

电气工人职业技术培训教材

实用电工学

(上册)

韩有志 胡浩文 董世份 编



样书

重庆大学出版社

实 用 电 工 学

(中级本)

上 册

韩有志 胡浩文 董世份 编

责任编辑 贾 肇 武

※ ※

重庆大学出版社出版发行

重庆电力学校印刷厂印刷

※ ※

开本: 787×1092 1/16印张: 18.25字数456千

1987年8月第1版 1987年8月第1次印刷

印数: 1—11000

标准书号: ISBN 7-5624-0022-9 统一书号: 15408·22
TM·3 定 价: 3.80元

内 容 提 要

本书全面、系统地介绍了电工基本理论知识、电子技术基础及常用电气设备的基本结构、原理、安装、使用、维修、故障分析和有关电工测试技术等实用知识，还叙述了新技术、新工艺的应用，以及电气控制线路及安全用电知识。

本书适用于具有初中文化程度的电气工人和待业人员自学，也可作为电气工人的培训教材，并可供从事厂矿电气和农业电气工作的技术人员参考之用。本书分上、下二册，此册为上册。

前 言

本书系为电工技术学习班编写的中级电工培训教材,适用于在职电工脱离或不脱离生产岗位的情况下,较为系统地学习本专业知 识,提高技术水平。通过中级技术理论的学习,使读者具有四至六级电工“应知”、“应会”的技术理论知识和实际操作技能,并能根据此书基础理论知识、专业实践知识增强分析和解决生产实际问题、从事技术革新的能力。

近几年来电工技术学习班以本书作教材,举办了多期面授班、刊授班,学员人数达两万多人。学员和辅导员通过自学和教学的实践,认为本书内容丰富,较有实用价值,能满足读者自学的需要。根据读者使用后提出的意见,对原教材进行了修改和补充,使读者在自学的过程中,能增强理解能力和自学能力,便于不同工种的电工能从本书中选择适合本身工作需要的内容进行自学,同时也给需要培训中级电工的单位提供了合适的教材。

《实用电工学》作为一门函授的教材来加以探索,为时不久,编写这样一本书,无论对作者和编者来说,都是一种尝试,非常欢迎读者和各方面的专家、学者予以指导。

本书分上下册共十五章。第一、七、八、十五章由重钢中专技工学校胡浩文编写,第二、三、四、五、六、九、十章由重庆市技工学校教学研究室韩有志编写,第十一、十二、十三、十四章由中国科学技术情报研究所重庆分所董世份编写,第四章第七节、第五章第十节、第六章第八节由董世份编写。

重庆大学电气工程系徐国禹教授、杨秀苔副教授等对本书提出了宝贵的修改意见。在编写和修改本书的过程中,还得到了重庆市电机工程学会科普工作委员会、中国科学技术情报研究所重庆分所、重钢中专技工学校、重庆五一技工学校、重庆市技工学校教学研究室等单位的帮助和大力支持。此外还有下列同志协助我们收集资料、整理资料和绘图:董大庆、刘百川、蔡小玲、魏新民、张家茂、韩建华、韩震、朱新芳、樊立基、方炯、胡红宇、李富修。在此向他们表示衷心感谢。

本书责任编辑是贾肇武,全书由董世份主持审编,由于我们业务水平有限,错误之处,在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

一九八七年一月于重庆

目 录

第一章 直流电路	(1)
第一节 物质结构的电子理论	(1)
第二节 电场、电场强度和电位	(2)
第三节 电路 电路图	(3)
第四节 电流	(4)
第五节 电阻	(5)
第六节 欧姆定律	(9)
第七节 电阻的串联、并联和混联	(11)
第八节 电功、电功率和电流的热效应	(17)
第九节 克希荷夫定律	(21)
第十节 戴维南定理(等效电源定理)	(25)
第十一节 电容器及其充放电	(28)
第二章 电与磁	(39)
第一节 磁的基本概念	(39)
第二节 全流定律及几个电磁量	(42)
第三节 铁磁材料的磁化与导磁系数	(45)
第四节 磁场对电流的作用	(47)
第五节 磁路的基本概念	(49)
第六节 电磁感应	(53)
第七节 自感、互感、涡流	(57)
第三章 交流电路	(63)
第一节 正弦交流电的基本概念	(63)
第二节 正弦交流电势的产生	(64)
第三节 正弦交流电的初相角及相位差	(68)
第四节 交流电的有效值	(70)
第五节 正弦量的表示方法与加减运算	(72)
第六节 纯电阻电路	(75)
第七节 纯电感电路	(77)
第八节 纯电容电路	(82)
第九节 电阻与电感的串联电路	(86)
第十节 线圈与电容器的并联电路	(90)
第十一节 谐振电路	(92)
第十二节 三相交流电源	(96)
第十三节 三相负载	(98)
第四章 变压器	(105)
第一节 变压器的铭牌和结构	(105)
第二节 变压器的工作原理	(113)

第三节	变压器的运行特性	(117)
第四节	三相变压器	(120)
第五节	特殊用途变压器	(124)
第六节	小型单相变压器的计算	(132)
第七节	变压器的保养、检查、维护与检修	(139)
第八节	变压器的节电	(170)
第五章	交流电机	(177)
第一节	异步电动机的结构与铭牌	(177)
第二节	三相异步电动机的工作原理	(180)
第三节	异步电动机的工作特性	(184)
第四节	三相异步电动机的起动	(188)
第五节	异步电动机的调速、制动和反转	(194)
第六节	三相异步电动机绕组	(197)
第七节	三相异步电动机定子绕组的计算	(211)
第八节	单相异步电动机	(220)
第九节	异步电动机的维护及故障处理	(222)
第十节	电动机的节电措施	(224)
第十一节	同步电机	(229)
第六章	直流电机	(241)
第一节	直流电机的基本结构和原理	(241)
第二节	直流电机的电枢绕组	(246)
第三节	直流电机的电枢反应及换向	(254)
第四节	直流发电机	(258)
第五节	直流电动机的运行原理和特性	(264)
第六节	直流电动机的调速、起动、制动和反转	(269)
第七节	直流电机故障分析与处理	(273)
第八节	直流电动机的维护和保养	(279)
	本书所使用的法定单位说明表	(283)

第一章 直流电路

第一节 物质结构的电子理论

我们周围存在着种类繁多、形状不同的物体。如果对任意一种物体进行分割，越分越小，分割到不能再分时的最小基本微粒，我们叫做分子。分子虽小，它却保持了原物体的各种基本性质。

分子又是由更小的微粒——原子组成。但是原子不再保持原物体的性质了。比如对食盐的分子进行分解，得到了一个钠原子和一个氯原子，它们不再具有食盐的性质。

到了十九世纪末，二十世纪初，人们才开始认识到原子也并不是物质的最小微粒，它是由带正电的原子核和在核外绕核旋转的、带负电的电子组成的。氢原子的结构最简单，它的核外只有一个电子绕核旋转，其结构如图1.1.1(a)所示，硅原子的结构如图1.1.1(b)所示，原子核外有14个电子绕核旋转，而结构复杂的铀原子，核外旋转的电子就达92个之多。无论原子结构是简单还是复杂，原子核所带的正电量和核外全部电子所带的负电量总是相等的。

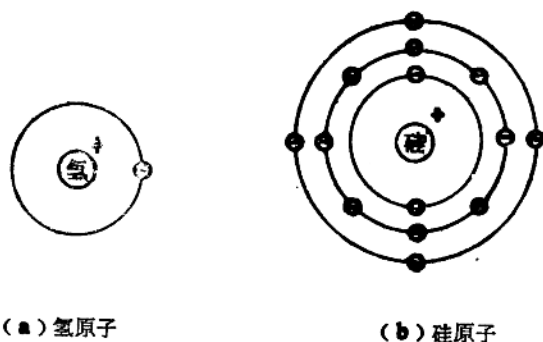


图1.1.1 原子结构示意图

原子的组成方式和太阳系的结构有些相似，原子核好比太阳，绕核旋转的电子好比绕太阳旋转的行星，太阳是靠万有引力拉住行星绕其旋转的，而原子核是靠正负电荷之间的引力迫使电子绕着它旋转的。

原子的体积是很小的，它的直径只有 $2 \times 10^{-8} \sim 3 \times 10^{-8} \text{cm}$ ，一亿个氢原子直径的总和才一厘米。

原子的质量也是很小的，并且几乎都集中在原子核里，近代的精密实验测出，电子的质量只不过是 $9.11 \times 10^{-28} \text{g}$ ，约合氢原子质量的 $1/1840$ 。

原子中每个电子所带的电量，是现在知道的最小电荷，叫做基本电荷。一个基本电荷等于 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ 。

原子中离原子核最远的电子,相对而言它受到正电荷的引力就比较弱,在某种外力作用下,它能摆脱原子核的束缚成为自由电子。任何物体在正常情况下是中性的,对外不显示带电现象,如果物体失去了自由电子就带了正电,相反,如果物体得到了自由电子就带了负电。正电荷之间或负电荷之间的作用力是相互排斥的,正电荷和负电荷之间的作用力是相互吸引的,也就是说同种电荷相互排斥,异种电荷相互吸引。

第二节 电场、电场强度和电位

带电体的周围存在着一种叫做电场的特殊物质。电场虽然我们看不见,但是它具有一般物质的基本性质:力的性质和能的性质。

电场力的性质,可以通过如图1.2.1所示的实验来认识,图中A球带有正电,在它的周围存在电场,把一个带正电的很轻的通草球放在电场中离A球距离不同的位置上,可以看出,小球张开的角度是不相等的,离A球

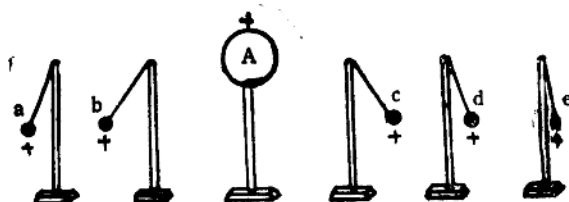


图1.2.1 电场中各点的电场强度

越近张角越大,离A球越远则张角越小。说明小球上的电荷受到不同电场力的作用,如果小球所带的正电荷的电量为 q (C),在电场中某点所受的电场力为 F (N),那么单位正电荷在这一点所受的力,叫做电场中这一点的电场强度(E),用公式表示为

$$E = \frac{F}{q} \text{ (N/C)} \quad (1.2.1)$$

须知,两个带电体的相互作用,并非它们所带电荷之间的直接作用,而是带电体上电荷的电场之间的相互作用。

电场能的性质可以这样去理解:地面上空的物体,由于受到重力的作用要下落,它具有做功的本领,我们认为这个物体具有重力位能。同样,在图1.2.1实验中,电荷在电场中受到电场力的作用也要运动,仍然具有做功的本领,我们认为电荷在电场中具有电位能。单位正电荷在电场中某点所具有的位能叫做这一点的电位。

如果用 φ 表示电位,用 W 表示电荷 q 具有的电位能,那么

$$\varphi = \frac{W}{q} \quad (1.2.2)$$

式中 q 、 W 、 φ 的单位分别是C、J和V。

应当明确,电位有高低之分,要确定某点电位的高低,必须先确定电位的参考点,这样才有确切的意义。这正如桌面上方的物体具有重力位能,但是把参考点分别选择在桌面和地面时,它所具有做功的本领——重力位能就不一样了。很明显,把参考点选择在地面时物体具有的重力位能要大一些。同样的道理,在研究电位时也应预先确定参考点才有意义。参考点可以任意选择,通常选择大地为参考点,电荷在参考点的电位为零,因而参考点即零电位点。电位的概念,在实用中尤其在电子技术中有重要的意义,电子线路中往往把金属底板、

机壳或某些公共点选为零电位点。

从下面的例子可以看出，电位因为零电位点选择不同就会得到不同的结果。

有两个电源，一个是3伏，另一个是6伏，把它们顺向联接，如图1.2.2所示。若选择A点为参考点（或A点接地），则A点为零电位点，由图1.2.2(a)可知，B点的电位比A点的电位高3伏，即B点的电位为+3伏。那么，C点的电位为+9伏。如果选择B点为参考点，则B点为零电位点，由图1.2.2(b)可知，A点的电位比B点的电位低3伏，即A点的电位为-3伏，而C点的电位就为+6伏了。

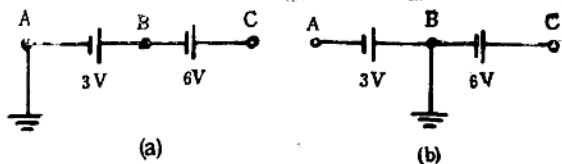


图1.2.2 电位的参考点

在实用中，应注意电位和电位差的区别，电位差又称电压，它是表示电场中某两点间电位的差别。在图1.2.2中，B点与A点间的电位差（电压）记作 U_{BA} ，那么

$$U_{BA} = \varphi_B - \varphi_A$$

注意：电压的大小与参考点的选择无关。如图1.2.2(a)是选择A点为参考点，则

$$U_{BA} = \varphi_B - \varphi_A = 3 - 0 = 3 \text{ (V)}$$

而图1.2.2(b)是选择B点为参考点，得

$$U_{BA} = \varphi_B - \varphi_A = 0 - (-3) = 3 \text{ (V)}$$

仍然为3V。说明 U_{BA} 的大小与参考点的选择无关。

从图1.2.2还可以得出以下关系：

$$U_{BA} = -U_{AB} \text{ 或 } U_{AB} = -U_{BA}$$

第三节 电路 电路图

由于电能具有产、供、销同时进行的特点，必须构成闭合的电路。

电路就是电流所流经的路径。它是由电源、负载（用电器）、连接导线和辅助设备四大部分组成。图1.3.1是一个最简单的电路。

电源是把其它形式的能量转换为电能的设备。常用的直流电源有电池、直流发电机等，图1.3.1电路是采用蓄电池作为电源，它是将化学能转换为电能供给负载。而发电机则是把机械能转换为电能供给负载的。

负载就是用电器。它的作用是将电能转换为其它形式的能量，常见的负载有电灯、电炉、电动机等。电灯把电能转换为光能和热能，而电炉、电动机却是把电能分别转换为热能和机械能的负载。

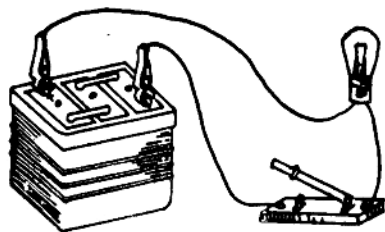


图1.3.1 由电源、负载、连接导线和开关等组成的最简单电路

连接导线是用来把电源、负载及辅助设备联结成一个闭合回路，起着传输电能的作用。

常用的导线由铜、铝等材料制成。

辅助设备是用来实现对电路的控制和保护等作用。常用的辅助设备有开关、熔断器和各种测量仪表等。

整个电路又可分为外电路和内电路两部分，由负载、连接导线和辅助设备组成的部分电路叫外电路，电源内部的部分电路叫内电路。

实际应用的电路要比上述电路复杂得多，一个复杂电路如果用语言去说明它的结构和工作情况是相当繁杂的，很难表述清楚。为此，我们用电路图来表示电路结构和电路中各个元件的作用。图1.3.2就是图1.3.1所示实物电路的电路图，采用了电路图电路结构就显示清楚，并且便于电路工作情况分析。电路中各个元件是用规定的图形符号表示的。

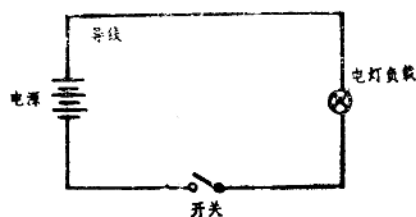


图1.3.2 用电路图表示电路

第四节 电 流

如图1.3.2所示电路，当合上开关时，电灯就会发光。这是因为电灯中有电流通过的缘故。什么叫电流呢？电流就是电荷有规则的定向运动。长期以来，人们习惯规定以正电荷运动的方向作为电流的方向。

人们在实际工作中常常需要知道电路中电流的强弱，我们用每秒钟内通过导线横截面的电量多少来计量电流的强弱，叫做电流强度（简称电流）。在电荷均匀流动的情况下，电流可用下面公式计算。

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.4.1)$$

式中：I——电流强度（A）；Q——电量（C）；t——电流通过的时间（s）。

电流强度常用的单位是安培（简称安），用符号A表示。1安培电流是表示每秒钟内通过导线任一横截面的电量是一库仑。即

$$1A = \frac{1C}{1s}$$

如果每秒钟通过导线横截面的电量是4库仑，电流就是4安；如果5秒钟通过10库仑，电流就是2安。

在电子技术中常碰到比1安培小得多的电流。为了度量这样的电流，采用了毫安、微安为电流的单位。

$$1\text{安(A)} = 1000\text{毫安(mA)}$$

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

当电流很大时，可用千安（KA）为电流的单位。

$$1\text{千安(KA)} = 1000\text{安(A)}$$

电路中电流的大小可用电流表（安培计）来测量。测量时应断开电路，把直流电流表串联在被测电路中，如图1.4.1所示，电流表表针指示的读数，即为电路中电流的大小。直流电流表的两个外接端子标有正负极性，测量时，电流必须从正端流入，负端流出，不然表针要反摆，容易使表内机件损坏。测量时还应注意测量范围，电流表的量程必须大于电路中的实际电流，以免烧坏电流表。一般万用表可以测量较小的直流电流。

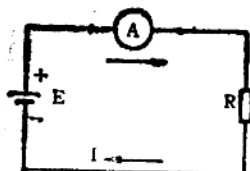


图1.4.1 电流的测量

第五节 电 阻

当金属导体中有电流通过时，金属导体中的电子就作定向运动。这些运动的电子要经常与原子核和其它电子发生碰撞等现象。所以电流在导体中流动时要受到阻力。

导体对电流起阻碍作用的能力叫做电阻。不同金属材料的导体具有不同的电阻，任何导体都有电阻。电阻用符号“R”表示。

衡量电阻大小的单位是欧姆，简称欧，用符号 Ω 表示。如果在导体的两端加上1伏的电压，通过导体的电流是1安，则这个导体的电阻就定为1欧姆，即

$$1\text{欧姆}(\Omega) = \frac{1\text{伏特}(\text{V})}{1\text{安培}(\text{A})}$$

在实际工作中，常常要用较大的单位，可用千欧（K Ω ）、兆欧（M Ω ）做单位。

$$1\text{千欧}(\text{K}\Omega) = 1000\text{欧}(\Omega)$$

$$1\text{兆欧}(\text{M}\Omega) = 1000000\text{欧}(\Omega)$$

导体电阻的大小与哪些因素有关呢？实验证明，在一定温度下，导体的电阻与导体的横截面积成反比，与导体的长度成正比，还与导体的材料有关。就好象水管对管中流动的水有阻力一样，阻力的大小与水管的粗细、长短及水管内壁粗糙程度有关。管子愈细愈长，内壁愈粗糙，则管内流动的水所受的阻力就愈大。导体的电阻可用公式表示如下：

$$R = \rho \frac{L}{s} \quad (1.5.1)$$

式中：L——导体的长度（m）；s——导体横截面积（mm²）； ρ ——电阻系数（ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ）

电阻系数又叫做电阻率，它是某种材料作成长1米，横截面是1平方毫米的导体，在温度是+20℃时的电阻值。例如，铜的电阻系数 $\rho = 0.0175\text{欧} \cdot \text{毫米}^2/\text{米}$ ，就是表示一根长1米，横截面为1平方毫米的铜导体，在+20℃时电阻值为0.0175欧姆。表1.5.1是几种常用材料的电阻系数。

电阻系数的大小直接反映了各种材料导电能力的大小。很明显，电阻系数愈大的材料，它的导电能力就愈差，反之，电阻系数愈小的材料，它的导电能力就愈好。各种物质可以按电阻系数的大小，划分为导体、绝缘体和半导体。

导体的电阻系数很小，容易传导电流，如银、铜、铝和铁等金属材料就是常用的导体。

表1.5.1

常用金属材料的电阻率和温度系数

材 料	电阻率 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	温度系数 ($1/^\circ\text{C}$)
银	0.016	0.0036
铜	0.0175	0.0040
铝	0.029	0.0038
钨	0.053	0.0051
铁	0.10~0.30	0.0062
钢	0.13~0.25	0.006
锡	0.113	0.0042
镍	0.070	0.0062
锌	0.061	0.0037
黄铜	0.07~0.08	0.002
青铜	0.021~0.4	0.0037
锰铜	0.42	0.000006
康铜	0.4~0.51	0.000005
镍铬	1.1	0.00015
铁铬铝	1.4	0.00005

酸、碱、盐溶液也是导体。

绝缘体的电阻系数很大，能可靠地隔断电流。空气、玻璃、橡皮、陶瓷、云母、蜡纸和塑料等材料是常用的绝缘体。

半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间。常用的半导体材料有锗、硅、硒和氧化铜等材料，它们具有单方向导电的能力。半导体材料在现代电子技术中有着重要的应用。

注意，以上划分并非绝对，各种物质的导电能力是随外界因素变化而发生变化的。例如电压很高或空气的湿度很大时，绝缘体也会传导电流。又如金属导体在高温下，其导电能力会变得很差。

(例1.5.1) 一条铝导线，它的横截面积是 10mm^2 ，长度为 100m ，计算该导线的电阻。

已知：铝导线的 $S=10\text{mm}^2$ ， $L=100\text{m}$ ， $\rho=0.029\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

求：铝导线的电阻 R 。

解：根据公式(1.5.1)

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

所以
$$R = 0.029 \times \frac{100}{10} = 0.29(\Omega)$$

答：铝导线的电阻为 0.29Ω 。

(例1.5.2) 装配电表需要用线径为 0.12mm 的康铜线绕制一个 30Ω 的电阻器，问需要多长的康铜线？

已知：康铜线的电阻 $R=30\Omega$ ，线径 $d=0.12\text{mm}$ ， $\rho=0.44\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

求：康铜线的长度 L 。

解：先求出康铜线的横截面积(S)：

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \times 0.12^2}{4} = 0.0113\text{mm}^2$$

$$\therefore R = \rho \frac{L}{S}$$

$$\therefore L = \frac{R \times S}{\rho} = \frac{30 \times 0.0113}{0.44} = 0.77 \text{m}$$

答：需要0.77m康铜线。

导体的电阻与温度有关，一般的金属导体，当温度升高时，它的电阻值要增大。这是由于温度升高，金属内部的原子核和电子运动加剧，电子流动时所受的阻力增大。不同的金属导体，电阻随温度升高而增大的程度不同，例如铜和铁两种导体，当温度升高相同的度数时，铁的电阻值就比铜增大得快。

为了计算温度变化后的电阻，我们引入电阻温度系数这个概念。它等于温度每变化1℃时，1Ω导体电阻所改变的电阻数值，用符号α表示。用公式表示为

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 (t_2 - t_1)} \quad (1.5.2)$$

式中：R₁——温度为t₁时的电阻值；R₂——温度为t₂时的电阻值。

从式中可以看出，电阻温度系数的单位是1/℃，几种常用金属导体的电阻温度系数见表1.5.1。

上式可改写成

$$R_2 = R_1 + \alpha R_1 (t_2 - t_1) \quad (1.5.3)$$

这就是温度变化后，导体电阻的计算公式。

(例1.5.3) 为了对同步发电机实现可靠的发热保护，制造时在发电机内部安置了一个热敏电阻——铂丝电阻，以便在运行过程中能精确测量出发电机内部的温度。设温度为20℃时，测得铂丝的电阻为49.5欧姆。当发电机运行时，某一时刻测得铂丝电阻为60.9欧姆，问此时发电机内部的温度是多少度？

已知：当温度为t₁=20℃时，铂丝电阻R₁=49.5Ω；发电机运行时铂丝电阻R₂=60.9Ω。铂的电阻温度系数查表1.5.1是α=0.00389(1/℃)。

求：发电机运行时内部的温度t₂。

解：由公式(1.5.2)

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

可变化为

$$t_2 = \frac{R_2 - R_1}{\alpha R_1} + t_1 = \frac{60.9 - 49.5}{0.00389 \times 49.5} + 20 = 79.2(^\circ\text{C})$$

答：当发电机运行铂丝电阻为60.9Ω时，发电机内部温度为79.2℃。

工厂中常用万用电表电阻档粗略测量电阻。在电阻值较小和要求测量较精确的场合，可用电桥来测量。

电阻器在生产和生活中有着广泛的应用，尤其在自动控制系统中往往是不可缺少的组成部分。

电阻按它的材料来分，可分为金属电阻、液体电阻（水电阻）和固体电阻（碳电阻，非线性电阻）等。在生产中应用最广泛的要算金属电阻。下面着重介绍金属电阻元件。

用作金属电阻元件的材料很多，可以根据用途和使用情况，选用不同的电阻材料。对电阻材料的要求是电阻系数大、允许温升高、电阻温度系数小，易于加工、价格便宜，能承受

一定的机械振动等。

金属电阻元件通常采用铸铁、康铜、铁铬铝等材料制成。铸铁电阻容量大、电阻值小、价格便宜。它的缺点是机械强度较差、振动强烈时容易使元件断裂，它的电阻值随温度变化较大，因此它只能用在对电阻值要求不很严格和振动不大的场合。康铜电阻（铜镍合金）的技术性能较好，在工业电阻器方面应用甚广，但它的热电势较高，不能用作精密仪器。铁铬铝合金电阻具有工作温度高、使用寿命长、电阻系数大、电阻温度系数小，有较高的防氧化性能等一系列优点，是一种较新型的、推广使用的电阻材料。

电阻器是多个电阻元件按一定的联接方法组成的，常见的有以下结构形式。

1. 无骨架螺旋式 如图1.5.1所示，它是由电阻线或电阻带绕成空心螺旋状，如民用电炉。它的优点是制作简单，散热良好，缺点是容易变形，或因振动而发生匝间、元件间短路。

一般应用于不振动不摇动的地方。

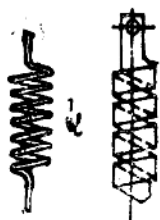


图1.5.1 无骨架螺旋式电阻元件



图1.5.2 瓷管式电阻

2. 瓷管式 如图1.5.2所示，它与无骨架螺旋式的区别仅在于有一个瓷筒的骨架，因此不怕振动。电阻线径较粗时，绕在筒面的沟槽内，当线径较细时，就紧密地绕在无槽的瓷管上，然后表面涂上一层釉以防止电阻线损坏。这种电阻又称管形电阻。

3. 框架式 如图1.5.3所示，电阻线绕在坚固的支架上，所以可以绕较粗的电阻线，通过较大的电流。这种电阻又称板形电阻。

4. 铁片栅式 如图1.5.4所示，其结构蜿蜒曲折呈栅形状，这种电阻容量较大，由于多用铸铁制成，性脆易裂，电阻值随温度变化较大。



图1.5.3 框架式电阻

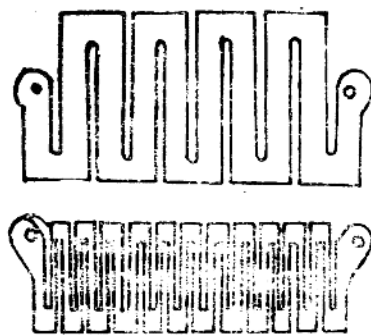


图1.5.4 铸铁电阻

第六节 欧 姆 定 律

一、部分电路欧姆定律

图1.6.1是只有电阻，不含电源的电路，称为部分电路。这个电阻代表用电器，如电灯、电炉等。在这个部分电路里，如果电阻两端的电压变了，电流会随着改变，如果导体的电阻变了，电流也会随着改变。那么，电流、电压和电阻三者之间的关系是怎样呢？1827年科学家欧姆从实验发现：电阻中的电流与加在电阻两端的电压值成正比，与电阻值成反比。这是部分电路中电流、电压和电阻的关系，称为部分电路欧姆定律，用公式表示为

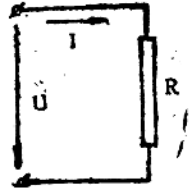


图1.6.1 电阻电路

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.6.1)$$

式中 I ——电流(A)；
 U ——电压(V)；
 R ——电阻(Ω)。

欧姆定律是电学中最基本的定律，应用很广泛。应用部分欧姆定律应注意，其中所指电流、电压、电阻必须在同一电路。

(例1.6.1) 一只电炉，接到220V电压上，电流为2.27A，求电炉丝的电阻值。

已知：电炉丝承受的电压 $U = 220\text{V}$ ，通过的电流 $I = 2.27\text{A}$ 。

求：电炉丝的电阻 R 是多少？

解：根据公式

$$I = \frac{U}{R}$$

得

$$R = \frac{U}{I}$$

所以

$$R = \frac{220}{2.27} \approx 97(\Omega)$$

答：电炉丝的电阻约为97 Ω 。

(例1.6.2) 一个440 Ω 的电灯泡，需要通过0.25A的电流，电灯泡两端的电压应该是多少？

已知：电灯泡的电阻 $R = 440\Omega$ ，通过的电流 $I = 0.25\text{A}$ 。

求：电灯泡两端的电压 U 是多少？

解：根据公式

$$I = \frac{U}{R}$$

得

$$U = IR$$

所以

$$U = 0.25 \times 440 = 110(\text{V})$$

答：电灯泡两端的电压应是110V。

二、全电路欧姆定律

图1.6.2是一个含电源的完整的电路，称为全电路。它由电源、用电器、开关及导线组成。电源内部也存在电阻，称为内电阻，用 $r_{内}$ 表示，为了直观，将 $r_{内}$ 画在电源外面，如图

1.6.2(b)所示。

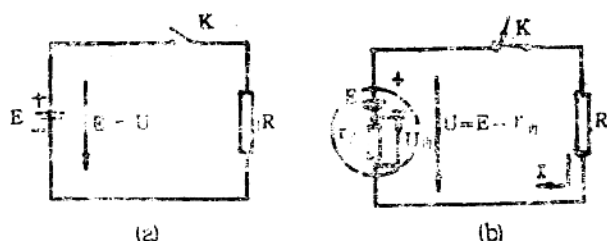


图1.6.2 最简单的完整电路

电源把其它形式的能量转换为电能，这个电能的大小用电源电动势 E 表示。当开关 K 闭合，电流就在全电路中形成闭合回路。显然，电源产生的能量消耗在外电路（电源外部电路）和内电路（电源内部电路）上，从能量关系不难理解：

电源电动势 $E = U$ （外电路电阻 R 上的电压降）+ $U_{内}$ （内电路电阻 $r_{内}$ 上的电压降）。即

$$E = IR + Ir_{内}$$

所以

$$I = \frac{E}{R + r_{内}} \quad (1.6.2)$$

上式就是全电路欧姆定律。说明电路中流过的电流 I 与电动势 E 成正比，与全部电阻值 $R + r_{内}$ 成反比。

通常情况下可以认为电源电动势 E 和内阻 $r_{内}$ 是不变化的，因此影响电流 I 大小的唯一因素是外电路电阻 R 。

由于外电路电阻 R 比内电阻 $r_{内}$ 大得多，因而 $IR \gg Ir_{内}$ ，即 $U \gg U_{内}$ ，我们平时指的电源电压就是 U ，俗称路端电压。当电路接通时，电源内电阻和输电线电阻都很小，产生的电压降不大，可以近似认为电源电压不变。实际上，电源电压是随电流大小的变化而稍有变化的。如一般照明电路电压为220伏，仅是认为近似不变的电压值，如果电路中负载变化时，电压是有一些变化的。

下面讨论外电路开路 and 短路两种情况下电路的状态。

开路又称断路，是指外电路处于断开的状态。此时，外电路电阻 R 趋近于无穷大，电路中电流 I 等于零，故

$$U = E - Ir_{内} = E - 0 = E$$

所以，电源断开时，电源两端的电压等于电源电动势。这时电源两端电压习惯上称为开路电压或空载电压，空载时电源电压最高。

短路是指外电路的负载处于短接的状态。外电路的电阻 R 等于零，由式 $I = \frac{E}{R + r_{内}}$ 可以看出，电路中电流 I 将达最大值，此电流称为短路电流，表示为

$$I_{\text{短}} = \frac{E}{r_{\text{内}}}$$

由于 $r_{\text{内}}$ 的数值通常很小,那么, $I_{\text{短}}$ 就很大。短路电流不仅会损坏电气设备,还可使电路熔断,产生强烈的电弧,很容易酿成火灾和爆炸等严重事故。为此,在电路中必须设置保护装置,在发生短路故障时,迅速切断短路部分的电路,以保护电气设备和防止事故扩大。

(例1.6.3) 电池的开路电压为 1.5V ,当接上 9Ω 的负载电阻时,端电压为 1.35V ,求电源内电阻 $r_{\text{内}}$ 。

已知:电池的电动势(开路电压) $E=1.5\text{V}$,路端电压 $U=1.35\text{V}$,负载电阻 $R=9\Omega$ 。

求:电源内电阻 $r_{\text{内}}$ 。

解:电路中通过的电流

$$I = \frac{U}{R} = \frac{1.35}{9} = 0.15 (\text{A})$$

由公式

$$I = \frac{E}{R + r_{\text{内}}} \quad \text{得}$$

$$r_{\text{内}} = \frac{E}{I} - R = \frac{1.5}{0.15} - 9 = 1 (\Omega)$$

答:电源内电阻为 1Ω 。

例1.6.4)有一台发电机的内电阻是 0.2Ω ,要想使离发电厂 2km 处的工厂得到 220V 的电压,如果工厂需用的电流是 10A ,铜导线的横截面积是 50mm^2 ,问发电机的电动势应是多少?

已知: $r_{\text{内}} = 0.2\Omega$, $L = 2000\text{m}$ $U = 220\text{V}$ $I = 10\text{A}$, $S = 50\text{mm}^2$, $\rho_{\text{铜}} = 0.0175\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

求:发电机的电动势 E 。

解:输电铜导线为两条,其电阻为

$$R_1 = \rho_{\text{铜}} \frac{L}{S} = 0.0175 \times \frac{2000 \times 2}{50} = 1.4 (\Omega)$$

工厂负载电阻为

$$R_2 = \frac{U}{I} = \frac{220}{10} = 22 (\Omega)$$

外电路总电阻为

$$R = R_1 + R_2 = 22 + 1.4 = 23.4 (\Omega)$$

因此

$$E = I(R + r_{\text{内}}) = 10(23.4 + 0.2) = 236 (\text{V})$$

答:发电机的电动势是 236V 。

第七节 电阻的串联、并联和混联

在生产上和日常生活中,电路里常常不止连接一个用电器,而是根据需要按一定的方式,把多个用电器连接在电路中。

用电器(电阻)的连接方式有串联、并联和混联三种。

一、电阻的串联

如图1.7.1所示,将电阻依次首尾联结,组成无分支的电路,叫做电阻的串联。