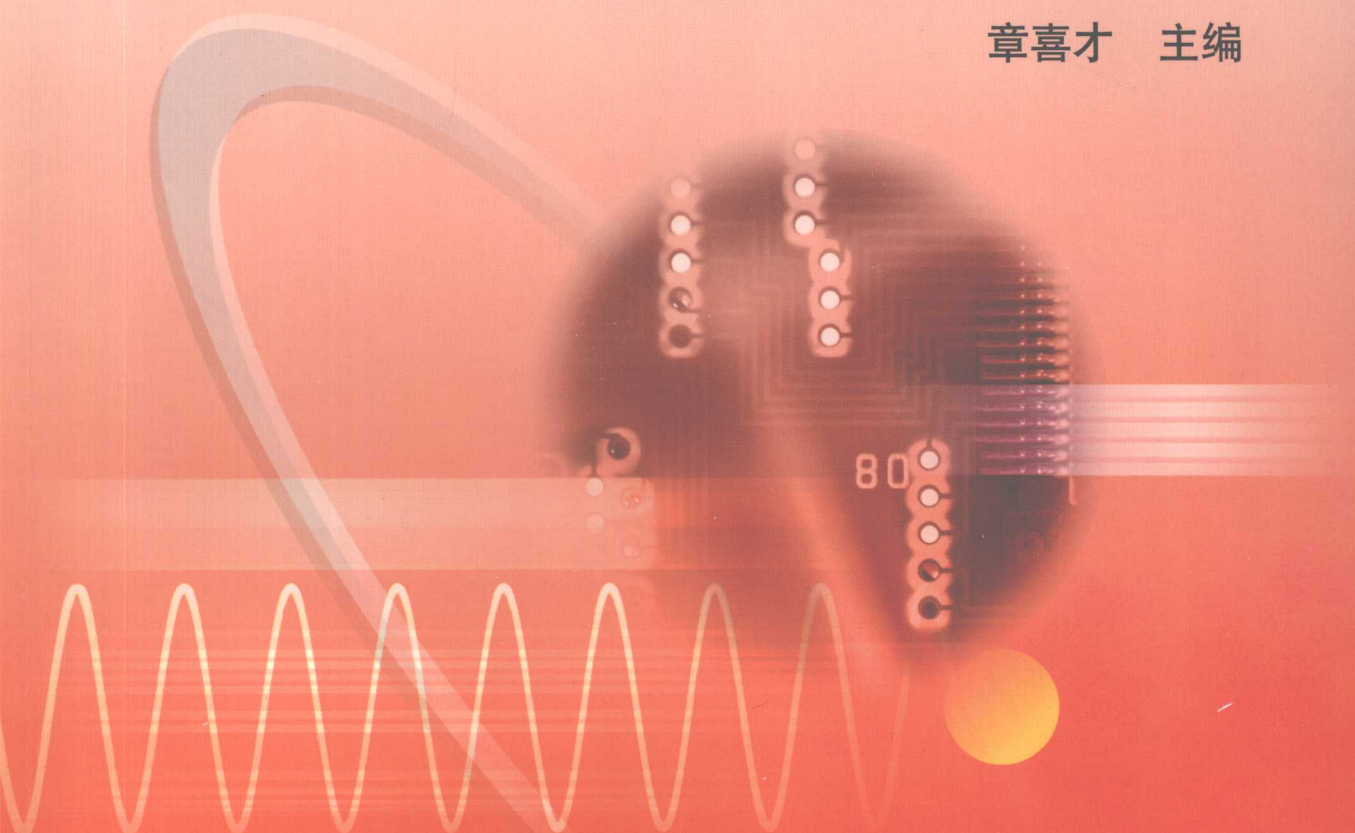




中等职业教育“十一五”规划教材

电工电子技术 及应用

章喜才 主编



赠电子教案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

中等职业教育“十一五”规划教材

电工电子技术及应用

主 编 章喜才

副主编 张仕军

参 编 于 红 赵 丹 张 斌

瞿文影 周 倩

主 审 贾景贵



机械工业出版社

本书根据教育部2001年颁布的《中等职业学校电工与电子技术教学基本要求》编写而成,同时参考无线电调试工及维修电工的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准。

本书分十五章编写,主要内容有:直流电路、单相交流电路、三相交流电路、常用半导体器件、直流电源、基本放大电路和集成运算放大器、晶闸管及其应用电路、数字电路基础、时序逻辑电路、电磁学基础知识、变压器、电动机、低压电器、输配电及安全用电、电工仪表及测量等。

本书采用模块式编写方式,可供中等职业学校机电类、机械类及相关专业使用,也可作为相关行业岗位培训用书。

本书配有免费电子教案,凡选用本书作为授课教材的学校,均可来电索取,咨询电话:010-88379195。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术及应用/章喜才主编. —北京:机械工业出版社,2007.8
中等职业教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-111-22016-9

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第115995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:高倩 版式设计:张世琴 责任校对:张晓蓉

封面设计:姚毅 责任印制:杨曦

北京市朝阳展望印刷厂印刷

2007年9月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·18印张·408千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-22016-9

定价:27.00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)88379195

封面无防伪标均为盗版

前 言

本教材为机械工业出版社中等职业教育“十一五”规划教材,是根据教育部2001年颁布的《中等职业学校电工与电子技术教学基本要求》编写而成的。

本教材包括了电路基础、模拟电子技术、数字电子技术、电工技术和常用电工仪表等几部分内容,结合当前中等职业学校教学实际,以“够用、实用、好用”为原则,力求突出课程的实用性和针对性。

本教材充分考虑中等职业学校学生的认知水平和职业要求,力求避免繁杂冗长的数学推导或计算过程,突出重要的物理概念和基本理论(定理和定律)的定性阐述,使学生掌握电工、电子技术的重要概念和定理、定律;在电路计算方面强调解题技巧,简化解题步骤;减少元器件结构、原理等的大篇幅理论叙述,着重讲解参数、特性及其应用;注重理论联系实际,引入与生产实际、技术应用密切联系的案例应用。

本教材在原大纲基础上根据目前中职学生2+1学制特点和作者多年的教学经验,增加了电磁学的基础知识(第十章),这样对物理课程可以安排少学时或者不讲,缩短理论课时,增加实践环节。另外,考虑到实用性,在教材的最后还增加了电工仪表及测量知识,有利于学生实训教学的开展。对一些教学要求较高的教学内容以“*”标注,教师在使用本教材时可根据本校实际作适当的删减。

为便于学生巩固知识点,本教材每章附有学习目标、本章小结和习题。为方便教学,本教材还配有免费电子教案、习题答案及模拟试题库。

本教材由吉林航空工程学校章喜才担任主编,襄樊市机电工程学校张仕军担任副主编。参加本书编写的有吉林航空工程学校于红(第一章、第二章),章喜才(第三章、第七章),赵丹(第四章、第五章、第六章),河南机电学校张斌(第八章、第九章),吉林航空工程学校瞿文影(第十章、第十一章、第十二章),浙江科技工程学校周倩(第十三章、第十四章),张仕军(第十五章),全书由章喜才统稿。

本教材由北华大学贾景贵教授担任主审,他对本书稿进行了全面审阅并提出了宝贵的修改意见,对提高书稿质量起了重要作用。本书在编写过程中还得到了吉林航空工程学校领导和电工电子教研室全体教师的热情关怀和帮助,在此一并表示感谢。

我们为本教材的编写投注了大量的精力和满腔的热情,但由于编者水平有限,书中难免存在差错和疏漏,我们迫切期望使用本教材的广大教师和学生对本书中存在的问题提出批评、建议和意见(编者信箱:zxchit@sohu.com),以便进一步完善本教材。

主 编	章喜才	副 编	张仕军
参 编	于红	参 编	赵丹
参 编	张斌	参 编	瞿文影
参 编	周倩	参 编	张仕军
主 审	贾景贵	参 审	王 强
参 审	李 强	参 审	王 强
参 审	王 强	参 审	王 强
参 审	王 强	参 审	王 强
参 审	王 强	参 审	王 强
参 审	王 强	参 审	王 强

目 录

前言

第一章 直流电路 1

第一节 电路的基本结构及物理量 1

第二节 电阻元件和欧姆定律 5

第三节 电阻的串联、并联及其应用 10

第四节 电功与电功率 13

第五节 基尔霍夫定律 14

第六节 支路电流法 17

* 第七节 电压源与电流源 17

* 第八节 叠加定理 21

* 第九节 戴维南定理 22

阅读与应用一 电阻及应用 24

阅读与应用二 直流电路故障检查 26

本章小结 28

习题一 29

第二章 单相交流电路 32

第一节 交流电的基本知识 32

第二节 正弦交流电的表示法 36

第三节 纯电阻电路 38

第四节 纯电感电路 39

第五节 纯电容电路 43

第六节 RL 串联电路 46

* 第七节 RLC 串联电路及串联谐振 49

阅读与应用 简单交流电路故障检查 53

本章小结 55

习题二 57

第三章 三相交流电路 59

第一节 三相交流电的概述 59

第二节 三相负载的连接 62

第三节 三相交流电路的功率 65

本章小结 67

习题三 68

第四章 常用半导体器件 70

第一节 晶体二极管 70

第二节 晶体三极管 74

阅读与应用一 PN 结 79

阅读与应用二 二极管的类型和命名方法 80

阅读与应用三 晶体管电路的三种组态 81

阅读与应用四 晶体管的伏安特性 82

本章小结 83

习题四 84

第五章 直流电源 86

第一节 单相桥式整流电路 86

第二节 滤波电路 88

第三节 稳压电路 90

第四节 直流稳压电源 91

阅读与应用一 硅桥式整流器 94

阅读与应用二 平滑滤波电路 94

本章小结 95

习题五 96

第六章 基本放大电路和集成运算放大器 98

第一节 基本放大电路 98

第二节 多级放大电路 104

第三节 功率放大电路 107

第四节 运算放大电路 109

第五节 放大电路中的负反馈 114

第六节 正弦波振荡电路 117

阅读与应用一 三种组态电路性能比较 120

阅读与应用二 差分放大电路	121	第十一章 变压器	185
阅读与应用三 集成运放使用常识	121	第一节 变压器的分类、结构及工作	
本章小结	122	原理	186
习题六	123	第二节 变压器的铭牌及外特性	189
第七章 晶闸管及其应用电路	127	第三节 常用变压器	192
第一节 晶闸管	127	本章小结	195
第二节 晶闸管整流电路	130	习题十一	196
第三节 晶闸管触发电路	131	第十二章 电动机	198
阅读与应用一 台灯调光装置	133	第一节 三相异步电动机的结构和	
阅读与应用二 简易应急照明灯	134	工作原理	198
本章小结	135	* 第二节 三相异步电动机的机械	
习题七	135	特性	202
第八章 数字电路基础	137	第三节 三相异步电动机的使用	203
第一节 数字电路的基本知识	137	第四节 三相异步电动机的控制	205
第二节 基本逻辑门电路	139	第五节 单相异步电动机	209
第三节 复合逻辑门电路	142	第六节 直流电机	211
阅读与应用 集成逻辑门电路	144	第七节 控制电机	215
本章小结	146	阅读与应用一 三相异步电动机的维护	
习题八	146	与常见故障	218
第九章 时序逻辑电路	148	阅读与应用二 直流电动机的使用及	
第一节 触发器	148	维护	219
第二节 寄存器	153	本章小结	220
第三节 计数器	156	习题十二	221
第四节 数字显示器件与译码器	160	第十三章 低压电器	224
阅读与应用 555 集成定时器	165	第一节 低压电器基本知识	224
本章小结	167	第二节 开关	225
习题九	168	第三节 主令电器	229
第十章 电磁学基础知识	170	第四节 熔断器	231
第一节 电流的磁场	170	第五节 交流接触器	234
第二节 磁场对电流的作用	174	第六节 热继电器	237
第三节 电磁感应	177	第七节 时间继电器	239
第四节 自感与互感	180	第八节 简单应用	242
本章小结	181	阅读与应用 交流接触器使用、维护及	
习题十	182	常见故障修理	246
		本章小结	247
		习题十三	248

第十四章 输配电及安全用电	251
第一节 发电、输电和配电概述	251
第二节 安全用电常识	253
本章小结	256
习题十四	257

第十五章 电工仪表及测量	258
第一节 电工测量仪表的分类	258
第二节 电流、电压与电阻的测量	267
第三节 电功率与电能的测量	270
本章小结	273

习题十五	273
------	-----

附录	274
----	-----

一、常用单位换算表	274
二、国产半导体分立器件型号命名方法	275
三、二极管参数	275
四、晶体管主要参数	277
五、晶闸管主要参数	278

参考文献	279
------	-----

第一章 直流电路

[学习目标]

1. 了解电路的基本结构及各部分的作用。
2. 理解电流、电位、电压、电动势、电功率的概念，掌握电流、电压的参考方向。
3. 掌握电阻负载的串、并联及作用。
4. 掌握基尔霍夫定律，会用支路电流法。

在这一章里，我们将要研究电阻电路（只含电阻的电路）中直流电流的作用，使用欧姆定律和基尔霍夫定律作为工具来分析和理解电流、电压和电阻的关系。本章所述定律与分析方法也适用于其他种类的电路。因此，学好直流电路的理论是学好本课程的第一步。

第一节 电路的基本结构及物理量

很难想象如果没有电能，世界会是什么样子，电能涉及和影响我们日常生活的各个方面。现实中的电路式样非常多，如常见的电灯、电视机、MP3、手机等，这些依靠电能工作的电器或设备就是依靠它们内部的电路来实现各种功能的。

一、电路的组成及作用

1. 电路 电流通过的路径。图 1-1a 所示的电路是一个最简单的直流电路，它由电源、负载、中间环节（连接导线和开关等）组成。

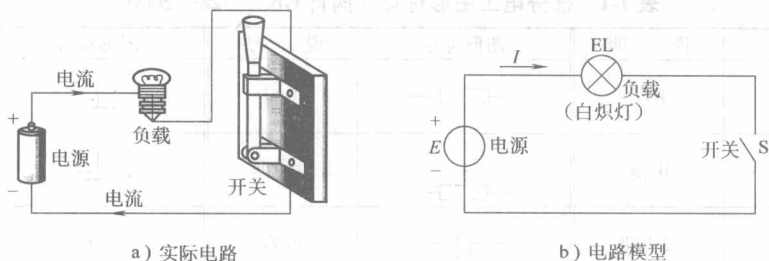


图 1-1 电路的基本结构

电源（供能元件）：一种把其他能量转变成电能的设备，例如电池（把化学能转换成电能）、发电机（把机械能转换成电能）等。

负载（耗能元件）：也称用电设备，是一种把电能转变成其他能量的设备，例如白炽灯（把电能变成光能和热能）、电炉（把电能变成热能）、电动机（把电能变成机械能）、

扬声器（把电能转换成声能）等。

连接导线：把电源产生的电能传输给负载，常用的导线是铜线、铝线。

开关：在电路中起控制作用等。

2. 电路的三种状态

(1) 通路：电路处处接通，如图 1-2a 所示。通路也称为闭合电路，简称闭路。只有在通路的情况下，电路才有正常的工作电流。

(2) 开路：电路中某处断开，没有形成通路的电路，如图 1-2b 所示。开路也称为断路，此时电路中没有电流。

(3) 短路：电源或负载的两端被导线连接在一起，如图 1-2c 所示。

小提示

此时电源提供的电流要比通路时提供的电流大出很多倍，所以电源一般不允许短路。

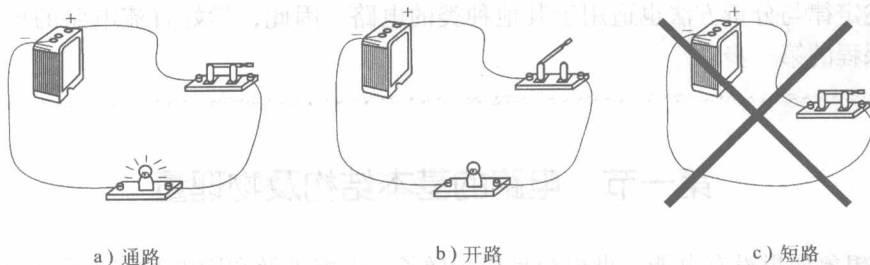


图 1-2 电路的三种状态

3. 电路图 为了绘图方便和标准化，国家规定了各种电气元器件的图形符号，见表 1-1。用图形符号画成的图称为电路图，也称为电路模型，如图 1-1b 所示。电路图并不反映电路的几何尺寸和设备的具体结构，也不反映它的真实位置，不要求按比例绘制。它只反映电路中在电气方面相互联系的实际情况，便于对电路进行分析和计算。

表 1-1 部分电工图形符号（摘自 GB/T4728—2000）

图形符号	说 明	图形符号	说 明	图形符号	说 明
	开关		电阻		接机壳
	电池		电位器		接地
	发电机		电容		端子
	电感		电流表		连接导线 不连接导线
	铁心线圈		电压表		熔断器
	抽头线圈		二极管		电灯

二、电路的基本物理量

水在水管中沿着一定方向流动,水管中就有了水流。电荷在电路中沿一定方向移动,电路中就有了电流。

1. 电流 电荷在电场力的作用下定向移动形成电流。在物质内部有正、负两种不同的电荷,习惯上规定正电荷移动的方向为电流的实际方向。电流用字母 I 表示,其大小为单位时间内通过导体横截面的电荷量,即

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

式中 I ——电流,单位为安培 (A);

Q ——电荷量,单位为库仑 (C);

t ——时间,单位为秒 (s)。

常用的电流单位还有毫安 (mA)、微安 (μA)。电流单位换算关系为

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

在进行电路分析计算时,电流的实际方向有时难以确定,为此可以预先假定一个电流方向称为参考方向 (也称正方向),并在电路中用箭头标出。

所选的电流的参考方向并不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与参考方向一致时,则电流为正值,如图 1-3a 所示。反之,电流为负值,如图 1-3b 所示。因此,只有在参考方向选定之后,电流值才有正负之分。

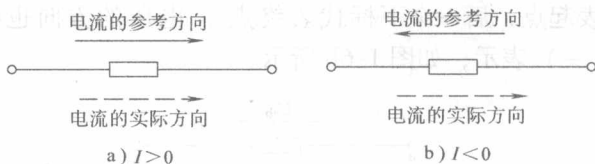


图 1-3 电流参考方向

【例 1-1】 图 1-4 中的方框表示电路元件或电路的一部分,已知电流 I 的参考方向如图 1-4 所示,求下列两种情况电流的实际方向: (1) $I = 5\text{A}$, (2) $I = -5\text{A}$ 。

解: (1) $I = 5\text{A}$ 时,因 I 为正值,则电流的实际方向与参考方向相同,即由 a 向 b。

(2) $I = -5\text{A}$ 时,因 I 为负值,则电流的实际方向与参考方向相反,即由 b 向 a。

电流对负载有各种不同的作用和效应。其中热和磁的效应总是伴随着电流一起发生。而电流对于光、化学以及人体生命的作用,只有在一定条件下才能产生。

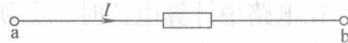


图 1-4 例 1-1 电路图

要使灯泡发光,电视机工作,都需要电流。电压能使电路中形成电流。为了弄清电荷在导体中能够定向移动形成电流的原因,对照图 1-5a 所示水流的形成来理解这个问题。

从图 1-5a 可以看到,水由 A 槽经 C 管向 B 槽流去,水之所以能在 C 管中进行定向移动,是因为 A 槽水位比 B 槽水位高所致。A、B 两槽之间的水位差 (即水压) 是使水发生定向移动形成水流的原因。与此相似,当图 1-5b 中的开关 S 合上后,电路里就有电流。这是因为电源的正极电位高,负极电位低,两个极间电位差 (即电压) 使正电荷从电源的正极出发,经过负载移向电源的负极,形成电流。因此可知电压产生了电流。

2. 电压 又称电位差。是衡量电场力做功大小的物理量,用 U 表示,单位为伏特 (V)。在电路中电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功,定义为 a、b 两点间的电压 U_{ab} 。

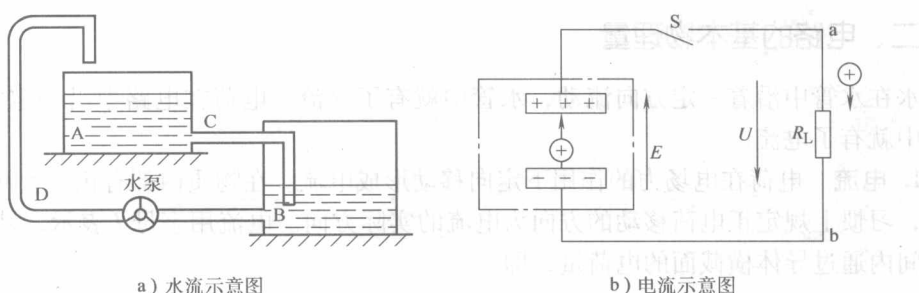


图 1-5 水流和电流的形成

电压的国际单位为伏特 (V)，常用的单位还有毫伏 (mV)、微伏 (μV)、千伏 (kV) 等，它们的换算关系为

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}; 1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}; 1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$$

电压的参考方向同电流一样，电压也先要任意选定其参考方向，电压的参考方向可用箭头在图上表示，由起点指向终点，如图 1-6a 所示，也可用双下标表示，前一个下标代表起点，后一个下标代表终点。电压的方向也可以在起点标正号 (+)，终点标负号 (-) 表示，如图 1-6b 所示。



图 1-6 电压参考方向

在分析与计算电路时，按照所选定的参考方向分析电路，得出的电压为正值 ($U > 0$)，表明电压的实际方向与参考方向一致。反之，若得出的电压为负值 ($U < 0$)，则表明电压的实际方向与参考方向相反。

3. 电位 在电路中任选一个参考点，某一点到参考点的电压就叫做该点的电位。用 V 表示，单位也是 V。例如电路中某点 a 的电位记作 V_a 。

在电路中计算电位时，必须先任意选定电路中的某一点 O 作为参考点，并规定该点的电位为零 (参考点就是零电位点，即 $V_0 = 0$)，电路图中参考点用符号 “ $\perp$ ” 表示。在电路中若某点的电位比参考点高，则该点的电位为正值，反之则为负值。

由电位的定义可知，电位实际上就是电压。电路中任意两点之间的电压即为该两点之间的电位差。例如 a、b 之间电压可记为

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-2)$$

而电压 $U_{ab} = -U_{ba}$ ，数值相等、方向相反。若 a 点为高电位，b 点为低电位，则 U_{ab} 为正值；反之， U_{ab} 为负值。电压的方向规定为高电位 (正极 “+”) 指向低电位 (负极 “-”)，即电位降低的方向。

参考点的选择不同，电路中各点电位就不同。只有参考点选定之后，电路中各点电位才是确定的数值。参考点变，电位就变。但是不管参考点如何选择，任意两点间的电压是不变的，与参考点的选择无关。

小知识

测量电位的方法

测量电位时,应首先选定参考点。然后将直流电压表跨接在被测点与参考点之间,直流电压表的读数就是该点的电位值。当直流电压表的正极接被测点、负极接参考点时,若直流电压表的指针正偏,则该点的电位为正值;若直流电压表的指针反偏,应立即交换测试棒,使直流电压表正偏,这时的读数取负,表示该电位为负值。

4. 电动势 在图 1-5a 中,为使水在 C 管中持续不断地流动,必须用水泵把 B 槽中的水不断地泵入 A 槽,以维持两槽间的固定水位差,也就是要保证水管 C 两端有固定的水压。在图 1-5b 中,电源与水泵的作用相似,它把正电荷由电源的负极搬到正极在电路中持续不断地流动。电源是利用非电场力把正电荷由电源的负极搬到电源的正极。

为了衡量电源内部非电场力做功的能力,引入电动势的概念:在电源内部,电源力将单位正电荷从负极移动到正极所做的功叫做电源的电动势,用 E 表示,电动势的单位为 V。

电动势的方向规定为在电源内部从负极指向正极,即电位升高的方向。在电路中也用带箭头的细实线表示电动势的方向。对于一个电源来说,在外部不接负载时,电源两端的电压的大小等于电源电动势的大小,但方向相反。在图 1-7 所示方向下,有 $U = E$ 。

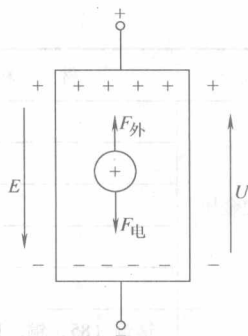


图 1-7 电源开路时电动势与端电压的方向

小提示

电动势和电压的单位都是 V,但两者是有区别的。从物理意义上讲,电动势是表示非电场力做功的本领,电压则表示电场力做功的本领,电动势的方向从低电位指向高电位,即电位升的方向,电压的方向从高电位指向低电位,即电位下降的方向。电动势仅存在于电源内部,而电压在电源内部、外部都存在。

第二节 电阻元件和欧姆定律

常用的导线通常是用铜或铝做的,特别重要的用电设备的导线还要用昂贵的银来做。钢铁也是导体,又多又便宜,那么,为什么不用钢铁来做导线呢?下面我们来解释这一问题。

一、电阻

电阻表示物体对电流阻碍作用的物理量,用字母 R 表示。电阻的单位是欧姆,用字母

Ω 表示。常用的电阻单位有千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$)。它们之间的关系是

$$1k\Omega = 10^3\Omega \quad 1M\Omega = 10^3k\Omega = 10^6\Omega$$

应该强调指出电阻是导体中客观存在的,线性电阻与导体两端电压变化无关,即使没有电压,导体中仍有电阻存在。实验证明,当温度一定时,导体电阻只与材料及导体的几何尺寸有关。对于一根材质均匀、长度为 l 、截面积为 S 的导体而言,其电阻大小可以用式 (1-3) 表示

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-3)$$

式中, ρ 是与材料性质有关的物理量,叫做电阻率或电阻系数,其单位欧·米 ($\Omega \cdot m$)。各种材料的电阻率都随温度而变化。表 1-2 列出几种材料在 20°C 时的电阻率及其主要用途。

表 1-2 几种材料在 20°C 时的电阻率

材 料		电阻/ $\Omega \cdot m$	主要用途
纯金属	银	1.6×10^{-8}	导线镀银
	铜	1.7×10^{-8}	制造各种导线
	铝	2.9×10^{-8}	制造各种导线
	钨	5.3×10^{-8}	电灯灯丝、电器触头
	铁	1.0×10^{-7}	电工材料、制造钢材
合金	锰铜 (85% 铜、12% 锰、3% 镍)	4.4×10^{-7}	制造标准电阻、滑线电阻
	康铜 (54% 铜、46% 镍)	5.0×10^{-7}	制造标准电阻、滑线电阻
	铝铬铁电阻丝	1.2×10^{-6}	电炉丝
半导体	硒、锗、硅等	$10^{-4} \sim 10^{-7}$	制造各种晶体管、晶闸管等
绝缘体	赛璐	10^3	电器绝缘
	电木、塑料	$10^{10} \sim 10^{14}$	电器外壳、绝缘支架
	橡胶	$10^{13} \sim 10^{16}$	绝缘手套、鞋、垫

由表 1-2 可见,纯金属银、铜和铝的电阻率都很小,绝缘体的电阻率都很大,银的导电性能最好,但由于银的价格昂贵,用它做导线太不经济。因此,目前多用铜和铝来做导线。又因我国铝矿丰富,价格便宜,所以很多场合常用铝代替铜做导线。

实验还证明,导体的电阻和温度有关。通常金属导体的电阻随温度升高而增加。如白炽灯中的钨丝,不发光时温度较低,电阻只有几十欧姆,发光时温度却能达到两千多度,其电阻值也上升几千欧姆。有些材料的电阻率随温度的升高而减小,因此,这些材料的电阻也随温度的升高而减小。如热敏电阻等。

在电工、电子技术领域,人们特意制成具有固定电阻值的元件:电阻器。电阻元件是各种电阻器、白炽灯等实际电气器件的理想化模型,电阻元件也简称电阻。有关电阻器的应用,可参看本章“阅读与应用”。

二、欧姆定律

电路分内电路和外电路。内电路是指电源内部的电路，其电流方向是由负极指向正极。外电路是指电源外部的电路，其电流方向是由正极指向负极。内电路和外电路总称全电路。欧姆定律是分析电路的基本定律之一。

1. 一段电阻电路的欧姆定律

所谓一段电阻电路是指不包括电源在内的外电路，如图 1-8 所示。

实验证明，一段电阻电路欧姆定律的内容是：流过导体的电流与这段导体两端的电压成正比，与这段导体的电阻成反比，其数学表达式为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-4)$$

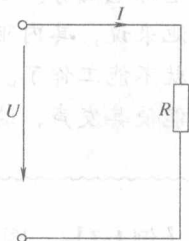


图 1-8 一段电阻电路

式 (1-4) 又可写成另外两种形式。

$$U = IR \quad \text{或} \quad R = \frac{U}{I}$$

【例 1-2】 当一个白炽灯接上 4.5V 电压时，其灯丝的工作电阻值为 1.5Ω 。试问此时流经灯泡的电流是多少？

解：由式 (1-4) 得

$$I = \frac{U}{R} = \frac{4.5}{1.5} \text{A} = 3\text{A}$$

2. 全电路欧姆定律

图 1-9 所示为最简单的闭合电路， R_0 是电源内阻。

在全电路中，电源电动势、电源内阻 R_0 、外电路电阻和电路的电流之间关系是：

$$I = \frac{E_s}{R_0 + R} \quad (1-5)$$

式 (1-5) 是全电路欧姆定律。说明电路中的电流与电源电动势成正比，与整个电路的电阻成反比。将式 (1-5) 变换后得

$$E_s = IR + IR_0 = U + IR_0 \quad (1-6)$$

式中， U 是外电路电压，是指电路接通时电源两端的电压，简称端电压； IR_0 是内电阻电压。这样，式 (1-5) 的含义又可叙述为：电源电动势在数值上等于闭合回路的各部分电压之和。

利用全电路欧姆定律分析电路的三种状态。

(1) 当电路是通路时，如图 1-10 所示。由式 (1-6) 可以得出电源两端电压为

$$U = E_s - IR_0 \quad (1-7)$$

由式 (1-7) 可知，随着电流的增大，外电路电压是下降的。电源内阻越大，外电路电压下降得越多。

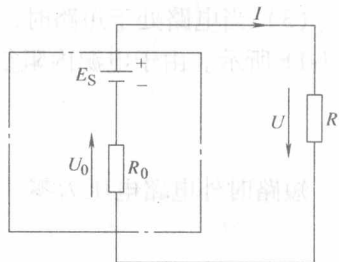


图 1-9 最简单的闭合电路

小提示

在直流负载中, 需要恒定电压供电, 所以总是希望电源内阻越小越好。通常电源电动势和内阻基本不变, 电源内阻又非常小, 所以可以近似认为电源端电压等于电源电动势。今后不特别指出电源内阻时, 就表示其值很小而忽略不计。但对于电池来说, 其内阻随电池使用时间延长而增大。如果电池内阻增大到一定值时, 负载就不能工作了。如旧电池开路时两端的电压并不低, 但装在晶体管收音机里, 并不能使其发声, 这是由于电池内阻增大所致。

【例 1-3】 图 1-9 所示的电路, 电源电压 $E_s = 24\text{V}$, 电源内阻 $R_0 = 4\Omega$, 负载电阻 $R = 20\Omega$ 。求电路中的电流、电源的端电压、负载电压降和电源内阻电压降。

解: 根据式 (1-5) 得电路中电流

$$I = \frac{E_s}{R_0 + R} = \frac{24}{4 + 20}\text{A} = 1\text{A}$$

根据式 (1-7) 得电源端电压

$$U = E_s - IR_0 = (24 - 1 \times 4)\text{V} = 20\text{V}$$

根据式 (1-4) 得负载电压降和电源内阻电压降为

$$U = IR = 20\text{V}, U_0 = IR_0 = 4\text{V}$$

(2) 当电路处于断路 (开路) 状态时, 相当于外电路电阻趋于无穷大, 如图 1-10 所示。电源开路时的端电压叫做开路电压, 用 U_{oc} 表示, $U_{oc} = E_s$, 电流 $I = 0$ 。

(3) 当电路处于短路时, 外电路电阻趋近于零, 此时电路电流 I_{sc} 叫做短路电流, 如图 1-11 所示。由于电源内阻很小, 所以短路电流很大。根据欧姆定律得:

$$I_{sc} = \frac{E_s}{R_0}$$

短路时外电路电压为零, 即 $U = 0$ 。

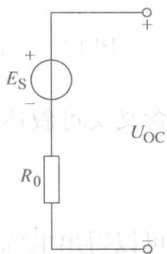


图 1-10 开路电压



图 1-11 短路电流

小知识

发生电源短路时,应及时切断电源,否则将会引起剧烈发热而使电源、导线等烧毁。可以在电路中接入电流保护装置,如在电路中通常接入一种作为短路保护用的熔断器,其中装有熔丝。常用的熔丝是由低熔点的铅锡合金或铅锡合金片做成的,也有用铜丝做熔丝的(一般用在大电流的电路中)。把熔丝串接在电路中,一旦电路发生短路时,由于短路电流很大,熔丝将因发热较大而立即熔断,这样,就把短路部分同电源迅速断开,从而保护了电源免于烧毁。

熔断器在线路中的安装位置如图 1-12 所示。熔断器应该安装在开关的负载一侧,当熔丝熔断后,需要安装新的熔丝时,必须把闸刀开关拉开,使其与电源隔离,以保证工作人员的安全。

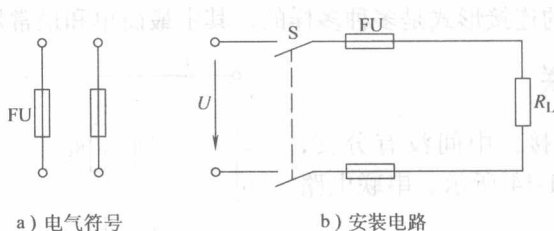


图 1-12 熔断器的电气符号及其安装位置

需要说明,通常所说的短路一般是指电源两端被电阻极小的导线接通而言,这种短路,当然是不允许的。但在实际工作中,有时需要用电阻极小的导线把电路上电位差别不大的两点短路起来。当然,这种短路绝不能使电路发生危险事故。为了和电源短路相区别,常把这种短路称为短接。例如在图 1-13 中,用开关把和电动机相串联的电流表的两端短接起来,以免电动机起动时的大电流通过电流表,从而保护仪表使其不致损坏。起动完毕,拉断开关,电流表指出电动机运转后所取用的电流。这种短接非但没有危险,反而是有利的。

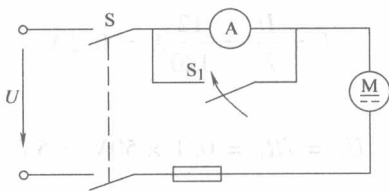


图 1-13 用短接装置把安培表短接

现将全电路处于三种状态时电路中电压与电流的关系列于表 1-3。

表 1-3 电路中电压与电流的关系

电 路 状 态	负 载 电 阻	电 路 电 流	外 电 路 电 压
通 路	$R = \text{常数}$	$I = \frac{E_s}{R_0 + R}$	$U = E_s - IR_0$
断 路	$R \rightarrow \infty$	$I = 0$	$U = U_{oc} = E_s$
短 路	$R \rightarrow 0$	$I_{sc} = \frac{E_s}{R_0}$	$U = 0$

第三节 电阻的串联、并联及其应用

在电路中，电阻的连接形式是多种多样的，其中最简单和最常用的是串联与并联。

一、电阻的串联

几个电阻依次连接，中间没有分支，称为串联。电路如图 1-14 所示。串联电路有以下特点：

- (1) 流过每个电阻的电流 I 是相同的。
- (2) 总电压等于各电阻上的分电压之

和，即

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n \tag{1-8}$$

- (3) 电阻串联时的总电阻可用一个等效电阻 R 来代替，其阻值等于各电阻之和，即

$$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n \tag{1-9}$$

【例 1-4】 图 1-15 中， $R_1 = 50\Omega$ 、 $R_2 = 70\Omega$ ，电压源的电压为 $U = 12V$ 。试计算电路的总电阻、电流、各个分电压。

解：电路的总电阻为

$$R = R_1 + R_2 = (50 + 70)\Omega = 120\Omega$$

总电流为

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12}{120}A = 0.1A$$

R_1 电阻上的电压为

$$U_1 = IR_1 = 0.1 \times 50V = 5V$$

R_2 电阻上的电压为

$$U_2 = IR_2 = 0.1 \times 70V = 7V$$

串联电阻的应用极为广泛。例如：

- (1) 用几个电阻串联来得到阻值较大的电阻。
- (2) 用串联电阻组成分压器，使用同一电源获得几种不同的电压，如图 1-15 所示。
- (3) 限流。当负载的额定电压低于电源电压时，采用电阻与负载串联的方法，使电源

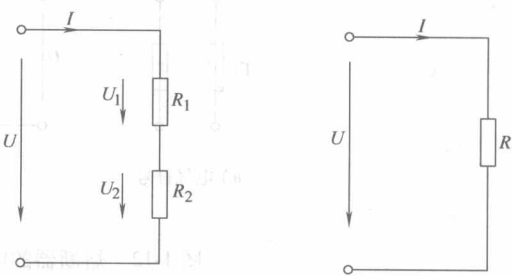


图 1-14 电阻的串联