

## 原创 CAN总线学习笔记（5） - CAN通信的位定时与同步

2018年04月16日 21:51:38 小兵大将0221 阅读数 9971 更多

版权声明：本文为博主原创文章，遵循 CC 4.0 BY-SA 版权协议，转载请附上原文出处链接和本声明。

本文链接：[https://blog.csdn.net/weixin\\_40528417/article/details/79936476](https://blog.csdn.net/weixin_40528417/article/details/79936476)

依照瑞萨公司的《CAN入门书》的组织思路来学习CAN通信的相关知识，并结合网上相关资料以及学习过程中的领悟整理成笔记。好记性不如烂笔头，加油！

## 1 位定时

### 1.1 比特率和波特率

- 1) **位速率**:又叫做**比特率 (bit rata)**、**信息传输率**，表示的是单位时间内，总线上传输的信息量，即**每秒能够传输的二进制位的数量**，单位是bit per second。
- 2) **波特率**: 又叫做**传码率**、**信号传输率**，表示的是单位时间内传输的码元的数量，当两相调制时，一个码元用一个二进制位表示，此时波特率在数值上和比特率是一样的，CAN总线正是两项调制这种情况。

**Tips:** 比特率和波特率并不是一回事儿，这一定一定要牢记。

### 1.2 位时间

#### 1.2.1 位时间的概念

**位时间**: 表示的是一个二进制位在总线上传输所需要的时间。

所以:

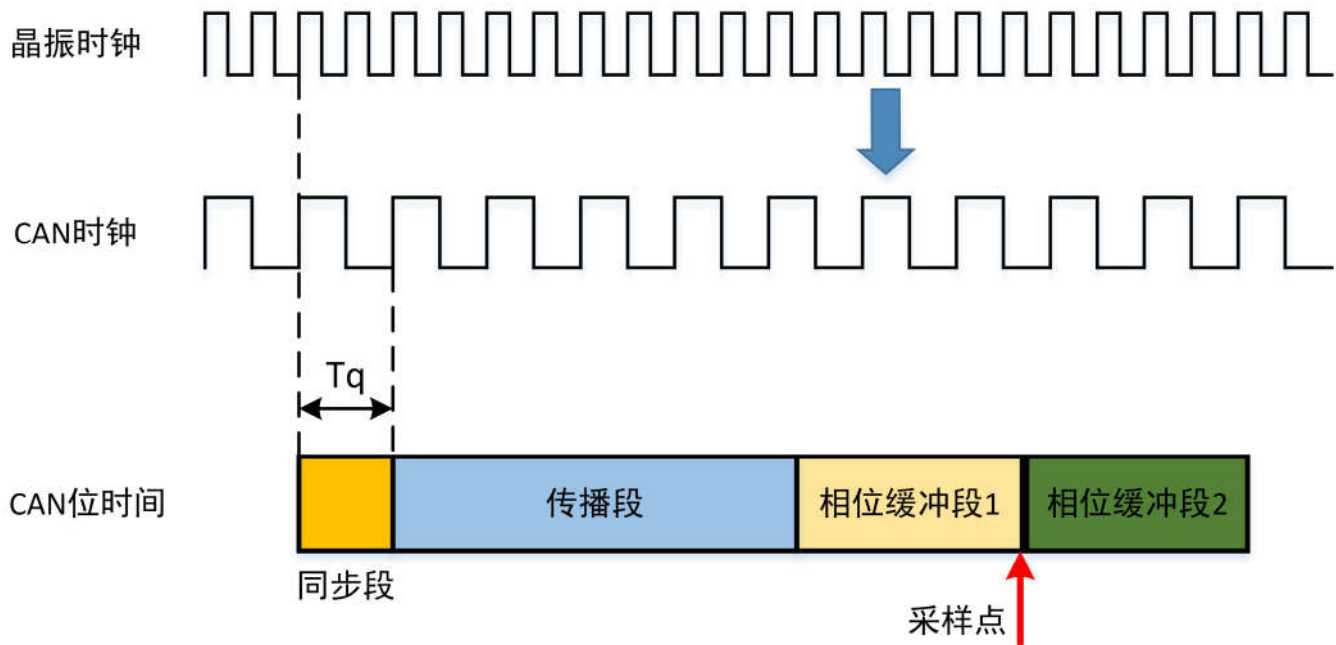
$$\text{位速率} = \frac{1}{\text{位时间}}$$

首先了解一下CAN总线系统中的两个时钟：**晶振时钟周期**和**CAN时钟周期**

- **晶振时钟周期**: 是由单片机振荡器的晶振频率决定的，指的是**振荡器每震荡一次所消耗的时间长度**，也是整个系统中最小的时间单位。
- **CAN时钟周期**: CAN时钟是由系统时钟分频而来的一个时间长度值，实际上就是一个**时间份额Tq**。可以按照下面的公式计算:

$$CAN\text{时钟周期} = 2 \times \text{晶振时钟周期} \times BRP$$

其中BRP叫做波特率预分频值 (baudrate prescaler) 。

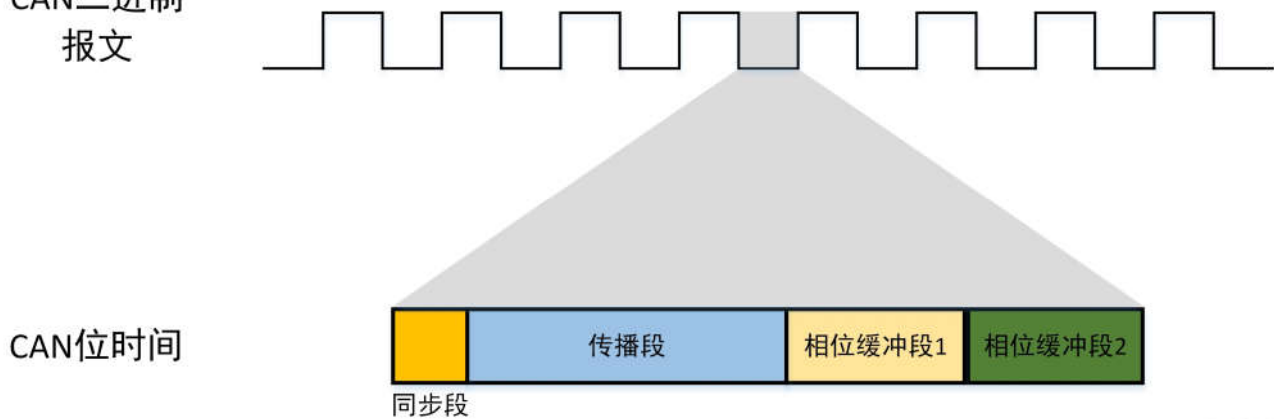


### 1.2.2 位时间的分段

如上文所述，在CAN的位定时中，一个CAN时钟周期称为一个时间量子 —  $T_q$ 。

如下图所示：位时间分为四个段：**同步段**、**传播段**、**相位缓冲段1**、**相位缓冲段2**，总共8~25个时间量子 ( $T_q$ )。

#### CAN二进制 报文



#### 1) 同步段 (Synchronization Segment) :

- 长度固定，1个时间量子 $T_q$ ；
- 一个位的传输从同步段开始；
- 同步段用于同步总线上的各个节点，一个位的跳边沿在此时间段内。

#### 2) 传播段 (Propagation Segment) :

- 传播段用于补偿报文在总线和节点上传输时所产生的时间延迟；
- 传播段时长  $\geq 2 \times$  报文在总线和节点上传输时产生的时间延迟；
- 传播段时长可编程（1~8个时间量子 $T_q$ ）。

#### 3) 相位缓冲段1 (Phase Buffer Segment1) :

- 用于补偿节点间的晶振误差；
- 允许通过重同步对该段加长；
- 在这个时间段的末端进行总线状态的采样；
- 长度可编程（1~8个时间量子Tq）

#### 4) 相位缓冲段2（Phase Buffer Segment2）：

- 用于补偿节点间的晶振误差；
- 允许通过重同步对该段缩短；
- 长度可编程（1~8个时间量子Tq）

于是

$$t_{Bit} = t_{SS} + t_{PS} + t_{PBS1} + t_{PBS2}$$

tBit:位时间  
tSS:同步段时间  
tPS:传播段时间  
tPBS1:时间段1  
tPBS2:时间段2

## 2 CAN的同步机制

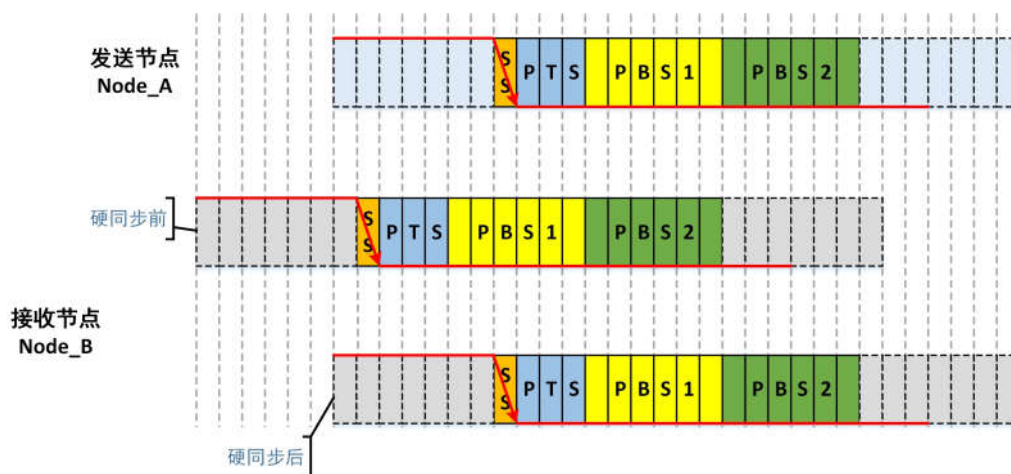
在CAN通信中，有两种同步机制：**硬同步与重同步**。

### 2.1 同步的规则

- ☆ 一个位时间内只允许一种同步方式，要么硬同步要么重同步；
- ☆ 任何一个从“隐性”到“显性”的下降沿都可以用于同步；
- ☆ 硬同步发生在报文的SOF位，所有接收节点调整各自当前位的同步段，使其位于发送的SOF位内；
- ☆ 重同步发生在一个报文SOF位之外的其它段，当下降沿落在了同步段之外时发生重同步；
- ☆ 在SOF到仲裁场发送的时间段内，如果有多个节点同时发送报文，那么这些发送节点对跳变沿不进行重同步

### 2.2 硬同步

硬同步发生在SOF位，所有接收节点调整各自当前位的同步段，调整宽度不限



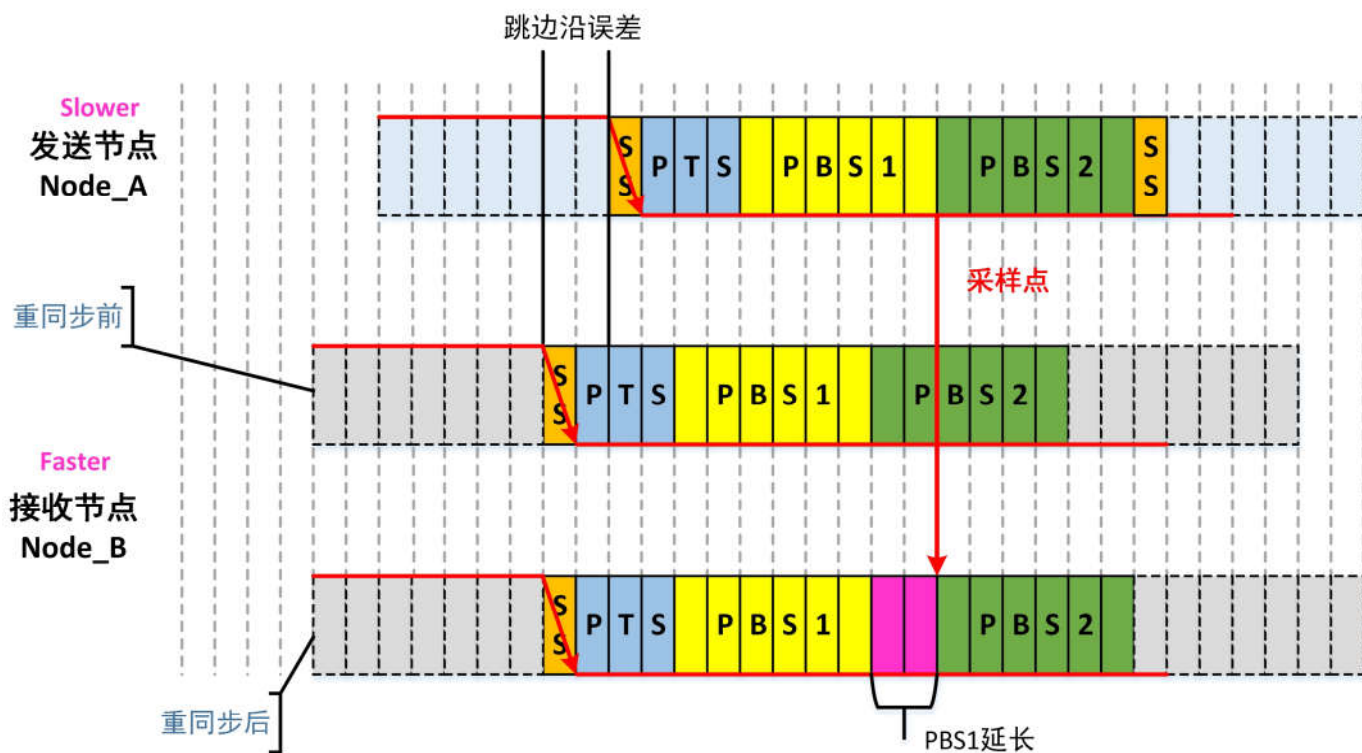
- (1) 发送节点Node\_A在发送SOF位时，SOF位的下降沿在SS段；
- (2) 这个时候接收节点Node\_B发现自己当前位的SS段和发送节点SOF位的SS段不同步。也就是说当Node\_A产生SOF位SS段时，Node\_B的当前位的SS段已经在5个Tq之前产生了；
- (3) 于是接收节点Node\_B强行将自己当前位的SS段拉到与SOF位的SS段同步。

### 2.3 重同步

重同步发生在一个报文SOF位之外的其它位场内，当接收节点Node\_B当前位的下降沿落在了发送节点Node\_A当前位的同步段之外时发生重同步。重同步会导致**相位缓冲段1的延长**或者**相位缓冲段2的缩短**，从而保证采样点的准确。

#### 2.3.1 PBS1延长

发的晚（慢），收的早（快），导致PBS1延长。

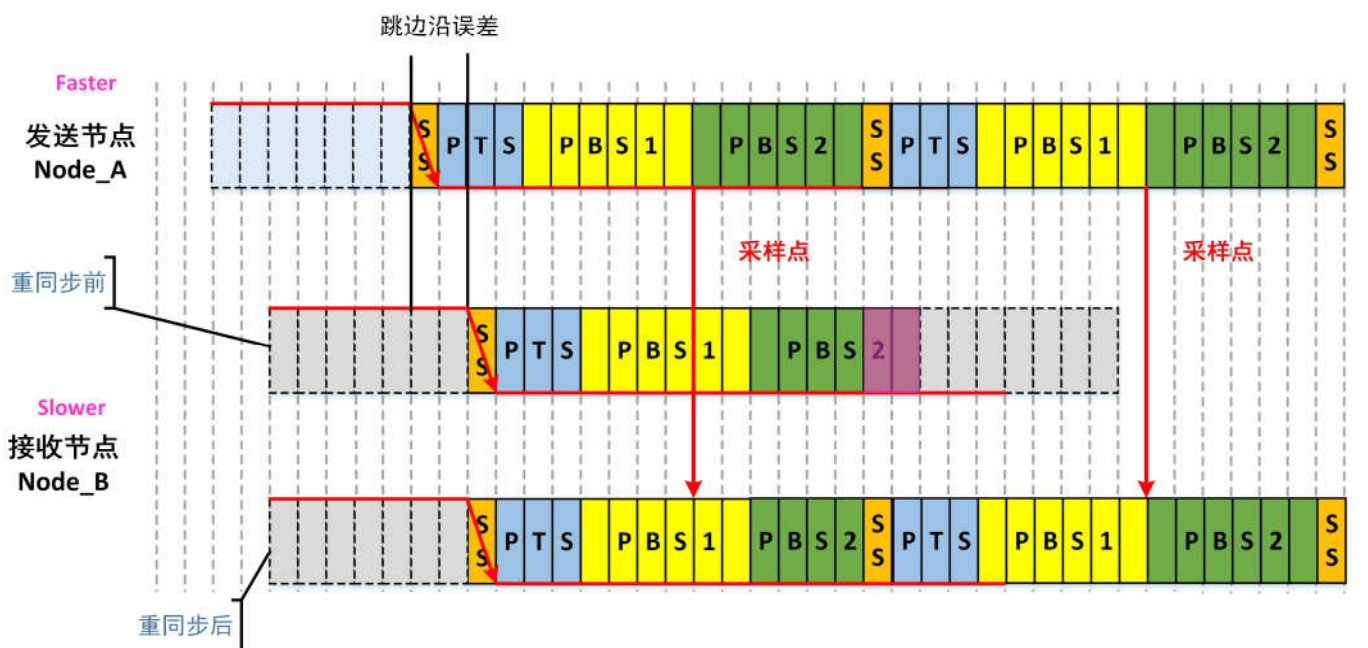


如上图所示：

- (1) 发送节点Node\_A比接收节点Node\_B的时间慢了，也就是说Node\_A当前位的ss段产生的时候，Node\_B当前位的ss段已经在2个Tq之前产生了；
- (2) 所以这个时候接收节点Node\_B就将PBS1延长2个Tq的时间；
- (3) 于是这个时候Node\_A当前位的采样点就和Node\_B的采样点同步了。

### 2.3.2 PBS2缩短

发的早（快），收的晚（慢），导致PBS2缩短。



如上图所示：

- (1) 发送节点Node\_A当前位的SS段诞生 $2T_q$ 时长之后，接收节点Node\_B的当前位才产生SS段；
- (2) 于是，接收节点Node\_B当前位的PBS2段缩短，
- (3) 这样就会导致接收节点Node\_B的下一位能够提前 $2T_q$ ，从而Node\_B的下一位采样点和Node\_A下一位的采样点能够同步。

### 2.3.3 同步跳转宽度

在重同步时，有个**同步跳转宽度**（SJW, Synchro Jump Width）的概念，表示的是**PBS1和PBS2重同步时允许跳转的最大宽度**。  
同步跳转宽度必须满足以下几个条件：

- SJW必须小于PBS1和PBS2的最小值
- SJW最大值不能超过4

## 3 位定时参数的确定

位定时的参数主要涉及以下几个：

- (1) **位速率**：单位为bps、Kbps、Mbps

$$1Mbps = 1000Kbps = 1000000bps$$

- (2) **位时间**：tBit，单位一般为纳秒(ns)

$$tBit = \frac{1}{\text{位速率}}$$

- (3) **时间量子** $T_q$ ：

$$T_q = \frac{1}{NBT}$$

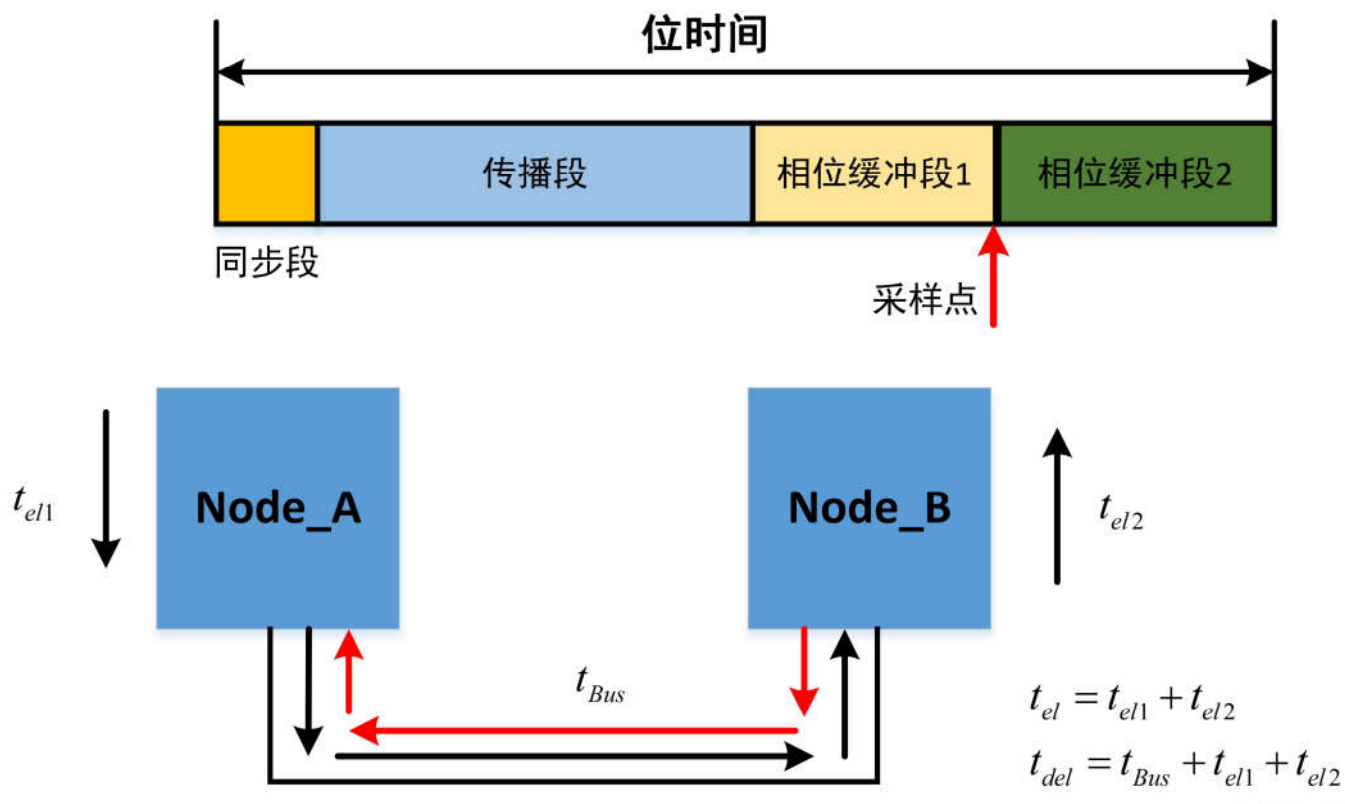
NBT 表示的是一个位时间tBit内包含 $T_q$ 的个数。

- (4) **传输延迟时间**tPS

CAN报文在CAN总线上的传输时，物理延迟包含两个部分：

- 在CAN-BUS上传输造成的延迟

- 在节点上传输造成延迟



按照CAN通信协议的规定，补偿给传播延迟的时间长度要至少等于实际实际传播延迟时长的2被，即：

$$t_{PTS} \geq 2 \times t_{del} = 2 \times (t_{del} + t_{Bus})$$

需要注意的是：

**Tips:** 在CAN总线通信系统中是以时间量子 $T_q$ 来度量时间的，所以如果延迟补偿时间 $t_{PTS} = 3.1T_q$ ，那么这个时候要取： $t_{PTS} = 4T_q$ 。

#### (5) 相位缓冲段

相位缓冲段的时间长度分为两种情况：

```

1  if (NBT-1-tPTS_Tq)/2==偶数
2      PBS1_Tq = PBS2_Tq = (NBT-1-tPTS_Tq)/2
3  else
4      PBS1_Tq = (NBT-1-tPTS_Tq)/2
5      PBS2_Tq = PBS1_Tq + 1
6

```

#### (6) 同步跳转宽度

$$SJW = \min(PBS1\_Tq, 4)$$

#### (7) 验证晶振误差Df

CAN总线的晶振误差必须同时满足下面三个条件：

- $D_f \leq \frac{SJW}{(2 \times 10 \times NBT)}$
- $D_f \leq \frac{\min(PBS1\_Tq, PBS2\_Tq)}{2 \times (13 \times NBT - PBS2\_Tq)}$
- $D_f \leq 1.58\%$

## 4 例子

以下的例子来讲述位定时参数的确定方法：

MCU晶振16MHz，位速率1Mbps，总线长度20m，单位总线延迟5ns/m，物理接口的发送接收延迟150ns

- 晶振时钟周期： $T = 1s/16MHz = 62.5ns$
- 位时间： $t_{Bit} = 1/1Mbps = 1000ns$
- BPR和NBT：考虑到  $T = 125ns$ ， $t_{Bit} = 1000ns$ ，所以BPR只能取值为1，才能满足 $NBT \in [8, 25]$ ，于是预分频数 $BPR = 1$ ；

- (4) CAN时钟周期 $T_q = 2 \times 62.5 \times 1 = 125ns$
- (5)  $NBT = 8$
- (6) 传输延迟时间 $t_{PTS}$

$$t_{PTS} = 2 \times (20 \times 5 + 150) = 500ns$$

所以

$$t_{PTS\_Tq} = \frac{t_{PTS}}{T_q} = \frac{500}{125} = 4$$

于是 $NBT=8$ 个 $T_q$ 的长度中需要有4个 $T_q$ 用于补偿传播延迟，于是还剩下4个 $T_q$ ，SS同步段长度固定占据1个 $T_q$ ，还剩3个 $T_q$ ，于是PBS1分配一个 $T_q$ ，PBS2分配2个 $T_q$ 。

- (7) 同步跳转宽度

$$SJW = \min\{PBS1, 4\} = 1$$

- (8) 晶振误差

- $D_f \leq \frac{SJW}{(2 \times 10 \times NBT)} = \frac{1}{(2 \times 10 \times 8)} = 0.00625$
  - $D_f \leq \frac{\min(PBS1\_Tq, PBS2\_Tq)}{2 \times (13 \times NBT - PBS2\_Tq)} = \frac{1}{2 \times (13 \times 8 - 2)} = 0.00490$
-