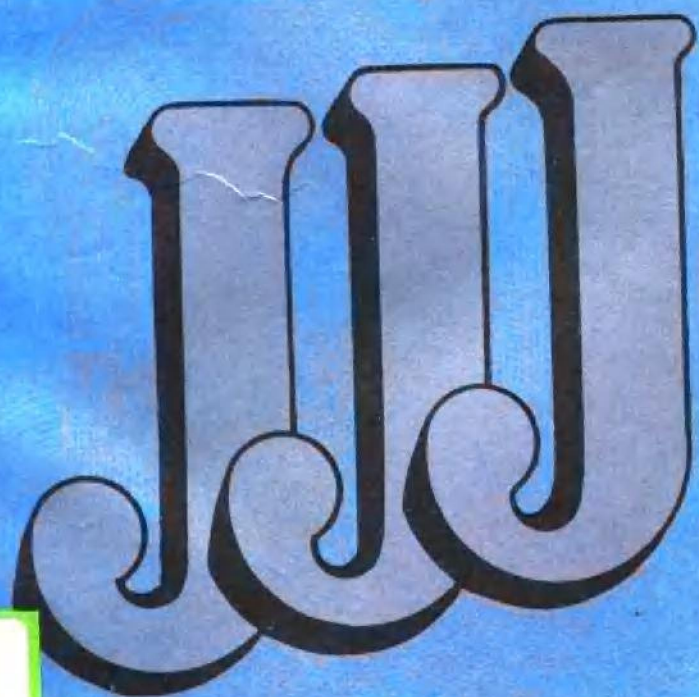


国家机械工业委员会统编

电 工 学

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

本书共分七章，主要介绍直流电路、磁与电、交流电路、变压器与电动机、电热设备与应用、安全用电基本知识以及电子电路基础等。内容着重于基本概念和基础知识。

本书由中捷友谊厂张连义、马清、王智凌和沈阳自动化仪表研究所刘铁英编写，由中捷友谊厂徐瑞林和沈阳鼓风机厂张忠和审稿。

电 工 学

国家机械工业委员会统编

责任编辑：边 萌 责任校对：宁秀娥
封面设计：林胜利 方 芬 版式设计：霍永明
责任印制：张俊民

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $8^{1/2}$ · 字数 185 千字

1988年11月北京第一版·1988年11月北京第一次印刷

印数 00,001-33,000 · 定价：3.40元

ISBN 7-111-01115-5/TM·147

前 言

1981年,原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》,确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此,组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划,教学大纲(试行)》,编写了相应的教材,有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作,初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况,取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订,原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求,而且缺少高级部分;编写的教材,由于时间仓促、经验不足,在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此,原机械工业部根据新《标准》,重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划,培训大纲》(初、中、高级),于1987年3月由国家机械工业委员会颁发,并根据培训计划、大纲的要求,编写了配套教材148种。

这套新教材的编写,体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神,坚持了文化课为技术基础课服务,技术基础课为专业课服务,专业课为提高操作技能和分析解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上,力求以基本

概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织 200 多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组
1987年11月

目 录

前 言

第一章 直流电路	1
第一节 直流电路的基本概念	1
第二节 欧姆定律	12
第三节 基尔霍夫定律	14
第四节 电阻的串、并联	17
第五节 简单电路的计算	20
第六节 电容器	26
复习题	33
第二章 磁与电	36
第一节 磁场的基本知识	36
第二节 磁场的基本物理量	40
第三节 铁磁物质的磁化与分类	44
第四节 磁场对电流的作用	47
第五节 电磁感应	51
复习题	54
第三章 交流电路	57
第一节 正弦交流电的产生	57
第二节 正弦交流电的基本概念	61
第三节 正弦量的图示法	65
第四节 纯电阻电路	68
第五节 纯电感电路	71
第六节 纯电容电路	76
第七节 电阻、电感、电容串联电路	80

第八节 电阻、电感、电容并联电路	84
第九节 三相交流电的产生	89
第十节 三相电源的连接	91
第十一节 三相负载的连接	95
第十二节 对称三相电路的计算	99
复习题	105
第四章 变压器与电动机	108
第一节 变压器	108
第二节 电动机	125
复习题	135
第五章 电热设备与应用	137
第一节 电阻加热炉	137
第二节 盐浴炉	143
第三节 感应加热设备	145
第四节 辉光离子氮化装置	150
复习题	154
第六章 安全用电知识	155
第一节 电流对人体的作用	155
第二节 安全用电措施	157
第三节 触电急救	158
复习题	160
第七章 电子电路基础	161
第一节 半导体的基本知识	161
第二节 晶体二极管的结构与工作原理	166
第三节 晶体二极管的极性识别	170
第四节 晶体二极管的整流电路	173
第五节 整流电路的滤波装置	183
第六节 硅电压调整二极管稳压电路	189
第七节 晶体三极管的基本结构与工作原理	192

第八节 晶体三极管的极性识别	202
第九节 晶体三极管的三种基本电路	206
第十节 单管交流放大器	211
第十一节 功率放大器	223
第十二节 直流放大器	233
第十三节 正弦波晶体管振荡器	238
第十四节 真空二极管	248
第十五节 真空三极管	254
复习题	261

第一章 直流电路

第一节 直流电路的基本概念

一、电路的组成

电路就是电流流经的路径。电路一般由电源、负载（负荷）及中间环节（导线、开关）等基本部分组成。

1. 电源 是供应电能的装置，即把其他形式的能量转换为电能的装置。例如，电池把化学能转换为电能；发电机把机械能转换为电能等。

2. 负载 在电路中取用电能（消耗电能）的装置（如灯泡、电熨斗、电动机等，都被称为电路中的负载），也就是把电能转换为光、热和机械能等多种不同形式能量的装置。

3. 导线和开关 联接和控制电源及负载必不可少的中间环节，也是电路的重要组成部分。如只有将开关合上把电路接通时，才能有电流通过负载。有时要在电路中接上有关的测量仪器，使我们能了解到电路的工作情况。

二、电流

电流分为直流电和交流电。一般，电流的大小和方向都不随时间变化的，称为直流电。图 1-1 所示为简单的直流电路。电流的方向为由电源的正极经用电装置回到电源负极。

电流的大小用电流强度来表示。电流强度在数值上等于单位时间内通过导线横截面的电量的大小。电流强度（简称电流）用符号 I 表示，单位用安培（A），简称安；时间用 T 表示，单位用秒（s），通过导体某一截面的电量用符号

Q 表示, 单位用库仑 (C)。它们的关系式为:

$$I = \frac{Q}{T}$$

如果在1s内通过导体横截面的电量是2C, 那么这个电流的大小为1A, 即:

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

所以, 若每秒钟通过导体某一截面2C的电量, 电流就是2A。在实际应用中, 电路中流过的电流很小, 常用mA、 μA 来计量。常用单位的换算关系是:

$$1\text{A} = 1000\text{mA}$$

$$1\text{mA} = 1000\mu\text{A}$$

当电流很大时, 可用千安(kA)为单位, 换算关系是:

$$1\text{kA} = 1000\text{A} = 10^3\text{A}$$

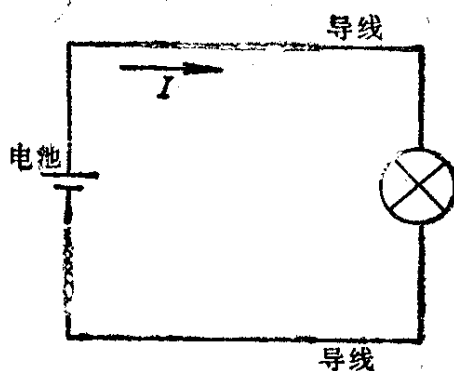


图1-1 简单的直流电路

电流除了有直流电以外, 还有交流电, 又称交变电流, 它是指电流的大小和方向随时间按一定规律作周期性变化的电流。干电池、蓄电池和直流发电机产生的电流都是直流电, 而交变发电机产生的电流是交流电。关于交流电, 将在后面叙述。

电路中电流的大小可用电流表来测量。测量时, 断开电路, 把直流电流表接在被测电路中, 如图1-2所示。电流表指示的读数, 即为该电路中电流强度的大小。使用直流电流表时, 必须注意仪表的正负极性, 电流必须从电流表接线柱的正端流入, 还要注意电流表的测量范围。

三、电压与电位

1. 电压 又叫电位差。它表示电场或电路中两点间的电位之差，其数值等于单位正电荷在电场力的作用下，从一点移动到另一点所做的功。为了便于理解，可把水路比作电路，水管好比导线，水流好比电流，水泵相当于电源。水在水管里能够连续不断地流动，就因为水泵把水升高到水塔里，产生水位差，水才能受重力作用，由水塔的高水位点经水管向下流动到低水位点。同样道理，电路中要有电流，必须先产生电位差，电流才能从电路的高电位点流向低电位点。电路中的电源就是用来升高电位的，或者说用来产生电位差的。电源的正极电位高，负极电位低。所以，电路接通后，电流从电源正极流出，经过用电器流到电源负极。在水路中，水位差又称水压，水压越大，水流越急。同理，在电路中，任意两点之间的电位差称为这两点的电压。当电阻一定时，电压越大，电流就越大。电压常用符号 U 来表示。在图1-3中，AB两点间的电压为：

$$U_{AB} = \frac{W}{Q}$$

式中 W ——电场力将正电荷 Q 从A点经灯泡移动到B点所做的功。

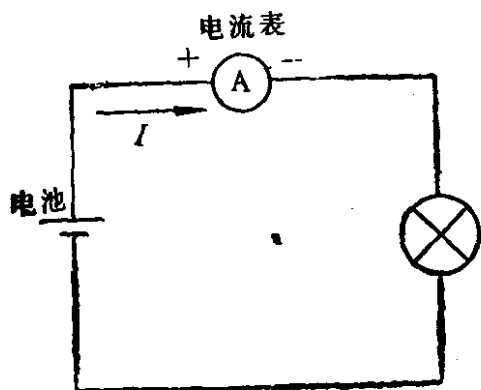


图1-2 直流电流的测量

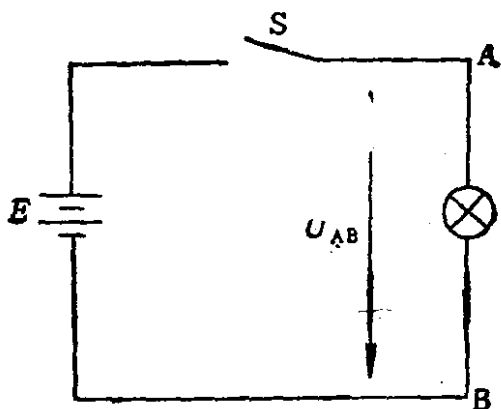


图1-3 电路中的电压

电压的常用单位是伏特 (V), 简称伏。在实际应用中, 有时也用毫伏 (mV)、微伏 (μV) 和千伏 (kV) 作单位。常用换算单位是:

$$1\text{V}=1000\text{mV}$$

$$1\text{kV}=1000\text{V}$$

电压的方向规定为电压降低的方向, 即从高电位点指向低电位点。电路中某两点间电压的大小, 只与该两点的位置有关。

2. 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。

电位有正有负, 这要根据在电路中选择零电位点来决定。如图1-3所示, 若假定B点的电位为零, A点的电位比B点高, 则A点的电位为正电位。如假定A点电位为零, B点电位比A点低, 则B点的电位为负电位。

电位用 φ 表示, 单位是伏特 (V)。于是电路中某点的电位为:

$$\varphi = \frac{W}{Q}$$

式中 W ——电场力将正电荷 Q 从某点移到参考点所做的功, 单位为焦耳(J);

Q ——表示电量, 单位为库仑(C);

φ ——电位, 单位是焦耳(J)/库仑(C), 或称伏特(V), 简称伏, 用V表示。

电位的高低与参考点的选择有关。在电工学里常以大地或电气外壳为零电位点。

四、电动势

当把电灯或电熨斗接到任何一个电源(干电池、发电机

等)上时,电灯就会发光、电熨斗就会发热,说明有电流流过。电流是由电位差(即电压)引起的,这说明,电源两极之间存在着电位差。

在各种不同的电源中,产生电位差的原因是不同的。但是它们都具有一个共同点,就是能把电源内部存在的正、负电荷分别推向电源的两极,使得一个极带一定量的正电荷,另一个极带一定量的负电荷,于是两极间就形成了电场,出现了一定的电位差。电源内部这种能推动电荷移动的作用力统称为电源力。

电源力将单位正电荷从电源负极移到正极所做的功,就叫电源的电动势,用符号 E 来表示。如果电源力移动电荷 Q 所做的功为 W_E , 则:

$$E = \frac{W_E}{Q}$$

电动势的单位与电压和电位的单位相同,也是伏特(V)。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。

电动势与电压的大小都可电压表来测量。测量的方法与用电流表测量不同,它是把电压表跨接到电路中要测量的两点上去。如图 1-4 所示。电表的读数就是 A、B

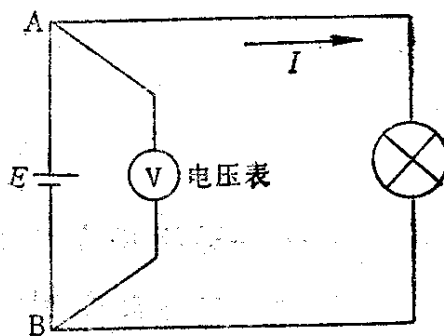


图1-4 直流电压的测量

两点之间的电压值。测量直流电压时,也要注意仪表的正负极性(正端接高电位点,负端接低电位点)与测量范围。

五、电阻和电导

1. 电阻 导体在电流通过时所发生的阻力作用，称为导体的电阻。例如，把不同材料的金属导体接到某一电源上时，金属导体中通过电流的大小是不同的。如在一根铜棒两端和一根铝棒两端分别加上同样的电压，其中流过的电流将相差很大。这是因为不同材料的金属导体对电流具有不同的阻力。把电阻的大小定义为加在导体两端的电压与通过导体电流的比值，用符号 R 表示。电阻的单位是欧姆，简称欧(Ω)。在实际应用中，还常用到千欧 ($k\Omega$) 和兆欧 ($M\Omega$)，它们之间的关系为：

$$1k\Omega = 1000\Omega = 10^3\Omega$$

$$1M\Omega = 1000000\Omega = 10^6\Omega$$

导体电阻的大小与哪些因素有关呢？任何导体都有电阻，就象水管对水流总有阻力一样。水管对水流的阻力与水管的粗细、长短有关；实验证明，在一定温度下，导体的电阻与导体截面成反比，与导体长度成正比，还与导体的材料有关，用公式表示如下：

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

式中 L ——导体长度 (m)；

S ——导体截面积 (mm^2)；

ρ ——电阻率，取决于材料的性质 ($\Omega \cdot mm^2/m$)。

当电阻率的单位为 $\Omega \cdot m$ 时， $1\Omega \cdot m = 10^6 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ 。

2. 电导 即物体传导电流的本质。在直流电路里，电导的数值就是电阻的倒数，用符号 G 表示，其数学表达式为：

$$G = \frac{1}{R}$$

电导的单位为西门子 (S) 或1/欧(1/Ω)。电阻率的倒数称为电导率, 用 γ 表示。电导率也叫电导系数, 是衡量物质导电性能好坏的一个物理量, 其数值大小用公式表达为:

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

电导率的单位为1/Ω·m。

表1-1是常用金属材料在温度为20℃时的电阻率。银、铜、铝的电阻率较小, 所以常用铜、铝作为导电材料。用银作导电材料成本太高, 近几年来, 广泛采用铝线, 尽管铝线导电能力不及铜, 但比铜轻, 并且价格便宜、资源丰富, 以铝代铜对我国电气工业的发展有重大意义。

表1-1 常用金属的电阻率(20℃)

材 料	电阻率 (Ω·mm ² /m)	材 料	电阻率 (Ω·mm ² /m)
银	0.016	黄铜(铜锌合金)	0.065
电线铜	0.017	康铜(铜镍合金)	0.5
铝	0.029	镍铬合金	1.1
铸铁	0.5		

例1 一条铝线, 长100m, 截面积为 10mm², 求电线的电阻?

解
$$R = \rho \frac{L}{S}$$

首先在表1-1中查得铝的电阻率 $\rho = 0.029$, 然后代入公式求出:

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

由此例可见，任何导线都是有电阻的，只是有些因数值较小而在计算时忽略不计。

导体的电阻与温度有关，其关系式为：

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha(t - 20)]$$

式中 R_t ——导体在 $t^\circ\text{C}$ 时的电阻；

R_{20} ——导体在 20°C 时的电阻；

α ——导体的电阻温度系数；

t ——温度。

一般金属导体的温度升高时，其电阻值也随之增大。这是因为由于温度升高，使金属内部原子核与电子的运动加剧，自由电子流动的阻力增大。实验证明，镍铬合金耐温可达 1100°C ，通常用来制造电炉的电热丝。

工厂中常用万用表的欧姆档来测量电阻值。在测量电阻时必须注意：

(1) 测量前电路必须断开电源；

(2) 测量前必须先将仪表调零。对测量数值很小和要求测量精度较高的电阻，可用电桥来测量。

六、电功率和电能

1. 电功率 是指单位时间内电流所做的功，用符号 P 表示。电功率一般分为无功功率、视在功率、有功功率三种。

无功功率是指在具有电感（或电容）的电路里，电感（或电容）只与电源进行能量交换（从电源获得能量并储存和把能量送还电源），而并没有真正消耗能量。把这种与电源交换能量速率的振幅值，叫做无功功率，用符号 Q 表示。

视在功率就是在具有电阻和电抗的电路内，电压与电流的乘积，用符号 P_s 表示，单位为伏安（ $\text{V}\cdot\text{A}$ ）。

有功功率又叫平均功率，是指在电路中电阻部分所消耗

的功率，用符号 P 表示。

无功功率、视在功率、有功功率三者之间存在着一定的关系。无功功率在数值上等于视在功率的平方与有功功率的平方之差的平方根，即：

$$Q = \sqrt{P_s^2 - P^2}$$

在直流电路里，电压乘以电流就是有功功率，也叫电功率。计算电功率的公式有三种形式。

第一种 $P = IU$ (1-1)

式中 P ——电功率 (W)；

U ——电压 (V)；

I ——电流 (A)。

由式 (1-1) 可知，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 $\ominus$ 做单位)，它们之间的换算关系为：

$$1\text{kW} = 10^3\text{W}$$

第二种 $P = I^2 R$

此式表明，一定电阻消耗的电功率与流过它的电流的平方成正比。例如某电路的电阻为 5Ω ，电流为 10A 时，电功率 $P = 10^2 \times 5 = 500$ (W)；当电流为 20A 时，电功率 $P = 20^2 \times 5 = 2000$ (W)。由此可见，当电阻一定时，电流增加为原来的2倍，则电功率增加原来的4倍。

第三种 $P = \frac{U^2}{R}$ (1-2)

式 (1-2) 表明，当电路中电阻一定时，电阻所消耗的电功率与电阻承受电压的平方成正比。应用式 (1-2) 可以

$\ominus$ 1马力=736W。

从已知的电压和电功率求出电阻。

例2 已知25W电灯泡的电压为220V，求电阻 $R = ?$

$$\text{解} \quad R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{25} = 1936 \text{ } (\Omega)$$

2. 电能 使物体做功的本领，即电流在一段时间内所做的功，又叫电功，用符号 W 表示。如果知道电功率后，要计算一段时间里所做的功，只要用电功率乘以时间即可，其关系式为：

$$W = Pt \quad (1-3)$$

式中 W ——电能 ($\text{kW} \cdot \text{h}$)；

P ——电功率 (kW)；

t ——时间 (h)。

在实际生产中，电能常用的单位是“度”。1度表示功率1kW的用电器使用1h所消耗的电能，即：

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ kW} \times 1 \text{ h} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

电度表就是专门测量用电器在一段时间里消耗电能多少的仪表。

例3 某车间使用25W电烙铁100只，每天用电7h。每月按25天计算，问用多少度电？

解 根据式 (1-3) 得

$$\begin{aligned} W &= Pt = \frac{25 \times 100}{1000} \times 25 \times 7 \\ &= 437.5 \text{ } (\text{kW} \cdot \text{h}) \\ &= 437.5 \text{ (度)} \end{aligned}$$

七、电流的热效应

从生产实践和科学实验中知道，当电流通过导体时，导体的温度会逐渐升高，这是因为导体吸收的电能转换成热