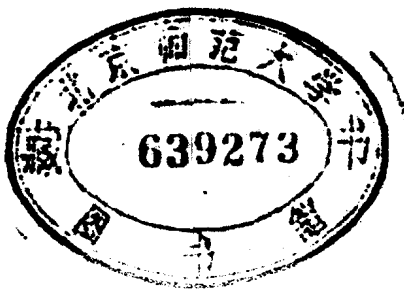


OUMU DINGLU

欧姆定律

斯 勤 编 著

JY1189/24



上海教育出版社

欧姆定律

斯勤编著

上海教育出版社出版

(上海永嘉路123号)

新华书店上海发行所发行 江苏南通日报印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 4.25 字数 98,000

1979年5月第1版 1979年5月第1次印刷

印数 1—150,000 本

统一书号: 7150·2057 定价: 0.34 元

目 录

1. 电路和电路的几个基本概念	1
一、电路的组成	1
二、电流 电流强度	2
三、电压 电动势	4
四、电阻 反电动势	8
2. 欧姆定律	10
一、部分电路的欧姆定律.....	10
二、电势分析法.....	12
三、全电路的欧姆定律.....	16
3. 直流电路	18
一、直流电路的特点.....	19
二、外电路的逐步简化.....	19
三、电池组.....	23
4. 直流电路计算	26
一、欧姆定律的应用.....	26
二、电势分析法的应用.....	36
三、等电势点的处理.....	44
四、纯电阻性串联电路中的电压分布.....	49
五、纯电阻性并联电路中的电流分布.....	53
六、测量的误差.....	56
5. 电路中的能量转换和功率关系	63
一、功率关系和电路效率.....	63

二、串联或并联用电器的功率比较	70
6. 多回路电路计算	78
一、基尔霍夫定律	78
二、回路电流法	91
7. 欧姆定律在交流电路中的应用	96
一、交流电的特征	96
二、交流电的有效值	99
三、简单交流电路分析	105
四、实际交流电路简介	117
练习题	119
习题答案	128



电路和电路的几个 基本概念

一、电路的组成

最简单的电路,包括三个部分:电源、用电器(负载)和连接电源与用电器的导线(图 1-1)。一般我们把电源称作内电路,导线和用电器称作外电路。

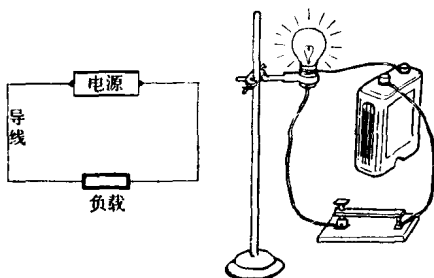


图 1-1

电路中的电源是把其他形式能变为电能的装置。例如日常使用的干电池、蓄电池是把化学能变为电能;电厂和水电站里的发电机是把机械能变为电能。在用电器里,则是电能转变为其他形式能。在各种不同的用电器里,能的转换情况也不同。例如在电炉里,电能转变成热能;在白炽灯泡里,电能转变成热能又转变成光能;在电动机里,电能转变成机械能;在电镀槽里,电能转变成化学能等等。当我们给蓄电池充电时,在被充电的蓄电池里电能转变为化学能,所以这时它不是

电源而是用电器。通过各种用电器，我们把在电源中转换得到的电能利用到生产和生活中去。在导线里，也有一部分电能转变为热能，但这部分能量不能加以利用，所以我们不把导线叫做用电器。

在电路中常常还连接着控制设备和保护设备，例如各种开关、熔断器等。为了测量电路中的电流强度、电压等基本物理量，有时电路中还连接着各种仪表，如电流表、电压表等。实际的电路比图 1-1 复杂得多，但不论是怎样复杂的电路，都包括图 1-1 所示三个部分，而且，往往可以简化成图 1-1 所示的简单电路。

二、电流 电流强度

把拉线开关一拉，电灯就亮了。用物理的语言来说，这时电路接通了，有电流通过导线和灯泡。再把开关一拉，电灯又熄了。这是因为我们切断了电路，导线和灯泡里没有电流通过。

电流是什么呢？我们知道，电流能在导体中通过。所谓电流，就是导体里的带电物质微粒（电荷）在作有秩序的运动。

通常用的导线是用铜或铝做成的，一般的用电器里，也都有着导电的金属丝。金属的原子总是按照一定的秩序排列起来的，它们之间的相对位置一般情况下不会改变，好象一个坚硬的架子，这种由原子排列成的坚硬的框架，叫做金属的“晶格”，又叫“空间点阵”。

物质的原子都是由带正电的原子核和核外带负电的电子组成的。电子以极高的速度在离核远近不同的好多层所谓电

子壳层上绕着核旋转,就有点象行星绕着太阳旋转一样。电子受到原子核的吸引力,只能在自己的轨道上运动,而不能随意离开,自由行动。

金属和其他物质相比,有一个重要的特性,就是金属内部存在着自由电子。自由电子本来是外层电子壳层上的电子。因为它在外层,离开原子核远,受到原子核的吸引力很微弱,于是它们有时就挣脱了原子核的束缚,在金属的晶格间自由地闯来闯去,到处游荡起来。

接通了电路,自由电子就不怎么自由了,它们开始顺着导体有秩序地向一定方向移动。自由电子的这种有秩序的运动,就是金属导体里的电流。

某些溶液也能导电,这是因为溶液中的物质发生了电离的缘故。原子中原子核所带的正电量和核外电子所带的负电量本来是相等的,所以整个原子的电性中和,好象不带电一样。某些物质(电解质)溶解在溶剂中时,一部分原子的外层电子被另一部分原子“抢”过去了,这样,失去了一个或几个外层电子的那部分原子就带正电——叫做阳离子;从其他原子俘获到了一个或几个电子的原子就带负电——叫做阴离子,这种现象就叫电离。溶液中的阴离子和阳离子都是可以自由移动的带电物质微粒,当它们向着相反的方向作有秩序的运动时,就是有电流通过电解质溶液了。

一秒钟内通过电路某一横截面的电量越多,电流就越强,或者说,通过电路的电流强度越大。电流强度的单位叫做安培。一秒钟内通过电路某一横截面的电量是一库仑,这样的电流强度就叫做一安培。用公式表示,就是

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}}$$

三、电压 电动势

将一段导线的两端接在电流计上，我们看到电流计的指针不发生偏转，这说明在导线中没有电流。

是不是这段导线中没有自由电子呢？不是的。一块体积是1立方厘米的铜（把它做成截面积是1平方毫米的导线，长度就是1米）里面，大约有几十万亿亿个自由电子，这些自由电子永不停息地在晶格间游荡。通常情况下，只存在着无规则的运动，任一瞬间通过导线任一截面的电量，平均起来总是等于零，所以导线中没有电流。

那么，在什么情况下导线中才有电流呢？

让我们用一个比喻来说明。两个底部有管子相通的容器里面盛着水，当两个容器中的水面处在同一高度时，管子中的水是不会流动的（图1-2）。如果容器A的水面高于容器B的水面，那么，C管中的水柱就会由A向B流动（图1-3）。

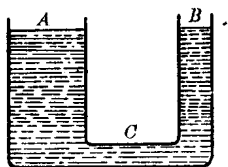


图 1-2

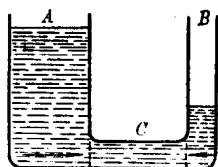


图 1-3

这个情况跟上面研究的问题很相似。

设想如果有一种作用能够改变导线中自由电子的无规则运动，譬如说，使一部分自由电子聚集到导线的一端去，那么，将会发生什么情况呢？

导线的一端电子聚集得多了，就带负电，另一端电子少了，就带正电。这时，导线中就有了电场，自由电子受到电场力的推动，就沿着导线从一端向另一端移动。也就是说，这时就有电流通过导线了。

这不是跟管子中水流的情况很相似吗？两个容器中水面高度不同，我们说水位有高低；导线两端带电情况不同，我们就称之为两端电位不同，或叫做电势不同，也可以叫做导线两端有了电势差。电势差又叫电压，它的意义在下面还要进一步说明。现在已经能回答刚才的问题了，要使导线中有电流，必需使导线中的自由电子受到电场力的推动，而要使导线中有电场，必需使导线两端有电势差，或者说必需使导线两端有电压才行。

管子中的水流和导线中的电流相似之处还不止这一点。 C 管中水由 A 向 B 流动的结果，将使 AB 容器中的水面趋于相平，管中水柱两端的压强差就将逐渐减小而趋于零。当 AB 容器中水面相平时，水就不再流动了。与此相似，导线中电流流动的结果，将使导线两端的电势差（电压）逐渐减小，最后，当导线两端电势相等，即电压等于零时，导线中就不再推动自由电子移动的电场力，也就没有电流了。

这里虽说是“逐渐”，但实际上这个过程是极短暂的。怎样才能获得持续的电流或水流呢？

先看水流的情况。如果我们在容器 AB 间再接入一根管子，并且在那里加一个水泵，如图1-4所示。水泵开动后，就可以把 B 容器中的水抽入 A 容器，使 B 中水面降低， A 中水面升高。如果每秒钟由 B 容器经过水泵被抽向 A 容器的水量恰好跟从 A 容器经过 C 管流向 B 容器的水量相等，那么， AB 两容器中的水面就可维持一定的高度差， C 管中的水就

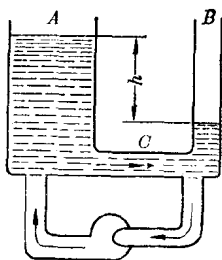


图 1-4

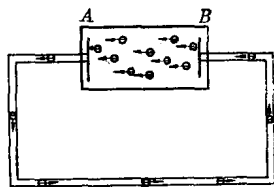


图 1-5

可以持续不断地流动了。

电路中电源所起的作用跟这里水泵的作用很相似。如图 1-5 所示,自由电子沿导线从 A 端向 B 端移动, A 端电子就减少了, B 端电子就增多起来。如果能把 B 端的电子通过另一条通路不断移到 A 端去,而且,每秒钟移过去的电子数恰好跟从导线上跑过来的电子数相等,两端的电势差就可以保持恒定,导线中就可以有持续的电流了。这个另一条通路里的装置就是电源。

如果从字面上去理解“电源”这个名词,认为它是电的源头,是电流的源头,电流是从这里源源不断地流出来的,那是不对的。电源只是起着把电荷从一端(就是电源的一个极)移送到另一端(电源的另一个极)去的作用,正象水泵不是水源,水泵只是起着把水从一个容器抽送到另一个容器中去的作用一样。

在电源中把电荷从一个极向另一个极移送的作用力不是电场力,在图 1-5 中,电场力的作用只能使电子从 A 极向 B 极移动。在电池中,移送电荷的力是化学作用力;在发电机中,则是磁场的作用力。我们把电源中移送电荷的作用力统称为非静电力。

为便于理解，上面我们用水流的现象对比着说明电流的现象。但是，水流和电流毕竟是两种互不相干，没有任何内在联系的物理现象，不能完全依靠水流来说明电流的一切现象，更不能把“对比”当作是“等同”。

电流是有一定方向的。正电荷移动的方向规定为电流的方向。这样的规定跟电路中实际的电荷移动方向并不一致。譬如在电池中，化学作用把阴、阳离子分开，它们各自向相反方向移动；在导体中移动着的是自由电子，它们的移动方向跟规定的电流方向正相反。由于一定数量的正电荷向一定方向运动与相等数量的负电荷向相反的方向运动，其效果是完全一样的，所以这样规定对我们分析讨论问题的实质是没有什么影响的。

如果把电流看作是定向移动的正电荷，那么，电源的作用就是把正电荷从负极移送到正极。在这个过程中，非静电力对正电荷作了功。做功的过程就是能量转换的过程，电源里非静电力移送电荷做功的过程就是其他形式能转变为电荷的势能——电能的过程。所以，电源是一种把其他形式能转变成电能的装置。

不同的电源在移送电荷过程中把其他形式能转变为电能的本领是不同的，而同一电源每移送一定电量电荷，把其他形式能转变为电能的数量则是恒定的。如果电源把电量为 Q 的电荷从一个极移到另一个极时非静电力作的功是 W （也就是有 W 这么多的其他形式能变成了电能，或者说电荷的势能增加了 W ），那么，比值 $\frac{W}{Q}$ 是恒定的。这个比值说明了电源把其他形式能变成电能的本领的大小，我们把它叫做电源的电动势。设电源的电动势是 E ，那么

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

电动势的单位是伏特。

$$1 \text{ 伏特} = \frac{1 \text{ 焦耳}}{1 \text{ 库仑}}$$

干电池的电动势是1.5伏特，意思就是：在干电池里，每1库仑电量被非静电力由一极移到另一极，就有1.5焦耳化学能转变成了电能。或者说，电量为1库仑的电荷被从一个极移到另一个极，它的势能就增加了1.5焦耳。

同样电量的电荷在电源两极所具有的势能是不相等的，而对某一个极来说，电荷具有的势能跟它的电量之比是恒定的。这个比值，可以叫做“能荷比”，也就是前面提到过的“电势”。电源两极电势不同，电源两极间就有着一定的电势差（电压），这个不同，是电源具有电动势的结果——电源中非静电力移送电荷做功的结果。同时，又是外电路两端存在着电压的原因。

所以，我们也不能把“电压”理解为“电的压力”，认为电流是电荷受到“电的压力”而流动，就象水柱受到压力而流动一样。电压就是电势差，导线两端有电压，就是说导线两端电势有差别，同样数量的电荷在导线两端具有的势能不相等。导线两端有了电势差，导线中就有电场，自由电子就受到力的作用，但这不是什么“压力”，而是电场对电荷的作用力。

四、电阻 反电动势

导线是电流的通路。可是，这条通路并不是宽阔平坦的大道，电荷在导体中移动时并不是不受任何阻碍的。

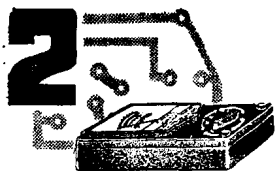
譬如电流通过导线时，自由电子沿导线移动就免不了会

不断跟组成晶格的原子碰撞，它的移动就受到阻碍，或者说，导线中的电流就受到限制。这种限制电流的作用叫做导体的电阻。自由电子在移动过程中，不断消耗掉自己的一部分能量。受到电子不断碰撞的原子却更强烈地振荡起来，这种振荡的能就是热。因此，当电流通过导线时，导线就会发热。

电路上各处的“能荷比”(电势)是不同的。沿着电流的方向，“能荷比”逐渐减小，或者说，电势逐渐降落。一段导线两端的电压，就是导线两端的“能荷比”之差，其数值就等于一个单位电量电荷通过这段导线时转变成为热能的电能的数值。

许多用电器，象电炉、电烙铁、红外线灯、电熨斗、电孵卵器、电烘箱等，都是利用由电能转化来的热能。这类用电器用来转变能量的装置都是一根电阻丝，我们把它统称为“纯电阻性的用电器”。

在另外一些用电器里，电荷受到的阻碍还不止电阻一种。譬如在被充电的蓄电池里，在电镀槽里，电流就还受到化学作用的阻碍；在直流电动机里，电流还受到磁场的作用的阻碍。电荷克服这种阻碍通过用电器时，也消耗自己的能量。但是这时电能并不转变为热能。在电动机里，电流克服这种阻碍，就使电动机转子不停地转动，这是电能转变成机械能。电流通过电镀槽或被充电的蓄电池时，引起其中发生化学反应，电能转变为化学能。不论电能转变成为什么能，这类用电器两端的电势也是沿着电流的方向降落的。由于这类原因产生的电势降落叫做“反电动势”。反电动势的数值就等于一单位电量通过用电器时转变成为其他形式能量(热能除外)的数值。反电动势也是一种限制电流的作用。



欧姆定律

电流强度、电压和电阻是电路中的三个重要的基本物理量,在这一章里,我们要研究这三个量之间的关系。

一、部分电路的欧姆定律

电压是推动电荷移动的原因。电路两端电压愈大,电路中推动电荷作定向移动的作用力就愈大,因而电流强度也就愈大。电阻是阻碍电荷移动的因素,电路的电阻愈大,限制电流的作用就愈强,因而电流强度就愈小。

为了研究电流强度、电压和电阻这三个量之间的更精确的关系,德国的物理学家欧姆(1789~1854)曾经做了大量的实验,在1826年指出:“一段电路里的电流强度(I)跟这段电路两端的电压(V)成正比,跟这段电路的电阻(R)成反比。”这就是部分电路的欧姆定律。即

$$I = \frac{V}{R}$$

这个定律只适用于纯电阻性的部分电路。为了明确表示它的适用范围,我们把它叫做“纯电阻性的部分电路的欧姆定律”。

公式 $I = \frac{V}{R}$ 表明:电流强度是电压和电阻的函数,它随着电压和电阻的改变而改变。

从另一方面考虑,当电流通过电路时,由于克服电阻的作用电流做了功,电能转变为热能,因而电路两端的“能荷比”不

同了,沿着电流的方向,电势将有降落。换句话说,电路两端之所以有电势降落,正是由于有电流通过电路,而电路又有电阻的缘故。把上面的公式改变一下形式,可以写成:

$$V = IR$$

这个式子表示,在纯电阻性的部分电路上,电势降落的数值等于电流强度与电阻的乘积。电路上的电势降落是电流强度和电阻的函数,其大小随着电流强度和电阻的改变而改变。

在直流电路中,串联的各部分电路中电流强度相等,因此,各部分电路的电势降落跟电阻成正比。正因为纯电阻性的直流电路上的电势降落有这样的特点,我们也把纯电阻性的部分电路叫做“均匀的部分电路”。这里所说“均匀”,显然不是指组成电路的材料是均匀的,而是说在这种电路上电势的降落是均匀的。

欧姆定律的后一种表述法($V = IR$)很重要,下面许多问题的讨论,将在这个基础上进行。

公式 $I = \frac{V}{R}$ 当然也可以改写成 $R = \frac{V}{I}$ 这样的形式。要注意,决不能把这个式子理解为“一段电路的电阻跟这段电路两端的电压成正比,跟这段电路中的电流强度成反比”。事实上电路的电阻只决定于它的长度、横截面积以及材料的性质,而跟加于这段电路的电压以及流过电路的电流强度无关。对于固定的某一段电路来说,电阻是恒定的*。因此,电压增大,流过电路的电流强度就正比地增大,比值 $\frac{V}{I}$ 是恒定的。 $R = \frac{V}{I}$ 这个式子有两个用处。一是提供了规定电阻单位的一种方法。当某段电路两端的电压是 1 伏特时,如果流过这段电路

* 严格地说,电阻还跟温度有关。大多数情况下,金属导线的电阻随着温度的升高而增大。这里和以下各章讨论中都不考虑温度对电阻的影响。

的电流强度刚好是 1 安培, 这段电路的电阻就是 1 欧姆。1 欧姆 = 1 伏特/安培。二是提供了测量电阻的一种方法。只要测出电路两端的电压 V 和电路中的电流强度 I , 我们就可以算出这段电路的电阻 R 了。

二、电势分析法

从分析电路上各点的电势变化情况入手, 来研究电路中电流强度、电压、电阻等物理量之间关系的方法, 叫做“电势分析法”。现在我们就用电势分析法来研究各种不同的电路。

1. 具有反电动势的部分电路

如图 2-1 所示, 在 AB 一段电路里, 连接着一个电阻 R 和一个电池 E , 电流由 A 流向 B 。应该注意: 这里的电池不是一个电源。

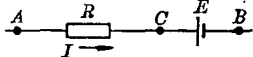


图 2-1

在电源里, 由于非静电力做功的结果, 沿着电流的方向, 电势将是升高的, 也就是说, 在电源里电流将从电势低的一极(负极)流向电势高的一极(正极)。现在电流从 A 流向 B , 在电池 E 里电流从正极流向负极。沿着 $A \rightarrow C \rightarrow B$ 的方向, 电势是逐渐降落的, 这里的电池是消耗电能的用电器。这个电池正在被充电。 AB 这一段电路, 是外电路的一部分。

显然, 这不是纯电阻性的部分电路。在这段电路里, 阻碍电流通过的因素除了电阻 R 外, 还有被充电的电池的反电动势 E' 。这样的部分电路叫做“具有反电动势的部分电路”。

设电路 AB 两端的电势降落是 V_{AB} 。在 AC 一段电路上, 由于克服电阻 R 的作用, 电势均匀地降落, $V_{AC} = IR$ 。在 CB 一段电路上, 由于克服反电动势 E' , 电势又突然降落了

$$V_{CB}, V_{CB} = E'。$$

而

$$V_{AB} = V_{AC} + V_{CB}$$

$$\therefore V_{AB} = IR + E'$$

从 AB 整段电路来看，电势降落 V_{AB} 不是“均匀”的，因此，这样的电路又可以叫做“不均匀的部分电路”。式 $V_{AB} = IR + E'$ 就是这种不均匀的部分电路的电势分析式。这一关系可用文字表述为：在具有反电动势的部分电路上，电路两端的电压等于电路中的电势降落和反电动势之和。

把上面的电势分析式改变一下形式，可以写成

$$I = \frac{V_{AB} - E'}{R}$$

这就是通常适用于具有反电动势的部分电路的欧姆定律公式。

2. 包括电源在内的部分电路

我们再来研究图 2-2 所示部分电路。在这段电路里也有一个电池 E 和一个电阻 R ，电流从 A 流向 B 。在这段电路的电池里，电流从负极流向正极，即由电势低处流向电势高处，这是非静电力做功的结果，所以这个电池是电源。

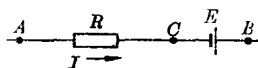


图 2-2

在 AB 这段电路上，电势的变化也是不均匀的。由 A 到 C ，电势均匀降落， $V_{AC} = IR$ 。由 C 到 B ，由于电源中非静电力做功的结果，电势将有跃升，电势升高的数值就是电动势 E 。因而 A 端和 B 端的电势都比 C 点电势高。

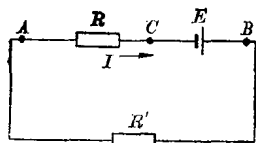


图 2-3

A 、 B 两点的电势哪一点更高些呢？假设电流从 B 点又经过另一