

## 第八章 新型数字带通调制技术

正交振幅调制(QAM)

最小频移键控(MSK)

正交频分复用 (了解)

作业

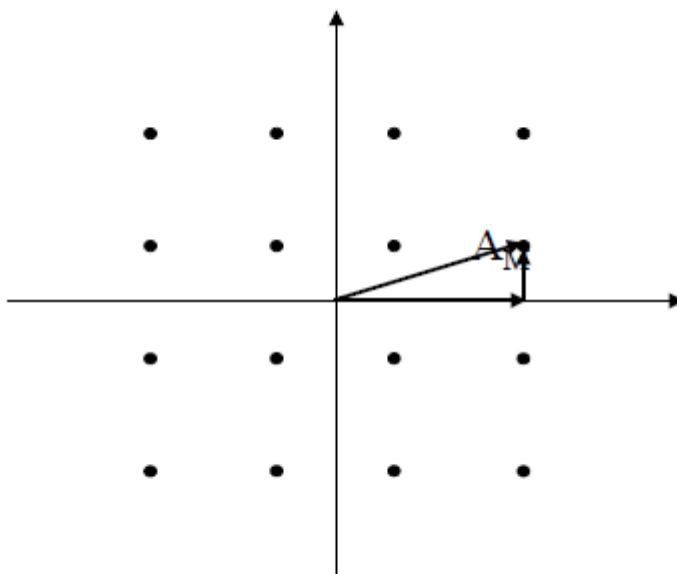
# 第八章 新型数字带通调制技术

## 正交振幅调制(QAM)

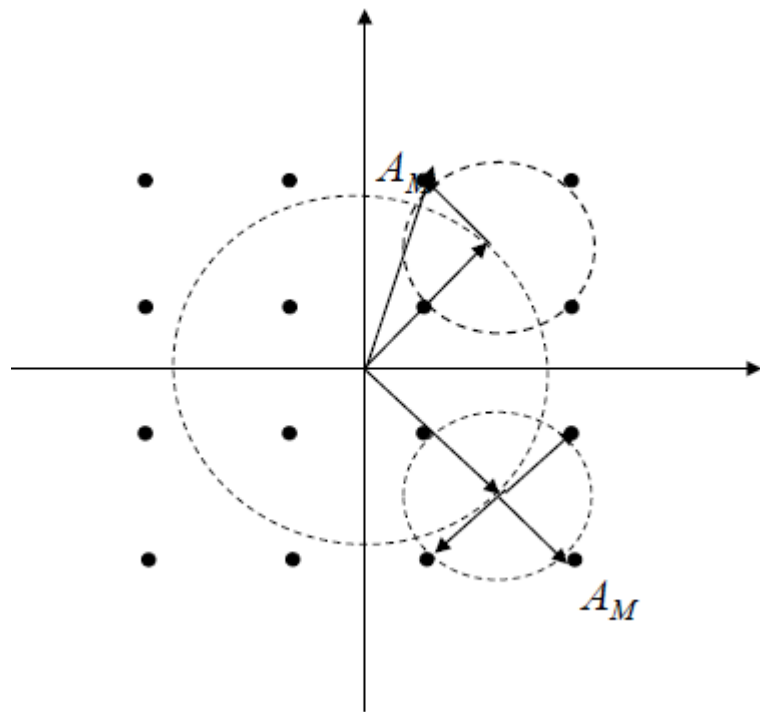
- 向量表示

$$A_k \angle \theta_k \rightarrow A_k \cdot \cos(w_c t + \theta_k) \quad (1)$$

- 矢量图表示、星座图表示, QAM又称星座调制
- 典型代表: 16QAM
  - 正交调幅: 由两个正交的4ASK组成, 等效于2个4PSK



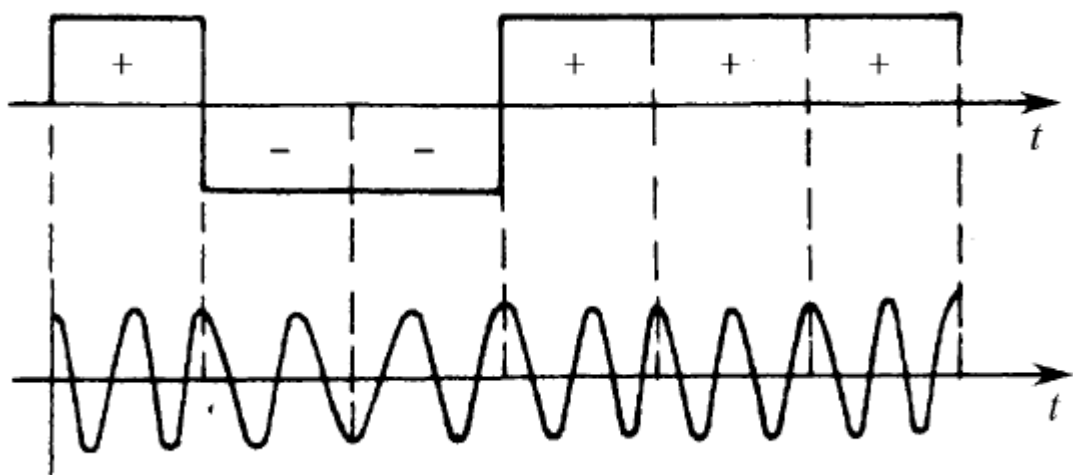
- 复合相移: 两路独立的QPSK信号叠加



- 16QAM比16PSK信号噪声容限大，信号质量比16PSK要好

## 最小频移键控(MSK)

- 包络恒定、相位连续、带宽最小并且严格正交的2FSK信号



- 相干正交需要满足的频率

$$\begin{cases} 0 & \rightarrow & w_1 \\ 1 & \rightarrow & w_2 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} f_1 = f_c - \frac{R_B}{4} \\ f_2 = f_c + \frac{R_B}{4} \end{cases}$$

- MSK信号表达式

$$\begin{cases} A \cos(w_c t + \frac{a_k}{2T_k} \pi t + \varphi_k) \\ a_k \begin{cases} 1 & \rightarrow \text{"1"} \\ -1 & \rightarrow \text{"0"} \end{cases} \end{cases}$$

- 附加相位

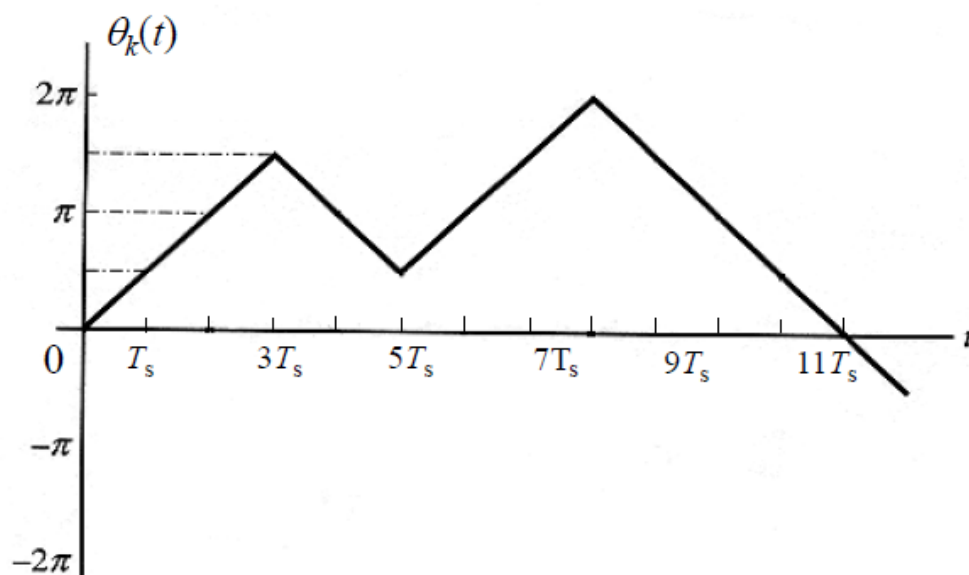
$$\theta_k(t) = \frac{a_k}{2T_s} \pi t + \varphi_k$$

(2)

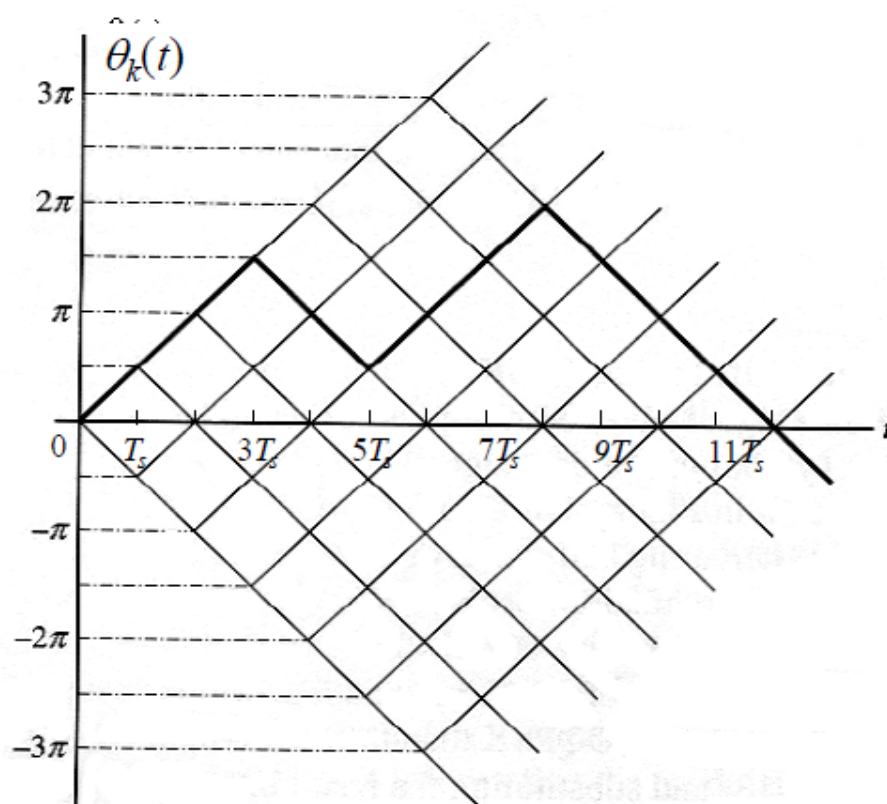
在  $t \in (0, T_s)$  范围内时,  $\theta_k(t) \sim t$  图的画法

$$\begin{cases} 0 & \rightarrow & \theta_k \downarrow \frac{\pi}{2} \\ 1 & \rightarrow & \theta_k \uparrow \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

图中给出的曲线所对应的输入数据序列是:  $a_k = +1, +1, +1, -1, -1, +1, +1, +1, -1, -1, -1, -1, -1$



附加相位的全部可能路径图：



• MSK图

$$\begin{cases} f_1 = f_c - \frac{R_B}{4} \\ f_2 = f_c + \frac{R_B}{4} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \text{"0"} \text{画 } \frac{f_1}{R_B} \text{ 个波} \\ \text{"1"} \text{画 } \frac{f_2}{R_B} \text{ 个波} \end{cases}$$

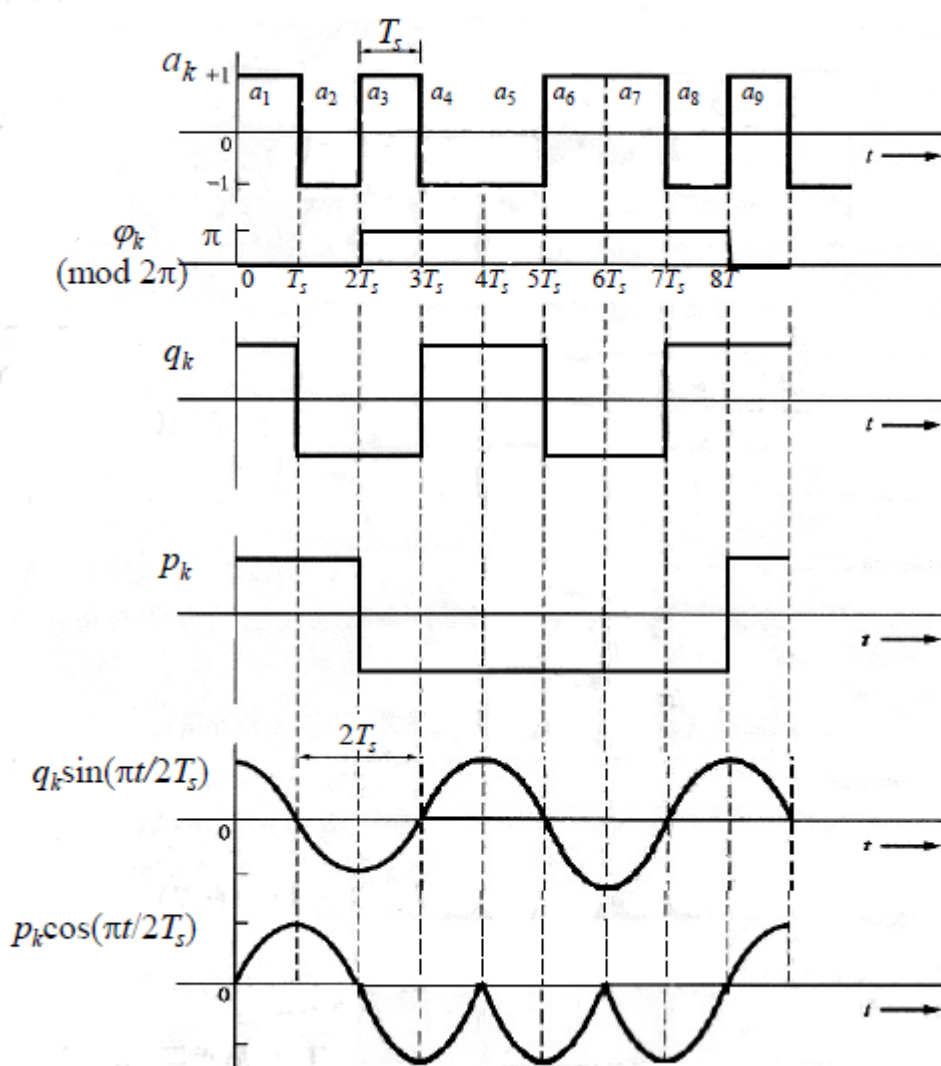
## ◆ MSK信号举例

### □ 取值表

$k$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t$	$(-T_s, 0)$	$(0, T_s)$	$(T_s, 2T_s)$	$(2T_s, 3T_s)$	$(3T_s, 4T_s)$	$(4T_s, 5T_s)$	$(5T_s, 6T_s)$	$(6T_s, 7T_s)$	$(7T_s, 8T_s)$	$(8T_s, 9T_s)$
$a_k$	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	+1
$b_k$	+1	+1	-1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	+1
$\varphi_k$	0	0	0	$\pi$	$\pi$	$\pi$	$\pi$	$\pi$	$\pi$	0
$p_k$	+1	+1	+1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	+1
$q_k$	+1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1

设 $k=0$ 时为初始状态，输入序列 $a_k$ 是：+1, -1, +1, -1, -1, +1, +1, -1, +1。

由此例可以看出， $p_k$ 和 $q_k$ 不可能同时改变符号。



- 带宽关系

$$B_{MSK} = 1.5R_B \quad (3)$$

- 调频指数

$$h = \frac{\Delta f}{R_B} = \frac{1}{2} \quad (4)$$

- 考试题型：画图题。小题：带宽

## 正交频分复用（了解）

- 多载波并行调制称为正交频分复用（OFDM）

## 作业

**例 8-2** 设发送数据序列为 0010110101, 采用 MSK 方式传输, 码元速率为 1200B, 载波频率为 2400Hz。

- (1) 试求“0”符号和“1”符号对应的频率；
- (2) 画出 MSK 信号时间波形；
- (3) 画出 MSK 信号附加相位路径图(初始相位为零)。

**解** (1) 设“0”符号对应频率  $f_0$ , “1”符号对应频率  $f_1$ , 则有

$$f_0 = f_c - \frac{1}{4T_s} = 2400 - \frac{1200}{4} = 2100(\text{Hz})$$

$$f_1 = f_c + \frac{1}{4T_s} = 2400 + \frac{1200}{4} = 2700(\text{Hz})$$

(2) 由于  $f_0 = 2100\text{Hz} = \frac{7}{4}R_B$  (一个码元周期  $T_s$  内画  $1\frac{3}{4}$  周载波)

$$f_1 = 2700\text{Hz} = \frac{9}{4}R_B \quad (\text{一个码元周期 } T_s \text{ 内画 } 2\frac{1}{4} \text{ 周载波})$$

所以 MSK 信号时间波形如图 8-14 所示。

(3) MSK 信号附加相位路径图如图 8-15 所示。

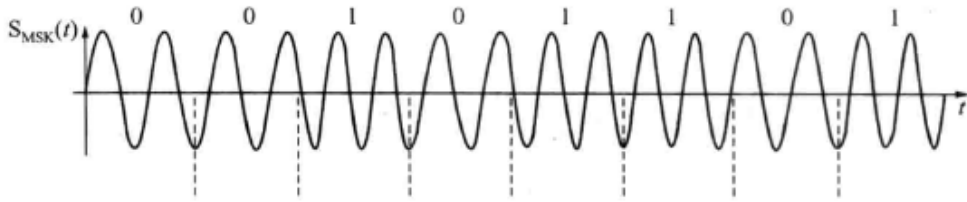


图 8-14 MSK 信号时间波形

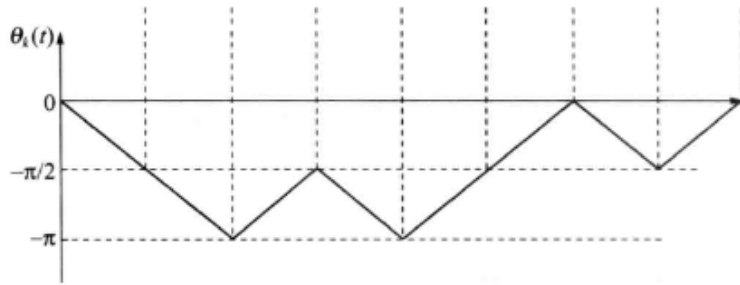


图 8-15 MSK 信号附加相位路径图

• 8.1

**8-1** 设发送数字序列为 +1 -1 -1 -1 -1 -1 +1, 试画出用其调制后的 MSK 信号相位变化图。若码元速率为 1000Baud, 载频为 3000Hz, 试画出此 MSK 信号的波形。

**解** (1) MSK 信号波形如图 8-16 所示。

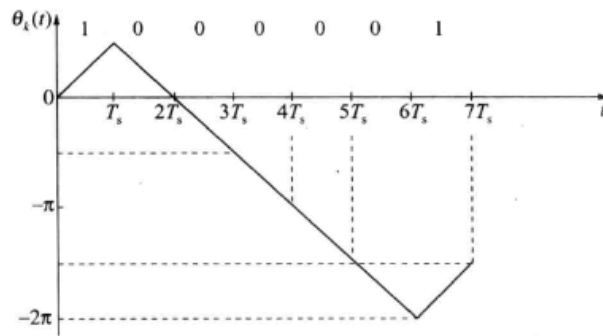


图 8-16 MSK 信号波形

(2) MSK 信号的两个频率为  $f_1 = f_c + \frac{1}{4T_s} = 3000 + \frac{1000}{4} = 3250(\text{Hz})$

$$f_0 = f_c - \frac{1}{4T_s} = 3000 - \frac{1000}{4} = 2750(\text{Hz})$$

若设“1”对应频率  $f_1$ , 则在一个码元周期  $T_s$  内画  $3\frac{1}{4}$  周载波; “0”对应频率  $f_0$ , 则在一个码元周期  $T_s$  内画

$2\frac{3}{4}$  周载波, 故发送数字序列 1000001 对应的 MSK 信号时间波形如图 8-17 所示。

• 8.2

8-2 设有一个 MSK 信号,其码元速率为 1000Baud,分别用频率  $f_1$  和  $f_0$  表示码元“1”和“0”。若  $f_1 = 1250\text{Hz}$ ,试求其  $f_0$  应等于多少,并画出三个码元“101”的波形。

解 (1) 由于码元周期  $T_s = 1/R_B = 1/1000$ ,所以由式  $f_1 = f_c + \frac{1}{4T_s}$

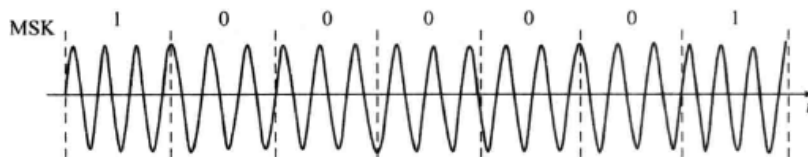


图 8-17 MSK 信号时间波形

得到

$$f_c = f_1 - \frac{1}{4T_s} = 1250 - \frac{1000}{4} = 1250 - 250 = 1000(\text{Hz})$$

故

$$f_0 = f_c - \frac{1}{4T_s} = 1000 - \frac{1000}{4} = 1000 - 250 = 750(\text{Hz})$$

(2) 设“1”对应  $f_1 = 1250\text{Hz}$ ,则在一个码元周期  $T_s$  内画  $1\frac{1}{4}$ 周载波;“0”对应  $f_0 = 750\text{Hz}$ ,则在一个码元周期  $T_s$  内画  $\frac{3}{4}$ 周载波,所以对应码元“101”的 MSK 信号时间波形如图 8-18 所示。

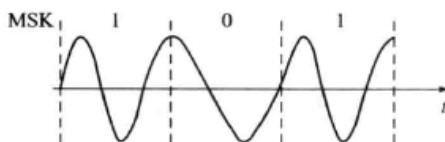


图 8-18 MSK 信号时间波形