

火电厂技工培训教材

电工原理

湖北省电业局編



水利电力出版社

江南大学图书馆



91272009

U31/493
1/3157

目 录

第一章 直流电的概念	(3)
第一节 电子概念	(3)
第二节 静电	(4)
第三节 电压	(7)
第四节 电流	(8)
第五节 电阻	(9)
第六节 欧姆定律及其应用	(13)
第七节 电流的热作用	(23)
第八节 短路	(24)
第九节 电流的功与功率	(25)
第二章 电磁	(30)
第一节 磁铁	(30)
第二节 电流的磁效应	(34)
第三节 磁路和电路的比较	(37)
第四节 通电导体间的相互作用	(38)
第五节 磁场对通电导体的作用和左手定则	(39)
第六节 电磁感应	(40)
第七节 楞次定律	(43)
第三章 单相交流电	(50)
第一节 单相交流电的产生	(50)
第二节 交流电的图示法	(52)
第三节 交流电的週率和磁极的对数与轉子的轉数間的关系	(53)
第四节 週期与週率的关系	(56)
第五节 交流电产生的作用	(57)
第六节 轉子繞卷中磁通电变动的曲綫	(59)

无錫市第十五中学
 校号 6770
 学号

- 第七节 交流电的同相和异相(61)
- 第八节 交流电路中的自感作用和互感作用(64)
- 第九节 有效电阻及集肤作用(69)
- 第十节 电感电抗(70)
- 第十一节 电容电抗(71)
- 第十二节 电阻与电感的串联(72)
- 第十三节 交流电的欧姆定律(74)
- 第十四节 功率因数(75)
- 第十五节 增大用电器功率因数值的必要性(77)

第四章 三相交流电(78)

- 第一节 三相交流电的产生(78)
- 第二节 三相交流制(80)
- 第三节 “星形”和“三角形”接法(83)
- 第四节 “星形”和“三角形”接法中相电压、相电流与线电压，
线电流间的差别(84)
- 第五节 三相交流电功率的计算(88)
- 第六节 用三相交流造成旋转磁场(91)

第一章 直流电的概念

第一节 电子概念

所有的物质，都是由原子组成，各种原子都有一个核心（即原子核），和一个到数十个围绕核心运动的电子，情形和行星围绕太阳运动相似，电子在各种不同的物质中，都具有同样的大小和同样的性质。

电子是很小很轻的，1,200亿亿个电子，才有0.1%公斤（即1克）重，所以是小到看不见的；因为它轻而小，所以能够以很快的速度运动。

电子带的是阴电（或称负电）；在原子核中有带阳电（或称正电）的质子，质子和电子数目在正常情况下是相等的，因此在平常，原子中阴阳电互相抵消中和，而没有带电现象（图1-1）。

阴阳电是互相吸引的，带阴电的电子在原子的外层虽然很快的运动，由于受原子核中质子阳电的吸引，不能随意离开原

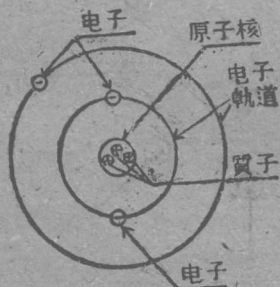


图1-1 原子构造示意图

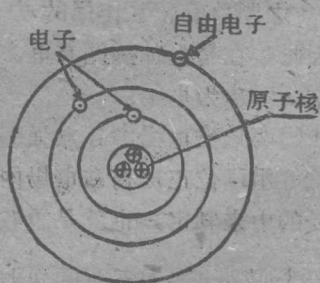


图1-2 原子中自由电子的分布示意图

子本身而跑出去，在有多数电子的原子中，电子总是分成若干层圍繞原子核运动，最外层上的几个电子距离原子核比較远，所受的吸引力也小些，同时又有同性的电子互相排斥，而最外层的电子受內层电子的排斥，这样最外层的电子比較容易离开原子，这些电子称为自由电子(图1-2)。

因此，当自由电子受到外界的某些力的影响时(例如摩擦、磁性感应等)，就可能离开它們原来的原子而跑到另外的原子上去。失去自由电子的原子，就显示出帶阳电的現象，增加自由电子的原子，也就显示出帶阴电的現象。

所以物質的原子中多了电子或少了电子，物質就成为帶电体。

第二节 靜 电

(1) 电 場

有一个絕緣的帶电导体(1)。显然，它上面的电荷只能分布在导体的本身上。可是，如果把帶电体(2或3,4,5)放在帶电体(1)周圍空間的各个不同地方(图1-3)就会发现，帶电体(1)和(2或3,4,5)之間总有相互作用的力存在，因此，在帶电体周圍有电力作用的空間，称为电場。

我們要比較电場內各点强弱的时候就可用單位正电荷在电場內各点所受的力来判定，也就是說我們用 $\frac{\text{力}}{\text{电荷}}$ 来判定电場內各点的强弱，

这就叫做电場强度。

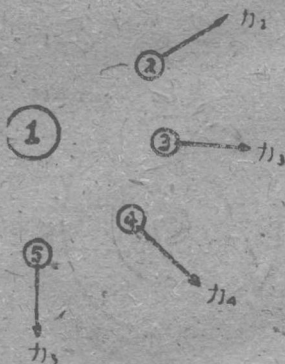


图1-3 电場中力的分布

(2) 电 位

从带电体的表面移开一单位电荷到任何一点时，将完成一定的工作，这种工作能表示出物体带电的特征，称为物体的电位。

我们知道水从水位较高的一个器皿流向水位较低的器皿，直至二皿中水位高低相等时，水的流动才停止，这正象用导线把二个电荷不同，电位各异的物体联接起来(图1-4)电荷就将 从电位高的一个物体移向电位低的一个，直至两个物体电位相等时电荷才停止流动一样。所以带电物体的电位，可以用器皿中水位不同来理解它。

(3) 静 电 感 应

如把一个带电导体甲移近不带电的导体乙，则乙也将带电，在面面对带电体甲的一面发生与甲异性的电，而在乙的另一面发生与甲同性的电(图1-5)。

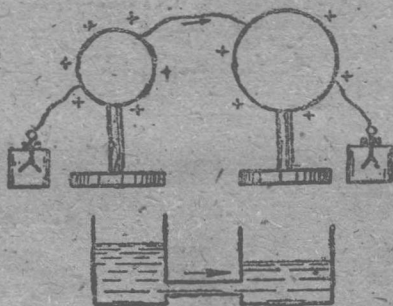


图1-4 电位与水位的比较

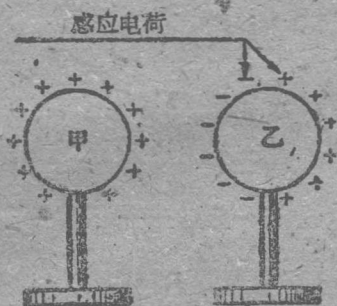


图1-5 静电感应图

这就说明在带电体甲对于乙物体的影响下，使电子发生移动的结果。

这种物体在另一帶电体影响下发生电荷現象的我們叫靜电感应。

靜电产生可有二种方法：一种用皮或綢擦玻璃（規定为正电）；另一种用毛皮或毛絨摩擦硬橡膠而生电（規定为阴电）。

我們从第一节电子概念知道，原子中的阴阳二种电荷，通常时是彼此相等的，故不呈帶电用象，但今用皮擦玻璃，玻璃因失去电子而帶阳电，皮則因从玻璃上得到电子，使电子成为过剩而帶阴电，这正和电子概念中所說：即是从自由电子位移而产生电的一样。

(4) 电 容

物体以一定的电位容納电荷的能力，叫做物体的电容。如果我們想积聚一定分量的电，可把兩片金屬片互相接近，使一片上所聚的电荷与另一片上同样多，而二片間的电压又不太高时的器具这叫做电容器(如图1-6)。

通常的电容器，是用隔着固体电介質（如蜡紙、云母、玻璃或硬橡膠）的金屬片制成的(图1-7)。

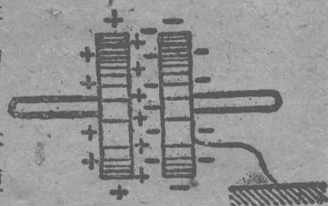


图1-6 电容器

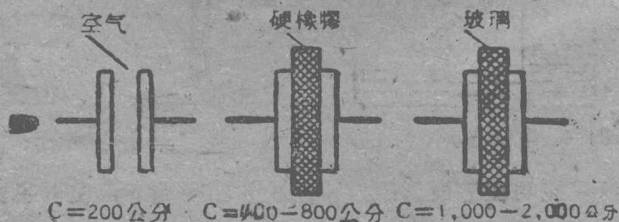


图1-7 电容器的电介質

以上，这都是不能改变容量的电容器，我們叫它定量电容器。

电容器的片間，在某种电位差下，所能积儲某一定量的符号相反(正負)的电，我們叫做电容器的容量。

电容的实用單位是法拉特(簡称法)。但这單位覺得太大，通常是用它的百万分之一做單位，叫做微法($1\text{微法} = \frac{1}{1,000,000}\text{法}$)。

第三节 电 压

我們在上面已說过，若用管子連接二器皿，器中盛有水位高低不同的水，則水將由一器流入他器，直至两个水位相等为止。但如果循环不断的把水从一器中取出，傾入另一器中，維持了二器皿的水位差，則接管中的水就不断流动。

电的性質与水的性質，在一些地方极为相似。如要电子在綫路中繼續流动，就必须不断的在电源二极保持着电位差，所以說迫使电流在綫路中流动的压力就叫做电压(用 V 来表示)。能产生并且維持电位差，克服内外阻力，使电子在电路中行动的力，叫做电势(又叫电动势)，用 E 来表示。

克服电路中某一段的阻力所耗費的电势，称为該段的电压。

电压和电势的單位用伏特来表示(V)，測定須用特殊仪器——伏特計(图1-8)。

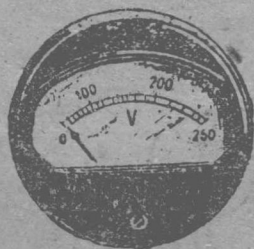


图1-8 伏特表

第四节 电 流

取金属球两个(图 1-9), 其一(甲)带阳电, 另一(乙)带阴电。若用金属导线把二球联接, 则电子将由电子过多的乙球移到电子过少的甲球。这种电子沿着导线的移动, 就叫电流(用 I 来表示)。

在上面已经说过, 水位高时一器皿的水定流入水位低的一器皿中, 亦即是说, 由于有了水位, 就有了压力。水位愈高, 它的压力愈大。同样水好比电子、水位差与电位差一样, 那末, 要使电子将由电子过多的流到电子较少的物体中, 必须有一个压力(电位差)迫使它流动, 所以无水压水不能流动, 无电压电亦不能流动, 也就是说有了电压才产生电流。

电流单位为安培(用 A 来表示), 可用电流表来测量。

电流可分为直流与交流两种:

直流电流总是朝一个方向流着, 且大小不变, 故称为直流(蓄电池)。

电流的大小和方向与电势同样地变动着, 这称为交流(以后再详述)。

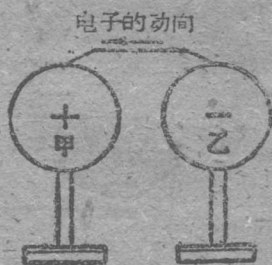


图1-9 电子流动方向

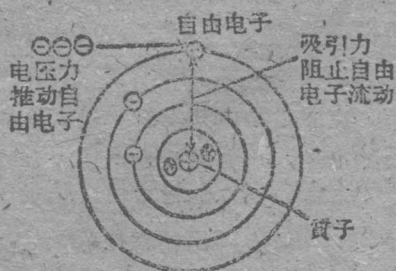


图1-10 原子中力的作用

第五节 电 阻

(1) 电阻的概念

各种物质中除了与原子核密切联系的电子外，总有不同数目因外力影响(摩擦、磁感应等)的可以自由移动的电子，所以在同一电压力之下，电子流动的数目就不同，也就是说物质中有不同的阻止电子流动的力。这种阻止电子流动的力叫做电阻力或叫电阻(图1-10)。用 R 来表示。

水在管中流动，管壁很明显的有一种阻力，长而截面积小的管子，阻力就大，管壁粗糙与否，也影响阻力的大小。导线对电的阻力，也有同样的现象。长而截面积小的导线阻力就大，不同材料制成的导线，阻力亦不同，所以电阻与导线的材料，和长度成正比，与导线截面积成反比，这三者的关系，我们叫做电阻定律。

电阻实用单位是欧姆(用 Ω 来表示)，这个单位是这样规定的：在温度 0° 的时候，一条长106.3厘米，截面积1平方毫米的水银柱所具有的电阻，叫做1欧姆。

有时也用100万欧姆做电阻的单位，这个单位叫兆欧姆。

(2) 电阻系数

由于不同的材料，长度与截面积就各有不同的电阻，因此要比较由不同的材料所制成的导线的电阻时，必须取长度和截面积相等的样品，这样才可判别什么材料传导电流较好，什么材料较差。

长1公尺，截面1平方公厘的导线，其电阻的欧姆数，叫做导线的电阻系数。

表 1

各种物質的电阻系数表

导 綫 的 材 料	电 阻 系 数 ρ
銀	0.016
銅	0.0175
鋁	0.03
鎢	0.05
鉄	0.13
鉛	0.20
鎳合金(銅、鎳、鋅的合金)	0.42
錳銅(銅、鎳、錳的合金)	0.43
康銅(銅、鎳、錳的合金)	0.50
水銀	0.94
鎳鉻(鎳、鉻、鉄、錳的合金)	1.10

由上表可見，銀的电阻系数最小，即导电性最好，但銀是最好的导体，而价格甚貴，故不可能大量采用。而通常都是采用銅，因其电阻系数仅次于銀。

(3) 电阻公式及計算

导綫电阻可由下列公式計算：

$$\text{电阻(欧)} = \frac{\text{电阻系数} \times \text{長度(公尺)}}{\text{截面积(平方公厘)}} \quad \text{或} \quad R = \frac{\rho \times l}{S}$$

电阻系数，因不同材料而不同，各种物質电阻系数見表 1。从电阻公式，同样很容易算出导綫的長度、截面和电阻系数。

〔例 1〕某无綫电收音机中，須繞制一电阻，現用長 15 公尺，截面为 0.21 平方公厘的鎳綫，試計算其电阻多少？

从表 1 查出鎳电阻系数 = 0.42

代入公式得出：

$$\text{电阻} = \frac{\text{电阻系数} \times \text{长度}}{\text{截面积}} = \frac{0.42 \times 15}{0.21} = 30 \text{ 欧}.$$

(4) 变阻器的种类

装有某种可以随意改变电阻的，因而可以改变线路中的电流的一种仪器，我们叫电阻器。

变阻器的种类可分为：

1. 滑动接触式变阻器(图1-11)——应用在线路中电流需要缓和而均匀变动的场合，如试验室。

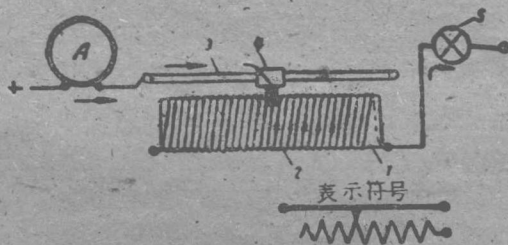


图1-11 滑动式变阻器

2. 转动式变阻器(图1-12)——电流改变不均匀，而是突跃性的，但是电阻线散热较快，故能通过较大电流，所以主要用在工业设备上。

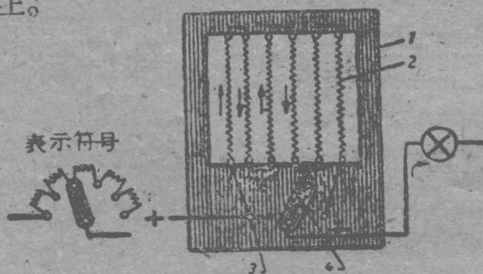


图1-12 转动式变阻器

3. 液体式变阻器(图1-13)——用在电流较大的电路中。

4. 电灯式变阻器(图1-14)——用在蓄电池充电时调节充电电流。

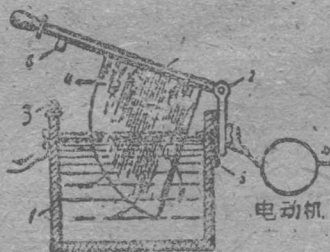


图1-13 液体式变阻器

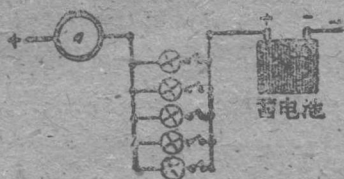


图1-14 电灯式变阻器

5. 插头式变阻器(图1-15)——能容易的把精确的大小电阻加入电路中，故多半用在电工测量上。

(5) 电 导

至此为止，我們只研究了导线的电阻，把导线看作对于电流的一种阻力。可是电流还是通过了导线，所以除了电阻（即阻力）之外，导线还具有引导电流的能力；那就是电导。

导线所有的电阻愈大，它的电导就愈小，也就是引导电流通过的能力愈劣。反之，导线的电阻愈小，它的电导就愈大，也就是电流愈容易通过导线。

所以导线的电阻和电导是互相反对的数量，也

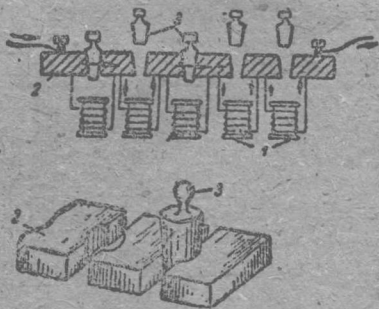


图1-15 插头式变阻

就是互成为倒数。例如5的倒数是 $\frac{1}{5}$ ； $\frac{1}{4}$ 的倒数是4。

因此导线的电阻倘用 R 来代表，则电导就为 $\frac{1}{R}$ 。

电导的单位是西門(简称西，以 C 作符号)。

〔例2〕导线的电阻为20欧，试计算它的电导。

今 $R=20$ 欧

$$\text{故电导} = \frac{1}{R} = \frac{1}{20} = 0.05 \text{西。}$$

〔例3〕导线的电导为0.1西，试计算它的电阻。

$$\text{今} \frac{1}{R} = 0.1 \text{西，} \quad \text{故} R = \frac{1}{0.1} = 10 \text{欧。}$$

第六节 欧姆定律及其应用

(1) 欧姆定律

这可用(图1-16甲、乙、丙)对比来说明。如变阻器有2欧的电阻，当接电源两端的，伏特计显示出2伏电压时，则在电路中的安培计显示出的电流为1安。如接上另一个电源，使电压加到4伏(图1-16乙)电路中电阻仍如前为2欧，则安培计显示出电流将为2安。电源加到6伏安培计显示了3安(图1-16丙)。列表对比如下：

线路电压(伏)	线路电阻(欧)	线路电流(安)
2	2	1
4	2	2
6	2	3

由此可作出结论：在电阻不变的电路中，电压愈高，电流愈大；并且电压高几倍，电流亦大几倍。

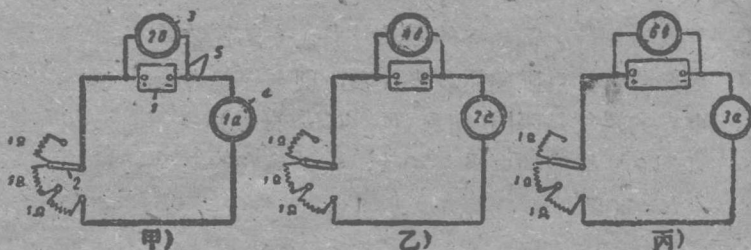


图1-16 欧姆定律的实验(变更电压时电流与电阻的关系)

今若在这同样电路中，接入2伏电压的电源，而用变阻器先使电阻等于1欧(图1-17甲)，这安培计显示2安。若线路电压不变，把变阻器的电阻加到2欧(图1-17乙)，安培计读数将为1安。

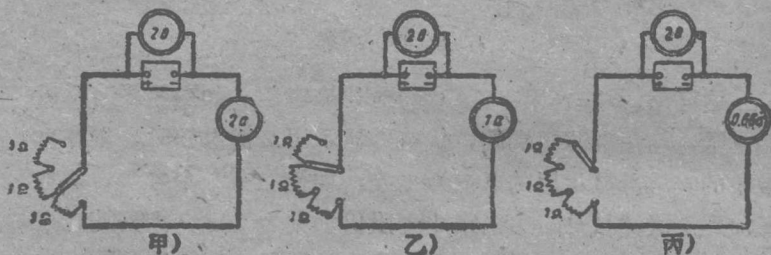


图1-17 欧姆定律的实验(变更电阻时电压与电流的关系)

图1-17电压不变时用改变电阻方法来改变电路中的电流。

电路中电阻3欧时(图1-17丙)，安培计读数为0.66安，列表对比如下：

线路电压(伏)	线路电阻(欧)	线路电流(安)
2	1	2
2	2	1
2	3	0.66



91272009

由此得結論，电压不变的，电路中电阻愈小，则电流愈大；电阻小几倍，电流就大几倍。

由上述实验知道，局部电路中电流的大小，与该部分的电压成正比，而与该部分的电阻成反比。这种相互的关系，就叫欧姆定律。

欧姆定律可用公式表示如下：

$$\text{电流} = \frac{\text{电压}}{\text{电阻}} \text{ 或 } I = \frac{U}{R}.$$

这就是說，在电路中某部分的电流，等于该部分的电压被该部分的电阻来除。

我們研究电路至此为止，还没有考虑到电流不仅在电路的外部流过，同时也在电路内部流过，即是說，在电池、蓄电池或其他电源本身内部流过。

因此，电流通过电路的内部时，必須克服内部电阻，而产生电压降，即电源电势須抵偿电路的内部和外部的电压損失，所以，全部电路中不仅要考虑外部电阻，同时还需考虑内部电阻，这可用欧姆定律公式表示如下：

$$\text{电流} = \frac{\text{电势}}{\text{内部电阻} + \text{外部电阻}} = \frac{\text{电势}}{\text{总电阻}}.$$

这就是全部电路欧姆定律的公式。就是說欧姆定律可用在全部电路中，即电路中的电流等于电势被全电路电阻来除（总电阻即内部电阻 + 外部电阻）。

〔例 4〕若在电压为 120 伏的电路中，接着一盏电阻为 240 欧的白熾灯，試計算經過这灯的电流？

$$\text{电流} = \frac{\text{电压}}{\text{电阻}} = \frac{120}{240} = 0.5 \text{ 安}.$$

〔例 5〕設电池的电势等于 1.5 伏，它的内部电阻为 0.3 欧，

電池接在2.7歐的電阻上，試計算電路中電流？

$$\text{電流} = \frac{\text{電勢}}{\text{內部電阻} + \text{外部電阻}} = \frac{1.5}{0.3 + 2.7} = 0.5 \text{安.}$$

(2) 電阻的連接

電路中的各個電阻，可以互相連接成串聯、並聯、和復聯。

(一) 串聯：就是把各個電阻的首末端連接起來，即第一根電阻的末端與第二根電阻的首端相聯，而第二根電阻的末端又與第三根電阻相聯，而成圖1-18所示的電路。

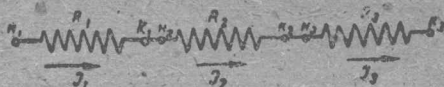


圖1-18 電阻的串聯

由幾個電阻串聯着的電路總電阻，等於各個電阻之和：

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \dots\dots$$

串聯電路中各段的電流都相同，即

$$I = I_1 = I_2 = I_3.$$

〔例6〕試計算3條串聯的總電阻，它們的電阻分別為8、4和3歐。用公式

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 8 + 4 + 3 = 15 \text{歐.}$$

(二) 並聯：把各個電阻首末兩端分別接在一起（如圖1-19），即成並聯。

由圖可見，並聯的電阻中，電流有幾條路可以

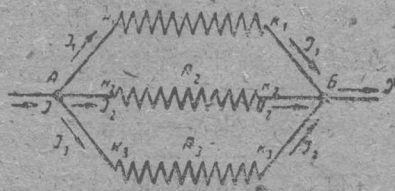


圖1-19 電阻的並聯