

高等学校试用教材

电 工 学

上 册

湖 南 大 学 编
合 肥 工 业 大 学

人 民 教 育 出 版 社

高等学校试用教材

电 工 学

上 册

湖 南 大 学
合 肥 工 业 大 学 编

人 民 教 育 出 版 社

内 容 提 要

全书分上、下两册出版。上册包括电路理论、正弦交流电路、三相交流电路、磁路和变压器、异步电动机及控制、同步电机、供电和照明等部分；下册包括晶体管放大器、振荡器、脉冲技术、整流电路、非电量测量及电子控制等部分。

各章均附有习题。

本书可作为高等工业学校土建、水利类专业的试用教材，也可供有关技术人员参考。

高等学校试用教材

电 工 学

上 册

湖 南 大 学 编
合 肥 工 业 大 学

*

人 民 教 育 出 版 社 出 版

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

人 民 教 育 出 版 社 印 刷 厂 印 装

*

开本 787×1092¹/₃₂ 印张 10¹²/₁₆ 千字 263,000

1978年11月第1版 1979年5月第1次印刷

印数00,001—65,000

书号15012·051 定价 0.89 元

前 言

电工学是工科院校非电专业的重要技术基础课程之一。

由于近代科学技术的迅速发展，电工及电子技术在国民经济各个部门得到越来越广泛的应用。为了适应我国四个现代化的迫切要求，高等院校培养的学生都必须掌握电工及电子技术方面的基础理论与实际知识。为此，我们编写了这本《电工学》，作为高等工科院校土建、水利类各专业的试用教材，也可供有关工程技术人员参考。

本书共分十二章，其中重点内容是第一章电路的分析与计算方法；第二章正弦交流电路；第八章晶体管放大器；第十章脉冲与数字电路。鉴于教材内容较原电工学有所增加，课内学时应保证不低于90学时。

根据少而精的原则，教材中尽量避免与物理电学部分重复，在必要时也只作简要的复习；同时变压器、电机部分内容也有所精减。考虑到土建、水利类专业的需要及电工学课程的特点，在电子技术方面，只着重讲清物理概念及工作原理，对定量分析及电路设计不作要求。

本书上册由湖南大学负责编写，下册由合肥工业大学负责编写，其中第一、三、五、七章由肖鸿猷同志执笔，第二、四、六章由杨贻馨同志执笔，第八、九章由赵荫棠同志执笔，第十、十一、十二章由马文同志执笔。全书插图由肖鸿猷、胡毓璠、蔡珪琴三同志绘制。本书由武汉水利电力学院洪文秀、罗九儒、谭乐崧同志负责审阅。

本书经电工学教材审稿会议审订。参加审稿会议的有清华大

学、同济大学、天津大学、南京工学院、武汉建筑工程学院、重庆建筑工程学院、哈尔滨建筑工程学院、华东水利学院、甘肃工业大学、河北电力学院、江西工学院以及湖南大学、合肥工业大学。与会代表对本书提出了不少宝贵意见；在编写过程中，湖南大学、合肥工业大学电工学教研室的同志也给予了大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于我们实践经验不足，水平有限，错误在所难免，敬请各兄弟院校在试用过程中提出宝贵意见。

编者

1978. 11

目 录

第一章 电路的分析和计算方法	1
第一节 电路的组成及其基本物理量	1
第二节 电路的工作状态	14
第三节 克希荷夫定律	18
第四节 支路电流法	22
第五节 回路电流法	25
第六节 节点电位法	28
第七节 迭加原理	30
第八节 等效电压源定理(戴文宁定理)	33
第九节 等效电流源定理(诺顿定理)	37
第十节 电压源和电流源的等效互换	40
第十一节 四端网络	44
第二章 正弦交流电路	57
第一节 交流电的基本概念	57
第二节 正弦电势的产生	59
第三节 正弦量的特征	62
第四节 交流电的有效值	71
第五节 正弦量的旋转矢量表示法	73
第六节 正弦量的复数表示法	78
第七节 纯电阻电路	83
第八节 纯电感电路	86
第九节 纯电容电路	94
第十节 RLC 串联电路	99
第十一节 电感性负载与电容并联的交流电路及功率因数提高	106
第十二节 交流电路的计算、符号法的应用	111
第十三节 谐振电路	114
第十四节 非正弦周期量的分解	122
第三章 三相交流电路	132
第一节 三相交流电在工程上的应用	132

第二节	三相电动势的产生及其表示法	133
第三节	三相电源的星形接法	135
第四节	三相负载	139
第五节	三相电路的功率及其测量	150
第四章	磁路与变压器	158
第一节	磁路的一般概念及其物理量	158
第二节	交流铁心线圈电路	164
第三节	变压器的应用与构造	173
第四节	变压器的工作原理及特性	177
第五节	几种特殊用途的变压器	188
第六节	小功率变压器的计算	194
第五章	异步电动机及其控制	202
第一节	概述	202
第二节	异步电动机的结构	203
第三节	异步电动机的工作原理	206
第四节	异步电动机的电路分析	212
第五节	异步电动机的电磁转矩和机械特性	217
第六节	异步电动机的使用	224
第七节	异步电动机的选择	231
第八节	异步电动机的继电器接触控制	239
第六章	同步电机	259
第一节	同步电机的构造	259
第二节	同步发电机	261
第三节	同步电动机	265
第七章	供电与照明	274
第一节	电力系统概述	274
第二节	变电所及低压配电网	277
第三节	导线截面和熔断器的选择	288
第四节	照明供电线路	295
第五节	电光源和灯具	299
第六节	照明供电的简单计算	305
第七节	电气设备的接地与接零	316
第八节	建筑防雷	322

第一章 电路的分析和计算方法

随着科学技术的发展,电工技术已广泛应用于生产领域的各个部门。尽管目前使用的电气设备种类日趋繁多,但绝大部分的设备仍是由各式各样的基本电路所组成的,而且遵循着某些共同的运动规律;因此,掌握电路的分析和计算方法是十分重要的,它是我们进一步学习电机、电器和电子线路的共同基础。

为了不过多地重复物理学的内容,对于电路的基本物理量(电流、电位、电压、电动势)只从电路计算的观点出发作扼要的阐述,重点放在复杂电路的分析和计算方法上。克希荷夫定律是分析一般电路的基本定律,要能熟练地运用它。在学习欧姆定律和克希荷夫定律的基础上,导出了计算电路的各种方法:支路电流法是这两个定律的直接应用,回路电流法适用于支路和节点较多,但网孔较少的电路,节点电位法适用于支路多,节点少的电路,迭加原理是线性电路的基本原理,也是解复杂电路的一种方法,等效电源定理提供了分析复杂电路中某一特定支路电流的捷径,四端网络是分析电路运行情况的有效工具。为了使读者较好地理解和掌握上述内容,编入了一定的例题和习题。分析复杂电路的方法还有很多,但本教材由于篇幅限制,其它就不一一介绍了。

还要指出的是:本章虽然讲的是直流电路,但这些基本定律和分析方法对于交流电路也同样适用。

第一节 电路的组成及其基本物理量

电路,就是电流通过的路径。不论电路的结构如何复杂,但就

其作用来说，可归纳为三个基本组成部分：电源、负载、联结导线（包括一定的控制、保护和测量装置）。

电源：是一种将非电能转换成电能的装置，常用电源有原电池、蓄电池和发电机等，它们分别将化学能或机械能转换为电能。

负载：即用电设备，它是消耗电能的装置，其作用是将电能转换成非电能（如机械能、热能、光能等）。负载的大小是以在单位时间内耗电量的多少来衡量的。

联接导线及控制保护测量装置：它的作用是将电能从电源安全可靠地输送和分配到负载。

电路中由负载和联接导线等组成的部分称为外电路，而电源内部的通路则称为内电路。

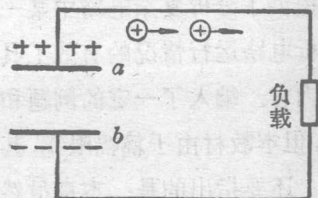
在分析和计算电路时，经常用到电流、电位、电压（电位差）、电动势等物理量。下面从电路的观点出发分别加以阐述。

一、电流

电荷的定向运动，形成电流。

金属内的自由电子、电解质或惰性气体中的正负离子，如果在电场的作用下，又有一个闭合回路，它们就要作定向运动。

如图 1-1 所示， a 和 b 是两个电极， a 带正电， b 带负电，因此在 a 、 b 之间产生电场，其方向从 a 到 b 。如果用导线将负载和 a 、 b 联接起来，则正电



荷将受到正极的排斥沿电场方向运动（从 a 经过负载到 b ）；负电荷则逆电场方向运动（从 b 经负载到 a ），这种定向运动即形成电流。我们可以通过测量仪表或电流的力效应、热效应等察觉到它的存在。

电流的大小以单位时间内通过导体任一横截面的电量多少来

衡量,在物理学中叫电流强度,工程上就简称电流。所以“电流”二字不仅表示一种物理现象,而且也是一个物理量,以字母 i 或 I 来表示。

一般地,电荷运动的速率是随时间而变化的,因此,电流也将随时间变化。设在 dt 时间内通过的电量为 dq , 则电流的表示式为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

如果电流不随时间变化,即在相同的时间间隔内,通过的电量相等,那末这种电流便称为恒定电流,或称直流,这是本章所要讨论的。在这种情况下,电流的表示式可以写成

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

式中 Q ——电量,单位为库仑(1库仑等于 6.25×10^{18} 个电子电量);

t ——时间,单位为秒;

I ——电流强度,单位为安培。

若在1秒钟内流过导体横截面的电量是1库仑,则导体内的电流就是1安培,通常用A表示安培。

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}}$$

在应用时,根据不同需要,大电流用千安(kA),小电流用毫安(mA)或微安(μ A)作单位。

$$1 \text{ 千安(kA)} = 1000 \text{ 安(A)}$$

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

$$1 \text{ 微安}(\mu\text{A}) = \frac{1}{1000000} \text{ 安(A)}$$

电流的方向,习惯上以正电荷运动的方向作为电流的方向(与电子运动的方向相反)。在分析和计算电路的过程中,如果电路比较复杂,某些电流的方向开始还不能确定时,常任意假定某一方向为电流的正方向,并用箭头表示在电路图上。计算的结果,如电流为正值,则表示假定的正方向就是电流的实际方向;如电流为负值,则电流的实际方向与假定的正方向相反。

在选用导线截面时,常常用到电流密度这一名词。所谓电流密度就是当电流在导体的横截面上均匀分布时,该电流与导体横截面积的比值,用字母 J 表示。即

$$J = \frac{I}{S} \quad (1-3)$$

电流密度的单位是“安/毫米²”(A/mm²)。

各种电工材料的允许电流密度,以及不同线径的漆包线或其它绝缘线的载流量,在电工手册中都可以查到。

二、电位

前面讲到,电场力推动电荷作定向运动即产生电流,电流则通过负载转换成各种形式的能量,如机械能、热能、光能等等。

与在重力场中处于不同位置的物体具有各自的重力位能相似,在电场中不同点的电荷同样具有各自的位能,称为电位能。请看图1-2(a),根据同性电荷相斥的原理,如果我们将正电荷 Q 由 A

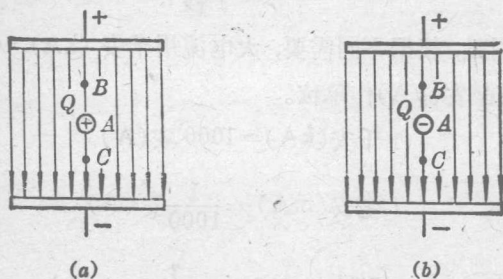


图 1-2 电场中的电荷

点移到 B 点, 一定要施加外力克服电场的排斥力, 这时外力做功, 电荷 Q 的位能增加; 如果正电荷 Q 由 A 点移到 C 点, 这时电场力做功, 电位能减小。

如果将负电荷 Q 放在电场中的 A 点 (图 1-2, b), 则情况恰好相反, 当由 A 点移到 B 点时, 电场力做功, 电位能减小; 而由 A 点移到 C 点时, 需要外力做功, 此时电位能增加。

于是我们得到电位的物理意义是: 单位正电荷在电场中某一点所具有的电位能称为该点的电位, 以字母 φ 表示。

$$\varphi = \frac{W}{Q} \quad (1-4)$$

式中 W —— 功 (电位能), 单位为焦耳;

φ —— 电位, 单位为伏特, 简称伏 (V)。

在重力场中, 物体处于某一位置所具位能的大小是相对于另一参考点来说的, 否则便无意义。讲电位的高低也要先指定一个参考点, 通常令参考点的电位为零, 将其它点与参考点做比较, 便可以定出其它各点电位的高低。在电力工程中, 常取地球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, 其机壳都是零电位。有些不接地的设备, 在分析问题, 常选择许多元件汇集的公共点作为零电位点, 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 3 伏, 一个 6 伏, 把他们顺向联接起来, 如将 c 点接地 (图 1-3, a), 则

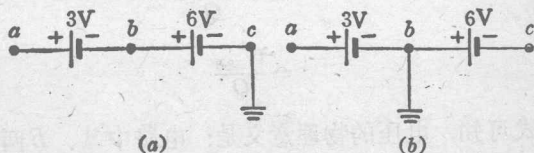


图 1-3 电路中各点的电位与参考点有关

$$\varphi_a = 9\text{V}$$

$$\varphi_b = 6\text{V}$$

$$\varphi_c = 0$$

若将 b 点接地(图 1-3, b), 则

$$\varphi_a = 3\text{V}$$

$$\varphi_b = 0$$

$$\varphi_c = -6\text{V}$$

说明参考点改变后, 各点电位也随之改变。

用电位的概念来分析问题, 在电子线路中经常用到, 下面将在本节第五个问题中详细讨论电位的计算方法。

三、电压(电位差)

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, 用 u 或 U 表示。如果对于电路中指定的某两点 A 和 B 来说, 则用 u_{AB} 或 U_{AB} 表示, 即

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B \quad (1-5)$$

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, 那末其它各点的电位就是这些点对零电位点的电压。根据电位的表达式, 由式(1-5)可得

$$\begin{aligned} U_{AB} &= \varphi_A - \varphi_B \\ &= \frac{W_A}{Q} - \frac{W_B}{Q} \\ &= \frac{W_A - W_B}{Q} \\ &= \frac{W_{AB}}{Q} \end{aligned} \quad (1-6)$$

由此式可知, 电压的物理意义是: 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。

电压的单位是伏特。我们规定：电场力把1库仑的电量从A点移到B点，如果所做的功为1焦耳，那么A、B两点间的电压就是1伏特。伏特简称伏，用V表示。

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

根据不同情况，高电压用千伏(kV)，低电压用毫伏(mV)或微伏(μV)作单位。

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

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

$$1 \text{ 微伏}(\mu\text{V}) = \frac{1}{1000000} \text{ 伏(V)}$$

电压的方向规定从高电位指向低电位，常用箭头表示。还必须指出，电路中任意两点间的电压与电位的参考点的选择无关。为了说明这一点，仍以图1-3为例。

当以c点为参考时

$$U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c = 9 - 0 = 9\text{V}$$

以b点为参考时

$$U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c = 3 - (-6) = 9\text{V}$$

结果是 U_{ac} 都等于9V，与参考点无关。由于a点电位 φ_a 高于c点电位 φ_c ，所以 U_{ac} 为正值。反之

$$U_{ca} = \varphi_c - \varphi_a = 0 - 9 = -9\text{V}$$

或
$$U_{ca} = \varphi_c - \varphi_a = -6 - 3 = -9\text{V}$$

因为c点电位 φ_c 低于a点电位 φ_a ，故 U_{ca} 为负值。

根据上述关系，我们得到

$$U_{ac} = -U_{ca} \quad (1-7)$$

式(1-7)虽然简单，但它包含了一定的物理意义，而且在分析

和计算电路时常常用到。

四、电动势

电压(电位差)是驱使电荷作定向运动而产生电流的一个物理量。如图 1-4 所示, 当电压 U_{ab} 与负载接通, 则正电荷在电场力的推动下, 从 a 不断经过负载向 b 移动, 便产生电流。与此同时而发生变化的是: a 点的电位逐渐降低, b 点的电位逐渐升高, 最后使 a 、 b 两点电

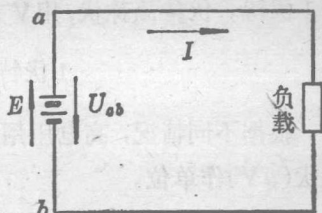


图 1-4 电压和电源电动势

位相等, 电流为零。如果要使电流继续存在并保持恒定, 则 a 、 b 两端必须始终保持一定的电压, 这个电压就依靠电源来维持。在电源内部由于局外力的作用(如电磁感应、化学反应), 使正电荷逆电场方向从 b 移到 a , 如果没有这种局外力来完成这个把正电荷从低电位推向高电位的任务, 在这个电路中要电流连续不断则是不可能的。局外力在电源内部把单位正电荷从低电位推向高电位所做的功叫做电源的电动势, 用字母 e 或 E 表示。

$$E = \frac{W}{Q} \quad (1-8)$$

电动势与电压有相同的单位, 都是伏特, 但电动势的概念与电压的概念是既有联系又有区别的。电压是指电路中两点电位之差, 表示电场推动电荷做功的能力; 电动势是指在电源内部借助外力所产生的推动电荷的能力。

如图 1-4 所示, 电流在电路中流动说明以下两个问题:

1. 在外电路中, 电流在电场力的作用下, 从高电位 a 通过负载流向低电位 b , 这就规定了电压的正方向是从高电位到低电位, 也就是电位降低(电压降)的方向。
2. 在内电路中, 电流在局外力的作用下, 克服了电场的阻力,

通过电源内部从低电位 b 流向高电位 a ，这就规定了电动势的正方向是从低电位到高电位，即电位升高的方向。

五、电位的计算

在分析电子线路时，经常用电位来讨论问题。因为对于由多个元件构成的电路，如果用电压来讨论常显得繁琐不便，改用电位讨论就比较清楚明确。例如一个电路中有 4 个不同的点，如用电压讨论就要涉及 6 个不同的电压，但如改用电位讨论，则在指定某一点作为零电位后，只要讨论 3 个点的电位就行了；如果电路中有 5 个不同的点，则有 10 个不同的电压，而在指定参考电位的情况下只要讨论 4 个点的电位。可见愈是复杂的电路，如用电位来讨论，分析起来就简便得多。

下面以图 1-5 所示的电路为例来说明电路各点电位的计算方法以及电位与各元件上电压的关系。

图中电动势 E_1 和 E_2 ，其内阻分别为 R_{01} 和 R_{02} ， R_1 和 R_2 为两个电阻元件。设电动势 E_1 大于 E_2 ，则在这种情况下，根据闭合回路的欧姆定律，求得电路中的电流为

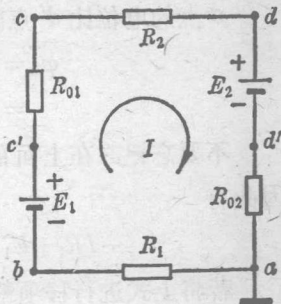


图 1-5 电路图

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_{01} + R_2 + R_{02}} \quad (1-9)$$

其方向与电动势 E_1 一致，如图所示。

为了决定电路中各点的电位，假定 a 点的电位 φ_a 为零作参考，则其余各点的电位分别为：

b 点的电位低于 a 点的电位（因为电流 I 从 a 流向 b ），其值为

$$\varphi_b = \varphi_a - IR_1 = -IR_1$$

由于电动势 E_1 的作用, 使 c' 点的电位相对于 b 点升高了一个值 E_1 , 故

$$\varphi_{c'} = \varphi_b + E_1 = -IR_1 + E_1$$

当电流通过内阻 R_{01} 时, 使 c 点的电位低于 c' 点, 其值为

$$\varphi_c = \varphi_{c'} - IR_{01} = -IR_1 + E_1 - IR_{01}$$

d 点的电位应该从 c 点的电位减去 IR_2 , 即

$$\varphi_d = \varphi_c - IR_2 = -IR_1 + E_1 - IR_{01} - IR_2$$

根据电动势 E_2 的方向, d' 点的电位相对于 d 点下降了一个值 E_2 , 故

$$\varphi_{d'} = \varphi_d - E_2 = -IR_1 + E_1 - IR_{01} - IR_2 - E_2$$

a 点的电位比 d' 点的电位低 IR_{02} , 故 a 点的电位为

$$\begin{aligned}\varphi_a &= \varphi_{d'} - IR_{02} \\ &= -IR_1 + E_1 - IR_{01} - IR_2 - E_2 - IR_{02}\end{aligned}$$

不要忘记, 在上面的推算中, 是假设以 $\varphi_a = 0$ 作参考的, 因此有

$$-IR_1 + E_1 - IR_{01} - IR_2 - E_2 - IR_{02} = 0$$

若将上式进行移项整理, 即可得到式(1-9)。

为了较直观地表达电路中各点的电位, 常常利用电位分布图(亦称位形图)。从电位分布图中可以定出任意两点间的电压。

现以横坐标表示电路中各电阻值, 纵坐标表示电路中各点的电位, 对于上述电路, 其电位分布如图 1-6 所示。

从电位分布图中, 很容易得到电路中各部分的电压。例如电源 E_1 的端电压 $U_{c,b} = \varphi_c - \varphi_b = E_1 - IR_{01}$, 其值比电动势 E_1 低一个内阻压降 IR_{01} ; 而电源 E_2 的端电压则相反, 其值比 E_2 大一个内阻压降 IR_{02} , 即 $U_{d,a} = \varphi_d - \varphi_a = E_2 + IR_{02}$ 。

不难看出, 在电位分布图中, 电路中任何无源部分(如 R_1 和 R_2 这两段电路)的电压与电阻的比值就是该部分的电流, 因此对