

第二章

简单直流电路

第二章 简单直流电路

教学重点：

1. 理解电动势、端电压、电位的概念。
2. 掌握闭合电路的欧姆定律。
3. 掌握电阻串联分压关系与并联分流关系。
4. 了解万用表的基本构造和基本原理，掌握万用表的使用方法。
5. 掌握电阻的测量方法。
6. 学会分析计算电路中各点电位。

教学难点：

1. 运用电阻串联分压关系与并联分流关系解决电阻电路问题、掌握扩大电压表与电流表量程的原理。
2. 熟练分析计算电路中各点电位。

学时分配：

序号	内 容	学 时
1	第一节 电动势 闭合电路的欧 姆定律	2
2	第二节 电池组	
3	第三节 电阻的串联	2
4	第四节 电阻的并联	
5	第五节 电阻的混联	
6	第六节 万用表的基本原理	2
7	实验2.1 练习使用万用表	

序 号	内 容	学 时
8	实验 2.2 电流表改装电压表	2
9	第七节 电阻的测量	2
10	实验 2.3 用惠斯通电桥测电阻	2
11	第八节 电路中各点电位的计算	2
12	实验 2.4 电压和电位的测定	2
13	本章小结与习题	
14	本章总学时	16

第二章 简单直流电路

第一节	电动势 闭合电路的欧姆定律
第二节	电池组
第三节	电阻的串联
第四节	电阻的并联
第五节	电阻的混联
第六节	万用表的基本原理
第七节	电阻的测量
第八节	电路中各点电位的计算
本章小结	

第一节 电动势 闭合电路的欧姆定律

一、电动势

二、闭合电路的欧姆定律

三、负载获得最大功率的条件

一、电动势



动画 [M2-1 电动势](#)

衡量电源的电源力大小及其方向的物理量叫做电源的**电动势**。

电源电动势等于电源没有接入电路时两极间的电压。

电动势通常用符号 E 或 $e(t)$ 表示， E 表示大小与方向都恒定的**电动势** (即直流电源的电动势)， $e(t)$ 示大小和方向随时间变化的电动势，也可简记为 e 。电动势的国际单位制为伏特，记做 V 。

电动势的大小等于电源力把单位正电荷从电源的负极，经过电源内部移到电源正极所作的功。如设 W 为电源中非静电力（电源力）把正电荷量 q 从负极经过电源内部移送到电源正极所作的功，则电动势大小为

$$E = \frac{W}{q}$$

电动势是一个标量。

电动势的方向规定为从电源的负极经过电源内部指向电源的正极，即与电源两端电压的方向相反。

二、闭合电路的欧姆定律

图中 R_0 表示电源的内部电阻， R 表示电源外部连接的电阻（负载）。闭合电路欧姆定律的数学表达式为 $E = RI + R_0I$

或

$$I = \frac{E}{R + R_0}$$

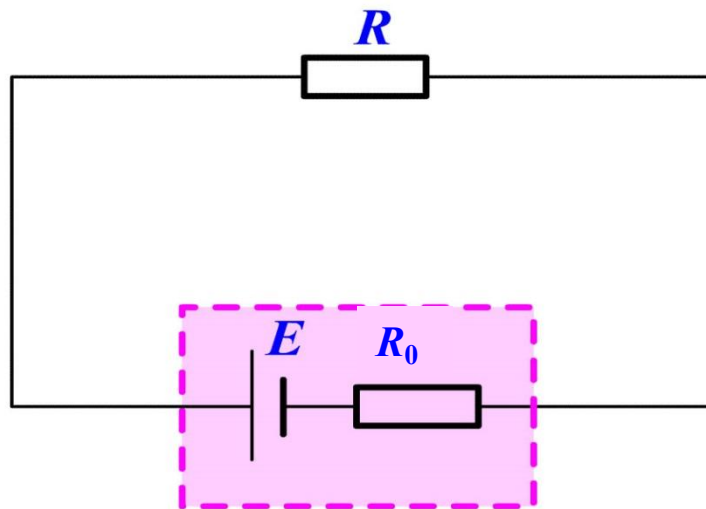


图 2-1 简单的闭合电路

外电路两端电压 $U = RI = E - IR_0 = \frac{R}{R + R_0} E$ ，显然，负载电阻 R 值越大，其两端电压 U 也越大；当 $R \gg R_0$ 时（相当于开路），则 $U = E$ ；当 $R \ll R_0$ 时（相当于短路），则 $U = 0$ ，此时一般情况下的电流（ $I = E / R_0$ ）很大，电源容易烧毁。

【例2-1】如图 2-2 所示，当单刀双掷开关 S 合到位置 1 时，外电路的电阻 $R_1 = 14\ \Omega$ ，测得电流表读数 $I_1 = 0.2\ \text{A}$ ；当开关 S 合到位置 2 时，外电路的电阻 $R_2 = 9\ \Omega$ ，测得电流表读数 $I_2 = 0.3\ \text{A}$ ；试求电源的电动势 E 及其内阻 R_0 。

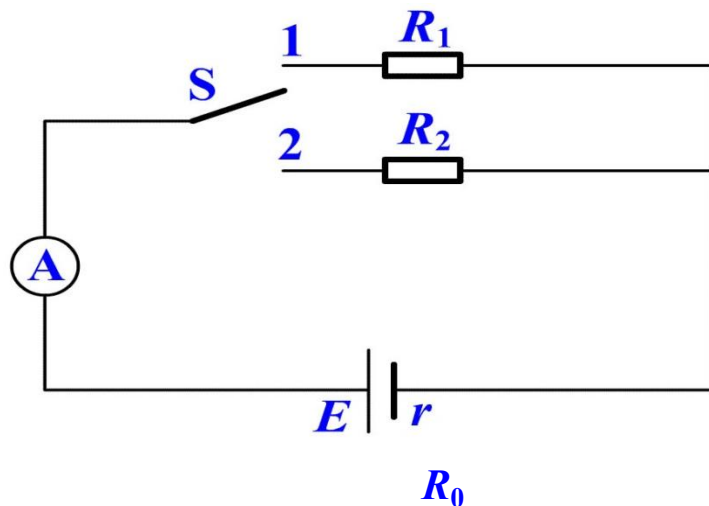


图 2-2 例题 2-1



解:根据闭合电路的欧姆定律, 列出联立方程组

$$\begin{cases} E = R_1 I_1 + R_0 I_1 \text{ (当 S 合到位置 1 时)} \\ E = R_2 I_2 + R_0 I_2 \text{ (当 S 合到位置 2 时)} \end{cases}$$

解得: $R_0 = 1 \Omega$, $E = 3 \text{ V}$ 。本例题给出了一种测量直流电源电动势 E 和内阻 R_0 的方法。

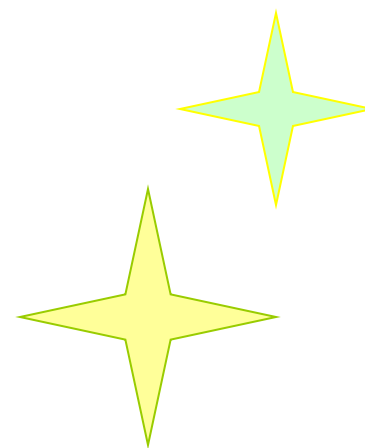
三、负载获得最大功率的条件

容易证明：在电源电动势 E 及其内阻保持不变时，负载 R 获得最大功率的条件是 $R = R_0$ ，此时负载的最大功率值为

$$P_{\max} = \frac{E^2}{4R}$$

电源输出的最大功率是

$$P_{\text{EM}} = \frac{E^2}{2R_0} = \frac{E^2}{2R} = 2P_{\max}$$



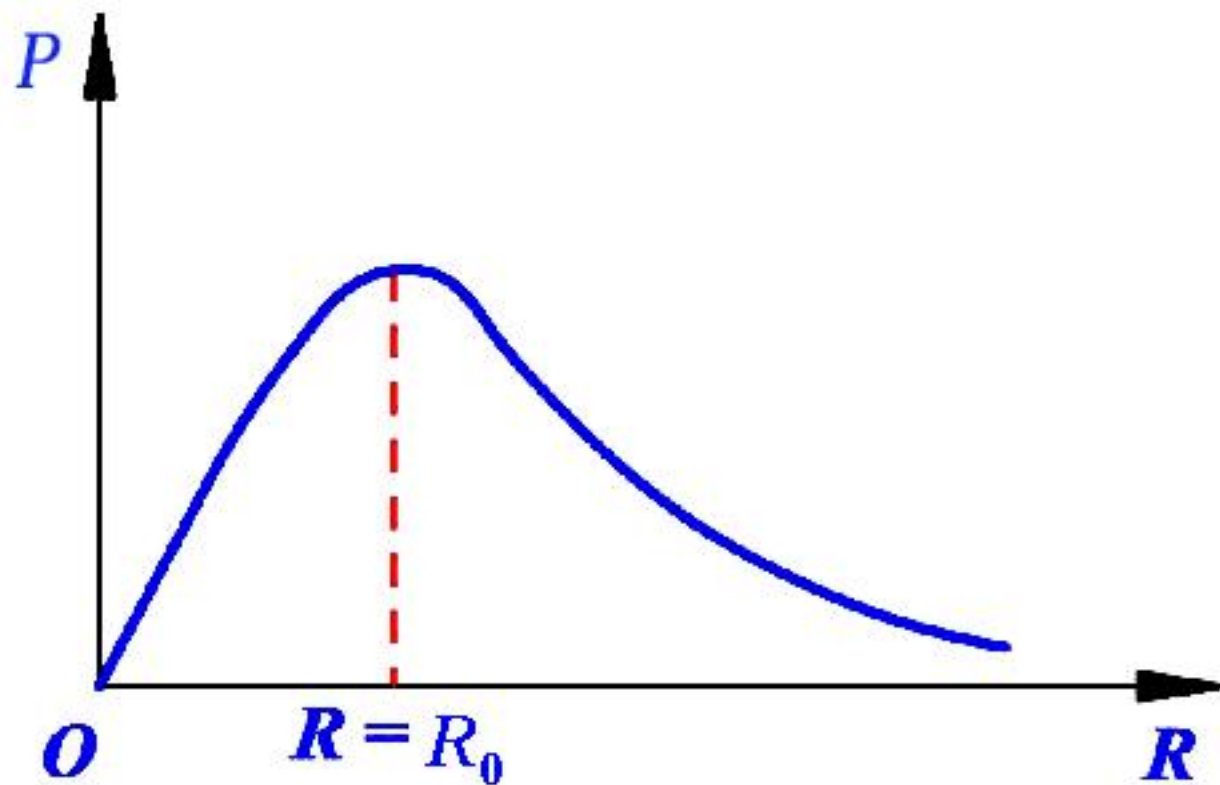


图 2-3 电源输出功率与外电路(负载)电阻的关系曲线



【例2-2】如图 2-4 所示，直流电源的电动势 $E = 10 \text{ V}$ 、内阻 $R_0 = 0.5 \Omega$ ，电阻 $R_1 = 2 \Omega$ ，问：可变电阻 R_p 调至多大时可获得最大功率 $P_{\max}$ ？

解：将 $(R_1 + R_0)$ 视为电源的内阻，则 $R_p = R_1 + R_0 = 2.5 \Omega$ 时， R_p 获得最大功率

$$P_{\max} = \frac{E^2}{4R_p} = 10 \text{ W}$$

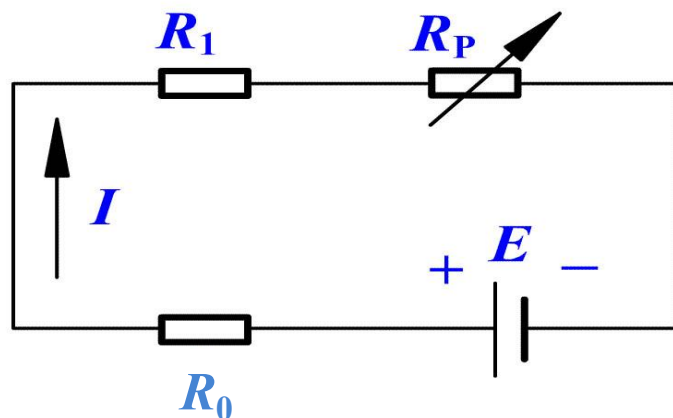


图 2-4 例题 2-2

第二节 电池组

一、电池的串联

二、电池的并联

一、电池的串联

如图 2-5 所示串联电池组，每个电池的电动势均为 E 、内阻均为 R_0 。

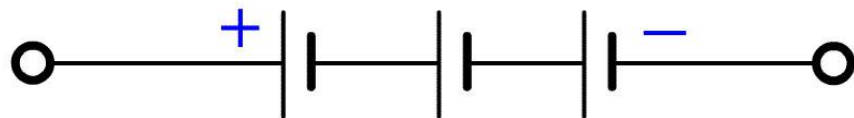


图 2-5 串联电池组

如果有 n 个相同的电池相串联，那么整个串联电池组的电动势与等效内阻分别为

$$E_{\text{串}} = nE, \quad r_{\text{串}} = nR_0$$

串联电池组的电动势是单个电池电动势的 n 倍，额定电流相同。

二、电池的并联

如图 2-6 所示并联电池组，每个电池的电动势均为 E 、内阻均为 R_0 。

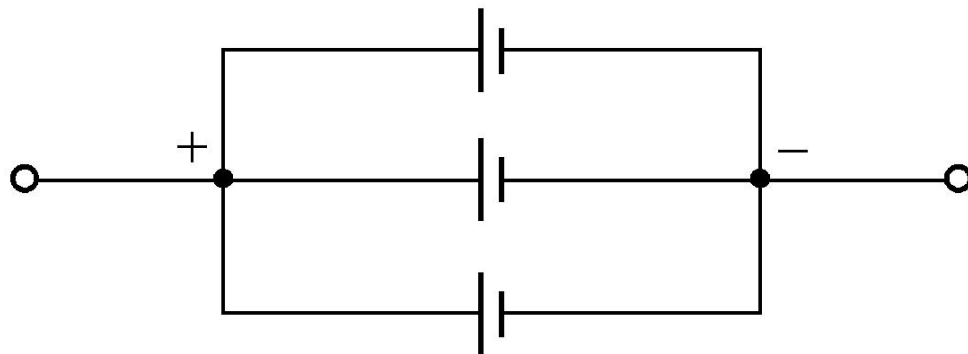


图 2-6 并联电池组

如果有 n 个相同的电池相并联，那么整个并联电池组的电动势与等效内阻分别为 $E_{\text{并}} = E$ ， $r_{\text{并}} = R_0 / n$

并联电池组的额定电流是单个电池额定电流的 n 倍，电动势相同。

第三节 电阻的串联

一、电阻串联电路的特点

二、应用举例

一、电阻串联电路的特点

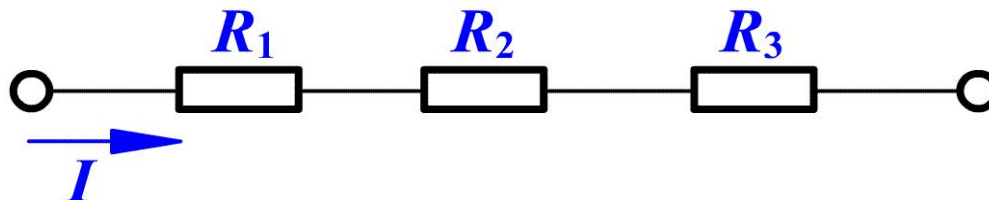


图 2-7 电阻的串联

设总电压为 U 、电流为 I 、总功率为 P 。

1. 等效电阻: $R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$

2. 分压关系: $\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \cdots = \frac{U_n}{R_n} = \frac{U}{R} = I$

3. 功率分配:

$$\frac{P_1}{R_1} = \frac{P_2}{R_2} = \dots = \frac{P_n}{R_n} = \frac{P}{R} = I^2$$

特例：两只电阻 R_1 、 R_2 串联时，等效电阻 $R = R_1 + R_2$ ，则有分压公式

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U, \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

二、应用举例

【例2-3】有一盏额定电压为 $U_1 = 40\text{ V}$ 、额定电流为 $I = 5\text{ A}$ 的电灯，应该怎样把它接入电压 $U = 220\text{ V}$ 照明电路中。

解：将电灯（设电阻为 R_1 ）与一只分压电阻 R_2 串联后，接入 $U = 220\text{ V}$ 电源上，如图 2-8 所示。

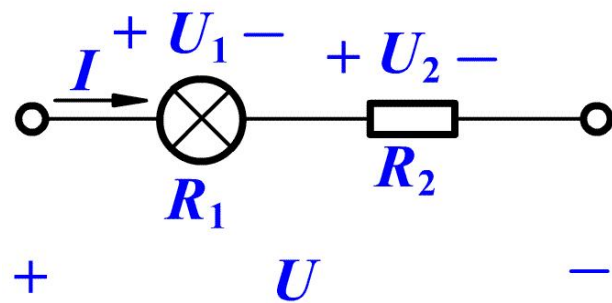


图 2-8 例题 2-3

解法一：分压电阻 R_2 上的电压

$$U_2 = U - U_1 = (220 - 40) \text{ V} = 180 \text{ V}, \text{ 且 } U_2 = R_2 I, \text{ 则}$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{180}{5} \Omega = 36 \Omega$$

解法二：利用两只电阻串联的分压公式

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U, \text{ 且 } R_1 = \frac{U_1}{I} = 8 \Omega$$

可得

$$R_2 = R_1 \frac{U - U_1}{U_1} = 36 \Omega$$

即将电灯与一只 36Ω 分压电阻串联后，接入 $U = 220 \text{ V}$ 电源上即可。



【例 2-4】有一只电流表，内阻 $R_g=1\text{ k}\Omega$ ，满偏电流为 $I_g=100\mu\text{A}$ ，要把它改成量程为 $U_n=3\text{ V}$ 的电压表，应该串联一只多大的分压电阻 R ？



解：如图 2-9 所示。

该电流表的电压量程为 $U_g = R_g I_g = 0.1 \text{ V}$ ，与分压电阻 R 串联后的总电压 $U_n = 3 \text{ V}$ ，即将电压量程扩大到 $n = U_n / U_g = 30$ 倍。

利用两只电阻串联的分压公式，可得

则
$$U_g = \frac{R_g}{R_g + R} U_n$$

$$R = \frac{U_n - U_g}{U_g} R_g = \left(\frac{U_n}{U_g} - 1 \right) R_g = (n - 1) R_g = 29 \text{ k}\Omega$$

上例表明，将一只量程为 U_g 、内阻为 R_g 的表头扩大到量程为 U_n ，所需要的分压电阻为 $R = (n - 1) R_g$ ，其中 $n = (U_n / U_g)$ 称为电压扩大倍数。

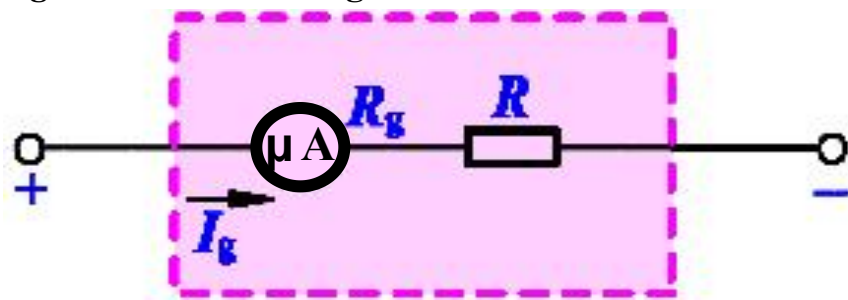


图 2-9 例题 2-4

第四节 电阻的并联

一、电阻并联电路的特点

二、应用举例

一、电阻并联电路的特点

设总电流为 I ，总电压为 U ，总功率为 P 。

1. 等效电导： $G = G_1 + G_2 + \cdots + G_n$ 即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

2. 分流关系：

$$R_1 I_1 = R_2 I_2 = \cdots = R_n I_n = RI = U$$

3. 功率分配：

$$R_1 P_1 = R_2 P_2 = \cdots = R_n P_n = RP = U^2 I$$

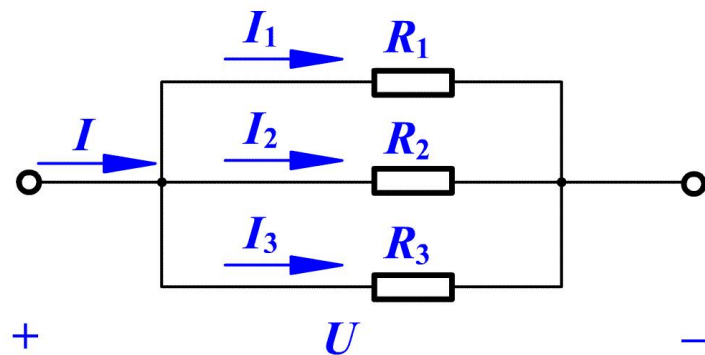


图 2-10 电阻的并联

特例：两只电阻 R_1 、 R_2 并联时，等效电阻

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

则有分流公式

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I, \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I。$$

二、应用举例

【例2-5】如图 2-11 所示，电源供电电压 $U = 220\text{ V}$ ，每根输电导线的电阻均为 $R_1 = 1\ \Omega$ ，电路中一共并联 100 盏额定电压 220V、功率 40 W 的电灯。假设电灯正常发光时电阻值为常数。试求：(1) 当只有 10 盏电灯工作时，每盏电灯的电压 U_L 和功率 P_L ；(2) 当 100 盏电灯全部工作时，每盏电灯的电压 U_L 和功率 P_L 。

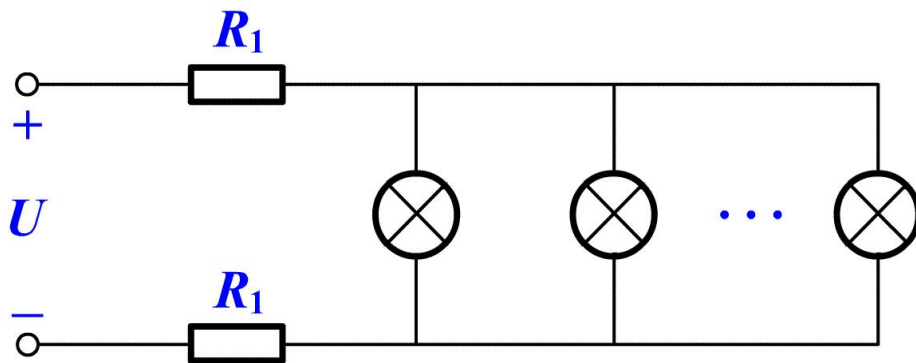


图 2-11 例题2-5

解:每盏电灯的电阻为 $R = U^2/P = 1210 \, \Omega$, n 盏电灯并联后的等效电阻为 $R_n = R / n$

根据分压公式, 可得每盏电灯的电压 $U_L = \frac{R_n}{2R_1 + R_n} U$,

功率 $P_L = \frac{U_L^2}{R}$

(1) 当只有 10 盏电灯工作时, 即 $n = 10$, 则 $R_n = R/n = 121 \, \Omega$, 因此

$$U_L = \frac{R_n}{2R_1 + R_n} U \approx 216 \, \text{V} , P_L = \frac{U_L^2}{R} \approx 39 \, \text{W}$$

(2) 当100盏电灯全部工作时, 即 $n = 100$, 则 $R_n = R/n = 12.1 \, \Omega$,

$$U_L = \frac{R_n}{2R_1 + R_n} U \approx 189 \, \text{V} , P_L = \frac{U_L^2}{R} \approx 29 \, \text{W}$$

【例2-6】有一只微安表，满偏电流为 $I_g = 100\ \mu\text{A}$ 、内阻 $R_g = 1\ \text{k}\Omega$ ，要改装成量程为 $I_n = 100\ \text{mA}$ 的电流表，试求所需分流电阻 R 。

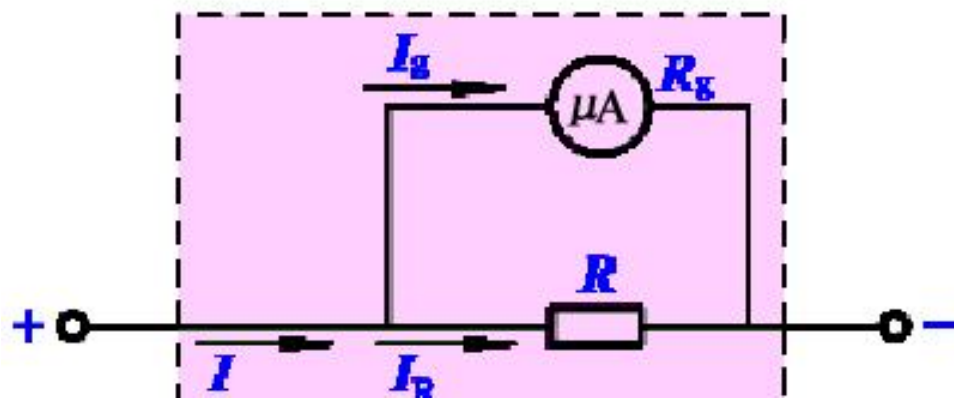


图 2-12 例题2-6

解：如图 2-12 所示，设 $n = I_n / I_g$ (称为电流量程扩大倍数)，

根据分流公式可得 $I_g = \frac{R}{R_g + R} I_n$ ，则

$$R = \frac{R_g}{n - 1}$$

本题中 $n = I_n / I_g = 1000$ ，

$$R = \frac{R_g}{n - 1} = \frac{1 \text{ k}\Omega}{1000 - 1} \approx 1 \Omega$$

上例表明，将一只量程为 I_g 、内阻为 R_g 的表头扩大到量程为 I_n ，所需要的分流电阻为 $R = R_g / (n - 1)$ ，其中 $n = (I_n / I_g)$ 称为电流扩大倍数。

第五节 电阻的混联

一、电阻混联电路分析步骤

二、解题举例

一、电阻混联电路分析步骤

在电阻电路中，既有电阻的串联关系又有电阻的并联关系，称为**电阻混联**。对混联电路的分析和计算大体上可分为以下几个步骤：

1. 首先整理清楚电路中电阻串、并联关系，必要时重新画出串、并联关系明确的电路图；
2. 利用串、并联等效电阻公式计算出电路中总的等效电阻；
3. 利用已知条件进行计算，确定电路的端电压与总电流；
4. 根据电阻分压关系和分流关系，逐步推算出各支路的电流或各部分的电压。

二、解题举例

【例2-7】如图 2-13 所示，已知 $R_1 = R_2 = 8\ \Omega$ ， $R_3 = R_4 = 6\ \Omega$ ， $R_5 = R_6 = 4\ \Omega$ ， $R_7 = R_8 = 24\ \Omega$ ， $R_9 = 16\ \Omega$ ；电压 $U = 224\ \text{V}$ 。试求：(1) 电路总的等效电阻 R_{AB} 与总电流 I_Σ ；
(2) 电阻 R_9 两端的电压 U_9 与通过它的电流 I_9 。

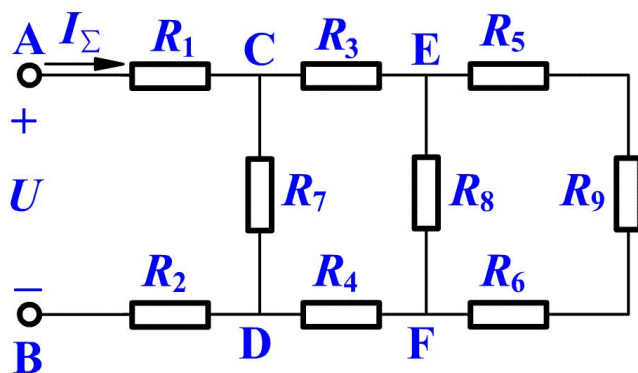


图2-13 例2-7

解:(1) R_5 、 R_6 、 R_9 三者串联后, 再与 R_8 并联, E、F 两端等效电阻为 $R_{EF} = (R_5 + R_6 + R_9) // R_8 = 12 \Omega$

R_{EF} 、 R_3 、 R_4 三电阻串联后, 再与 R_7 并联, C、D 两端等效电阻为 $R_{CD} = (R_3 + R_{EF} + R_4) // R_7 = 12 \Omega$

总的等效电阻 $R_{AB} = R_1 + R_{CD} + R_2 = 28 \Omega$

总电流 $I_{\Sigma} = U / R_{AB} = (224/28) \text{ A} = 8 \text{ A}$

(2) 利用分压关系求各部分电压: $U_{CD} = R_{CD} I_{\Sigma} = 96 \text{ V}$,

$$U_{EF} = \frac{R_{EF}}{R_3 + R_{EF} + R_4} U_{CD} = \frac{12}{24} \times 96 \text{ V} = 48 \text{ V}$$

$$I_9 = \frac{U_{EF}}{R_5 + R_6 + R_9} = 2 \text{ A}, \quad U_9 = R_9 I_9 = 32 \text{ V}$$

【例2-8】如图 2-14 所示，已知 $R = 10\ \Omega$ ，电源电动势 $E = 6\ \text{V}$ ，内阻 $r = 0.5\ \Omega$ ，试求电路中的总电流 I 。

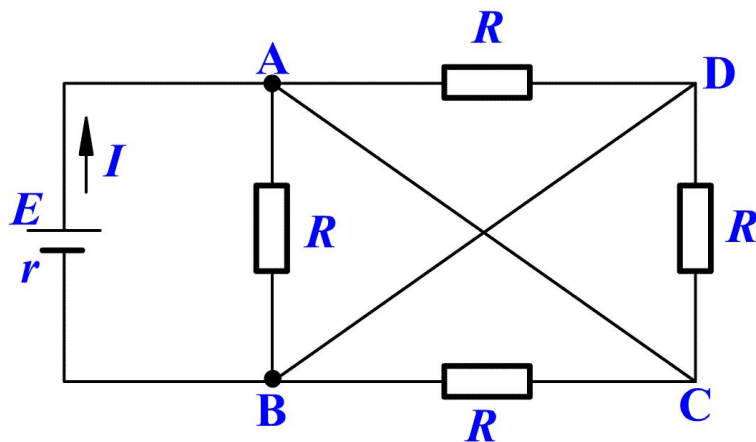


图2-14 例题 2-8 的等效电路

解:首先整理清楚电路中电阻串、并联关系,并画出等效电路,如图 2-15 所示。

四只电阻并联的等效电阻为 $R_e = R/4 = 2.5 \Omega$

根据全电路欧姆定律, 电路中的总电流为

$$I = \frac{E}{R_e + r} = 2 \text{ A}$$

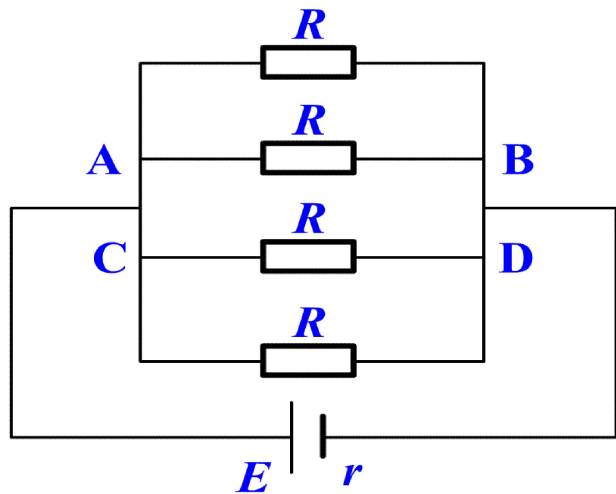


图 2-15 例题 2-8 的等效电路

第六节 万用电表的基本原理

一、万用表的基本功能

二、万用表的基本原理

三、万用表的使用

一、万用表的基本功能

万用电表又叫做复用电表，通常称为万用表。它是一种可以测量多种电量的多量程便携式仪表，由于它具有测量的种类多、量程范围宽、价格低以及使用和携带方便等优点，因此广泛应用于电气维修和测试中。

一般的万用表可以测量直流电压、直流电流、电阻、交流电压等，有的万用表还可以测量音频电平、交流电流、电容、电感以及晶体管的 β 值等。

二、万用表的基本原理

万用表的基本原理是建立在欧姆定律和电阻串联分压、并联分流等规律基础之上的。

万用表的表头是进行各种测量的公用部分。表头内部有一个可动的线圈（叫做动圈），它的电阻 R_g 称为表头的内阻。动圈处于永久磁铁的磁场中，当动圈通有电流之后会受到磁场力的作用而发生偏转。固定在动圈上的指针随着动圈一起偏转的角度，与动圈中的电流成正比。当指针指示到表盘刻度的满标度时，动圈中所通过的电流称为满偏电流 I_g 。 R_g 与 I_g 是表头的两个主要参数。

1. 直流电压的测量

将表头串联一只分压电阻 R ，即构成一个简单的直流电压表，如图 2-16 所示。

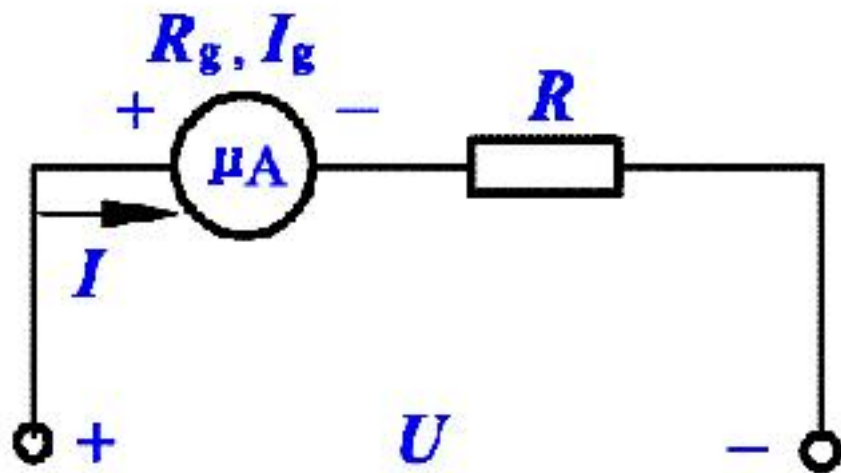


图 2-16 简单的直流电压表

测量时将电压表并联在被测电压 U_x 的两端，通过表头的电流与被测电压 U_x 成正比

$$I = \frac{U_x}{R + R_g}$$

在万用表中，用转换开关分别将不同数值的分压电阻与表头串联，即可得到几个不同的电压量程。

【例2-9】 如图 2-17 所示某万用表的直流电压表部分电路，五个电压量程分别是 $U_1 = 2.5 \text{ V}$ ， $U_2 = 10 \text{ V}$ ， $U_3 = 50 \text{ V}$ ， $U_4 = 250 \text{ V}$ ， $U_5 = 500 \text{ V}$ ，已知表头参数 $R_g = 3 \text{ k}\Omega$ ， $I_g = 50 \mu\text{A}$ 。试求电路中各分压电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 、 R_5 。

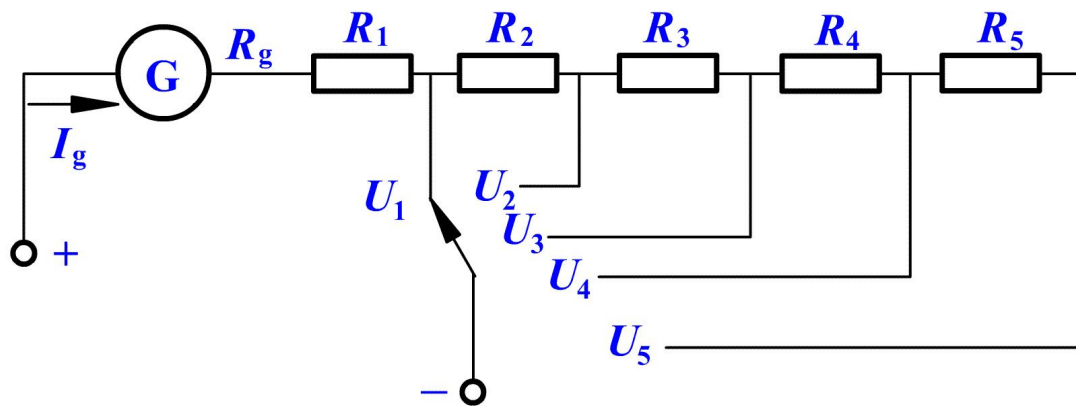


图 2-1 例题2-9

解:利用电压表扩大量程公式 $R = (n-1) R_g$, 其中 $n = (U_n/U_g)$, $U_g = R_g I_g = 0.15 \text{ V}$ 。

(1) 求 R_1 : $n_1 = (U_1/U_g) = 16.67$, $R_1 = (n - 1) R_g = 47 \text{ k}\Omega$

(2) 求 R_2 : 把 $R_{g2} = R_g + R_1 = 50 \text{ k}\Omega$ 视为表头内阻,

$n_2 = (U_2/U_1) = 4$, 则

$$R_2 = (n - 1) R_{g2} = 150 \text{ k}\Omega$$

(3) 求 R_3 : 把 $R_{g3} = R_g + R_1 + R_2 = 200 \text{ k}\Omega$ 视为表头内阻,

$n_3 = (U_3/U_2) = 5$, 则

$$R_3 = (n - 1) R_{g3} = 800 \text{ k}\Omega$$

(4) 求 R_4 : 把 $R_{g4} = R_g + R_1 + R_2 + R_3 = 1000 \text{ k}\Omega$ 视为表头内阻,
 $n_4 = (U_4/U_3) = 5$, 则

$$R_4 = (n - 1) R_{g4} = 4000 \text{ k}\Omega = 4 \text{ M}\Omega$$

(5) 求 R_5 : 把 $R_{g5} = R_g + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 5 \text{ M}\Omega$ 视为表头内阻,
 $n_5 = (U_5/U_4) = 2$, 则

$$R_5 = (n - 1) R_{g5} = 5 \text{ M}\Omega$$

2. 直流电流的测量

将表头并联一只分流电阻 R ，即构成一个最简单的直流电流表，如图 2-18 所示。设被测电流为 I_x ，则通过表头的电流与被测电流 I_x 成正比，即

$$I_G = \frac{R}{R_g + R} I_x$$

分流电阻 R 由电流表的量程 I_L 和表头参数确定

$$R = \frac{I_g}{I_L - I_g} R_g$$

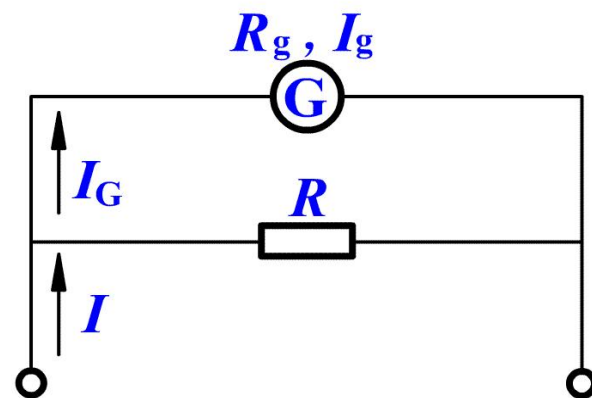


图 2-18 简单的直流电流表

实际万用表是利用转换开关将电流表制成多量程的，
如图 2-19 所示。

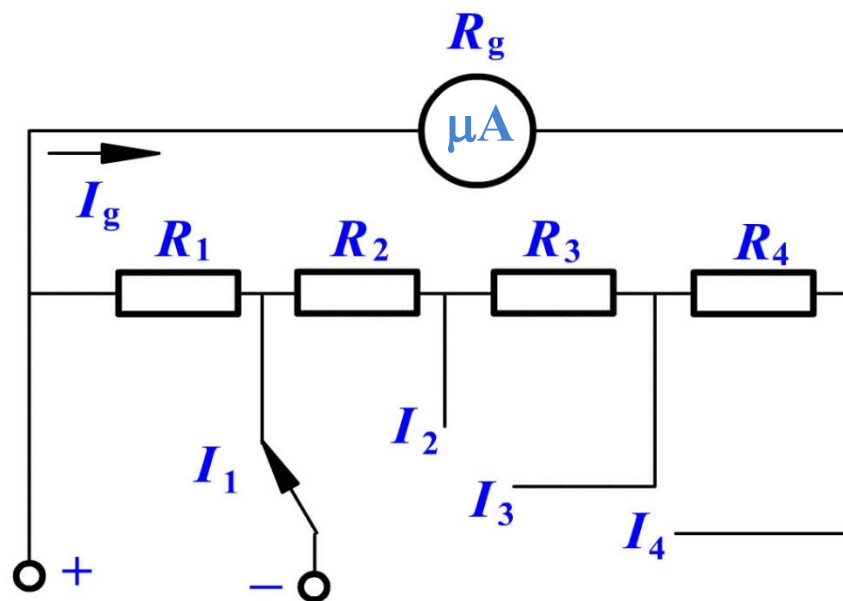


图 2-19 多量程的直流电流表

3. 电阻的测量

万用表测量电阻(即欧姆表)的电路如图 2-20 所示。

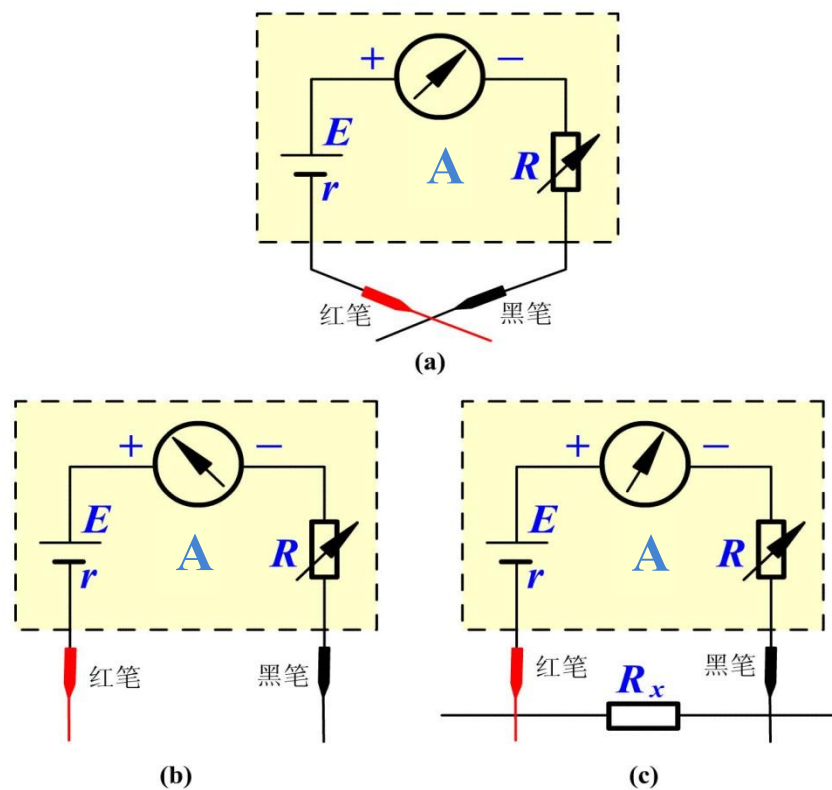


图 2-20 电阻表原理

可变电阻 R 叫做**调零电阻**，当红、黑表笔相接时(相当于被测电阻 $R_x = 0$)，调节 R 的阻值使指针指到表头的满刻度，即

$$I_g = \frac{E}{R_g + R_0 + R}$$

万用表电阻挡的零点在表头的满度位置上。而电阻无穷大时(即红、黑表笔间开路)指针在表头的零度位置上。

当红、黑表笔间接被测电阻 R_x 时，通过表头的电流为

$$I = \frac{E}{R_g + R_0 + R + R_x}$$

可见表头读数 I 与被测电阻 R_x 是一一对应的，并且成反比关系，因此欧姆表刻度不是线性的。

三、万用表的使用

1. 正确使用转换开关和表笔插孔

万用表有红与黑两只表笔（测棒），表笔可插入万用表的“+、-”两个插孔里，注意一定要严格将红表笔插入“+”极性孔里，黑表笔插入“-”极性孔里。测量直流电流、电压等物理量时，必须注意正、负极性。根据测量对象，将转换开关旋至所需位置，在被测量大小不详时，应先选用量程较大的高档试测，如不合适再逐步改用较低的挡位，以表头指针移动到满刻度的三分之二位置附近为宜。

2. 正确读数

万用表有数条供测量不同物理量的标尺，读数前一定要根据被测量的种类、性质和所用量程认清所对应的读数标尺。

3. 正确测量电阻值

在使用万用表的欧姆挡测量电阻之前，应首先把红、黑表笔短接，调节指针到欧姆标尺的零位上，并要正确选择电阻倍率挡。测量某电阻 R_x 时，一定要使被测电阻断电不与其它电路有任何接触，也不要用手接触表笔的导电部分，以免影响测量结果。当利用欧姆表内部电池作为测试电源时（例如判断二极管或三极管的管脚），要注意到**黑表笔接的是电源正极，红表笔接的是电源负极**。

4. 测量高电压时的注意事项

在测量高电压时务必要注意人身安全，应先将黑表笔固定接在被测电路的地电位上，然后再用红表笔去接触被测点处，操作者一定要站在绝缘良好的地方，并且应用单手操作，以防触电。在测量较高电压或较大电流时，**不能在测量时带电转动转换开关旋钮**改变量程或挡位。

5. 万用表的维护

万用表应水平放置使用，要防止受震动、受潮热，使用前首先看指针是否指在机械零位上，如果不在，应调至零位。每次测量完毕，要将转换开关置于空挡或最高交流电压挡上。在测量电阻时，如果将两只表笔短接后指针仍调整不到欧姆标尺的零位，则说明应更换万用表内部的电池；长期不用万用表时，应将电池取出，以防止电池受腐蚀而影响表内其它元件。

第七节 电阻的测量

一、电阻的测量方法

二、伏安法测电阻

三、惠斯通电桥

一、电阻的测量方法

电阻的测量在电工测量技术中占有十分重要的地位，工程中所测量的电阻值，一般是在 $10^{-6} \sim 10^{12} \Omega$ 的范围内。为减小测量误差，选用适当的测量电阻方法，通常是将电阻按其阻值的大小分成三类，即小电阻(1Ω 以下)、中等电阻($1 \Omega \sim 0.1 \text{ M}\Omega$)和大电阻($0.1 \text{ M}\Omega$ 以上)。测量电阻的方法很多，常用的方法分类如下：

1. 按获取测量结果方式分类

(1) **直接测阻法** 采用直读式仪表测量电阻，仪表的标尺是以电阻的单位 (Ω 、 $k\Omega$ 或 $M\Omega$) 刻度的，根据仪表指针在标尺上的指示位置，可以直接读取测量结果。例如用万用表的电阻挡或兆欧表等测量电阻，就是直接测阻法。

(2) **比较测阻法** 采用比较仪器将被测电阻与标准电阻器进行比较，在比较仪器中接有检流计，当检流计指零时，可以根据已知的标准电阻值，获取被测电阻的阻值。

(3) **间接测阻法** 通过测量与电阻有关的电量，然后根据相关公式计算，求出被测电阻的阻值。例如得到广泛应用的、最简单的间接测阻法是电流、电压表法测量电阻（即伏安法）。它是用电流表测出通过被测电阻中的电流、用电压表测出被测电阻两端的电压，然后根据欧姆定律即可计算出被测电阻的阻值。

2. 按被测电阻的阻值的大小分类

(1) 小电阻的测量 是指测量 $1\ \Omega$ 以下的电阻。测量小电阻时，一般是选用毫欧表。要求测量精度比较高时，则可选用双臂电桥法测量。

(2) 中等电阻的测量 是指测量阻值在 $1\ \Omega \sim 0.1\ \text{M}\ \Omega$ 之间的电阻。对中等电阻测量的最为方便的方法是用电阻表进行测量，它可以直接读数，但这种方法的测量误差较大。中等电阻的测量也可以选用伏、安表测阻法，它能测出工作状态下的电阻值。其测量误差比较大。若需精密测量可选用单臂电桥法。

(3) 大电阻的测量是指测量阻值在 $0.1\ \text{M}\ \Omega$ 以上的电阻。在测量大电阻时可选用兆欧表法，可以直接读数，但测量误差也较大。

二、伏安法测电阻

图 2-21 (a) 是电流表外接的伏安法，这种测量方法的特点是电流表读数 I 包含被测电阻 R 中的电流 I 与电压表中的电流 I_V ，所以电压表读数 U 与电流表读数 I 的比值应是被测电阻 R 与电压表内阻 R_V 并联后的等效电阻，即 $(R//R_V) = U/I$ ，所以被测电阻值为

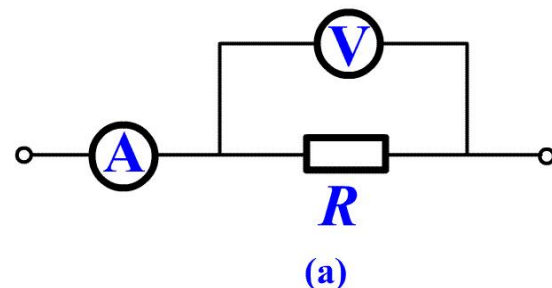


图 2-21 伏安法测电阻

$$R = \frac{U}{I - \frac{U}{R_V}}$$

如果不知道电压表内阻 R_V 的准确值，令 $R \approx \frac{U}{I}$ ，则该种测量方法适用于 $R \ll R_V$ 情况，即适用于测量阻值较小的电阻。

图 2-21 (b) 是电流表内接的伏安法，这种测量方法的特点是电压表读数 U 包含被测电阻 R 端电压 U 与电流表端电压 U_A ，所以电压表读数 U 与电流表读数 I 的比值应是被测电阻 R 与电流表内阻 R_A 之和，即 $R + R_A = U/I$ ，所以被测电阻值为

$$R = \frac{U}{I} - R_A$$

如果不知道电流表内阻的准确值，令 $R \approx \frac{U}{I}$ ，则该种测量方法适用于 $R \gg R_A$ 的情况，即适用于测量阻值较大的电阻。

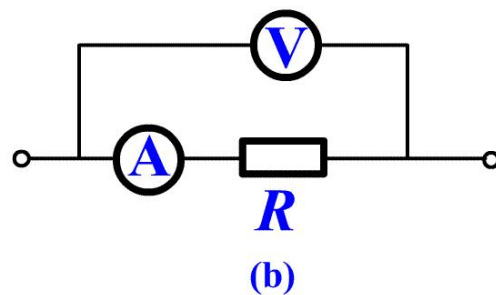


图 2-21 伏安法测电阻

三、惠斯通电桥

惠斯通电桥法可以比较准确地测量电阻，其原理如图 2-22 所示。

R_1 、 R_2 、 R_3 为可调电阻，并且是阻值已知的标准精密电阻。 R_4 为被测电阻，当检流计的指针指示到零位置时，称为电桥平衡。此时，B、D 两点为等电位，被测电阻为

$$R_4 = \frac{R_2}{R_1} R_3$$

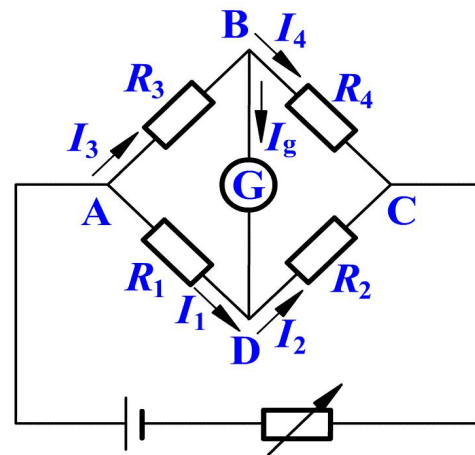


图2-22 惠斯通电桥法测量电阻

惠斯通电桥有多种形式，常见的是一种滑线式电桥。



动画

动画 [M 2-2 惠斯通电桥](#)

被测电阻为

$$R_x = \frac{l_2}{l_1} R$$

第八节 电路中各点电位的计算

一、电位参考点(即零电位点)

二、电位的定义

一、电位参考点(即零电位点)

在电路选定某一点 A 为**电位参考点**，就是规定该点的电位为零，即 $V_A = 0$ 。电位参考点的选择方法是：

- (1) 在工程中常选大地作为电位参考点；
- (2) 在电子线路中，常选一条特定的公共线或机壳作为电位参考点。

在电路中通常用符号 “ $\perp$ ” 标出电位参考点。

二、电位的定义

电路中某一点M的电位 V_M 就是该点到电位参考点 A 的电压，也即 M、A 两点间的电位差，即

$$V_M = U_{MA}$$

计算电路中某点电位的方法是：

(1) 确认电位参考点的位置；

(2) 确定电路中的电流方向和各元件两端电压的正、负极性；

(3) 从被求点开始通过一定的路径绕到电位参考点，则该点的电位等于此路径上所有电压降的代数和：电阻元件电压降写成 $\pm RI$ 形式，当电流 I 的参考方向与路径绕行方向一致时，选取“+”号；反之，则选取“-”号。电源电动势写成 $\pm E$ 形式，当电动势的方向与路径绕行方向一致时，选取“-”号；反之，则选取“+”号。

【例2-10】如图 2-23 所示电路，已知： $E_1 = 45\text{ V}$ ， $E_2 = 12\text{ V}$ ，电源内阻忽略不计； $R_1 = 5\ \Omega$ ， $R_2 = 4\ \Omega$ ， $R_3 = 2\ \Omega$ 。求 B、C、D 三点的电位 V_B 、 V_C 、 V_D 。

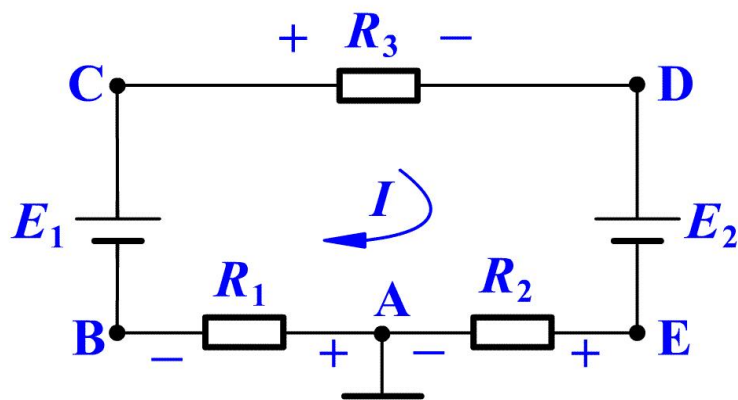


图2-23 例题2-10

解:利用电路中 A 点为电位参考点(零电位点), 电流方向为顺时针方向:

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R_3} = 3 \text{ A}$$

B 点电位: $V_B = U_{BA} = -R_1 I = -15 \text{ V}$

C 点电位: $V_C = U_{CA} = E_1 - R_1 I = (45 - 15) \text{ V} = 30 \text{ V}$

D 点电位: $V_D = U_{DA} = E_2 + R_2 I = (12 + 12) \text{ V} = 24 \text{ V}$

必须注意的是，电路中两点间的电位差(即电压)是绝对的，不随电位参考点的不同发生变化，即**电压值与电位参考点无关**；而电路中某一点的**电位则是相对电位参考点而言的**，电位参考点不同，该点电位值也将不同。

例如，在上例题中，假如以 E 点为电位参考点，则

B 点的电位变为 $V_B = U_{BE} = -R_1 I - R_2 I = -27 \text{ V}$ ；

C 点的电位变为 $V_C = U_{CE} = R_3 I + E_2 = 18 \text{ V}$ ；

D 点的电位变为 $V_D = U_{DE} = E_2 = 12 \text{ V}$ 。

本章小结

一、闭合电路的欧姆定律

二、电池组

三、电阻的串联

四、电阻的并联

五、万用表

六、电阻的测量

七、电路中各点电位的计算

一、闭合电路的欧姆定律

$$I = \frac{E}{R + R_0}$$

负载 R 获得最大功率的条件是 $R = R_0$ ，此时负载的最大功率值为

$$P_{\max} = \frac{E^2}{4R}$$

二、电池组

n 个相同的电池相串联，那么整个串联电池组的电动势 $E_{\text{串}} = nE$ ，等效内阻 $R_{0\text{串}} = n R_0$ 。

n 个相同的电池相并联，那么整个并联电池组的电动势 $E_{\text{并}} = E$ ，等效内阻 $R_{0\text{并}} = R_0 / n$ 。

三、电阻的串联

1. 等效电阻: $R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$

2. 分压关系: $\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \cdots = \frac{U_n}{R_n} = \frac{U}{R} = I$

3. 功率分配: $\frac{P_1}{R_1} = \frac{P_2}{R_2} = \cdots = \frac{P_n}{R_n} = \frac{P}{R} = I^2$

四、电阻的并联

1. 等效电导: $G = G_1 + G_2 + \cdots + G_n$ 即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

2. 分流关系: $R_1 I_1 = R_2 I_2 = \cdots = R_n I_n = RI = U$

3. 功率分配: $R_1 P_1 = R_2 P_2 = \cdots = R_n P_n = RP = U^2$

五、万用表

万用表的基本原理是建立在欧姆定律和电阻串联分压、并联分流等规律基础之上的。一般的万用表可以测量直流电压、直流电流、电阻、交流电压等。

六、电阻的测量

1.直接测阻法 采用直读式仪表测量电阻，仪表的标尺是以电阻的单位(Ω 、 $k\Omega$ 或 $M\Omega$)刻度的，可以直接读取测量结果。例如用万用表的 Ω 挡测量电阻，就是直接测阻法。

2.比较测阻法 采用比较仪器将被测电阻与标准电阻器进行比较，在比较仪器中接有检流计，当检流计指零时，可以根据已知的标准电阻值，获取被测电阻的阻值。

3. 间接测阻法 通过测量与电阻有关的电量，然后根据相关公式计算，求出被测电阻的阻值。例如得到广泛应用的、最简单的间接测阻法是**伏安法**。它是用电流表测出通过被测电阻中的电流、用电压表测出被测电阻两端的电压，然后根据欧姆定律即可计算出被测电阻的阻值。

惠斯通电桥法可以比较准确地测量电阻，电桥平衡时，被测电阻为 $R = \frac{R_2}{R_1} R_3$ 。惠斯通电桥有多种形式，常见的是一种滑线式电桥，被测电阻为 $R_x = \frac{l_2}{l_1} R$ 。

七、电路中各点电位的计算

在电路选定某一点 A 为电位参考点，就是规定该点的电位为零，即 $V_A = 0$ 。电路中某一点 M 的电位 V_M 就是该点到电位参考点 A 的电压，也即 M、A 两点间的电位差，即 $V_M = U_{MA}$ 。