

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

姜兴棠 主编
张炳谦

(主管专业管理人员)

机械工业出版社

本书是为机电工业企业专业管理人员岗位培训和专业证书培训编写的教材。全书共十章,第一、二、三章介绍电路分析的基本原理与方法;第四、五、六章介绍变压器、电机、电工仪表与工厂供电的基本原理、产品知识与应用方法;第七、八、九、十章介绍电子器件、模拟电子电路、数字电子电路和集成电路等有关工业电子学知识。

本书也可供其它行业各类专业管理人员培训使用;还可供机电类专业大专层次教学班及各类进修班、短训班选用。

电工学与工业电子学

(主管专业管理人员)

娄兴棠 主编
张炳谦

*

责任编辑:朱岩 版式设计:吴静霞

封面设计:姚毅 责任校对:熊天荣

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登记证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·机械工业出版社经销

*

35本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $12 \frac{3}{4}$ ·字数 279 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:8.10元

*

ISBN 7-111-02130-4/TM·291

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（《机电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

本教材是为机械电子工业企业专业管理人员岗位培训和专业证书培训编写的，在内容选择上兼顾各类专业管理人员的共同需要，在科学性的基础上侧重定性分析，突出基本概念、基本原理、产品知识和应用方法。为了便于自学和培养分析能力，书中选编大量例题和习题，并附有习题答案。

本教材由姜兴棠、张炳谦主编，朱涤心主审。其中第一、二、三、六章由张炳谦编写，第四、五章由房志凯编写，第七、八、九、十章由姜兴棠编写。

本教材于1989年5月在哈尔滨召开了审定会，参加本教材审稿工作的有哈尔滨工业大学李孚勤同志，哈尔滨船舶工程学院王海波同志。

由于作者水平有限，书中存在的缺点或错误之处，恳请批评、指正。

编 者

一九八九年五月

目 录

第一章 直流电路	1
§ 1-1 电路的基本物理量	1
§ 1-2 电路的基本元件	8
§ 1-3 电路的基本定律	11
§ 1-4 电路的基本分析方法	17
习题	39
第二章 正弦交流电路	42
§ 2-1 正弦交流电及其表示法	42
§ 2-2 正弦交流电路中的电阻、电感和电容	58
§ 2-3 正弦交流电路的分析	72
§ 2-4 电路中的谐振	81
§ 2-5 三相电路	88
习题	98
第三章 线性电路中的过渡过程	101
§ 3-1 电路中产生过渡过程的原因	101
§ 3-2 RC 电路的过渡过程	107
§ 3-3 一阶电路的三要素法	118
习题	123
第四章 变压器和电机	126
§ 4-1 磁路与磁性物质	126
§ 4-2 变压器	133
§ 4-3 感应电动机	140
§ 4-4 同步电机	153
§ 4-5 直流电机	156

§ 4-6 控制电机	161
习题	166
第五章 工厂供电	168
§ 5-1 工厂供电系统	168
§ 5-2 工厂配电系统	176
§ 5-3 工厂电气照明	180
§ 5-4 安全用电	183
§ 5-5 节约用电	191
习题	196
第六章 电工测量	198
§ 6-1 常用电工仪表	198
§ 6-2 电流和电压的测量	204
§ 6-3 功率和电能的测量	206
§ 6-4 电阻的测量	213
习题	219
第七章 电子器件	220
§ 7-1 简单的半导体理论	220
§ 7-2 半导体二极管	230
§ 7-3 晶体管	242
§ 7-4 晶体闸流管与光电器件	265
§ 7-5 热电子发射与阴极射线管	279
习题	292
第八章 模拟电子电路	297
§ 8-1 小信号放大器	297
§ 8-2 波形发生器	310
§ 8-3 电源	323
习题	340
第九章 数字电子电路	344
§ 9-1 编码介绍	344

§ 9-2 两态器件与电子门	346
§ 9-3 二极管逻辑门电路	356
习题	359
第十章 集成电路	362
§ 10-1 数字集成电路	362
§ 10-2 MOS与大规模集成电路	371
§ 10-3 线性集成电路	377
习题	387
习题答案	393
参考文献	396

第一章 直流电路

本章主要讨论电路的基本物理量、基本元件、基本定律和基本分析方法。这些都是电路的基本知识，都是在直流电源作用下引出和推导出来的。其中有些内容已在物理课中讲过，但是为了加强理论的系统性，仍列入本章中，以便对这些内容加深理解，并能灵活运用。本章虽然讲的是直流电路，但这些基本定律和分析方法，只要稍加扩展，也适用于正弦交流电路和其它电路。特别是“参考方向”和“两种约束”的概念将贯穿全书，读者应牢固掌握。

§ 1-1 电路的基本物理量

在日常生活中，我们应用着电灯、电饭煲、录音机、电视机、电冰箱等许多电器。在工农业生产中，也应用着各种各样的电气设备，例如发电机、变压器、电动机、电炉、电子计算机和电工仪表等。这些电气设备又常常是由电源、开关、电阻器、电容器、电感线圈、晶体管、集成电路等各种器件组成的。若干器件按照一定方式组合起来构成的电流通路称为电路。图1-1是最简单的手电筒电路，它包括电池、小电珠、联结导线和开关等。由此可见，电路主要由以下三部分组成：

(1) 电源：是供给电能或发出电信号的器件或设备，如干电池、发电机等。

(2) 负载：是使用电能或接收电信号的器件或设备，

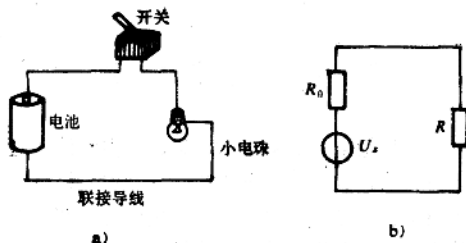


图1-1 手电筒电路

a) 直观结构简图 b) 电路模型

如电灯、电动机等。

(3) 中间环节：是传送、分配和控制电能的部分，如导线、开关、熔断器等。

电路常用于转换、传送、分配电能和进行电信号的处理、存贮、控制和测量。电路中的外施信号或输入信号常称为激励信号或简称激励，而输出信号则称为响应信号或简称响应。

实际电路器件往往比较复杂，其电磁性能的表现可能是多方面的。为了便于研究而把某些实际电路器件理想化，得到的只有某种单一电磁性能的元件称为理想电路元件或简称电路元件。例如电阻元件只是反映电能转换成热能的理想电路元件。实际电路或系统可以用若干理想电路元件的组合来模拟，构成一个电路模型，如图1-1 b所示。电路模型也称为电路图，其中理想电路元件都用一定的符号来表示。今后我们所研究的，都是由理想电路元件构成的电路模型。

一、电流

所谓电流，就是电荷有规则地定向运动。在单位时间内

通过导体横截面的电量，称为电流强度，简称电流。因此，电流既是一种物理现象，也是表示电流强弱的物理量。电流强度用 I 或 i 表示，单位为 A（安培）。常用的单位还有 mA（毫安）、 μ A（微安）等。若在 dt 时间内，流过导体横截面 A 的电量为 dQ ，则电流强度为

$$i = \frac{dQ}{dt} \quad (1-1)$$

上式表示电流强度是随时间而变化的，是时间的函数，有时记为 $i(t)$ 。

如果电流强度不随时间而变化，则这种电流称为恒定电流，简称直流（符号为 DC），直流的电流强度通常用大写的字母 I 表示，这样式（1-1）可改写为

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

式中 Q 是在时间 t 内通过导体横截面 A 的电量。

习惯规定，正电荷运动的方向为电流的实际方向。然而，电流沿导线流动时，实际方向往往很难判定正确，为了计算的方便，我们常常假定一个电流方向，称为电流的参考方向，并用箭头标在电路元件旁边。规定了参考方向以后，电流就是一个代数数量了。这样，我们就可根据参考方向，结合电流的正负值来判断电流的实际方向了。在规定的参考方向下，求得的电流为正值，就说明实际方向与参考方向一致；若求得

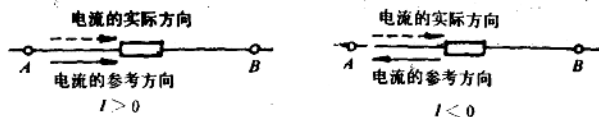


图1-2 电流参考方向与实际方向间的关系

的电流为负值，就说明实际方向与参考方向相反，如图 1-2 所示。

例1-1 正电荷在导线中以 10C/s 的速度由 $a \rightarrow b$ 移动。

(1) 设参考方向 $a \rightarrow b$ ，求 I ；(2) 设参考方向 $b \rightarrow a$ ，求 I ；(3) 若电荷为负电荷，结果如何？

解 (1) 方向相同， $I > 0$ ，故 $I = 10\text{A}$ 。

(2) 方向相反， $I < 0$ ，故 $I = -10\text{A}$ 。由上面结果可以看出，同一电流现象，由于参考方向不同，电流就有正、负之分了。

(3) 负电荷由 $a \rightarrow b$ 移动，相当于正电荷由 $b \rightarrow a$ 移动。对 (1)，则 $I = -10\text{A}$ ；对 (2)，则 $I = 10\text{A}$ 。

二、电压

电荷在电路里流动，就必然有能量的交换发生。电荷在电路的一些部分(如电源处)获得电能，而在另一些部分(如电阻处)失去电能。电路中，单位正电荷从 a 点沿某路径移到 b 点时所获得或失去的电能，在数值上等于该两点间的电压，即

$$u_{ab} = \frac{dW}{dQ} \quad (1-3)$$

式中， dQ 为由 a 点转移到 b 点的电荷量。 dW 为转移过程中，电荷 dQ 所获得或失去的电能。

电压的单位为 V (伏特)。常用的单位还有 kV (千伏)、 mV (毫伏) 等。不随时间变化的电压称为直流电压，用大写字母 U 来表示。这样，式 (1-3) 可改写为

$$U_{ab} = \frac{W}{Q} \quad (1-4)$$

若任取一点 o 作为参考点，则由某点 a 到参考点 o 的电

压 U_a 称为 a 点的电位, 即

$$V_a = U_a \quad (1-5)$$

电位的单位也是V。电位参考点可任意选取, 但一个电路只能选择一个参考点。由定义可知, 参考点的电位为零。当 $U_a > 0$ 时, a 点为正电位; 当 $U_a < 0$ 时, a 点为负电位。因此, 电路中任意两点间的电压等于这两点的电位差, 即

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-6)$$

当 $U_a < U_b$ 时, U_{ab} 为负值, 称为电压升, 当 $U_a > U_b$ 时, U_{ab} 为正值, 称为电压降。我们规定, 电压降(即从高电位点指向低电位点)的方向作为两点间电压的实际方向。

应该注意, 电位的量值与参考点的选择有关, 当参考点选定后, 每一点的电位都有一个确定的量值, 这说明电位有单值性; 而任何两点间的电压与参考点的选择无关。

在分析实际电路时, 电压的实际方向很难立即判断出来, 它也有两种可能。因此, 假定一个电压方向, 称为电压的参考方向。在电路中, 电压的参考方向可以用正(+)、负(-)极性来表示(正极指向负极的方向为电压的方向), 也可以用箭头来表示, 见图1-3; 还可以用双下标表示, 如 U_{ab} 表示参考方向为由 a 指向 b 。这样, 电压也变成代数量了。当电压的参考方向与实际方向一致时, 电压为正值($U > 0$); 反之, 当电压的参考方向与实际方向相反时, 电压为负值($U < 0$), 如图1-3所示。

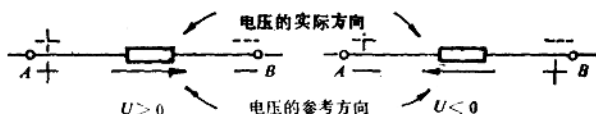


图1-3 电压的参考方向与实际方向的关系

分析电路时,首先应指定各电流、电压的参考方向,然后根据指定的参考方向列写电路方程。若一段电路或一个元件上电压的参考方向和电流

的参考方向一致,则称为

关联参考方向(如图 1-4 所示)。本书中除特殊说明外,将都采用关联参考

方向进行电路分析。采用关联参考方向时,可以只标注电流参考方向或只标注电压参考方向。

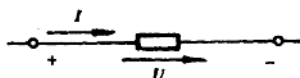


图1-4 电压和电流的
关联参考方向

三、电功率

电路中通过电流时,伴随着要传输或转换电能。电能转换的速率或单位时间内电路各部分所获得或失去的电能称为电功率。图 1-5 所示的 ab 段电路中,设

在 dt 时间内,由 a 点转移到 b 点的正电荷为 dQ , ab 间的电压为 u ,根据电压的定义,在电荷转移过程中所获得或失去的电能为

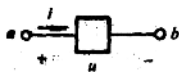


图1-5 一个电路元
件上的电功率

$$dW = udQ$$

则单位时间内电路元件所获得或失去的电能,即电功率为

$$P = \frac{dW}{dt} = u \frac{dQ}{dt} = ui \quad (1-7)$$

电功率常常简称为功率,它的单位为 W (瓦特)。常用的单位还有 kW (千瓦)、 mW (毫瓦) 等。电能的单位为 J (焦耳)。实际还有用 $kW \cdot h$ (千瓦小时) 作为电能单位,它等于功率 $1 kW$ 的设备在 $1 h$ 内所用的电能,简称为 1 度电,

$$1 kW \cdot h = 1 kW \times 1 h = 10^3 W \times 3600 s = 3.6 \times 10^6 J$$

在直流电路中，式 (1-7) 可改写为

$$P = UI \quad (1-8)$$

即在任何时刻，电路元件发出或吸收的功率等于该时刻元件两端的电压与流过该元件的电流的乘积。

在电压和电流的关联参考方向下，求得的功率 $P > 0$ ，说明 P 是元件吸收的功率；若 $P < 0$ ，则说明 P 是元件发出的功率。在电压和电流非关联参考方向的情况下，求得的功率 $P > 0$ ，说明 P 是元件发出的功率；若 $P < 0$ ，则说明 P 是元件吸收的功率。因此，根据功率的正负号，结合参考方向，就能确定 P 是元件吸收的功率还是发出的功率。

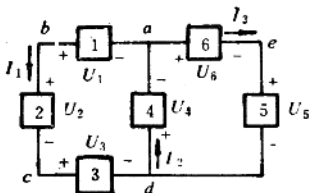


图1-6 例1-2图

例1-2 图 1-6 所示电路中，方框代表电源或电阻。已知 $I_1 = 2 \text{ A}$ ， $I_2 = 1 \text{ A}$ ， $I_3 = -1 \text{ A}$ ， $U_1 = 1 \text{ V}$ ， $U_2 = -3 \text{ V}$ ， $U_3 = 8 \text{ V}$ ， $U_4 = -4 \text{ V}$ ， $U_5 = 7 \text{ V}$ ， $U_6 = -3 \text{ V}$ 。试求：

- (1) ac 两点间和 ae 两点间的电压；
- (2) 各方框所代表的元件吸收或发出的功率。

解 (1) $U_{ac} = -U_1 + U_2 = [-1 + (-3)] \text{ V} = -4 \text{ V}$
结果为负值，说明由 a 到 c 不是电压降，而是电压升，即 c 点电位比 a 点电位高。

$$U_{ac} = U_6 = -3 \text{ V}$$

- (2) $P_1 = U_1 I_1 = 1 \times 2 \text{ W} = 2 \text{ W}$ (发出功率)
- $P_2 = U_2 I_1 = (-3) \times 2 \text{ W} = -6 \text{ W}$ (发出功率)
- $P_3 = U_3 I_1 = 8 \times 2 \text{ W} = 16 \text{ W}$ (吸收功率)

$$P_4 = U_4 I_2 = (-4) \times 1 \text{ W} = -4 \text{ W} \text{ (发出功率)}$$

$$P_5 = U_5 I_3 = 7 \times (-1) \text{ W} = -7 \text{ W} \text{ (发出功率)}$$

$$P_6 = U_6 I_4 = (-3) \times (-1) \text{ W} = 3 \text{ W} \text{ (吸收功率)}$$

就整个电路来说, 吸收的总功率为

$$P_{\Sigma} = P_2 + P_6 = (16 + 3) \text{ W} = 19 \text{ W}$$

发出的总功率为

$$P_{\Sigma} = P_1 + P_2 + P_4 + P_5 = (2 + 6 + 4 + 7) \text{ W} = 19 \text{ W}$$

二者相等, 这是符合能量守恒原理的。

§ 1-2 电路的基本元件

电路是由若干电路元件按一定的方式组成的, 每个电路元件又各有其特定的性质。元件的特性可以用元件中电流与端电压的关系来表示, 这个关系称为电压电流关系, 又叫伏-安特性。表示元件特性的数学关系称为元件约束。电阻和电源是基本的电路元件, 而电源又有电压源和电流源之分, 下面我们将分别加以论述。

一、电阻元件

电阻元件是一种对电流呈现阻力的元件, 它是灯泡、电炉、电阻器等电气器件的模型, 其符号如图 1-7 所示。图中 R 是电阻元件的参数, 称为电阻, 其单位为 Ω (欧姆)。常用的单位还有 $k\Omega$ (千欧)、 $M\Omega$ (兆欧) 等。

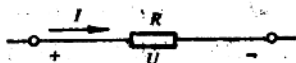


图 1-7 电阻元件

在任何时刻都服从欧姆定律的电阻元件称为线性电阻元件。线性电阻元件的伏-安特性是通过坐标原点的直线, 元件上电压与元件中电流成正比, 如图 1-8 所示。

令 $G = \frac{1}{R}$, 称为电阻元件的电导, 单位为 S (西门子)。

今后, 为叙述方便, 把线性电阻元件简称为电阻。这样, 电阻以及符号 R , 既表示一个电阻元件, 又表示这个元件的参数。

二、电源

电源是有源电路元件, 就是能主动提供电能的元件。电源设备种类很多, 按其特点可以抽象为两大类: 恒压源(理想电压源)和恒流源(理想电流源)。

1. 恒压源 如果干电池和稳压电源其本身电阻很小, 可忽略不计, 则电源内部不消耗电能, 这种电源可向负载提供恒定的电压, 被称为恒压源(或理想电压源)。恒压源参数用电动势 E 或电压 U 来表示, 表示符号通常有两种, 如图 1-9 a 所示。

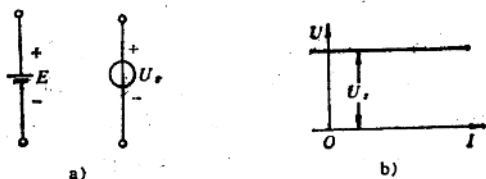


图1-9 恒压源及其伏-安特性

恒压源的特性可以用电压和电流的关系曲线来表示, 称为伏-安特性, 也称外特性, 如图1-9 b所示。由伏-安特性可知, 恒压源有两个基本特点:

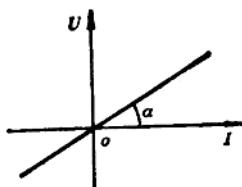


图1-8 线性电阻元件的伏-安特性