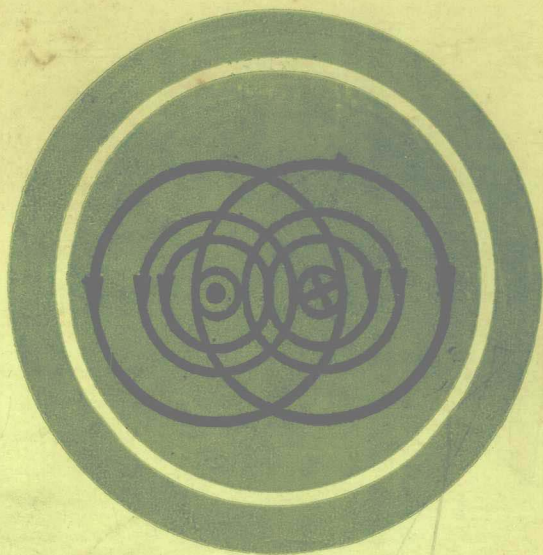




高级电工培训教材

电工基础

劳动部培训司组织编写

中国劳动出版社

高级电工培训教材

电 工 基 础

劳动部培训司组织编写

中国劳动出版社

(京)新登字 114 号

内 容 提 要

本书是根据劳动部培训司审定颁发的《电工基础教学大纲》编写，供高级电工培训的统编教材。

全书共分 8 章，主要内容：直流电路基本概念、复杂直流电路的分析计算、单相交流电路的分析计算、三相交流电路、互感电路、非正弦交流电路、交流铁心线圈、简单电路的过渡过程。书中还对高级电工必要的数学知识做了扼要的介绍。

本书供培训高级电工使用，也可供工人自学使用。

本书由蒋育雅、王国海编写，蒋育雅主编；由王毅彬、金柏芹审稿，王毅彬主审。

电 工 基 础

劳动部培训司组织编写

责任编辑 高永新

中国劳动出版社出版

(北京市和平里中街 12 号)

北京地质印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

787×1092 毫米 16 开本 12 印张 296 千字

1992 年 3 月北京第 1 版 1992 年 3 月北京第 1 次印刷

印数：8200 册

ISBN 7-5045-0948-5/TM·052 (课) 定价：4.20 元

前 言

随着科技进步与经济发展,电气设备使用广泛,特别是自动控制技术的应用推广,一些新型复杂的机电设备日益增多。对这些设备的安装、调试与维修任务越来越大,需要合格的高级电工越来越多。为使培训高级电工的工作逐步规范化,我们会同有关部门和地方组织编写了这套高级电工培训教材。

这套教材的编写是从企业生产实际出发,主要依据《工人技术等级标准》,既考虑到工人的实际技术状况,又适当兼顾今后生产发展的需要,使其不仅满足目前各行业培训高级电工的需要,又为培训对象进一步掌握新知识、新技能奠定基础。本套教材具有工人培训教材的讲求实际、实用、实效的特点。在内容上,努力做到理论与实践紧密结合,操作技能方面以培养工人掌握复杂操作的技能技巧和增强分析、判断、排除各种复杂故障的能力为重点;理论知识方面力求突出针对性、实用性,与技能训练紧密配合。文字叙述尽量做到深入浅出、通俗易懂,可供培训高级电工使用,也可供工人自学使用。

此套教材计有:《电气管理知识》、《微机原理与应用》、《电工基础》、《电子技术》、《电气测量》、《电机原理与维修》、《工厂电气控制技术》、《液压传动》、《工厂变配电技术》、《电气安装技术》、《高级维修电工技能训练》、《高级内外线电工技能训练》等共 12 种。

教材的编写得到了航空航天部、建设部、轻工部、天津市机械局、上海、江苏、湖南、辽宁、河南、山东省(市)劳动厅(局)的支持。

由于高级工人培训教材的编写,目前尚无成熟经验可循,教学思想、教学内容、教学方法的改革都在研究探讨之中,书中存在一些缺点和不足在所难免。恳切希望广大读者提出宝贵意见,以便在适当的时候进行修订,使之更加完善。

劳动部培训司

目 录

第一章 直流电路基本概念	1
§ 1—1 电路的概念.....	1
§ 1—2 欧姆定律.....	2
§ 1—3 直流电路的分析计算.....	5
习 题.....	13
第二章 复杂直流电路的分析计算	18
§ 2—1 概 述.....	18
§ 2—2 基尔霍夫定律.....	18
§ 2—3 支路电流法、回路电流法.....	20
§ 2—4 戴维南定理.....	23
§ 2—5 电压源、电流源及其等值互换.....	27
§ 2—6 节点电压法.....	31
§ 2—7 叠加原理.....	35
§ 2—8 Y网络与 Δ 网络的等值互换.....	40
习 题.....	44
第三章 单相交流电路的分析计算	48
§ 3—1 正弦交流电的基本概念.....	48
§ 3—2 符号法计算交流电路.....	54
§ 3—3 欧姆定律与基尔霍夫定律的符号形式.....	59
§ 3—4 RLC串联电路的复阻抗.....	60
§ 3—5 RLC并联电路的复导纳.....	64
§ 3—6 复杂交流电路的计算.....	69
§ 3—7 交流电路的功率和功率因数.....	73
习 题.....	78
第四章 三相交流电路	82
§ 4—1 对称三相电路的计算.....	82
§ 4—2 不对称三相电路的位形图和分析法.....	88
§ 4—3 不对称三相电路的计算.....	92
§ 4—4 三相电路的功率.....	96
习 题.....	97
第五章 互感电路	99
§ 5—1 互感的基本概念.....	99
§ 5—2 具有互感电路的分析.....	102

习 题.....	110
第六章 非正弦交流电路	112
§ 6—1 非正弦交流电的基本概念.....	112
§ 6—2 非正弦交流电的有效值、平均值和平均功率.....	114
§ 6—3 非正弦交流电路的计算.....	115
§ 6—4 对称三相电路中的高次谐波.....	117
习 题.....	121
第七章 交流铁心线圈	122
§ 7—1 交流铁心线圈中的电磁分析.....	122
§ 7—2 交变磁通磁路中电流和磁通的波形.....	125
§ 7—3 交变磁通下的铁心损耗.....	127
§ 7—4 交流铁心线圈的等值电路.....	129
§ 7—5 交流电磁铁.....	131
§ 7—6 交、直流磁路的比较.....	133
习 题.....	134
第八章 简单电路的过渡过程	136
§ 8—1 换路定律与电路的初始状态.....	136
§ 8—2 RC 电路的过渡过程	139
§ 8—3 RL 电路的过渡过程	151
§ 8—4 电容器对电感线圈放电的过程.....	157
习 题.....	159
附 录 电工数学	163
I. 复数及其运算.....	163
II. 导数与微分.....	166
III. 积 分.....	174
IV. 傅里叶级数.....	178

第一章 直流电路基本概念

本章内容包括：电路的构成及其状态、欧姆定律、电阻的联接、电路中各点电位的计算等。

§1—1 电路的概念

一、电路的组成

电流所通过的路径称为电路。根据不同的需要，电路的形式是多种多样、千变万化的。但概括起来说电路的作用一是进行能量的转换，并对电能实现传输和分配；另一作用是进行信息处理，将输入的信号“加工”成人们所需要的信号。电力工程中的电路侧重于能量的转换、电能的传输和分配。电讯工程中的电路侧重于信号的加工处理。由于目的不同，导致了形式上的千差万别。但是一个完整的电路，无论复杂还是简单，通常都由电源、传输导线、控制电器和负载四部分组成。

电源是向电路提供电能的设备，它具有将其它形式的能转变为电能的功能。如发电机能将机械能转变为电能；硅光电池能将光能转变为电能；干电池能将化学能转变为电能。

传输导线在电路中的作用是将电源的电能输送给负载，同时又起着分配电能和传递信号的作用。

控制电器在电路中起着控制电路的通断和保护重要设备的作用。

负载是所有用电设备的总称。其作用是将电能转换为人们所需要的各种形式的能。

二、电路的三种状态

任何一个电路都可能具有三种状态，即通路、断路和短路。

通路一般指电路构成闭合回路，电路工作正常的情况，如图1—1(a)所示。断路（即开路）是指电路不构成闭合回路，电路中无电流流过的情况。短路是指电路中不等电位的两点经电阻近似为零的导线直接相连的情况。

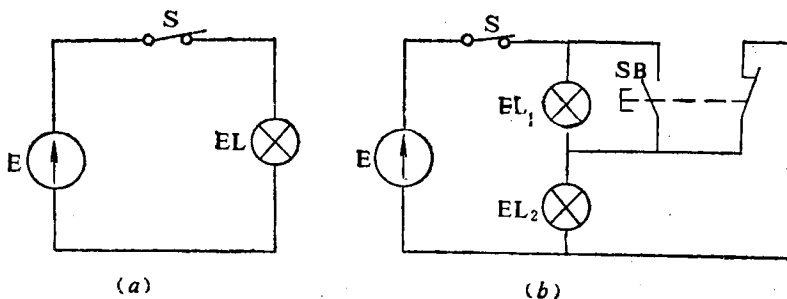


图 1—1
(a) 通路 (b) 正常短路

值得说明的是，断路和短路有时是人为的、正常的状态，有时可能是故障状态。如根据需要经控制电器切断电路就是正常的断路，而其它偶尔的原因使电路切断则是故障状态。根据需要将电路中某一部分短接这是正常的短路，如图 1—1 (b) 所示，而由于其它意外的原因使电路的两不同电位点短接则是故障状态。发生短路故障时往往电路的电流过大，对电路的设备造成一定程度的损坏。特别是当电源短路时，极大的电流将使电源毁坏。所以电路中总是采取措施，以防短路故障的发生。

§ 1—2 欧姆定律

一、部分电路欧姆定律

1. 一段无源电路的欧姆定律 如图 1—2 所示为一段无源电路。在电路的两端施加电压 U ，则流过电路的电流 I 与所加电压 U 成正比，

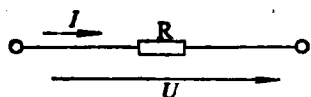


图 1—2 欧姆定律及电压、电流的参考方向

与这段电路的电阻 R 成反比。这一规律称为一段无源电路的欧姆定律。在电压和电流的参考方向选择得一致的情况下 (如图 1—2 中所标)，电压、电流和电阻三者间的关系可写成如下形式：

$$U = RI \quad \text{或} \quad I = \frac{U}{R} \quad (1-1)$$

若电流或电压的参考方向选择得相反，则欧姆定律的表达式应为

$$U = -RI \quad (1-2)$$

式 (1—1) 和 (1—2) 均表明，当电流 I 流过电阻 R 时所产生的电压降，数值上等于电阻 R 和电流 I 的乘积。式中，电压的单位为 V (伏特)，电流的单位为 A (安培)，电阻的单位为 Ω (欧姆)。

电阻的倒数称为电导，用字母 G 表示，即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-3)$$

电导的单位为 S (西门子)。电导表征导体导电的性能，电阻反映导体对电流的阻碍性能，所以，电阻和电导实际上是同一事物的正反两个方面。

欧姆定律用电导形式可表示为

$$I = GU \quad (1-4)$$

如果电阻两端的电压 U 与流过该电阻的电流 I 之比始终为某一定值，则这样的电阻称为线性电阻。如果电阻两端的电压 U 或流过电阻的电流 I 改变时，电阻的阻值也随之改变，这样的电阻称为非线性电阻。只有线性电阻上的电压和电流关系才遵守欧姆定律，非线性电阻上的电压和电流关系是不遵守欧姆定律的。当然，严格说来，绝对线性的电阻是不存在的。通常对于在一定的电压、电流范围内阻值基本不变的电阻都作为线性电阻处理。图 1—3 示出了线性电阻与非线性电阻的伏安特性曲线。

2. 一段含源电路的欧姆定律 图 1—4 所示的既有电阻又有电源的电路称为含源电路。对图 (a) 所示电压、电流、电动势的参考方向，则有

$$U_{BC} = E$$

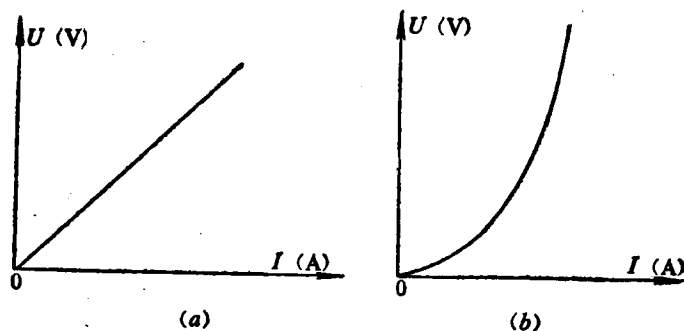


图 1—3 电阻的伏安特性
(a) 线性电阻 (b) 非线性电阻

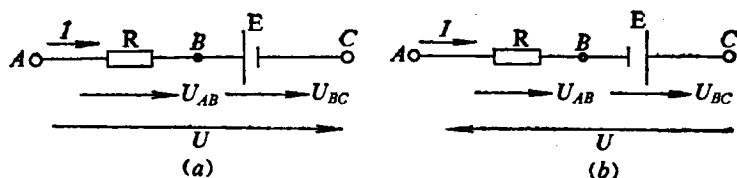


图 1—4 一段含源电路

而
即

$$\begin{aligned} U_{AB} &= IR \\ U &= U_{AB} + U_{BC} = IR + E \\ I &= \frac{-E + U}{R} \end{aligned} \quad (1-5)$$

对图 (b) 所示的电路则有

而
即
所以

$$\begin{aligned} U_{BC} &= -E \\ U_{AB} &= IR \\ U &= -(U_{AB} + U_{BC}) = -(IR - E) = E - IR \\ U &= E - IR \\ I &= \frac{E - U}{R} \end{aligned} \quad (1-6)$$

图 1—4 的 (a)、(b) 两电路, 虽然具有相同的结构形式, 但由于电压、电动势的参考方向选择不一样, 两电路的欧姆定律表达式即式 (1—5) 和式 (1—6) 也不一样。图 1—4 (b) 中电压 U 和电动势 E 的方向与图 1—4 (a) 中的相反, 式 (1—6) 中 U 和 E 前面的符号也与式 (1—5) 中的相反。由此可得一段含源电路的欧姆定律一般表达式为

$$I = \frac{\pm E \pm U}{R} \quad (1-7)$$

式中 E 和 U 的正、负号选取与它们的参考方向有关。当参考方向与电流 I 的参考方向一致时, 取正号, 反之取负号。

二、全电路欧姆定律

图 1—5 是一个具有电源和负载的无分支闭合回路, 称为全电路。

将电路看成是由 A 、 B 点左边的一段含源支路和 A 、 B 点右边的一段无源支路串联而成的。对左边的含源支路，可得

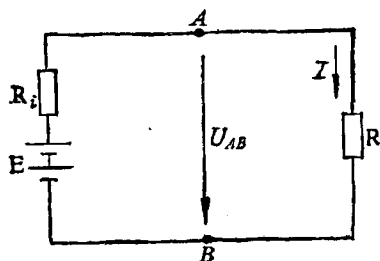


图 1-5 全电路

对右边的无源支路有

$$U_{AB} = E - IR_i$$

所以

$$U_{AB} = IR$$

整理得

$$E - IR_i = IR$$

或

$$E = I(R + R_i) \quad (1-8)$$

$$I = \frac{E}{R + R_i} \quad (1-9)$$

式 (1-9) 称为全电路欧姆定律。它表明，在闭合回路中，电流的大小与电源的电动势成正比，与回路中总电阻成反比。式 (1-9) 中，电流 I 的参考方向与电动势 E 的参考方向是一致的。

因为电源的端电压为

$$U_{AB} = E - IR_i$$

所以，当电路开路时， $I=0$ ， $U_{AB}=E$ ，电源的开路电压等于电动势；而当电源外部短路时，即 $R=0$ ，则 $I = \frac{E}{R_i}$ ，电源内阻上的压降恰好与电源电动势相等，电源的端电压为 $U_{AB}=0$ 。由于电源内阻 R_i 较小，此时将有很大的短路电流流过电源，致使电源烧坏，所以应当避免电源短路情况的发生。

例 1-1 某电源开路时端电压为 6 V，接上 10Ω 的电阻后，端电压为 5.5 V，试求电源内阻和电路中的电流。

解 因为电源的开路端电压与电源的电动势相等，即 $E=6\text{V}$ 。电路中的电流

$$I = \frac{U}{R} = \frac{5.5}{10} = 0.55(\text{A})$$

电源内阻上的压降为

$$U_i = E - U = 6 - 5.5 = 0.50(\text{V})$$

内阻的大小为

$$R_i = \frac{U_i}{I} = \frac{0.5}{0.55} = 0.91(\Omega)$$

例 1-2 某电源的电动势为 4.5 V，接上 16Ω 的负载电阻时，电流为 0.25 A，试求电源的内阻和电源的端电压。

若电源不变，但负载电阻增大为 500Ω ，求此时电路中的电流及电源的端电压。

解 接上负载后，电源的端电压就是负载两端的电压，即

$$U = RI = 16 \times 0.25 = 4(\text{V})$$

电源内阻上的压降为

$$U_i = E - U = 4.5 - 4 = 0.5(\text{V})$$

电源内阻为

$$R_i = \frac{U_i}{I} = \frac{0.5}{0.25} = 2(\Omega)$$

负载增大为 500Ω 时, 电路中的电流为

$$I' = \frac{E}{R' + R_i} = \frac{4.5}{500 + 2} \approx 0.00896(\text{A}) = 8.96(\text{mA})$$

此时电源的端电压为

$$U' = I' R' = 0.00896 \times 500 = 4.48(\text{V})$$

上例说明, 同一个电源, 负载电阻减小时, 电流增大, 电源的端电压下降; 负载电阻增大时, 电流减小, 电源的端电压升高。

§ 1—3 直流电路的分析计算

一、电阻的串联、并联和混联电路计算

1. 电阻串联电路 两个或两个以上的电阻首尾相接, 各连接点都没有分支, 各电阻中流过同一个电流的电路称为电阻串联电路。图 1—6(a) 为三个电阻的串联电路。

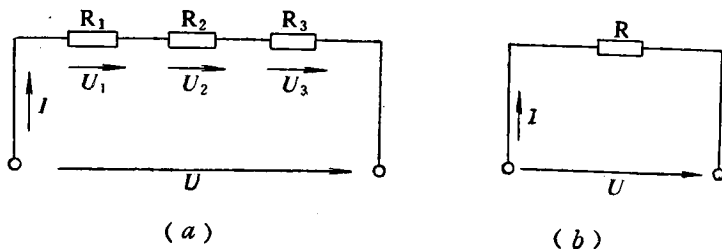


图 1—6

(a) 电阻串联电路 (b) 等效电路

电阻串联电路具有以下特点:

(1) 各电阻上流过的是同一个电流。

(2) 电路的总电压等于各个电阻上压降的代数和,

即

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

n 个电阻相串联时,

有

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (1-10)$$

(3) 电路的等效电阻等于各串联电阻之和,

即

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

所以, 图 1—6(a) 所示的三个电阻串联电路, 可用图 1—6(b) 来等效替代。对于 n 个电阻相串联的情况, 其等效电阻为

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (1-11)$$

当各串联电阻的阻值均相同时

$$R = nR' \quad (R' \text{ 为串联电阻的其中任一电阻值})$$

(4) 各电阻上的电压降与各自电阻的阻值成正比。

(5) 各电阻上所消耗的功率之和等于电路所消耗的总功率。

例 1—3 图 1—7 所示电路中, 已知 R_1 、 R_2 、 R_3 之比为 $2:3:6$, $R_2 = 9\Omega$, $U_1 = 9\text{V}$,

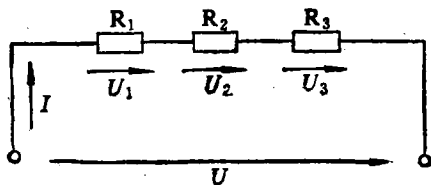


图 1-7

求 R_1 、 R_3 、 U 、 U_2 、 U_3 、 I 、 P_1 、 P_2 、 P_3 及总功率 P 。

解 因为

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{2}{3}, \quad \frac{R_2}{R_3} = \frac{3}{6}$$

所以

$$R_1 = \frac{2R_2}{3} = \frac{2 \times 9}{3} = 6(\Omega)$$

$$R_3 = \frac{6R_2}{3} = 2R_2 = 2 \times 9 = 18(\Omega)$$

因为各电阻上流过的为同一电流, 故

$$I = \frac{U_1}{R_1} = \frac{9}{6} = 1.50(\text{A})$$

$$U_2 = IR_2 = 1.5 \times 9 = 13.50(\text{V})$$

$$U_3 = IR_3 = 1.5 \times 18 = 27(\text{V})$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = 9 + 13.5 + 27 = 49.50(\text{V})$$

$$P_1 = I^2 R_1 = 1.5^2 \times 6 = 13.50(\text{W})$$

$$P_2 = I^2 R_2 = 1.5^2 \times 9 = 20.25(\text{W})$$

$$P_3 = I^2 R_3 = 1.5^2 \times 18 = 40.50(\text{W})$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 13.50 + 20.25 + 40.50 \\ = 74.25(\text{W})$$

例 1-4 将发光二极管与一只分压电阻串联后接在 220 V 的电路中作电源指示, 已知发光二极管的工作电压为 2.5 V, 工作电流为 10 mA, 试确定分压电阻的阻值与功率。

解 因为正常工作时发光二极管的电压为 2.5 V, 所以分压电阻上必须承受的电压为

$$U_{dv} = 220 - 2.5 = 217.50(\text{V})$$

分压电阻上流过的电流与发光二极管是同一个电流, 故有

$$R_{dv} = \frac{U_{dv}}{I} = \frac{217.5}{10 \times 10^{-3}} = 21.75(\text{k}\Omega)$$

分压电阻上消耗的功率为

$$P = U_{dv} I = 217.5 \times 10 \times 10^{-3} = 2.175(\text{W})$$

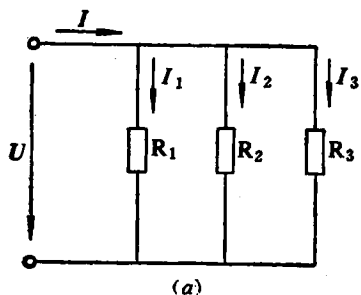
即与发光二极管串联的电阻阻值应为 21.75 k Ω , 其功率必须大于 2.175 W。

2. 电阻并联电路 两个或两个以上电阻一端接在一起, 另一端也接在一起的联接方式称为并联。图 1-8 (a) 是三个电阻并联的电路。

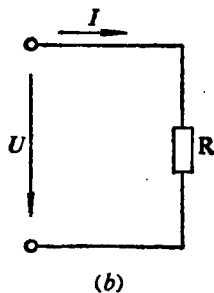
电阻并联电路具有如下特点:

(1) 并联的各电阻上承受的是同一电压。

(2) 电路的总电流 I 等于各并联支路的电流之和, 即



(a)



(b)

图 1-8

(a) 电阻并联电路 (b) 等效电路

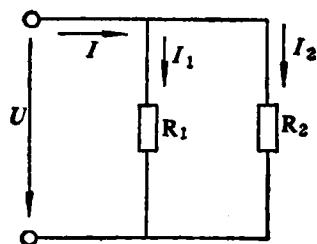


图 1-9

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (1-12)$$

(3) 电阻并联电路的等效电阻 R 的倒数等于各并联支路电阻的倒数之和, 即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (1-13)$$

所以图 1-8 (a) 所示电路可以简化为图 1-8 (b) 所示的等效电路。

若用 G 表示总电导, G_1 、 G_2 、 G_3 分别为 R_1 、 R_2 、 R_3 所对应的电导, 则

$$G = G_1 + G_2 + G_3 \quad (1-14)$$

当 n 个相同阻值的电阻并联时, 其等效电阻为

$$R = \frac{R'}{n}$$

其中 R' 为并联电阻中的任一电阻阻值。特别对两只电阻并联的情况有

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

整理后即得等值电阻为

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-15)$$

不难推知, 电阻并联电路的等效电阻值必定小于并联电阻中阻值最小的电阻。

(4) 各并联电阻中的电流及所消耗的功率均与各电阻的阻值成反比, 即

$$I_1 : I_2 : I_3 = P_1 : P_2 : P_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} \quad (1-16)$$

例 1-5 图 1-9 中, 设 I 、 R_1 、 R_2 均已知, 求 I_1 、 I_2 。

解 电路的等效电阻为

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

所以

$$U = IR = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{U}{R_1} = \frac{R_1 R_2}{R_1 (R_1 + R_2)} I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \\ I_2 &= \frac{U}{R_2} = \frac{R_1 R_2}{R_2 (R_1 + R_2)} I = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \end{aligned} \right\} \quad (1-17)$$

式(1—17)就是经常要用到的两电阻并联电路的分流公式。

例 1—6 有一只磁电系表头, 表头允许流过的最大电流为 $I_G = 80 \mu\text{A}$, 内阻 $R_G = 1000 \Omega$, 若将其改成量程为 250 mA 的电流表, 需并入多大的分流电阻?

解 满量程时, 分流电阻上流过的电流应为

$$I_{dc} = I - I_G = 250 - 0.08 = 249.92 \text{ (mA)}$$

此时表头承受的电压为

$$U_G = I_G R_G = 80 \times 10^{-6} \times 1000 = 0.08 \text{ (V)}$$

由于分流电阻与表头相并联, 故分流电阻两端的电压与表头的电压相等。分流电阻的阻值为

$$R_{dc} = \frac{U_G}{I_{dc}} = \frac{0.08}{249.92 \times 10^{-3}} \approx 0.32 \text{ (}\Omega\text{)}$$

即在表头两端并联一只 0.32Ω 的分流电阻, 即可使表头构成一只具有 250 mA 量程的电流表。

3. 电阻混联电路 既有电阻串联又有电阻并联的电路称为电阻混联电路。根据串并联电阻的不同组合, 混联电路可以有各种不同的形式。图 1—10 示出了三种不同形式的混联电路。

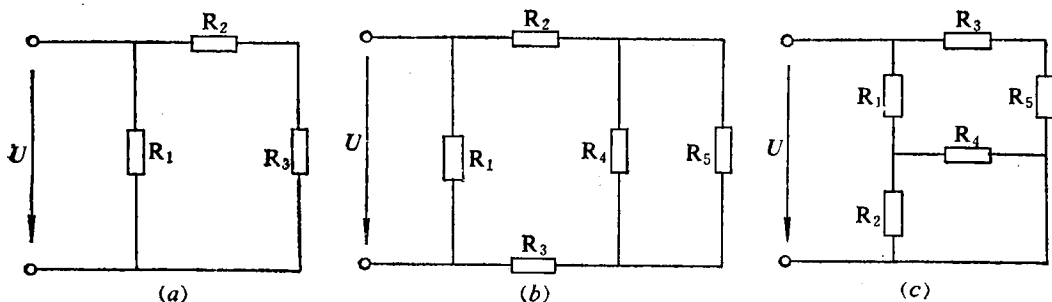


图 1—10

对电阻混联电路的计算, 通常的方法是: 先按照串、并联等效简化的规则, 将混联电路简化为一个无分支电路, 再进行电压、电流的计算。最后根据要求, 利用分压、分流公式求出所要求的电压和电流。下面通过几例来说明具体的求解过程。

例 1—7 图1—11 (a) 所示电路中, 已知 $R_1 = R_2 = 100 \Omega$, $R_3 = R_4 = 150 \Omega$, 电压 $U = 100 \text{ V}$, 求电流 I 。

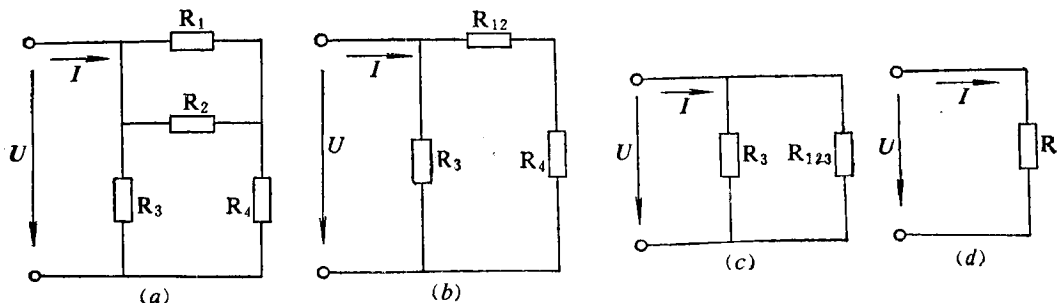


图 1—11

解 为求总电流 I ，先求电路的等效电阻。根据电阻串并联的特点，图 1—11 (a) 中 R_1 与 R_2 并联，其等值电阻为

$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100 \times 100}{100 + 100} = 50 (\Omega)$$

这样电路可简化为图 1—11 (b)。在图 1—11 (b) 中， R_{12} 与 R_4 相串联，其等效电阻为

$$R_{124} = R_{12} + R_4 = 50 + 150 = 200 (\Omega)$$

电路又可进一步简化为图 1—11 (c)。显然 R_3 与 R_{124} 为并联关系，所以电路的总等效电阻为

$$R = \frac{R_3 R_{124}}{R_3 + R_{124}} = \frac{150 \times 200}{150 + 200} \approx 85.71 (\Omega)$$

图 1—11 (d) 即为最终简化为无分支的电路。根据欧姆定律，即可求得电流为

$$I = \frac{U}{R} = \frac{100}{85.71} \approx 1.17 (\text{A})$$

例 1—8 图 1—12 表示某调速系统的电流正反馈环节，已知主电路电流 $I = 50 \text{ A}$ ，反馈强度调节电阻 $R_{w1} = 200 \Omega$ ，取样电阻 $R_{w2} = 5 \Omega$ ， $R_1 = 0.5 \Omega$ ，正反馈励磁绕组的直流电阻 $R = 25 \Omega$ 。求：当 R_{w1} 、 R_{w2} 均处在中间位置时正反馈励磁电流 I_f' 的大小。

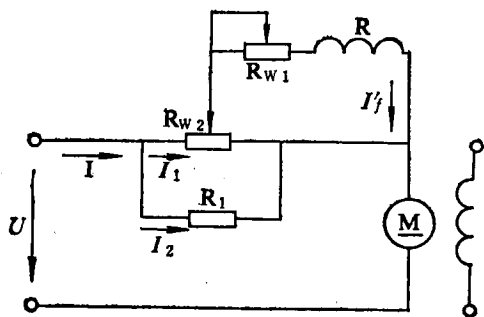


图 1—12

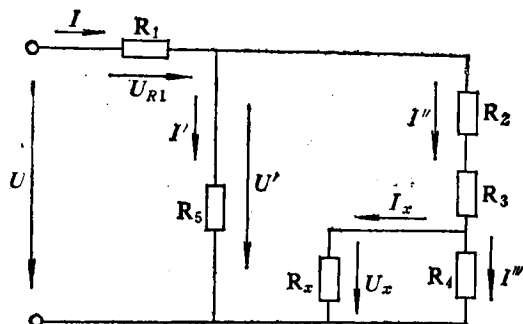


图 1—13

解 为求得 I_f' ，可求出 R_{w1} 与 R 两端所得到的电压，亦即 R_{w2} 上压降的一半。由于 $\frac{1}{2}R_{w1} + R \gg \frac{1}{2}R_{w2}$ ，所以，在计算 R_{w2} 与 R_1 的分流时可不考虑 R_{w1} 支路的影响，根据分流公式

$$I_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_{w2}} I = \frac{0.5 \times 50}{0.5 + 5} = 4.545 (\text{A})$$

R_{w2} 上的压降为

$$U_{w2} = I_1 R_{w2} = 4.545 \times 5 = 22.725 (\text{V})$$

所以，正反馈励磁电流为

$$I_f' = \frac{\frac{1}{2}U_{w2}}{\frac{1}{2}R_{w1} + R} = \frac{\frac{1}{2} \times 22.725}{\frac{1}{2} \times 200 + 25} = 0.091 (\text{A})$$

例 1—9 如图 1—13 所示电路中，已知电压 $U = 50 \text{ V}$ ，电流 $I = 0.2 \text{ A}$ ， $R_1 = 50 \Omega$ ， $R_2 = 120 \Omega$ ， $R_3 = 60 \Omega$ ， $R_4 = 400 \Omega$ ， $R_5 = 500 \Omega$ ，求电阻 R_x 及流过电阻 R_x 上的电流 I_x 。

解 根据已知条件可知，电路的总等效电阻为

$$R_s = \frac{U}{I} = \frac{50}{0.2} = 250(\Omega)$$

电阻 R_1 上的压降为

$$U_{R1} = IR_1 = 0.2 \times 50 = 10 \text{ (V)}$$

电阻 R_5 两端的电压及流过 R_5 的电流分别为

$$U' = U - U_{R1} = 50 - 10 = 40 \text{ (V)}$$

$$I' = \frac{U'}{R_5} = \frac{40}{500} = 0.08 \text{ (A)}$$

所以

$$I'' = I - I' = 0.2 - 0.08 = 0.12 \text{ (A)}$$

电阻 R_x 两端的电压为

$$U_x = U' - I''(R_2 + R_3) = 40 - 0.12 \times (120 + 60) = 18.40 \text{ (V)}$$

流过电阻 R_4 的电流为

$$I''' = \frac{U_x}{R_4} = \frac{18.4}{400} = 0.046 \text{ (A)}$$

所以

$$I_x = I'' - I''' = 0.12 - 0.046 = 0.074 \text{ (A)}$$

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{18.4}{0.074} \approx 248.65 \text{ (}\Omega\text{)}$$

二、电路中各点电位计算

一个电路的工作状态，通常采用测量电路中各点电位值的方法来判断。特别对于电子线路，分立元件的或是集成电路的，分析各点电位的高低至关重要。我们已经知道，电路中某点的电位实际上就是该点与参考点间的电压。电位是一个相对的量，其大小一般随着参考点的改变而变化。所以在计算电路中各点电位时，必须先指定电路中的某一点作为电位参考点，并认为参考点本身的电位为零。电路中其它各点的电位正、负、大、小都是相对这个参考点而言的，这就如同地球上各处的高差（海拔高度）都是相对某一海平面而言的一样。

电位的参考点可以任意选定。但为了测量的方便，通常以大地为参考点，线路中所有接地的点均为零电位点。一些金属外壳的设备，由于外壳接了地，所有与外壳相接的点也就是零电位点了。近年来仪器设备采用塑料外壳的越来越多，这些仪器设备的电路一般与

大地没有直接连通的点。但为了测量的方便，通常规定电路中许多元件汇集的公共点为零电位点。如电子线路中的“地”就是这样的公共点。任何一个电路，无论复杂程度如何，电位参考点只能选一个。

由于电路中任一点的电位就是该点与参考点间的电压，所以，在计算电路中各点电位时，必须先选择一个电位参考点和假定出电压、电流的参考方向（正方向），然后根据

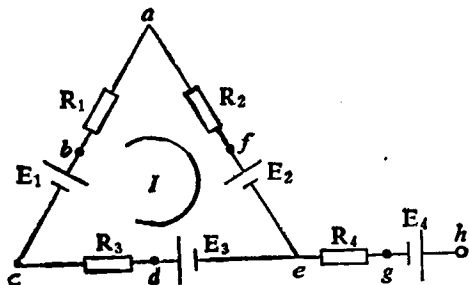


图 1-14

据欧姆定律来计算。下面通过几例来说明电路中各点电位的计算方法。

例 1—10 图 1—14 中，已知 $E_1 = 12 \text{ V}$ ， $E_2 = 6 \text{ V}$ ， $E_3 = 5 \text{ V}$ ， $E_4 = 10 \text{ V}$ ， $R_1 = 2 \Omega$ ，

$R_2=R_3=1\Omega$, $R_4=100\Omega$, 分别求以 b 为参考点和以 c 为参考点时, 其余各点的电位。

解 闭合回路中的电流为

$$I = \frac{E_1 - E_2 + E_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{12 - 6 + 5}{2 + 1 + 1} = 2.75 \text{ (A)}$$

以 b 点为参考点时, $V_b = 0$

因为 $U_{ab} = IR_2 + E_2 - E_4 = 2.75 \times 1 + 6 - 10 = -1.25 \text{ (V)}$

所以 $V_a = U_{ab} = -1.25 \text{ (V)}$

同理

$$\begin{aligned} V_b &= U_{bb} = U_{ba} + U_{ab} = IR_1 + U_{ab} \\ &= 2.75 \times 2 - 1.25 = 4.25 \text{ (V)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= U_{cb} = U_{cb} + U_{bb} = -E_1 + U_{bb} \\ &= -12 + 4.25 = -7.75 \text{ (V)} \end{aligned}$$

$$V_d = U_{db} = E_3 - E_4 = 5 - 10 = -5 \text{ (V)}$$

$$V_e = U_{eb} = -E_4 = -10 \text{ (V)}$$

$$V_f = U_{fb} = -E_4 = -10 \text{ (V)}$$

$$V_g = U_{gb} = E_2 - E_4 = 6 - 10 = -4 \text{ (V)}$$

若以 c 点为参考点, 则 $V_c = 0$, 其余各点的电位为

$$V_b = U_{bc} = E_1 = 12 \text{ (V)}$$

$$\begin{aligned} V_a &= U_{ac} = U_{ab} + U_{bc} = -IR_1 + U_{bc} \\ &= -2.75 \times 2 + 12 = 6.5 \text{ (V)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_f &= U_{fc} = U_{fg} + U_{gc} = -IR_2 + U_{gc} \\ &= -2.75 \times 1 + 6.5 = 3.75 \text{ (V)} \end{aligned}$$

$$V_e = U_{ec} = -E_3 + R_3 I = -5 + 2.75 \times 1 = -2.25 \text{ (V)}$$

$$V_d = U_{dc} = IR_3 = 2.75 \times 1 = 2.75 \text{ (V)}$$

$$V_g = U_{gc} = U_{ec} = -2.25 \text{ (V)}$$

$$\begin{aligned} V_h &= U_{hc} = U_{hg} + U_{gc} = E_4 + U_{gc} \\ &= 10 - 2.25 = 7.75 \text{ (V)} \end{aligned}$$

从上例的计算结果可看出, 由于 c 点的电位比 b 点低 7.75 V , 所以, 以 c 点为参考点后其它各点的电位均比以 b 点为参考点时升高 7.75 V 。但参考点的改变, 任意两点间的电压并不改变。

例 1—11 图1—15 (a) 所示电路, 求 a 点的电位。

解 图1—15 (a) 中标注的“+12 V”, “-4 V”都是相对参考点而言的, 所以可将图1—15 (a) 画成图1—15 (b) 的形式。由图1—15 (b) 可看出, 电路只有一个闭合回路, 回

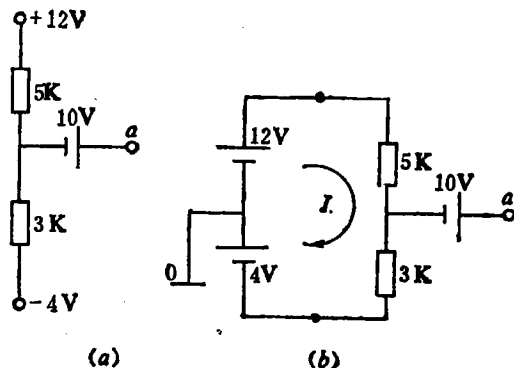


图 1—15