



Chapter 5

模拟传输

(Analog Transmission)

5-1 数字到模拟转换

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。

Topics discussed in this section:

数字到模拟转换的概念 (Aspects of Digital-to-Analog Conversion)

幅移键控 (Amplitude Shift Keying)

频移键控 (Frequency Shift Keying)

相移键控 (Phase Shift Keying)

正交振幅调制 (Quadrature Amplitude Modulation)

Figure 5.1 *Digital-to-analog conversion*

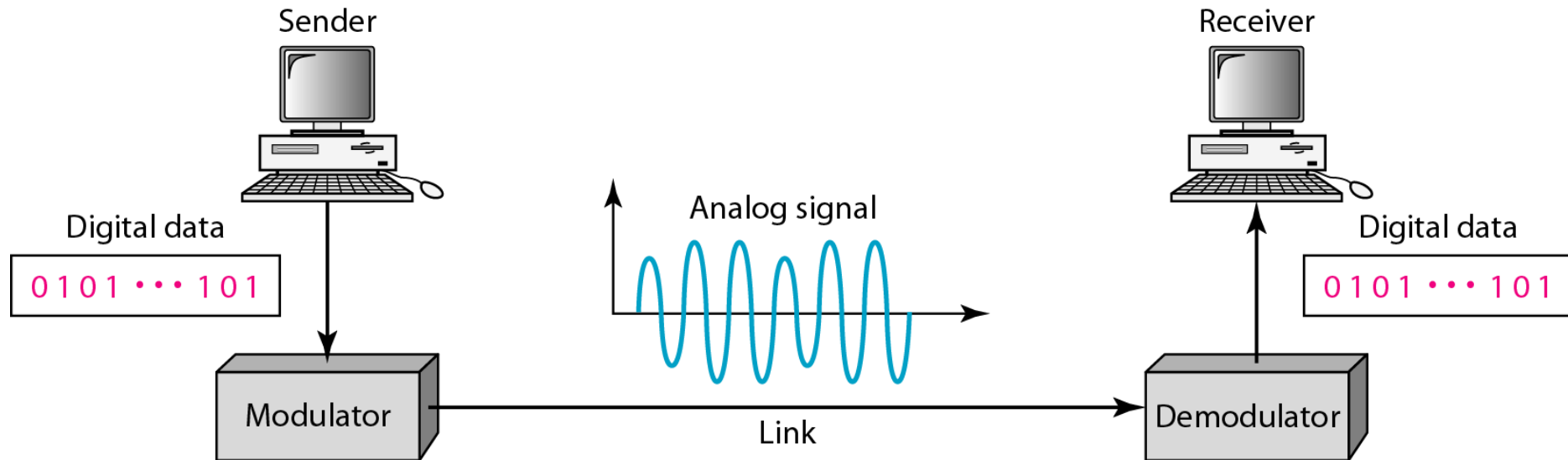
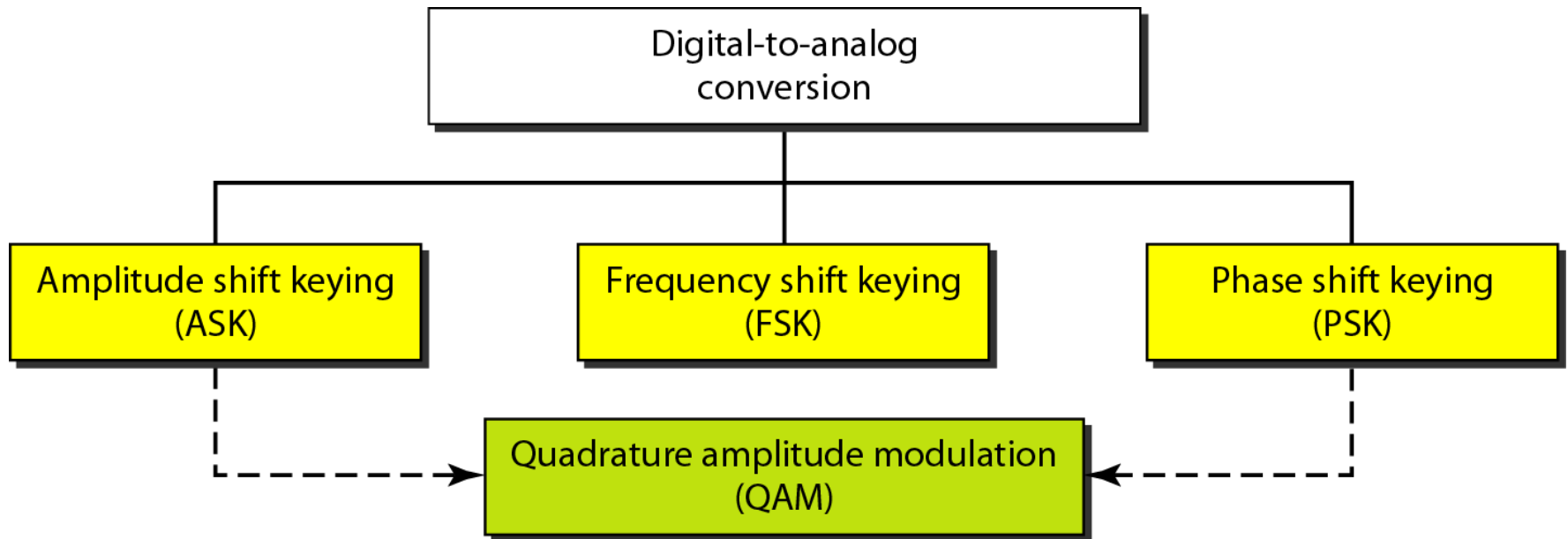


Figure 5.2 *Types of digital-to-analog conversion*



比特率和波特率

- ◆ 比特率：每秒发送的位数
- ◆ 波特率：每秒发送的信号元素数
- ◆ 在数字数据模拟传输中，波特率小于等于比特率。

$$S = N \times \frac{1}{r} \text{ 波特} \quad N \text{ 是数据速率 (bps)}$$

数字传输中 r 是一个信号元素携带的数据元素的个数。模拟传输中 $r = \log_2 L$ ， L 是信号元素类型，不是电平个数。



Example 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。

Solution

这里 $r = 4$ ， $S = 1000$ ， N 未知。利用公式可以

求得

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



Example 5.2

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

Solution

已知 $S = 1000$ ， $N = 8000$ ， r 和 L 未知。先得得到 r ，再得到 L 。

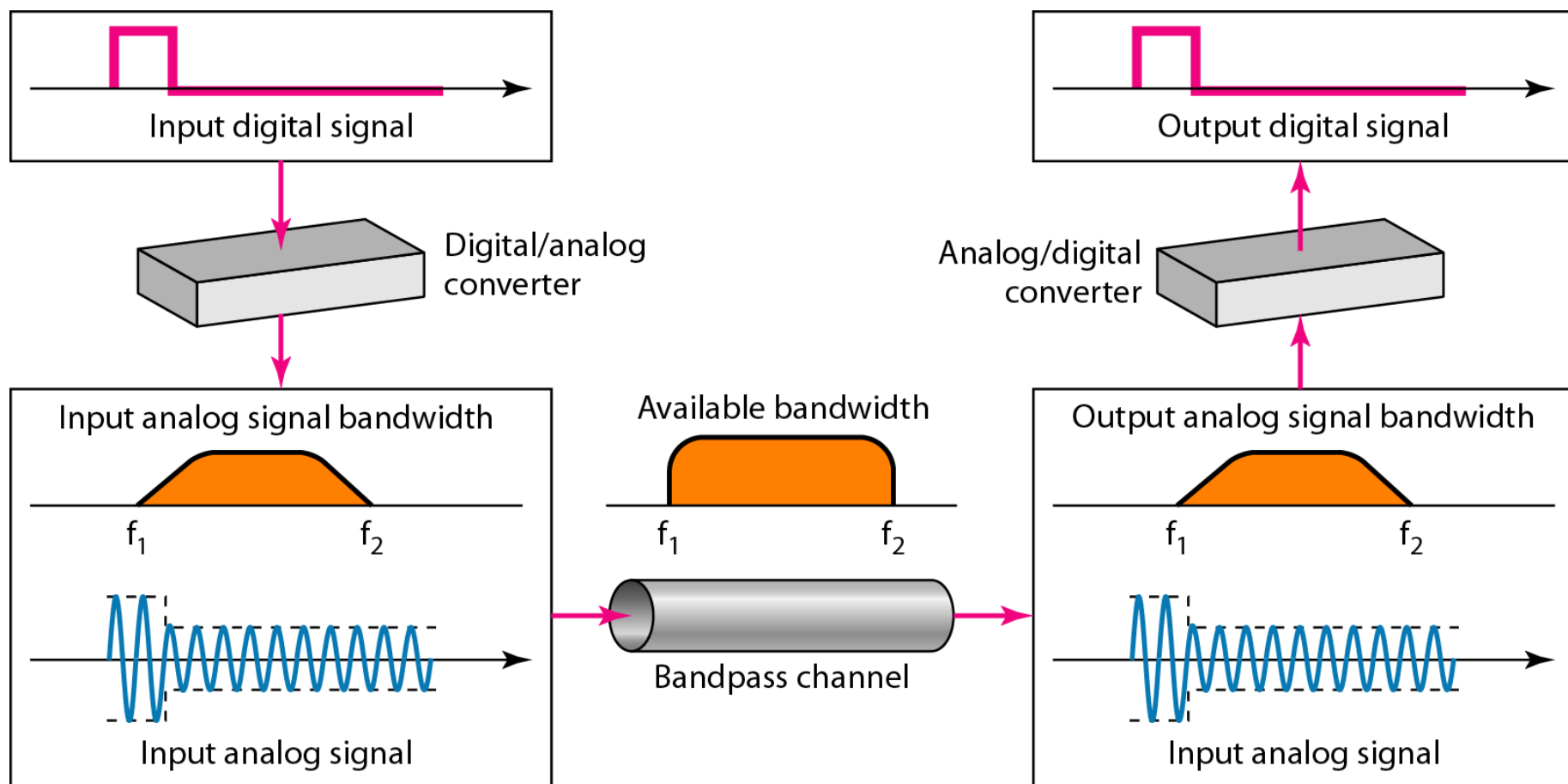
$$S = N \times \frac{1}{r} \quad \longrightarrow \quad r = \frac{N}{S} = \frac{8000}{1000} = 8 \text{ bits/ baud}$$

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

载波信号

- ◆ 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，这个基波就称为载波信号或载波频率；
- ◆ 接收设备的收听频率与载波信号的频率一致；
- ◆ 数字信息通过改变载波信号的一个或多个特性来调制载波信号，称为调制或移动键控。

图 3.24 数字信号在带通通道传输的调制过程



幅移键控 —— 二进制 ASK (BASK)

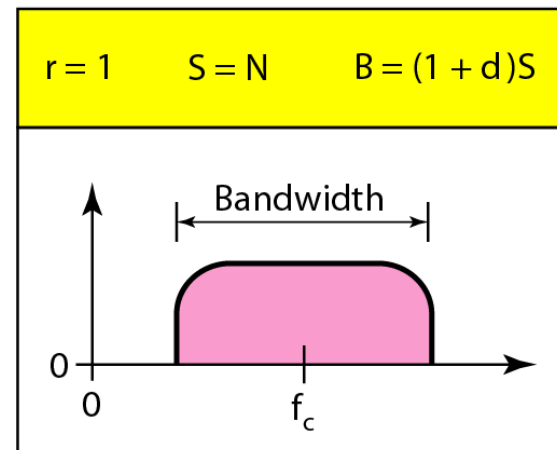
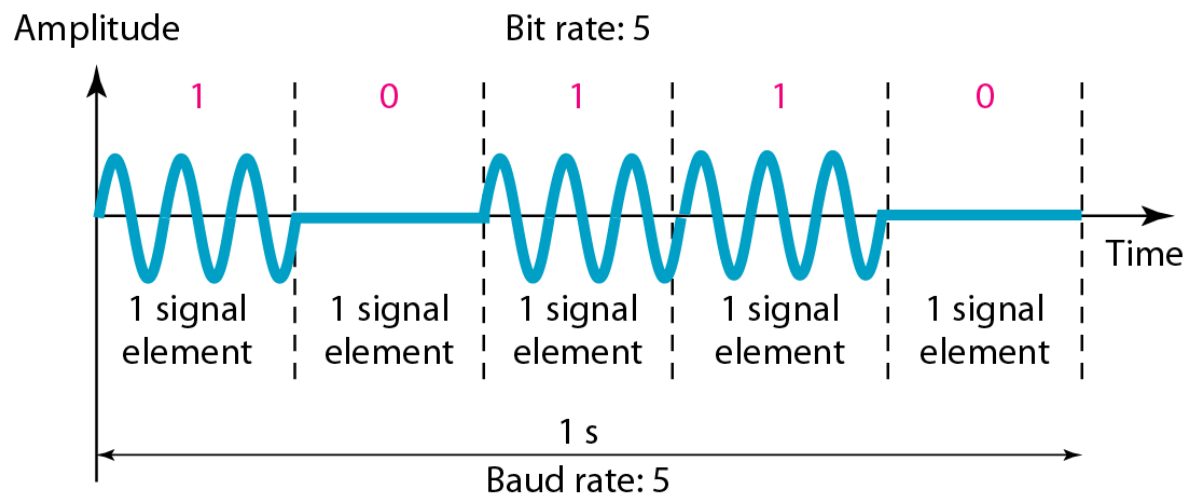
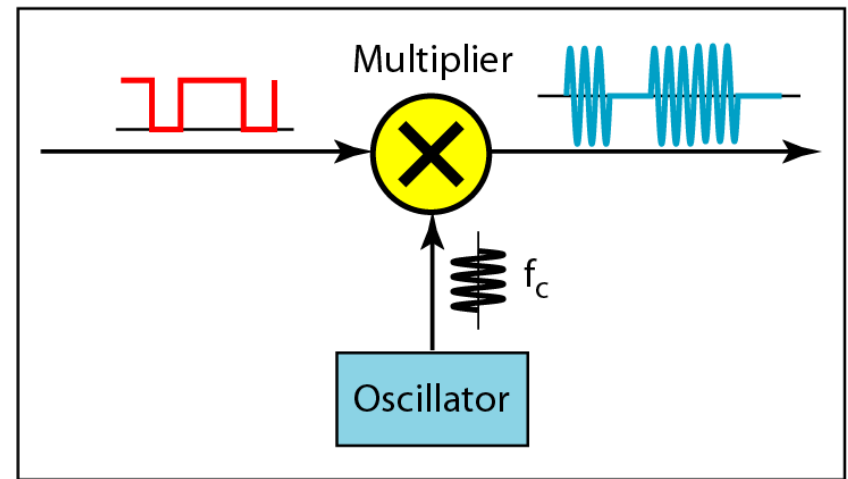
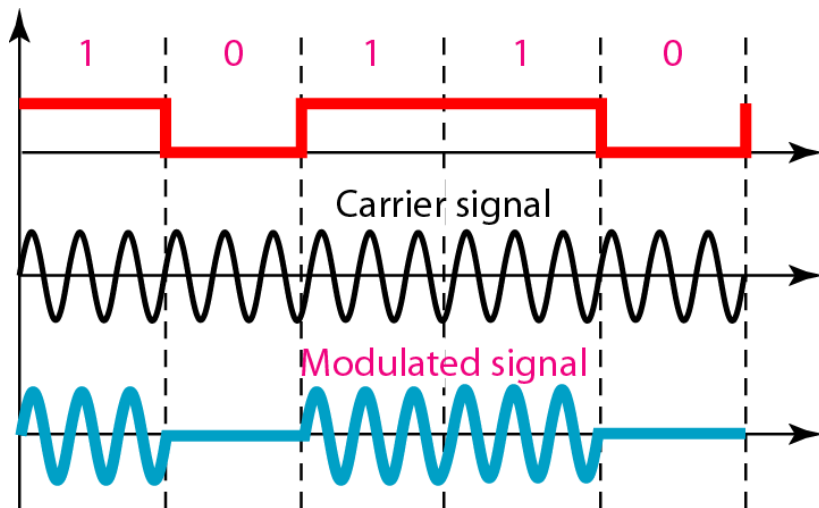


Figure 5.3 *Binary amplitude shift keying*

ASK带宽:

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

Figure 5.4 *Implementation of binary ASK*





Example 5.3

有 100kHz 的可用带宽，范围从 200 到 300 kHz。
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？（假设 $d = 1$ 和 $r = 1$ ）

Solution

带宽中点是 250kHz，意味着载波频率 $f_c = 250$ kHz，
可以使用带宽的公式得到比特率。

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

Example 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，每个部分有一个载波频率，如图 5.5 所示。图中给出了两个载波频率和带宽的位置。每个方向可用带宽是 50 kHz，因此每个方向的数据速率为 25 kbps（假设 $d = 1, r = 1$ ）。

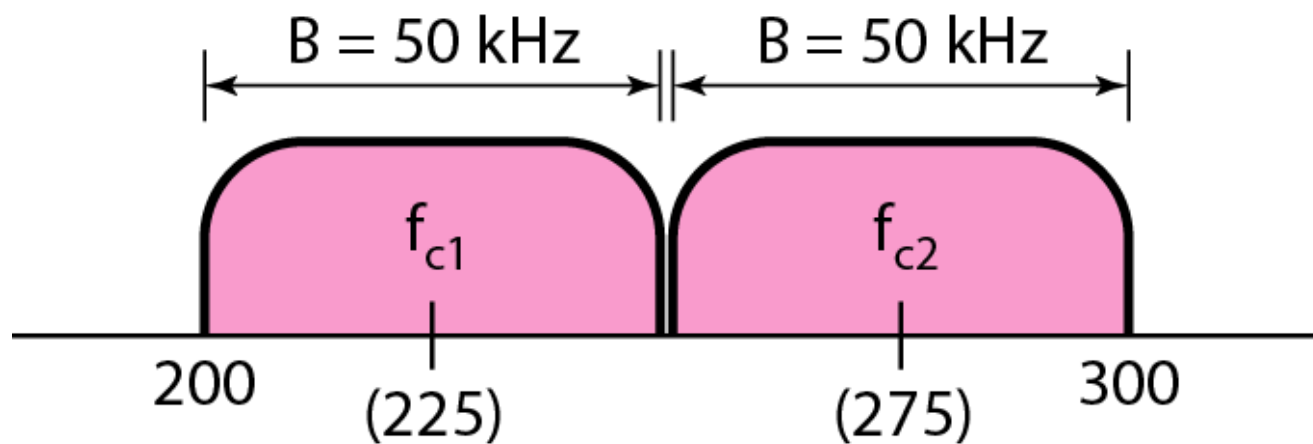


Figure 5.5 *Bandwidth of full-duplex ASK used in Example 5.4*

频移键控 —— 二进制 FSK (BFSK)

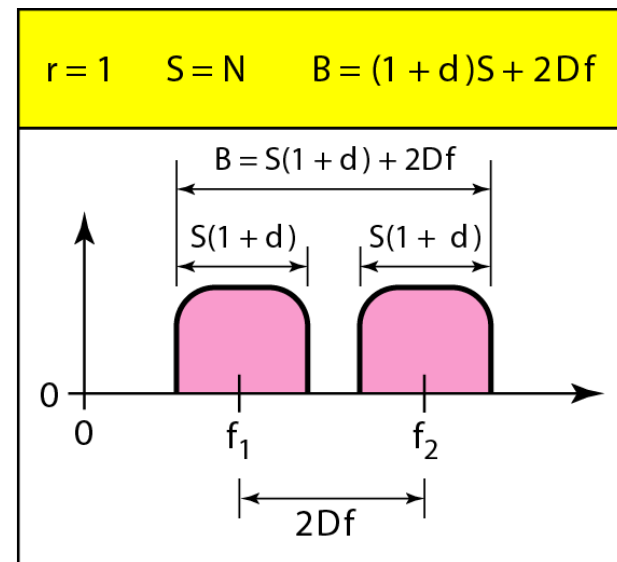
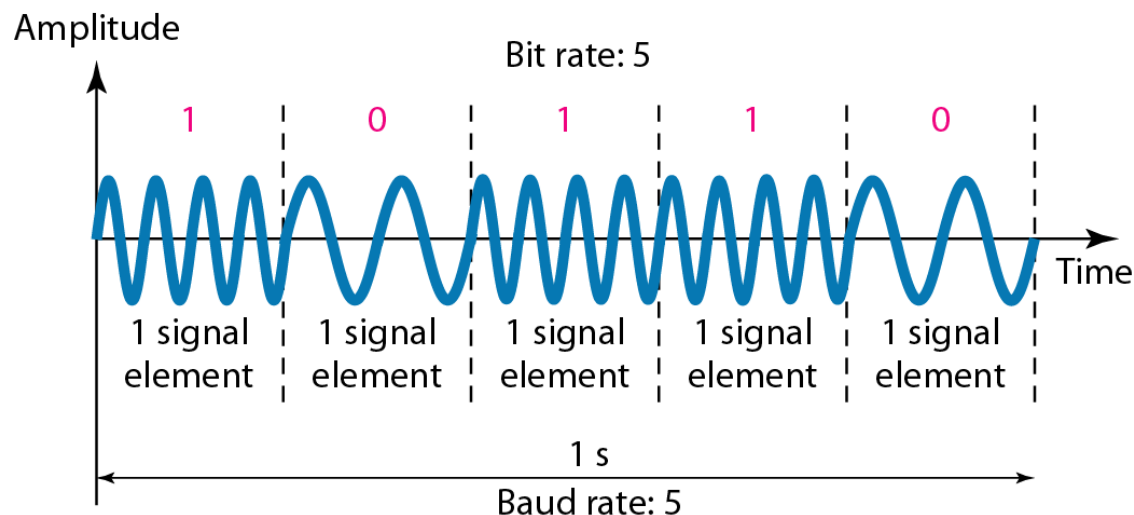


Figure 5.6 Binary frequency shift keying

$2\Delta f$ 的最小值?

如果两个频率的差是 $2\Delta f$ ，那么 BFSK 带宽是

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



Example 5.5

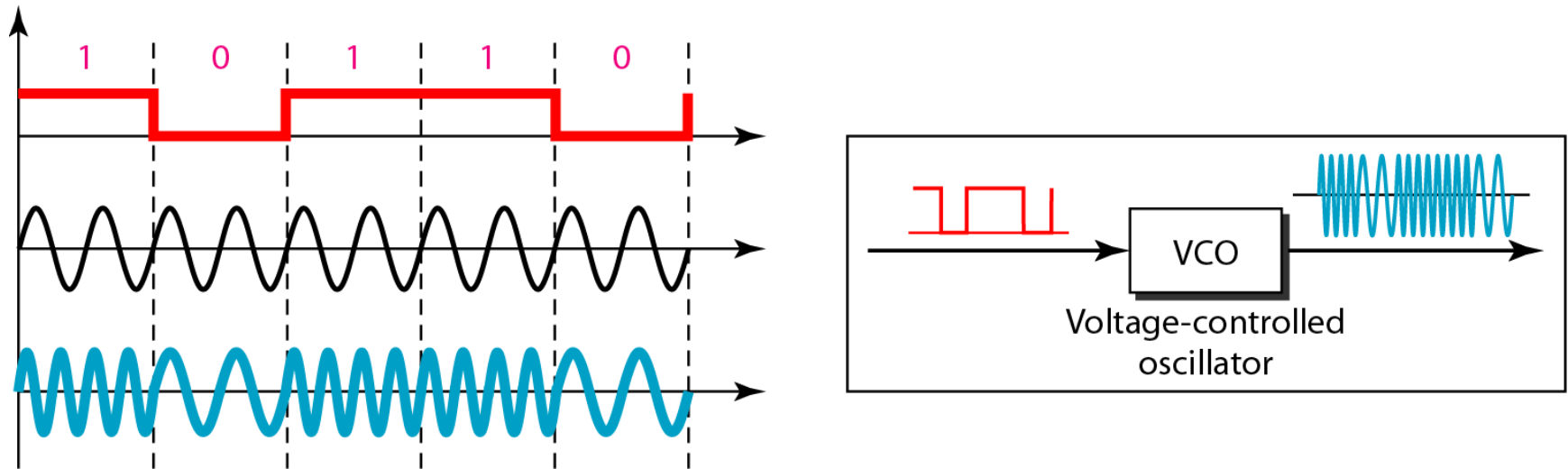
一个 100kHz 的可用带宽，范围从 200 到 300kHz。
如果使用 $d = 1$ 的 FSK 调制数据，那么比特率应该是多少？($r = 1$)

Solution

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

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

Figure 5.7 *Bandwidth of BFSK used in Example 5.6*



- **BFSK** 有两种实现方法：非相干 (noncoherent) 和相干 (coherent)。
- 在非相干 **BFSK** 中，一个信号元素结束和下一个信号元素开始时相位不连续。可以看作使用两个载波频率的两个 **ASK**。
- 在相干 **BFSK** 中，两个信号元素边界处的相位是连续的。可以使用一个压控振荡器 (**VCO**) 实现，根据输入电平改变频率。



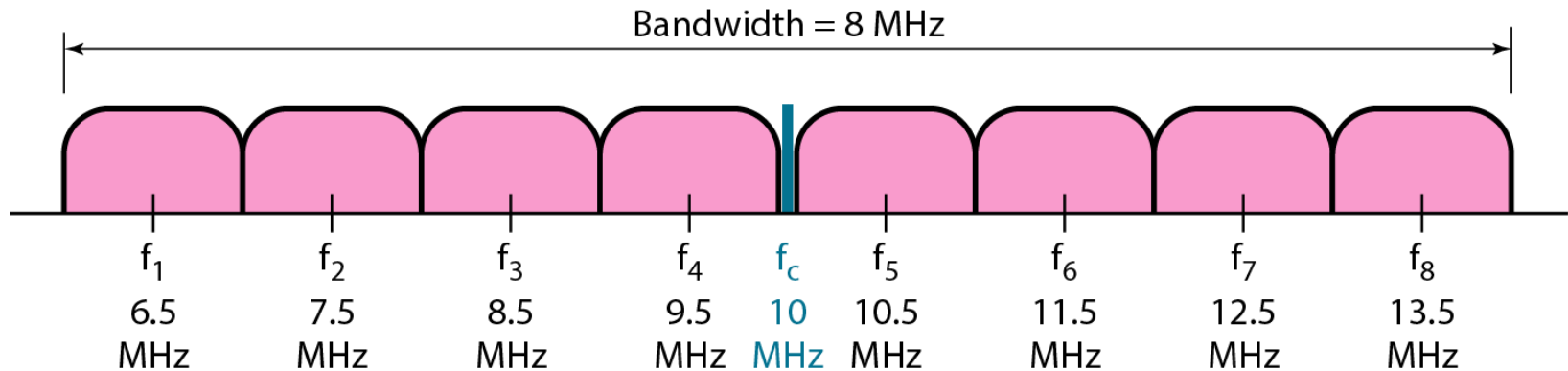
Example 5.6

用 3Mbps 的比特率每次发送 3 位数据，载波频率是 10 MHz，计算使用不同频率的个数、波特率和带宽（ $d = 0$ ）。

Solution

使用不同频率的个数 $L = 2^3 = 8$ 。波特率 $S = 3\text{MHz}/3 = 1\text{Mbaud}$ 。带宽 = 频率个数 \times 每个频率的带宽，即 $B = 8 \times (1 + d) \times S = 8\text{ MHz}$ ，意味着载波频率必须相隔 1MHz ($2\Delta f = 1\text{ MHz}$)。图 5.8 给出了频率和带宽的分配。

Figure 5.8 *Bandwidth of MFSK used in Example 5.6*



多电平 FSK 的带宽 ($d = 0$) 是

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

相移键控 —— 二进制 PSK(BPSK)

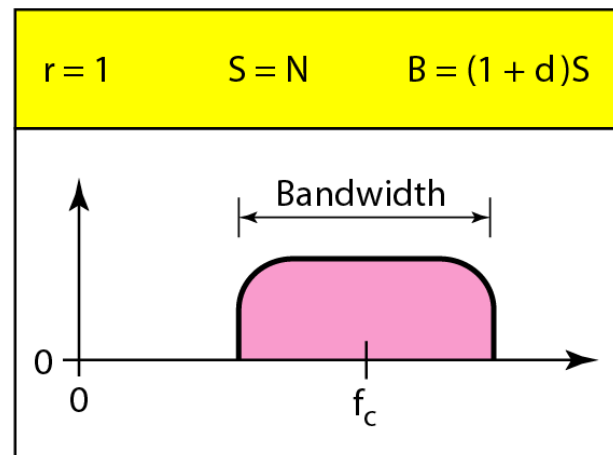
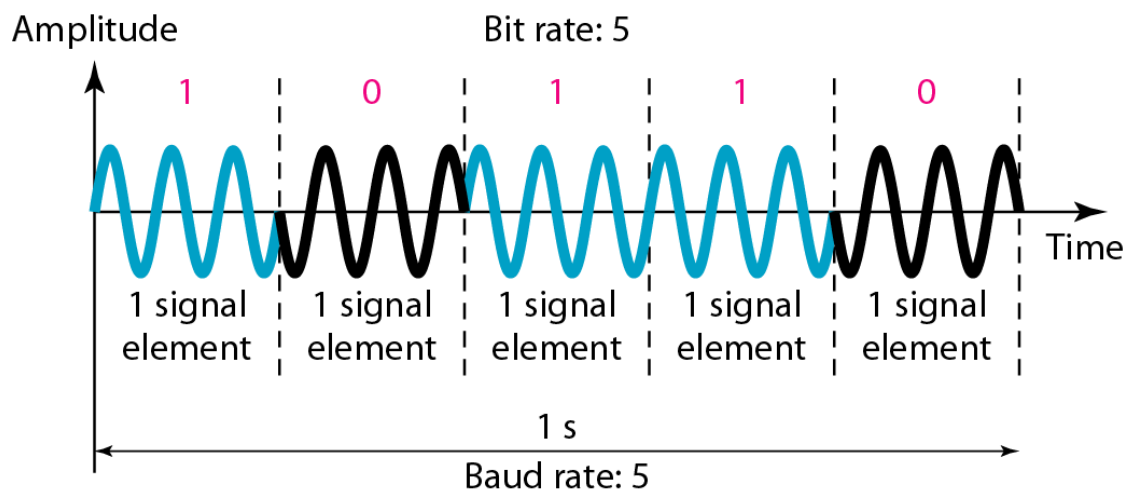
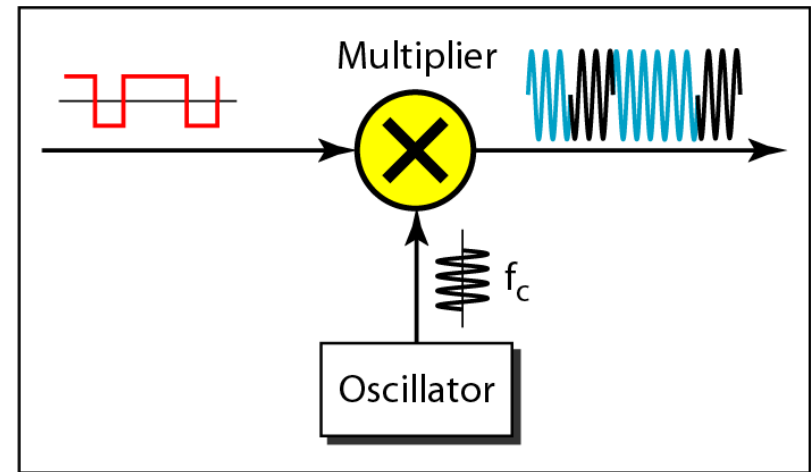
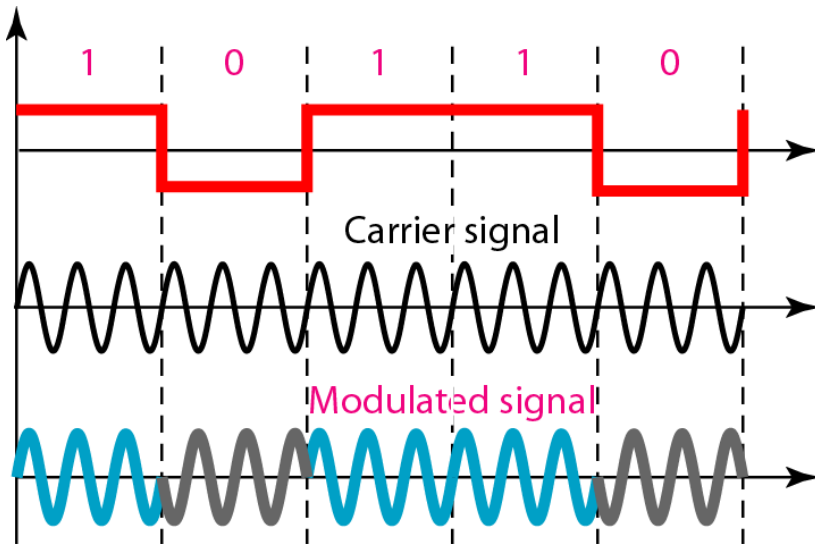


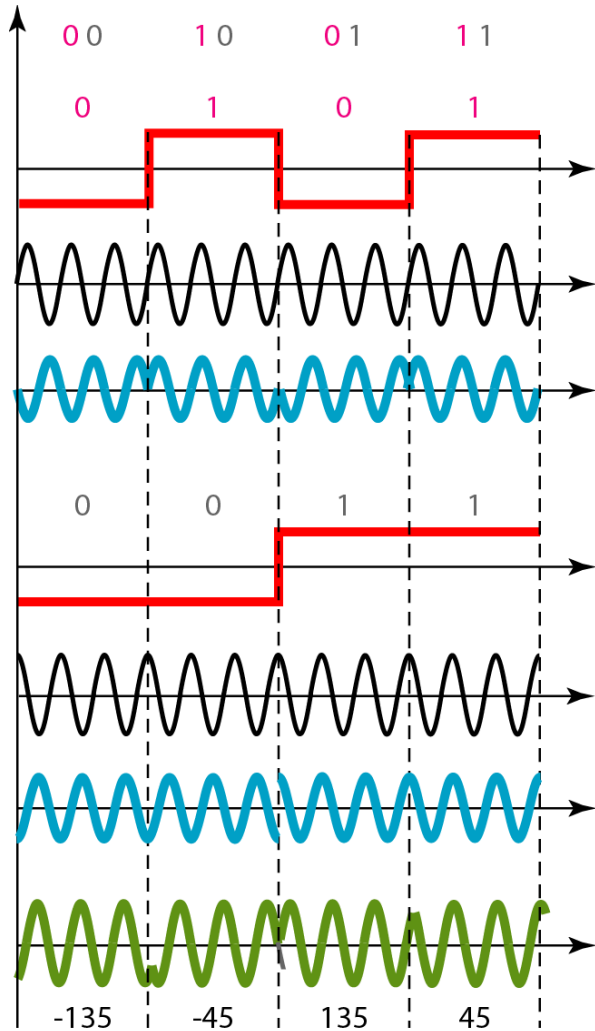
Figure 5.9 *Binary phase shift keying*

- BPSK 只用 2 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，但比 BASK 不易受噪声影响。

Figure 5.10 *Implementation of BPSK*



相移键控 —— 正交 PSK(QPSK)



使用2个独立的BPSK，一个是同相的，另一个是正交的（异相）

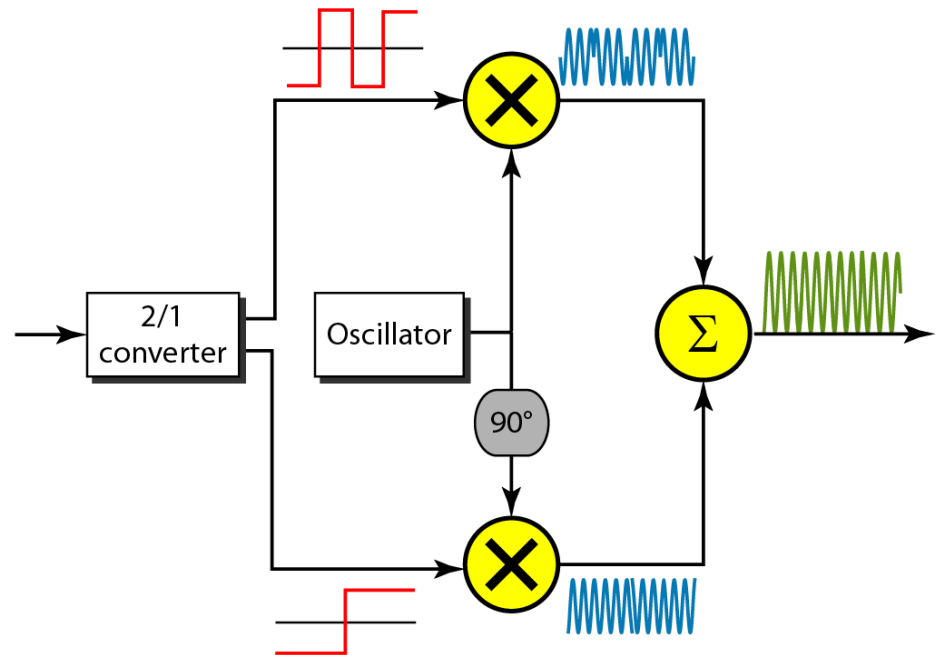


Figure 5.11 *QPSK and its implementation*



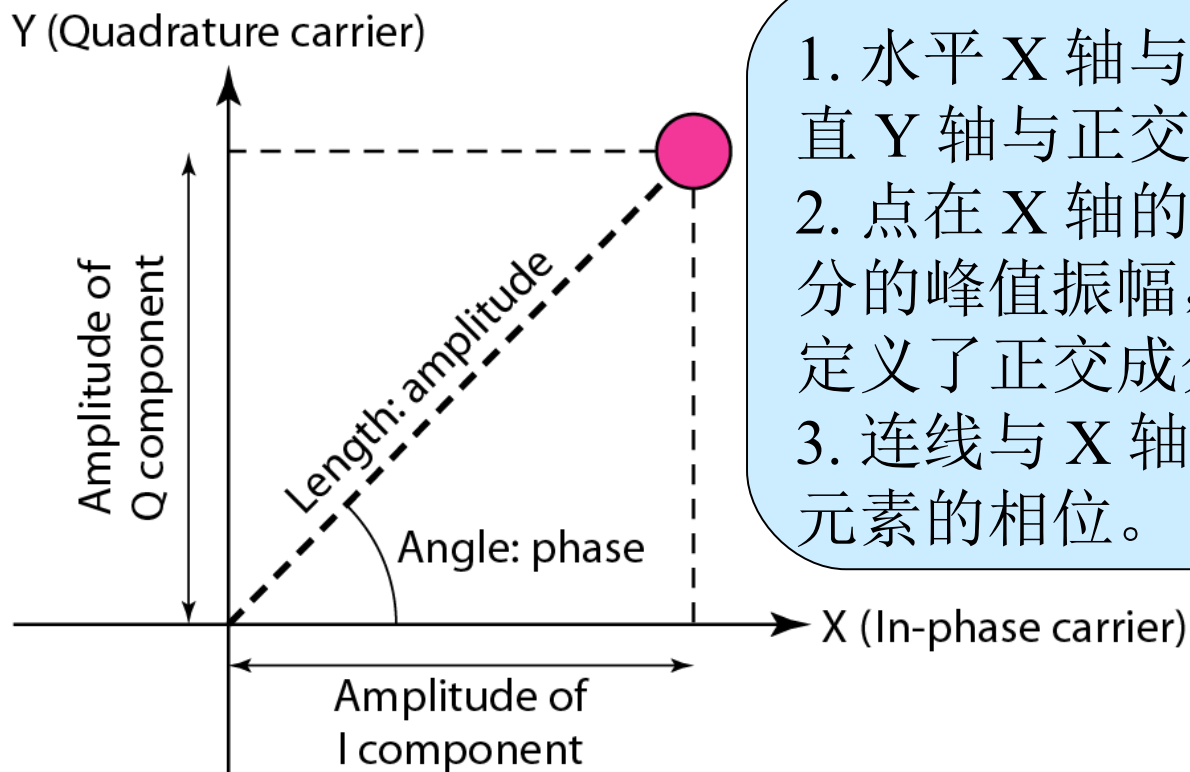
Example 5.7

使用 QPSK 调制，比特率是 12 Mbps， $d = 0$ ，求其带宽。

Solution

对 QPSK，每个信号元素携带 2 bits，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 $B = S = 6 \text{ MHz}$ 。

星座图



1. 水平 X 轴与同相载波相关，垂直 Y 轴与正交载波相关
2. 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。
3. 连线与 X 轴之间的角度是信号元素的相位。

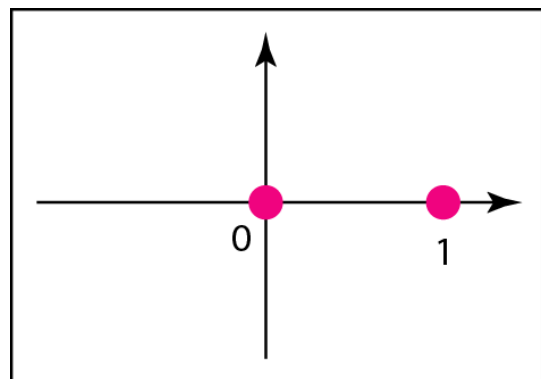
Figure 5.12 *Concept of a constellation diagram*

Example 5.8

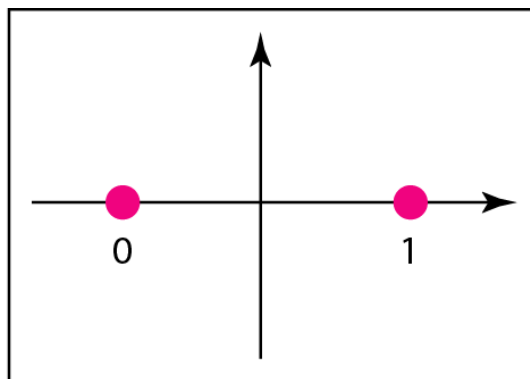
分别画出 ASK (OOK)、BPSK 和 QPSK 的星座图。

Solution

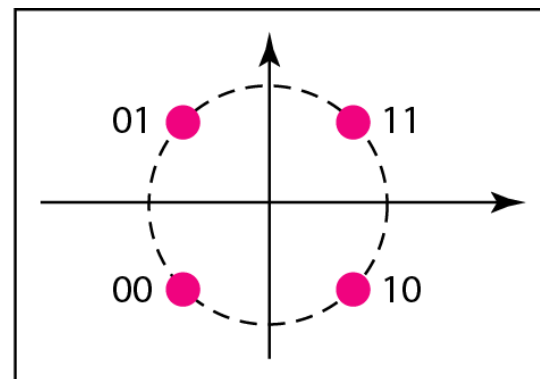
如图 5.13 所示。



a. ASK (OOK)



b. BPSK



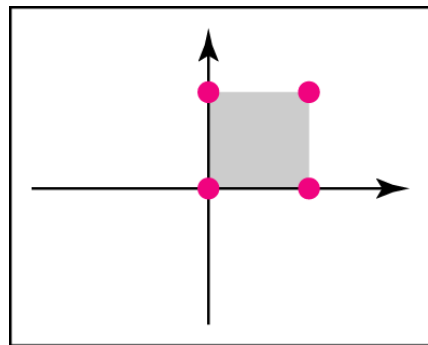
c. QPSK

Figure 5.13 *Three constellation diagrams*

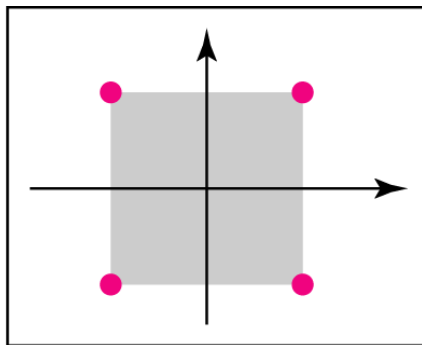
正交振幅调制 QAM

- ◆ PSK 受设备辨别相位细小差别能力的限制，影响了比特率；
- ◆ FSK 受到带宽限制，无法与其它调制方法结合；
- ◆ ASK 和 PSK 结合构成正交振幅调制；
- ◆ 正交振幅调制使用两个振幅不同的载波，一个同相一个正交。

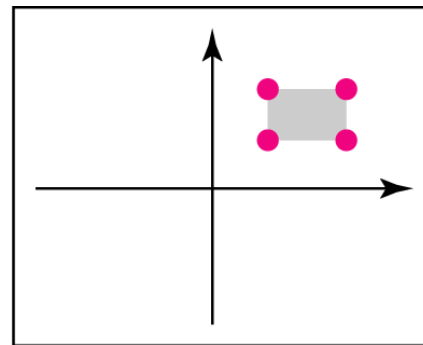
Figure 5.14 *Constellation diagrams for some QAMs*



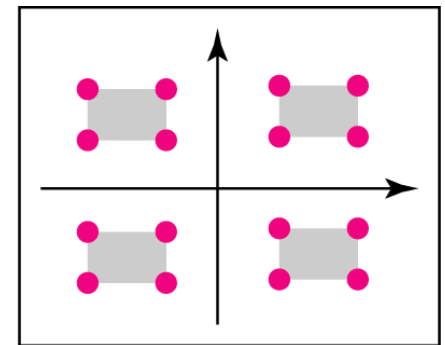
a. 4-QAM



b. 4-QAM



c. 4-QAM



d. 16-QAM

5-2 模拟信号调制

模拟信号调制是通过模拟信号来表示模拟信息的。但是，既然信号已经是模拟信号了，为什么还要调制模拟信号呢？其主要原因是：如果介质具有带通特性或者只有带通带宽可用，则模拟信号就需要进行调制。

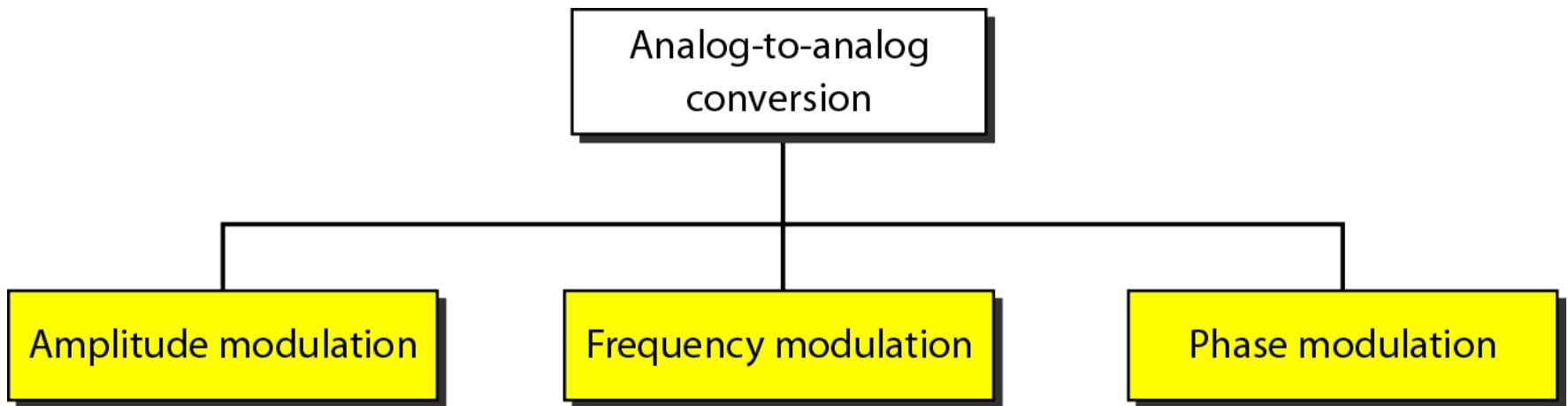
Topics discussed in this section:

调幅 (Amplitude Modulation)

调频 (Frequency Modulation)

调相 (Phase Modulation)

Figure 5.15 *Types of analog-to-analog modulation*



调幅 AM

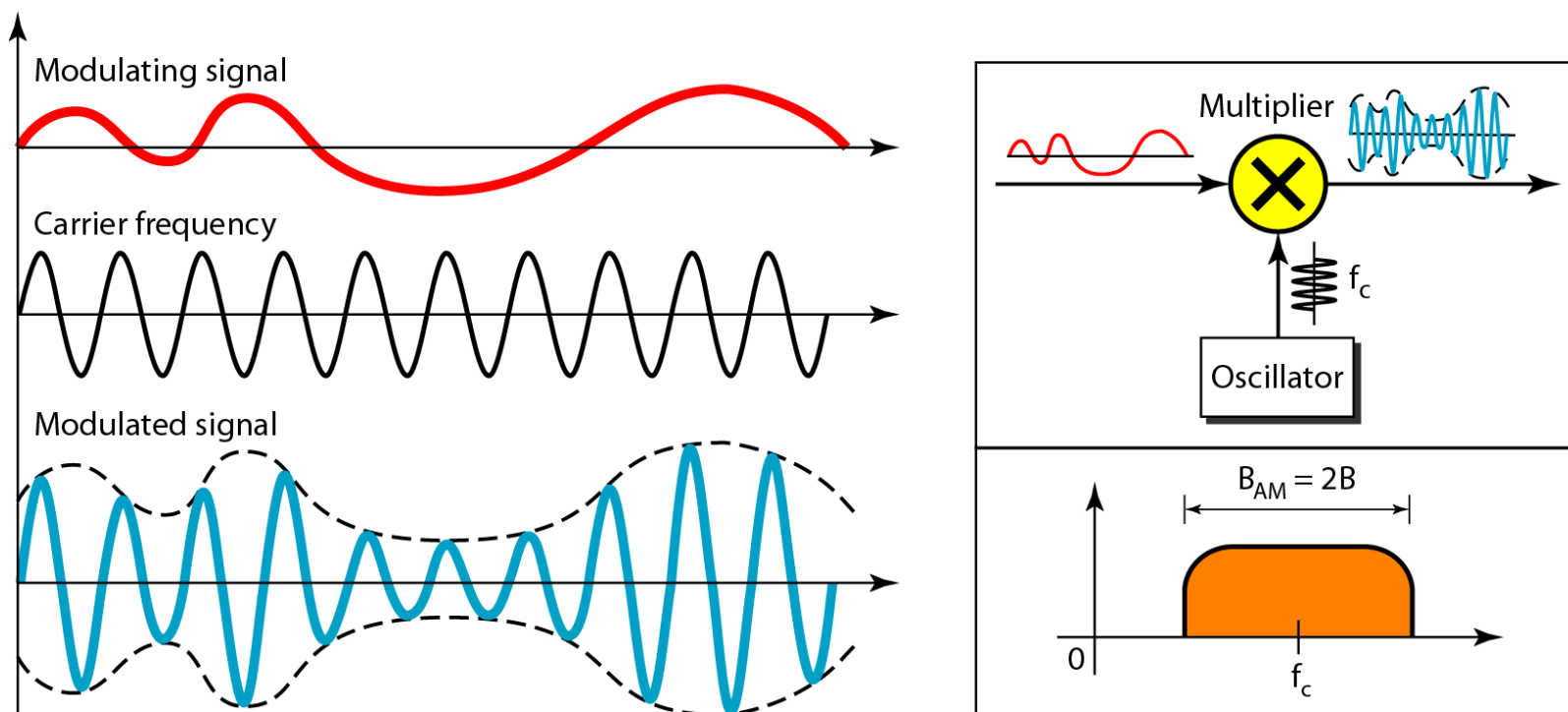
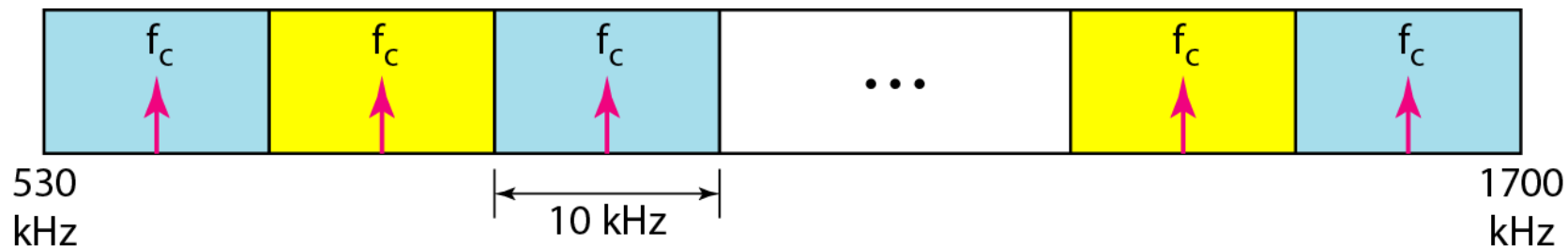


Figure 5.16 *Amplitude modulation*

AM 所需的总带宽可以由调制信号的带宽确定： $B_{AM} = 2B$

Figure 5.17 *AM band allocation*



音频信号的带宽通常为 5kHz，所以调幅无线电台需要的最小带宽是 10kHz。

调频 FM

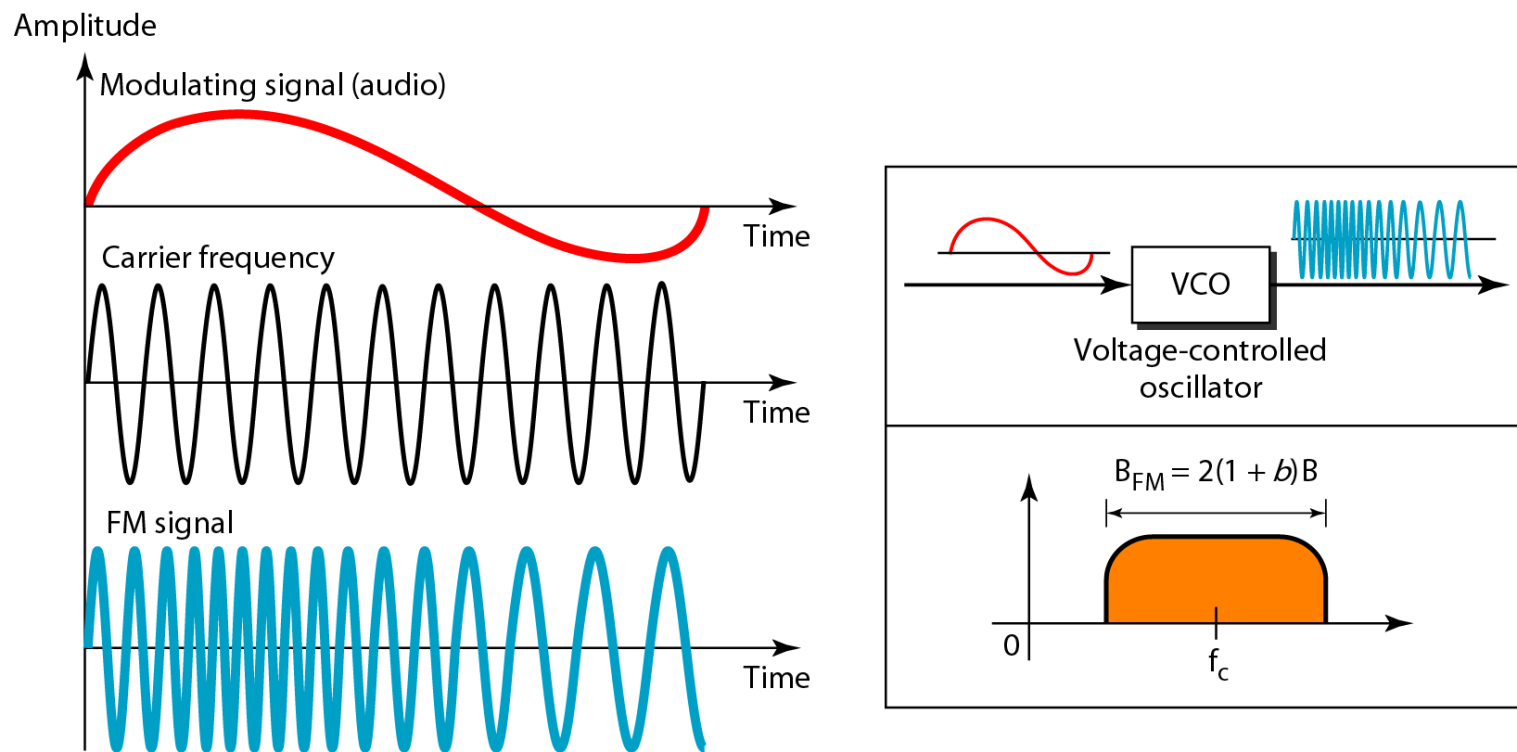
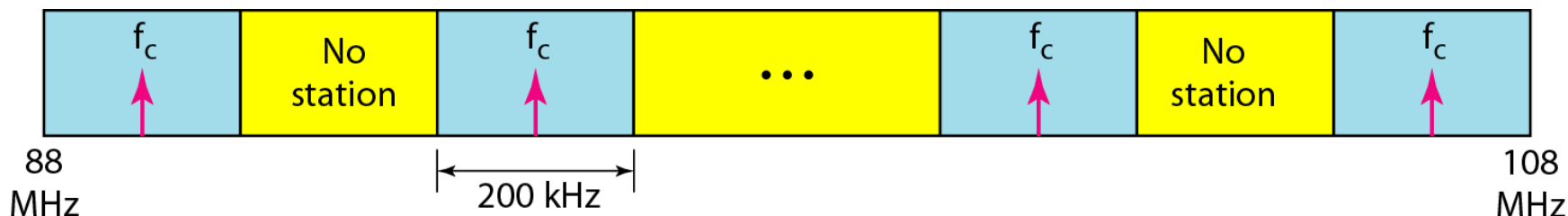


Figure 5.18 *Frequency modulation*

FM 所需总带宽由调制信号的带宽确定： $B_{FM} = 2(1 + \beta)B$ 。 β 是调制因子，一般为 4。

Figure 5.19 *FM band allocation*



立体声广播的音频信号带宽接近 15kHz，FCC 允许每个调频电台使用 200kHz 的带宽，电台之间至少有 200kHz 的频率差，确保电台之间带宽不重叠。

调相 PM

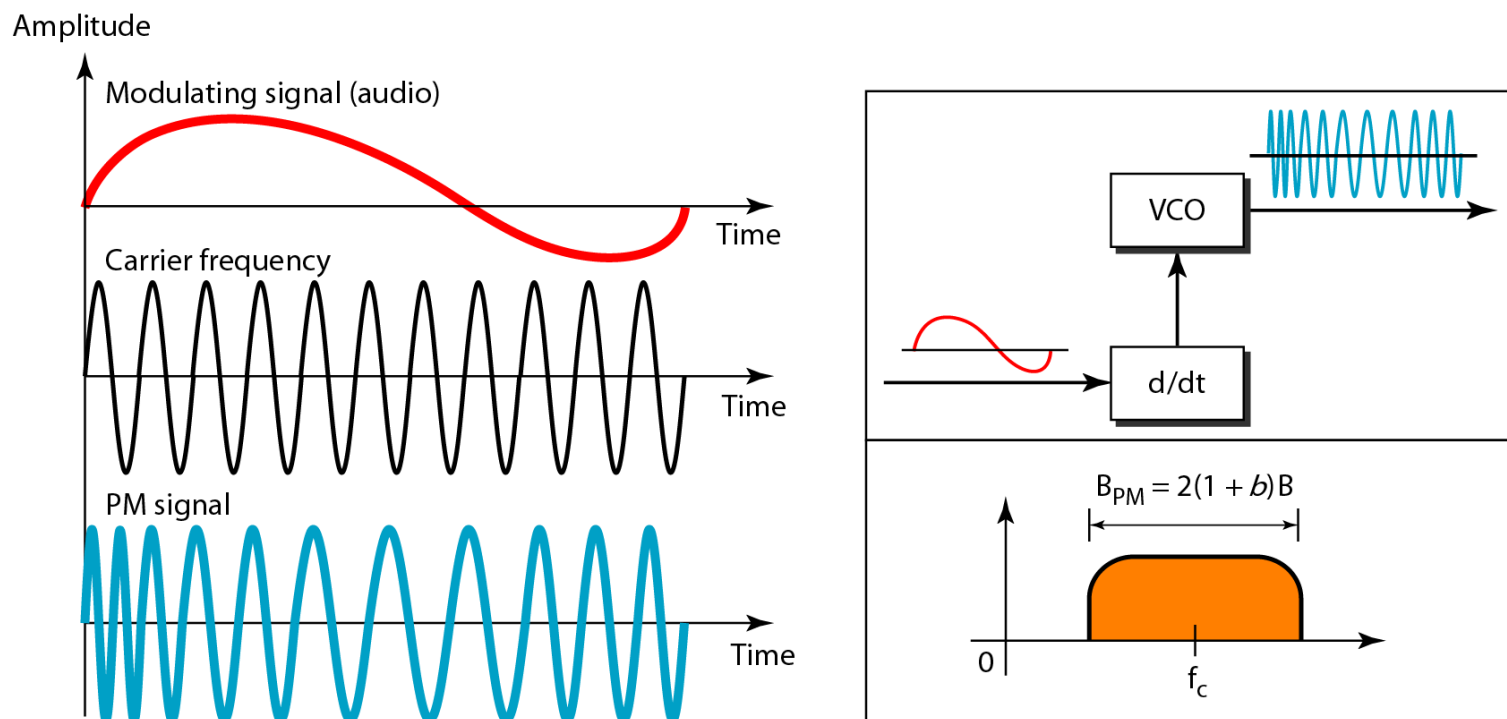


Figure 5.20 *Phase modulation*

PM 所需的总带宽由调制信号的带宽和最大振幅确定：

$$B_{PM} = 2(1 + \beta)B$$

作业

- P103 页
- 11 、 13 、 17