

实用电工技术

高等职业技术电子信息类专业教材

电子工业出版社

高等职业技术电子信息类专业教材

实用电工技术

王健生 张曙明 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

URL: <http://www.phei.com.cn>

高等职业技术电子信息类专业教材

实用电工技术

王健生 张曙明 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是为高等职业教育电子信息类专业编写的系列教材之一。全书共分8章,内容包括:电路的基本知识与简单电路分析、复杂电路分析、电路的过渡过程、正弦交流电路分析、三相交流电与低压配电线路、变压器、电动机、安全用电知识。本书的内容涵盖了电路分析和电工学的基本理论,对与信号电路的分析和应用有关的内容做了较大的扩展与延伸。根据高等职业教育以能力为本位的指导思想和电子信息类专业的特点,在编写中侧重了基本知识的物理概念,简化了复杂的推导过程,加强了基础知识在模拟电子电路及电子信息领域的实际应用。各章配有与内容有关的习题和实际操作的训练。

本书也可以作为高等职业教育电子类其他专业的教材及从事电子工程有关人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

实用电工技术/王健生,张曙明编著. - 北京:电子工业出版社,2000.8

高等职业技术电子信息类专业教材

ISBN 7-5053-5877-4

I.实... II.①王...②张... III.电工技术-高等学校;技术学校-教材 IV.TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 36459 号

丛 书 名: 高等职业技术电子信息类专业教材

书 名: 实用电工技术

编 著 者: 王健生 张曙明

策划编辑: 应月燕

责任编辑: 张荣琴

特约编辑: 寒 雨

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京天竺颖华印刷厂

装 订 者: 三河市金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 17 字数: 430 千字

版 次: 2000 年 8 月第 1 版 2000 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-5877-4
G·537

印 数: 6000 册 定价: 20.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请向购买书店调换;

若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

《高等职业技术电子信息类专业教材》编委会

主 任：吴金生

副主任：高 林 朱懿心 戴士弘 文宏武

委 员：鲍有文 陈为正 陈 岗 江小安

刘守义 林 海 陶 林 佟伟光

俞光昀 余苏宁 张俊玲 周政新

张义方 张文学



目 录

第1章 电路的基本定律与简单电路分析	(1)
1.1 电路和电路模型	(1)
1.1.1 电路的组成和作用	(1)
1.1.2 电路模型	(1)
1.2 电路的基本变量	(2)
1.2.1 电流	(2)
1.2.2 电压	(3)
1.2.3 关联参考方向	(4)
1.3 基尔霍夫定律	(5)
1.3.1 几个名词介绍	(5)
1.3.2 基尔霍夫电流定律(KCL)	(5)
1.3.3 基尔霍夫电压定律(KVL)	(7)
1.3.4 几点重要说明	(8)
1.3.5 元件串、并联	(8)
1.4 电阻元件	(8)
1.4.1 线性电阻 欧姆定律	(8)
1.4.2 非线性电阻	(10)
1.4.3 开路和短路	(10)
(操作与应用)·元件的联接与电阻、电压和电流测量	(11)
1.5 电压源和电流源	(12)
1.5.1 电压源	(12)
1.5.2 电流源	(13)
1.5.3 电压源和电流源的功率	(14)
1.5.4 电动势	(15)
1.5.5 实际电源的模型	(15)
1.6 受控源	(16)
1.6.1 受控源的引入	(16)
1.6.2 四种受控源	(17)
1.6.3 举例与说明	(18)
1.7 电器设备的额定值	(19)
1.7.1 什么是额定值	(19)
1.7.2 根据额定值正确选择、使用实际元件和设备	(19)
1.8 电阻的串联分压与并联分流	(19)
1.8.1 串联电阻的分压公式	(19)
1.8.2 并联电阻的分流公式	(20)

1.8.3 分压、分流电路举例	(21)
1.8.4 分压分流公式与参考方向	(22)
〈操作与应用〉 伏安特性的测量	(23)
1.9 电阻混联电路	(24)
1.10 电位的计算	(26)
1.10.1 电位的概念	(26)
1.10.2 电位的计算	(26)
1.10.3 电子线路的习惯画法	(27)
〈操作与应用〉 简单电路的故障检查	(28)
1.11 含理想运算放大器的简单电阻电路	(30)
1.11.1 理想运算放大器	(30)
1.11.2 虚短路和虚断路	(31)
1.11.3 含运算放大器的简单电路分析举例	(31)
习题一	(32)
第2章 复杂电路分析	(37)
2.1 支路电流法	(37)
2.1.1 概述	(37)
2.1.2 几点说明	(37)
2.1.3 例题	(38)
2.2 网孔分析法	(39)
2.2.1 网孔电流与网孔分析法	(39)
2.2.2 网孔方程的建立	(39)
2.2.3 例题	(40)
2.3 节点分析法	(41)
2.3.1 节点电压和节点分析法	(41)
2.3.2 节点方程的建立	(42)
2.3.3 例题	(42)
2.4 叠加定理	(44)
2.4.1 齐次性和叠加性	(44)
2.4.2 叠加定理	(45)
2.4.3 例题	(45)
〈操作与应用〉 复杂直流电路故障检查	(46)
2.5 等效电路的概念 等效电阻	(46)
2.5.1 等效电路的概念	(47)
2.5.2 等效电路的定义	(47)
2.5.3 电阻串并联的等效电阻	(48)
2.5.4 利用串并联电阻等效公式化简电路	(48)
2.6 π 型网络和 Π 型网络的等效变换	(51)
2.6.1 π 形网络和 Π 形网络的等效变换	(51)
2.6.2 计算举例	(52)

2.6.3 电桥电路	(53)
2.7 含独立源电路的等效变换	(54)
2.7.1 两个元件串并联等效规律	(54)
2.7.2 实际电源的两种模型	(56)
2.7.3 例题	(56)
2.8 含受控源电路的等效变换	(57)
〈操作与应用〉 电源内阻对带负载能力的影响	(59)
2.9 戴维南定理和诺顿定理	(60)
2.9.1 戴维南定理和诺顿定理	(60)
2.9.2 解题举例	(61)
2.9.3 R_0 的计算	(63)
2.9.4 放大电路的输入电阻和输出电阻	(64)
〈操作与应用〉 电压表内阻对测量结果的影响	(66)
〈操作与应用〉 开路电压与输出电阻的测量	(67)
2.10 最大功率传输定理	(68)
2.10.1 最大功率传输定理	(68)
2.10.2 例题	(68)
2.10.3 几点说明	(69)
〈操作与应用〉 电路故障的分级分块检查	(69)
2.11 含理想运放的复杂电路	(70)
2.11.1 叠加定理应用于含理想运放电路	(70)
2.11.2 节点分析法应用于含理想运放电路	(71)
习题二	(72)
第3章 电路的过渡过程——动态电路分析	(78)
3.1 RC 电路过渡过程	(78)
3.1.1 电容元件	(78)
3.1.2 电容充电的过渡过程	(80)
3.1.3 电容的放电过程	(83)
3.1.4 例题	(84)
3.2 RL 电路的过渡过程	(86)
3.2.1 电感元件	(86)
3.2.2 直流电源接入 RL 电路的过渡过程	(88)
3.2.3 RL 电路的“放电”过程	(90)
3.2.4 例题	(91)
3.2.5 零输入响应和零状态响应	(93)
3.3 三要素法	(94)
3.3.1 三要素法	(94)
3.3.2 例	(95)
3.3.3 方法小结	(98)
3.3.4 补偿分压电路与示波器探头	(99)

3.4 过渡过程应用举例	(101)
〈操作与应用〉 电容和电感的识别与检测	(102)
〈操作与应用〉 一阶电路的响应和时间常数的测定	(104)
3.5 RLC 电路的过渡过程	(105)
3.5.1 二阶电路	(105)
3.5.2 RLC 串联电路的零输入响应	(106)
习题三	(108)
第4章 正弦交流电路	(113)
4.1 正弦电压和电流 有效值	(113)
4.1.1 正弦电压和电流的表示	(113)
4.1.2 相位差	(116)
4.1.3 有效值	(118)
4.2 相量	(120)
4.2.1 复数及运算	(120)
4.2.2 相量	(121)
〈操作与应用〉 用示波器观测正弦信号	(123)
4.3 交流电路中的基本元件及特性	(124)
4.3.1 电阻	(124)
4.3.2 电容	(124)
4.3.3 电感元件	(125)
4.3.4 小结	(126)
4.3.5 例题	(126)
4.4 基尔霍夫定律的相量形式	(127)
4.4.1 基尔霍夫定律的相量形式	(127)
4.4.2 例题	(128)
4.5 阻抗与导纳、相量模型	(129)
4.5.1 阻抗与导纳	(129)
4.5.2 相量模型	(131)
4.5.3 无源单口网络的阻抗和导纳	(133)
4.6 正弦交流电路的计算	(135)
4.6.1 元件(阻抗)混联电路的计算	(135)
4.6.2 网孔法和节点法	(136)
4.6.3 戴维南定理	(137)
4.6.4 叠加定理	(138)
4.6.5 电源模型的等效变换	(139)
〈操作与应用〉 元件的交流特性与参数测量	(140)
4.7 正弦交流电路的功率	(141)
4.7.1 RLC 三种基本元件的功率	(141)
4.7.2 单口网络的功率	(144)
4.7.3 功率因数的提高	(146)

4.7.4 最大功率传输定理	(147)
〈操作与应用〉 交流电路的耦合方式及故障检查	(148)
4.8 电路的频率响应	(150)
4.8.1 频率响应的概念	(150)
4.8.2 简单 RC 电路的频率响应	(150)
4.8.3 RLC 电路的频率响应、谐振	(153)
〈操作与应用〉 频率特性的测量	(157)
习题四	(158)
第 5 章 三相交流与低压配电线路	(163)
5.1 三相交流电路概述	(163)
5.2 三相交流电源	(164)
5.2.1 三相交流电的产生	(164)
5.2.2 三相交流电的供电方式	(165)
5.3 三相电路负载的连接	(167)
5.3.1 负载接入三相电源的原则	(168)
5.3.2 单相负载的连接	(168)
5.3.3 对称三相负载的连接	(168)
5.4 三相电路的计算	(169)
5.4.1 对称三相负载星形连接	(169)
5.4.2 对称三相负载三角形连接	(171)
5.4.3 三相不对称负载的星形连接	(172)
5.5 三相电路的功率	(174)
5.5.1 有功功率	(174)
5.5.2 无功功率	(174)
5.5.3 视在功率	(174)
5.6 低压配电线路	(175)
5.6.1 低压配电线路的结构	(175)
5.6.2 低压配电线路的组成	(175)
5.6.3 低压配电标准	(176)
5.6.4 照明电路施工图	(177)
〈操作与应用〉 室内照明电的一般检测	(179)
〈操作与应用〉 单相负载的连接与测量	(180)
习题五	(181)
第 6 章 变压器	(182)
6.1 变压器的一般概念	(182)
6.1.1 变压器的功能与分类	(182)
6.1.2 变压器的基本构造	(183)
6.1.3 变压器使用的磁性材料	(184)
6.1.4 变压器铁芯中的电磁关系	(186)
6.2 变压器的工作原理	(187)

6.2.1 空载运行	(188)
6.2.2 负载运行	(189)
6.2.3 变压器的阻抗变换	(190)
6.3 变压器在力能电路中的应用	(192)
6.3.1 电源变压器	(192)
6.3.2 电源变压器的选购与测试	(194)
6.3.3 自耦变压器	(195)
6.4 变压器在信号电路中的应用	(196)
6.4.1 电信变压器的工作特点	(196)
6.4.2 音频变压器	(197)
6.4.3 传输线变压器	(201)
6.5 变压器的指标与使用注意事项	(204)
6.5.1 电力变压器的额定值	(204)
6.5.2 变压器线圈的极性	(205)
〈操作与应用〉 电源变压器的测试	(207)
习题六	(207)
第7章 电动机	(210)
7.1 三相异步电动机	(210)
7.1.1 三相异步电动机的构造	(210)
7.1.2 三相异步电动机的工作原理	(212)
7.1.3 三相异步电动机的机械特性	(214)
7.2 三相异步电动机的使用方法	(216)
7.2.1 异步电动机的技术数据	(216)
7.2.2 异步电动机的起动方法	(217)
7.2.3 三相异步电动机的反转与制动	(219)
7.2.4 异步电动机的选用	(220)
7.3 异步电动机的基本控制电路	(220)
7.3.1 直接起动控制电路	(221)
7.3.2 异步电动机正反转控制电路	(225)
7.3.3 Y- Δ 降压起动控制电路	(226)
7.4 单相异步电动机	(227)
7.4.1 单相异步电动机的工作原理	(227)
7.4.2 几种常用的单相异步电动机	(229)
7.4.3 单相异步电动机的反转与调速	(231)
7.5 伺服电动机	(232)
7.5.1 永磁直流伺服电动机	(233)
7.5.2 无铁芯直流电动机	(237)
7.5.3 无电刷直流电动机	(238)
7.6 步进电动机	(239)
7.6.1 步进电动机的分类	(239)

7.6.2 步进电动机的结构与工作原理	(239)
7.6.3 步进电动机的主要性能指标	(241)
7.6.4 步进电动机的应用	(241)
〈操作与应用〉 常用低压电路的识别与测量	(242)
〈操作与应用〉 异步电动机基本控制电路的安装与调试	(242)
习题七	(242)
第8章 安全用电常识	(245)
8.1 触电事故	(245)
8.1.1 电器事故的几个实例	(245)
8.1.2 电器事故的原因	(245)
8.1.3 触电的种类	(246)
8.1.4 人体触电的几种形式	(247)
8.1.5 触电事故的预防措施	(247)
8.2 电器火灾事故	(248)
8.2.1 电器火灾的主要原因	(248)
8.2.2 电器火灾事故的预防	(249)
8.3 电器事故的紧急处理	(249)
8.3.1 触电事故的处理	(249)
8.3.2 电器火灾事故的处理	(250)
8.4 电器安装、运行维护的安全措施	(250)
8.4.1 设备安装中的接地与接零保护	(250)
8.4.2 线路安装的技术要求	(252)
8.4.3 低压配电线路的维修规程	(253)
〈操作与应用〉 人工呼吸法训练	(255)
习题八	(255)
参考文献	(255)

第1章 电路的基本定律与简单电路分析

本章首先讲述什么是电路和电路模型,为什么要建立电路模型;如何用参考方向正确表示电路中的电压和电流;电路中电压和电流必须遵守的基本规律——基尔霍夫定律;构成电路的最基本的元件——电阻元件、电压源和电流源,并重点讲述它们的特性,即伏安关系,进而说明如何用以上知识进行简单电路的分析计算,着重分析基本的分压和分流电路。本章最后综合讲述将以上知识运用于含运算放大器的简单电路。

与本章学习的基本理论知识相联系,学生应掌握以下基本操作技能:按电路图正确连接电路;用万用表测量直流电压、电流和电阻;测量元件和电路的伏安关系;检查和排除简单电路的故障。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路的组成和作用

电不但在生产、科研和国防等事业中有广泛的应用,而且与人们的日常生活紧密相关。在应用电的时候我们总要把一些电器件按一定方式联接在一起,这些相互联接在一起的电器件就构成了电路。

电路的作用大体可分为两类。第一类是进行能量的传输、分配和转换,如供电电路;另一类是进行信息的传递、处理或运算等,如电话线路。由于电路要实现的目的不同,对它们提出的技术要求也不同。尽管电路的复杂程度不同、功能不同,却都遵循共同的基本规律。本课程将讲述电路遵循的基本规律和基本分析方法,并培养与之相关的实际操作能力。

电路的最简单的例子是手电筒电路,它由干电池、灯泡、手电筒壳组成。干电池是提供电能的电源,它能够把化学能转变为电能。灯泡叫做负载,是用电的器件,它能把电能转变为热能,使灯丝白炽化而发光。手电筒壳是联接导体,把干电池和灯泡联接起来构成电流的通路,把电源的电能传送给负载。手电筒电路虽然很简单,但它说明了一般电路的基本组成,即电源,负载和传输设备三部分。

1.1.2 电路模型

电路的工作过程与电磁现象密切相关。电磁现象基本上可分为三类:电能的消耗现象,电场能的存储现象和磁场能的存储现象。比如电流流过线圈时必然受到阻力,一部分电能被消耗而转变成热能;同时线圈周围必然产生磁场,存储磁场能;线圈匝与匝之间形成电容必有电场存在,存储电场能。这三种电磁现象同时存在于整个线圈之中并交织在一起。电路中三种电磁现象的并存使对电路的分析非常复杂。为了分析方便,我们用一些理想电路元件或它们的组合来模拟实际电路中的器件。每种理想元件只表示一种电

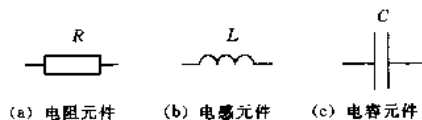


图 1-1 三种基本理想元件

磁现象,而且可以用数学方法精确定义,使我们能方便地对电路进行分析研究乃至精确的数量计算。图 1-1 表示了三种基本理想元件的图形符号,图中的电阻元件、电感元件和电容元件分别为只表示电能消耗、存储磁场能和存储电场能的理想元件。

一般情况下实际电容器被认为是一个理想电容元件就足够精确了。而电流流过线圈时电能的消耗常常不能忽略,一个实际的电感线圈要用一个理想的电感元件和一个理想的电阻元件的组合来模拟,如图 1-2 所示。模拟实际电器件的理想电路元件或它们的组合构成实际电器件的模型。

电阻器、白炽灯和电熨斗的主要作用都是把电能转换为热能,因此都用电阻元件作其模型。

综上所述,对于一个实际电路进行分析,首先是把每一个实际电器件用由理想元件构成的模型来表示,这样就构成整个实际电路的模型,对电路模型进行分析计算,就近似得到实际电路的特性。当然要构成电路的模型只有以上三种基本的理想元件是不够的,我们将陆续讨论其他理想元件的定义和特性。为叙述方便,将省略理想二字,以后文中提到的元件均指理想元件。

对电路进行理论分析计算时,电路常用电路图来表示。电路图是由元件的图形符号和表示它们之间联接关系的连线组成。手电筒的实际电路和电路图(电路模型)分别绘于图 1-3(a)、(b)中。图(b)中 R_L 为灯泡的模型、虚线框内为干电池的模型, K 表示开关。

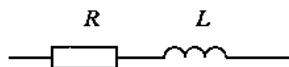


图 1-2 电感线圈的模型

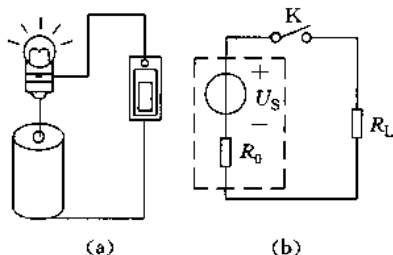


图 1-3 手电筒电路

1.2 电路的基本变量

1.2.1 电流

1.2.1.1 电流和电流强度

我们分析研究电路时主要关心的是运动的电荷。从物理学中我们已经知道物体所带电荷数量的多少称为电量,用符号 Q 或 q 表示。在国际单位制(SI)中,电量的单位是库仑(国际代号 C)。1 库仑等于 6.24×10^{18} 个电子所具有的电量。电荷的定向移动形成电流。由于电荷有正电荷和负电荷之分,习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。电流的大小用电流强度来表示。电流强度的定义是单位时间内通过导体横截面的电量。电流强度常简称为电流,用符号 i 表示,即

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

在国际单位制中,电流的单位是安培(A)。当电流是 1A 时,表示每秒钟有 1 库仑电量流过

导体的横截面。

如果电流的大小和方向不随时间变化,则这种电流叫做恒定电流,简称直流,记作 dc 或 DC,电流强度用符号 I 表示。如果电流的大小和方向都随时间变化,则称为交变电流,简称交流。记作 ac 或 AC。

1.2.1.2 电流的参考方向

对于一些复杂电路,在计算之前难以判断各元件电流的方向,我们对每个元件的电流规定一个假定的正方向,叫做参考方向。按规定的参考方向列写算式,如果某电流计算结果为正值,说明该电流真实方向与参考方向相同。如果计算结果为负值,说明电流真实方向与参考方向相反。

下面举例说明参考方向的重要性。

例 1.1 图 1-4 中 a,b,c 三个方框表示三个元件,箭头表示电流的参考方向。用 i_a 、 i_b 、 i_c 表示流过 a、b、c 三个元件的电流。说明当 $i_a=i_b=i_c=1\text{A}$ 和当 $i_a=i_b=i_c=-1\text{A}$ 时各元件电流的真实方向。

解:

(1) 当 $i_a=i_b=i_c=1\text{A}$ 时: 电流大于 0, 真实方向与参考方向相同。

i_b 由 C 流向 D, i_c 由 E 流向 F, 而 i_a 因为没标参考方向无法确定其真实方向。

(2) 当 $i_a=i_b=i_c=-1\text{A}$ 时, i_b 由 D 流向 C, i_c 由 F 流向 E, i_a 同(1)一样无法确定其方向。

上例说明电流的真实方向是由电流的参考方向和电流强度数值的符号共同决定的,缺一不可。如果不规定电流的参考方向,电流的正负号没有意义。

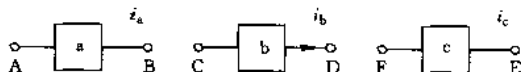


图 1-4 例 1.1

1.2.2 电压

1.2.2.1 电压和电压的极性

电荷的移动总与能量转换或做功相联系。单位正电荷从 a 点移动到 b 点,如果电场力做功则单位正电荷电位能减少。电场力作的功或单位正电荷减少的电位能称为 a、b 两点间的电压,用 u_{ab} 表示。 u_{ab} 也称作 a、b 两点的电位差。电压可用下式定义:

$$u(t) = \frac{dw}{dq} \quad (1.2)$$

其中 dq 为由 a 点移动到 b 点的电量,单位为库仑(C); dw 为移动过程中 dq 减少的电位能(电场力作的功),单位是焦耳(J); $u(t)$ 为电压,单位为伏特(V)。这些单位都是国际单位制单位。

如果正电荷由 a 转移到 b,电场力作正功电荷的电位能减少,则 a 点为高电位,称为正极, b 点为低电位,称为负极。反之正电荷由 a 到 b 的转移过程中电位能增加,电场力作负功则 a 为低电位,称为负极, b 为高电位称为正极。

大小和极性都不随时间变化的电压叫做恒定电压或直流电压,用 U 表示。如果大小和时间都随时间变化,则叫做交变电压或交流电压。

1.2.2.2 电压的参考极性

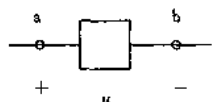


图 1-5 电压的参考极性

在计算电路时,也需要为电压规定参考极性。电压的参考极性用标在元件或电路两端的“+”或“-”符号表示,“+”号表示高电位端,“-”表示低电位端,如图 1-5 所示。当电压 u 为正值时,该电压的真实极性与参考极性相同,即 a 点电位高于 b 点电位;当电压为负值时,该电压真实极性与参考极性相反,即 a 点电位低于 b 点电位。可见电压的参考极性与电压数值的正负号共同决定了电压的真实极性,未标电压的参考极性时,电压的正负毫无意义。电压的参考极性也称电压的参考方向或正方向。

例 1.2 图 1-6(a)所示元件两端电位为 $1V$,且已知正电荷由该元件的 b 端移到 a 点时电位能增加。试说明电压的真实极性,并为该电压选一参考方向,写出相应的电压表达式。

解:正电荷由 b 点移向 a 点电位能增加,说明真实极性, a 点为高电位点是“+”极,而 b 点为低电位点是“-”极。

参考极性可任意选择,因而有两种规定方式,如图 1-6(b),(c)所示。图(b)中参考极性与真实极性一致,电压表达式为 $u_1 = 1V$ 。图(c)中由于参考极性和真实性相反,故表达式为 $u_2 = -1V$ 。对于同一个电压,由于参考极性选取不同,电压的数值或表达式将差一负号。

电压除了用参考极性配合表达式表示之外还可用双下标表示。本例中可写作 $u_{ab} = 1V$ 或 $u_{ba} = -1V$ 。

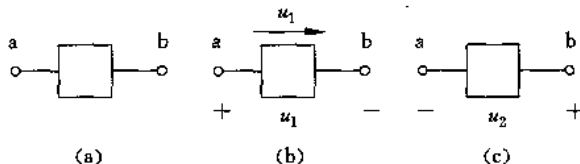


图 1-6 例 1.2

电压的参考极性(正方向)还可以用箭头表示,如图 1-6(b)所示。规定箭头方向由假定的高电位指向低电位,即指向电位降低的方向。因此 $u_1(u_{ab})$ 又称为 a 、 b 两点间的电压降。

1.2.3 关联参考方向

综上所述,在分析电路时,我们既要为通过元件的电流假设参考方向,也要为元件两端的电压假设参考极性,彼此可以独立无关的任意假定。但为了方便起见,我们常采用关联参考方向,使电流的参考方向与电压降的参考方向一致,即表示电流参考方向的箭头,由参考电压的“+”极指向“-”极,如图 1-7(a)所示。如果说明采用关联参考方向,在电路图中只需标出电流

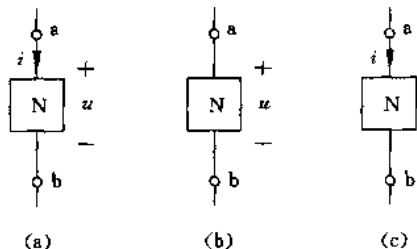


图 1-7 关联参考方向

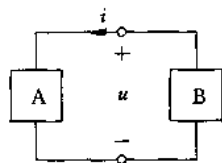


图 1-8 例 1.3

的参考方向或电压的参考极性中任何一种;另一种不言自明,如图 1-7(b)、(c)所示。采用关联参考方向也称电流和电压的正方向(参考方向)一致。

例 1.3 在图 1-8 中所标出的 u 和 i 的参考方向对元件 A 和 B 而言是关联参考方向还是非关联参考方向。

解: 图 1-8 所示的参考方向,对元件 A 而言电流 i 从 u 的正极流入,从负极流出,为关联参考方向;而对 B 元件而言 i 是从电压 u 的正极流出,负极流入,为非关联参考方向。

1.3 基尔霍夫定律

1.3.1 几个名词介绍

1.3.1.1 支路与节点

图 1-9 中的每个元件都有 2 个端钮和外部相联接,这种有 2 个端钮和外部相联接的元件称为二端元件。电路中每个二端元件又称为一条支路。支路的联接点称为节点。图中有 5 条支路,3 个节点。图 1-9 中 a、b 两点之间直接有导线相联,它们只表示同一个节点,只是为了画图方便画成两点。另外经常把若干个元件串联起来,有 2 个端钮和外部相联的整体看成一条支路。图 1-9 中可以把 R_3 和 R_4 整个看成一条支路,则联接点 3 不再成为节点。整个图就只有 4 条支路,2 个节点。

1.3.1.2 回路与网孔

电路中任一由支路构成的闭合路径称为回路,如图 1-9 中的 R_1 和 R_2 , R_1 和电源, R_1 、 R_3 和 R_4 都构成回路。回路内部不另含支路的回路称为网孔,如图 1-9 中 R_1 和 R_2 , R_2 和 R_3 、 R_4 , 元件 R_1 和电源都构成网孔。而 R_1 和 R_3 、 R_4 构成的回路就不是网孔。含元件较多的电路又称为网络,实际上电路和网络这两个名词一般不加区别,可以混用。

有 2 个端钮和外部相联接的网络称为二端网络或单(端)口网络,二端网络和外部相联接的一对端钮称为一个端口。

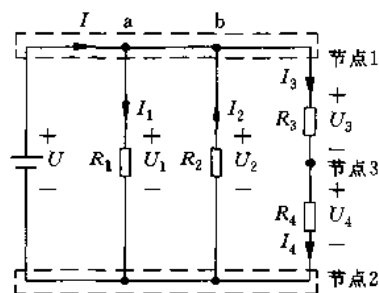


图 1-9 支路与节点

1.3.1.3 支路电流和支路电压

电路中流过支路的电流叫支路电流,支路两端的电压叫支路电压。基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律分别说明了电路中各支路电流和各支路电压之间的关系,是电路理论中最重要最基本的定律,下面将介绍这两个定律。

1.3.2 基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律又称基尔霍夫第一定律,它说明了流过同一节点各支路电流间的关系。该定律常简称为 KCL。

1.3.2.1 定律的表述

在任一时刻流出(或流入)任一节点的所有支路电流的代数和为 0(或者在任一时刻,流入任一节点的电流的总和恒等于流出该节点电流的总和)。其数学表达式为:

$$\sum i = 0 \quad (1.3)$$

或

$$\sum i_{\text{出}} = \sum i_{\text{入}} \quad (1.4)$$

1.3.2.2 KCL 的应用

应用 KCL 的数学表达式可列出关于流经同一节点电流的方程式,称为 KCL 方程。利用 KCL 方程可以由已知电流求出未知电流。现在我们说明 KCL 方程的建立与应用。

例 1.4 已知图 1-9 中 $I=8\text{A}$, $I_1=4\text{A}$, $I_2=-2\text{A}$, 求电流 I_3 。

解: 首先根据电流的参考方向, 对节点 1 由式(1.3)列 KCL 方程, 以电流流出节点为正, 则:

$$-I + I_1 - I_2 + I_3 = 0$$

解得: $I_3 = -I_1 + I_2 + I = -4 + (-2) + 8 = 2\text{A}$

I_3 为正值说明实际电流方向与规定的参考方向相同, 即流出节点 1。

由式(1.4)可列出方程

$$I_1 + I_3 = I_2 + I$$

解得: $I_3 = I_2 + I - I_1 = (-2) + 8 - 4 = 2\text{A}$

结果与上相同。

由上例得出应用 KCL 解题步骤:

第一, 规定各电流的参考方向。

第二, 列 KCL 方程。列方程时电流流出节点还是流入节点只由标注的参考方向而定, 不必考虑真实方向即电流数值的符号。

第三, 把电流的数值(包括数值中的正负号)代入方程式解出未知电流。

1.3.2.3 KCL 的推广

KCL 可以推广运用于电路中假设的闭合面。图 1-10 中虚线表示一个假设的闭合面, 闭合面内包含的元件与电路的其他部分有三条支路相联接, 由支路中电流的参考方向有等式

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

即流出(流入)封闭面的各支路电流的代数和为 0。或说流出封闭面电流的总和等于流入

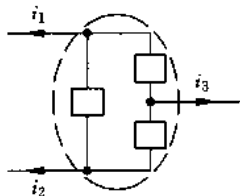


图 1-10 电路中一个晶体管的闭合面

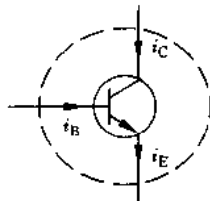


图 1-11 一个晶体管