



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高职高专机电类专业规划教材

电工电子技术及应用

申凤琴◎主编

第2版

赠 电子教案

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高职高专机电类专业规划教材

电工电子技术及应用

第2版

主 编	申风琴			
参 编	张世忠	孟宪芳	杨 宏	
	唐伯蓉	田培成	张利玲	



机械工业出版社

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

上篇主要内容有：电路的基本概念和基本定律，简单电阻电路的分析，正弦交流电路，三相交流电路；磁路与变压器，直流电动机，异步电动机和特种电动机。

下篇主要内容有：常用半导体元器件，基本放大电路及运算放大器的应用，直流电源；数字电路基本知识，逻辑电路；晶闸管及其应用，交流调压和变频器简介。

本书第2版新增了相关实验，配有电子教案，习题形式多样，新增填空题和单项选择题，书后附有习题答案，供自学时参考。

本书集电工电子技术及应用于一体，可供高等职业教育机电技术应用专业、数控维修专业和机电类其他专业（多学时）使用，也可作为岗位培训教材。

图书在版编目（CIP）数据

电工电子技术及应用/申凤琴主编. —2版. —北京：机械工业出版社，2008.2

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高职高专机电类专业规划教材
ISBN 978-7-111-13691-0

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

中国版本图书馆CIP数据核字（2008）第005210号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

责任编辑：于宁 责任校对：张晓蓉

封面设计：陈沛 责任印制：杨曦

北京机工印刷厂印刷

2008年3月第2版第1次印刷

184mm×260mm·20印张·495千字

0 001—4 000册

标准书号：ISBN 978-7-111-13691-0

定价：30.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

销售服务热线电话：（010）68326294

购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：（010）88379758

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是在原高职高专规划教材《电工电子技术及应用》的基础上，根据实际使用效果进行了修订，已被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。可供高等职业教育机电技术应用专业、数控维修专业和机电类其他专业（多学时）使用。

本书第1版的结构是经过实际教学过程的反复提炼而设计的，循序渐进，符合学生的心理特征和认知规律。其主要特点是：

(1) 每章前有学习目标，章末有小结及习题，书后有习题答案，便于自学。

(2) 本着“必需、够用”的原则，侧重强调元器件的外特性，突出应用。

(3) 不拘形式，以知识面宽而浅且实用为宗旨，反映了日常生活、生产技术领域的新知识、新技术和新器件。

根据高等职业教育机电技术应用专业改革方案提出的构建综合课程的设想，特设计了《电工电子技术及应用》综合课，并配有《机电技术应用专业实训》，将传统教材《电工学》中的电动机控制部分并入《电器与PLC控制技术》，有利于加强应用型人才的培养。所以，本教材主要突出电路基础、变压器与异步电动机、电子技术、电力电子技术等知识的原理与应用。

第2版保留了原书的结构体系、突出特点和精华内容，难易程度符合目前高职高专的生源状况。习题形式多样，新增填空题和单项选择题，利于学生复习和教师出考题等。新增了相关实验，实验内容较好地把握了实验所需的时间和难易程度。

本书由申凤琴主编，编写了第一、十三、十四、十五章。参编张世忠编写了第二、三章；孟宪芳编写了第四、五章；杨宏编写了第六、七章；唐伯蓉编写了第八、九章；田培成编写了第十、十一、十二章；实验课题五~八由张利玲编写，其余实验内容由申凤琴编写。

为方便教学，本书备有免费电子课件，凡选用本书作为授课教材的学校，均可来电索取，咨询电话：010-88379375。

由于编者水平所限，书中难免存在错误与疏漏，敬请读者批评指正。电子邮箱地址：sfq116@126.com。

编 者

目 录

前言

上 篇

第一章 电路的基础知识	1
第一节 电路和电路模型	1
第二节 电路中的主要物理量	2
第三节 电路的基本元件	6
第四节 基尔霍夫定律	12
第五节 基尔霍夫定律的应用	15
第六节 简单电阻电路的分析方法	19
第七节 简单 RC 电路的过渡过程	25
本章小结	29
实验课题一 直流电路综合实验	30
思考题与习题	32
第二章 正弦交流电路	36
第一节 正弦量	36
第二节 交流电的有效值	39
第三节 正弦量的相量表示法	40
第四节 电阻元件的交流电路	45
第五节 电感元件的交流电路	47
第六节 电容元件的交流电路	49
第七节 相量形式的基尔霍夫定律	51
第八节 RLC 串联电路的相量分析	52
第九节 复阻抗的串联与并联	58
第十节 功率因数的提高	60
第十一节 串联谐振电路	62
本章小结	64
实验课题二 正弦交流电路相量的研究	66
思考题与习题	68
第三章 三相交流电路	71
第一节 对称三相正弦量	71
第二节 三相电源和负载的连接	72
第三节 三相电路的计算	76
第四节 对称三相电路的功率	79
本章小结	80
实验课题三 三相电路电压、电流的 测量	81

思考题与习题	82
--------------	----

第四章 磁路与变压器	84
第一节 磁路的基本知识	84
第二节 单相变压器	87
第三节 三相变压器	91
第四节 自耦变压器	93
第五节 脉冲变压器	94
本章小结	95
思考题与习题	95
第五章 电动机	97
第一节 直流电动机	97
第二节 三相异步电动机	103
第三节 单相异步电动机	116
第四节 特种电动机	119
本章小结	124
实验课题四 三相异步电动机实验	125
思考题与习题	127

下 篇

第六章 常用半导体元器件	129
第一节 半导体二极管	129
第二节 晶体管	132
第三节 场效应晶体管	137
本章小结	140
思考题与习题	140
第七章 基本放大电路	143
第一节 放大器的基本概念	143
第二节 晶体管基本放大电路	145
第三节 场效应晶体管放大电路	153
第四节 多级放大器	155
第五节 功率放大器	157
第六节 差动放大器	159
本章小结	161
实验课题五 单管共射放大电路实验	162
思考题与习题	164
第八章 运算放大器及其应用	168
第一节 集成运算放大器	168

第二节 负反馈放大器	171	第十三章 晶闸管及其应用	256
第三节 运算放大器的应用	176	第一节 晶闸管	256
本章小结	181	第二节 单相可控整流电路	260
实验课题六 运算放大器的线性应用	182	第三节 单结晶体管触发电路	262
思考题与习题	184	第四节 三相可控整流电路	265
第九章 直流电源	187	第五节 有源逆变电路	272
第一节 整流电路	187	本章小结	275
第二节 滤波电路	190	实验课题九 单相半控桥可控整流电路	277
第三节 稳压电路	193	思考题与习题	279
本章小结	196	第十四章 双向晶闸管及其应用	282
思考题与习题	197	第一节 双向晶闸管	282
第十章 数字电路基本知识	199	第二节 单相交流调压电路	283
第一节 概述	199	第三节 晶闸管交流开关	286
第二节 数制和码制	200	本章小结	289
第三节 基本逻辑门	203	实验课题十 单相交流调压电路	290
第四节 集成逻辑门电路	207	思考题与习题	291
本章小结	213	第十五章 全控型电力电子器件及其	
实验课题七 集成门电路	214	应用	293
思考题与习题	217	第一节 全控型电力电子器件	293
第十一章 组合逻辑电路	220	第二节 变频器的基本概念	296
第一节 组合逻辑电路的分析方法	220	第三节 脉宽调制型变频器	299
第二节 常用的集成组合逻辑电路	221	第四节 直流斩波	302
本章小结	232	本章小结	304
思考题与习题	233	思考题与习题	305
第十二章 时序逻辑电路	234	附录	306
第一节 触发器	234	附录 A 常用阻容元件的标称值	306
第二节 计数器	241	附录 B 国产部分检波与整流二极	
第三节 寄存器	248	管主要参数	307
本章小结	250	附录 C 国产部分硅稳压管主要参数	308
实验课题八 计数器的应用	251	思考题与习题答案	309
思考题与习题	253	参考文献	314

上 篇

第一章 电路的基础知识

【学习目标】

通过本章学习，你应达到：

- (1) 掌握电压、电流的参考方向及功率的计算方法。
- (2) 掌握电阻元件、电容元件、电感元件及其伏安特性。
- (3) 理解电压源、电流源的概念及其伏安特性。
- (4) 理解等效的概念，掌握电阻的串、并联及简单的混联电路。
- (5) 掌握基尔霍夫定律及其应用，掌握电位的计算方法。
- (6) 掌握戴维南定律，理解叠加定律。
- (7) 理解 RC 的充放电过程。

第一节 电路和电路模型

一、电路的组成

电路是各种电气元器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 1-1a 所示的手电筒电路：用导线将电池、开关、白炽灯连接起来，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；三是连接及控制电源和负载的部分如导线、开关等称为中间环节。

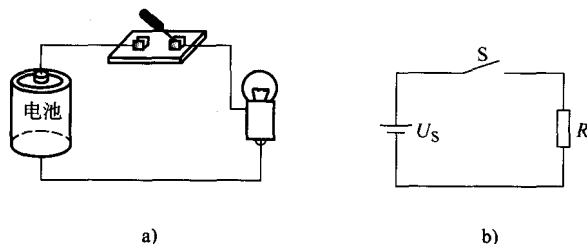


图 1-1 简单电路实例及其电路模型

二、电路模型

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，我们常把实际元件加以近似化、理想化，在一定条件下忽略其次要性质，用足以表征其主要特征的“模型”来表示，即用理想元件来表示。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，即模型。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。用“电阻元件”这样一个理想元件来反映消耗电能的特征。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 1-1b 是图 1-1a 所示实际电路的电路模型。

第二节 电路中的主要物理量

研究电路的基本规律，首先应掌握电路中的主要物理量：电流、电压和功率。

一、电流及其参考方向

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，叫做恒定电流，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，叫做可变电流，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化电流称为交变电流，简称交流（简写 AC），也用 i 表示。

几种常见的电流波形如图 1-2 所示，图 1-2a 为直流，图 1-2b、c 为交流。

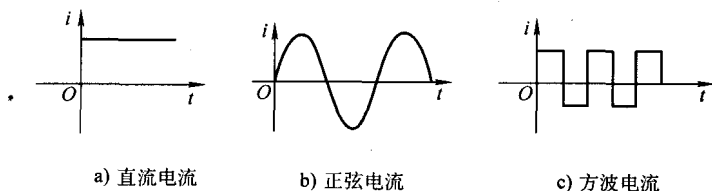


图 1-2 几种常见的电流波形

对于直流，若在一定时间 t 内通过导体横截面的电荷量为 Q ，则电流为

$$I = \frac{Q}{t}$$

对于交流，若在一定时间 Δt 内通过导体横截面的电荷量为 ΔQ ，则电流瞬时值为

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt}$$

即

$$i = \frac{dQ}{dt} \tag{1-1}$$

电流常用单位有安培（A）、千安（kA）、毫安（mA）和微安（ μA ）。

$$1\text{kA} = 10^3\text{A} \quad 1\text{mA} = 10^{-3}\text{A} \quad 1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

电流的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地变化，所以引入了“参考方向”的概念。

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 1-3 所示，图中方框表示一般二端元件。特别注意：图中实线箭头和电流符号 i 缺一不可。

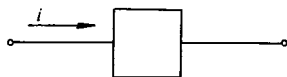


图 1-3 电流的参考方向

若计算结果（或已知） $i > 0$ ，则电流的实际方向与参考方向一致；若 $i < 0$ ，则电流的实际方向和参考方向相反。这样，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。

二、电压及其参考方向

(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。直流电压用大写字母 U 表示，交流电压用小写字母 u 表示。

对直流电路，若电场力将单位正电荷 q 从 A 点移动到 B 点所做的功为 W ，则 A、B 两点之间的电压为

$$U_{AB} = \frac{W}{q}$$

对交流电路，若电场力将正电荷 Δq 从 A 点移动到 B 点所做的功为 ΔW ，则 A、B 两点之间的电压为

$$u_{AB} = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta q} = \frac{dW}{dq}$$

即

$$u_{AB} = \frac{dW}{dq} \quad (1-2)$$

若电场力做正功，则电压 u 的实际方向为从 A 点到 B 点。

电压的单位为伏特（V），常用单位还有千伏（kV）和毫伏（mV）。

$$1\text{kV} = 10^3\text{V} \quad 1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$$

(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叫做这一点（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

$$V_A = U_{AO} \quad (1-3)$$

电压是针对电路中某两点而言的，与路径无关。所以有

$$U_{AB} = U_{AO} - U_{BO} = V_A - V_B \quad (1-4)$$

这样，A、B 两点间的电压就等于该两点电位之差。所以，电压又叫电位差。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 1-4 所示。其中，图 1-4b 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 1-4c 所示的标注方法中，参考方向是由 A 点指向 B 点。

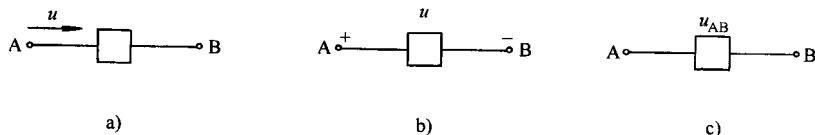


图 1-4 电压“参考方向”的几种标注方法

选定参考方向后，才能对电路进行分析计算。当 $u > 0$ 时，该电压的实际极性与所标的



参考极性相同；当 $u < 0$ 时，该电压的实际极性与所标的参考极性相反。

例 1-1 在如图 1-5 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。

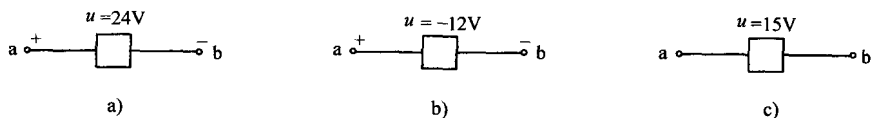


图 1-5 例 1-1 图

解 各电压的实际极性为

- (1) 图 1-5a, a 点为高电位，因 $u = 24V > 0$ ，所标参考极性与实际极性相同。
- (2) 图 1-5b, b 点为高电位，因 $u = -12V < 0$ ，所标参考极性与实际极性相反。
- (3) 图 1-5c, 不能确定，虽然 $u = 15V > 0$ ，但图中没有标出参考极性。

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 1-6 所示。

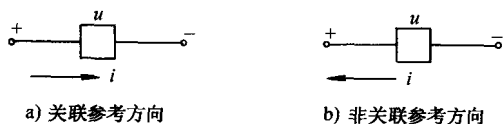


图 1-6 关联与非关联参考方向

(3) 电动势 电源内部的局外力（电源力）将正电荷由低电位移向高电位，使电源两端具有的电位差称为电动势，用符号 e （或 E ）表示。

如电池中的局外力是由电解液和金属极板间的化学作用产生的，发电机中的局外力是由电磁作用产生的。

电动势既有大小又有方向（极性）。电磁学中规定电动势的实际方向由低电位指向高电位。电动势和电压的参考方向如图 1-7 所示。

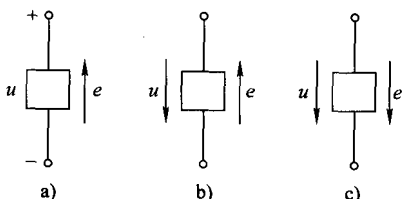


图 1-7 电动势和电压的参考方向

图 1-7a、b 中，
$$u = e \tag{1-5}$$

图 1-7c 中，
$$u = -e \tag{1-6}$$

三、电功率

电功率是指单位时间内，电路元件上能量的变化量。

对直流电路，
$$P = \frac{W}{t}$$

对交流电路，
$$p(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta w}{\Delta t} = \frac{dw}{dt}$$

即
$$p(t) = \frac{dw}{dt} \tag{1-7}$$

在电路中，电功率简称功率。它反映了电流通过电路时所传输或转换电能的速率。功率的单位是瓦特（W）。常用单位还有千瓦（kW）和毫瓦（mW）。

$$1\text{kW} = 10^3\text{W} \quad 1\text{mW} = 10^{-3}\text{W}$$

将式 (1-1)、式 (1-2) 代入式 (1-7) 得

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{udq}{dt} = ui$$

功率是具有大小和正负值的物理量。

在 u 、 i 关联参考方向下, 元件上吸收的功率定义为

$$p = ui \quad (1-8)$$

在 u 、 i 非关联参考方向下, 元件上吸收的功率为

$$p = -ui \quad (1-9)$$

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 1-2 试求如图 1-8 所示电路中元件吸收的功率。

解 (1) 图 1-8a, 所选 u 、 i 为关联参考方向, 元件吸收的功率为

$$p = ui = 4 \times (-3)\text{W} = -12\text{W}$$

此时元件吸收功率 -12W , 即发出的功率为 12W 。

(2) 图 1-8b, 所选 u 、 i 为非关联参考方向, 元件吸收的功率为

$$p = -ui = -(-5) \times 3\text{W} = 15\text{W}$$

此时元件吸收的功率为 15W 。

(3) 图 1-8c, 所选 u 、 i 为非关联参考方向, 元件吸收的功率为

$$p = -ui = -4 \times 2\text{W} = -8\text{W}$$

此时元件发出的功率为 8W 。

(4) 图 1-8d, 所选 u 、 i 为关联参考方向, 元件吸收的功率为

$$p = ui = (-6) \times (-5)\text{W} = 30\text{W}$$

此时元件吸收的功率为 30W 。

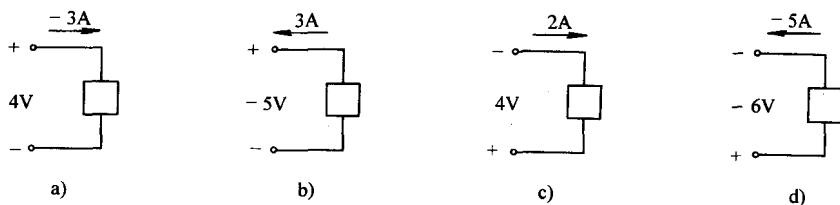


图 1-8 例 1-2 图

各种电气设备都有铭牌参数, 铭牌参数是用户安全使用电气设备的指南, 如额定电压、额定电流、额定功率等。超过额定电压有可能使绝缘损坏, 电压过低时功率不足 (如照明设备的亮度变暗), 超过额定功率或额定电流时, 会引起设备过热而损坏。

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

由表 1-1 可知, $p = 10^{-12}$, $m = 10^{-3}$, $M = 10^6$ 等。实际应用中, 注意单位的正确换算。例如, $5\text{mA} = 5 \times 10^{-3} \text{A}$, $8\text{MW} = 8 \times 10^6 \text{W}$ 。

第三节 电路的基本元件

二端元件是指只有两个端钮和外电路连接的元件。本节讨论电阻元件、电容元件、电感元件、电压源和电流源等二端元件。

一、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。物体对电流的阻碍作用, 称为该物体的电阻, 用符号 R 表示, 电阻的单位是欧姆 (Ω)。常用单位还有千欧 ($\text{k}\Omega$) 和兆欧 ($\text{M}\Omega$)。

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

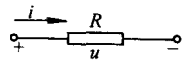
电阻的倒数称为电导, 是表征材料的导电能力的一个参数, 用符号 G 表示。

$$G = 1/R \quad (1-10)$$

电导的单位是西门子 (S), 简称西。

3. 电阻元件上电压、电流的关系

1827 年德国科学家欧姆总结出: 施加于电阻元件上的电压与通过它的电



流成正比。

如图 1-9 所示电路, u 、 i 为关联参考方向, 其伏安特性为

图 1-9 电阻元件的图形符号

$$u = Ri \quad (1-11)$$

u 、 i 为非关联参考方向时, 有

$$u = -Ri \quad (1-12)$$

4. 线性电阻和非线性电阻

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叫做线性电阻元件。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, 图 1-11 所示为二极管的伏安特性。

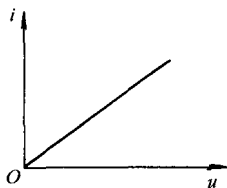


图 1-10 线性电阻元件的伏安特性

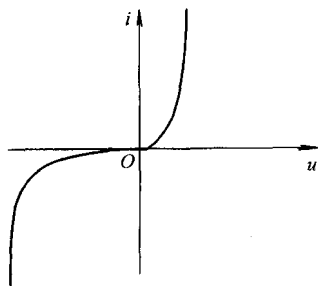


图 1-11 二极管的伏安特性

本书只介绍线性元件及含线性元件的电路。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。

对于接在电路 A、B 两端的电阻 R 而言，当 $R=0$ 时，称 A、B 两点短路；当 $R \rightarrow \infty$ 时，称 A、B 两点开路。

5. 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

$$p = ui = (Ri)i = Ri^2 \quad (1-13)$$

若 u 、 i 为非关联参考方向，则

$$p = -ui = -(-Ri)i = Ri^2$$

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

例 1-3 如图 1-9 所示电路中，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 (1-13) 得

$$p = ui = u \times (-1)\text{A} = 3\text{W}$$

$$u = -3\text{V}$$

所以， u 的实际方向与参考方向相反。

因 $p = Ri^2$ ，故

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

6. 电阻器的使用

电阻器的种类很多，按外形结构可分为固定式和可变式两大类，如图 1-12 所示。按制

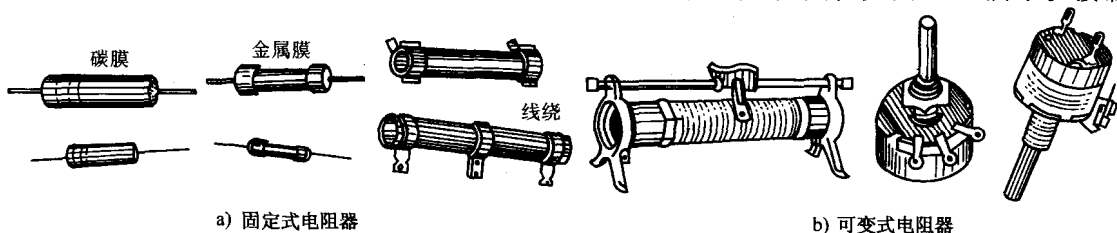


图 1-12 电阻器



造材料可分为膜式（碳膜、金属膜等）和线绕式两类。膜式电阻的阻值范围大，功率一般为几瓦，金属线绕式电阻器正好与其相反。

电阻器的主要参数有标称阻值、额定功率和允许误差。

标称阻值和允许误差一般直接标在电阻体上，体积小的电阻则用色环标注。

电阻器的色环通常有四道，其中三道相距较近的作为阻值环，距前三道环较远的那道环作为误差环，如图 1-13 所示。

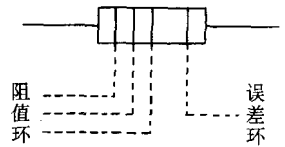


图 1-13 色环电阻示意图

阻值环颜色对应的数码见表 1-2，误差环颜色对应值见表 1-3。

表 1-2 阻值环颜色对应的数码

颜色	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑
数码	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0

表 1-3 误差环颜色对应的误差

颜色	金	银	无色
误差	±5%	±10%	±20%

第一、二道环各代表一位数字，第三道环则代表零的个数（对金色， $\times 0.1$ ；银色， $\times 0.01$ ）。例如某色环电阻前三道环的颜色分别为黄紫橙，此电阻为 $47k\Omega$ 。

目前，四环电阻有被淘汰的趋势，取而代之的是五环电阻，其精度较高。五环电阻前三环的含义同四环电阻前两环的含义一样。

实际使用时应注意两点：①电阻值应选附录 A 所示的系列值；②消耗在电阻上的功率应小于所选电阻的额定功率（或标称功率）。

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

电阻器在电路中主要起三个作用：①限制电流；②分压、分流；③能量的转换。

二、电容元件

1. 电容器

电容器是由两个导体中间隔以介质（绝缘物质）组成。此导体称为电容器的极板。电容器加上电源后，极板上分别聚集起等量异号的电荷。带正电荷的极板称为正极板，带负电荷的极板称为负极板。此时在介质中建立了电场，并储存了电场能量。当电源断开后，电荷在一段时间内仍聚集在极板上。所以，电容器是一种能够储存电场能量的元件。

常见电容器的类型如图 1-14 所示。其中，电解电容有“+、-”极性，在实物上和图形符号上都有标注。

2. 电容元件

电容元件简称电容，是一种理想的电容器。电容的图形符号如图 1-15 所示。

电容的符号是大写字母 C ，其电容量与电容器存储的电荷 q 以及电容器两端的电压 u_c 有关，即

$$C = q/u_c \quad (1-14)$$

电容的 SI 单位为法拉（F），法拉单位太大，实际应用中常用微法（ μF ）和皮法（pF）等。

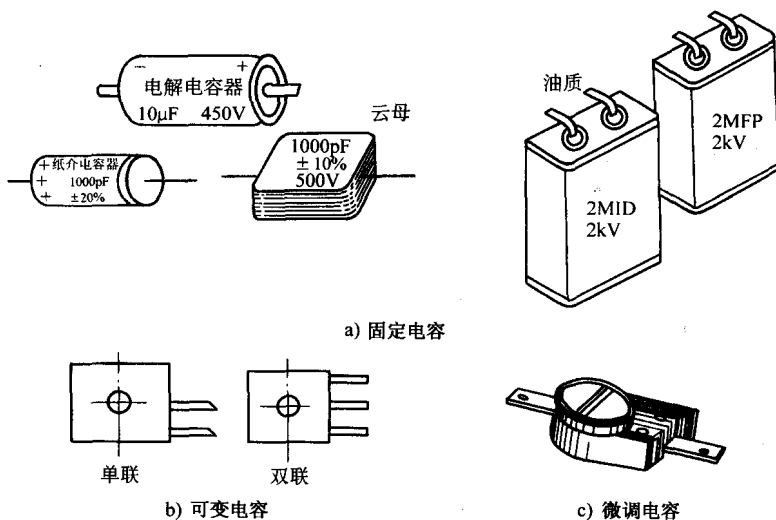


图 1-14 电容器

当 C 为一常数, 而与电容两端的电压无关时, 这种电容元件就叫线性电容元件, 否则叫非线性电容元件。在此只研究线性电容元件。

3. 电容上的电压与电流

在如图 1-15 所示电路中, u 、 i 选关联参考方向, 其伏安关系为

$$i = \frac{dq}{dt} = Cdu_c/dt \quad (1-15)$$

当 u 、 i 取非关联参考方向时, 其伏安关系为

$$i = -Cdu_c/dt \quad (1-16)$$

4. 电容器的使用

电容器的额定值主要有电容量、允许误差和额定工作电压 (耐压值)。

在实际使用时主要应注意以下几点: ①电容值应选附录 A 所示的系列值; ②实际加在电容两端的电压应不超过标在电容器外壳上的耐压值; ③电解电容的极性不能接错。

电容的作用: 隔断直流, 导通交流, 滤波, 移相, 调谐等。

电阻的标称阻值和云母电容、瓷介电容的标称电容量, 符合附录 A 中所列标称值 (或表列数值乘以 10^n , 其中 n 为正整数或负整数)。

例如, 附录 A 第一列中的数值 1.1, 可以是 $1.1 \times 10^3 \Omega = 1.1k\Omega$ 或 $1.1 \times 10^{-6} F = 1.1\mu F$ 。

三、电感元件

1. 电感器

电感器一般由骨架、线圈、铁心和屏蔽罩等组成。常用电感器如图 1-16 所示。

2. 电感元件和电感

电感元件简称电感, 是一种理想的电感器。电感的图形符号如图 1-17 所示。

电感的符号是大写字母 L 。其电感量 L 定义为磁链 Ψ^\ominus 与电感中的电流的比值, 即

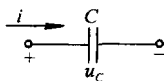


图 1-15 电容元件的图形符号

⊖ 磁链 Ψ : 与 N 匝线圈交链的总磁通称为磁链, 即 $\Psi = N\Phi$, 式中 Ψ 为单匝线圈的磁通。

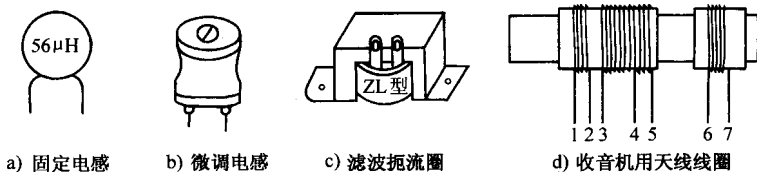


图 1-16 电感器

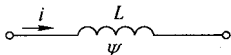


图 1-17 电感元件的图形符号

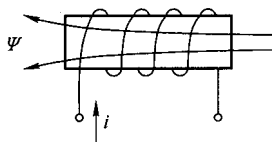


图 1-18 磁链 Ψ 与电流 i 的参考方向

式中，磁链 Ψ 与电流 i 的参考方向应满足图 1-18 所示的右手螺旋法则。

电感的 SI 单位为亨利（简称亨），用符号 H 表示。实际应用中常用毫亨（mH）和微亨（ μH ）等。

当 L 为一常数，而与元件中通过的电流无关时，这种电感元件就叫线性电感元件，否则叫非线性电感元件。在此只研究线性电感元件。

3. 电感上的电压与电流

在图 1-19a 所示电路中，由楞次定律可知，

$$e = - \frac{d\Psi}{dt} \quad (1-17)$$

由图 1-19b 可知，

$$u = - e \quad (1-18)$$

所以，在 u 、 i 及 e 取如图 1-19b 所示的关联参考方向时，其伏安关系为

$$u = - e = \frac{d(Li)}{dt} = L \frac{di}{dt}$$

即

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1-19)$$

当 u 、 i 取非关联参考方向，其伏安关系为

$$u = - L di_L / dt$$

四、电压源

电路中的耗能元件要消耗电能，就必须有提供能量的元件即电源。常用的直流电源有干电池、蓄电池、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、电力系统提供的正弦交流电源、信号发生器等。

理想电压源是一个理想二端元件，该理想二端元件的电压与通过它的电流无关，总保持

为某给定值或给定的时间函数。如果实际电源（如干电池、蓄电池等）的内阻可以忽略时，则不论其输出电流为何值，其电压均为定值，这种电源的电路模型就是一个理想电压源。理想电压源简称电压源。

理想电压源不仅限于直流电源，交流发电机的电压虽然是时间的函数，但若内阻可以忽略时，电压也不受其输出电流的影响，所以，交流发电机的电路模型也是理想电压源。

电压源的图形符号及其伏安特性曲线如图 1-20 所示。图 1-20b 是直流电压源（恒压源）符号，“+”、“-”号是 U_s 的参考极性（右图长线表示参考“+”极性，短线表示参考“-”极性）。

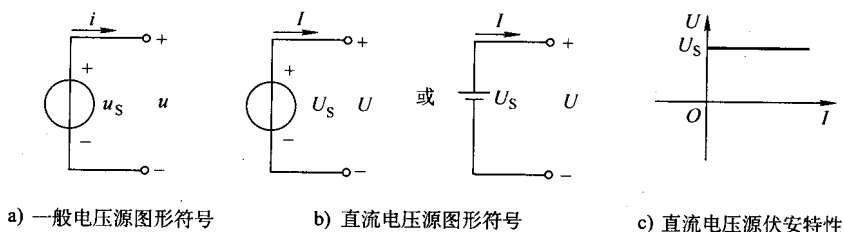


图 1-20 电压源的图形符号及其伏安特性曲线

电压源的伏安关系为

$$u = u_s \quad (1-20)$$

对恒压源：

$$U = U_s \quad (1-21)$$

直流电压源具有如下两个特点：

(1) 它的端电压固定不变，与外电路取用的电流 I 无关。

(2) 通过它的电流取决于它所连接的外电路，是可以改变的。

电压源的连接如图 1-21 所示。图 1-21

电路进一步说明：①无论电源是否有电流输出， $U = U_s$ ，与 I 无关；② I 由 U_s 及外电路共同决定。

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

对于电压源，应注意以下几点：

(1) 在图 1-21b 中，对电压源来说， U 、 I 为非关联参考方向，电压源消耗的功率为 $P = -UI = -U_s I$ 。若 $U_s = 24\text{V}$ ， $I = 1\text{A}$ ，则有 $P = -24 \times 1\text{W} = -24\text{W}$ ，表明电压源提供 24W 的功率给外电路；若 $U = -24\text{V}$ ， $I_s = 1\text{A}$ ，则有 $P = 24\text{W}$ ，表明电压源不是处于产生功率的状态，而是处于吸收功率的状态。例如， U_s 是一个正在被充电的电池。

(2) 使用电压源时，当 $U_s \neq 0$ 时，不允许将其“+、-”极短接。

(3) 当 $U_s = 0$ 时，电压源处于短路状态。

五、电流源

提供电能的二端元件除了电压源，还有电流源。

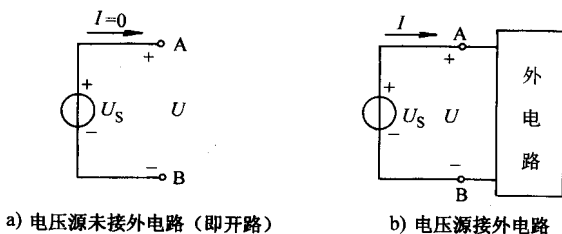


图 1-21 电压源的电路连接形式