



中级电工培训教材

电工与电子基础

中国劳动出版社

本书是劳动部培训司、中国劳动出版社委托广州市劳动保护宣传教育中心组织编写的中级电工培训教材之一。

本书内容包括直流电路、电容器、磁场和磁路、正弦交流电路、三相交流电路、线性电路的过渡过程、晶体二极管整流和滤波电路、晶体管放大器及振荡器、可控整流电路、数字逻辑电路。

本书由劳定增、陈宗固、黎倩仪、关婉平、钟恭良、许淡钦、张苏华、梁国治编写，劳定增主编，许研文审稿。

电工与电子基础

劳动部培训司组织编写

责任编辑：黄未来

中国劳动出版社出版

(北京市和平里中街12号)

隆昌印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本 10.875印张 244千字

1990年9月北京第1版 1990年9月北京第1次印刷

印数：10000册

ISBN 7-5045-0513-7/TM·033 定价：4.00元

前 言

为配合全面开展的中級培訓，提高電工隊伍的技術素質，加強電氣安全技術管理，我們委託廣州市勞動保護宣傳教育中心編寫了這套中級電工培訓教材。

這套教材包括電工數學、電工與電子基礎、維修電工工藝學、內外線電工工藝學等四種。在這套教材的編寫過程中，注意了理論聯繫實際及內容的科學性，先進性，反映了電工專業的新技术、新工藝、新材料、新設備，同時結合在職培訓的特點，力求做到層次分明、重點突出、文字簡煉、通俗易懂。

這套教材可供中級電工考工培訓使用，也可作電氣專業愛好者和技工學校學生的學習參考書。這套教材對於中小企業及用電面廣的地區尤為適用。

搞好在職工人的培訓是一項長期的戰略任務。我們將根據需要，陸續組織編寫機械類及其他專業的在職培訓教材。歡迎各地在使用這套教材時，提出寶貴意見和建議，使我們把在職培訓教材的編寫工作做得更好。

勞動部培訓司

1989年7月

目 录

第一章 直流电路	1
第一节 电路的基本物理量及欧姆定律.....	1
第二节 基尔霍夫定律.....	7
第三节 复杂直流电路的计算.....	10
思考题与习题.....	30
第二章 电容器	37
第一节 电容器和电容.....	37
第二节 电容器的串联和并联.....	39
第三节 流过电容器的电流.....	41
思考题与习题.....	43
第三章 磁场和磁路	45
第一节 磁场及其基本物理量.....	45
第二节 铁磁物质.....	55
第三节 磁路和磁路定律.....	60
第四节 电磁铁.....	64
思考题与习题.....	66
第四章 正弦交流电路	69
第一节 正弦交流电的产生.....	69
第二节 正弦量的相量和复数表示法.....	76
第三节 电路的参数及其基本电路.....	83
第四节 复杂交流电路的计算.....	89
第五节 交流电路的功率和功率因数的提高.....	98

第六节	正弦交流电路中的谐振·····	103
思考题与习题	·····	110
第五章	三相交流电路 ·····	118
第一节	三相交流电动势的产生·····	118
第二节	电源的星形连接·····	121
第三节	电源的三角形连接·····	126
第四节	负载的星形连接·····	128
第五节	负载的三角形连接·····	134
第六节	三相负载的功率·····	137
思考题与习题	·····	141
第六章	线性电路的过渡过程 ·····	143
第一节	RC 串联电路的过渡过程·····	143
第二节	RL 串联电路的过渡过程·····	157
思考题与习题	·····	166
第七章	晶体二极管整流与滤波电路 ·····	169
第一节	半导体基础知识·····	169
第二节	晶体二极管·····	174
第三节	整流电路·····	177
第四节	滤波电路·····	186
第五节	硅稳压器和简单的稳压电路·····	191
思考题与习题	·····	194
第八章	晶体管放大器及振荡器 ·····	197
第一节	晶体三极管·····	197
第二节	晶体管低频放大器·····	208
第三节	放大器的分析方法·····	222
第四节	射极输出器和负反馈·····	237
第五节	多级放大器·····	242

第六节	功率放大器	244
第七节	运算放大器	248
第八节	正弦波振荡器	253
	思考题与习题	259
第九章	可控整流电路	266
第一节	可控硅整流元件	266
第二节	电阻性负载可控整流电路	272
第三节	可控硅的触发电路	277
	思考题与习题	284
第十章	数字逻辑电路	286
第一节	脉冲、数字和信息	286
第二节	与、或、非逻辑的概念	289
第三节	逻辑门电路	298
第四节	数字集成电路	309
第五节	脉冲信号的产生、变换和整形	326
	思考题与习题	333

第一章 直流电路

第一节 电路的基本物理量 及欧姆定律

一、基本物理量

1. 电流

电流是电荷有规则的定向运动。习惯上把正电荷移动的方向规定为电流的方向，因此电流的方向与金属导体中电子流动的方向相反。

电流大小等于单位时间内通过导体横截面的电荷量，称为电流强度，简称电流。

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-1)$$

式中 q ——电荷量（库仑）；

t ——时间（秒）；

I ——电流（安培）。

电流有直流和交流两种。大小和方向不随时间变化的电流叫做直流电流。大小和方向随时间按一定规律作周期性变化的电流叫做交流电流。

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

2. 电位、电压和电动势

(1) 电位 电路中某点电位是指电场力将单位正电荷

从该点移到电位参考点（零电位点）时所做的功。电位的数值与电位参考点选择有关。例如， a 点的电位可以表示为

$$U_a = \frac{W_a}{q} \quad (1-3)$$

式中 W_a ——电场力将正电荷 q 由 a 点移到电位参考点时所做的功（焦耳）；

q ——正电荷量（库仑）；

U_a —— a 点的电位（伏特）。

（2）电压 电路中某两点间的电压，就是该两点间的电位差。它实际上是电场力将单位正电荷从某点移到另一点所做的功。

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1-4)$$

式中 W_{ab} ——电场力将正电荷 q 由 a 点移到 b 点时所做的功（焦耳）；

U_{ab} —— a 、 b 两点间的电压（伏特）。

电压单位与电位单位相同，都是伏特。

电压的方向规定为电位降低的方向，即从高电位点指向低电位点的方向。

（3）电动势 是电源内部的非静电力（如电池内部由化学反应产生的力，发电机内部由电磁感应引起的洛仑兹力，这些力与电源的正极指向负极的电场力方向相反）将单位正电荷从电源的负极经电源内部移到电源的正极所做的功。

$$E = \frac{W_{\text{非电}}}{q} \quad (1-5)$$

式中 $W_{\text{非电}}$ ——电源内非静电力所做的功（焦耳）；

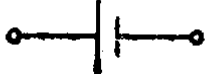
E ——电动势（伏）。


电动势的单位与电压的单位相同，都是伏特。

电动势的方向规定为在电源内部从低电位点（负极）指向高电位点（正极）的方向，即指向电位升高的方向。

二、电压源

电源内部电路的电阻叫做电源的内阻，常用字母 r 表示，以与电源外部电路的电阻（即负载电阻） R 相区别。

如果一个电源只具有电动势 E 而没有内阻 r ，即 $r=0$ ，则此电源称为理想电压源。直流理想电压源用符号 

或者  表示，其旁边标以 E 或 U_s 。理想电压源

的特性是，不论其接上的负载如何变化（其输出电流也相应变化），但其端电压 U 却永远不变，永远等于其电动势的 E 值。如图1—2所示。

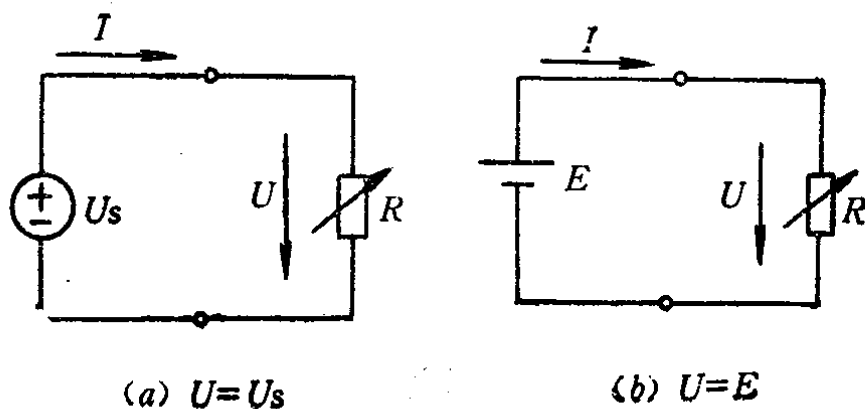


图 1—1

通常我们所遇到的电池（干电池、蓄电池）和直流发电机，它们的内阻 r 都很小（电池内电路是电解液，含有许多

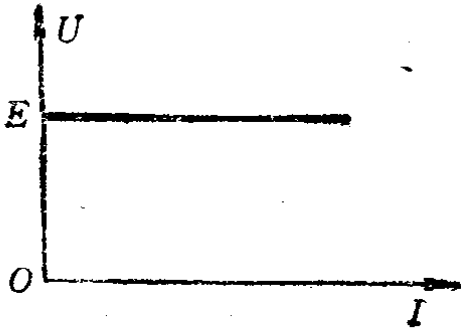


图 1—2

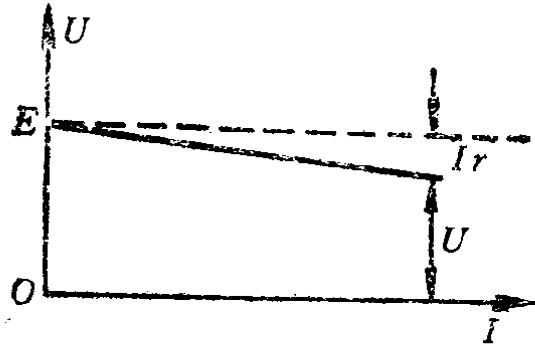


图 1—3 实际电压源的伏安特性

正负离子是良导体,电阻很小。直流发电机内部的铜导线电阻也很小), 因此它们的端电压 U 随负载电流 I 的变化只作微小的变化, 它们的伏安特性接近于理想电压源的伏安特性, 这种实际电压源的伏安特性如图1—3所示。

由于实际电压电源存在内阻 r , 所以随着流过电源的电流增大, 电源端电压 U 减小, 因此用理想电压源 E 或 U_s 串联内电阻 r 来表示一个实际电压源, 如图1—4a、b所示。

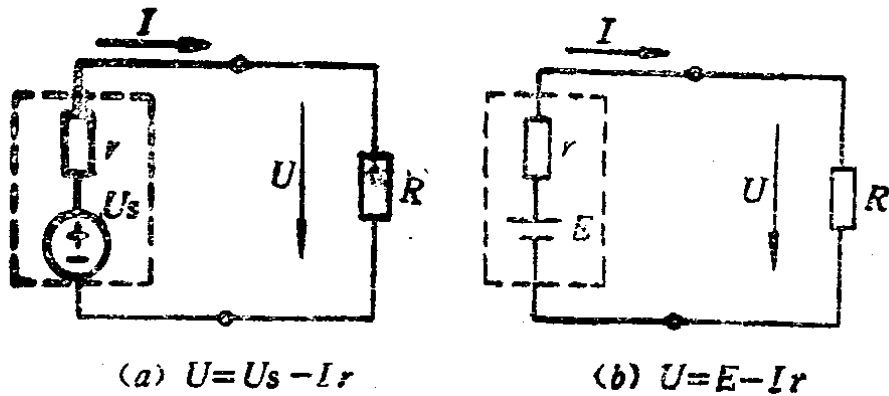


图 1—4 实际电压源的端电压

三、欧姆定律

1. 一段无源电路的欧姆定律

实践证明, 对于一段无源电路 R , 在选取电压和电流参考方向相同时, 流过其中的电流与这段电路两端的电压成正

比，而与这段电路的电阻成反比。这个关系称为一段无源电路的欧姆定律。可以用公式表示为：

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-6)$$

$$U = RI \quad (1-7)$$

式中 I ——电流(安培)；
 U ——电压(伏特)；
 R ——电路的电阻(欧姆)。

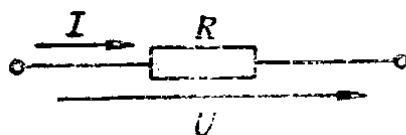


图 1—5 一段无源电路的欧姆定律

2. 全电路的欧姆定律

在图1—6所示电压源电动势 E ，内电阻 r 和负载电阻 R 组成的闭合回路中，流过电路电流的大小与电源的电动势 E 成正比，而与回路的电阻 $r + R$ 成反比，电流的方向与电动势的方向一致。

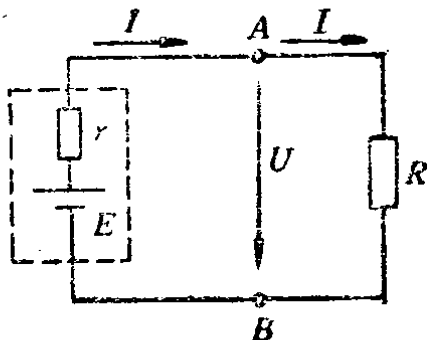


图 1—6 全电路欧姆定律

$$I = \frac{E}{r + R} \quad (1-8)$$

上式称为全电路欧姆定律。

如果将上式移项，可得

$$IR = E - Ir$$

利用式(1—7)可得到

$$U = E - Ir \quad (1-9)$$

式(1—9)表明实际电压源的端电压 U 要随着电流 I 的增大而下降。这是由于电源内阻压降所造成的。所以

$$U = E - Ir < E$$

即实际电压源的端电压永远小于电源的电动势。只有当电源

不接负载，即电源开路时， $I=0$ ，才有

$$U=E$$

此外，还有一种工作状态是电源短路，如果电路由于故障某一部分两根导线直接接触而没有经过负载电阻，如图

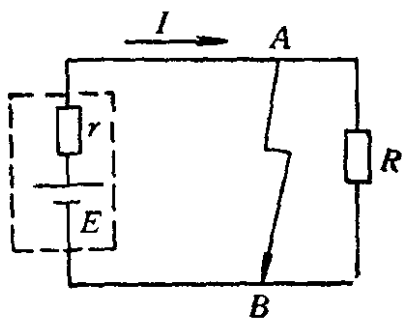


图 1—7 电源短路

1—7所示。这时，外电路的电阻 $R=0$ ，所以，电源的电流为

$$I_{\text{短路}} = \frac{E}{r} \quad (1-10)$$

因为 r 很小，短路电流达到很大数值以致将电源烧坏。例如当 $E=230$ 伏， $r=2$ 欧时，得短路电

流 $I=115$ 安。为此，需要电源与外电路间串接保险丝，当电流超过规定数值时，使保险丝熔断而自动保护了电源。

3. 一段含源电路的欧姆定律

如果将式(1—9)移项，得到

$$I = \frac{E - U}{r} \quad (1-11)$$

上式表示图 1—6 所示闭合电路中， A 、 B 端左边一段包含有电源的电路的电流，与此段电路两端点间电压之间的关系式，称为一段含源电路的欧姆定律。式 (1—11) 说明，电流 I 与 E 和 U 都有关系， I 与 E 和 U 的代数和成正比，而与此段电路的电阻 r 成反比。至于 E 和 U 前面的正负符号的选取，可按下列规则：以 I 的参考方向为标准，如果 E 的方向与 I 的方向一致（如图 1—6 所示电路就属于此情形）， E 的前面取正号，反之则取负号。同样， U 前面的符号也如此选取，如果 U 与 I 的参考方向一致，则 U 前面取正号，反之则取负号。

第二节 基尔霍夫定律

对于电阻串、并联组成的简单电路,我们只要掌握了欧姆定律和电阻串、并联公式,就能对这类电路进行具体计算了。但实际上往往遇到不少电路,其中各电阻之间不存在串、并联关系,这种电路称为复杂电路。例如常遇到的如图1—8的电路,其中(a)电路是一个电桥电路,(b)电路是由两个电源与电阻串联后再并联起来向负载电阻 R 供电的电路。为了解决这类复杂电路的问题,需要进一步掌握电路更普遍的规律——基尔霍夫定律。

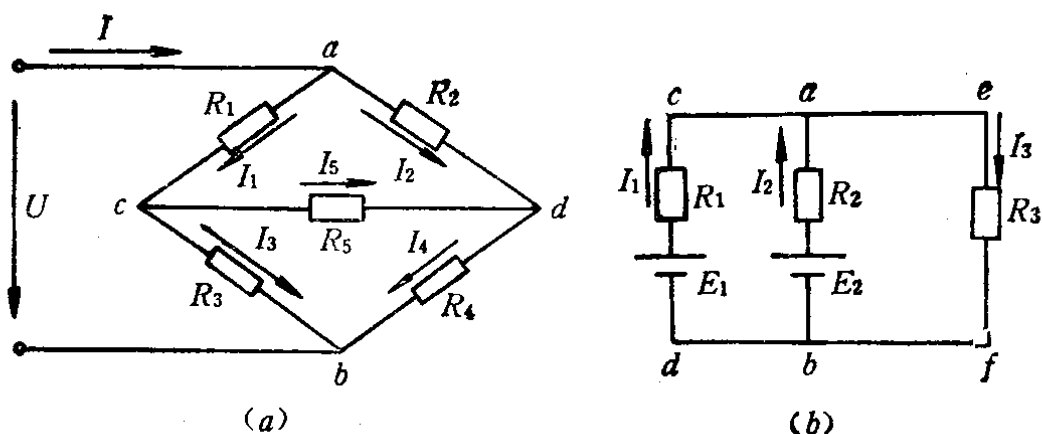


图 1—8 复杂电路

一、基尔霍夫电流定律(节点电流定律)

电路中三条或三条以上支路所汇集的点称为节点,如图1—8(b)中的 a 点和 b 点。

基氏电流定律内容:对于电路中任一节点,流入该节点的电流等于流出该节点的电流。

对图中节点 a 的电流方程是

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

在列写节点电流方程之前，先要标定各支路电流的参考方向。对已知的电流，则按已知实际方向标定，对未知电流，其参考方向可任意标定。根据所列出的方程式计算出电流是正的，就表示电流的实际方向与标定的参考方向相同，如算出的电流是负的，则表示实际方向与标定的参考方向相反。故标定的参考方向亦称为正方向。

也可以将方程式写成 $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

若规定流入节点的电流为正，流出节点的电流为负，则定律可以这样说：在电路中，任意一个节点处的电流代数和恒等于零。写作普遍公式即

$$\Sigma I = 0 \quad (1-13)$$

基氏电流定律一般是应用于节点的，也可以将它推广应用于任意假定的闭合面。如图1—9所示电路中虚线表示的闭合面有：

$$I_1 + I_2 = I_3$$

从这里还可看出，如图1—10所示的用两根导线将两个

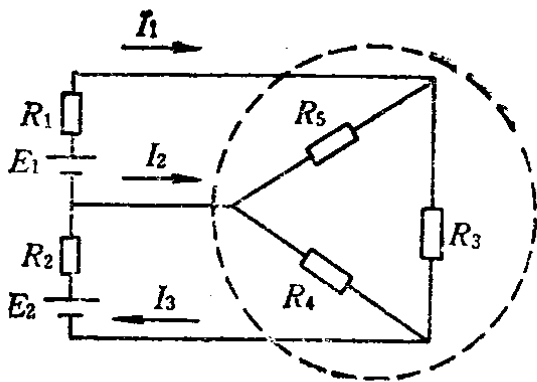


图 1—9 闭合面的基尔霍夫定律

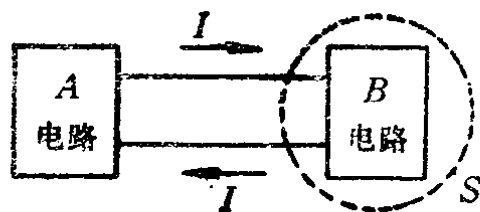


图 1—10 基尔霍夫电流定律的应用

不论怎样复杂的电路A与B在任意处互相连接起来，则在两根

导线中流过的电流必定相等。如果将其中一根导线断开，那么在另一根导线中也不会再有电流存在。

例 1—1 已知节点 A 汇集四条支路电流 $I_1=2\text{A}$, $I_2=0.5\text{A}$, $I_3=1\text{A}$, 标定的参考方向如图1—11 所示。求 $I_4=?$

解 根据 $\Sigma I=0$

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

$$I_4 = -I_1 - I_2 - I_3$$

$$= -2 - 0.5 - 1$$

$$= -3.5(\text{A})$$

I_4 的负号表示实际方向与标定的参考方向相反, 实际方向在图中用虚线表示。

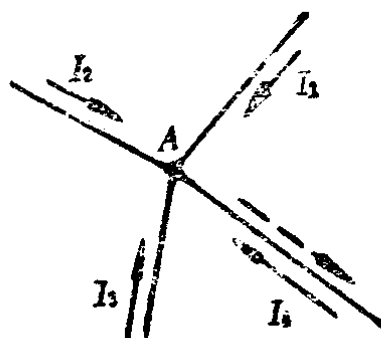


图 1—11

二、基尔霍夫电压定律(回路电压定律)

电路中任一闭合路径, 称为回路。例如图1—8(b)的电路中含有回路 $abdca$ 、回路 $cefba$ 和回路 $caefbdc$ 。

在电路的任一闭合回路中绕行一周, 各元件上沿绕行方向的电压代数和恒等于零。这就是基尔霍夫电压定律。例如对于回路 $abdca$, 如选取回路的绕行方向为顺时针, 则有:

$$U_{ab} + U_{ac} = 0 \quad \text{写成普遍公式即}$$

$$\Sigma U = 0 \quad (1-14)$$

基氏电压定律可由电压与选择的路径无关这一事实得到证明。需要指出, 这一定律不仅适用于闭合回路, 也可以把它推广应用于开口电路。今以图1—12所示的两个电路为例, 根据基尔霍夫电压定律列出式子。

对图1—12a的电路可列出

$$\Sigma U = U_{AB} - U_{AO} + U_{BO} = 0$$

对图1—12b的电路可列出

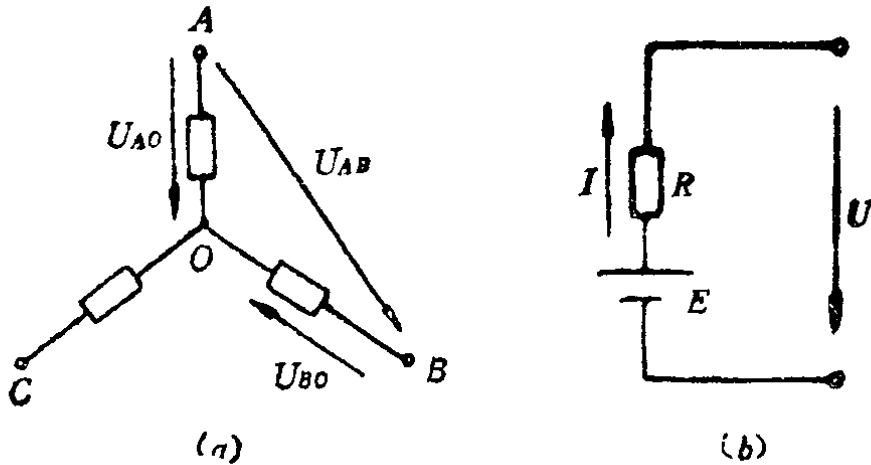


图 1—12 开口回路的基尔霍夫电压定律

$$U - E + IR = 0$$

只含电压源和电阻元件的回路，可应用欧姆定律，将基氏电压定律写成为

$$\Sigma IR = \Sigma E \quad (1-15)$$

在上式中，电流 I 的方向与绕行方向一致时取正号，反之取负号。电动势 E 的方向与绕行方向一致的取正号，反之取负号。因此回路电压定律又可叙述为：任一回路内，电阻上电压降的代数和等于电动势的代数和。

第三节 复杂直流电路的计算

一、支路电流法

对于一个复杂电路，先标定各支路电流方向和回路绕行方向，再根据基氏两条定律列出方程求解支路电流的方法叫做支路电流法。其求解步骤如下：

(1) 任意标定各支路电流的参考方向和回路绕行方向。

(2) 用基氏电流定律列出节点电流方程。一个具有 b 条支路， n 个节点($b > n$)的复杂电路，需列出 b 个方程来联立求解。由于 n 个节点只能列出 $n-1$ 个独立方程，这样还缺 $b-(n-1)$ 个方程，但可由基氏电压定律来补足。

(3) 用基氏电压定律列出回路电压方程式。

(4) 代入已知数，解联立方程，求出各支路电流数值。

(5) 确定各支路电流的实际方向。支路电流为正值时，其实际方向即和标定的参考方向相同；支路电流为负值时其实际方向和标定的参考方向相反。

例 1—2 从图1—8(b)已知 $E_1=250$ 伏， $E_2=239$ 伏， $R_1=1$ 欧， $R_2=0.5$ 欧， $R_3=30$ 欧。求各支路电流，负载端电压及电源输出功率。

解 三个未知电流 I_1 、 I_2 、 I_3 的参考方向如图所示。

按电路定律列方程 ($\Sigma I=0$, $\Sigma IR=\Sigma E$)

$$\text{节点 } c: \quad I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1)$$

$$\text{回路 } abdca: \quad R_1 I_1 - R_2 I_2 = E_1 - E_2 \quad (2)$$

$$\text{回路 } aefba: \quad R_2 I_2 + R_3 I_3 = E_2 \quad (3)$$

分别代入数字：

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (4)$$

$$I_1 - 0.5 I_2 = 11 \quad (5)$$

$$0.5 I_2 + 30 I_3 = 239 \quad (6)$$

由(4)得 $I_3 = I_1 + I_2$ 代入(6)式

$$0.5 I_2 + 30(I_1 + I_2) = 239$$

$$0.5 I_2 + 30 I_1 + 30 I_2 = 239$$

$$30 I_1 + 30.5 I_2 = 239 \quad (7)$$

(7) - [(5) × 30] 得：