

中华职业教育社试用教材

电工技术基础

刘式雍等 编著

同济大学出版社

内 容 提 要

本书着重介绍电工与电子技术基础知识,电动机及其控制电路的基本原理。全书共分七章。每章均有学习基本要求,重点内容提示,章尾附有小结、复习思考题、习题和答案。在附录中还选编了部分常用电动机、交流接触器、热继电器的技术数据。供读者在学习及生产实践中参考。

本书是中华职业教育社主编的电工技术基础教学用书。在写法上,由浅入深,力求通俗易懂。本书可供中等职业技术学校、中等专业学校、工矿企业职业学校及各类技工学校的教学用书,对具有初中文化水平以上的读者也是一本有益的读物。

责任编辑:袁学明

封面设计:王肖生

中华职业教育社试用教材

电 工 技 术 基 础

刘式雍 徐真编著

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号)

新华书店上海发行所发行 同济大学印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张: 19.5 字数: 496 千字

1987 年 5 月第 1 版 1987 年 5 月第 1 次印刷

印数: 1—14000 科技新书目: 146—281

统一书号: 13335·033 定价: 3.25 元

前 言

本书是中华职业教育社主编的中等职业技术学校用书，可作为各类中等职业技术学校电工学及电子学课程的教材，也可供有志于从事电工技术专业人员及业余爱好者自学、参考。

本书根据我国目前职业技术学校学生的特点，由浅入深地介绍了电工与电子技术基础知识以及电机、控制电路的基本原理。全书共分直流电路、磁与电磁、交流电路、整流电路、放大电路、变压器和交流电动机及控制等七章；每章均有学习指导、重点内容提示，章末附有小结、复习思考题、习题与答案。

本书由刘式雍（第一、三、五、七章）和徐真（第二、四、六章）两同志合编。刘式雍同志负责组织和定稿。上海教育学院俞千里副教授主审。

由于水平有限，错误不当之处在所难免，敬望读者批评指正，以使本书不断完善提高。

编 者

一九八六年十二月

目 录

第一部分 电工基础知识

第一章 直流电路

学习指导	(1)
第一节 电场的概念	(2)
(一) 物质的电结构	(2)
(二) 电场和电场强度	(3)
第二节 电路及其基本物理量	(4)
(一) 电路的组成及作用	(4)
(二) 电路的基本物理量	(5)
第三节 电路的基本定律	(10)
(一) 欧姆定律	(10)
(二) 基尔霍夫定律	(15)
第四节 电阻的串联和并联	(23)
(一) 电阻的串联	(23)
(二) 电阻的并联	(25)
第五节 电能和电功率	(27)
(一) 电能和电功率	(27)
(二) 电流的热效应	(29)
第六节 电路的状态与电气设备的额定值	(29)
(一) 电路的三种状态	(30)
(二) 电气设备的额定值和额定工作状态	(31)
第七节 电容器及其充电和放电	(32)
(一) 电容器和电容	(32)
(二) 电容器的并联和串联	(34)
(三) 电容器的充电和放电	(35)
本章小结	(36)
复习思考题	(38)
习题	(40)

第二章 磁与电磁

学习指导	(46)
第一节 电磁的基本知识	(46)
(一) 磁铁的磁现象	(46)
(二) 电流的磁效应	(47)
(三) 磁场的基本物理量	(47)

第二节 铁磁物质的磁化	(50)
(一) 铁磁物质的磁化与磁化曲线	(50)
(二) 铁磁物质的分类	(52)
第三节 磁路及磁路的欧姆定律	(53)
(一) 磁路的基本概念	(53)
(二) 磁路的欧姆定律	(53)
第四节 磁场对电流的作用	(55)
(一) 磁场对通电导体的作用	(55)
(二) 直流电动机的工作原理	(55)
第五节 电磁感应	(56)
(一) 电磁感应现象	(56)
(二) 感应电动势的方向	(57)
(三) 感应电动势的大小	(58)
(四) 自感	(59)
(五) 涡流	(60)
本章小结	(61)
复习思考题	(62)
习题	(62)

第三章 交流电路

学习指导	(63)
第一节 交流电的基本概念	(65)
(一) 什么是交流电	(65)
(二) 交流电的特征	(66)
(三) 交流电的有效值	(71)
第二节 正弦量的向量表示法	(72)
(一) 正弦量的向量表示法	(73)
(二) 同频率正弦量向量的加减	(74)
第三节 单一参数的交流电路	(77)
(一) 电阻电路	(77)
(二) 电感电路	(79)
(三) 电容电路	(84)
第四节 电阻和电感串联的交流电路	(87)
(一) 各电压间的关系	(87)
(二) 电流与电压的关系、电路的阻抗	(89)
(三) 电路中的功率关系	(91)
(四) 电阻和电感串联电路的应用——日光灯的工作原理	(95)
第五节 电阻、电感和电容元件串联的交流电路	(98)
第六节 电感性负载与电容器并联的交流电路	(101)
(一) 电路中电压、电流和功率的计算	(101)

(二) 功率因数的提高	(104)
第七节 三相交流电路	(107)
(一) 三相交流电源	(107)
(二) 三相负载的接法	(111)
(三) 三相电路的功率	(120)
第八节 交流电的测量	(122)
(一) 电工测量的基本知识	(122)
(二) 交流电流和交流电压的测量	(123)
(三) 交流功率的测量	(126)
(四) 交流电能的测量	(129)
本章小结	(130)
复习思考题	(133)
习题	(135)

第二部分 电子技术基础

第四章 二极管和整流电路

学习指导	(139)
第一节 半导体的基本知识	(140)
(一) 半导体的导电特性	(140)
(二) P 型和 N 型半导体	(142)
第二节 晶体二极管	(144)
(一) PN 结	(144)
(二) 晶体二极管的结构	(145)
(三) 晶体二极管的伏安特性	(145)
(四) 晶体二极管的主要参数	(147)
第三节 单相整流滤波电路	(149)
(一) 单相半波整流电路	(149)
(二) 单相桥式整流电路	(151)
(三) 二极管整流电路的其它形式	(154)
(四) 滤波电路的作用	(155)
第四节 硅稳压管和简单的稳压电路	(158)
(一) 硅稳压管	(158)
(二) 硅稳压管稳压电路	(160)
本章小结	(161)
复习思考题	(164)
习题	(165)

第五章 晶体三极管和放大电路

学习指导	(168)
第一节 晶体三极管	(169)
(一) 晶体三极管的结构	(169)

(二) 晶体三极管的电流放大作用	(170)
(三) 晶体三极管的特性曲线	(173)
(四) 晶体三极管的主要参数	(175)
第二节 交流放大电路的基本工作原理	(177)
(一) 单管交流放大电路的组成及各元件的作用	(177)
(二) 交流放大电路的工作原理	(179)
(三) 交流放大电路的近似计算	(183)
(四) 放大电路的输入电阻和输出电阻	(187)
第三节 静态工作点的稳定	(189)
(一) 电路的形式和特点	(189)
(二) 静态工作点的计算	(191)
(三) 电压放大倍数、输入电阻和输出电阻的计算	(192)
第四节 晶体三极管在生产自动控制中的简单应用	(192)
(一) 光电继电器	(192)
(二) 时间继电器	(193)
(三) 温度继电器	(194)
第五节 多级放大电路	(194)
(一) 耦合方式	(194)
(二) 电压放大倍数的计算	(195)
第六节 放大电路中的负反馈	(197)
(一) 放大电路负反馈的类型	(198)
(二) 负反馈放大电路的特例——射极输出器	(202)
第七节 功率放大电路	(208)
(一) 互补对称式电路的工作原理	(209)
(二) 互补对称功率放大的电路的典型电路	(210)
(三) 采用复合管的互补对称电路	(211)
第八节 运算放大器	(212)
(一) 直接耦合的放大电路	(212)
(二) 运算放大器的组成	(214)
(三) 基本数学运算的实现	(216)
本章小结	(221)
复习思考题	(223)
习题	(224)
附录一 常用半导体器件参数选录	(229)

第三部分 电机和控制

第六章 变压器

学习指导	(235)
第一节 变压器的用途和构造	(235)
(一) 变压器的用途	(235)

(二) 变压器的分类	(236)
(三) 变压器的基本构造	(236)
第二节 变压器的工作原理及特性	(238)
(一) 变压器的空载运行	(239)
(二) 变压器的负载运行	(239)
(三) 变压器的阻抗变换作用	(240)
(四) 变压器的效率	(241)
第三节 常用变压器介绍	(242)
(一) 小型单相电源变压器	(242)
(二) 电力变压器	(243)
(三) 三相变压器	(243)
(四) 自耦变压器	(246)
(五) 电焊变压器	(247)
本章小结	(249)
复习思考题	(250)
习题	(251)

第七章 交流电动机及其控制

学习指导	(253)
第一节 三相异步电动机的结构和工作原理	(254)
(一) 三相异步电动机的结构	(254)
(二) 旋转磁场	(256)
(三) 三相异步电动机的转动原理	(258)
(四) 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	(259)
第二节 三相异步电动机的起动	(263)
(一) 鼠笼式异步电动机的起动方法	(263)
(二) 绕线式异步电动机的起动方法	(266)
第三节 异步电动机的技术数据与常见故障分析	(267)
(一) 异步电动机的技术数据	(267)
(二) 常见故障分析	(271)
第四节 单相异步电动机	(272)
(一) 工作原理	(272)
(二) 单相异步电动机的类型	(272)
第五节 异步电动机的继电接触控制	(273)
(一) 常用低压控制电器	(273)
(二) 异步电动机直接起动的控制电路	(275)
(三) 异步电动机的正反转控制电路	(282)
(四) 异步电动机的限位控制电路	(284)
第六节 安全用电	(285)
(一) 安全用电知识	(285)

（二）安全用电的防护措施	（286）
本章小结	（288）
复习思考题	（289）
习题	（290）
附录二 J_2 、 JO_2 、 JO_3 系列电动机的技术数据和外形尺寸（选录）	（293）
附录三 三相异步电动机的型号、结构和用途（摘录）	（297）
附录四 常用交流接触器、热继电器的技术数据	（298）
附录五 常用图形及文字符号	（299）

第一部分 电工基础知识

第一章 直流电路

直流电路和正弦交流电路是在生产实践中运用得最多的两种电路。本章我们先学习直流电路，主要讨论电路的基本物理量、电路的基本定律、电路的连接、电路的状态、电容器的充放电等。这些定律和分析方法不仅适用于直流电路，而且也适用于交流电路，是电工技术的理论基础，要求读者首先把它掌握。

学 习 指 导

本章是电工技术基础的第一章，叙述的内容是电路的基本概念、基本定律和基本分析方法，它不仅适用于直流电路而且也适用于交流电路，所以读者必须重视本章的学习。

（一）基本要求

1. 了解电场及电场强度的基本概念。
2. 了解电路基本物理量的意义，掌握电压、电流参考方向的含义和运用，了解电路的三种基本状态和额定值的意义。
3. 欧姆定律和基尔霍夫定律是分析电路的基本定律，要求熟练掌握并能正确运算常用的电路。电阻串并联的分压与分流是经常用到的关系式，应牢固掌握。
4. 能分析与计算简单直流电路中各点的电位。
5. 弄清电阻和电容的基本物理性质及其在电路中的能量转换规律，了解电容器充、放电的基本规律，理解时间常数 τ 的含义。

（二）本章的重点内容与说明

1. 本章的重点内容是：
 - (1) 电阻、电容的物理性质。
 - (2) 欧姆定律、基尔霍夫定律及其应用。
 - (3) 电路中电位的计算。
2. 说明：
 - (1) 电源、负载和导线是构成电路的三个基本部分，应明确它们在电路中的作用。要注意电流、电压的参考方向与真实方向的关系。分清电动势与电压的含义。
 - (2) 电源的本身维持一定的电压，而输出的功率则视负载大小而异。我们说某负载大，并非指这个用电设备的体积大，而是指这个用电设备消耗的功率大。在负载并联的电路里，对电源来说，负载增加不能认为是负载电阻的加大，而恰恰相反，是负载电阻的减小。
 - (3) 在一个电路里，电源产生的功率和负载消耗的功率以及电源内阻与线路上损耗的功率是平衡的。电路中能量转换规律、能量不灭、供能与耗能关系必须明确。
 - (4) 电源的开路与短路是电路的两种状态，它们的特点是电源开路时， $I=0, V=E, P_E=0$ ；电源短路时， $V=0, I=I_s=\frac{E}{r_o}, P_E=I_s^2 r_o$ 。电源短路是一种事故，应了解它的危害及短路保护的常识。
 - (5) 额定值是电气设备的使用规定值，使用时的实际值不一定等于额定值，其原因是电源电压经常波动，不一定等于额定电压；另外，在一定电压下电源输出的功率和电流决定于负载的大小，所以电源不一定处于额定工作状态。
 - (6) 欧姆定律及基尔霍夫定律是分析与计算电路的基本定律，应用这些定律时首先要在电路图上标出电动势、电压、电流的参考方向。因为公式各项前的正负号是由它们的参考方向确定的。

(7) 电阻和电容都是电路的参数，电流对它们所起的效应是不同的。当电流通过电阻时要发热，因此，电阻是耗能元件；当电压加在电容器两端时要产生电场并贮藏电场能量，即电容是储能元件。

在电阻、电容串联电路中，电容两端电压的变化是不能突变的，它只可能是逐渐变化的连续过程，因而必然产生一个电容充放电过程。学习这个过程的物理规律，目的是利用充放电过程的特性及防止这个过程中可能出现的过电压或过电流给生产设备带来的危害。

(8) 必须弄清的一些关系有：

- ① 参考方向与电压平衡方程、电流方程的关系；
- ② 设备的额定值与实际使用值的关系；
- ③ 串联电路中总电压与分电压，并联电路中总电流与分电流的关系；
- ④ 电位与电压的关系；
- ⑤ 电源内阻对电源外特性的关系；
- ⑥ 电容器充放电与电场贮能的关系；
- ⑦ 电路的时间常数与充放电过程快慢的关系。

第一节 电场的概念

(一) 物质的电结构

自然界的一切物质都是由分子组成的，而分子又是由原子组成，每一个原子都是由更小的微粒——原子核和绕核运动的一些电子构成的，如图 1-1(a) 所示。

原子核带有正电荷，电子带有负电荷。在通常情况下，原子核所带的正电荷和电子所带的负电荷在数量上相等，所以原子对外不显示带电现象，呈中性状态。

电荷与电荷之间有相互作用力。同性电荷相互排斥、异性电荷相互吸引。所以绕原子核的电子受到原子核的束缚。然而电子也有摆脱原子核运动的倾向，当原子失去电子后就带正电，如图 1-1(b) 所示；当原子得到电子后就带负电。

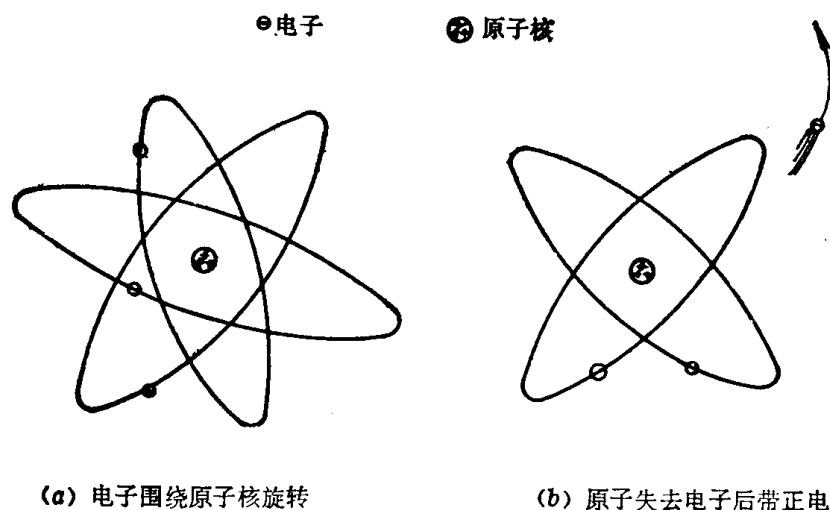


图 1-1 原子的电结构

一个带电体所带电荷的多少可以用电子数目来表示，不过实用上这个单位太小，我们常以“库仑”作为电量的单位。

$$1 \text{ 库仑} = 6.24 \times 10^{18} \text{ 个电子电荷}$$

在金属等物质的原子中，最外层的电子离原子核最远，受核的束缚力最小，有可能在外力的作用下脱离核的吸引而在金属中自由运动，形成自由电子。如果给以一定的外加条件

(例如接通电源),就能使金属中的自由电子作有规则的运动,形成电流。在某些溶液中,也有带正、负电荷的粒子(称正、负离子)存在,这些粒子在外加条件下也会作有规则的运动,形成电流。各种金属,酸、碱、盐的水溶液以及大地、人体等,因为有自由电子、离子带电粒子的存在,所以容易导电,称为导体。

在绝缘体中,原子核对电子的束缚力很强,一般情况下不能产生大量的自由电子,因此不容易导电。例如橡胶、塑料、玻璃、云母、陶瓷及干燥的木材、空气等。人们利用导体和绝缘体不同的性能,制成各种电气设备。例如用铜、铝等金属制成导线来传导电流,利用橡胶或塑料包在导线外面作绝缘层,防止触电和漏电。

还有一些物质的导电性能介于导体和绝缘体之间,例如硅、锗、硒等,称为半导体。晶体二极管、晶体三极管等电子元件都是用半导体材料制成的。

(二) 电场和电场强度

上面讲过,电荷与电荷之间有相互作用的力量,带有同性电荷的两个物体之间有排斥的力量;带有异性电荷的两个物体之间有吸引的力量。两个电荷发生相互作用时,并没有直接接触,因此,它们间的相互作用是通过别的物质作媒介而发生的,这种物质就是电场。

只要有带电的物体存在,在带电体周围就存在电场, A 、 B 两个带电体靠近时, A 受到 B 的作用,实际上是 B 带电体的电场对 A 的作用。同样, B 受到 A 的作用,实际上是 A 带电体的电场对 B 的作用。

电场是一种物质,它跟其它物质一样,都是不依赖于我们的感觉而客观存在的东西,并且也都是在跟别的物体发生相互作用时表现出自己的特性。

电场的最基本的特性是它对放入其中的电荷发生力的作用,这种力叫做电场力。电荷在电场内的某一点上所受到的电场力,与电荷的电量 q 成正比,但同一电荷在电场内的不同点上所受到的电场力,可能各不相同。所以,电荷在电场内的某一点上所受到的电场力,不仅与电荷所带的电量 q 成正比,而且还与该点的电场强弱成正比,即

$$F = E \cdot q \quad (1-1)$$

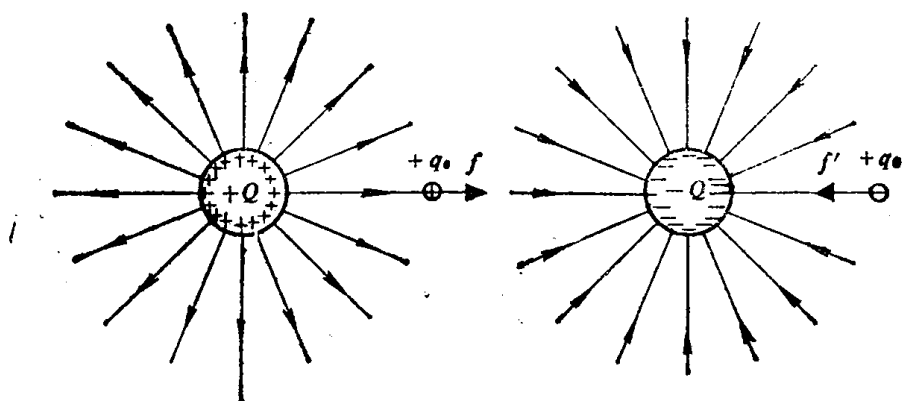
上式中的 $E = \frac{F}{q}$,称为电场强度。电场强度是描述电场内某点特性的物理量,它是一个向量*,其数值等于电场作用于该点的单位电荷上的力,其方向规定跟正电荷在该点受力的方向相同,跟负电荷在该点受力的方向相反。

电场强度的单位是牛顿/库仑。电场中的某点,如果1库仑的点电荷在该点受到的电场力是1牛顿,这点的电场强度就是1牛顿/库仑。

为了能够用图形把电场中各点电场强度的大小和方向形象地表示出来,通常用电力线来描绘电场。电力线上任一点的切线方向与这一点的电场强度方向相同,并使同电力线相垂直的单位面积中穿过的电力线根数,等于或正比于该点电场强度的数值。这样,根据电力线的密度和方向,就能直接看出电场的强弱和方向。图1-2是带电球体周围的电场,可以用许多条呈辐射状的电力线来描绘。

如果在电场内的所有各点上,电场强度的大小和方向都相同,这样的电场称为均匀电场。

* 既有大小又有方向的量叫做向量,例如力、速度等。



(a) 带正电球体周围的电场，电力线向外

(b) 带负电球体周围的电场，电力线向内

图 1-2 带正电和带负电球体周围的电场

在均匀电场里，既然各点电场强度的大小和方向都相同，电力线一定是疏密均匀的相互平行的直线。两块靠近的大小相等的互相平行的金属板，在分别带等量的正电荷和负电荷时，它们间的电场就是均匀电场，如图 1-3 所示。

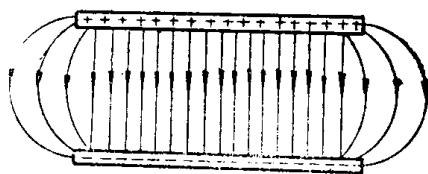
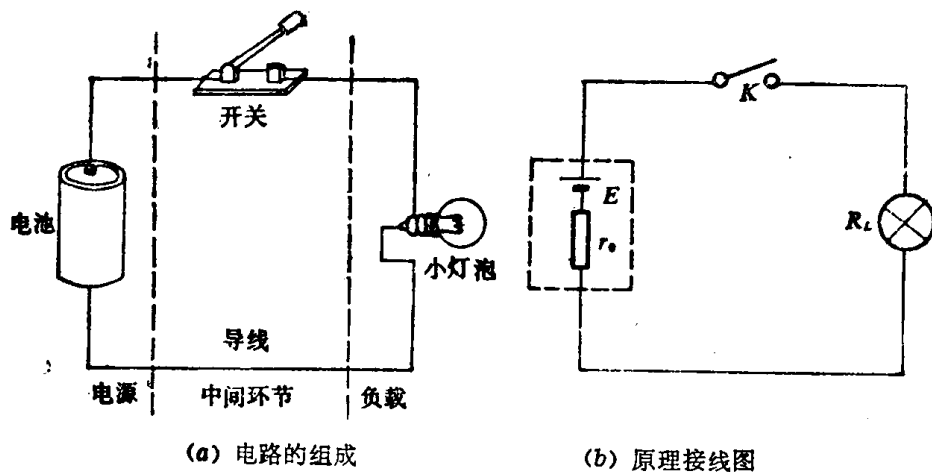


图 1-3 均匀电场

第二节 电路及其基本物理量

(一) 电路的组成及作用

电路就是电流流经的路径，它由电源、负载和中间环节三部分组成。图 1-4 画的就是一个最简单的电路。



(a) 电路的组成

(b) 原理接线图

图 1-4 电路图

电源：是产生电能的设备，即产生电流的源泉。常遇到的电源有蓄电池、发电机、整流

电源、太阳能电池、热电偶等。它们是把其它形式的能量转换为电能的设备。

负载：是消耗电能的设备。例如电灯、电加热器、电动机、电镀槽、扬声器等。它们是把电能转换为其它形式能量的设备。

中间环节：包括将电源与负载连接成闭合回路的导线、开关、熔断丝等。它们的作用是把电能安全而可靠地传送给负载。

实际工作中遇到的电路要比图 1-4 的电路复杂得多，但它们的基本组成部分都是相同的。一般把电源内部的通路称为内电路，由负载和中间环节构成的电路称为外电路，如图 1-4(a)所示。

由此看来，电路一般是指包括电能的产生、传送和运用的各种电气部件组合的总体。各种电路都可以用图形，即电路图表示出来。电路图分为装配图和原理接线图两种。装配图除了表示电路的实际接法外，还要画出有关电气设备的装置与结构，供安装时使用。例如图 1-4(a) 就是装配图。原理接线图只表示线路的接法，并不反映电路的几何尺寸和各元件的实际形状，所有电气设备都用规定的符号来表示，并按各个电气设备的实际运行状态，把它们用线条连接起来，例如图 1-4(b) 就是图 1-4(a) 的原理接线图。我们用符号 $\frac{1}{\text{E}}$ 表示电池的电动势；用 $\parallel r_0$ 表示电池的内阻；用 $\otimes R_L$ 表示小灯泡的电阻；用 $\frac{K}{\text{L}}$ 表示开关。金属导线的电阻与负载电阻相比很小，一般可以忽略不计。

电路的作用一是用来传递或转换电能，例如图 1-4 的金属导线把电源和负载连接成闭合回路，起着传递或转换电能的作用；二是用来实现信息的传递和处理，例如热电偶感受温度的变化，产生相应的电动势，通过导线传送到标尺刻有温度的毫伏表，指示出被测物体的温度值。

(二) 电路的基本物理量

1. 电流

电流是一种物理现象，即电荷有规则的定向运动。例如，金属导线中自由电子的定向运动，电解液中正负离子沿着相反方向的运动，阴极射线管中的电子流等，都是电流。

习惯上规定正电荷定向运动的方向为电流的方向，或称真实方向。在金属导体中电流的方向与自由电子运动的方向相反。在电解液中电流的方向与正离子运动的方向相同；与负离子运动的方向相反。

度量电流强弱的量称为电流强度，简称电流，所以电流这个词又代表了一个物理量，用符号 i 表示。电流强度在数值上等于单位时间内通过导体某截面的电量。设在极短的时间 Δt 内通过导体某截面的微小电量为 Δq ，则

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1-2)$$

如果在相同的时间间隔 t 秒内，单方向通过导体某截面的电量都等于 Q ，则式 (1-2) 可改写为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-3)$$

这里电流 I 是直流电流，或称恒定电流，简称直流。而式 (1-2) 表示的电流是随时间而变化的，我们将在第三章中讨论。

若电路中电流的大小和方向都不随时间而变化，这样的电路就是直流电路。

在国际单位制 (SI) 中，电流的基本单位是安培，简称安用符号 A 表示。如果每秒钟有 1 库仑 (即 6.24×10^{18} 个电子的带电量) 的电量通过导线的某一截面，这时的电流就是 1 安培，即

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

为了使用上的方便，常用的扩大和缩小单位，列写如下

$$\left. \begin{aligned} 1 \text{ 千安 (kA)} &= 10^3 \text{ 安 (A)} \\ 1 \text{ 毫安 (mA)} &= 10^{-3} \text{ 安 (A)} \\ 1 \text{ 微安 (}\mu\text{A)} &= 10^{-6} \text{ 安 (A)} \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

电流的大小，在电工实用上是用电流表来测量的。电流表又分为安培表、毫安表等。

上面已提到正电荷运动的方向就是电流的方向，但在实际电路中往往难以事先判断电流的真实方向，因此在分析与计算电路的过程中，常常任意假定某一方向为电流的参考方向 (也称正方向)，并用箭头标在电路图上。这里所选的电流参考方向不一定与电流的真实方向相符，经过分析计算，若电流为正值，则表示电流的真实方向与参考方向一致；若电流为负值，则表示电流的真实方向与参考方向相反。如图 1-5 所示。应当注意，在未规定参考方向的情况下，电流的正负是没有意义的。

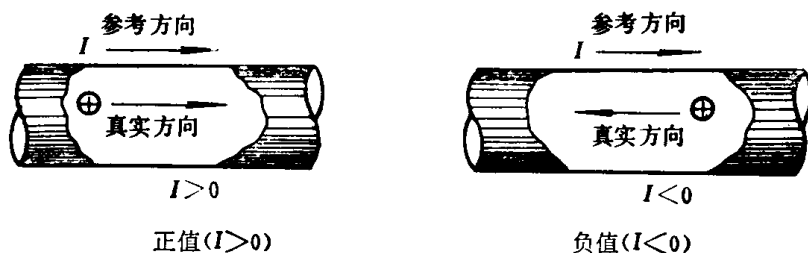


图 1-5 电流的真实方向与参考方向

本书电路图中所标的电流方向箭头是参考方向，不一定是电流的真实方向。

2. 电压和电位

我们知道，电荷在电场中会受到电场力的作用而做功，在图 1-6 中，极板 a 带正电，极板 b 带负电，因而 ab 间存在电场，如果用导线将两块极板与灯泡相连，则 a 极板上的正电荷在电场力的作用下从 a 经过灯泡移到 b ，于是形成了电流，灯泡发光，这说明电场力做了功。

为了衡量电场做功的能力，我们引入电压

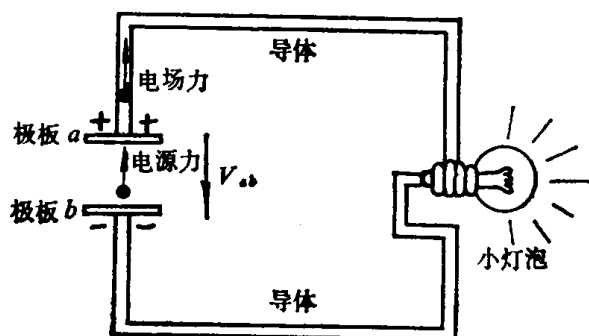


图 1-6 电荷在电场力作用下做功

这个物理量，其定义如下：

a 、 b 两点间的电压 v_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功，用公表示为

$$v_{ab} = \frac{\Delta W}{\Delta q} \quad (1-5)$$

式中 Δq 为由 a 点移到 b 点的电量； ΔW 为电场力移动电荷过程中所做的功。

在图 1-6 中，正电荷在电场力的推动下从 a 经过负载（灯泡）移到 b 时，就把电能转换成其它形式的能量（或者说电源损失了能量），所以正电荷在 a 点具有比 b 点更大的能量，我们把单位正电荷在电路中某点所具有的能量称为该点的电位，电位在数值上等于电场力将单位正电荷从该点沿任意路径移到参考点所作的功，也用符号 v 表示，例如 a 点电位用 v_a 表示， b 点电位用 v_b 表示，显然 $v_a > v_b$ 。由此可见，电场力对正电荷做功的方向就是电位降落的方向，因而我们规定电压的极性（真实方向）由高电位端指向低电位端。在图 1-6 中，高电位 a 端用“+”表示，低电位 b 端用“-”表示，图中用箭头表示电压的方向从 a 指向 b 。上述分析表明，电压和电流的方向是一致的（都与正电荷运动的方向一致）。

在电路中某两点间的电压也称为电位差，即

$$v_{ab} = v_a - v_b \quad (1-6)$$

对直流电路来说，在电场力的作用下在同样的时间间隔内有一相同的电量 Q 流过导体，其任意两点 a b 之间的直流电压 V_{ab} ，根据式 (1-5) 可写成

$$V_{ab} = \frac{W}{Q} \quad (1-7)$$

式中 W 为电量 Q 从高电位端 a 移到低电位端 b 电场力所做的功。

在电路图上所标的电压方向也是参考方向（参考极性），当两点间电压的真实方向（实际极性）不易判断时，我们可以任意假定电压的参考方向，当电压的真实方向与参考方向一致时，则电压为正值；不一致时，电压为负值。在图 1-7(a) 中，电压的参考方向（实线所示）与真实方向（虚线所示）一致，电压为正值；在图 1-7(b) 中，两者方向不一致，电压为负值。同样应注意，在未规定参考方向的情况下，电压的正负是没有意义的。

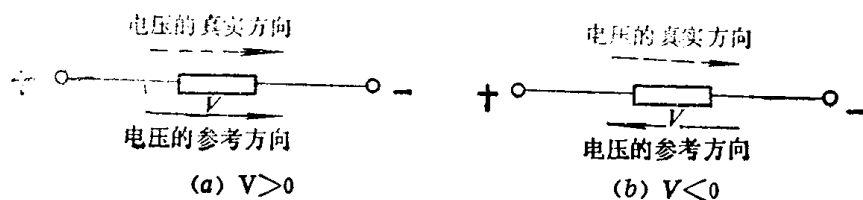


图 1-7 电压的真实方向与参考方向

就象以海平面作为计算物体所处高度的参考点一样，计算电位时也要先指定电路中某一点为参考点，参考点的电位常规定为零，这样电路中其它各点的电位才可用数值来表示。比参考点高的电位为正，比参考点低电位为负。不指定参考点来讨论电位是没有意义的。因为电压的定义就是电位差，所以以零电位点为基准的某点电压就称为该点的电位。原则上参考点（零电位点）可以任意选定，但习惯上认为大地的电位为零，这是因为大地容纳电荷的能

力极大，它的电位很稳定，不会因局部电荷量的变化而影响它的电位高低。有些用电设备的机壳是需要接地的（在电路图中用符号“⊥”表示），这时凡与机壳连接的各点均为零电位；有些设备的机壳虽然不一定和大地连接，但有很多元件都要汇集到一个公共点（在电路图中用符号“⊥”表示），为了分析方便起见，可规定这一点为参考点（零电位点）。

在国际单位制（SI）中，电压、电位的基本单位是伏特，简称伏，用符号V表示。如果电场力把1库仑的正电荷从a点移到b点所作的功为1焦耳(J)，则a、b之间的电压为1伏特。为了使用上的方便，常用的电压大小单位表示如下：

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ 千伏(kV)} = 10^3 \text{ 伏(V)} \\ 1 \text{ 毫伏(mV)} = 10^{-3} \text{ 伏(V)} \end{array} \right\} \quad (1-8)$$

3. 电源电动势

在电场力的作用下，正电荷总是从高电位端经过负载向低电位端移动形成电流，如图1-6所示。但当正电荷从a移到b时，就要与b极板上的负电荷中和，使极板间的电场逐渐消失，电流就要中断。要使电流不断地维持下去，就必须在a、b极板之间有一种力（非电场力），它能源源不断地把正电荷从低电位端b（电极b）搬到高电位端a（电极a），使a、b间始终维持一定的电场强度，电流才不会中断。电源就能完成这个任务，在图1-6中，其电源是一个电池，由于电池内部的化学反应产生一种外力，能把正电荷从电池内部的负极b移到正极a，我们把这种力称为电源力。

电源力源源不断地把正电荷在电源内部从低电位端搬到高电位端，必须克服电场的阻力而做功，这和我们把重物从低处搬到高处需克服重力场的阻力而做功是相似的。为了衡量电源力做功的能力，我们引入电动势这个物理量，其定义如下：

电源力（非电场力）推动单位正电荷从电源的低电位端经电源内部移到高电位端所作的功称作电源电动势。电动势E用下式表达

$$E = \frac{W}{Q} \quad (1-9)$$

式中Q是在电源内部被电源力移动的电量，W是电源力所做的功，即电荷Q获得的能量。将式(1-9)与式(1-7)比较，可以看出电动势与电压具有相同的单位，如果电源内的非电场力把1库仑正电荷从低电位端移到高电位端所作的功是1焦耳，则电源电动势在数值上为1伏特。电动势与电压虽然单位相同，但它们的物理概念是不同的。

我们规定电动势的方向在电源内部由低电位端指向高电位端，为电位升的方向。在一个电源中（例如电池），非电能（例如化学能）将正电荷从电源的负极送到正极作了功，使正电荷获得了电能，电位升高了，因此电动势的方向是从电源的负极指向电源的正极。在电路图中用图1-8所示的符号表示电源。图(a)表示一般的电源，图(b)表示干电池或蓄电池之类的直流电源，其中“+”、“-”表示电源的正、负极，箭头表示电动势的方向。

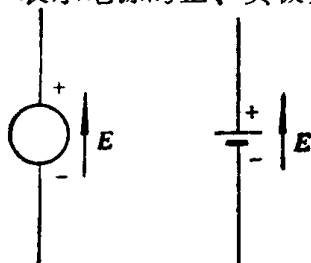


图 1-8 恒定电动势电源的符号