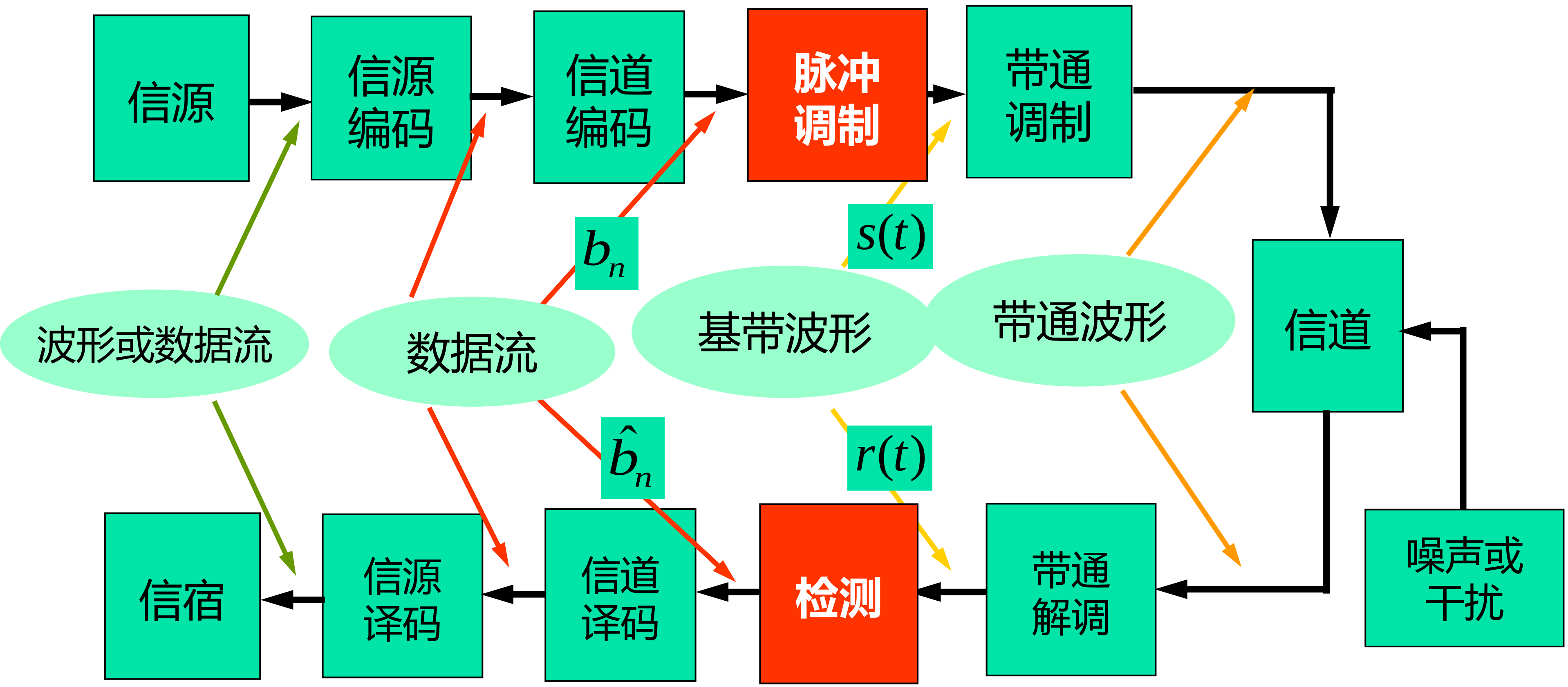
10-数字系统基本模型与数字基带信号功率谱密度

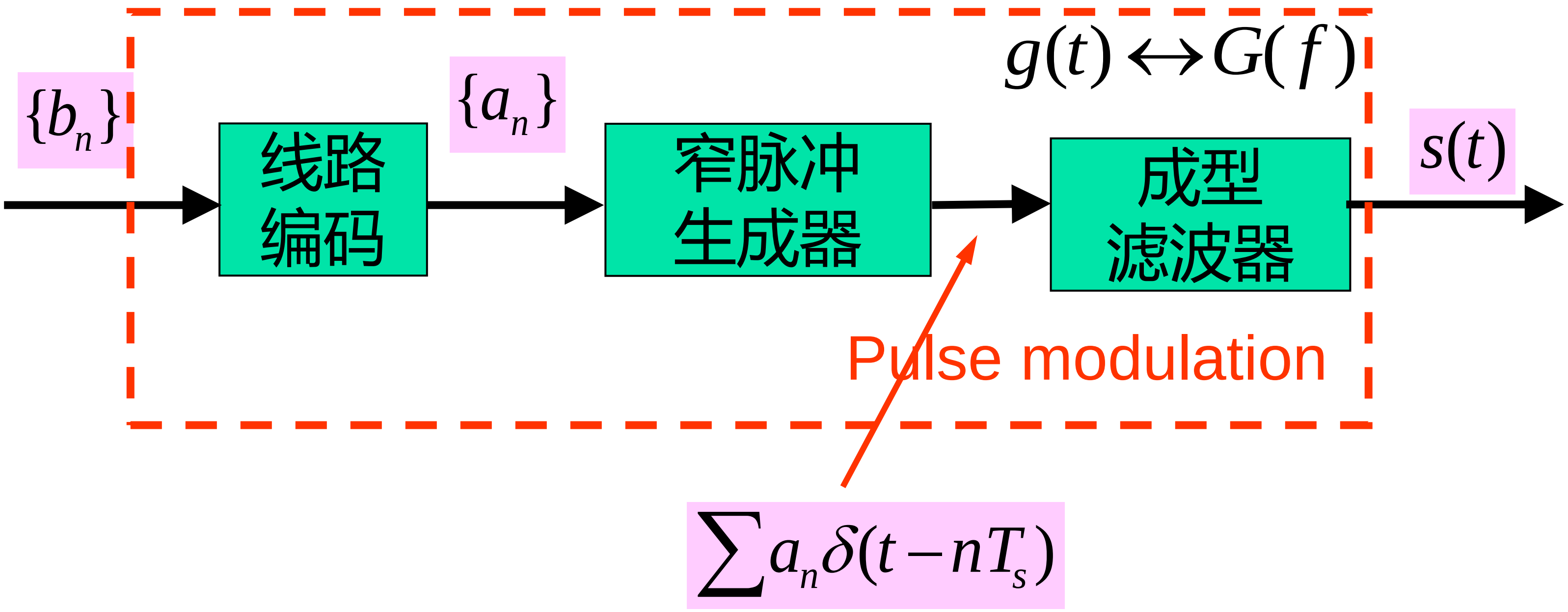
Li Hao
Email: lhao@home.swjtu.edu.cn
School of Information Science and Technology
Southwest Jiaotong University

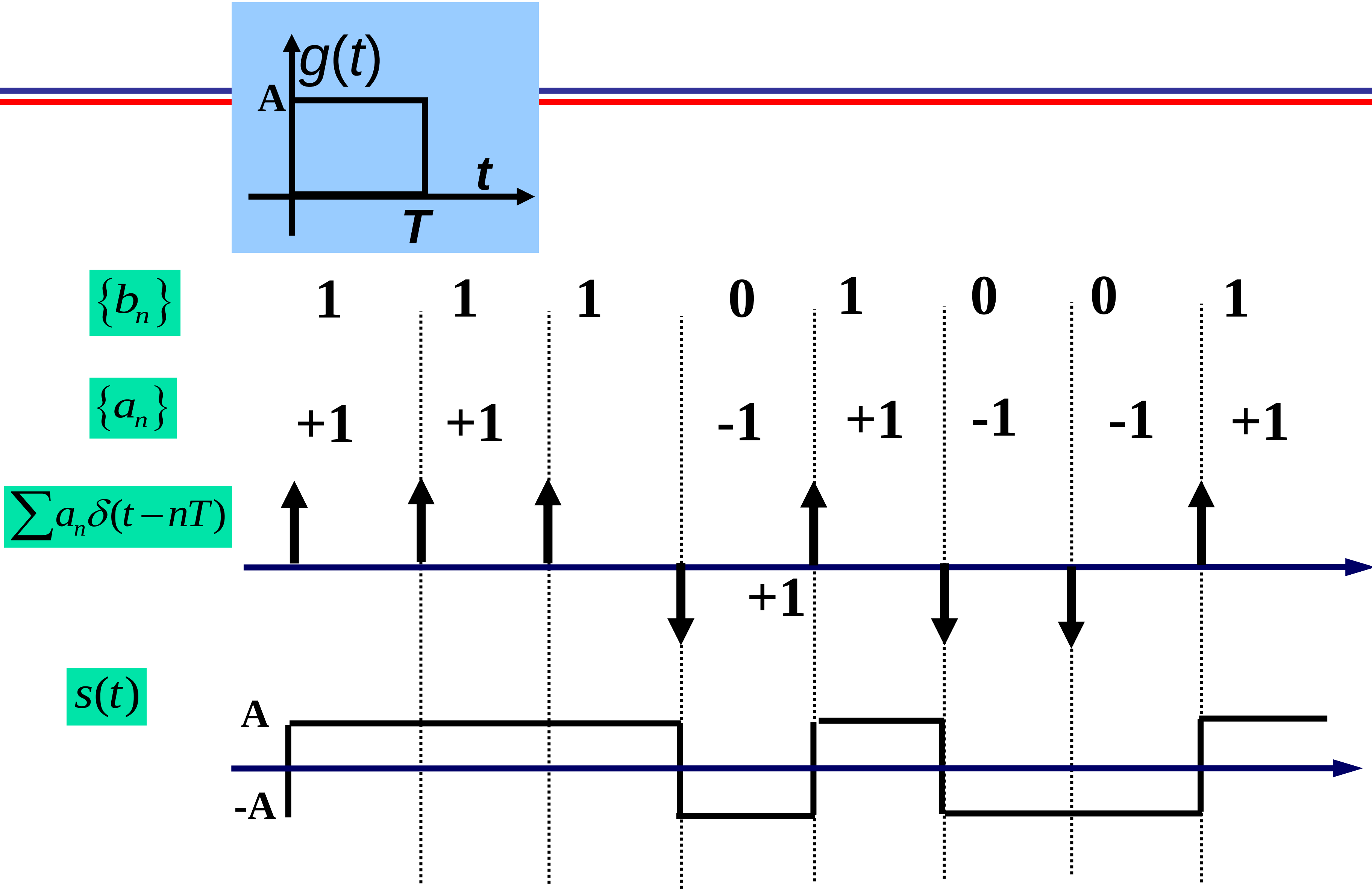
目　录

1、数字系统通用模型

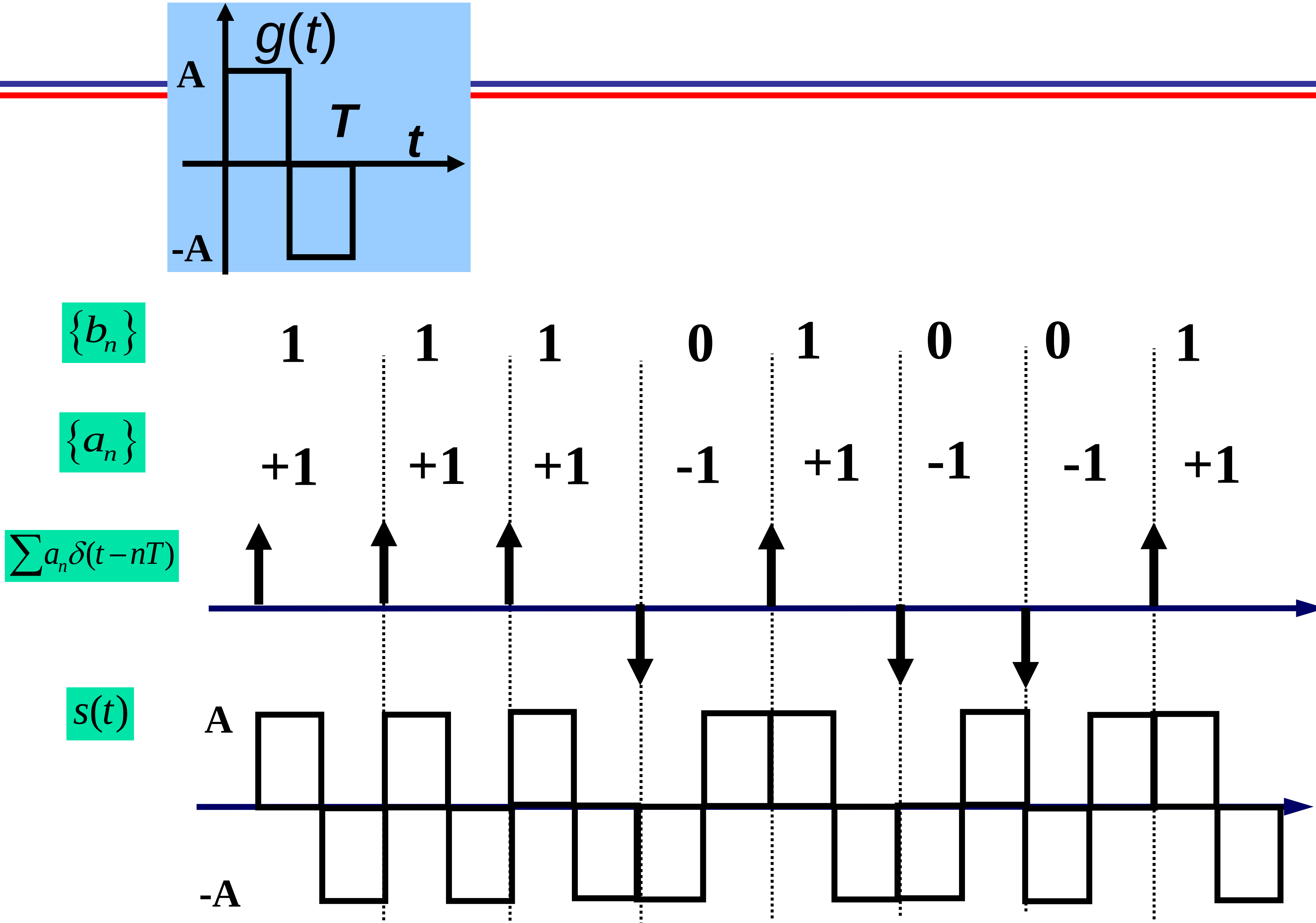

信源
信源编码
信道编码
脉冲调制
带通调制
信道
噪声或干扰
带通解调
检测
信道译码
信源译码
信宿
波形或数据流
数据流
基带波形
带通波形
b_n
$\hat{b}_n$
$s(t)$
$r(t)$

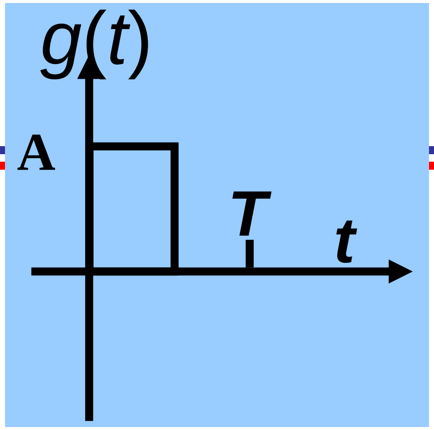
2、脉冲调制模型

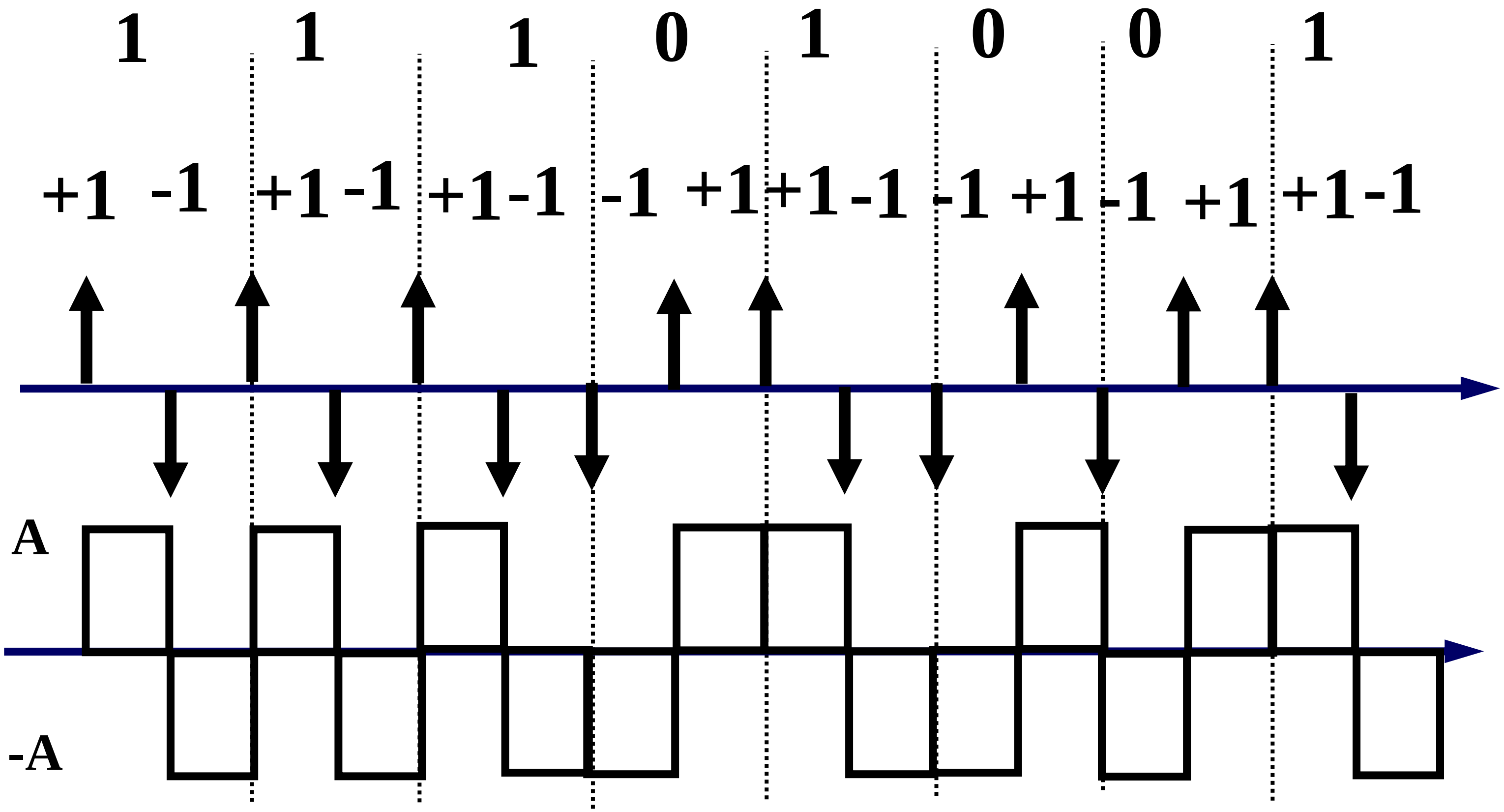

$\{b_n\}$
线路编码
$\{a_n\}$
窄脉冲生成器
$g(t) \leftrightarrow G(f)$
成型滤波器
$s(t)$
Pulse modulation
$\sum a_n \delta(t - nT_s)$



g(t)
A
t
T
{b_n}
1 1 1 0 1 0 0 1
{a_n}
+1 +1 -1 +1 -1 -1 +1
∑a_nδ(t−nT)
+1
s(t)
A
-A


g(t)
A
T
t
-A
{b_n}
1 1 1 0 1 0 0 1
{a_n}
+1 +1 +1 -1 +1 -1 -1 +1
∑a_nδ(t−nT)
s(t)
A
-A

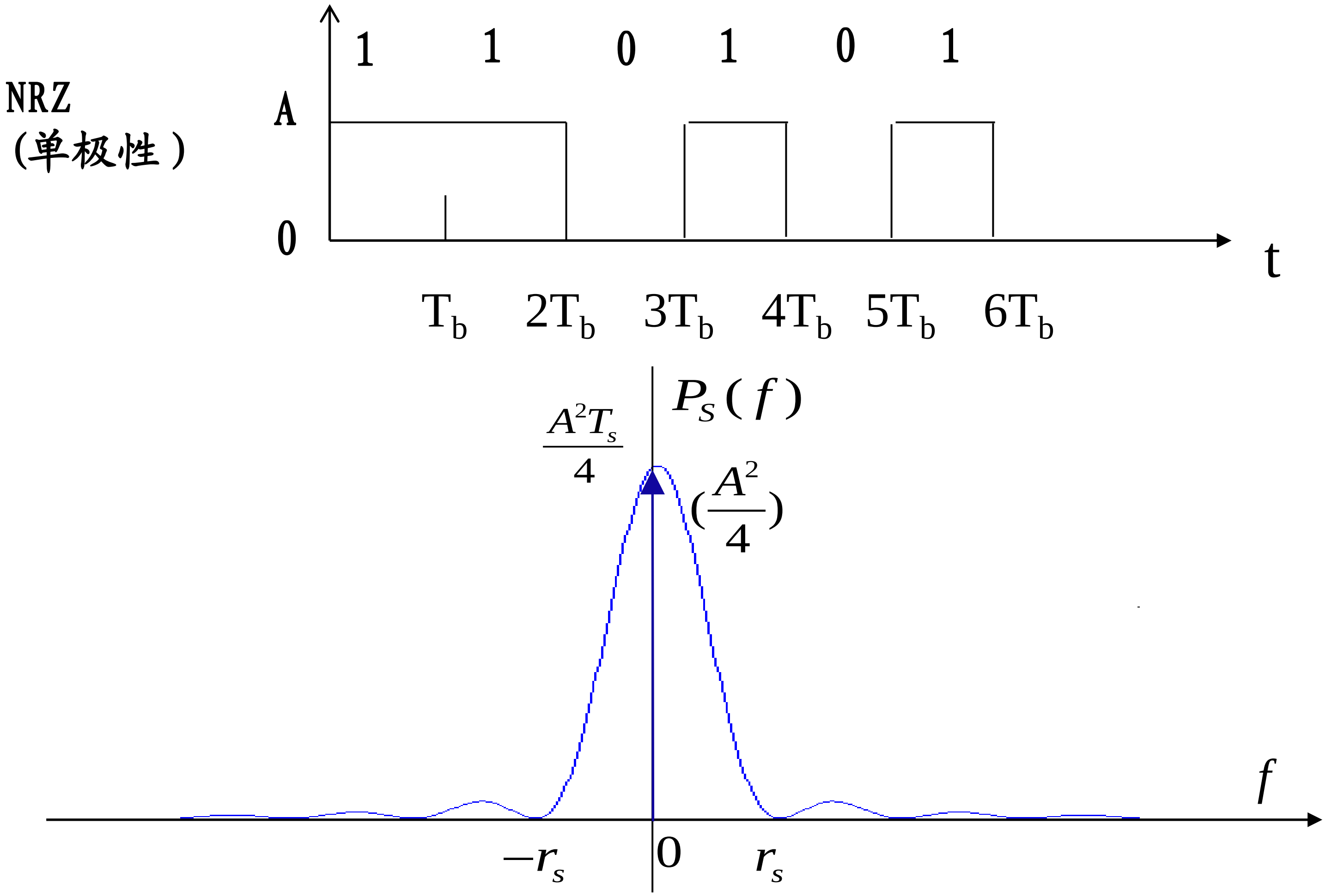

g(t)
A
T
t


1 1 1 0 1 0 0 1
+1 -1 +1 -1 +1 -1 -1 +1 +1 -1 -1 +1 -1 +1 +1 -1
A
-A

3、基带传输常用码型

- 〔note〕为方便起见，下面在介绍常用的码形时脉冲的波形我们都采用方波表示。然而，脉冲的波形可以是方波，升余弦、三角波等，取决于成形滤波器的冲激响应
- 传输码（线路码）型的设计原则
  - 能从其相应的基带信号中获取定时信息
  - 相应的基带信号无直流成分和只有很小的低频成分；
  - 不受信息源统计特性的影响；
  - 尽可能提高传输码型的传输效率；
  - 具有内在的检错能力，等等

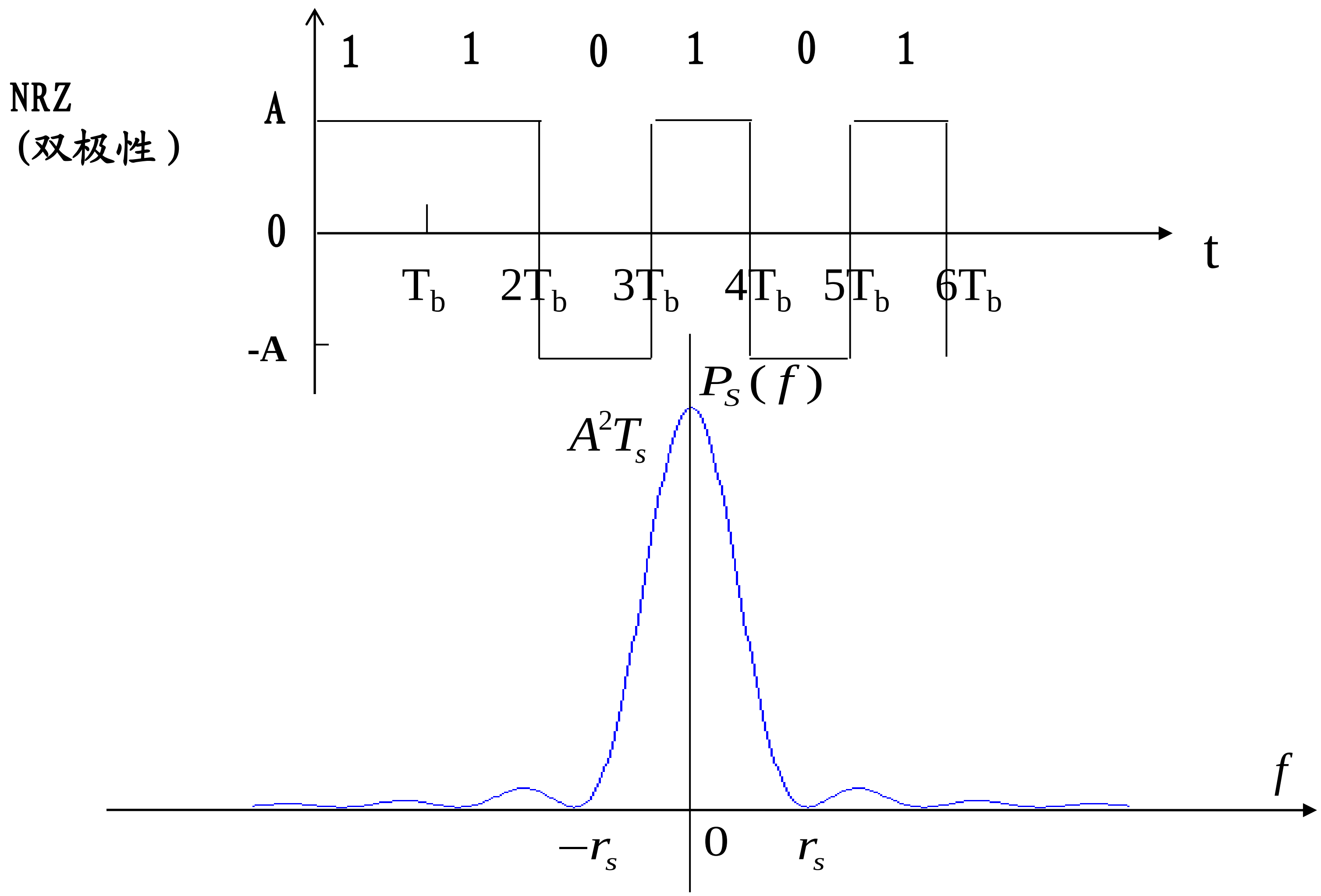
单极性不归零码(Unipolar NRZ)



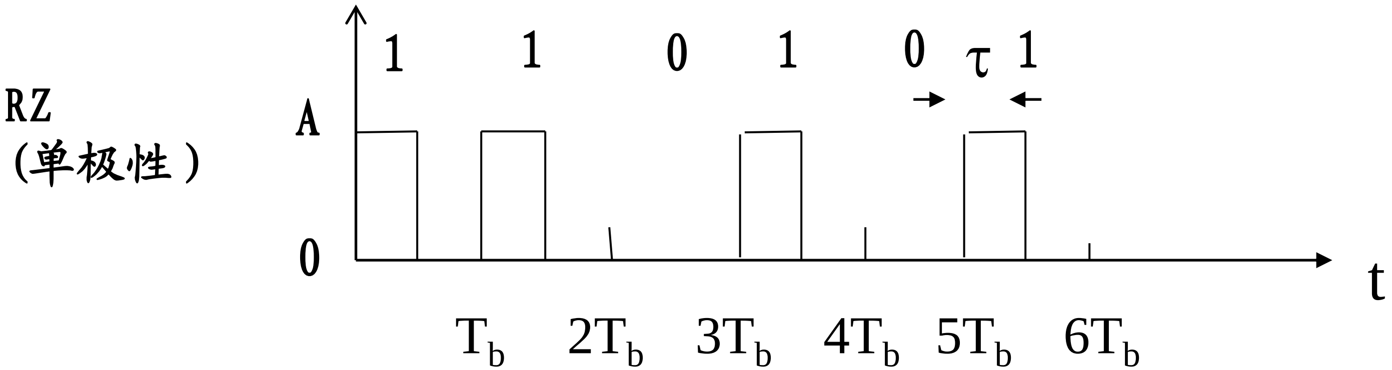
Unipolar NRZ (Cont.)

- 有丰富的低频乃至直流分量
- 出现长“0”或长“1”时，电平固定不变，不能提取位定时信息
- 每个“1”和“0”相互独立，无错误检测能力
- 单极性码传输时需要信道一端接地，不能用两根芯线均不接地的电缆传输
- 接收单极性码，判决电平1/2，信道衰减，不存在最佳判决电平

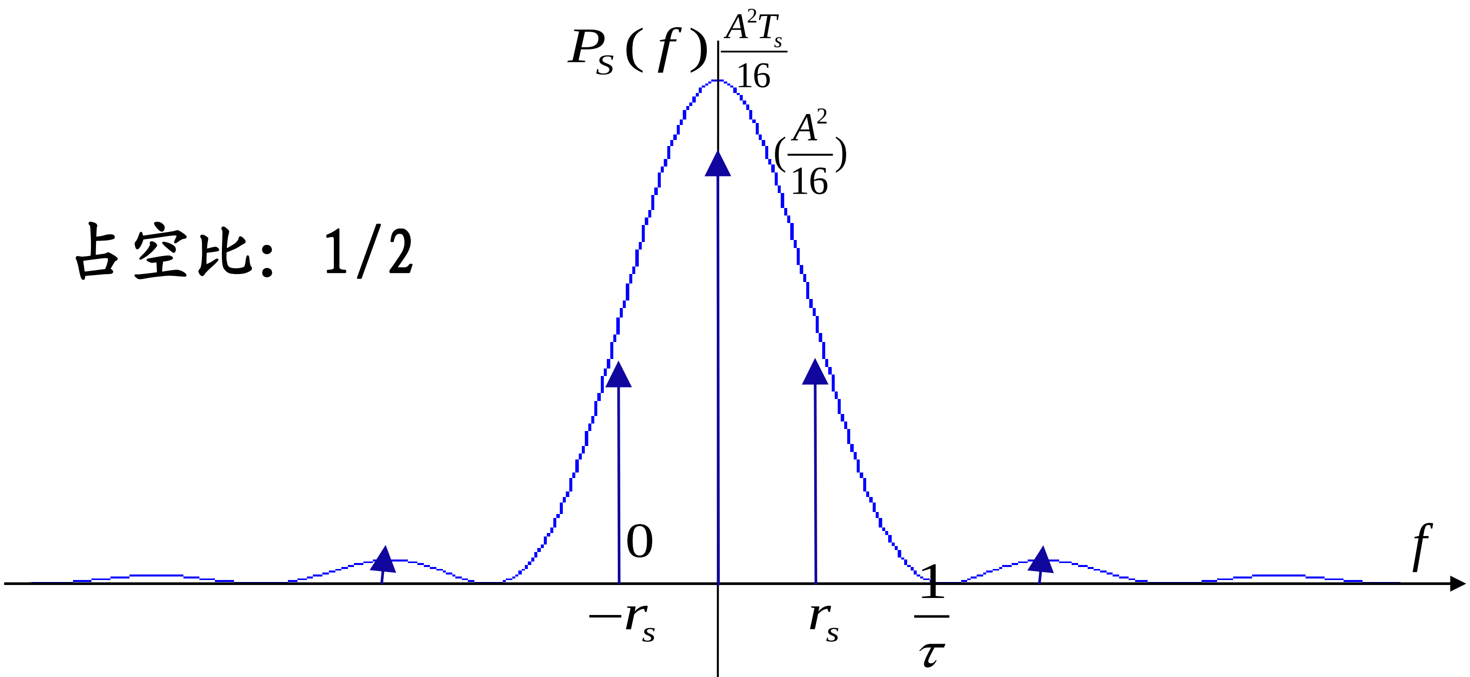
双极性不归零码(Polar NRZ)



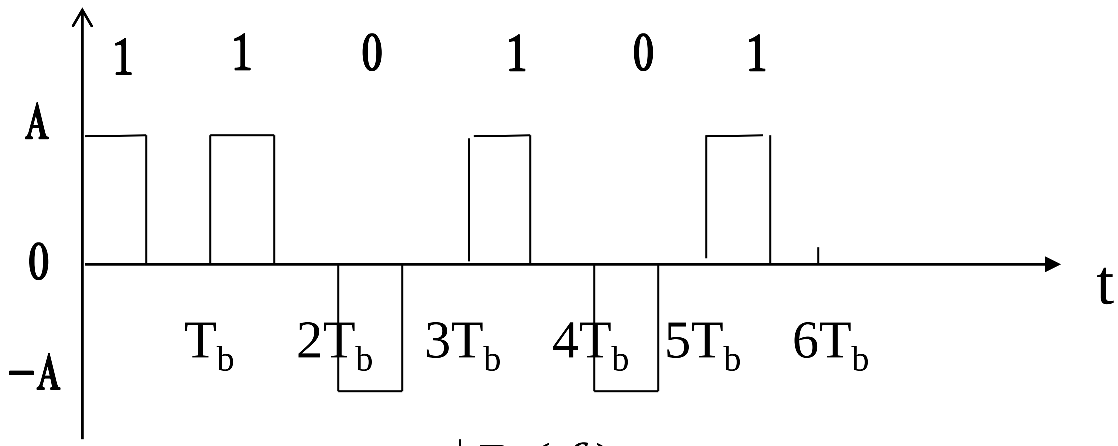
单极性归零码(Unipolar RZ)

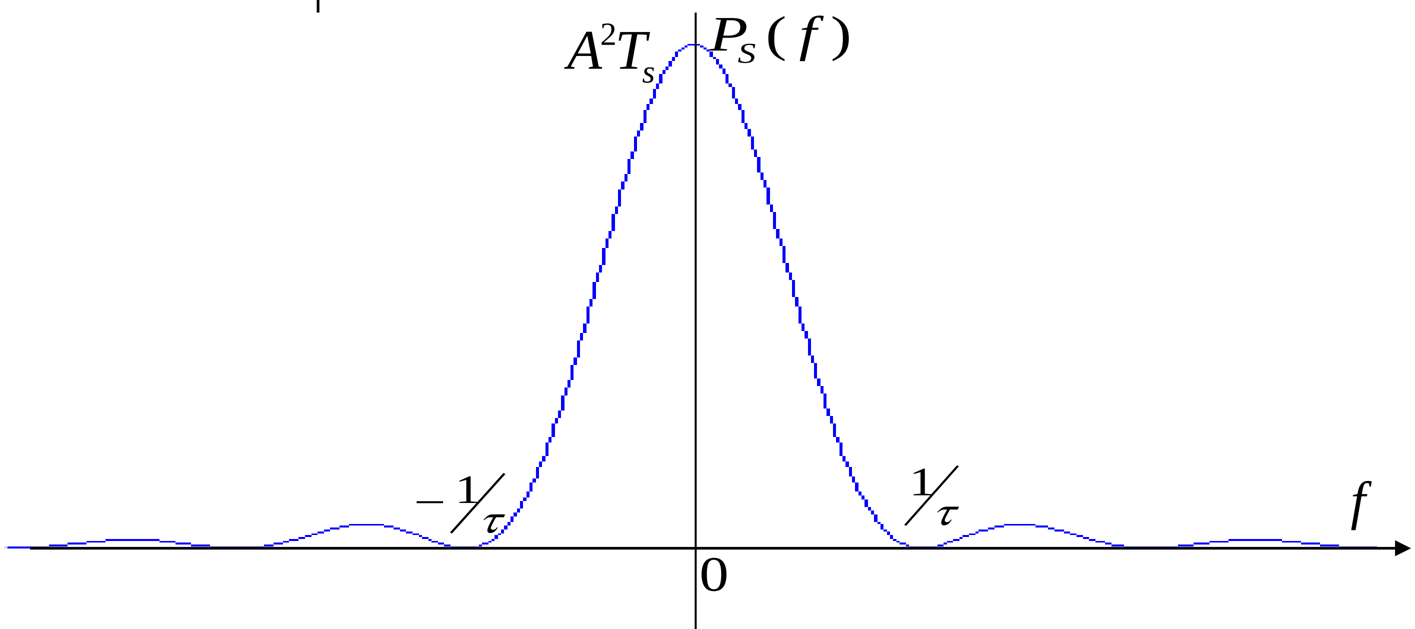


占空比：1/2



双极性归零码(Polar RZ)

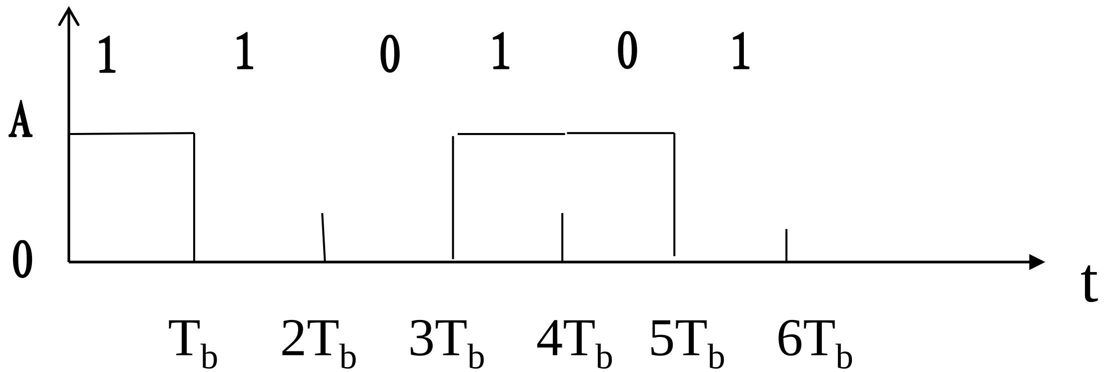




差分码（Differential Coding)

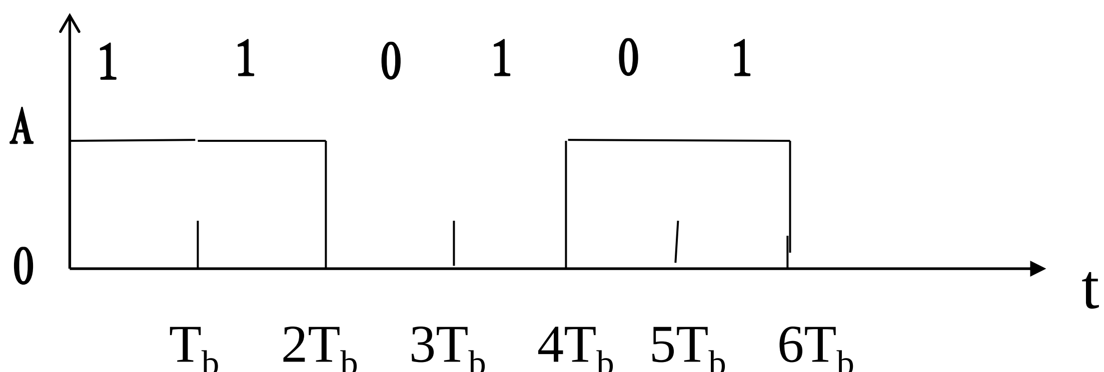
NRZ(M)： 传号差分，**1**——相邻码元电平极性改变；
0——相邻码元电平极性不改变

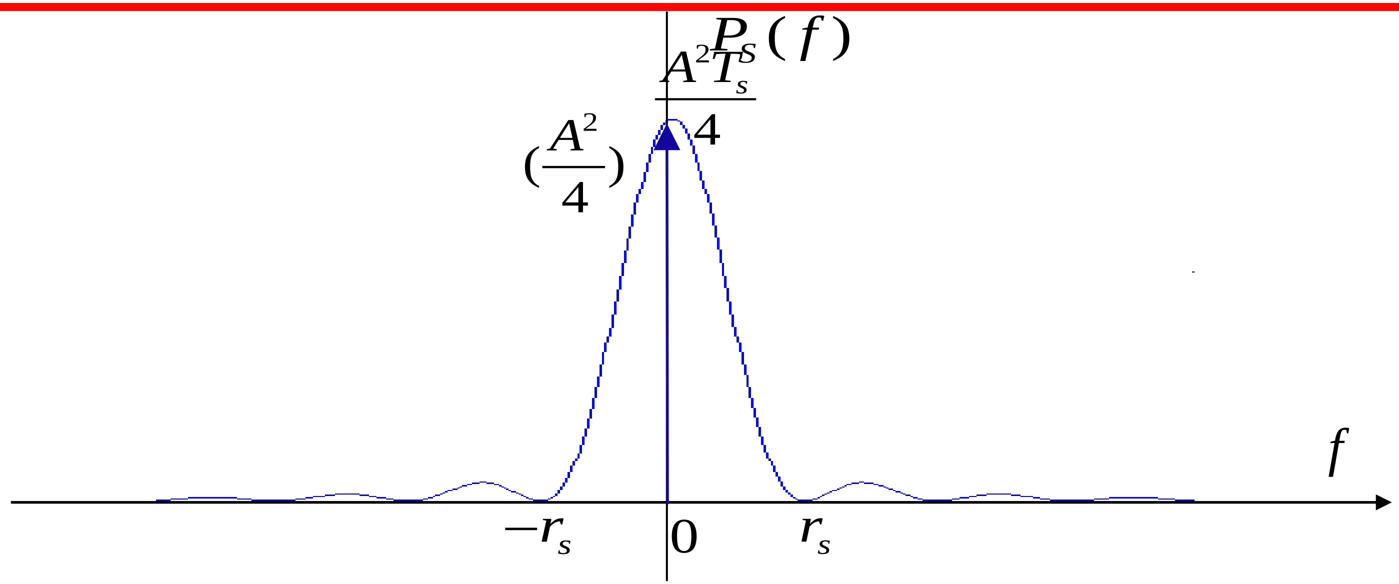
NRZ(M)
(单极性）



NRZ(S)： 空号差分，**1**——相邻码元电平极性不改变；
0——相邻码元电平极性改变

NRZ(S)
(单极性）





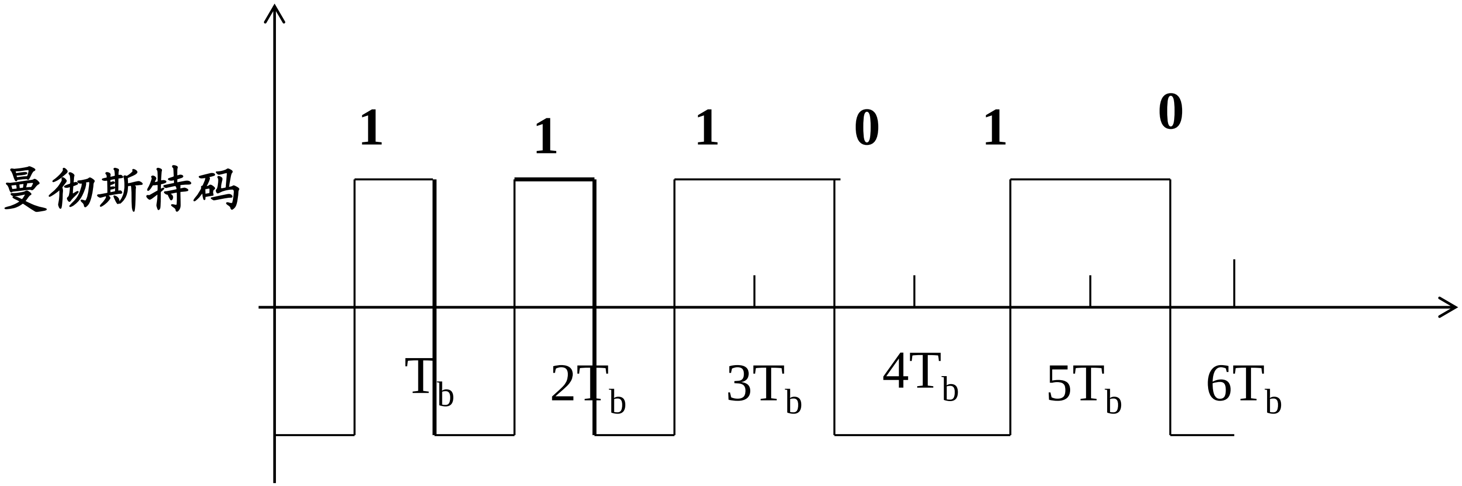
- 仍未解决简单二元码存在的问题
- 接收端收到的码元极性与发送端的完全相反，也能正确地进行判决。

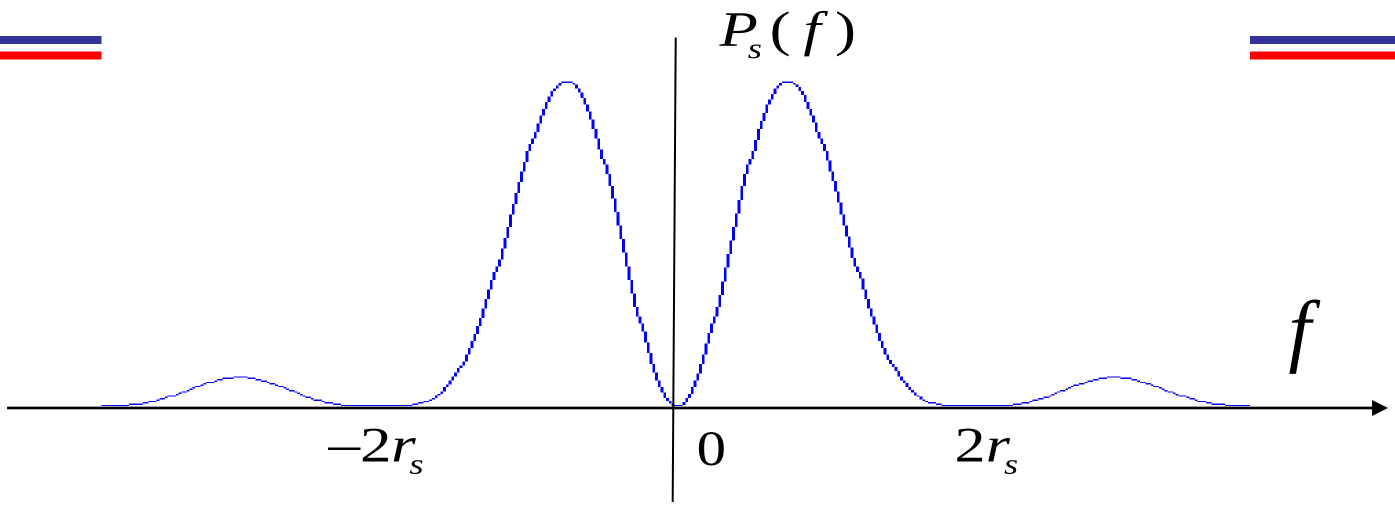
Manchester Coding

1——正负脉冲表示（10）
0——负正脉冲表示（01）

或

0——正负脉冲表示（10）
1——负正脉冲表示（01）

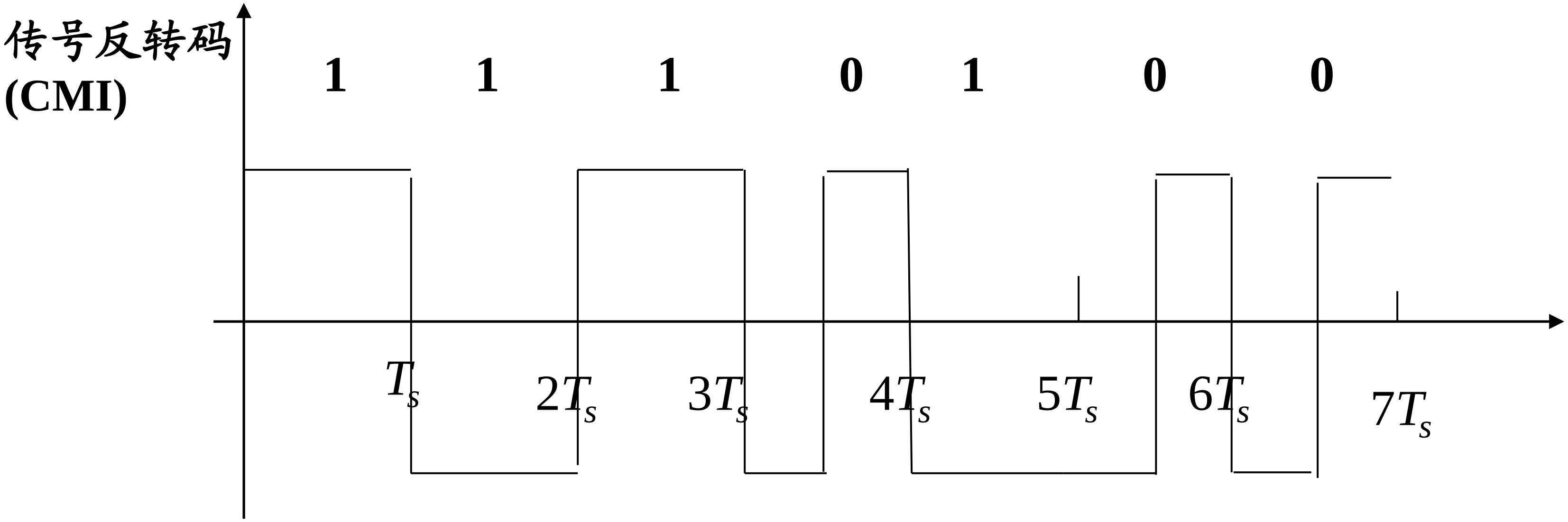




•无直流，正负电平各占一半
•有位定时信息，每个码元中心均存在电平跳变
•00、11是禁用码组，这样就不会出现3个或更多的连码，因此，可实现宏观检错。这个优点是用频带加倍来换取的。
•适用于数据终端短距离传输，在本地数据网中采用该码作为传输码型，最高信息速率10M。Ethernet LANs 802.3

传号反转码CMI

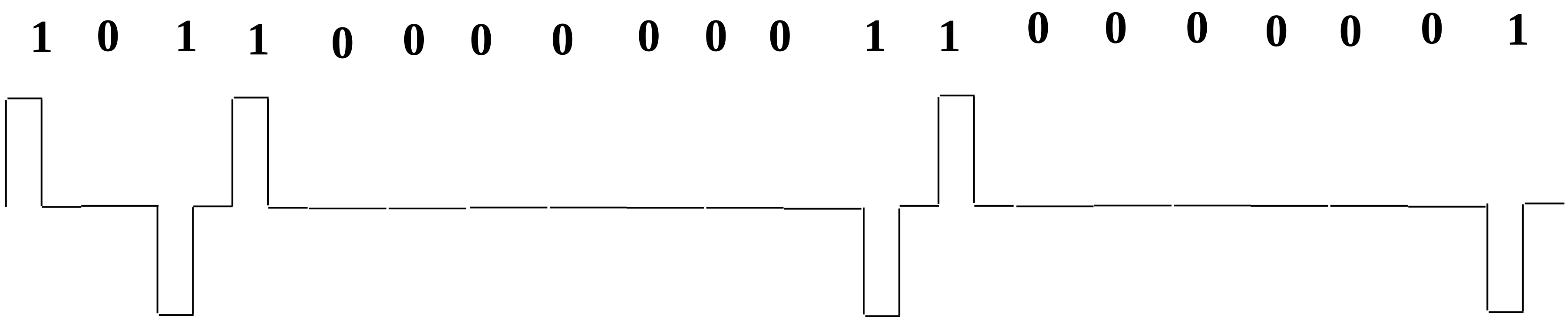
1———交替变化的持续一个周期的正负电平表示
0———分别持续半个码元的负正电平组合表示



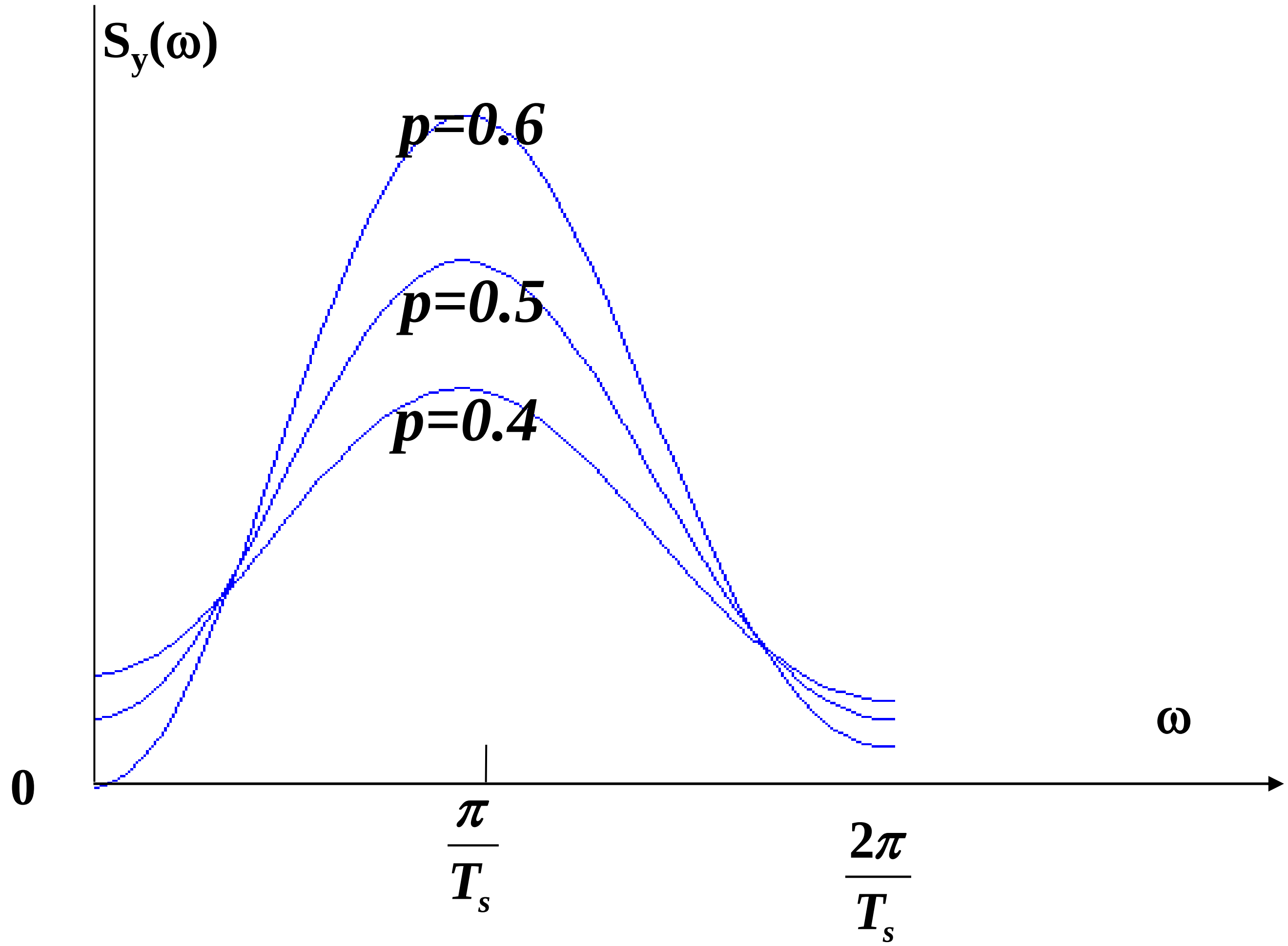
- 无直流分量
- 位定时信息丰富
- 具有检错能力：因为1交替用00、11表示，0固定用01表示，因此，波形中不会出现“10”，不会出现三个以上的连码，因此可作为宏观检错。
- 用作高次群脉冲编码终端设备中的接口码型，光纤中有时用作线路传输码型。

传号交替反转码（AMI）

1——交替的用+1，-1的归零码表示
0——用0电平表示



传号交替反转码（AMI）



传号交替反转码（AMI）

- 功率谱形状与信源统计特性有关
- 有检测错误的能力：传号交替反转的规则
- 无直流分量，低频分量较小
- 位定时分量为0，但将其经过全波整流变为单极性归0码时，就可以提取位定时信息。
- 当出现长零时，提取位定时信息困难。
- 将输入二进制信息序列先进行扰码，即进行随机化处理，使信息序列变为伪随机序列，然后再进行AMI编码。随机化处理可以缩短连0数，并使AMI功率谱形状不受信息序列传号率的影响。
- （北美系列）PCM一、二、三次群接口码型

HDB3码

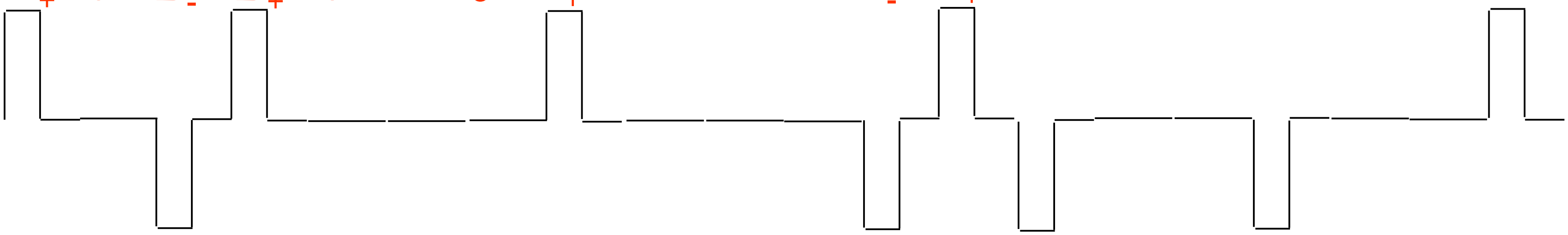
1——交替变换为+1，-1

0——连0小于等于3,则用0电平表示

连0大于3,则用特定码组替换B 0 0 V或 0 0 0 V

1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1

B_+ 0 B_- B_+ 0 0 0 V_+ 0 0 0 B_- B_+ B_- 0 0 V_- 0 0 B_+



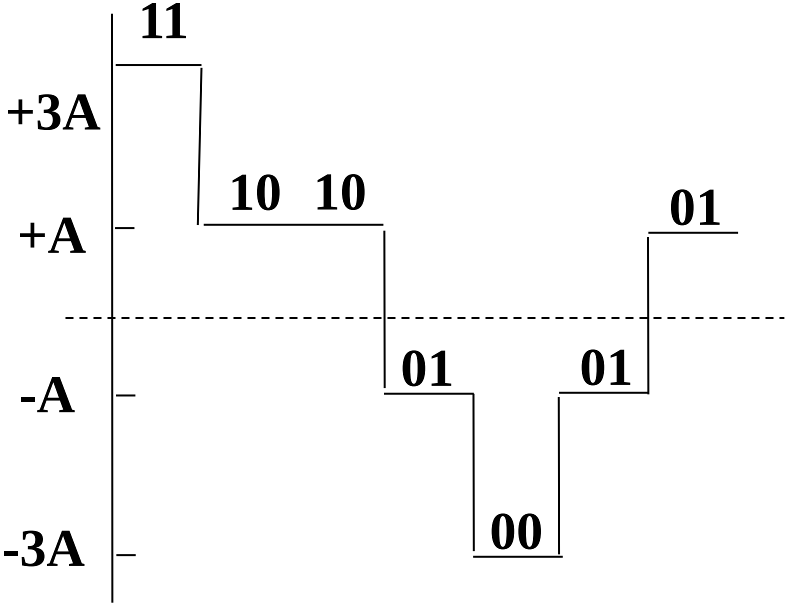
任意两个V之间B的个数为奇数。

HDB3码

- 有检错能力
- 无直流分量
- 解决了连“0”时位定时信息提取困难
- B码和V码各自保持极性交替变化，以确保无直流分量
- 可能存在误码扩散的问题
- （欧洲系列）PCM一、二、三次群接口码型

多元码

- 多个二进制符号对应一个脉冲码元波形
- 与二元码传输相比，在码元速率相同的情况下，它们的传输带宽是相同的，但多元码的信息传输速率是二元码的$\log_2 M$倍。



4电平波形

4、数字基带信号的功率谱与带宽

（1）数字基带信号的功率谱
（2）信号的带宽

4、数字基带信号的功率谱与带宽

(1) 数字基带信号的功率谱

- Digital signal

$$s(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}a_n g_T(t-nT_s)$$

- PSD for the digital signal

$$m_a=\mathrm{E}\left(a_n\right),\sigma_a^2=\mathrm{E}\left(a_n^2\right)-m_a^2$$

$$P_s(f)=\frac{\sigma_a^2}{T_s}|G_T(f)|^2+\frac{m_a^2}{T_s^2}\sum_{k=-\infty}^{\infty}\left|G_T(\frac{k}{T_s})\right|^2\delta(f-\frac{k}{T_s})$$

例1：单极性不归零码（0、1等概）

$$g_T(t) = A\mathrm{Rect}(\frac{t}{T_b}) \leftrightarrow G_T(f) = AT_b Sa\left(\pi f T_b\right)$$

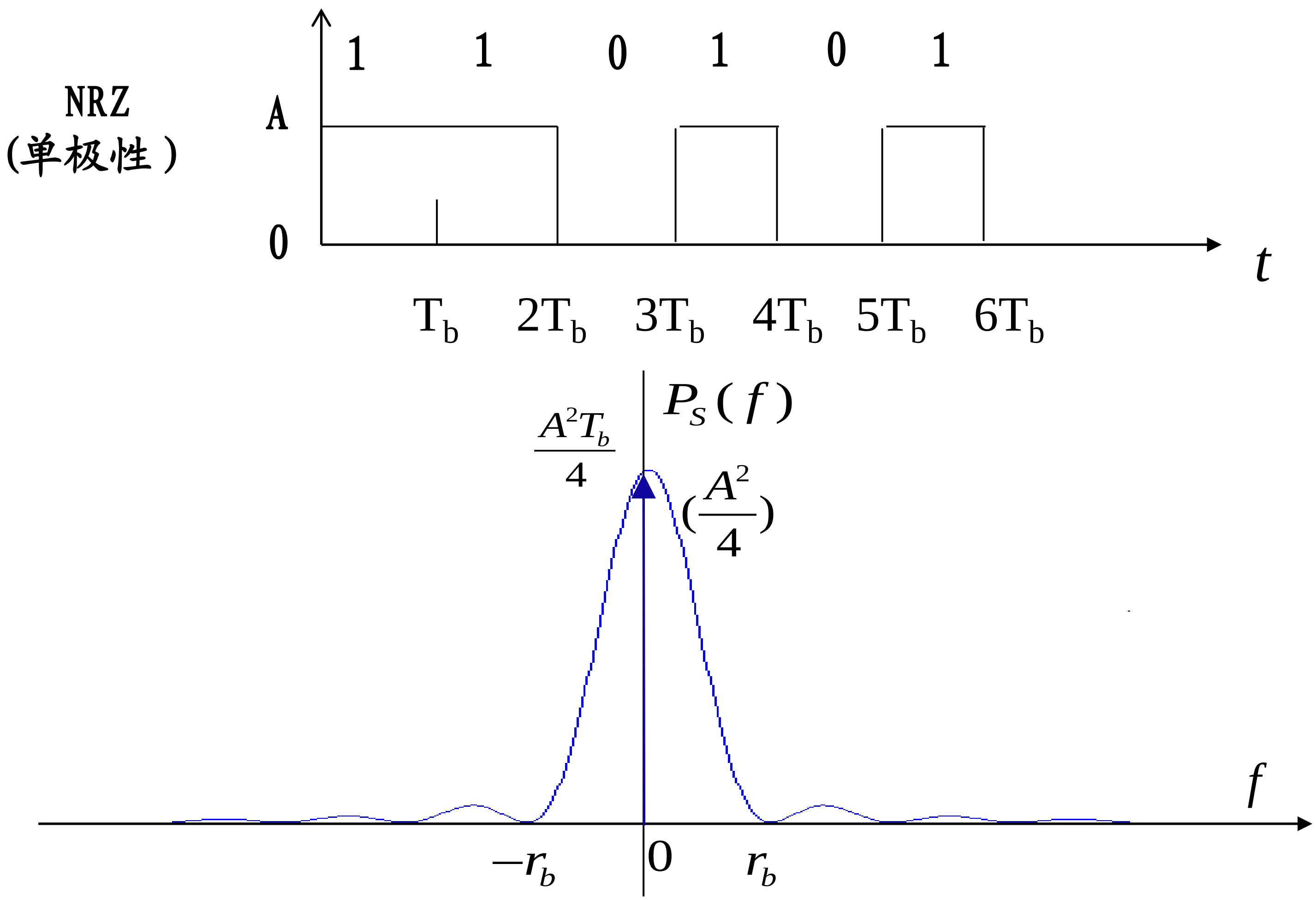
$$m_a = \frac{1}{2}, \sigma_a^2 = \frac{1}{4}$$

$$P_s(f) = \frac{1}{4T_b} |G_T(f)|^2 + \frac{1}{4T_b^2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left| G_T(\frac{k}{T_b}) \right|^2 \delta(f - \frac{k}{T_b})$$

$$= \frac{1}{4T_b} | AT_b Sa\left(\pi f T_b\right) |^2 + \frac{1}{4T_b^2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left| AT_b Sa\left(k\pi\right) \right|^2 \delta(f - \frac{k}{T_b})$$

$$= \frac{A^2 T_b}{4} Sa^2\left(\pi f T_b\right) + \frac{A^2}{4} \delta(f)$$

例1：单极性不归零码（0、1等概）



例2:单极性50%归零码（0、1等概）

$$g_T(t) = A\mathrm{Rect}(\frac{t}{T_b/2}) \leftrightarrow G_T(f) = \frac{AT_b}{2} Sa\left(\frac{\pi f T_b}{2}\right)$$

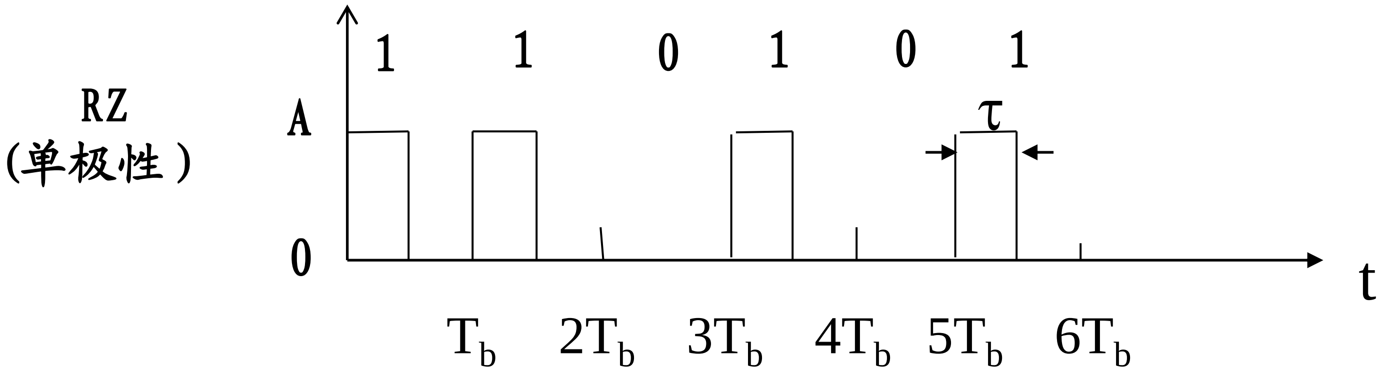
$$m_a = \frac{1}{2}, \sigma_a^2 = \frac{1}{4}$$

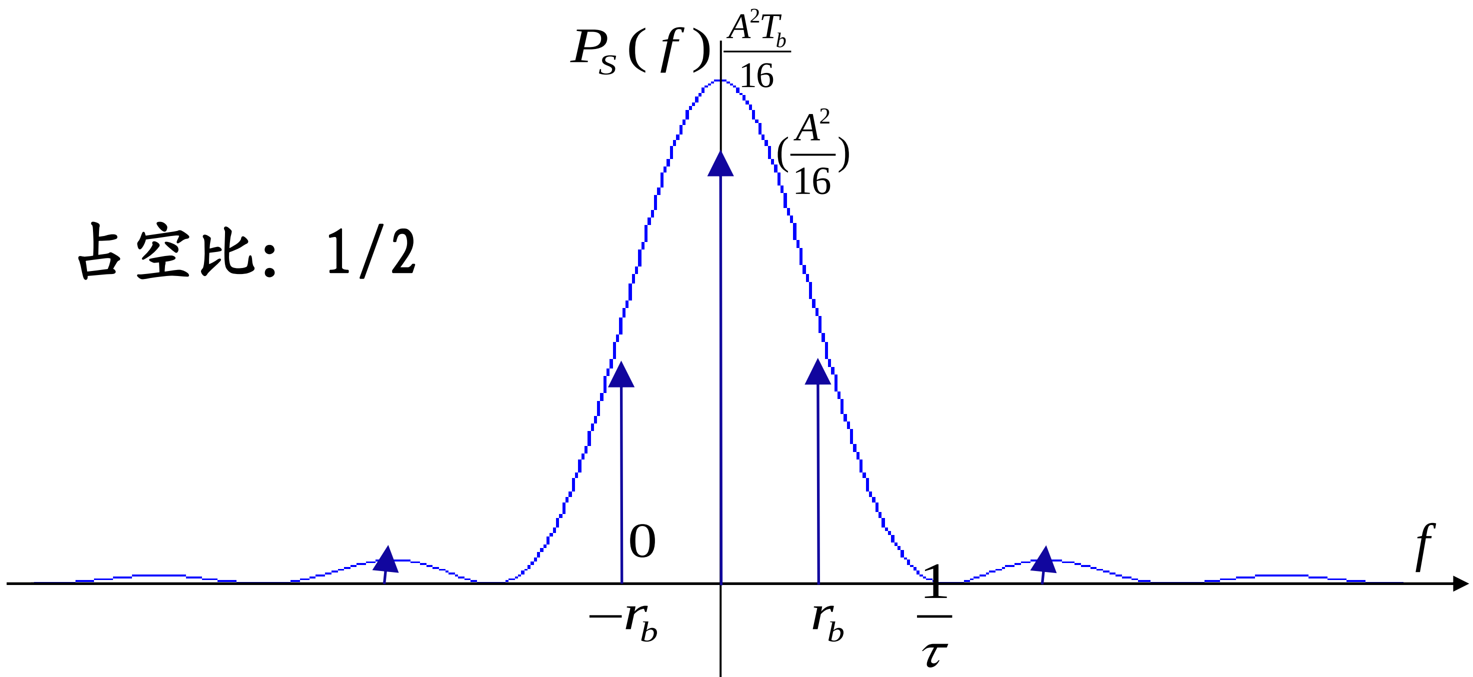
$$P_s(f) = \frac{1}{4T_b} |G_T(f)|^2 + \frac{1}{4T_b^2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left| G_T(\frac{k}{T_b}) \right|^2 \delta(f - \frac{k}{T_b})$$

$$= \frac{1}{4T_b} \left| \frac{AT_b}{2} Sa\left(\frac{\pi f T_b}{2}\right) \right|^2 + \frac{1}{4T_b^2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left| \frac{AT_b}{2} Sa\left(\frac{k\pi}{2}\right) \right|^2 \delta(f - \frac{k}{T_b})$$

$$= \frac{A^2 T_b}{16} Sa^2\left(\frac{\pi f T_b}{2}\right) + \frac{A^2}{16} \sum_{k=-\infty}^{\infty} Sa^2\left(\frac{k\pi}{2}\right) \delta(f - \frac{k}{T_b})$$

例2:单极性50%归零码（0、1等概）





占空比：1/2

例3：双极性不归零码（0、1等概）

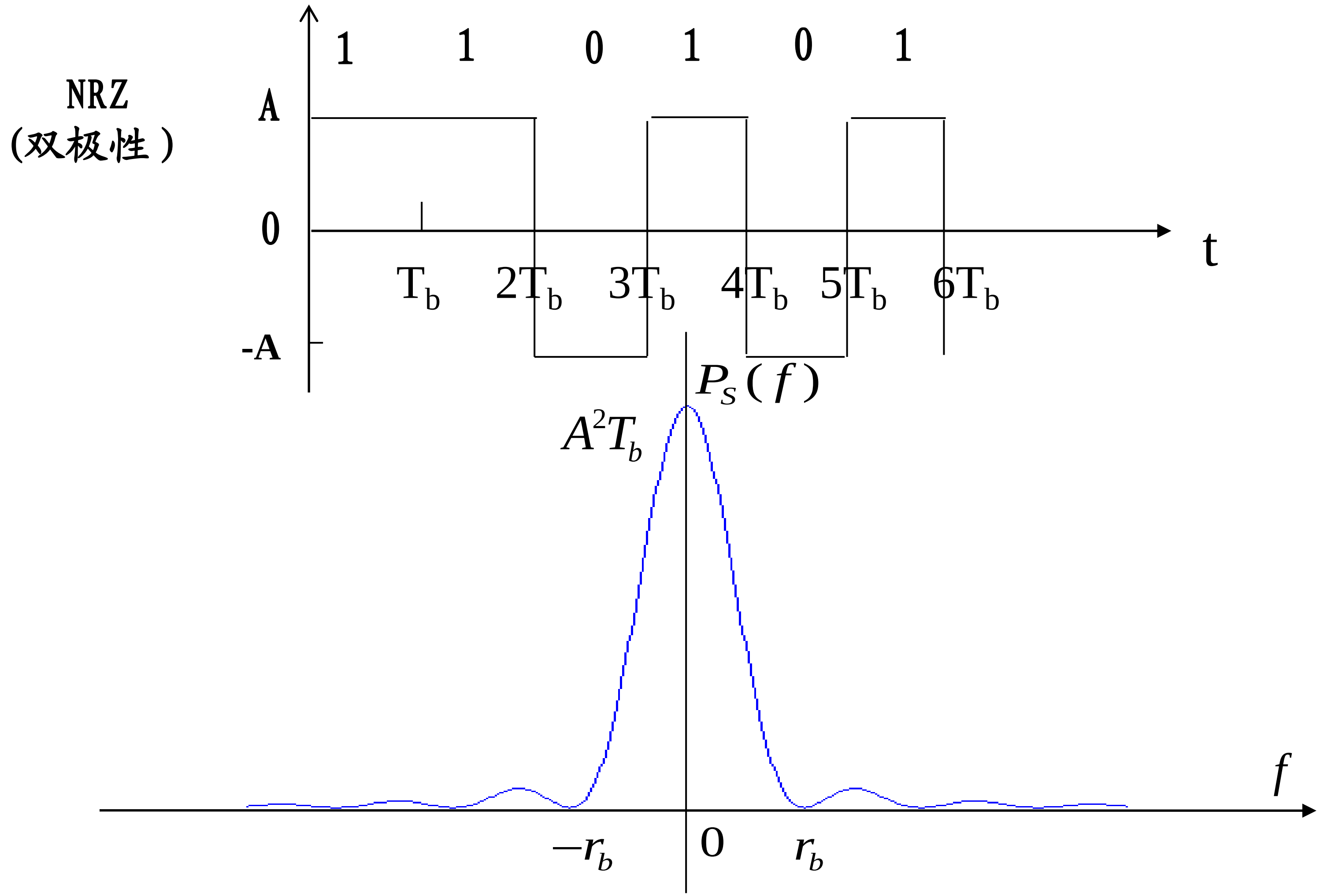
$$g_T(t) = A\mathrm{Rect}(\frac{t}{T_b}) \leftrightarrow G_T(f) = AT_b Sa\left(\pi f T_b\right)$$

$$m_a = 0, \sigma_a^2 = 1$$

$$P_s(f) = \frac{\sigma_a^2}{T_b} |G_T(f)|^2$$

$$= A^2 T_b Sa^2\left(\pi f T_b\right)$$

例3：双极性不归零码（0、1等概）



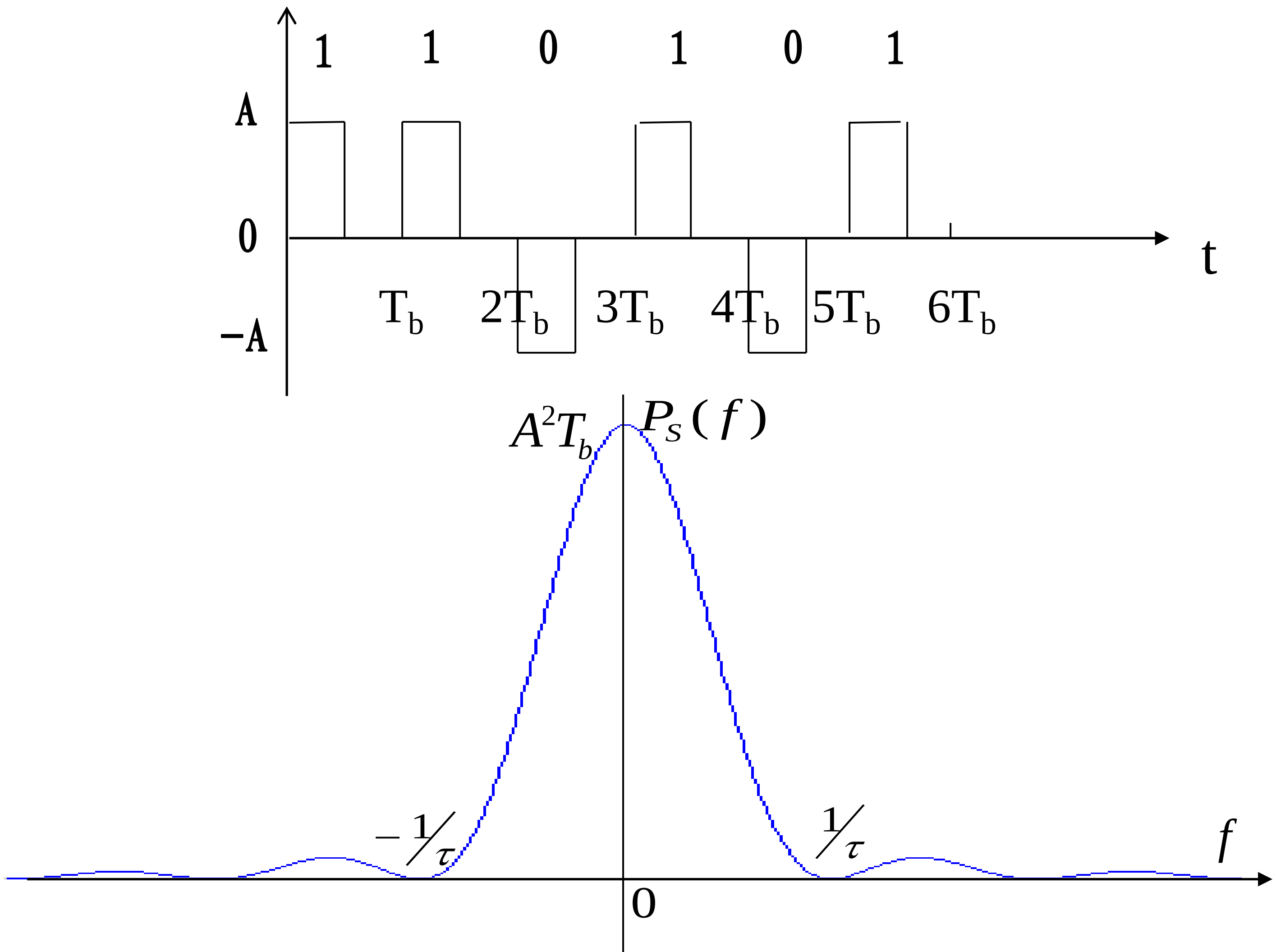
例4：双极性归零码（0、1等概）

$$g_T(t) = A\text{Rect}(\frac{t}{\tau}) \leftrightarrow G_T(f) = A\tau \text{Sa}\left(\pi f \tau\right)$$

$$m_a = 0, \sigma_a^2 = 1$$

$$P_s(f) = \frac{A^2\tau^2}{T_s}\text{Sa}^2\left(\pi f \tau\right)$$

例4：双极性不归零码（0、1等概）



例5: 曼彻斯特码

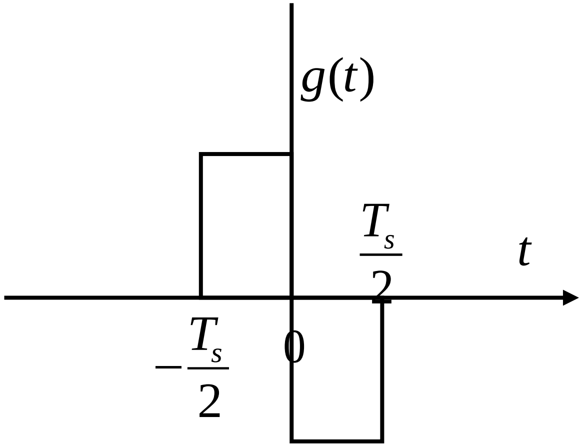
$$g_T(t)=\mathrm{Rect}\left(\frac{t+T_s/4}{T_s/2}\right)-\mathrm{Rect}\left(\frac{t-T_s/4}{T_s/2}\right)$$

$$G_T(f)=\frac{T_s}{2}Sa\left(\frac{\pi fT_s}{2}\right)\left(e^{j\frac{\pi fT_s}{2}}-e^{-j\frac{\pi fT_s}{2}}\right)=jT_sSa\left(\frac{\pi fT_s}{2}\right)\sin\left(\frac{\pi fT_s}{2}\right)$$

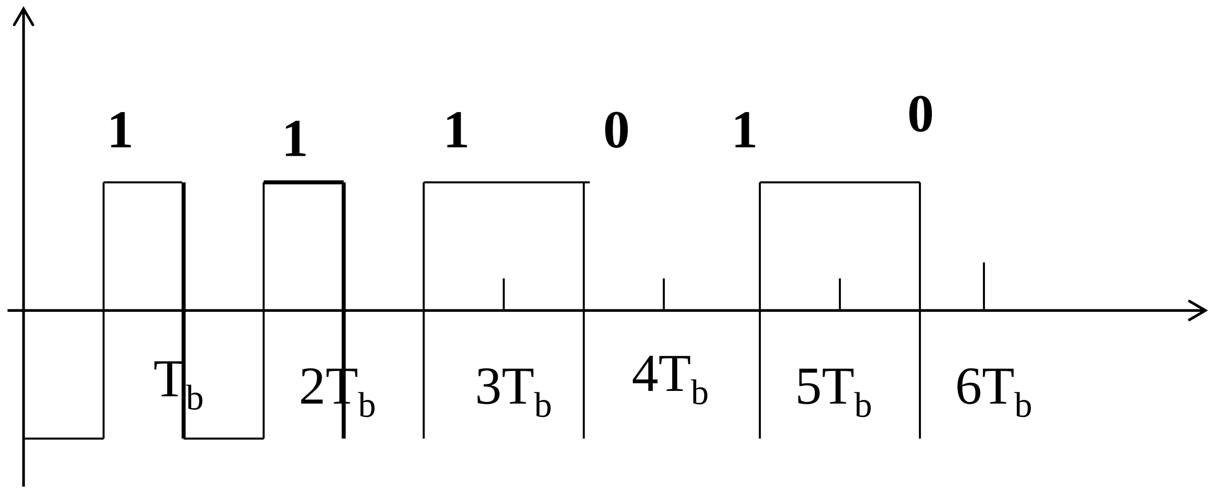
$$\left|G_T(f)\right|^2=T_s^2\mathrm{Sa}^2\left(\frac{\pi fT_s}{2}\right)\sin^2\left(\frac{\pi fT_s}{2}\right)$$

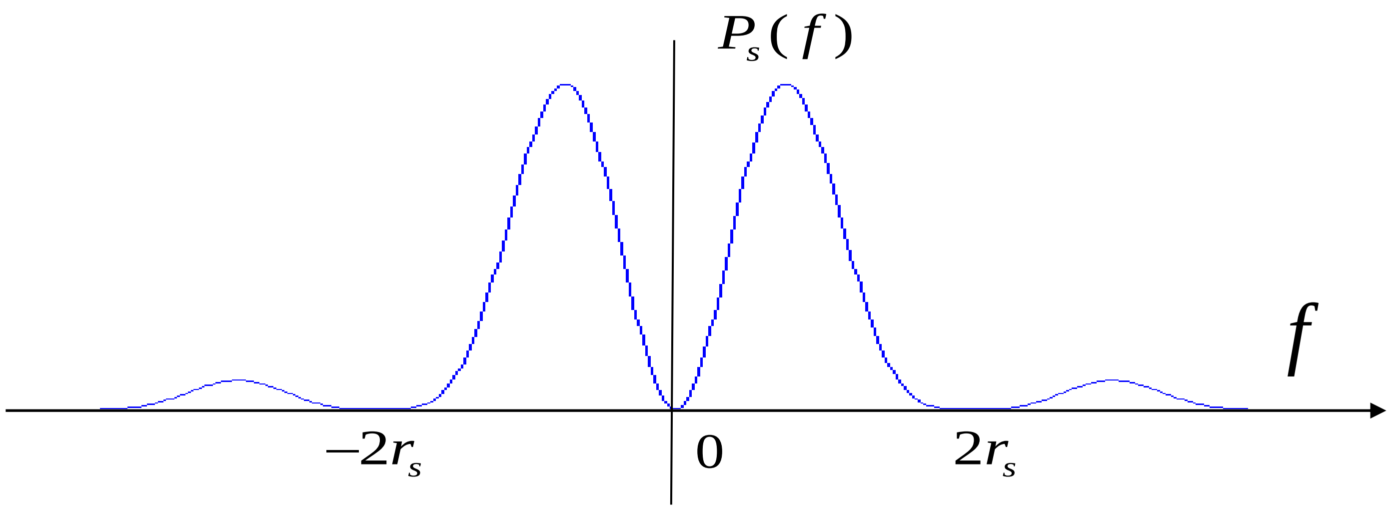
$$m_a=0,\sigma_a^2=1$$

$$P_s(f)=\frac{\left|G(f)\right|^2}{T_s}=T_sSa^2\left(\frac{\pi fT_s}{2}\right)\sin^2\left(\frac{\pi fT_s}{2}\right)$$



例5: 曼彻斯特码





单选题 1分

设置

若二进制基带信号的符号传输速率为r_s=10kBaud，采用双极性归零码方波进行传输，若波形占空比为25%，且“0”和“1”等概，则信号的第一过零点带宽为

A 10kHz

B 20kHz

C 40kHz

D 80kHz

提交

多选题 1分

设置

对于二进制基带信号，“0”和“1”等概，且发送波形为方波的情况，下列说法中不正确的有：

A 若符号速率相等，则占空比为50%的归零码与曼彻斯特码的第一过零点带宽相等。

B 双极性归零码会出现三种电平。

C 将50%双极性归零码进行整流，可以提取r_s处的离散频率分量。

D 不归零码具有检错功能。

提交

第10讲课后作业

p.120-121

5.3

5.4

5.13