

第2章 信道与噪声

- 2.1 信道的定义与分类 2.2 信道的组成与模型
- 2.3 恒参信道及其对所传信号的影响
- 2.4 变参信道及其对所传信号的影响
- 2.5 信道带宽、系统带宽与信号带宽 2.6 随机过程的基本概念
- 2.7 信道常见噪声及特征 2.8 信道容量的概念(香农公式)

2.1 信道的定义与分类

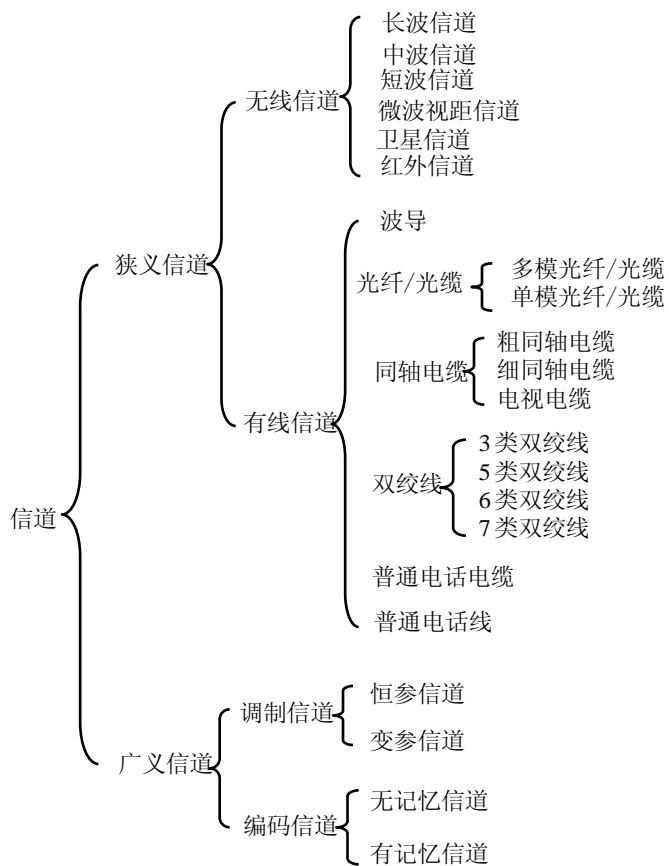
1. 信道的定义

信道是指定的一段频带，它既让信号通过，同时又会给信号施以限制和损害。信道的根本作用是传输信号。

2. 信道的分类

图2.1 信道的分类

图2.1 信道的分类



2.2 信道的组成与模型

2.2.1 调制信道的组成

2.2.2 编码信道的组成

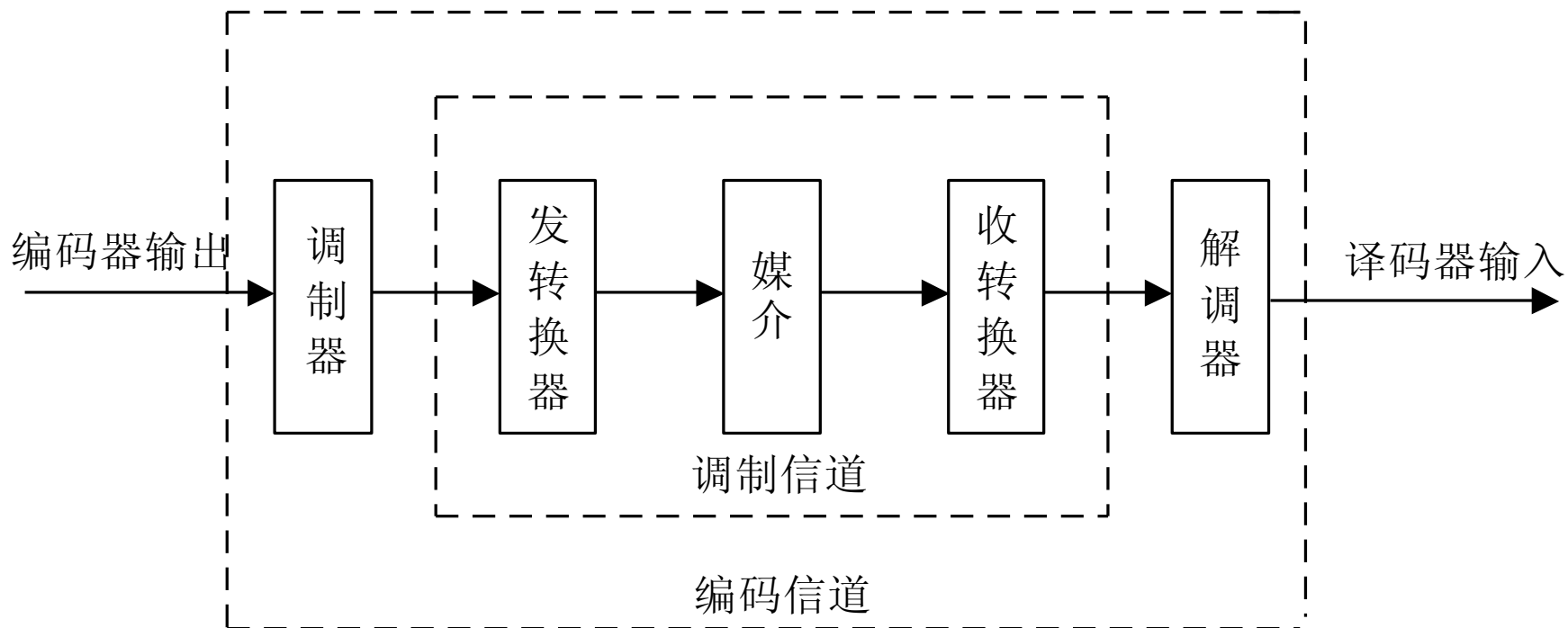
2.2.3 调制信道的数学模型

2.2.4 编码信道的数学模型

2.2.1 调制信道的组成

调制信道是从研究调制和解调的基本问题出发而提出的，它的范围是从调制器输出端到解调器的所有转换器及传输媒介；不管其中间过程如何，它们不过是把已调信号进行某种转换而已，我们只需关心转换的最终结果，而无需关心形成这个最终结果的详细过程。因此，研究调制与解调问题时，定义一个调制信道是方便和恰当的。如图2.2所示。

图2.2 调制信道与编码信道



2.2.2 编码信道的组成

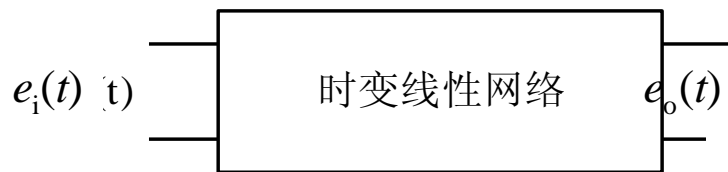
在数字通信系统中，如果仅着眼于编码和译码问题，则可定义到另一种广义信道——编码信道。这是因为，从编码和译码的角度看，编码器的输出仍是某一数字序列，而译码器输入同样也是一数字序列，它们在一般情况下是相同的数字序列。因此，从编码器输出端到译码器输入端的所有转换器及传输媒介可用一个完成数字序列转换的方框加以概括，此方框称为编码信道。

2.2.3 调制信道的数学模型

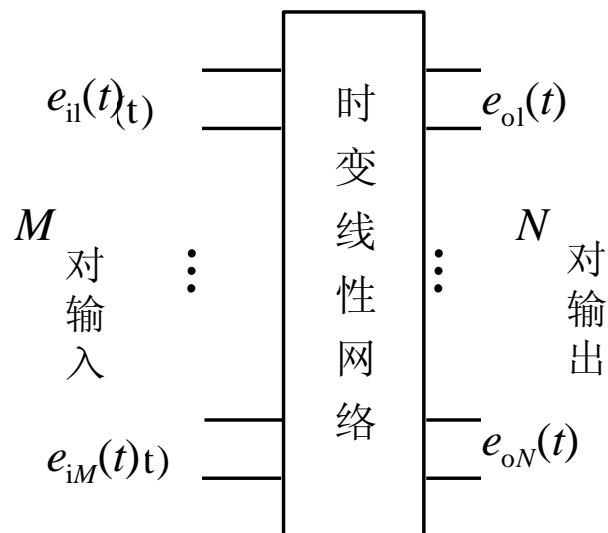
- (1) 有一对(或多对)输入端，则必然有一对(或多对)输出端；
- (2) 绝大部分信道是线性的，即满足叠加原理；
- (3) 信号通过信道需要一定的迟延时间；
- (4) 信道对信号有损耗(固定损耗或时变损耗)；
- (5) 即使没有信号输入，在信道输出端仍可能有一定的功率输出(噪声)。

可用一个二对端(或多对端)的时变线形网络去替代调制信道。这个网络就称作调制信道模型，如图2.3所示。

图2.3 调制信道模型



(a) 二对端模型



(b) 多对端模型

2.2.4 编码信道的数学模型

编码信道是包括调制信道和调制器、解调器在内的信道。

由于编码信道包含调制信道，因而它同样要受到调制信道的影晌。但是，从编/译码的角度看，以上这个影响已被反映在解调器的最终结果里——使解调器输出数字序列以某种概率发生差错。显然，如果调制信道特性越差，即特性越不理想、加性噪声越严重，则发生错误的概率将会越大。由此看来，编码信道的模型可用数字信号的转移概率来描述。

2.3 恒参信道及其对所传信号的影响

2.3.1 幅度—频率特性及畸变

2.3.2 相位—频率特性及畸变

2.3.3 减小畸变的措施

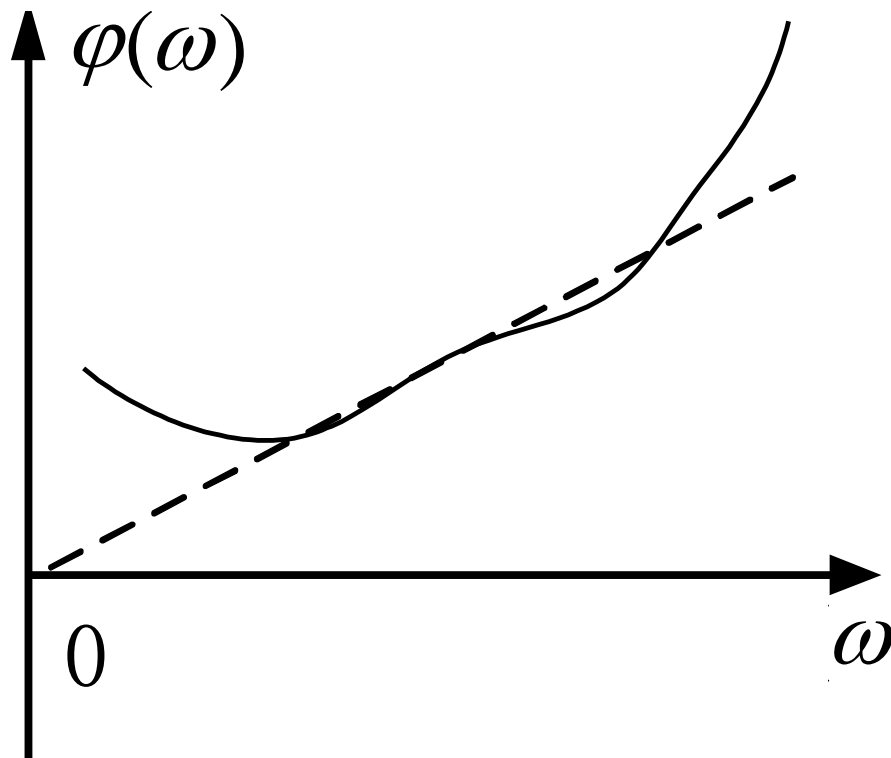
2.3.1 幅度—频率特性及畸变

“幅度—频率”畸变是信道的“幅度—频率”特性不理想所引起的。这种畸变又称为频率失真。在通常的电话信道中可能存在各种滤波器，尤其是带通滤波器，还可能存在着混合线圈、串联电容器和分路电感等，因此电话信道的“幅度—频率”特性总是不理想。

2.3.2 相位—频率特性及畸变

所谓“相位—频率”畸变，是指信道的“相位—频率”特性偏离线性关系所引起的畸变。电话信道的“相位—频率”畸变主要来源于信道中的各种滤波器及感性线圈，尤其在信道频带的边缘，相频畸变就更严重。如图2.6中的实线所示。

图2.6 典型音频电话信道的“相位—频率”特性



2.3.3 减小畸变的措施

为了减小“幅度—频率”畸变，可采取如下3种措施：①严格限制已调制信号的频谱，使它保持在信道的线性范围内传输。②在设计总的电话信道传输特性时，改善电话信道中的滤波性能，一般都要求把“幅度—频率”畸变控制在一个允许的范围内。③通过增加一个线性补偿网络，使衰减特性曲线变得平坦，这一措施通常称为“均衡”。

2.4 变参信道及其对所传信号的影响

2.4.1 变参信道传输媒质的特点

2.4.2 产生多径效应的分析

2.4.3 变参信道特性的改善

2.4.1 变参信道传输媒质的特点

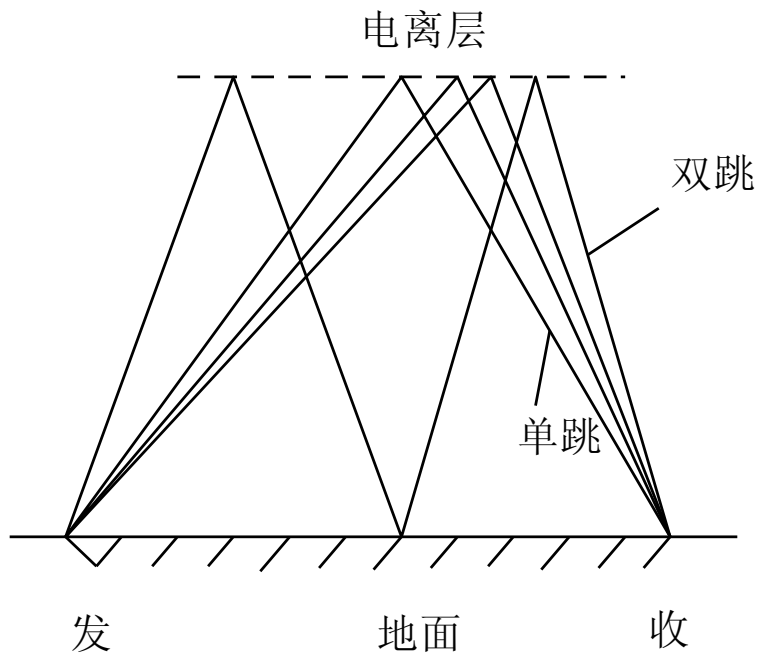
- (1) 对信号的衰耗随时间的变化而变化；
- (2) 传输时延随时间也变化；
- (3) 具有多径传输(多径效应)。

2.4.2 产生多径效应的分析

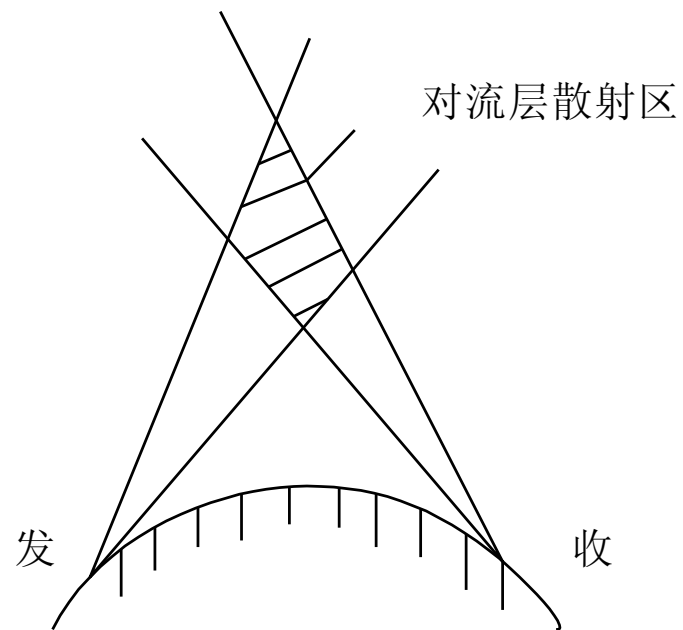
属于变参的传输媒质主要以电离层反射和散射、对流层散射等为代表，信号在这些媒质中的传输示意如图2.8所示。

它们的共同特点是：由发射点出发的电波可能经多条路径到达接收点，这种现象称为多径传播。就每条路经而言，它的衰耗和时延都不是固定不变的，而是随电离层或对流层的机理变化而变化的。

图2.8 多径传播示意图



(a) 电离层多径传播



(b) 对流层多径传播

2.4.3 变参信道特性的改善

1. 空间分集
2. 频率分集
3. 角度分集
4. 极化分集

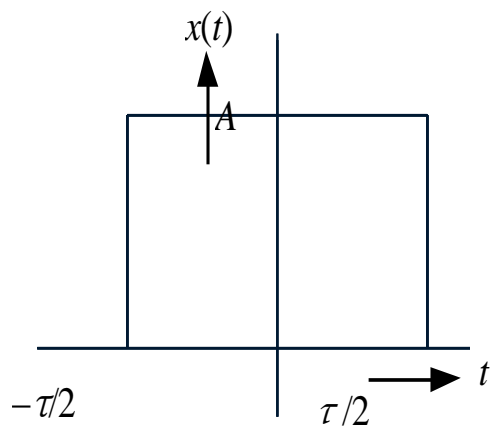
2.5 信道带宽、系统带宽与信号带宽

- ①信号带宽，这是由信号能量谱密度或功率谱密度在频域的分布规律确定的。
- ②系统带宽，这是由电路系统的传输特性决定的。
- ③信道带宽，这是由信道的传输特性决定的。

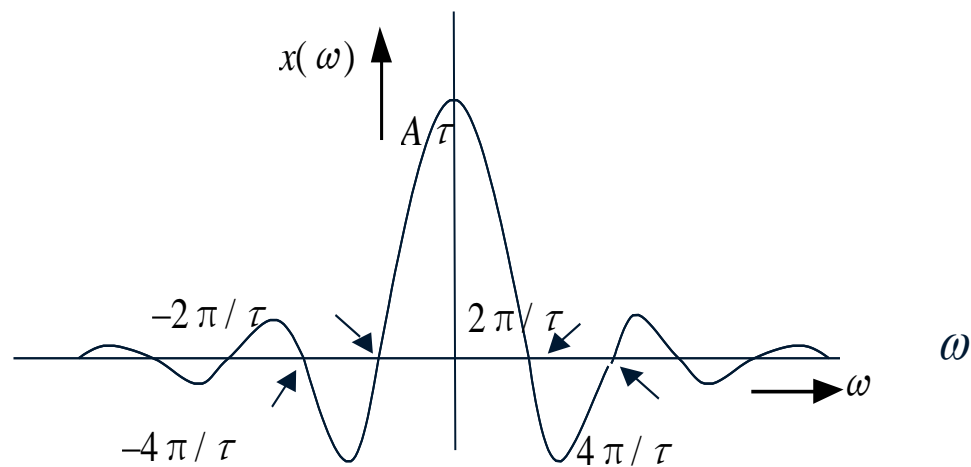
图2.9 矩形脉冲及频谱

1. 百分比带宽
2. 3dB带宽
3. 等效带宽
4. 脉冲主瓣带宽

图2.9 矩形脉冲及频谱



(a) 矩形脉冲



(b) 频谱

2.6 随机过程的基本概念

2.6.1 随机过程的定义

2.6.2 随机过程的统计特性

2.6.3 高斯平稳随机过程

2.6.1 随机过程的定义

我们把这种由于某一种随机性的物理因素所引出的变化过程称之为随机过程。而输出的信号叫随机信号。对接收端来讲，语音信号就是典型的随机信号，它和噪声一样，都无法用一个或几个确定的时间函数或时间曲线精确地描述。也就是说，这种实际通信都是随机信号的传输。

2.6.2 随机过程的统计特性

1. 概率分布函数
2. 概率密度函数 $f(x, t)$
3. 数学期望
4. 方差

2.6.3 高斯平稳随机过程

当一随机过程是平稳的，其概率密度函数服从高斯分布时，就称该随机过程为高斯平稳随机过程。

高斯平稳随机过程的重要性质如下：

- (1) 高斯过程的数学期望和方差与时间无关。
- (2) 高斯过程的分布完全由数学期望和方差所决定。
- (3) 高斯过程在不同时刻的取值是不相关的，它们在统计意义上是独立的。
- (4) 如果一个线性系统的输入随机过程是高斯的，那么线性系统的输出过程仍然是高斯的。

2.7 信道常见噪声及特征

2.7.1 信道内的噪声分类

2.7.2 常见噪声的特征

2.7.1 信道内的噪声分类

根据噪声的来源不同，大致有3类：

(1) 天电噪声：(2) 工业噪声：(3) 电路噪声：

从噪声的不同特性来区分，大致分为下面几种：

(1) 脉冲型噪声：(2) 连续型噪声：(3) 高斯噪声：(4) 白噪声：(5) 平稳噪声：(6) 加性噪声：(7) 乘性噪声：

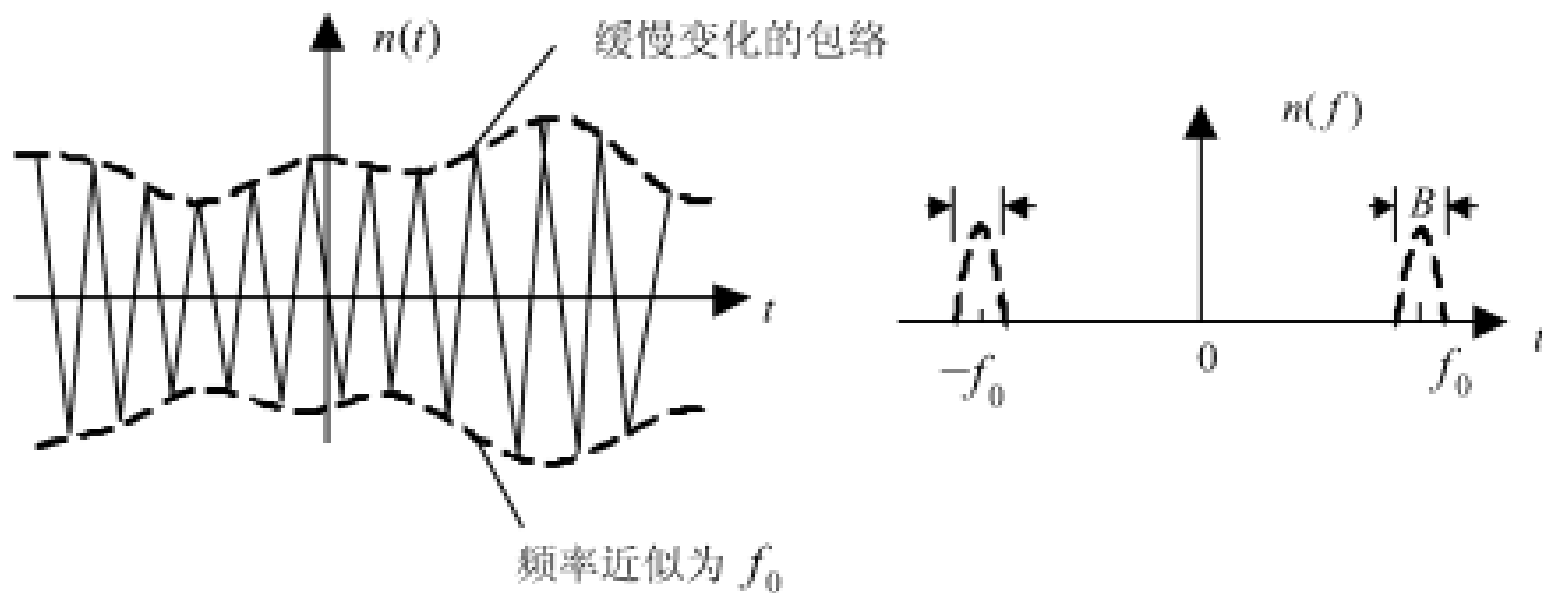
2.7.2 常见噪声的特征

1. 平稳高斯白噪声
2. 窄带平稳高斯白噪声

图2.16 窄带噪声的时间波形和频谱

3. 正弦波加窄带平稳高斯白噪声

图2.16 窄带噪声的时间波形和频谱



(a) 波形

(b) 频谱

2.8 信道容量的概念(香农公式)

- (1) 提高 S/N 或 B , 则信道容量增加。
- (2) $n_0 \rightarrow 0$, 则 $C \rightarrow \infty$, 这意味着无干扰信道容量为无穷大。
- (3) 给定 B 、 S/N 条件下, 信道的极限传输能力为 C , 且此时能做到无差错传输。
- (4) C 可以通过 B 及 S/N 的互换而保持不变。
- (5) 可推导香农极限信息速率。