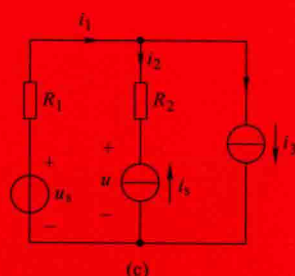
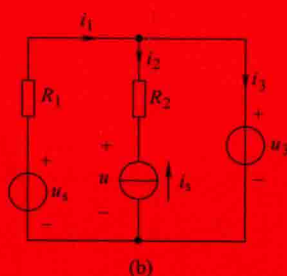
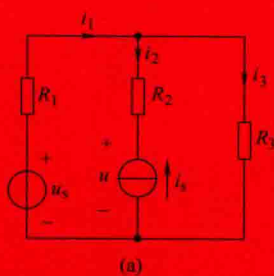


卓越系列 · 21世纪高职高专精品规划教材

# 电路分析基础

主 编 李鸿征



框 架 设 计

创新课程体系，优化课程内容，编写形式新颖！

专业针对性

强化核心技能，适应工程需求，执行最新标准！

内 容 实 例

提供案例分析，重视实操训练，紧贴企业实际！



天津大学出版社  
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

卓越系列·21 世纪高职高专精品规划教材

# 电路分析基础

主编 李鸿征



天津大学出版社  
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

## 内 容 提 要

本书是根据高职高专的教学要求而编写的电路基础课程的通用教材,全书共分9章,主要内容有电路的组成和基本定律、电路的基本分析方法、电路分析中的常用定理、动态电路、单相正弦交流电路、正弦稳态电路的分析、三相交流电路分析、互感电路和非正弦周期电路。本书编写中充分考虑到高职高专的教学特点,坚持“必需、够用”的理论体系,又具有较强的实用性。全书章节安排合理,对例题的讲解分析力求思路清晰、步骤完整,突出基本概念,便于理解和掌握。

本书适合高职高专电气、电子、自动化、信息、计算机等机电类专业作为“电路分析基础”课程的教材使用,也可以作为普通高等学校机电类专业教材以及相关工程技术人员的技术参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础/李鸿征主编. —天津:天津大学

出版社,2013.5

(卓越系列)

21世纪高职高专精品规划教材

ISBN 978-7-5618-4693-3

I. ①电… II. ①李… III. ①电路分析-高等职业教育-教材 IV. ①TM133

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第111425号

出版发行 天津大学出版社

出 版 人 杨欢

地 址 天津市卫津路92号天津大学内(邮编:300072)

电 话 发行部:022-27403647

网 址 publish.tju.edu.cn

印 刷 天津大学出版社有限责任公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 185mm×260mm

印 张 14.25

字 数 356千

版 次 2013年10月第1版

印 次 2013年10月第1次

定 价 33.50元

---

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

## 前 言

根据高职高专的教学特点和教高(2006)16号文件精神,对高职高专的教学应该坚持“必需、够用”的理论体系,同时要具有较强的实用性,通过教学强化学生能力的培养,以适应就业需求。“电路分析基础”是电类各相关专业的专业基础课程,本书根据学生特点,合理进行教材改革,对教材内容进行有效的组织和取舍,以更好地适应教与学的需要。

目前高职高专“电路分析基础”课程的教材很多,各有特色。但是经过使用和调查,发现有些教材对理论的讲述过多,而有些教材缺乏必要的理论支持,学生不好理解和掌握。因此,为了有利于培养高素质技能型人才,在本教材的编写上,进行了综合考虑,理论讲述够用而不烦琐,例题具有一定的实际意义,讲解清晰易懂,内容编排合理。

本教材具有以下特点:

1. 教材编写紧密结合高等职业教育的特点,坚持“必需、够用”的理论体系,做到一定程度的知其然,知其所以然;
2. 突出应用性、针对性,具有较强的实践能力培养作用;
3. 教材内容编排力求顺序合理,逻辑性强,将知识点和能力培养有机结合,注重学生工程应用能力和解决实际问题能力的培养;
4. 内容叙述力求简明扼要、深入浅出、通俗易懂,可读性强,易于学习和掌握,同时方便教师教学;
5. 章节顺序有利于弱电和强电实验分开,方便实验指导教师对实验设备和仪器的管理;
6. 例题、习题紧密配合,有利于快速理解和巩固所学知识。

本教材参考教学学时为64~72学时,实验教学学时为15~18学时,根据各专业教学要求可以适当调整教学学时。

本书由焦作大学李鸿征编写,在编写过程中得到了兄弟院校和相关领导与同行的大力支持与帮助,天津大学出版社的工作人员为本书的出版付出了艰辛的劳动和努力,在此对为本书成功出版作出贡献的所有工作人员以及所有参考文献的作者表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正,以便不断改进和提高。

编 者  
2013年3月

# 目 录

## 第1章 电路的组成和基本定律

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 1.1 电路和电路模型 .....        | 1  |
| 1.1.1 电路 .....           | 1  |
| 1.1.2 电路模型 .....         | 2  |
| 1.2 电路的基本物理量 .....       | 3  |
| 1.2.1 电流 .....           | 3  |
| 1.2.2 电压、电位和电动势 .....    | 5  |
| 1.2.3 电功率和电能 .....       | 7  |
| 1.3 电路基本定律 .....         | 9  |
| 1.3.1 欧姆定律 .....         | 9  |
| 1.3.2 电流和电压的参考方向 .....   | 9  |
| 1.3.3 电阻 .....           | 11 |
| 1.3.4 基尔霍夫定律 .....       | 13 |
| 1.4 电路的工作状态和设备的额定值 ..... | 16 |
| 1.4.1 电路的工作状态 .....      | 16 |
| 1.4.2 电气设备的额定值 .....     | 17 |
| 本章小结 .....               | 19 |
| 习题 .....                 | 20 |

## 第2章 电路的基本分析方法

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 2.1 电阻电路的等效变换 .....                 | 23 |
| 2.1.1 电路等效的概念 .....                 | 23 |
| 2.1.2 电阻串联的等效变换 .....               | 24 |
| 2.1.3 电阻并联的等效变换 .....               | 25 |
| 2.1.4 电阻的串并联组合电路 .....              | 26 |
| 2.1.5 Y/ $\Delta$ 连接的电阻网络等效变换 ..... | 27 |
| 2.2 电压源与电流源的等效变换 .....              | 29 |
| 2.2.1 电压源 .....                     | 29 |
| 2.2.2 电流源 .....                     | 31 |
| 2.2.3 电压源与电流源的等效变换 .....            | 33 |
| 2.2.4 受控源 .....                     | 35 |
| 2.3 支路电流法 .....                     | 37 |
| 2.3.1 概述 .....                      | 37 |

|              |    |
|--------------|----|
| 2.3.2 方程的独立性 | 39 |
| 2.4 网孔电流法    | 40 |
| 2.5 回路电流法    | 42 |
| 2.6 节点电位法    | 44 |
| 本章小结         | 48 |
| 习题           | 49 |

### 第3章 电路分析中的常用定理

|                   |    |
|-------------------|----|
| 3.1 叠加定理          | 52 |
| 3.2 齐性定理          | 56 |
| 3.3 戴维南定理         | 57 |
| 3.4 诺顿定理          | 61 |
| 3.5 置换定理          | 63 |
| 3.6 最大功率传输定理      | 66 |
| 3.6.1 负载获得最大功率的条件 | 67 |
| 3.6.2 电压调整率       | 68 |
| 3.6.3 传输效率        | 68 |
| 本章小结              | 70 |
| 习题                | 71 |

### 第4章 动态电路

|                     |    |
|---------------------|----|
| 4.1 电路的动态过程         | 75 |
| 4.1.1 电路的换路与过渡过程    | 75 |
| 4.1.2 换路定律          | 76 |
| 4.1.3 电路初始值的计算      | 76 |
| 4.2 一阶电路            | 78 |
| 4.2.1 一阶线性电路        | 78 |
| 4.2.2 RC 电路的零输入响应   | 80 |
| 4.2.3 RC 电路的零状态响应   | 81 |
| 4.2.4 RL 电路的零输入响应   | 82 |
| 4.2.5 RL 电路的零状态响应   | 82 |
| 4.2.6 一阶电路时间常数的计算   | 83 |
| 4.3 一阶电路的三要素分析方法    | 84 |
| 4.4 一阶电路的单位阶跃响应     | 87 |
| 4.4.1 单位阶跃函数        | 87 |
| 4.4.2 幅度为 $A$ 的阶跃函数 | 87 |
| 4.4.3 阶跃响应和单位阶跃响应   | 88 |
| 4.5 微分电路和积分电路       | 89 |
| 4.5.1 微分电路          | 89 |

|                     |    |
|---------------------|----|
| 4.5.2 积分电路          | 89 |
| 4.6 $RLC$ 串联电路的动态响应 | 90 |
| 本章小结                | 95 |
| 习题                  | 96 |

## 第5章 单相正弦交流电路

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 5.1 正弦交流电的基本概念      | 100 |
| 5.1.1 正弦交流电的产生      | 100 |
| 5.1.2 正弦交流电的三要素     | 101 |
| 5.1.3 正弦交流电的有效值     | 105 |
| 5.2 正弦交流电的相量表示法     | 106 |
| 5.2.1 复数的概念与运算      | 106 |
| 5.2.2 正弦量的相量表示法     | 107 |
| 5.2.3 电路基本定律的相量表示形式 | 109 |
| 5.3 正弦交流电路中的基本电路元件  | 110 |
| 5.3.1 正弦交流电阻电路      | 110 |
| 5.3.2 正弦交流电容电路      | 112 |
| 5.3.3 正弦交流电感电路      | 115 |
| 本章小结                | 118 |
| 习题                  | 119 |

## 第6章 正弦稳态电路的分析

|                  |     |
|------------------|-----|
| 6.1 阻抗和导纳        | 122 |
| 6.1.1 阻抗         | 122 |
| 6.1.2 导纳         | 123 |
| 6.2 阻抗串联电路       | 124 |
| 6.2.1 $RLC$ 串联电路 | 124 |
| 6.2.2 阻抗串联的交流电路  | 127 |
| 6.3 阻抗并联电路       | 129 |
| 6.3.1 $RLC$ 并联电路 | 129 |
| 6.3.2 阻抗并联的交流电路  | 131 |
| 6.4 复杂阻抗电路的分析方法  | 132 |
| 6.5 正弦交流电路的功率    | 134 |
| 6.5.1 瞬时功率       | 134 |
| 6.5.2 有功功率和无功功率  | 134 |
| 6.5.3 视在功率       | 135 |
| 6.5.4 功率因数的提高    | 137 |
| 6.6 交流电路中的谐振     | 139 |
| 6.6.1 串联谐振       | 139 |

|                  |     |
|------------------|-----|
| 6.6.2 并联谐振 ..... | 142 |
| 本章小结 .....       | 144 |
| 习题 .....         | 146 |

## 第7章 三相交流电路分析

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 7.1 三相电源 .....                    | 148 |
| 7.1.1 三相对称电动势的产生 .....            | 148 |
| 7.1.2 三相电源的连接方式 .....             | 149 |
| 7.2 三相负载的星形(Y形)连接 .....           | 151 |
| 7.3 三相负载的三角形( $\Delta$ 形)连接 ..... | 155 |
| 7.4 三相电路的功率 .....                 | 158 |
| 7.4.1 三相电路的有功功率 .....             | 158 |
| 7.4.2 三相电路的无功功率 .....             | 158 |
| 7.4.3 三相电路的视在功率 .....             | 159 |
| 本章小结 .....                        | 160 |
| 习题 .....                          | 161 |

## 第8章 互感电路

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 8.1 互感元件 .....            | 163 |
| 8.1.1 互感的概念与特点 .....      | 163 |
| 8.1.2 互感线圈的同名端 .....      | 166 |
| 8.2 互感电路分析 .....          | 171 |
| 8.2.1 互感的串联 .....         | 171 |
| 8.2.2 互感的并联 .....         | 173 |
| 8.2.3 互感并联的T形去耦等效电路 ..... | 174 |
| 8.3 变压器 .....             | 180 |
| 8.3.1 理想变压器模型 .....       | 180 |
| 8.3.2 实际变压器 .....         | 185 |
| 8.3.3 特殊变压器及应用 .....      | 191 |
| 本章小结 .....                | 193 |
| 习题 .....                  | 193 |

## 第9章 非正弦周期电路

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 9.1 非正弦周期信号的基本概念 .....        | 196 |
| 9.2 非正弦周期信号的分解 .....          | 197 |
| 9.2.1 非正弦周期信号的傅里叶分解 .....     | 197 |
| 9.2.2 几种典型非正弦周期信号 .....       | 199 |
| 9.3 非正弦周期量的有效值、平均值和平均功率 ..... | 200 |
| 9.3.1 非正弦周期量的有效值 .....        | 200 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 9.3.2 非正弦周期量的平均值 .....   | 201 |
| 9.3.3 非正弦周期量的平均功率 .....  | 202 |
| 9.4 非正弦周期电路的分析计算方法 ..... | 204 |
| 本章小结 .....               | 207 |
| 习题 .....                 | 208 |
| 部分习题参考答案 .....           | 210 |
| 参考文献 .....               | 215 |

# 第1章 电路的组成和基本定律

## 【知识要点和学习目标】

电路分析基础阐述的是电路基本概念、基本定理与电路基本分析方法,是从事电类和相关专业学习和工作必须掌握的知识。电路分析基础主要包含电路分析和电路设计两方面的内容。电路分析主要是介绍在电路为已知的情况下如何求出其在给定输入(激励)作用下的输出(响应);电路设计则是研究如何根据要求构成一个能够达到预期响应的电路。电路的基本分析方法是对电路进行分析、计算和设计的基础。

**知识要点:**本章主要介绍电路的基本组成、电路模型、电路中的基本物理量、欧姆定律、基尔霍夫电流定律(KCL)及电压定律(KVL)。

**学习目标:**通过学习,熟悉电路模型、理想电路元件、电压和电流参考方向等概念,掌握欧姆定律、基尔霍夫电流定律(KCL)和电压定律(KVL)及其应用。

## 1.1 电路和电路模型

### 1.1.1 电路

手电筒的亮灭控制是人们最熟悉的实际电路,如图1-1所示。组成这个实际电路的器件有电池、灯泡、开关,另外还需要有连接上面电路元件用的一些导线。下面分析各个组成部分在电路中的作用。

#### 1. 电池

电池是产生电能的元件(设备),它是将非电能转换成电能的装置,这里干电池(或蓄电池)将化学能转换成电能。除此之外,发电机可以将热能、水能、风能、原子能等转换成电能,而光电池是把光能转换成电能。电池、发电机、光电池等是电路中能量的源泉,在其内部进行着由非电能到电能的转换。因此,把将非电能转换成电能的装置(或设备)称为电源。

#### 2. 灯泡

灯泡是消耗电能的电路元件,它将电能转变成光能和热能,称为负载。负载是将电能转换成非电能的装置,如电炉将电能转换成热能,电动机将电能转换成机械能等。负载是电路中的受电器,是取用电能的装置,在它的内部进行着由电能到非电能的转换。

#### 3. 开关

开关是控制元件(或设备),用它来控制电路的接通与断开。

#### 4. 导线

导线起着连接电路元件和传输电能的作用。

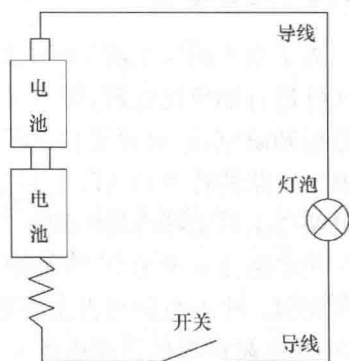


图1-1 手电筒实际电路

从上面的分析可以看出:电路就是由各种电路元件和设备按一定方式连接起来,能够完成某种功能的整体。电路连接起来之后,电流可以在它里面流动。所以电路实际上也就是电流流通的路径。

在实际电路中,应该包含电源、负载和中间环节(除电源和负载以外的其他组成部分)。中间环节是把电源与负载连接起来的部分,起传递和控制电能的作用。

在实际应用中,通常把电路按其功能分为两大类。把用于电力及一般用电系统中的电路称为电力电路,它主要起电能的传输、转换和分配的作用。电力系统电路就是一个典型的例子:发电机组将其他形式的能量(热能或水的位能或原子能等)转变成电能,经变压器、输电线路传输到各用电部门。对于这一类电路,一般要求在传输和转换过程中尽可能地减少能量损耗以提高效率。而把在电子技术、电子计算机和非电量电测中广泛应用的电路称为信号电路,因其主要目的是用来传递和处理信号(如语言、音乐、文字、图像、温度、压力等)的。在这类电路中,虽然也有能量的传输和转换问题,但是因为其数量很小,一般所关心的是信号传递的质量,如要求不失真、准确、灵敏、快速等。因此,在这类电路中,起电源作用的常称为信号源,又称为激励;而把信息的传递与处理电路的输出信号称为响应。

### 1.1.2 电路模型

为了对不同复杂的实际电路问题进行研究,就需要将实际中不同几何尺寸的电路和电路元件进行抽象化处理,使得对问题的分析具有一般性和代表性。因此,对工程实际问题进行分析和研究时,通常是在实际电路给定的情况下,首先对该电路进行模型化处理,并力求使模型电路的特性和实际电路基本相同或十分逼近;然后借助于这种理想化的电路模型,运用电路理论对实际电路的问题进行分析和研究。

在电路分析理论中,常常把工程实际中的各种用电设备和电路元件用理想化的电路元件来表示。比如电阻元件主要是具有消耗电能特性,因此就可以将具有消耗电能特性的电灯泡、电阻炉等器件用电阻元件来代替。

为了研究电路的特性和功能,必须进行科学的抽象,用一些模型来代替实际电器元件和设备的外部功能,这种模型即称为电路模型。构成电路模型的元件称为理想电路元件,也称电路元件。因此,把用理想电路元件构成的电路称为电路模型,用特定的符号表示实际电路元件而连接成的图形就称为电路图。

理想电路元件是一种科学的抽象,是具有某种确定的电磁性能的理想元器件,可以用来表征实际电路中的各种电磁性质。因此,理想电路元件是从实际电路器件中科学抽象出来的假想元件,电路理论中研究的都是由理想元件构成的与工程应用中的实际电路相对应的电路模型。理想电阻元件只消耗电能(既不储存电场能量,也不储存磁场能量),理想电容元件只储存电场能量(既不消耗电能,也不储存磁场能量),理想电感元件只储存磁场能量(既不消耗电能,也不储存电场能量)。理想电路元件是一种理想的模型并具有精确的数学定义,在实际的电路中,“理想电路元件”是不存在的。

当实际电路的尺寸远小于其使用时的最高工作频率所对应的波长时,可以不考虑电磁量的空间分布,相应的电路元件称为集总参数元件。由集总参数元件组成的电路,称为实际电路的集总参数电路模型,简称为集总参数电路。描述电路的方程一般是代数方程或常微分方程。

一般的理想元件具有两个端钮,称为二端电路元件。图1-2是几种常用理想电路元件模型的一般符号。

图1-3是图1-1的电路图(电路模型)和等效电路图。图1-3(b)中 $E$ 是一个理想电压源(电源电动势),给电路提供电能; $R_0$ (电源内阻)和 $R$ (灯泡电阻)是理想电阻元件,只消耗电能;连接元件的细实线是理想导线,起传输电能的作用。

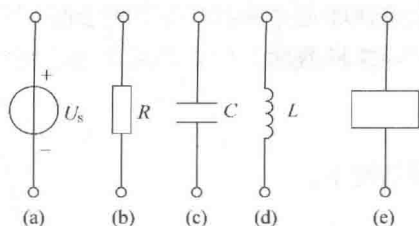


图1-2 常用理想电路元件模型的一般符号

(a)电压源;(b)电阻;(c)电容;  
(d)电感;(e)不明性质元件

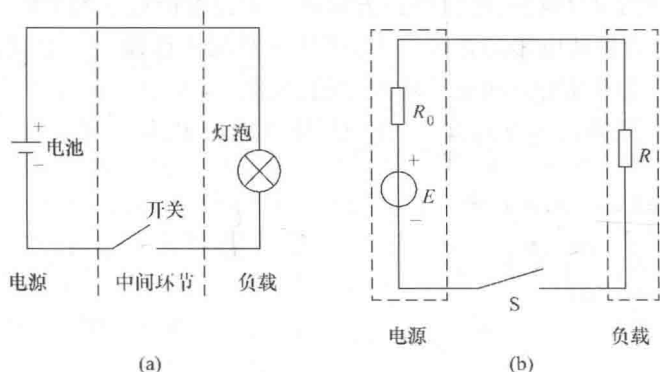


图1-3 手电筒的电路图和等效电路图

(a)电路图;(b)等效电路图

用图1-3形式的电路模型来描述的电路称为集总参数电路。这种电路模型中的各元件被认为没有几何尺寸的大小,就像在运动学中研究物体运动时,在一定条件下将某物体看作质点一样。因此,集总参数元件就是在元件中所发生的电磁过程都集中在元件内部进行,其次要因素可以忽略的理想化电路元件。对于集总参数元件,任何时刻从元件一端流入的电流,恒等于从元件另一端流出的电流,并且元件两端的电压值是完全确定的。

利用电路模型分析和研究实际电路是一种科学的思维方法,是科学工作者和工程技术人员应具备的基本能力和素质。

## 1.2 电路的基本物理量

在电路中,分析和研究的物理量有很多,但主要是电压、电流和电功率,而电压、电流是电路中的基本物理量。下面主要介绍电压、电流和电功率。

### 1.2.1 电流

我们知道,在金属导体中存在着大量的带负电荷的自由电子,在正常状态下,这些自由电子在金属内部作无规则的热运动。如果在导体两端施加电场(电压)(图1-4),则在电场力的作用下,其内部的自由电子将逆电场力方向运动而形成电流(电子流),这种电流称为传导电流。因此,电流就是由电荷或带电质点作有规则的定向运动而形成的。

电流的强弱用电流强度来表征,通常用 $i(t)$ 表示,简写为 $i$ 。电流强度通常简称为电流。

电流强度定义为:单位时间内通过导体横截面的电荷量。在图 1-4 中,假设在  $\Delta t$  时间内通过导体横截面  $S$  的电荷量为  $\Delta q$ ,则电流强度

$$i(t) = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1-1)$$

在极限情况下,

$$i(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq(t)}{dt} \quad (1-2)$$

在式(1-1)和式(1-2)中, $i(t)$ 表示电流强度的大小随时间变化; $q(t)$ 表示 $q$ 的大小随时间变化; $dq(t)$ 表示 $dt$ 时间内通过导体横截面的电荷量。

电流正方向的规定:习惯上,电流的正方向规定为正电荷运动的方向。在一些简单电路中,电流的真实方向就是从电源的正极流出,再从电源的负极流入。但是,在一些比较复杂的电路中,要知道电流的真实方向是比较困难的,如图 1-5 中流过  $R_4$  的电流。从逻辑关系上分析,流过  $R_4$  的电流的真实方向有三种情况:从  $A$  流向  $B$ ,从  $B$  流向  $A$ ,电流为零。

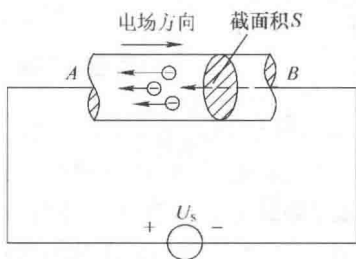


图 1-4 导体两端施加电场

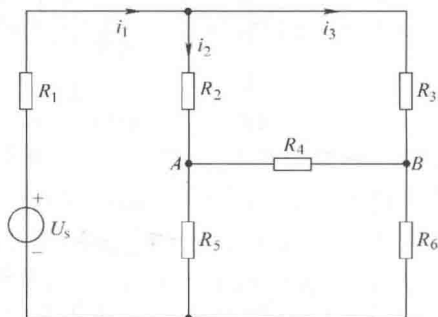


图 1-5 电流的方向

从以上的分析可以看到,电流可以用代数量描述。用箭头标定一个正方向,即假定的正电荷运动方向,称为电流的参考方向。如果电流的实际方向与参考方向相同,则电流为正值;反之,若实际方向与参考方向相反,则电流为负值。

在国际单位制(SI)中,电流的单位用安培表示,简称安(A),也可以用毫安(mA)或微安( $\mu A$ )作单位。且有

$$1 \text{ 千安(kA)} = 10^3 \text{ 安培(A)}$$

$$1 \text{ 安培(A)} = 10^3 \text{ 毫安(mA)}$$

$$1 \text{ 毫安(mA)} = 10^3 \text{ 微安}(\mu A)$$

根据电流的定义式(1-1)和式(1-2),电流安培(A)与电荷量库仑(C)和时间秒(s)的关系为

$$1 \text{ 安培(A)} = \frac{1 \text{ 库仑(C)}}{1 \text{ 秒(s)}}$$

就是说,如果在 1 s 内通过导体横截面的电荷量为 1 C,则电流强度即为 1 A。

电流可能随时间按不同的规律变化,也可以是无规律变化,如图 1-6 所示。图 1-6(a)是按正弦规律变化的电流,称为正弦电流;图 1-6(b)是无规律变化的电流;图 1-6(c)是恒定不变的电流,称为直流电流。

通常,将大小和方向随时间变化的电流称为交流电流,简称交流(AC 或 ac),用小写字

母  $i(t)$  或  $i$  表示;将大小和方向都不随时间改变的电流称为恒定直流电流,简称直流(DC 或 dc),用大写字母  $I$  表示;而把方向不随时间改变,而大小随时间变化的电流称为脉动直流,如图 1-6(d)所示。

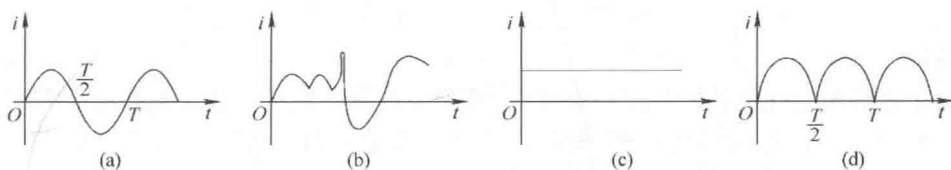


图 1-6 电流的分类

(a) 正弦电流; (b) 无规律变化电流; (c) 恒定直流电流; (d) 脉动电流

## 1.2.2 电压、电位和电动势

### 1. 电压

要使在电源以外的外部电路中的电荷运动形成电流,那么电荷上就必须有电场力的作用。如图 1-7 所示,假设电源的极板 A 带正电荷,极板 B 带负电荷,则在两极板间形成电场,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 经过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,一般把电场力做功的这种本领用电压来衡量。

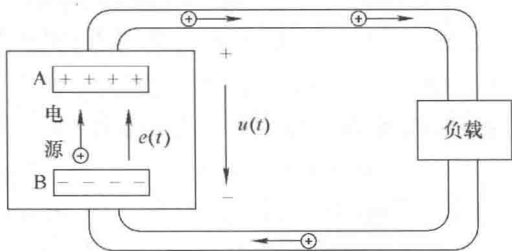


图 1-7 电压

A、B 两极板间的电压用  $u(t)$  或  $u_{AB}$  表示,在数值上定义等于电场力将单位正电荷由 A 经外电路移动到 B 所做的功。如果电场力移动电荷为  $dq(t)$ ,所做的功为  $dw(t)$ ,那么 A、B 间的电压

$$u(t) = \frac{dw(t)}{dq(t)} \quad (1-3)$$

在国际单位制(SI)中,电压的单位为伏特,简称伏(V),根据式(1-3)得其与功焦耳(J)和电荷量库仑(C)的关系为

$$1 \text{ 伏特(V)} = \frac{1 \text{ 焦耳(J)}}{1 \text{ 库仑(C)}}$$

就是说,如果电场力将 1 C 的正电荷从 A 移动到 B 做了 1 J 的功,则 A、B 间的电压为 1 V。在理论计算和工程实际中,较大的电压用千伏(kV)作单位,如高压供电系统;较小的电压用毫伏(mV)或微伏( $\mu\text{V}$ )作单位。且有

$$1 \text{ 千伏(kV)} = 10^3 \text{ 伏(V)}$$

$$1 \text{ 伏(V)} = 10^3 \text{ 毫伏(mV)}$$

$$1 \text{ 毫伏(mV)} = 10^3 \text{ 微伏(}\mu\text{V)}$$

对外电路而言,电压的真实方向规定为正电荷的运动方向。如图 1-7 所示,正电荷经负载由 A 向 B 运动,若用箭头表示 A、B 间的电压方向,则箭头由 A 指向 B;若用“+、-”表

示,则 A 为“+”,B 为“-”,A、B 间的电压用  $u_{AB}$  表示。

如果两点间的电压大小随时间发生变化,则为交流电压,用小写字母  $u(t)$  表示。如果两点间的电压大小不随时间变化,则为直流电压,用大写字母  $U$  表示,这种不变的电压也称恒定电压。

## 2. 电位

在电子电路和电气设备的调试和检修中,经常要测量各点的电位。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)所做的功。在电路分析中,用小写字母  $v(t)$  或  $v$  表示变化的电位,用大写字母  $V$  表示恒定的电位。

电位与电压有着内在的联系,如图 1-8(a)所示。若以 B 点为参考点(即  $v_B = 0$ ),如图 1-8(b)所示,设 A 点电位为  $v_A$ ,由于 A、B 间的电压为  $u_{AB} = u(t)$ ,根据电压和电位的定义,则有

$$u(t) = v_A - v_B = v_A - 0 = v_A$$

若以 A 点为参考点(即  $v_A = 0$ ),如图 1-8(c)所示,设 B 点电位为  $v_B$ ,同理有

$$u(t) = v_A - v_B = 0 - v_B = -v_B$$

在图 1-8(a)中,以 C 点为参考点,则各点电位及各点间电压分别为

$$v_A = 2 \text{ V} \quad v_B = 1 \text{ V} \quad v_C = 0 \text{ V} \quad u_{AB} = 2 - 1 = 1 \text{ V} \quad u_{AC} = 2 \text{ V}$$

在图 1-8(b)中,以 B 点为参考点,则各点电位及各点间电压分别为

$$v_A = 1 \text{ V} \quad v_B = 0 \text{ V} \quad v_C = -1 \text{ V} \quad u_{AB} = 1 - 0 = 1 \text{ V} \quad u_{AC} = 2 \text{ V}$$

在图 1-8(c)中,以 A 点为参考点,则各点电位及各点间电压分别为

$$v_A = 0 \text{ V} \quad v_B = -1 \text{ V} \quad v_C = -2 \text{ V} \quad u_{AB} = 0 - (-1) = 1 \text{ V} \quad u_{AC} = 2 \text{ V}$$

从上述结果可以看到,电位的数值与参考点选择有关。

电位的正负说明:如果某点电位为正,说明该点电位比参考点高;如果某点电位为负,则说明该点电位比参考点低。

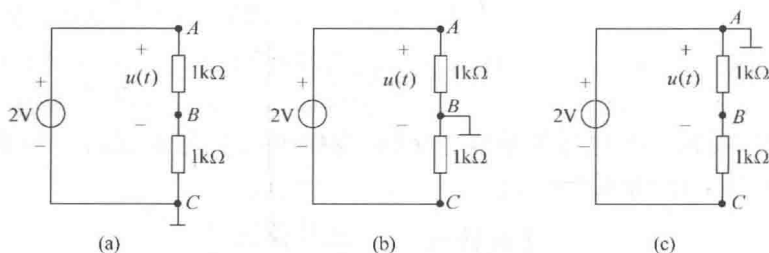


图 1-8 电位与电压的内在联系

在电路中,以图形符号“⊥”表示参考点,如图 1-8 所示。

在电路分析的分析计算中,常用  $u_{AB}$  表示 A、B 两点之间的电压,用  $u_{BC}$  表示 B、C 两点之间的电压,即

$$u_{AB} = v_A - v_B \quad (1-4)$$

$$u_{BC} = v_B - v_C \quad (1-5)$$

对于任意一个确定的电路,无论参考点如何变化,在任意两点间的电压数值却是一定的,即电压的大小不随电位参考点的选择而变化。如上面的计算  $u_{AB} = 1 \text{ V}$ ,  $u_{AC} = 2 \text{ V}$ 。

由式(1-4)和式(1-5)可知,两点间的电压等于两点的电位之差(无论参考点如何选择),即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。

在电子电路中,为了使电路图清晰简洁,画图简单,经常采用把图1-8简化成图1-9的简洁画法。

### 3. 电动势

电动势是对电源而言的。在图1-7所示的电路中,正电荷在电场力的作用下不断从A极板移动到B极板,如果没有外力的作用,A极板因正电荷的减少将会使电位逐渐降低,而B极板则因正电荷的

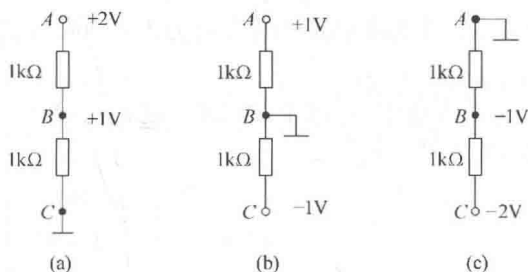


图1-9 电路图简洁画法

增多会使电位逐渐升高,所以A、B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。为了衡量外力对正电荷做功的能力,引入电动势这个物理量。

电动势定义为:外力将单位正电荷从电源负极(B极板)移动到正极(A极板)所做的功。对于变化的电动势用小写字母 $e(t)$ 或 $e$ 表示,恒定的电动势用大写字母 $E$ 表示,即

$$e(t) = \frac{dw(t)}{dq(t)} \quad (1-6)$$

式(1-6)与式(1-3)在表示形式上相同,但应该注意的是: $e(t)$ 是对电源内部而言的,而 $u(t)$ 则是对电源外部的电路而言的。

电动势的真实方向规定为在电源内部正电荷运动的方向。若用箭头表示电动势的方向,则是由电源负极指向正极,如图1-7所示。电动势的单位与电压相同。

## 1.2.3 电功率和电能

### 1. 电功率

如果在时间 $dt$ 内,有 $dq(t)$ 的正电荷在电场力作用下,经外电路从A点移动到B点所做的功为 $dw(t)$ ,则把在单位时间内电场力所做的功定义为电功率,记为 $p(t)$ 。因此,电功率是描述电场力做功速率的一个物理量,即

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} \quad (1-7)$$

根据电流和电压的定义,则有

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} = \frac{dw(t)}{dq(t)} \frac{dq(t)}{dt} = u(t)i(t) \quad (1-8)$$

对于直流电路,将电功率记为 $P$ ,则

$$P = UI \quad (1-9)$$

在国际单位制(SI)中,功率的单位是瓦特,简称为瓦(W),即

$$1 \text{ 瓦特(W)} = 1 \text{ 伏特(V)} \times 1 \text{ 安培(A)}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1 \text{ 焦耳(J)}}{1 \text{ 库仑(C)}} \times \frac{1 \text{ 库仑(C)}}{1 \text{ 秒(s)}} \\
 &= \frac{1 \text{ 焦耳(J)}}{1 \text{ 秒(s)}}
 \end{aligned}$$

也就是说,当电路中流过的电流为 1 A,同时电路两端的电压为 1 V 时,该电路的电功率为 1 W。

对于大功率,采用千瓦(kW)或兆瓦(MW)作单位;对小功率,采用毫瓦(mW)或微瓦( $\mu$ W)作单位。且有

$$1 \text{ MW} = 10^3 \text{ kW}$$

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$$

$$1 \text{ W} = 10^3 \text{ mW}$$

$$1 \text{ mW} = 10^3 \mu\text{W}$$

## 2. 电能

在时间  $dt$  内,电场力移动正电荷所做的功  $dW$  称为电场能,简称电能,它与电功率的关系为

$$dW = p(t) dt$$

$$W = \int p(t) dt \quad (1-10)$$

如果电功率不随时间变化,即为常值,有  $p = P$ ,则  $W = Pt$ 。

在国际单位制(SI)中,电能的单位为焦耳,简称焦(J),即

$$1 \text{ 焦耳(J)} = 1 \text{ 瓦特(W)} \times 1 \text{ 秒(s)}$$

日常生活和电能计量中常用“度”来衡量所使用电能的多少,定义功率为 1 kW 的设备用电 1 h,其所消耗的电能为 1 度,即

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ kW} \times 1 \text{ h}$$

$$= 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

在国际单位制(SI)中,电磁学采用四个基本单位:长度单位米(m)、质量单位千克(kg)、时间单位秒(s)和电流单位安培(A)。

除了国际单位制(SI)中的单位之外,可以根据实际情况,在需要使用较大单位和较小单位时,在国际单位制中的单位前加词头,例如大的长度单位用千米(km)表示,小的长度单位用毫米(mm)表示等。常用的词头见表 1-1,以后讨论电路物理量的单位时,均按国际单位制(SI)执行。

表 1-1 SI 常用词头

| 词头       | 代号 |    | 因数     | 词头       | 代号 |       | 因数         |
|----------|----|----|--------|----------|----|-------|------------|
|          | 中文 | 英文 |        |          | 中文 | 英文    |            |
| 吉(giga)  | 吉  | G  | $10^9$ | 厘(centi) | 厘  | c     | $10^{-2}$  |
| 兆(mega)  | 兆  | M  | $10^6$ | 毫(milli) | 毫  | m     | $10^{-3}$  |
| 千(kilo)  | 千  | k  | $10^3$ | 微(micro) | 微  | $\mu$ | $10^{-6}$  |
| 百(hecto) | 百  | h  | $10^2$ | 纳(nano)  | 纳  | n     | $10^{-9}$  |
| 十(deca)  | 十  | da | 10     | 皮(pico)  | 皮  | p     | $10^{-12}$ |