

## 概述

QEP (Quadrature Encoder Pulse) 是一种处理编码器正交输出信号的功能模块。SPC2168 内建三个 SIO 单元。使用 SIO 单元的可编程性，实现了 SIO\_QEPV3 的功能，能够进行计数等功能。并且支持对 CW/CCW，sign/pulse 模式的编码器信号进行计数。

# 目录

<b>1</b>	<b>SIO_QEPV3 特性</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>SIO_QEPV3 系统概述</b> .....	<b>9</b>
2.1	输入滤波 .....	10
2.2	计数模式 .....	11
<b>3</b>	<b>操作方式</b> .....	<b>14</b>
3.1	配置 SIO 时钟 .....	14
3.2	配置 SIO 为 SIO_QEPV3，配置 PINMUX .....	14
3.3	获取位置计数，方向.....	15
<b>4</b>	<b>API 函数</b> .....	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>代码示例</b> .....	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>寄存器</b> .....	<b>18</b>
6.1	SIO_QEPV3 寄存器表.....	18

## 图片列表

图 2-1: 基于 SIO 的 QEP 系统架构 .....	9
图 2-2: 输入滤波.....	10
图 2-3: 正交模式计数.....	11
图 2-4: 计数脉冲+计数方向模式计数.....	12
图 2-5: CW-CCW 模式计数.....	13

SPIN TROL

## 表格列表

表 1-1: 管脚分配.....	8
表 4-1: API 函数列表 .....	16
表 6-1: SIO 模块基地址 .....	18

SPIN TROL

## 版本历史

版本	日期	作者	变更
1	2022年01月24日	韩伟	设计 V3.0.0: 第一次 release。
2	2022年01月25日	韩伟	设计 V3.0.1: 更换 PIN: QA: SIO2_SIOPIN13 -> SIO2_SIOPIN12; QB: SIO2_SIOPIN12 -> SIO2_SIOPIN13
3	2022年02月22日	韩伟	设计 V3.1.0: 基于 V3.0.0, 修复 SIO_Init()驱动错误
4	2022年07月20日	韩伟	设计 V3.2.0: 基于 V3.1.0, 修复 SIO_Init()驱动错误, 添加 SIO_Deinit()功能
A/0	2022年08月26日	韩伟	设计 V3.3.0: 基于 V3.2.0, 更新 SIO_Init(), SIO_Deinit(), SIO_QEPV3_Init()相关驱动, 修正写 PLA 的时序。增加 SIO_Enable(), SIO_Disable(), SIO_QEPV3_Program()。修改文件格式。

## 术语或缩写

术语或缩写	描述
SIO	Smart Input Output
QEP	Quadrature Encoder Pulse

SPIN TROL

# 1 SIO\_QEPV3 特性

SIO\_QEPV3 支持以下功能：

- 支持 Qa、Qb 正交输入 (Quadrature)；
- 支持 Qa 为计数脉冲输入 (Pulse)，Qb 为方向 (Direction)；
- 支持 Qa 为正转计数脉冲输入 (CW——ClockWise)，Qb 为反转计数脉冲输入 (CCW——CounterClockWise)；
- 计数脉冲输入最快 925KHz；
- 支持 16 位的位置计数器 POSCNT，计数范围[0: POSMAX]；
- 支持 Qa、Qb deglitch；
- Qa、Qb 采样时钟可调；
- 支持启动和停止复位；
- 支持位置计数器初始化；

表 1-1: 管脚分配

SIO 模块名	SIO 管脚编号	GPIO 管脚编号	功能
SIO0	0	GPIO0	QA
SIO0	1	GPIO1	QB

注意事项:

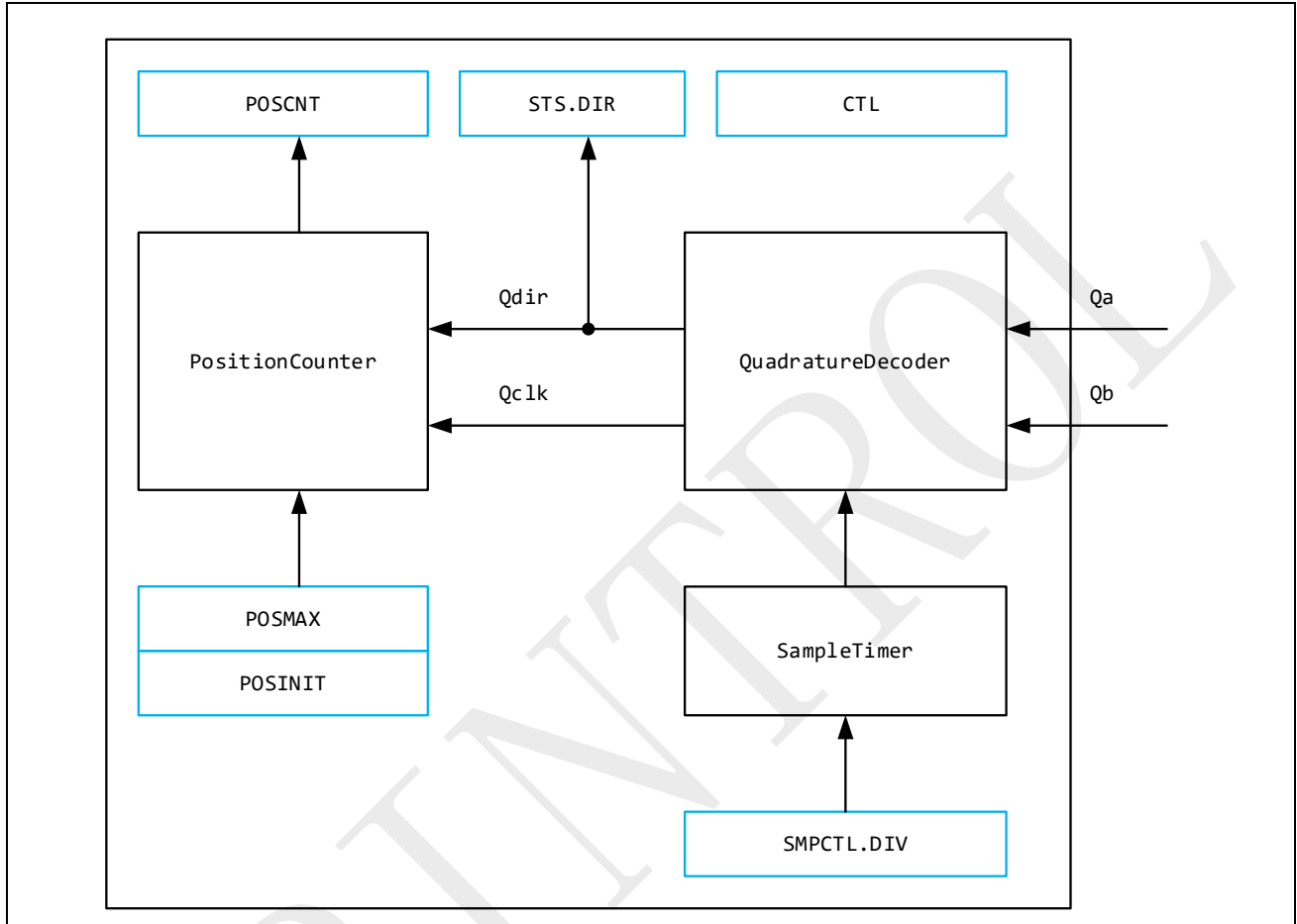
- SIO 时钟频率  $F_{sio} \leq 100\text{MHz}$ ;
- 不支持通过修改 SIO 配置文件里的 SIO 管脚数组来实现管脚的重新分配。需要不同的配置文件, 请联系 Spintrol 工程师。
- 用于生成采样时钟的定时器 SampleTimer 的分频系数  $N_{sampleTimer} \geq 9$ ;
- 如果要在运行中使用初始化位置计数器功能,  $N_{sampleTimer} \geq 12$ ;
- Quadrature 模式下支持的最快速度:
  - 考虑采样不到 glitch 信号, 不支持运行过程中初始化位置计数器:  
 $F_{sio} / (N_{sampleTimer} * 6 * 2) = 925\text{KHz}$ , ( $F_{sio} = 100\text{MHz}$ ,  $N_{sampleTimer} = 9$ );
  - 考虑采样不到 glitch 信号, 支持运行过程中初始化位置计数器:  
 $F_{sio} / (N_{sampleTimer} * 6 * 2) = 694\text{KHz}$ , ( $F_{sio} = 100\text{MHz}$ ,  $N_{sampleTimer} = 12$ );
  - 考虑采样到 1 个 glitch, 不支持运行过程中初始化位置计数器:  
 $F_{sio} / (N_{sampleTimer} * 8 * 2) = 694\text{KHz}$ , ( $F_{sio} = 100\text{MHz}$ ,  $N_{sampleTimer} = 9$ );
  - 考虑采样到 1 个 glitch, 支持运行过程中初始化位置计数器:  
 $F_{sio} / (N_{sampleTimer} * 8 * 2) = 520\text{KHz}$ , ( $F_{sio} = 100\text{MHz}$ ,  $N_{sampleTimer} = 12$ );
- Pulse\_Direction 模式下支持的最快速度:
  - 采样到 glitch 信号次数  $\leq 1$ , 不支持运行过程中初始化位置计数器:  
 $F_{sio} / (N_{sampleTimer} * 6 * 2) = 925\text{KHz}$ ; ( $F_{sio} = 100\text{MHz}$ ,  $N_{sampleTimer} = 9$ );
  - 采样到 glitch 信号次数  $\leq 1$ , 支持运行过程中初始化位置计数器:  
 $F_{sio} / (N_{sampleTimer} * 6 * 2) = 694\text{KHz}$ , ( $F_{sio} = 100\text{MHz}$ ,  $N_{sampleTimer} = 12$ );
- CW\_CCW 模式下支持的最快速度:
  - 采样到 glitch 信号次数  $\leq 1$ , 不支持运行过程中初始化位置计数器:  
 $F_{sio} / (N_{sampleTimer} * 6 * 2) = 925\text{KHz}$ ; ( $F_{sio} = 100\text{MHz}$ ,  $N_{sampleTimer} = 9$ );
  - 采样到 glitch 信号次数  $\leq 1$ , 支持运行过程中初始化位置计数器:  
 $F_{sio} / (N_{sampleTimer} * 6 * 2) = 694\text{KHz}$ , ( $F_{sio} = 100\text{MHz}$ ,  $N_{sampleTimer} = 12$ );



## 2 SIO\_QEPV3 系统概述

如下图所示，SIO\_QEPV3 模块由正交解码、位置计数器、采样定时器组成。

图 2-1: 基于 SIO 的 QEP 系统架构



正交解码模块输入为编码器 Qa、Qb 信号，支持正交模式、计数脉冲+计数方向模式，以及 CW-CCW 模式。支持 Qa、Qb 信号滤波功能。滤波采样时钟由采样定时器产生。解码模块输出为：

- Qdir: 解码后的计数方向信号；
- Qclk: Qa、Qb 的有效计数脉冲信号；

位置计数模块根据 Qdir 和 Qclk 进行计数：

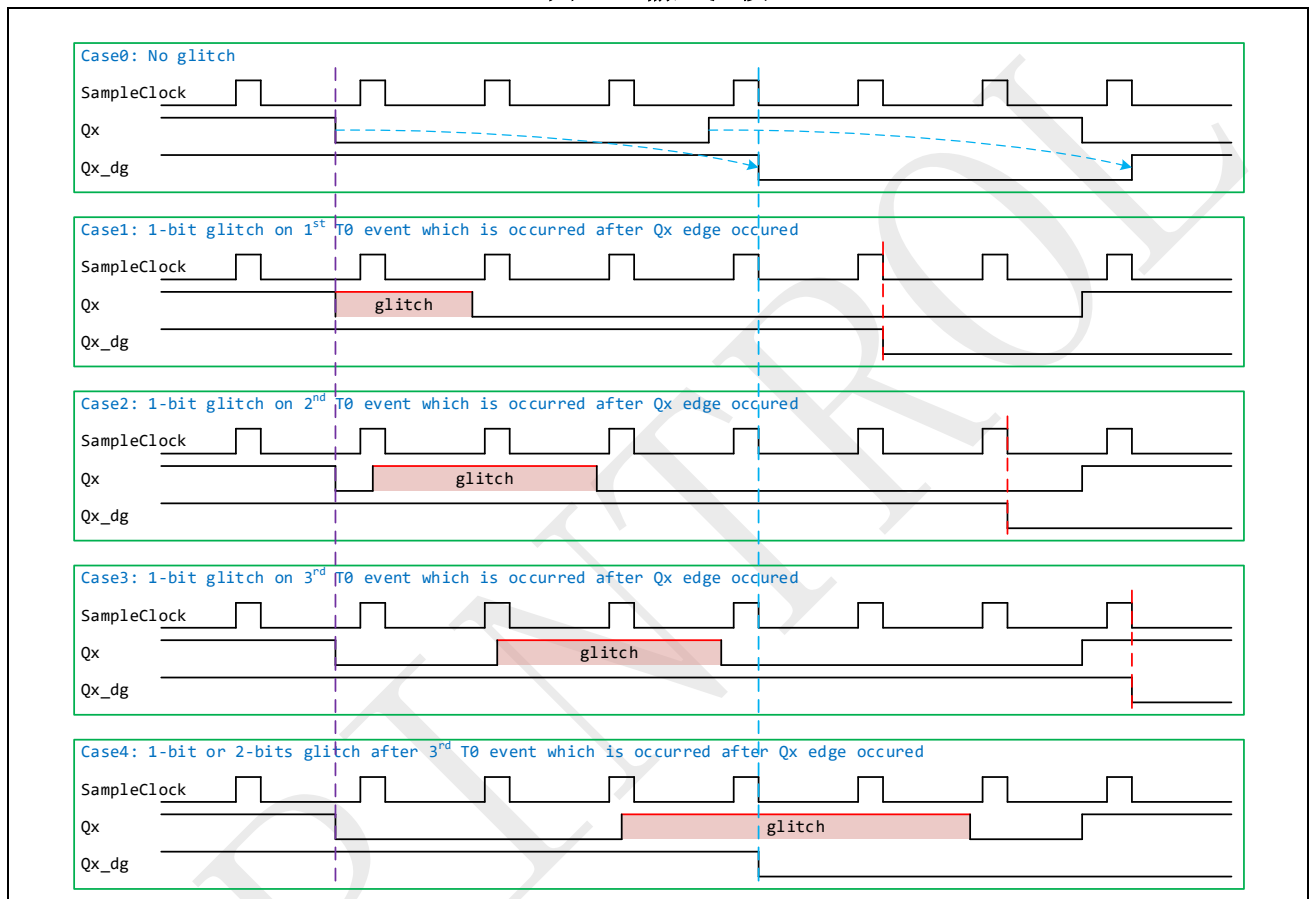
- Qdir == 0 时，向下计数到 0，复位为 POSMAX 值，再继续计数。
- Qdir == 1 时，向上计数到 POSMAX 值，复位为 0，再继续计数。

## 2.1 输入滤波

输入滤波方法是对输入信号进行三次采样，只有当三次采样的值完全相等，才认为外部输入的信号电平稳定。

图 2-2 中说明了信号下降沿附近发生 glitch 时候的滤波情况。采样时钟的周期为  $T_{\text{sampleTimer}}$ 。因此，为了滤除宽度小于  $T_{\text{sampleTimer}}$  的 glitch 信号，且确保信号滤波后不丢失原始的输入信号原始边沿信息，输入信号的电平宽度应当大于等于  $6 * T_{\text{sampleTimer}}$ 。

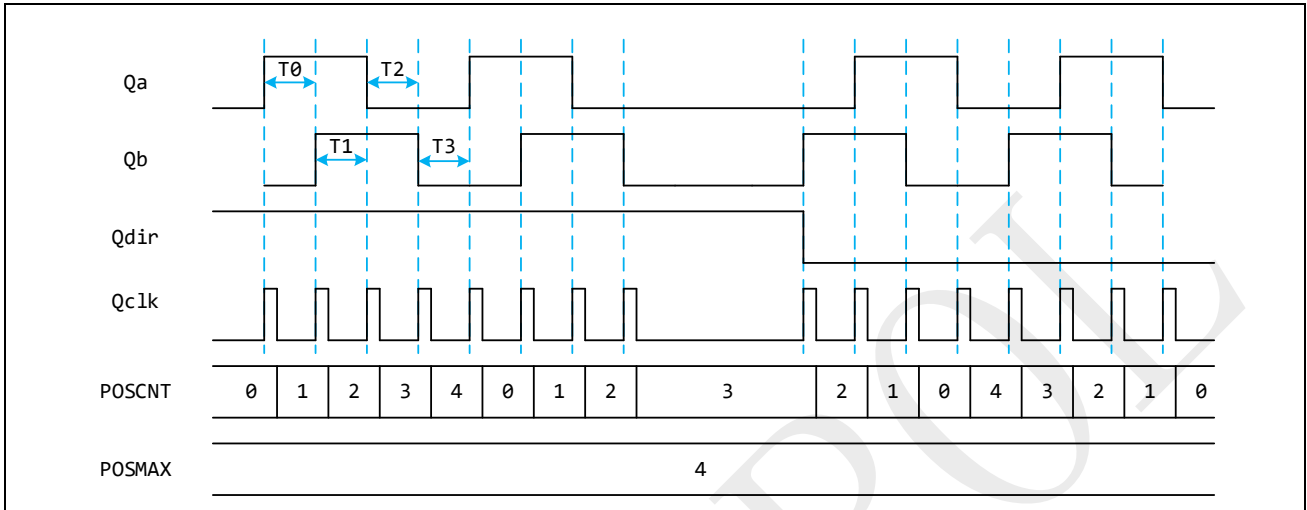
图 2-2: 输入滤波



## 2.2 计数模式

SIO\_QEPV3 支持三种计数模式，分别如图 2-3、图 2-4、图 2-5 所示，图中以 POSMAX=4 为例。

图 2-3: 正交模式计数



正交模式下对 Qa、Qb 的每个边沿进行计数。方向是根据 Qa、Qb 的相位关系定义：

- Qa 超前 Qb，Qdir = 1；
- Qa 滞后 Qb，Qdir = 0；

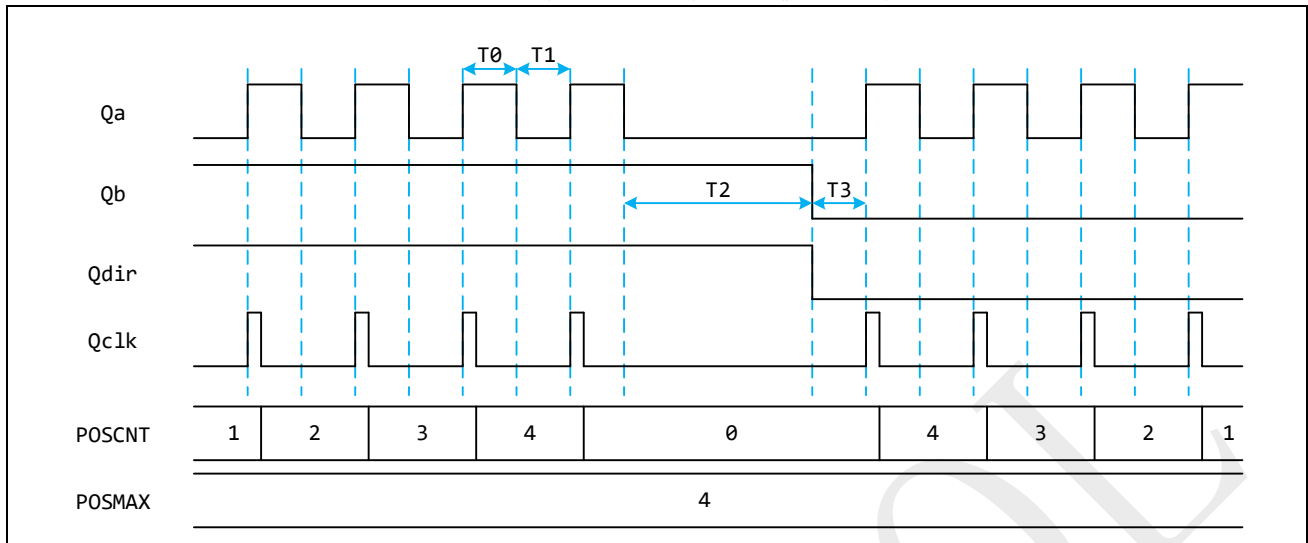
图中 T0、T1、T2、T3 表示为采样到一个毛刺信号的时候，确保滤波后信号相位的相对关系不变，对输入信号时序的要求：

- T0:  $\geq 4 * T_{\text{sampleTimer}}$
- T1:  $\geq 4 * T_{\text{sampleTimer}}$
- T2:  $\geq 4 * T_{\text{sampleTimer}}$
- T3:  $\geq 4 * T_{\text{sampleTimer}}$

因此，采样时钟的分频系数为  $N_{\text{sampleTimer}}$ ，正交模式下支持的 Qa、Qb 最快速度为：

- 考虑采样不到 glitch 信号，不支持运行过程中初始化位置计数器：  
 $F_{\text{sio}} / (N_{\text{sampleTimer}} * 6 * 2) = 925\text{KHz}$ ， ( $F_{\text{sio}} = 100\text{MHz}$ ，  $N_{\text{sampleTimer}} = 9$ )；
- 考虑采样不到 glitch 信号，支持运行过程中初始化计数器：  
 $F_{\text{sio}} / (T_{\text{sampleTimer}} * 6 * 2) = 694\text{KHz}$ ， ( $F_{\text{sio}} = 100\text{MHz}$ ，  $N_{\text{sampleTimer}} = 12$ )；
- 考虑采样到 1 个 glitch 信号，不支持运行过程中初始化位置计数器：  
 $F_{\text{sio}} / (T_{\text{sampleTimer}} * 8 * 2) = 694\text{KHz}$ ， ( $F_{\text{sio}} = 100\text{MHz}$ ，  $N_{\text{sampleTimer}} = 9$ )；
- 考虑采样到 1 个 glitch 信号，支持运行过程中初始化位置计数器：  
 $F_{\text{sio}} / (T_{\text{sampleTimer}} * 8 * 2) = 520\text{KHz}$ ， ( $F_{\text{sio}} = 100\text{MHz}$ ，  $N_{\text{sampleTimer}} = 12$ )；

图 2-4: 计数脉冲+计数方向模式计数



计数脉冲+计数方向模式下是对 Qa 的上升沿进行计数。Qb 为计数方向。

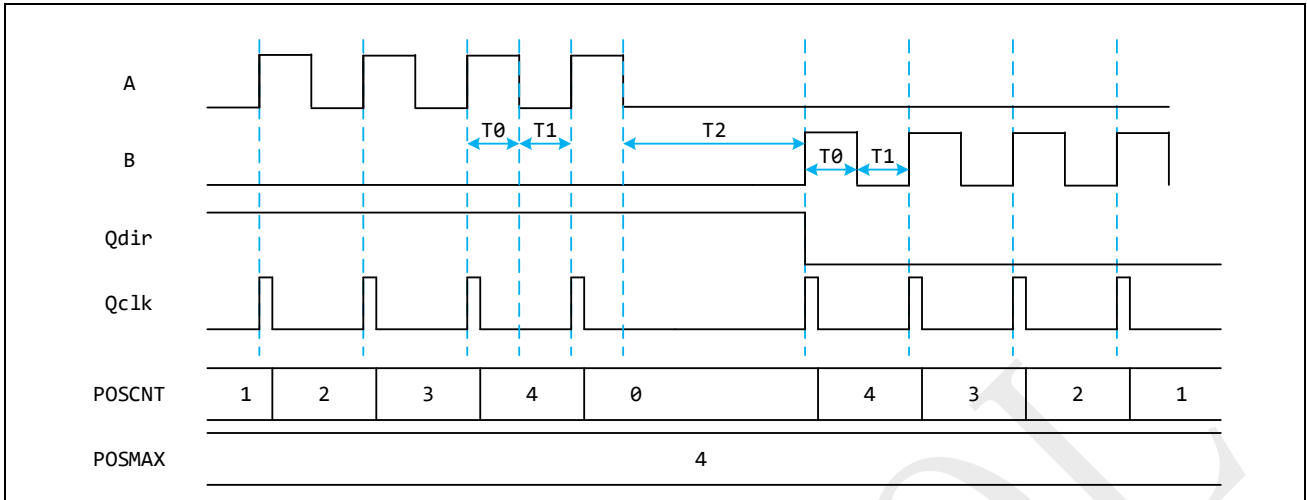
图中 T0、T1、T2、T3 表示为采样到一个毛刺信号的时候，确保滤波后信号相位的相对关系不变，对输入信号时序的要求：

- T0:  $\geq 6 * T_{\text{sampleTimer}}$
- T1:  $\geq 6 * T_{\text{sampleTimer}}$
- T2:  $\geq 0 * T_{\text{sampleTimer}}$
- T3:  $\geq 4 * T_{\text{sampleTimer}}$

因此，采样时钟的分频系数为  $N_{\text{sampleTimer}}$ ，正交模式下支持的 Qa、Qb 最快速度为：

- 考虑采样到 glitch 信号次数  $\leq 1$ ，不支持运行过程中初始化位置计数器：  
 $F_{\text{sio}} / (N_{\text{sampleTimer}} * 6 * 2) = 925\text{KHz}$ ，( $F_{\text{sio}} = 100\text{MHz}$ ， $N_{\text{sampleTimer}} = 9$ )；
- 考虑采样到 glitch 信号次数  $\leq 1$ ，支持运行过程中初始化计数器：  
 $F_{\text{sio}} / (T_{\text{sampleTimer}} * 6 * 2) = 694\text{KHz}$ ，( $F_{\text{sio}} = 100\text{MHz}$ ， $N_{\text{sampleTimer}} = 12$ )；

图 2-5: CW-CCW 模式计数



CW-CCW 模式是对 Qa、Qb 的上升沿进行计数。Qa 有脉冲输入时候，Qdir = 1；Qb 有脉冲输入的时候，Qdir = 0。Qa、Qb 同时只有一个产生计数脉冲。

图中 T0、T1、T2 表示为采样到一个毛刺信号的时候，确保滤波后信号相位的相对关系不变，对输入信号时序的要求：

- T0:  $\geq 6 * T_{\text{sampleTimer}}$
- T1:  $\geq 6 * T_{\text{sampleTimer}}$
- T2:  $\geq 0 * T_{\text{sampleTimer}}$

因此，采样时钟的分频系数为  $N_{\text{sampleTimer}}$ ，正交模式下支持的 Qa、Qb 最快速度为：

- 考虑采样到 glitch 信号次数  $\leq 1$ ，不支持运行过程中初始化位置计数器：  
 $F_{\text{sio}} / (N_{\text{sampleTimer}} * 6 * 2) = 925\text{KHz}$ ，（ $F_{\text{sio}} = 100\text{MHz}$ ， $N_{\text{sampleTimer}} = 9$ ）；
- 考虑采样到 glitch 信号次数  $\leq 1$ ，支持运行过程中初始化计数器：  
 $F_{\text{sio}} / (T_{\text{sampleTimer}} * 6 * 2) = 694\text{KHz}$ ，（ $F_{\text{sio}} = 100\text{MHz}$ ， $N_{\text{sampleTimer}} = 12$ ）；

## 3 SIO\_QEPV3 操作方式

Spintrol 提供了相应的软件库来简化该系统的使用。

### 3.1 配置 SIO 时钟

用户可以通过 SIOCLKCTL 寄存器来配置 SIO 时钟，包括时钟的使能和分频比。具体可参见《SPC2168 Technical Reference Manual》的第 3 章。当 SIO 被配置用作 SIO\_QEPV3 时，所允许的 SIO 模块时钟最高频率可达 100MHz（对于部分型号芯片，最高频率会达不到 100MHz，具体参考 TRM）。

### 3.2 配置 SIO 为 SIO\_QEPV3，配置 PINMUX

提供了 SIO\_QEPV3\_Program() 函数，配置 SIO 模块，将其初始化成 SIO\_QEPV3；SIO\_QEPV3\_Init() 使能 SIO 运行且配置 PINMUX，将引脚切换至 SIO 通道。用户只需要在代码中直接调用这些函数即可。

注意：

- SIO\_QEPV3 的引脚重定义需要联系 Spintrol 工程师进行重新配置，目前暂不支持客户自定义。
- 当使用多个 SIO 模块，需要先调用所有的 SIO\_XXX\_Program() 函数，确保所有 SIO 模块的 uCode 和 PLA 配置完成后，再调用所有的 SIO\_XXX\_Init() 函数，使能各个模块及配置 IO 管脚。

SIO\_QEPV3 初始化代码如下：

#### 示例代码 3-1: SIO\_QEPV3 初始化

```
/* Clock Init */
CLOCK_InitWithRCO(CLOCK_HCLK_200MHZ);

/* Configure SIO Clock, maximum clock is 100MHz */
CLOCK_SetModuleDiv(SIO0_MODULE, 2);
CLOCK_EnableModule(SIO0_MODULE);

/* SIO program to SIO_QEPV3 function */
SIO_QEPV3_Program(SIOx);

/* SIO_QEPV3 Init */
SIO_QEPV3_Init(SIOx);

/* Init Qa/Qb count mode */
SIO_QEPV3_SetCountMode( SIOx, SIOQEPV3_MODE_QUADRATURE );

/* Set sample clock prescaler */
```

**示例代码 3-1: SIO\_QEPV3 初始化**

```
u8SampleClockPrescaler = 9 - 1;
SIO_QEPV3_SetSampleClockPrescaler( SIOx, u8SampleClockPrescaler );

/* Set maximum position */
u16MaxPosition = 100 ;
SIO_QEPV3_SetMaximumPosition( SIOx, u16MaxPosition );

/* Set initial position */
u16InitialPosition = 0 ;
SIO_QEPV3_SetInitialPosition( SIOx, u16InitialPosition );
/* Enable initial position counter, SIOQEPV3CTL.INITCNT will be self-cleared
after enable run and initialization finished */
SIO_QEPV3_EnableInitPosition( SIOx );

/* Enable run */
SIO_QEPV3_Enable( SIOx );
```

**3.3 获取位置计数，方向****示例代码 3-2: SIO\_QEPV3 读取位置计数器和计数方向**

```
u32Data = SIO_QEPV3_GetPosition(SIOx) ;
u32Dir = SIO_QEPV3_GetStatus(SIOx, SIOQEPV3_STS_DIRECTION) ? 1 : 0 ;
```

## 4 API 函数

注意：函数详细功能请参考驱动代码注释。

表 4-1: API 函数列表

函数名称	说明
<code>void SIO_QEPV3_Program(SIOx)</code>	SIO 编程为 SIO_QEPV3 功能
<code>void SIO_QEPV3_Init(SIOx)</code>	SIO_QEPV3 初始化
<code>void SIO_QEPV3_SetCountMode(SIOx, eMode)</code> <code>SIOQEPV3_CountModeEnum SIO_QEPV3_GetCountMode(SIOx)</code>	设置计数模式 获取计数模式
<code>void SIO_QEPV3_EnableInitPosition(SIOx)</code> <code>void SIO_QEPV3_DisableInitPosition(SIOx)</code> <code>uint16_t SIO_QEPV3_IsEnableInitPosition(SIOx)</code>	使能位置初始化 禁用位置初始化 获取位置初始化是否启用
<code>void SIO_QEPV3_Enable(SIOx)</code> <code>void SIO_QEPV3_Disable(SIOx)</code> <code>uint16_t SIO_QEPV3_IsEnable(SIOx)</code>	使能模块运行 禁用模块 获取模块是否正在运行
<code>Void SIO_QEPV3_SetSampleClockPrescaler(SIOx, u8Prescaler)</code> <code>uint8_t SIO_QEPV3_GetSampleClockPrescaler(SIOx)</code>	设置采样时钟预分频系数 获取采样时钟预分频系数
<code>void SIO_QEPV3_SetMaximumPosition(SIOx, u16Pos)</code> <code>uint16_t SIO_QEPV3_GetMaximumPosition(SIOx)</code>	设置最大位置 获取最大位置
<code>uint16_t SIO_QEPV3_GetPosition(SIOx)</code>	获取当前位置
<code>void SIO_QEPV3_SetInitialPosition(SIOx, u16Pos)</code> <code>uint16_t SIO_QEPV3_GetInitialPosition(SIOx)</code>	设置初始位置 获取初始位置
<code>uint16_t SIO_QEPV3_GetStatus(SIOx, u16Query)</code>	获取当前状态（方向）



## 5 代码示例

以 SIO0 为例子，参考 demos 目录下的例程。

SPIN TROL

## 6 寄存器

### 6.1 SIO\_QEPV3 寄存器表

表 6-1: SIO 模块基地址

外设模块	基地址
SIO0	0x4000B000
SIO1	0x4000C000
SIO2	0x4000D000

注意 对 SPC2168，SIO 的 FIFO 深度为 8，宽度为 16-bits。

SIO\_QEPV3 的寄存器和功能定义请参考相应驱动函数中的描述，此处不再赘述。