

中等专业学校教材

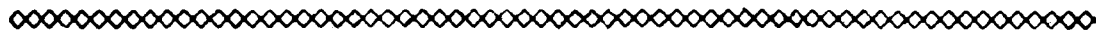


电 工 学

辽宁省水利学校 林增 主编



中等专业学校教材



电 工 学

辽宁省水利学校 林增 主编

中国水利水电出版社

中等专业学校教材
电 工 学
辽宁省水利学校 林增 主编

*

中国水利水电出版社 出版
(原水利电力出版社)

(北京市三里河路6号 100044)

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经售
北京密云红光印刷厂印刷

*

787mm×1092mm 16开本 16印张 358千字

1995年8月第1版 2006年2月第6次印刷

印数 32231—34230册

ISBN 7-80124-454-0/TM·60

(原 ISBN 7-120-01750-0/TM·463)

定价 16.50元

内 容 提 要

本书为水利水电类中等专业学校通用教材。全书共分十五章。主要内容有直流电路、电与磁，单相和三相正弦交流电路；变压器、三相异步电动机、同步发电机、电气设备、配电装置及电气设备的布置，接地装置与安全用电，供电与照明；电工仪表及测量，还有半导体二极管整流电路、晶体管放大电路，可控硅整流电路等。

本书具有内容丰富、深入浅出、通俗易懂等特点，便于读者自学。各章都附有小结和一定数量的思考题和练习题。

本书可供水利工程专业、水利水电工程建筑专业、农田水利专业、工业与民用建筑专业、地下水开发与利用专业及其他相近的专业师生使用，也可供有关专业的工程技术人员自学和参考。

前 言

本书是根据水利部于1989年7月在南昌召开的由十五所中等专业学校(水利工程专业、水利水电工程建筑专业、农田水利专业、工业与民用建筑专业、地下水开发与利用专业)参加的水利中专电工教研会上讨论制定的通用《电工学》教学大纲编写的。因此,要求写出适合以上五个专业的《电工学》通用教材。

本书就是按照上述编写大纲的要求,精选教学内容,文字表述力求做到深浅合适、主次分明、详略恰当。在内容的阐述方面,对基本概念做到准确清楚;对较难的内容做到深入浅出、通俗易懂。在应用举例方面,注意密切结合本专业的生产实际,并按总授课时数为100学时编写的。

全书共分十五章,教师在讲授时应按不同地区、不同专业的不同特点,可灵活的决定学时的多少和内容的取舍。有些内容可让学生通过自学掌握,不必全在课堂上讲授。

本书第一章至四章由广东省水利电力学校吴婉强编写,序言与第五章至七章及第十三至十五章由辽宁省水利学校林增编写,第八章至十二章由黄河水利学校袁英灿编写。全书由林增主编并负责最后的修改定稿工作。

本书在完成初稿后,于1991年11月在昆明召开的全国水利中专电工教研会上,经与会代表逐章逐节审阅,提出许多宝贵意见。编者听取了意见,并对初稿作了进一步修改后,又由江西省水利水电学校单文培主审。在这里,我们谨向协助本书编写修改工作的单位和同志表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之时间比较仓促,书中难免有错误和不妥之处。殷切期望使用本书的师生和广大读者给予批评指正,以便以后修订提高。

编 者

1993年12月

目 录

| | |
|-----------------------|----|
| 前言 | |
| 序言 | 1 |
| 第一章 直流电路 | 3 |
| 第一节 电路的概念 | 3 |
| 第二节 欧姆定律 | 7 |
| 第三节 电路的工作状态 | 9 |
| 第四节 简单直流电路的计算 | 10 |
| 第五节 基尔霍夫定律 | 13 |
| 第六节 复杂直流电路的计算 | 14 |
| 第七节 电路中电位的计算 | 17 |
| 本章小结 | 18 |
| 思考题和练习题 | 19 |
| 第二章 电与磁 | 22 |
| 第一节 磁场及其基本物理量 | 22 |
| 第二节 铁磁物质 | 24 |
| 第三节 磁路的概念 | 26 |
| 第四节 电磁感应 | 27 |
| 本章小结 | 32 |
| 思考题和练习题 | 33 |
| 第三章 单相正弦交流电路 | 35 |
| 第一节 正弦交流电动势的产生 | 35 |
| 第二节 正弦交流电的三要素 | 37 |
| 第三节 正弦交流电的有效值 | 39 |
| 第四节 正弦交流电的相量表示法 | 41 |
| 第五节 纯电阻电路 | 44 |
| 第六节 纯电感电路 | 45 |
| 第七节 纯电容电路 | 48 |
| 第八节 电阻与电感串联的电路 | 50 |
| 第九节 电阻、电感和电容串联的电路 | 54 |
| 第十节 电阻与电感串联后再与电容并联的电路 | 57 |
| 本章小结 | 59 |
| 思考题和练习题 | 60 |
| 第四章 三相正弦交流电路 | 63 |
| 第一节 三相正弦交流电动势的产生 | 63 |
| 第二节 三相电源绕组的连接 | 64 |
| 第三节 三相负载的星形连接 | 66 |
| 第四节 三相负载的三角形连接 | 69 |
| 第五节 三相负载的功率 | 71 |

| | |
|--------------------------------|------------|
| 本章小结 | 73 |
| 思考题和练习题 | 74 |
| 第五章 变压器 | 76 |
| 第一节 变压器的用途与基本结构 | 76 |
| 第二节 单相变压器的工作原理 | 78 |
| 第三节 三相变压器 | 81 |
| 第四节 特种变压器 | 84 |
| 本章小结 | 88 |
| 思考题和练习题 | 89 |
| 第六章 三相异步电动机 | 91 |
| 第一节 三相异步电动机的基本结构 | 91 |
| 第二节 三相异步电动机的工作原理 | 96 |
| 第三节 三相异步电动机的运行特性 | 100 |
| 第四节 三相异步电动机的起动 | 103 |
| 第五节 三相异步电动机的选择 | 109 |
| 本章小结 | 110 |
| 思考题和练习题 | 112 |
| 第七章 同步发电机 | 114 |
| 第一节 同步发电机的基本结构与工作原理 | 114 |
| 第二节 同步发电机的励磁方式 | 117 |
| 第三节 电枢反应 | 119 |
| 第四节 同步发电机的运行特性 | 122 |
| 第五节 同步发电机的并列运行特性 | 124 |
| 本章小结 | 127 |
| 思考题和练习题 | 127 |
| 第八章 电气设备 | 129 |
| 第一节 水电站电气设备概述 | 129 |
| 第二节 高压电气设备 | 129 |
| 第三节 低压电气设备 | 137 |
| 第四节 电动机的控制电路 | 147 |
| 本章小结 | 150 |
| 思考题和练习题 | 151 |
| 第九章 水电站电气主接线和设备布置 | 152 |
| 第一节 电气主接线 | 152 |
| 第二节 高压配电装置 | 155 |
| 第三节 低压配电装置 | 162 |
| 第四节 水电站与电力排灌站电气设备的布置 | 164 |
| 本章小结 | 169 |
| 思考题和练习题 | 170 |
| 第十章 接地、防雷与安全用电 | 171 |
| 第一节 接地和接零的基本知识 | 171 |
| 第二节 接地装置 | 172 |

| | | |
|---------|---------------------|-----|
| 第三节 | 雷电的形成与防雷保护措施 | 173 |
| 第四节 | 安全用电 | 176 |
| 本章小结 | ..... | 179 |
| 思考题和练习题 | ..... | 179 |
| 第十一章 | 供电与照明 | 180 |
| 第一节 | 施工现场的供电 | 180 |
| 第二节 | 室内照明和配电线路 | 188 |
| 本章小结 | ..... | 193 |
| 思考题和练习题 | ..... | 193 |
| 第十二章 | 电工仪表及测量 | 194 |
| 第一节 | 概述 | 194 |
| 第二节 | 常用仪表的构造和原理 | 195 |
| 第三节 | 电流与电压的测量 | 197 |
| 第四节 | 功率与电能的测量 | 198 |
| 本章小结 | ..... | 201 |
| 思考题和练习题 | ..... | 201 |
| 第十三章 | 半导体二极管整流电路 | 202 |
| 第一节 | 半导体的基本知识 | 202 |
| 第二节 | 半导体二极管 | 205 |
| 第三节 | 半导体整流电路 | 207 |
| 第四节 | 滤波电路 | 210 |
| 第五节 | 稳压电路 | 212 |
| 本章小结 | ..... | 213 |
| 思考题和练习题 | ..... | 214 |
| 第十四章 | 晶体管放大电路 | 216 |
| 第一节 | 晶体管 | 216 |
| 第二节 | 共射极单管交流放大电路 | 222 |
| 第三节 | 偏置电路及静态工作点的稳定 | 227 |
| 第四节 | 阻容耦合多级放大电路 | 229 |
| 第五节 | OCL 推挽功率放大器简介 | 230 |
| 第六节 | 集成电路简介 | 232 |
| 本章小结 | ..... | 233 |
| 思考题和练习题 | ..... | 234 |
| 第十五章 | 可控硅整流电路 | 236 |
| 第一节 | 可控硅构造及简单工作原理 | 236 |
| 第二节 | 可控整流电路 | 238 |
| 第三节 | 单结晶体管及触发电路 | 242 |
| 本章小结 | ..... | 246 |
| 思考题和练习题 | ..... | 246 |
| 参考文献 | ..... | 247 |

序 言

《电工学》是介绍电工、电子技术理论及其在工程技术中应用的一门技术基础课程。它是研究用电技术的基本理论和基本方法的科学。随着我国现代化工、农业电气化事业的发展，人们需要掌握用电知识的愿望也愈加迫切。

一、电工、电子技术的展望

电能和电工技术在现代工业、农业、交通运输业及国民经济的其它各个部门中也得到愈来愈广泛的应用。工业上各种生产机械（如各种金属切削机床、起重机、轧钢机、卷扬机、鼓风机、水泵等）都是用电动机来拖动的。在机械制造工艺上，如电镀、电焊、高频淬火、电蚀加工、超声波加工，电子束和离子束加工等，都是电能和电工技术的应用。在农业上将日益广泛地采用电力排灌设备、粮食和饲料的电力加工装置等。在交通运输方面、电气机车、电车是靠电力来牵引的，其它如轮船、飞机和汽车等也都装有许多电气设备。对生产过程中所涉及的一些物理量（如长度、速度、压力、温度、水位、流量等），都可用电的方法来测量和进行自动调节、以实现生产过程的自动化。电也是现代物质、文化生活中所不可缺少的，如电灯、电话、电影、电视、无线电广播及各种家用电器等，也都用到电工电子技术。随着生产和科学技术的发展，电子技术特别是电子计算机在各个领域中得到了广泛的应用。微型电子计算机正在普及。大型电子计算机的运算速度不但可高达每秒数亿次，而且正向人工智能化发展，目前正推动着世界新技术革命不断深入地向前发展。总之，一切新的科学技术发展无不与电能的应用有着密切的联系。因此，学好本课程，具有深远意义。

二、电工电子技术在水电工程上的应用

电工电子技术在水利水电工程上的应用也已很广泛。各种各样的电力机械已代替了过去那种以人力为主的施工方式。例如在各种施工现场使用的电力提升和运输机械，混凝土拌合机或搅拌机、电力供水、排水机械等。这些电力机械的使用，大大的提高了劳动生产率，改善了劳动条件，加快了工程进度。在一些电力排灌工程中，自动控制和遥测、遥控技术也已得到愈来愈多的应用。在一些水利水电工程的管理中，闭路电视和微型电子计算机也已开始发挥作用。

三、学习本课程的要求

当今世界，电气化的程度已作为衡量一个国家是否发达的主要标志之一。目前，我国的电工电子技术及其应用与发达国家相比还有较大的差距。为尽快缩小这个差距，为适应建设四个现代化的要求，需要我们做出艰苦的努力。对非电专业的技术人员来说，也必须掌握一定的电工技术和电子技术方面的知识，努力把把这些技术知识应用到本专业的工作中去，为科学技术的进步发展做出自己最大的贡献。

由于《电工学》是一门实践性较强的技术基础课，学习本课程时，一方面要深入理解物理概念，掌握基本定律的内容和弄清公式的使用条件。并运用这些基本知识来分析电机、电器、电子元件及线路的工作原理。另一方面还必须重视实践（实验、实习等）环节，做到理论联系实际。通过实验可以加深对所学理论知识的理解，熟悉电气设备的性能和使用要求，培养分析问题和解决问题的能力。

第一章 直流电路

本章主要研究直流电路的基本概念，基本定律和简单直流电路的分析计算。它是进一步认识其它电路的基础，学习时，既要弄清各物理量的意义，又要学会灵活运用电路的基本定律，以解决电路中的具体问题。

第一节 电路的概念

一、电路和电路的组成及作用

电路是电流流通的路径。一般电路都是由电源、负载、连接导线和控制保护电器等部分组成。它的作用是实现电能的传输、分配和转换。

电源是向电路提供电能的设备，它能将其它形式的能转变为电能。常用的电源有干电池、蓄电池和发电机等，它们能分别将化学能和机械能转换成电能。

负载即用电设备，它是取用电能的装置，其作用是把电能转换为其它形式的能量。常见的电灯、电动机、电炉、扬声器等都是电路中的负载。

连接导线是用来传输和分配电能的。如铜线、铝线、铁线等。用它连接电源和负载，便构成电流的通路。

控制保护电器是用来控制电能和保护设备的。如开关、熔断器等。

二、电路图

为了研究和绘制电路方便，在电工技术中，国家统一规定了一些符号来代替实物。表1-1列出了部分常用电路元件的图形符号。将电路的实际元件用图形符号表示出来，就称为电路图，如图1-1所示。图1-1(a)为手电筒的实物图，图1-1(b)为手电筒的电路图。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。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。

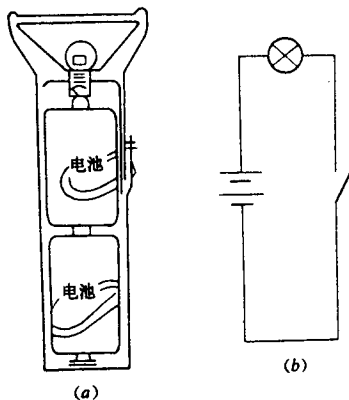


图 1-1 电路图

三、电路中的基本物理量

为了对电路进行分析计算，就必需引入描述电路的基本物理量，如电流、电压、电位电动势等。

(一) 电流

在电源的作用下，电荷作有规则的定向运动便形成了电流。电流的强弱用电流强度来表示，电流强度简称电流，用 I 表示。它在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量，即

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

式中： q 是在时间 t 内通过导体横截面的电荷量。

表 1-1 部分常用电路元件的图形符号

| 元件名称 | 图形符号 | 元件名称 | 图形符号 |
|-----------|------|-----------|------|
| 电 池 | | 导线的连接 | |
| 蓄电池组 | | 导线的不连接 | |
| 单极开关 | | 电阻的一般符号 | |
| 多极开关 | | 可变(调)电阻器 | |
| 电感器、线圈、绕组 | | 电 容 器 | |
| 熔 断 器 | | 照明灯一般符号 | |
| 直流电流表 | | 直 流 电 压 表 | |

据式 (1-1) 可知, 如果在 1 秒钟内通过导体横截面的电荷量是 1 库仑, 则导体中的电流强度为 1 安培 (A)。

电流的常用单位还有千安 (kA)、毫安 (mA)、微安 (μA), 它们之间的换算关系是

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

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

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

电流的大小可用电流表测量, 测量时将电流表串接在被测电路中, 如图 1-2 所示。图中 1 为电流表, 2 为电压表, 3 为负载或电灯, 4 为开关, E 为电源。

(二) 电压与电位

电荷在导体中的定向移动便形成了电流, 实质上是电场力对电荷作了功, 电压就是用来衡量电场力做功情况的物理量。电路中两点之间的电压定义为电场力将单位正电荷从某点 a 移至另一点 b 所做的功, 即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1-2)$$

式中: W_{ab} 是电场力将正电荷 q 由 a 点移至 b 点时所做的功。

据式 (1-2) 可知, 如果电场力将 1 库仑的电荷从电路中的 a 点移到 b 点时所做的功为 1 焦耳, 则 a 、 b 两点间的电压就是 1 伏特 (V)。

电压的常用单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV)、它们之间的换算关系是

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

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

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

电压的大小可用电压表测量，测量时将电压表并接在被测电路中，如图1-2所示。

电路中某点的电位，是指电场力将单位正电荷从该点移到参考点（零电位点）时所做的功。电位用符号 φ 表示，若用下标表示电场中某点的位置，则 a 点的电位可记作 φ_a ，即

$$\varphi_a = \frac{W_a}{q}$$

式中： W_a 是电场力将正电荷 q 由 a 点移至电位参考点时所做的功。

电位的高低与参考点的选择有关，电路中选择参考点不同，电位的数值也将不同。参考点就是假定电位为零的一点。它是可以任意选择的，但在一个系统中只能选一个参考点。在电工技术中常选大地或电气设备的外壳为参考点。

电位的单位与电压相同。电场中 a 、 b 两点电位之差就等于该两点间的电压 U_{ab} ，即

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$$

(三) 电动势

如图1-3所示，假定电源的正极 a 和负极 b 上分别聚积了一定的相同数量的正、负电荷。当外电路接通时，在电场力的作用下，正电荷将从电位高的正极经外电路流向负极而形成电流。这样，电源极板上的电荷会不断减少，直至为零，外电路中的电流也随之逐渐减小到零。

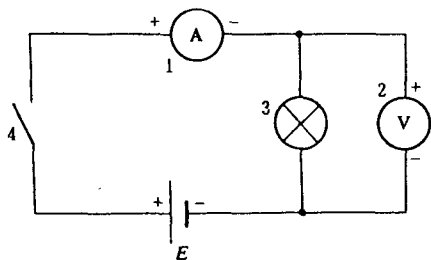


图 1-2 电流和电压的测量

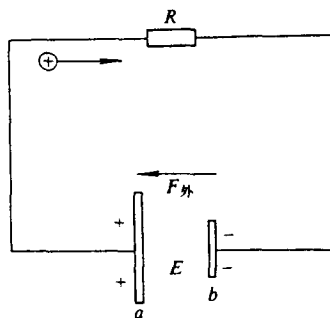


图 1-3 电源的电动势

为了使电路中能维持一定的电流，在电源内部必须要有一种外力 $F_{外}$ ，能持续不断地把正电荷从电源的负极经电源内部再搬移回到正极，以维持两极分别聚积有一定数量的正、负电荷。在电池中，这种外力是电极和电解液进行化学反应时所产生的化学力。在发电机中，这种外力是电磁感应产生的电磁力。电源中外力移送电荷的过程也就是电源将其它形式的能转换为电能的过程。

为了表示电源将非电能转换成电能的本领，引入电动势这个物理量。在电源内部，外力把正电荷 q 从负极移到正极所做的功 W 与被移动的电量 q 的比值，称为电源的电动势，用符号 E 表示，即

$$E = \frac{W}{q} \quad (1-3)$$

电动势的单位与电压的单位相同。

(四) 电流、电压和电动势的方向

(1) 实际方向 电流的实际方向规定为正电荷移动的方向，即外电路从电源正极到负极，内电路从电源负极到正极。电压的实际方向规定为电场力移动正电荷的方向，即从正极指向负极。电动势的实际方向规定为电源力移动正电荷的方向，即从电源负极指向正极。

(2) 正方向 在分析各种电路时，我们总要列出一些方程，然后进行求解和获得结果。为了确定方程中各项符号，必需在电路中假定电流、电压、电动势的正方向（任意选取）。这样，在求得答案后，便可对照所选正方向，从而知道电流、电压、电动势的实际方向（即答案如为正值表示实际方向与所选正方向相同，如为负值表示实际方向与所选正方向相反）。

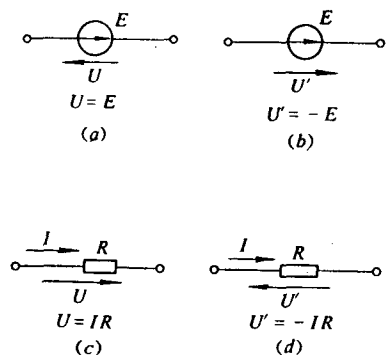


图 1-4 正方向的选择

习惯上所选取电流、电压、电动势的正方向为实际方向。对较为复杂的电路无法确定各电量的实际方向时，则正方向可任意选取。各量的正方向在电路图应以箭头标示，如图1-4所示。在图1-4(a)中由于 $U = E$ ，选择 U 的正方向则与 E 的正方向相反；在图1-4(b)中由于 $U' = -E$ ，选择 U' 的正方向则与 E 的正方向相同；在图1-4(c)中由于 $U = IR$ ，选择 U 的正方向则与 I 的正方向相同；在图1-4(d)中由于 $U' = -IR$ ，选择 U' 的正方向则与 I 的正方向相反。

四、电功率与电能

前面讲过，电源把其它形式的能量转换成电能，而负载则把电能转换成其它能量。在生产实践中，除了用通过负载的电流表示负载的大小外，还常用到电功和电功率。一般电气设备如电动机、电炉、电灯泡都标有电功率的数值。电功率和电能就是用来衡量电流做功本领的物理量。

(一) 电功率

电功率是指电流在单位时间内所作的功、用 P 表示。如电流 I 在时间 t 内所作的功为 W ，则有

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-4)$$

由式(1-2)便可得电流在一段电路上所作的功为

$$W = Uq = UI t$$

代入公式(1-4)可得

$$P = UI \quad (1-5)$$

上式表明，电功率的大小与电压、电流的乘积成正比。电功率的单位为瓦特(W)。常用单

位还有千瓦 (kW)、兆瓦 (MW)，它们之间的换算关系是

$$1\text{kW} = 10^3\text{W}$$

$$1\text{MW} = 10^3\text{kW} = 10^6\text{W}$$

(二) 电能

电能是指电流在一段时间内所作的功，用 W 表示。如果知道电功率是 P ，则电流在一段时间 t 内所作的功为

$$W = Pt \quad (1-6)$$

电能与电功的单位相同用焦耳 (J)。但实用上嫌焦耳太小，而用“度”作为电能的单位。

1度电等于1kW的负载通电1h所消耗的电能，或称千瓦小时。常用 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 表示。

【例 1-1】 将220V、40W的白炽灯，接在220V的供电线上，试求取用的电流为多少？若平均每天使用2.5h，电价是每度0.22元，问每月（以30天计）应付多少电费？

解 取用电流为

$$I = \frac{P}{U} = \frac{40}{220} = 0.182\text{A}$$

每月消耗电能为

$$W = Pt = 40 \times 10^{-3} \times 2.5 \times 30 = 3\text{kW}\cdot\text{h}$$

每月应付电费为

$$0.22 \times 3 = 0.66\text{元}$$

第二节 欧姆定律

欧姆定律是确定电路中电流、电压、电动势之间相互关系的最基本定律。

一、一段无源电路的欧姆定律

如图1-5所示，我们通过实验可以知道：通过这段无电源电阻电路的电流 I 与加在这段电路电阻两端的电压 U 成正比，而与这段电路的电阻 R 成反比。这就是一段无源电路的欧姆定律，其数学表达式为

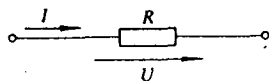


图 1-5 一段无源电路

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

或写成

$$U = IR \quad (1-8)$$

以上公式中，是假定 U 、 I 正方向是一致的。 R 的单位是欧姆 (Ω)，其常用单位还有千欧 ($\text{k}\Omega$)、兆欧 ($\text{M}\Omega$)。它们之间的换算关系是

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega$$

$$1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega = 10^6\Omega$$

二、全电路欧姆定律

简单全电路如图1-6所示，这是一个包含电源和电阻的无分支闭合电路。其中 E 为电源

电动势， r_0 为电源内阻， R 为负载电阻。实验表明：流过电路的电流 I 的大小与电动势 E 成正比，而与回路的电阻 $(R + r_0)$ 成反比。这就是全电路欧姆定律（电流的正方向与电动势正方向一致），其数学表达式为

$$I = \frac{E}{R + r_0} \quad (1-9)$$

当回路中有多个电源及负载电阻时，全电路欧姆定律表达式为

$$I = \frac{\Sigma E}{\Sigma R} \quad (1-10)$$

式(1-10)中 ΣE 各项符号确定方法：当 E 的正方向与 I 的正方向相同时取正；相反时取负。 ΣR 为回路中所有电阻之和。

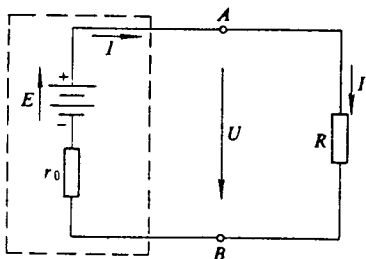


图 1-6 最简单的全电路

将式(1-9)化为 $E = I(R + r_0)$ ，因为 $U = IR$ ，故代入上式整理得

$$U = E - Ir_0 \quad (1-11)$$

由式(1-11)表明，电源的端电压 U 是随电流 I 的增大而下降，这是由于电源的内阻压降增大而造成的。

三、一段含源电路的欧姆定律

如图1-6所示，电源内部的一段电路（即 A 、 B 端左边的一段电路），称为一段含源电路；电源外部的电路是一段电阻电路。若已知 E 、 r_0 和 U 的数值，则只能从内电路方面来计算电流。由式(1-11)移项整理便得到

$$I = \frac{E - U}{r_0} \quad (1-12)$$

公式(1-12)称为一段含源电路的欧姆定律。它指出：电源输出的电流等于电源电动势减去电源端电压再除以电源的内电阻。

综上所述，欧姆定律既可用于一段电路，也可用于全电路。我们在计算时，要根据已知条件正确地使用欧姆定律。

【例 1-2】 设图1-7中电源的 E 、 U 、 r_0 为已知，试求电流 I 的表达式。

解 根据式(1-12)和已知电源的电动势 E 、端电压 U 和内阻 r_0 值，便可列出电流 I 的表达式。

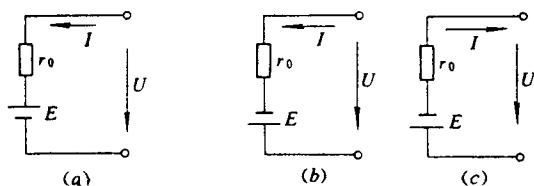


图 1-7 例1-2的图

对图 (a) 有 $I = \frac{-E + U}{r_0}$

则 $U = E + Ir_0$

对图 (b) 有 $I = \frac{E + U}{r_0}$ 则 $U = -E + Ir_0$

对图 (c) 有 $I = \frac{-E - U}{r_0}$ 则 $U = -E - Ir_0$

第三节 电路的工作状态

电路在工作时，可能处于下列几种状态：负载状态、开路状态和短路状态。现分别讨论每一种状态的特点。

一、负载状态

由图1-8可知，当开关 K 闭合时，电路接通，有电流通过负载 R ，这种状态称为负载状态，电路中的电流称为负载电流。当电源电动势 E 和内阻 r_0 一定时，电流的大小取决于负载电阻 R ， R 减小，电流随之增加。

必须注意，对于一定的电源来说，负载电流不能无限制地增加，否则将会由于电流过大而把电源烧毁；对于用电设备来说，也有同样情况。因此，各种电气设备或电路元件的电压、电流、功率等，都有规定的使用数据，这些数据称为该设备或元件的额定值。电气设备工作在额定情况下叫做额定工作状态。电气设备工作在额定状态时是最经济合理和安全可靠的，能够保证电气设备达到规定的使用寿命。如果负载电流超过额定值，称之为过载。当过载时间较长，电气设备的温度超过了它的最高工作温度时，设备使用寿命会大大缩短。过载严重时会使设备烧毁。

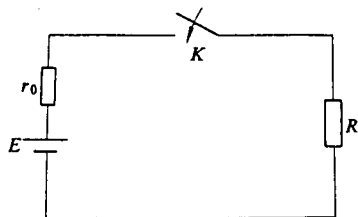


图 1-8 电路的负载和开路状态

电气设备和电路元件的额定值通常标在其铭牌上，使用时务必核对各额定值的具体数据，并正确理解其意义。额定值通常用下标 e 表示。

【例 1-3】 有一阻值为 100Ω ，功率为 1 W 的碳膜电阻，在使用时其电流和电压不得超过多大的数值？

解 根据式(1-5) $P_e = I_e U_e = I_e^2 R$ ，则所求碳膜电阻的电流、电压值分别为

$$I_e = \sqrt{\frac{P_e}{R}} = \sqrt{\frac{1}{100}} = 0.1\text{ A}$$

$$U_e = I_e R = 0.1 \times 100 = 10\text{ V}$$

二、开路状态

对于图1-8所示的电路，如将开关 K 断开，电路不通，这时电流为零。电路的这种状态称为开路状态或叫空载状态。这时电源端电压在数值上等于电源电动势，叫做开路电压，用 U_0 表示。

开路状态电路的主要特征可归纳为： $I = 0$ ， $U = U_0 = E$ 。

三、短路状态

如图1-9所示，当电源两端被电阻接近于零的导体连通时，这时电源处于短路状态。电源两端被短路时，由于外电路的电阻接近于零，而电源的内电阻 r_0 又很小，此时电源将通过极大的短路电流 I_d ，其值为