

高等职业教育

电子信息类专业 规划教材

ELECTRONIC ENGINEERING

电路与 模拟电子技术

张仁霖 主 编

曹光跃 李 征 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

高等职业教育

电子信息类专业 规划教材

电路与 模拟电子技术

主 编	张仁霖		
副主编	曹光跃	李 征	
编 写	张艳艳	严 萍	
主 审	袁 媛		



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为高等职业教育电子信息类专业规划教材。

全书共 11 章, 内容包括直流电路的基本概念和基本定律、直流电阻性电路、正弦交流电路、三相交流电路、常用半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、功率放大电路、直流稳压电源、电路与模拟电子技术实验与仿真、焊接与万用表装调实训等。最后通过实验、实训与仿真项目, 可加深对基本概念和基本电路的理解。本书贯彻了“教、学、做”相结合的原则, 从能力培养的角度出发, 培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书内容精练, 概念准确, 实用性强, 可作为高职高专电子信息、电气、机电及自动化等相关专业的专业基础课教材, 还可作为有关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路与模拟电子技术/张仁霖主编. —北京: 中国电力出版社, 2011. 6

高等职业教育电子信息类专业规划教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 1867 - 0

I. ①电… II. ①张… III. ①电路理论—高等职业教育—教材
②模拟电路—电子技术—高等职业教育—教材 IV. ① TM13
② TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 125910 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 9 月第一版 2011 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.5 印张 346 千字

定价 25.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

为适应新形势下高等职业教育人才培养的需要,根据教育部高职高专人才培养目标及规格,编者在总结多年电路与电子技术教学工作经验的基础上,遵循教材改革的需要,并参考大量文献,对电路基础和模拟电子技术等内容进行了整合,形成本教材。

全书在编写过程中以介绍基本概念、基本原理和基本分析方法为重点,突出工程应用,力求贯彻“教、学、做”相结合的原则,从能力培养的角度出发,培养学生分析问题和解决问题的能力。

全书共 11 章内容,参考学时为 96 学时。教材第 1~9 章内容包括直流电路的基本概念和基本定律、直流电阻性电路、正弦交流电路、三相交流电路、常用半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、功率放大电路和直流稳压电源等;第 10 章和第 11 章共安排了 6 个电路实验项目、9 个模拟电子技术实验项目、电路与模拟电子技术实验仿真项目及焊接与万用表装调综合实训项目,使理论教学与实践教学紧密结合。为了保证教材的通用性,书中的实验、实训及实验仿真项目均有条件在一般院校完成。在教材的结构上,每章都安排本章小结和习题等内容。

本教材由安徽电子信息职业技术学院张仁霖任主编,负责全书的整理工作,并编写了第 4 章和第 5 章;张艳艳编写了第 1~3 章;严萍编写了第 6~8 章;曹光跃编写了第 9 章;李征编写了第 10、11 章和附录。

全书由安徽电子信息职业技术学院袁媛副教授主审,她认真负责地审阅了书稿,并提出了许多宝贵意见。在本书的编写过程中,得到了安徽电子信息职业技术学院的大力支持,同时还吸收了大家的辛勤劳动成果,在此一并向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥和疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2011 年 9 月



目 录

前言

第 1 章 直流电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路的基本物理量	1
1.2 电压源与电流源	6
1.3 电路中电位的分析与计算.....	10
1.4 基尔霍夫定律.....	11
本章小结	14
习题	14
第 2 章 直流电阻性电路	19
2.1 电阻的串联、并联和混联.....	19
2.2 直流电路分析的基本方法.....	24
2.3 叠加定理.....	26
2.4 戴维南定理.....	27
本章小结	30
习题	30
第 3 章 正弦交流电路	34
3.1 正弦量的三要素.....	34
3.2 正弦量的相量表示法.....	38
3.3 电阻、电感、电容元件的电压和电流的关系.....	42
3.4 电路中的谐振.....	48
* 3.5 非正弦周期电流电路的概念	55
本章小结	58
习题	60
第 4 章 三相交流电路	62
4.1 三相交流电源的基本知识.....	62
4.2 三相交流电路负载的连接.....	64
* 4.3 三相交流电路的功率	67
本章小结	69
习题	69
第 5 章 常用半导体器件	71
5.1 半导体基础知识.....	71

5.2 PN 结	72
5.3 半导体二极管及其应用	73
5.4 其他常用二极管	76
5.5 半导体三极管	78
本章小结	82
习题	83
第 6 章 基本放大电路	85
6.1 放大电路的基本知识	85
6.2 三种基本组态放大电路	86
6.3 差分放大电路	92
6.4 多级放大电路	94
本章小结	95
习题	96
第 7 章 集成运算放大器	97
7.1 集成运算放大器概述	97
7.2 放大电路中的负反馈	98
7.3 集成运算放大器的运算电路及其他应用电路	100
7.4 集成运算放大器的主要参数和注意事项	103
本章小结	104
习题	105
第 8 章 功率放大电路	107
8.1 概述	107
8.2 乙类互补对称功率放大电路	108
8.3 甲乙类互补对称功率放大电路	111
本章小结	114
习题	114
第 9 章 直流稳压电源	115
9.1 直流稳压电源的基础知识	115
9.2 整流电路	115
9.3 滤波电路	117
9.4 串联型晶体管稳压电路	119
9.5 集成稳压电路	120
* 9.6 开关型稳压电路	123
本章小结	125
习题	125
第 10 章 电路与模拟电子技术实验与仿真	127
10.1 电路实验	127
10.2 模拟电子技术实验	139
10.3 EWB 的基本使用方法	161

10.4 电路与模拟电子技术的仿真实验·····	178
本章小结·····	188
习题·····	189
第 11 章 焊接与万用表装调实训 ·····	190
11.1 焊接基本技能·····	190
11.2 MF - 47 型万用表装配与调试 ·····	199
本章小结·····	208
习题·····	209
附录 A 电阻器、电容器的使用知识·····	210
附录 B 半导体器件型号命名方法 ·····	218
附录 C 常用半导体器件参数 ·····	220
参考文献 ·····	221

第 1 章

直流电路的基本概念和基本定律

电路在人们的日常生活中广泛存在,如生活中每天用到的照明电路、电视机中的放大电路、交通运输和机械生产中的控制电路、收音机和电视机接收器中的调谐电路等。总之,现在人们的生活和工作等都离不开各种电路。那什么是电路呢?分析电路时我们需要用到哪些物理量和定理定律呢?

1.1 电路的基本物理量

1.1.1 电路和电路模型

电路(electric circuit)(又称网络)是各种电气器件按一定方式连接起来的总体,它提供了电流流通的路径。

例如,简单而常用的手电筒电路,如图 1-1(a)所示。这个电路是由一个电源(电池)、一个负载(灯泡)、一个开关和连接导体(手电筒的金属壳或金属片)组成。

任何实际电路必须包含电源(electric source)、负载(load)和中间环节。电源在电路中起提供能量的作用,是把其他形式的能转化为电能的装置。如干电池、蓄电池等;而负载在电路中消耗或使用电能,即把电能转变成其他形式能量的装置,如电灯、电炉等;中间环节是指电源和负载之间不可缺少的连接、控制和保护部件,如导线、开关及各种继电器等。

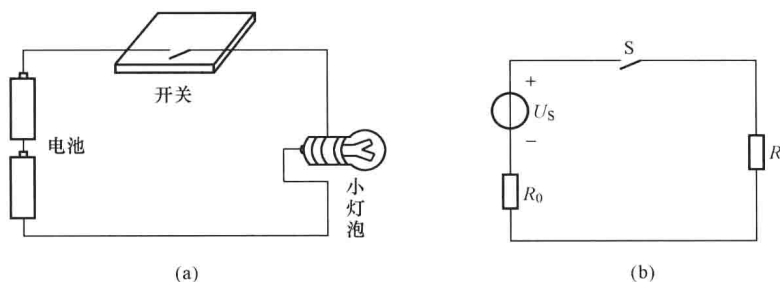


图 1-1 手电筒电路实物图与电路模型

(a) 实物连接图; (b) 电路模型图

电路的状态有通路、开(断)路和短路三种状态:①通路(闭路):电路各部分连接成闭合回路,有电流通过。②开路(断路):电路断开,电路中无电流通过。③短路(捷路):电源两端的导线直接相连。短路时电流很大,会损坏电源和导线,应尽量避免。

不同电路和电路元件的几何尺寸有大有小,各种电器设备的结构有繁有简。为了对复杂

的实际问题进行研究,在理论分析中常常把工程实际中的各种设备和电路元件进行近似化和理想化,突出其主要因素、忽略其次要因素,用有限的几个理想化的电路元件(circuit element)来表示,称为理想电路元件。例如,电阻只具有消耗电能的特性,我们便将具有这一特性的电灯、电炉等器件都用电阻来代替。这种替代会带来一定的误差,但在一定的条件下可以忽略这一微小的误差,待研究清楚基本规律后,在实际工程问题中需要更精密地做研究时,再考虑由于这种替代所带来的误差。

用理想电路元件构成的电路称为电路模型(circuit model),用特定的符号表示实际电路元件而连接成的图形称为电路图(circuit diagram),如图 1-1(b)所示。一般的理想元件具有两个端钮,称为二端电路元件(two terminal circuit element)。没有说明具体性质的二端电路元件用方框符号表示,如图 1-2(a)所示,它只表示抽象的一般二端电路元件,其具体性质可根据该元件上物理量的关系来确定。图 1-2(b)所示的符号表示电池,长线代表正极,短线代表负极(短线也可画粗一些)。图 1-2(c)表示理想电压源的符号,其正、负极标在圆圈的外面。图 1-2(d)表示理想电阻元件的一般符号,它在满足允许的工程误差的条件下可表示如白炽灯、电炉、电烙铁等有耗能的这类电路元件。

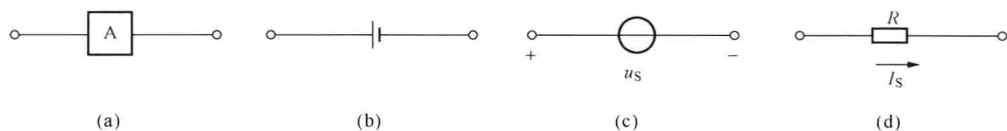


图 1-2 常用理想元件的电路符号

(a) 没有说明具体性质的二端电路元件; (b) 电池;
(c) 理想电压源; (d) 理想电阻元件

1.1.2 电流和电压

1. 电流

在物理课中已经学过,电荷的定向移动形成电流(current)。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(current intensity)来表示。电流强度指单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流强度习惯上常简称为电流。

电流主要分为两类:一类为大小和方向均不随时间改变的电流,称为恒定电流,简称直流(direct current),常简写为 dc 或 DC,其强度用符号 I 或 i 表示;另一类为大小随时间变化的电流,称为变化(脉动)电流,其强度用符号 i 表示。其中,大小和方向均随时间变化的电流称为交流(alternating current),常简写为 ac 或 AC,其强度也用符号 i 表示。

设在极短的时间 dt 内,通过导体横截面的电荷量为 dq ,则电流为

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

一般情况下,电流 i 是时间 t 的函数。如果 dq/dt 不随时间变化,即任意时刻,通过导体横截面的电量,其大小和方向都不随时间发生变化,则这种电流就是上面提到的直流。其强度用符号 I 表示。很显然,电流为

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2)$$

在国际单位制中,电量 q 的单位是库仑(C),时间 t 的单位是秒(s),电流 I 的单位是

安培 (A), 所以有 $1\text{A}=1\text{C/s}$ 。电流的常用单位还有毫安 (mA) 和微安 (μA), 它们的关系是 $1\text{mA}=10^{-3}\text{A}$, $1\mu\text{A}=10^{-6}\text{A}$ 。

电流的常见波形如图 1-3 所示, 图 1-3 (a) 中电流大小是恒定的, 不随时间变化, 是恒定电流 (dc 或 DC); 图 1-3 (b) 中电流大小随时间不断变化, 但方向不变, 是变化 (脉动) 电流; 图 1-3 (c) 中电流的大小和方向都随时间变化, 是交流电流, 简称交流, 记为 ac 或 AC。

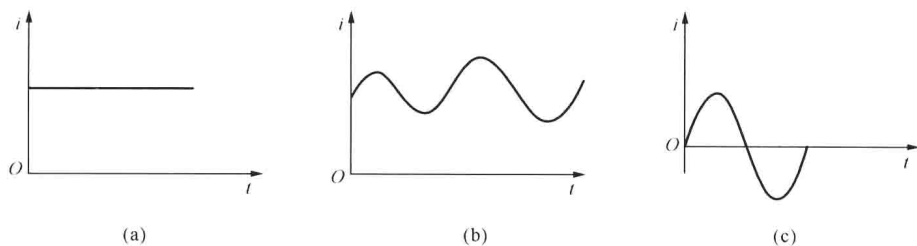


图 1-3 几种常见电流波形
(a) 恒定电流; (b) 脉动电流; (c) 交流电流

2. 电压

电路分析中用到的另一个物理量是电压。直流电压用大写 U 表示, 交流电压用小写 u 表示。

那么, 什么是电压呢? 下面来看图 1-4 所示白炽灯电路, 其中当开关 SB 闭合时发现, 电阻 R 中有电流流过, 若电阻元件 R 代表的是白炽灯, 则 SB 闭合时灯泡就会发光。这是因为电场力把电量 q 从 a 点移动到了 b 点, 即电场力做功了, 灯泡消耗了电场力所做的功, 所以灯泡会亮。

$$\text{用公式表示为} \quad U_{ab} = \frac{W}{q} \quad (1-3)$$

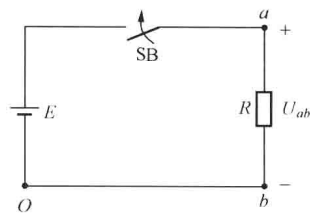


图 1-4 白炽灯电路

式中 q ——由 a 点移动到 b 点的电量;

W ——移动这些电量从 a 到 b 电场力所做的功, W 的国际单位是焦耳 (J), 电压的国际单位为伏特 (V), 所以 $1\text{V}=1\text{J/C}$ 。

也就是, 如果在电路中选定一个电位参考点 O , 人们定义空间某点 a 的电位在数值上等于将单位正电荷从 a 点移到 O 点电场力所做的功。电位用符号 V 表示, 如 a 、 b 两点电位表示为 V_a 和 V_b , 那么 a 、 b 间的电压也可表示为 $U_{ab}=V_a-V_b$ 。

在国际单位制中, 电压与电位的单位都是伏特 (volt), 用符号 V 表示。有时也需要用到 kV 、 mV 或 μV 作单位。它们之间的关系是

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}; 1\text{V} = 10^3\text{mV} = 10^6\mu\text{V}$$

1.1.3 电流和电压的参考方向

在分析电路时, 对复杂电路中某一段电路里电流的实际方向很难立即判断出来, 有时电流的实际方向还会不断改变, 因此在电路中很难标明电流的实际方向。为了方便分析, 在这里, 引入电流的参考方向 (reference direction) 这一概念。

在一段电路或一个电路元件中事先选定一个电流方向作为电流的参考方向。本书中用虚线箭头表示电流的实际方向, 用实线箭头直接标在电路上表示电流的参考方向, 也可以用双下标表示, 如 i_{ab} 表示其参考方向由 a 指向 b 。参考方向是任意选定的, 而电流的实际方向是

客观存在的。因此，所选定的电流参考方向并不一定就是电流的实际方向。当选定电流的参考方向与实际方向一致时， $i > 0$ ；当选定电流的参考方向与实际方向相反时， $i < 0$ 。电流的参考方向与实际方向如图 1-5 所示。

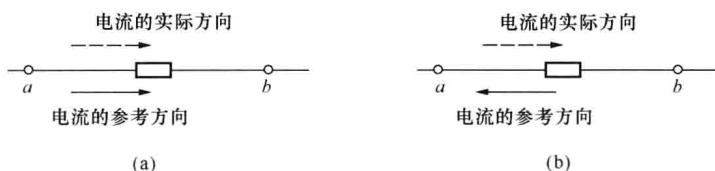


图 1-5 电流的参考方向与实际方向

(a) $i > 0$; (b) $i < 0$

电流的参考方向是实际存在的，它不会因其参考方向选择的不同而改变，即存在 $i_{ab} = -i_{ba}$ ，本书中不加特殊说明时，电路中的公式和定律都建立在参考方向的基础上。

像需要为电流指定参考方向一样，在电路分析中，也需要为电压指定参考方向。在元件或电路中两点间可以任意选定一个方向作为电压的参考方向。电路图中，电压的参考方向一般用实线箭头表示，也可用双下标 u_{ab} （电压参考方向由 a 点指向 b 点）或“+”、“-”极性表示（电压参考方向由“+”极性指向“-”极性）。当电压的实际方向与它的参考方向一致时，电压值为正，即 $u > 0$ ；反之，当电压的实际方向与它的参考方向相反时，电压值为负，即 $u < 0$ 。电压的参考方向与实际方向的关系如图 1-6 所示。

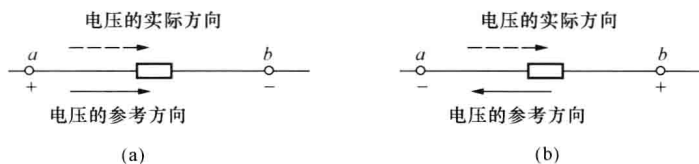


图 1-6 电压的实际方向与参考方向

(a) $u > 0$; (b) $u < 0$

电压的实际方向也是客观存在的，它决不因该电压的参考方向选择的不同而改变。由此可知： $u_{ab} = -u_{ba}$ 。

电流参考方向的选定与电压参考方向的选定是独立无关的。但为了方便起见，如果选定电流的方向与电压的参考方向一致，即选定电流从标以电压“+”极性的一端流入，从标以“-”极性的一端流出，则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向，如图 1-7 所示。否则，称为非关联参考方向。

关联参考方向下电阻元件的欧姆定律：

$$u = Ri \quad (1-4)$$

非关联参考方向下电阻元件的欧姆定律：

$$u = -Ri \quad (1-5)$$

1.1.4 功率

电路分析中常用到的一个复合物理量是电功率（电流在单位时间内所做的功称为电功率，用来表示电场力做功的快慢），简称为功率，用 P 表示。

电能对时间的变化率就是功率,数值上等于单位时间所做的功。功率的表达式为

$$P = \frac{dW}{dt} \quad (1-6)$$

式中 dW —— dt 时间内电路元件吸取(或消耗)的电能。

现以图 1-7 为例,来讨论一段电路中功率与电压、电流的关系。

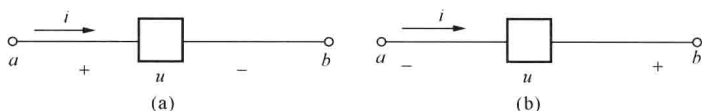


图 1-7 元件上的功率

(a) 吸收功率; (b) 发出功率

由电压定义,得

$$dW = u dq$$

因此

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{u dq}{dt}$$

再由电流定义,得

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

因此

$$P = ui \quad (1-7)$$

功率 P 表示元件吸收的功率。当 $P > 0$ 时,表示元件实际上是吸收或消耗电能,消耗电能的元件往往是负载元件;当 $P < 0$ 时,表示元件实际上释放或提供电能,提供电能的元件往往是电源。

在关联参考方向下:

$$P = ui$$

在非关联参考方向下:

$$P = -ui$$

在国际单位制中,功率的单位是瓦特,用符号 W 表示。 1kW (千瓦) $= 10^3 \text{ W}$ (瓦)。

【例 1-1】 计算图 1-8 中各元件的功率,指出该元件是电源还是负载。

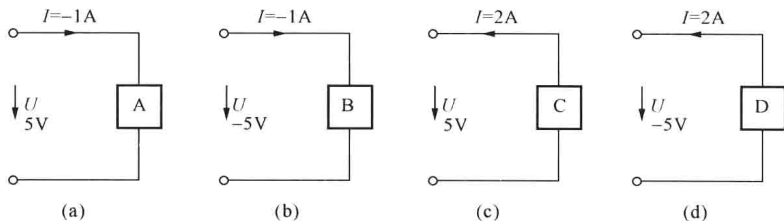


图 1-8 例 1-1 图

解 图 1-8 (a) 中电压、电流为关联参考方向,所以

$$P = UI = 5 \times (-1) = -5 (\text{W}) \quad P < 0 \quad \text{A 提供电能,为电源。}$$

图 1-8 (b) 中电压、电流为关联参考方向,所以

$$P = UI = (-5) \times (-1) = 5 (\text{W}) \quad P > 0 \quad \text{B 吸收电能,为负载。}$$

图 1-8 (c) 中电压、电流为非关联参考方向,所以

$$P = -UI = -5 \times 2 = -10 (\text{W}) \quad P < 0 \quad \text{C 产生电能,为电源。}$$

图 1-8 (d) 中电压、电流为非关联参考方向,所以

$$P = -UI = -(-5) \times 2 = 10 (\text{W}) \quad P > 0 \quad \text{D 吸收电能,为负载。}$$

1.2 电压源与电流源

1.2.1 理想电压源和理想电流源

1. 理想电压源

端电压可以按照给定规律变化而与其电流无关的二端元件,称为理想电压源,简称电压源。我们把端电压为常数的电压源称为直流电压源,其电路模型及伏安特性曲线如图 1-9 所示。图 1-9 (a) 是理想电压源的电路模型;图 1-9 (b) 是干电池的电路模型;图 1-9 (c) 是直流电压源的伏安特性。

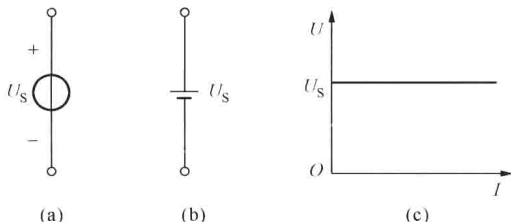


图 1-9 直流电压源电路模型及其伏安特性曲线
(a) 理想电压源的电路模型; (b) 干电池的电路模型;
(c) 直流电压源的伏安特性

电压源具有以下特点:

(1) 电压源的端电压 u_S 是一个固定的函数,与所连接的外电路无关;直流电压源的端电压是常数 U_S 。

(2) 通过电压源的电流随外接电路的不同而改变。

电压源连接外电路时有以下几种工作情况,如图 1-10 所示。

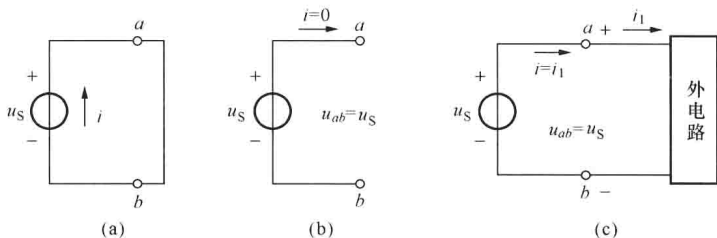


图 1-10 电压源的几种工作状态
(a) 短路 (不允许); (b) 断路; (c) 带负载

图 1-10 (a) 是电压源短路状态,此时电路中的 $i \rightarrow \infty$,这样短路电流可能使电源遭受过热损伤或毁坏,因此电压源短路通常是一种严重事故,应该尽力避免。图 1-10 (b) 是电压源开路状态,此时电路 $i=0$,电路处于未接通状态。图 1-10 (c) 是电压源正常带负载状态,此时电路处于接通状态,电路中的 i 由负载的大小决定。

2. 理想电流源

电源除了用电压源模型表示外,还可以用电流源模型表示。通过元件的电流可以按照某给定规律变化而与其端电压无关的二端元件,称为理想电流源,简称为电流源。我们常把电流为常数的电流源称为直流电流源。其电路模型如图 1-11 (a) 所示,图 1-11 (b) 中 I_S 表示电流源的电流大小,箭头所指方向为 I_S 的参考方向。图 1-11 (c) 是电流源的伏安特性。 I_S 为一定值而与其电压无关。

理想电流源也是一个二端理想元件,它具有以下两个特点:

(1) 通过电流源的电流是定值或者是时间 t 的函数 $i(t)$,而与外电路无关;直流电流源

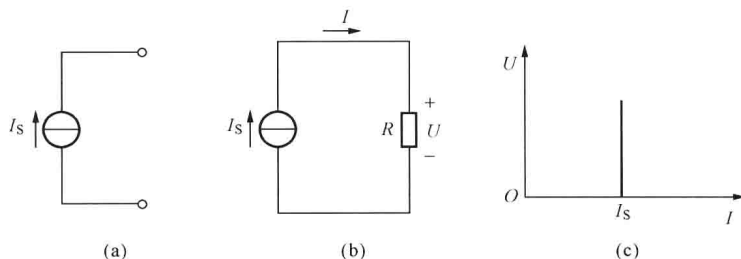


图 1-11 直流电流源电路模型和伏安特性

(a) 电路模型；(b) 电流源的电流；(c) 电流源的伏安特性

的电流是定值 I 。

(2) 电流源的端电压取决于外电路。

上述电压源对外输出的电压为一个独立量，电流源对外输出的电流也为一个独立量，因此常被称为独立电源。

1.2.2 电源的串联和并联

在电路中经常会遇到电源的串联或并联。当几个电压源串联时，可以用一个电压源来等效替代，如图 1-12 (a) 所示，其等效电压源的电压 U_S 为

$$\begin{aligned} U_S &= U_{S1} + U_{S2} + \cdots + U_{Sn} \\ &= \sum_{k=1}^n U_{Sk} \end{aligned} \quad (1-8)$$

当 n 个电流源并联时，可以用一个电流源来等效替代，如图 1-12 (b) 所示，这个等效电流源的电流 I_S 为

$$I_S = I_{S1} + I_{S2} + \cdots + I_{Sn} = \sum_{k=1}^n I_{Sk} \quad (1-9)$$

图 1-12 (a) 中，若某个电压源方向改变，按式 (1-8) 计算时，其符号也要由正变负，对电流源并联时也有类似的结论。

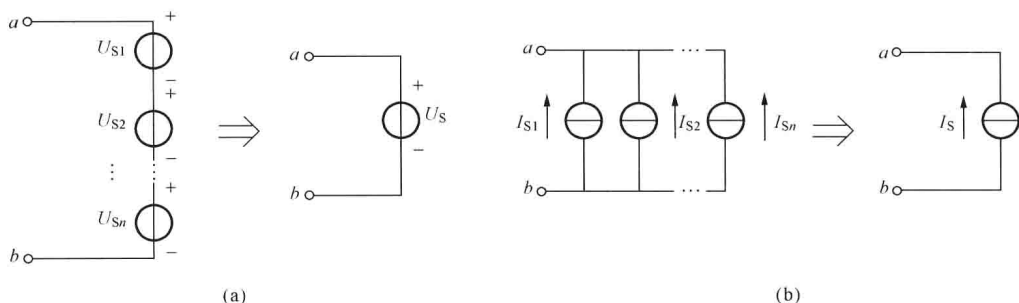


图 1-12 电压源的串联和电流源的并联

(a) 几个电压源串联时的等效电路；(b) 几个电流源并联时的等效电路

注意：电压不相等的电压源并联是没有意义的，电流不相等的电流源串联是没有意义的。

1.2.3 电源模型的等效变换

1. 实际电压源

实际的电压源,其端电压都随着电流变化而变化。例如,当电池接上负载后,通过伏特表来测量电池两端的电压,发现其电压会降低,这是由于电池内部有电阻的缘故,所以电池不是一个理想的电压源。可以用图 1-13 所示的方法来表示实际的电压源,即用一个电阻与电压源串联组合来表示,这个电阻称为电源的内阻,其电压与电流的关系可以用 $U=U_S-Ir$ 来表示。

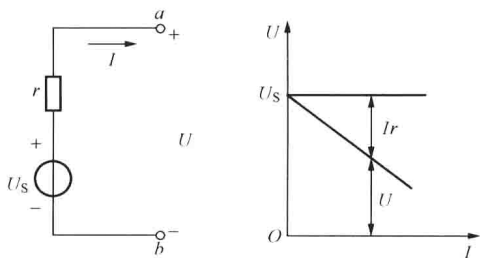


图 1-13 实际电压源模型和伏安特性

2. 实际电流源

理想电流源是一种理想元件,一般实际电源的输出电流随着端电压的变化而变化的。例如,

实际的光电池即使没有与外电路接通,还是有电流在内部流动。可见,实际电流源可以用一个理想电流源 I_S 和内阻 r 相并联的模型来表示,如图 1-14 所示。

当 SB 断开时,实际电流源空载,通过 r 的电流 $I_r=I_S$,电流源端电压大小等于 $I_S r$,此时,外电路电流 $I=0$;当 SB 闭合,外电路短路时 ($R=0$),则 $I=I_S$, $U=0$, $I_r=0$;当 SB 闭合,有负载时,即 $R \neq 0$,则有

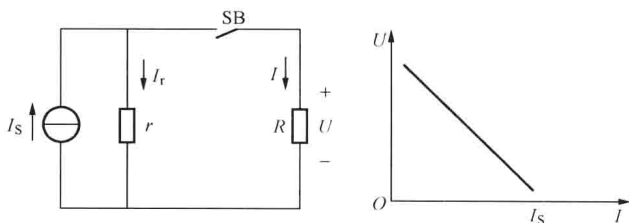


图 1-14 实际电流源的模型和伏安特性

$$U = IR = I_r r \quad \text{且} \quad I = I_S - I_r \quad \text{或} \quad I_r = I_S - \frac{U}{R}$$

3. 电源模型的等效变换

外部等效,就是要求当与外电路相连的端钮 a 、 b 之间具有相同的电压时,端钮上的电流必须大小相等,参考方向相同,如图 1-15 所示。

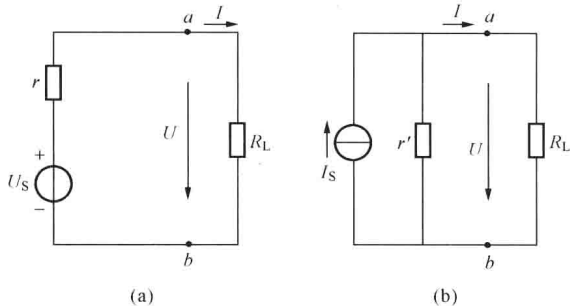


图 1-15 电压源与电流源的等效变换

图 1-15 (a) 中,电压源的外特性为 $U=U_S-Ir$,即 $I=\frac{U_S}{r}-\frac{U}{r}$ 。

图 1-15 (b) 中,电流源的外特性为

$$U = I_S r' - I r'$$

根据等效的要求,只要满足 $U_S = I_S r'$ 以及 $r'=r$,则图 1-15 所示两外电路的特性就完全相同,即它们对外电路是等效的,两者可以互相置换。因此,当已知电压源的 U_S 和 r 时,可等效为 $I_S=\frac{U_S}{r}$ 和 $r'=r$ 的电流源;反之,已知电流源的 I_S 和 r' 时,也可以用 $U_S=I_S r'$ 和 $r=r'$ 的电压源来等效。

【例 1-2】 作出图 1-16 所示电路的等效电源图。

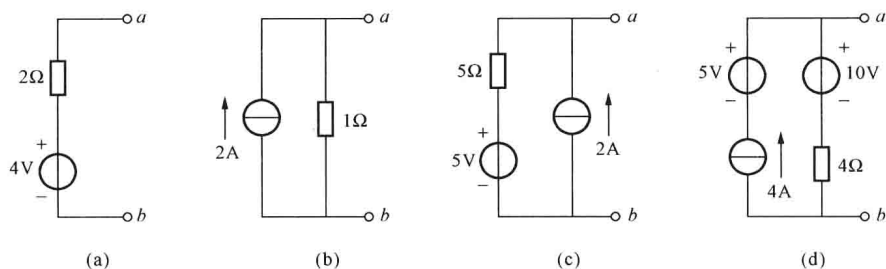


图 1-16 例 1-2 图

解 (1) 图 1-16 (a) 所示为一个电压源, 可等效变换为如图 1-17 (a) 所示的电流源。

(2) 图 1-16 (b) 所示为一个电流源, 可等效变换为如图 1-17 (b) 所示的电压源。

(3) 先将图 1-16 (c) 中电压源变换为电流源, 再与原电流源并联, 如图 1-17 (c) 所示。

(4) 将图 1-16 (d) 中 5V 电压源用短路线代替, 不影响它所在这段电路的电流大小, 因此图 1-16 (d) 所示电路可等效为图 1-17 (d) 所示的电路。

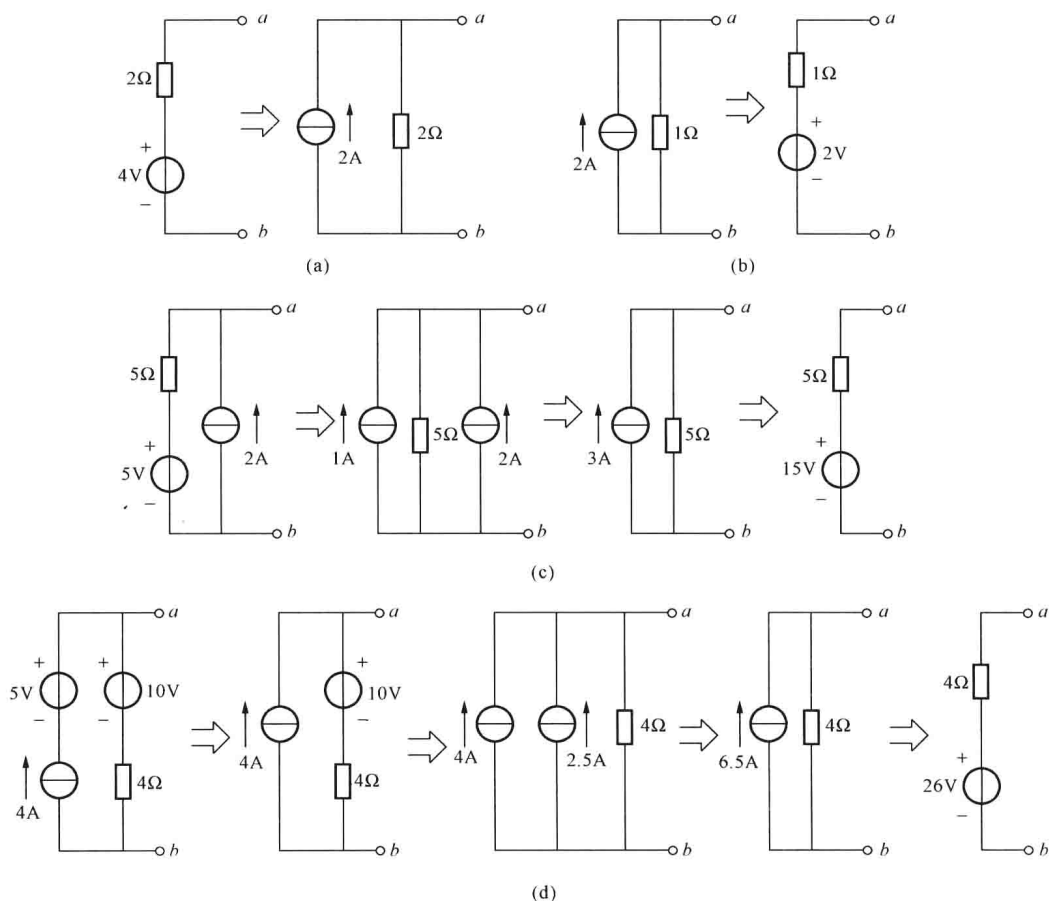


图 1-17 例 1-2 等效电路图

1.3 电路中电位的分析与计算

在复杂电路中,经常用电位的概念来分析电路。电位,是指在电路中任选一点作为参考点,某点到参考点的电压就称为该点的电位。电位常用符号 V 表示,电位的单位和电压的单位一样,是 V 。如图 1-18 所示,选取 O 为参考点,则该点电位为 0 ,即 $V_O = 0V$,电路中电源 U_{S1} 参考方向已经标出,电路中 a 点的电位可记为 V_a ,则 $V_a = U_{aO}$,电路中 b 点电位可记为 V_b ,则 $V_b = U_{bO}$,电路中电压与电位的关系为

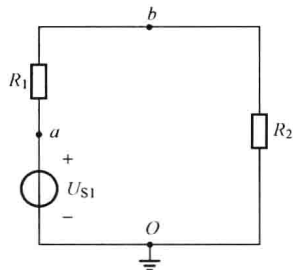


图 1-18 电位与电压

$$U_{ab} = U_{aO} - U_{bO} = V_a - V_b \quad (1-10)$$

1.3.1 电路中各点电位的计算

以图 1-19 所示电路为例,图 (b) 是图 (a) 的电位标注画法,所表示的仍是图 (a) 的电路。取 d 点为参考点,即 d 点的电位为 0 , $V_d = 0$,然后计算电路中 a 、 b 、 c 各点的电位。

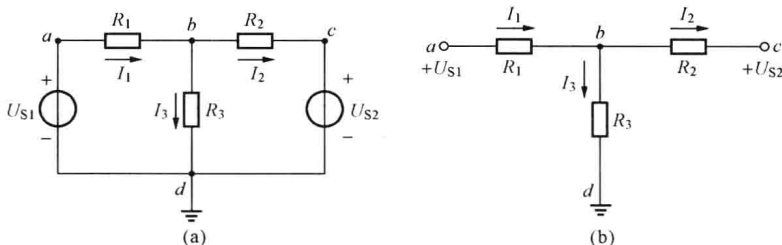


图 1-19 电位的计算

分析电路中各点电位即各点到参考点的电压,电位的参考方向是从各点指向参考点的。计算电位时,与电位参考方向一致的为正号,与电位参考方向相反的为负号,具体计算如下

$$V_a = U_{ad} = U_{S1} \quad \text{或} \quad V_a = U_{ab} + U_{bd} = I_1 R_1 + I_3 R_3$$

$$V_b = U_{bd} = I_3 R_3 \quad \text{或} \quad V_b = U_{ba} + U_{ad} = -I_1 R_1 + U_{S1}$$

$$V_c = U_{cd} = U_{S2}$$

根据以上分析可以看出,计算各点电位的途径不是唯一的,可是各点电位值不会因所选的计算路径的不同而不同。

1.3.2 等电位点

等电位点,是指电路中电位相同的点。

例如,图 1-20 中 a 、 b 两点的电位分别是

$$V_a = \frac{4}{8+4} \times 12 = 4 \quad (V)$$

$$V_b = \frac{10}{20+10} \times 12 = 4 \quad (V)$$

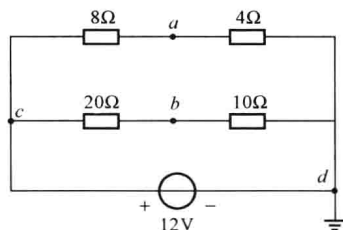


图 1-20 电路中的等电位点

可见本电路中 a 、 b 两点的电位相等,它们是等电位点。等电位点具有以下特点:虽然各点之间没有直接相连,