

高 等 学 校 教 材

电路分析 与电子电路基础

Dianlu Fenxi yu Dianzi Dianlu Jichu

刘刚 侯宾 吕玉琴

前 言

电路与电子电路课程是电气信息以及计算机专业学生必修的基础课程,也是学生进入本科阶段接触到的第一门学科基础课程。对于信息与计算机等专业,一方面要求本专业学生必须对电路分析、电子电路中的基本内容、基本概念和分析方法有所掌握,但另一方面又要求学生对本课程内容掌握的深度远不用如通信、电子类专业学生掌握的深度。为方便这类专业学生的学习,有一本难度适中、内容精练的教材是必要的。本教材正是针对目前这种情况而编写的。

本书系统讲述了电路分析、电子电路两方面的基本概念、基本理论和基本分析方法。全书的内容包括:电路模型与基尔霍夫定律、电阻电路的基本分析方法与定理、动态电路的时域分析、正弦稳态电路的分析、基本半导体器件、基本放大电路、集成运算放大电路、负反馈放大电路、直流稳压电源、波形产生与整形电路。本课程内容适合理论教学的课时约为 48 至 64 学时。

本书在编写过程中,充分考虑读者对象,在内容上力求做到基本理论以够用为度,不片面追求理论的严密性,省略了一些数学推导和证明,而着重体现理论的应用性。本课程的意义已经不仅仅局限于一些知识点、一些概念的掌握,而是要通过本课程的学习培养学生科学的思维方式、分析解决问题的能力、理论联系实际的学习作风,为后续课程与知识的吸收打下坚实的基础。在结构编排上采取了先直流后交流、先瞬态后稳态、先基本电路后电子电路、先讲基本概念再讲应用的特点,使之符合由浅入深、循序渐进的认识规律。全书为配合理论列举了不同类型的例题,以利于学生更好地掌握基本理论和分析方法。计算机技术和高性能数学软件(如 Multisim 软件和 Simulink 仿真软件)的快速发展,也为电路分析与电子电路分析设计提供了直观的仿真条件。因此,本书使用 Multisim 仿真平台仿真了部分电路,以弥补实验课程的不足,也为学生今后的进一步学习打下基础。

本书由刘刚主编,全书共分为 10 章。刘刚编写了第 3、5、6、9、10 章,并对全书进行了统稿;侯宾编写了第 2、4、8 章;吕玉琴编写了第 1、7 章,并对全书进行了审阅。华南理工大学殷瑞祥教授对本书进行了审稿工作,提出了许多宝贵而又有建设性的修改意见,为本书最终成稿,起了重要的作用。

冉静与魏翼飞老师对本书的课后习题部分做了许多整理工作,北京邮电大学信号、电路与系统教研室同事给予了编者很多支持和帮助,俎云霄教授提供了

部分电路素材,陈飞、张轶两位老师也提供了本书部分素材,曹春燕同学做了部分文字录入工作,在此一并感谢。

限于作者水平,书中难免有不妥、疏漏之处,恳请广大师生及各界读者批评指正。

编 者

2011年7月17日于北京邮电大学

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第一章 电路模型与基尔霍夫定律	1
1-1 电路与电路模型	1
1-2 电路分析中基本变量	2
1-2-1 电流及其参考方向	2
1-2-2 电压及其参考方向	3
1-2-3 电流、电压关联参考方向	4
1-2-4 功率	4
1-3 基尔霍夫定律	5
1-3-1 基尔霍夫定律的发现	5
1-3-2 电路中的常用名词	6
1-3-3 基尔霍夫电流定律	6
1-3-4 基尔霍夫电压定律	8
1-4 电路中的基本元件	9
1-4-1 电阻元件	9
1-4-2 独立电源	11
1-4-3 受控电源	15
习题	17
第二章 电阻电路的基本分析方法与定理	20
2-1 等效的概念及等效变换分析	20
2-1-1 电阻的串联与分压公式	20
2-1-2 电阻的并联与分流公式	21
2-1-3 电源的等效变换	22
2-2 电路分析的一般方法	26
2-2-1 支路电流(电压)法	26
2-2-2 网孔电流法	28
2-2-3 节点电压法	32
2-3 电路分析基本定理	36
2-3-1 叠加定理	36
2-3-2 替代定理	39

2-3-3	戴维宁定理和诺顿定理	40
2-3-4	最大功率传输定理	48
2-3-5	电路的对偶特性	51
习题	51
第三章	动态电路的时域分析	60
3-1	引言	60
3-2	动态元件的基本特性	61
3-2-1	电容元件	61
3-2-2	电感元件	64
3-2-3	电容、电感的串、并联	66
3-3	换路定则及初始值的确定	68
3-4	一阶电路的零输入响应	71
3-4-1	一阶 RC 电路的零输入响应	72
3-4-2	一阶 RL 电路的零输入响应	74
3-5	一阶电路的零状态响应	79
3-5-1	一阶 RC 电路的零状态响应	79
3-5-2	一阶 RL 电路的零状态响应	81
3-6	一阶电路的全响应	85
3-7	一阶电路的三要素法	87
习题	92
第四章	正弦稳态电路的分析	98
4-1	正弦信号基本概念	98
4-1-1	正弦量	98
4-1-2	正弦信号的有效值	99
4-1-3	正弦信号的相位差	100
4-2	正弦信号的相量表示法	101
4-2-1	复数及其运算法则	101
4-2-2	正弦信号的相量表示	103
4-3	正弦电路的相量分析法	105
4-3-1	相量形式的基尔霍夫定律	105
4-3-2	电阻、电容、电感元件的相量模型	106
4-3-3	相量欧姆定律的一般形式、阻抗和导纳	110
4-3-4	正弦电路的相量分析	114
4-4	正弦电路的功率	117
4-4-1	瞬时功率	117

4-4-2	平均功率(有功功率)与无功功率	118
4-4-3	视在功率与功率因数	120
4-4-4	最大功率传输	121
4-5	三相电路的概念	123
4-5-1	三相电路简介	123
4-5-2	对称三相电路计算的特点	125
4-5-3	不对称三相电路的概念	127
4-5-4	三相电路的功率	128
4-6	传输函数与滤波的基本知识	129
4-7	<i>RLC</i> 电路的谐振简介	133
4-7-1	<i>RLC</i> 串联谐振	133
4-7-2	<i>RLC</i> 并联谐振	134
	习题	135
第五章	基本半导体器件	141
5-1	半导体基本理论简述	141
5-2	晶体二极管	144
5-2-1	二极管的基本结构	144
5-2-2	二极管的伏安特性	145
5-2-3	二极管的主要参数	146
5-2-4	二极管基本电路模型	147
5-2-5	二极管分类	149
5-3	双极型晶体三极管	151
5-3-1	三极管工作原理	151
5-3-2	三极管的特性曲线	153
5-3-3	三极管基本参数	156
5-3-4	三极管分类	159
5-3-5	三极管的低频小信号电路模型	160
5-4	场效应晶体管	162
5-4-1	场效应管结构、符号与工作原理	162
5-4-2	场效应管的工作状态与特性曲线	166
5-4-3	场效应管的基本特性	167
5-4-4	场效应管电路模型	168
	习题	168
第六章	基本放大电路	173
6-1	基本共射放大电路	173

6-1-1	共射放大电路的组成和各元件作用	174
6-1-2	共射放大电路的静态分析	175
6-1-3	分压式偏置放大电路	177
6-1-4	共射放大电路的动态分析	179
6-2	其他放大电路	185
6-2-1	射极输出器	185
6-2-2	共基极放大电路	187
6-3	场效应管放大电路分析	190
6-3-1	共源极放大电路	191
6-3-2	共漏极放大电路	193
6-3-3	共栅极交流放大电路	194
6-4	多级放大电路与频率特性	196
6-4-1	多级放大电路的级间耦合方式	196
6-4-2	多级放大电路的 \dot{A}_u, R_i, R_o	197
6-4-3	阻容耦合放大电路的频率特性	198
6-5	差分放大电路	199
6-5-1	三极管组成的差分放大电路分析	199
6-5-2	场效应管组成差分放大电路分析	203
习题		205
第七章	集成运算放大电路	214
7-1	集成运算放大电路概述	214
7-1-1	集成运放的种类与特点	214
7-1-2	集成运放的组成与传输特性	216
7-2	集成运放的性能指标及低频等效电路	218
7-2-1	集成运放的主要性能指标	218
7-2-2	集成运放的低频等效电路	220
7-3	集成运放的基本运算电路	221
7-3-1	比例运算电路	221
7-3-2	加减运算电路	225
7-3-3	积分运算电路和微分运算电路	229
7-4	有源滤波电路	232
7-4-1	有源滤波与无源滤波	232
7-4-2	低通滤波器通频带分析	233
7-4-3	高通与带通滤波电路	237
7-5	电子系统中的放大电路	240

7-5-1	仪表放大器	240
7-5-2	隔离放大器	243
7-6	集成运放的选择与使用注意事项	244
7-6-1	集成运放的选择	244
7-6-2	集成运放使用必做工作和保护措施	245
习题		247
第八章	负反馈放大电路	258
8-1	反馈的基本概念及正负反馈判断方法	258
8-2	负反馈放大电路的表示方法	260
8-3	交流负反馈放大电路的四种基本组态	262
8-4	负反馈对放大电路性能的影响	266
8-4-1	提高放大倍数的稳定性	266
8-4-2	改变输入电阻和输出电阻	266
8-4-3	展宽通频带	269
8-4-4	减小非线性失真	269
8-4-5	放大电路中引入负反馈的一般原则	269
习题		270
第九章	直流稳压电源	276
9-1	概述	276
9-2	单相桥式整流电路	276
9-2-1	单相桥式整流电路的工作原理	276
9-2-2	整流电压、整流电流平均值的计算	278
9-2-3	整流二极管的选择	278
9-3	滤波电路	279
9-3-1	电容滤波电路	279
9-3-2	电感滤波电路	282
9-3-3	其他类型滤波电路	283
9-4	稳压管稳压电路	284
9-5	集成稳压电源	286
习题		287
第十章	波形产生与整形电路	290
10-1	反馈放大电路的自激振荡	290
10-2	正弦波振荡电路	292
10-2-1	基本振荡器的概述	292
10-2-2	RC 正弦波振荡器	292

10-3 电压比较器	295
10-4 555 定时器及其应用	297
10-4-1 555 定时器	297
10-4-2 用 555 定时器构成单稳态触发器	298
10-4-3 用 555 定时器构成多谐振荡器	300
习题	302
附录 Multisim 仿真软件简介	305
参考文献	321

第一章 电路模型与基尔霍夫定律

在人们习以为常的用电过程中,您是否了解和考虑过,没有电的日子我们将如何度过?电在我们的日常生活中怎样发挥着它的巨大作用?电的传输和利用都有哪些规律?工程师们是如何让电为我们人类服务的?下面我们就从电路的最基本的知识开始讨论。

1-1 电路与电路模型

电的传输一般是通过电路进行的,根据电路完成的不同功能,电路的组成又有很大差别。一般情况下,最基本电路由电源、负载和导线三部分组成,电源提供电路所需的能量,负载是用电设备,导线则是将电路的各个组成元件连成统一的整体。当然,一个实际电路还应包含各种开关及控制设备。在电力系统中,电路的功能是要完成电能的传输、存储、转换和变换。在通信系统中,电路的主要作用是完成信号的传递、存储和信号处理。通常把输入电路的信号称为激励,而把经过传输和加工处理后所得到的信号称为响应。各种实际电路都是由电源、电阻器、电容器、电感线圈、集成电路等具体的元器件和设备相互连接组成的,例如图 1-1-1 所表示的是手电筒的结构示意图与电路模型。

由于环境的复杂性与元件工作条件以及电路结构的多样性的影响,为分析电路带来了一定难度。因此在一定条件下忽略它的次要因素,用一个足以表征主要性能模型来表示元件。当实际电路的几何尺寸远小于使用时其最高工作频率所对应的波长时,可以定义出“集总参数元件”(以后所称元件均为集总参数元件),用来构成实际电路模型。每一种元件只反映一种基本电磁现象。例如,制作一个电阻器,主要是要利用其对电流的阻碍作用,忽略了电阻器在电流通过时产生的磁场效应,电阻元件只表现消耗电能的特性。由集总参数元件组成的电路,称为实际电路的集总电路模型,简称集总电路,如图 1-1-1(b)所示。应该强调的是,电路模型仅用于理论分析计算,它不是实际的电路。

我国工业用电的频率为 50 Hz,其对应的波长为 6000 km,实验室的元件尺寸远小于这一长度,因此可以使用集总参数模型。对于不满足上述条件的情况,例如远距离电路通信线路和远距离电力输送等,可以采用分布式参数或者相关电磁场理论来分析。

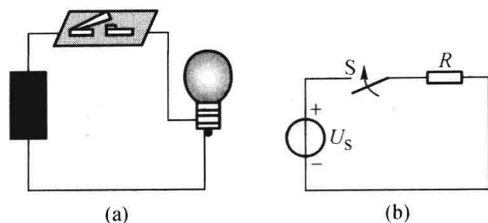


图 1-1-1 手电筒的结构示意图与电路模型

1-2 电路分析中基本变量

集总参数电路分析中最常用到的变量是电路中各支路的电流、电压和功率。

1-2-1 电流及其参考方向

1747 年美国的富兰克林根据实验提出：在正常条件下电是以一定的量存在于所有物质中的一种元素；电跟流体一样，摩擦的作用可以使它从一物体转移到另一物体，但不能创造；任何孤立物体的电荷总量是不变的，这就是通常所说的电荷守恒定律。摩擦时物体总体上获得电叫做带正电，物体总体上失去电叫做带负电。在人类以后的科学研究中发现，自然界存在两种电荷：正电荷与负电荷。正电荷由原子核中的质子运载，负电荷由原子中的电子运载。正电荷与负电荷所带电荷多少称为电荷量。正电荷与负电荷所带电荷量很小，用作基本单位很不方便，在国际单位制 (SI) 中使用 C (库仑，简称库) 作为电荷量的单位，1C 等于 6.24×10^{18} 个电子所具有的电荷量。

电荷之间存在作用力 (电场力)，同性电荷相斥、异性电荷相吸。电路中电荷总量守恒 (总量保持不变)——电荷不生不灭。

1. 电流的定义

通常的物质，按其导电性能的不同可分为两种情况：导体和绝缘体。导体内存在可运动的自由电荷。在电场的作用下，导体内存在的自由电荷将产生有序移动，其定向流动形成电流。定义单位时间内通过导体横截面的电荷量为电流，通常用符号 i 表示。即

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad (1-2-1)$$

电流的大小和方向若不随时间变化，则称其为直流 (Direct Current, 简称 DC)，用大写字母 I 表示。若电流的大小和方向随时间变化，则称其为交流 (Alternating Current, 简称 AC)，用小写字母 i 表示。在国际单位制中电流的单位是

A(安培,简称安)。

2. 参考方向

正电荷移动的方向规定为电流的方向,也称为电流的真实方向。实际分析中往往很难在电路图中标明电流的真实方向。例如,当电路比较复杂时,电流的真实方向很难预判。而当电流为交流时,则每个时刻的真实方向都在变化。因此,在电路分析中要引入参考方向(Reference Direction)这一概念。

参考方向是预先任意假定的电流流向,这个任意假定的参考方向在电路中需要用箭头表示出来,这样我们就可以在这个参考方向的基础上进行电路的分析。

在引入参考方向后,我们对电流的正负规定为:如果电流的真实方向与参考方向一致,电流为正值;若两者方向相反,则电流为负值。

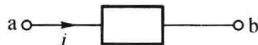


图 1-2-1 电流的参考方向

如图 1-2-1 所示:

若 $i=1\text{ A}$,说明该电流的真实方向就是该参考方向的指向,大小为 1 A ;

若 $i=-1\text{ A}$,则说明电流的真实流向与参考方向相反。

这样,有了电流的参考方向和电流的正负值,就可以确定电流的真实方向。显然,在未标示参考方向的情况下,电流值的正负是毫无意义的。

今后,若未加说明,本书出现的电流方向箭头均表示参考方向。

1-2-2 电压及其参考方向

1848 年基尔霍夫从能量的角度考查,定义了电位差、电动势、电场强度等概念。电荷在电路中流动形成电流,就必然伴随着能量的交换。我们引入电压这一物理量来度量电荷流经电路的某些元件时其获得或失去的能量。

1. 电压的定义

电压也称为电位差,ab 两点之间的电压表示单位正电荷由 a 点移动到 b 点获得或者失去的能量,通常用符号 u 表示。即

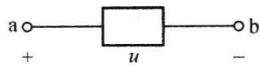
$$u(t) = \frac{dW}{dq} \quad (1-2-2)$$

其中 dq 为由 a 点移动到 b 点的电荷量,单位为 C; dW 为电荷转移过程中的能量交换,单位为 J(焦耳,简称焦)。在国际单位制中电压的单位是 V(伏特,简称伏)。与电流一样,电压也分直流电压(U)和交流电压(u)。

2. 电压的极性

正电荷在转移过程中电能的获得或失去体现为电位的升降。如果正电荷由 a 点移动到 b 点失去部分能量,则电位下降,a 点为高电位,b 点为低电位;如果由 a 点到 b 点获得能量则电位升高,a 点为低电位,b 点为高电位。高电位用

“+”表示,即电压的正极;低电位用“-”表示,即电压的负极。如同对电流规定参考方向一样,对电压我们同样规定参考极性。即在元件或某支路的两端用“+”“-”号预先标明其电压,该电压的极性可以任意选定,不一定是其真实极性。和电流方向正负的规定一样,电压的参考极性结合其正负值最终标明其真实极性。



如图 1-2-2 所示,电压 u 在图中所取的参考极性下,若 $u > 0$,表示真实极性与参考极性相同;若 $u < 0$,则电压的真实极性与选定的参考极性相反,即真实的情况是 a 点为实际低电位,b 点为实际高电位。

可见电压在没有标注参考极性的情况下,其正负值同样是没有意义的。所以在电路分析过程中必须要预先指定电压的参考极性。

1-2-3 电流、电压关联参考方向

在集总电路模型中,电流的参考方向与电压的参考极性是任意选定的,各自独立无关的。因此,电流的参考方向与电压的参考极性之间就存在两种对应关系。

若电流的参考方向由电压参考极性的正极指向负极。如图 1-2-3(a) 所示,则称电流和电压符合关联参考方向;反之,若电流的参考方向由电压参考极性的负极指向正极,如图 1-2-3(b) 图所示,即为非关联参考方向。

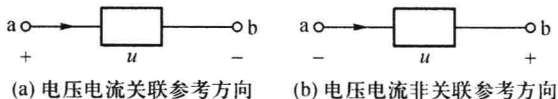


图 1-2-3 电压电流参考方向

为了电路分析过程方便起见,往往采用关联参考方向的取法,在关联参考方向下,指定了电流的参考方向或电压的参考极性,则另一变量就不需特别标明。

一般情况下,电压和电流都是时间的变量,我们表示某时刻 t 的电流、电压应记做 $i(t)$ 和 $u(t)$,但为简便,我们通常用小写字母简写为 i 和 u 。

1-2-4 功率

元件在电路中的能量交换,不是吸收能量就是供出能量。电路中元件在单位时间内吸收或者供出的能量称为功率。

若电流电压取关联参考方向,如图 1-2-3(a) 所示,则该电路吸收的功率可表示为

$$p(t) = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = u \cdot i \quad (1-2-3a)$$

在非关联参考方向下很容易给出功率的表示形式

$$p = -u \cdot i \quad (1-2-3b)$$

在国际单位制中,功率的单位为 W(瓦特,简称瓦)。由式(1-2-3a)、(1-2-3b)两式计算出功率为正,表示这段电路吸收了能量,叫吸收功率;如果功率值为负,表示这段电路供出了能量,叫供出功率。

【例题 1-1】已知电压 $u=5\text{ V}$,计算下述各图中元件的功率,并且判断是吸收功率还是供出功率。

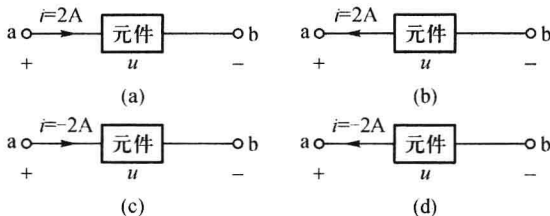


图 1-2-4 例题 1-1 的图

解:图 1-2-4(a):电压与电流是关联参考方向,故 $p = u \cdot i = 5 \times 2\text{ W} = 10\text{ W} > 0$,该元件吸收功率。

图 1-2-4(b):电压与电流是非关联参考方向,故 $p = -u \cdot i = -5 \times 2\text{ W} = -10\text{ W} < 0$,所以该元件供出功率。

图 1-2-4(c):电压与电流是关联参考方向,故 $p = u \cdot i = 5 \times (-2)\text{ W} = -10\text{ W} < 0$,所以该元件供出功率。

图 1-2-4(d):电压与电流是非关联参考方向,故 $p = -u \cdot i = -5 \times (-2)\text{ W} = 10\text{ W} > 0$,所以该元件吸收功率。

1-3 基尔霍夫定律

1-3-1 基尔霍夫定律的发现

基尔霍夫定律(Kirchhoff Law)是电路中电压和电流所遵循的基本规律,是分析和计算较为复杂电路的基础,1845年由德国物理学家 G. R. 基尔霍夫(Gustav Robert Kirchhoff, 1824—1887)提出。从 19 世纪 40 年代,由于电气技术发展得十分迅速,电路变得愈来愈复杂。某些电路呈现出网络形状,并且网络中还存在一些由 3 条或 3 条以上支路形成的交点(节点)。这种复杂电路不是串、

并联电路的公式所能解决的,刚从德国哥尼斯堡大学毕业,年仅 21 岁的基尔霍夫在他的第 1 篇论文中提出了适用于这种网络状电路计算的两个定律,即著名的基尔霍夫定律。该定律能够迅速地求解任何复杂电路,从而成功地解决了这个阻碍电气技术发展的难题。基尔霍夫定律建立在电荷守恒定律、欧姆定律及电压环路定理的基础之上,在稳恒电流条件下严格成立。当基尔霍夫第一、第二方程组联合使用时,可正确迅速地计算出电路中各支路的电流值。

1-3-2 电路中的常用名词

在集总电路中,任意时刻流经元件的电流以及元件的端电压都是明确的物理量。若将每一个二端元件视为一条支路,那么流经的电流就为该支路的支路电流,元件的端电压则为支路电压,如图 1-3-1 所示。

如 ab, bc, ad, bd 和 cd 分别为支路。也可以将流过同一个电流的几个串联元件视为一条支路,如 bad。支路与支路的连接点称为节点。在图 1-3-1 中共有 a, b, c, d 四个节点。显然,节点是两条或者两条以上支路的连接点。电路中任一闭合路径称为回路。如闭合路径 l_1 、 l_2 、 l_3 都是回路。对于平面电路,在回路内部不含支路的回路称为网孔。如在回路 l_1 、 l_2 、 l_3 中只有 l_1 、 l_2 是网孔,因为 l_3 中包含支路 4,所以不能称为网孔。

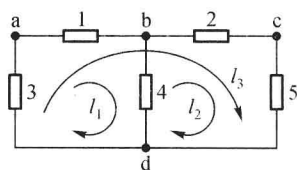


图 1-3-1 节点、回路
概念说明图

1-3-3 基尔霍夫电流定律

电荷守恒和能量守恒是自然界最基本的定律。在集总电路中,与任意节点相连接的各条支路之间遵守电荷守恒定律,任意回路中的各条支路之间遵守能量守恒定律。电荷守恒和能量守恒在电路中则体现为基尔霍夫定律。

基尔霍夫电流定律 (Kirchhoff's Current Law), 也称基尔霍夫第一定律, 缩写为 KCL, 它体现了电路中与某节点相连的各支路电流之间应遵循的约束关系。KCL 可表述为: 对于任一集总电路中的任一节点, 在任一时刻, 流出 (或流入) 该节点的所有支路电流的代数和为零。数学表达式为

$$\sum_{k=1}^b i_k(t) = 0 \quad (1-3-1)$$

其中, b 为与节点相连的支路数, $i_k(t)$ 为第 k 条支路电流。

在电路中, 由于节点不产生电荷也不消耗电荷, 所以在任意时刻流入节点的电流等于流出节点的电流, 则 KCL 也可以表示为

$$\sum i_{\lambda} = \sum i_{\text{出}} \quad (1-3-2)$$

KCL 不仅适用于一个节点,还可以推广为任意封闭面。这个封闭面称为广义节点。如图 1-3-2 所示电路中,对于点画线围成的广义节点(即封闭面 S) KCL 仍然成立,即有

$$-i_1+i_2+i_3=0 \quad (1-3-3)$$

实际上,上式可由封闭面 S 内 A、B、C 三个节点的 KCL 方程相加得到。分析如下

$$\text{A 节点 } i_1-i_4+i_5=0$$

$$\text{B 节点 } -i_2-i_5+i_6=0$$

$$\text{C 节点 } -i_3+i_4-i_6=0$$

将以上三个方程相加就得到式(1-3-3)。

图 1-3-2 广义节点示意图

KCL 方程表明:

(1) KCL 的实质是电荷守恒定律的体现。电荷既不能被创造也不能被消灭,在任何时刻流入节点的电流等于流出节点的电流。

(2) KCL 说明了节点上各支路电流的线性约束关系,各支路电流是线性相关的,KCL 方程是一个线性齐次代数方程。

(3) KCL 与支路元件性质无关,只决定于电路的结构。对于特定的电路连接形式其对应的 KCL 约束关系必定是固定的。这种类型的约束关系称为拓扑约束。

【例题 1-2】图 1-3-3 是一个复杂电路中的部分电路,求支路电流 i_0 和 i_1 。

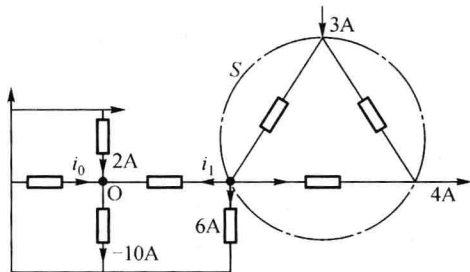


图 1-3-3 例题 1-2 的示意图

解:先用广义 KCL 求 i_1 。

对于封闭面 S ,列写 KCL 方程

$$i_1+6+4=3$$

得

$$i_1=-7 \text{ A}$$

对于节点 O,列 KCL 方程

$$i_0+i_1+2=-10$$