

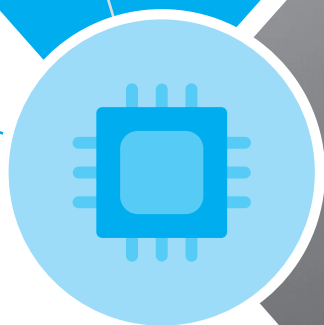


“十四五”职业教育国家规划教材

电工电子技术

第2版

主编◎李锁牢 程 章 冯 凯



电子科技大学出版社

University of Electronic Science and Technology of China Press

· 成都 ·



图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术 / 李锁牢, 程章, 冯凯主编. -- 2 版.
成都: 成都电子科大出版社, 2024. 9. -- ISBN 978-7-
5770-1147-9

I. TM; TN

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 20249KU233 号

电工电子技术 (第 2 版)

DIANGONG DIANZI JISHU (DI-ER BAN)

李锁牢 程 章 冯 凯 主编

策划编辑 雷晓丽 张 鹏

责任编辑 雷晓丽

责任校对 刘 愚

责任印制 梁 硕

出版发行 电子科技大学出版社

成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦九楼 邮编 610051

主 页 www.uestcp.com.cn

服务电话 028-83203399

邮购电话 028-83201495

印 刷 北京荣玉印刷有限公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印 张 21.5

字 数 510 千字

版 次 2024 年 9 月第 2 版

印 次 2024 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5770-1147-9

定 价 56.00 元

版权所有, 侵权必究



前言

“电工电子技术”是高职高专院校相关专业非常重要的一门专业基础课程。该课程既有一定的理论性，又有很强的实用性。随着科学技术的发展和高职高专院校教学改革的深入，原有的《电工电子技术》教材因偏重理论推导，缺少新技术的引入已不能适应现在高职高专院校教学的需求。习近平总书记在党的二十大报告中对“实施科教兴国战略，强化现代化建设人才支撑”进行了战略部署，再次强调“科技是第一生产力，人才是第一资源，创新是第一动力”。在这一精神指导下，本书在本次修订中避免了过多的理论推导，仅强调必要的理论知识，注重反映新技术，强化实训能力的培养，以满足当前技能型、实用型人才的培养要求。

本书采用任务驱动、项目引领的形式，理论与实践相结合，聚焦学生职业能力的培养，将电工电子技术的知识体系分成八个项目，包括电路与直流电路分析、正弦交流电路、电磁铁与变压器分析、常用低压电器和三相异步电动机的认识和拆装、三相异步电动机控制线路的安装、直流稳压电源、模拟电子线路的制作与测试和数字电子线路的分析与测试。每个项目均设置了典型的实际操作任务，增强学生将理论知识应用于实践的技能，学以致用。

本书具有以下特点。

(1) 根据高职高专院校的教学规律和新要求，合理确定学生应具备的知识与能力，理论知识以实用、够用、好用为度，重点提升学生实践操作技能，体现为学生就业服务。

(2) 编者多年从事“电工电子技术”课程教学与实践活动，拥有丰富的教学与实践经验。全书语言表达准确、简练，将复杂问题

化繁为简，便于学生理解；将知识点分门别类，条理清晰、易于记忆，既便于教师教学又便于学生学习。

（3）在内容组织上，本书按照由易到难的顺序展开，符合学生的认知规律，同时紧密结合学生职业技能鉴定相关规定。通过想一想、思考与练习等方式体现重点、难点及注意事项，通过图片体现电器结构及应用技术，通过拓展阅读体现知识延伸。

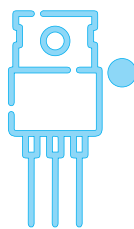
（4）本书增加了新知识、新技术、新标准和新工艺的相关内容，体现了本书作为教材的前沿性。

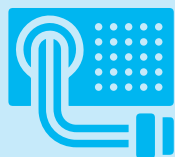
（5）本书德技并修，指导性强。本书以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，积极落实立德树人的根本任务。在编排内容时，本书注重以传授知识为基础，以提高就业能力为重点，以培养学生各方面的素养为核心，引导学生在掌握知识和技能的同时，树立正确的世界观、人生观、价值观、就业观。

为更好地配合教学改革，我们在编写教材的同时还制作了配套的教学资源，有需要的读者可发邮件至 2393867076@qq.com 获取。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者
2024 年 8 月





项目

电路与直流电路分析

任务一

电路模型建立

3

任务二

电路元件识别与检测

13

任务三

直流电路分析

27

项目

正弦交流电路

任务一

正弦交流电路分析

44

任务二

照明电路的装接

69

项目

电磁铁与变压器分析

任务一

电磁铁分析

77

任务二

变压器分析

95

项目

常用低压电器和三相异步电动机的认识和拆装

任务一

常用低压电器的认识和拆装

108

任务二

三相异步电动机的认识和拆装

136

项目

五

三相异步电动机控制线路的安装

任务一	三相异步电动机连续控制线路安装	159
任务二	三相异步电动机正反转控制线路安装	171
任务三	三相异步电动机星三角 (Y- Δ) 降压启动控制电路安装	177

项目

六

直流稳压电源

任务一	电器元件的识别与检测	189
任务二	直流稳压电源的制作与测试	204

项目

七

模拟电子线路的制作与测试

任务一	共射放大器的制作与测试	218
任务二	共集放大器的制作与测试	230
任务三	负反馈放大器的制作与测试	235
任务四	集成运算放大器的识读与测试	251

项目

八

数字电子线路的分析与测试

任务一	逻辑门电路的分析与测试	273
任务二	组合逻辑电路的分析与测试	291
任务三	时序逻辑电路模型的建立	311

参考文献

336



项目

—

电路与直流 电路分析



项目概述

熟练掌握基础电路理论，对于电子工程、通信工程、计算机科学、自动化等多个领域都很重要。随着科学技术的快速发展，现代电工电子设备种类繁多，规模结构日新月异。然而，万丈高楼平地起，无论多么复杂的电子设备运行，都要遵循基础的电学理论。本项目主要讲解如何建立电路模型，如何识别与检测电路元件，并对实际直流电路进行测试、分析与改装。



学习目标

知识目标

1. 了解电路的基本组成及各部分的作用，能够建立简单电路模型；
2. 理解电路的基本物理量意义，掌握其计算方法；
3. 了解电阻、电容、电感等电路元器件的外观、分类、特性；
4. 掌握欧姆定律、基尔霍夫定律等电路基本定律；
5. 熟练掌握简单电阻电路的计算。

技能目标

1. 会正确使用万用表，能对电路元件进行分类和简单测量；
2. 会分析复杂直流电路，具有一定的实验操作技能；
3. 会扩大改装电流表、电压表量程并进行校验；
4. 会查阅有关技术资料 and 工具书。

素质目标

1. 培养安全用电、合理用电、节约用电意识；
2. 学以致用，在实践中培养严谨、规范操作实验仪器的职业素养；
3. 在探究过程中培养物理思维，掌握科学的研究方法。

任务一

电路模型建立

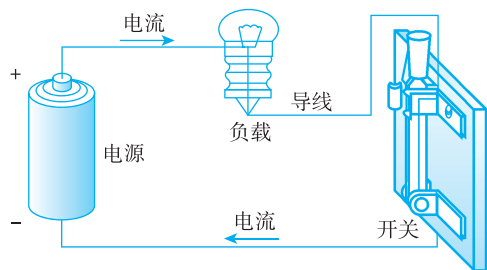
一、电路的组成和作用

1. 电路的基本组成及各部分的作用

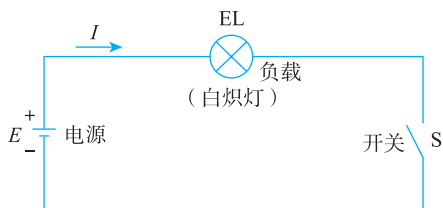
先从一个实际的例子说起，图 1-1 (a) 是一个大家都熟悉的手电筒的实际电路。该图中：电池是产生电能的元件，它将化学能转变成电能，称为电源；灯泡是消耗电能的电路元件，它将电能转变成光能，称为负载；开关是控制元件，控制电路的接通与断开；导线起传输电能的作用。手电筒结构示意图如图 1-1 (b) 所示。



电路的组成
及基本物理量



(a) 手电筒的实际电路



(b) 手电筒结构示意图

图 1-1 电路的基本结构

电路就是各种电气元器件（包括发电机、电池、电动机、白炽灯、集成电路、控制电路等）按一定方式连接起来的整体以实现某种功能，它是电流通过的路径。任何实际电路必须包含电源、负载和中间环节。

电路按其功能可分为两类：第一类是实现能量的产生、传输、分配电路，其典型案例为电力系统的输电线路，如图 1-2 (a) 所示；第二类是对信息的传递与处理电路。在第二类电路中，传递的是各种信息，而不特别强调传输系统中的能量大小，信息的传递与处理电路的输出信号又称为响应，它的能量只要能够满足负载设备的正常工作即可，这一类电路的中间环节由电子设备组成，是相当复杂的，主要起信号的处理、放大、传输和控制等作用，如图 1-2 (b) 所示。

2. 电路模型和电路图

图 1-1 所示电路在分析器件的接法和原理时是很有用的，但要用它对电路进行定量分析和计算则非常困难。因此，人们通常用一些简单但却能够表征电路主要电磁性能的理想元件来代替实际部件，这样，一个实际电路就可以由多个理想元件的组合来代替，这样的电路称为电路模型。

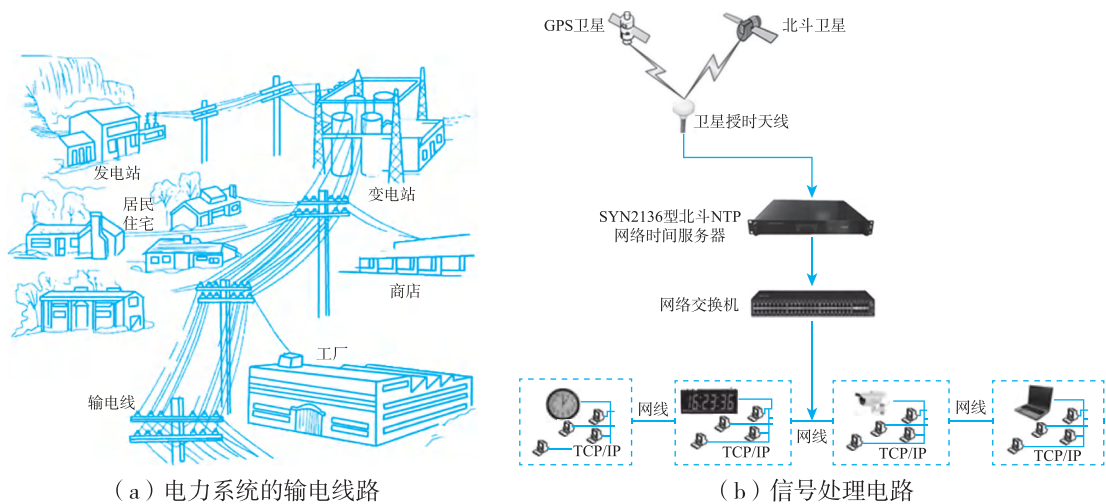


图 1-2 电路类型

实际电气设备和器件的种类繁多，但理想电路元件只有有限的几种，分别是理想电源、理想电阻、理想电感、理想电容，因此建立电路模型可以使电路的分析大大简化。同时值得注意的是，电路模型反映了电路的主要性能，而忽略了它的次要性能，因而电路模型只是实际电路的近似，二者不能等同。

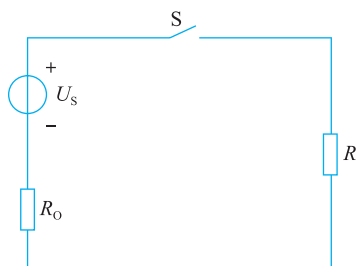


图 1-3 手电筒的电路原理

将实际电路中各个部件用其模型符号来表示，这样画出的图称为实际电路的电路模型图，也称为电路原理图。如图 1-3 所示就是手电筒的电路原理图。各种电气元件都可以用图形符号或文字符号来表示，小灯泡用电阻 R 表示，考虑到电池内部自身消耗电能，把电池用电压源 U_s 和电阻元件 R_0 的串联电路表示，导线电阻忽略不计。根据国标规定，部分常用的电气元件符号见表 1-1 所列。

表 1-1 部分常用的电气元件符号

元件名称	符号	元件名称	符号
固定电阻		电容	
可调电阻		可调电容	
电池		电感	
开关		电流表	
电压表		相连接交叉导线	

续表

元件名称	符号	元件名称	符号
电压源		接地	
电流源		保险丝	

二、电路的基本物理量

在电路问题中，被分析和研究的物理量很多，但人们主要分析和研究的是电流、电压和电功率等，其中电流、电压是电路中的基本物理量。关于单位制，我国于1984年2月规定使用统一国际单位制（简称SI）。在国际单位制中，电磁学采用四个基本单位，即长度单位米（m），质量单位千克（kg），时间单位秒（s），电流单位安[培]（A）。

除SI单位之外，根据实际情况，需要使用较大单位和较小单位时，则在SI单位上加词头，例如，大一些的长度单位用千米（km）表示，小一些的长度单位用毫米（mm）表示等。SI常用的词头见表1-2所列。讨论电路物理量的单位时，均按SI单位制执行，若需要采用较小单位，则可在SI单位前加上词头。

表 1-2 SI 常用的词头

词头名称	代号		因数	词头名称	代号		因数
	中文	符号			中文	符号	
兆（mega）	兆	M	10 ⁶	厘（centi）	厘	c	10 ⁻²
千（kilo）	千	k	10 ³	毫（milli）	毫	m	10 ⁻³
百（hecto）	百	h	10 ²	微（micro）	微	μ	10 ⁻⁶
十（deca）	十	da	10 ¹	皮（pico）	皮	p	10 ⁻¹²

1. 电流

电荷或带电质点有规则地定向运动形成电流。我们知道，在金属导体中有大量的带负电荷的自由电子，在常态下，这些自由电子在金属内部做无规则的热运动，不能形成电流。若给导体两端加上电源，即施加电场力，在电场力的作用下自由电子逆电场力方向运动则形成电流，如图1-4所示。

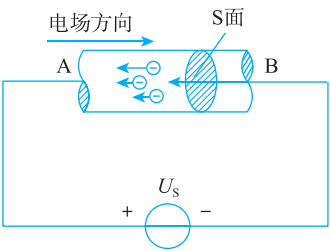


图 1-4 电流示意图

表示电流强弱的物理量称电流强度，用字母*i*或*i(t)*表示，单位是安[培]，简称安（A）。在电路分析和工程实际中常把电流强度简称为电流。

电流强度在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。设在*dt*时间内通过导体横截面的电荷为*dq*，则通过该截面的电流为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

在一般情况下电流是随时间而变的,称为交流电流。如果电流不随时间而变,即 $dq=dt=$ 常量,则这种电流称为直流电流,用大写字母 I 表示,它所通过的路径就是直流电路。在直流电路中,式(1-1)可写成

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

式中, Q 为时间 t 内通过导体横截面的电荷量。

电流的单位是安[培](A)。除 A 外,常用的电流单位还有 kA(千安)、mA(毫安)和 μA (微安)。 $1\text{ kA}=10^3\text{ A}$, $1\text{ A}=10^3\text{ mA}$, $1\text{ A}=10^6\text{ }\mu\text{A}$ 。

对于简单电路,电流实际方向根据电源极性很容易判断,可以直接标出,但在电路分析中,实际电路往往比较复杂,某一段电路中电流实际流动方向在分析计算前很难判断,因此很难在电路中标明电流的实际方向。由于这些原因,引入了电流“参考方向”的概念。

在计算前先任意选定某一个方向作为电流的参考方向,根据参考方向进行电路的相关计算,如计算结果电流为正值($I>0$),则电流的参考方向与它的实际方向一致;如电流为负值($I<0$),则电流的参考方向与它的实际方向相反。电流参考方向与它的实际方向间的关系如图 1-5 所示。因此,在指定电流参考方向的前提下,电流值的正或负,可以反映出电流的实际方向。



图 1-5 电流参考方向与它的实际方向间的关系

电流的参考方向是任意指定的,在电路中一般用箭头表示,也有用双下标表示的,如 I_{ab} ,其参考方向是由 a 指向 b 。

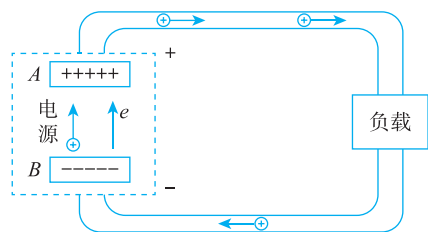


图 1-6 电压与电动势

2. 电压

在电源的外部电路中要使电荷运动形成电流,电荷上必须有电场力的作用。如图 1-6 所示,电源的 A 极板带正电荷, B 极板带负电荷,因而两极板间形成电场,其方向由 A 指向 B 。当用导线将负载与电源的正、负极板连接成一个闭合电路时,正电荷将在电场力作用下由正极板 A 经导线和负载向负极板 B (实际上是自由电子由负极板 B 经导线和负载向正极板 A) 运动而形成电流,这时电场力对正电荷做功,我们把电场力做功的这种本领用电压来衡量。

A 、 B 两点的电压用 U_{AB} 表示, 在数值上等于单位正电荷在电场力的作用下, 由 A 点经外电路移动到 B 点电场力所做的功。电压表征静电力在电源外部搬运电荷所做的功 (W) 与被移送电荷量 (Q) 的比值称为电压, 用 U 表示, 即

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1-3)$$

在国际单位制 (SI) 中, 电压的单位为伏特, 简称伏 (V)。

电压的实际方向定义为正电荷在电场中受电场力作用 (电场力做正功时) 移动的方向。与电流一样, 电压也有自己的参考方向, 如下图用实线箭头或双下标表示。电压的参考方向也是任意指定的。在电路中, 电压的参考方向可以用一个箭头来表示, 也可以用正 (+)、负 (-) 极性来表示, 正极指向负极的方向就是电压的参考方向; 还可以用双下标表示, 如 U_{AB} 表示 A 和 B 之间的电压的参考方向由 A 指向 B (如图 1-7 所示)。同样, 在指定的电压参考方向下计算出的电压值的正和负, 就可以反映出电压的实际方向。

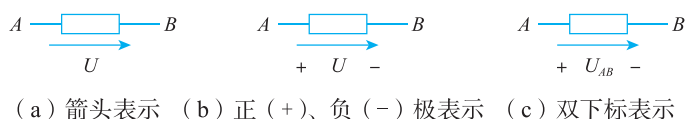


图 1-7 电压的参考方向表示法

3. 电位

在电气设备的调试和检修中, 经常要测量各点的电位, 看其是否符合设计要求。

电位是衡量电路中各点所具有的电位能大小的物理量。电位在数值上被定义为电场力将单位正电荷从给定点移动到参考点 (又称零电位点或接地点) 所做的功。在电路分析中用小写字母 v 或 $v(t)$ 表示变化的电位, 用大写字母 V 表示恒定电位。

电位的数值与参考点有关, 但任一确定的电路, 无论参考点如何变化, 任意两点间的电压数值均不变化。两点间的电压等于两点间的电位之差, 即 $U_{AB} = V_A - V_B$, 电压的数值与参考点无关。因此, 电压也称电位差, 因为电压与电位都是以电场力移动正电荷做功来定义的, 所以, 电位的单位与电压的单位相同, 也为伏特 (V)。

4. 电动势

电动势是对电源而言的。在图 1-6 所示的电路中, 正电荷在电场力的作用下不断从 A 极板流向 B 极板, 如果没有外力的作用, A 极板正电荷的减小会使电位逐渐降低, 而 B 极板则因正电荷的增多, 电位逐渐升高, 故 A 、 B 两极之间的电位差就会减小, 最后为零。为了维持导线中的电流, 必须使 A 、 B 两极板间保持一定的电压, 这就要借助外力使移动到 B 极板的正电荷经过另一路径回到 A 极板。在这个过程中, 外力克服电场力做功, 这种外力是非电场力, 我们称其为电源力。为了衡量电源力对正电荷做功的能力, 我们引入电动势这个物理量。电动势定义为电源力将单位正电荷从电源负极 (B 极板) 移动到电源正极 (A 极板) 所做的功。对于变化的电动势用小写字母 e 或 $e(t)$ 表示, 恒定电动势用

大写字母 E 表示, 即

$$E = \frac{W_s}{Q} \quad (1-4)$$

式 (1-4) 与式 (1-3) 在表示形式上相同, 但一定要区分清楚 E 是对电源内部而言的, U 是对电源以外的电路而言的。

电动势的真实方向规定为在电源内部正电荷运动的方向。若用箭头表示其方向, 则由电源负极指向正极, 如图 1-6 所示。电动势的单位与电压相同, 也为伏特 (V)。

5. 电能

①电能: 若导体两端电压为 U , 通过导体横截面积的电荷量为 Q , t 时间里电场力将正电荷从 A 移动到 B 所做的功 W 就是电路所消耗的电能, 而

$$W = QU = UIt \quad (1-5)$$

②电能的单位为焦 [耳] (J)。在实际应用中常以千瓦时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$) 作为电能的单位。

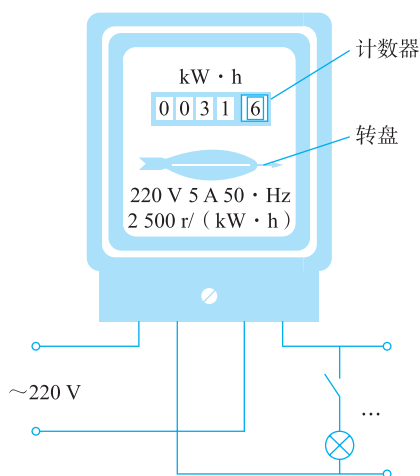


图 1-8 电表及接线

$1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 在数值上等于功率为 1 kW 的用电器工作 1 h 所消耗的电能。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 度} &= 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1\,000 \text{ W} \times 3\,600 \text{ s} \\ &= 3.6 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J} \end{aligned}$$

③电能的测量是利用电能表 (俗称电度表), 电度表及接线如图 1-8 所示。

例 1-1 一空调正常工作时的功率为 $1\,214 \text{ W}$, 设其每天工作 4 小时, 若每月按 30 天计算, 试问一个月该空调耗电多少度? 若每度电费 0.80 元, 那么使用该空调一个月应缴电费多少元?

解: 空调正常工作时的功率为

$$1\,214 \text{ W} = 1.214 \text{ kW}$$

一个月该空调耗电为

$$W = Pt = 1.214 \times 4 \times 30 = 145.68 (\text{kW} \cdot \text{h})$$

则使用该空调一个月应缴电费

$$145.68 \times 0.80 \approx 116.54 (\text{元})$$

6. 电功率

①电功率: 用电设备单位时间 (t) 里所消耗的电能 (W) 叫作电功率, 即

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-6)$$

若是纯电阻电路, 则

$$P=UI=I^2 R=\frac{U^2}{R} \quad (1-7)$$

②电功率是利用功率表进行测量的，其测量线路如图 1-9 所示。

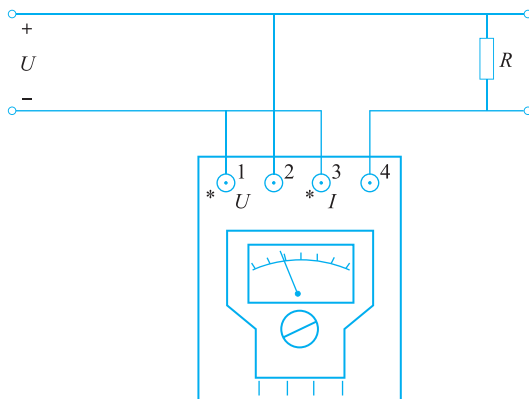


图 1-9 功率表测量线路

功率表测电压的线圈（1、2）并联在电路上，测量电流的线圈（3、4）串联在电路上。

例 1-2 一台电炉的额定电压为 220 V，额定电流为 5 A，该电炉电功率为多大？

解： $P=UI=220 \times 5=1\,100\text{ (W)}=1.1\text{ (kW)}$

三、电路的三种状态和电气设备的额定值

1. 电路的三种状态

灯泡是否发光显示了所处电路的状态，电炉是否发热也显示了电路的状态，还有一些电路没有明显的标志，怎样显示其状态呢？我们可以通过对电路有关电学量的测量分析判断电路的状态。我们还经常在很多用电器上看到诸如“警告”“WARNING”等标志，禁止电路处于某些状态，这又是什么原因呢？

灯泡电路示意图如图 1-10 所示，当开关接通时，灯泡发光，表明电路处于导通状态；当开关断开或电线断裂、接头松脱时，灯泡不发光，表明电路处于断开状态。



图 1-10 灯泡电路示意图

电路的工作状态一般有三种：有载状态、短路状态和开路（断路）状态，分别如图 1-11 所示。

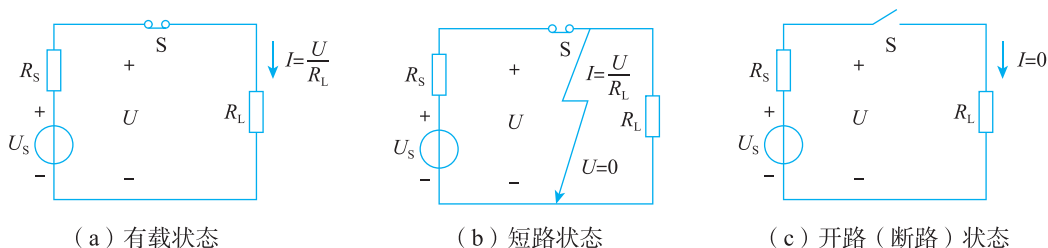


图 1-11 电路的工作状态

（1）有载状态

在图 1-11（a）所示电路中，当开关 S 闭合后电源与负载接成闭合回路，电源处于有载工作状态，电路中有电流流过。

（2）短路状态

在图 1-11（b）所示电路中，当电源两端被电阻接近零的导线短接时，电路处于短路状态。短路往往会造成严重后果，如导致电源因发热过甚而损坏，或因电流过大而引起电气设备的机械损伤，因而要绝对避免电源被短路。在实际工作中，应经常检查电气设备和线路的绝缘情况，防止发生电源短路事故。此外，还应在电路中接入熔断器等保护装置，以便在发生短路事故能及时切断电路，达到保护电源及电路元器件的目的。

（3）开路（断路）状态

在图 1-11（c）所示电路中，开关 S 断开或电路中某处断开，被切断的电路中没有电流流过，开路又叫断路。

2. 电气设备的额定值

（1）额定工作状态

任何电气设备在使用时，若电流过大、温升过高就会导致绝缘的损坏，甚至烧坏设备或元器件。为了保证电气设备正常工作，制造厂对产品的电压、电流和功率都规定了使用限额，称为额定值，通常标在产品的铭牌或说明书上，以此作为使用依据。

电源设备的额定值一般包括额定电压 U_N 、额定电流 I_N 和额定容量 S_N 。其中 U_N 和 I_N 是指电源设备安全运行所规定的电压和电流限额；额定容量 $S_N = U_N I_N$ ，表征了电源允许的最大输出功率，但电源设备工作时不一定总是输出规定的最大允许电流和功率，究竟输出多大还取决于所连接的负载。

负载的额定值一般包括额定电压 U_N 、额定电流 I_N 和额定功率 P_N 。对于电阻性负载，由于这三者与电阻 R 之间具有一定的关系，所以它的额定值不一定全部标出。

（2）满载、过载、欠载

电气设备在额定值下工作的状态称为额定工作状态（又称满载）。这时电气设备的使用是最经济合理和安全可靠的，不仅能充分发挥设备的作用，而且能够保证电气设备的设计寿命。若电气设备超过额定值工作，则称为过载。由于温度升高需要一定时间，因此电气设备短时过载不会立即损坏。但过载时间较长，就会大大缩短电气设备的使用寿命，甚

至会使电气设备损坏。若电气设备低于额定值工作,则称为欠载。在严重欠载的情况下,电气设备就不能正常合理地工作或者不能充分发挥其工作能力。过载和严重欠载都是在实际工作中应避免的。

想一想

短路会产生什么后果?在实际生产和生活中是如何防止短路的?

四、电路基本参数的测量任务

1. 主要工具、仪表及器材

- ①直流稳压电源 1 台。
- ②电流表 1 台。
- ③电压表 1 台。
- ④电池组、电珠、按键、导线若干。
- ⑤滑动变阻器。

2. 任务实施步骤及工艺要求

(1) 测量电流: 电流表或万用表电流挡

- ①使用前应进行机械调零。
- ②选择电流表时,其内阻越小越好。
- ③正确选择合适的量程。电流表选用量程一般为被测电流值的 $1.5 \sim 2$ 倍,如果被测电流为 50 A 以上,可采用电流互感器扩大量程;理解直流电流表与被测电路的关系。
- ④注意电流的极性。电流表的“+”接线柱接电源正极或靠近电源正极的一端,“-”接线柱接电源负极或靠近电源负极的一端。
- ⑤电流表要串联在待测电路中,不能直接将电流表接到电源两端。
- ⑥准确读出电流表测量值。

(2) 测量电压: 电压表或万用表电压挡

- ①使用前应进行机械调零。
- ②选择电压表时,其内阻越大越好。
- ③使用指针式直流电压表时,除使电压表与被测支路并联外,还要使电压表“+”极与被测电路高电位端相连,“-”极与被测电路的低电位端相连。正确选择合适的量程。
- ④准确读出电压表测量值。

（3）读取电流数

将滑动变阻器的滑片位于最右端，闭合按键；调节滑片，使电压表的读数显示为3.8 V，读出此时的电流表示数。

（4）计算功率

根据 $P=UI$ ，计算出此时小灯泡的功率。

（5）填写数据

观察实训环境，识别实验室所提供的各类仪器设备，并写出本次实验所用仪器的名称、符号、规格及作用（见表 1-3 所列）。

表 1-3 仪器设备表

序号	名称	符号	规格	作用
1				
2				
3				
4				

3. 任务评价

任务完成质量评分表见表 1-4 所列。

表 1-4 任务完成质量评分表

内容	配分	扣分标准	得分
实验准备	10	（1）不清楚元器件的功能及作用	扣 2 分
		（2）不能正确选用元器件	扣 3 分
		（3）接线前未确认安全条件	扣 2 分
工具、仪表的使用	10	（1）不会正确使用工具	扣 2 分
		（2）不能正确使用仪表	扣 3 分
线路连接	30	（1）不按原理图布置安装	扣 5 分
		（2）元器件安装不紧固	每只扣 4 分
		（3）元器件安装不整齐、不匀称、不合理	每只扣 3 分
		（4）损坏元器件	扣 15 分
通电测试	30	（1）线路无法正常导通	扣 10 分
		（2）操作步骤有误	扣 10 分
		（3）电压表 / 电流表连接位置错误	扣 10 分
		（4）读数误差偏大	扣 5 分
		（5）功率计算有误	扣 10 分

续表

内容	配分	扣分标准	得分
分组汇报	20	(1) 电压电流观点阐述有误	扣 5 分
		(2) 仪器设备使用说明不清	扣 5 分
安全文明生产	违反安全文明生产规程、小组团队协作精神不强, 不将元器件及工具归位, 不进行工位清洁, 损坏元器件等		扣 5 ~ 40 分
定额时间 1 h	每超时 5 min 扣 5 分		
备注	除定额时间外, 各项的最高扣分不应超过所配分数		
开始时间		结束时间	
		实际时间	
		总成绩	

【思考与练习】

- (1) 电流表为什么要采用外接法?
- (2) 闭合按键前, 滑动变阻器的滑动片为什么要位于最右端?
- (3) 谈谈电压和电动势的区别和联系。
- (4) 电池组“4.5 V”指的是电池组的电压还是电池组的电动势?

任务二 电路元件识别与检测

一、万用表的使用方法

1. 指针式万用表

(1) 指针式万用表的结构 (MF500 型)

指针式万用表 (简称万用表), 它是一种模拟式仪表, 由表头、测量线路及转换开关三个主要部分组成, 如图 1-12 所示。

①表头。它是一只高灵敏度的磁电式直流电流表, 万用表的主要性能指标基本上取决于表头的性能。表头的灵敏度是指表头指针满刻度偏转时流过表头的直流电流值, 这个值越小, 表头的灵敏度越高。测电压时的内阻越大, 其性能就越好。表头上有四条刻度线, 它们的功能如下: 第一条 (从上到下) 标有 R 或 Ω , 指示的是电阻值, 转换开关在欧姆挡时, 即



万用表的使用



图 1-12 MF500 型万用表外形

读此条刻度线；第二条标有 $\sim$ 和 VA，指示的是交、直流电压和直流电流值，当转换开关在交、直流电压或直流电流挡，量程在除交流 10 V 外的其他位置时，即读此条刻度线；第三条标有 10 V，指示的是 10 V 的交流电压值，当转换开关在交、直流电压挡，量程在交流 10 V 时，即读此条刻度线；第四条标有 dB，指示的是音频电平。

②测量线路。测量线路是用来把各种被测量转换到适合表头测量的微小直流电流的电路，它由电阻、半导体元件及电池组成，能将各种不同的被测量（如电流、电压、电阻等）、不同的量程，经过一系列的处理（如整流、分流、分压等）统一变成一定量限的微小直流电流送入表头进行测量。

③转换开关。其作用是用来选择各种不同的测量线路，以满足不同种类和不同量程的测量要求。转换开关一般有两个，分别标有不同的挡位和量程。

（2）符号含义

- ① $\sim$ 表示交直流。
- ② V-2.5 kV 4 000 Ω /V 表示交流电压及 2.5 kV 的直流电压挡，其灵敏度为 4 000 Ω /V。
- ③ A-V- Ω 表示可测量电流、电压及电阻。
- ④ 45-65-1 000 Hz 表示使用频率范围为 1 000 Hz 以下，标准工频范围为 45 ~ 65 Hz。
- ⑤ 2 000 Ω /VDC 表示直流挡的灵敏度为 2 000 Ω /V。

（3）万用表的使用

①熟悉表盘上各符号的意义及各个旋钮和选择开关的主要作用。

②进行机械调零。

③根据被测量的种类及大小，选择转换开关的挡位及量程，找出对应的刻度线。

④选择表笔插孔的位置。

⑤测量电压。测量电压（或电流）时要选择好量程，如果用小量程去测量大电压，就会有烧表的危险；如果用大量程去测量小电压，那么指针偏转太小，无法读数。量程的选择应尽量使指针偏转到满刻度的 $\frac{2}{3}$ 左右。如果事先不清楚被测电压的大小时，应先选择最高量程挡，然后逐渐减小到合适的量程。

a. 交流电压的测量：将万用表的一个转换开关置于交、直流电压挡，另一个转换开关置于交流电压的合适量程上，万用表两表笔和被测电路或负载并联即可。

b. 直流电压的测量：将万用表的一个转换开关置于交、直流电压挡，另一个转换开关置于直流电压的合适量程上，且“+”表笔（红表笔）接到高电位处，“-”表笔（黑表笔）接到低电位处，即让电流从“+”表笔流入，从“-”表笔流出。若表笔接反，表头指针会反方向偏转，容易撞弯指针。

⑥测电流。测量直流电流时，将万用表的一个转换开关置于直流电流挡，另一个转换开关置于 50 μ A 到 500 mA 的合适量程上，电流的量程选择和读数方法与电压一样。测量时必须先断开电路，然后按照电流从“+”到“-”的方向，将万用表串联到被测电路中，即电流从红表笔流入，从黑表笔流出。如果误将万用表与负载并联，则因表头的内阻

$$\text{实际值} = \text{指示值} \times \text{量程} / \text{满偏}$$

a. 选择合适的倍率挡。万用表欧姆挡的刻度线是不均匀的，所以倍率挡的选择应使指针停留在刻度线较稀的部分为宜，且指针越接近刻度尺的中间，读数越准确。一般情况下，应使指针指在刻度尺的 $1/3 \sim 2/3$ 。

c. 读数：表头的读数乘以倍率，就是所测电阻的电阻值。

a. 在测电流、电压时，不能带电换量程。

c. 测电阻时，不能带电测量。因为测量电阻时，万用表由内部电池供电，如果带电测量相当于接入一个额外的电源，可能损坏表头。

d. 用毕，应使转换开关在交流电压最大挡位或空挡上。

常用的万用表还有数字式仪表。与模拟式仪表相比,数字式仪表灵敏度高、准确度高、显示清晰、过载能力强、便于携带、使用更简单。下面以90D型数字万用表(如图1-13所示)为例,简单介绍其使用方法和注意事项。



图 1-13 VC890D 型数字万用表外形

①使用前，应认真阅读有关的使用说明书，熟悉电源开关、量程开关、插孔、特殊插口的作用。

③交直流电压的测量：根据需要将量程开关拨至DCV（直流）或ACV（交流）的合适量程，红表笔插入V/ Ω 孔，黑表笔插入COM孔，并将表笔与被测线路并联，读数即显示。

⑤电阻的测量：将量程开关拨至 Ω 的合适量程，红表笔插入 V/Ω 孔，黑表笔插入

COM 孔。如果被测电阻值超出所选择量程的最大值,万用表将显示“1”,这时应选择更高的量程。测量电阻时,红表笔为正极,黑表笔为负极,这与指针式万用表正好相反。因此,测量晶体管、电解电容器等有极性的元器件时,必须注意表笔的极性。

(2) 使用注意事项

①如果无法预先估计被测电压或电流的大小,则应先拨至最高量程挡测量一次,再视情况逐渐把量程减小到合适位置。测量完毕,应将量程开关拨到最高电压挡,并关闭电源。

②满量程时,仪表仅在最高位显示数字“1”,其他位均消失,这时应选择更高的量程。

③测量电压时,应将数字万用表与被测电路并联;测量电流时应与被测电路串联,测直流量时不必考虑正、负极性。

④当误用交流电压挡去测量直流电压挡,或者误用直流电压挡去测量交流电压挡时,显示屏将显示“000”,或低位上的数字出现跳动。

⑤禁止在测量高电压(220 V 以上)或大电流(0.5 A 以上)时换量程,以防止产生电弧,烧毁开关触点。

⑥当显示“BATT”或“LOBAT”时,表示电池电压低于工作电压。

二、电阻、电容、电感元件的特性

1. 电阻元件

①导体对电流所呈现出的阻碍作用。不仅金属导体有电阻,其他物体也有电阻。常用电阻器如图 1-14 所示。

②导体电阻是由它本身的物理条件决定的。

例如,金属导体,它的电阻由它的长短、粗细、材料的性质和温度决定。

③电阻定律:在保持温度不变的条件下,导体的电阻跟导体的长度成正比,跟导体的横截面积成反比,并与导体的材料性质有关,而

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad (1-8)$$

式中, ρ 为导体的电阻率。它与导体的几何形状无关,而与导体材料的性质和导体所处的条件有关(如温度)。

R 以欧[姆](Ω)为单位, l 以米(m)为单位, s 以平方米(m^2)为单位, ρ 以欧[姆]米($\Omega \cdot m$)为单位。

④结论:电阻率的大小反映材料导电性能的好坏,电阻率越大,导电性能越差。

导体: $\rho < 10^{-6} \Omega \cdot m$

绝缘体: $\rho > 10^7 \Omega \cdot m$

半导体: $10^{-6} \Omega \cdot m < \rho < 10^7 \Omega \cdot m$

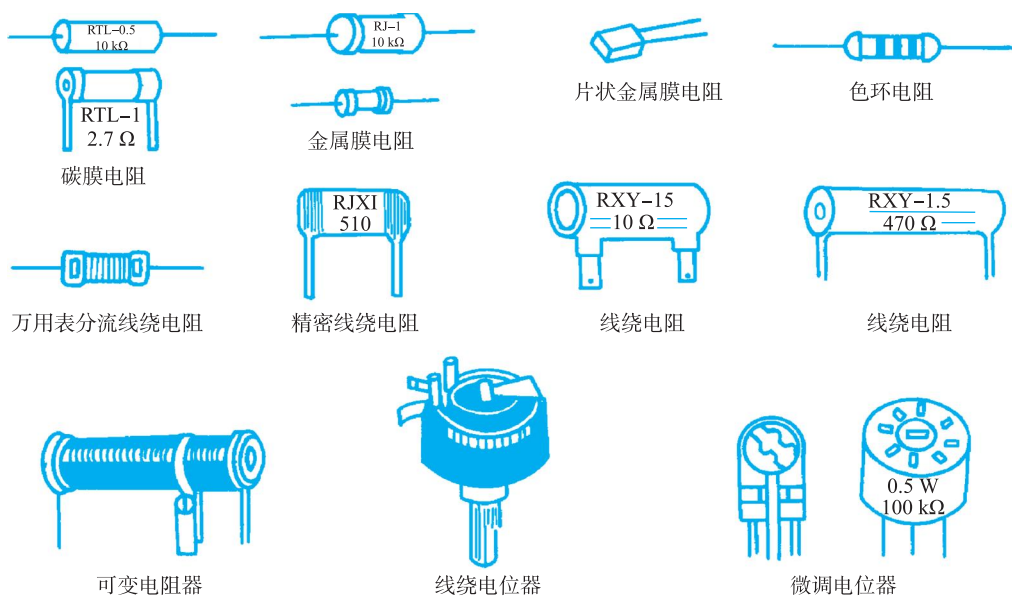


图 1-14 常用电阻器

(1) 电阻的表示方法

①电阻规格的直标法。直标法是直接将电阻的类别和主要技术参数的数值标注在电阻的表面上，如图 1-15 所示为电阻规格的直标法。

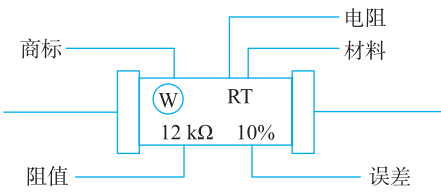


图 1-15 电阻规格的直标法

②电阻的色环表示法。色环表示法有两种形式，四道和五道色环表示法。

四道色环，第 1、2 色环表示阻值的第一、第二位数字，第 3 色环表示前两位数字再乘以 10 的方次，第 4 色环表示阻值的容许误差，如图 1-16 所示。

五道色环，第 1、2、3 色环表示阻值的 3 位数字，第 4 色环表示前 3 位数字再乘以 10 的方次，第 5 色环表示阻值的容许误差。1 至 4 道（4 色标为 3 道）色环是均匀分布的，另外一道是间隔较远分布的，读取色标应该从均匀分布的那一端开始，也可以从色环颜色断定从电阻的哪一端开始读，最后一环只有三种色，如图 1-17 所示。

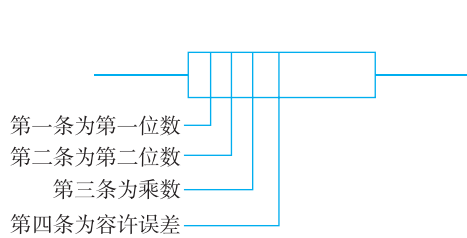


图 1-16 两位有效数字色标示例

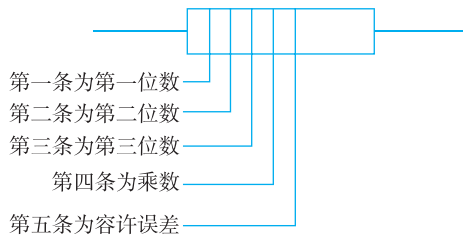


图 1-17 三位有效数字色标示例

色环表示法中，每种不同的颜色所对应的数值及误差见表 1-5 所列。

表 1-5 电阻的色环表示对应值

色环颜色	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	金	银	本色
对应数值	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	/	/	/
误差											± 5%	± 10%	± 20%

③电阻额定功率的直接标识方法，如图 1-18 所示。

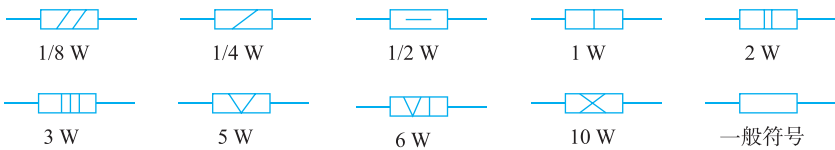


图 1-18 电阻额定功率的直接标识方法

常见的电阻额定功率有 1/8 W，个别数字电路会用到 1/4 W，电源电路或大功率驱动会用到 1/2 W，甚至更大。替代电阻器和电位器时要注意元件的电阻值和额定功率。

(2) 测量电阻的方法

测量并判断电阻是否正常最方便的办法就是使用万用表，用万用表的两个表笔直接测量电阻的两端就可以了。万用电表测量电阻的过程可以分解为四个步骤：选量程→调零→测试→读数。

一般的电阻可以在线测量，在线阻值和标称阻值差别不大。但有些电路设计电阻的两端连接其他的电路形成并联，这样阻值就会降低，有些甚至降低一半还要多，那么就要用电烙铁焊起电阻的一端进行测量。大部分情况下在线测量的阻值是低于标称阻值的，因为属于并联；如果测量出电阻高于标称阻值，那么有几点可能：一是电阻断路，二是色标看错，三是万用表错误（使用错误或者电池低）。

由于模拟式万用表电阻挡刻度的非线性，使得刻度误差较大（应合理选择量程，使指针尽可能偏转至刻度中心位置），测量误差也较大，因而模拟式万用表只能做一般性的粗略检查测量。数字式万用表测量电阻的误差比模拟式万用表的误差小，但用它测量阻值较小的电阻时，相对误差仍然比较大。

其他测量电阻的方法包括电桥法测量电阻和伏安法测量电阻。当对电阻值的测量精度要求很高时，可用直流电桥法进行测量。伏安法是一种间接测量法，先直接测量被测电阻两端的电压和流过它的电流，然后根据欧姆定律 $R=U/I$ 算出被测电阻的阻值。伏安法原理简单、测量方便，尤其适用于测量非线性电阻的伏安特性。伏安法有电流表内接和电流表外接两种测量方法，当电流表内阻小于被测量电阻时，用电流表内接法。

(3) 电阻常见故障

①阻值变化，一般都是变大，用万用表可以查出（注意在线测量会有误差），故障无法修理只有换新。

②断路，用万用电表测量表针指示无穷大。

③内部接触不良。工作时有微小跳火花现象，给仪器带来杂音、噪声，时好时坏；只能在坏时检查并做更换。

2. 电容元件

工程中，电容器应用极为广泛。常见电容器外形如图 1-19 所示。电容器虽然品种和规格很多，但就其构成原理来说，都是由两块金属极板间隔以不同的介质（如云母、绝缘纸、电解质等）所组成。加上电源后，极板上分别聚集起等量异号的电荷，在介质中建立起电场，并储存有电场能量。电源移去后，电荷可以继续聚集在极板上，电场继续存在。综上，电容器是一种能够储存电场能量的实际电路元件，这样就可以用一个只储存电场能量的理想元件——电容元件作为它的模型。

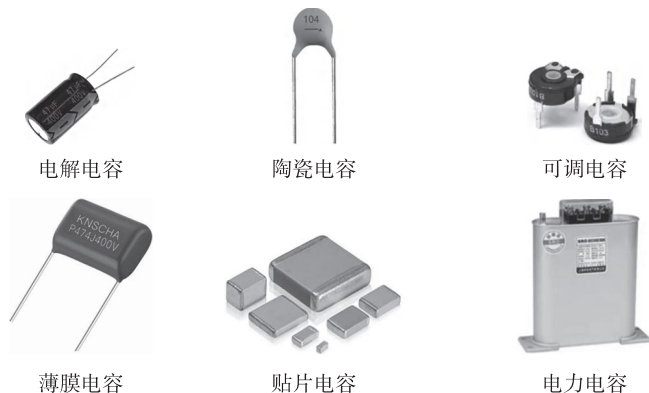


图 1-19 常见电容器外形

线性电容元件是一个理想无源二端元件，它在电路中的图形符号如图 1-20 所示， C 表示电容元件，电容的单位是法[拉](F)； u 为两端变化的电压； i 为两端变化的电流，即交流电压电流的瞬时值。

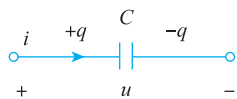


图 1-20 线性电容元件的图形符号

电容极板上的电荷量 q 与其两端电压 u 的关系为

$$q = Cu \quad (1-9)$$

当 $q=1$ 库[仑]、 $u=1$ 伏[特] 时， $C=1$ 法[拉]。实际电容器的电容往往比 1 法[拉] 小得多，因此通常采用微法 (μF) 和皮法 (pF) 作为电容的单位，它们之间的关系为

$$1 \text{ F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{ pF}$$

当电容极板间电压 u 变化时，极板上电荷量 q 也随之改变，于是电容器电路中出现电流 i 。如指定电流参考方向为流进正极板，即与电压 u 的参考方向一致，则电流

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-10)$$

式(1-10)指出,任何时刻,线性电容元件中的电流与该时刻电压的变化率成正比。

当元件上电压发生剧变(即 $\frac{du}{dt}$ 很大)时,电流很大;当电压不随时间变化时,则电流为零,这时电容元件相当于开路。在直流电路中,电容上即使有电压,但 $t=0$,相当于开路,故电容元件有隔断直流(简称隔直)的作用。

在电压和电流的关联参考方向下,线性电容元件吸收的功率为

$$p = ui = Cu \frac{du}{dt} \quad (1-11)$$

时间从 t_0 到 t ,电容元件吸收的电能为

$$W_c = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t ui dt = \int_{t_0}^t C \frac{du}{dt} u dt = \int_{u(t_0)}^{u(t)} Cu du = \frac{1}{2} Cu(t) = \frac{1}{2} Cu(t_0)^2 \quad (1-12)$$

如果我们选取 t_0 为电压等于零的时刻,即有 $u(t_0)=0$,电容处于未充电状态电场能量为零,则从 t_0 到 t 时间内,电容元件储存的电场能量为

$$W_c = \frac{1}{2} Cu^2 \quad (1-13)$$

它等于元件在任意时刻 t_2 和起始时刻 t_1 的电场能量之差。

电容元件充电时, $|u(t_2)| > |u(t_1)|$, $W_c(t_2) > W_c(t_1)$, $W_c > 0$,元件吸收能量并全部转换成电场能量;电容元件放电时, $|u(t_2)| < |u(t_1)|$, $W_c(t_2) < W_c(t_1)$, $W_c < 0$,电容元件释放大电场能量。由上可知,若电容元件原先没有充电,那么它在充电时吸取并储存起来的能量一定又在放电完毕时全部释放,它并不消耗能量。所以,电容元件是一种储能元件。同时,电容元件也不会释放出多于它所吸收或储存的能量,因此它又是一种无源元件。

为了叙述方便,我们把线性电容元件简称为电容。所以,“电容”这个术语及它的相应符号 C ,一方面表示一个电容元件,另一方面亦表示这个元件的参数。

电容元件是为了获得一定大小的电容特意制成的元件,也称作电容器。但是,电容的效应在许多别的场合也存在。如一对架空输电线之间就有电容,因为一对输电线可视作电容的两个极板,输电线之间的空气则为电容极板间的介质,这就相当于电容器的作用;又如晶体三极管的发射极、基极和集电极之间也都存在着电容;就是一只电感线圈,各线匝之间也都有电容,不过像这种所谓的匝间电容是很小的,若线圈中电流和电压随时间变化不快时,其电容效应可略去不计。

(1) 电容器的作用

电容器在电路中多用来滤波、隔直、耦合交流、旁路交流及与电感元件构成振荡电路等,也是电路中应用最多的元件之一。电容器可分为无极性电容和有极性电容。

电解电容是目前用得较多的电容器,它体积小、耐压高,是有极性电容;正极是金属片表面上形成的一层氧化膜,负极是液体、半液体或胶状的电解液。因其有正、负极之分,一般工作在直流状态下,如果极性用反,将使漏电流剧增,在此情况下,电解电容将

会急剧变热而使电容损坏，甚至引起爆炸。常见的有铝电解和钽电解两种：铝电解有铝制外壳；钽电解没有外壳，体积小、价格昂贵。电解电容大多用于电源电路中，对电源进行滤波。铝电解采用负极标注，就是在负极端进行明显的标注，一般是从上到下的黑条或者白条，条上印有“-”标记。新购买的铝电解正极的引脚要长于负极引脚。钽电解采用正极标记，在正极上有一条黑线注明“+”。电解电容的实物如图 1-21 所示。

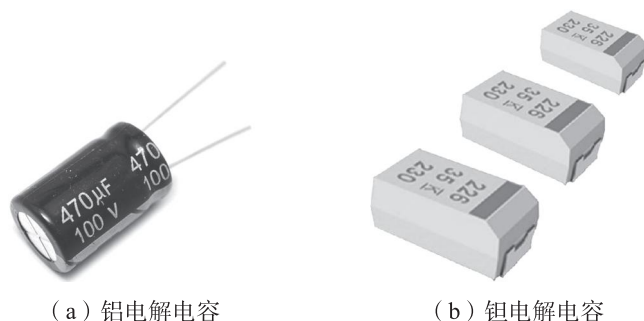


图 1-21 电解电容的实物

电容器的主要参数有标称容量、容许误差等级、工作电压（耐压）。 $1\text{ F}=1\times 10^6\text{ }\mu\text{F}$ （微法）， $1\text{ }\mu\text{F}=1\times 10^6\text{ pF}$ （皮法）。电容器的误差等级及表示符号见表 1-6 所列。

表 1-6 电容器的误差等级及表示符号

容许误差	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$\pm 30\%$	$+50\% \sim -20\%$	$+100\% \sim -10\%$
级别	02	I	II	III	IV	V	VI
字母	G	J	K	M	N	S	P

（2）电容器的表示方法

电容器的表示方法有直标法、色环法和数码法。色环法及色环代表的意义同电阻器相同。数码法一般用三位数表示，从左算起，第 1、2 位数字为容量的第一、第二位数字，第 3 位数字表示前两位数字再乘以 10 的方次，数码法的电容量单位为 pF，通常在三位数后用字母表示误差。

电解电容具有体积小、容量大的特点，但它有极性，极性不可以接错，而且容量数值不稳、漏电较大，容易老化，即使长期不用也容易变质导致容量减退。用万用表的电阻挡测量电解电容时，电表指针摆动到一定的数值后，应当返回起点或接近起点；指针摆动的幅度越大表示电容容量越大，指针返回起点时离起点越近表示电容漏电越小、绝缘电阻越大；若指针不摆动或摆动后不返回，则表示电容器已断路或短路损坏。

（3）电容器常见故障

电容器常见故障主要是断路、短路、容量减退、漏电。大容量电容器可用万用表查找，方法同“电解电容”。小容量电容器除短路、严重漏电外，其他故障用普通万用表不易发现。有些机械万用表有测量电容的挡位，但要外加电源（使用方法参见万用表的说明

书), 有些数字万用表 (包括数字式电容表) 具有直接测量电容的挡位。

替代电容器时要注意元件的容量值和耐压值。

(4) 电容器串联和并联

两个电容器串联时, 总容量 $C = (C_1 \times C_2) / (C_1 + C_2)$ 。串联后耐压: 若串联的各电容容量相等, 则所承受的电压也相等; 若容量不等, 则容量越大所承受的电压越小, 容量越小所承受的电压越大。(因为串联时每个电容充电电流相等, 其电压降相加等于总电压。)

电容器并联时, 总容量 $C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$, 并联每个电容所承受的电压即为电路电压。

3. 电感元件

由导线绕制而成的线圈或把导线绕在铁芯或磁芯上就构成一个常用的电感器。线圈中通以电流 i 后, 就会在线圈内部产生磁场, 从而产生磁通 φ_L , 电流的变化使得该导线或线圈自身产生磁通量 Φ_L 。线性电感元件的图形符号, 如图 1-22 所示。

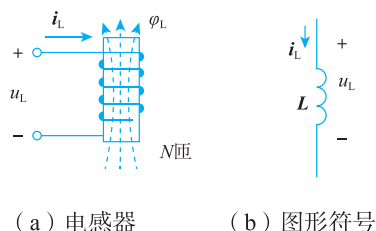


图 1-22 线性电感元件的图形符号

φ_L 和 Φ_L 都是由线圈本身的电流产生的, 称为自感磁通和自感磁通链。我们规定磁通 φ_L 和磁通链 Φ_L 的参考方向与电流 i_L 参考方向之间满足右螺旋关系。在这种关联的参考方向下, 在任何时刻, 线性电感元件的自感磁通链 Φ_L 与元件中电流 i_L 的关系为

$$\Phi_L = Li_L \quad (1-14)$$

式中, L 为元件的自感或电感。

在 SI 单位制中, 磁通和磁通链的单位是韦 [伯] (Wb), 自感的单位是亨 [利] (H), 简称亨, 有时也采用毫亨 (mH) 和微亨 (μH) 作为自感的单位。

换算关系为 $1 \text{ H} = 10^3 \text{ mH} = 10^6 \mu\text{H}$ 。

在电感元件中电流 i 随时间变化时, 磁通链 Φ_L 也随之改变, 元件两端感应有电压, 此感应电压等于磁通链的变化率。在电压和电流的关联参考方向下, 电压的参考方向与磁通链的参考方向为右螺旋关系, 根据楞次定律, 感应电压为

$$u_L = \frac{d\Phi_L}{dt} = \frac{di_L}{dt} \quad (1-15)$$

由式 (1-15) 可知: 任何时刻, 线性电感元件上的电压与该时刻电流的变化率成正比。电流变化越快, 感应电压越高; 电流变化越慢, 感应电压越低。当电流不随时间变化时, 则感应电压为零, 这时电感元件相当于短接线, 对于直流电电感相当于导线。

在电压和电流的关联参考方向下, 线性电感元件吸收的功率为

$$p = u_L i_L = L i_L \frac{di_L}{dt} \quad (1-16)$$

时间从 t_0 到 t , 电感元件吸收的磁场能量为

$$W_L = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t u_L i_L dt = L \int_{i_L(t_0)}^{i_L(t)} i_L d(i_L) = \frac{1}{2} L i_L^2(t) - \frac{1}{2} L i_L^2(t_0) \quad (1-17)$$

它等于元件在任意时刻 t_2 和起始时刻 t_1 的磁场能量之差。

如果我们选取 t_0 为电流等于零的时刻, 即有 $i_L(t_0) = 0$, 此时电感元件没有磁通链, 其磁场能量为零, 因此在上述条件下, 电感元件在任何时刻 t 所储存的磁场能量 $W_L(t)$ 将等于它所吸收的能量

$$W_L(t) = \frac{1}{2} L i_L^2(t) \quad (1-18)$$

当电流 $|i|$ 增加时, $W_L(t_2) > W_L(t_1)$, $W_L > 0$, 电感元件吸收能量, 并全部转换成磁场能量; 电流 $|i|$ 减少时, $W_L(t_2) < W_L(t_1)$, $W_L < 0$, 电感元件释放磁场能量。可见, 电感元件并不把吸取的能量消耗掉, 而是以磁场能量的形式储存在磁场中。所以, 电感元件也是一种储能元件。同时, 电感元件也不会释放出多于它所吸收或储存的能量, 因此它又是一种无源元件。

电感元件概括起来可分两类: 一类为自感式线圈, 如天线线圈、调谐线圈、阻流线圈、提升线圈、稳频线圈、偏转线圈等; 另一类为互感式变压器, 如电源变压器、音频变压器、振荡变压器、中频变压器(中周)等。电路图上用 L 表示电感量, 电感量(自感系数)单位是亨[利], 用 H 用表示, $1 \text{ H} = 1 \times 10^3 \text{ mH}$ (毫亨) $= 1 \times 10^6 \mu\text{H}$ (微亨)。电感元件实物如图 1-23 所示。



图 1-23 电感元件实物

(1) 线圈

线圈一般由绕组、骨架和导磁芯三部分组成。线圈广泛用于电子电器的阻流、降压、滤波、谐振、调谐等电路中。普通的单层线圈固定电感大小跟 $1/4 \text{ W}$ 电阻差不多, 在电源输出电路中起“隔交通直”的作用, 就是对电源中滤波不干净的交流信号进行阻挡, 让直流通过。此类电感的阻值都非常小, 只有几欧姆到几十欧姆。有很多万用表可以测量 mH 级的电感, 但在维修中电感的标称一般不是很重要。电感的标值有色标也有色点, 这些都跟电阻的色标识别类似, 也有直接标注的。

(2) 线圈常见故障

线圈常见故障主要是断线、短路、线匝松动。线圈断线可用万用表欧姆挡进行检查，在修理时可部分或全部重绕；线圈断线也时常发生在接线端子（如脱焊或受力而断线），仔细观察就能发现。线圈短路大多是由于受潮后线的绝缘力降低而被击穿导致，由于一般线圈电阻小，用万用表不易发现线圈短路（特别是局部短路），最好的办法是用电桥等仪器进行测量，看其电感值是否和正常值一致，在修理时可重绕或将短路处填以适当的绝缘材料。线圈线匝松动较轻时可用绝缘胶水加固，较重时（有部分乱线或全部乱线）可部分或全部重绕。

三、电阻、电容、电感元件的识别和检测任务

电路元件，如电阻、电容、电感等都是组成电路最基本的元件，它们的质量和性能的好坏直接影响电路的性能。因此，无论是在设计、生产、使用、调试或维护等工作中都必须掌握这些元件的测量方法。

1. 主要工具、仪表及器材

- ①万用表 1 块。
- ②电容若干。
- ③电阻若干。
- ④电感若干。
- ⑤电工实验台 1 台。

2. 任务实施步骤及工艺要求

(1) 电阻的识别与检测

先每组分别取不同类型的电阻若干，根据它们的外形和标识法进一步认识和判断他们的阻值，填入表 1-7。用万用表测量阻值进行对照，核对识别的正确性。

表 1-7 实验数据及分析表 1

电阻类型	四道色环电阻 R_1	五道色环电阻 R_2	可调电阻 R_3	热敏电阻 R_4	直标法电阻 R_5
标识阻值					
测量阻值					
误差原因					

然后每组再分别取已损坏的各类电阻若干，分别测量它们的阻值，并根据测量情况判断其损坏的性质。具体数据填入表 1-8。

表 1-8 实验数据及分析表 2

电阻类型	电阻 R_1	电阻 R_2	可调电阻 R_3	热敏电阻 R_4	直标法电阻 R_5
标识阻值					
测量阻值					
测量现象					
损坏原因					

(2) 电容的识别与检测

先每组分别取不同类型的电容若干, 根据它们的外形和标识法进一步认识和判断他们的容值, 填入表 1-9。用万用表测量容值进行对照, 核对识别的正确性。

表 1-9 实验数据及分析表 3

电容类型	电解电容 C1	色环电容 C2	数码标注电容 C3	直标电容 C4
标识容值				
测量容值				
误差原因				

然后每组再分别取已损坏的各类电容若干, 分别测量它们的容值, 并根据测量情况判断其损坏的性质。具体数据及分析填入表 1-10。

表 1-10 实验数据及分析表 4

电容类型	电解电容 C1	电解电容 C2	普通电容 C3	普通电容 C4
标识容值				
测量容值				
测量现象				
损坏原因				

(3) 线圈的认识和检测

用万用表电阻欧姆挡对一线圈进行测量并观察线圈上的有关标识来识别和测量其大小, 然后人为设置断线、短路、线匝松动等故障再进行测量并观测其结果, 分析产生结果的原因。相关记录填入表 1-11。

表 1-11 实验数据及分析

电感类型	线圈 1	线圈 2
标识情况记录		
测量情况记录		
断线时现象记录及分析		
短路时现象记录及分析		
线匝松动时现象记录及分析		

3. 任务评价

任务完成质量评分表见表 1-12 所列。

表 1-12 任务完成质量评分表

内容	配分	扣分标准	得分
器材准备	5	(1) 不清楚元器件的功能及作用 扣 2 分	
		(2) 不能正确选用元器件 扣 3 分	
电阻的识别	35	(1) 读取色环电阻有误 扣 5 分	
		(2) 色环电阻测量误差偏大 每只扣 4 分	
		(3) 万用表挡位选择有误 扣 5 分	
		(4) 量程选择有误, 误差偏大 扣 5 分	
		(5) 机械式万用表未调零, 误差偏大 扣 5 分	
		(6) 损坏原因无法对应 每只扣 2 分	
电容识别	30	(1) 辨识有误 扣 10 分	
		(2) 挡位选择有误 每只扣 3 分	
		(3) 量程选择有误, 误差偏大 扣 15 分	
		(4) 损坏原因分析有误 每只扣 2 分	
线圈识别	30	(1) 辨识有误 扣 10 分	
		(2) 挡位 / 量程选择有误 扣 10 分	
		(3) 短路、断路设置有误 扣 15 分	
		(4) 现象表述不清 扣 5 分	
安全文明生产		违反安全文明生产规程、小组团队协作精神不强, 不将元器件及工具归位, 不进行工位清洁, 损坏元器件等 扣 5 ~ 40 分	

续表

内容	配分	扣分标准					得分
定额时间 2 h	每超时 5 min 扣 5 分						
备注	除定额时间外，各项目的最高扣分不应超过所配分数						
开始时间		结束时间		实际时间		总成绩	

【思考与练习】

- (1) 电阻器损坏的常见表现有哪些？
- (2) 电容器损坏的常见表现有哪些？
- (3) 电感线圈损坏的常见表现有哪些？

任务三

直流电路分析

一、欧姆定律

欧姆定律是电路的基本定律之一，它反映了电流、电压和电阻三者间的关系。

1. 基本概念

- ①内电路：电源本身的电流通路。
- ②内阻：内电路的电阻。
- ③外电路：电源以外的电流通路。
- ④全电路：内电路和外电路总称。

2. 欧姆定律

(1) 部分电路欧姆定律

对于外电路，在电路电压一定的情况下，电路电阻越大，电路中电流就越小，即

$$I = \frac{U}{R} \tag{1-19}$$

应用欧姆定律时，应注意电流 I 和电压 U 的参考方向，图 1-24 (a) 中，电流为

$$I = \frac{U}{R}$$

图 1-24 (b) 中，电流为

$$I = -\frac{U}{R}$$

例 1-3 试求图 1-25 (a) 所示电路中的电流, 图中电压为 1.5 V, 电阻为 1 Ω。

解: 图 1-25 (a) 所示电路中没有标出电流方向, 可以设定其参考方向如图 1-25 (b) 所示, 电压和电流参考方向一致, 那么

$$I = \frac{U}{R} = \frac{1.5}{1} = 1.5 (\text{A})$$

若按图 1-25 (c) 设定其参考方向, 因为电压和电流参考方向不一致, 所以

$$I = \frac{-U}{R} = \frac{-1.5}{1} = -1.5 (\text{A})$$

计算结果 $I < 0$, 说明图 1-25 (c) 设定的电流方向与实际方向相反。

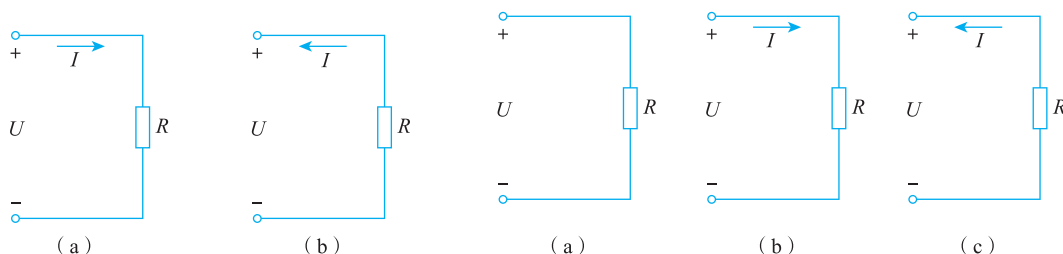


图 1-24 应用欧姆定律时的参考方向

图 1-25 例 1-3 附图

(2) 全电路欧姆定律

图 1-26 所示为全电路。电源内阻越小, 可以更多地向外电路提供电流 (电能)。

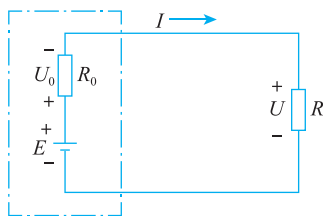


图 1-26 全电路

二、简单电阻电路的计算



电阻的连接
及电路分析

1. 负载的串联

负载的串联形式如图 1-27 所示。串联时有如下结论。

- ① 电路中流经各负载电阻的电流 I 相同。
- ② 各负载电阻两端电压分别为

$$U_1 = R_1 I, U_2 = R_2 I, U_3 = R_3 I$$

可以看出, 串联电路中各电阻两端的电压与各个电阻的阻值成正比, 电阻越大, 分配的电压越大, 电阻越小, 分配的电压越小。

③电源总电压等于各负载电阻两端电压之和

$$U=U_1+U_2+U_3$$

④串联后的等效电阻为

$$R=R_1+R_2+R_3$$

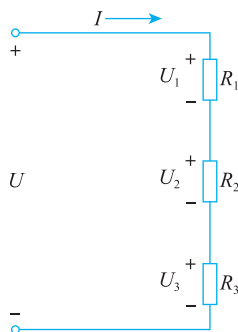


图 1-27 负载的串联形式

例 1-4 求图 1-28 所示电路中的总电阻、总电流，各电阻上的电压降、总电压降。

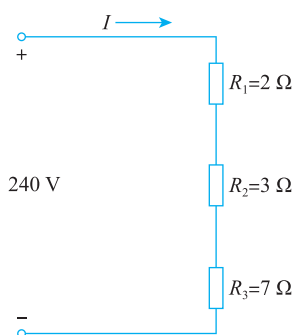


图 1-28 例 1-4 附图

解：电路总电阻为

$$R=R_1+R_2+R_3=2+3+7=12(\Omega)$$

总电流为

$$I=\frac{U}{R}=\frac{240}{12}=20(\text{A})$$

R_1 电阻上电压降为

$$U_1=IR_1=20\times 2=40(\text{V})$$

R_2 电阻上电压降为

$$U_2=IR_2=20\times 3=60(\text{V})$$

R_3 电阻上电压降为

$$U_3=IR_3=20\times 7=140(\text{V})$$

总电压为各电阻上电压降之和，即

$$U=U_1+U_2+U_3=40+60+140=240(\text{V})$$

例 1-5 将一个标称值为 6.3 V/0.3 A 的指示灯与一个 $100\ \Omega$ 的可变电阻串联起来, 接在 24 V 的电压上 (如图 1-29 所示), 若要使指示灯两端电压达到额定值, 可变电阻的阻值应调节到多大?

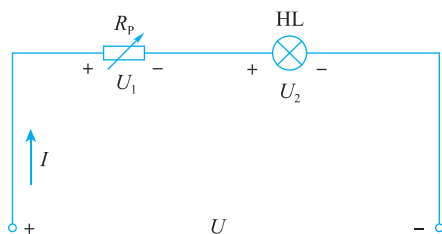


图 1-29 例 1-5 附图

解: 可变电阻在这里起分压作用, 其两端电压为

$$U_1=U-U_2=24-6.3=17.7(\text{V})$$

因为流过可变电阻和流过指示灯的电流相等, 所以可变电阻的阻值应调节为

$$R_p=\frac{U_1}{I}=\frac{17.7}{0.3}=59(\Omega)$$

在串联了分压电阻以后, 可以使额定电压较小的负载在较高的电源电压下工作。选择分压电阻时, 应使负载得到额定的电压和电流。

2. 负载的并联

负载的并联形式如图 1-30 所示。并联时有如下结论。

① 电路中各负载端电压 U 与电源电压相同。

② 各负载电阻中的电流分别为

$$I_1=\frac{U}{R_1}, I_2=\frac{U}{R_2}, I_3=\frac{U}{R_3}$$

③ 电源发出的总电流等于各负载电流之和

$$I=I_1+I_2+I_3$$

④ 通常电阻并联后的等效电阻可以记作 $R=R_1 \parallel R_2 \parallel R_3$, 根据分析可得出

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$$

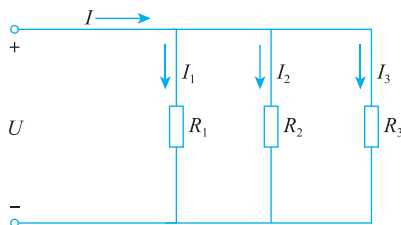


图 1-30 负载的并联形式

例 1-6 求图 1-31 所示电路中流过各电阻的电流及总电流。

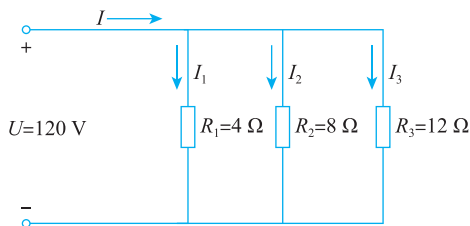


图 1-31 例 1-6 附图

解：根据欧姆定律，各电阻电流分别为

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{120}{4} = 30 (\text{A})$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{120}{8} = 15 (\text{A})$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{120}{12} = 10 (\text{A})$$

总电流为

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 30 + 15 + 10 = 55 (\text{A})$$

总电阻为

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{12}$$

$$R \approx 2.2 \Omega$$

或

$$R = \frac{U}{I} = \frac{120}{55} \approx 2.2 (\Omega)$$

三、基尔霍夫定律

欧姆定律阐明了线性电阻元件上电压、电流之间的约束关系，明确了元件特性只取决于元件本身，而与电路的连接方式无关这一基本规律。

19 世纪 40 年代，由于电气技术发展迅速，电路变得越来越复杂。某些电路呈现出网络形状，并且网络中还存在着一些由 3 条或 3 条以上支路形成的交点（节点），在这种情况下，欧姆定律已不能直接应用，这类电路称为复杂电路。年仅 21 岁的基尔霍夫在他的第 1 篇论文中提出了适用于这种网络状电路计算的两个定律，即著名的基尔霍夫定律。基尔霍夫定律是求解复杂电路的基本方法之一，主要包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。

基尔霍夫定律解决了电路结构上整体的规律，具有普遍性。



基尔霍夫定律

1. 电路中的几个常用名词

(1) 支路

电路中流过同一电流的一段电路称为支路。流过支路的电流,称为支路电流。含有电源的支路称为含源支路,不含电源的支路称为无源支路。图 1-32 所示的复杂直流电路中, BAD 、 BCD 和 BED 都是支路。

(2) 节点

电路中三个或三个以上支路的公共连接点称为节点。如图 1-32 中的 B 和 D 两点。

(3) 回路

电路中任一闭合路径称为回路。如图 1-32 中的 $ABEDA$ 、 $ABCD$ 和 $CDEBC$ 都是回路。

(4) 网孔

中间无支路穿过的回路称为网孔,如图 1-32 中的 $ABCD$ 和 $CDEBC$ 回路都是网孔。

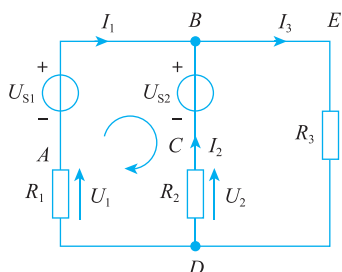


图 1-32 复杂直流电路

2. 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律 (Kirchhoff's current law, KLC) 描述的是同某一节点相连接的各支路中电流之间的约束关系。

对于电路中的任一节点而言,任一时刻流入该节点的电流和必然等于流出该节点的电流和。

$$\sum i_{\text{in}} = \sum i_{\text{out}} \quad (1-20)$$

基尔霍夫电流定律另外一种表达形式为对于电路中的任一节点,任一时刻所有流入(或流出)该节点的支路电流的代数和恒等于零。若规定流入节点的电流前取“+”号,则流出节点的电流前取“-”号,则基尔霍夫电流定律一般形式为

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

基尔霍夫电流定律的实质是电流连续性原理的体现。

基尔霍夫电流定律可以推广应用于包围部分电路的任一假设的闭合面,如图 1-33 所示。

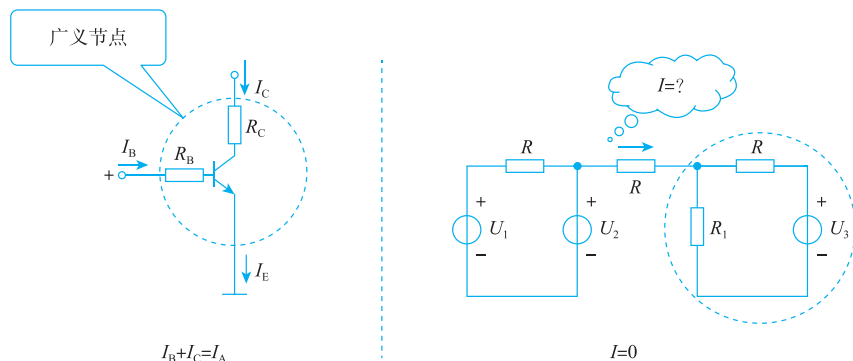


图 1-33 基尔霍夫电流定律的推广应用

3. 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律 (Kirchhoff's voltage law, KVL) 描述的是任一回路中各支路上的电压之间的约束关系。

对于集总电路的任一回路而言, 任一时刻沿任一回路绕行一周, 回路中各支路的电压升之和等于电压降之和。

$$\sum u_{\text{rise}} = \sum u_{\text{fall}} \quad (1-22)$$

对于集总电路中的任一回路, 任一时刻沿任一回路绕行一周, 回路中所有支路电压的代数和恒等于零。任一指定一个回路的绕行方向, 凡支路电压的参考方向与回路绕行方向一致者, 该电压前取“+”号, 支路电压参考方向与回路绕行方向相反者, 电压前取“-”号。基尔霍夫电压定律一般形式为

$$\sum u = 0 \quad (1-23)$$

基尔霍夫电压定律的实质是能量守恒定律的体现, 也反映了电压与路径无关 (即电压是单值量)。

如图 1-34 所示为基尔霍夫电压定律应用举例, 该电路是典型的复杂直流电路, 具有三条支路, 两个节点, 三个回路, 两个网孔。

“沿一定方向绕行”, 既可以顺时针绕行, 也可以逆时针绕行。各元件上电压降的代数和为零。代数和表示有正有负, 绕行方向与经过电阻的电流方向相同, 电阻电压降取“+”号; 绕行方向与经过电阻的电流方向相反, 电阻电压降取“-”号。

绕行方向经过理想电压源时, 从-到+, 是电压升, 取“-”号; 从+到-, 是电压降, 取“+”号。

下面应用 KVL, 列出 KVL 方程式为

$$\text{回路 \#1: } I_1 R_1 + I_3 R_3 - U_1 = 0$$

$$\text{回路 \#2: } -I_2 R_2 + U_2 - I_3 R_3 = 0$$

$$\text{回路 \#3: } I_1 R_1 - I_2 R_2 + U_2 - U_1 = 0$$

基尔霍夫电压定律不仅适合于闭合回路, 也可推广应用于不闭合的虚拟回路, 但要将开口处的电压计入方程。

如图 1-35 所示电路, 其回路方程为

$$U_s - IR - U = 0 \text{ 或 } U = U_s - IR$$

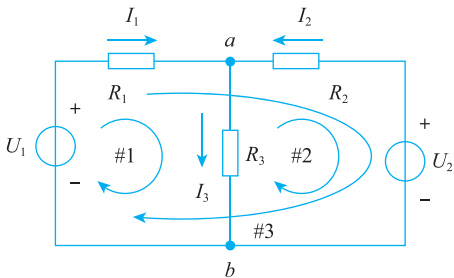


图 1-34 基尔霍夫电压定律应用举例

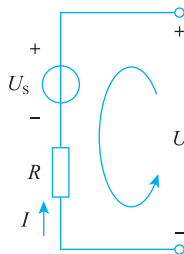


图 1-35 基尔霍夫电压定律的推广应用

四、支路电流分析法

1. 支路电流法

(1) 复杂电路

无法用串、并联方法直接应用欧姆定律求解的电路称为复杂电路,图 1-36 所示为具有两个节点的复杂电路。

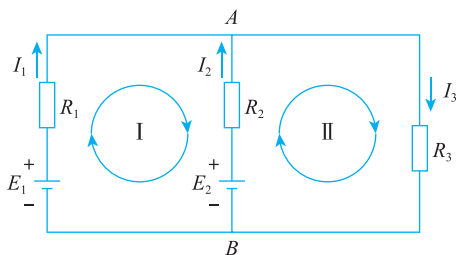


图 1-36 具有两个节点的复杂电路

(2) 支路电流法

该法以支路电流为求解对象,应用基尔霍夫电流、电压定律对节点和回路列出所需的方程组,然后求解各支路电流。

(3) 支路电流法解题步骤

步骤一:选择各支路电流参考方向。在图 1-36 中,选取支路电流 I_1 、 I_2 和 I_3 的参考方向如图中所示。

步骤二:根据节点数列出独立的节点电流方程式。在图 1-36 所示电路中,有 A 和 B 两个节点,利用 KCL 列出节点方程式为

$$\text{节点 } A: I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$\text{节点 } B: -I_1 - I_2 + I_3 = 0$$

一般来说,电路中有 2 个节点时,只能列出 1 个独立方程,可以在 2 个节点中任选其中 1 个列方程。

步骤三:根据网孔,利用 KVL 列出回路电压方程式,补齐不足的方程数。一般情况下以自然网孔为对象列写电压方程为宜,这样可以防止列写的电压方程不独立。利用 KVL,对回路 I 和回路 II 列写电压方程式为

$$\text{回路 I: } E_1 - E_2 = R_1 I_1 - R_2 I_2$$

$$\text{回路 II: } E_2 = R_2 I_2 + R_3 I_3$$

步骤四:联立求解方程组,求出各支路电流。

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ E_1 - E_2 = R_1 I_1 - R_2 I_2 \\ E_2 = R_2 I_2 + R_3 I_3 \end{cases}$$

代入已知数值 R_1 、 R_2 、 R_3 、 E_1 、 E_2 ，可求得电流 I_1 、 I_2 、 I_3 。

例 1-7 在图 1-37 所示电路中，已知 $R_1=5\ \Omega$ ， $R_2=10\ \Omega$ ， $R_3=15\ \Omega$ ， $E_1=180\text{ V}$ ， $E_2=80\text{ V}$ ，求各支路中的电流。

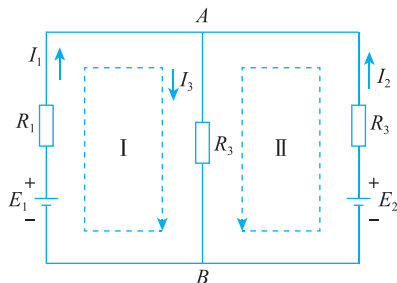


图 1-37 支路电流法示例

解：应用支路电流法求解该电路，由于待求支路有 3 条，所以必须列出 3 个独立方程才能求解 3 个未知电流 I_1 、 I_2 和 I_3 。

①设各支路电流参考方向如图 1-37 中所示。

②应用 KCL 对节点 A 列出电流方程为

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

③应用 KVL 对回路列出电压方程式，因为已列出 1 个独立的电流方程，所以必须补充 2 个独立的电压方程，按网孔选定 2 个回路，绕行方向如图 1-37 所示。

$$\text{回路 I: } E_1 = R_1 I_1 + R_3 I_3$$

$$\text{回路 II: } E_2 = R_2 I_2 + R_3 I_3$$

④联立求解方程组，求出各支路电流数值。

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ E_1 = R_1 I_1 + R_3 I_3 \\ E_2 = R_2 I_2 + R_3 I_3 \end{cases}$$

代入参数

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ 180 = 5 I_1 + 15 I_3 \\ 80 = 10 I_2 + 15 I_3 \end{cases}$$

解方程组可得

$$I_1 = 12\text{ (A)}, I_2 = -4\text{ (A)}, I_3 = 8\text{ (A)}$$

求得结果中 I_1 和 I_3 为正值，说明电流的实际方向与参考方向一致； I_2 为负值，说明电流的实际方向与参考方向相反。

2. 支路电流法应用总结

①支路电流法就是以支路电流为待求量，运用基尔霍夫定律求解 $n-1$ 个节点电流方程，是解决复杂直流电路问题最基本的方法。

- ② m 条支路→ m 个支路电流→可通过 $P = m - (n - 1)$ 个回路电压方程求解。
- ③ 必须标定电流方向和绕行方向，注意正负号的判定。
- ④ 若求的电流为负值表示电流方向与所选正方向相反。
- ⑤ 最后将所得数值代入原方程组进行验算，检查结果是否正确。

注意：若通过电阻的电流方向与绕行方向一致，该电阻上的电压取正，反之取负。
若电动势的实际方向与绕行方向一致，则取正，反之，则取负。

五、基尔霍夫定律的验证任务

1. 主要工具、仪表及器材

元件明细表见表 1-13 所列。

表 1-13 元件明细表

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	直流稳压电源	+6 V、+12 V 切换	1	
2	可调直流稳压电源	0 ~ 30 V	1	
3	万用表		1	
4	直流数字电压表		1	
5	直流数字毫安表		1	
6	电位、电压测定实验线路板		1	DGJ-03

2. 任务实施步骤及工艺要求

实验线路如图 1-38 所示。

- ① 前任意设定三条支路的电流参考方向，如图 1-38 中的 I_1 、 I_2 、 I_3 所示。
- ② 分别将两路直流稳压电源（一路 E_1 为 +6 V/+12 V 切换电源，另一路 E_2 为 0 ~ 30 V 可调直流稳压源）接入电路，令 $E_1=6\text{ V}$ ， $E_2=12\text{ V}$ 。
- ③ 熟悉电流插头的结构，将电流插头的两端接至直流数字毫安表的 +、- 两端。

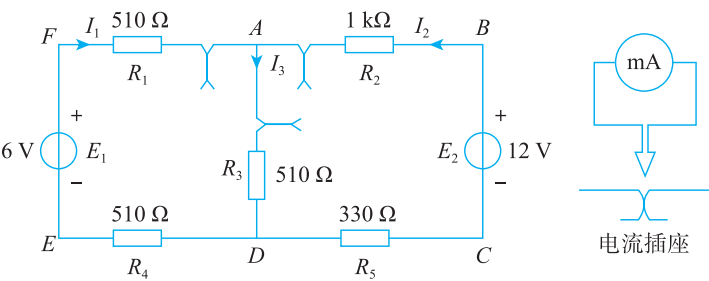


图 1-38 实验线路

- ④将电流插头分别插入三条支路的三个电流插座中，记录电流值。
- ⑤用直流数字电压表分别测量两路电源及电阻元件上的电压值，记录之。
- ⑥根据电路参数，计算出待测电流 I_1 、 I_2 、 I_3 和各电阻上电压值，填入表 1-14。

表 1-14 测量值记录表

被测量	I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA	E_1/V	E_2/V	U_{EA}/V	U_{AB}/V	U_{AD}/V	U_{CD}/V	U_{DE}/V
计算值										
测量值										
相对误差										

注意：

- (1) 所有需要测量的电压值，均以电压表测量计数为准，不以电源表盘指示为准。
- (2) 防止电源两端碰线短路。
- (3) 若用指针式电流表实行测量时，要识别电流插头所接电流表的“+”“-”极性。倘若不换接极性，则电表指针可能反偏（电流为负值时），此时必须调换电流表极性，重新测量，此时指针正偏，但读得的电流值必须冠以负号。

3. 任务评价

任务完成质量评分表见表 1-15 所列。

表 1-15 任务完成质量评分表

内容	配分	扣分标准	得分
器材准备	5	(1) 不清楚元器件的功能及作用	扣 2 分
		(2) 不能正确选用元器件	扣 3 分
工具、仪表的使用	5	(1) 不会正确使用工具	扣 2 分
		(2) 不能正确使用仪表	扣 3 分
线路连接	25	(1) 不按线路图接入元件	扣 5 分
		(2) 挡位接入不正确	每只扣 5 分
		(3) 电流插头、插座接入不牢固	每只扣 4 分
测量计算	45	(1) 不按实验要求绘图	扣 10 分
		(2) 通电前未完成电路检查	扣 10 分
		(3) 基尔霍夫定律分析有误	扣 10 分
		(4) 测量误差偏大	扣 2 分
		(5) 计算错误	扣 5 分
		(6) 未按步骤要求操作	扣 5 分

续表

内容	配分	扣分标准	得分
分组汇报	20	(1) KCL、KVL 观点阐述有误 扣 5 分	
		(2) 组内分工不明确, 任务混乱 扣 5 分	
安全文明生产		违反安全文明生产规程、小组团队协作精神不强, 不将元器件及工具归位, 不进行工位清洁, 损坏元器件等 扣 5 ~ 40 分	
定额时间 2 h		每超时 5 min 扣 5 分	
备注		除定额时间外, 各项目的最高扣分不应超过所配分数	
开始时间		结束时间	
		实际时间	
		总成绩	

【思考与练习】

(1) 实验中, 若用万用表直流毫安挡测各支路电流, 什么情况下可能出现毫安表指针反偏, 应如何处理? 在记录数据时应注意什么? 若用直流数字毫安表进行测量时, 则会显示什么呢?

(2) 根据实验数据, 选定实验电路中的任一个节点, 验证 KCL 的正确性。

(3) 根据实验数据, 选定实验电路中的任一个闭合回路, 验证 KVL 的正确性。

(4) 三个回路实验数据是否符合基尔霍夫定理, 如有误差, 分析其原因。



习题训练

一、判断题

- () 1. 电源两端电压和电源电动势大小相等、方向相同 (都是由高电位指向低电位的)。
- () 2. 网孔就是回路, 回路也是网孔。
- () 3. 电阻元件只能是耗能元件, 而电感和电容元件则是储能元件。
- () 4. 参考点改变时, 电路中任意两点间的电压也随之改变, 但各点的电位不变。
- () 5. 负载是电路中的用电设备, 它把其他形式的能转换成电能。
- () 6. 电路是电流通过的路径, 是根据需要由电工元件或设备按一定方式组合起来的。
- () 7. 电荷的定向移动形成电流。
- () 8. 电流的参考方向, 可能是电流的实际方向, 也可能与电流的实际方向相反。
- () 9. 基尔霍夫电流定律 (KCL) 的通式 $\sum I=0$, 对于一个封闭曲面也是适用的。
- () 10. 当电阻 R_1 、 R_2 并联时, 若电压一定, 则当 R_1 增大时电流 I_1 减小, 电流 I_2 增大。

二、选择题

1. 在电路中, 实现电路接通与断开的是 ()。
 - A. 电源
 - B. 外电路断开
 - C. 连接导线
 - D. 控制装置

3. 求图 1-40 所示电路中的 I 、 U_S 和 R 。

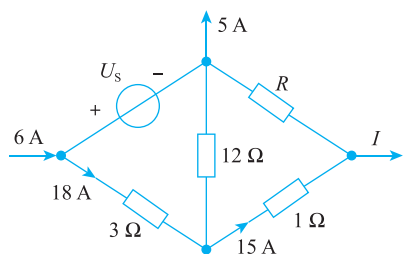


图 1-40 3 题图

4. 求图 1-41 (a)、图 1-41 (b) 所示电路中的未知电流。

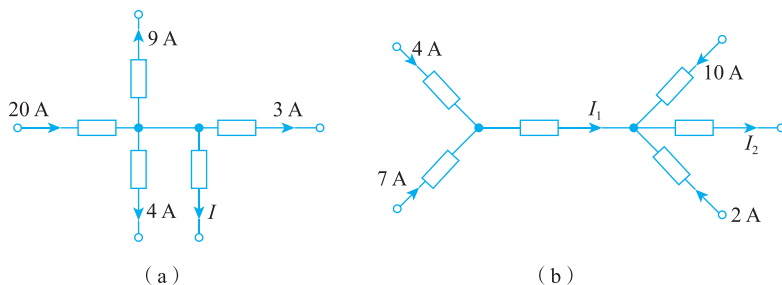


图 1-41 4 题图

5. 求图 1-42 所示电路中的 U_{AB} 、 I_2 、 I_3 和 R_3 。

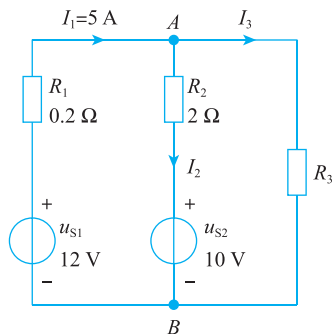


图 1-42 5 题图



拓展阅读

汽车电路的特点

汽车电路一方面具有一般电路的共性，也是由电源、电器、开关、保险丝、电线等组成；同时，它又具有自身的特殊性。

一、两个电源

蓄电池、整流器、带整流器的交流发电机（它们以并联的方式向电器设备供电）及

新能源汽车中的动力电池如图 1-43 所示。

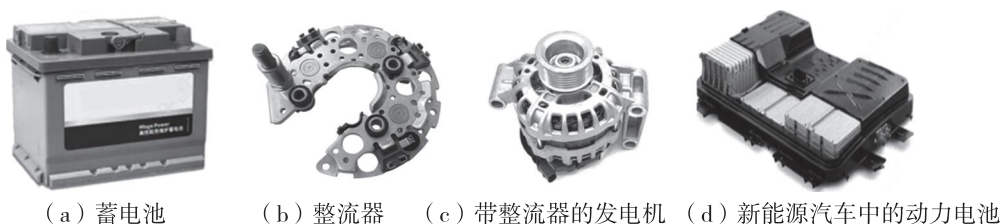


图 1-43 汽车电源

①发电机作为汽车主电源，主要提供汽车运行时各用电设备的用电，同时对蓄电池进行充电补充。

②蓄电池作为辅助电源，在发动机未工作时，向有关电气设备供电，特别是启动发动机时，对启动机提供足够大的启动电流，以保证发动机顺利启动。

二、低压直流供电

汽车电器设备采用低压直流供电，额定电压一般有 12 V 和 24 V 两种。

柴油车常采用 24 V 低压直流供电，由两节 12 V 蓄电池串联后提供；汽油车常采用 12 V 低压直流供电，由一节蓄电池或两节蓄电池并联（要求较大电流的情况）后提供。

三、单线制

它是利用汽车车身、发动机的底盘等金属机件作为各种电气设备的公用连线（又称搭铁或接地），从而只需要一根导线连接设备与电源。

任何一个电路中的电流都是从电源正极出发，经开关、导线流入电气设备，再由搭铁的负极通过金属机体，流回电源负极，形成回路。

四、负极搭铁

采用单线制时，蓄电池的一个电极须与车架或车身金属机体相连接，即搭铁，用符号“⊥”表示。按照电源搭铁的极性，可分为正极搭铁和负极搭铁。因为负极搭铁对无线电干扰较小，所以大多数国家（包括我国）的汽车都采用负极搭铁。

五、用电设备并联

用电设备并联是指汽车上的各种用电设备都采用并联方式与电源连接，每个用电设备都由各自串联在支路中的专用开关控制，互不产生干扰。且每条电路都有各自的电路保护装置，防止因电路短路或过载而引起导线或用电器的损坏。