

电 工 学

北 京 工 业 学 院

1 9 7 3 , 6

說 明

本书为适应当前对工农兵学员讲授普通电工学的需要而编印的，是一本通用性教材。内容共分十一章，大致可分为三个部分：第一章至第四章为电路基础知识和电工测量；第五章至第八章为变压器、电机和控制电器；第九章至第十一章为工业电子学。遵照毛主席的教导“教材要彻底改革”，贯彻“少而精”的原则，考虑学员们自学的方便，尽量做到深入浅出，文字通顺明白。

这本教材是第一次付印使用，在教与学的实践过程中，一定会发现不少缺点和错误，欢迎同志们批评指正。

北京工业学院电工教研室

1973.5

07255

TM₁

19

03

目 录

第一章 直流电路

1-1	电路的概念	1
1-2	电路中的基本物理量	3
1-3	电路的基本定律	5
1-4	电阻的串联和并联	10
1-5	用电常识	13

第二章 交流电路

2-1	概述	22
2-2	正弦交变电动势的产生	22
2-3	正弦交流电的表示方法	23
2-4	正弦交流电的有效值	29
2-5	交流电路的特点	31
2-6	纯电阻电路	32
2-7	纯电感电路	34
2-8	纯电容电路	37
2-9	R、L、C 串联电路	39
2-10	并联的交流电路	44
2-11	功率因数的提高	45
2-12	三相交流电源	46
2-13	三相四线制交流电源的使用	47

第三章 磁路与电磁铁

3-1	磁路的概念	55
3-2	磁场性质	55
3-3	铁磁物质的性质	57
3-4	磁路的基本定律	59
3-5	铁芯损失	61
3-6	电磁铁	62

第四章 电工测量

4-1	概述	65
4-2	磁电式仪表	65

4-3	电磁式仪表	67
4-4	电动式仪表	68
4-5	直流电量的测量	69
4-6	交流电量的测量	73
4-7	多用电表(俗称万用表)	74
4-8	仪表选用常识	76

第五章 直流电机

5-1	概述	80
5-2	发电机的基本工作原理与结构	80
5-3	他激发电机	83
5-4	并激发电机	85
5-5	直流电动机的工作原理	86
5-6	直流电动机的运行性能	88
5-7	他激电动机	91
5-8	串激电动机与复激电动机	92
5-9	直流行机的使用常识	94

第六章 变压器

6-1	概述	96
6-2	变压器的变压原理	96
6-3	变压器的负载运行	99
6-4	变压器路牌上的主要数据	101
6-5	普通变压器的类型	101
6-6	自耦变压器	102
附	三相变压器	103

第七章 异步电动机

7-1	概述	105
7-2	异步电动机的工作原理	105
7-3	异步电动机的旋转磁场	108
7-4	异步电动机的转矩	112
7-5	异步电动机的启动	117
7-6	异步电动机的使用	120

第八章 继电接触控制线路

8-1	概述	129
8-2	异步机直接启动控制线路	129

8-3	异步电动机 Y- Δ 启动控制线路	133
8-4	异步电动机的保护电路	135
8-5	阅读继电接触控制线路的方法和步骤	136

第九章 整流器

9-1	半导体二极管	139
9-2	半导体二极管的结构和特性	143
9-3	半导体二极管的特性, 主要参数及检验方法	144
9-4	真空二极管及硒整流片	146
9-5	整流线路	147
9-6	滤波器	153
9-7	硅稳压管及稳压电路	158

第十章 晶体管放大器

10-1	概 述	161
10-2	晶体三极管的基本结构	161
10-3	晶体三极管的电流放大作用	163
10-4	晶体三极管的输入特性与输出特性	168
10-5	晶体管放大器的工作原理	170
10-6	晶体管放大器的偏置电路和工作点的稳定	177
10-7	多级放大器	180
10-8	功率放大器	182
10-9	直流放大器	187
附 录	晶体管的应用知识	191

第十一章 电子管放大器

11-1	真空三极管的构造和作用原理	197
11-2	真空三极管的特性	199
11-3	真空三极管放大器	200
11-4	真空五极管及束射四极管	205
11-5	电子示波器	207
11-6	音频振荡器	212

第一章 直流电路

“认识从实践始，经过实践得到了理论的认识，还须再回到实践去。”

劳动人民在长期生产斗争和科学实验中，发现了电的现象，继而逐步认识了电的一些本质，了解到一些电的运动规律。直流电路这一章主要内容就是阐述电路中的一些基本规律。其目的是为了掌握分析电路的基本理论和方法。学习的方法是理论联系实际，重视实践环节如实验等。只有通过亲身的实践，才能更深刻地掌握电的基本理论，并锻炼自己运用理论解决实际问题能的能力。

1—1 电路的概念

学习直流电路之前，首先应搞清楚什么是电路和直流电路，然后再来讨论直流电路的基本规律。

一、电路的作用

什么是电路呢？所谓电路系指电流所通过的路径的总称。人们在生产斗争和科学实验以及日常生活中常会遇到一些用电的问题，如照明时用导线（俗称电线）将灯泡和电池（或发电机）连接起来。通常在电池和灯泡之间连接一个开关，利用它接通或断开电路。（这些设备的总体称为电路）。当开关接通电路时，就有电流通过电路的各部分，灯泡也随之发光。又如用导线将电动机和电池（或发电机）连接起来，构成了另一种电路。当电路被接通后，电动机就转动起来。从上述可知，灯泡之所以能够发光，电动机之所以能转动，都是通过电路将电池（或发电机）中的电能转变而成的。根据不同的工作需要，采取不同结构的电路，就可将电能转换成各种其他形态的能量。总之电路是起电能的转换和分配作用的。应用电能时无不通过一定的电路而实现的。

二、电路的组成

根据用电的要求不同，电路的结构是多种多样的。有的很简单，有的却非常复杂，但不论其复杂与否，它们都是由一些最基本的部分所组成，在分别介绍如下：

1. 负载：在上述电路中，灯泡和电动机都是把电能转变成其他能量的设备。在电工学中通常将电能转变成其他能量的设备统称为负载。

2. 电源：在上述电路中的电池和发电机都是电能的来源。电池是将化学能转变成电能。发电机是将机械能转变成电能。通常将其他形态能量转变成电能的设备统称为电源。

3. 导线：导线是连接电源和负载的电路部分，使电路构成一个闭合的路径。通常总是

采用电阻率很小的材料制成导线。

4. 开关：根据工作的需要，有时要用电，有时则不需要用电。为了便于控制用电与否，通常在电路中连接一个开关，用来操纵电路的接通与断开。需要时可接通电路使设备工作，否则可断开电路停止用电。如室内的电灯，通常每盏灯都装有一个开关，可根据需要随意的开灯或关灯。

上面所谈到的负载、电源、导线以及开关等都是电路的最基本的组成部分。

三、电路图

在讨论电路的问题时，最关键的是要知道各种电气设备在电路中的连接关系，而对各种电气设备的实际结构是无关重要的。而且各种设备的实际结构往往是十分复杂，因此在讨论电路问题时常将各种设备抽象出来，用一个简单的图形着重表明它们在电路中的连接关系，这种图形称为电路符号或电路图。图 1-1 是几种设备的电路符号。

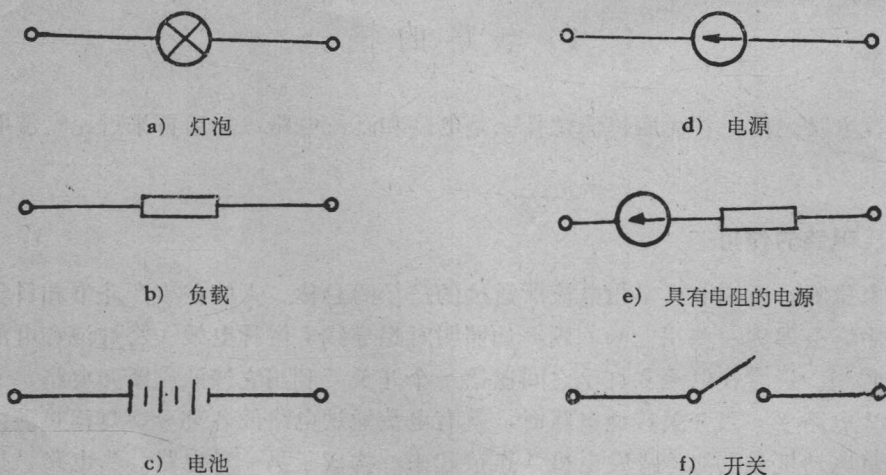


图 1-1 电路的部分符号

对于前已讨论过的电路可用图 1-2 的电路图来表示。

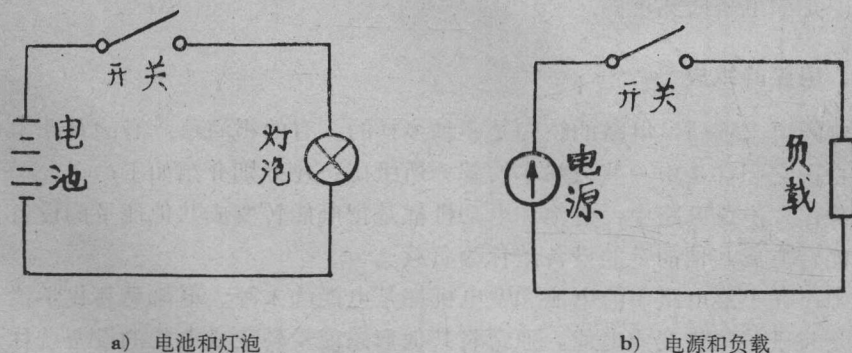


图 1-2 电路图

知道了什么是电路，再来说明什么叫直流电路，所谓直流电路系指电路中的电流其方向和大小都不随时间而改变的。凡是具有这样电流的电路都称为直流电路。

1—2 电路中的基本物理量

电路在将电能分配和转变成其他能量时，是通过电路中的一些物理量，如电流、电压、电势等来计量的。这些物理量虽已在物理学中有所讨论，但它们是研究电路问题的基础，有必要进行适当的复习。

一、电 流

从物理学中已知，电荷的有规则的移动，就形成电流。电流的大小，以电流强度来衡量，电流强度系指单位时间内通过已知面积的电量。如果在时间 Δt 内通过某面积的电量为 ΔQ ，则电流强度 (I) 等于：

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

电流强度通常简称为电流，其单位为安 (A)。即在一秒时间内通过某截面的电量为一库时，则通过该面积的电流为 1 安。

计量微小电流时，以安为单位就嫌过大，而用千分之一 (10^{-3}) 安为单位，称为毫安 (mA)。或以百万分之一 (10^{-6}) 安为单位，称为微安 (μA)。

计量大电流时，以安为单位又嫌过小。而以 (10^3) 安为单位，称为仟安 (KA)。

在电路中当电流通过具有电阻的部分，会使电阻发热，将电能转变成热能。这就是所谓电流的热效应。另外在电流的周围空间伴有磁场产生，这就是电流的磁效应。因此载流导体在磁场中就会受到机械作用力，从而使电能转变成机械能，再则电流在电解质中通过而引起化学效应。总之，在电路中由于电流的各种效应而将电能转换成其他能量。

关于电流的方向问题，习惯上以正电荷的移动方向为电流的方向。

二、电位和电压 (电位差)

在电场中的各点都具有一定的能量。为了表明电场所具有的这种特性，引进了电位的概念。所谓电场的某点电位系指电场将单位正电荷从该点移动到无穷远处 (即以该处为零电位) 所作的功规定该点的电位。在电工学中不以无穷远处为另电位，而以大地为另电位

电位的单位为伏特 (V)。

电压即电路中两点间的电位差。在讨论任何一段电路中的电流时，只要知道该段电路两端的电压 (即电位差) 及其他条件如电阻，即可求出该段电路中的电流。因此在电工学中分析和计算电路时较多地应用电压这个概念。

电工学中规定从高电位到低电位的方向为电压的正方向。电压的单位与电位相同，亦是

以伏(V)为单位。

在输配电工程中采用高压输电时,以伏为单位就嫌过小,而以(10^3)伏为单位,即以千伏(KV)为单位。而在电子学中有时电压很小,而以(10^{-3})伏为单位,即毫伏(mV)。或以(10^{-6})伏为单位,即微伏(μV)。

三、电动势

物理学中已阐明电源是由于内部的非静电场力的作用(亦即是其他形态的能量的作用),不断地将正电荷从电源的负端移到正端,使电源两端产生一定的电位差,但它与电位差具有不同的含义,电工学中将它称为电动势以资与电位差相区别。电动势的单位与电压相同。电工学常将电动势简称为电势。

四、电功率和电动

电工学中对于电路中消耗的电能,通常以电功率来衡量,所谓电功率系指单位时间内所消耗的电功。应如何计算一段电路所消耗的电功率呢?由电压的定义可知,任何一段电路两端的电压等于单位正电荷由该段电路的一端移到另一端所做的功。另外通过该段的电流为单位时间内流过该电路的电量。所以该段电路所消耗的电功率应等于该段电路的端电压与通过的电流的乘积。其数学表达式应为:

$$p = U \cdot I \quad (1-2)$$

其中 U ——该段电路的端电压
 I ——该段电路所通过的电流

电功率以瓦(W)为单位。

常用的室内电灯的功率,一般有:25瓦、40瓦、60瓦、100瓦等。功率愈大的灯泡其亮度也愈大。

动力用的各种电动机的功率,一般要大得多。通常以(10^3)瓦即千瓦(KW)为单位。

在电子学中所消耗的功率一般要小得多,以瓦为单位就嫌过大,通常用 10^{-3} 瓦即毫瓦(mw)为单位。

前面已经提到把消耗电能的设备称为负载,而负载的大小是以其消耗的电功率多少来计量的,所谓增加负载,就是指增加所消耗的电功率,也就是增加电源输出的电功率。对于电阻

负载来讲,由于在一般的情况下电路的端电压是近似不变的,而且电功率为 $p = u \cdot I = \frac{U^2}{R}$,

所以只有减少其电阻值,才可能增加其所消耗的电功率。

在电工学中对于电功的单位,通常以千瓦小时(KWH)为单位。所谓1千瓦小时,即以1000瓦的功率经历一小时所做的功。在计算电费时通常以“度”数为标准,所谓“度”的意义即等于千瓦小时。例如100瓦的电灯,连续用了10小时,消耗了的电功为1千瓦小时,平常就叫做用了一“度”电。

我们不应轻视一“度”电。一度电可以为社会主义建设做出不小的贡献，它可炼铁约 123 公斤，可采煤约 105 公斤，能织布约 10 公尺，能制出氮肥约 14 公斤。我们一定要遵照毛主席的教导“要节约闹革命。”随时注意节约用电，加快我们的社会主义建设，为世界革命贡献力量。

1—3 电路的基本定律

为了计算和分析电路，就必须了解电路中各电量间的规律，以及应用这些规律来解决电路问题的方法。本节将讨论欧姆定律和克希荷夫定律等电路的基本定律及它们的应用。

一、欧姆定律及其应用

欧姆定律表明一段电路中的电压与电流的关系，它指出：一段电路的电流与该段电路两端的电压成正比，与该段电路的电阻成反比。在图 1—3 所示的电路中，根据欧姆定律，通过 BC 段的电流应为：

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-1)$$

其中 U ——端电压
 I ——通过 R 的电流
 R ——电阻

由上式可知，任何一段电路的电压、电流和电阻三者中只要已知其中任何二者的数值，即可求出第三者的数值。今举一例说明欧姆定律如何解决电路的计算问题。

例：今有电势为 $E=225$ 伏的电源，供给一个电阻炉 R_3 和继电器 R_2 所组成的负载。如图

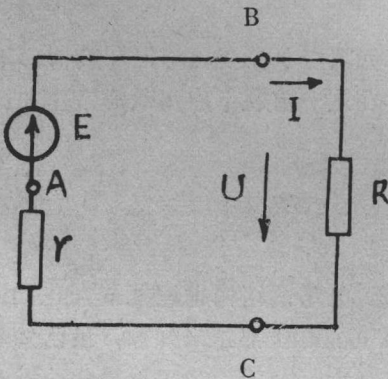


图 1-3 欧姆定律

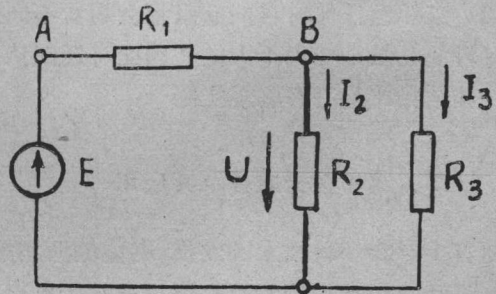


图 1-4 并联负载

1-4 所示，若已知电压 U 为 220 伏，电阻炉和继电器的电阻分别 $R_3=27.5\Omega$ $R_2=110\Omega$ ，

输电线的总电流为 10 安。试求电流 I_2 和 I_3 及输电线的总电阻 R_1 。

解：已知 U 和 R_2 ， R_3 。根据欧姆定律得出：

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{220}{110} = 2 \text{ 安},$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{220}{27.5} = 8 \text{ 安},$$

已知 $E = 225$ 伏， $U = 220$ 伏，所以输电线上的电压降为 $U_{AB} = E - U = 225 - 220 = 5$ 伏。

由欧姆定律可知输电线上的总电阻 R_1 为：

$$R_1 = \frac{U_{AB}}{I_1} = \frac{5}{10} = 0.5 \text{ 欧}。$$

从以上的讨论，得出：

(1) 任何一段电路中的电压、电流和电阻三者间的关系，一定符合欧姆定律，因此任何一段电路中只要已知任何二者的数值既可应用欧姆定律求出第三者的数值。

(2) 讨论欧姆定律时，是在假设电路中的电阻为常数的条件下的，亦即其电阻不随加在其上的电压（或通过其中的电流）数值改变而变化的。如果其电阻不能保持这种常数关系，则该电路就不能应用欧姆定律。例如额定电压为 220 伏，额定功率为 100 瓦的灯泡，根据

$p = U \cdot I$ 的公式，可求出其电流 $I = \frac{p}{u} = \frac{100}{220} = 0.45$ 安。我们用万用表去测其电阻时，该灯

泡的电阻只有 36 欧左右，根据此电阻值，用欧姆定律来计算这个灯泡接在电压为 220 伏的

电源上，其电流应为： $I = \frac{220}{36} = 6.1$ 安，比用额定功率的关系所计算出的电流值要大许多

倍，这是因为白炽灯的灯丝电阻是随其温度而变化的，而其温度又随通过其中的电流值而改变，其电阻不是一个常数的缘故。

(3) 实际上任何材料的电阻都会随着不同的条件（如温度）而变化，但一般情形下，有许多材料的电阻是变化不大的，因此可近似认为不变。在这一前题下应用欧姆定律去计算电路时，其结果才能符合客观实际。

二、克希荷夫定律及其应用

随着生产和学科技术的发展，电能的应用越来越广泛。电路的结构也越来越复杂。如图 1-5 所示的电路是一个常用的测量电路。在这个电路中各电阻上的电压都是未知数，虽已知电源的电势和各电阻值，仍无法直接应用欧姆定律来求各条电路中的电流。为了计算和分析这类复杂电路，就有必要进一步研究复杂电路中各电量间的普遍规律。克希荷夫定律就是反映电路中各电量的普遍规律性的定律。

在研究克希荷夫定律之前，先需要说明几个名词。

支路：由一些电阻或电动势以及其他元件相串联的电路，它只有两个端点和电路的其他部分相联接。如图 1-5 中的 dea 或 ac 等都称为支路。在同一条支路中的电流是相同的。

节点：凡是有三条或三条以上支路的会合点，如图 1-5 的 a 、 d 、 b 、 c 等点都称为节点。

回路：从电路任何一点出发，按任意方向，沿着一些支路循行一周，又回到出发点，而形成一个闭合的路径，称为回路。如图 1-5 中由 b 点出发经过 $R_2 R_4 R_5$ 回到 b 点。回路的循行方向，可以任意采取，称为回路方向。

(1) 克希荷夫定律第一定律指出：对于电路中的任一节点来说，流入节点的电流总和必等于流出节点的电流的总和。如图 1-5 所示电路图中的 b 点，应为：

$$I_1 + I_5 = I_2$$

$$I_1 + I_5 - I_2 = 0$$

或换句话说电路中任何一节点的电流的代数和等于零。如规定流向节点的电流为正，流出节点的电流则为负，反之亦可。因此，一般表达式：

$$\sum I = 0 \quad (1-2)$$

此定律之所以成立是由于电流的连续性。因为在电路的任何部分都不可能发生电荷的堆积现象，所以在电路中的任何点（包括节点）的截面上每秒流入的电量必等于流出的电量。

(2) 克希荷夫第二定律指出：在任何一回路中的电位升的总和必等于电位降的总和。即：

$$\sum E = \sum U \quad (1-3)$$

电路中的各点电位只有一个确定数值，即电位的单值性。所以从电路的任何点出发，经过任意路径循行一周，而又回到原来的一点时，其电位的变化量的代数和应等于零。亦即该点电位值不变。这是符合能量守恒定律的。如图 1-5 所示电路中的 $abdea$ 回路中，其电位的变化应有下列各关系：

a 点到 b 点的电位变化量为：

$$\varphi_a - \varphi_b = I_1 R_1$$

b 点到 d 点的电位变化量为：

$$\varphi_b - \varphi_d = I_2 R_2$$

d 点到 e 点的电位变化量为：

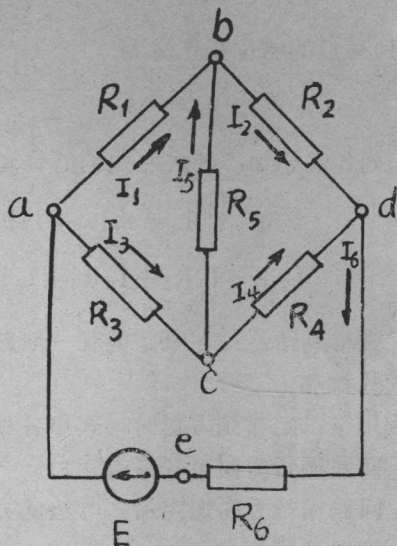


图 1-5 电桥电路

$$\varphi_d - \varphi_e = I_6 R_6$$

e 点到 a 点的电位变化量为:

$$\varphi_e - \varphi_a = -E$$

将上列各式相加, 等式左边的电位变化量为零, 即

$$0 = I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_6 R_6 - E$$

$$\therefore E = I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_6 R_6$$

从上式得到结论: 在电路的任一回路内, 电动势(电位升)的代数和应等于各段电路上电位降的代数和。

在应用第二定律列方程时, 式中各项符号的正负, 应根据下列原则来确定:

1. 回路循行方向可任意选定。
2. 回路循行方向选定后, 电势的方向通常为已知, 若与循行方向相同时, 则电势应取正号, 否则取负号。
3. 各支路的电流方向可任意假设, 若其假设的电流方向与回路循行方向一致, 则在电阻上电位降为正号, 反之则为负号。如果计算结果某些支路电流值为负数, 则表示该支路假设的电流方向与实际电流方向相反。若为正数则表示电流的假设方向与实际方向相符。

“马克思主义的哲学认为十分重要的问题, 不在于懂得了客观世界的规律性, 因而能够解释世界, 而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。”所以重要的问题不在于懂得什么是克希荷夫定律, 而在于应用这个定律去解决电路的实际问题。

现举例来说明克希荷夫定律的应用。在图 1-6 的电路中, 已知各电势和各电阻, 求各条支路电流, 并验证电源输出的功率等于各电阻上所消耗的功率之和。

解: 在图 1-6 电路中有三条支路和二个节点。

1. 先假设各条支路的电流方向如图中所示。

2. 根据第一定律列出 $2-1=1$ 个节点方程;

由节点 a 得出

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1)$$

3. 根据第二定律可列出二个回路方程沿 cabc 回路得出:

$$140 = 20I_1 + 6I_3 \quad (2)$$

沿 dabd 回路得出:

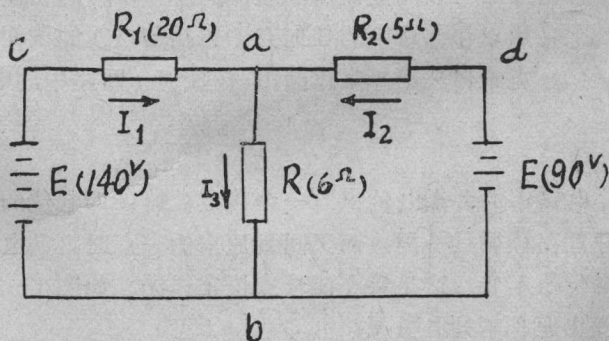


图 1-6 电路

$$90 = 5I_2 + 6I_3 \quad (3)$$

4. 解联立方程得出:

$$I_1 = 4 \text{ 安}, I_2 = 6 \text{ 安}, I_3 = 10 \text{ 安}.$$

5. 为了判别结果正确与否, 可根据第二定律列出一前所未列过的回路, 再将计算所得结果代入此回路方程。若方程的两边相等, 则计算结果正确。在本题中取 cadbc 回路, 得到回路方程为:

$$E_1 - E_2 = 20I_1 - 5I_2$$

将计算结果 $I_1 = 4 \text{ 安}$, $I_2 = 6 \text{ 安}$, 代入得:

$$140 - 90 = 20 \times 4 - 5 \times 6$$

$$50 = 50$$

证明结果无误, 其理由可由自己思考。

电源的输出功率各为:

$$E_1 \text{ 的输出功率为 } P_1 = E_1 \times I_1 = 140 \times 4 = 560 \text{ 瓦}$$

$$E_2 \text{ 的输出功率为 } P_2 = E_2 \times I_2 = 90 \times 6 = 540 \text{ 瓦}$$

$$\text{电源输出的总功率为 } P = P_1 + P_2 = 560 + 540 = 1100 \text{ 瓦}$$

$$R_1 \text{ 消耗的功率为 } P_{R1} = R_1 \times I_1^2 = 20 \times 4^2 = 320 \text{ 瓦}$$

$$R_2 \text{ 消耗的功率为 } P_{R2} = R_2 \times I_2^2 = 5 \times 6^2 = 180 \text{ 瓦}$$

$$R_3 \text{ 消耗的功率为 } P_{R3} = R_3 \times I_3^2 = 6 \times 10^2 = 600 \text{ 瓦}$$

各电阻上消耗的总功率为

$$P_{\text{总}} = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = 320 + 180 + 600 = 1100 \text{ 瓦}$$

从上述计算结果说明电源输出的总功率等于在各电阻上所消耗的功率的总和。

总之, 对于任何复杂电路来说, 都可应用克希荷夫定律来求解, 利用克希荷夫定律可列出足够数目(满足电路未知数的个数)的联立方程, 便可求出所有未知的电流或其他未知数。

今将应用克希荷夫定律计算电路的一般方法和步骤, 总结如下:

1. 一般情况下, 通常已知电势和电阻, 求出各条支路的电流, 首先假设各条支路的电流和方向, 若电流的假设方向和真实方向相符, 计算结果为正值, 否则为负值。

2. 根据第一定律列方程时, 若节点数为 n 个, 则可列出 $n-1$ 个独立方程。(因第 n 个节点方程可由已列出的方程推导而出, 已不具有独立性) 如上例中有 2 个节点, 可列出 $2-1$ 个独立方程。

3. 根据第二定律列出其余不足的方程数。取回路列方程时应注意方程的独立性, 即每列一个回路方程时, 回路中应包含一条新支路, (即以前列出的回路方程未包含过的支路) 否则所选取的回路方程就不具有独立性, 可由已列出的方程推导出来。同时取回路时还应考虑运算简便, 尽可能取最简单的回路。

4. 验证计算结果时, 可选前所未列过的回路方程, 然后将计算结果代入此方程, 若方

程的两边相等，则结果正确，否则为错误。

5. 克希荷夫定律虽适用于任何电路，但应用于电路计算时，则有一定的条件，即电路中的电阻值应为常数。在电工书籍中把电阻值为常数的电路称为线性电路。以后应用克希荷夫定律分析和计算电路时，一般都是在线性电路的条件下。

注： 在一些电工书籍中将应用克希荷夫定律求每一条支路电流的方法，称为支路电流法。

1—4 电阻的串联和并联

在实际工作中常用一些电气元件按各种不同的方法连接起来，从电路的观点来看，就是将一些电阻用各种方法连接起来。其连接方法不外乎是：1. 串联，2. 并联，3. 混联。

物理学中已讨论过电阻的串联和并联的问题，这里再一次讨论这个问题的目的，是进一步阐明解决这一问题的理论根据是克希荷夫定律，以及这一方法对于分析和计算电路有着很重要的意义。

一、电阻的串联

所谓串联就是将电阻一个跟一个成串地连接起来，最后剩下两个连接点再与电源，或电路的其他部分相连接的，如图 1-7 所示。

例如剧场要求其灯光能随剧情的发展而有所变化，常用一个可变电阻与灯泡相串联，以控制通过灯泡中的电流，达到改变灯光的亮度。又如额定电压为 6 伏的继电器要接到 12 伏的电源上去，这时常选一个阻值合适的电阻与之串联。否则由于电源电压高于继电器的额定电压，继电器直接连接上去会使继电器损坏。

对于任何串联电路都可用克希荷夫定律进行分析。

1) 串联时的总电阻

串联时各电阻处于同一条支路，通过各电阻的电流为同一电流。因此对于图 1-7 电路，根据克希荷夫定律可得到下列方程式：

$$U = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

$$\therefore I = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{U}{R}$$

其中， $R = R_1 + R_2 + R_3$

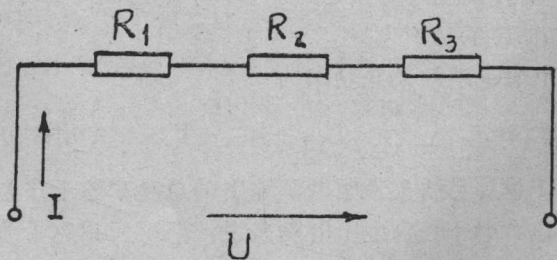


图 1-7 电阻串联

由上述讨论可知,电阻串联时的总电阻为各个电阻的总和。电工学中把这一总电阻称为串联的等效电阻。也就是说用一个电阻值等于多个电阻的总和的电阻来代替原来的多个电阻,仍保持原来的电路工作情况,即电压与电流之间的关系不变。因此凡是有许多个电阻串联的电路就可用一个电阻来代替,这样就可大大地简化计算过程。

对于电阻串联时的等效电阻,其普遍表达式应为:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (1-4)$$

电阻串联时的等效电阻比串联中的任何一个电阻都要大。

2. 各电阻上的电压分配

串联各电阻上的电压如图 1-7 所示应分别为:

$$U_1 = IR_1 \quad U_2 = IR_2 \quad U_3 = IR_3$$

$$\therefore I = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$\therefore U_1 = U \cdot \frac{R_1}{R}, \quad U_2 = U \cdot \frac{R_2}{R}, \quad U_3 = U \cdot \frac{R_3}{R}$$

上式表明任一电阻的端电压,与该电阻的阻值成正比。也就是阻值越大的电阻其端电压也愈高。

二、电阻的并联

所谓并联就是指各种电气元件或设备的一端互相连接在一起,另一端也互相连接在一起,然后再与电源的两端连接起来,也可以说各电气元件和设备的两端各自都与电源的两端连接起来。这种联接形式称为并联。从电路的点来看,就是这些元件和设备的电阻处于并联的形式,如图 1-8 的电路所示。

在一般情况下,用电设备大多是处于并联状态的。因为在这种联接时,任一设备的接通或断开,不影响其他设备的工作。如室内的电灯任一盏电灯的开与闭,都不影响其他电灯的开和闭。

今用克希荷夫定律分析电阻并联的情况。

1. 电阻并联时的电流分配

如图 1-8 所示的并联电路,各条支路电流可用欧姆定律求出:

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2}, \quad I_3 = \frac{U}{R_3}.$$

电路的总电流,则可根据克希荷夫第一定律得出:

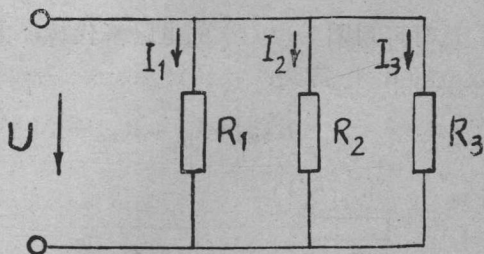


图 1-8 电阻的并联

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\therefore I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

2. 电阻并联时的总电阻

$$\text{设} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\therefore R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \quad (1-5)$$

R 为电阻并联时的总电阻，电工学中也称之为并联时的等效电阻。

电阻并联数愈多，其等效电阻也愈小，电路的总电流也愈大，也就是说用电设备并联得愈多，电源的输出功率也随之增大。

三、电阻的混联

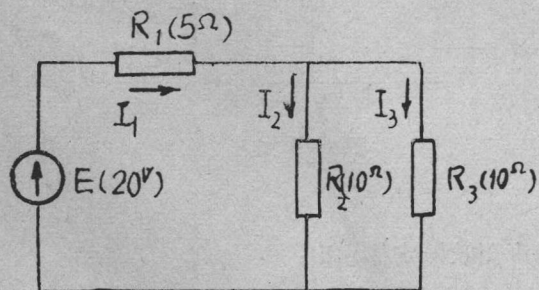
实际上许多用电设备的电路，经常是既有电阻串联又具有并联的情况，对于这种复杂电路计算和分析，克希荷夫定律完全能够解决，但有时显得运算过于复杂、麻烦。如图 1-9(a) 的电路，已知电势及各电阻的数值，求电流时如图用克希荷夫定律，就需要列出三个联立方程进行求解，运算就较为麻烦，若采用电阻串联和并联的计算方法，运算却可以大大地简化。今以图 1-9(a) 的电路为例来说明之。

(1) 先将 R_2 和 R_3 用并联等效电阻 R_{23} 来代替

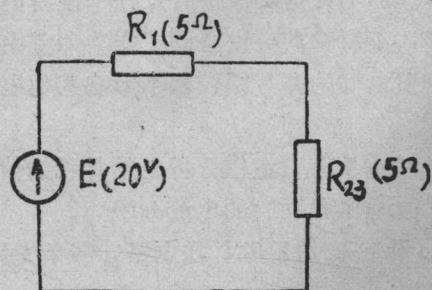
$$R_{23} = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_3} = \frac{10 \times 10}{10 + 10} = 5\Omega$$

这时可用图 1-9(b) 的电路来代替，由图 1-9(b) 可见 R_1 和 R_{23} 的联接为串联，故其等效电阻 R_{123} 应为：

$$R_{123} = R_1 + R_{23} = 5 + 5 = 10\Omega$$



a) 混联电路



b) 等效电路

图 1-9 混联电路及等效电路