

高等学校教学参考书

电工学解题指导

惠风光 主编

高等教育出版社

本书分电路和磁路、电子技术、电机与自动控制三个部分,举例 110 个,用以阐述各种类型电工学题目的解题思路、分析方法和求解步骤。每章前的“提要”中介绍本章题目所涉及的概念、定理和公式。此外,每章后附有习题,全书共计 176 个,均有答案。

本书所选题目范围、类型、数量和深度均系参照《高等工业学校电工学函授教学大纲》提出的教学要求确定的,书中各例题思路清晰、步骤严谨、解法详尽,因而便于自学。

本书可作为函授大学、电视大学、业余大学学生及社会青年学习电工学的辅助读物,也可供全日制高等工业学校非电专业学生学习和参考。

本书责任编辑 王绎惠

高等学校教学参考书

电工学解题指导

惠风光 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷三厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 11.75 字数 280 000

1987 年 8 月第 1 版 1987 年 9 月第 1 次印刷

印数 00 001—12,095

书号 15010·0841 定价 2.70 元

前 言

《电工学解题指导》是参考一般高等院校电工学课程的教学内容编写的,选题的范围和深度基本上按照《高等工业学校电工学函授教学大纲》的要求确定。全书包括三个部分:第一部分为电路和磁路问题的分析计算;第二部分为电子技术问题的分析计算;第三部分为电机与自动控制问题的分析计算。全书分 20 章,举例 110 个。每章的例题,力求由简到繁列举各种类型的题目。解题时首先阐述解题思路和分析方法,再以严格的步骤进行求解计算。有的题目同时给出两种不同的解法,以利解题技巧的训练与提高。为便于读者自我检查,每章举例后均附有习题,共计 176 个,习题只给答案。本书是配合读者学习电工学的,在每章开头的“提要”中,均简要介绍了解题时将要涉及到的有关概念、定理和计算公式。本书使用国际单位制。

本书可作为函授大学、电视大学、业余大学学生及广大社会青年学习电工学的辅助读物,也可供全日制高等工业学校学生学习电工学时参考。

本书由北京钢铁学院电工教研室惠风光主编,参加编写的有杨志坚、赵开群、郑保元、谢成希、刘凯诸同志。天津大学电工学教研室姚海彬等同志对初稿进行了审阅,编者谨致以诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中一定存在不少缺点和错误,热诚希望读者给予批评指正。

编 者

1984 年 12 月

目 录

第一章	简单直流电路	1
第二章	复杂直流电路	16
第三章	单相交流电路	47
第四章	三相交流电路	90
第五章	非正弦周期性电流的电路	114
第六章	电路的过渡过程	128
第七章	磁路和铁心线圈电路	151
第八章	低频放大电路	164
第九章	直流放大电路和运算放大器电路	197
第十章	正弦波振荡器	222
第十一章	逻辑门电路和触发器	232
第十二章	基本数字部件及其应用	251
第十三章	不控整流及稳压电路	273
第十四章	可控整流电路	293
第十五章	变压器	306
第十六章	异步电动机	318
第十七章	同步电机	332
第十八章	直流电机	339
第十九章	控制电机	352
第二十章	自动控制	358

第一章 简单直流电路

提 要

分析计算简单的直流电路,一般只用欧姆定律

$$I = \frac{U}{R}$$

式中电压 U 的单位为伏特(V),电阻 R 的单位为欧姆(Ω),电流 I 的单位为安培(A)。

当 $R_1, R_2, \dots, R_n$ 等 n 个电阻串联时,其等效电阻 R_e 为

$$R_e = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i$$

若并联时,其等效电阻 R_e 可按下式求

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

若只有 R_1 和 R_2 两个电阻并联,则

$$R_e = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

对于图 1-1,当外加电压 U 已知时,可直接利用分压公式分别求两个电阻上的压降,即

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U$$

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

对于图 1-2,当总电流 I 为已知时,可直接利用分流公式求通

• 1 •

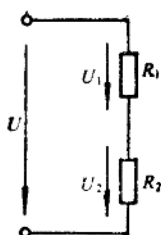


图 1-1

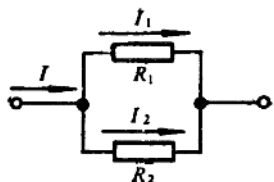


图 1-2

过每个电阻的电流,即

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

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

电流 I 通过电阻 R 时,消耗的功率 P 为

$$P = I^2 R$$

由于电阻上的压降 $U = IR$,则功率计算式也可用

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

在国际单位制中,式中的 U 、 I 、 R 分别以伏特、安培、欧姆计量,功率 P 的单位为瓦特(W)。

电路中各部分的功率,一定维持平衡的关系,即电源产生的功率,等于电路消耗的功率。

电动势为 E 的元件,通过电流 I 时,功率表达式为

$$P = EI$$

若 I 的真实方向与 E 的方向相同,则 P 为正值,这表明 E 是电源的电动势, P 为电源产生的功率;若两者方向相反,则 P 为负值,表明 E 是负载的反电动势, P 为负载(机械动力负载)吸收的功率。

在电路计算中。遇到具体电气设备时，一定要考虑其额定值。对于电阻负载(一般叫热能负载)，只有可加电压为额定电压时，通过的电流才是额定电流。

举 例

一、简单电路的计算

解题思路 计算一般的简单电路，对欧姆定律须能够具体灵活地应用。在求得电流以后，便可进一步计算电路各部分的功率。

例 1-1 在图 1-3 的电路中，已知电源电动势 $E=230\text{V}$ ，内电

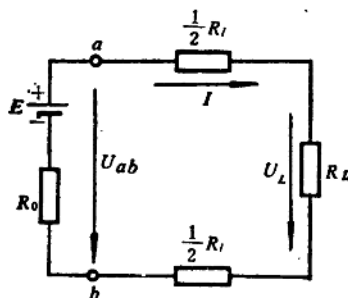


图 1-3

阻 $R_0=0.6\Omega$ ，负载电阻 $R_L=22\Omega$ ，供电线路电阻 $R_l=0.4\Omega$ 。求：(1)电路电流 I ，(2)负载和电源的端电压 U_L 和 U_{ab} ，(3)电源产生的电功率 P_E 、输出的功率 P_1 、负载消耗的功率 P_L 和供电线路的功率损失 ΔP_l ，(4)负载两端发生短路时的短路电流 I_s 、负载端电压 U_L 以及通过负载电阻 R_L 的电流 I_L 。

解：(1) 根据闭合电路的欧姆定律，电路电流

$$I = \frac{E}{R_L + R_0 + R_l} = \frac{230}{22 + 0.6 + 0.4} = 10\text{A}$$

(2) 根据一段电路的欧姆定律，负载端电压

$$U_L = R_L I = 22 \times 10 = 220\text{V}$$

电源端电压

$$U_{ab} = (R_L + R_l)I = (22 + 0.4) \times 10 = 224 \text{ V}$$

(3) 电源产生的功率

$$P_E = EI = 230 \times 10 = 2300 \text{ W}$$

电源输出的功率

$$P_l = P_E - I^2 R_0 = 2300 - 10^2 \times 0.6 = 2240 \text{ W}$$

负载消耗的功率

$$P_L = U_L I = 220 \times 10 = 2200 \text{ W}$$

供电线路的功率损失

$$\Delta P_l = I^2 R_l = 10^2 \times 0.4 = 40 \text{ W}$$

(4) 负载端发生短路时的电路如图 1-4, 对应的负载端等效电阻 R'_L 为零, 则短路电流

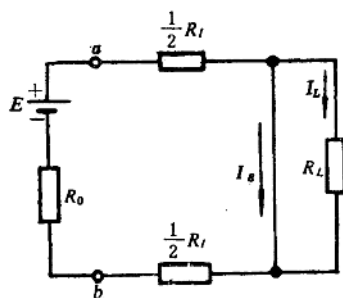


图 1-4

$$I_s = \frac{E}{R_0 + R_l} = \frac{230}{0.4 + 0.6} = 230 \text{ A}$$

短路时的负载端电压

$$U'_L = R'_L I_s = 0$$

短路时通过负载电阻 R_L 的电流

$$I_L = \frac{U'_L}{R_L} = 0$$

例 1-2 电路如图 1-5 所示, 已知 $E_1=36\text{V}$, $E_2=24\text{V}$, $R_1=2\Omega$, $R_2=8\Omega$, $R_3=2\Omega$, $R_4=4\Omega$ 。试分别就开关 K 断开和闭合两种情况计算电路电流, 并根据功率平衡关系说明 E_1 和 E_2 所起的作用。

解: 开关 K 断开时, 电路为一单回路电路, 设电流方向与 E_1 相同, 根据闭合电路的欧姆定律, 可得

$$I = \frac{\sum E}{\sum R} = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

$$= \frac{36 - 24}{2 + 8 + 2 + 4} = 0.75\text{A}$$

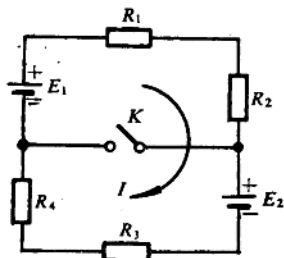


图 1 5

电流 I 的数值为正, 说明其实际方向即为假设的方向。由此可以判定, 因 E_1 与 I 方向相同, E_1 为电源电动势; 因 E_2 与 I 方向相反, E_2 为负载反电动势。以下再由功率平衡关系说明之。

为了建立功率平衡关系, 由上式可得

$$E_1 - E_2 = I(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$$

两边各乘以 I ,

$$E_1 I - E_2 I = I^2(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$$

移项, 则得功率平衡方程式

$$E_1 I = E_2 I + I^2(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$$

即 电动势 E_1 产生的功率 = 电动势 E_2 吸收的功率 + 各个电阻消耗的功率

此即说明 E_1 为电源的电动势, E_2 为负载的反电动势。可代入数据进行验算。

$$E_1 I = 36 \times 0.75 = 27\text{W}$$

$$E_2 I + I^2(R_1 + R_2 + R_3 + R_4) = 24 \times 0.75 + 0.75^2 \times 16 = 27\text{W}$$

当开关 K 闭合时, 电路将变为两个独立的回路, 因为此时的图 1-5 实际上可以看成如图 1-6 的电路。则分别计算其电流

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1 + R_2} = \frac{36}{2 + 8} = 3.6 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{E_2}{R_3 + R_4} = \frac{24}{2 + 4} = 4 \text{ A}$$

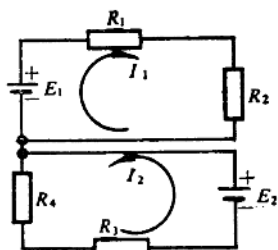


图 1-6

此时的 E_1 和 E_2 , 都起电源的作用。

例 1-3 有两只白炽灯, 其额定值分别为 220V、100W 和 220V、60W, 接在 220V 的直流供电线中并联使用。试求(1) 每只灯泡的电流, (2) 每只灯泡的灯丝电阻, (3) 如每晚平均使用 4 小时, 一个月将消耗多少电能?

解: 虽然两只灯泡接于同一供电线路, 但彼此独立可分别计算。线路电压符合灯泡的额定电压, 因此可以直接利用额定值求解。

(1) 每个灯泡的电流即额定电流 I_N , 可以利用公式 $P_N = U_N I_N$ 求得。100W 灯泡的电流

$$I_{100} = \frac{P_N}{U_N} = \frac{100}{220} = 0.455 \text{ A}$$

60W 灯泡的电流

$$I_{60} = \frac{P'_N}{U_N} = \frac{60}{220} = 0.273 \text{ A}$$

(2) 利用欧姆定律求灯丝电阻。100W 灯泡的灯丝电阻

$$R_{100} = \frac{U_N}{I_{100}} = \frac{220}{0.455} = 483 \Omega$$

60W 灯泡的灯丝电阻

$$R_{60} = \frac{U_N}{I_{60}} = \frac{220}{0.273} = 806 \Omega$$

(3) 分别求每只灯泡一个月消耗的电能。100瓦灯泡

$$W_{100} = P_N t = 0.1 \times 4 \times 30 = 12 \text{ kWh}$$

60瓦灯泡 $W_{60} = P'_N t = 0.06 \times 4 \times 30 = 7.2 \text{ kWh}$

两只灯泡一个月所消耗的总电能为

$$W = W_{100} + W_{60} = 12 + 7.2 = 19.2 \text{ kWh}$$

二、直接利用分压公式或分流公式的电路计算

解题思路 几个电阻串联的电路，可利用分压公式计算每个电阻上的压降，其压降与其阻值成正比。对于两个电阻并联的电路，利用分流公式计算每个电阻中的电流时，要注意，电阻中分流的大小与另一个电阻的阻值成正比。

例 1-4 在图 1-7 所示电路中，已知 $R_1 = 60 \Omega$ ， $R_2 = 40 \Omega$ ， $R_3 = R_4 = 20 \Omega$ ，外加电压 $U = 110 \text{ V}$ ，分别就下列几种情况求相应的 U_{ab} 、 U_{bc} 和 U_{cd} ：(1) K_1 、 K_2 断，(2) K_1 合 K_2 断，(3) K_1 断 K_2 合，(4) K_1 、 K_2 合。

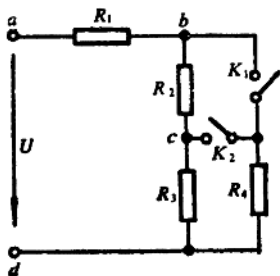


图 1-7

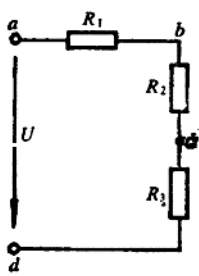


图 1-8

解：(1) K_1 、 K_2 断，电路将如图 1-8，利用分压公式可以求出

$$U_{ab} = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} U$$

$$= \frac{60}{60+40+20} \times 110 = 55\text{V}$$

$$U_{bc} = \frac{R_2}{R_1+R_2+R_3} U$$

$$= \frac{40}{60+40+20} \times 110 = 36.67\text{V}$$

$$U_{cd} = \frac{R_3}{R_1+R_2+R_3} U = \frac{20}{60+40+20} \times 110 = 18.33\text{V}$$

(2) K_1 合、 K_2 断, 电路将如图 1-9。首先求 bd 间的等效电阻

$$R_{bd} = \frac{(R_2+R_3)R_4}{R_2+R_3+R_4} = \frac{(40+20) \times 20}{40+20+20}$$

$$= 15\Omega$$

根据分压公式先求 U_{ab} 和 U_{bd} , 即

$$U_{ab} = \frac{R_1}{R_1+R_{bd}} U = \frac{60}{60+15} \times 110 = 88\text{V}$$

$$U_{bd} = \frac{R_{bd}}{R_1+R_{bd}} U = \frac{15}{60+15} \times 110 = 22\text{V}$$

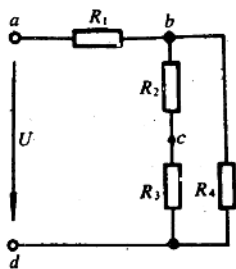


图 1-9

当 U_{bd} 已知时, 即可根据分压公式再求 U_{bc} 和 U_{cd} , 即

$$U_{bc} = \frac{R_2}{R_2+R_3} U_{bd} = \frac{40}{40+20} \times 22 = 14.67\text{V}$$

$$U_{cd} = \frac{R_3}{R_2+R_3} U_{bd} = \frac{20}{40+20} \times 22 = 7.33\text{V}$$

(3) K_1 断、 K_2 合, 电路将如图 1-10。 cd 间的等效电阻为

$$R_{cd} = \frac{R_3 R_4}{R_3+R_4} = \frac{20 \times 20}{20+20} = 10\Omega$$

利用分压公式可求

$$U_{ab} = \frac{R_1}{R_1+R_2+R_{cd}} U = \frac{60}{60+40+10} \times 110$$

$$= 60\text{V}$$

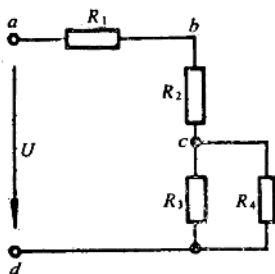


图 1-10

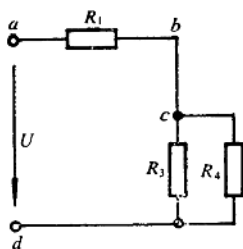


图 1-11

$$U_{bc} = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_{cd}} U = \frac{40}{60 + 40 + 10} \times 110 = 40 \text{ V}$$

$$U_{cd} = \frac{R_{cd}}{R_1 + R_2 + R_{cd}} U = \frac{10}{60 + 40 + 10} \times 110 = 10 \text{ V}$$

(4) K_1 、 K_2 合, 电路将如图 1-11, bc 两点之间已短接, cd 之间的等效电阻在(3)中已求出 $R_{cd} = 10 \Omega$, 利用分压公式可求

$$U_{ab} = \frac{R_1}{R_1 + R_{cd}} U = \frac{60}{60 + 10} \times 110$$

$$= 94.3 \text{ V}$$

$$U_{bc} = 0$$

$$U_{cd} = \frac{R_{cd}}{R_1 + R_{cd}} U = \frac{10}{60 + 10} \times 110 = 15.7 \text{ V}$$

例 1-5 有一电阻 $R_N = 200 \Omega$ 、电流 $I_N = 1.5 \text{ A}$ 的滑线变阻器, 接成如图 1-12 所示的分压器使用。已知外加电压 $U_1 = 220 \text{ V}$, 且将滑动触头 P 调到使 R_1 段电阻为 20Ω 的位置。(1) 试求分压器的输出电压 U_2 ; (2) 若有人在用万用表检查输出电压时, 误将万用表拨到 300 mA 的电流挡(对应的内阻 R_0 为 2Ω) 接入电路, 如图 1-13, 试计算图中电流 I_1 、 I_2 和 I_0 , 并估计其后果。

解: (1) 分压器的输出电压即 R_2 段电阻上的分压。利用分

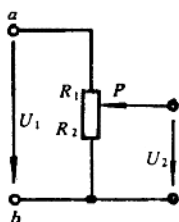


图 1-12

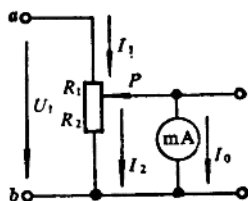


图 1-13

压公式可求

$$U_2 = \frac{R_2}{R_N} U_1 = \frac{R_N - R_1}{R_N} U_1 = \frac{200 - 20}{200} \times 220 = 198 \text{ V}$$

(2) 图 1-13 的实际电路如图 1-14, 先求出 pb 间的等效电阻

$$R_{pb} = \frac{R_1 R_0}{R_2 + R_0} = \frac{180 \times 2}{180 + 2} = 1.98 \Omega$$

则通过 R_1 的电流为

$$I_1 = \frac{U}{R_1 + R_{pb}} = \frac{220}{20 + 1.98} \approx 10 \text{ A}$$

然后利用分流公式分别求通过 R_2 的电流

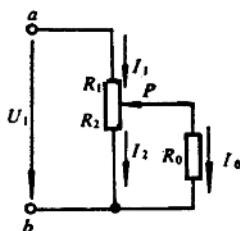


图 1-14

$$I_2 = \frac{R_0}{R_2 + R_0} I_1 = \frac{2}{180 + 2} \times 10 = 0.11 \text{ A}$$

通过 R_0 的电流

$$I_0 = \frac{R_2}{R_2 + R_0} I_1 = \frac{180}{180 + 2} \times 10 = 9.9 \text{ A}$$

由计算结果可知, 通过万用表的电流 I_0 已达量程 300mA 的 33 倍, 必然使万用表的表头线圈烧毁。又知通过 R_1 段滑线电阻的电流 I_1 也超过了它的额定值近六倍, 似应受到损毁, 但因万用表瞬间烧坏后其电路立即断开, 滑线电阻中的电流也随即恢复正常, 所以滑线变阻器不会被烧断, 但会影响使用寿命。

三、电路中的电位计算

解题思路 电路中任何两点之间的电压降只取决于电路的工作状态，而与接地点(零电位点)的位置无关。但电路中某一点的电位却会因接地点的位置变动而不同。计算电位时，要首先确定接地点的位置，然后根据两点之间的电压降恒等于该两点的电位之差的关系去求相应点的电位值。

例 1-6 在图 1-15 电路中，已知 $E_1=36\text{V}$ ， $E_2=12\text{V}$ ， $R_1=40\Omega$ ， $R_2=200\Omega$ 。若分别将 b 点和 c 点接地，试求对应的 a 点和 d 点的电位。

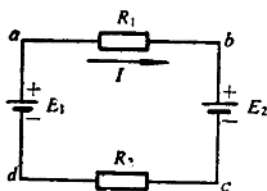


图 1-15

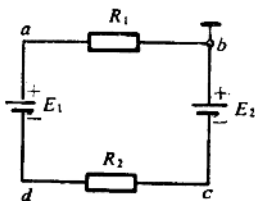


图 1-16

解：先求电流及各电阻上的电压。

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} = \frac{36 - 12}{40 + 200} = 0.1 \text{ A}$$

$$U_{ab} = R_1 I = 40 \times 0.1 = 4\text{V}$$

$$U_{cd} = R_2 I = 200 \times 0.1 = 20\text{V}$$

(1) 求 b 点接地时的电位，对应的电路如图 1-16。此时

$$U_b = 0$$

而
则
又
则

$$U_{ab} = U_a - U_b$$

$$U_a = U_{ab} + U_b = 4\text{V}$$

$$U_{db} = -E_1 + U_{ab} = U_d - U_b$$

$$U_d = -E_1 + U_{ab} + U_b = -36 + 4 + 0 = -32\text{V}$$

(2) 求 c 点接地时的电位，对应的电路如图 1-17。此时

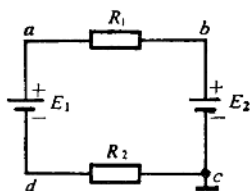


图 1-17

$$U_c = 0$$

而
则

$$U_{ac} = U_{ab} + E_2 = U_a - U_c$$

$$U_a = U_{ab} + E_2 + U_c$$

$$= 4 + 12 + 0 = 16\text{V}$$

又
则

$$U_{dc} = U_d - U_c = -U_{cd}$$

$$U_d = -U_{cd} + U_c = -20\text{V}$$

习 题

1-1 在图 1-18 所示电路中, 已知电源电动势 $E = 36\text{V}$, 内阻 $R_1 = 1\Omega$, 负载电阻 $R_2 = 35\Omega$ 。(1) 求开关 K 闭合时的电流及负载 R_2 的端电压和消耗的功率;(2) 求开关断开时电源的端电压;(3) 若 cd 两点间短路, 求短路电流及 R_2 两端的电压。

[答(1)1A, 35V, 35W; (2)36V; (3)36A, 0]

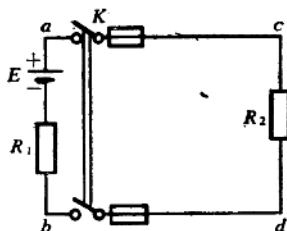


图 1-18

1-2 在图 1-19 所示的电路中, 已知 $E_1 = 230\text{V}$, $E_2 = 210\text{V}$, $R_1 = 0.2\Omega$,

$R_2=0.4\Omega, R_3=R_4=9.7\Omega$, (1) 求通过电路的电流及 a, b 两点和 c, d 两点之间的电压 U_{ab} 和 U_{cd} ; (2) 求电路各部分的功率并根据功率平衡关系说明 E_1 和 E_2 的作用。

[答: (1) 1A, 229.8V, 210.4V; (2) $P_{E_1}=230\text{W}$, 电源, $P_{E_2}=210\text{W}$, 负载]

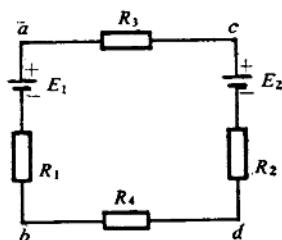


图 1-19

1-3 在图 1-20 所示电路中, 已知直流发电机 G 的电动势 $E_0=230\text{V}$, 内阻 $R_0=0.6\Omega$, 额定电流 $I_N=10\text{A}$, 供电线路电阻 $R_1=0.8\Omega$, 负载为 220V 、 60W 的白炽灯泡。(1) 问这台发电机最多能向多少只电灯供电? (2) 如果只有一只灯泡工作, 会不会烧毁灯泡? 为什么?

[答: (1) 37 只 (2) 不会]

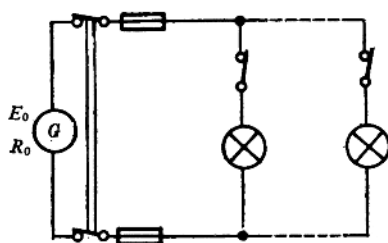


图 1-20

1-4 家中有三只照明用的白炽灯, 一只为 220V 、 60W , 两只为 220V 、 40W 。(1) 试求通过 60W 和 40W 灯泡的电流和灯丝电阻。(2) 若 60W 灯泡平均每晚使用三小时, 40W 灯泡平均每晚使用五小时, 试求一个月消耗的电。

[答: (1) 0.273A, 806 Ω ; 0.189A, 1164 Ω (2) 17.4kWh]