



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
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

第2版

申凤琴 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



教师免费下载
www.cmpedu.com

赠电子课件等

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
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

第2版

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

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书主要内容有：直流电路，正弦交流电路，变压器，异步电动机，常用半导体元器件及应用，运算放大器及其应用，数字电路基础及组合逻辑电路，时序逻辑电路等。

本书各章配有相关实验及边学边练内容，边学边练内容中包含【读一读】、【议一议】及【练一练】等，便于自学；本书各章章前有【本章知识点】，各章有形式多样的习题；书末附有思考题及习题答案，可供读者参考。

本书可作为高等职业院校机电类专业（少学时）和相关专业的教材，也可作为相关岗位的岗前培训教材。

为方便教学，本书配有免费电子课件、模拟试卷及答案等，凡选用本书作为教材的学校，均可来电索取。咨询电话：010-88379758；电子邮箱：wangzongf@163.com。

图书在版编目（CIP）数据

电工电子技术基础/申凤琴主编. —2版. —北京：机械工业出版社，2012.8

普通高等教育“十一五”国家级规划教材 高等职业技术教育机电类专业规划教材

ISBN 978-7-111-38785-5

I. ①电… II. ①申… III. ①电工技术-高等职业教育-教材②电子技术-高等职业教育-教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 127194 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：王宗锋 责任编辑：王宗锋 版式设计：霍永明

责任校对：肖琳 封面设计：姚毅 责任印制：张楠

北京振兴源印务有限公司印刷

2012 年 8 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 12 印张 · 293 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-38785-5

定价：24.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010) 88379649

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

第 2 版前言

本书第 1 版 2006 年 6 月出版,被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,并于 2009 年获西安理工大学优秀教材一等奖,2011 年获陕西省普通高校优秀教材二等奖;共印刷 9 次,使用 6 年来,得到了师生们广泛好评。

根据高等职业教育的发展和现状,对第 1 版教材进行了修订。第 2 版保留了原书的结构体系、特点和精华内容,难易程度符合现今高等职业教育的生源状况。

本书主要修订内容包括:①本次主要对电子技术部分进行了修订,降低了理论难度。②修改了部分实验内容。③增加了边学边练内容,旨在使学有余力的学生开阔视野,掌握更多的电工电子技术技能。边学边练内容将所学内容分解成若干小块,有利于自学。

本书参考学时为 70~80 学时,学时分配见学时分配建议表,供教师参考。其中,实验课时不含边学边练课时,根据实际情况,机动课时可安排习题课,也可安排边学边练。

学时分配建议表

序号	课 程 内 容		学 时 数			
			合计	理论	实验	机动
1	电路基础	直流电路	12	8	2	2
		正弦交流电路	14	10	2	2
2	电动机与变压器	变压器	4	4		
		异步电动机	8	6	2	
3	模拟电子技术	常用半导体元器件及应用	12	8	2	2
		运算放大器及其应用	10	6	2	2
4	数字电子技术	数字电路基础及组合逻辑电路	10	6	2	2
		时序逻辑电路	10	6	2	2
合 计			80	54	14	12

本书由申凤琴任主编,田培成、杨宏任副主编,参加编写的还有张利玲。其中,申凤琴编写第三章~第六章,实验一~实验三,边学边练一、边学边练二;田培成编写第七章、第八章,边学边练三、边学边练四;杨宏编写第一章、第二章。张利玲编写实验四~实验七。全书由申凤琴统稿。

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

第1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“必需、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、新技术和新器件。

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~第八章及实验一~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

第2版前言

第1版前言

第一章 直流电路	1
第一节 电路的组成及主要物理量	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 简单电阻电路的分析方法	11
实验一 直流电路综合训练	17
边学边练一 万用表的使用	19
思考题与习题	22
第二章 正弦交流电路	26
第一节 正弦量及其相量表示法	26
第二节 纯电阻电路	32
第三节 纯电感电路	34
第四节 纯电容电路	36
第五节 简单交流电路	39
第六节 对称三相交流电路	46
实验二 交流电量的测量	51
边学边练二 功率因数的提高	52
思考题与习题	55
第三章 变压器	57
第一节 单相变压器	57
第二节 三相变压器	61
第三节 自耦变压器	64
思考题与习题	65
第四章 异步电动机	67
第一节 三相异步电动机	67
第二节 单相异步电动机	79
实验三 异步电动机的认识	82
思考题与习题	84
第五章 常用半导体元器件及应用	86
第一节 半导体二极管及应用	86
第二节 晶体管	92

第三节 单管基本放大电路	97
第四节 多级放大器	104
实验四 单管共射放大电路的测试	108
边学边练三 直流稳压电源	110
思考题与习题	113
第六章 运算放大器及其应用	116
第一节 集成运算放大器	116
第二节 负反馈放大器	119
第三节 运算放大器的应用	124
实验五 运算放大器的线性应用	130
思考题与习题	131
第七章 数字电路基础及组合逻辑 电路	134
第一节 数字电路基础	134
第二节 门电路	139
第三节 常用集成组合逻辑电路	146
实验六 集成门电路的应用	150
思考题与习题	153
第八章 时序逻辑电路	155
第一节 触发器	155
第二节 计数器	161
第三节 寄存器	167
实验七 计数器的应用	170
边学边练四 555 时基电路	172
思考题与习题	175
附录	178
附录 A 常用阻容元件的标称值	178
附录 B 国产部分检波与整流二极管的主要 参数	179
附录 C 国产部分硅稳压管的主要参数	180
部分思考题与习题答案	181
参考文献	185

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），简称为安。

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 1-3 所示，图 1-3a 为直流，图 1-3b、c 为交流。

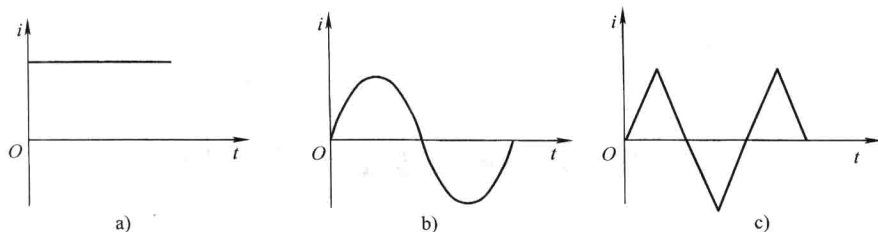


图 1-3 几种常见电流的波形

将电流的实际方向规定为正电荷运动的方向。

在分析电路时，对于复杂电路，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，因而引入了“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。

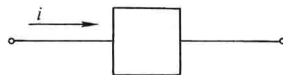


图 1-4 电流参考方向
标注方法

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），简称为伏。

(2) 电位 在电路中任选一点为电位参考点（即零电位点），则某点到电位参考点的电压就称为这一点（相对于电位参考点）的电位。如 A 点的电位记作 V_A 。当选择 O 点为电位参考点时，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，电压又称为电位差。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，“+”表示参考高电位端（正极），“-”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。

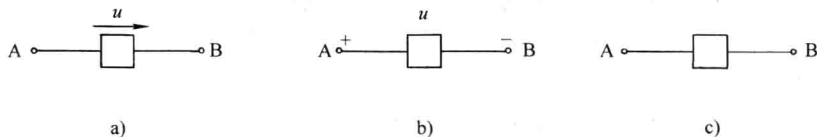


图 1-5 几种电压参考方向的标注方法

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

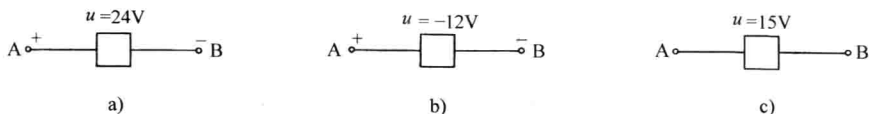


图 1-6 例 1-1 图

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），简称为瓦。

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



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

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 所示电路中元件吸收的功率。

解 1) 图 1-8a 中， 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 -12 W ，即发出的功率为 12 W 。

2) 图 1-8b 中， 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 中， 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 中， 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 。

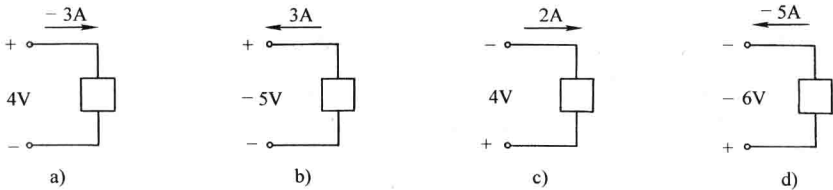


图 1-8 例 1-2 图

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),简称为欧。

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、白炽灯及电阻器等。

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。电导与电阻的关系为

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

电导的单位是西门子,简称为西 (S)。

3. 电阻元件上的电压、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 所示电路中, 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,如图 1-11 所示,该曲线为二极管的伏安特性。

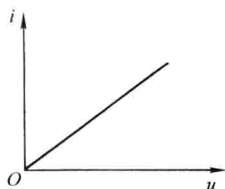


图 1-10 线性电阻元件的伏安特性

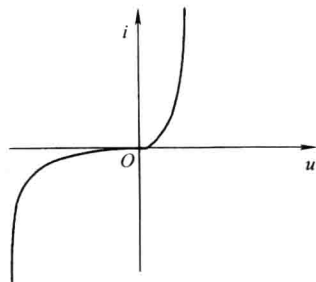


图 1-11 非线性电阻元件的伏安特性

本书只介绍线性电阻元件及含线性电阻元件的电路。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, $R=0$ 时,称 a 、 b 两点短路; $R \rightarrow \infty$ 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, $p \geq 0$, 这说明电阻总是消耗 (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

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

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

所以, u 的实际方向与参考方向相反。

因 $p = Ri^2$, 故

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

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) 的一种抽象表示。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 1-12a 中的 “+”、“-” 是 U_S 的极性, 图 1-12b 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:

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。对该电路进一步说明: 无论电压源是否有电流输出, $U = U_S$, 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 $R = 5 \Omega$ 的电阻连接于 U_S 两端, 则有 $I = 1 \text{ A}$; 若将 R 改为 10Ω , 则有 $I = U_S / R = 0.5 \text{ A}$ 。

三、电流源

电流源也是实际电源 (如光电池) 的一种抽象表示。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。图 1-14a 中箭头所指方向为 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

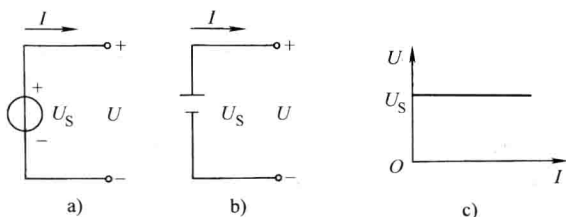


图 1-12 电压源的图形符号及其伏安特性

a) 直流电压源符号 1 b) 直流电压源符号 2 c) 伏安特性

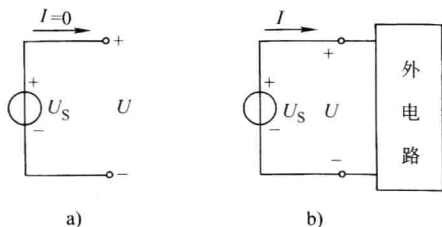


图 1-13 电压源与外电路的连接

a) 电压源未接外电路 (即开路)
b) 电压源接外电路

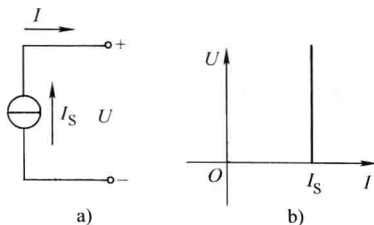


图 1-14 电流源的图形符号

及其伏安特性

a) 直流电流源图形符号 b) 伏安特性

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 $I_S = 3A$, 将 $R = 5\Omega$ 的电阻连接于 I_S 两端, 则有 $U = 15V$; 若将 R 改为 6Ω , 则有 $U = I_S R = 18V$ 。

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, 就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关系呢? 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。图 1-15 中的 afc 、 ab 、 bc 及 aeo 均为支路。

(2) 节点 三条或三条以上支路的连接点称为节点。图 1-15 中的 a 、 b 、 c 及 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为回路。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。

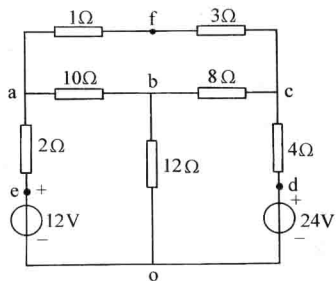


图 1-15 电路的组成

二、基尔霍夫电流定律 (简称 KCL)

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

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

KCL 源于电荷守恒原理。

例 1-4 在图 1-16 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。若电流的参考方向为“流入”节点 a 的电流取“+”, 则“流出”节点 a 的电流取“-”。

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

步骤二: 将电流本身的实际数值代入上式, 得

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

$$i_5 = 14A$$

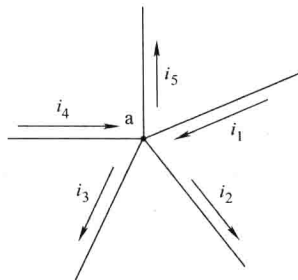


图 1-16 节点电流的分配

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

$$i_b + i_c - i_e = 0$$

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 “+、-”;
- ②电流本身的 “+、-”。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 所示的电路中, 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、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, 该电压取 “+”, 否则取 “-”。

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 “+、-”; ②电压本身的 “+、-”。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”, 直接求回路中唯一的未知电压, 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 1-20d: $U_{ac} = -IR$ $U_{cb} = -U_S$ 所以 $U_{ab} = -IR - U_S$

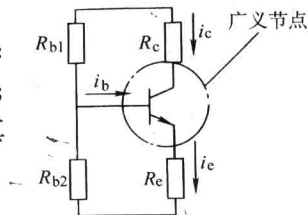


图 1-17 广义节点

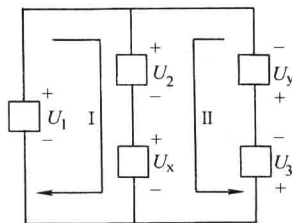


图 1-18 例 1-5 方法一图

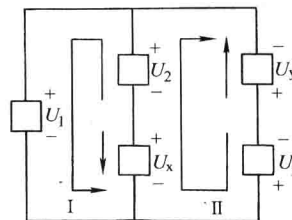


图 1-19 例 1-5 方法二图

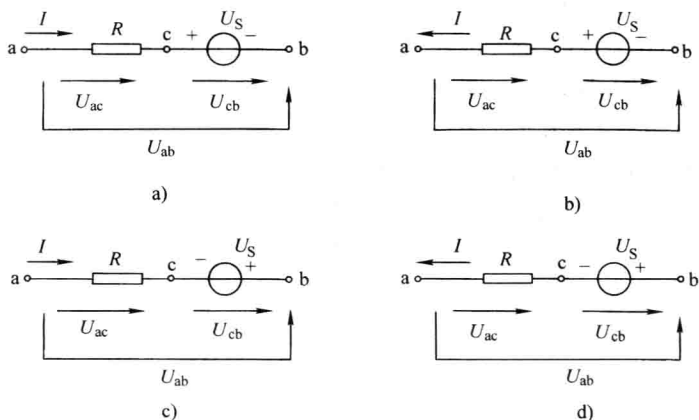


图 1-20 例 1-6 图

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。

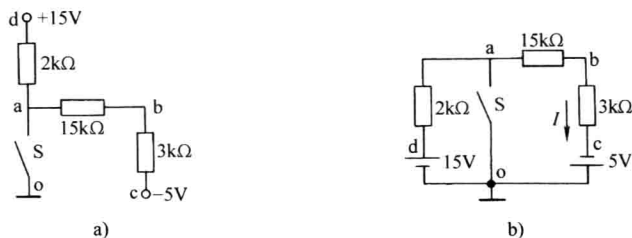


图 1-21 例 1-7 图

(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的参考方向，再选定回路绕行方向。
- 2) 根据 KCL 和 KVL 列方程。
- 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 R_3 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

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

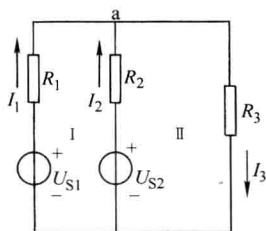


图 1-22 例 1-8 图

可见, 功率平衡, 即

$$P_{S1} + P_{S2} + P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = (-10.4 - 1.2 + 6.4 + 0.2 + 5) \text{ W} = 0$$

$$\Sigma P = 0 \quad (1-12)$$

第四节 简单电阻电路的分析方法

一、二端网络等效的概念

1. 二端网络

网络是指复杂的电路。图 1-23a 所示电路中, 网络 A 通过两个端钮与外电路连接, A 称为二端网络。

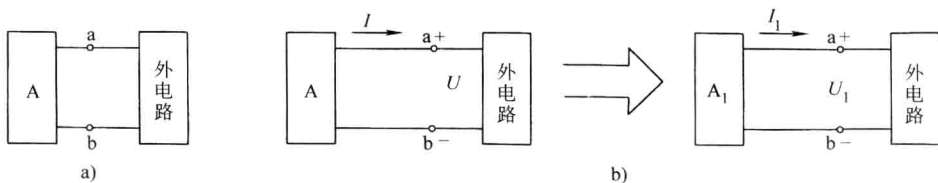


图 1-23 二端网路等效示意图

2. 等效的概念

当二端网络 A 与二端网络 A_1 的端钮的伏安特性相同时, 即 $I = I_1$, $U = U_1$, 则称 A 与 A_1 是两个对外电路等效的网络, 如图 1-23b 所示。

二、电阻的串并联及分压、分流公式

1. 电阻的串联及分压公式

图 1-24a、b 所示为电阻的串联及其等效电路。根据 KVL 得

$$U = U_1 + U_2 = (R_1 + R_2)I = RI$$

式中, R 为串联电路的等效电阻, $R = R_1 + R_2$ 。

同理, 当有 n 个电阻串联时, 其等效电阻为

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n \quad (1-13)$$

当有两个电阻串联时, 其分压公式为

$$U_1 = IR_1 = \frac{U}{R_1 + R_2} R_1$$

所以

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \quad (1-14)$$

同理

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

2. 电阻的并联及分流公式

图 1-25a、b 所示为电阻的并联及其等效电路。

根据 KCL 得

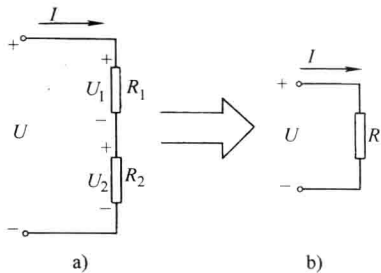


图 1-24 电阻串联等效示意图

$$I = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) U = \frac{1}{R} U$$

式中, R 为并联电路的等效电阻, $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ (或 $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$)。

同理, 当有 n 个电阻并联时, 其等效电阻的计算公式为

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n} \quad (1-15)$$

用电导表示为

$$G = G_1 + G_2 + \cdots + G_n$$

当两个电阻并联时, 其分流公式为

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{IR}{R_1}$$

所以

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad (1-16)$$

同理

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

例 1-9 今有一满偏电流 $I_g = 100 \mu\text{A}$, 内阻 $R_g = 1600 \Omega$ 的表头, 如图 1-26 所示, 若要改变为能测量 1mA 的电流表, 问需并联的分流电阻为多大。

解 要改装成 1mA 的电流表, 应使 1mA 的电流通过电流表时, 表头指针刚好满偏。根据 KCL

$$I_R = I - I_g = (1 \times 10^{-3} - 100 \times 10^{-6}) \text{A} = 900 \mu\text{A}$$

根据并联电路的特点, 有

$$I_R R = I_g R_g$$

则

$$R = \frac{I_g}{I_R} R_g = \frac{100}{900} \times 1600 \Omega = 177.8 \Omega$$

即在表头两端并联一个 177.8Ω 的分流电阻, 就可将电流表的量程扩大为 1mA 。

例 1-10 多量程电流表如图 1-27 所示。若 $I_g = 100 \mu\text{A}$, $R_g = 1600 \Omega$, 今欲扩大量程 I 为 1mA 、 10mA 、 1A 三档, 试求 R_1 、 R_2 、 R_3 的值。

解 1mA 档: 当分流器 RS 在位置 “3” 时, 量程为 1mA , 分流电阻为 $R_1 + R_2 + R_3$, 由例 1-9 可知, 分流电阻为

$$R_1 + R_2 + R_3 = 177.8 \Omega$$

10mA 档: 当分流器 RS 在位置 “2” 时, 量程为 10mA , 即 $I = 10\text{mA}$, 此时, $(R_1 + R_2)$ 与 $(R_g + R_3)$ 并联分流, 有

$$(I - I_g)(R_1 + R_2) = I_g(R_g + R_3)$$

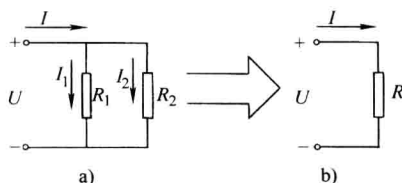


图 1-25 电阻并联等效示意图

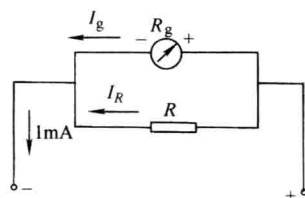


图 1-26 例 1-9 图

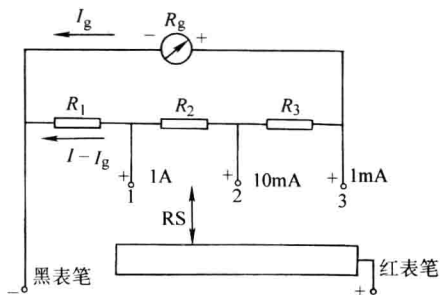


图 1-27 例 1-10 图