Body Area Network

Demo Test Report

---

haobo.gao

April 23, 2019

Foxconn ZZDC

Introduce

Our Design

我们 BAN 的原本设计是这样的：

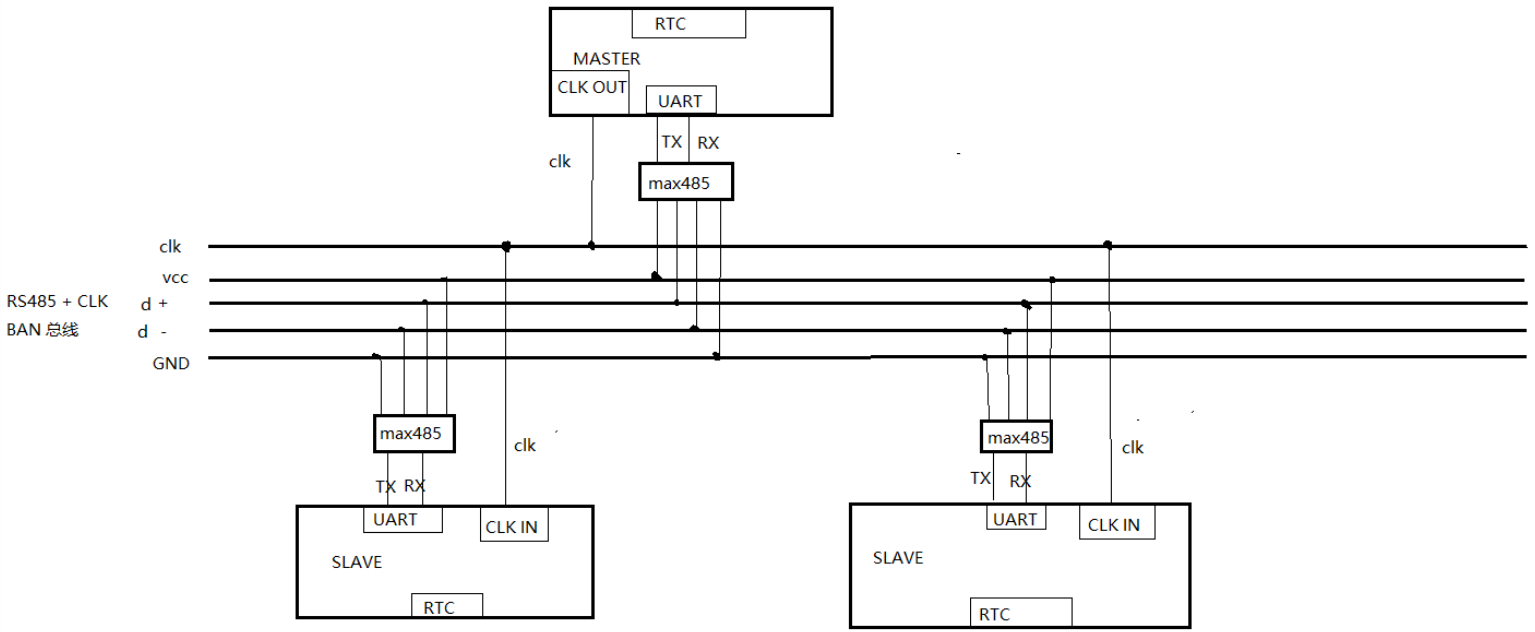


Figure: BAN

BUS

1. 由 RS485 增添一根 clk 线形成 BAN 总线的基本硬件线路。
2. clk 用于产生 ms 级别的脉冲波，用于时钟的同步。
3. d+ d- 是差分处理后的数据信号。

图2 假设了挂载在总线上的设备有一个主机，两个从机。

UART & 485

max485 是一型 RS232 转 RS485 的芯片，可以把串口数据转化为差分信号，使其符合 **RS-485** 电气规范。

STM32 方面需要实现串口的驱动，使确保串口可以实时的发送数据。接收数据。

RTC & CLK

本地时钟用于本地计数，同步时钟用于同步 BAN 上设备的时钟。

- RTC，本地时钟。每个设备都有个本地时钟。计时粒度为 100us.
- CLK, 同步时钟。BAN 总线上的设备使用时钟线来完成时钟同步。主设备的定时器产生同步脉冲，从设备的定时器捕获同步脉冲完成同步。

Demo

在 demo 中，为了克服硬件条件的限制，我们：

- 没有使用 max485 来完成 **TTL 信号转差分信号**.
- 使用另外的一个定时器来模拟 RTC 的功能。
- 只能模拟一个主设备，一个从设备的情况。
- 使用串口发送开始信号

Demo 连线

下图是 demo 的连线和结构图：

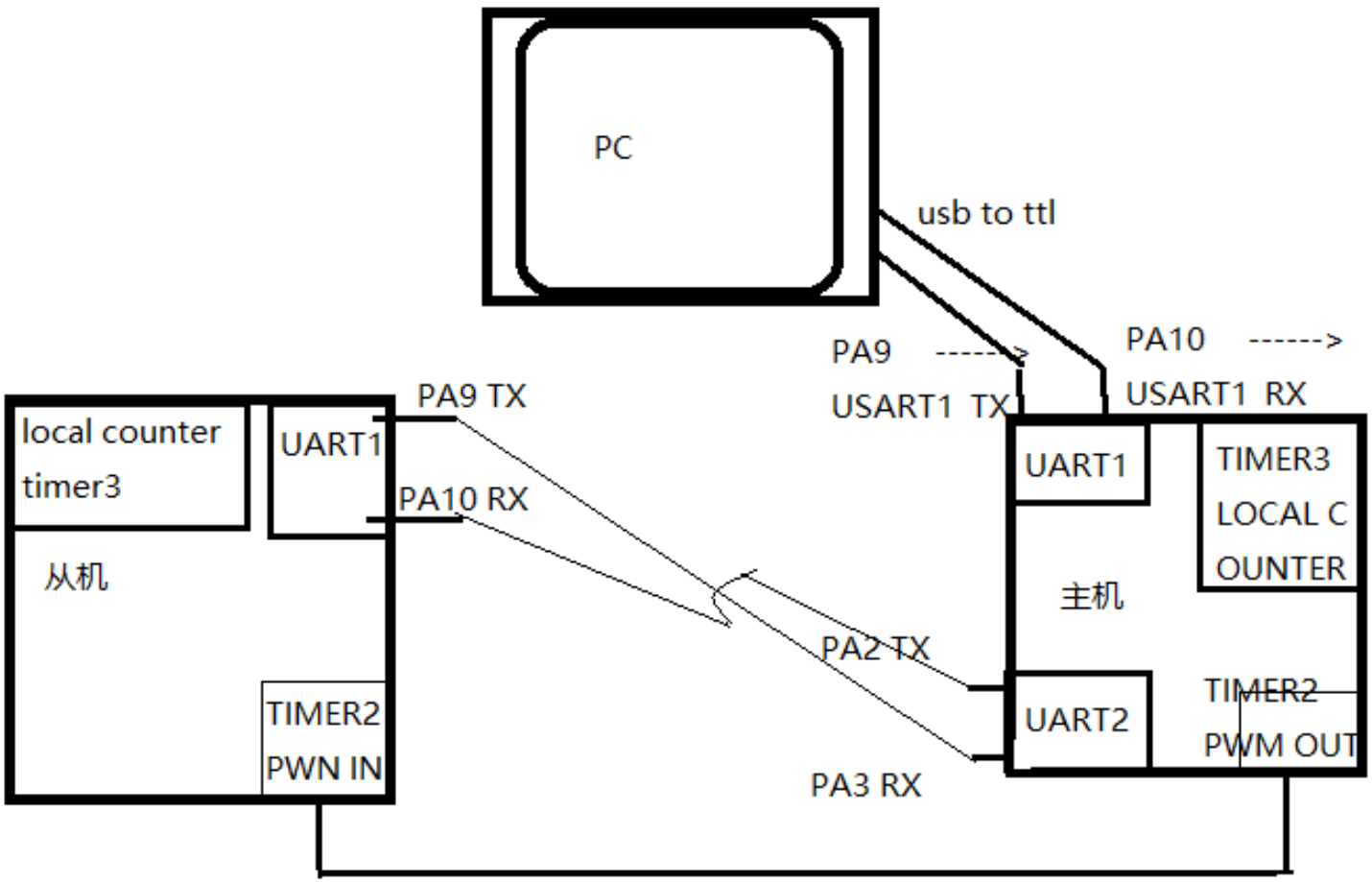


Figure: demo

workflow

Demo 工作流程: 两个指令

1. 主机，从机上电。外设驱动初始化。从机进入 PWM 捕获状态，等待事件的发生。
2. 主机在接收到 PC 的"begin" 指令的时候。
   - a. 先转发给从机
   - b. 开始 timer3 本地计数 (local counter).
   - c. 开始使用 timer2 产生 PWM 波。
3. 当从机接收到"begin" 指令，且从机的 timer2 捕获到 clk 上的第一个上升沿。
   - a. timer3 本地计数 (local counter).
   - b. 进入 PWM 捕获同步状态。
4. "report" 指令：
   - a. 主机接收到"report" 指令后，上报自己的时间戳给 PC。
   - b. 从机接收到"report" 指令后，上报自己的时间戳给主机，主机转发给 PC。

定时器的应用

主从机中：

- timer2 的时钟产生或捕获 PWM，用于同步。是 BAN 系统中的大粒度(8ms)时钟。
- timer3 的时钟仅用于小粒度 (100us) 的时间戳测量。

对于从机来说，每捕获到一个上升沿，为了时间同步，需要强制使从机的 jiffies，jiffies_pwm 增加一个捕获周期(8ms)。

Demo 工作流程: 同步细节

local_tm_t 为主从机代码中描述时间的类型:

```
typedef struct local_time_struct{
 unsigned char sec:7;    //秒
 unsigned char min:7;    //分
 unsigned char hour:5;   //时
 unsigned int  day;      //天
 unsigned int  jiffies; //本地时间戳
 unsigned int  jiffies_pwm;    //pwm 时间戳
} local_tm_t;
```

- 主机使用 timer2 产生的 PWM 波来作为同步信号,从机捕获 pwm 上升沿。这个方波上升沿间隔固定且精确为 4ms 或者 8ms, 可以客制化,在方波的上升沿,会去触发 jiffies_pwm 累加。
- 主从都使用 timer3 每隔 100us 产生一个中断,在中断中 jiffies 累加,到 10000(1s)超时进位。作为本地时钟。

从机上升沿捕获中断

tick_sync 每隔 8ms 会被调用一次，用于同步本地时间戳：

```
1  /* every 8ms 80*100us  */
2  void tick_sync(void)
3  {
4    if( dev.local_tm.jiffies_pwm + 80 < 10000  ){
5    dev.local_tm.jiffies_pwm = dev.local_tm.jiffies_pwm  +
           80;
6    }
7    if( dev.local_tm.jiffies_pwm + 80 >= 10000  ){
8      dev.evt.sec_need_update=1;
9      dev.local_tm.jiffies_pwm = 80 - (10000 - dev.local_tm.
           jiffies_pwm);
10   }
11   //同步
12   dev.local_tm.jiffies = dev.local_tm.jiffies_pwm;^^I^^I//
           强等 同步
13 }
```

本地计数超时处理

tick_sync 每隔 100us 会被调用一次，用于小粒度计数：

```
1  /*
2    每100us 进入这个中断一次。
3  */
4  void Tick(void)
5  {
6    dev.local_tm.jiffies ++;
7    if( dev.local_tm.jiffies % 80 == 0){
8     //GPIO A5 产生 方波 用于和 同步线的方波做对比
9     HAL_GPIO_WritePin(GPIOA,GPIO_PIN_5,1-HAL_GPIO_ReadPin(
          GPIOA,GPIO_PIN_5));
10   }
11   /* one second passed */
12   if(dev.local_tm.jiffies >= 10000 ){
13    dev.local_tm.jiffies  = 0;
14   }
15 }
```

这里从机的 GPIOA5 有相对于时钟同步线的方波输出。是一个测试点。

TEST Data

串口打印的时间戳

在"report" 指令发送到主机后,有如下的代码段会被执行:

```
1  /*
2   report the jiffes to the  PC
3  */
4  void report_jiffes(void)
5  {
6    printf("master rj:\t%d\r\n", dev.local_tm.jiffies);
7    printf("master rj:\t%d\r\n", dev.local_tm.jiffies);
8    printf("master rj_PWM:\t%d\r\n", dev.local_tm.
           jiffies_pwm);
9    printf("master rj_PWM:\t%d\r\n", dev.local_tm.
           jiffies_pwm);
10  }
```

这段代码会去汇报 jiffies(**本地时钟**) 和 jiffies_pwm **同步时钟**的值给 PC.

串口打印的时间戳

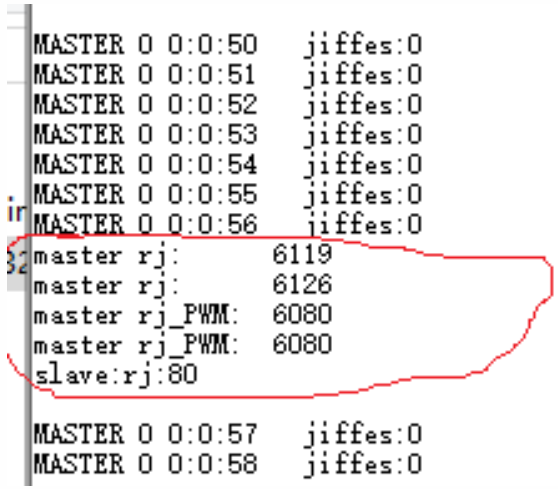


Figure: report jiffies

在输入"report" 命令后，log 如上图(红圈里)，结合前面的代码，可以知道：

- 上述代码中为了打印 log，printf 的执行用时大约为 (6126-6119=7)*100us。这里的 printf 是移植的无阻塞，轻量级，全功能的 printf .
- 从机和主机有传输延时。

波形: 未同步

我们使

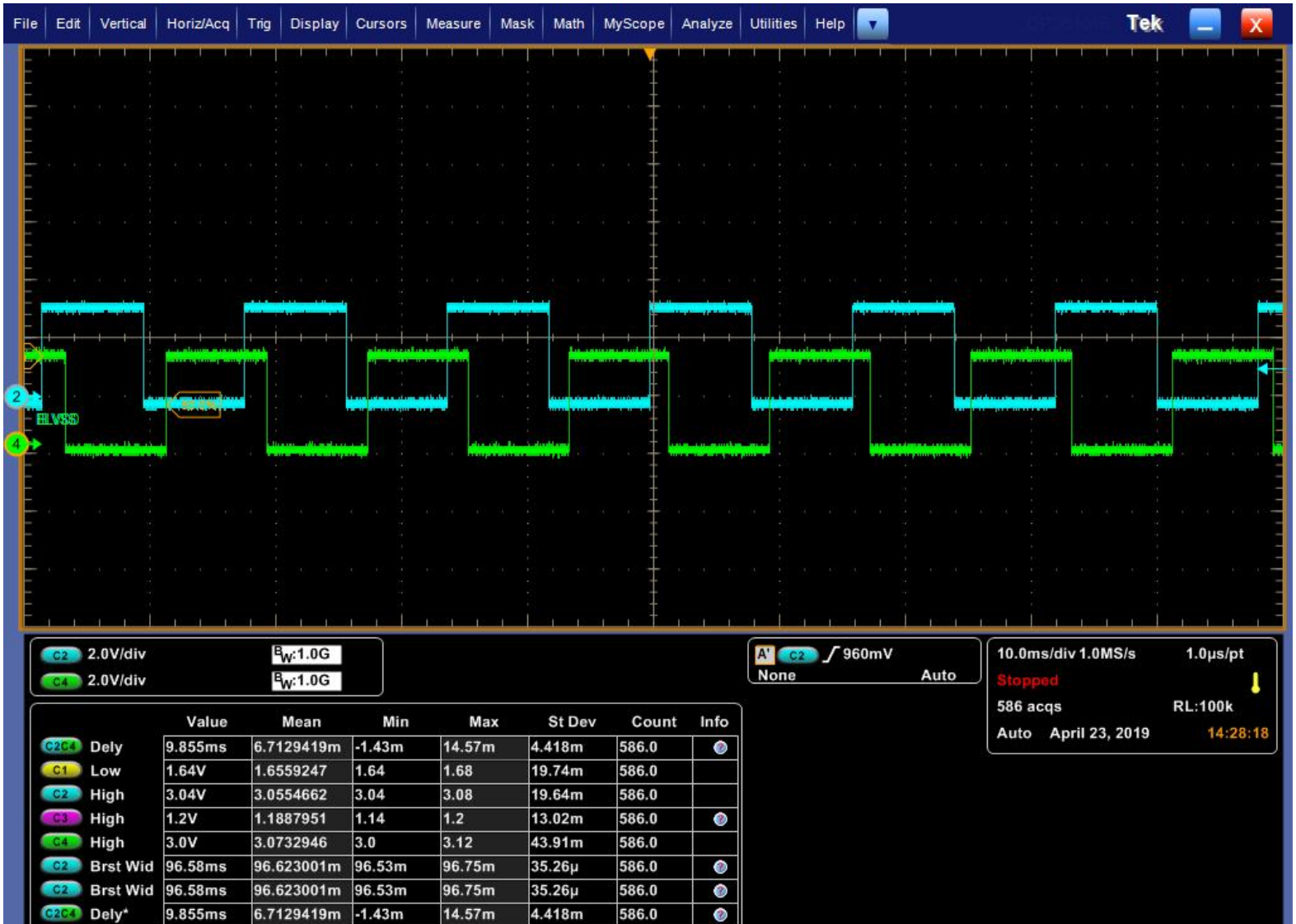
- 本地时钟每 8ms 使 GPIOA5 电平状态反转. 这个测试通道记为 CH_LOCAL.
- 同步线由主机产生半周期为 8ms 的同步方波。这个测试通道记为 CH_SYNC .
- 在从机的捕获同步线上升沿的中断处理函数中,使时钟不同步,也就是注释掉如下代码:

```
1  dev.local_tm.jiffies = dev.local_tm.jiffies_pwm;^^I^^I
       //强等使 同步
```

下列一些截图展示了未同步的情况下的截图。

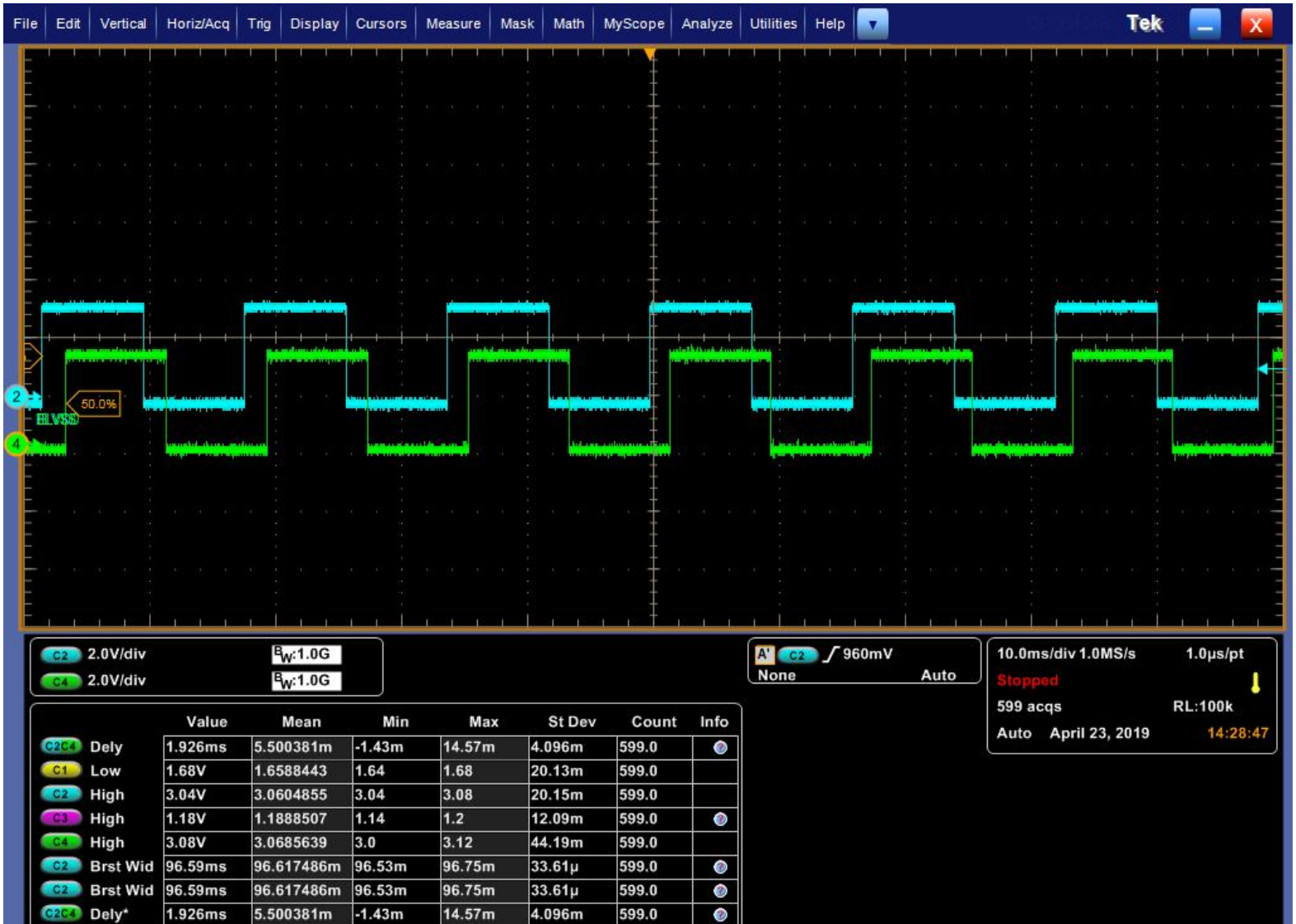
波形: 未同步

未同步的波形一:



波形: 未同步

未同步的波形二:



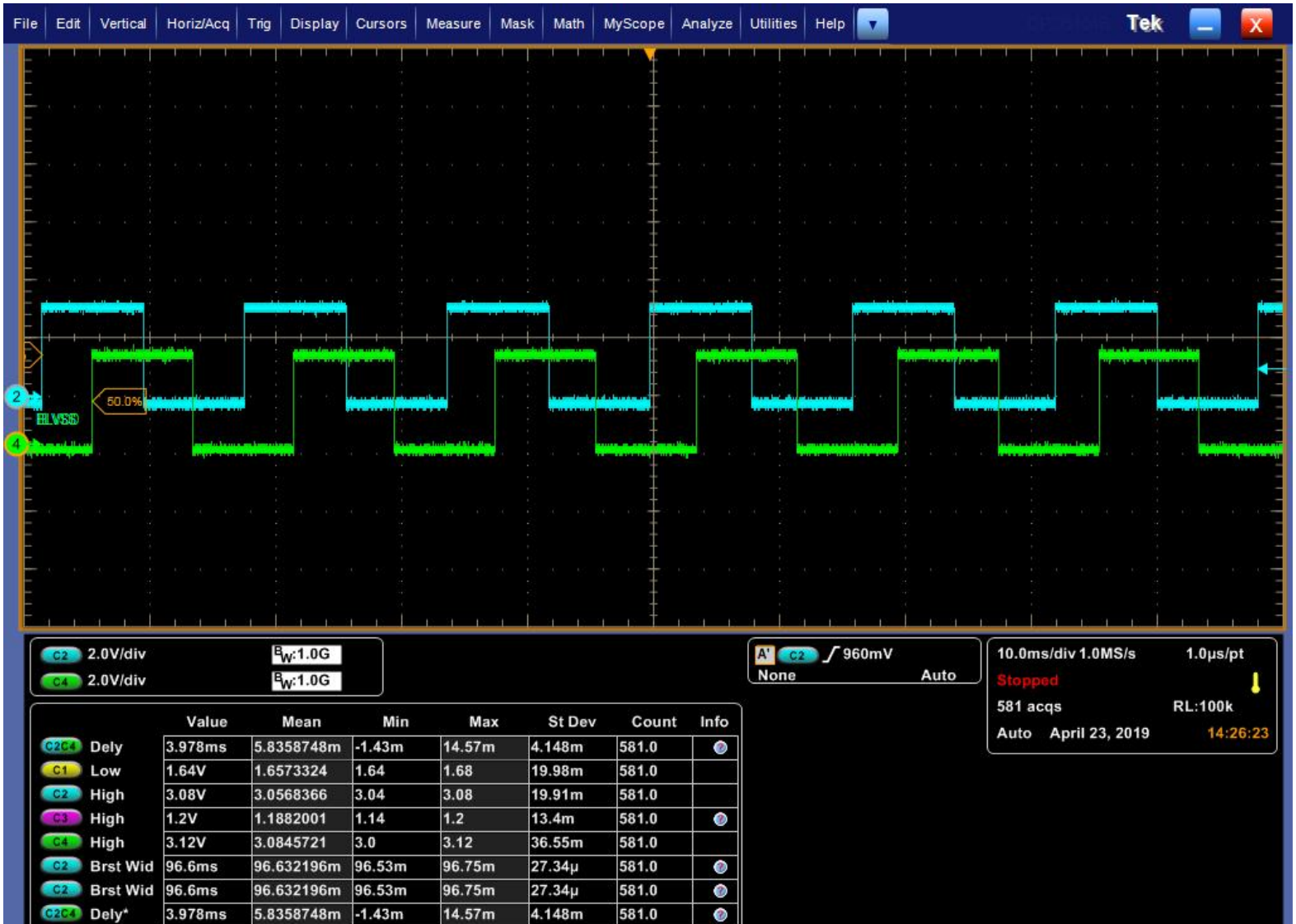
	Value	Mean	Min	Max	St Dev	Count	Info
C2C4 Dely	1.926ms	5.500381m	-1.43m	14.57m	4.096m	599.0	
C1 Low	1.68V	1.6588443	1.64	1.68	20.13m	599.0	
C2 High	3.04V	3.0604855	3.04	3.08	20.15m	599.0	
C3 High	1.18V	1.1888507	1.14	1.2	12.09m	599.0	
C4 High	3.08V	3.0685639	3.0	3.12	44.19m	599.0	
C2 Brst Wid	96.59ms	96.617486m	96.53m	96.75m	33.61µ	599.0	
C2 Brst Wid	96.59ms	96.617486m	96.53m	96.75m	33.61µ	599.0	
C2C4 Dely*	1.926ms	5.500381m	-1.43m	14.57m	4.096m	599.0	

波形: 未同步

未同步的波形三：

波形: 未同步

未同步的波形四:



未同步波形的一些说明

把这个文档返回到未同步波形一 (15), 然后用键盘方向键的右键去翻页(从未同步波形一至未同步波形四)。这个时候屏幕上呈现的动画效果比较能复原当时示波器上的样子。

由于未同步本地时钟,所以每次误差累加,导致了这样的动态效果。

波形: 同步

我们使

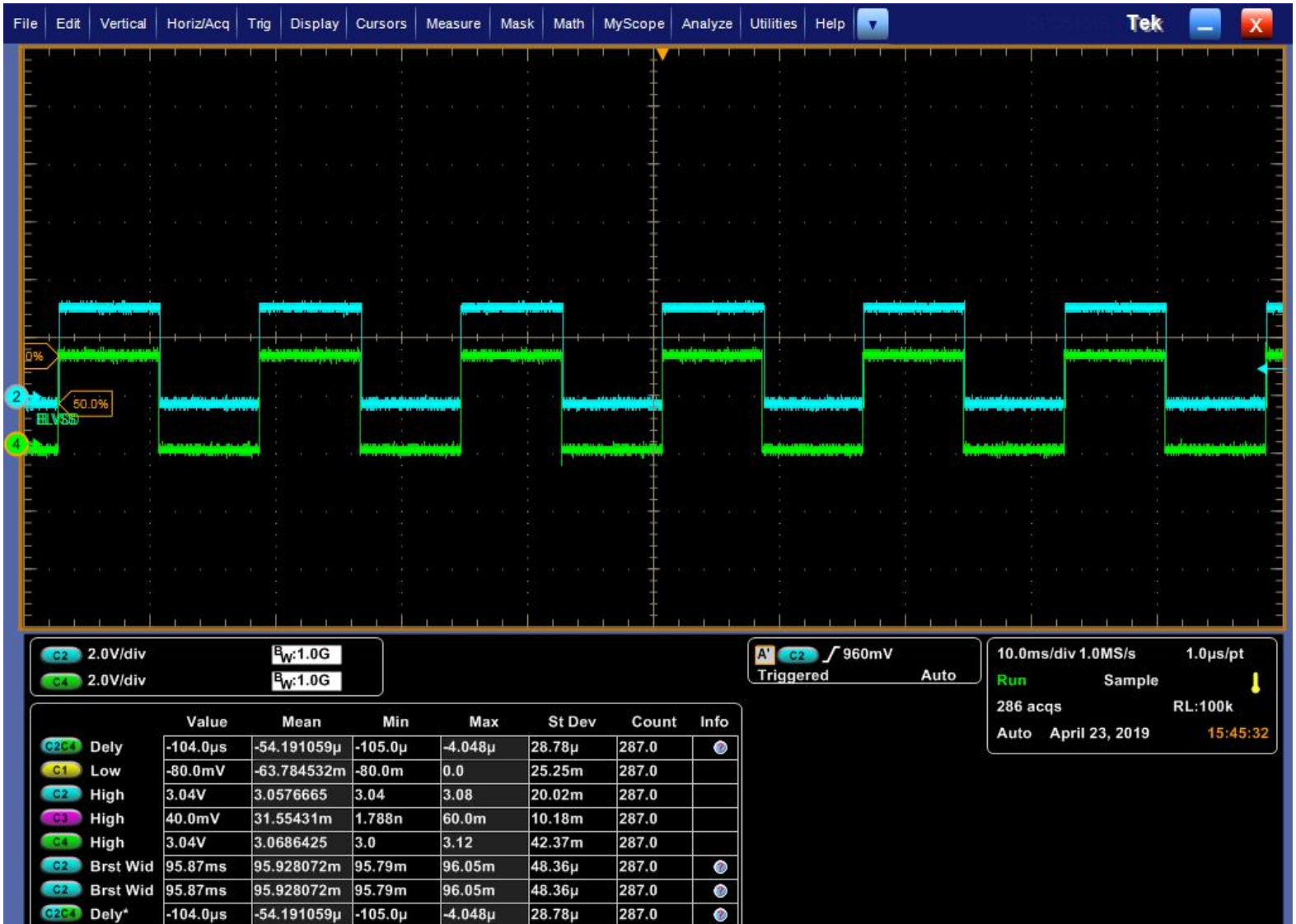
- 本地时钟每 8ms 使 GPIOA5 电平状态反转. 这个测试通道记为 CH_LOCAL.
- 同步线由主机产生半周期为 8ms 的同步方波。这个测试通道记为 CH_SYNC .
- 在从机的捕获同步线上升沿的中断处理函数中,使时钟同步,也就是取消注释如下代码:

```
1 dev.local_tm.jiffies = dev.local_tm.jiffies_pwm;^^I^^I
        //强等使 同步
```

下列截图展示了同步的情况下的截图。

波形: 同步

同步的波形:


File Edit Vertical Horiz/Acq Trig Display Cursors Measure Mask Math MyScope Analyze Utilities Help
Tek
50.0%
C2 2.0V/div BW:1.0G
C4 2.0V/div BW:1.0G
A' C2 960mV
Triggered Auto
10.0ms/div 1.0MS/s 1.0µs/pt
Run Sample
286 acqs RL:100k
Auto April 23, 2019 15:45:32
Value Mean Min Max St Dev Count Info
C2C4 Dely -104.0µs -54.191059µ -105.0µ -4.048µ 28.78µ 287.0
C1 Low -80.0mV -63.784532m -80.0m 0.0 25.25m 287.0
C2 High 3.04V 3.0576665 3.04 3.08 20.02m 287.0
C3 High 40.0mV 31.55431m 1.788n 60.0m 10.18m 287.0
C4 High 3.04V 3.0686425 3.0 3.12 42.37m 287.0
C2 Brst Wid 95.87ms 95.928072m 95.79m 96.05m 48.36µ 287.0
C2 Brst Wid 95.87ms 95.928072m 95.79m 96.05m 48.36µ 287.0
C2C4 Dely* -104.0µs -54.191059µ -105.0µ -4.048µ 28.78µ 287.0

同步波形的一些说明

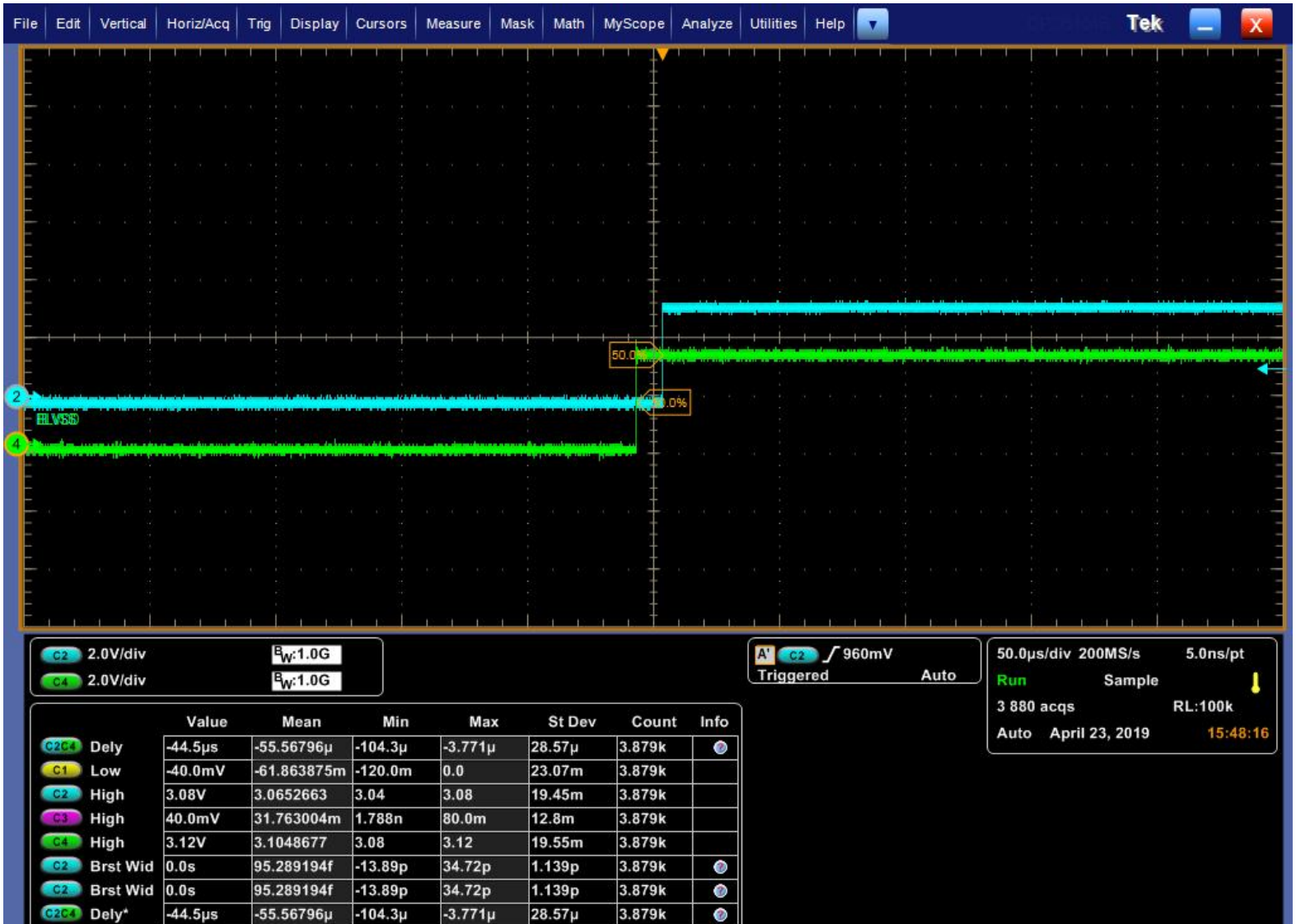
由于每次同步线上的上升沿被从机捕获后，会触发同步中断，在中断处理中，去消除每次周期的本地时钟误差。

所以同步的波形整体看起来固定，相位比较一致。但是：

如果我们放大示波器的粒度，会发现存在误差。下列是一些同步的误差。示波器的粒度已经为 50us 我们关注同步的前后时刻。

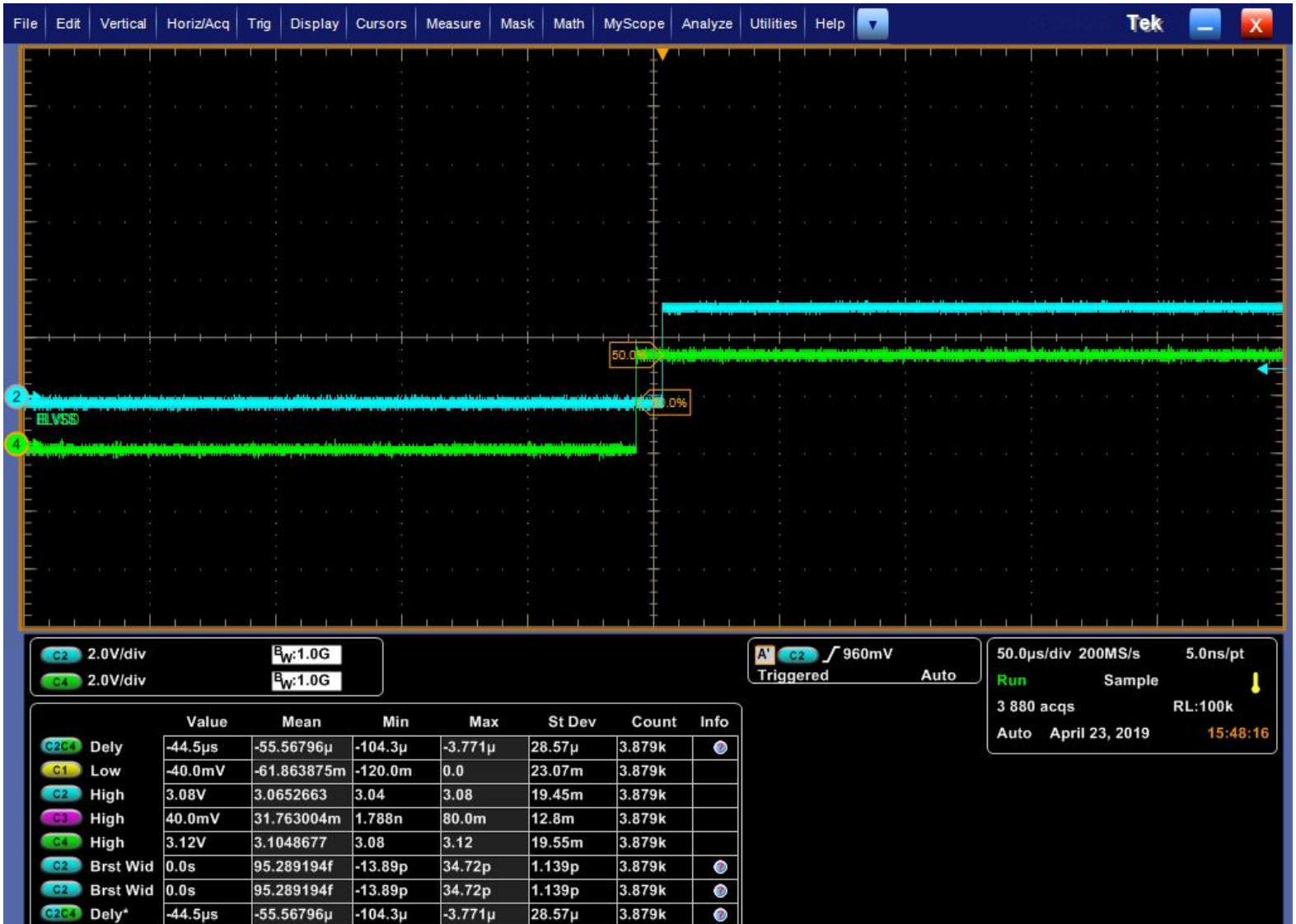
波形: 同步

同步误差:


File Edit Vertical Horiz/Acq Trig Display Cursors Measure Mask Math MyScope Analyze Utilities Help
Tek
C2 2.0V/div BW:1.0G
C4 2.0V/div BW:1.0G
A' C2 960mV
Triggered Auto
50.0µs/div 200MS/s 5.0ns/pt
Run Sample
3 880 acqs RL:100k
Auto April 23, 2019 15:48:16
Value Mean Min Max St Dev Count Info
C2C4 Dely -44.5µs -55.56796µ -104.3µ -3.771µ 28.57µ 3.879k
C1 Low -40.0mV -61.863875m -120.0m 0.0 23.07m 3.879k
C2 High 3.08V 3.0652663 3.04 3.08 19.45m 3.879k
C3 High 40.0mV 31.763004m 1.788n 80.0m 12.8m 3.879k
C4 High 3.12V 3.1048677 3.08 3.12 19.55m 3.879k
C2 Brst Wid 0.0s 95.289194f -13.89p 34.72p 1.139p 3.879k
C2 Brst Wid 0.0s 95.289194f -13.89p 34.72p 1.139p 3.879k
C2C4 Dely* -44.5µs -55.56796µ -104.3µ -3.771µ 28.57µ 3.879k

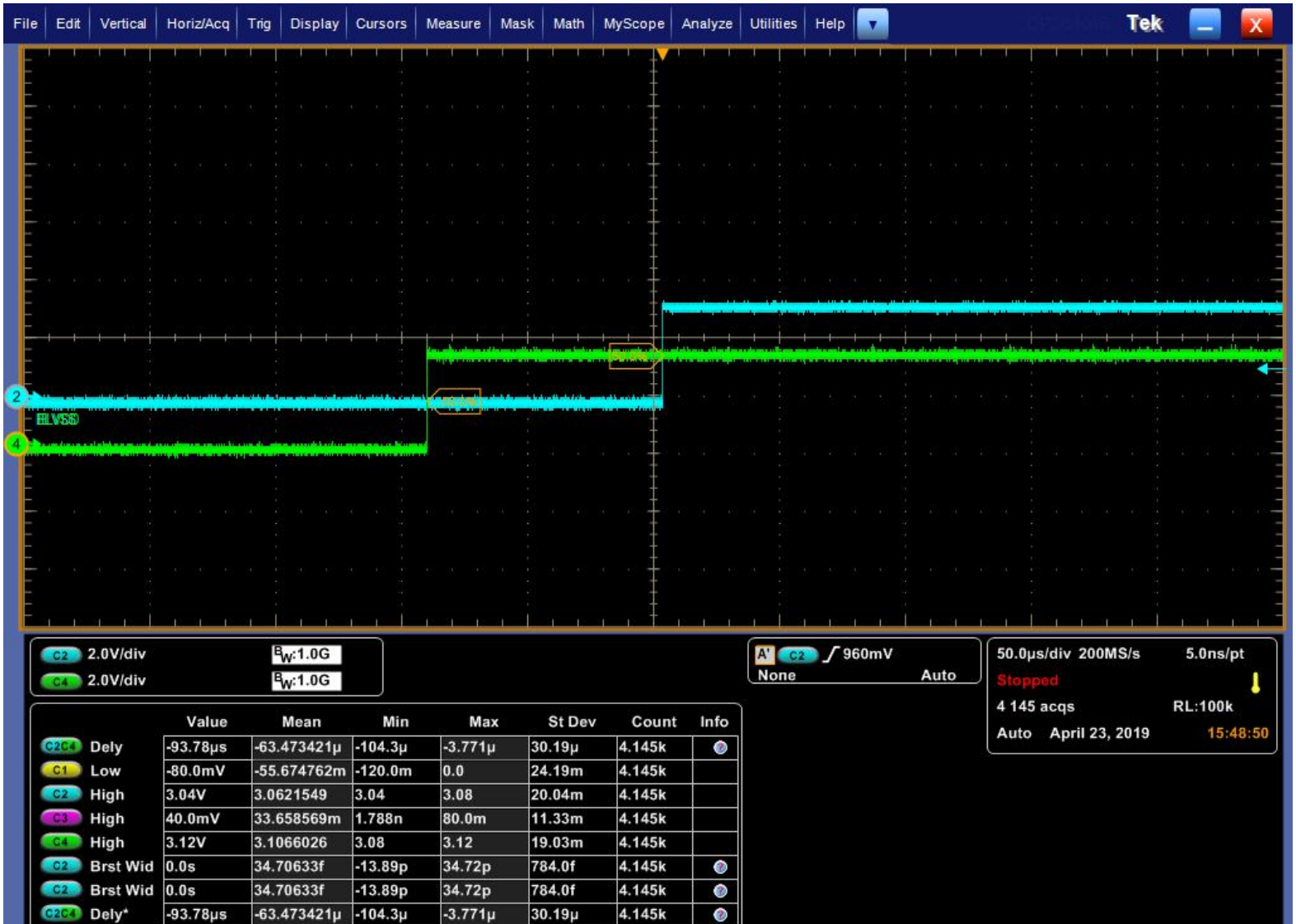
同步误差

同步误差:


File Edit Vertical Horiz/Acq Trig Display Cursors Measure Mask Math MyScope Analyze Utilities Help
Tek
C2 2.0V/div BW:1.0G
C4 2.0V/div BW:1.0G
A' C2 960mV
Triggered Auto
50.0µs/div 200MS/s 5.0ns/pt
Run Sample
3 880 acqs RL:100k
Auto April 23, 2019 15:48:16
Value Mean Min Max St Dev Count Info
C2C4 Dely -44.5µs -55.56796µ -104.3µ -3.771µ 28.57µ 3.879k
C1 Low -40.0mV -61.863875m -120.0m 0.0 23.07m 3.879k
C2 High 3.08V 3.0652663 3.04 3.08 19.45m 3.879k
C3 High 40.0mV 31.763004m 1.788n 80.0m 12.8m 3.879k
C4 High 3.12V 3.1048677 3.08 3.12 19.55m 3.879k
C2 Brst Wid 0.0s 95.289194f -13.89p 34.72p 1.139p 3.879k
C2 Brst Wid 0.0s 95.289194f -13.89p 34.72p 1.139p 3.879k
C2C4 Dely* -44.5µs -55.56796µ -104.3µ -3.771µ 28.57µ 3.879k

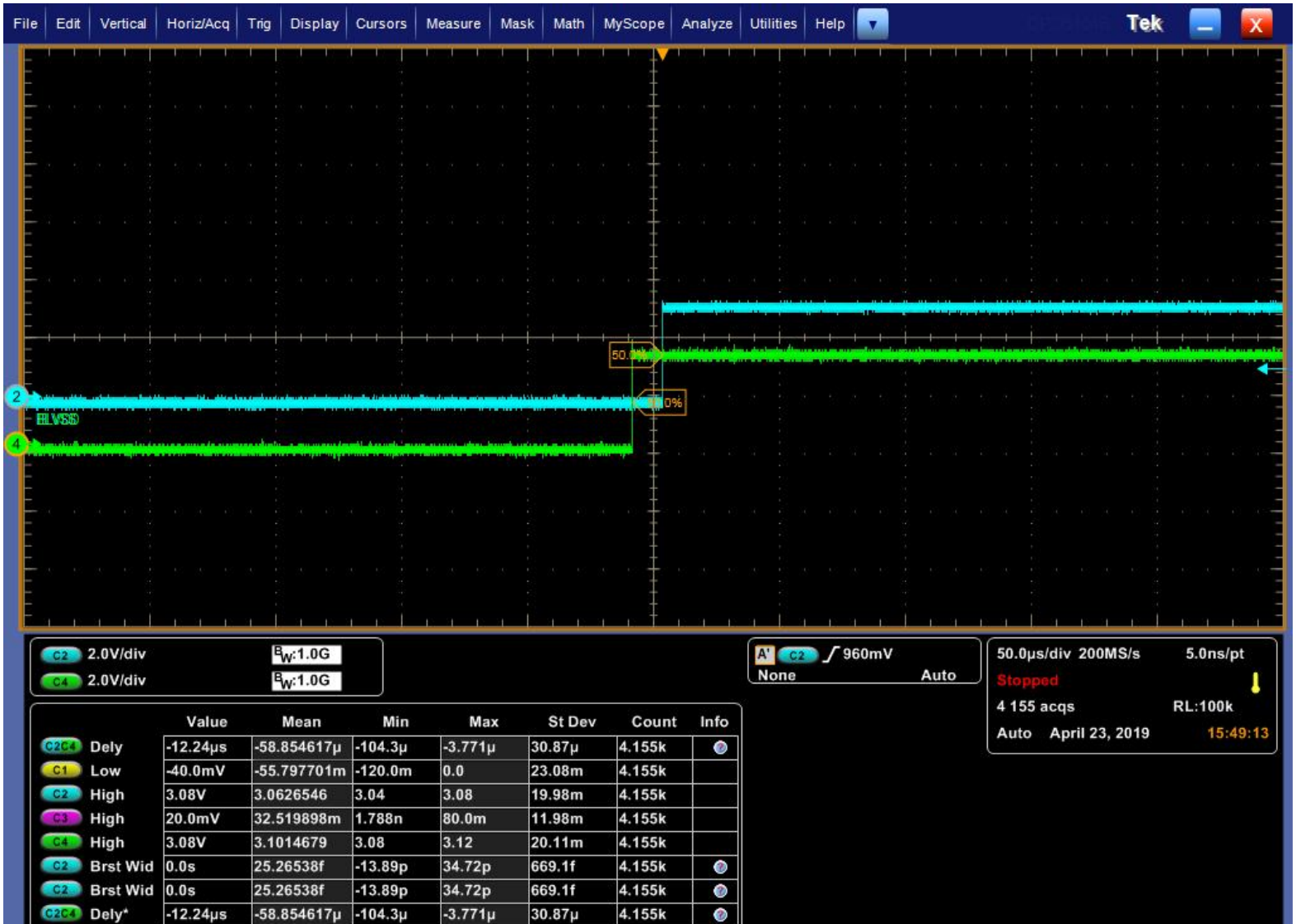
同步误差

同步误差:


File Edit Vertical Horiz/Acq Trig Display Cursors Measure Mask Math MyScope Analyze Utilities Help
Tek
C2 2.0V/div BW:1.0G
C4 2.0V/div BW:1.0G
A' C2 960mV
None Auto
50.0µs/div 200MS/s 5.0ns/pt
Stopped
4 145 acqs RL:100k
Auto April 23, 2019 15:48:50
Value Mean Min Max St Dev Count Info
C2C4 Dely -93.78µs -63.473421µ -104.3µ -3.771µ 30.19µ 4.145k
C1 Low -80.0mV -55.674762m -120.0m 0.0 24.19m 4.145k
C2 High 3.04V 3.0621549 3.04 3.08 20.04m 4.145k
C3 High 40.0mV 33.658569m 1.788n 80.0m 11.33m 4.145k
C4 High 3.12V 3.1066026 3.08 3.12 19.03m 4.145k
C2 Brst Wid 0.0s 34.70633f -13.89p 34.72p 784.0f 4.145k
C2 Brst Wid 0.0s 34.70633f -13.89p 34.72p 784.0f 4.145k
C2C4 Dely* -93.78µs -63.473421µ -104.3µ -3.771µ 30.19µ 4.145k

同步误差

同步误差:


File Edit Vertical Horiz/Acq Trig Display Cursors Measure Mask Math MyScope Analyze Utilities Help
Tek
C2 2.0V/div BW:1.0G
C4 2.0V/div BW:1.0G
A' C2 960mV
None Auto
50.0µs/div 200MS/s 5.0ns/pt
Stopped
4 155 acqs RL:100k
Auto April 23, 2019 15:49:13
Value Mean Min Max St Dev Count Info
C2C4 Dely -12.24µs -58.854617µ -104.3µ -3.771µ 30.87µ 4.155k
C1 Low -40.0mV -55.797701m -120.0m 0.0 23.08m 4.155k
C2 High 3.08V 3.0626546 3.04 3.08 19.98m 4.155k
C3 High 20.0mV 32.519898m 1.788n 80.0m 11.98m 4.155k
C4 High 3.08V 3.1014679 3.08 3.12 20.11m 4.155k
C2 Brst Wid 0.0s 25.26538f -13.89p 34.72p 669.1f 4.155k
C2 Brst Wid 0.0s 25.26538f -13.89p 34.72p 669.1f 4.155k
C2C4 Dely* -12.24µs -58.854617µ -104.3µ -3.771µ 30.87µ 4.155k

同步误差

Figure: report jiffies

上图可以看出取样 4.155k 次，CH_LOCAL 相比 CH_SYNC 的相位差距最大为 -3.771 -(-104.3)= 100.529us

总结

串口的数据传输会产生一些延迟(尽管发送时无阻塞发送,在中断中接收,直接读寄存器)。串口传输耗时在一个停止位,无检验位,的情况下每字节传输耗时 = baudrate/10bit. 本例中我们使用的 baudrate 是 115200*2。

纯软件的 CRC 校验必然带来一定的延时,如果需要校验,在本项目中需要实现 CRC 硬件外设的驱动。

demo 同步后的误差经过多次测试,其中有变换主从角色,最大的误差在 500us 以内。最常见的是 300us 以内.

本次测试代码逻辑不复杂,实时性的处理都在中断上下文,而 STM32F4 使用 Cortex M4 的 Nested Vectored Interrupt Controller (NVIC) 实时性非常高,应该少有优化空间。