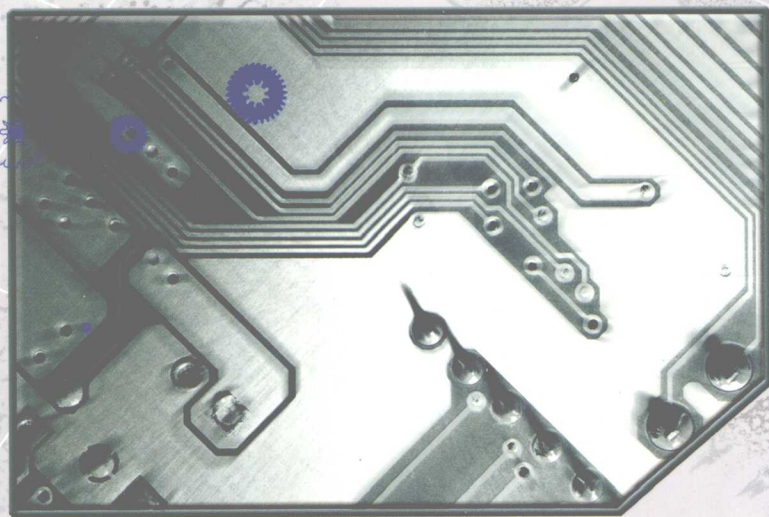


高等职业教育“十一五”规划教材
21世纪高职高专机电类规划教材



电工与电子技术基础

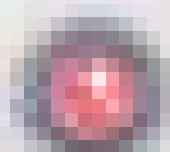
俞礼钧 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

教育部职业教育与成人教育司 组织编写
人力资源和社会保障部职业技能鉴定中心 审定



电工与电子技术基础

第2版 王明



清华大学出版社 出版
http://www.tup.com.cn

高等职业教育“十一五”规划教材
21世纪高职高专机电类规划教材



电工与电子技术基础

俞礼钧 主 编

夏章建 汤秀红 曾广银 副主编

高丽洁 陈 达 参 编



华中科技大学出版社

中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术基础/俞礼钧 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2008年9月
ISBN 978-7-5609-4869-0

I. 电… II. 俞… III. ①电工技术-高等学校:技术学校-教材 ②电子技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 138681 号

电工与电子技术基础

俞礼钧 主编

策划编辑:张 毅

责任编辑:张 毅

责任校对:周 娟

封面设计:刘 卉

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉正风图文照排中心

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:16.25 插页:2

字数:393 000

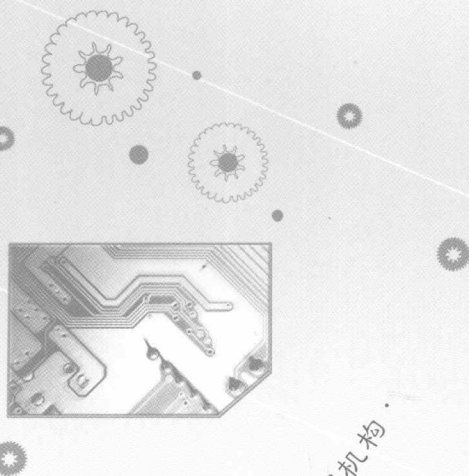
版次:2008年9月第1版

印次:2008年9月第1次印刷

定价:27.00 元

ISBN 978-7-5609-4869-0/TM·105

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)



· 好书源自精密机构 ·

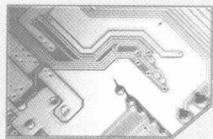
高等职业教育“十一五”规划教材 21世纪高职高专机电类规划教材 编审委员会

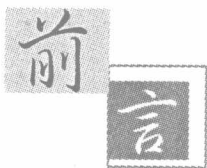
顾 问 陈吉红（教授，华中科技大学博导）

委 员 （以姓氏笔画为序）

丁原廉	王 瑞	尹玉珍	刘合群	牟应华	许小明
李传军	李正峰	李振斌	余小燕	苏 明	吴水萍
陆全龙	陈新耘	张晓娟	张 健	张安全	邱文萍
杨继宏	杨晓光	林承全	明志新	周卫东	娄 琳
俞礼钧	洪 霞	贺 剑	郭建农	徐国洪	游英杰
崔梁萍	盛国林	熊裕文	熊光荣	熊建云	管 剑

秘 书 张 毅





为了适应高职高专课程体系与教学内容的改革,及时反映电工电子技术教学的新成果,结合电类各专业的基本教学需要,本教材将电工学、模拟电子技术和数字电子技术三门课程的内容和体系进行有机整合,形成电工与电子技术基础的新课程体系。

在总体上,本教材把握理论教学够用,加强学生应用能力培养的特点,注重在理论与技术的关系方面,更凸显技术方法的教学内容;在理论与实践的关系方面,更突显在理论指导下的可操作性,强调实际问题的解决方法。

教材体系在保证符合本课程的基本要求的同时,适当地引进电子技术的新器件、新技术方法。在具体内容的安排上,力求在基础知识方面,精选内容,推陈出新;强调基本概念、基本电路的工作原理和基本分析方法;行文由浅入深,通俗易懂,便于学生自学,力争做到“讲、学、做”统一协调。对于课程重点和难点采取阐述与比喻相结合、方法与例题相结合的方式予以突出、解决。

编者希望通过对本教材的学习,在保证学生掌握教材基本内容的前提下,能更好地培养学生处理实际问题和自学的能力。

本书由俞礼钧策划。参加编写的有:俞礼钧(前言和第1、4、5章,武汉商贸职业学院)、曾广银(第2、10章,武汉商贸职业学院)、夏章建(第8章,随州职业技术学院)、汤秀红(第6、7章,十堰职业技术学院)、高丽洁(第3章,长江工程职业技术学院)、陈达(第9章,随州职业技术学院)。本书由俞礼钧主编并统编全稿。

另外,为了配合教学,便于学生自学,同时为了加强理论与实践的结合,还组织编写了与本书配套使用的《电工与电子技术基础习题与学习指导书》、《电工与电子技术基础实验指导书》。

本书在编写、定稿过程中,受到了各学校主管领导的鼓励和支持,同时得到了华中科技大学出版社的积极支持和帮助,在此谨表谢忱。限于编者水平,书中不妥之处请广大师生和读者批评指正。

编者于东湖流芳

2008年4月28日

第1章 电路的基本概念和基本定律	(1)
1.1 电路和电路模型	(1)
1.2 电压源、电流源和受控源	(5)
1.3 基尔霍夫定律	(9)
1.4 电阻的串联和并联	(13)
1.5 支路电流法	(16)
* 1.6 节点电压法	(17)
1.7 叠加定理	(19)
1.8 实际电源两种模型的等效变换	(21)
1.9 戴维宁定理	(24)
本章小结	(29)
习题1	(30)
第2章 正弦交流电路	(34)
2.1 正弦交流电的基本概念	(34)
2.2 正弦量的相量表示法	(38)
2.3 单一参数的正弦交流电路	(42)
2.4 R 、 L 、 C 串联正弦交流电路	(46)
2.5 正弦交流电路的功率	(48)
2.6 功率因数	(51)
2.7 R 、 L 、 C 串联电路中的谐振	(54)
本章小结	(57)
习题2	(57)
第3章 三相交流电路及其应用	(60)
3.1 三相电源	(60)



3.2	三相负载的星形连接电路分析	(62)
3.3	三相负载的三角形连接	(64)
3.4	三相电路的功率	(64)
3.5	发电、输电及工业企业配电	(65)
3.6	安全用电	(67)
	本章小结	(72)
	习题3	(73)
第4章	电动机	(75)
4.1	三相异步电动机的结构与转动原理	(75)
4.2	三相异步电动机的启动、调速与制动	(80)
4.3	三相异步电动机的铭牌	(84)
4.4	单相异步电动机	(86)
4.5	继电器接触控制系统	(89)
	本章小结	(99)
	习题4	(100)
第5章	放大电路基础	(101)
5.1	半导体二极管	(101)
5.2	半导体三极管	(106)
5.3	放大电路的基本知识	(112)
5.4	放大电路的三种组态	(120)
5.5	工程实用放大电路的构成原理及特点	(127)
5.6	场效应管放大电路	(133)
	本章小结	(142)
	习题5	(144)
第6章	集成运算放大器及其应用	(146)
6.1	集成运算放大器简介	(146)
6.2	放大电路中的负反馈	(149)
6.3	集成运算放大器的线性应用	(153)
6.4	集成运放的非线性应用——电压比较器	(156)



6.5 使用集成运放应注意的几个问题	(159)
本章小结	(161)
习题 6	(161)
第 7 章 直流稳压电源	(164)
7.1 概述	(164)
7.2 半导体二极管单相整流电路	(164)
7.3 滤波电路	(167)
7.4 稳压电路	(170)
7.5 集成稳压电源与开关稳压电源	(172)
本章小结	(177)
习题 7	(178)
第 8 章 门电路和组合逻辑电路	(180)
8.1 逻辑代数基础	(180)
8.2 基本逻辑门电路	(188)
8.3 组合逻辑电路的分析与设计	(196)
8.4 常用组合逻辑器件	(198)
本章小结	(207)
习题 8	(208)
第 9 章 触发器和时序逻辑电路	(212)
9.1 触发器	(212)
9.2 时序逻辑电路概述	(219)
9.3 计数器	(220)
9.4 寄存器	(228)
9.5 脉冲单元电路	(229)
本章小结	(234)
习题 9	(235)
第 10 章 D/A 与 A/D 转换器	(239)
10.1 概述	(239)
10.2 D/A 转换器	(239)
10.3 A/D 转换器	(244)
本章小结	(250)
习题 10	(250)
参考文献	(252)

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

本章先介绍电路模型的概念,电路中电压、电流参考方向的概念,再介绍电路元件的约束关系。简单的电路用欧姆定律即可求解,复杂的电路计算则需要运用适当的定律、定理去寻找简便的分析方法。我们将介绍基尔霍夫定律,还将介绍电路的基本分析方法及基本定理——等效变换、支路电流法、叠加定理、戴维宁定理。本章关于分析电路的知识对直流电路、交流电路、电机电路和电子电路都具有实用意义,读者务必予以充分重视。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路的组成

电路是由各种元件连接而成、为电流提供的通路。根据电流性质的不同,电路有直流电路和交流电路之分。复杂的电路称为电网络,简称电网。例如,城乡的供电线路就是一种交流电网。如图 1-1(a) 所示为电池供电的手电筒的直流电路,而图 1-1(b) 所示的则是交流供电的节能型 H 形日光灯的交流电路。

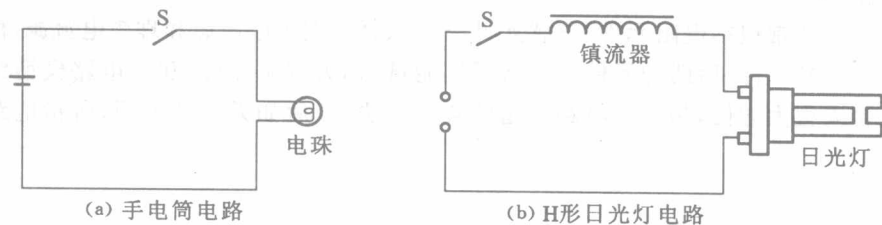


图 1-1 电路举例

电路的基本组成部分是电源、负载、连接导线和控制设备(如开关)。

电源是将其他形式的能量(机械能、化学能、原子能等)转换成电能的设备。直流电源有锌-锰电池俗称干电池、蓄电池、直流发电机、整流电源等。交流电源一般是由交流电网提供的,其来源是交流发电机。

负载是取用电能的装置,它把电能转换成其他形式的能量。例如,电灯将电能转换成光能,电炉将电能转换成热能,电动机将电能转换成机械能。

导线用来连接电源和负载,为电流提供通路,起传递电能的作用;控制设备根据负载需要接通和断开电路。导线的电阻很小,在分析或计算一般电路问题时,其电阻往往可以忽略



不计。

电路的功能和作用一般有两类。第一类是进行能量的传输、转换和分配。例如,照明电路和企业动力电路分别将电能由电源传输至照明灯或电动机,并转换成光能或机械能。这类电路由于电压较高、电流和功率较大,习惯上常称为“强电”电路。第二类是进行信号(如音乐、图像、文字、温度、压力等)的传递与处理。例如,由麦克风将声音转换而成的电信号,通过晶体管组成的放大电路,输出到音箱的便是放大的电信号,从而实现了放大功能;电视机可将接收到的信号,经过处理、转换,输出图像和声音。这类电路通常电压较低,电流和功率较小,习惯上常称为“弱电”电路。

1.1.2 电路元件和电路模型

用于构成实际电工、电子电路的元器件或设备统称为实际电路元件,简称为实际元件。用实际元件构成的电路称为实际电路。

一个实际元件往往呈现多种物理性质。例如,一个用导线绕成的线圈,当有电流通过时不仅会产生磁通,形成磁场;而且还会消耗一些电能。也就是说,线圈不仅具有电感性质,而且具有电阻性质。不仅如此,线圈的匝与匝之间还存在分布电容,具有电容性质。在进行电路的分析和数字描述时,如果要考虑一个器件所有的电磁性质将是十分困难的。为了方便起见,对于各种实际元件,往往忽略其次要性质,只抓住其主要电磁特性,用一些理想电路元件来表征其特性,称为实际元件的模型。理想电路元件(有时简称为电路元件)是对实际元件在一定条件下进行科学抽象而得到的,是一种数学模型。例如,上述的线圈,如果忽略其电阻和电容性质,则就成为仅具有电感性质的元件,称为理想电感元件。

实际电路中的各种实际元件由其相应的模型表示后,就得到实际电路的电路模型。即电路模型是由一些理想电路元件相互连接构成的整体,是实际电路的一种等效表示,有时也可称为等效电路。

电路元件通常包括电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源和理想电流源。前三种元件称为无源二端元件,后两种元件为电路提供能量,称为有源元件。建立电路模型给实际电路的分析带来很大方便,是研究电路问题的常用方法。今后如无特殊说明,所指电路均为电路模型。

1.1.3 电路的工作状态

电路有三种工作状态:通路、开路和短路。

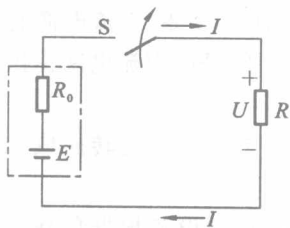


图 1-2 通路

1. 通路, 电流、电压的参考方向

通路就是接通的电路。手电筒接通时的电路可用图 1-2 来表示。图中, E 是电池的电动势, R_0 是电池的内阻, S 是开关,正处于接通状态, R 是电珠的电阻。

在一般计算中,不计连接导线的电阻。电路接通后的电流用 I 表示,其大小用全电路欧姆定律计算,即



$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-1)$$

电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向,按照电流的大小和方向是否随时间变化,分为恒定电流(简称为直流 DC)和时变电流,为以示区别,分别用符号 I 和 i 表示。平时所说的交流(AC)是时变电流的特例。

在分析电路时,往往并不能事先确定电流的实际方向,而且时变电流的实际方向又随时间不断变化,因此在电路中很难标明电流的实际方向。为此,引入电流的参考方向这一概念。

参考方向的选择具有任意性,通常用实线箭头和电流符号加双字母下标表示。实线箭头可以画在线外,也可画在线上。为了区别,电流的实际方向通常用虚线箭头表示,而且规定:若电流实际方向与所选的参考方向一致,则电流为正值,即 $I_{ab} > 0$ (或 $i_{ab} > 0$);反之,若计算结果电流为负值,即 $I_{ab} < 0$ (或 $i_{ab} < 0$),则表示电流的实际方向与参考方向相反。电流的参考方向与实际方向如图 1-3 所示。由图可知,电流的参考方向能在电流符号双下标中表示,如 I_{ab} 表示其参考方向由 a 指向 b 。



图 1-3 电流参考方向与实际方向

电流的实际方向是客观存在的,它不因其参考方向选择的不同而改变,即存在 $I_{ab} = -I_{ba}$ 。本书若不加特殊说明,定律和应用在电路中的公式都是建立在参考方向的基础上的。

电路接通后的电流流经负载,负载两端上就有电压或称产生电压降。电阻上的电压可根据一段电路欧姆定律求出,即

$$U = RI \quad (1-2)$$

电压是由于电路中两点间电位的高低差别而形成的。电压的极性通常称为方向。两点间电压的实际方向即由高电位指向低电位,是电位降低的方向(电动势的方向则是由低电位指向高电位,是电位升高的方向)。

在进行电路分析时,也需要事先测定电压(或电动势)的参考方向(也称参考极性)。电路图中,电压的参考方向一般用“+”、“-”极性表示,由“+”端指向“-”端,如图 1-4 所示。

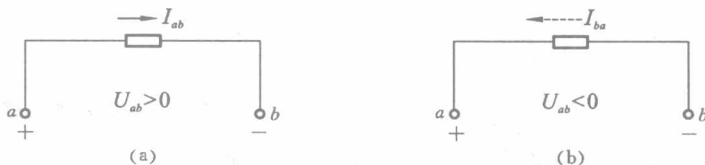


图 1-4 电压的参考方向与实际方向

电压的参考方向也可用实线箭头表示,或用电压符号双下标如 U_{ab} (电压参考方向由 a 点指向 b 点)表示。当 $U > 0$ (或 $u > 0$),即电压为正值,电压的实际方向与参考方向一致;反之,当 $U < 0$,即电压值为负时,则电压的实际方向与参考方向相反。

电流的参考方向和电压的参考方向都可以各自独立地任意假设,但为了分析问题的方便,



通常将某元件上电压和电流的参考方向选为一致,即电流的参考方向由电压的“+”指向“-”,这样选定的参考方向称为电压与电流的关联参考方向,简称为关联方向,如图 1-5 所示。



图 1-5 二端元件电压、电流的关联参考方向

在电路分析中,常用求解电位的方向判断半导体器件(如二极管、三极管)的工作状态。要求某点的电位值,必须在电路中选择另一点作为参考点,这个参考点称为零电位点。零电位点可以任意选择。电路中某点的电位就是该点与零电位点之间的电压。在电工技术中,为了工作安全,通常把电路的某一点与大地连接,称为接地。这时电路的接地点就是电位等于零的参考点。它是分析电路中其余各类电位高低的比较标准,用符号“ $\perp$ ”表示。计算电位的方法与计算电压的方法完全一样。

今后在求电压、电流时,必须事先规定好参考方向,否则求出的值无意义。

2. 开路

开路指电源与负载没有构成闭合路径的电路。图 1-2 所示电路中,当开关 S 断开时,电路即处于开路状态,此时电路中的电流为零,电源无电能输出。电路开路也称为电源空载。

开路时电源的端电压称为开路电压或空载电压。它就是开关 S 两触点间的电压。

3. 短路

在图 1-6 中,电路的 c 、 d 之间若用一段电阻很小的导线接通时,则称 cd 处被短路。由于短路线的电阻很小,故可认为 c 点与 d 点重合,电路可改画为图 1-7 所示的电路。

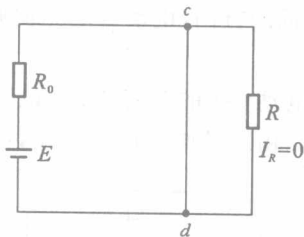


图 1-6 短路

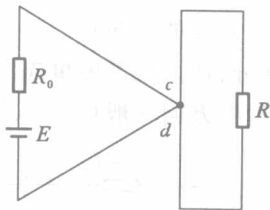


图 1-7 cd 重合后的电路

图 1-6 中,由于负载 R 两端没有电压,所以负载电流 $I_R = 0$ 。

短路后电源回路的电流 $I = \frac{E}{R_0}$,由于电源的内阻 R_0 往往很小,所以短路电流很大,这会引起电源或导线绝缘的损坏。

短路是一种电路事故。在供电线路中,由于绝缘破损、设备故障或操作不当等原因,短路现象是难以避免的,所以要有保护措施,如在线路中装设熔断器或空气开关等,使电源和供电线路得到保护。



有一些短路是由于工作需要。例如,电动机在启动时电流很大(是正常运行时电流的几倍),容易毁坏电流表。若在电流表两端并联一个短路开关 S_2 ,如图 1-8 所示,只要在电动机启动时合上开关 S_1 的同时合上短接开关 S_2 ,电流表短路,电流表便得到了保护。待电动机启动过程结束,再把开关 S_2 打开,电流表就能显示电动机的工作电流。为了区别于事故短路,工作短路又称为旁路。

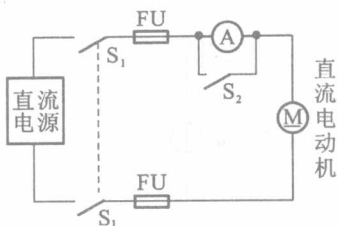


图 1-8 熔断器和短接开关

1.1.4 电功率和电能

在电路的分析和计算中,功率和能量的计算是十分重要的。一方面,电路在工作时总是伴随有其他形式能量的相互交换;另一方面,电气设备和电路本身都有功率的限制,在使用时要注意其电流或电压是否超过额定值,若过载会使设备或部件损坏,或无法正常工作。

电气设备在单位时间内消耗(实际是转换)的电能称为电功率。电功率简称为功率,用 P 表示,单位为 W (瓦)。计算直流电功率的公式为

$$P = UI \quad (1-3)$$

在直流电路中,电气设备在工作时间 t 内消耗的电能为

$$W = UIt = Pt \quad (1-4)$$

电能的单位是 J (焦)。

在实际生活中,电能的单位常用 $kW \cdot h$ (千瓦时)表示, $1 kW \cdot h$ 的电能通常称为一度电,一度电为

$$1 kW \cdot h = 1\,000 \times 3\,600 J = 3.6 \times 10^6 J$$

计算元件功率时,先要判断电压、电流的参考方向是否为关联方向,若为关联, $P = UI$ (或 $p = ui$);否则 $P = -UI$ (或 $p = -ui$)。 $P > 0$,表明元件实际消耗(或吸收)功率;若 $P < 0$,表明元件实际发出(或提供)功率。当使用欧姆定律时,若 U 、 I (或 u 、 i)为关联方向时,才有 $U = RI$ (或 $u = Ri$);否则 $U = -RI$ (或 $u = -Ri$)。

1.2 电压源、电流源和受控源

电源是将其他形式的能量转换成电能的设备。如果电源的参数(电压或电流)都由电源本身的因素决定,而不因电路的其他因素而改变,则称为独立电源(今后简称电源);否则不是独立源。

电源是电路的输入,在电路中起激励作用,根据电源提供的电学量的不同,可分为电压源和电流源。

1.2.1 电压源

1. 理想电压源

电池是常用的一种电源,它有时可以近似地用一个理想电压源来表示。理想电压源简称

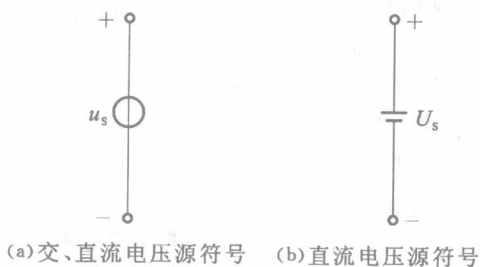


图 1-9 电压源的图形符号

为电压源。它实际上是忽略了电源内阻,是一种理想元件。

常见的电压源有交流电压源和直流电压源。电压源的图形符号如图 1-9 所示,图(a)既可表示交流电压源又可表示直流电压源,图(b)表示直流电压源。

电压源有以下两个特点:

① 端电压为恒定值(直流电压源)或固定的时间函数(交流电压源),不随其端电流的变化而变化;

② 通过电压源的电流则随外电路的不同而不同,其端电压一般用 U_s 或 $u_s(t)$ 表示。

由于实际电源的功率有限,而且存在内阻,因此恒压源是不存在的,它只是理想化模型,只有理论上的意义。

需要说明的是,将端电压不相等的电压源并联是没有意义的,将端电压不为零的电压源短路也是没有意义的。

2. 实际电压源

理想电压源是一种理想元件,一般实际电源(如干电池、蓄电池)接通负载后,其端电压会随其端电流的变化而变化,这是因为电源内部有电阻。所以,实际电源并不是一个理想的电压源。

一个实际电源可以用一个电压源(理想电压源) U_s 与内阻 R_s 的串联组合来表示,这个模型称为实际电源的电压源模型,如图 1-10(a) 所示。

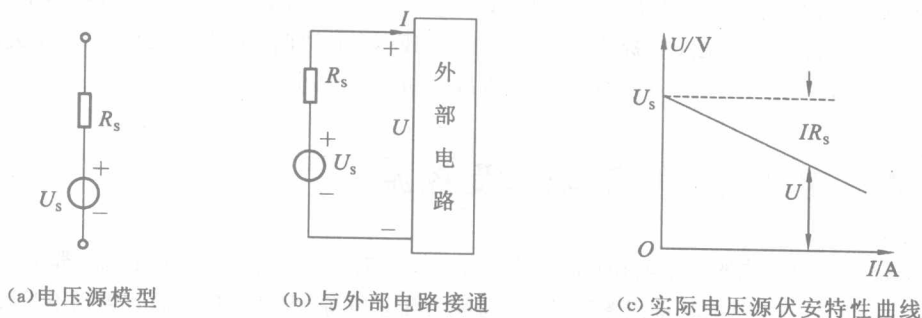


图 1-10 实际电源的电压源模型及伏安特性曲线

如图 1-10(b) 所示,当实际电压源与外部电路接通后,实际电压源的端电压 U (输出电压) 为

$$U = U_s - IR_s \quad (1-5)$$

式(1-5)表明,电源内阻越小,其输出电压越稳定。

实际电压源的电压、电流关系(伏安特性曲线)如图 1-10(c) 所示。



1.2.2 电流源

1. 理想电流源

理想电流源简称为电流源。电流源是一种理想元件：电流源发出的电流总保持不变，或按照给定的规律变化而与其端电压无关。

电流源的图形符号如图 1-11 所示。

电流源有以下两个特点：

① 电流源向外电路提供的电流总保持定值 I_s 或是给定的时间函数 $i_s(t)$ ，不会因所接的外电路不同而改变；

② 电流源的端电压的大小由外电路决定，随外接电路的不同而不同。



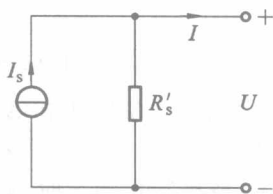
图 1-11 电流源的图形符号

恒流源是理想化模型，现实中并不存在。实际的恒流源一定有内阻，且功率总是有限的，输出电流要随端电压的变化而变化。例如，光电池受光照激发的电流并不能全部外流，其中一部分将在光电池内部流动。

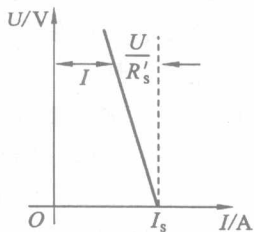
需要说明的是，将电流不相等的电流源串联是没有意义的，将电流不为零的电流源开路也是没有意义的。

2. 实际电流源

实际电流源可以用一个理想电流源和内阻相并联的模型来表示，如图 1-12 所示。这个模型就是实际电源的电流源模型。



(a) 实际电源的电流源模型



(b) 实际电源的伏安特性曲线

图 1-12 实际电源的电流源模型及伏安特性曲线

当实际电流源与外部电路相连时，实际电流源的输出电流为

$$I = I_s - \frac{U}{R_s} \quad (1-6)$$

式(1-6)表明， R_s 越大， R_s 的分流作用越小，输出电流 I 越大。

实际电流源的伏安特性曲线如图 1-12(b) 所示。

例 1-1 计算图 1-13 所示电路中电流源的端电压 U_2 ， $5\ \Omega$ 电阻两端的电压 U_3 以及电压源、电流源、电阻的功率 P_1 、 P_2 、 P_3 。

解 此处所指电压源、电流源皆为理想电源。

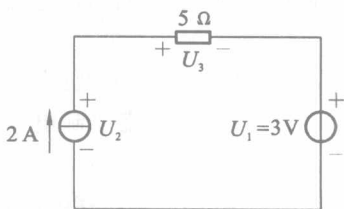


图 1-13 例 1-1 图