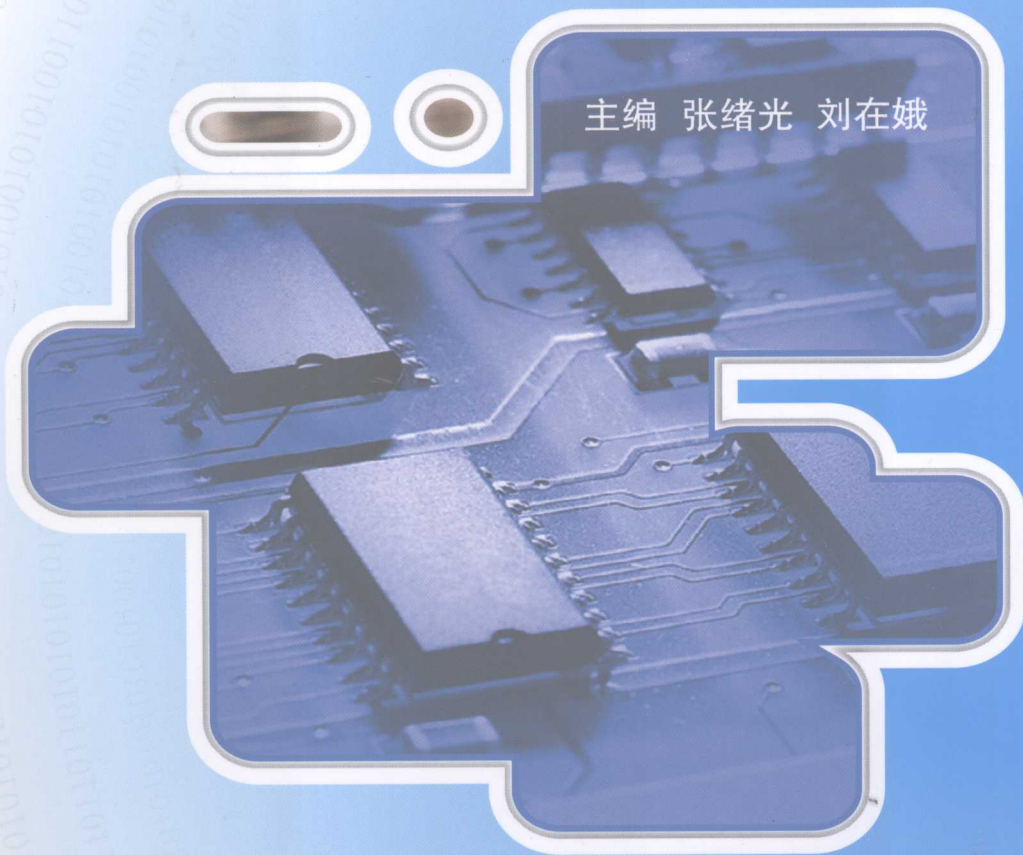




21世纪全国本科院校电气信息类**创新型**应用人才培养规划教材

电路与模拟电子技术

主编 张绪光 刘在娥



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材

电路与模拟电子技术

 **北京大学出版社**
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本教材为 21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材, 主要内容包括: 电路的基本概念与基本定律、电路的基本分析方法、一阶线性电路的时域分析、正弦交流电路、三相交流电路、磁路与变压器、常用半导体器件、基本放大电路、功率放大电路、集成运算放大器、电子电路中的反馈、直流稳压电源。

本教材编写风格新颖、活泼, 引例准确、有趣, 内容翔实、实用。

本教材适合作为本科院校电气信息类专业的教材, 也可用作高职高专相关专业的教材, 并可供相关专业的科技人员作为参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电路与模拟电子技术/张绪光, 刘在娥主编. —北京: 北京大学出版社, 2009. 8

(21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-04595-4

I. 电… II. ①张…②刘… III. ①电路理论—高等学校—教材②模拟电路—电子技术—高等学校—教材 IV. TM13 TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 140141 号

书 名: 电路与模拟电子技术

著作责任者: 张绪光 刘在娥 主编

策划编辑: 李 虎 李娉婷

责任编辑: 李娉婷

标准书号: ISBN 978-7-301-04595-4/TM·0027

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 世界知识印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 22 印张 507 千字

2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 35.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

“电路与模拟电子技术”是电气信息类专业非常重要的技术基础课程。电路与模拟电子技术发展迅速，应用十分广泛，现代一切新的科学技术无不与电有着密切的关系，尤其是计算机技术的迅猛发展和“电路与模拟电子技术”的发展更为密不可分。然而，传统的电路与模拟电子技术课程所涉及的数学知识和物理知识较多，深奥的理论知识抽象、难度大，不好掌握，直接制约了学生学习本门课程的积极性以及对知识的综合应用能力和创新意识的提高，因而在不少读者中出现了“望书生畏”、“欺软怕硬”的不良现象。对于高校中专业课程的教学，其教材内容更需要不断地更新，随时添加最新的科研成果，紧扣时代脉搏，将最新科学知识及时传输给学生，使学生一直站在科学技术最前沿。目前创新型、适用性的教材可谓寥寥无几，很多教材都是以叙述基本的科学原理为主，而较少考虑典型的科学事实和实例。因此，考虑到对创新型应用人才培养的要求，编者结合多年的教学实践，组织有经验的教师编写了这本创新型教材——《电路与模拟电子技术》。本教材包括电路和模拟电子技术两部分内容，编写时力求集“知识性、先进性、实用性和趣味性”于一体，尽可能地避免烦琐而枯燥的公式推导，注重引导和启发读者理解和掌握电路的基本概念、基本理论和基本分析方法，注重培养读者的工程实践应用能力，尽可能地做到好懂易学。

本教材具有如下特色：

- 好懂易学，读者易于学习掌握。
- 引例具有趣味性，能够激发读者的学习兴趣。
- 易于教师引导和教学。
- 配有实用性和趣味性的习题，易于培养读者的工程实践能力和创新能力。
- 内容组织遵循从实践中来到实践中去的认识规律，做到了由实例引入、提出问题，再进行理论叙述，最后通过具有实用性、趣味性的习题巩固所学的理论知识。

教材中带“*”的内容为用于开拓眼界的选学、选答部分。

本教材由张绪光和刘在娥任主编。具体参编人员及章节分工如下：张绪光(第7章、第9章)、刘在娥(第8章、第11章)、盛莉(第1章、第2章、第4章)、王桂娟(第3章、第12章)、李艳红(第5章、第10章)、臧家义(第6章)。全书由张绪光、刘在娥审核定稿。

在本教材的编写过程中，得到了北京大学出版社的专家和老师的的大力帮助，我们在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳切希望广大师生和其他读者批评指正。

编 者

2009年5月

目 录

第 1 章 电路的基本概念与基本定律 ··· 1	
1.1 电路的组成和作用 ··· 1	
1.2 电路的基本物理量 ··· 2	
1.2.1 电流 ··· 2	
1.2.2 电压 ··· 3	
1.2.3 电动势 ··· 3	
1.2.4 电能 ··· 3	
1.2.5 电功率 ··· 4	
1.3 电路的状态及特点 ··· 5	
1.3.1 短路 ··· 5	
1.3.2 开路 ··· 5	
1.3.3 通路 ··· 6	
1.4 电压和电流的参考方向 ··· 7	
1.4.1 电压的参考方向 ··· 7	
1.4.2 电流的参考方向 ··· 7	
1.4.3 关联参考方向 ··· 7	
1.4.4 电源与负载的判断 ··· 8	
1.5 欧姆定律 ··· 9	
1.6 基尔霍夫定律 ··· 10	
1.6.1 基尔霍夫电流定律 ··· 10	
1.6.2 基尔霍夫电压定律 ··· 11	
1.7 电路中电位的计算 ··· 13	
小结 ··· 15	
习题 ··· 16	
第 2 章 电路的基本分析方法 ··· 21	
2.1 电源等效变换 ··· 21	
2.1.1 电压源和电流源 ··· 21	
2.1.2 电压源和电流源的 等效变换 ··· 23	
2.2 支路电流法 ··· 25	
2.3 网孔电流法 ··· 26	
2.4 节点电压法 ··· 28	
2.5 叠加定理 ··· 30	
2.6 等效电源定理 ··· 32	
2.6.1 戴维南定理 ··· 33	
2.6.2 诺顿定理 ··· 34	
2.6.3 最大功率传输定理 ··· 35	
2.7 受控电源 ··· 37	
小结 ··· 38	
习题 ··· 39	
第 3 章 一阶线性电路的时域分析 ··· 46	
3.1 电阻元件、电感元件与电容元件 ··· 46	
3.1.1 电阻元件 ··· 47	
3.1.2 电感元件 ··· 47	
3.1.3 电容元件 ··· 48	
3.2 换路与换路定律 ··· 49	
3.2.1 过渡过程 ··· 49	
3.2.2 换路定律 ··· 50	
3.3 RC 电路的响应 ··· 52	
3.3.1 RC 电路的零输入响应 ··· 52	
3.3.2 RC 电路的零状态响应 ··· 53	
3.3.3 RC 电路的全响应 ··· 55	
3.4 一阶 RC 线性电路时域分析的 三要素法 ··· 57	
3.5 RC 电路在矩形脉冲信号激励 时的响应 ··· 59	
3.5.1 微分电路 ··· 60	
3.5.2 积分电路 ··· 61	
3.6 RL 电路的响应 ··· 62	
3.6.1 RL 电路的零输入响应 ··· 62	
3.6.2 RL 电路的零状态响应 ··· 63	
3.6.3 RL 电路的全响应 ··· 64	
3.7 应用实例 ··· 67	



3.7.1 照相闪光灯装置	67	5.2 三相负载的联结	117
3.7.2 汽车点火电路	68	5.2.1 三相负载的星形联结	118
小结	69	5.2.2 三相负载的三角形联结	122
习题	70	5.3 三相电路的功率	123
第4章 正弦交流电路	74	5.3.1 三相功率的计算	123
4.1 正弦交流电路的基本概念	75	5.3.2 功率的测量	126
4.1.1 正弦量的周期、频率和角频率	75	5.4 安全用电	128
4.1.2 正弦量的瞬时值、幅值与有效值	75	5.4.1 触电及触电伤害	128
4.1.3 正弦量的相位、初相位和相位差	76	5.4.2 触电方式	128
4.2 正弦交流电路的分析基础	77	5.4.3 触电防护	129
4.2.1 复数	77	5.5 三相电路应用实例	130
4.2.2 正弦量的相量表示	79	小结	131
4.2.3 正弦量的运算	80	习题	132
4.3 单一参数的交流电路	81	第6章 磁路与变压器	135
4.3.1 纯电阻电路	81	6.1 磁场与磁路	135
4.3.2 纯电感电路	82	6.1.1 磁场的基本物理量	135
4.3.3 纯电容电路	84	6.1.2 磁性物质的磁性能	137
4.4 串联交流电路	87	6.1.3 磁路欧姆定律	138
4.5 交流电路的功率及功率因数	90	6.2 单相变压器	139
4.6 阻抗的串联与并联	95	6.2.1 变压器的构造	139
4.6.1 阻抗的串联	95	6.2.2 变压器的工作原理	140
4.6.2 阻抗的并联	95	6.2.3 变压器的功率损耗及效率	142
4.7 交流电路的频率特性	97	6.3 变压器绕组的极性及多绕组变压器	143
4.7.1 RC 电路的选频特性	98	6.3.1 变压器绕组的极性	143
4.7.2 谐振电路	101	6.3.2 多绕组变压器	144
4.8 交流电路应用实例	105	6.4 特殊变压器	145
4.8.1 荧光灯电路	105	6.4.1 自耦变压器	145
4.8.2 收音机的调谐电路	105	6.4.2 仪用互感器	146
小结	106	6.5 三相变压器	147
习题	109	小结	148
第5章 三相交流电路	114	习题	149
5.1 三相对称电源	114	第7章 常用半导体器件	152
5.1.1 三相电源的产生	115	7.1 半导体的基本知识	152
5.1.2 线电压与相电压的关系	116	7.1.1 本征半导体	153
		7.1.2 杂质半导体	154

7.2 PN 结	155	8.2.1 静态工作与静态工作点 ...	203
7.2.1 PN 结的形成	155	8.2.2 动态工作与放大原理	204
7.2.2 PN 结的单向导电性	156	8.3 放大电路的三种基本接法	204
7.2.3 PN 结的电流方程	158	8.4 放大电路的基本分析方法	205
7.3 二极管	158	8.4.1 直流通路与交流通路	205
7.3.1 二极管的类型和结构	159	8.4.2 放大电路的静态分析	206
7.3.2 二极管的伏安特性	159	8.4.3 放大电路的动态分析	210
7.3.3 二极管的主要参数	160	8.4.4 微变等效电路法	212
7.3.4 二极管的主要用途	161	8.5 静态工作点的稳定	217
7.4 稳压二极管	163	8.5.1 温度变化对静态工作点	
7.5 晶体管	165	的影响	217
7.5.1 晶体管的类型和结构	165	8.5.2 典型稳定静态工作点	
7.5.2 晶体管的电流放大		的电路	218
原理	167	8.6 射极输出器的分析及其应用	221
7.5.3 晶体管的输入和输出		8.6.1 静态分析	222
特性曲线	170	8.6.2 动态分析	222
7.5.4 晶体管的主要参数	174	8.6.3 射极输出器的应用	223
7.6 场效应晶体管	176	8.7 多级放大电路	224
7.6.1 N 沟道 MOS 管	176	8.7.1 多级放大电路的级间	
7.6.2 P 沟道 MOS 管	181	耦合方式	224
7.6.3 场效应晶体管的主要		8.7.2 多级放大电路的分析	
参数	183	方法	226
7.6.4 场效应晶体管与晶体管		8.8 差分放大电路	228
的比较	184	8.8.1 零点漂移	228
7.7 新型半导体器件	185	8.8.2 差分放大电路的组成及工作	
7.7.1 发光二极管	185	原理	229
7.7.2 光电二极管	186	8.8.3 典型差分放大电路	230
7.7.3 光电晶体管	187	8.8.4 改进型差分放大电路	233
7.7.4 光耦合器	189	8.9 场效应晶体管放大电路	234
7.7.5 晶闸管	189	8.9.1 共源放大电路	234
小结	192	8.9.2 共漏放大电路	238
习题	194	8.10 放大电路应用实例	239
第 8 章 基本放大电路	199	8.10.1 家电防盗报警器	239
8.1 放大电路的组成及其作用	199	8.10.2 光控照明电路	240
8.1.1 放大电路的组成	200	8.10.3 水位自动控制电路	240
8.1.2 放大电路的主要		小结	241
性能指标	201	习题	242
8.2 放大电路的工作原理	203	第 9 章 功率放大电路	248
		9.1 功率放大电路的特点	248



9.2 变压器耦合功率放大电路	249	习题	283
9.2.1 变压器耦合单管功率放大电路	250	第 11 章 电子电路中的反馈	285
*9.2.2 变压器耦合乙类推挽功率放大电路	252	11.1 反馈的概念	285
9.3 互补对称功率放大电路	253	11.1.1 反馈的基本概念	286
9.3.1 OTL 电路	253	11.1.2 反馈的类型	286
9.3.2 OCL 电路	254	11.2 反馈类型的判断方法	287
9.4 集成功率放大电路及其应用实例	258	11.3 集成运算放大电路中的四种反馈组态	289
小结	259	11.3.1 电压串联负反馈	289
习题	261	11.3.2 电压并联负反馈	290
第 10 章 集成运算放大器	264	11.3.3 电流串联负反馈	290
10.1 集成运算放大器简介	264	11.3.4 电流并联负反馈	291
10.1.1 集成运算放大器的组成	265	11.4 负反馈对放大电路性能的影响	292
10.1.2 集成运算放大器的主要性能指标	266	11.4.1 负反馈同放大倍数的关系	292
10.1.3 理想集成运算放大器及其分析依据	267	11.4.2 负反馈同放大倍数稳定性的关系	292
10.2 基本运算电路	268	11.4.3 负反馈同输出电压或输出电流的稳定	293
10.2.1 比例运算电路	268	11.4.4 负反馈对输入和输出电阻的影响	293
10.2.2 加法运算电路	270	11.4.5 负反馈同非线性失真的关系	294
10.2.3 减法运算电路	271	11.4.6 负反馈同通频带宽的关系	295
10.2.4 积分运算电路	272	11.5 正反馈振荡电路	296
10.2.5 微分运算电路	273	11.5.1 正弦波振荡电路的基本知识	296
10.3 电压比较器	274	11.5.2 RC 正弦波振荡电路	298
10.3.1 单限电压比较器	275	11.5.3 LC 正弦波振荡电路	300
10.3.2 滞回电压比较器	275	11.6 应用电路实例	302
10.3.3 双限电压比较器	277	11.6.1 小型温度控制电路	302
10.4 集成运算放大器的使用	277	11.6.2 简易电子琴电路	302
10.4.1 集成运算放大器的分类及选用	278	11.6.3 房客离房提醒器电路	304
10.4.2 集成运算放大器的使用要点	279	11.6.4 高频振荡型开关	304
10.5 应用实例分析	280	小结	305
10.5.1 三角波-方波发生器	280	习题	306
10.5.2 温度-电压转换电路	281		
小结	282		

第 12 章 直流稳压电源	311
12.1 直流稳压电源的组成及其作用	311
12.1.1 直流稳压电源的组成	311
12.1.2 直流稳压电源的作用	311
12.2 整流电路	312
12.2.1 单相半波整流电路	312
12.2.2 单相桥式整流电路	313
12.3 滤波电路	315
12.3.1 电容滤波电路	315
12.3.2 电感滤波电路	318
12.3.3 复式滤波电路	318
12.4 稳压电路	319
12.4.1 稳压管稳压电路	319

12.4.2 串联反馈型稳压电路	320
12.4.3 串联开关型稳压电路	321
12.5 集成稳压电源	323
12.6 直流稳压电源应用实例	324
12.6.1 三端集成稳压器的扩展用法	324
12.6.2 6~30V、500mA 稳压电源电路	326
小结	326
习题	327

部分习题答案	331
---------------------	-----

参考文献	337
-------------------	-----

第1章

电路的基本概念与基本定律

本章主要介绍电路的基本概念，如电路的基本物理量，电路的组成及作用，电压、电流的参考方向，电路的工作状态，电源与负载的判断。重点介绍电路的基本定律——欧姆定律和基尔霍夫定律，并以直流电路为例，讨论如何应用电路的基本定律来分析电路。



本章教学目标与要求

- 理解电压和电流参考方向的概念。
- 了解电路的三种工作状态。
- 能够区分电压与电位的概念并进行电压与电位的计算。
- 熟练掌握电源与负载的判断方法以及功率的计算。
- 熟练掌握欧姆定律和基尔霍夫定律在电路中的应用及电路分析。



引例

在日常生活中，人们所接触的实际电路很多，比如家用电器：微波炉、电磁炉、电冰箱等，这些电器因工作需要其内部就有不同的交流电路，而家庭生活必备的手电筒则是最简单的直流电路。无论是由交流电路还是直流电路构成的电器我们都会操作，可是要从电路原理上进行分析，就需要具备一定的电路基础知识。通过本章的学习，将为同学们了解电路原理和进行电路分析打下必要的基础。

1.1 电路的组成和作用

电路是由若干电气设备或元器件为实现一定功能、按一定方式组合起来的整体。简单地说，电路就是电流流通的路径。

电路的作用有两种：一是实现能量的传输和转换；二是实现信号的传递与处理。

在各行各业以及人们的日常生活中存在着举不胜举的实际电路，但根据电路的作用，可把电路分成两大类。一类是以实现能量传输与转换为主要目的电路，常见的各种照明电路和动力电路就是这一类电路。人们常用的手电筒就是能量传输与转换的最简单的例子。在如



图 1.1(a)所示的手电筒电路中,当开关闭合后,电池把化学能转换成电能供给灯泡,灯泡再把电能转换成光能用来照明。对于这一类电路来说,一般要求能量损耗小,转换效率高。

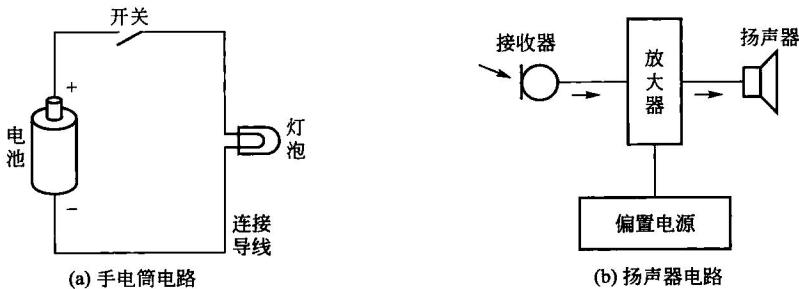


图 1.1 电路实例

另一类电路是以实现信号的传递与处理为主要目的的,电子技术、通信系统以及非电量测量中的电路就主要实现这个功能。在如图 1.1(b)所示的扬声器电路中,接收器把声音信号转换成电信号,经过对电信号的放大处理,再将放大后的电信号转换成声音信号发送出来。当然,在这类电路中也存在能量传输和转换问题,但因其数量较小,所以主要关注的是信号转换和处理的过程。

尽管实际电路各式各样,实现的功能也各不相同,但任何电路都包含电源、负载和连接导线(中间环节)等三个基本部分。

电源是将其他形式的能量(如化学能、机械能、热能和光能等)转换为电能的供电设备。例如,发电机将机械能转换成电能,而信号源将非电信号转换成电信号。负载是将电能转换成其他形式能量的用电设备。例如,电动机将电能转换成机械能,而荧光灯将电能转换成光能和热能。连接导线将电源和负载连成通路,起着连通电路和能量传输的作用。当然,根据实际需要,电路中除了这三个基本部分外,还需要增加一些辅助设备来组成功能强大且完善的电路,如变压器、断路器、开关等。

1.2 电路的基本物理量

电路理论中涉及的物理量主要有电流、电压、电动势、电能和电功率。当电路中的电流、电压、电动势等物理量随时间变化时,一般用小写字母 i 、 u 、 e 等表示;当用大写字母 I 、 U 、 E 、 P 、 W 时,则表示对应物理量的恒定量。在电路分析中,主要关心的物理量是电流、电压和功率。

1.2.1 电流

单位时间内通过导体横截面的电荷 [量]^①称为电流强度,简称电流。在直流电路中,电流用 I 表示,它与电荷 [量] Q 、时间 t 之间的关系为

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

^①方括号中的字,在不致引起混淆、误解的情况下,可以省略。



式中：电荷 [量] Q 的单位为库 [仑] (C)；时间 t 的单位为秒 (s)；电流 I 的单位为安 [培] (A)。

随时间变化的电流用 i 表示，它等于电荷量 q 对时间 t 的变化率(导数)，即

$$i = \frac{dq}{dt}$$

电流的实际方向规定为正电荷定向移动的方向或负电荷定向移动的反方向。

如图 1.2 所示(设电源的内电阻为零)，在外电路中，电流的实际方向为由电源的正极经负载流向电源的负极，在内电路中由电源的负极流向正极。

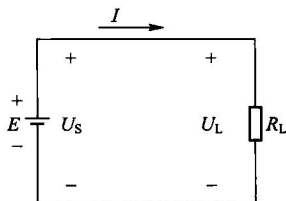


图 1.2 最简单的电路

1.2.2 电压

电场力将单位正电荷从电路的某一点移至另一点时所消耗的能量称为这两点间的电压。在直流电路中，电压用字母 U 表示，单位是伏 [特] (V)。

电压的实际方向规定为由高电位指向低电位，即电位降的方向，故电压有时又称为电压降。在如图 1.2 所示的电路中， U_s 和 U_L 分别为电源的端电压和负载的端电压。

1.2.3 电动势

电源中的非电场力将单位正电荷从电源的负极移至电源的正极所转换来的电能称为电源的电动势，在直流电路中用字母 E 表示，单位为伏特 (V)。

电动势的实际方向规定为由电源负极指向电源正极的方向，即电位升的方向。它与电源端电压的实际方向是相反的。在如图 1.2 所示的电路中，电动势 E 和电源端电压 U_s 大小相等，方向相反。

1.2.4 电能

当正电荷从元件电压的正极经元件运动到电压的负极时，电场中电场力对电荷做正功，这时元件吸收电能；反之，当正电荷从电压负极经元件运动到电压正极时，电场力做负功，元件发出电能。

从 t_0 到 t 的时间内，元件吸收的电能可根据电压的定义(A、B 两点的电压在量值上等于电场力将单位正电荷由 A 点移动到 B 点所做的功)求得，即

$$W = \int_{q(t_0)}^{q(t)} u dq$$

由于 $i = \frac{dq}{dt}$ ，所以

$$W = \int_{t_0}^t u(\xi) i(\xi) d(\xi) \quad (1-1)$$

在直流电路中，电能的表达式为

$$W = UIt$$

在式(1-1)中， u 和 i 都是时间的函数。当电流的单位为 A，电压的单位为 V 时，能量的单位为 J(焦 [耳])。实际工程中，电能的计量单位为千瓦时(kW·h)，1 千瓦时就

是平时说的1度电，它与焦耳之间的关系为 $1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$ 。

1.2.5 电功率

电功率是电能对时间的变化率(导数)，由式(1-1)可知，元件吸收的电功率为

$$p(t) = \frac{dW}{dt}$$

即

$$p(t) = u(t)i(t) \quad \text{或} \quad p = ui$$

当时间的单位为秒(s)，电压的单位为伏[特](V)时，电功率的单位为瓦[特](W)。在直流电路中，电功率的表达式为

$$P = UI$$

根据电压和电动势的定义，在如图1.2所示的电路中，电源产生的功率为

$$P_E = EI$$

电源输出的功率为

$$P_S = U_S I$$

负载消耗的功率为

$$P_L = U_L I$$

本书中各物理量的单位均采用国际单位制(SI)，如安[培](A)、伏[特](V)等，但在实际应用中，只有这一个数量级的单位使用起来不方便，所以在表1-1中列出了SI词头，在基本单位前面加词头就构成倍数单位(十进倍数单位与分数单位)。词头不得单独使用。

表 1-1 SI 词头

因 数	词头名称		符 号
	英 文	中 文	
10^{24}	yotta	尧[它]	Y
10^{21}	zetta	泽[它]	Z
10^{18}	exa	艾[可萨]	E
10^{15}	peta	拍[它]	P
10^{12}	tera	太[拉]	T
10^9	giga	吉[咖]	G
10^6	mega	兆	M
10^3	kilo	千	k
10^2	hecto	百	h
10^1	deca	十	da
10^{-1}	deci	分	d
10^{-2}	centi	厘	c
10^{-3}	milli	毫	m
10^{-6}	micro	微	μ
10^{-9}	nano	纳[诺]	n
10^{-12}	pico	皮[可]	p
10^{-15}	femto	飞[母托]	f
10^{-18}	atto	阿[托]	a
10^{-21}	zepto	仄[普托]	z
10^{-24}	yocto	幺[科托]	y



1.2 电路的组成及特点



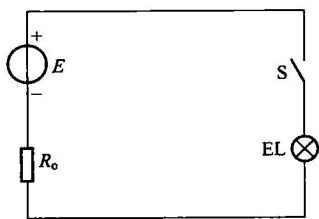


图 1.7 电源通路

当图 1.5 中的开关 S_1 和 S_2 同时打开时，所有负载开路，电源既不产生也不输出功率，此时电源的状态称为空载。

1.3.3 通路

在图 1.7 所示的电路中，当开关 S 闭合时，电源与负载接通，电路中有了电流以及能量的传输和转换，此时电路的状态称为通路。

通路时，电源向负载输出功率，此时电源的状态称为有载。电源有载工作时，电源产生的功率应该等于电路其他各部分消耗的功率之和，即整个电路应该是功率守恒的。

在实际电路中，负载通常都是并联运行的。电源在内阻较小时其端电压基本是不变的，所以并联在电源端的负载两端电压也是基本不变的。当负载增加时，负载所取用的总电流和总功率都在增加，即电源输出的功率和电流也都相应增加。也就是说，电源输出的电流和功率取决于负载的大小。所谓负载的大小是指负载取用功率的大小，负载取用的功率大，我们就说负载大，反之亦然。

既然电源输出的功率和电流取决于负载的大小，那么如何选择合适的负载并且确定负载上的电压、电流和功率就是我们所关心的问题，而要解决这个问题，应从额定值讲起。

各种电气设备在工作时，其电压、电流和功率都有一定的限额，这些限额是用来表示它们正常工作时的条件和能力的，称为额定值。额定值多数是根据电气设备的绝缘材料的耐热性能及绝缘强度来给定的。当电流超过额定值较大时，会发热过甚，绝缘材料损坏，电气设备也会随之损坏或者寿命降低；当电压远远超过额定值时，绝缘材料可能被击穿。反之，如果电压和电流远低于额定值，设备就不能正常工作，设备利用率低。此外，对于各种电阻器来说，电压或电流过高，都会使电阻器损坏。因此，在制定电气设备额定值时，要全面考虑设备使用的经济性、可靠性及寿命等因素。

在使用电气设备时，更应该充分考虑其额定数据。电气设备或元件的额定值通常是标在铭牌上或者写在说明书中的。例如，日常用的荧光灯上标有“220V，25W”，这就是其额定值，说明该荧光灯应该工作在 220V 的电压下。额定电压、额定电流和额定功率分别用 U_N 、 I_N 和 P_N 来表示。

当然，电气设备或元件在使用时，电压、电流和功率的实际值不一定等于它们的额定值。原因之一就是电网电压经常波动，如电源实际电压会由于波动稍低于或高于额定电压 220V。这样“220V，25W”的荧光灯上的电压就不是 220V，实际功率也就不是 25W 了。另一个原因就是由于电源输出的功率取决于负载的大小，所以电源通常不一定处于额定工作状态，但是一般不超过额定值。

特别提示

- 功率守恒是分析电路最重要的依据之一，也是在后续章节的电路分析中用来进行验证的最常用且有效的方式之一，故要重点掌握功率守恒。



1.4 电压和电流的参考方向

在进行电路分析和计算时,需要预先知道电压和电流的实际方向,但是在复杂的直流电路和交流电路中,电压和电流的实际方向往往是无法预知或者随时间不断变化的。因此在分析电路前,需要预先假定一个方向作为参考,即参考方向。

1.4.1 电压的参考方向

电压的实际方向规定为电压下降的方向,但其参考方向则是可以任意假设的。电压的参考方向有三种表示方法,两点之间的电压参考方向可用正(+)、负(-)极性表示,由正极指向负极的方向表示电压的参考方向,如图1.8(a)所示。若图1.8(a)中a点电位高于b点电位,即电压的实际方向由a到b,电压的实际方向与参考方向一致,则 $U > 0$;如果实际的电位是b点高于a点,两者方向相反,则 $U < 0$ 。电压的参考方向还可以用双下标符号表示,如图1.8(b)所示, U_{ab} 表示a、b之间电压的参考方向是由a指向b。另外,电压的参考方向还可以用实线箭头表示,表示电压的参考方向由a指向b,如图1.8(c)所示。

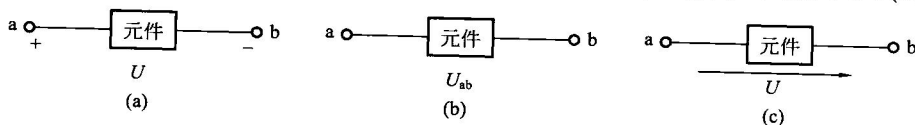


图 1.8 电压参考方向的表示方法

1.4.2 电流的参考方向

电流的实际方向规定为正电荷定向移动的方向,与电压参考方向的假设一样,电流的参考方向也是任意假设的。电流的参考方向一般有以下两种表示方法,如图1.9所示。

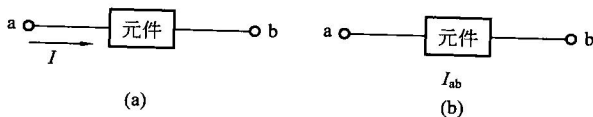


图 1.9 电流参考方向的表示方法

图1.9(a)所示的实线箭头表示电流的参考方向由a流向b,若电流的实际方向也是由a流向b,说明电流的实际方向与参考方向相同,则 $I > 0$;若电流的实际方向是由b指向a,说明电流的实际方向与参考方向相反,则 $I < 0$ 。电流的参考方向还可以用双下标表示,如图1.9(b)所示, I_{ab} 表示电流的参考方向是由a指向b。

1.4.3 关联参考方向

电压和电流的参考方向原则上是可以任意选取的,但是在分析某一具体电路元件上电压与电流的关系时,需要确定两者之间的关系。当电流的参考方向由电压参考方向的“+”极性端指向“-”极性端时,两者的参考方向关系称为关联参考方向;反之,称为非关联参考方向。在图1.10(a)所示电路中,负载上电压与电流的参考方向关系即为关联

参考方向，而电源上电压与电流参考方向关系则为非关联参考方向，如图 1.10(b) 所示。在今后的电路分析中，元件上参考方向的一般选取原则如图 1.10 所示。

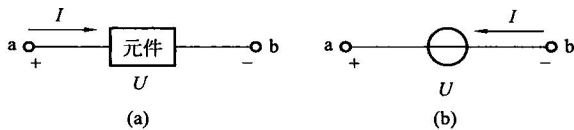


图 1.10 关联与非关联参考方向

特别提示

- 在分析电路时，需要预先假设电压和电流的参考方向，并且做标识，一旦参考方向确定，在分析过程中就不得做任何变动，直至分析过程结束。

1.4.4 电源与负载的判断

如前所述，整个电路是满足功率守恒的，当给定电路中元件的参考方向后，就可以判断电路元件是吸收还是发出功率，即在电路中起负载作用还是电源作用。

根据实际方向的判断原则如下：

当元件上电压和电流的实际方向相反时，电流从“+”端流出，发出功率，该元件为电源；当元件上电压和电流的实际方向相同时，电流从“+”端流入，吸收功率，该元件为负载。

根据参考方向的判断原则如下：

当元件的电压和电流取关联参考方向时，元件的功率 $P = UI$ 表示元件吸收功率。当 $P > 0$ 时，元件确实吸收功率，起负载作用；当 $P < 0$ 时，则表示元件吸收负功率，实际发出功率，在电路中起电源作用。

当元件的电压和电流取非关联参考方向时，元件的功率 $P = UI$ 表示元件发出功率。当 $P > 0$ 时，元件确实发出功率，起电源作用；当 $P < 0$ 时，则表示元件发出负功率，实际为吸收功率，在电路中起负载作用。

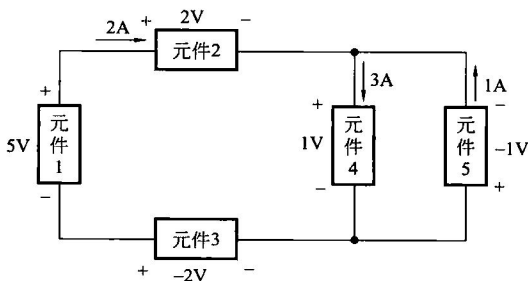


图 1.11 例 1-1 图

【例 1-1】 在如图 1.11 所示的电路中，验证各元件是否满足功率平衡？并且说明各元件在电路中起电源作用还是负载作用？

- 【解】** 元件 1: $P_1 = 5V \times 2A = 10W$
 元件 2: $P_2 = 2V \times 2A = 4W$
 元件 3: $P_3 = -2V \times 2A = -4W$
 元件 4: $P_4 = 1V \times 3A = 3W$
 元件 5: $P_5 = -1V \times 1A = -1W$

元件 1 和 3 的电压和电流取非关联参考方向； $P_1 > 0$ ，故元件 1 发出 10W 功率，在电路中起电源作用；而 $P_3 < 0$ ，故元件 3 吸收 4W 功率，在电路中起负载作用。

元件 2、4 和 5 的电压和电流取关联参考方向；且元件 2 和 4 功率都大于零，故两者