



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

(强电类)

王占元 纪 锋 编



机械工业出版社



教育部推荐教材
中等职业学校电工电子类课程教材

电工基础

(强电类)

主编 王 强



机械工业出版社

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

(强电类)

王占元 纪 锋 编
责任主审 吴锡龙
审 稿 人 孙文卿



机 械 工 业 出 版 社

本书是经教育部审定的中等职业教育国家规划教材之一。全书内容按教育部新颁的教学大纲要求选编,适用于机械制造、能源等行业电专业学生使用。

全书以模块形式组编内容。基础模块部分是必学内容,包括前五章,内容有:电路的基本概念和定律;直流电路的分析;电容和电感的基本知识;单相交流电路和三相交流电路的分析。选用模块部分是根据行业及地区差别进行选学的内容,包括后六章,内容有:谐振电路;互感现象;非正弦周期性电路;瞬态过程;磁路与铁心线圈;信号与系统概述。阅读和应用模块部分穿插在上述各章的后面,内容包括电工技术实际应用的典型例证和知识,供学生自学、理解。每章后面有小结,并附有思考题和习题。

本书注重实践应用,淡化理论推导,突出基本知识、基本计算和基本方法,注重电工技术中分析问题和解决问题的方法和思路。

本教材亦适合作为培训中、初级电工技术人员的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/王占元,纪锋编.—北京:机械工业出版社,2002.1
中等职业教育国家规划教材
ISBN 7-111-09727-0

I. 电… II. ①王…②纪… 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097330号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:卢若薇 王保家 版式设计:冉晓华 责任校对:孙志筠
封面设计:姚毅 责任印制:路琳
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2002年2月第1版·第1次印刷
787mm×1092mm¹/₁₆·14印张·345千字
0 001—5 000册
定价:17.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001 年 10 月

44-3/02

前 言

本书为中等职业教育国家规划教材之一。

2000 年教育部颁发了中等职业学校电工基础课程的教学大纲。本教材的编写就依据此教学大纲，并吸取了各学校多年来的教学经验和教训。内容的选取适应当前电工技术飞速发展的形势。它适合机械制造、能源等行业中等职业学校电类专业的学生使用，是上述专业的重要技术基础课和主干课程。

教材的编写，突破了原来旧的体系，按教学大纲的要求，以模块型式组织内容。基础模块部分是各专业必学内容，选用模块部分是根据专业不同和地区差别进行选学的内容，带“△”内容为阅读和应用部分，供学生自学。同时，考虑到三年制和四年制的差别，书中带“*”的内容是四年制学生必学内容，三年制的不要。本教材既突出了基础性，即基本理论、基本知识和基本方法，又注意到联系实际应用。对传统内容作了精选，保证了必需的常用基础知识，但增加了适应新技术的基础知识，旨在拓宽学生的知识面，便于和新的先进技术接轨。编写时，尽可能做到以定性分析为主，辅以必要的定量计算；淡化理论推导，注重实践应用，注重分析问题和解决问题的方法和思路。

本书的第一、二、四、五章由河北省机电学校王占元老师编写，第三、六、七、八、九、十、十一章由河北省机电学校纪锋老师编写，王占元老师统稿。全书由北京市仪器仪表学校高级讲师蒋湘若老师主审。审稿会在北京召开，参加会议的有北京信息职业技术学院电子工程系主任刘连青老师，北京市仪器仪表学校自动化室主任刘玉娟老师，北京市化工学校的尹宏业老师，北京市一八九中学的王振老师，河北省机电学校的高级讲师许蓼老师。会上，同志们提出了许多意见和建议。后来，全书又由孙文卿教授和吴锡龙教授进一步审定在审定中对全书又提出了宝贵的修改意见。使书稿得到了进一步完善。在编写过程中，还得到北京信息职业技术学院王惠玲老师的指导，河北省机电学校的王海萍老师、萧淑霞老师也给予我们很大支持和帮助。在此一并表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在不妥和错误之处，恳切希望各位老师和读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
绪论	1

基础模块部分

第一章 电路的基本概念和基本定律	3
第一节 电路和电路模型	3
第二节 电路的基本物理量	5
第三节 电阻元件和欧姆定律	11
第四节 电压源和电流源	15
第五节 基尔霍夫定律	21
△第六节 识图知识	24
△第七节 常用电工材料	27
△第八节 常用电光源	32
本章小结	35
思考题和习题	36
第二章 直流电阻电路分析	39
第一节 电路的工作状态	39
第二节 电路的等效变换	42
第三节 支路电流法	48
第四节 戴维宁定理	49
第五节 叠加定理	52
本章小结	55
思考题和习题	55
第三章 电容和电感	58
第一节 电场的概念	58
第二节 电容	60
△第三节 实际电容器	63
第四节 磁场的概念	68
第五节 电感	72
本章小结	75
思考题和习题	76
第四章 正弦交流电路	78
第一节 正弦交流电的基本概念	78
第二节 正弦电量的有效值和平均值	81
第三节 正弦电量的旋转矢量表示法	83
第四节 正弦电量的相量表示法	84

第五节 正弦交流电路中的电阻、电感、 电容元件	87
第六节 RL 和 RC 串联电路	96
第七节 RLC 串联电路	99
* 第八节 用相量法求解交流电路	102
第九节 正弦交流电路的功率	105
△第十节 功率因数的提高	109
△第十一节 交流电路的实际器件 举例分析	111
本章小结	116
思考题和习题	116
第五章 三相交流电路	120
第一节 三相交流电源	120
第二节 三相负载的联结方式	123
第三节 三相对称电路的计算	127
第四节 三相交流电路的功率	130
△第五节 供电和用电简介	132
△第六节 三相对称负载举例——异步 电动机	137
本章小结	141
思考题和习题	141

选用模块部分

第六章 谐振电路	143
第一节 串联谐振电路	143
* 第二节 并联谐振电路	148
△第三节 谐振的利用	151
本章小结	153
思考题和习题	153
第七章 互感	155
第一节 互感	155
第二节 互感线圈的串联	158
△第三节 互感的利用与避免	160
本章小结	162
思考题和习题	163
第八章 非正弦周期电量	165
第一节 非正弦周期电量	165

* 第二节 非正弦周期电量的有效值 和平均值	168	^ 第五节 电磁铁	194
本章小结	169	^ 第六节 理想变压器	196
思考题和习题	170	本章小结	199
第九章 瞬态过程	171	思考题和习题	199
第一节 瞬态过程概述	171	第十一章 信号与系统概述	201
第二节 RC 串联电路的瞬态过程	174	第一节 信号的基本知识	201
第三节 RL 串联电路的瞬态过程	176	第二节 信息传输概述	203
* 第四节 一阶直流线性电路瞬态 过程的分析	177	第三节 系统的基本知识	206
本章小结	180	本章小结	208
思考题和习题	181	思考题和习题	208
第十章 磁路与铁心线圈	184	附录	209
第一节 铁磁物质的磁化	184	附录 A 绝缘材料的电性能表	209
^ 第二节 常用的磁性材料	186	附录 B 常用铁磁材料基本磁化曲线 数据表	209
第三节 磁路及磁路定律	189	习题答案	211
* 第四节 交流铁心线圈	191	参考文献	217

绪 论

一、电能的应用及电气化的重要性

自从 19 世纪奥斯特发现电流周围存在磁场及法拉第发现电磁感应定律，并创造出世界上第一台感应发电机后，人类开辟了一个伟大的电力时代。电工技术迅速发展并渗透到各个领域，在生产技术上曾引起了划时代的革命。

现在，电能的应用极其广泛。它是现代工业、农业、国防、交通、通信及科研等部门的主要能源。就是人们的日常生活也离不开电能。从某种意义上讲，电气化的程度已作为衡量一个国家是否发达的主要标志之一。

电能之所以得到如此广泛的应用，是因为它与其它能量相比具有以下优点：

(1) 易于转换 人们可以利用水的势能、热能、核能、风能、化学能及光能，很方便地将它们转换为电能。同时，也可以将电能根据需要转换为其它形式的能量。例如，利用电动机将电能转换为机械能去驱动机械设备；利用电光源将电能转换为光能；利用电炉将电能转换为热能等。同时，不同形式的电能之间也可以转换，例如利用整流器将交流电能转换为直流电能，利用振荡器和逆变技术将直流电能转换为交流电能。

此外，利用传感器也可以将压力、速度、流量、温度等多种非电量转换为电量。

(2) 便于传输 通常发电站建于有能源的地方，而工厂等用电单位多建在城市和原料地，用电的农村分布又分散，供电和用电两者间存在距离。但是，电能能通过高压输电线路进行远距离输送，当电能送到用户时再将电压降下来安全使用。电能不仅输送方便，分配也容易，从民用的几十瓦的电灯到工业上几千千瓦的大型电动机都可以根据需要进行分配。

(3) 便于控制 电能的使用可以达到高度的自动化，电路的通断和保护技术已很成熟。现代工业中利用电气控制技术可以监控设备的运行状态和整个生产过程，实现程序控制、数字控制或远距离控制。并且能自动检测生产过程中的各项参数，将其转换成一定的电信号，实现自动调节和工艺流程的自动化。

二、我国电气事业的发展概况

我国虽然是文明古国，在电学和磁学方面对人类都有一定贡献，但漫长的封建社会造成我国的社会生产力低下。解放前仅有的一点电力工业也十分落后。

解放后，特别是改革开放以来，仅仅几十年，我国的电气事业和其它事业一样，确实有了惊人的变化和发展。

目前，我国不仅建成了各种装机容量的发电站，而且正在朝以水电为主、核能为辅的新的洁净能源方向努力。浙江秦山和广东大亚湾核电站的建成，长江三峡水利枢纽工程正在抓紧建设之中，这些都标志着我国的电能生产已向世界先进行列迈进。

电气事业的飞速发展，使机械、矿产、运输等各行各业的生产力和生产关系也发生了深刻的革命。比如：以多工序数控机床和工业机器人为代表的高精度机械加工设备相继问世和使用；计算机正在各行业中发挥其快速准确的优势；互联网和移动通信的迅速发展使我国的国民经济逐渐进入信息时代；各种家用电器的广泛使用，使人民的生活质量得到极大改善和

提高等等。

展望未来，电气事业的飞速发展和普及，将给人类带来一个无限美好的 21 世纪。

三、本课程的性质和任务

21 世纪，一定是高科技发展的世纪，电气化必将渗透到各行各业中。自动化、智能化的产业大量涌现，要求我们从事电专业的初中级人才必须要牢固掌握电工技术，这样才能适应形势发展的需要，满足今后工作的要求。

电工基础是电专业的技术基础课，它的主要任务是使电专业的中、初级技术人员获得电工技术的基本理论、基本知识和基本技能，为进一步学习电子技术、计算机基础及专业课打下一定的基础。同时，通过学习，使自己树立辩证唯物主义观点和实事求是的科学态度，培养分析问题和解决问题的能力。

本书重点讲述电工技术最初步、最根本、最具共性的知识、规律和分析方法，并根据不同的行业和地区增设一些选学内容。另外，为扩大知识面和联系实际，还增加了阅读和应用的知识，便于自学和阅览。

四、学习电工基础应注意的问题

电工基础虽然讲的是基础知识，但内容比较丰富，元件多，电路的形式多，概念和方法也多，初学者往往感到内容不够系统，心中无数，有的前后混淆。对此，学习中必须改进学习方法，应注意以下几点：

(1) 抓基本概念 弄清楚基本概念是进行分析和计算问题的前提，是学好本课程的关键。首先要学会定性分析，认清物理本质。

(2) 抓规律，抓特点，抓思路，抓相互联系 对每一章节，都要抓住问题是怎么提出来的，有什么矛盾，如何解决，又如何进一步发展，从而形成一条清晰的思路。要注意，重要的不是具体的、个别的知识，不是各种电路的简单罗列，而是解决问题的一般方法和彼此的内在联系。唯此，才能举一反三、触类旁通，才能在不同的条件下灵活运用所学知识。

(3) 抓课后练习 和其它课程一样，要把做习题作为一个不可缺少的重要环节。它对巩固概念、启发思考、熟练运算、暴露学习中的问题和不足是极其必要的。做完一道题，都要回头想一想，体会一下这道题的意图，总结自己做题中的收获。若是抱着完成任务的态度，为做习题而做习题，是达不到预期效果的。

(4) 要认真刻苦地阅读教材 阅读教材要注重领会精神实质，理解概念的含义，掌握分析问题的思路，切忌停留在字面上死记硬背。在课堂上一定认真听老师的讲解，课下有选择有重点地阅读教材，充分利用教材帮助自己消化知识。

(5) 注意抓好总结归纳 学完每一节，每一章后，最好总结一下。这样就会知道哪些问题该掌握，哪些问题该了解，重点、难点一清二楚，便于记忆。

(6) 理论联系实际 教材中提供了一些阅读和应用材料，课余时间要认真阅读。同时还要注意做好实验。通过这些培养解决实际问题的能力。

以上几点供学习时参考。每个人可根据各自的特点、基础找到一个切实可行的学习方法。我相信，只要刻苦学习，脚踏实地地下一番苦功夫，一定能学好这门课程。

基础模块部分

第一章 电路的基本概念和基本定律

电路是电工技术的主要研究对象，电路理论是电工基础的主要部分，内容非常丰富。为了很好地对各种电路进行分析和研究，必须熟悉电路的基本概念和基本规律。本章内容主要有：电路的组成及作用；电路的基本物理量以及电路的基本定律等。学好本章内容，为以后各章深入分析电路问题打下基础。

第一节 电路和电路模型

用电常识告诉我们，无论发电、用电还是控制，均离不开电路。而电路理论是电工基础的主要部分。为了研究电路中的规律，首先要了解什么是电路，电路的组成和电路的作用。

一、电路的组成和作用

什么是电路？电路是各种电气器件按一定方式连接起来组成的总体，它提供了电流通过的路径。例如：最常见手电筒的电路就是一个最简单的电路，如图 1-1-1 所示。它的组成，体现了所有电路的共性。

组成电路的基本部件是：电源、负载和中间环节。

电源：电路中把其它形式的能量转换为电能的元件和装置，称为电源。例如：手电筒电路中的干电池，它把化学能转换为电能；发电机把机械能转换为电能等。电源在电路中起提供电能的作用，使电路中产生电流和维持电压。

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：灯泡将电能转换为光能，电动机将电能转换为机械能，电阻炉将电能转换为热能等。灯泡、电动机、电阻炉等就是负载。

中间环节：主要指连接导线以及控制电路通断的开关电器和保护电器等。它们将电源与负载连接起来，构成电流通路。

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，主要有以下两方面的具体功能。

一方面，实现电能的传递、分配和转换。例如：电厂的发电机产生电能（电流），通过变压器、输电线等送到用电单位，并通过负载将电能转换成为其它形式的能量（如机械能

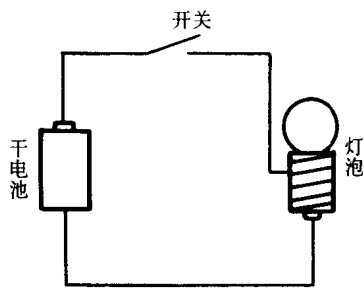


图 1-1-1 手电筒电路

等)。这就组成了一个比较复杂的供电系统——电路。

另一方面,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递、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自动控制设备、测量仪表、计算机,以及日常生活中使用的收音机、电视机等。

除了“电路”外,我们还经常遇到“电网”或“网络”等名词。它们与“电路”有一定的区别,但有时又通用。通常,网络的含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,常常把电路称为网络。而在讨论比较简单或者是某一具体电路时,则比较更多地使用“电路”这个名词。所以可以认为,网络是电路的泛称。对较复杂的供电系统通常又称“电网”。

二、电路模型

电工基础中对电路主要分析和研究其能量转换的一般规律,即电路中最本质、最普遍的共同规律。而组成实际电路的元器件,其电磁特性是比较复杂的。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。若将它的所有电磁特性考虑进去,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,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,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,突出表现为电容性。所以,我们将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,并用一个足以反映其主要性质的模型——理想元件来表示。每一种理想元件只有一种电磁性质,例如:理想电阻元件只具有电阻性;理想电感元件只具有电感性;理想电容元件只具有电容性;理想电压源元件只具有电源电压的恒定性。它们的图形符号如图 1-1-2 所示。a 图表示电阻元件, b 图表示电感元件, c 图表示电容元件, d 图和 e 图表示电压源元件。通常将这些理想化的元件用无阻导线适当组合连接起来即可表示实际电路,即为电路模型。图 1-1-3 表示手电筒的电路模型。其中 E 和 R_0 的串联组合反映实际电源(干电池)的情况, R 反映灯泡的发热(发光)情况。

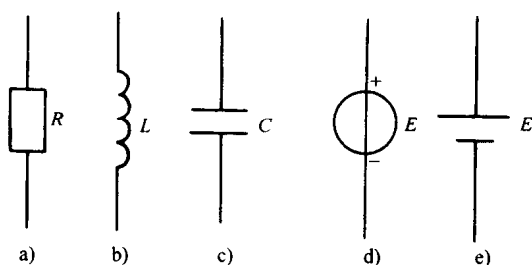


图 1-1-2 理想电路元件图形符号

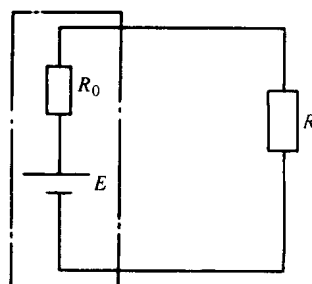


图 1-1-3 手电筒的电路模型

由于电路模型是实际电路的科学抽象,一方面可准确分析和计算,另一方面更有普遍意义。例如:电阻元件 R 既可表示白炽灯泡,也可表示电阻炉、电烙铁等电热器;电压源 E 和内电阻 R_0 串联组合可表示电池,也可表示直流发电机等电源,只不过它们的参数不同而已。本教材中以后所分析的电路均为电路模型。

第二节 电路的基本物理量

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。这些物理量主要有电流、电压、电位、电动势、电功率等。认识和了解这些物理量，是分析和计算电路的基础。应认真领会，切实掌握好。

一、电流

1. “电流”的两个含义

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），或者在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。通常将电流强度简称电流，所以电流又代表一个物理量。

如果电流是随时间变化的，则瞬时电流大小用变量表示，即

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

式中， Δq 是在 Δt 时间内通过导体横截面的电荷量。也可以说，电流就是流过导体横截面的电荷量对时间的变化率。若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。这时电流大小用下式表示

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

式中， q 是 t 时间间隔内通过导体横截面的电荷量。电流的单位是安培（库/秒），简称安，用大写字母 A 表示（国际单位制）。此外，对于较大的电流可以用千安（ kA ）作单位，较小的电流可以用毫安（ mA ）或微安（ μA ）作单位，它们的关系是

$$1kA = 10^3 A \quad 1A = 10^3 mA = 10^6 \mu A$$

2. 电流的真实方向和参考方向

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。

习惯上我们把正电荷运动的方向规定为电流的方向。如图 1-2-1 所示，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 运动相同。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。

但是在实际问题中，电流的真实方向往往难以在电路图中标出。例如：交流电路中的电流方向随时间变化，很难用一个固定的箭头来表示真实方向。即使在直流电路中，在求解较复杂电路时，也往往难以事先判断电流的真实方向。为了解决这样的困难，我们引入参考方向这一概念。参考方向又叫假定正方向，简称正方向。

所谓参考方向，就是在一段电路中，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。例如

在图 1-2-2 中, 实线箭头是选定的参考方向, 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参考方向一致, 电流 I 是正值; b 图表示的是二者相反的情况, 电流 I 则是负值。

从另一个角度看, 同一个电流, 例如其大小为 0.5A , 但因选取的参考方向不同, 可能是正值, 也可能是负值。

在图 1-2-3a 中选定的参考方向下 (用实线箭头表示), 电流 $I = +0.5\text{A}$; 在图 1-2-3b 中选定的参考方向下, 电流 $I = -0.5\text{A}$ 。但是它们实际上是同一个电流。

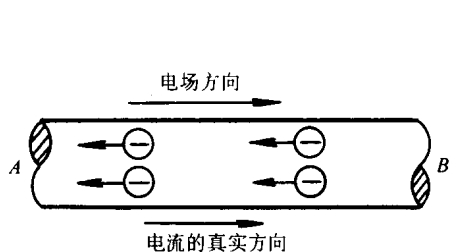


图 1-2-1 电流的真实方向

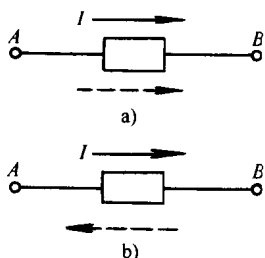


图 1-2-2 电流的参考方向
a) I 为正值 b) I 为负值

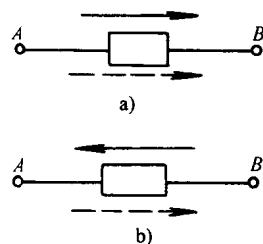


图 1-2-3 电流正负值的讨论
a) $I = +0.5\text{A}$ b) $I = -0.5\text{A}$

从以上分析可以得出如下结论: 电流的参考方向与它的真实方向是两个不同的概念。

1) 电流的真实方向是一种客观存在, 不能任意选择。电流的参考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) 在规定了参考方向之后, 电流是一个代数量, 可正可负。参考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) 一段电路中电流的参考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参考方向与真实方向一致。但电流的参考方向一经确定, 在整个分析计算过程中就必须以此为准, 不允许再更改了, 这点尤为重要。

今后在电路图中, 所标注的电流方向均为参考方向。如有例外, 应做特殊说明。

二、电压、电位

如上所述, 电荷在电场力作用下形成电流。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“电压”和“电位”这两个物理量。

1. 电压

如图 1-2-4 所示的一段电路中, 若正电荷 Δq 在电场力作用下从 A 运动到 B 时, 电场力做的功是 ΔW , A、B 两点之间的电压用 U_{AB} 表示, 则

$$U_{AB} = \frac{\Delta W}{\Delta q} \quad (1-2-3)$$

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 所做的功。在国际单位制中, 电荷的单位是库仑 (C), 功的单位是焦耳 (J), 电压的单位是伏特 (V)。

$$1\text{V} = 1\text{J/C}$$

电压的辅助单位有千伏 (kV) 及毫伏 (mV)。

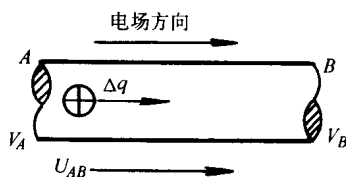


图 1-2-4 电压的概念

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

不随时间变化的电压是直流电压，规定用大写字母 U 表示。小写字母 u 用来表示交变电压，它是时间的函数。

2. 电位

电位是表示电路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。电路中某点 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。

电位与电压的概念比较：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。并且规定，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。

对于电位这个概念来说，参考点是至关重要的。

首先，电位是一个相对的物理量，不确定参考点，讨论电位也就没有意义了。

其次，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。但在实际研究电场时，一般选无限远处为参考点；在研究的电路中若有接地点，通常选择接地点为参考点。以大地电位为零，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。在电子电路中选取多条导线汇集的公共点作为参考点，或者选机壳作为参考点。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，参考点一经确定，各点电位也就确定了，参考点也就不能再更改。

第三，在同一个电路中，参考点选定后，则电路中其余各点的电位就都有唯一、确定的数值，而且，当电位为正值时，说明其电位高于参考点电位；为负值时，其电位低于参考点电位。这便是电位的单值性原理，它是电路的重要性质之一。

3. 电压的参考方向

在实际中，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：半导体二极管中，只有其正极电位高于其负极电位时，才能导通；直流电动机电枢绕组两端（两端电压的极性）不同，电动机的旋转方向也不相同。这就要求我们必须引入电压的极性，即方向问题。

如前所述，既然 U_{AB} 是电场力将单位正电荷从 A 点移动到 B 点所做的功，那么 A 点电位一定比 B 点电位高。和电流相似，习惯规定电压的实际方向就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，电位是逐渐降低的。正电荷沿着这个方向运动，将失去电能，并转换为其他形式的能量。

在分析和计算电路时，当某一段电路两端的电压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，我们也如同为电流规定参考方向一样，也给电压规定一个参考方向。原则上，电压的参考方向也是任意规定。当电压的实际方向与规定的参考方向一致时，电压为正值；不一致时就是负值，这表明电压也是一个代数量。

电压的参考方向根据习惯可以用三种方法表示，如图 1-2-5 所示。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“+”、“-”符号分别表示假定的高电位端和低电位端；用双下标字母表示，图 1-2-5 可用 U_{AB} 表示其参考方向，第一个下标 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。

上述三种方法所代表的意义是相同的，可以相互通用，可任选一种。有了参考方向，和电流一样，代数量电压和参考方向就可以共同确定电压的实际方向。此外，为了使电路分析研究方便，对电压和电流总是采用关联一致的参考方向。即在同一段电路中，电流的参考方向与电压的参考方向选取时应完全一致，这样两者只标注一个参考方向即可，计算时非常方便，如图 1-2-5 所示。

4. 电位与电压

电位和电压这两个物理量在本质上是相同的。但也要注意它们之间的区别和联系。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 $U_{AB} = V_A - V_B$ 。因此，电压又叫电位差，它与参考点的选取无关。

三、电动势

电动势是衡量电源将非电能转换成电能本领的物理量。它表征电源内部非电场力对正电荷做功的能力。

图 1-2-6 所表示的一个完整电路中，在电源以外的电路中，电流总是从电源正极流出，最后流回电源负极。或者说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。

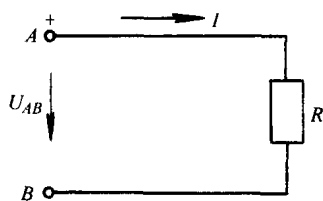


图 1-2-5 电压的参考方向

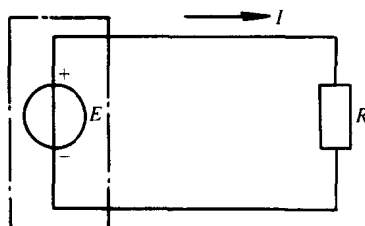


图 1-2-6 电动势的作用

为了在电路中保持持续的电流，在电源内部，必须有一种非电场力使电流从电源的负极又流到电源的正极。这种非电场力又称局外力或电源力。它在电源内部对正电荷也要做功，故取电动势 E 来表征电源力的能力。其定义为：在电源内，电源力将单位正电荷从电源的负极移到电源的正极所做的功，即称为电动势。对直流电动势，表示为

$$E = \frac{W}{q} \quad (1-2-4)$$

电动势的单位也是伏特 (V)。

电动势的实际方向习惯规定为从电源的负极指向其正极，或者从低电位点指向高电位点。在电路中，用 “+”、“-” 符号在电源两端标出。

作为分析与计算电路的一种方法，同样也对电动势选取参考方向。当电动势的真实方向和参考方向相同时，电动势为正值；相反时，电动势为负值。显然电动势也是一个代数量。它的代数值和参考方向共同反映其真实方向。例如图 1-2-7 中，a 图所示是电动势的真实方向，数值为 5V；在 b 图所示的参考方向下， $E = -5V$ ；在 c 图所示的参考方向下， $E = +5V$ 。以后电路中所标的均为参考方向。若电动势已知极性，参考方向的标注应尽可能和真实方向一致。

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，即可用正、负极间的电动势来表示，也可用其间

的电压来表示，但要注意二者的区别和联系。

如图 1-2-8 所示的电源， E 和 U_{AB} 的参考方向刚好相反。这是因为它们的物理意义不同：电动势的参考方向表示电位升；电压的参考方向表示电位降，但它们反映的是同一客观事实。A 点电位比 B 点电位高，所以 $E = U_{AB}$ 。正因为如此，有许多电路常用一个与电源电动势大小相等、方向相反的电压来表示电源。

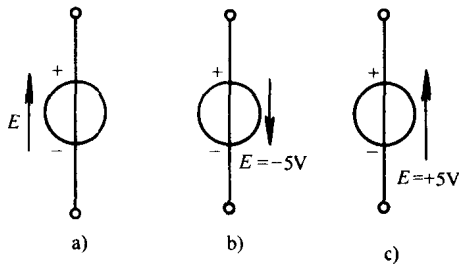


图 1-2-7 电动势的真实方向和参考方向



图 1-2-8 电动势与电压的关系

四、电功率和电能

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 1-2-9 所示的电路中，正电荷 q 从 A 点移到 B 点，根据电压的定义，电场力所做的功为 $W = U_{AB}q$ 。因为 $q = It$ ，所以 $W = U_{AB}It$ 。

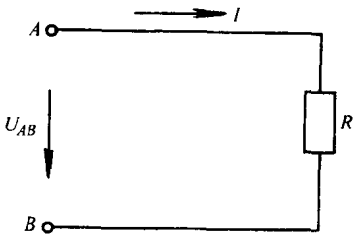


图 1-2-9 功率的计算

单位时间里电场力所做的功就是电功率，用 P 表示。则

$$P = \frac{W}{t} = U_{AB}I \tag{1-2-5}$$

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。1W 功率等于每秒消耗 (或产生) 1J 的功。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。

$$W = Pt \tag{1-2-6}$$

工程上，电能的单位经常用千瓦时 ($\text{kW}\cdot\text{h}$) 表示。千瓦时又称为度。通常所说的一度电可以这样理解：就是额定功率 1kW 的电器 (如 1kW 的电阻炉)，在额定状态下工作 1h 所消耗的电能。

3. 功率正、负的意义

在电路计算时，在标注参考方向的情况下，电路中的电压、电流均是代数量。这样，元件中的功率也出现正、负 (也是代数量)。功率的正或负在电路中代表什么含义？必须清楚。这里我们讨论一下。

图 1-2-10 所示的一段电路中可能含负载，也可能含电源，用矩形方框表示，以表示