

卓越工程师教育培养计划配套教材

工程基础系列

电工技术

范小兰 主编

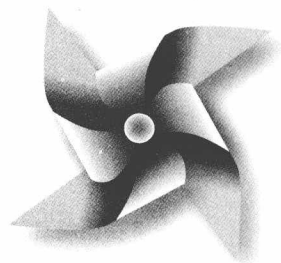
何志茛 赵春锋 张锡民 苏圣超 副主编



清华大学出版社

卓越工程师教育培养计划配套教材

工程基础系列



电工技术

范小兰 主 编

何志良 赵春锋 张锡民 苏圣超 副主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书以 2011 年教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会颁布的“电工学”课程教学基本要求中的电工技术部分作为编写的基本依据,包含结合生产和生活实际的案例,旨在突出电工技术的实际应用。本书共 8 章,内容包括电路的基本概念和分析方法、正弦交流电路、三相正弦交流电路与安全用电、一阶线性电路的暂态过程分析、磁路和变压器、交流电动机、继电器接触器控制电路以及可编程控制器及其应用。

本书可作为高等学校非电类专业的电工技术教科书,也可供其他工科专业选用和社会读者阅读。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/范小兰主编.--北京:清华大学出版社,2013

(卓越工程师教育培养计划配套教材·工程基础系列)

ISBN 978-7-302-31795-1

I. ①电… II. ①范… III. ①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 062975 号

责任编辑:庄红权 赵从棉

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:14.75

字 数:351 千字

版 次:2013 年 5 月第 1 版

印 次:2013 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~3500

定 价:29.80 元

产品编号:049127-01

卓越工程师教育培养计划配套教材

总编委会名单

主 任：丁晓东 汪 泓

副主任：陈力华 鲁嘉华

委 员：(按姓氏笔画为序)

丁兴国	王岩松	王裕明	叶永青	刘晓民
匡江红	余 粟	吴训成	张子厚	张莉萍
李 毅	陆肖元	陈因达	徐宝纲	徐新成
徐滕岗	程武山	谢东来	魏 建	

卓越工程师教育培养计划配套教材

——工程基础系列编委会名单

主 任：徐新成 程武山

副主任：张子厚 刘晓民 余 粟

委 员：(按姓氏笔画为序)

王明衍	刘立厚	朱建军	汤 彬	吴建宝
张学山	张敏良	张朝民	李 路	陈建兵
林海鸥	范小兰	胡义刚	胡浩民	唐觉民
徐红霞	徐滕岗			



《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020)》明确指出“提高人才培养质量。牢固确立人才培养在高校工作中的中心地位,着力培养信念执著、品德优良、知识丰富、本领过硬的高素质专门人才和拔尖创新人才。……支持学生参与科学研究,强化实践教学环节。……创立高校与科研院所、行业、企业联合培养人才的新机制。全面实施‘高等学校本科教学质量与教学改革工程’。”教育部“卓越工程师教育培养计划”(简称“卓越计划”)是为贯彻落实党的“十七大”提出的走中国特色新型工业化道路、建设创新型国家、建设人力资源强国等战略部署,贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020)》实施的高等教育重大计划。“卓越计划”对高等教育面向社会需求培养人才,调整人才培养结构,提高人才培养质量,推动教育教学改革,增强毕业生就业能力具有十分重要的示范和引导作用。

上海工程技术大学是一所具有鲜明办学特色的地方工科大学。长期以来,学校始终坚持培养应用型创新人才的办学定位,以现代产业发展对人才需求为导向,努力打造培养优秀工程师的摇篮。学校构建了以产学研战略联盟为平台,学科链、专业链对接产业链的办学模式,实施产学合作教育人才培养模式,造就了“产学合作、工学交替”的真实育人环境,培养有较强分析问题和解决问题能力,具有国际视野、创新意识和奉献精神的高素质应用型人才。

上海工程技术大学与上海汽车集团公司、上海航空公司、东方航空公司、上海地铁运营有限公司等大型企业集团联合创建了“汽车工程学院”、“航空运输学院”、“城市轨道交通学院”、“飞行学院”,校企联合成立了校务委员会和院务委员会,企业全过程参与学校相关专业的人才培养方案、课程体系和实践教学体系的建设,学校与企业实现了零距离的对接。产学合作教育使学生每年都能够到企业“顶岗工作”,学生对企业生产第一线有了深刻的了解,学生的实践能力和社会适应能力不断增强。这一系列举措都为“卓越工程师教育培养计划”的实施打下了坚实基础。

自2010年教育部“卓越工程师教育培养计划”实施以来,上海工程技术大学先后获批了第一批和第二批5个专业8个方向的试点专业。为此,学校组成了由企业领导、业务主管与学院主要领导组成的试点专业指导委员会,根据各专业工程实践能力形成的不同阶段的特点,围绕课内、课外培养和学校、企业培养两条互相交叉、互为支撑的培养主线,校企双方共同优化了试点专业的人才培养方案。试点专业指导委员会聘请了部分企业高级工程师、技术骨干和高层管理人员担任试点专业的教学工作,参与课程建设、教材建设、实验教学建设等教学改革工作。



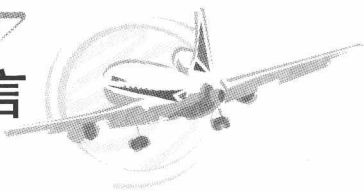
“卓越工程师教育培养计划配套教材——工程基础系列”是根据培养卓越工程师“具备扎实的工程基础理论、比较系统的专业知识、较强的工程实践能力、良好的工程素质和团队合作能力”的目标进行编写的。本系列教材由公共基础类、计算机应用基础类、机械工程专业基础类和工程能力训练类组成,共 21 册,涵盖了“卓越计划”各试点专业公共基础及专业基础课程。

该系列教材以理论和实践相结合作为编写的理念和原则,具有基础性、系统性、应用性等特点。在借鉴国内外相关文献资料的基础上,加强基础理论,对基本概念、基础知识和基本技能进行清晰阐述,同时对实践训练和能力培养方面作了积极的探索,以满足卓越工程师各试点专业的教学目标和要求。如《高等数学》适当融入“卓越工程师教育培养计划”相关专业(车辆工程、飞行技术)的背景知识并进行应用案例的介绍。《大学物理学》注意处理物理理论的学习和技术应用介绍之间的关系,根据交通(车辆和飞行)专业特点,增加了流体力学简介等,设置了物理工程的实际应用案例。《C 语言程序设计》以编程应用为驱动,重点训练学生的编程思想,提高学生的编程能力,鼓励学生利用所学知识解决工程和专业问题。《现代工程图学》等 7 本机械工程专业基础类教材在介绍基础理论和知识的同时紧密结合各专业内容,开拓学生视野,提高学生实际应用能力。《现代制造技术实训习题集》是针对现代化制造加工技术——数控车床、数控铣床、数控雕刻、电火花线切割、现代测量等技术进行编写。该系列教材强调理论联系实际,体现“面向工业界、面向世界、面向未来”的工程教育理念,努力实践上海工程技术大学建设现代化特色大学的办学思想和特色。

这种把传统理论教学与行业实践相结合的教学理念和模式对培养学生的创新思维,增强学生的实践能力和就业能力会产生积极的影响。以实施卓越计划为突破口,一定能促进工程教育改革和创新,全面提高工程教育人才培养质量,对我国从工程教育大国走向工程教育强国起到积极的作用。

陈关龙

上海交通大学机械与动力工程学院教授、博士生导师、副院长
教育部高等学校机械设计制造及自动化教学指导委员会副主任
中国机械工业教育协会机械工程及自动化教学委员会副主任



《电工技术》是上海工程技术大学电工教研室在近年的教学改革要求下,为加强工程实践教育,进一步提高工程教育的质量,培养具有实践能力和创新能力的卓越工程师而编写的一本教材。

“电工技术”是一门传统的、高等学校理工科非电类专业本专科学生的专业技术基础课程,但电工新技术的不断出现又使其内容不断发展。本书以2011年教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会颁布的“电工学”课程教学基本要求中的电工技术部分作为编写的基本依据。教材在满足课程教学基本要求的前提下,对教学内容精心选择,既注重基础知识,又体现其先进性,并注意突出电工技术的具体应用。教材中包含结合生产和生活实际的案例,可以使读者深刻理解和掌握电工理论知识,扩大知识面,了解电工技术的实际应用。

本书内容包括电路的基本概念和分析方法、正弦交流电路、三相正弦交流电路与安全用电、一阶线性电路的暂态过程分析、磁路和变压器、交流电动机、继电器接触器控制电路以及可编程控制器及其应用。编写中力求做到概念准确,叙述简洁明了。书中凝结了上海工程技术大学电工教研室一线教师历年的教学经验,其中的例题和习题都经过编者精心选择,方便读者学习。

各章讲课学时安排建议如下(仅供参考):

课 程 内 容	讲 课 学 时
第1章 电路的基本概念和分析方法	10
第2章 正弦交流电路	12
第3章 三相正弦交流电路与安全用电	4
第4章 一阶线性电路的暂态过程分析	4
第5章 磁路和变压器	4
第6章 交流电动机	4
第7章 继电器接触器控制电路	4
第8章 可编程控制器及其应用	6
合计	48

鉴于电工技术实践性强的特点,建议在安排学习电工技术理论课程的同时,开展电工技术实验和电工实习课程。只有采取多方位立体化的教学,才能使学生获得电工技术必要的



基本理论、基本知识和基本技能,为今后从事与电工技术有关的工作打下良好的基础。

本书由上海工程技术大学电工教研室组织编写,范小兰主编。第1、4章由何志茛执笔,第2章由范小兰执笔,第3章由苏圣超执笔,第5、6章由张锡民执笔,第7、8章由赵春锋执笔。王维荣副教授对书稿进行了仔细审阅,在此,谨表示衷心的感谢。

由于编者的学识和水平有限,书中难免存在不妥和错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2013年3月



第 1 章 电路的基本概念和分析方法	1
1.1 电路的作用与组成部分	1
1.2 电路的基本物理量	2
1.3 电路模型和电路元件	5
1.3.1 电路模型	5
1.3.2 电阻和欧姆定律	6
1.3.3 电源	8
1.4 电路的工作状态	9
1.4.1 电路有载工作	9
1.4.2 电源开路	10
1.4.3 电源短路	11
1.4.4 利用电位简化的电源电路	11
1.5 基尔霍夫定律	12
1.5.1 基尔霍夫电流定律	13
1.5.2 基尔霍夫电压定律	13
1.6 电阻和电源的等效变换	15
1.6.1 电阻的等效变换	15
1.6.2 电源的等效变换	17
1.7 支路电流法和节点电压法	19
1.7.1 支路电流法	20
1.7.2 节点电压法	21
1.8 叠加定理	22
1.9 等效电源定律	24
1.9.1 戴维宁定理	25
1.9.2 诺顿定理	27
1.10 含受控源的电阻电路	28
小结	29



习题	29
第2章 正弦交流电路	35
2.1 正弦量的三要素	35
2.1.1 幅值和有效值	36
2.1.2 周期和频率	36
2.1.3 初相位	37
2.2 正弦交流电的相量表示法	39
2.2.1 复数及其基本运算	39
2.2.2 相量和正弦量	40
2.2.3 正弦量的相量表示法	41
2.2.4 基尔霍夫定律的相量形式	42
2.3 电阻、电感和电容元件的正弦交流电路	44
2.3.1 电阻元件的正弦交流电路	44
2.3.2 电感元件的正弦交流电路	46
2.3.3 电容元件的正弦交流电路	48
2.4 电阻、电感与电容元件的串联电路	51
2.4.1 RLC 串联电路中电压与电流的关系	51
2.4.2 用相量图分析计算 RLC 串联正弦交流电路	53
2.4.3 RLC 串联交流电路的功率关系	53
2.5 阻抗的串联与并联	58
2.5.1 阻抗的串联	58
2.5.2 阻抗的并联	59
2.6 电路中的谐振	63
2.6.1 串联谐振	63
2.6.2 并联谐振	68
2.7 功率因数的提高	69
小结	71
习题	71
第3章 三相正弦交流电路与安全用电	77
3.1 三相正弦交流电源	77
3.1.1 三相正弦交流电的产生	77
3.1.2 三相电源的连接方式	78
3.2 三相电路的分析和计算	80
3.2.1 负载星形连接的三相电路	80
3.2.2 负载三角形连接的三相电路	85
3.3 三相电路的功率	86
3.4 供电与用电	88



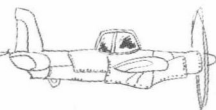
3.4.1	电力系统的组成	88
3.4.2	能源的利用	89
3.4.3	电能的输送	90
3.5	安全用电	92
3.5.1	触电事故	92
3.5.2	触电的类型	95
3.5.3	保护接地和保护接零	97
3.5.4	触电事故的规律和预防	99
小结		100
习题		101
第4章	一阶线性电路的暂态过程分析	103
4.1	换路定则与电流和电压初始值的确定	103
4.2	RC 电路的暂态过程	105
4.2.1	RC 电路暂态过程的经典分析法	106
4.2.2	暂态过程的三种类型	107
4.2.3	时间常数 τ 的物理意义	108
4.3	一阶线性电路暂态过程的三要素法	110
4.3.1	三要素公式	110
4.3.2	三要素法的应用举例	111
4.4	RC 电路在矩形脉冲激励下的响应	115
4.4.1	由电阻两端输出的 RC 电路	115
4.4.2	由电容两端输出的 RC 电路	116
4.5	RL 电路的暂态过程分析	117
小结		120
习题		121
第5章	磁路和变压器	124
5.1	磁场的基本物理知识	124
5.2	磁性材料的性能	125
5.2.1	高导磁性	125
5.2.2	磁饱和性	126
5.2.3	磁滞性	126
5.3	磁路的物理知识	128
5.4	铁芯线圈磁路分析	130
5.4.1	直流铁芯线圈电路分析	130
5.4.2	交流铁芯线圈电路分析	130
5.4.3	交流铁芯线圈电路的电压电流分析	131
5.4.4	交流铁芯线圈电路的功率损耗	132



5.5 变压器的工作原理与应用	133
5.5.1 变压器的工作原理	133
5.5.2 变压器的电压变换	134
5.5.3 变压器的电流变换	135
5.5.4 变压器的阻抗变换	135
5.5.5 变压器的结构和种类	136
5.5.6 三相变压器	137
5.5.7 专用变压器	137
5.5.8 变压器的铭牌数据	138
5.5.9 绕组的极性	139
小结	140
习题	140
第6章 交流电动机	142
6.1 三相异步电动机的结构	142
6.2 三相异步电动机的工作原理	144
6.3 三相异步电动机的电路分析	148
6.3.1 定子电路	149
6.3.2 转子电路	149
6.4 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	150
6.4.1 电磁转矩	150
6.4.2 转矩特性和机械特性	151
6.5 三相异步电动机的铭牌数据	154
6.6 三相异步电动机的起动	157
6.7 三相异步电动机的调速	160
6.8 三相异步电动机的制动	162
小结	163
习题	163
第7章 继电器接触器控制电路	165
7.1 常用控制电器	165
7.1.1 刀开关	165
7.1.2 主令电器	167
7.1.3 断路器	170
7.1.4 熔断器	171
7.1.5 接触器	172
7.1.6 继电器	173
7.1.7 常用电磁执行机构	176
7.2 三相异步电动机的基本控制电路	178



7.2.1 鼠笼式电动机直接起动的控制线路.....	178
7.2.2 鼠笼式电动机正反转的控制线路.....	179
7.2.3 时间控制.....	181
7.2.4 顺序控制电路.....	182
7.2.5 行程控制.....	183
7.3 应用举例	184
7.3.1 加热炉自动上料控制线路.....	184
7.3.2 鼠笼式电动机能耗制动控制线路.....	185
7.4 常用电机、电器的图形符号.....	187
小结.....	188
习题.....	188
第8章 可编程控制器及其应用.....	191
8.1 PLC的组成和工作原理	191
8.1.1 PLC的组成和各部分的作用	191
8.1.2 PLC的工作原理	194
8.1.3 PLC的主要技术指标	195
8.2 PLC的程序编制	196
8.2.1 编程元件.....	196
8.2.2 PLC的编程语言	197
8.2.3 PLC的指令系统	202
8.3 PLC应用举例	209
小结.....	215
习题.....	215
参考文献.....	218



电路的基本概念和分析方法

电路分析是电工技术和电子技术的基础。

本章首先对描述电路的基本物理量——电流、电压和电功率等进行了复习,并讨论了电压、电流的参考方向问题。然后从电路模型入手,介绍组成电路的各种电路元件及其伏安特性,阐述了电路理论中的基本定律——基尔霍夫定律。文中着重以直流电路为例,介绍了分析电路的一些基本方法和定理,主要有支路电流法、节点电压法、叠加定理以及电源的等效变换、戴维宁定理、诺顿定理等。这些方法和定理同样适用于对正弦交流等时变信号电路的分析和计算。故本章内容是学习电工技术课程的重要基础。

1.1 电路的作用与组成部分

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

电在现代日常生活、工农业生产、科研和国防等许多方面都有十分广泛的应用。从技术领域来看,电的应用可分为能量和信息两大领域,它们都利用了电能几乎可以瞬时地传送到远处这一性质。

电力系统涉及大规模电能的产生、传输和转换(为其他形式的能量),构成现代工业生产、家庭生活电气化等方面的基础。在这类电路里,能量是主要的着眼点。

电能也可以以极其微小而被精确控制的形式传送,具有携带信息的能力,如日常的电话通信、计算机间信息的交流等,电是控制其他形式能量最有效的手段。在这类电路里,信息是主要的着眼点。电用作信息处理和交换的媒介已成为当代信息社会的显著特征。

电路的形式多种多样,大至长距离的电力输电线,小至微电子芯片上的集成电路,功能各有不同,但它们是受共同的基本规律支配的。这就是电路的基本分析方法和基本性质。

不论是传输能量的电路,还是作信号处理的电路,都有电源、负载和中间环节三个组成部分。

电源是电路中提供电能或电信号的装置,例如发电厂里的发电机,把热能、水能或核能转换为电能;又例如收音机电路中,天线可以接收到电台发出的载有声音信息的无线电波,天线提供电信号,就是电路的信号源。

负载是电路中将电能转化为其他形式的能量或将处理过的信号传送出来的装置,例如灯泡将电能变为光能,电动机将电能变为机械能,又例如收音机的扬声器,将处理和放大后



的电台声音信号重现出来。

中间环节是电路中连接电源和负载的装置,起传输、分配电能或处理电信号的作用。例如发电厂和用户之间的输电线路、变压器、控制开关等,又例如收音机电路中对信号进行放大和处理的电路。

不论电能的传输和转换,或者信号的传递和处理,其中电源或信号源的电压或电流称为激励,它推动电路工作,由于激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。所谓电路分析,就是在已知电路的结构和元件参数的条件下,讨论电路的激励与响应之间的关系。

[练习与思考]

1.1.1 举出一个生活中的电路实例,并分析它完成的是何种作用。它的负载将电能转化为何种能源或者处理的是什么信号?

1.2 电路的基本物理量

众所周知,物质都是由原子构成的,原子由原子核和在它周围高速运动的电子组成。电子沿一定的轨道绕原子核旋转,其中,有一部分在最外层轨道的电子可以脱离原子核的束缚,在原子之间自由地流动,这种电子称为自由电子。自由电子多的物质,比如金属,容易导电,所以称为导体;自由电子少的物质,比如木材、陶瓷,不容易导电,称为绝缘体。

电和水有非常类似的特点。如图 1.2.1(a)水槽 A 和水槽 B 中水位的高度不同,在 A、B 之间连接水管,由于水位的落差,就会产生水压,水在水压的作用下从水位高处往水位低处流动从而形成水流。如果再在 A、B 之间加入一个抽水泵,那么水流就会持续不断地在 A、B 之间流动。在水管中放上涡轮,它就会被水流推动而转起来,阀门则可以控制水流停止。如图 1.2.1(b)所示,用导线将干电池与小灯泡连接起来,小灯泡将被点亮。这个电路的原理和左边的水路是类似的。电池的正极与负极之间有电位的落差,因此存在电压。导线(铜线)的最外层电子容易变成自由电子,在电压的作用下,电子就会流动。自由电子带负电荷,而我们把正电荷流动的方向视为电流的方向。当电流流过电灯,电灯就会被点亮,开关则可以控制电流停止。

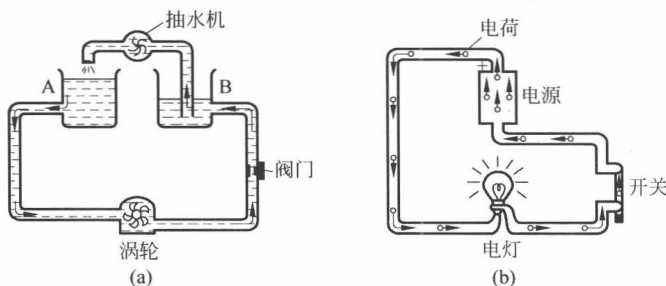


图 1.2.1 水路(a)与电路(b)的比较

下面介绍电路的基本物理量。

1. 电流

电荷的定向运动形成电流,物理中把正电荷运动的方向规定为电流的方向。电流的大



小为单位时间内通过导体截面积的电量,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.1)$$

式中, i 表示电流, q 表示电荷量, t 表示时间。

在国际单位制中,时间的单位为秒(s),电量的单位为库[仑](Q),电流的单位为安[培],简称安(A)。常用的电流单位还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A)。

如果电流的大小和方向不随时间变化,则称为**直流电流**,用大写字母表示,以图 1.2.2(a)为例,记作 $I=5\text{A}$ 。如果电流的大小和方向随时间作周期性变化,则称为**交流电流**,用小写字母表示,以图 1.2.2(b)为例,记作 $i=5\sin\omega t\text{A}$ 。

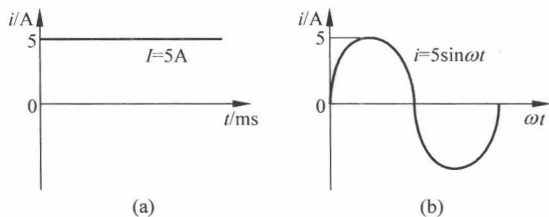


图 1.2.2 直流电流(a)和交流电流(b)

其他的电路物理量如电压、电功率等,也用同样的大小写方式来区分直流量和交流量。

2. 电压

电压用来描述电场力移动单位电荷所需要的能量。电路中 a、b 两点之间的电压 u 表示把单位正电荷由 a 点移动到 b 点所需要的能量,即

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1.2.2)$$

式中, u 表示电压, w 表示能量。

国际单位制中, w 的单位为焦[耳](J),电压的单位是伏[特](V)。常用的电压单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)。同前所述,直流电压用大写字母 U 表示,交流电压用小写字母 u 表示。

与电压相关的物理量还有电动势和电位,它们的单位都与电压一样是伏[特](V)。电动势用字母 E 表示,特指电源内部克服电场力做功的能力。电位用字母 V 表示,指电路在指定参考点以后,各点相对于它的电压。关于电位会在后面的内容中详述。

3. 电流、电压的参考方向

在分析电路的过程中,我们经常需要对电路中的某个元件上的电压和电流进行数学形式的计算。后面会提到,所有的理想电路元件都能用数学公式或曲线描述其电压和电流的关系。在标记电路中某个元件的电压和电流的时候,我们采用如图 1.2.3 所示的方法。

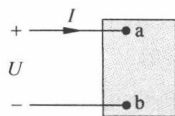


图 1.2.3 电压和电流的标示方法