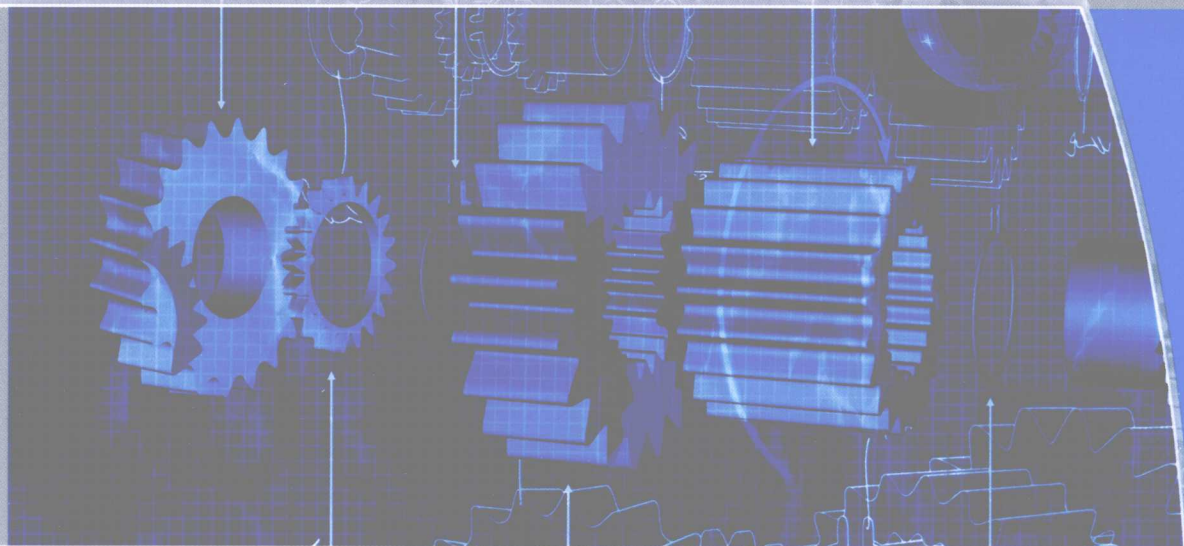




高等职业教育“十一五”规划教材



设备控制技术

周永金 主编



科学出版社
www.sciencep.com



免费提供电子课件

高等职业教育“十一五”规划教材

设备控制技术

周永金 主编

张俊勇 王朱劳 副主编

刘绪民 主审

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书由直流电路、交流电路、变压器与电动机、供电及安全用电、模拟电子电路、数字电子电路、继电-接触控制线路、PLC 及其应用、液压与气动传动等 9 章内容组成。

全书内容浅显易懂,取材丰富,适用于高等职业院校的工科非电类专业教学,对相关专业的技术人员也具有一定参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

设备控制技术/周永金主编. —北京:科学出版社, 2009

(高等职业教育“十一五”规划教材)

ISBN 978-7-03-024031-6

I. 设… II. 周… III. 机械设备-控制系统-高等学校:技术学校-教材
IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 020658 号

责任编辑:李太铨 赵丽欣 / 责任校对:耿 耘
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009 年 3 月第一次印刷 印张:24

印数:1—3 000 字数:550 000

定价:33.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62138220

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

本书是在深入开展课程改革和细致研究课程整合的情况下,为适应现代高等职业技术教育而编写的工科非电类专业通用教材。

在编写过程中,我们充分研究了国家对职业技术人才的需求情况和高等职业技术学院学生的特点、知识结构以及教学规律、培养目标等,以理论知识够用、重视实践能力养成、快速培养急需人才为编写目标,努力使教材符合理论教学的需要。

本教材具有以下特点:

- 1) 将多门课程进行整合,为课程改革提供了一个良好的平台。
- 2) 降低了理论分析的难度,注重理论分析结果的应用。
- 3) 每章后均有章后小结,以利于复习。
- 4) 章后习题形式多样,并给出了部分计算题的参考答案,以方便教学。

本书建议课时为 100 (含实验课时) 课时,分两个学期讲授。使用过程中也可以根据不同专业、不同学制适当调节教学进度和教学内容。

参加本教材编写的有周永金(第 1、4 章),邱燕(第 2 章),张俊勇(第 3 章),王月爱(第 5 章),陈莉(第 6 章),王朱劳(第 7 章),沈博(第 8 章),姜鑫(第 9 章)。全书由周永金负责统稿,刘绪民担任主审。

为方便教学,本书配有免费电子课件,读者可以到 www.abook.cn 搜索并下载。

由于编者水平有限,书中定有不妥和错误之处,恳切希望使用该书的师生批评指正。

编 者

目 录

第1章 直流电路	1
1.1 电路的组成及基本物理量	1
1.1.1 电路的组成	1
1.1.2 基本物理量	2
1.2 电路的基本元件	5
1.2.1 电阻元件	5
1.2.2 电压源	6
1.2.3 电流源	7
1.3 基尔霍夫定律及其应用	8
1.3.1 名词解释	8
1.3.2 基尔霍夫电流定律	8
1.3.3 基尔霍夫电压定律	9
1.3.4 基尔霍夫定律的应用——支路电流法	11
1.4 二端网络的等效	12
1.4.1 二端网络等效的概念	12
1.4.2 电阻的串并联及分压、分流公式	13
1.4.3 实际电压源与实际电流源的等效变换	15
1.5 叠加定理与戴维南定理	17
1.5.1 叠加定理	17
1.5.2 戴维南定理	18
本章小结	19
习题	20
第2章 交流电路	26
2.1 正弦交流电的基本概念	26
2.1.1 交流电的函数表示及波形图	26
2.1.2 交流电的参数	27
2.1.3 交流电的相量表示法	31
2.2 单一参数交流电路的分析	32
2.2.1 纯电阻电路	32
2.2.2 纯电感电路	34
2.2.3 纯电容电路	37
2.3 简单交流电路的分析	39
2.3.1 RLC 串联电路的分析	39

2.3.2 感性负载与电容器的并联	43
2.4 三相交流电路分析	45
2.4.1 三相交流电的概念	45
2.4.2 三相负载的星形连接	47
2.4.3 三相负载的三角形连接	48
本章小结	50
习题	51
第3章 变压器与电动机	53
3.1 变压器的结构与工作原理	53
3.1.1 变压器的基本结构	53
3.1.2 单相变压器工作原理	54
3.2 常用变压器	59
3.2.1 三相变压器	59
3.2.2 自耦变压器	60
3.2.3 电焊变压器	61
3.3 三相异步电动机	62
3.3.1 三相异步电动机的结构	62
3.3.2 三相异步电动机的工作原理	64
3.3.3 三相异步电动机的机械特性	66
3.5.4 三相异步电动机的使用与维护	68
3.4 单相异步电动机	71
3.4.1 电容列相式单相异步电动机	71
3.4.2 罩极式单相异步电动机	72
3.5 直流电动机	73
3.5.1 直流电动机的结构	73
3.5.2 直流电动机的工作原理	74
3.5.3 直流电动机的分类	76
3.5.4 直流电动机的使用	77
本章小结	80
习题	81
第4章 供电及安全用电	83
4.1 发电、供电与配电	83
4.1.1 发电	83
4.1.2 电力网	83
4.1.3 工厂供电	83
4.2 安全用电	85
4.2.1 触电及其防护	85
4.2.2 防止触电的技术措施	87

4.2.3 电气设备的保护措施	88
4.3 节约用电	89
4.3.1 节约用电的意义	89
4.3.2 节约电能的一般措施	89
习题	90
第5章 模拟电子电路	92
5.1 晶体二极管	92
5.1.1 半导体的基本知识	92
5.1.2 PN结	94
5.1.3 晶体二极管	95
5.2 晶体三极管	97
5.2.1 晶体三极管的结构	97
5.2.2 晶体三极管的特性	99
5.2.3 晶体三极管的主要参数	101
5.3 基本共发射极放大电路	102
5.3.1 基本共发射极放大电路的结构	102
5.3.2 基本共发射极放大电路的工作原理	102
5.3.3 基本共发射极放大电路的分析	104
5.4 负反馈放大电路	108
5.4.1 温度对静态工作点的影响	108
5.4.2 分压式电流负反馈偏置电路	108
5.4.3 负反馈的基本概念	113
5.4.4 共集电极放大电路及其分析	118
5.5 集成运算放大电路及其应用	119
5.5.1 集成运算放大电路的性能、特点及参数	119
5.5.2 集成运算放大电路的应用	122
5.6 直流稳压电源	126
5.6.1 整流电路	127
5.6.2 滤波电路	130
5.6.3 稳压电路	133
本章小结	135
习题	137
第6章 数字电子电路	143
6.1 数字电路基础	143
6.1.1 脉冲的概念及主要参数	143
6.1.2 数制与代码	144
6.1.3 逻辑代数	146

6.2 门电路	147
6.2.1 与门电路	147
6.2.2 或门电路	147
6.2.3 非门电路	148
6.2.4 复合逻辑	149
6.3 触发器	150
6.3.1 RS 触发器	150
6.3.2 JK 触发器	153
6.3.3 D 触发器	154
6.3.4 T 触发器	155
6.4 计数器	155
6.4.1 二进制计数器	155
6.4.2 十进制计数器	157
6.5 寄存器	158
6.5.1 数码寄存器	158
6.5.2 移位寄存器	160
6.6 译码器	161
6.6.1 通用译码器	161
6.6.2 十进制显示译码器	163
6.7 A/D 转换与 D/A 转换	164
6.7.1 A/D 转换电路	165
6.7.2 D/A 转换电路	168
本章小结	170
习题	170
第7章 继电-接触控制线路	172
7.1 常用低压电器	172
7.1.1 低压控制电器	172
7.1.2 低压保护电器	180
7.2 三相异步电动机常见控制线路	183
7.2.1 三相异步电动机的启动控制线路	183
7.2.2 三相异步电动机的运行控制线路	186
7.2.3 三相异步电动机的制动控制线路	190
7.2.4 电气控制的保护环节	192
7.3 直流电动机常见控制线路	195
7.3.1 直流电动机的起动控制线路	195
7.3.2 直流电动机的正反转控制线路	197
7.3.3 直流电动机的制动控制线路	198
7.3.4 直流电动机的调速控制线路	200

本章小结	202
习题	202
第 8 章 PLC 及其应用	204
8.1 PLC 的产生和特点及其发展趋势	204
8.1.1 PLC 的产生和特点	204
8.1.2 PLC 的发展趋势	205
8.2 PLC 的组成及基本工作原理	206
8.2.1 PLC 的组成及各部分的作用	206
8.2.2 PLC 的基本工作原理	209
8.2.3 PLC 通信功能简介	210
8.2.4 PLC 常见技术性能指标	210
8.2.5 PLC 继电器控制系统的区别	212
8.3 PLC 的编程语言及指令系统	212
8.3.1 PLC 的编程元件	213
8.3.2 PLC 的指令	214
8.3.3 梯形图的编程规则	226
8.4 PLC 的应用	227
8.4.1 应用范围	227
8.4.2 应用设计步骤	227
8.4.3 代替继电器控制	229
8.4.4 顺序控制	232
8.4.5 应用系统设计实例	233
本章小结	236
习题	236
第 9 章 液压与气压传动	238
9.1 液压与气压传动简介	238
9.1.1 液压与气动系统的主要工作原理	238
9.1.2 液压与气动系统的组成	240
9.1.3 液压传动系统图的图形符号	241
9.1.4 液压传动系统的优缺点	241
9.1.5 液压技术的发展及应用	242
9.2 液压油与流体传动基本理论	243
9.2.1 液压油的种类和用途	243
9.2.2 液压油的主要性质	243
9.2.3 液压油的基本要求及选用原则	246
9.2.4 液体静力学	246
9.2.5 液体动力学	250
9.2.6 液体流动时的压力损失	255

9.2.7	小孔及间隙流量	257
9.2.8	液压冲击及空穴现象	258
9.3	液压工作元件	259
9.3.1	液压动力元件	259
9.3.2	液压执行元件	273
9.3.3	液压控制元件	281
9.3.4	液压辅助装置	306
9.4	液压基本回路	325
9.4.1	方向控制回路	325
9.4.2	压力控制回路	326
9.4.3	速度控制回路	331
9.4.4	多缸动作控制回路	337
9.5	典型液压工作系统	339
9.5.1	组合机床动力滑台液压系统	339
9.5.2	汽车起重机液压系统	343
9.5.3	XS-ZY-250A 型注塑机液压系统	345
9.6	气压传动技术基础	349
9.6.1	气压传动系统的组成和工作原理	349
9.6.2	气源装置和辅助元件	351
9.6.3	气动执行元件	357
9.6.4	气动控制元件	361
9.6.5	常见的几种气动回路	368
	本章小结	370
	习题	370
	主要参考文献	374

电路是各种电气元件按一定的方式连接起来的总体，在人们的日常生活和生产实践中，电路无处不在，从电视机、电冰箱、计算机到自动化生产线，都体现了电路的存在。

第1章 直流电路

电路是各种电气元件按一定的方式连接起来的总体，在人们的日常生活和生产实践中，电路无处不在，从电视机、电冰箱、计算机到自动化生产线，都体现了电路的存在。

(A) 电路是各种电气元件按一定的方式连接起来的总体，在人们的日常生活和生产实践中，电路无处不在，从电视机、电冰箱、计算机到自动化生产线，都体现了电路的存在。

电路是各种电气元件按一定的方式连接起来的总体，在人们的日常生活和生产实践中，电路无处不在，从电视机、电冰箱、计算机到自动化生产线，都体现了电路的存在。

电路是各种电气元件按一定的方式连接起来的总体，在人们的日常生活和生产实践中，电路无处不在，从电视机、电冰箱、计算机到自动化生产线，都体现了电路的存在。

电路是各种电气元件按一定的方式连接起来的总体，在人们的日常生活和生产实践中，电路无处不在，从电视机、电冰箱、计算机到自动化生产线，都体现了电路的存在。

电路是各种电气元件按一定的方式连接起来的总体，在人们的日常生活和生产实践中，电路无处不在，从电视机、电冰箱、计算机到自动化生产线，都体现了电路的存在。

最简单的电路实例是图 1-1 所示的手电筒电路：用导线将电池、开关、白炽灯顺次连接起来，为电流流通提供了路径。电路一般由三部分组成：一是提供电能的部分称为电源；二是消耗或转换电能的部分称为负载；三是联接及控制电源和负载的部分（如导线、开关等）称为中间环节。

一个实际的元件，在电路中工作时，所表现的物理特性不是单一的。例如，一个实际的线绕电阻，当有电流通过时，除了对电流呈现阻碍作用之外，还在导线的周围产生磁场，因而兼有电感器的性质，同时还会在各匝线圈间存在电场，因而又兼有电容器的性质，所以，直接对由实际元件和设备构成的电路进行分析和研究往往很困难，有时甚至不可能。

为了便于对电路进行分析和计算，我们常把实际元件近似化、理想化，即在一定条件下忽略其次要性质，用足以表征其主要特征的理想元件（模型）来表示。例如，“电阻元件”就是电阻器、电烙铁、电炉等实际电路元器件的理想元件，因为在低频电路中，这些实际元器件所表现的主要特征是把电能转化为热能，而用“电阻元件”这样一个理想元件正是用来反映消耗电能的主要特征。同样，在一定条件下，“电感元件”是线圈的理想元件，“电容元件”是电容器的理想元件。

由理想元件构成的电路，称为实际电路的“电路模型”。图 1-2 是图 1-1 所示实际电路的电路模型。

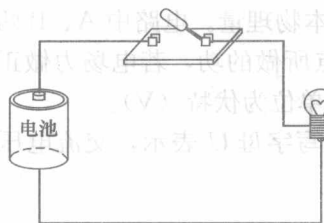


图 1-1 手电筒电路

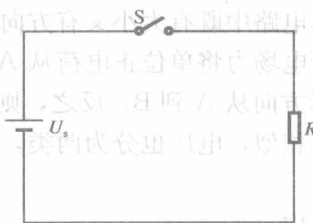


图 1-2 电路模型

1.1.2 基本物理量

研究电路的基本规律, 首先应掌握电路中的基本物理量: 电流、电压和电功率。

1. 电流

电流是电路中既有大小又有方向的基本物理量, 其定义为在单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流的大小即电流强度, 简称电流, 其单位为安培 (A)。

电流主要分为两类: 一类为大小和方向均不随时间变化的电流为恒定电流, 简称直流 (简写 DC), 用大写字母 I 表示; 另一类为大小和方向均随时间变化的电流为变化电流, 用小写字母 i 或 $i(t)$ 表示, 其中一个周期内电流的平均值为零的变动电流称为交变电流, 简称交流 (简写 AC), 也用 i 表示。

几种常见的电流波形如图 1-3 所示, 图 1-3 中 (a) 为直流, (b)、(c) 为交流。

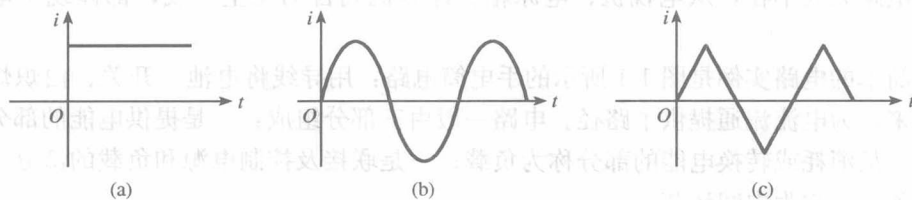


图 1-3 常见的电流波形

电流的实际方向规定为正电荷运动的方向。

在分析电路时, 对复杂电路由于无法确定电流的实际方向, 或电流的实际方向在不断的变化, 所以我们引入了“参考方向”的概念。



图 1-4 参考方向

参考方向是一个假想的电流方向。在分析电路前, 须先任意规定未知电流的参考方向, 并用实线箭头标于电路图上, 如图 1-4 所示, 图中方框表示二端元件。特别注意: 图中实线箭头和电流符号 i 缺一不可。

若计算结果 (或已知) $i > 0$, 则电流的实际方向与电流的参考方向一致; 若 $i < 0$, 则电流的实际方向和电流的参考方向相反。这样, 我们就可以在选定的参考方向下, 根据电流的正负来确定出某一时刻电流的实际方向。

2. 电压、电位

(1) 电压

电压是电路中既有大小又有方向 (极性) 的基本物理量。电路中 A、B 两点间电压的大小等于电场力将单位正电荷从 A 点移动到 B 点所做的功, 若电场力做正功, 则电压 u 的实际方向从 A 到 B; 反之, 则相反。电压的单位为伏特 (V)。

与电流相似, 电压也分为两类, 直流电压用大写字母 U 表示, 交流电压用小写字母 u 表示。

(2) 电位

在电路中任选一点为电位参考点, 则某点到参考点的电压就称为这一点 (相对于参

考点) 的电位。如 A 点的电位记作 V_A 。当选择 O 点为参考点时, 有

$$V_A = U_{AO} \quad (1-1-1)$$

电压是针对电路中某两点而言的, 与路径无关, 所以有

$$U_{AB} = U_{AO} - U_{BO} = V_A - V_B \quad (1-1-2)$$

这样, A、B 两点间的电压, 就等于该两点电位之差, 所以, 电压又称电位差。引入电位的概念之后, 电压的实际方向是由高电位点指向低电位点。

在分析电路时, 也须对未知电压任意规定电压“参考方向”, 其标注方法如图 1-5 所示。其中, 图 1-5 (a) 所示的标注方法中, 参考方向是由 A 点指向 B 点; 图 1-5 (b) 所示的标注方法, 即参考极性标注法中, “+”号表示参考高电位端 (正极), “-”号表示参考低电位端 (负极); 图 1-5 (c) 没有标注参考方向。特别注意: 在标注参考方向时, 常用图 1-5 (b) 的标注方法。

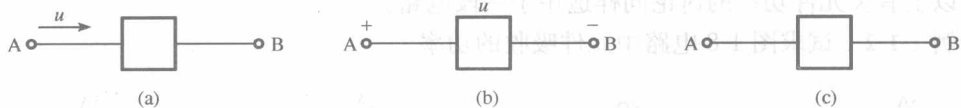


图 1-5 标注方法

选定参考方向后, 才能对电路进行分析计算。当 $u > 0$ 时, 该电压的实际方向与所标的参考方向相同; 当 $u < 0$ 时, 该电压的实际方向与所标的参考方向相反。

例 1-1-1 在图 1-6 所示的电路中, 方框泛指电路中的一般元件, 试分别指出图中各电压的实际极性。

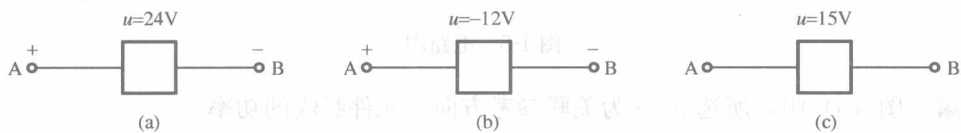


图 1-6 电路图

解 各电压的实际极性为

图 1-6 (a) 中, A 点为高电位, 因 $u = 24V > 0$, 所标参考极性与实际极性相同。

图 1-6 (b) 中, B 点为高电位, 因 $u = -12V < 0$, 所标参考极性与实际极性相反。

图 1-6 (c) 中, 不能确定, 虽然 $u = 15V > 0$, 但图中没有标出参考方向。

当元件上的电流参考方向是从电压的参考高电位指向参考低电位时, 称为关联参考方向, 反之称为非关联参考方向, 如图 1-7 所示。



(a) 关联参考方向 (b) 非关联参考方向

图 1-7 参考方向

3. 电功率

电功率是指单位时间内电路元件上能量的变化量。它是具有大小和正负值的物理量。电功率简称功率，其单位是瓦特（W）。

在电路分析中，通常用电流 i 与电压 u 的乘积来描述功率。

在 u 、 i 关联参考方向下，元件上吸收的功率为

$$p = ui \quad (1-1-3)$$

在 u 、 i 非关联参考方向下，元件上吸收的功率为

$$p = -ui \quad (1-1-4)$$

不论 u 、 i 是否是关联参考方向，若 $p > 0$ ，则该元件吸收（或消耗）功率；若 $p < 0$ ，则该元件发出（或供给）功率。

以上有关元件功率的讨论同样适用于一段电路。

例 1-1-2 试求图 1-8 电路中元件吸收的功率。

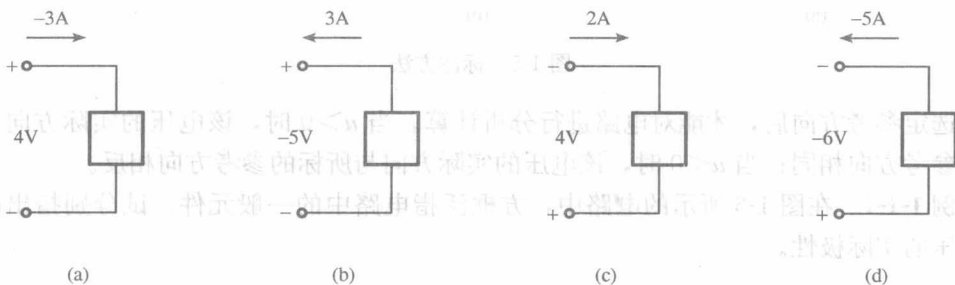


图 1-8 电路图

解 图 (a) 中，所选 u 、 i 为关联参考方向，元件吸收的功率

$$P = UI = 4 \times (-3) \text{ W} = -12 \text{ W}$$

此时元件吸收功率为 -12 W ，即发出的功率为 12 W 。

图 (b) 中，所选 u 、 i 为非关联参考方向，元件吸收的功率

$$P = -UI = -(-5) \times 3 \text{ W} = 15 \text{ W}$$

此时元件吸收的功率为 15 W 。

图 (c) 中，所选 u 、 i 为非关联参考方向，元件吸收的功率

$$P = -UI = -4 \times 2 \text{ W} = -8 \text{ W}$$

此时元件发出的功率为 8 W 。

图 (d) 中，所选 u 、 i 为关联参考方向，元件吸收的功率

$$P = UI = (-6) \times (-5) \text{ W} = 30 \text{ W}$$

此时元件吸收的功率为 30 W 。

以上所涉及的电压、电流和功率的单位都是国际单位制（SI）的主单位，在实际应用中，还有辅助单位。辅助单位的部分常用词头见表 1-1。

表 1-1 部分常用的 SI 词头

词头名称		符 号	因 数
中 文	英 文		
皮	pico	p	10^{-12}
微	micro	μ	10^{-6}
毫	milli	m	10^{-3}
千	kilo	k	10^3
兆	mega	M	10^6

1.2 电路的基本元件

1.2.1 电阻元件

1. 电阻和电阻元件

电荷在电场力作用下作定向运动时，通常要受到阻碍作用。电阻定义为物体对电流的阻碍作用，用符号 R 表示，其单位是欧姆 (Ω)。

电阻元件是对电流呈现阻碍作用的耗能元件的总称，如电炉、白炽灯、电阻器等。

2. 电导

电阻的倒数称为电导，电导是表征材料的导电能力的一个参数，用符号 G 表示。

$$G = 1/R \quad (1-2-1)$$

电导的单位是西门子 (S)，简称西。

3. 电阻元件上电压、电流关系

1827 年德国科学家欧姆总结出以下结论：施加于电阻元件上的电压与通过它的电流成正比。图 1-9 所示电路中， u 、 i 为关联参考方向，其伏安关系为

$$u = Ri \quad (1-2-2)$$

若 u 、 i 为非关联参考方向，则伏安关系为

$$u = -Ri \quad (1-2-3)$$



图 1-9 伏安关系

在任何时刻，两端电压与其电流的关系都服从欧姆定律的电阻元件称为线性电阻元件。线性电阻元件的伏安特性是一条通过坐标原点的直线 (R 是常数)，如图 1-10 所示。非线性电阻元件的伏安特性是一条曲线，如图 1-11 所示的曲线为二极管的伏安特性。

本书只介绍线性元件及含线性元件的电路，而为了方便，常将线性电阻元件简称为电阻，这样，“电阻”一词既代表电阻元件，也代表电阻参数。

电阻元件在电路中主要起两个作用：①限制电流；②分压、分流。

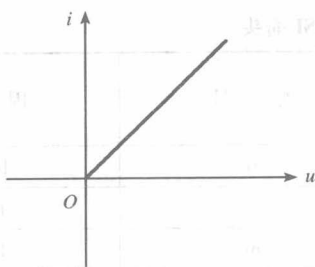


图 1-10 线性电阻元件的伏安特性

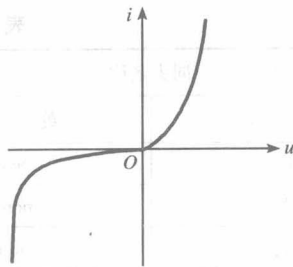


图 1-11 二极管的伏安特性

对于接在电路 a、b 两点间的电阻 R 而言, 若 $R=0$ 时, 称 a、b 两点短路; 若 $R \rightarrow \infty$ 时, 称 a、b 两点开路。

4. 电阻元件上的功率

若 u 、 i 为关联参考方向, 则电阻 R 上消耗的功率为

$$p = ui = (Ri)i = Ri^2 \quad (1-2-4)$$

若 u 、 i 为非关联参考方向, 则

$$p = -ui = -(-Ri)i = Ri^2 \quad (1-2-5)$$

可见, 总有 $p \geq 0$, 说明电阻总是消耗 (吸收) 功率, 与其上的电流、电压极性无关。

例 1-2-1 电路如图 1-9 所示, 已知电阻 R 吸收功率为 3W , $i = -1\text{A}$ 。求电压 u 及电阻 R 的值。

解 由于 u 、 i 为关联参考方向, 由式 (1-2-4), 得

$$\begin{aligned} p &= ui = u(-1)\text{W} = 3\text{W} \\ u &= -3\text{V} \end{aligned}$$

所以, u 的实际方向与参考方向相反。

因 $p = Ri^2$, 故

$$R = \frac{p}{i^2} = \frac{3}{(-1)^2} \Omega = 3\Omega$$

所谓额定功率是指电阻元件在一定环境温度下, 长期连续工作而不改变其性能的允许功率, 如 $1/4\text{W}$ 、 $1/8\text{W}$ 等。

1.2.2 电压源

电压源是实际电源 (如干电池、蓄电池等) 的一种抽象电路模型。本节内容仅涉及直流电压源 (恒压源), 其端电压用符号 U_s 表示。电压源的图形符号及其伏安特性曲线如图 1-12 所示, 其中图 (a) 中的 “+”、“-” 号是 U_s 的极性, 图 (b) 中的长线表示 “+” 极性, 短线表示 “-” 极性。

电压源具有如下两个特点:

- 它的端电压固定不变, 与外电路取用的电流 I 无关。

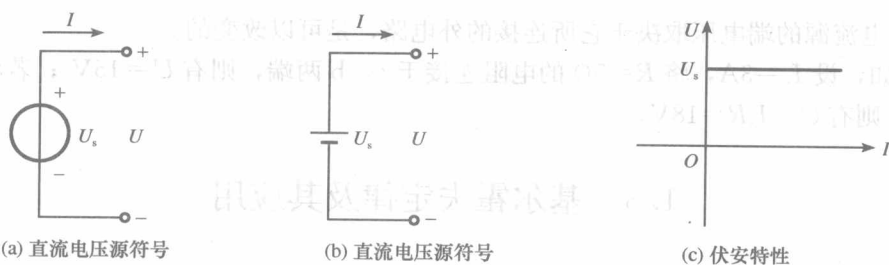


图 1-12 电压源

• 通过它的电流取决于它所连接的电压、外电路，是可以改变的。

电压源的连接如图 1-13 所示。图 1-13 说明：无论电源是否有电流输出， $U=U_s$ ，与 I 无关； I 的大小由 U_s 及外电路共同决定。

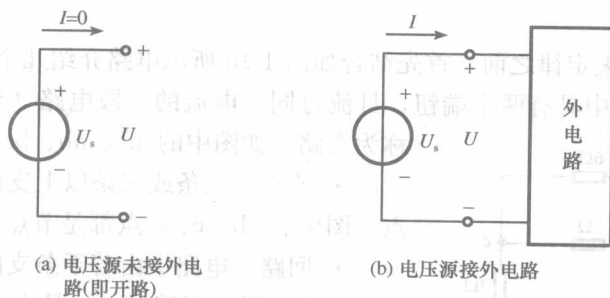


图 1-13 电压源的连接电路

例如，设 $U_s=5\text{V}$ ，将 $R=5\Omega$ 电阻连接于 a、b 两端，则有 $I=1\text{A}$ ；若将 R 改为 10Ω ，则有 $I=U_s/R=0.5\text{A}$ 。

1.2.3 电流源

电流源也是实际电源（如光电池）的一种抽象电路模型。本节内容仅涉及直流电流源（恒流源），其输出电流用符号 I_s 表示，电流源的图形符号及其伏安特性曲线如图 1-14 所示，箭头所指方向为 I_s 的方向。

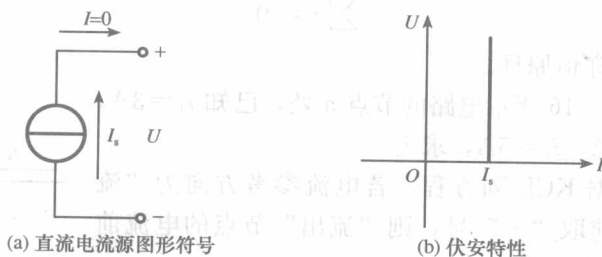


图 1-14 电流源

电流源具有如下两个特点：

- 电流源流出的电流 I 是恒定的，即 $I=I_s$ ，与其两端的电压 U 无关。