

中等专业学校
电子信息类 规划教材

DIANZIKEJIDAXUECHUBANSHE

XILIEJIAOCAI

中专电子技术

无线电技术基础 —— 信号与线性电路

王祥生 余任之 张中洲 编



电子科技大学出版社

UESTC PUBLISHING HOUSE

中等专业学校
电子信息类

规划教材

无线电技术基础

——信号与线性电路

王祥生 余任之 张中洲 编

电子科技大学出版社

声 明

本书无四川省版权防盗标识，不得销售；版权所有，违者必究，举报有奖，举报电话：
(028) 6636481 6241146 3201496

无线电技术基础

——信号与线性电路

王祥生 余任之 张中洲 编

出 版：电子科技大学出版社（成都建设北路二段四号 邮编：610054）

责任编辑：张 琴

发 行：新华书店

印 刷：西南财经大学印刷厂

开 本：787×1092 1/16 印张 16.5 字数 399 千字

版 次：1998年8月第一版

印 次：1998年8月第一次

书 号：ISBN7-81043-866-2/TN·27

印 数：1—4000册

定 价：18.00元

内 容 简 介

本书按全国中专电子技术专业教学指导委员会“九五”规划教材的要求而编写。

本书主要内容为无线电技术基本知识，谐振电路的选频特性及应用，双口网络传输特性及应用，信号分析及信号通过线性电路的分析方法简介。

本教材力求适应中等专业学校的教学特点，在内容上适当降低理论深度，拓展广度并注重其应用性。在结构上每节后有思考题，每章后有小结和习题。同时在教材的体系上按模块结构从而为使用者尽量提供多种选择的余地。

本书可作为中等专业学校电子技术类专业教材，也可供其他电类中等职业技术教育使用，还可供有关工程技术人员学习参考。

出版说明

为做好全国电子信息类专业“九五”教材的规划和出版工作，根据国家教委《关于“九五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》和《普通高等教育“九五”国家级重点教材立项、管理办法》，我们组织各有关高等学校、中等专业学校、出版社，各专业教学指导委员会，在总结前四轮规划教材编审、出版工作的基础上，根据当代电子信息科学技术的发展和面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的要求，编制了《1996—2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》。

本轮规划教材是由个人申报，经各学校、出版社推荐，由各专业教学指导委员会评选，并由我部教材办协商各专指委、出版社后，审核确定的。本轮规划教材的编制，注意了将教学改革力度较大、有创新精神、特色风格的教材和质量较高、教学适用性较好、需要修订的教材以及教学急需，尚无正式教材的选题优先列入规划。在重点规划本科、专科和中专教材的同时，选择了一批对学科发展具有重要意义，反映学科前沿的选修课、研究生课教材列入规划，以适应高层次专门人才培养的需要。

限于我们的水平和经验，这批教材的编审、出版工作还可能存在不少缺点和不足，希望使用教材的学校、教师、同学和广大读者积极提出批评和建议，以不断提高教材的编写、出版质量，共同为电子信息类专业教材建设服务。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系按电子工业部《1996—2000年全国电子信息类专业教材编审出版规划》，由全国中专电子技术专业教学指导委员会征稿并推荐出版。

本教材由珠海市工业学校王祥生担任主编，广东省电子技术学校梁永汉担任主审，责任编辑易兴俊。

本课程的参考学时数为70学时，另安排20学时打“*”内容供选学。全书内容可以分两大模块：模块Ⅰ为第一章到第三章，约给58学时+8(*)学时，为本课程的主体部分，主要内容为介绍无线电技术的一些基本知识，建立信号频谱和线性电路频响的概念，在此基础上展开对各类线性电路传输特性及其应用的分析；模块Ⅱ为本教材对线性电路及信号的进一步分析，其中第四章又为模块Ⅱ的主体，主要内容是把所分析的信号由周期性扩伸到非周期性，由调幅扩展调频和调相，由模拟扩伸到数字。第五章主要是粗线条地以简介的形式把非正弦周期性信号通过线性电路的频域分析法扩伸到一般的非周期信号通过线性电路的频域分析法、复频域分析法和时域分析法，以拓宽知识面。上述两个模块有主有次，各成体系又相互衔接，可择其一或兼而顾之，以供不同情况下灵活选用。

使用本教材时，学生应具有中专数学及中专电工的基础知识。少量中专数学大纲外的内容，如双曲函数、积分变换的知识可按插在本课教学过程中按需要补充。

本教材共分五章，由王祥生编写第一章，第二章，第三章中第七节、第八节，第四章中第一节、第四节、第五节，第五章中第四节、第五节；由张中洲编写第三章中第一节至第六节和第九节；由余任之编写第四章中第二节、第三节、第六节，第五章中第一节、第二节、第三节，最后由王祥生统编全稿。参加审阅工作的还有郑广森、熊耀辉、郑应光、刘连青四位高级讲师，他们都为本书提出许多宝贵意见，这里表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷望希望广大读者批评指正。

编 者

1997年8月于珠海

目 录

第一章 绪 论	(1)
§ 1-1 无线电技术的发展和应⤵用	(1)
思考题	(3)
§ 1-2 信号分析初步	(4)
一、信号的概念	(4)
二、信号的类型	(4)
三、周期性非正弦信号的频谱	(5)
四、频谱特性的表达方法	(7)
思考题	(10)
§ 1-3 无线电通信的基本原理	(10)
一、调幅信号的频谱分析	(11)
二、无线电波的波段划分	(13)
三、无线电通信设备的基本组成	(14)
思考题	(15)
§ 1-4 线性电路的传输函数和信号通过线性电路不失真的条件	(16)
一、线性电路的传输函数 $H(j\omega)$	(16)
二、信号通过线性电路不失真的条件	(18)
思考题	(20)
§ 1-5 本课程的特点和内容简介	(20)
§ 1-6 本章小结	(21)
习题	(22)
第二章 谐振电路的选频特性及应⤵用	(25)
§ 2-1 引 言	(25)
思考题	(27)
§ 2-2 串联谐振电路	(27)
一、电路及参数	(27)
二、阻抗曲线	(28)
三、串联谐振及其特点	(29)
四、串联谐振电路的频率特性曲线	(31)
五、串联谐振电路的选频特性指标	(35)
六、串联谐振电路参数的深入讨论	(39)
思考题	(42)
§ 2-3 并联谐振电路	(43)

一、电路及参数	(43)
二、阻抗曲线	(44)
三、并联谐振及其特点	(45)
四、并联谐振电路的频率特性曲线和选频特性指标	(48)
五、并联谐振电路参数的深入讨论	(49)
六、部分接入的并联谐振电路分析	(53)
七、复杂并联谐振电路选频特性的进一步分析	(61)
思考题	(63)
§ 2-4 双调谐耦合谐振电路	(64)
一、电路及参数	(64)
二、等效电路及谐振类型	(68)
三、频率特性曲线及选频特性指标	(76)
四、其他情况下的耦合电路特性简述	(83)
思考题	(85)
§ 2-5 本章小结	(86)
§ 2-6 附录* —— 谐振电路的应用举例	(89)
一、串联谐振电路的应用实例	(89)
二、并联谐振电路的应用实例	(91)
三、双调谐耦合谐振电路的应用实例	(94)
习题	(96)
第三章 双口网络的传输特性及应用	(99)
§ 3-1 概述	(99)
思考题	(100)
§ 3-2 双口网络的基本参数和基本方程	(100)
一、阻抗方程和 Z 参数	(102)
二、传输方程和 A 参数	(105)
三、其他参数	(108)
思考题	(108)
§ 3-3 双口网络的网络函数	(108)
一、输入阻抗和输出阻抗	(110)
二、电压传输函数	(111)
思考题	(114)
§ 3-4 双口网络的实验参数和镜像参数	(114)
一、双口网络的实验参数	(114)
二、双口网络的镜像参数	(116)
三、匹配级联网络	(124)
思考题	(126)
§ 3-5 阻抗匹配网络	(126)

一、电抗相移器	(127)
二、衰减器	(128)
思考题	(133)
§ 3-6 镜像参数滤波器	(133)
一、 Γ 型网络的导通条件	(134)
二、K 式滤波器	(135)
三、m 式滤波器	(141)
思考题	(145)
§ 3-7 传输线	(145)
一、分布参数	(145)
二、传输方程式	(146)
三、 $Z_L = \rho$ 时传输线工作分析	(150)
四、 $Z_L = 0$ 和 $Z_L = \infty$ 时传输线工作分析	(153)
五、终端接任意电阻负载的传输线工作状态简述	(160)
六、传输线的应用	(162)
思考题	(167)
§ 3-8 本章小结	(167)
§ 3-9 附录*	(171)
一、单端口纯电抗网络的电抗曲线	(171)
二、其他类型的滤波器	(176)
习题	(185)
第四章 信号分析	(189)
§ 4-1 概述	(189)
思考题	(190)
§ 4-2 周期性信号	(190)
一、引言	(190)
二、非正弦周期信号的分解	(191)
三、非正弦周期信号的频谱	(192)
思考题	(196)
§ 4-3 非周期性信号	(197)
一、频谱函数	(197)
二、傅里叶变换	(197)
三、非周期信号的频谱	(199)
四、傅里叶变换的性质	(204)
思考题	(206)
§ 4-4 受调信号	(206)
一、三种受调信号的波形特点	(207)
二、三种受调信号的调制指数	(209)

三、三种受调信号的频谱特点	(210)
四、三种受调信号在应用中的比较简述	(213)
思考题	(214)
§ 4-5 本章小结	(214)
§ 4-6 附录*——数字信号及数字载波调制信号	(217)
一、取样定理	(217)
二、模拟信号的脉冲编码调制 (PCM)	(221)
三、数字载波调制信号	(221)
习题	(225)
第五章* 信号通过线性电路分析方法简介	(227)
§ 5-1 概述	(227)
思考题	(229)
§ 5-2 频域分析法	(229)
一、单一频率的正弦稳态响应	(229)
二、非正弦周期信号通过线性电路	(230)
三、非周期信号通过线性电路	(231)
四、无失真传输条件的进一步讨论	(234)
五、频域分析法的一些应用	(237)
思考题	(240)
§ 5-3 复频域分析法简介	(240)
一、从傅里叶变换到拉普拉斯变换	(240)
二、复频域分析法求零状态响应的步骤	(241)
三、单边拉普拉斯变换的求法和性质	(242)
四、阶跃响应和冲激响应	(246)
思考题	(247)
§ 5-4 时域分析法简介	(247)
一、时域分析——阶跃响应卷积法	(248)
二、时域分析——冲激响应卷积法	(249)
三、卷积积分的求法简介	(251)
思考题	(252)
§ 5-5 本章小结	(253)

绪 论

无线电技术基础是中等专业学校无线电技术专业的一门主要专业基础课,是本专业教学计划中首先大量接触到专业的一门课程。学习本课时,一开始就会涉及到许多有关专业的入门知识,这些入门知识是理解本课主体内容的极其重要的基础知识。这些基础知识对于从事本专业的人员似乎是很易明白的,可以一带而过的常识,但对刚接触到本课程的初学者却是不容易理解和掌握的,需要一个循序渐进的学习过程。本教材把绪论列为一章,占用了较长篇幅就是为达到上述目的,并在此基础上对本课程的特点和内容作一概括介绍。

§ 1-1 无线电技术的发展和应 用

什么是无线电技术呢?通常把无线电通信称之为无线电,无线电技术就是在无线电通信的发展过程中形成的一门工程技术。无线电通信又是怎样进行的?这要首先从有线电通信谈起。有线电通信的典型例子就是有线电电话,图 1-1-1 表示一个有线电电话系统示意图。

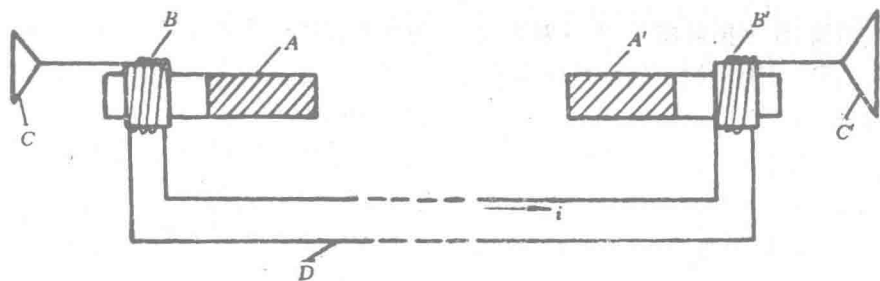


图 1-1-1 有线通信示意图

图 1-1-1 中, $A(A')$ 表示位置固定的永久磁铁, $B(B')$ 表示可以在永久磁铁上作纵向运动的线圈, $C(C')$ 表示与线圈连成一体的喇叭形纸盆。当对准纸盆 C 讲话时, 声波使纸盆 C 作纵向振动, 纸盆 C 又带动线圈 B 作切割永久磁铁 A 磁力线的纵向运动, 于是在线圈 B 中产生了感应电动势, 这个感应电动势在传输线 D 、 B 、 B' 形成的回路中产生感应电流 i 。显然, 电流 i 的变化反映了声波的变化规律, 也就是声信号变成了电信号, 我们把起到上述作用的 ABC 系统称为声电换能器。信号电流 i 通过传输线 D 流入线圈 B' 时, 作为处于永久磁铁 A' 磁场中的载流导体, 线圈 B' 必然要作纵向运行, 从而带动纸盆 C' 使之振动而发出声波。显然, $A'B'C'$ 系统是一个把电信号转变成声信号的换能器。实际上 ABC 系统和 $A'B'C'$ 系

统的作用是相互可逆的,对准纸盆 C' 讲话,同样也可以由纸盆 C 发出声音。如果传输线比较长,那么上述声信号→电信号→沿传输线传送→电信号→声信号的过程就完成了把声信号进行长距离传送的目的,由于必须利用传输线来传送,所以称为有线电电话。当然,实际上对信号的加工处理和有线电通信系统的组成要比示意图复杂得多,初期的设备也不是示意图中的形式。但是,示意图表示了有线电电话系统的最基本构成方式,即必须要有三部分组成:能把声信号转变为电信号的换能器,称之为话筒;能把电信号转变为声信号的换能器,称之为扬声器或喇叭;以及用来传送电信号的传输线。所谓“有线电”就体现在必须要有传输线上。

由于有线电电话离不开传输线,这对长距离通话带来不方便,人们开始寻找无需传输线的远距离通话方式,即无线电电话。图 1-1-2 表示一个无线电电话系统(实际上只能由发方讲话,收方来收听,称为无线电广播更适合一些)。

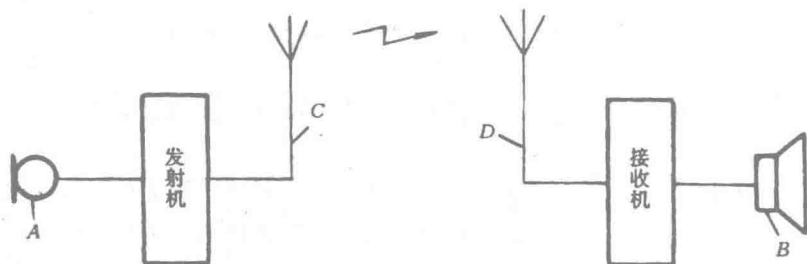


图 1-1-2 无线电通信(广播)示意图

A 为话筒, B 为扬声器, C 为发射天线, D 为接收天线。声音经话筒变为电信号,通常称之为原始信号,发射机把原始信号转换为大功率的高频受调电信号,发射天线的作用是把含有原始信号信息的高频受调电信号转变为可在空间传播的电磁波,以光速传播的电磁波(简称为电波)到达接收天线所在地后,接收天线的作用是把电波转变为高频受调电信号送给接收机,接收机对高频受调电信号加工处理,还原出原始电信号,再送给扬声器发出声音,实现了不用传输线而依靠电波在空间传播来进行的远距离通话,即无线电电话。

上述通信系统中,要传送的信号是声音(语言、音乐等),所以就具体地称为无线电电话或无线电广播。如果信号是固定的图像,就称为无线电传真;信号是活动的图像就称为无线电电视,简称为电视;信号是由点、划、空以一定组合而形成的电码时,就称为无线电电报。以上统称为无线电通信。当然,信号形式不同时,换能器的职能也就不同,但共同的一点就是都要转换成电信号来进行传送。

19 世纪初,人们开始研究有线电通信,1837 年莫尔斯发明了电码(称为莫尔斯电码),有线电报首先应用,1876 年贝尔发明有线电话。此后,科学家进行无线电通信的研究,在 1865 年麦克斯韦提出电磁波学说的理论和赫芝于 1887 年通过实验证实电磁波学说的基础上,1895 年马可尼和波波夫分别发明了利用电磁波在空间的传播代替传输线传送信号的无线电通信方式,无线电技术诞生了。

无线电技术是在无线电通信的发展过程中形成的一门工程技术。所以,今天的无线电技

术已不仅只限于应用在通信方面。当然,在其发展初期,从1895年发明无线电到本世纪30年代中期之间,无线电技术的应用主要在无线电通信方面。此后,这门应用性极强的工程技术触类旁通,其应用范围已远远超出通信职能的范畴。

例如,40年代初期出现了无线电定位技术,又称为雷达。它利用发射出的电波从被测体反射回来又被接收的方法,可以测出被测体的空间位置和特征。这里,雷达和被测体之间,是雷达发射和接收的电波传送了被测体空间位置的信息,雷达技术最早应用于军事,现已广泛用于民用的各个方面,它还带动了无线电天文学和无线电气象学的发展。

火箭、导弹、人造卫星和宇宙飞船的相继问世,使无线电技术应用到对远处机体进行控制、测量的无线电遥控、无线电遥测的技术领域。这方面的技术又应用到工业生产自动化、运输、医疗、钻探和科学研究的许多方面。建立在无线电通信设备的生产、调试和检验所需的基础上而发展起来的无线电测量技术(含仪器)已广泛应用到各个方面。

电子计算机是无线电电子学发展一大成就,它解决了庞大数据的计算困难和数学难题的近似求解,可以接收、发送、存储任何各类的数据信息,包括语言、图像、音乐、文件等,它既可以协助我们进行工程设计、资料查寻、事物管理、通信联络、数据处理等,又可以提供各式各样的视听娱乐及多媒体服务。

近代无线电技术已是一个包括许多应用分支、内容十分丰富的学科。它是在无线电通信基础上发展起来的,它的发展和拓宽反过来又推动了近代无线电通信技术的发展,比如电子计算机技术应用到通信设备中使通信设备性能大大提高,由此产生一门新技术——计算机通信。

无线电技术的发展是与电子器件的发展紧密结合的。1904年弗莱明发明电子管到1947年贝尔研究所发明晶体管的40多年时间内,电子器件主要是电子管,这是一种体积大、耗能多的电子器件。此后,晶体管这一耗能低、体积小的半导体器件不断发展,逐渐代替电子管,使得无线电设备不断向小型化、低功耗、高功能的方向发展。1958年出现电子器件密集化的集成电路,1967年出现大规模集成电路和1978年研制出的超大规模集成电路更促使了无线电技术的飞跃发展,此后,集成电路的密集规模的每一次提高都带来无线电设备的一次更新换代。因为无线电技术的发展过程同时也是不断研制新的电子器件的电子学发展过程,常常把无线电和电子学合起来称为无线电电子学,把无线电技术进而称为电子技术。

思考题

1. 有线电通信系统最低限度应有哪几部分组成?
2. 无线电通信的“无线”指什么? 无线电通信系统中天线上的电信号与有线电通信系统中传输线上的电信号有何不同? 无线电通信与有线电通信的区别有哪些?
3. 按信号形式的不同,无线电通信又分哪些类型?
4. 列举一下你所知道的无线电技术的应用范围。
5. 无线电技术的发展为什么说与电子器件的发展紧密相联? 电子器件的发展到目前为止经历了哪些阶段?

§ 1-2 信号分析初步

一、信号的概念

通常把代替一定意义的,以光、声、电等不同物理量形式表现的语音、文字、图像、数据、温度、湿度等统称为消息。为了用前述的有线或无线的形式传送这些消息,就必须把它们转换为电信号,以后简称为信号。因此,信号是运载消息的工具,它的基本形式是随时间变化的电流或电压。

二、信号的类型

信号的形式是多种多样的,按不同标准来划分,有不同的类型。按随时间的变化特点来分类,信号可分为连续信号和离散信号两大类。

连续信号是指在连续时间范围内所定义的信号,如图 1-2-1 所示。电话或广播的语言信号、电视的图像信号等都是连续信号。

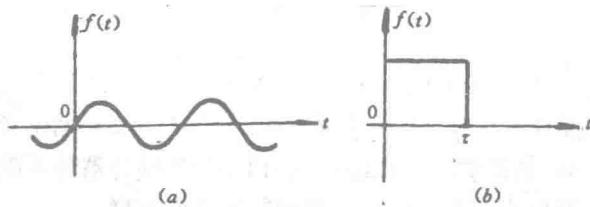


图 1-2-1 连续信号

离散信号是指在一些离散的瞬间才有定义的信号,如图 1-2-2 所示即为一种离散信号,信号仅在 $t=0,1,2,\dots$ 才有确定的幅值,而在其他时间,信号 $f(t)$ 没有定义。

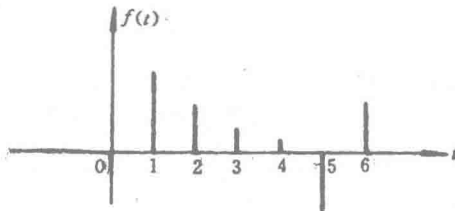


图 1-2-2 离散信号

按可知性来分类,信号又可分为确知信号和随机信号两大类。确知信号(也可叫规则信号)的电压或电流可以表示为一个确定的时间函数,当给定某一时间值时,函数有确定的数值。确知信号按函数值的重复性来分,又可分为周期性信号和非周期性信号。周期性信号按

函数变化特性的不同又可分为正弦信号和非正弦信号两大类。实际上,由于种种原因,在信号传输的过程中存在着某些不确定性或事先不可预知性。譬如,在通信系统中,受信者在收到所传送的消息之前,对信息源所发出的消息总是不可能完全知道的,否则通信就没有意义了。此外,携带消息的信号在传输的各个环节中不可避免地要受到各种干扰和噪声的影响,而这些干扰和噪声的特性总是不可能完全确知的。这类不确定性和事先不可预知性统称为随机性,所以严格说来,一般的信号都是随机信号或称不规则信号。研究随机信号要用统计的观点和方法。虽然如此,研究确知信号仍是十分重要的,这是因为它是一种理论上的科学抽象,同时也是研究随机信号问题的重要基础。

按无线电通信过程中对信号的处理过程又可把信号分为调制信号和受调信号两种。前述把各种消息经换能器输出的电信号称为原始信号,或称调制信号。受调信号则是一种比原始信号频率高得多的高频信号,这些高频信号的某个参数(频率,幅度或相位)随原始信号的变化规律而变化,所以能传送原始信号的信息,这种受调信号便于发射,又称射频信号。

三、周期性非正弦信号的频谱

前已述,研究确知信号是研究信号的基础,而非周期性信号又可以看成是周期性信号在周期 t 趋于无限大的一个特例。周期性正弦信号是在电工课中很熟悉的交流电信号。因此,对信号的分析了解自然就首先侧重于对周期性非正弦信号的分析了。

求一个复杂信号在电路中的传输情况常常是困难的。一个简单信号,比如正弦信号在电路中的传输就简单得多。把一个复杂信号分解为众多单一类型的简单信号之和,这项工作称为信号分析。当上述单一类型的简单信号是一些不同频率(幅度和初相可能也不同)的正弦信号时,这种对信号的分析就称为信号的频域分析。组成复杂信号的这些众多不同频率正弦信号的总和称为复杂信号的频谱,所以信号的频域分析即了解信号的频谱。由于正弦信号作用于电路的分析计算易于进行和为人们所熟悉,所以信号的频域分析就有很大实用意义,一般情况下,信号分析即指信号的频域分析。

周期性非正弦信号的频域分析可用高等数学中傅里叶级数的方法来解决。设周期性非正弦信号为 $f(t)$ (它可能是 $u(t)$ 或 $i(t)$), 其周期为 T , 相对应的频率为 F , 角频率为 Ω , 有 $\Omega = 2\pi F = 2\pi/T$ 。 $f(t)$ 的傅里叶级数展开式就是信号的频谱表达式。表 1-2-1 中列出几种常见周期性非正弦信号的频谱表达式。下面,以其中的方波为例,进一步理解其含义。

表 1-2-1 常用信号的频谱表达式

名称	波形	频谱表达式
方波		$f(t) = \frac{4}{\pi} (\sin\Omega t + \frac{1}{3} \sin 3\Omega t + \frac{1}{5} \sin 5\Omega t + \dots + \frac{1}{n} \sin n\Omega t + \dots)$ <p style="text-align: right;">$n=1, 3, 5, \dots$</p>

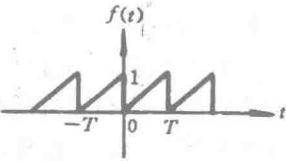
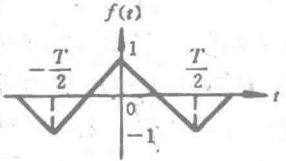
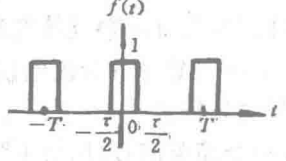
名称	波形	频谱表达式
锯齿波		$f(t) = \frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} (\sin\Omega t + \frac{1}{2}\sin 2\Omega t + \frac{1}{3}\sin 3\Omega t + \dots + \frac{1}{n}\sin n\Omega t + \dots)$ $n=1, 2, 3, 4, \dots$
三角波		$f(t) = \frac{8}{\pi^2} (\cos\Omega t + \frac{1}{9}\cos 3\Omega t + \frac{1}{25}\cos 5\Omega t + \dots + \frac{1}{n^2}\cos n\Omega t + \dots)$ $n=1, 3, 5, \dots$
矩形脉冲		$f(t) = \frac{\tau}{T} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(\frac{n\Omega t}{2})}{n} \cos n\Omega t$ $n=1, 2, 3, \dots$

表 1-2-1 中方波的周期为 T , 幅度为 1, 频谱表达式为:

$$f(t) = \frac{4}{\pi} (\sin\Omega t + \frac{1}{3}\sin 3\Omega t + \frac{1}{5}\sin 5\Omega t + \dots + \frac{1}{n}\sin n\Omega t + \dots)$$

$$\Omega = \frac{2\pi}{T} \quad n = 1, 3, 5, \dots$$

式中常数项为零, 即频谱中的直流成分为零, $n=1$ 的正弦成分为 $\frac{4}{\pi}\sin\Omega t$, 该正弦成分的频率与方波信号频率相等, 称之为基波分量。 $n=3$ 的正弦成分为 $\frac{4}{3\pi}\sin 3\Omega t$, 频率是基波分量的三倍, 称之为三次谐波分量。 $n=5$ 的正弦成分则为五次谐波分量……。 $n=2, 4, 6, \dots$ 的正弦分量不存在, 即该方波的频谱中只有奇次谐波而无偶次谐波。图 1-2-3 直观地表示了各次谐波组合成方波的情况, 图 1-2-3(a) 中细线为方波, 粗线为基波分量, 它们的周期是相同的, 但波形相差较大。图 1-2-3(b) 中, 粗线为基波和三次谐波的合成, 与方波相比, 接近了一些。图 1-2-3(c) 的粗线为基波、三次谐波和五次谐波的合成波形, 更接近方波了。按图 1-2-3(d) 的发展趋势下去, 考虑的谐波成分愈多, 次数愈高则波形的细节部分就愈接近于方波。如果把所有高次谐波都考虑进去, 那么其合成波形就完全是方波了。

从方波的例子, 可以得出波形与其谐波间关系的一般性结论:

- (1) 任何周期性非正弦信号, 都能用正弦信号合成, 合成的谐波项数愈多波形的准确度愈高。
- (2) 振幅较大的低次谐波组成非正弦信号的主体, 而振幅较小的高次谐波则影响周期性非正弦信号的细节部分。

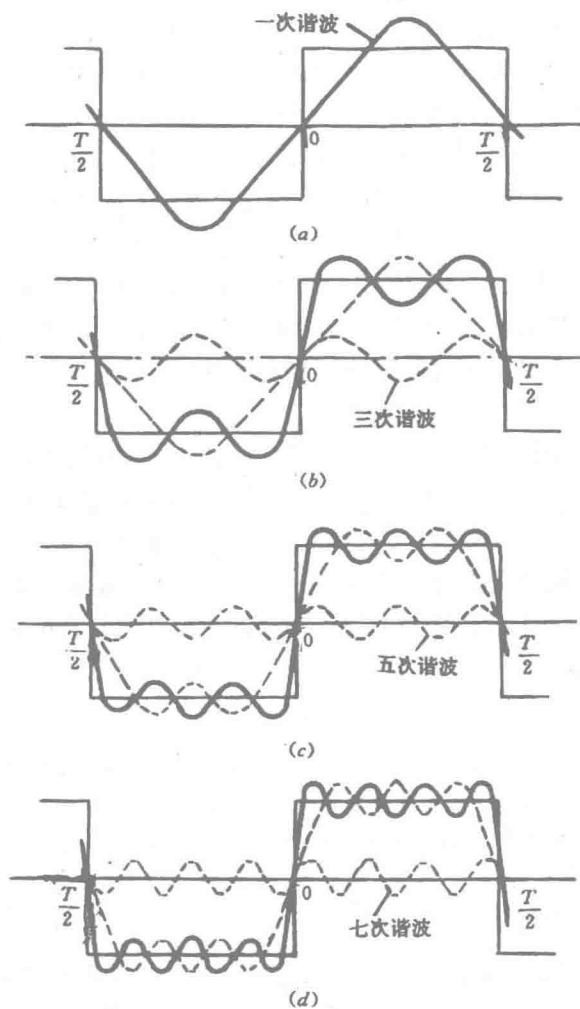


图 1-2-3 方波信号的合成过程

现在总结一下信号的频谱特性。由表 1-2-1 可知,不同波形的周期性非正弦信号的频谱特点是不同的,但是它们有一些共同的特性,就是频谱中的各谐波成分的角频率都相隔 Ω ,任何谐波的角频率都是 Ω 的整数倍,称此特点为谐波性。其二就是随着谐波次数的增加,即谐波频率的升高幅值呈下降趋势,此特点称为收敛性。谐波性、收敛性是所有周期性非正弦信号频谱的共同特点。

四、频谱特性的表达方法

周期性非正弦信号的频谱特性可以由傅里叶级数展开式来表征,更直观的表达方法就是用频谱图表示。频谱图分两种,一种是幅频图,一种是相频图,两个图合在一起才能表示完整的频谱特性。