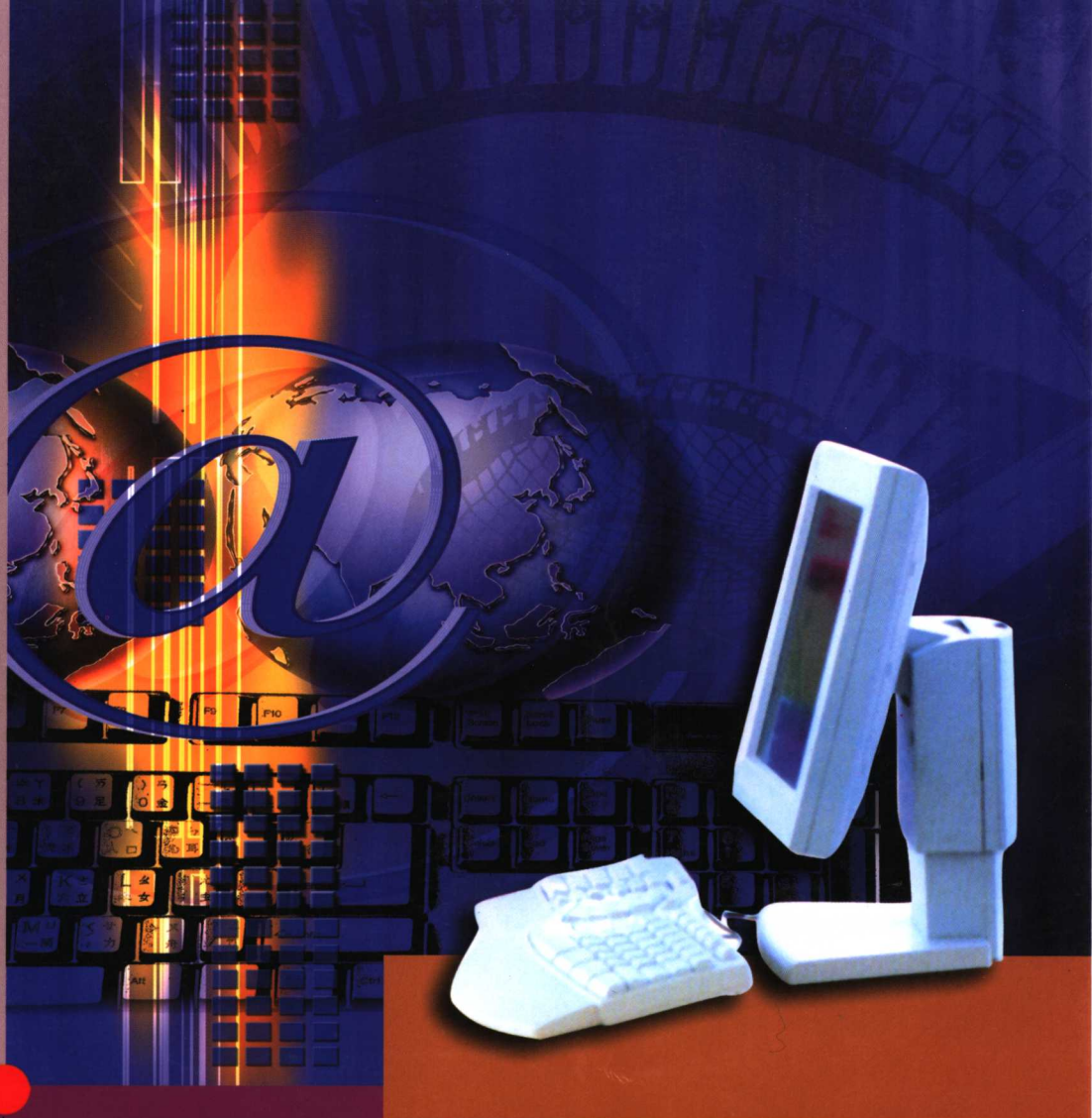


ANHUI SHENG JIAOYU TING TUIJIAN JIAOCAI (GONG GAOZHIGAOZHUAN SHIYONG)

安徽省教育厅推荐教材(供高职高专使用)



电路技术基础

上篇：电路与模拟电子技术

周士成 林春方 章利才 江 力/编著

安徽大学出版社

安徽省教育厅推荐教材

电路技术基础

上篇——电路与模拟电子技术

周士成 林春方 编著
章利才 江 力

安徽大学出版社

11/11/11/12

图书在版编目(CIP)数据

电路技术基础 / 周士成等编著. - 合肥: 安徽大学出版社, 2003. 2
安徽省高职高专计算机教育系列教材
ISBN 7-81052-638-3

I. 电... II. 周... III. 电路学 - 高等学校: 技术学校 - 教材
IV. 0441

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 003713 号

电 路 技 术 基 础

周士成 林春方 章利才 江 力 编著

出版发行 安徽大学出版社
(合肥市肥西路 3 号 邮编 230039)

联系电话 编辑室 0551-5108241
发行部 0551-5107784

E-mail: ahdxchps@mail.hf.ah.cn

责任编辑 钟 蕾

封面设计 孟献辉

经 销 新华书店

印 刷 合肥中德印刷培训中心印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 9.75

字 数 225 千

版 次 2003 年 2 月第 1 版

印 次 2003 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 7-81052-638-3/T·88

定价 25.80 元

如有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换

编委会名单

主任：孙家启

副主任：孙敬华 陈桂林

委员：(按姓氏笔划)

王忠仁	方少卿	宁可	江鹰
孙敬华	孙家启	吴玉	李雪
周士成	周伟良	杨克玉	陈桂林
郑尚志	宫纪明	咎超	郝坤
钱峰	钱传林	蔡之让	

秘书长：李雪

编写说明

1999年10月,教育部高教司主持召开了全国高职高专教材工作会议,会议要求尽快组织规划和编写一批高质量的、具有高职高专特色的基础专业教材。根据会议精神,在省教育厅高教处关心和支持下,于2001年3月、2002年4月由安徽高等学校计算机基础课程教学指导委员会组织,两次在合肥召开了全省各地的部分高职高专、普通中专(招五年制高职)及本科学校的代表参加的“新世纪安徽省高职高专计算机教育教材建设研讨会”。与会领导和教师一致认为,当前编写一套适合培养技术应用型人才要求的、真正具有高职高专特色的、体系完整的计算机教育系列教材,是十分必要的。会议成立了安徽省高职高专计算机教育系列教材编写委员会,并决定根据教育部制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专专业人才培养目标及规格》,组织编写包括高职高专计算机专业和非计算机专业的教材和参考书。不同专业可以从中选择所需的部分。

安徽省高职高专计算机教育系列教材(含配套教材)计划出30余种,用2~3年时间完成。计划先用1~2年时间,在继承已有高职高专计算机系列教材成果的基础上,充分吸取近几年各地出版计算机教育系列教材的新经验,再结合我省实际组织编写:计算机应用基础、Visual FoxPro 程序设计、Visual Basic 程序设计、C语言程序设计、C++程序设计、Auto CAD 2000 应用教程、计算机网络基础、计算机网站建设与维护、网页设计、电路技术基础、电子商务、实用数据结构、数据库原理及应用、微型机原理及接口技术、微型机组装与维护、多媒体技术及应用等教材和有关配套教材。再用1年左右时间,对已出版的教材进行更新、完善,并陆续推出新教材,从而形成我省优化配套的高职高专计算机教育系列教材体系。

本系列教材编写委员会根据省教育厅高教处领导指示,在省内高职高专和部分本科院校、中等专业学校内遴选一批长期从事高职高专教学的、有丰富实践实验的老师编写,相信本系列教材的出版会有助于我省高职高专的教材建设和教学改革。

本系列教材编写目的明确,适用于高职高专学校、成人高校、中等专业学校(招五年制高职)及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校使用。

编委会

2002年10月

前 言

本书为安徽省教育厅推荐教材中的一本。作为计算机专业的一门重要的专业基础课教材,本书涵盖了电工基础、模拟电子技术、数字电子技术3个部分,分为上下两篇,上篇为电路与模拟电子技术,下篇为数字电子技术。在内容取舍上立足于突出实用性、实践性的原则,重组课程结构,更新教学内容,以现代电子技术基本知识、基本理论为主线,使电子技术的基本理论与各种新技术有机结合在一起,以必需和够用为度,删繁就简,使理论分析重点突出、概念清楚、实用性强。本书的主要任务是使学生掌握电路的基本理论与分析方法,掌握放大电路的组成、工作原理和分析方法,掌握数字电路中基本电路的功能、特点、工作原理与工程估算方法,为学习后继专业课奠定必要的基础。

本书参考学时数为192学时,其中理论课为142学时,实验课为50学时。既可作为计算机专业的专业基础课教材,也可作为其他各专业课电路基础课教材。

本书由安徽电子信息职业技术学院周士成编写上篇的第1、2、3章,并负责全书的统稿工作;安徽电子信息职业技术学院林春方编写上篇的第4、5、6、7、8章。安徽电子信息职业技术学院江力编写下篇第1、2、3、4章,铜陵职业技术学院章利才编写下篇的第5、6、7、8章。全书由合肥工业大学孙家启教授审阅。

由于编者水平有限,书中错误在所难免,敬请广大师生、读者提出宝贵意见和建议。

编 者

2003年1月

目 次

上篇——电路与模拟电子技术

第 1 章 直流电路	(1)
1.1 电路组成及基本物理量	(1)
1.2 欧姆定律与基尔霍夫定律	(4)
1.3 电压源与电流源	(9)
1.4 电阻的串并联与星形、三角形等效变换	(11)
1.5 支路电流法	(15)
1.6 回路电流法	(17)
1.7 弥尔曼定理	(20)
1.8 戴维南定理与叠加定理	(22)
第 2 章 正弦交流电路	(25)
2.1 正弦交流电的基本概念	(25)
2.2 正弦量的三要素及相位差	(27)
2.3 正弦量的有效值	(30)
2.4 正弦量的相量表示法	(31)
2.5 交流电路中的理想元件	(33)
2.6 相量形式的欧姆定律与基尔霍夫定律	(38)
2.7 电阻、电感、电容串并联与谐振	(43)
第 3 章 三相交流电	(48)
3.1 三相交流电的基本概念	(48)
3.2 三相电源与三相负载的联接	(50)
3.3 对称三相电路的分析与计算	(55)
3.4 三相电路的功率	(57)
第 4 章 半导体器件及外部特性	(59)
4.1 半导体的基础知识	(59)
4.2 半导体二极管	(63)

4.3	半导体三极管	(67)
4.4	场效应管	(73)
附录	半导体器件型号命名方法	(79)
第5章	三极管放大电路	(81)
5.1	放大电路的基本概念	(81)
5.2	单级低频小信号放大器	(85)
5.3	共集电极放大电路——射极输出器	(95)
5.4	场效应管放大电路	(97)
5.5	差动放大电路	(100)
5.6	功率放大电路	(106)
第6章	负反馈放大电路	(113)
6.1	负反馈放大电路的基本概念	(113)
6.2	反馈的分类与判别	(115)
6.3	负反馈对放大电路性能的影响	(118)
6.4	放大电路引入负反馈的一般原则	(121)
第7章	集成运算放大器	(123)
7.1	集成电路与集成运放简介	(123)
7.2	理想集成运放及其特点	(125)
7.3	集成运算放大器的典型运用	(126)
7.4	集成运放的主要参数和使用注意事项	(132)
第8章	直流稳压电源	(135)
8.1	单相整流滤波电路	(135)
8.2	串联型稳压电路	(140)
8.3	三端集成稳压器	(142)



第1章 直流电路

在十九世纪三四十年代,欧洲的有线电话和有线电报迅速发展起来。人们迫切需要了解和计算电路各部分电流、电压及电功率之间的关系和大小,电路理论应运而生。许多科学家通过大量的实验得出许多重要定律,奠定了现代电路理论的基础。其中对电路理论做出很重要贡献的科学家有欧姆、基尔霍夫、安培、伏特、焦耳、楞次和戴维南等人。

本章主要内容如下:

- 电路的基本概念和基本物理量,欧姆定律和基尔霍夫电流定律及电压定律。
- 常见的电压源与电流源及它们的外特性。电压源与电流源进行等效变换的条件。
- 通过对电阻的串联、并联及混联和星形、三角形联接的分析,给出求无源二端电阻网络等效电阻的方法。
- 求解复杂电路的两种基本方法:支路电流法和回路电流法。
- 多支路两节点电路的求解方法——弥尔曼定理。
- 电路理论中两个重要的定理,即戴维南定理与叠加定理。

1.1 电路组成及基本物理量

1.1.1 电路的基本概念

1. 电路及电路组成

所谓电路,通俗地讲就是电流所流经的路径。电路又称电网络。电路通常包含3部分,一是消耗电能的电气设备,通常称之为负载,如电灯、电视机、电炉、电动机等;二是提供电能的电气设备,通常称之为电源,如干电池、蓄电池、太阳能电池、发电机等;三是连接负载和电源的中间环节,如连接导线、控制电路(如开关、继电器、插头、插座等)、保护电路(如保险丝等)、测量仪表(如电流表、电压表等)。一个最简单的电路如图1-1所示,这是一个手电筒电路的原理图。电路中的电源是干电池,负载是小电珠,中间环节是导线和开关,电筒外壳起了导线的作用。

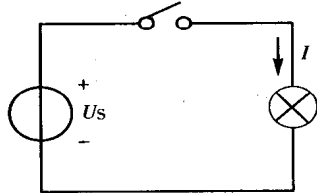


图1-1 手电筒电路原理图

2. 电气设备符号及电路图

电气设备种类繁多,形状各异,为了研究和分析电路的方便,我国制定了自己的国家标准,即用特定的图形符号及文字符号表示各种电气元器件,称之为电气设备符号。

所谓电路图,就是用电气设备符号绘制出来的图。



3. 电路的分类

按电路供电的不同,可分为直流电路和交流电路;按电路复杂程度,可分为简单电路和复杂电路;按电路工作频率的不同,可分为低频电路、高频电路和超高频电路;按电路信号的不同,又可分为模拟电路和数字电路。

1.1.2 电路的基本物理量

1. 电流

电荷在电场力或其他局外力(电源的化学力、发电机的电磁力)作用下发生定向移动便形成电流。形成电流通常需要两个条件:一是有电源供电;二是必须是一个闭合的回路。

度量电流大小的物理量是电流强度,电流强度通常简称电流。因此电流具有双重含义,一是表示物理现象;二是表示物理量。表示物理量的就是电流强度。电流强度的大小等于单位时间内流过导体横截面积的电荷量的代数和,用字母 I 或 i 表示。

若是直流,则
$$I = \frac{Q}{T} \quad (1-1)$$

若是交流,如果在 Δt 时间内,通过导体某截面的电荷为 Δq ,则 $i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$,在极限情况

下电流强度为
$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

注意,公式中的 Q 、 Δq 和 dq 的单位为库仑(C),时间 T 、 Δt 和 dt 的单位为秒(s),电流 I 和 i 的单位则为安培(A)。

电流的方向规定为正电荷移动的方向。电流的实际方向在电源内部是由负极流向正极,在电源外部则由正极流向负极。

2. 电位

水总是由高处流向低处,其原因是高处的水位高,低处的水位低,之间因存在水位差而形成水流。与此类似,在电路和电场中各点均具有一定的电位,带正电荷的导体具有高电位,带负电荷的导体具有低电位。在外电路中电流总是从高电位流向低电位。

所谓电位,是单位正电荷在电场中某一点所具有的电位能。电路中某点电位的大小等于从该点将单位正电荷移动到电位参考点(接地点或零电位点)电场力所作的功。

电位用符号 Φ 表示,单位用伏特(V)表示。

3. 电压

电路中任意两点间的电位差定义为这两点间的电压。电路中两点间电压的大小等于将单位正电荷自某一点移动到另一点电场力所作的功。电压用符号 U 表示,单位用伏特(V)表示。一简单电路如图 1-2 所示。电路中 a 、 b 两点间电压 U_{ab} ,等于移动单位正电荷从 a 点到 b 点电场力所做的功 A_{ab} 。

$$U_{ab} = \frac{A_{ab}}{q}$$
,式中功(A)的单位是焦耳(J),电荷(q)单位是库仑

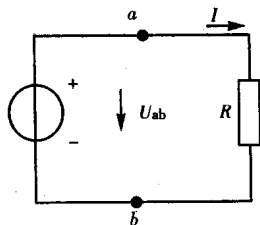


图 1-2



(C), 电压的单位是伏特(V)。高电压用千伏(kV), 微小电压用毫伏(mV)或微伏(μV)作单位。

4. 电动势

在电路中, 电源内部的电路称内电路, 电源外部的电路称为外电路。在电源内部, 外力(电池的化学力或发电机的电磁力)将单位正电荷由负极通过内电路移到正极所作的功定义为电源电动势。电动势用字母符号 E 表示, 其单位和电位、电压相同, 也是伏特。

5. 电功和电功率

在电路中, 电场力所作的功称为电功。在直流电路中, 根据电压的定义, 电场力所作的功可用下式求出: $A_{ab} = qU_{ab}$ 。单位时间内电场力所作的功称为电功率, 简称功率, 功率用 P 表示。

$$P = qU/t = UI \quad (1-3)$$

功率的单位为瓦特(W), $1 \text{ 瓦} = 1 \text{ 焦耳/秒}$ 。

6. 参考方向

电压、电流、电动势都有方向问题。在物理学中, 我们曾规定电压的方向由高电位指向低电位; 电流的方向为正电荷运动的方向; 电动势的方向由低电位指向高电位。用这种规定的方向来分析电路, 必须在分析电路之前先搞清楚电压、电流的正确方向。这种办法只能分析求解非常简单的电路, 对于一些复杂电路, 某一段电路的电压、电流的方向常常很难判断, 对于交流电路而言, 电路中的电压和电流还在不断改变, 因此引入参考方向的概念, 这对分析求解电路十分重要。

为了分析电路的方便, 在电路可以事先任意假定一个方向, 这个任意假定的方向就称作参考方向, 并用箭头表明。然后应用电路的基本定律和方法列方程求解。当所得的结果为正时, 表明参考方向与实际方向相同; 当所得的结果为负时, 表明参考方向与实际方向相反。

在外电路中, 人们常常习惯将电流和电压选择相同的参考方向, 这样选取的参考方向称为关联参考方向。

【例 1.1】已知流过电路中的电荷 $q = (10t^2 + 100t + 10) \text{ C}$, 求电路中电流 i 。

解: 根据电流的定义有
$$i = \frac{dq}{dt} = (20t + 100) \text{ A}$$

【例 1.2】有一只 220 V、40 W 的白炽灯泡, 当在额定电压工作时, 求通过灯泡中的电流。

解: 根据功率公式

$$P = UI$$

则

$$I = \frac{P}{U} = \frac{40}{220} = 0.18 \text{ A}$$



1.2 欧姆定律与基尔霍夫定律

1.2.1 欧姆定律

1826年德国科学家欧姆通过大量实验总结出:通过一个耗能元件上的电流,与它两端电压成正比,与电阻成反比。电路如图1-3所示。这就是著名的欧姆定律。即

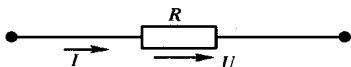


图 1-3

$$I = \frac{U}{R} \text{ 或 } U = IR \quad (1-4)$$

上式是在关联参考方向下的欧姆定律的表达式,当电压和电流参考方向相反时,电路如图1-4所示。欧姆定律的表达式应改为:

$$I = -\frac{U}{R} \text{ 或 } U = -IR \quad (1-5)$$

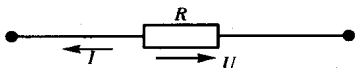


图 1-4

式中 R 就是表征导体对电流呈现阻碍作用的电路参数,叫做电阻。具有电阻的二端元件叫做电阻元件,也简称电阻。因此“电阻”这一名词有时指电阻元件,有时指元件的参数。电阻的SI单位是欧姆,简称欧,其国际符号为 Ω 。

$$[R] = \frac{[U]}{[I]} = \frac{\text{V(伏)}}{\text{I(安)}} = \Omega(\text{欧})$$

当电阻元件上电压为1V,通过的电流为1A时,这电阻元件的电阻便是1 Ω 。电子线路中常用的大电阻,用千欧(k Ω)或兆欧(M Ω)作单位。

电阻的倒数称为电导,是表征元件导电能力的电路参数,用符号 G 表示

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-6)$$

电导的SI单位是西门子,简称西,其国际符号为S。

因此,欧姆定律也可以写成

$$I = GU \quad (1-7)$$

上述元件的电阻或电导只与元件本身的材料与尺寸有关,与通过它的电流(或两端电压)无关,这样的电阻叫线性电阻。

我们以元件的电压和电流作为直角坐标系的横坐标和纵坐标,画出元件的 $U-I$ 函数关系曲线,称为元件的伏安特性曲线。对于线性电阻,它的伏安特性曲线是一条通过原点的直线。

【例1.3】已知一手电筒用3节1.5V大号电池,小电珠标称电压4.5V,标称电流为



0.15A,求小电珠的电阻。

解:根据欧姆定律 $U = IR$

$$\text{则} \quad R = \frac{U}{I} = \frac{4.5}{0.15} = 30\Omega$$

1.2.2 电气设备额定值

任何电气设备都存在一标准规格问题,在电工术语中称为额定值。例如一盏白炽灯泡的规格有 220V、100W 或 220V、40W。一个电冰箱的规格有 220V、120W,或 220V、150W,一台电动机有 380W、3kW 或 220V、1kV 等等。

1. 额定电压

在供电方面,国家制订了一系列电压等级标准,如交流用 220kV、110kV、380V、220V、110V、36V、12V、6.3V 等;直流用 600V、220V、110V 等;蓄电池为 24V、12V、6V 等;干电池为 15V、6V、3V、1.5V 等。这些都称为额定电压。额定电压是指为了限制电气设备的电流以及绝缘材料所承受的电压而允许加在各电气设备上的电压额定值。

2. 额定电流

对于发电机、电动机与变压器这一类电气设备在额定电压下工作时,都将有一电流流过它们的线圈,而电流的大小取决于负载。由于线圈具有电阻,是一个耗能元件,当电流流过时,它不仅会有能量损失,而且还要将电能转变为热能。根据焦耳定律,产生的热量为

$$Q = I^2 RT \text{ J(焦)} \quad (1-8)$$

这一热能使线圈温度升高,为了确保电气设备安全运行,不致因过热而烧毁电气设备,都规定了该设备允许使用的最大工作电流,这个电流称为该设备的额定电流。

3. 额定功率

一个电气设备在额定电压和额定电流下运行时所输出的功率,称为该电气设备的额定功率。所以我们在使用电气设备时,首先一定要看清设备铭牌或使用说明书上所指定的额定电压、额定电流与额定功率。以免烧坏设备,造成不应有的损失。

1.2.3 基尔霍夫定律

在十九世纪的三十至四十年代间,欧洲的有线电报和有线电话迅速发展起来,人们迫切需要解决复杂电路中各段电路上的电流与电压之间的关系问题,为此,欧洲许多国家的科学家及有关实验室对复杂电路进行了研究。1874年由德国科学家基尔霍夫首先提出复杂电路中电流与电压两条定律,这就是著名的基尔霍夫定律,也称克希荷夫定律。在讨论基尔霍夫两条定律之前,我们首先介绍电路中的几个名词。

支路:电路中通过同一电流的每个分支,叫做支路。如图 1-5 所示,电路中共有 3 条支路。即 U_{s1} 、 R_1 支路, U_{s2} 、 R_2 支路和 R_3 支路。

节点:3 个或 3 个以上支路的联接点叫做节点。如图 1-5 所示电路共有 2 个节点。在电路中我们规定没有电阻的理想金属导线不作为支路看待。

回路:电路中任一闭合路径称为回路。图 1-5 电路中共有 3 个回路。这 3 个回路是 U_{s1} 、 R_1 、 R_2 、 U_{s2} 所组成的回路, U_{s2} 、 R_2 、 R_3 所组成的回路以及 U_{s1} 、 R_1 、 R_3 所组成的回路。



网孔:回路中不含任何支路的回路称为网孔。图 1-5 电路中有 2 个网孔。

1. 基尔霍夫电流定律(简称 KCL)

任意一个二端元件,单位时间内从一个端钮流出的电荷必然等于另一端钮流入的电荷,否则将会发生电荷的“积累”,这显然是不可能的。这一原理叫做“电流连续性原理”。将电流连续性原理推广到电路中任一节点,就是基尔霍夫电流定律。

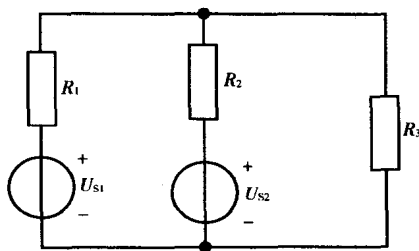


图 1-5

基尔霍夫电流定律:任一瞬间流入某一节点电流之和必定等于流出该节点电流之和。
即

$$\sum I_i = \sum I_o \quad (1-9)$$

对于变动电流有

$$\sum i_i = \sum i_o \quad (1-10)$$

如图 1-6(a)所示电路,流入节点 a 的电流为 I_1 、 I_2 ,流出节点 a 电流为 I_3 ,则可写出 a 节点的 KCL 方程:

$$I_1 + I_2 = I_3$$

图 1-6(b)节点电流方程:

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4 + I_5$$

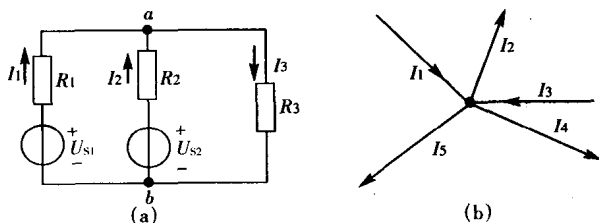


图 1-6

将上面节点电流方程移项整理可得:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$I_1 + I_3 - I_2 - I_4 - I_5 = 0$$

因此基尔霍夫电流定律可改写为另一形式:任一瞬间,电路中流入(或流出)任一节点的电流的代数和恒等于零。

即

$$\sum I = 0 \quad (1-11)$$

对于变动的电流,则有

$$\sum i = 0 \quad (1-12)$$

这里所说的代数和是指如果以流入节点的电流取正号,如图 1-6(b)的 I_1 、 I_3 ,则流出的电流取负号,如 $-I_2$ 、 $-I_4$ 、 $-I_5$ 。 n 个节点可由 KCL 列 $n-1$ 个独立的方程。

2. 基尔霍夫电压定律(简称 KVL)

基尔霍夫电压定律为我们确立了电路中任一回路中各段电路电压之间的关系。它指



出:任一瞬间沿电路中任一闭合回路,各段电压之代数和恒等于零。即

$$\sum U = 0 \quad (1-13)$$

对于变动电压,有
$$\sum u = 0 \quad (1-14)$$

如图 1-6(a)所示,沿着 U_{s1} 、 R_1 、 R_2 、 U_{s2} 回路电压方程为:

$$-U_{s1} + I_1 R_1 - I_2 R_2 + U_{s2} = 0$$

沿着 U_{s2} 、 R_2 、 R_3 回路电压方程为:

$$-U_{s2} + I_2 R_2 + I_3 R_3 = 0$$

注意:写上面回路电压方程时,先选取回路绕行方向,回路绕行方向可任选为顺时针或逆时针方向。假设上面两回路均选取顺时针方向,当电阻上电流参考方向与回路绕行方向一致时,其电压取正值,反之取负值。电压源上电压方向与绕行方向一致时,电压取正值,反之取负值。

将上面两式中的电压源移到等式右边为

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 = U_{s1} - U_{s2}$$

$$I_2 R_2 + I_3 R_3 = U_{s2}$$

推广到一般情况,则有

$$\sum IR = \sum U_s \quad (1-15)$$

对于变动电压和电流有

$$\sum iR = \sum u_s \quad (1-16)$$

这是基尔霍夫电压定律的另一形式。今后我们在写回路电压方程时一般都用这一形式。在写回路电压方程时应注意:

①首先选定回路的绕行方向和各支路电流的参考方向。

②沿回路绕行方向顺序求电阻上的电压降。当电流的参考方向与绕行方向一致时,取正号,反之取负号。

③等号右边的电压,则应以回路电压源上电动势的方向来确定正负,当电动势的方向与回路绕行方向一致时,电压取正值,反之取负值。

基尔霍夫电压定律不仅可用于网络中任一闭回路,还可推广到任一不闭合的电路上,但要将开口处电压列入方程。

还可以用基尔霍夫电压定律,推导出求任意两点间电压方程。

我们可以这样描述:在任何复杂电路中,电路中任意两点间电压等于沿着电压降方向,经任一路径各段电压的代数和。如图 1-6(a)所示求 a, b 两点间电压,可有 3 个路径选择,即

$$\text{通过 } R_1、U_{s1} \text{ 路径时} \quad U_{ab} = -I_1 R_1 + U_{s1}$$

$$\text{通过 } R_2、U_{s2} \text{ 路径时} \quad U_{ab} = -I_2 R_2 + U_{s2}$$

$$\text{通过 } R_3 \text{ 路径时} \quad U_{ab} = I_3 R_3$$

此规律可用基尔霍夫电压定律证明,读者可自行证明之。

【例 1.4】列出图 1-7 所示电路中的回路电压方程与节点电流方程,并求出 d 点电位。



解:此例图是电子线路的习惯画法,4个电源均未画出,我们可假设15V、10V、5V 3个电源的负极及-5V电源的正极接在 o 点,并以此为参考点。

根据 KVL:

沿回路 $adea$ (实际是沿 $adeoa$):

$$10I_1 + 10I = 15 + 5 = 20$$

沿回路 $bdeb$:

$$10I_2 + 10I = 10 + 5 = 15$$

沿回路 $cdec$:

$$10I_3 + 10I = 5 + 5 = 10$$

根据 KCL:

节点 d :

$$I_1 + I_2 + I_3 = I$$

将上面三式相加得:

$$10(I_1 + I_2 + I_3) + 30I = 45$$

解得:

$$I = 1.125 \text{ A} \quad I_1 = 0.875 \text{ A}$$

$$I_2 = 0.375 \text{ A} \quad I_3 = -0.125 \text{ A}$$

d 点电位:

$$\begin{aligned} \Phi_d &= U_{do} = U_{de} + U_{eo} \\ &= 10I - 5 = 11.25 - 5 = 6.25 \text{ V} \end{aligned}$$

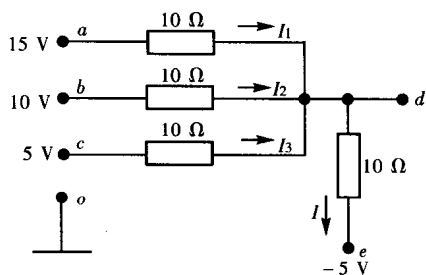


图 1-7

【例 1.5】若图 1-18 所示电路各参数为已知,根据基尔霍夫定律,列出图 1-8 电路独立的回路电压方程和节点电流方程。

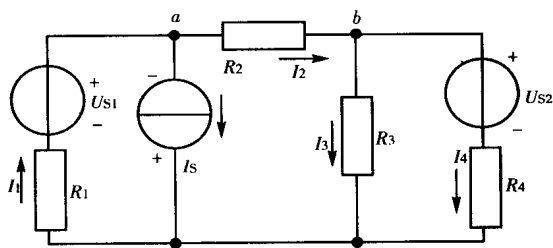


图 1-8

解:该电路为一个 5 支路、3 节点、3 网孔电路,电流源支路电流为已知。所以只要列出 4 个独立的方程即可。

根据 KCL:

对 a 节点

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

对 b 节点

$$I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

根据 KVL:

沿 R_1 、 U_{s1} 、 R_2 、 R_3 回路 $I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 = U_{s1}$

沿 R_3 、 U_{s2} 、 R_4 回路 $-I_3 R_3 + I_4 R_4 = -U_{s2}$



1.3 电压源与电流源

1.3.1 电压源

电源是一个供能的二端元件。在电源内部有局外力(电池中的化学力、发电机中的电磁力)使正电荷向正极移动并积累,负电荷向负极移动并积累,正负电荷在内部形成电场。当外力和电场力平衡时,电荷不再增加,建立起一定的电动势或端电压。人们常见的电源可以用电动势 U_s 和内电阻 R_i 串联形式表示,称为电压源,如图 1-9 所示。

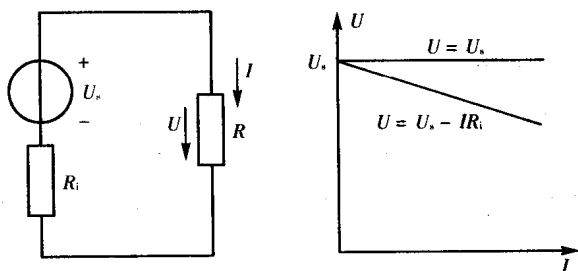


图 1-9 电压源及外特性

当内阻 R_i 为零时,电源的端电压等于电动势,即 $U = U_s$,这样的电源称为理想电压源。理想电压源端电压始终等于电动势,与电流的大小无关,电流仅由负载电阻确定。理想电压源不能短路,这是因为当发生负载短路时,电路里的电流会趋向于无穷大,烧毁电源设备。理想电压源实际上并不存在。

实际电源的端电压为

$$U = U_s - IR_i = IR$$

当电源内阻 R_i 远远小于负载电阻 R ,即 $R_i \ll R$ 时,则 $U \approx U_s$, U_s 可以近似认为是理想电压源。电压源工作时负载电阻通常远大于电源内阻。

1.3.2 电流源

当电源内阻很大,负载电阻很小时,可以用一个定值电流 I_s 和内阻 R_i 并联的形式表示,称为电流源,如图 1-10 所示。

I_s 的方向由低电位指向高电位。通常内阻 R_i 很大,故负载电流接近电流源的电流 I_s ,当 R_i 趋于 ∞ 时, I 恒等于 I_s ,这样的电流源称为理想电流源。理想电流源不能开路,因为当理想电流源开路时,电流源的端电压会趋向于无穷大。理想电流源实际上并不存在。当电流源内阻 R_i 远大于负载电阻 R ,即 $R_i \gg R$ 时,则 $I \approx I_s$,可近似认为是理想电流源。实际电流源内阻不会无穷大,它输出的电流为

