



DIANGONG JISUAN SHOUCHE

# 电工计算

## 手册

刘丙江 徐福强 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

DIANGONG JISUAN SHOUCHE

# 电工计算

## 手册

刘丙江 徐福强 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电工计算手册/刘丙江, 徐福强编著. —北京: 中国电力出版社, 2018. 3  
ISBN 978-7-5198-1440-3

I. ①电… II. ①刘… ②徐… III. ①电工计算-技术手册 IV. ①TM11-62  
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 293423 号

---

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 刘 焜 (010-63412395) 盛兆亮

责任校对: 马 宁

装帧设计: 左 铭

责任印制: 杨晓东

---

印 刷: 北京大学印刷厂

版 次: 2018 年 3 月第一版

印 次: 2018 年 3 月北京第一次印刷

开 本: 880 毫米×1230 毫米 大 32 开本

印 张: 16.25

字 数: 540 千字

印 数: 0001—2000 册

定 价: 58.00 元

---

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

## 内 容 提 要

---

《电工计算手册》是为电气工程技术人员提供的一本简明、实用的速查手册，书中收集了现代电工行业常用的计算公式、计算实例和部分相关的数据资料，本书注重实用常用、理论联系实际，又兼顾知识的系统性、科学性，能使读者更熟练地掌握基础理论及其相关计算方法，帮助读者解决日常工作中经常遇到的计算和运行维护问题。本书共有十七章，内容包括电工基础计算、电力负荷计算、短路电流计算、电工常用工器具、电工常用测量仪表及其计算、电线与电缆及其计算、绝缘材料、导磁材料、高压电器及其计算、低压电器及其计算、变压器及其计算、异步电动机及其计算、直流电动机及其计算、电力电容器及其计算、电气照明及其计算、节能降损及其计算、晶体管电路及其计算。

本书适合具备电工基本计算能力的各类电气初、中级电工阅读，也可作为相应等级电工的考核、培训教材，同时也可供相关专业的高等院校师生使用。



# 前言

电工计算手册

电工技术已涉及国民经济和人民生活的各个领域，是关系国计民生的重要学科。社会在进步，科技在飞跃。新技术、新工艺、新材料、新设备的应用，在生产实践中，加以总结、宣传很有必要。为了帮助广大电工及电气工程技术人员，解决在生产实践中遇到的各种电工计算问题及生产技术问题，我们编写了这本《电工计算手册》，主要供具备电工基本计算能力的各类电气初、中级技术人员快速查阅，也可供相关专业的大中专师生使用。

本书兼顾电工行业基础知识的系统性，有选择地收集了现代电工行业常用的计算公式和部分相关的数据资料，书中不同条件下的应用计算举例、相关的快速估算方法等内容，可使读者在学习或电气工程设计中能温故知新，快速查阅并完成相关计算。本书在阐述基本理论和概念时，深入浅出，计算公式及必要的图解或文字说明均以表格形式编排，读者能一目了然，达到“即查即用”的效果。

本书能够满足现代电工技术对计算的基本要求，所列举的各数据表格及计算实例，均是电气专业人员在生产实践中经常用到的，实用性较强。本书共有十七章，内容包括电工基础计算、电力负荷计算、短路电流计算、电工常用工器具、电工常用测量仪表及其计算、电线与电缆及其计算、绝缘材料、导磁材料、高压电器及其计算、低压电器及其计算、变压器及其计算、异步电动机及其计算、直流电动机及其计算、电力电容器及其计算、电气照明及其计算、节能降损及其计算、晶体管电路及其计算。

本书在编写过程中，参考了大量的图书资料，在此对各位专家、老师表示衷心感谢！

限于编写水平及时间仓促，书中疏漏与不足之处在所难免，敬请专家和广大读者批评指正，谢谢！

编者

2017年10月



# 目 录

## 电工计算手册

前言

第一章 电工基础计算 .....	1
第一节 直流电路计算 .....	1
第二节 交流电路计算 .....	12
第三节 磁路的计算 .....	18
第二章 电力负荷计算 .....	24
第一节 需用系数法 .....	24
第二节 二项式系数法 .....	31
第三节 逐级计算法和估算法 .....	34
第四节 照明的负荷计算 .....	39
第三章 短路电流计算 .....	42
第一节 三相短路电流计算 .....	42
第二节 两相短路电流和低压短路电流计算 .....	46
第四章 电工常用工器具 .....	50
第一节 电工通用工具 .....	50
第二节 验电工具 .....	58
第三节 线路、设备安装维修工具 .....	62
第四节 电工常用量具 .....	88
第五节 安全工器具 .....	96
第五章 电工常用测量仪表及其计算 .....	105
第一节 电工仪表基础知识 .....	105
第二节 电压表和电流表 .....	107
第三节 功率表、功率因数表 .....	116
第四节 电子式电能表 .....	120
第五节 万用表 .....	135
第六节 绝缘电阻表和接地电阻测试仪 .....	142
第七节 直流电桥及相序表 .....	150

第八节	经纬仪 .....	156
第九节	电工测量仪表的计算 .....	159
<b>第六章</b>	<b>电线与电缆及其计算 .....</b>	<b>163</b>
第一节	裸导线 .....	163
第二节	绝缘电线 .....	167
第三节	常用电缆 .....	172
第四节	电磁线 .....	189
第五节	光缆 .....	195
第六节	电线、电缆截面积选择计算 .....	198
<b>第七章</b>	<b>绝缘材料 .....</b>	<b>208</b>
第一节	绝缘材料分类 .....	208
第二节	气体、液体绝缘材料和绝缘漆 .....	210
第三节	常用固体绝缘材料 .....	216
<b>第八章</b>	<b>导磁材料 .....</b>	<b>230</b>
第一节	硅钢板 .....	230
第二节	电磁纯铁 .....	233
<b>第九章</b>	<b>高压电器及其计算 .....</b>	<b>234</b>
第一节	断路器 .....	235
第二节	负荷开关 .....	242
第三节	隔离开关 .....	243
第四节	跌落式熔断器 .....	245
第五节	避雷器 .....	248
第六节	高压电器的选择计算 .....	253
<b>第十章</b>	<b>低压电器及其计算 .....</b>	<b>255</b>
第一节	熔断器 .....	255
第二节	刀开关和转换开关 .....	262
第三节	自动空气断路器和漏电断路器 .....	270
第四节	交流接触器 .....	281
第五节	常用继电器 .....	288
第六节	主令电器 .....	297
第七节	低压电器的选择计算 .....	302
<b>第十一章</b>	<b>变压器及其计算 .....</b>	<b>306</b>
第一节	电力变压器 .....	306
第二节	互感器 .....	325

第三节	控制变压器	330
第四节	自耦变压器	331
第五节	变压器的基本计算	332
第六节	电力变压器的选择计算	336
第七节	小型变压器计算	340
<b>第十二章</b>	<b>异步电动机及其计算</b>	<b>350</b>
第一节	异步电动机的构造和技术参数	350
第二节	异步电动机的计算	369
第三节	电动机的启动设备	376
第四节	电动机的保护设备	381
第五节	电动机的安装	386
第六节	电动机的运行和维护	388
第七节	单相异步电动机	394
<b>第十三章</b>	<b>直流电动机及其计算</b>	<b>401</b>
第一节	直流电动机的构造和技术参数	401
第二节	直流电动机的励磁方式、启动和调速	411
第三节	直流电动机的计算	415
第四节	直流电动机的运行和维护	419
<b>第十四章</b>	<b>电力电容器及其计算</b>	<b>422</b>
第一节	电力电容器型号和技术参数	422
第二节	并联电容器的补偿方式	428
第三节	功率因数计算	429
第四节	补偿容量的计算	431
第五节	无功补偿装置台数和放电电阻计算	435
<b>第十五章</b>	<b>电气照明及其计算</b>	<b>437</b>
第一节	电光源的型号和名称代号	437
第二节	照明基本概念及其计算	439
第三节	照明的计算程序	440
第四节	照度标准	447
<b>第十六章</b>	<b>节能降损及其计算</b>	<b>452</b>
第一节	节约用电的计算	452
第二节	线损计算	454
<b>第十七章</b>	<b>晶体管电路及其计算</b>	<b>467</b>
第一节	晶体管的型号表示方法	467

107	第二节	晶体管的技术参数 .....	468
108	第三节	放大电路的计算 .....	499
109	第四节	整流、滤波电路的计算 .....	504
110	第五节	简单稳压电路的计算 .....	508
	参考文献	.....	511

# 电工基础计算

## 第一节 直流电路计算

### 一、电阻计算

电阻是一个限流元件,它可限制通过它所连支路电流的大小。阻值不能改变的称为固定电阻器,阻值可变的称为电位器或可变电阻器。理想的电阻是线性的,即通过电阻器的瞬时电流与外加瞬时电压成正比。用于分压的可变电阻器,在裸露的电阻体上,紧压着1~2个可移金属触点。触点位置确定电阻体任一端与触点间的阻值。电阻元件的电阻值大小一般与温度、材料、长度、截面积有关,衡量电阻受温度影响大小的物理量是温度系数,其定义为温度每升高1℃时电阻值发生变化的百分数。电阻的主要物理特征是变电能为热能,也可说它是一个耗能元件,电流经过它就产生内能。电阻在电路中通常起分压、分流的作用。对信号来说,交流与直流信号都可以通过电阻。实际器件如灯泡、电热丝、电阻器等均可表示为电阻器元件。

#### 1. 导体的电阻

端电压与电流有确定函数关系,体现电能转化为其他形式能力的二端器件,用字母 $R$ 来表示,单位为欧[姆]( $\Omega$ ),表达式为

$$R = \rho L / S \quad (1-1)$$

式中: $\rho$ 为电阻率, $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ;  $L$ 为导体长度,  $\text{m}$ ;  $S$ 为导体截面积,  $\text{mm}^2$ 。

导体的电阻不是固定值,它随环境温度的变化而变化,温度低时电阻值降低,温度升高时电阻值增大。其关系式为

$$R_2 = R_1 [1 + d(t_2 - t_1)] \quad (1-2)$$

式中： $R_1$ 、 $R_2$ 为温度变化前后的电阻， $\Omega$ ； $t_1$ 、 $t_2$ 为变化前后的温度， $^{\circ}\text{C}$ ； $d$ 为电阻温度系数， $^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

常用导体的电阻率和电阻温度系数见表 1-1。

表 1-1 常用导体的电阻率和电阻温度系数

导体材料	银	铝	钨	铜	铁	铜镍锌合金	锰铜	康铜
20 $^{\circ}\text{C}$ 时的电阻率 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	0.016 5	0.028 3	0.055	0.017 5	0.097 8	0.42	0.4	0.49
电阻温度系数 ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )	0.003 61	0.004 23	0.004 4	0.004 1	0.006 25	0.000 04	0.000 02	0.000 04

注 锰铜由 86%铜，12%锰，1%镍组成；康铜由 54%铜，46%镍组成。

**【例 1-1】** 有一条长 650m 的配电线路，采用截面积为  $16\text{mm}^2$  的铝绞线，求每根导线  $20^{\circ}\text{C}$  时的电阻。

解 由表 1-1 查得铝的电阻率为  $0.028 3\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ，则电阻为

$$R = \rho L / S = 0.028 3 \times 650 / 16 = 1.15(\Omega)$$

**【例 1-2】** 某仪器用康铜丝绕制的电阻烧坏，需重新绕制。经查说明书，该电阻为  $1.5\Omega$ ，拆下的康铜丝直径为  $0.5\text{mm}$ ，求所需康铜丝的长度。

解 由表 1-1 查得康铜丝的电阻率为  $0.49\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

康铜丝的截面积为

$$S = \pi r^2 = 3.14 \times (0.5 \div 2)^2 = 0.2(\text{mm}^2)$$

康铜丝的长度为

$$L = RS / \rho = 1.5 \times 0.2 / 0.49 = 0.61(\text{m})$$

**【例 1-3】** 某电炉丝的电阻率为  $1.12\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ，直径为  $2\text{mm}$ ，接在  $220\text{V}$  电源上，电流为  $8.8\text{A}$ ，计算电炉丝的电阻和长度。

解 电炉丝的电阻为

$$R = U / I = 220 / 8.8 = 25(\Omega)$$

电炉丝的截面积为

$$S = \pi r^2 = 3.14 \times (2 \div 2)^2 = 3.14(\text{mm}^2)$$

电炉丝的长度为

$$L = RS / \rho = 25 \times 3.14 / 1.12 = 70(\text{m})$$

**【例 1-4】** 求截面积为  $25\text{mm}^2$ 、长度为  $1000\text{m}$  的铝导线，在温度为  $75^{\circ}\text{C}$  时的电阻。

解 由表 1-1 查得铝的电阻率为  $0.0283 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ , 电阻温度系数  $d=0.004^\circ\text{C}^{-1}$ , 温度为  $20^\circ\text{C}$  时的电阻为

$$R_1 = R_{20} = \rho L/S = 0.0283 \times 1000/25 = 1.13(\Omega)$$

当温度为  $75^\circ\text{C}$  时, 其电阻为

$$R_2 = R_1[1 + d(t_2 - t_1)] = 1.13[1 + 0.004 \times (75 - 20)] = 1.38(\Omega)$$

## 2. 电阻串联电路

电阻的串联电路如图 1-1 所示。

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (1-3)$$

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n \quad (1-4)$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n \quad (1-5)$$

式中:  $R$  为总电阻 ( $\Omega$ );  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  为分电阻,  $\Omega$ ;  $I$  为总电流, A;  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  为分电流, A;  $U$  为总电压, V;  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$  为分电压, V。

电阻串联分压计算公式为

$$U_1 = UR_1/R \quad (1-6)$$

$$U_2 = UR_2/R \quad (1-7)$$

$$U_n = UR_n/R \quad (1-8)$$

## 3. 电阻并联电路

电阻的并联电路如图 1-2 所示。

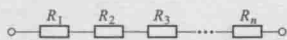


图 1-1 电阻的串联电路

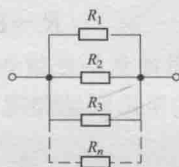


图 1-2 电阻的并联电路

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n \quad (1-9)$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (1-10)$$

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n \quad (1-11)$$

两个电阻并联为

$$R = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) \quad (1-12)$$

$n$  个相同阻值的电阻并联为

$$R = R_1/n \quad (1-13)$$

电阻并联分流计算公式 (两个电阻并联) 为

$$I_1 = IR_2/(R_1 + R_2) \quad (1-14)$$

$$I_2 = IR_1 / (R_1 + R_2) \quad (1-15)$$

#### 4. 电阻混联电路

电阻的混联电路如图 1-3 所示。

$$R = R_1 + R_2 R_3 / (R_2 + R_3) \quad (1-16)$$

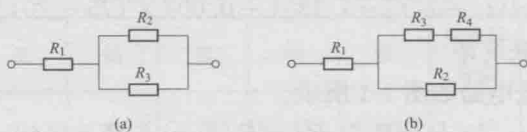


图 1-3 电阻的混联

(a) 形式一; (b) 形式二

**【例 1-5】** 在图 1-3 (b) 所示的混联电路中,  $R_1 = 7\Omega$ ,  $R_2 = 8\Omega$ ,  $R_3 = 6\Omega$ ,  $R_4 = 2\Omega$ , 求总等效电阻  $R$ 。

解 先求出  $R_3$ 、 $R_4$  串联的等效电阻  $R_{34}$ , 则

$$R_{34} = R_3 + R_4 = 6 + 2 = 8(\Omega)$$

再求出  $R_{34}$  和  $R_2$  并联的等效电阻  $R_{234}$ , 则

$$R_{234} = R_2 R_{34} / (R_2 + R_{34}) = 8 \times 8 / (8 + 8) = 4(\Omega)$$

或

$$R_{234} = 8 / 2 = 4(\Omega)$$

最后求出  $R_1$  和  $R_{234}$  串联电阻  $R$  (总等效电阻), 则

$$R = R_1 + R_{234} = 7 + 4 = 11(\Omega)$$

#### 5. 电阻的星形联结和三角形联结

电阻的星形联结和三角形联结如图 1-4 所示。

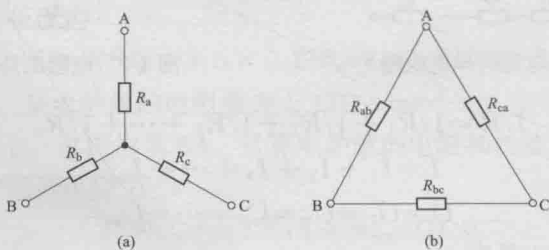


图 1-4 电阻的星形联结和三角形联结

(a) 星形联结; (b) 三角形联结

为使电路计算简单, 电阻计算中常将星形联结和三角形联结进行等值变换。但要注意:

(1) 必须保证变换前后电路的外特性不变,即在两种电路的任意两端间加上相同的电压时,从各对应端点流出、流入的电流也相等。

(2) 星形联结和三角形联结的等值变换,只适用于不包含电源的电路,包括电路的任何支路。

星形联结→三角形联结

$$\left. \begin{aligned} R_{ab} &= R_a + R_b + R_a R_b / R_c \\ R_{bc} &= R_b + R_c + R_b R_c / R_a \\ R_{ca} &= R_c + R_a + R_c R_a / R_b \end{aligned} \right\} \quad (1-17)$$

三角形联结→星形联结

$$\left. \begin{aligned} R_a &= R_{ca} R_{ab} / (R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}) \\ R_b &= R_{ab} R_{bc} / (R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}) \\ R_c &= R_{bc} R_{ca} / (R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}) \end{aligned} \right\} \quad (1-18)$$

**【例 1-6】** 计算图 1-5 所示电路中  $m_1$ 、 $m_2$  两点间的电阻值。

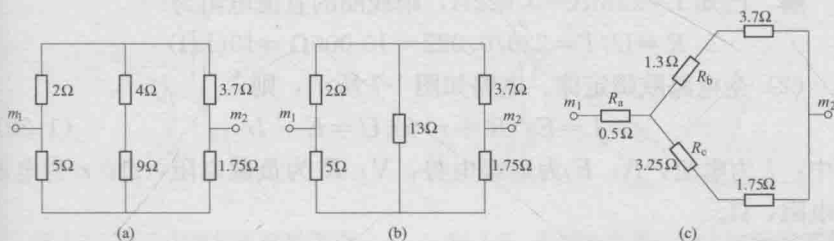


图 1-5 [例 1-6] 电路图

(a) 电阻串联; (b) 三角形接法; (c) 星形接法

**解** 图 1-5 (a) 中,  $4\Omega$  和  $9\Omega$  的电阻串联, 总电阻为  $13\Omega$ , 变换为图 1-5 (b) 的电路, 该电路中的  $2\Omega$ 、 $5\Omega$ 、 $13\Omega$  电阻是三角形联结, 用  $R_a$ 、 $R_b$ 、 $R_c$  替代, 变换成星形联结如图 1-5 (c), 可使计算大大简化。

由三角形联结→星形联结的计算公式 (1-18) 得

$$R_a = 2 \times 5 / (2 + 5 + 13) = 0.5 (\Omega)$$

$$R_b = 2 \times 13 / (2 + 5 + 13) = 1.3 (\Omega)$$

$$R_c = 13 \times 5 / (2 + 5 + 13) = 3.25 (\Omega)$$

将  $R_a$ 、 $R_b$ 、 $R_c$  的值代入图 1-5 (c) 中, 图中  $1.3\Omega$  和  $3.7\Omega$  电阻串联, 电阻值为  $1.3 + 3.7 = 5\Omega$ ;  $3.25\Omega$  和  $1.75\Omega$  电阻串联, 电阻值为  $3.25 + 1.75 = 5\Omega$ ; 两个  $5\Omega$  电阻并联, 其电阻值为  $5/2 = 2.5\Omega$ , 再与  $0.5\Omega$  电阻串联, 所以  $m_1$ 、 $m_2$  两点间的电阻值为  $2.5 + 0.5 = 3\Omega$ 。

## 二、电路基本定律计算

### 1. 欧姆定律

(1) 部分电路欧姆定律。电路如图 1-6 所示, 则

$$I = U/R, U = IR, R = U/I \quad (1-19)$$

式中:  $I$  为电流, A;  $U$  为电压, V;  $R$  为电阻,  $\Omega$ 。

**【例 1-7】** 已知电炉的炉丝电阻为  $10\Omega$ , 求其分别接在 220V 和 380V 电路上的电流。

**解** 当电压为 220V 时, 电流为

$$I = U/R = 220/10 = 22(\text{A})$$

当电压为 380V 时, 电流为

$$I = U/R = 380/10 = 38(\text{A})$$

**【例 1-8】** 在控制电路中使用的中间继电器, 其线圈两端的电压为 220V, 线圈的电流为 22mA, 求线圈的直流电阻。

**解** 已知  $I = 22\text{mA} = 0.022\text{A}$ , 则线圈的直流电阻为

$$R = U/I = 220/0.022 = 10\,000\Omega = 10(\text{k}\Omega)$$

(2) 全电路欧姆定律。电路如图 1-7 所示, 则

$$I = E/(R + r) \text{ 或 } U = E - Ir \quad (1-20)$$

式中:  $I$  为电流, A;  $E$  为电源电势, V;  $R$  为负载电阻,  $\Omega$ ;  $r$  为电源内电阻,  $\Omega$ 。

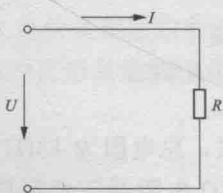


图 1-6 部分电路欧姆定律

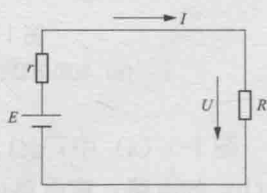


图 1-7 全电路欧姆定律

**【例 1-9】** 在图 1-7 电路中,  $E = 110\text{V}$ ,  $R = 109\Omega$ ,  $r = 1\Omega$ , 求电路中的电流。

**解** 电路中的电流为

$$I = E/(R + r) = 110/(109 + 1) = 1(\text{A})$$

### 2. 基尔霍夫定律

对于比较复杂的电路, 在进行计算时通常采用基尔霍夫定律。它既适用于直流电路, 也适用于交流电路, 是分析、计算电路的基本定律。

(1) 基尔霍夫第一定律, 又称为节点电流定律。它的内容是: 流进

一个节点的电流之和恒等于流出这个节点的电流之和。或者说流过任意一个节点的电流的代数和为零。其数学表达式为

$$\sum I = 0 \quad (1-21)$$

图 1-8 所示为有 5 个电流汇交的节点, 根据图中标出的电流方向, 可以列出该节点的电流方程式为

$$I_1 + I_4 = I_2 + I_3 + I_5$$

$\sum I = 0$ , 则

$$I_1 - I_2 - I_3 + I_4 - I_5 = 0$$

通常规定, 流入节点的电流为正, 流出节点的电流为负。

**【例 1-10】** 在图 1-9 所示电路中, 已知  $I_1 = 5\text{A}$ ,  $I_2 = -2\text{A}$ ,  $I_3 = 3\text{A}$ 。求  $I_4$ 。

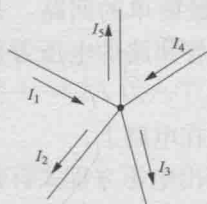


图 1-8 有 5 个电流汇交的节点

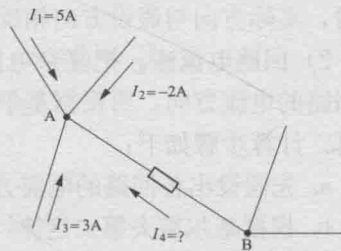


图 1-9 有两个电势、两个电阻的回路

**解** 根据基尔霍夫第一定律得

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

$$I_4 = -I_1 - I_2 - I_3 = -5 + 2 - 3 = -6(\text{A})$$

(2) 基尔霍夫第二定律, 又称为回路电压定律。它的内容是: 在任意回路中, 电势的代数和恒等于各电阻上电压降的代数和。其数学表达式为

$$\sum E = \sum IR \quad (1-22)$$

在列回路的电压方程式时, 通常任意选定一个回路方向 (图 1-10 中虚线所示), 并规定与回路方向一致的电势符号为正, 反之为负; 与回路方向一致的电压降符号为正, 反之为负。则图 1-10 回路电压方程式为

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

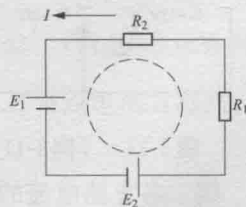


图 1-10 [例 1-10] 回路

(3) 利用基尔霍夫定律计算复杂电路。计算方法有支路电流法和回路电流法两种，分别介绍如下：

1) 支路电流法。对一个较复杂的电路，先假定各支路电流方向和回路方向，再根据基尔霍夫定律列出电流方程式和电压方程式，然后进行计算。计算步骤如下：

a. 先假设各支路电流和回路的的方向，同时标注在电路上。

b. 根据基尔霍夫第一定律列出节点电流方程式。需要注意的是，设电路有  $m$  个节点，则可列出  $(m-1)$  个独立电流方程式。

c. 根据基尔霍夫第二定律列出回路电压方程式，方程式的个数应等于回路数。

d. 代入已知数，解联立方程式求出各支路电流。对于支路电流的方向，当计算结果为正值时，实际方向与假设方向相同；当计算结果为负值时，实际方向与假设方向相反。

2) 回路电流法。把复杂电路分成若干个最简单的回路，并假设出各回路的电流方向，再根据基尔霍夫定律列出各回路的电压方程式进行计算。计算步骤如下：

a. 先假设出各回路的电流方向，同时标注在电路上。

b. 根据基尔霍夫第二定律，对每个回路列出电压方程式，方程式的个数应等于整个电路回路数。

c. 代入已知数，并解联立方程式求出各回路电流。当计算结果为正值时，实际电流方向与假设方向相同；计算结果为负值时，实际电流方向与假设方向相反。

d. 根据回路电流的大小和方向，确定电路中各支路电流的大小和方向。

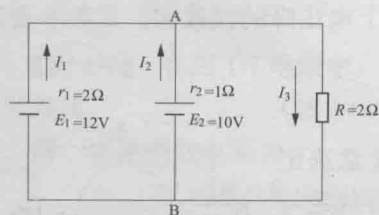


图 1-11 [例 1-11] 电路

**【例 1-11】** 图 1-11 所示两电池组回路，其中电池组  $E_1$  的电动势为 12V，内电阻为  $2\Omega$ ；电池组  $E_2$  的电动势为 10V，内电阻为  $1\Omega$ 。两电池组并联后，与外电阻  $R = 2\Omega$  连接，计算各支路电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  和 A、B 两点间的电压。

**解** 各支路电流的方向如图 1-11 所示。根据基尔霍夫第二定律，列出回路电压方程为