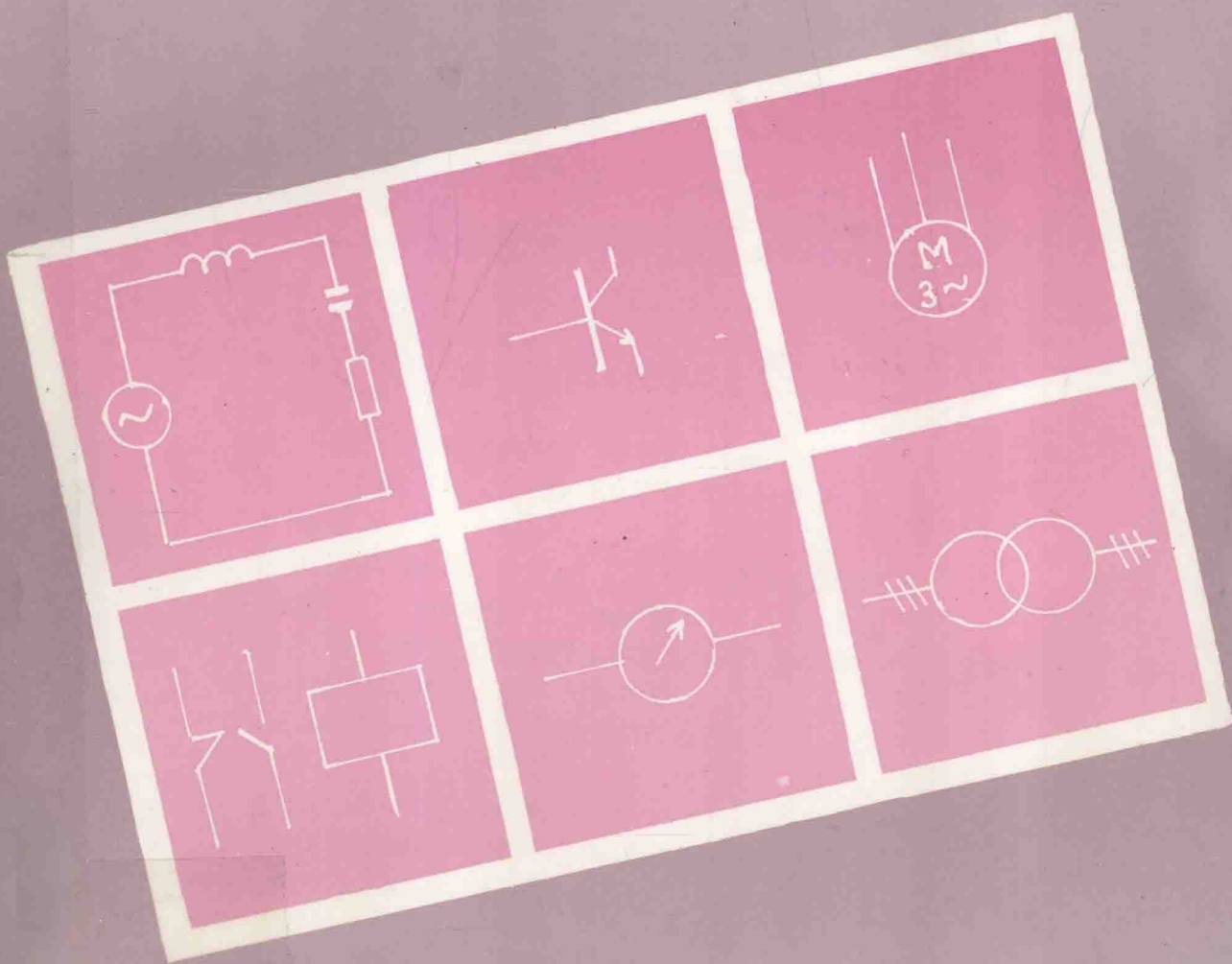


编著：

李德明 张勇 吴存寿

实用电工技术



云南大学出版社

实用电工技术

李德明 张 勇 吴存寿
编 著

云南大学出版社

责任编辑：周永坤

封面设计：张继荣

实 用 电 工 技 术

李德明 张 勇 吴存寿 编著

云南大学出版社出版发行

(云南大学校内)

云南师范大学印刷厂印装

开本：787×1092 1/16 印张：18 字数：426.8 千字

1998 年 11 月第 1 版 1998 年 11 月第 1 次印刷

印数：0001—1000 册

ISBN 7 - 81025 - 947 - 4/TM·3

定价：22.50 元

前 言

在多年的教学和工作实践中,深感需要一本内容充足、涉及面广、篇幅适中的比较实用的电工类教材,这就是作者编写此书的意图。

本书的特点是:

(一)所涉及的内容比较广泛。全书共有六篇,包括电路理论、电子技术、电机与变压器、电器与控制、电工测量与仪表、工厂供电几个方面的内容。

(二)注意理论联系实际,突出技能培养,在每章的后面,都配有理论练习题和实际操作训练题。

(三)在文字叙述方面,尽量做到深入浅出、通俗易懂,避免复杂的数学推导。

职业技术教育是我国当前教育事业发展的一个重要方面。作者希望本书的出版,将为我省的职业技术教育贡献一点微薄的力量,提供一本较实用的电工技术类参考书。本书可供大专院校非电专业师生及有关方面的工作人员阅读、参考。也可作为大学生等级工和社会上进行电工职业教育和培训的教材。

本书由李德明、张勇、吴存寿三人编写。其中电路理论、电工技术和电工测量与仪表部分,即第一、二、三、四、五、六、十二、十三章由李德明执笔;电机与变压器、电器与控制部分,即第七、八、九、十、十一章由张勇执笔;工厂供电部分,即第十四、十五章由吴存寿执笔。全书由李德明任主编,张勇、吴存寿任副主编。

在本书的编写过程中,得到了多方面的帮助。黄崇福老师为工作供电部分编写了大纲和目录,陆爱萍、王佩军等同志绘制了大部分图表,王飞做了细致认真的排版工作,张世鸾同志为本书的编排工作给予了指导。谨此表示感谢。

由于作者水平有限,加之时间仓促,错误和不妥之处在所难免,敬请读者和有关方面专家批评指正。

编 者
一九九八年九月

目 录

前言	(1)
第一篇 电路基本理论	(1)
第一章 直流电路	(1)
第一节 电路及其基本物理量	(1)
第二节 欧姆定律及应用	(3)
第三节 电阻的串联、并联和混联	(5)
第四节 基尔霍夫定律	(7)
第五节 电功和电功率	(9)
习题一	(11)
第二章 正弦交流电路	(13)
第一节 交流电的基本概念	(13)
第二节 三角函数 复数	(15)
第三节 正弦交流电分析方法	(19)
第四节 单相交流电路	(21)
第五节 交流电的功率和功率因数	(28)
第六节 三相交流电的计算	(30)
习题二	(34)
第二篇 电子技术基础	(38)
第三章 晶体二极管和整流滤波电路	(38)
第一节 半导体的基本知识	(38)
第二节 晶体二极管	(41)
第三节 整流电路	(42)
第四节 三相整流电路	(45)
第五节 滤波电路	(47)
第六节 硅稳压二极管及并联型稳压电路	(49)
习题三	(51)
第四章 晶体三极管和放大电路	(53)
第一节 晶体三极管	(53)
第二节 晶体管基本放大电路	(60)
第三节 低频放大电路的图解分析法	(65)
第四节 负反馈放大电路	(69)
第五节 晶体管功率放大电路	(72)
第六节 晶体管串联型稳压电源	(75)
习题四	(77)
第五章 晶闸管及可控整流电路	(81)
第一节 晶闸管及其特征	(81)

第二节 单相可控整流电路	(83)
第三节 三相零式可控整流电路	(85)
第四节 三相全控桥式整流电路	(87)
第五节 三相半控桥整流电路	(89)
第六节 晶闸管的触发电路	(91)
习题五	(99)
第六章 脉冲与数字电路	(102)
第一节 晶体管的开关特性	(102)
第二节 RC 电路	(103)
第三节 双稳态电路	(105)
第四节 单稳态电路	(106)
第五节 多谐振荡器	(107)
第六节 数制转换和逻辑函数	(108)
第七节 基本逻辑门电路	(110)
习题六	(112)
第三篇 电机与变压器	(114)
第七章 磁与电磁	(114)
第一节 磁的基本知识	(114)
第二节 磁场对电流的作用	(116)
第三节 电磁感应	(117)
第四节 自感、互感、涡流	(118)
第五节 磁路的基本定律	(121)
习题七	(123)
第八章 变压器	(124)
第一节 变压器的结构	(124)
第二节 变压器的工作原理	(125)
第三节 三相变压器	(127)
第四节 变压器的运行	(128)
第五节 其它常见的变压器	(130)
第六节 变压器的维护、检查与故障分析	(131)
习题八	(133)
第九章 电动机	(135)
第一节 直流电动机	(135)
第二节 三相异步电动机的结构和工作原理	(140)
第三节 三相异步电动机的定子绕组	(145)
第四节 三相异步电动机的转矩、效率和机械特性	(146)
第五节 三相异步电动机的起动、反转、调整及制动	(148)
第六节 三相异步电动机的铭牌	(150)
第七节 三相异步电动机常见电气故障及维修	(152)
习题九	(155)

第四篇 常用电器与控制	(157)
第十章 常用低压电器	(157)
第一节 低压电器的基础知识	(157)
第二节 熔断器	(159)
第三节 开关设备	(159)
第四节 主令电器	(162)
第五节 接触器	(163)
第六节 继电器	(165)
习题十	(170)
第十一章 电器控制线路	(172)
第一节 电器控制线路的有关规定	(172)
第二节 电动机的基本控制线路	(175)
第三节 三相异步电动机的降压起动控制线路	(179)
第四节 三相异步电动机的制动控制线路	(182)
第五节 多速电动机调速控制线路	(186)
习题十一	(187)
第五篇 电工测量与仪表	(189)
第十二章 电工测量仪表	(189)
第一节 电工测量仪表的基本知识	(189)
第二节 磁电系仪表	(192)
第三节 电磁系仪表	(195)
第四节 钳形电流表	(197)
第五节 电动系仪表	(198)
第六节 感应系仪表	(199)
第七节 交直流电桥	(201)
第八节 其它常用电工仪表	(203)
第九节 万用电表及其使用	(207)
习题十二	(208)
第十三章 电工测量方法	(211)
第一节 电流与电压的测量	(211)
第二节 电功率的测量	(215)
第三节 电能的测量	(221)
第四节 电阻的测量	(225)
第五节 其它电工参数的测量	(227)
第六节 测量误差及消除方法	(228)
习题十三	(229)
第六篇 工厂供电	(231)
第十四章 工厂供电系统及其装置	(231)
第一节 有关供电的基本常识	(231)
第二节 工厂变电所供电系统	(235)

第三节	高压配电设备的构造、性能和作用原理·····	(238)
第四节	配电设备的运行、检修与试验·····	(241)
第五节	电气线路 ·····	(244)
第六节	内、外线电力线路安装技术标准·····	(249)
第七节	接地装置 ·····	(256)
第八节	工厂照明 ·····	(260)
习题十四	·····	(260)
第十五章	继电保护装置 ·····	(263)
第一节	继电保护的任务和要求 ·····	(263)
第二节	6—10kV 线路保护的装设原则 ·····	(264)
第三节	电力变压器的保护 ·····	(272)
习题十五	·····	(279)
参考文献	·····	(280)

第一篇 电路基本理论

第一章 直流电路

第一节 电路及其基本物理量

一、电路

电流所通过的路径称为电路。电路一般都是由电源、负载、开关和连接导线四个基本部分组成的。电源是把非电能转换成电能、向负载提供电能的装置。常见的电源有干电池、蓄电池和发电机等。负载通常也称为用电器,它们是将电能转换成其它形式能的元器件或设备,如电灯、电炉和电烙铁等。开关是控制电路接通或断开的器件。连接导线担负传输或分配电能的任务。

任何一种电路都可能具有三种状态:

通路 指电路连通的情况。通路也称闭合回路,简称闭路,此时电路中有电流流过。

开路 指电路中某处断开、不成通路的情况。开路也称断路,此时电路中无电流。

短路 指电路(或电路的一部分)被短接。如负载或电源的两端被导线连接在一起,就称为短路。短路时电源提供的电流将比通路时提供的电流大很多倍。一般不允许短路。

二、与电路有关的几个物理量

1. 电流 电荷有规则的运动称为电流。在金属导体中,电流是自由电子在电场作用下作有规则的定向运动形成的。在某些液体或气体中,电流是正负离子在电场力作用下作有规则的定向运动形成的。在半导体中,电流是由导带电子或价带空穴在电场力的作用下作有规则的定向运动形成的。

衡量电流大小的物理量叫电流强度,它表示单位时间内通过导体横截面积的电荷量的多少。若在 t 秒内通过导体横截面的电量是 Q 库仑,则电流强度 I 可用下式表示:

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.1)$$

电流强度的单位叫安培(A),如果在1秒内流过导体横截面积的电量是1库仑,则导体中的电流强度就是1安培。除安培外,常用的电流强度单位还有千安(kA)、毫安(mA)和微安(μ A)等,它们的换算关系是:

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}$$

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

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

电流强度简称电流,这样一来,电流这一名词不但表示一种物理现象,而且还代表一个物理量。

电流具有方向性,习惯上规定以正电荷移动的方向为电流的方向。在金属中,电流实际上是自由电子逆电场方向的定向移动所形成的,但其效果与等量的正电荷沿电场方向流动完全相同。因此,电流方向与电子流的方向是相反的。

为了计算和说明问题方便,常常要知道电流的方向,但有时对某段电路中电流的实际方向往往难以立刻判断出来,此时可先假定一个方向为电流的“参考方向”,然后列方程求解。

当解出的电流为正值时,就认为电流的实际方向与参考方向一致。反之,当解出的电流方向为负值时,就认为电流的实际方向与参考方向相反。

2. 电压 电压又称电位差,是衡量电场做功本领大小的物理量。在电路中若电场力将电荷 Q 从 a 点移到 b 点,所做的功为 A_{ab} ,则功 A_{ab} 与电量 Q 的比值就称为该两点间的电压,用 U_{ab} 表示。其数学式为:

$$U_{ab} = \frac{A_{ab}}{Q} \quad (1.2)$$

若电场力将 1 库仑的电荷从 a 移到 b ,所做的功是 1 焦耳,则 a 、 b 两点间的电压值就是 1 伏特,简称伏,用字母 V 表示。除伏特外,常用的电压单位还有千伏(kV)、毫伏(mV) 和微伏(μV)。它们的换算关系如下:

$$1 \text{ 千伏}(kV) = 10^3 V$$

$$1 \text{ 毫伏}(mV) = 10^{-3} V$$

$$1 \text{ 微伏}(\mu V) = 10^{-6} V$$

电压不但有大小,还有方向、有正负。对于负载来说,规定电流流进端为电压的正端,电流流出端为电压的负端。电压的方向是由正指向负。也就是说,负载中电压的实际方向与电流方向一致,如图 1.1 所示, U_{ab} 为正, U_{ba} 为负, $U_{ab} = -U_{ba}$ 。在电路图中,常以带箭头的细实线表示电压的方向。若遇到电路中某两点的电压方向不能确定时,也可先假定电压的参考方向,再根据计算所得数值的正负,来确定其实际方向,方法与电流相同。

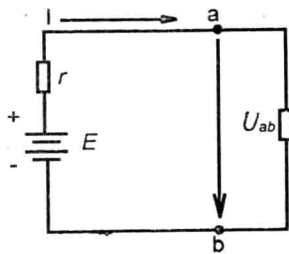


图 1.1

显然,对于负载来说,没有电流就没有电压,有电压就一定有电流。电阻两端的电压常叫做电压降。

3. 电动势 电动势是衡量电源将非电能转换成电能本领的物理量。它的定义是:在电源内部,非静电力将单位正电荷从电源的负极移到电源的正极所做的功,以字母 E 表示。若外力将电荷 Q 从负极移到正极所做的功为 A ,则电动势的数学表达式为:

$$E = \frac{A}{Q} \quad (1.3)$$

电动势的单位与电压的单位一样,也是伏特。

电动势的方向规定为:在电源内部由负极指向正极。在电路中,也用带箭头的细实线表示电动势的正方向。

对于一个电源来说,既有电动势又有电压,但电动势只存在于电源内部。电源两端的开路电压(即不接负载时的电压)等于电源的电动势,但二者方向相反。电源两端的电压方向规定为:在电源外部,由正极指向负极,如图 1.1 所示。

4. 电位 在分析电路时,常常需要比较某两点的电性能,为此,引入“电位”的概念。电路中某点与参考点间的电压就称为该点的电位。通常把参考点的电位规定为零电位。电位的符号通常用带脚标的字母 U 表示,如 U_a 表示 a 点的电位。电位的单位也是伏特。

通常选大地为参考点,把大地的电位规定为零电位,在电子仪器和电气设备中又常把金属外壳或电路的公共接点的电位规定为零电位。零电位的符号是 $\perp$ (表示接大地)、 $\perp$ 或 $\perp$ (表示电路的公共接点或设备的金属外壳接地)。

电路中任意两点间的电位之差,就称为该两点的电位差,常用带双脚标的字母 U 表示,如 U_{ab} 表示 a、b 两点间的电位差,即:

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1.4)$$

电位差就是电压,其单位也是伏特。

电位是某点对参考点的电位差。

三、电阻

反映导体对电流起阻碍作用的物理量叫电阻。用符号 R 表示,单位是欧姆(Ω) 或千欧(k Ω)。

如果导体两端的电压为 1 伏,通过的电流是 1 安培,则该导体的电阻就是 1 欧姆。

值得注意的是,导体的电阻是客观存在的,它不随导体两端电压的大小而变化。即使没有电压,导体仍然有电阻。实验证明,温度一定时,导体的电阻与导体的长度 l 成正比,与导体的横截面积 S 成反比,并与导体的材料性质有关。可用下式表示:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1.5)$$

式中 ρ 是与材料性质有关的物理量,称为电阻率或电阻系数。单位为欧姆米(Ωm)。

表 1.1 列出几种材料在 200℃ 时的电阻率。由表中可以看出,银、铜、铝等金属材料,电阻率很小,导电性能很好,可以作导线使用。塑料、橡胶等材料,导电性能最差,可以用作绝缘材料。硅、锗等,其导电性能介于导体与绝缘体之间,故称为半导体。

表 1.1

材 料	电阻率(Ωm)
银	1.6×10^{-8}
铜	1.7×10^{-8}
铝	2.9×10^{-8}
钨	5.3×10^{-8}
康铜	5.0×10^{-7}
锗、硅等	$10^{-4} \sim 10^7$
赛璐珞	10^8
电木、塑料	$10^{10} \sim 10^{14}$
橡胶	$10^{13} \sim 10^{16}$

例 1.1 用康铜丝制 3 Ω 的电阻,问需要直径为 0.3mm 的康铜丝多少米?

解:由式(1.5)得,

$$\begin{aligned} l &= \frac{RS}{\rho} = \frac{R \cdot \pi d^2}{\rho \cdot 4} \\ &= \frac{3 \times 3.14 \times (0.3 \times 10^{-3})^2}{5.0 \times 10^{-7} \times 4} \\ &= 0.42(\text{m}) \end{aligned}$$

第二节 欧姆定律及应用

一、部分电路的欧姆定律

部分电路欧姆定律是德国科学家欧姆(1787 ~ 1854) 在研究不包含电源的一段电路中的电流、电压和电阻的关系后,于 1827 年得出的实验规律。它的内容是:流过一段导体的电流与这段导体两端的电压成正比,与这段导体的电阻成反比,其数学式为:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.6)$$

式中, I 为导体中的电流(A); U 为导体两端的电压(V); R 为导体的电阻(Ω)。

例 1.2 已知某日光灯的额定电压是 220V,正常发光时的电阻为 1210 Ω ,求流过灯丝的电流。

解:由 1.6 式

$$I = \frac{220}{1210} \approx 0.18(\text{A})$$

二、全电路的欧姆定律

全电路是含有电源的闭合电路,如图 1.2 所示。虚线中的 E 代表电源的电动势, r 代表电源内阻。通常把电源内部的电路称为内电路,电源外部的电路叫做外电路。

全电路欧姆定律的内容是:全电路中的电流强度与电源的电动势成正比,与整个电路(即内电路和外电路)的电阻成反比。其数学式为:

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (1.7)$$

图 1.2

式中, I 为电路中的电流; E 为电源的电动势; R 为外电路的电阻; r 为内电路的电阻。

由(1.7)可得

$$E = IR + Ir = U_{\text{外}} + U_{\text{内}} \quad (1.8)$$

式中, $U_{\text{内}}$ 是内电路的电压, $U_{\text{外}}$ 是外电路的电压。外电路电压是指当电路接通时电源两端的电压,又称为路端电压,简称端电压。这样,全电路的欧姆定律又可叙述为:电源的电动势在数值上等于闭合回路中各部分的电压之和。

前面指出,任何电路都可能有通路、断路和短路三种状态。下面我们将对图 1.2 所示的全电路在这三种状态下的特性作简要的讨论。

(1) 电路处于通路状态时,由式(1.8)可得

$$U_{\text{外}} = E - Ir \quad (1.9)$$

此式表示,随电路中电流 I 的增加, $U_{\text{外}}$ 由 E 沿直线下降。

(2) 电路处于断路状态时, $R \rightarrow \infty$,此时 $I = 0$

$$U_{\text{外}} = E$$

即电源的开路电压等于电源的电动势。

(3) 电路处于短路状态时, $R \rightarrow 0$,此时电路的电流称为短路电流。 $I_{\text{短}} = E / r$,由于 r 一般很小, $I_{\text{短}}$ 很大。短路时, $U_{\text{外}} = 0$, $U_{\text{内}} = E$ 。

例 1.3 设有一电路如图 1.3 所示,用一只内阻很高的电压表测外电路的电压,当开关 K 断开时,测得 $U_{\text{外}} = 2\text{V}$,当开关 K 闭合时,测得 $U_{\text{外}} = 1.96\text{V}$ 。试求 E 和 r 。

解: K 断开时, $R \rightarrow \infty$, $I = 0$ 电压表测到的是 $U_{\text{外}} = E$, (因电压表的内阻很大,其内阻对测试的影响可忽略不计),所以,电源的电动势 $E = 2\text{V}$

K 闭合时,测得的 $U_{\text{外}} = R \cdot I = 1.96(\text{V})$

$$I = \frac{1.96}{9.8} = 0.2(\text{A})$$

$$r = \frac{0.04}{0.2} = 0.2(\Omega)$$

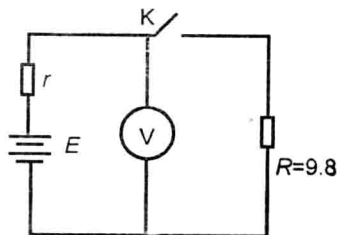
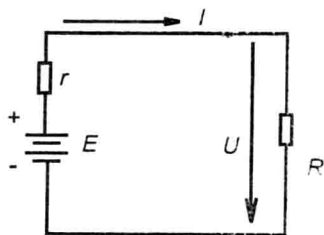


图 1.3

$$I_r = E - U_{\text{外}} = 2 - 1.96 = 0.04 \quad r = 0.04 \div 0.2 = 0.2(\Omega)$$

第三节 电阻的串联、并联和混联

一. 电阻的串联

两个或两个以上的电阻依次相连、中间无分支的连接方式叫电阻的串联,图 1.4(a) 是两个电阻的串联示意图,图 1.4(b) 是等效电路图。串联电路有以下性质:

1. 串联电路中的电流强度处处相等,即

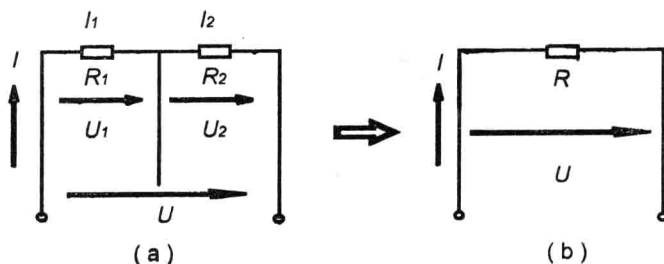


图 1.4 两个电阻的串联

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (1.10)$$

这是因为在同一条通路中,电荷在任何地方都不能积累。

2. 电路的总电压等于各个电阻两端电压之和,即

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (1.11)$$

3. 串联电路的等效电阻(即总电阻)等于串联电路中各电阻之和,即

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (1.12)$$

这是因为,由欧姆定律可得:

$$IR = U \quad I_1 R_1 = U_1 \quad I_2 R_2 = U_2 \quad \dots \quad I_n R_n = U_n$$

代入(1.11)得

$$IR = I_1 R_1 + I_2 R_2 + \dots + I_n R_n$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

4. 在串联电路中电压的分配关系

在串联电路中,由于电流强度处处相等,故有:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \dots \quad (1.13)$$

此式表明,在串联电路中,各电阻上分配到的电压与各电阻的阻值成正比。如果两个电阻 R_1 和 R_2 串联,由(1.13)可得:

$$U_1 = I R_1 \quad U_2 = I R_2 \quad U = IR$$

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

所以

$$U_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \quad U_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (1.14)$$

(1.14) 式称为两个电阻串联的分压公式。

例 1.4 三个电阻相串联,其阻值 $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = 10\Omega$, $R_3 = 15\Omega$. 电路中流过的电流为

2A, 试求串联电路的总电阻、总电压和每个电阻上的电压。

解: 由(1.12) 总电阻 $R = R_1 + R_2 + R_3 = 5 + 10 + 15 = 30 (\Omega)$

由欧姆定律得:

$$U = IR = 2 \times 30 = 60(\text{V})$$

$$U_1 = IR_1 = 2 \times 5 = 10(\text{V})$$

$$U_2 = IR_2 = 2 \times 10 = 20(\text{V})$$

$$U_3 = IR_3 = 2 \times 15 = 30(\text{V})$$

二、电阻的并联

两个或两个以上的电阻接在电路中相同的两点间的连接方式, 叫做电阻的并联。图 1.5(a) 是两个电阻的并联电路图, 图(b) 是图(a) 的等效电路图, 并联电路有以下性质:

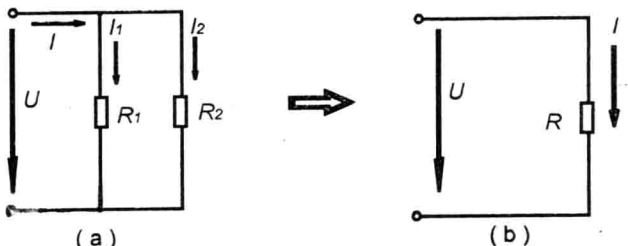


图 1.5 两个电阻的并联

1. 并联电路中各电阻两端的电压相等, 且等于电路两端的电压, 即

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n \quad (1.15)$$

2. 并联电路的总电流等于流过各电阻的电流之和, 即

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (1.16)$$

3. 并联电路的等效电阻(即总电阻) 的倒数等于各并联电阻的倒数之和, 即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (1.17)$$

(1.17) 式证明如下:

由欧姆定律可得:

$$I = \frac{U}{R}, I_1 = \frac{U}{R_1}, I_2 = \frac{U}{R_2}, \dots, I_n = \frac{U}{R_n}$$

代入(1.16) 得:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots + \frac{U}{R_n}$$

所以:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

如果用 n 个相同阻值的电阻 R_0 并联, 则总电阻 R 应为:

$$R = \frac{R_0}{n}$$

若用两个电阻并联, 则由式(1.17) 可得并联后的总阻值为:

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

4. 并联电路中的电流分配关系

在并联电路中, 由于各电阻两端的电压都相等, 故有:

$$U = I_1 R_1 = I_2 R_2 = \dots = I_n R_n$$

所以

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, I_2 = \frac{U}{R_2} \dots \dots I_n = \frac{U}{R_n} \quad (1.18)$$

即并联电路中各分支电路分配到的电流与其电阻值成反比。当两个电阻并联是,

$$\text{因 } R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad U = RI = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$\text{故 } I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad (1.19)$$

(1.19) 式称为两个电阻并联时的分流公式。此式说明,电阻并联时,电阻小的支路流过的电流大,电阻大的支路流过的电流小,这就是并联电路的分流原理。

例 1.5 有一表头,满刻度电流 $I_g = 100\mu\text{A}$,内阻 $R_g = 1\text{k}\Omega$,若要改装为量程为 100mA 的电流表,应并联多大的分流电阻?

解:由题意 $I_g + I_R = I$

$$\begin{aligned} I_R = I - I_g &= 100 \times 10^{-3} - 100 \times 10^{-6} \\ &= 0.1 - 0.0001 = 0.0999 \text{ (A)} \end{aligned}$$

$$U = I_g \times R_g = 0.1\text{mA} \times 1\text{k}\Omega = 0.1 \text{ (V)}$$

$$\therefore R = \frac{U}{I_R} = \frac{0.1}{0.0999} = 1(\Omega)$$

三、电阻的混联

在一个电路中,不但有串联电阻,还有并联电阻。电阻的这种连接方式叫做电阻的混联。由混联电阻所组成的电路,叫做电阻的混联电路。图 1.6 所示即为一电阻的混联电路。其中 R_3 和 R_4 并联, R_1 和 R_2 是串联,它们串联后再与 R_3 和 R_4 的并联等效电阻串联。

混联电路在实际中经常遇到。只要运用电阻串联和并联的特点,即可对混联电路进行分析和计算。下面举例说明其计算方法。

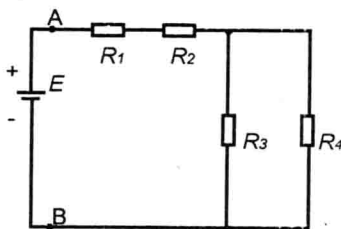


图 1.6 电阻的混联

例 1.6 设有如图 1.6 所示的混联电路,知 $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $R_3 = R_4 = 6\Omega$, 电源的电动势 $E = 12\text{V}$,内阻可以忽略不计,试求电路的等效电阻 R_{ab} ,电路的总电流 I 及 R_3 和 R_4 两端的电压。

解:由图 1.6 可知, R_3 与 R_4 并联后再与 R_1 和 R_2 串联,故得:

$$R_{ab} = R_1 + R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = 1 + 2 + \frac{6 \times 6}{6 + 6} = 1 + 2 + 3 = 6(\Omega)$$

$$I = \frac{U}{R_{ab}} = \frac{E}{R_{ab}} = \frac{12}{6} = 2(\text{A})$$

R_3 和 R_4 两端的电压为:

$$U_3 = IR_{34} = 2 \times 3 = 6 \text{ (V)}$$

第四节 基尔霍夫定律

前面几节讨论了简单直流电路的问题,但实际中的电路,往往是比较复杂的。如图 1.7 所示,一个复杂电路是由多个电源和多个电阻的复杂连接。这种电路显然无法把它们化为简

单的串、并联电路,因而不能直接用欧姆定律求解,必须学习新的计算方法,计算复杂电路的方法很多,本节主要介绍基尔霍夫定律,为此,先介绍几个常用的术语:

(1) 支路 由一个或几个元件依次相接构成的无分支的电路,叫做支路。在同一支路内,流过元件的电流相等。在图 1.7 中, R_1 和 E_1 构成一条支路,其中有电源 E_1 ,称为有源支路。 R_3 和 R_4 构成一条支路,无电源,叫无源支路。

(2) 节点 三条或三条以上的支路的连接点叫做节点。在图 1.7 中,a 点和 b 点都是节点。

(3) 回路 电路中任一闭合路径称为回路。一个回路中可能只含一条支路,也可能包含几条支路。在图 1.7 中,adbca 和 aebca 都是回路。

(4) 网孔 电路中不能再分的最简单的回路,叫做网孔。在图 1.7 中,adbca 和 aebda 都是网孔。

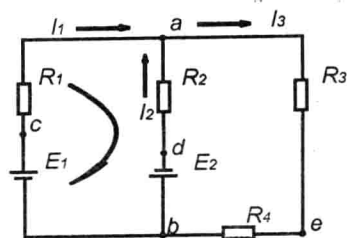


图 1.7 复杂电路

一、基尔霍夫第一定律

基尔霍夫第一定律也叫节点电流定律,它是研究电路中任一节点处各电流之间关系的。它的内容是:流进一个节点的电流之和恒等于流出这个节点的电流之和。或者说,在任意一个节点处,电流的代数和恒等于零。其数学表达式为:

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad \sum I = 0 \quad (1.20)$$

基尔霍夫第一定律表明电流具有连续性,在电路的任一节点上,不可能发生电荷的积累,流入节点的总电量恒等于同一时间内从这个节点流出去的总电量。

按照基尔霍夫第一定律,可以列出任一节点的电流方程。列方程时,可以标定电流的参考方向。标定的原则是:对已知方向的电流,按电流的实际方向标定;对未知方向的电流,可随意标定。然后列方程进行计算,根据计算结果来确定未知电流的方向。当计算结果为正值,未知电流的实际方向与标定的参考方向相同,当计算结果为负值,未知电流的实际方向与标定的参考方向相反。

基尔霍夫第一定律不仅运用于节点,也可推广应用到任意假定的封闭面。

二、基尔霍夫第二定律

基尔霍夫第二定律也叫回路电压定律,它是研究回路中各部分电压之间关系的。它的内容是:在电路的任一闭合回路中,沿绕行方向,各电动势的代数和等于各电阻上的电压降的代数和。即:

$$\sum E = \sum IR \quad (1.21)$$

根据基尔霍夫第二定律,可以列出任一回路的电压方程式。列方程时,首先要确定电动势和电压降极性的正负。其方法是:先在电路图中选择一个回路方向,以这个方向作为标准来确定电动势和电压降极性的正负。确定的原则是:当电动势的方向与回路的方向一致时为正,反之为负;当支路电流方向与回路的方向一致时,电压降为正,反之为负。必须指出的是,电动势 E 的方向是由电源的负极指向正极的,而电阻上的电压的方向是由通过电阻的电流方向决定的,即由电阻上电位高的正端指向电位低的负端。基尔霍夫定律不仅可用于任一实际回路,而且还可以推广应用到任一假设的回路。

三、基尔霍夫定律的应用 —— 复杂电路的一般解法

求解多回路复杂电路问题一般是在已知电动势和各电阻阻值时,求各支路中的电流。使用的方法是所谓支路电流法。这种方法的要点是:先假定各支路的电流方向和回路方向,再根据基尔霍夫定律进行计算。具体步骤是:

1. 标出各支路的电流方向和回路方向。回路方向原则上可任意假设,对于具有两个以上电动势的回路,通常取电动势大的方向为回路方向;电流方向也可参照此法来假设。
2. 用基尔霍夫第一定律列出节点的电流方程式。
3. 用基尔霍夫第二定律列出回路的电压方程式。每列一个方程式,都要包含一个新支路。
4. 代入已知数,解联立方程求出各支路的电流,并确定各支路的实际方向。当计算结果为正值时,实际方向与假设方向相同;计算结果为负值时,实际方向与假设方向相反。

例 1.7 在图 1.8 所示的电路中,已知电源的电动势 $E_1 = 130 \text{ V}$,内阻 $R_1 = 1\Omega$;电源电动势 $E_2 = 117 \text{ V}$,内阻 $R_2 = 0.6\Omega$;负载电阻 $R_3 = 24\Omega$ 。求各支路的电流 I_1 、 I_2 、 I_3 。

解: 先标定三个支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 的方向如图所示,两个回路也如图示,为顺时针方向。对于节点 a,应用基尔霍夫第一定律,可得

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

对于回路 abda,列出

$$E_1 - E_2 = R_1 I_1 - R_2 I_2 \quad (2)$$

对于回路 acba,列出

$$E_2 = R_2 I_2 + R_3 I_3 \quad (3)$$

将已知数值代入方程式(1)、(2)、(3),即可得到一组三元一次联立方程组:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 + I_3 = 0 \\ 130 - 117 = I_1 - 0.6I_2 \\ 117 = 0.6I_2 + 24I_3 \end{cases}$$

解之得: $I_1 = 10 \text{ (A)}$ $I_2 = -0.5 \text{ (A)}$ $I_3 = 5 \text{ (A)}$

由计算结果知, I_1 和 I_3 的方向与图示参考方向相同, I_2 的方向与参考方向相反。 E_2 不是送出电流,而是电流 I_2 从 E_2 正极流入,从 E_2 负极流出,即 E_1 对 E_2 充电, I_2 是充电电流。

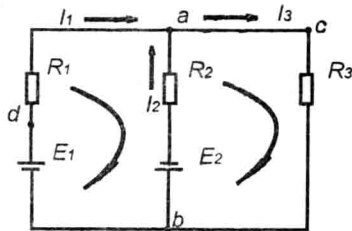


图 1.8

第五节 电功和电功率

一、电功

电流流过电路时,电场力使电荷从一点移到另一点时,电流作了功,称为电功,用字母 W 表示。电流通过电器时,用电器将电能转换成其他形式的能。例如,电流通过灯泡会发光,通过电炉会发热,通过电动机会使电动机转动等等,都是电流做功的例子。这些事实说明,在一定条件下,电能可以转化为光能、热能、机械能等。

电能转化为其它形式能的过程,就是电流做功的过程。因此,消耗电能的多少,就可以用电流所做的功来衡量。

由电压的定义可知,当电荷由电路一点通过负载移动到另一点时,电场力所做的功(电功) W 等于电荷的电量 Q 与这两点间电压 U 的乘积,即