \times 5=10V$ 。

在图 1-7 (c) 中，已知流过电阻的电流 $I=2A$ ，电阻两端的电压 $U_{AB}=12V$ ，那么电阻的大小 $R=\frac{U}{I}=\frac{12}{2}=6\Omega$ 。

下面以图 1-8 所示的电路来说明部分欧姆定律的应用。

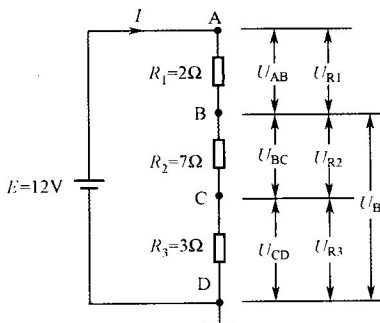


图 1-8 部分电路欧姆定律的应用说明图

在图 1-8 中，电源的电动势 $E=12V$ ，它与 A、D 之间的电压 U_{AD} 相等，三个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 串接起来，可以相当于一个电阻 R ， $R=R_1+R_2+R_3=2+7+3=12\Omega$ 。知道了总电阻 R 的大小和总电阻两端的电压，就可以求出流过电阻的电流 I ：

$$I=\frac{U}{R}=\frac{U_{AD}}{R_1+R_2+R_3}=\frac{12}{12}=1A$$

求出了流过 R_1 、 R_2 、 R_3 的电流 I ，并且它们的电阻大小已知，就可以求 R_1 、 R_2 、 R_3 两端的电压 U_{R1} (U_{R1} 实际就是 A、B 两点之间的电压 U_{AB})、 U_{R2} 和 U_{R3} ：

$$U_{R1}=U_{AB}=I \cdot R_1=1 \times 2=2V$$

$$U_{R2}=U_{BC}=I \cdot R_2=1 \times 7=7V$$

$$U_{R3}=U_{CD}=I \cdot R_3=1 \times 3=3V$$

从上面可以看出： $U_{R1}+U_{R2}+U_{R3}=U_{AB}+U_{BC}+U_{CD}=U_{AD}=12V$



在图 1-8 中如何求 B 点电压呢？首先要明白，求某点电压指的就是求该点与地之间的电压，所以 B 点电压 U_B 实际就是电压 U_{BD} ，求 U_B 有两种方法：

方法一： $U_B = U_{BD} = U_{BC} + U_{CD} = U_{R2} + U_{R3} = 7 + 3 = 10V$

方法二： $U_B = U_{BD} = U_{AD} - U_{AB} = U_{AD} - U_{R1} = 12 - 2 = 10V$

2. 全电路欧姆定律

全电路是指含有电源和负载的闭合回路。全电路欧姆定律又称为闭合电路欧姆定律，其内容是：闭合电路中的电流与电源的电动势成正比，与电路的内外电阻之和成反比，即

$$I = \frac{E}{R + R_0}$$

下面以图 1-9 所示电路来说明全电路欧姆定律。

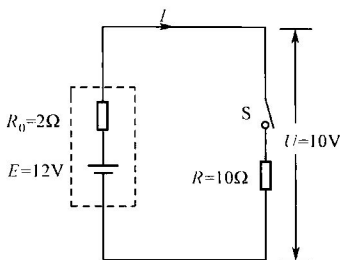


图 1-9 全电路欧姆定律说明图

图 1-9 中虚线框内为电源， R_0 表示电源的内阻， E 表示电源的电动势，当开关 S 闭合后，电路中有电流 I 流过，根据全电路欧姆定律可求得 $I = \frac{E}{R + R_0} = \frac{12}{10 + 2} = 1A$ 。电源输出电压（也

即电阻 R 两端的电压） $U = IR = 1 \times 10 = 10V$ ，内阻 R_0 两端的电压 $U_0 = IR_0 = 1 \times 2 = 2V$ 。如果将开关 S 断开，电路中的电流 $I = 0$ ，那么内阻 R_0 上消耗的电压 $U_0 = 0V$ ，电源输出电压 U 与电源电动势相等，即 $U = E = 12V$ 。

根据全电路欧姆定律不难看出：

① 在电源未接负载时，不管电源内阻多大，内阻消耗的电压始终为 0，电源两端电压与电源的电动势相等。

② 当电源与负载构成闭合电路后，由于有电流流过内阻，内阻会消耗电压，从而使电源输出电压降低，内阻越大，内阻消耗的电压越大，电源输出电压就越低。

③ 在电源内阻不变的情况下，如果外阻越小，电路中的电流就越大，内阻消耗的电压也越大，电源输出电压也会降低。

由于正常电源的内阻很小，内阻消耗的电压很低，故一般情况下可认为电源输出电压与电源电动势相等。

利用全电路欧姆定律可以解释很多现象。比如旧电池两端电压与正常电压相同，但将旧电池与电路连接后除了输出电流很小外，电池的输出电压也会急剧下降，这是因为旧电池内阻变大的缘故；又如将电源正、负极直接短路时，电源会发热甚至烧坏，这是因为短路时流过电源内阻的电流很大，内阻消耗的电压与电源电动势相等，大量的电能内阻上消耗并转换成