

普通高等教育电子信息类“十二五”规划教材

电工电子基础

DIANGONG DIANZI JICHU

主 编 成开友

副主编 周 磊 姚志树 沈翠凤 王春阳



教学资源库
<http://js.ndip.cn>



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等教育电子信息类“十二五”规划教材

电工电子基础

主 编 成开友

副主编 周 磊 姚志树 沈翠凤 王春阳

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

“电工电子基础”是高等学校工科非电类专业重要的技术基础课程。本书是根据我国高等教育发展的新形势,根据教育部电子电气基础课程教学指导委员会“电工学课程教学基本要求(草案)”,在新的教学理念指导下,根据一般院校培养应用型高级技术人才的定位编写的。内容包括电路的基本概念与基本定律、电阻电路的分析方法、一阶电路的暂态分析、正弦交流电路的分析、三相交流电路、磁路与变压器、交流电动机、继电器接触器控制、半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源、基本门电路和组合逻辑电路以及触发器和时序逻辑电路。每章附有习题。本书简明扼要,适用于一般高等院校工科非电类各专业电工学课程本科教材,也可作高职、高专院校的教材,亦可供工程技术人员自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子基础 / 成开友主编. —北京:国防工业出版社,
2013. 12

普通高等教育电子信息类“十二五”规划教材

ISBN 978-7-118-09091-8

I. ①电… II. ①成… III. ①电工技术—高等学校—
教材 ②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 286303 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 21½ 字数 533 千字

2013 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 39.50 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

前 言

“电工电子基础”是高等学校工科非电类专业重要的技术基础课程。随着科学技术的发展,电工电子技术的应用日新月异,日益渗透到其他学科领域,并促进其发展。由于新器件、新方法不断出现,“电工电子基础”课程教学内容不断丰富和更新。近几年来,高等学校教学改革又对培养计划的课内学时实行了多次大量压缩,使内容多与学时少的矛盾更加突出,迫切需要优化课程的体系结构和整合教学内容,编写出注重工程基础、反映新技术和新方法、便于自学的新教材。为此,我们进行了多年的教学改革,在完成“电工电子学课程(群)建设”、“电工电子学课程教学改革研究”和“电工学课程综合改革的研究”等教学改革项目的基础上,编写了本书。本书在保证电气工程基础内容的前提下,压缩传统内容,增加应用性和新技术内容,强化系统概念,拓宽学生的知识面,培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书突出一条主线,注重理论联系实际,应用电路由浅入深;各部分内容前后贯通、有机结合。内容包括电路的基本概念与基本定律、电阻电路的分析方法、一阶电路的暂态分析、正弦交流电路的分析、三相交流电路、磁路与变压器、交流电动机、继电器接触器控制、半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源、基本门电路和组合逻辑电路以及触发器及时序逻辑电路。

本书力图在以下几方面体现特色:

理念:在中国高等教育从精英教育向大众化教育的转型阶段,教材必须适应这个变化才能在现代高等教育中很好地发挥提高教学质量、培养高水准人才的作用。几十年一贯制、体系内容变化缓慢的教材不能适应今天的快节奏。教材的编写应该充分体现“以学生为中心,以教师为主导”的理念,才能找准方向,才能编好。

定位:我国普通高等教育分成“重点”和“一般”两个层次。一般理工科院校基本上都是教学型学校,培养的是应用型高级技术人才。在这个定位下,本书应该体现“知行并重、实践育人”的特色和理念。应该在内容和体系上与重点院校有所区别。

思路:注重基本概念和知识性,不在计算上花费太多时间和精力,习题要注重考察和帮助理解相关概念及知识。

结合:教材中突出元器件和电路结合、电路和实际结合、电路典型环节和系统结合。要使学生感到学有所用,学有兴趣。电路与器件要注重应用,要与工程实际结合。

简明:简明扼要,力争做到适用、实用和好用。

本书的第2、4、12章和第13章由成开友副教授编写,第10、11章和第14章由周磊老师编写,第6、7章和第8章由姚志树老师编写,第1章和第9章由沈翠凤老师编写,第3章和第5章由盐城技师学院电气工程系王春阳副教授编写,由成开友副教授担任主编,周磊、姚志树、沈翠凤和王春阳老师担任副主编。本书在编写过程中得到了盐城工学院领导和同事的大力支持。

持与帮助,本书的出版得到了盐城工学院教材出版基金的赞助和支持,在此表示感谢!

承蒙盐城工学院电气学院院长胡国文教授在百忙中仔细审阅全书,提出了很多建设性的修改意见。在此,谨向他表示衷心感谢和敬意。

最后,感谢使用本书的各高等学校同行老师和读者。由于编者水平有限,书中不妥和错误之处在所难免,恳切希望读者给予批评指正。

编 者

2013年6月

目 录

第 1 章 电路的基本概念与基本定律	1
1.1 电路基本物理量	1
1.2 电压源与电流源	5
1.3 电阻元件与欧姆定律	7
1.4 电感和电容元件	9
1.5 电源有载工作、开路与短路	11
1.6 基尔霍夫定律	12
习题	16
第 2 章 电阻电路的分析方法	19
2.1 电阻串并联连接的等效变换	19
2.2 电源两种模型的等效变换	25
2.3 支路电流法	30
2.4 结点电压法	31
2.5 叠加定理	33
2.6 等效电源定理	36
习题	39
第 3 章 一阶电路的暂态分析	44
3.1 一阶电路和换路定律	44
3.2 一阶 RC 电路的响应	47
3.3 一阶电路的三要素法分析法	52
3.4 一阶 RL 电路的响应	55
习题	59
第 4 章 正弦交流电路的分析	62
4.1 正弦量的三要素	62
4.2 正弦量的相量表示	65
4.3 单一电路元件交流电路分析	70
4.4 RLC 串联的交流电路分析	74
4.5 复杂正弦交流电路的分析	79

4.6	功率因数的提高	84
4.7	谐振电路	86
	习题	91
第 5 章	三相电路	96
5.1	三相电路	96
5.2	负载星形联结的三相电路	98
5.3	负载三角形联结的三相电路	101
5.4	三相功率	103
	习题	105
第 6 章	磁路与变压器	107
6.1	磁路的基本概念与基本定律	107
6.2	交流铁芯线圈电路	116
6.3	电磁铁	119
6.4	变压器	120
	习题	127
第 7 章	交流电动机	129
7.1	三相交流异步电动机的构造	129
7.2	三相交流异步电动机的工作原理	132
7.3	三相交流异步电动机的电磁转矩和机械特性	135
7.4	三相交流异步电动机的启动、反转、调速和制动	138
7.5	三相交流异步电动机的铭牌数据	141
7.6	三相异步电动机的选择	143
	习题	144
第 8 章	继电器接触器控制	147
8.1	常用控制电器	147
8.2	鼠笼式电动机的启动控制	156
8.3	鼠笼式电动机的正/反转和行程控制	159
8.4	多台鼠笼式电动机的顺序连锁控制	162
8.5	鼠笼式电动机的制动控制	163
	习题	165
第 9 章	半导体器件	168
9.1	半导体基础知识	168
9.2	二极管	171
9.3	特殊二极管	173

9.4 双极型晶体管	174
习题	177
第 10 章 基本放大电路	180
10.1 共射极放大电路的直流通路	180
10.2 共射极放大电路的交流通路	182
10.3 静态工作点稳定	188
10.4 放大电路的频率特性	190
10.5 射极输出器	191
10.5.1 静态分析	192
10.5.2 动态分析	192
10.6 差分放大器	194
10.6.1 差分放大器的工作原理	194
10.6.2 差分放大电路的动态分析	196
10.6.3 共模抑制比	197
10.7 互补对称功率放大电路	198
10.7.1 低频功率放大器的分类	199
10.7.2 乙类双电源(OCL)互补对称功率放大电路	199
10.7.3 甲乙类双电源(OCL)互补对称功率放大电路	201
10.7.4 单电源(OTL)互补对称功率放大电路	201
10.7.5 集成功率放大器	202
10.8 场效应管及其放大电路	202
10.8.1 结型场效应管	202
10.8.2 金属—氧化物—半导体场效应管	207
10.8.3 场效应管的主要参数	212
10.8.4 场效应管放大电路的静态分析	213
10.8.5 场效应管放大电路的动态分析	214
习题	217
第 11 章 集成运算放大器及其应用	223
11.1 集成电路与运算放大器简介	223
11.1.1 集成运算放大器概述	223
11.1.2 模拟集成电路的特点	224
11.1.3 集成运放的基本组成	224
11.1.4 集成运放的主要参数	225
11.2 集成运放的应用	226
11.3 集成运算放大器在信号处理方面的应用	231
11.4 集成电压比较器	235
习题	235

第 12 章 直流稳压电源	239
12.1 整流电路	239
12.2 滤波电路	243
12.3 集成稳压器	244
习题	246
第 13 章 基本门电路和组合逻辑电路	249
13.1 数字电路概述	249
13.2 逻辑门电路	251
13.3 TTL 门电路	256
13.4 逻辑代数	261
13.5 组合逻辑电路的分析和设计	265
13.6 常用组合逻辑电路	269
13.7 组合逻辑电路应用实例	278
习题	280
第 14 章 触发器与时序逻辑电路	285
14.1 触发器	285
14.1.1 基本 RS 触发器	285
14.1.2 同步 RS 触发器	286
14.1.3 主从 RS 触发器	288
14.1.4 主从 JK 触发器	289
14.1.5 主从 T 触发器和 T' 触发器	291
14.1.6 维持—阻塞边沿 D 触发器	291
14.2 时序逻辑电路	293
14.2.1 概述	293
14.2.2 时序逻辑电路的分析	294
14.2.3 计数器	296
14.2.4 数码寄存器与移位寄存器	310
14.2.5 同步时序逻辑电路的设计方法	315
14.3 施密特触发器	317
14.3.1 特点与电压传输特性	317
14.3.2 用门电路构成施密特触发器	318
14.3.3 施密特触发器的应用举例	319
14.4 单稳态触发器与 555 定时器电路	320
14.4.1 用门电路组成单稳态触发器	320
14.4.2 单稳态触发器的应用	321
14.5 555 定时器及其应用	322

14.5.1 用 555 定时器构成的施密特触发器	323
14.5.2 用 555 定时器构成单稳态触发器	324
14.5.3 用 555 定时器构成的多谐振荡器	326
习题	328
参考文献	333

第 1 章

电路的基本概念与基本定律

电路是电工技术和电子技术的基础,它是为学习后面的电子电路、电机电路以及控制与测量电路打基础的。

本章主要讨论电路基本物理量、电路元件的特性、电源的工作状态以及基尔霍夫定律等,这些内容都是分析与计算电路的基础。

1.1 电路基本物理量

1. 电路和电路模型

1) 电路

电路是根据某种需要由电源、电子元器件或设备按一定方式连接起来的流过电流的闭合路径。以供电系统和有线广播为例,如图 1.1.1 所示。

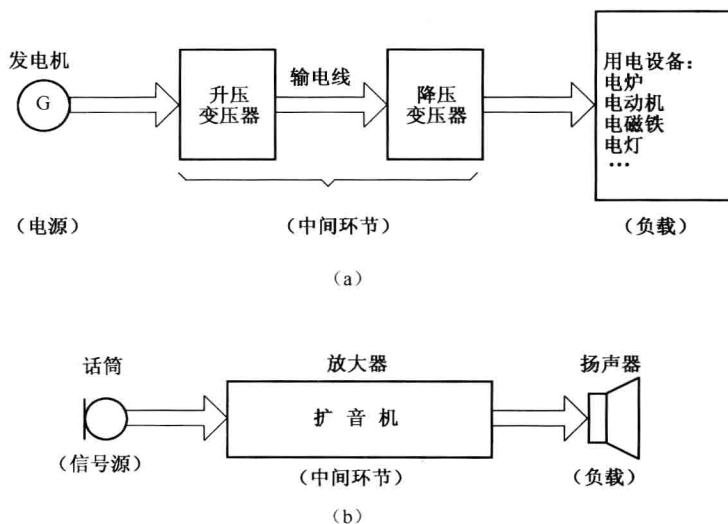


图 1.1.1 电路示意图

(a) 供电系统; (b) 有线广播。

电路的结构和形式是多种多样的,根据电路的作用,大致可以分为两类:一类是用于实现电能的传输、分配和转换的供电系统;另一类是用于信号的传递与处理及运算的信息系统。

无论哪一种电路,都可以划分为三个主要部分:电源(或信号源)、中间环节和负载。

2) 电路模型

实际的电路元件一般都不仅有一种特性,例如:电灯泡的灯丝是用钨丝绕制成螺旋状,它不仅具有电阻的性质,还具有一定电感的性质;电感线圈,它不仅具有电感的性质,还有一定电阻的性质等。但是,在一定条件下忽略某些次要因素时,如电灯泡的灯丝在电源频率较低时,它的电感性很弱,就可以把它理想化为具有单一特性的理想电阻元件;当电感线圈的导线足够粗,且匝数也不多时,就可以把它看成仅有电感性质的理想元件。各种电路元件用规定的图形符号表示,因此一个实际电路就可以用几个理想元件组合表示,由一些理想电路元件组成的电路就是实际电路的电路模型,它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。在电工基础理论中一般采用电路模型进行分析研究。

2. 电流、电压及其参考方向

1) 电流及其参考方向

电路中带电粒子的定向移动形成电流。在金属导体中可以移动的带电粒子是带负电荷的自由电子,半导体中的带电粒子是自由电子和空穴(它们被称为载流子),电解液中的带电粒子是正、负离子。因此电流是由正电荷或负电荷的定向移动形成的。习惯上规定正电荷移动的方向为电流的实际方向。电流的大小是指单位时间内流过导体横截面的电荷量,即

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

式中: q 为电荷量; t 为时间; i 为电流即电荷量对时间的变化率。如果电流的大小和方向随时间变化,则称为时变电流;时变电流做周期性变化且平均值为零,则称为交流电流(Alternating Current, AC),用小写字母 i 表示。如果电流的大小和方向都不随时间变化,则称为直流电流(Direct Current, DC),用大写字母 I 表示,式(1-1-1)可以改写为

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

电流的 SI 单位是安[培](Ampere, A),此外,还有毫安(mA)、微安(μA),它们之间的换算关系: $1A = 10^3 mA = 10^6 \mu A$ 。

在进行电路的分析计算时,往往需要设定一个方向,这个设定的方向为参考方向(或正方向),用箭头在电路图中标出,如图 1.1.2 所示。在计算后如果电流值为正,则说明电流的实际方向与参考方向相同;如果电流值为负,则说明电流的实际方向与参考方向相反。电流参考方向也可以用双下标方法表示,如 $I_{ab} = -I_{ba}$ 。

2) 电压、电位、电动势及其参考方向

图 1.1.3 是一个简单电路。电源的电动势为 E 、内电阻为 R_0 。电动势是电源中非电场力(如化学力、机械力等)对电荷做功的物理量,它在数值上等于非电场力在电源内部将单位正电荷从负极移动到正极所做的功。

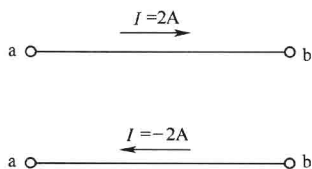


图 1.1.2 电流的参考方向

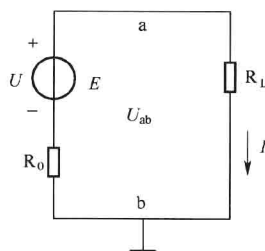


图 1.1.3 简单电路实例

电荷在电场力作用下在电路中形成电流,电场力推动电荷运动做功。电压就是衡量电场力对电荷做功能力的物理量。图 1.1.3 中 a、b 两点之间的电压为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1-1-3)$$

式中: W_{ab} 为电场力驱动正电荷从 a 点移到 b 点所做的功。电压等于电场力驱动单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功。

如果电压的大小和方向随时间作周期性变化且平均值为零,则称为交流电压,用小写字母 u 表示。

电路中某点电位是指该点对参考点之间的电压,在图 1.1.3 中 b 点上画了接地 $\perp$ 符号,就表示设定 b 点为参考点,这一点即为零电位点。a 点电位 V_a 就是 a 点与参考点 b 间的电压值,即 $V_a = U_{ab}$, a、b 两点之间的电压就是两点之间的电位差 $U_{ab} = V_a - V_b$ 。

电压、电动势、电位的 SI 单位均为伏[特](Voltage, V),此外,还有毫伏(mV)、微伏(μ V),它们之间的换算关系: $1V = 10^3 mV = 10^6 \mu V$ 。

电压的方向一般指电位降低的方向,而电动势的方向是指电位升高的方向。

在进行电路分析时往往需要事先设定一个参考方向,电压参考方向一般用+、-极性表示,从高电位“+”指向低电位“-”。有时也可以采用双下标,如 U_{ab} 表示电压参考方向由 a 点指向 b 点。

在设定参考方向后,计算所得电压为正时,表示电压的实际方向与参考方向一致,否则相反。

电流与电压的参考方向可以任意设定,但在电路分析时往往把它们的方向设为一致,称为关联参考方向,否则称为非关联参考方向。例如, R_L 上的电压 U_{ab} 和电流 I 就是关联参考方向,而电源上的 U 和 I 即为非关联参考方向。

参考方向具有实际意义,如在测量电流时,就已经设定了电流的参考方向是由红表笔经过电流表指向黑表笔方向。尤其是现在数字电流表显示的正负值就是在此参考方向下的值。同理,测量电压时也是已经确定了参考极性是红表笔为高电位端。

3. 电路的功率

电功率(Power)表示单位时间内电流所做的功,即

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UI t}{t} = UI \quad (1-1-4)$$

已知电阻上电压和电流的实际方向总是一致的,它是耗能元件,把电能转换为热能,是负载。当电阻元件上电压、电流设为关联参考方向时,所计算的功率值肯定大于零。由此可知,当任意元件上所设电压、电流为关联参考方向时,若 $P = UI > 0$,则说明该元件为负载,吸收功率;若 $P = UI < 0$,则该元件就是电源,发出功率,如图 1.1.4 所示。同理可知,当电压、电流设为非关联参考方向时,用 $P = -UI$ 计算,若 $P = -UI > 0$,则说明该元件为负载,吸收功率;若 $P = -UI < 0$,则说明该元件就是电源,发出功率,如图 1.1.5 所示。总之,关联参考方向时 $P = UI$,非关联参考方向时 $P = -UI$,都是把元件当成负载来对待的,计算出的数值均为二端元件吸收的功率值,求出 $P > 0$ 则为真正的负载,求出 $P < 0$ 则实际为电源。

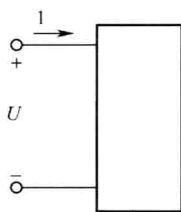


图 1.1.4 关联参考方向

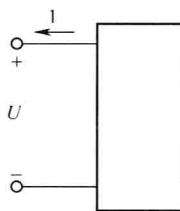


图 1.1.5 非关联参考方向

【例 1.1.1】 已知图 1.1.4 中, $U=10\text{V}$, $I=-2\text{A}$, 求该元件吸收的功率, 并判别它是电源还是负载。

解: 因为 UI 是关联参考方向, $P=UI=10\times(-2)\text{W}=-20\text{W}<0$, 所以该元件为电源。它吸收的功率为 -20W (实际上发出功率 20W)。

【例 1.1.2】 在图 1.1.5 电路中, 元件发出的功率是 10W , 电压 $U=-5\text{V}$, 求电流 I 。

解: 首先把元件当成负载对待, 它吸收的功率为 $P=-10\text{W}$, 因为 UI 是非关联参考方向, $P=-UI$, 则

$$I = \frac{P}{-U} = \frac{-10}{-(-5)}\text{A} = -2\text{A}$$

各种电气设备的电压、电流和功率都有一个额定值 (rated value), 它是制造厂为了使产品能够在给定的工作条件下正常运行而规定的允许值。电压、电流、功率的额定值用 U_N 、 I_N 、 P_N 表示。但是电气设备实际上并不一定总是工作在额定状态下。

【例 1.1.3】 有一个额定功率 1W , 阻值为 100Ω 的电阻器, 它的额定电流是多少? 在使用时通入的电流为 500mA , 是否超出额定值, 是否安全?

解:

$$P_N = I_N^2 R$$

$$I_N = \sqrt{\frac{P_N}{R}} = \sqrt{\frac{1}{100}}\text{A} = 0.1\text{A} = 100\text{mA}$$

电阻器的额定电流为 100mA , 若通入 500mA 电流, 超出了额定值, 不能安全使用。

【例 1.1.4】 图 1.1.3 电路中, 已知 $U=10\text{V}$, $R_0=1\Omega$, $R_L=9\Omega$, 求各元件的功率, 并验证功率平衡关系。

解:

$$I = \frac{U}{R_0 + R_L} = \frac{10}{1+9}\text{A} = 1\text{A}$$

R_L 吸收的功率为

$$P_{R_L} = I^2 R_L = 1^2 \times 9\text{W} = 9\text{W}$$

R_0 吸收的功率为

$$P_{R_0} = I^2 R_0 = 1^2 \times 1\text{W} = 1\text{W}$$

电源 U 吸收的功率为

$$P_U = -UI \text{ (非关联参考方向)} = -10 \times 1\text{W} = -10\text{W} \text{ (实际发出功率 } 10\text{W)}$$

$$\Sigma P = P_{R_L} + P_{R_0} + P_U = [9 + 1 + (-10)]\text{W} = 0\text{W}$$

所以功率平衡。

1.2 电压源与电流源

电源是电路中提供能量的装置或元件。常用的直流电源有干电池、蓄电池、光电池、直流发电机、直流稳压电源等。常用的交流电源有交流发电机、交流稳压电源以及能够产生多种波形和信号的函数发生器等。实际电源是由理想电压源或理想电流源与相关联的元件组合而成的。

1. 电压源

理想电压源是一个理想的二端电路元件,它的端电压为 $u(t) = u_s(t)$, 式中 $u_s(t)$ 为给定的时间函数或为定值,与通过元件的电流无关,而电流的大小则由外电路决定。理想直流电压源的符号、电路和外特性曲线如图 1.2.1 所示。由外特性曲线可见,无论电流 I 为何值,输出电压 $U \equiv E$ 。

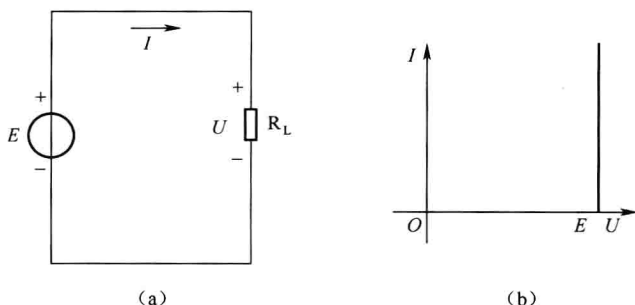


图 1.2.1 理想电压源电路及外特性曲线

(a)理想电压源电路;(b)理想电压源的外特性。

实际电压源是电动势 E 和内电阻 R_0 的串联组合,它的电路和外特性如图 1.2.2 所示。电压源的外特性即端口上的伏安关系为

$$U = E - IR_0 \text{ 或 } I = -\frac{U}{R_0} + \frac{E}{R_0} \quad (1-2-1)$$

从外特性可以看出,由于有内电阻 R_0 ,随着输出电流增大,输出电压下降。曲线的斜率与 R_0 有关, R_0 愈小,曲线与电流轴的交点 B 离原点 O 愈远, $R_0 = 0$ 时,曲线与 I 轴平行,即为理想电压源的特性,可见,理想电压源就是实际电压源在 $R_0 = 0$ 时的特例。

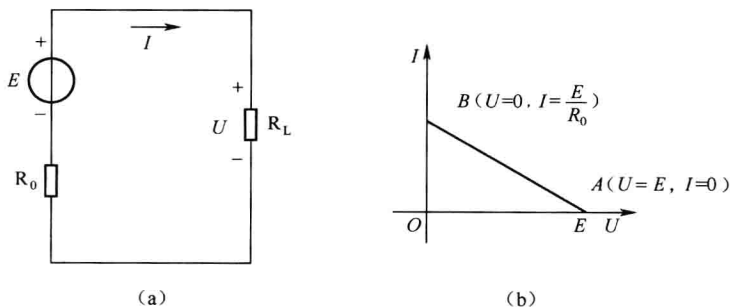


图 1.2.2 实际电压源电路及外特性曲线

(a)电压源电路;(b)电压源的外特性。

【例 1.2.1】 如图 1.2.2(a)所示,已知 $E=12\text{V}$, $R_0=2\Omega$ 。求该电压源的开路电压 U_{OC} 和短路电流 I_{SC} ,并绘出伏安特性曲线。

解: 开路电压即为电源电动势 $U_{OC}=E=12\text{V}$, 短路电流 $I_{SC}=\frac{E}{R_0}=\frac{12}{2}\text{A}=6\text{A}$ 。

伏安特性曲线如图 1.2.3 所示。

2. 电流源

与理想电压源对应,理想电流源是一个理想的二端电路元件,它发出的电流 $i(t)=i_S(t)$, 式中 $i_S(t)$ 为给定的时间函数或为定值,与它两端的电压无关,而电压的大小则由外电路决定。理想直流电流源的符号、电路和外特性曲线如图 1.2.4 所示。由外特性曲线可见,无论电压 U 为何值,输出电流 $I \equiv I_S$ 。

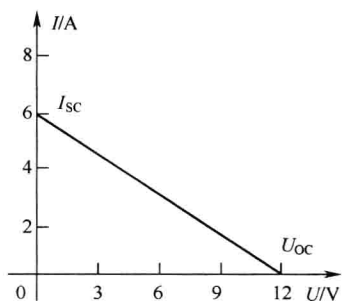


图 1.2.3 例 1.2.1 的伏安特性曲线

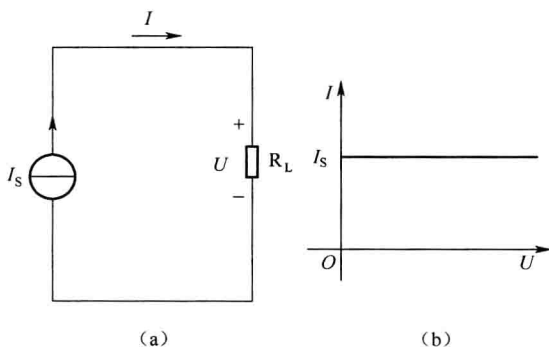


图 1.2.4 理想电流源电路及外特性曲线

(a)理想电流源电路;(b)理想电流源的外特性。

实际电流源是电流 I_S 和内电阻 R_0 的并联组合,它的电路和外特性如图 1.2.5 所示。电流源的外特性即端口上的伏安关系为

$$I = I_S - \frac{U}{R_0} \quad (1-2-2)$$

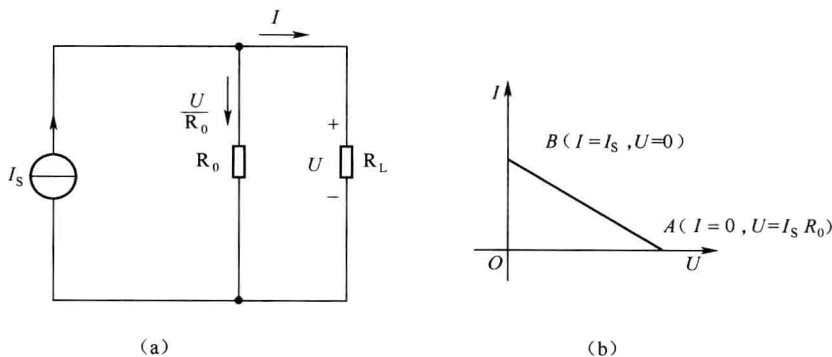


图 1.2.5 实际电流源电路及外特性曲线

(a)电流源电路;(b)电流源的外特性。

从外特性可以看出,由于有内电阻 R_0 ,随着输出电流的增大,输出电压下降。曲线的斜率与 R_0 有关, R_0 愈大,曲线与电压轴的交点 A 离原点 O 愈远, $R_0=\infty$ 时,曲线与 U 轴平行,即为

理想电流源的特性,可见,理想电流源就是实际电流源在 $R_0 = \infty$ 时的特例。

【例 1.2.2】如图 1.2.4 所示,已知 $I_S = 2\text{A}$,分别求 $R_L = 1\Omega$ 、 5Ω 、 10Ω 、 ∞ 时的电压 U 和理想电流源的输出功率 P 。

解: $R_L = 1\Omega$ 时, $U = I_S R_L = 2 \times 1 = 2(\text{V})$ 。

$P = -UI = -2 \times 2 = -4(\text{W})$ (电流源输出功率 4W)。

$R_L = 5\Omega$ 时, $U = I_S R_L = 2 \times 5 = 10(\text{V})$ 。

$P = -UI = -2 \times 10 = -20(\text{W})$ (电流源输出功率 20W)。

$R_L = 10\Omega$ 时, $U = I_S R_L = 2 \times 10 = 20(\text{V})$ 。

$P = -UI = -2 \times 20 = -40(\text{W})$ (电流源输出功率 40W)。

$R_L = \infty$ 时, $U = I_S R_L = 2 \times \infty = \infty$ 。

$P = -UI = -2 \times \infty = -\infty$ (电流源输出功率无穷大)。

可见,理想电流源的输出电压随负载的增大而增大。 R_L 吸收的功率就是电流源发出的功率,当负载 $R_L = \infty$ (开路) 时,输出功率为 ∞ 。理想电流源和理想电压源是无穷大功率源,实际上是不存在的。

人们实际接触到的电源,与电压源接近得比较多。例如,直流稳压电源在一定输出电流时,输出电压比较稳定,接近于理想电压源。新出厂的干电池内电阻很小,在一定范围内电流变化时输出电压变化不大,但使用一段时间以后内部化学反应使得内电阻增大,当输出电流增大时,输出电压就会下降。现在使用的半导体光电池在光照一定的情况下,产生的电流基本一定,但由于半导体材料本身就有导电性,所以自成回路,就与电流模型很接近了。

1.3 电阻元件与欧姆定律

1. 电阻的分类

一般遵从欧姆定律的电阻,是最常用的电阻元件之一,在此基础上要对其概念进行扩展。电阻元件的一般定义:如果一个二端元件在任意时刻的伏安关系可以由 $U-I$ 平面上的一条(特性)曲线确定,则此二端元件称为二端电阻元件。

根据电阻的特性曲线(按关联参考方向绘制)可以分为四类,如图 1.3.1 所示。

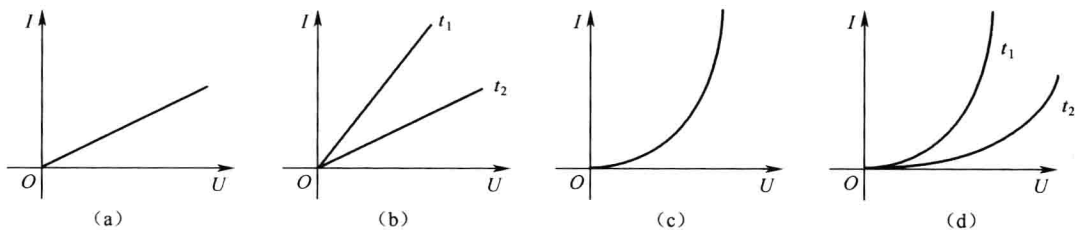


图 1.3.1 电阻的特性曲线

(a)线性时不变电阻;(b)线性时变电阻;(c)非线性时不变电阻;(d)非线性时变电阻。

图 1.3.1(a)、(b)为线性电阻的特性,图 1.3.1(c)、(d)为非线性电阻的特性曲线。图 1.3.1