

# 电 工 学

DIANGONGXUE

主 编 王莉华

副主编 李 赞 戴成梅

陕 西 出 版 集 团  
陕 西 科 学 技 术 出 版 社

## 图书在版编目(CIP)数据

电工学/王莉华主编. —西安:陕西科学技术出版社,  
2009.8

ISBN 978-7-5369-3547-1

I. 电… II. 王… III. 电工学 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 144543 号

---

**出版者** 陕西出版集团 陕西科学技术出版社

西安北大街 131 号 邮编 710003

电话(029)87211894 传真(029)87218236

<http://www.snstp.com>

**发行者** 陕西出版集团 陕西科学技术出版社

电话(029)87212206 87260001

**印刷** 河北省三河市文阁印刷厂

**规格** 880mm×1230mm 开本 32

**印张** 11

**字数** 250 千字

**版次** 2009 年 8 月第 1 版

2009 年 8 月第 1 次印刷

**定价** 20.00 元

---

**版权所有 翻印必究**

## 内容简介

本书在内容上较全面地涵盖了电工电子技术的基本知识，包括：电路及基本定律、电路中的暂态过程、单相正弦交流电路、三相交流电路、磁路与变压器、电动机、电动机控制电路、模拟电子电路、数字电路基础。

该书为适应中等职业院校培养应用型人才的目标，以必需、够用为度，把握适用性、科学性、先进性和应用性，图形符号采用最新国家标准。在选材和内容编排上为了体现该课程与工程的紧密联系，在每一章节的开头都插有一幅与该章节内容相同的电路实物图，其目的就是让学生在学时能够将自己所学的知识与应用的目标对象相联系，从而提高学生的学习兴趣。每章书后附有填空题、选择题、问答题、计算题等多种类型习题来帮助学生巩固所学过内容。

本书可作为“非电类”工科高职高专各专业的教材。

# 前 言

本书根据教育部有关中等职业院校人才培养的要求编写。力求突出中专特色,教材以应用为目的,以必需、够用为度,把握适用性、科学性、先进性和应用性,图形符号采用最新国家标准。在选材和内容编排上为了体现该课程与工程的紧密联系,在每一章节的开头都插有一幅与该章节内容相同的电路实物图,其目的就是让学生在学习时能够将自己所学的知识与应用的目标对象相联系,从而提高学生的学习兴趣。在使用文字语言和插图上尽量做到简明易懂,每一章都含有小知识模块。为了突出技能这一内容,在部分章节穿插了小技能模块。每章书后附有填空题、选择题、问答题、计算题(判断分析题)等多种类型习题来帮助学生巩固所学内容。

本书共分为9章。第1章为电路及基本定律,第2章为电路中的暂态过程,第3章为单相正弦交流电路,第4章为三相交流电路,第5章为磁路与变压器,第6章为电动机,第7章为电动机控制电路,第8章为模拟电子电路,第9章为数字电路基础。

本书由周口师范学院王莉华主编,防空兵指挥学院李贇担任副主编。第1章、第3章、第4章由王莉华编写,第5章、第6章由(周口师范学院)戴成梅编写,第2章由李贇编写,第7章由防空兵指挥学院王亚辉编写,第8章由张春生编写,第9章由防空兵指挥学院宋磊编写。

本书由防空兵指挥学院陈建国副教授主审,陈建国教授对书稿进行了详细的审阅,并提出了许多宝贵意见。由于编者水平有限,时间仓促,书中难免有疏漏及不妥之处,殷切希望使用本书的师生和读者批评指正。

王莉华

2009年5月于周口师范学院

## 目 录

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 第一章 电路及其基本定律 .....            | ( 1 ) |
| 第一节 电路的基本概念 .....             | ( 1 ) |
| 第二节 电阻、欧姆定律及电阻连接 .....        | ( 8 ) |
| 第三节 基尔霍夫定律及其应用 .....          | (12)  |
| ※第四节 其他电路定理及规律 .....          | (15)  |
| 第五节 电气设备的额定值、电路的几种状态 .....    | (19)  |
| ※第六节 电容器 .....                | (22)  |
| 习 题 .....                     | (24)  |
| 第二章 电路中的暂态过程 .....            | (28)  |
| 第一节 何谓暂态过程 .....              | (28)  |
| 第二节 换路定则 .....                | (29)  |
| 第三节 RC 电路中的暂态过程——电容充、放电 ..... | (30)  |
| 第三章 单相正弦交流电路 .....            | (34)  |
| 第一节 基本概念 .....                | (34)  |
| 第二节 纯电阻、纯电感、纯电容正弦电路 .....     | (44)  |
| 第三节 电阻、电感串联电路 .....           | (49)  |
| 第四节 正弦交流电路的功率及功率因数 .....      | (53)  |
| 习 题 .....                     | (64)  |
| 第四章 三相交流电路 .....              | (69)  |
| 第一节 基本概念 .....                | (69)  |
| 第二节 三相电源绕组的连接 .....           | (71)  |

|     |                     |       |
|-----|---------------------|-------|
| 第三节 | 三相负载的连接 .....       | (75)  |
| 第四节 | 三相电路的功率 .....       | (83)  |
| 习 题 | .....               | (85)  |
| 第五章 | 磁路与变压器 .....        | (89)  |
| 第一节 | 铁磁材料 .....          | (89)  |
| 第二节 | 磁路基本知识 .....        | (91)  |
| 第三节 | 交流铁心线圈 .....        | (95)  |
| 第四节 | 变压器的基本知识 .....      | (97)  |
| 第五节 | 变压器的工作原理 .....      | (101) |
| 第六节 | 变压器的运行特性 .....      | (106) |
| 第七节 | 常用变压器 .....         | (108) |
| 习 题 | .....               | (112) |
| 第六章 | 电动机 .....           | (115) |
| 第一节 | 电机的基本知识 .....       | (115) |
| 第二节 | 三相异步电动机的基本结构 .....  | (116) |
| 第三节 | 三相异步电动机的工作原理 .....  | (118) |
| 第四节 | 三相异步电动机的铭牌 .....    | (122) |
| 第五节 | 三相异步电动机的运行特性 .....  | (125) |
| 第六节 | 三相异步电动机控制知识简介 ..... | (128) |
| 第七节 | 单相异步电动机 .....       | (136) |
| 第八节 | 直流电动机结构及原理 .....    | (140) |
| 第九节 | 控制类电动机 .....        | (148) |
| 习 题 | .....               | (157) |
| 第七章 | 电动机控制电路 .....       | (160) |
| 第一节 | 开关电器与保护电器 .....     | (160) |
| 第二节 | 按钮与接触器 .....        | (164) |
| 第三节 | 继电器 .....           | (166) |
| 第四节 | 三相异步电动机的控制电路 .....  | (170) |
| 第五节 | 直流电动机控制电路 .....     | (181) |

---

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 习 题                 | (183) |
| 第八章 模拟电子电路          | (186) |
| 第一节 基本概念            | (187) |
| 第二节 直流稳压电源          | (196) |
| 第三节 信号放大电路          | (207) |
| 第四节 功率放大电路          | (226) |
| 第五节 集成运算放大器及其应用电路   | (230) |
| 习 题                 | (240) |
| 第九章 数字电路基础          | (245) |
| 第一节 基本概念            | (245) |
| 第二节 逻辑函数            | (249) |
| 第三节 逻辑门电路           | (260) |
| 第四节 组合逻辑电路          | (264) |
| 第五节 触发器             | (274) |
| 第六节 时序逻辑电路          | (284) |
| 第七节 脉冲波形的产生、整形及分配电路 | (293) |
| 第八节 应用实例——数字电子钟     | (296) |
| 习 题                 | (302) |
| 参考文献                | (307) |

# 第一章 电路及其基本定律

## 理论知识点

- (1) 电路模型及电路连接。
- (2) 电路的基本物理量及相关定理定律。
- (3) 直流电路建立和电路故障分析。

## 技能点

- (1) 识图。
- (2) 使用电工仪表测量直流电流、直流电压和直流功率。

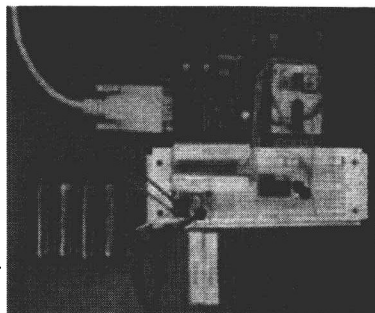


图 1-1 含直流电源的放大电路

含直流电源的放大电路如图 1-1 所示。

## 第一节 电路的基本概念

### 一、电路及电路模型

#### (一) 实际电路

电路是电流的流通过径，它是由一些电气设备和元器件按一定方式连接而成的。复杂的电路呈网状，又称网络。在电工电子学中，电路和网络这两个术语是通用的。电路的作用有两种，一种作用是实现电能的传输和转换，另一种作用是实现信号的处理。电路中提供电能或信号的器件称为电源，电路中吸收电能的器件称为负载。在电源和负载之间引导和控制电流的导线和开关等是传输控制器件。图 1-2 和 1-3 所示的就是两个实际电路的例子。



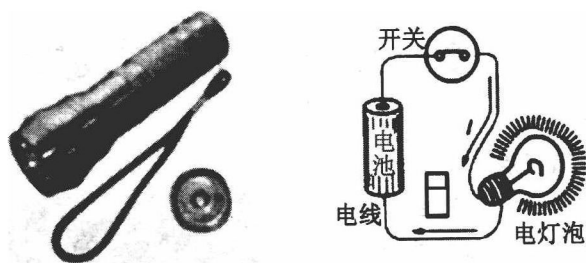


图 1-2 手电筒电路

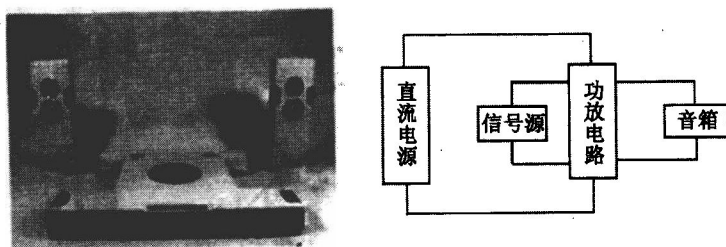


图 1-3 功放机、音箱及其相应电路框图

## (二) 电路模型

为了便于研究各类具体的电路，在一定条件下对实际器件加以理想化，只考虑其中起主要作用的电性能，这种电路元件简称为理想电路元件。电阻元件是一种只表示消耗电能的元件；电感元件是表示其周围空间存在着磁场而可以储存磁场能量的元件；电容元件是表示其周围空间存在着电场而可以储存电场能量的元件等。表 1-1 列出了几种常用的电路元件及其图形符号。

表 1-1 常用的几种电路元件及其图形符号

| 元件名称 | 图形符号                                                                              | 元件名称   | 图形符号                                                                              |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 电阻   |  | 理想电压源  |  |
| 电感   |  | 理想电流源  |  |
| 电容   |  | 开关一般符号 |  |
| 电池   |  | 灯的一般符号 |  |

(1) 负载不是理想电路元件，但在电路图中通常用电阻符号来表示。

(2) 电池是具体实物，不是理想电路元件，如果不考虑内阻，可视为理想直流电压源。

今后学习的各种电路图都是用电路元件和连线来表示，认识好电路元件是识别电路图的关键。

图 1-2 的电路，其电路模型图如图 1-4 所示。

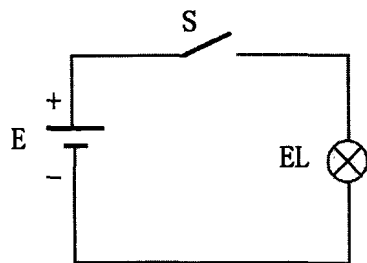


图 1-4 手电筒电路

## 二、电路的基本物理量

### (一) 电流

电流是由电荷的定向移动而形成的。当金属导体处于电场之内时，自由电子要受到电场力的作用，逆着电场的方向做定向移动，这就形成了电流。

大小和方向均不随时间变化的电流叫恒定电流，简称直流。

大小和方向随时间按正弦规律变化的电流叫正弦交流电。

电流的强弱用电流强度来表示，对于直流，电流强度  $I$  用单位时间内通过导体截面的电荷  $Q$  来表示，即

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

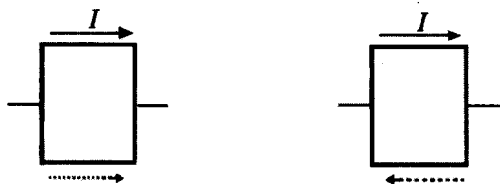
电流的单位是 A（安 [培]）。在 1 秒内通过导体横截面的电荷为 1 C（库仑）时，其电流则为 1 A。

计算微小电流时，电流的单位用 mA（毫安）、 $\mu$ A（微安）或 nA（纳安），其换算关系为：1 mA =  $10^{-3}$  A，1  $\mu$ A =  $10^{-6}$  A，1 nA =  $10^{-9}$  A。

习惯上，规定用正电荷的移动方向表示电流的实际方向。

在简单电路中，电流的实际方向可由电源的极性确定；在复杂电路中，电流的方向有时事先难以确定。为了分析电路我们引入电流的参考正方向的概念。在进行电路计算时，先任意选定某一方向作为待求电流的正方向，并根据此正方向进行计算，若计算得到结果为正值，说明电流的实际方向与选定的正方向相同；若计算得到结果为负值，说明电流的实际方向与选定的正方向相反。

图 1-5 表示电流的参考正方向（图中实线所示）与实际方向（图中虚线所示）之间的关系。



(a) 参考正方向与实际方向一致 (b) 参考正方向与实际方向相反

图 1-5 电流的方向

## (二) 电位、电压、电动势

### 1. 电位

带电体周围存在着电场，电场对处于场内的电荷有力的作用。当电场力使电荷移动时，就说电场力对电荷做了功。为了描述电场

中电场力做功的强弱程度，我们引入电位这一物理量。

电场力把单位正电荷从电场中某点移到参考点做的功，称为该点的电位。所谓参考点就是假定电位为零的点。电位用字母  $V$  表示。

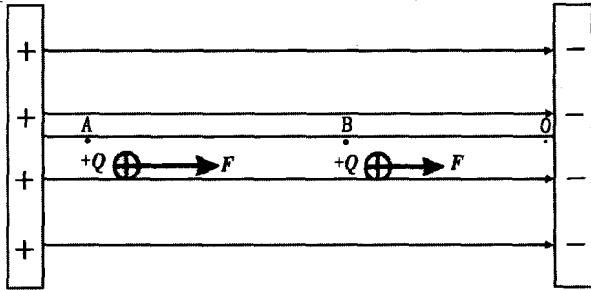


图 1-6 电场力做功

如图 1-6 所示电场中，以  $O$  点为参考点，则

$$A \text{ 点电位为 } V_A = \frac{W_{AO}}{Q}$$

$$B \text{ 点电位为 } V_B = \frac{W_{BO}}{Q}$$

式中  $W_{AO}$  是将电荷  $Q$  从  $A$  点移到  $O$  点电场力所做的功； $W_{BO}$  是将电荷  $Q$  从  $B$  点移到  $O$  点电场力所做的功。若  $V_A > V_B$ ，则说明  $A$  点电位比  $B$  点高。

若功的单位为焦耳 (J)，电荷量的单位为库仑 (C)，则电位的单位为伏特 (V)，简称伏。除此，常用单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 ( $\mu V$ )，关系为

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$$

$$1 \text{ V} = 10^3 \text{ mV}$$

$$1 \text{ mV} = 10^3 \mu V$$

分析电位时要注意：

电路中各点的电位都是相对的，与参考点的选择有关；参考点不同时，既使在电路中的同一点，其电位值也不相同。若一旦选定

参考点，电路中各点的电位就只有一个数值。通常以大地作为参考点，而在电子设备中一般以金属底板、机壳等公共点作为参考点，这样便于比较各点的电位。

比参考点高的电位为正，比参考点低的位置为负。

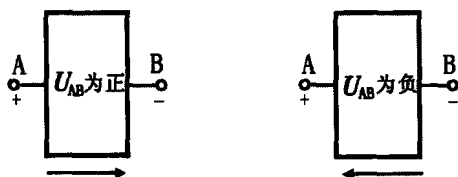
## 2. 电压

电场力把单位正电荷从电场中点 A 移到点 B 所做的功  $W_{AB}$  称为 A、B 间的电压，用  $U_{AB}$  表示。即：

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-2)$$

电压的单位为 V（伏 [特]）。如果电场力把 1 C 电量从点 A 移到点 B 所做的功是 1 J（焦耳），则 A 与 B 两点间的电压就是 1 V。

计算较大的电压时用 kV（千伏），计算较小的电压时用 mV（毫伏）。其换算关系为：1 kV =  $10^3$  V，1 mV =  $10^{-3}$  V。



(a) 参考正方向与实际方向一致 (b) 参考正方向与实际方向相反

图 1-7 电压的正负与实际方向

电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点，即由“+”极指向“-”极，因此，在电压的方向上电位是逐渐降低的。电压总是相对于两点之间的电位而言的，所以用双下标表示，前一个下标（如 A）代表起点，后一个下标（如 B）代表终点。电压的方向则由起点指向终点，有时用箭头在图上标明。当标定的参考方向与电压的实际方向相同时 [图 1-7 (a)]，电压为正值；当标定的参考方向与实际电压方向相反时 [图 1-7 (b)]，电压为负值。

## 3. 电动势

为了使电路中有持续不断的电流，必须有一种外力，把正电荷从低电位处（如负极 B）移到高电位处（如正极 A）。在电源内部就存在着这种外力（称为电源力）。如图 1-8 所示，外力克服电场力把单位正电荷由低电位 B 端移到高电位 A 端，所做的功称为电动势，用  $E$  表示。电动势的单位也是 V。

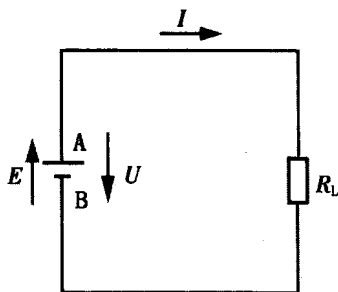


图 1-8 电动势

如果外力把 1 C 的电量从点 B 移到点 A，所做的功是 1 J，则电动势就等于 1 V。电动势的方向规定为从低电位指向高电位，即由“-”极指向“+”极。

## (三) 电功率与电能

## 1. 电功率

在直流电路中，根据电压的定义，电场力所做的功是  $W = QU$ 。把单位时间内电场力所做的功称为电功率，则有

$$P = \frac{QU}{t} = UI \quad (1-3)$$

功率的单位是 W（瓦 [特]）。对于大功率，采用 kW（千瓦）或 MW（兆瓦）为单位，对于小功率则用 mW（毫瓦）或  $\mu$ W（微瓦）为单位。在电源内部，电源力做功，正电荷由低电位移向高电位，电流逆着电场方向流动，将其他能量转变为电能，其电功率为

$$P = EI \quad (1-4)$$

在计算电场力做功时， $P = UI$ ，若计算结果  $P > 0$ ，说明该元件是耗能元件；若计算结果  $P < 0$ ，则该元件为供能元件。

## 2. 电能

当已知设备的功率为  $P$  时，在  $t$  秒内消耗的电能  $W = Pt$ ，电能就等于电场力所做的功，单位为 J（焦 [耳]）。在电工技术

中，往往直接用  $W \cdot s$ （瓦特秒）为单位，实际上则用  $kW \cdot h$ （千瓦小时）为单位，俗称 1 度电。 $1 kW \cdot h = 3.6 \times 10^6 W \cdot s$ 。

## 第二节 电阻、欧姆定律及电阻连接

### 一、电阻

电流在导体中流动通常要受到阻碍作用，反映这种阻碍作用强弱的物理量称为电阻，一般用  $R$  表示。在电路图中常用理想电阻元件来表示物质对电流的这种阻碍作用。电阻元件的图形符号和文字符号如表 1-1 所示。

电阻的单位是  $\Omega$ （欧 [姆]），计量大电阻时用  $k\Omega$ （千欧）或  $M\Omega$ （兆欧）。其换算关系为  $1 k\Omega = 10^3 \Omega$ ， $1 M\Omega = 10^6 \Omega$ 。

电阻的倒数  $1/R = G$ ，称为电导，它的单位为  $S$ （西 [门子]）。导体的电阻越小，电导就越大，导电性能就越好。

导体的电阻大小由导体的尺寸和自身性质决定。实验证明，对于一段均匀导体，在一定的温度下，导体电阻的大小与它的长度成正比，与它的横截面积成反比，还与导体材料的性质有关，这就是电阻定律。即：

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-5)$$

式中， $R$ ——导体的电阻，单位  $\Omega$ ； $\rho$ ——某温度下导体的电阻率，单位  $\Omega \cdot m$ ； $S$ ——导体横截面积，单位  $m^2$ ； $L$ ——导体的长度，单位  $m$ 。

#### （一）线性电阻

在温度一定的条件下，把加在电阻两端的电压与通过电阻的电流之间的关系称为伏安特性。一般金属电阻的阻值不随所加电压和通过的电流而改变，即在一定的温度下其阻值是常数，这种电阻的伏安特性是一条经过原点的直线，如图 1-9 所示。这种电阻称为线性电阻。

## (二) 非线性电阻

电阻的阻值随电压和电流的变化而变化, 其电压与电流的比值不是常数, 这类电阻称之为非线性电阻。例如, 半导体二极管的正向电阻就是非线性的, 它的伏安特性如图 1-10 所示。

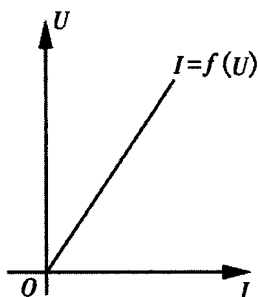


图 1-9 线性电阻的伏安特性

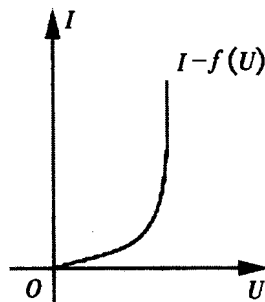


图 1-10 二极管正向伏安特性

## 二、欧姆定律

欧姆定律指出: 导体中的电流与加在导体两端的电压成正比, 与导体的电阻成反比。

图 1-11 所示一段电阻电路, (a) 图电压、电流的参考方向一致, 则欧姆定律可表示为:

$$U=IR \quad (1-6)$$

(b) 图电压、电流的参考方向相反, 则欧姆定律表示为:

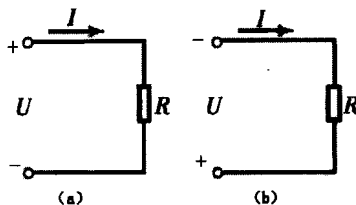


图 1-11 一段电路欧姆定律



$$U = -IR \quad (1-7)$$

### 三、电阻连接

#### (一) 电阻的串联

由若干个电阻按顺序地连接成一条无分支的电路，称为串联电路。如图 1-12 所示。

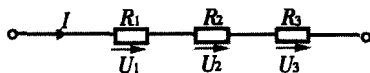


图 1-12 电阻的串联

电阻元件串联有以下几个特点：

- (1) 流过串联各元件的电流相等，即  $I_1 = I_2 = I_3$ ；
- (2) 等效电阻  $R = R_1 + R_2 + R_3$ ；
- (3) 总电压  $U = U_1 + U_2 + U_3$ ；
- (4) 总功率  $P = P_1 + P_2 + P_3$ ；
- (5) 电阻串联具有分压作用，即

$$U_1 = \frac{R_1}{R} U \quad (1-8)$$

$$U_2 = \frac{R_2}{R} U \quad (1-9)$$

$$U_3 = \frac{R_3}{R} U \quad (1-10)$$

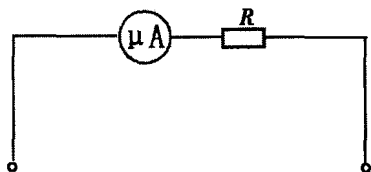


图 1-13 例 1-1 图

在实际中，利用串联分压的原理，可以扩大电压表的量程，还可以制成电阻分压器。

【例 1-1】现有一表头，满刻度电流  $I_G = 50 \mu A$ ，表头的电阻  $R_G = 3 k\Omega$ ，若要改装成量程为 10 V 的电压表，如图 1-13 所示，试问应串联一个多大的电阻？

【解】当表头满刻度时，它的端电压为  $U = 50 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^3 V = 0.15 V$ 。设量程扩大到 10 V 时所需串联的电阻为  $R$ ，则  $R$  上分得的电压为  $U_R = (10 - 0.15) V = 9.85 V$ ，故