

高等职业技术教育机电类专业规划教材

电工电子 技术基础

申凤琴 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等职业技术教育机电类专业规划教材

电工电子技术基础	申凤琴
电工基本技能实训	张仁醒
电工专业技能实训	张仁醒
电工高级技能实训	张仁醒
电路基础	谭维瑜
电机与电器控制	谭维瑜
电机与电器控制	何巨兰
电力电子技术 第2版	黄家善
交流调速系统 第2版	宋书中
变频器原理及应用	王廷才
电气控制系统与可编程控制器	常晓玲
微机原理与接口技术	何莉
可编程序控制器技术及应用 第2版	戴一平
计算机辅助绘图与设计——AutoCAD 2006 第3版	赵国增
计算机辅助绘图与设计——AutoCAD 2006 上机指导 第3版	赵国增
电子线路 CAD Protel 99 使用指南	王廷才
Protel DXP 应用教程 第2版	王廷才
电气传动设计指导	李荣生

ISBN 7-111-19148-X



9 787111 191483 >

定价：21.00 元

编辑热线：(010)68354423

地址：北京市百万庄大街22号

联系电话：(010) 68326294

(010) 68993821

邮政编码：100037

网址：http://www.cmpbook.com

E-mail: online@cmpbook.com

高等职业技术教育机电类专业规划教材

电工电子技术基础

主 编 申凤琴
副主编 杨 宏 田培成
参 编 张利玲



机械工业出版社



本书是高等职业技术教育机电类专业规划教材。主要内容有：电路的基础知识、正弦交流电路；变压器、异步电动机；常用半导体元器件、基本放大电路、运算放大器及其应用、直流电源；数字电路基础及组合逻辑电路、时序逻辑电路及实验等。

本书集电工电子技术的应用于一体，为读者提供必需的电工电子技术知识。可供高等职业技术教育机电类专业（少学时）和相关专业使用，也可作为岗前培训教材。

该书附有相关实验内容，各校可根据实际情况选用；为教学方便，本书配有电子教案。书中习题形式多样，难易适中，书末附有部分思考题与习题答案，供自学时参考。

本书配有电子教案供教师使用，可发电子邮件至 wangyx@mail.mach-ineinfo.gov.cn 邮箱索取。

图书在版编目（CIP）数据

电工电子技术基础/申凤琴主编. —北京：机械工业出版社，2006.6
高等职业技术教育机电类专业规划教材
ISBN 7-111-19148-X

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（2006）第 047900 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：王玉鑫 版式设计：霍永明 责任校对：李秋荣
封面设计：姚毅 责任印制：杨曦
北京机工印刷厂印刷
2006 年 6 月第 1 版第 1 次印刷
184mm×260mm·14.25 印张·351 千字
0 001—4 000 册
定价：21.00 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）68326294
编辑热线电话（010）68354423
封面无防伪标均为盗版



前 言

本书是高等职业技术教育机电类专业规划教材。供2年制、3年制高等职业教育机电类专业(少学时)使用。总学时70~90。

本教材的特点是:

- 1) 每章前编排有【本章知识点】,旨在引导学生抓住重点内容复习,章末有思考题与习题,书后附有部分思考题与习题答案,便于学生自学。
- 2) 本教材含有实验内容,利于学生预习实验,以加强实际能力的培养。
- 3) 书中内容浅显易懂,以定性阐述为主。
- 4) 本着“必须、够用”的原则,侧重强调元器件的外特性,突出应用。
- 5) 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。

根据近年来高等职业技术教育机电类专业的教学改革,已将传统《电工电子技术基础》教材中的电机控制部分和PLC应用技术单列为《电器与PLC控制技术》,故本教材不含此内容。所以,本教材主要突出电路基础、异步电动机与变压器、电子技术等知识的原理与应用。

本书由申凤琴编写第三~八章及实验一~实验三;杨宏编写第一、二章;田培成编写第九、十章;张利玲编写实验四~实验七。

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

目 录

前言

第一章 直流电路 1

第一节 电路的组成及其基本物理量 1

第二节 电路的基本元件 4

第三节 基尔霍夫定律及其应用 7

第四节 二端网络的等效 11

第五节 叠加定理与戴维南定理 15

思考题与习题 17

第二章 正弦交流电路 21

第一节 正弦量的参数和相量表示法 21

第二节 电阻元件的交流电路 27

第三节 电感元件的交流电路 29

第四节 电容元件的交流电路 31

第五节 简单交流电路的分析 34

第六节 三相交流电路的分析 42

思考题与习题 47

第三章 变压器 49

第一节 单相变压器 49

第二节 三相变压器 53

第三节 自耦变压器 56

思考题与习题 57

第四章 异步电动机 59

第一节 三相异步电动机 59

第二节 单相异步电动机 71

思考题与习题 74

第五章 常用半导体元器件 76

第一节 半导体二极管 76

第二节 半导体三极管 79

第三节 场效应晶体管 84

第四节 特殊晶体管简介 87

第五节 晶闸管 89

思考题与习题 92

第六章 基本放大电路 96

第一节 放大器的基本概念 96

第二节 晶体管基本放大电路 98

第三节 场效应晶体管放大电路 107

第四节 多级放大器 109

第五节 差动放大电路 111

思考题与习题 115

第七章 运算放大器及其应用 119

第一节 集成运算放大器 119

第二节 负反馈放大器 122

第三节 运算放大器的应用 127

思考题与习题 132

第八章 直流电源 135

第一节 整流电路 135

第二节 滤波电路 138

第三节 稳压电路 141

第四节 单相可控整流电路 145

第五节 单结晶体管触发电路 147

思考题与习题 150

第九章 数字电路基础及组合逻辑

电路 153

第一节 数字电路基础 153

第二节 门电路 159

第三节 常用集成组合逻辑电路 164

思考题与习题 176

第十章 时序逻辑电路 179

第一节 触发器 179

第二节 计数器 185

第三节 寄存器 192

思考题与习题 195

实验 198

实验一 直流电路综合实验 198

实验二 正弦交流电路相量的研究 200

实验三 三相异步电动机实验 202

实验四 单管共射放大电路 204

实验五 运算放大器的线性应用 206

实验六 集成门电路 208

实验七 计数器的应用 211

附录 214

附录 A 常用阻容元件的标称值 214

附录 B 国产部分检波与整流二极管的	部分思考题与习题答案·····	217
主要参数·····	参考文献·····	222
附录 C 国产部分硅稳压管的主要参数·····		216



第一章 直流电路

【本章知识点】

- (1) 本章基本知识。典型习题 1-1 ~ 1-13。
- (2) 功率的计算。典型习题 1-15、1-16。
- (3) 等效电阻及基尔霍夫定律。典型习题 1-18、1-20。
- (4) 电源的等效变换及戴维南定理。典型习题 1-26。
- (5) 叠加定理。典型习题 1-24。

第一节 电路的组成及其基本物理量

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 1-1 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。

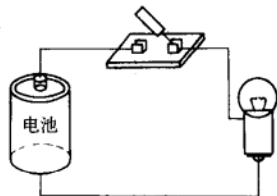


图 1-1 手电筒电路

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、电炉等实际电路元件的理想元件，称为模型。因为在低频电路中，这些实际元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。

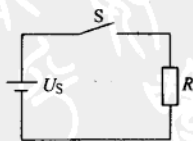


图 1-2 手电筒电路的电路模型

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。

二、电路中的基本物理量

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 1-3a 为直流，图 1-3b、c 为交流。

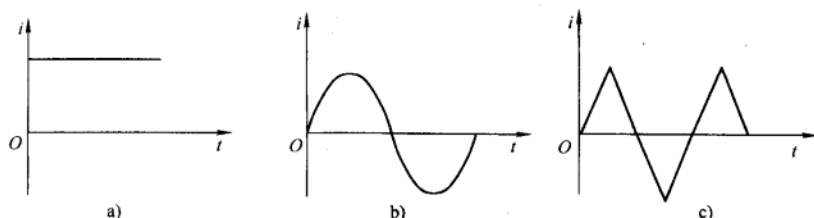


图 1-3 几种常见电流的波形

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地变化，而引入了“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 电流参考方向标注方法

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。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）。

(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，则

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

电压是针对电路中某两点而言的，与路径无关。所以有

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

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 1-5a 所示的标注方法中,参考方向是由 A 点指向 B 点;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 没有标注参考方向。在标注参考方向时,常用图 1-5b 的标注方法。

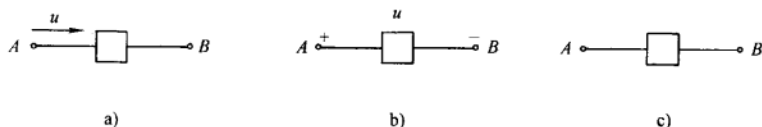


图 1-5 几种电压参考方向的标注方法

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。

解 各电压的实际极性为

- 1) 图 1-6a, A 点为高电位,因 $u = 24\text{V} > 0$, 所标参考极性与实际极性相同。
- 2) 图 1-6b, B 点为高电位,因 $u = -12\text{V} < 0$, 所标参考极性与实际极性相反。
- 3) 图 1-6c, 不能确定,虽然 $u = 15\text{V} > 0$, 但图中没有标出参考极性。

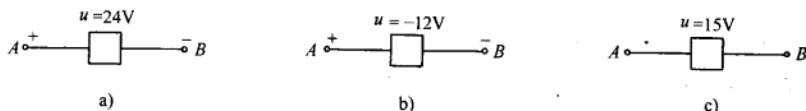


图 1-6 例 1-1 图

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。

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,元件上吸收的功率定义为

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

在 u 、 i 非关联参考方向下,元件上吸收的功率为

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

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 试求图 1-8 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

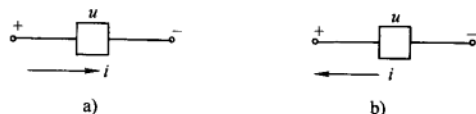


图 1-7 关联与非关联参考方向
a) 关联参考方向 b) 非关联参考方向

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

此时元件吸收功率 -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

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

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

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

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

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

此时元件吸收的功率为 30 W 。

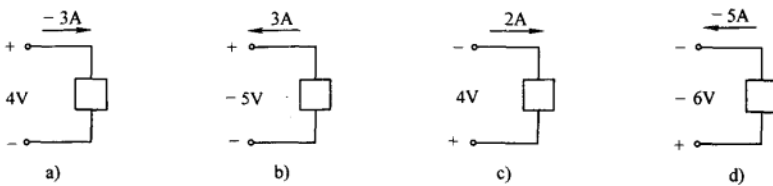


图 1-8 例 1-2 图

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

第二节 电路的基本元件

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，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 所示电路， u 、 i 为关联参考方向，其伏安关系为

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

图 1-9 电阻元件的图形符号

若 u 、 i 为非关联参考方向，则伏安关系为

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

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，图 1-11 所示的曲线为二极管的伏安特性。

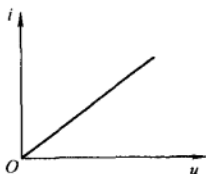


图 1-10 线性电阻元件的伏安特性

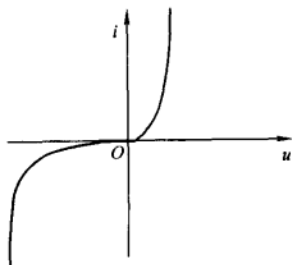


图 1-11 非线性电阻元件的伏安特性

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

$$p = ui = (Ri) i = Ri^2 \quad (1-8)$$

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 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 (1-8) 可得

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

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

所以， u 的实际方向与参考方向相反。

因 $p = Ri^2$ ，故

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

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、电压源

电压源是实际电源（如干电池、蓄电池等）的一种抽象。本节内容仅涉及直流电压源（恒电压源），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。

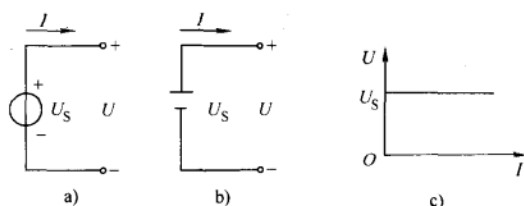


图 1-12 电压源的图形符号及其伏安特性

a) 直流电压源符号 b) 直流电压源符号 c) 伏安特性

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 1-13 所示。图 1-13 电路进一步说明：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。

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 $I = U_s / R = 0.5\text{A}$ 。

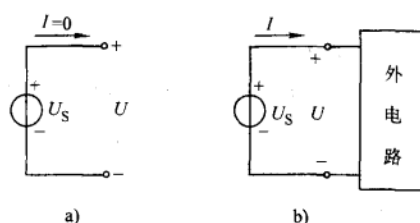


图 1-13 电压源与外电路的连接

a) 电压源未接外电路（即开路）

b) 电压源接外电路

三、电流源

电流源也是实际电源（如光电池）的一种抽象。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。

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。

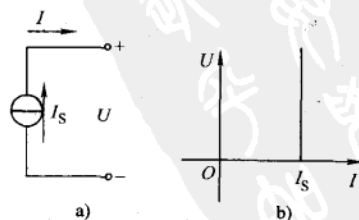


图 1-14 电流源的图形符号及其伏安特性

及其伏安特性

a) 直流电流源图形符号 b) 伏安特性

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 $U = I_s R = 18\text{V}$ 。

第三节 基尔霍夫定律及其应用

前面介绍了元件的伏安关系, 即元件的约束关系, 是电路分析方法的一个重点。如果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 1-15 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关系, 称之为结构约束关系。电路分析方法的根本依据是: ①元件约束关系; ②结构约束关系, 即基尔霍夫定律。

一、几个有关的电路名词

在介绍基尔霍夫定律之前, 首先结合图 1-15 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, 且流过同一电流的一段电路 (至少含一个元件), 称为支路。如图 1-15 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称做节点。图 1-15 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称做回路。图 1-15 中的回路 $aboea$ 是由 10Ω 、 12Ω 、 2Ω 电阻及 12V 电压源等元件组成。

(4) 网孔 内部不包含其他支路的回路称为网孔。图 1-15 中的回路 $aboea$ 既是回路, 也是网孔, 但回路 $afcoa$ 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各支路电流代数和恒等于零, 即

$$\sum i = 0 \quad (1-9)$$

KCL 源于电荷守恒。

例 1-4 在图 1-16 所示电路的节点 a 处, 已知 $i_1 = 3\text{A}$, $i_2 = -2\text{A}$, $i_3 = -4\text{A}$, $i_4 = 5\text{A}$, 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

$$3\text{A} - (-2)\text{A} - (-4)\text{A} + 5\text{A} - i_5 = 0$$

$$i_5 = 14\text{A}$$

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 1-17 所示电路中圆圈把 NPN 型晶体管围成的闭合面视为一个广义节点, 由 KCL 得

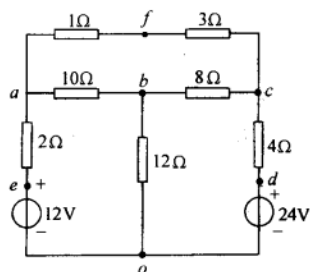


图 1-15 电路的组成

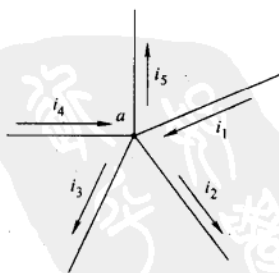


图 1-16 节点电流的分配

$$i_b + i_c - i_e = 0$$

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 and 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绕行一周, 所有支路的电压代数和恒等于零, 即

$$\sum u = 0 \quad (1-10)$$

KVL 源于能量守恒原理。

例 1-5 在图 1-18 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: 在图 1-18 所示的电路中, 任意选择回路的绕行方向, 并标注于图中 (如图 1-18 所示回路 I、回路 II)。

步骤二: 根据 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: $-3V + (-4)V + U_x = 0$

解得 $U_x = 7V$

回路 II: $(-4)V + 7V + 2V + U_y = 0$

解得 $U_y = -5V$

可以看出, KVL 和 KCL 一样, 在实际应用中也使用了两套 “+、-” 符号: ①在公式 $\sum u = 0$ 中, 各电压的参考方向与回路的绕行方向是否一致决定的 “+、-” 号; ②电压本身的 “+、-” 值。这就是 KVL 定义式中电压代数 and 的真正含义。

方法二

利用 KVL 的另一种形式, 用 “箭头首尾衔接法”, 直接求回路中惟一的未知电压, 其方法如图 1-19 所示。

回路 I: $U_x = -U_2 + U_1 = -(-4)V + 3V = 7V$

回路 II: $U_y = -U_3 - U_x - U_2 = -2V - 7V - (-4)V = -5V$

例 1-6 电路如图 1-20 所示, 试求 U_{ab} 的表达式。

解 应用 KVL 的 “箭头首尾衔接法”, 分别列出下列方程:

因为 $U_{ab} = U_{ac} + U_{cb}$

图 1-20a: $U_{ac} = IR$ $U_{cb} = U_s$ 所以 $U_{ab} = IR + U_s$

图 1-20b: $U_{ac} = -IR$ $U_{cb} = U_s$ 所以 $U_{ab} = -IR + U_s$

图 1-20c: $U_{ac} = IR$ $U_{cb} = -U_s$ 所以 $U_{ab} = IR - U_s$

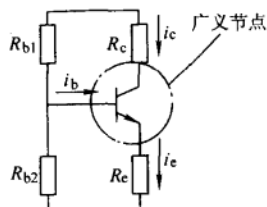


图 1-17 广义节点

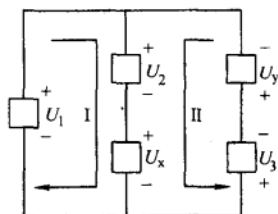


图 1-18 例 1-5 方法一

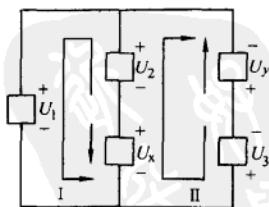


图 1-19 例 1-5 方法二

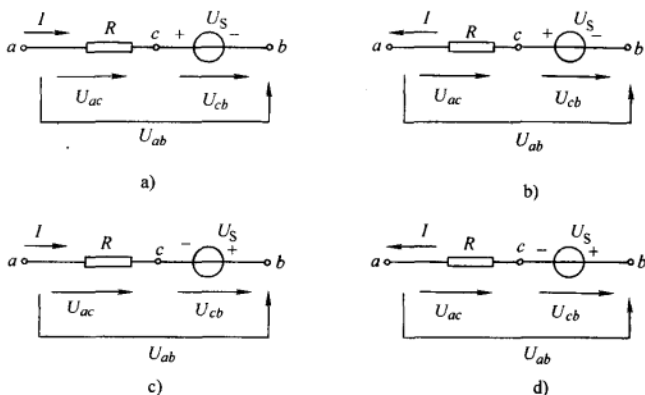


图 1-20 例 1-6 图

图 1-20d: $U_{ac} = -IR$ $U_{cb} = -U_s$ 所以 $U_{ab} = -IR - U_s$

例 1-7 电路如图 1-21a 所示, 试求开关 S 断开和闭合两种情况下 a 点的电位。

解 图 1-21a 是电子电路中的一种习惯画法, 即不画出电源符号, 而改为标出其电位的极性和数值。图 1-21a 可改画为图 1-21b。

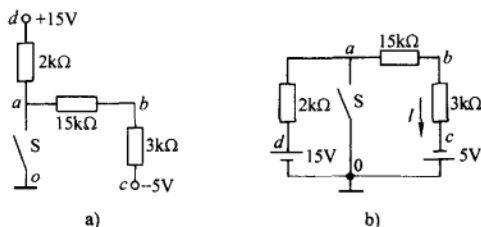


图 1-21 例 1-7 图

(1) 开关 S 断开时

据 KVL

$$(2 + 15 + 3)\text{k}\Omega \cdot I = (5 + 15)\text{V}$$

$$I = \frac{5 + 15}{2 + 15 + 3}\text{mA} = 1\text{mA}$$

由“箭头首尾衔接法”得

$$\begin{aligned} V_a &= U_{ao} = U_{ab} + U_{bc} + U_{co} = (15 + 3)\text{k}\Omega \cdot I - 5\text{V} \\ &= (18 \times 1 - 5)\text{V} = 13\text{V} \end{aligned}$$

或

$$\begin{aligned} V_a &= U_{ao} = U_{ad} + U_{do} = -2\text{k}\Omega \cdot I + 15\text{V} \\ &= (-2 \times 1 + 15)\text{V} = 13\text{V} \end{aligned}$$

(2) 开关 S 闭合时

$$V_a = 0$$

四、基尔霍夫定律的应用——支路电流法

支路电流法是以支路电流为未知数, 根据 KCL 和 KVL 列方程的一种方法。

可以证明, 对于具有 b 条支路、 n 个节点的电路, 应用 KCL 只能列 $(n - 1)$ 个独立的节点方程, 应用 KVL 只能列 $l = b - (n - 1)$ 个独立的回路方程。

应用支路电流法的一般步骤:

- 1) 在电路图上标出所求支路电流参考方向, 再选定回路绕行方向。
- 2) 根据 KCL 和 KVL 列方程组。
- 3) 联立方程组, 求解未知量。

例 1-8 电路如图 1-22 所示, 已知 $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 5\Omega$, $R_3 = 5\Omega$, $U_{S1} = 13V$, $U_{S2} = 6V$, 试求各支路电流及各元件上的功率。

解 (1) 先任意选定各支路电流的参考方向和回路的绕行方向, 并标于图上。

(2) 根据 KCL 列方程

节点 a $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

(3) 根据 KVL 列方程

回路 I: $R_1 I_1 - R_2 I_2 + U_{S2} - U_{S1} = 0$

回路 II: $R_2 I_2 + R_3 I_3 - U_{S2} = 0$

(4) 将已知数据代入方程, 整理得

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ 10\Omega \cdot I_1 - 5\Omega \cdot I_2 = 7V \\ 5\Omega \cdot I_2 + 5\Omega \cdot I_3 = 6V \end{cases}$$

(5) 联立求解得

$$I_1 = 0.8A, I_2 = 0.2A, I_3 = 1A$$

(6) 各元件上的功率计算

$$P_{S1} = -U_{S1} I_1 = -13 \times 0.8W = -10.4W$$

即电压源 U_{S1} 发出功率 10.4W。

$$P_{S2} = -U_{S2} I_2 = -6 \times 0.2W = -1.2W$$

即电压源 U_{S2} 发出功率 1.2W。

$$P_{R1} = I_1^2 R_1 = (0.8)^2 \times 10W = 6.4W$$

即电阻 R_1 上消耗的功率为 6.4W。

$$P_{R2} = I_2^2 R_2 = (0.2)^2 \times 5W = 0.2W$$

即电阻 R_2 上消耗的功率为 0.2W。

$$P_{R3} = I_3^2 R_3 = 1^2 \times 5W = 5W$$

即电阻上消耗的功率为 5W。

电路功率平衡验证:

1) 电路中两个电压源发出的功率为

$$10.4W + 1.2W = 11.6W$$

2) 电路中电阻消耗的功率为

$$6.4W + 0.2W + 5W = 11.6W$$

即

$$\Sigma P_{\text{发出}} = \Sigma P_{\text{吸收}} \quad (1-11)$$

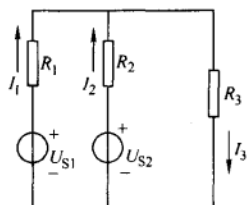


图 1-22 例 1-8 图