



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



电工学 (电工技术)

第2版

● 魏佩瑜 主编

免费
电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



013046908

TM
250-2

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工学(电工技术)

第2版

主编 魏佩瑜
 参编 宋美春 刘万强 牛轶霞
 栗庆田 刘玉滨
 主审 刘润华 成谢锋



机械工业出版社

TM/250-2



北航 C1652659

01304890

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

作者在多年从事电工电子技术教学工作的基础上,根据教育部电工学课程指导组拟定的非电类电工、电子技术系列课程教学基本要求,通过对不同高等院校电工电子系列课程教学内容和课程体系进行研究,针对普通高校非电类学生编写了《电工学(电工技术)》和《电工学(电子技术)》一套教材。

本书主要内容有:电路的基本概念和基本定律、电路的分析方法、电路的暂态分析、单相正弦交流电路、三相电路、磁路与变压器、三相异步电动机、继电器-接触器控制、可编程序控制器控制系统和安全用电。

本书内容全面,文字叙述详细,概念阐述清楚、通俗易懂,简化理论推导,在突出电路的基本理论、基本分析方法的同时,注意理论的应用。本教材的参考学时为40~64,各院校教师可根据情况对本书内容有所取舍。该书内容力求满足不同专业的需要,可作为大学普通本科层次非电类专业学生电工技术课程的教材,也可作为非电类工程师以及其他有关专业人员的培训教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工学·电工技术/魏佩瑜主编. —2版. —北京:
机械工业出版社, 2013. 6
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-111-42091-0

I. ①电… II. ①魏… III. ①电工学-高等学校-教材
②电工技术-高等学校-教材 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第071143号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑: 贡克勤 责任编辑: 贡克勤
版式设计: 霍永明 责任校对: 胡艳萍
封面设计: 张静 责任印制: 张楠
北京京丰印刷厂印刷
2013年6月第2版·第1次印刷
184mm×260mm·14.5印张·356千字
标准书号: ISBN 978-7-111-42091-0
定价: 29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010)68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010)88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)88379203

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

本教材是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，是根据教育部电工学课程指导组拟定的非电类电工、电子技术系列课程教学基本要求结合实际教学改革和教学经验进行编写的，书中的内容能够满足教学的基本要求。

第1版经过5年的使用，有不少老师和同学对该教材提出了宝贵的意见和建议，我们在第1版的基础上总结提高，进行了修订。

本次修订，解决了通过使用发现的一些问题，增加了第2章和第4章的习题，修改了第6章变压器部分，增加了变压器的基本方程式和极性判定等。

书中采用了国家规定的文字符号和图形符号。带*号的内容供各校选讲。

本书第2章和第4章习题由宋美春修订，其余部分由魏佩瑜修订。

本书配有电子课件，欢迎选用本书作教材的老师登录 www.cmpedu.com 注册下载。

本书与董传岱主编的《电工学（电子技术）》一书配套使用，也可以单独使用。限于编者的水平，本书中不妥和错误之处在所难免，恳切希望使用本书的教师和同学以及其他读者提出宝贵的批评和意见，以便进一步修改完善。

编者

第1版前言

本书是根据教育部电工学课程指导组拟定的非电类电工、电子技术系列课程教学基本要求结合实际教学改革和教学经验进行编写的，书中的内容能够满足教学的基本要求。

电工和电子技术发展十分迅速，应用非常广泛，现在一切新的科学技术无不与电有着密切的联系，因此电工技术是理工科非电类专业的学科基础课程。学习本课程要求学生具备必要的电磁学和数学基础知识。通过本课程的学习，对树立学生严肃认真的科学作风和理论联系实际工程观点，培养学生的科学思维能力、分析计算能力、实验研究能力和科学归纳能力都具有重要的意义。所以学完本课程后学生可获得电工技术必要的基础理论、基本知识和基本技能，了解电工技术在国民经济和生产中的重要性和电工事业的发展概况，为学习后续课程以及从事过程技术工作和科学研究工作打下理论和实践基础。电工技术是非电类专业如机械类、汽车类、化工类、建筑类等专业的必修课程，也是经济管理类等其他专业的选修课程之一。

高等学校教学改革势在必行，目前电工电子课程的学时越来越少，内容越来越多，为解决这个矛盾，课程内容要理论联系实际应用，电工学课程的内容和体系应随着电工电子技术的发展和教学需要而不断改革和更新。经山东省电工电子课程教学改革的研究与实践课题立项后，通过广泛深入的调研和实践，结合我们多年教学改革的经验和体会，组织编写了这套《电工学(电工技术)》和《电工学(电子技术)》教材。可以说，本书是这几年教学改革实践的结晶。

本书根据保证基础、精选教学内容、深浅适度、主次分明、详略恰当的原则，在内容的阐述方面，以物理概念为主，突出实践性、实用性，力求做到文字通顺流畅，通俗易懂，以便学生学习。同时，重点在培养学生的动手能力上下功夫。由于学时的限制，有些知识，如直流电机、控制电机和电工测量等内容，本书不再介绍。

书中采用了国家规定的文字符号和图形符号。带*号的内容供各校选讲。

本书由魏佩瑜主编，负责本书策划、组织、统稿和定稿，并编写了第1、7章。参加本书编写的有：宋美春(第4、8章)、刘万强(第5、9章)、牛轶霞(第2章)、栗庆田(第3章)、刘玉滨(第6章)。

本书由教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会电子电气基础课程教学指导分委员会委员，中国高等学校电工学研究会常务理事，山东省高等学校电工学研究会理事长，中国石油大学(华东)刘润华教授担任主审，对本书进行了认真仔细的审阅，逐章逐节提出了许多宝贵的具有建设性的意见和修改建议，济南大学的成谢锋教授也提出了许多宝贵意见和建议，在此对这两位老师致以衷心的感谢！本书在编写过程中还得到了山东理工大学电工电子实验教学中心全体教师的大力支持，编者在这里一并向他们表示感谢。在编写过程中参阅或引用了部分参考资料，对这些作者，我们也表示衷心的感谢。

本书配有电子课件，欢迎选用本书作教材的老师索取。

本书与董传岱主编的《电工学(电子技术)》一书配套使用，也可以单独使用。限于编者

的水平，本书中不妥和错误之处在所难免，恳切希望使用本书的教师和同学以及其他读者提出宝贵的批评和意见，以便进一步修改完善。

目 录

编 者

高存瑞 主编
白雁翎 副主编

编写本基三合编本基区生手 编上第

第一章 绪论 1

第一节 课程论概述 1

一、课程的含义 1

二、课程的功能 2

三、课程与教学的关系 3

第二节 课程理论的发展 4

一、课程论的萌芽 4

二、课程论的兴起 5

三、课程论的繁荣 6

四、课程论的多元化 7

第三节 课程改革的背景 8

一、国际课程改革的背景 8

二、我国课程改革的背景 9

三、我国课程改革的现状 10

第二章 课程目标 12

第一节 课程目标的内涵 12

一、课程目标的定义 12

二、课程目标的功能 13

三、课程目标的层次 14

第二节 课程目标的制定 15

一、制定课程目标的原则 15

二、制定课程目标的依据 16

三、制定课程目标的程序 17

第三节 课程目标的表述 18

一、课程目标表述的原则 18

二、课程目标表述的要素 19

三、课程目标表述的层次 20

第三章 课程实施 22

第一节 课程实施的含义 22

一、课程实施的定义 22

二、课程实施的功能 23

三、课程实施的类型 24

第二节 课程实施的策略 25

一、课程实施的策略原则 25

二、课程实施的策略类型 26

三、课程实施的策略选择 27

第三节 课程实施的评价 28

一、课程实施评价的意义 28

二、课程实施评价的原则 29

三、课程实施评价的方法 30

第四章 课程评价 32

第一节 课程评价的含义 32

一、课程评价的定义 32

二、课程评价的功能 33

三、课程评价的类型 34

第二节 课程评价的理论 35

一、课程评价的理论基础 35

二、课程评价的理论流派 36

三、课程评价的理论发展 37

第三节 课程评价的要素 38

一、课程评价的要素构成 38

二、课程评价的要素关系 39

三、课程评价的要素选择 40

第四节 课程评价的改进 41

一、课程评价改进的意义 41

二、课程评价改进的原则 42

三、课程评价改进的方法 43

第五章 课程资源 45

第一节 课程资源的内涵 45

一、课程资源的定义 45

二、课程资源的分类 46

三、课程资源的功能 47

第二节 课程资源的开发 48

一、课程资源开发的原则 48

二、课程资源开发的途径 49

三、课程资源开发的策略 50

第三节 课程资源的评价 51

一、课程资源评价的意义 51

二、课程资源评价的原则 52

三、课程资源评价的方法 53

第六章 课程管理 55

第一节 课程管理的内涵 55

一、课程管理的定义 55

二、课程管理的功能 56

三、课程管理的类型 57

第二节 课程管理的策略 58

一、课程管理的策略原则 58

二、课程管理的策略类型 59

三、课程管理的策略选择 60

第三节 课程管理的改进 61

一、课程管理改进的意义 61

二、课程管理改进的原则 62

三、课程管理改进的方法 63

目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

第 1 章 电路的基本概念与基本定律	1
1.1 电路的组成与作用	1
1.2 电路模型	1
1.3 电路的基本物理量	2
1.3.1 电流	2
1.3.2 电压与电动势	3
1.3.3 功率	4
练习与思考	5
1.4 电路的基本元件	6
1.4.1 电阻元件	6
1.4.2 电感元件	7
1.4.3 电容元件	9
1.4.4 理想电压源和电流源	10
练习与思考	12
1.5 电路的有载工作状态、开路与短路	12
1.5.1 有载工作状态	12
1.5.2 开路	13
1.5.3 短路	14
练习与思考	14
1.6 基尔霍夫定律	14
1.6.1 基尔霍夫电流定律	15
1.6.2 基尔霍夫电压定律	16
练习与思考	17
1.7 电路中电位的概念及计算	18
练习与思考	19
习题	19
第 2 章 电路的分析方法	22
2.1 电阻的串联和并联	22
2.1.1 电阻的串联	22
2.1.2 电阻的并联	23
*2.1.3 电阻星形联结和三角形联结的等效变换	24

2.2 实际电源的两种模型及其等效变换	25
2.2.1 电压源模型	25
2.2.2 电流源模型	26
2.2.3 电压源模型与电流源模型的等效互换	27
2.3 支路电流法	29
2.3.1 方程的独立性	29
2.3.2 支路电流法	30
2.4 节点电压法	32
2.5 叠加原理	33
2.5.1 叠加原理及其正确性	33
2.5.2 叠加原理的应用	34
2.6 等效电源定理	35
2.6.1 戴维南定理	35
2.6.2 诺顿定理	36
*2.7 非线性电阻电路的分析	37
2.7.1 非线性电阻的概念	37
2.7.2 非线性电路的分析	38
习题	39
第3章 电路的暂态分析	44
3.1 暂态过程的产生和初始值的确定	44
3.1.1 产生暂态过程的条件和换路	44
3.1.2 换路定律	45
3.1.3 电压电流初始值的确定	45
练习与思考	47
3.2 一阶电路的零输入响应	47
3.2.1 RC 电路的零输入响应	47
3.2.2 RL 电路的零输入响应	49
练习与思考	52
3.3 一阶电路的零状态响应	52
3.3.1 RC 电路的零状态响应	52
3.3.2 RL 电路的零状态响应	54
练习与思考	55
3.4 一阶电路的全响应	55
3.4.1 RC 电路的全响应	56
3.4.2 RL 电路的全响应	57
练习与思考	58
3.5 一阶电路的三要素法	59
练习与思考	61
习题	62

第4章 正弦交流电路	65
4.1 正弦交流电	65
4.1.1 周期和频率	65
4.1.2 瞬时值、幅值	66
4.1.3 有效值	66
4.1.4 初相位、相位、相位差	66
练习与思考	67
4.2 正弦量的相量表示法	67
4.2.1 复数	68
4.2.2 相量法的基础	68
4.2.3 正弦量的相量运算	69
练习与思考	70
4.3 单一元件的正弦交流电路	70
4.3.1 电阻元件的交流电路	70
4.3.2 电感元件的交流电路	71
4.3.3 电容元件的交流电路	72
练习与思考	73
4.4 正弦稳态交流电路的计算	73
4.4.1 电压和电流的相量形式	73
4.4.2 阻抗的串并联	74
4.4.3 交流电路计算的原则	75
4.4.4 电压和电流的相位差 φ	78
练习与思考	78
4.5 正弦交流电路中的功率	78
4.5.1 瞬时功率	78
4.5.2 有功功率	80
4.5.3 无功功率	82
4.5.4 视在功率	83
练习与思考	84
4.6 功率因数的提高	84
4.6.1 提高功率因数的意义	85
4.6.2 提高功率因数的方法	85
练习与思考	87
4.7 正弦交流电路中的谐振	88
4.7.1 串联谐振	88
4.7.2 并联谐振	89
练习与思考	91
*4.8 非正弦周期电流电路	91
4.8.1 非正弦周期量的分解	91
4.8.2 非正弦周期电流线性电路的分析计算	92

4.8.3 非正弦周期电流电路中有效值及平均功率的计算	94
练习与思考	95
习题	95
第5章 三相电路	99
5.1 三相电路基础	99
5.1.1 三相电源	99
5.1.2 三相负载	102
5.1.3 三相电路的连接方式	103
5.2 对称三相电路的计算	107
5.3 不对称三相电路的概念	109
5.3.1 不对称三相电路的星形联结	109
5.3.2 不对称三相电路的三角形联结	111
5.4 三相电路的功率	112
5.4.1 不对称三相电路的功率	112
5.4.2 对称三相电路的功率	112
*5.5 安全用电知识	114
5.5.1 安全用电常识	114
5.5.2 防止触电的安全技术	115
5.5.3 静电防护和电气防火、防爆常识	118
习题	119
第6章 磁路与变压器	121
6.1 磁路	121
6.1.1 磁场的基本物理量	121
6.1.2 磁性材料的磁性能	123
6.1.3 磁路的分析方法	126
练习与思考	128
6.2 交流铁心线圈电路	128
6.2.1 电磁关系	128
6.2.2 电压电流关系	129
6.2.3 功率损耗	129
练习与思考	131
6.3 变压器	131
6.3.1 变压器的基本结构	131
6.3.2 变压器的工作原理	132
6.3.3 变压器的效率和损耗	135
6.3.4 特殊变压器	135
6.3.5 变压器绕组的极性	136
练习与思考	137
*6.4 电磁铁	138

练习与思考	140
习题	140
第7章 异步电动机	142
7.1 三相异步电动机的构造	142
7.2 三相异步电动机的转动原理	144
7.2.1 转动原理	144
7.2.2 旋转磁场	144
7.2.3 转子转速和转差率	147
练习与思考	148
7.3 三相异步电动机的电路分析	148
7.3.1 定子电路	148
7.3.2 转子电路	149
练习与思考	150
7.4 三相异步电动机的铭牌数据	151
7.4.1 型号	151
7.4.2 接法	151
7.4.3 电压	153
7.4.4 电流	153
7.4.5 功率与效率	153
7.4.6 功率因数 $\cos\varphi$	153
7.4.7 转速	153
7.4.8 绝缘等级	154
7.4.9 工作方式	154
练习与思考	154
7.5 三相异步电动机的转矩与机械特性	154
7.5.1 电磁转矩的计算公式	154
7.5.2 机械特性曲线	155
练习与思考	157
7.6 三相异步电动机的起动	158
7.6.1 起动性能	158
7.6.2 起动方法	158
练习与思考	163
7.7 三相异步电动机的调速	163
7.7.1 变极调速	164
7.7.2 改变转差率调速	165
7.7.3 变频调速	165
练习与思考	165
7.8 三相异步电动机的制动	165
7.8.1 能耗制动	166
7.8.2 反接制动	166

7.8.3 发电反馈制动	166
练习与思考	166
7.9 三相异步电动机的选择	167
7.9.1 功率的选择	167
7.9.2 种类和型式的选择	168
7.9.3 电压和转速的选择	168
*7.10 单相异步电动机	169
7.10.1 单相异步电动机的工作原理	169
7.10.2 单相异步电动机的起动	170
7.10.3 三相异步电动机的单相运行	171
习题	172
第8章 继电-接触器控制系统	174
8.1 低压电器简介	174
8.1.1 手动电器	174
8.1.2 自动电器	176
8.1.3 电器自动控制原理图的绘制原则及读图方法	182
8.2 三相异步电动机的基本控制电路	182
8.2.1 简单起停控制	182
8.2.2 正反转控制	184
8.3 行程控制	185
8.3.1 限位控制	185
8.3.2 自动往返控制	186
8.4 时间控制	186
8.5 顺序控制	187
习题	188
第9章 可编程序控制器及其应用	192
9.1 可编程序控制器的结构和工作方式	192
9.1.1 可编程序控制器的结构和各部分的作用	192
9.1.2 可编程序控制器的工作方式	194
9.1.3 S7-200 系列 PLC 简介	194
9.2 可编程序控制器的基本指令和编程	198
9.2.1 可编程序控制器的编程语言	198
9.2.2 可编程序控制器的指令系统	203
9.2.3 可编程序控制器的编程规则和技巧	212
9.3 可编程序控制系统的设计	216
9.3.1 可编程序控制系统的设计内容	216
9.3.2 可编程序控制系统的设计举例	217
参考文献	219

第 1 章 电路的基本概念与基本定律

本章是学习电工技术和电子技术的基础，也是为学习后面的电子电路、电机电路以及控制电路打下基础。

本章主要讨论电路的基本物理量、电路的基本定律、电路的基本连接方式、电路的工作状态及电路中电位的计算等。其中，有些内容虽已在物理学中讲过，但是为了加强理论的系统性和满足电工技术的需要，仍要进行复习，同时再加上一些新内容。在温故而知新的基础上，对这些内容的理解进一步巩固和加强，并能充分地应用和扩展这些内容。

1.1 电路的组成与作用

电路是电流的通路，它是为了某种需要由某些电工设备或元件按一定方式组合起来的。

电路一般由电源、负载及中间环节 3 个基本部分组成。其中，电源是提供电能的设备，如发电机和电池等，它们把非电能转换成电能；负载是取用电能的设备，如电灯、电炉、电动机等，它们分别把电能转换成光能、热能和机械能等；中间环节是连接电源和负载的部分，是用来传输和控制电能的。

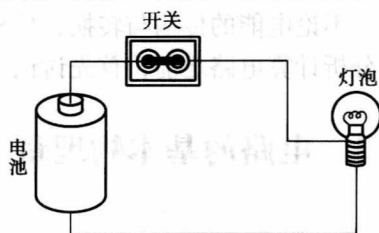


图 1-1 手电筒电路示意图

电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的，如图 1-1 所示，它是一个手电筒电路，它由电源、负载及中间环节 3 部分组成。

电路的作用是：实现电能的传输和转换，最典型的是供电电路；传递和处理信号，如收音机或电视机，它们的接收天线把载有音乐语言、图像处理的电磁波接收后转换为相应的电信号，而后通过电路对信号进行处理（调谐、变频、检波、放大等）后传送到扬声器和显像管，还原为原始信息；用于测量，如万用表电路；存储信息，计算机存放数据、程序。

尽管电路的外貌、功能、结构及设计方法不同，但它们都是建立在同一个理论即电路理论基础上的。在电路中，推动电路工作的电压或电流称为激励（即电源或输入）。由激励在电路中的各部分产生的电压或电流称为响应（输出）。所谓电路分析，就是在已知电路结构和元件参数的条件下，找出激励（输入）与响应（输出）之间的关系，即已知输入求输出或已知输出求输入。

1.2 电路模型

实际电路都是由一些实际电工设备和器件组成的。在电路中是用电压、电流、电荷或磁通等物理量来描述其过程的，例如各种电源信号就是用随时间变化的电流或电压来表示的，电路的响应也是用上述物理量来表示的，为此需对电路进行计算。有些实际电路内部结构非常复杂，且一个器件的作用也是多方面的。为了对电路进行计算，可把实际电路用足以反映

其电磁本质的一些理想电路元件的组合来代替，即为电路模型。理想电路元件是具有某种特定的电磁性质的假想元件。实际元件虽然种类繁多，但在电磁现象方面却有相同的地方，有的元件主要是消耗电能(如各种电阻器、电灯、电炉等)；有的元件主要是提供电能(如电池和发电机)；有的元件是储存磁场能量(如各种电感线圈)；有的元件则是储存电场能量(如各种电容器)。而一个实际元件可能会有两种或几种电磁性质(如电感线圈、电容器除上述性质外，还有电阻的性质)。应注意每一种理想元件只代表一种电磁性质，它们都有各自精确的定义，例如：用“电阻元件”这样一个具有两个端钮的理想电路元件来反映消耗电能的特征，当电流流过它时，在它内部进行着把电能转换成热能的不可逆过程。理想元件的电磁过程均在元件的内部进行。在任意时刻二端理想元件两端钮电流相等，即流进等于流出。这样，所有的电阻器、电灯、电炉等实际元件，均可用“电阻元件”来近似代替，而忽略其他电磁性质。

由一些理想电路元件所组成的电路，就是实际电路的电路模型，它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。在理想电路元件中主要有电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等。这些元件分别由相应的参数来表征，今后所分析的都是只由理想元件组成的电路模型，简称电路。在电路图中，各种电路元件用规定的图形符号表示。

不论电能的传输与转换，信号的传递或处理，都要通过电压、电流、功率来实现，所以在分析计算电路之前，首先讨论一下电路的几个基本物理量。

1.3 电路的基本物理量

1.3.1 电流

在电场的作用下，电荷的定向移动形成电流。在金属导体中，自由电子的定向移动形成电流；在半导体中，空穴载流子和电子的反向移动形成电流；在电解液中，正负离子的定向移动形成电流。

单位时间内通过导体某截面的电荷量称为电流，用表达式表示为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

若电流的大小和方向不随时间而变化，则称为直流，表示为

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

在国际单位制中电流的单位为安(A)， $1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$ 。

习惯上规定，电流的实际方向为正电荷移动的方向。

电流的方向是客观存在的，但在分析较为复杂的直流电路时，往往难以判断某支路中电流的实际方向，对交流电流来说，其方向不断随时间而变化，也无法用一个固定的方向标出。这样，我们便引用参考方向这个概念，在电路图中用箭头标出。任意选定某一方向作为电流的参考方向，并规定：当电流的实际方向与参考方向一致时，电流为正；反之，电流为负，如图 1-2 所示。

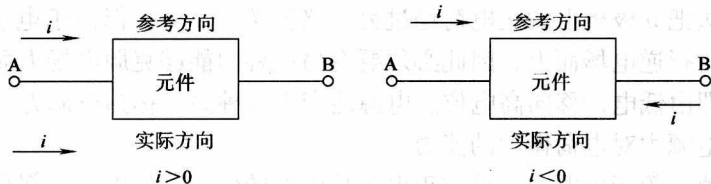


图 1-2 电流的实际方向和参考方向

应注意，只有在规定参考方向的前提下，电路中的电流才有正负之分，所以它是一个代数量。有了电流的参考方向，在分析电路时，只标出电流的参考方向，并以此为准去分析计算，最后从答案的正负确定实际方向。显然，在没有规定参考方向的情况下，电流的正负无任何意义。

1.3.2 电压与电动势

1. 电压

电荷在电路中流动，就必然有能量交换的发生，电荷在电源处得到电能，而在另一处（如电阻）失去电能。电荷得到的电能是由电源的其他形式的能量转换过来的，电荷在某些部分失去的电能是由电源提供的。因此，在电路中存在着能量的流动；电源可以提供能量，有电能输出；电阻吸收电能，有能量输入，电荷在电路中之所以能够流动，是电场力做功的结果。如图 1-3 所示，a、b 是电源的两个极，a 带正电荷，b 带负电荷，因此在 a、b 之间产生电场力，其方向由 a→b。导体将 a、b 两极通过灯泡连接起来，在电场力的作用下，正电荷就要从 a 极流向 b 极，这就是电场力对电荷做了功。为了衡量电场力对电荷做功的能力，引入电压的概念。

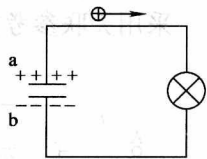


图 1-3 电压的概念

某两点间的电压，在数值上等于电场力把单位正电荷从一点移到另一点所做的功，即单位正电荷从高电位移到低电位所损失的电能表达式为

$$u_{ab} = \frac{dw_{ab}}{dq} \quad \text{或} \quad U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-2)$$

在电路中，两点之间的电压也称为两点之间的电位差，即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-3)$$

式中， V_a 为 a 点电位； V_b 为 b 点电位。

电压的实际方向规定为从高位指向低位。

如同需要为电流规定参考方向一样，也需要为电压规定参考方向。电压的参考方向是在电路中任意假定的电压正方向，即为电位降的方向。电压参考方向在电路用“+”“-”号表示；或用箭头表示，从高位指向低位；或者用双下标表示，如 U_{ab} 表示电压从 a→b。

由于规定了电压的参考方向，计算时求出的电压有正、有负。若为正，则表示参考方向与实际方向相同；若为负，则表示参考方向与实际方向相反，即电压也是一个代数量。

2. 电动势

为了维持电流不断地在导体中流通，则必须使其电压保持恒定（交流电为有效值不变），

就是说, 要想办法把 b 极板上的正电荷经过另一路径送到 a 极, 但由于电场力的作用, 在 b 极的正电荷不能自行逆电场而上, 因此必须要有另一种力能够克服电场力而使 b 极板上的正电荷移到 a 极, 即由低电位移向高电位。电源能产生这种力, 称为电源力。我们用电动势这个物理量来衡量电源力对电荷做功的能力。

电动势在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的低电位经电源内部移到高电位所做的功, 即单位正电荷从低电位移动到高电位所获得的电能。用公式表示为

$$e_{ba} = \frac{dw_{ba}}{dq} \quad \text{或} \quad e_{ba} = \frac{W_{ba}}{Q} \quad (1-4)$$

电动势的方向规定为在电源内部由低电位指向高电位, 即电位升高的方向。

电压与电动势的单位均为伏(V), $1\text{kV} = 10^3\text{V} = 10^6\text{mV} = 10^9\mu\text{V}$ 。

综上所述, 在分析电路时, 既要为电流规定参考方向, 又要为电压规定参考方向。它们之间可以是独立无关的, 可任意假定。为了方便, 通常采用关联参考方向, 即在一段电路中, 当电压与电流的参考方向选得一致时, 称电压、电流为关联参考方向, 否则, 称为非关联参考方向, 如图 1-4 所示。电流的参考方向是指向参考电压降的方向。

采用关联参考方向后, 在电路图上只需标出电压或电流中的一个参考方向即可。

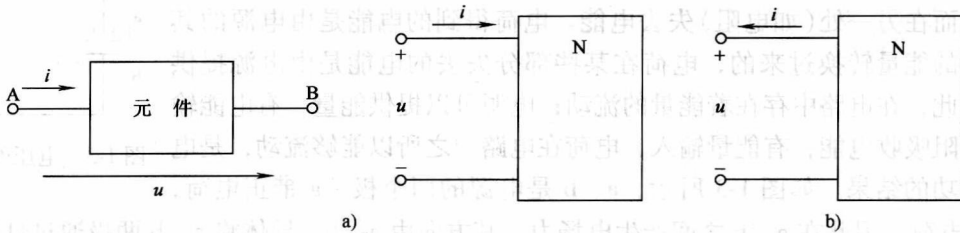


图 1-4 电流、电压的参考方向

a) 关联参考方向 b) 非关联参考方向

在图 1-5 所示的电路中, 当 $V_a = 3\text{V}$ 、 $V_b = 2\text{V}$ 时, 则 $u_1 = 1\text{V}$, $u_2 = -1\text{V}$ 。

1.3.3 功率

正电荷从电路元件的电压“+”极经元件到“-”极, 这是电场力对电荷做功

的结果, 这时元件吸收电能。反之, 正电荷从元件的电压“-”极经元件移到“+”极, 元件向外释放电能。这个能量的大小用功率来表示。

单位时间内电场力移动正电荷所做的功称为电功率, 简称功率, 用 p 表示。即

$$P = \frac{dw}{dt}$$

dw 为在 dt 时间内电场力所做的功, 即正电荷得到或失去的能量。功率的单位为瓦(W)。

$$1\text{kW} = 10^3\text{W} = 10^6\text{mW}$$

若元件电压和电流采用关联参考方向, 该元件吸收的功率为

$$p = ui \quad (1-5)$$

按式(1-5)计算的结果, 若 $p > 0$, 表示元件吸收或得到功率, 若 $p < 0$, 则意味着元件提

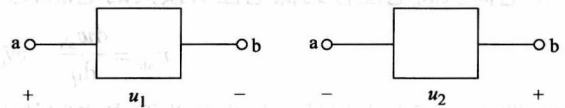


图 1-5 电压的方向

供或发出功率。在非关联参考方向下，若采用 $p = ui$ ，则 $p > 0$ 表示元件发出功率， $p < 0$ 表示元件吸收功率。为了统一起见，功率表达式可表示为 $p = \pm ui$ ，对于关联参考方向表达式前取“+”，而非关联参考方向前取“-”，则 $p > 0$ ，表示元件吸收功率，若 $p < 0$ ，则意味着元件发出功率(元件的功率见图 1-6)，因电压、电流均采用参考方向，本身也有正负，所以按式(1-5)计算出功率的正负要视具体情况而定。因此功率表达式前应有两套符号，即

$$p = \pm (\pm |u|) (\pm |i|) \quad (1-6)$$

括号外的“+”“-”是根据参考方向是否为关联而定，括号内的“+”“-”是根据电压、电流实际的正负而定。

在分析电路中，经常要判别哪个元件是电源(或起电源作用)，哪个是负载(或起负载作用)，可根据功率的正负或电压、电流的实际方向判断。

若电压电流为关联参考方向，功率表达式前取“+”号，则 $p > 0$ 表示该元件为负载，而若 $p < 0$ ，则表示该元件为电源。

若电流的实际方向是从电压实际的正极性流进(即实际方向为关联)，则该元件为负载；若电流的实际方向是从电压实际的正极性流出(即实际方向为非关联)，则该元件为电源。

例 1-1 求图 1-7 所示各元件的功率，并判断元件的性质。

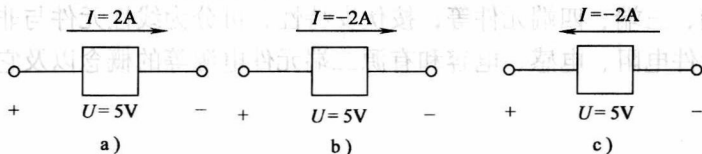


图 1-7 例 1-1 的图

解：图 1-7a 中，电压电流是关联方向，所以

$$P = UI = (5 \times 2) \text{ W} = 10 \text{ W}$$

$P > 0$ ，元件吸收 10W 功率，是负载。

图 1-7b 中，电压电流是关联方向，所以

$$P = UI = (-2 \times 5) \text{ W} = -10 \text{ W}$$

$P < 0$ ，元件产生 10W 功率，是电源。

图 1-7c 中，电压电流是非关联方向，所以

$$P = -UI = -(-2 \times 5) \text{ W} = 10 \text{ W}$$

$P > 0$ ，元件吸收 10W 功率，是负载。

练习与思考

1.3.1 如图 1-8a 所示电路，已知 $U_{ab} = -10\text{V}$ ，试画出 a、b 两点的实际电压方向。

1.3.2 如图 1-8b 所示电路，已知 $U_1 = -10\text{V}$ ， $U_2 = 12\text{V}$ ，求 U_{ab} 等于多少伏？

1.3.3 如图 1-9 所示电路，4C 正电荷由 a 点均匀移动至 b 点电场力做功 8J，由 b 点移动到 c 点电场力做功为 12J，(1)若以 b 点为参考点，求 a、b、c 点的电位和电压 U_{ab} 、 U_{bc} ；(2)若以 c 点为参考点，再求以上各值。