

常 用 电 工 计 算

周 希 章 编



机 械 工 业 出 版 社

本书在阐明基本理论的基础上，理论联系实际，列举了一百二十余个例题，介绍了电工实际工作中经常遇到的计算知识。主要包括基本定律及其应用；简易电路计算；电机、变压器和电工仪表使用中的计算；整流电路计算等。为便于读者自学，文字力求通俗易懂，并在书末给出了一定数量的复习题（附有习题答案）。

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $5\frac{3}{4}$ · 字数 124 千字

1983年1月北京第一版·1983年1月北京第一次印刷

印数 00,001—95,000 · 定价 0.48 元

*

统一书号：15033·5337

目 录

一、基本定律及其应用	1
1. 欧姆定律、电阻和电导	1
2. 焦耳-楞次定律, 电功和电功率	14
3. 基尔霍夫定律	17
4. 磁路定律	24
二、简易电路计算	34
1. 电阻串并联电路	34
2. 电阻的星形接法和三角形接法的等值互换	45
3. 戴维南定律	48
4. 交流电的基本性能	51
5. 交流电路中的电压和电流	57
6. 交流电功率和功率因数	68
7. 相、线电流, 相、线电压的概念及三相电路功率的计算	74
三、电机、电器及变压器的常用计算	82
1. 异步电动机	82
2. 直流电机	91
3. 小型单相变压器的计算	96
4. 三相电力变压器的基本参数及其相互关系的计算	109
5. 接触器线圈的计算	111
四、电工仪表使用中的计算	116
1. 电表量程的扩大	116
2. 有功电度数的计算	120
3. 电气测量指示仪表的误差及准确度	122
五、整流电路的计算	129
1. 单相整流电路	129

IV

2. 三相整流电路	142
3. 单相可控整流电路	148
4. 简单稳压电路的计算	162
六、复习题	168

一、基本定律及其应用

1. 欧姆定律、电阻和电导

(一) 欧姆定律 它是计算线性电路的最基本定律，在应用时常分以下三种形式：

一) 一段无源支路的欧姆定律

图 1 是闭合回路中的一段支路，在这一段支路中仅有电阻，故又叫一段电阻电路的欧姆定律。当导体的温度不变时，通过一段无源支路的电流与支路两端电压成正比，与电阻成反比。

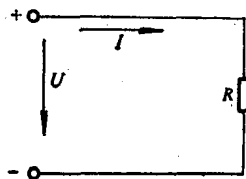


图 1

当电流与电压的参考方向一致时，欧姆定律为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1)$$

式中 I ——支路电流 安(A)；

U ——支路两端电压 伏(V)；

R ——电阻 欧(Ω)。

上式也可表示成

$$U = IR \quad (2)$$

或

$$R = \frac{U}{I} \quad (3)$$

上面提到的电流、电压的参考方向均可任意选定，参考方向也可称为正方向，以电流为例，如电流的实际方向与参考方向一致时，就把电流定为正值，反之，当电流的实际方

向与参考方向相反时，电流就定为负值。

二) 一段含源支路的欧姆定律 当导体的温度不变时，通过一段含源支路的电流不仅与支路的端电压有关，还与支路的电动势有关。含源支路欧姆定律表达式的形式还取决于电动势 E 、电压 U 与电流 I 参考方向的选择，如表 1。

三) 全电路的欧姆定律 也叫回路的欧姆定律，图 2 是最简

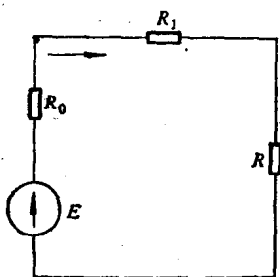


图 2

表 1 一段含源支路的欧姆定律

电 路	欧姆定律 表达式	说 明
	$I = \frac{E + U}{R}$	E 、 U 的方向与 I 的方向一致
	$I = \frac{-E + U}{R}$	E 与 I 的方向相反， U 与 I 的方向一致
	$I = \frac{E - U}{R}$	E 与 I 的方向一致， U 与 I 的方向相反
	$I = \frac{-E - U}{R}$	E 、 U 的方向与 I 的方向相反

单的闭合回路，通过该闭合回路的电流与回路的电动势成正比，而与回路的全部电阻值成反比。当回路电动势与回路电流的方向一致时，它们的关系如下

$$I = \frac{E}{\Sigma R} \quad (4)$$

式中 E ——回路的电动势 伏(V)；

ΣR ——回路中的总电阻 欧(Ω)；

$$\Sigma R = R_0 + R_l + R$$

R_0 ——电源内阻 欧(Ω)；

R ——负载电阻 欧(Ω)；

R_l ——回路中连线的电阻 欧(Ω)。

综上所述，欧姆定律既可用于一段电路，也可用于全电路。我们在计算时，应根据已知条件正确地使用欧姆定律。

(1) 已知电压、电阻求电流

例1 某电炉，已知炉丝电阻为10欧姆，如接在220伏电路上，求电流为多少？如改接到380伏电路上，电流又为多少？

解 当电压为220伏时，电流

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{10} = 22 \text{ 安}$$

如改接到380伏电路上，电流

$$I = \frac{U}{R} = \frac{380}{10} = 38 \text{ 安}$$

例2 某电子管灯丝电阻为21欧，加在该电子管灯丝上的电压为6.3伏，求流过电子管灯丝上的电流为多少？

解 由欧姆定律，电流

$$I = \frac{U}{R} = \frac{6.3}{21} = 0.3 \text{ 安}$$

例 3 晶体管电路基极偏流计算：在图 3 中已知 $E_c = 12$ 伏， $R_b = 100$ 千欧，求基极偏流 $I_b = ?$

解 因为基极 b 和发射极 e 间电阻比偏流电阻 R_b 小得多，计算时可忽略不计，利用欧姆定律得

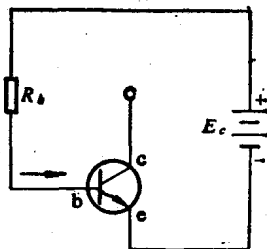


图 3

$$I_b = \frac{E_c}{R_b} = \frac{12}{100 \times 10^3} = 120 \times 10^{-6} \text{ 安} = 120 \text{ 微安}$$

调节 R_b ，就可以调节偏流。

例 4 某直流电动机电枢内阻 $R_s = 0.4$ 欧，电动机额定电压 $U_s = 220$ 伏，如果电动机直接起动，求起动电流 I_q 为多少？

解 由欧姆定律求起动电流

$$I_q = \frac{U_s}{R_s} = \frac{220}{0.4} = 550 \text{ 安}$$

例 5 图 4 电路，已知 $E = 110$ 伏，发电机内阻 $r_0 = 0.2$ 欧，导线电阻 $r_{\text{线}} = 0.4$ 欧，负载电阻 $R = 9$ 欧，求：

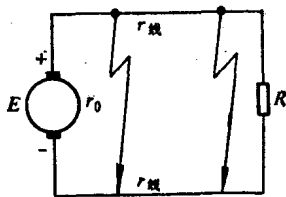


图 4

1) 电路在正常工作情况下的电流 I ；

2) 当负载两端发生短路时，电源中通过的电流 I' ；

3) 当电源两端发生短路时，电源中通过的电流 I'' 。

解 由全电路欧姆定律可得

1) 正常工作时的电流为

$$I = \frac{E}{r_0 + 2r_{\text{线}} + R} = \frac{110}{0.2 + 2 \times 0.4 + 9} = \frac{110}{10} = 11 \text{ 安}$$

2) 当负载两端发生短路时, 因短路导体的电阻接近于零, 所以通过电源的电流为

$$I' = \frac{E}{r_0 + 2r_{\text{线}}} = \frac{110}{0.2 + 2 \times 0.4} = 110 \text{ 安}$$

3) 当电源两端发生短路时, 通过电源的电流为

$$I'' = \frac{E}{r_0} = \frac{110}{0.2} = 550 \text{ 安}$$

例 6 图 5 是用固定电流法测定表头灵敏度的线路, 已知 $E = 1.55$ 伏, $R_g = 20$ 千欧, 表内阻 $R_c = 1.65$ 千欧, 当电路接通后, 指针指在 44.2 格 (满刻度为 50 格), 求表头灵敏度是多少?

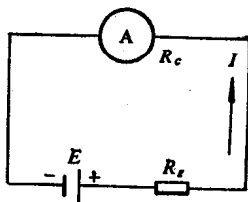


图 5

解 表头的灵敏度是指表头指针从标度尺零点偏转到满刻度时所通过的电流。电流越小, 灵敏度越高。测定表头灵敏度就是测定它的满刻度 (又称满量程) 电流。本例是测定表头灵敏度的方法之一。利用欧姆定律, 首先求出通过表头中的固定电流为

$$I = \frac{E}{R_g + R_c}$$

因指针偏转数与电流成正比, 故

$$\frac{I}{I_0} = \frac{44.2}{50}$$

$\therefore$ 表头灵敏度

$$\begin{aligned}
 I_e &= I \frac{50}{44.2} = \frac{E}{R_g + R_c} \times \frac{50}{44.2} \\
 &= \frac{1.55}{(20 + 1.65) \times 10^{-3}} \times \frac{50}{44.2} \\
 &= 0.000081 \text{ 安} = 81 \text{ 微安}
 \end{aligned}$$

(2) 已知电压、电流求电阻

例 7 例 4 中的直流电动机, 已知额定电流 $I_e = 50$ 安, 若将起动电流降低到额定电流的 2 倍, 问应在电枢回路中串联多大电阻?

解 要解此题, 首先可用全电路欧姆定律求出总电阻 ΣR , 因为电枢具有一定的内阻, 总电阻 ΣR 减去电枢内阻 R_e , 就是需要串联的电阻 R_g 。具体步骤如下:

1) 用全电路欧姆定律求总电阻

$$\Sigma R = \frac{U_e}{2I_e} = \frac{220}{2 \times 50} = 2.2 \text{ 欧}$$

2) 求串联电阻 R_g

$$R_g = \Sigma R - R_e = 2.2 - 0.4 = 1.8 \text{ 欧}$$

例 8 已知 100 瓦, 220 伏灯泡的电流为 0.454 安, 求灯泡的热电阻为多少?

解 灯泡电阻系非线性电阻, 但它的热电阻仍可用欧姆定律来求解。

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.454} \approx 484 \text{ 欧}$$

例 9 图 6 测量二极管正向电阻电路, 需加入限流电阻 R , 试验时 A B 两端电压最大可达 30 伏, 测二极管最大电流是 100 毫安, 二极管正向电阻不计, 求 R 为多少?

解

$$R = \frac{U}{I} = \frac{30}{100 \times 10^{-3}} = 300 \text{ 欧}$$

例10 图7是用分路等电位差法测量表头内阻的线路图,开关K闭合前调节 R_1 使指针偏转到满刻度(设为50格),当K闭合后,因 R_g 的分流作用,使指针倒退到27.4格处,求表头内阻为多少?已知 R_g 为2千欧。

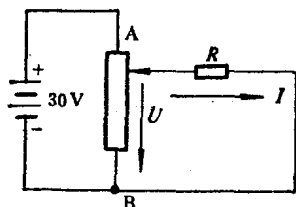


图 6

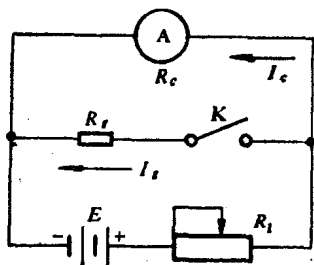


图 7

解 因表头指针的偏转,是由于有电流流过。流过表头的电流越大,指针偏转的格数越多。流过表头电流 I_g 的大小,可用指针偏转的格数表示。开关K闭合前,因 R_g 支路内无电流,电源 E 提供的电流全部流过表头,指针偏转的格数多,本例中已知这时的偏转为50格。开关K接通后,因 R_g 支路中要流过一部分电流 I_g ,故流过表头的电流减小,指针要倒退,已知指针退到27.4格处,倒退的格数为 $50 - 27.4$,这倒退的格数,就是流过 R_g 电流的份数。

因表头和 R_g 电阻两端的电压一样,根据欧姆定律,有

$$I_g R_g = I_g R_g$$

I_g 用50格表示, I_g 用 $50 - 27.4$ 格表示,故

$$50 R_g = (50 - 27.4) R_g$$

$$R_g = \frac{50 - 27.4}{50} R_g$$

$$\therefore R_x = \frac{50 - 27.4}{50} \times 2000$$

$$\approx 1650 \text{ 欧} = 1.65 \text{ 千欧}$$

(3) 已知电阻、电流求电压

例11 有一电工仪表, 内阻 $R_g = 1$ 千欧, 使表针满偏转电流 $I_g = 100$ 微安, 求此电表两端电压 $U_g = ?$

解 由欧姆定律, 电压

$$U_g = R_g I_g = 1000 \times 100 \times 10^{-6} = 0.1 \text{ 伏}$$

例12 如果人体最小的电阻为 800 欧, 已知通过人体的电流为 50 毫安时, 就会引起呼吸器官麻痹, 不能自主摆脱电源, 试求安全工作电压是多少?

解 由欧姆定律, 电压

$$U = IR = 0.05 \times 800 = 40 \text{ 伏}$$

例13 发电机的端电压为 115 伏, 经过电阻为 0.05 欧的导线输电给电动机, 如果这台电动机取用的电流为 100 安, 求电动机输入端的电压为多少?

解 由欧姆定律, 电阻上压降

$$U = IR = 100 \times 0.05 = 5 \text{ 伏}$$

$$\text{电动机输入端电压} = 115 - 5 = 110 \text{ 伏}$$

(二) **导体电阻的计算** 导体电阻的大小与导体的长度成正比, 与横截面积成反比, 并与材料性质有关, 可用下列关系式表示

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (5)$$

式中 R ——导体的电阻 欧(Ω);

l ——导体的长度 米(m);

S ——导体截面积 毫米²(mm²);

ρ ——导体的电阻系数，也叫电阻率，单位欧姆·毫米²/米。不同的导体，有不同的电阻系数，其数值随着温度的变化而改变。通常，我们在各种手册中查到的电阻系数为温度 20°C 时的数值。

因为导体的电阻系数是随温度的变化而改变，所以导体的电阻也随温度的变化而改变。一般，金属的电阻都随温度的增加而增大，但炭、电解液等材料的电阻则随温度的上升而下降。实验指出，在一般工作温度范围内，电阻与温度的关系可视为线性，用下式表示

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)] \quad (6)$$

式中 R_2 ——温度为 t_2 时导体的电阻 欧(Ω)；

R_1 ——温度为 t_1 时导体的电阻 欧(Ω)；

α ——以温度 t_1 为基准时，导体电阻温度系数。每种导体在一定的温度下有一定的温度系数。电阻温度系数等于温度每变动 1°C 时，每欧电阻的变动量，单位为 1/度。

(三) 电导、电导率 衡量导体传导电流本领的物理量，称为电导，它是电阻的倒数，以 g 表示，单位为西门子或姆(西门子 = 1/欧)。

$$g = \frac{1}{R} \quad (7)$$

电导率(电导系数)是衡量物质导电性能的参数，电导率是电阻率的倒数，以 γ 表示，单位为米/欧姆·毫米² ($\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$)。

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad (8)$$

引用了电导后，欧姆定律可以写成

$$I = gU \quad (9)$$

例14 铝母排的截面尺寸为 50×5 毫米², 电阻率 $\rho = 0.0295$ 欧姆·毫米²/米, 长度为 50 米, 问它的电阻是多少?

解 设铝母排电阻为 R

$$R = \rho \frac{l}{S} = 0.0295 \times \frac{50}{50 \times 5} = 0.0059 \text{ 欧}$$

例15 聚氯乙烯绝缘软铜线的规格为 7 股 1.70 毫米, 长度为 200 米, 问它的电阻是多少? 已知铜线的电阻率 $\rho = 0.0184$ 欧姆·毫米²/米。

解 设铜线截面为 S

$$S = n \frac{\pi d^2}{4} = 7 \times \frac{\pi (1.7)^2}{4} \approx 15.88 \text{ 毫米}^2$$

标称截面为 16 毫米²

$$\text{铜线电阻 } R = \rho \frac{l}{S} = 0.0184 \times \frac{200}{16} = 0.23 \text{ 欧}$$

例16 某设备需用直径为 $\phi 1.6$ 毫米的康铜电阻丝绕制的电阻, 电阻值需 5 欧姆, 问其长度为多少? 已知康铜电阻丝的电阻率 $\rho = 0.49$ 欧姆·毫米²/米。

解 康铜电阻丝截面

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times (1.6)^2}{4} \approx 2 \text{ 毫米}^2$$

因
$$R = \rho \frac{l}{S}$$

$$\text{故电阻丝长度 } l = \frac{RS}{\rho} = \frac{5 \times 2}{0.49} \approx 20.4 \text{ 米}$$

例17 一根长度为 50 米的镍铬铁合金线, 它的电阻为 11.2 欧姆, 求它的截面是多少? 已知镍铬铁合金的电阻率 $\rho = 1.12$ 欧姆·毫米²/米。

解 因

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

故

$$S = \frac{\rho l}{R} = \frac{1.12 \times 50}{11.2} = 5 \text{ 毫米}^2$$

例18 一导线长 1000 米, 直径为 5 毫米, 电阻为 2 欧, 求长度为 500 米, 直径为 1 毫米的同样材料做成的导线的电阻是多少?

解 因

$$R_1 = \rho \frac{l_1}{S_1} \quad R_2 = \rho \frac{l_2}{S_2}$$

$$S_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} \quad S_2 = \frac{\pi d_2^2}{4}$$

故

$$\rho = \frac{R_1 S_1}{l_1} = \frac{R_2 S_2}{l_2}$$

即

$$\frac{R_1 \frac{\pi d_1^2}{4}}{l_1} = \frac{R_2 \frac{\pi d_2^2}{4}}{l_2}$$

所以

$$\frac{R_1 d_1^2}{l_1} = \frac{R_2 d_2^2}{l_2}$$

$$\frac{2 \times 5^2}{1000} = \frac{R_2 \times 1^2}{500}$$

所以导线电阻

$$R_2 = \frac{2 \times 25 \times 500}{1 \times 1000} = 25 \text{ 欧}$$

例19 某铜线线圈在 20°C 时的电阻是 0.16 欧, 问在 50°C 时的电阻是多少? 已知在 20°C 时铜线的电阻温度系数 $\alpha = 0.00395 \text{ 1/度}$ 。

解 设 50°C 时线圈的电阻为 R_2

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)]$$

$$= 0.16[1 + 0.00395(50 - 20)]$$

$$= 0.16 \times 1.1185 = 0.17896 \text{ 欧}$$

例20 CJ₁-75 型交流接触器线圈，在 20°C 时的直流电阻值为 105 欧，通电后温度升高，此时测量线圈的直流电阻值为 113.3 欧，求线圈的温升是多少？

解 温升 $t = t_2 - t_1$

在 20°C 时线圈的电阻温度系数

$$\alpha = 0.00395 \text{ 1/度}$$

因

$$R_2 = R_1(1 + \alpha t)$$

所以

$$t = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \alpha} = \frac{113.3 - 105}{105 \times 0.00395}$$

$$= \frac{8.3}{0.41475} \approx 20^\circ\text{C}$$

例21 某电热器系用镍铬合金丝做成，在 20°C 时的电阻为 20 欧，当其电阻升高到 23 欧时，求电热器的的工作温度是多少？已知 20°C 时，镍铬合金的电阻温度系数 $\alpha = 0.0004$ 1/度。

解

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)]$$

设

$$t_2 - t_1 = t$$

则

$$R_2 = R_1 + \alpha R_1 t$$

$$t = \frac{R_2 - R_1}{\alpha R_1} = \frac{23 - 20}{0.0004 \times 20} = \frac{3}{0.008} = 375^\circ\text{C}$$

$$t_2 = t_1 + t = 20 + 375 = 395^\circ\text{C}$$

例22 用电阻法测量电机绕组的温度，就是利用绕组的直流电阻在温度升高后电阻值相应增大的原理。试证：绕组的温升

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (235 + t_1)$$

式中 R_2 ——试验结束时的绕组电阻 欧(Ω);

R_1 ——试验开始时的绕组电阻 欧(Ω);

t_1 ——试验开始时绕组的温度 ($^{\circ}\text{C}$);

t_2 ——试验结束时绕组的温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

证 电机绕组一般由铜线制成, 铜线在 0°C 时的电阻温度系数 $\alpha = 0.00427/\text{度}$ 。

设 0°C 时绕组的电阻为 R_0 。

则

$$R_2 = R_0 (1 + \alpha t_2)$$

$$R_1 = R_0 (1 + \alpha t_1)$$

故

$$R_0 = \frac{R_2}{1 + \alpha t_2} = \frac{R_1}{1 + \alpha t_1}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1} = \frac{\frac{1}{\alpha} + t_2}{\frac{1}{\alpha} + t_1}$$

因

$$\alpha = 0.00427$$

故

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0.00427} \approx 235$$

所以

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{235 + t_2}{235 + t_1}$$

即

$$\frac{R_2 - R_1}{R_1} = \frac{235 + t_2 - (235 + t_1)}{235 + t_1} = \frac{t_2 - t_1}{235 + t_1}$$

所以

$$t_2 - t_1 = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (235 + t_1) = \Delta t$$

说明: 若以环境温度 t_0 为标准, 线圈的温升 $\Delta t =$

$$\frac{R_2 - R_1}{R_1} (t_1 + 235) + (t_1 - t_0)。$$
 这就是国家标准(GB755-65)

中确定铜线绕组温升的公式。