

高职高专规划教材

电工电子技术 及应用

申凤琴 主编



高 职 高 专 规 划 教 材

电工电子技术及应用

主 编 申凤琴

参 编 张世忠 孟宪芳 杨 宏
唐伯蓉 田培成



机 械 工 业 出 版 社

本书是高等职业教育规划教材。

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；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；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。

本书集电工电子技术的应用于一体，为机电技术应用者提供必需的电工电子技术知识。可供高等职业教育机电技术应用专业和机类专业（多学时）使用，也可作为岗位培训教材。

书后附有习题答案，供自学时参考。

图书在版编目（CIP）数据

电工电子技术及应用/申凤琴主编. —北京：机械工业出版社，2004.1
高职高专规划教材
ISBN 7-111-13691-8

I. 电… II. 申… 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. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 120156 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：王小东 王玉鑫 版式设计：霍永明 责任校对：申春香

封面设计：饶 薇 责任印制：闫 焱

北京瑞德印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·20.25 印张·499 千字

定价：28.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话（010）68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是高等职业教育（高职高专）规划教材，供三年制高等职业教育机电技术应用专业和机类专业（多学时）使用。总学时数为 165 ~ 180 学时。

本教材的特点是：

(1) 每章前有【学习目标】，章末有小结和思考题与习题，书后附有习题答案，便于学生自学。

(2) 书中内容浅显易懂，以定性阐述为主。

(3) 本着“必需、够用”的原则，侧重强调元器件的外特性，突出应用。

(4) 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、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，是一次大胆的尝试。所以，本教材主要突出电路基础、电动机与变压器、电子技术、电力电子技术等知识的原理与应用。

根据专业计划，本课程安排在二年级，分两学期学完。选用模块的内容以“*”标记，各校可根据自己的实际情况制定教学方案。

本书由西安理工大学申凤琴任主编，编写第一、十四、十五、十六章，由张世忠编写第二、三章，孟宪芳编写第四、五章，杨宏编写第六、七章，四川德阳东方电机股份公司职教中心唐伯蓉编写第八、九章，西安理工大学田培成编写第十、十一、十二、十三章。

全国高等职业教育教材审定委员会以严谨的科学态度和高度负责的精神，认真审阅了本教材，提出了许多宝贵的意见，在此表示衷心的感谢。

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。

编 者
2003 年 8 月

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	5
第四节 基尔霍夫定律	10
第五节 基尔霍夫定律的应用	13
第六节 简单电阻电路的分析方法	17
第七节 直流一阶电路的过渡过程	23
本章小结	30
思考题与习题	31
第二章 正弦交流电路	35
第一节 正弦量	35
第二节 交流电的有效值	38
第三节 正弦量的相量表示法	39
第四节 电阻元件的交流电路	44
第五节 电感元件的交流电路	46
第六节 电容元件的交流电路	48
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	59
第十节 复导纳分析并联电路	62
第十一节 功率因数的提高	64
第十二节 串联谐振电路	66
本章小结	68
思考题与习题	70
第三章 三相交流电路	74
第一节 对称三相正弦量	74
第二节 三相电源和负载的联接	75
第三节 三相电路的计算	80
第四节 对称三相电路的功率	83
本章小结	84
思考题与习题	85
第四章 变压器	86
第一节 单相变压器	86

第二节 三相变压器	90
* 第三节 自耦变压器	92
* 第四节 脉冲变压器	93
* 第五节 仪用互感器	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	104
第三节 单相异步电动机	117
* 第四节 三相同步电动机	119
* 第五节 特殊电动机	121
本章小结	126
思考题与习题	127

下 篇

第六章 常用半导体元器件	128
第一节 半导体二极管	128
第二节 半导体三极管	132
第三节 场效应晶体管	137
第四节 特殊三极管简介	140
本章小结	142
思考题与习题	142
第七章 基本放大电路	145
第一节 放大器的基本概念	145
第二节 晶体管基本放大电路	147
第三节 场效应晶体管放大电路	155
第四节 多级放大器	157
第五节 功率放大器	160
第六节 差动放大电路	163
本章小结	167
思考题与习题	167
第八章 运算放大器及其应用	171
第一节 集成运算放大器	171
第二节 负反馈放大器	174
第三节 运算放大器的应用	179
本章小结	184

思考题与习题	185
第九章 直流电源	187
第一节 整流电路	187
第二节 滤波电路	190
第三节 稳压电路	193
本章小结	197
思考题与习题	197
第十章 数字电路基本知识	198
第一节 概述	198
第二节 数制和码制	199
第三节 基本逻辑门	202
第四节 集成逻辑门电路	207
本章小结	214
思考题与习题	215
第十一章 组合逻辑电路	218
第一节 组合逻辑电路的分析方法	218
第二节 常用的集成组合逻辑电路	219
本章小结	231
思考题与习题	232
第十二章 时序逻辑电路	233
第一节 触发器	233
第二节 计数器	240
第三节 寄存器	247
本章小结	249
思考题与习题	250
第十三章 脉冲信号的产生与整形	253
第一节 单稳态电路	253
第二节 多谐振荡器	255
第三节 施密特触发器	256
第四节 集成 555 时基电路	258
本章小结	260
思考题与习题	261

第十四章 晶闸管及其应用	263
第一节 晶闸管	263
第二节 单相可控整流电路	267
第三节 单结晶体管触发电路	269
第四节 三相可控整流电路	272
第五节 有源逆变电路	278
本章小结	282
思考题与习题	284
第十五章 双向晶闸管及其应用	286
第一节 双向晶闸管	286
第二节 单相交流调压电路	287
第三节 晶闸管交流开关	290
本章小结	293
思考题与习题	294
第十六章 全控型电力电子器件及其应用	295
* 第一节 全控型电力电子器件	295
第二节 变频器的基本概念	299
* 第三节 脉宽调制 (PWM) 型变频器	301
* 第四节 直流斩波	304
本章小结	306
思考题与习题	307

附 录

附录 A 常用阻容元件的标称值	308
附录 B 国产部分检波与整流二极管主要参数	309
附录 C 国产某些硅稳压管的主要参数	310
思考题与习题答案	311
参考文献	317

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。
- (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。
- (6) 掌握戴维南定律，理解叠加定律。
- (7) 理解 RC 的充放电过程和三要素法的解题方法。

第一节 电路和电路模型

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 1-1 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。

一个实际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，常把实际元件近似化、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，因此可用“电阻元件”这样一

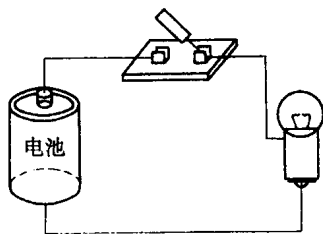


图 1-1 手电筒电路

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 1-2 是图 1-1 所示实际电路的电路模型。

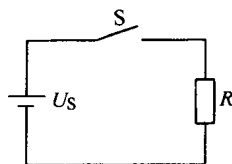


图 1-2 图 1-1 的电路模型

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，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，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的电流，叫做变动电流，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 1-3a 为直流电流，图 1-3b 为交流电流。

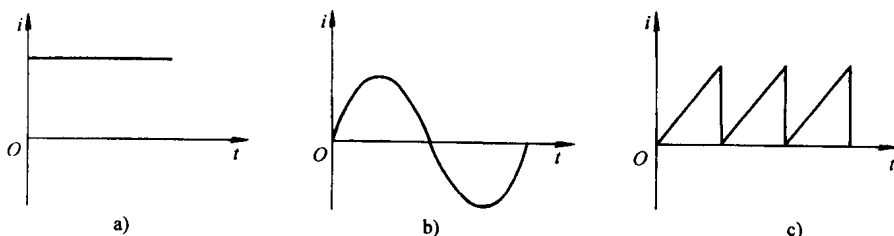


图 1-3 几种常见的电流波形
a) 直流电流 b) 交流电流 c) 锯齿波

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，需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。

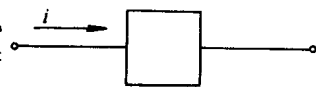


图 1-4 电流的参考方向

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，就可以在选定的参考方向下，根据电流值的正负来确定某一时刻电流的实际方向。

二、电压及其参考方向

电压也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。

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 。电压的单位为伏特 (V)。

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

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

电压是针对电路中某两点而言的, 与路径无关, 所以有

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

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的。

在分析电路时, 也需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 1-5b 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 1-5c 所示的标注方法中, 参考方向是由 A 点指向 B 点。

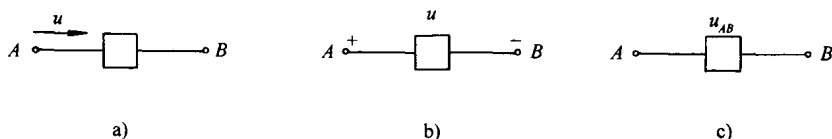


图 1-5 电压“参考方向”的几种标注方法

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 1-6 所示的电路中, 方框泛指电路中一般元件, 试分别指出图中各电压的实际极性。

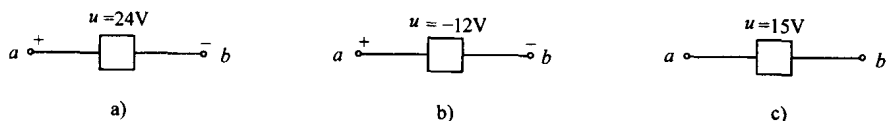


图 1-6 例 1-1 图

解 各电压的实际极性为:

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

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

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

当元件上电流的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。

三、功率

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。功率的单位是瓦特 (W)。



图 1-7 关联与非关联参考方向
a) 关联参考方向 b) 非关联参考方向

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 为关联参考方向下,元件上吸收的功率定义为

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

在 u 、 i 为非关联参考方向下,元件上吸收的功率为

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

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 1-2 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

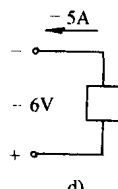
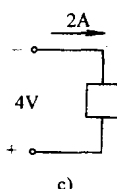
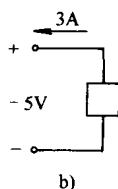
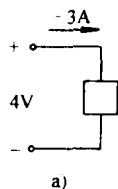


图 1-8 例 1-2 图

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

即此时元件吸收的功率为 -12 W ,即发出的功率为 12 W 。

(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 15 W 。

(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 8 W 。

(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 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

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)。

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。

$$G = 1/R \quad (1-5)$$

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。

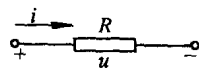


图 1-9 电阻元件的图形符号

如图 1-9 所示电路， u 、 i 为关联参考方向，其伏安特性为

$$u = Ri \quad (1-6)$$

u 、 i 为非关联参考方向时，有

$$u = -Ri \quad (1-7)$$

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。

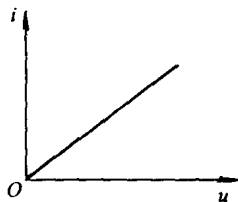


图 1-10 线性电阻元件的伏安特性

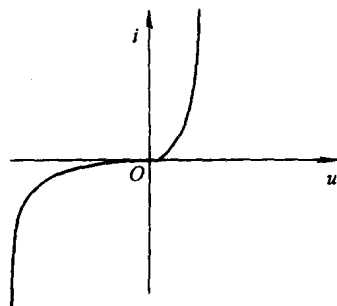


图 1-11 二极管的伏安特性

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。

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

$$p = ui = (Ri) i = Ri^2 \tag{1-8}$$

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。

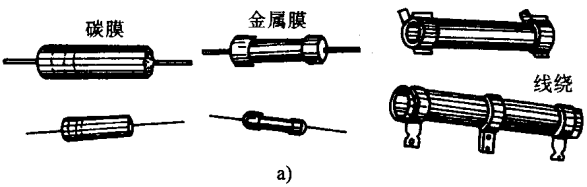
解 由于 u 、 i 为关联参考方向，由式 (1-8)

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

所以， u 的实际方向与参考方向相反。

因 $p = Ri^2$ ，故

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



5. 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。

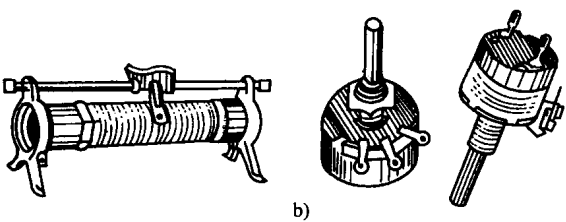


图 1-12 电阻器
a) 固定式电阻器 b) 可变式电阻器

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。

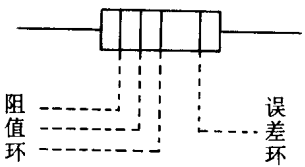


图 1-13 色环电阻示意图

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	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$

第一、二道环各代表一位数字，第三道环则代表零的个数。例如某色环电阻前三道环的颜色分别为黄紫橙，此电阻为 $47\text{k}\Omega$ 。

目前, 四环电阻有淘汰的趋势, 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。

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 $1/4\text{W}$ 、 $1/8\text{W}$ 等。

电阻器在电路中主要起两个作用: ① 限制电流; ② 分压、分流。

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。

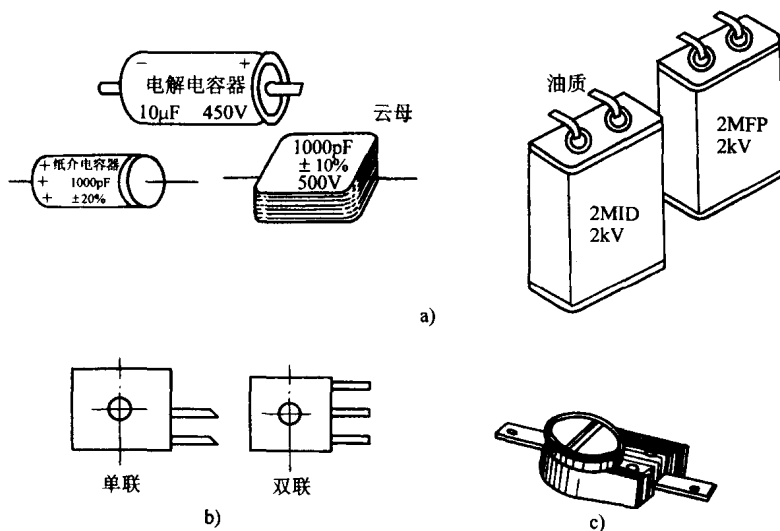


图 1-14 电容器
a) 固定电容 b) 可变电容 c) 微调电容

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

$$C = q/u_C \quad (1-9)$$

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。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

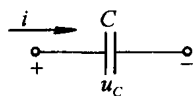


图 1-15 电容元件的图形符号

叫非线性电容元件。这里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

$$i = C du_C / dt \quad (1-10)$$

电容元件的 u - i 关系说明:

1) 当电容两端电压发生变化时, 即 $du_C/dt \neq 0$, 极板上聚集的电荷也相应发生变化, 因此形成了电流; $du_C/dt > 0$ 时, $i > 0$, 说明此时电容在充电; $du_C/dt < 0$ 时, $i < 0$, 说明此时电容在放电。

2) 在直流电路中, $du_C/dt = 0$, $i = 0$, 此时电容相当于开路, 即说明电容起隔断直流电流的作用, 简称隔直作用。还可以看出, 电容上吸收的直流功率为

$$P = UI = 0$$

即电容在直流电路中不消耗功率。

3) 电容两端的电压不能突变, 即 $du_C/dt \rightarrow \infty$ 不成立。

当 u 、 i 取非关联参考方向时, 其伏安关系为

$$i = -C du_C / dt \quad (1-11)$$

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。

三、电感元件

1. 电感器

电感器一般由骨架、绕组、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 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 (μ H) 等。

电感的符号是大写字母 L 。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。这里只研究线性电感元件。

因电感元件简称电感, 所以“电感”一词既代表电感元件, 也代表电感参数。

3. 电感上的电压与电流

在图 1-17 所示电路中, u 、 i 取关联参考方向, 其伏安关系为

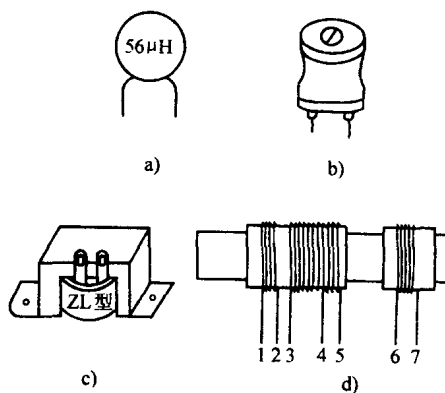


图 1-16 电感器
a) 固定电感 b) 微调电感
c) 滤波扼流圈 d) 收音机用天线线圈

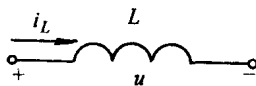


图 1-17 电感元件的图形符号

$$u = L di_L / dt \quad (1-12)$$

电感元件的 $u-i$ 关系说明：

- 1) 当通过电感元件的电流发生变化时, 即 $di_L/dt \neq 0$, 电感上才能产生电压。
- 2) 在直流电路中, $di_L/dt = 0$, $u = 0$, 此时电感相当于短路, 即说明电感起导通直流的作用, 简称导直作用。进一步还可以看出, 电感上吸收的直流功率为

$$P = UI = 0$$

即电感在直流电路中不消耗功率。

- 3) 电感中的电流不能突变, 即 $di_L/dt \rightarrow \infty$ 不成立。

当 u 、 i 取非关联参考方向, 其伏安关系为

$$u = -L di_L / dt \quad (1-13)$$

四、电压源

电压源是实际电源 (如干电池、蓄电池等) 的一种抽象概念, 是理想电压源的简称。本节内容仅涉及直流电压源 (恒压源), 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 1-18 所示。其中图 1-18a 中的 “+”、“-” 号是 U_s 的参考极性, 图 1-18b 中的长线表示参考 “+” 极性, 短线表示参考 “-” 极性。

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 1-19 所示。图 1-19 中电路进一步说明: 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 $U_s = 5V$, 将 $R = 5\Omega$ 电阻连接于 a 、 b 两端, 则有 $I = 1A$; 若将 R 改为 10Ω , 则有 $I = U_s / R = 0.5A$ 。

对于电压源, 应注意以下几点:

- 1) 在图 1-18 和图 1-19 中, 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 $U_s = 24V$, $I = 1A$, 则有 $P = -24V \times 1A = -24W$, 表明电压源提供 $24W$ 的功率给外电路; 若 $U = -24V$, $I_s = 1A$, 则有 $P = 24W$, 表明 U_s 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。

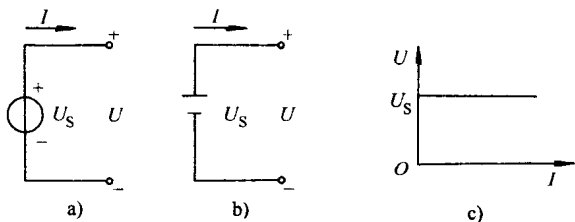


图 1-18 直流电压源的图形符号及其伏安特性曲线
a)、b) 直流电压源图形符号 c) 伏安特性

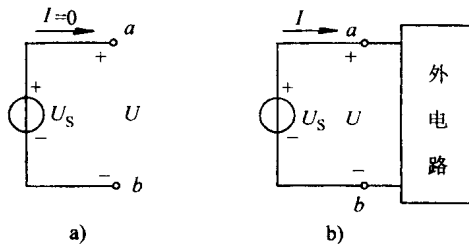


图 1-19 电压源的电路连接形式

- a) 电压源未接外电路 (即开路)
- b) 电压源接外电路

五、电流源

电流源也是实际电源（如光电池）的一种抽象概念，是理想电流源的简称。本节内容仅涉及直流电流源（恒流源），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 1-20 所示。箭头所指方向为 I_s 的参考方向。

电流源具有如下两个特点：

1) 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。

2) 电流源的端电压取决于它所连接的外电路，是可以改变的。

例如，设 $I_s = 3\text{A}$ ，将 $R = 5\Omega$ 的电阻连接于 a 、 b 两端，则有 $U = 15\text{V}$ ；若将 R 改为 6Ω ，则有 $U = I_s R = 18\text{V}$ 。

对于电流源，应注意以下几点：

1) 在图 1-20 所示电路中，对电流源来说， U 、 I 为非关联参考方向，电流源消耗的功率为 $P = -UI_s$ 。若 $U = 24\text{V}$ ， $I_s = 2\text{A}$ ，则 $P = -48\text{W}$ ，表明电流源提供 48W 的功率给外电路；若 $U = -24\text{V}$ ， $I_s = 2\text{A}$ ，则 $P = 48\text{W}$ ，表明 I_s 不是处于产生功率的状态，而是处于吸收功率的状态，即从外电路吸收功率。

2) 使用电流源时，当 $I_s \neq 0$ 时，不允许将电流源开路。

3) $I_s = 0$ 时，电流源处于开路状态。

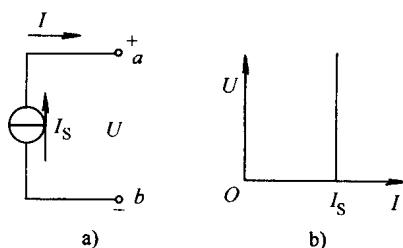


图 1-20 直流电流源的图形

符号及其伏安特性曲线

a) 直流电流源图形符号 b) 伏安特性

第四节 基尔霍夫定律

前一节介绍了元件的伏安关系，即元件的约束关系，是电路分析方法的重点。这些电路的基本元件按一定的连接方式连接起来，组成一个完整的电路，如图 1-21 所示。那么，电路应该遵守什么约束呢？基尔霍夫定律就是电路所要遵守的基本约束。

电路分析方法的根本依据是：元件的约束关系；电路的约束关系：基尔霍夫定律。

一、几个有关的电路名词

在介绍基尔霍夫定律之前，首先结合如图 1-21 所示电路介绍几个有关的电路名词。

(1) 支路 电路中具有两个端钮且通过同一电流的每个分支（至少含一个元件），叫支路。如图中的 afc 、 ab 、 bc 、 aeo 均为支路。

(2) 节点 三条或三条以上支路的连接点叫做节点。图中 a 、 b 、 c 、 o 点都是节点。

(3) 回路 电路中由若干条支路组成的闭合路径叫做回路。图中回路 $aboea$ 是由 10Ω 、 12Ω 、 2Ω 电阻及 12V 电压源等元件组成的。

(4) 网孔 内部不含有支路的回路称为网孔。图中回路 $aboea$ 既是回路，也是网孔，但

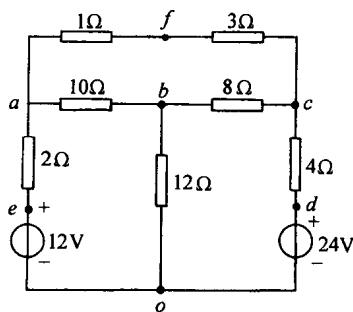


图 1-21 电路的组成

回路 $afcoa$ 就不是网孔。

二、基尔霍夫电流定律 (简称 KCL)

KCL 指出: 任一时刻, 流入电路中的任一个节点的各支路电流代数和恒等于零, 即

$$\sum i = 0 \quad (1-14)$$

KCL 源于电荷守恒。

例 1-4 在如图 1-22 所示电路的节点 a 处, 已知 $i_1 = 3A$, $i_2 = -2A$, $i_3 = -4A$, $i_4 = 5A$, 求 i_5 。

解 步骤一: 据 KCL 列方程, 若电流参考方向为“流入”节点 a 的电流前取“+”号, 则“流出”节点 a 的电流前取“-”号

$$i_1 - i_2 - i_3 + i_4 - i_5 = 0$$

步骤二: 将电流本身的实际数值代入上式, 得

$$3A - (-2)A - (-4)A + 5A - i_5 = 0$$

$$i_5 = 14A$$

应用 KCL, 应注意以下几点:

1) KCL 还可以推广运用于电路中任一假设的闭合面 (广义节点)。例如图 1-23 所示电路中, 圆圈把 NPN 型晶体管围成的闭合面被视为一个广义节点, 由 KCL 得

$$i_b + i_c - i_e = 0$$

2) 在应用 KCL 解题时, 实际使用了两套“+、-”符号: ① 在公式 $\sum i = 0$ 中, 以各电流的参考方向决定的“+、-”号; ② 电流本身的“+、-”值。这就是 KCL 定义式中电流代数值的真正含义。

三、基尔霍夫电压定律 (简称 KVL)

KVL 指出: 任一时刻, 沿电路中的任何一个回路, 所有支路的电压代数和恒等于零, 即

$$\sum u = 0 \quad (1-15)$$

KVL 源于能量守恒原理。

例 1-5 在如图 1-24 所示电路中, 已知 $U_1 = 3V$, $U_2 = -4V$, $U_3 = 2V$ 。试应用 KVL 求电压 U_x 和 U_y 。

解 方法一

步骤一: 在如图 1-24 所示的电路图中, 任意选择回路的绕行方向, 并标注于图中 (如图 1-24 所示回路 I, 回路 II)。

步骤二: 据 KVL 列方程。当回路中的电压参考方向与回路绕行方向一致时, 该电压前取“+”号, 否则取“-”号。

回路 I:
$$-U_1 + U_2 + U_x = 0$$

回路 II:
$$U_2 + U_x + U_3 + U_y = 0$$

步骤三: 将各已知电压值代入 KVL 方程, 得

回路 I:
$$-3V + (-4)V + U_x = 0$$

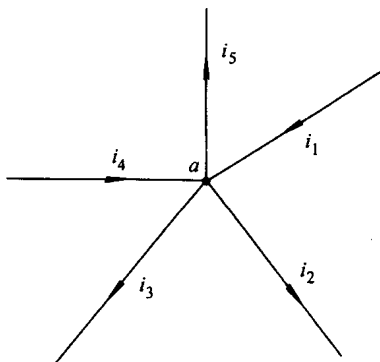


图 1-22 例 1-4 图

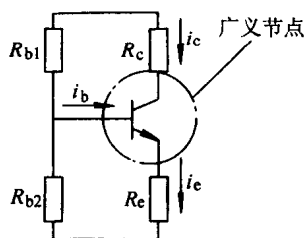


图 1-23 KCL 在广义节点上的应用

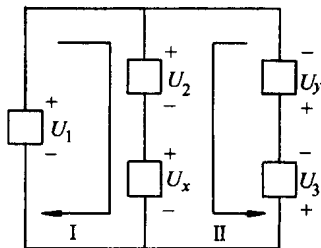


图 1-24 例 1-5 方法一