



维修 电工

中级

栗安安 龙飞 主编 冯推柏 主审



化学工业出版社

维修 电工

中国劳动社会保障出版社



维修 电工

中级

栗安安 龙飞 主编 冯推柏 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要依据《国家职业标准·维修电工》编写,内容包括电工基础、电子技术基础、电工仪器仪表、变压器与电机、电力拖动控制电路、常用生产机械电气控制原理与维修以及可编程控制器的有关知识。

本书可作为中级维修电工考核培训和自学教材,也可供职业技术学院师生及电气控制维修人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

维修电工中级/栗安安,龙飞主编. —北京:化学工业出版社, 2008. 10

ISBN 978-7-122-03675-9

I. 维… II. ①栗…②龙… III. 电工-维修-基本知识 IV. TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 135545 号

责任编辑:李玉晖

装帧设计:尹琳琳

责任校对:凌亚男

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京市兴顺印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张15¼ 字数397千字 2009年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:29.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着《劳动法》、《职业教育法》的颁布，我国逐步推行了职业技能鉴定和职业资格证书制度，职业技能培训也走向了规范化。特别是《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》的落实，职业资格证书已逐步成为企业合理使用劳动力的依据和凭证。参加职业资格证书考核鉴定的人员日益增多，培训教育迅猛发展。为适应这一新形势，进一步提高技术工人素质，更好地服务于就业，我们编写了这套维修电工培训教程。

本教程以劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心所编《国家职业标准·维修电工》为依据，力求使内容覆盖职业技能鉴定的各项要求，坚持以培养技能型人才为目标，一方面突出职业培训特色，遵循理论和实际相结合的原则，在理论讲述上力求简练实用，注重概念，避免了烦琐的理论推导和公式证明；另一方面突出了应用，尤其是突出了工程上的实际应用，并注意理论与实践的衔接；另外正确把握先进技术和实用技术关系，较多地采用新知识、新技术、新工艺、新方法等内容，力求使教程简明易懂，又有所创新。教程结构上针对维修电工职业活动的领域，按照模块化的方式，分初级、中级、高级和技师四个分册来编写。满足各个级别考证人员的需要，也便于广大读者阅读。

本教程适用于各级鉴定培训机构组织维修电工考核复习或供参加技能鉴定的人员自学使用，也可作为各类职业技术学校师生及相关技术人员参考用书。

参加编写本书的人员有东莞高级技工学校粟安安、龙飞、姚美莲、莫峰、袁学军、蔡海燕、周伟、章朝阳，均为高级讲师或高级技师，具有丰富的职业教育经验和实践能力。但由于本教程涉及内容较多，电工行业新技术、新装备发展迅速，加之作者水平有限，时间仓促，书中不足之处在所难免，诚恳希望专家和广大读者提出宝贵意见。

编 者

2008年9月

目 录

第一章 电工基础	1
第一节 基尔霍夫定律	1
一、基尔霍夫电流定律	1
二、基尔霍夫电压定律	3
第二节 复杂电路的分析方法	5
一、支路电流法	5
二、叠加原理	6
第三节 戴维南定理	7
一、有源二端网络	7
二、戴维南定理	8
第四节 电流源与电压源的等效变换	8
一、电压源	8
二、电流源	9
三、电流源与电压源的等效变换	9
第五节 磁路与磁路欧姆定律	10
一、磁路	10
二、磁路欧姆定律	10
三、电磁铁	11
第六节 电阻、电感、电容串联的交流电路	13
一、各元件端电压之间的关系	13
二、电流与总电压的数量关系	14
三、电流与总电压的相位关系	14
四、电路的功率和功率因数	15
五、串联谐振	16
第七节 感性负载和电容的并联交流电路	17
一、电路分析	17
二、电路的性质	18
三、并联谐振电路	18
第八节 提高功率因数的意义和方法	19
一、提高功率因数的意义	19
二、提高功率因数的主要方法	20

第九节 符号法	21
一、正弦交流电的表示方法	21
二、复数的概念	21
三、正弦交流电的复数表示	22
四、欧姆定律的复数形式	22
练习与思考	24
第二章 电子技术基础	28
第一节 晶体三极管放大电路	28
一、放大电路的用途、分类、要求	28
二、低频电压放大电路	28
三、放大电路静态工作点的稳定	34
第二节 放大电路的反馈	35
一、反馈的概念	35
二、交流负反馈的类型(组态)	36
三、负反馈对放大电路性能的影响	39
第三节 正弦波振荡电路	42
一、LC 正弦波振荡电路	42
二、RC 正弦波振荡电路	44
第四节 功率放大电路	44
一、对功率放大器的要求	44
二、功率放大器的输出功率和效率	44
三、功率放大器的三种工作状态	45
四、OCL 功率放大电路	47
五、OTL 功率放大电路	48
第五节 直流稳压电源	49
一、整流电路	49
二、滤波电路	51
三、稳压电路	53
四、集成稳压电路	56
第六节 晶闸管及其应用	57
一、晶闸管的结构	57
二、晶闸管的特性	57
三、晶闸管的工作原理	58
四、晶闸管极性及其好坏的判别	59
五、晶闸管的应用	59
六、单结晶体管	61
第七节 单相半控直流调速电机电路安装与调试	61
练习与思考	62

第三章 电工仪器仪表	65
第一节 功率表	65
一、电动式测量机构	65
二、功率表及功率表的测量	66
三、三相有功功率的测量	68
四、三相无功功率的测量	69
第二节 直流电桥的使用	71
一、直流单臂电桥	71
二、直流双臂电桥	71
三、QJ23 型便携式直流单臂电桥及其使用方法	72
四、QJ42 型直流双臂电桥及其使用方法	73
第三节 示波器	74
一、示波器简介	74
二、CA8020 系列双踪四线示波器及其使用	76
练习与思考	86
第四章 变压器与电机	88
第一节 变压器的工作原理与构造	88
一、变压器的用途	88
二、变压器的工作原理	88
三、变压器的构造	90
第二节 三相变压器	91
一、三相变压器绕组的连接	91
二、三相变压器绕组的极性和接线组别	93
三、变压器的技术数据及铭牌值	95
第三节 电力变压器的抽芯检查与安装	96
一、抽芯检查前的准备工作	96
二、芯部检查的程序和方法	97
三、变压器的安装	99
四、变压器检修和安装后的验收	100
五、变压器的维修(小修)	101
第四节 几种特殊用途的变压器	101
一、自耦变压器	101
二、仪用互感器	102
三、电焊变压器	104
第五节 同步电机	105
一、同步电机的构造	105
二、同步电动机的工作原理	106
三、励磁对同步电动机运行的影响	107

四、同步电动机的启动	107
第六节 直流电机	109
一、直流电机的用途和构造	109
二、直流电机的基本原理	111
三、直流电机绕组元件中的电流换向问题	113
四、直流电机按励磁方式分类	114
五、直流电动机的工作原理	114
六、并励电动机的机械特性	115
七、串励电动机的机械特性	116
八、直流电动机的维修	117
第七节 单相串励电动机	118
一、工作原理	119
二、机械特性	119
三、单相串励电动机的维护	119
第八节 电机与变压器的试验	119
一、直流电机的试验	119
二、三相异步电动机的试验	125
三、电力变压器试验	127
第九节 电机常见故障及其维修	129
一、交流电动机常见故障与处理	129
二、直流电机常见故障及维修	131
第十节 变压器常见故障及其维修	133
练习与思考	134
第五章 电力拖动控制线路	136
第一节 三相异步电动机的制动控制线路	136
一、电磁抱闸制动	136
二、反接制动	137
三、能耗制动	140
第二节 三相异步电动机的调速控制线路	141
第三节 直流电动机的控制线路	143
第四节 同步电动机的控制线路	147
一、三相同步电动机的启动控制线路	147
二、三相同步电动机的制动控制线路	149
第五节 电力拖动控制线路技能训练	149
一、三相异步电动机的制动	149
二、双速电动机控制模拟电路的安装调试	150
三、三速电动机控制模拟电路的安装及测试	152
四、并励直流电动机正反转控制线路的安装	155

五、三相同步电动机异步启动控制线路的安装·····	156
练习与思考·····	157
第六章 常用生产机械的电气控制原理与维修·····	160
第一节 工业机械电气设备维修的一般要求和方法·····	160
一、工业机械电气设备维修的一般要求·····	160
二、一般机械设备电气线路的测绘方法·····	160
三、工业机械电气设备维修的一般方法·····	161
第二节 车床电气控制线路·····	170
第三节 Z3050 摇臂钻床电气控制线路·····	173
第四节 磨床电气控制线路·····	176
一、M7130 平面磨床电气控制线路·····	177
二、M1432A 万能外圆磨床电气控制线路·····	180
第五节 X62W 万能铣床电气控制线路·····	184
一、X62W 万能铣床的主要结构及运动形式·····	184
二、X62W 万能铣床电力拖动的特点及控制要求·····	185
三、X62W 万能铣床电气控制线路分析·····	185
第六节 T68 型镗床的电气控制电路及常见故障分析·····	190
一、概述·····	190
二、基本结构·····	190
三、电气控制特点·····	191
四、电气控制线路分析·····	191
五、电气线路常见故障分析·····	194
第七节 机械电气设备维修技能训练·····	195
一、CA6140 车床电气控制线路的检修·····	195
二、Z3050 摇臂钻床电气控制线路的故障检修·····	197
三、M7130 型平面磨床电气控制线路的检修·····	199
四、M1432A 型万能外圆磨床电气控制线路的检修·····	201
五、X62W 万能铣床电气控制线路的检修·····	202
第七章 可编程控制器应用·····	204
第一节 基础知识·····	204
一、可编程控制器的基本组成·····	204
二、编程元件·····	206
三、可编程控制器的基本控制原理及工作过程·····	211
四、可编程控制器控制与继电器控制的异同·····	212
五、可编程控制器的主要性能指标及其分类·····	213
第二节 基本逻辑指令和梯形图编程·····	214
一、基本逻辑指令·····	215
二、梯形图的编程规则和技巧·····	224

第三节 简易编程器及其使用	227
一、FX-20P-E 手持式编程器的组成	227
二、FX-20P-E 手持式编程器的操作	230
第四节 基本指令编程应用实例	238
练习与思考	239
参考文献	242

第一章 电工基础

第一节 基尔霍夫定律

在电工学中，常按能否用串、并联关系化简，将电路分为简单电路和复杂电路。凡是不能用电阻串、并联关系化简为无分支电路的电路，称为复杂电路。简单电路与复杂电路的区别并不在于电路元件的多少，而在于电路构成概念的不同。如图 1-1(b) 是简单直流电路，而图 1-1(a) 是复杂直流电路。

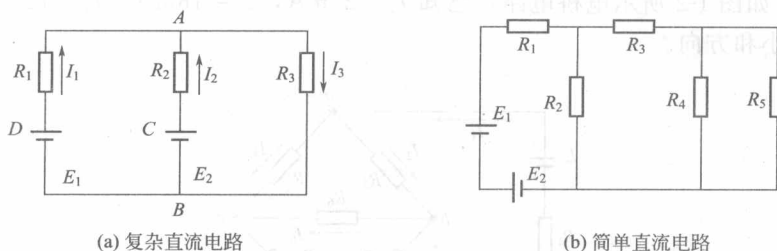


图 1-1 复杂与简单直流电路的判别

复杂电路不能直接用欧姆定律来求解，可用基尔霍夫定律来分析。

为了阐明基尔霍夫定律的含义，先介绍几个电路的基本术语。

- (1) 节点：三个或三个以上元件的交叉点称为电路的节点，如图 1-1(a) 中的 A、B 点。
- (2) 支路：两个节点之间的各个分支称为支路，如图 1-1(a) 中有三条支路： $ADB(R_1-E_1)$ 支路、 $ACB(R_2-E_2)$ 支路和 $AB(R_3)$ 支路。
- (3) 回路：由若干支路所组成的任何一个闭合路径都称为回路。如图 1-1(a) 中有三个回路：回路 $ADBCA(R_1-E_1-E_2-R_2)$ 、回路 $ACBA(R_2-E_2-R_3)$ 和回路 $ADBA(R_1-E_1-R_3)$ 。
- (4) 网孔：在回路中间不框入任何其他支路的回路叫网孔。网孔是不能再分的基本回路，也叫最简单的回路。如图 1-1(a) 中有两个网孔：回路 $ADBCA(R_1-E_1-E_2-R_2)$ 和回路 $ACBA(R_2-E_2-R_3)$ 。

一、基尔霍夫电流定律

并联电路的基本特点之一：干路中的电流 I 等于各支路电流 $(I_1, I_2, I_3, \dots, I_n)$ 之和。用数学式表达为

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

对于这个关系式，可以理解为：对于电路的节点，流出这个节点的电流之和等于流入这个节点的电流之和。

1. 定律的内容与表达式

基尔霍夫电流定律是用来分析电路中某一节点上各支路电流之间的关系的，又称为基尔

霍夫第一定律, 简记为 KCL。该定律内容为:

对电路任一节点, 在任一时刻, 流出该节点的电流的总和等于流入该节点的电流的总和。用数学式表达为

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

式中符号 Σ 是“总和”的意思。假设以流入节点的电流为正, 以流出节点的电流为负, 那么, 基尔霍夫电流定律的数学式又可表示为

$$\sum I = 0 \quad (1-2)$$

也就是说, 通过电路任一节点的电流的代数和等于零。

2. 电流参考方向

对于较复杂的电路往往难以判别电流的实际方向, 为了使电路的计算或测量得以进行, 首先要对未知电流设定一个电流方向, 并在电路图上用箭头标出。把设定的电流方向称为电流参考方向 (或称电流正方向), 就可以根据计算结果所得电流值的正负, 来确定未知电流的实际方向。当计算结果为正值时, 电流实际方向与参考方向相同; 当计算结果为负值时, 电流实际方向与参考方向相反。

【例 1-1】 如图 1-2 所示电桥电路, 已知 $I_1 = 25\text{mA}$, $I_3 = 16\text{mA}$, $I_4 = 12\text{mA}$ 。求其余各支路电流的大小和方向。

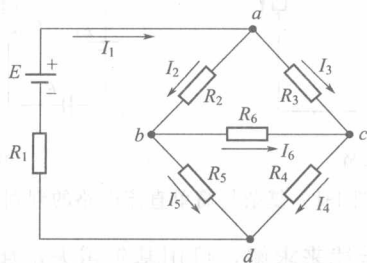


图 1-2 基尔霍夫电流定律实例

解: 设未知电流 I_2 , I_5 , I_6 的参考方向如图 1-2 所示。

根据基尔霍夫电流定律可知

(1) 对节点 a 有:

$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$I_2 = I_1 - I_3 = 25 - 16 = 9\text{mA}$$

(2) 对节点 c 有:

$$I_3 + I_6 = I_4$$

$$I_6 = I_4 - I_3 = 12 - 16 = -4\text{mA}$$

负号表示电流实际方向与参考方向相反。

(3) 对节点 b 有:

$$I_2 = I_5 + I_6$$

$$I_5 = I_2 - I_6 = 9 - (-4) = 13\text{mA}$$

3. 应用基尔霍夫电流定律解题的注意事项

(1) 对未知电流先任意标定其参考方向 (对已知电流, 则按已知方向标定)。

(2) 只能对流经同一节点的各支路电流列出节点电流方程。所谓流入或流出电路节点是根据电流参考方向来说的。

(3) 基尔霍夫电流定律不仅适用于节点, 而且也可以推广到任意一闭合面, 也就是通过任一闭合面的各支路电流的代数和为零。如图 1-3 所示, 假设一个闭合面把三个电阻或晶体管的三个电极包围起来

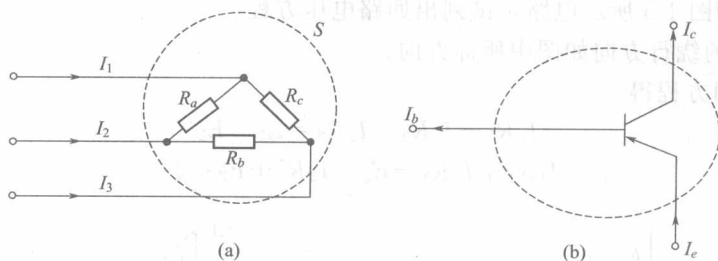


图 1-3 基尔霍夫电流定律的推广

对于图 1-3(a) 有

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

对于图 1-3(b) 有

$$I_e = I_b + I_c$$

二、基尔霍夫电压定律

1. 定律的内容与表达式

如图 1-4 所示闭合回路中, 假设回路的绕行方向为顺时针方向, 电压(电压降)和电流的参考方向选取一致。当绕回路一周, 各段电压的代数, 根据电压与电位的计算关系有

$$\sum U = U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} + U_{da} = (U_a - U_b) + (U_b - U_c) + (U_c - U_d) + (U_d - U_a) = 0$$

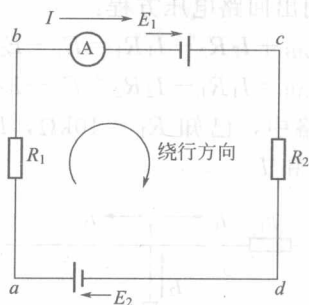


图 1-4 闭合回路

上式表明: 沿任一闭合回路绕行一周, 各段电压的代数, 这就是基尔霍夫电压定律, 又称为基尔霍夫第二定律, 简记为 KVL, 用数学式表示为:

$$\sum U = 0 \quad (1-3)$$

由以上分析可知四段电路的电压降分别为:

$$U_{ab} = IR_1, U_{bc} = -E_1, U_{cd} = IR_2, U_{da} = -E_2$$

则电压代数, 为:

$$\sum U = U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} + U_{da} = IR_1 - E_1 + IR_2 - E_2 = 0$$

即

$$IR_1 + IR_2 = E_1 + E_2$$

由此可得到基尔霍夫电压定律的另一种表示形式:

$$\sum IR = \sum E \quad (1-4)$$

上式表明: 在任一时刻, 沿任一闭合回路绕行一周, 各电阻上电压降的代数, 等于各个电动势的代数。这是基尔霍夫电压定律常用的表达式。这种形式回路电压方程的符号约定是: 凡是电动势的参考方向和所选的绕行方向一致的, 该电动势值取正号, 相反取负号; 凡是电阻上电流的参考方向和所选取的绕行方向一致的, 电阻上电压降取正号, 相反取负号。

【例 1-2】如图 1-5 所示电路，试列出回路电压方程。

解：设回路的绕行方向如图中所标方向。

根据 KVL 列方程得

$$I_1 R_1 + I_3 R_3 - I_2 R_2 = E_3 - E_2$$

$$I_1 R_1 + I_3 R_3 - E_3 - I_2 R_2 + E_2 = 0$$

或

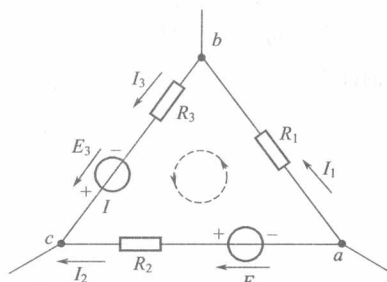


图 1-5 基尔霍夫电压定律应用

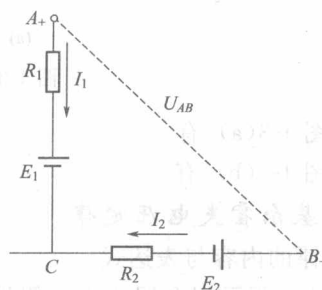


图 1-6 基尔霍夫电压定律推广

基尔霍夫电压定律不仅适用于闭合回路，也可推广应用于有开口的回路。现以图 1-6 所示电路为例加以说明。图中 A、B 之间无支路直接相连，但可假设 AB 端存在电压 U_{AB} ，把开口回路假想成闭合回路，便可列出回路电压方程：

$$U_{AB} + I_2 R_2 - I_1 R_1 = E_1 - E_2$$

整理得：

$$U_{AB} = I_1 R_1 - I_2 R_2 + E_1 - E_2$$

【例 1-3】如图 1-7 所示电路中，已知 $R_1 = 10\text{k}\Omega$ ， $R_2 = 20\text{k}\Omega$ ， $E_1 = 6\text{V}$ ， $E_2 = 6\text{V}$ ， $E_3 = 3\text{V}$ ，求图中所示电流 I_1 ， I_2 和 I_3 。

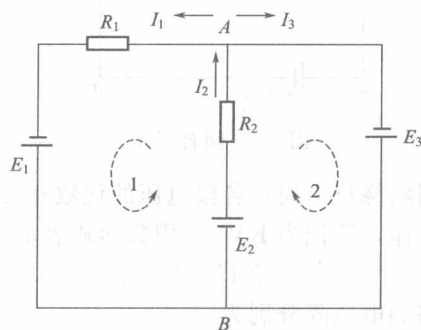


图 1-7 基尔霍夫定律应用

解：设各回绕行方向如图中所标方向。根据 KVL 列方程得

(1) 对回路 2：

$$I_2 R_2 = E_2 + E_3$$

代入数据得

$$20I_2 = 3 + 6$$

$$I_2 = 0.45\text{mA}$$

(2) 对回路 1：

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 = E_1 + E_2$$

代入数据得

$$10I_1 + 20 \times 0.45 = 6 + 6$$

$$I_1 = 0.3\text{mA}$$

(3) 对节点 A 列 KCL 方程：

$$I_2 = I_1 + I_3$$

代入数据得

$$I_3 = I_2 - I_1 = 0.45 - 0.3 = 0.15\text{mA}$$

2. 应用 KVL 列回路电压方程的步骤

应用 KVL 列回路电压方程时, 通常采用式 $\sum IR = \sum E$ (1-4) 的形式, 其步骤如下:

- (1) 假设各支路电流的参考方向和各回路的绕行方向, 并在图中标出;
- (2) 将回路中全部电阻上的电压 IR 写在等式的一边, 若通过电阻的电流方向与绕行方向一致则该电阻上的电压降 IR 取正, 反之取负;
- (3) 将回路中全部电动势写在等式的另一边, 若电动势的方向 (由负极指向正极) 与绕行方向一致则该电动势 E 取正, 反之取负;
- (4) 求解方程。

第二节 复杂电路的分析方法

一、支路电流法

1. 支路电流法

所谓支路电流法就是以各支路电流为未知数, 根据基尔霍夫定律列出方程组, 然后解联立方程, 求得各支路电流。

2. 支路电流法应用步骤

- (1) 在图中标出各支路电流的参考方向和回路的绕行方向。
- (2) 用基尔霍夫电流定律列节点电流方程: 若有 n 个节点, 可列出 $(n-1)$ 个独立节点电流方程。
- (3) 用基尔霍夫电压定律对网孔列独立回路电压方程, 有几个网孔就列出几个独立回路电压方程。
- (4) 有 m 条支路总共需列出 m 个方程。
- (5) 代入已知数, 解联立方程组求出各支路电流, 并说明电流的实际方向 (当解出电流为负值, 表示电流实际方向与假设参考方向相反)。
- (6) 验算结果是否正确。

【例 1-4】 如图所 1-8 示电路, $E_1=18\text{V}$, $E_2=9\text{V}$, $R_{i1}=1\Omega$, $R_{i2}=1\Omega$, $R=4\Omega$, 求各支路电流。

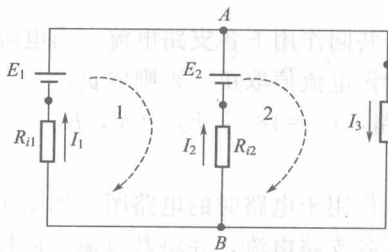


图 1-8 支路电流法

解:

- (1) 设各支路电流方向和回路绕行方向如图所示。
- (2) 列节点的 KCL 方程和网孔的 KVL 方程。

对节点 A:

$$I_1 + I_2 = I_3$$

对回路 1: $I_1 R_1 - I_2 R_2 = E_1 - E_2$

对回路 2: $I_2 R_2 + I_3 R = E_2$

(3) 代入数据, 解方程组:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 & \text{①} \\ I_1 - I_2 = 9 & \text{②} \\ I_2 + 4I_3 = 9 & \text{③} \end{cases}$$

$$\text{①} - \text{②} \text{得: } 2I_2 - I_3 = -9 \quad \text{④}$$

$$\text{④} \times 4 + \text{③} \text{得: } 9I_2 = -27 \quad \text{⑤}$$

$$I_2 = -3\text{A} \quad \text{实际方向与参考方向相反}$$

$$\text{代入③得} \quad I_3 = 3\text{A} \quad \text{实际方向与参考方向相同}$$

$$\text{代入①得} \quad I_1 = 6\text{A} \quad \text{实际方向与参考方向相同}$$

二、叠加原理

1. 叠加原理

所谓叠加原理就是指在线性电路中, 各支路电流 (或电压) 等于各电源分别单独作用在该支路所产生的电流 (或电压) 的代数和, 如图 1-9 所示。所谓电源单独作用是指某电路中一个电源起作用, 而其他电源不起作用, 即将电压源看作短路, 而将电流源看作开路来处理。

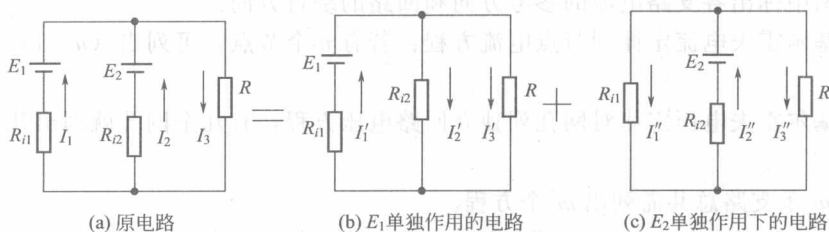


图 1-9 叠加原理的实例

2. 应用叠加原理的方法和步骤

(1) 画出各电动势单独作用于电路时的电路图;

(2) 按简单电路的计算方法, 求出各电动势单独作用下各支路电流, 并将其电流方向标于图上。

(3) 求实际电路中各电动势共同作用下各支路电流。当电源单独作用时电流方向与原电路所标定的电流参考方向相同时该电流值取正, 否则取负。

【例 1-5】 如图 1-9 所示电路, $E_1 = 18\text{V}$, $E_2 = 9\text{V}$, $R_{11} = 1\Omega$, $R_{12} = 1\Omega$, $R = 4\Omega$, 试用叠加原理求各支路电流。

解: (1) 画出各电动势单独作用于电路时的电路图, 如图 1-9(b)、(c) 所示。

(2) 求各电动势单独作用下各支路电流, 并将其电流方向标于图上;

当 E_1 单独作用电路时, 如图 1-9(b) 所示。此时有

$$I_1' = \frac{E_1}{R_{11} + \frac{R_{12}R}{R_{12} + R}} = \frac{18}{1 + \frac{1 \times 4}{1 + 4}} \text{A} = 10\text{A}$$

$$I_2' = I_1' \frac{R}{R_{12} + R} = 10 \times \frac{4}{1 + 4} \text{A} = 8\text{A}$$