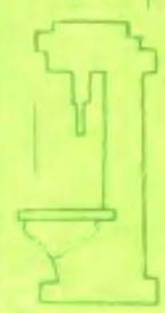
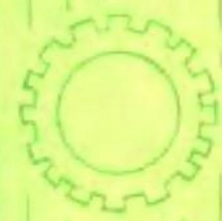


中华人民共和国第一机械工业部统编

机械工人技术培训教材

电工基础



科学普及出版社

本书是第一机械工业部统编机械工人技术培训教材的基础理论课之一。它是根据一机部《工人技术等级标准》和教学大纲,为机械类热加工各工种初、中级工人技术培训编写的。全书共分十章,主要包括:交、直流电路与电磁的基本知识;工厂常用电机、电器以及电热设备的结构、工作原理和应用;常用电子元件的性能、用途以及基本电子电路的工作原理和应用常识。

本书是机械类热加工各工种工人的技术培训教材,也可供有关技术人员和工人学习参考。

本书由张智明和刘云同志编写,并由张朝枢、赵立卓和刘明伦同志参加审查。

中华人民共和国第一机械工业部统编
机械工人技术培训教材

电 工 基 础

责任编辑:宝 成

*

科学普及出版社出版(北京白石桥紫竹院公园内)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国科学院印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 17 3/4 字数: 407 千字

1982年7月第1版 1982年7月第1次印刷

印数: 1—220,000册 定价: 1.65 元

统一书号: 15051·1035 本社书号: 0521

对广大工人进行比较系统的技术培训教育，是智力开发方面的一件大事，是一项战略性的任务。有计划地展开这项工作，教材是个关键。有了教材才能统一培训目标，统一教学内容，才能逐步建立起比较正规的工人技术教育制度。

教材既是关键，编写教材就是一件功德无量的事。在教材行将出版之际，谨向为编写这套教材付出辛勤劳动的同志们致以敬意！

第一机械工业部第一副部长

杨 拯

一九八二年元月

前 言

为了更好地落实中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，对工人特别是青壮年工人进行系统的技术理论培训，以适应四化建设的需要，现确定按初级、中级、高级三个培训阶段，逐步地建立工人培训体系，使工人培训走向制度化、正规化的轨道，以期进一步改善和提高机械工人队伍的素质。为此，根据当前机械工人队伍的构成、文化状况及培训的重点，我们组织了四川省、江苏省、上海市机械厅(局)和第一汽车厂、太原重型机器厂、沈阳鼓风机厂、湘潭电机厂，编写了三十个通用工种的初级、中级的工人技术培训教学计划、教学大纲及其教材，作为这些工种工人技术理论培训的统一教学内容。

编写教学计划、教学大纲及其教材的依据，是一机部颁发的《工人技术等级标准》。初级技术理论以二、三级工“应知”部分为依据，是建立在初中文化基础上的。它的任务是为在职的初级工人提供必备的基础技术知识，指导他们正确地使用设备、工装夹具、量具，按图纸和工艺要求进行正常生产。中级以四、五、六级工“应知”部分为依据，并开设相应的高中文化课，在学完了初级技术理论并具有一定实践经验的工人中进行。它的任务是加强基础理论教学，使学员在设备、工装夹具、结构原理、工艺理论、解决实际问题 and 从事技术革新的能力上有所提高(高级以七、八级工“应知”部分为依据，这次未编)。编写的教材计有：车工、铣工、刨工、磨工、齿轮工、镗工、钳工、工具钳工、修理钳工、造型工、化铁工、热处理工、锻工、模锻工、木模工、内外线电工、维修电工、电机修理工、电焊工、气焊工、起重工、煤气工、工业化学分析工、热工仪表工、锅炉工、电镀工、油漆工、冲压工、天车工、铆工等工艺学教材和热加工的六门基础理论教材：数学、化学、金属材料及其加工工艺、机械制图、机械基础、电工基础。

在编写过程中，注意了工人培训的特点，坚持了“少而精”的原则。既要理论联系生产实际，学以致用，又要有理论的高度和深度；既要少而精，又要注意知识的科学性、系统性、完整性；既要短期速成，又要循序渐进。在教学计划中对每个工种的培养目标，各门课程的授课目的，都提出了明确的要求，贯彻了以技术培训为主的原则。文化课和技术基础课的安排，从专业需要出发，适当地考虑到今后发展和提高的要求，相近工种的基础课尽量统一。

这套教材的出版，得到了有关省、市机械厅(局)、企业、学校、研究单位和科学普及出版社的大力支持，在此特致以衷心的感谢。

编写在职工人培训的统一教材，是建国三十年来第一次。由于时间仓促，加上编写经验不足，教材中难免存在不少缺点和错误，我们恳切地希望同志们在试行中提出批评和指正，以便进一步修改、完善。

第一机械工业部工人技术培训教材编审领导小组

一九八一年十二月

目 录

绪论	1
第一章 直流电路	2
第一节 电路	2
第二节 欧姆定律	6
第三节 电阻的联接	8
第四节 电功率与电能	10
第五节 克希荷夫定律	13
第六节 电容器	18
第二章 电磁	27
第一节 磁的基本知识	27
第二节 铁磁材料与电磁铁	31
第三节 磁路概念	35
第四节 电磁力与直流磁电式仪表的工作原理	37
第五节 电磁感应	39
第六节 自感、互感、涡流	43
第三章 交流电路	51
第一节 交流电的基本概念	51
第二节 正弦交流电的矢量表示法	54
第三节 简单的交流电路	57
第四节 三相交流电源	73
第五节 三相负载的联接	76
第六节 三相电路的电功率	78
第七节 安全用电	79
第四章 变压器与电动机	87
第一节 变压器的用途	87
第二节 变压器的工作原理	87
第三节 变压器的结构	91
第四节 三相变压器	94
第五节 特殊变压器	97
第六节 三相异步电动机的基本结构	102
第七节 三相异步电动机的工作原理	105
第八节 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	109
第九节 三相异步电动机的使用	112
第十节 单相异步电动机、可逆电动机与小型同步电动机	122
第五章 电热设备原理及应用	131
第一节 电阻炉	131
第二节 盐浴炉	138

第三节	感应加热设备的原理及应用	141
第四节	辉光离子氮化装置原理	146
第五节	热电偶	148
第六章	常用电器及控制电路	153
第一节	手动控制电器与熔断器	153
第二节	自动控制电器	158
第三节	生产机械控制电路的分析方法	169
第七章	晶体管放大电路	176
第一节	半导体的基本知识	176
第二节	PN 结及其单向导电性	178
第三节	晶体二极管	180
第四节	晶体三极管	182
第五节	晶体管交流电压放大器	188
第六节	晶体管功率放大器	199
第七节	直流放大器	204
第八章	晶体管正弦波振荡器	212
第一节	振荡现象和振荡条件	212
第二节	LC 振荡器的基本电路	214
第三节	动圈式温度指示调节仪	216
第九章	晶体管整流与直流稳压电路	218
第一节	单相整流电路	218
第二节	三相桥式整流电路	222
第三节	滤波电路	224
第四节	晶体管直流稳压电源	227
第五节	可控硅的一般知识及其应用	231
第十章	晶体管开关电路	239
第一节	晶体管的开关特性	240
第二节	RC 电路	243
第三节	门电路	244
第四节	双稳态电路	251
第五节	单稳态和无稳态电路	258

绪 论

电工学是一门研究电的自然规律及其应用的科学。现在电能不但在工业、农业、国防、科学技术等方面应用越来越广泛,而且在人们的日常生活中应用也日益扩大。目前,电气化程度已成为衡量一个国家强盛和文明的重要标志之一。

电能之所以获得广泛应用,是因为它具有下面的一些优越性。

1. 转换容易 电能可以从水能(水力发电)、热能(火力发电)、原子能(原子能发电)、化学能(电池)以及光能(光电池)等转换而来;同时,电能也可以方便地转换为机械能、热能、光能、声能等其他形式的能。另外,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;用振荡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,而且输电设备简单,效率高。这样可以充分利用动力资源、合理布局工业。

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

3. 便于测量和控制 利用电能易于实现高度自动化。因为电能以及一些相关的电学量(电压、电流等)可以用来代表信息,以无线和有线的形式高速而精确地进行传递、控制和处理。为远程通讯、生产过程自动化和自动检测等提供可靠的技术基础。特别是电子计算机发明以来,促进了生产过程自动化,不但减轻了繁重的体力劳动,而且还代替了脑力劳动的某些职能。

建国 30 多年来,随着生产和科学技术的发展,不但电力工业发展迅速,电子工业发展也很快。电子技术已由晶体管分离元件电路发展到集成电路;由小规模集成发展到中规模、大规模和超大规模集成电路。目前,电子技术已深入到国民经济的各个领域,并在实现四化建设中,将发挥越来越大的作用。

电工学是非电专业的一门技术基础课。它的内容包括电工与电子两部分。主要介绍用电技术的基本理论与方法,工厂常用电气设备与电热设备的结构、工作原理及其应用;电子技术的基本理论和应用常识等。学习本课程的要求是要求学员掌握电工与电子的基本理论,能正确使用本专业的常用电气设备与电热设备,为学习专业技术理论和进一步提高专业技术水平奠定必要的基础。

本课程的主要特点是理论性、系统性、实践性都较强,学员在学习中,除了对基本理论、基本概念要牢固掌握外,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。在学习中还要注意联系生产和日常生活中的用电实际,以激发学习兴趣,加深对问题的理解,增强学习效果。

本课程根据教学要求,在电子技术方面只介绍了晶体管分离元件电路的基本知识。关于电子管及其电路和半导体集成电路等方面的知识未作介绍,学员可以根据工作需要,在学习本课程的基础上,完全可以自修有关的电子管电路和集成电路等电子技术方面的知识。

第一章 直流电路

第一节 电路

一、电路的组成

电路,简单地说,就是电流所流过的路径,它一般由电源、负载和联接部分等组成。简单的直流电路,见图 1-1。

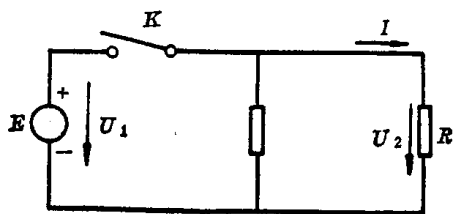


图 1-1 简单的直流电路

1. 电源 电源是一种将非电能转换成电能的装置。常用的电源有原电池、蓄电池和发电机等,它们分别将化学能或机械能转换为电能。图 1-1 中的 E 即表示电源。

2. 负载 负载是取用电能的装置,也就是用电设备。它将电能转换为其他形式的能量。例如电灯、电炉和电动机分别将电能转换为光能、热能和机械能。图 1-1 中的 R 即表示负载。

3. 联接部分 是用来联接电源与负载,构成电流通路的中间环节,它除了必不可少的联接导线外,通常还包括开关和熔断器等。联接部分是用来输送、分配和控制电能的。

二、电路的几个物理量

1. 电流 水往一定方向流动形成水流。同样,如果物体里的带电质点往一定方向运动便形成电流。人们虽然看不见电流,但可以通过它的热效应、磁效应和光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的作用下定向移动而形成的。在电解液中的电流,是由于带正、负电荷的离子在电场力的作用下,向相反方向运动而形成的。

电流的方向:人们最初不知道哪一种电荷会移动,而人为地把正电荷移动的方向规定为电流的方向。在分析与计算电路时,往往会遇到电路中电流的方向难于确定,这时常假定某一方向作为电流的正方向。当求解出的电流的方向与假定方向一致时,则电流为正值,见图 1-2(a);反之,当电流的方向与假定方向相反时,则电流为负值,见图 1-2(b)。也就是说,在电路中假定电流正方向之后,求出的电流之值可能为正,也可能为负。



图 1-2 电流的正方向

(a) 正值; (b) 负值

电流的大小:电流的大小以单位时间内通过导体横截面的电荷量来表示。如果,电流用 I 表示,电荷量用 q 表示,时间用 t 表示,则

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

如果在 1 秒钟内通过导体横截面的电荷量是 1 库仑,那么这个电流就叫 1 安培,即

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

安培常用 A 表示,在实际应用中还常用毫安 (mA) 或微安 (μA) 作单位:

$$1 \text{ 毫安} = 1/1,000 \text{ 安培}$$

$$1 \text{ 微安} = 1/1,000 \text{ 毫安}$$

电流有直流和交流两种。一般地说,大小和方向不随时间而变化的电流叫做直流;大小和方向随时间按一定规律作周期性变化的电流叫做交流。干电池、蓄电池和直流发电机产生的电流就是直流电;交流发电机产生的电流就是交流电。关于交流电,将在后面讨论。

2. 电位和电压 我们知道,管道里的水流的形成只有水是不行的,还必须要有水位或水压的作用。同样,导体里的电流的形成只靠导体中的自由电子是不行的,还必须要有电场力的作用。这实际上是电场力移动电荷克服导体(或负载)的阻力而作功。衡量电场力作功本领的物理量是电位和电压。

(1) 电位。电路中某点的电位是指电场力将单位正电荷从该点移动到参考点(零电位点)所做的功。见图 1-3。若以 B 点作为参考点,则 A 点的电位就是指电场力将单位正电荷从 A 点经灯泡移动到 B 点所做的功。电位常用 φ 表示,于是电路中某点 A 的电位为

$$\varphi_A = \frac{W}{q} \quad (1-2)$$

式中 W 是电场力将正电荷 q 从 A 点移到参考点所做的功,它的单位用焦耳;电量的单位用库仑;电位的单位则是焦耳/库仑,或称为伏特,简称伏,用 V 表示。

电位的高低与参考点的选择有关,电路中电位参考点选择不同,各点电位的数值也将不同。正如我们测量山的高度一样,如果所选的基准点不同,量得的数值也将是不同的。电位的参考点就是假定电位为零的一点,它是可以任意选择的。在电工学里常以大地或电气设备的外壳作为零电位的点。电位的概念很重要,在分析电子电路时要经常用到。

(2) 电压。电路中某两点间的电压,就是该两点间的电位差。它实际上是电场力将单位正电荷从某点移动到另一点所做的功。电压常用 U 表示,在图 1-3 中 AB 两点间的电压为

$$U_{AB} = \frac{W}{q} \quad (1-3)$$

式中 W 表示电场力将正电荷 q 从 A 点经灯泡移动到 B 点所做的功。

电压的单位与电位的单位相同,都是伏特。在实际应用中,有时要用毫伏 (mV)、微伏 (μV) 和千伏 (kV) 作单位。

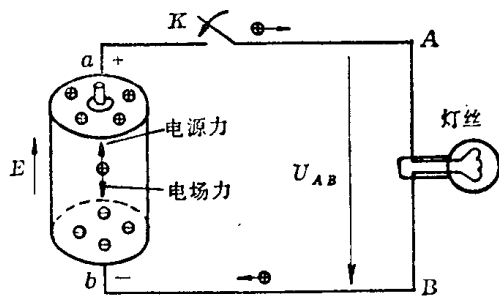


图 1-3 电路中的电压与电动势

$$1 \text{ 毫伏} = 10^{-3} \text{ 伏}$$

$$1 \text{ 微伏} = 10^{-3} \text{ 毫伏} = 10^{-6} \text{ 伏}$$

$$1 \text{ 千伏} = 10^3 \text{ 伏}$$

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。在电路图中常以带箭头的细实线表示,见图 1-3。

因为电压是电位之差,所以电路中某两点间的电压大小,只跟该两点的位置有关,而与参考点的选择无关。

3. 电动势 在图 1-3 中左边的圆柱形部分表示电路中的电源。前面曾谈到,电源的作用是将化学能、机械能等非电能转换为电能。在这个具体电路中,它的作用是把已从电源的正极经灯泡移动到电源负极(电场力的作用)的正电荷,从电源的负极经电源的内部搬运到电源的正极去,以保持电源两端的电压,使电路中有连续不断的电流流通。它和水路中的水泵把水从低处不断送到高处,以保持水压,使水流不断很相似。

把正电荷从电源的负极经电源内部搬运到电源的正极,是电源力的作用,在搬运过程中正电荷逆电场方向运动,要受到电场力的阻碍作用,所以电源力搬运电荷要克服阻力而作功。衡量电源力作功本领的物理量就是电源的电动势。

具体地说,电源的电动势是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的正极所做的功,常用 E 表示。如果电源力移动电荷 q 所做的功为 W_E , 则

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

电动势的单位与电压和电位的单位相同,都是伏特。因为电动势是电源力移动单位正电荷所作的功,其作用方向与电场力相反,所以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),即表示电位升高的方向。

在图 1-3 所示电路中,开关 K 接通时,整个电路的物理过程是:在电源内部(内电路)电源力克服电场力把正电荷从低电位的负极推到高电位的正极而作功,即把非电能转换为电能;在电源外部(外电路)电场力克服负载(这里指灯泡)的阻力把正电荷从高电位移动到低电位而作功,即把电能转换为非电能(这里指光能和热能)。只有当电路中有电流流通时才能实现能量的传输和转换。

4. 电阻 水在水管里流动,要受到管壁和其它障碍物的阻力。自由电子在导体里运动也要克服原子核的吸力,还会碰撞其它原子和电子等,因此也有阻力。导体对电流起阻碍作用的能力叫做电阻。任何导体都有电阻。电阻用 R 表示。电阻的单位为欧姆,用 Ω 表示,在实际应用中还常用到千欧($k\Omega$)和兆欧($M\Omega$)作单位。它们之间的关系为

$$1 \text{ 千欧} = 10^3 \text{ 欧}$$

$$1 \text{ 兆欧} = 10^6 \text{ 欧}$$

实验证明,导体的电阻决定于导体材料的物理性质、几何尺寸和导体的温度等因素。对于一根材料均匀、截面为 S 、长度为 l 的导线来说,其电阻可用下式表示

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

式中 ρ 称为电阻率,它取决于材料的性质。当电阻的单位为欧、截面的单位为毫米²、长度的单位为米时,则电阻率的单位为 $\frac{\text{欧} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}}$ ($\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$)。因此,电阻率就是长度为 1 米、

截面为1毫米²的材料所具有电阻的欧姆数。在实用单位制中,电阻率的单位是欧·米($\Omega \cdot m$), $1 \text{ 欧} \cdot \text{米} = 10^6 \frac{\text{欧} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}}$ 。例如铜的电阻率为

$$\rho_{Cu} = 0.0172 \frac{\text{欧} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}} = 0.0172 \times 10^{-6} \text{ 欧} \cdot \text{米}$$

电阻的倒数称为电导,用 G 表示,即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-6)$$

电导的单位为1欧。

电阻率的倒数称为电导率,用 γ 表示,即

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad (1-7)$$

它表示材料导电能力的大小,在实用单位制中,单位为1/欧·米。

几种导电材料的电阻率见表1-1。

几种导电材料的电阻率和电阻温度系数

表 1-1

材 料 名 称	20℃ 时的电阻率 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{M}$)	电 阻 温 度 系 数 ($1/^\circ\text{C}$)
银	0.16	0.00361
铜	0.0172	0.0041
金	0.022	0.00365
铝	0.029	0.00423
钼	0.0477	0.00479
钨	0.049	0.0044
锌	0.059	0.0039
镍	0.073	0.00621
铁	0.0978	0.00625
钴	0.105	0.00398
锡	0.114	0.00438
铅	0.206	0.0041
汞	0.958	0.0009
康铜 (54% 铜, 46% 镍)	0.50	0.00004
锰铜 (86% 铜, 12% 锰, 2% 镍)	0.40	0.00002

导体的电阻随其温度的不同而有所变动。金属导体的电阻的变动可近似地认为与温度的变动成正比,其关系式为

$$\frac{\Delta R}{R_1} = \frac{R_2 - R_1}{R_1} = \alpha(t_2 - t_1)$$

或

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-8)$$

式中 α 称为材料的电阻温度系数,它等于温度变动1℃时电阻变动的相对值; R_1 和 R_2 分别是温度为 t_1 和 t_2 时的电阻。

从表中可以看出,除贵金属银以外,铜和铝的电阻率较小,是最好的导电材料,它们应用非常广泛,又由于铝的价格较廉,因此在很多场合下,常用铝来代替铜。康铜和锰铜

的电阻率较大,而电阻温度系数较小,常用来制造精密电阻、变阻器及用于电工测量仪表的分流器和倍压器等。用铸铁做成的电阻片能通过较大的电流。镍铬合金和铝铬合金的电阻率高,并有长期承受高温的能力,常用来制造电热器的热丝。

在实验室中常用的变阻器,见图 1-4; 它的代表符号,见图 1-5。

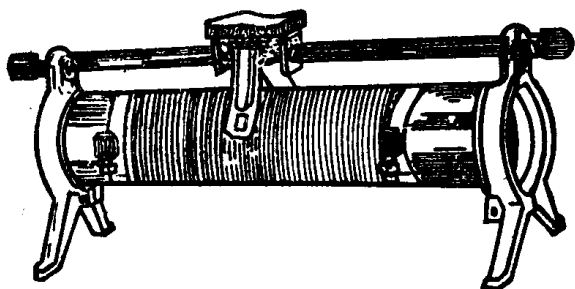


图 1-4 滑动变阻器



图 1-5 变阻器的符号

利用变阻器可以调节电路中的电流和电压,见图 1-6。电阻器型号的命名表见附录 1,电阻器、电容器的标称系列值见附录 3。

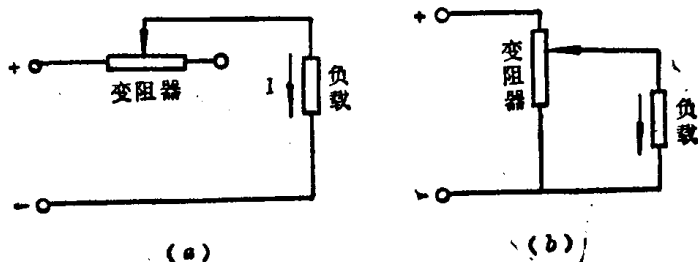


图 1-6 变阻器应用举例

(a) 调节电流; (b) 分压

第二节 欧姆定律

一、部分电路的欧姆定律

图 1-7 表示部分电路,图中 R 是部分电路的电阻。实践证明,对于一段通电电路,流过其中的电流与这段电路两端的电压成正比,而与这段电路的电阻成反比,这个关系叫做欧姆定律。用公式表示为

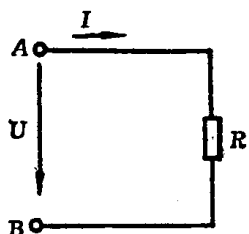


图 1-7 一段无源支路

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-9)$$

式中 I —— 电流, 安培;

U —— 电压, 伏;

R —— 电阻, 欧。

应用上式,当已知电压和电阻时,可求出电流。如将上式加以适当变化还可得: $U = IR$, 它表示电流流过电阻时所产生的电位降低称为电阻压降,应用该式当已知电流和电阻时可求出电压;而当已知电压和电流时,又可以从 $R = U/I$ 求出电阻。

部分电路的欧姆定律,反应了部分电路中电压、电流和电阻的相互关系,它是分析和计算部分电路的主要依据,应该牢牢记住。

【例 1-1】 有一电灯,其电阻 R 为 848 欧,接到 220 伏的电源上,试求电灯中的电流。

【解】 根据部分电路的欧姆定律

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{848} \approx 0.26 \text{ 安}$$

二、全电路的欧姆定律

图 1-8 是一最简单的全电路,它由负载、电源和联接导线等组成。图中 r_0 是电源的内阻;当联接导线的电阻可以忽略不计时,负载电阻 R 就是外电路的电阻。当开关 K 接通时,电路中将有电流流通。下面将讨论电流、电动势与各电阻间的关系。

从前面讨论中知道,当电流流过电阻时,根据部分电路欧姆定律,在外电路负载电阻 R 上的电阻压降为

$$U = IR \quad (1-10)$$

同样,在内电路中电源内阻 r_0 的电阻压降为

$$U_0 = Ir_0 \quad (1-11)$$

在一个闭合电路中,电位的升高应该等于电位的降低,即电动势应该等于所有电压降之和,即

$$E = U + U_0 = IR + Ir_0$$

或

$$I = \frac{E}{R + r_0} \quad (1-12)$$

式 (1-12) 就是全电路欧姆定律的表达式。因此,全电路欧姆定律的定义是:在闭合电路中,电流的量值等于该电路中的电动势除以整个电路的总电阻。也就是说,在闭合回路中,电流的大小与电源的电动势成正比,而与整个电路的电阻成反比。

变换式 (1-12) 得

$$IR = E - Ir_0$$

即

$$U = E - Ir_0 \quad (1-13)$$

该式表明电源两端的电压 U , 要随电流的增大而下降。这是由于电源内阻压降所造成的。因为电流愈大,电源内阻压降 Ir_0 也越大,所以电源两端输出的电压 U 就越低。电源都有内阻,内阻越大,电源输出电压随电流的变化也越大。当电源的内阻很小(相对负载电阻而言)内阻压降可以忽略不计,则可认为

$$U = E - Ir_0 \approx E$$

即电源的端电压近似等于电源的电动势。在今后的电路分析中,如果没有特殊指明电源的内阻时,就表示电源的内阻忽略不计。

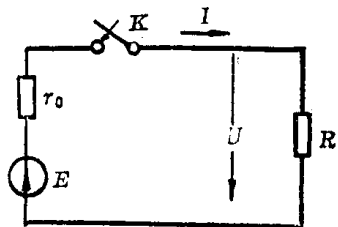


图 1-8 具有一个电动势的全电路

第三节 电阻的联接

一、电阻的串联

在电路中如有几个电阻首尾依次相联接,中间没有分岔,就叫做电阻的串联。

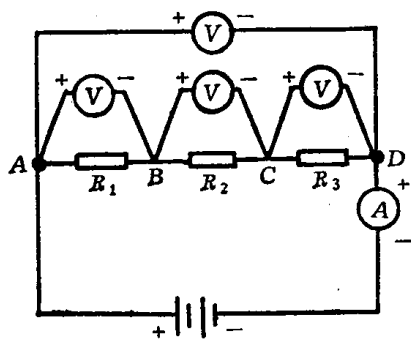


图 1-9 电阻的串联电路

图 1-9 是 R_1 、 R_2 、 R_3 三个电阻串联起来后接到电源上的。图中④是测量各部分电压用的伏特计(又称为电压表),④是测量电流用的安培计(又称为电流表),在联接时要注意它们的极性,不能接错。当电路接通后,就会发现 AB 、 BC 、 CD 各段的电压 U_1 、 U_2 、 U_3 三者之和等于 AD 段的电压 U 。即

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (1-14)$$

这就是说,在串联电路中,总电压等于电路上各段电压之和。

如果移动电流表的接线位置,例如从 D 端改接到 A 端,又会发现整个串联电路中的电流处处相等。

根据部分电路欧姆定律可以得到

$$U = IR; \quad U_1 = IR_1; \quad U_2 = IR_2; \quad U_3 = IR_3$$

代入式(1-14)得

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

两边同用 I 除得

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1-15)$$

R 叫做串联电路的总电阻,又叫做等效电阻,所谓等效电阻就是有几个电阻串联的电路可以用一个与它等效的电阻 R 来代替。

如果在电路中有 n 个串联电阻,即 R_1 、 R_2 、 $R_3 \cdots R_n$, 那么,该串联电路的总电阻为

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n \quad (1-16)$$

显然,若 n 个相同的电阻 R 串联时,则其总电阻为

$$R_n = nR$$

根据以上所述,我们可以得到以下几点结论:

- (1) 在串联电路中流过各电阻的电流相同;
- (2) 在串联电路中总电压等于各部分的电压之和;
- (3) 串联电路可以用一个等效电阻来代替。等效电阻等于各串联电阻之和。

电阻串联的应用较多,例如两盏相同的 110 伏的灯泡可以串联起来接到 220 伏的电源上使用;当负载的额定电压低于电源电压时,可以串联一个电阻,降低一部分电压,以满足负载接入电源使用的需要;在必要时可以利用串联电阻的方法调节或限制电路中的电流;另外在电工测量中还广泛使用串联电阻的方法来扩大电表的电压量程。

【例 1-2】 有一电压表,其内阻为 250 千欧,最大量程为 250 伏,现要用它测量 500 伏以下的电压,问应串入多大电阻才能使用?

【解】 (1) 根据已知条件可以求出通过电压表的最大电流:

$$I = \frac{250}{250 \times 10^3} = 0.001 \text{ 安} = 1 \text{ 毫安}$$

(2) 设应串联电阻为 R' , 根据串联电路的分压作用有:

$$500 = 250 + IR'$$

故
$$R' = \frac{500 - 250}{I} = \frac{250}{0.001} = 250,000 \text{ 欧} = 250 \text{ 千欧}$$

即为了测量 500 伏以内的电压, 应串入 250 千欧的电阻。

二、电阻的并联

在电路中, 若几个电阻的首端和尾端分别连接在两个节点之间, 使每个电阻承受同一电压, 这种连接的方法叫做电阻的并联。图 1-10 是由三个电阻组成的并联电路。图中的电流表和电压表用以测量各支路中的电流和电压。

在图 1-10 所示电路中, 可以从各仪表上看出: 电路上的总电流 I 等于三条分支电路的电流 I_1 、 I_2 、 I_3 的总和, 即

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (1-17)$$

若用 U 表示并联电路两端的电压, R 表示并联电路的总电阻, R_1 、 R_2 、 R_3 分别表示各并联支路的电阻, 则根据部分电路欧姆定律可得

$$I = \frac{U}{R}; \quad I_1 = \frac{U}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U}{R_2}; \quad I_3 = \frac{U}{R_3}。$$

将上列各式分别代入式(1-17)得

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

两边同除以 U 得

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (1-18)$$

如果在电路中有 n 个电阻并联, 即电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 $\cdots$ 、 R_n 并联, 那么

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_n} \quad (1-19)$$

可见并联电路的总电阻的倒数, 等于各并联支路电阻的倒数之和。

显然, 若 n 个相同的电阻 R 并联, 则总电阻为一个电阻的 n 分之一, 即

$$R_n = \frac{R}{n} \quad (1-20)$$

综上所述, 可以得到以下几点结论:

- (1) n 个电阻并联, 各电阻两端所承受的电压相同;
- (2) 并联电路中的总电流等于各支路电流之和;

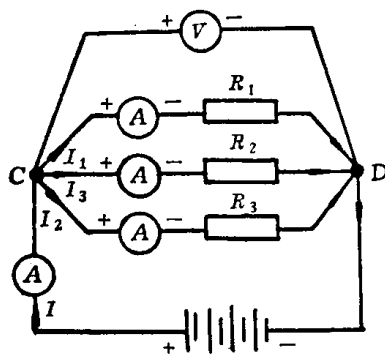


图 1-10 电阻的并联电路

(3) 并联电阻可以用一个等效电阻来代替, 其等效电阻的倒数等于各并联支路电阻的倒数之和。

负载一般都有一定的额定电压, 当负载并联运行时, 它们处于同一电压之下, 任何负载的工作情况不受其他负载的影响, 这是负载并联运行的显著优点。因为负载在串联时, 当某一负载发生变化, 也将引起其他负载的电压、电流发生变化。例如, 多盏电灯的串联, 若一盏灯断开, 其他各灯也就熄灭, 所以电灯通常都接成并联。有时还应用并联分流的作用来调节电路中的电流。如在电工测量中, 广泛应用并联分流的作用来扩大电表的电流量程。

【例 1-3】有一只微安表, 它的最大量程 I_0 为 100 微安, 内阻 R_0 为 1 千欧, 如要改装成最大量程为 10 毫安的毫安表, 必须并联一只分流电阻 R_f (又称为分流器)。问分流电阻 R_f 为若干?

【解】当用改装后的表测量 10 毫安电流时, 流过分流器的电流 I_f 为

$$I_f = I_{\text{总}} - I_0 = 10 - 0.1 = 9.9 \text{ 毫安}$$

因并联各支路的电流与电阻成反比, 即

$$I_f : I_0 = R_0 : R_f$$

故

$$R_f = \frac{R_0 I_0}{I_f} = \frac{1,000 \times 0.1}{9.9} \approx 10.1 \text{ 欧}$$

三、电阻的混联

电路中的电阻除了串联或并联外, 有时还出现既有串联又有并联的情况, 这叫做电阻

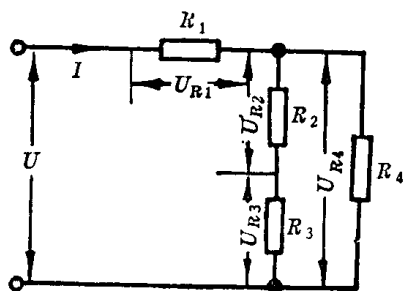


图 1-11 电阻的混联

的混联。这样的电路称为电阻混联电路, 见图 1-11。图中电阻 R_2 与 R_3 是串联的, 串联后又和 R_4 并联, 最后再与 R_1 串联起来。在计算混联电路的总电阻时, 可以采用电阻逐步合并的办法。如图 1-11 电路, 可以先计算 R_2 与 R_3 的串联电阻, 然后再与 R_4 并联计算, 最后将求得的并联电阻与 R_1 串联, 计算出该电路的总电阻。

第四节 电功率与电能

一、电功率

电流通过电动机带动机器工作, 电流通过电炉产生大量的热, 电流通过电灯使它发光, 这些都说明电流做了功。在一秒钟内电流所做的功叫做电功率。

计算电功率的公式有三种形式:

$$1. \quad P = UI \quad (1-21)$$

式中 P ——电功率, 瓦;

U ——电压,伏;

I ——电流,安。

上式不难理解,因为电压 U 表示移动单位正电荷所作的功,电流 I 表示 1 秒钟内移动的正电荷,所以 1 秒钟内所做的功是 U 与 I 的乘积。负载承受的电压越高,电功率越大;流过负载的电流越大,负载的电功率也越大。

电功率的单位是瓦(W)或千瓦(kW)。

有时也用马力做单位,它们之间的关系是:

$$1 \text{ 千瓦} = 10^3 \text{ 瓦} = 1.36 \text{ 马力}$$

$$1 \text{ 马力} = 736 \text{ 瓦}$$

$$2. \quad P = I^2 R \quad (1-22)$$

此式表明,一定电阻消耗的电功率和流过它的电流平方成正比。假设某电路的电阻是 3 欧姆,当电流 10 安培时,电功率为 $10^2 \times 3 = 300$ 瓦,当电流 20 安培时,电功率为 $20^2 \times 3 = 1,200$ 瓦。由此可见,当电阻一定时,电流增加为原来的 2 倍时,则电功率增加为原来的 4 倍。

$$3. \quad P = \frac{U^2}{R} \quad (1-23)$$

此式表明,当电路电阻一定时,电阻所消耗的电功率与电阻承受电压的平方成正比。利用此式可以从已知的电压和功率求出电阻。例如 220 伏、25 瓦的灯泡的电阻是 $R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{25} = 1936$ 欧。

二、电 能

电能就是电流在一段时间内所做的功,如果知道电功率后,要计算一段时间里所做的功,只要把电功率乘以时间就可以得出。即

$$W = Pt \quad (1-24)$$

式中 W ——电能,千瓦小时(或度);

P ——电功率,千瓦;

t ——时间,小时。

电能的单位是千瓦小时,用 kWh 表示,又称为度。电能可以用电表来测量。

【例 1-4】 一盏 100 瓦的电灯,每天平均照明四小时,问 30 天内耗电多少?

【解】 $100\text{W} = 0.1\text{kW}$

$$W = Pt = 0.1 \times 4 \times 30 = 12 \text{ 千瓦小时}$$

三、电 流 的 热 效 应

电流通过导体会产生热,这种现象称为电流的热效应。这是因为电流通过导体时,克服导体的电阻而作了功,促使分子的热运动加剧,从而将电能变成热能,使导体的温度升高。