

800656

0097

117

水文职工培训教材

上册

黑龙江水利工程学校 廖荣长主编



水利电力出版社

出版者的话

为了提高广大水文职工的技术水平和业务能力,适应水文技术现代化的需要,原水利部水文局组织一些有经验的同志编写“水文职工培训教材”,以供各地举办各种形式的水文职工培训班使用。1980年11月,在江苏省扬州水利学校召开了“水文职工培训教材”编写工作协调会,讨论并制定了有关教材的编写提纲及编写计划。“水文职工培训教材”共分六册:《水文学基础》,《水力学基础》,《水文电测基础》,《水文测验》,《水文资料整编》,《水文预报与计算》。

“水文职工培训教材”系以从事水文工作多年,文化程度相当于初、高中的水文职工以及水利水电干部为主要对象,同时亦可供其他具有初中以上文化程度的干部自学使用。为此,教材涉及面较广,但内容力求简明扼要,通俗易懂,以实用为主,同时也适当介绍一些现代的先进技术。

《水文电测基础》一书,分上、下两册出版。上册包括电工的基本理论和半导体放大电路,下册包括脉冲数字电路和水文电测仪器。

本书上册由黑龙江水利工程学校廖荣长同志编写;下册脉冲数字电路部分由黑龙江水利工程学校王喜荣同志编写,水文电测仪器部分由长江流域规划办公室水文局黄秋福同志编写。廖荣长同志主编,华东水利学院姜德保、陈从光两同志主审。在编写出版过程中,得到有关单位的支持与帮助,谨致谢意。

恳切希望广大读者对本书中存在的缺点和问题提出宝贵意见。

1984年10月

目 录

出版者的话

第一章 直流电路	1
第一节 电路的组成	1
第二节 电流	2
第三节 电位、电压和电动势	6
第四节 电阻与电阻器	9
第五节 欧姆定律	15
第六节 电功和电功率	18
第七节 电阻的串联和并联	21
第八节 电路中电位计算	28
第九节 负载获得最大功率的条件	35
第十节 克希荷夫定律	36
复习思考题和习题	40
第二章 电磁	44
第一节 磁的基本现象及磁场	44
第二节 电流产生的磁场	48
第三节 电磁力	50
第四节 电磁感应	53
复习思考题和习题	62
第三章 交流电路	65
第一节 正弦交流电的基本概述	65
第二节 正弦交流电的相位和相位差	69

第三节	正弦交流电的有效值	72
第四节	正弦交流电的表示法	73
第五节	交流电路中的电阻、电感与电容	77
第六节	电阻、电感、电容串并联电路	101
第七节	三相交流电的产生	111
第八节	三相电源联接方式	113
第九节	三相负载	116
第十节	变压器	123
第十一节	三相异步电动机的工作原理	128
	复习思考题和习题	137
第四章	半导体二极管	140
第一节	半导体的导电特性	140
第二节	本征半导体和杂质半导体	141
第三节	PN结	149
第四节	半导体二极管的结构和特性	154
	复习思考题和习题	160
第五章	半导体三极管	161
第一节	半导体三极管的基本结构	161
第二节	半导体三极管的放大作用	163
第三节	半导体三极管的特性曲线	168
第四节	半导体三极管的主要参数	174
第五节	半导体三极管的简易测试	181
	复习思考题和习题	184
第六章	半导体交流放大器	185
第一节	单管交流电压放大器	185
第二节	放大电路的基本分析方法	195
第三节	工作点的稳定	218

第四节	多级放大器	231
第五节	功率放大器	250
第六节	放大器中的负反馈	278
	复习思考题和习题	299
第七章	直流放大器	303
第一节	直接耦合直流放大器	303
第二节	差动式放大电路	309
第三节	集成运算放大器简介	318
	复习思考题和习题	323
第八章	正弦波振荡器	324
第一节	自激振荡器基本原理	325
第二节	LC振荡器	328
第三节	RC振荡器	338
	复习思考题和习题	346
第九章	直流稳压电源	349
第一节	整流电路	349
第二节	滤波电路	359
第三节	硅稳压管电路	367
第四节	串联型晶体管直流稳压电路	373
	复习思考题和习题	381
附录	我国法定计量单位	383

第一章 直 流 电 路

直流电是工农业生产和科学实验不可缺少的能源之一。目前广泛地应用于电解、电镀、电子仪器、电子计算机和自动控制设备中。直流电路虽然比较简单，但是直流电路的一些基本规律和分析方法也适用于其它电路，是研究其它电路的基础。

第一节 电 路 的 组 成

手电筒是一种最简单的用电装置（见图1-1），它是由电池、开关、电珠和导线组成的。当开关按下后，电珠就会发光，即电路有电流流通。电流通过的路径称为电路。一个电路的构成，至少需有三部分：

1. 电 源

电源是指把其它形式的能量（如机械能、化学能、光能等）转换成电能的装置。如发电机、电池等。电源是电路中电能的来源，是推动电流流动的原动力。图1-1电路里的电源是干电池。

2. 负 载

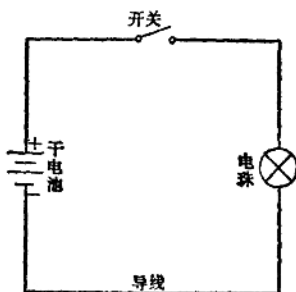


图 1-1 简单的直流电路

负载是指用电设备。它的作用是把电能转换成其它形式的能量。在图1-1中的负载是电珠，它把电能转换成光能。其它如电动机能把电能转换为机械能；电烙铁能把电能转换为热能；扬声器能把电能转换为声能，可见负载都是消耗电能的。

3. 连接导线

把电源和负载联成一个闭合的回路，实现电能输送和分配的作用。常用的连接导线是由铜或铝做成的。

当然，我们在实际的工作中所碰到的各种电路要比这个电路复杂得多，但是，不管电路的结构怎样复杂，它们的基本组成部分还是相同的。

电路的主要任务是实现电能的传送、控制和转换。

电路分外电路和内电路：对电源来说，负载和联接导线称为外电路；电源内部的电路称为内电路。

第二节 电 流

一、物质的电结构

1. 构成物质的分子与原子

自然界中各种物质都是由分子组成的，分子又是由更小的微粒原子组成的，而原子是由原子核以及核外电子组成的。不同的原子，其原子核外面的电子数目也不相同。例如氢原子在它的核外只有一个电子，而铜原子则具有29个电子。

原子核带正电荷，电子带负电荷。电子有规律地分层分布在原子核周围，绕原子核不停地旋转。在一般情况下，原子核所带的正电荷与电子所带的负电荷数量相等，所以物体

不带电，即呈现中性。

2. 物体的带电和电荷量

如果由于两种不同的物质相互摩擦或其它原因，使一块物体上的电子转移到另一块物体上，这样就使失去电子的这块物体带了正电荷，而获得电子的那块物体带了相同数量的负电荷。物体失去或得到的电子越多，那么这块物体所带的正电荷量或负电荷量也就越多。

电荷既不能被创造，也不能被消灭，它们只能从一个物体转移到另一个物体，这就是电荷守恒。

带电体所带电荷的数量叫做电荷量，电荷量的单位是库仑（简称库，符号为C）。据实验测定，一个电子所具有的负电荷量约等于 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ ，也就是在1C的负电荷中约包含有 6.25×10^{18} 个电子。

人们在实践中发现带有同性电荷的两个物体之间具有相互排斥的力量；带有异性电荷的两个物体之间具有相互吸引的力量。为什么两个带电物体之间存在着作用力呢？这是因为带电体周围存在着一种特殊的物质——电场。电场虽然看不见，摸不着，但可以感觉到它的客观存在。例如把一个试验电荷放到电场里去，试验电荷就会受到力的作用，我们称这种力为电场力。试验电荷在电场力的作用下运动，电场力对电荷要作功，表明电场具有能量。

实验证明，试验电荷在电场中的某一点上所受到的电场力 F 与该试验电荷所带电荷量 Q 成正比，即

$$F = \varepsilon Q \quad (1-1)$$

式中的比值 ε 就是电场中某一点的电场强度。也就是说，电场中任意一点的电场强度，在数值上等于放在该点的单位正电荷所受电场力的大小。电场强度的方向就是正电荷

受力的方向，所以电场强度是一个既有大小又有方向的量。在法定计量单位中，电场力 F 的单位是牛顿（简称牛，符号为N）；电量 Q 的单位是库仑（C）；电场强度 ε 的单位是（N/C）。

二、电流

电荷在电路中作有规则的定向移动，就形成了电流。

导体内的电流是由于导体内部的自由电子在电场力的作用下有规则的运动而形成的（见图1-2）。不过长期以来，人们习惯规定正电荷移动的方向作为电流的方向。在导线中，电流实际上是带负电荷的电子的流动所形成的，但其效果与等量正电荷反方向流动完全相同，因此，其电流的方向与电子流的方向完全相反。图中自由电子从A端流向B端，而电流 I 的方向则是从B到A。

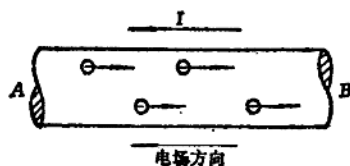


图 1-2 电流的图示

电流的大小是用单位时间内通过导线某一横截面的电荷量来度量的，即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

式中 Q —— 电荷量（C），
 t —— 时间（s），
 I —— 电流（A）。

若在1s钟内流过导线横截面的电量是1C，则导体内的电流就是1安（符号为A）。根据实际需要，电流单位还可
用千安（kA）、毫安（mA）、微安（ μA ）表示，它们之
间的关系是：

$$1\text{ kA} = 1000\text{ A} = 10^3\text{ A}$$

$$1\text{ mA} = \frac{1}{1000}\text{ A} = 10^{-3}\text{ A}$$

$$1\text{ }\mu\text{A} = \frac{1}{1000}\text{ mA} = 10^{-3}\text{ mA}$$

$$= 10^{-6}\text{ A}$$

三、直流电流与交流电流

电流一般有直流电流与交流电流两种。

1. 直流电流

电流的方向固定不变的电流叫做直流电流。电流的大小
不变、方向也不变的叫做恒稳直流电流（如图1-3a）。方向
不变，而电流大小随时间改变的叫做脉动直流电流（如
图1-3b）。

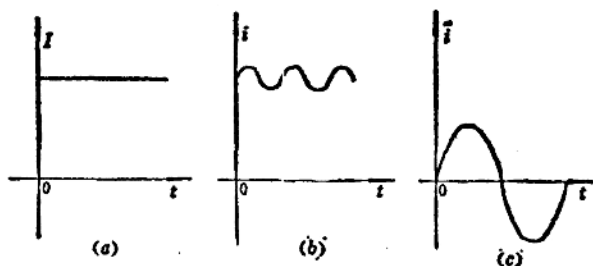


图 1-3 电流波形

(a)恒稳直流电流波形；(b)脉动直流电流波形；(c)交流电流波形

2. 交流电流

电流的大小和方向随时间作周期性变化的叫做交流电流（见图1-3c）。

第三节 电位、电压和电动势

一、电位

电场具有能量，表现在电场力能够使电场中的电荷运动而作功。电场力作功与力学中的重力作功很相似，都决定于位移的起点和终点的位置，而与位移的路径无关。因此，与物体在重力场中的不同位置上具有不同的重力位能相似，电荷在电场中的不同位置上也具有不同的位能，电荷在电场中的某一点上所具有的位能称为该点的电位能。

电位能与重力位能一样，是一个相对的量，要说明电荷在电场中某一点的电位能高低，必须说明它是和哪一点作比较，只有当我们选定了电荷在某一位置的电位能等于零（这个位置称为参考点）时，电荷在其它位置的电位能才有其确定的数值。一般我们规定无限远处电荷的电位能等于零，例如在电场中的 a 点有一正电荷 Q ，在电场力的作用下逐渐离开 a 点运动到无限远处，在这个位移的过程中，电场要对正电荷 Q 作功， Q 的电位能将逐渐减小，到无限远处时，电位能减小到零。因此电场力所作的功就等于正电荷 Q 在电场中 a 点所具有的电位能。

我们把电场力将单位正电荷从电场中的某点移到参考点所做的功，叫做该点的电位，即

$$\varphi_a = \frac{W_a}{Q} \quad (1-3)$$

式中 W_a ——正电荷 Q 在电场中 a 点所具有的电位能(J)；

φ_a ——电场中相应点 a 点的电位(V)。

在实际应用中，常取大地作为参考点，并令它的电位为零。因此凡是机壳接地的电气设备，机壳即为零电位点。在分析电路时，常取用许多元件的公共端作为零电位点，并用符号 $\perp$ 表示；接大地则用符号 $\equiv$ 表示，以示区别。

必须指出，参考点不同，电路中各点的电位便有不同的数值。例如有两个电源，一个是3V，一个是6V，把它们顺向串接，若将A点接地（作为零电位），如图1-4a所示，则B点电位就比A点电位高3V（可用+3V来表示），C点电位比A点电位高9V（可用+9V来表示）；如果将B点接地，如图1-4b所示，则A点电位比B点电位低3V（可用-3V表示），C点电位比B点电位高6V（可用+6V表示）。上例说明参考点改变后，各点的电位也随之改变。

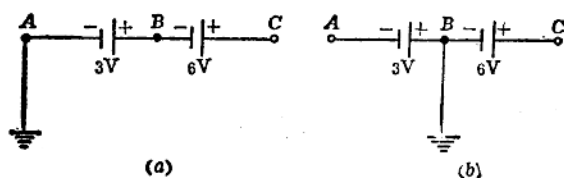


图 1-4 电位的参考点
(a)A点为零电位；(b)B点为零电位

二、电压

电路中某两点的电位之差称为这两点的电位差，电位差也叫电压。如果对于电路中指定的某两点A和B来说，则A、B两点的电压 U_{AB} 是

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B \quad (1-4)$$

显然，电压只对电路中的两点来讲才有意义，仅对电路中的某点来讲，并不存在电压或电位差。如果在电路中指定某点为零电位点，那么其它各点的电位就是这些点对零电位点的电压。根据式(1-3)和(1-4)可得

$$U_{AB} = \frac{W_A}{Q} - \frac{W_B}{Q} = \frac{W_A - W_B}{Q} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-5)$$

式中 W_{AB} ——电场力将正电荷从A点移到B点所做的功 (J)；

Q ——电荷所带的电量 (C)；

U_{AB} ——电压 (V)。

根据实际需要，电压的单位也可以用千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV) 表示。它们之间的关系是：

$$1\text{kV} = 10^3\text{V},$$

$$1\text{mV} = \frac{1}{1000}\text{V} = 10^{-3}\text{V},$$

$$1\mu\text{V} = \frac{1}{1000}\text{mV} = 10^{-6}\text{V}.$$

由式(1-5)可知：电路中A、B两点之间的电压等于把单位正电荷从A点沿任一路径移到B点电场力所做的功。

必须指出，电路中任意两点间的电压与电位的参考点的选择无关。例如图1-4中，C、A两点间的电压 U_{CA} ，当以A点为参考点时，则

$$U_{CA} = \varphi_C - \varphi_A = (3+6) - 0 = 9\text{V}$$

当以B为参考点时，则

$$U_{CA} = \varphi_C - \varphi_A = 6 - (-3) = 9\text{V}$$

三、电动势

任何带电现象都是正负电荷分离的结果，而要使正负电

荷分离，必须有一个外部的力量来克服它们之间的吸引力而使它们分离。电源就是能产生这种力量并把其它形式的能量转换为电能的装置。电源工作时，可以把电源内部导体中所存在的正负电荷分别推向两极，使得一个极具有一定量的正电荷（正极），另一个极具有一定量的负电荷（负极），于是在电源的两极之间形成了电场，出现了一定量的电位差。

电源既然能使电荷移动，就说明它能做功。单位正电荷从电源的负极移到正极所做的功，即

$$E = \frac{W_0}{Q} \quad (1-6)$$

其数值等于电动势。

式中 W_0 ——电源力把正电荷从电源负极移到正极所做的功（J）；

Q ——电荷所带的电量（C）；

E ——电动势（V）。

由上述可知，电动势是衡量电源做功能力的一个物理量，这和用电压来衡量电场力做功的能力是相似的。它们的区别在于电场力能够在外电路中把正电荷从高电位端（正极）移向低电位端（负极），而电动势能把电源内部的正电荷从低电位端（负极）移向高电位端（正极）。因此，电压的正方向规定为自高电位端指向低电位端，也就是电位降低的方向；而电动势的正方向则规定为在电源内部自低电位端指向高电位端，也就是电位升高的方向。

第四节 电阻与电阻器

一、导体的电阻、电阻率

在电场力的作用下，金属导体中的自由电子可以沿一定

的方向移动，可见金属具有导电的性能。但是，另一方面，自由电子在金属导体中定向移动时，又会遇到一定的阻力，这个阻力是自由电子和物体中的原子发生碰撞而产生的。这种阻碍电流通过的能力用电阻这一物理量来表示，电阻的符号是 R 或 r 。电阻的单位是欧姆（简称欧，符号为 Ω ）。根据需要，电阻还可以用千欧（ $k\Omega$ ）和兆欧（ $M\Omega$ ）表示。它们之间的关系是：

$$1k\Omega = 1000\Omega$$

$$1M\Omega = 1000k\Omega = 10^6\Omega$$

导体的电阻不仅和导体的材料种类有关，而且还和导体的尺寸有关。实验证明，同一材料的导体的电阻和导体的长度成正比，和导体的横截面积成反比，用公式表示为：

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-7)$$

式中 R —— 导体的电阻（ Ω ）；

L —— 导体的长度（ m ）；

S —— 导体的横截面积（ mm^2 ）；

ρ —— 导体的电阻率（ $\Omega \cdot mm^2/m$ ）。

电阻率 ρ 是一个仅与导体材料的种类有关的物理量，在数值上等于长为 $1m$ 、横截面积为 $1mm^2$ 的导体在温度为 $20^\circ C$ 时所具有的电阻值。一些常用的金属材料的电阻率如表1-1所示。

【例 1-1】 有一根铜导线，它的横截面积为 $1.5mm^2$ ，长度为 $0.5m$ ，试计算温度为 $20^\circ C$ 时该导线的电阻值。

【解】 已知： $L=0.5m$ ； $S=1.5mm^2$

查表1-1得 $\rho = 0.0175\Omega \cdot mm^2/m$ 。

将这些数据代入（1-7）式，得该导线的电阻

表 1-1 常用金属材料的电阻和电阻温度系数

材 料	20°C时 电 阻 率 ρ ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	0°C~100°C范围内 电阻温度系数 α (1/°C)
银	0.016	0.0036
铜	0.0175	0.0040
铝	0.029	0.0038
钨	0.053	0.0051
铁	0.10~0.30	0.0062
钢	0.13~0.25	0.006
锡	0.113	0.0042
锌	0.061	0.00419
黄 铜	0.07~0.08	0.002
锰 铜	0.42	0.00002
康 铜	0.4~0.51	0.000005
镍 铬	1.1	0.00015
铁 镍 铝	1.4	0.00005
铂	0.106	0.00389

$$R = \rho \frac{L}{S} = 0.0175 \times \frac{0.5}{1.5} = 0.00583 \Omega$$

从表中可以看出，银、铜、铝等的电阻率比较小，因此铜、铝广泛地用来作导线。银的电阻率虽然小，但由于价格较贵，常用作镀银线，而某些合金如康铜、镍铬合金等的电阻率较大，常用来制造电热器和电阻器的电阻丝。

二、电阻与温度的关系

经过大量的实验证明，各种导体的电阻都随温度的升高而增大，而某些半导体材料或电解液的电阻都随温度的升高而减小。还有一种材料，当温度降低到某一数值（一般接近绝对零度，即-273°C度）时，它的电阻突然完全消失，这种现象称为超导电现象，具有这种特性的物质称为超导体。

例如，铌钛。超导体在工业生产、交通运输、科研、医学及测量技术等方面也开始得到广泛的应用。

为了计算导体在不同温度下的电阻值，我们引入电阻温度系数这一概念。所谓电阻温度系数是指导体在温度每增加 1°C 时，电阻值所增大的百分数，用符号 α 表示，常用金属材料的温度系数列于表1-1中。

从表中可以看出，康铜和锰铜的电阻温度系数 α 比较小，常用来制造标准电阻、仪表中的分流器、倍压器等。铂的 α 比较大，可以用来制造电阻温度计，将它放在待测的电气设备中，通过测量铂的电阻变化，就可以知道设备的温度。

知道导体的电阻温度系数 α ，就可以算出材料在温度变化时的电阻。例如， R_1 是温度为 t_1 时导体电阻， R_2 是温度为 t_2 时的导体电阻，当温度变化 1°C 时，电阻的变化量是 αR_1 ，现在温度变化了 $(t_2 - t_1)$ 度，所以电阻的变化量是 $\alpha R_1 \times (t_2 - t_1)$ 。把这个变化量再加到原来的电阻 R_1 上，就是温度为 t_2 时的导体电阻 R_2 ，即

$$R_2 = R_1 + \alpha R_1 (t_2 - t_1) = R_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)] \quad (1-8)$$

【例 1-2】 在发电机内装有铂丝制成的电阻温度计，在 20°C 时测得它的电阻是 49.5Ω ，在发电机运行后，测得电阻是 60.9Ω 。问这时发电机的温度是多少？

【解】 从表1-1中查得铂的 $\alpha = 0.00389 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$

将 $R_1 = 49.5\Omega$ ， $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$ ， $R_2 = 60.9\Omega$ 代入式(1-8)得

$$60.9 = 49.5 + 0.00389 \times 49.5(t_2 - 20)$$

经过运算后得 $t_2 = 80^{\circ}\text{C}$