

高等学校通用教材

无线电技术导论

(修订版)

高泽溪 等编著



WUXIANDIAN JISHU DAOLUN



北京航空航天大学出版社

高等学校通用教材

无线电技术导论

(修订版)

高泽溪 等编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本教材是在我校各工科专业低年级学生公共课“无线电技术导论”教材 91 年版的基础上经过删减、增补、修订编写而成。它主要介绍无线电技术的基础知识、基本定律,常用电子元器件如电阻、电容、电感、变压器、继电器、二极管、三极管及集成电路等基本知识,结合军工产品的质量要求,还补充了军用电子元器件的质量可靠性知识。在此基础上,较全面地介绍了现代无线电发送和接收系统的组成及工作原理,最后还介绍了近代无线电技术在现代军事中的应用。

本教材适合作为高等学校理工科专业低年级本科生、大专生公共课教材,也可作为广大电子工程技术人员及无线电爱好者的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

无线电技术导论/高泽溪等编著. —2 版(修订本)

北京:北京航空航天大学出版社,2004.3

ISBN 7-81077-433-6

I. 无… II. 高… III. 无线电技术 IV. TN014

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 126578 号

高泽溪等编著

责任编辑 韩文礼

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail:bhpress@263.net

河北省涿州市新华印刷厂印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:23.25 字数:521 千字

2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 7-81077-433-6 定价:30.00 元

前言

无线电技术发展十分迅速,应用十分广泛。雷达、无线电导航、卫星广播与通信、广播电视等都是无线电技术的发展和应⽤。在⼯业⽣产、医疗卫⽣、⽂化教育、家用电器等⽅⾯也离不开无线电技术。无线电技术的发展和应⽤不仅渗透到国民经济的各个领域,也深⼊到⼈们的⽇常⽣活之中。

无线电技术涉及的内容十分广泛。无线电发射技术和无线电接收技术是其中的两大基础技术,前者的主要内容有信号的产⽣、放⼤、变换处理,调制放⼤后变成无线电载波,经无线电波的进⼝——天线发送出去。在接收技术中,又涉及到微波的传输、混频、放⼤、信号的解调处理及数据显⽰等技术。

《无线电技术导论》是为⼯科专业低年⼊开设的公共选修课。主要介绍了无线电技术基本知识,建⽴无线电接收和发送的系统概念,介绍了在国民经济建设和现代军事上的重要应⽤。

随着科学技术的进步和发展,各学科领域相互渗透和覆盖已成为新技术发展的必然趋势。无线电技术也越来越广泛地渗透到⼊他技术领域中,尤其在航空航天技术领域中,无线电技术和计算机技术共同构成了航空航天设备中的感觉、测量、控制的核心。正是由于这⼊必然趋势,各⼯种专业、计算机、电子技术⽅⾯的课程所占学时数的⽐重越来越大。作为将来从事航空航天事业的工程技术人员,对于⼯科专业的低年⼊学⽣,从⼊学就选修无线电技术导论课程,了解无线电技术⽅⾯的基本知识,将为进⼊步学习专业基础课打下坚实基础。对于学习电子及通信专业的学⽣,从低年⼊开始就接触到无线电基本知识,建⽴无线电⽅⾯的基本概念,将有力地促进他们对无线电技术的学习兴趣。

本书在编写过程中注意到教学对象是⼯科专业低年⼊学⽣,课程的水准是建⽴在高中物理学基础上的,所以课程的范畴没有涉及太宽太深,既有一定的理论性,又有一定的系统性和实践性,并且涉及到无线电技术领域的⼊基本概念。

全书共分⼊章:第⼊章介绍电路基础知识,讲述欧姆定律、克希荷夫定律以及交流电的基本概念;第⼊章较详细地讲述常用的电子元件,即电阻、电容、电感、继电器、变压器的基本知识以及在航空电子设备中如何合理的选⽤它们;第⼊章是电子学基础知识,它着重介绍半导体二极管和三极管的⼊作原理与基本放⼤电路;第⼊章介绍集成电路的基本知识及其基本应⽤;第⼊章讲述电子元件质量与可靠性知识;第⼊章介绍了无线电信号的发送概念,其中包括调幅、调频和调相概念以及电磁波传播技术;第⼊章是无线电接收概述,系统地介绍外差接收机的工作原理及应⽤;第⼊章介绍近代无线电技术的应⽤,其中有移动通信系统、卫星导航与通

信、GPS 系统、电子对抗等,开拓了学生的视野。课程的参考学时为 40 学时。

本书由北京航空航天大学高泽溪同志统编并编写了第一、二、三、四、六、七章,付桂翠编写第五章,高成编写第八章,并由郑玉簋教授对全书进行了审阅,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。书中存在的不足之处,希望广大读者批评指正。

作 者

目 录

第一章 电路基础知识	1
1.1 电路的基本定律	1
1.1.1 欧姆定律	1
1.1.2 克希霍夫定律	2
1.2 正弦交流电的基本概念	5
1.2.1 正弦交流电的特征	6
1.2.2 正弦交流电的表示方法	10
本章的重点与基本要求	12
习 题	12
第二章 电子元件	15
2.1 电阻元件	15
2.1.1 什么是电阻	15
2.1.2 正弦交流电通过电阻电路	15
2.1.3 电阻的种类和符号	20
2.1.4 电阻的主要技术参数	23
2.1.5 主要技术参数的标志方法	25
2.1.6 电阻器选用一般原则	28
2.1.7 特种电阻	29
2.1.8 电位器	36
2.2 电感元件与变压器	43
2.2.1 什么是电感元件	43
2.2.2 电感上电压与电流关系	44
2.2.3 电感电路中的功率	47
2.2.4 电感元件的种类与特性	49
2.2.5 变压器	58
2.3 电容元件	65
2.3.1 什么是电容	65

2.3.2	电容电路中电压和电流的关系	66
2.3.3	固定电容器的种类和符号	72
2.3.4	国产电容的型号和标志识别	76
2.3.5	国外电容的标志识别	79
2.3.6	可变电容器种类和特点	80
2.4	继电器	84
2.4.1	普通电磁式继电器继电器	84
2.4.2	固态继电器	92
2.5	石英晶体和陶瓷元器件	97
2.5.1	石英晶体谐振器	97
2.5.2	陶瓷谐振元件	101
2.6	声表面波滤波器	103
2.6.1	特点和电路符号	103
2.6.2	超声延迟线	103
	本章的重点与要求	105
	习 题	105
第三章	半导体分立器件知识	108
3.1	半导体二极管及其电路	108
3.1.1	导体、绝缘体、半导体	108
3.1.2	二极管的基本结构、主要特性及命名规定	109
3.1.3	二极管的种类和型号	111
3.1.4	二极管的主要技术参数	114
3.1.5	二极管应用举例	115
3.2	半导体三极管及其电路	135
3.2.1	半导体三极管	135
3.2.2	三极管的三种连接方式	144
3.2.3	基本交流放大电路	148
3.2.4	种类、型号和外形	154
3.2.5	β 和 h_{FE} 值的标志及 f_T 的说明	158
3.2.6	国外三极管型号识别	162
3.3	正弦波振荡器	164
3.3.1	振荡器概述	164
3.3.2	互感耦合振荡器	166

3.3.3 三点式 LC 振荡器	166
3.3.4 晶体振荡器	169
3.3.5 RC 振荡器	170
3.3.6 集成振荡器	171
3.3.7 振荡电路的选择	172
本章的重点与基本要求	172
习 题	172
第四章 集成电路知识	177
4.1 CMOS 和 TTL 集成电路概述	177
4.2 两种常用的模拟集成电路	179
4.2.1 集成运算放大器及其应用	179
4.2.2 集成稳压器	190
4.3 CMOS 集成电路和 TTL 集成电路	197
4.3.1 概 述	197
4.3.2 CMOS 数字集成电路知识	205
本章的重点与基本要求	226
习 题	227
第五章 电子元器件的质量与可靠性知识	228
5.1 电子元器件质量与可靠性的基本概念	228
5.1.1 元器件的质量	228
5.1.2 元器件的可靠性	228
5.2 电子元器件质量保证的有关标准	229
5.2.1 规 范	230
5.2.2 标 准	231
5.2.3 指导性技术文件	231
5.3 电子元器件的质量等级	232
5.3.1 几个基本概念	232
5.3.2 元器件的质量等级	234
5.3.3 元器件的质量等级对系统可靠性的影响	239
5.4 电子元器件的选用	241
5.4.1 军用电子元器件的可靠性选择	241
5.4.2 电子元器件的正确使用	242

5.5 电子元器件的筛选	244
5.5.1 概 述	244
5.5.2 元器件的二次筛选	245
5.5.3 筛选的主要项目简介	246
5.6 电子元器件的破坏性物理分析(DPA)	249
5.6.1 DPA 简介	249
5.6.2 DPA 试验项目简介	250
本章重点与基本要求	255
习 题	256
第六章 无线电发送概论	257
6.1 无线电波的传播	257
6.1.1 无线电波的发射过程	257
6.1.2 无线电波是怎样传播的	259
6.1.3 各波段电波传播的特点	260
6.2 天线是无线电波的进出口	263
6.2.1 天线振子的长度	263
6.2.2 天线的馈电	264
6.3 无线电波发射机介绍	266
6.3.1 振荡部分	266
6.3.2 调制部分	268
6.3.3 功率放大部分	276
6.3.4 发射机电路组成	276
本章的重点与基本要求	279
习 题	279
第七章 无线电接收概论	281
7.1 超外差接收机的一般概念	281
7.1.1 接收机的工作方式	281
7.1.2 接收机的主要质量指标	283
7.1.3 超外差式接收机的优点	284
7.2 超外差接收机的电路组成	284
7.2.1 高频放大器	285
7.2.2 变频器	286

7.2.3 中频放大器	290
7.2.4 检波器	300
7.2.5 自动增益控制电路	300
7.2.6 低频放大器	303
7.2.7 两个超外差收音机的整机电路图(图 7-44、图 7-45)	313
7.3 单边带接收机	315
7.3.1 单边带接收机的特点	315
7.3.2 单边带信号的解调	315
7.3.3 单边带接收机中的 AGC	317
7.3.4 如何不失真地还原信号	317
7.4 调频接收机	317
7.4.1 调频接收机的组成	317
7.4.2 限幅电路的作用	318
7.4.3 鉴频器的工作原理	319
7.4.4 AFC 电路	322
本章的重点与基本要求	325
习 题	325
第八章 现代无线电技术	326
8.1 移动通信系统	326
8.1.1 移动通信概述	326
8.1.2 移动通信系统组成	327
8.1.3 无线寻呼系统	329
8.1.4 集群移动通信	329
8.1.5 无绳电话系统	330
8.1.6 卫星移动通信系统	331
8.1.7 蜂窝模拟移动通信(TACS)系统	331
8.1.8 蜂窝数字移动通信(GSM)系统	331
8.1.9 CDMA 移动通信系统	332
8.1.10 数字移动通信的发展	334
8.2 卫星导航系统	336
8.2.1 卫星导航的重要作用	336
8.2.2 美国 GPS 全球定位系统	337
8.2.3 俄罗斯 GLONASS 全球导航卫星系统	341

8.2.4	欧洲伽利略导航卫星系统计划	341
8.2.5	日本区域性导航卫星系统计划	342
8.2.6	中国自主研制的第一代卫星导航定位系统—北斗导航系统	342
8.3	蓝牙技术概述	344
8.3.1	蓝牙简介	344
8.3.2	蓝牙技术概要	345
8.3.3	蓝牙技术的市场情况	346
8.3.4	蓝牙技术和产品应用领域	346
8.3.5	蓝牙技术市场前景展望	346
8.4	无线电电子战	347
8.4.1	无线电电子战概述	347
8.4.2	无线电电子战的基本内容	348
8.4.3	无线电电子战发展趋势	350
8.5	雷达系统简介	351
8.5.1	概 述	351
8.5.2	雷达方程	353
8.5.3	雷达信息	353
8.5.4	雷达频率	355
8.6	遥感技术概述	356
8.6.1	什么叫遥感	356
8.6.2	用电磁波传递信息	356
8.6.3	遥感平台	357
8.6.4	扫描成相	358
8.6.5	侧视雷达	359
8.6.6	图像的加工和处理	359
8.6.7	图像的判读	360
结束语		361
参考文献		362

第一章 电路基础知识

从小至半导体收音机、录音机、电视机,大到雷达、导弹、大功率的电台设备等都是由各种电子元件、器件构成的电子电路加上合理的工艺机械结构制作而成。无论是电子工程专业还是自动控制、计算机科学、仪表与检测等专业都需要学习电子电路系统的基本理论、基本技能。而掌握好电路的基础知识,是进入学习电路知识的第一步。

1.1 电路的基本定律

不论电路有多么复杂,也不管电路的具体形式如何变化,电路中的主要物理量——电压和电流之间的关系都是遵循一定的规律的。弄清楚电路中各部分电压和电流之间的关系,也就有了如何计算电路、设计电路的基础。

电路的基本定律主要包括欧姆定律和克希霍夫定律。

1.1.1 欧姆定律

在高中物理课中,我们已经学习过欧姆定律,其内容是说:一个电阻元件中所通过的电流 I 与该元件两端电压 V 之间的关系是:

$$I = \frac{V}{R} \text{ 或 } V = IR \quad (1-1)$$

式中的 R 是该电阻元件电阻,单位是欧姆。

当然,上式是在电压 V 和电流 I 方向一致的情况下才能成立。

欧姆定律表示了电阻元件的这样一种性质:通过它的电流数值与其两端电压成正比,而与其本身的阻值成反比。

有关欧姆定律的几点说明:

(1) 电阻元件的重要特征就是对电荷的运动呈现阻力,它具有阻碍电流流动的性质,通常我们就将电阻元件简称电阻。一个电阻元件的电阻值 R 具体表明了它的如上性质,同时,电阻 R 又是一个重要的电路参数。

电阻元件或任一段导体的电阻与它本身的材料性质及几何尺寸有关,还与外界温度有关。

电阻元件的特性也可以用另一个参数来表示:电导 G ,它表示的是元件传导电流的能力。电导与电阻的关系是互为倒数: $G=1/R$ 。

电导的单位是西门子,简称“西”(S)。

用电导来表示欧姆定律时,有

$$V = \frac{I}{G} \text{ 或 } I = VG \quad (1-2)$$

(2) 电阻元件对电流呈现阻力,即消耗能量,转换为热能。利用这个特点,可以制成各种电热器,如电阻炉、电烙铁、白炽灯等。但是在有的电气设备中,甚至在传输导线中,由于存在一定的电阻,也要导致发热,这种电流的热效应造成了能量损失,有时还会损坏设备,应尽量减少。电阻消耗的功率为

$$P = V \cdot I = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad (1-3)$$

(3) 欧姆定律也可以用电压(V)和电流(I)的关系曲线来表示,即电阻元件的伏安特性曲线,如图 1-1 所示。这是一个通过原点(0,0)的直线,其斜率即为电阻元件的电阻 R 。我们将具有这种伏安特性曲线的元件称为线性电阻元件,全部由线性元件组成的电路叫线性电路。

与这种情况相对应的是,有些元件的电压—电流不是简单的正比关系,表现在伏安特性上就不是直线,而是曲线。如图 1-2 所示的半导体二极管的伏安特性曲线,这种类型的元件叫非线性元件。

显然,欧姆定律只适用于线性电阻元件,而不适用于非线性元件。

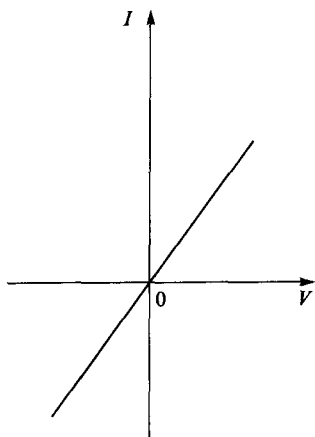


图 1-1 线性伏安特性

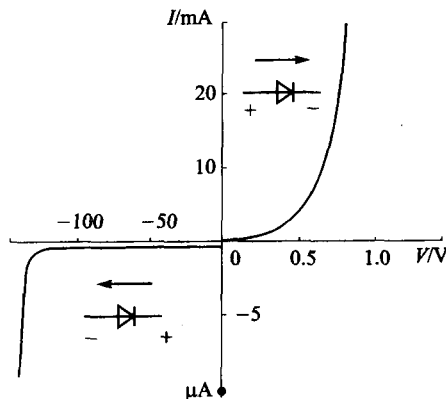


图 1-2 非线性元件的伏安特性

1.1.2 克希霍夫定律

1. 几个基本概念

(1) 电压和电流的方向

一定的电流,通过某一电阻时,在电阻上就有一定的压降或称电压。电压有正、负之分。在电路中,规定正电荷实际运动的方向为电流的实际方向。

在图 1-3(a)中,电压 V_{AB} 的方向指向正电荷运动的方向(即电流的方向);图(b)中与正电荷运动方向相反,定义为电压的负方向。

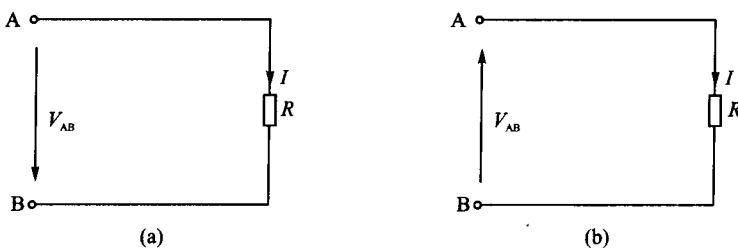


图 1-3 电压的正、负方向规定

电路中某点的电位就是该点到参考点之间的电压。电路中两点之间的电压就是这两点的电位差,如图 1-4 所示。在图中,设 O 点的电位为零电位,A 点对 O 点的电位为 V_A ,B 点对 O 点的电位为 V_B ,A、B 两点之间的电位差为 $V_A - V_B = V_{AB}$ 。

(2) 电压与电动势

电源是将非电场力转化为电场力的设备。在干电池中,它可将化学能转化为电能;在发电机中能将机械能转化为电能。电动势表征了电源将其他形式能量转换成电能的本领,其大小表征了它将正电荷从电源的负极经电源内部搬运到电源的正极所做的功。它的单位为伏特。电动势也有正负方向,如图 1-5 所示,其对外电路的方向是以电压的形式表现出来的,故也可用电压的数值表征电动势的性质。

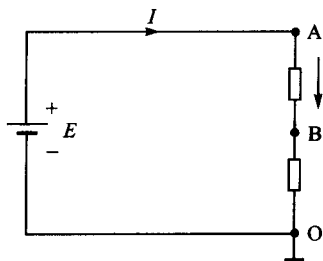


图 1-4 电压与电位的关系

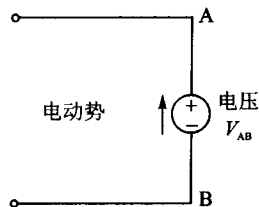


图 1-5 电动势的方向与电压的方向

(3) 电路、节点、支路与回路

电路:将电源、电子元件用导线与控制开关连接起来,由此构成的电流通路统称电路。

节点:电路中三条或三条以上连接电气元件的导线的交点。如图 1-6 中的 a、b 都是节点。

支路:连接任何两个节点之间的一段电路叫支路,如图 1-6 中,a、b 二节点之间包含电阻 R_3 的一段电路就是一条支路。

回路:电路中任何一个闭合路径叫回路。通常回路都是由若干支路将一些节点连接起来构成的。从电路中某一点出发,沿任意支路循环一周,仍回到原来的出发点,就形成一个回路。最简单的回路又叫“网孔”,在网孔中没有支路穿过。

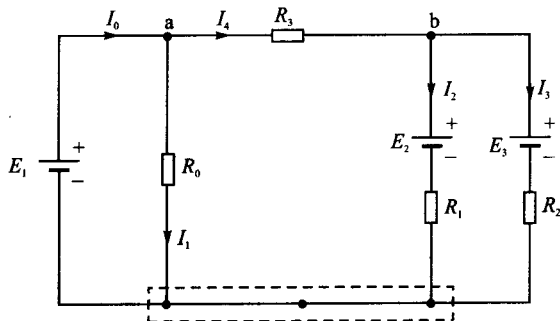


图 1-6 电路举例

2. 克希霍夫定律的内容

克希霍夫定律包括两条定律:第一定律,即电流定律(Kirchhoff Current Law),缩写为 KCL;第二定律,即电压定律(Kirchhoff Voltage Law),缩写为 KVL。

(1) KCL 的内容

克希霍夫电流定律是有关节点电流的定律,用来确定电路中各支路、各部分电流之间的关系。其内容是:在某一瞬时,对电路中的任何一个节点来说,流入节点的电流总和等于流出该节点的电流总和。例如,对于图 1-6 所示电路中的节点 a 来说,有 $I_0 = I_1 + I_4$,对于 b 节点来说,有 $I_4 = I_2 + I_3$ 。写成一般的形式是

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}, \text{或 } \sum I = 0 \quad (1-4)$$

上式也表示了,在同一时刻,流经任何节点的电流的代数和等于零。

(2) KVL 的内容

克希霍夫电压定律是用来确定一个回路内各部分电压之间的关系的定律。其内容是:在任一瞬时,沿闭合回路绕行一周,各段电压降的代数和为零。即

$$\sum V = 0 \quad (1-5)$$

电压正方向与绕行方向一致时,为正电压降,否则为负电压降。例如图 1-7 所示的电路,从 a 经 E_2 、 R_2 、 R_1 、 E_1 又回到 a。则有

$$E_2 - I_2 R_2 + I_1 R_1 - E_1 = 0$$

例题 1-1 利用 KCL 和 KVL 计算如图 1-8 所示的电路中的各支路电流。

解 按下列步骤求解:

- ① 标上支路中的电流方向(可任意标);
- ② 标上节点(独立节点);

- ③ 选绕行方向；
④ 列写 KCL 和 KVL 独立方程。

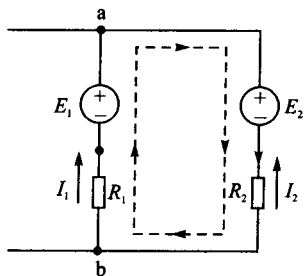


图 1-7 KVL 举例

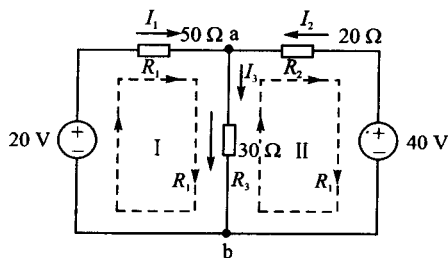


图 1-8 电路举例

两个节点 a, b 可以列出一个独立的 KCL 方程, 对于节点 a 则有

$$I_3 = I_1 + I_2$$

按网孔列 KVL 方程, 可均取顺时针方向为绕行方向。

由网孔 I 列出:
$$I_1 \cdot R_1 + I_3 R_3 - 20 = 0$$

由网孔 II 列出:
$$-I_2 \cdot R_2 - I_3 R_3 + 40 = 0$$

以上共有三个独立方程, 可解出三个支路电流。

联立求解后得出 $I_1 = -\frac{2}{31} \text{ A}$, $I_2 = \frac{26}{31} \text{ A}$, $I_3 = \frac{24}{31} \text{ A}$, 负号表示与原设电流方向相反, 正号

表示与原设方向相同。

1.2 正弦交流电的基本概念

现代技术中广泛应用的电能大部分是交流电, 且主要是正弦交流电, 如发电厂提供的生活用电、工厂和农村用电、科学实验用电都离不开交流电。近年来, 随着电子技术的发展, 在一些需要直流电的场合, 常用整流设备将交流电变成直流电。

电压和电流的大小和方向不随时间变化的是直流电, 它可以用一个固定大小的量来表示。

交流电是指大小和方向随时间作周期性往复变化的电压和电流。如图 1-9 所示, 把交流电沿时间坐标展开, 横轴代表时间, 纵轴代表交流电的大小。由图可见, 交流电的大小和方向随时间的推移不断变化, 它由零变到最大, 再由最大变到零, 再变到负值, 正负交替变化, 往复变化。交流电随时间变化, 它是时间的函数, 不是空间物理量。图 1-9(a) 是正弦交流电, (b) 是对称的方波交流电。

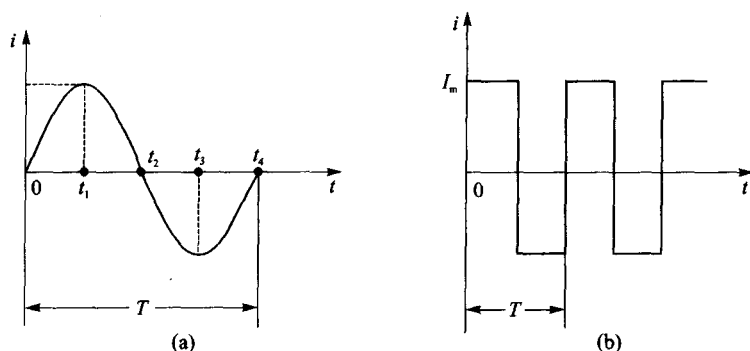


图 1-9 交流电流

1.2.1 正弦交流电的特征

对于一个正弦交流电量来说,可以用数学表达式表示

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi) \quad (1-6)$$

式中: i 表示交流电流的瞬时大小,称瞬时值; I_m 表示正弦电流振幅的大小,称最大值; ω 表示正弦电流的角频率, ψ 表示正弦电流的初始相角。 ω 、 ψ 及 I_m 表示了一个正弦交流电的三个要素,它们是区别不同正弦交流电的主要依据。

1. 周期与频率

周期: 正弦交流量完成往复变化一周所需的时间叫周期,如图 1-9 所标出的 T ,它示出了波形重复出现所需的最短时间,其单位为秒。周期 T 大,表示变化一周所需的时间长,波形变化慢;反之如果周期 T 小,表示变化一周所需的时间短,波形变化快。

频率: 每秒时间内正弦量交变的次数叫频率。它也是每秒时间内重复变化的周期数,用符号 f 表示。频率 f 愈大,交流电变化越快,反之愈慢。

频率的单位是赫兹,简称赫,用符号 Hz 表示。较高的频率用千赫(kHz)或兆赫(MHz)表示。

$$1 \text{ MHz} = 10^3 \text{ kHz} = 10^6 \text{ Hz}, 1 \text{ GHz} = 10^3 \text{ MHz}$$

频率表示每秒钟正弦量交变的次数,周期则表示正弦量每变化一周所需的时间,所以

$$f = \frac{1}{T} \text{ 或 } T = \frac{1}{f} \quad (1-7)$$

我国工业电的频率为 50 Hz,其周期为 0.02 s。航空工业用交流电的频率为 400 Hz,电子技术中应用的音频是 20 Hz~20 kHz,无线电工程里所用的频率更高,一般达 500 kHz~ 3×10^5 MHz。

电角频率: 正弦交流电变化一个周期,相当于正弦函数变化 2π 弧度,为避免与机械角度相混淆,把它称做电角度。