

电工电子技术基础

(第2版)

周永金 主编

西北大学出版社

【内容提要】 本书是为了适应高等职业技术教育而编写的非电类专业教材,本次修定是为了适应教学改革的需要对教材作了较大修订和调整,其适应范围更广。

全书由原第一版的九章压缩为五章,即“直流电路”、“交流电路”、“变压器与电动机”、“模拟电子电路”、“数字电路”和实验部分。

全书内容精练,取材丰富。实验以浙江天煌教仪为参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术基础. 第2版/周永金主编. —西安: 西北大学出版社, 2005. 2(2012. 8 第2版)
ISBN 978-7-5604-1989-3

I. 电… II. 周… III. ①电工技术-高等学校: 技术学校-教材 ②电子技术-高等学校: 技术学校-教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005) 第 010971 号

书 名: 电工电子技术基础(第2版)

主 编: 周永金

副 主 编: 吉武庆 申凤琴

出版发行: 西北大学出版社

通信地址: 西安市太白北路 229 号 邮编: 710069 电话: 029-88303313

经 销: 新华书店经销

印 刷: 陕西向阳印务有限公司

开 本: 787mm×960mm 1/16

印 张: 15.5

字 数: 252 千字

版 次: 2005 年 2 月第 1 版 2012 年 8 月第 2 版第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5604-1989-3

定 价: 29.80 元

前言 (第二版)

本书第二版是为了更好的适应现代职业教育而修改的,同时保留了第一版的基本内容和风格。在第一版使用中,许多院校的老师对该教材提出了许多宝贵意见和建议,作者在此表示感谢。

第二版将第一版的九章压缩为五章。在第二版中对第一版作了如下修改和调整:

(1) 修改了第一版中出现的错误;

(2) 将原第三章“变压器”和第四章“电动机”合并为现第三章“变压器与电动机”;将原第五章“供电与安全用电”合并进现第三章“变压器与电动机”;

(3) 将原第六章“半导体元件”和第八章的“直流稳压电源”合并进现第四章,且更名为“模拟电子电路”;

(4) 对“交流电路”和“数字电路”两章作了较大修改,重点突出了 555 电路的应用;

(5) 实验部分以浙江天煌教仪为基础,对实验项目作了较大修改;

(6) 为了适应教学改革,第二版将第一版的 80 学时压缩到 60 学时左右。

本书是由冯向莉老师和樊建海老师修改的,周永金老师对全书进行了认真的审阅。

作者在此再次感谢各院校和老师使用该教材,并诚恳希望各位老师对该教材提出宝贵意见和建议,以使该教材更为完善。

绪 者
20012 年 5 月

目 录

第一章 直流电路	/1
§ 1-1 电路的组成及其基本物理量	/1
1-1-1 电路的组成	/1
1-1-2 电路中的基本物理量	/2
§ 1-2 电路的基本元件	/6
1-2-1 电阻元件	/6
1-2-2 电压源	/7
1-2-3 电流源	/8
§ 1-3 基尔霍夫定律及其应用	/9
1-3-1 几个有关的电路名词	/9
1-3-2 基尔霍夫电流定律(简称 KCL)	/9
1-3-3 基尔霍夫电压定律(简称 KVL)	/10
1-3-4 基尔霍夫定律的应用——支路电流法	/13
§ 1-4 二端网络的等效	/14
1-4-1 二端网络等效的概念	/14
1-4-2 电阻的串并联及分压、分流公式	/15
1-4-3 实际电压源与实际电流源的等效变换	/17
§ 1-5 叠加定理与戴维南定理	/19
1-5-1 叠加定理	/19
1-5-2 戴维南定理	/20
本章小结	/22
阅读材料一 电阻及应用	/24
习题一	/28

第 二 章 交流电路	/33
§ 2-1 正弦交流电的基本概念	/33
2-1-1 交流电的函数表示及波形图	/33
2-1-2 交流电的参数:三要素,相位差,有效值	/34
2-2-3 交流电的相量表示	/37
§ 2-2 单一参数交流电路的分析	/39
2-2-1 纯电阻电路	/39
2-2-2 纯电感电路	/41
2-2-3 纯电容电路	/45
§ 2-3 简单交流电路的分析	/47
2-3-1 RLC 串联电路的分析	/48
2-3-2 感性负载与电容器的并联	/52
§ 2-4 三相交流电路的分析	/55
2-4-1 三相交流电的概念	/55
2-4-2 三相负载的星形连接	/58
2-4-3 三相负载的三角形连接	/59
本章小结	/61
阅读材料二 电工识图知识	/62
习题二	/66
第 三 章 变压器与电动机	/68
§ 3-1 变压器的结构与工作原理	/68
3-1-1 变压器的基本结构	/68
3-1-2 单相变压器工作原理	/69

目 录

§ 3-2 三相异步电动机	/73
3-2-1 三相异步电动机的结构	/73
3-2-2 三相异步电动机的工作原理	/76
3-2-3 三相异步电动机的机械特性	/79
3-2-4 三相异步电动机使用与维护	/81
§ 3-3 单相异步电动机	/85
3-3-1 电容列相式单相异步电动机	/85
3-3-2 罩极式单相异步电动机	/87
§ 3-4 安全用电	/88
3-4-1 触电及其防护	/88
3-4-2 防止触电的技术措施	/90
本章小结	/92
阅读材料三 电器设备的额定值 电路的几种状态 单相变压器的同名端 变压器及电动机主要参数	/93
习题三	/97
第 四 章 模拟电子电路	/98
§ 4-1 晶体二极管	/98
4-1-1 半导体的基本知识	/98
4-1-2 PN 结	/100
4-1-3 晶体二极管	/101
§ 4-2 晶体三极管	/104
4-2-1 晶体三极管的结构	/104
4-2-2 晶体三极管的特性	/106
4-2-3 晶体三极管的主要参数	/109

§ 4-3 基本共发射极放大电路	/110
4-3-1 基本共发射极放大电路的结构	/110
4-3-2 基本共发射极放大电路的工作原理	/111
4-3-3 基本共发射极放大电路的分析	/113
§ 4-4 负反馈放大电路	/117
4-4-1 温度对静态工作点的影响	/117
4-4-2 分压式电流负反馈偏置电路	/118
4-4-3 负反馈的基本概念	/123
4-4-4 共集电极放大电路及其分析	/130
§ 4-5 集成运算放大电路及其应用	/131
4-5-1 集成运算放大电路的性能、特点及参数	/131
4-5-2 集成运算放大电路的应用	/135
§ 4-6 直流稳压电源	/140
4-6-1 整流电路	/140
4-6-2 滤波电路	/145
4-6-3 稳压电路	/148
本章小结	/151
阅读材料五 半导体元件的检测方法	/154
习题四	/155
第五章 数字电路	/163
§ 5-1 数字电路基础	/163
5-1-1 脉冲的概念及主要参数	/163
5-1-2 逻辑代数基础	/164

目 录

§ 5-2 门电路	/165
5-2-1 “与”门电路	/165
5-2-2 “或”门电路	/166
5-2-3 “非”门电路	/167
5-2-4 复合逻辑	/167
§ 5-3 触发器	/169
5-3-1 RS 触发器	/170
5-3-2 JK 触发器	/173
5-3-3 D 触发器	/174
5-3-4 T 触发器	/175
§ 5-4 计数器	/175
5-4-1 二进制计数器	/175
5-4-2 十进制计数器	/178
§ 5-5 寄存器	/179
5-5-1 数码寄存器	/179
5-5-2 移位寄存器	/180
§ 5-6 译码器	/182
5-6-1 通用译码器	/182
5-6-2 十进制显示译码器	/185
§ 5-7 555 定时器及其应用	/186
5-7-1 555 定时器	/186
5-7-2 555 定时器构成的单稳态触发器及其应用	/188
5-7-3 555 定时器构成的多谐振荡器及其应用	/191

5-7-4 应用举例	/195
本章小结	/197
习题五	/197
实验一 直流电路综合实验	/199
实验二 日光灯功率因数的提高	/203
实验三 三相交流电路实验	/206
实验四 三相异步电动机	/209
实验五 分压式偏置电路	/212
实验六 集成运算放大电路	/216
实验七 直流稳压电源	/219
实验八 门电路	/224
实验九 译码器	/226
实验十 触发器的工作特性	/229
附录 I 常用阻容元件的标称值	/232
附录 II 国产半导体元件命名方法	/233
附录 III 国产半导体集成电路命名方法	/234
附录 IV 参考文献	/235

第一章 直流电路

§ 1-1 电路的组成及其基本物理量

1-1-1 电路的组成

电路是各种电气元器件按一定的方式连接起来的总体。在人们的日常生活和生产实践中,电路无处不在。从电视机、电冰箱、计算机到自动化生产线,都体现了电路的存在。

最简单的电路实例如图 1-1-1 所示的手电筒电路:用导线将电池、开关、白炽灯连接起来,为电流流通提供了路径。电路一般由三部分组成:一是提供电能的部分称为电源;二是消耗或转换电能的部分称为负载;三是连接及控制电源和负载的部分如导线、开关等称为中间环节。

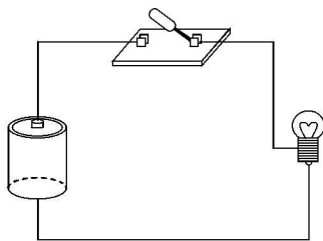


图 1-1-1

一个实际的元件,在电路中工作时,所表现的物理特性不是单一的。例如,一个实际的绕线电阻,当有电流通过时,除了对电流呈现阻碍作用之外,还在导线的周围产生磁场,因而兼有电感器的性质。同时还会在各匝线圈间存在电场,因而又兼有电容器的性质。所以,直接对由实际元件和设备构成的电路进行分析和研究,往往很困难,有时甚至不可能。

为了便于对电路进行分析和计算,我们常把实际元件加以近似化、理想化,在一定条件下忽略其次要性质,用足以表征其主要特征的“模型”来表示,即用理想元件来表示。例如,“电阻元件”就是电阻器、电烙铁、电炉等实际电路元器件的理想元件,称为模型。因为在低频电路中,这些实际元器件所表现的主要特征是把电能转化为热能。用“电阻元件”这样一个理想元件来反映消耗电能的特征。同样,在一定条件下,“电感元件”是线圈的理想元件,“电容元件”是电容器的理想元件。

由理想元件构成的电路,称为实际电路的“电路模型”。图 1-1-2 是图 1-1-1 所示实际电路的电路模型。

1-1-2 电路中的基本物理量

研究电路的基本规律,首先应掌握电路中的基本物理量:电流、电压和电功率。

1. 电流

电流是电路中既有大小又有方向的基本物理量,其定义为在单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流的大小即电流强度,简称电流,其单位为安培(A)。

电流主要分为两类:一类为大小和方向均不随时间变化的电流为恒定电流,简称直流(简写 DC),用大写字母 I 表示。另一类为大小和方向均随时间变化的电流为变化电流,用小写字母 i 或 $i(t)$ 表示。其中一个周期内电流的平均值为零的变动电流称为交变电流,简称交流(简写 AC),也用 i 表示。

几种常见的电流波形如图 1-1-3 所示,其 1-1-3(a) 为直流,(b),(c) 为交流。

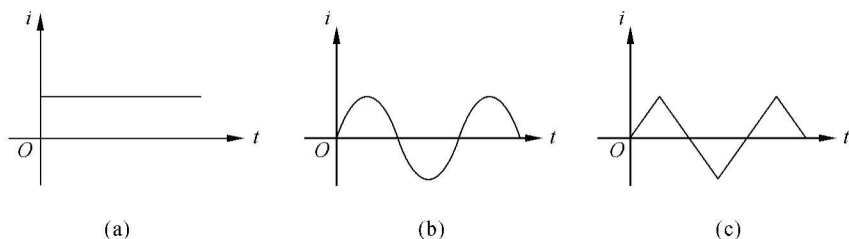


图 1-1-3

电流的实际方向规定为正电荷运动的方向。

在分析电路时,对复杂电路由于无法确定电流的实际方向,或电流的实际方向在不断的变化,所以我们引入了“参考方向”的概念。

参考方向是一个假想的电流方向。在分析电路前,须先任意规定未知电流的参考方向,并用实线箭头标于电路图上,如图 1-1-4 所示,图中方框表示一般二端元件。特别注意:图中实线箭头和电流符号 i 缺一不可。

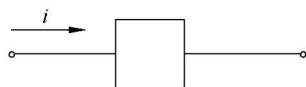


图 1-1-4

若计算结果(或已知) $i > 0$, 则电流的实际方向与电流的参考方向一致; 若 $i < 0$, 则电流的实际方向和电流的参考方向相反。这样, 我们就可以在选定的参考方向下, 根据电流的正负来确定出某一时刻电流的实际方向。

2. 电压、电位

(1) 电压 电压是电路中既有大小又有方向(极性)的基本物理量。直流电压用大写字母 U 表示, 交流电压用小写字母 u 表示。

电路中 A, B 两点间电压的大小等于电场力将单位正电荷从 A 点移动到 B 点所做的功。若电场力做正功, 则电压 u 的实际方向从 A 到 B。电压的单位为伏特(V)。

(2) 电位 在电路中任选一点为电位参考点, 则某点到参考点的电压就称为这一点(相对于参考点)的电位。如 A 点的电位记作 V_A 。当选择 O 点为参考点时,

$$V_A = U_{AO} \quad (1-1-1)$$

电压是针对电路中某两点而言的, 与路径无关。所以有

$$U_{AB} = U_{AO} - U_{BO} = V_A - V_B \quad (1-1-2)$$

这样, A, B 两点间的电压, 就等于该两点电位之差。所以, 电压又称电位差。引入电位的概念之后, 电压的实际方向是由高电位点指向低电位点。

在分析电路时, 也须对未知电压任意规定电压“参考方向”, 其标注方法如图 1-1-5 所示。其中, 图 1-1-5(a) 所示的标注方法中, 参考方向是由 A 点指向 B 点; 图 1-1-5(b) 所示的标注方法, 即参考极性标注法中, “+”号表示参考高电位端(正极), “-”号表示参考低电位端(负极); 图 1-1-5(c) 没有标注参考方向。在标注参考方向时, 常用图 1-1-5(b) 的标注方法。

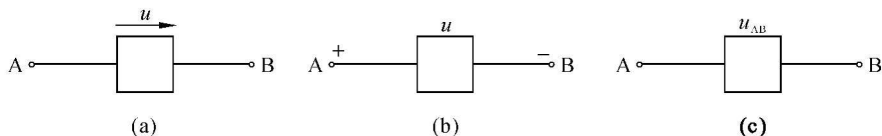


图 1-1-5

选定参考方向后, 才能对电路进行分析计算。当 $u > 0$ 时, 该电压的实际极性与所标的参考极性相同, 当 $u < 0$ 时, 该电压的实际极性与所标的参考极性相反。

例 1-1-1 在图 1-1-6 所示的电路中, 方框泛指电路中的一般元件, 试分别指出图中各电压的实际极性。

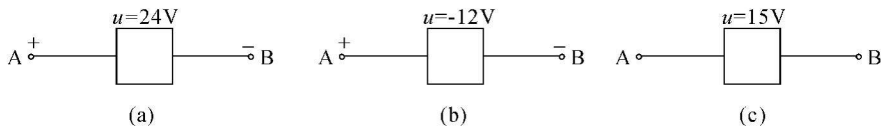


图 1-1-6

解 各电压的实际极性为

(1) a 图, A 点为高电位, 因 $u = 24\text{V} > 0$, 所标参考极性与实际极性相同。

(2) b 图, B 点为高电位, 因 $u = -12\text{V} < 0$, 所标参考极性与实际极性相反。

(3) c 图, 不能确定, 虽然 $u = 15\text{V} > 0$, 但图中没有标出参考极性。

当元件上的电流参考方向是从电压的参考高电位指向参考低电位时, 称为关联参考方向, 反之称为非关联参考方向, 如图 1-1-7 所示。

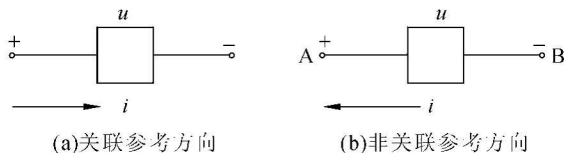


图 1-1-7

3. 电功率

电功率是指单位时间内, 电路元件上能量的变化量。它是具有大小和正负值的物理量。电功率简称功率, 其单位是瓦特(W)。

在电路分析中, 通常用电流 i 与电压 u 的乘积来描述功率。

在 u, i 关联参考方向下, 元件上吸收的功率定义为

$$p = ui \quad (1-1-3)$$

在 u, i 非关联参考方向下, 元件上吸收的功率为

$$p = -ui \quad (1-1-4)$$

不论 u, i 是否是关联参考方向, 若 $p > 0$, 则该元件吸收(或消耗) 功率; 若 $p < 0$, 则该元件发出(或供给) 功率。

以上有关元件功率的讨论同样适用于一段电路。

例 1-1-2 试求图 1-1-8 电路中元件吸收的功率。

解 (1) a 图, 所选 u, i 为关联参考方向, 元件吸收的功率

$$P = UI = 4 \times (-3) \text{ W} = -12 \text{ W}$$

此时元件吸收功率 -12W , 即发出的功率为 12W 。

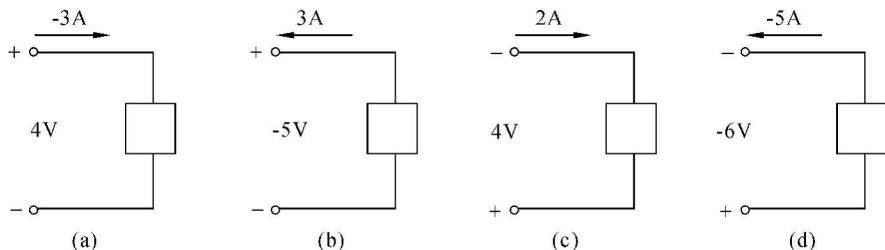


图 1-1-8

(2) b 图,所选 u, i 为非关联参考方向,元件吸收的功率

$$P = -UI = -(-5) \times 3 \text{ W} = 15 \text{ W}$$

此时元件吸收的功率为 15W。

(3) c 图,所选 u, i 为非关联参考方向,元件吸收的功率

$$P = -UI = -4 \times 2 \text{ W} = -8 \text{ W}$$

此时元件发出的功率为 8W。

(4) d 图,所选 u, i 为关联参考方向,元件吸收的功率

$$P = UI = (-6) \times (-5) \text{ W} = 30 \text{ W}$$

此时元件吸收的功率为 30W。

以上所涉及的电压、电流和功率的单位都是国际单位制(SI)的主单位,在实际应用中,还有辅助单位。辅助单位的部分常用词头见表 1-1-1。

表 1-1-1 部分常用的 SI 词头

词头名称		符 号	因 数
中 文	英 文		
皮	pico	P	10^{-12}
微	micro	μ	10^{-6}
毫	milli	m	10^{-3}
千	kilo	k	10^3
兆	mega	M	10^6

§ 1-2 电路的基本元件

1-2-1 电阻元件

1. 电阻和电阻元件

电荷在电场力作用下作定向运动时,通常要受到阻碍作用。物体对电流的阻碍作用,称为该导体的电阻。用符号 R 表示。电阻的单位是欧姆(Ω)。

电阻元件是对电流呈现阻碍作用的耗能元件的总称。如电炉、白炽灯、电阻器等。

2. 电导

电阻的倒数称为电导,电导是表征材料的导电能力的一个参数,用符号 G 表示。

$$G = 1/R \quad (1-2-1)$$

电导的单位是西门子(S),简称西。

3. 电阻元件上电压、电流关系

1827 年德国科学家欧姆总结出:施加于电阻元件上的电压与通过它的电流成正比。图 1-2-1 所示的电路, u, i 为关联参考方向,其伏安关系为

$$u = Ri \quad (1-2-2)$$

若 u, i 为非关联参考方向,则伏安关系为

$$u = -Ri \quad (1-2-3)$$

在任何时刻,两端电压与其电流的关系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一条通过坐标原点的直线(R 是常数),如图 1-2-2 所示。非线性电阻元件的伏安特性是一条曲线,如图 1-2-3 所示的曲线为二极管的伏安特性。

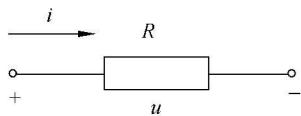


图 1-2-1

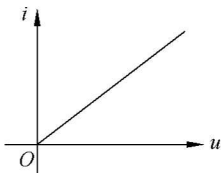


图 1-2-2

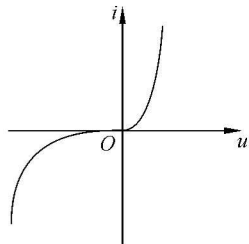


图 1-2-3

本书只介绍线性元件及含线性元件的电路。为了方便,常将线性电阻元件简称为电阻,这样,“电阻”一词既代表电阻元件,也代表电阻参数。

对于接在电路 a、b 两点间的电阻 R 而言,若 $R=0$ 时,称 a、b 两点短路;若 $R \rightarrow \infty$ 时,称 a、b 两点开路。

4. 电阻元件上的功率

若 u, i 为关联参考方向,则电阻 R 上消耗的功率为

$$p = ui = (Ri)i = Ri^2 \quad (1-2-4)$$

若 u, i 为非关联参考方向,则

$$p = -ui = -(-Ri)i = Ri^2$$

可见, $p \geq 0$, 说明电阻总是消耗(吸收)功率,而与其上的电流、电压极性无关。

例 1-2-1 电路如图 1-2-1 所示,已知电阻 R 吸收功率为 3W , $i = -1\text{A}$ 。求电压 u 及电阻 R 的值。

解 由于 u, i 为关联参考方向,由式(1-2-4)

$$p = ui = u(-1)\text{A} = 3\text{W}$$

$$u = -3\text{V}$$

所以, u 的实际方向与参考方向相反。

因 $p = Ri^2$, 故

$$R = \frac{p}{i^2} = \frac{3}{(-1)^2} \Omega = 3\Omega$$

实际使用时应注意两点: ①电阻值应选附录 I 所示的系列值; ②消耗在电阻上的功率应小于所选电阻的额定功率(或标称功率)。

所谓额定功率是指电阻器在一定环境温度下,长期连续工作而不改变其性能的允许功率,如 $1/4\text{W}$ 、 $1/8\text{W}$ 等。

电阻器在电路中主要起两个作用: ①限制电流; ②分压、分流。

1-2-2 电压源

电压源是实际电源(如干电池、蓄电池等)的一种抽象。本节内容仅涉及直流电压源(恒压源),其端电压用符号 U_s 表示。电压源的图形符号及其伏安特性曲线如图 1-2-4 所示。其中(a)图中的“+”,“-”号是 U_s 的极性,(b)图中的长线表示“+”极性,短线表示“-”极性。

电压源具有如下两个特点:

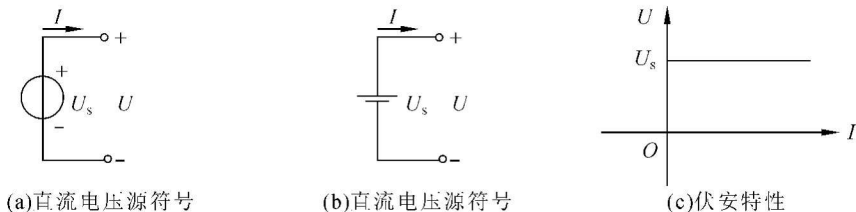


图 1-2-4



图 1-2-5



图 1-2-6

(1) 它的端电压固定不变,与外电路取用的电流 I 无关。

(2) 通过它的电流取决于它所连接的外电路,是可以改变的。

电压源的连接如图 1-2-5 所示。图 1-2-5 电路进一步说明: 无论电源是否有电流输出, $U = U_s$, 与 I 无关; I 的大小由 U_s 及外电路共同决定。

例如, 设 $U_s = 5\text{V}$, 将 $R = 5\Omega$ 电阻连接与 a、b 两端, 则有 $I = 1\text{A}$; 若将 R 改为 10Ω , 则有 $I = U_s/R = 0.5\text{A}$ 。

1-2-3 电流源

电流源也是实际电源(如光电池)的一种抽象。本节内容仅涉及直流电流源(恒流源), 其输出电流用符号 I_s 表示。电流源的图形符号及其伏安特性曲线如图 1-2-6 所示。箭头所指方向为 I_s 的参考方向。