



华腾教育
HUA TENG EDUCATION

高等学校教材经典同步辅导丛书电学类(二)
配高教社《电工学》上册 第五版 秦曾煌 主编

电 工 学

上 册

电工技术 (第五版)

同步辅导及习题全解

华腾教育教学与研究中心

丛书主编 清华大学 何联毅

本书主编 清华大学 夏应龙

赠 学习卡
考试宝典



- ◆ 紧贴教材: 精讲重点 点拨方法 联系考研
- ◆ 考试宝典: 教材精华 经典试卷 常考试题
- ◆ 学习卡: 资料下载 信息交流 互动论坛
- ◆ 课后习题: 三级突破 分析要点 总结难点

中国矿业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工学(上册)同步辅导及习题全解(电工技术)/夏应龙主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2006.8

(高等学校教材经典同步辅导丛书)

ISBN 7 - 81107 - 399 - 4

I. 电… II. 夏… 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 (2006) 第 086933 号

书 名 电工学(上册)同步辅导及习题全解(电工技术)

主 编 夏应龙

责任编辑 罗 浩

出版发行 中国矿业大学出版社

印 刷 北京市昌平百善印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 本册印张 23 本册字数 523 千字

版次印次 2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

总 定 价 132.50 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

高等学校教材经典同步辅导丛书

序号	书名	定价	配套教材
1	高等数学(上、下册合订本)同步辅导及习题全解(第五版)	22	同济大学应用数学系编 第五版
2	高等数学(上、下册合订本)习题全解(第五版)	15	同济大学应用数学系编 第五版
3	概率论与数理统计同步辅导(浙大三版)	20	谢式千等编写 浙大第三版
4	概率论与数理统计同步辅导及习题全解(浙大三版)	11	谢式千等编写 浙大第三版
5	高等数学同步辅导及习题全解(上)(第五版)	8.5	同济大学应用数学系编 第五版
6	高等数学同步辅导及习题全解(下)(第五版)	8.5	同济大学应用数学系编 第五版
7	高等数学同步辅导(上)(第五版)	18	同济大学应用数学系编 第五版
8	高等数学同步辅导(下)(第五版)	18	同济大学应用数学系编 第五版
9	概率论与数理统计同步辅导及习题全解(人大修订版)	11	人大版《概率论与数理统计》(修订本) 袁荫棠 编
10	线性代数同步辅导及习题全解(人大第三版)	10	人大版《线性代数》(第三版) 赵树嫖 主编
11	复变函数同步辅导及习题全解(第四版)	9.8	高教社《工程数学(复变函数)》(第四版) 西安交大高数教研室 编
12	高等代数同步辅导及习题全解(第三版)	12.8	《高等代数》(第三版) 北京大学数学系几何与代数教研室前代数小组编
13	数值分析同步辅导及习题全解(第四版)	9.8	清华版 施普林格版《数值分析》第四版 华东师范大学数学系 编
14	离散数学同步辅导及习题全解	16	上海科技文献版
15	流体力学同步辅导及习题全解(第二版)	9.8	高教社《流体力学》(第二版) 张也影 编著
16	机械原理同步辅导及习题全解(第六版)	18	高教社《机械原理》(第六版) 孙恒 陈作模 主编
17	材料力学(I)同步辅导及习题全解(第四版)	20.5	刘鸿文主编 浙大第四版
18	材料力学(II)同步辅导及习题全解(第四版)	9.5	刘鸿文主编 浙大第四版
19	理论力学(I)同步辅导及习题全解(第六版)	22.5	哈尔滨工业大学理论力学教研室编 第六版
20	理论力学(II)同步辅导及习题全解(第六版)	6.5	哈尔滨工业大学理论力学教研室编 第六版
21	普通物理学同步辅导(第五版)	14.5	程守洙等编写 第五版
22	普通物理学同步辅导及习题全解(第五版)	16.5	程守洙等编写 第五版
23	信号与系统同步辅导及习题全解(上)(第二版)	18	高教社《信号与系统》(第二版)上册 郑君里等 主编
24	信号与系统同步辅导及习题全解(下)(第二版)	18	高教社《信号与系统》(第二版)下册 郑君里等 主编
25	信号与线性系统分析同步辅导及习题全解(第四版)	27	高教社《信号与线性系统分析》第四版 吴大正等 编
26	数字电子技术基础同步辅导及习题全解(第四版)	22	高教社《数字电子技术基础》第四版 清华大学电子学教研组编 阎石 主编
27	模拟电子技术基础同步辅导及习题全解(第三版)	23	高教社《模拟电子技术基础》第三版 清华大学电子学教研组编 童诗白 华成英主编
28	电子技术基础数字部分同步辅导及习题全解(第五版)	20	康华光主编 华中理工第四版
29	电子技术基础模拟部分同步辅导及习题全解(第五版)	20	康华光主编 华中理工第四版
30	通信原理同步辅导及习题全解(第五版)	16.5	国防工业版《通信原理》第五版 樊昌信等 编著
31	自动控制原理同步辅导及习题全解(第四版)	27	配科学出版社《自动控制原理》(第四版) 胡寿松 主编
32	电工学(上)电工技术同步辅导及习题全解(第五版)	22.5	电工学(上)(第五版) 秦曾煌 主编

序号	书名	定价	配套教材
33	电工学(下)电子技术同步辅导及习题全解(第五版)	21.5	电工学(下)(第五版) 秦曾煌 主编
34	电路同步辅导(第四版)	25	电路(第四版) 邱关源 主编
35	电路同步辅导及习题全解(第四版)	20	电路(第四版) 邱关源 主编
36	大学物理学同步辅导及习题全解	25	高教社《大学物理学》 吴百诗 罗春荣等编
37	物理学同步辅导(第四版)	18.5	东南大学第七所工科院校主编、马文蔚改编 第四版
38	物理学同步辅导及习题全解(第四版)	20	东南大学第七所工科院校主编、马文蔚改编 第四版
39	结构力学(I)同步辅导及习题全解	18	高教社《结构力学教程(I)》 龙驭球 包世华等编
40	结构力学(II)同步辅导及习题全解	14	高教社《结构力学教程(II)》 龙驭球 包世华等编
41	有机化学同步辅导及习题全解(第四版)	22	高教社《有机化学》(第四版) 高鸿宾 主编
42	无机化学同步辅导及习题全解(第四版)	20	高教社《无机化学》(第四版) 大连理工大学无机化学教研室 编
43	物理化学同步辅导及习题全解(第四版)	20	高教社《物理化学》(第四版) 天津大学物理化学教研室 编
44	西方经济学同步辅导及习题全解(宏观部分)(第三版)	11.5	人大版《西方经济学》第三版(宏观部分) 教育部高教司 组编 高鸿业 主编
45	西方经济学同步辅导及习题全解(微观部分)(第三版)	11.5	人大版《西方经济学》第三版(微观部分) 教育部高教司 组编 高鸿业 主编
46	管理学同步辅导及习题全解(第二版)	20	高教社《管理学》(第二版) 周三多 主编 陈传明 副主编
47	运筹学同步辅导及习题全解(第三版)	21	清华版《运筹学》(第三版) 《运筹学》教材编写组 主编
48	数学分析同步辅导及习题全解(上册)(第三版)	17.5	高教社《数学分析》上册(第三版) 华东师范大学数学系 编
49	数学分析同步辅导及习题全解(下册)(第三版)	17.5	高教社《数学分析》下册(第三版) 华东师范大学数学系 编
50	线性代数同步辅导及习题全解(同济第四版)	11	高教社《线性代数》(工程数学)(第四版) 同济大学应用数学系 编
51	微积分同步辅导及习题全解(上册)(第二版)	23	高教社《微积分》(第二版)上册 同济大学应用数学系 编
52	微积分同步辅导及习题全解(下册)(第二版)	23	高教社《微积分》(第二版)下册 同济大学应用数学系 编

上述图书邮购支持电话:(010)62574988

高等学校教材

经典同步辅导丛书编委会

主任：清华大学 王 飞

副主任：清华大学 夏应龙

中国矿业大学 李瑞华

编 委(按姓氏笔画排序):

于志慧	王 焯	甘 露	师文玉
吕现杰	朱凤琴	刘胜志	刘淑红
严奇荣	李 丰	李凤军	李 冰
李 波	李炳颖	李 娜	李晓光
李晓炜	李雅平	李燕平	何联毅
邹绍荣	宋 波	张旭东	张守臣
张国良	张鹏林	张 慧	陈晓东
范亮宇	孟庆芬	唐亚楠	韩国生
韩艳美	曾 捷		

前言

PREFACE

《电工学》是理工科大学非电子专业的选修课程。为了帮助读者更好地学好这门课程,掌握更多知识,我们根据多年的教学经验编写了这本《电工学同步辅导及习题全解》。本书旨在使广大读者理解基本概念,掌握基本知识,学会基本解题方法与解题技巧,提高应试能力。

本书作为一种辅助性的教材,具有较强的针对性、启发性、指导性和补充性的特点。考虑到读者的不同情况,我们在内容上做了以下安排:

1. **学习要求:**根据考试大纲的要求,总结各章重要知识点。
2. **知识网络图:**以图表的形式贯穿各章知识网络,提纲挈领,统领全章使知识体系更加系统化。
3. **内容概要:**串讲概念,总结性质和定理,知识全面系统。
4. **典型题型与解题技巧:**精选各类题型,涵盖本章所有重要知识点,对题目进行深入、详细的讨论与分析,并引导学生思考问题、能够举一反三,拓展思路。
5. **考研真题链接:**精选历年考研真题进行深入的讲解。
6. **同步自测:**根据各章的学习要求,精选了适量的自测题目,并附有答案。读者可以通过这些自测题目进一步掌握本章的内容要领,巩固和加深对本章知识的理解,增强解决问题的能力,并检查自己对所学知识的掌握程度。
7. **练习与思考全解:**本书给出了秦曾煌主编的《电工学》(第五版)各章中每节后的练习与思考的答案。
8. **课后习题全解:**本书给出了秦曾煌主编的《电工学》(第五版)各章课后习题的答案。我们不仅给出了详细的解题过程,而且还对解题思路或方法作了简要的说明。

编写本书时,依据大学本科现行教材及教学大纲的要求,参考了清华大学、北京大学、同济大学、浙江大学、人民大学、复旦大学等高等院校的教材,并结合教学大纲的要求进行编写。

我们衷心希望本书提供的内容能够对读者在掌握课程内容、提高解题能力上有所帮助。同时,由于编者的水平有限,本书难免出现不妥之处,恳请广大读者批评指正。

华腾教育教学与研究中心

目 录

CONTENTS

第一章 电路的基本概念与基本定律	1
学习要求	1
知识网络图	1
内容概要	2
典型题型与解题技巧	4
考研真题链接	7
同步自测	7
同步自测答案及解析	9
练习与思考全解	9
课后习题全解	15
第二章 电路的分析方法	24
学习要求	24
知识网络图	24
内容概要	25
典型题型与解题技巧	31
考研真题链接	36
同步自测	40
同步自测答案及解析	43
练习与思考全解	43
课后习题全解	51
第三章 正弦交流电路	75
学习要求	75
知识网络图	76

内容概要	77
典型题型与解题技巧	85
考研真题链接	92
同步自测	95
同步自测答案及解析	97
练习与思考全解	98
课后习题全解	111
 第四章 三相电路	 138
学习要求	138
知识网络图	139
内容概要	139
典型题型与解题技巧	144
考研真题链接	150
同步自测	152
同步自测答案及解析	153
练习与思考全解	154
课后习题全解	155
 第五章 非正弦周期电流的电路	 164
学习要求	164
知识网络图	164
内容概要	164
典型题型与解题技巧	165
考研真题链接	169
同步自测	171
同步自测答案及解析	172
练习与思考全解	172
课后习题全解	173
 第六章 电路的暂态分析	 179
学习要求	179
知识网络图	179
内容概要	180
典型题型与解题技巧	184
考研真题链接	192

同步自测	195
同步自测答案及解析	198
练习与思考全解	199
课后习题全解	204
第七章 磁路与铁心线圈电路	219
学习要求	219
知识网络图	219
内容概要	220
典型题型与解题技巧	225
考研真题链接	230
同步自测	230
同步自测答案及解析	231
练习与思考全解	232
课后习题全解	235
第八章 交流电动机	243
学习要求	243
知识网络图	244
内容概要	244
典型题型与解题技巧	250
考研真题链接	252
同步自测	254
同步自测答案及解析	255
练习与思考全解	255
课后习题全解	258
第九章 直流电动机	263
学习要求	263
知识网络图	263
内容概要	264
典型题型与解题技巧	267
考研真题链接	268
同步自测	269
同步自测答案及解析	270
练习与思考全解	270

课后习题全解	271
第十章 控制电机	276
学习要求	276
知识网络图	276
内容概要	276
典型题型与解题技巧	279
考研真题链接	279
课后习题全解	279
第十一章 继电接触器控制系统	283
学习要求	283
知识网络图	283
内容概要	283
典型题型与解题技巧	285
考研真题链接	287
同步自测	287
同步自测答案及解析	288
练习与思考全解	288
课后习题全解	289
第十二章 可编程控制器及其应用	299
学习要求	299
知识网络图	299
内容概要	299
典型题型与解题技巧	304
考研真题链接	307
同步自测	308
同步自测答案及解析	308
练习与思考全解	310
课后习题全解	312
第十三章 工业企业供电与安全用电	323
学习要求	323
知识网络图	323
内容概要	323

考研真题链接	325
同步自测	325
同步自测答案及解析	325
课后习题全解	325
第十四章 电工测量	326
学习要求	326
知识网络图	326
内容概要	326
同步自测	330
同步自测答案及解析	330
课后习题全解	330



内容概要

1. 电路的作用与组成部分

- (1) 电路: 电流的通路称为电路, 连续电流的通路必须是闭合的。
- (2) 组成: 电路由电源、负载及中间环节三部分组成。
- (3) 作用:

- ① 实现电能的传输和转换(在上册讨论);
- ② 实现信号的传输和转换(在下册讨论)。

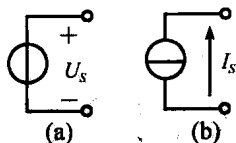


图 1-1

2. 电路的模型

用理想元件组成的电路。

(1) 电源元件

① 理想电源

理想电压源内阻为 0, 端电压恒定, 输出电流由外电路决定, 符号如图 1-1(a) 所示;
理想电流源内阻为 ∞ , 输出电流恒定, 端电压由外电路决定, 符号如图 1-1(b) 所示。

② 实际电源

电压源: U_s 与 R_s 串联, 如图 1-2(a) 所示;

电流源: I_s 与 R_s 并联, 如图 1-2(b) 所示;

受控源: 控制电路输入电阻和受控源输出电阻均为有限常数。

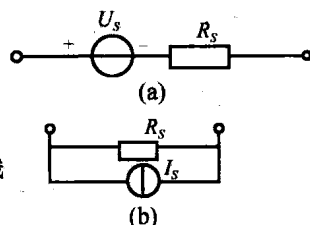


图 1-2

(2) 负载元件: 电阻元件 R (线性电阻, 非线性电阻), 电感元件 L (线性电感, 非线性电感), 电容元件 C (线性电容, 非线性电容)。

(3) 中间环节: 导线电阻为 0, 开关只有通和断两种状态, 电流表电阻 $R_A \approx 0$, 电压表电阻 $R_V \approx \infty$, 等等。

3. 电压和电流的参考方向

- (1) 电流的实际方向: 正电荷运动的方向。
- (2) 电压的实际方向: 电压降的方向。
- (3) 电动势的实际方向为电源内部由低电位端指向高电位端方向, 即电位升的方向。电流、电压的实际方向在简单直流电路中容易判断, 但在较复杂的直流电路中就难以事先判断; 若电流交变, 则无法标出它的实际方向, 因此引出参考方向(又称正方向)。
- (4) 电流的参考方向用“ $\rightarrow$ ”表示。
- (5) 电压的参考方向(或极性)用“ $\rightarrow$ ”(或“+”、“-”)表示, 也可用双下标表示, 如 U_{ab} 表示参考方向是由 a 指向 b。

电路中电流和电压的参考方向是任意指定的。在电路图中标出的电流、电压的方向一般都是参考方向。

4. 欧姆定律

欧姆定律: 流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比, 即 $R = \frac{U}{I}$ 。



推广:全电路欧姆定律: $I = \frac{E}{R_0 + R_{\text{外}}}$, R_0 为电源内阻, $R_{\text{外}}$ 为总的外阻, E 为电动势。

注意:①应用欧姆定律列式子时,首先要在电路图上标出电流、电压或电动势的参考方向,当电压和电流的参考方向选得相反时,表达式须带负号,如图 1-3 所示;

②在参考方向选定之后,电压和电流本身有正值或负值。

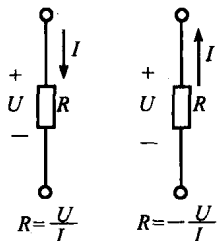


图 1-3

5. 电源的有载工作、开路与短路

(1)开路(空载)状态:电源端电压 $U = U_0 = E$, $I = 0$ 。

(2)短路状态:电源端电压 $U = 0$, $I = I_s = \frac{E}{R_0}$ 。

(3)有载工作状态

①功率平衡:电路中产生的功率等于吸收的功率,电路中保持功率平衡;

②电源与负载

电源 U 和 I 的实际方向相反,电流从“+”端流出,发出功率

负载 U 和 I 的实际方向相同,电流从“+”端流入,吸收功率

也可由 U 和 I 的参考方向来确定电源与负载,如果两者的参考方向选得一致时,则

电源 $P = UI$ (负值)

负载 $P = UI$ (正值)

如果 U 和 I 的参考方向选得相反时,则电源的功率为正值,负载的功率为负值;

③额定值与实际值

额定值是电气设备长期工作所允许的电压、电流及功率等的最大值,使用时的实际值不一定等于额定值。电压过高将造成绝缘材料击穿,电流和功率过大将造成设备内部发热而温度过高,以致烧坏。

6. 基尔霍夫定律

(1)基本概念

结点:三条以上电路的交点。

支路:两个结点之间的一条电路。

回路:电路中任意闭合路径。

回路循行方向:任意选定的沿回路循行一周的方向。可顺时针,也可逆时针。

(2)定律描述

基尔霍夫电流定律(KCL):任意瞬间,流入某一结点的电流之和等于流出该结点的电流之和。

注意:基尔霍夫电流定律通常应用于结点,也可以推广应用于包围部分电路的任一假设的闭合面。

基尔霍夫电压定律(KVL):沿任意回路循行一周,电位升之和等于电位降之和。

注意:基尔霍夫电压定律除应用于闭合回路外,也可以推广应用于回路的部分电路。

利用 KCL 与 KVL 解题时,必须先标定电流或电压的参考方向。

7. 电路中电位的概念及计算

(1)电位:电路中某点电位等于该点与参考点(零电位点)之间的电压。

(2)计算方法:电路中某点电位可通过求该点与参考点之间的电压来获得。



注意:参考点不同,电位值不同。电位高低是相对的,但两点电压值是绝对的。

典型题型与解题技巧

【例 1】 在图 1-4(a) 电路中,若将一电压源与电流源串联或并联,分别如图 1-4(b) 和图 1-4(c) 所示,电流 I_1 、 I_2 是否改变? 试通过计算说明。已知: $U_S = 8V$, $I_S = 2A$, $R_1 = R_2 = 2\Omega$ 。

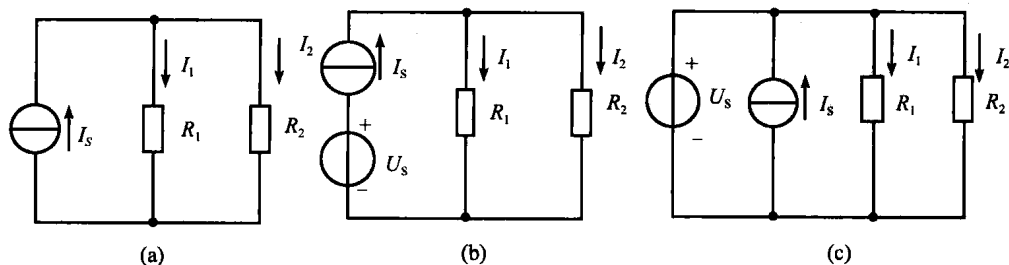


图 1-4

解题分析 本题主要考察对理想电压源、电流源的理解。

解题过程 在图 1-4(a) 中, $I_1 = I_2 = \frac{1}{2} I_S = 1A$;

在图 1-4(b) 中, $I_1 = I_2 = 1A$, 故 I_1 、 I_2 未变;

在图 1-4(c) 中, $I_1 = I_2 = 4A$, 故 I_1 、 I_2 改变了。

注意: 虽然在图 1-4(c) 电路中, R_1 、 R_2 支路电流 I_1 、 I_2 由电压源 U_S 决定, 即 $I_1 = \frac{U_S}{R_1}$, $I_2 = \frac{U_S}{R_2}$, 但将电流源从电路中去掉, 电路还是会发生变化, 因为此时通过电压源的电流变了。

这充分体现了理想电压源输出电流由外电路决定。

【例 2】 试分别求图 1-5 中所示两电路中恒压源与恒流源所发出的功率, 并判断它们是电源还是负载。

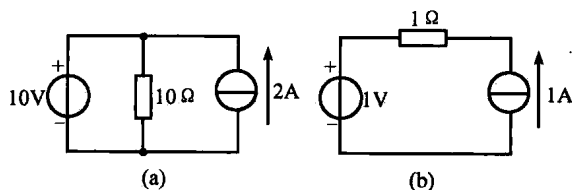


图 1-5

解题分析 判断负载还是电源, 可以由电压、电流实际方向是否一致来确定; 也可以利用功率的正负而定, 正为吸收功率, 故为负载, 反之发出功率, 为电源。

解题过程 (a) 2A 电流源中, 电压方向与电流实际方向不一致, 故为电源。

10Ω 电阻中, 电流
$$I_R = \frac{10}{10} = 1A$$

由 KCL 定律, 10V 电压源中电流为 $I_V = I_S - I_R = 2 - 1 = 1A$, 且方向向下, 故电压、电流方向一致, 为负载。



或者由功率法, 2A 电流源功率:

$$P_A = UI = -10 \times 2 = -20\text{W} < 0, \text{为电源}$$

$R=10\Omega$ 消耗功率:

$$P_R = \frac{U^2}{R} = \frac{100}{10} = 10\text{W} > 0, \text{为负载}$$

10V 电压源功率:

$$P_V = -(P_A + P_R) = 10\text{W} > 0, \text{为负载}$$

(b) 1V 电压源上, 电压、电流实际方向一致, 故为负载。

1A 电流源上, 电压、电流实际方向不一致, 故为电源。

或者由功率法: 1V 电压源上功率:

$$P_V = UI = 1 \times 1 = 1\text{W} > 0, \text{为负载}$$

$R=1\Omega$ 电阻上功率:

$$P_R = I^2 R = 1 \times 1 = 1\text{W} > 0, \text{为负载}$$

1A 电流源上功率:

$$P_A = -(P_V + P_R) = -2\text{W} < 0, \text{为电源}$$

【例 3】 电路如图 1-6(a) 所示, 已知 $I_2=2\text{A}$, 求 R_3 及各电源功率。

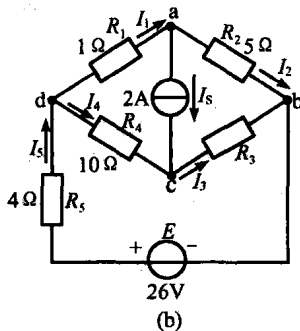
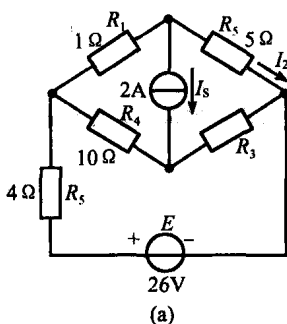


图 1-6

解题分析 本题主要考察基尔霍夫定律以及电源功率的计算、负载的判定。

解题过程 标出各支路电流参考方向, 如图 1-6(b) 所示, 由基尔霍夫定律, 对结点 a:

$$I_1 = I_2 + I_5 = 2 + 2 = 4\text{A}$$

对回路 abda:

$$E = R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_5 I_5$$

即

$$26 = 1 \times 4 + 5 \times 2 + 4 I_5, \quad I_5 = 3\text{A}$$

对结点 b:

$$I_3 = I_5 - I_2 = 3 - 2 = 1\text{A}$$

对结点 d:

$$I_4 = I_5 - I_1 = 3 - 4 = -1\text{A}$$

对回路 cdbc:

$$E = R_3 I_3 + R_4 I_4 + R_5 I_5$$

即

$$26 = R_3 \times 1 + 10 \times (-1) + 4 \times 3, \quad R_3 = 24\Omega$$



理想电压源的功率

$$P_E = -EI_5 = -26 \times 3 = -78 \text{ W} < 0 \quad \text{发出功率}$$

理想电流源的功率

$$\begin{aligned} P_{I_5} &= U_{ac} I_5 = (R_2 I_2 - R_3 I_3) I_5 \\ &= (5 \times 2 - 24 \times 1) \times 2 = -28 \text{ W} < 0 \quad \text{发出功率} \end{aligned}$$

【例 4】电路如图 1-7(a) 所示, 求开关 S 断开和闭合时 a、b、c、d、e 各点电位及电压 U_{ac} 。

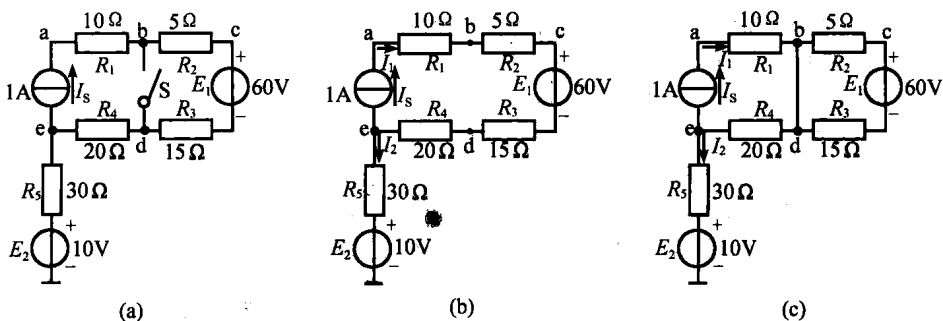


图 1-7

解题分析 求某点电位就是求该点对参考点的电压, 可通过列写基尔霍夫方程来求解。

解题过程 S 断开时电路如图 1-7(b) 所示, $I_1 = I_5 = 1 \text{ A}$, $I_2 = 0$

$$\begin{aligned} V_a &= R_1 I_1 + R_2 I_1 + E_1 + R_3 I_1 + R_4 I_1 + E_2 \\ &= 10 \times 1 + 5 \times 1 + 60 + 15 \times 1 + 20 \times 1 + 10 = 120 \text{ V} \\ V_b &= R_2 I_1 + E_1 + R_3 I_1 + R_4 I_1 + E_2 \\ &= 5 \times 1 + 60 + 15 \times 1 + 20 \times 1 + 10 = 110 \text{ V} \\ V_c &= E_1 + R_3 I_1 + R_4 I_1 + E_2 = 60 + 15 \times 1 + 20 \times 1 + 10 = 105 \text{ V} \\ V_d &= R_4 I_1 + E_2 = 20 \times 1 + 10 = 30 \text{ V} \\ V_e &= E_2 = 10 \text{ V} \\ U_{ac} &= V_a - V_e = 120 - 10 = 110 \text{ V} \end{aligned}$$

S 闭合时电路如图 1-5(c) 所示,

$$\begin{aligned} I_1 &= I_5 = 1 \text{ A}, \quad I_2 = 0, \\ I_3 &= \frac{E_1}{R_2 + R_3} = \frac{60}{5 + 15} = 3 \text{ A} \\ V_a &= R_1 I_1 + R_4 I_1 + E_2 = 10 \times 1 + 20 \times 1 + 10 = 40 \text{ V} \\ V_b &= R_4 I_1 + E_2 = 20 \times 1 + 10 = 30 \text{ V} \\ V_c &= E_1 - R_3 I_3 + R_4 I_1 + E_2 = 60 - 15 \times 3 + 20 \times 1 + 10 = 45 \text{ V} \\ V_d &= V_b = 30 \text{ V} \\ V_e &= E_2 = 10 \text{ V} \\ U_{ac} &= V_a - V_e = 40 - 10 = 30 \text{ V} \end{aligned}$$