

电 工 学

上 册

DIANGONGXUE

北京工业学院沈世锐主编

中央广播电视大学出版社

电 工 学

上 册

北京工业学院 沈世锐主编

*

中央广播电视大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 14.5 千字 322

1984 年 12 月第 1 版 1985 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—154,000

书号: 13300·28 定价: 2.10 元

目 录

前言	(1)
绪论	(2)
第一章 电路的基本分析方法	(5)
§ 1-1 电路的组成及其基本物理量	(5)
§ 1-2 电压源及电流源	(16)
§ 1-3 电路的状态	(18)
§ 1-4 电路的基本定律	(22)
§ 1-5 电阻的串联和并联	(30)
§ 1-6 支路电流法	(35)
§ 1-7 迭加原理	(39)
§ 1-8 电源的串、并联等效化简及变换	(42)
§ 1-9 戴文宁定理	(47)
§ 1-10 电路中各点电位的计算	(51)
学习指导	(53)
习题一	(56)
第二章 正弦交流电路	(64)
§ 2-1 正弦交流电的特征及表示法	(65)
§ 2-2 正弦交流电量的矢量分析法	(73)
§ 2-3 正弦交流电的相量分析法	(77)
§ 2-4 单一参数的交流电路	(83)
§ 2-5 RLC 串联电路	(100)
§ 2-6 $R-L$ 和 $R-C$ 的并联电路	(107)
§ 2-7 交流电路的功率	(112)
§ 2-8 功率因数的提高	(117)
§ 2-9 谐振电路	(122)
学习指导	(130)
习题二	(133)
第三章 三相正弦交流电路	(138)
§ 3-1 概述	(138)
§ 3-2 三相电源	(138)
§ 3-3 负载的连接	(142)
§ 3-4 三相电路的计算	(144)
§ 3-5 三相电路的功率	(154)
学习指导	(158)

习题三	(159)
第四章 非正弦交流电路	(161)
§ 4-1 非正弦周期波的合成与分解	(162)
§ 4-2 线性非正弦交流电路的计算	(165)
* § 4-3 非正弦周期量的平均值和有效值	(167)
学习指导	(169)
习题四	(170)
第五章 电路中的过渡过程	(173)
§ 5-1 概述	(173)
§ 5-2 换路定律及储能电路初始值的确定	(176)
§ 5-3 RC 电路的过渡过程	(178)
§ 5-4 微分电路与积分电路	(191)
* § 5-5 RL 电路的过渡过程	(193)
学习指导	(198)
习题五	(199)
第六章 变压器	(202)
§ 6-1 概述	(202)
§ 6-2 变压器的类别和构造	(205)
§ 6-3 变压器的工作原理	(206)
§ 6-4 变压器的作用	(212)
§ 6-5 变压器的额定值	(215)
* § 6-6 自耦变压器	(218)
§ 6-7 变压器的同名端和连接	(219)
学习指导	(220)
习题六	(222)

(“*”号为选学内容)

前 言

本书是中央广播电视大学理工科非电类各专业电工学课程的试用教材, 亦可供各类大专院校、职工大学、函授大学等非电专业学习电工学作教学参考之用。

全书分上、下两册。上册包括直流电路、单相交流电路、三相交流电路、非正弦交流电路、电路中的过渡过程和变压器六章。下册包括异步电动机、直流电动机、异步电机的继电—接触控制、半导体二极管及整流电路、半导体三极管及交流放大器、正弦波振荡器和直流放大器七章。

全书授课计划为 110 学时, 其中电视讲授 80 学时, 实验 30 学时。

鉴于电大教学的特点, 我们在编写中考虑到既要坚持少而精的原则, 又要便于学员自学, 因此本书力求作到通俗易懂、物理概念清楚、并尽量按教学大纲要求精选内容, 在顺序上, 与电视讲课配合一致。每章书后附有学习指导, 介绍学习目的、重点和要求。除此, 每章均附有习题, 其中包括思考题和计算题。

参加本书编写工作的有北京工业学院沈世锐(编绪论、第二、三、六、七、八章), 刘蕴陶(编第一、九、十二、十三章); 中央广播电视大学李立群(编第四、五章), 李西平(编第十、十一章)。

全书由北京工业学院沈世锐担任主编。

本书由大连工学院蒋德川教授及刘志秀同志审阅, 他们对本书初稿提出了许多宝贵的意见, 谨此表示感谢。

由于我们水平有限, 加上编写时间仓促, 书中可能存在不少缺点和错误, 敬请读者批评指正。

编者

1984 年 9 月

绪 论

随着四个现代化的不断发展,我国的工业、农业、国防、科学技术等各个领域,以及人们的日常生活,都愈来愈广泛地应用电能。当今研究电能应用的电工技术,已经成为发展现代社会物质生产的基础技术、提高人民生活水平的重要手段。

电能之所以得到广泛地应用,主要由于电能比其它形态的能量具有更多的优点。

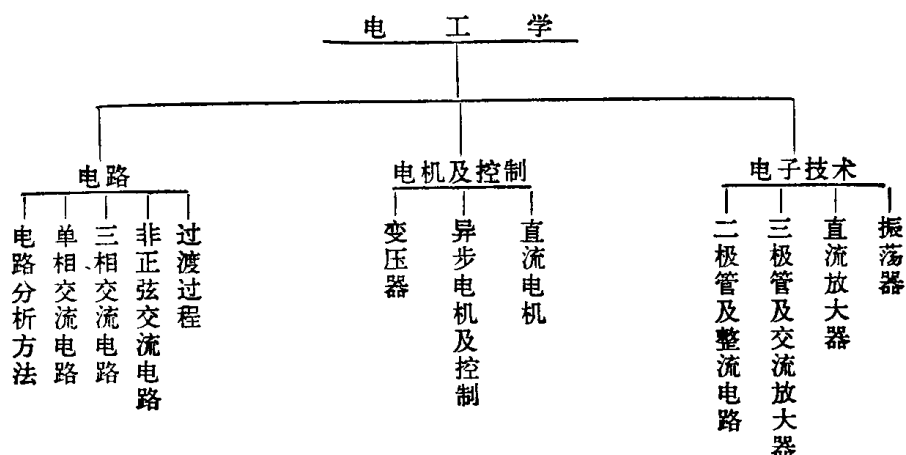
首先,电能易于转换,它既可很方便地由其它形式的能量,如热能、水能、光能、原子能等转换得到,又可很方便地转换成其它形式的能量,如机械能、热能、光能等,而且利用变压器可以很经济地把电能从发电站经过远距离输送到各个用电部门。加之电能使用便利,控制容易,易于实现远距离控制和自动化。

电能之所以优越于其它形式的能量,还在于 60 年代以来,电子技术飞速发展和电子计算机技术的普遍应用,它们为信息的传递、转换和处理,创造了良好的条件。

现在电能的应用已经深入到机械、建筑、运输、农机、矿冶、化工、轻工、医疗、企业管理等各行、各业中去。为了促进生产的发展,从事上述各个非电专业的技术人员,都应该具备最基本的电工和电子方面的知识。

《电工学》就是专为理工科非电类专业开设的一门实践性较强的公共技术基础课。通过本课程的学习,可使非电专业学员获得最必要的基本理论,基本知识和基本技能,为以后学习专业课和毕业后从事工程技术工作,在“电”的方面打下初步基础。

《电工学》由电路、电机和控制以及电子技术三大部分组成。详见下表。



电路部分是全课程的基础,重点介绍电路分析方法(即电阻性直流电路)和单相交流电路中最基本的概念、定律、原理、分析方法和应用,这些内容既为本课后续章节的电机和电子学部分提供必要的知识,也为今后学习有关后续专业课程打下基础。

电机及控制部分重点介绍各专业广泛应用的变压器和异步电机等。各章内容的阐述主要从

基本原理、物理概念和实际应用等方面出发,尽量避免过深、过繁的数学推导,以期能达到在理解原理的基础上学会正确使用这些电机电器。

电子学是近年来电工技术发展较快的领域,在全课中电子技术部分所占比重较大,内容较多。这部分的重点在交流和直流放大电路。对于元、器件,主要是搞清楚外部特性和功能,内部物理过程只作简要说明。希望通过本部分的学习能使同学们掌握主要电子线路的基本原理和应用。

本课程尽管教学内容大都与电专业的《电路分析基础》、《电机与拖动》及《模拟电子技术》等课相似,但在要求上,深广度上及计算方法上是有区别的,侧重点也不相同。《电工学》更侧重稳态分析、定性分析、近似计算、工程实用知识等方面。对于定律,非特殊需要,一般不作证明。总之内容比电专业所学上述课程要少些、浅些,但又是非电专业学员必须掌握的基本内容。

下面谈谈学好《电工学》应注意的几个问题:

1. 本课与先修课的关系

学习本课程需要掌握一定的高等数学和大学普通物理的知识,因此应在学完这两门课之后,再学本课。

为避免不必要的重复,本课程对数学中已学过的行列式、复数、微积分、微分方程等内容;物理中已学过的电场、磁场、欧姆定律、电磁感应定律、基本物理量的定义及测量等内容均不复述,但是这些内容在电工学的教学中经常直接引用,希望学员们预先复习。

2. 本课与实验环节的关系

本课是一门实践性很强的技术基础课,实验是电工学不可缺少的组成部分。非电专业学员对电工学的理解及两个能力的培养,经常要通过实验手段或实际使用电工仪表或电子仪器等具体设备来学习和提高,因此加强实验环节的教学和实验技能的训练是十分必要的。

电工学实验的目的一般说有以下三点:

- (1) 培养学生的基本技能。
- (2) 验证理论、巩固和加深对理论的理解。
- (3) 培养学生科学实验的能力和养成严谨的科学作风。

其中在实验技能方面,希望达到以下基本要求:

- (1) 学会使用最常用的电工测量仪表、电机和电器及电子仪器等设备。
- (2) 能按实验要求连接和操作实验线路。
- (3) 会读取实验数据,测绘波形曲线,分析实验结果,编写实验报告。
- (4) 能初步阅读简单的电气和电子设备的原理电路图。
- (5) 具有一定的安全用电常识。

3. 本课与习题的关系

为了巩固和加深所学基本概念和基本理论,培养学生分析问题的能力,训练必要的计算技能,在电工学的各章里都布置了一定数量的练习题,做好练习题是学好电工学的关键一环,特别是电工学电路部分的习题,一定要认真及时地作好,不得短缺。

在计算技能方面要求同学达到

(1) 能计算直流电路, 会用相量法计算简单正弦交流电路和对称三相交流电路。能用相量图分析正弦交流电路的问题, 但不要求对复杂的交流电路作熟练运算。

(2) 能看懂并应用电动机的产品目录、铭牌、数据, 能查阅一般的电工手册。

(3) 能估算常用典型晶体管电路, 能查阅半导体器件手册。

(4) 作业要求书写整洁, 答数准确(要求有效位数准确到三位数), 符号、单位正确。

本课的习题包括两种类型。

(1) 复习参考题: 这类题目, 有的很简单, 有的与书中某部分内容或某例题相近, 但思考性、概念性较强, 要求同学们自己练习, 一般不要求交给教师。

(2) 必做题, 这类习题要求及时演算并交给辅导教师批改。做题时可参考教材中的例题, 但要注意掌握做题的思路、方法、工程语言的使用、数值计算和单位的正确。切忌不动脑筋, 死套公式。必做习题一定要自己独立、按时完成。

如果学员们在完成必做习题之后, 尚有余力和兴趣, 还可在各章附的习题里挑选相应的题目演算, 以加深对本课的理解和运算能力的培养, 这部分我们不作具体要求。

最后必须指出: 本课程内容面广, 学时紧, 要学好本课, 除按上述要求去做外, 还应注意听讲、刻苦钻研、努力自学, 有为做好本专业工作而努力学习的决心, 有为四化献身的精神, 才能克服学习中的困难, 专心致志学好本课程。

第一章 电路的基本分析方法

本章将在《物理学》中电学部分有关内容的基础上,讨论电路的基本分析方法。它所介绍的有关电路的基本概念、基本定律、计算方法,以及等效变换的概念,都具有普遍的适用意义,并且贯穿于《电工学》的全部内容。可以说,本章具有承上启下的作用,是整个课程的基础,地位十分重要。

本章包括如下几个方面的主要内容:电路的组成及基本物理量;电路的状态及额定值;电路的基本定律——克希荷夫定律;支路电流法;迭加原理;电源的简化和等效变换;有源二端网络的等效变换;电位的计算。

§ 1-1 电路的组成及其基本物理量

一、电路的基本组成部分

日常生活和生产中的用电常识告诉我们,要用电,就离不开电路;要使电灯发光照明,要使电炉发热,要使电动机转动,……都必须用导线将电源、用电设备连接起来,组成电路。随着科学技术的发展,电的应用越来越广泛,电路的形式也是多种多样的。但是,不管电路的具体形式如何变化,也不管有多么复杂,电路都是由一些最基本的部件组成的。例如,我们在日常生活中最常用的手电筒电路就是一个最简单的电路,它的组成,体现了所有电路的共性。现将手电筒电路简化表示于图 1-1(a)。

组成电路的基本部件是:

电源:如手电筒电路中的干电池,它是电路中电能的来源。电源的本质是将其它形式的能量转换成为电能。例如电池将化学能转换成为电能、发电机将机械能转换成为电能,等等。

负载:用电设备叫负载,它将电能转换成其它形式的能量。例如手电筒中的灯泡就是负载,它将电能转换为光能。其它用电设备,如电动机将电能转换为机械能,电阻炉将电能转换为热能,等等。在直流电路中,负载主要是电阻性负载,它的基本性质是当电流流过时呈现阻力,即有一定的电阻,并将电能转换成为热能。

中间环节:主要是指连接导线和控制电路通断的开关电器,它们将电源及负载连接起来,构成电流通路。此外,中间环节还包括有关的保障安全用电的保护电器(如熔断器等)。

所有电路从本质上来说,都是由以上三个部分组成的。因此,电源、负载、中间环节总称为组成电路的“三要素”。所谓电路,就是由电源、负载及中间环节等电工设备组成的总体,是电流流通的闭合路径。

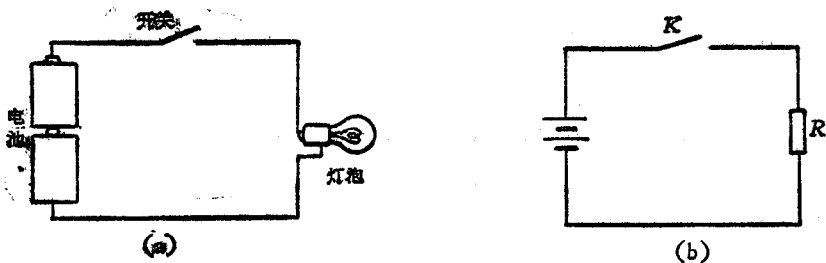


图1-1 电路的组成

构成实际电路的电路元件是多种多样的。我们在分析、研究电路问题时,不可能、也没有必要把这些元件直接表示在电路中,而是采用一些电路符号来表示。这些电路符号表示了同类型元件电气性能的一般性和普遍性。例如,在直流电路中的负载:白炽灯、电阻炉、……的基本性质是电阻性质,因此,直流电路中的负载均采用电阻符号表示,并标以“ R ”。电池的表示符号则是 $\begin{array}{|c|} \hline | \\ \hline | \\ \hline \end{array}$, 一般直流电源的符号是 $\oplus$ 。前面提到的手电筒电路对应表示在图 1-1 (b)中。

电路的基本作用是进行电能与其它形式能量之间的转换。根据其侧重点的不同,主要有如下两方面的具体功能。第一、电能的传送、分配与转换。例如,电厂的发电机生产电能(电流),通过变压器、输电线等送到用电单位,并通过负载把电能转换成为其它形式的能量(如机械能等)。这就组成了一个十分复杂的供电系统——电路。我们在本书第二篇中所介绍的电路就是这种功能的典型运用。第二、进行信息的传递和处理,即通过电路将输入的电信号进行传送、转换或加工处理,使之成为满足一定要求的输出信号。例如生产和科研中使用的电子自动控制设备、测量仪表、电子计算机,以及日常生活中使用的电视机、收音机等电子电路。这方面的内容我们将在本书的第三篇中介绍。

除了“电路”之外,我们还经常遇到“网络”这个名词,这是两个既有一定区别、又有时通用的名词。通常网络的涵义更具有普遍的适用性,特别是在讨论普遍规律及复杂的电路问题时,常常把电路称作网络。而在讨论比较简单或者是某一具体电路时,则比较多地使用“电路”这个名词。所以可以认为,网络是电路的泛称。总之,这两个名词意义相近,有时通用。

二、电路中的基本物理量

既然电路的作用是进行电能与其它形式能量之间的相互转换的。那么,就必须用一些物理量来表示电路的状态及电路各部分之间能量转换的相互关系,以便分析、计算。这些物理量主要是电流、电位和电压、电动势、电功率。虽然,我们在《物理学》中已经学习过、并初步了解了这些物理量,但是因为它们是分析与计算电路的基础、贯穿《电工学》的全部内容,所以有必要对这部分内容进行复习。同时还应该注意本课程的特点:第一,在正确理解和掌握概念的基础上,着重于物理量在电路中、特别是在实用电路中的应用与计算。第二,有关物理量还有一个正方向(参考方向)问题,这是一个新概念,也是一个十分重要的概念。同学们应认真领会,切实掌握好。

1. 电流

(1) “电流”有两个涵义

第一、电流表示一种物理现象：电荷有规则的运动就形成电流。通常在金属导体内部的电流是由自由电子在电场力作用下运动而形成的。而在电解液中(如蓄电池)，或者被电离后的气体导电过程中，电流是由正、负离子在电场力作用下，沿着相反方向的运动而形成的。负电荷的运动效果与等量正电荷在相反方向上的运动效果是相同的。

第二、电流的大小用电流强度来表示。电流强度是指在单位时间内通过导体横截面的电荷量。如果电流是随时间变化的，则可用微变量表示：假设于 dt 时间内通过导体横截面的电量为 dq ，则

$$\text{电流强度} \quad i = \frac{dq}{dt}$$

所以说，电流强度就是流过导体横截面的电荷量对时间的变化率。如果电流的大小和方向都不随时间变化，则称为恒定电流，简称直流，这时的电流强度规定用大写字母 I 表示，则

$$I = \frac{q}{t}$$

q 是 t 时间间隔内通过导体横截面的电荷量。

电流强度平时多简称电流，所以电流又代表一个物理量。这是“电流”的第二个涵义。

电流这个物理量的单位是安培(库仑/秒)，简称“安”，用大写字母“A”表示(国际单位制——SI)。根据不同的负载情况，电流大小的差别很大。动力用电机的电流达到几十甚至上百安培，而三极管等电子电路中的电流则常常只有百分之几、甚至千分之几安培。对于较小的电流可以用毫安(mA)或微安(μ A)作单位，它们的关系是：

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

(2) 电流的真实方向和正方向

如上所述，电荷的有规则移动形成了电流，而形成电流的电荷可能是正电荷(如正离子)，也可能是负电荷(如电子或负离子)。于是电流就有一个方向问题，而且在物理学中有关电流方向的规定是普遍适用的，即习惯上总是把正电荷运动的方向作为电流的方向。例如在图 1-2 中所表示的，一段金属导体中的自由电子在电场力的作用下由 B 向 A 运动，其效果与等量正电荷自 A 向 B 运动是相同的。我们就说，导体中电流的方向是从 A 到 B ，这就是电流的真实方向或实际方向。

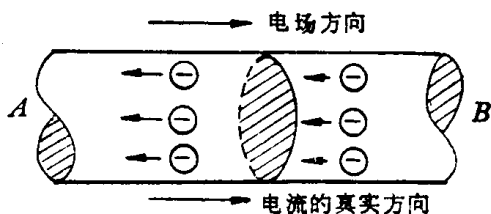


图 1-2 电流的真实方向

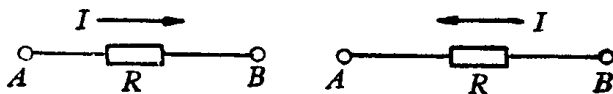


图 1-3 电流两种可能的真实方向

在实际电路的任何一段导体中, 电流的真实方向都有两种可能, 如图 1-3 所示。图中的箭头表示该段电路中电流可能的实际方向。在简单电路中, 电流的真实方向能够很容易地通过电源或电压极性确定下来。但是, 在比较复杂的电路中, 一段电路里电流的真实方向往往很难预先确定下来。另外还有一种情况, 就是在我们大量使用的交流电路中, 电流的大小和方向都是随时间变化的(这方面的内容将在下一章中介绍)。这时, 电流的方向又怎样表示呢? 因此, 根据分析与计算电路的需要, 我们引入了电流参考方向的概念, 参考方向又叫假定正方向, 简称正方向。

所谓正方向, 就是在一段电路里, 在电流两种可能的真实方向中, 任意选择一个作为标准, 或者说作为参考。当实际的电流方向与它相同时, 是正值; 相反时, 就是负值。在图 1-4 中, 实线箭头是选定的正方向, 虚线箭头表示的是该段电路中电流的真实方向。其中(a)图表示的电流真实方向与正方向一致, I 是正值; (b)图表示的是二者相反的情况, 电流 I 是负值。

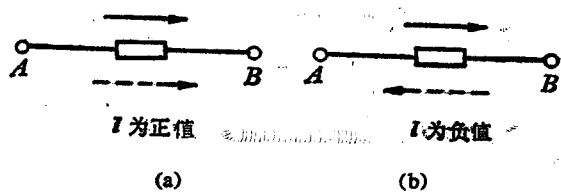


图 1-4 电流的正方向

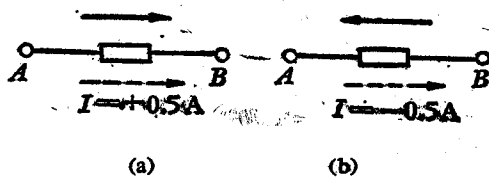


图 1-5 电流正、负值的讨论

从另一个角度看, 同一个电流, 例如其大小为 0.5A , 可以因选取正方向的不同, 或者是正值, 或者是负值。在图 1-5(a)中选定的正方向之下(用实线箭头表示), 电流 $I = +0.5\text{A}$, 在图 1-5(b)中选定的正方向之下, 电流 $I = -0.5\text{A}$ 。但是, 它们实际上是同一个电流。

从这里我们可以得出如下的结论: 电流的正方向与它的真实方向是两个不同的概念, 不能混淆。①电流的真实方向是一种客观存在, 不能任意选择。电流的正方向则是分析、计算电路的一种方法和手段, 更确切地说, 是用来确定电流真实方向的方法和手段。这种方法和手段在其它学科中也是经常使用的, 例如在数学中需要对数轴或坐标轴规定一个正方向, 才能正确地表示一个数或函数的图象。在物理学中, 对温度、作用力与反作用力也需要事先规定一个标准。这样, 温度的正、负, 力的正、负, 才有明确的意义。同样, 电流的正方向也是我们事先规定的分析问题的标准, 它可以是任意选择的。②一个直流电路确定之后, 电路中各部分电流的真实方向也就全部确定了, 它不受正方向的影响。但是, 在规定了正方向之后, 电流是一个代数量: 可正、可负。从另一个角度说, 某一个电流是正、还是负, 都是相对于某一个确定的正方向来说的。否则, 正或负就没有意义了。总之, 某段电路的电流的正方向被确定了, 该电流的正、负值也确定了, 这二者结合, 使该段电流的真实方向也就被确定了。例如在图 1-6 所示的电路中, 箭头表示电流正方向, 且 $I = -1\text{A}$ 。据电流为负值可知, 电流的真实方向与假定方向相反, 是从 A 流向 B 的。③一段电路里电流的正方向虽然是可以任意选定的, 但是在可能条件下, 总是尽量使正方向与真实方向相一致。尤其重要的一点是, 电流的正方向一经确定, 在整个分析与计算过程中就必须以此为准, 不允许再更改了。今后在电路图中, 所标注的电流方向一般都是正方向。如有例外, 则应作特殊说明。

对于电流和其它物理量正方向的重要性,在分析简单电路时,我们往往体会不深刻,因为这时电流等物理量的真实方向是很容易确定的。但是,在分析和计算复杂电路及交流电路时,正方向的重要性就是显而易见的了,它是分析、计算电路的基础。所以,从一开始,我们就应正确建立正方向的概念,并逐步掌握和熟练运用之。

2. 电压及电位

(1) 电压

如上所述,电荷在电场力作用下运动形成电流,在这个过程中,电场力推动电荷运动做功。为了表示电场力对电荷做功的本领,我们引入了“电压”这个物理量。

电路通电之后,可以近似看作是限定在一定空间之内的电场。在图 1-7 所示的一段电路中,设正电荷 dq 从 A 运动到 B 时,电场力做的功是 dA , 则 A 、 B 两点之间的电压用 v_{AB} 表示

$$v_{AB} = \frac{dA}{dq}$$

从数值上看, A 、 B 之间的电压就是电场力把单位正电荷从 A 移动至 B 时所做的功。在国际单位制中,电荷 dq 的单位是库仑(C), 功的单位是焦耳(J), 则电压的单位是伏特(V)。作为辅助单位有千伏(kV)及毫伏(mV)、微伏(μ V)。

$$1(\text{kV}) = 10^3(\text{V}) \quad 1(\text{mV}) = 10^{-3}(\text{V})$$

不随时间变化的电压是直流电压,规定用大写字母“ V ”来表示。前面用过的小写字母“ v ”用来表示交变电压。

(2) 电位

电位在物理学中被称为电势,它是表示电场中某一点性质的物理量,而且是相对于确定的参考点来说的。

电场中某点 A 的电位在数值上等于电场力将单位正电荷自该点沿任意路径移动到参考点所做的功。 A 点电位用 V_A 表示。将电位与电压的概念进行比较,可以看出,电场中某点的电位就是该点到参考点之间的电压。电位的单位也是伏特。且规定参考点的电位为零,所以参考点又叫零电位点。

对于电位这个概念来说,参考点是至关重要的。第一、电位是一个相对的物理量,不确定参考点,讨论电位就是没有意义的。第二、在同一个电路中,当选定不同的参考点时,同一点的电位是不同的。那么,应该如何确定参考点呢?原则上说,可以任意选定。在物理学中,选择无限远处或大地作为参考点。而在电工学中,如果所研究的电路里有接地点,通常就选择接地点作为参考点,用符号 $\perp$ 表示。以大地电位为零,这是因为大地容纳电荷的能力很大,它的电位很稳定,不会因为局部电荷量的变化而影响大地电位的高低。在电子电路中常取若干导线的交汇点或者机壳作为电位的参考点,并标以符号 $\perp$ 。在一般的原理性电路中,可选取多条导线汇集的公共点作为参考点。必须注意,在研究同一问题时,参考点一经选定,其余各点电位也就是确定

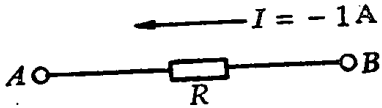


图 1-6 电流真实方向的确定

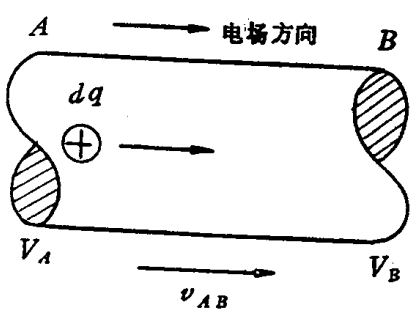


图 1-7 电压的概念

的了,参考点也就不能再更改了。第三、在一个电路中,参考点确定之后,则电路中其余各点的电位就都有唯一、确定的数值,这便是电位的单值性原理,它是电路的重要性质之一。

(3) 电压的正方向

在实际使用中,仅仅知道两点间的电压数值往往是不够的,还必须知道这两点中哪一点电位高、哪一点电位低。例如,对于半导体二极管来说,只有其阳极电位高于阴极电位时才导通;对于直流电动机来说,绕组二端的高、低电位不同,电动机的转动方向可能是不同的。由于实际使用的需要,要求我们引入电压的极性、即方向问题。

电压与电位都是描述电场力对电荷做功能力的物理量,所以这两个概念都是与能量相联系的。根据不同电路的不同情况,正电荷自某点移动到另一点可能是吸收电能,也可能是消耗电能,正是根据这两种不同的情况,我们引入了电压正方向的概念。电压的正方向又叫电压的极性。

首先介绍什么是电压的实际方向。

设某一段电路中有 A 、 B 两点,正电荷自 A 移动到 B , 电场力做正功。表明这段电路是吸收电能的,而且,正电荷在 A 点时比在 B 点具有更高的电能。相对来说, A 点是高电位点, B 点是低电位点(图 1-8)。

在电工学中规定,一段电路上,电压的实际方向是由高电位点指向低电位点。也就是说,沿着电压的实际方向,电位是逐点降低的。正电荷沿着这个方向运动,将失去电能,并转换成为其它形式的能量。

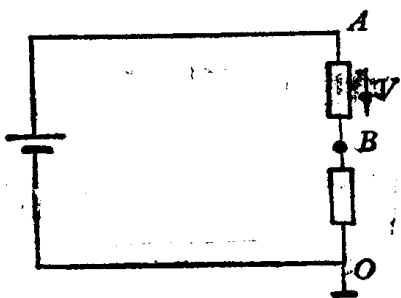


图 1-8 电压的实际方向

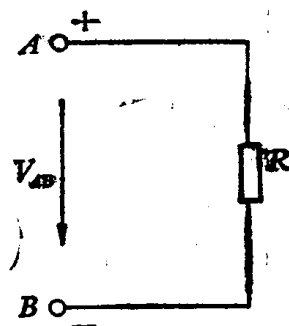


图 1-9 电压的正方向

下面介绍电压正方向、即参考方向的概念。

在分析和计算电路问题时,如同需要为电流规定正方向一样,也需要为电压规定一个正方向。例如,当某一段电路电压的实际方向难以确定时,或者该段电压的极性是随时间不断变化的,我们就可以任意规定该段电路电压的正方向。如在图 1-9 中,规定 A 点为高电位点,标以“+”号, B 点相对于 A 点是低电位点,标以“-”号,即假定这一段电路电压的正方向是从 A 点指向 B 点。当电压的实际方向与事先假定的正方向一致时,为正值;不一致时就是负值。这表明,在引入了正方向之后,电压是一个代数量。

电压的正方向根据习惯,可以用三种方法表示:

用“+”、“-”符号分别表示假定的高电位端和低电位端。

用箭头的指向来表示,它由假定的高电位端指向低电位端。

用双下标字母表示。如在图 1-9 中,假定 AB 段电压的正方向是从 A 指向 B ,则给电压符号 V 加双下标 AB ,即用 V_{AB} 表示:第一个下标字母 A 表示假定的高电位点,第二个下标字母表示假定的低电位点。

这三种方法所代表的意义是相同的,可以相互通用,实际使用时可以任选一种。

同一段电路的电压相对于不同的正方向可能是正值,也可能是负值。如图 1-10 中,(a)图规定电压正方向是从 A 指向 B ,且得 $V_{AB} = +110\text{V}$,电压的这个正值表明该段电压的实际方向与图示正方向一致: A 点确实是高电位点, B 点确实是低电位点。对于这一段电路,若选取相反方向为正方向,如图 1-10(b)所示,则 V_{BA} 必定等于 -110V 。表明这段电压的实际方向与规定的正方向刚好相反。

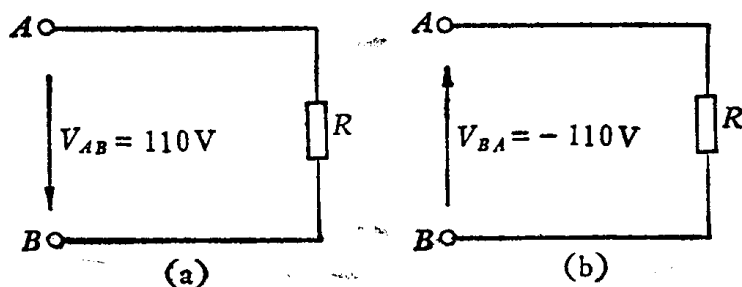


图 1-10 电压的正值与负值

通过以上的分析可知,如同规定电流的正方向一样,电压的正方向也是在分析与计算电路问题时人为引入的,它与电压的实际方向是两个不同的概念。但是,对于某一段电路来说,借助于规定的正方向及电压的正值或负值,能够很容易地确定出这一段电压的实际方向。

电压的正方向原则上可以任意选取。

(4) 电位与电压

对于电位与电压这两个概念,我们既要看到它们之间的区别,又应看到两者在本质上是相同的。

电路中某点的电位就是该点到参考点之间的电压。电路中两点之间的电压就是这两点的电位之差。例如在图 1-8 中选取电源负极 O 点作为参考点,则 A 、 B 二点的电位分别是 V_A 和 V_B , A 、 B 两点之间的电压 V_{AB} 就是 $(V_A - V_B)$ 。因此,电压又叫电位差。电压(电位差)与参考点的选取是无关的。

3. 电动势

(1) 电动势的概念

电动势是表示电源性质的物理量。

在图 1-11 所表示的一个完整电路中,在电源以外的部分电路,正电荷总是从电源正极流出,最后流回电源负极。就是从高电位点流向低电位点,这是电场力推动正电荷做功的结果。为了要在电路里保持持续的电流,就必须使正电荷从电源负极、经过电源内部,移动到电源正极。大家知道,在电源内部,存在着某种非电场力,例如电池内部因化学作用而产生的化学力、发电机内

部因电磁感应作用而产生的电磁力,等等。这些非电场力又叫局外力、电源力,它能够把正电荷自电源负极移动到正极。在这个过程中,电源把其它形式的能量转换成为电能。总结以上的讨论,可知:在电源内部电流(正电荷)从低电位点(负极)流向高电位点(正极),非电场力做功,正电荷的电位能增加。在外电路,电流从高电位点流向低电位点,正电荷的电位能减少。为了表征电源内部非电场力对正电荷做功的能力,或者说,电源将其它形式能量转换成为电能的本领,我们引入了电动势的概念。电动势在数值上等于非电场力把单位正电荷从负极经电源内部运动到正极时所做的功。根据这个定义,电动势的单位自然也是伏特。

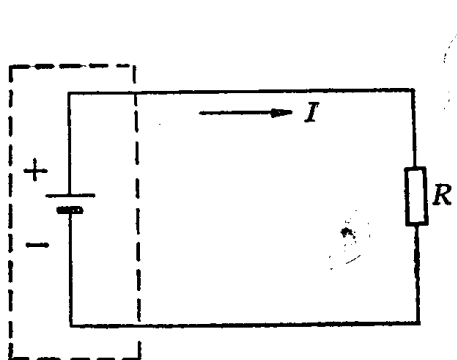


图 1-11 电动势的作用

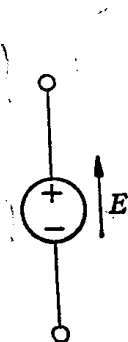


图 1-12 电动势的真实方向

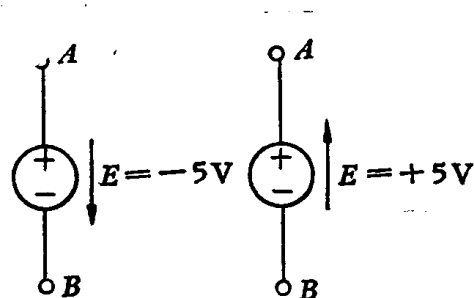


图 1-13 电动势的正方向

(2) 电动势的正方向

因为电动势的作用是使正电荷自低电位点移动到高电位点,使正电荷的电位能增加,所以规定电动势的真实方向是指向电位升高的方向,刚好与电压的真实方向相反。图 1-12 中所表示的是一般直流电源的表示符号,其正、负极分别用+、-标出,其电动势的方向也就是确定的了。

作为分析与计算电路的一种方法,同样也可以为电动势规定一个正方向。图 1-13 所示电源的电动势数值是 5 伏,正、负极也已标出。但在图 1-13(a)中取电动势正方向如箭头所示:从 A 指向 B,则 $E = -5$ 伏,表明电动势的实际方向与假定的正方向相反。在图 1-13(b)中,取正方向从 B 指向 A,即与实际方向相同,则 $E = +5$ 伏。可见,在规定的正方向之下,电动势也是一个代数量。

(3) 电动势与电压的关系

电动势与电压是两个不同的概念,但是都可以用来表示电源正、负极之间的电位差。且从电源对外部电路所表现的客观效果来看,既可用正、负极间的电动势来表示,也可用其间的电压来表示。但是应该注意在不同正方向之下,二者的区别和联系。

在图 1-14 的电路中,相对于某一确定的参考点,正极 A 的电位是 V_A , 负极 B 的电位是 V_B , 则在图示正方向与真实方向相同的条件下,电动势 E 是正值。而且根据电压定义,必有 $V_{AB} = V_A - V_B$, 亦为正值。此时, E 与 V_{AB} 的数值自然是相等的, 所以 $E = V_{AB}$ 。但是从电路图看, E 与 V_{AB} 的正方向刚好相反, 这是因为它们的物理意义是不相同的: 电动势的正方向表示电位升, 电压的正方向表示电位降。因此在图示正方向之下, E 与 V_{AB} 反映的是同一客观事实: A 点电位 V_A 比 B 点电位 V_B 高, 所以有 $E = V_{AB}$ 。

正因为如此,所以在很多情况下,常常用一个与电源的电动势大小相等、方向相反的电压来等效表示电动势对外电路的作用效果。甚至在有的教科书中并不提出电动势的概念,而完全用电源正极和负极的二端电压来等效代替。

例题 1-1 在图 1-14 中给出了确定正方向之下,电源电动 E 与端电压 V 的关系,试写出其它可能情况下,电源的 E 与 V 的关系式。

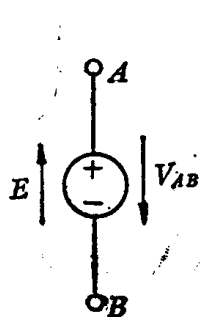
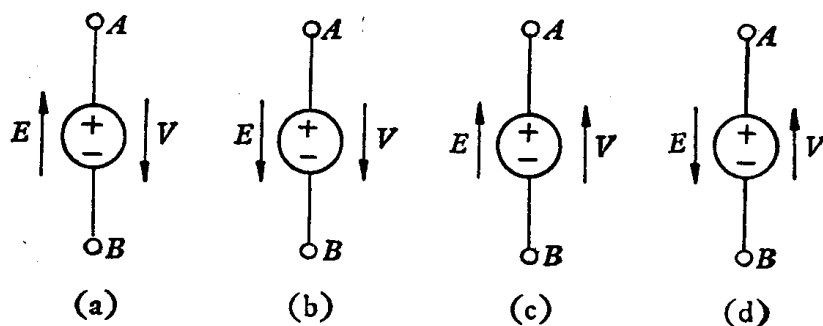


图 1-14 电动势与电压的关系



$E=+$	$E=-$	$E=+$	$E=-$
$V=+$	$V=+$	$V=-$	$V=-$
$E=V$	$-E=V$	$E=-V$	$E=V$

图 1-15 例题 1-1 图

解 在图 1-15 中,电源的真实方向是确定的,用“+”、“-”表示,则 E 、 V 各取不同的正方向,一共有 4 种可能的组合。其中图 1-15(a)就是图 1-14 所表示的情况。

下面再对图 1-15(c)的结论作一解释,其余两种情况读者可自行分析。

图中 E 的正方向与实际方向相同,是正值,即 $E=V_A-V_B$ 。而 V 的正方向却是从 B 到 A ,必为负值,即 $V=V_B-V_A$,所以有

$$V=V_B-V_A=-(V_A-V_B)=-E$$

实际上,从图示 E 、 V 的正方向就可以直接得到上述结果。因为根据 E 的正方向,假定 V_B 低、 V_A 高;而根据 V 的正方向,假定 V_B 高、 V_A 低。这两种假定是矛盾的、相反的,它们之中只能有一个是符合实际的真实方向、是正值,另一个则是负值,即 $E=-V$ 。

4. 功率

使用电路的目的就是为了进行电能与其它形式能量之间的转换,所以在电路的分析与计算中还经常用到另外一个物理量——功率。

(1) 功率

在图 1-16 中,正电荷 q 从电路中 A 点移到 B 点,根据电压的定义很容易得到电场力所做的功 $W=V_{AB} \cdot q$ 。因为 $q=I \cdot t$,所以也可以写作 $W=V_{AB} \cdot I \cdot t$ 。

单位时间里电场力所做的功就是电功率,用 P 表示,则 $P=\frac{W}{t}=V_{AB} \cdot I$ 。

在国际单位制中,电压的单位是伏特,电流的单位是安培,则功率的单位是瓦特,简称瓦(W)。1 瓦功率等于每秒消耗(或产生)1 焦耳的功。除了瓦之外,也可用千瓦(kW)或毫瓦