

高等学校试用教材

# 电 工 学

(冶金地质矿业类专业用)

上 册

中国矿业学院编

丁钟旦 主编

人 民 教 育 出 版 社

高等学校试用教材

# 电 工 学

(冶金地质矿业类专业用)

上 册

中国矿业学院编  
丁 钟 旦 主 编

人 民 教 育 出 版 社

## 内 容 提 要

本书是1977年10月高等学校工科基础课教材座谈会确定编写的,可作为冶金、地质、矿业类专业120学时电工学课程的试用教材。

本书分二册出版。上册包括直流电路、交流电路、非正弦周期电流电路、过渡过程、磁路变压器、电动机、电动机的使用、发电机、控制用电机和继电器接触控制。每章均附有小结、习题和习题答案。

本书也可供电工技术人员参考。

高等学校试用教材

## 电 工 学

(冶金地质矿业类专业用)

上 册

中国矿业学院编

丁钟旦 主编

\*

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 787×1092 1/32 印张 11.5 字数 279,000

1979年1月第1版 1979年7月第1次印刷

印数 1—50,000

书号 15012·0138 定价 0.95 元

# 前 言

本书是1977年10月教育部召开的高等学校工科基础课教材座谈会上确定编写的冶金、地质、矿业类专业电工学课程的试用教材，内容包括电路、电机、电子技术三部分。为了适应我国社会主义现代化要求和满足自动控制、电子技术方面飞速发展的需要，电路部分增加了网络理论、非正弦和过渡过程等内容。电机部分作了一定的简化，较多地增加了电子技术的内容，其中适当反映了场效应管、集成电路、数字技术和程序控制等新技术。

为了加强基础理论，在电路和电子技术部分加强了有关内容。为了便于教学和培养分析问题的能力，教材中尽可能编写了较多数量的例题和实例，每章都编有小结和习题，并附有习题答案。为了扩大知识面，作为学习后续课程及实际工作的参考，编写内容略为广泛，这部分冠以“\*”号，可不列为教学计划内容。由于冶金、地质、矿业类专业要求差别较大，重点也各不一致，教学时宜根据不同专业的教学实际，恰当取舍内容，不能强求一律。

本书编写工作，上册由中国矿业学院电工教研室负责，第一、三、四章由丁钟旦、第二章由王纪春、第五、六、七、八、九章由刘惠鹏、第十章由戴鸿仪四同志分别编写。下册由东北工学院电工学教研室负责，第十一、十五章由邹笃镭、第十二章由孙骆生、第十三、十六、十七章由吴铁坚、第十四章由裴新才四位同志分别编写。丁钟旦、孙骆生二同志分别为上、下册主编。全书由中南矿冶学院电工学教研室负责主审，由王翰森、曾式梅、刘学勤、赵阜南、杨欣荣和黄芳草同志参加审稿。根据审稿会议要求和主审单位安排，最后由刘学勤、杨欣荣二同志复审。

参加本书审稿会的有中南矿冶学院、北京钢铁学院、广东矿冶学院、阜新矿业学院，山西矿业学院、武汉地质学院、成都地质学院、湖南大学、湘潭大学、湖北建筑工业学院等有关单位。他们对本书的编写工作提出了许多宝贵的修改意见，我们在此表示衷心感谢。

由于我们思想水平不高，业务理论知识有限，书中缺点错误一定不少，希望读者给予批评指正，以便修改提高。

编者

一九七八年十月

# 目 录

<b>第一章 直流电路</b> .....	1
第一节 电路的基本定律 .....	1
一、电路的组成和基本物理量 .....	1
二、电路的基本定律 .....	3
第二节 电路中的电位分析计算 .....	11
第三节 复杂电路的计算 .....	14
一、支路电流法 .....	14
二、应用迭加原理解复杂电路 .....	16
三、回路电流法 .....	17
四、节点法 .....	18
五、等效电源定理 .....	21
*六、星形和三角形连结的等效变换(三端网络) .....	28
七、四端网络 .....	30
第四节 最大功率传输问题 .....	32
第五节 电气设备的额定值 .....	34
第六节 电桥电路 .....	37
*第七节 直流电位差计原理 .....	39
小 结 .....	40
习 题 .....	43
<b>第二章 正弦交流电路</b> .....	50
(一) 正弦交流电的特征和表示方法 .....	50
第一节 什么是交流电 .....	50
第二节 正弦交流电的产生 .....	52
第三节 交流电的周期和频率 .....	54
第四节 初相位及相位差 .....	55
第五节 交流电的有效值 .....	57
第六节 正弦量的矢量表示法和复数表示法 .....	60
小 结 .....	64
(二) 单相交流电路 .....	65

第七节 纯电阻电路	65
第八节 纯电感电路	68
第九节 纯电容电路	73
第十节 串联交流电路	78
第十一节 并联交流电路	90
第十二节 功率因数的提高	96
小 结	98
<b>(三) 三相交流电路</b>	99
第十三节 三相交流电动势的产生	100
第十四节 三相电路中电源的联接	101
第十五节 三相电路中负载的联接	104
第十六节 三相电路的功率	110
小 结	112
习 题	113
<b>第三章 非正弦周期电流电路</b>	119
第一节 非正弦周期量的存在和分解简介	119
第二节 非正弦周期量的有效值和平均值	127
*第三节 非正弦周期电流电路的计算	132
*第四节 非正弦波的一些其他知识	136
小 结	140
习 题	141
<b>第四章 过渡过程</b>	144
第一节 过渡过程的产生和换路定律	144
第二节 电阻电容串联电路中的过渡过程	147
*第三节 电阻电感串联电路中的过渡过程	155
第四节 电容器通过电阻电感振荡放电	160
*第五节 用极点和零点分析过渡过程	165
小 结	176
习 题	177
<b>第五章 磁路和变压器</b>	180
第一节 铁磁性材料及其磁性	180

第二节	磁路的基本定律及磁路计算	188
第三节	变压器	193
* 第四节	控制系统中几种常用的电磁元件	209
小 结		218
习题和思考题		221
<b>第六章</b>	<b>电动机</b>	224
第一节	概述	224
第二节	直流电动机	225
第三节	异步电动机	239
* 第四节	同步电动机	260
小 结		265
习题和思考题		266
<b>第七章</b>	<b>电动机的使用</b>	269
第一节	正确认识和使用铭牌	269
第二节	电动机的起动	274
第三节	电动机的调速	278
第四节	电动机的制动	282
第五节	典型传动系统的运行	285
* 第六节	电动机的检查和监视	288
* 第七节	电动机的选择	289
小 结		293
习题和思考题		294
* <b>第八章</b>	<b>发电机</b>	295
第一节	概述	295
第二节	直流发电机	296
第三节	交流同步发电机	300
小 结		306
习题和思考题		307
* <b>第九章</b>	<b>控制用电机</b>	308
第一节	交磁电机放大机	309
第二节	单相异步电动机	312



第三节	伺服电动机	316
第四节	测速发电机	319
第五节	自整角机	321
第六节	步进电动机	323
第七节	电磁调速异步电动机	324
小 结		327
习题和思考题		327
<b>* 第十章</b>	<b>继电接触控制</b>	<b>329</b>
第一节	几种常用的控制电器	329
第二节	鼠笼式异步电动机的控制	336
第三节	绕线式异步电动机的控制	345
第四节	电气控制电路中的常用环节	348
第五节	小型发电站的控制线路	355
小 结		358
习题和思考题		258

# 第一章 直流电路

## 第一节 电路的基本定律

### 一、电路的组成和基本物理量

电路是指电工设备组成的、电流藉以通过的集合体。它起的作用是将其它形式的能量转换为电能，将电能(有时是电讯号)进行传输和分配，以及将电能转换为其他形式的能量。

电路一般由三个基本部分组成：

1. 电源 它是将其他形式能量转换成电能的设备。如发电机、蓄电池、光电池等，也包括象声电变换的话筒、热电变换的热电偶等等弱电设备。

2. 负载 它是将电能转化为其他形式的能量的设备，是取用电能的，也称受电器。如电动机、电灯和电炉就分别是电能转换为机械能、电能转换为光能以及电能转换为热能的受电器，负载还包括电声转换的扬声器(喇叭)等等弱电设备。

3. 连接部分 包括导线、开关、熔断器等，是把电能由电源传送到负载的媒介，其中开关和熔断器则起控制、分配电能和保护电路的作用。

电源、负载和导线等都是构成电路的元件，但在研究电路时，并不去注意这些元件的结构和形状，而是加以科学抽象，将它们用电路符号来代表，并构成电路图来进行研究，例如，通过导线将灯泡与电源接通的电路，就可

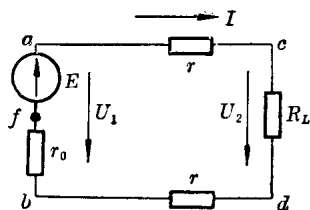


图 1-1 用电路符号代表电路元件的电路图

用电路符号表示于图 1-1。其中  $R_L$  代表灯泡,  $E$  代表电源电动势,  $r_0$  代表电源内阻,  $r$  代表导线电阻。图中一般还有开关(刀闸)和熔断器,但在着重研究电路的电压电流关系时,开关和熔断器常常不画。

图 1-1 所示电流流通的物理过程为:由于电源电动势的存在,使电源  $ab$  两端电位不等,存在电位差。当电路接通时,在电位差作用下,将有电流从高电位的  $a$  端经过负载流向低电位的  $b$  端,又在电动势的作用下,从  $b$  端经过电源内部流向  $a$  端。电流的大小与电动势的大小有关,也与负载电阻  $R_L$ 、导线电阻  $r$  和电源内阻  $r_0$  的大小有关。

以上表明,电路中的物理过程需用电动势、电压、电流来描述。关于电动势、电压、电流的严格定义已于物理中介绍,这里不再重复。但为了正确使用这些物理量,现将它们的方向和注意事项,分述于下:

1. 电流  $I$  它代表正电荷的定向流动(或电子的相反方向流动),它的方向在负载内是从高电位到低电位,负载这时吸收功率;在电源内则从低电位到高电位,电源这时是发出电功率。电流的单位是安。

2. 电动势  $E$  电动势  $E$  的方向是从低电位指向高电位,表示的是电位升,并用箭头表示在电路图上,见图 1-1 中的  $E$ 。它的方向是力图驱使正电荷流动的方向,在电源发出电功率时,它的方向和它所产生的电流方向一致。如果流经电源的电流和电动势方向相反,例如蓄电池的充电状态,电源则吸收电功率,属于负载状态。

3. 电压  $U$  它的方向规定为从高电位到低电位,也用箭头表示在电路图上,但这表示的是电位降,也称电压降,见图 1-1 中的  $U_1$  和  $U_2$ ,前者称电源端电压,后者称负载端电压。

电动势和电压的单位都是伏。

当用下标表示电动势和电压的方向时，应注意它们和所标两点的电位之间的关系：

$E_{ab}$  表示从  $a$  点到  $b$  点的电位升， $E_{ab} = \varphi_b - \varphi_a$

$E_{ba}$  表示从  $b$  点到  $a$  点的电位升， $E_{ba} = \varphi_a - \varphi_b$

$U_{ab}$  表示从  $a$  点到  $b$  点的电位降， $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$

$U_{ba}$  表示从  $b$  点到  $a$  点的电位降， $U_{ba} = \varphi_b - \varphi_a$

因此，

$$E_{ab} = -E_{ba} = -U_{ab} = U_{ba} \quad (1-1)$$

在分析计算电路时，将常常用到这种关系，

有时也可以不用下标。例如

$$E = U$$

就是用电动势或电位升以及电压降表示的同一个电位差，见图 1-2。

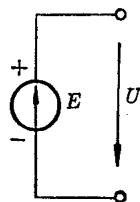


图 1-2 以电位升和电压降表示的同一个电位差

此外，还有电阻，单位为欧。它表示电阻元件对电流的阻碍作用。对于材料均匀截面也均匀的导线来说

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{l}{\gamma S}$$

式中  $l$  为导线长度， $S$  为截面积。 $\rho$  是材料的电阻系数， $\gamma$  是材料的电导系数，电阻系数与电导系数互为倒数。电阻的符号见图 1-1 中的  $R_L$ 、 $r$ 、 $r_0$  等。

## 二、电路的基本定律

电路的基本定律有欧姆定律和克希荷夫定律，前者阐明电阻上电压和电流的相互关系，后者阐明完整的电路，尤其是复杂电路中的电压和电流的相互关系，此外迭加原理也是一个极为普遍的重要原理，广泛用于直流、交流正弦、非正弦电路和过渡过程中，用来简化电路的分析计算。在分析、推导和引出一些电路理论时，

也常常要使用它,现分别介绍于下:

1. 欧姆定律 设图 1-3 中  $a, b$  两端间,接有电阻  $R, R$  上的电压  $U$  和电流  $I$  的方向如图 1-3 所示, 欧姆定律阐明了它们间的关系, 数学表示式是

$$U = IR \quad (1-2)$$

应该注意, 上式中电压正方向和电流正方向是一致的, 见图 1-3a。

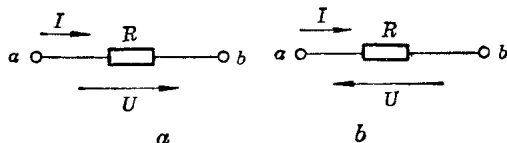


图 1-3 欧姆定律的应用

如果电压正方向和电流正方向相反, 见图 1-3b, 欧姆定律的表示式就应改为

$$U = -IR$$

欧姆定律用于闭合电路时, 作为一般形式, 公式应表示为

$$I = \frac{\sum E}{\sum R} \quad (1-3)$$

其中,  $\sum E$  表示闭合电路中含有多个电动势时, 它们的代数和。其中  $E$  的正方向与  $I$  的正方向一致时为正, 不一致时为负。

将公式(1-3)应用于图 1-1 的电路时, 得

$$I = \frac{E}{R + 2r + r_0}$$

电源端电压  $U_1$  可表示为

$$U_1 = I(R_L + 2r)$$

如表示为与电源电动势的关系, 则为

$$U_1 = E - Ir_0 \quad (1-4)$$

由上式看出, 电流愈大, 端电压愈下降, 可见, 电源端电压将随负载电流的增大而降低。电灯并联过多时亮度变暗, 就是这个端电压

下降过多引起的。电源端电压随负载电流而变化的特性称电源的外特性, (1-4)就是电源的外特性公式。

如果导线电阻和电源内阻小得可以忽略不计, 见图 1-4, 这时, 公式就表示为

$$I = \frac{E}{R} = \frac{U}{R}$$

其中  $E = U$ 。

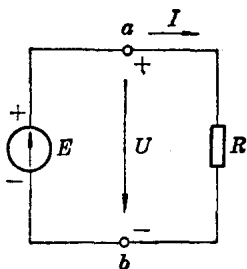


图 1-4  $r$  和  $r_0$  忽略时的闭合电路

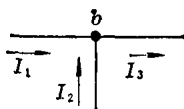


图 1-5 克希荷夫电流定律

2. 克希荷夫定律 克希荷夫定律包括有克希荷夫电流定律(以前称克希荷夫第一定律)和克希荷夫电压定律(以前称克希荷夫第二定律), 分别介绍于下:

(1)克希荷夫电流定律, 它阐明联结于同一节点的各支路电流间的关系。即对于同一节点, 各支路电流的代数和等于零。

$$\sum I = 0 \quad (1-5)$$

这里所谓支路就是没有分支的一段电路, 所谓节点就是指的三条以上支路的汇合点, 见图 1-5, 图中各支路电流的关系, 即可按(1-5)式列成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

这是因为根据电流连续性原理, 即电路中任何一点(包括节点在内)都不可能发生电荷的堆积, 因此, 同一时间内流入该节点的总电荷恒等于流出该节点的总电荷, 或说成是对同一节点来说, 电流

代数和恒为零。并规定取流入节点的电流为正，流出节点的电流为负。

(2)克希荷夫电压定律,它阐明电路的任一回路中各部分电压间的关系。即按回路方向(见图 1-6 中虚线箭头所示)绕行一周,电压降的代数和为零。

$$\sum U = 0 \quad (1-6)$$

这是因为,根据电位单值性原理,即电路中任一点的电位只能有一个值,按回路方向在回路中绕行一周,通过回路中各段的电位升高和降低,回到原来开始点时,得到的电位值应和原来的电位一致。

也就是说,在这一闭合回路中,绕行一周时,电位升的总和应与电位降的总和相等。或都按电压降来考虑,则可说成是电压降的代数和为零。这里应规定电压降与回路方向一致的为正,相反的为负。以图 1-6 为例,由  $a$  点出发,按回路方向  $abcd a$  绕行一周,应得

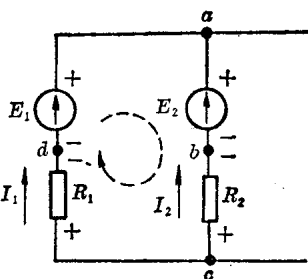


图 1-6 克希荷夫电压定律

$$\begin{aligned} \sum U &= U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} + U_{da} \\ &= (E_2) + (-I_2 R_2) + (I_1 R_1) + (-E_1) \\ &= 0 \end{aligned}$$

即 
$$E_2 - E_1 + I_1 R_1 - I_2 R_2 = 0 \quad (1-7)$$

克希荷夫电压定律除都按电压降来说明外,有时也按回路中电动势和电阻电压降来说明,即在闭合回路中,电势的代数和等于各段电阻上电压降的代数和,

$$\sum E = \sum IR \quad (1-8)$$

其中,电势方向与回路方向一致的为正,相反的为负;电流通过电阻造成的电压降方向(由高电位指向低电位)与回路方向一致的

为正,相反的为负。仍以图 1-6 为例,可得

$$\Sigma E = -E_2 + E_1 = \Sigma IR = -I_2 R_2 + I_1 R_1$$

整理后得

$$E_2 - E_1 + I_1 R_1 - I_2 R_2 = 0 \quad (1-9)$$

结果与(1-7)式所示一致,可见这两说法是一致的。但使用时,以  $\Sigma U = 0$  较为直接、单一和方便。

**例 1-1** 图 1-7 是一晶体管电路,如果已知两个支路的电流分别是:发射极电流  $I_e = 4.68$  毫安,集电极电流  $I_c = 4.62$  毫安,三个电流的方向如图所示,问基极电流  $I_b$  应是多少?

**解** 这里晶体管可以认为是扩大的节点,流入它的电流应该等于流出它的电流,根据图中标定的方向,应有

$$I_c + I_b - I_e = 0$$

因此

$$I_b = I_e - I_c = 4.68 - 4.62 = 0.06 \text{ mA}$$

基极电流  $I_b$  是 0.06 毫安。

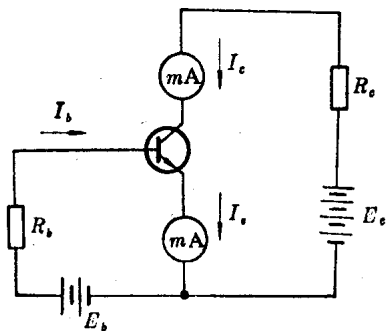


图 1-7 例 1-1 的图

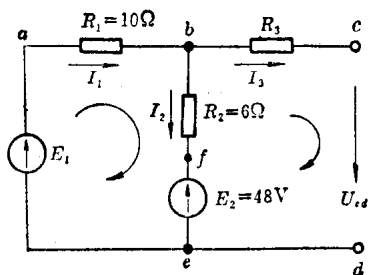


图 1-8 例 1-2 的图

**例 1-2** 图 1-8 所示为某复杂电路的一部分,已知  $I_2 = 2$  安,  $I_3 = 2$  安,  $U_{cd} = 24$  伏,  $E_2 = 48$  伏,求  $E_1$ ,  $I_1$  及  $R_3$ 。

**解** 根据克希荷夫电流定律,在节点  $b$  得下列方程,并从而求得  $I_1$  为

$$I_1 = I_2 + I_3 = 2 + 2 = 4 \text{ A}$$

图中  $bcdefb$  回路,由于  $cd$  电位差已知,所以可用克希荷夫电压定律列出回路中各部分电压的关系,并从而求得  $R_3$ 。如采用  $\Sigma E = \Sigma IR$  形式,则得

$$E_2 = -I_2 R_2 + I_3 R_3 + U_{cd}$$



$$48 = 2 \times 6 + 2 \times R_3 + 24$$

$$R_3 = \frac{48 - 24 + 12}{2} = \frac{36}{2} = 18\Omega$$

如采用  $\Sigma U = 0$ , 则得

$$-E_2 - I_2 R_2 + I_3 R_3 + U_{cd} = 0$$

$$-48 - 2 \times 6 + 2 \times R_3 + 24 = 0$$

$$R_3 = \frac{48 + 12 - 24}{2} = \frac{36}{2} = 18\Omega$$

可见运用这两种形式结果是一致的, 这就使我们可以更放心地使用后一形式。

图中  $abfea$  回路, 用克希荷夫电压定律列出回路中各部分电压的关系, 并从而求得  $E_1$ 。

现采用  $\Sigma U = 0$  形式, 则得

$$-E_1 + I_1 R_1 + I_2 R_2 + E_2 = 0$$

$$E_1 = I_1 R_1 + I_2 R_2 + E_2 = 4 \times 10 + 2 \times 6 + 48 = 100\text{V}$$

**例 1-3** 图 1-9 中所示是某一电路的局部, 已知  $I = 1$  毫安,  $R_1 = 3$  千欧,  $U_{ad} = 8$  伏,  $E_1 = 4$  伏, 试求  $R_2$ 。

**解** 图中表示的虽非完整电路, 但可认为  $abcd$  是假想回路, 回路中各段电压, 仍然遵循克希荷夫电压定律, 按照虚线所示回路方向, 采用  $\Sigma U = 0$  形式列出电压方程式, 得

$$IR_1 + E_1 + IR_2 - U_{ad} = 0$$

$$0.001 \times 3 \times 10^3 + 4 + 0.001 \times R_2 - 8 = 0$$

$$R_2 = \frac{8 - 0.001 \times 3 \times 10^3 - 4}{0.001} = 1 \times 10^3 \Omega$$

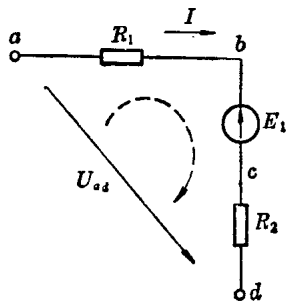


图 1-9 例 1-3 的图

结果得  $R_2$  为 1 千欧。

实际上  $U_{ac}$  和  $U_{ab}$ ,  $U_{bc}$  之间的关系, 可写成下式

$$U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} - U_{ad} = 0$$

即

$$U_{ad} = U_{ab} + U_{bc} + U_{cd}$$

这就是总电压等于分电压之和的关系。所以克希荷夫电压定律是总电压与分电压之间关系的根据。