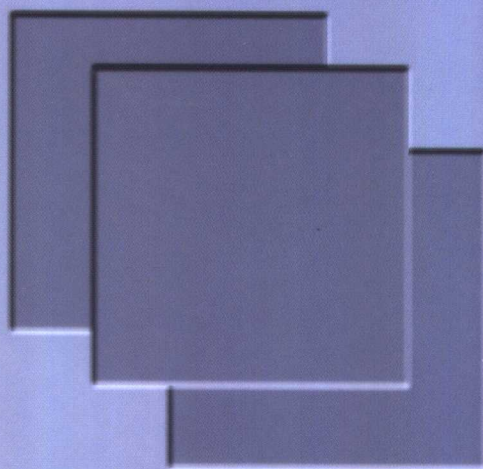




全国高职高专电气类精品规划教材

# 电路基础

主编 刘德辉 刘喜荣



中国水利水电出版社

[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

全国高职高专电气类精品规划教材

---

# 电路基础

主 编 刘德辉 刘喜荣  
副主编 程隆贵 吴舒萍 钱 进  
李雪红 张 斌 陈 亮



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本书是在高职高专教育电气类专业教学改革试点的基础上,根据教育部最新制定的《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》编写的。

全书共 10 章,主要内容包括:电路的基本概念与定律、电路元件与电路的等效变换、电路的一般分析方法与常用定理、正弦稳态电路分析、谐振与非正弦周期电流电路、三相交流电路、耦合电感与二端口网络、动态电路的时域分析、应用 PSPICE 辅助电路分析和磁路与铁芯线圈。各章配有较丰富的例题、思考与练习和习题等便于教师组织教学和读者自学。为提高学生应用计算机分析电路的能力,本书增加了应用 PSPICE 辅助电路分析的内容。

本书可供高等职业学校、高等专科学校、成人高等学校以及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高等学校电气类专业作为教材使用,也可供其他专业和有关科技人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电路基础/刘德辉,刘喜荣主编. —北京:中国水利水电出版社,2004

全国高职高专电气类精品规划教材

ISBN 7-5084-2314-3

I. 电... II. ①刘... ②刘... III. 电路理论—高等学校:技术学校—教材 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 076479 号

|       |                                                                                                                                                                                                                          |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名   | 全国高职高专电气类精品规划教材<br><b>电路基础</b>                                                                                                                                                                                           |
| 作 者   | 主编 刘德辉 刘喜荣                                                                                                                                                                                                               |
| 出版 发行 | 中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044)<br>网址: <a href="http://www.waterpub.com.cn">www.waterpub.com.cn</a><br>E-mail: <a href="mailto:sales@waterpub.com.cn">sales@waterpub.com.cn</a><br>电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心) |
| 经 售   | 全国各地新华书店和相关出版物销售网点                                                                                                                                                                                                       |
| 排 版   | 中国水利水电出版社微机排版中心                                                                                                                                                                                                          |
| 印 刷   | 北京市兴怀印刷厂                                                                                                                                                                                                                 |
| 规 格   | 787mm×960mm 16 开本 22 印张 430 千字                                                                                                                                                                                           |
| 版 次   | 2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷                                                                                                                                                                                        |
| 印 数   | 0001—5100 册                                                                                                                                                                                                              |
| 定 价   | <b>29.00 元</b>                                                                                                                                                                                                           |

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 序

教育部在《2003-2007 年教育振兴行动计划》中提出要实施“职业教育与创新工程”，大力发展职业教育，大量培养高素质的技能型特别是高技能人才，并强调要以就业为导向，转变办学模式，大力推动职业教育。因此，高职高专教育的人才培养模式应体现以培养技术应用能力为主线 and 全面推进素质教育的要求。教材是体现教学内容和教学方法的知识载体，进行教学活动的基本工具；是深化教育教学改革，保障和提高教学质量的重要支柱和基础。因此，教材建设是高职高专教育的一项基础性工程，必须适应高职高专教育改革与发展的需要。

为贯彻这一思想，2003 年 12 月，在福建厦门，中国水利水电出版社组织全国 14 家高职高专学校共同研讨高职高专教学的目前状况、特色及发展趋势，并决定编写一批符合当前高职高专教学特色的教材，于是就有了《全国高职高专电气类精品规划教材》。

《全国高职高专电气类精品规划教材》是为适应高职高专教育改革与发展的需要，以培养技术应用为主线的技能型特别是高技能人才的系列教材。为了确保教材的编写质量，参与编写人员都是经过院校推荐、编委会答辩并聘任的，有着丰富的教学和实践经验，其中主编都有编写教材的经历。教材较好地反映了当前电气技术的先进水平和最新岗位要求，体现了培养学生的技术应用能力和推进素质教育的要求，具有创新特色。同时，结合教育部两年制高职教育的试点推行，编委会也对各门教材提出了

满足这一发展需要的内容编写要求,可以说,这套教材既能适应三年制高职高专教育的要求,也适应两年制高职高专教育的要求。

《全国高职高专电气类精品规划教材》的出版,是对高职高专教材建设的一次有益探讨,因为时间仓促,教材可能存在一些不妥之处,敬请读者批评指正。

**《全国高职高专电气类精品规划教材》编委会**

2004年8月

# 前

# 言

在高职高专教育专业教学改革中,教学内容和课程体系改革始终是重点和难点之一。本教材是根据2003年12月中国水利水电出版社在厦门召开的全国高职高专电气类精品规划教材编审会确定的教材编写原则与分工,按照教育部组织制定的《电工技术基础课程教学基本要求》,在有关院校电气类专业多年教学改革的基础上,结合我国高等职业教育的现状和发展趋势编写。

由于《电路基础》课程不仅是高职高专电气类专业的一门重要专业基础课,而且是这些专业毕业生今后从事专业技术工作的基础,因此,本教材的编写注意了以下几个方面:

(1) 本教材由电路的基本概念和一般分析方法、正弦稳态电路分析、动态电路的时域分析、计算机辅助电路分析和磁路及其基本定律五大模块组成。各模块教学目标明确,具有较强的针对性和可组合性。

(2) 本教材强调专业基础理论教学以应用为目的,以必须、够用为度,根据技术领域和职业岗位群的需要确定教学内容。力求做到基本概念清楚,理论能应用于实际,强调实践动手能力的培养,并注重新技术、新标准的应用,但不强调本学科理论体系的完整性。

(3) 本教材的编写在保证“削支强干,突出重点”的前提下,力求同时满足各电气类专业的不同需要,各校可根据生源情况和专业教学的要求进行选择。

(4) 本教材除配有较典型的例题和习题外,还增加了较多的思考与练习,便于教师采用启发式或讨论式教学方法。同时,为提高学生应用计算机分析电路的能力和采用多媒体教学手段,增加了“应用 PSPICE 辅助电路分析”等内容。

(5) 教材内容叙述简明扼要。为了避免目前教材中普遍存在的“内容偏深、篇幅偏大”的情况,本教材的编写强调掌握概念、强化应用,培养技能为教学重点,对定律、定理一般只做必要说明,尽量减少数理论证。

本教材的编写大纲由南昌工程学院刘德辉教授提供。第1、2章由福建水利电力职业技术学院吴舒萍编写;第3章由南昌工程学院刘德辉编写;第4章由河北工程技术高等专科学校刘喜荣编写;第5章由四川电力职业技术学院张斌编写;第6章由广西水利电力职业技术学院李雪红编写;第7章由长江工程职业技术学院钱进编写;第8、10章由武汉电力职业技术学院程隆贵编写;第9章由南昌工程学院陈亮编写。本教材由南昌工程学院刘德辉教授、河北工程技术高等专科学校刘喜荣副教授任主编。

本教材承蒙南昌大学信息工程学院胡永芬教授仔细审阅,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。由于本教材受编者学识水平和教学经验的限制,难免有错误和不妥之处,殷切地希望同行和读者批评指正。

**编 者**

2004年8月

# 目 录

序

前言

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| <b>第 1 章 电路的基本概念与定律</b>     | <b>1</b>  |
| 1.1 电路与电路模型                 | 1         |
| 1.2 电路的基本物理量                | 3         |
| 1.3 基尔霍夫定律                  | 10        |
| 小结                          | 15        |
| 习题                          | 16        |
| <b>第 2 章 电路元件与电路的等效变换</b>   | <b>19</b> |
| 2.1 电阻元件及其串并联的等效变换          | 19        |
| 2.2 电阻的星形联接和三角形联接及其等效变换     | 29        |
| 2.3 电感元件与电容元件               | 32        |
| 2.4 独立电源及实际电源的等效变换          | 40        |
| 2.5 受控源及含受控源的简单电路分析         | 47        |
| 小结                          | 49        |
| 习题                          | 50        |
| <b>第 3 章 电路的一般分析方法与常用定理</b> | <b>55</b> |
| 3.1 支路电流法                   | 55        |
| 3.2 网孔电流法                   | 58        |
| 3.3 节点电压法                   | 63        |
| 3.4 叠加定理及其应用                | 69        |
| 3.5 等效电源定理及其应用              | 73        |
| 3.6 最大功率传输定理及其应用            | 80        |
| 3.7 简单非线性电阻电路的分析            | 83        |
| 小结                          | 86        |
| 习题                          | 88        |



|                         |     |
|-------------------------|-----|
| <b>第4章 正弦稳态电路分析</b>     | 96  |
| 4.1 正弦交流电的基本概念          | 96  |
| 4.2 正弦量的相量表示法           | 102 |
| 4.3 电路元件电压电流关系的相量形式     | 110 |
| 4.4 复阻抗与复导纳及其等效变换       | 121 |
| 4.5 正弦交流电路中的功率          | 138 |
| 4.6 功率因数的提高             | 144 |
| 4.7 复杂正弦电路的稳态分析         | 149 |
| 小结                      | 154 |
| 习题                      | 159 |
| <b>第5章 谐振与非正弦周期电流电路</b> | 167 |
| 5.1 串联谐振电路              | 167 |
| 5.2 并联谐振电路              | 171 |
| 5.3 非正弦周期电流电路           | 173 |
| 小结                      | 188 |
| 习题                      | 190 |
| <b>第6章 三相交流电路</b>       | 193 |
| 6.1 三相电源及其联接方式          | 193 |
| 6.2 三相负载的联接及其电压、电流关系    | 197 |
| 6.3 对称三相电路的计算           | 201 |
| 6.4 简单不对称三相电路的分析        | 208 |
| 6.5 三相电路的功率及测量          | 214 |
| 小结                      | 219 |
| 习题                      | 221 |
| <b>第7章 耦合电感与二端口网络</b>   | 223 |
| 7.1 耦合电感                | 223 |
| 7.2 含有耦合电感电路的计算         | 228 |
| 7.3 二端口网络的方程与参数         | 235 |
| 7.4 理想变压器               | 245 |
| 小结                      | 252 |
| 习题                      | 254 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| <b>第 8 章 动态电路的时域分析</b>        | 257 |
| 8.1 电路的暂态过程与换路定则              | 257 |
| 8.2 一阶电路的零输入响应                | 262 |
| 8.3 一阶电路的零状态响应                | 267 |
| 8.4 一阶电路的全响应                  | 273 |
| 8.5 二阶电路的零输入响应                | 284 |
| 小结                            | 291 |
| 习题                            | 293 |
| <b>第 9 章 应用 PSPICE 辅助电路分析</b> | 296 |
| 9.1 PSPICE 软件的功能与构成           | 296 |
| 9.2 PSPICE 电路分析功能的使用方法        | 297 |
| 9.3 应用 PSPICE 分析电路实例          | 305 |
| 小结                            | 310 |
| 习题                            | 311 |
| <b>第 10 章 磁路与铁芯线圈</b>         | 314 |
| 10.1 磁场的基本物理量                 | 314 |
| 10.2 铁磁物质的磁化曲线                | 317 |
| 10.3 磁路的基本定律及其应用              | 322 |
| 10.4 交流铁芯线圈中的波形畸变与磁损耗         | 328 |
| 10.5 电磁铁                      | 333 |
| 小结                            | 336 |
| 习题                            | 338 |
| <b>参考文献</b>                   | 340 |

## 电路的基本概念与定律

电路理论研究的对象是电路模型。本章介绍了电路模型的概念, 电路中的主要物理量, 电流、电压的参考方向的概念, 接收、发出功率的表达式和计算方法, 以及集总参数电路的基本定律——基尔霍夫定律。

### 1.1 电路与电路模型

#### 1.1.1 电路的作用与组成

一些电路器件按照一定的方式组合起来所构成的电流的通路, 称为电路, 较复杂的电路又称为网络。

电路的组成形式很多, 就其主要功能而言, 可以分为两类: 一类电路的功能是传输、分配和使用电能, 如图 1-1 (a) 是一个简单的实际电路, 它由于电池、开关、小灯泡和联接导线等器件组成。当开关闭合后, 在这个闭合的电路中便有电流通过, 于是小灯泡就发光。干电池是一种电源, 向电路提供电能; 小灯泡是一种用电设备, 在电路中称为负载, 开关及联接导线可使电流构成通路, 为传输环节。另一类电路的功能是传输、变换、存储和处理电信号, 常见的例子如扩音机传声器 (话筒) 将声音变成电信号, 经过放大器送到扬声器再变成声音输出。传声器施加的信号称为激励, 它相当于电源; 扬声器得到的放大信号称为响应, 扬声器相当于负载。由于传声器施加的信号比较微弱, 不足以推动扬声器发音, 需要采

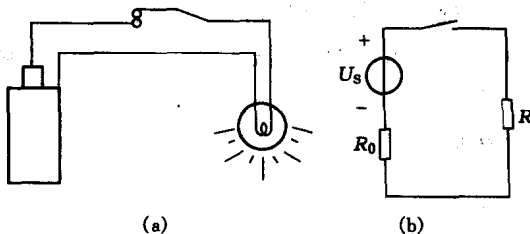


图 1-1 一个简单的实际电路及其电路模型  
(a) 实际电路图; (b) 电路模型图

用传输环节对信号起传递和放大作用。

因此,无论何种电路,其主要组成部分都是由电源、负载和传输环节(包括连接导线和控制设备)三部分组成:电源是提供电能和电信号的设备;负载是用电或输出信号的设备;传输环节用于传输电能和电信号。

### 1.1.2 理想电路元件与电路模型

构成电路的电气器件往往比较复杂,其电磁性能的表现可能是多方面交织在一起的。为了便于分析,人们根据实际器件的主要电磁性能引入一些由数学定义的假想电路元件,称为理想电路元件,简称元件。例如实际的电阻器,有对电流呈现“阻力”的电阻性质,通过电流要消耗电能;但电流又产生磁场,又将电磁能转变为磁场能储存着,然而其储存的磁能相对于消耗的电能相比十分微弱。因此,可以只考虑其消耗电能的性能而忽略其磁场的作用。

每一种电路元件体现某种基本现象,具有某种确定的电磁性能和精确的数字定义。在一定条件下,用这些元件或它们的组合模拟实际电路中的器件,作为它的模型。例如电阻元件是一种只表示消耗电能(转变为其他形式能量)的元件。同理,电感元件是反映电路元件周围存在磁场而储存磁场能量的元件,电容元件是反映电路及其附近存在着电场而且可以储存电场能力的元件。元件或元件的组合就构成了实际器件和实际电路的模型,电路理论中所研究的电路实际是电路模型的简称。

电路理论中引用的元件主要有电阻、电容、电感、理想电压源、理想电流源,这些元件都具有两个端钮,称为二端元件。这些元件又称为集总元件,由集总元件组成的电路称为集总电路。

当实际电路中电流或电压的最高工作频率所对应的电磁波波长 $\lambda$ 远大于电路最大几何尺寸 $d$ 时(即 $\lambda \gg d$ ),电路器件的端电流和端电压具有确定的单值,称这种电路为集总参数电路,简称集总电路。换句话说,电磁波沿集总电路传播所经历的时间同电磁波周期相比可以忽略不计,因而集总电路的尺寸也就无关紧要了。比如我国电力系统的频率为50Hz,对应的波长为6000km,工作在这一频率下的电路,相当大的范围内都可以当作集总电路。当 $\lambda \gg d$ 不能满足时,应当按分布参数电路处理。

在图1-1(a)中,可以用电阻元件表示小灯泡(电阻器),用电压源和电阻元件的串联组合表示干电池(电源),图1-1(b)便是图1-1(a)的电路模型图。

#### 【思考与练习】

- (1) 什么是电路?电路的作用有哪些?电路由哪些部分组成?
- (2) 如何构成图1-1(a)的电路模型?它们各代表哪种电磁现象?



(3) 电路理论研究的对象是什么?

## 1.2 电路的基本物理量

### 1.2.1 电流及其参考方向

#### 1.2.1.1 电流

在电路中,一种重要的物理现象是电荷的运动。而带电粒子的定向运动,就形成电流。衡量电流大小的量是电流强度,简称电流。所以电流既是一种物理现象,又是一个物理量。某处的电流大小等于单位时间内通过某处的电荷量。用符号  $i$  表示电流,如果在极短的时间  $dt$  内通过某处的电荷量为  $dq$ ,则此时该处的电流

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

并规定正电荷定向运动的方向(即负电荷运动的反方向)为电流的实际方向。

大小和方向不随时间变化的电流叫做恒定电流或直流电流,简称直流,用  $I$  表示,并有

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

式中  $q$ ——在时间  $t$  内通过的电荷量。

周期性变动且平均值为零的电流称为交变电流,简称交流。

本书物理量采用国际制单位制(SI)。电流的SI单位是安培,简称安,符号为A;电荷量的单位是库仑,简称库,符号为C;若每秒钟通过某处的电荷量为1C,则电流为1A。将电流SI单位冠以词头(见表1-1),即可得到电流的十进制倍数单位和分数单位,常用的有kA(千安)、mA(毫安)、 $\mu$ A(微安)等。

表 1-1

常用 SI 词头

| 因数 | $10^9$ | $10^6$ | $10^3$ | $10^2$ | $10^1$ | $10^{-1}$ | $10^{-2}$ | $10^{-3}$ | $10^{-6}$ | $10^{-9}$ | $10^{-12}$ |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 名称 | 吉      | 兆      | 千      | 百      | 十      | 分         | 厘         | 毫         | 微         | 纳         | 皮          |
| 符号 | G      | M      | k      | H      | da     | d         | c         | m         | $\mu$     | n         | p          |

【例 1-1】 图 1-2, 在 0.002s 内, 有负电荷 0.005C, 从  $a$  向  $b$  通过  $S$  面, 同时有正电荷 0.005C 从  $b$  向  $a$  通过  $S$  面, 试分析通过面  $S$  的电流的大小和方向。

解: 向相反方向运动的正、负电荷的效应相同, 这里相当于有  $0.005 + 0.005 = 0.01C$



的正电荷由  $b$  向  $a$  通过面  $S$ , 所以通过面  $S$  的电流的大小

$$I = \frac{0.01}{0.002} = 5 \text{ (A)}$$

方向如图 1-2 中虚线箭头所示。

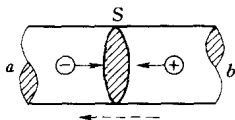


图 1-2 例 1-1 图

### 1.2.1.2 电流的参考方向

电路中一条支路的电流只可能有两个方向, 如支路的两个端钮分别为  $a$ 、 $b$ , 其电流的方向不是从  $a$  到  $b$ , 就是从  $b$  到  $a$ 。电流的方向是客观存在的, 为了分析计算的方便, 人们应用正负数的概念, 用一个代数量同时表达电流的大小和方向。则在其可能的两个方向中任意选择一个方向, 作为电流分析计算时采用的方向, 这个方向叫做电流参考方向, 用带箭头的实线表示在电路图上, 并标以电流符号, 如图 1-3 (a)。规定了参考方向以后, 电流就是一个代数量, 若电流为正值, 则电流的实际方向与参考方向一致; 若电流为负值, 则电流的实际方向与参考方向相反。或者说, 若电流的实际方向和参考方向一致时, 电流为正值; 若电流的实际方向和参考方向相反时, 电流为负值。这样就可以利用电流的参考方向和电流的正负值来判断电流的实际方向。应当注意在未规定参考方向的情况下, 电流的正负号是没有意义的。例如, 见图 1-3, 若电流大小为 1A, 电流实际方向从  $a$  到  $b$ , 如图 1-3 (b) 中虚线所示, 如果选择参考方向如图 1-3 (b) 中实线所示, 这个电流的  $i = 1\text{A}$ ; 如果选择参考方向如图 1-3 (c) 所示, 则此电流  $i = -1\text{A}$ 。

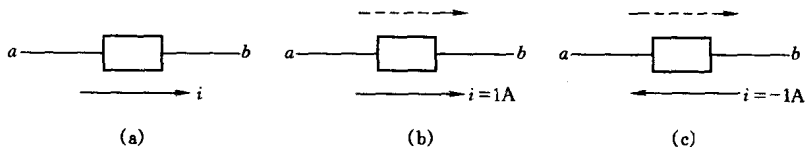


图 1-3 电流的参考方向

在电路图中, 电流的参考方向都用实线箭头表示, 需要表示实际方向时则用虚线箭头。电流的参考方向除用实线箭头在电路图上表示外, 还可以用双下标表示, 如图 1-3 (b) 所示, 可用  $i_{ab}$  表示其参考方向由  $a$  指向  $b$ , 如图 1-3 (c) 所示, 可用  $i_{ba}$  表示其参考方向由  $b$  指向  $a$ 。显然两者相差一个负号, 即

$$i_{ab} = -i_{ba} \quad (1-3)$$

### 1.2.2 电压、电位与电动势及其参考方向

电路中电流的存在伴随着能量的转换, 电压或电位差就是用来描述电路这一特性的物理量。



### 1.2.2.1 电压

从理论分析和实验都可以知道, 电荷在电场(库仑电场)中从一点移动到另一点时, 它所具有的能量的改变量只和这两点的位置有关, 而与移动路径无关。电压这个物理量就是根据此定义的。电路中  $a$ 、 $b$  两点间的电压为单位正电荷在电场力的作用下由  $a$  点移动到  $b$  点时减少的电能, 用符号  $u_{ab}$  表示, 即

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-4)$$

式中  $dq$ ——由  $a$  点移到  $b$  点的电荷量;

$dW$ ——转移过程中电荷减少的能量。

电压既表明单位正电荷在电场力作用下转移时减少的电能, 减少电能体现为电位的降低(从高电位点到低电位点), 所以电压的方向是电位降低的方向。电压的 SI 单位是伏特, 简称伏, 符号为 V, 它等于 1C 的正电荷沿电场力方向能量减少了 1 焦耳。

### 1.2.2.2 电位

分析电子电路, 常应用电位这一物理量。在电路中任选一点 0 作为参考点, 则某点  $a$  的电位就是由  $a$  点到参考点 0 的电压, 用  $\varphi_a$  表示。即

$$\varphi_a = u_{a0}$$

至于参考点本身的电位, 乃是参考点对参考点的电压, 显然为零, 所以参考点又叫零电位点。

电压与电位的关系为:  $a$ 、 $b$  两点间的电压等于这两点间的电位之差, 即

$$u_{ab} = u_{a0} + u_{0b} = u_{a0} - u_{b0} = \varphi_a - \varphi_b \quad (1-5)$$

式中  $\varphi_a$ —— $a$  点电位;

$\varphi_b$ —— $b$  点电位。

所以两点间的电压等于这两点间的电位差, 即电压又叫电位差。电位的单位也为伏特, 符号为 V。

电位的参考点可以任意选取, 参考点选择的不同, 同一点的电位相应不同, 但电压与参考点的选择是无关的。在任意一个系统中只能选择一个参考点, 至于如何选择参考点, 则需要看分析计算问题的方便而定。常常选择大地、设备外壳或接地点作为参考点, 电子电路中常选各有关部分的公共线上的一点作为参考点, 参考电位点常用接地符号表示。例如如图 1-4 中, 已知  $u_{ab}=6V$ ,  $u_{bc}=3V$ , 如图 1-4 (a), 选  $c$  点为参考点, 则  $\varphi_c=0$ ,  $\varphi_a=u_{ac}=u_{ab}+u_{bc}=9V$ ,  $\varphi_b=u_{bc}=3V$ ; 如图 1-4 (b), 选  $b$  点为参

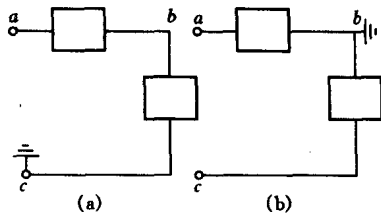


图 1-4 电位的计算



考点则  $\varphi_b = 0$ ,  $\varphi_a = u_{ab} = u_{ab} = 6V$ ,  $\varphi_c = u_{cb} = -3V$ 。

### 1.2.2.3 电动势

在电场力的作用下,正电荷总是从高电位点向低电位点移动。为了形成连续的电流,在电源中正电荷必须从低电位点移到高电位点。这就要求在电源中有一种电源力,正电荷在电源力的作用下将从低电位处移向高电位处。例如在发电机中,当导体在磁场中运动时,导体内便出现这种电源力,这种电源力是由电磁作用产生的,电池中的电源力是由电解液和极板间的化学作用产生的。由于电源力而使电源两端具有的电位差叫做电动势。电动势表明了单位正电荷在电源力的作用下转移时增加的电能,用  $e$  表示,即

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

式中  $dq$ ——转移的电荷;

$dW_s$ ——转移过程中电荷增加的电能。

增加电能体现为电位的升高(从低电位点到高电位点),所以规定电动势的方向是电位升高的方向。把高电位的一端叫正极,电位低的一端叫负极,则电动势的方向规定从负极到正极。电动势的单位为伏特,符号为  $V$ 。

按电压和电动势随时间变化的情况,可以分为直流的与交流的。如果电压和电动势的量值与方向都不随时间而变动,则称为直流电压和直流电动势,分别用符号  $U$  和  $E$  表示。周期性变动且平均值为零的电压和电动势称为交变电压和电动势,分别用符号  $u$  和  $e$  表示。

### 1.2.2.4 电压、电动势的参考方向

与电流类似,在分析计算电路的电压、电动势时,也引进参考方向,即假定的电压和电动势的方向。同样,电压、电动势的参考方向是决定电压、电动势数值为正负的依据,当电压、电动势的实际方向与参考方向相同时,数值为正,反之为负。电压、电动势的参考方向,一般有三种表示形式:

(1) 采用参考极性表示。在电路图上标出正 (+)、负 (-) 极性,如图 1-5 (a),当表示电压的参考方向时,标以电压符号  $u$ ,这时正极指向负极的方向就是参考方向;当表示电动势的参考方向时,标以电动势符号  $e$ ,负极指向正极就是电动势的参考方向。

(2) 采用箭头表示。用箭头表示在电路图上,并标以电压符号  $u$  或电动势符号  $e$ 。对于同一个处于开路状态的电源设备,它的电动势与电压方向相反而量值相等。若选择电动势和电压的参考方向相反时,如图 1-5 (b),则有  $e = u$ ;若选择电动势的参考方向和电压的参考方向一致时,如图 1-5 (c),则有  $e = -u$ 。



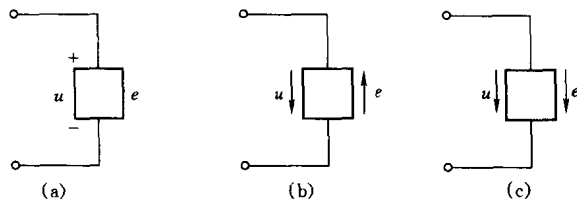


图 1-5 电压和电动势的参考方向

(3) 采用双下标表示。如  $u_{ab}$  表示电压的参考方向是由  $a$  指向  $b$ ； $e_{ba}$  表示电动势的参考方向是由  $b$  指向  $a$ 。

参考方向是电路理论中的一个基本概念，下面提出使用参考方向需要注意的几个基本问题：

(1) 电流、电压的方向是客观存在的，但往往难于事先判定。参考方向是人为选择的决定电流、电压数值为正、负的依据。参考方向一经选定，在整个分析计算过程中就必须以此为标准，而不能变动。

(2) 分析每一个电流、电压，都需要先选定它的参考方向。电流、电压的正、负值对应于所选参考方向而言的，不说明参考方向，而说某电流值为正或负，是没有意义的。

(3) 参考方向可以任意选定而不影响计算结果，对同一电流（或电压），如果参考方向选择不同，结果是大小一样而异号，即  $i_{ab} = -i_{ba}$ 。

(4) 本书一些结论是在一定的参考方向选择下得出的，应用这些结论时必须遵照原先选择的参考方向。

### 1.2.3 关联参考方向

支路的电流和端钮间的电压分别叫做支路电流和支路电压。支路电流参考方向和支路电压参考方向可以分别独立规定。一个支路电流、支路电压，可以选择一致的参考方向，叫做关联参考方向，即电流的参考方向是从电压的“+”极流入，“-”极流出。也可以选择不一致的参考方向，叫做非关联参考方向。本书中如果不加以说明，都选择关联参考方向，这样，对同一支路，只需要标出电流或电压的参考方向中的一个就可以了。

### 1.2.4 电功率和电能

#### 1.2.4.1 电功率

电功率是电路分析中常要用到的一个物理量。传送和转换电能的速率叫电功率，简称功率。用  $p$  或  $P$  表示，有

