

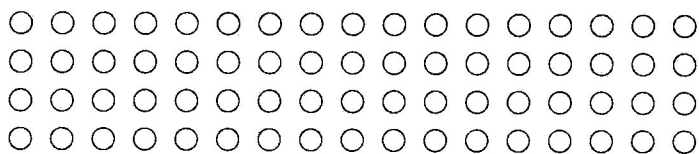
仪表维修工

YIBIAO WEIXIUGONG

◎ 张红翠 付志刚 李玉红 编



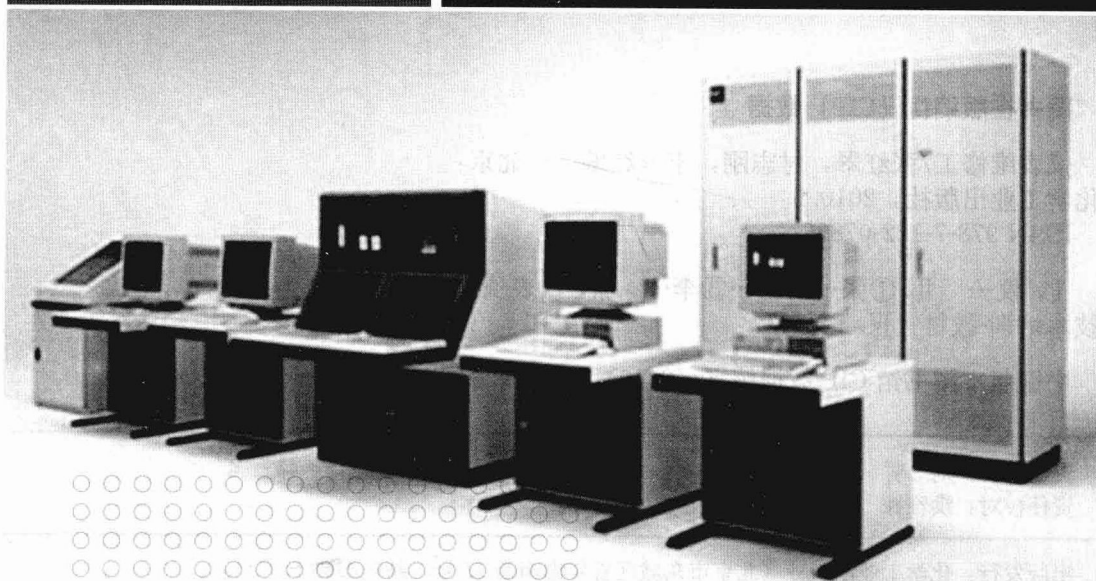
化学工业出版社



仪表维修工

YIBIAO WEIXIUGONG

◎ 张红翠 付志刚 李玉红 编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

仪表维修工/张红翠, 付志刚, 李玉红编. —北京:
化学工业出版社, 2010. 5
ISBN 978-7-122-07896-4

I. 仪… II. ①张…②付…③李… III. 仪表-维修-
技术培训-教材 IV. TH707

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 037929 号

责任编辑: 刘 哲
责任校对: 洪雅姝

装帧设计: 韩 飞

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: 大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 16 字数 418 千字 2010 年 8 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: 35.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书是根据对仪表工的要求，按照人的认知规律，遵循由浅到深、由易到难的原则，按照一般的认识规律和教学规律编写。

在编写过程中，注重以能力为本位，以应用为主线的指导思想，面向实际，力争做到语言通俗易懂、深入浅出。对于必须了解的工作原理，简化理论推导，结合图示，用通俗化的语言来阐述，目的是提高读者的可读性，使读者有兴趣学习。

本书在每章开头明确提出学习目标，每章结束附有习题，题型符合职业技能鉴定考核要求，所以适合职业院校的学生学习，也适用于企业技术工人的培训、考核。

本书主要分为四大部分，第一部分是电工电子，第二大部分是仪表知识，第三大部分是自动化部分，第四大部分是仪表维修防护。其中，电工电子部分作为仪表专业的专业基础课程，主要涉及到仪表应用方面的问题，而对于内部很多电路的分析没有做要求；仪表和控制阀则较全面地介绍了目前常用的仪表及智能仪表；自动化部分在介绍的简单及常用复杂控制系统的基础之上，又将目前各种计算机控制系统做了基本介绍，如 DCS、PLC 及总线控制等。另外对于安装及仪表和系统的维护等也做了相应的介绍。

本书第 1、3、5、6 章由张红翠编写，第 2、7、8 章由付志刚编写，第 4、9、10 章由李玉红编写。

编者在编写过程中，借助于教学思维，力图推陈出新。但由于编者水平有限，不足之处恳请专家读者不吝赐教，批评指正。

编 者

2010 年 4 月

目 录

第 1 章 电工电子基础	1
1.1 电工基础知识	1
1.1.1 电路的基本组成及分析方法	1
1.1.2 单相交流电路	7
1.1.3 三相交流电路	13
1.1.4 变压器	18
1.2 电子技术基础	21
1.2.1 电子电路常用元器件的作用与识别	21
1.2.2 运算放大电路	30
1.2.3 脉冲数字电路	33
习题 1	37
第 2 章 检测仪表及基础知识	41
2.1 检测过程及仪表误差	41
2.1.1 检测的作用	41
2.1.2 测量的基本概念及测量误差	41
2.2 压力测量仪表	43
2.2.1 压力的基本概念	43
2.2.2 弹簧管式压力表	44
2.2.3 应变式压力传感器	46
2.2.4 霍尔式压力传感器	47
2.2.5 电容式压力传感器	49
2.2.6 压力仪表的选用	50
2.3 物位测量仪表	53
2.3.1 物位的基本概念	53
2.3.2 差压式液位计	53
2.3.3 物位仪表的选用	55
2.4 流量测量仪表	55
2.4.1 流量的概念	56
2.4.2 差压式流量计	56
2.4.3 流量仪表的选用	59
2.5 温度测量仪表及变送器	61
2.5.1 温度的概念	61
2.5.2 热电偶	63
2.5.3 热电阻温度传感器	76
2.5.4 温度检测仪表的选型	80

2.6 数字显示仪表	82
2.6.1 数字式显示仪表的结构	82
2.6.2 工作原理	84
2.6.3 操作	92
2.7 无纸记录仪	95
2.7.1 记录仪表的结构及工作原理	95
2.7.2 无纸记录仪的画面显示及按键操作	98
习题 2	102

第 3 章 控制仪表 104

3.1 基本概念	104
3.1.1 控制器的分类	104
3.1.2 控制规律	104
3.2 智能调节器	108
3.2.1 AI 智能控制器的组成及工作原理	109
3.2.2 AI 系列仪表常用工作方式	111
3.2.3 通信	112
3.2.4 AI 智能控制器的基本操作	113
3.3 数字单回路调节器	114
3.3.1 特点	114
3.3.2 KMM 可编程调节器	115
习题 3	121

第 4 章 执行器 123

4.1 气动执行器	123
4.1.1 气动薄膜执行机构	124
4.1.2 调节阀	125
4.1.3 调节阀的流量特性	132
4.1.4 气动执行器的选择	135
4.2 阀门定位器	136
4.2.1 阀门定位器的作用	136
4.2.2 电/气阀门定位器	137
4.3 电动执行器	140
4.4 智能控制阀	144
4.4.1 带智能阀门定位器的气动控制阀	144
4.4.2 智能电动控制阀	144
4.4.3 带现场总线智能阀门定位器的气动控制阀	145
4.5 执行器(控制阀)的安装	145
习题 4	147

第 5 章 典型控制系统 150

5.1 简单控制系统及自动化基础知识	150
--------------------	-----

5.1.1 自动化基础知识	150
5.1.2 简单控制系统	153
5.2 复杂控制系统	161
5.2.1 串级控制系统	161
5.2.2 均匀控制系统	166
5.2.3 比值控制系统	167
5.2.4 分程控制系统	169
5.2.5 前馈控制系统	172
5.2.6 选择性控制系统	173
5.2.7 多冲量控制系统	175
5.3 带控制点的工艺流程图的读识	177
5.3.1 设备的表示方法	178
5.3.2 管道的表示方法	178
5.3.3 阀门的表示方法	180
5.3.4 常用仪表控制符号	180
习题 5	181

第 6 章 可编程控制器

6.1 PLC 的基本构成及作用	184
6.2 PLC 的分类	185
6.3 特点	187
6.4 PLC 的工作原理及工作方式	188
6.5 PLC 的编程语言	189
6.5.1 梯形图语言	189
6.5.2 助记符语言	191
6.6 PLC 的软元件（内部继电器）	192
6.7 基本指令	193
习题 6	199

第 7 章 集散控制系统（DCS）

7.1 概述	202
7.2 DCS 的体系结构	202
7.3 DCS 的硬件构成	203
7.3.1 现场控制站	203
7.3.2 操作站	204
7.3.3 上位计算机	204
7.3.4 通信网络	204
7.4 DCS 的软件构成	205
7.5 DCS 的安装	205
7.5.1 施工准备	205
7.5.2 设备检验	205
7.5.3 型钢基础制作、安装	206

7.5.4	系统设备的运输、安装	206
7.5.5	静态调试	206
7.5.6	动态运行	207
习题 7		207
第 8 章	现场总线	208
8.1	概述	208
8.2	现场总线国际标准 (IEC 61158)	211
习题 8		213
第 9 章	安全仪表系统及仪表防护	214
9.1	概述	214
9.2	安全知识	215
9.2.1	安全基本知识	215
9.2.2	易燃易爆场所对防爆电气设备的要求	216
9.3	仪表的防护	218
9.3.1	检测仪表的防腐蚀	218
9.3.2	检测仪表的防冻、防热	219
9.3.3	检测仪表的防爆	219
9.3.4	检测仪表的防尘	220
9.3.5	检测仪表的防震	220
9.3.6	接地	220
9.3.7	脱脂	221
9.4	安全仪表系统	222
9.4.1	概述	222
9.4.2	安全仪表系统 (SIS) 的组成	224
习题 9		227
第 10 章	仪表维修与故障处理	228
10.1	仪表日常维护	228
10.1.1	仪表日常维护	228
10.1.2	DCS 系统的日常维护	231
10.2	开停车注意事项	232
10.2.1	仪表停车	232
10.2.2	仪表开车	233
10.3	仪表故障分析与处理	234
10.3.1	检测系统故障分析与处理	234
10.3.2	控制阀故障分析步骤	236
10.4	控制系统与 DCS 系统故障分析与处理	237
10.4.1	控制系统故障诊断与处理	237
10.4.2	DCS 系统故障诊断	239
习题 10		240

附录	242
附录 1 习题答案	242
附录 2 电阻、电容、电感的色标法	245
参考文献	246

第1章 电工电子基础

1.1 电工基础知识



【学习目标】

1. 掌握电路的组成及电路模型的概念。
2. 掌握电路的三种状态：通路、开路、短路，以及短路的危害。
3. 能画出常见的电路元件的符号和简单的电路图。
4. 掌握电路中电压、电流的参考方向表示方法及其意义。
5. 基尔霍夫定律及应用其对一些较复杂电路的物理量的计算。
6. 理解正弦交流电的基本概念，熟悉正弦交流电的三要素及表示方法；掌握单相交流电路中电阻、电容及电感的电流电压关系；会计算RLC串联电路中电抗、电流、电压及功率（有功功率、无功功率和视在功率）。
7. 掌握三相交流电的星形和三角形接法及相电流和线电流、相电压和线电压之间的关系。会计算其功率。
8. 掌握变压器的电流、电压、阻抗与匝数之间的关系。

1.1.1 电路的基本组成及分析方法

(1) 电路的基本组成 电路如图 1-1 (a) 所示。由电源、负载（用电设备）、开关和导线等元件组成的电流流通过路径叫电路。电路为一闭合回路。

各元件在电路中的作用如下。

① 电源 维持电路中有持续电流，为电路提供电能，是电路中的供电装置。作用是将

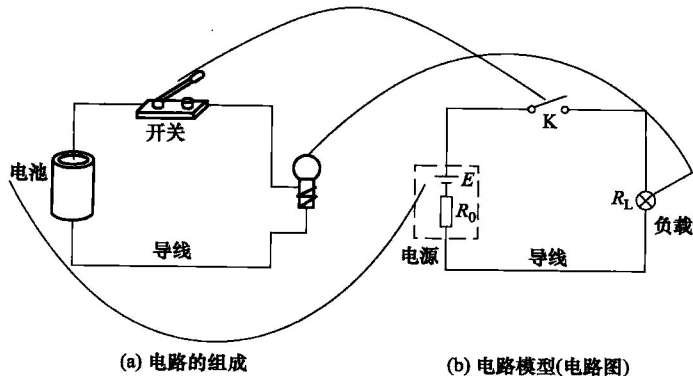


图 1-1 电路的组成及电路模型

非电形式的能量转换为电能。如图 1-1 中的电池将化学能转换为电能。另有蓄电池、发电机等。

② 导线 按一定的方式将电路各元件连接起来的导体，是电流的通道，在电路中起传输作用。常用的是铜导线和铝导线。

③ 控制和保护装置 用来控制电路的通断、保护电路的安全，使电路能够正常工作，如图 1-1 中的开关。另有熔断器、继电器等。

④ 负载 消耗电能来工作的设备，它的作用是将电能转换为其他形式的能量。如图 1-1 中电灯将电能转换为光能。另有电动机、电热器等。

电路模型是常见的电路形式，图 1-1 (b) 是 (a) 的电路模型。其作用是把实际电路的本质特征抽象出来所形成的理想化的电路，即为实际电路的电路模型，是分析电路的常见形式。

(2) 电路的状态 电路的状态有 3 种形式：通路、断路和短路。

① 通路 如图 1-2 (a) 所示，电路中有电流流过负载，电路中负载工作基本正常。

② 断路 断路或称开路状态，如图 1-2 (b) 所示，当开关 S 断开或连接导线折断时，电路就处于断开状态，此时电源和负载未构成通路。

③ 短路 当电源两端的导线由于某种事故而直接相连时，电源输出的电流不经过负载，只经连接导线直接流回电源，这种状态称为短路状态，即短路，如图 1-2 (c) 所示。短路会烧坏电池和导线，故这种状态时不允许的！在实际工作中，应经常检查电气设备和线路的绝缘情况，以防电压源被短路事故的发生。

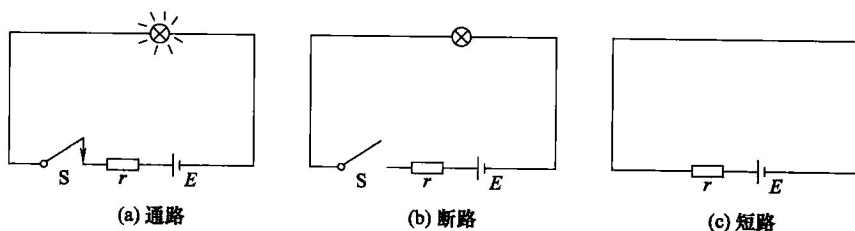


图 1-2 电路的三种状态

(3) 电路的基本物理量

① 电流 电流是指电路中的带电粒子（电子和离子）在电场力的作用下，形成有规则的定向运动。电流强度表示电流的大小。其定义是指单位时间内通过导体某一横截面积的电荷量，简称电流。在国际单位制中，电流强度的单位为安培，简称安（ $A=Q/S$ ）。规定正电荷的移动方向为电流的正方向。

电流分为直流电流和交流电流。大小和方向均不随时间变化的电流称为直流电流，其符号用 I 表示。方向随时间改变的电流为交流电流，其符号用 i 表示。

② 电阻 导体阻碍电流通过的能力，称为电阻，用 R 表示，单位为欧姆，简称欧（ Ω ）。其大小可根据电阻定律来计算。

电阻定律

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-1)$$

式中 ρ ——电阻率；

L ——导体长度；

S ——导体横截面积。

ρ 叫电阻率。某种材料制成的长1m、横截面积是 1mm^2 的导线的电阻，叫做这种材料的电阻率，是描述材料性质的物理量。国际单位制中，电阻率的单位是 $\Omega \cdot \text{m}$ ，常用单位是 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。电阻率与导体长度 L 、横截面积 S 无关，只与物体的材料和温度有关。

③ 电位 空间中某一点的电位是把单位正电荷从无限远处（假设此处电位为零）带到该点时所消耗的电能。电位表示电场中某一点所具有的电位能，单位为伏特，简称伏（V）。电位常指某点到参考点的电压降。其中参考点可任意选择，但常选在电路的公共接点处，不一定是接地点。然而，一般都把参考点当成零电位点，便于电位的计算。

④ 电压 电场力把单位正电荷从电场的A点移到B点所做的功，称为AB两点间的电压，用 U_{AB} 表示。显然，电路中某两点间的电位差等于该两点间的电压，即 $U_A - U_B = U_{AB}$ 。当然，电压的单位也为伏特。

所谓零电位，是指电路中电位相同的点。它的特点：零电位点之间电压差等于0。若用导线或电阻将等电位点连接起来，其中没有电流通过，不影响电路原来工作状态。

⑤ 电动势 在电源内部，非电场力将单位正电荷从电源的低电位端（负极）移到高电位端（正极）所做的功，称为电源的电动势，用符号 E 或 ϵ 表示。电动势的单位也是伏特。

⑥ 电功率 单位时间内电流所做的功称为电功率，简称功率，用符号 P 表示，单位为瓦特，简称瓦（W）。

$$P = \frac{W}{t} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-2)$$

(4) 电路基本定律 电路如图1-3所示。

① 全电路欧姆定律

$$E = IR + Ir \quad \text{或} \quad I = \frac{E}{R + r} \quad (1-3)$$

当负载为纯电阻时，设其阻值为 R ，则有 $U = IR$ ，所以：

$$E = U + Ir$$

式中 E ——电源的电动势；

U ——负载两端的电压，也就是电源两极之间的电压，称为路端电压；

I ——通过负载的电流强度；

r ——电源内阻。

Ir 为在电源内阻上的电势降，也叫做内电压。

当 $R \rightarrow \infty$ 时， $I = \frac{E}{\infty + r}$ ，可以认为 $I = 0$ ，电路处于断路。当 $R \rightarrow 0$ 时， $I \rightarrow E/r$ ，可以认为 $U = 0$ ，路端电压等于零，这种情况叫电源短路。发生短路时，电流强度 I 叫做短路电流。一般电源的内阻都比较小，所以短路电流很大。一般情况下，要避免电源短路。

② 部分电路欧姆定律

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-4)$$

当电阻两端加上电压时，电阻中就会有电流通过。电流的大小与电阻两端的电压高低成正比，与电阻的大小成反比。

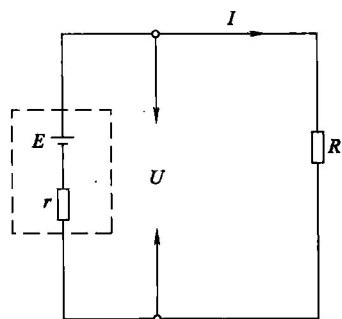


图 1-3 基本电路

【例 1-1】 如图 1-4 所示的电路中, $R_1=14.0\Omega$, $R_2=9.0\Omega$, 当开关 S 扳到位置 1 时, 电流表的示数为 $I_1=0.20\text{A}$; 当开关 S 扳到位置 2 时, 电流表的示数为 $I_2=0.30\text{A}$, 求电流的电动势和内电阻。

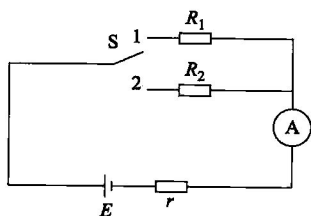


图 1-4 【例 1-1】电路

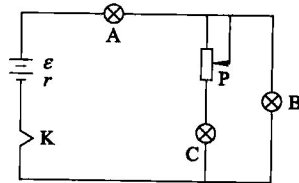


图 1-5 【例 1-2】电路

解: 根据全电路欧姆定律, 将数值代入式 (1-3), 可得:

$$\begin{cases} E=0.2r+0.2\times 14 \\ E=0.3r+0.3\times 9 \end{cases}$$

解方程组, 得到: $E=3.0\text{V}$, $r=1.0\Omega$ 。

说明: 电源内电阻存在且 r 不变, 大小由电源自身特点决定。这也是一种测量电动势和内阻的方法。

【例 1-2】 图 1-5 电路中, 当滑动变阻器滑动键 P 向下移动时, 说明灯 A、灯 B、灯 C 的亮度变化情况。

分析如下: 滑动键 P 向下移动, 变阻器电阻减小, 外电路总电阻减小, 根据 $I=\frac{E}{R+r}$, 电路电流强度增大, 灯 A 两端电压 U_A 增大而变亮。根据 $U=\epsilon-Ir$, 路端电压变小, $U=U_A+U_B$, 所以 U_B 减小, 灯 B 电阻不变, 所以灯 B 电流强度 I_B 减小, 灯 B 变暗。电路电流强度 $I=I_B+I_C$, 因为 I 增大, I_B 减小, 所以 I_C 增大, 灯 C 应变亮。

(5) 电阻的串、并联 在一个电路中, 所出现的外电阻的个数不止一个, 并且这些电阻的连接方式各不相同。

① **电阻的串联** 如果多个电阻顺序相连, 并且在这些电阻中通过同一电流, 这样的连接方式称为电阻的串联, 如图 1-6 (a)。

串联等效电阻的计算公式为:

$$R=R_1+R_2+\cdots+R_n \quad (1-5)$$

则等效电路如图 1-6 (b)。

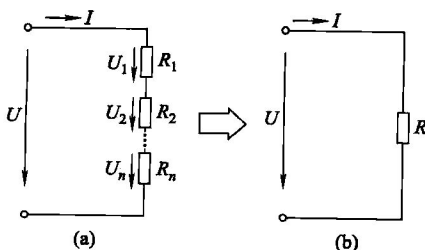


图 1-6 电阻的串联

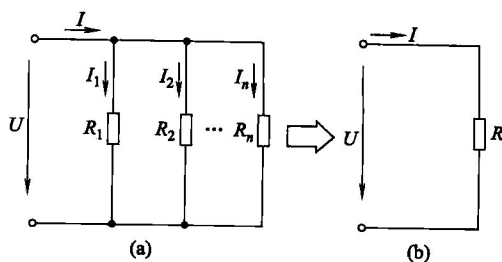


图 1-7 电阻的并联

② 电阻的并联 如果多个电阻连接在两个公共的节点之间, 每个电阻上施加同一电压, 这样的连接方式称为电阻的并联, 如图 1-7 (a)。

并联等效电阻的计算公式为:

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \cdots + 1/R_n \quad (1-6)$$

则等效电路如图 1-7 (b)。

实际遇到的电路往往并不是单纯的电阻串联、并联和简单的闭合电路, 而是串、并都包含的混联电路, 并且混联电路中还含有多个电源。对于这样的复杂电路, 需要用基尔霍夫定律来分析和计算。

(6) 基尔霍夫定律

① 名词

- 支路——电路中一段无分支且电流相等的电路, 如图 1-8 中的 ab 、 cd 、 ef 3 条支路。
- 节点——电路中 3 条或 3 条以上支路的连接点, 如图 1-8 中的 a 点和 b 点。
- 回路——电路中的任意一个闭合路径叫回路, 如图 1-8 中的 $ae fba$ 、 $abdca$ 、 $ae fbdca$ 分别构成一个回路。

- 网孔——电路中不含有其他支路的回路, 即单孔回路叫网孔。电路中网孔数等于独立回路数, 如图 1-8 中的 $ae fba$ 、 $abdca$ 这两个回路。

注意: 网孔是回路, 但回路不一定是网孔, 如 $ae fbdca$ 是回路但不是网孔。

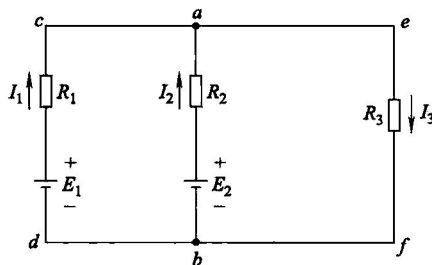


图 1-8 网孔与回路

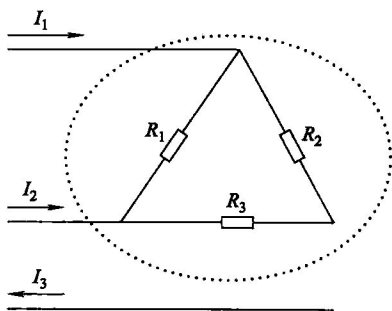


图 1-9 电路

② 基尔霍夫第一定律——电流定律 (KCL) 任意时刻, 对任意节点流出或流入该节点电流的代数和等于零, 即流入节点的电流等于流出节点的电流。规定: 流出节点的电流为正, 流入节点的电流为负。

对于任意一个节点

$$\sum (\pm I) = 0 \quad \text{或} \quad \sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-7)$$

③ 基尔霍夫第一定律的推广形式 基尔霍夫第一定律不仅适用于单个节点, 还适用于任意假定的闭合曲面。如图 1-9 所示, 电路中的一部分被闭合曲面 (虚线所示) 包围, 在曲面包围的这部分可以把它看作一个“大节点”, 流入和流出这个“大节点”的电流也满足基尔霍夫第一定律, 即 $I_1 + I_2 = I_3$ 。亦即流入闭合曲线电流之和等于流出该闭合曲线之和。

【例 1-3】如图 1-10 所示电路中, 已知 $I_1 = 20$, $I_3 = 10\text{mA}$, $I_4 = 5\text{mA}$, 参考方向如图所示, 试求其余支路电流。

解: 由节点 D: $I_5 = I_1 - I_4 = (20 - 5)\text{mA} = 15\text{mA}$

同理对于节点 C: $I_6 = I_4 - I_3 = (5 - 10)\text{mA} = -5\text{mA}$

同理对于节点 B: $I_2 = I_6 + I_5 = (-5 + 15)\text{mA} = 10\text{mA}$

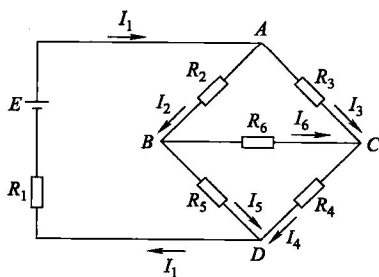


图 1-10 【例 1-3】电路

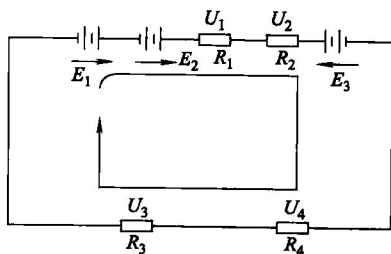


图 1-11 【例 1-4】电路

由结果可知, I_2 和 I_5 的实际方向和假设的参考方向相同, 而 I_6 实际方向和假设的参考方向相反。

注意事项:

- 只能对流过同一个节点的所有电流列节点方程。
- 在列节点方程之前, 先要对未知电流的支路假设电流的参考方向, 参考方向可以任意假定。
- 在假设的参考方向下根据基尔霍夫第一定律列与未知电流相关的节点电流方程, 然后代值计算。

• 根据计算的结果确定电流的实际方向, 计算结果为正说明电流的实际方向与所假设的参考方向相同, 如果计算的结果为负, 则两者方向相反。

④ 基尔霍夫第二定律 [即基尔霍夫电压定律 (KVL)] 在任一时刻, 沿一个回路的各段电压的代数和恒为零, 即电压的参考方向与回路的绕行方向相同时, 该电压在式中取正号, 相反取负号。或者表示为电位升为正, 电位降为负, 则电位升等于电位降。即

$$\sum U = 0 \quad \text{或} \quad \sum U_{\text{升}} = \sum U_{\text{降}} \quad (1-8)$$

【例 1-4】图 1-11 中, $E_1 = 50\text{V}$, $E_2 = 100\text{V}$, $E_3 = 25\text{V}$, $R_1 = 15\Omega$, $R_2 = 15\Omega$, $R_3 = 10\Omega$, $R_4 = 10\Omega$, 求回路中的电流。

解: 假设回路绕行方向为顺时针, 回路电流为 I , 回路电流的参考方向也为顺时针。根据 KVL 列出方程如下:

$$\begin{aligned} \sum U_{\text{升}} &= \sum U_{\text{降}} \\ E_1 + E_2 &= R_1 I + R_2 I - E_3 + R_4 I + R_3 I \end{aligned}$$

解得:

$$\begin{aligned} I &= (E_1 + E_2 - E_3) / (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) \\ &= (50 + 100 - 25) / (15 + 15 + 10 + 10) = 2.5 \text{ (A)} \end{aligned}$$

⑤ 电路的分析计算 利用基尔霍夫定律分析电路。

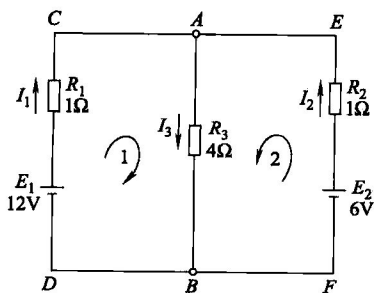


图 1-12 【例 1-5】电路

a. 标出各支路电流的方向。如果不能确定电流的实际方向, 可先任意假设一个方向。最后根据计算得到的电流值是正还是负, 判别实际方向与假设方向一致或相反。

b. 根据基尔霍夫电流定律, 对 n 个节点列出 $(n-1)$ 个独立的电流方程式。所谓独立的电流方程, 一般是指在方程中至少包含一个在其他方程中没有出现过的新支路电流。

c. 根据基尔霍夫电压定律, 对各回路列出 $b-(n-1)$ 个独立的电压方程式。独立的电压方程数等于电路的网孔数。具有 b 个支路、 n 个节点的电路中, 网孔数为 $b-1$ 。

$(n-1)$ 个。

d. 解联立方程组, 求出各未知的支路电流。

上面根据基尔霍夫电流定律和电压定律一共可列出 $(n-1)+[b-(n-1)]=b$ 个独立方程, 所以能解出 b 个支路电流。

【例 1-5】 试求图 1-12 所示电路的各支路电流。

解: 在电路图中标出电流和回路绕行方向, 根据 KCL 与 KVL 列出方程为:

$$\text{对节点 A:} \quad I_1 + I_2 = I_3$$

$$\text{对回路 1:} \quad E_1 = R_1 I_1 + R_3 I_3$$

$$\text{对回路 2:} \quad E_2 = R_2 I_2 + R_3 I_3$$

将已知数据代入上面的方程, 得: $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

$$I_1 + 4I_3 = 12$$

$$I_2 + 4I_3 = 6$$

解联立方程组得: $I_1 = 4\text{A}$, $I_2 = -2\text{A}$, $I_3 = 2\text{A}$ 。

1.1.2 单相交流电路

交流电也称“交变电流”, 简称“交流”, 一般指大小和方向随时间作周期性变化的电压或电流。交流电随时间变化的形式可以是多种多样的, 不同变化形式的交流电其应用范围和产生的效果也是不同的, 其中以正弦交流电应用最为广泛。

(1) **正弦交流电的三要素** 大小和方向均随时间作周期性正弦规律变化的电动势、电压和电流, 称为正弦交流电。正弦交流电的瞬时值可用正弦函数表示。

正弦交流电流 (电压) 的波形如图 1-13 所示, 正弦交流电流可表示为:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (1-9)$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (1-10)$$

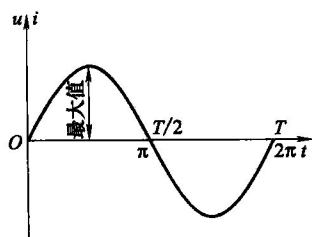


图 1-13 正弦交流电

幅值、角频率和初相位称为正弦电量的三要素。

① **幅值与有效值** 正弦交流电在任一瞬间的值称为瞬时值, 用小写字母来表示, 如 i 、 u 、 e 分别表示电流、电压、电动势的瞬时值。瞬时值中最大的值称为幅值或最大值, 用带下标 m 的大写字母来表示, 如 I_m 、 U_m 和 E_m 分别表示电流、电压和电动势的幅值。

交流电的有效值是根据电流的热效应来规定的。让交流电和直流电通过同样阻值的电阻, 如果它们在同一时间内产生的热量相等, 这个直流电流 I 的数值就叫做交流电流 i 的有效值。

幅值与有效值的关系为:

$$i = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad u = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad e = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \quad (1-11)$$

② **频率、周期与角频率** 正弦交流电作周期性变化一次所需的时间称为周期 T , 单位是秒 (s)。每秒内变化的次数称为频率 f , 其单位是赫兹 (Hz)。 $f = 50\text{Hz}$, 为我国的工业频率, 简称“工频”

正弦交流电每秒内变化的电角度称为角频率 ω , 其单位是弧度/秒 (rad/s)。显然, 频率、周期与角频率的关系为

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (1-12)$$

③ **相位、初相位与相位差** 交流电的频率、周期与角频率要素表示交流电变化的快慢,

交流电的幅值与有效值要素表示交流电的大小,表示交流电变化的起点的要素就是相位、初相位。

以交流电流 $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ 为例,把 $\omega t + \varphi$ 称为正弦交流电的相位角或相位, $t=0$ 时的相位角即 φ ,称为初相角或初相位,简称初相。初相位的取值范围一般规定为 $-\pi \leq \varphi \leq \pi$ 。

对于两个同频率正弦交流电的相位角之差,称为相位差。设两个同频率正弦交流电分别为:

$$i_1 = I_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1) \quad i_2 = I_{m2} \sin(\omega t + \varphi_2) \quad (1-13)$$

则 i_1 与 i_2 的相位差 $\varphi = (\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2$,即两个同频率正弦交流电的相位差就是它们的初相位之差。

在相位差满足 $-\pi \leq \varphi \leq \pi$ 时,若 $\varphi > 0$,称电流 i_1 超前电流 i_2 ;若 $\varphi < 0$,称电流 i_1 滞后电流 i_2 ;若 $\varphi = 0$,称电流 i_1 和电流 i_2 同相位,简称同相;若 $\varphi = \pm \pi$,称电流 i_1 和电流 i_2 反相位,简称反相,如图 1-14。

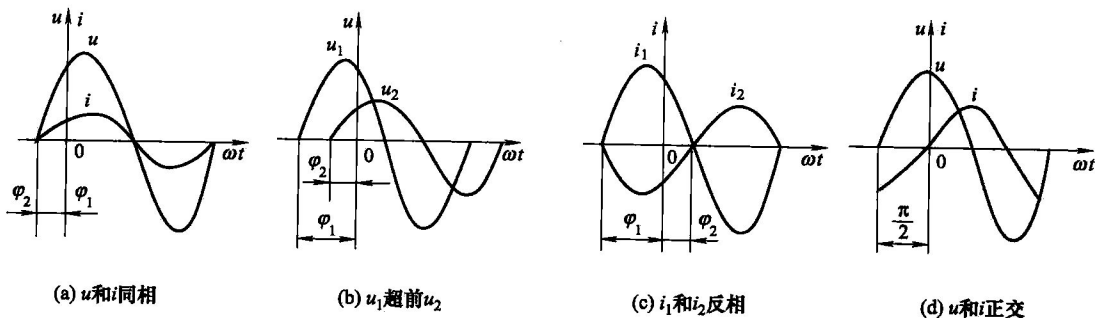


图 1-14 相位差

(2) 纯电阻电路 在交流电路中负载为纯电阻的电路,如常见到的照明白炽灯、电烙铁、电阻炉等电阻性负载,它们的电阻在电路中起主要作用,电感、电容的影响很小,可以忽略,这种电路可近似为纯电阻电路,如图 1-15 所示。

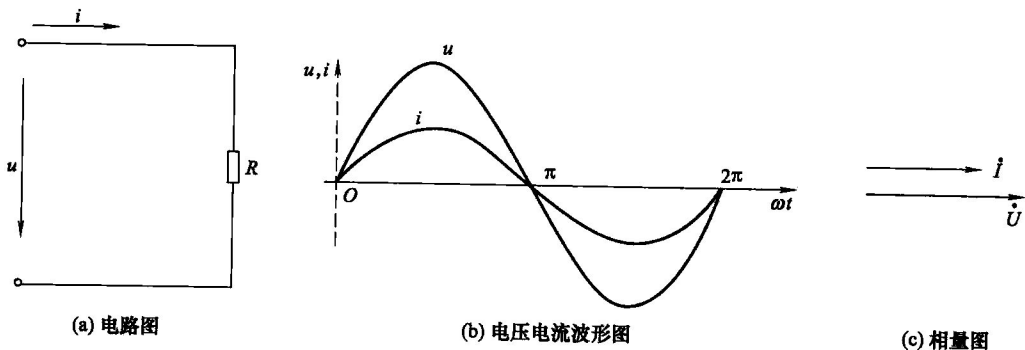


图 1-15 纯电阻电路

① 电压与电流的关系 在交流电路中电压和电流的方向是不断变化的,为了分析方便起见,假定电压和电流的正方向如图 1-15 (a) 所示,并且假定电压的初相角为 0,即以电压作为参考矢量,则设加在负载电阻 R 两端的正弦交流电压为

$$u = \sqrt{2}U \sin \omega t \quad (1-14)$$

式中 U ——电压有效值。

由欧姆定律可得电路的电流瞬时值为