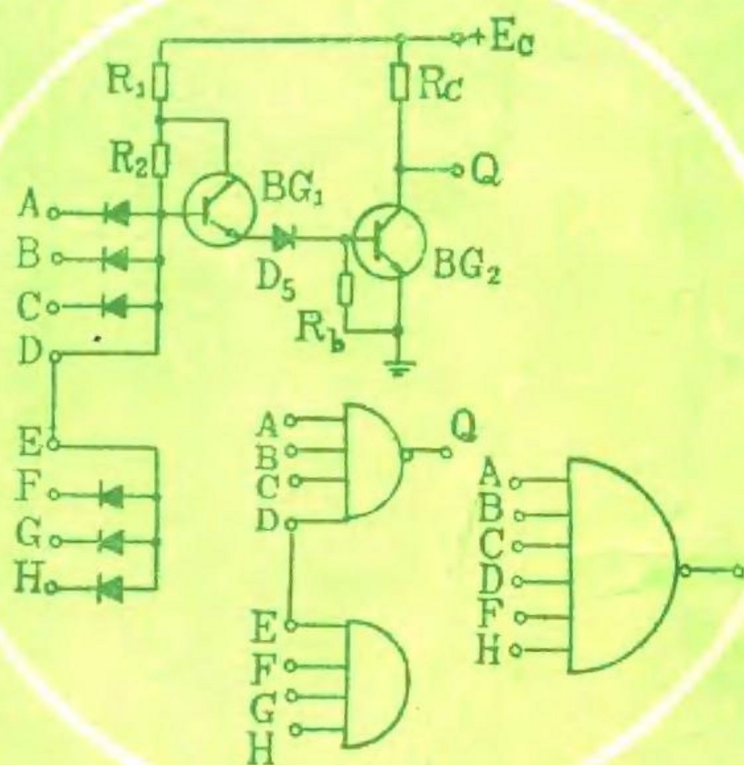


中等专业学校教材

电子技术基础

潘如玉 主编



地 质 出 版 社

内 容 简 介

全书共十七章，可分为三部份。第一部份叙述有关电工基础，其中电工仪表这一章，为适合野外工作的需要，以MF-30型万用表为例作了较详细的叙述。第二部份为模拟电子电路，对各单元电路的工作原理，着重其物理概念的阐述，为适应新技术的发展，线性集成电路占有一定的篇幅。第三部份为脉冲数字电路，着重分析其工作原理和逻辑功能，其中脉冲电路仍以分立元件为主，数字电路则以集成器件为主。书中每章均附有小结、习题和思考题。

本书可作为中等专业学校地球物理探矿专业和相近专业的电子技术基础课程教材，或具有初中以上文化水平的技术人员自学参考用书。

中等专业学校教材 电 子 技 术 基 础

南京地质学校潘如玉主编

责任编辑：郑秀芳

*

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：24 字数：564,000万
1985年6月北京第一版·1985年6月北京第一次印刷
印数：1—10,785册 定价：4.40元
统一书号：13038·教208

前 言

本书是根据地质矿产部1983年审定的中等地质学校地球物理探矿专业四年制教学大纲编写的。编写提纲和初稿经部教材室组织，由兄弟学校参加的教材审稿会议审查，并根据会议提出的意见作了修改。

由于现代技术的需要，电子技术已成为中等工科专业学校必修的基础课程。本书除系统介绍了电子技术的主要内容外，适当地考虑了专业的要求；并编有电路分析必备的基础知识。在编写过程中注意了培养学生分析问题的能力，对各单元电路着重阐明其物理概念，使学生（读者）具有对专业的电子设备进行初步定性分析的能力。

本书由南京地质学校潘如玉同志主编，长春地质学校白永茂同志协编，其中第一章至第四章和第十四章、十五章由白永茂同志编写；第五章至第十三章和第十六章及第十七章由潘如玉同志编写，西安地质学院郑秀芳同志为本书的主审和责任编辑。

由于编者的水平有限，书中一定存在不少缺点和错误，恳切希望使用本教材的同志们给予批评指正，提出宝贵意见。

作者

一九八四年八月

目 录

第一章 复杂直流电路	1
第一节 克希荷夫定律	1
第二节 叠加原理	8
第三节 电压源与电流源	11
第四节 戴维南定理	17
本章小结	20
习题与思考题	21
第二章 单相交流电路	27
第一节 正弦交流电的概念	27
第二节 同频率正弦交流电的相加	36
第三节 纯电阻电路	39
第四节 纯电感电路	41
第五节 纯电容电路	45
第六节 电阻、电感、电容串、并联电路	49
第七节 非正弦交流电	56
本章小结	58
习题与思考题	62
第三章 振荡回路	65
第一节 自由振荡	65
第二节 串联谐振	68
第三节 并联谐振	72
第四节 滤波器的概念	76
本章小结	79
习题与思考题	80
第四章 常用电工仪表	82
第一节 磁电式仪表的结构和原理	82
第二节 仪表灵敏度与误差	84
第三节 直流电流的测量	86
第四节 直流电压的测量	90
第五节 交流电压的测量	92
第六节 电阻的测量	93
第七节 复用表	99
本章小结	104
习题与思考题	105
第五章 晶体二极管	107
第一节 半导体的导电特性	107
第二节 P—N结	109

第三节 二极管的伏安特性	111
第四节 二极管的主要参数	113
第五节 二极管的简易测试	114
本章小结	114
习题与思考题	115
第六章 晶体三极管	116
第一节 三极管的工作原理	116
第二节 三极管的特性曲线	122
第三节 三极管的主要参数	125
第四节 三极管的简易测试	128
本章小结	129
习题与思考题	129
第七章 晶体管低频小信号放大器	136
第一节 电压放大的基本原理	136
第二节 放大器的图解分析法	140
第三节 放大器的非线性失真	148
第四节 放大器的估算分析法	150
第五节 放大器的等效电路分析法	155
第六节 放大器的输出电阻	159
第七节 直流偏置电路	160
第八节 多级放大器	162
本章小结	168
习题与思考题	169
第八章 放大器的负反馈	170
第一节 负反馈的四种基本形式	170
第二节 负反馈对放大器性能的影响	175
第三节 射极输出器	178
第四节 放大器产生自激的原因和消除方法	181
本章小结	182
习题与思考题	183
第九章 低频功率放大器	185
第一节 功率放大器的特点	185
第二节 单管甲类功率放大电路	187
第三节 乙类推挽功率放大电路	190
第四节 无输出变压器电路	194
本章小结	201
习题与思考题	201
第十章 直流放大器	202
第一节 直接耦合放大电路	202
第二节 差动式放大电路	203
第三节 调制型直流放大电路	211
本章小结	214

习题与思考题	215
第十一章 线性集成电路	216
第一节 集成电路的类型和特点	216
第二节 线性集成电路的内部电路分析	219
第三节 运算放大器输入端的连接方式	225
第四节 线性集成电路的几个主要参数和简易测试方法	230
第五节 运算放大器应用举例	234
第六节 运算放大器的零点调节及自激振荡的抑制	237
本章小结	239
习题与思考题	239
第十二章 正弦波振荡器	241
第一节 振荡器的基本原理	241
第二节 LC振荡器	243
第三节 石英晶体振荡器	245
第四节 RC振荡器	248
本章小结	250
习题与思考题	251
第十三章 场效应管及其应用	252
第一节 结型场效应管	252
第二节 绝缘栅场效应管	257
第三节 场效应管的应用	259
本章小结	262
习题与思考题	262
第十四章 直流稳压电源	263
第一节 整流电路	263
第二节 滤波器	270
第三节 整流元件的串、并联使用	276
第四节 简单稳压电路	277
第五节 串联型稳压电路	280
本章小结	287
习题与思考题	288
第十五章 可控硅及其应用	289
第一节 可控硅的工作原理	289
第二节 可控硅触发电路	293
第三节 可控硅应用举例	298
第四节 可控硅的保护及串、并联使用	301
本章小结	304
习题与思考题	305
第十六章 晶体管脉冲电路	306
第一节 RC电路的暂态过程	307
第二节 晶体管开关特性	311
第三节 晶体管反相器	315

IV

第四节 双稳态触发器	318
第五节 单稳态触发器	322
第六节 多谐振荡器	327
第七节 施密特触发器	329
本章小结	331
习题与思考题	333
第十七章 数字电路	334
第一节 基本逻辑门电路	334
第二节 集成逻辑门电路	339
第三节 集成触发器	346
第四节 二进制计数电路	354
第五节 十进制计数电路	360
第六节 寄存器	365
第七节 译码器与脉冲分配器	367
第八节 数字显示	370
第九节 MOS 数字集成电路简介	372
本章小结	374
习题与思考题	375
主要参考书目	376

第一章 复杂直流电路

电能应用在日常生活、工农业生产、科研等各个方面是通过各种各样的电路来实现的。手电筒的电路就是最简单的直流电路，它由电源（干电池）、负载（小灯泡）、连接导线（手电筒外壳）和开关所组成。电源的作用是供给负载电能，开关和连接导线是对电路起控制和连接作用。构成电路的负载可以是许许多多的元器件，如电阻器、电容器、变压器、线圈等。在分析计算电路时，都把这些元器件当成一个表征它们特性的理想元件来看待，即纯电阻、纯电容、纯电感。例如电烙铁、电灯泡等这类实际元件都可看成为是一个纯电阻元件。构成电路的电源不一定是直流电源，也可以是交流电源。

对于像手电筒这样的简单直流电路，或者由电阻的串联、并联所构成的简单电路，分析和计算只要运用欧姆定律和电阻串、并联的知识就可以了。本章所要研究的是如图（1-1-1）所示的复杂直流电路。它的结构比较复杂，既不是单纯的串联电路和并联电路，也不是单纯的串、并联混合电路。

所谓复杂电路，是指一个电路的结构，如果不能用串、并联关系简化成最简单的无分支电路，这种电路就叫做复杂电路。在复杂电路中，可以包括任意数目的电源和电阻。

本章共分三节，所阐述的内容虽各不相同，但目的是一个，都是为了解决复杂电路的计算问题。为此需要掌握两个基本的定律，即克希荷夫第一定律和克希荷夫第二定律，以及应用这两个定律计算复杂电路的方法。另外由于电路的结构不同，分析和计算某电路的侧重点也可能不一样，因此有很多分析和计算电路的方法。但由于本书的篇幅所限，在这里只阐述支路电流法、叠加定理、戴维南定理等计算复杂电路的方法。

第一节 克希荷夫定律

克希荷夫定律有两个，即克希荷夫第一定律（节点电流定律）和克希荷夫第二定律（回路电压定律）。

为了很好地掌握克希荷夫定律，首先必须了解几个名词

支路：一个复杂电路由许多分支构成，电路中的每个分支叫做支路。支路可能是一个元件，也可能是几个元件串联而成，但无论有几个元件构成的支路，只要通过它们的电流是一个，那它们就属于一个支路。如图1-1-1中e. f. a. b就是一个支路，它由两个元件串联而成。b. e也是一个支路，也是由两个元件串联而成的。b. c. d. e又是一个支路，由一个元件构成。e. f. a. b称为有源支路，b. c. d. e称为无源支路。

节点：三个或三个以上支路的汇接点叫做节点。如图（1-1-1）中的b点和e点都是节点。有了节点这个概念之后，还可以这样来称呼支路，即把连接两个节点的某一电路称为支路。

回路：电路中任何一个闭合路径称为回路。如图（1-1-1）中有三个回路，它们分别为befab、bedcb、abcdefa。早已知道，构成一个电路至少要有有一个闭合回路，这种只有

一个闭合回路的最简单电路，称为单回路电路。图（1-1-2）所示的电路，看起来有三个回路，但是用电阻串、并联的知识可划为单回路电路，像这样的电路就不能称为复杂电路。

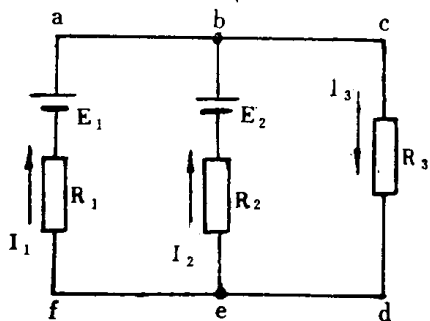


图 1-1-1

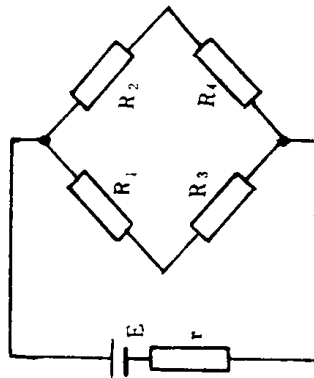


图 1-1-2

一、克希荷夫第一定律

克希荷夫第一定律（节点电流定律）用以确定在节点处各电流之间的关系。即在节点处，在任何时刻，流入节点的各电流的总和等于由这个节点流出电流的总和。如图（1-1-1）所示电路，流进节点 b 的电流有 I_1 和 I_2 ，它们的总和是 $I_1 + I_2$ ，而由这个节点流出的电流只有 I_3 ，根据克希荷夫第一定律，可写出节点 b 的电流方程

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1-1-1)$$

这个定律的实质是电流连续性的表现。所谓电流，就是在单位时间内通过导体某一横截面的电荷量，那么流进节点各电流的总和，就是在单位时间内所流进节点的总电荷量，它应该等于由该节点流出的总电荷量，也就是等于由该节点流出的电流的总和。否则，在节点处将有电荷的堆积或不足，造成该节点电位的改变，这就与稳恒电流（直流）这个概念相矛盾，实际上也是不可能的。

上述节点电流方程可改写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

即

$$\sum I = 0 \quad (1-1-2)$$

公式（1-1-2）说明了汇交于某节点的诸电流的代数和等于零。通常把流进节点的电流取正号，而把由节点流出的电流取负号。

在列节点电流方程之前，先要标定电流的方向（参考方向），对于已知电流则应按实际方向标定，而对于未知电流，其方向可任意标定。根据所列出的方程式计算出的电流如果是正值，就表明标定的方向和电流的实际方向相同。如果是负值，则表示标定的方向和电流的实际方向相反。图（1-1-3）所示有五个电流汇交于一个节点，其方向已经标定，其中 I_1 、 I_2 、 I_4 是流进节点，应取正号，而电流 I_3 、 I_5 是由节点流出，应取负号，则该节点的电流方程式为

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

节点电流定律对于包围着几个节点的封闭面也是适用的。如图（1-1-4）中虚线所示的封闭面内有三个节点通过节点的电流的方向已分别标明在图上，则三个节点电流方程为

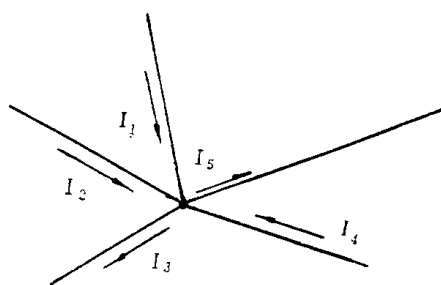


图 1-1-3

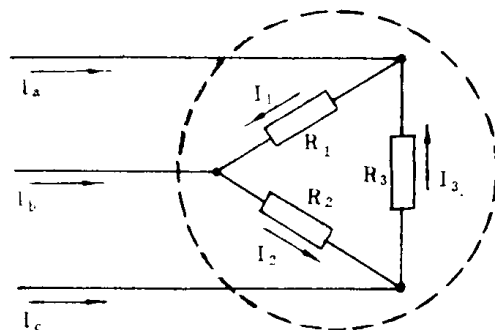


图 1-1-4

$$I_a = I_1 - I_3$$

$$I_b = I_2 - I_1$$

$$I_c = I_3 - I_2$$

将上面三式相加便得

$$I_a + I_b + I_c = 0$$

或者写成

$$\sum I = 0$$

可见通过任一封闭面的电流代数总和等于零。

二、克希荷夫第二定律

克希荷夫第二定律（回路电压定律）是用以确定在一个回路中各支路电压间的关系。如图（1-1-5）所示的闭合电路，假定 $E_1 > E_2$ ，则回路电流为

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R + R_1 + R_2} \quad (1-1-3)$$

把式（1-1-3）改写成电压的形式为

$$E_1 = E_2 + IR + IR_1 + IR_2 \quad (1-1-4)$$

式（1-1-4）表明了在一个闭合电路内，从闭合回路的任意点起始，沿回路环绕一周，再回到该点，电位升高的总和等于电位降低的总和，这就是克希荷夫第二定律所表示的内容。

对于电阻两端的电位升高和降低是根据电流方向来确定的。顺电流的方向是电位降低，其数值等于电阻两端电压的数值，即 $U = IR$ ，逆电流的方向是电位升高，即 $U = -IR$ ，式中的负号表示电位升高（显然电位降低取正号）。

对于回路中的电源，其正极电位总是高于负极电位，其数值为电源电动势的数值 E ，电动势的正方向由负极指向正极的方向。在闭合回路中的电源的电位升高或降低也可以根据其电流的方向来确定。当电动势的方向与回路中电流的方向相同时，该电源处于电源状态下工作，输出电能，电位升高。若电动势的方向与回路中电流方向相反时，则该电源处于负载状态下工作，非但不输出电能，反而吸收电能，所以电位降低。无论是电位升高还是降低，其数值都等于电源电动势的数值 E 。

例如图（1-1-5），沿回路 abcdefa 环绕一周，电位升高的总和为 E_1 ，即从 a 到 b 是电位升高，其值为 E_1 ，因为回路电流的方向与电动势 E_1 的方向相同。电动势 E_2 的方向与回路电

流的方向相反, 因此从 c 到 d 是电位降低, 其值为 E_2 。又三个电阻上的电位降低之和为 $IR + IR_1 + IR_2$, 可见电位升高的总和等于电位降低的总和, 即为式 (1-1-4) 所示。

对于复杂电路中的某一回路而言, 也完全可以根据电位升高的总和等于电位降低的总和列出如式 (1-1-4) 形式的回路方程, 但是, 有时由于电流的实际方向难以确定, 因而回路中的实际电位的升高或降低也就难以确定。在这种情况下, 可以预先假定电流的方向, 并且把假定的参考方向用箭头标明, 再根据所假定的电流方向来确定回路中某处电位的升高或是降低, 列出回路方程。

现在以图 (1-1-6) 所示的复杂电路为例, 图中已标明了电流的参考方向。在 $abcfa$ 回路中, 从任意一点出发, 取顺时针的方向循行一周, 则在这个方向上 E_1 和 $I_2 R_2$ 为电位升高, E_2 和 $I_1 R_1$ 为电位降低, 回路方程为

$$E_1 + I_2 R_2 = E_2 + I_1 R_1 \quad (1-1-5)$$

或者写为

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2 \quad (1-1-6)$$

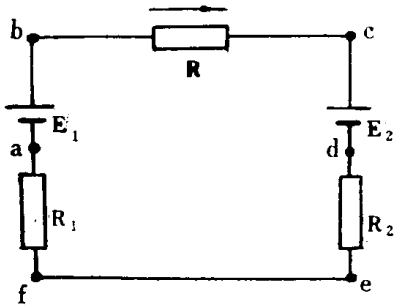


图 1-1-5

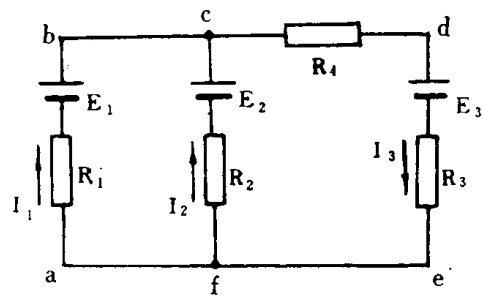


图 1-1-6

从式 (1-1-6) 得出的结论是: 在电路的任意一个闭合回路中, 电动势的代数和等于各电阻上电位降的代数和。即

$$\sum E = \sum IR \quad (1-1-7)$$

这就是克希荷夫第二定律的数学表达式。

电动势的正负是根据预先选定回路的环绕方向来确定, 即与回路的环绕方向相同的电动势为正, 与环绕方向相反的电动势为负。

对于电阻上的电位降的正负, 同样也根据预先选定的环绕方向来确定, 即电流方向与回路的环绕方向相同时, 该电流在电阻上的电位降为正, 电流方向与回路的环绕方向相反时, 该电流在电阻上的电位降为负。

将式 (1-1-6) 移项可得

$$E_1 + I_2 R_2 - E_2 - I_1 R_1 = 0$$

即

$$\sum U = 0 \quad (1-1-8)$$

此即克希荷夫第二定律的另一种表达形式, 意即在任一时刻, 在任一闭合回路循行方向上, 回路中各部份电压的代数和恒等于零。如果规定电压升者取正号, 则电压降者就取负号。

公式 (1-1-8) 和公式 (1-1-2) 是克希荷夫两定律的数学表达式, 简单并且容易记忆。但是, 应用克希荷夫定律求解复杂电路时, 用式 (1-1-7) 和式 (1-1-1) 较为方便。

三、支路电流法解复杂电路

复杂电路不能用电阻的串、并联关系简化成无分支的简单电路，因而也就无法直接应用全电路欧姆定律去求解复杂电路。但是应用克希荷夫定律就能够计算在结构上任意复杂的电路。

任何复杂电路都是由支路构成，计算复杂电路的问题，实质上就是求解各支路电流的问题。用克希荷夫二定律列出以支路电流为未知量的方程来求解支路电流的方法，称为支路电流法。

现以图（1-1-7）为例，说明用支路电流法求解复杂电路的步骤。

设图中 $E_1 = 4.5\text{V}$, $E_2 = 3\text{V}$

$R_1 = 30\Omega$, $R_2 = 60\Omega$, $R_3 = 180\Omega$

求解各支路电流的步骤如下：

1. 假定各支路电流的方向

图（1-1-7）有三个支路，各支路电流分别为 I_1 、 I_2 和 I_3 ，它们的假定方向用箭头标明在图上。

假定电流方向可以是任意的，当假定的方向和实际电流方向一致时，计算电流的结果是正值，当假定的电流方向和实际电流方向不一致时，计算电流的结果会出现负值。

2. 应用克希荷夫第一定律列出节点方程

图（1-1-7）中有两个节点 c 和 f ，对节点 c 列出的节点方程式

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad \text{①}$$

如果再对节点 f 列节点方程式，得到的方程式是与方程①完全一样，它不是独立的。因此两个节点只能列出一个节点方程，如有三个节点，则只能列出两个节点方程。即具有 n 个节点的复杂电路，只能有 $n - 1$ 个节点方程是独立的。

3. 应用克希荷夫第二定律列出回路方程

根据公式（1-1-7）列回路方程，对回路 $abcfa$ 取顺时针的环绕方向，其回路方程为

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2 \quad \text{②}$$

对回路 $fcdef$ 取顺时针的环绕方向，其回路方程为

$$E_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3 \quad \text{③}$$

如果再用同样方法，对回路 $abcdefa$ 列出的方程为 $E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3$ ，则这个方程是不独立的，因把方程②和③相加就可得到这个结果。这是由于回路 $abcdefa$ 中的两个支路都已在列回路方程②和③时使用过，由此就可看出，在列回路方程时，至少要包含一个没有使用过的支路。

回路方程的数量应该是多少？这与支路数目，也就是与求解的未知量的数目有关。如图（1-1-7）电路有三个支路，即三个需要求解的未知电流，也就需要三个独立的方程来联立求解。由于已经有一个节点方程式，故只需要两个回路方程。一般回路方程的数目应该是 $m - (n - 1)$ 个，其中 m 为所求支路电流的数目，也就是方程的数目， n 为节点数。

4. 求解方程组

图（1-1-7）有三个未知电流，现在已有包含三个未知量的三个独立方程。把已知的电动势 E_1 和 E_2 的数值，以及电阻 R_1 、 R_2 和 R_3 的数值代入方程就得到三个方程的方程组。

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 & \textcircled{1} \\ 30I_1 - 60I_2 = 1.5 & \textcircled{4} \\ 60I_2 + 180I_3 = 3 & \textcircled{5} \end{cases}$$

求出方程组的解, 得到各支路的电流为

$$I_1 = 30\text{mA}, I_2 = -10\text{mA}, I_3 = 20\text{mA}$$

其中 I_1 与 I_3 为正值, 说明假定的电流方向和电流的实际方向一致。 I_2 是负值, 说明假定的电流方向和电流的实际方向相反。

〔例 1-1〕如图 (1-1-8) 所示的电路, 已知 $E_1 = 3\text{V}$, $E_2 = 6\text{V}$, $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 20\Omega$, $R_3 = 4\Omega$ 。求各支路的电流

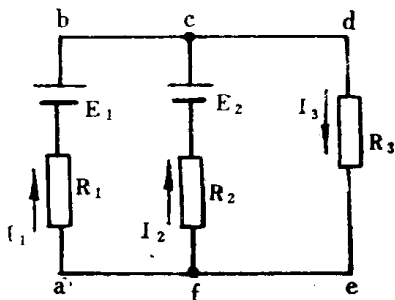


图 1-1-7

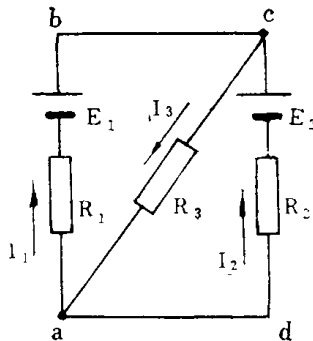


图 1-1-8

应用支路电流法解此题

1. 先假定三个支路电流的方向, 如图 (1-1-8) 所示
2. 对节点 a 列节点方程

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad \textcircled{1}$$

3. 对回路 $abca$, 取顺时针环绕方向, 列出回路方程:

$$E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3 \quad \textcircled{2}$$

- 对回路 $dcad$, 取反时针环绕方向, 列出回路方程:

$$E_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3 \quad \textcircled{3}$$

4. 代入已知数, 得方程组

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 & \textcircled{1} \\ 10I_1 + 4I_3 = 3 & \textcircled{4} \\ 20I_2 + 4I_3 = 6 & \textcircled{5} \end{cases}$$

解方程组, 将 $I_3 = I_1 + I_2$ 代入④和⑤得

$$\begin{cases} 14I_1 + 4I_2 = 3 & \textcircled{6} \\ 4I_1 + 24I_2 = 6 & \textcircled{7} \end{cases}$$

$$I_1 = \frac{\begin{vmatrix} 3 & 4 \\ 6 & 24 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 14 & 4 \\ 4 & 24 \end{vmatrix}} = \frac{48}{320} = 0.15\text{ A}$$

$$I_2 = \frac{\begin{vmatrix} 14 & 3 \\ 4 & 6 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 14 & 4 \\ 4 & 24 \end{vmatrix}} = \frac{72}{320} = 0.225 \text{ A}$$

$$I_3 = I_1 + I_2 = 0.15 + 0.225 = 0.375 \text{ A}$$

〔例 1—2〕如图(1-1-9)所示电路, 已知 $E_1=10 \text{ V}$, $E_2=20 \text{ V}$, $R_1=R_2=1 \Omega$, $R_4=R_6=2 \Omega$, $R_5=R_7=8 \Omega$, $R_3=10 \Omega$, 求各支路电流

应用支路电流法解此题, 先观察电路的节点数和支路数, 然后分析电路是否可以简化。图(1-1-9)电路有五个支路, 三个节点, 注意 cd 不是支路, 而是一个节点。 bfc 支路和 aed 支路都是由两个电阻串联而成, 它可用一个电阻来代替。则该电路就可以简化成图(1-1-10)所示的电路。从图中可以看出, 此电路有五个支路, 三个节点, 三个回路。

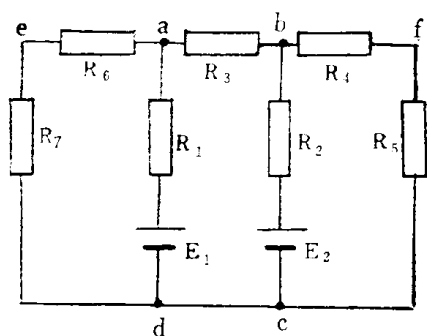


图 1-1-9

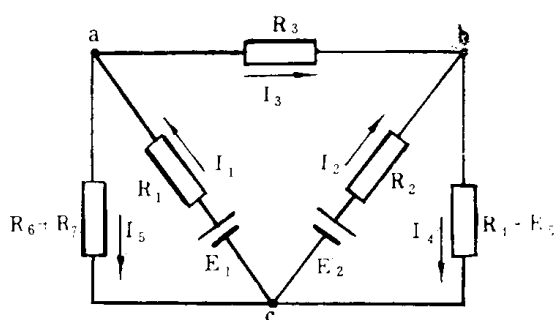


图 1-1-10

假定各支路电流的方向用箭头标在图上, 如图(1-1-10)所示。

列节点方程

$$I_1 - I_3 - I_5 = 0 \quad (1)$$

$$I_3 + I_2 - I_4 = 0 \quad (2)$$

列回路方程

$$E_1 = I_1 R_1 + I_5 (R_6 + R_7) \quad (3)$$

$$E_2 = I_2 R_2 + I_4 (R_4 + R_5) \quad (4)$$

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_3 R_3 \quad (5)$$

把已知数代入方程, 得方程组

$$\begin{cases} I_1 - I_3 - I_5 = 0 & (1) \\ I_3 + I_2 - I_4 = 0 & (2) \\ I_1 + 10I_5 = 10 & (6) \\ I_2 + 10I_4 = 20 & (7) \\ I_1 - I_2 + 10I_3 = -10 & (8) \end{cases}$$

解方程组, 将 $I_1 = I_3 + I_5$ 和 $I_2 = I_4 - I_3$ 分别代入方程⑥、⑦、⑧得

$$\begin{cases} I_3 + 11I_5 = 10 & (9) \\ 11I_4 - I_3 = 20 & (10) \\ 12I_3 - I_4 + I_5 = -10 & (11) \end{cases}$$

再将 $I_3 = 10 - 11I_5$ 代入式⑩和⑪得

$$\begin{cases} 11I_4 + 11I_5 = 30 & \textcircled{12} \\ I_4 + 131I_5 = 130 & \textcircled{13} \end{cases}$$

再将 $I_4 = 130 - 131I_5$ 代入⑫得

$$\begin{aligned} 1430I_5 &= 1400 \\ I_5 &= \frac{1400}{1430} \doteq 0.979 \text{ A} \end{aligned}$$

将 $I_5 = \frac{140}{143}$ 代入⑬得

$$I_4 = \frac{250}{143} \doteq 1.748 \text{ A}$$

将 $I_5 = \frac{140}{143}$ 代入⑨得

$$I_3 = -\frac{110}{143} \doteq -0.769 \text{ A}$$

将 $I_4 = \frac{250}{143}$ 代入⑦得

$$I_2 = \frac{360}{143} \doteq 2.517 \text{ A}$$

将 $I_5 = \frac{140}{143}$ 代入⑥得

$$I_1 = \frac{30}{143} \doteq 0.21 \text{ A}$$

第二节 叠 加 原 理

在计算具有多个电动势的复杂电路时，可应用叠加原理将复杂电路简化成简单电路，以避免求解联立方程组。

叠加原理：电路中任一支路的电流，都可以看成在电路中各部分电阻不变的情况下，由各个电动势分别单独作用时，在该支路中所产生的电流的代数和。

图(1-2-1)形象地表述了叠加原理。

图(1-2-1a)是一个具有两个电动势的复杂电路，各支路的电流分别用 I_1 、 I_2 和 I_3 表示，图(b)和(c)分别是电动势 E_1 和 E_2 单独作用时的简单电路。当 E_1 单独作用时，在各支路中产生的电流分别用符号 I'_1 、 I'_2 和 I'_3 表示，当 E_2 单独作用时，在各支路中产生的电流，分别用符号 I''_1 、 I''_2 和 I''_3 表示。叠加原理就是指：

$$I_1 = I'_1 - I''_1; \quad I_2 = I'_2 - I''_2; \quad I_3 = I'_3 + I''_3$$

也就是各支路的电流分别是两个电动势单独作用时所产生的电流的叠加(代数和)。其中正、负号的确定是以原电路中支路电流的方向为依据。当电动势单独作用所产生的电流与原电路所规定的电流方向相同时取正号，反之取负号。

某电源单独作用，是指把其余的电源都看为零，保留它们的内阻。如果是电动势源，

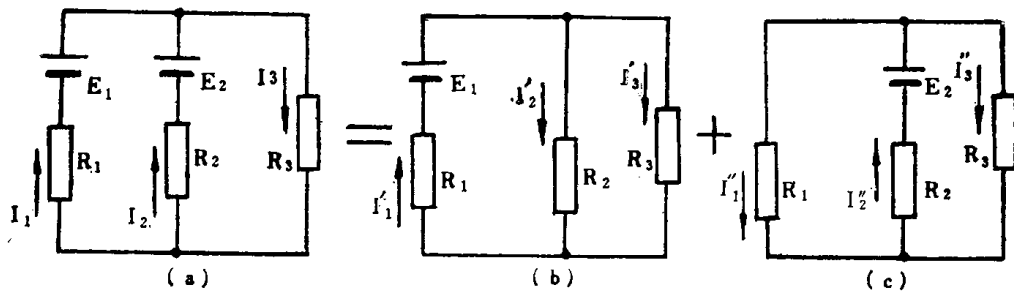


图 1-2-1

则使其短路，如果是电流源，则使其开路。关于电流源的概念，将在第三节说明。

〔例 1—3〕 现以图(1-2-1) 为例来说明用叠加原理求解复杂电路的步骤和方法。

设 $E_1 = E_2 = 14\text{V}$, $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $R_3 = 4\Omega$ 求各支路的电流。

解题步骤

1. 分别画出每个电源单独作用时的电路图，如图(1-2-1 b) 和 (c) 所示，它们都是简单电路。

2. 计算出每个电源单独作用时在各支路中产生的电流。

(1) E_1 单独作用时在各支路中产生的电流

$$I'_1 = \frac{E_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{14}{1 + \frac{2 \times 4}{2 + 4}} = 6\text{ A}$$

$$I'_2 = \frac{R_3}{R_2 + R_3} I'_1 = \frac{4}{6} \times 6 = 4\text{ A}$$

$$I'_3 = \frac{R_2}{R_2 + R_3} I'_1 = \frac{2}{6} \times 6 = 2\text{ A}$$

(2) E_2 单独作用时在各支路中产生的电流

$$I''_2 = \frac{E_2}{R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3}} = \frac{14}{2 + \frac{1 \times 4}{1 + 4}} = 5\text{ A}$$

$$I''_1 = \frac{R_3}{R_1 + R_3} I''_2 = \frac{4}{5} \times 5 = 4\text{ A}$$

$$I''_3 = \frac{R_1}{R_1 + R_3} I''_2 = \frac{1}{5} \times 5 = 1\text{ A}$$

3. 将各支路电流叠加(求代数和)

$$I_1 = I'_1 - I''_1 = 6\text{ A} - 4\text{ A} = 2\text{ A}$$

$$I_2 = I''_2 - I'_2 = 5\text{ A} - 4\text{ A} = 1\text{ A}$$

$$I_3 = I'_3 + I''_3 = 2\text{ A} + 1\text{ A} = 3\text{ A}$$

〔例 1—4〕 如图(1-2-2) 所示电路, $E_1 = E_2 = 18\text{ V}$, $R_2 = R_5 = 2\Omega$, $R_3 = 5\Omega$, $R_1 = R_4 = 6\Omega$ 。用叠加原理求各支路电流。

解:

1. 各支路电流分别为 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 和 I_5 , 其假定方向如图中箭头所示。

2. 求各电源单独作用时在各支路产生的电流。

(1) E_1 单独作用时在各支路产生的电流, 根据图 (1-2-3) 求得

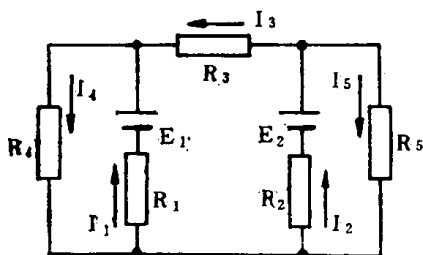


图 1-2-2

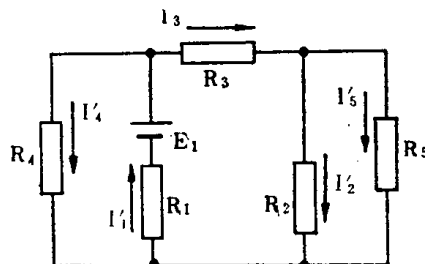


图 1-2-3

$$I'_1 = \frac{E_1}{R_1 + \frac{R_4 + R_3 + \frac{R_2 \cdot R_5}{R_2 + R_5}}{R_3 + \frac{R_2 \cdot R_5}{R_2 + R_5}}} = \frac{18}{6 + \frac{6 \times (5+1)}{6+5+1}} = \frac{18}{9} = 2 \text{ A}$$

$$I'_4 = \frac{R_3 + \frac{R_2 \cdot R_5}{R_2 + R_5}}{R_4 + R_3 + \frac{R_2 \cdot R_5}{R_2 + R_5}} \cdot I'_1 = \frac{6}{12} \times 2 = 1 \text{ A}$$

$$I'_5 = \frac{R_4}{R_4 + R_3 + \frac{R_2 \cdot R_5}{R_2 + R_5}} \cdot I'_1 = \frac{6}{12} \times 2 = 1 \text{ A}$$

$$I'_2 = I'_5 = \frac{1}{2} = 0.5 \text{ A}$$

(2) E_2 单独作用时在各支路中产生的电流, 根据图 (1-2-4) 求得

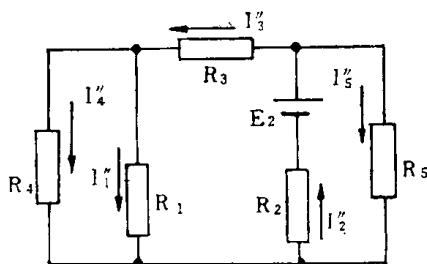


图 1-2-4

$$I''_2 = \frac{E_2}{R_2 + \frac{R_5 \left(R_3 + \frac{R_1 \cdot R_4}{R_1 + R_4} \right)}{R_5 + R_3 + \frac{R_1 \cdot R_4}{R_1 + R_4}}} = \frac{18}{2 \times \left(5 + \frac{6 \times 6}{6+6} \right) + 2} = \frac{180}{36} = 5 \text{ A}$$