

# 电工与电子技术项目教程

● 主编 张 静



 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# 电工与电子技术项目教程

主 编：张 静

副主编：姜洪雁 唐 静

参 编：王 楠 岳 威

韩沁伸 程 晖

 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书依据“电工电子技术”教学大纲的要求,结合课程改革的整体设计思路,本着“工学结合、项目引导、任务驱动、教学做一体化”的原则而编写。本书以电子技术中的典型项目为载体,以培养学生电子电路知识的应用能力和操作技能为目标,根据项目各自的特点采用电路仿真、电路实验、电路焊接等灵活多样的教学形式,使学生不仅能够掌握电工电子技术的理论知识,而且能够具备元器件选择与检测、产品制作、调试与维修等技能。全书内容包括:指针式万用表的安装与调试、荧光灯电路的安装与测试、直流稳压电源的制作、功率放大器的制作、音响 LED 动态显示器的制作、简单抢答器的制作与调试、8 路抢答器的制作、由触发器构成的改进型 4 路抢答器的制作与调试、流水彩灯的制作与调试共 9 个项目。

本书实用性强,注重实践技能的培养,可作为高职高专院校电子、机电、电气、自动化等电类专业的教材,也可供从事相应工作的技术人员参考。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术项目教程/张静主编. —北京:北京理工大学出版社,2017.3  
(2017.4 重印)

ISBN 978-7-5682-3590-7

I. ①电… II. ①张… III. ①电工技术—高等学校—教材 ②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 013440 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

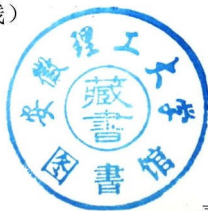
开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 21.5

字 数 / 502 千字

版 次 / 2017 年 3 月第 1 版 2017 年 3 月第 2 次印刷

定 价 / 49.8 元



责任编辑 / 赵 岩

文案编辑 / 梁 潇

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

---

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

# 前言

Qianyan

本书是根据省级示范性高职院校的课程建设要求,以现代教育理论为指导思想,教材开发小组通过对多家企业的深入调研和论证,在完成课程标准的基础上进行编写的。本书将理论知识与技能训练紧密结合,充分体现“教、学、做一体”的原则,注重应用能力和实际动手能力的培养。全书共 9 个项目,24 个任务,以指针式万用表的安装与调试、荧光灯电路的安装与测试、直流稳压电源的制作、功率放大器的制作、音响 LED 动态显示器的制作、简单抢答器的制作与调试、8 路抢答器的制作、由触发器构成的改进型 4 路抢答器的制作、流水彩灯的制作与调试 9 个项目为载体,将电工学的基本知识、模拟电子技术、数字电子技术的相关内容融入其中。电路分析计算以够用为原则,突出基本技能和工程应用能力,使枯燥的知识不再抽象,学生在完成项目制作的同时,获得了知识,学到了技能。

本书突出电工电子技术课程的实践性和实用性特点,着重以元器件的检测、典型电路分析和实用电路实现为主线,全书采用项目引领、任务驱动的编写方式,内容编排力求简洁明快、深入浅出;根据教学组织环节配有知识目标、技能目标、项目导入、项目实施、拓展知识等板块,并穿插安排了一些“小问答”“小知识”“小技能”“做一做”等小栏目,以便教师在使用时能够科学有效地组织教学。

本书由辽宁建筑职业学院张静担任主编并统稿,辽宁建筑职业学院唐静、姜洪雁担任副主编。其中辽宁建筑职业学院姜洪雁编写了项目一和项目二,唐静编写了项目三和项目四,王楠编写了项目六,张静编写了项目七,岳威编写了项目八,韩祉伸编写了项目九,大连海洋大学应用技术学院程晖编写了项目五。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,殷切希望广大读者和同行批评指正。

编者

项目一 指针式万用表的安装与调试	1
任务一 电路的基本概念	2
任务二 直流电路的分析方法	17
任务三 指针式万用表电路原理	30
任务四 安装、调试指针式万用表	35
项目二 荧光灯电路的安装与测试	63
任务一 正弦交流电概述	64
任务二 正弦交流电路的分析	71
任务三 谐振电路	85
任务四 安装、测试荧光灯电路	92
项目三 直流稳压电源的制作	107
任务一 直流稳压电源的基础知识	108
任务二 制作串联型直流稳压电源	134
项目四 功率放大器的制作	152
任务一 前置放大器	153
任务二 功率放大器电路	173
任务三 制作 OTL 功率放大器	181
任务四 制作集成功率放大器	186
项目五 音响 LED 动态显示器的制作	207
任务一 LED 电平显示器	209
任务二 LED 频谱显示器	218

项目六 简单抢答器的制作与调试 .....	228
任务一 进制及进制转换 .....	229
任务二 逻辑函数的化简 .....	234
任务三 集成门电路的测试及使用 .....	244
任务四 简单抢答器的制作与调试 .....	252
项目七 8 路抢答器的制作与调试 .....	259
任务一 组合逻辑电路的分析与设计 .....	260
任务二 编码器及其逻辑功能的测试 .....	265
任务三 译码器逻辑功能的测试 .....	270
任务四 编译码显示电路的制作 .....	277
任务五 8 路改进型抢答器的制作与调试 .....	280
项目八 由触发器构成的改进型 4 路抢答器的制作与调试 .....	293
任务一 RS 触发器的逻辑功能测试 .....	295
任务二 JK 触发器的逻辑功能测试 .....	299
任务三 D 触发器逻辑功能测试 .....	303
任务四 4 路抢答器的制作与调试 .....	306
项目九 流水彩灯的制作与调试 .....	314
任务一 时序逻辑电路的分析 .....	315
任务二 任意进制计数器的制作与应用 .....	319
任务三 555 定时器和多谐振荡器 .....	327
任务四 流水彩灯的制作与调试 .....	333

# 项目一 指针式万用表的安装与调试



1. 了解电路的基本概念。
2. 理解基尔霍夫定律内容。
3. 掌握直流电路的分析方法。



1. 会正确使用万用表。
2. 会用最大功率传输定理分析电路。
3. 能识读指针式万用表原理图。
4. 能正确测试电阻、电容、二极管。

## 项目导入

### 一、项目描述

用电阻、电容、二极管等元器件焊接指针式万用表的电路部分，然后与表头组装在一起，组装成一台指针式万用表。万用表有电阻挡、直流电压挡、直流电流挡、交流电压挡。

### 二、项目要求

- (1) 识别指针式万用表的原理图，明确元器件连接和电路连接；
- (2) 画出布线图；
- (3) 完成电路所需元器件的购买与检测；
- (4) 正确选择元器件并焊接电路；
- (5) 完成指针式万用表的电路功能检测和故障排除；
- (6) 编写项目报告。

MF47 型指针式万用表电路图如图 1-1 所示。

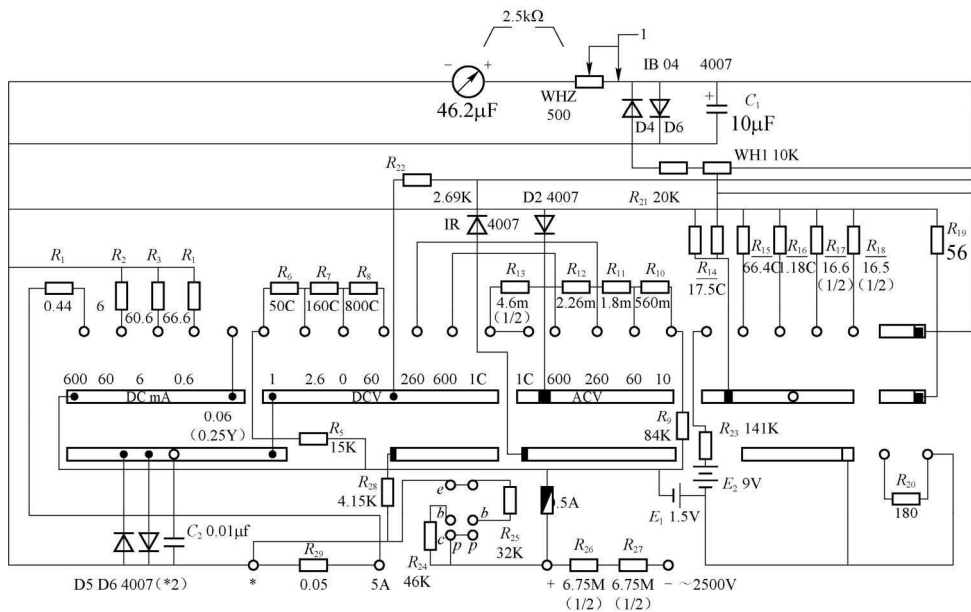


图 1-1 MF47 型指针式万用表电路图

## 项目实施

### 任务一 电路的基本概念



#### 任务目标

1. 了解电路的基本概念及电路组成。
2. 会设电路中电压、电流的参考方向，会计算电功率。
3. 了解电路元件的特性，会根据电路要求选择合适的电路元件。
4. 了解电压源、电流源的特点，会对实际电压源和实际电流源进行等效变换。

#### 一、电路和电路的基本物理量

我们的生活离不开电，每一个用电设备都是由电路构成的。电路的种类多种多样，在日常生活以及生产、科研中都有着广泛的应用。如各种家用电器、传输电能的高压输电线路、自动控制线路、卫星接收设备、邮电通信设备等，这些电器及设备都是实际的电路。



## （一）电路

电路是由若干电气设备或元器件按一定方式用导线连接而成的电流通路。通常由电源、负载及中间环节等三部分组成。

图 1-2 所示为手电筒的电路，由干电池、开关、灯泡及导线组成。电池是电路的电源，电源是提供电能的装置，它将其他形式的能量转换为电能，常见的电源有发电机、干电池、蓄电池等；灯泡是负载，负载是消耗电能的装置，通常也称为用电器，它将电能转换成其他形式的能量，如热能、光能、机械能等，常见的用电器如电炉、电视机、电动机等。开关、导线是电路的中间环节，是电路传输、分配、控制电能的部分。

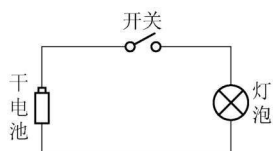


图 1-2 手电筒的电路

实际电路的形式多种多样，但就其功能而言，可以分为电力电路和电子电路两大类。电力电路主要是实现电能的传输和转换，例如，电厂的发电机生产电能，通过变压器、输电线等送到用户，并通过负载把电能转换成其他形式的能量，如灯光照明、电动机动力用电等，这就组成了一个十分复杂的供电系统。对这类电路的主要要求是传送的电功率要足够大、效率要高。电子电路主要是实现信号的传递和处理，例如，各种测量仪器、计算机、自动控制设备以及日常生活中的收音机、电视机等，这类电路中的电压较低、电流较小，对它们的主要要求是电信号不失真、抗干扰能力强。

电路在工作时有三种工作状态，分别是通路、断路、短路。

### 1. 通路（有载工作状态）

如图 1-3 所示，当开关 S 闭合时，电源与负载接成闭合回路，电路便处于通路状态。在实际电路中，负载都是并联的，用  $R_L$  代表等效负载电阻。该电路中的用电器是由用户控制的，而且是经常变动的。当并联的用电器增多时，等效电阻  $R_L$  就会减小，而电源电动势  $E$  通常为一恒定值，且内阻  $R_0$  很小，电源端电压  $U$  变化很小，则电源输出的电流和功率将随之增大，这时称为电路的负载增大。当并联的用电器减少时，等效负载电阻  $R_L$  增大，电源输出的电流和功率将随之减小，这种情况称为负载减小。

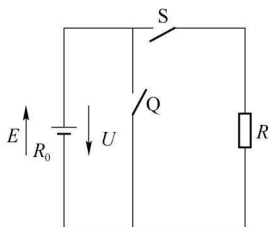


图 1-3 电路状态示意图

可见，所谓负载增大或负载减小，是指增大或减小负载电流，而不是增大或减小电阻值。电路中的负载是变动的，所以，电源端电压的大、小也随之改变。根据负载大小，电路在通路时又分为三种工作状态：当电气设备的电流等于额定电流时，称为满载工作状态；当电气设备的电流小于额定电流时，称为轻载工作状态；当电气设备的电流大于额定电流时，称为过载工作状态。

### 2. 断路

所谓断路，就是电源与负载没有构成闭合回路。在图 1-3 所示电路中，当 S、Q 断开时，电路即处于断路状态。断路状态的特征：

- (1)  $R=\infty, I=0$ ;
- (2) 电源内阻消耗功率  $P_E=0$ ;
- (3) 负载消耗功率:  $P_L=0$ ;
- (4) 路端电压:  $U_0=E$ 。

此种情况, 也称为电源的空载。

### 3. 短路

所谓短路, 就是电源未经负载而直接由导线接通成闭合回路, 如图 1-3 所示, 开关 Q 闭合。短路状态的特征:

- (1)  $R=0, U=0$ ;
- (2)  $I_S = \frac{E}{R_0}$  (短路电流);
- (3)  $P_L=0$ ;
- (4) 电源内阻消耗功率  $P_E=I_S^2 R_0$ 。

因为电源内阻  $R_0$  一般都很小, 所以短路电流  $I_S$  总是很大。如果电源短路事故未迅速排除, 很大的短路电流将会烧毁电源、导线及电气设备, 所以, 电源短路是一种严重事故。为了防止发生短路事故, 以免损坏电源, 常在电路中串接熔断器。熔断器中装有熔丝。熔丝是由低熔点的铅锡合金丝或铅锡合金片做成的。一旦短路, 串联在电路中的熔丝将因发热而熔断, 从而保护电源免于烧坏。

#### 【小问答】

- (1) 电路由\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_三部分组成。
- (2) 电路的三种状态是\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
- (3) 为了防止发生短路事故, 常在电路中串接\_\_\_\_\_。
- (4) 断路状态的特征是\_\_\_\_\_。
- (5) 短路状态的特征是\_\_\_\_\_。

#### (二) 理想元件与电路模型

实际使用的电路都是由一些电工设备(如各种电源、电动机)和电阻器、电容器、线圈, 以及晶体管等电子元器件组成, 人们使用这些电工设备和电子元件的目的是利用它们的某种电磁性质。例如, 使用电阻器是利用它对电流呈现阻力的性质, 与此同时电阻器将电能转换成热能损耗掉了, 这种性质称为电阻性。除此之外, 电流通过电阻器还会产生磁场, 具有电感性; 产生电场, 具有电容性。当电流流过其他电工设备和电子元件时, 所发生的电磁现象与此大体相同, 都是十分复杂的。如果把所有这些电磁特性全都考虑进去, 会使电路的分析与计算变得非常烦琐, 甚至难以进行。但是实际电工设备和电子元件所表现出的多种电磁特性在强弱程度上是十分不同的。如电阻器、白炽灯、电炉等, 它们的电磁性能主要是电阻性, 其电感性和电容性则十分微弱, 在一定频率范围内可以忽略。而电容器的主要电磁性能是建立电场, 储存电能, 突出表现为电容性。线圈的主要电磁特性是建立磁场, 储存磁场能, 突出表现为电感性。为此可以在一定条件下, 忽略实际电工设备和电子元件的一些次要性质,

只保留它的一个主要性质，并用一个足以反映该主要性质的模型来表示，这种模型就称为理想元件。每种理想元件只具有一种电磁性质，如理想化电阻元件只具有电阻性，理想化电感元件只具有电感性，理想化电容元件只具有电容性。几种常用的理想化电路元件的图形符号如图 1-4 所示。

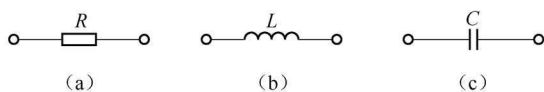


图 1-4 几种常用的理想化电路元件的图形符号

理想化电路元件通常简称为电路元件。一些电工设备或电子元器件只需用一种电路元件模型来表示，而某些电工设备或电子元器件则需用几种电路元件模型的组合来表示。如干电池这样的直流电源既有一定的电动势，又有一定的内阻，可以用电压源与电阻元件的串联组合来表示。

用电阻、电感、电容等理想化电路元件近似模拟实际电路中的每个电工设备或电子元件，再根据这些器件的连接方式，用理想导线连接起来，这种由理想化电路元件构成的电路就是实际电路的电路模型。如图 1-5 所示就是手电筒电路的电路模型。这里电压源  $U_S$  和电阻元件  $R_0$  的串联组合表示电池，电阻  $R_L$  表示灯泡，导线电阻忽略不计。本书中未作特殊说明，所研究的电路均为电路模型。

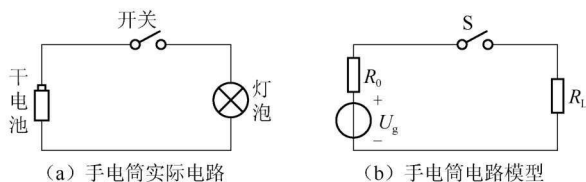


图 1-5 手电筒电路的电路模型

### (三) 电路的基本物理量

电流和电压是表示电路状态及对电路进行定量分析的基本物理量。本节主要介绍电流和电压的基本概念、参考方向以及电位、电功率的概念。

#### 1. 电流

带电粒子有规则的定向运动形成电流。

电流的大小用电流强度（简称电流）来表示。电流强度在数值上等于单位时间内通过导体某一横截面的电荷量，用符号  $i$  表示。则

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

式中， $dq$  为时间  $dt$  内通过导体某一横截面的电荷量。

大小和方向都不随时间变化的电流称为恒定电流，简称直流电流，采用大写字母  $I$  表示，则

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

式中， $Q$  为时间  $t$  内通过导体某一横截面的电荷量。

在国际单位制中，电流的单位是安培（简称安），用符号  $A$  来表示。当电流很小时，常用单位为毫安（ $mA$ ）或微安（ $\mu A$ ）；当电流很大时，常用单位为千安（ $kA$ ）。它们之间的换算关系： $1A=10^3mA$ ， $1A=10^6\mu A$ ， $1kA=10^3A$ 。

电流不但有大小，而且有方向，正电荷的运动方向规定为电流的实际方向。在简单电路中，电流的实际方向很容易确定。如图 1-6 所示的电路中，电流的实际方向由电源的正极流出，经过电阻流向电源负极。但是在复杂电路中一段电路中电流的实际方向很难预先确定；另外交流电路中电流的方向还在不断地随时间而改变，很难标出其实际方向。为了分析与计算电路的需要，引入了电流参考方向的概念。参考方向又称假定正方向，简称正方向，参考方向一旦设定，在电路分析计算过程中就不能再改动。

在一段电路中，任意选择一个方向作为电流的方向，这个方向就是电流的参考方向，又称为电流的正方向。电流参考方向一般用实线箭头表示，既可以画在线上，又可以画在线外。当所选定的参考方向与实际方向相同时，电流为正值；当所选定的参考方向与实际方向相反时，电流为负值，如图 1-7 所示。这样，电流的数值有正有负，它是一个代数量，其正负可以反映电流的实际方向与参考方向的关系。

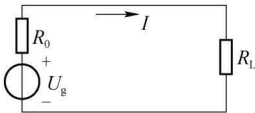


图 1-6 电流方向

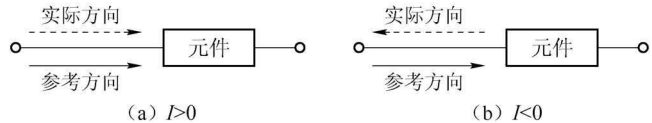


图 1-7 电流的参考方向与实际方向

## 2. 电压

电压是衡量电场力推动正电荷运动，对电荷做功能力的物理量。电路中  $a$ 、 $b$  两点之间的电压在数值上等于电场力把单位正电荷从  $a$  点移到  $b$  点所做的功。若电场力移动的电荷量是  $dq$ ，所做的功是  $dW$ ，则  $a$ 、 $b$  两点之间的电压为

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-3)$$

大小和方向都不随时间变化的电压称为恒定电压，简称直流电压，采用大写字母  $U$  表示，则  $a$ 、 $b$  两点之间的直流电压为

$$U_{ab} = \frac{W}{Q} \quad (1-4)$$

在国际单位制中，电压的单位是伏特（ $V$ ），常用的单位是千伏（ $kV$ ）、毫伏（ $mV$ ）、微伏（ $\mu V$ ）。它们之间的换算关系： $1kV=10^3V$ ， $1V=10^3mV$ ， $1V=10^6\mu V$ 。

电压的方向有三种表示方法，如图 1-8 所示。图 1-8 (a) 用箭头的指向表示，箭头由高电位端指向低电位端；图 1-8 (b) 则用“+”、“-”标号分别表示高电位端和低电位端；图 1-8 (c) 用双下标来表示，如  $U_{ab}$  表示  $a$ 、 $b$  两点间电压的方向是从  $a$  指向  $b$  的。以上三种表示方法其意义是相同的，只需任选一种标出即可。

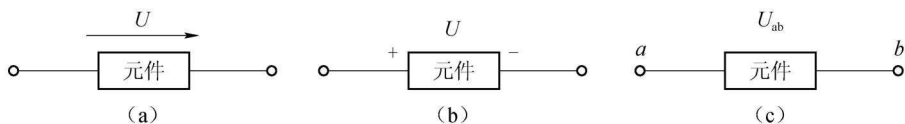


图 1-8 电压方向的三种表示方式

电压的实际方向从高电位点指向低电位点。但在分析、计算电路时，往往难以预先知道一段电路两端电压的实际方向，因此电压也要选取参考方向。当电压的参考方向与实际方向相同时，电压为正值；当电压的参考方向与实际方向相反时，电压为负值。这样，电压的值有正有负，它也是一个代数量，其正负表示电压的实际方向与参考方向的关系。

在电路分析中，对一个元件，既要对其电流选取参考方向，又要对其元件两端的电压选取参考方向，二者相互独立，可以任意选取。但为了分析方便，常常选同一元件的电流参考方向和电压参考方向一致，即电流由电压的“+”极性端流向“-”极性端，像这种电流参考方向和电压参考方向相一致，称为关联参考方向，如图 1-9 (a) 所示；如果电流参考方向和电压参考方向不一致，称为非关联参考方向，如图 1-9 (b) 所示。

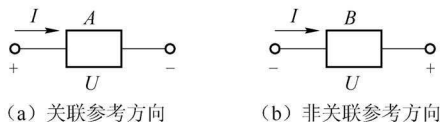


图 1-9 关联参考方向和非关联参考方向

### 3. 电位

在电气设备的调试和检修中，常要测量各点的电位，在分析电子电路时，通常要用电位的概念来讨论问题。

在电路中任选一点  $O$  作为参考点，则该电路中  $A$  点到参考点  $O$  的电压就称为  $A$  点的电位，也就是电场力把单位正电荷从  $A$  点移到参考点  $O$  点所做的功。

电位的符号用字母  $V$  加单下标的方法来表示，如  $V_A$ 、 $V_B$  分别表示  $A$  点和  $B$  点的电位。显然，电路中任意两点之间的电位差就是该两点之间的电压，即  $U_{AB}=V_A-V_B$ 。

电位单位与电压相同，也是伏特。

电位是有相对性的。因此，计算电路中各点电位时，必须先选定电路中某一点作为电位参考点，它的电位称为参考电位，并设参考电位为零。其他各点的电位，比参考点电位高的为正，比参考点电位低的为负。参考点在电路中通常用接地符号“ $\perp$ ”表示。在工程上，有些机器的机壳接地，就把机壳作为电位参考点。

**【例 1-1】** 在图 1-10 中，若分别以  $a$  点、 $b$  点为参考点，求  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  各点电位和任意两点之间的电压。

解：(1) 以  $a$  点为参考点时，有  $V_a = 0\text{V}$ ，

则

$$V_b = U_{ba} = -10 \times 6 = -60(\text{V})$$

$$V_c = U_{ca} = 4 \times 20 = 80(\text{V})$$

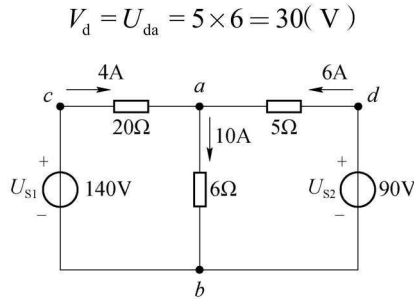


图 1-10 例 1-1 的图

(2) 以  $b$  点为参考点时, 有  $V_b = 0\text{V}$  则

$$V_a = U_{ab} = 10 \times 6 = 60(\text{V})$$

$$V_c = U_{cb} = U_{S1} = 140(\text{V})$$

$$V_d = U_{db} = U_{S2} = 90(\text{V})$$

(3) 两点间的电压则为

$$U_{ab} = 10 \times 6 = 60(\text{V}), \quad U_{ca} = 4 \times 20 = 80(\text{V}),$$

$$U_{da} = 5 \times 6 = 30(\text{V}), \quad U_{cb} = U_{S1} = 140(\text{V}),$$

$$U_{db} = U_{S2} = 90(\text{V})$$

由以上讨论结果可见: 电路中各点电位值的大小是相对的, 随参考点的改变而改变; 而两点间的电压值与参考点的选取无关, 是绝对的。

#### 4. 电功率

在电路分析中常用到另一个物理量——电功率。当电场力推动正电荷在电路中运动时, 电场力做功, 电路吸收能量。单位时间内电场力所做的功称为电功率, 简称功率, 用符号  $P$  表示。

设在  $dt$  时间内, 电场力将正电荷  $dq$  由  $a$  点移到  $b$  点, 且由  $a$  点到  $b$  点的电压降为  $u$ , 则在移动过程中电场力所做的功为

$$dW = udq = uidt \quad (1-5)$$

因此, 单位时间内电场力所做的功, 即电功率为

$$p = \frac{dW}{dt} = ui \quad (1-6)$$

式 (1-6) 表示在电压和电流关联参考方向下, 电路吸收的功率。若计算出  $p > 0$ , 则表示电路实际为吸收功率; 若计算出  $p < 0$ , 则表示电路实际为发出功率。

通常, 在电压和电流非关联参考方向下, 电路吸收的功率为

$$p = -ui \quad (1-7)$$

这样规定后, 若  $p > 0$ , 仍表示电路吸收功率;  $p < 0$ , 表示电路发出功率。

在国际单位制中, 功率的单位是瓦特, 简称瓦 (W), 工程上常用的功率单位还有兆瓦 (MW)、千瓦 (kW) 和毫瓦 (mW) 等, 它们的换算关系:  $1\text{MW} = 10^6\text{W}$ ,  $1\text{kW} = 10^3\text{W}$ ,  $1\text{W} = 10^3\text{mW}$ 。

当已知设备的功率为  $p$  时, 在时间  $t$  内消耗的电能为

$$W = pt \quad (1-8)$$

电能等于电场力所做的功，当功率  $p$  的单位是瓦时，能量的单位是焦耳 (J)，它等于功率是 1W 的用电设备在 1s 内消耗的电能。工程上或生活中还常用千瓦时 (kW·h) 作为电能的单位，1kW·h 又称为 1 度电。

$$1\text{kW}\cdot\text{h} = 10^3\text{W} \times 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6\text{J} \quad (1-9)$$

【例 1-2】如图 1-11 所示电路中，已知元件  $A$  的  $U=-5\text{V}$ ， $I=2\text{A}$ ；元件  $B$  的  $U=3\text{V}$ ， $I=-5\text{A}$ ，求元件  $A$ 、 $B$  吸收的功率各为多少？

解：对于元件  $A$ ，电压、电流为关联参考方向，故吸收的功率为

$$p_A = UI = -5 \times 2 = -10(\text{W})$$

元件  $A$  吸收的功率为  $-10\text{W}$ ， $p_A < 0$ ，表明元件  $A$  实际为发出功率。

对于元件  $B$ ，电压、电流为非关联参考方向，故吸收的功率为

$$p_B = -UI = -3 \times (-5) = 15(\text{W})$$

$p_B > 0$ ，表明元件  $B$  实际为吸收功率。

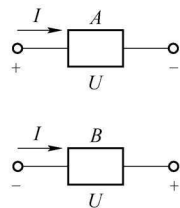


图 1-11 例 1-2 的图

### 【小问答】

- (1) 理想元件是指\_\_\_\_\_。
- (2) 参考方向是指\_\_\_\_\_。
- (3) 关联参考方向是指\_\_\_\_\_。
- (4) 非关联参考方向是指\_\_\_\_\_。
- (5) 电位与电压之间的关系是\_\_\_\_\_。

## 二、电路元件

电路元件是组成电路模型的最小单元，电路元件本身就是一个最简单的电路模型。在电路中电路元件的特性是由其电压、电流关系来表征的，通常称为伏安特性。

### (一) 电阻元件

电阻元件是最常见的电路元件之一，它是从实际电阻器抽象出来的理想化电路元件。实际电阻器由电阻材料制成，如线绕电阻、碳膜电阻、金属膜电阻等。电阻元件简称电阻，它是一种对电流呈现阻碍作用的耗能元件。

电阻元件按其伏安特性曲线是否为通过原点的直线，可分为线性电阻元件和非线性电阻元件，按其特性曲线是否随时间变化，又分为时变电阻元件和非时变电阻元件。

通常所说的电阻元件，习惯上指的是线性非时变电阻元件，又简称电阻，用符号  $R$  表示。其图形符号如图 1-12 所示。

由欧姆定律可知：电阻元件两端的电压与流过它的电流成正比，在电压与电流关联参考方向下可写成

$$u = Ri \quad (1-10)$$

如果取电流为横坐标，电压为纵坐标，可绘出  $u-i$  平面上的一条曲线，称为电阻的伏安特性曲线，如图 1-13 所示。其伏安特性曲线的斜率即电阻的阻值。电阻的单位是欧姆 ( $\Omega$ )，常用的单位还有千欧 ( $\text{k}\Omega$ ) 和兆欧 ( $\text{M}\Omega$ )，它们之间的换算关系： $1\text{k}\Omega = 10^3\Omega$ ， $1\text{M}\Omega = 10^6\Omega$ 。

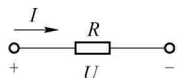


图 1-12 电阻的符号

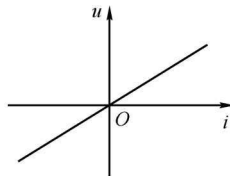


图 1-13 线性非时变电阻的伏安特性曲线

式 (1-10) 是在电压、电流取关联参考方向时的欧姆定律形式，如果电压和电流为非关联参考方向，应改为

$$u = -Ri \quad (1-11)$$

电阻的倒数称电导，用符号  $G$  来表示，即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-12)$$

当电压  $u$  的单位为伏特 (V)，电流  $i$  的单位为安培 (A) 时，电阻的单位是欧姆 ( $\Omega$ )，电导的单位是西门子，简称西 (S)。用电导来表示电压和电流之间的关系时，欧姆定律写为

$$i = Gu \quad (u、i \text{ 为关联参考方向})$$

$$i = -Gu \quad (u、i \text{ 为非关联参考方向})$$

电阻是耗能元件，在电压与电流关联参考方向下，任何时刻元件吸收的功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} = Gu^2 \quad (1-13)$$

**【例 1-3】** 额定功率是 40W，额定电压为 220V 的灯泡，其额定电流和电阻值是多少？

解：由

$$p = ui = \frac{u^2}{R}$$

得

$$i = \frac{p}{u} = \frac{40\text{W}}{220\text{V}} \approx 0.18\text{A}$$

$$R = \frac{u^2}{p} = \frac{220^2}{40} = 1210(\Omega)$$

## (二) 电容元件

电容元件简称电容，是实际电容器的理想化模型。电容器由两个导体中间隔以介质组成；这两个导体就是电容器的两个极板，极间由绝缘介质隔开。在电容器两个极板间加上一定电压后，两个极板上会分别聚集起等量异性电荷，并在介质中形成电场。去掉电容两个极板上的电压，电荷长久储存，电场仍然存在。因此电容器是一种能储存电场能量的元件。在电路中多用来滤波、隔直、交流耦合、交流旁路及与电感元件组成振荡电路等。

对于电容元件来说，其极板间的电压  $u$  越大，极板上储存的电荷  $q$  也越多，把  $q$  与  $u$  的比值称为电容元件的电容量（简称电容），用符号  $C$  表示，即



$$C = \frac{q}{u} \quad (1-14)$$

电容既表示电容元件，又表示电容元件的参数，电容元件的电路符号如图 1-14 所示。

电容的国际单位为法拉，简称法 (F)，实际的电容很小，常用的电容单位有微法 ( $\mu\text{F}$ )、皮法 (pF)，它们之间的换算关系： $1\text{F}=10^6\mu\text{F}$ ， $1\text{F}=10^{12}\text{pF}$ 。

在选用电容器时，除了选择合适的电容量外，还需注意实际工作电压与电容器的额定电压是否相等。如果实际工作电压过高，介质就会被击穿，电容器就会损坏。

如果电容元件的电压、电流取关联参考方向，如图 1-15 所示，则根据电流的定义及式 (1-14)，可得出电容元件的电压、电流关系为

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-15)$$

由式 (1-15) 可以看出，任意时刻通过电容的电流与电容两端电压的变化率成正比，而与该时刻的电压值无关，电容是一个动态元件。电压升高， $du/dt > 0$ ，则  $dq/dt > 0$ ， $i > 0$ ，极板上电荷量增加，电容器充电；电压降低， $du/dt < 0$ ，则  $dq/dt < 0$ ， $i < 0$ ，极板上电荷量减少，电容器放电。直流电压的变化率  $du/dt = 0$ ，则  $i = 0$ ，电容相当于开路，电容有隔断直流的作用。

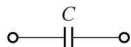


图 1-14 电容元件的电路符号

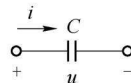


图 1-15 电容元件的电流和电压

由式 (1-15) 还可以表明电容的另外一个重要性质：在任何时刻，如果通过电容的电流为有限值，则  $du/dt$  就必须为有限值，这就意味着电容两端的电压不可能发生突变，而只能是连续变化的。

电容是储能元件，它吸收的能量可用下面公式来计算

$$W_c(t) = \frac{1}{2} C u^2(t) \quad (1-16)$$

由式 (1-16) 可知，电容在任一时刻  $t$  储存的能量仅与此时刻的电压有关，而与电流无关，并且  $W_c \geq 0$ 。电容充电时将吸收的能量全部转变为电场能，放电时又将储存的电场能放回电路，它不消耗能量，因此电容是储能元件。

### (三) 电感元件

电感元件是理想化的电路元件，实际电感线圈就是用漆包线或纱包线或裸导线一圈一圈地绕在绝缘管上或铁心上而又彼此绝缘的一种元件。在电路中多用来对交流信号进行隔离、滤波或组成谐振电路等。

当电感元件中通过电流  $i$  时，在每匝线圈中会产生磁通  $\phi$ ；若线圈有  $N$  匝，则与  $N$  匝线圈交链的磁通总量为  $N\phi$ ，简称为磁链  $\Psi$ 。即  $\Psi = N\phi$ 。线圈中间和周围没有铁磁物质时，线圈的磁链  $\Psi$  与产生磁场的电流  $i$  成正比，比例常数称为此线圈的自感系数，简称自感或电感，用符号  $L$  表示：