

21世纪
高职高专规划教材系列



电路分析原理

周英 等编著



增值回报
电子教案

33

638



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高职高专规划教材系列

电 路 分 析 原 理

周英 等编著



机械工业出版社

本书共有6单元,其主要内容包括:电路的基本概念和基本定律、直流电阻电路分析、动态电路的分析、正弦交流稳态电路的相量分析、网络函数和频率特性、含耦合电感的电路分析。除第4单元外的其余各单元都有实训内容,而且每单元有习题和单元测试。

本书可作为高等工程专科学院、高等职业学院电子通信类专业学生的教材,也可作为电子通信技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析原理/周英等编著. —北京:机械工业出版社,2006.6

(21世纪高职高专规划教材系列)

ISBN 7-111-19081-5

I.电... II.周... III.电路分析—高等学校—技术学校—教材
IV.TM133

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第113422号

机械工业出版社(北京,北京市机械工业出版社,邮政编码100037)

责任编辑:张化 版式设计:冉晓华

责任校对:李秋荣

北京机工印刷厂印刷

2006年6月第1版第1次印刷

184mm×260mm·9印张·218千字

0 001—5 000册

定价:16.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

编辑热线电话(010)88379739

封面无防伪标均为盗版

21 世纪高职高专 通信类专业规划教材编委会

主 任 周祥瑜

副 主 任 伍湘彬 张中洲 杨元挺 张黎明
安志鹏 俞 宁 董维佳 任德齐

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁龙刚 冯国莉 余 周 杜志勇 张红兵
易 谷 周雪利 彭利标 陈立万 梁德厚

秘 书 长 胡毓坚

副 秘 书 长 陈 良

出版说明

为了贯彻国务院发〔2002〕16号文件《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》的精神，进一步落实《中华人民共和国职业教育法》和《中华人民共和国劳动法》，实施科教兴国战略，大力推进高等职业教育改革与发展，我们组织力量，对实现高等职业教育培养目标和保证基本教学规格的文化基础课程、专业技术基础课程和重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写。

本套教材内容涵盖了高职高专院校计算机类、电子信息类、通信类、自动化类、市场营销类专业的专业基础课、专业课以及选修课。其中，通信类专业规划教材由“21世纪高职高专通信类专业规划教材编委会”组织编写。该套教材从实际应用的角度出发，结合工程实际需要，为高职高专通信类的学生提供了学习通信技术基础和现代通信技术的教科书。

通信类专业规划教材的指导思想及编写原则如下：

1. 课程整合，精简课程

在充分调研IT行业对通信专业学生能力结构具体要求的基础上，根据高职高专培养高新技术人才的定位，以社会实际需要为目标，加强基本知识、基础理论和基本技能的教学。同时，考虑理论对实践的指导性，以“必须够用”为原则，将通信类专业课程进行全面整合，精简课程，强调知识技能的直接应用。

2. 教材内容统一规划

规划教材从通信技术必须具备的基本知识和应掌握的基本技能出发，合理安排每一门课程的知识、技能点。将从程控交换到基站建设、光纤通信、终端设备等专业技术，恰当衔接，避免不必要的课程重复。技术基础课突出“新”的教学法——一体化教学模块（单元）；专业基础与专业技能课突出“新”的知识、“新”的技术，力求与行业需要相适应。

3. 结合行业资格证书

课程设置、教材编写与通信行业紧密结合。参照通信行业职业资格证书的要求，结合专业应用，用深入浅出的物理概念来替代那些难理解的理论推导。

4. 注重实训环节

注重理论与技能技术的有机结合，注重实训环节，将技能培训贯穿于整套教材。将电子基础理论与通信专业技术紧密结合，让学生在理论指导下进行技术实践，学好专业技术。

5. 编写模式合理先进

教材具体编写模式借鉴国外职教先进经验，技术基础课以能力模块（单元）来设计，每一模块（单元）设教学目标、正文、应知测试、应会测试等环节，强调案例分析，并加强实训实验环节的考核，体现以能力为本位，以学生为中心的职教理念。

通信类专业规划教材以技能培养为主，技能的设定由各主编结合企业要求组织讨论决定。技术基础课程的教材分单元展开，专业基础课程及专业技能课程的教材突出先进实用技术，强化技能训练和可操作性，同时注意设备、实训环境的大众化。

本套教材可作为各类高职高专院校的教材，也可作为各类培训班的教材。

机械工业出版社

前 言

通信产业是技术密集型产业，在近 20 年来，发展极为迅速。通信产品与我们的工作、生活密切相关。随着信息技术的大众化，通信产品的生产、销售以及售后技术服务急需“一线应用”技术型专业人才。为此，我们编写了适用于高职教育的系列教材，本书就是此系列教材之一。

本教材共分 6 单元，每单元开始有“应知应会要求”，具体列出学生应理解、掌握的知识点，并配有实训。每单元还配有单元测试，其中包括理论知识和实训知识的测试。

本教材第 1、2、3 单元由重庆职业技术学院赖先志编写，第 4 单元由河南科技学院尹立强和重庆电子科技职业学院李云伟合作编写，第 5、6 单元由重庆电子科技职业学院周英编写。全书由重庆电子科技职业学院周英修改和统稿。由于时间仓促，错误及欠妥之处，请使用本教材的同行和读者批评和指正。

编 者

2006 年 6 月

目 录

出版说明

前言

第 1 单元 电路的基本概念和基本

定律 1

1.1 概述 1

1.2 电路和电路模型 1

1.2.1 电路 1

1.2.2 电路模型 2

1.2.3 单位制 3

1.3 电路的基本物理量 3

1.3.1 电流 3

1.3.2 电压 4

1.3.3 电功率 6

1.4 电阻元件 7

1.4.1 电阻和电阻元件 7

1.4.2 电导 7

1.4.3 电阻元件的电压、电流关系 8

1.5 电压源和电流源 8

1.5.1 电压源 8

1.5.2 电流源 9

1.5.3 两种实际电源的等效转换 11

1.6 基尔霍夫定律 13

1.6.1 电路的几个名词 13

1.6.2 基尔霍夫电流定律 13

1.6.3 基尔霍夫电压定律 14

1.7 电路中电位的分析 15

1.7.1 电位 15

1.7.2 电路中电位的分析 15

1.7.3 等电位点 16

1.8 受控源 17

1.9 实训 20

1.10 习题 27

1.11 单元测试 29

第 2 单元 直流电阻电路分析 31

2.1 概述 31

2.2 分压电路和分流电路 31

2.2.1 分压电路 31

2.2.2 分流电路 32

2.3 电阻的星形联结和三角形
联结 33

2.3.1 电阻的星形联结和三角形联结 33

2.3.2 电阻的星形联结和三角形联结
相互转换 34

2.4 叠加定理 36

2.5 戴维南定理 37

2.5.1 戴维南等效电路 37

2.5.2 戴维南等效电路参数的测定 39

2.5.3 最大功率传输定理 39

2.6 节点电压分析法 40

2.7 实训 42

2.8 习题 45

2.9 单元测试 47

第 3 单元 动态电路的分析 49

3.1 概述 49

3.2 电容元件和电感元件 50

3.2.1 电容元件 50

3.2.2 电感元件 53

3.3 换路定理 56

3.4 一阶电路的三要素法 58

3.4.1 一阶电路的三要素法 58

3.4.2 电压、电流初始值的计算 59

3.4.3 时间常数的计算 60

3.4.4 举例 60

3.5 实训 62

3.6 习题 63

3.7 单元测试 65

第 4 单元 正弦交流稳态电路的相量 分析 66

4.1 概述 66

4.2 正弦交流电的基本概念 67

4.2.1 正弦量三要素	67	第5单元 网络函数和频率特性	105
4.2.2 正弦量的相位差	68	5.1 概述	105
4.2.3 正弦电压、电流的有效值	69	5.2 网络函数	105
4.3 相量法的基本概念	71	5.2.1 网络函数的定义和分类	105
4.3.1 正弦量的相量表示法	71	5.2.2 网络函数的计算方法	106
4.3.2 相量图	72	5.2.3 网络函数的频率特性	107
4.3.3 相量法用于正弦量的计算	73	5.3 谐振电路	107
4.4 三种元件上电压与电流的相量形式	75	5.3.1 RLC 串联谐振电路	107
4.4.1 电阻元件上电压与电流的相量形式	75	5.3.2 RLC 串联谐振电路的频率特性	109
4.4.2 电容元件上电压与电流的相量形式	76	5.3.3 RLC 并联谐振电路	110
4.4.3 电感元件上电压与电流的相量形式	77	5.3.4 RLC 并联谐振电路的频率特性	111
4.5 相量形式的基尔霍夫定律	78	5.4 RC 电路的频率特性	112
4.5.1 相量形式的基尔霍夫电压定律	78	5.4.1 一阶 RC 低通滤波电路	112
4.5.2 相量形式的基尔霍夫电流定律	79	5.4.2 一阶 RC 高通滤波电路	113
4.6 用相量法分析电路	79	5.5 实训	113
4.6.1 用相量法分析串联电路	81	5.6 习题	115
4.6.2 用相量法分析并联电路	83	5.7 单元测试	116
4.7 正弦稳态电路的功率	85	第6单元 含耦合电感的电路分析	118
4.7.1 瞬时功率	85	6.1 概述	118
4.7.2 有功功率	86	6.2 含耦合电感电路的基本概念	118
4.7.3 无功功率	88	6.2.1 互感现象	118
4.7.4 视在功率	89	6.2.2 互感系数	119
4.8 正弦稳态响应的叠加	89	6.2.3 耦合系数	119
4.8.1 非正弦周期波的分解	89	6.2.4 互感电压	119
4.8.2 周期信号的频谱	90	6.3 互感线圈的连接	120
4.8.3 非正弦周期性电压、电流的有效值	91	6.3.1 互感线圈的同名端及应用	120
4.8.4 非正弦周期性电路的功率	91	6.3.2 耦合电感的串联	120
4.8.5 非正弦周期信号电路的分析	92	6.3.3 耦合电感的并联	121
4.9 三相正弦交流电路	93	6.3.4 耦合电感的 T 形联结	122
4.9.1 三相正弦交流电源	93	6.4 变压器	123
4.9.2 三相负载的连接	95	6.4.1 空心变压器	123
4.9.3 三相电路的功率	97	6.4.2 理想单相变压器	124
4.10 习题	99	6.5 实训	126
4.11 单元测试	101	6.6 习题	128
		6.7 单元测试	130
		附录 习题答案	131
		参考文献	135

第1单元 电路的基本概念和基本定律

应知应会要求：

- 掌握电路和电路模型的概念；
- 掌握电路中电流、电压、电功率三个物理量及其相互关系；
- 理解电路中电阻、电压源和电流源等基本元件的特性及相互关系；
- 掌握基尔霍夫定律、电路中电位的分析方法、受控源；
- 正确分析电阻元件的电压、电流关系及参考方向；
- 能正确分析电路中的电位；
- 正确使用基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律；
- 会进行实际电压源和实际电流源的等效变换。

1.1 概述

由电阻、电容、电感等集总参数元件组成的电路称为集总电路。本书只对集总电路进行分析。

电路分析的主要任务是依据电气装置和电子设备中所产生的电磁现象和电磁过程来分析电路中的电流、电压以及它们之间的关系，研究电路定律、定理和电路的分析方法。这些知识是认识和分析实际电路的理论基础，更是分析和设计电路的重要工具。电路分析的理论基础体现了两种约束关系：一种是取决于元件性质的电压、电流之间的约束关系，称为元件的伏安关系；另一种是确定电路结构的联接方式的拓扑约束关系——基尔霍夫定律。本章先回顾电流、电压及电功率等基本概念，并介绍组成电路的基本元件及它们的伏安关系、电压源和电流源的等效变换以及电路的基本定律（KCL，KVL）和受控源。

1.2 电路和电路模型

1.2.1 电路

为了分析电路理论，首先要了解什么是电路，即给电路下个定义：各种电气器件按一定方式连接起来组成的总体，它提供了电流的通路，这通路就称为电路或电网络。在广泛用电的今天，电路可以说是随处可见，举目皆是，任何一个电气装置和电子设备都构成一种功能不同的电路。

一个干电池，一个灯泡，一个开关，三根导线。按照图 1-1a 的方式连接起来，这就组成了一个简单的实际的手电筒电路图，图 1-1b 所示为这个实际手电筒电路的电路模型。干

电池提供电能的能源，它的作用是将其他形式的能量转换电能；灯泡是用电装置，称为负载，它将电源提供的电能转换为其他形式的能量；导线是连接电源与负载传输电能的金属导线；开关是控制电路通断的控制元件，需要照明时就闭合开关，不需要照明时将开关打开。



图 1-1 手电筒实际电路及电路模型

a) 实际电路 b) 电路模型

电路的形式多种多样。小的如成千上万的晶体管集中在几个平方毫米内的集成电路；大的如现代电话网、现代通信网、数据信息网和计算机网；乃至延伸到几百公里以外的传输线路，它们都可以构成形式不同的电路，完成复杂的功能。

电路的功能基本上可以分成两大类。一类是用来实现能量的转换、传输和分配。其中包括将其他能量转换为电能的设备如发电机、电池等，这些设备就是电源；将电能转换成其他形式的能量的设备如电动机、电灯等，这些设备就是负载。而在电源和负载之间的变压器、输电线、控制电器等是执行传输和分配任务的器件，这些设备构成的就是电网络，称为电力系统。电路的另一类功能则是在信息网络中，用来传递、储存、加工和处理各种电信号，如语言信号、图像信号和控制信号，即是信号的处理。图 1-2 所示的是通信网的基本组成框图。通常把输入电路的信号称为激励信号，把经过电路传输或处理后的信号成为响应信号。中间部分便是对信号进行处理的一些器件。

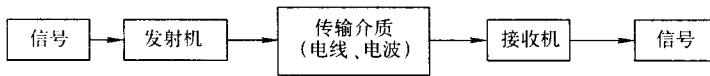


图 1-2 通信网的基本组成框图

1.2.2 电路模型

构成电路的设备和器件统称为电路部件，常用的电路部件有电池、发电机、信号发生器、电阻器、电容器、电感线圈、变压器、晶体管及集成电路等。电路一旦接通并有电流通过时，每个部件都会同时出现好几种电磁现象。例如，当通过电池的电流增大时，电池的端电压会降低。电池会发热；电阻器通电后会发热，同时还有磁场产生；电流通过电感器时会产生磁场，电感器也要发热，匝间还有电场；当电容器极板的电压变化时，电容器中有变化的电场和变化的磁场，介质中还有热损耗等。上述这些电磁现象对于每一个器件来说都是交织在一起的，连续分布在整个部件中，不能从空间上相互分开。因此，直接分析由电路部件组成的实际电路是比较复杂的，而在工程上也没有这样精确的必要。为此，我们必须在一定的条件下对电路部件抽象，加以理想化，忽略它的次要特性。用一个足以表征其主要性能的元素模型来表示，这种元素模型称为电路的理想元件。例如，用“理想电阻”作为电路元件来反映消耗电能的特征，当电流通过电阻时，在它内部进行着把电能转换为热能等不可逆过程，这样在电源频率不高的电路中，所有的电阻器、电炉等实际元件，都可以用“理想电

阻”这个模型来近似表示。理想电阻的模型符号如图 1-3a 所示。同样，在一定条件下，线圈可以用“理想电感”来近似表示，理想电感的模型符号如图 1-3b 所示；电容器可以用“理想电容”来近似表示，其模型符号如图 1-3c 所示。

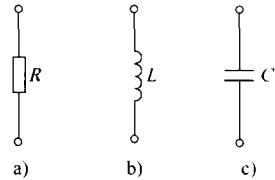


图 1-3 理想电阻、电感、电容元件模型
a) 理想电阻的模型符号
b) 理想电感的模型符号
c) 理想电容的模型符号

电路理论分析的对象是由理想元件组成的电路模型，它不是实际电路。图 1-1b 所示的是图 1-1a 所示实际电路的电路模型。它将实际电路中的灯泡看作一个理想的电阻元件，忽略其极其微小的电感；新的干电池其内阻远小于灯泡电阻，把它看作恒定的理想电压源；三根导线很短，其电阻完全可以忽略不计，可看作理想导体。于是，理想电阻元件就构成了灯泡的模型，理想电源就构成了干电池的模型，而理想导体则构成了连接导线的模型。

1.2.3 单位制

为了进一步描述和研究电路中出现的电磁现象，在这里还需要引入电路参数的概念。基本的电路参数有 3 个，即电阻、电容和电感。其中，电阻是用以表征消耗电能的电路参数，电容是用以表征形成电场和储存电场能的电路参数，电感则是用以表征形成磁场和储存磁能的电路参数。

在国际单位制 (SI) 中，电阻的基本单位是欧 [姆] (Ω)；电感的基本单位是亨 [利] (H)；电容的单位基本是法 [拉] (F)。

1.3 电路的基本物理量

在电路分析中，电路的工作状态通常可以用电荷、磁链、电流、电压、功率和能量这一组时间函数的变量来描述，电路分析的任务在于解得这些变量。这些变量中最常用到的便是电流、电压和功率。这里着重说明电压、电流的参考方向和功率正、负号的意义。

1.3.1 电流

电荷的定向移动就形成了电流。电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向。电流的大小常用电流强度来表示。电流强度是指单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流强度常简称为电流，用符号 i 表示，即：

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

式 (1-1) 中 q 为通过导体横截面的电荷量。如果电流的大小和方向不随时间变化，即 dq/dt 为常数，则这种电流叫做恒定电流，简称直流，常写作 dc 或 DC，其强度常用大写字母 I 表示。如果电流的大小和方向都随时间变化，则称这种电流为交变电流，简称交流，常写作 ac 或 AC，其强度可用符号 i 表示。

对于直流，单位时间内通过导体的横截面的电荷量是恒定不变的，其电流强度为 $I = Q/t$

t。

在国际单位制中，电流的单位是安 [培] (A)。它表示 1 秒 (s) 内通过导体横截面的电荷量为 1 库 [仑] (C)。电流的单位有时也用千安 (kA)，毫安 (mA) 或微安 (μA)，其关系如下：

$$\begin{aligned} 1\text{kA} &= 10^3 \text{ A} \\ 1\text{mA} &= 10^{-3} \text{ A} \\ 1\mu\text{A} &= 10^{-6} \text{ A} \end{aligned}$$

前面提到电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向，但在实际问题中，电流的真实方向往往难以在电路图中标出。例如，当电路中的电流是交流时，就不可能用一个固定的箭头来表示真实方向。即使电流为直流，在求解复杂电路时，也很难判定电流的真实方向。为了解决这一困难，引入了电流的“参考方向”这一概念。

在一段电路或一个电路元件上，可以任意选定一个方向，作为电流的参考方向，用箭头标明。在图 1-1b 中，电流的实际方向是显而易见的，它从电源正极流出，流向电源的负极。但在一些较复杂的电路里，如图 1-4 所示的桥式电路中， R_5 上的电流实际方向就不是一看便知的。不过 R_5 上的电流有 3 种可能：(1) 从 a 流向 b；(2) 从 b 流向 a；(3) 既不从 a 流向 b，也不从 b 流向 a (R_5 上的电流为零)。所以，电流这个

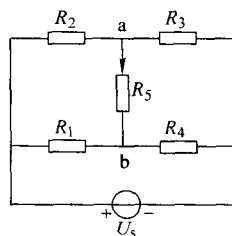


图 1-4 桥式电路

物理现象可以用代数量来描述。电流是代数量，就可以像研究其他代数量问题一样设定正方向，即参考方向。我们规定：当电流的真实方向与参考方向一致，电流为正值；如果两者相反，电流为负值。这样就可以利用电流的正负值结合电流的参考方向来确定电流的真实方向。在分析电路时，可任意假设电流的参考方向进行分析、计算。如果计算的结果电流为正值，说明真实方向与参考方向一致；电流为负值，说明真实方向与参考方向相反。

1.3.2 电压

电荷在电路中定向运动，就必然有能量的交换。电荷在电路的某些部分（例如电源）获得能量而在另外一部分（如电阻元件）失去能量。为了便于研究问题，在分析电路时引用电压这一物理量。电压有时也叫电位差，用符号 u 表示。电路中 a、b 两点间的电压表明了单位正电荷由 a 点移到 b 点时所获得或失去的能量（所作的功），如图 1-5 所示。用数学式表达，即为：

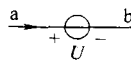


图 1-5 定义电压示意图

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-2)$$

式 (1-2) 中 dq 为由 a 点移到 b 点时的电量，单位为库 [仑] (C)； dw 为 a 点移到 b 点时，电荷 dq 所获得或失去的能量（所作的功），单位为焦 [耳] (J)。电压的单位为伏 [特] (V)，1V 电压相当于为移动 1C 正电荷电场力所做的功为 1J。

如果正电荷由 a 点移到 b 点时，获得能量，则 a 点为低电位，即负极，b 点为高电位，即正极。如果正电荷由 a 点移到 b 点时，失去能量，则 a 点为高电位，即正极，b 点为低电位，即负极。正电荷在电路中转移时电能的得或失表现为电位的升高或降低，即电压升或电压降。

在电路中任意选定一点为参考点，并令其电位为 0，则某点到参考点的电压就称做这一点（相对于参考点）的电位，用 V 表示，如 a 点的电位记为 V_a 。可以证明，电路中任意两点间的电压就等于这两点间的电位差，即：

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

这表明，电压的实际方向是从高电位指向低电位，是电位降的方向。

如果电压的大小和极性都不随时间变化，这样的电压就是恒定电压，即直流电压，可用符号 U 表示。如果电压的大小和极性都随时间变化，则称为交流电压。

和电流一样，我们也需要为电压规定参考方向。在电路中，其参考方向可用箭头或双下标如 U_{ab} 来表示。如果参考方向与真实方向一致，其数值为正，否则为负。

一般情况下，在电路分析中，若电压与参考方向取为一致，称为关联的参考方向，否则成为非关联的参考方向。

【例 1-1】 如图 1-6a 所示电路，若已知 2s 内有 4C 正电荷均匀地由 a 点经过 b 点移至 c 点，且知正电荷从 a 点移动至 b 点电场力所做的功为 8J，由 b 点移动至 c 点电场力做功为 12J。

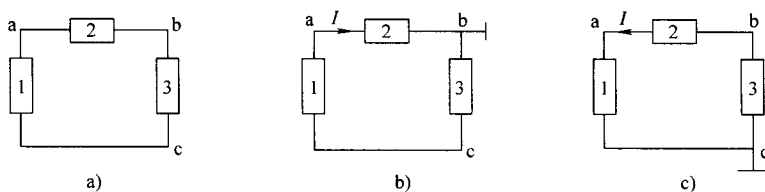


图 1-6 例 1-1 电路图

(1) 标出电路中电流参考方向并求出其值，若以 b 点作参考点（又称接地点），求电位 V_a 、 V_b 、 V_c ，电压 U_{ab} 、 U_{bc} 。

(2) 标出电流参考方向与 (1) 中相反，并求出其值，若以 c 点为参考点，再求电位 V_a 、 V_b 、 V_c ，电压 U_{ab} 、 U_{bc} 。

解：(1) 设电流参考方向如图 1-6b 所示，并在 b 点画上接地符号。依题意并由电流强度定义得：

$$I = \frac{q}{t} = \frac{4}{2} \text{ A} = 2 \text{ A}$$

由电位定义，得：

$$V_a = \frac{W_{ab}}{q} = \frac{8}{4} \text{ V} = 2 \text{ V}$$

$$V_b = 0$$

$$V_c = \frac{W_{cb}}{q} = -\frac{W_{bc}}{q} = -\frac{12}{4} \text{ V} = -3 \text{ V}$$

题目中已知 4C 正电荷由 b 点移动至 c 点电场力做功 12J，本问题是以 b 点为参考点求 c 点电位，就是说，若将 4C 正电荷由 c 点移动至 b 点，电场力做功应为 -12J，所以计算 c 点电位时算式中要用 -12。利用电压等于电位之差关系，求得：

$$U_{ab} = V_a - V_b = (2 - 0) \text{ V} = 2 \text{ V}$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = [0 - (-3)] \text{ V} = 3\text{V}$$

(2) 按题中第 (2) 问要求设电流参考方向如图 1-6c, 并在 c 点画上接地符号。由电流强度定义, 得:

$$I = -\frac{q}{t} = -\frac{4}{2} \text{ A} = -2 \text{ A}$$

电位为:

$$V_a = \frac{W_{ac}}{q} = \frac{8 + 12}{4} \text{ V} = 5\text{V}$$

$$V_b = \frac{W_{bc}}{q} = \frac{12}{4} \text{ V} = 3\text{V}$$

$$V_c = 0 \quad (\text{c 为参考点})$$

所以电压为:

$$U_{ab} = V_a - V_b = (5 - 3)\text{V} = 2\text{V}$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = (3 - 0)\text{V} = 3\text{V}$$

通过这个例子, 我们可以归纳出有关电流、电位、电压概念带有共性的几点重要结论: ①电路中电流数值的正与负和参考方向密切相关, 参考方向设的不同, 计算结果仅差一负号。②电路中各点电位数值随所选参考点的不同而改变, 但参考点一经选定, 那么这个点电位数值就是惟一的, 这就是电位的相对性与单值存在性。③电路中任意两点之间的电压数值不因所选参考点不同而改变。以后在分析电路问题时, 如只求电压, 并不需要知道参考点选在何处, 往往电路图上不标出参考点; 而求电位, 则必须要有参考点, 没有参考点谈论电位大小是没有实际意义的。

1.3.3 电功率

如前所述, 电路中存在着能量的流动, 那么一段电路所吸收或产生能量的速率即是功率。功率用符号 P 表示。如图 1-7 所示, a 点到 b 点的电压降为 U , 在时间 t 内由 a 点转移到 b 点的正电荷为 Q , 在转移过程中 Q 失去的能量为 $W_{ab} = UQ$, 电荷失去能量意味着这段电路吸收能量, 即能量由电路的其他部分传送到这一部分。因此, 吸收能量的速率, 即吸收的功率为:

$$P_{ab} = \frac{W_{ab}}{t} = \frac{UQ}{t}$$

因:

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

所以:

$$P = UI \quad (1-4)$$

同样可以为功率假设参考方向, 当功率的实际方向与参考方向一致时, 功率为正, 否则, 功率为负。如果研究的电路部分, 电流、电压的参考方向是关联的, 且功率的参考方向是进入该电路部分的, 三者关系如图 1-7 所示, 则功率为正时, 表示功率的实际方向与参考方向一致, 即该电路部分吸收功率, 该元件是负载性质; 若功率为负时, 表示功率的实际方向与参考方向相反, 即该电路部分产生功率该元件是电源性质。

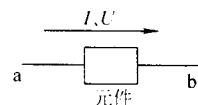


图 1-7 电功率产生示意图

1.4 电阻元件

1.4.1 电阻和电阻元件

电荷在电场力的作用下做定向运动时，通常要受到阻碍作用，物体对电流的阻碍作用成为该物体的电阻，电阻元件是反映电流热效应物理现象的理想元件。电阻的单位是欧〔姆〕(Ω)。

粗细均匀的金属导体，其阻值除与材料有关系外，当温度一定时与导体的长度成正比，与导体的横截面积成反比。电阻 R 为：

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-5)$$

其中， L 是导体长度，单位为 m ； S 是导体横截面积，单位为 m^2 ； ρ 是材料的电阻率，单位为 $\Omega \cdot m$ 。

如图 1-8a 所示，电压 U 和电流 i 的方向是关联的， R 是线性电阻元件，其电压、电流关系（简称为伏安特性）为：

$$U = IR \quad (1-6)$$

此关系为欧姆定律，它表示线性电阻元件的端电压和流过它的电流成正比。图 1-8b 是其伏安特性曲线。

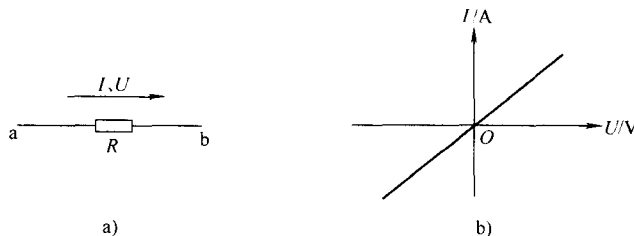


图 1-8 电阻元件

a) 电阻元件 b) 电阻元件伏安特性

电阻元件是一种对电流呈现阻碍作用的耗能元件。其功率为：

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (1-7)$$

还有另一类电阻元件，它们的伏安特性不是直线而是曲线，如半导体二极管的伏安特性曲线。这一类电阻称为非线性电阻。

1.4.2 电导

电压与电流是电路的变量，从欧姆定律可知，线性电阻元件可以用它的电阻 R 来表征它的特性，因此，认为是一种“电路参数”。电阻元件的另一个参数是电阻的倒数称为电导，它表征材料导电能力的参数，用符号 G 表示，即：

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-8)$$

在国际单位制中电导的单位是西 [门子] (S)。用电导表征线性电阻元件时, 欧姆定律为:

$$U = \frac{I}{G} \quad (1-9)$$

或:

$$I = GU \quad (1-10)$$

1.4.3 电阻元件的电压、电流关系

欧姆定律体现了电阻器对电流呈现阻力的本质。对电流既有阻力, 电流要流过, 就必然要消耗能量, 因此, 沿电流流动方向就必然会出现电压降, 欧姆定律表明这一电压降的大小, 其值为电流与电阻的乘积。由于电流与电压降的真实方向总是一致的, 所以, 只有在关联参考方向的前提下, 如图 1-8a, 才可以运用式 (1-6)。如为非关联参考方向, 则应改为:

$$U = -IR \quad (1-11)$$

线性电阻元件的符号如图 1-8a 所示。

如果把电阻元件的电压取为横坐标, 电流取为纵坐标, 可以绘出 $U - I$ 平面上的曲线, 被称为电阻元件的伏安特性曲线。显然, 线性电阻元件的伏安特性曲线是一条经过坐标原点的直线, 如图 1-8b 所示, 电阻值可以由直线的斜率来确定。

无论从欧姆定律还是从伏安特性曲线都可以看到: 在任一时刻, 线性电阻的电压 (或电流) 是由同一时刻的电流 (或电压) 所决定的。这就是说, 线性电阻的电压 (或电流) 不能“记忆”电流 (或电压) 在“历史”上所起的作用。

线性电阻有两种值得注意的特殊情况: 开路和短路。一个线性电阻元件无论电压 U 多大, 其电流恒等于零, 则此电阻元件称为开路, 即 $R = \infty$ 。同样, 一个线性电阻元件无论电流 I 多大, 其电压恒等于零, 则此电阻元件称为短路, 即 $R = 0$ 。

1.5 电压源和电流源

1.5.1 电压源

1. 理想电压源

在含电阻的电路中有电流流动时, 就会有电能的消耗, 电路中必须有能量来源——电源不断提供能量才行。没有电源, 在一个纯电阻电路中是不可能存在电流和电压的。

电池是大家熟悉的一种电源。电池内部的化学反应给予每库仑正电荷以一定值的能量, 这就是化学反应的性质所确定的。这定值就是电池的电动势。因此, 在理想情况下, 如电池本身没有能量损耗, 则每库仑的正电荷由电池的负极转移到正极时, 就能获得这定值能量的全部, 也就是说, 电池的端电压 U_s 是定值, 其值恰好等于电源的电动势。由此, 可以定义一种理想元件, 在其两端总能保持一定的电压而无论流过的电流是多大, 这种元件就称为理想电压源 (又称独立电压源)。

理想电压源具有两个性质: ①它的端电压是定值 U_s 与流过的电流无关。当电流为零时, 其两端仍有电压 U_s 。②理想电压源的电压是由它本身确定的, 至于流过它的电流则是

任意的。也就是说，流过它的电流不是由它本身确定的，而是由与它相连接的外电路来决定的。电流可以在不同的方向流过理想电压源，因而理想电压源既可以对外电路提供能量，也可以从外电路接受能量，视电流的方向而定。

图 1-9 是理想电压源的符号和伏安特性曲线，电压、电流关系为：

$$U = U_s \quad I \text{ 决定于负载电阻} \quad (1-12)$$

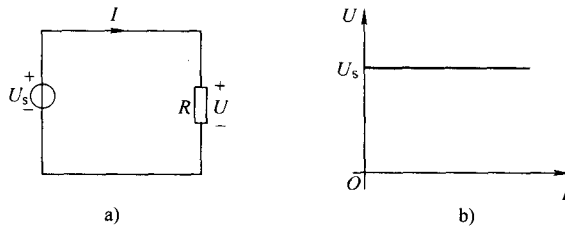


图 1-9 理想电压源

a) 电路图 b) 伏安特性

2. 实际电压源

一个实际电源在工作时其内部不可能没有损耗。当接通负载后，实际电压源的端电压就会降低，这是由于电源内部有损耗的缘故，此损耗可用一个等效电阻 R_0 来表示。所以实际的电压源，其端电压都是随着外电路电流的变化而变化的。

一个实际的电压源，可以用一个理想电压源 U_s 和一个内阻 R_0 相串联的模型来表示，此模型称为实际电压源的电压源模型，如图 1-10a 所示。 R_0 为电源内部损耗的等效电阻，这实际电压源的端电压为：

$$U = U_s - IR_0 \quad (1-13)$$

实际电压源的伏安特性如图 1-10b 所示。

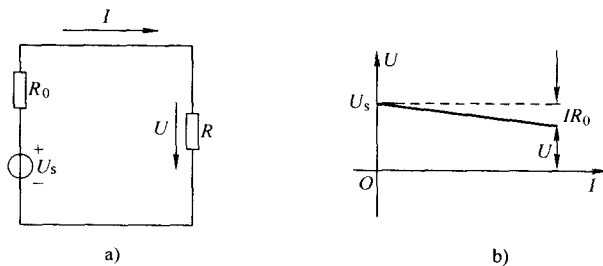


图 1-10 实际电压源

a) 电路图 b) 伏安特性

1.5.2 电流源

实际电源还可以建立另一种模型叫电流源。理想电流源是一种能产生和维持一定输出电流的理想电源元件，又称恒流源。 I_s 称为理想电流源的电流，图 1-11 所示是理想电流源的符号和伏安特性曲线，其电压、电流关系为：

$$I = I_s \quad U \text{ 由负载决定} \quad (1-14)$$