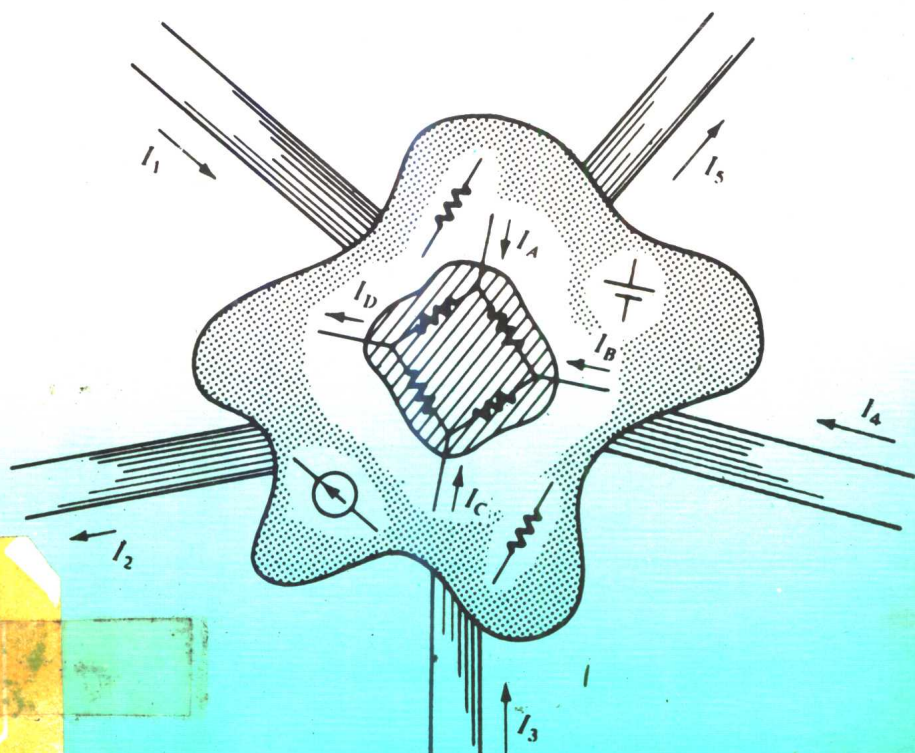


电路导学

刘鸿国 著



警官教育出版社

电路导学

(京)新登字 167 号

书 名: 电路导学

著 者: 刘鸿国

责任编辑: 刘建华

封面设计: 广 路

技术设计:

出版发行: 警官教育出版社

(北京西城木樨地北里 2 号 100038)

印 刷: 警官大学印刷厂印刷

经 销: 新华书店

版 次: 1993 年 10 月第 1 版

印 次: 1993 年 10 月第 1 次印刷

印 张: 6.625

开 本: 32 开

字 数: 150 千字

印 数: 3000 册

ISBN 7-81027-432-5/T·1

定 价: 5.20 元

序 言

本书编写过程中参照了教委颁发的“电路分析基础”课程教学大纲和教学基本要求。参考了国内外部分电路理论方面的教材并结合本校多年来的教学经验,编写成这本教材,献给读者。

鉴于“电路分析基础”是无线电电子类各专业的一门重要专业基础课。因此在选取和组织教材内容方面,对它的基本概念、基本理论和基本分析方法给予了充分重视,而且考虑了专业的特点和需要有一定偏重。力求理论严谨叙述简明。

从加强对学生的自学能力和分析解决问题能力培养的要求出发,在教师的启发和指导下学生自己钻研教材吸取知识这方面能力的培养只能是循序渐进的。因此必须按照学生的自学规律和特点,重新确立新的教材体系,本书各章的编写次序按教学目标、基本内容和重点、思考题和讨论题、典型例题分析以及达标测试题五个部分组成。这里应当说明:

教学目标,是教师和学生通过教与学的过程共同达到的基本教学标准。根据教学内容不同,对教学目标分层次提出,以便加以区别。

基本内容和重点,是为学生指出所应掌握的知识范围和复习巩固所学知识的一个提纲。

思考题和讨论题,是供学生复习思考或者讨论之用,其目的是牢固确立和巩固电路基本概念。

典型例题分析,典型例题应具有代表性和一定难度,给学生提供解题的范例,同时指出各种解题方法和技巧。

最后是达标测试题,这些测试题是围绕教学目标选定和设计的,具有一定知识复盖面和难度,它是衡量教学目标是否达到的标准。

以上五个部分有它们的内在联系,是提供教师导学和学生自

BA08101

学的一个完整程序。

编者希望本书对学习“电路分析基础”的科学知识和培养自学能力,分析解决问题能力方面,为学生提供一些有益的帮助,同时本书也可作为青年教师备课的参考。由于编者水平有限经验不足加上时间较为仓促,书中难免有许多不足和错误之处,欢迎批评指正。

此书的出版,承蒙深圳市东辉实业股份有限公司陈显旋总裁的大力支持,东辉教育基金会为我校本专科教材的出版提供资助,谨此表示衷心的感谢。

编 者
一九九三年五月

目 录

第一章	电路基本概念和基本定律.....	(1)
第二章	等效电路概念及其应用	(18)
第三章	直流电路分析方法	(34)
第四章	线性网络定理	(49)
第五章	动态元件	(62)
第六章	一阶电路	(75)
第七章	二阶电路	(98)
第八章	正弦稳态分析.....	(108)
第九章	耦合电感和理想变压器.....	(144)
第十章	双口网络及其参数.....	(165)
第十一章	电路频率特性.....	(179)

第一章 电路基本概念和基本定律

一、教学目标

1. 了解电路中基本物理量的物理意义以及电流电压参考方向的意义。
2. 深刻理解基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL),并能正确运用这两条定律,因为它们是分析电路的重要依据。
3. 熟练掌握线性时不变电阻、独立电源和受控源元件模型的伏安特性。
4. 会正确分析单回路单节偶电路。

二、基本内容和重点

1. 电路及电路模型

所谓电路是由多种实际电路元件给合的一个整体,它给能量和信息传递提供了一个路径。各种实际电路元件用足以表征它的电特性的“元件模型”来表示。这种“元件模型”一般又是由几种理想电路元件组成。理想电路元件包括电阻、电容、电感、电压源、电流源、受控源,耦合电感和理想变压器等。我们分析研究“电路模型”的电路变量和它的特性,便可予知实际电路的电路变量和它的特性。

2. 电路的基本物理量和电流电压参考方向

电路中的基本物理量包括电流、电压、电势、和功率等,但是主要的应该是电流和电压。因为一旦得知电路中的电流和电压,那么其他物理量如功率、能量就很容易求出。这些电路基本物理量的物理意义在物理学中已经学过,因此我们着重理解电流、电压和电

势参考方向意义和它的应用。

在任何电路中电流、电压和电动势的实际方向是这样规定的。

电流的实际方向规定为正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向。

电压的实际方向规定为高电位端指向低电位端或正极性端指向负极性端的方向,也就是电压降的方向。

电势的实际方向规定为电压升的方向,恰巧与电压的实际方向相反。

在分析计算电路时,电流、电压这些基本物理的实际方向很难预先判断出来,在交流电路中它们的实际方向随时间在不断变化。由于上述原因我们引出电流、电压参考方向这一概念。

电流、电压和电势参考方向是任意假定的,当电流(或电压)的实际方向与参考方向一致时,则电流(或电压)为正值;否则,当电流(或电压)的实际方向与参考方向相反时,则电流(或电压)为负值。

根据电流(或电压)的参考方向,结合考虑电流(或电压)的正负值便可判断出电流(或电压)的实际方向。离开电流(或电压)的参考方向,电流(或电压)给出正负值是毫无意义的。

习惯上,在同一元件上电流参考方向和电压参考方向取为一致,称为关联参考方向。

3. 功率

一个电路元件或一段电路的能量转换速率,用功率这个物理量表示。其数值等于该元件或该段电路的端电压与其中的电流的乘积,即 $P=ui$ 。对电阻元件消耗(或吸收)的功率的表达式为 $P=UI=I^2R=U^2/R$ 。其中 $P=UI$ 只是在 UI 为关联参考方向时才是正确的;否则,在 UI 为非关联参考方向时 $P=-UI$ 。因此,当某一元件的电压和电流取关联参考方向时,若 $P=UI>0$,则该元件是消耗(或吸收)功率,若 $P=UI<0$,则该元件是产生(或放出)功率,例如电源产生功率的计算就是一例。

4. 电路元件的伏安特性

(1) 线性电阻元件的伏安特性

线性电阻元件其端电压和电流关系,由欧姆定律确定,当电压和电流取关联参考方向时,

$$U=IR \text{ 或 } I=GU$$

当电压和电流取非关联参考方向时,

$$U=-IR \text{ 或 } I=-GU$$

由欧姆定律可知,线性电阻元件的伏安特性是在 UI 平面上通过坐标原点的一条直线。

(2) 电压源和电流源的伏安特性

理想电压源:它的端电压 U_s 是确定值与流过的电流无关,即 $U_s=U$ 。流过它的电流与相联的外电路有关,即 $I=U_s/R_0$, R_0 表示为外电路等效电阻。

理想电压源的元件模型和伏安特性如图 1-1(a)和(b)所示。

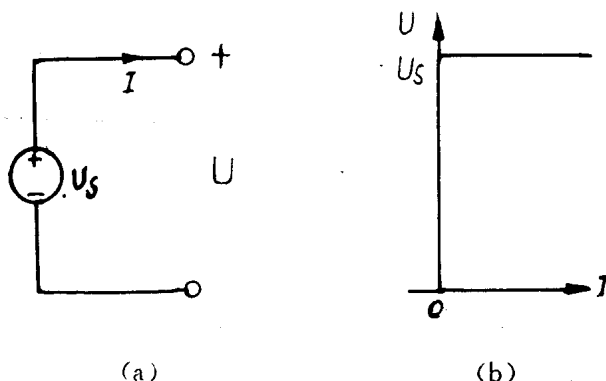


图 1-1

电压源:它的端电压随着输出电流的增加而略有减少,即 $U=U_s-IR_0$ 。

电压源的元件模型和伏安特性如图 1-2(a)和(b)所示。

理想电流源(又称恒流源):它输出的电流始终是确定值与端纽的电压无关,即 $I=I_s$;端纽的电压与相联的外电路有关。

即 $U=I_s R_0$, R_0 表示为电路的等效电阻。

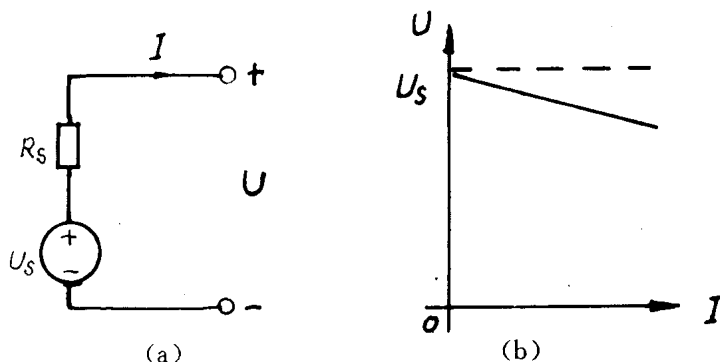


图 1-2

理想电流源的元件模型和伏安特性如图 1-3(a)和(b)所示。

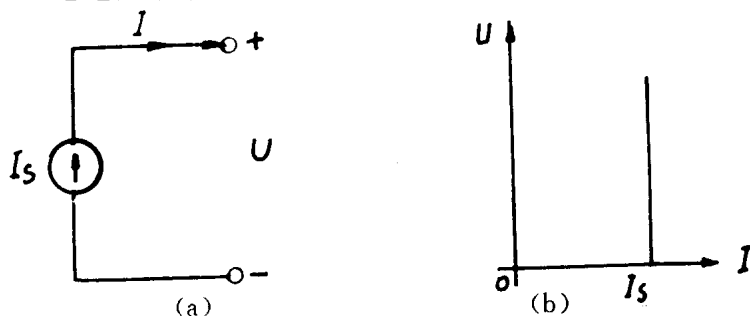


图 1-3

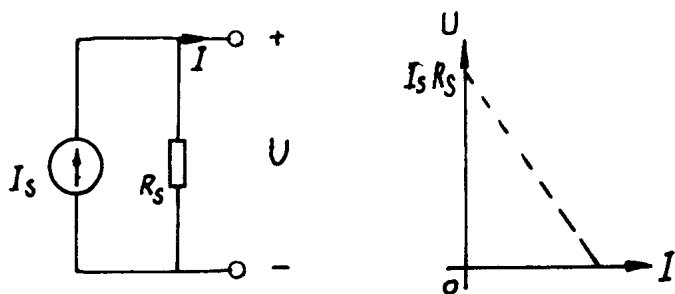


图 1-4

电流源:它输出的电流随着端纽电压的增加而有所减少,即

$$I = I_s - \frac{U}{R_s} = I_s - G_s U, G_s = \frac{1}{R_s}$$

电流源的元件模型和伏安特性如图 1-4(a)和(b)所示。

5. 基尔霍夫定律是电路中最基本定律,是分析计算电路的重要依据。

(1)基尔霍夫电流定律(英文缩写 KCL)

该定律描述任一集中参数电路任一节点在任何时刻流入(或流出)该节点的所有支路电流的代数和为零。一般假设流入节点电流为正,流出节点电流为负。

数学表达式为
$$\sum_{k=1}^n i_k = 0$$

也可以这样叙述:任一集中参数任一节点在任何时刻流入该节点的所有支路电流之和等于流出该节点的所有支路电流之和。

数学表达式为
$$\sum_{k=1}^j i_k = \sum_{k=j+1}^n i_k$$

该定律是描述电路中节点上各支路的电流关系与各支路的元件性质无关,该定律还说明节点上各支路电流是线性相关的。该定律可以推广到电路中任意假定的闭合面上的各支路的电流关系。

(2)基尔霍夫电压定律(英文缩写,KVL)

该定律描述任一集中参数电路中任一回路,在任一时刻沿着该回路的循行方向所有支路电压降的代数和为零。其中与回路循行方向一致的电压降为正,否则与回路循行方向相反的电压降为负。

数学表达式为
$$\sum_{k=1}^n u_k = 0$$

也可以这样叙述:任一集中参数电路中任一回路,在任一时刻沿着该回路的所有支路的电压升之和等于电压降之和。

数学表达式为
$$\sum_{k=1}^j u_k = \sum_{k=j+1}^n u_k$$

该定律是描述电路中任何回路上各支路电压降的关系与各支路元件的性质无关。该定律还说明回路上各支路电压是线性相关的。该定律可以推广到任意非闭合电路。

6. 受控源:受控源一般是指电子器件模型,是双口元件,由电

压源和电流源模型构成。输出量与输入量常常是控制与被控制的关系,晶体管电路元件模型就是一例,如图 1-5 所示。

图 1-5 中的输入端口是电压源的元件模型,只不过电源 $h_{12}u_2$ 是受输出端电压 u_2 控制的,所以输入端口是受控电压源。据 KVL 输入端口的伏安特性可以表示如下:

$$u_1 = h_{11}i_1 + h_{12}u_2$$

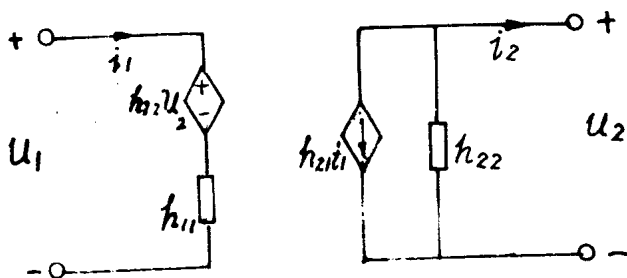


图 1-5

图 1-5 中 h_{11} 表示输入电阻;

h_{12} 表示输出端对输入端电压反馈系数;

h_{21} 表示电流放大系数;

h_{22} 表示输出电阻的倒数。

图 1-5 中的输出端口是电流源的元件模型,只不过电流源 $h_{21}i_1$ 是受 i_1 控制的,所以输出端口是受控电流源,据 KCL 输出端口的伏安特性可以表示如下:

$$i_2 = h_{21}i_1 + h_{22}u_2$$

受控源还有几种,此处不准备说明,但是当我们遇到任何一种受控源时,首先应该找出控制量和受控量以及是受控电压源还是受控电流源。

三、思考题与讨论题

1-3-1 如图 1-3-1 电路,正电荷由 A 端向 B 端移动形

成电流,已知通过导体横截面的电荷每秒为 3 库仑,该电路电流参考方向有两种假设如图 1-3-1(a),(b)所示,问电流 I 各为多少?

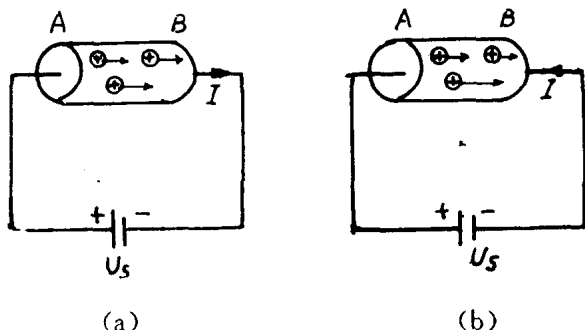


图 1-3-1

1-3-2 在图 1-3-2 中,若 A 点电位高于 B 点电位 6 伏,假设电压 U 的参考方向如图中所示, U 为多少? 若 A 点电位低于 B 点电位也是 6 伏, U 为多少?

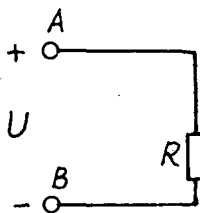


图 1-3-2

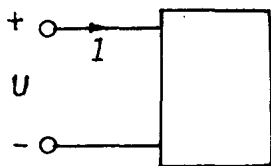


图 1-3-3

1-3-3 设一段电路,由电阻元件组成,电源元件组成还是电阻元件和电源元件共同组成不清,故用方框图表示如图 1-3-3 所示,(1)设电流和电压取关联参考方向时,当功率 P 大于零时问该电路是吸收功率还是放出功率?当功率 P 小于零时问该电路是吸收功率还是放出功率?(2)设电流和电压取非关联参考方向时,重复问答上述所问?

1-3-4 设一段电路如图 1-3-4 所示,该段电路有 2A 电流通过,但两端电压 U 却等于零,试求出方框图两端的电压 U_i 和它的实际方向。

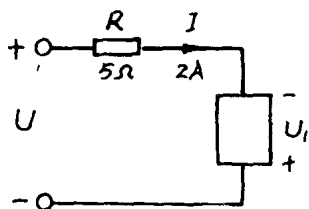


图 1-3-4

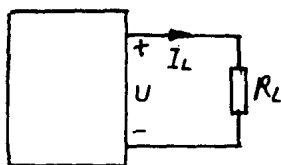


图 1-3-5

1-3-5 设有电源与负载电阻 R_L 相联,如图 1-3-5 所示,减少负载电阻 R_L 的数值其中的电 流 I_L 增加,而端电压 U 下降较小,试问这是什么电源,并解释出现上述特性的原因?

1-3-6 如图 1-3-6 电路,希望电流源对负载电阻 R_L 提供比较恒定的电流,电源内阻 R_s 和 负载电阻 R_L ,两者的大小有无关系,试加以说明。

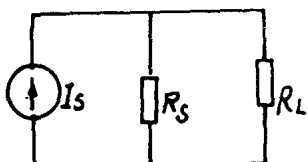


图 1-3-6

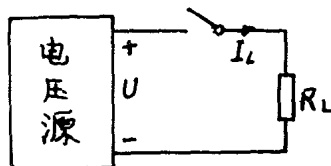


图 1-3-7

1-3-7 设有一电压源,开路时测得开路电压为 12V,当接通负载以后测得电流 500mA,电压为 11.5V,从以上测得数据中能否计算内阻? 电路如 1-3-7 所示。

1-3-8 如图 1-3-8 所示电路,用方框图表示电阻元件、电源元件或者它们的组合,并在其上假定电压和电流的参考方向和它的数值,试计算电路消耗或产生的功率是多少?

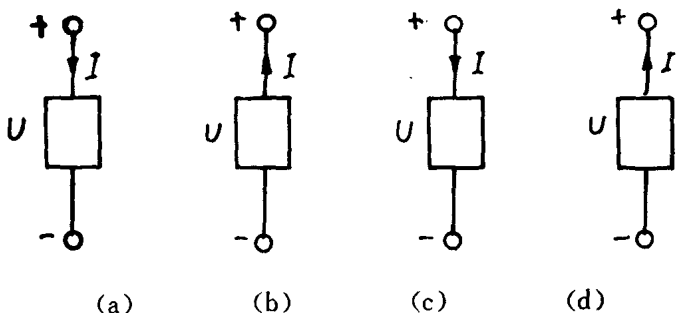


图 1-3-8

- 图(a) $U=6\text{V}$ $I=30\text{mA}$
 图(b) $U=4.5\text{V}$ $I=-200\text{mA}$
 图(c) $U=-12\text{V}$ $I=60\text{mA}$
 图(d) $U=24\text{V}$ $I=50\text{mA}$

1-3-9 如图 1-3-9 所示电路,各支路电流参考方向已经标出,其电流数值分别为 $I_1=1\text{A}$, $I_2=-2\text{A}$, $I_3=3\text{A}$, $I_4=-4\text{A}$, 试求 I_5 为多少? 并请指出哪几个电流为流进节点的? 哪几个电流为流出节点的?

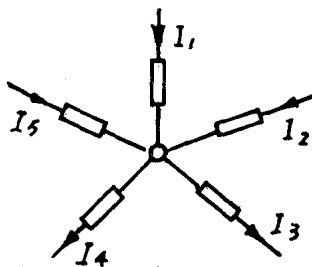


图 1-3-9

1-3-10 如图 1-3-10 所示电路,各元件上电压的参考方向已经标出,其数值分别为 $U_1=1.5\text{V}$, $U_2=3\text{V}$, $U_3=-2.5\text{V}$, $U_4=2\text{V}$, $U_5=1\text{V}$ 试求出 U_6 、 U_7 各为多少? 此处设回路的循行方向

为顺时针方向。

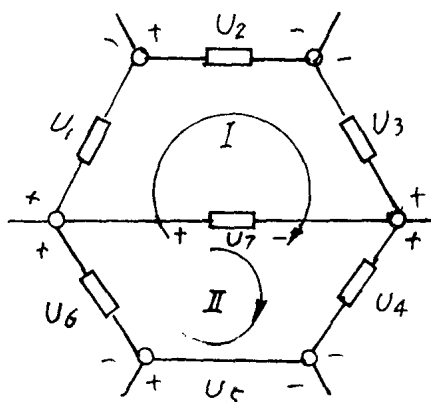


图 1-3-10

四、典型例题分析

1-4-1 如图 1-4-1 所示电路,方框图代表电路元件或它们的组合,各电压电流的参考方向如图所示,并给出它们的数值如下: $U_1=1\text{V}$, $U_2=2\text{V}$, $U_4=3\text{V}$, $U_5=4\text{V}$; $I_1=3\text{A}$, $I_3=5\text{A}$ 。试求 U_3 、 U_6 、 I_2 各是多少? 各元件消耗或产生功率为多少?

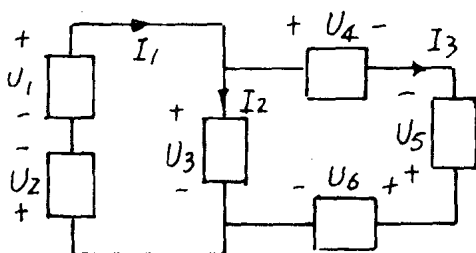


图 1-4-1

解:据 KVL 有

$$(1) \quad U_2 - U_1 + U_3 = 0$$

$$\therefore U_3 = U_1 - U_2 = 1 - 2 = -1(\text{V})$$

$$(2) -U_3 + U_4 - U_5 + U_6 = 0$$

$$\therefore U_5 = -U_3 + U_4 + U_6 = -(-1) + 3 + 4 = 8(\text{V})$$

(3) 据 KCL 有

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$\therefore I_2 = I_1 - I_3 = 3 - 5 = -2(\text{A})$$

$$(4) P_1 = -U_1 I_1 = -1 \times 3 = -3(\text{W}) (\text{产生功率})$$

$$P_2 = U_2 I_1 = 2 \times 3 = 6(\text{W}) (\text{消耗功率})$$

$$P_3 = U_3 I_2 = -1 \times (-2) = 2(\text{W}) (\text{消耗功率})$$

$$P_4 = U_4 I_3 = 3 \times 5 = 15(\text{W}) (\text{消耗功率})$$

$$P_5 = -U_5 I_3 = -8 \times 5 = -40\text{W} (\text{产生功率})$$

$$P_6 = U_6 I_3 = 4 \times 5 = 20\text{W} (\text{消耗功率})$$

(5) 校验

$$\begin{aligned} \text{消耗功率 } P_2 + P_3 + P_4 + P_6 &= 6 + 2 + 15 + 20 \\ &= 43(\text{W}) \end{aligned}$$

$$\text{产生功率 } P_1 + P_5 = -3 - 40 = -43(\text{W})$$

上式满足功率平衡关系,说明计算是正确的。

1-4-2 如图 1-4-2 所示电路,其中已知 $I_1 = 1\text{A}$, $I_2 = 3\text{A}$, $I_4 = 4\text{A}$, $I_6 = 7\text{A}$,试求 I_3 、 I_5 、 I_7 各为多少?

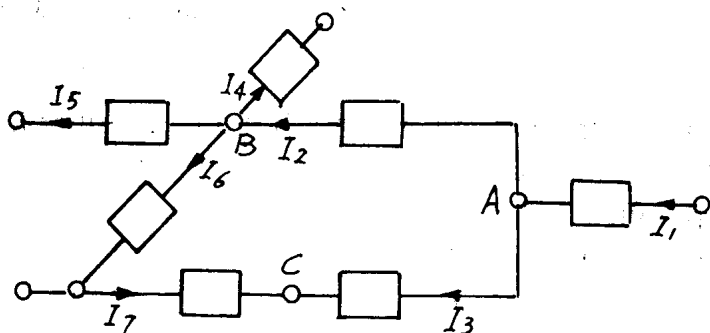


图 1-4-2

解:据 KCL 对 A、B、C 各节点有