



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书



电子信息与电气学科规划教材·电子电气基础课程

# 电工电子技术

## 学习指导与习题解答

徐淑华 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书  
电子信息与电气学科规划教材·电子电气基础课程

# 电工电子技术 学习指导与习题解答

徐淑华 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书为徐淑华主编的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《电工电子技术(第2版)》配套参考书。本书作为电工电子技术课程的辅导教材,可供本科、专科非电类专业学生和广大自学读者学习电工电子技术课程时使用,也可供教授该课程的教师参考。本书按照《电工电子技术(第2版)》的模块顺序,各章分基本要求、学习指导、思考与练习解答和习题解答4个部分进行阐述。

全书编写条理清晰,注意启发逻辑思维,便于阅读和自学,有助于学生分析能力和解题能力的提高,对总结和复习具有一定的参考和指导作用。

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。

## 图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术学习指导与习题解答/徐淑华主编. —北京:电子工业出版社, 2011. 4

电子信息与电气学科规划教材·电子电气基础课程

ISBN 978-7-121-13172-1

I. ①电… II. ①徐… III. ①电工技术—高等学校—教学参考资料 ②电子技术—高等学校—教学参考资料 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 051520 号

策划编辑: 冉 哲

责任编辑: 冉 哲

印 刷: 涿州市京南印刷厂

装 订: 涿州市桃园装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 15.5 字数: 396 千字

印 次: 2011 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 28.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

# 前 言

电工电子技术课程是高等院校非电类专业的一门重要的专业基础课程,担负着使学生获得电路基础、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的任务。该课程面对专业多,学生数量大,课程内容涉及电工电子学科的各个领域,并有很强的实践性。徐淑华主编的《电工电子技术(第2版)》为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,根据教育部电气与电子学科基础课程教学指导委员会拟定的(电工学)最新教学基本要求编写。全书共分5个模块19章,包括电路基础理论、模拟电子技术、数字电子技术、EDA技术、电气控制技术共五大部分,涵盖了电工电子技术的所有内容。该书内容处理详略得当,基本概念讲述清楚,分析方法讲解透彻,思考题、例题、练习题配置齐全,难易度适中,方便学生自学和教师施教。适用于高等工科院校非电类专业本、专科学生电工学课程的教学与自学。以最新的“基本要求”为依据,注意加强知识的综合与系统的概念,注意加强实际应用,注意融入新技术,注意精选处理传统内容,注意教学方法,为教与学提供方便。

本书是高等学校电工电子技术课程的辅导教材,与徐淑华主编的主教材《电工电子技术(第2版)》配套,可供本科、专科非电类专业学生和广大自学读者学习电工电子技术课程时使用,也可供教授该课程的教师参考。本书按照《电工电子技术(第2版)》的模块顺序,各章分基本要求、学习指导、思考与练习解答(有的章节没有此部分内容)和习题解答4个部分进行阐述。

基本要求是对学生学习各章主要内容所提出的要求,指出了哪些内容需要理解或掌握,哪些内容需要分析计算,哪些内容需要正确应用,哪些内容只需一般了解。要求明确,学生可以自主地学习,以对所学知识达到应有的深度和广度。

学习指导包含主要内容综述和重点难点解析两部分,是编者对主教材各章各节的扼要和总结性的说明。主要内容综述回顾各章所讲的主要内容和知识要点,并进行归纳和总结。重点难点解析指出哪些内容是重点或难点,针对学生常出现的错误概念和应注意的问题解难释疑,指导到位,让学生学习对问题的分析和处理。

思考与练习解答主要针对主教材每节后的练习与思考题进行解析,以指导学生如何思考和分析问题。所列题目富有启发性,且多半是概念性的和学生容易出错的问题。着重指导学生观察问题要全面,理解问题要完整,得出结论要严谨。

习题解答指导学生如何解题。解题前,要对所学内容基本理解;解题时,要看懂题意,注意分析,明确用哪个理论和公式,解题步骤要清楚。书写要整洁,图要标绘正确,解题结果要注明单位。既便于学生自检和自测,也便于教师选留作业和考试命题。

为了阅读方便,本书的内容体系、章节顺序、思考与练习题和习题编号均与主教材保持一致,思考与练习题和习题中原有的电路图在本书中按顺序重新编号。

现代高等教育注重培养创新型人才。因此在能力培养的同时,必须注意创新意识的锻炼。为此编者建议读者在使用本书时,应力争独立分析、独立思考,将书中给出的习题解答作为借鉴和参考,不要使自己的思路受此局限,提倡用多种思路和多种方法解决问题,将借

鉴与创新结合起来。

本书的编写是在青岛大学电工电子实验教学中心的大力支持下进行的。其中第1~3章由杨艳编写，第5~8章由徐淑华编写，第4章和第17章由宫鹏编写，第9~12章由刘丹编写，第13~14章由陈大庆编写，第15~17章由赵岩岭编写，第18~19章由刘华波编写。孙丽凤解析了部分习题。全书由徐淑华统稿。

在编写过程中，本书学习和借鉴了大量有关的参考资料，在此向所有作者表示深深的感谢。

由于水平所限，错误和不当之处在所难免，恳请各位读者批评指正。

作 者

# 目 录

## 第 1 模块 电路基础理论

|                    |      |
|--------------------|------|
| 第 1 章 电路的基本定律与分析方法 | (3)  |
| 1.1 基本要求           | (3)  |
| 1.2 学习指导           | (3)  |
| 1.2.1 主要内容综述       | (3)  |
| 1.2.2 重点难点解析       | (8)  |
| 1.3 思考与练习解答        | (11) |
| 1.4 习题解答           | (16) |
| 第 2 章 电路的暂态分析      | (24) |
| 2.1 基本要求           | (24) |
| 2.2 学习指导           | (24) |
| 2.2.1 主要内容综述       | (24) |
| 2.2.2 重点难点解析       | (26) |
| 2.3 思考与练习解答        | (28) |
| 2.4 习题解答           | (29) |
| 第 3 章 交流电路         | (36) |
| 3.1 基本要求           | (36) |
| 3.2 学习指导           | (36) |
| 3.2.1 主要内容综述       | (36) |
| 3.2.2 重点难点解析       | (41) |
| 3.3 思考与练习解答        | (42) |
| 3.4 习题解答           | (46) |
| 第 4 章 三相电路         | (55) |
| 4.1 基本要求           | (55) |
| 4.2 学习指导           | (55) |
| 4.2.1 主要内容综述       | (55) |
| 4.2.2 重点难点解析       | (57) |
| 4.3 习题解答           | (59) |

## 第 2 模块 模拟电子技术

|               |      |
|---------------|------|
| 第 5 章 常用半导体器件 | (65) |
| 5.1 基本要求      | (65) |
| 5.2 学习指导      | (65) |

|            |                    |       |
|------------|--------------------|-------|
| 5.2.1      | 主要内容综述             | (65)  |
| 5.2.2      | 重点难点解析             | (67)  |
| 5.3        | 思考与练习解答            | (68)  |
| 5.4        | 习题解答               | (70)  |
| <b>第6章</b> | <b>基本放大电路</b>      | (73)  |
| 6.1        | 基本要求               | (73)  |
| 6.2        | 学习指导               | (73)  |
| 6.2.1      | 主要内容综述             | (73)  |
| 6.2.2      | 重点难点解析             | (75)  |
| 6.3        | 思考与练习解答            | (76)  |
| 6.4        | 习题解答               | (78)  |
| <b>第7章</b> | <b>集成运算放大器及其应用</b> | (84)  |
| 7.1        | 基本要求               | (84)  |
| 7.2        | 学习指导               | (84)  |
| 7.2.1      | 主要内容综述             | (84)  |
| 7.2.2      | 重点难点解析             | (89)  |
| 7.3        | 思考与练习解答            | (90)  |
| 7.4        | 习题解答               | (91)  |
| <b>第8章</b> | <b>电力电子技术</b>      | (102) |
| 8.1        | 基本要求               | (102) |
| 8.2        | 学习指导               | (102) |
| 8.2.1      | 主要内容综述             | (102) |
| 8.2.2      | 重点难点解析             | (106) |
| 8.3        | 思考与练习解答            | (107) |
| 8.4        | 习题解答               | (109) |

### 第3模块 数字电子技术

|             |                   |       |
|-------------|-------------------|-------|
| <b>第9章</b>  | <b>门电路与组合逻辑电路</b> | (117) |
| 9.1         | 基本要求              | (117) |
| 9.2         | 学习指导              | (117) |
| 9.2.1       | 主要内容综述            | (117) |
| 9.2.2       | 重点难点解析            | (125) |
| 9.3         | 思考与练习解答           | (127) |
| 9.4         | 习题解答              | (131) |
| <b>第10章</b> | <b>触发器与时序逻辑电路</b> | (140) |
| 10.1        | 基本要求              | (140) |
| 10.2        | 学习指导              | (140) |
| 10.2.1      | 主要内容综述            | (140) |
| 10.2.2      | 重点难点解析            | (146) |

|               |                         |              |
|---------------|-------------------------|--------------|
| 10.3          | 思考与练习解答 .....           | (148)        |
| 10.4          | 习题解答 .....              | (151)        |
| <b>第 11 章</b> | <b>半导体存储器 .....</b>     | <b>(160)</b> |
| 11.1          | 基本要求 .....              | (160)        |
| 11.2          | 学习指导 .....              | (160)        |
| 11.2.1        | 主要内容综述 .....            | (160)        |
| 11.2.2        | 重点难点解析 .....            | (164)        |
| 11.3          | 思考与练习解答 .....           | (165)        |
| 11.4          | 习题解答 .....              | (166)        |
| <b>第 12 章</b> | <b>模拟量和数字量的转换 .....</b> | <b>(170)</b> |
| 12.1          | 基本要求 .....              | (170)        |
| 12.2          | 学习指导 .....              | (170)        |
| 12.2.1        | 主要内容综述 .....            | (170)        |
| 12.2.2        | 重点难点解析 .....            | (171)        |
| 12.3          | 思考与练习解答 .....           | (172)        |
| 12.4          | 习题解答 .....              | (173)        |

## 第 4 模块 EDA 技术

|               |                      |              |
|---------------|----------------------|--------------|
| <b>第 13 章</b> | <b>电子电路的仿真 .....</b> | <b>(177)</b> |
| 13.1          | 基本要求 .....           | (177)        |
| 13.2          | 学习指导 .....           | (177)        |
| 13.3          | 习题解答 .....           | (178)        |
| <b>第 14 章</b> | <b>可编程逻辑器件 .....</b> | <b>(180)</b> |
| 14.1          | 基本要求 .....           | (180)        |
| 14.2          | 学习指导 .....           | (180)        |
| 14.2.1        | 主要内容综述 .....         | (180)        |
| 14.2.2        | 重点难点解析 .....         | (181)        |
| 14.3          | 习题解答 .....           | (181)        |

## 第 5 模块 电气控制技术

|               |                       |              |
|---------------|-----------------------|--------------|
| <b>第 15 章</b> | <b>铁心线圈与变压器 .....</b> | <b>(185)</b> |
| 15.1          | 基本要求 .....            | (185)        |
| 15.2          | 学习指导 .....            | (185)        |
| 15.2.1        | 主要内容综述 .....          | (185)        |
| 15.2.2        | 重点难点解析 .....          | (187)        |
| 15.3          | 思考与练习解答 .....         | (188)        |
| 15.4          | 习题解答 .....            | (190)        |



|                            |       |
|----------------------------|-------|
| <b>第 16 章 异步电动机</b>        | (193) |
| 16.1 基本要求                  | (193) |
| 16.2 学习指导                  | (193) |
| 16.2.1 主要内容综述              | (193) |
| 16.2.2 重点难点解析              | (197) |
| 16.3 思考与练习解答               | (198) |
| 16.4 习题解答                  | (200) |
| <b>* 第 17 章 直流电动机和控制电机</b> | (203) |
| 17.1 基本要求                  | (203) |
| 17.2 学习指导                  | (203) |
| 17.2.1 主要内容综述              | (203) |
| 17.2.2 重点难点解析              | (206) |
| 17.3 思考与练习解答               | (206) |
| 17.4 习题解答                  | (208) |
| <b>第 18 章 继电接触器控制系统</b>    | (211) |
| 18.1 基本要求                  | (211) |
| 18.2 学习指导                  | (211) |
| 18.2.1 主要内容综述              | (211) |
| 18.2.2 重点难点解析              | (216) |
| 18.3 思考与练习解答               | (217) |
| 18.4 习题解答                  | (219) |
| <b>第 19 章 可编程序控制器及应用</b>   | (226) |
| 19.1 基本要求                  | (226) |
| 19.2 学习指导                  | (226) |
| 19.2.1 主要内容综述              | (226) |
| 19.2.2 重点难点解析              | (232) |
| 19.3 思考与练习解答               | (234) |
| 19.4 习题解答                  | (236) |



# 第 1 章 电路的基本定律与分析方法

## 1.1 基本要求

1. 理解电路中物理量的参考方向的概念。
2. 能够正确判断电路元件的电路性质，即电源和负载。
3. 掌握各种理想电路元件的伏安特性。
4. 掌握基尔霍夫定律。
5. 能够正确使用支路电流法列写电路的方程。
6. 能够使用节点电压法的标准形式列写出节点电压的方程。
7. 理解等效的概念，掌握电源等效变换的分析方法。
8. 能够正确应用叠加原理分析和计算电路。
9. 掌握等效电源定理，在电路分析中能熟练地应用该定理。
10. 理解电位的概念，掌握电位的计算方法。

## 1.2 学习指导

### 1.2.1 主要内容综述

#### 1. 电路的基本概念

##### (1) 电路的组成及作用

电路是电流的通路，是为了某种需要由电气设备或元器件按一定方式组合而成的总体。对于电流，其方向不随时间变化，而大小可以改变的，称为直流电流。例如，用于电池供电的手电筒，就构成一个直流电路。电流的大小和方向随时间作周期性变化，称为交流电流。常见的电灯、电动机等均采用交流电流，它们构成交流电路。

电路的组成可以分为电源（或信号源）、负载和中间环节三部分。其作用主要有两个，一是实现电能的传输和转换，二是实现信号的传递和处理。电源或信号源的电压或电流都可称为激励，而激励在电路中产生的电流和电压称为响应。电路分析就是讨论电路中激励和响应的关系，它是本课程的核心基础。

##### (2) 电流和电压的参考方向

电路中电流和电压的方向是客观存在的，物理学中规定：电流的实际方向为正电荷运动的方向；电压的实际方向为从高电位（“+”极性）端指向低电位（“-”极性）端，即电位降的方向；电动势的实际方向为从低电位（“-”极性）端指向高电位（“+”极性）端，即

电位升的方向。

在分析较为复杂的直流电路时，往往很难事先判断某一支路中电流和电压的实际方向；所以在分析较为复杂的电路之前，需要选择一个参考方向，根据指定的参考方向列写方程，求解电路中未知的电流和电压。

参考方向可以任意选择。参考方向确定之后，根据计算结果的正负，就可方便地确定电压、电流的实际方向。若计算出的结果为负，则该物理量实际方向与参考方向相反；若计算出的结果为正，则该物理量实际方向与参考方向相同。只有在参考方向选定之后，它们的正负才有意义。

为分析电路方便，对某一元件或某一段电路，常指定其电流从电压的“+”极性端流向“-”极性端，这种电流和电压取同一参考方向，称为关联参考方向。因此，分析电路时，可以在电路图中只标出某一元件或某一段电路的电压（或电流）的参考方向，其关联电流（或电压）的参考方向默认一致，不用标明。

### (3) 能量与功率

根据能量守恒定律，电路中电源所提供的电能等于负载消耗或吸收的电能的总和。功率是能量对时间的导数，在单位时间内的功率为  $p=ui$ 。若电流和电压的实际方向相反，即电流从“+”端流出，则该电路元件为电源（或处于电源状态）；若电流和电压的实际方向相同，即电流从“-”端流出，则该电路元件为负载（或处于负载状态），见教材【例 1.1】。也可以根据功率的正、负判断电源或负载，前提是电流和电压取关联参考方向，若  $p > 0$ ，则元件实际吸收能量，是负载；若  $p < 0$ ，则元件实际发出能量，是电源。

### (4) 电源的工作状态

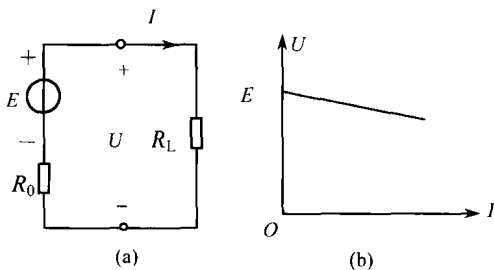


图 1.1 实际电压源及其伏安特性

电路中，电源产生的功率与负载取用的功率及电源内阻和线路电阻上所损耗的功率是平衡的，即  $EI = I^2 R_0 + UI$ 。该公式称为功率平衡方程式，见教材【例 2.1】。

② 开路状态：当电源空载 ( $R_L = \infty$ ) 时，电路中  $I=0$ ， $U=U_0=E$ ， $P=0$ 。此现象说明了当电路处于开路状态时，由于不构成电流通路，因此电流一定为零，而电压不一定为零（还可能是最大）。

③ 短路状态：当负载电阻被一条电阻为零的导线短接时，其电源的端电压  $U=0$ ， $I_s = E/R_0$ ， $P_s = R_0 I_s^2$ 。这说明当电路的某一部分处于短路状态时，其短路部分的电压一定是零，而电流不一定是零（还可能是最大）。

### (5) 额定值与实际值

各种电器设备在正常运行时电压、电流和功率等所规定的允许值就是额定值。使用时必须考虑这些额定数据。但其使用时的实际值不一定等于额定值。

对于负载来说，正常工作时实际值与额定值非常接近。由于外界因素的影响，允许负载的实际电压、电流值与额定值有一定的误差。例如，由于电源电压的波动，允许负载电压在  $\pm 5\%$  的范围内变化。

而对于电源来说,其额定电压是一定的,额定功率只代表它的容量。实际工作时,其输出电流和功率的大小取决于负载的大小。即负载需要多少功率和电流,电源就提供多少。当实际功率小于电源功率时,称电源为轻载工作;当实际功率等于电源功率时,称电源为满载工作;当实际功率大于电源功率时,称电源为超载工作,电源的超载工作是不允许的。

#### (6) 理想电路元件

理想电路元件就是将实际电路元件理想化,即在一定条件下突出其主要电磁性质,而忽略其次要因素,抽象出来的元件。电路中常用的主要线性元件有以下 6 种。

##### 1) 电阻元件

电阻具有消耗电能的性质。线性电阻在任一瞬间都满足欧姆定律,其伏安特性是一条过原点的直线。如图 1.2 所示,当电流和电压取关联参考方向时, $u=iR$ ,功率为  $p=ui=i^2R=u^2/R$ ,在从  $t_0$  到  $t$  的时间内,电阻消耗的能量为  $W = \int_0^t ui dt$ 。

##### 2) 电感元件

电感具有通过电流产生磁场而储存磁场能量的性质。根据电磁感应定律,当线性电感上的电流和电压取关联参考方向时,如图 1.3 所示,电感两端电压、电流关系为微积分关系,即,  $u=L \frac{di}{dt}$ ,  $i = \frac{1}{L} \int u dt$ 。由伏安关系可知,电感元件的电压与通过它的电流的变化率成正比。只有电流变化时,电感两端才有电压。因此,在交流电路中,电感两端有电压;而在直流电路稳定状态,即  $\frac{di}{dt}=0$  时,电感两端电压为零,可视为短路。电感储能  $W_L = \frac{1}{2} Li^2$ ,它只与该时刻电流的大小有关,与电感两端电压值无关。

##### 3) 电容元件

电容具有加上电压产生电场而储存电场能量的性质。根据电流的定义,当线性电容上的电流和电压取关联参考方向时,如图 1.4 所示,电容上电压、电流关系为微积分关系,即  $i = C \frac{du}{dt}$ ,  $u = \frac{1}{C} \int i dt$ 。由伏安关系可知,电容元件的电流与其两端电压的变化率成正比。因此,在交流电路中,电容中有电流流过;在直流电路的稳定状态,即  $\frac{du}{dt}=0$  时,电容可视为开路。电容储能  $W_C = \frac{1}{2} Cu^2$ ,它只与该时刻电压的大小有关。

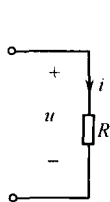


图 1.2 电阻元件

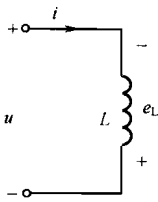


图 1.3 电感元件

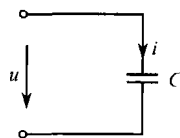


图 1.4 电容

##### 4) 理想电压源

理想电压源两端的电压总保持为某个给定的时间函数,与通过它的电流无关。如果理想电压源电压的大小恒等于常数,则称为恒电压源。

通过理想电压源电流的大小取决于外电路。

#### 5) 理想电流源

理想电流源的电流总保持为某个给定的时间函数，与其两端电压无关。如果理想电流源电流的大小恒等于常数，则称为恒流源。

理想电流源两端电压的大小取决于外电路。

#### 6) 理想受控源

理想受控源在电路中起电源作用，但其电压或电流受电路中其他部分电压或者电流的控制。一般分为 4 种类型：压控电压源、压控电流源、流控电压源和流控电流源。

### 2. 电路的基本定律

#### (1) 欧姆定律

欧姆定律表示的是电阻元件上电压与电流所遵循的规律。当电阻上的电压和电流采用关联参考方向时，才能表示为  $u=iR$ ；反之，表示为  $u=-iR$ 。

#### (2) 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律，它仅与元件的连接方式有关，适用于各种元件构成的电路在任一时刻、任何波形的节点电流关系和回路电压关系。在应用时，一定要指定各支路或元件电流和电压的参考方向，以及有关回路的绕行方向。

##### 1) 基尔霍夫电流定律 (KCL)

任一瞬间，任一节点，所有流入、流出该节点的支路电流的代数和恒等于零，即  $\sum I = 0$ 。就参考方向而言，如果规定流出节点的电流在式中取正号，则流入节点的电流取负号。基尔霍夫电流定律是电流连续性和电荷守恒定律在电路中的体现。它可以推广应用于电路中包含几个节点的闭合面，见教材【例 1.6】和习题 1-9。

##### 2) 基尔霍夫电压定律 (KVL)

任一瞬间，沿任一回路，所有支路电压的代数和恒等于零，有  $\sum U = 0$ 。一般规定，当电压的参考方向与回路绕行方向相同时，该电压在式中取正号，否则取负号。基尔霍夫电压定律是电位单值性和能量守恒定律在电路中的体现。它可推广应用于假想的回路中，即开口电路中，见教材【例 1.7】。

### 3. 电路的分析方法

#### (1) 支路电流法

用支路电流法分析有  $n$  个节点， $b$  条支路的电路，以各支路电流为未知量，首先在电路图上标出各支路电流的参考方向，然后，根据基尔霍夫电流定律对节点列出  $(n-1)$  个独立的 KCL 方程，再根据基尔霍夫电压定律对网孔列出其余  $(b-n+1)$  个独立的 KVL 方程，最后联立求解出支路电流。

#### (2) 节点电压法 (弥尔曼定理)

对于多支路两节点的电路，先选取其中任一节点作为参考节点，则电路中的节点电压为另一节点到参考节点之间的电压，其大小为

$$U = \frac{\sum \frac{E}{R} + \sum I_s}{\sum \frac{1}{R}}$$

其中，分子中的各项有正负号，当电动势的方向与节点电压的参考方向相反时取正，相同时取负；当电流源电流流入节点时为正，流出节点时为负。注意：弥尔曼定理仅适用于两节点电路。

### (3) 电源等效变换法

任何一个实际电源都可以等效为电压源或电流源这两种电路模型。由于两者对外电路是等效的，即两者外特性是一样的，因此，这两种模型对外可以等效变换，变换的条件是  $E = I_s R_0$ 。同时，必须保证变换前后方向一致，即  $I_s$  的方向从  $E$  的“—”端指向“+”端。等效变换的电路如图 1.5 所示。

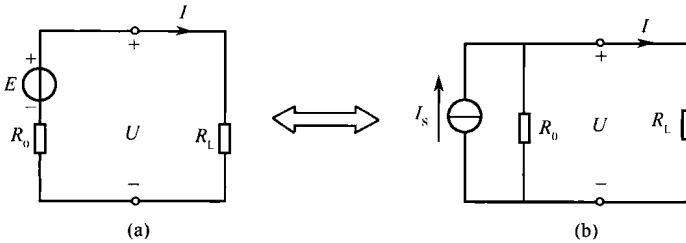


图 1.5 电压源与电流源的等效变换

根据基尔霍夫定律，串联的恒压源可以合并，并联的恒流源可以合并，因此，当电路中存在多个电源时，可以将电源进行变换、合并，简化电路。需要强调的是，电源等效是对外等效，对内并不等效，所以待求支路不得参与变换。

### (4) 叠加原理

在多个电源共同作用的线性电路中，任一支路的电流（或电压）都可以看成是各电源单独作用于电路时，在该支路上产生的电流（或电压）的代数和。在叠加过程中，理想电压源不作用时，将其短路，电动势为零；理想电流源不作用时，将其开路，电流值为零；但电源内阻和受控源一定要保留。

### (5) 电源等效定理

在电路分析计算中，往往只需要研究某一支路的电压、电流及功率。对所研究支路而言，电路的其余部分便成为一个有源二端网络（或有源一端口网络）。为了化简电路，方便计算，可以把有源二端网络等效为一个电压源模型或者电流源模型，由此得出戴维宁定理和诺顿定理。

#### 1) 戴维宁定理

任何一个线性有源二端网络，对外电路来说，总可以用一个电压源和电阻的串联组合来等效替代，此电压源的电压等于该二端网络的开路电压  $U_0$ ，电阻等于该二端网络全部独立电源置零后的输入电阻  $R_0$ 。

#### 2) 诺顿定理

任何一个线性有源二端网络，对外电路来说，总可以用一个电流源和电阻的并联组合来等效替代，此电流源的电流等于该二端网络的短路电流  $I_s$ ，而电阻等于该二端网络全部独立电源置零后的输入电阻  $R_0$ ，该输入电阻也可以利用开路电压和短路电流来求解，即  $R_0 = U_0 / I_s$ 。

值得一提的是，电源等效定理是从宏观上将一个二端网络进行直接等效的，电源等效变

换法则从微观上将某条支路或几条支路进行等效，两者都利用了电源的外特性，要注意两者的区别。

#### (6) 电位的计算

电位是指某点到参考点的电压降，参考点是零电位点。参考点可根据需要任意选择，但通常选在电路的公共节点处。电位的大小是相对的，与参考点有关；而电压的大小是绝对的，与参考点无关。

## 1.2.2 重点难点解析

### 1. 本章重点

#### (1) 各种理想电路元件的伏安特性

##### 1) 电阻元件

电阻是耗能元件，线性电阻的阻值  $R$  是一个常数，不随两端电压和通过它的电流的变化而变化，在任一瞬间都满足欧姆定律，其  $u-i$  伏安特性是一条过原点的直线，如图 1.6 所示。

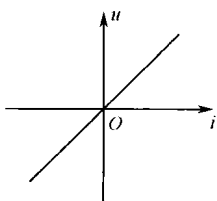


图 1.6 电阻元件的伏安特性

##### 2) 电感元件

电感是储能元件，为磁场储能。线性电感元件的电感量  $L$  是一个常数，它不随磁通和电流的变化而变化，其  $\Phi-i$  韦安特性是一条过原点的直线。当电流和电压取关联参考方向，电感两端电压  $u=L \frac{di}{dt}$ 。当  $t_0=0$ ，电感中的初始电流  $i_0=0$  时，

$$\text{则 } i = \frac{1}{L} \int_0^t u dt。$$

##### 3) 电容

电容是储能元件，为电场储能。线性电容的电容量  $C$  是一个常数，它不随电容上的电压和极板上所带电荷的变化而变化，其  $q-u$  库伏特性是一条过原点的直线。当电流和电压取关联参考方向时，电容上的电流为  $i=C \frac{du}{dt}$ 。当  $t_0=0$ ，电容两端初始电压  $u_0=0$  时，则  $u = \frac{1}{C} \int_0^t i dt$ 。其伏安特性是，当电容电压  $u$  随时间  $t$  变化时，其电流  $i$  与电压  $u$  随时间  $t$  的变化率成正比。因此，在直流电路达到稳定后，电容可视为开路。电容具有隔直流通交流的作用。

##### 4) 恒压源

恒压源两端电压由电源本身决定，与外电路无关，即，与流经它的电流大小、方向无关。流经恒压源电流的大小和方向都是未知的，由电压源和外电路共同决定。恒压源伏安特性如图 1.7 所示。需要注意的是，实际电压源是有额定功率的。因此，实际电压源的输出电流有最大值，如果超过该值，就不能稳压。

实际电压源可以用恒压源和电阻串联的组合表示，其伏安特性（或外特性）如图 1.8 所示。电源端电压  $U=E-IR_0$ ， $U$  随着  $I$  的增大而逐渐减小。实际电压源的端电压波动越小越好，也就是说，内阻  $R_0$  要非常小，这样内阻上的分压小，才能使得端电压  $U$  在电流  $I$  变化的情况下波动小。因此，电压源一旦短路，其短路电流  $I_s=E/R_0$  将很大，如果没有保护电路，可能烧毁电压源。这是设计和使用电压源时要注意的问题。



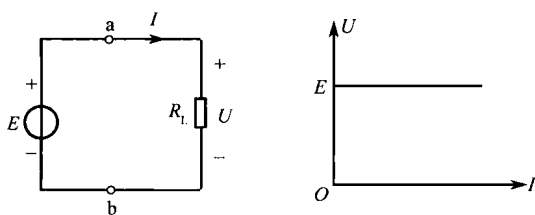


图 1.7 恒压源及其伏安特性

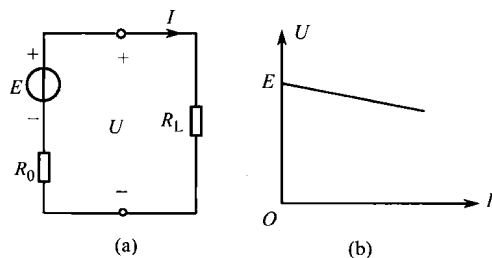


图 1.8 实际电压源及其伏安特性

### 5) 恒流源

恒流源的输出电流由电流源本身决定，与外电路无关，与它两端电压大小、方向无关。恒流源两端电压的大小和方向是未知的，由电流源及外部电路共同决定。恒流源伏安特性如图 1.9 所示。同样，实际电流源的输出电压也有最大值，超过该值，电流源不恒定。

实际电流源可以用恒流源和电阻并联的组合表示，其伏安特性（或外特性）如图 1.10 所示。负载电流  $I = I_s - \frac{U}{R_0}$ ， $U$  随着  $I$  的增大而逐渐减小。实际电流源的输出电流波动越小越好，也就是说，内阻  $R_0$  要非常大，这样内阻上的分流小，才能使得输出电流  $I$  在电压  $U$  变化的情况下波动小。因此，电流源一旦开路，其开路电压  $U_0 = I_s R_0$  将很大，如果没有保护电路，可能烧毁电流源。

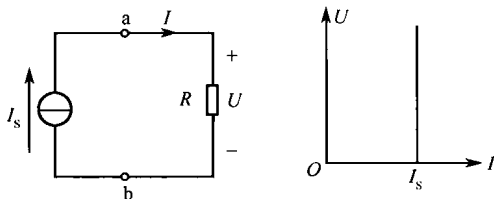


图 1.9 恒流源的伏安特性

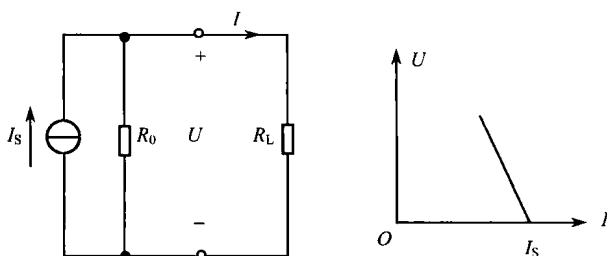


图 1.10 实际电流源及外特性曲线

### (2) 基尔霍夫定律

基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律，反映电路中所有支路电流和电压所遵循的基本规律，具有普遍适用性。应用基尔霍夫定律分析电路时，一定要先指定各支路或元件电流和电压的参考方向，以及有关回路的绕行方向。对于 KCL， $\sum I = 0$ ；对于 KVL， $\sum U = 0$ 。

### (3) 支路电流法

支路电流法是电路分析中最基本的方法之一。它以支路电流作为电路的未知变量，对有  $n$  个节点， $b$  条支路的电路，需列出  $b$  个方程。利用支路电流法分析电路的一般步骤如下。

- ① 选定各支路电流的参考方向。
- ② 根据 KCL 对  $(n-1)$  个独立节点列写节点电流方程。
- ③ 选取  $b - (n-1)$  个独立回路，指定回路绕行方向，根据 KVL 列写回路电压方程。
- ④ 联立求解  $b$  元一次方程组，即得各支路电流。