



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书

电工学(I、II)

学习辅导与习题解答

■ 孙 韬 主编



高等教育出版社
Higher Education Press



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书

电工学(I、II)

学习辅导与习题解答

■ 孙 韬 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

内容提要

“电工学”是高等学校非电类专业重要的技术基础课,本书作为侯世英主编的《电工学 I——电路与电子技术》、《电工学 II——电机与电气控制》配套的学习辅导与习题解答,内容上紧密配合主教材,各章顺序完全与这两本教材一致,每章内容都按“学习目标”、“主要知识点”、“重点与难点”、“典型例题分析”和“习题详解”的顺序进行编排。

本书在编写中融入了教学过程中积累的经验,对学生在学习过程中的疑难问题作了详尽的说明,使得学生在复习时减少盲目性,有利于提高分析问题和解决问题的能力。

本书可作为电工学系列课程任课教师的教学参考书,也可供大专院校学生学习电工学课程后复习使用,同时也可作为自学考试和各种成人教育的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工学(I、II)学习辅导与习题解答/孙韬主编.
—北京:高等教育出版社,2009.11
ISBN 978-7-04-028061-6

I. 电… II. 孙… III. 电工学-高等学校-教学参考资料 IV. TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第167368号

策划编辑 金春英 责任编辑 曲文利 封面设计 于文燕
责任绘图 尹文军 版式设计 张岚 责任校对 殷然
责任印制 朱学忠

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社址	北京市西城区德外大街4号	咨询电话	400-810-0598
邮政编码	100120	网址	http://www.hep.edu.cn
总机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印刷	北京鑫海金澳胶印有限公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开本	787×960 1/16	版次	2009年11月第1版
印张	18	印次	2009年11月第1次印刷
字数	330 000	定价	21.50元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 28061-00

前 言

随着科学技术的不断发展,各学科之间的相互联系进一步加强,“电工学”课程已经不再仅仅是非电类工科学生的技术基础课,而是成为了不少理科专业的必修课程。为了使学生更好地学习“电工学”课程和获得电工电子技术必要的基本理论、基本知识以及基本技能,编写了这本学习辅导与习题解答。本书作为侯世英主编的《电工学 I——电路与电子技术》、《电工学 II——电机与电气控制》(普通高等教育“十一五”国家级规划教材,高等教育出版社出版)配套辅导教材,内容上紧密配合教材《电工学 I、II》,章节顺序完全与这两本教材一致,每章内容都是按照“学习目标”、“主要知识点”、“重点与难点”、“典型例题分析”和“习题详解”的顺序进行编排。

每章的“学习目标”具有统揽全章的作用,指出了本章有几个主要问题,每个问题应该掌握到何种程度;“主要知识点”提出了教材《电工学 I、II》各章简明扼要的说明和总结;“重点与难点”指出了每章哪些是重点或难点;“典型例题分析”部分提供了一些具有启发性的典型例题,在典型例题的分析和说明中,结合教学过程中积累的经验,对学生在学习过程中的疑难问题作了详尽的说明,使得学生在复习时减少盲目性;“习题详解”是对教材《电工学 I、II》每章的习题进行了解答,可供学生学习时参考。

本书由重庆大学孙韬主编,孙韬编写了第 1、2、4、11、16 章以及附录,李昌春编写了第 3、12、14 章,周静编写了第 5、13 章,熊兰编写了第 6、7 章,彭文雄编写了第 8、9、10 章,余传祥编写了第 15、17 章。全书由孙韬统稿、修改定稿。

在本书的编写与试用过程中,教材《电工学 I、II》的主编侯世英教授对编写大纲的制定提出了指导性的建议,并对初稿中存在的问题和缺点给予了修正;重庆大学电气工程学院以及电工学课程组的所有教师对本书进行了试用并提出了许多宝贵意见。在此一并表示衷心感谢。

本书由华南理工大学的殷瑞祥教授主审,殷教授在百忙之中仔细审阅了全部书稿,提出了许多宝贵意见,并为书稿的漏错之处作了具体修正。在此向殷教

II 授表示深深的谢意。

▼
▼
前 由于编者水平有限,书中难免存在缺点与错误,敬请读者提出批评和改进意见,以利于今后修正提高。

编者

2009年4月于重庆

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给予严厉打击。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) 58581897/58581896/58581879

反盗版举报传真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第1章	电路的基本概念和基本分析方法	1
1.1	主要知识点	1
1.2	重点与难点	5
1.3	典型例题分析	7
1.4	习题详解	12
第2章	正弦交流电路	24
2.1	主要知识点	24
2.2	重点与难点	29
2.3	典型例题分析	29
2.4	习题详解	38
第3章	一阶电路的瞬态分析	51
3.1	主要知识点	51
3.2	重点与难点	52
3.3	典型例题分析	53
3.4	习题详解	58
第4章	半导体电路基础	65
4.1	主要知识点	65
4.2	重点与难点	70
4.3	典型例题分析	71
4.4	习题详解	78
第5章	集成运算放大器及应用	87
5.1	主要知识点	87
5.2	重点与难点	90
5.3	典型例题分析	90

5.4	习题详解	94
第6章	直流稳压电源	105
6.1	主要知识点	105
6.2	重点与难点	108
6.3	典型例题分析	109
6.4	习题详解	112
第7章	信号产生电路	121
7.1	主要知识点	121
7.2	重点与难点	125
7.3	典型例题分析	126
7.4	习题详解	130
第8章	门电路与组合逻辑电路	135
8.1	主要知识点	135
8.2	重点与难点	140
8.3	典型例题分析	140
8.4	习题详解	148
第9章	触发器和时序逻辑电路	158
9.1	主要知识点	158
9.2	重点与难点	161
9.3	典型例题分析	162
9.4	习题详解	169
第10章	数模和模数转换	177
10.1	主要知识点	177
10.2	重点与难点	179
10.3	典型例题分析	179
10.4	习题详解	182
第11章	电力电子技术	185
11.1	主要知识点	185
11.2	重点与难点	186
11.3	典型例题分析	186

11.4	习题详解	189
第 12 章	变压器	193
12.1	主要知识点	193
12.2	重点与难点	197
12.3	典型例题分析	197
12.4	习题详解	200
第 13 章	电动机	204
13.1	主要知识点	204
13.2	重点与难点	208
13.3	典型例题分析	210
13.4	习题详解	215
第 14 章	继电器接触器控制系统	222
14.1	主要知识点	222
14.2	重点与难点	223
14.3	典型例题分析	223
14.4	习题详解	226
第 15 章	可编程控制器	236
15.1	主要知识点	236
15.2	重点与难点	238
15.3	典型例题分析	239
15.4	习题详解	241
第 16 章	电工测量	247
16.1	主要知识点	247
16.2	重点与难点	248
16.3	典型例题分析	249
16.4	习题详解	250
第 17 章	安全用电	252
17.1	主要知识点	252
17.2	重点与难点	254
17.3	典型例题分析	254

17.4 习题详解	255
附录 A 《电工电子学(I-1)》模拟试卷及参考答案	256
附录 B 《电工电子学(I-2)》模拟试卷及参考答案	263
附录 C 《电工电子学(II)》模拟试卷及参考答案	270
参考文献	277

第 1 章 电路的基本概念和基本分析方法

本章学习目标:

1. 明确电路模型与实际电路、理想电路元件与实际元件之间的区别与联系;掌握理想电路元件(电阻、电感、电容、电压源和电流源)电压-电流关系,并且在分析计算电路时能够熟练运用。

2. 理解电压、电流参考方向的意义,以及如何根据它们的正负和参考方向来确定其实际方向;学会电功率的计算,并能够根据功率的正负判断元件的性质(电源或负载);明确额定值在电气设备使用过程中的重要性。

3. 掌握电路分析的基本定律——基尔霍夫定律,在分析计算电路时能够熟练运用电路分析的基本方法——等效变换法、支路电流法、弥尔曼定理、叠加定理和戴维宁定理;了解最大功率传输的概念和原理,明确负载在什么情况下获得最大功率。

4. 了解非线性电阻电路的概念及其图解分析方法。

1.1 主要知识点

1.1.1 电压、电流的参考方向以及它们的表示方法

实际方向:在物理课程中学习电流、电压、电动势和电功率等电量的时候,只考虑其大小,而不考虑其方向。实际上电路中电流和电压的方向是客观存在的,电流的方向规定为正电荷运动的方向,电压的方向规定为电场力对正电荷做功的方向,亦为电位降低的方向。

参考方向(正方向):当在分析较为复杂的直流电路时,往往事先不易确定某支路中电流和电压的实际方向,另外,对交流电路而言,电流或电压的方向都在随时间的变化而改变,因此,为了便于分析和计算电路,首先要对待求的电流或电压人为选定一个参考方向,或称为正方向。如果计算结果的数值为正,说明实际方向与参考方向相同,如为负,则说明实际方向与参考方向相反。

参考方向的表示方法: 电流的参考方向一般用箭头表示, 也可用双下标表示, 例如在图 1.1(a) 中, $I_{ab}=I$, $I_{ba}=-I$; 电压的参考方向一般用参考极性“+”和“-”表示, 或用箭头表示, 也可以用双下标表示, 例如在图 1.1(b) 中, $U_{ab}=U$, $U_{ba}=-U$ 。

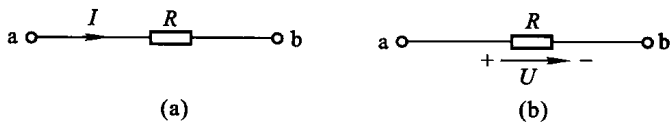


图 1.1 电流、电压的参考方向

1.1.2 电路元件及其伏安特性

所提及的电路元件一般都是理想电路元件, 理想电路元件是一种严格的数学定义, 它反映了实际元件的主要电磁特性, 而忽略了其次要电磁特性。

电路元件分为无源元件和有源元件两大类, 无源元件包括电阻 R 、电容 C 和电感 L 。其中, 电阻元件是耗能元件, 其伏安特性满足欧姆定律; 电容和电感元件都是储能元件, 它们的伏安特性为微分关系。

有源元件又分为独立电源和受控电源, 独立电源的特性是其输出端电压或输出的电流是确定值, 与外接元件无关, 独立电源包括理想电压源 U_s 和理想电流源 I_s 。受控电源的输出具有理想电源的特性, 但是其参数却受到其他支路电压或电流的控制。按照受控电源所表现出的电源特性以及控制量的不同, 它分为四种类型, 即: 电压控制电压源 (VCVS)、电压控制电流源 (VCCS)、电流控制电压源 (CCVS) 和电流控制电流源 CCCS。

1.1.3 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是电路分析的基本定律, 它包含电流定律和电压定律两个方面。

① 基尔霍夫电流定律 (KCL): 在任一瞬间, 流出 (或流入) 某一结点的电流的代数和为零, 即 $\sum I=0$ 。它表明了电流的连续性在集中参数电路中的体现, 遵循电荷守恒的规律。KCL 方程是线性齐次代数方程, 反映了各电流量的线性制约关系, 它与元件性质无关, 只决定于电路的连接方式。

② 基尔霍夫电压定律 (KVL): 在任一瞬间, 沿电路中任一闭合回路, 各支路电压的代数和为零, 即 $\sum U=0$ 。它反映了支路间各电压量的线性制约关系, 遵循能量守恒规律。与 KCL 一样, KVL 方程同样是线性齐次代数方程, 它与元件性质无关, 只决定于电路的连接方式。

1.1.4 电路的基本分析方法

电路的分析方法有多种, 各种电路分析方法都是基于元件的伏安特性和电

路分析的基本定律——基尔霍夫定律。本章主要介绍了电路的几种简便、实用的分析方法,包括电路的等效化简分析、支路电流法、弥尔曼定理、叠加定理、等效电源定理和最大功率传输原理。

① 电路的等效化简分析包括电阻的串、并联等效变换和电源的等效变换。其中电阻的串、并联等效虽然已在物理课程中学过,但是需要考虑电压、电流的方向,并且要注意分压和分流公式中的正负极性;多个电阻串联的等效关系为 $R = \sum_{i=1}^n R_i$, 计算各个电阻上电压的分压公式为 $U_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i} U$; 多个电阻并联的

等效关系为 $\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$, 当两个电阻并联时,计算各个电阻上电流的分流公式为

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I, I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

理想电压源串联可以等效为一个理想电压源的作用,等效关系式为 $U_s = \sum_{i=1}^n U_i$,

理想电流源并联可以等效为一个理想电流源的作用,等效关系式为 $I_s = \sum_{i=1}^n I_i$ 。

实际电源之间可以互相等效,用此方法可对电路进行化简以便于计算,但是理想电压源和理想电流源之间不存在等效的关系。图 1.2 所示为实际电源的两种模型,要使二者对外等效,它们的参数必须满足

$$R_{01} = R_{02} = R_0, U_s = I_s R_0$$

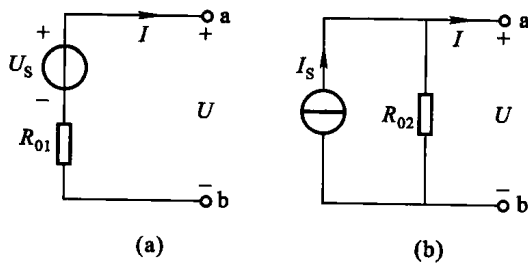


图 1.2 实际电源的两种模型

② 支路电流分析法是最基本的电路方程分析方法之一,它是以电路各支路电流作为变量列写方程求解,其关键之处在于寻找 $(n-1)$ 个独立的结点电流方程数和 $b-(n-1)$ 个独立的回路电压方程数,它能够解决任何复杂的电路问题。

③ 对只有两个结点的电路,选择一个结点为参考点,则计算出另一个结点

电压的公式为 $V = \frac{\sum \frac{U_s}{R} + \sum I_s}{\sum \frac{1}{R}}$, 所推导出的公式称为弥尔曼定理。根据计算所得的结点电压, 各条支路的电流完全可以确定。

④ 叠加定理: 在由多个独立电源供电的线性电路中, 任何一条支路的电流(或任意一个元件的电压)等于各电源单独作用时, 在该支路(或元件上)的电流(或电压)的代数和。

其中每一个电源单独作用是指在原电路中保留作用的电源, 令其他独立电源为零($U_s = 0$ V 即用短路代替独立电压源, 其内阻保留; $I_s = 0$ A 即用开路代替独立电流源, 其内阻保留), 构成的单电源电路。

叠加定理只适用于分析线性电路, 它表明了在一个含有多个电源的线性电路中, 所求响应与激励之间的关系。它不能用于对功率进行叠加, 只能用于线性电路中电压和电流的计算。

⑤ 等效电源定理描述的是任何一个有源二端网络 N 可以用一个实际电源来等效, 如果是用实际电压源等效, 即为戴维宁定理, 其中理想电压源的大小 U_s 等于有源二端网络的开路电压 U_{oc} , 内阻 R_0 等于有源二端网络中将所有独立电源置零后所得到的无源二端网络 N_0 在两端看进去的等效电阻。如果是用实际电流源等效, 即为诺顿定理, 其中理想电流源的大小 I_s 等于有源二端网络的短路电流 I_{sc} , 内阻 R_0 与戴维宁定理中等效电阻的计算方法相同。

等效电源定理常常用于分析计算复杂电路中某一条支路的电压或电流的情况或含非线性元件的电路, 这样可以简化计算过程。

⑥ 最大功率传输原理: 当接在线性有源二端网络的负载电阻发生变化时, 只有当负载电阻与有源二端网络的等效电源内阻匹配时, 即 $R_L = R_0$, 负载电阻上获得的功率取得最大值, 其大小为 $P_{Lmax} = \frac{U_s^2}{4R_0}$, 其中 U_s 和 R_0 为该有源二端网络的戴维宁等效电源参数。

1.1.5 非线性电阻电路的分析

非线性电阻元件的伏安特性不满足欧姆定律, 是一种非线性关系, 实际元件或多或少都有一定的非线性, 因此研究非线性电路的分析方法是完全有必要的。至少含有一个非线性电阻的电路称为非线性电路, 分析非线性电路的方法也是依据基尔霍夫定律和元件的伏安特性, 由于所列的方程为非线性方程, 因此不易获得解析解。

常用的非线性电阻的特性参数有两个, 即静态电阻和动态电阻, 也称为直流电阻和交流电阻。静态电阻等于在某一工作状态时的电压与电流的比值, 而动

态电阻等于在某一工作状态时的电压与电流二者变化量之间的比值。

非线性电路最简单常用的分析方法是图解法,它适用于只含有一个非线性电阻的电路,该非线性电路的解即为非线性电阻的伏安特性与非线性电阻以外的二端网络等效电源的外特性的交点所在的电压、电流。

1.2 重点与难点

1.2.1 本章重点

(1) 应用基尔霍夫定律时,要注意以下两个问题。

① KCL 和 KVL 中的两套正负号。对于 KCL 的描述 $\sum i=0$,注意这里有两套正负号,一是按照电流 i 的正方向是否指向结点,如流出结点取正,则那么流入取负;其二电流 i 本身是代数量,如果电流的实际方向与正方向一致,则为正,反之为负,这两套正负号不能混淆。同理对于 KVL 的描述 $\sum u=0$,这两套正负号一是看电压 u 的正方向是否与回路的绕行方向一致,如一致取正,否则取负;其二电压 u 本身是代数量,如果电压的实际方向与正方向一致,则为正,反之为负,这两套正负号不能混淆。

② KCL 和 KVL 的推广。KCL 可以推广到广义结点或闭合面,其目的是为了简化计算过程;KVL 可以推广到假想回路,其目的是为了便于求解任意两点之间的电压。

(2) 电路几种基本分析方法的使用过程中要注意以下几个问题。

① 支路电流分析方法可以分析任意复杂的电路,当电路的某条支路只含有理想电流源时,该支路的电流已知,不能作为未知量,并且在列写回路电压方程时,也不能包含理想电流源支路。

② 当电路的支路数较多时,运用支路电流分析法所列写的方程组就相当复杂,因此如果只要求计算某一条支路的电压或电流,就应该考虑运用电源的等效变换方法、戴维宁定理或叠加定理。

③ 在运用电源的等效变换方法时,任何一个电动势 E 或电压源 U_s 和某个电阻 R 串联的电路,都可化为一个电流源为 I_s 和这个电阻并联的电路;这种等效关系只对外电路而言,对电源内部则是不等效的,比如两个等效的电源模型接上相同的负载电阻 R ,它们的端电压、电流满足 $U=IR$,此时电压源模型中理想电源发出的功率为 $P_{Us}=U_s I=I_s IR_0$,内阻消耗的功率为 $\Delta P_U=I^2 R_0=\frac{U}{R} IR_0=\frac{UIR_0}{R}$,而电流源模型中理想电源发出的功率为 $P_{Is}=I_s U=I_s IR$,内阻消耗的

功率为 $\Delta P_I = \frac{U^2}{R_0} = \frac{U}{R_0} IR = \frac{UIR}{R_0}$, 一般情况下理想电源发出的功率和内阻消耗的功率都是不等同的。

1.2.2 本章难点

(1) 功率的正负问题。在物理课程中学习简单电路分析的时候, 由于只考虑电压、电流的大小, 而不考虑其方向, 因此不存在功率正负的问题。但是, 当定义了参考方向后, 电压、电流就成为了代数量, 因此功率成为了代数量。研究功率正负的目的是如何区分一个元件是否具有电源或负载的性质, 在一个复杂电路或含有多个电源的电路中, 某些电源有可能吸收功率, 表现出负载的性质, 因此, 可通过元件功率的正负极性来判断元件是否为电源或负载。

在图 1.3(a) 所示电路中, 电压电流的参考方向一致, 方框内元件所吸收的功率为 $P=UI$, 当 $P>0$ 时, 表明元件实际上在吸收功率, 相当于负载的作用; 当 $P<0$ 时, 表明元件吸收的功率为负, 实际上在发出功率, 相当于电源的作用。当电压电流的参考方向不一致, 如图 1.3(b) 所示, 那么对电压或电流其中之一取反, 使二者的参考方向一致, 则元件所吸收的功率为 $P=-UI$ 。同理当 $P>0$ 时, 相当于负载的作用, 当 $P<0$ 时, 相当于电源的作用。

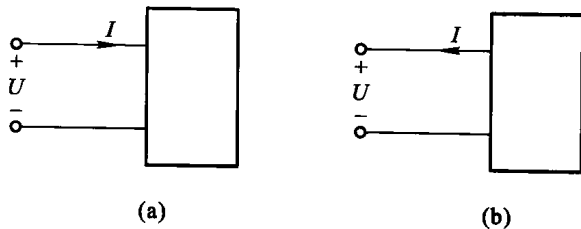


图 1.3 功率的计算与正负

根据能量守恒定律, 一个电路中电源发出的功率应该等于负载所吸收的功率, 或者所有元件吸收的功率之和为零, 这就是功率平衡的原理, 可以利用该原理来验证对电路分析结果的正确性。

(2) 关于理想电源的连接问题。理想电压源可以串联, 理想电流源可以并联。如果理想电压源并联或理想电流源串联, 会出现什么后果? 只有大小相等、方向相同的理想电压源才能并联, 相当于一个等值理想电压源的作用; 只有大小相等、方向相同的理想电流源才能串联, 相当于一个等值理想电流源的作用。

如果是非理想电压源元件或部分电路与理想电压源并联, 对外电路而言, 其端电压是一个恒值, 这相当于该理想电压源单独作用。同理, 如果是非理想电流源元件或部分电路与理想电流源串联, 对外电路而言, 其输出电流是一个恒值, 这相当于该理想电流源单独作用。

1.3 典型例题分析

【例 1-1】 图 1.4 所示电路中,已知 $I_1=5\text{ A}$, $I_2=6\text{ A}$, 则 $I_3=(\quad)$ 。

- (a) 11 A (b) 1 A
(c) -11 A (d) -1 A

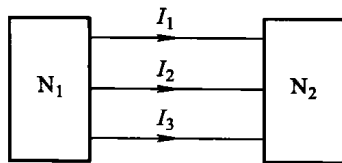


图 1.4 例 1-1 图

【分析】 把 N_2 看成一个广义结点,直接得出闭合面的 KCL 方程为 $I_1+I_2+I_3=0$,将已知条件代入可解得 $I_3=-11\text{ A}$,因此本题应选(c)。

【例 1-2】 电路如图 1.5 所示,求各支路电流。

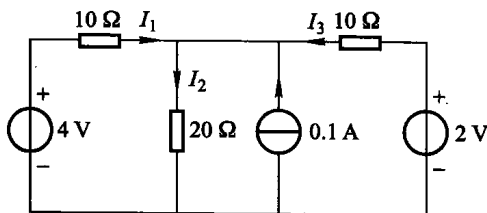


图 1.5 例 1-2 图

【分析】 该电路有 2 个结点,4 条支路,但是其中有一条理想电流源支路,因此只有 3 个未知量,应该列写 1 个 KCL 方程和 2 个 KVL 方程。

【解】 按照图示所标支路电流方向,由支路电流法所列写的方程组为

$$\begin{cases} 4=10I_1+20I_2 \\ 2=10I_3+20I_2 \\ I_2=I_1+I_3+0.1 \end{cases} \quad \text{解得} \quad \begin{cases} I_1=0.12\text{ A} \\ I_2=0.14\text{ A} \\ I_3=-0.08\text{ A} \end{cases}$$

【例 1-3】 电路如图 1.6(a)所示,求电流 $I=?$

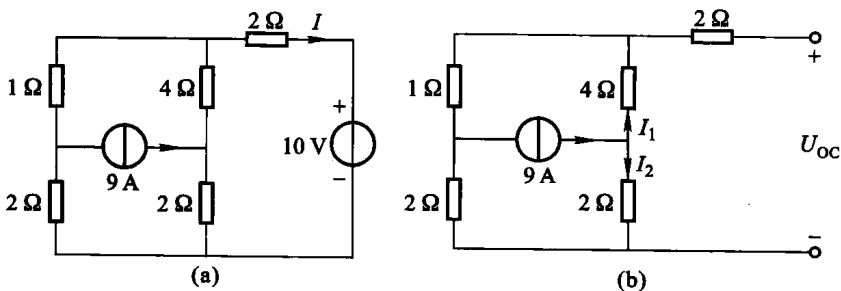


图 1.6 例 1-3 图

【分析】 该电路有 6 条支路,5 条支路电流是未知的,如果应用支路电流法计算电流 I ,就显得比较复杂;有两个电源,如果用叠加定理计算,当 9 A 的电流源单独作用时,好像不能直接计算出待求的电流。另外,用电源等效变换的方法