



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

Electrical and Electronic Technology

电工电子技术

周理 陈佳新 主编

陈炳煌 卢光宝 鄢仁武 副主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

Electrical and Electronic Technology

电工电子技术

周理 陈佳新 主编

陈炳煌 卢光宝 鄢仁武 副主编



人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术 / 周理, 陈佳新主编. -- 北京: 人民邮电出版社, 2015. 1
21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材
ISBN 978-7-115-37231-4

I. ①电… II. ①周… ②陈… 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(2014)第268638号

内 容 提 要

本书全面系统地论述了电工电子技术的基本理论及应用分析。全书分为12章, 主要包括电路基础理论、电机及电气控制技术、模拟电子技术、数字电子技术等知识, 涵盖了电工电子技术的基本内容。本书内容详略得当, 基本概念讲述清楚, 分析方法讲解透彻, 难易度适中, 并提供配套电子教学课件, 以方便学生自学和教师施教。

本书可作为高等学校非电类专业学生的教科书, 也可供其他工科专业选用和社会读者阅读。

-
- ◆ 主 编 周 理 陈佳新
副 主 编 陈炳煌 卢光宝 鄢仁武
责任编辑 张孟玮
执行编辑 税梦玲
责任印制 沈 蓉 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京昌平百善印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 15.5
字数: 387千字
-

2015年1月第1版

2015年1月北京第1次印刷

定价: 36.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

前言

“电工电子技术”课程是高等院校非电类理工科各专业的一门重要的技术基础课。随着科学技术的发展,电工电子技术的应用遍及生产领域和人类生活的各个角落,对国民经济发展及生活水平的提高都起着至关重要的作用。

“电工电子技术”课程涉及电工电子学科的各个领域,并有很强的实践性。学生通过本课程的学习,获得电工、电子技术及电气控制等领域必要的基本理论、基本知识和基本技能,获得电工与电子技术的基本分析方法和应用技巧,培养初步的实践能力和分析问题和解决问题的实际能力。

本书从适应高等院校非电类理工科应用型人才培养需求出发,力求以尽可能少的学时阐明电工电子技术的基本知识。作者在多年教学改革与实践的基础上,结合对应用型人才的培养,吸收当前一些改革教材中的先进经验。在课程内容的选择上,重点突出基本概念、基本理论、基本原理和基本分析方法,尽量减少过于复杂的分析与计算。强调知识的渐进性,兼顾知识的系统性,力求做到学科体系完整、知识简单明了、理论联系实际、时代特色鲜明,同时体现近年来电工电子技术领域出现的新技术。

全书分为12章。第1~4章为电路分析基础部分,主要包括电路的基本概念和基本定律、直流电路和交流电路的分析方法、一阶线性电路的暂态分析等内容;第5章为变压器与电动机部分,主要包括变压器、三相异步电动机、单相异步电动机以及三相异步电动机的电气控制系统等内容;第6章和第7章为模拟电子技术部分,主要包括常用半导体器件、由分立元件组成的基本放大电路等内容;第9章为直流稳压电源部分,主要包括单相整流电路、滤波电路、直流稳压电源等内容;第8章、第10章和第11章为数字电子技术部分,主要包括集成运算放大器及其应用、门电路与组合逻辑电路、触发器与时序逻辑电路等内容;第12章为电工电子技术实验,主要包括电路、电子技术的基本实验。本书力求叙述简明、概念清晰、条理清楚、讲解到位、插图规范、易教易学。本书可作为高等学校非电类专业学生的教科书,也可供有关专业师生、工程技术人员和社会读者阅读。

本书由福建工程学院的周理、陈佳新任主编,最后统稿并定稿。第1~3章由陈炳煌编写,第4章由陈佳新、鄢仁武编写,第5章由陈佳新编写,第6章和第7章由卢光宝编写,第9章由鄢仁武编写,第8章、第10章、第11章由周理编写,第12章由陈佳新、周理编写。福州大学的蔡金锭教授仔细审阅了书稿并提出了宝贵的修改意见,谨致以衷心的感谢。

在编写过程中，我们学习和借鉴了大量有关的参考资料。在此向所有资料的编写者们表示深深的感谢。

由于时间的限制和编者学识的局限,书中难免有错漏或不妥之处,恳请广大读者在使用过程中提出宝贵意见。作者的邮箱为 zhouli@fjtu.edu.cn。

编者

2014 年 5 月

目 录

第1章 电路的基本概念和定律	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 电路	1
1.1.2 电路模型	2
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 功率	5
1.3 电路电源	6
1.3.1 独立电源	6
1.3.2 受控电源	8
1.4 电路定律	9
1.4.1 欧姆定律	10
1.4.2 基尔霍夫定律	10
本章小结	12
习题	13
第2章 电路的分析方法	14
2.1 电阻网络的等效变换	14
2.2 电源模型及其等效变换	16
2.3 支路电流法	19
2.4 节点电压法	20
2.5 叠加定理	21
2.6 等效电源定理	23
本章小结	27
习题	27
第3章 正弦交流电路	30
3.1 正弦交流电的基本概念	30
3.1.1 正弦交流电	30
3.1.2 正弦交流电的有效值	32
3.1.3 正弦量的相量表示法	32
3.2 单一参数的正弦交流电路	35
3.2.1 电阻元件的正弦交流电路	35
3.2.2 电感元件的正弦交流电路	36
3.2.3 电容元件的正弦交流电路	37

3.3 正弦交流电路的分析	38
3.3.1 正弦交流电路的阻抗	38
3.3.2 基尔霍夫定律的相量形式	41
3.4 正弦交流电路的功率	42
3.4.1 正弦交流电路的功率	42
3.4.2 功率因数的提高	45
3.5 正弦交流电路的频率特性	46
3.5.1 串联谐振	47
3.5.2 并联谐振	49
3.6 三相电路	50
3.6.1 三相电路的电压(电流)	50
3.6.2 三相电路的功率	54
3.7 安全用电技术	55
3.7.1 安全用电常识	55
3.7.2 防触电的安全技术	55
3.7.3 静电防护和电气防火、防爆 常识	56
本章小结	56
习题	58
第4章 一阶线性电路的暂态分析	61
4.1 换路定律及初始值的确定	61
4.1.1 换路定律	61
4.1.2 动态电路初始值的确定	61
4.2 一阶线性动态电路的分析	64
4.2.1 动态电路的响应	64
4.2.2 一阶动态电路暂态分析的 三要素法	67
4.2.3 微分电路与积分电路	71
本章小结	73
习题	73
第5章 变压器与电动机	76
5.1 变压器	76
5.1.1 磁性材料的磁性能	76
5.1.2 变压器的基本结构及工作 原理	78

5.1.3 变压器的运行特性	83	6.4.2 光电二极管	127
5.2 三相异步电动机	84	6.4.3 光电三极管	128
5.2.1 三相异步电动机的基本结构 和工作原理	85	6.4.4 光电耦合器件	129
5.2.2 三相异步电动机的机械特性	92	本章小结	130
5.2.3 三相异步电动机的启动	93	习题	131
5.2.4 三相异步电动机的反转	97	第7章 分立元件组成的基本放大电路	133
5.2.5 三相异步电动机的调速	97	7.1 共发射极放大电路	133
5.2.6 三相异步电动机的制动	98	7.1.1 电路组成及电压放大原理	133
5.3 单相异步电动机	99	7.1.2 放大电路的静态分析	134
5.3.1 分相式异步电动机	100	7.1.3 放大电路的动态分析	135
5.3.2 罩极式异步电动机	101	7.1.4 静态工作点的稳定	139
5.4 三相异步电动机的电气控制 系统	102	7.1.5 多级放大电路	141
5.4.1 常用低压电器	102	7.2 射极输出器	144
5.4.2 三相异步电动机的基本 控制线路	107	7.2.1 静态分析	144
本章小结	110	7.2.2 动态分析	145
习题	110	7.3 差分放大电路	146
第6章 常用半导体器件	114	7.3.1 静态分析	146
6.1 半导体二极管	114	7.3.2 动态分析	147
6.1.1 PN结及其单向导电性	114	7.4 互补对称功率放大电路	148
6.1.2 半导体二极管	116	7.4.1 对功率放大电路的基本 要求	148
6.2 晶体三极管	118	7.4.2 OCL 互补对称功率放大器	149
6.2.1 晶体三极管的基本结构和 分类	118	7.4.3 OTL 互补对称功率放大器	151
6.2.2 晶体三极管的工作原理	119	7.5 场效应晶体管放大电路	151
6.2.3 晶体三极管的特性曲线和 主要参数	121	7.5.1 共源极放大电路静态分析	151
6.3 绝缘栅场效应晶体管	123	7.5.2 共源极放大电路动态分析	152
6.3.1 增强型绝缘栅场效应晶 体管	123	本章小结	153
6.3.2 耗尽型绝缘栅场效应晶 体管	124	习题	154
6.3.3 场效应管的主要参数及 使用注意事项	126	第8章 集成运算放大器及其应用	158
6.4 光电器件	126	8.1 集成运算放大器简介	158
6.4.1 发光二极管	126	8.1.1 集成运算放大器的结构与 符号	158
		8.1.2 集成运算放大器的主要技术 指标	159
		8.1.3 集成运算放大器的电压传输 特性	161
		8.1.4 集成运算放大器的理想化 模型	162

8.2 反馈在集成运算放大器中的应用	162	10.1.3 常用逻辑门电路	189
8.2.1 4种反馈组态	163	10.1.4 最小项和最小项表达式	192
8.2.2 负反馈放大电路的一般表达式	166	10.1.5 逻辑函数的化简	193
8.3 频率特性的基本概念	166	10.2 集成逻辑门电路	197
8.4 集成运算放大器的线性应用	168	10.2.1 TTL 门电路	197
8.4.1 比例运算电路	168	10.2.2 三态输出门	198
8.4.2 加法运算电路	169	10.3 MOS 逻辑门	199
8.4.3 减法运算电路	169	10.3.1 CMOS 反相器的工作原理	199
8.4.4 积分运算电路	170	10.3.2 其他类型的 CMOS 门电路	200
8.4.5 微分运算电路	170	10.4 组合电路的分析与设计	201
8.4.6 测量放大电路	170	10.4.1 组合电路的分析	202
8.5 集成运算放大器的非线性应用	171	10.4.2 组合电路的设计	203
8.5.1 比较器	171	10.4.3 加法器	204
8.5.2 方波发生器	173	10.4.4 组合电路设计中的几个实际问题	205
本章小结	174	10.5 常用的组合电路	205
习题	174	10.5.1 译码器	206
第 9 章 直流稳压电源	176	10.5.2 编码器	207
9.1 单相整流电路	176	本章小结	210
9.1.1 单相半波整流电路	176	习题	211
9.1.2 单相桥式整流电路	177	第 11 章 触发器与时序逻辑电路	214
9.2 滤波电路	178	11.1 触发器	214
9.2.1 电容滤波电路	178	11.1.1 基本 RS 触发器	214
9.2.2 电感滤波电路	180	11.1.2 门控触发器	215
9.2.3 复式滤波电路	180	11.1.3 主从触发器	216
9.3 直流稳压电源	180	11.2 同步时序电路分析	217
9.3.1 稳压二极管稳压电路	180	11.2.1 同步时序电路分析步骤	217
9.3.2 串联型稳压电路	182	11.2.2 同步时序电路分析举例	217
9.3.3 三端集成稳压电路	183	11.3 寄存器与移位寄存器	219
本章小结	184	11.3.1 寄存器	219
习题	185	11.3.2 移位寄存器	219
第 10 章 门电路与组合逻辑电路	187	11.4 计数器	220
10.1 逻辑代数基础	187	11.4.1 同步计数器	220
10.1.1 逻辑代数的特点和基本运算	187	11.4.2 异步计数器	223
10.1.2 逻辑代数的基本公式和规则	188	11.4.3 使用集成计数器构成 N 进制计数器	224
		本章小结	225
		习题	226

第12章 电工电子技术实验..... 228

12.1 实验一 直流电路实验..... 228

12.2 实验二 交流串联电路实验..... 230

12.3 实验三 日光灯电路..... 232

12.4 实验四 常用电子仪器的使用... 234

12.5 实验五 晶体管电压放大电路... 236

12.6 实验六 组合逻辑电路..... 237

12.7 实验七 计数、译码、显示

电路..... 239

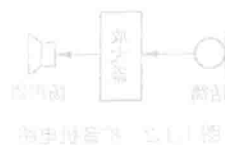


图 1.1.1 手电筒照明电路

第 1 章

章

电路的基本概念和定律

本章以物理概念为基础，并结合电工技术的需要，重点讨论电压和电流的参考方向、电路的基本状态和基尔霍夫定律等。这些内容都是分析和计算电路的基础，需要重点学习。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

1. 电路及其组成

实际电路通常由各种电路部件（如电源、电阻器、电感线圈、电容器、变压器）和电路器件（如仪表、二极管、三极管）相互连接组成。每一种电路部件都具有各自不同的电磁特性和功能。按照人们的需要，把相关电路部件和电路器件按一定方式进行组合，就构成了一个个电路。如果某个电路的元器件数目很多且电路结构较为复杂时，通常又把这个电路称为电网络。不论是简单还是复杂，电路的基本组成部分都离不开 3 个基本环节：电源、负载和中间环节。

电源是向电路提供电能的装置。它可以将其其他形式的能量，如化学能、热能、机械能、原子能等转换为电能。在电路中，电源是激励，是激发和产生电流的因素。负载是取用电能的装置，其作用是把电能转换为其他形式的能（如机械能、热能、光能等）。通常，在生产与生活中经常用到的电灯、电动机、电炉、扬声器等用电设备，都是电路中的负载。中间环节在电路中起着传递电能、分配电能和控制整个电路的作用。最简单的中间环节即开关和连接导线，一个实用电路的中间环节通常还有一些保护和检测装置，复杂的中间环节可以由许多电路元件组成的网络系统。

在图 1.1.1 所示的手电筒照明电路中，电池作为电源，电灯泡作为负载，导线和开关作为中间环节将电灯泡和电池连接起来。

2. 电路的种类及功能

工程应用中的实际电路，按照功能的不同可分为两大类：一是完成能量的传输、分配和转换的电路。如图 1.1.1 所示，电池通过导线将电能传递给电灯泡，电灯泡将电能转化为光能和热能，这类电路的特点是大功率、大电流；二是实现对电信号的传递、变换、储存和处

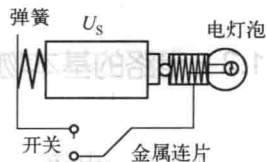


图 1.1.1 手电筒照明电路

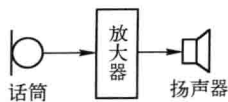


图 1.1.2 扩音机电路

理的电路。图 1.1.2 所示是一个扩音机的工作过程，话筒将声音的振动信号转换为电信号，即相应的电压和电流，经过放大处理后，通过电路传递给扬声器，再由扬声器还原为声音，这类电路特点是小功率、小电流。

1.1.2 电路模型

实际电路的电磁过程是相当复杂的，难以进行有效的分析计算。在电路理论中，为了方便实际电路的分析和计算，通常在工程实际允许的条件下对实际电路进行模型化处理，即忽略次要因素，抓住足以反映其主要功能的主要电磁特性，抽象出实际电路器件的“电路模型”。

例如电阻器、灯泡、电炉等，这些电气设备接收电能并将电能转换成光能或热能，光能和热能显然不可能再回到电路中，因此我们把这种能量转换过程不可逆的电磁特性称为耗能。这些电气设备除了具有耗能的电磁特性，还有其他一些电磁特性，但在研究和分析问题时，即使忽略这些其他电磁特性，也不会影响整个电路的分析和计算。因此，我们就可以用一个只具有耗能电磁特性的“电阻元件”作为它们的电路模型。

将实际电路器件理想化而得到的只具有某种单一电磁特性的元件，称为理想电路元件，简称为电路元件。每一种电路元件都体现某种基本现象，具有某种确定的电磁特性和精确的数学定义。常用的有表示将电能转换为热能的电阻元件、表示电场性质的电容元件、表示磁场性质的电感元件及电压源元件和电流源元件等，其电路符号如图 1.1.3 所示。本章后面将分别讲解这些常用的电路元件。

把由理想电路元件相互连接而组成的电路称为电路模型。如图 1.1.1 所示，电池对外提供电压的同时，内部也有电阻消耗能量，所以电池用其电动势 E 和内阻 R_0 的串联表示；灯除了具有消耗电能的性质（电阻性）外，在通电时还会产生磁场，具有电感性。但是电感十分微弱，可忽略不计，因此可认为灯是一电阻元件，用 R 表示。图 1.1.4 所示是图 1.1.1 的电路模型。本书后文所涉及电路均指由理想电路元件构成的电路模型，同时把理想电路元件简称为电路元件。

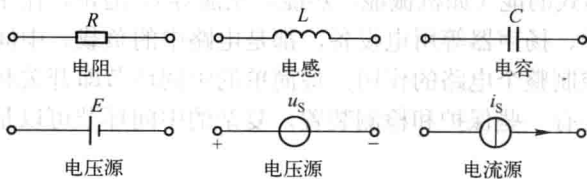


图 1.1.3 理想电路元件的符号

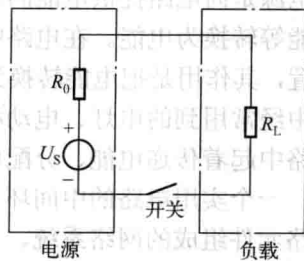


图 1.1.4 手电筒电路的电路模型

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

电流等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。用以衡量电流大小的量，称为电流强度。

用符号 $i(t)$ 和 $q(t)$ 分别表示电流和电荷量, 即

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

通常, 将正电荷移动的方向规定为电流的正方向, 也称为电流的实际方向。

如果电流的大小和方向都不随时间变化, 则把这种电流称为恒定电流, 简称直流 (Direct Current, DC), 可用符号 I 表示。如果电流的大小和方向都随时间变化, 则把这种电流称为交变电流, 简称交流 (Alternating Current, AC), 可用符号 $i(t)$ 来表示。

以上规定了电流的实际方向, 但是在进行电路分析时, 电路中某个元件或某段电路的电流方向是未知的, 因此在分析计算前需要先假定电流的参考方向。参考方向的假定可以是任意的, 一般可用一个实箭头表示。如图 1.2.1 (a) 所示, 长方框表示电路中的一个元件或一段电路。箭头由 a 指向 b 的方向, 是假定流经这个元件的电流的参考方向。但流过该元件的电流的实际方向可能是由 a 指向 b, 也可能是由 b 指向 a。也就是说, 电流的参考方向与电流的实际方向要么相同, 要么相反。若电流的实际方向是由 a 指向 b, 即如图 1.2.1 (b) 中虚线箭头所示, 它与假定的参考方向一致, 则电流 i 为正值, 即 $i > 0$ 。在图 1.2.1 (c) 中假定电流的参考方向是由 b 指向 a, 而实际方向是由 a 指向 b, 与电流 i 的参考方向相反, 即 $i < 0$ 。这样, 在已经假定电流参考方向的情况下, 电流 i 值的正和负, 就反映了电流 i 的实际方向。若没有假定电流的参考方向, 电流 i 值的正和负就毫无意义。所以在分析电路时要预先假定电流的参考方向。

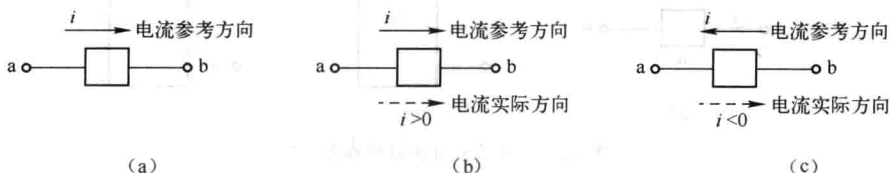


图 1.2.1 电流的参考方向

1.2.2 电压

电压等于单位正电荷在电场力作用下由 a 点移到 b 点时所做的功, 即

$$u_{ab} = \frac{dw_{ab}}{dq} \quad (1.2.2)$$

式中, dq 为电荷由 a 点转移到 b 点的电量, 单位为库仑[C]; dw 为转移过程中电荷 dq 所失去的电功, 单位为焦耳[J]; 电压单位为伏特[V]。

单位正电荷在电场力的作用下由 a 移到 b, 消耗电能, 则 a 点是高电位点, 称为正极, 用符号 “+” 表示; b 点为低电位点, 称为负极, 用符号 “-” 号表示。电荷转移失去电能表现为电压降落, 即电压降。通常, 电路中两点之间的电压方向可用电压极性或电压降方向表示。

若电压的大小和极性均不随时间变动, 则这样的电压称为恒定电压或直流电压, 可用符号 U 表示。若电压的大小和极性均随时间变化, 则称为交变电压或交流电压, 用符号 $u(t)$ 表示。

对电路两点之间的电压, 如同电流一样, 计算时也需要假定参考极性或参考方向。在图

1.2.2 (a) 中, 如果假定 a 点的电位高于 b 点的电位, 则 a 点为“+”极性, b 点为“-”极性。若实际中 a 点的电位高于 b 点的电位, 则电压 $u > 0$, 这表示元件两端的电压实际极性与假定参考极性相同, 或者说电压实际方向与参考方向一致。如果 $u < 0$, 说明电压的假定参考方向与实际方向相反, 如图 1.2.2 (b) 所示。

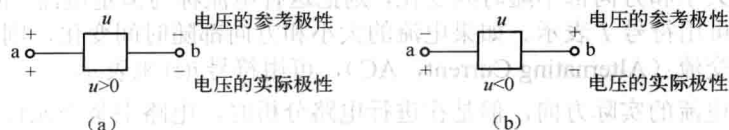


图 1.2.2 电压的参考极性

一个元件中通过的电流或端电压的参考方向可以独立地任意指定。如果假定流过元件的电流参考方向是从标有电压“+”极性的一端指向电压“-”极性的一端, 即电流和电压参考方向一致, 则把这种电流和电压参考方向称为关联参考方向, 如图 1.2.3 (a) 所示。当电压和电流的参考方向不一致时, 称为非关联参考方向。在图 1.2.3 (b) 中, N 表示电路的一部分, 有两个端子与外电路相连, 为二端电路, 其电流 i 的参考方向是从电压的“+”极端流入二端电路, 再从“-”极端流出, 电流和电压参考方向一致, 所以是关联参考方向。图 1.2.3 (c) 所示的电流与电压是非关联参考方向。

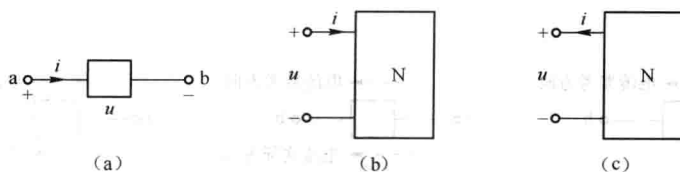


图 1.2.3 关联和非关联的参考方向

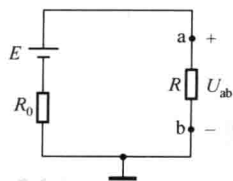


图 1.2.4 零电位示意图

为了方便分析问题, 常在电路中指定一点作为参考点, 假定该点的电位是零, 用符号“ $\perp$ ”表示, 如图 1.2.4 所示。在生产实践中, 把地球作为零电位点, 凡是机壳接地的设备 (接地符号是“ $\perp$ ”), 机壳电位即为零电位。有些设备或装置的机壳并不接地, 而是把许多元件的公共点作为零电位点, 用符号“ $\perp$ ”表示。

电路中其他各点相对于参考点的电压就是各点的电位, 因此, 任意两点间的电压等于这两点的电位之差, 可以用电位的高低来衡量电路中某点电场能量的大小。

电路中各点电位的高低是相对的, 参考点不同, 各点电位的高低也不同, 但是电路中任意两点之间的电压与参考点的选择无关。电路中, 凡是比参考点电位高的各点电位都是正电位, 比参考点电位低的各点电位都是负电位。

例 1.2.1 求图 1.2.5 中 a 点的电位。



图 1.2.5 例 1.2.1 题图

解 对于图 1.2.5 (a) 有

$$U_a = -4 + \frac{30}{50+30} \times (12+4) = 2(\text{V})$$

对于图 1.2.5 (b)，因 20Ω 电阻中电流为零，故

$$U_a = 0$$

国际单位制 (SI) 已规定了电路变量的单位，如安、伏、秒等。表 1.2.1 列出了国际单位制中规定的十进制倍数和分数的单位词头。例如：

$$1 \text{ 微安}[\mu\text{A}] = 1 \times 10^{-6} \text{ 安}[\text{A}]$$

$$5 \text{ 千伏}[\text{kV}] = 5 \times 10^3 \text{ 伏}[\text{V}]$$

$$2 \text{ 毫秒}[\text{ms}] = 2 \times 10^{-3} \text{ 秒}[\text{s}]$$

表 1.2.1 部分国际单位制倍数与分数词头

倍数	词头名称		词头符号	分数	词头名称		词头符号
	中文	原文 (法)			中文	原文 (法)	
10^{12}	太[拉]	tera	T	10^{-1}	分	deci	d
10^9	吉[咖]	giga	G	10^{-2}	厘	centi	c
10^6	兆	mega	M	10^{-3}	毫	milli	m
10^3	千	kilo	k	10^{-6}	微	micro	μ
10^2	百	hecto	h	10^{-9}	纳[诺]	nano	n
10	十	deca	da	10^{-12}	皮[可]	pico	p

1.2.3 功率

电流通过电路时传输或转换电能的速率，即单位时间内电场力所做的功，称为电功率，简称功率。数学描述为

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1.2.3)$$

式中， p 表示功率。在国际单位制中，功率的单位是瓦特[W]，规定元件 1 秒钟内提供或消耗 1 焦耳能量时的功率为 1W。常用的功率单位还有千瓦[kW]， $1\text{kW}=1000\text{W}$ 。

将式 (1.2.3) 等号右边的分子、分母同乘以 dq 后，变为

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \times \frac{dq}{dt} = ui \quad (1.2.4)$$

可见，元件吸收或发出的功率等于元件两端的电压乘以元件中的电流。

若元件的电流为直流电流 I ，电压为直流电压 U ，则电功率为

$$P = UI \quad (1.2.5)$$

式 (1.2.4) 或式 (1.2.5) 中的电压和电流是关联参考方向， p 为元件吸收的电功率。若在某一时刻， $p > 0$ ，表明元件吸收电功率； $p < 0$ ，表明元件实际上提供电功率或输出电功率。

当电流的单位为安培[A]、电压的单位为伏特[V]、能量的单位为焦耳[J]、时间的单位为秒[s]时，则电功率的单位为瓦特[W]。

电气设备或元件长期正常运行的电流容许值称为额定电流，其长期正常运行的电压容许值称为额定电压。额定电压和额定电流的乘积为额定功率。通常电气设备或元件的额定值标

在产品的铭牌上。如一白炽灯标有“220V、40W”，表示它的额定电压为220V，额定功率为40W。

例 1.2.2 计算图 1.2.6 所示各电路的电功率。设图 (a) 中，(1) $I=1\text{A}$ ， $U=2\text{V}$ ；(2) $I=1\text{A}$ ， $U=-2\text{V}$ 。设图 (b) 中，(1) $I=-2\text{A}$ ， $U=3\text{V}$ ；(2) $I=-2\text{A}$ ， $U=-3\text{V}$ 。

解 在图 1.2.6 (a) 中 I 和 U 为关联参考方向。

(1) 元件吸收的电功率为

$$P=UI=1\times 2=2(\text{W})$$

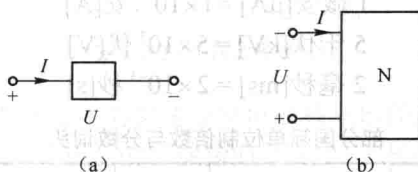


图 1.2.6 例 1.2.2 题图

(2) 元件吸收的电功率为

$$P=UI=(-2)\times 1=-2(\text{W})$$

计算结果为负值，表明该元件向外提供 2W 电功率。

在图 1.2.6 (b) 中，电压和电流为非关联参考方向， U 与 I 的乘积表示该元件提供的电功率。

(1) 元件提供的电功率为

$$P=UI=3\times (-2)=-6(\text{W})$$

计算结果为负值，表明其实际吸收了 6W 电功率。

(2) 元件提供的电功率为

$$P=UI=(-3)\times (-2)=6(\text{W})$$

计算结果为正值，表明该元件向外提供 6W 电功率。

1.3 电路电源

1.3.1 独立电源

电压源和电流源是两个理想化的电路元件，它们的物理原形是实际电源，如干电池、发电机、信号源、光电池等。通常它们在电路中提供电能，是两个电源元件。

电压源的定义为：一个理想二端元件，若其端电压 $u(t)$ 总保持为一个确定的值 U_S 或确定的时间函数 $u_S(t)$ ，而与通过它的电流 $i(t)$ 无关，则这种二端元件称为独立电压源，简称为电压源。电压源的图形符号如图 1.3.1 (a) 所示，用符号 U_S 或 $u_S(t)$ 表示电压值。图中“+”“-”符号表示电压源的方向。当电压源为直流电压源时，用图 1.3.1 (b) 所示的图形符号表示，其中长线段表示电压的正极，短线段表示负极用符号 U_S 表示电压值。

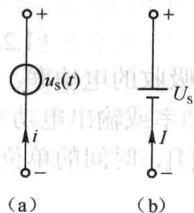


图 1.3.1 电压源图形符号

图 1.3.2 (a) 所示的是电压源接外电路的情况，通常取电压源的

电压和电流方向为非关联参考方向。电压源的特点是：端电压 $u(t)$ 总等于 $u_S(t)$ ，不受外电路影响；而电压源的电流值由外电路决定，当电压源所连接的外电路不同时，流经电压源的电流也不同。如果 $u_S(t) = U_S$ 为一直流电压，则电压源端电压 $u(t) = U_S \neq 0$ ，电压源的特性曲线是一条不过原点且平行于电流轴的直线，如图 1.3.2 (b) 所示。

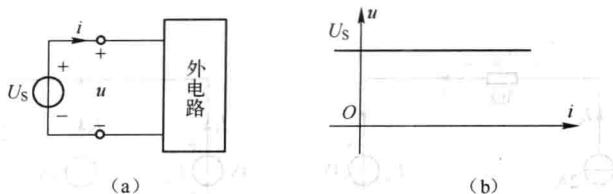


图 1.3.2 电压源外特性

如果电压源 $u_S(t) = 0$ 时，电压源相当于一短路路线，即电压源的伏安特性为 $u-i$ 平面上的电流轴。电压源两端不允许短路，因为电压源短路时端电压 $u = 0$ ，这与电压源特性不相容。

电压源发出的电功率为

$$p(t) = u(t)i(t) \quad (1.3.1)$$

电压源流过的电流不是由它本身所确定的，而是由与之连接的外电路来决定的。电流可以从不同的方向流过电压源，因此电压源既可以对外电路发出电功率，也可以从外电路接收电功率。

电流源定义为：一个理想二端元件，若其提供的电流总保持为一个确定的值 I_S 或确定的时间函数 $i_S(t)$ ，而与其端电压 $u(t)$ 无关，电流源端电压 $u(t)$ 由外电路决定，则这种二端元件称为独立电流源，简称为电流源。电流源的图形符号如图 1.3.3 (a) 所示，箭头表示电流源的方向。

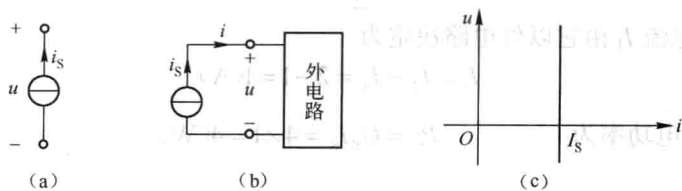


图 1.3.3 电流源及特性

图 1.3.3 (b) 所示的是电流源与外电路的连接情况，外电路不同使得电流源的端电压不同，其电流总为 $i = i_S$ 而不受外电路影响。如果电流源 $i_S = I_S \neq 0$ ，则该电流源称为直流电流源，其特性曲线是 $u-i$ 平面上平行于电压轴的一条直线，如图 1.3.3 (c) 所示。当 $i_S = 0$ 时，该直线与电压轴重合。电流源不允许开路，因为电流源开路时提供的电流为零，这与电流源特性不相容。

电流源发出的电功率为

$$p(t) = u(t)i(t) \quad (1.3.2)$$

电流源两端的电压不是由它本身所确定的，而是由与之连接的外电路来决定的。电流源两端电压的极性可以是不同的，因此电流源既可以对外电路发出电功率，也可以从外电路接收电功率。

例 1.3.1 计算图 1.3.4 电路中独立电源所提供的电功率。

解 在图 1.3.4 (a) 中, 假设电流源、电阻的电压 U 、 U_R 和电流 I 的参考方向如图所示。该电路为一个单回路, 其电流 I 等于电流源电流 2A 。根据欧姆定律, 电阻上的端电压 U_R 为

$$U_R = 3I = 3 \times 2 = 6(\text{V})$$

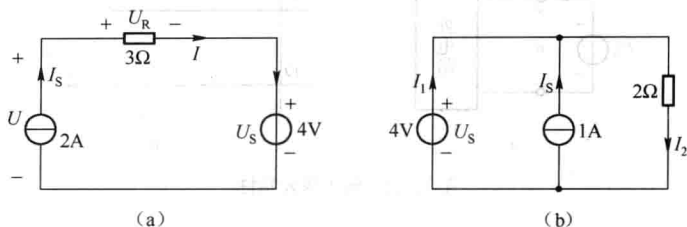


图 1.3.4 例 1.3.1 题图

电流源两端的电压等于电阻上的电压与电压源的电压之和

$$U = U_R + U_S = 6 + 4 = 10(\text{V})$$

电流源提供的电功率为

$$P = UI_S = 10 \times 2 = 20(\text{W})$$

因电压源的电流由外电路决定, 其值为 2A , 所以电压源提供的电功率为

$$P_{U_S} = -U_S I = -4 \times 2 = -8(\text{W})$$

在图 1.3.4 (b) 中, 各支路电流如图所示。三个元件并联连接, 其电压相同, 每个元件上的电压等于电压源的电压 $U_S = 4\text{V}$ 。根据欧姆定律, 电阻中通过的电流为

$$I_2 = \frac{U_S}{2} = 2(\text{A})$$

电压源 U_S 的电流 I_1 由它以外电路决定为

$$I_1 = I_2 - I_S = 2 - 1 = 1(\text{A})$$

电流源提供的电功率为

$$P_{I_S} = U_S I_S = 4 \times 1 = 4(\text{W})$$

电压源提供的电功率为

$$P_{U_S} = U_S I_1 = 4 \times 1 = 4(\text{W})$$

1.3.2 受控电源

电源除了有独立电压源和独立电流源外, 还有受控电压源和受控电流源。受控源也称为非独立电源。它与独立电源不同, 受控电压源的电压和受控电流源的电流并不独立存在, 而是受电路中其他支路电压或电流的控制。受控电源模型是一个二端口元件, 其中一个端口是电源端口, 另一个端口是控制端口。理想受控源的电源端口的电压 (或电流) 为一个定值或给定的时间函数, 与其通过的电流 (或电压) 无关, 其值的大小和函数的形式取决于控制端口的电压或电流。

受控电压源和受控电流源按其控制量的不同可分 4 种形式:

电压控制电压源 (Voltage Controlled Voltage Source, VCVS);