

全国技工学校电工类通用教材

电工基础

(第二版)

中国劳动出版社

全国技工学校电工类通用教材

号 111 字 登 录 (京)

电工基础

(第二版)

劳动部培训司组织编写

电工基础
(第二版)

劳动部培训司组织编写

王崇武、王崇武、王崇武

(王崇武、王崇武、王崇武)

北京人民教育出版社

北京人民教育出版社

1982年12月第1版 1982年12月第1次印刷

1982年12月第1版 1982年12月第1次印刷

中国劳动出版社

(京)新登字 114 号

本书是根据劳动部培训司审定颁布的技工学校《电工基础教学大纲》(1993)编写的。该书是在第一版的基础上修订再版的全国统编教材,供招收初中毕业生的技工学校使用。

本书主要包括:直流电路的基本概念、简单直流电路的计算、复杂直流电路的分析、电容器、磁场与磁路、电磁感应、单相正弦交流电路、正弦交流电路的符号法、三相交流电路、非正弦交流电、学生实验等。书中附有大量例题及习题。

本书除供技工学校使用外,还可作为职业高中和工厂企业维修电工、内外线电工中级技术培训的教材以及职工的自学用书。

本书由梁如福、司俊文、李书堂编写,梁如福主编;王文斗、余盛立、任靖康审稿,王文斗主审。

电 工 基 础

(第二版)

劳动部培训司组织编写

责任编辑:高永新

(北京市惠新东街1号)

北京印刷三厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 12.5印张 301千字

1988年4月北京第1版 1994年2月北京第2版

1994年3月北京第9次印刷 印数:172000册

ISBN 7-5045-1388-1/TM·075(课) 定价 6.90元

前 言

为了更好地提高技工学校电工类工种(专业)的教学质量,适应生产发展的需要,我们在修订技工学校电工类工种(专业)教学计划教学大纲的基础上,组织修订了技工学校电工类工种(专业)各门课程的教材。修订后的教材从培养目标出发,以中级电工技术等级标准为依据,坚持理论联系实际的原则,突出技能训练,注重针对性、实用性、科学性,并适当增加了新技术、新工艺、新材料、新设备的内容。

此套教材计有:维修电工生产实习、电工生产实习、数学、物理、电工基础、机械知识、机械制图、电气制图、电子技术基础、电机与变压器、电工仪表与测量、电力拖动控制线路、企业供电系统及运行、安全用电、电工材料等 15 种。

组织修订教材的工作得到了黑龙江、山东、上海、江苏、浙江、河南、陕西、四川、江西、湖南、广西、福建、云南及沈阳、大连、重庆等省市自治区及计划单列市劳动厅(局)的大力支持和协助,在此表示衷心地感谢。

由于技工学校教学改革正在研究探索之中,此次修订的教材肯定还会存在一些缺点和不足,恳切希望读者提出宝贵意见,以便在适当时候再次进行修订,使之更加完善。

劳动部培训司

目 录

绪言

第一章 直流电路的基本概念	(2)
§ 1—1 电路的概念	(2)
§ 1—2 电流与电流密度	(3)
§ 1—3 电位与电压	(5)
§ 1—4 电动势	(7)
§ 1—5 电阻与电导	(8)
§ 1—6 欧姆定律	(12)
§ 1—7 电功与电功率	(15)
§ 1—8 焦耳定律	(16)
§ 1—9 电路的三种状态	(17)
第二章 简单直流电路的计算	(21)
§ 2—1 电阻的串联电路	(21)
§ 2—2 电阻的并联电路	(23)
§ 2—3 电阻的混联电路	(25)
§ 2—4 电路中各点电位的计算	(29)
§ 2—5 电桥的平衡条件	(32)
§ 2—6 负载获得最大功率的条件	(33)
第三章 复杂直流电路的分析	(39)
§ 3—1 概述	(39)
§ 3—2 基尔霍夫定律	(40)
§ 3—3 支路电流法	(42)
§ 3—4 节点电压法	(43)
§ 3—5 叠加原理	(45)
§ 3—6 戴维南定理	(46)
* § 3—7 复杂直流电路计算举例	(49)
第四章 电容器	(56)
§ 4—1 电容器及其充放电	(56)
§ 4—2 电容器的联接	(59)
§ 4—3 RC 电路的暂态过程	(62)
§ 4—4 电容器的种类及选用	(64)
第五章 磁场与磁路	(72)
§ 5—1 电流的磁场	(72)

§ 5—2	磁通与磁感应强度	(75)
§ 5—3	磁导率与磁场强度	(76)
§ 5—4	磁场对电流的作用	(78)
§ 5—5	磁化与磁性材料	(80)
§ 5—6	电磁铁	(83)
§ 5—7	磁路	(86)
第六章	电磁感应	(93)
§ 6—1	电磁感应定律	(93)
§ 6—2	自感电势与自感系数	(96)
§ 6—3	互感现象与同名端	(100)
§ 6—4	涡流	(105)
§ 6—5	RL 电路的暂态过程	(107)
第七章	单相正弦交流电路	(113)
§ 7—1	概述	(113)
§ 7—2	正弦电动势的产生	(114)
§ 7—3	周期、频率与角频率	(116)
§ 7—4	相位与相位差	(118)
§ 7—5	交流电的有效值	(120)
§ 7—6	正弦交流电的表示法	(123)
§ 7—7	纯电阻电路	(125)
§ 7—8	纯电感电路	(126)
§ 7—9	纯电容电路	(128)
§ 7—10	用矢量图分析简单交流电路	(131)
§ 7—11	交流电路的功率和功率因数	(135)
§ 7—12	交流电路的实际元件	(138)
第八章	正弦交流电路的符号法	(145)
§ 8—1	概述	(145)
§ 8—2	符号法	(146)
§ 8—3	用符号法分析计算正弦交流电路	(149)
§ 8—4	串联谐振电路	(151)
§ 8—5	并联谐振电路	(152)
第九章	三相交流电路	(157)
§ 9—1	概述	(157)
§ 9—2	三相电源绕组的联接	(158)
§ 9—3	三相负载的联接	(160)
§ 9—4	对称三相电路的计算	(162)
* § 9—5	不对称三相电路的简单计算	(164)
§ 9—6	中线的作用	(166)
§ 9—7	三相电路的功率	(168)

* 第十章 非正弦交流电	(173)
§ 10—1 非正弦周期电流的产生	(173)
§ 10—2 非正弦波的分解	(174)
§ 10—3 非正弦量的有效值和功率	(176)
实验课	179
实验一 电源的外特性.....	179
实验二 电位值、电压值的测定	180
实验三 电流表和电压表扩程.....	182
实验四 基尔霍夫定律的验证.....	185
实验五 戴维南定理的验证.....	186
实验六 验证楞次定律.....	187
实验七 互感现象.....	188
实验八 电阻、电感、电容串联电路.....	189
实验九 功率因数的提高.....	190
实验十 三相交流电路.....	191
标注 * 者为选学内容	

绪 言

在各种形式的能量中,电能占有重要的地位。电能₁在工农业生产、国防、科技以及日常生活中得到了广泛的应用。在工业生产中,各种机械设备几乎都是由电力来驱动的。农业生产中的排灌、粮食和饲料加工等也都是以电力为动力来完成的。现代国防中的雷达、导弹、军舰等以及交通运输中的电气机车、电车、飞机等都离不开电能。日常生活中的电灯、电话、电视机、电风扇、电冰箱等也都依赖电能才能工作。在我国,电子计算机正在普及并不断推动着新的技术革命向深入方向发展,电子计算机和其它各种电子产品的工作也完全离不开电能。

电能之所以有如此巨大的作用和如此广泛的应用,是因为它有以下优点:第一,电能的产生方便。大多数其它形式的能(例如水能、热能、光能、化学能、原子能等)都可以比较容易地利用转换器变为电能。这些转换器包括发电机、光电池、干电池、核电站等。第二,电能的输送方便。电能可以通过导线和电磁波的形式传输到所需要的地方。第三,电能的使用方便。使用时,可以根据需要,方便地将电能转换成其它形式的能量。例如电动机将电能转换成机械能;电灯将电能转换成光能;电炉将电能转换成热能等等。第四,电能的控制方便。电能用于控制时,迅速而准确,便于实现远距离控制和生产过程自动化。

《电工基础》是研究电路和电磁现象的基本规律及分析方法的一门技术基础课,是学习电工专业知识必要的理论基础。通过本课程的学习,掌握直流电路、交流电路和电磁的基本概念、基本定律和基本分析方法。同时通过实验,掌握一定的实验技能,从而为进一步学习其它技术课和专业课打下基础。

在学习中,应注意以下几点:

1. 要理解各主要物理量及基本公式的含义,弄清有关公式、物理量以及各符号的意义和单位。
2. 要弄清各定律的内容,掌握各有关量间的相互关系,逐步学会分析电路的基本方法。
3. 要充分重视实验和在实际工作中对电工设备的正确使用,理论联系实际,以巩固和加深对所学知识的理解,培养独立工作能力。

第一章 直流电路的基本概念

§ 1—1 电路的概念

电流经过的路径称为电路。最简单的电路由电源、负载、开关和连接导线组成。图 1—1a 所示为一个简单电路的实物接线图。图中的电源是一节干电池。电源是将其它形式的能量转换成电能的装置。负载也称用电器,是将电能转换为其它形式能量的器件或设备。图 1—1a 中的电灯可以把电能转换成光能。连接导线是输送和分配电能的导体,常用的导线是铜线、铝线。开关在电路中起控制作用。在一些电路中还安装有指示灯等附属器件。

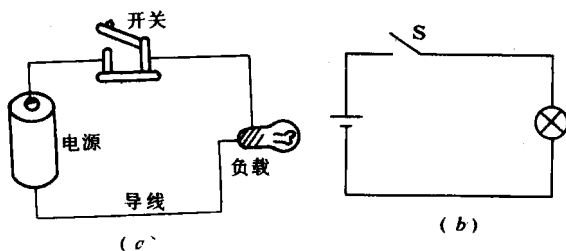


图 1—1 电路图

路。

电路可以用电路图来表示。电路图中常用的一部分图形符号如表 1—1 所示。用图形符号可以把图 1—1a 所示的实物接线图画成图 1—1b 所示的电原理图。通常所说的电路图,都是指电原理图。

电路的又一名称叫电网络,通常它们是相互通用的,但网络具有“复杂”的意思。

一个实际电路中的负载种类繁多,物理性质不尽相同。例如电炉的热丝是绕成稀疏的线圈状的,它除具有一定的电阻外,还有微量的电感。为了便于分析电路,我们突出负载的主要电磁性质,忽略其次要性质,把大量的实际负载,抽象为理想元件,例如把电炉的热丝抽象为一个理想的电阻。这样,只要用三种最基本的理想元件就可以代表种类繁多的各种负载了。这三种理想的元件就是电阻(R)、电感(L)、电容(C)。R、L、C 称为元件参数或电路参数。

实际应用的电路有的简单,有的复杂。但是一个完整的电路,均由电源、负载、中间环节(导线、开关等)三部分组成。电路的作用是实现电能的传输和转换。

用电池、直流发电机等作电源的电路,称为直流电路。

电路分为外电路和内电路。从电源一端经过负载再回到电源另一端的电路,称为外电路。电源内部的通路称为内电路,如电池两极之间的电路就是内电

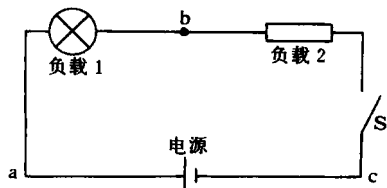
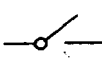
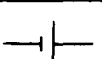
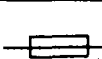


图 1—2 有两个负载的电路

图 1—1 所示的电路在开关闭合时只有一条电流经过的路径,称为单回路电路或无分支电路。图 1—2 所示也是一个单回路电路,但在电路中有两个电阻负载,一个是电灯泡,一个是电阻器。这个电路的工作过程是比较简单的。开关 S 闭合,电路接通(通路),电路中有电流流过,电灯发亮;开关 S 断开,电路开路(断路),电路中没有电流流过,电灯不亮。在开关 S 闭合后,若 a、b 两点用导线直接接通,则称为负载 1 被短路。若 a、c 两点用导线直接接通,则称为负载全部短路,或称为电源被短路。短路时电源提供的电流比通常大很多倍,因而一般不允许短路。

表 1-1 部分电工图形符号(摘自 GB4728—85)

	开 关		电 阻		接机壳
	电 池		电位器		接 地
	发 电 机		电 容		端 子
	线 圈		电 流 表		联接导线 不联接导线
	铁芯线圈		电 压 表		熔断器
	抽头线圈		二 极 管		电 灯

§ 1—2 电流与电流密度

一、电 流

要了解电流的实质,应从物质内部结构进行分析。我们知道,任何物质都是由分子组成,分子是由原子组成,而原子又是由带正电的原子核和带负电的电子组成。在通常状况下,原子核所带的正电荷数等于核外电子所带的负电荷数,所以原子是中性的,不显电性,物质也不显带电的性能。当人们给予一定外加条件时(如接上电源),就能迫使金属或某些溶液中的电子发生有规则的运动。

电荷有规则的定向运动称为电流。在金属导体中,电流是电子在外电场作用下有规则地运动形成的。在某些液体或气体中,电流则是正离子或负离子在外电场作用下有规则运动形成的。导体中的这种电流也称为传导电流。

在不同的导电物质中,形成电流的运动电荷可以是正电荷,也可以是负电荷,甚至两者都有。为统一起见,规定以正电荷移动的方向为电流的方向。在金属导体中电子运动而形成的实际方向,与电流方向相反。

在分析或计算电路时,常常要求出电流的方向。但当电路比较复杂时,某段电路中电流的实际方向往往难以确定,此时可先假定电流的参考方向(也称正方向),然后列方程求解,当解出的电流为正值时,就认为电流方向与参考方向一致,见图 1—3a 所示。反之,当电流为负值时,就认为电流方向与参考方向相反,见图 1—3b 所示。

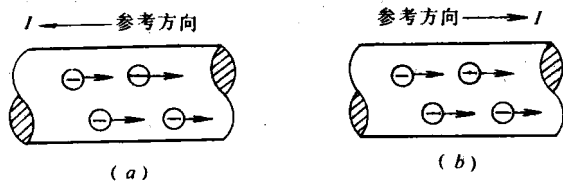


图 1—3 电流的方向

电流的大小取决于在一定时间内通过导体横截面的电荷量多少。在相同的时间内通过导体横截面的电荷量越多，就表示流过该导体的电流越强，反之越弱。电流的大小用电流强度来衡量，通常规定：一秒钟内通过导体横截面的电量称做电流强度，以字母 I 表示。若在 t 秒钟内通过导体横截面的电量是 Q 库仑，则电流强度 I 就可用下式表示：

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

电流强度的单位是安培。若在一秒钟内通过导体横截面的电量为 1 库仑，则电流强度就是 1 安培。

安培简称安，以字母 A 表示。除安培外，常用的电流强度单位还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A)，它们之间的换算关系是：

$$1 \text{ 千安(kA)} = 10^3 \text{ 安(A)}$$

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

$$1 \text{ 微安}(\mu\text{A}) = 10^{-3} \text{ 毫安(mA)} = 10^{-6} \text{ 安(A)}$$

为方便，人们常把电流强度简称为电流。这样电流这一名词不但表示一种物理现象，而且也代表一个物理量。

电流分直流电流和交流电流两大类。凡大小和方向都不随时间变化的电流，称为稳恒电流，简称直流(简写作 DC)；凡大小和方向都随时间变化的电流，称为交变电流，简称交流(简写作 AC)。

交流电流的大小是随时间变化的，我们可以在一个很短的时间 Δt 内研究它的大小。在 Δt 时间内，若导体横截面的电量变化是 ΔQ ，则瞬时电流强度 i 为：

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (1-2)$$

一个实际电路中的电流大小可以用电流表来测量。测量时必须把电流表串联在电路中，并使电流从表的正端流入，负端流出。同时要选择好电流表的量程(测量范围)，使其大于实际电流的数值，否则可能烧坏电流表。

例 1—1 某导体在 5 分钟内均匀通过的电荷量为 4.5 库仑，求导体中的电流是多少毫安。

解： $I = Q/t = 4.5 / (5 \times 60) = 0.015 \text{ 安} = 15 \text{ 毫安}$

二、电流密度

在实际工作中，有时需要选择导线的粗细(截面)，这就要用到电流密度这一概念。所谓电流密度就是当电流在导体的横截面上均匀分布时，该电流与导体横截面积的比值。这样电流密度 J 可用下式表示：

$$J = \frac{I}{S} \quad (1-3)$$

上式中当电流强度 I 用安培作单位、面积 S 用平方毫米作单位时，电流密度的单位是安/

毫米²。导线允许的电流随导体截面不同而不同。例如,1平方毫米的铜导线允许通过6安的电流;2.5平方毫米的铜导线允许通过15安的电流($J=6$);120平方毫米的铜导线允许通过280安的电流($J=2.3$)。当导线中通过的电流超过允许电流时,导线将发热、冒火而出现事故。

例1—2 某照明电路中需要通过21安的电流,问应采用多粗的铜导线? [设铜导线的允许电流密度为6安/毫米²]

$$\text{解: } S = I/J = \frac{21}{6} = 3.5 \text{ 毫米}^2.$$

§ 1—3 电位与电压

一、电 位

要移动一个东西,就必须用力。当工人把车子从甲地推到乙地,或者吊车把货物从地面吊起时,车和货物都受到了力的作用,并且在受力的方向上移动了一段距离。这时我们就说,力对物体做了功。如果用符号 A 表示功, F 表示力, L 表示距离,那么:

$$A = FL$$

从物理中我们已经知道,带电体的周围存在着电场,电场对处在场内的电荷也有力的作用。当电场力使电荷移动时,我们就说电场力对电荷做了功。下面我们来比较一下,在图1—4所示的均匀电场中,电场力 f 把正电荷 Q 从 a 点移到 o 点和从 b 点移到 o 点所做的功。

设 a 点与 o 点间的距离是 L_{ao} , b 点和 o 点间的距离是 L_{bo} , 则电场力 f 将 Q 从 a 点移到 o 点做的功是:

$$A_{ao} = fL_{ao}$$

电场力 f 将 Q 从 b 点移到 o 点做的功是:

$$A_{bo} = fL_{bo}$$

如果电荷的电量增加一倍,那么作用在电荷上的电场力也增加一倍,电场力所做的功也就相应地增加一倍。也就是说,在一个已知的电场中,电场力做的功 L_{ao} 、 L_{bo} 与电荷量是成正比的。我们规定:电场力把单位正电荷从电场中的某点移到参考点所做的功,称为该点的电位(物理学中称为电势)。以 o 点为参考点时, a 点的电位 φ_a 是:

$$\varphi_a = \frac{A_{ao}}{Q} \quad (1-4)$$

同样,以 o 点为参考点时, b 点的电位 φ_b 是:

$$\varphi_b = \frac{A_{bo}}{Q} \quad (1-5)$$

很明显,由于 $A_{ao} > A_{bo}$, 因而 a 点的电位比 b 点的电位高。如果不选择 o 点作参考点,而另选择一个参考点,那么 φ_a 、 φ_b 的数值将和上面不同,可见电场中某点的电位与参考点的选择有密切的关系。通常人们以大地作为参考点,而在电子设备中一般以金属底板、机壳等公共点作为参考点,这样便于比较各点的电位。

参考点的电位规定为零,因而低于参考点的电位是负电位,高于参考点的电位是正电位。

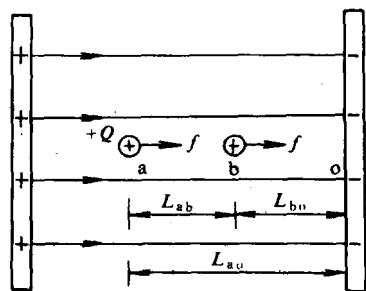


图1—4 电场力做功

电场力移动单位正电荷所做的功愈多,表明正电荷所处的点的电位愈高,反之电位愈低。这就是电位高低的含义。

如果功的单位是焦耳,电荷的单位是库仑,则电位的单位就是伏特,简称为伏,用字母 V 表示。

除伏特外,常用单位还有千伏(kV),毫伏(mV),微伏(μ V),它们之间的换算关系是:

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

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

$$1 \text{ 微伏}(\mu\text{V}) = 10^{-3} \text{ 毫伏(mV)} = 10^{-6} \text{ 伏(V)}$$

二、电 压

电压是衡量电场做功本领大小的物理量。若电场力将电荷 Q 从 a 点移到 b 点,所做的功为 A_{ab} ,则两点间的电压 U_{ab} 为:

$$U_{ab} = \frac{A_{ab}}{Q} \quad (1-6)$$

在讨论电路问题时,我们有时需要研究两个点的电位关系,这就要用到电位差的概念。两点 a 、 b 的电位差,就是 a 、 b 两点的电位之差。在图 1—4 中, a 点与 b 点的电位差是:

$$\varphi_a - \varphi_b = \frac{A_{ao}}{Q} - \frac{A_{bo}}{Q} = \frac{A_{ab}}{Q} = U_{ab} \quad (1-7)$$

可见, a 、 b 间的电位差就是 a 、 b 两点间的电压。电场中两点间的电位差,称为电压。因此,我们也可以说,电位就是电场中某点和参考点之间的电压。在图 1—4 中, a 点与参考点 o 之间的电压是:

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_o$$

由于 $\varphi_o = 0$,所以 $U_{ao} = \varphi_a$

电压的单位也是伏特。

处于外加电场中的导体两端具有电位差时,电子受到电场力的作用而有规则的定向运动,从而形成电流。可见,导体内产生电流的条件是导体两端必须有电位差。

电压和电流一样,不但有大小,而且有方向,即有正有负。电压的规定方向是由高电位指向低电位。当电压采用双下标记法时,表明电压方向从第一个下标指向第二个下标。

在图 1—4 中,把单位正电荷从 a 点移到 b 点电场力做了功。由于电场提供能量,电压为正;若在外力作用下,逆着电场的方向,把单位正电荷从 b 点移到 a 点,这时电场力起阻碍作用而做负功,电场吸收能量,电压为负。上述两部分功的大小应相等但符号应相反,即:

$$U_{ab} = -U_{ba} \quad (1-8)$$

电压可用电压表来测量。测量时应将电压表放在适当的量程上,使电压表的正负极和被测电压一致,然后把表并联在电路中,不要串联。

例 1—3 在图 1—5 中,设 $U_{co} = 3$ 伏, $U_{cd} = 2$ 伏,试分别以 C 点和 O 点作参考点,求 D 点的电位和 D 、 O 两点间的电压。

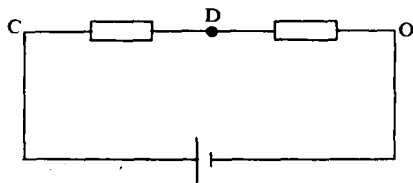


图 1—5

解： 1. 以 C 为参考点, 即 $\varphi_C = 0$

$$\because U_{CD} = \varphi_C - \varphi_D \quad \therefore \varphi_D = \varphi_C - U_{CD} = 0 - 2 = -2 \text{ 伏}$$

$$\because U_{CO} = \varphi_C - \varphi_O \quad \therefore \varphi_O = \varphi_C - U_{CO} = 0 - 3 = -3 \text{ 伏}$$

$$U_{DO} = \varphi_D - \varphi_O = -2 - (-3) = 1 \text{ 伏}$$

2. 以 O 为参考点, 即 $\varphi_O = 0$

$$\because U_{CO} = \varphi_C - \varphi_O \quad \therefore \varphi_C = U_{CO} + \varphi_O = 3 + 0 = 3 \text{ 伏}$$

$$\because U_{CD} = \varphi_C - \varphi_D \quad \therefore \varphi_D = \varphi_C - U_{CD} = 3 - 2 = 1 \text{ 伏}$$

$$U_{DO} = \varphi_D - \varphi_O = 1 - 0 = 1 \text{ 伏}$$

由上面的计算可见, 参考点变了, 电位的值也变了。但不管参考点如何变化, 两点间的电压是不改变的, 通常把这一性质称为电位的相对性和电压的绝对性。

§ 1—4 电 动 势

一、电动势产生的过程

我们已经知道, 电源是将非电能转换为电能的装置。衡量电源转换本领大小的物理量称为电源的电动势。现在以发电机中的一段导体为对象, 来分析电源内部的情况。我们知道, 导体内部有大量的自由电子, 如果对这些电子施加外力 F_w , 那么, 外力作用下的电子便向导体的一端移动, 使这一端积累了负电荷, 如图 1—6a 所示。而另一端则因缺少电子呈现出正电荷的积累。由于正负电荷的分离, 在电源内部就产生了电场。这时, 电子除了受外力作用外, 还要受电场力 F_D 的作用。电场力的方向和外力的方向恰好相反, 它对电子的继续移动起着阻碍作用, 如图 1—6b 所示。

开始时, 外力大于电场力, 电子继续向一端移动。当两端电荷积累到一定程度, 电场力 F_D 便增加到与外力 F_w 相等, 见图 1—6c 所示。这时, 电子就停止了定向移动, 两端电荷的积累处于稳定状态。

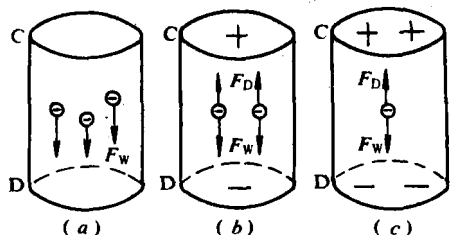


图 1—6 电动势的产生

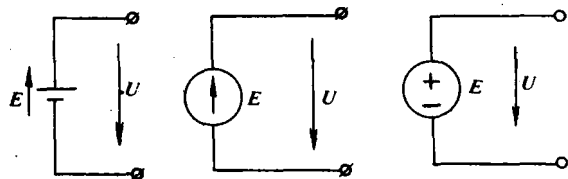


图 1—7 电动势与端电压的方向

不难理解, 在外力作用下, 电子从导体的 C 端移到 D 端时, 是需要做功的。或者说, 外力把正电荷从 D 端移到 C 端是需要做功的。在外力(非静电力)作用下, 单位正电荷从电源的负极经电源内部移到正极所做的功, 称为该电源的电动势, 用符号 E 表示, 即:

$$E = \frac{A_{DC}}{Q} \quad (1-9)$$

电动势的单位是伏特。

二、电源电动势和电源端电压的关系

在电动势的形成过程中,出现了电荷的分离,形成了电场,使电源两端具有了不同的电位。我们把电源两端的电位差,称为电源的端电压,有时也简称电源电压。在图 1—6c 中,电源电动势 E 还可进一步表示为:

$$E = \frac{A_{DC}}{Q} = \frac{F_w L_{DC}}{Q}$$

当电源两端不接负载时,电源两端的电压(开路电压)可表示为:

$$U_{CD} = \frac{A_{CD}}{Q} = \frac{F_D L_{CD}}{Q}$$

对比以上两式,由于 $F_w = F_D$,因而 $E = U_{CD}$ 。这是一个重要结论,即电源的电动势在数值上等于电源两端的开路电压。

但是由于 F_w 和 F_D 方向相反,因而电源电动势和电源端电压在方向上是相反的。

三、电动势与电压的不同点

电动势和电压的单位都是伏特,但是两者是有区别的。

首先,电动势与电压具有不同的物理意义。电动势表示非电场力(外力)做功的本领,而电压则表示电场力做功的本领。

其次,电动势与电压的方向不同。电动势是低电位指向高电位,即电位升的方向;而电压是高电位指向低电位,即电位降的方向。图 1—7 表示出了电源的几种画法及电动势与端电压的方向。

再次,电动势仅存于电源内部,而电压不仅存在于电源两端,而且也存在于电源外部。

§ 1—5 电 阻 与 电 导

一、电阻

当电流通过金属导体时,作定向运动的自由电子会与金属中的带电粒子发生碰撞。可见,导体对电荷的定向运动有阻碍作用。导体对电流的阻力小,说明它的导电能力强;导体对电流的阻力大,它的导电能力就差。电阻就是反映导体对电流起阻碍作用大小的一个物理量。

电阻用字母 R 表示。电阻的单位是欧姆,简称欧,用字母 Ω 表示。

当导体两端的电压是 1 伏特,导体内通过的电流是 1 安培时,这段导体的电阻就是 1 欧姆。除欧姆外,常用的电阻单位有千欧(k Ω)和兆欧(M Ω),它们之间的换算关系是:

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

$$1 \text{ 兆欧(M}\Omega\text{)} = 10^3 \text{ 千欧(k}\Omega\text{)} = 10^6 \text{ 欧}(\Omega)$$

导体的电阻是客观存在的,它不随导体两端电压大小而变化。即是没有电压,导体仍然有电阻。实验证明,导体的电阻跟导体的长度成正比,跟导体的横截面积成反比,并与导体的材料性质有关。对于长度为 l 、截面为 S 的导体,其电阻可用下式表示:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-10)$$

式中的 ρ 是与导体材料性质有关的物理量,称为电阻率或电阻系数。电阻率通常是指是在 20℃ 时,长 1 米而横截面积是 1 平方毫米的某种材料的电阻值。当 l 、 S 、 R 的单位分别是米、平

方米、欧姆时, ρ 的单位是欧姆·米。

$$\rho = \frac{RS}{l} \rightarrow \frac{\text{欧姆} \cdot \text{米}^2}{\text{米}} = \text{欧姆} \cdot \text{米}$$

几种材料的电阻率如表 1—2 所示。表中电阻率的单位是欧姆·米。

表 1-2 几 种 材 料 的 电 阻 率

材料名称	电 阻 率 ρ	电阻温度系数 α	材料名称	电 阻 率 ρ	电阻温度系数 α
银	1.6×10^{-8}	0.0036	铁	10×10^{-8}	0.006
铜	1.7×10^{-8}	0.004	碳	35×10^{-8}	-0.0005
铝	2.9×10^{-8}	0.004	锰 铜	44×10^{-8}	0.000005
钨	5.3×10^{-8}	0.0028	康 铜	50×10^{-8}	0.000005

二、电阻与温度的关系

前面我们讲了决定导体电阻大小的本身因素(长度、截面、材料),其实,导体的电阻还与自身以外的其它因素互相联系和互相影响着。温度就是这种互相影响的因素之一。实验发现,导体的温度变化,它的电阻也随着变化。一般的金属材料,温度升高后,导体的电阻增加。这是因为温度的升高,使得导体中的带电粒子的热运动加剧,自由电子在导体中碰撞的机会增多,因而电阻也就要增大。

我们把温度升高 1°C 时,电阻所产生的变动值与原电阻的比值,称为电阻温度系数,用字母 α 表示,单位是 $1/^\circ\text{C}$ 。

如果在温度 t_1 时,导体的电阻为 R_1 ;在温度 t_2 时,导体的电阻为 R_2 ,那么电阻温度系数是:

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)} \quad (1-11)$$

一般金属材料的电阻温度系数如表 1—2 所示。这个数值是很小的,但当导体工作温度很高时,电阻的变化也很显著,不能忽视。表 1—2 中碳的电阻温度系数是负数,这表明,当温度升高时,碳的电阻反而减小。

例 1—4 有一台电动机,它的绕组是铜线。在室温 26°C 时测得电阻为 1.25 欧。转动 3 小时后,测得的电阻增加到 1.5 欧,问此时电动机绕组线圈的温度是多少?

解:由题目可知, $R_1 = 1.25$ 欧, $R_2 = 1.5$ 欧, $t_1 = 26^\circ\text{C}$, $\alpha = 0.004$

$$\text{由公式(1-11)可得: } t_2 = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \times \alpha} + t_1$$

$$\text{代入已知数字得: } t_2 = \frac{1.5 - 1.25}{1.25 \times 0.004} + 26 = 76^\circ\text{C}$$

三、常用电阻器

在生产实际中要用到各种各样的电阻,例如有些电气设备,需要阻值大的电阻;有些设备,需要功率大的电阻等等,这就需要专门制造一些电阻元件。我们把具有一定阻值的实体元件称为电阻器。

1. 电阻器的结构与性能特点

电阻器有时也简称电阻,它分为固定电阻器和可变电阻器两类。固定电阻器常用的一般有线绕电阻、薄膜电阻、实芯电阻三种。可变电阻器的阻值可在一定范围内变化,具有三个引出端的常称为电位器。常用电阻器的外形如图 1—8 所示。

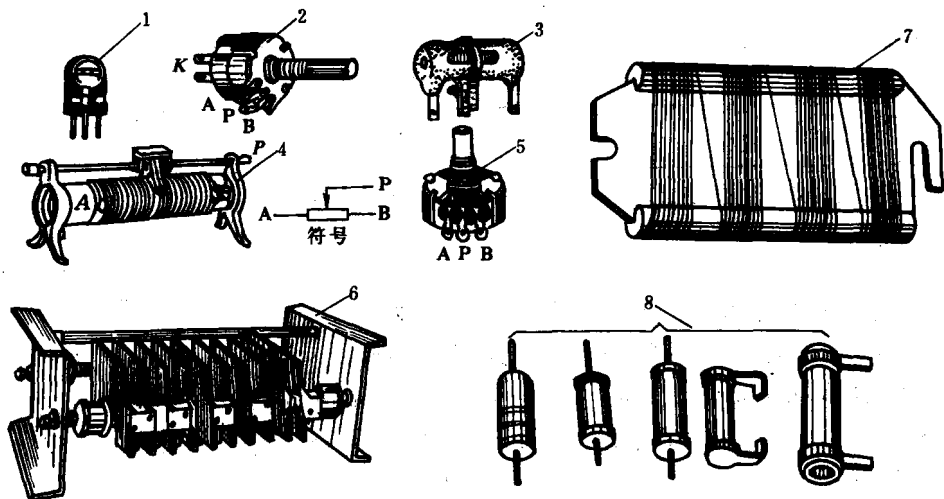


图 1—8 常用电阻器外形
1—微调电位器 2—开关电位器 3—线绕可变电阻 4—线绕滑线电阻
5—电位器 6—生铁固定电阻 7—线绕固定电阻 8—各种固定电阻

下面介绍一下常用固定电阻器的构造和主要特点:

线绕电阻器 由镍铬、康铜等电阻丝绕在瓷管上制成,外涂保护层。阻值的大小由电阻丝的长度、粗细和电阻率决定。线绕电阻器的功率较大,稳定性高,但阻值较小。

薄膜电阻器 瓷棒上涂一层碳膜或金属膜并刻以槽纹而制成。阻值由薄膜的材料、厚度、槽纹长度决定。薄膜电阻器的稳定性较好,误差小,阻值较大,但功率较小。

实芯电阻器 由碳黑、石墨、粘土、石棉等按比例混合压制而成。阻值由材料的比例、电阻的几何尺寸等因素决定。实心电阻器的阻值较大,但功率很小,稳定性差。

2. 电阻器的主要指标

电阻器的指标有标称阻值、允许偏差、标称功率、最高工作电压、稳定性、温度特性等。一般只考虑标称阻值、允许偏差和标称功率。

标称阻值 为了便于生产,同时考虑到能够满足实际使用的需要,国家规定了一系列数值作为产品的标准,这一系列值叫做电阻的标称系列值。几个系列的标称系列值如表 1—3 所示。电阻器的标称阻值应为表中所列数值的 10^n 倍,其中 n 为正整数、负整数或零。

允许偏差 电阻器的标称阻值与实际阻值不完全相符,存在着误差(偏差)。当 R 为实际阻值、 R_H 为标称阻值时,允许偏差的表示式为: $(R - R_H) / R_H$ 。允许偏差表示电阻器阻值的准确程度,常用百分数表示,例如 $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ 等,如表 1—3 所示。

标称功率 也称为额定功率。它是指在一定的条件下,电阻器长期连续工作所允许消耗的最大功率。