

第5章

模拟传输

主要内容

p 数字到模拟转换

- Ø 幅移键控ASK (amplitude shift keying)

- Ø 频移键控FSK

- Ø 相移键控PSK

- Ø 正交振幅调制 QAM (quadrature amplitude modulation)

p 模拟信号调制

- Ø 调幅AM

- Ø 调频FM

- Ø 调相PM

5-1 数字到模拟转换（应用举例？）

p 数字信号传输需要低通通道，如果实际上只有带通通道，则只能选择模拟传输

p 将数字数据转换为带通模拟信号传统上称为数字到模拟转换，将低通模拟信号转换为带通信号传统上被称为模拟到模拟转换

p 数字到模拟转换是指根据数字数据中的信息而改变模拟信号的某种特性的过程

图5.1 数字到模拟转换

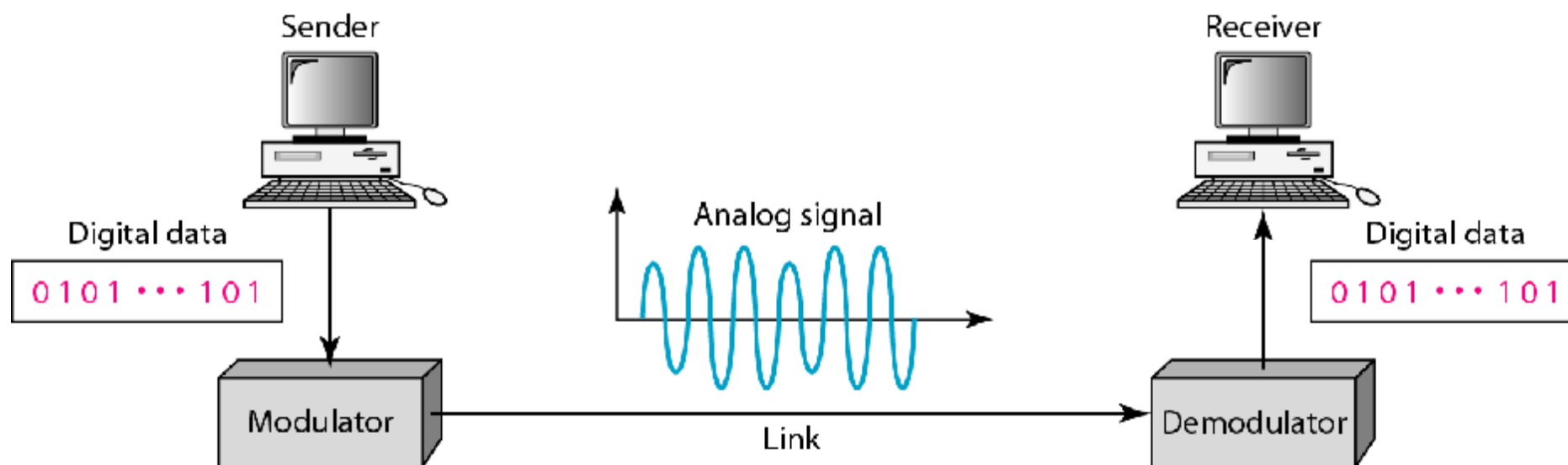
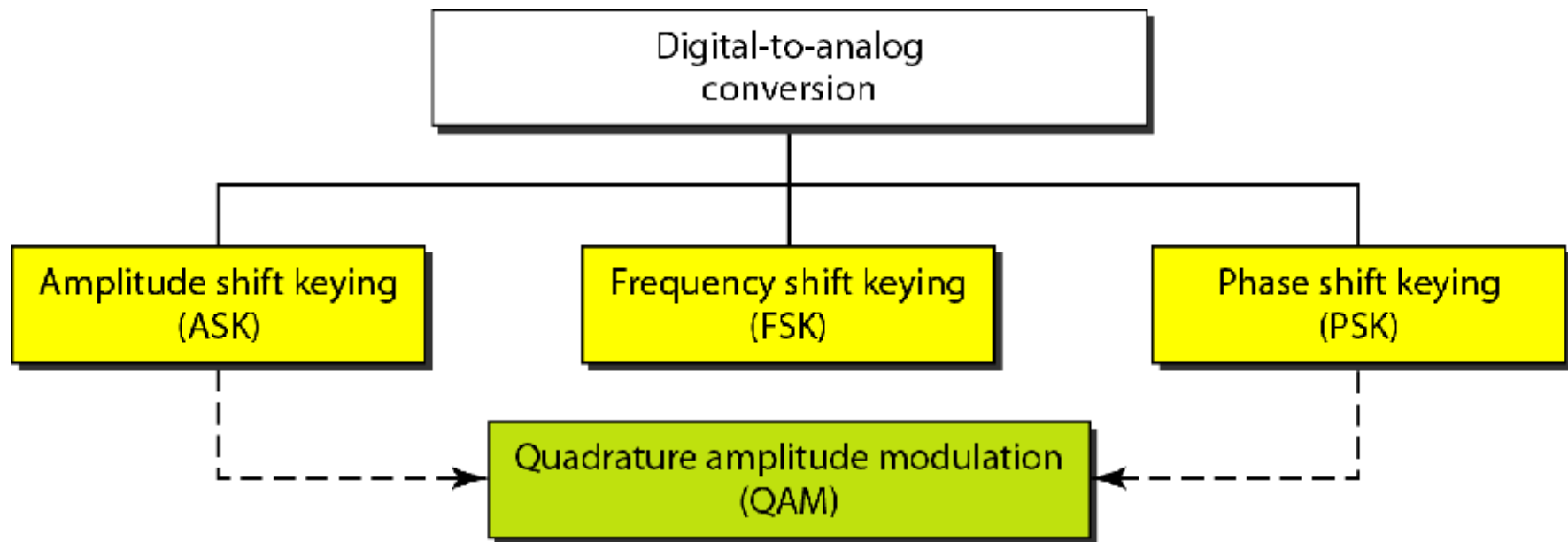


图5.2 数字到模拟转换类型

- 正弦波通过三个特性定义，改变其中任意一个，就有了波的另一种形式，可以用它来表示数字数据
- 幅移键控、频移键控、相移键控
- 正交振幅调制**QAM**：将振幅和相位变化结合，效率最高





比特率是每秒发送的位数，波特率是每秒发送的信号元素数（**准确说法？**）。在数字数据模拟传输中，波特率小于等于比特率。

$$S = N \times \frac{1}{r} \text{ 波特}$$

N 是数据速率(*bps*)

r 是一个信号元素携带的数据元素个数

模拟传输中 $r = \log_2 L$ ， L 是信号元素类型，不是电平个数



例5.1

模拟信号的每个信号单元运送4位，如果每秒发送1000个信号单元，试求比特率。

解：

这里 $r=4$ ， $S=1000$ ， N 未知，利用公式可以求得 N

$$S = N \times \frac{1}{r} \quad \text{or} \quad N = S \times r = 1000 \times 4 = 4000 \text{ bps}$$



例5.2

一个信号的比特率为8000bps，波特率为1000baud，问每个信号元素携带多少个数据元素？需要多少种不同类型的信号元素？

解：

在这个例子中， $S=1000$ ， $N=8000$ ， r 和 L 未知。先得到 r ，再得到 L 。

$$S = N \times \frac{1}{r} \quad \longrightarrow \quad r = \frac{N}{S} = \frac{8000}{1000} = 8 \text{ bits/ baud}$$

$$r = \log_2 L \quad \longrightarrow \quad L = 2^r = 2^8 = 256$$

载波信号

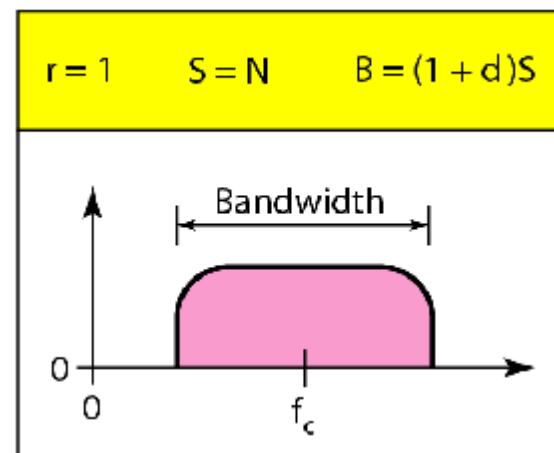
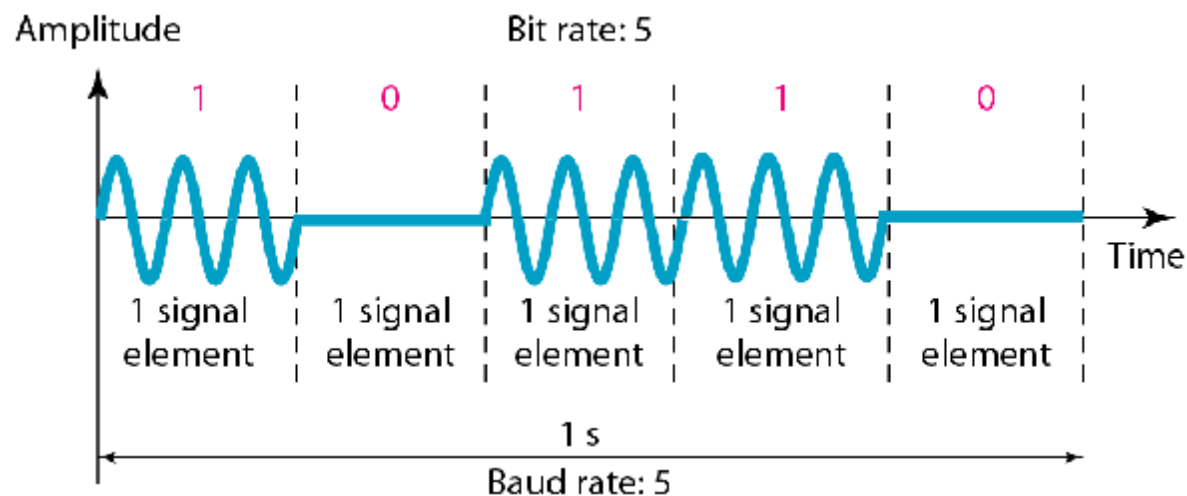
p在模拟传输中，发送设备产生一个高频率信号作为基波来承载信息，被称为载波信号（**carrier signal**）或者载波频率；

p接收设备要将自己的收听频率调整到与所期望的发送设备的载波信号的频率一致；

p数字信息通过改变载波信号的一个或者多个特性来调制载波信号，这称为调制（或移动键控）

幅移键控ASK

- 通过改变载波信号的振幅来生成信号元素；
- 只有振幅变化而频率和相位保持不变；
- 常用的信号元素只使用两个电平，称为二进制幅移键控**BASK**或开关键控**OOK**；
- 一个信号电平的振幅值是0，另一个和载波频率振幅一样



ASK带宽

虽然承载信号只是一个简单正弦波，但调制后产生一个非周期性复合信号，该信号有一个连续频谱；

带宽与信号速率成正比，但通常涉及另一个因子 d ，它取决于调制和过滤处理；

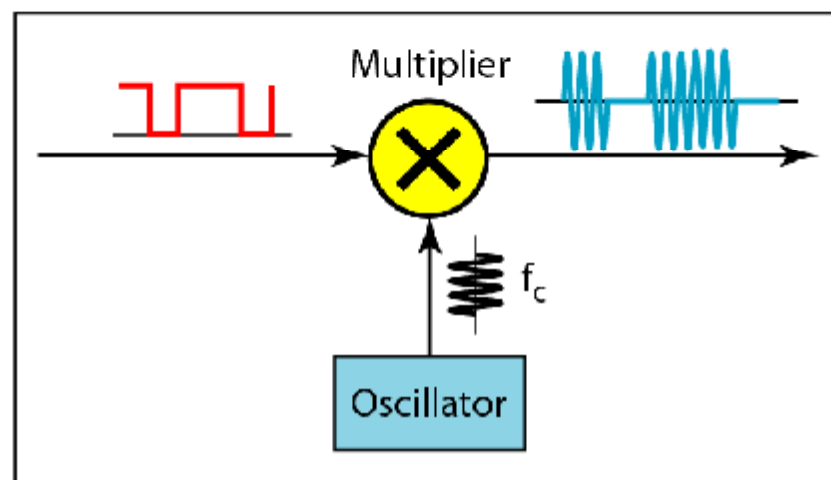
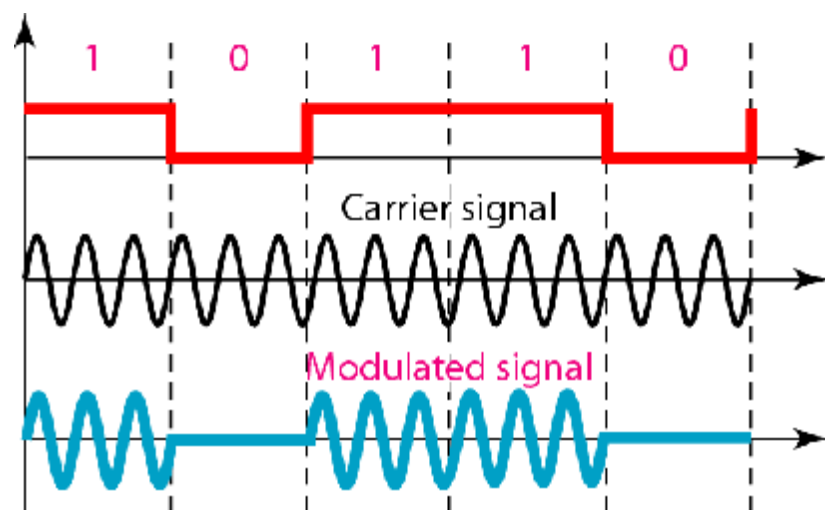
载波频率 f_c 位于带宽中间

ASK带宽：

$B = (1 + d) \times S$ ， S 是信号速率而 B 是带宽

因子 d 取决于调制和过滤处理，在0和1之间

图5.4 二进制ASK实现（单极NRZ×振荡器载波信号）





例5.3

有100kHz的可用带宽，范围从200-300kHz，如果通过使用d=1的ASK调制数据，那么载波频率和比特率是多少？

解：

带宽中点是250kHz，这意味着载波频率可以是 $f_c=250\text{kHz}$ ，可以使用带宽的公式得到比特率（d=1和r=1）：

$$B = (1 + d) \times S = 2 \times N \times \frac{1}{r} = 2 \times N = 100 \text{ kHz} \quad \rightarrow \quad N = 50 \text{ kbps}$$

例5.4

在数据通信中，通常使用双向通信的全双工链路。需要把带宽分成两部分，每部分各有一个载波频率，如图5.5所示。图中给出了两个载波频率和带宽的位置，每个方向可用带宽现在是50kHz，因此每个方向的数据速率为25kbps（参考例5.3）。

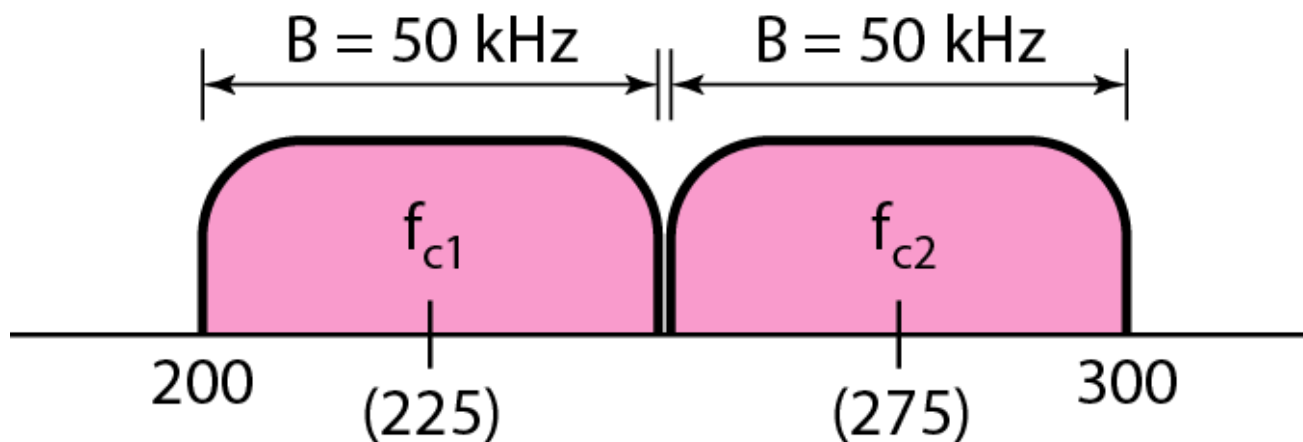
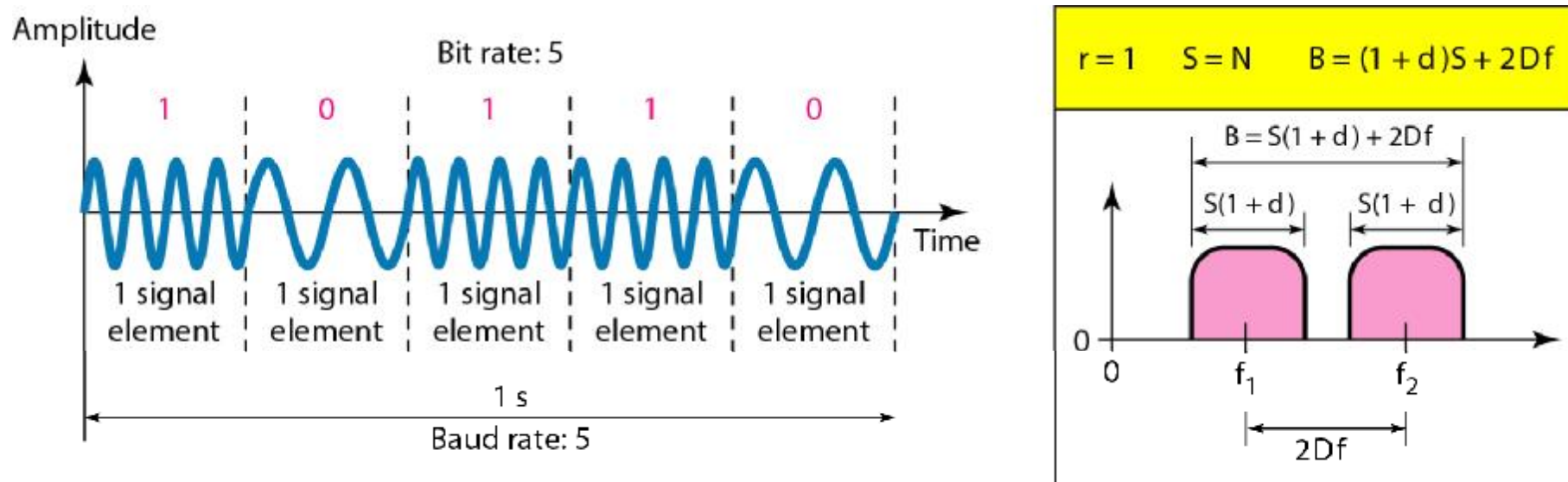


图5.5 例5.4所用的全双工ASK带宽

频移键控FSK

- 通过改变载波信号的频率来表示数据；
- 调制后信号的频率在一个信号元素持续期间是恒定的，但如果数据元素改变则频率在下一个信号元素会改变；
- 所有信号元素的振幅峰值和相位保持不变

图5.6 二进制频移键控BFSK（不同数据元素的载波频率不同）



可把**FSK**看成两个**ASK**信号，每个有自己的载波频率；如果两个频率的差是 $2\Delta f$ （最小值？），那么**BFSK**要求的带宽是：

$$B = (1 + d) \times S + 2\Delta f$$



例5.5

有一个100kHz的可用带宽，范围从200-300kHz。如果使用 $d=1$ 的FSK调制数据，那么载波频率和比特率应该是多少？

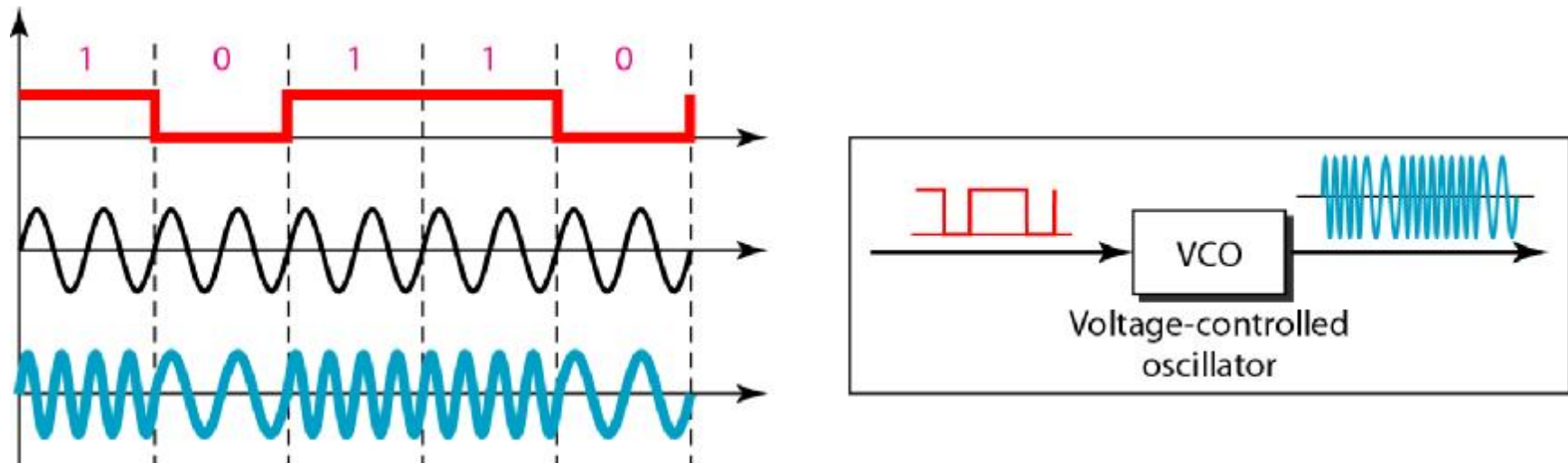
解：

这个问题类似于例5.3，使用FSK进行调制，频带的中点是在250kHz。选择 $2\Delta f$ 为50kHz，这意味着：

$$B = (1 + d) \times S + 2\Delta f = 100 \quad \rightarrow \quad 2S = 50 \text{ kHz} \quad S = 25 \text{ kbaud} \quad N = 25 \text{ kbps}$$

图5.7 BFSK实现

- 两种实现方法：非相干和相干；
- 非相干BFSK中，当一个信号元素结束下一个信号元素开始时相位不连续，而在相干BFSK中，两个信号元素的边界处的相位是连续的；
- 相干BFSK中可以使用一个压控振荡器（VCO），根据输入电平（单极NRZ信号）改变频率



多电平FSK

使用多于两个频率，例如使用4个不同频率则每次可以发送两位；

注意：相邻频率需要间隔 $2\Delta f$ （ $2\Delta f \geq S$ ）

$$B = (1 + d) \times S + (L - 1) 2\Delta f$$

若 $d = 0$ ，则需要 的最小带宽 $B = L \times S$



例5.6

我们需要用3Mbps的比特率每次发送3位，载波频率是10MHz，**假设 $d=0$** ，计算使用不同频率的个数、波特率和带宽。

解：

使用不同频率的个数 $L=2^3=8$ 。

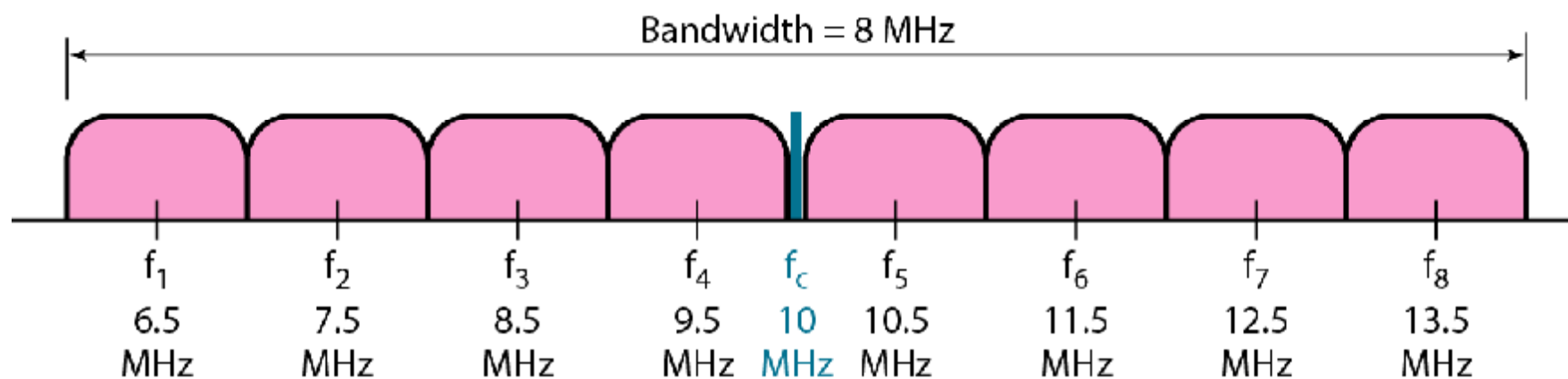
波特率 $S=3\text{MHz}/3=\mathbf{1\text{Mbaud}}$ 。

这意味着载波频率必须至少相隔1MHz ($2\Delta f=1\text{MHz}$)

，带宽是 $B=8\times 1\text{M}=\mathbf{8\text{MHz}}$ 。

图5.8给出了频率和带宽的分配。

图5.8 用于例5.6的MFSK带宽



相移键控PSK

- 通过改变载波的相位来表示两个或多个不同的信号元素；
- 相位改变时，峰值振幅和频率保持不变；
- 最简单的是二进制**BPSK**，只有两个信号元素，一个相位是 0° ，另外一个相位是 180° ；
- BPSK**和**BASK**一样简单，但更不易受噪声影响；**PSK**优于**FSK**是因为不需要两个载波信号

图5.9 二进制相移键控

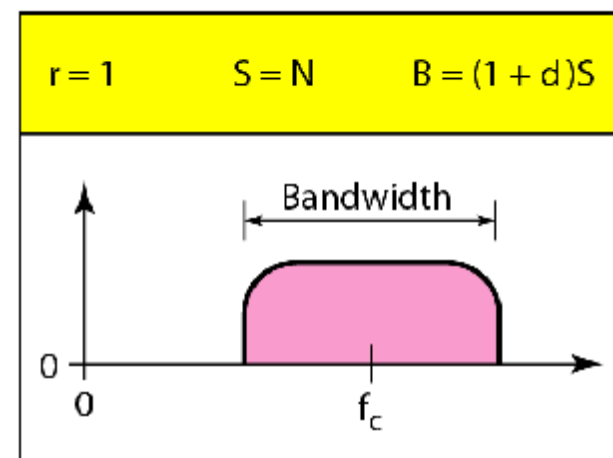
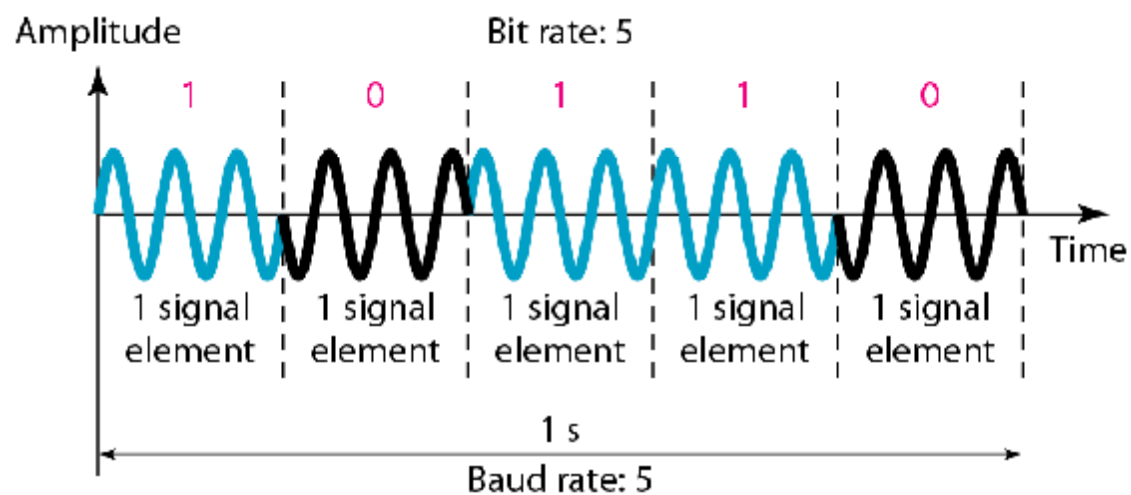


图5.10 BPSK实现（极性NRZ×振荡器载波频率）

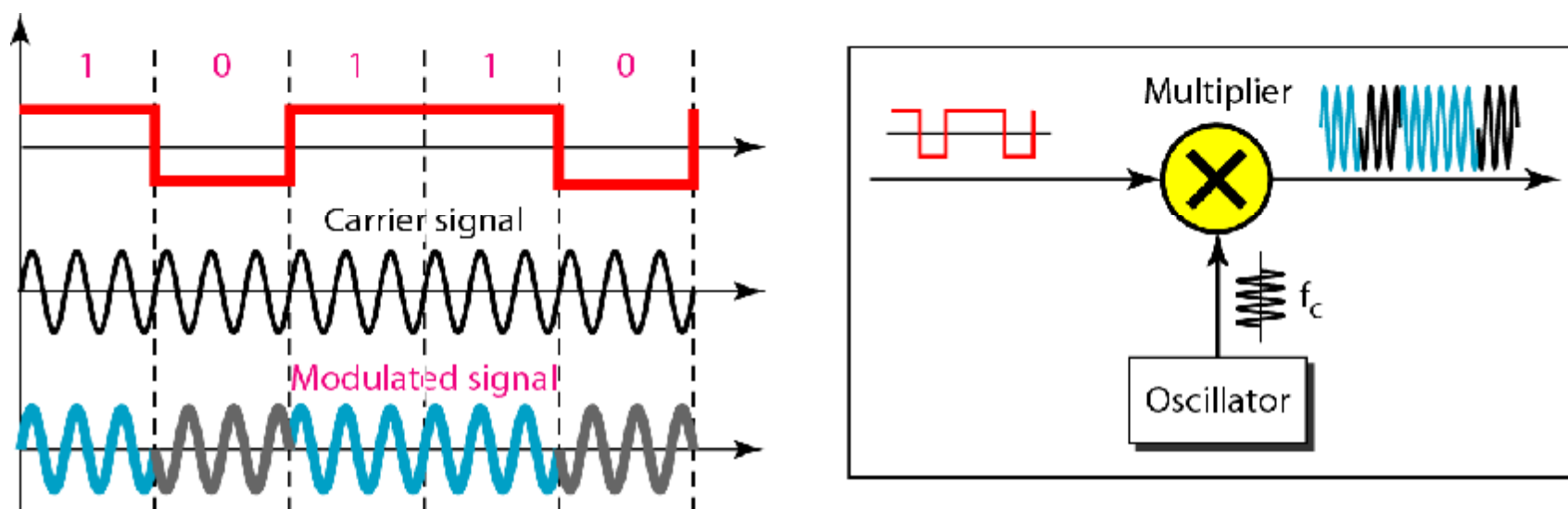
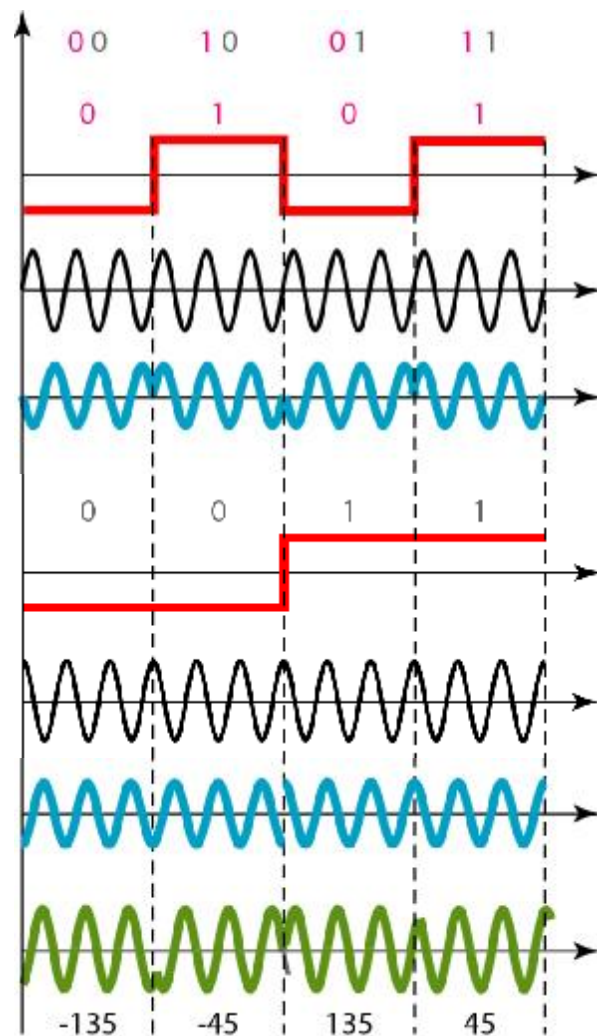
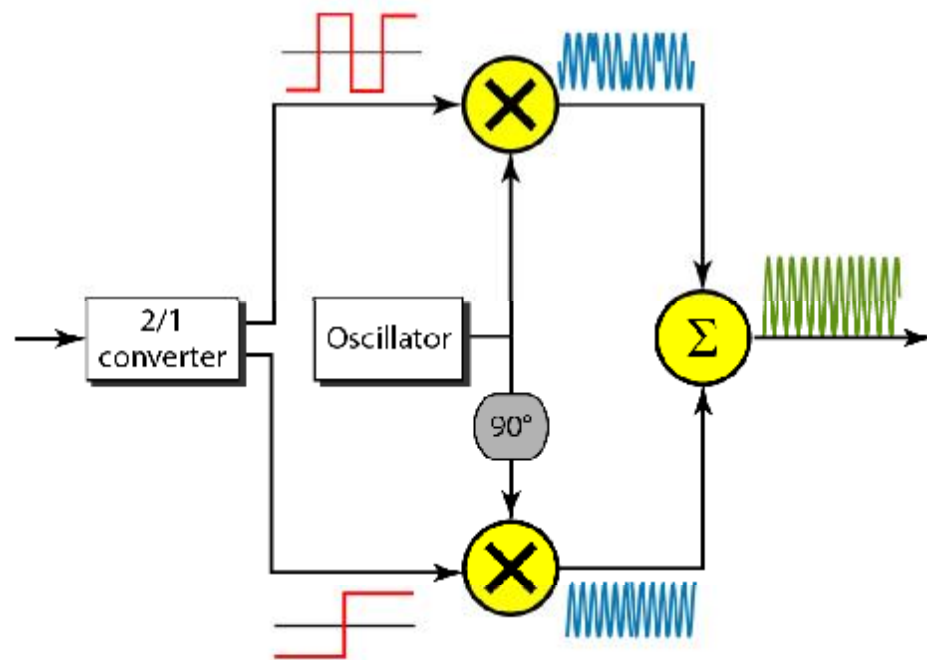


图5.11 QPSK（正交PSK）及其实现



使用2个独立的BPSK，一个同相，另一个正交（ 90° 相移）



四种相位 45° 、 -45° 、 135° 和 -135° ，代表四种不同信号元素



例5.7

试求使用QPSK以速率12Mbps传输信号的带宽，设 $d=0$ 。

解：

对QPSK，每个信号元素携带2位，即 $r=2$ 。因此，信号速率（波特率）是 $S=N \times (1/r)=6\text{Mbaud}$ 。已知 $d=0$ ，有 $B=S=6\text{MHz}$ 。

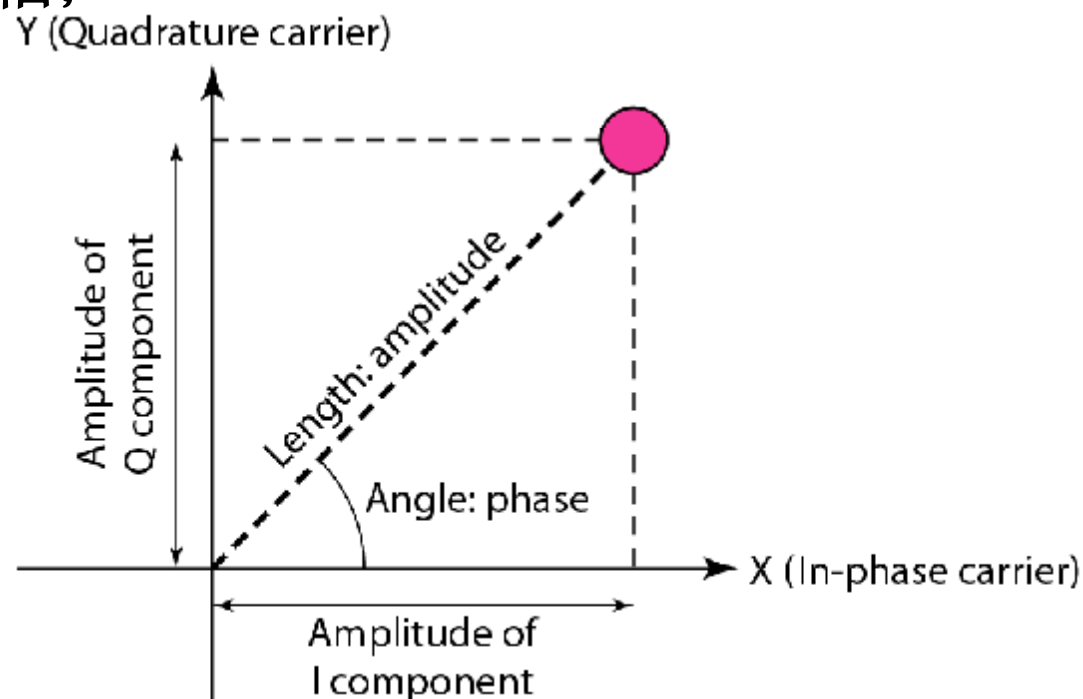
图5.12 星座图概念

p星座图有助于定义信号元素的振幅和相位，**X**轴与同相载波相关，垂直**Y**轴与正交载波相关，图中每个点包含4条信息；

p点在**X**轴的投影定义了同相成分的峰值振幅，点在**Y**轴的投影定义了正交成分的峰值振幅；

p点到原点的连线长度是该信号元素的峰值振幅（**X**成分和**Y**成分的组合）；

p连线和**X**轴之间的角度是信号元素的相位。

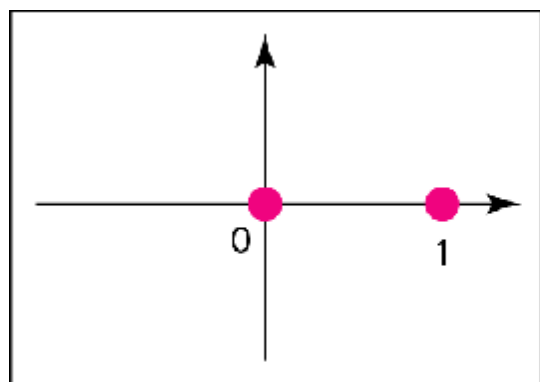


例5.8

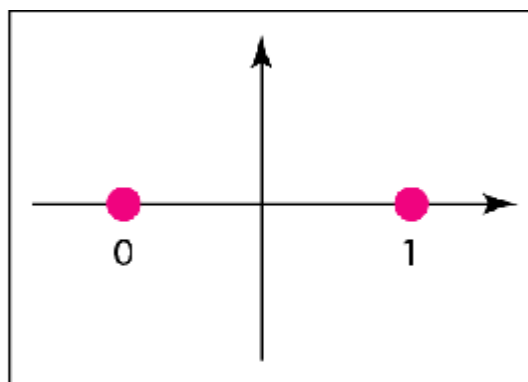
分别画出ASK（OOK）、BPSK和QPSK的星座图。

解：

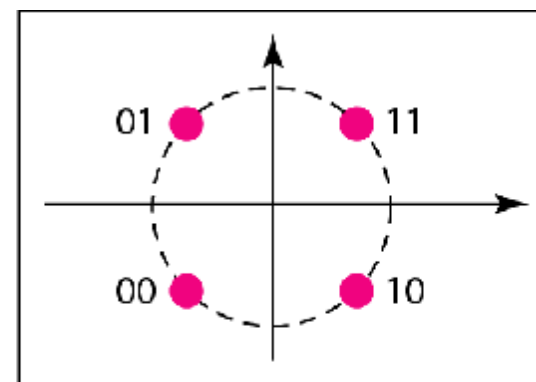
图 5.13是这三个星座图。



a. ASK (OOK)



b. BPSK



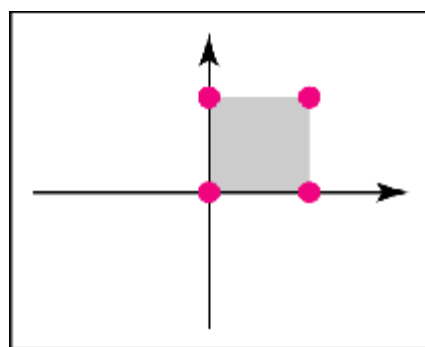
c. QPSK

图5.13 三个星座图

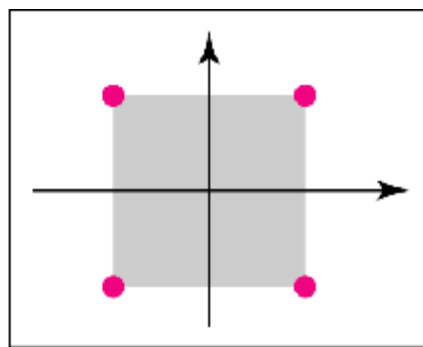
正交振幅调制QAM（ADSL: QAM+FDM）

- p QAM: quadrature amplitude modulation;
- p 正交振幅调制是ASK和PSK的结合;
- p 使用两个载波，一个同相而另一个正交，而且每个载波都用不同的振幅;
- p QAM可能有无穷多个变化
 - Ø 双值ASK: 两条数据流中的每一条都可以处于两种状态，合并后状态数为 $2 \times 2 = 4$ ，本质上是QPSK;
 - Ø 4电平ASK（即4种不同振幅）： $4 \times 4 = 16$ 种状态;
 - Ø 64和256种状态的系统都已实现。

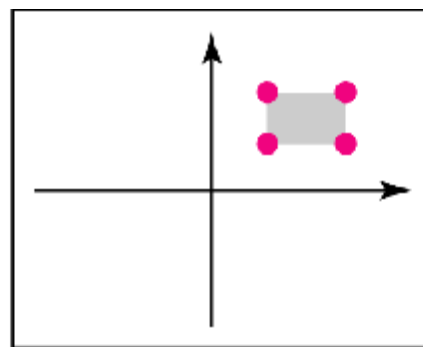
图5.14 一些QAM方案的星座图



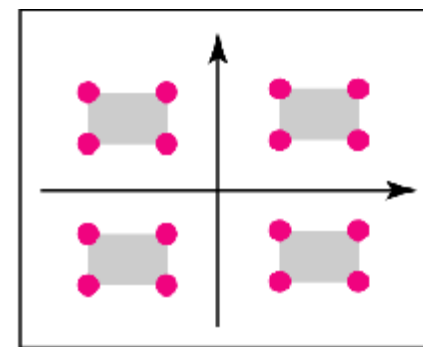
a. 4-QAM



b. 4-QAM



c. 4-QAM



d. 16-QAM

5-2 模拟信号调制（应用举例？）

■ 模拟信号调制是通过模拟信号来表示模拟信息的，既然信号已经是模拟了，为什么还要调制呢？

■ 如果介质具有带通特性或者只有带通带宽可用，则模拟信号就需要调制

○ 例如每个无线电台或（人的声音）生成的模拟信号都是低通信号，都在一个频率范围内；为了收听不同电台，需要将低通信号平移，使每一个信号对应不同的频率范围（这叫什么？）；

■ 为了使信号真正被传输，可能会需要较高的频率。对于非导向传输，事实上是不可能直接用天线传输基带信号的，因为需要直径为几千米的天线

图5.15 模拟到模拟调制的类型-调幅/调频/调相

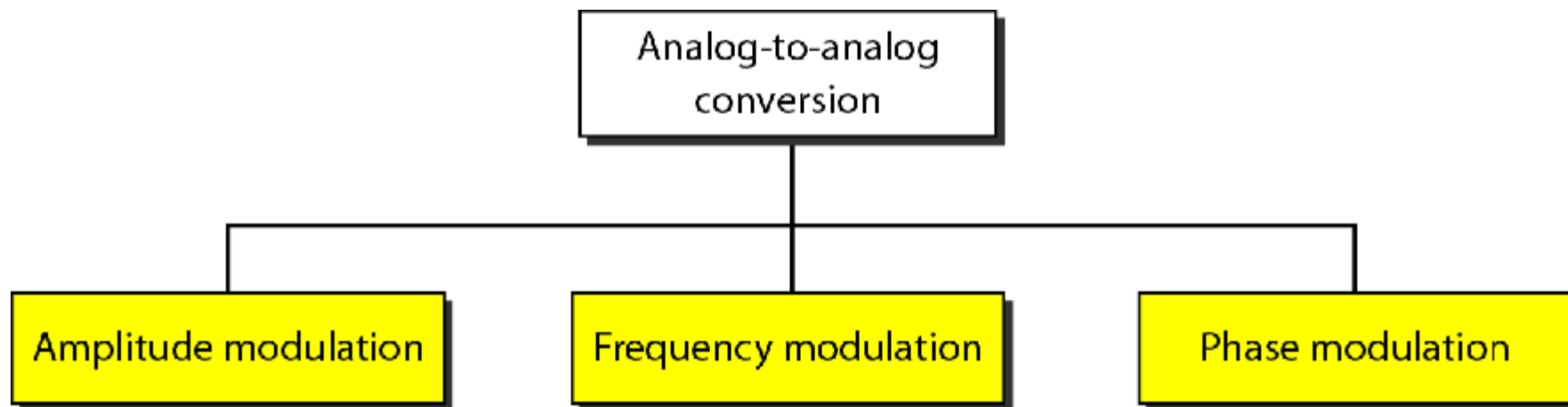
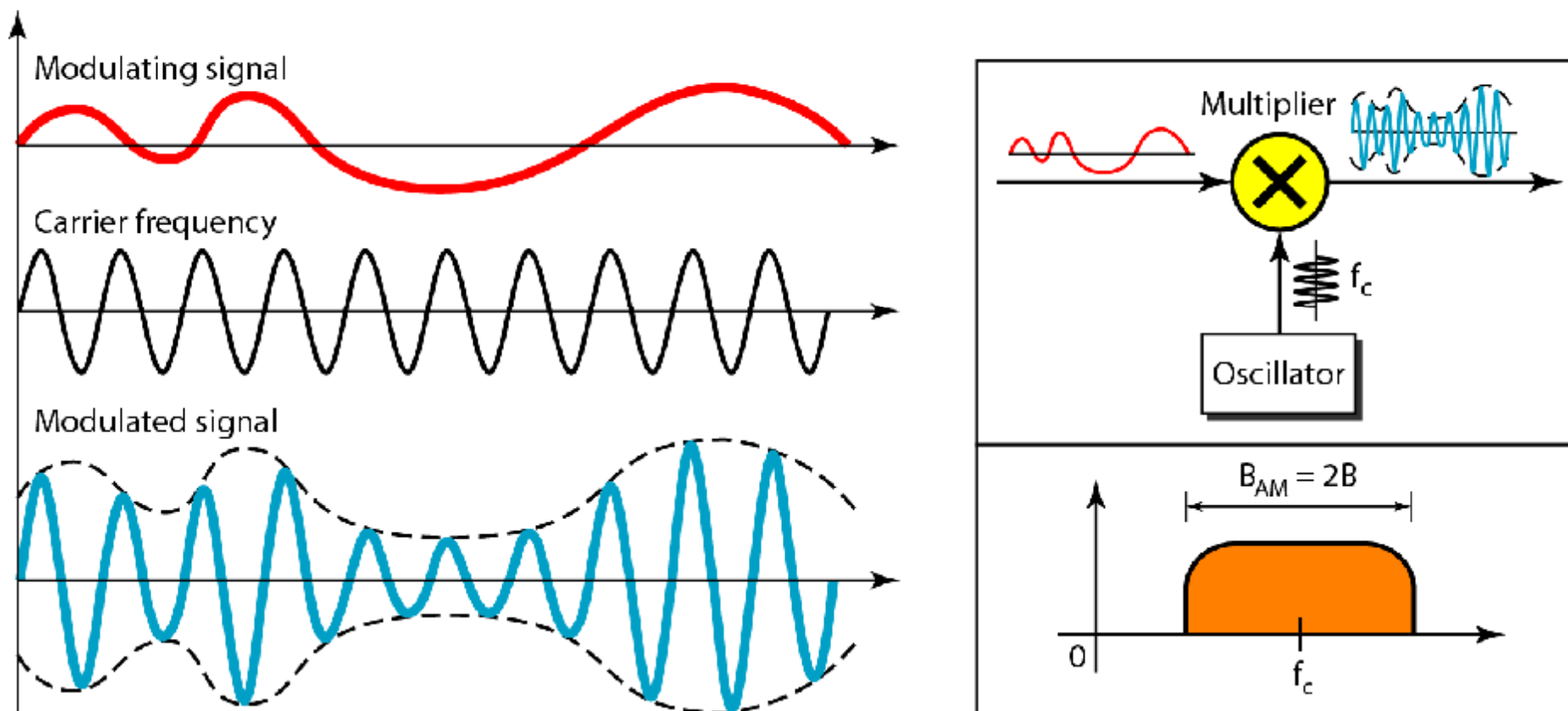


图5.16 调幅（载波振幅随调制信号的振幅变化而被改变，频率和相位不变；通常使用简单乘法器实现）





AM所需的总带宽可以由音频信号的带宽确定： $B_{AM} = 2B$ （ B 为调制信号带宽）。

图5.17 AM频带分配

p 音频信号（语音和音乐）带宽通常是5kHz，故调幅电台需要的最小带宽为10kHz；

p 每个调幅电台的载波频率与其他电台的载波频率间隔至少是10kHz，以避免干扰

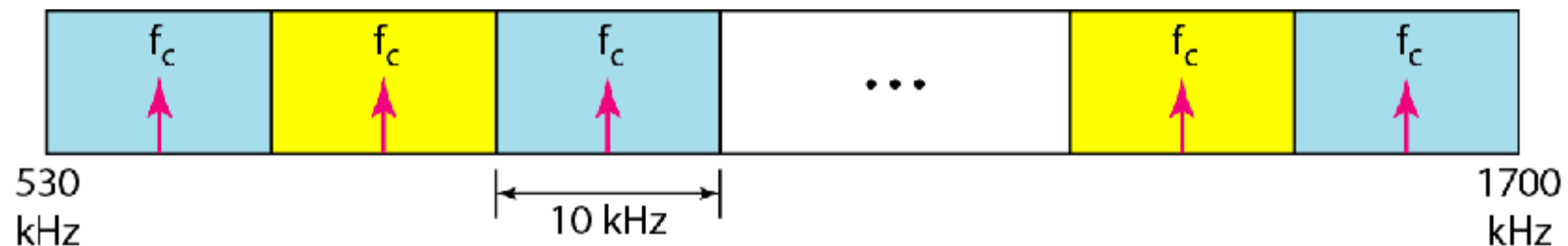
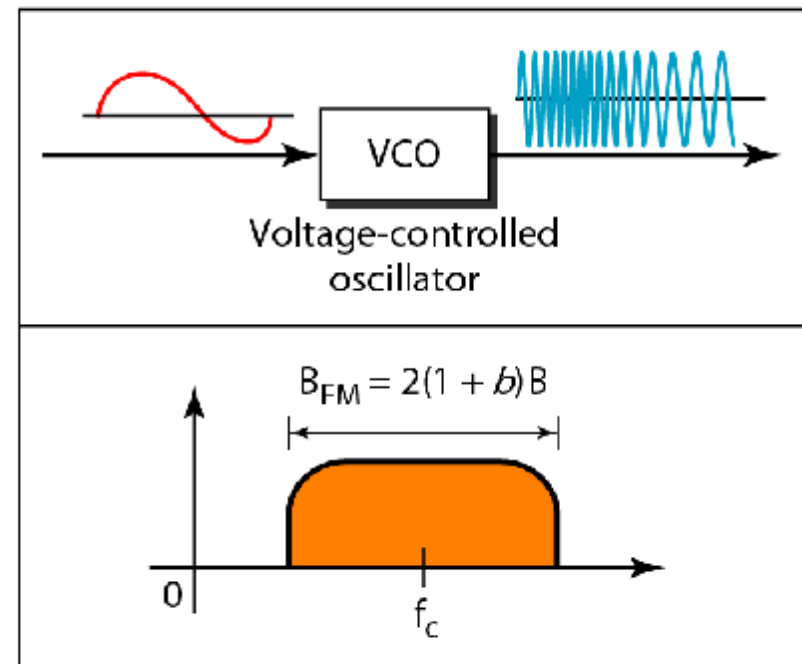
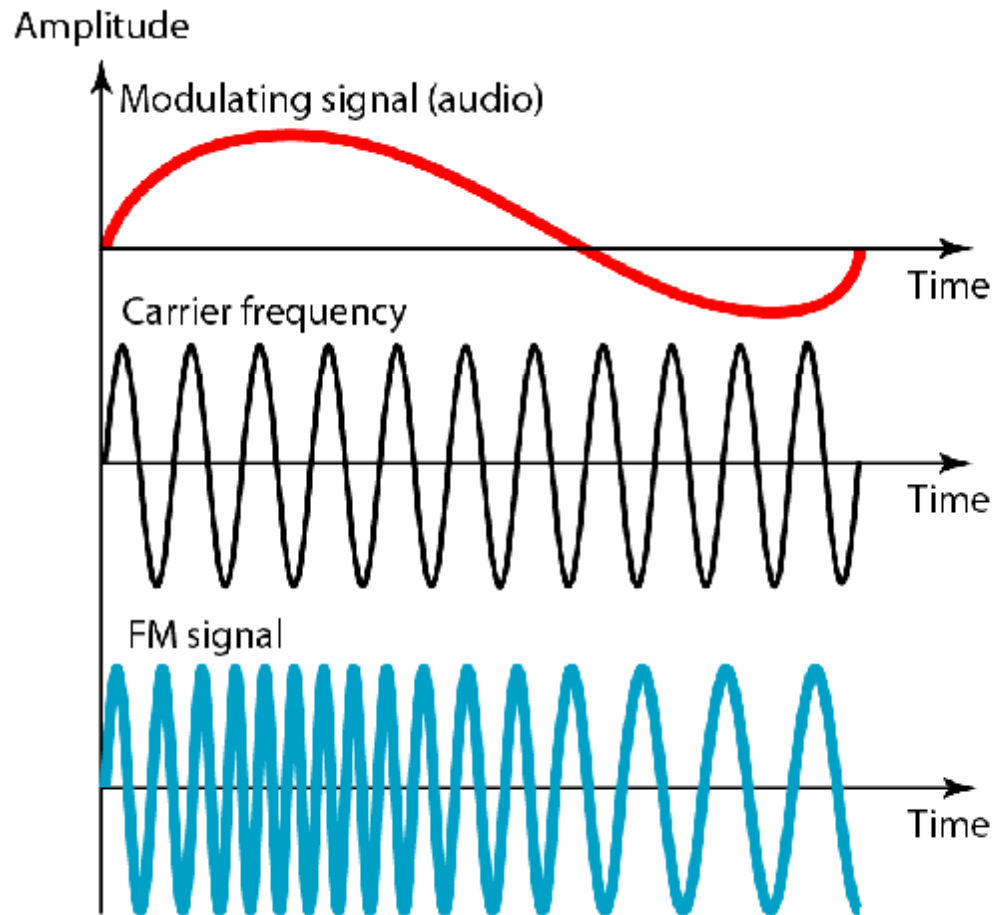
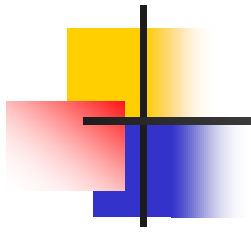


图5.18 调频（载波频率随调制信号的振幅变化而被改变，峰值振幅和相位不变；通常使用压控震荡器实现）





FM 所需的总带宽可以由音频信号的带宽确定： $B_{FM}=2(1 + \beta)B$ 。
B是取决于调制技术的因子，一般为4

图5.19 FM波段分配

p 立体声广播里的音频信号带宽接近于15kHz，每个调频电台使用200kHz；

p 电台之间至少有200kHz的频率差，以保持两台之间的带宽不重叠；

p 为了提供更强的专用性，在一个给定区域内只能交替使用分配的波段，其他波段都被保留，以防止电台之间的相互干扰

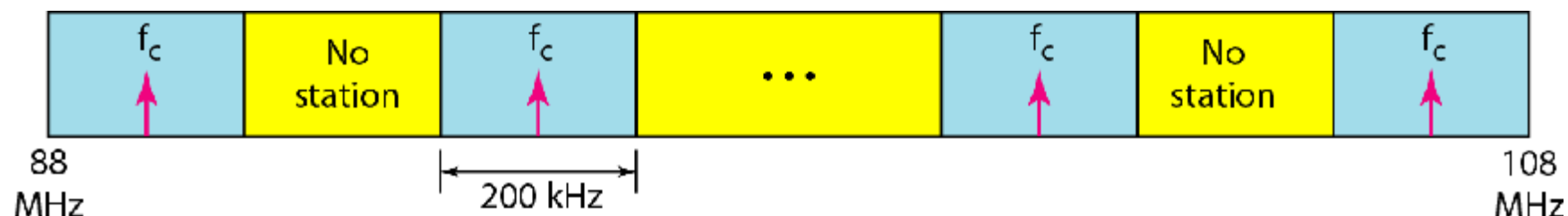
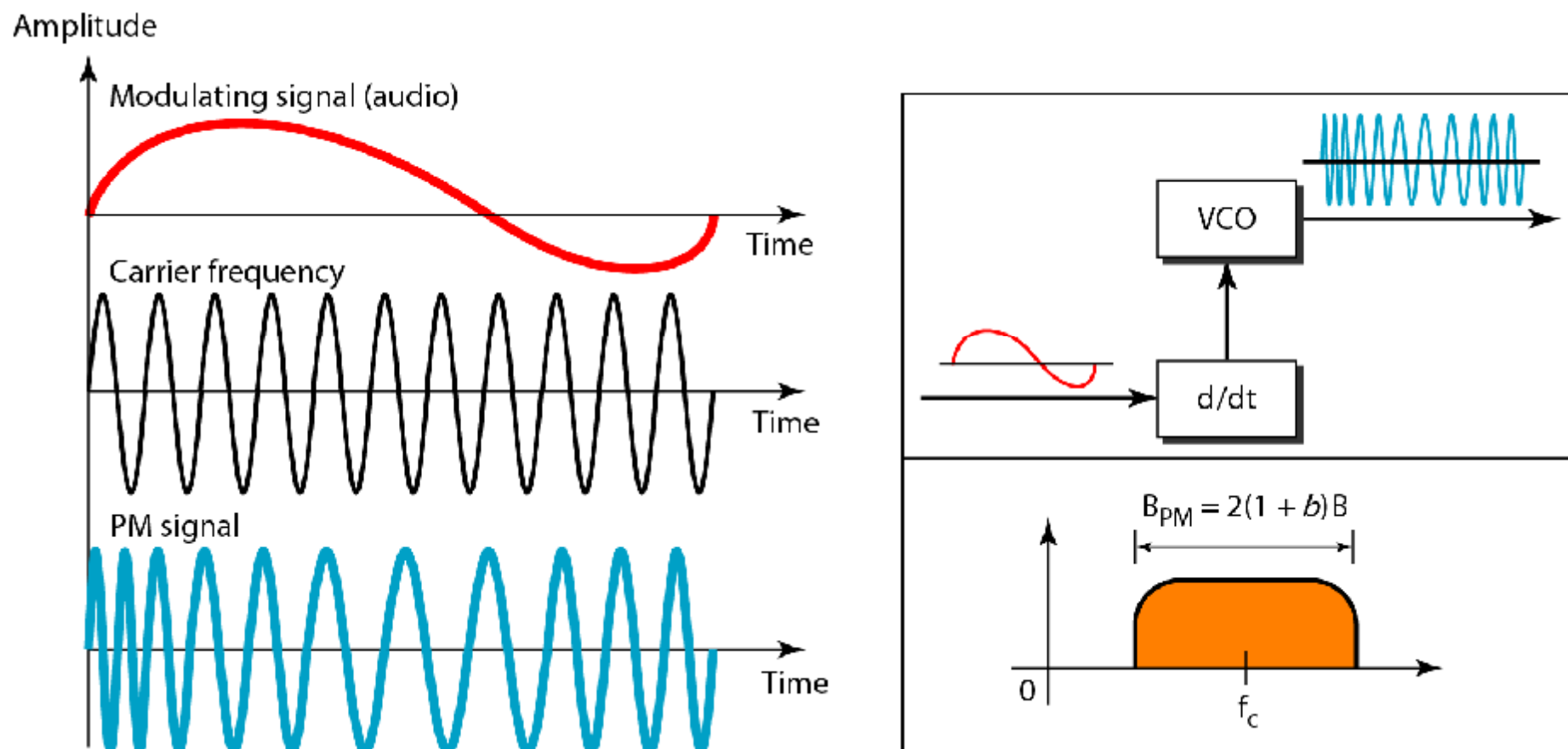
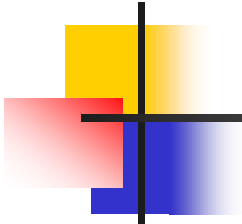


图5.20 调相（载波相位随调制信号的振幅变化而被改变，峰值振幅和频率不变；通常用压控振荡器和导数发生器实现）





PM所需的总带宽可以由调制信号的带宽确定： $B_{PM} = 2(1+\beta)B$ 。
 β 较小。