

DIAN LU JI CHU

电路基础

主编 韩凤舞

中国人民解放军装甲兵指挥学院

电 路 基 础

主编 韩凤舞
编者 韩凤舞 吴 政
刘全良 王立明

中国人民解放军装甲兵指挥学院

1015-24 1990

前 言

“电路基础”是一门重要的技术基础课。目前,全国出版有关书籍很多,但适用军队指挥院校教材甚少,因此,我们组织理化教研室编写了这本教材。

该教材重点突出,内容精练,分析透彻,通俗易懂,理论联系实际。把电路的基本概念、基本理论以及分析方法作为研究重点,以定性分析为主导,注意了定量分析。为了使读者更好地理解 and 掌握所学内容,每章后都有适量的练习题。

本书由装甲兵指挥学院理化教研室韩凤舞副教授主编,参加本书编写的有韩凤舞、吴政、刘全良、王立明同志。

在本书的编辑和出版过程中,得到装甲兵指挥学院科研所张济海同志的精心指导和大力支持,在此致谢。

由于时间仓卒,错误及不足之处在所难免,恳请读者指正,以便以后修订。

装甲兵指挥学院

1994 年 5 月

目 录

第一章 欧姆定律和基尔霍夫定律	(1)
§ 1—1 基本概念	(1)
一、电流	(1)
二、电位与电压	(2)
三、功率	(6)
§ 1—2 欧姆定律	(9)
§ 1—3 电压源和电流源	(11)
一、理想电压源	(11)
二、理想电流源	(11)
三、实际电压源的模型	(14)
四、实际电流源的模型	(14)
§ 1—4 基尔霍夫定律	(17)
一、基尔霍夫电流定律(KCL)	(18)
二、基尔霍夫电压定律(KVL)	(20)
习题 1	(25)
第二章 简单电路分析	(33)
§ 2—1 电阻的串并联	(33)
一、电阻串联	(33)
二、电阻并联	(34)
三、电阻的混联	(36)
§ 2—2 负载获得最大功率的条件	(42)
§ 2—3 电源模型的等效互换	(45)

§ 2—4 含源支路的串联、并联和混联·····	(53)
一、电压源的串联·····	(53)
二、含电压源支路的串联·····	(53)
三、两个电压源的并联·····	(54)
四、两个含电压源支路的并联·····	(54)
五、两电流源串联·····	(56)
六、电流源有并联电阻情况下的串联·····	(56)
七、两个电流源并联的电路·····	(57)
八、有并联电阻的两个电流源并联·····	(58)
习题 2 ·····	(62)
第三章 线性网络的一般分析方法 ·····	(79)
§ 3—1 支路电流法和支路电压法 ·····	(79)
一、支路电流法·····	(79)
二、支路电压法·····	(81)
§ 3—2 网孔分析法 ·····	(83)
§ 3—3 节点分析法 ·····	(90)
习题 3 ·····	(95)
第四章 线性网络的几个定理 ·····	(99)
§ 4—1 迭加定理 ·····	(99)
§ 4—2 戴维南定理·····	(108)
§ 4—3 诺顿定理·····	(115)
习题 4 ·····	(120)
第五章 正弦交流电路 ·····	(126)
§ 5—1 复数·····	(126)
一、复数及其四则运算 ·····	(126)
1. 复数·····	(126)
2. 复数的表示方法·····	(127)

3. 直角坐标式和极坐标式的相互转换	(130)
4. 复数的四则运算	(132)
二、相量	(137)
§ 5—2 正弦交流电	(141)
一、交流电	(141)
二、正弦电流和电压	(144)
§ 5—3 正弦交流电通过纯电阻, 交流电的有效值	(152)
一、电流电压关系	(152)
二、功率关系	(153)
三、正弦交流电的有效值	(156)
四、有效值相量	(157)
§ 5—4 电磁感应	(159)
一、电磁感应的条件	(159)
二、电磁感应定律	(162)
1. 感应电压的大小	(162)
2. 感应电压的极性	(163)
三、电磁感应定律表达式	(165)
四、自感应	(167)
1. 自感系数(电感)	(167)
2. 自感电压	(169)
§ 5—5 电感元件的交流电路	(173)
一、电感元件电流与电压的关系	(173)
二、电感元件功率关系	(178)
§ 5—6 RL 串联电路	(182)
§ 5—7 正弦交流电通过纯电容	(191)
一、电容	(191)

二、电容元件的交流电路	(194)
三、功率关系	(198)
§ 5—8 RC 并联电路	(202)
§ 5—9 基尔霍夫定律的相量形式	(205)
§ 5—10 阻抗、导纳和相量模型	(210)
一、阻抗与导纳	(210)
二、相量模型	(214)
三、阻抗的串联	(216)
四、阻抗的并联	(217)
§ 5—11 正弦交流电路中的功率	(222)
一、阻抗上的功率关系	(222)
二、最大功率输出条件	(229)
§ 5—12 正弦交流电路的分析方法	(233)
习题 5	(256)
第六章 互感电路	(270)
§ 6—1 互感电压	(270)
一、自感电压	(270)
二、互感电压	(271)
三、耦合系数 K	(273)
四、同名端	(275)
五、互感电压的方向	(275)
§ 6—2 互感电路	(278)
一、互感电路方程	(278)
二、互感线圈的串联	(281)
三、互感线圈的并联	(283)
四、互感电路分析	(287)
§ 6—3 互感线圈的等效电路	(290)

一、T 型等效电路	(290)
二、初级等效电路	(294)
§ 6—4 全耦合互感线圈与理想变压器	(301)
一、全耦合互感线圈	(301)
二、理想变压器	(303)
三、铁心变压器的等效电路	(305)
四、自耦变压器	(307)
习题 6	(311)
第七章 谐振电路	(318)
§ 7—1 串联谐振电路	(318)
一、串联谐振	(319)
二、谐振时回路中的能量关系	(322)
三、谐振曲线	(325)
四、通频带	(329)
§ 7—2 简单并联谐振电路	(331)
一、谐振频率和谐振阻抗	(331)
二、谐振时的支路电流	(333)
三、等效电路	(336)
四、并联谐振电路的频率特性	(337)
§ 7—3 复杂并联谐振电路	(340)
一、一般并联谐振电路的谐振特性	(340)
1. 双电感电路分析	(342)
2. 双电容电路分析	(344)
二、接入系数与等效电路	(347)
习题 7	(355)
第八章 电路中的过渡过程	(362)
§ 8—1 概述	(362)

§ 8—2 一阶线性电路的响应·····	(363)
一、一阶电路的微分方程及其解 ·····	(363)
二、RL 一阶电路的响应 ·····	(366)
三、RC 一阶电路的响应 ·····	(369)
§ 8—3 三要素法·····	(374)
§ 8—4 微分电路与积分电路·····	(378)
一、微分电路 ·····	(378)
二、RC 耦合电路 ·····	(380)
三、积分电路 ·····	(380)
§ 8—5 二阶电路的暂态响应·····	(382)
§ 8—6 拉普拉斯变换·····	(390)
一、拉普拉斯变换(简称拉氏变换)的定义 ·····	(390)
二、简单函数拉氏变换的求法 ·····	(391)
三、拉氏变换的基本性质 ·····	(392)
四、拉普拉斯反变换 ·····	(393)
五、用拉普拉斯变换法(运算法)分析线性 电路的暂态响应·····	(397)
六、拉氏变换应用举例 ·····	(399)
七、用运算法分析 RLC 串联电路的完全响应 ···	(401)
习题 8 ·····	(403)

第一章 欧姆定律和基尔霍夫定律

§ 1—1 基本概念

一、电流

我们知道,在金属导体中存在着大量的自由电子,它们在电场力的作用下逆着电场的方向运动。而在另一类导体如电解液中,存在着大量的离子,正离子顺着电场的方向运动,负离子逆着电场的方向运动,这样,自由电子或正负离子的定向运动就形成电流。由以上所知,在电场力的作用下正负电荷移动有两个可能的方向,即逆电场和顺电场的方向。那么我们如何决定电流的方向呢?习惯上规定正电荷移动的方向为电流的方向。这就是说,金属导体中电流的方向为自由电子运动的反方向。

为了从数量方面衡量电流的大小,我们引出电流强度这一物理量,即规定在电场的作用下单位时间内通过导体横截面的电量称为电流强度,简称为电流。所以电流这个名词不仅代表一种物理现象,而且代表一种物理量。

设在极短的时间 Δt 内通过导体截面 S (图 1—1)的微小电量为 Δq ,则该时刻的电流强度为:

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

上式表示电流强度为电量对时间的变化率,是随时间而变化

的,是时间的函数。

如果电流强度不随时间变化,即 $\frac{dq}{dt}$ 为常数,则这种电流称为恒定电流简称直流,直流电流用大写字母 I 表示,所以式(1—1)可改写为:



图 1—1

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

式中 q 是在时间 t 内通过导体截面 S 的电量。

电流的单位为安培,简称安,用符号 A 或 a 表示。常用单位还有毫安(mA),微安(μA)。

$$1mA = 10^{-3}A$$

$$1\mu A = 10^{-6}A$$

在实际电路中,电流的实际方向往往难以在电路中标出,例如,变化的电流,它的方向随时间变化,很难用一个固定的箭头来表示电流的实际方向。即使在直流电路中,在求解较复杂的电路时,也往往难以事先判断电流的实际方向。为了解决这一困难与分析问题的方便,可以任意假定电流的方向,这个假定方向称为电流的正方向,也称为参考方向,在电路中用箭头表示。尔后我们按参考方向对电路进行分析和计算,如果计算结果电流得负值,则表明电流的实际方向与参考方向相反,如果计算结果电流得正值,则表明电流的实际方向与参考方向相同。由此可知,电流的实际方向由参考方向与电流的正负号共同确定。今后在电路中所标电流的方向均为参考方向,它不一定是电流的实际方向,这点要特别注意。

二、电位与电压

当我们将物体由较低处移至较高处时,外力克服地球的

吸引力做功,这时物体的位能增加。我们说,物体在较高处具有较高的位能,在较低处具有较低的位能。

电荷在电场中也有类似情况。由于电荷有正负之分,我们只讨论正电荷的情形,知道了正电荷的情况,负电荷的情况也就知道了。

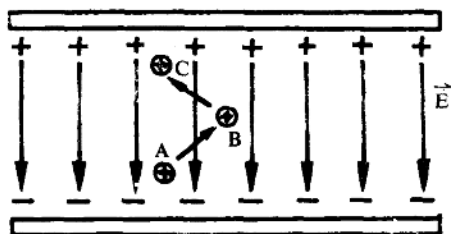


图 1—2

如图 1—2 所示,在电场中,将正电荷逆电场方向由 A 点移至 B 点,外力需克服电场力做功,这时电荷的能量增加。我们说电荷在电场中的电位能增加,正电荷在 B 点的电位能较高,在 A 点的电位能较低。

但是,仅用电位能的概念还不能说明电场的特性,因为在电场中电荷的电位能是与电荷的电量成正比,电量不同,即使同一点的电位能也不相同,因而在电场中同一点的电位能无法确定。为此,我们研究单位正电荷在电场中的情况。此外,电场中的电位能是相对的,电荷在 B 点的电位能高于 A 点,但比 C 点低,这样电场中同一点的电位能也不能确定。为此我们选定一个标准点,把这点的电位能认作零,其它各点的电位能都与此标准点作比较。这个标准点称为参考点,又称为零

电位点。这样,电场中某一点的电位能就可以完全确定了。

1. 电位

我们规定,把单位正电荷(实验电荷)从所考察的点移到参考点时,电场力所做的功,称为该考察点的电位,即 A 点的电位为:

$$V_A = \frac{W_A}{q} \quad (1-3)$$

我们选取的参考点的电位为零。关于参考点的选定,可根据需要和分析计算方便而定,可以任意选取。电力系统中通常选大地为参考点,无线电设备中常以机壳为参考点。电位是一个代数量,它有正负之分。如果某点的电位为正说明该点的电位比参考点高,如果为负,说明该点电位比参考点低。

从电位的定义不难看出,电位是描述电场特点的物理量,与实验电荷毫无关系。

2. 电压

两点之间的电位差,称为该两点间的电压,用字母 V 表示,若 A 点的电位为 V_A , B 点的电位为 V_B ,则 A, B 两点之间的电压为:

$$V_{AB} = V_A - V_B = \frac{W_A - W_B}{q} = \frac{W_{AB}}{q} \quad (1-4)$$

由上式看出 A、B 两点的电压表示将单位正电荷从 A 点移至 B 点电场力所做的功。电压的单位是伏特,简称伏,用字母 V 表示。

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

常用的单位还有千伏(KV)、毫伏(mV)、微伏(μV)。

在电路中对两点之间的电压我们用“+”号表示高电位端,用“-”号表示低电位端。习惯上常用箭头表示电压的方向,箭头指向电位降低的方向,如图 1—3 所示。

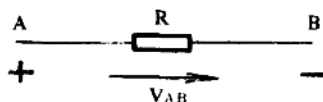


图 1—3

在复杂电路中若事先判断电压的实际方向是很困难的，特别是交变电压更无法标出它的实际方向，通常我们在分析电路以前，可任意假定一个电压的方向，这个假定的方向称为电压的正方向，也称为参考方向或参考极性，并将参考方向用

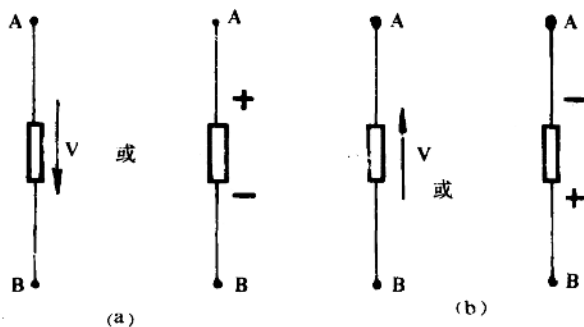


图 1—4

箭头或“+”、“-”号标出，如图 1—4 所示。

也可以用双下标来表示电压的参考方向。例如 V_{AB} 表示

电压降的参考方向由 A 指向 B。 V_{BA} 表示电压降的参考方向由 B 指向 A。

按照选定的电压的参考方向(也称正方向)对电路进行分析计算,如果计算结果电压为正值,说明电压的实际方向与参考方向一致,若计算结果电压为负值,则说明电压的实际方向与参考方向相反,因此,电压的实际方向是由参考方向与计算结果的正、负号共同确定。

今后电路中只标参考方向,应注意,参考方向不一定是实际方向。

在分析电路时我们既要为通过元件的电流标出参考方向,也要为元件两端的电压标出参考方向,彼此原是可以独立无关任意假定的。但为了方便起见,我们常采用关联参考方向。我们选取电流的参考方向与电压的参考方向一致,这样选取的电压与电流的参考方向称为关联参考方向,如图 1—5 所示。

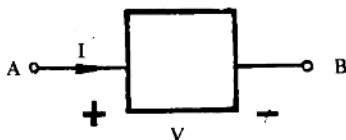


图 1—5

今后在电路中凡未同时标出电流电压的参考方向时,均系采用关联参考方向。

三、功率

通常用电的目的是将电能转换成其他形式的能量。如机械能,光能等。所以除了分析与计算电路中的电流和电压外,

往往还需要计算和分析电能和功率。设图 1—6 方框内为电路的一部分，它可能是电阻，也可能是电源，还可能是元件的组合。元件的电压电流采用关联参考方向，见图所示。

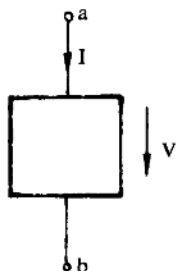


图 1—6

电功率用字母 p 或 P 表示，设在 dt 时间内由 a 点移到 b 点的正电荷量为 dq ， a 、 b 两端电压为 v_{ab} ，我们写成 v 。将 dq 电荷量从 a 点移到 b 点电场力所做的功为 $dw = vdq$ 。电功率为 $p = \frac{dw}{dt} = v \frac{dq}{dt}$ ，我们知道电流 $i = \frac{dq}{dt}$ ，故得

$$p = vi \quad (1-5)$$

以上表示某时刻的功率，又称瞬时功率。在直流情况下，

$$P = VI$$

就是能量的转换率，或单位时间内电路取用或发出的电能。即

$$P = \frac{W}{t} = VI \quad (1-6)$$

当采用关联参考方向时，若计算结果 P 为正值，则表示某元件或某段电路吸收功率；若 P 为负值则表明该元件或该电路产生功率或者说向外提供功率。在国际单位制中，功率的单位是瓦特(W)，简称瓦。

如果采用非关联参考方向，譬如说，电流的参考方向与图 1—6 所示相反，则计算功率的公式应为 $P = -VI$ ，计算结果为正值时表示吸收功率，为负值时表示产生功率。结论是一样的。

例 1-1, 如图 1-6 所示, 电压 $V=3V$, $I=1A$ 求电路功率。

解: 图中电流与电压选取关联参考方向, 故 $P=VI=3V \times 1A=3W$, 也就是说电路吸收功率 $3W$ 。

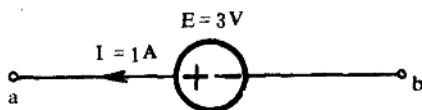


图 1-7

例 1-2, 如图 1-7 所示, 电源电压 $E=3V$, 流过电源的电流 $I=1A$, 求电源功率。

解: 图中所选电流电压参考方向为非关联参考方向, 我们按关联参考方向列出电源吸收功率的公式为 $P=-VI=-3V \times 1A=-3W$ 。计算结果为负值, 表明电源向外提供功率, 即表示电源产生了三瓦功率。

最后谈一下辅助单位。我们已经指出了一些物理量的国际单位, 如伏、安、秒等, 但在实际应用中有时感到这些单位太大或太小, 使用不便。于是我们便在这些单位前加上表 1-1 所示的词冠, 用以表示这些单位被一个 10 为底的正次幂或负次幂相乘后所得的辅助单位, 例如:

$$1 \text{ 毫安 (mA)} = 1 \times 10^{-3} \text{ 安 (A)}$$

$$5 \text{ 微秒 } (\mu s) = 5 \times 10^{-6} \text{ 秒 (s)}$$

$$2 \text{ 千瓦 (KW)} = 2 \times 10^3 \text{ 瓦 (W)}$$

等等。显然写成 $1mA$ 要比写作 $1 \times 10^{-3}A$ 方便多了。这些词