



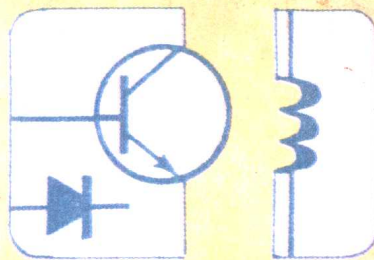
中央广播电视大学教材

电 工 学

上册

DIAN GONG XUE

主编 刘蕴陶



中央广播电视大学出版社

电 工 学

上 册

刘蕴陶 主编

中央广播电视大学出版社

(京)新登字 163 号

图书在版编目(CIP)数据

电工学/刘蕴陶主编. —北京:中央广播电视大学出版社,1994.5

电视大学教材

ISBN 7-304-00972-1

I. 电… II. 刘… III. 电工学-电视大学-教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 05279 号

电 工 学

上 册

刘蕴陶 主编

中央广播电视大学出版社出版

社址:北京西城区大木仓 39 号北门 邮编:100032

北京密云胶印厂印刷 新华书店北京发行所发行

开本 787×1092 1/16 印张 17.375 千字 399

1994 年 2 月第 1 版 1994 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—21000

定价:9.70 元

ISBN 7-304-00972-1/TM·21

主持教师：李西平

主 编：刘蕴陶

编 者：刘蕴陶、李西平

前 言

本教材是以中央广播电视大学《电工学》课程教学大纲(审定稿)为依据,并参照国家教委电工学课程教学指导委员会制定的《电工技术》和《电子技术》教学基本要求编写的。作为中央广播电视大学理工科非电类各专业的《电工学》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》的教材或教学参考书。

为适应电视大学远距离教学的特点和培养应用型人才的需要,本教材注意精选内容,力求做到选材适当、内容先进。在基础理论方面以必须够用为度;在应用技术方面紧密结合工程实际需要,突出了实用性。教材内容由浅入深、循序渐进。在理论与概念的阐述方面力求准确详尽,易于理解,适于自学。

本教材分上、下两册。上册包括:电路的基本定律和分析方法、正弦交流电路、三相交流电路、磁路与变压器、异步电动机、异步电动机的继电-接触控制等六章。下册包括半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、整流和稳压电路、数字电路、电工测量、安全用电等七章。

本教材由北京理工大学刘蕴陶教授担任主编,中央广播电视大学李西平编写了第七、八、九、十章及附录。

本教材由清华大学王鸿明教授担任主审,他仔细审阅了书稿,提出了很多宝贵的意见和建议。此外,天津大学林孔元教授、北方交通大学李守成教授、高等教育出版社楼史进编审、北京理工大学钟治汉副教授参加了本教材的审定会。他们为提高本教材质量做了大量工作,在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,不妥和错误之处在所难免,恳切希望读者批评指正。

1994年1月

目 录

前 言	(1)
第一章 电路的基本定律及基本分析方法	(1)
§ 1-1 电路的组成及主要物理量	(1)
§ 1-2 电阻元件与欧姆定律	(13)
§ 1-3 电压源和电流源	(15)
§ 1-4 电路的状态及电气设备的额定值	(17)
§ 1-5 基尔霍夫定律	(21)
§ 1-6 电阻的串联和并联	(28)
§ 1-7 支路电流法	(34)
§ 1-8 叠加原理	(38)
§ 1-9 两种电源模型的等效变换	(41)
§ 1-10 戴维南定理	(45)
§ 1-11 电路中各点电位的计算	(51)
§ 1-12 电容的充电与放电	(53)
§ 1-13 RL 电路的短接放电与接通直流电源	(61)
第二章 正弦交流电路	(75)
§ 2-1 正弦交流电的基本概念	(75)
§ 2-2 正弦电量的相量表示法	(83)
§ 2-3 单一参数正弦交流电路	(90)
§ 2-4 正弦交流电路的分析计算	(101)
§ 2-5 电路中的谐振	(116)
§ 2-6 非正弦周期电流电路	(122)
第三章 三相交流电路	(137)
§ 3-1 三相电源	(137)
§ 3-2 三相电路负载的连接	(142)
§ 3-3 对称三相电路的计算	(144)
§ 3-4 不对称三相电路的计算	(154)
§ 3-5 三相电路的功率	(157)
第四章 磁路与变压器	(162)
§ 4-1 磁性材料的磁性质	(162)
§ 4-2 磁路的欧姆定律及直流磁路的计算	(167)
§ 4-3 交流铁芯线圈电路	(172)
§ 4-4 变压器的工作原理	(176)

§ 4-5 变压器的额定值	(184)
§ 4-6 三相变压器	(187)
§ 4-7 自耦变压器	(189)
第五章 异步电动机	(196)
§ 5-1 三相异步电动机的转动原理	(197)
§ 5-2 旋转磁场	(199)
§ 5-3 异步电动机的构造	(205)
§ 5-4 异步电动机的转矩特性和机械特性	(208)
§ 5-5 异步电动机的铭牌数据	(218)
§ 5-6 异步电动机的起动	(222)
§ 5-7 异步电动机的反转和制动	(230)
§ 5-8 单相异步电动机	(231)
第六章 异步电动机的继电-接触器控制	(241)
§ 6-1 手动电器	(241)
§ 6-2 接触器及其控制电路	(244)
§ 6-3 时间继电器与时间控制	(252)
§ 6-4 行程开关与行程控制	(258)
§ 6-5 电动机的短路与过载保护	(260)
§ 6-6 阅读继电-接触器控制电路图的方法	(264)

第一章 电路的基本定律及基本分析方法

本章的研究对象是直流电路。从中引出的有关电路的基本概念、基本定理和定律、以及计算方法等都具有普遍的适用意义。因此，本章的内容十分重要，是整个课程的理论基础。

本章的主要内容有：电路的组成及主要物理量；电路的基本定律——基尔霍夫定律；支路电流法；叠加原理；有源二端网络的等效变换；电位的计算；电容的充、放电过程；一阶 RC 和 RL 电路的过渡过程。

§ 1-1 电路的组成及主要物理量

一、电路的组成和作用

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和用电设备连接起来，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和复杂程度如何变化，它们都是由一些最基本的部件组成的。例如，最常见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。现将手电筒电路表示于图 1-1 (a)。

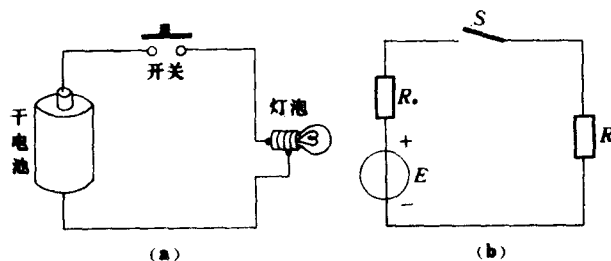


图 1-1 电路的组成

组成电路的基本部件是：电源、负载和中间环节。

电源：电路中能把其它形式的能量转换为电能的装置，称为电源。例如手电筒电路中的干电池能把化学能转换为电能，发电机能把机械能转换为电能等等。电源在电路中起激励作用，使电路中产生电流和保持电压。

负载：用电设备称为负载。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，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，它们将电源与负载连接起来，构成电流通路。此外，中间环节还包括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、负载及中间环节等元、器件组成的总体，是电流流通的闭合路径。

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3~5章中所介绍的电路就是这种功能的典型应用。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收音机、电视机等电子电路。这方面的内容我们将在本书的电子技术部分中介绍。

除了“电路”之外，我们还经常遇到“网络”这个名词。这是两个有一定区别，但有时又通用的名词。通常网络的涵义具有更普遍的适用性，特别是在讨论普遍规律及复杂电路的问题时，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。

二、电路模型

尽管电路的具体功能只有两种，但是实际电路的类型及它们的工作状态却是多种多样的。我们不可能也没有必要去研究、分析每一个实际的具体电路。分析电路的目的是研究电路中能量转换的一般规律，即电路中最本质、最普遍的共同规律。

再从组成实际电路的元器件来看，它们的电磁特性也是比较复杂的。以电阻器为例，当电流通过电阻器时，除了产生热效应，表现电阻性之外，电流还产生磁场、有磁效应，即有电感性。此外，电流还产生电场，有电容性。通过这个简单的例子就可以看到，实际元器件在电路中所发生的物理现象十分复杂。如果把它们的所有电磁特性全都考虑进去，将会使电路的分析计算变得非常繁琐，甚至难于进行。由于实际元器件所表现出的多种电磁特性在强弱程度上不同的，例如：电阻器、白炽灯、电热器等电气设备，它们的电磁特性主要是电阻性，其电感和电容都很小，在一定的频率范围内可以忽略不计。而电感器的主要电磁特性是具有储存磁场能量的功能，即突出表现为电感性。电容器的主要电磁特性是具有储存电场能量的功能，即突出表现为电容性。所以我们把组成电路的实际元器件加以近似化、理想化，即忽略其次要性质，保留它的一个主要性质，并用一个足以反映该主要性质的模型——理想化元件来表示。每一种理想化电路元件只具有一种电磁性质。如理想化电阻元件只具有电阻性；理想化电感元件只具有电感性；理想化电容元件只具有电容性。它们的电路图形符号如图1-2所示。理想化电路元件通常就称为电路元件，它们可以用数学公式来精确定义，便于进行分

析计算。

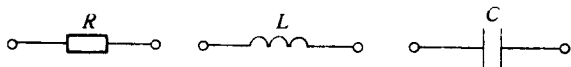


图 1-2 理想化电路元件图形符号

还应指出,有些元器件的模型可以用几种电路元件组成。例如干电池这样的直流电源,它既有一定的电动势 E ,又有一定的内阻 R_0 ,故可以用理想电源元件 E 和电阻 R_0 串联的电路模型来表示。这样,图 1-1 (a) 所示的手电筒电路就可以用图 1-1 (b) 所示的电路模型来表示。电路中的负载(白炽灯)用电阻元件 R 表示,连接导线是理想化的导体,其电阻为零。

电路模型是实际电路的科学抽象,更具有普遍意义。例如图 1-1 (b) 所示的电路模型,电源 E 和电阻 R_0 串联既可以表示干电池,也可以表示蓄电池或直流发电机等电源。电阻元件 R 既可以表示白炽灯,也可以表示电阻炉、电烙铁等电热器。所不同的只是它们的参数不一样。今后我们所讨论的电路一般都是由理想电路元件组成的电路模型。

三、电路中的主要物理量

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。那么,就必须用一些物理量来表示电路的状态及电路中各部分之间能量转换的相互关系。这些物理量主要是电流、电压、电动势和电功率。虽然,我们在《普通物理》课中已经学习过、并初步了解了这些物理量,但是因为它们是分析计算电路的基础,并贯穿本课程的全部内容,所以有必要对这部分知识进行复习。特别是这些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。应认真领会,切实掌握好。

(一) 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

$$\text{电流强度} \quad i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

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

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

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（ μA ）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1-3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。

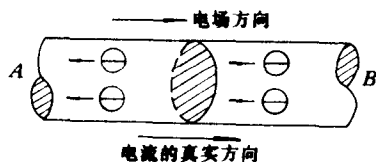


图1-3 电流的真实方向

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。在简单电路中，电流的真实方向可从电源或电压的极性很容易地确定下来。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。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。

从另一个角度看，同一个电流，例如其大小为 0.5A ，但因选取正方向的不同，可能是正值，

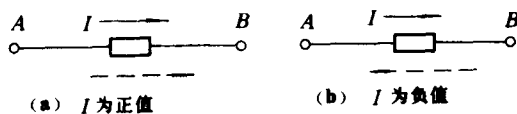


图 1-4 电流的正方向

也可能是负值。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。

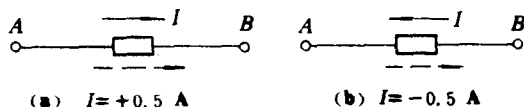


图 1-5 电流正、负值的讨论

从这里我们可以得出如下结论: 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。电流的正方向则是用来确定电流真实方向、分析计算电路的一种方法和手段。(2) 在规定了正方向之后, 电流是一个代数量, 可正、可负。正方向与该代数量结合, 即可确定电流在电路中的真实方向。(3) 一段电路中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。

(二) 电压

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。

电路接通之后, 可以近似看作是限定在一定空间范围内的电场。在图 1-6 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 dW , 则 A 、 B 两点之间的电压用 u_{AB} 表示

$$u_{AB} = \frac{dW}{dq} \quad (1-3)$$

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

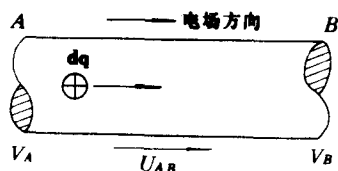
国际单位制中, 电荷 dq 的单位是库仑 (C), 功的单位是焦耳 (J), 电压的单位是伏特 (V)。作为辅助单位有千伏 (kV) 及毫伏 (mV)、微伏 (μV)。

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

不随时间变化的电压是直流电压, 规定用大写字母 “U” 来表示。

前面用过的小写字母 “u” 用来表示交变电压, 它是时间的函数。

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。据此可知, 某点的电位就是单位正电荷在该点所具有的电位能。

图 1-6 电压的概念

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, 只有在其阳极电位高于阴极电位时才导通; 对于直流电动机来说, 绕组两端的高、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, 我们引入电压的极性, 即方向问题。

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。正电荷在 A 点时比在 B 点具有更高的电位能。相对来说, A 点是高电位点, B 点是低电位点 (图 1-7)。

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, 并转换成其它形式的能量。

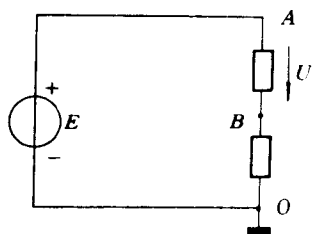


图 1-7 电压的实际方向

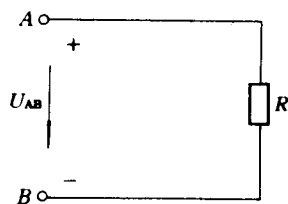


图 1-8 电压的正方向

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 1-8 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，电压为正值；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 1-8 中，假定 AB 段电压的正方向是从 A 指向 B，则给电压符号 U 加双下标 AB，即用 U_{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 B 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。

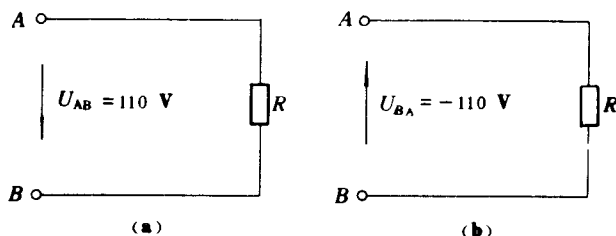


图 1-9 电压的正值与负值

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 1-9 中，(a) 图

规定电压正方向是从 A 指向 B ，且得 $U_{AB} = +110\text{V}$ ，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 1-9 (b) 所示，则 U_{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。

通过以上的分析可知，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，又应认识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 1-7 中选取电源负极 O 点作为参考点，则 A 、 B 两点的电位分别是 V_A 和 V_B ， A 、 B 两点之间的电压 U_{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。

（三）电动势

1. 电动势的概念

电动势是表示电源性质的物理量。

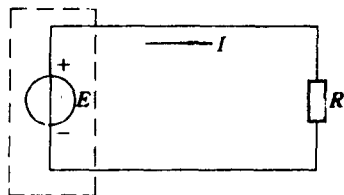


图 1-10 电动势的作用

在图 1-10 所表示的一个完整电路中，在电源以外部分的电路，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。

2. 电动势的正方向

因为电动势的作用是将正电荷自低电位点移动到高电位点，从而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 1-11 (a) 中所表示的是理想电压源的表示符号，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 1-11 (b)、(c) 所示电源的电动势数值是 5 伏，正、负极也已标出。但在图 1-11 (b) 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 1-11 (c) 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。

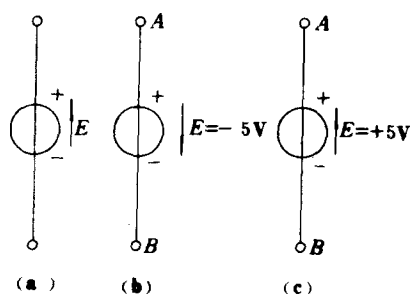


图 1-11 电动势的真实方向和正方向

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 1-12 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 $U_{AB} = V_A - V_B$ ，亦为正值。此时， E 与 U_{AB} 的数值自然是相等的，所以 $E = U_{AB}$ 。但是从电路图看， E 与 U_{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 U_{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

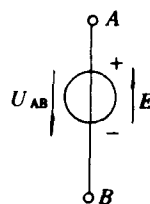


图 1-12 电动势与电压的关系

以有 $E=U_{AB}$ 。

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。

(四) 电功率与电能

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电功率与电能这两个物理量。

1. 电功率

在图 1-13 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 $W=U_{AB} \cdot q$ 。因为 $q=I \cdot t$ ，所以也可以写作 $W=U_{AB} \cdot I \cdot t$ 。

单位时间里电场力所做的功就是电功率，用 P 表示，则

$$P=\frac{W}{t}=U_{AB} \cdot I \quad (1-4)$$

在国际单位制中，电压的单位是伏特 (V)，电流的单位是安培 (A)，则功率的单位是瓦特 (W)，简称瓦。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 (mW) 作单位，关系是

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

2. 电能

除了功率之外，有时还要计算一段时间内电路所消耗 (或产生) 的电能，用 W 表示

$$W=P \cdot t \quad (1-5)$$

工程上，电能的单位经常不是用焦耳，而用千瓦-小时表示。千瓦-小时又称为“度”。通常所说的一度电可以这样理解：就是其额定功率是 1kW 的电器 (如 1kW 的白炽灯泡)，在额定状态下工作一小时，所消耗的电能。

四、电压与电流的关联正方向

以上我们介绍的是电路中最常用的几个物理量，其中，电流和电压是基本物理量，是我们分析、研究的主要对象。因为电源的电动势可以用它的端电压来等效代替，电路中电功率的大小也完全取决于电流和电压。

在介绍电压、电流的正方向时，曾经指出，它们的正方向可以自由选取。但是为了分析、研究的方便，一般情况下，总是采用彼此关联的正方向。如图 1-14 所表示的，在同一段电路中，电流的正方向与电压的正方向一致，即电流的正方向是从电压正方向表示的高电位点流向低电位点。

欧姆定律在上述关联正方向之下，表示式为

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