

电工技术(电工学 I)

理论纲要与典型题精解

王居荣 主编

- 涵盖课程全部基础
- 157道典型题精解导学
- 迅速提高解题能力
- 备考应试的最佳参考书
- 自学省时高效的理想辅助教材
- 教师必备的教学经典

哈尔滨工业大学出版社

电工技术(电工学 I)
理论纲要与典型题精解

王居荣 主编

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书以教育部颁发的“高等工业学校电工技术(电工学I)课程教学基本要求”为依据,全面涵盖国内统编教材和高等学校优秀教材的基础内容并与之同步;以章为单位,总结、精炼电工技术的理论纲要,选定各类典型题目并给出精确解答和要点提示;可以帮助学生更好地掌握电工技术的基本原理,迅速提高解题能力,并能激发学生的解题潜能,有力地保证课程学习时开卷有益,更能保证备考应试达到一个新的高度。

本书是高等学校本科非电类各专业学生学习电工学的辅导教材和考研应试的参考书,还可供相关教师和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术(电工学 I)理论纲要与典型题精解/王居荣主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2005.3

ISBN 7-5603-2015-5

I.电… II.王… III.①电工技术-高等学校-教学参考资料②电工学-高等学校-教学参考资料
IV.TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 027027 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

印 刷 肇东粮食印刷厂

开 本 787×1092 1/32 印张 8.25 字数 184 千字

版 次 2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5603-2015-5/TM·40

印 数 1~4 000

定 价 14.00 元

前 言

本书是为广大学生和相关教师编写的,我们将共同探索如何把课程教得更好、学得更好。正是源源不断的广大学生才使得教育工作更加引人入胜,更加富有意义和更加绩效卓著。

本书以教育部颁发的“高等工业学校电工技术(电工学Ⅰ)课程教学基本要求”为依据,全面涵盖国内统编教材和高等学校优秀教材的基础内容并与之同步。本书共分十一章,以章为单位,总结、精炼电工技术的理论纲要,简明扼要地概述应掌握的知识要点,以使读者在有限时间内掌握大纲规定的基本内容。选定各种类型典型题目 157 道,给出精确解答和要点提示。典型题全而不滥,精而易懂,解析概念清晰、步骤鲜明,提要启示解题技巧;题目选择符合考试规律,各题着重涉及不同的关键知识,便于学生循序渐进地学习,帮助学生更好地掌握和运用电工技术的基本原理,迅速提高解题能力,以期达到举一反三、融会贯通的境界。本书能够保证课程学习时开卷有益和备考应试达到一个新的高度。

本书第一章、第十章、第十一章由杜志伟编写;第

二章由王健心编写;第三章、第五章、第九章由夏宇编写;第四章、第六章、第八章由王居荣编写;第七章由尹力编写。王居荣担任主编,王瑛、杨国建担任主审。

由于编者水平有限,疏漏之处仍恐难免,恳请读者批评指正。

编 者

2005年1月

目 录

第一章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 理论纲要	1
1.2 典型题精解	5
第二章 电路的分析方法	25
2.1 理论纲要	25
2.2 典型题精解	28
第三章 正弦交流电路	56
3.1 理论纲要	56
3.2 典型题精解	61
第四章 三相电路	87
4.1 理论纲要	87
4.2 典型题精解	90
第五章 非正弦周期电流电路	113
5.1 理论纲要	113
5.2 典型题精解	114
第六章 电路的暂态分析	130
6.1 理论纲要	130
6.2 典型题精解	132

第七章 磁路与铁心线圈电路	172
7.1 理论纲要	172
7.2 典型题精解	175
第八章 异步电动机	188
8.1 理论纲要	188
8.2 典型题精解	191
第九章 直流电机	200
9.1 理论纲要	200
9.2 典型题精解	202
第十章 继电接触器控制系统	215
10.1 理论纲要	215
10.2 典型题精解	216
第十一章 可编程控制器及其应用	235
11.1 理论纲要	235
11.2 典型题精解	241

第一章 电路的基本概念和基本定律

1.1 理论纲要

本章是电工学全课程的基础,应该深入理解,熟练掌握。

1. 电压、电流的参考方向

电压、电流都有规定的方向,称为实际方向或真实方向。当应用基尔霍夫定律求解电路中未知的电压、电流时,可选定一个方向作为电压、电流的参考方向,以便决定公式中各项的正、负号。当选定的参考方向与实际方向一致时,计算结果数值为正;若计算结果数值为负,说明选定的参考方向与实际方向相反。

当一条支路或一个元件选定的电压、电流参考方向一致时,称为关联参考方向,表明电场力做正功,消耗电能,是电路中的负载;当电压方向与电流方向相反时,表明电场力做负功,发出电能,是电路中的电源。

当选定关联参考方向后,一段电路的功率

$$P = UI$$

当一段电路的电压、电流选定为非关联参考方向时,这段电路的功率

$$P = -UI$$

2. 电路元件

(1) 电阻元件

电阻元件的电压、电流和电阻间遵循欧姆定律的约束,在关联参考方向时

$$U = IR$$

电阻是耗能元件,电阻消耗的电功率

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \text{ W}$$

(2) 电容元件

电容元件是储能元件,它不消耗能量,只与电源交换能量。电容极板上储存的电荷为 Q 库伦(C),极板间电压为 U 伏时,定义电容的容量 $C = \frac{Q}{U}$ 法拉(F)。如取关联参考方向,电容电流与两端电压的关系为

$$i_C = C \frac{du_C}{dt} \quad \text{或} \quad u_C = u_C(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i_C dt$$

式中, $u_C(0)$ 为电容的初始电压。

电容的功率

$$P_C = u_C i_C \text{ W}$$

电容储存的电场能量

$$W_C = \frac{1}{2} C u_C^2 \text{ J}$$

(3) 电感元件

电感是储能元件,电感也不消耗能量。取关联参考方向时,电感两端电压 u_L 与电感电流 i_L 的关系为

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} \quad \text{或} \quad i_L = i_L(0) + \frac{1}{L} \int_0^t u_L dt$$

式中, $i_L(0)$ 为电感的初始电流。

电感的功率

$$P_L = u_L i_L \text{ W}$$

电感存储的磁场能量

$$W_L = \frac{1}{2} Li_L^2 \text{ J}$$

(4) 独立源

独立源是能独立地为电路提供电压、电流或电信号的激励源。独立源有两种不同的等效电路。

① 电压源 把电动势 E 与内电阻 R_0 串联组成的电源模型称为电压源。当内电阻 $R_0 = 0$ 时,电压源就变成了恒压源(理想电压源)。恒压源的端电压 U_S 是恒定值或者为固定的时间函数,与其电流大小、方向无关,电流的大小和方向取决于外电路。

② 电流源 电流源 I_S 与内电阻 R_0 并联组成的电源模型称为电流源。当内电阻 $R_0 = \infty$ 时,电流源就变成了恒流源(理想电流源)。恒流源输出的电流 I_S 是恒定值或是固定的时间函数,与其端电压无关,端电压的大小和方向由外电路决定。

(5) 受控源

受控源在电路中起电源作用,相当于恒压源或恒流源。但其恒压源的电压或恒流源的电流不是独立的,是受电路另一处的电压或电流控制,因此受控源是非独立电源,简称受控源。按控制量不同,受控源可分为四种类型:

电压控制电压源(VCVS): $u = \mu u_1$

电压控制电流源(VCCS): $i = g u_1$

电流控制电压源(CCVS): $u = r i_1$

电流控制电流源(CCCS): $i = \beta i_1$

式中, u_1, i_1 为控制量; u, i 为受控量; μ, g, r, β 为控制系数, 为常数。所以受控源是线性元件。

3. 基尔霍夫定律

(1) 基尔霍夫电流定律(KCL)

KCL 阐明一个节点上各支路电流应该遵循的约束关系, 而与电路中各元件的性质无关。

任一瞬间, 流入某节点的电流 $I_{\text{入}}$ 之和等于从该节点流出电流 $I_{\text{出}}$ 之和。用公式表示为

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$$

可以将这个节点推广到包围一部分电路的任意封闭面, 称其为广义节点。

(2) 基尔霍夫电压定律(KVL)

KVL 阐明任一回路中, 各部分电压应该遵循的约束关系。

在任一瞬间, 沿任一回路绕行一周, 各部分电位升之和等于电位降之和。用公式表示为

$$\sum U_{\text{升}} = \sum U_{\text{降}}$$

可以将这个回路推广到假想的闭合回路, 称其为广义回路。

4. 电位的计算

在求解电路中某点电位时, 必须首先选定电位为零的参考点。某点电位就是该点到参考点的电压。显然, 电位的大小与参考点选择紧密相关, 但电路中两点间的电位差——电压, 却与参考点的选择无关。

1.2 典型题精解

【1-1题】 在图1-1所示电路中,已知 $I_2 = 1\text{ A}$, $I_7 = 3\text{ A}$, $U_{13} = -8\text{ V}$, $U_{24} = 5\text{ V}$, $U_{34} = 2\text{ V}$,求支路1所吸收的功率。

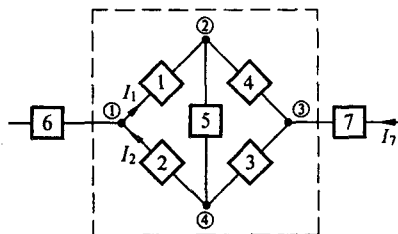


图 1-1 1-1题电路图

解 (1) 取图中虚线所示广义节点,由 KCL 得

$$I_1 = I_2 - I_7 = 1 - 3 = -2\text{ A}$$

(2) 取 ①③④① 广义回路,由 KVL 得

$$U_{14} = U_{13} + U_{34} = -8 + 2 = -6\text{ V}$$

(3) 取 ①②④① 回路,由 KVL 得

$$U_{12} = U_{14} - U_{24} = -6 - 5 = -11\text{ V}$$

(4) 支路1所吸收的功率

$$P_1 = U_{12} I_1 = -11 \times (-2) = 22\text{ W}$$

☞ 提要 要熟练掌握基尔霍夫定律在广义节点和广义回路上的应用。

【1-2题】 电路如图1-2所示。已知 $U_{S1} = 10\text{ V}$, $U_{S2} = 20\text{ V}$, $U_{S3} = 30\text{ V}$, $R_1 = R_4 = 5\ \Omega$, $R_2 = R_3 = 10\ \Omega$,求 I_x 和

U_{ab} 。

解 (1) 应用 KCL 求电流 I_x 。

对节点 ① 应用 KCL, 有

$$I_1 = -1 - 1 = -2 \text{ A}$$

对节点 ② 应用 KCL, 有

$$I_2 = I_1 + 3 = -2 + 3 = 1 \text{ A}$$

对节点 ③ 应用 KCL, 有

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

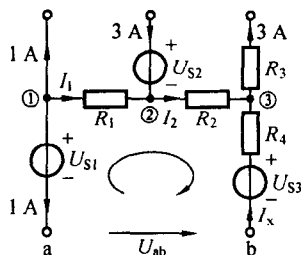


图 1-2 1-2 题电路图

(2) 对 a ①②③ ba 回路应用 KVL, 有

$$U_{ab} = -U_{S1} + I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_x R_4 + U_{S3} =$$

$$-10 + (-2) \times 5 + 1 \times 10 - 2 \times 5 + 30 = 10 \text{ V}$$

☞ 提要 如果选一个广义节点, 将节点 ①、②、③ 都包含在内, 则流入此节点电流 ($I_x = -3 + 3 + 1 + 1 = 2 \text{ A}$) 就可以直接求出。

【1-3题】 如图 1-3 电路, 已知 $I_{S1} = 0.5 \text{ A}$, $I_{S2} = 0.2 \text{ A}$, $R = 20 \Omega$, I_{S1} 在 20 s 内吸收 100 J 电能。求元件 A 的电流 I_A 及它产生的功率 P_A , 并判断该元件为何种元件。

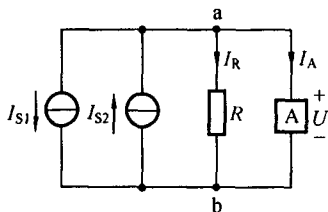


图 1-3 1-3 题电路图

解 (1) 求恒流源 I_{S1} 的功率和端电压 U

$$P_{I_{S1}} = \frac{W}{t} = \frac{100}{20} = 5 \text{ W}$$

则

$$U = \frac{P_{I_S}}{I_{S1}} = \frac{5}{0.5} = 10 \text{ V}$$

(2) 由欧姆定律可求电阻电流

$$I_R = \frac{U}{R} = \frac{10}{20} = 0.5 \text{ A}$$

(3) 对节点 a 应用 KCL, 得

$$I_{S2} - I_{S1} - I_R - I_A = 0$$

$$I_A = 0.2 - 0.5 - 0.5 = -0.8 \text{ A}$$

(4) 元件 A 的功率及类型

$$P_A = UI_A = 10 \times (-0.8) = -8 \text{ W}$$

元件 A 的功率小于零, 说明元件 A 发出功率, 是电源元件。

☞ 提要 元件功率为正值, 表示元件吸收电功率, 是负载; 元件功率为负值, 表示元件产生功率, 是电源。

【1-4题】 求图 1-4 所示电路的开路电压 U_{af} 。

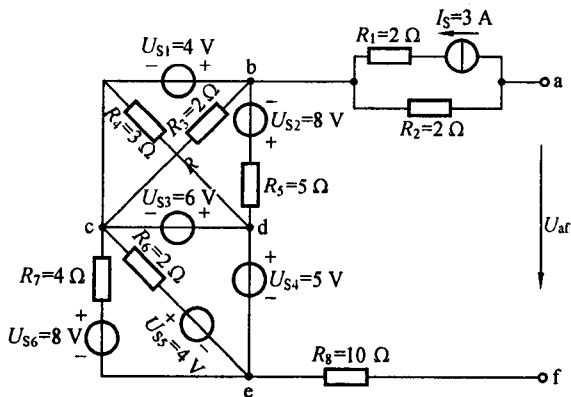


图 1-4 1-4 题电路图

解 选一个未知条件最少的回路,将开路电压 U_{af} 包含在内,应用 KVL 就可以使计算简化。因此选 abcdefa 回路。根据题意, U_{af} 为开路电压,所以 ab 段、ef 段电路无电流,因此

$$U_{ab} = -I_S \cdot R_2 = -3 \times 2 = -6 \text{ V}$$

$$U_{ef} = 0$$

对 abcdefa 回路应用 KVL,得

$$\begin{aligned} U_{af} &= U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} + U_{de} + U_{ef} = \\ &= -6 + 4 - 6 + 5 + 0 = -3 \text{ V} \end{aligned}$$

☞ 提要 (1) 用 KVL 求解电路两点间电压时,要精心选择回路,可使计算趋于简便。

(2) 凡是与恒压源并联的电阻或恒流源,对外电路不起作用,可以去掉。

(3) 凡是与恒流源串联的电阻或恒压源,对外电路不起作用,可以去掉。本题与恒流源 I_S 串联的电阻 R_1 就不起作用,计算时不予考虑。

【1-5题】 电路如图 1-5 所示,求两个独立源各自发出的功率。

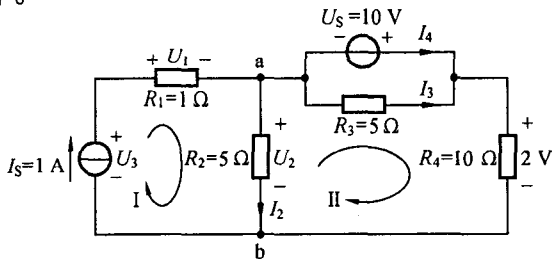


图 1-5 1-5 题电路图

解 (1) 由回路 II 可知

$$U_2 = -U_S + U_{R4} = -10 + 2 = -8 \text{ V}$$

(2) 由回路 I 可知

$$U_3 = U_1 + U_2 = 1 \times 1 - 8 = -7 \text{ V}$$

(3) 对节点 a 应用 KCL, 得

$$I_3 + I_4 + I_2 = I_S$$

式中
$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{-8}{5} \text{ A}$$

$$I_3 = -\frac{U_3}{R_3} = \frac{-10}{5} = -2 \text{ A}$$

所以
$$I_4 = I_S - I_2 - I_3 = 1 + \frac{8}{5} + 2 = 4.6 \text{ A}$$

(4) 恒流源 I_S 发出的功率

$$P_{I_S} = -U_3 I_S = (-1) \times (-7) = 7 \text{ W}$$

恒流源 I_S 吸收 7 W 功率, 是负载。

恒压源 U_S 发出的功率

$$P_{U_S} = -U_S I_4 = -10 \times 4.6 = -46 \text{ W}$$

恒压源 U_S 发出功率 46 W, 是电源。

☞ 提要 (1) 计算功率时, 如果电压、电流是关联参考方向, 则 $P = UI$; 如果电压、电流是非关联参考方向, 则 $P = -UI$ 。

(2) 与恒压源并联的电阻或恒流源, 只影响恒压源的电流和功率; 与恒流源串联的电阻或恒压源, 也只影响恒流源的电压和功率。恒压源的电压和恒流源的电流是不变的。

【1-6题】 如图 1-6 电路, 已知 $U_{S1} = 6 \text{ V}$, $U_{S2} = 10 \text{ V}$,

$U_{S3} = 15 \text{ V}$, $I_{S1} = 5 \text{ A}$,
 $I_{S2} = 10 \text{ A}$ 。(1) 若 $R = 5 \Omega$, 求 U_{S1} 、 I_{S2} 两电源产生的功率 $P_{U_{S1}}$ 、 $P_{I_{S2}}$; (2) 若 $R = 0 \Omega$, 求 $P_{U_{S1}}$ 、 $P_{I_{S2}}$ 如何变化?

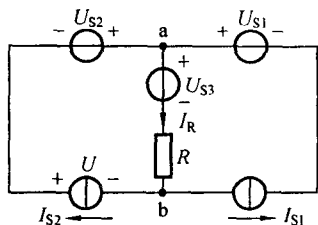


图 1-6 1-6 题电路图

解 (1) 恒压源 U_{S1} 的电流为恒流源电流 I_{S1} , 因此其功率

$$P_{U_{S1}} = U_{S1} \cdot I_{S1} = -6 \times 5 = -30 \text{ W}$$

(2) 对节点 b 应用 KCL, 得

$$I_R = I_{S1} + I_{S2} = 5 + 10 = 15 \text{ A}$$

(3) 对左网孔应用 KVL, 可得恒流源 I_{S2} 两端电压

$$U = -U_{S2} + U_{S3} + I_R \cdot R = -10 + 15 + 15 \times 5 = 80 \text{ V}$$

所以恒流源 I_{S2} 的功率

$$P_{I_{S2}} = -U \cdot I_{S2} = -80 \times 10 = -800 \text{ W}$$

(4) 若 $R = 0$, 对恒压源 U_{S1} 的电流无影响。所以, $P_{U_{S1}} = -30 \text{ W}$ 不变, 但恒流源 I_{S2} 两端电压变为

$$U = -U_{S2} + U_{S3} = -10 + 15 = 5 \text{ V}$$

显然, 恒流源 I_{S2} 的功率也要随之变为

$$P_{I_{S2}} = -U \cdot I_{S2} = -5 \times 10 = -50 \text{ W}$$

提要 (1) 恒压源与恒流源串联, 因恒压源的电压和它的电流都不变化, 所以恒压源的功率不会改变。

(2) 恒流源的电流虽然不会改变, 但其两端电压由外电路决定, 当外电路变化时, 会影响其两端电压, 因而恒流源功率要随外电路的变化而改变。