



# 常见变量的名称

- **C** :信道容量 bps
- **D** :数据传输速率,比特率 bps
- **W** :带宽 bps (bande passante)
- **R** :波特率,符号速率,码元速率,传码率
- **V** :相数,信号种类数
- **S** :发送端信号功率
- **N** :噪声功率
- **S/N** :信噪比

---

## 码元速率和比特率之间的关系

码元速率( $R$ )和比特率( $D$ )之间的关系可以表示为:

$$D = R \times \log_2 V$$

其中:

- $D$  是比特率,单位为 bps(比特每秒)
- $R$  是码元速率,单位为 baud(波特)
- $V$  是每个码元的状态数

例如,如果每个码元有 4 种状态(即  $V = 4$ ),则每个码元可以表示 2 比特(因为  $\log_2 4 = 2$ )。因此,比特率是码元速率的 2 倍。

---

## 进制和状态数的关系

进制和状态数之间的关系可以表示为:

$$V = 2^n$$

其中:

- $V$  是状态数
- $n$  是进制数

例如:

- 二进制( $n = 2$ )有  $2^2 = 4$  种状态
- 三进制( $n = 3$ )有  $2^3 = 8$  种状态
- 四进制( $n = 4$ )有  $2^4 = 16$  种状态

状态数越多,每个码元能够表示的信息量就越大。

---

## 常见公式

### 香农定理

$$C = W \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

### 传输速率公式

$$D = R \log_2 V$$

其中:

- $D$  是数据传输速率,单位为 bps (比特每秒)
- $R$  是码元速率,单位为 baud (波特)
- $V$  是每个码元的状态数

### 信道的最大状态数

$$V = \sqrt{1 + \frac{S}{N}}$$

其中：

- $V$  是信道的最大状态数
- $S$  是信号功率
- $N$  是噪声功率

## 奈奎斯特定理

奈奎斯特定理指出,在无噪声信道中,最大数据传输速率可以表示为：

$$C = 2W \log_2 V$$

其中：

- $C$  是信道容量,单位为 bps (比特每秒)
- $W$  是信道带宽,单位为 Hz (赫兹)
- $V$  是每个码元的状态数

## 奈奎斯特采样率

$$f_s = 2W$$

其中：

- $f_s$  是采样率,单位为 Hz (赫兹)
- $W$  是信道带宽,单位为 Hz (赫兹)

## 奈奎斯特带宽

$$W = \frac{R}{2}$$

其中：

- $W$  是信道带宽,单位为 Hz (赫兹)
- $R$  是码元速率,单位为 baud (波特)

# 平均比特能量

$$E_b = \frac{S}{D}$$

其中：

- $E_b$  是平均比特能量,单位为 J (焦耳)
- $S$  是信号功率,单位为 W (瓦特)
- $D$  是比特率,单位为 bps (比特每秒)

# 噪声功率谱密度

$$N_0 = \frac{N}{W}$$

其中：

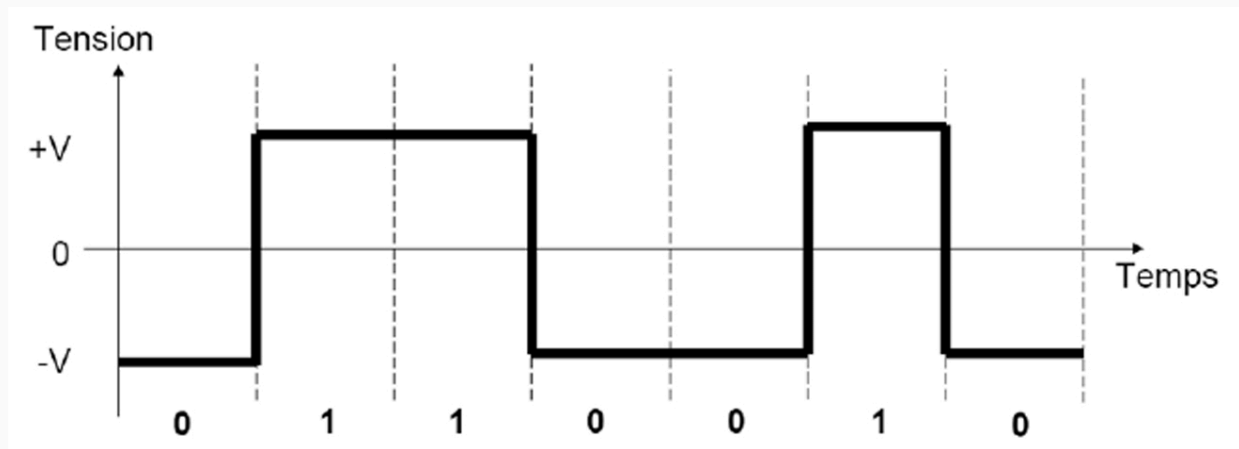
- $N_0$  是噪声功率谱密度,单位为 W/Hz (瓦特/赫兹)
- $N$  是噪声功率,单位为 W (瓦特)
- $W$  是信道带宽,单位为 Hz (赫兹)

---

# 编码方式

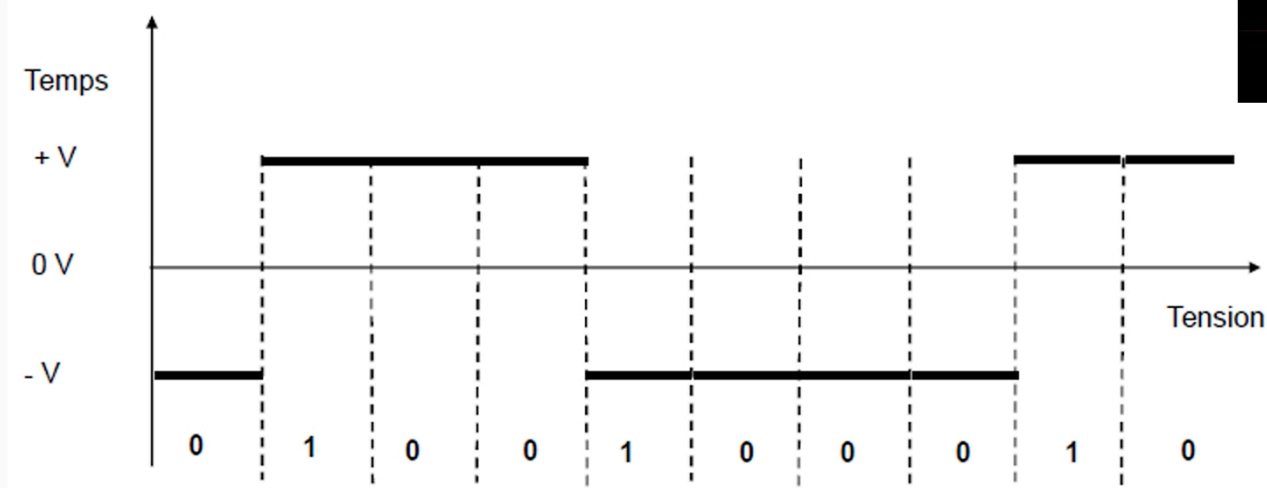
## NRZ 不归零编码

NRZ 不归零编码是一种二进制编码方式,其中每个比特用不同的电压电平表示。在 NRZ 不归零编码中,高电平表示 1,低电平表示 0。NRZ 不归零编码的优点是简单易实现,但缺点是信号在 0 比特处可能会出现电平跳变,这可能会导致接收端出现错误。



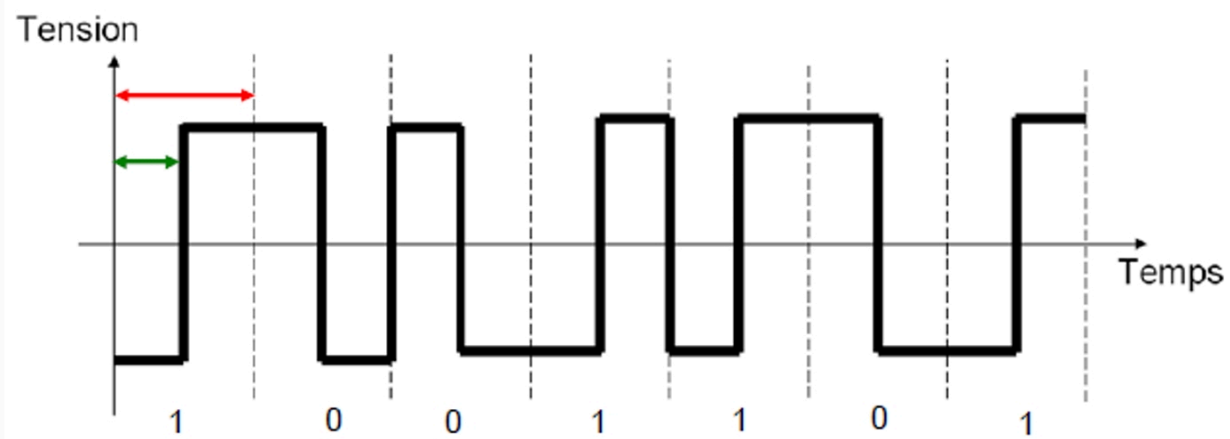
## NRZi 编码

1的时候跳变,0的时候不跳变



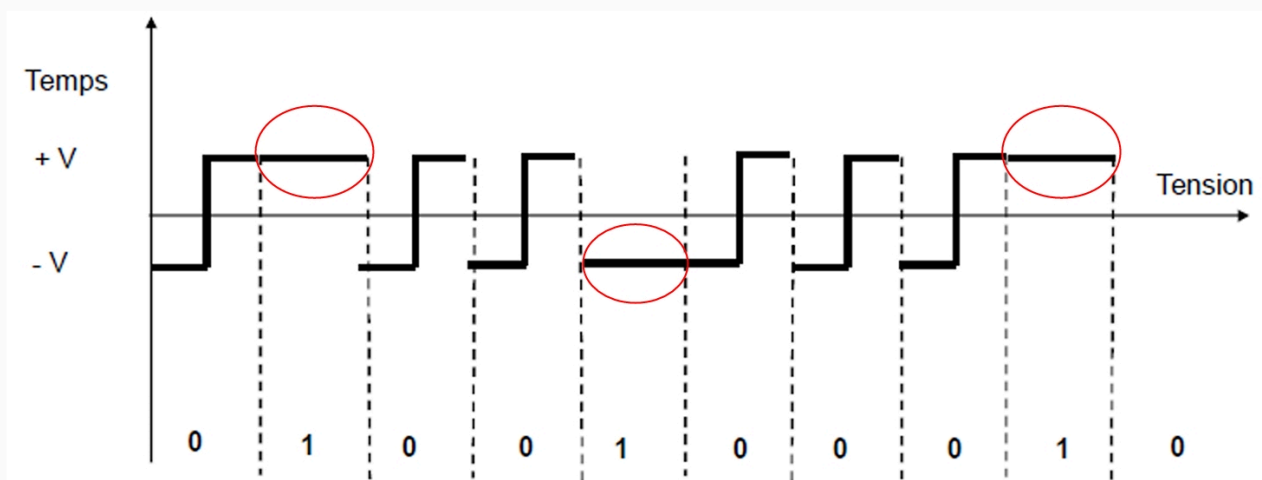
## Manchester 编码

上升沿为1,下降沿为0



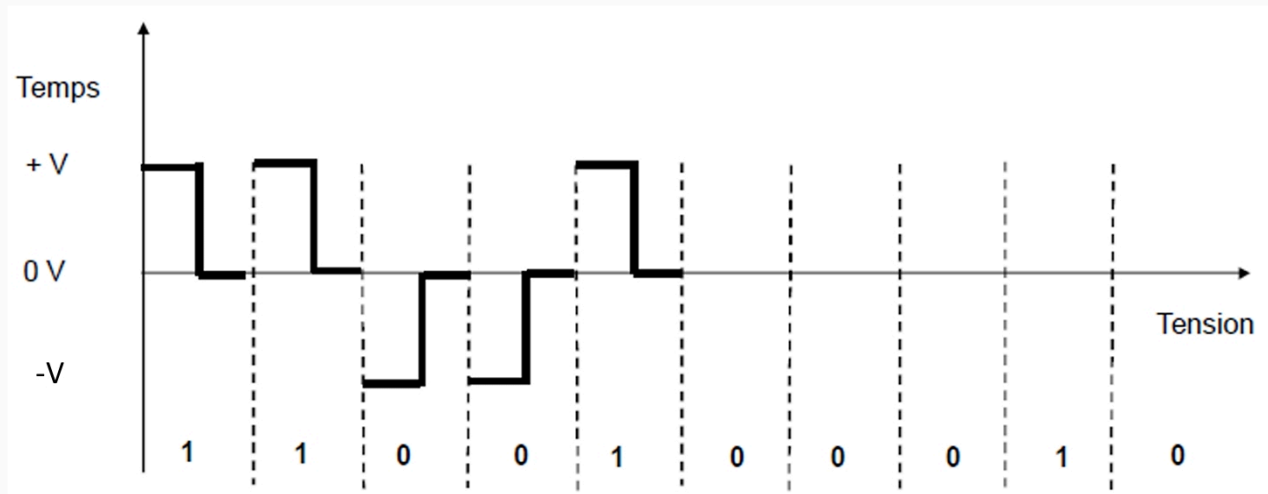
## CMI 编码

0的时候为上升沿,1的时候跳变



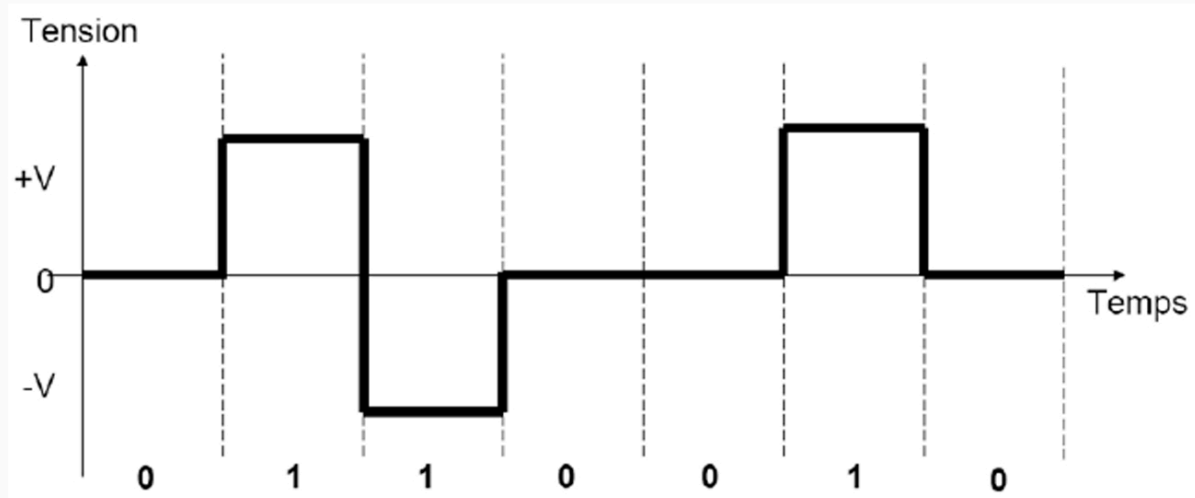
## RZ 编码

1的时候下降沿,0的时候上升沿至1



## Code Bipolaire 双极性码

0的时候电平为0,1的时候电平为正负

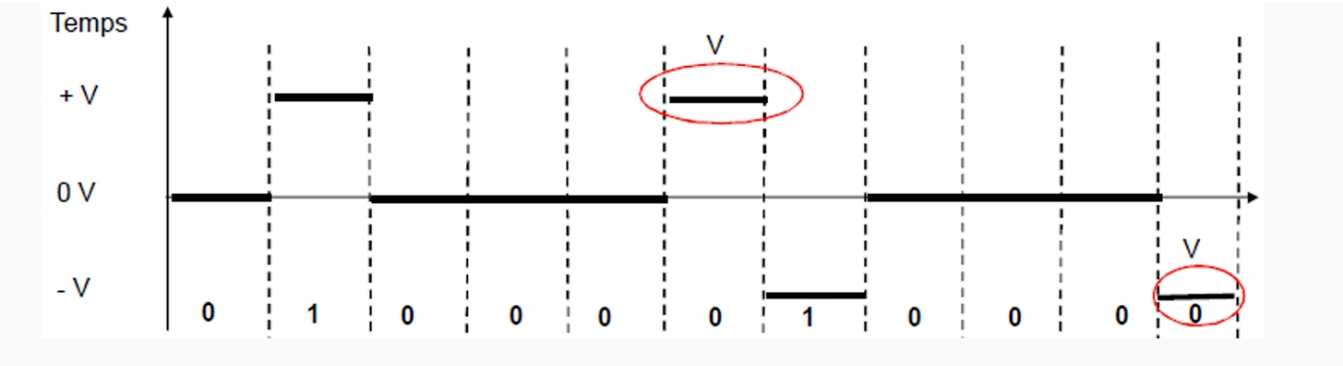


## HDB3 高密度双极性三阶码

0的时候电平为0,1的时候电平为正负

1的个数	编码	描述
偶数	B00V	B 表示一个符号位，V 表示极性（正负电平），此时 B 和 V 的极性与前一个电平相反。
奇数	000V	V 与前一个电平极性相同，表示不改变极性。

- 每4个连续的 0 会被视为一个组。
- 第一组的编码规则总是为 000V。
- 对于 后续的组，我们需要检查当前组与前一个组之间的 1 的个数：
  - 如果 1 的个数是偶数，则编码为 B00V，即电平极性反转。
  - 如果 1 的个数是奇数，则编码为 000V，即电平极性保持不变。



# 复用

## 时分复用(TDM)

即多个用户共享一个信道,每个用户在不同的时间周期内占用整个信道。时分复用可以有效地利用信道带宽,但需要精确的时间同步。

## 统计时分复用(Statistical TDM)

统计时分复用（Statistical TDM）也是一种时分复用技术，但与传统的时分复用不同，它并不为每个用户分配固定的时间片。相反，系统根据每个用户的实际需求**动态分配**时间，空闲的时间片可以被其他用户利用，从而提高信道利用率。由于用户的需求是不确定的，统计时分复用需要更复杂的控制机制来协调不同用户之间的通信。



# 波分复用(WDM)

即多个用户共享一个光纤信道,每个用户在不同的波长上传输数据。波分复用可以有效地利用光纤带宽,但需要复杂的波长转换技术。

# 频分复用

即多个用户共享一个信道,每个用户在不同的频率上传输数据。频分复用可以有效地利用信道带宽,但需要复杂的频率转换技术。两个用户之间的频率间隔需**设计保护带**，防止干扰。

# 码分复用(CDM)

- 正交性：每个用户的码片是**正交的**，意味着不同用户的码片的**向量积为 0**。这确保了用户之间的信号不会互相干扰。
- 共享信道：所有用户可以同时使用相同的频带进行通信，但由于每个用户的码片是独特的，因此信号之间不会发生冲突。

	Utilisateur A	Utilisateur B
Message	$M_1 = \text{"101"}$	$M_2 = \text{"011"}$
Chip code	$\vec{v} = [1, 1, 1, 1]$	$\vec{w} = [1, -1, 1, -1]$
Message codé	$M_{1c} = [1, 1, 1, 1, \mid -1, -1, -1, -1, \mid 1, 1, 1, 1]$	$M_{2c} = [-1, 1, -1, 1, \mid 1, -1, 1, -1, \mid 1, -1, 1, -1]$
Message envoyé	$M_e = M_{1c} + M_{2c} = [0, 2, 0, 2, \mid 0, -2, 0, -2, \mid 2, 0, 2, 0]$	

如图所示两个用户分到的码片为(1,1,1,1)和(1,-1,1,-1),这两个码片是正交的,即他们的向量积为0,因此他们不会互相干扰。

- 信息编码的步骤就是1的时候和码片相同，0的时候和码片相反。
- 传输的信息为两个用户相加