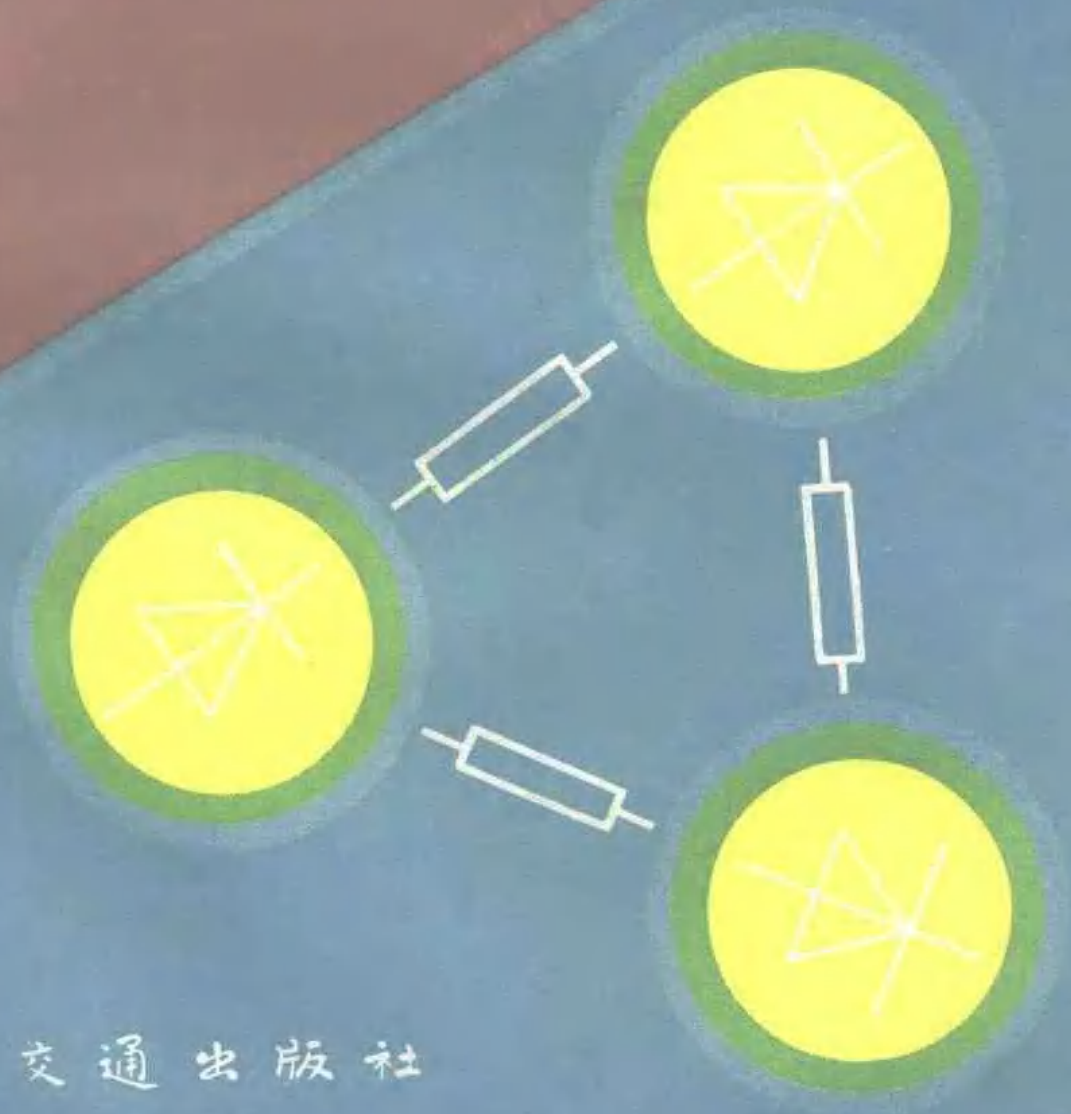


内河船舶轮机员培训教材

船舶电工

武汉河运专科学校

《船舶电工》编写组 编



人民交通出版社

332783

内河船舶轮机员培训教材

船舶电工

Chuanbo Diangong

武汉河运专科学校

《船舶电工》编写组 编



人民交通出版社

(京)新登字 091 号

内 容 提 要

本书共分两篇。第一篇为电工基础知识,分为七章,内容包括直流电路、电磁、交流电路、电工测量、电子技术、直流电机、变压器和交流电机等。第二篇为船舶电气设备,分为六章,内容包括电动机的控制和保护电器、船舶辅机的电力拖动、船舶电站和电力网、蓄电池、柴油机电系、船舶照明、通信设备和安全用电等。第二篇中还介绍了内河船舶电气设备的一些典型实例,以及一些电器的维护管理、故障及其排除等。

本书为内河船舶轮机管理人员的培训教材,也可供有关人员自学参考。

D1131/21

内河船舶轮机员培训教材

船 舶 电 工

武汉河运专科学校《船舶电工》编写组 编

插图设计: 正文设计: 乔文平 责任校对: 周岫岩

人民交通出版社出版发行
(100013 北京和平里东街 10 号)

各地新华书店经销

北京市顺义小店印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/16 印张: 18 插页: 1 字数: 460.8 千

1992 年 9 月 第 1 版

1992 年 9 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001--3000 册 定价: 14.00 元

ISBN 7-114-01326-4

U · 00868

前 言

本书根据 1982 年 6 月全国九省、区水运系统职工教育研究会议提出的内河船舶轮机人员培训教学计划《船舶电工》课程所规定的内容、要求和时数编写的。

本书可做为内河船舶轮机管理人员的培训教材，适用于具有初中及初中以上文化水平并具有一定实践经验的人员学习。

由于教学时数较少，因此本书在内容上尽量做到少而精，并结合实际进行阐述。在文字上力求通俗易懂。

本书另一特点是：书内电气设备的图形符号和文字符号，采用了新的国家标准，这对今后学习和掌握以新国标绘制的电气图是有利的。考虑到目前船舶上绝大部分电气图为旧国标绘制，因此书内仍介绍了部分这些电路实例，以便于读者较好地学习和掌握。

书内标有“*”号部分，可视学员的基础知识和教学时数等具体情况决定是否讲授。本课程规定授课时数为 100 学时。

书中每章末附有习题，便于学员练习和复习思考。

本书由谢敏主编，晏君志主审。第一、二、三、四章由赵建民编写；第五章由晏君志编写；第六章由寻根福编写；第七、十一章由乔寅礼编写；第八、十章由张培英编写；第九、十二、十三章由谢敏编写，最后由谢敏、晏君志统稿。周爱嫻、孙瑞华、刘传华参加书中插图的描图工作。

在编写过程中，受到湖北省内河航运管理局有关同志的大力支持，特在此表示感谢。

由于我们水平有限，实践经验不足，调查研究和收集资料也不够充分，错误和缺点在所难免，恳切希望读者提出宝贵的意见，径寄武汉河运专科学校，以便再版时修改。

编 者

目 录

第一篇 电工基础知识

第一章 直流电路	1
第一节 电路的组成	1
第二节 电路中的一些物理量	2
第三节 欧姆定律和*克希荷夫定律	6
第四节 电功率和电能	8
第五节 电阻器、导体和绝缘体	10
第六节 电阻、电源的连接方式	11
习题	16
第二章 电磁	18
第一节 磁和磁场	18
第二节 磁力线、磁通量和磁感应强度	19
第三节 电流的磁效应和电流的力效应	20
第四节 电磁感应	22
第五节 自感	25
第六节 铁磁物质	26
*第七节 磁路	28
习题	29
第三章 交流电路	31
第一节 概述	31
第二节 正弦交流电动势的产生	31
第三节 正弦量的三要素	33
第四节 相位与相位差	34
第五节 正弦交流电的有效值	35
*第六节 正弦交流电的相量表示法	36
第七节 单相交流电路	39
第八节 三相交流电路	50
习题	56
第四章 电工测量	58
第一节 概述	58
第二节 磁电式仪表和直流电流、电压的测量	59
第三节 电磁式仪表和交流电流、电压的测量	61
第四节 电动式仪表及交流电功率的测量	62
第五节 万用电表	65

第六节 兆欧表·····	67
习题·····	68
第五章 电子技术 ·····	69
第一节 半导体基本知识·····	69
第二节 PN 结及其单向导电性·····	71
第三节 晶体二极管·····	72
第四节 晶体管整流电路和*直流稳压电路·····	74
第五节 晶体三极管·····	84
*第六节 晶体管交流电压放大器·····	90
第七节 可控硅元件及*可控硅整流·····	101
习题·····	110
第六章 直流电机 ·····	113
第一节 直流电机的构造·····	113
第二节 直流电机的工作原理·····	114
第三节 直流电机的电枢反应和换向磁极·····	117
第四节 直流电机的分类及铭牌·····	120
第五节 并励发电机和复励发电机·····	123
第六节 直流电动机的起动、反转、调速和*制动·····	125
第七节 直流电机的火花和电刷位置的调整·····	129
第八节 直流电机的管理、保养、故障分析及其排除·····	130
习题·····	134
第七章 变压器和交流电机 ·····	135
第一节 单相变压器·····	135
第二节 三相变压器·····	139
第三节 变压器的常见故障及排除·····	140
第四节 三相异步电动机的构造和原理·····	142
*第五节 三相异步电动机的工作特性·····	146
第六节 三相异步电动机的起动和调速·····	147
第七节 三相异步电动机的铭牌·····	150
第八节 三相异步电动机的常见故障及运行管理·····	153
第九节 三相同步发电机的构造和原理·····	154
第十节 三相同步发电机的技术数据·····	158
第十一节 三相同步发电机的常见故障及运行管理·····	160
习题·····	161

第二篇 船舶电气设备

第八章 电动机的控制和保护电器 ·····	163
第一节 手动控制电器·····	163
第二节 接触器·····	166
第三节 继电器·····	171

第四节	主令电器和限位开关·····	177
第五节	电磁离合器和电磁制动器·····	179
第六节	熔断器·····	180
习题	·····	182
第九章	船舶辅机的电力拖动·····	183
第一节	电力拖动的自动控制·····	183
第二节	制冷机的控制电路·····	198
*第三节	辅助锅炉的自动控制·····	199
第四节	锚机和系缆设备的电力拖动·····	204
*第五节	舵机的电力拖动·····	211
习题	·····	215
第十章	船舶电力系统——船舶电站和电力网·····	216
第一节	概述·····	216
第二节	船舶电源和配电装置·····	217
第三节	发电机电压的调节·····	225
第四节	发电机的并联运行·····	227
第五节	总配电板电路原理图实例·····	232
第六节	船舶电力网·····	234
第七节	船舶电站的维护管理和常见故障·····	238
习题	·····	239
第十一章	蓄电池和柴油机电系·····	240
第一节	蓄电池的用途和构造·····	240
第二节	铅酸蓄电池的工作原理和工作特性·····	242
第三节	蓄电池的型号和规格·····	244
第四节	蓄电池的充电·····	244
第五节	蓄电池的保养和常见故障及排除·····	246
第六节	充电设备·····	247
第七节	柴油机的电动起动设备·····	252
习题	·····	253
第十二章	船舶照明和通信系统·····	254
第一节	船舶照明光源·····	254
第二节	航行灯、信号灯及探照灯·····	256
第三节	船舶通信设备·····	261
习题	·····	265
第十三章	安全用电·····	266
第一节	触电·····	266
第二节	接地及避雷装置·····	267
第三节	油船电气设备对安全的要求·····	268
第四节	安全用电常识·····	269
习题	·····	270

附录一	电气图用图形符号(部分) GB4728	271
附录二	电气原理图图形符号(部分) GB312-64	274
附录三	电气技术中的基本文字符号 GB7159-87	275
附录四	电气技术中的辅助文字符号	277
附录五	电量和电气元件文字代号 GB315-64	278

第一篇 电工基础知识

第一章 直流电路

本章主要内容是：引出电流、电压和电动势的概念；阐述用来分析电路的两条最基本定律——欧姆定律和克希荷夫定律；讨论电路的连接方式；介绍一些简单电路的计算方法。

第一节 电路的组成

一、电 路

电流所流经的路径称为电路。图 1-1 为一简单电路的示意图。其中：干电池是电路的电源；灯泡为电路的负载；干电池与灯泡之间用导线连接，称为中间环节。电流从干电池的正端流出，经一部分导线流入灯泡，然后从灯泡流出，经过另一部分导线回到干电池的负端。显然，这是符合电路定义的。

二、电路的组成

从上面的叙述可知，图 1-1 所表示的电路是由电源、负载和中间环节三部分组成的。不管电路如何复杂，构成电路的元件如何之多，总可以把它们归纳为以上所说的三部分。当然这里所指的三部分，不再只是干电池，灯泡和导线，它们有更广泛的含义。下面给这三部分以具体的定义，并简述它们在电路中的作用。

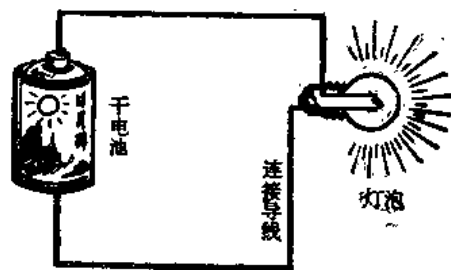


图 1-1 简单电路的示意图

1. 电源

电源是电路中电能的源泉，是电路中的供电设备。它们的作用是把其它形式的能量转变成电能，以满足用户（即负载）的需要。例如：干电池、铅酸蓄电池、燃料电池等把化学能变为电能；光电池把光能变为电能；发电机把机械能变为电能等等。电源的种类很多，常见的有两种，即直流电源和交流电源。直流电源在电路中产生直流电流。所谓直流电流，是指其大小不变或变化不大，而方向也不随时间变化的电流。各种电池，直流发电机和稳压电源等都是直流电源。交流电源在电路中产生交变电流。所谓交流是指大小和方向都随时间而变化的电流。交流发电机为电路提供交流电流。工业用电和日常生活用电大都是交流电。

2. 负载

负载是电路中消耗电能的设备，通常称为电气用户。它们的作用是根据需要，把电能转变成其他形式的能，以供使用。例如：电灯把电能主要转变成光能；电炉把电能主要转变为热能；各类电动机则主要把电能转变成机械能等。

3. 中间环节

沟通电源和负载之间联系的电气设备称为中间环节。除了导线之外，中间环节还包括控制、分配电能及保证电路安全可靠运行的电气设备。例如：各种开关、中间继电器等用来控制、

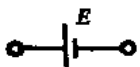
分配电能;熔断器、热继电器、时间继电器等用来保护电路。它们都属于中间环节部分。

三、电路元件的符号与电路图

图 1-1 表示一个实际电路的结构,其中各电路元件都是用它们的实际图形表示的。这样的图形绘制起来是相当麻烦的,所以我们常把电路中各种元件用一些简单的符号代替,将这些符号连接成电路,就会使电路显得既直观、清楚,又使绘图工



作简单化了。例如,用符号  代表电阻,用符号



代表电池,那么图 1-1 所示的电路就成为图 1-2

图 1-2 图 1-1 所示电路的电路图

的形式。通常我们把这种由电路元件的符号连接起来的图形,叫做电路图。

各种电路元件的符号都有统一的国家标准,这些符号将在以后用到时再作介绍。

第二节 电路中的一些物理量

一、电的有关知识

1. 物质的电结构

一切物质都是由分子组成的,分子由原子组成,而原子则由更小的粒子组成,其中主要的有电子、中子和质子。中子和质子构成了原子核,电子则以极高的速度绕原子核旋转。例如:水分子由一个氧原子和两个氢原子组成;铝原子由原子核和十三个电子组成,它的核又由十三个质子和一定数目的中子组成,如图 1-3 所示。

电子和质子都呈现电性。电子呈负电性,而质子呈正电性。在正常情况下,一个原子中的电子所具有的电量与质子所具有的电量是相等的,因为它们带电的性质相反,所以相互抵消,对外不呈现电性。这也就是通常物体不呈电性的原因。

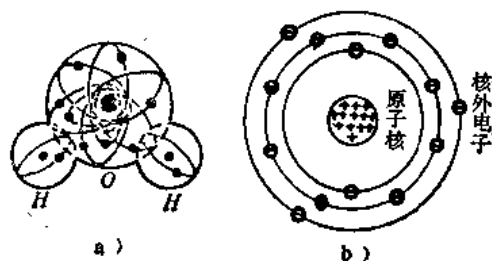


图 1-3 物质的原子结构

a) 水分子结构图; b) 铝原子结构图

2. 电荷

带电的粒子叫电荷。电荷是一种客观存在的物质,它既不能创生,也不能消灭,只能从一个物体转移到另外一个物体,这叫做电荷守恒。

电荷有两种,一种是正电荷,一种是负电荷。电子是带负电荷的粒子,质子是带正电荷的粒子。一个不带电的物体,在得到电子后带负电荷;在失去电子后带正电荷。

物体带电量的多少以库仑(C)为单位。 1C 的电量约等于 6.24×10^{18} 个电子所带的电荷量,所以一个电子带有 $1.62 \times 10^{-19}\text{C}$ 的正电荷。

实验证明,电荷与电荷之间存在着相互作用力。同性电荷之间相互排斥,异性电荷之间相互吸引。这种力就是常说的电场力。

3. 电场

电荷之间的相互作用力是通过电场来传递的。电场是存在于带电体周围的一种特殊物质,通过实验可以证明电场的存在。例如:一带电体具有正电荷 Q ,如果把一个体积和电量

都很小的试验电荷 $+q_0$ ，放在 Q 的周围，电荷 $+q_0$ 将受到排斥力的作用，如图1-4所示。这就证明带电体的周围有电场存在。

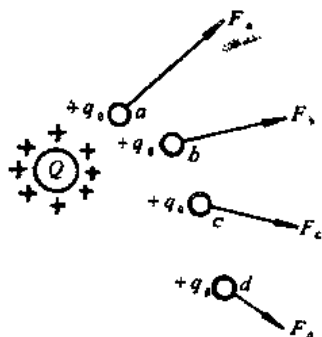


图 1-4 正电荷 Q 的电场

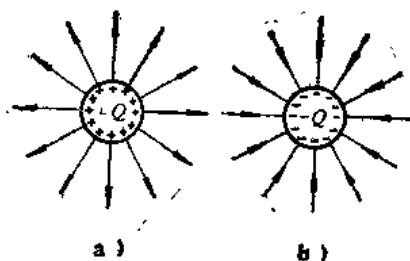


图 1-5 用电力线表示电场

带电体周围某点电场的强弱用电场强度来描述。电场强度是单位正电荷在电场中某点所受的力，用符号 E 表示，则：

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (1-1)$$

式中： F ——试验电荷 q_0 在电场中某点所受的力；

q_0 ——试验电荷的电荷量。

电场强度的单位为伏/米，单位符号 V/m 。电场力 F 的单位为牛，单位符号为 N 。电量 q_0 的单位为库，单位符号为 C 。

某点的电场强度是有大小、有方向的量，其大小等于单位正电荷在该点所受到的电场力，方向是试验电荷在该点所受力的方向。

在图1-4中，试验电荷 $+q_0$ 在 a 点受到的电场力为 F_a ，在 d 点受到的电场力为 F_d ，则 a 点和 d 点的电场强度分别为 $E_a = \frac{F_a}{q_0}$ ， $E_d = \frac{F_d}{q_0}$ 。若 a 点距带电体的距离比 d 点近，那么 E_a 大于 E_d 。

为了直观地反映电场，常用电力线来表示电场中各点电场强度的大小和方向，如图1-5所示。电力线是按照如下原则画出的：(1)电力线上每一点的切线方向，与该点的电场方向一致；(2)在与电场强度方向垂直的单位面积上，所通过的电力线根数和该处的电场强度大小成正比，即电力线稠密的地方电场强度大，电力线稀疏的地方电场强度小；(3)电力线起于正电荷，止于负电荷；(4)电力线不能相交。

图1-5a)表示正电荷的电力线；b)表示负电荷的电力线。

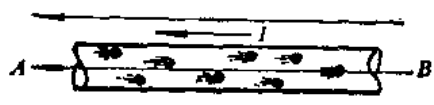
二、几个物理量

1. 电流

人们常把水的流动称为水流，电工学中则把电荷的流动称为电流。当然，这是从广义上给电流下的定义。电路中流动的电流是传导电流，它的定义是：电荷作有规则的定向运动称为电流。传导电流是这样形成的：金属导体中存在着大量的自由电子，它们在电场 E 的作用下按一定的方向作有规则地运动而形成电流，如图1-6所示。

电流的大小用电流强度来衡量。所谓电流强度，就是单位时间内通过导体某一横截面的

电荷量。为了方便起见,又把电流强度叫做电流,并用符号 I 表示。根据定义,电流可用下面的公式表示:



$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

图 1-6 电子在电场力作用下形成电流

式中: Q ——通过导体某一截面的电荷量;
 t ——通过电量 Q 所需要的时间。

如果电量 Q 以库仑(C)为单位,时间 t 以秒(s)为单位,那么从式(1-2)导出电流 I 的单位为库/秒(C/s),简称为安培,用符号 A 表示。安培的定义可以这样叙述:如果每秒钟内有一库仑的电荷量通过导体的某一横截面,这时电流就是 1 安培,表示为:

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}}$$

例如每秒钟通过导体某一横截面的电量为 5C,电流就是 5A;如果 10s 通过的电量为 100C,电流就是 10A。

电流很小时,可以用毫安(mA)或微安(μ A)为单位,它们与安培的换算关系是:

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

$$1 \text{ 微安}(\mu\text{A}) = 10^{-6} \text{ 安培(A)}$$

电流很大时,可用千安(kA)为单位:

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

把正电荷运动的方向,规定为电流的实际方向。例如在图 1-7 所示的导体 AB 中,电子是从 A 流向 B 的,而电流方向则从 B 指向 A,表示为 I_{BA} 或 $-I_{AB}$ 。

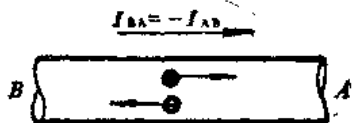


图 1-7 电流的实际方向

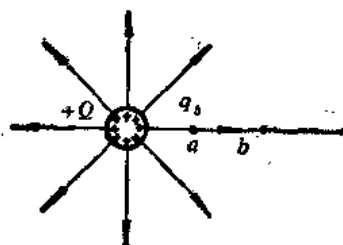


图 1-8 正电荷电场中的电位

2. 电位和电压

1) 电位

把一个带正电的试验电荷 q_0 放在带电体 Q 建立的电场中,如图 1-8 所示,试验电荷就受到电场力的作用。如果试验电荷不受任何约束,那么,它将在电场力的作用下产生位移。在位移的过程中,电场力便做了功。可见,在 q_0 和 Q 所组成的系统中,是有能量储存的,这能量的大小可以用作功来量度。当试验电荷被移到无穷远处时,电场力作的功达到最大值,而系统的储能则减小为零。电荷在电场中移动时,电场力所作的功与电荷的起点和终点的位置有关,而与电荷经过的路径无关,即电场力做功的能力只取决于试验电荷在电场中的位置,我们把这种能量叫做电位能。单位正电荷在电场中某一点所具有的电位能,称为电场在该点的电位。

在图 1-8 中,设试验电荷 q_0 在带电体 Q 的电场中 a 点处所具有的电位能为 W_a ,则 a 点的电位为:

$$\varphi_a = \frac{W_a}{q_0} \quad (1-3)$$

电位的实用单位规定为伏特。如果有电量为 1 库仑(C)的电荷从电场中某点移到无穷远处电场力所作的功为 1 焦耳(J),则该点的电位为 1 伏特。伏特常用符号 V 表示。

2) 电压

在实际应用中,电场中两点之间的电位差显得更为重要。例如:在图 1-8 所示的电场中, a 、 b 两点的电位分别为 φ_a 、 φ_b ,则 a 、 b 两点之间的电位差为 $\varphi_a - \varphi_b$ 。通常把两点之间的电位差称为电压,用符号 U 表示,那么 a 、 b 两点之间的电压为:

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b \quad (1-4)$$

应指出,电位是一个相对的概念,它与电位零点的选择有关,而电压的数值与电位零点的选择无关,选取不同的电位零点对某两点之间的电压值并不发生影响。为了方便起见,在实际应用中,我们并不是把无穷远处作为电位零点,而是把地的电位作为电位零点(又称零电位)。

我们会看到,电场中某两点之间的电压,实际上是电场力把单位正电荷从其中一点移到另一点所作的功。因此,在实用单位制中,电压的单位仍为伏特(V)。

在测量较高的电压时,常用千伏(kV)作单位、即

$$1 \text{ 千伏(kV)} = 1000 \text{ 伏(V)}$$

在测量较低的电压时,常用毫伏(mV)作单位:

$$1 \text{ 毫伏(mV)} = 0.001 \text{ 伏(V)}$$

至于电压的实际方向,规定为从高电位指向低电位,或者说是从电源的正极指向电源的负极,这与电流的实际方向是一致的。如图 1-9 所示电路,电源端电压 U 的实际方向是由“+”指向“-”,电路中 a 、 b 两点间的电压 U_{ab} 是由 a 指向 b 的。实际方向也可以写成 $-U_{ba}$ 。

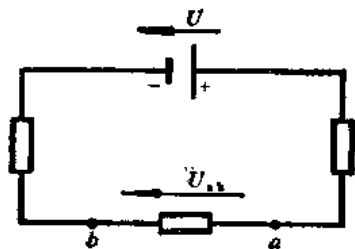


图 1-9 电压的实际方向

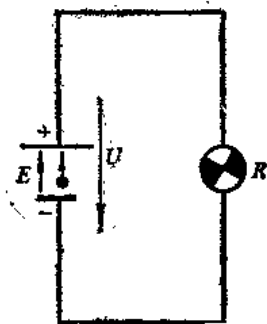


图 1-10 电动势与它的实际方向

3. 电动势

电路中的电流是靠电源维持的。电源的两端(即正负两极)积累着电荷,当电路中有电流时,说明电荷在不断地从电源的正极流向电源的负极,于是,电源正极上的正电荷减少,电源负极上的负电荷也因与正电荷互相中和而减少。如果电源两极上的电荷得不到补充,最后就会减少到零,这样,电源也就失去了维持电路中电流的作用。因此,需要有一种力,能源源不断地把正电荷从电源的负极送往正极,这样一种力称为电源力。电源力可以由化学能产生,也可以由机械能或其它形式的能量产生。电源力把单位正电荷从电源的负极经电源内部移到电源的正极所作的功,称为该电源的电动势,用字母 E 表示,其单位亦为 V。电动势的实际方向是

由电源的负极指向正极,如图 1-10 所示,它正好与电源电压的实际方向相反。用数学式表示为:

$$E = -U \quad (1-5)$$

第三节 欧姆定律和*克希荷夫定律

一、欧姆定律

欧姆定律是电路中最基本的定律之一,为了对电路进行分析和计算,我们必须熟悉这一定律。

1. 一段无源电路欧姆定律

一段无源电路系指电路中一段不含电源的支路。一段无源电路欧姆定律是反映这一段电路上电压和电流之间关系的定律。

电流在导体中流动时总要受到一定的阻力,这阻力的大小用“电阻”来描述,其单位为欧姆,简称欧(Ω)。

设某一段无源电路的电阻为 R ,将这段电路接到电源上,则在电源电压 U 的作用下,就会有电流 I 通过,如图 1-11 所示。如果保持电阻 R 不变,而改变电阻 R 两端的电压,可以发现,当电压增大几倍时,通过电阻的电流也增大几倍。这说明在电阻 R 一定的情况下,通过电阻的电流强度与电阻两端的电压成正比。如果维持电阻 R 的两端电压不变,而改变电阻 R 的大小,我们发现,通过电阻的电流强度与电阻的大小成反比。



图 1-11 一段无源电路

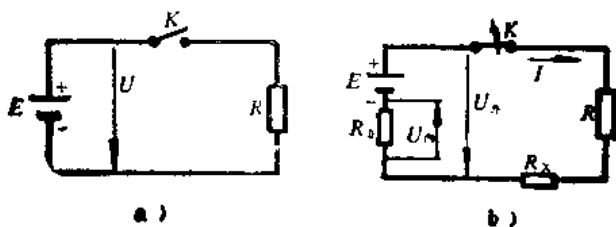


图 1-12 全电路的欧姆定律

实验证明: 在电路的一段导体中,电流强度与导体两端的电压成正比,而与导体的电阻成反比,即

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-6)$$

式中,电压的单位是 V ,电流的单位是 A ,电阻的单位是 Ω 。

这一结论叫做一段无源电路的欧姆定律。

2. 全电路欧姆定律

以上公式是总结一段无源电路上电流、电压和电阻三者之间关系的规律。下面来分析全电路的欧姆定律。图 1-12a) 是最简单的完整电路,由电源 E 、电阻 R 、开关 K 及导线组成。电源内部也有电阻,称为电源内阻,用 R_0 表示,导线的总电阻用 R_s 表示。为了便于分析,将电源内阻 R_0 画在电源外面,如图 1-12b) 所示。当开关闭合时,电流从电源正极流出,经过开关 K 、电阻 R 、导线电阻 R_s 及电源内阻 R_0 流回到电源负极。

因为在闭合回路中,电路中有电流通过,在电源内阻产生电压降用 $U_{内}$ 表示;在导线及电阻上产生电压降用 $U_{外}$ 表示,即

$$U_{内} = IR_0 \quad U_{外} = I(R_x + R)$$

而在电路闭合时 $U_{外}$ 、 $U_{内}$ 和 E 有如下关系:

$$U_{外} = E - U_{内}$$

将 $U_{内} = IR_0$ 和 $U_{外} = I(R_x + R)$ 代入上式得:

$$I = \frac{E}{R_0 + R_x + R} \quad (1-7)$$

由上式可见:简单回路中的电流,其大小与电动势成正比,与回路中电阻值的总和成反比,这就是全电路欧姆定律。

例 1-1: 有一只灯泡,电阻 R 等于 484Ω ,接到 $220V$ 的电源上,求灯泡中的电流。

解: 根据一段无源电路欧姆定律有:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{484} = 0.455(A)$$

例 1-2: 图 1-12b) 中干电池的电动势为 $1.5V$, 设负载的电阻为 9.8Ω , 导线的电阻为 0.1Ω , 电源内阻也为 0.1Ω , 求该电路中的电流是多少?

解: 根据全电路欧姆定律,电路中的电流为:

$$I = \frac{E}{R + R_x + R_0} = \frac{1.5}{9.8 + 0.1 + 0.1} = 0.15(A)$$

*二、克希荷夫定律

克希荷夫定律也是电路最基本的定律之一。它由两条基本定律组成: 一是克希荷夫电流定律(KIL); 另一条是克希荷夫电压定律(KVL)。在叙述这两条定律之前, 先介绍几个有关的名词术语。

支路: 电路中每一条无分支的电路称为一条支路。图 1-13 所示的电路中有三条支路。

节点: 无论如何复杂的电路, 都是由一个个含源或不含源的支路连接而成的。我们把支路与支路的连接点称为节点。图 1-13 电路中 a 和 b 都是节点。

回路: 电路中任一闭合路径都称为回路。图 1-13 中可以找出三个回路, 即 $acbda$ 、 $acfbca$ 和 $aejbda$ 。

1. 克希荷夫电流定律

克希荷夫电流定律是用来确定连接在同一节点上的各支路中电流之间关系的定律。叙述为: 对电路中任何节点而言, 流入节点的电流必等于流出该节点的电流。对图 1-13 中的 a 节点, 使用该定律可列出节点 a 的电流方程为:

$$I_1 + I_2 = I_3$$

$$\text{或} \quad I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1-8)$$

把上面的方程写成一般形式, 即

$$\sum I = 0 \quad (1-9)$$

上式表明, 在一个节点上, 所有电流的代数和恒等于零。

克希荷夫电流定律实际上是电流连续性的总结。

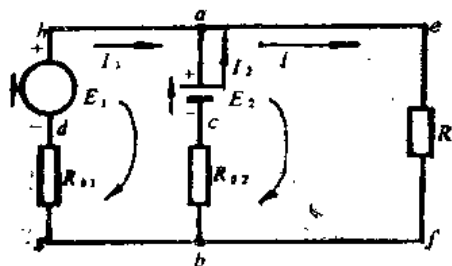


图 1-13 一个复杂电路

即电荷在电路中流动是连续的,它不可能在某一点聚存,也不可能无中生有地从某一点发出。

2. 克希荷夫电压定律

克希荷夫电压定律是用来确定回路中各部分电压之间关系的定律。叙述为:沿任一闭合回路绕行一周,所有电动势的代数和等于该回路中各个电阻上电压降的代数和。根据这一定律,对图 1-13 所示 $acbda$ 回路,可列出电压方程为:

$$E_1 - E_2 = I_1 R_{01} - I_2 R_{02} \quad (1-10)$$

对 $aefbca$ 回路,可列出电压方程为:

$$E_2 = I_2 R_{02} + I_3 R \quad (1-11)$$

将上面的方程归纳成电压定律的一般形式:

$$\sum E = \sum IR \quad (1-12)$$

根据克希荷夫电压定律列写电压方程时应注意,首先确定回路的绕行方向。当把电动势写在方程的左边,而把电压写在方程的右边时,电动势与电压降的正负应以绕行方向为准,电动势方向与绕行方向一致为正,反之为负;电阻上所通过的电流方向与绕行方向一致,电压降为正,反之为负。

第四节 电功率和电能

电源的作用是把其他形式的能量转换成电能。电源驱动电荷在电路中流动,把能量传送给电路中的负载。例如,使灯泡发亮,电炉发热,电动机转动等,这表明电流作了功,做功的效果用电功率和电能来衡量,所以电功率和电能的计算在电路中也是一个重要问题。

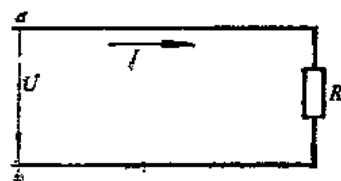


图 1-14 一段电路

设有一段电路 ab , 如图 1-14 所示。 a, b 两点间的电压为 U , 通过这段电路的电流为 I 。根据电压的定义, U 即为电场力把单位电荷从 a 点移到 b 点所做的功。设电场力把电量为 q 的电荷从 a 点移到 b 点, 并用 A 表示电场力所做的总功, 则有表达式:

$$A = Uq \quad (1-13)$$

假如在一段时间 t 内传送的电荷为 q , 则通过负载的电流应为:

$$I = \frac{q}{t} \text{ 或 } q = It \quad (1-14)$$

把式(1-14)代入式(1-13), 就得到电能与电压、电流、时间之间的关系式:

$$A = UIt \quad (1-15)$$

上式表明:一段电路在 t 时间内所吸收的电能,等于这段电路的电压、电流和时间三者之积。

当 U, I, t 的计量单位分别采用 V, A, s 时, 功 A 的单位即为焦耳(J)。1 焦耳(J)就是电压为 1V, 电流为 1A, 在一秒钟(s)的时间内这段电路所吸收的电能。

如果一段电路的电阻为 R , 由于 $U = IR$, 所以式(1-15)又可写成:

$$A = I^2 R t \quad (1-16)$$

这一电能将在电阻上变成热能而被消耗。用 Q 表示热量, 则:

$$Q = 0.24 I^2 R t \quad (1-17)$$

其中, 0.24 为热功当量, Q 的单位以卡(Cal)计量。式(1-17)表明, 电流通过电阻所产生的热量与电流的平方成正比。这便是焦耳-楞次定律。电流通过导体而使导体发热的现象, 称为“电

流的热效应”。

为了衡量用电设备耗电的速率,引入电功率的概念。电功率的定义与力学中功率的定义相似:单位时间内电源发出的电能或负载所吸收的电能称为电功率。电功率实际上就是电能的转换速率。电功率用 P 表示,据定义:

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-18)$$

上式表明,一段电路的电功率等于加在这段电路上的电压与通过这段电路的电流的乘积。可见电功率是随 U 、 I 变化的,单从电流 I 的大小,是不能确定电功率的大小的。

在式(1-18)中,电压的单位为 V ,电流的单位为 A ,此时电功率的单位为瓦特,简称瓦,用 W 表示。功率的单位也可以用千瓦(kW)表示。

供电部门计量用户所用的电能是用电度表来测量的,它的单位以“度”计。一度电是指功率为 1 千瓦(kW)的负载在一小时(h)内的耗电量,即

$$1 \text{ 度} = 1kW \times 1h$$

下面以图 1-12 为例,讨论电路中功率的平衡问题。根据全电路欧姆定律的表达式

$$E = IR_0 + IR$$

将它的两边同乘以电流 I ,则有:

$$IE = I^2R_0 + I^2R \quad (1-19)$$

或

$$P_E = P_0 + P_2$$

其中,电动势 E 与电流 I 的乘积 IE 为发电机发出的全部电功率 P_E 。这功率的一部分消耗在电源内阻 R_0 上,即为 I^2R_0 ,用 P_0 表示,它使电源发热,是电源的内阻损耗。另一部分功率供给负载,即为 I^2R ,通常用 P_2 表示,它是电源的输出功率,由负载转换成我们需要的能的形式。

例 1-3: 有一电炉,炉丝电阻为 20Ω ,若将电炉通以 $5A$ 的电流,问半小时内,电炉产生的热量是多少?

解: 将 $I = 5A$, $R = 20\Omega$, $t = 30 \times 60 = 1800s$, 代入式(1-17),则:

$$\begin{aligned} Q &= I^2Rt \\ &= 25 \times 20 \times 1800 \\ &= 9 \times 10^5 J \end{aligned}$$

答: 半小时内,电炉产生的热量为 $9 \times 10^5 J$ 。

例 1-4: 教室里有 4 盏 $40W$ 的日光灯,由于大家节约用电,每晚用 $2h$ (小时)后人走灯灭;宿舍中有一盏 $60W$ 的电灯,由于未注意节约,每晚使用 $6h$ (小时),问各消耗的电能是多少度?

解: $A_{\text{教}} = Pt = 40 \times 4 \times 2 = 320W \cdot h = 0.32 \text{ 度}$

$$A_{\text{宿}} = Pt = 60 \times 6 = 360W \cdot h = 0.36 \text{ 度}$$

答: 教室耗电为 0.32 度;宿舍消耗电能为 0.36 度,宿舍里消耗的电能多。

例 1-5: 把一个 $220V$, $100W$ 的灯泡接到 $220V$ 的电源上,通过灯丝的电流应该是多少?

解: 根据式(1-18)

$$I = \frac{P}{U} = \frac{100}{220} = 0.45(A)$$

答: 通过灯丝的电流应该是 $0.45A$ 。