

第9章 数字频带传输系统

9.1 概 述

9.2 二进制幅移键控(2ASK)

9.3 二进制频移键控(2FSK)

9.4 二进制相移键控(2PSK和2DPSK)

9.5 多进制数字调制系统

9.6 数字频带传输系统比较

9.1 概 述

数字频带传输系统是发端含有调制，收端含有解调的数字通信系统。数字调制是用数字基带信号改变高频载波的参数，实现基带信号变换为频带信号的过程，此过程中信号频谱由原来的低频信号搬移到高频段。数字解调是把数字频带信号恢复成原来数字基带信号的过程，此信号中的频谱由高频段恢复到原来的基带信号的低频段。

9.2 二进制幅移键控(2ASK)

9.2.1 2ASK信号及其功率谱

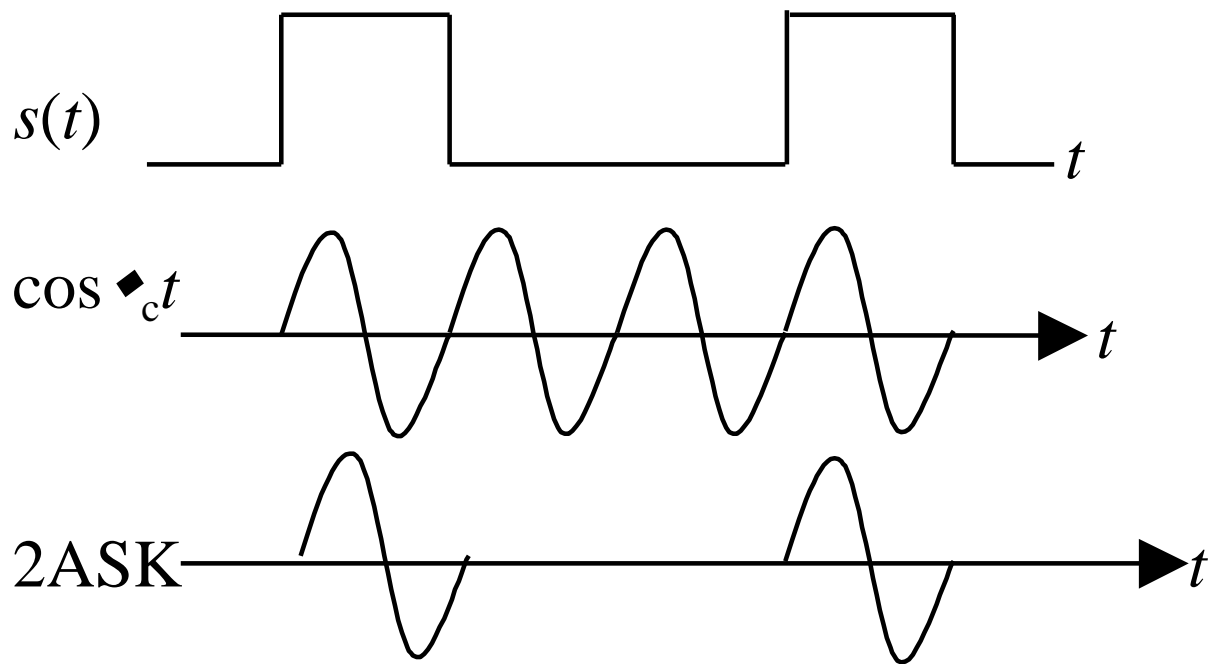
9.2.2 2ASK调制系统

9.2.1 2ASK信号及其功率谱

2ASK信号是利用代表数字信息(0或1)的基带矩形脉冲去控制一个连续载波振幅形成的。已调信号有输出表示发送“1”，无输出时发送“0”，如图9.1所示。

- (1) ASK信号的功率谱是 $s(t)$ 信号功率谱的线性搬移，属线性调制。
- (2) 2ASK信号的功率谱是由连续谱、离散谱两部分组成。
- (3) 2ASK信号带宽是二进制数字基带信号带宽的两倍。

图9.1 2ASK信号波形



9.2.2 2ASK调制系统

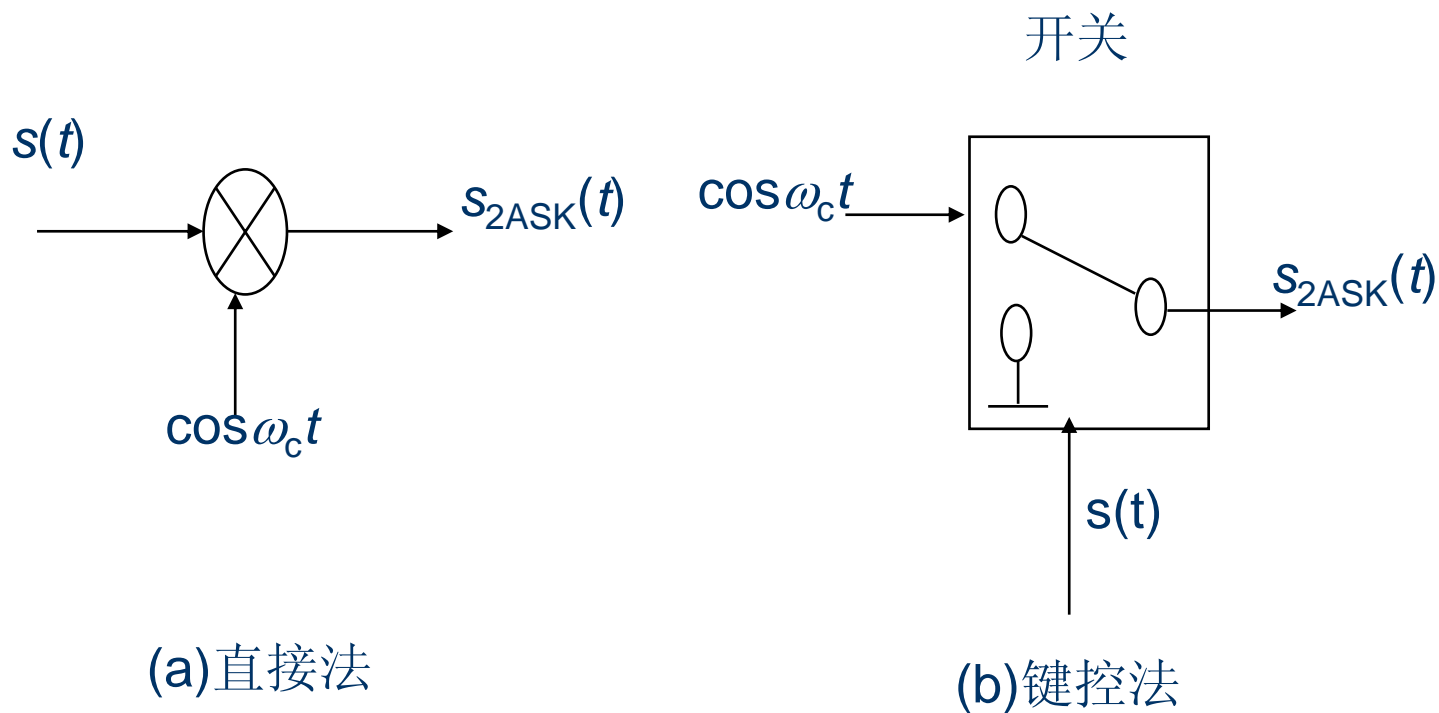
1. 2ASK调制

2ASK调制方法有两种，如 [图9.3](#) 所示。一种是通过乘法器让 $s(t)$ 与载波 \cos 相乘，这种方法是直接法。另一种是键控法。键控法是由二进制数字基带信号去控制开关电路。当出现“1”码时开关S闭合，有载频 \cos 输出；当出现“0”码时，开关打开，无高频载波 \cos 输出。

2. 2ASK解调

2ASK解调方法有相干解调和非相干解调两种。

图9.3 2ASK信号产生方框图



9.3 二进制频移键控(2FSK)

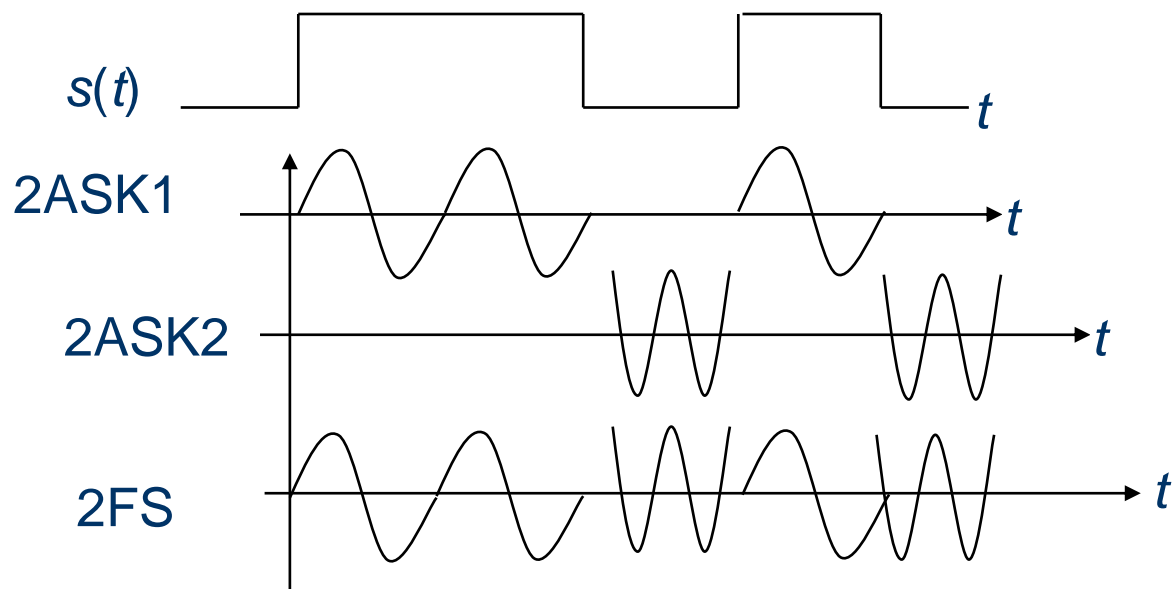
9.3.1 2FSK信号及其功率谱

9.3.2 2FSK调制和解调

9.3.1 2FSK信号及其功率谱

2FSK信号是用二进制数字基带信号控制高频载波频率产生已调信号，具体地说，当2FSK信号频率为 f_1 时，代表基带信号“1”码，2FSK信号频率为 f_2 时，代表基带信号“0”码。其波形如 图9.5所示。

图9.5 2FSK信号波形图



9.3.2 2FSK调制和解调

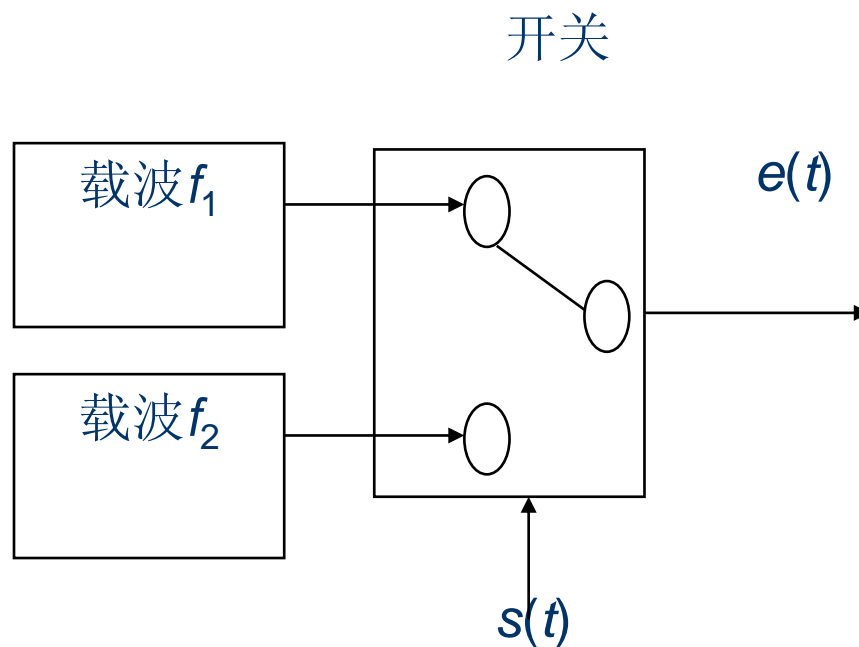
1. 2FSK调制

图9.7 2FSK信号键控法调制方框图

2. 2FSK解调

- 1) 过零检测法
- 2) 差分检测法
- 3) 非相干解调
- 4) 相干解调

图9.7 2FSK信号键控法调制方框图



9.4 二进制相移键控(2PSK和2DPSK)

9.4.1 二进制绝对相移调制(2PSK)

9.4.2 二进制相对相移键控(2DPSK)

9.4.3 2PSK与2DPSK系统比较

9.4.1 二进制绝对相移调制(2PSK)

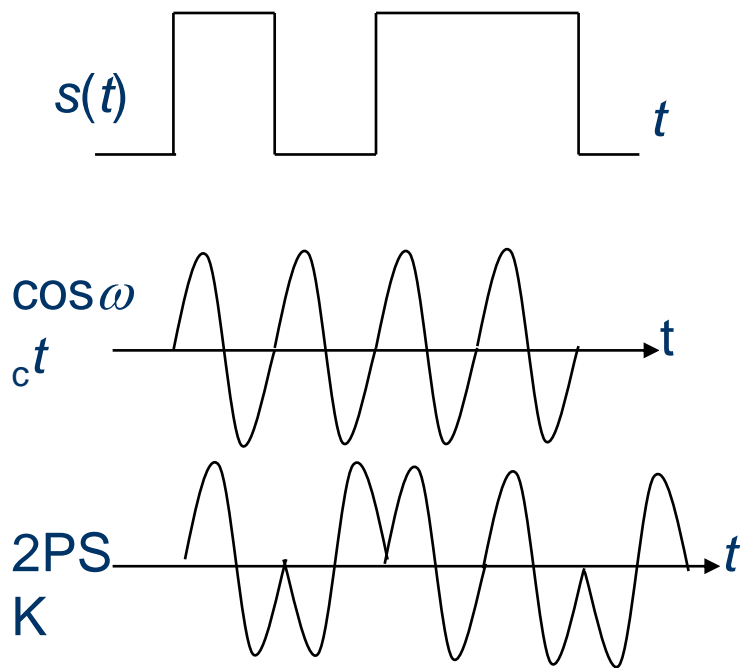
1. 2PSK信号及功率谱密度

图9.12 2PSK信号波形及矢量图

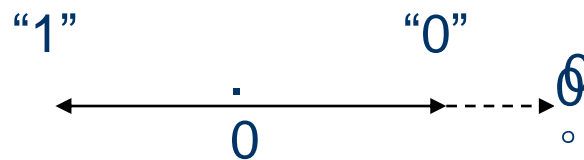
2. 2PSK的调制解调

- 1) 2PSK的调制
- 2) 2PSK解调

图9.12 2PSK信号波形及矢量图



(a) 波形图



(b) 矢量图

9.4.2 二进制相对相移键控(2DPSK)

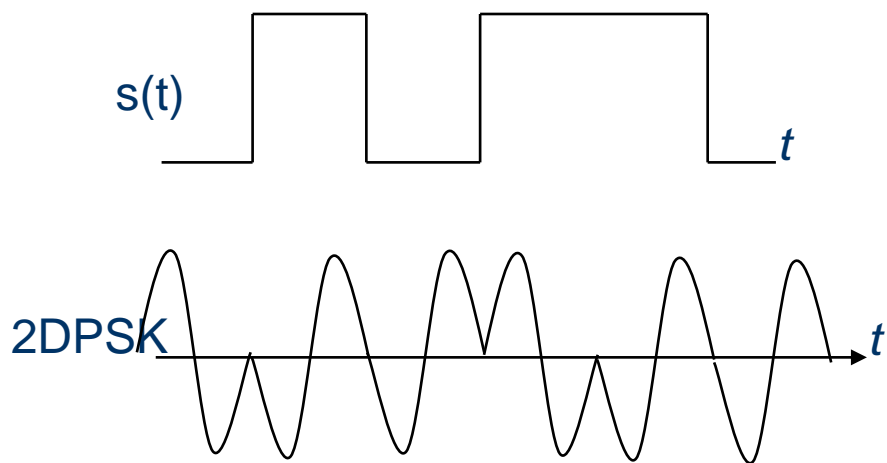
1. 2DPSK信号及功率谱

图9.17 2DPSK信号波形及矢量图

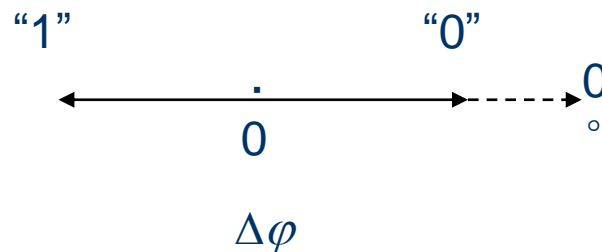
2. 2DPSK调制

3. 2DPSK解调

图9.17 2DPSK信号波形及矢量图



(a) 波形图



(b) 矢量图

9.4.3 2PSK与2DPSK系统比较

- (1) 2PSK与2DPSK信号带宽均为 $2f_B$;
- (2) 当 r 相同时，2DPSK系统的两种解调误码率均比2PSK系统误码率大，故2DPSK系统的抗噪声性能不及2PSK系统;
- (3) 两种解调方法的最佳判决门限均为0;
- (4) 2DPSK系统不存在反向工作现象。

9.5 多进制数字调制系统

9.5.1 M 进制幅移键控

9.5.2 M 进制频移键控(MFSK)

9.5.3 M 进制相移键控(MPSK或MDPSK)

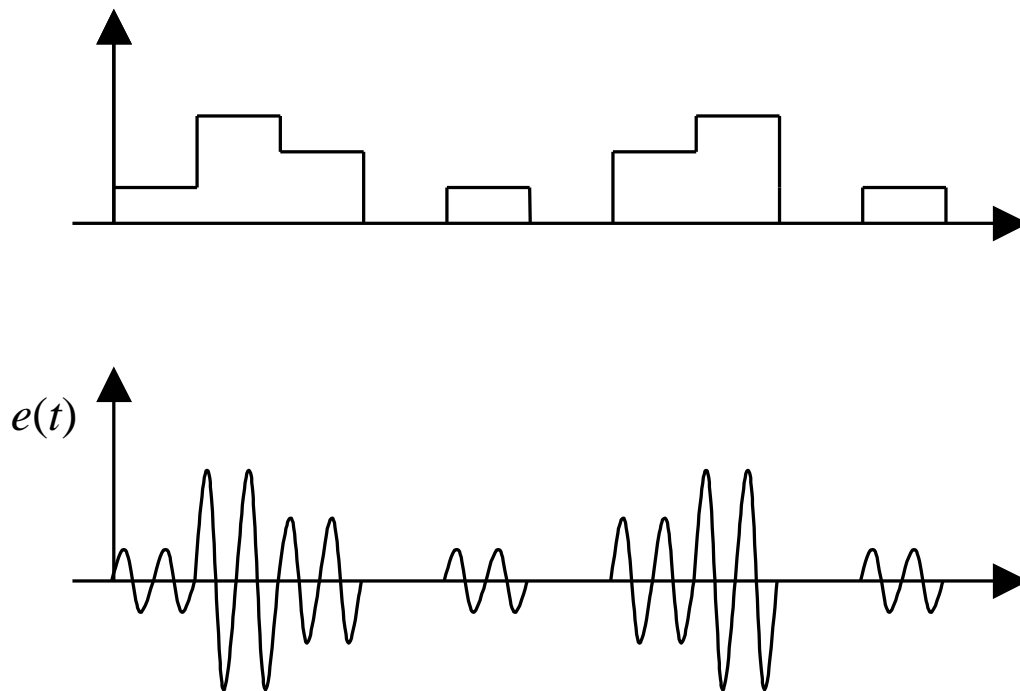
9.5.1 M 进制幅移键控

在MASK信号中有 M 种振幅，每种振幅对应数字基带信号的一种状态。如 [图9.21](#)所示。

MASK的调制有多种电平残留边带调制，多电平相关编码单边带调制及多电平正交调幅等。

MASK信号是用幅度携带信息在系统中传输，抗衰落能力差，只宜在恒参信道中使用。

图9.21 MASK调制波形

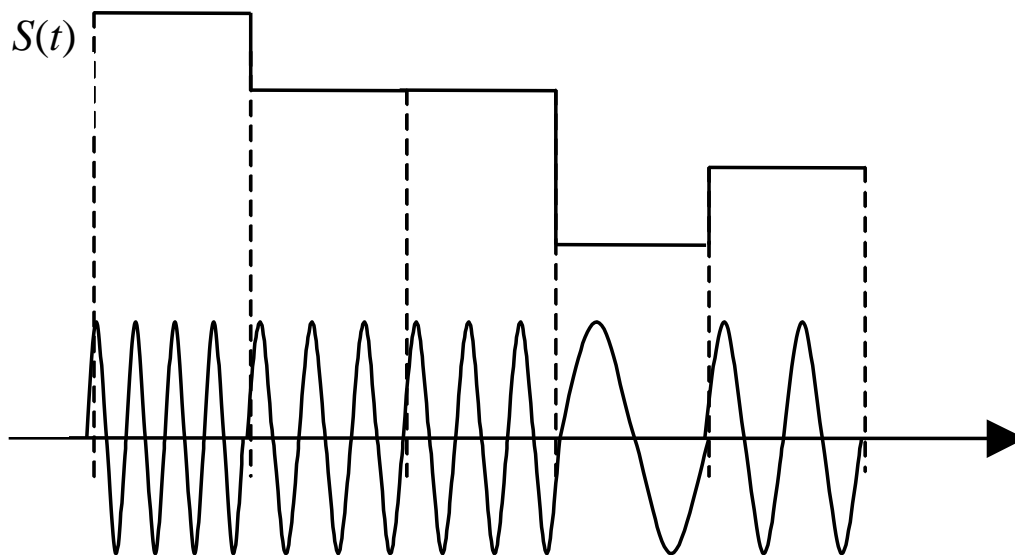


9.5.2 M 进制频移键控(MFSK)

在MFSK信号中，振幅相同，频率有 M 种，每种频率对应 M 进制数字基带信号的一种状态。图9.22是 $M=4$ 的频移键控波形。也有离散相位 M 进制频移键控DPMFSK和连续相位 M 进制频移键控CPMFSK之分。

MFSK用频率传输基带信号，其抗衰落能力比MASK强，主要缺点是信号频率宽、频带利用率低。

图9.22 4FSK调制波形



9.5.3 M 进制相移键控(MPSK或MDPSK)

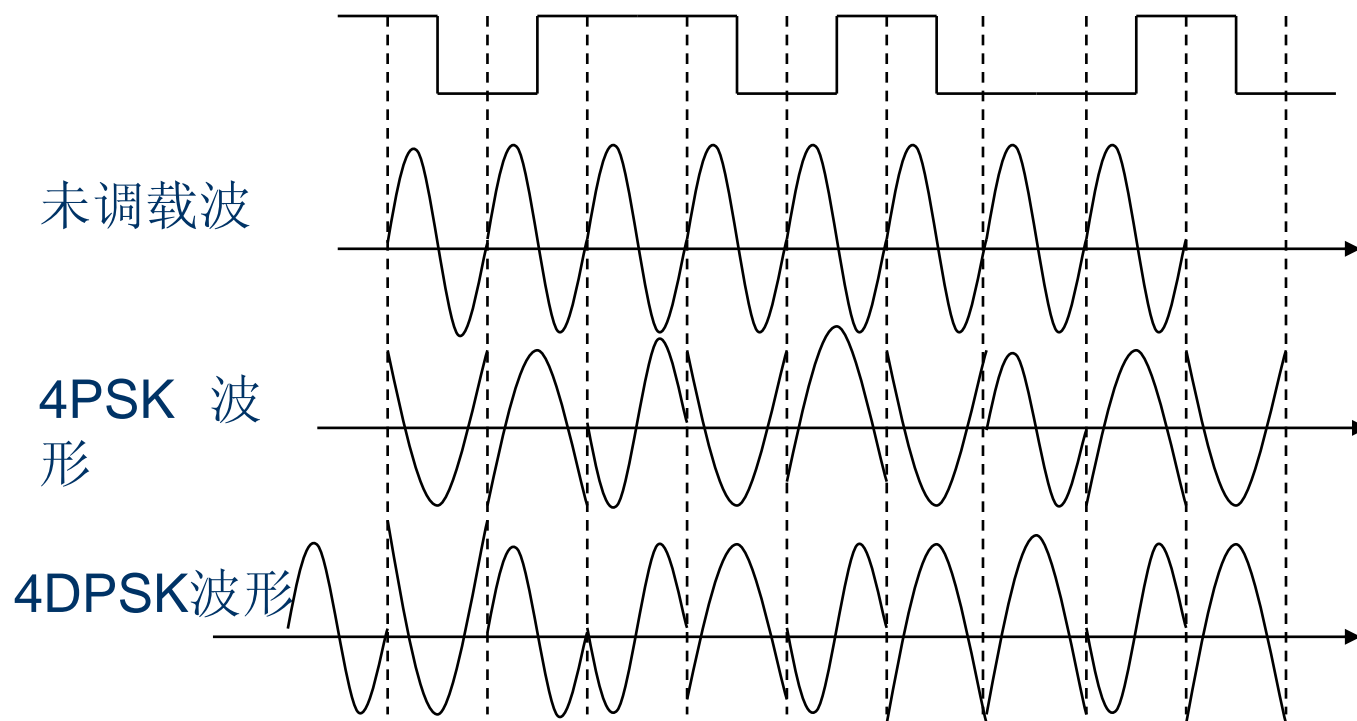
1. 4PSK和4DPSK波形

图9.24 4PSK波形和4DPSK波形

2. 4PSK调制系统

3. 4DPSK调制系统

图9.24 4PSK波形和4DPSK波形



9.6 数字频带传输系统比较

9.6.1 传输带宽和频带利用率

9.6.2 信号功率

9.6.3 信道特性对调制系统影响

9.6.4 设备复杂性与成本

9.6.1 传输带宽和频带利用率

在幅移键控和相移键控方式中，信号传输带宽都要取到 $2f_B$ 以上，在频移键控方式中，传输带宽都要取到 $|f_1 - f_M| + 2f_B$ 以上，因此如果信道带宽很紧张，就不应考虑使用FSK方式。

PSK或ASK的频带利用率高，系统有效性好。FSK频带利用比其他两种低，故系统有效性低。

9.6.2 信号功率

可以把二进制数字频率传输系统的误码率列表对照，如 表9.1所示。其中 a^2 正比于信号的峰值功率。就发送设备和接收设备成本而言，常常是峰值功率比平均功率更受限制。当给定误码率($10^{-4} \sim 10^{-7}$)的条件下，所需峰值功率从大到小排列有相干2PSK，差分检测2DPSK，相干2FSK，相干2ASK，非相干2FSK，非相干2ASK。因此在峰值功率是主要矛盾场合，ASK方案不予考虑。

表9.1 数字频带传输系统误码率公式

调制方式		误码率公式	备注
2ASK	相干	$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{r}{4}}$	$r = \frac{a^2}{2\sigma_n^2}$ 其中 $\frac{a^2}{2}$ 是已调信号的功率， σ_n^2 是功率噪声。当 $P=0.5$ 时，2ASK 判决门限 $V_T=a/2$ ，2PSK、2DPSK 和 2FSK 判决门限为 $V_T=0$
	非相干	$P_e = \frac{1}{2} \exp(-\frac{r}{4})$	
2FSK	相干	$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{r}{2}}$	
	非相干	$P_e = \frac{1}{2} \exp(-\frac{r}{2})$	
2PSK	相干	$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{r}$	
2DPSK	相位比较	$P_e = \frac{1}{2} \exp(-r)$	
	极性比较	$P_e \approx \operatorname{erfc} \sqrt{r}$	

9.6.3 信道特性对调制系统影响

信道的特性，主要指非线性失真和衰落等会对调制系统有影响，选择调制方案时，应予以考虑。

信道特性变化，会对2ASK的判决门限值有影响。FSK和PSK是等幅信号，门限判决电平与接收信号电平无关。而ASK方案中门限电平要随输入信号电平的变化而调整，也就是说，ASK信号对衰落很敏感。

9.6.4 设备复杂性与成本

一般来说，设备越复杂，成本越高。PSK、FSK和ASK的发送设备复杂程度大体差不多，接收设备取决于采用相干解调还是非相干解调方式。总的来说，相干方式比非相干复杂，而在非相干解调中，复杂程度最高的是DPSK，其次是FSK和ASK。