



电工原理专题讲座

机械工业出版社

电工原理专题讲座

徐捷 主编



机械工业出版社

本书对电工原理中的重要概念、电路的基本规律以及计算方法等，选了15个专题进行了深入浅出的讲解，着重物理概念的阐明和密切联系实际。此外，编者还注意将电工与电子技术方面的知识联系起来，以便读者掌握电工基础知识之后进一步学习电子技术。

本书可作为具有初中以上文化水平的读者学习电工学的辅导读物，也可供从事电工培训的教师以及技校师生参考。

电工原理专题讲座

徐捷 主编

责任编辑 王蕴昆

机械工业出版社出版（北京阜成门内大街25号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 787×1092 $1/32$ ·印张 5 $3/8$ ·字数 118 千字
1985年9月北京第一版·1985年9月北京第一次印刷
印数 00,001—18 200·定价 1.20 元

科技新书目. 108 — 133

统一书号: 15033·5865

前 言

一九七八年,为配合宋东生同志在中央电视台主讲《电工原理》,徐捷同志曾在北京市技术交流站为部分电视观众举办面授辅导,就电工原理中的重要概念、基本规律和应用方面的问题进行了专题讲解。几年来,就上述教学内容,在职工技术培训方面进行了多次的教学实践,取得了一定效果。本书就是以这些讲稿为基础,经过加工整理的。应当说明,本书并不系统讲授电工原理,只就某些重要和典型的问题进行专题介绍,注重物理概念的阐明及揭示电工知识的内在联系,使读者较深入地理解和掌握基本概念和规律,并提高电工计算的能力。另外,编者将电工原理与电子技术的某些知识联系起来介绍,有利于读者进一步学习电子技术;在阐明理论的同时,尽量联系电工的实际问题,有利于读者运用理论去指导实践。

本书以具有初中以上文化程度的技工为对象,作为学习电工原理的自学辅导读物,也可供电工培训的教师及技校师生参考。

全书共分十五讲。第八、十二讲由陈宝琦同志撰写,第九讲由李树海同志撰写,第四讲由刘铁城同志撰写,其余各讲由徐捷同志撰写。全书由徐捷同志最后定稿,由宋东生同志审阅。于进江同志为本书绘制了全部插图。

本书在编写过程中,得到北京市技术交流站陈泽群、邵江雅同志的大力协助,在此一并致谢。

由于编者水平所限，书中缺点错误在所难免，欢迎广大读者批评指正。

编 者

1984年8月

目 录

第一讲	电压、电位与电动势	1
第二讲	分压、分流及其应用	9
第三讲	解复杂直流电路的数学工具——矩阵	18
第四讲	电桥电路及其应用	28
第五讲	电源等效电路及其在电子线路中的应用	36
第六讲	磁感应强度 B 与磁场强度 H	49
第七讲	电磁感应定律	55
第八讲	互感线圈的同名端及其判断方法	66
第九讲	磁路的计算	74
第十讲	交流电路计算的数学方法——符号法	82
第十一讲	交流电路中的功率	103
第十二讲	提高功率因数的意义和方法	117
第十三讲	三相电路及其功率	124
第十四讲	谐振电路	135
第十五讲	RC 电路的过渡过程及应用	152

第一讲 电压、电位与电动势

电压、电位与电动势是电工学中最常遇到的基本物理量。确切地理解它们的物理意义、并注意它们之间的区别，是很重要的。有些初学电工原理的人，由于没有真正懂得这些重要的概念，不仅会给学习带来许多困难，而且在分析与计算电路时，常常发生错误。因此，对这些基本概念进行较深入的阐述是十分必要的。

一 电压与电位

电灯接入电源而发光，是因为灯丝两端存在电压，有电流通过灯丝。但究竟什么是电压呢？为什么灯丝两端存在电压就有电流通过呢？要回答这个问题就必须从电场力移动电荷做功谈起。

关于物理学中的“功”，是指物体受力并在力的方向上移动一定的距离，受力越大移动距离越长，做功越多。上述关系用数学表示如下：

$$A=FS$$

式中 A ——功，单位为焦耳；

F ——力，单位为牛顿；

S ——距离，单位为米。

现在，我们研究电场力对电荷做功的情况。当把试验电荷 $+q_0$ 放进一个均匀电场中（均匀电场是指各点电场强度大小相等、方向相同的电场）， $+q_0$ 就要在电场力 F 的作用下沿

着电场方向移动。如图1-1所示，当电荷 $+q_0$ 由 a 点移至 b 点时，电场力所作的功为

$$A_{ab} = FL_{ab}$$

L_{ab} 是 a 、 b 间的距离。显然，若电荷的电量增加一倍，那么作用在电荷上的电场力也增加一倍，电场力所作的功也就相应地增加一倍。

也就是说，在一给定的电场中，电场力 F 移动电荷所作的功与电荷量成正比。因此，在这个电场中，比值 A_{ab}/q_0 是一个恒定不变的量。当 a 点和 b 点的位置一定时，这个比值

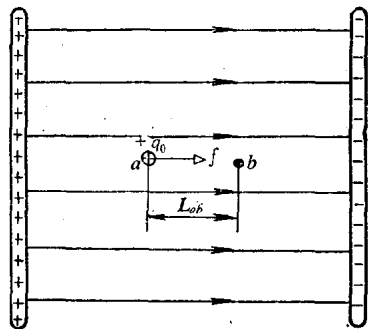


图1-1 电场力移动电荷所作的功

只和电场本身的性质有关。于是，我们用这个比值反映电场做功的性质，通常把它叫做 a 点和 b 点之间的电压，用符号 U_{ab} 表示，即

$$U_{ab} = \frac{A_{ab}}{q_0} = \frac{FL_{ab}}{q_0}$$

所以，电场中 a 和 b 两点间的电压大小等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点时所作的功。

在国际单位制中，电压的单位是伏特(V)，简称伏，即电场力把1库仑的电量从电场中一点移到另一点所作的功为1焦耳时，则两点间的电压为1伏特。计量微小电压时，则以毫伏(mV)或微伏(μ V)为单位。计量高电压时，则以千伏(kV)为单位。

就电路而言，电灯接入电源，相当于图1-2所示的情况，

a 和 b 相当于电源的两个电极, a 带正电, b 带负电, 因此在电极 a 和 b 之间产生电场。当用导体(导线和电灯灯丝)将 a 和 b 联接起来时, 电场力就要推动正电荷从电极 a 经联接导体流向 b (实际是导体中的自由电子在电场的作用下从 b 流向 a , 两者是等效的), 这就是电场对电荷作了功。在 a 至 b 两极之间移动单位电荷作功的大小也就是 a 和 b 间的电压。

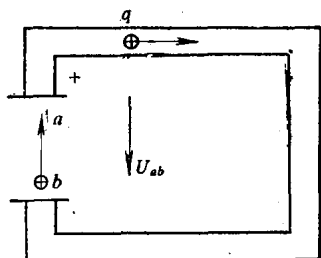


图1-2 电路中的电压

电压通常又叫电位差, 它表示电场中两点之间电位的差别。那么, 什么是电位呢? 实际上, 就物理意义上说, 电位与电压并无本质上的区别, 电位只是电场中某点到指定参考点之间的电压而已。现在, 我们分析这一问题。

在图1-3所示的均匀电场中, 让我们比较电场力 F 把电荷 $+q_0$ 从 a 点移到 o 点和从 b 点移到 o 点所作的功。电场力 F 将 $+q_0$ 从 a 移到 o 所作的功为

$$A_{ao} = FL_{ao}$$

电场力 F 将 $+q_0$ 从 b 移到 o 所作的功为

$$A_{bo} = FL_{bo}$$

如前所述, 电场力对电荷作功的大小和电荷电量成正比, 因此比值 A_{ao}/q_0 和 A_{bo}/q_0 都表示电场力移动单位电荷所作的功。如果我们取 o 点作为参考点来比较, 那么由于 $L_{ao} > L_{bo}$, 所以 $A_{ao} > A_{bo}$, 当然有 $A_{ao}/q_0 > A_{bo}/q_0$ 。我们引入

$$\varphi_a = A_{ao}/q_0$$

$$\varphi_b = A_{bo}/q_0$$

分别叫做 a 点和 b 点的电位, 那么电位就是电场力将单位正电

荷从电场中的某点移至参考点所作的功，并且把参考点的电位规定为零。

a 和 b 两点电位之差叫做这两点之间的电位差，即

$$\varphi_a - \varphi_b = \frac{A_{ao}}{q_0} - \frac{A_{bo}}{q_0} = \frac{FL_{ao}}{q_0} - \frac{FL_{bo}}{q_0} = \frac{F}{q_0} (L_{ao} - L_{bo})$$

由图1-3可见， $L_{ao} - L_{bo} = L_{ab}$ ，所以

$$\varphi_a - \varphi_b = FL_{ab}/q_0$$

因此，根据电压的定义，有

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

上式表明， a 和 b 两点之间的电位差就是 a 和 b 两点之间的电压。电场中某点到参考点（零电位点）之间的电压也就是该点的电位，电位的单位也是伏特。

需要指出的是，电位的参考点是可以任意选择的。当选定的参考点不同时，各点的电位也会不同，但任意两点间的电位差（电压）却保持不变，这与测量水位的情况很相似。如图1-4中有甲乙两个水池，如果以海平面 O_1O_1' 为基准，它们的水位分别为 h_1 和 h_1' ；如果以甲乙两池的池底 O_2O_2' 为基准，

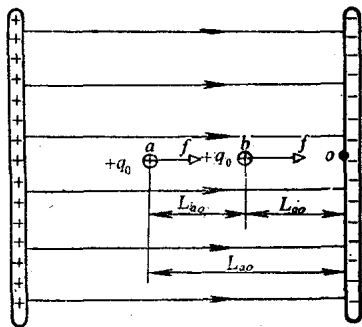


图1-3 两点之间的电位差

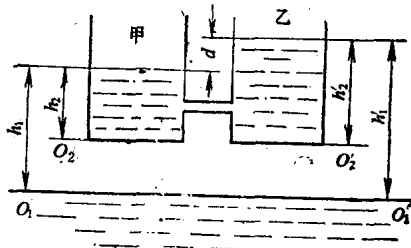


图1-4 水位差与基准点无关

则两池水位分别为 h_2 和 h_2' 。水位的高低与基准点有关，随基准点的不同而变化。但从图 1-4 可以看出，在上述两种情况下，两池水位差 d 的大小与基准点无关，是不变的。

二 电源的电动势

前面，我们说明了电灯之所以发光是由于电源的正负极给灯丝的两端加上了电压，有电流通过灯丝。从能量角度上说，电流通过灯丝，电灯发光、发热，从而消耗了电能，而这些电能正是由电源提供的。一般说来，任何一个直流电路，只要有电流流动，就要消耗电能，这种电能必然是由某种其它形式的能量转化而来。也就是说，任何直流电路中都必须有电源。电源实际上是把其它（热的、化学的、机械的、光的等）形式的能量转化为电能的能源装置。

既然电源的作用在于把其它形式的能量转化为电能，就有必要用一个物理量表示电源进行这种转化的能力，这个物理量就是电源的电动势，一般用符号 E 表示。为了阐明电动势的意义，首先研究电源是怎样提供电压和能量的。为简单起见，我们仅以丹聂耳电池为例说明电源电动势的概念和它在电路中的作用。

图 1-5 为丹聂耳电池示意图。铜棒浸在硫酸铜溶液中，锌棒浸在硫酸锌溶液中，中间用多孔壁隔开。多孔壁的作用是防止两种不同的溶液混合，但溶液中的离子能够通过。具体情况如下：

锌棒一边的情况是：锌棒未浸入溶液之前是电中性的，但当它浸入硫酸锌溶液中时就会发现锌棒与附近溶液之间建立起电位差，锌带负电，溶液带正电。为什么会这样呢？原来把某种金属浸入含有该种金属离子的盐溶液时，由于化学

力的作用金属有溶解，并以离子状态进入溶液的倾向。同时溶液中该种金属离子也有沉积到金属表面的倾向。两种倾向中总有一种起主导

作用，至于哪一种倾向为主，视不同的金属而异。锌是一种较为活泼的金属，它较易失去电子，当把锌棒浸入硫酸锌溶液中时，锌以离子状态移入

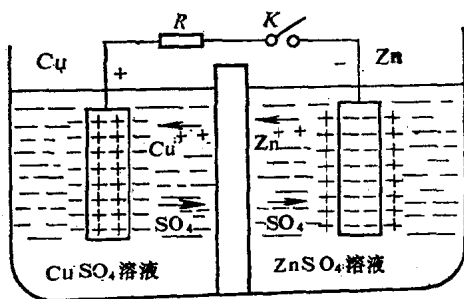


图1-5 丹聂耳电池示意图

溶液之中的倾向占优势，而电子则留在锌棒上，因此锌棒因多余电子而带负电，溶液中因多余锌离子而带正电。由于正负电荷的互相吸引，使它们只可能聚集在锌棒与溶液的界面附近，形成所谓双电层。在双电层之间出现静电场，电场力阻碍锌离子继续溶解于溶液中，使前一过程进行的速度减慢；相反，由于溶液中锌离子浓度的增加，后一过程进行的速度加快。最后达到正反两个过程速度相等的动态平衡，这时双电层两边所积聚的电荷不再增加，产生一定的电位差（约0.51伏）。这种产生在金属和它的盐溶液之间的电位差称为金属的电极电位。不同的金属或它的盐溶液浓度不同，电极电位数值也不相同。

铜棒浸在硫酸铜溶液中的情形正好与上述相反。当把铜棒浸入硫酸铜溶液中时，也会同时出现两种相反的过程。但由于铜的活泼性较差，铜离子较易获得电子，所以溶液中的铜离子沉积到铜棒上的过程是起主导作用的。也就是说，在开始时沉积到铜棒上的铜离子数多于从铜棒返回溶液的铜离

子数，所以铜棒带正电，溶液带负电。在铜棒与溶液之间出现另一个双电层。随着沉积在铜棒上的铜离子数不断增加，沉积的速度不断降低，而铜离子从铜棒上返回溶液的速度却不断增加，最后达到动态平衡，溶液与铜棒之间建立了一定的电位差，即电极电位（约0.6伏）。

综上所述，当锌棒、溶液和铜棒三者达到平衡状态时，铜棒的电位就高于锌棒的电位。从锌棒经溶液至铜棒总的电位跃升为 $0.51 + 0.60 = 1.11$ 伏，这个电位跃升是化学力作用产生的。电池两极间的电位跃升就是电动势。当然，以上是电池开路时的情况，这时电池的电动势在数值上等于电池开路时的端电压，即

$$U_x = E$$

式中 U_x ——电池两端的开路电压。

我们通常在直流电源（例如电池）的符号旁边画一条带箭头的短线代表电动势或电位跃升的方向。箭头总是由负极指向正极，它表示沿着箭头的方向从负极经过电池至正极电位会跃升 E （伏）。但是，电动势并不是矢量。

如果合上图 1-5 中的开关 K ，电路就接通了，此时，由于正极电位高负极电位低，即两极之间有电压，电子便会从锌棒经负载电阻流至铜棒。这样一来，电池开路时的平衡状态就被打破，化学作用又重复进行，锌离子继续从锌棒进入溶液，铜离子继续从溶液沉积到铜棒上，因而靠近锌棒的溶液多带了正电，靠近铜棒的溶液多带了负电。这样，溶液内部有了电位降，这时电池两极间的电压就比开路时要小，也就是说比电动势要小，即

$$U = E - \text{电池内部电位降}$$

电池内部 电位降是闭合电路中电流 I 在电池内阻 R_0 上的电压

降, 即 $R_0 I$, 因此

$$U = E - IR_0$$

如电池开路 $I=0$, 即 $U_k = E$ 。

总之, 电源的电位跃升是由于非静电力作了功, 对于化学电池来说, 非静电力即化学力。因此, 电动势 E 就是非静电力对单位正电荷所作的功。于是, 我们得到电动势的一个更普遍的定义: 非静电力把单位正电荷从电源的低电位端经电源内部移到高电位端所作的功, 就是电源的电动势 E 。它是衡量电源非静电力作功的一个物理量, 在电源非静电力的作用下, 电源不断地把其它形式的能量转换为电能。

为了进一步理解电动势的概念, 还可以将电流与水流作一对比。如图1-6a电路中, 电池两极附近非静电力(如化学力)作功使正电荷从电位低处移向电位高处, 增加了电荷的电位能。在外电路中则是电场力作功, 把电荷的电位能转变为其它形式的能量。这相当于图1-6b中水流的情况, 水泵作功把水从低处提升到高处, 增加了水的重力势能, 然后水又从高处流向低处, 此时重力作了功, 水的位能又转变为动能或其它形式的能量, 从而使水不断地循环流动。

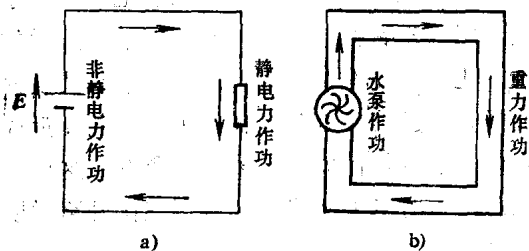


图1-6 电流与水流的对比

第二讲 分压、分流及其应用

电阻元件在电工、电子和无线电技术中被广泛应用，例如，有的电动机起动时需要联接降压电阻；电气测量仪表中为了防止电流过大损坏电表而装上限流电阻；电视机、收音机和各种电子仪表中均大量使用着各种类型和规格的电阻器。在这些使用中往往是把若干电阻按照一定的方式联接起来，成为一个组合来使用。电阻最基本的组合（最基本的联接方式）是串联与并联。电阻串联可以分压，电阻并联可以分流，这是电阻串、并联电路的重要性质，也是电阻最基本的应用。这一讲，我们从分析串、并联电路基本性质出发阐明分压与分流的原理，同时给出分压、分流的计算公式，然后以万用表为例具体介绍分压、分流的实际应用。

一 电阻的串联与并联

首先，我们分析电阻串联与并联的基本性质，因为只有熟练地掌握了这些基本性质，才能在实践中灵活使用电阻来满足各种不同的要求。

1. 电阻的串联

如有 n 个电阻器，其阻值分别为 R_1 、 R_2 、…… R_n ，一个接着一个地联接起来，如图2-1所示，这种接法称为串联。

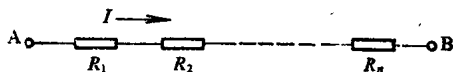


图2-1 电阻的串联

串联电路是无分支电路，故根据电流连续性原理，任何时刻经过任一电阻的电流强度都相等，设为 I 。

设加到串联电路的总电压为 U ，在 R_1 上的电压降为 U_1 ，在 R_2 上的电压降为 U_2 ，……在 R_n 上的电压降为 U_n ，则有 $U_1 = IR_1$ 、 $U_2 = IR_2$ 、…… $U_n = IR_n$ ，串联电路的总电压 U 应等于 R_1 、 R_2 、…… R_n 上的电压之和。即

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n = I(R_1 + R_2 + \cdots + R_n) \quad (2-1)$$

如果用 R 表示 R_1 、 R_2 、…… R_n 串联后的总电阻，则有

$$R = \frac{U}{I} = R_1 + R_2 + \cdots + R_n \quad (2-2)$$

上式表明在电阻串联时，其等效总电阻为各个电阻的和。

总结以上的讨论，我们看到串联电路的特点是：通过各个电阻 R_1 、 R_2 、…… R_n 的电流相等；整个电路两端的总电压等于各电阻上电压之和；总电阻等于各个电阻之和。

2. 电阻的并联

如果把 n 个电阻的一端都联接在同一点 A ，另一端都联接在另一点 B ，如图2-2所示，则这种接法称为并联。

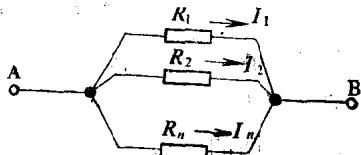


图2-2 电阻的并联

设加到并联电路的电压是 U ，显然它也就是每一个并联电阻上的电压。

此时，通过各电阻的电流分别为 I_1 、 I_2 、…… I_n ，根据欧姆定律有

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2}, \quad \cdots, \quad I_n = \frac{U}{R_n} \quad (2-3)$$

由于电流是恒定的，根据电流连续性原理，进入 A 点

的电流和从B点流出的电流，其强度是相同的，都等于 I 。如果把A、B两点间所有电阻视为一个整体，并设其等效电阻为 R ，则应有

$$I = \frac{U}{R} \quad (2-4)$$

由于电流的流动具有连续性，在电路的任意一点都不会有电荷的堆积现象，因此有

$$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n \quad (2-5)$$

将式(2-3)和(2-4)代入上式两边，消去公因子 U 即得

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n} \quad (2-6)$$

上式表明，若干个电阻并联时的等效电阻的倒数等于各个电阻的倒数之和。

综上所述，并联电路的特点是：各支路都处在同一外加电压 U 的作用下，即各支路的端电压相同；电路的总电流 I 为各支路电流 $I_1, I_2, \cdots, I_n$ 的总和；并联电路的等效电阻的倒数等于各个电阻的倒数之和。

二 分压与分流

当若干个电阻串联时（如图2-1），整个电路两端的总电压等于各个电阻两端的电压之和，也可以说整个电路的总电压“分配”到了各个电阻之上。因此，这种电路又称为分压电路。

当若干个电阻并联时（如图2-2），总电流等于各支路电流之和，也可以说总电流“分配”到了各个并联电阻之上。因此，这种电路又称为分流电路。

那么，串联电阻间的电压分配与并联电阻中的电流分配