



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

电工基础

孔晓华 周德仁 汪宗仁 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

7M1-43 t

K48

中等职业教育国家规划教材

电工基础

孔晓华	周德仁	汪宗仁	编	著
	吴锡龙		责任主审	
	蔡雪祥		审	稿



A0983026

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 提 要

本书是中等职业学校(三年制)电类专业通用电工基础教材,是依据教育部最新颁布的中等职业学校《电工基础》教学大纲(2000年)编写的。

本书内容包括:电路的基本概念和基本定律、直流电阻电路、电容与电感、正弦交流电路、三相交流电路、磁路与变压器、信号传输与系统概述、瞬态过程等共八章。每章后均有小结,对本章内容做了归纳和总结,并有适量思考题和习题,以帮助读者达到掌握概念、强化应用的目的。

本书内容浅显,语言通俗易懂,力求适应现代电气电子技术的发展,除可作为中等职业学校电类专业通用教材外,也可作为岗前培训和自学用书。本书另有一本《电工基础实验》作为教学配套用书。

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

电工基础/孔晓华等编著. - 北京:电子工业出版社,2001.6

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-5053-6242-9

I. 电… II. 孔… III. 电工学-专业学校-教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 043162 号

丛 书 名:中等职业教育国家规划教材

书 名:电工基础

编 著 者:孔晓华 周德仁 汪宗仁

责任主审:吴锡龙

审 稿:蔡雪祥

责任编辑:陈晓明

排版制作:电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者:北京兴华印刷厂

装 订 者:三河市双峰装订厂

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:14 字数:358 千字

版 次:2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-6242-9
TN·1381

印 数:10100 册 定价:14.00 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

2000 年国家教育部对中等职业教育结构做了重大调整,将技工学校、职业高中、普通中等专业学校统归为中等职业学校。同时,教育部于 2000 年 7 月颁布了新的电类专业通用《电工基础》教学大纲。本书是根据新大纲的要求而编写的,适用于三年制中等职业学校电类专业电工基础的教学。

本课程是中等职业学校电类专业的一门技术基础课程。根据新大纲的要求,其任务是使学生具备从事电气电子工作的高素质劳动者和中、初级专门人才所必需的电工基础知识、基本理论和基本技能,并为学习后续课程和培养学生的创新能力打下基础。因此本书在知识的应用,能力的培养等方面较以往的《电工基础》教材有了较大的改进。兼顾培养对象的不同层次和不同要求,书中对理论的阐述以够用为度,精简理论推导,重点放在应用上。在结构安排上采用模块式,含基础模块、选用模块和应用模块三方面内容,以适应不同学校、不同学制、不同专业学生的学习需要。其中基础模块的内容主要分布在第 1 至第 5 章,是电类各专业的必修内容;选用模块的内容主要分布在第 6 至 8 章,即打“*”的内容,主要供不同专业的需要选择,选定后的内容也是该专业的必修内容;应用模块的内容即书中阅读教材部分,如电气识图、电工材料、新型电源和光源等初步知识,这些内容有助于学生理论联系实际,拓宽知识面。

本教材参考教学时数三年制为 100 学时。具体学时分配参见附表。

本书由孔晓华、周德仁、汪宗仁合编,第 1、2 章由孔晓华编写,第 3、4、5 章由汪宗仁编写,第 6、7、8 章由周德仁编写,全书由周德仁统稿。本书由南京工业职业技术学院王忠庆高级讲师担任主审,同时,通过教育部特邀吴锡龙、蔡雪祥对全书进行审定。南京江宁职教中心的叶金鑫等老师对本书编写提纲的制订提出了宝贵意见,在此一并对以上专家和所有为本书编写、出版给予支持帮助的同志表示诚挚的感谢。

在编写本书的过程中,编者力图在知识的应用、能力的培养等方面有所创新,以体现新知识、新技术、新工艺和新方法的特色。限于编者水平,书中难免有不妥之处,甚至可能出现错误,恳请广大读者不吝指正。

编 者

2001 年 2 月

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

英语中,电这一词汇(Electricity)来源于希腊语的琥珀。公元前,人们就发现用毛皮摩擦过的琥珀能够吸引羽毛,因此有了摩擦起电这一名词。无论是摩擦起的静电,还是电池或发电机发的电,其本质是完全相同的东西。在现代科技日益进步的今天,电的使用非常广泛,电能不仅为工农业生产、交通运输、国防建设、广播通讯以及各种科学技术提供了强大的动力,同时,电能在人们日常的文化和物质生活中也是必不可少的。在本章中我们着重介绍电路的概念、基本物理量、基本元件和基本定律,为学好电工知识打下基础。

1.1 电路

1.1.1 实际电路组成与功能

在日常的生产生活中广泛应用着各种各样的电路,它们都是实际器件按一定方式连接起来,以形成电流的通路。实际电路的种类很多,不同电路的形式和结构也各不相同。但简单电路一般都是由电源、负载、连接导线、控制和保护装置等四个部分按照一定方式连接起来的闭合回路。电路的作用是实现电能的传输和转换。

图 1-1(a)是日常生活中用的手电筒电路,它也由四部分组成。

1. 电源——干电池

是电路中电能的提供者,是将其他形式的能量转化为电能的装置(图 1-1 中干电池电源是将化学能转化为电能)。含有交流电源的电路叫交流电路,含有直流电源的电路叫直流电路。常见的直流电源有干电池、蓄电池、直流发电机等。

2. 负载——灯泡

即用电装置,它将电源供给的电能转换为其他形式的能量(图 1-1 中灯泡将电能转换为光能和热能)。

3. 控制和保护装置——开关

是用来控制电路的通断,保证电路正常工作。

4. 连接导体(导线)——金属外壳

是连接电路,输送和分配电能的。

1.1.2 电路模型

图 1-1(a)在分析器件的接法和原理时是很有用的,但要用它对电路进行定量分析和计算

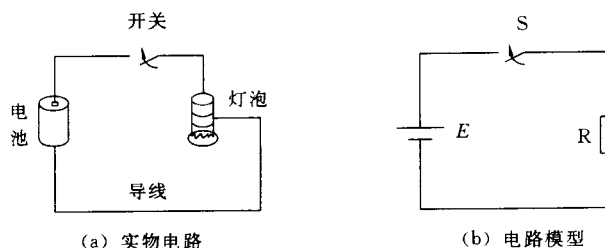


图 1-1 手电筒实物电路及其电路模型

时,则非常困难。所以通常用一些简单但却能够表征电路主要电磁性能的理想元件来代替实际部件。这样一个实际电路就可以由多个理想元件的组合来模拟,这样的电路称为电路模型。

建立电路模型的意义十分重要。实际电气设备和器件的种类繁多,但理想电路元件只有有限的几种,因此建立电路模型可以使电路的分析大大简化。同时值得注意的是电路模型反映了电路的主要性能,而忽略了它的次要性能,因而电路模型只是实际电路的近似,二者不能等同。

关于实际部件的模型概念还需要强调说明几点:

(1) 理想电路元件是具有某种确定的电磁性能的元件,是一种理想的模型,实际中并不存在,但其在电路理论分析与研究中充当着重要角色。

(2) 不同的实际电路部件,只要具有相同的主要电磁性能,在一定条件下可用同一模型表示。如灯泡、电阻器、电炉等,它们主要是消耗电能的,这些实际器件在低频电路里都可用电阻表示。

(3) 同一个实际电路部件在不同的应用条件下,它的模型也可以有不同的形式。

将实际电路中各个部件用其模型符号来表示,这样画出的图称作为实际电路的电路模型图,也称作电路原理图。如图 1-1(b)就是图 1-1(a)实际电路的电路原理图。

各种电气元件都可以用图形符号来表示,根据国标规定,部分常用的电气元件符号见表 1.1。

表 1.1 常用电气元件符号

元件名称	符 号	元件名称	符 号
固定电阻		电容	
可调电阻		可调电容	
电池		无铁心电感	
电灯		有铁心电感	
开关		相连接的交叉导线	
电流表		不相连接的交叉导线	
电压表		接地	
电压源		保险丝	
电流源			

如何建立一个实际电路的模型是较复杂的问题,本书主要讨论如何分析已经建立起来的电路模型。

1.1.3 电路的工作状态

电路的工作状态一般有三种:有载状态、短路状态和开路状态,见图 1-2。

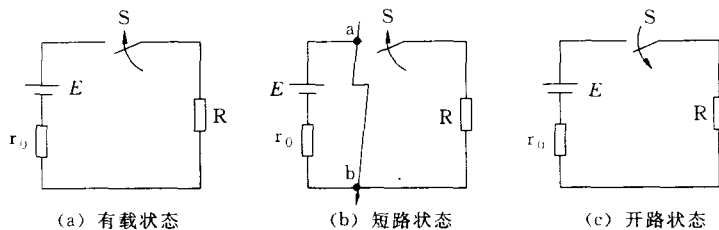


图 1-2 电路的工作状态

1. 有载状态

在图 1-2(a)中,当开关 S 闭合后电源与负载接成闭合回路,电源处于有载工作状态,电路中有电流流过。

2. 短路状态

在图 1-2(b)中,当 a、b 两点接通,电源被短路,此时电源的两个极性端直接相连。电源被短路往往会造成严重后果,如导致电源因发热过甚而损坏,或因电流过大而引起电气设备的机械损伤,因而要绝对避免电源被短路。

3. 开路状态

在图 1-2(c)中,开关 S 断开或电路中某处断开,被切断的电路中没有电流流过。开路又叫断路。

思考与练习题

1. 什么是电路? 简单电路由哪几部分组成? 各部分的作用是什么?
2. 什么是理想元件? 什么叫电路模型? 为什么要研究电路模型?
3. 电路通常有哪几种工作状态? 各有什么特点?

1.2 电路中的基本物理量

1.2.1 电流

电荷在电路中有规则的定向运动形成电流。不同的导电材料中,可以自由运动的电荷不同。在金属导体上,大量带负电荷的电子在外电场作用下,逆着电场方向运动,形成电流,如图 1-3 所示,图中 E 为电场强度。在某些电解液或气体中,电流则是正离子或负离子在外电场作用下有规则运动形成的。因此,产生电流必须具备两个基本条件:第一,导体内要有可作定向移

动的自由电荷,这是形成电流的内因。第二,要有使自由电荷作定向移动的电场,这是形成电流的外因。两者缺一不可。

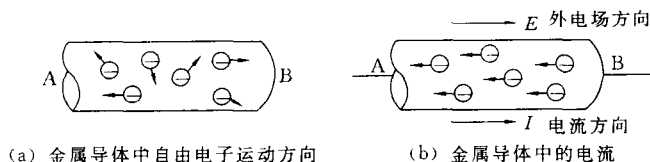


图 1-3 电流形成示意图

电流不仅表示一种物理现象,而且又是一个表示带电粒子定向运动强弱的物理量。实验结果证明:单位时间内通过导体横截面的电荷越多,流过导体的电流越强;反之,电流就越弱。电流的符号为 I ,其数值等于单位时间 $t(\text{s})$ 内通过导体横截面的电荷量 q ,即:

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

在国际单位制(称作 SI 制)中,电流的基本单位是安[培],符号为 A,如果在 1 秒(s)内通过导体横截面的电量是 1 库[仑](C),则导体中的电流就是 1 安(A)。

常用的电流单位还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μA)等,它们之间的换算关系如下:

$$1 \text{ 千安(kA)} = 10^3 \text{ 安(A)}$$

$$1 \text{ 毫安(mA)} = 10^{-3} \text{ 安(A)}$$

$$1 \text{ 微安}(\mu\text{A}) = 10^{-3} \text{ 毫安(mA)} = 10^{-6} \text{ 安(A)}$$

电流不但有大小,而且有方向。正、负两种电荷的有规则运动都能形成电流。习惯上规定正电荷定向运动的方向为电流的方向。电流的方向是客观存在的,但具体分析电路时,往往很难判断某段电路中电流的实际方向。为解决这一问题,我们引入电流参考方向的概念。具体分析步骤如下:

(1) 在分析电路前,可以任意假设一个电流的参考方向。

(2) 参考方向一经选定,电流就成为一个代数量,有正、负之分。若计算电流结果为正值,表明电流的设定参考方向与实际方向相同,如图 1-4(a)所示;若计算电流结果为负值,表明电流的设定参考方向与实际方向相反,如图 1-4(b)所示。

(3) 在未设定参考方向的情况下,电流的正负值是毫无意义的。

(4) 今后电路中所标注的电流方向都是指参考方向,不一定是电流的实际方向。

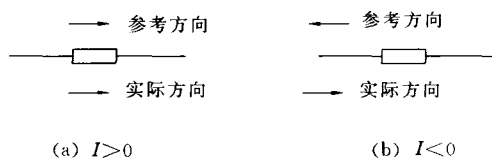


图 1-4 用箭头表示电流的参考方向

此外,电流还有直流电流和交流电流之分。如图 1-5 所示,电流方向不随时间的变化而变化称为直流电流,用大写字母 I 表示。大小和方向都不随时间变化的电流叫稳恒电流,大小随时间变化但方向不随时间变化的电流叫脉动电流。电流的大小和方向都随时间的变化而变化,称之为交流电流,用小写字母 i 表示。通常所说的直流电是指电流的方向和大小都不随时间而改变的稳恒电流。一个实际电路中的直流电流大小可以用电流表(安培表)来直接测量,测量时

必须把电流表串联在电路中,并使电流从表的正端流入,负端流出,同时要选择好电流表的量程,使其大于实际电流的数值,否则可能烧坏电流表。

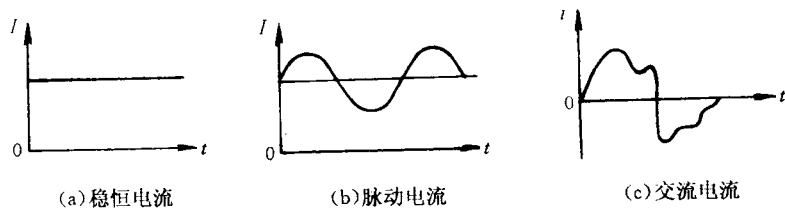


图 1-5 各种电流与时间关系曲线

例 1.1 如图 1-6 所示,请说明电流的实际方向。

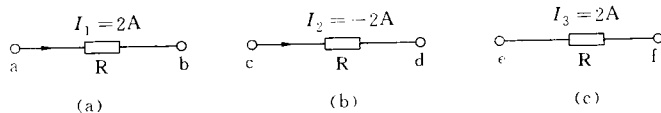


图 1-6

解: (1) 图 1-6(a) 中电流的参考方向由 a 到 b, $I_1 = 2\text{A} > 0$, 为正值, 说明电流的实际方向和参考方向相同, 即从 a 流到 b。

(2) 图 1-6(b) 电流的参考方向由 c 到 d, $I_2 = -2\text{A} < 0$, 为负值, 说明电流的实际方向与参考方向相反, 即从 d 到 c。

(3) 图 1-6(c) 不能确定, 因为没有给出电流的参考方向。

例 1.2 5 分钟内均匀通过某导体横截面的电荷量为 6 库仑, 求导体中流过的电流是多少?

解:
$$I = \frac{q}{t} = \frac{6}{5 \times 60} = 0.02\text{A} = 20\text{mA}$$

1.2.2 电压

在通常情况下, 导体中的电荷运动是杂乱无章的, 不能形成电流, 要使导体中有电流通过, 导体两端必须有电场力的作用。

在图 1-7 中, a、b 是两个电极, a 带正电, b 带负电, 这样在 a、b 之间产生电场, 方向由 a 指向 b。如果用导线将 a、b 两极通过灯泡连接起来, 灯泡会发光, 这说明灯丝中有电流通过。那么电流是如何形成的呢? 原来, 在电场力的作用下, 正电荷从 a 经过连接导线流向 b 形成电流, 这说明电场力对电荷做了功。为了衡量电场力做功的大小, 我们引入电压这一物理量。

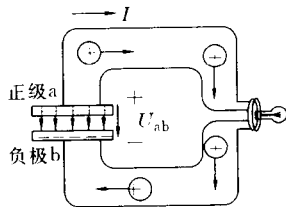


图 1-7 电压的概念

所谓电压, 即单位正电荷从 a 点移动到 b 点电场力所做的功, 记作

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

式中, W ——电场力由 a 点移动电荷到 b 点所做的功, 单位焦耳(J);

q ——由 a 点移到 b 点的电量, 单位库仑(C);

U_{ab} ——a、b 两点间的电压。

在国际单位制中,电压的单位是伏〔特〕,符号为 V,如果将 1 库仑(C)正电荷从 a 点移到 b 点,电场力所做的功为 1 焦耳(J),则 a、b 两点之间的电压为 1 伏(V)。

常用的电压单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V),它们之间的换算关系如下:

$$1 \text{ 千伏(kV)} = 10^3 \text{ 伏(V)}$$

$$1 \text{ 毫伏(mV)} = 10^{-3} \text{ 伏(V)}$$

$$1 \text{ 微伏}(\mu\text{V}) = 10^{-3} \text{ 毫伏(mV)} = 10^{-6} \text{ 伏(V)}$$

电压不但有大小,而且有方向。电压总是对电路中的两点而言,因而用双下标表示,其中前一个下标代表正电荷运动的起点,后一个下标代表正电荷运动的终点,电压的方向则由起点指向终点。在电路图中,电压的方向也称做电压的极性,用“+”、“-”两个符号表示。和电流一样,电路中任意两点之间的电压的实际方向往往不能预先确定,因此同样可以任意设定该段电路电压的参考方向,并以此为依据进行电路分析和计算,若计算电压结果为正值,说明电压的设定参考方向与实际方向一致;若计算电压结果为负值,说明电压的设定参考方向与实际方向相反。

电压的参考方向有三种表示方法,如图 1-8 所示,这三种表示方式其意义相同,可以互相代用。

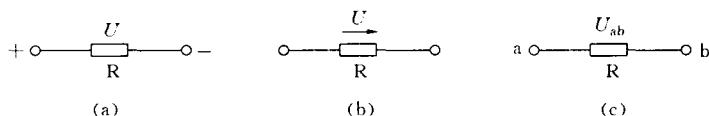


图 1-8 电压参考方向的三种表示法

对电路进行分析计算时,必须在电路图中标出电压的参考极性,否则电压的正负毫无意义,今后除非特别说明外,电路图中所标电压极性都是指参考极性。

电压的大小和极性可能随时间变动,也可能不随时间变动。随时间而变的电压称为交变电压,用小写字母 u 表示;大小和极性都不随时间而变化的电压称为恒定电压或直流电压,用大写字母 U 表示。电压的数值也可通过电压表来测量,测量时应使电压表的正负极和被测电压一致并联在电路两端,同时应将电压表放在适当的量程上。

例 1.3 元件 R 上电压参考极性如图 1-9 所示,若 $U_1 = 5\text{V}$, $U_2 = -3\text{V}$,请说明电压的实际方向。

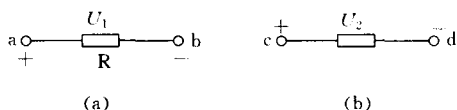


图 1-9

解: (1)因 $U_1 = 5\text{V} > 0$,为正值,说明电压实际方向和参考方向一致,即从 a 到 b。

(2)因 $U_2 = -3\text{V} < 0$,为负值,说明电压的实际方向和参考方向相反,即从 d 到 c。

例 1.4 设一正电荷的电量为 0.003C ,它在电场中由 a 点移到 b 点时,电场力所做的功为 0.06J ,试求 a、b 两点间的电压?另有一正电荷的电量为 0.04C ,此电场力把它由 a 点移到 b 点,所做的功是多少?

$$\text{解: } (1) U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} = \frac{0.06}{0.003} = 20\text{V}$$

$$(2) W_{ab} = q \cdot U_{ab} = 0.04 \times 20 = 0.8\text{J}$$

1.2.3 电位

在电工技术中,通常使用电压的概念,而在电子线路中,通常要用到的是电位的概念。电压和电位是密切联系的。在电路中任选一个参考点,电路中某一点到参考点的电压就叫做该点的电位。电位的符号用 U 表示,例如电路中某点 a 和参考点 0 间的电压 U_{a0} 称为 a 点的电位,记作 U_a ,电位的单位也是伏特(V)。

参考点是计算电位的基准,电路中各点电位都是针对这个基准而言的。通常规定参考点的电位为零,因此,参考点又叫零电位点,用接地符号“ $\perp$ ”表示,零电位点(参考点)的选择是任意的。一般在电子线路中常选择很多元件的汇集处,而且常常是电源的一个极作为参考点,在工程技术中则选择大地、机壳。若把电器设备的外壳“接地”,那么外壳的电位就为零。

由电位的定义可知,电位实际就是电压,只不过电压是指任意两点之间,而电位则是指某一点和参考点之间,电路中任意两点之间的电压即为此两点之间的电位差,如 a 、 b 之间的电压可记为

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-3)$$

根据 U_a 和 U_b 的大小,式(1-3)可以有三种不同情况:

(1)当 $U_{ab} > 0$ 时,说明 a 点的电位 U_a 高于 b 点电位 U_b 。

(2)当 $U_{ab} < 0$ 时,说明 a 点的电位 U_a 低于 b 点电位 U_b 。

(3)当 $U_{ab} = 0$ 时,说明 a 、 b 两点等电位,即 $U_a = U_b$ 。

引入电位的概念后,电压的方向可以看作电位降低的方向,因此电压也叫电位降。

值得注意的是电路中各点的电位值是相对的,与参考点的选择有关,选择不同的参考点,电路中各点电位的大小和正负也就不同,即电位的多值性。但电路中任意两点之间的电压(电位差)是惟一的,与参考点的选择无关,即电压的单一性。

例如, $U_{ab} = 2\text{V}$,当选择 a 点为参考点时, $U_a = 0$, $U_b = U_a - U_{ab} = -2\text{V}$;当选择 b 点为参考点时, $U_b = 0$, $U_a = U_{ab} + U_b = 2\text{V}$ 。

例 1.5 在图 1-10 中,已知 $U_{ac} = 3\text{V}$, $U_{ab} = 2\text{V}$,试分别以 a 点和 c 点作参考点,求 b 点的电位和 b 、 c 两点间的电压。

解: (1)以 a 点为参考点,则 $U_a = 0$,

已知 $U_{ab} = 2\text{V}$,即 $U_{ab} = U_a - U_b = 2\text{V}$

$$\therefore U_b = U_a - 2 = 0 - 2 = -2\text{V}$$

已知 $U_{ac} = 3\text{V}$,即 $U_{ac} = U_a - U_c = 3\text{V}$

$$\therefore U_c = U_a - 3 = 0 - 3 = -3\text{V}$$

$$b、c \text{ 两点间的电压 } U_{bc} = U_b - U_c = -2 - (-3) = 1\text{V}$$

(2)以 c 点为参考点,则 $U_c = 0$

已知 $U_{ac} = 3\text{V}$,即 $U_{ac} = U_a - U_c = 3\text{V}$

$$\therefore U_a = U_c + 3 = 0 + 3 = 3\text{V}$$

已知 $U_{ab} = 2\text{V}$,即 $U_{ab} = U_a - U_b = 2\text{V}$

$$\therefore U_b = U_a - 2 = 3 - 2 = 1\text{V}$$

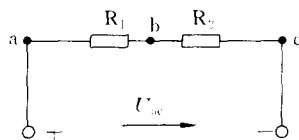


图 1-10

b、c 两点间的电压 $U_{bc}=U_b-U_c=1-0=1\text{V}$

由上面的计算可见,参考点为 a 时, $U_b=-2\text{V}$;参考点为 c 点, $U_b=1\text{V}$ 。但 b、c 两点间的电压与参考点的选择无关,始终是 $U_{bc}=1\text{V}$ 。

1.2.4 电能

能量也是电路分析中的一个重要物理量。当在导体两端加上电压时,导体内就建立了电场。电场力在推动自由电子定向移动过程中要做功,假设导体两端的电压为 U ,通过导体横截面的电荷量为 q ,根据电压的定义可得出电场力对电荷量 q 所做的功,即电路所消耗的电能

$$W = Uq \quad (1-4)$$

由于

$$q = It$$

代入上式得

$$W = UIt \quad (1-5)$$

式(1-5)表示,在一段电路中,电场力使电荷通过导体所做的功 W 与加在这段电路两端的电压 U 和通过导体的电流 I 以及通电时间 t 成正比。

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)。在实际应用中电能的另一个常用单位是千瓦小时($\text{kW} \cdot \text{h}$), $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 就是我们常说的 1 度电。

$$1 \text{ 度} = 1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$

电路消耗电能转化为其他形式能量的过程,就是电流做功的过程。如电流通过灯泡会发光,电能转换为光能;电流通过电炉会发热,电能转换为热能;电流通过酸、碱、盐溶液时会引起化学变化,电能转换为化学能等等。

例 1.6 一台直流电动机运行时,端电压为 220V ,通过电动机线圈的电流为 10A ,试求电动机运行 10h 消耗多少电能?

解: $W = UIt = 220 \times 10 \times 10 = 22000\text{W} \cdot \text{h} = 22\text{kW} \cdot \text{h} = 22 \text{ 度}$

1.2.5 电功率

工程上常用功率这一名词。电功率是衡量电能转换为其他形式能量速率的物理量,即等于单位时间内电流所做的功,用字母 P 表示

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-6)$$

由于 $W = IUt$,代入上式得

$$P = IU \quad (1-7)$$

式中, P 、 U 、 I 、 t 的单位分别为瓦特(W)、伏特(V)、安培(A)、秒(s),若电流在 1s 内所做的功为 1J ,则电功率就是 1W 。常用的电功率单位还有千瓦(kW),毫瓦(mW)等。

$$1 \text{ 千瓦}(\text{kW}) = 10^3 \text{ 瓦特}(\text{W})$$

$$1 \text{ 毫瓦}(\text{mW}) = 10^{-3} \text{ 瓦特}(\text{W})$$

要注意电能和电功率的区别。电能是指一段时间内电流所做的功,或者说一段时间内负载消耗的能量;电功率是指单位时间内电流所做的功,或者说是指单位时间内负载消耗的电能。电功率用瓦特表测量,电能用瓦时表(即电能表)来计量。电能和电功率常用的单位分别是千瓦·小时和瓦(千瓦),这是两个不同的概念,不要混淆。

思考与练习题

1. 导体中产生电流的条件是什么? 电流的方向是如何规定的? 它和自由电子定向移动的方向有何区别?
2. 按大小和方向随时间的变化规律, 可将电流分为几种? 分别是什么?
3. 电压和电位之间有何区别和联系? 如果电路中某两点的电位都很高, 这两点之间的电压是否就很大? 负电压与负电位各表示什么意义?
4. 电能和电功率有什么不同? 瓦和度这两个单位有何区别?

1.3 电源与电源电动势

1.3.1 电源

当电流通过用电器(电灯、电炉、电动机等)时, 用电器把电能转换成所需要的其他形式的能。为了能够向用电器连续不断地提供电能, 需要一种可以把非电能转换成电能的装置, 这种装置称为电源。电源的种类很多, 常用的有电池和发电机。电池是把化学能转换成电能的装置, 而发电机则是把机械能转换成电能的装置。

每个电源都有两个电极, 电位高的极为正极, 电位低的极为负极。为了使电路中能维持一定的电流, 电源内部必须有一种外力, 能持续不断地把正电荷从电源的负极(低电位处)移到正极(高电位处)去, 以保持两电极具有一定的电位差, 我们称之为电源的端电压, 有时也简称电源电压。电源具有的这种能力叫做电源力。在电路中, 电源以外的部分叫外电路, 电源以内的部分叫内电路。所以, 电源的作用就是把正电荷由低电位的负极经内电路送到高电位的正极, 内电路和外电路连接而成一闭合电路, 这样外电路中就有了电流, 如图 1-11 所示。

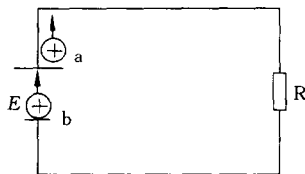


图 1-11 含有电源的电路

1.3.2 电源的电动势

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。即电源力将单位正电荷从电源负极移到正极所做的功, 用符号 E 表示。

$$E = \frac{W}{q} \quad (1-8)$$

电动势的单位也是伏特。若外力把 1 库仑(C)正电荷从电源的负极移到正极所做的功是 1 焦耳, 则电源的电动势等于 1 伏特(V)。

电动势不仅有大小而且有方向, 电动势在数值上等于电源电极两端的电位差, 方向规定为电源力推动正电荷运动的方向, 即电位升高的方向, 所以电动势与电压的实际方向相反。电源的电动势与端电压的方向表示以及直流电源的常用画法如图 1-12(a)或(b)所示。

电源电动势的大小只取决于电源本身的性质, 对于同一电源, 它移动单位正电荷所做的功是一定的, 但对于不同的电源, 把单位正电荷从电源负极搬运到电源正极所做的功则不同。每个电源都有一定的电动势, 例如干电池的电动势是 1.5V, 而铅蓄电池则是 2V。电源的电动势与外电路的性质以及是否接通外电路无关。

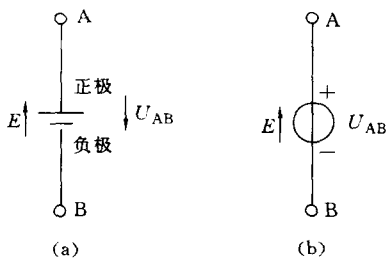


图 1-12 电源的电动势与端电压方向

1.3.3 电动势与电压的区别

电动势和电压的单位都是伏特,但两者是有区别的。

(1) 电动势与电压具有不同的物理意义。电动势表示非电场力(外力)做功的本领,而电压则表示电场力做功的本领。

(2) 对于一个电流来说,既有电动势又有电压。但电动势仅存于电源内部,而电压不仅存在于电源内部,而且也存在于电源外部。电源的电动势在数值上等于电源

两端的开路电压(即电源两端不接负载时的电压)。

(3) 电动势与电压的方向相反。电动势是从低电位指向高电位,即电位升的方向;而电压是从高位指向低电位,即电压降的方向。

阅读材料

常用电池

一般把化学能、机械能、太阳能等与电能相互转换的装置称为电池。通常把电池分为电化学电池、飞轮电池、太阳能电池等。

电化学电池是指把化学能与电能相互转化的装置。飞轮电池是指把电能与飞轮的机械动能相互转化的装置。太阳能电池是指把太阳能与电能相互转化的装置。

通常电化学电池又分如下四类:

(1) 原电池。也称一次性电池,其活性物质用尽后不能用充电的方法使之恢复,只能废弃,如日常用的大部分干电池。

(2) 蓄电池。也称二次电池,其活性物质用尽后可用充电的方法使之恢复。按其电解液的不同分为酸性蓄电池和碱性蓄电池两大类,如铅酸电池、镍镉电池、镍氢电池、锂电池等。

(3) 储备电池。平时将电池的某一重要组成和其他组成分开,当使用时迅速加入该重要组成,使电池放电。这类电池可长期保存。

(4) 燃料电池。平时将燃料(如氢气、甲醇等)和氧化剂(如氧气)分别作为电池两极的活性物质保存在电池的本体之外,当使用时连续通入电池体内,使电池放电。

无论是蓄电池、燃料电池、飞轮电池还是太阳能电池,它们都具有释放能量又能储存能量的功能,均属于广义二次电池,其中部分蓄电池有比较成熟的产品,而其他的因受技术、价格等条件的限制,离实用化还有一段距离,目前正处于研究开发之中。下面介绍几种蓄电池。

1. 镍镉电池(Ni-Cd)电池

(1) 镍镉电池的结构。镍镉电池的结构如图 1-13 所示,电池正极由氢氧化镍 $\text{Ni}(\text{OH})_3$ 、石墨、添加剂钨或钴等活性物质组成,负极由镉及其氧化物、氧化铁、石墨、变压器油等活性物质组成,正负电极用橡胶或塑料板栅隔离,电池槽(外壳)用钢质或塑料组成,槽内盛放氢氧化钾(KOH)电解液,若干个单体电池构成一定型号的电池。单体电池的标称电压为 1.2V。一般完

全充电 6 小时左右,可以快速充电,循环使用寿命达 2000 多次,可在 $-40^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$ 条件下工作。

(2) 镍镉电池的优缺点。

优点:快速充电性能好,循环使用寿命较长,高低温性能好,密封式镍镉电池长期免维护。

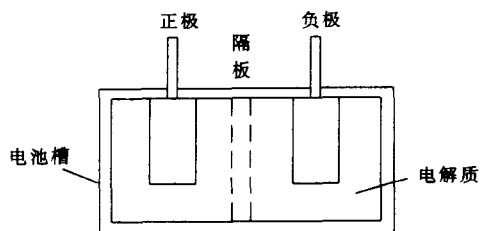


图 1-13 镍镉电池

缺点:成本较高,有“记忆”效应,由于金属镉有毒,因此废电池必须回收。

2. 镍氢(Ni-MH)电池

(1) 镍氢电池的结构。镍氢电池的结构同镍镉电池,主要部件有正极、负极、电解质、隔板、电池槽、端子等。镍氢电池的负极是由具有吸、脱氢能力的储氢合金和氢气组成,正极是由氢氧化镍 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 及其添加剂等组成,正负电极用橡胶或塑料板栅隔离,电池槽(外壳)用钢质或塑料组成,槽内盛放氢氧化钾(KOH)电解液。若干个单体电池构成一定型号的电池。单体电池的标称电压为 1.2V,循环使用寿命超过 6000 次,工作温度为 $-18^{\circ}\text{C}\sim+80^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 镍氢电池的优缺点。

优点:快速充电性能好,循环使用寿命长,不像镍镉电池那样存在金属污染问题,免维护,被称为“绿色电池”。

缺点:成本较高,有“记忆”效应。有自放电损耗。

3. 锂电池

锂电池结构同一般蓄电池一样,主要部件有正极、负极、电解质、隔板、电池槽、端子等。

锂电池最大优点是输出电能高,但其循环使用寿命较短(约 1000 次左右),价格很高。

思考与练习题

1. 试说明电源电动势的意义。
2. 电动势与电压有何异同? 电源内部电子移动和电源外部电子移动的原因是否一样?

1.4 电阻

1.4.1 电阻

自然界中的各种物质,按其导电性能来分,可分为导体、绝缘体、半导体三大类。其中,导电性能良好的物质叫做导体,导体内部有大量的自由电子;导电性能很差的物体称为绝缘体,绝缘体中,几乎没有自由电子存在。导电性能介于导体和绝缘体之间的物质叫做半导体。

导体中的自由电子在受电场力作用作定向移动时,除了会不断地相互碰撞外,还要和组成导体的原子相互碰撞,这些碰撞阻碍了自由电子的定向移动,即表现为导体对电流的阻碍作用,我们称之为电阻。电阻用 R 表示,单位为欧[姆],符号为 Ω 。常用的电阻单位还有千欧($\text{k}\Omega$)和兆欧($\text{M}\Omega$),它们之间的换算关系如下:

1 千欧(kΩ)=10³ 欧(Ω)

1 兆欧(MΩ)=10³ 千欧(kΩ)=10⁶ 欧(Ω)

任何物体都有电阻,而导体的电阻是由它本身的性质所决定的。它不随导体两端电压大小而变化,即使没有加上电压,导体仍有电阻。实验证明:在一定温度下,截面均匀的导体的电阻与导体的长度成正比,与导体的横截面积成反比,还与导体的材料有关,即

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (1-9)$$

式中,ρ—导体的电阻率(或电阻系数),单位为欧·米(Ω·m);

l—导体的长度,单位米(m);

S—导体的横截面积,单位米²(m²);

R—导体的电阻,单位欧(Ω)。

电阻率与导体材料的性质和所处温度有关,而与导体的几何尺寸无关。不同材料导体的电阻率是不相同的;同一材料在不同温度下其电阻率也是不相等的。表 1.2 列出了部分常见材料在 20℃ 时的电阻率(为近似数据)。银的电阻率最小,是最好的导电材料。铜、铝次之,但由于银的价格昂贵,工程上普遍采用铜和铝作为制造导线的材料。在另一些场合,则需要使用电阻率较大的材料,如用钨丝来制作各种灯泡的灯丝,镍铬合金用来制作电炉和电烙铁的发热元件等。为了安全,电工用具上都安装有橡胶、木头等电阻率很大的绝缘体制做的把、套。

表 1.2 部分常见材料的电阻率和电阻温度系数

材料名称		20℃ 时的电阻率 ρ(Ω·m)	电阻温度系数 α ^(0℃~100℃) (1/℃)
导 体	银	1.6×10 ⁻⁸	3.6×10 ⁻³
	铜	1.7×10 ⁻⁸	4.1×10 ⁻³
	铝	2.9×10 ⁻⁸	4.2×10 ⁻³
	钨	5.3×10 ⁻⁸	5×10 ⁻³
	铁	9.78×10 ⁻⁸	6.2×10 ⁻³
	镍	7.3×10 ⁻⁸	6.2×10 ⁻³
	铂	1.0×10 ⁻⁷	3.9×10 ⁻³
	锡	1.14×10 ⁻⁷	4.4×10 ⁻³
	锰铜(铜 86%、锰 12%、镍 2%)	4×10 ⁻⁷	2×10 ⁻⁵
	康铜(铜 54%、镍 46%)	5×10 ⁻⁷	4×10 ⁻⁵
	镍铬(镍 80%、铬 20%)	1.1×10 ⁻⁶	7×10 ⁻⁵
半 导 体	纯净锗	0.6	
	纯净硅	2300	

续表

材料名称		20℃时的电阻率 $\rho(\Omega \cdot \text{m})$	电阻温度系数 α (0℃~100℃) (1/℃)
绝 缘 体	橡胶	$10^{13} \sim 10^{16}$	
	塑料	$10^{15} \sim 10^{16}$	
	玻璃	$10^{10} \sim 10^{14}$	
	陶瓷	$10^{12} \sim 10^{13}$	
	云母	$10^{11} \sim 10^{15}$	
	琥珀	5×10^{14}	
	熔凝石英	75×10^{16}	

电阻率的大小,反映了导体导电性能的好坏。一般把电阻率在 $10^{-6} \sim 10^{-8}(\Omega \cdot \text{m})$ 的材料叫做导体,电阻率在 $10^{11} \sim 10^{16}(\Omega \cdot \text{m})$ 的材料称为绝缘体。还有一种材料,它们的电阻率介于导体和绝缘体之间,我们称之为半导体。关于半导体材料将在有关课程中介绍。

例 1.7 欲制作一个小电炉,需炉丝电阻为 30Ω ,现选用直径为 0.5mm 的镍铬丝,试计算所需镍铬丝的长度?

解:查表得镍铬丝的电阻率 $\rho = 1.1 \times 10^{-6}(\Omega \cdot \text{m})$

根据公式

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

得

$$l = \frac{R \cdot S}{\rho} = \frac{R(\pi r^2)}{\rho} = \frac{30 \times 3.14 \times \left(\frac{0.5}{100}\right)^2}{1.1 \times 10^{-6}} = 2355\text{m}$$

即所需镍铬丝的长度为 2355 米。

1.4.2 电阻与温度的关系

实验证明:在通常温度下,几乎所有金属导体的电阻值 R 与温度 t 之间都有以下近似关系。

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-10)$$

即

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)} \quad (1-11)$$

式中, R_1 、 R_2 分别是温度为 t_1 和 t_2 时的电阻;

α 是电阻的温度系数,它等于温度升高 1°C 时,导体电阻所产生的变动值与原电阻值的比值,单位是 $1/^\circ\text{C}$ 。

在通常情况下几乎所有金属材料的电阻率都随温度的升高而增大,即 $\alpha > 0$ (见表 1.2),当导体工作温度很高时,电阻的变化也是很显著的,不容忽视。但有些材料(如碳、石墨、电解液等)在温度升高时,导体的电阻值反而减小,如多数热敏电阻元件就具有这种特性,这在一些电气设备中可以起自动调节和补偿的作用。还有某些合金材料如锰铜、康铜的电阻温度系数很小,用它们制成的电阻差不多不随温度变化,所以常用来制作标准电阻、电阻箱以及电工仪表