

# 电力负荷控制

## 职业技能鉴定培训教材

丁毓山 刘力男 主编



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

# 电力负荷控制

防止振荡与定频调峰

王德明 编著



中国电力出版社

# 电力负荷控制

## 职业技能鉴定培训教材

丁毓山 刘力男 主编

---



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

## 内 容 提 要

本书根据《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力负荷控制员》编写,是电力负荷控制职业技能鉴定的培训教材。全书共分六篇:电路与电磁基础知识、电子技术基础知识、计算机基础知识、电气设备基础知识、负荷控制、负荷控制实践知识。在附录中还给出了鉴定要求、鉴定内容、双向细目表以及初级和高级电力负荷控制员鉴定试题,供参考。

本书可供电力负荷控制员阅读,也可供相关专业技术人员及管理人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电力负荷控制职业技能鉴定培训教材/丁毓山,刘力男主编.-北京:中国水利水电出版社,2003

ISBN 7-5084-1394-6

I.电… II.①丁…②刘… III.电力系统-负荷(电)-控制-职业技能鉴定-教材 IV.TM714

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第005544号

|       |                                                                                                                                  |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名   | 电力负荷控制职业技能鉴定培训教材                                                                                                                 |
| 作 者   | 丁毓山 刘力男 主编                                                                                                                       |
| 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: www.waterpub.com.cn<br>E-mail: sale@waterpub.com.cn<br>电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部) |
| 经 售   | 全国各地新华书店                                                                                                                         |
| 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   | 787×1092毫米 16开本 24.75印张 587千字                                                                                                    |
| 版 次   | 2003年4月第一版 2003年4月第一次印刷                                                                                                          |
| 印 数   | 0001—5120册                                                                                                                       |
| 定 价   | 39.00元                                                                                                                           |

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

根据《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力负荷控制员》的要求，考虑到电力负荷控制人员的工作特点，本书共分六篇：第一篇是电路与电磁基础知识，第二篇是电子技术基础知识，第三篇是计算机基础知识，第四篇是电气设备基础知识，第五篇是负荷控制系统，第六篇是负荷控制实践知识。在附录中只给出了初级和高级电力负荷控制员的理论鉴定试题，以供参考。

参与本书编的人员有盖州市农电局刘力男同志，本溪电业局姜新民同志，铁岭电业局的朱显富同志，丹东电业局的徐义斌、张福华、邢焱、唐燕同志，灯塔农电局高宏同志，辽宁电力公司刘佳同志，大庆油田管理局殷丽萍同志，沈阳农业大学丁毓山同志。

尽管在编写过程中，经过集体讨论，调查研究，但限于时间短促，书中定有不足之处，深望使用本书的广大教师和读者多提宝贵意见。

作者

2003年1月于沈阳

# 目 录

## 前言

### 第一篇 电路与电磁基础知识

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第一章 直流电路               | 1   |
| 第一节 电流、电位、电压和电动势       | 1   |
| 第二节 欧姆定律               | 10  |
| 第三节 电路的计算              | 18  |
| 复习思考题                  | 28  |
| 第二章 电磁和磁路              | 33  |
| 第一节 磁的性质和电流的磁场         | 33  |
| 第二节 感应电动势和载流导体受力       | 36  |
| 第三节 铁磁物质的性质            | 43  |
| 复习思考题                  | 47  |
| 第三章 单相正弦交流电路           | 50  |
| 第一节 正弦交流电动势的产生和表示法     | 50  |
| 第二节 单一参数的交流电路          | 61  |
| 第三节 串、并联电路的计算          | 70  |
| 复习思考题                  | 81  |
| 第四章 三相交流电路             | 91  |
| 第一节 三相电动势的产生和三相电路的连接   | 91  |
| 第二节 不对称三相电路的概念和三相电路的功率 | 96  |
| 复习思考题                  | 100 |

### 第二篇 电子电路基础知识

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 第一章 电子技术基础         | 108 |
| 第一节 常用半导体器件        | 108 |
| 第二节 基本放大电路         | 120 |
| 第三节 运算放大器          | 127 |
| 第四节 振荡器及其在电力企业中的应用 | 130 |
| 第五节 整流电路与稳压电路      | 134 |
| 复习思考题              | 140 |
| 第二章 基本逻辑运算和基本逻辑电路  | 147 |

|                  |     |
|------------------|-----|
| 第一节 逻辑运算法则 ..... | 147 |
| 第二节 触发器 .....    | 150 |
| 复习思考题 .....      | 154 |

### 第三篇 计算机基础知识

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第一章 计算机构成原理 .....           | 156 |
| 第一节 计算机的分类和其在电力系统中的应用 ..... | 156 |
| 第二节 计算机的组成 .....            | 157 |
| 复习思考题 .....                 | 163 |
| 第二章 Windows 98 操作系统 .....   | 165 |
| 第一节 操作系统的基本知识 .....         | 165 |
| 第二节 中文 Windows 98 基础 .....  | 166 |
| 第三节 利用资源管理器管理文件 .....       | 169 |
| 复习思考题 .....                 | 171 |
| 第三章 计算机局域网 .....            | 174 |
| 第一节 计算机网络的优点和分类 .....       | 174 |
| 第二节 局域网拓扑结构 .....           | 175 |
| 复习思考题 .....                 | 178 |

### 第四篇 电气设备基础知识

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 第一章 变压器 .....                         | 180 |
| 第一节 变压器的工作原理 .....                    | 180 |
| 第二节 变压器的额定技术数据 .....                  | 181 |
| 第三节 变压器的构造 .....                      | 185 |
| 第四节 变压器分接开关 .....                     | 189 |
| 第五节 温度计 .....                         | 190 |
| 复习思考题 .....                           | 191 |
| 第二章 仪用互感器 .....                       | 195 |
| 第一节 电压互感器工作原理和参数 .....                | 195 |
| 第二节 电流互感器 .....                       | 203 |
| 复习思考题 .....                           | 205 |
| 第三章 高压开关电器 .....                      | 210 |
| 第一节 高压断路器的种类、结构组成和参数 .....            | 210 |
| 第二节 油断路器的灭弧原理 .....                   | 216 |
| 第三节 操动机构 .....                        | 220 |
| 第四节 SN10—10 型油断路器 .....               | 221 |
| 第五节 六氟化硫 (SF <sub>6</sub> ) 断路器 ..... | 224 |
| 第六节 真空断路器 .....                       | 228 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第七节 隔离开关的类型和基本结构 ..... | 233 |
| 复习思考题 .....            | 237 |
| 第四章 重合器和分段器 .....      | 243 |
| 第一节 重合器的一般知识 .....     | 243 |
| 第二节 真空重合器的结构原理 .....   | 246 |
| 第三节 重合器的使用 .....       | 249 |
| 第四节 线路分段器 .....        | 252 |
| 第五节 分段器的使用 .....       | 253 |
| 第六节 自动配电开关 .....       | 256 |
| 复习思考题 .....            | 259 |
| 第五章 防雷与接地 .....        | 262 |
| 第一节 大气过电压 .....        | 262 |
| 第二节 防雷保护设备 .....       | 263 |
| 第三节 接地 .....           | 268 |
| 第四节 接地方式 .....         | 273 |
| 复习思考题 .....            | 275 |

## 第五篇 负 荷 控 制

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第一章 负荷控制的一般知识 .....           | 278 |
| 第一节 负荷控制的发展及其对电力营销管理的意义 ..... | 278 |
| 第二节 负荷控制系统的有关术语 .....         | 285 |
| 第三节 电力负荷控制系统的规划 .....         | 290 |
| 第四节 电力法和供电营业规则的有关规定 .....     | 298 |
| 复习思考题 .....                   | 303 |
| 第二章 负荷控制系统的负荷特性和设备 .....      | 306 |
| 第一节 负荷曲线及负荷特性 .....           | 306 |
| 第二节 负荷控制系统的主控站设备 .....        | 308 |
| 第三节 负荷控制系统的收、发信机 .....        | 311 |
| 第四节 负荷控制系统的终端 .....           | 314 |
| 复习思考题 .....                   | 318 |
| 第三章 负荷控制的管理 .....             | 323 |
| 第一节 电力负荷控制的管理方法 .....         | 323 |
| 第二节 电力负荷管理系统 .....            | 329 |
| 复习思考题 .....                   | 332 |

## 第六篇 负荷控制实践知识

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第一章 电能表和继电保护知识 .....   | 334 |
| 第一节 计量及配电装置的安装要求 ..... | 334 |



|     |                         |     |
|-----|-------------------------|-----|
| 第二节 | 继电保护和二次回路 .....         | 338 |
| 第二章 | 负荷控制装置的设备安装和生产技术管理..... | 347 |
| 第一节 | 设备安装 .....              | 347 |
| 第二节 | 负荷控制系统的运行、维护、管理技能.....  | 350 |
| 第三章 | 复杂电路分析 .....            | 362 |
| 第一节 | MC3359 中放解调集成电路分析 ..... | 362 |
| 第二节 | 调制解调板原理 .....           | 363 |
| 第三节 | 接口电路 .....              | 366 |

## 附    录

|     |                    |     |
|-----|--------------------|-----|
| 附录一 | 鉴定要求.....          | 368 |
| 附录二 | 鉴定内容.....          | 371 |
| 附录三 | 双向细目表.....         | 377 |
| 附录四 | 初级电力负荷控制员鉴定试题..... | 379 |
| 附录五 | 高级电力负荷控制员鉴定试题..... | 383 |

# 第一篇 电路与电磁基础知识

## 第一章 直流电路

### 第一节 电流、电位、电压和电动势

#### 一、电流的定义和单位

##### 1. 电流的定义

从中学物理学中得知：所有原子都是由原子核和电子构成的，每个电子都带有  $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$  (库 [仑]) 的电量，带有电量的电子称为电荷。电荷在导体中作定向运动称为电流，电流的符号用  $I$  表示。

要想电子在导体中作定向运动，必须有定向的外力来推动它。

在没有外力作用时，导体 AB 中电子的运动是杂乱无章的，如图 1-1-1 (a) 所示。在这种情况下，电子向哪个方向运动的都有，而且向各个方向运动的机会是均等的，流动的作用互相抵消，显现不出电流来。

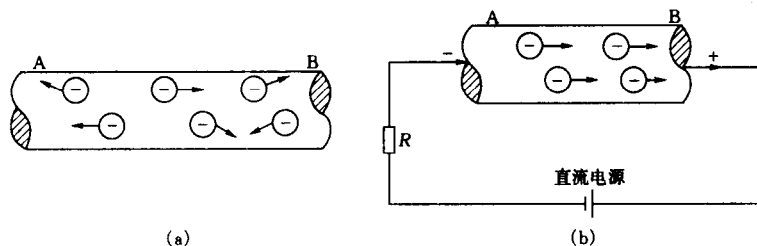


图 1-1-1 电子在导体中流动

(a) 没有外力作用；(b) 有外力作用

如果将导体 AB 两侧与直流电源相接，如图 1-1-1 (b) 所示，则导体 AB 中的电子受到电源力的作用，促使导体中的电子群向右运动，形成电流。

##### 2. 电流的方向

在导体中电子运动的方向是电流的实际方向，可是在电子理论确立之前，工程实际中就已经沿用了正电荷的运动方向为电流方向，如图 1-1-2 所示。然而，在导体中正电荷是不动的，电子向右运动，相当于正电荷向左运动，这就是说，工程实际中采用的电流方向与实际电流方向是相反的。由于这种规定并不影响电路的计算，所以至今仍被沿用下来。

##### 3. 电流的单位

在工程中度量电流的大小采用下述方法：即以单位时间内通过导体截面电量的多少来度量的，如图 1-1-3 所示。

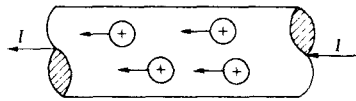


图 1-1-2 电流的方向示意图

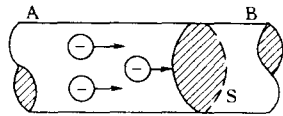


图 1-1-3 电子穿过导体截面 S 示意图

如果在 1s 内，穿过导体的电量为 1C，则称导体中通过的电流为 1A，即

$$I_1 = \frac{1\text{C}}{1\text{s}} = 1\text{ A}$$

式中：C 为库 [仑] 的符号；s 为秒的符号。

如果在 1s 内，穿过导体的电量为 2C，则通过导体的电流为

$$I_2 = \frac{2\text{C}}{1\text{s}} = 2\text{ A}$$

如果在时间 t 内，穿过导体的电量为 Q，则通过导体的电流为

$$I = \frac{Q}{t} \tag{1-1-1}$$

公式 (1-1-1) 可用来计算时间 t 内电流的平均值，即认为每秒钟内通过导体截面 S 的电量方向不变、数量相等。这种大小和方向都不随时间变化的电流称为直流。

电流的单位除了采用 A 之外，对于大的电流，则采用 kA 为单位，电力系统短路电流计算中常使用这个单位。在有些情况下，嫌安培这个单位太大，例如在农电通信中和晶体管继电保护中，常以 mA 和 μA 为单位。这些单位之间有如下的关系为

$$\begin{aligned} 1\text{kA} &= 1000\text{A} \\ 1\text{A} &= 1000\text{mA} \\ 1\text{mA} &= 1000\mu\text{A} \end{aligned}$$

#### 4. 瞬时电流的表达式

为了说明瞬时电流的计算方法，在表 1-1-1 中给出了通过导体 (图 1-1-3) 的起始和终了的电量，以及起始和终了的时间。例如起始时间为 1s，这时通过截面 S 的电量为 10C；终了时间为 1.1s，这时通过导体的电量为 12C。在 1s~1.1s 时间内，通过导体的电流为

| 表 1-1-1 通过截面 S 的起始和终了电量 |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 起始时间 $t_1$<br>(s)       | 起始电量 $Q_1$<br>(C) | 终了时间 $t_2$<br>(s) | 终了电量 $Q_2$<br>(C) | 起始时间 $t_1$<br>(s) | 起始电量 $Q_1$<br>(C) | 终了时间 $t_2$<br>(s) | 终了电量 $Q_2$<br>(C) |
| 1                       | 10                | 1.1               | 12                | 1                 | 10                | 1.001             | 9.9               |
| 1                       | 10                | 1.01              | 10                | 1                 | 10                | 1.0001            | 10.01             |

$$i_1 = \frac{Q_2 - Q_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{12 - 10}{1.1 - 1} = 20\text{ (A)}$$

仿此，可以计算  $1 \sim 1.01\text{s}$ 、 $1 \sim 1.001\text{s}$ 、 $1 \sim 1.0001\text{s}$  通过导体的平均电流

$$i_2 = \frac{Q_2 - Q_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{10 - 10}{1.01 - 1} = 0 \text{ (A)}$$

$$i_3 = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{9.9 - 10}{1.001 - 1} = -100 \text{ (A)}$$

$$i_4 = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{10.01 - 10}{1.0001 - 1} = 100 \text{ (A)}$$

$i_1 \sim i_4$  尽管都是电流的平均值，但是时间间隔取的越短，计算出来的电流值越接近某个特定时间的瞬时值。从计算的数据可以看出：电流不但有大小的变化，而且还有正负方向的变化，这种既有大小又有正负方向变化的电流称为交流，其计算公式为

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

## 二、电位

### 1. 电场对试验电荷的做功情况

图 1-1-4 给出了带有负电的带电体 M 所产生的电场和带有正电的试验电荷 A 受力的情况。因为 M 和 A 的电荷性质相异，根据库仑定律，M 对 A 有吸引作用，图中 M 四周的电场线皆指向 M，则表示这种吸引作用。吸引力可一直从离 M 很远处将 A 吸引到 M 的边界处，M 对 A 的吸引力为电场力，以  $F_1$  表示。M 在吸引 A 的过程中，M 对 A 要做功。

今如果想把 A 从 M 的边界处拉开，必须有外力  $F$  的作用。把 A 拉得离 M 越远， $F$  做的功越大，这个功变成了试验电荷 A 的位能。这就是说，A 离 M 越远，所具有的位能越大，在 M 边界处，A 的位能等于 0。

这完全类似于重力场中将重物提高一样，用外力来提高重物时，提升得越高，外力做功越大，这个功变成重物的位能。重物离地平面越高，所具有的位能越大。

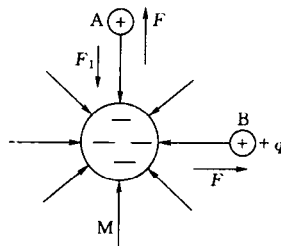


图 1-1-4 负电荷产生的电场

### 2. 物理学中电位的定义

在物理学中，将带有负电的带电体 M 的周界取为参考点，如果外力  $F$  移动单位正电荷至图 1-1-4 电场中的 B 处，则单位试验电荷  $+q$  在 B 处必然具有位能，这个位能或者外力  $F$  所做的功称为 B 点的电位。电位的符号为  $\varphi$ ，电位的单位为 V、kV、mV 等。

如果移动的不是单位试验电荷，而是  $Q$  个单位正电荷，这时外力所做的功为  $W$ ，则 B 点电位可以写成

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

因此，电位的概念是一个能量的概念，这一点是值得注意的。

### 3. 在电力工程中电位参考点的选取

在电力工程中选取电位的参考点从下述两方面来考虑：第一是方便，第二是安全。

在电路计算中主要着眼于第一点，即怎样选取参考点对解题方便，就取哪一点为参考

点, 即设该点电位为零。

在电力系统中, 通常选取大地为参考点, 在仪器设备中, 取壳体的电位为参考点, 因为运行人员、操作人员总是与大地和壳体接触的。

#### 4. 电路中的电位计算

在电路中电位的计算不像物理学中对电位定义那么难以理解, 它是非常具体和易于接受的。因此, 在学习电路中电位的计算之后, 再回过头来体会物理学中对电位的定义, 才会进一步深化这个概念。

在计算电路中各点的电位时, 应注意掌握下述要点:

- (1) 选取电位的参考点, 电路中各点电位的高低都是相对参考点而言的。
- (2) 在确定每个电阻元件两端电位高低时, 应观察电阻中电流的方向, 电流总是从高位一端流向低位一端。
- (3) 在求电路中各点电位时, 应该先求出电位低的一点的电位大小, 然后逐次求出电位高的各点电位, 这种方法称为“爬高法”。
- (4) 电路中如果含有电池元件, 电池的正极的电位总是比电池的负极的电位高出该电池的电动势。

为了印证上述各点, 现举出下述算例。

**【例 1-1-1】** 在图 1-1-5 (a) 中有三个电阻,  $R_1 = 10\Omega$ ,  $R_2 = 15\Omega$ ,  $R_3 = 20\Omega$ 。这三个电阻串联连接,  $R_1$  的一端接地。流过三个电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  中的电流  $I$  为 5A。试求电路中 A、B、C 三点的电位。

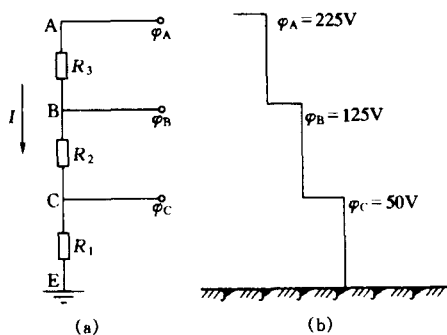


图 1-1-5 [例 1-1]

求 A、B、C 三点电位的图形  
(a) 电路图; (b) 电位阶梯图

**解** 取大地 E 为参考点, 即设  $\varphi_E = 0$ 。

因为在电阻  $R_1$  中, 电流自上而下流动, 所以 C 点电位比大地 E 高, 所高的数值为电阻  $R_1$  的压降, 即

$$\varphi_C = \varphi_E + IR_1 = 0 + 5 \times 10 = 50 \text{ (V)}$$

同理, 在电阻  $R_2$ 、 $R_3$  中电流都是自上而下的流动, 因此, B 点电位比 C 点高, 所高数值为  $R_2$  上的压降; A 点电位比 B 点高, 所高数值为  $R_3$  上的压降, 故 A、B 两点电位分别为

$$\varphi_B = \varphi_C + IR_2 = 50 + 5 \times 15 = 125 \text{ (V)}$$

$$\varphi_A = \varphi_B + IR_3 = 125 + 5 \times 20 = 225 \text{ (V)}$$

点 A、B、C 的电位阶梯图示于图 1-1-5 (b) 中。

**【例 1-1-2】** 在图 1-1-6 (a) 中, 有两个电阻,  $R_1 = 80\Omega$ ,  $R_2 = 100\Omega$ 。  $R_1$  中电流为 5A, 其方向从 A 点流向大地 E;  $R_2$  中的电流为 3A, 其方向从大地 E 流向 B 点。试求 A、B 两点电位。

**解** 取大地 E 为参考点, 即令  $\varphi_E = 0$ 。观察电流方向可知 A 点电位比大地高, B 点电位比大地低, 故 A、B 两点的电位分别为

$$\varphi_A = \varphi_E + I_1 R_1 = 0 + 5 \times 80 = 400 \text{ (V)}$$

$$\varphi_B = \varphi_E - I_2 R_2 = 0 - 3 \times 100 = -300 \text{ (V)}$$

点 A、E、B 的电位阶梯图示于图 1-1-6 (b) 中。

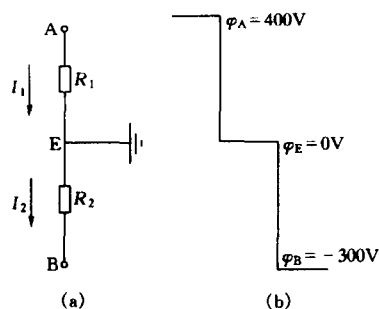


图 1-1-6 [例 1-1-2]

求 A、B 两点的电位

(a) 电路图; (b) 电位阶梯图

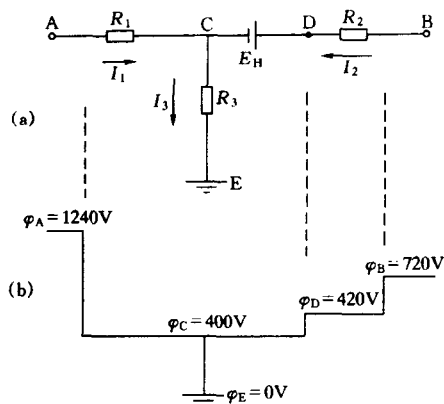


图 1-1-7 [例 1-1-3]

求 A、B、C、D 各点的电位

(a) 电路图; (b) 电位阶梯图

**【例 1-1-3】** 在图 1-1-7 电路中,  $R_1 = 60\Omega$ ,  $R_2 = 50\Omega$ ,  $R_3 = 20\Omega$ ,  $I_1 = 14\text{A}$ ,  $I_2 = 6\text{A}$ ,  $I_3 = 20\text{A}$ , 电动势  $E_H = 20\text{V}$ 。求电路中 A、B、C、D 各点电位。各电流的方向如图中所示。

**解** 取大地 E 电位  $\varphi_E = 0$ , 则

$$\varphi_C = \varphi_E + I_3 R_3 = 0 + 20 \times 20 = 400 \text{ (V)}$$

$$\varphi_A = \varphi_C + I_1 R_1 = 400 + 14 \times 60 = 1240 \text{ (V)}$$

$$\varphi_D = \varphi_C + E_H = 400 + 20 = 420 \text{ (V)}$$

$$\varphi_B = \varphi_D + I_2 R_2 = 420 + 6 \times 50 = 720 \text{ (V)}$$

### 三、电压

#### 1. 电场中不同点的电位差

在图 1-1-8 中给出了带负电荷的带电体 M 所形成的电场, 在电场中给出了 A、B 两点。如果没有外力  $F$  的支持, 处在 A 点的正电荷必然被带电体 M 吸引至 B 点, 最后达 M 的周界处。可见  $\varphi_A$  必然大于  $\varphi_B$ , A、B 两点之间的电位之差称为 A、B 两点之间的电压, 以字母  $U_{AB}$  表示, 其单位为 V、kV、mV 等, 即

$$\varphi_A - \varphi_B = U_{AB} \quad (1-1-4)$$

公式 (1-1-4) 为计算电场中两点之间电压的基本公式。

从图 1-1-8 可见, 若以球体 M 的球心做许多球面, 则这些球面便是一些等电位面, 称为等位面。等位面上任何一点的电位都相等, 它类似于重力场中的等高线, 将同一物体放在等高线上任何一点, 其位能都相等。

另外需要强调一点就是电压的实际方向是由高电位

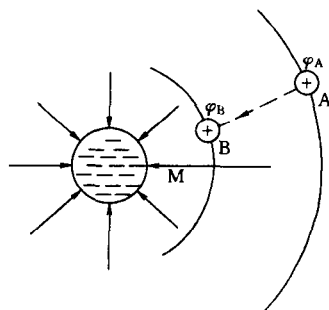


图 1-1-8 计算电位差的图

指向低电位, 在图 1-1-8 中是由 A 点指向 B 点, 若  $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$ , 则  $U_{BA} = \varphi_B - \varphi_A$ , 且

$$U_{AB} = -U_{BA} \quad (1-1-5)$$

## 2. 电路元件两端电压怎样表示

图 1-1-9 给出了电源  $E$  供给电阻  $R$  电能的电路, 电源的正端接于 A, 负端接于 B。为计算 A、B 两点之间的电位差, 可取  $\varphi_B = 0$ , 即将点 B 接地, 这时

$$\varphi_A = \varphi_B + E = 0 + 20 = 20 \text{ (V)}$$

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 20 - 0 = 20 \text{ (V)}$$

在标注电压  $U_{AB}$  时, 应由 A 指向 B, 正如图 1-1-9 所示。这种标注法应该成为一种习惯, 它表示 A 端电位高于 B 端, 在外电阻  $R$  中电流应由 A 流向 B。

## 3. 电路中各点之间的电压与参考点的选取无关

为了便于说明起见, 现举一例。

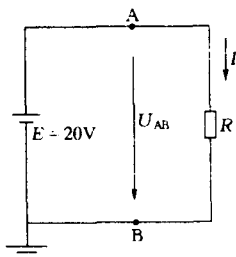


图 1-1-9 电源  $E$  供给电阻  $R$  电能的电路

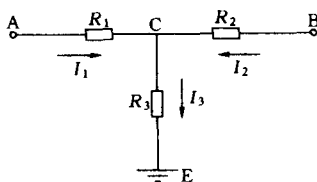


图 1-1-10 [例 1-1-4]  
确定 A、B 两点电压的电路图

【例 1-1-4】在图 1-1-10 中,  $R_1 = 20\Omega$ ,  $R_2 = 30\Omega$ ,  $R_3 = 60\Omega$ ,  $I_1 = 10\text{A}$ ,  $I_2 = 5\text{A}$ ,  $I_3 = 15\text{A}$ , 方向如图中所示。试确定 A、B 两点之间的电压。

解 取大地 E 为参考点时,  $\varphi_E = 0\text{V}$

$$\text{C 点电位} \quad \varphi_C = \varphi_E + I_3 R_3 = 0 + 15 \times 60 = 900 \text{ (V)}$$

$$\text{B 点电位} \quad \varphi_B = \varphi_C + I_2 R_2 = 900 + 5 \times 30 = 1050 \text{ (V)}$$

$$\text{A 点电位} \quad \varphi_A = \varphi_C + I_1 R_1 = 900 + 10 \times 20 = 1100 \text{ (V)}$$

AB 两点之间的电压

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 1100 - 1050 = 50 \text{ (V)}$$

今取 C 点为参考点, 即设  $\varphi_C = 0$

$$\text{B 点电位} \quad \varphi_B = \varphi_C + I_2 R_2 = 0 + 5 \times 30 = 150 \text{ (V)}$$

$$\text{A 点电位} \quad \varphi_A = \varphi_C + I_1 R_1 = 0 + 10 \times 20 = 200 \text{ (V)}$$

AB 两点之间的电压

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 200 - 150 = 50 \text{ (V)}$$

从计算结果可以清楚地看出: 电压  $U_{AB}$  的数值与参考点选取在 E 点或者 C 点无关。掌握这一点对简化电路两点之间电压的计算很有用处。从算例可知, 第二种算法比第一种简单。

## 4. 关于电位概念的举例

【例 1-1-5】 图 1-1-11 中示出了直流 220V 电源供给灯泡  $R_L$  电能的电路,  $R_L$  中的电流  $I = 10\text{A}$ ,  $R_L = 20\Omega$ , 两根导线的电阻  $R$  各为  $1\Omega$ 。试求: (1) S 接通时, 电路中各点的电位和电压  $U_{AC}$ 、 $U_{CD}$ 、 $U_{DG}$ 、 $U_{GB}$ ; (2) S 断开时, 电路中各点的电位和电压  $U_{AC}$ 、 $U_{CD}$ 、 $U_{DG}$ 、 $U_{GB}$ 。

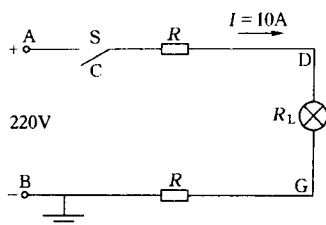


图 1-1-11 [例 1-1-5] 电路图

解 设  $\varphi_B = 0$ , S 接通, 电路中有电流流过, 而且电流方向从 A 点到 B 点。逆着电流方向前进可求出各点的电位值

$$\varphi_G = \varphi_B + IR = 0 + 10 \times 1 = 10 \text{ (V)}$$

$$U_{GB} = \varphi_G - \varphi_B = 10 - 0 = 10 \text{ (V)}$$

D 点电位 
$$\varphi_D = \varphi_G + IR_L = 10 + 10 \times 20 = 210 \text{ (V)}$$

D、G 两点之间的电压

$$U_{DG} = \varphi_D - \varphi_G = 210 - 10 = 200 \text{ (V)}$$

C 点电位 
$$\varphi_C = \varphi_D + IR = 210 + 10 \times 1 = 220 \text{ (V)}$$

C、D 两点之间的电压

$$U_{CD} = \varphi_C - \varphi_D = 220 - 210 = 10 \text{ (V)}$$

因为开关 S 闭合, 故  $\varphi_A = \varphi_C = 220\text{V}$ , 所以 A、C 两点之间的电压

$$U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C = 220 - 220 = 0 \text{ (V)}$$

当 S 断开时, 电路中没有电流流过, 导体是等电位的, 因此

$$\varphi_B = \varphi_G = \varphi_D = \varphi_C = 0$$

而 A 点的电位  $\varphi_A = 220\text{V}$ , 所以开关 S 的 A、C 两端的电位差

$$U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C = 220 - 0 = 220 \text{ (V)}$$

可见, 当开关 S 断开时, 电源电压全部加在 S 的两端。

这就说明, 不论 S 断开或是闭合, S 左端始终处于高电位, 是一个危险的所在, 在使用中应十分注意。

【例 1-1-6】 图 1-1-12 中有 A、B 二人, A 站在地面 E 上, 手触摸 220V 导线 a; B 站在干燥的木架 b 上, 手触摸 220V 导线 a。试回答 (1) A、B 二人手、脚的电位是多少? (2) A、B 二人所受电压是多少? (3) 木架所受电压是多少?

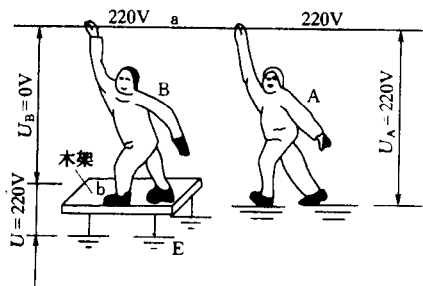


图 1-1-12 [例 1-6] 示意图

解 对 A 来说,  $\varphi_a = 220\text{V}$ ,  $\varphi_E = 0\text{V}$ , 所以 A 所受的电压为

$$U_A = \varphi_a - \varphi_E = 220 - 0 = 220 \text{ (V)}$$

故 A 必然触电。

对 B 来说,  $\varphi_a = 220\text{V}$ 。而 B 站在干燥木架上, 与地绝缘, 故可认为人体中无电流流过。由于人是导体, 无电流流过时, 全身电位相等, 所以 B 的脚的电位也是  $220\text{V}$ , 即  $\varphi_E = 220\text{V}$ , B 所受的电压

$$U_B = \varphi_a - \varphi_E = 220 - 220 = 0 \text{ (V)}$$



所以 B 不会触电。因为触电不触电要看人体是否受电压的作用，B 全身尽管电位升高，但没受电压作用，因此不会触电。

对木架来说，其顶端电位与 B 的身体电位相同，即  $\varphi_a = 220\text{V}$ ；底端放在地上，故其底端电位  $\varphi_E = 0\text{V}$ 。于是木架所受电压为

$$U_b = \varphi_a - \varphi_E = 220 - 0 = 220 \text{ (V)}$$

#### 5. 我国采用的电压等级

高电压以 kV 为单位，而对于电子电路，由于电压很低，所以常以 mV、 $\mu\text{V}$  为单位，它们之间的关系是

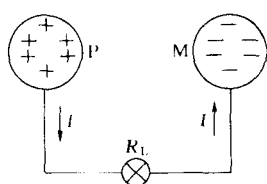
$$\begin{aligned} 1\text{kV} &= 1000\text{V} \\ 1\text{V} &= 1000\text{mV} \\ 1\text{mV} &= 1000\mu\text{V} \end{aligned}$$

我国输、配电系统采用的标准电压等级有 500、330、220、110、63、35、10kV。低压电力网采用 380、220V。常用的安全电压以及电子线路采用电压有 36、24、15、12、9、6、3、1.5V 等。

### 四、电动势

#### 1. 用带电体的荷电量供给灯泡的电流能维持长久吗

图 1-1-13 中给出了带正电的带电体 P 和带负电的带电体 M 供电给灯泡  $R_L$  的电路。



P 的正电荷将通过灯泡  $R_L$  流向 M，并与 M 中的负电荷中和。但是，不论多么大的带电体，其所带的电量都是有限的，当 P 中的正电完全与 M 中的负电中和后，电流便停止流动。因此，靠带电体存储的电量来维持灯泡的长期点燃是不可能的。

#### 2. 电动势的本质是什么

图 1-1-13 带电体供电  
给灯泡电能的电路

既然带电体 P、M 不能维持电流的长久流动，则必须有一种外力能够把正电荷不断地从带电体 M 搬到带电体 P，以维持带电体 P、M 的电位差，或者称为电极 P、M 之间的电压，如图 1-1-

14 所示，图中  $F$  便是搬运电荷的外力。

如果原来 M 极是中性的，今将其中一个正电荷搬至 P 极，则 M 极必然出现一个负电荷，这个负电荷对搬走的正电荷有吸引作用，它将阻碍外力  $F$  对正电荷的搬运，因此，外力  $F$  必须克服这种电场的吸力而做功。

外力  $F$  将单位正电荷从负极 M 移到正极 P 所做的功，称为这个电源的电动势。可见，电动势是在电源正、负极间维持电位差，保证电流长期流动的一种势力。电动势的符号为  $E$ ，电动势的单位与电压的单位相同。

#### 3. 外力从何而来

为了将正电荷由负极 M 搬向正极 P 必须有外力。目前看来，产生这种外力的方法有以下两种。

(1) 化学力：化学力是靠正、负极板和电解液进行化学反应产生的。正极板 P 由二氧化铅制成，负极板由纯铅制成，槽中放有硫酸电解液（图 1-1-15），则电解液中分子分解成正负离子。正离子不断搬到正极板 P，负离子不断搬到负极板 M，以维持电流在