

OHM图解

电工电路

[日] 饭田芳一 著
杨凯 译
彭凌 校



科学出版社

北京

1

电工电路基础

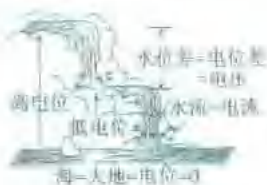
本章主要介绍各种各样的电路。首先是基础篇，虽然看似简单，但也有其深奥的部分。大家静下心来认真阅读，也许会有意想不到的收获。总之，希望大家能够轻松地愉快地进入电路世界。

电路术语

为了避免大家在遇到生僻词语的时候不知所措,下面首先介绍一些基本的电路术语。

- **接地** 为了防止触电,确保设备的安全,将电路或者是电器的一部分,用导线与大地连接。
- **离子** 带电的原子。原子本来呈电中性的,但是随着电子的增减,原子将带正电(阳离子),或者是负电(阴离子)。
- **架空线** 架设在电线杆上的电线。所谓架线,就是架设电线。
- **电动势** 由于电位差的存在,而产生连续电流的力。
- **线圈** 像螺旋弹簧那样缠绕的导线,也称为圆筒形线圈。
- **交流** 家庭、工场中使用的电,大小及方向周期性变化的电压和电流。

电的基础 (1)



■ **磁场** 磁力作用的空间。磁力用磁力线表示,由 N 极出发回到 S 极。

■ **频率** 交流在 1s 内变化的次数。我国为 50Hz, 美国为 60Hz。

■ **输电** 将电能从发电场送到用户附近的配电用变电所。

■ **端子** 在电流的出入口连接导线的部分。

■ **短路** 将存在电位差的两点连接在一起。

■ **串联** 将电气设备等按照顺序连接在一起的方式。

■ **接地** 异常状态时,具有电位

的一部分电路与大地连接。

■ **电压** 表示电源产生电流的作用的大小的量。

■ **电压降** 当某物质中有电流流过时，电流流出点的电位要比流入点的电位低，该下降的电压称为电压降，此时两端产生电位差。

■ **电位** 设定一个基准点，取该点为 0V，某点对基准点的电压称为电位。

■ **电位差** 两点间电位的差，即电压。

■ **电荷** 物质具有电的现象称为带电，其电量称为电荷。

■ **电场** 静电力作用的场所。

■ **电源** 电池、发电机等，因流过电流而产生电压的装置。

■ **导体** 电能够流过的物质。电不能流过的物质称为绝缘体。

■ **配电** 从配电用变电所到用户场所的线路。

■ **负载** 消耗电能的装置。

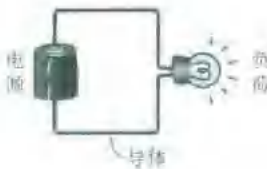
■ **并联** 将电气设备的两端连接在一起的连接方式。

■ **放电** 空气中流过电流的现象。气体为绝缘体，一般不流过电，但当电压升高时，会有电流流过。

电的基础 (2)



原子中的电子



回 路

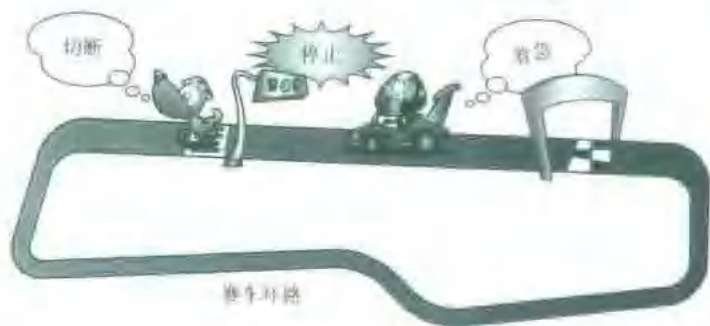
准确地说，回路应称为电路，即电流流过的路线。在电路中，起点与终点一致的线路称为闭合回路（环路），若切断电路的某一处，则电流不能通过。

电路中的基本要素是电压 V （单位为 V ）和电流 I （单位为 A ），通常如下表述。

某点的电位通常以无限远处的电位为基准（ $V=0$ ）来表示。两点的电位之间的关系称为电位差，电路中的两点间的电位差称为电压。电路的某条线路中流动的电子称为电流（准确地说，应为电荷的时间性的变化）。关于电荷与电流，将在后面详细介绍。

回路的英文为 *circuit*，有周围，巡回，旋转、赛车环路之意。另外，人的身体也与电路相似。如果将心脏比喻为电压，则血液可看作为电流。血液在体内各处循环，进行着各种各样的工作，而后再返回到原来的场所。在电路中也是如此，电流流动返回时，进行着各种工作，例如使电灯点亮，电动机旋转等。

在电路中，沿着闭合回路，电压的总和为零。另外，电路中流入某点的电流总和等于流出该点的电流总和。上述两个规律称为电压平衡及电流连续，这就是后面将要介绍的基尔霍夫定律。



挑战例题

提起电路,也许有人会想到电灯和干电池。但实际上并没有那么简单。请看下面的例题,并思考其原因。这不是大脑体操,而是电路问题。

例题 将 100V、100W 的电灯与 100V、40W 的电灯串联,并与 100V 电源相连,此时哪个电灯更亮一些。

答案 40W 的电灯更亮一些。

原因 一般情况下,并联时,100W 的灯泡更亮;而串联时,则是 40W 的灯泡更亮。各电灯的电阻 R 在 100V 的情况下, $R_{100} = (100V)^2 / 100W = 100\Omega$, $R_{40} = (100V)^2 / 40W = 250\Omega$ 。因此,串联时的电流为

$$I = 100V / (100\Omega + 250\Omega) = 0.29A$$

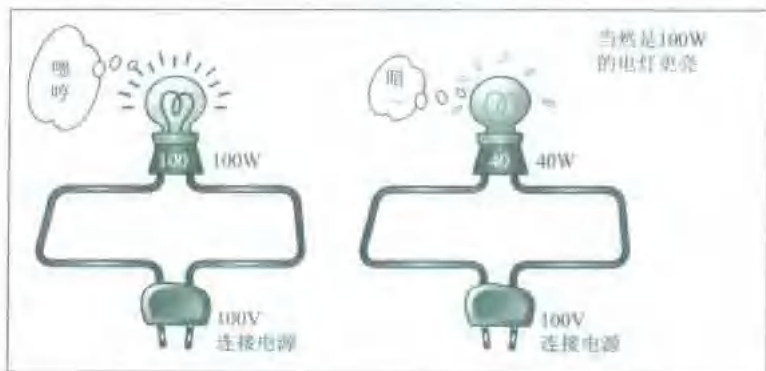
所以,由功率 $= R \times I^2$ 可知,串联时各电灯的功率分别为

$$100W \text{ 的电灯} \quad 100\Omega \times (0.29A)^2 = 8.4W$$

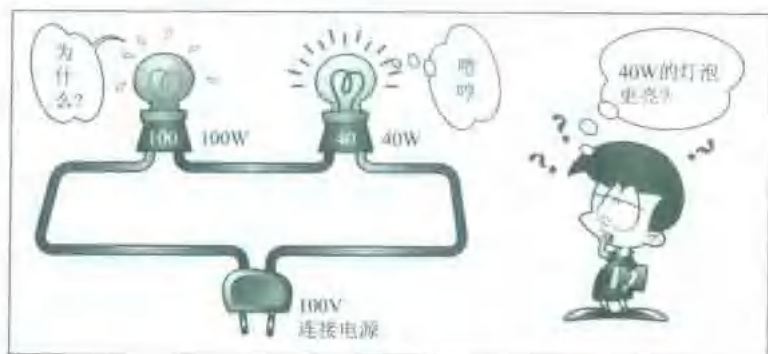
$$40W \text{ 的电灯} \quad 250\Omega \times (0.29A)^2 = 21.0W$$

由此可知,40W 的电灯的功率大,即发热量大,所以更亮。实际上,电灯的温度并不怎么上升,所以电灯的阻值很小。

简单解答



如果这样如何呢?



电 荷

在此之前已经对电流进行了介绍。虽然看似与电路无关，但是为了加深理解，有必要再次对电流进行更加具体的介绍。

在介绍电流之前，有必要先对电荷进行阐述，而对电荷的了解要从原子开始。原子由原子核和在核周围高速旋转的电子构成（该部分理论属于电物理或者电磁学的范畴）。

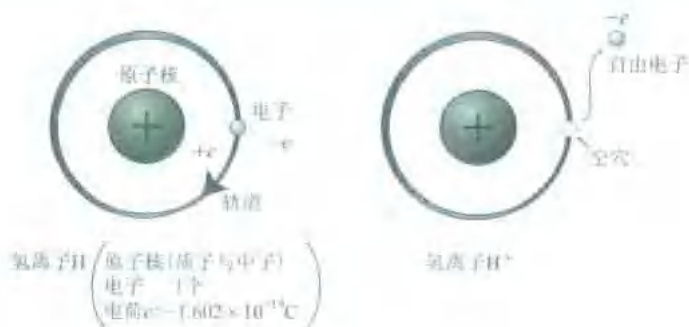
原子核（准确地说，原子核由质子和中子构成，而带电的部分是质子）和电子具有一定的电荷量。电子带负电荷，其电荷量为 $-1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ （库 [仑]）。质子带正电荷，其电荷量的大小与电子相同，只是符号相反。通常，质子和电子所带的电荷量相同，并呈电中性。但是在外部能量的影响下，电子有可能逸出，也有可能被吸引。也就是说，电子决定了原子所带的电荷。

电荷的移动称为电流。实际上，电荷的移动多种多样，例如金属中的传导电子、布劳恩管中的自由电子、电解液中的离子（带电的原子）、晶体管等半导体中的空穴等，由于其能搬运电荷，所以称为载流子。

1s 移动的电荷量就是电流的大小。若电流的方向和大小恒定，则称其为直流；若电流的方向正负交替变换，则称其为交流。

在发现电子之前，一直认为电流的方向由正极流向负极，但实际上，电流的方向与电子的流向相反。

由原子来认识电荷



电流 = 电荷的移动



欧姆定律 (1)

大家在翻看目录的时候也许想越过此部分内容，但是欧姆定律是电路的基础。想越过此部分内容的人在看了第2章第2节之后，也许会返回来仔细阅读欧姆定律。

顺便说一下，在中学二年级的教科书中是这样介绍的“灯泡等电器中流过的电流与其两端的电压成正比，这就是欧姆定律”。

设电流为 I ，电压为 E ，比例常数为 K ，则欧姆定律可表示如下：

$$I = K \times E$$

其中， K 表示电流流通的难易程度。因此，若设

$$E = (1/K) \times I, (1/K) = R$$

则上式可改写为

$$E = RI$$

由于 R 表示电流流通的难易程度，所以 R 称为电阻，其单位为欧[姆]，用符号 Ω 表示。

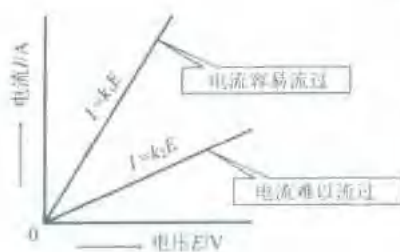
另外，为了便于计算，可将欧姆定律表述如下：

① **电流计算** 若电压一定，则电流与电阻成反比。

② **电压计算** 若电流一定，则电压与电阻成正比。

这里的①用来计算与电池连接时的电流值；而②不但可以用来计算电流流过时电阻两端的电压，而且还适用于晶体管电路中用直流电源代替电池的场所。①称为恒压电路，②称为恒流电路。

欧姆定律



120日元1瓶
240日元2瓶
360日元3瓶
⋮
E日元E瓶
与欧姆定律相同!
 $E=RI$

电 阻

电热器、灯泡等可以阻碍电流，使之转化为热或者光，在我们的日常生活中起着十分重要的作用。

根据阻值的大小，可以将电阻分为导体和绝缘体。电阻值小，电流容易流过的物质称为导体；电阻值大，几乎没有电流流过的物质称为绝缘体。

如右表所示，银和铜的电阻值较低，因此电线常为铜线，而银常用于音频制品。相反，电阻值大的瓷器常用于绝缘子。

锗和硅的性质介于导体和绝缘体之间，因此被称为半导体。由于半导体具有各种各样的特性，所以广泛应用于晶体管、计算机等中。

在电路中，电阻的连接方式分为串联和并联，其等效电阻如下所示，可由欧姆定律证得。

● **串联** $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

● **并联** $R = 1 / [(1/R_1) + (1/R_2) + (1/R_3) + \dots]$

即等效电阻在串联时，等于各电阻之和；在并联时，等于各电阻的倒数和的倒数。虽然是并联，但是因为 R 为比例常数，所以若设 $1/R$ 为 G ，则上式可改写为

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \dots$$

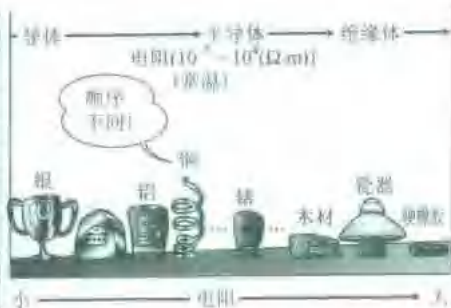
其中， G 称为电导。

电阻是工作者

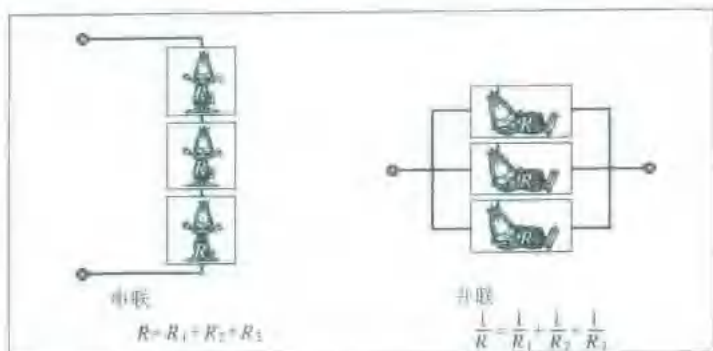


物质的电阻率

物质	电阻率/($\Omega \cdot m$) (常温)
银	1.62×10^{-8}
铜	1.69×10^{-8}
金	2.4×10^{-8}
铝	2.82×10^{-8}
白金	10.6×10^{-8}
海水	2.4×10^2
木材	$(1 \sim 3000) \times 10^7$
瓷器	$10^{11} \sim 10^{12}$
玻璃板	$10^{13} \sim 10^{16}$



电阻的连接方式



电阻的性质

电阻 R 的值与长度 l 成正比, 与截面积 S 成反比, 其关系可用下式表示:

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

其中, ρ 表示电阻率, 即单位体积的电阻。若设电线的长度为 l (m)、截面积为 S (mm^2), 电阻率为 ρ ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$), 则普通硬铜线的 ρ 为 $1/55$, 软铜线的 ρ 为 $1/58$, 硬铝线的 ρ 为 $1/35$ 。

λ 是电阻率的倒数, 称为电导率。某种导体的电导率 λ 与国际标准软铜 (20°C , $1/58\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, 比重为 8.89) 的电导率 λ_S 的百分比称为百分电导率。软铜线的百分电导率为 $97\% \sim 101\%$, 硬铜线为 $96\% \sim 98\%$, 硬铝线为 61% 。

另外, 一般情况下, 电阻值的大小随着温度的变化而变化。若设温度上升前的电阻为 R_0 , 温度上升后的电阻为 R_t , 则其关系可表示为

$$R_t = R_0(1 + \alpha_t t)$$

其中, α 称为 $t^\circ\text{C}$ 时的电阻温度系数, t 为上升温度。标准软铜的温度系数为

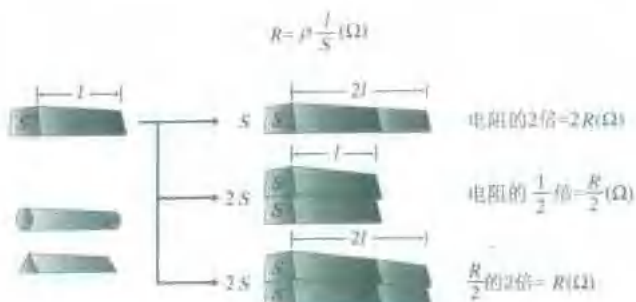
$$\alpha_t = \frac{1}{234.5 + t}$$

$t = 0$, 即 0°C 时, α_0 为 $1/234.5$, 从左到右 12 345 几个数字并排在一起, 因此这是一个很容易记的数字。一般情况下, 采用 20°C 时的值, 此时 $\alpha_{20} = 1/254.5 = 0.00393$ 。由温度系数公式可知:

- ① 只要已知电阻和温度系数, 就可求解任意温度差,
- ② 只要已知电阻和温度差, 就可求解温度系数。

应用原理①, 可制成十分精确的温度计。

电阻的性质



百分电导率



电阻温度系数



功率与电能

电进行工作的能量称为电能，单位时间内的电能称为功率。一般情况下，了解功率之后，比较容易理解电能。

在电路中，产生或者消耗的电能与其所需要的时间之比称为功率，它表示电所工作的效率。例如每秒1焦[耳](J/s)，功率即为1瓦[特](W)。若设电压为 V (V)，电流为 I (A)，负载电阻为 R (Ω)，则功率为

$$P = VI = I^2 R = V^2 / R$$

在动力关系中，有时也用马力(HP)作为功率的单位。

$$1\text{HP} = 746\text{W} \approx 0.75\text{kW}$$

设功率为 P (W)，时间为 t (s)，则电能为

$$W = Pt = VIt \text{ (J 或者 } W \cdot s)$$

如果时间为 T (h)，则上式可改写为

$$W = VIT \text{ (W} \cdot \text{h)}$$

当导线中有电流流过时，其消耗的能量就会转换为热能。

$$W = VIt = I^2 Rt \text{ (W} \cdot \text{s)}$$

该关系式称为焦耳定律，产生的热称为焦耳热。