

中华人民共和国机械工业部统编
机械工人技术培训教材

电工基础

(电工类 初中级合用本)

科学普及出版社

107378

TM1
5287

中华人民共和国机械工业部统编
机械工人技术培训教材

电 工 基 础

(电工类 初中级合用本)

科学普及出版社

内 容 提 要

本书是机械工业部统编的机械工人技术培训教材。它是根据原一机部颁发的《工人技术等级标准》和教学大纲编写的。

本书是机械工人技术培训教材的电工类电工基础，全书共分十章，主要内容包括：直流电路（兼论一些复杂电路的分析方法），电磁现象和磁路，单相正弦交流电路，三相交流电路，线性电路的过渡过程，晶体管整流电路，晶体管交、直流放大电路和振荡电路，脉冲与数字电路，可控硅及其应用。各章后附有适量的思考题和计算题，并在书末附有部分题目的答案。

本书为1~6级电工类工人技术培训教材，也可供有关技术人员和工人学习参考。初级工人的技术培训可选用本书第一章的第一至十节，第二章的第一、二、六、七节，第三章的第一、三节及串并联交流电路的基本概念，第四章的第一、二节的教材内容和各有关章节的一些思考题和计算题。

本书由毕绍光、顾月芳同志编写，由张著、柴富修同志审稿。

中华人民共和国机械工业部统编
机械工人技术培训教材
电 工 基 础
(电工类 初中级合用本)
责任编辑：宝 成

科学普及出版社出版（北京海淀区白石桥路32号）
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京外文印刷厂印刷

开本：787×1092毫米1/16 印张：20.625 插页1 字数：480千字

1987年5月第1版 1987年5月第1次印刷

印数：1—90,000册 定价：3.60元

统一书号：15051·1166 本社书号：1114

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！

机械工业部第一副部长

杨 毅

一九八二年五月

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。一九八一年，根据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，是原一机部颁发的《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、工装卡具、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、工装卡具、结构原理、工艺理论、解决实际问题的能力上有所提高（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。一九八四年，我们又组织编写了值班电工、划线工、机械性能试验工、金相工基础、粉末冶金工艺学教材，六门基础理论教材：冷加工类的机械基础、机械制图、电工基础、机械加工工艺基础、金属材料及热处理和电工类的电工基础。

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，教材难免还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。

机械工业部工人技术培训教材编审领导小组

一九八五年三月

目 录

第一章 直流电路	1
第一节 电的基本概念	1
第二节 电流和电路	1
第三节 电源电动势	3
第四节 电压和电位	4
第五节 导体的电阻	5
第六节 欧姆定律	6
第七节 电阻的串联、并联和混联	10
第八节 电功率和电能	15
第九节 电路中各点电位的计算	18
第十节 克希荷夫定律	19
第十一节 复杂直流电路的一般解法	22
第十二节 电桥电路	34
第十三节 电容器和电场能量	36
思考题和计算题	39
第二章 电磁的基础知识	47
第一节 磁场及电流的磁效应	47
第二节 描述磁场的基本物理量	49
第三节 铁磁材料	51
第四节 磁路基本定律及磁路计算	54
第五节 直流电磁铁	60
第六节 载流导体在磁场中所受的力	61
第七节 电磁感应	65
第八节 自感和互感	68
第九节 涡流	74
第十节 磁场能量	75
思考题和计算题	75
第三章 单相交流电路	79
第一节 正弦交流电的基础知识	79
第二节 正弦交流电的旋转矢量表示法	84
第三节 单一元件的正弦交流电路	87
第四节 串联交流电路	94
第五节 并联交流电路	101
第六节 功率因数的提高	104
第七节 谐振电路	106
第八节 交流电磁铁	110
第九节 符号法	111

第十节 非正弦周期性电路简介	118
思考题和计算题	124
第四章 三相交流电路	130
第一节 三相交流电动势的产生	130
第二节 三相发电机绕组的连接	131
第三节 三相电路中负载的连接	133
第四节 三相电路的功率	138
第五节 不对称三相电路的计算——对称分量法	142
第六节 三相电流的旋转磁场	147
思考题和计算题	149
第五章 线性电路的过渡过程	152
第一节 过渡过程的产生原因和换路定律	152
第二节 RC电路的充电和放电	155
第三节 RL电路的过渡过程	158
第四节 一阶线性电路的过渡过程	160
思考题和计算题	163
第六章 晶体二极管及其整流电路	165
第一节 半导体的基础知识	165
第二节 晶体二极管的参数和特性	169
第三节 单相整流电路	172
第四节 三相整流电路	177
第五节 滤波电路	179
第六节 硅稳压管	182
思考题和计算题	184
第七章 晶体三极管及其放大电路和振荡电路	186
第一节 晶体三极管	186
第二节 晶体三极管交流放大电路	195
第三节 放大电路的基本分析方法	199
第四节 电路参数对放大器工作性能的影响	208
第五节 多级放大器	212
第六节 功率放大器	213
第七节 正弦波振荡器	219
思考题和计算题	224
第八章 直流放大器	229
第一节 直接耦合放大器	229
第二节 差动式直流放大器	231
第三节 调制式直流放大器简介	233
第四节 线性集成电路	234
思考题	237
第九章 脉冲与数字电路	238
第一节 晶体三极管的开关特性	238
第二节 脉冲波形及参数	239

第三节	RC微分电路和RC积分电路	240
第四节	双稳态触发器	242
第五节	单稳态触发器	251
第六节	无稳态振荡器	255
第七节	门电路	258
第八节	R-S触发器	262
第九节	计数器	265
第十节	半加器和全加器	269
	思考题	272
第十章	可控硅及其应用	273
第一节	可控硅元件的结构及工作原理	273
第二节	可控硅元件的特性和参数	275
第三节	可控硅元件的串并联和保护	278
第四节	单相可控整流电路	281
第五节	三相可控整流电路	287
第六节	可控硅的触发电路	294
第七节	反馈在自动调节系统中的应用	302
第八节	可控硅的应用举例	303
	思考题和计算题	303
附录一	国产半导体器件型号命名法	310
附录二	几种常用半导体器件的主要参数	312
	各章的计算题答案	318

第一章 直 流 电 路

第一节 电 的 基 本 概 念

早在公元前600年人们就发现用干燥的物质去摩擦琥珀，能使它具有吸引轻小物体（纸屑、毛发等）的能力。在此情况下的琥珀，由于积聚电荷而具有“摩擦电”。直到18世纪末叶，人们还是认为这就是电的唯一形式。然而，在1799年科学家伏打发明了铜锌电池，他所出示的电池能在导线中产生连续流动状态的电。这种形式的电最初为了区别于摩擦电被称为流电。但伏打利用更进一步的实验，能够证明这两种类型的电完全相同，并产生同样的结果。当然今天利用物质原子结构的知识也证实了伏打的论点是正确的。

根据原子学说，一切物质都是由原子组成，而原子又是一个以原子核为中心和许多个称为电子的较小粒子所构成的。这些电子循着近似椭圆形轨道围绕着原子核转动。电子是人们所知道的最小的不可分割的带电粒子。实验证明，电子的电荷为 1.602×10^{-19} 库仑，是负电荷。原子的原子核由两种类型的粒子——质子和中子组成。质子的质量为电子的1837倍，它所带的正电荷等于原子中电子电荷的总数。中子具有同质子相等的质量，但不带电。

当两个物体互相摩擦时，一个物体因一部分原子失去了一些电子而带正电（即原子核所带的正电大于核外电子所带负电的总量），另一物体因为得到了电子而带负电（即核外电子所带负电的总量大于原子核所带的正电量）。所以摩擦起电现象，只是电子从一个物体转移到另一物体上，也就是说在摩擦过程中物体间的电子重新进行分配，这时两个物体同时带有等量异种电荷。摩擦前后，两物体的总电荷量没有创生，也没有消灭。

第二节 电 流 和 电 路

一、电 流

当我们合上电源开关时，电灯会发光，电炉会生热，电动机会转动，这是因为在电灯、电炉和电动机中有电流通过的缘故。

我们知道，在金属中围绕着原子核转动的外层电子，在外界因素（光、热、机械力等）的影响下，能离开它自己的轨道成为不受原子核束缚的自由电子。金属中大量的自由电子总是处于运动状态，但这种运动是没有规则的乱运动。只有在电源的作用下，自由电子才会朝一定的方向运动。在电镀时，电解液中存在着的自由电荷是正离子和负离子（带正负电的原子），也是在电源的作用下，这些自由电荷才朝着一定方向作相对运动。广义的讲，电流就是电荷（电子或正、负离子）有规则的定向运动。

电流的方向怎样确定呢？习惯上人们把正电荷流动的方向作为电流方向。在导线中，

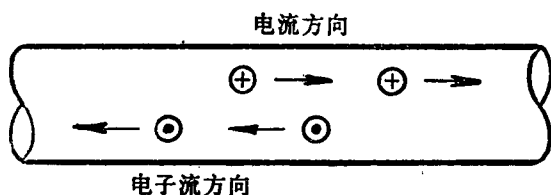


图 1-1 导线中的电子流方向和电流方向

实际上电流是带负电的电子流，但其效果与等量正电荷反方向流动完全相同，因此导线中的电流方向与电子流的方向相反，见图1-1。

电流的强弱，常用电流强度来表示，简称电流。如果电流的大小和方向都不随时间而变化，这种电流称为

恒定直流，简称直流。对于直流来说，电流强度在数值上以每1秒钟内通过导线横截面的电量来计量。电流强度用I表示，则电流的计算公式是

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

式中 Q——通过导线截面的电量，库仑；

t——通过电量Q所用的时间，秒；

I——电流强度，安培（简称安）。

如果每1秒钟内有1库仑电量通过导线某截面，这时的电流就是1安培。

电流很小时，常用毫安、微安来计量。

$$1 \text{ 安培(A)} = 1000 \text{ 毫安} = 10^3 \text{ 毫安 (mA)}$$

$$1 \text{ 毫安(mA)} = 1000 \text{ 微安} = 10^3 \text{ 微安 (}\mu\text{A)}$$

或

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

二、电 路

电路就是指电荷所通过的路径。在实际电路中，电荷总是由电源流出，经导线流过用电设备（负载）后，再流回电源。这样的电荷流动的路径称为闭合电路，而其中的任何一部分称为部分电路。闭合电路一般由电源、负载、导线和控制设备所组成。对电源来说，通常把负载、导线及控制部分称为外电路，而电源内部称为内电路。

为了便于分析电路的实质，通常把组成电路的实际元件及其连线，用符号来表示，画成电路图，见图1-2。

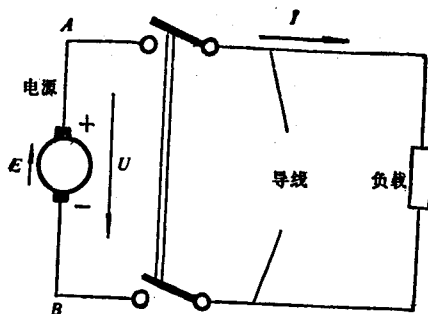


图 1-2 简单电路的组成

1. 电源 它是电路供应电能的设备。其功能是把非电能转变成电能。例如，电池是把化学能转变成电能；发电机是把机械能转变成电能。由于非电能的种类很多，所以目前实用的电源类型也很多。

2. 负载 在电路中使用电能的各种设备，统称负载。它们的功能是把电能转变为其它形式的能。例如，电炉把电能转变为热能，电动机把电能转变为机械能，等等。在现代化的各个领域中，所使用的负载是无计其数的。

3. 导线及控制元件 它们是电源与负载组成通路的中间环节。除了导线以外，还包括

开关、熔断器等，用以实现电能的传输、分配和控制。

第三节 电源电动势

1. 电源电动势的产生 电源本身既是个导体而又不同于一般导体，差别就在于电源内部存在着电源力。例如，电池中的化学力，发电机中的电磁力都是不同形式的电源力。电源力的作用是分离导体中的正、负电荷，

使正电荷集于一端，负电荷集于另一端，形成电源的正、负极。

以导体中正电荷 $\oplus$ 的移动为例，说明电源力移动电荷的情况，见图1-3(a)。

电源力把正电荷从电源负极经电源内部移动到正极的过程中，要克服它跟负电荷之间的电力而做功。根据功能原理知道，能量的转换必须通过做功才能实现；且做功多少是能量转换了多少的量度。电源力对正电荷做功，则使正电荷增加了电位能，或者说使正电荷提高了电位。就象在地球表面附近，人们克服重力对物体做功，使物体增加重力位能，或者说使物体提高地位。

不同类型的电源，电源力做功的本领不同，因而被移动的正电荷所增加的电位能也各不相同。

电源力在分离正、负电荷的同时，在电源内部也就建立了电场，从此，电场力（电荷间的引力、斥力）就起阻碍电源力移动正电荷的作用。随着电源力移动正电荷数越多，电源两极积累的正、负电荷越多，电源内建立的电场越强，对继续移动正电荷所受到的阻碍也就越大，直至电场力与电源力相等时，电源内部分离电荷的现象才暂时停止。这时电源内的其余正电荷都受到一对平衡力的作用而处于动平衡状态。只有在电源两极积存的正、负电荷减少，使电场力小于电源力时，电源力分离电荷的现象才能立即恢复，见图1-3(b)。

2. 电源电动势的大小和方向 电源力把单位正电荷从电源负极经电源内部移到电源正极所做的功，称为电源电动势，用 E 表示。

对于稳定直流电源，其电动势的计算式为

$$E = \frac{W_{\text{电源力}}}{Q} \quad (1-2)$$

式中 $W_{\text{电源力}}$ ——电源力移动电荷所做的功，焦耳；

Q ——被移电荷的电量，库仑；

E ——电源电动势，伏特。

电源电动势的方向，规定为由电源的负极经内部指向正极。即电位升高的方向。

电动势的大小和方向都不随时间而变化的电源，称为稳定直流电源，常用下面的符号表示，见图1-4。

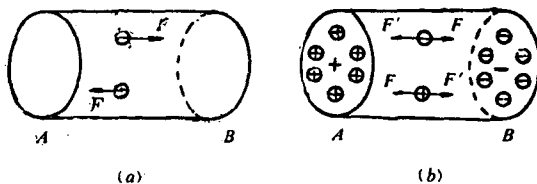


图 1-3 导体中电荷受电源力 F 和电场力 F' 的情况

第四节 电压和电位

在图1-2所示电路中的开关合上时,正电荷便从电源的正极(高电位)在电场力的作用下克服阻碍向电源负极流动。

1.电压 电场力把单位正电荷从高电位点 A 移动到低电位点 B 所做的功,称为 A 、 B 两点间的电压,也称为 A 、 B 两点间的电位差,用 U_{AB} 表示,则电压的计算可写为

$$U_{AB} = \frac{W_{\text{电场力}}}{Q} \quad (1-3)$$

式中 $W_{\text{电场力}}$ ——电场力移动正电荷做的功,焦耳;

Q ——电场力移动的电荷量,库仑;

U_{AB} ——电路中 A 、 B 两点间的电压,伏。

电压的方向是由高电位指向低电位(即电位降低的方向)的。可见电源电动势的方向与电源两极间的电压方向正好相反,见图1-4。

电压的单位除伏特外,对于低电压常用毫伏,对高电压常用千伏,即

$$1 \text{ 伏(V)} = 1000 \text{ 毫伏(mV)}$$

$$1 \text{ 千伏(kV)} = 1000 \text{ 伏(V)}$$

2.电位 在电路中某点的电位高低,标志着正电荷在该处所具有电位能的大小。零电位点的概念,就是指正电荷在该处没有电位能。这样,某点的电位在数值上等于该点与零电位点之间的电位差。

在电路中某点的电位用 U 表示,单位是伏。

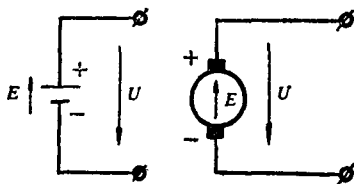
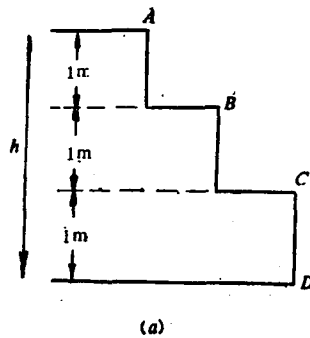
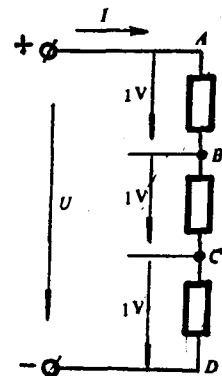


图 1-4 稳定直流电源的符号



(a)



(b)

图 1-5 位的相对性

(a) 地位和地位差;

(b) 电位和电位差

例如:在图1-5(a)中,若问 A 、 B 、 C 、 D 哪一点的地位高?回答是肯定的, A 点高于 B 点, B 高于 C , C 高于 D 。若问 A 、 D 两点的高度 h_A 、 h_D 各是多少?这就要看相对于谁来说了。若以 B 点为参考点(即 $h_B = 0$),则 $h_A = +1$ 米, $h_D = -2$ 米;若以 C 点为参考点(即 $h_C = 0$),则 $h_A = +2$ 米, $h_D = -1$ 米;(正号表示高于参考点,负号表示低于参考点)。从上面的数据可见,某点的地位高低是相对的,随所取参考点不同而不同,但是 A 、 D 两点之间

的地位之差 (即 $h_A - h_D = 3$ 米), 却与所选的参考点无关。

在图1-5(b)中, 不难看出: $U_A > U_B > U_C > U_D$ 。

若问A、D两点的电位各是多高? 电位之差是多大?

若以B为参考点 (零电位点), 即 $U_B = 0$, 则 $U_A = +1V$, $U_D = -2V$; 若以C为参考点, 即 $U_C = 0$, 则 $U_A = +2V$, $U_D = -1V$ 。但是A、D之间的电位差, 总是 $U_{AD} = U_A - U_D = 3V$ 。

由此可见, 电路中各点的电位是相对的, 随所选参考点 (零位点) 不同而不同; 但两点之间的电位差 (电压) 是一定的, 与所选参考点无关。

第五节 导体的电阻

我们知道, 金属导体中的电流是自由电子的定向运动。这些自由电子在运动中由于跟导体中的正离子发生碰撞等原因而受到阻碍, 称为导体对电流的电阻, 用 R 或 r 表示。

实验证明, 金属导体电阻的大小与导体的长度成正比, 与导体的横截面积成反比。即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad \text{或} \quad R = \frac{1}{\gamma} \frac{l}{S} \tag{1-4}$$

式中 ρ ——导体的电阻率 (由材料的导电性能而决定的常数), (欧姆·毫米²)/米;

γ ——电导率 (电阻率的倒数), 即 $\gamma = \frac{1}{\rho}$;

l ——导体的长度, 米(m);

S ——导体的横截面积, 毫米²;

R ——导体的电阻, 欧姆 (简称欧, 用 Ω 表示)。

电阻的单位有时候还用千欧(k Ω)、兆欧(M Ω), 其换算关系为

$$1 \text{ 千欧(k}\Omega\text{)} = 1\,000 \text{ 欧} = 10^3 \text{ 欧}(\Omega)$$

$$1 \text{ 兆欧(M}\Omega\text{)} = 1\,000 \text{ 千欧} = 10^3 \text{ 千欧(k}\Omega\text{)}$$

由式(1-4) 可以看出, 电阻率 ρ 在数值上等于长1米, 横截面积为1平方毫米的导体所具有的电阻。例如, 铜的电阻率 $\rho = 0.0175$ (欧·毫米²)/米, 就是指一根长1米, 横截面积为1平方毫米的铜线的电阻值为0.0175欧。几种常见材料在20℃时的电阻率, 见表1-1。

几种常见金属材料的电阻率和电阻温度系数

表 1-1

材料名称	电阻率(20℃) [(欧姆·毫米 ²)/米]	电阻温度系数(20℃) [1/°C]	材料名称	电阻率(20℃) [(欧姆·毫米 ²)/米]	电阻温度系数(20℃) [1/°C]
银	0.0165	0.0033	锰铜	0.42	0.000005
铜	0.0175	0.0040	康铜	0.49	0.000005
铝	0.0263	0.0042	镍铬合金	1.00	0.00013
钨	0.0551	0.0045	铂铬合金	1.35	0.00005
铸铁	0.5	0.001	碳	10	-0.0005
铂	0.105	0.00389			

注: ①表中给出的是近似值 这些数值随着材料纯度和成分的不同而有所变化。

②表中碳的电阻温度系数前有负号, 表示碳的电阻值随着温度的升高而降低。

由表可见,电阻率较小的材料是电的良导体。铜线和铝线广泛用于绕制电机、变压器的线圈,制做各种导线等;而锰铜、康铜等材料,电阻率较大,一般用于制做绕线电阻、电炉丝、电烙铁心、变阻器等。

导体的电阻还随温度的变化而变化,即

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-5)$$

式中 t_1 ——导体温度变化前的度数, $^{\circ}\text{C}$;

t_2 ——导体温度变化到的度数, $^{\circ}\text{C}$;

R_1 ——导体温度为 t_1 时的电阻值, 欧;

R_2 ——导体温度为 t_2 时的电阻值, 欧;

α ——导体的电阻温度系数, $1/^{\circ}\text{C}$ 。见表1-1。

例1-1 在大型电机的绕组里,常放有铂丝电阻元件。电机运行时,可通过测铂丝的电阻值来反映电机内部的温度。若是在 20°C 时,测得铂丝电阻 $R_1 = 49.5$ 欧,在电机运行中,测得的电阻 $R_2 = 60.9$ 欧,求电机内部的温度?

解 由式(1-5)得 $t_2 = t_1 + \frac{R_2 - R_1}{\alpha R_1}$

由表1-1查得铂的电阻温度系数 $\alpha = 0.00389 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$,代入上式得

$$t_2 = 20 + \frac{60.9 - 49.5}{0.00389 \times 49.5} \approx 79^{\circ}\text{C}$$

电机内部的温度是 79°C 。

第六节 欧姆定律

欧姆定律是分析和计算电路的最基本定律,应用时常分为以下形式。

一、一段电阻电路的欧姆定律

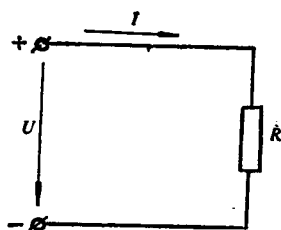


图 1-6 一段不含源电路

一段电阻电路(或称为一段不含源电路),是指这段电路中仅有电阻,不包含电源,见图1-6。

实验指出:电阻中电流的大小与加在电阻两端电压的高低成正比;与电阻值的大小成反比。这就是一段电阻电路的欧姆定律,其数学表示式为

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

式中 U ——加在电阻两端的电压, 伏;

R ——电阻元件的阻值, 欧;

I ——流过电阻元件中的电流, 安。

式(1-6)表达了一段电路中电压、电流和电阻的关系,它表明三者之间的内在联系如下。

(1)如果保持电阻值不变,当增加电压时,则电流将与电压成正比的增加,当降低电压时,则电流将与电压成正比的减少。

(2) 如果保持电压值不变, 当增加电阻时, 则电流将与电阻成反比的减小; 当减小电阻时, 则电流将与电阻成反比的增加。

式(1-6)也可改写成

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

或

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-8)$$

式(1-7)是电流在电阻上产生电压降的计算公式。可见, 当电流通过微小电阻的导线时, 所产生的电压降为零。式(1-8)反映出电阻值与电压、电流无关。这就是说阻值为5欧的阻件, 接在220伏电压时, 电流是44安; 改接在110伏电压时电流则为22安。只要导体的材料、长度、截面和温度不变, 电阻元件的电压、电流尽可以变, 而电阻的阻值仍然是5欧。

二、全电路欧姆定律

图1-7所示的电路中, 电源电动势 E , 电源内部的电阻(内电阻) r_0 , 外电路电阻为 R 。实验证明, 在闭合电路中, 电流强度 I 与电源电动势 E 成正比, 与内、外电路的总电阻 $(R + r_0)$ 成反比, 即

$$I = \frac{E}{R + r_0} \quad (1-9)$$

这就是全电路(也叫闭合电路)的欧姆定律。因为 $IR = U$ 所以式(1-9)也可写成为

$$U = E - Ir_0 \quad (1-10)$$

式中 U 是电源端电压(或外电路两端的电压), Ir_0 是电源内电阻的电压(或内路电压降)。

一般情况下, 电源电动势 E 和内电阻 r_0 可认为是不变的。因此, 外电路电阻的变化是影响电流大小的唯一因素。从式(1-9)可见, 当 R 减小时, 全路总电阻减小, 电流增大。随着电源输出电流 I 的增大, 电源的端电压 U 将要降低, 见式(1-10)。

电源的端电压 U 与电源输出电流 I (或负载电流)之间的关系, 即 $U = f(I)$, 称为电源的外特性, 见图1-8。将式(1-10)所确定的 $U = f(I)$ 的关系绘成图线, 就得图1-8所示的电源外特性曲线。如果当外电路负载电阻变小, 电流 I 逐渐变大时, 而电源端电压 U 下降得很小, 则认为这个电源的外特性较硬(即电源保持端电压稳定的性能较强); 反之, 则较软。从

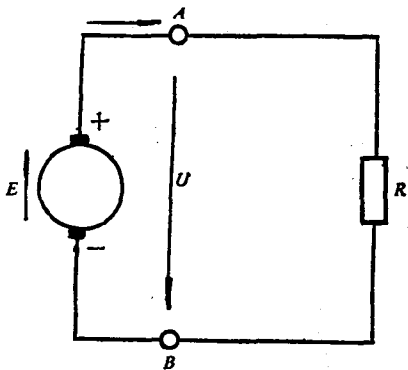


图 1-7 简单的闭合电路

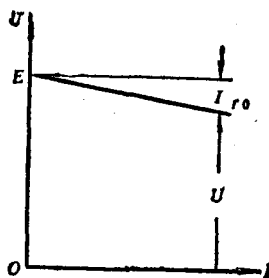


图 1-8 电源的外特性

式(1-10)可见, 电源内阻 r_0 的大小, 直接影响电源的外特性。电源内阻 r_0 越小, 电源端电压越平稳。

下面再分析一下电路中具有实际意义的两种工作状态。

(1) 断路 (或开路) 状态。电源与外电路断开, 电路中的电流等于零, 这时电路呈现断路状态。从式(1-10)可知, 电路的端电压

$$U = E - Ir_0 = E - 0 = E$$

即断路状态时的路端电压等于电源的电动势。因此, 我们可以用高阻值的伏特表测电源端电压的办法来获得电源电动势的近似值。

(2) 短路状态。外电路的电阻 R 接近于零时, 则

$$I_s = \frac{E}{R + r_0} = \frac{E}{0 + r_0} = \frac{E}{r_0} \quad (\text{称为短路电流})$$

$$U = E - Ir_0 = E - \frac{E}{r_0}r_0 = E - E = 0$$

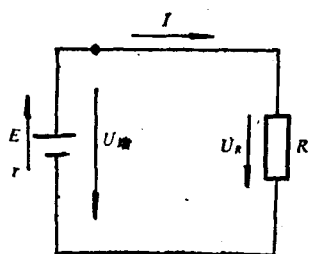


图 1-9 例 1-2

通常, 电源的内阻 r_0 是很小的。因此, 发生短路时, 电路中将有极大的短路电流。若是短路状态不迅速排除, 将会造成线路和电气设备的严重事故。为此, 在线路上需串接熔断器 (保险丝), 当线路上的电流超过允许值时, 它就迅速熔断, 使短路变为断路。

例1-2 在图1-9所示的电路中, 若电源电动势为6伏, 内电阻为2欧, 外电路的电阻为10欧。求:

(1) 电路中的电流强度 I ;

(2) 电源的端电压 $U_{\text{端}}$;

(3) 外电路电阻两端的电压 (电压降) U_R ;

(4) 电源内部的电压 (电压降) U_{r_0} 。

解 (1) $I = \frac{E}{R + r_0} = \frac{6}{10 + 2} = 0.5 \text{ A}$

(2) $U_{\text{端}} = E - Ir_0 = 6 - 0.5 \times 2 = 5 \text{ V}$

(3) $U_R = IR = 0.5 \times 10 = 5 \text{ V}$

(4) $U_{r_0} = Ir_0 = 0.5 \times 2 = 1 \text{ V}$

例1-3 有一电源接在闭合电路中, 当外电阻为1欧时, 电流为1安; 当外电阻为2.5欧时, 电流为0.5安。问这个电源的电动势和内电阻各是多少?

解 设电源的电动势为 E , 内电阻为 r_0

已知 $R_1 = 1 \Omega$ 时, $I_1 = 1 \text{ A}$

$R_2 = 2.5 \Omega$ 时, $I_2 = 0.5 \text{ A}$

依全电路欧姆定律得

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + r_0}, \quad I_2 = \frac{E}{R_2 + r_0}$$

解上面方程组, 得

$$I_1(R_1 + r_0) = I_2(R_2 + r_0)$$

$$\text{所以 } r_0 = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2} = \frac{0.5 \times 2.5 - 1 \times 1}{1 - 0.5} = 0.5 \Omega$$

$$E = I_1 (R_1 + r_0) = 1 \times (1 + 0.5) = 1.5 \text{ V}$$

三、具有几个电动势的无分支电路

在实际使用电路中，常会遇到在一个闭合电路里含有两个以上的电源，例如，蓄电池充电的电路和直流电动机供电的电路等。

下面以图1-10(a)所示的电路为例，讨论这种多电动势的无分支电路的分析和计算方法。

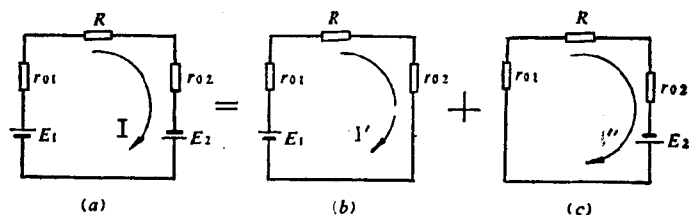


图 1-10 多电源无分支电路

(一) 电路中电流的计算

在一个闭合电路中包含有两个（或两个以上）电源，而且是顺向连接，见图1-10(a)，则电流可由下式算得

$$I = \frac{E_1 + E_2}{R + r_{01} + r_{02}}$$

这个电流可以认为是两个电流的迭加，即

$$I = I' + I''$$

I' 可以看做是图1-10(b)中的电源 E_1 单独作用而产生的， I'' 是图1-10(c)中的 E_2 单独作用而产生的，即

$$I' = \frac{E_1}{R + r_{01} + r_{02}}, \quad I'' = \frac{E_2}{R + r_{01} + r_{02}}$$

因此，几个电源共同产生的电流，可以看做是电路中所有电阻都保持不变（包括每个电源的内阻）时，每个电源单独作用所产生的电流的代数和。这种分析方法，称为叠加原理。它适用于任何形式的线性电路。

当两个电源反向连接时，根据叠加原理，即可解决，见图1-11(a)的多电源无分支电路。

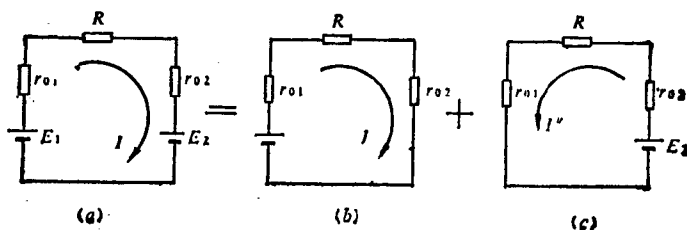


图 1-11 多电源无分支电路