

卓越工程师教育培养计划配套教材

工程基础系列

电工与电子技术

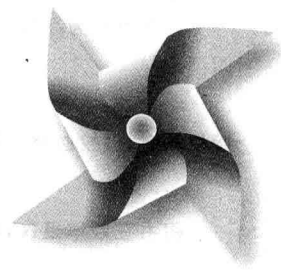


梁艳 苏圣超 蒲永红 主编

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



电工与电子技术

梁艳 苏圣超 蒲永红 主编

清华大学出版社

内 容 简 介

《电工与电子技术》是上海工程技术大学电工教研室在近几年教学改革的要求下,为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工程技术人才而编写的。

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与电子技术部分作为编写的基本依据,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,并注意突出电工与电子技术的具体应用。本书包含的内容有电路分析基础、正弦交流电路、分立元器件基本电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路和集成运算放大器。

本书由上海工程技术大学王维荣副教授仔细审阅。

本书可作为高等学校非电类专业的电工与电子技术教科书,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

电工与电子技术/梁艳,苏圣超,蒲永红主编. —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 978-7-302-34125-3

I. ①电… II. ①梁… ②苏… ③蒲… III. ①电工技术—高等学校—教材 ②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 243498 号



责任编辑:庄红权 赵从棉

封面设计:何凤霞

责任校对:王淑云

责任印制:宋 林

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:13.25

字 数:323 千字

版 次:2013 年 12 月第 1 版

印 次:2013 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.80 元

产品编号:056354-01

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	徐宝钢	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	范晓兰	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 23 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。《现代工程设计图学》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



《电工与电子技术》是上海工程技术大学电工教研室在近几年教学改革的要求下,为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工程技术人才而编写的一本教材。

“电工与电子技术”是高等学校理工科非电类专业的一门专业基础课程,该课程的作用和任务是:使学生通过课程的学习,获得有关电工与电子技术必要的基本理论、基本知识和基本技能。目前,电工与电子技术应用十分广泛,发展非常迅速,并且日益渗透到其他学科领域,同时新技术的不断出现又使其内容不断发展。因此,“电工与电子技术”的教材建设必须与时俱进。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与电子技术部分作为编写的基本依据,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,并注意突出电工与电子技术的具体应用。书中包含结合生产和生活实际的应用举例,可以使读者深刻理解和掌握电工与电子技术的理论知识,扩大知识面。

本书包含的内容有电路分析基础,正弦交流电路,分立元器件基本电路,组合逻辑电路,时序逻辑电路,集成运算放大器。编写中力求做到概念准确,叙述简洁明了。本书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,为教与学都提供了方便。

本书适用于“电工与电子技术”课程 48 学时左右,各章讲课学时安排的建议如下(仅供参考):

课 程 内 容	讲课	实验	习题课、讨论课	小计
第 1 章 电路分析基础	6	2	2	10
第 2 章 正弦交流电路	6			6
第 3 章 分立元器件基本电路	8		2	10
第 4 章 组合逻辑电路	6	2		8
第 5 章 时序逻辑电路	6			6
第 6 章 集成运算放大器	6		2	8
共 计	38	4	6	48

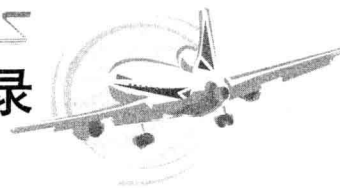


鉴于“电工与电子技术”是一门实践性较强的课程,其理论知识与实践结合非常紧密,所以开展配套实验是其必要环节。只有通过合理的实验环节,才能使学生更好地理解电工与电子理论知识,获得电工与电子技术必要的知识和技能,为今后从事相关的工作打下基础。

本书由上海工程技术大学电工教研室组织编写,梁艳、苏圣超、蒲永红主编。参加编写的有苏圣超(第1、2章),蒲永红(第3章),梁艳(第4、5章),章伟(第6章),黄立新(6.3节),由梁艳、苏圣超统稿。王维荣副教授对书稿进行了仔细审阅,并提出了宝贵意见,在此谨表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中必定存在不足和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者



第 1 章 电路分析基础	1
1.1 电路和电路的基本物理量	1
1.1.1 电流	2
1.1.2 电位	2
1.1.3 电压	2
1.1.4 电流、电压的参考方向	3
1.1.5 电功率	3
1.2 电阻、电感和电容元件	4
1.2.1 电阻	5
1.2.2 电感元件	7
1.2.3 电容元件	8
1.3 独立电源装置	9
1.3.1 电压源	9
1.3.2 电流源	10
1.3.3 电压源与电流源的等效变换	10
1.4 电路的工作状态	12
1.4.1 电路有载工作	12
1.4.2 电路开路	13
1.4.3 电路短路	14
1.5 基尔霍夫定律	15
1.5.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	15
1.5.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	16
1.6 简单电阻电路	17
1.6.1 电阻的串联	18
1.6.2 电阻的并联	18
1.7 叠加定理	20
1.8 等效电源定理	22



1.8.1	戴维南定理	22
1.8.2	诺顿定理	24
小结		25
习题		26
第2章	正弦交流电路	30
2.1	正弦量的三要素	30
2.1.1	幅值和有效值	31
2.1.2	周期和频率	31
2.1.3	初相位	32
2.2	正弦交流电的相量表示法	33
2.2.1	复数及其基本运算	34
2.2.2	相量和正弦量	35
2.2.3	正弦量的相量表示法	36
2.2.4	基尔霍夫定律的相量形式	37
2.3	电阻、电感和电容元件的正弦交流电路	38
2.3.1	电阻元件的正弦交流电路	38
2.3.2	电感元件的正弦交流电路	40
2.3.3	电容元件的正弦交流电路	42
2.4	电阻、电感与电容元件的串联电路	44
2.4.1	RLC 串联电路中电压与电流的关系	44
2.4.2	用相量图分析计算 RLC 串联正弦交流电路	46
2.4.3	RLC 串联交流电路的功率关系	47
2.5	简单正弦交流电路的计算	50
2.5.1	阻抗串联的交流电路	50
2.5.2	阻抗并联的交流电路	52
2.5.3	阻抗串并联的简单交流电路	53
2.6	电路中的谐振	54
2.6.1	串联谐振	54
2.6.2	并联谐振	59
2.7	功率因数的提高	61
小结		63
习题		63
第3章	分立元器件基本电路	68
3.1	二极管	68
3.1.1	半导体的导电特性及 PN 结	68
3.1.2	半导体二极管	71
3.1.3	稳压二极管	72



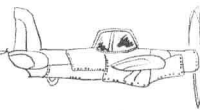
3.2	晶体三极管	73
3.2.1	基本结构	73
3.2.2	工作原理	73
3.2.3	特性曲线和主要参数	74
3.3	共发射极放大电路	77
3.3.1	放大电路基本概念	77
3.3.2	电路基本组成	77
3.3.3	静态分析方法	78
3.3.4	动态分析方法	80
3.4	共集电极放大电路	85
3.5	分立元件组成的基本门电路	88
3.5.1	逻辑门电路的基本概念	88
3.5.2	分立元件基本逻辑门电路	88
3.6	应用举例	92
3.6.1	二极管的应用	92
3.6.2	三极管的应用	94
	小结	95
	习题	96
第4章	组合逻辑电路	102
4.1	逻辑代数运算规则	103
4.1.1	逻辑代数基本运算和基本公式	103
4.1.2	复杂逻辑关系及逻辑门电路的组合	104
4.2	集成门电路	107
4.2.1	TTL 门电路	107
4.2.2	CMOS 门电路	111
4.3	逻辑函数的表示和化简	113
4.3.1	逻辑函数的表示及相互转换	113
4.3.2	逻辑函数的化简	115
4.4	组合逻辑电路的分析与设计	118
4.4.1	组合逻辑电路的一般分析方法	118
4.4.2	组合逻辑电路的设计	120
4.4.3	组合逻辑电路设计中的实际问题	121
4.5	应用举例	125
4.5.1	应用门电路的注意事项	125
4.5.2	加法器	126
4.5.3	编码器	128
4.5.4	译码器	130
	小结	134



习题	135
第 5 章 时序逻辑电路	138
5.1 集成触发器	138
5.1.1 基本 RS 触发器	138
5.1.2 可控 RS 触发器	140
5.1.3 JK 触发器	142
5.1.4 D 触发器	144
5.2 时序逻辑电路的结构及分析方法	146
5.2.1 时序逻辑电路的基本结构及特点	146
5.2.2 时序逻辑电路的分析方法	147
5.3 应用举例	151
5.3.1 计数器	151
5.3.2 寄存器	159
5.3.3 带数字显示的七路抢答器	164
小结	165
习题	166
第 6 章 集成运算放大器	169
6.1 集成运算放大器概述	169
6.1.1 集成运算放大器的基本结构	169
6.1.2 差分放大电路	170
6.2 集成运放的基本特性	174
6.2.1 集成运放的主要参数	174
6.2.2 集成运放的电压传输特性	175
6.2.3 集成运放的理想特性	175
6.3 放大电路中的负反馈	176
6.3.1 反馈的基本概念	176
6.3.2 负反馈的四种类型	178
6.3.3 负反馈对放大电路性能的影响	179
6.4 集成运算放大器在信号运算方面的应用	181
6.4.1 比例运算电路	181
6.4.2 加法运算电路	183
6.4.3 减法运算电路	184
6.4.4 积分运算	185
6.4.5 微分运算	186
6.5 集成运算放大器在信号比较方面的应用	187
6.5.1 单限电压比较器	187
6.5.2 过零比较器	187



6.5.3 滞回比较器.....	188
6.6 集成运算放大器的其他应用——有源滤波器	189
6.6.1 有源低通滤波器.....	189
6.6.2 有源高通滤波器.....	190
6.6.3 带通滤波器和带阻滤波器.....	191
小结.....	191
习题.....	192
参考文献.....	196



电路分析基础

电路理论是学习电工电子技术的基础。本章对电路及其基本物理量——电流、电压和电位等进行了复习,并讨论了电压、电流的参考方向。从电路模型入手,介绍各种电路元件及其伏安特性。重点介绍了独立电压源与独立电流源及其等效变换。阐述了电路理论中的基本定律——基尔霍夫定律。书中以直流电路为例,着重介绍了分析电路的一些基本方法和定理,主要有叠加定理以及等效电源定理等。这些方法和定理对正弦交流电路和电子电路等时变信号电路的分析和计算都具有实用意义。

1.1 电路和电路的基本物理量

电路即电流的通路,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,这就是电路的基本定律。

近代技术中利用电路的目的可分为两大类:一类是用在电力工程中,用以传输与分配电能;另一类是用在电子技术和控制技术中,用以传递各种信息。在这两类应用中,由于电流和电功率的量级相差很大,所以前者通常称为强电技术,后者称为弱电技术。

无论是强电技术或弱电技术,电路的结构形式总是包括电源、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递出来的装置,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之间的装置,起着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。

在电能的传输和转换或者信号的传递和处理中,电源或信号源的电压或电流称为激励,它推动电路工作;由激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。电路分析,就是在已知



电路结构和元件参数的条件下,分析电路的激励与响应之间的关系。

在分析各种电路之前,先来介绍电路中的几个基本物理量,包括电流、电压及其相关的概念。它们是描述电路中能量转换和信号传递、处理的基本物理量。

1.1.1 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

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1.1)$$

式中, q 表示电荷量。

在国际单位制中,时间的单位为 s(秒),电量的单位为 C(库[仑]),电流的单位为 A(安[培])。常用的电流单位还有 kA(千安)、mA(毫安)、 μ A(微安)。

如果电流的大小和方向不随时间变化,则称其为恒定直流电流,如图 1.1.1(a)所示。根据国家标准,直流电流用大写字母 I 表示。如果电流的大小和方向随时间变化,则称其为交流电流,如图 1.1.1(b)所示,交流电流用小写字母 i 表示。其他的电路物理量如电压、功率等,也用同样的大小写的方式区分直流量和交流量。

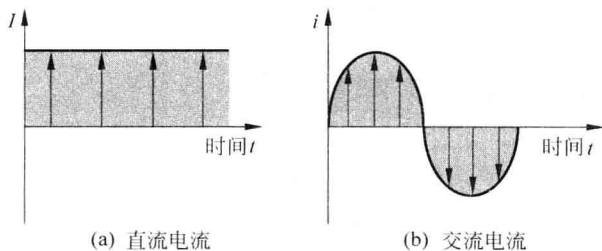


图 1.1.1 电流的大小与方向

1.1.2 电位

电位即电场中某一点的电势,它在数值上等于电场力把单位正电荷从电场中某点移到无限远处所做的功。电场无限远处的点电位为零,通常称之为参考点;而其他各点的电位都与参考点比较,比它高的为正,比它低的为负。工程上常选与大地相连的部件或者许多元件的公共节点作为参考点,并且标上接地符号“ $\perp$ ”,所谓“接地”并非真与大地相接。电路中 a 点的电位记作 V_a 。

1.1.3 电压

电压是描述电场力做功的物理量,也称电位差(或电势差)。电路中 a 、 b 两点之间的电压 U_{ab} 表示为单位正电荷由 a 点移动到 b 点所需要的能量,即

$$U_{ab} = V_a - V_b = \frac{dW}{dq} \quad (1.1.2)$$

式中, V_a 表示 a 点电位, V_b 表示 b 点电位, W 表示能量。国际单位制中, W 的单位为 J(焦[耳]),电压的单位是 V(伏[特])。常用的电压单位还有 kV(千伏)、mV(毫伏)、 μ V(微伏)。



通常直流电压用大写字母 U 表示。 U_{ab} 表示电路中 a 、 b 两点间的电压。

电压的方向,物理中规定为高电位端指向低电位端,也就是电位降低的方向。电源电动势 E 为电源力驱动单位正电荷的能力,其实际方向规定为在电源内部由低电位端指向高电位端,也就是电位升高的方向。

1.1.4 电流、电压的参考方向

电路中电流、电压等基本物理量的正方向分为实际正方向和假设正方向。实际正方向是物理中对电量规定的方向;假设正方向是在分析计算电路时,对电量人为规定的方向,假设正方向又称为参考正方向。

在分析较为复杂的电路时,往往很难判断某条支路中电压或电流的实际方向,为此在分析计算电路时,常可任意人为规定某一方向作为电压或电流的参考方向,即假设正方向(简称为正方向)。

电压的正方向一般用正负号或双下标来表示,如图 1.1.2(a)所示。图中 a 点的参考极性为正, b 点参考极性为负,以往也用箭头表示,由 a 端指向 b 端,即假设 a 端为高电位端, b 端为低电位端。

电流的正方向用箭头或双下标表示,如图 1.1.2(b)所示。

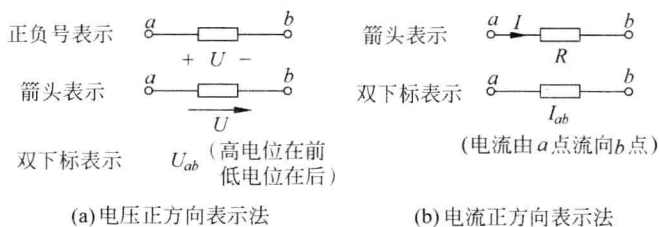


图 1.1.2 电压、电流正方向的表示法

参考正方向一旦设定,在后续的分析 and 计算过程中,都需要按照这个选定的方向来计算,而不能随意更改。此正方向不一定就是电压或电流的实际方向,若计算结果为正,说明该假设正方向与实际方向一致;若计算结果为负,说明假设正方向与实际方向相反。在电路中,电流和电压的假设正方向均可人为任意设定,二者可以一致,也可以不一致。如果二者一致,称为关联参考方向;如不一致,称为非关联参考方向,如图 1.1.3 所示。

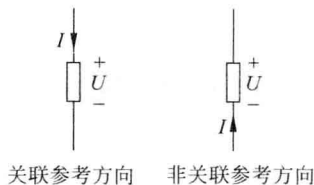


图 1.1.3 关联与非关联参考方向

本书中以后在分析电路时,若未加特别说明,图中表示的方向均为参考正方向。

1.1.5 电功率

电路中,电气设备在单位时间内所消耗的电能称为电功率,用 P 表示,简称功率。根据功率和前面介绍的电压、电流的定义,可以知道功率的计算公式为

$$P = \frac{dw}{dt} = \left(\frac{dw}{dq} \right) \left(\frac{dq}{dt} \right) = ui \quad (1.1.3)$$