

电工学与 工业电子学

机械电子工业部
机电行业专业管理人员岗位培训教材

毕绍光 主编

(一般专业管理人员)

机械工业出版社

本书内容包括：电工技术基础——直流电路、交流电路、变压器、电动机、节约用电、安全用电、电动机的基本控制线路；电子技术基础——模拟电路基础和数字电路基础。在各章后面附有适量的思考题和计算题。书中使用的量和单位以及电气图用图形符号和文字符号，都采用国家标准局批准实施的最新标准。

本书是机电工业企业专业管理人员岗位培训的技术基础课教材，也可供非电专业中等专业学校、技工学校作为教学参考用书。

电工学与工业电子学

(一般专业管理人员)

毕绍光 主编

*

责任编辑：韩雪清 版式设计：胡金瑛

封面设计：姚毅 责任校对：李广孚

责任印制：王国光

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

北京市密云县印刷厂印刷

机械工业出版社发行·机械工业出版社经售

*

开本 787×1092¹/₃₂·印张 11·字数 240 千字

1990年5月北京第一版·1990年5月北京第一次印刷

印数 0.001—5,500 ·定价：6.50 元

*

ISBN 7-111-02135-5/TM·294

前 言

把提高从业人员本岗位需要的工作能力和生产技能作为重点，广泛地开展岗位培训，这是成人教育的一项重大改革，也是提高劳动生产率和工作效率的重要手段。

为了搞好机械电子行业的岗位培训，我们首先抓了岗位培训的基础建设工作，即制定和编写了机械电子行业企业生产经营系统十四类主管专业管理人员和一般专业管理人员的岗位规范（《机械工业企业专业管理人员岗位业务规格》机械工业出版社1987年11月出版）、培训计划和教学大纲（《机械工业企业专业管理人员培训计划和教学大纲》机械电子工业部教育司1989年7月印发）。

在此基础上，我们聘请了二百多位专家、教授及有丰富实际工作经验的同志编写了相应的培训教材。这套教材分中专（对应一般专业管理人员）、大专（对应主管专业管理人员）两个层次编写，共85种，其中基础课和专业基础课20种，专业课65种。

这套教材的编写体现了岗位培训直接有效地为经济建设服务的指导思想，突破了普教教材编写模式的束缚，符合成人教育的特点，突出了岗位培训的特色。

这套教材也可用于“专业证书”培训。

编写这套岗位培训教材是一项巨大的工程，值此教材出版之际，谨向参加这套教材编写、审稿工作的同志及为这套教材出版付出辛勤劳动的同志表示衷心感谢！同时，真诚地

希望关心和应用这套教材的单位和同志提出批评和建议，以便今后修改时参考，使之更加适应岗位培训的需要。

机械电子工业部

教育司

1989年5月

编 者 的 话

本书是根据机电工业企业专业管理人员岗位业务培训计划，在教材编委会的指导下为专业管理人员岗位业务培训而组织编写的技术基础课教材。

本书第一、二章由毕绍光编写，第三、四章由张风池编写，第六章由栗书贤编写，第五、七章由魏东彦编写。全书由毕绍光担任主编。

参加本书审稿的有于志成、郭尚詮。全书由于志成担任主审。

本书也可供非电专业的中等专业学校、技工学校作教学参考之用。

由于编者的水平所限，加上时间仓促，错误和缺点难免，敬希各界读者给予指正。

编者

1989年7月

目 录

第一章 直流电路	1
§ 1-1 电子论的初步知识和静电现象	1
§ 1-2 电路和电路的几个基本物理量	5
§ 1-3 欧姆定律	13
§ 1-4 电阻的串联、并联和混联	18
§ 1-5 电功率和电能	25
§ 1-6 电路中各点电位的计算	28
§ 1-7 基尔霍夫定律	31
§ 1-8 电容器和电场能量	36
思考题与计算题	38
第二章 交流电路	42
§ 2-1 正弦交流电源	42
§ 2-2 单一元件的正弦交流电路	51
§ 2-3 电阻和电感串联电路	62
§ 2-4 并联交流电路	63
§ 2-5 三相交流电路	73
§ 2-6 三相电路中负载的联接	75
思考题与计算题	83
第三章 变压器与电动机	88
§ 3-1 变压器的用途和分类	88
§ 3-2 单相变压器	89
§ 3-3 三相变压器	94
§ 3-4 特种变压器	97

§ 3-5	直流电动机	102
§ 3-6	三相异步电动机	116
§ 3-7	单相异步电动机	137
§ 3-8	特种电机	140
思考题与计算题		147
第四章	控制电器及控制电路	149
§ 4-1	控制电器	149
§ 4-2	基本控制线路	164
§ 4-3	机床线路举例	172
思考题与计算题		175
第五章	工厂供电、安全用电及节约用电	176
§ 5-1	电力系统及工厂的变电、配电简介	176
§ 5-2	工厂的安全用电	184
§ 5-3	工厂的节约用电	191
思考题与计算题		195
第六章	模拟电子技术基础	197
§ 6-1	晶体二极管	197
§ 6-2	晶体二极管整流电路	202
§ 6-3	晶体三极管	213
§ 6-4	交流放大器	226
§ 6-5	直流放大器	243
§ 6-6	运算放大器	250
§ 6-7	直流稳压电源	255
§ 6-8	晶闸管及其应用	263
思考题与计算题		281
第七章	脉冲数字电路基础	284
§ 7-1	脉冲参量与三极管的开关特性	284
§ 7-2	基本逻辑门电路	290
§ 7-3	集成触发器	307

§ 7-4 简单的逻辑部件.....	315
思考题与计算题.....	334

第一章 直 流 电 路

§ 1-1 电子论的初步知识和静电现象

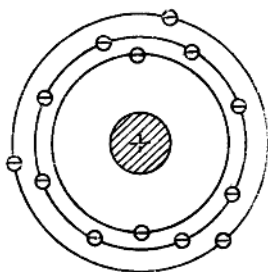
一、物质的内部结构

自然界的宏观物质都是由分子组成的。分子是保持物质原有性质的最小微粒。例如，糖分子是保持糖的甜味的最小微粒。不同种类的分子组成不同种类的物质。

我们说分子是物质的最小微粒，这仅仅是指保持这种物质的特性而言，并不是说这个微粒再也不能分割了。例如，水分子经过电解反应可以产生氢和氧。可见氢和氧是组成水分子的更基本的微粒（称为元素），但是这些元素已不再具有水的特性。我们把组成水分子的元素称为氢原子和氧原子。一切物质的分子都由原子所组成，不同种类或数量的原子组成不同的分子。

原子仍然不是物质结构的最小实体，近代的物理方法能把原子分裂成更小的微粒。根据原子学说，原子是由原子核和电子所组成的。这些电子按一定层次、沿着近似圆形的轨道围绕着原子核高速转动着，图1-1所示为铝原子的核外电子示意图。物理学家通过实验证实了上述原子结构的学说，且证明电子是人们所知道的最小的带电微粒，进而还测量出它的带电量并命名为负电荷。原子核则由两种类型的粒子——质子和中子所组成。质子的质量是电子的1837倍，它所带的是正电荷。在原子核中各个质子所带的正电荷总数等于

核外的电子所带的负电荷的总数。电荷之间有相互作用力——同性电荷相互排斥，异性电荷相互吸引。中子具有与质子相等的质量，但是它不带电而呈中性。由此可见，原子核是带正电的，电子是带负电的，所以原子核与电子之间存在着相互作用。一切电现象都可以用电子的运动和原子核与电子之间的相互作用来解释。图1-1 铝原子的核外电子示意图



二、电荷、自由电荷，电子、自由电子

电荷是指带电的微粒。电荷只有两种——正电荷和负电荷。当正电荷或负电荷，或者正、负电荷同时作无规则运动时，这些电荷就称为自由电荷。

电子是围绕原子核转动的带负电的粒子。原子核对核外的电子有吸引力。但金属的原子和碳原子的最外层电子容易脱离原子核的束缚而在原子之间自由移动。这些能自由移动的电子称为自由电子。

三、摩擦起电

由电子论知道，在通常的情况下，物质的原子核所带的正电荷与核外电子所带的负电荷数量相等，因此物体不显示带电现象，成为电中性。当两个物体发生摩擦时，一个物体因一部分原子失去一些电子而带正电，另一个物体从而得到了多余的电子而带负电。所以，摩擦起电只是电子从一个物体转移到另一个物体上，而这两个物体则同时带有等量异种电荷，即总电荷数保持不变。因此，在摩擦起电的过程中，

电荷并没有创生，也没有消失，只是利用摩擦把物体中本来存在的正、负电荷分开并使之发生转移而已。

其它的起电过程，方式方法虽然与摩擦不同，但实质是相同的。

一个物体所带电荷的多少，称为电量，用符号 Q 表示。在实用上不是用电子数目而是用“库仑”作为电量的度量单位，用 C 表示。

$$1\text{ C} = 6.024 \times 10^{13} \text{ 个电子电荷 } (e)$$

当电荷积聚不变时，这种电荷称为静电。

四、金属的静电屏蔽作用

如果注意观察，可以看到许多电子仪器都是放在金属壳或金属网内，还有些导线的外皮需要包一层金属丝网。采取这些措施是用来隔离外部的电场（带电体周围存在的一种特殊物质）对仪器的影响。金属所具有的这种作用称为屏蔽作用。为什么金属具有这种性能呢？

前面讲过，金属原子中有比较多的自由电子，这是个关键性的内在条件。当金属被放在带电体周围（即放入电场中）时，这些金属的自由电子在外界电场的作用下将朝着一定方向移动。外层电场变化时，电子的移动情况也随着变化。

把较大的两块金属平板 A 和 B ，相对地放在一起，并保持一定的距离，再使这两块平板分别带上等量异种电荷。这样，在 A 、 B 两板之间就形成均匀电场。电场的方向用正电荷 q^+ 在其中所

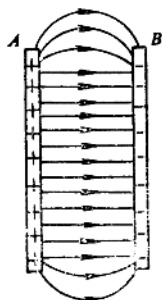


图1-2 带电平行平板间的均匀电场

受的电力方向来表示，如图 1-2 所示。

如果把一块金属放到这个均匀电场中，金属块中的自由电子在电场力的作用下，将向 CD 平面方向移动，如图 1-3a。结果，在 CD 平面上由于电子的积聚而出现大量的负电荷，同时在金属块 EF 平面上则因失去电子而出现同样数量的正电荷。这种金属块内部的电荷重新分布的现象，称为静电感应。这时出现在金属块两端的电荷，称为感应电荷。当外电场消失时，静电感应现象消失，金属块内部的正、负电荷立即恢复原状。

在上述静电感应现象中，积聚在 CD 和 EF 两侧面上的正、负电荷也在金属块内部产生一个电场，称为附加电场，其方向与外部的均匀电场方向相反，如图 1-3b。正是由于这个缘故，金属块内部的电荷所受的外电场的影响就会减弱。直至感应电荷增加到它所产生的附加电场正好抵消掉外部电场的作用（即金属块内的合成电场为零）时，金属块内部的

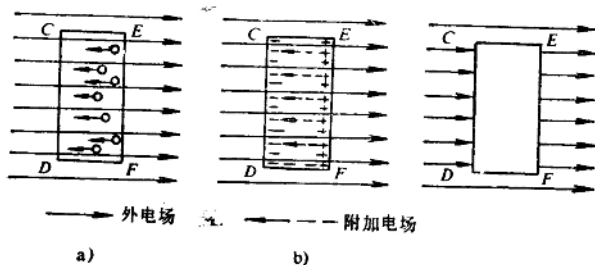


图1-3 金属的屏蔽作用

- a) 金属中的自由电子在外电场的作用下向 CD 平面方向移动
- b) 金属内的附加电场与外电场方向相反，使金属内的电场影响减弱
- c) 金属内部的合成电场为零

自由电子才停止移动，感应电荷也不再增多。实际上这个过程所经历的时间是极短的。这时外电场对金属内部电荷的影响完全消失。这样就实现了金属的静电屏蔽作用，如图1-3c。

同样的道理，一个空心的金属盒放在电场中，盒内也没有电场的影响（即盒内的合电场为零）。因此，在金属盒内放置的电子仪器，就免受外界电场的干扰。

§ 1-2 电路和电路的几个基本物理量

一、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工作实质，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，如图1-4所示。

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，电池把化学能转变成电能；发电机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，使用的负载是不计其数的。

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。

二、电流

当图 1-4 中的电源开关闭合时，作为负载的电灯会发光，电炉会生热，电动机会转动，这是因为在负载中有电流通过的缘故。

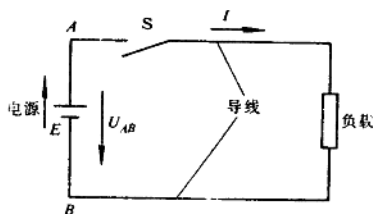


图1-4 简单电路的组成

电流就是电荷（电子或正、负离子）有规则的定向运动。

电流的方向是怎样规定的呢？习惯上人们把正电荷流动的方向作为电流方向。在导线中，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，如图1-5所示。

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秒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；

t ——通过电量 Q 所用的时间；

I ——电流强度，单位为 A（安培，简称安）。

如果每 1 s 时间内有 1 C 的电量通过导线某截面，这时的

电流就是 1 A。

电流很小时，常用毫安 (mA)、微安 (μA) 来计量。

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

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

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



图1-5 导线中的电子流方向和电流方向

三、电阻

我们经常遇到的现象是接在同一电源上的不同负载，其中流过的电流大小并不相同。这是因为不同负载中的导体对于电流具有不同阻力的缘故。这种对电流所表现的阻力，称为导体的电阻。

衡量电阻大小的单位是欧姆，简称欧，用 Ω 表示。测量大的电阻值时，用千欧 ($\text{k}\Omega$) 或兆欧 ($\text{M}\Omega$)。

$$1 \text{ k}\Omega = 1000 \Omega = 10^3 \Omega$$

$$1 \text{ M}\Omega = 1000 \text{ k}\Omega = 10^6 \Omega$$

导体电阻的大小，由哪些因素决定呢？

任何导体都具有电阻，实验表明，在一定的温度下，同一种材料的导体，其电阻和导体的长度成正比，和导体的横截面积成反比。用公式表示为

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-2)$$

式中 R ——导体的电阻， Ω ；

l ——导体的长度，m；

S ——导体的横截面积， m^2 （在工程上导线的截面积单位常用 mm^2 ）；

ρ ——导体的电阻率， $\Omega \cdot \text{m}$ （工程上导线的 ρ 常用 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ）。其大小取决于导体的材料，不同的材料具有不同的电阻率，见表1-1。

导体的电阻率随温度变化而变化，所以导体的电阻值也随温度的变化而变化。一般金属的电阻都随温度的升高而增加，但是碳，电解液等导体的电阻，却随温度的升高而减小。实验表明，在一般温度范围内，电阻值与温度的关系可用下式表示

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-3)$$

式中 R_2 ——温度变为 t_2 时导体的电阻， Ω ；

R_1 ——温度为 t_1 时导体的电阻， Ω ；

α ——以温度 t_1 为基准时，导体电阻的温度系数， $1/^\circ\text{C}$ 。每种导体在一定的温度下有一定的温度系数，见表1-1。

例1-1 试求长度为15m，截面积为 5 mm^2 的铜线的电阻值。

解 由表1-1查知铜的电阻率为 $1.75 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ 。把 mm^2 为单位的面积换算成以 m^2 为单位，则

$$5 \text{ mm}^2 = 5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{所以 } R &= \rho \frac{l}{S} = 1.75 \times 10^{-8} \times \frac{15}{5 \times 10^{-6}} \Omega \\ &= 5.25 \times 10^{-2} \Omega \end{aligned}$$

例1-2 铜线在 20°C 时电阻为 2.6Ω ，当温度变为 60°C 时，其电阻值为多少？

表1-1 几种常用材料的电阻率及电阻温度系数

用 途	材料名称	电阻率 $\rho / \Omega \cdot \text{m}$ (20℃)	平均电阻温度系数 / $^{\circ}\text{C}^{-1}$ (0~100℃)
导电材料	碳	1.00×10^{-8}	-0.005
	银	1.65×10^{-8}	0.0036
	铜	1.75×10^{-8}	0.004
	铝	2.83×10^{-8}	0.004
电阻材料	铸铁	5×10^{-7}	
	锰铜	4.2×10^{-7}	0.000005
	康铜	4.4×10^{-7}	0.000005
	镍铬铁	1.0×10^{-6}	0.0003
	铂	1.06×10^{-7}	0.00389

注：表中给出的是近似值，这些数值随材料的纯度不同而有所变化。

解 由表1-1查得铜的电阻温度系数为 $0.004(1/^{\circ}\text{C})$ ，因为 $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$ 时的电阻 $R_1 = 2.6\Omega$ ； $t_2 = 60^{\circ}\text{C}$ 时，则

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] = 2.6[1 + 0.004(60 - 20)]\Omega = 3.016\Omega, \text{ 比 } 20^{\circ}\text{C} \text{ 时约增加 } 0.4\Omega.$$

从表1-1可以看出，除银之外，铜的电阻率为最小，导电性能为最好，铝的导电性能次之。由于我国铝产量丰富，价格比铜低得多，所以输电线多采用铝线。

电阻率比较高的材料，主要用来制造各种电阻元件。例如，镍铬铁合金的电阻率较高，并有长期承受高温的能力，因此用来制造电热器的发热电阻丝、线绕电阻和金属膜电阻等。碳可以用来制造电机的碳刷、电弧炉的电极及碳膜电阻