

国家机械工业委员会统编

电工与电子基础

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

本书内容包括直流电路、磁与磁路、单相交流电路、三相交流电路、线性电路的过渡过程、晶体管放大电路与振荡电路、数字电路基础和晶闸管及其应用。为便于思考和复习，各章均附有复习题。

本书主要用作中级维修电工和内外线电工的培训教材，也可供其他工种的工人自学及工程技术人员参考。

本书由南京汽轮机厂李建、邱嘉泉编写，由南京市机械局职工大学宋宝海、南京机床厂夏镇远审稿。

电工与电子基础

国家机械工业委员会统编

*

责任编辑：边萌 版式设计：张世琴
封面设计：林胜利 方芬 责任校对：熊天荣

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

*

开本 787×1092¹/₃₂·印张 9⁷/₈·字数 218 千字

1988 年 10 月北京第一版·1988 年 10 月北京第一次印刷

印数 00,001—39,500·定价：4.10 元

*

ISBN 7-111-01116-3/TM·148

前 言

1981年，原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》，确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此，组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》，编写了相应的教材，有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作，初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况，取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订，原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求，而且缺少高级部分；编写的教材，由于时间仓促、经验不足，在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此，原机械工业部根据新《标准》，重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级)，于1987年3月由国家机械工业委员会颁发，并根据培训计划、大纲的要求，编写了配套教材149种。

这套新教材的编写，体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神，坚持了文化课为技术基础课服务，技术基础课为专业课服务，专业课为提高操作技能和解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上，力求以

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力的培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组
1987年11月

目 录

前言

第一章 直流电路	1
第一节 电路的基本定律	1
第二节 直流复杂电路	11
复习题	37
第二章 磁与磁路	44
第一节 磁场的基本物理量	44
第二节 磁场对通电导体的作用	48
第三节 铁磁性材料的磁性能	51
第四节 电磁感应	56
第五节 磁路与磁路定律	64
复习题	79
第三章 单相交流电路	83
第一节 正弦交流电的特征和表示方法	83
第二节 正弦交流电的矢量分析法	89
第三节 复数概述	95
第四节 正弦交流电的复数表示	101
第五节 单一参数的交流电路	103
第六节 电阻、电感、电容串联电路	116
第七节 电阻、电感、电容并联电路	133
复习题	144
第四章 三相交流电路	150

第一节	三相交流电概述	150
第二节	三相交流电动势的产生	150
第三节	三相负载的联接	158
第四节	三相电路的计算	166
第五节	三相功率	173
第六节	交流电路的功率因数	176
	复习题	182
第五章	线性电路的过渡过程	185
第一节	概述	185
第二节	换路定律	189
第三节	电阻电容电路的过渡过程	194
	复习题	200
第六章	晶体管放大电路与振荡电路	202
第一节	晶体管的主要参数和特性曲线	202
第二节	晶体管放大电路的工作原理	207
第三节	放大电路的图解分析法	210
第四节	放大电路微变等效电路法	215
第五节	偏置电路	220
第六节	反馈电路	223
第七节	阻容耦合多级放大电路	226
第八节	功率放大器	228
第九节	振荡电路	235
	复习题	240
第七章	数字电路基础	244
第一节	晶体二极管、三极管的开关特性	244
第二节	基本逻辑门电路	250
第三节	集成逻辑门电路	258
第四节	逻辑代数基础知识	264

VI

复习题	273
第八章 晶闸管及其应用	275
第一节 晶闸管简介	275
第二节 晶闸管触发电路	282
第三节 晶闸管整流电路	295
第四节 快速晶闸管和双向晶闸管	305
复习题	308

第二章 直流电路

第一节 电路的基本定律

一、欧姆定律

1. 部分电路欧姆定律 如图 1-1 所示, 当电阻为 R 的导体两端施加电压 U 时, 就有电流 I 流过导体。电压、电流和电阻这三个量的联系, 由德国物理学家欧姆在 1827 年最早揭示出来。欧姆指出: 导体中电流强度的大小与这段导体两端的电压成正比, 与这段导体的电阻成反比。这就是著名的

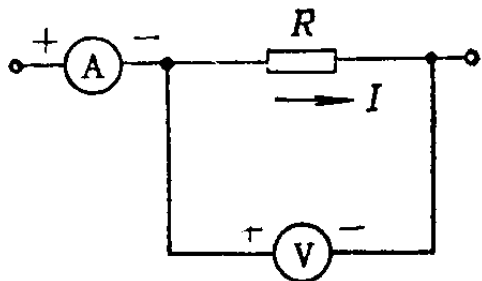


图 1-1 部分电路欧姆定律

的欧姆定律, 它是电路中最基本的定律之一, 在实践中有广泛的应用。不过, 这里的欧姆定律是对整个闭合电路中不含电源的一部分支路进行讨论而得出的结论, 所以通常称为部分电路欧姆定律。它可以用公式表示为

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

式中 U —— 电压(V);

R —— 电阻(Ω);

I —— 电流(A)。

根据部分电路欧姆定律的公式可知, 在电流、电压和电阻三个量中, 只要知道其中两个量, 就可以算出第三个量。

例1 为了测量电阻，工程上常用“伏安法”（即在电阻两端加一直流电压，分别用电压表和电流表）测出电压和电流，然后根据部分欧姆定律公式算出电阻的阻值。如图 1-2 所示，在一直流电机励磁线圈上加上直流电压 220 V，测得电流是 0.4 A，问此线圈的电阻等于多少？

解 根据式 (1-1) 有：

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.4} = 550 \quad (\Omega)$$

由此可知，这个线圈的电阻是 550 Ω 。

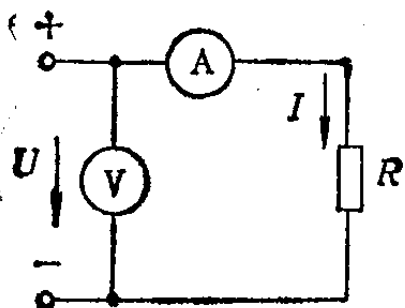


图1-2 例1附图

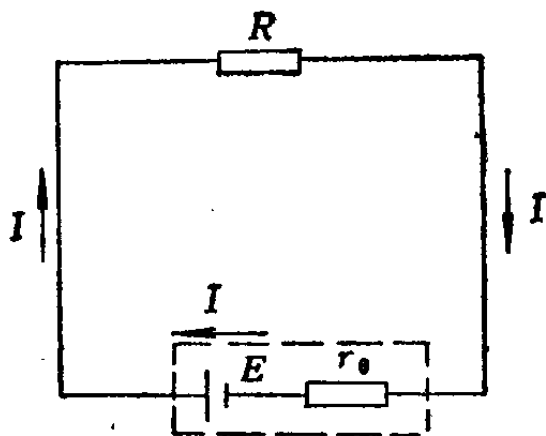


图1-3 全电路欧姆定律

2. 全电路欧姆定律 图 1-3 是一个由电池作为电源向负载 R 供电的电路。其中 E 为电源电动势， r_0 为电源内阻。这种电路含有内电路（即电源内部的电路）和外电路（负载电阻）两部分。内电路和外电路构成全电路。实验表明，在只有一个电源的无分支的闭合电路中，电流的大小等于电动势与内外电路电阻之和的比值。这个结论称为全电路欧姆定律，用公式表示为

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

式中 E ——电源的电动势(V)；
 R ——外电路电阻(Ω)；
 r_0 ——电源内电阻(Ω)；
 I ——电流(A)。

由式(1-2) 可得

$$E = IR + Ir_0 \quad (1-3)$$

在外电路中, $U = IR$, 将此式代入式(1-3)便有

$$E = U + Ir_0$$

或 $U = E - Ir_0 \quad (1-4)$

在式(1-4)中, 若不计电流在导线上的电压降落, 则负载两端的端电压 U 就是电源两端的端电压。式中 Ir_0 称为电源内部的电压降。式(1-4)表明, 电路闭合时, 电源的端电压等于电源电动势减去电源内部的电压降。

以下根据全电路的欧姆定律, 分析电路的三种工作状态: 负载状态、开路状态和短路状态。

(1) 负载状态: 当负载电阻 R 和电源接通后, 电源便向负载输出电流 I 和功率 P , 此时

$$I = \frac{E}{R + r_0}$$

或 $U = E - Ir_0$

将上式各项乘以电流 I , 得功率平衡式

$$P = P_E - \Delta P$$

式中 $P_E = EI$ ——电源产生的功率；

$\Delta P = I^2 r_0$ ——电源内阻上损耗的功率；

$P = IU$ ——电源向外电路负载输出的功率。

(2) 开路状态: 当外电路空载时, 外电路电阻对电源来说是无穷大($R = \infty$), 因此电路中电流等于零($I = 0$)。

根据式 $U = E - Ir_0$ ，此时有 $U = E$ ，即开路时，电路的端电压在数值上等于电源电动势。由于电路在开路状态时，电源向外电路的供电电流为零，故电源向外电路不输出电能。

综上所述，电路开路时的特征可表示为

$$I = 0$$

$$U = E$$

$$P = 0$$

其中 P 是电源向外电路输出的功率。

(3) 短路状态：由式(1-2)知，当外电路电阻 R 逐渐减小时，电路中电流 I 将随之逐渐增大；而当 $R = 0$ 时，电路的电流达到最大值，此电流称为短路电流 I_s ，此时电路的工作状态称为短路状态。短路时因 $R = 0$ ，故短路电流在 R 上的压降 $U = 0$ ，电源的电动势全部降在内阻上。

综上所述，电路短路时的特征可表示为

$$U = 0$$

$$I = I_s = \frac{E}{r_0}$$

$$P_E = I^2 r_0 = \Delta P, \quad P = 0$$

短路是一种严重事故，应尽力避免；短路时的短路电流 I_s 很大，它可能使电源和电路遭受机械的与热的损伤或毁坏。产生短路的原因往往是由于接线错误或绝缘损坏。因此，应该经常检查电气设备和线路的绝缘情况。此外，为防止短路，可在电路中接入自动断路器和熔断器，一旦电路发生短路，能够自动及时切断电源。

例 2 有一干电池，当外电阻为 1Ω 时，电流为 1 A ；当外电阻为 2.5Ω 时，电流为 0.5 A 。求电池的电动势和内电阻。

解 设电池的电动势为 E ，内电阻为 r_0 。根据全电路欧姆定律得：

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + r_0}, \quad I_2 = \frac{E}{R_2 + r_0}$$

于是有 $I_1(R_1 + r_0) = I_2(R_2 + r_0)$

$$\text{所以 } r_0 = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2} = \frac{0.5 \times 2.5 - 1 \times 1}{1 - 0.5} = 0.5 \quad (\Omega)$$

$$E = I_1(R_1 + r_0) = 1 \times (1 + 0.5) = 1.5 \quad (\text{V})$$

本例介绍了一种用实验测定电源电动势和内阻的方法。

二、基尔霍夫定律

欧姆定律是求解简单直流电路的有效工具，但要解复杂电路，仅靠欧姆定律是不够的，还必须应用基尔霍夫定律。所谓复杂电路是指这种电路的负载不能用电阻的串、并联来简化。另外，复杂电路中往往不止一个电源。

如图 1-4 所示就是两个复杂电路。其中图 a 有两个电源 E_1 和 E_2 ；图 b 是常见的电桥电路，其中 R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 为电桥的四个桥臂电阻， R_G 是检流计 G 的内阻。这两个电路中的各电阻之间的联接既不是串联，也不是并联。

求解复杂电路的方法尽管很多，但主要是根据欧姆定律和基尔霍夫定律。

在讨论基尔霍夫定律之前，首先介绍几个常用的电路名词。

支路：电路中的每条分支。如图 1-4 a 中有三条支路，其中 R_3 是由一个元件构成的支路，而其他两条支路都是由两个元件构成的。

节点：三条或三条以上支路的交点。如图 1-4 b 中的 a、b、c、d 四点都是节点。

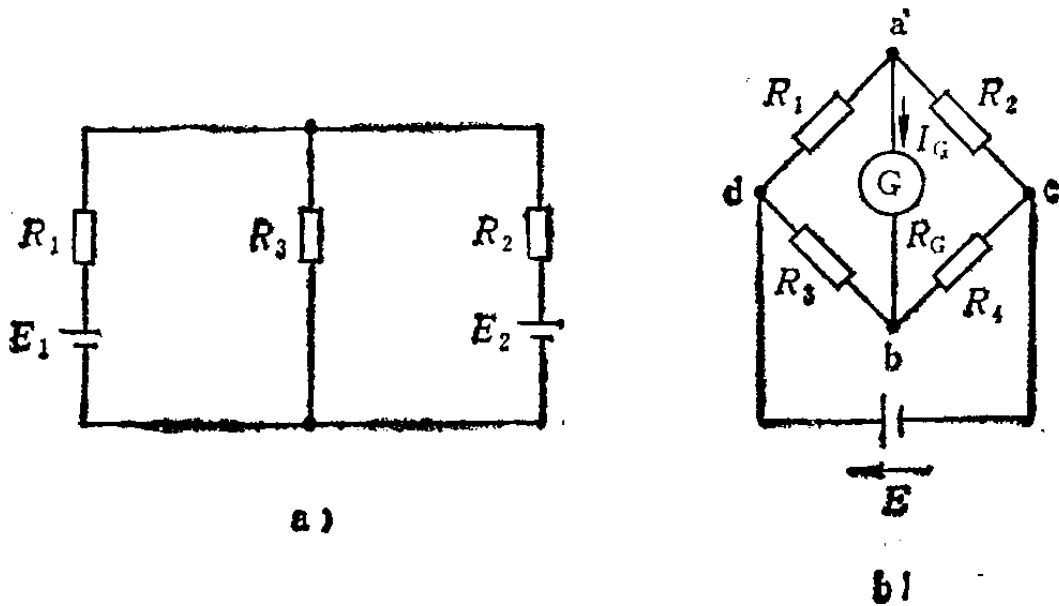


图1-4 复杂电路

回路：由一条或多条支路构成的闭合电路。如图 1-4 b 中的 $a-R_2-c-E-d-R_1-a$ 和 $b-R_4-c-E-d-R_3-b$ 就是两个闭合的回路。

网孔：不可再分的回路，即最简单的回路。如图 1-4 b 中的 $a-G-b-R_3-d-R_1-a$ 就是网孔。

1. 基尔霍夫第一定律 基尔霍夫第一定律也称为基尔霍夫电流定律，它是研究电路中通过同一节点各支路电流之间的关系。其具体内容是：对于电路中任一节点，流入节点的电流之和恒等于流出这个节点的电流之和。基尔霍夫第一定律由电荷的连续性决定了其正确性。因为在任何一个节点上既不可能有电荷的积累，也不可能电荷的消失。基尔霍夫第一定律的内容可用公式表示为

$$\Sigma I_{\text{入}} = \Sigma I_{\text{出}} \quad (1-5)$$

式中 Σ ——求和的符号。

根据基尔霍夫第一定律，可以列出任何一个节点的电流

方程。然而，在列节点方程前，首先要标出各支路电流的正方向（或称参考方向），其方法是，对已知电流，可按电流实际方向在图中标出；对未知电流，则可任意假定某一方向作为该电流的正方向（参考方向）。在标出各电流的方向后，便可根据基尔霍夫第一定律列出节点电流方程求解。最后，再根据计算结果来判定未知电流的实际方向。当计算结果的电流为正值时，说明未知电流的实际方向与假定的电流正方向（参考方向）一致，而当计算结果的电流为负值时，则说明未知电流的实际方向与假定的电流正方向相反。

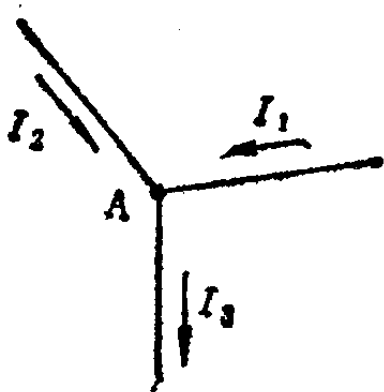


图1-5 基尔霍夫第一定律

如图 1-5 中所标的电流正方向，对于节点 A，可得到三条支路电流的关系式为

$$I_1 + I_2 = I_3$$

或

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

上式一般形式为

$$\Sigma I = 0 \quad (1-6)$$

上式说明，任何一个节点上电流的代数和恒等于零。这是基尔霍夫第一定律的另一种说法。通常规定流入节点的电流为正，流出节点的电流为负。

例 3 图 1-6 表示某复杂电路中的一个节点 a。已知 $I_1 = 5 \text{ A}$ ， $I_2 = 2 \text{ A}$ ， $I_3 = -3 \text{ A}$ ，试求通过 R 的电流 I_4 。

解 假设通过 R 的电流 I_4 的参考方向如图所示。根据基尔霍夫第一定律，列出方程为

$$I_1 - I_2 - I_3 + I_4 = 0$$

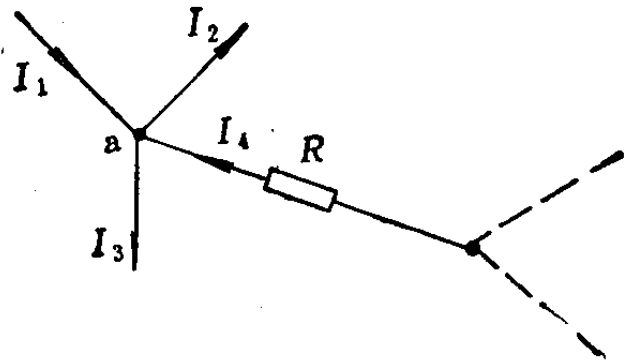


图1-6 例3附图

代入已知数据 $(+5) - (2) - (-3) + I_4 = 0$

解得

$$I_4 = -6 \text{ A}$$

I_4 为负值，说明 I_4 的实际方向和图示的参考方向相反，即 I_4 的实际方向是从节点 a 流出的。

通过本例可见，在运用基尔霍夫第一定律时，常需和两种符号打交道。一种是方程中各项电流前的正、负号，其正负决定于电流参考方向对节点的相对关系，流入为正，流出为负；另一种是电流本身数值的正负号，如本例中各括号内的正负号。

例4 图1-7表示一个晶体管。如果已知发射极电流 $I_e = 5.22\text{mA}$ ，集电极电流 $I_c = 5.18\text{mA}$ ，问 I_b 是多少？

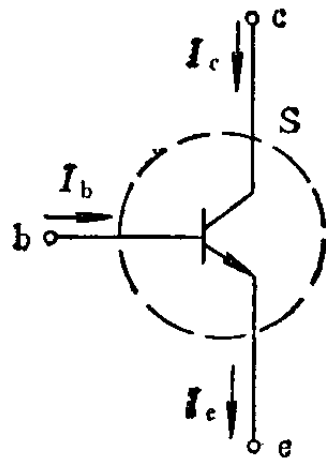


图1-7 例4附图

解 基尔霍夫第一定律不仅适用于节点，而且可推广到任意假定的封闭面 S 。在本题中我们可以假定一个封闭面 S ，那么，流进封闭面的电流应该等于从封闭面流出的电流。或者说通过封闭面的电流代数和为零。故，本例有

$$I_b + I_c - I_a = 0$$

所以 $I_b = I_a - I_c = 5.22 - 5.18 = 0.04 \text{ (mA)}$

2. 基尔霍夫第二定律 基尔霍夫第二定律也称为基尔霍夫电压定律，它是解决电路问题强有力的工具，在网络分析中有重要的应用，其基本概念可应用于任何电路，即从简单的串联电路到最复杂的网络。

基尔霍夫第二定律的具体内容是：在任何一个由电阻元件和电源组成的闭合回路中，沿着回路绕行一周，其电源电动势升高的代数和一定等于在各电阻上电压降的代数和。基尔霍夫第二定律可用数学公式表示为

$$\Sigma E = \Sigma IR \quad (1-7)$$

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。在列方程式时，首先要确定各电源电动势和电阻上各电压降的极性。其方法为：先在图上选择一个回路绕行方向。以这个方向作为判断电动势和电压降正负的标准。通常这个回路的绕行方向是可以任意选择的，但是为了便于计算，一般选电动势的正方向（即由电动势从负到正的方向）作为回路绕行方向。如果回路中具有两个或两个以上的电动势，通常选电动势大的正方向作为回路的绕行方向。若某一电动势的正方向与绕行方向一致，则该电动势取正号，反之取负号；若通过某一电阻上的支路电流方向与回路绕行方向一致时，该电阻上的电压降取正号，反之取负号。

例 5 在图 1-8 中， $E_1 = 100 \text{ V}$ ， $E_2 = 200 \text{ V}$ ， $E_3 = 125 \text{ V}$ ， $R_1 = 5 \Omega$ ， $R_2 = 10 \Omega$ ， $R_3 = 20 \Omega$ ， $R_4 = 15 \Omega$ ，求回路中的电流。

解 首先选择回路的绕行方向。由于 E_2 最大，所以，选 E_2 的正方向为回路绕行方向，如图中所示。然后列出回

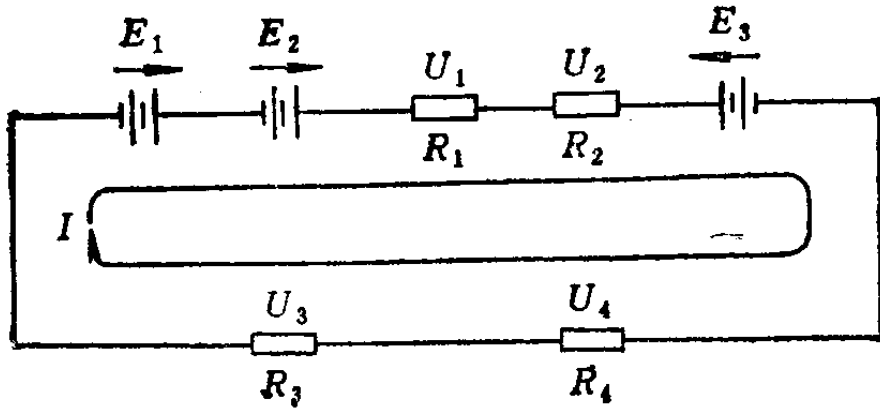


图1-8 例5附图

路电压方程 $\Sigma E = \Sigma IR$ ，最后求解方程。列方程如下：

$$E_1 + E_2 - E_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3 + IR_4$$

所以
$$I = \frac{E_1 + E_2 - E_3}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = \frac{100 + 200 - 125}{5 + 10 + 20 + 15} = 3.5 \text{ (A)}$$

应该指出，基尔霍夫第二定律不仅适用于由电源和电阻等实际元件组成的回路，而且也可推广到不全由实际元件组成的任意假定的回路。

如图 1-9 中的回路 A—B— R_4 — R_2 —A，其中 A 与 B 虽然断开，没有实际元件存在，但在 A、B 两点间确有电压

U_{AB} 存在，此电压和该假定回路的其余电压仍满足基尔霍夫第二定律。因此，在该回路中，沿顺时针方向，可列方程

$$U_{AB} + R_4 I_2 - R_2 I_1 = 0$$

即
$$U_{AB} = R_2 I_1 - R_4 I_2 = R_2 \frac{E_1}{R_1 + R_2} - R_4 \frac{E_2}{R_3 + R_4}$$

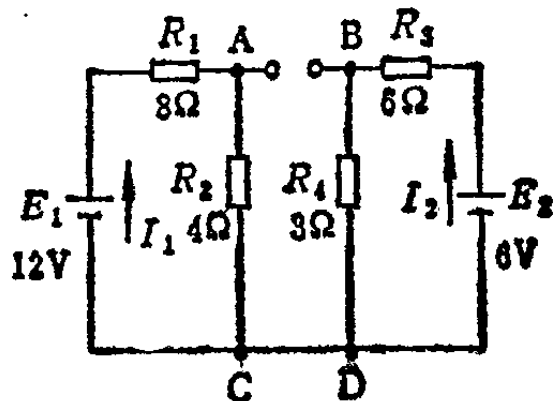


图1-9 基尔霍夫第二定律在全由实际元件组成的回路中的应用