

---

# 第7章

## 数字带通传输系统



---

作业:

**P225**

**1、 3、 4、 5、 13、 14**



# 第7章

---

7.1 二进制数字调制原理

7.2 二进制数字调制系统的抗噪声性

7.3 二进制数字调制系统的性能比较

7.4 多进制数字调制系统



# 引言

---

## 数字信号的传输方式

### □ 传输方式

- 数字信号的基带传输
- 数字信号的调制传输

### □ 以哪种传输方式为主？

- 由信道类型确定
  - 低通型信道--数字信号的基带传输
  - 带通型信道--数字信号的调制传输



# 数字调制

---

## □ 数字调制目的与本质

- 载波：连续的正（余）弦信号
- 调制信号：数字基带信号
  - 数字调制完成基带信号功率谱的搬移

## □ 数字调制的过程

- 模拟调制的过程，载波参数连续变化
- 数字调制的过程，载波参数离散变化

调制， modulation

键控， shift keying



# 模拟调制和数字调制方式对照

## 模拟调制

幅度调制(AM)

频率调制(FM)

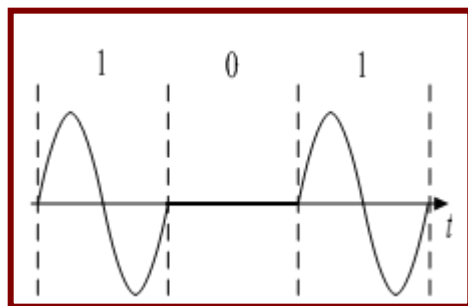
相位调制(PM)

## 数字调制

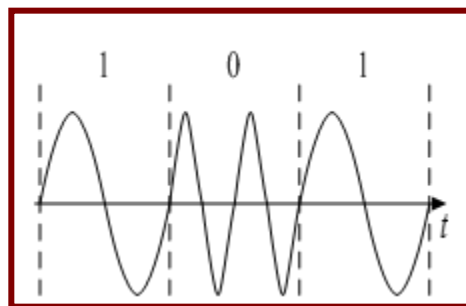
幅度键控(ASK)

频移键控(FSK)

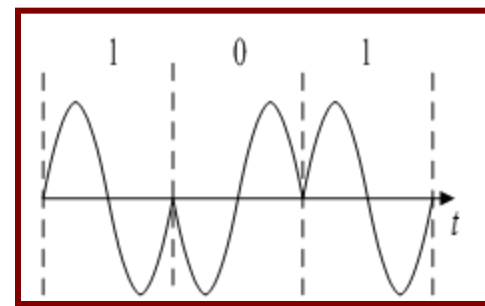
相移键控(PSK)



振幅键控



频移键控



相移键控



# 二进制数字调制与解调原理

---

7.1.1 二进制振幅键控 (2ASK)

7.1.2 二进制移频键控 (2FSK)

7.1.3 二进制移相键控 (2PSK)

7.1.4 二进制差分相移键控 (2DPSK)



# 7.1 二进制数字调制与解调原理

---

## 7.1.1 二进制振幅键控 (2ASK)

### 一、一般原理与实现方法

振幅键控是正弦载波的幅度随数字基带信号而变化的数字调制。记作**ASK**(Amplitude Shift Keying)，或称其为通断键控(开关键控)，记作**OOK**(On Off Keying)。二进制数字振幅键控通常记作**2ASK**。

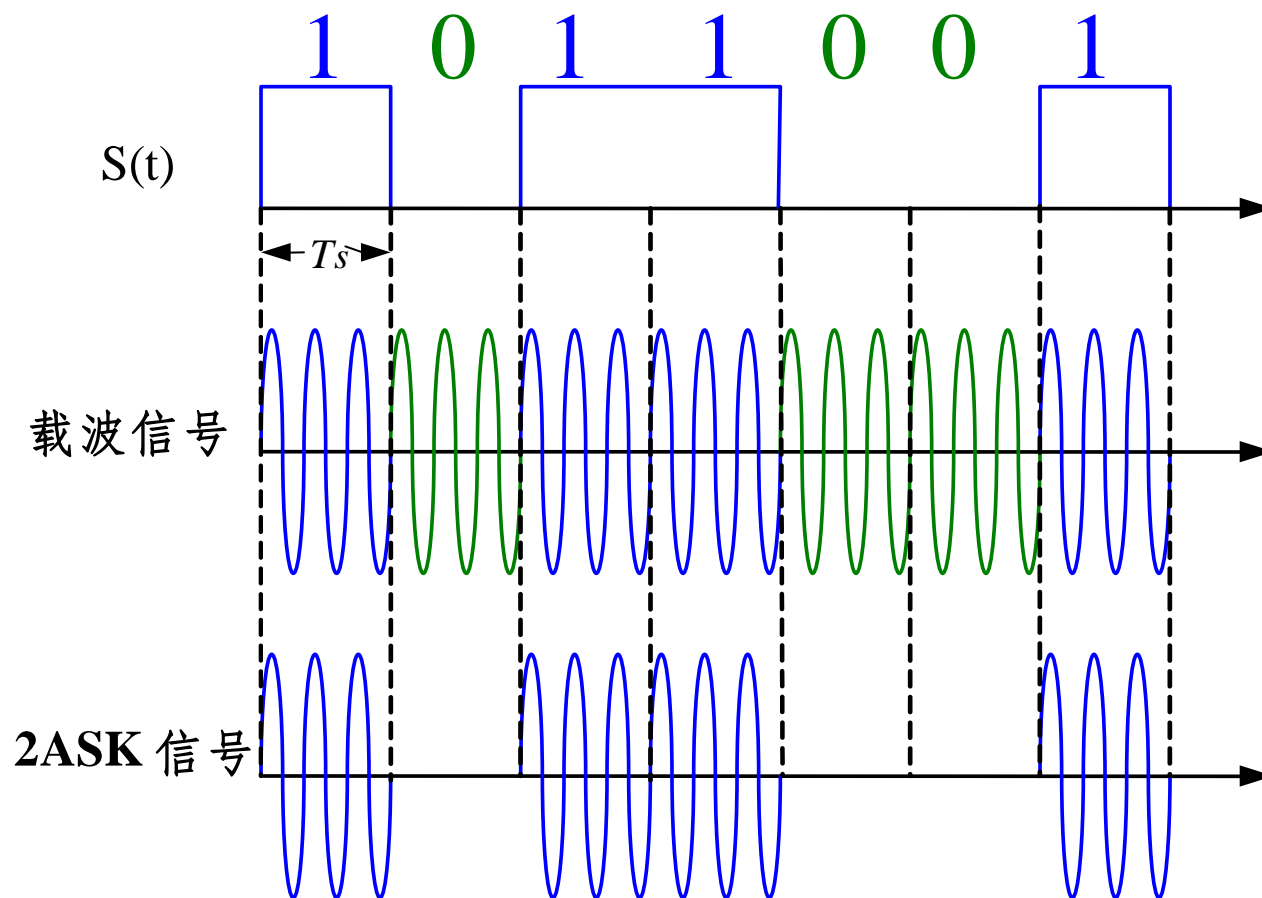
2ASK信号早期用于无线电报，由于抗噪声性能差现在已较少使用，但2ASK信号是其它数字调制的基础。





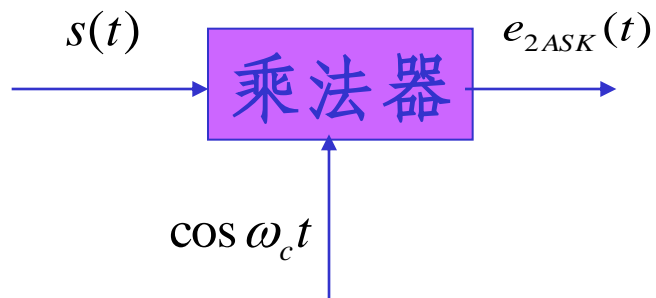
# 一、2ASK一般原理与实现方法

## 二进制振幅键控信号时间波形如图

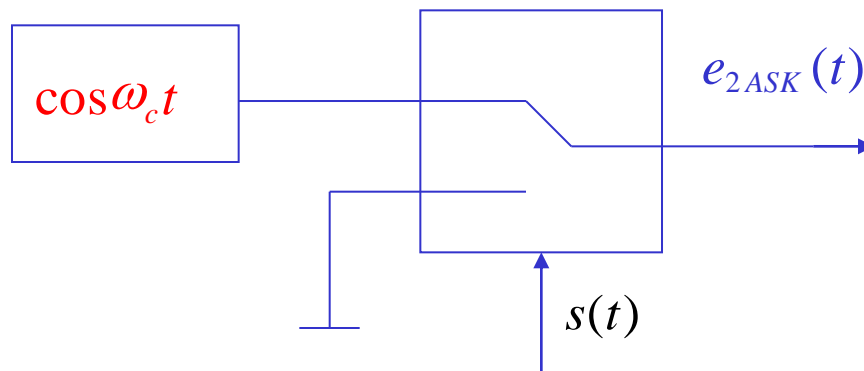


# 一、2ASK一般原理与实现方法

二进制振幅键控信号的产生方法如图所示：



(a)



(b)

## 二进制振幅键控信号调制器原理框图

图(a)是采用模拟相乘的方法实现，图(b)是采用数字键控的方法实现。



# 一、2ASK一般原理与实现方法

二进制振幅键控信号可表示为

$$e_{2ASK}(t) = s(t) \cos \omega_c t = \sum_n a_n g(t - nT_s) \cdot \cos \omega_c t$$

注意

二进制数字基带信号采用单极性不归零波形

$$s(t) = \sum_n a_n g(t - nT_s)$$

$$a_n = \begin{cases} 0, & \text{以概率 } P \\ 1, & \text{以概率 } 1 - P \end{cases}$$

$$g(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq T_s \\ 0, & \text{其它 } t \end{cases}$$



## 二、2ASK信号的功率谱及带宽

$$e_{2ASK}(t) = s(t) \cos \omega_c t$$

若：

$$s(t) \Leftrightarrow P_s(f)$$

$$e_{2ASK}(t) \Leftrightarrow P_{2ASK}(f)$$

则：

$$P_{2ASK}(f) = \frac{1}{4} [P_s(f + f_c) + P_s(f - f_c)]$$

因为 $P_{2ASK}(f)$ 是 $P_s(f)$ 的线性搬移，所以**ASK**（**振幅键控**）是一种线性调制。



## 二、2ASK信号的功率谱及带宽

当基带信号为单极性不归零矩形脉冲序列时,

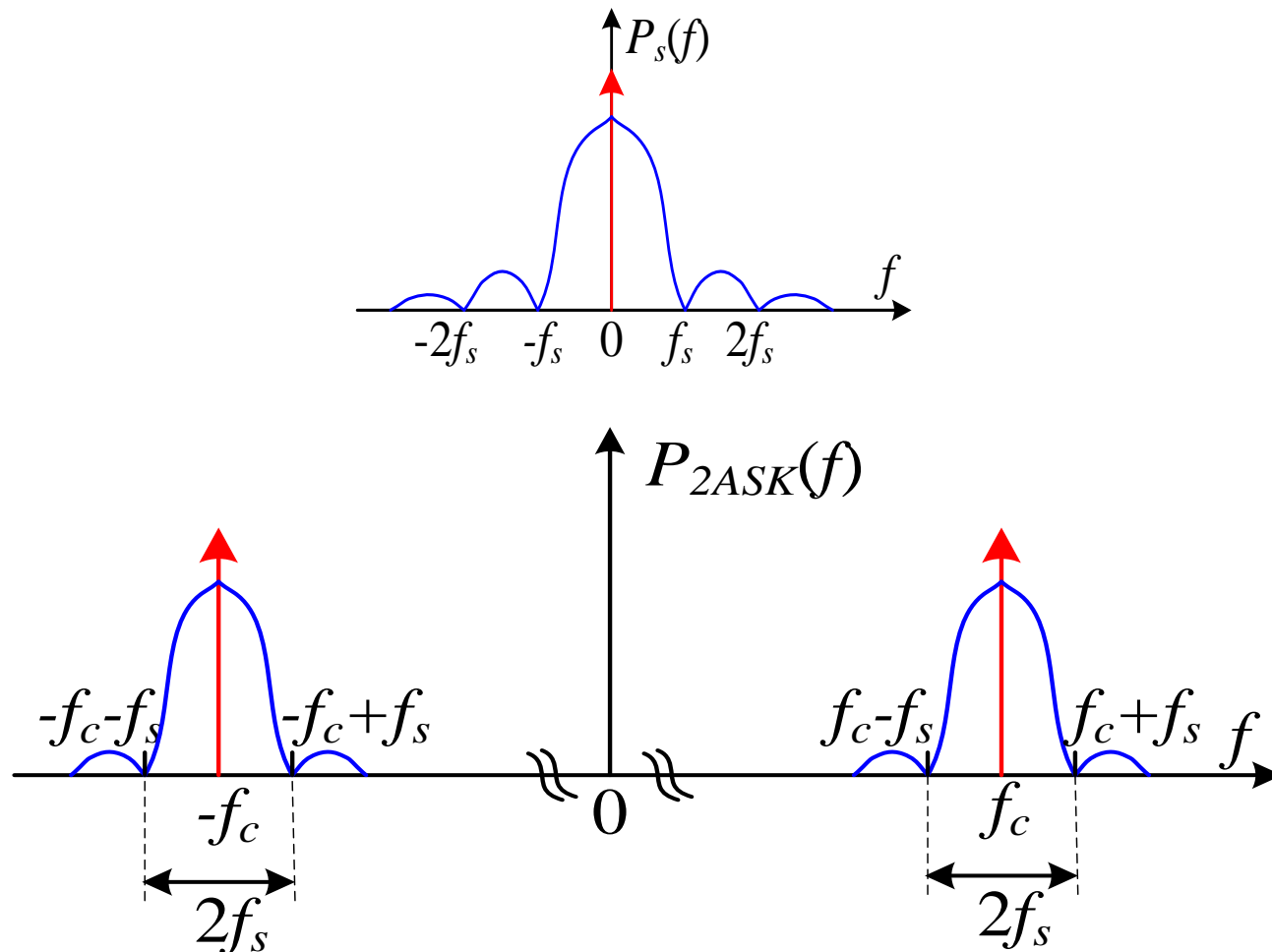
$$P_s(f) = [T_s S a^2 (\pi f T_s) + \delta(f)] / 4 \quad (\text{设 } P = 1/2)$$

则有:

$$\begin{aligned} P_{2ASK}(f) &= \frac{1}{4} [P_s(f + f_c) + P_s(f - f_c)] \\ &= \frac{T_s}{16} \left\{ S_a^2 [\pi (f + f_c) T_s] + S_a^2 [\pi (f - f_c) T_s] \right\} \\ &\quad + \frac{1}{16} [\delta(f + f_c) + \delta(f - f_c)] \end{aligned}$$



## 二、2ASK信号的功率谱及带宽



2ASK信号的功率谱密度曲线



## 二、2ASK信号的功率谱及带宽

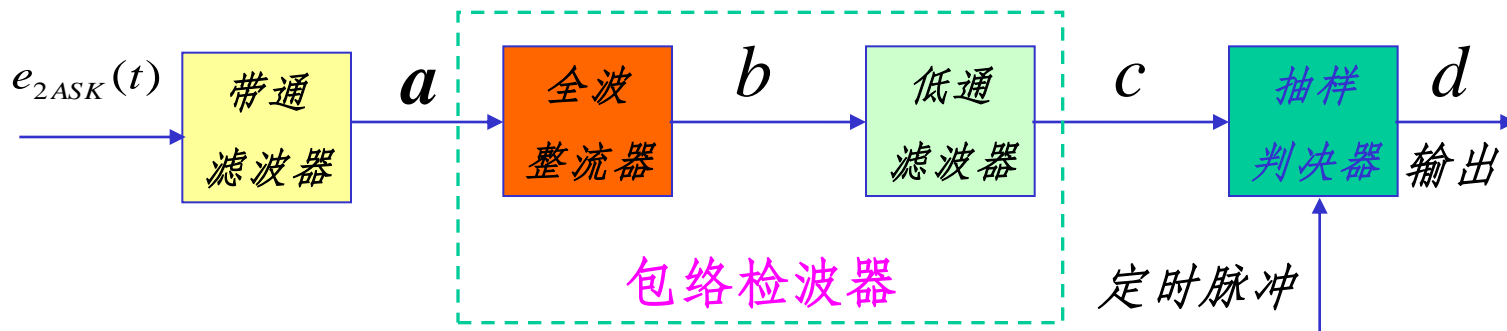
---

- $P_{2\text{ASK}}(f)$ 是相应的数字基带信号功率谱密度 $P_s(f)$ 平移至 $\pm f_c$ 处形成的;
- $P_{2\text{ASK}}(f)$ 由连续谱和离散谱两部分组成。它的连续谱取决于数字基带信号基本脉冲的频谱 $G(f)$ , 而离散谱则由载波分量确定。
- 2ASK信号的带宽 $B_{2\text{ASK}}$ 是单极性数字基带信号带宽的两倍。当数字基带信号的基本脉冲是矩形不归零脉冲时, 2ASK信号的带宽为  $2f_s$ 。



### 三、2ASK信号的解调

对2ASK信号能够采用非相干解调(包络检波法)和相干解调(同步检测法)。



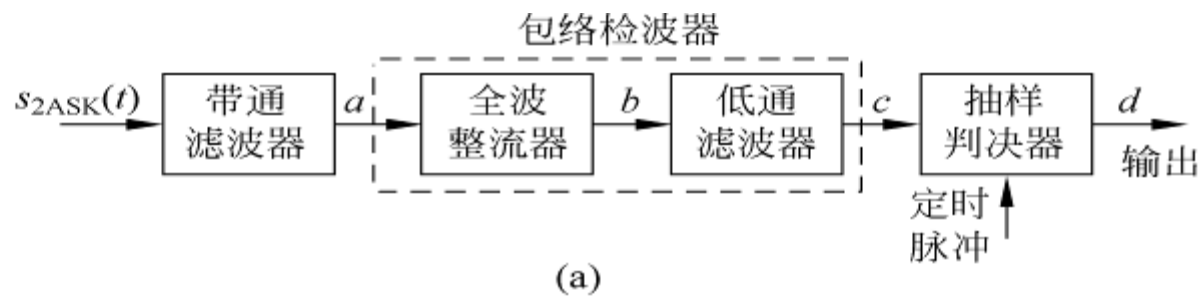
(a)

(a) 非相干解调方式

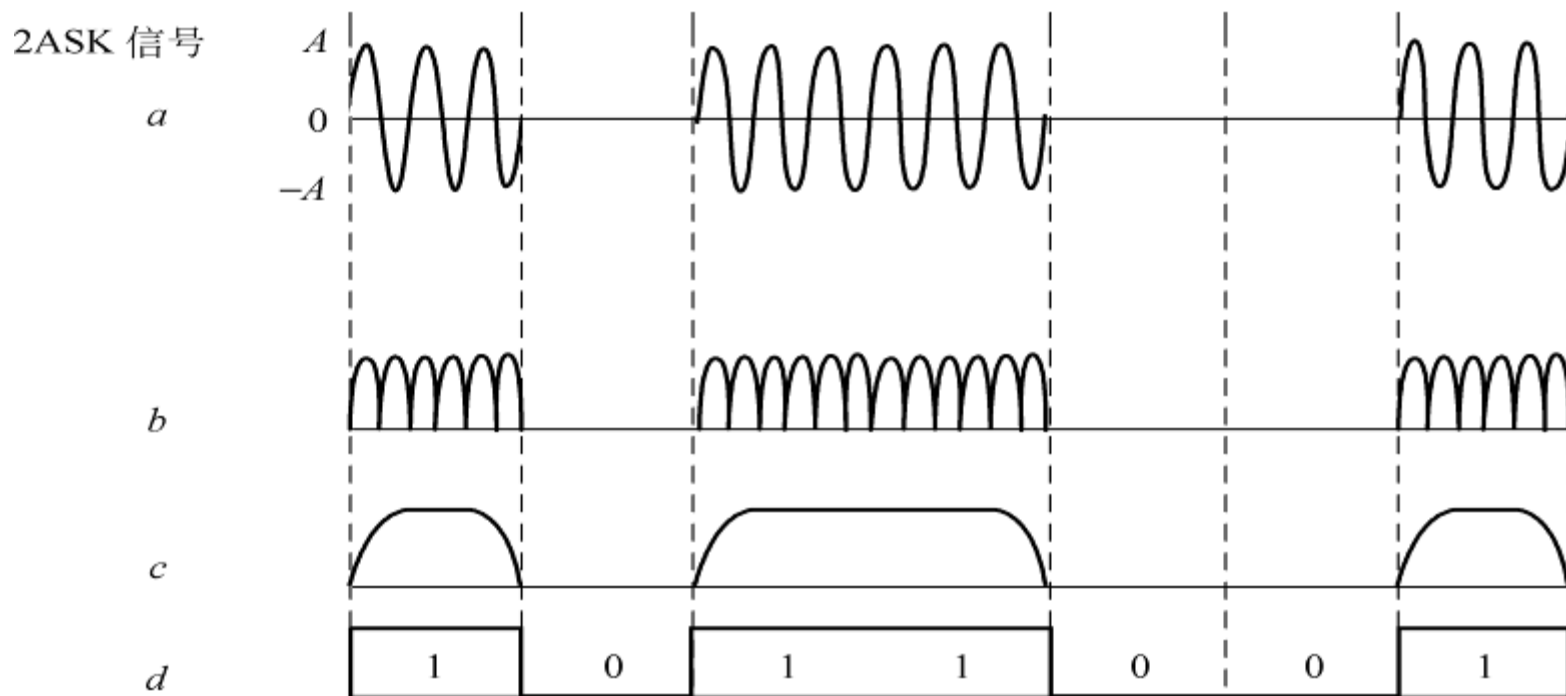




## ■ 非相干解调(包络检波法)



(a)



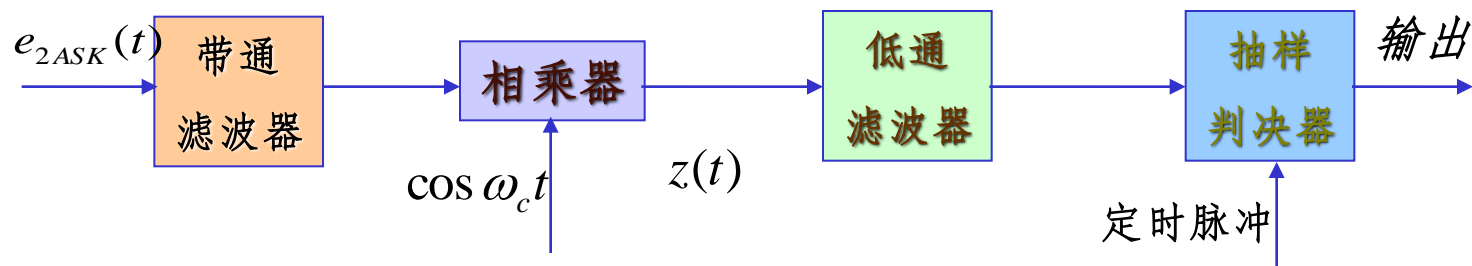
(b)

(a)原理框图；(b)各点波形图



### 三、2ASK信号的解调

#### (b) 相干解调方式

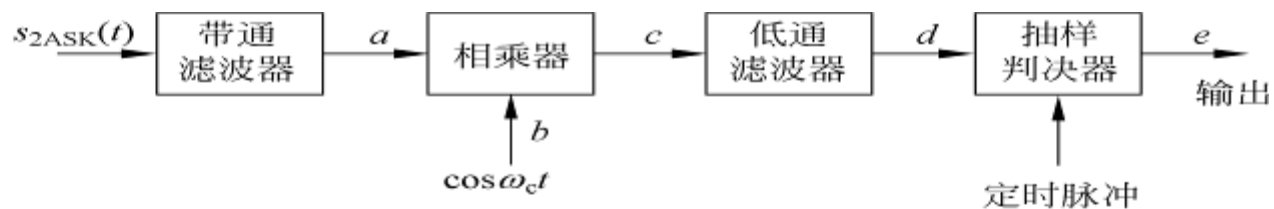


相干解调原理:

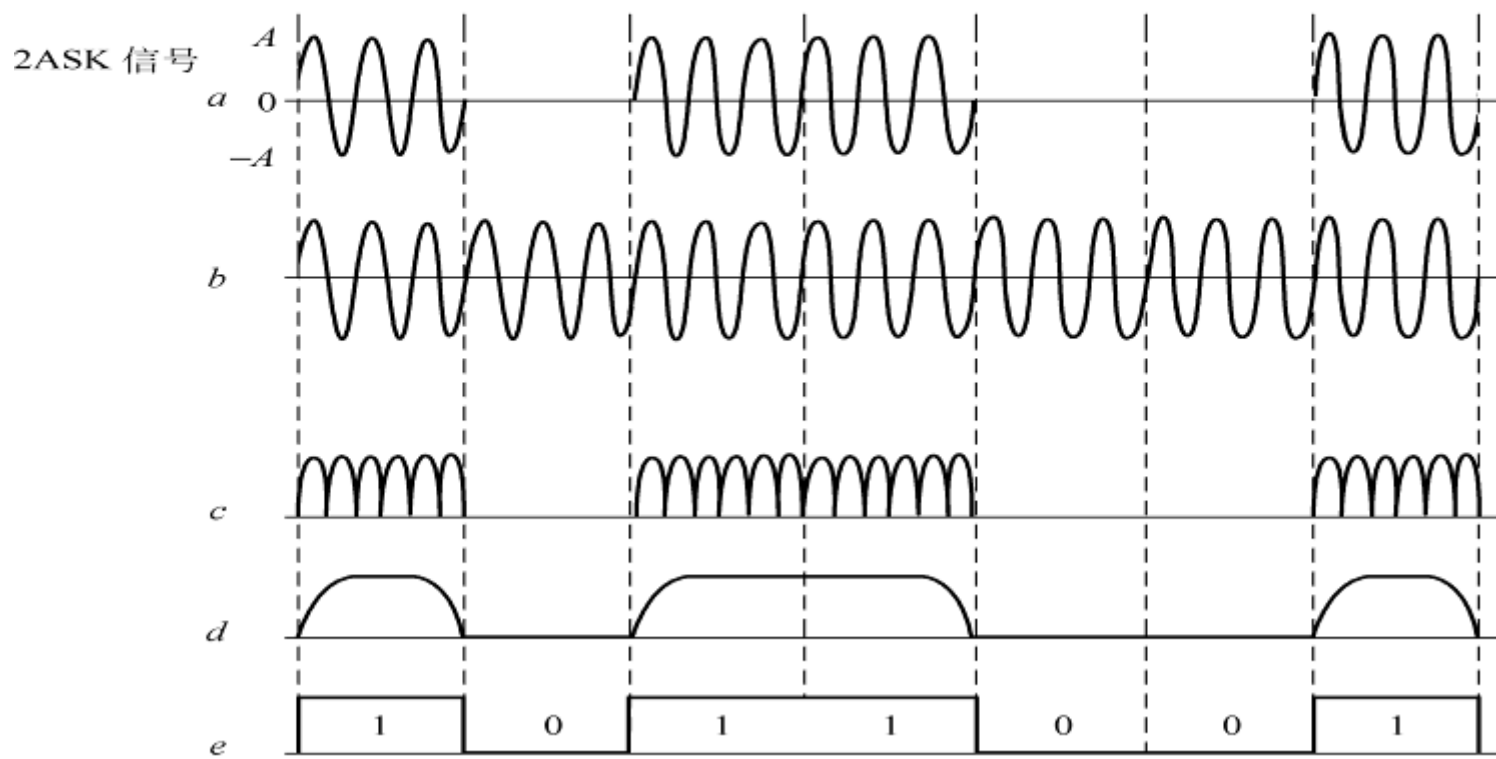
$$\begin{aligned} z(t) &= y(t) \cdot \cos \omega_c t = s(t) \cdot \cos^2 \omega_c t \\ &= s(t) \cdot \frac{1}{2} [1 + \cos 2\omega_c t] = \frac{1}{2} s(t) + \frac{1}{2} s(t) \cos 2\omega_c t \end{aligned}$$



## ■ 2ASK相干解调各点波形图



(a)



(b)

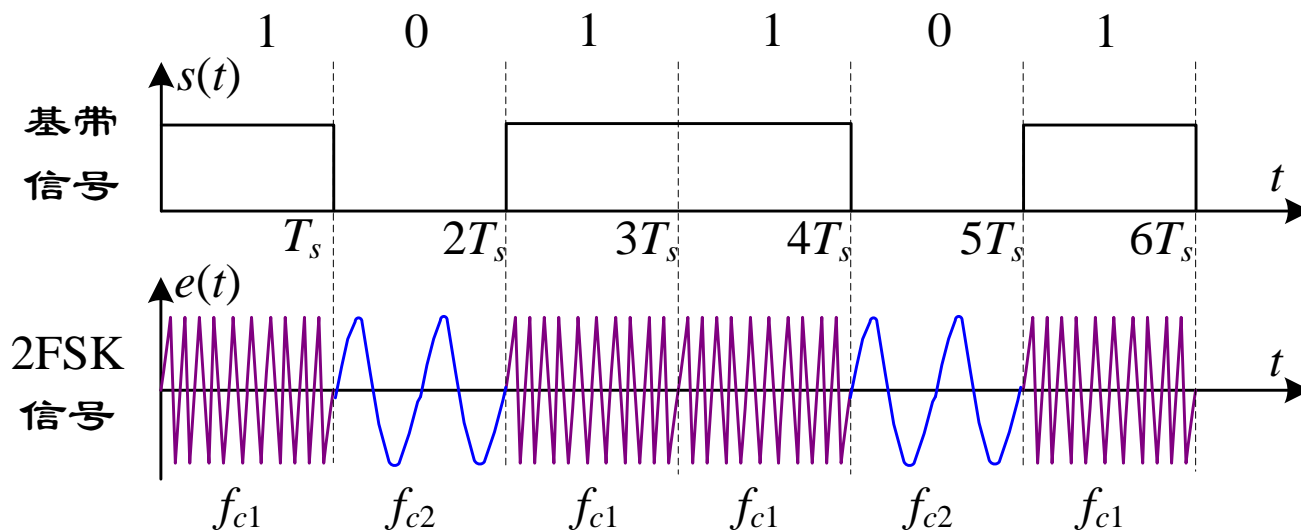


# 7.1 二进制数字调制原理

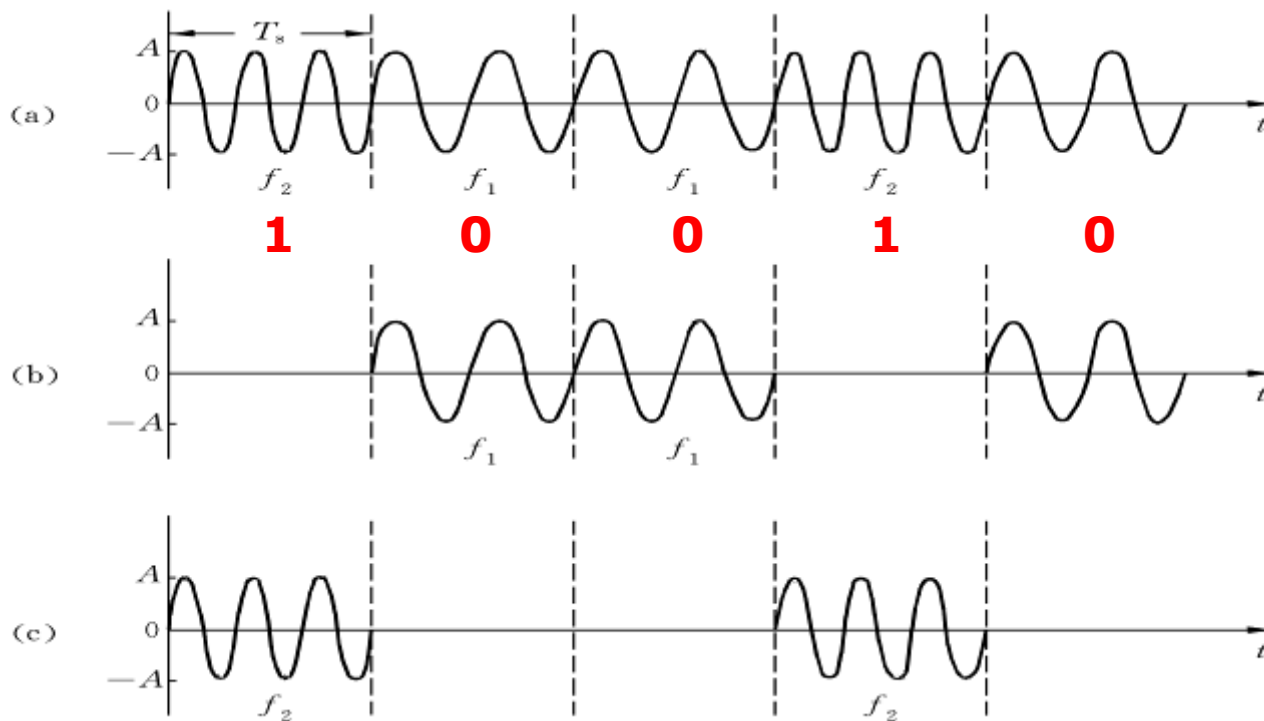
## 7.1.2 二进制频移键控 (2FSK)

### 一、一般原理与实现方法

数字频移键控是用载波的频率来传送数字消息，即用所传送的数字消息控制载波的频率。在二进制情况下，“1”对应于载波频率 $f_{c1}$ ，“0”对应于载波频率 $f_{c2}$ 。



## 2FSK信号的波形及分解如下图所示：



- 2FSK相当于两个不同载频的ASK信号之和



## 一、2FSK一般原理与实现方法

相位不连续的2FSK信号（键控法）可以看作两个2ASK信号的叠加。当基带信号为单极性不归零矩形脉冲序列时，2FSK信号可表示为：

$$e_{2FSK}(t) = s(t) \cos \omega_1 t + \overline{s(t)} \cos \omega_2 t$$

其中：

$$s(t) = \sum_n a_n g(t - nT_b) \quad a_n = \begin{cases} 1, & \text{概率为 } P \\ 0, & \text{概率为 } (1-P) \end{cases}$$

$$\overline{s(t)} = \sum_n \bar{a}_n g(t - nT_b) \quad \bar{a}_n = \begin{cases} 0, & \text{概率为 } P \\ 1, & \text{概率为 } (1-P) \end{cases}$$

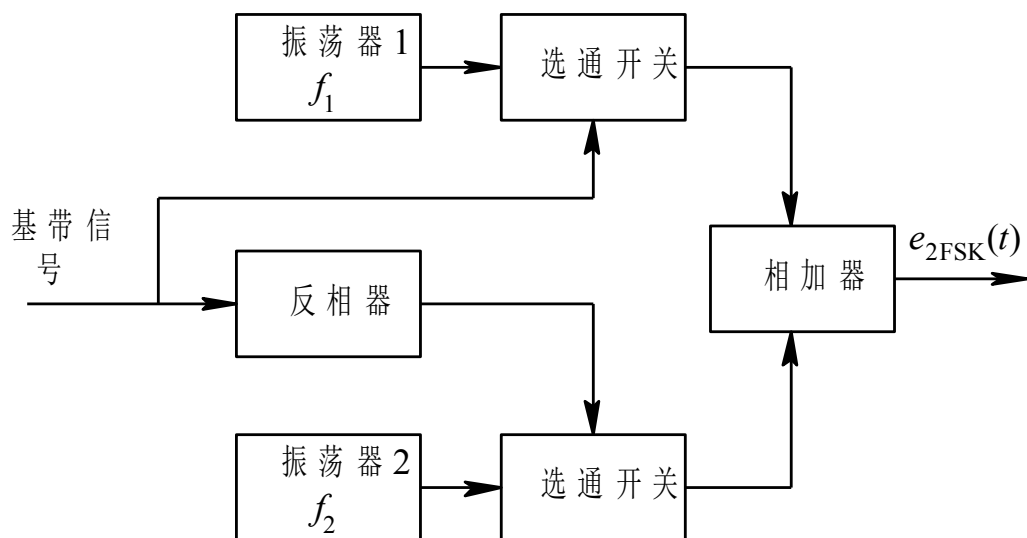


# 一、2FSK一般原理与实现方法

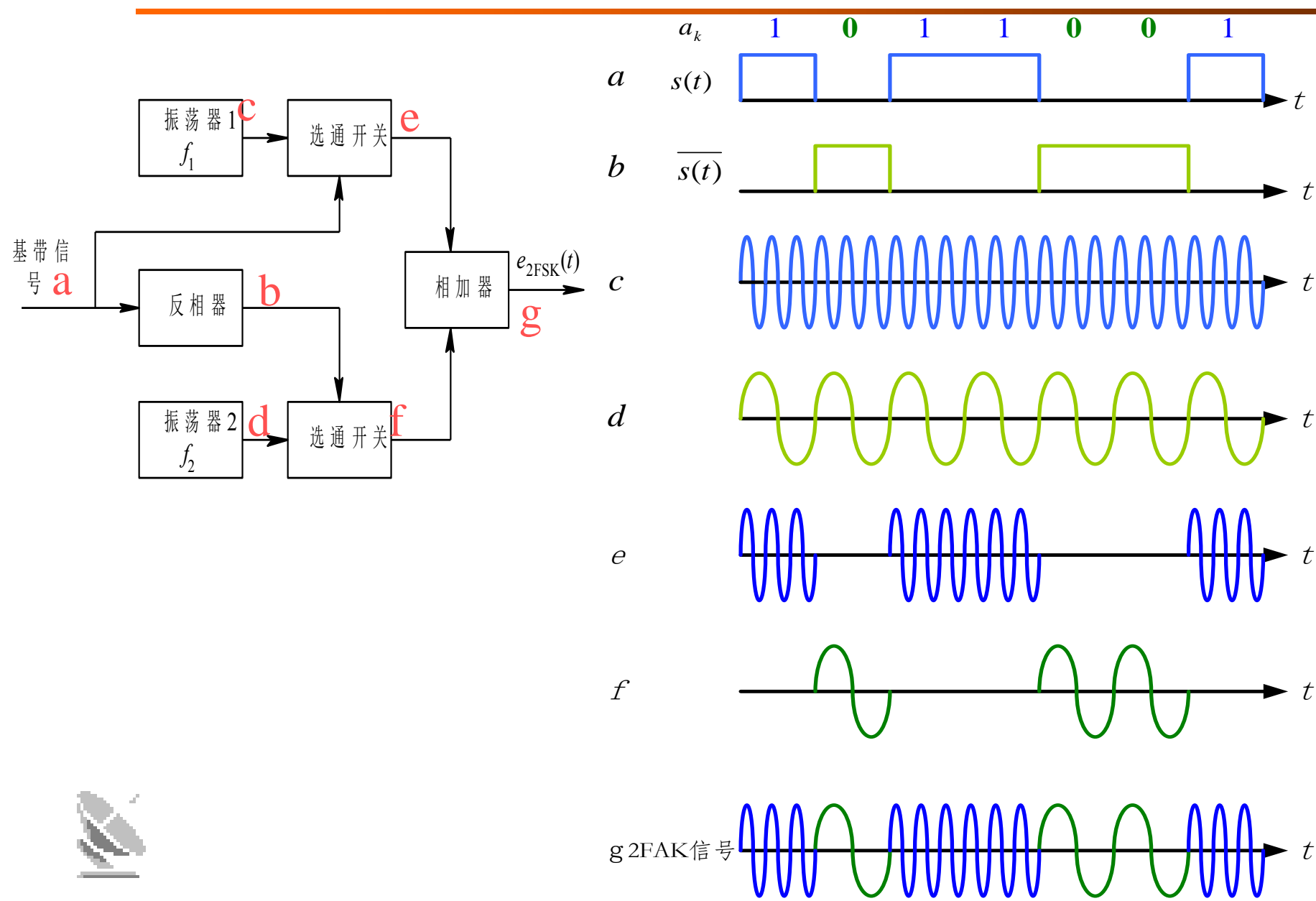
## ■ 直接调频法：产生相位连续频移键控信号 (CPFSK)



## ■ 键控法：产生相位不连续频移键控信号 (DPFSK)



# 键控法产生2FSK信号波形示意图:





## 二、2FSK信号的功率谱及带宽

2FSK调制属于非线性调制，研究2FSK信号的频谱特性比较困难，特别是相位连续的情况。

### 1. 相位不连续的2FSK信号的功率谱密度

单极性不归零矩形脉冲序列的2FSK信号可表示为：

$$e_{2FSK}(t) = s(t) \cos(\omega_1 t) + \overline{s(t)} \cos(\omega_2 t)$$

$$\text{若：} \quad s(t) \Leftrightarrow P_{s1}(f) \quad \overline{s(t)} \Leftrightarrow P_{s2}(f)$$

$$\text{则：} \quad P_{2FSK}(f) = \frac{1}{4} [P_{s1}(f + f_1) + P_{s1}(f - f_1)] + \frac{1}{4} [P_{s2}(f + f_2) + P_{s2}(f - f_2)]$$

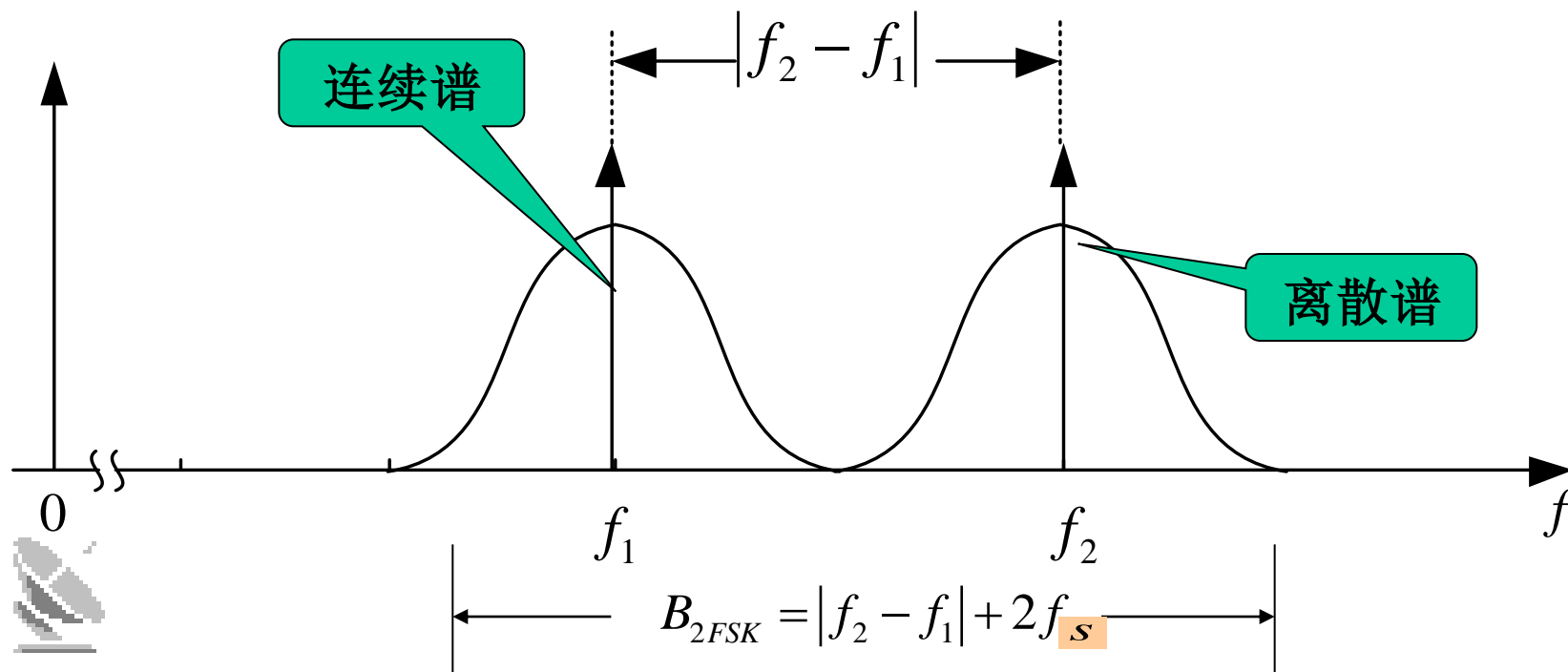


## 二、2FSK信号的功率谱及带宽

### 1. 相位不连续的2FSK信号的功率谱密度

$$\text{当 } P = 1/2 \text{ 时, } P_{s1}(f) = P_{s2}(f) = \frac{1}{4} [T_s S a^2(\pi f T_s) + \delta(f)]$$

$$\text{此时, } P_{2FSK}(f) = \frac{1}{4} [P_{s1}(f + f_1) + P_{s1}(f - f_1)] + \frac{1}{4} [P_{s2}(f + f_2) + P_{s2}(f - f_2)]$$

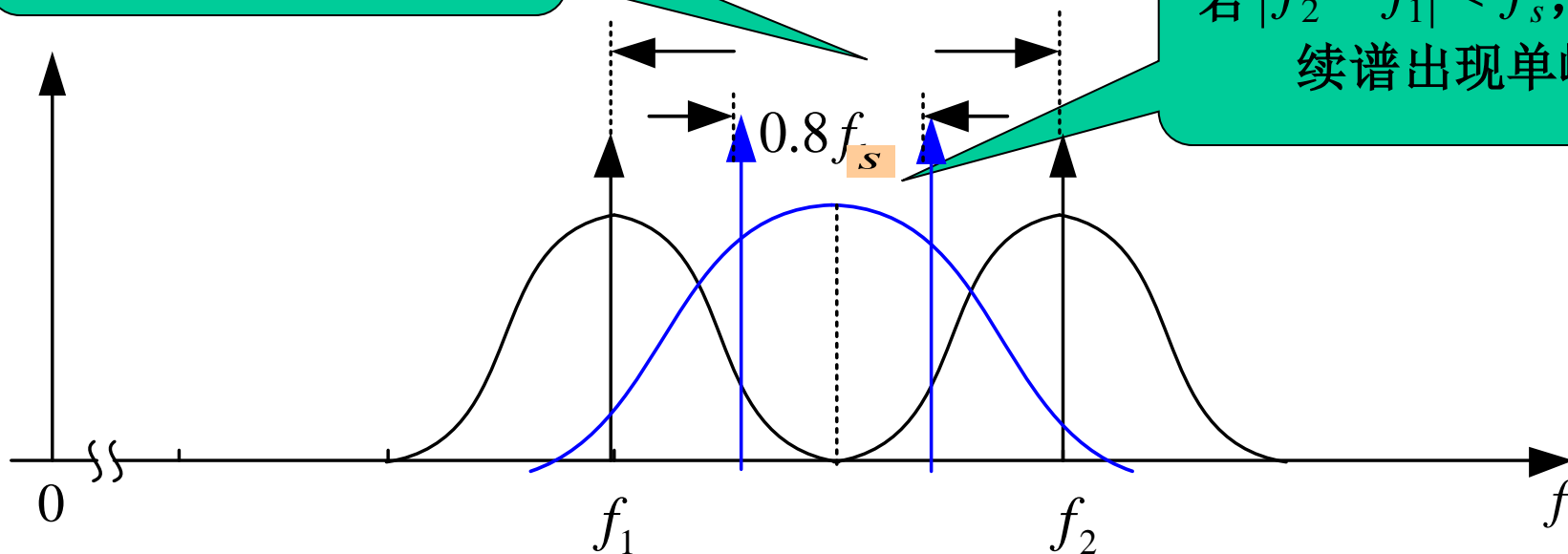


## 二、2FSK信号的功率谱及带宽

### 1. 相位不连续的2FSK信号的功率谱密度

若  $|f_2 - f_1| > f_s$ ，则  
连续谱将出现双峰

若  $|f_2 - f_1| < f_s$ ，则连  
续谱出现单峰



## 二、2FSK信号的功率谱及带宽

### 1. 相位不连续的2FSK信号的功率谱密度

小结：

➤ 2FSK信号频谱由连续谱和离散谱组成，连续谱由两个双边谱叠加而成，而离散谱出现在两载频处。

➤ 连续谱的形状随着 $|f_2 - f_1|$  的大小而异：

$|f_2 - f_1| > f_s$  出现双峰； $|f_2 - f_1| < f_s$  出现单峰。

➤ 2FSK信号的频带宽度为： $B_{2FSK} = |f_2 - f_1| + 2f_s$



### 三、 2FSK信号的解调

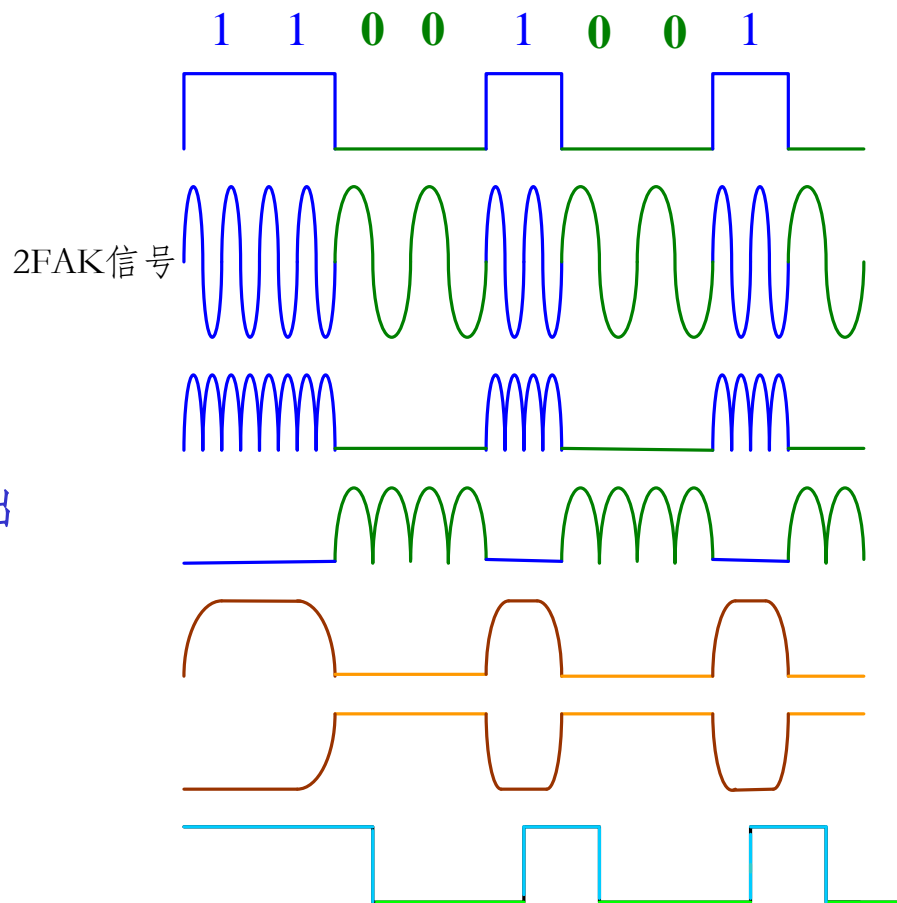
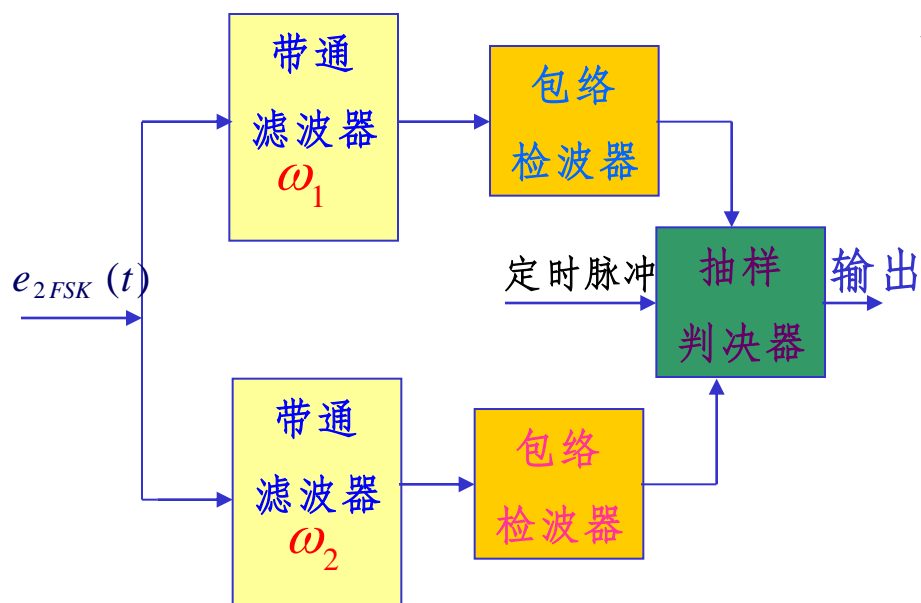
---

数字调频信号的解调方法很多，如鉴频法、相干检测法、包络检波法、过零检测法等。



### 三、2FSK信号的解调

#### (a) 非相干解调

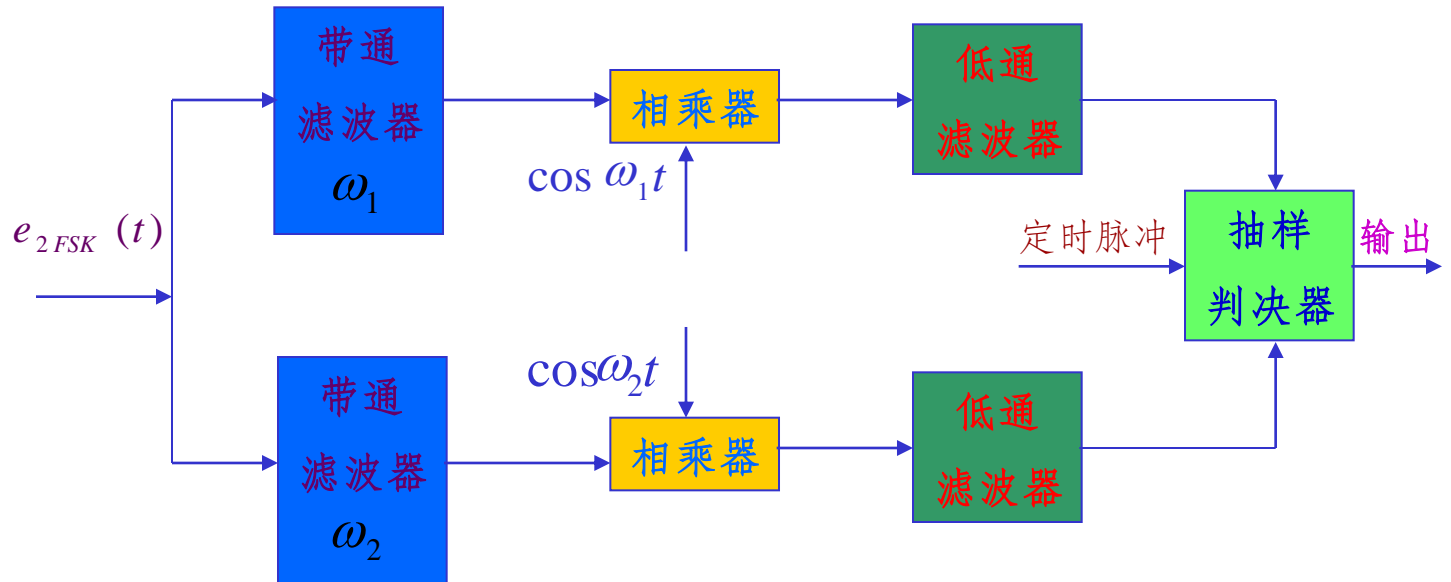


解调原理是将二进制移频键控信号分解为上下两路二进制振幅键控信号，分别进行解调，通过对上下两路的抽样值进行比较最终判决出输出信号。



### 三、2FSK信号的解调

#### (b)相干解调

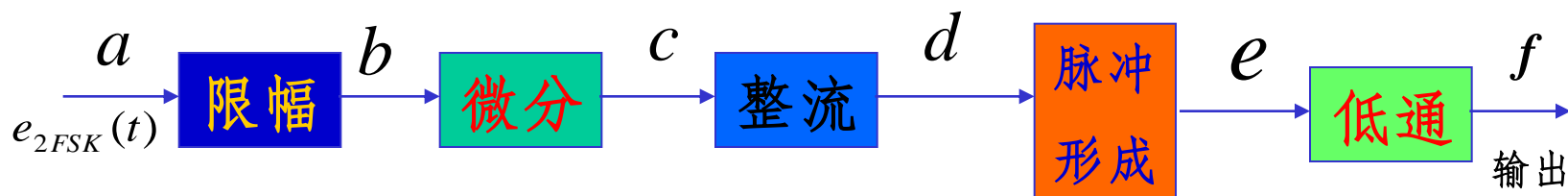


### 三、2FSK信号的解调

#### (c)过零检测法

过零检测基本原理是，2FSK信号的过零点数随载波频率不同而异，通过检测过零点数从而得到频率的变化。

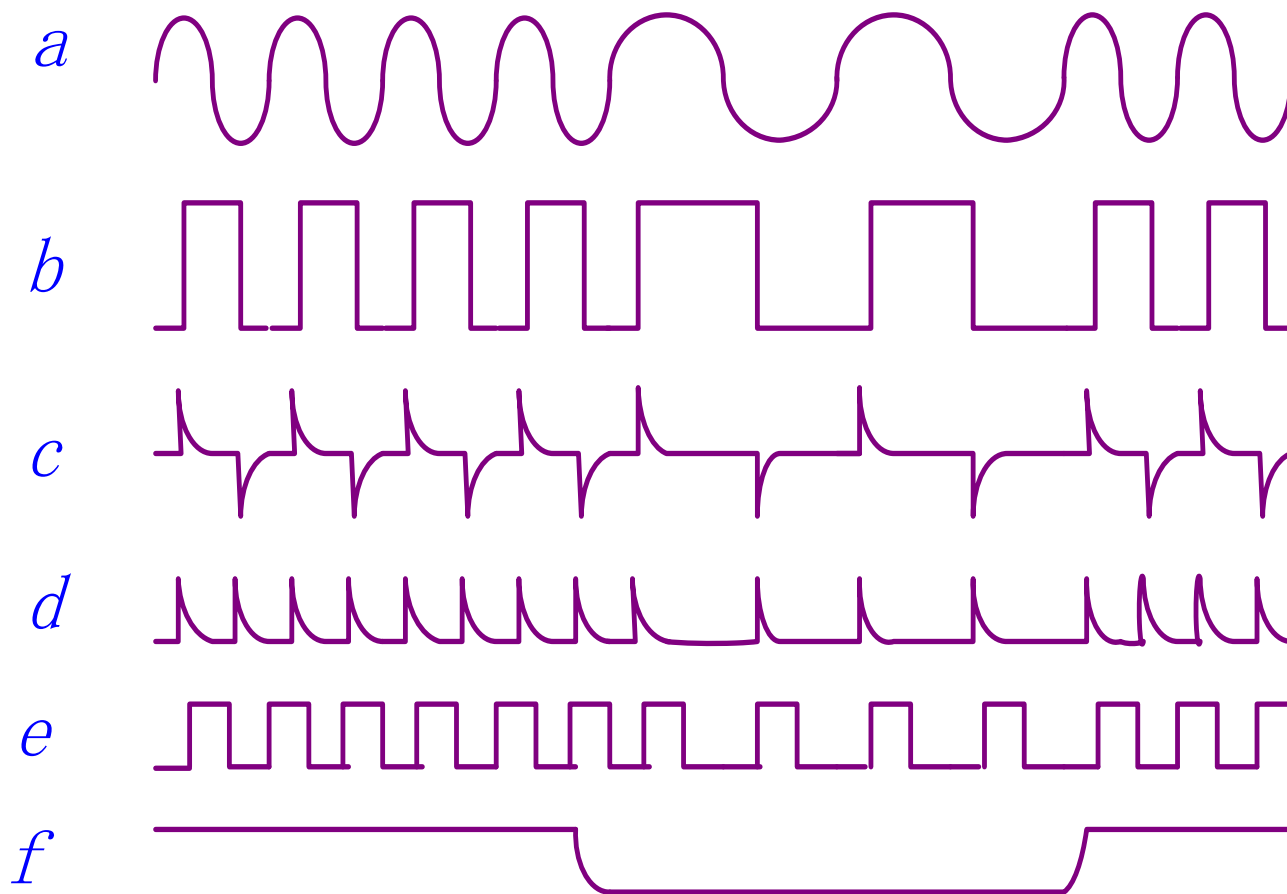
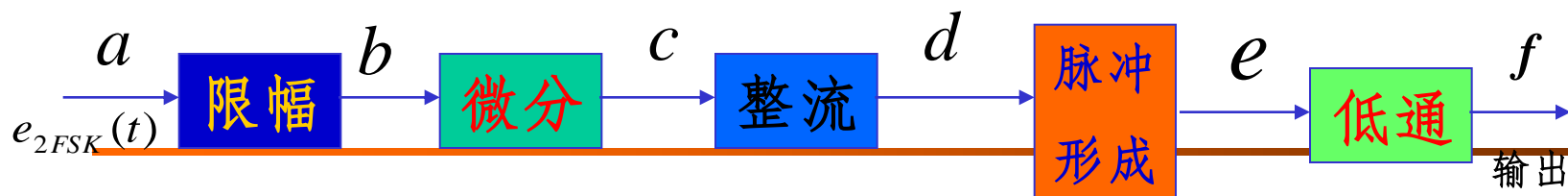
过零检测法解调器的原理图和各点时间波形如图所示



(a)







# 7.1 二进制数字调制原理

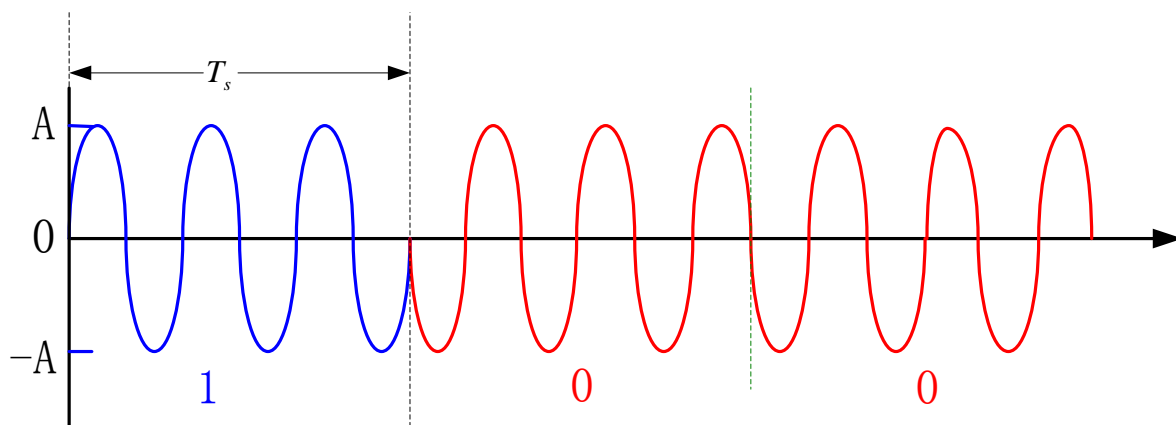
## 7.1.3 二进制相移键控 (2PSK)

### 一、一般原理与实现方法

当正弦载波的**相位**随二进制数字基带信号离散变化，则产生二进制相移键控(**2PSK**)信号。

通常用已调信号载波的  $0^\circ$  和  $180^\circ$  分别表示二进制数字基带信号的1和0。

2PSK信号的典型波形如图所示：



## 一、2PSK一般原理与实现方法

$$e_{2PSK}(t) = \begin{cases} \cos(\omega_c t + 0) = \cos(\omega_c t) & \text{发送“0”} \\ \cos(\omega_c t + \pi) = -\cos(\omega_c t) & \text{发送“1”} \end{cases}$$

2PSK信号的时域表达式也可表示为:

$$e_{2PSK}(t) = s(t) \cos \omega_c t$$

其中，数字基带信号用双极性不归零波形表示

$$s(t) = \sum_n a_n g(t - nT_s)$$

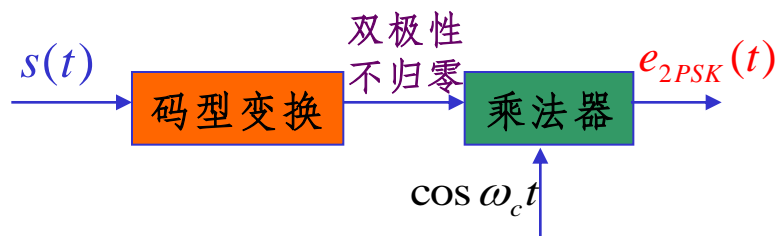
$$a_n = \begin{cases} +1, & \text{概率为 } P \\ -1, & \text{概率为 } (1 - P) \end{cases}$$

$$g(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq T_b \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

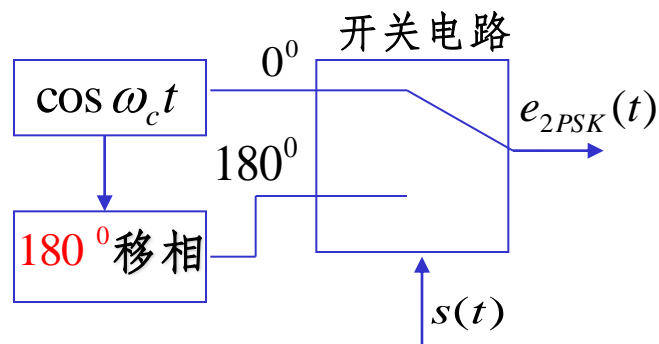


# 一、2PSK一般原理与实现方法

## 调制



(a)



(b)

其中图(a)是采用模拟调制的方法产生2PSK信号，图(b)是采用数字键控的方法产生2PSK信号。



## 二、2PSK信号的频谱和带宽

---

$$s_{2PSK}(t) = s(t) \cos \omega_c t$$

若  $s(t) \Leftrightarrow P_s(f)$

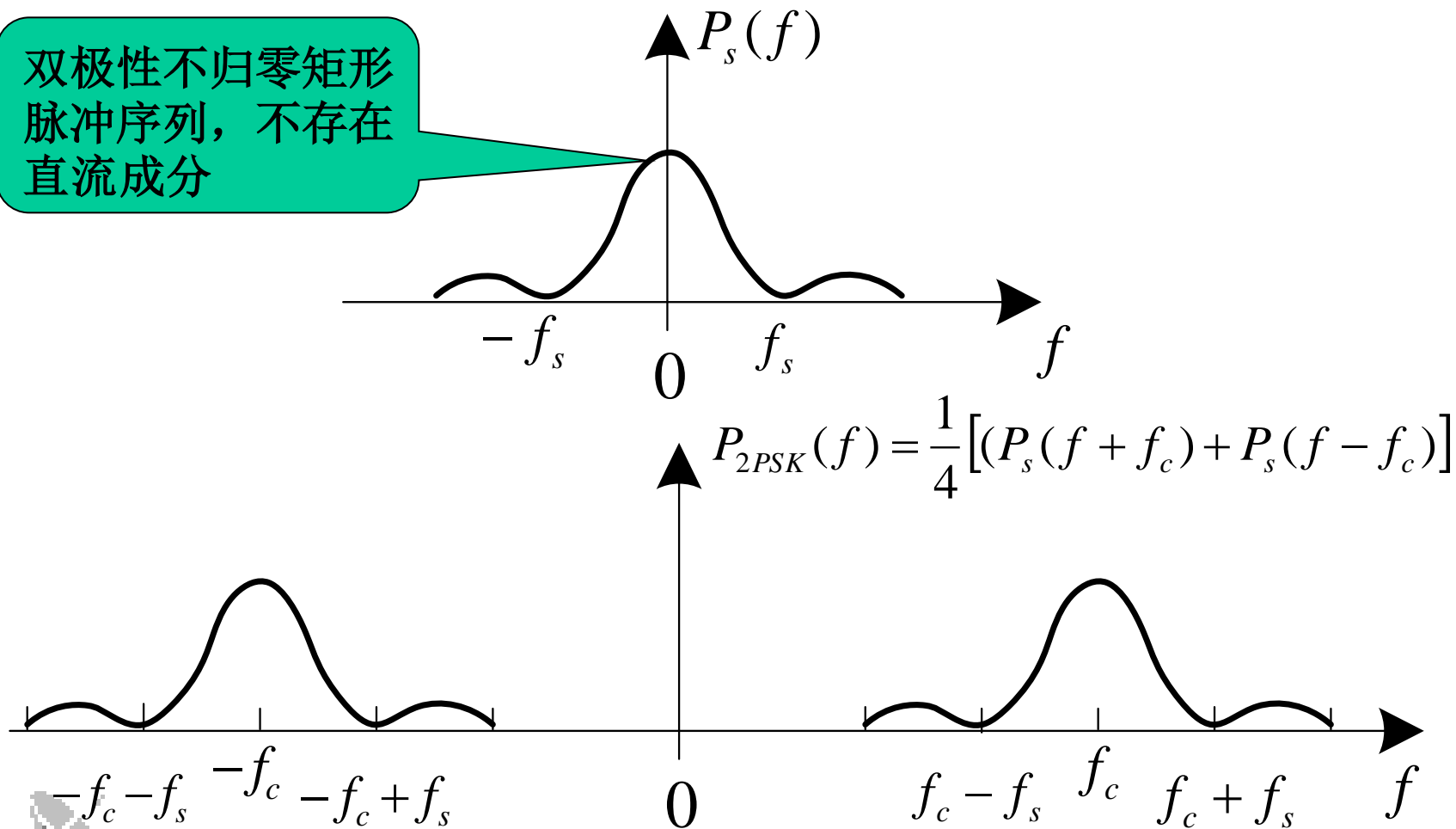
2PSK信号的功率谱密度可以写成：

$$P_{2PSK}(f) = \frac{1}{4} [P_s(f + f_c) + P_s(f - f_c)]$$



## 二、2PSK信号的频谱和带宽

双极性不归零矩形脉冲序列，不存在直流成分



## 二、 2PSK信号的频谱和带宽

---

小结:

➤ 2PSK信号的带宽与2ASK信号的相同:

$$B_{2PSK} = B_{2ASK} = 2f_s$$

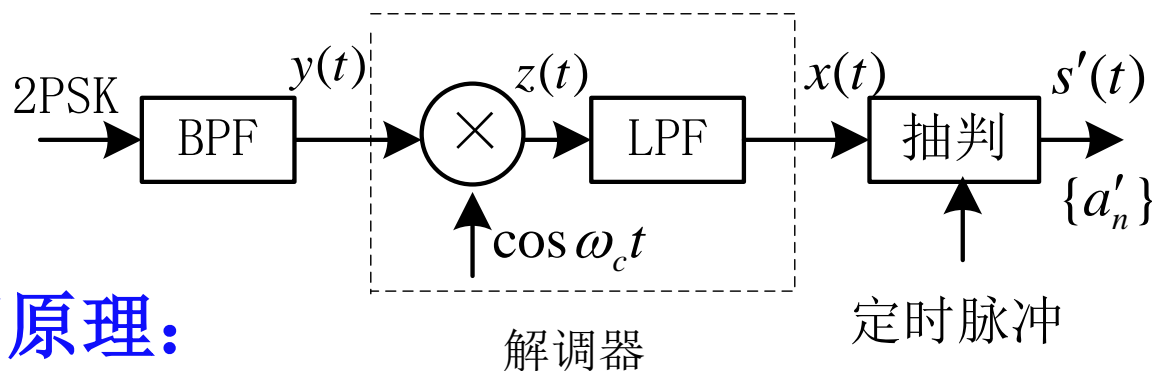
➤ 在数字调相中，由于表征信息的相位变化只有有限的离散取值，因此，可以把相位变化归结为幅度变化。为此可以把数字调相信号当作线性调制信号来处理了。



### 三、2PSK信号的解调

#### 解调

2PSK信号的解调通常都是采用相干解调



相干解调原理:

$$y(t) = \cos(\omega_c t + \varphi_n)$$

$$z(t) = \cos(\omega_c t + \varphi_n) \cos \omega_c t = \frac{1}{2} \cos \varphi_n + \frac{1}{2} \cos(2\omega_c t + \varphi_n)$$

$$x(t) = \frac{1}{2} \cos \varphi_n = \begin{cases} 1/2, & \varphi_n = 0 \text{ 时} \\ -1/2, & \varphi_n = \pi \text{ 时} \end{cases}$$

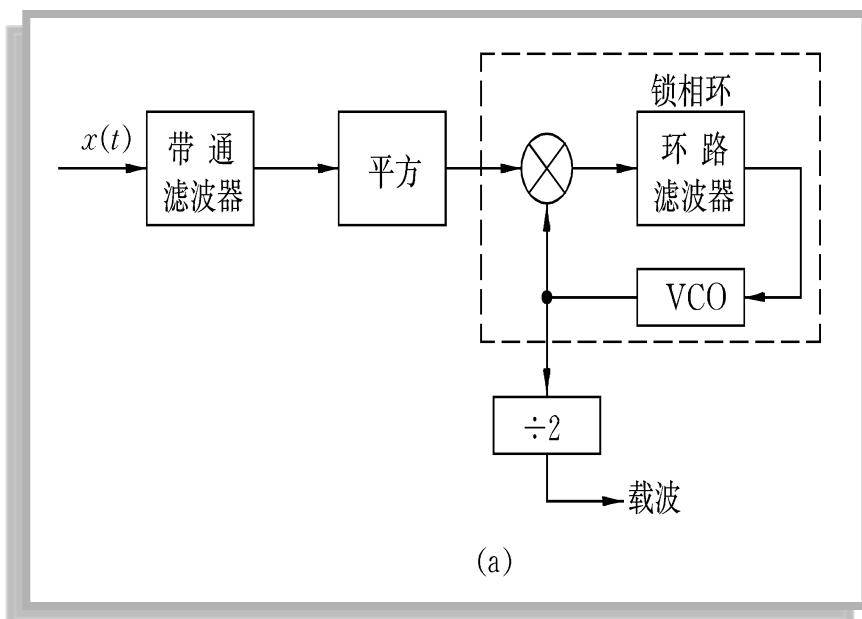




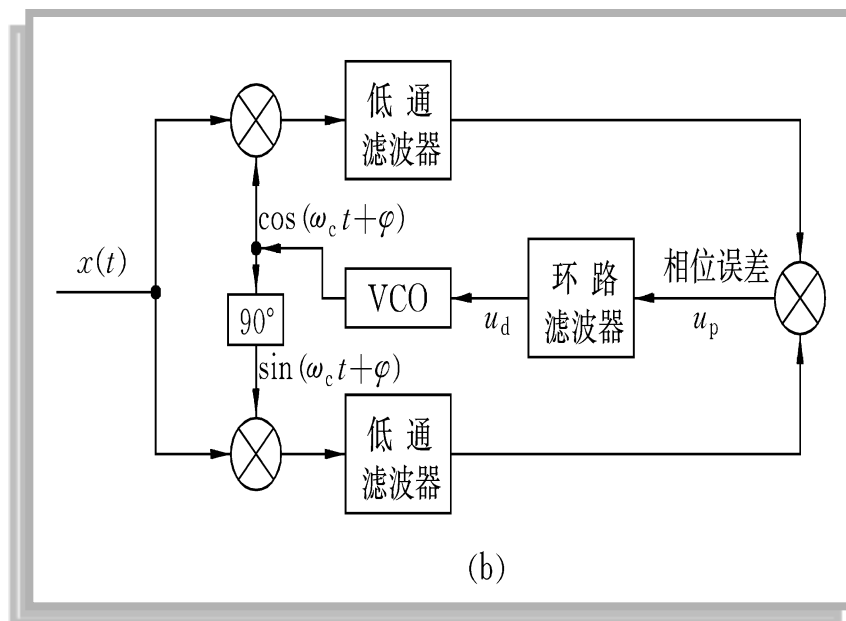
# 如何获得同频同相的本地载频

## □ 锁相环

(a) 平方环电路



(b) 科斯塔斯环电路



## □ 锁相环恢复载波的问题:

■ 0,  $\pi$  相位不确定

□ 0,  $\pi$  相位模糊度



### 三、2PSK信号的解调

---

存在问题：

当恢复的相干载波产生 $180^\circ$  倒相时，解调出的数字基带信号将与发送的数字基带信号正好是相反，解调器输出数字基带信号全部出错。这种现象通常称为“**倒 $\pi$** ”现象或“**反向工作**”。

解决方法：**DPSK**



## 7.1.4 二进制差分相移键控（2DPSK）

### 一、一般原理与实现方法

2DPSK方式是用前后相邻码元的载波相对相位变化来表示数字信息。

假设前后相邻码元的载波相位差为  $\Delta\varphi$

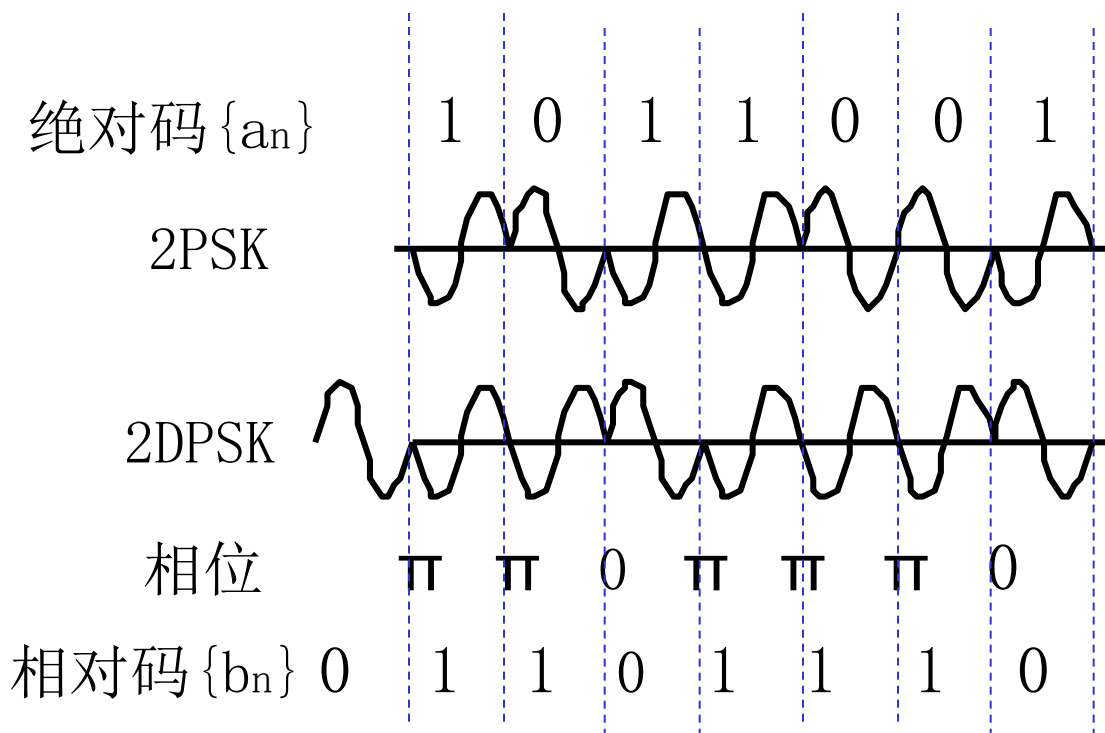
可定义

$$\Delta\varphi = \begin{cases} 0, & \text{表示数字信息“0”} \\ \pi, & \text{表示数字信息“1”} \end{cases}$$



# 一、 2DPSK一般原理与实现方法

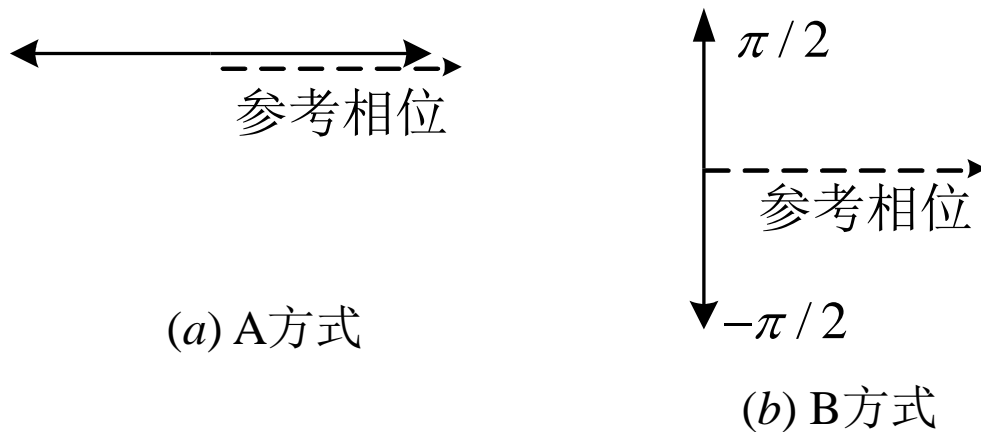
2DPSK信号的典型波形如图所示：



- 绝对调相：利用载波相位的绝对数值传送数字信息；
- 相对调相：利用前后相邻码元的载波相对相位变化传递数字信息



# 2DPSK信号的矢量图



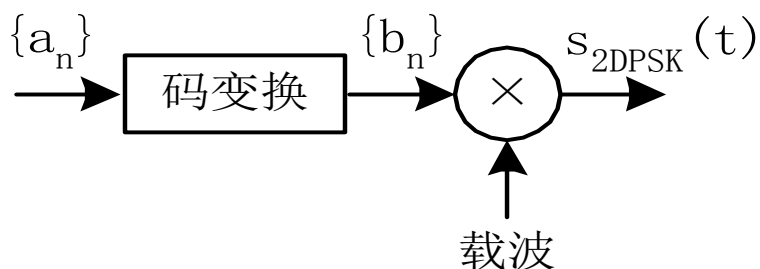
参考相位：绝对移相时代表未调制的载波相位，相对移相时代表前一码元的载波相位。

假定每个码元包含整数个载波周期，则前后码元交界处的相位差等于两个码元的初始相位差。

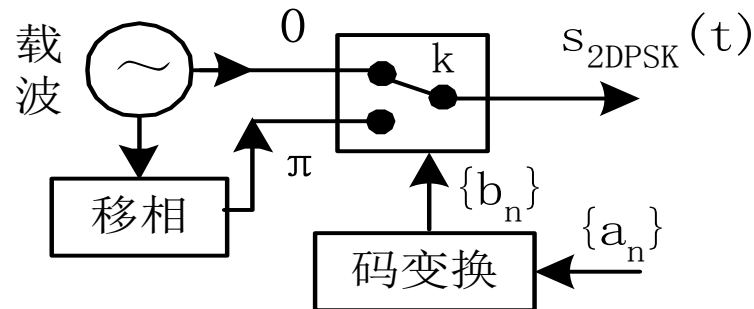
在B方式中，当前码元的相位相对于前一码元的相位改变 $\pm\pi/2$ 。因此，在相邻码元之间必定有相位突跳。

## 一、2DPSK一般原理与实现方法

差分相移本质上就是对差分码信号的绝对相移。  
实现相对调相的最常用方法如图所示。



(a)

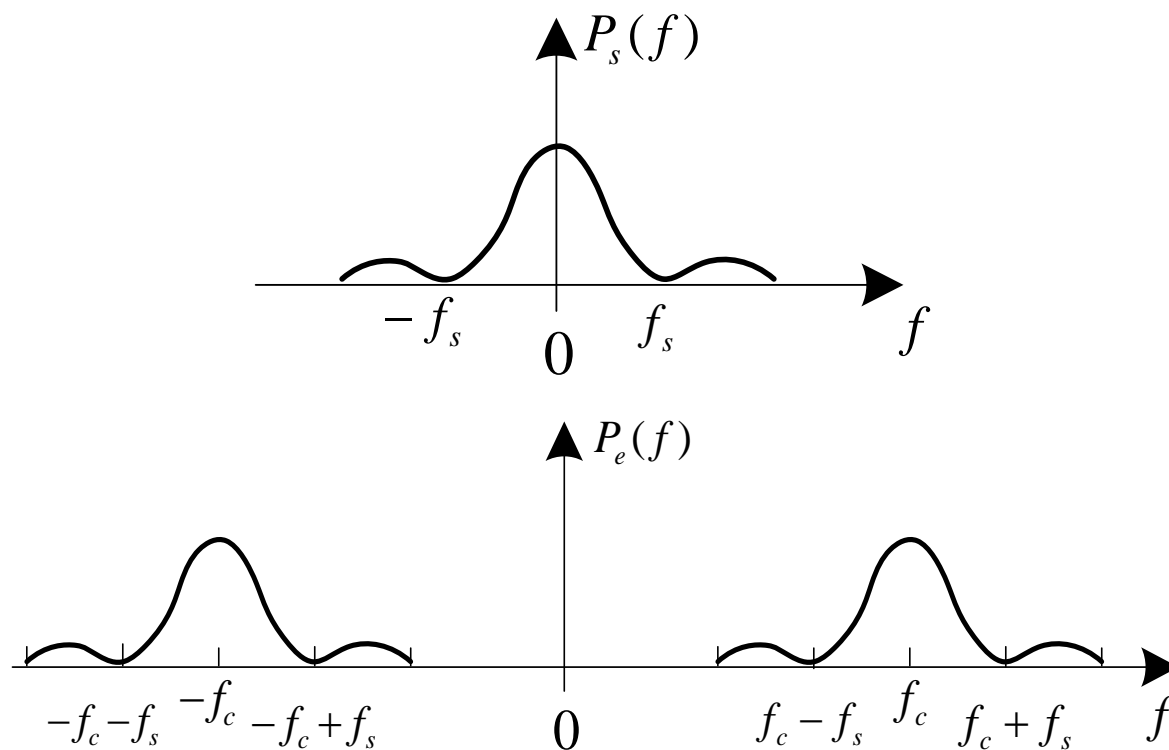


(b)

设绝对码为 $a_n$ ，相对码为 $b_n$

传号差分的编码规则： $b_n = a_n \oplus b_{n-1}$

## 二、2DPSK信号的频谱及带宽



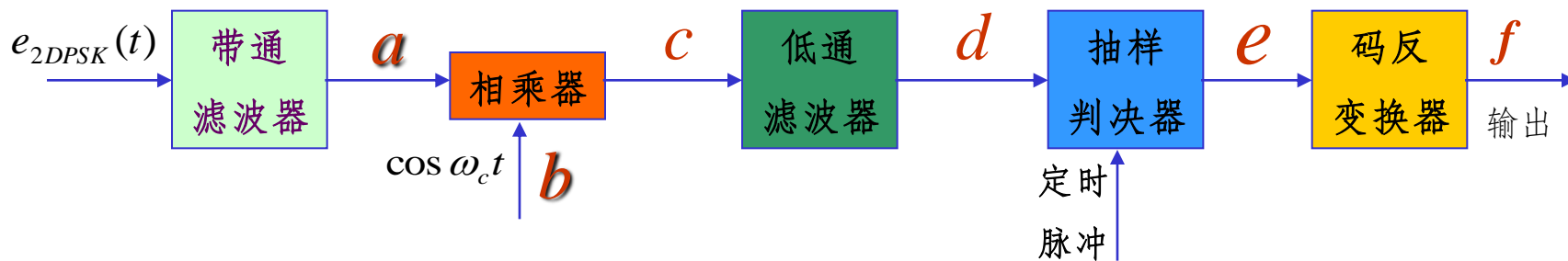
与2PSK信号相同，2DPSK信号可以等效成双极性不归零信号作用下的调幅信号。所以2DPSK与2PSK有相同的功率谱与带宽  $B_{2DPSK} = 2f_s$ 。



### 三、2DPSK信号的解调

2DPSK的解调有两种，一种是差分相干解调，另一种是相干解调-码变换法。

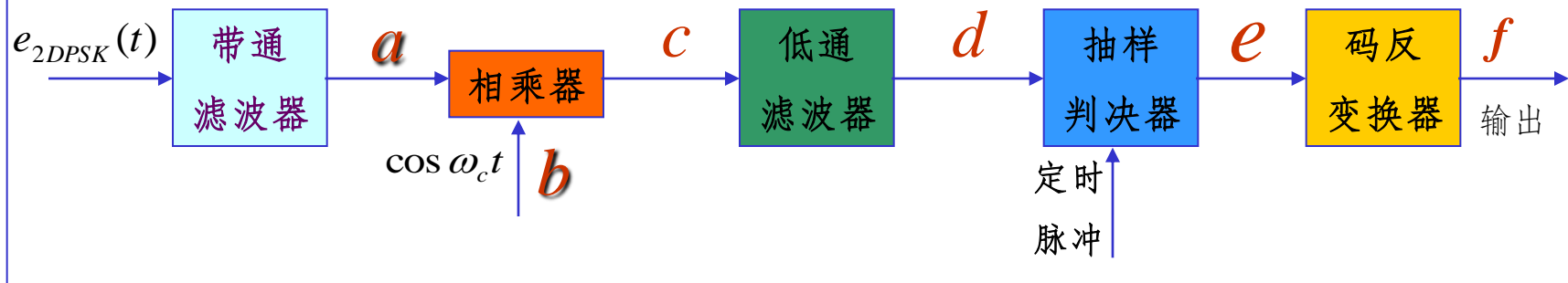
#### (1) 相干解调-码变换法。



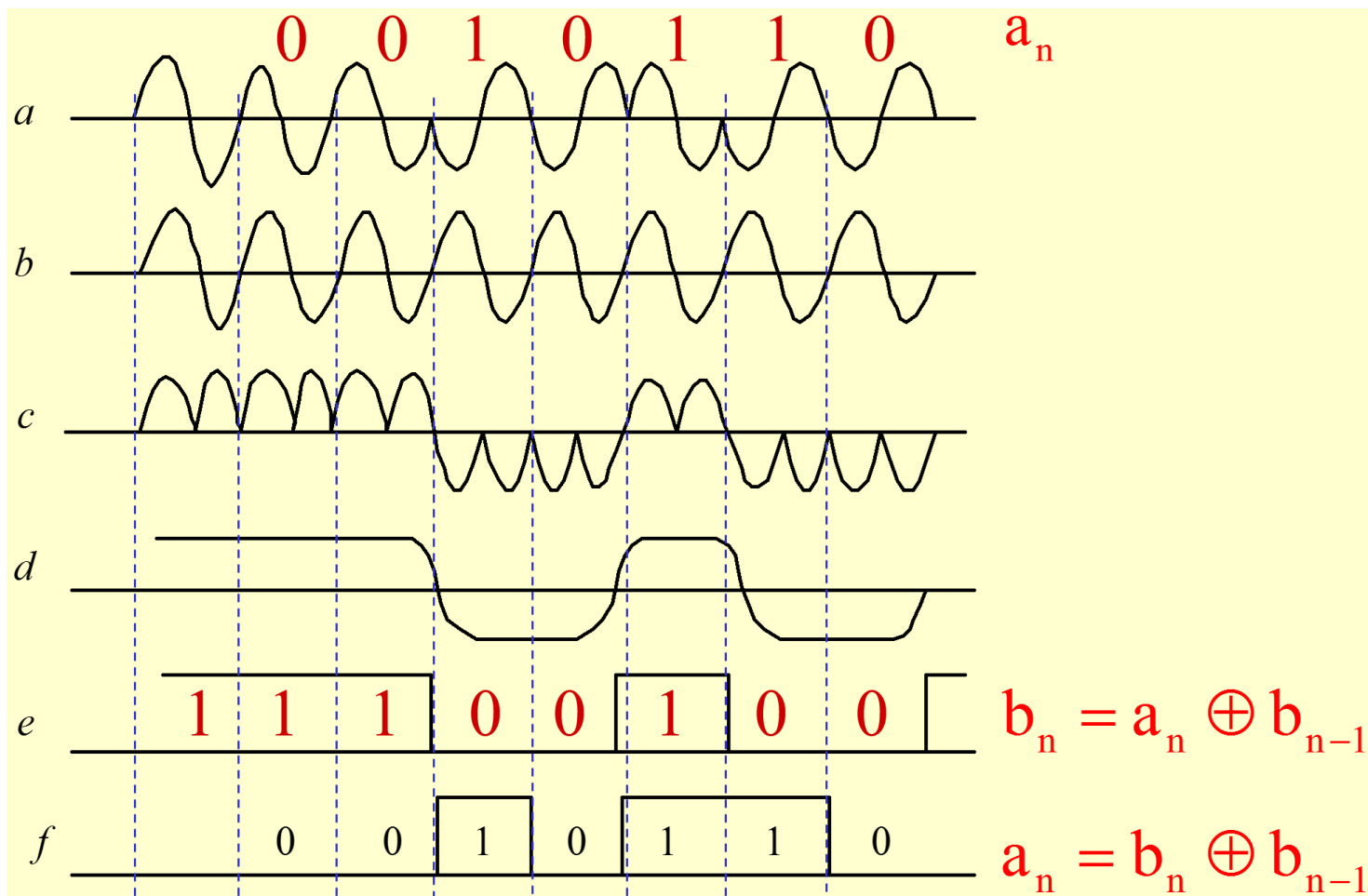
2DPSK信号相干解调法也称极性比较法。







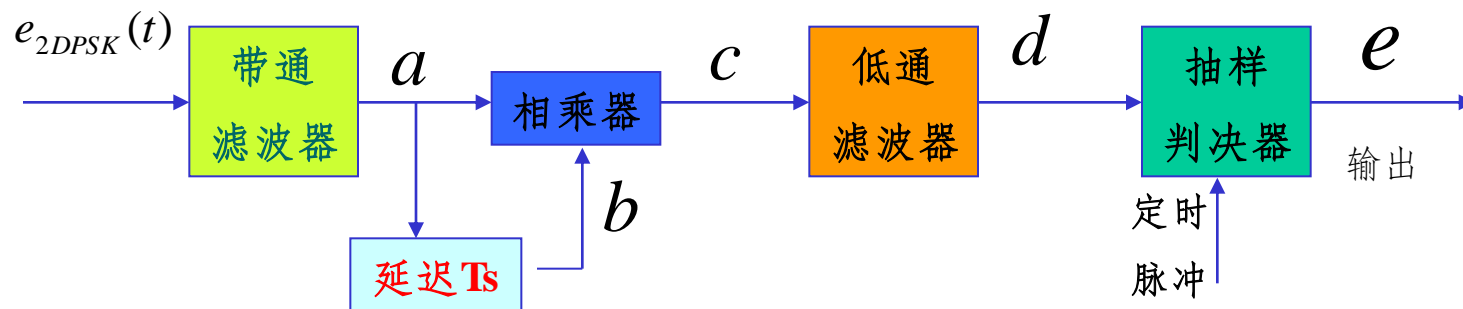
2DPSK信号相干解调方式解调过程各点时间波形如图所示

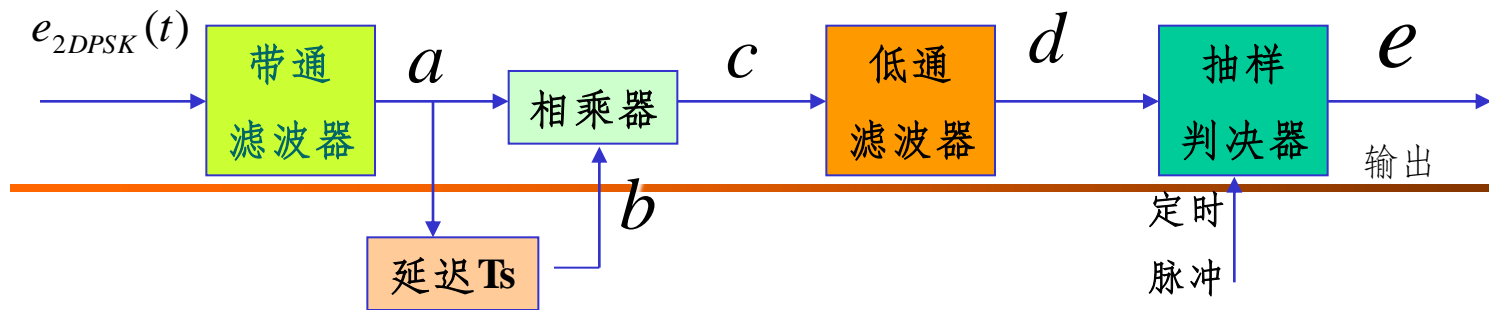


### 三、2DPSK信号的解调

#### (2) 差分相干解调法。

差分相干解调法直接比较前后码元的相位差而构成的，这种方法不需要码变换器，也不需要专门的相干载波发生器，因此设备比较简单、实用。





## 2DPSK信号差分相干解调过程各点时间波形

