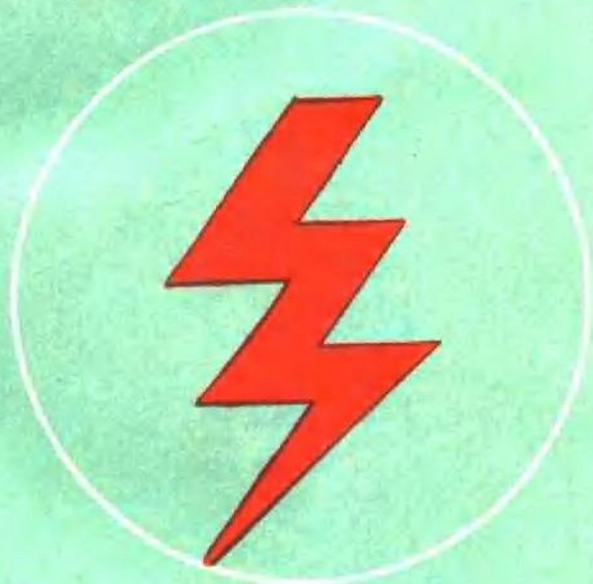


特种作业人员培训教材

电工安全技术

陕西省劳动保护教育中心 编



陕西人民出版社

电工安全技术

主编 王明孝

陕西人民出版社出版发行

(西安北大街131号)

陕西省印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 13.625印张 2插页 290千字

1991年8月第1版 1991年8月第1次印刷

印数：1—10000

ISBN 7-224-01649-7/C·19

定价：6.50元

前 言

根据中华人民共和国国家标准《特种作业人员安全技术考核管理规则》中，关于对电工作业人员进行安全技术培训考核的要求及其工作需要，我们在对原《电工》教材广泛征求意见的基础上，经陕西省劳动厅主管领导及职安处的同意，组织人员重新修改、编写了《电工安全技术》一书。

本书适用于电工作业人员培训考核之用，也可供从事劳动保护和安技工作的同志学习参考。

本书主编：王明孝。副主编：岳继贺、张洛章。编者有：王立、冉守信、王明孝、苟建友、董春成、刘孝悌。本书由陕西省劳动厅组织有关人员审定通过。主审：林崇平、常延龄。

本书在大纲的编写和成书过程中，得到了劳动厅有关领导的关怀，得到了航空航天工业部秦岭电气公司的领导、安环处及其他有关单位的大力支持，在此一并表示感谢！

陕西省劳动保护教育中心

1990年10月

目 录

前言	(1)
第一章 电工基础知识	(1)
第一节 直流电路	(1)
第二节 电磁现象	(15)
第三节 正弦交流电的基本概念	(28)
第四节 单相正弦交流电路	(37)
第五节 三相交流电路	(46)
第六节 半导体知识	(53)
第二章 触电伤害及类型	(77)
第一节 电流对人体的危害	(77)
第二节 触电事故的类型	(82)
第三节 触电事故的规律	(88)
第四节 触电急救	(90)
第三章 防止触电事故的通用技术措施	(97)
第一节 绝缘、屏护、间距	(97)
第二节 安全电压	(102)
第三节 接地和接零	(103)
第四节 漏电保护装置	(133)
第五节 电工安全用具	(142)
第四章 特殊防护技术	(151)
第一节 工业静电安全	(151)

第二节	电磁场的安全·····	(162)
第三节	雷电的防护·····	(168)
第四节	电气防火防爆·····	(186)
第五章	常用电工测量仪表·····	(206)
第一节	测量仪表的基本知识·····	(206)
第二节	常用电工测量仪表的应用·····	(209)
第六章	变配电安全技术·····	(228)
第一节	概述·····	(228)
第二节	变压器·····	(231)
第三节	高压开关·····	(240)
第四节	互感器·····	(246)
第五节	电力电容器·····	(252)
第六节	变电站的过流继电保护·····	(257)
第七章	电气设备维修电工安全技术·····	(263)
第一节	保护电器·····	(263)
第二节	开关电器·····	(269)
第三节	交流异步电动机·····	(274)
第四节	电力拖动·····	(286)
第五节	专用电气设备的控制线路及安全要求 ·····	(293)
第八章	外线工程安全技术·····	(302)
第一节	概述·····	(302)
第二节	电力线路的选择·····	(303)
第三节	架空线路·····	(307)
第四节	架空线路的施工·····	(313)
第五节	电力电缆线路·····	(321)

第六节	电力线路的运行维护检查·····	(327)
第九章	内线工程安全技术·····	(331)
第一节	内线工程概述·····	(331)
第二节	电气照明·····	(333)
第三节	车间动力配线·····	(340)
第十章	电气设备安装安全技术·····	(347)
第一节	高压电气装置安装施工要求·····	(347)
第二节	母线装置安装施工要求·····	(355)
第三节	成套配电装置的安装·····	(360)
第十一章	电气试验、试车安全技术·····	(365)
第一节	电气试验、试车的安全要求·····	(365)
第二节	电气设备的工频耐压试验·····	(366)
第三节	电气绝缘工具的试验·····	(372)
第十二章	汽车电工、充电工安全技术·····	(376)
第一节	汽车电路·····	(376)
第二节	蓄电池·····	(379)
第三节	汽车电工、充电工安全技术·····	(389)
第十三章	电气安全管理·····	(392)
第一节	电气安全工作的基本要求·····	(392)
第二节	保证安全的组织措施·····	(395)
第三节	保证安全的技术措施·····	(402)
第四节	电气设备的倒闸操作·····	(406)
附录 I	爆炸性气体、粉尘的物理特性和防爆电 气设备的选型·····	(411)
附录 II	室内配电装置的安全距离和母线搭接方 式、载流量参考值·····	(421)

参考文献.....	(429)
后记.....	(430)

第一章 电工基础知识

第一节 直流电路

一、电路及其组成

电路就是电流所流经的路径。电路是由电源、用电器、控制器和导线等电路元件组成。直流电路就是供电电源为直流电源，使电路中流过的电流为直流电流。所谓直流电，是指电流、电压和电动势的大小和方向不随时间而变化。电路的作用是产生、分配、传输和使用电能。

二、欧姆定律及其应用

(一) 部分电路的欧姆定律

所谓部分电路的欧姆定律，就是在一段不含电动势只有电阻的直流电路中，如图 1—1 所示，流过电阻的电流与加在该电阻两端的电压成正比，而与电阻的阻值成反比。用公式表示，即：

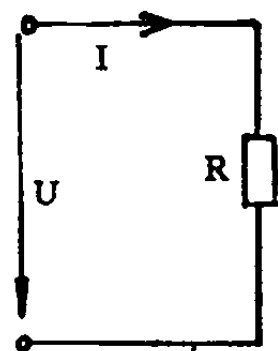


图 1—1 纯电阻电路

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

式中：U—电压，单位是伏特（V），

I—电流，单位是安培（A），

R —电阻，单位是欧姆 (Ω)

电压、电流、电阻的关系，还可以用下式表示：

$$U = IR$$

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

(二) 全电路的欧姆定律

在只有一个电源，而无分支的闭合电路中，如图 1—2 所示，电流 I 与电源的电动势 E 成正比，而与外电路电阻 R 和内电路电阻 r_0 之和成反比。用公式表示，即：

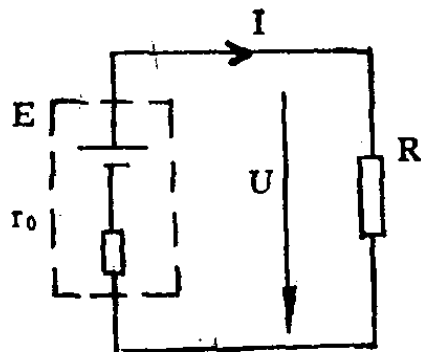


图 1—2 全电路

$$I = \frac{E}{R + r_0} \quad (1-2)$$

式中： E —电源电动势，单位是伏特 (V)；

I —回路电流，单位是安培 (A)；

R —外电路电阻即负载电阻，单位是欧姆 (Ω)；

r_0 —内电路电阻即电源内阻，单位是欧姆 (Ω)。

由式 (1—2) 可得出：

$$E = I(R + r_0)$$

$$= IR + Ir_0$$

$$= U + \Delta U$$

$$U = E - \Delta U$$

(1—3)

式中： U —负载端电压即电源端电压，单位是伏特 (V)；

ΔU —电源内阻电压降，单位是伏特 (V)。

由式（1—3）可知，闭合电路中电源的端电压等于电源的电动势减去电源内电阻的电压降。

三、基尔霍夫定律

对于比较复杂的电路如图 1—3 所示，单用欧姆定律来计算是不行的，这就必须应用新的计算方法—基尔霍夫定律。在介绍基尔霍夫定律之前，先需了解几个电路中的常用术语。

支路：由一个或几个元件串联而成的，无分支路径，叫做支路。在同一支路中各元件通过的电流是相等的，如图 1—3 中 ACB 支路和 ADB 支路。

节点：由三条或更多数目的支路联接的点叫做节点。如图 1—3 中的 A 点和 B 点。

回路：由支路构成的闭合路径叫回路。一个回路可能包含几个支路，并通过若干个节点。如图 1—3 中的 ACBA、ADBA、CADBC。

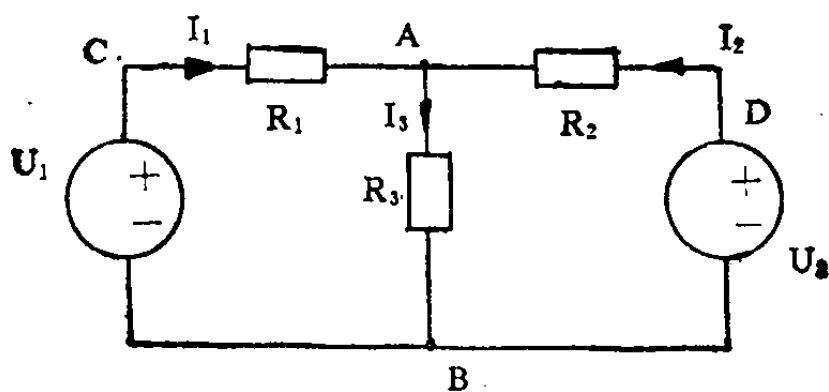


图 1—3 复杂电路

（一）基尔霍夫第一定律

基尔霍夫第一定律，也叫节点电流定律。它确定了电路

中任一节点上各支路电流之间的关系。该定律指出，对于电路中的任一节点，流入节点的电流之和必等于流出节点电流之和。如图 1—3 中的 A 点。设 I_1 、 I_2 为流入节点 A 的电流， I_3 是流出节点 A 的电流，根据基尔霍夫第一定律可得：

$$I_1 + I_2 = I_3$$

如将 I_3 移到等式左边，可得：

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

这就是说流入（或流出）任一节点的各电流的代数和等于零。即：

$$\Sigma I = 0 \quad (1-4)$$

这就是基尔霍夫电流定律的一般表达式。式中 Σ 是取代数和的意思。应用该定律时需注意各支路的电流方向。如规定流入节点的电流为正，则流出节点的电流为负；反之，如规定流入节点电流为负，则流出节点电流为正。

（二）基尔霍夫第二定律

基尔霍夫第二定律，也叫回路电压定律。它确定了任一回路中各部分电压之间的关系。该定律指出，对任一回路，沿任一方向绕行一周，各电源电势的代数和等于各电阻电压降的代数和。其表达式为：

$$\Sigma E = \Sigma IR$$

$$\text{或：} \Sigma E = \Sigma U \quad (1-5)$$

还可以表示为，在任何电路中，从一点出发绕任一回路一周，再回到该点，各段电压的代数和为零。其表达式为：

$$\Sigma U = 0$$

根据基尔霍夫第二定律列出的方程式，称为回路电压方程式。在按（1—5）式列方程时，各项正负号按下列方法

确定：

(1) 任意规定各支路电流方向。

(2) 选定回路环绕方向。

(3) 确定电压符号：当通过电阻的电流方向与绕行方向一致时，电阻上的电压取正号；相反时，则取负号。

(4) 确定电动势的符号：当环绕方向与电动势的方向一致时，取正号；相反时，则取负号。

四、电阻的串联、并联及混联

(一) 串联

把两个或两个以上的电阻依次鱼贯连接起来，中间无分支，称作电阻的串联。图 1—4 为两个电阻串联的电路。两个电阻串联后，在其两端加上电源电压 U ，则电流从电源的 (+) 端进入，经电阻 R_1 、 R_2 。

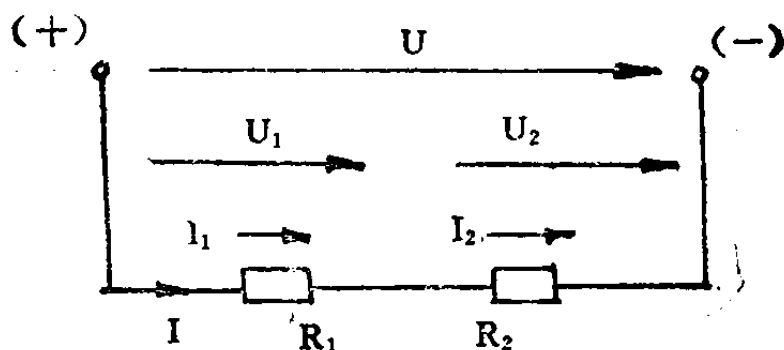


图 1—4 电阻串联电路

串联电路具有如下特点：

(1) 流经各电阻的电流相等，即：

$$I = I_1 = I_2$$

(2) 电路中的总电阻等于各电阻之和，即：

$$R = R_1 + R_2$$

若多个电阻串联，则：

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

(3) 各电阻上的电压降之和等于端电压，即：

$$U = U_1 + U_2$$

式中， U_1 、 U_2 为电流 I 通过电阻 R_1 、 R_2 时的电压降。

若多个电阻串联，则为：

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

(4) 各电阻上电压降与各自的电阻值成正比，即：

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (1-6)$$

式(1-6)说明：在串联电路中，电阻值越大，其电压降越大；电阻值越小，其电压降越小。

由式(1-6)可知：

$$U_1 = \frac{R_1}{R_2} U_2$$

因为 $U_2 = IR_2$

所以 $U_1 = \frac{R_1}{R_2} IR_2 = R_1 I$

又因为 $I = \frac{U}{R_1 + R_2}$

所以 $U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U$

同理： $U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$

$\frac{R_1}{R_1 + R_2}$ 和 $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 称分压系数。电阻的串联在电路中

起分压和限流的作用。

(二) 并联

两个或两个以上的电阻，将它们的一端连接在一起，而将另一端也连接在一起，这种接法叫做电阻的并联。图1—5为两只电阻并联的电路。

两电阻并联后，在两端加上电源电压 U ，则电阻 R_1 、 R_2 中分别有电流 I_1 、 I_2 流过。

并联电路具有如下特点：

(1) 并联电阻两端所加的是同一电压。

(2) 并联电路的总电流等于各支路电流之和，即：

$$I = I_1 + I_2$$

图 1—5 电阻并联电路

式中： I —电路总电流；

I_1 、 I_2 —支路电流。

根据欧姆定律，各支路电流为：

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{U}{R_1} \\ I_2 &= \frac{U}{R_2} \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

式(1—7)说明：各支路电流与各自支路的电阻成反比。即支路电阻大的，其电流小；支路电阻小的，其电流

大。

若多个电阻并联，则：

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

(3) 并联电路总电阻的倒数等于各支路电阻倒数之和。其关系如下：设R为总电阻，

由 $I = I_1 + I_2$ 可知：

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} \quad \text{两边除以} U \text{得：}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1-8)$$

由式(1-8)可求得两个电阻并联后的总电阻，即：

$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \\ &= \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \end{aligned} \quad (1-9)$$

式(1-9)说明：两个电阻并联，则总电阻等于两电阻的乘积除以两电阻之和。工程上经常碰到两个电阻并联，在计算总电阻时，可直接采用公式(1-9)。

若多个电阻并联，则应为：

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

(4) 并联电路对总电流有分流作用。由于各支路电压均等于电源的端电压，即：

$$I_1 R_1 = IR, \quad I_2 R_2 = IR$$

因而得到:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{R}{R_1} I \\ I_2 &= \frac{R}{R_2} I \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

将式 (1-9) 代入式 (1-10), 化简后得到:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \\ I_2 &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

式 (1-11) 说明: 支路电阻越大, 所分配的电流越小; 支路电阻越小, 所分配的电流越大。其中 $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 、 $\frac{R_1}{R_1 + R_2}$ 称分流系数。

电阻的并联在电路中常作分流用。

(三) 混联

在电路中, 如果电阻既有串联, 又有并联, 这样的电路就是混联电路。如图 1-6 (a) 所示。

混联电路的计算一般按以下步骤进行:

(1) 应用电阻串、并联概念把电路化简, 求电路总电阻。图 1-6 (a) 为四只电阻组成的混联电路, 按 (a)、(b)、(c)、(d) 顺序逐步化简, 计算电路的总电阻 R 。

(2) 根据总电阻 R 和外力。电压, 计算总电流。

(3) 根据总电流, 计算各分支电流。

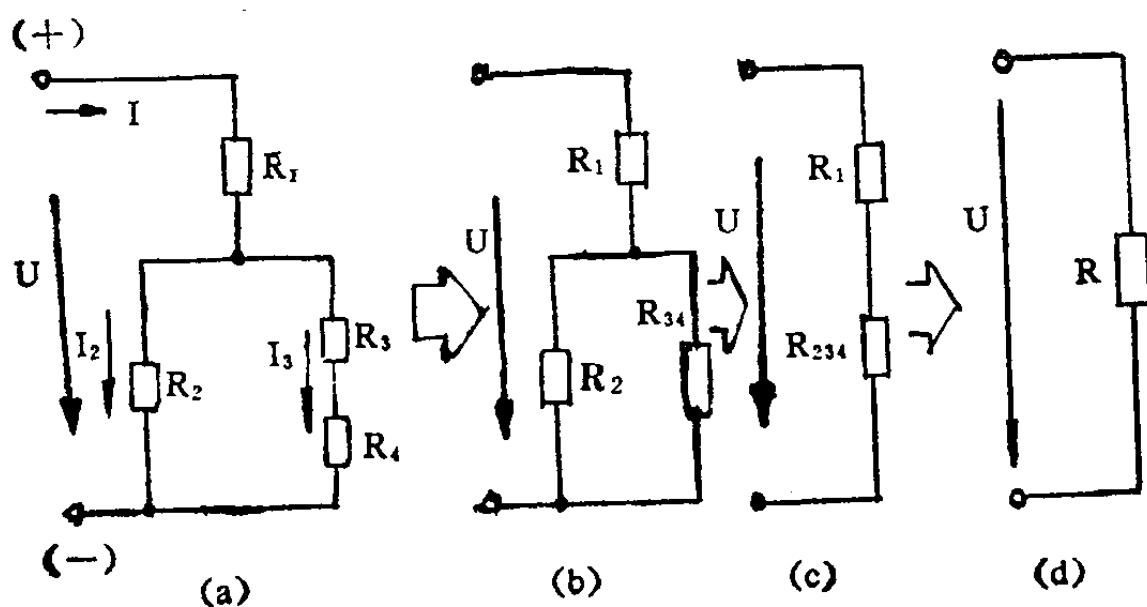


图 1—6 混联电路的化简

【例 1】有一直流电路如图 1—7 所示, 已知: $R_1 = 100\Omega$, $R_2 = 60\Omega$, $R_4 = 76\Omega$, 求: ①电路的总电阻 R 是多少? ②若已知流过电阻 R_4 的电流是 $I_4 = 2\text{ A}$, 求电源电压 U 是多少? ③流过电阻 R_2 、 R_3 的电流 I_2 、 I_3 分别是多少?

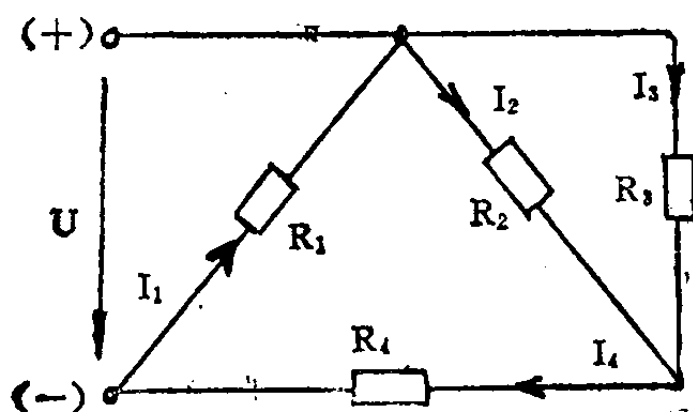


图 1—7 混联电路

解: ① R_2 和 R_3 的并联等效电阻为:

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{60 \times 40}{60 + 40} = 24\Omega$$