



21世纪高等理工科重点课程辅导丛书

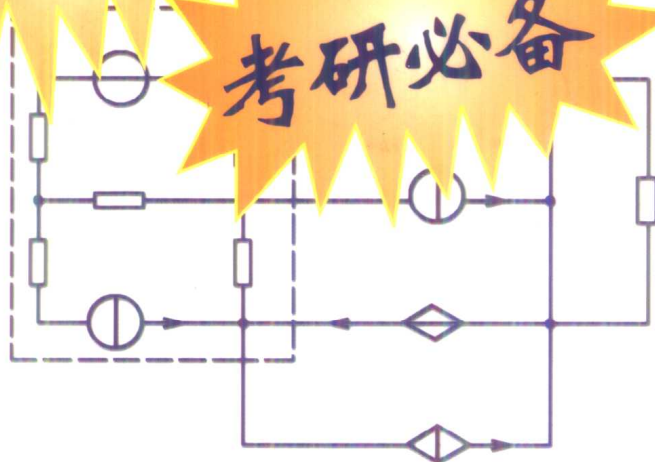
电路理论

复习指导

天津大学 周树棠 主编

复习必读

考研必备



化学工业出版社
教材出版中心



面向 21 世纪高等理工科重点课程辅导丛书

电路理论复习指导

天津大学 周树棠 主编
钱巨玺 宋学军 吴 雪 编

化 学 工 业 出 版 社
教 材 出 版 中 心
· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电路理论复习指导/周树棠主编. —北京:化学工业出版社, 2001.7
面向 21 世纪高等理工科重点课程辅导丛书
ISBN 7-5025-3163-7

I. 电… I. 周… III. 电路理论-高等学校-教学参考资料 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 07451 号

面向 21 世纪高等理工科重点课程辅导丛书

电路理论复习指导

天津大学 周树棠 主编
钱巨玺 宋学军 吴雪 编
责任编辑:唐旭华
责任校对:马燕珠
封面设计:郑小红

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话:(010) 64918013

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
化学工业出版社印刷厂印刷
三河市前程装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 16³/₄ 字数 456 千字

2001 年 7 月第 1 版 2001 年 7 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000

ISBN 7-5025-3163-7/G·804

定 价:27.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

本书是为适应广大读者，特别是在校电气信息类专业本、专科学生学习电路理论课程的需要而编写的，并兼顾考研的需求。电路理论课程是电气信息类各专业的一门学科基础课，又是一门与实践性环节有着密切联系的课程，它的重要性是毋庸置疑的。学好电路理论已成为广大求学者的迫切愿望和要求。多年的教学实践经验表明，电路理论具有较强的理论性、系统性和求解方法的灵活多样性，使初学者有时感到具有相当的难度。为了帮助广大求学者克服学习上的困难，掌握好电路理论的基本概念、基本定理和基本分析方法，具有比较扎实的电路分析能力，我们组织编写了《电路理论复习指导》一书。本书在一定程度上反映了作者对电路理论体系的认识和理解，是作者多年从事电路理论教学实践的经验总结。我们期望着本书的出版能对广大读者学习电路理论有所帮助，成为广大读者身边的益友。

本书的编写体现了高等工科院校《电路》课程教学基本要求，同时也参考了目前国内多种电路理论教材的版本，尽量做到具有较为广泛的适用性。全书共分六大章节，每节均由三部分组成。第一部分为“复习要点”，扼要阐述了每节应掌握的基本内容、要点及应注意的问题；第二部分为“示例分析”，通过对典型例题的剖析求解，侧重于求解思路的分析和方法的学习与思考；第三部分为“典型题解”，通过较为丰富的各类试题的求解，使读者进一步领会掌握其中的解题要领。各章后均附有大量习题，主要用于提高读者自我检测对本章内容掌握的情况，书后给出习题的答案供参考。

本书“示例分析”和“典型题解”两部分较多选用了国内几所著名高校近几年该课程的考研试题，并在书后附有天津大学、哈尔滨工业大学等高校最新两年《电路理论》课程研究生入学考试的全套试卷，对有志报考电气信息类硕士研究生的广大考生具有很好的参考价值。

本书第一、二两章由钱巨玺编写，第三、六两章由周树棠编写，第四章由宋学军编写，第五章由吴雪编写，周树棠任主编。刘美轮教授对全书进行了认真的审阅，并提出了许多宝贵意见。

作者在编写本书时，还参考了有关电路理论教材及相关教学参考书，选用了部分院校电路理论考研入学试题，在此一并对以上信息源作者表示诚挚的谢意。书中定有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2000年8月

内 容 提 要

本书是为了适应广大读者,特别是在校电气信息类专业本、专科生学习电路理论的需求而编写的,可作为课程学习或考研复习时的参考书。

全书按教学基本要求分若干章、节,每节均由三部分组成:复习要点、示例分析和典型题解。复习要点扼要阐述每节应掌握的基本内容、要点及应注意的问题;示例分析通过对典型例题的剖析、求解,侧重于求解思路和分析方法的学习与思考;典型题解则通过较为丰富的各类试题的求解,使读者进一步领会掌握其中的内容。每章后附的习题用于读者自我检测对本章内容掌握的情况,并给出各章部分习题答案。书后附有天津大学等几所著名高校最新两年《电路理论》课程的考研试题,以供参考。

本书内容精选,叙述流畅,示例丰富(例题及习题约 350 题),有助于在校大学生掌握基本电路问题的分析、求解,培养解决此类问题的能力。本书非常适合准备报考电气信息类硕士研究生的广大考生复习时使用。

本书对从事理论电工教学的教师及相关工程技术人员具有一定的参考价值。

目 录

第一章 电阻电路分析	1
第一节 电路的基本定律和等效转换	1
第二节 节点电压法	24
第三节 回路电流法	42
习题	61
第二章 电路的基本定理	66
第一节 齐次性原理和叠加定理	66
第二节 替代定理和互易定理	78
第三节 戴维南定理、诺顿定理和最大功率传输条件	90
习题	118
第三章 交流稳态电路分析	123
第一节 正弦交流电路分析	123
第二节 特定工作状态的交流电路分析	167
习题	225
第四章 动态电路分析	233
第一节 时域分析法	233
第二节 复频域分析法	277
第三节 状态变量分析法	313
习题	337
第五章 网络的矩阵分析	341
第一节 网络图论与网络方程	341
第二节 二端口网络	409
习题	463
第六章 均匀传输线	469
第一节 均匀传输线的正弦稳态分析	469
第二节 均匀无损耗线的暂态波过程	483
习题	492
习题参考答案	494
附录	502
天津大学研究生院 1999 年招收硕士生入学试题	502

天津大学研究生院 2000 年招收硕士生入学试题	505
哈尔滨工业大学 1999 年研究生考试试题	508
哈尔滨工业大学 2000 年研究生考试试题	511
华南理工大学 1998 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	515
华南理工大学 1999 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	518
浙江大学 1998 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	521
上海交通大学 1998 年硕士研究生入学考试试题	523

第一章 电阻电路分析

学习好电路理论的首要条件是掌握好基本知识。为此,在本章中突出以电路的基本定律、等效转换和电阻电路的系统分析方法为主要内容,为以后各章打好基础。

第一节 电路的基本定律和等效转换

本书以电路理论中的三大基本定律为起点,并在本节中重点介绍非理想电源间的等效互换和Y- Δ 等效互换。

【复习要点】

一、电路的基本定律

1. 基尔霍夫电流定律(KCL)

该定律的内容是,对电路中任何一个节点,在任何瞬间,流出(或流入)此节点的电流的代数和恒等于零。其电流方向为参考方向。

此定律的数学表达式可以写为 $\sum i = 0$ 。

或将此定律说成,对电路中任何一个节点,在任何瞬间,流出此节点的电流总和等于流入此节点的电流总和。用 $\sum i_{\text{出}} = \sum i_{\text{入}}$ 表示。

此外,还可以将此定律中的任何一个节点推广到任一封闭的平面所包围的部分电路,即所谓广义节点的基尔霍夫电流定律。如在图1-1-1中,可将虚线部分所包围的部分电路看成广义节点。使用 $\sum I_{\text{出}} = \sum I_{\text{入}}$ 表达式可有

$$I_S + I_{CS} = I_1 + I_2 + I_3$$

基尔霍夫电流定律的实质是物质不灭定律在电路理论中的体现。

使用此定律时应注意在上述两个表达式中具体使用的是哪一个表达式。如使用 $\sum i = 0$ 时,设流出节点的电流为正,则流入者取负。当然也可以设流入节点的电流为正,则流出者取负。使用 $\sum i_{\text{出}} = \sum i_{\text{入}}$ 时,流出和流入节点的电流皆取正,但应分别放在等号的两侧。切不

可互相混淆,以免出错。

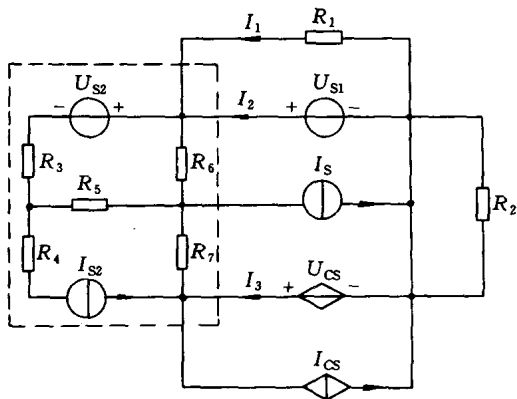


图 1-1-1 广义节点

2. 基尔霍夫电压定律(KVL)

定律的内容是,在电路的任何一个回路中,在任何瞬间,沿着任何一个方向循行时,各部分电压的代数和恒等于零。

此定律的一般表达式为

$$\sum u = 0$$

式中各电压前面的正负号按其参考方向判断。参考方向与循行方向一致者取正,反之取负。

在使用此定律列写电压平衡方程式时,常把电源电压和电阻上的电压分别写在等号的两侧,即使用如下表达式

$$\sum Ri = \sum u_{S(\pi)}$$

在此值得指出的是,等号的右侧应该是电源的电位升的代数和。也就是说,基尔霍夫电压定律也可以写成为:在线性电路的任何一个回路中,沿着任何一个方向循行时,电阻上电压的代数和恒等于电源的电位升的代数和。其中,电阻上的电压降 Ri 可根据流过电阻中电流的参考方向确定其正负。此电流方向与循行方向一致者取正,反之取负。例如,对图 1-1-2 任一回路,沿箭头所指方向循行时有

$$R_1 i_1 - R_2 i_2 + R_3 i_3 = u_{S1} - u_{IS} - u_{S2}$$

基尔霍夫电压定律的实质是能量守恒定律在电路理论中的体现。

使用此定律时,虽然循行方向的选择不会影响电压平衡关系,但值得指出的是,在沿回路循行一周的过程中切不可中途改变循行方向,否则必然导致方程出现错误。

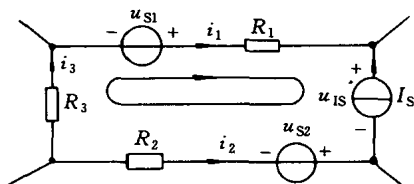


图 1-1-2 任一回路

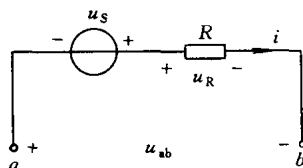


图 1-1-3 含源支路

3. 含源支路的欧姆定律

在求解电阻电路的过程中,常会用含源支路的欧姆定律来求某支路中的电流。如图 1-1-3 电路,已知含源支路两端的电压 u_{ab} ,独立电压源电压 u_S 和电阻 R ,求该支路中的电流 i 。掌握含源支路欧姆定律的方法是掌握好在电路理论中应用欧姆定律的重要前提条件。即电阻两端的电压和流过电阻中的电流必须在关联方向的前提下,才可使用 $u=Ri$ 关系式。因此在使用含源支路欧姆定律求支路电流时,首先应找到与电阻中电流方向符合关联方向的电阻两端的电压。如图 1-1-3 电路,与电流 i 符合关联方向关系的电阻两端电压为

$$u_R = u_{ab} - (-u_S) = u_S + u_{ab}$$

则该支路的电流为

$$i = \frac{u_R}{R} = \frac{u_S + u_{ab}}{R}$$

切不可盲目地用支路电压与电源电压之差作为电阻两端的电压。

二、等效概念和等效转换

1. 等效概念

在电路理论中的等效概念通常是指两个不同结构和参数的电路,对其端口以外的电路部分起到相同的效果。或说成不同结构和参数的两个电路,对外电路有同样的电气性能,两者相互替代后,不会改变外电路

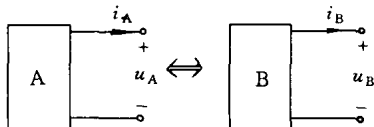


图 1-1-4 等效电路

的工作状态。就图 1-1-4 的两个一端口网络而言,电路 A 与电路 B 互为等效的条件是当 $u_A = u_B$, 则 $i_A = i_B$ 。也就是说,两个一端口网络的等效条件是在端口处加有同样的电压时会有相同的电流。或在端口处有相同电流时会得到相等的端口电压。进一步讲,两个一端口网络的等效条件是在端口处有相同的外特性。此理论可以推广到多端口网络。

2. 等效转换

等效转换是指在已知某个电路的结构和参数的条件下,直接应用等效转换的参数关系将其转换成同一类型的另外一个不同结构和参数的电路。

如果两个不同结构的电路具有等效关系,则对外电路必然可以相互替代,也就是说,具有等效关系的两个电路可以相互转换。这种情况在电路理论中称为等效互换。如非理想电压源与非理想电流源的等效互换;电阻星形联接与三角形联接的等效互换(Y- Δ 互换);复阻抗与复导纳的等效互换;T型二端口与 Π 型二端口的等效互换等。在本章中只重点复习前两种等效互换,其他等效互换将在以后的相关章节中遇到。

在各种等效互换中,重点应掌握好两电路的结构和参数关系。有些等效互换可借助于对偶关系帮助记忆。此外,应该明确应用等效转换的目的是简化电路,便于求解。

3. 非理想电源的等效互换

(1) 非理想独立电源间的等效转换可以用图 1-1-5 表示。在此图中 a 、 b 两点表示外接端钮。可直接利用此图掌握这种等效互换的结构关系和参数关系。即将非理想电压源转换成非理想电流源时的参数关系为

$$I_s = \frac{U_s}{R}, \quad G = \frac{1}{R}$$

若将非理想电流源转换成非理想电压源,其参数关系为

$$U_s = \frac{I_s}{G}, \quad R = \frac{1}{G}$$

在上述两组关系式中,电阻和电导存在着倒数关系。在实际应用时可直接使用电阻参数,即在转换过程中,将两电路中的电阻直接等值替代。

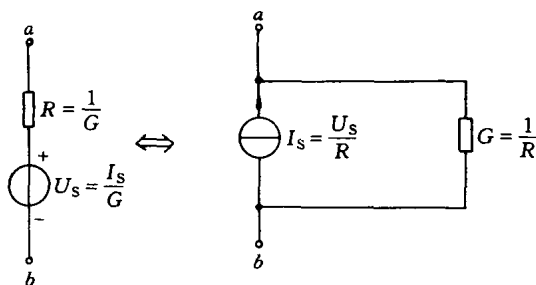


图 1-1-5 非理想独立电源等效互换

值得注意的是,等效转换时电压源的端电压和电流源电流的方向关系应保持非关联方向关系。这种关系可以用转换前后的电压源和电流源能量的供出或吸收关系相同来记忆。若视电源供出能量,则转换后独立电流源的电流方向是从转换前独立电压源的正极性端流出的。或者说,转换后独立电压源的正极性端为转换前独立电流源的电流流出端。

(2) 对非理想受控电源的等效互换可以用图 1-1-6 表示。由图中可以看出,电路的结构和参数关系完全和非理想独立电源的等效互换关系相同。

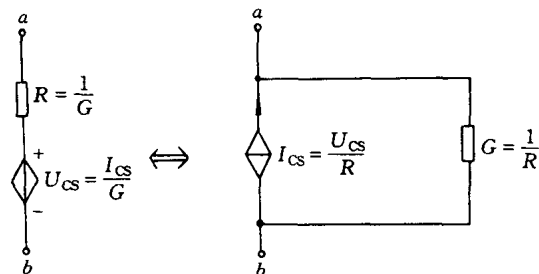


图 1-1-6 非理想受控源等效互换

如果进一步分析,受控电压源有压控和流控两种形式,即 $U_{cs} = \mu U_x$ 和 $U_{cs} = r_m I_x$; 受控电流源也有压控和流控两种形式,即 $I_{cs} = g_m U_x$ 和 $I_{cs} = \beta I_x$ 。因此可将互换关系直接写成

$$I_{cs} = \frac{\mu}{R} U_x, \quad I_{cs} = \frac{r_m}{R} I_x$$

和

$$U_{cs} = \frac{g_m}{G} U_x, \quad U_{cs} = \frac{\beta}{G} I_x$$

若将等效转换过程中的串联电阻和并联电导皆以电阻 R 直接替代, 则非理想受控电源的等效互换可用图 1-1-7 的两图表示。在此图中可以看出, 直接使用控制系数转换, 对非理想受控电源的等效互换会带来更大的方便。例如在图 1-1-7(a) 中, 将非理想电压控制的电压源 μU_x 转换成非理想电压控制的电流源时, 其控制变量不会改变, 只需将原控制系数 μ 除以 R 即成为新的控制系数。其他各种情况可依此类推。这种转换方法的规律性也较好掌握, 即由非理想受控电压源转换成非理想受控电流源时, 新的控制系数为原控制系数与串联电阻之比[见图 1-1-7(a)]。由非理想受控电流源转换成非理想受控电压源时, 新的控制系数为原控制系数与并联电阻之积。

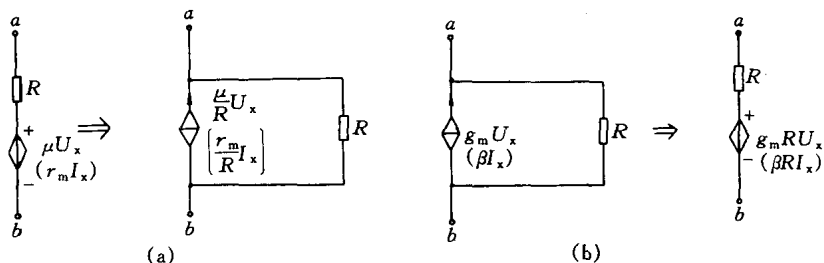


图 1-1-7 控制系数的直接转换

值得指出的是, 在应用非理想受控电源的等效互换对电路进行化简的过程中, 因为受控电源最终可转化成电阻, 并且此电阻值有可能出现负值, 所以电路中可能出现负电阻(见示例 1-1-6)。

4. 电阻星形联接和三角形联接的等效互换(Υ - Δ 互换)

一般形式的 Υ - Δ 互换可用图 1-1-8 说明, 图中的 1、2 和 3 为外接端钮。图中的参数互换关系分别为

$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}, \quad R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1}, \quad R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2}$$

和

$$\begin{cases} R_1 = \frac{R_{12} R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \\ R_2 = \frac{R_{23} R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \\ R_3 = \frac{R_{31} R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \end{cases}$$

在对称情况下, 即当 $R_1 = R_2 = R_3 = R_Y$ 和 $R_{12} = R_{23} = R_{31} = R_{\Delta}$ 时, 则有 $R_{\Delta} = 3R_Y$ 或 $R_Y = R_{\Delta}/3$ 。

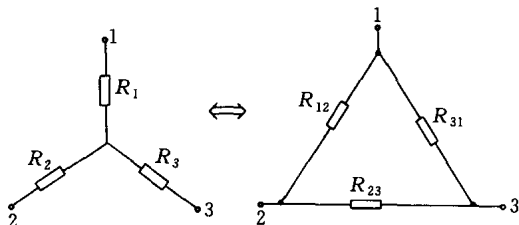
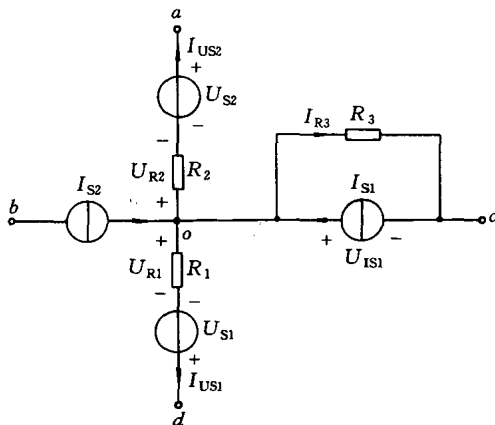


图 1-1-8 Y-Δ等效互换

从电路结构分析, 由星形联接转换成三角形联接, 有可能减少一个节点但增加了一个回路。由三角形联接转换成星形联接, 有可能减少一个回路但增加了一个节点。应该视整体电路的实际结构合理选用Y-Δ互换, 做到有的放矢。

【示例分析】

例 1-1-1 如图电路, a 、 b 、 c 和 d 为外接端钮, 其中 c 端开路, 其他 3 端与外电路相联。已知: $U_{S1} = U_{S2} = 2 \text{ V}$, $I_{S1} = I_{S2} = 2 \text{ A}$, $R_1 = R_2 = R_3 = 2 \Omega$, 电压源 U_{S1} 中的电流 $I_{US1} = 3 \text{ A}$ 。求电流源 I_{S1} 两端的电压 U_{IS1} 和电压源 U_{S2} 中的电流 I_{US2} 及 a 、 d 两端电压 U_{ad} 和 c 、 d 两端电压 U_{cd} 。



例图 1-1-1

解 因为 c 端开路, 所以直流独立电流源两端的电压为该电流

源的电流 I_{S1} 流过电阻 R_3 上的电压降。根据欧姆定律可解得

$$U_{IS1} = R_3 I_{S1} = 2 \times 2 = 4 \text{ V}$$

若设电阻 R_3 中的电流 I_{R3} 的正方向如图中所示, 则必然有

$$I_{R3} = I_{S1} = 2 \text{ A}$$

应用 KCL 的 $\sum I_{\text{出}} = \sum I_{\text{入}}$ 表达式, 对节点 o 可列如下电流平衡方程式

$$I_{US1} + I_{US2} + I_{R3} = I_{S1} + I_{S2}$$

代入已知数据为

$$3 + I_{US2} + 2 = 2 + 2$$

解得独立电压源 U_{S2} 中的电流为 $I_{US2} = -1 \text{ A}$ 。

因为 c 端开路, 对节点 o 也可以直接列写如下 KCL 平衡方程式

$$I_{S2} = I_{US1} + I_{US2}$$

同样可以解得

$$I_{US2} = I_{S2} - I_{US1} = 2 - 3 = -1 \text{ A}$$

这样的结果说明, 独立电压源 U_{S2} 中电流的实际方向与图中给出的电流方向相反, 电压源 U_{S2} 处于吸收功率工作状态。

按照关联方向设定电阻 R_1 和 R_2 两端电压分别为 U_{R1} 和 U_{R2} (见例图 1-1-1), 根据欧姆定律可得

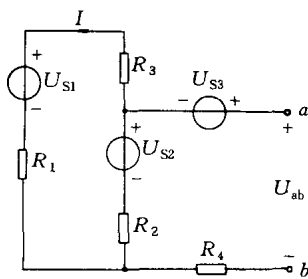
$$U_{R1} = R_1 I_{US1} = 2 \times 3 = 6 \text{ V}$$

$$U_{R2} = R_2 I_{US2} = 2 \times (-1) = -2 \text{ V}$$

最后可得

$$U_{ad} = U_{S2} - U_{R2} + U_{R1} - U_{S1} = 2 - (-2) + 6 - 2 = 8 \text{ V}$$

$$U_{cd} = -U_{IS1} + U_{R1} - U_{S1} = -4 + 6 - 2 = 0$$



例图 1-1-2

例 1-1-2 如图电路。已知: $U_{S1} = 20 \text{ V}$, $U_{S2} = 35 \text{ V}$, $U_{S3} = 15 \text{ V}$, 各电阻参数均为 5Ω 。求 ab 两端的开路电压 U_{ab} 。

解 因为 a, b 两端开路, 所以电压源 U_{S3} 和电阻 R_4 中无电流。只有在由电压源 U_{S1} 、 U_{S2} 和电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 所构成的回路中有电流。设此电流为 I , 其正方向见电路图。根

据 KVL 的 $\sum U=0$ 表达式,沿所设的电流 I 方向循行,则有

$$U_{S1}+R_1I+R_2I-U_{S2}+R_3I=0$$

或用 KVL 的 $\sum RI=\sum U_{S(\升)}$ 的表达式有

$$(R_1+R_2+R_3)I=-U_{S1}+U_{S2}$$

任意选用以上两式其中之一,可解得

$$I=\frac{U_{S2}-U_{S1}}{R_1+R_2+R_3}=\frac{35-20}{5+5+5}=1\text{ A}$$

再应用 KVL 的 $\sum U=0$ 表达式,对右侧回路沿顺时针方向循行,可列如下方程

$$U_{ab}+R_2I-U_{S2}-U_{S3}=0$$

代入已知数据,解此方程可得

$$U_{ab}=-R_2I+U_{S2}+U_{S3}=-5\times 1+35+15=45\text{ V}$$

也可以直接用电位升降的概念,从 a 端开始以逆时针方向,沿 U_{S3} 、 U_{S2} 、 R_2 和 R_4 所组成的连续路径至 b 端结束,可得

$$U_{ab}=U_{S3}+U_{S2}-R_2I=15+35-5\times 1=45\text{ V}$$

此题中虽然给出了电阻 R_4 的参数,但因其中无电流,所以在解题过程中不起作用。

通过此题可以看出,在求电路中任意两点电压时,有两种方法。一种方法是利用 KVL 将所求两端电压列入回路电压平衡方程式中,然后求得所需两端电压。另一种方法是直接应用电位升降概念,从始端出发沿固定方向走行一个连续路径,遇电位降时取正,遇电位升时取负,到所求两端电压的末端为止,取其代数和即为所求两点的电压。两种方法中,后一种方法更好些。

例 1-1-3 电路如图。已知: $U_S=10\text{ V}$, $I_S=1\text{ A}$, $U_{CS1}=2I$, $U_{CS2}=3I$, $R=2\ \Omega$ 。求两受控源支路中的电流 I_1 和 I_2 。

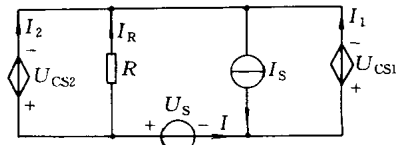
解 因为此题中两个受控电压源的控制变量都是独立电压源 U_S 支路中的电流 I ,所以首先将此电流求出。根据 KVL 有

$$U_{CS1}-U_{CS2}+U_S=0$$

$$\text{即 } 2I-3I+10=0$$

可解得

$$I=\frac{10}{3-2}=10\text{ A}$$



例图 1-1-3