

V271
06

33052403

HK08/13

民用航空器维修人员执照教材

航空电子电气基础

孙元福 周凯旋 主编



科学出版社

1997



C0346277

《民用航空器维修人员执照教材》

编委会名单

主 编 沈元康

副主编 李振达 王维民 刘得一 刘德普

编 委 (以下以姓氏笔画为序)

王成豪 宋闻礼 张永生 郑连兴 金国忠

周宝魁 周凯旋 盛乐山 蔡成仁 翟建平

秘 书 高建民

序

把经济建设真正转移到靠科技进步和提高劳动者素质的轨道上来，是十一届三中全会决定的工作重点转移的进一步深化。因此，加强岗位培训是民航“八五”期间教育工作的中心任务，通过在职培训使民航的劳动者素质得以提高。为贯彻这一中心任务，不仅要号召变为一般的实际行动，而且要有可供检查、考核的标准，这就需要编写一定数量的、坚持学用一致原则的适用教材。这是一项基础性的、不可忽视的建设。随着民用航空器适航管理工作的不断发展，具有法律意义的维修人员执照考核制度不断完善，出版一套配合考核的必读教材的要求也越来越迫切。本套教材的编写正是基于以上要求与宗旨而完成的。

自1987年起，中国民用航空局航空器适航司和科教司就开始组织本教材的编写工作，并委托民航局第一研究所和中国民航学院负责具体实施。参加本教材编写的同志多是来自民航教育第一线的资深教师，或是富有多年实际维修经验的专业人员，这一点对于保证本教材的编写质量是十分有益的。

从实际编写情况来看，本教材的编写忠实地贯彻了历次编委会议提出的编写要求，在内容的深度和广度上，较好地体现了理论与实践相结合的原则。在编写过程中还注意到了突出民航工作的特点并兼顾到了维修人员的现有理论水平。因此，本书作为民用航空器维修人员执照考核教材是比较合适的。

由于编写此类教材在民航系统尚属首次，无论是从组织者还是从编著者的角度来说均缺乏经验，而且本教材的编写没有现成国外蓝本可资借鉴，不同于国外教材，故难度较大，再加上基层需求强烈，时间紧张，因此出现疏漏情况在所难免。希望广大读者和各类专业人员在阅读时提出宝贵意见，予以指正。

经编委会确定，本套教材正式定名为《民用航空器维修人员执照教材》，分《航空无线电》、《航空仪表》、《航空电气》和《航空电子电气基础》四册出版。

在向我们的读者介绍本套教材的同时，我们衷心地向参加编写的全体编著人员表示感谢。没有他们的辛勤劳动和不懈努力，我们今天能向大家推荐这套教材是不可想象的。我们由衷地期待着他们能在今后的工作中再接再厉，编写出更多更好的教材，为我国民航事业的发展做出贡献！

《民用航空器维修人员执照教材》

编 委 会

1991年6月7日

前 言

本书是根据中国民用航空局颁布的《民用航空器维修人员合格审定的规定》，为配合《航空无线电》、《航空仪表》和《航空电气》三本专业执照教材而编写的基础教材。全书共分4篇21章：第一篇为电工基础（1—6章）；第二篇为航空电机（7—11章）；第三篇为模拟电路（12—17章）；第四篇为数字电路（18—21章）。本书较系统地介绍了有关专业所需的电工、电机和电子技术等方面的基础知识。

编写这一基础教材的目的是为了给民用航空器维修人员，在执照考试时学习和复习有关的基础知识提供方便，故将专业所需的电工、电机和电子技术集于一体。考虑到目前民用航空器维修人员文化层次差异较大，又都不同程度地学过这些方面的知识，因此我们在内容深度上注意照顾各层次人员的不同需要，力求深入浅出地说明问题，尽可能避免一些复杂的数学知识；在内容的广度上力求覆盖执照考试所需的内容。这就产生了内容与篇幅的矛盾，为此我们尽量避免烦琐的数学公式推导，有的直接引用结论。

本书第一篇由孙元福同志编写，第二篇由裘栋同志编写，第三篇由宫德深同志编写，第四篇由杨桢梅同志编写，周凯旋同志负责前期组织工作，最后由孙元福同志统编全书。参加本书审稿工作的是中国民航学院的翟建平、张应选和郭雅生三位副教授。

本书的编写工作是直接在中国民用航空局适航司、科教司、第一研究所和中国民用航空学院各级领导的关怀和支持下进行的，也得到民航其他有关单位和同志的热心帮助。本教材编委会、科学出版社的同志对本书进行了认真的审议，并提出了许多宝贵意见，编者在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，编写这种类型的书缺乏经验，书中难免有不妥和错误之处，殷切希望读者批评指正。

编 者

1995年7月

本书常用符号说明

a	整流元件阳极, 电机绕组支路对数	n	变压器变比, 转子转速
B	磁感应强度, 电纳	n_r	旋转磁场转速
B_L	感纳	P	空穴型半导体, 有功功率, 平均功率, 磁极对数
B_c	容纳	P_{CM}	集电极最大允许功耗
b	晶体三极管基极	p	瞬时功率
C	电容	pf	功率因数
C_b	隔直电容 (耦合电容)	Q	无功功率, 品质因数, 电荷, 静态工作点
C_e	发射极旁路电容	R	电阻
c	晶体三极管集电极	R_b, R_c, R_e	晶体管基极、集电极、发射极电阻
D	场效应管漏极, 电枢直径	R_s	信号源内阻
E	直流电动势, 正弦电动势有效值, 电场强度	R_L	负载电阻
E_c	集电极电源电压	R_i	输入电阻
E_b	基极电源电压	R_o	输出电阻
e	晶体三极管发射极, 电子电荷量	S	视在功率, 面积, 场效应管源极
F	反馈系数, 电磁力	$\dot{S}$	复数功率
f	频率	s	复频率 (特征根), 一对电刷串联的导体数
f_0	谐振频率	T	周期, 电磁转矩, 变压器, 温度
G	电导, 场效应管栅极	t	时间
H	磁场强度	U	直流电压, 正弦电压有效值
I	直流电流, 正弦电流有效值	U_m	正弦电压振幅
I_m	正弦电流振幅	$\dot{U}$	正弦电压有效值相量
$\dot{I}$	正弦电流有效值相量	$\dot{U}_m$	正弦电压振幅相量
$\dot{I}_m$	正弦电流振幅相量	U_m	磁压
I_s	电流源电流	u	交变电压
I_i	输入电流	V	体积
I_o	输出电流	v	圆周速度
I_{CM}	最大集电极允许电流	W	能量
I_a	电枢电流	W_L	电感磁场能量
I_j	励磁电流	W_c	电容电场能量
I_k	控制电流	w	瞬时能量
I_u	起动电流	X	电抗
I_{cbo}	反向饱和电流	X_L	感抗
I_{ceo}	穿透电流	X_c	容抗
i	交变电流	Y	复导纳
J	虚数单位	y	复导纳的模
K_u	电压放大倍数	Z	复阻抗
L	电感, 负载	Z_c	特性阻抗
l	长度	z	复阻抗的模
M	互感, 转矩	α	晶体管共基极电流放大系数, 传输常数, (电)角度
N	电子型半导体, 绕组匝数	β	晶体管共射极电流放大系数

η 效率
 μ 磁导率
 μ_0 真空磁导率
 μ_r 相对磁导率
 δ 线性误差
 τ 时间常数
 ψ 初相位, 磁通链

ψ_u 电压初相
 ψ_i 电流初相
 ϕ 磁通
 φ 相位差, 阻抗角
 ω 角频率, 电机角速度
 ω_0 谐振角频率

目 录

序

前言

本书常用符号说明

第一篇 电工基础

第一章 电路的基本概念和基本定律	(1)
第一节 电路和电路模型	(1)
第二节 电路分析中的基本变量	(2)
第三节 电压源和电流源	(4)
第四节 电阻元件及欧姆定律	(6)
第五节 电容元件	(8)
第六节 电感元件	(10)
第七节 互感	(12)
第八节 基尔霍夫定律	(14)
第二章 电阻电路	(18)
第一节 简单的电阻电路	(18)
第二节 Y 形联接与 Δ 形联接的等效互换	(22)
第三节 电压源与电流源的等效变换	(24)
第四节 支路电流法	(26)
第五节 回路电流法	(27)
第六节 节点电压法	(29)
第七节 叠加定理	(31)
第八节 戴维宁定理	(32)
第三章 直流电路中的过渡过程	(37)
第一节 概述	(37)
第二节 RC 串联电路的过渡过程	(38)
第三节 RL 串联电路的过渡过程	(43)
第四节 三要素法	(46)
第四章 正弦交流电路	(48)
第一节 正弦量的基本概念	(48)
第二节 相量法的基本概念	(51)
第三节 纯电阻正弦交流电路	(55)
第四节 纯电感正弦交流电路	(57)
第五节 纯电容正弦交流电路	(60)
第六节 RLC 串联电路·复阻抗	(62)

第七节	RLC 并联电路·复导纳	(66)
第八节	正弦交流电路中的功率	(69)
第九节	串联谐振和并联谐振	(72)
第十节	三相交流电路	(75)
第五章	非正弦交流电路的谐波分析法	(81)
第一节	非正弦周期函数分解为傅里叶级数	(81)
第二节	有效值和平均功率	(84)
第三节	非正弦交流电路的计算	(85)
第六章	磁场和磁路的基本知识	(87)
第一节	磁场的基本概念	(87)
第二节	磁场的物理量	(90)
第三节	磁场对电流的作用力	(93)
第四节	铁磁物质的磁化规律	(95)
第五节	磁路和磁路定律	(98)
第六节	磁路的计算	(100)
第七节	电磁铁	(104)
第八节	变压器	(105)
第九节	磁放大器	(109)

第二篇 航空电机

第七章	直流发电机	(117)
第一节	直流发电机的工作原理和结构	(117)
第二节	直流电势的大小	(122)
第三节	直流测速发电机	(124)
第八章	直流电动机	(127)
第一节	直流电动机的工作原理	(127)
第二节	直流电动机的转矩和转矩平衡方程式	(128)
第三节	直流电动机的反电势和电压平衡方程式	(130)
第四节	直流电动机的使用	(131)
第五节	直流电动机的机械特性	(133)
第九章	自整角机	(135)
第一节	自整角机的结构	(135)
第二节	控制式自整角机	(137)
第三节	力矩式自整角机	(146)
第十章	两相异步电动机	(149)
第一节	两相异步电动机的结构	(149)
第二节	两相异步电动机的基本工作原理	(151)
第三节	椭圆形磁场及其分析方法	(153)
第四节	幅值控制时的特性	(158)
第十一章	两相异步测速发电机	(162)
第一节	两相异步测速发电机的结构和基本工作原理	(162)
第二节	两相异步测速发电机的误差	(164)

第三篇 模拟电路

第十二章	晶体管	(168)
第一节	晶体二极管	(168)
第二节	晶体三极管	(171)
第十三章	晶体管放大器	(177)
第一节	晶体管放大器的基本概念	(177)
第二节	基本放大电路及其分析方法	(178)
第三节	放大电路工作点的稳定	(187)
第四节	多级放大器	(189)
第五节	负反馈放大电路	(191)
第六节	射极输出器	(194)
第七节	功率放大器	(195)
第八节	无输出变压器功率放大器	(198)
第九节	直流放大器	(202)
第十节	运算放大器	(203)
第十四章	振荡器	(207)
第一节	概述	(207)
第二节	正弦振荡器的工作原理	(207)
第十五章	调制、检波和变频	(213)
第一节	调幅	(213)
第二节	调频	(220)
第三节	检波	(223)
第四节	变频	(227)
第十六章	中间级和功率合成器	(232)
第一节	传输线式变压器的原理	(232)
第二节	晶体管宽频带功率合成器	(236)
第十七章	晶体管直流稳压电源和特殊半导体管	(241)
第一节	晶体管直流稳压电源	(241)
第二节	特殊半导体管	(246)

第四篇 数字电路

第十八章	数制与基本逻辑门电路	(253)
第一节	数制	(253)
第二节	不同进位制数之间的转换	(256)
第三节	二、三极管的开关特性	(259)
第四节	基本逻辑门电路	(261)
第十九章	逻辑代数	(267)
第一节	逻辑代数及逻辑函数的表示	(267)
第二节	逻辑代数基本公式	(269)
第三节	逻辑代数中的三个重要规则	(271)
第四节	若干常用公式	(272)

第五节	逻辑函数的代数法化简	(273)
第六节	逻辑函数的卡诺图法化简	(275)
第二十章	组合逻辑电路	(285)
第一节	概述	(285)
第二节	加法器	(285)
第三节	编码器	(289)
第四节	译码器	(291)
第五节	数码比较器	(295)
第六节	数据选择器	(299)
第二十一章	时序逻辑电路	(303)
第一节	概述	(303)
第二节	触发器及其逻辑功能的描述	(304)
第三节	触发器的几种常见结构	(307)
第四节	触发器的逻辑功能及相互转换	(311)
第五节	寄存器	(313)
第六节	计数器	(316)

第一篇 电工基础

第一章 电路的基本概念和基本定律

本章介绍构成电路模型的各种理想元件和分析电路的重要定律，包括欧姆定律和基尔霍夫定律。

第一节 电路和电路模型

构成电流流通的路径叫电路。由不同的电气设备或器件可组成各种不同的电路，以实现不同的功能要求，如在强电方面用来传送或转换电能，在弱电方面用来传递、转换、存储、运算电信号等。

不管什么电路，大体由电源、负载和中间环节三部分组成。

电源是提供电能或电信号的装置，分为电压源和电流源两种。

负载是将电能转换成其他形式能量的设备，如电阻器、电容器、电感器、晶体管等。

中间环节包括联接导线、开关、保险丝等。

人们设计使用某种部件是为了利用它的主要电磁性质，如电阻器是利用其电阻的耗能性质；电容器是利用其贮存电场能量的性质；电感器是利用其贮存磁场能量的性质。但是实际部件有很多种，每一个实际部件又不可能只有一种性质。如果把各种实际部件都画在电路图上，既麻烦，又不便计算。为此，我们在一定条件下把部件的作用近似化、理想化。如灯泡的电感作用极小，可看成理想电阻元件；一个新的干电池，内阻很小，可看成一个电压恒定的理想电压源；在联接导线很短的情况下，可把它的电阻视为零。各种实际部件在一定条件下都可以求得它的模型，即由一些理想元件构成。有些简单的实际部件，可用一个理想元件构成，复杂的部件则可由几种理想元件构成。

实际部件可由为数不多的理想元件来模拟。最基本的三种无源元件是：表示耗能的电阻元件；表示贮存电场能量的电容元件；表示贮存磁场能量的电感元件。此外，有源元件分电压源和电流源两种。这些元件都有两个端钮，叫二端元件。还有理想变压器、互感器等四端元件。为简便起见，今后将省略“理想”二字，书中所说的元件都指理想元件而言。

实际部件构成的电路，就可以由元件构成的电路模型来模拟。电路模型既好画，又便于分析。通过对电路模型的分析，就能预知实际电路的性能，并能设计出更好的电路。

如手电筒电路图 1-1，可用图 1-2 的电路模型来模拟。

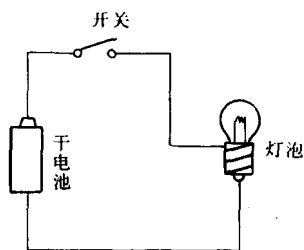


图 1-1 手电筒电路

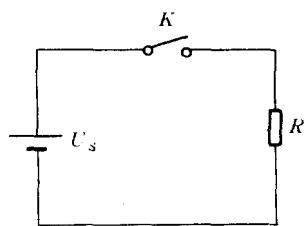


图 1-2 图 1-1 的电路模型

第二节 电路分析中的基本变量

一、电流

电流即电荷有规则的定向运动。

电子和质子都是带电粒子，电子带负电荷，质子带正电荷。电荷的数量叫电量，用符号 Q 或 q 表示。在国际单位制 (SI) 中，电量的单位为库仑 (C)，简称库。1 库仑电量相当于 6.24×10^{18} 个电子或质子所带电量的总和。

电流强度是用来表示电流强弱的物理量，习惯上简称电流，用符号 i 表示。其量值定义为单位时间内通过导体横截面的电量。若在 dt 时间内通过导体截面的电量为 dq ，则

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

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。

如果电流的大小和方向都不随时间变化，则称为恒定电流，简称直流 (dc 或 DC)，用符号 I 表示。如果电流的大小和方向都随时间变化，则称为交变电流，简称交流 (ac 或 AC)。

在 SI 中，电流的单位是安培 (A)，简称安。

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

前面虽然已对电流的方向作了规定，但在实际电路中，电流的方向存在着两种可能，而且往往事先不能预知。为此引出了参考方向的概念。作为时间函数（常量可以看成时间函数的特例）的电流是代数量，可以为正，也可以为负。我们任选一个参考方向，在图中用箭头表示，并规定：如果电流的真实方向与参考方向一致，电流为正值；如果两者相反，电流为负值。这样，我们就可以根据电流的正负值结合参考方向来确定电流的真实方向。

图 1-3 中实线箭头表示电流的参考方向，虚线箭头表示电流的实际方向，同为 1A 电

流,但在图 1-3(a)中, $I=1\text{A}$,在图 1-3(b)中, $I=-1\text{A}$ 。

今后在分析电路时,我们尽可事先任意假设电流参考方向,并以此为准去进行分析、计算,从最后答案的正负值来确定电流的真实方向。显然,在未标示参考方向的情况下,电流的正负是毫无意义的。

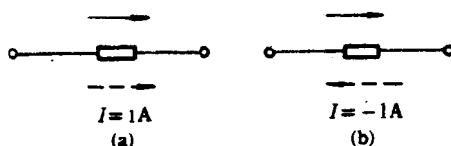


图 1-3 电流参考方向

二、电压

电压即电位差,用 u 表示。它是电路分析中和能量相联系的一个重要物理量。

电荷在电路中流动,必然伴随着能量的交换。在某一部分(电源处),电荷获得电能;在另一部分(如电阻处),电荷失去电能。因此我们把 a 、 b 两点之间的电压定义为单位正电荷由 a 点移到 b 点时所获得或失去的能量,即

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-2)$$

式中 dq 为由 a 点转移到 b 点的电量,单位库仑(C); dw 为 dq 在转移过程中所获得或失去的能量,单位为焦耳(J),简称焦。电压的单位为伏特(V),简称伏。

如果单位正电荷由 a 点移到 b 点失去能量,叫电压降(电位降),即 a 点为高电位, b 点为低电位;反之,如果获得能量,叫电压升(电位升),即 a 点为低电位, b 点为高电位。

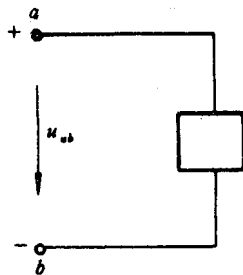


图 1-4 电压参考方向表示法

随时间而变化的电压叫交变电压,用小写字母 u 或 $u(t)$ 表示;不随时间变化的电压(包括大小和极性),叫恒定电压或直流电压,用大写的 U 表示。

电压也需要假设参考方向或参考极性。其表示方法有箭头,“+”、“-”符号和双下标三种,如图 1-4 所示。“+”号表示高电位端,“-”号表示低电位端。可见,电压的参考方向系指电压降的参考方向,即由规定的高电位指向规定的低电位。

根据公认的规定,当电压 u 为正值时,实际方向与参考方向相同;当 u 为负值时,实际方向与参考方向相反。在未标参考方向时,电压的正负是毫无意义的。

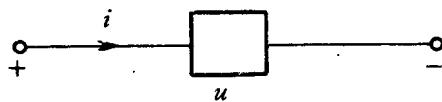


图 1-5 电流和电压的关联参考方向

对一段电路或一个元件上的电流和电压的参考方向可以独立地任意指定。但为了方便起见,常采用所谓关联参考方向,即电流与电压的参考方向一致,如图 1-5 所示。

三、功率

电流作的功叫电功,即发生了电能和其他形式能量的转换。单位时间内电流所作的功叫电功率,用 P 表示。

设图 1-5 所示方框为电路的一部分，它可能是电阻，也可能是电源，也可能是若干元件的组合。在电压和电流为关联参考方向下，设在 dt 时间内由 a 点转移到 b 点的正电荷为 dq ，且由 a 到 b 为电压降，其值为 u ，则根据式 (1-2) 可知在转移过程中 dq 失去的电能为

$$dw = udq$$

失去电能，表示将电能转换成其他形式的能量，说明这段电路消耗或吸收了电能。因此，单位时间内消耗的电能，即消耗的电功率为

$$p = \frac{dw}{dt} = u \frac{dq}{dt}$$

由于

$$i = \frac{dq}{dt}$$

故得

$$p = ui \quad [1-3(a)]$$

在直流情况下，

$$P = UI \quad [1-3(b)]$$

可见，只要知道某个元件或某段电路的电压和电流就能确定这个元件或这段电路的功率。在关联参考方向下，当 $P > 0$ 时，表示这部分电路消耗功率；当 $P < 0$ 时，表示这部分电路产生功率。如果电压、电流为非关联方向，则与上述相反。

在 SI 中，电流单位为安，电压单位为伏，则功率的单位为瓦特 (W)，简称瓦。

在电路分析中，如果知道了各电流和电压，则电路的性能便能确定。因此，我们把电流和电压作为电路的基本变量，是分析电路的主要研究对象。

最后，说一下辅助单位问题。在 SI 中，安、伏、秒、瓦等，在实际应用中有时感到太大或太小，不方便。为此，常在这些单位前加上词头，形成辅助单位，如

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

$$1\mu\text{s} = 1 \times 10^{-6}\text{s}$$

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

等等。

第三节 电压源和电流源

电压源和电流源是有源二端元件，在电路中起提供能量的作用。

一、电压源

电池、发电机就属电压源。理想电压源具有两个特点：①它的端电压为定值 U_s ，或为一定的时间函数 $u_s(t)$ ，与外电路无关；②流过它的电流随与其相连接的外电路不同而不同。

理想电压源的符号及其直流伏安特性如图 1-6 所示。其中图 (a) 为直流，特别是电池所用符号，长线段表示正极，短粗线段表示负极， U_s 为电压源的端电压，也代表电动势。也就是说从电源的正极到负极有一电压降 U_s ，而从电源的负极到正极有一电压升（即电动势），其值也为 U_s 。图 (b) 为理想电压源的一般表示符号， $u_s(t)$ 为电压源电压，对直流 $u_s(t) = U_s$ ，“+”、“-”号表示参考极性。图 (c) 为直流理想电压源的伏安特性，表明无

论电流为何值，端电压始终保持恒定。

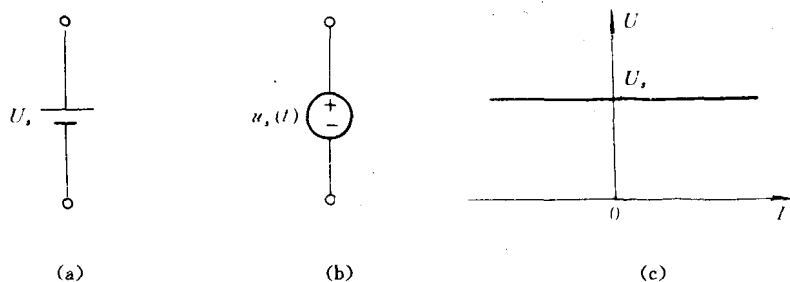


图 1-6 理想电压源

(a) 直流符号 (电池); (b) 一般符号; (c) 直流伏安特性

在实际电路中，电压源的实际电流方向如果从电压源的低电位端流向高电位端，则电压源放出能量，即发出功率，起电源的作用。这是因为正电荷逆着电场方向由低电位处移至高电位处，外来力对它做功的缘故。反之，如果电流从电压源的高电位端流向低电位端，电压源吸收功率，起负载作用。

实际的电压源，端电压一般都将随着电流的变化而改变。如干电池，它总有内阻存在，当接上负载后，由于内阻压降随电流的不同而不同，电流越大，内部损耗越大，端电压也就越低。这时可用一个理想电压源 U_s 和内阻 R_s 相串联的模型来模拟实际电压源，如图 1-7 (a) 所示。根据图中 U 和 I 的参考方向，可求得实际电压源的端电压为

$$U = U_s - U_{R_s} = U_s - R_s I \quad (1-4)$$

式中 $U_{R_s} = R_s I$ 为电源的内压降，由于 U_{R_s} 的参考方向与 U 的参考方向相反，故取负号。式 (1-4) 表明：实际电压源的端电压低于定值电压（电动势） U_s 。只有当 $I=0$ ，即开路时，才有 $U=U_s$ 。式 (1-4) 的伏安关系如图 1-7 (b) 所示。

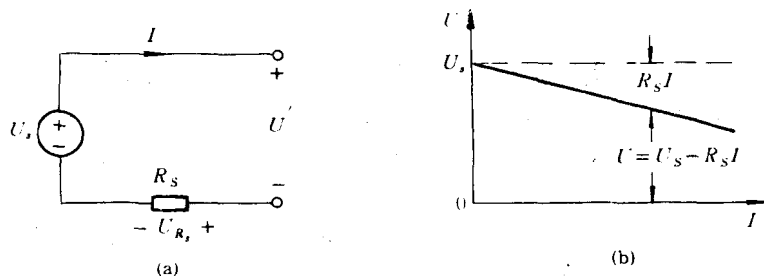


图 1-7 实际电压源

实际电压源的内阻越小，越接近理想电压源。今后将理想电压源简称为电压源。

二、电流源

理想电流源也具有两个特点：①它的电流是定值 I_s ，或是一定的时间函数 $i_s(t)$ ，与端电压无关；②它的端电压随与它联接的外电路不同而不同。

理想电流源的表达符号如图 1-8 (a) 所示, 其中 i_s 表示电流源电流, 箭头表示参考方向。图 1-8 (b) 表示某直流电流源的伏安特性。它是一条平行于 U 轴的直线, 这就是说, 理想电流源的输出电流不受输出电压的影响。如光电池和晶体管的输出特性, 在一定条件下, 可以近似地用一个理想电流源来表示。

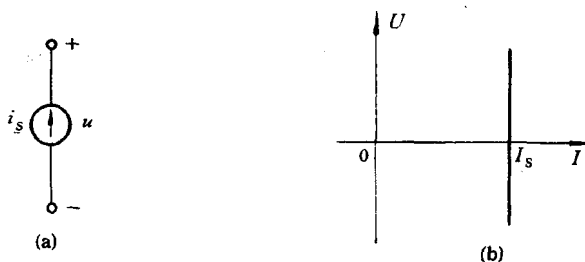


图 1-8 理想电流源

在电流源中, 由于电流是给定的, 但电压的实际方向与外电路有关。当电压的实际方向与电流实际方向相反, 正电荷从电流源的低电位处流向高电位处, 电流源发出功率, 起电源作用; 反之, 如果电压的实际方向与电流的实际方向一致, 电流源吸收功率, 起负载作用。

由于电压源的电压和电流源的电流都不受外电路的影响, 它们作为电源和输入信号时, 在电路中起激励作用, 由此而产生的各电流、电压称为响应。

第四节 电阻元件及欧姆定律

线性电阻元件是一种二端元件: 它在任何时刻, 两端的电压与其电流的关系服从欧姆定律。线性电阻元件的表达符号如图 1-9 所示。在电压和电流的关联方向下, 欧姆定律可表达为

$$u = Ri \quad (1-5)$$

式中 R 为元件的电阻, 单位为欧姆 (Ω), 简称欧; i 为流过该电阻的电流, 单位为安 (A); u 为该电阻元件两端的电压, 单位为伏 (V)。欧姆定律是电路分析中一个重要的基本定律之一。它表明了电阻元件的特性: 即电流流过电阻, 就会沿电流方向出现电压降, 其值为电流与电阻的乘积。

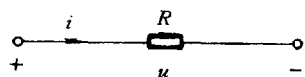


图 1-9 线性电阻元件

如果把电阻元件的电压取为纵坐标 (或横坐标), 电流取为横坐标 (或纵坐标), 画出电压和电流的关系曲线, 称为电阻元件的伏安特性曲线。由于线性电阻元件的阻值 R 为常数, 即 R 的大小不随电压电流而变, 因此线性电阻元件的伏安特性是通过坐标原点的直线, 即元件的电压与电流成正比, 见图 1-10。

电阻 R 的大小是电阻元件的电路参数, R 越大, 对电流的阻力越大。电阻元件也可以用另一个参数——电导 G 来表征, 其定义为

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-6)$$

电导的单位为西门子 (S), 简称西。这样, 欧姆定律为

$$i = Gu$$

值得指出的是使用欧姆定律时, 应特别注意电流电压的参考方向。由于电流和电压的真实方向总是一致的, 因此, 只有在关联参考方向的前提下 (图 1-9) 才可用式 (1-5)。如果 u 与 i 的参考方向相反 (见图 1-11), 则欧姆定律应写为

$$u = -Ri$$

由式 (1-5) 可知, 任何时刻, 电阻元件的电压完全由同一时刻的电流所决定, 而与该时刻以前的电流无关, 故电阻元件是一种无记忆元件。

在电压和电流为关联方向时, 任何时刻电阻元件吸收的功率

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1-7)$$

恒为正值, 说明电阻元件总是消耗功率, 故为耗能元件。人们正是利用这一特点来制成电灯、电烙铁、电炉等发热发光的各种电阻器。

严格地说, 线性电阻是不存在的, 如金属导体 R 的大小总是随温度的变化而变化, 因此导体通过不同的电流时, 其电阻值也要跟着变化。但在一定的工作电流范围内, 其伏安特性近似为一直线, 可以作为线性元件, 如金属膜电阻器、线绕电阻器等。

但有的元件, 如二极管的伏安特性, 与直线相差很大, 故叫非线性电阻, 见图 1-12。显然非线性电阻, 欧姆定律不再适用, 这种电阻元件的伏安特性还与电压或电流的方向有关。因此在使用时要注意正负极性, 而线性电阻则与电压电流方向无关。

今后为了方便起见, 把线性电阻元件简称为电阻。

例 1-1 有一把电烙铁, 电阻是 440Ω , 接于 $220V$ 电源, 问通过电烙铁的电流为多大? 所消耗的功率为多少?

解 根据式 (1-5) 可求得通过电烙铁的电流为

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{440} = 0.5A$$

消耗的功率可根据 (1-7) 式求得为

$$P = RI^2 = 440 \times 0.5^2 = 110W$$

例 1-2 有一个 100Ω 、 $1W$ 的碳膜电阻, 在使用时电流、电压不得超过多大数值?

解 由 (1-7) 式可得

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{1}{100}} = \frac{1}{10}A = 100mA$$

$$U = \sqrt{PR} = \sqrt{1 \times 100} = 10V$$

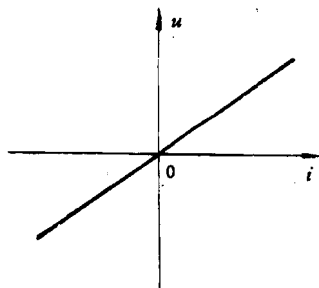


图 1-10 线性电阻元件的伏安特性

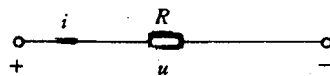


图 1-11 电压电流参考方向相反

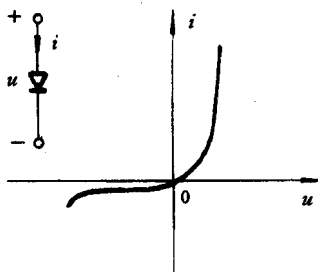


图 1-12 二极管的伏安特性