



“十三五”普通高等教育本科规划教材

DIANGONG DIANZI JISHU

电工电子技术

主编 房 晔



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

电工电子技术

主编 房 晔

编写 康 涛 周 湛

主审 刘 晔



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是“十三五”普通高等教育本科规划教材。

全书共 13 章, 主要内容包括直流电路、正弦交流电路、电路的暂态分析、三相电路与安全用电、变压器、三相电动机、半导体二极管及其应用电路、双极型晶体管与基本放大电路、集成运算放大器及其应用、数字电路的基础知识、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形的产生和整形等。内容重点突出、深入浅出、循序渐进、实践性强。

本书既适合于应用型本科学校使用, 也适合于作为电工电子工程设计技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术 / 房晔主编. —北京: 中国电力出版社, 2017. 11

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5198-1334-5

I. ①电… II. ①房… III. ①电工技术—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材
IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 267367 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 陈 硕 010-63412532 夏华香 010-58383250

责任校对: 闫秀英

装帧设计: 赵姗姗

责任印制: 吴 迪

印 刷: 北京雁林吉兆印刷有限公司

版 次: 2017 年 11 月第一版

印 次: 2017 年 11 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 16 开本

印 张: 20.75

字 数: 504 千字

定 价: 45.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

前 言

电工电子技术是高等工科院校实践性很强的专业技术基础课程。为了培养高素质的专业人才,在理论教学的同时,必须注重理论与实践的有机结合。这样既能提高学生对理论的认知和理解能力,又能提高学生独立分析和解决问题的能力。这是我们编写该教材所遵循的基本原则。

本书在编写过程中,首先在内容的选择上立足于基础,在保证基本理论、基本概念和基本教学方法的前提下,力求把当前电工电子技术方面的新技术展示出来;其次教材本着突出重点、深入浅出、循序渐进并做到承上启下的原则,在内容顺序的安排上,注意既便于教师组织教学,又便于学生阅读和自学;为了便于和工程实际相结合,编者结合多年从事科学研究实践的体会,选择了较多例题及实例,并介绍了一些工程实践中常用的分析和设计方法,以便帮助读者提高分析问题和解决问题的能力。

全书共13章,内容包括直流电路、正弦交流电路、电路的暂态分析、三相电路与安全用电、变压器、三相电动机、半导体二极管及其应用电路、双极型晶体管与基本放大电路、集成运算放大器及其应用、数字电路的基础知识、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形的产生和整形。

本书可以作为高等学校电气类及非电类等专业的电工电子技术课程的教材,也可供从事电工技术方面工作的工程技术人员参考和学习。

本书由西安工程大学房晔教授主编。由西安交通大学电气工程学院刘晔教授担任该书的主审。参加编写工作的人员有:房晔(编写第7~13章)、康涛(编写第1~4章)、周湛(编写第5、6章及附录)。在本书的编著过程中,房晔、周湛负责全书的筹划和组织工作,并完成了全书的统一修改、统稿和定稿工作。

限于水平和经验,在教材的编写工作中可能存在疏漏,恳请广大读者批评指正,以便在今后的教材修订中,使其不断提高。

编 者

2017年9月

目 录

前言

第一章 直流电路	1
1.1 电路的作用和组成	1
1.2 电路的状态	1
1.3 电路中的参考方向	3
1.4 理想电路元件	4
1.5 实际电源两种模型的等效变换	7
1.6 基尔霍夫定律	10
1.7 支路电流法	12
1.8 叠加定理	13
1.9 戴维宁定理	15
1.10 电路中的电位	17
习题	18
第二章 正弦交流电路	23
2.1 正弦交流电的基本概念	23
2.2 正弦交流电的相量表示法	26
2.3 单一参数的正弦交流电路	30
2.4 串联交流电路	35
2.5 交流电路的功率	40
2.6 电路的功率因数	42
2.7 电路中的谐振	44
习题	46
第三章 电路的暂态分析	49
3.1 储能元件和换路定律	49
3.2 RC 电路的暂态分析	50
3.3 一阶线性电路暂态分析的三要素法	52
3.4 RL 电路的暂态分析	53
3.5 应用实例	56
习题	56
第四章 三相电路与安全用电	60
4.1 三相电源	60
4.2 三相负载	63

4.3	三相功率	67
4.4	安全用电	69
习题		73
第五章 变压器		75
5.1	磁路的基本概念与基本定律	75
5.2	交流铁芯绕组电路	79
5.3	变压器	81
5.4	几种常用的变压器	85
5.5	变压器绕组的极性	89
习题		90
第六章 三相电动机		92
6.1	三相异步电动机的结构和工作原理	92
6.2	三相异步电动机的电磁转矩及机械特性	99
6.3	三相异步电动机的铭牌数据	104
6.4	三相异步电动机的起动	107
6.5	三相异步电动机的调速	111
6.6	三相异步电动机的制动	112
6.7	三相异步电动机的控制	113
习题		124
第七章 半导体二极管及其应用电路		127
7.1	半导体基础知识	127
7.2	PN 结	129
7.3	半导体二极管	134
7.4	半导体二极管的应用	137
7.5	特殊二极管	143
习题		148
第八章 双极型晶体管与基本放大电路		153
8.1	双极型晶体管	153
8.2	场效应晶体管	163
8.3	共射极放大电路	170
8.4	共集电极与共基极放大电路	181
8.5	多级放大电路	184
8.6	差动放大电路	187
8.7	功率放大电路	191
8.8	场效应管放大电路	194
习题		197
第九章 集成运算放大器及其应用		203
9.1	集成运算放大器的基础知识	203
9.2	负反馈放大电路	207

9.3	基本运算电路	215
9.4	电压比较器	220
9.5	RC 正弦波振荡电路	224
9.6	有源滤波器	228
习题		232
第十章 数字电路的基础知识		237
10.1	数制与码制	237
10.2	逻辑运算和逻辑门电路	239
10.3	逻辑函数的表示方法及化简	247
习题		256
第十一章 组合逻辑电路		258
11.1	组合逻辑电路的分析与设计	258
11.2	几种常见的组合逻辑电路	262
习题		270
第十二章 时序逻辑电路		273
12.1	双稳态触发器	273
12.2	寄存器	283
12.3	计数器	287
习题		297
第十三章 脉冲波形的产生和整形		302
13.1	施密特触发器	302
13.2	单稳态触发器	307
13.3	多谐振荡器	310
习题		312
附录 A 电阻器、电容器的标称系列值		316
附录 B 半导体分立器件型号命名方法		317
附录 C 半导体集成器件型号命名方法		318
附录 D 部分数字集成电路外引脚排列图		319
参考文献		322

第一章 直流电路

本章是电工电子技术课程的重要理论基础，着重讨论电路的基本知识、基本定律及电路的分析和计算方法。这些知识对直流电路和交流电路、电机电路和电子电路都具有实用意义。

1.1 电路的作用和组成

电路是电流流通的路径。它是由一些电气设备和元器件按一定方式连接而成的。复杂的电路呈网状，又称网络。电路和网络是两个通用的术语。电路的组成方式不同，功能也不同，它的一种作用是实现能量的输送和转换。

常见的各种照明电路和动力电路就是用来输送和转换能量的。例如，在图 1.1.1 所示的简单照明电路中，电池把化学能转换成电能供给照明灯，照明灯再把电能转换成光能做照明之用。对于这一类电路来说，一般要求它具有较小的能量损耗和较高的效率。

电路的另一种作用是传递和处理信号。常见的例子如收音机和电视机电路。收音机和电视机中的调谐电路是用来选择所需要的信号。由于收到的信号很弱，需要放大电路对信号进行放大。调谐电路和放大电路的作用就是完成对信号的处理。

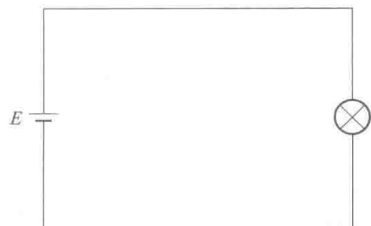


图 1.1.1 简单照明电路

组成电路的元器件及其连接方式虽然多种多样，但都包含有电源、负载和连接导线等三个基本组成部分。电源是将非电形态的能量转换为电能的供电设备。例如：蓄电池、发电机和信号源等。其中，蓄电池将化学能转换成电能，发电机将机械能转换成电能，而信号源则将非电量转换成电信号。负载是将电能转换成非电形态能量的用电设备，例如电动机、照明灯和电炉等。其中，电动机将电能转换成机械能，照明灯将电能转换成光能，而电炉则将电能转换成热能。导线起着沟通电路和输送电能的作用。

实际的电路除以上三个基本部分以外，还常常根据实际工作的需要增添一些辅助设备。例如：接通和断开电路用的控制电器（如刀开关）和保障安全用电的保护装置（如熔断器）等。

从电源来看，电源本身的电流通路称为内电路，电源以外的电流通路称为外电路。当电路中的电流是不随时间变化的直流电流时，这种电路称为直流电路，简称 DC。当电路中的电流是随时间按正弦规律变化的交流电流时，这种电路称为交流电路，简称 AC。根据国家标准规定不随时间变化的物理量用大写字母表示，随时间变化的物理量用小写字母表示，因此本书用 I 、 U 、 E 表示直流电路物理量（电流、电压、电动势），用 i 、 u 、 e 表示交流电路物理量。

1.2 电路的状态

电路有三种工作状态，分别是开路、短路和通路。下面对这三种电路工作状态分别加以

简单介绍。

1. 开路

开路就是将电路断开。如图 1.2.1 所示, E 为理想电源(电压源)的电动势, 当开关处于断开位置时, 整个电路中的电阻可以认为无穷大, 因此电路中的电流为零。

开路时, 电路中没有电流, 负载上也没有电压, 即 R 两端电压为零。

开路时, 电源输出的端电压称为开路电压或者空载电压, 如图 1.2.1 所示 U_0 , 显然此时 $U_0 = E$ 。

开路时, 由于电路中电流为零, 所以负载上的功率也为零。

2. 短路

如图 1.2.2 所示, 将电源的外部端子间用导线直接相连, 称为电源的外部端子被短路。因为短路导线的电阻很小, 可以近似认为为零, 所以负载 R 上已没有电压, 负载上电流为零。而短路导线上会流过一个非常大的短路电流。

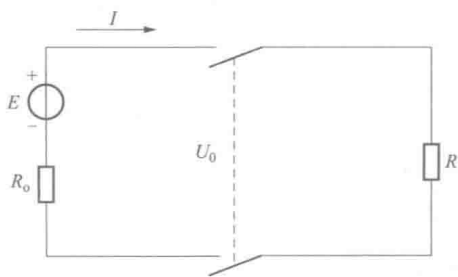


图 1.2.1 电路开路

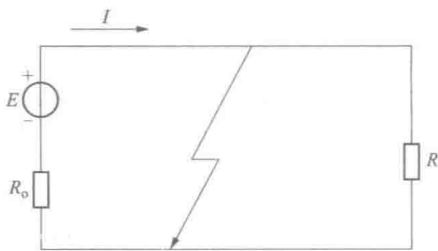


图 1.2.2 电路短路

短路后电源回路的电流为 $I_s = \frac{U_s}{R_0}$, R_0 为电源内阻, 通常很小, 所以短路电流很大, 电源产生的能量全部被内阻发热消耗掉, 会引起电源或导线绝缘的损坏。

短路一般来说是一种电路事故, 应尽量避免, 但在供电线路中, 由于绝缘破损、设备故障或操作不当等多种原因, 短路现象是难以避免的, 所以要有保护措施。简单可行的方法是在电路中装设熔断器, 使熔断器内的熔丝(又称保险丝)与负载串联。这样如果负载发生短路, 熔丝会很快发热烧断, 使电源和供电线路得到保护。

3. 通路

通路就是接通电路。如图 1.2.3 所示, 开关闭合后电路处于接通状态, 电源给负载 R 提供能量。在一般计算中, 不考虑连接导线的电阻值, 电路接通后的电流用 I 表示, 其大小可以用全电路欧姆定律计算, 即

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1.2.1)$$

可见, 电流的数值与电路中的电源电动势成正比, 与电路总的电阻值成反比。当 $R_0 \ll R$ 时, 则 $U \approx E$, 表明当负载变化时, 电源的端电压变化不大, 即带负载能力强。

电源的输出电压称为端电压。如图 1.2.3 所示, 如果不考虑连接导线的电阻, 则电源端电压就是负载电压, 易得电源端电压和电流的关系为

$$U = IR = E - R_0 I \quad (1.2.2)$$

可见, 当电动势一定时, 电源的端电压随着电流的增大而减小, 减小的程度取决于电源

的内阻。电源端电压与电流的关系称为电源的外特性。电源的外特性可用曲线来表示，如图 1.2.4 所示，其为一条略向下倾斜的直线。

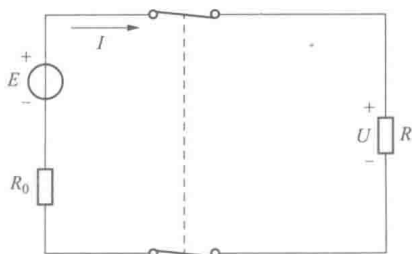


图 1.2.3 电路通路

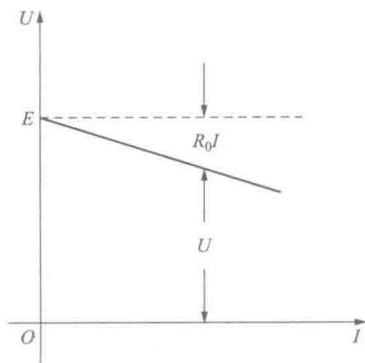


图 1.2.4 电源的外特性

如果电源的内阻为零，则端电压等于电动势，其值将不随电流而变，外特性曲线则是一条平行于横轴的直线，如图 1.2.4 中虚线所示。类似这样的电源称为理想电源。理想电源有理想电压源和理想电流源之分，这里虚线所示的为理想电压源，进一步的解释见第 1.4 节。

1.3 电路中的参考方向

在进行电路的分析和计算时，需要知道电压和电流的方向。在简单直流电路中，可以根据电源的极性判别出电压和电流的实际方向，但在复杂的直流电路中，电压和电流的实际方向往往是无法预知的，而且可能是待求的；而在交流电路中，电压和电流的实际方向是随时间不断变化的。因此，在这些情况下，只能给它们假定一个方向作为电路分析和计算时的参考。这些假定的方向称为参考方向或正方向。如果根据假定的参考方向解得的电压或电流为正值，说明假定的参考方向与其实际方向一致；如果解得的电压或电流为负值，说明所假定的参考方向与实际方向相反。因而在选定的参考方向下，电压和电流都是代数量。今后在电路图中所画的电压和电流的方向都是参考方向。

原则上参考方向是可以任意选择的，但是在分析某一个电路元件的电压与电流的关系时，需要将它们联系起来选择，这样设定的参考方向称为关联参考方向。今后在单独分析电源或负载的电压与电流的关系时选用如图 1.3.1 所示的关联参考方向。其中电源电流的参考方向是由电压参考方向所假定的低电位经电源流向高电位，负载电流的参考方向是由电压参考方向所假定的高电位经负载流向低电位。符合这种规定的参考方向称为参考方向一致。

电路分析中的许多公式都是在规定的参考方向下得到的，例如大家熟悉的欧姆定律，在 U 与 I 的参考方向一致时

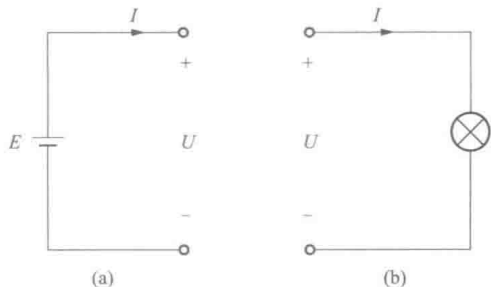


图 1.3.1 关联参考方向

(a) 电流参考方向；(b) 电压参考方向

$$R = \frac{U}{I} \quad (1.3.1)$$

当 U 与 I 的参考方向不一致时, 为了使所得结果与实际符合, 式 (1.3.1) 应改写为

$$R = -\frac{U}{I} \quad (1.3.2)$$

1.4 理想电路元件

由实际电路元件组成的电路称为电路实体。由于电路实体的形式和种类多种多样、不胜枚举, 为了找出电路实体分析和计算的共同规律, 研究具体电路建立分析和计算的方法, 把电路实体中各个实际的电路元件都用表征其物理性质的理想电路元件来代替。这种用理想电路元件组成的电路称为电路实体的电路模型。电路理论就是以电路模型而不是以电路实体为研究对象的。

实际电路元件的物理性质, 从能量转换的角度来看, 有电能的产生、电能的消耗以及电场能量和磁场能量的储存。理想电路元件就是用来表征上述这些单一物理性质的元件, 它有以下两类。

1.4.1 理想无源元件

理想无源元件包括电阻元件、电容元件和电感元件三种。表征上述三种元件电压与电流关系的物理量为电阻、电容和电感, 它们又称为元件的参数。一提起这三个名词, 人们往往会立即联想起实际电路元件: 电阻器、电容器和电感器, 它们都是人们为得到一定数值的电阻、电容或电感而特意制成的元件。严格地说, 这些实际电路元件都不是理想的, 但在大多数情况下, 可将它们近似看成理想电路元件。正是这个缘故, 人们习惯上也以这三种参数的名字来称呼它们。这样, 电阻、电容和电感这三个名词既代表了三种理想电路元件, 也是表征它们量值大小的参数。

1. 电阻

电阻是表征电路中消耗电能理想元件; 电容是表征电路中储存电场能的理想元件; 电感是表征电路中储存磁场能的理想元件。电阻又称耗能元件, 电容和电感又称储能元件。

欧姆定律是用来说明电阻的电压与电流关系的基本定律。电流流过电阻时要消耗电能, 所以电阻是一种耗能元件。当电路的某一部分只存在电能的消耗而没有电场能和磁场能储存的话, 这一部分电路便可用图 1.4.1 所示的电阻元件来代替它。图 1.4.1 中电压和电流都用小写字母表示, 以示它们可以是任意波形的电压和电流。电压 u 与电流 i 的比值 R 为

$$R = \frac{u}{i} \quad (1.4.1)$$

称为电阻, 单位是欧 [姆] (Ω)。在图 1.4.1 所示的关联参考方向下, 若 R 为一个大于零的常数, 这种电阻称为线性电阻。虽然大于零, 但不是常数, 这种电阻称为非线性电阻。本章主要讨论由线性电阻和理想有源元件组成的线性电路。

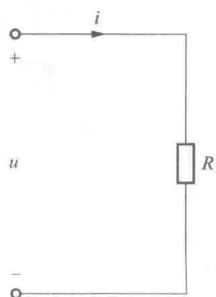


图 1.4.1 电阻

在直流电路中,电阻的电压与电流的关系可用式 (1.4.1) 表示,它们的乘积即为电阻上消耗的功率:

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{I} \quad (1.4.2)$$

2. 电感

电感是用来表征电路中磁场能存储的理想元件。如图 1.4.2 (a) 所示是用导线绕制的实际电感线圈,通入电流 i 会产生磁通 Φ ,若磁通 Φ 与线圈 N 匝相交链,则磁通链 $\Psi = N\Phi$ 。根据法拉第电磁感应定律,电感元件两端电压和通过电感元件的电流关联参考方向时,有

$$u = N \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d\Psi}{dt} \quad (1.4.3)$$

$$L = \frac{\Psi}{i} \quad (1.4.4)$$

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1.4.5)$$

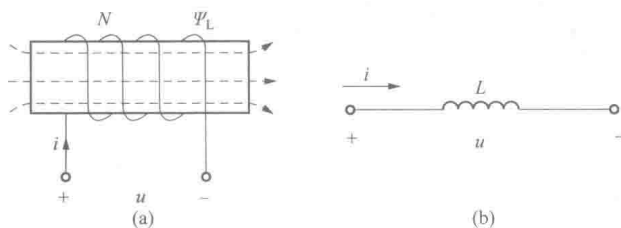


图 1.4.2 电感

(a) 电感器; (b) 理想电感的电路符号

上式中当电压单位为 V, 电流单位为 A, 磁通链单位为 Wb, 时间单位为秒 (s) 时, 电感的单位为亨 [利] (H)。

式 (1.4.5) 表明: 对 L 值一定的线性电感线圈而言, 任意时刻元件两端产生的自感电压与通过该元件的电流变化率成正比。电感线圈上的这种微分 (或积分) 的伏安关系说明, 当通入电感中的电流是恒值电流时, 由于电流变化率为零, 电感两端的自感电压 u_L 也为零, 即直流下电感相当于短路; 当电感电压 u_L 为有限值时, 通入元件的电流的变化率也为有限值, 此时电感中的电流不能跃变, 只能连续变化。即电流变化时, 伴随着自感电压的存在, 因此又把电感线圈称为动态元件。

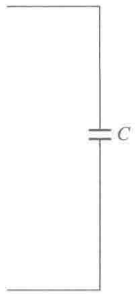
本书只讨论线性电感。线性电感的图形符号如图 1.4.2 (b) 所示, 理想电感是电路中存储磁场能器件的理想化模型, 储存的磁场能为

$$W_L = \frac{1}{2} LI^2 \quad (1.4.6)$$

当电感单位为亨 [利] (H), 电流单位为安 [培] (A) 时, 磁场能的单位为焦 [耳] (J)。式 (1.4.6) 说明: 电感中所存储的能量与电感中的电流平方成正比。

3. 电容

电容是用来表征电路中电场能储存的理想元件。如图 1.4.3 所示是电容的电路符号, 电容的参数用电容量 C 表示。当电容两端的电压与电容充、放电电流为关联参考方向时, 则电容器极板上的电荷与电容器两端的电压的关系为



$$C = \frac{Q}{u} \quad (1.4.7)$$

式中电容 C 的大小反映了电容储存电场能的能力，同电感 L 相似。

当电压的单位为伏 [特] (V)，电量的单位为库 [仑] (C) 时，电容的单位为法 [拉] (F)。当电容两端电压和流经其电流参考方向关联时，则

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (1.4.8)$$

式 (1.4.8) 表明：对一定容量 C 的电容元件而言，任意时刻，元件中通过

图 1.4.3 电容 的电流与该时刻电压变化率成正比。电容也是动态元件。

的电路符号

由式 (1.4.8) 可知，只要电容电流不为零，它一定是在充电（或放电）状态下，充电时极间电压随充电过程逐渐增加；放电时极间电压随放电过程不断减小。当电容元件极间电压不变化时即电压变化率为零时，电容流过的电流也为零，因此直流稳态情况下电容元件相当于开路。只要通过电容元件的电流为有限值，电容元件两端电压的变化率也必定为有限值，说明电容元件的极间电压不能发生跃变，只能连续变化。

电容是电路中存储电场能元件的理想化模型，电容存储的电场能量为

$$W_C = \frac{1}{2} C U^2 \quad (1.4.9)$$

当 C 的单位为法 [拉] (F)，电压单位为伏 [特] (V) 时，磁场能的单位为焦 [耳] (J)。式 (1.4.9) 说明：电容中存储的能量与电容两端的电压平方成正比。

1.4.2 理想电源元件

理想电源元件是从实际电源元件中抽象出来的。当实际电源本身的功率损耗可以忽略不计，而只起产生电能的作用，这种电源便可以用一个理想电源元件来表示。理想电源元件分理想电压源和理想电流源两种。

1. 理想电压源

理想电压源又称恒压源，符号如图 1.4.4 (a) 所示。

它的输出电压与输出电流之间的关系称为伏安特性，如图 1.4.4 (b) 所示。理想电压源的特点：输出电压 U 是由它本身所确定的定值，与输出电流和外电路的情况无关，而输出电流 I 不是定值，与输出电压和外电路的情况

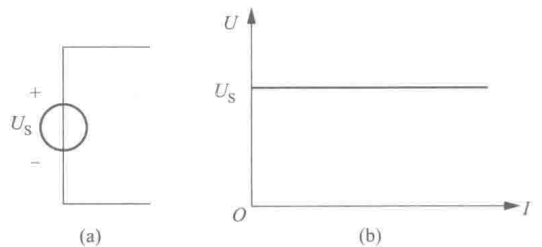


图 1.4.4 理想电压源
(a) 电路符号；(b) 伏安特性

有关。例如空载时，输出电流 $I=0$ ；短路时， $I \rightarrow \infty$ ；输出端接有电阻 R 时， $I = \frac{U}{R}$ ，而电压 U 却始终不变。因此，凡是与理想电压源并联的元件（包括下面即将介绍的电流源在内）其两端的电压都等于理想电压源的电压。

实际的电源，例如大家熟悉的干电池和蓄电池，在其内部功率损耗可以忽略不计时，即电池的内电阻可以忽略不计时，便可以用理想电压源来代替，其输出电压 U 就等于电池的电动势 E 。

2. 理想电流源

理想电流源又称恒流源，符号如图 1.4.5 (a) 所示。图 1.4.5 (b) 是它的伏安特性。

理想电流源的特点是：输出电流 I 是由它本身所确定的定值，与输出电压和外电路的情况无关，而输出电压 U 不是定值，而与输出电流和外电路的情况有关。例如：短路时，输出电压 $U=0$ ；空载时， $U \rightarrow \infty$ ；输出端接有电阻 R 时， $U=IR$ 。而在这三种情况下，电流 I 却始终保持不变。因此，凡是与理想电流源串联的元件（包括理想电压源在内），其电流都等于理想电流源的电流。

实际的电源，例如光电池在一定的光线照射下，能产生一定的电流，称为电激流。在其内部的功率损耗可以忽略不计时，便可以用理想电流源来代替，其输出电流就等于电池的电激流。

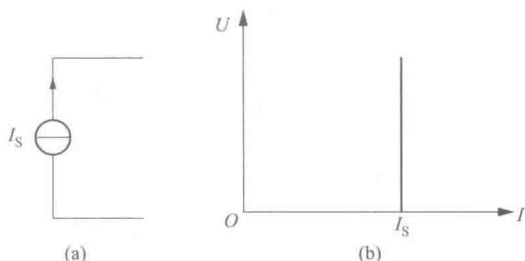


图 1.4.5 理想电流源
(a) 电路符号；(b) 伏安特性

1.4.3 电源与负载的判别

实际电源元件，例如可充电的蓄电池，它既可以用作电源，将化学能转换成电能供给负载，而充电时，它又是负载，输入电能并转换成化学能。

理想电源元件也有两种工作状态，电源状态和负载状态。可根据 U 、 I 的实际方向判别电源的工作状态，当它们的电压和电流的实际方向与图 1.3.1 (a) 中规定的电源关联参考方向相同，即电流从“+”端流出，则电源发出功率；当它们的电压和电流的实际方向与图 1.3.1 (b) 中规定的负载关联参考方向相同时，即电流从“-”端流出，则电源吸收功率。

【例 1-1】 在图 1.4.6 所示直流电路中，已知电压源的电压 $U_S=6\text{V}$ ，电流源的电流 $I_S=6\text{A}$ ，电阻 $R=2\Omega$ 。求：(1) 电压源的电流和电流源的电压。

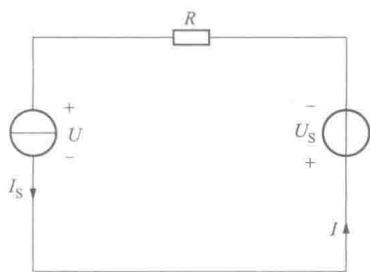


图 1.4.6 例 1-1 图

(2) 讨论电路的功率平衡关系。

解 (1) 由于电压源与电流源串联，故

$$I = I_S = 6\text{A}$$

根据电流的方向可知

$$U = -(U_S + RI_S) = -(6 + 2 \times 6)\text{V} = -18\text{V}$$

(2) 由电压和电流的方向可知，电压源处于负载状态，它取用的电功率为

$$P_L = U_S I = (6 \times 6)\text{W} = 36\text{W}$$

电流源处于电源状态，它输出的电功率为

$$P_O = UI_S = (18 \times 6)\text{W} = 108\text{W}$$

电阻 R 消耗的电功率为

$$P_R = RI_S^2 = 2 \times 6^2 = 72(\text{W})$$

可见， $P_O = P_L + P_R$ ，电路中的功率是平衡的。

由此可以看出，在电路分析中，理想电源不仅可以用作电源输出能量，还可以作为负载来消耗能量，究竟是用作电源还是用作负载，根据具体电路分析去求解。

1.5 实际电源两种模型的等效变换

实际电源模型可以由电压源 U_S 和内阻 R_S 串联组成，如图 1.5.1 (a) 所示。其端口电压

与电流之间的伏安特性可表示为

$$U = U_S - R_S I \quad (1.5.1)$$

电压源的外特性曲线如图 1.5.1 (b) 所示。当 $R_S = 0$ 时, 即为理想电压源, 此时 $U = U_S$, 外特性曲线是一条与横坐标平行的直线。

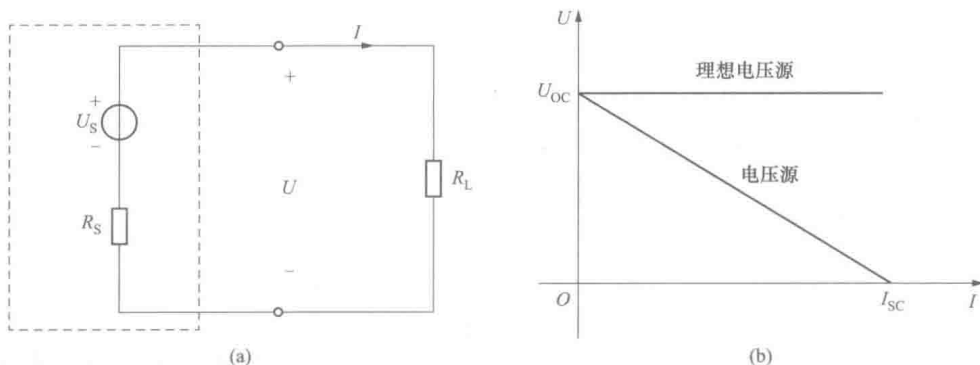


图 1.5.1 实际电压源

(a) 电压源电路; (b) 电压源的外特性曲线

当 $I = 0$ 时, 电路开路, $U = U_{OC}$ (开路电压) $= U_S$; 当 $U = 0$ 时, 电路短路, $I = I_{SC}$ (短路电流) $= \frac{U_S}{R_S}$ 。

实际电流源模型也可以由电流源 I_S 和内阻 R_S 并联组成, 如图 1.5.2 (a) 所示。其端口伏安特性可表示为

$$I = I_S - \frac{U}{R_S} \quad (1.5.2)$$

电流源的外特性曲线如图 1.5.2 (b) 所示。当 $R_S = \infty$ 时, 即为理想电流源, 此时 $I = I_S$, 外特性曲线是一条与纵坐标平行的直线。

当 $I = 0$ 时, 电路开路, $U = U_{OC}$ (开路电压) $= I_S R_S$; 当 $U = 0$ 时, 电路短路, $I = I_{SC}$ (短路电流) $= I_S$ 。

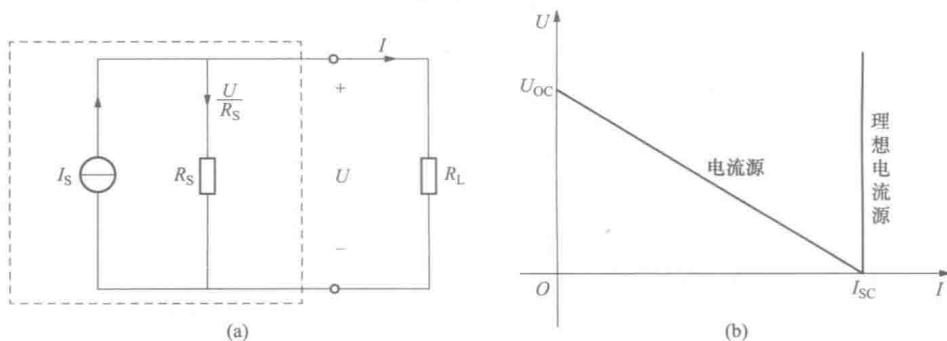


图 1.5.2 实际电流源

(a) 电流源电路; (b) 电流源的外特性曲线

由图 1.5.3 (a), 得

$$U = U_S - I R_S$$

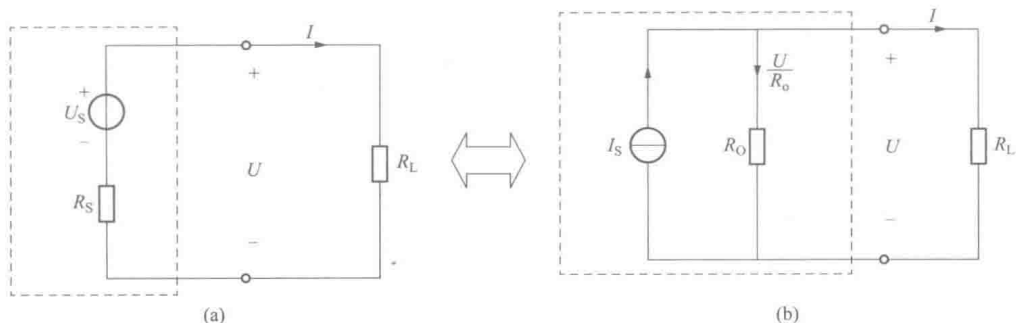


图 1.5.3 电压源模型与电流源模型的等效变换

(a) 电压源电路; (b) 电流源电路

由图 1.5.3 (b), 得

$$U = I_S R_O - I R_O$$

可见, 等效变换条件:

$$\begin{cases} U_S = I_S R_O \\ R_S = R_O \end{cases} \quad (1.5.3)$$

在进行电源等效变换时, 要注意以下几点:

(1) 电压源模型和电流源模型的等效关系只对外电路而言, 对电源内部则是不等效的。

例如当 $R_L = \infty$ 时, 电压源模型中的内阻 R_S 不损耗功率, 而电流源模型中的内阻 R_O 则损耗功率。

(2) 等效变换时, 两电源的参考方向要一一对应, 如图 1.5.4 所示。

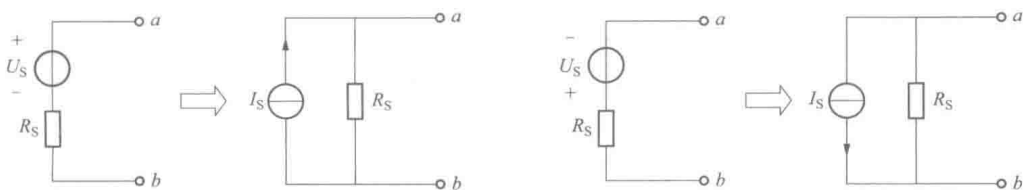


图 1.5.4 实际电压源与实际电流源等效互换

(3) 理想电压源与理想电流源之间不能等效互换。因为对理想电压源 (内阻为零) 来说, 其短路电流 I_{sc} 为无穷大, 对理想电流源 (内阻为无穷大) 来说, 其开路电压 U_{oc} 为无穷大, 两者之间都不能得到有限的数值, 故不存在等效变换的条件。

【例 1-2】 将图 1.5.5 所示的电源等效变换为电流源和电压源。

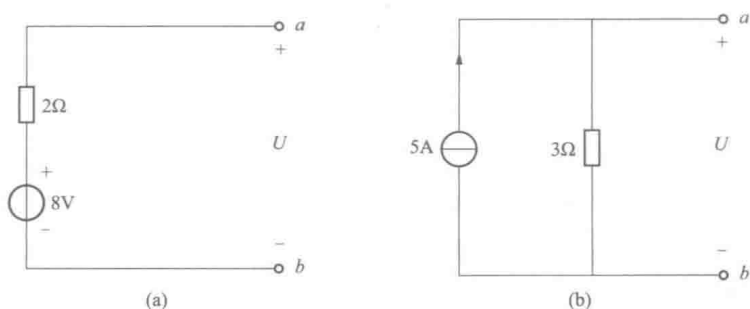


图 1.5.5 例 1-2 图

解

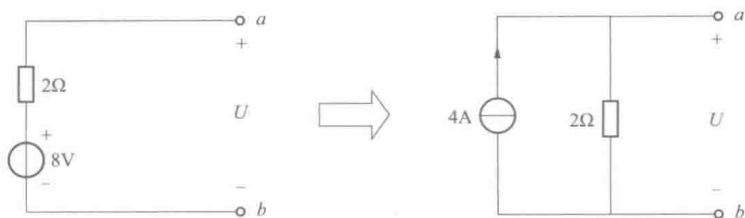


图 1.5.6 图 1.5.5 (a) 的等效电路

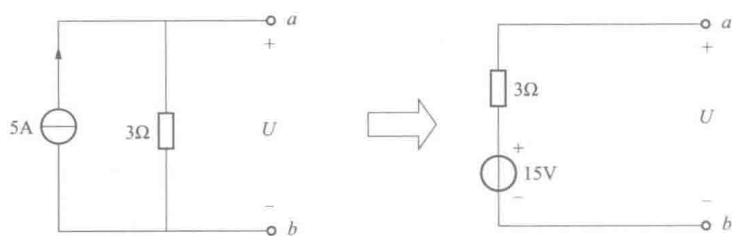


图 1.5.7 图 1.5.5 (b) 的等效电路

1.6 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是分析与计算电路的基本定律，又分为电流定律和电压定律。

1.6.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)

电路中 3 个或 3 个以上电路元件的连接点称为结点。例如：在图 1.6.1 所示的电路中有 a 和 b 两个结点。具有结点的电路称为分支电路，不具有结点的电路称为无分支电路。两结点之间的每一条分支电路称为支路。支路中通过的电流是同一电流。在图 1.6.1 所示电路中有 acb 、 adb 、 aeb 三条支路。

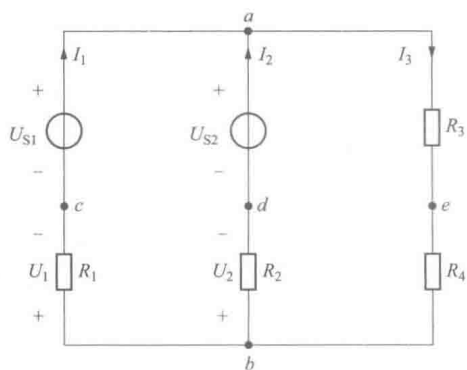


图 1.6.1 基尔霍夫定律

基尔霍夫电流定律 (Kirchhoff's Current Law, KCL)，是说明电路中任何一个结点上各部分电流之间相互关系的基本定律。由于电流的连续性，流入任何结点的电流之和必定等于流出该结点的电流之和。例如：对图 1.6.1 所示电路的结点 a 来说

$$I_1 + I_2 = I_3$$

或写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1.6.1)$$

这就是说，如果流入结点的电流前面取正号，流出结点的电流前面取负号，那么结点 a 上电流的代数和就等于零。这一结论不仅适用于结点 a ，显然也适用于任何电路的任何结点，而且不仅适用于直流电流，对任意波形的电流来说，上述结论在任一瞬间也是适用的。因此基尔霍夫电流定律可表述为：在电路的任何一个结点上，同一瞬间电流的代数和等于零。用公式表示，即