

工农业余中等专科学校教材

电 子 技 术

第 一 册

电路基础和整流电路

(修 订 版)

上海市工农教育教材编写组

工农业余中等专科学校教材

电 子 技 术

第 一 册

电路基础和整流电路

(修 订 版)

上海市工农教育教材编写组

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

总发行所 上海发行所发行 上海市印刷四厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 7.75 字数 168,000

1978 年 1 月新 1 版

1983 年 5 月第 2 版 1983 年 5 月第 5 次印刷

印数: 173,001—240,000

统一书号: 15119·1912 定价: 0.63 元

目 录

前言	V
第一章 电路基础	1
第一节 电流、电压、电动势	1
一、电流	1
二、电压	3
三、电位	4
四、电动势	8
第二节 电阻、欧姆定律	10
一、电路	10
二、电阻、电导	11
三、导体、绝缘体	13
四、欧姆定律	14
五、非线性电路	16
第三节 电功、电功率	18
一、电功	18
二、电功率	19
三、阻抗匹配	20
第四节 直流电路	22
一、克希霍夫定律	22
二、电阻串联	28
三、电阻并联	31
四、电阻混联	36

五、电压源和电流源	37
第五节 复杂电路的分析和计算	41
一、迭加原理	41
二、戴维南定理	43
第六节 正弦交流电	46
一、交流电概述	46
二、正弦交流电	48
三、直流电、交流电和脉动直流电三者的 关系	57
四、纯电阻交流电路	59
第七节 正弦交流电的向量图	61
一、向量和正弦交流电的向量表示法	61
二、向量的加减法	63
三、纯电阻交流电路的向量图	66
第八节 电容器	66
一、电容器	66
二、电容量	68
三、电容器储藏的电场能	71
四、电容器的串、并联	73
五、 RC 电路的物理特性	75
第九节 RC 交流串联电路	82
一、容抗	82
二、纯电容交流电路的特性及计算	84
三、 RC 交流串联电路的特性及计算	86
第十节 电感及电磁感应	88
一、磁场	88
二、电流的磁效应	89

三、电磁感应·····	91
四、自感现象·····	95
五、 RL 电路的物理特性·····	98
六、互感及变压器·····	102
第十一节 RLC 交流串联电路·····	109
一、感抗·····	109
二、纯电感交流电路·····	110
三、 RL 交流串联电路·····	111
四、 RLC 交流串联电路·····	113
第十二节 三相交流电概述·····	114
一、三相电动势·····	114
二、三相交流电源及其与负载的基本联接型式·····	115
本章小结·····	120
习题·····	123
第二章 整流电路·····	139
第一节 概述·····	139
一、整流器的一般结构·····	139
二、整流器的参数·····	140
第二节 晶体二极管·····	140
一、半导体及其特性·····	140
二、 PN 结的形成和特性·····	144
三、二极管的特性和参数·····	147
四、二极管的简易判别·····	152
第三节 单相整流电路·····	153
一、半波整流电路·····	153
二、全波整流电路·····	157
三、桥式整流电路·····	161

四、倍压整流电路	166
第四节 滤波器	170
一、电容滤波器	171
二、电感滤波器	177
三、复式滤波器	179
第五节 三相整流电路概述	181
一、三相半波整流电路	182
二、三相桥式整流电路	185
本章小结	189
习题	190
实验	193
一、电位测量	193
二、欧姆定律	195
三、 RC 电路充放电	196
四、 RC 交流串联电路	199
五、晶体二极管的伏安特性	203
六、单相桥式整流、滤波电路	205
附录	207
一、500 型万用电表使用方法	207
二、SB-10 阴极射线示波器使用方法	209
三、常用电阻、电位器及电容器的类型	213
四、常用晶体二极管参数	218
五、小容量整流变压器的计算	222

第一章 电路基础

第一节 电流、电压、电动势

一、电 流

金属导体中的自由电子(带负电荷), 在电场力的作用下会逆着电场力的方向而运动(见图 1-1)。大量电荷有规则的定向运动, 就形成了电流。

由于电子带的是负电荷, 所以是逆电场力的方向而运动的, 而正电荷的运动方向是顺着电场力的方向的。习惯规定以正电荷的运动方向作为电流的方向。在图 1-1 中可以看到电流和电子流的方向是相反的。

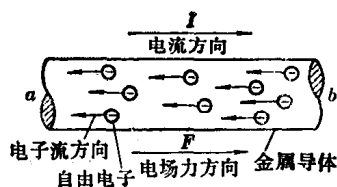


图 1-1 电流的形成和方向

在单位时间 t 内, 通过导体某一截面的电荷量(电量) q 的多少, 叫做电流强度。电流强度简称电流, 其符号用 I 表示。电流和电量、时间之间的关系是:

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

电流强度的基本单位是安培, 简称安, 用 A 表示。电量的基本单位为库仑, 简称库。时间的基本单位是秒, 用 s 表示。

如果在 1 秒钟内通过某导线横截面的电量 q 为 1 库仑,

则流过该导线的电流为1安。即:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}} = 1 \text{ 安(A)}$$

在电子技术中,用到的电流有时很微小,只有1安的几千分之一,甚至还要小些。比安培小的单位是毫安,用mA表示,比毫安小的单位是微安,用 μA 表示。它们的关系为:

$$1 \text{ 安(A)} = 1000 \text{ 毫安(mA)}$$

$$1 \text{ 毫安(mA)} = 1000 \text{ 微安}(\mu\text{A})$$

电流通过导体会产生热效应(如电炉发热)、光效应(如电灯发光)和磁效应(如线圈吸铁)等。

电流有直流和交流两种:大小和方向不随时间而变化的电流叫做直流电流,简称直流电*I*;大小和方向随时间而变化的电流叫做交流电流,简称交流电*i*。

直流电在工农业生产中应用很广,如电镀、电解、电焊、船舶和车辆上的照明等,同样,它在电子技术中的应用也很广,所有电子设备如收音机、电视机、示波器等无不用到直流电。关于交流电,我们将在后面叙述。

测量直流电流的仪表叫做直流电流表(或万用电表的直流电流档),当电流从电流表的正极流入表头而从负极流出

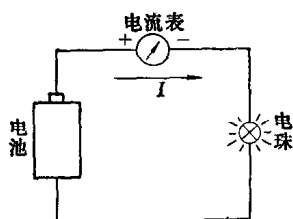


图 1-2 直流电流测量法

时,表针即会自左向右偏转,偏转度的大小反映了流过电流的多少,由表面的刻度可直接读出流过的电流值来。测量电流前,应先将被测电路断开,在断开处串入电流表,电流表的正极(+)接电流流入端,电流表的

负极(-)接电流流出端。如表针自左向右偏转,说明接入

的表头极性正确,如图 1-2。

二、电 压

物体移动是外力作用于物体,对物体做功的结果。同理,电荷的流动是由于电场力对电荷做功的结果。

电场力把单位正电荷 q 从 a 点移到 b 点所做的功 W_{ab} 的值,叫做 a 、 b 两点间的电压,用 U_{ab} 表示。即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1-2)$$

作图时,以 a 为起点、 b 为终点的单箭头表示这段电压,如图 1-3。

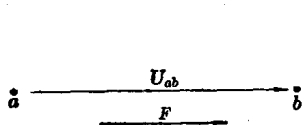


图 1-3 电压的图示

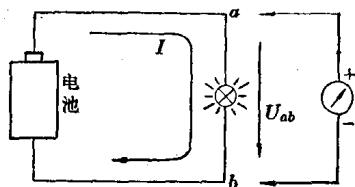


图 1-4 直流电压测量法

电压的基本单位是伏特,简称伏,用 V 表示。若电场力把 1 库仑正电荷从 a 点移到 b 点所做的功为 1 焦耳,那么 a 、 b 间的电压为 1 伏,即

$$1 \text{ 伏} = \frac{1 \text{ 焦耳}}{1 \text{ 库仑}}$$

比伏特大的单位有千伏,比伏特小的单位有毫伏、微伏。它们间的关系是:

$$1 \text{ 千伏(kV)} = 1000 \text{ 伏(V)}$$

$$1 \text{ 伏(V)} = 1000 \text{ 毫伏(mV)}$$

1. 毫伏(mV) = 1000 微伏(μ V)

测量直流电压的仪表叫做直流电压表(或万用电表的直流电压档)。测量时,应把电压表并接在被测器件的两端,表的正极接在电流流入被测器件的一端,而表的负极接在电流流出被测器件的另一端,见图 1-4。

三、电 位

电压有起点和终点,即有方向,但电压的大小与电荷移动时所经过的路径无关,见图 1-5。这正象力对物体做功一样,

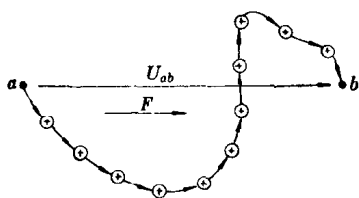


图 1-5 电压大小与电荷移动路径无关

力对物体作的功与作用力方向上的起点、终点有关,与物体移动时所经过的路径无关。

为便于比较起见,可在电场中(无限远处)取一点 O 作为参考点,把 a 点到参考点 O 的电压 U_{ao} 称为 a 点的电位* U_a ,即 $U_a = U_{ao}$,如图 1-6 所示。

在这样规定下,参考点本身的电位就作为零了,即 $U_o = 0$ 。现在,我们来讨论图 1-7 电场中 a 、 b 两点间电位的差值。

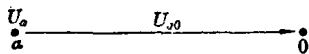


图 1-6 电压和电位

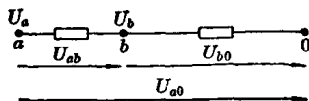


图 1-7 a 、 b 两点间的电位差

* 有些物理书上把“电位”称作“电势”。为了避免与以后出现的“电动势”混淆,本书不用“电势”这个名词。

电场力把单位正电荷从 a 点移到参考点 O 所做的功为 U_{ao} 或 U_a , 电场力把单位正电荷从 b 点移到 O 点所做的功为 U_{bo} 或 U_b , 则 a 、 b 两点间的电位差为:

$$U_a - U_b = U_{ao} - U_{bo} = U_{ao} - (-U_{ob}) = U_{ao} + U_{ob}$$

$U_{ao} + U_{ob}$ 是电场力将单位正电荷从 a 点经过参考点 O 移到 b 点所做的功, 而电场中两点间的电压与电荷移动的路径无关, 所以

$$U_{ao} + U_{ob} = U_{ab}$$

即

$$U_a - U_b = U_{ab}$$

可见 a 、 b 两点间的电位差, 就是 a 、 b 两点间的电压。所以电压也叫做电位差。

在参考电位中, 若用“ $\perp$ ”符号表示的, 说明这个参考电位为零电位, 叫做“接地”。实际上并没有真正把参考点接入大地。分析电子线路时经常把安装电路用的金属底板作为参考电位(零电位), 这是因为底板面积大、导电性好, 电位变化比较小; 同时许多元件也需要焊在底板上, 把它作为支撑点, 因此, 金属底板成了理想的参考点。在线路中, 以某一点为参考点, 对其余各点电位值的求法, 我们将通过下面的例题一一加以分析。

[例 1-1] 已知 $U_{ab} = 2V$, $U_{ac} = 3V$ 。试分别以 a 、 b 、 c 作为参考点, 计算其余各点的电位及 ab 、 bc 、 ca 间的电位差。

[解] (1) 以 c 点作为参考点, 即令 $U_c = 0V$, 如图 1-8 所示。

$$\because U_{ac} = U_a - U_c$$

$$\begin{aligned} \therefore U_a &= U_{ac} + U_c \\ &= 3 + 0 = 3V \end{aligned}$$

$$\therefore U_{ab} = U_a - U_b$$

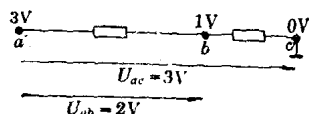


图 1-8

$$\therefore U_b = U_a - U_{ab} = 3 - 2 = 1V$$

将 U_a, U_b, U_c 值代入, 得

$$U_{ab} = U_a - U_b = 3 - 1 = 2V$$

$$U_{bc} = U_b - U_c = 1 - 0 = 1V$$

$$U_{ca} = U_c - U_a = 0 - 3 = -3V$$

(2) 以 b 点作为参考点, 即令 $U_b = 0V$, 如图 1-9 所示。

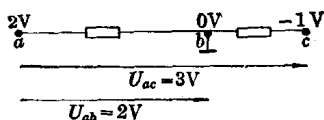


图 1-9

$$\therefore U_{ab} = U_a - U_b$$

$$\begin{aligned} \therefore U_a &= U_{ab} + U_b \\ &= 2 + 0 = 2V \end{aligned}$$

$$\therefore U_{ac} = U_a - U_c$$

$$\therefore U_c = U_a - U_{ac} = 2 - 3 = -1V$$

将 U_a, U_b, U_c 值代入得

$$U_{ab} = U_a - U_b = 2 - 0 = 2V$$

$$U_{bc} = U_b - U_c = 0 - (-1) = 1V$$

$$U_{ca} = U_c - U_a = -1 - 2 = -3V$$

(3) 以 a 点作为参考点, 即令 $U_a = 0V$, 如图 1-10 所示。

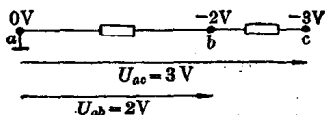


图 1-10

$$\therefore U_{ac} = U_a - U_c$$

$$\begin{aligned} \therefore U_c &= U_a - U_{ac} \\ &= 0 - 3 = -3V \end{aligned}$$

$$\therefore U_{ab} = U_a - U_b$$

$$\therefore U_b = U_a - U_{ab} = 0 - 2 = -2V$$

将 U_a, U_b, U_c 值代入得

$$U_{ab} = U_a - U_b = 0 - (-2) = 2V$$

$$U_{bc} = U_b - U_c = -2 - (-3) = 1V$$

$$U_{ca} = U_c - U_a = -3 - 0 = -3V$$

可见, 电位的参考点变了, 各点的电位值也随之而变, 但两点间电位的相对值即电位差, 则不因参考点的改变而改变。同时, 从图 1-8 中还可以看到, 不管怎样选择参考点, 总是 $U_a > U_b > U_c$, 即从 a 到 c 的各点电位沿着电压的方向逐渐降落, 所以电压也经常被称为电位降或电压降(简称压降)。

[例 1-2] 图 1-11 的晶体管电路中, 已知 $U_b = 2.7V$, $U_e = 2V$, $U_c = 4V$, $U_d = 6V$ 。求 U_{be} 、 U_{ce} 、 U_{de} 。

[解] $U_{be} = U_b - U_e = 2.7 - 2 = 0.7V$

$$U_{ce} = U_c - U_e = 4 - 2 = 2V$$

$$U_{de} = U_d - U_e = 6 - 4 = 2V$$

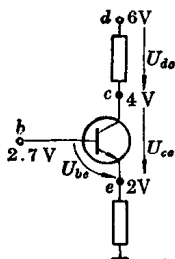


图 1-11

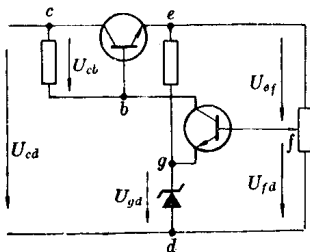


图 1-12

[例 1-3] 图 1-12 的稳压电路中, 已知 $U_{cd} = 16V$, $U_{fd} = 8.7V$, $U_{ef} = 3.3V$, $U_{gd} = 8V$ 。试求 U_{ce} 。

[解] $\because d$ 为 U_{cd} 、 U_{gd} 、 U_{fd} 的终点, 取 d 为参考点计算时比较方便, $\therefore$ 令 $U_d = 0V$

$$\because U_{cd} = U_c - U_d$$

$$\therefore U_c = U_{cd} + U_d = 16 + 0 = 16V$$

$$\because U_{fd} = U_f - U_d$$

$$\therefore U_f = U_{fd} + U_d = 8.7 + 0 = 8.7V$$

$$\begin{aligned}\therefore U_{ef} &= U_e - U_f \\ \therefore U_e &= U_{ef} + U_f = 3.3 + 8.7 = 12\text{V} \\ U_{ee} &= U_e - U_e = 16 - 12 = 4\text{V}\end{aligned}$$

四、电 动 势

电池的电解液和电极极板之间存在着化学作用，热电偶的两种金属的连接处存在着热电效应，光电池中存在着光电效应。电池、热电偶和光电池统称电源。

电源内部都有一种共同的“电源力”。在电源力作用下，蓄电池电解液中的正负离子分别向电源的两端移动（图1-13），使电源的一端带正电荷（这一端称为电源的正极，用+号表示），另一端带负电荷（这一端称为电源的负极，用-号表示），于是电源的两极间就形成了电场，出现了电位差，正极高于负极。一旦在电源外面接上负载，电源的电场力就把电源正极的正电荷通过负载推向电源负极，而电源内部的电源力则把正电荷从电源负极从电源内部推向正极，如此周而复始源源不息，形成了持续的电荷的移动，在负载中就有电流流过。

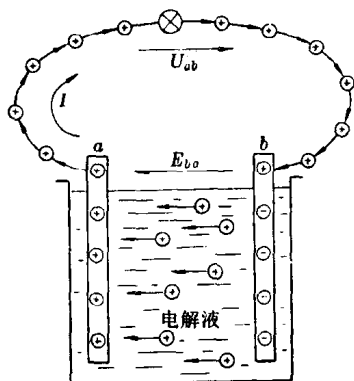


图 1-13 电源的电动势

在电源外面接上负载，电源的电场力就把电源正极的正电荷通过负载推向电源负极，而电源内部的电源力则把正电荷从电源负极从电源内部推向正极，如此周而复始源源不息，形成了持续的电荷的移动，在负载中就有电流流过。

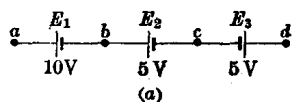
电源力既能推动电荷，自然也能做功。电源力将单位正电荷从电源负极经电源内部推向电源正极所做的功叫做电源的电动势，用 E 表示。电动势的基本单位与电压的基本单位

相同，即伏特。电动势的符号如图 1-14 所示，长划表示电动势的正极，短划表示电动势的负极，箭头表示电动势的方向，即箭头所指是电源内部电位升高的方向，所以电源的正极表示高电位，电源的负极表示低电位。



图 1-14 电动势的符号

[例 1-4] 图 1-15(a) 中， E_1 、 E_2 、 E_3 三个电源相串联，



已知 $E_1=10\text{V}$ ， $E_2=5\text{V}$ ， $E_3=5\text{V}$ 。试分别以 a 、 b 、 c 、 d 为参考点，求各点电位。

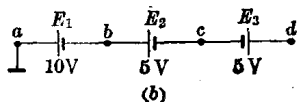


图 1-15

[解] 在图 1-15 (b) 中，以 a 点为参考点，即令

$$U_a = 0\text{V}$$

$$\therefore E_1 = U_a - U_b$$

$$\therefore U_b = U_a - E_1 = 0 - 10 = -10\text{V}$$

$$\therefore E_2 = U_b - U_c$$

$$\therefore U_c = U_b - E_2 = -10 - 5 = -15\text{V}$$

$$\therefore E_3 = U_c - U_d$$

$$\therefore U_d = E_3 + U_c = 5 + (-15) = -10\text{V}$$

如以 b 点为参考点，即令

$$U_b = 0\text{V}$$

则

$$U_a = E_1 + U_b = 10 + 0 = 10\text{V}$$

$$U_c = U_b - E_2 = 0 - 5 = -5\text{V}$$

$$U_d = E_3 - E_2 = 5 - 5 = 0\text{V}$$

如以 c 点为参考点，即令

$$U_c = 0\text{V}$$

则

$$U_d = E_3 + U_c = 5 + 0 = 5\text{V}$$

$$U_b = U_c + E_2 = 0 + 5 = 5V$$

$$U_a = E_1 + U_b = 10 + 5 = 15V$$

如以 d 点为参考点, 即令

$$U_d = 0V$$

则

$$U_c = U_d - E_3 = 0 - 5 = -5V$$

$$U_b = E_2 + U_c = 5 + (-5) = 0V$$

$$U_a = E_1 + U_b = 10 + 0 = 10V$$

第二节 电阻、欧姆定律

一、电 路

电流所经之路叫做电路。电路不论如何复杂, 不外乎是由发电、输电、用电三类器件所组成。为了分析和研究的方便, 把实际电路抽象概括为由理想部件所组成, 并用符号加以描述 (图 1-16)。这种抽象了的电路由三个部分所组成: (1) 电源, 把

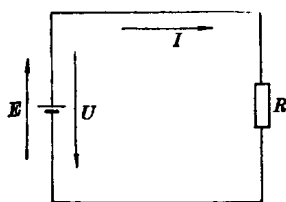


图 1-16 电路图画法

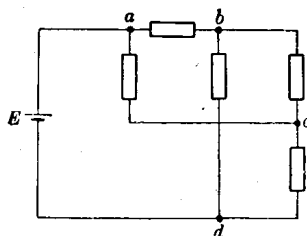


图 1-17 有分支的电路

其它形式的能量 (如化学能、光能) 转换成电能, 用电动势 E 表示; (2) 负载, 把电能转换成其他形式的能 (如光、热、声), 用电阻 R (如果转换成热能的话) 或其它一些符号表示; (3) 导线, 输送或分配电能, 用直线表示。为了区别起见, 把电源内部的电路叫做内电路, 电源外部 (图中导线和负载) 的电路叫做外

电路。

有些电路还有分支(图 1-17)。我们把每一分支叫做支路,如图 1-17 中的 ab 、 ac 、 cd 、 bc 、 bd 。三个或三个以上的支路相交会聚处的点称为节点,如图 1-17 中的 a 、 b 、 c 、 d 。电路中的任一闭合路线皆称为回路,如图 1-17 中的 $acda$ 、 $abceda$ 、 $abca$ 、 $bcdcb$ 、 $abda$ 。有分支的电路有时也叫做网络。

二、电阻、电导

水在管子中流动时会受到管子对它的阻力,电流在导体中流动时也会受到阻力。这是由于自由电子在导体里定向运动时和导体中的原子发生碰撞而形成的。这种阻碍电流通过的阻力叫做电阻,用 R 表示,它的基本单位是欧姆,简称欧,用 Ω 表示。比欧大的单位有千欧、兆欧,分别以 $k\Omega$ 、 $M\Omega$ 表示,它们的关系是:

$$1 \text{ 兆欧}(M\Omega) = 1000 \text{ 千欧}(k\Omega)$$

$$1 \text{ 千欧}(k\Omega) = 1000 \text{ 欧}(\Omega)$$

实验证明:导体的电阻,在一定的温度下,与导体的长度与导体的电阻率成正比;和导体的截面积成反比。即:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-3)$$

式中: R ——导体的电阻(Ω);

ρ ——导体的电阻率,指 1 米长、1 平方毫米截面的导体在 20°C 时所具有的电阻值($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$);

l ——导体的长度(m);

S ——导体的截面积(mm^2)。

在金属中,银($\rho = 0.158 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$)的电阻率最低,所以在需要加强导电性的地方往往涂以银;铜($\rho = 0.0168 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$)