

990175
高等学校教材

电 工 学

(建工类专业用)

高礼魁 主编



高等教育出版社



高等学校教材

电 工 学

(建工类专业用)

高礼魁 主编

高等教育出版社

本书是根据高等学校建工类专业电工学课程改革情况,并参照《**高等工业学校电工技术(电工学I)课程教学基本要求**》编写的一本新型教材,切合建工类专业特点与实际需要。内容包括电路、变压器、异步电动机及其控制、建筑的电气照明、建筑工地供电及安全用电等。内容精练,紧密联系专业实际,是一本实用性较强的教材。本书内容可在50学时内教完。

本书经哈尔滨工业大学秦普煌教授审阅,可作为高等学校教材,也可供有关科技人员参考。

责任编辑:刘秉仁

高等学校教材

电 工 学

(建工类专业用)

高礼魁 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民邮电出版社印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 12.75 字数 300 000

19 89 年 00 月 第 版 19 80 年 10 月 第 1 次印刷

印数 0001—10 130

ISBN 7-04-002404-2/TM·135

定价 3.05元

目 录

第一章 电路的基本概念与基本定律	1
§ 1-1 电路的组成与物理量	1
一、电路的作用与组成	1
二、电路的物理量	3
§ 1-2 电路的基本状态	8
一、有载状态	8
二、开路状态	11
三、短路状态	11
§ 1-3 电阻元件、电感元件和电容元件	13
一、电阻元件	14
二、电感元件	15
三、电容元件	19
§ 1-4 克希荷夫定律	22
一、克希荷夫电流定律(KCL)	22
二、克希荷夫电压定律(KVL)	24
本章小结	28
习题一	31
第二章 电路的分析与计算方法	34
§ 2-1 支路电流法	34
§ 2-2 节点电压法	38
§ 2-3 线性电路的比例性与叠加性	41
§ 2-4 戴维南定理	45
§ 2-5 电容的充放电与电感中电流的增长和衰减	49
一、换路定理	49
二、电容的放电与充电过程	50
三、电感中电流的衰减和增长过程	53
本章小结	57
习题二	59

第三章 正弦交流电路	63
§ 3-1 正弦交流电的基本概念.....	63
一、正弦量的特征量.....	64
二、正弦量的有效值.....	65
三、同频率正弦量的相位差.....	67
§ 3-2 正弦量的相量表示法.....	72
一、复数与复平面上的向量.....	72
二、相量的概念与正弦量的相量表示法.....	75
§ 3-3 电阻、电感和电容的正弦交流电路.....	80
一、电阻的正弦交流电路.....	80
二、电感的正弦交流电路.....	82
三、电容的正弦交流电路.....	85
§ 3-4 RLC 串联交流电路.....	89
§ 3-5 无源二端网络的等效复数阻抗以及元件的串并联.....	95
一、无源二端网络的等效复数阻抗.....	96
二、元件的串联与并联.....	96
§ 3-6 串联谐振与并联谐振.....	100
一、串联谐振.....	101
二、并联谐振.....	105
§ 3-7 功率因数的提高.....	107
本章小结.....	110
习题三.....	113
第四章 三相电路	119
§ 4-1 三相电压的产生.....	119
一、三相电源的星形(Y形)联接.....	121
二、三相电源的三角形(Δ 形)联接.....	123
§ 4-2 三相负载的联接.....	124
一、三相负载的星形(Y形)联接.....	125
二、三相负载的三角形(Δ 形)联接.....	130
§ 4-3 三相负载的功率.....	134
本章小结.....	136

习题四	138
第五章 变压器	141
§ 5-1 变压器的用途及结构	141
一、变压器的用途	141
二、变压器的结构	142
§ 5-2 单相变压器的工作原理	146
一、空载运行与电压变换	146
二、有载运行与电流变换	150
§ 5-3 变压器的运行特性	154
一、变压器的外特性	154
二、变压器的损耗和效率	155
§ 5-4 三相变压器	157
一、三相变压器的联接方式	158
二、变压器的额定值	161
§ 5-5 特殊变压器	166
一、单相自耦变压器	166
二、电流互感器	167
三、电焊变压器	169
本章小结	171
习题五	172
第六章 异步电动机	175
§ 6-1 三相异步电动机的构造	175
一、定子	175
二、转子	178
§ 6-2 异步电动机的工作原理	179
一、旋转磁场的产生	179
二、异步电动机的转动原理	183
§ 6-3 异步电动机的电磁转矩与机械特性	184
一、异步电动机的电磁转矩	184
二、异步电动机的机械特性	188
§ 6-4 异步电动机的起动和调速	192
一、异步电动机的起动	192

二、异步电动机的调速	197
§ 6-5 异步电动机的铭牌和技术数据	199
一、异步电动机的铭牌	199
二、异步电动机的技术数据	202
§ 6-6 异步电动机的选择	203
一、类型的选择	204
二、转速的选择	204
三、额定功率(容量)的选择	204
本章小结	207
习题六	208
第七章 继电-接触器控制	210
§ 7-1 常用低压电器	210
一、手动低压电器	211
二、自动低压电器	214
§ 7-2 异步电动机的基本控制电路	224
一、点动控制	224
二、异步电动机的单向运转控制	226
三、异步电动机的正反转控制	227
四、异步电动机的顺序控制	229
五、行程控制	230
六、时间控制	231
本章小结	233
习题七	234
第八章 建筑电气照明	237
§ 8-1 照明工程中的几个光学概念	238
一、光和光谱	238
二、光通量	239
三、发光强度(光强)	240
四、照度	241
五、亮度	244
§ 8-2 照明质量	245
一、合适的照度	245

二、照度的均匀性.....	216
三、照度的稳定性.....	216
四、避免眩光.....	217
五、频闪效应的消除.....	219
六、光源的显色性及其评价指标.....	219
七、光源的色表及其评价指标.....	250
§ 8-3 照明种类的确定.....	251
一、正常照明.....	251
二、事故照明.....	253
三、值班照明.....	261
四、警卫照明.....	251
五、障碍照明.....	254
§ 8-4 电光源的种类和选择.....	255
一、电光源的分类和特性比较.....	255
二、常用照明电光源简介.....	255
三、电光源的选择.....	264
§ 8-5 灯具的特性和选择.....	265
一、灯具的特性.....	265
二、灯具的分类.....	271
三、灯具的选择.....	274
§ 8-6 灯具的布置.....	276
一、灯具的均匀布置.....	276
二、灯具的选择布置.....	280
§ 8-7 照度计算.....	281
一、利用系数法.....	281
二、逐点计算法.....	295
三、单位容量法.....	305
§ 8-8 照明供电线路.....	306
一、照明线路的布置.....	307
二、照明配电箱.....	310
三、照明线路的敷设.....	311
四、照明线路导线截面的选择.....	314

§ 8-9 照明设计简例	331
一、设计步骤	331
二、设计对象的外形图和平面图	334
三、本建筑对电气照明的要求	339
四、光照设计	339
五、线路设计	342
六、照明平面图	344
课外作业	344
本章小结	346
第九章 建筑工地供电及安全用电	348
§ 9-1 建筑工地供电	348
一、建筑工地用电设备	348
二、建筑工地供电系统	349
§ 9-2 触电事故	351
一、电流对人体的危害	351
二、触电方式	353
三、预防触电的主要措施	355
§ 9-3 电气设备的接地与接零	356
一、保护接地	356
二、保护接零	357
三、照明线路中的接地与接零	361
§ 9-4 建筑物的防雷	363
一、雷电的性质与危害	363
二、建筑物的防雷等级	366
三、防雷装置	367
本章小结	372
习题九	372
部分习题答案	374
附录	378

第一章 电路的基本概念与基本定律

电路分析与计算是学习电工学的基础。本章首先介绍电路的作用与组成,以及电路模型的概念,重温物理课电学中电流、电压、电动势等物理量,还将通过简单直流电路介绍电路的基本状态以及电源的伏安特性。本章重点介绍电压源、电阻、电感、电容等元件的伏安关系(或伏安特性)与电路的克希荷夫两定律。元件的伏安关系反映了元件中的电流与其端电压之间必须遵守的规律;克希荷夫两条定律则体现了电路中通过任一节点的各支路电流之间的相互关系与任一回路中各部分电压之间的相互关系。这两者是电路分析与计算的基本依据。

本章内容贯穿全书,读者应予以重视。

§ 1-1 电路的组成与物理量

一、电路的作用与组成

电流所通过的路径叫电路,它是由一些电路元件和设备所组成并能实现某种作用的总体。

在电力及一般用电系统中,电路起着传输、分配和转换电能的作用。在这里,发电厂的发电机组把水能、热能等转换成电能,并经过升压后用高压输电线送到用电地区,再经降压后分配给各用户,各种用电设备又把电能转换成光能、热能或机械能。

由于电流和电压往往可以代表某种信号,所以电路还可以传

递与处理信号,通过电路把输入信号变换或“加工”成为其它所需要的形式输出。例如用于大型、高层建筑的火灾自动报警装置,在发生火灾时各种传感器将感受到的光、烟、热等火情信号变成电信号,并经过一系列处理,最终可通过音响、灯光指示自动报警。

尽管实际电路种类繁多,其功能也不尽相同,但是总可以将它们归纳为三个基本组成部分:电源(或信号源)、负载、中间环节(包括联接导线、开关等)。

图 1-1(a) 所示为一个简单的照明电路,这个电路图是按照实际电路元件绘制的,其中干电池是电源,灯泡是负载,导线与开关是中间环节。

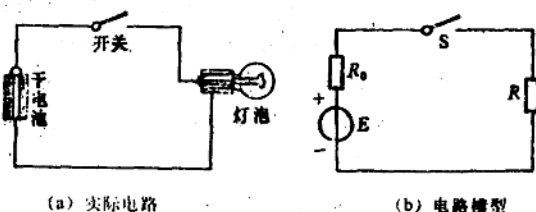


图 1-1 简单照明电路

在电工技术中,组成电路的实际元件种类繁多,诸如发电机、变压器、电动机、线圈、电容器等,它们的电磁性质比较复杂,难以用统一的简单数学式子描述,为研究电路的一般规律,我们将实际电路元件进行科学地抽象,即在一定条件下可将其近似看成理想电路元件(或理想电路元件的组合)。理想电路元件具有单一的电磁性质,因而可用简单的数学式子描述。与实际电路相对应,由理想电路元件所组成的电路就是电路模型。

对应图 1-1(a) 所示的简单照明电路,作出的电路模型如图 1-1(b) 所示。灯泡主要消耗电能,用理想电阻元件 R 表示;干电池用理想电压源 E (表征理想电压源性质的唯一参数是电动势 E) 和

内阻 R_0 的串联组合来表示; 连接导线的电阻一般可以忽略不计。

应该指出, 在电路的分析与计算中, 直接对象不是实际电路, 而是实际电路的理想化模型, 今后在电路的分析和计算时, 所说的电路, 一般都指这种理想化的电路。

以后还会遇到网络一词, 网络是电路的泛称, 二者可以通用, 但网络具有“复杂”的含义, 故在分析复杂电路或研究一般性普遍的规律时常用网络一词。

二、电路的物理量

1. 电流及其参考方向

荷电质点(电子或离子)的定向运动便形成了电流, 电流的方向被规定为正电荷的运动方向。为了从数量上衡量电流的大小, 引入电流强度这一物理量。电流强度在工程上简称电流。一般情况下, 电流是随时间变化的, 即是时间的函数, 用符号 $i(t)$ 表示。如果在极短时间 dt 内通过任意导体截面的电荷量是 dQ , 则通过该导体的电流 $i(t)$ 为

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

或者说, 电流是运动电荷对时间的变化率。

如果电流不随时间变化, 即任意瞬时电流的大小和方向都相同, 这种电流称为恒定电流, 简称直流。直流是 $i(t)$ 为恒值的特例, 用大写字母 I 表示。设在 t 秒内通过任意导体截面的电荷量是 Q , 此时式(1-1)可写成

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

式中, 电荷量 Q 的单位是库仑(C); 时间 t 的单位是秒(s); 电流 I 的单位是安培(A)。

安培(A), 简称安, 是国际单位制(SI) 中基本单位之一。对于

较小的电流可以用毫安(mA)或微安(μA)作单位,它们的关系是

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$$

在电路的分析和计算中,往往对某一段电路中电流实际方向很难立即判定出来,或者电流的实际方向随时间不断改变,故引入电流的参考方向的概念。

在图 1-2 的一段电路中,某一瞬时电流的实际方向是由 A 流向 B,图中用虚线箭头表示。我们可以任意选定某一方向作为电流的参考方向,图中用画在导线上的实线箭头表示。当然我们所选定的参考方向并不一定是电流的实际方向,若电流的实际方向与参考方向相同,则电流 i 为正值($i > 0$);反之,若电流的实际方向与参考方向相反,则 i 为负值($i < 0$)。这样,在指定电流的参考方向的前提下,电流被视为代数量,电流数值的正或负,则反映了该电流的实际方向。



图 1-2 电流参考方向与实际方向关系

图 1-2 中方框表示任意的电路元件。

2. 电压及其参考极性

当电荷在电路中运动时,电场力将对这些运动电荷做功,为了表征电场力的做功本领,引入电压这一物理量,它是电场力做功本领的量度。电路中任意两点 a、b 之间的电压 U_{ab} ,在数值上等于电场力将单位正电荷从 a 点移动到 b 点所作的功,电压 U_{ab} 可表示为

$$U_{ab} = \frac{A}{Q} \quad (1-3)$$

式中 A ——电场力将电荷 Q 从 a 点移动到 b 点所作的功, 其单位为焦耳(J);

Q ——电荷量, 单位是库仑(C);

U_{ab} —— a 、 b 两点间的电压, 单位为伏特(V)。

伏特(V)简称伏, 此外作为电压的辅助单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)等。

电压也称为电位差, U_{ab} 就是电路中 a 点电位与 b 点电位之差。电压的方向规定为从高电位指向低电位, 即两点间的电压是指这两点之间的电位降落。

在一般情况下, 电压是任意的时间函数, 用小写字母 $u(t)$ 表示两点间的瞬时电压。如果电压的大小与方向均与时间无关, 而为一常数, 则称为直流电压, 用大写字母 U 表示。

同理, 在电路的分析和计算中, 也要首先假定某一正负极性(即高电位点和低电位点)为电压的参考极性, 电压的参考极性用一对“+”、“-”号表示。

在图 1-3 中, a 、 b 两点电压的实际极性用一对虚线画的“+”、“-”号表示, 即 a 点为高电位点, b 点为低电位点, 当电压的实际极性与所选的参考极性一致时, 电压为正值($u > 0$); 反之, 电压为负值($u < 0$)。电压的参考性也可用双下标表示, 如 u_{ab} 则表示该电压的参考极性是 a 点为高电位点, b 点为低电位点。

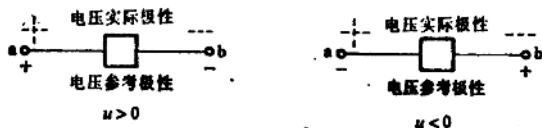


图 1-3 电压参考极性与实际极性关系

3. 电动势

为了表征电源内部局外力作功的本领, 引入电动势这一物理

量。所谓电源的电动势,是指电源内部的局外力推动单位正电荷从其负极(低电位端)移动到正极(高电位端)所作的功,电动势用字母 E 表示,即

$$E = \frac{A}{Q} \quad (1-4)$$

式中 A ——局外力移动正电荷所作的功,单位是焦耳(J);

Q ——被移动的正电荷量,单位为库仑(C)。

电动势的单位与电压相同。它的方向规定为低电位端(负极)指向高电位端(正极),即电位升高的方向,这一点与电压不同。

一般情况下,电动势也是任意的时间函数,可用小写字母 $e(t)$ 表示。如果电动势的大小与方向与时间无关而为一常数时,则此电动势称为直流电动势,用大写字母 E 表示。

为了便于分析,同样也可以给电动势规定一个参考极性,电动势的参考极性也用一对“+”、“-”号表示。在规定的参考极性下,电动势也是一个代数量。

最后指出,在电路的分析中,还会碰到电位的计算。在计算电位时,应事先在电路中任意假设一点为参考点,即零电位点。计算电路中某一点的电位,就是计算该点与参考点的电压。在电工技术上,常将电气设备的机壳与大地相连,即接地,接地点用符号“ $\perp$ ”表示,故常选大地为参考点;电子电路中,一般都有一公共接点与机壳或底板相连,用符号“ $\perp$ ”表示接机壳或底板,亦可选该公共接点为参考点。电位用 V 表示。

下面通过一简单直流电路说明电位的计算:

例 1-1 电路如图 1-4 所示,已知 $E_1 = 20\text{ V}$, $E_2 = 10\text{ V}$, $R_1 = 8\ \Omega$, $R_2 = 7\ \Omega$, 试分别以 b、d 为参考点,计算电路中诸点的电位。

解: 由欧姆定律

$$I = \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2} = \frac{20 + 10}{8 + 7} = 2\text{ A}$$

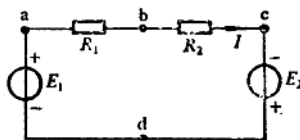


图 1-4 例 1-1 的电路图

如选 b 点为参考点, 即 $V_b = 0$, 其余各点电位为

$$V_a = U_{ab} = IR_1 = 2 \times 8 = 16 \text{ V}$$

$$V_c = U_{cb} = -IR_2 = -2 \times 7 = -14 \text{ V}$$

$$V_d = U_{db} = E_2 - IR_2 = 10 - 2 \times 7 = -4 \text{ V}$$

如选 d 点为参考点, 即 $V_d = 0$, 其余各点电位为

$$V_a = U_{ad} = E_1 = 20 \text{ V}$$

$$V_b = U_{bd} = -IR_1 + E_1 = -2 \times 8 + 20 = 4 \text{ V}$$

$$V_c = U_{cd} = -E_2 = -10 \text{ V}$$

上述结果清楚地表明, 电位的计算与参考点有关, 参考点不同, 各点的电位也不相同。在这个例子中, 当参考点由 b 点换成 d 点时, 电路中各点电位同时增加了 4 V。

【思考练习题】

1-1 在图 1-5 所示电路中, 能否选 b 点为高电位点、a 点为低电位点作为这两点电压的参考极性? 如果可以, $U = ?$

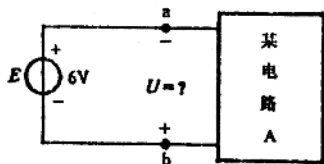


图 1-5 思考练习题 1-1 的电路图

1-2 图 1-6 所示两电路中, 试问开关 S 断开和闭合时, a、b、c 诸点电位

是否改变?

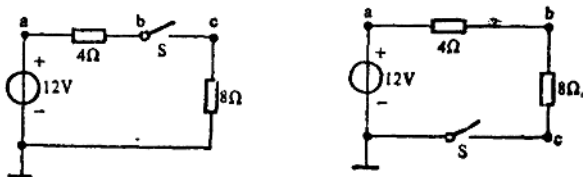
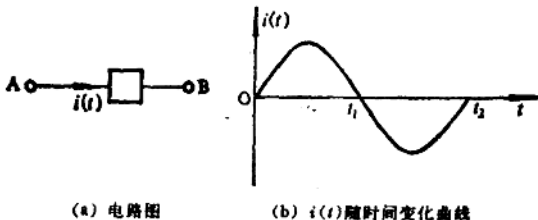


图 1-6 思考练习题 1-2 的电路图

1-3 某一电流 $i(t)$ 的参考方向如图 1-7(a) 所示, $i(t)$ 随时间变化的曲线如图 1-7(b) 所示。试指出 $0 \sim t_1$ 时段与 $t_1 \sim t_2$ 时段电流的实际方向。



(a) 电路图

(b) $i(t)$ 随时间变化曲线

图 1-7 思考练习题 1-3 的图

§ 1-2 电路的基本状态

实际工程中, 电路可能处于有载、空载、短路等三种不同的基本状态。了解电路的各种不同状态的特点对于正确、安全用电是很重要的。下面以简单直流电路为例讨论这一问题。本节还要介绍电源的伏安特性以及电气设备的额定值等重要概念。

一、有载状态

图 1-8 表示一简单直流电路, 其中具有电动势 E 的理想电压源内阻 R_0 串联起来表示电源, R_L 表示负载电阻。