

物探专业电工基础讲义

中国矿业学院电工基础教研室

一九八一年七月

目 录

第一章 直流电路

§ 1—1	电路的基本知识	1
§ 1—2	电路的基本定律	20
§ 1—3	简单电路分析计算	30
§ 1—4	线性网络分析的一般方法	42
§ 1—5	非线性电阻电路	66
§ 1—6	含有受控源的电路	72
习题一		83

第二章 正弦交流电路

§ 2—1	交流电的基本知识	90
§ 2—2	正弦波的矢量和复数表示法	101
§ 2—3	正弦电路分析计算	111
§ 2—4	电路的谐振	171
§ 2—5	互感交流电路	184
§ 2—6	双口网络	191
习题二		195
附录一	复数及其四则运算	204

第三章 三相交流电路

§ 3—1	三相交流电的产生	220
§ 3—2	电源三相绕组的连接	221
§ 3—3	三相电路的负载连接	224
§ 3—4	三相电路的功率	230
习题三		231

第四章 非正弦周期电流电路

§ 4—1	非正弦周期电流的产生	233
§ 4—2	非正弦周期量的分解	235
§ 4—3	非正弦周期量的有效值和平均值	240
§ 4—4	非正弦周期电流的线性电路计算	244
§ 4—5	非正弦周期电流电路中的平均功率	248
§ 4—6	滤波器的概念	249
§ 4—7	周期信号的频谱	253
习题四		260

第五章 电工测量仪表

§ 5—1	直流测量仪表	263
§ 5—2	交流电压和电流的测量	278
§ 5—3	电感和电容的测量	283

第六章 电路的过渡过程

§ 6—1	概述	288
§ 6—2	R C 短接时的过渡过程	293
§ 6—3	R C 电路与直流电压接通后的过渡过程	298
§ 6—4	矩形波作用于 R C 电路的分析	310
§ 6—5	R L 电路中的过渡过程	315
§ 6—6	一阶线性电路的过渡过程	323
§ 6—7	电容器的振荡和非振荡放电	326
习题六		338

第七章 电机

§ 7—1	变压器	342
附录二	小型变压器的设计计算	347

§ 7 — 2	三相异步电动机	351
§ 7 — 3	伺服电动机	357
§ 7 — 4	直流电动机	363
§ 7 — 5	永磁稳速直流电动机	365
§ 7 — 6	反应式同步电动机	367
§ 7 — 7	自整角机	369

第一章 直流电路

本章主要内容是在物理电学的基础上，结合一些电工实际问题，复习电流、电压、电位、电动势、电功率等物理量的基本概念；研究电路的基本定律；同时依据这些定律讨论电路的分析计算方法；根据专业需要，在本章中还介绍一些复杂电路的有关定理和分析方法；如迭加原理、最大输出功率定理、等效电源定理等。

依照电路中电流的性质，电路可分为直流电路和交流电路两大类。电流方向不变的电路是直流电路，电流方向随时间而交变的电路是交流电路，本章主要研究直流电路。但所讨论的定律、定理和分析方法对其他形式的电路也同样适用，是研究各种电路的基础。因此在学习时要了解透彻并能熟练地掌握。

§ 1 — 1 电路的基本知识

一、电路和电路图

按照一定目的，把一些电工设备和元件用导线连接起来使电流流通就构成了电路。

图 1 — 1 所示是煤矿矿灯房给蓄电池充电的电路。它由发电机、可变电阻器、蓄电池及连接导线组成。发电机产生的电能通过导线传输给蓄电池，对蓄电池进行充电。在蓄电池内将电能转换成化学能储存起来。可变电阻器是用来调节充电电流大小的，电流通过电阻器时要发热。进行着电能到热能的转换。导线的作用是构成电流通路，传输电能，但电流经过导线时也要发热，将一部份电能转换成热能。从这个例子看出：电路的作用就是传输和分配电能，并发生电能与其他

形式能量间的相互转换。

当然，电路的作用并不限于简单地传输和分配电能、进行能量转换，还可以用来传递信号、改变电压、变换电流性质（将交流变换成直流或将直流变换成交流）等。如图 1—

6，图 1—7。

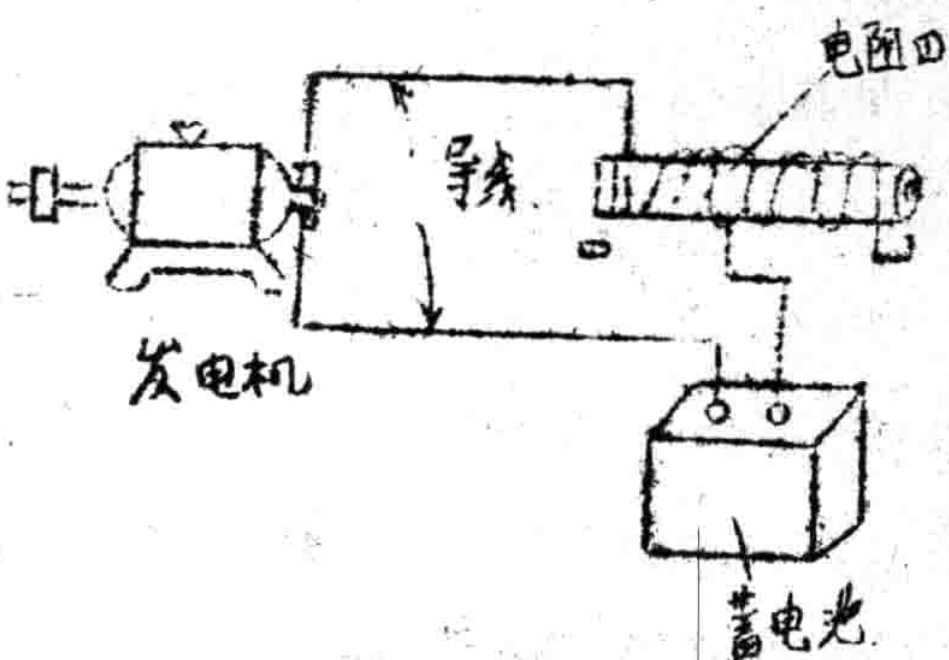


图 1—1 蓄电池充电电路

组成电路的电工设备称为电路元件，种类很多。但依照它们在电路中的作用，可分为三类：

(1) 电源 电源是产生电能的设备，它们在电路中的作用就是不断地把其它形式的能量转换成电能，供给电路，维持电流流通。例如发电机是将机械能转换成电能，电池是将化学能转换成电能。

在电路分析中，我们不研究电源的内部构造和能量转换过程，而只考虑它对电路的作用。因此，无论哪种电源，是发电机也好，是干电池也好，从电路分析角度看，都可以用一个电动势 $\mathcal{E}$ 和一个内电阻 R_i 代表，如图 1—2 所示。

当然，不同类型的电源，产生电动势的方法是不同的，在发电机中这个电动势就是外力拖动电枢绕组在磁场中旋转时所产生的感应电动势。在干电池中则是电池内部化学物质在正负极板间的极化电势。虽然产生电动势的原因不同，但对电路的作用却一样，都是保持电路中各点的电位，

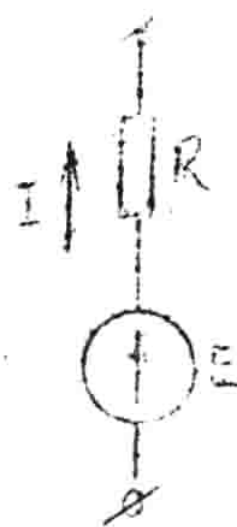


图 1—2

推动电流流通。电源中除有电动势外，还有电阻。发电机的电枢绕组是由铜线绕制的，这些铜线具有一定的电阻。电池内部由于极化作用也有一定的电阻。当电流流通时都要消耗一部份电能，变为热能。由

于这些电能是消耗在电源内部，故把这种电阻称为内电阻。

常用的直流电源有直流发电机、干电池、蓄电池、整流电源等。

(2) 负载 所谓负载就是用电设备。它们在电路中的作用是吸收电能，并将电能转换成其他形式的能量。例如电炉是将电能转换成热能，电动机是将电能转换成机械能，做机械功；收音机的喇叭是将电能转换成声能。因在电路中它们的作用都是消耗电能，所以称为负载。负载一词可以用来代表这些用电设备，但在电工术语中一般是指这些用电设备所消耗的电功率。通常说增大负载就是加大用电设备消耗的电功率。

用电设备（负载）的种类很多，但从电路分析角度看不外两大类。一类是没有电动势的：如电灯、电炉、电烙铁、电阻器等，这类负载的作用可用一个电阻 R_L 代表，如图 1—3 (a) 所示。另一类是有电动势的，如电动机、充电的蓄电池等。电动机在电流作用下旋转时，它的电枢绕组切割磁场也产生感应电动势，但由于这个电动势比电动机的端电压低，在端电压作用下通过电动机的电流与电动势方向相反。所以这个电动势不是产生电能，而是消耗电能，称为反电动势。蓄电池充电的情况也与此类似，电池的端电压比极板间的电动势高，充电电流与电动势的方向相反，所以这时蓄电池的电动势也是反电动势。

对于这类负载；在电路分析中可用一个反电势 E_r 和一个内电阻 R_i 代表，如图 1—3 (b) 所示。

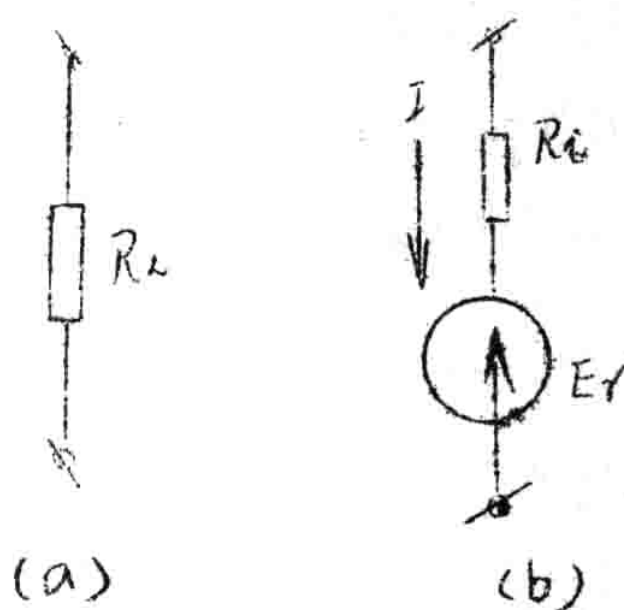


图 1—3

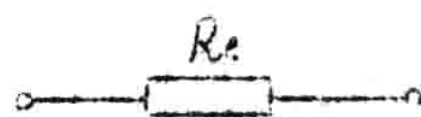


图 1—4

(3) 导线 电路的连接导线一般用铜线或铝线，它在电路中的作用是传输和分

配电能。由于导线本身也有电阻，也要消耗一部分能量，故在电路分析中常用一个电阻 R_l 代表，如图 1—4 所示。如果导线电阻 R_l 比负载电阻 R_L 低得多 ($R_l \ll R_L$)，几乎不影响电路的运行状态，分析电路时也可以忽略 R_l 的影响。

一、电源、导线和负载是任何电路，不论是简单电路还是复杂电路，都必须具有的电路元件，在复杂电路中常包括有许多个电源和许多个负载。

前面提到，在分析电路时，我们并不研究电路元件内部所发生的物理现象和能量转换过程，只是讨论它们端钮上所表现出来的电特性，即电压高低或电流大小。因此，在画电路时，并不需要象图 1—1 那样画出这些电路元件的实物，也不必考虑这些元件在电路中的实际位置，只要按照电路元件的相互关系，把相应的电路参数（电阻、电动势等）连接起来即可。例如图 1—1 所示的电路可以画成图 1—5 的形式，其中 E_1 、 R_{i1} 代表电源的电动势和内电阻， E_2 、 R_{i2} 代表蓄电池的电动势和内电阻， R_L 代表可变电阻器的电阻， R_l 代表导线的电阻。这种直接用电路元件参数表示电路连接的图形称为电路图。在今后研究电路时都是画电路图而不画实际电路。电路图虽然是电路的抽象表示，但它更清晰、更有利于分析。有时为了能在电路图中看

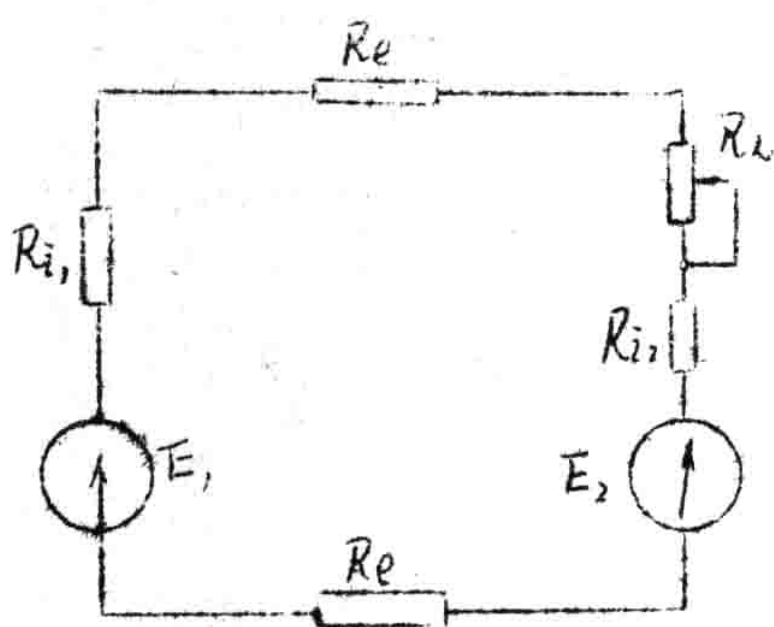


图 1—5

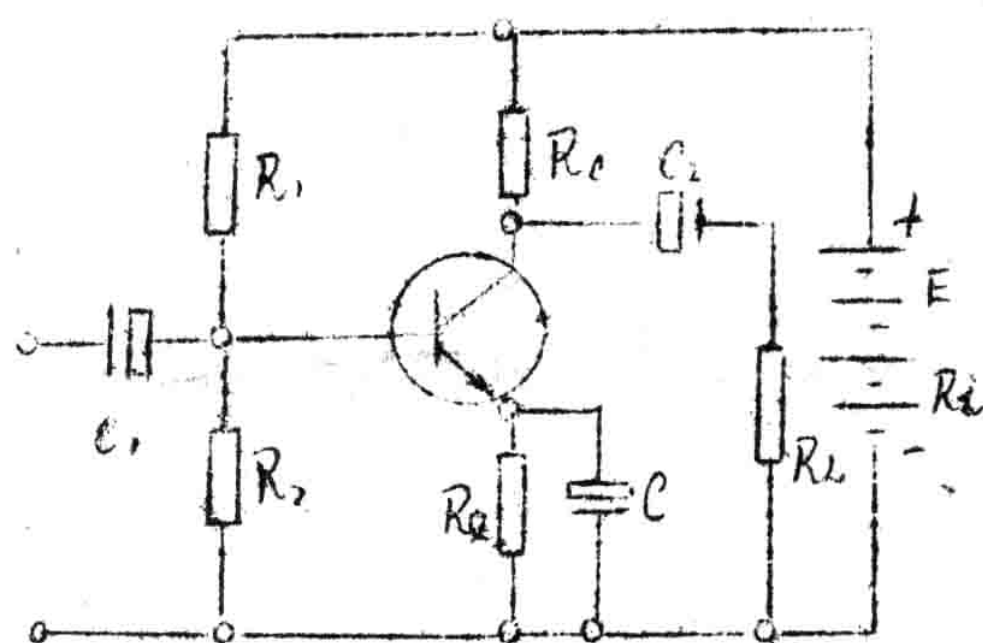


图 1—6 晶体管放大器电路图

出元件的性质，各种电路元件都有规定的图形符号，称为电路图元件。一些常用元件的图形符号列于表 1.1 中，供画图时参考。图 1—6 所示是一种晶体管放大器的电路图，图 1—7 所示是一种整流电源的电路图。

现在介绍电路的几个名词：

① 节点：三个或三个以上元件联接的点叫做节点。如图 1—7 中的 a 点和 b 点。

② 支路：直接与两节点相连接的一段电路，如图 1—7 中的 $a-R_L-b$ ； $a-c-b$ ； $a-L-BG-B-b$ 等叫做支路。

③ 回路：电路中任一闭合路经叫回路。如图 1—7 中的 $a-c-b-R_L-a$ ； $a-R_L-b-B-BG-L-a$ 等。

练习题：

1—1：图 1—8 电路中，有几个节点？几条支路？几个回路？

1—2：图 1—6 晶体管放大器电路图中有几个节点？

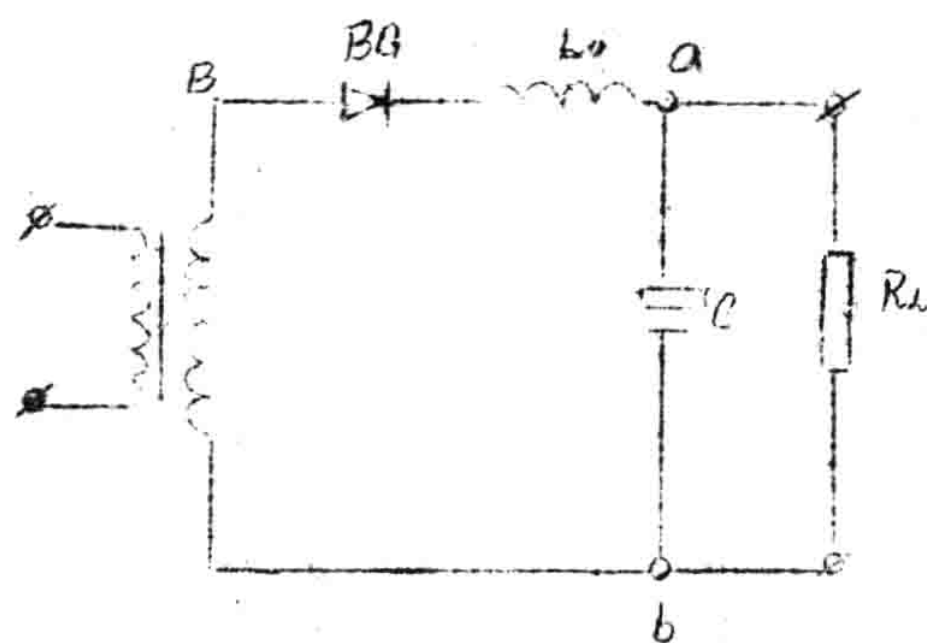


图 1—7 整流电源电路图

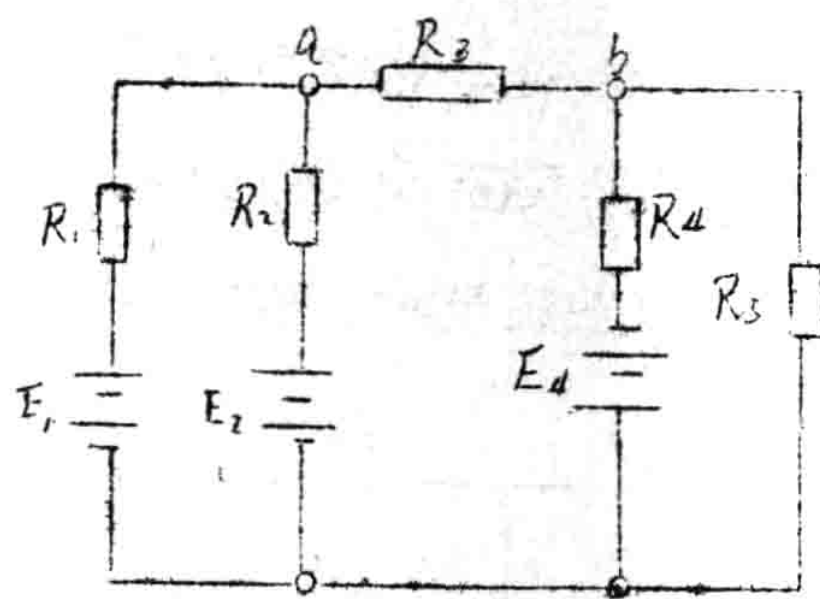


图 1—8

二、电路的基本物理量

上面谈到，电路的作用是转换和分配电能，而电能的转换和分配是通过电路中的电流、电压、电动势等来反映的，所以在研究电路之前，需要先复习一下这些电路的基本物理量。

表 1 . 1 电路元件的图形符号

元件名称	图形符号	元件名称	图形符号	元件名称	图形符号
固定电阻器		天 线		可控硅	
可变电阻器		地 线		二极电子管	
电 位 器		电 池		三极电子管	
固定电感圈		直流发电机		四极电子管	
可变电感圈		继 电 器		五极电子管	
固定电容器		晶体二极管		变 压 器	
可变电容器		晶体三极管		电线连接	
半可变电容器		稳压二极管		电线下连接	
电解电容器		喇叭			
刀 开 关		耳 机			
按钮					
熔断器					

(一) 电流 我们知道，金属导体内存在有大量的自由电子，电解液内存在有大量的正负离子。在正常温度下这些带电质点处于不规则的热运动状态，没有沿一定方向的运动，这时如果在导体内取一截面，则通过此截面的平均电量为零，对外没有电流效应。但是，如果在导体两端施加一个电场，则在电场作用下，这些带电质点除开不规

则的热运动外，还有一个沿电场方向（带正电荷的质点）或者逆电场方向（带负电荷的质点）的定向运动。这时如果在导体内取一截面就会有一定的电量通过此截面，并对外显出电流效应来。由此可见，只有带电质点在电场作用下的定向运动才能形成电流，而不规则的热运动并不能形成电流。

导体中有没有电流或者电流大小，虽然不能直接用眼睛观察到，但利用电工仪表，测量它的热效应、力效应或者磁效应可以进行观察和确定。

电流的大小，或者说电流的强弱，可以用电流强度来表示。所谓电流强度就是单位时间内通过导体某一截面的电量。设在极短时间 Δt 内通过导体截面 S （图 1—9）的微小电量为 Δq ，则电流强度为：

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \dots\dots\dots (1-1)$$

因为电流强度是电工中最常用的一个物理量，所以常简称为电流。这样，电流就不仅代表一种物理现象，而且也代表一个物理量。

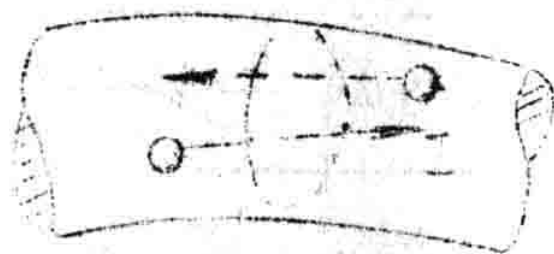


图 1—9

前面提到，在电场作用下，正电荷沿电场方向运动，而负电荷逆电场方向运动，那么，以哪个方向作为电流运动的方向呢？为明确起见，在电工中把正电荷运动的方向规定为电流的方向。这样一来，利用（1—1）式计算电流时，电量 Δq 应代表以正电荷运动方向为准的通过截面 S 之电量的代数和。

电路中的电流强度可能随时间变化，也可能不随时间变化。如果电流强度不随时间变化，即任何瞬间通过导体截面的电量都相等，则称为稳恒电流，简称直流。如果电流的大小和方向随时间改变，是时间的某种函数，则称为交变电流，简称交流。直流的电流强度一般用

大写字母 I 表示，交流的电流强度一般用小写字母 i 表示。

电流强度的单位，依照所用单位制不同而不同。根据国际电工学会决议，现在电工中普遍采用合理化绝对实用单位制，即 MKSA 单位制。在这种单位制中，长度的基本单位是米（M），质量的基本单位是千克（K），时间的基本单位是秒（S），电流的基本单位是安培（A）。这四个基本单位是整个单位制的基础，其他物理量的单位，如力的单位牛顿，速度的单位米/秒，电量的单位库仑等都可以根据这四个基本单位推导出来。在这种单位制中，电流的基本单位——安培是这样来确定的：将两根平行导线放在真空中，轴线相距一米。当通以强度相同的直流电流时，如果相互间的作用力为 2×10^{-7} 牛顿，则导线中的电流强度就是一安培。

电路中的电流可能很大，也可能很小，直接用安培计量有时不够方便。这时可用导出单位毫安（mA）、微安（ μA ）、千安（KA）、兆安（MA）来计量。它们与安培的关系是：

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A} ; \quad 1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A} ;$$

$$1 \text{ KA} = 10^3 \text{ A} ; \quad 1 \text{ MA} = 10^6 \text{ A} .$$

(二) 电压和电位

图 1—10 所示是一个简单的电路，a、d 分别代表电池的正极和负极。当用导线把电池和负载接通后，就构成了电路，并有电流流通。

我们知道，电池正极上积聚有正电荷，负极上积聚有负电荷，两极板之间形成一个电场。当电路接通后，在电场作用下正电荷

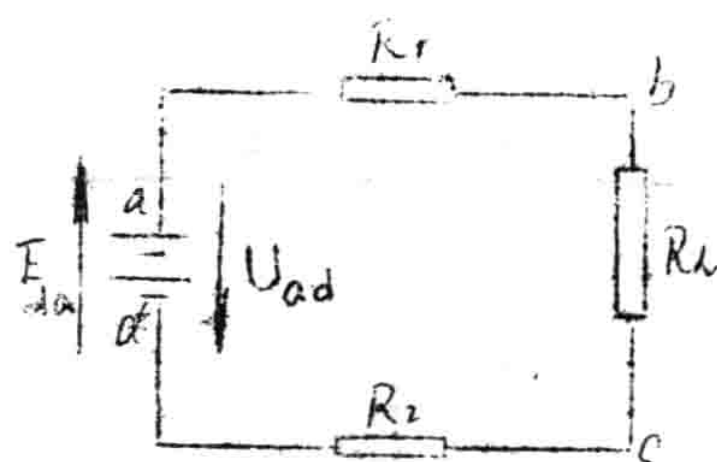


图 1—10

将从电池正极 a 经过导线和负载流向负极 d 。而随着电荷的移动，电

场也作了功，并将电能转换成其他形式的能量。电场做功的能力通常用电压来衡量。设电场把正电荷 q 从 a 点移到 d 点所做的功为 A_{ad} ，则从 a 点到 d 点的电压为：

$$U_{ad} = \frac{A_{ad}}{q}$$

此式表示，电路中从 a 点到 d 点的电压在数值上等于电场把单位正电荷从 a 点移到 d 点所做的功。

因为电压代表电场把单位正电荷从电路中某点移到另一点所作的功，所以在说明电压的时候，必须说明哪一点是起点，哪一点是终点。上式中字母 U 的下标 ad 就是表示电压方向的。在电路图中则应用箭头表示出电压的方向，如图 1—10 所示。

在分析复杂电路的时候，我们时常在电路中选一点为参考点来研究其他各点的情况。这时，为分析方便，常将电路中各点对参考点的电压称为各该点的电位，用符号 φ 表示。例如在图 1—10 的电路中，当选 d 点为参考点时，电压 U_{ad} 就代表 a 点的电压 φ_a ，而电压 U_{bd} 就代表 b 点的电位 φ_b 。显然，电压 $U_{dd} = 0$ ，可见参考点本身的电位等于零，即 $\varphi_d = 0$ 。

当参考点选定之后，由于电路中各点对所选参考点的电压是固定的，所以各点的电位也是确定的，这个性质称为电位的单值性。但是，当所选的参考点不同时，各点电位的数值也将随之改变。就是说，电路中各点的电位与参考点的选择有关。在实际工作中，通常认为大地的电位为零，所以当电路中有接地点时，就选接地点为参考点，假如电路中没有接地点，则最好选电源的负端，即电路中电位最低的点为参考点，以使各点的电位都具有正值。在有些情况下可选电路的公共连接点为参考点，例如在分析电子线路时，常选各级放大器的共用连接线（即接外壳的导线，通称地线）为参考点，以便于分析。

从前面的讨论看出，电位和电压都是用来衡量电场做功能力的，它们的不同点在于：电位是对某一公用参考点而言，而电压则是对任意二点而言。二者间的关系可以用图 1—10 的电路说明。当选 d 点为参考点时，电场把单位正电荷从 a 点移到参考点所做之功为 a 点的电位 φ_a ，把单位正电荷从 b 点移到参考点所做之功为 b 点的电位 φ_b 。显然，电场把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做之功应等于此二点电位之差 $\varphi_a - \varphi_b$ ，而这个差值也就等于从 a 点到 b 点的电压，即：

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$$

所以说电压 U_{ab} 就等于 a b 二点间的电位差。又由于电场总是推动正电荷从电位高的地方流向电位低的地方，所以电压的方向一定是由高电位点指向低电位点，即电位降低的方向。

当选择不同的参考点时，各点电位的数值要随着改变，但任二点间的电位差，或者说电压却不会改变，因为电场把单位正电荷从一点移到另一点所做之功是不会因参考点不同而改变的。所以说，电路中任二点间的电压是固定的，而与参考点的选择无关。

在 MKSA 单位制中，电位和电压的单位都是伏特（=焦耳/库仑）简称伏（V）。在计量高压电路如高压输电线路时，常以千伏（KV）为单位，在计量微小电压电路如晶体管线路时，则取毫伏（mV）或微伏（ μV ）为单位，它们之间的关系是：

$$1 \text{ KV} = 10^3 \text{ V} ; 1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V} ; 1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V} .$$

例题 1—1 图 1—11 所示为一简单电路，分别选 C 点和 B 点为参考点，求各点电位和各点间的电压。

解：

1，选 C 点为参考点，则

$$\varphi_c = 0$$

$$\text{电路中电流 } I = \frac{E}{R_1 + R_2} = 1 \text{ A}$$

$$\text{得: } U_{BC} = IR_2 = 1 \times 4 = 4V$$

$$U_{AB} = IR_1 = 1 \times 6 = 6V$$

$$\text{故: } \varphi_B = \varphi_C + U_{BC} = 4V$$

$$\varphi_A = \varphi_B + U_{AB} = 4 + 6 = 10V$$

2, 选B点为参考点, 则 $\varphi_B = 0$ 。

$$\text{电压 } U_{BC} = IR_2 = 4V$$

$$U_{AB} = IR_1 = 6V$$

$$\varphi_C = \varphi_B - U_{BC} = 0 - 4 = -4V$$

$$\varphi_A = \varphi_B + U_{AB} = 0 + 6 = 6V$$

由此例看出, 当所选参考点不同时, 各点电位数值随之改变, 但任二点间电压却不变。

例题 1—2 计算图 1—12 中 a 点和 c 点的电位。又若用导线将 a、c 二点连接起来, 对电路运行有无影响?

解: 电路中的电流

$$I = \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2} = 1A$$

因 d 点系接地点, 故选 d 点为参考点, $\varphi_d = 0$, 于是得:

$$\varphi_c = \varphi_d + IR_2 = 0 + 1 \times 2 = 2V$$

至于 a 点电位, 由图中看出

$$\varphi_a = \varphi_d + E_2 = 0 + 2 = 2V$$

可见 c 点与 a 点的电位相等, 在电路分析中称为等电位点。当用导线将 a、c 二点连接后, 连线中亦无电流, 对电路运行并无影响。

将电路中的等电位点连接在一起或者断开对电路运行并无影响,

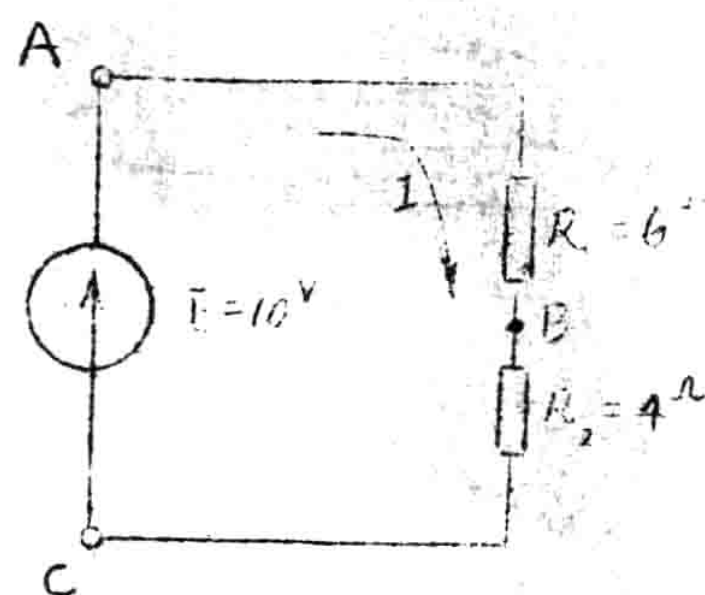


图1—11

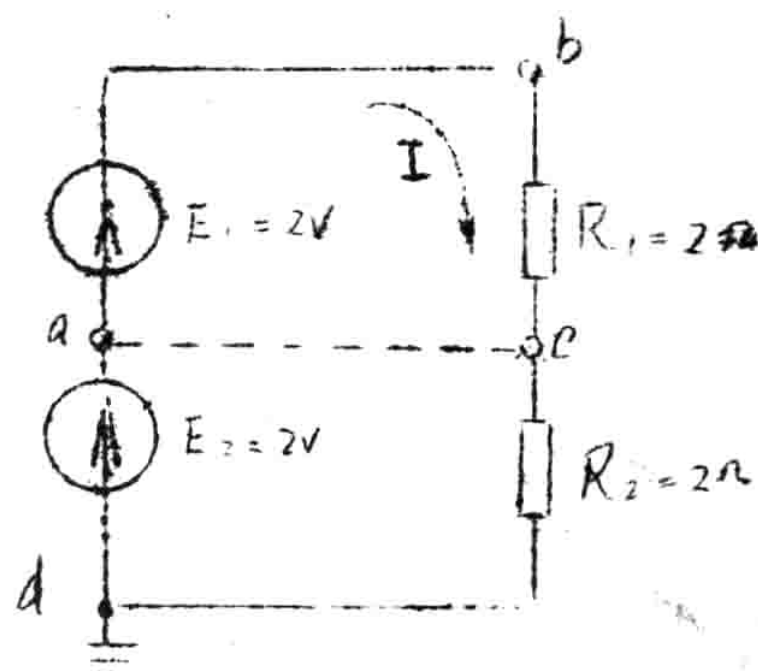


图 1—12

这一概念在分析和计算电路时经常遇到，希望予以注意。

例题 1—3 图 1—13

所示是最简单的晶体管单管放大器直流通路，试按已给数据求各点电位和基极偏流电流 I_b 。

解：因晶体管发射极与电源负极的接点 e 接地，故选 e 点为参考点， $\varphi_e = 0$ 。

因晶体管基极 b 与发射极 e 间的电压 $U_{be} = 0.7V$ ，故 b 点电位：

$$\varphi_b = \varphi_e + U_{be} = 0.7V$$

a 点电位等于电池端电压，即 $\varphi_a = E_c = 20V$

c 点电位等于 a 点电位 φ_a 减去电压 $I_c R_c$ ，故

$$\begin{aligned}\varphi_c &= \varphi_a - I_c R_c = 20 - 1.76mA \times 6K \\ &= 20 - 10.6 = 9.4V\end{aligned}$$

基极偏流

$$I_b = \frac{\varphi_a - \varphi_b}{R_b} = \frac{20 - 0.7}{470K} = 0.041mA = 41\mu A$$

：练习题 1—3 计算图 1—14 各电路中诸点的电位值，并填入空白处。

(三) 电动势

前面谈到，当电路中有电流时，正电荷在电场作用下不断地从电源正极移到电源负极。随着电流流通，电源正极上积聚的正电荷逐渐减少，负极上积聚的负电荷逐渐减少，于是正负极板间的电压逐渐降低。随着电压降低，电路中的电流也逐渐减小，直到最后为零。

显然，为了维持电流流通，并保持电流强度不变，必须使电源极

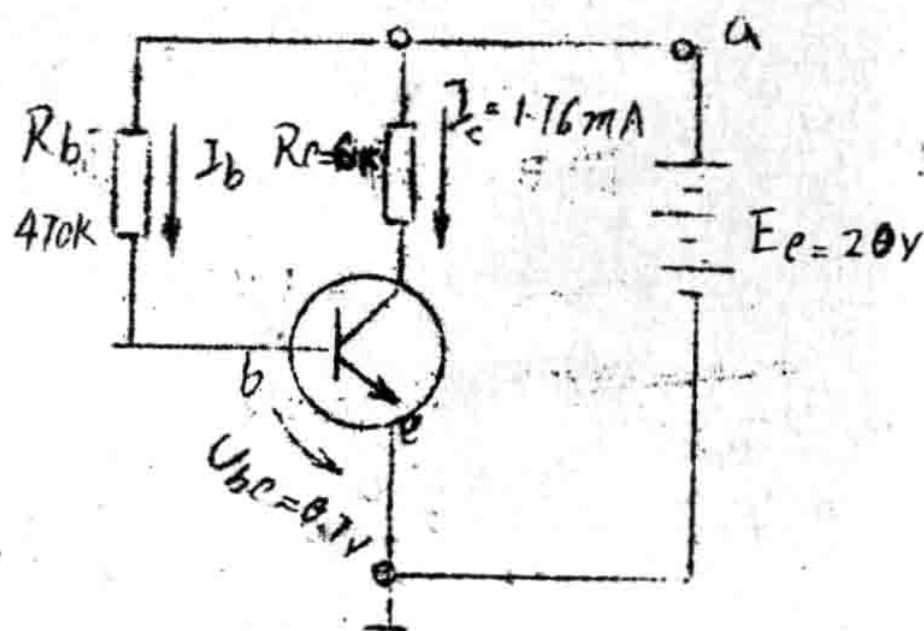


图 1—13

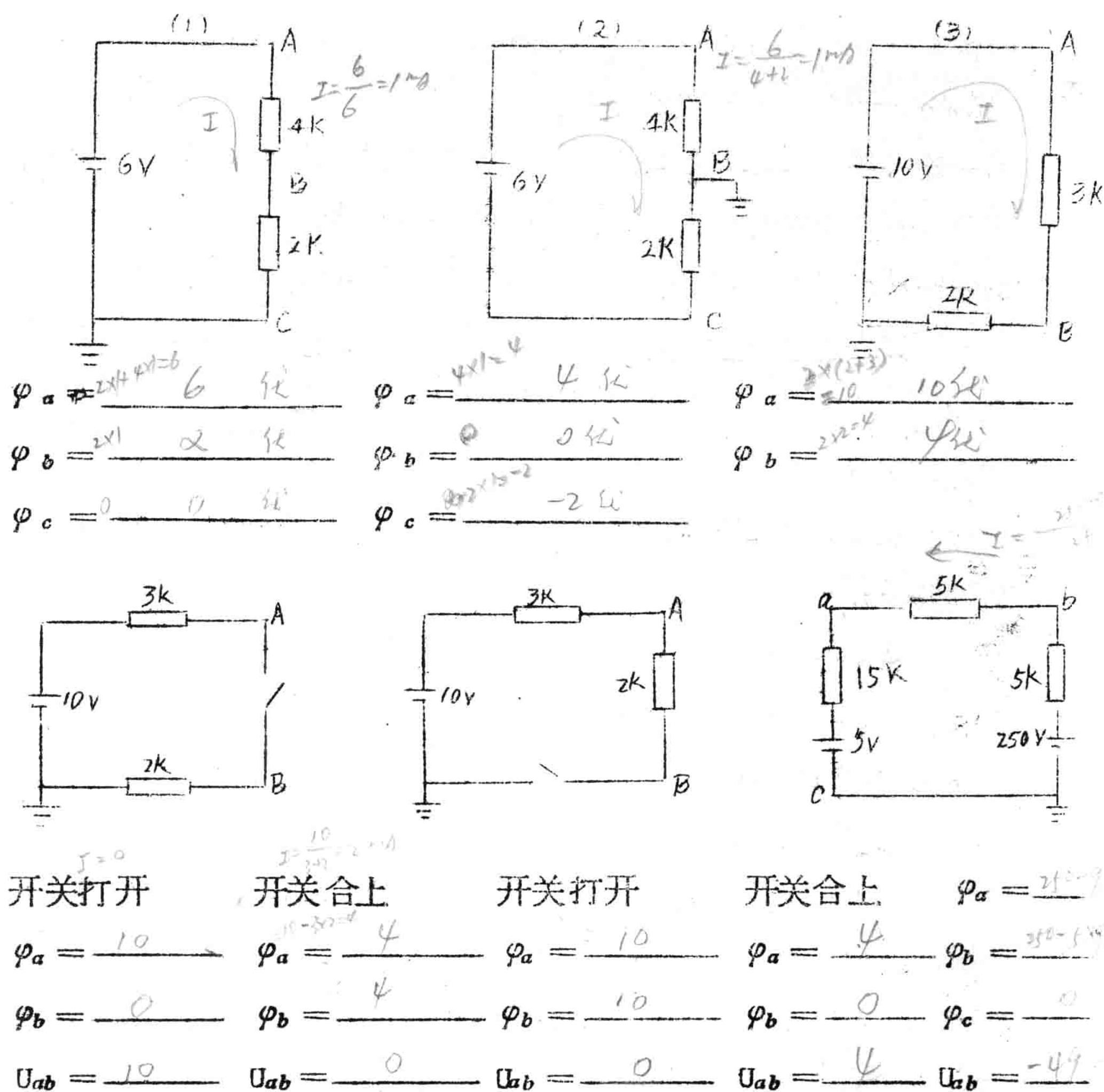


图 1-14

板间的电压 U_{ad} (图 1-10) 固定。就是说必须设法把从正极板 a 流到负极板 d 的正电荷，从另一条路逕再送回到正极板上来。但是，由于正负极板间有电场，不借助外力是不能使正电荷逆电场方向移动的。电路中的电源就是产生这种外力的设备。在电池中由电极和电解液接触而产生的化学力，在发电机中由于导体在磁场中旋转而产生的电磁力，就是这种外力，统称为电源力。电源力可以克服电场作用把正电荷从电源负极移到正极，以保持极板间电压恒定，维持电流流通。