



大学课程学习与考研
全程辅导系列丛书

考研 大串讲

通信原理

徐家恺 阮雅端 赵康健 编



科学出版社
www.sciencep.com

大学课程学习与考研全程辅导系列丛书
考 研 大 串 讲

通 信 原 理

徐家恺 阮雅端 赵康健 编

科 学 出 版 社

北 京

《大学课程学习与考研全程辅导系列丛书》编委会

编委(按姓氏笔画排列):

于 枫 (吉林大学)

于洪珍 (中国矿业大学)

孙立山 (哈尔滨工业大学)

陈乔夫 (华中科技大学)

胡华强 (科学出版社)

徐家恺 (南京大学)

唐竞新 (清华大学)

梅晓榕 (哈尔滨工业大学)

程 靳 (哈尔滨工业大学)

焦其祥 (北京邮电大学)

《大学课程学习与考研全程辅导系列丛书》出版说明

2006年教育部公布的最新数字显示:目前全国拥有普通高等学校1550余所;全国各级各类高等院校在校生总数超过2000万;高等教育已基本实现了由精英化向大众化的转变。

高等院校扩大招生,一方面极大地满足了我国社会主义建设对高素质人才的迫切需求,为当代青年的成才和发展提供了更高更好的平台;另一方面,其造成的最直接的矛盾就是招生与就业的矛盾。如何提高学习效果、培养科学的思维方法和解题能力、增强自身就业竞争力是广大学子面临的最为迫切的问题。为此,我们在北京地区的高校中进行了大量设计严密的,包括对教师、学生、课程、教材等各方面信息的调研,结果发现:名师的指点和加强自修练习成为解决上述问题最重要的选项。

基于上述原因,我们组织策划了本套丛书,同时面向全国重点高校遴选并约请长期在教学第一线的优秀教师,尤其是国家级教学名师和省级教学名师,来参与本套丛书的编写工作。一方面希望能使广大学子们受益于这些名师丰富的教学经验并掌握学习技巧,同时也给在教学第一线工作的青年教师们以示范和启发。

本套丛书将针对大学本科课程的学习与考研对学生进行全程辅导,考虑到学生在学习的不同阶段、不同层次的不同需要,本套丛书将分成如下两个系列:

第一层次:“名师大课堂”系列——辅助课程学习,应对各种考试。

第二层次:“考研大串讲”系列——针对考研复习,帮助考生备考。

本套丛书的编写主要具有以下特点:

【定位明确,针对性强】本丛书针对不同的读者定位对课程学习的全程进行了科学的安排,分为课程学习和考研辅导两个层次。课程学习的指导部分重在帮助学生掌握知识要点,增强分析问题及解决问题的能力;考研辅导部分重在帮助参加研究生入学考试的学生掌握课程考点,迅速提高应试能力。

【名师开讲,经验丰富】本丛书充分挖掘优秀的教师资源,从全国各重点高校中约请经验丰富的任课教师参加编写,从基本知识到重点、难点进行全程讲解,对学生容易出错的地方进行分析,指导效果显著。

【源于基础,构建网络】本丛书在深入挖掘学科知识点的基础上,梳理各部分知识间的内在联系,把零散、孤立的知识交汇,编制成具有系统性、条理性的网络结构,使学生能够在解决问题时迅速地检索、提取和应用。

【全程优化,科学设计】本丛书根据学生学习的特点和要求,设计了不同的单元和模块,从知识点的归纳到理解再到运用,层层加深学生理解的程度,最终使学生能够达到熟练掌握所学知识并能灵活应用的目的。

【循序渐进,逐级提升】本丛书遵循由浅入深、由易到难、由简到繁的原则,例题和习题都设置了科学、合理的梯度与坡度,能够兼顾不同层次和水平的学生,使之成为学生们十

分有用而必备的学习工具。

我们相信,本套丛书的出版一定能够为提高我国高等教育的教学质量做出应有的贡献。

科学出版社高等教育中心

2006年5月

前 言

通信原理课程是通信专业方向性的代表课程,也是电子信息类专业的必修课程。作为一门承上启下的课程,在此之前的先修课程的知识都会在本书中涉及,因此通信原理课程学习的好坏与基础知识的掌握密切相关;同时,它又是学习专业课程必需的基础。这样也就不难理解为什么招收通信方向的研究生,通信原理是必考内容。

通信原理课程的开设在我国已有多年的历史。随着技术不断发展,教材也在不断更新,但其核心内容和基本的结构体系一直延续至今。在其发展过程中既包括新技术知识的补充,也包括教学方法的改进及对本科生教学大纲的理解认识。从学习的角度来看,许多学生都有这样的体会,学习通信原理课程有积极性,搞懂其概念也不难,但要想学好学精却不容易。作为一本教学辅导书,目的是帮助学生学好这门课程,为进一步深造(如考研、工作)提供方便。

本书是科学出版社出版的《大学课程学习与考研全程辅导系列丛书》中的“考研大串讲”系列之一,主要目的是针对学生考研复习而编写,书中汇集了国内多所名校的考研真题。总的来看,考研内容更强调对概念深入和透彻的理解,对多个知识的综合运用及实际应用。其难度超过了本科教学的要求。如果在本科学习中,学生希望学得更深入一些,对本科学习的知识掌握得更好一些,本书也是一本很好的教学辅导书。

本书以科学出版社出版的《通信原理教程》的编排结构为基础,内容和习题涵盖了参考文献中所列教材。本书共分10章:第1章绪论,第2章信号分析与信息论基础,第3章信道和噪声,第4章模拟调制技术,第5章信源编码技术,第6章数字基带信号传输,第7章数字调制技术,第8章复用与多址技术,第9章差错控制编码,第10章最佳接收。可供使用不同教材的学生选用。本书各章的编写分工是:徐家恺负责第1、2、8、10章,阮雅端负责第3、7、9章,赵康隄负责第4、5、6章。

本书是在我们多年教学工作基础上,考虑到考研的特定要求而编写的。在此过程中,也得到了许多兄弟院校老师的帮助和支持,在此对他们一并表示诚挚的谢意。为了更好地为读者服务,热忱欢迎读者不吝指教。联系邮箱:xcom@nju.edu.cn。

编 者

2007年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 名师辅导	1
1.1.1 重要内容	1
1.1.2 考研点	2
1.2 考研真题详解	2
1.3 考研试题精选	3
第 2 章 信号分析与信息论基础	5
2.1 名师辅导	5
2.1.1 重要内容	5
2.1.2 考研点	14
2.2 考研真题详解	15
2.3 考研试题精选	21
第 3 章 信道和噪声	27
3.1 名师辅导	27
3.1.1 重要内容	27
3.1.2 考研点	32
3.2 考研真题详解	32
3.3 考研试题精选	34
第 4 章 模拟调制技术	36
4.1 名师辅导	36
4.1.1 重要内容	36
4.1.2 考研点	44
4.2 考研真题详解	44
4.3 考研试题精选	49
第 5 章 信源编码技术	51
5.1 名师辅导	51
5.1.1 重要内容	51
5.1.2 考研点	58
5.2 考研真题详解	59
5.3 考研试题精选	61
第 6 章 数字基带信号传输	64
6.1 名师辅导	64
6.1.1 重要内容	64
6.1.2 考研点	70

6.2	考研真题详解	71
6.3	考研试题精选	76
第7章	数字调制技术	78
7.1	名师辅导	78
7.1.1	重要内容	78
7.1.2	考研点	91
7.2	考研真题详解	91
7.3	考研试题精选	97
第8章	复用与多址技术	100
8.1	名师辅导	100
8.1.1	重要内容	100
8.1.2	考研点	103
8.2	考研真题详解	104
8.3	考研试题精选	108
第9章	差错控制编码	113
9.1	名师辅导	113
9.1.1	重要内容	113
9.1.2	考研点	120
9.2	考研真题详解	121
9.3	考研试题精选	125
第10章	最佳接收	127
10.1	名师辅导	127
10.1.1	重要内容	127
10.1.2	考研点	132
10.2	考研真题详解	132
10.3	考研试题精选	140
模拟试卷	.....	147
试卷1	.....	147
试卷2	.....	149
试卷3	.....	151
试卷4	.....	154
试卷5	.....	156
试卷6	.....	158
试卷7	.....	159
试卷8	.....	162
试卷9	.....	164
试卷10	.....	167
参考文献	.....	170
试题精选参考答案	.....	171
模拟试卷参考答案	.....	185

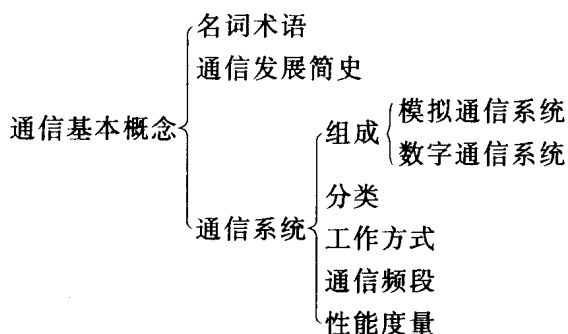
第 1 章 绪 论

1.1 名师辅导

1.1.1 重要内容

本章包含了通信学科的入门基础知识。虽然简单,但却很重要,在考研的试题中常常会有少量的概念型题目出自这一章。虽然分数比例不大,但丢失就可惜了。

1. 知识结构



2. 通信系统构成

- (1) 模拟通信系统结构框图及各部分功能简介。
- (2) 数字通信系统结构框图,各部分功能简介,与模拟系统差异。
- (3) 数字通信系统的特点。

3. 通信系统分类

- (1) 常用的分类方法和名称。
- (2) 各种通信方式的含义。

4. 通信系统性能度量

- (1) 名词术语:码元,码元宽度,传码率,传信率,误码率,频带利用率。

注意 码元宽度在本书中一般用 T_b 表示。它只取决于信号的持续时长,而与数字信号的波形无关。因此有关系式 $R_B = \frac{1}{T_b}$ 。

- (2) 基本性能度量指标:有效性与可靠性。

- ① 有效性。模拟系统——信号占用带宽;数字系统——频带利用率 η_B 、 η_b 。
- ② 可靠性。模拟系统——输出信噪比;数字系统——误码率。

在数字通信系统中,有效性和可靠性是一对互相矛盾的指标。其理论依据由香农公式揭示。实际系统的设计往往要根据实际需求在两指标上进行取舍。

1.1.2 考研点

主要是基本概念的理解、辨析、选择和基本公式的简单计算。重点要关注对通信系统性能度量方面的内容及其相关的概念,如传信率、传码率、频带利用率等内容。

本书内容安排参照的是科学出版社出版的《通信原理教程》(第二版)(徐家恺等 2007)一书的体系结构,第1章仅限于基本概念,其他内容则安排在后面各章中。

1.2 考研真题详解

1. 画出数字通信系统的一般模型,并简述其主要优缺点。

解 图略。

优点:

- (1)抗噪声性能好,可以克服噪声累积。
- (2)便于技术发展和新技术应用。
- (3)数字信号便于信号处理。
- (4)便于不同业务种类信号的综合。

数字通信系统看起来也有不足之处。例如,技术较为复杂,占用较宽的带宽。但随着大规模电路技术的发展,先进的信号处理技术的广泛应用,上述的缺点似乎已不成为问题。

2. B-ISDN 是指_____。

解 宽带综合业务数字网

3. 数字通信系统的主要性能指标是_____和_____。

码元速率 R_B 的定义是_____,单位是_____。

信息速率 R_b 的定义是_____,单位是_____。

解 误码率,频带利用率。每秒传送的码元个数, R_B 单位是波特(Baud),1Baud=1 码元/s。每秒传送的信息量的多少, R_b 单位为 bit/s

4. 某数字传输系统的传信率为 128kbit/s,若为二进制等概系统,其传码率为_____;若为十六进制系统,其传码率为_____。

解 128kBaud,32kBaud

5. 在数字通信系统中,信源编码用于提高系统可靠性,而信道编码用于提高系统的有效性。()

解 错

6. 试计算下列各种频率的无线电波在自由空间的波长。

- (1)300Hz(用 km 作单位);
- (2)27.255MHz(用 m 作单位);
- (3)4GHz(用 cm 作单位)。

解 无线电波传播速度 $v=3 \times 10^8$ m/s

$$(1) f_1 = 300\text{Hz}, \quad l_1 = v/f = 3 \times 10^8 / 300 = 10^5 \text{ (m)}$$

$$(2) f_2 = 27.255\text{MHz}, \quad l_2 = v/f = 3 \times 10^8 / (27.255 \times 10^6) \approx 11.007 \text{ (m)}$$

$$(3) f_3 = 4 \times 10^9 \text{ Hz}, \quad l_3 = v/f = 3 \times 10^8 / (4 \times 10^9) = 7.5 \text{ (cm)}$$

7. 若规定 88~108MHz 频段为 FM 广播电台专用, 每个电台需要占用 180kHz 有效频带, 试问最多同时能收听多少电台的节目?

$$\text{解} \quad N = (108 - 88) \times 10^6 / (180 \times 10^3) = [2 \times 10^2 / 18]_{\text{取整}} = 111$$

本题也是一频分复用概念的题目。

8. 100kHz 频率发送导航信号, 收发相距 80km, 试问收到的信号与发端信号相比较, 相位差多少?

解 导航信号

$$s(t) = A \cos(2\pi \times 10^5 t + \phi_0)$$

$$v = 30 \times 10^4 \text{ km/s}, \quad l = 80 \text{ km}$$

$$t_d = \frac{80}{(3 \times 10^5 \times 10^6)} = 26 \frac{2}{3} (\mu\text{s})$$

信号周期

$$T = 1/10^5 = 10 (\mu\text{s})$$

$$\Delta\phi = \left[\frac{26.67}{10} \right]_{\text{取小数}} \times 2\pi = \frac{4}{3}\pi$$

正弦波信号相位周期 2π , 取小数相当于模 2π 运算。

9. 若一个通信系统 2min 内传送了 1.2×10^8 个码元, 求它的传码率。若该段时间共有 3 个码元的错误, 试求该时间段的误码率。

$$\text{解} \quad R_B = 1.2 \times 10^8 / (2 \times 60) = 10^6 \text{ (Baud)}$$

$$P_e = 3 / (1.2 \times 10^8) = 2.5 \times 10^{-8}$$

1.3 考研试题精选

1. 试计算下列各种频率的无线电波在自由空间的波长。

(1) 20kHz (用 km 作单位);

(2) 1500kHz (用 m 作单位);

(3) 175.25MHz (用 m 作单位);

(4) 531.25MHz (用 cm 作单位)。

2. 若规定 535~1605kHz 频段为民用 AM 广播电台专用, 每个电台需占用 10kHz 有效频带, 试问最多能同时收听多少电台的节目?

3. 若规定 54~72MHz、76~88MHz、174~216MHz (VHF) 以及 470~806MHz (UHF) 频段为电视广播专用频段, 每个电台需占用 6MHz 有效频带, 试问在每个频段内最多能容纳多少个电视节目?

4. 已知二进制数字信号每个码元占有的时间为 1ms, 1、0 码等概率出现, 求传码率和

传信率。

5. 一个二进制数字通信系统,码元速率为 10^4 Baud,连续发送 1h 后,接收到的错码为 10 个,求误码率 P_e 。

6. 衡量一个通信系统的主要性能指标有哪两个? 它们的意义何在? 具体在模拟通信系统与数字通信系统中用什么参数表征? 试用香农公式描述二者的关系,并举例说明通信系统中的实际应用(两个以上)。

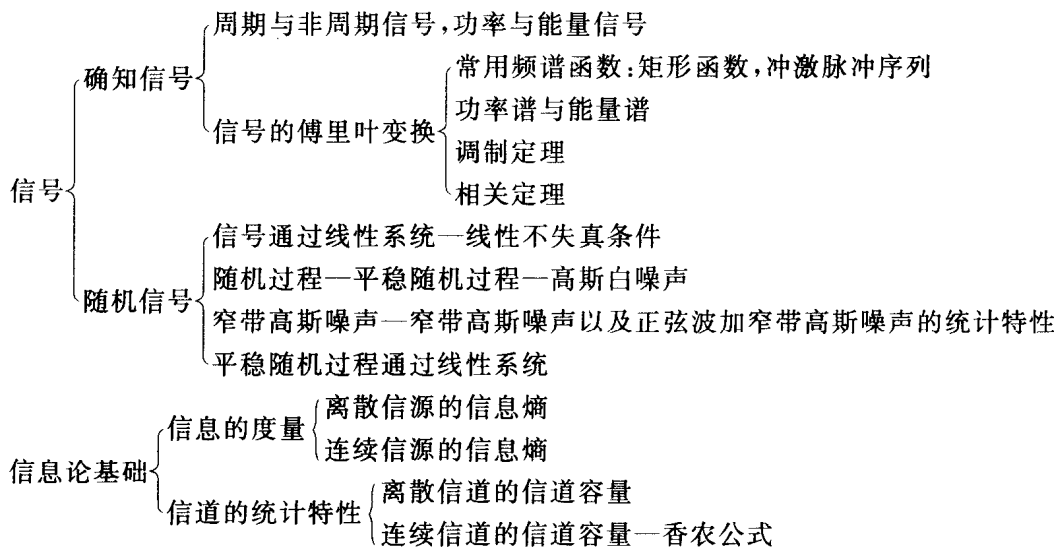
7. 通信系统的可靠性衡量指标对于模拟通信系统为 _____,对于数字通信系统为 _____。

第2章 信号分析与信息论基础

2.1 名师辅导

2.1.1 重要内容

1. 知识结构



2. 确知信号分析

这一部分内容一般在信号与系统等先修课程中已学过。一些通信原理教材将其中与通信原理课程联系密切的知识要点汇集在此,主要是为了承上启下,打好基础,以利于进一步的学习。考研的题目大多是综合性的,许多题目都会涉及本章的内容,并且比例往往还比较大。因此对本章内容的熟练掌握和运用就显得很重要。

通信理论中,贯彻始终的一条主线就是信号。通信就是通过对信号的处理变换并通过通信系统从而实现信息的传递。本课程中的相当部分内容都是以信号的数学分析为基础而介绍的通信技术原理、系统的性能和实现。

信号分为确知信号和随机信号。两类信号的分析方法是不同的。

对于确知信号部分要求熟练掌握和运用的主要概念有:傅里叶变换、幅频特性和相频特性、功率谱和能量谱、相关函数、相关定理(功率谱密度和自相关函数是一傅里叶变换对)、帕塞瓦尔定理、信号通过线性系统等。常用的还有矩形脉冲的频谱表达式、冲激函数序列及其傅里叶变换、调制定理、卷积运算等。有的教材更偏向理论上的深入,因此也会介绍解析信号方面的知识。

(1)傅里叶变换。

周期函数的傅里叶级数展开式

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{jn\omega_1 t} \quad (2-1)$$

其中

$$c_n = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) e^{-jn\omega_1 t} dt \quad (2-2)$$

非周期信号的傅里叶变换对

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad (2-3)$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (2-4)$$

矩形脉冲信号的波形及时间表达式(图 2-1)

$$f(t) = \begin{cases} A, & -\frac{\tau}{2} < t < \frac{\tau}{2} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

其频谱函数 $F(\omega)$ 如图 2-2 所示, $F(\omega)$ 的表达式为

$$F(\omega) = A\tau \frac{\sin \frac{\omega\tau}{2}}{\frac{\omega\tau}{2}} = A\tau \text{Sa}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) \quad (2-5)$$

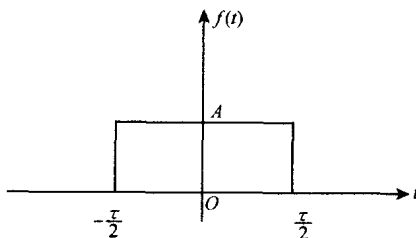


图 2-1 矩形脉冲 $f(t)$

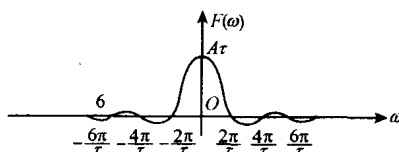


图 2-2 矩形函数的频谱函数

矩形脉冲信号是数字通信中常用的基带信号波形,不管是二进制还是多进制。矩形函数又称作门函数,用 $D_r(t)$ 表示。Sa(x) 称为取样函数。取样函数 $\text{Sa}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right)$ 是一收敛的正弦波,并且矩形波的频谱分布在整个频率轴上。实际的系统不可能具有无限的带宽,只能传送矩形信号的主要能量部分。例如,取该信号的第一个零点或若干个零点位置定义为该信号的有效带宽。若按第一个零点宽度定义,则该信号的带宽为 $\frac{1}{\tau}$ Hz,即脉冲宽度的倒数,在数值上也就等于系统的传码速率。矩形的面积 $A\tau$ 即 $F(0)$ 。

(2)信号与系统带宽定义。

带宽就是指所占用的频率宽度,是通信中经常接触到的概念。理论上讲,一个时间上有限长的信号,其频率分量是分布在整个频率轴上的,但实际的系统的带宽总是有限的。在满足信号传输的基本要求条件下,需要将信号带宽定义在一定的范围内。系统带宽的定义也有类似的情况。由于对信号或系统考虑的角度不同,常会采用不同的定义方式。

初学者有时会产生一些问题。在数字通信中常常会用方波脉冲信号频谱特性的第一个零点或它的若干倍定义成该信号的带宽。做习题时,如未加说明,通常选择第一个零点位置,像前面描述的那样。此外对于带宽的定义,常用的还有以下几种。

①根据带宽内的信号能量(或功率)占总能量(或总功率)的一定比例定义。例如,设这个比例为 0.9,信号总能量为 E ,总功率 P ,有关系式

$$\frac{\int_{-B}^{+B} E(2\pi f) df}{E} = 90\% \quad (2-6)$$

$$\frac{\int_{-B}^{+B} P(2\pi f) df}{P} = 90\% \quad (2-7)$$

其中, $E(2\pi f)$ 和 $P(2\pi f)$ 分别为信号的能量谱和功率谱表达式。

②等效矩形带宽(图 2-3)。定义

$$B = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} E(2\pi f) df}{2E(0)} \quad (2-8)$$

$$B = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} P(2\pi f) df}{2P(0)} \quad (2-9)$$

③三分贝带宽(图 2-4)。三分贝带宽也常用于定义系统的带宽

$$E(2\pi f) = \frac{E_0}{2} \quad (2-10)$$

$$P(2\pi f) = \frac{P_0}{2} \quad (2-11)$$

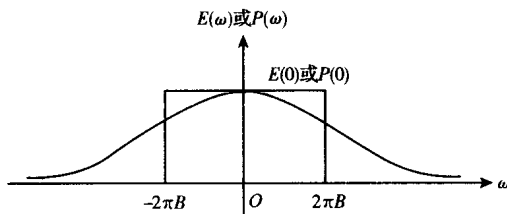


图 2-3 等效矩形带宽定义

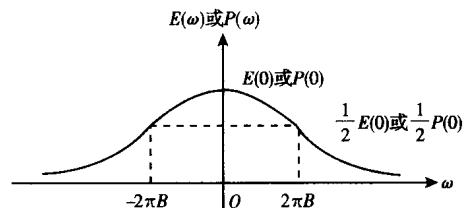


图 2-4 三分贝带宽定义

(3)冲激函数及冲激函数序列。

在数字通信过程中,经常会遇到模拟信号的时间离散化和取样判决过程,因此冲激函数也是课程里常遇到的数学工具。冲激函数是一奇异函数。单位冲激函数被定义为

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty, & t = 0 \\ 0, & t \neq 0 \end{cases} \quad (2-12)$$

并且

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1 \quad (2-13)$$

称为冲激强度,即 $\delta(t)$ 系数的大小。冲激函数有以下一些特性:

①取样性质(指定性质)

$$f(t)\delta(t-t_0) = f(t_0)\delta(t-t_0) \quad (2-14)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\delta(t-t_0)dt = f(t_0) \quad (2-15)$$

②搬移性质

$$f(t) * \delta(t-t_0) = f(t-t_0) \quad (2-16)$$

$$F(\omega) * \delta(\omega-\omega_0) = F(\omega-\omega_0) \quad (2-17)$$

③冲激函数的傅里叶变换

$$\delta(t) \leftrightarrow 1 \quad (2-18)$$

$$\delta(\omega) \leftrightarrow \frac{1}{2\pi} \quad (2-19)$$

$$e^{j\omega_0 t} \leftrightarrow 2\pi\delta(\omega-\omega_0) \quad (2-20)$$

定义单位周期函数序列

$$\delta_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t-nT) \quad (2-21)$$

它的傅里叶变换为

$$\delta_T(t) \leftrightarrow \delta_{\omega_0}(\omega) = \omega_0 \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega-n\omega_0) \quad (2-22)$$

其中, $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$ 。

(4)调制定理。

通信系统中的调制通常采用正弦波作为载波信号,称为连续波载波调制。载波信号的数学表达式常用 $\cos\omega_c t$ 表示。调制定理是指任何时域信号与 $\cos\omega_c t$ 相乘时的傅里叶变换,即

$$f(t)\cos\omega_c t \leftrightarrow \frac{1}{2}[F(\omega-\omega_c) + F(\omega+\omega_c)] \quad (2-23)$$

也就是说,任何函数经过连续波载波调制后(调制器实质是个乘法器),则该信号的频谱将被搬移到 $\pm\omega_c$ 位置上,而幅度降为原来的 $1/2$ 。

(5)相关函数。

自相关函数

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)f(t+\tau)dt \quad (2-24)$$

互相关函数

$$R_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_1(t)f_2(t+\tau)dt \quad (2-25)$$

相关函数的性质:

- ①偶函数,即 $R_{12}(\tau) = R_{21}(-\tau)$, $R(\tau) = R(-\tau)$;
- ② $R(0) \geq |R(\tau)|$;
- ③ $R(0)$ 代表信号的能量或功率;
- ④周期信号的自相关函数也是周期信号,且两周期相同。

(6)能量谱与功率谱。

能量谱密度

$$E_f(\omega) = |F(\omega)|^2 \quad (\text{J/Hz}) \quad (2-26)$$

总能量

$$E_f = \int_{-\infty}^{+\infty} |F(2\pi f)|^2 df = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)^2 dt \quad (\text{J}) \quad (2-27)$$

功率谱密度

$$P_f(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{|F(\omega)|^2}{T} \quad (\text{W/Hz}) \quad (2-28)$$

总功率

$$P_f = \int_{-\infty}^{+\infty} P_f(2\pi f) df \quad (\text{W}) \quad (2-29)$$

功率信号是无限能量信号,对于随机过程来说,也不可能有相应的傅里叶变换表达式。注意功率信号的 $|F(2\pi f)|^2$ 并不等于信号的功率谱。

可以看出,上述信号的功率谱密度是定义在截断信号基础上的。对于周期信号,可取其一个周期求出功率谱密度;而对于任意信号,该定义式仅具有概念上的意义,此时可利用相关定理求解(随机过程理论中称作维纳-辛钦定理),即

$$R(\tau) \leftrightarrow P_f(\omega)$$

(7)数字已调信号的等效基带表示。

在数字通信系统中,调制和解调都包含了频率的转换。为了数学分析上的方便,最好是把所有的带通信号和带通信道都简化为等效的低通信号或低通信道,用信号的复包络来代替。这样就使各种调制和解调性能都与载波频率和信道频段无关。这种方法被称作键控信号的等效基带法。

一个实信号,其所含的频率成分集中于 f_0 附近的一个窄频带内时可表示为

$$s(t) = A(t)\cos(2\pi f_0 t + \varphi(t)) \quad (2-30)$$

其中, $A(t)$ 表示 $s(t)$ 的振幅(包络); $\varphi(t)$ 表示 $s(t)$ 的相位; f_0 为 $s(t)$ 的载波频率。当 $s(t)$ 占用频带远比 f_0 小时,称此信号为窄带带通信号,或简称为带通信号。

将式(2-30)中的余弦函数展开得到 $s(t)$ 的第二种表达式,令

$$s(t) = A(t)\cos\varphi(t)\cos\omega_0 t - A(t)\sin\varphi(t)\sin\omega_0 t \quad (2-31)$$

$$x(t) = A(t)\cos\varphi(t) \quad (2-32)$$

则

$$y(t) = A(t)\sin\varphi(t) \quad (2-33)$$

$$s(t) = x(t)\cos\omega_0 t - y(t)\sin\omega_0 t \quad (2-34)$$

同相分量与正交分量 $x(t)$ 、 $y(t)$ 包含的频率成分集中于低频,均为实基带信号。这里引入复函数 $u(t)$,也称作复包络,它的表达式为

$$u(t) = A(t)e^{j\varphi(t)} = x(t) + jy(t) \quad (2-35)$$

则可得到

$$s(t) = \text{Re}[u(t)e^{j\omega_0 t}] \quad (2-36)$$

因此,一个实带通信号可用式(2-31)、式(2-32)和式(2-36)三种等效形式中任一种来描述。用指数形式式(2-35)表示时,其中 $A(t)$ 为模, $\varphi(t)$ 为幅角。式(2-36)中的 $e^{j\omega_0 t}$ 称作复载波。

①多相相位键控(MPSK)。其复包络可以表示为

$$u(t) = A(t)e^{j\varphi(t)}$$