

中学教学参考丛书

电 路

山东人民出版社

中学教学参考丛书

电 路

牟大全 编

山东人民出版社

一九八〇年·济南

中学教学参考丛书

电 路

牟 大 全 编

*

山东人民出版社出版

山东省新华书店发行

山东新华印刷厂印刷

*

787×1092毫米32开本 9.25印张 196千字

1980年10月第1版 1980年10月第1次印刷

印数：1—5,000

书号 7099·944 定价 0.73 元

前 言

为帮助高中物理教师更好地掌握教材中有关电路部分的内容，进一步提高物理教学质量，编写了这本小册子。

本书包括：“直流电路”、“交流电路”和“半导体电路”三部分。书中从阐明一些重要课题的教法入手，逐步引伸到对问题本质的探讨，对一些关键性的问题，作了较详细的说明。为了正确地表达有关物理量的性质，有些地方介绍了必要的数学运算。本书还谈及如何指导学生应用所学知识解决实际问题的要领。

为减少教师们在补充作业和考察命题方面的麻烦，这里还编拟了一些练习题。

由于水平所限，编写中可能存有不少缺点甚至错误，恳切期望广大读者批评指正。

一九八〇年九月

目 录

一、直流电路	1
(一) 全电路欧姆定律	1
(二) 简单电路	52
(三) 复杂电路	79
二、交流电路	102
(一) 电磁感应	102
(二) 交流电概述	141
(三) 交流电路中元件的联接	151
(四) 交流电的功率	165
(五) 交流电路的矢量图解法	172
三、半导体电路	185
(一) 半导体概述	185
(二) 晶体二极管及单相整流电路	191
(三) 晶体管低频放大器	201
(四) 电磁振荡和电磁波	231
(五) 简单自动控制电路	258
(六) 集成电路简介	273
四、练习题答案	281

一 直流电路

(一) 全电路欧姆定律

1. 电源及其电动势

如众所知，要使导体中有持续电流通过，必须保持导体中的电场，即必须维持导体两端的电势差。电源便是完成这一任务的装置。

电源之所以能够维持导体两端的电势差，原因在于：处在电源内部的电荷，除了受到静电力作用之外，还受到非静电性质的作用，即非静电力的作用。当闭合电路中的一部分导体在磁场中切割磁力线运动时，导体中的自由电子受到的非静电力是洛仑兹力。在穿过闭合电路包围面积的磁通量发生变化时，驱使闭合电路中自由电子移动的非静电力，是变化着的磁场所产生的感应电场对电荷的作用力——感应电场力。温差电源中移动自由电荷的非静电力是由温度差和电子浓度差所决定的“电子气”的压强差造成的。在化学电池如干电池、蓄电池中，我们则设想：在金属与溶液相接触的地方，存有与离子的溶解和沉积过程相联系的化学力的作用。尽管从实质上讲，这种化学力只是一种“等效力”，但从宏观效果上看，正是这种化学作用迫使电荷移动。总之，电源内部存在着非静电力，有的就是实在力，也有的是效果与力相当

的“等效力”；而所谓非静电力，则是在电源内部驱使电荷作定向运动的各种非静电性质的作用的统称。各种电源内部存在的非静电力的物理本质虽然不尽相同，而它们的作用却都是移送电荷，使正负电荷分别聚集在电源的正极和负极。

外电路断路时，电源中的正电荷，受非静电力的作用，由负极奔向正极。与此同时，由于电源正负极上电荷的积累，电源正负极间又产生一静电场。这一静电场的存在，使处于电源内部的正电荷受到方向彼此相反的电场力和非静电力的作用。随着电荷的运动，电源内部的这一静电场逐渐增强，最终，使电源内部正电荷所受的电场力与非静电力相等而达到动态平衡。从宏观上看，电源正负极上所带电量不再改变，两极间保持一恒定的电场，保持一恒定的电势差。

若将外电路接通，在电场力的作用下，正电荷从高电势的正极经负载奔向低电势的负极。正电荷移动的结果，使正极、负极聚集的电荷数变少，电源内部的静电场因之变弱，电源内部原已达到的动态平衡被破坏。于是，非静电力又不断地把正电荷从负极分离出来移送到正极，以补充从正极移走的正电荷，从而维持了电源正极和负极间的电势差。显然，非静电力在电源内部移送电荷做了功。伴随着做功的过程，必定有其他形式的能量转化为电能，以补偿内外电路中消耗的能量。实验可见：

(1) 对于给定的电源，其内部他种形式的能转化为电能的数量，正比于非静电力所移送的电量。

(2) 不同的电源移送一定量的电荷从其内部通过时，其他形式的能转化为电能的多少不同。

这表明，对每一电源而言，非静电力移送单位电荷所做

的功有大有小，不同电源非静电力做功的本领各有不同。为描述电源的这一特性，比较电源非静电力做功本领的大小，引入了电源电动势的概念。

电源电动势等于非静电力在电源内部移送正电荷所做的功跟被移送电荷电量的比，即

$$E = \frac{A}{q}.$$

式中， A 的单位采用焦耳， q 的单位采用库仑， E 的单位是伏特。

因为 A 是电源把 q 个正电荷由负极移到正极时、非静电力克服电场力所做的功，则 $\frac{A}{q}$ 为移送单位正电荷非静电力做的功，所以，电动势在数值上等于非静电力移送单位正电荷所做的功。

为使问题形象化，我们把电路中非静电力和静电力作用的区段画成一个简图（如图1·1）。

图中表明：静电力存在于电源的内部和外部；非静电力仅存于电源的内部，并由电源的负极指向正极。在负载与电源接通时，正电荷在静电力作用下由电势高的正极出发，经负载到负极，静电力移动电荷做了功，电荷的电势能因在外电路通过负载消耗了电能而减少。然后，在非静电力作用下，克服静电力，正电荷从负极经电源内部回到正极。由于非静电力克服静电力做功，故在内电路电荷的电势能增加。究其本质，这一电能的获得乃是在非静电力做功的同时，在内电路其他形式的能转换成为电能。例如，在发电机中是机械能转换成电能；在化学电池中，是化学能向电能转化；温

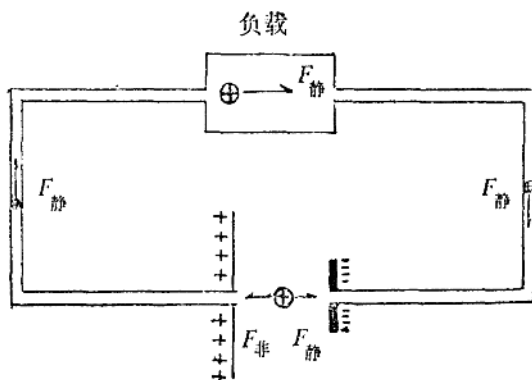


图 1.1

差电池是热能向电能转化。电动势则标志着这种转化能力的大小。

由图1.1可见，静电力也在移送电荷做功。因为电荷从正极出发绕行一周又回到正极，而静电力是保守力，即静电力移动电荷做的功只跟电荷起始位置和终止位置有关，所以，静电力移送电荷做的总功为零。须知，正是静电力在外电路移送了电荷，形成了电流，才将电源的电能传给负载，使电源的电能得以输出。

电动势并非矢量。但是，为了计算方便和陈述简便，我们往往规定电动势的方向在电源内部由负极指向正极。若电流方向与电动势方向一致，非静电力做正功，伴随这一做功过程的是其他形式的能转化为电能。与此相反，若电流方向与电动势方向相反，非静电力做负功，即静电力克服非静电力做功，此刻将有电能转化为其他形式的能。

2. 全电路欧姆定律

用导线把电源、用电器搭成电路，电路中即有电流通过。通常把电源以外那部分电路称为外电路，电源内部的电路称为内电路。在外电路，电流从电源正极流向负极。在内电路，电流从电源负极流向正极。内外电路构成一含源的闭合电路，这种闭合电路称为全电路。电流在内外电路都受阻力，内电路的电阻叫做内电阻。

现在研究一全电路。 R 是外电路电阻， r 是电源的内电阻， I 是电路的电流强度，那么，在电路中不断地进行着两种能量转化过程：一是电流流经内电阻和外电阻，把电能转化为热能；一是在内电路非静电力做功，把其他形式的能量转化为电能。若通电时间为 t ，根据焦耳——楞次定律，电流通过外电路电阻 R 和内电阻 r 时消耗的能量为

$$I^2 R t + I^2 r t.$$

而电源非静电力在同一时间作的功

$$qE = ItE$$

根据能量守恒定律，有

$$ItE = I^2 R t + I^2 r t$$

等式两边消去 It ，得

$$E = IR + Ir$$

即在全电路中，电源电动势等于外电路上的电压降与内电路的电压降之和。上式也可写为

$$I = \frac{E}{R + r}.$$

这就是全电路欧姆定律。

为深入理解全电路欧姆定律，让我们观察下面的实验。

实验装置（如图1·2），图中 A 、 B 各是从废日光灯管截取的一段管子，分别作为伏打电池的容器。 A 容器中置一铜板， B 容器中置一锌板，为增大内电阻，连通 AB 的 U 型管采用直径1.5厘米，长约35厘米的玻璃管为宜。导管与容器间的衔接是先用橡皮塞固定，然后用沥青封闭。鉴于伏打电池在供电过程中会发生极化现象，引起电压迅速变小，演示时可在12%的稀硫酸溶液中加入少许高锰酸钾或重铬酸钾，使电池电动势维持在0.8~0.9伏。探针由相同金属材料的绝缘导线做成。可采用两段相同的单芯胶皮铜导线做探针，在

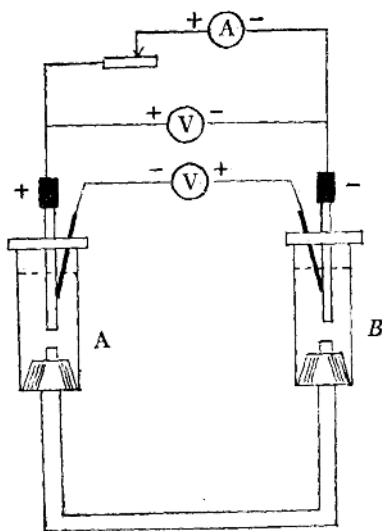


图 1·2

其末端的侧面各切出一露出铜芯的小缺口并固定在极靠近但不与两极相及的地方。

移动滑线变阻器，以改变外电路电压 $V_{\text{外}}$ ，此时，内电路电压 $V_{\text{内}}$ 也在改变，但总有

$$V_{\text{外}} + V_{\text{内}} = \text{常量}$$

即 $E = V_{\text{外}} + V_{\text{内}}$

把部分电路欧姆定律分别应用于内、外电路，则有

$$E = IR + Ir$$

$$\therefore I = \frac{E}{R + r}.$$

这样，上述实验便可作为全电路欧姆定律的实验依据了。

应当注意，上式中的 $R + r$ 是全电路的总电阻。可见，在有源闭合电路中，电流强度与电源的电动势成正比，与全电路的总电阻成反比。

对一给定的电源，电源内部非静电力移送单位正电荷做功的本领一定，故它的电动势 E 跟外电路和内电路的电阻无关，可视为不变。例如，把铜片和锌片插入稀硫酸溶液中，产生的电动势在 1 伏左右。用同样材料制成的干电池，不管是一号、二号、三号、四号或五号，它们的电动势一般都是 1.5 伏，不过一号干电池内阻较小容量较大而已。电源内部的特殊结构对运动着的电荷的阻力近乎不变，故认为电源的内阻 r 不变。

当外电阻 R 增大时，鉴于 E 和 r 不变，电路中的电流强度要减小，

$$\therefore V_{\text{外}} = E - Ir$$

∴ 路端电压 $V_{\text{外}}$ 增大.

当 $R \rightarrow \infty$ 时, 电路处于开路状态. 此时, $I = 0$, $V_{\text{外}} = E$, 即路端电压等于电动势.

反之, 当外电阻 R 减小时, I 增大, Ir 也就增大, 因而 $V_{\text{外}} = E - Ir$ 变小. 在 $R \rightarrow 0$ 时, $I \rightarrow \frac{E}{r}$, 电路中的电流强度获得最大值, 全电路消耗的功率增到最大值

$$P = IE = \frac{E^2}{r}.$$

且全部电功率几乎都消耗在内电路上, 几乎没有功率输出. 这种情况叫短路. 此时, 路端电压为零.

得到全电路欧姆定律之后, 使我们有可能进一步揭示电动势与路端电压、电势跃变的关系. 在外电路断路时, $E = V_{\text{外}}$. 就化学电源而言 (以丹聂尔电池为例), 在电池内部由于化学作用, 使 Zn^{++} 从锌板进入溶液, Cu^{++} 从溶液进入铜板, 致使在极板与溶液相接处, 出现附加电场 (如图 1·3). 处在附加电场中的离子受到的化学力与电场力方向恰好相反, 当二力平衡时, 上述离子迁移过程达到动态平衡. 这时, 在锌板与溶液接触处, 铜板与溶液接触处, 各自形成一稳定的偶电层. 显然, 在锌板与溶液形成的偶电层上, 由于锌板聚集过多的负电荷, 锌板电势较溶液低; 在铜板与溶液形成的偶电层上, 由于铜板聚集过多的正电荷, 铜板电势较溶液高. 因此, 锌板和溶液间, 铜板和溶液间, 分别产生一定的电势跃变: ΔV_1 和 ΔV_2 , 其中 $\Delta V_1 = u'_1 - u_1$, $\Delta V_2 = u_2 - u'_2$.

根据电势的定义, 电势的升高在数值上等于将单位正电

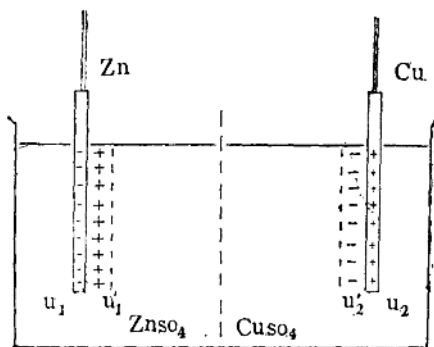


图 1.3

荷从始点移到终点外力克服电场力所做的功，在电池内部这种外力实为化学力，故

$$\Delta V_1 = E_1, \quad \Delta V_2 = E_2.$$

电源总的电势跃变为

$$\Delta V_1 + \Delta V_2 = E_1 + E_2 = E.$$

由于溶液处于静电平衡，其内部电势必处处相等，即 $u'_1 = u'_2$

$$\therefore E = u_2 - u_1.$$

上式说明，在外电路断路时，电源电动势等于外电路两端的电势差，即等于外电路两端电压。

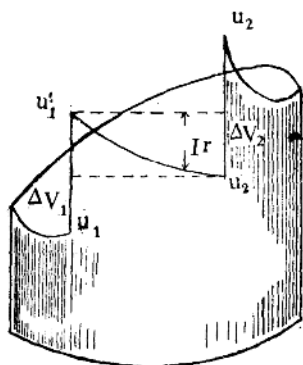
电路闭合时，由于内外电路皆有电流，又偶电层极薄，可视溶液电阻即为电源内阻，内压降为 Ir ，

$$\text{故 } E = V_{\text{外}} + Ir.$$

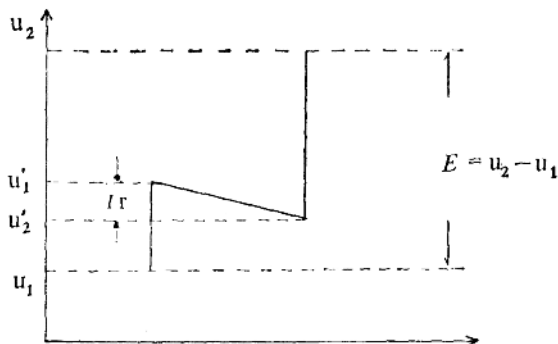
上述情况可用图1.4(1)或图1.4(2)表示出来。

对于机械电源，在它内部的电荷，在各处都受到非静电力的作用，不象丹聂尔电池那样只在偶电层处电荷才受非静电力。

设处在磁感应强度为 B 的匀强磁场中的导体 AB 以速度 V (如图1.5)，垂直切割磁力线运动，导体中的自由电子当然随导体以同一速度运动。由于洛伦兹力的作用，且 $f = qVB$ ，



(1)



(2)

图 1.4

所以，自由电子与原子实（多电子的原子，当分去一部分电子剩下的原子部分）分开，从而形成电子与原子实间的电

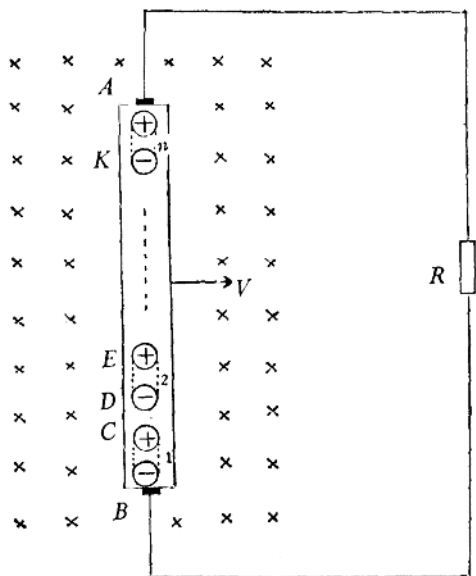


图 1.5

场。这电场的作用是阻碍电子继续离开原子实。当 $qE_c = qVB$ 时，自由电子与原子实的迁离运动处于动态平衡。设电子与原子实间距离为 d ，则每个电子与原子实间便形成一电势跃变： $E = BVd$ 。这些电势跃变各为： $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ ，在外电路断路时，导体 AB 两端的电压为

$$V_{AB} = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n \quad (\text{如图1.6}) .$$

当外电路闭合时，在电场力的作用下，电子从 B 极经负载 R 迁移到 A 极，形成外电路电流 I ，此时路端电压为

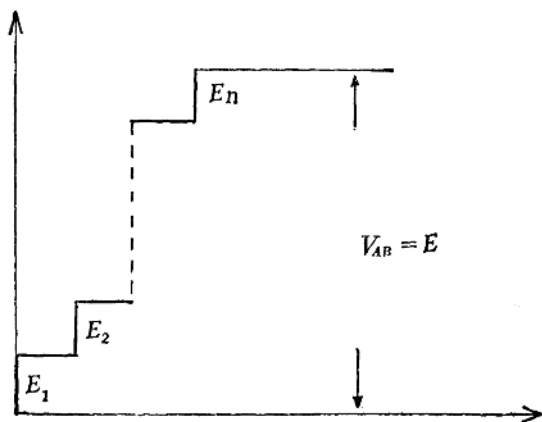


图 1.6

$$V_{AB} = IR.$$

由于电子从 B 奔向 A ，使得电源 (AB) 内部的场强减弱，电子与原子实间的动态平衡被破坏，洛伦兹力又要把电子与原子实分开，电荷的电势能又得以增加，即把机械能转化为电能。

在每相邻的原子间，靠近第一个原子的原子实处的电势，高于靠近第二个原子的电子处的电势，因此，将有电荷的迁移，形成内电路电流。设各相邻原子间电阻分别为 r_1 、 r_2 、 r_3 、 $\dots$ 、 r_n ，故有

$$V_{内} = Ir_1 + Ir_2 + Ir_3 + \dots + Ir_n.$$

这时电势跃变 (如图1.7)，可以得到

$$V_{AB} = E - Ir,$$