



石油技工学校试用教材

电工与电子基础

江苏石油勘探局技工学校 金敬东 主编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书为石油技工学校基础课试用教材,主要介绍电工学与电子技术的基本知识、基础理论和基本技能。全书内容通俗易懂,简洁明瞭。本书除作为石油技工学校基础课教材外,也可供在职工人培训和参考用书。

电 工 与 电 子 基 础

江苏石油勘探局技工学校 金敬东 主编

*

石油工业出版社出版发行

(北京安定门内外馆东后街甲36号)

北京顺义燕华营印刷厂排版印刷

*

787×1092毫米 16开本 18 1/4印张 458千字 印 1—25,500

1987年7月北京第1版 1987年7月北京第1次印刷

书号: 15037·2831 定价: 2.70元



前 言

本教材是根据石油部劳资司1984年5月审定的技工学校基础课教学计划和教学大纲编写的。着重强调基本知识、基础理论和基本技能，力求通俗易懂，由浅入深，以适应技工教育的需要。

全书分电工与电子技术两篇共十章，绪论、第一、七、八、九章由江苏石油勘探局技工学校金敬东执笔，第二、十章由江汉石油管理局技工学校陈晓凡执笔，第三章由渤海石油公司技工学校赵来顺执笔，第四、五章由华北石油技工学校张忠义执笔，第六章由华北石油技工学校杨振英执笔。全书由金敬东主编，参加修改定稿的有金敬东、俞学浩（江苏石油技工学校），图表由时学林（江苏石油技工学校）绘制。

本书初稿于1985年3月完成，在各编写人交换互审的基础上，于1985年5月在江苏石油技工学校召开了审稿会议。参加会议的有金敬东、俞学浩、陈晓凡、张忠义、杨振英等。

在编写过程中，得到了各有关学校领导的大力支持和帮助，各校的有关同志对本书提供了许多宝贵意见，对此，我们表示衷心感谢。

由于我们的水平所限，加之编写的时间仓促，书中必定还有许多错误和不妥之处，殷切期望读者批评指正。

书中带有“★”号的内容，可根据专业需要决定取舍。

编 者

绪 论

电工学是研究电的基本规律及其应用的科学。电能是各种形态的能量中最受欢迎的一种能量。无论在工农业生产、国防和科学技术各个领域,还是在人们的日常生活中都离不开它。

电能之所以获得如此广泛的应用,是因为它具有其它形式的能量无法比拟的优点。

1. 易于转换 电能不但可以方便地由水能、热能、原子能、化学能及光能等转换而来,而且也可以方便地转换为机械能、热能、光能、声能等其它形式的能。就是在电能之间也可以转换,例如,可以用整流器将交流电转换为直流电;而用逆变器又可以将直流电转换为交流电。

2. 便于输送 电能可以进行远距离输送,不但输电设备简单,而且损失小、效率高。这样就为充分利用动力资源,合理进行工业布局创造了条件。

电能还可以不用导线而以电磁波的形式在空中传播,这在电视、雷达、无线电通讯、遥控遥测等方面已获得了广泛应用。

3. 易于测量和控制 因为电能以及一些相关的电学量,如电压、电流等可以用来代表信息,以无线和有线的方式高速而精确地进行传递、控制和处理,这就为远程通讯、生产过程自动化和自动检测等提供了可靠的技术基础。特别是被誉为“电脑”的电子计算机问世以来,大大促进了生产过程自动化,不但减轻了繁重的体力劳动,而且还越来越多的取代了脑力劳动的某些职能。如果说,机器的使用是人手的延长,那么,“电脑”的使用就可以说是人脑的延长。

可以深信,随着生产和科学技术的发展,在人类的物质文明和精神文明的建设中,电能一定会更加显示出它的威力,发挥它的作用。

本课程是非电专业的一门技术基础课。它的内容包括电工和电子两部分。主要介绍复杂直流电路、磁和电磁、交流电路、变压器和电动机、电力拖动及电子技术中的晶体管分立元件电路的基本知识,基础理论及其应用技术。通过本课程的学习,使同学们获得必要的电工与电子技术基本知识;了解一般常用电气设备的基本结构、工作原理及主要特点,获得正确使用、维护专用电气设备以及安全用电的一般知识;能看懂与本专业有关的简单电气控制线路图,并会分析常见故障。

本课程的特点是理论性、系统性、实践性都较强。同学们在学习过程中,除了对基本概念、基础理论要牢固掌握外,对抽象的概念也要明确其物理意义,并掌握必要的分析问题和解决问题的方法。要重视实验,以巩固和加深所学的知识。

目 录

绪论

第一篇 电 工

第一章 直流电路	(1)
第一节 基本概念和欧姆定律	(1)
第二节 电阻的串联、并联和混联	(6)
第三节 基尔霍夫定律	(11)
第四节 支路电流法	(14)
第五节 戴维南定理	(16)
第六节 电容器	(20)
实验 基尔霍夫定律的验证	(30)
本章小结	(31)
第二章 磁和电磁的基本知识	(37)
第一节 磁感应强度及有关物理量	(37)
第二节 铁磁物质的磁性能、分类和用途	(39)
第三节 电流的磁场	(41)
第四节 磁场对载流导体的作用	(42)
第五节 电磁感应的基本定律	(45)
第六节 自感和互感	(48)
本章小结	(51)
第三章 交流电路	(55)
第一节 单相正弦交流电的产生	(55)
第二节 正弦交流电的三要素和三种表示法	(57)
第三节 正弦交流电的有效值	(61)
第四节 纯电阻、纯电感和纯电容电路	(62)
第五节 电阻、电感和电容串联的交流电路	(70)
第六节 电感性负载与电容器并联的交流电路	(80)
第七节 三相交流电的产生	(84)
第八节 电源的星形连接和三角形连接	(86)
第九节 负载的星形连接和三角形连接	(88)
第十节 电磁铁	(94)
第十一节 安全用电的一般知识	(95)
实验 单相交流电的串、并联电路	(97)
本章小结	(99)
第四章 变压器	(105)
第一节 单相变压器	(105)

第二节	三相变压器	(110)
第三节	自耦变压器	(112)
第四节	电焊变压器	(114)
★第五节	仪用变压器	(115)
	本章小结	(117)
第五章	交直流电动机	(120)
第一节	三相异步电动机的基本结构	(120)
第二节	三相异步电动机的工作原理	(123)
第三节	单相异步电动机	(128)
★第四节	直流电动机	(131)
	本章小结	(137)
第六章	电力拖动	(139)
第一节	常用控制电器和保护电器	(139)
第二节	三相鼠笼式异步电动机的全压起动控制	(147)
第三节	三相鼠笼式异步电动机的降压起动控制	(150)
第四节	三相鼠笼式异步电动机的正反转控制	(154)
第五节	三相鼠笼式异步电动机的制动控制	(157)
★第六节	三相鼠笼式异步电动机的限位控制	(161)
第七节	几种实用电气线路的分析	(163)
第八节	几种常用电器、电机的故障	(167)
	实验 基本控制线路的接线与操纵	(168)
	本章小结	(170)

第二篇 电子技术

第七章	晶体管与放大电路	(173)
第一节	半导体的基本知识	(173)
第二节	晶体二极管	(177)
第三节	晶体三极管	(180)
第四节	低频小信号电压放大器	(186)
第五节	变压器耦合推挽功率放大器	(204)
★第六节	直流放大器	(209)
	实验 单管低频小信号电压放大器的安装与调试	(213)
	本章小结	(214)
第八章	晶体管整流与稳压电路	(220)
第一节	整流电路	(220)
第二节	滤波电路	(226)
第三节	直流稳压电路	(229)
第四节	可控硅简介	(238)
	实验 串联型晶体管稳压电源	(243)
	本章小结	(245)
第九章	晶体管正弦波振荡电路简介	(247)

第一节 振荡现象和振荡条件	(247)
第二节 变压器耦合正弦波振荡器	(249)
★第三节 RC桥式振荡电路简介	(251)
本章小结	(254)
第十章 脉冲电路简介	(256)
第一节 脉冲的基本概念	(256)
第二节 RC电路	(257)
第三节 晶体管的开关特性及倒相器	(258)
第四节 集基耦合双稳态触发器	(261)
第五节 集基耦合单稳态触发器	(265)
第六节 集基耦合自激多谐振荡器	(268)
本章小结	(271)
附录	(275)
主要参考书	(286)

第一篇 电 工

第一章 直流电路

第一节 基本概念和欧姆定律

一、电路和电路图

电流所流经的路径称为电路。电路有直流和交流之分。所谓直流电路就是其中的电流、电压、电动势等物理量的大小和方向都不能随时间变化的电路。电路通常由电源、负载、连接导线和开关三个基本部分组成，见图1—1(a)。

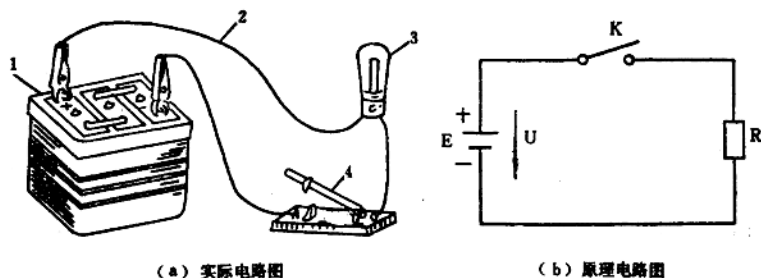


图1—1 电路的组成

1—电源；2—连接导线；3—负载；4—开关

电源是一种把非电能转换成电能的装置。交、直流发电机、干电池、蓄电池等都是电源，它们分别把机械能或化学能转换成电能；负载又叫用电器，是取用电能的装置。电灯、电炉、电动机、扬声器等都是负载，它们将电能转换成光能、热能、机械能；连接导线和开关是用来连接电源和负载以构成电流通路的中间环节，起着输送、分配和控制电能的作用。对电源来讲，负载、连接导线和开关称为外电路；电源内部的电路则称为内电路。电路有三种状态：通路、断路和短路。如果电路处处连通，就叫通路或闭合电路；如果有任何一处断开，就叫断路或开路；如果电源或负载两端被导线连接起来，就叫短路。

电源、负载和开关的种类很多，型式各异，但其本质相同。因此，为了突出其本质，便于绘制和分析电路，常采用规定的电工符号，将具体电路加以简化。这种用规定的电工符号表示电路连接情况的图称为电路图，见图1—1(b)。

电路图一般有以下几种画法，见图1—2。

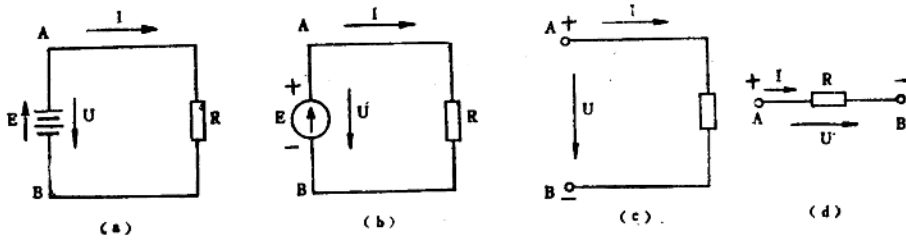


图1—2 电路图的几种画法

二、电路的基本物理量

(一) 电流

我们都听说过各种各样的带电粒子，如电子是带有负电荷的粒子，质子是带有正电荷的粒子等等，它们都是组成物质的基本单元。带电粒子有规则的定向运动，便形成电流。人们虽然看不见电流，但可以通过它产生的效应，如热效应、磁效应等来观察其存在。

在金属导体中，电流是自由电子在电场力作用下定向移动形成的；而在电解液中，电流则是由带正、负电荷的离子在电场力作用下向相反方向运动而形成的。显然，要产生电流必须具备两个条件：

1. 存在可以自由移动的电荷；
2. 存在电场。

习惯上，人们把正电荷移动的方向，规定为电流的正方向。在导体中，尽管电流是由带负电荷的电子移动形成的，但它与等量的正电荷沿相反方向移动所产生的电磁效应大部分是相同的（霍尔效应除外）。因此，电流的方向与电子移动的方向相反，见图1—3。

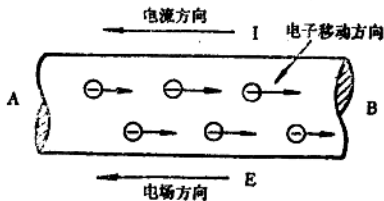


图1—3 导体中电流的方向

在电路的分析和计算中，为了方便，常常任意假定电流的正方向，最后根据计算结果来确定电流的实际流动方向。如果计算结果为正值，则说明电流的实际流动方向与原假定的正方向相同；若为负值，就说明电流的实际流动方向与原假定的正方向相反。因此，电流值的正与负是针对任意选定的正方向而言的，离开了所假定的正方向而谈电流的正与负是没有意义的。

电流的大小用电流强度来描述。单位时间内通过导体任一横截面的电量称为电流强度，简称电流，用 I 表示。设想我们站在导体中的某一点上观看电荷通过，假如我们看见每 t 秒钟有 Q 库仑电荷以均匀速率通过某一横截面，则该导体中的电流强度为

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

电流的单位是安培，简称安，用 A 表示。如果每秒钟有1库仑的电量通过导体的某一横截面，这时的电流就是1安培，即

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

比安培小的单位是毫安 (mA) 和微安 (μA)

$$1 \text{ 毫安 (mA)} = 10^{-3} \text{ 安 (A)}$$

$$1 \text{ 微安 } (\mu\text{A}) = 10^{-6} \text{ 安 (A)}$$

(二) 电位和电压

电位和电压都是用来衡量电场力作功本领的物理量。

1. 电位 电场力将单位正电荷从电场中的某点移动到参考点 (零电位点) 所作的功, 称为该点的电位, 用 φ 表示。参考点的选择可以是任意的, 但通常选择大地或电气设备的外壳作为参考点, 即认为电荷在地面或电气设备的外壳上的电位为零。在图1—4中, 如果选B点为参考点, 电场力将正电荷Q从A点经灯泡移动到B点所作的功为 W_A , 则A点的电位为

$$\varphi_A = \frac{W_A}{Q} \quad (1-2)$$

电位的单位是伏特, 简称伏, 用V表示。如果电场力把1库仑电量从电场中的某点移动到参考点所作的功是1焦耳, 则该点的电位就是1伏特, 即

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

比伏特小的单位是毫伏 (mV) 和微伏 (μV)

$$1 \text{ 毫伏 (mV)} = 10^{-3} \text{ 伏 (V)}$$

$$1 \text{ 微伏 } (\mu\text{V}) = 10^{-6} \text{ 伏 (V)}$$

比伏特大的单位是千伏 (kV)

$$1 \text{ 千伏 (kV)} = 10^3 \text{ 伏 (V)}$$

2. 电压 电路中某两点间的电位差, 称为这两点间的电压, 用U表示。它在数值上等于电场力将单位正电荷从其中的一点移动到另一点所作的功。在图1—4中, A、B两点间的电压为

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = \frac{W_A}{Q} - \frac{W_B}{Q} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-3a)$$

式中, W_{AB} 表示电场力将正电荷Q从A点经灯泡移动到B点所作的功。如果把B点选作参考点, 则

$$U_{AB} = \frac{W_A}{Q} \quad (1-3b)$$

此式表明, 电场中某点和参考点 (零电位点) 之间的电压, 就是该点的电位。

电压的单位和电位的单位相同。

电压的方向规定为电位降低的方向, 即从高电位点指向低电位点。在电路图中, 常用带箭头的细实线表示, 见图1—4。

请注意, 在电路中, 当选定的参考点不同时, 各点电位的数值也不同, 但任意两点之间的电压却保持不变。

(三) 电动势

电动势是用来衡量电源力作功本领的物理量。在电源内部, 存在着一种能推动电荷移动的作用力, 称为电源力。在电源力的作用下, 电源内部导体中所存在的正、负电荷将分别向

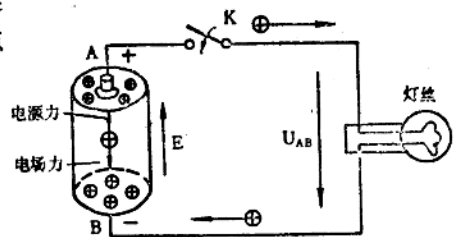


图1—4 电路中的电位、电压和电动势

两极移动，其结果使得一个极聚集一定数量的正电荷，称为正极，另一个极聚集一定数量的负电荷，称为负极，于是，正、负极之间建立了一定强度的电场，电源两端出现了电位差。

电源的电位差通常称为电动势，用E表示。它在数值上等于电源力将单位正电荷从电源的负极经电源内部移动到电源正极所作的功。如果电源力移动电荷Q所作的功为 W_E ，则

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

电动势的单位也和电位的单位相同。

电动势的方向规定为沿电源内部从低电位点（负极）指向高电位点（正极），即在电动势的方向上电位是逐点升高的。

三、电阻和欧姆定律

（一）电阻

电阻是衡量导体材料抵抗电流通过能力的物理量。如同颜色、硬度和重量一样是物质材料的一种自然属性。导体对电流起阻碍作用的能力称为电阻，用R表示，单位是欧姆，用 Ω 表示。比欧姆大的单位是千欧（ $k\Omega$ ）和兆欧（ $M\Omega$ ）

$$1 \text{ 千欧} (k\Omega) = 10^3 \text{ 欧} (\Omega)$$

$$1 \text{ 兆欧} (M\Omega) = 10^6 \text{ 欧} (\Omega)$$

任何导体都有电阻。实验证明，同一材料的电阻和导体的长度成正比，和导体的横截面积成反比。也就是说，导体愈长，电阻就愈大，正象一条长输油管对油的阻力比短管子大一样；导体的横截面积愈大，电阻就愈小，这和口径大的管子对油的阻力比口径小的管子小相类似。用公式表示就是

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-5)$$

式中 R——电阻（欧姆）；

l——长度（米）；

S——横截面积（毫米²）；

ρ ——电阻率（欧姆·毫米²/米）。

电阻率 ρ 是长1米，横截面积为1平方毫米的导体的电阻值。它反映了导体本身的性质。

电阻率的倒数称为电导率，用 γ 表示，即

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad (1-6)$$

它表示材料导电能力的大小，单位是1米/欧·毫米，单位名称为西门子，用S表示。石油勘探中的电测井就是通过测量、分析岩石的电阻率或电导率来判断岩石孔隙中液体的性质、岩石的孔隙性、渗透性的，它们是判断油、气、水层的重要依据。

（二）欧姆定律

1827年，欧姆由实验发现，导体中电流I的大小与加在导体两端的电压U成正比，而与导体的电阻R成反比，这个关系称为欧姆定律。其数学表达式为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-7a)$$

或者

$$U = IR \quad (1-7b)$$

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-7c)$$

欧姆定律反映了电路中电压、电流和电阻的相互关系，它是分析和计算电路的主要依据，应该牢记。

〔例1—1〕有一个电热器，其电阻为10欧姆，接在220伏的直流电源上，问流过它的电流有多大？

〔解〕 根据欧姆定律，由式(1—7a)得

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{10} = 22 \text{ (A)}$$

即流过该电热器的电流是22安培。

四、电功和电功率

电流通过电灯会发光，通过电炉会发出大量的热，通过电动机会带动机器转动。这些都说明，电流通过电路时，要消耗电能作功，把电能转换成其它形式的能。电流所作的功称为电功，或者叫电能，表示电流作功的能力，用W表示。实验证明，电功的大小与通过用电器的电流I和加在用电器两端的电压U及通电时间t的乘积成正比，即

$$W = UIt \quad (1-8)$$

电功的单位是焦耳，简称焦，用J表示。1焦耳就是1安培电流通过两端电压为1伏特的用电器历经1秒钟所作的功，即

$$1 \text{ 焦耳} = 1 \text{ 安培} \times 1 \text{ 伏特} \times 1 \text{ 秒}$$

电功可以用瓦时表(又叫电度表，俗称火表)来测量。

单位时间内电流所作的功称为电功率，简称功率，用P表示。

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-9a)$$

或者

$$P = I^2 R \quad (1-9b)$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (1-9c)$$

电功率的单位是瓦特，简称瓦，用W表示。

$$1 \text{ 瓦特} = \frac{1 \text{ 焦耳}}{1 \text{ 秒}} = 1 \text{ 安培} \times 1 \text{ 伏特}$$

比瓦特大的单位是千瓦(kW)

$$1 \text{ 千瓦(kW)} = 10^3 \text{ 瓦(W)}$$

电功率可以用瓦特表来测量。

〔例1—2〕把一个220伏、100瓦的灯泡接在220伏的直流电源上，通过灯丝的电流应该是多少？

〔解〕根据式 $P=UI$ 得

$$I = \frac{P}{U} = \frac{100}{220} = 0.45 \text{ (A)}$$

即通过灯丝的电流应该是0.45安培

〔例1—3〕电功的单位在实用上常用度。1度表示功率为1千瓦的用电器使用1小时所消耗的电能。现某室内装有40瓦的日光灯一盏，30瓦的电视机一架，如果每天平均照明3小时，收看电视2小时，问每月（以30天计）用电几度？若电费0.20元/度，应付电费多少？

〔解〕
 $40\text{W} = 0.04\text{kW}$
 $30\text{W} = 0.03\text{kW}$

根据度的定义，算出日光灯和电视机的用电数

$$W_1 = 0.04 \times 3 \times 30 = 3.6 \text{ (度)}$$

$$W_2 = 0.03 \times 2 \times 30 = 1.8 \text{ (度)}$$

总用电数为

$$W = W_1 + W_2 = 3.6 + 1.8 = 5.4 \text{ (度)}$$

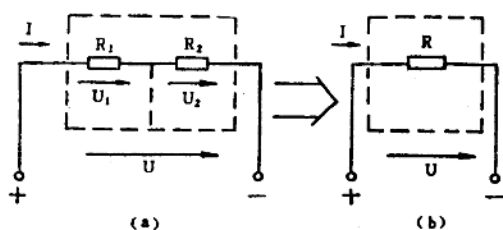
应付电费为

$$0.20 \times 5.4 = 1.08 \text{ (元)}$$

第二节 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一个接着一个的连接起来而无分支的连接方式，称为电阻的串联，



见图1—5。

电阻的串联有如下特点：

(1) 流过每个电阻的电流为同一电流，且等于线路电流，即

$$I_1 = I_2 = \dots = I_n = I \quad (1-10)$$

式中脚标1、2……n分别代表第1、2……n个电阻。

(2) 各个电阻上的电压之和等于总电压，即

$$U_1 + U_2 + \dots + U_n = U \quad (1-11)$$

电阻的串联具有如下重要性质：

(1) 串联电阻的等效电阻等于各电阻之和，即

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (1-12)$$

(2) 各电阻上的电压降与它的电阻值成正比，即

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \dots = \frac{U_n}{R_n} = I \quad (1-13)$$

(3) 各电阻消耗的功率与它的电阻值成正比，且电路消耗的总功率等于各电阻消耗的

功率之和，即

$$\frac{P_1}{R_1} = \frac{P_2}{R_2} = \dots = \frac{P_n}{R_n} = I^2 \quad (1-14)$$

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n \quad (1-15)$$

可见，通过电阻的串联，可以达到三个目的：用几个阻值较小的电阻串联起来以获得所需的阻值较大的电阻；在不变更电源电压的情况下，使电路的总电流减小；将一个已知电压分成所需大小的几部分。在图1-5(a)中，因为

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

所以

$$U_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \quad (1-16a)$$

$$U_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (1-16b)$$

如果有n个电阻串联，则各个电阻上所分得的电压为

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + \dots + R_n} U = K_1 U \quad (1-17a)$$

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + \dots + R_n} U = K_2 U \quad (1-17b)$$

⋮

$$U_n = \frac{R_n}{R_1 + R_2 + \dots + R_n} U = K_n U \quad (1-17c)$$

式中 $K_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + \dots + R_n}$

$$K_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + \dots + R_n}$$

⋮

$$K_n = \frac{R_n}{R_1 + R_2 + \dots + R_n}$$

称为电路的分压系数。

分压的一个应用实例是扩大电压表的测量范围。

〔例1-4〕今有一量程为10伏的电压表，其内阻为10千欧，要把它的量程扩大到250伏，问应该采取什么措施？

〔解〕根据电阻串联能分压的原则，为保证电压表所承受的电压不大于它的10伏量程，可以通过串联电阻 R_t ，使得在测量时， R_t 上有 $250 - 10 = 240$ 伏的电压降落即可，见图1-6。

由分压公式

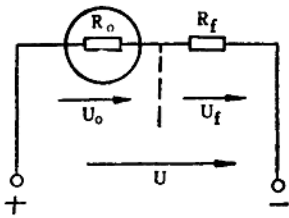


图1-6

$$U_f = \frac{R_f}{R_0 + R_f} U \text{ 得}$$

$$R_f = \frac{U_f}{U - U_f} R_0 = \frac{U_f}{U_0} R_0$$

$$= \frac{240}{10} \times 10 = 240 \text{ (千欧)}$$

所以，这块电压表串联一个240千欧的电阻后，就可以把它的量程扩大到250伏。

请注意，在测量时，加在电压表上的电压只是实际被测电压的一部分，所以应该把电压表的读数倍乘（本例为25）后，才是被测电压的实际数值。

二、电阻的并联

两个或两个以上的电阻，接在相同的两点之间的连接方式，称为电阻的并联，见图1-7。

电阻的并联有如下特点：

(1) 各电阻两端所承受的电压都相等，且等于外加的电源电压，即

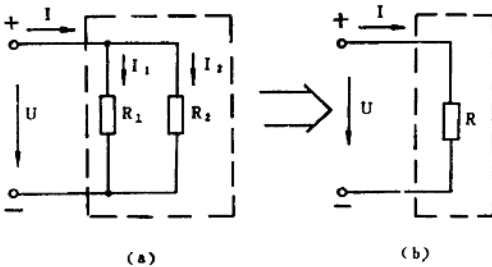


图1-7 电阻的并联

(a) 两个电阻的并联；(b) 用等效电阻代替并联电阻

对于图1-7 (a) 的两个电阻并联，其等效电阻为

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-21)$$

当 $R_1 = R_2$ 时，则

$$R = \frac{1}{2} R_1 = \frac{1}{2} R_2$$

如果有 n 个相同的电阻 R_0 并联，则其等效电阻为

$$R = \frac{1}{n} R_0 \quad (1-22)$$

这就说明了并联的电阻愈多，等效电阻则愈小，且小于其中任何一个电阻的阻值。

$$U_1 = U_2 = \dots = U_n = U$$

$$(1-18)$$

(2) 电路的总电流等于各支路的电流之和，即

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (1-19)$$

电阻的并联有如下重要性质：

(1) 并联电阻的等效电阻的倒数等于各并联电阻的倒数之和，即

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

$$(1-20)$$

(2) 流过各支路的电流与其对应的电阻值成反比, 即

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = \dots = I_n R_n = U \quad (1-23)$$

(3) 各电阻消耗的功率与它的电阻值成反比, 且电路消耗的总功率等于各支路电阻消耗的功率之和, 即

$$P_1 R_1 = P_2 R_2 = \dots = P_n R_n = U^2 \quad (1-24)$$

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n \quad (1-25)$$

可见, 通过电阻的并联, 可以达到两个目的: 用几个阻值较大的电阻并联起来以获得所需的阻值较小的电阻; 将一个已知电流分成所需大小的几部分。在图1-7(a)中, 我们知道

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2}, \quad I = I_1 + I_2$$

所以

$$\frac{I_1}{I} = \frac{I_1}{I_1 + I_2} = \frac{\frac{U}{R_1}}{\frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}} = \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{R_1} \times \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

于是

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad (1-26a)$$

同理

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (1-26b)$$

这就说明, 两个电阻并联时, 某一支路的电流等于总电流乘上一个分数, 该分数的分母是两并联电阻的和, 分子是另一支路中的电阻。必须指出, 这个结论只适用于两个电阻的并联, 对于两个以上电阻的并联, 这个关系是不成立的。

分流的一个应用实例是扩大电流表的测量范围。

〔例1-5〕现有一量程为100微安的电流表, 其内阻为1千欧, 要把它的量程扩大到500微安, 问分流电阻 R_f 应该为多大?

〔解〕电路见图1-8。已知 $I_0 = 100$ 微安; $R_0 = 1$ 千欧; $I = 500$ 微安。根据分流公式

$$I_f = \frac{R_0}{R_0 + R_f} I \text{ 得}$$

$$(I - I_0) R_f = I_0 R_0$$

即

$$R_f = \frac{R_0}{I - I_0} I_0 = \frac{1}{500 - 100} \times 100 = 0.25 \text{ (千欧)}$$

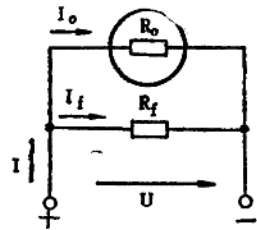


图1-8

请注意, 在测量时, 流过微安表的电流只是被测电流的一部分, 所以, 应该把微安表的读数倍乘(本例为5)后, 才是被测电流的实际数值。

最后，还要特别指出，用电器（如电灯、电动机等）在线路中通常都是并联的，这不仅以保证具有相同电压的用电器获得所需的工作电压，而且在我们接通或断开其中某些用电器时，不会对其它正在工作着的用电器产生影响。如果采用串联，由于线路电压是近似不变的，因此，每个用电器从线路上所取得的电压将随用电器串联数目的增加而下降，超过一定限度时，用电器就不能正常工作。此外，当任一用电器发生故障而断开时，其它用电器也就处于断路状态。

三、电阻的混联

既有串联又有并联的电阻器的组合称为电阻的混联。图1—9就是一个最简单的电阻混联电路。

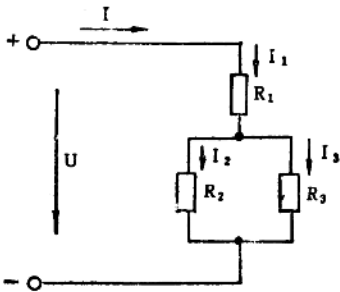


图1—9

计算和分析混联电路，可分成三个步骤：

(1) 合并单纯的串联与并联部分，算出电路的总电阻；

(2) 根据总电阻和总电压算出电路中的总电流；

(3) 根据电阻串联的分压关系和电阻并联的分流关系，逐步推算出各部分的电压和电流。

〔例1—6〕在图1—9中，已知 $R_1=7$ 欧姆， $R_2=12$ 欧姆， $R_3=4$ 欧姆， $U=20$ 伏。求流过电阻的电流及其所承受的电压。

〔解〕电路的连接方式是 R_2 与 R_3 并联后和 R_1 串联。根据解题步骤，(1)求总电阻。因为 R_2 与 R_3 并联的等效电阻为

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{12 \times 4}{12 + 4} = 3 \text{ (欧姆)}$$

所以总电阻为

$$R = R_1 + R_{23} = 7 + 3 = 10 \text{ (欧姆)}$$

(2) 求总电流

$$I = \frac{U}{R} = \frac{20}{10} = 2 \text{ (安培)}$$

(3) 由图可知，流过 R_1 的电流就等于电路的总电流，所以 $I_1 = I = 2$ 安培。根据欧姆定律求得 R_1 两端所承受的电压为

$$U_1 = I_1 R_1 = 2 \times 7 = 14 \text{ (伏)}$$

由电阻并联的分流公式得

$$I_2 = \frac{R_3}{R_2 + R_3} I = \frac{4}{12 + 4} \times 2 = 0.5 \text{ (安培)}$$

$$I_3 = \frac{R_2}{R_2 + R_3} I = \frac{12}{12 + 4} \times 2 = 1.5 \text{ (安培)}$$

根据电阻串联的分压原则和电阻并联每个电阻两端所承受的电压都相同的特点得