

//
面向21世纪课程辅导教材

电工学·电工技术

(第五版)

全程辅导 上册

精教·精学·精练

尹宝岩 主编

- ▲ 知识点窍
- ▲ 逻辑推理
- ▲ 解题过程新突破

中国建材工业出版社

电工学·电工技术

(第五版)

全程辅导(上册)

精教·精学·精练

尹宝岩 主编

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工学·电工技术(第五版)全程辅导(上册)/尹宝岩主编.-北京:中国建材工业出版社,2003.8

ISBN 7-80159-495-9

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 064348 号

【内容简介】 本书是高等学校电工学课程的教学辅导书。全书由重点内容提要、经典例题分析、练习与思考题解答、课后习题全解等部分组成,旨在帮助读者掌握课程内容的重点、难点和疑点,提高分析能力,解题能力。本书可供使用由高等教育出版社出版的《电工学(上册)电工技术》(第五版)的教师和学生参考。

出版发行:中国建材工业出版社

地 址:北京市海淀区三里河路 11 号

邮 编:100831

经 销:全国各地新华书店

印 刷:保定新世纪印刷厂

开 本:850mm×1168mm 1/32

印 张:13.75

字 数:440 千字

版 次:2003 年 8 月第 1 版

印 次:2003 年 8 月第 1 版

印 数:1~10000 册

书 号:ISBN 7-80159-495-9/TM·000

定 价:26.80 元(本册 14.00 元)

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换,联系电话:(010)68345931

前 言

本书是为了配合秦曾煌先生主编的面向 21 世纪课程教材《电工学(上册)电工技术》(第五版)而编写的。其内容包括:“重点内容提要、经典例题分析、练习与思考题解答、课后习题全解”四个部分。该书从分析习题的电路模型、条件与结论之间的关系入手,建立清晰的电路脉络,理清解题思路,使学生能够掌握分析方法和解题方法,并能在解题过程中灵活运用。

本书的主要特点有:

1. **知识点窍:**运用公式、定理及定义来点明知识点。
2. **逻辑推理:**阐述习题解题过程的精髓。
3. **解题过程:**概念清晰、步骤完整、数据准确、附图齐全。

“知识点窍”和“逻辑推理”是本书的精华所在,把“知识点窍”——“逻辑推理”——“解题过程”串起来,做到融会贯通,巩固所学,达到举一反三的效果。这种方法是由多位著名教授根据对学生答题弱点的分析而研究出来的一种新型拓展思路的解题方法。“知识点窍”提纲挈领地抓住了题目核心知识,让学生清楚地了解出题者的意图,而“逻辑推理”则注重引导学生思维,旨在培养学生科学的思维方法,掌握答题的思维技巧。

由于编者水平有限及编写时间仓促,不妥之处在所难免,希望广大读者不吝批评、指正。

编者

2003 年 8 月

目 录

第一章	电路的基本概念与基本定律	(1)
第二章	电路的分析方法	(40)
第三章	正弦交流电路	(115)
第四章	三相电路	(194)
第五章	非正弦周期电流的电路	(223)
第六章	电路的暂态分析	(242)
第七章	磁路与铁心线圈电路	(290)
第八章	交流电动机	(320)
第九章	直流电动机	(345)
第十章	控制电机	(363)
第十一章	继电器接触器控制系统	(370)
第十二章	可编程控制器及其应用	(389)
第十三章	工业企业供电与安全用电	(418)
第十四章	电工测量	(421)

第一章 电路的基本概念与基本定律

1.1 重点内容提要

本章是电工技术全课程的基础,应深入理解,熟练掌握。

1.1.1 电路的基本概念

1. 电路及其组成

- (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:实现电能的传输和转换。

2. 电路的基本物理量

(1) 电流:表示电荷移动的物理量,方向为正电荷移动的方向,
单位:A, mA, μ A

恒定电流(直流): $I = \frac{Q}{t}$,大小及方向不变。

交变电流(交流): $i = \frac{dq}{dt}$,大小及方向均随时间变化。

(2) 电位:电场力将单位正电荷由电场中某点移动到“无限远”处所做的功,称为该点的电位。做正功电位为正。

(3) 电压 U :电场中两点间电位之差或电场力移动单位正电荷由一点到另一点所作的功。

总状态量,高电位“+”,低电位“-”。

电压符号: U (直流)或 u (交流)。

单位:V, mV, kV。

方向或极性:由高电位向低电位“+”→“-”。

(4) 电动势 E 或源电压 U_s :外力移动单位正电荷由低电位点移动高电位所作的功。方向与实际方向相反(低电位指向高电位)。

(5) 功率 P :单位时间所做的功。

单位:J/S, W, kW, MW, mW。

(6) 正方向:电流、电压均有规定的方向,称为实际方向。当电路中电流、电压为未知数时可选定一个方向为“正方向”。当选定的正方向与实际方向一致,计算结果数值为正,否则为负。

3. 电路的模型

由理想元件组成的电路。各元件及其性质如表解 1.1 所示。

(1) 电源元件:电压源(U_s, R_0), 电流源(I_s, R_0), 受控电源。

(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 。

(3) 中间环节:开关(只有通、断两种状态), 电压表($R_V = \infty$), 电流表($R_A = 0$), 等等。

表解 1.1

元件 性质	电阻 R	电感 L	电容 C
电路符号			
参数意义	$R = \frac{U_R}{i_R}$ $= \rho \frac{l}{S} (\Omega)$	$L = \frac{N\phi}{i_L}$ $= \frac{\mu SN^2}{l} (\text{H})$	$C = \frac{Q}{U_C}$ $= \frac{\epsilon S}{d} (\text{F})$
电流— 电压关系式	$U_R = i_R R$	$U_L = L \frac{di_L}{dt}$	$i_C = C \frac{dU_C}{dt}$
能量关系	消耗电能 $W = U_R \cdot i_R t$	储存磁场能 $W = \frac{1}{2} Li_L^2$	储存电场能 $W = \frac{1}{2} CU_C^2$
直流稳态下 的物点	欧姆定律	短路	开路

4. 电路的工作状态

如表解 1.2 所示。

表解 1.2

工作状态	有载状态	空载(开路)	短路
电路图			
负载电阻	R_L	∞	0
电流	$I_L = \frac{U_s}{R_0 + R_L}$	$I_L = 0$	$I_s = \frac{U_s}{R_0}$ 很大, $I_L = 0$
电源输出功率	$P_s = U_s I_L$	$P_s = 0$	$P_s = U_s I_s$ 很大
负载消耗功率	$P_L = UI_L = I_L^2 R_L = U^2 / R_L$	$P_L = 0$	$P_L = 0$
电源端电压	$U = U_s - I_L R_0$	$U_0 = U_s$	$U = 0$
电源内阻上功耗	$P_{R_0} = I_L^2 R_0$	$P_{R_0} = 0$	$P_{R_0} = I_s^2 R_0$ 很大
平衡关系	$P_s = P_L + P_{R_0}$	$P_s = P_L + P_{R_0} = 0$	$P_s = P_{R_0}$ 烧坏电源

1.1.2 电路的基本定律

1. 欧姆定律:

定律:电阻上的电流与电压成正比。 $\pm \frac{U}{I} = R$, U, I 的参考方向决定

“+”，“-”，一致时为“+”。

推广：全电路欧姆定律：

$$I = \frac{\varepsilon}{R_0 + R_{\text{外}}}, R_0 \text{ 为电源内阻, } R_{\text{外}} \text{ 为总的外阻, } \varepsilon \text{ 是电动势。}$$

2. 基尔霍夫电流定律

(1) 概念：支路，结点。

(2) 定律：流入结点的电流之和等于流出结点的电流之和。

$$\text{即 } \sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}, \text{ 或 } \sum I = 0.$$

(3) 广义结点电流定律：对于一个封闭曲面包围的部分电路而言，流入电流之和等于流出电流之和。

3. 基尔霍夫电压定律

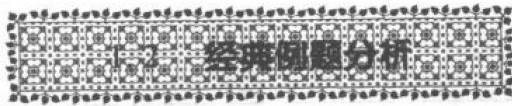
(1) 概念：回路及其循行方向。

(2) 定律：沿闭合回路循行一周，电位升之和等于电位降之和。

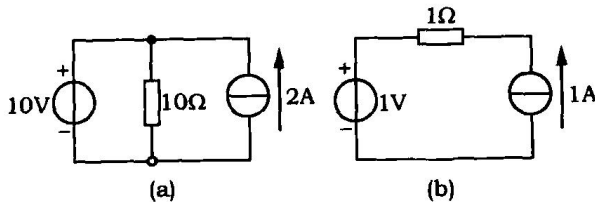
$$\text{即 } \sum E = \sum (IR).$$

(3) 符号：参考方向与循行方向一致的电动势取正，反之取负；参考方向与循行方向一致的电流在电阻上产生的电压降取正，反之取负。

若电动势 E 用源电压 U_s 表示，则可写成 $\sum U = 0$ 。此时凡源电压参考方向与循行方向一致者取负号，而相反者则取正号。



1.2.1 试分别求图解 1.1 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。



图解 1.1

知识点窍:电压、电流关联

逻辑推理:判断负载还是电源,可以由电压、电流方向是否关联,即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,反之为电源。

解 (a) 2A 电源中,电压方向与电流方向不关联,故为电源。

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

由 KCL 定律,10V 电压源中,电流为 $I_V = I_S - I_R = 2 - 1 = 1\text{A}$,且方向向下,故电压、电流关联,为负载,或者,由功率法,2A 电流源功率:

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

$R = 10\Omega$ 消耗功率:

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

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、电流方向关联,故为负载

因此,1A 电流源为电源

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

1A 电流源上功率: $P_A = -(P_V + P_R) = -2\text{W} < 0$ 为电源.

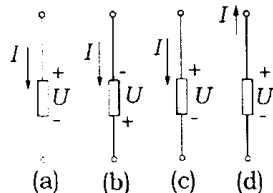
1.2.2 指出图解 1.2 中哪些是电源,哪些是电阻。

(a) $I = 1\text{A}, U = -1\text{V}$

(b) $I = 1\text{A}, U = -1\text{V}$

(c) $I = 1\text{A}, U = 1\text{V}$

(d) $I = 1\text{A}, U = 1\text{V}$



图解 1.2

知识点窍:电压、电流关联

逻辑推理:判断负载还是电源,可以由电压、电流方向是否关联,即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,反之为电源。

解

(a) $I = 1\text{A}$, 方向向下, $U = -1\text{V}$, 参考方向向下, 故实际方向向上, 因此 U, I 方向不关联, 为电源

或者 $P = UI = 1 \times (-1) = -1\text{W} < 0$, 是电源.

(b) $U = -1\text{V}$ 且参考方向向下, 故实际方向向下, 又因为 $I = 2\text{A}$ 方向向下, 因此 U, I 实际方向相关联, 为负载

或者 $P = UI = 1 \times 1 = 1\text{W} > 0$ 是负载。

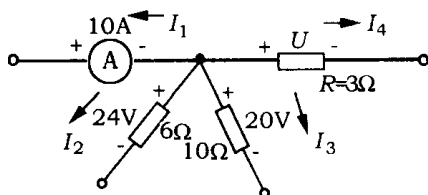
(c) U, I 的实际方向一致, 故为关联。为负载

或者 $P = UI = 1 \times 1 = 1\text{W} > 0$ 为负载。

(d) U, I 实际方向不关联, 为电源

或者 $P = UI = -1 \times 1 = -1\text{W} < 0$ 为电源.

1.2.3 图解 1.3 中, 安培表示数为 10A , 求电压 U 。



图解 1.3

知识点窍: KCL 定律

逻辑推理: 先求各支路电流, 由 KCL 定律求出, 未知支路的电流, 然后求出电压。

解 各支路上的参考方向如图,

6Ω 电阻上电流:

$$I_2 = \frac{24}{6} = 4\text{A}$$

10Ω 电阻上电流:

$$I_3 = \frac{20}{10} = 2\text{A}$$

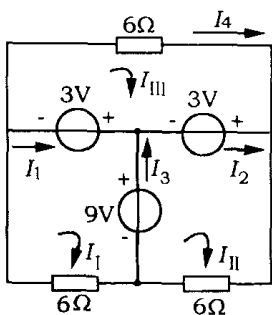
10A 电流源中电流:

$$I_1 = 10\text{A}$$

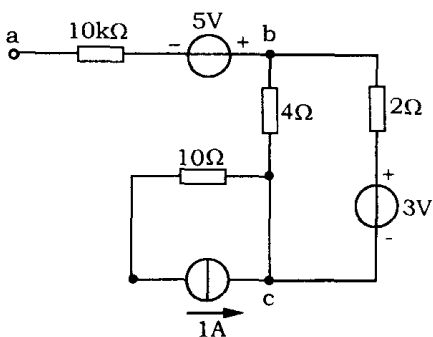
由 KCL 定律 $I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$, 则 $I_4 = -(I_1 + I_2 + I_3) = -16\text{A}$

于是, 由欧姆定律 $U = I_4 R = 16 \times 3 = 48\text{V}$

1.2.4 求图解 1.4 中电路的电流 I_1, I_2, I_3 和 I_4 。



图解 1.4



图解 1.5

知识点窍:网孔电流法

逻辑推理:由于三个网孔的存在,可以列出三个方程并利用 *KCL* 定律求解。

$$\text{解} \quad \begin{cases} I_{\text{I}} \times 6 = 3 - 9 = -6 \\ I_{\text{II}} \times 6 = 3 + 9 = 12 \\ I_{\text{III}} \times 6 = -3 - 3 = -6 \end{cases}$$

故 $I_{\text{I}} = -1\text{A}, I_{\text{II}} = 2\text{A}, I_{\text{III}} = -1\text{A}$

由 *KCL* 定律

$$I_4 = I_{\text{III}} = -1\text{A}$$

$$I_1 = I_{\text{I}} - I_4 = -1 + 1 = 0\text{A}$$

$$I_2 = I_{\text{II}} - I_4 = 2 + 1 = 3\text{A}$$

$$I_3 = I_2 - I_1 = 3\text{A}$$

1.2.5 图解 1.5 所示是一个部分电路, a 点悬空, 求 a, b, c 各点的电位。

知识点窍:*KVL* 定律

逻辑推理:用 *KVL* 定律, 逐点求电压

解 1A 电流源和 10Ω 电阻组成回路, 故

$$u_c = 1\text{A} \times 10\Omega = 10\text{V} \text{ (欧姆定律)}$$

bc 之间二条支路组逻辑推理成回路, 因此

$$u_{bc} = \frac{4}{4+2} \times 3 = \frac{2}{3} \times 3 = 2\text{V} \text{ (分压公式)}$$

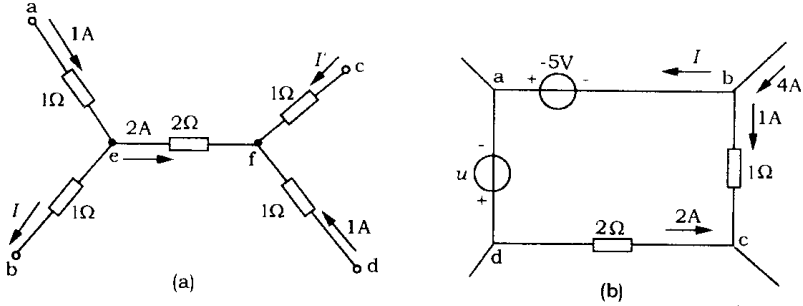
故 $u_b = u_{bc} + u_c = 12\text{V} \text{ (KVL 定律)}$

ab 间仅一支路故无回路

则 $u_{ab} = -5V$, 则 $u_a = u_{ab} + u_b = -5 + 12 = 7V$ (KVL 定律)

1.2.6 如图解 1.6 所示, 求 (a) $U_{cb}, U_{cf}, U_{eb}, U_{bc}$

(b) $U, -5V$ 电压源功率。



图解 1.6

知识点窍: KCL 定律

逻辑推理: 先求各支路电流, 由 KCL 定律求出, 未知支路的电流, 然后求出电压。

解 (a) 对 e 点由 KCL 定律:

$$I = -(2A - 1A) = -1A$$

对 f 点, 则 $I' = -(2A + 1A) = -3A$

由欧姆定律: $u_{cf} = I' \times 1 = -3V$

$$u_{fe} = -2 \times 2 = -4V$$

$$u_{eb} = -1 \times i = -1V$$

$$u_{df} = 1 \times 1 = 1V$$

$$u_{ae} = 1 \times 1 = 1V$$

于是 $u_{cb} = u_{cf} + u_{fe} + u_{eb} = -3 - 4 - 1 = -8V$

$$u_{cf} = -3V$$

$$u_{eb} = -1V$$

$$u_{bc} = -u_{cb} = 8V$$

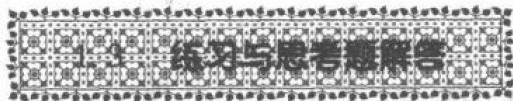
(b) 对 b 点, 由 KCL 定律: $I = 4 - 1 = 3A$

由 KVL 定律:

$$\begin{aligned} u &= u_{ad} = u_{ab} + u_{bc} + u_{cd} \\ &= -5 + 1 \times 1 - 2 \times 2 \\ &= -5 + 1 - 4 \end{aligned}$$

$$= -8V$$

-5V 电压源功率: $P = UI = +5 \times 3 = +15W > 0$ 负载。



1.3.1 在图 1.3.3(a) 中, $U_{ab} = -5V$, 试问 a, b 两点哪点电位高?

解 U_{ab} 是指 a, b 两点间电压的参考方向为 a“+”, b“-”。但题中给出 $U_{ab} = -5V < 0$, 即 a, b 两点间电压的实际方向是 a 点“-”, b 点“+”。即 b 点电位高, a 点电位低。

1.3.2 在图 1.3.3(b) 中, $U_1 = -6V, U_2 = 4V$, 试问 U_{ab} 等于多少伏?

解 按图中给定的参考方向计算有

$$U_{ab} = U_1 - U_2 = -6 - 4 = -10V$$

1.3.3 U_{ab} 是否表示 a 端的电位高于 b 端的电位?

知识点窍: 参考电压与实际电压。

逻辑推理: 本题目的是分辨参考电压与实际电压方向的区别。

解 U_{ab} 只表示 a 端电位参考极性高于 b 端电位参考极性。实际两点电位哪点高, 要看是 $U_{ab} > 0$, 还是 $U_{ab} < 0$ 。若 $U_{ab} > 0$, 则 a 端电位高于 b 端电位。反之亦然。

1.4.1 $2k\Omega$ 的电阻中通过 $2mA$ 的电流, 试问电阻两端的电压是多少?

知识点窍: 欧姆定律, KVL 定律。

逻辑推理: 本题目的是学习和掌握欧姆定律 $U = \pm IR$ 。

解 根据欧姆定律, $R = 2k\Omega, I = 2mA$, 则电阻两端电压为

$$U = IR = 2 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^3 = 4V$$

电压方向与电流方向一致, 如图解 1.7。

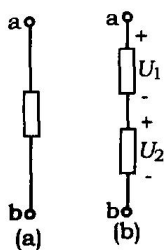
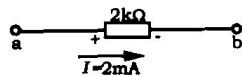


图 1.3.3



图解 1.7

1.4.2 计算图 1.4.5 中的两题。

知识点窍: 欧姆定律, 基尔霍夫电压定律。

逻辑推理: (a) 中, U_{ab} 和 I 的方向一致, 为电阻上电压的参考方向和实际方向相反, 所以欧姆定律中, $U = +IR$ 。

(b) 中, U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} 的参考方向为 $a \rightarrow b, b \rightarrow c, c \rightarrow a$ 。

节点 d 为公共节点。

解 (a) 根据欧姆定律

$$I = \frac{U_{ab}}{R} = \frac{-6}{3 \times 10^3} = -2\text{mA}$$

表明电流参考方向与实际方向相反。

(b) 根据欧姆定律及基尔霍夫电压定律(见本章 1.1.2 节)有

$$\begin{aligned} U_{ab} &= I_1 \times 5 + I_2 \times 5 \\ &= 2 \times 5 + (-1) \times 5 \\ &= 5\text{V} \\ U_{bc} &= -I_2 \times 5 - I_3 \times 5 \\ &= -(-1) \times 5 - (-3) \times 5 \\ &= 20\text{V} \\ U_{ca} &= I_3 \times 5 - I_2 \times 5 \\ &= -3 \times 5 - 2 \times 5 \\ &= -25\text{V} \end{aligned}$$

1.4.3 试计算图 1.4.6 所示电路在开关 S 闭合与断开两种情况下的电压 U_{ab} 和 U_{cd} 。

知识点窍: 欧姆定律, KVL 定律。

逻辑推理: 当 S 闭合时, 0.5Ω 和 5.5Ω 电阻串联成总电阻。可以由欧姆定律或全电路欧姆定律 $\varepsilon = I(R + r_0)$ 得到 I 。

然后再利用欧姆定律 $U_{cd} = I \times R_{cd}$

由于 ab 短路, $U_{ab} = 0$ 。

断开时, 断路, 无电流 $I = 0, U_{cd} = I \times R_{cd} = 0, U_{ab} = \varepsilon = 6\text{V}$ 。

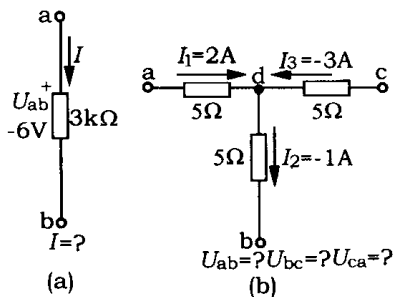


图 1.4.5

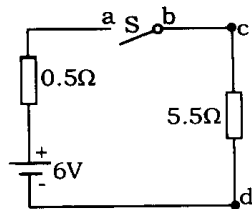


图 1.4.6

解 S 闭合时, $U_{ab} = 0$ 。

电路电流为

$$I = \frac{6}{0.5 + 5.5} = 1\text{A}$$

由 KVL 定律, 可得 $U_{cd} = 6 - 1 \times 0.5 = 5.5\text{V}$

S 断开时, 电路无电流, 有

$$U_{ab} = 6\text{V}, U_{cd} = 0$$

1.4.4 为了测量某直流电机励磁线圈的电阻 R , 采用了图 1.4.7 所示的“伏安法”。电压表读数为 220V , 电流表读数为 0.7A , 试求线圈的电阻。如果在实验时有人误将电流表当作电压表, 并联在电源上, 其后果如何? 已知电流表的量程为 1A , 内阻 R_0 为 0.4Ω 。

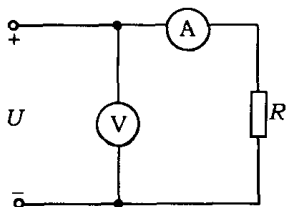


图 1.4.7

知识点窍: 伏安法测电阻, 电压表和电流表的性质。

逻辑推理: 由安培表与伏特表的特点, A 表内阻极小, 而 V 表内阻极大, 且理想状态下, 可以认为 $R_V = \infty$, $I_V = 0$, $R_A = 0$ 。

所以对电路无影响, 可用欧姆定律 $U = IR$, 得到 R , 当二表错置, 相当于短路, 将引起电源和 A 表损坏。

如图, 1.4.7 所示, 正确连接时,

$$\text{解 } R + R_0 = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.7} \approx 314.3\Omega$$

线圈电阻 $R = 314.3 - 0.4 = 313.9\Omega$

若将电流表并联在电源上, 则流过电流表的电流

$$I_A = \frac{220}{0.4} = 550\text{A} \gg 1\text{A}$$

电流表中游丝将立即被烧断, 电流表损坏。

1.5.1 在图 1.5.6 所示的电路中, (1) 试求开关 S 闭合前后电路中的电流 I_1, I_2, I 及电源的端电压 U ; 当 S 闭合时, I_1 是否被分去一些? (2) 如果电源的内阻 R_0 不能忽略不计, 则闭合 S 时, 60W 电灯中的电流是否有所变动? (3) 计算 60W 和 100W 电灯在 220V 电压下工作时的电阻, 哪个的电阻大? (4) 100W 的电灯每秒钟消耗多少电能? (5) 设电源的额定功率为 125kW , 端电压为 220V , 当只接上一个 $220\text{V}, 60\text{W}$ 的电灯时, 电灯会不会被烧毁? (6) 电

流流过电灯后,会不会减少一点?

(7) 如果由于接线不慎,100W 电灯的两线碰触(短路),当闭合 S 时,后果如何?100W 电灯的灯丝是否被烧断?

知识点窍: 欧姆定律, 功率公式

$$P = UI = \frac{I^2}{R}.$$

逻辑推理: S 闭合前, 等效图如右图 1.5.6.1, S 闭合后, 等效图如右图 1.5.6.2。

图 1.5.6.1, 根据 $P = UI = U^2/R$ 和欧姆定律 $U = IR$, 可以求得 R 和 I 。

图 1.5.6.2 中, 二电灯并联, 可先求出 $R_1, R_2, R_1 // R_2$, 求出 I_1, I_2 。

解

(1) 开关 S 闭合前: 由于 $R_0 \approx 0$, 所以电源端电压为 $U \approx E = 220V$ 。电灯获得额定电压 220V。

各灯电阻为

$$R_{60} = \frac{U_N^2}{P_N} = \frac{220^2}{60} \approx 807\Omega$$

$$R_{100} = \frac{U_N^2}{P_N} = \frac{220^2}{100} = 484\Omega$$

图 1.5.6.1 中, $I_2 = 0, I_1 = \frac{E}{R_{60}} = \frac{220}{807} = 0.273A$

图 1.5.6.2 中, $R_{60} // R_{100} = \frac{R_{60} \cdot R_{100}}{R_{60} + R_{100}} = \frac{1}{\frac{60}{220^2} + \frac{100}{220^2}} = \frac{220^2}{160}$

$$I = \frac{E}{R_{60} // R_{100}} = \frac{220}{\frac{220^2}{160}} \cdot 160 = \frac{160}{220} = 0.727A$$

$$I_1 = \frac{E}{R_{60}} \approx 0.273A$$

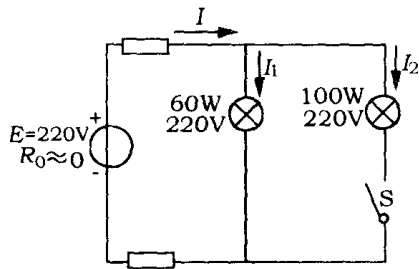


图 1.5.6

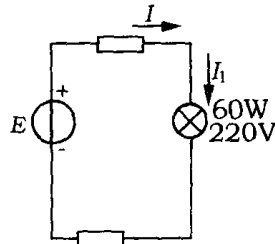


图 1.5.6.1

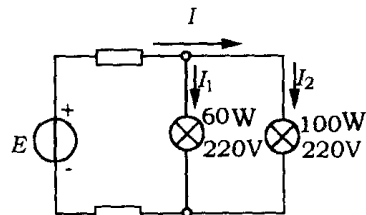


图 1.5.6.2