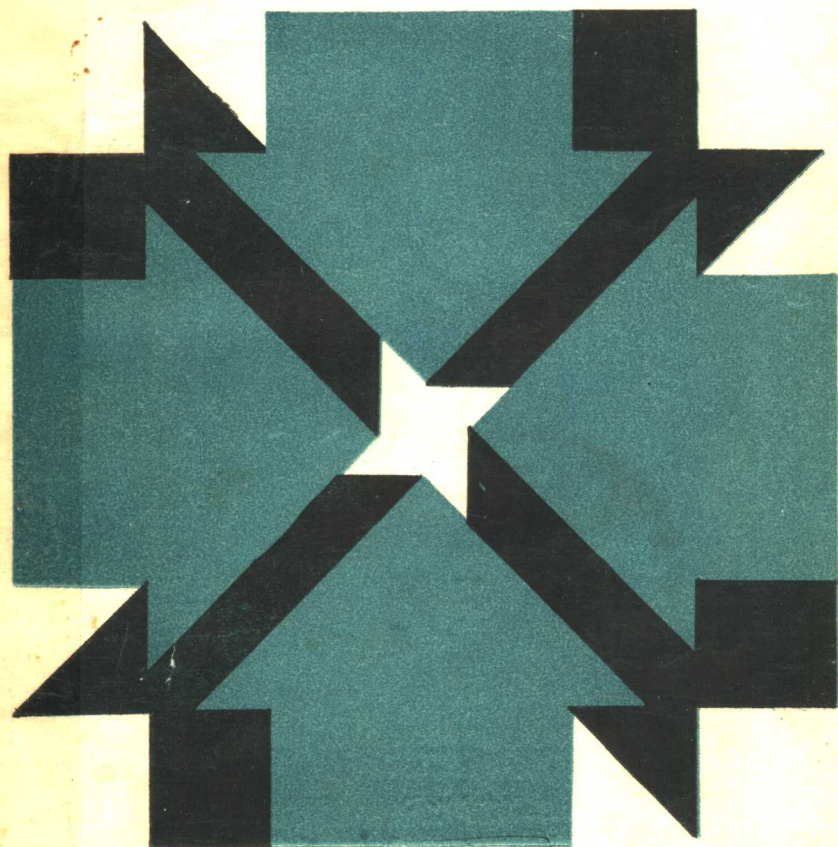


电工学

(第2版)

学习指导书

华南师范大学物理系 郭木森 廖玄九 张绍南 合编



高等教育出版社

电工学(第2版)

学习指导书

华南师范大学物理系
郭木森 廖玄九 张绍南 合编

高等教育出版社

内 容 简 介

本书为郭木森等编写的《电工学》(第2版)的配套参考书。每一章包含基本要求、学习指导、思考题选答、解题指导及基本概念检查题等五个项目,书末附有基本概念检查题的答案。

本书能帮助读者有的放矢地阅读教材。在此基础上,对基本概念和基本规律中的一些关键问题,做了进一步解释,以加深对这些问题的理解。在解题指导方面,力求指出各类型题目的特点和解题方法,以达到举一反三的目的。

本书还可以作为高等师范及同类性质院校物理专业电工学课程的教学参考书,也可以作为该课程的函授配套教材。

电工学(第2版)

学习指导书

郭木森 廖玄九 张绍南 合编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 7.5 字数 180 000

1990 年 3 月第1版 1990 年 3 月第 1 次印刷

印数 0001—7 700

ISBN7-04-002715-1/TM·142

定价 1.85 元

前 言

本书为郭木森等编写的《电工学》(第2版)的配套读本。可作为中学教师进修高师物理专业电工学的教材,也可作为高等师范及同类院校物理专业电工学课程的教学参考书。编写的目的是帮助读者有的放矢地阅读教材,加强对基本概念和基本规律的理解,提高分析和解决实际问题的能力。

本书各章包含以下五项内容:

一、基本要求:根据中学教师进修高等师范物理专业电工学教学大纲,指出学习该章必须理解、掌握的主要内容,以及只要求了解的次要内容。应该注意的是,只要求了解的内容并不是可有可无的,其中有的还是学习主要内容的预备知识,所以,也要用心学习。

二、学习指导:为便于学习,我们先将每章教材分为若干部分,首先对每一部分提出一些问题,供读者在阅读教材时思考。这样做的目的是使读者能带着问题阅读教材,以便于弄清基本概念和基本规律。其次,根据各部分的具体情况,对某些问题做进一步说明或做些概括性的叙述,以加深对这些问题的理解。

三、思考题选答:教材中的思考题较有针对性和启发性,能帮助读者加深对基本概念和基本规律的理解,因此,我们选了部分思考题加以解答。顺便指出,在选答的思考题中,也有个别题目是教材中所没有的。

四、解题指导:这部分内容叙述运用基本概念和基本规律来解电工学学习题的方法,指出各种类型题目的特点和解题注意事项,并通过典型例题的分析来提高读者分析和解决实际问题的能力。

五、基本概念检查题

设置基本概念检查题的目的是使读者能自我检查关于基本概念和基本规律的掌握情况。在做习题前，应先做有关的基本概念检查题。书末附有基本概念检查题的答案。

为了帮助读者有顺序地进行学习，我们编制了学习顺序一览表。一览表的第一列把每一章分成若干部分，然后指出每一部分应阅读的教材、学习指导、思考题选答及解题指导等内容，以及要做的基本概念题及练习题。最后一列列出每一部分所对应的学习时间。

鉴于教材的第六章是选读的，为节省篇幅，学习指导书不包含该章的内容。

本书第一至第五章由郭木森同志执笔，第八、九两章由廖玄九同志执笔，第七、十、十一和十二章由张绍南同志执笔，最后由郭木森同志负责统稿。

在本书的审稿会上，北京师范大学、上海师范大学、四川师范大学、安徽师范大学、贵州师范大学、北京师范学院和河北师范学院等兄弟院校的有关教师对本书初稿提出了十分宝贵意见，在此表示感谢。

由于编者水平有限，加上脱稿比较仓促，缺点和错漏在所难免，恳切希望使用本书的教师和读者给予批评指正。

编者

1987年12月于广州

目 录

第一章	网络的基本分析方法	1
第二章	网络的正弦稳态分析	31
第三章	三相正弦交流电路	70
第四章	简化网络分析的定理和定理	89
第五章	受控源电路的分析方法	110
第六章	网络拓扑和矩阵分析法简介(略)	
第七章	电工仪表	133
第八章	变压器	150
第九章	异步电动机	171
第十章	直流电机	192
第十一章	同步发电机	209
第十二章	配电与安全用电	220
学习顺序一览表		228
基本概念检查题答案		232

第一章 网络的基本分析方法

一、基本要求

1. 理解双向标量的意义及引入参考方向的重要性。
2. 掌握参考方向配合的习惯用法(惯例)及与惯例相应的元件特性方程。
3. 能正确应用基尔霍夫定律。
4. 熟练运用节点分析法和回路分析法分析电阻网络。
5. 掌握二端网络吸收或放出功率的计算方法。

二、学习指导

1. § 1-1 至§ 1-3 主要是复习元件特性方程和基尔霍夫定律。这部分内容在电磁学虽已学过,但这三节的叙述方式稍有不同:第一,在介绍电路基本规律的表示式时,都强调指出与它相应的参考方向配合;第二,引入一些新的术语,例如极板电荷的实际极性和参考极性;第三,为便于概括地叙述,把一段电路的欧姆定律称为电阻元件特性方程,把一段含源电路的欧姆定律称为电压源特性方程。

学习这部分内容时,可结合思考以下问题:

- (1) 什么是双向标量?它与矢量有何区别?
- (2) 电流、电压、电阻、电动势、自感系数、电容、自感电动势和极板电荷等物理量中,哪些是双向标量?哪些不是双向标量?
- (3) 为什么要规定双向标量的参考方向?怎样规定?
- (4) 什么是规定参考方向的习惯性?对于一段只含电阻的电路,为什么选用无源惯例?

(5) 参考方向配合对电路规律的表示式有何影响? 试举例说明。

(6) 试写出与无源惯例相应的电阻元件和电感元件的特性方程。

(7) 试写出与充电惯例相应的 $q \sim u_c$ 、 $i \sim q$ 和 $i \sim u_c$ 等关系式。

(8) 试写出与发电机惯例相应的电压源和电流源特性方程。

(9) 如何确定基尔霍夫两个定律表示式中各变量前面的正、负号?

2. 对 § 1-1 至 § 1-3 的一些问题说明如下:

(1) 要注意双向标量与矢量的区别

在物理学中,都把物理量分为两类:一类称为矢量,它是既有大小,又在空间具有方向,而且遵循一定运算法则(例如平行四边形法则)的量,例如,力、力矩和磁感应强度等属于此类;另一类称为标量,它是只用数值就能完全表示其意义的量,例如,容积、电阻和电流等属于此类。

事实上,标量可细分为两类:一类是只用大小就可以表征的物理量,如容积、电阻等,我们仍然称为标量;另一类物理量的特征是既有大小,又能取两个彼此相反方向中的一个方向,我们把它称为双向标量。电流、电压等都是双向标量。应该注意,切勿把电流和电压的方向与矢量在空间上所取的方向相混淆。

应该注意的是,双向标量一词中的“双向”,并不专指两个彼此相反的方向,它也泛指两个彼此相反的极性,所以,极板电荷也属于双向标量。在以后的学习过程中还会看到,“双向”这个词有更广泛的意义:第一,它可以泛指两个彼此相反的过程,例如,功率的吸收和放出就是这样的两种过程;第二,它也可以泛指在空间上两个彼此相反的方向,例如,若某矢量只能在空间取两个彼此相反的

方向,则可以看作是双向标量。

(2) 参考方向的意义及引入参考方向的目的

所谓参考方向(参考极性)就是把双向标量可能取的两个实际方向(实际极性)之一作为参考的意思。

引入参考方向的目的之一是
要把双向标量的大小和实际方向
(实际极性)用代数量统一地表示
出来。例如,在图 1-1 中,如果我
们规定极板电荷的参考极性是上
极板带正电、下极板带负电,那

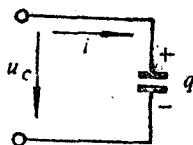


图 1-1

么,当实际极性是上极板带正电、下极板带负电,而且电荷的大小为 5×10^{-5} 库仑时,则可写为 $q = 5 \times 10^{-5} \text{ C}$,反之,若实际极性是上极板带负电、下极板带正电,而且电荷的大小为 8×10^{-5} 库仑时,则应写为 $q = -8 \times 10^{-5} \text{ C}$ 。

引入参考方向(参考极性)的另一目的是使电路基本规律不仅能反映其中各电路变量大小之间的关系,而且也能反映它们的实际方向(实际极性)之间的关系。例如,在图 1-1 中,由于规定了电压 u_c 的参考方向和极板电荷 q 的参考极性,因此, $q = C u_c$ 这个关系式就不仅反映 q 和 u_c 的大小之间的关系,而且反映了极板电荷实际极性与电压实际方向之间的关系。

(3) 关于参考方向配合的习惯用法

参考方向配合既有任意性,又有习惯性(惯例)。由于在某些条件下,一段电路所属的各个电路变量的实际方向(实际极性)之间的关系是客观存在的,因此,人们在选择参考方向配合时,应尽可能和实际方向(实际极性)之间的关系相一致。例如,对于一段只含电阻的电路来说,电压和电流的实际方向是一致的,因此,人们在选择参考方向配合时,也令电流和电压的参考方向是一致的。

这种参考方向配合还被推广到一段不含电源的电路，并称为元阻惯例。

又例如，在电压源特性方程中，有电动势 e 、电压 u 和电流 i 三个变量，其参考方向配合有四种形式，如图 1-2 中所示。其中 (a)、(b) 和 (c) 三种在一定条件下被采用。当人们分析发电机的工作情况，或电压源对外供电时，人们选用图 1-2(a) 所示的参考方向配合。由于直流发电机在运行时，其电动势、电压和电流的实际方向与图 (a) 中所规定的参考方向相一致，故被称为“发电机惯例”。当人们分析电动机的工作情况，或电压源被充电时，人们选用图 (b) 所示的参考方向配合。由于直流电动机在运行时，其反电动势、电压和电流的实际方向与图 (b) 中所规定的参考方向一致，故被称为“电动机惯例”。在第八章还会看到，对于变压器的初级绕组，电压 u 、电流 i 和感应电动势 e 的参考方向配合就符合“三同惯例”。至于图 (d) 所示的参考方向配合，极少被采用。

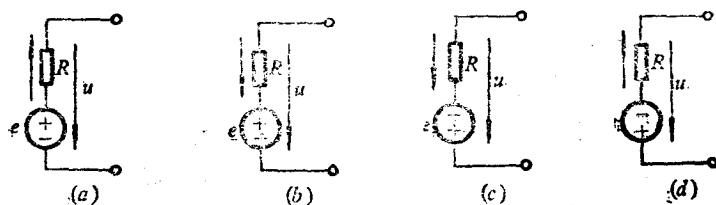


图 1-2

(4) 理想元件的意义及它与实际元件的异同点

电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源和理想电流源等都是理想元件。所谓理想元件是把实际元件理想化，理想化的含义是指保留某种元件的主要性质，而舍弃其次要性质。例如，当线圈的自感系数很大，而电阻又很小时，我们可以把线圈看成只有自感系数而没有电阻的线圈——电感元件。此外，我们认为线圈的

自感系数不随环境条件而变化,这也是理想化的结果。

采用理想元件的好处有二:第一,理想元件的特性方程能用较简单的数学关系式表示;第二,实际元件可用理想元件的组合来表示,例如,实际的线圈是有电阻的,可用电感元件和电阻元件相串联来代替。

(5) 实际电源在一定条件下可近似反映理想电源的性能

蓄电池是一个电压源,其电动势 $E=2\text{V}$,内阻 $R_0=0.01\Omega$ 。当接在蓄电池两端的电阻 $R=10\text{k}\Omega$ 时,通过电池的电流 $I=E/(R+R_0)\approx 2/10^4=2\times 10^{-4}\text{A}$, $IR_0=2\times 10^{-4}\times 0.01=2\times 10^{-6}\text{V}$,电池两端的电压 $U=E-IR_0=2-2\times 10^{-6}\approx 2\text{V}$ 。如果外接电阻变为 $R=10.1\text{k}\Omega$,则电流 $I=E/(R+R_0)\approx E/10100=1.98\times 10^{-4}\text{A}$, $IR_0=1.98\times 10^{-4}\times 0.01=1.98\times 10^{-6}\text{V}$, $U=E-IR_0=2-1.98\times 10^{-6}\approx 2\text{V}$ 。可见,只要外接电阻甚大于电源内阻,且外接电阻变化不大时,蓄电池可看成理想电压源。

有一种手摇发电机,电动势为 150V ,内阻 $R_0=1500\Omega$ 。若和发电机相接的电阻为 $R=10\Omega$,则发电机输出电流 $I_S=E/(R+R_0)=150/1510\approx 0.099\text{A}$;若电阻 $R=12\Omega$,则电流 $I_S=150/1512\approx 0.099\text{A}$ 。可见,当电源内阻甚大于外接电阻,且后者变化不大时,该电源可看成是理想电流源。

通过以上讨论,也可以加深关于理想电压源的内阻为零、理想电流源内阻为无限大的认识。

(6) 电源的串联和并联

电压源和电压源、电流源和电流源以及电压源和电流源都可以视实际需要将它们互相串联或并联;但是,应该注意,两个电动势不等的理想电压源不能并联,而两个电激流不等的理想电流源不能串联。

如图 1-3 所示的电路,若将两个电动势不等的理想电压源并

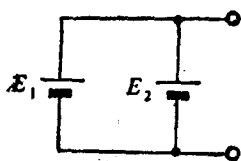


图 1-3

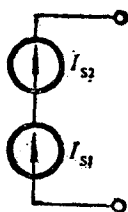


图 1-4

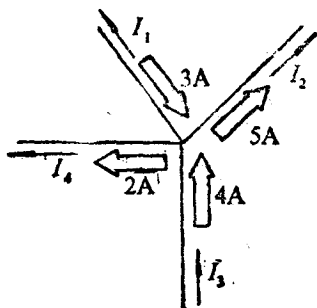


图 1-5

联,则无法确定其端电压,而且在两个理想电压源所组成的回路内出现无限大的电流。

若将两个电激流不相等的理想电流源相串联(图 1-4),则无法确定电路中的电流。

从上面两例看到,在某种情况下,用理想元件代替实际元件会出现令人不能理解的结果,因此,以后若遇有电动势不等的电压源相并联,或电激流不等的电流源相串联的情况,就不要将其理想化。

(7) 在列写基尔霍夫第一定律的表示式时,为什么可以用电流的参考方向来判断“流入”和“流出”?

如图 1-5 所示的节点,若按电流的实际方向(空心箭头所示)来列 KCL 表示式,即得

$$-3 + 5 - 4 + 2 = 0 \quad [1]$$

若按图中所规定的电流参考方向(实心箭头所示)来列 KCL 表示式,即得

$$I_1 + I_2 - I_3 + I_4 = 0 \quad [2]$$

根据图中所标的电流参考方向和实际方向,可得

$$I_1 = -3\text{A} \quad I_2 = 5\text{A}$$

$$I_3 = 4\text{A}$$

$$I_4 = 2\text{A}$$

将以上各式代入式[2], 即得

$$-3 + 5 - 4 + 2 = 0$$

上式和式[1]是一样的。由此可见, 按电流参考方向列出的表示式[2]是正确的, 亦即在列基尔霍夫第一定律的表示式时, 可以用电流参考方向来判断“流入”和“流出”。

应该注意的是, 按电流参考方向列出的 KCL 表示式中, 不论电流是已知还是未知的, 都要先用文字符号表示, 然后, 对于已知的电流, 再根据实际方向和参考方向的关系, 确定它们的代数值(正、负值)。这样处理可避免在符号上出现错误。

3. § 1-4 和 § 1-5 介绍节点分析法和回路分析法。重点是用这两种方法对电阻网络建立电路方程。至于动态网络, 只要求看懂教材所举的例子。

学习这部分内容时, 可结合思考以下问题:

(1) 如何理解节点、独立节点、参考节点、节点电压以及节点分析法等术语的意义?

(2) 什么是回路电流法? 回路电流的概念是怎样引出来的?

(3) 对于给定的网络, 如何确定一组独立回路的数目? 如何判断一组回路是不是独立回路?

(4) 用节点分析法或回路分析法建立电路方程时, 有哪几个步骤?

4. 对 § 1-4 和 § 1-5 的一些问题说明如下:

(1) 简单电阻电路和复杂电阻电路的区分

凡是能用电阻的串联公式和并联公式、分流公式和分压公式解出支路电流的电路都属于简单电阻电路。其他的电路都属于复杂电阻电路的范畴了。对于复杂电阻电路, 必须用支路分析法、节点分析法或回路分析法求解。

(2) 平面电路和网孔

画在平面上的电路,若除节点之外无任何互相交叉的支路,则称为平面电路。图 1-6(a)所示是平面电路,而在图(b)中,支路 R_2 和支路 R_5 相互交叉,故不是平面电路。应该注意,本教材所讨论的电路都是平面电路。

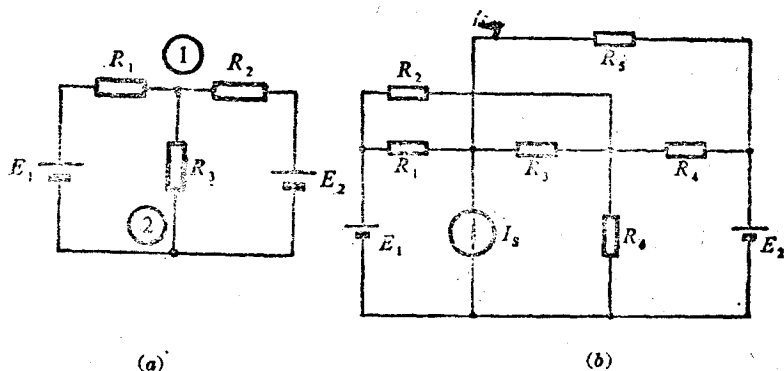


图 1-6

在平面电路中,内部不存在支路的回路,称为网孔。例如,在图 1-6(a)中,由 E_1 、 R_1 、 R_2 和 E_2 所组成的回路中,含有支路 R_3 ,故该回路不是网孔,而由 E_1 、 R_1 和 R_3 所组成的回路内不包含其他支路,故是网孔。

(3) 独立回路的判断

判断一组回路是否独立回路的原则是:

第一,若一组回路全部由网孔组成,必定是独立回路;

第二,在一组回路中,若每一个回路至少含有一条其余回路所没有的支路,则该组回路是独立回路。

应该注意的是,后一条件是充分条件,但不是必要条件,亦即满足此条件的回路必定是一组独立回路,但一组独立回路并不一定满足上述条件。例如,图 1-7 中所示的网孔是一组独立回路,但

是，在这一组回路中，中间那个网孔并不存在一条其余回路所没有的支路。

(4) 直接写出节点电压方程的规则

对于只由电流源和电导组成的网络，可以找到不经推导而直接写出节点电压方程的规则。下面通过例子加以介绍。

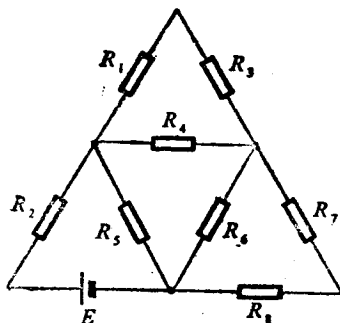


图 1-7

如图 1-8 所示的电路，设 4 个节点电压 u_1, u_2, u_3 和 u_4 的参考方向均指向参考节点，利用节点分析法可以推导出 4 个节点电压方程：

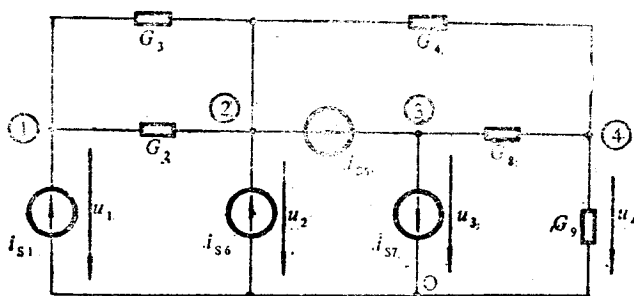


图 1-8

$$\text{节点①} \quad (G_2 + G_3)u_1 - (G_2 + G_3)u_2 = i_{S1}$$

$$\text{节点②} \quad (G_2 + G_3 + G_4)u_2 - (G_2 + G_3)u_1 - G_4u_4 = i_{S6} - i_{S5}$$

$$\text{节点③} \quad G_5u_3 - G_8u_4 = i_{S5} - i_{S7}$$

$$\text{节点④} \quad (G_4 + G_8 + G_9)u_4 - G_4u_2 - G_8u_3 = 0$$

仔细观察上面的联立方程，可以找到直接列写节点电压方程的规则：

第一, 节点 k 的节点电压方程的左边等于两部分的代数和, 第一部分的各个项是接在节点 k 的电导与该节点电压的乘积, 均取正号; 第二部分的各个项是跨接在节点 k 及其相邻节点 j (连接节点 k 和 j 的路径中, 若有一条路径上不存在其他的节点, 则节点 k 和 j 称为相邻节点) 的电导与节点 j 的电压的乘积, 均取负号。应该注意, 节点 k 的相邻节点可能有多个, 列方程时不要遗漏。

第二, 节点 k 的节点电压方程的右边等于接在该节点的电激流的代数和, 当电激流的参考方向指向该节点时取正号, 反之取负号。

下面举例说明此规则的应用。例如, 对于图 1-8 的节点②, 由于接在该节点的电导有 G_2 、 G_3 和 G_4 , 所以, 节点电压方程左边的第一部分会有 $G_2 u_2 + G_3 u_2 + G_4 u_2$ 。节点①、④和③均是②的相邻节点, 由于跨接在节点②和①的电导为 G_2 和 G_3 , 所以, 第二部分应包含 $-G_2 u_1$ 和 $-G_3 u_1$ 两项; 跨接在节点②和④之间的电导为 G_4 , 第二部分还应包含有 $-G_4 u_4$; 跨接在节点②和③之间的是理想电流源, 其内电导等于零 (即内阻等于无限大), 故第二部分就不包含与节点③有关的项了。

接在节点②的电流源有 i_{s6} 和 i_{s5} , 前者的电激流参考方向指向该节点, 而后者则相反, 故方程的右边等于 $i_{s6} - i_{s5}$ 。

最后指出, 若电路中含有实际电压源, 则可先将其变换为实际电流源 (参阅教材第四章 § 4-2), 然后再应用上述规则列写节点电压方程。

(5) 直接列写回路电流方程的规则

对于只由电压源和电阻组成的网络, 可以找到直接列写回路电流方程的规则。下面通过例子加以介绍。

如图 1-9 所示的网络, 若选左、右两个网孔及最外层的回路 (由 e_1 、 R_1 、 R_3 、 e_3 和 R_5 组成) 作为一组独立回路, 回路的编号, 如

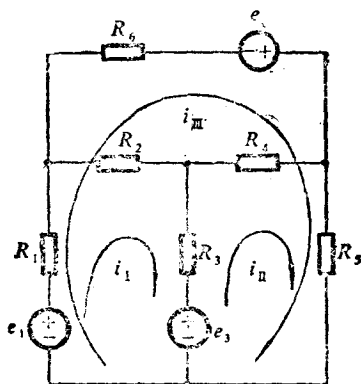


图 1-9

回路电流下标所示，且设回路电流的参考方向和回路绕行方向均沿顺时针方向，那么，应用回路分析法可以推导出三个回路电流方程：

$$\text{回路 I} \quad (R_1 + R_2 + R_3) i_1 - R_3 i_{II} + R_1 i_{III} = e_1 - e_3$$

$$\text{回路 II} \quad (R_3 + R_4 + R_5) i_{II} - R_3 i_1 + R_5 i_{III} = e_3$$

$$\text{回路 III} \quad (R_1 + R_5 + R_6) i_{III} + R_1 i_1 + R_5 i_{II} = e_1 + e_6$$

仔细观察上面各个方程，可以找出直接列出回路电流方程的规则：

第一，回路 k 的回路电流方程的左边等于两部分的代数和：第一部分的各个项是回路电流 i_k 在该回路各个电阻上产生的电压，均取正号；第二部分的各个项是回路 k 的相关回路 j （回路 k 和 j 有公共的电阻时，称为相关回路）的回路电流 i_j ，在这两个回路的公共电阻上产生的电压，若回路电流 i_j 和 i_k 在流过公共电阻时的参考方向相同，则取正号，反之取负号。应该注意，相关回路可能有多个，列方程时不要遗漏。

第二，回路电流方程的右边等于回路 k 所包含的电动势的代数和，当电动势参考方向与回路绕行方向（即回路电流参考方向）