

# 第十讲 增强型正交编码模块eQEP

# DSP

主讲：叶剑

电话：13728639620

Email: [yejian@hit.edu.cn](mailto:yejian@hit.edu.cn)

# 第十讲：增强型正交编码模块eQEP



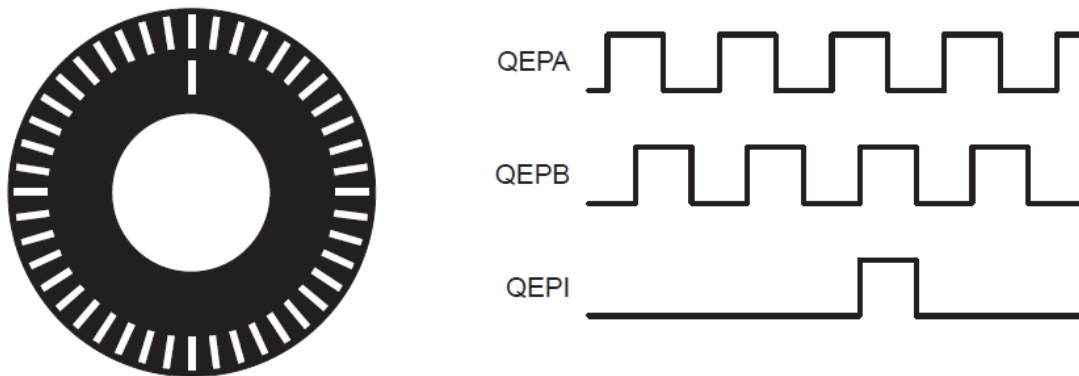
1、概述

2、eQEP的功能单元

3、eQEP寄存器

# 1.1 eQEP的作用

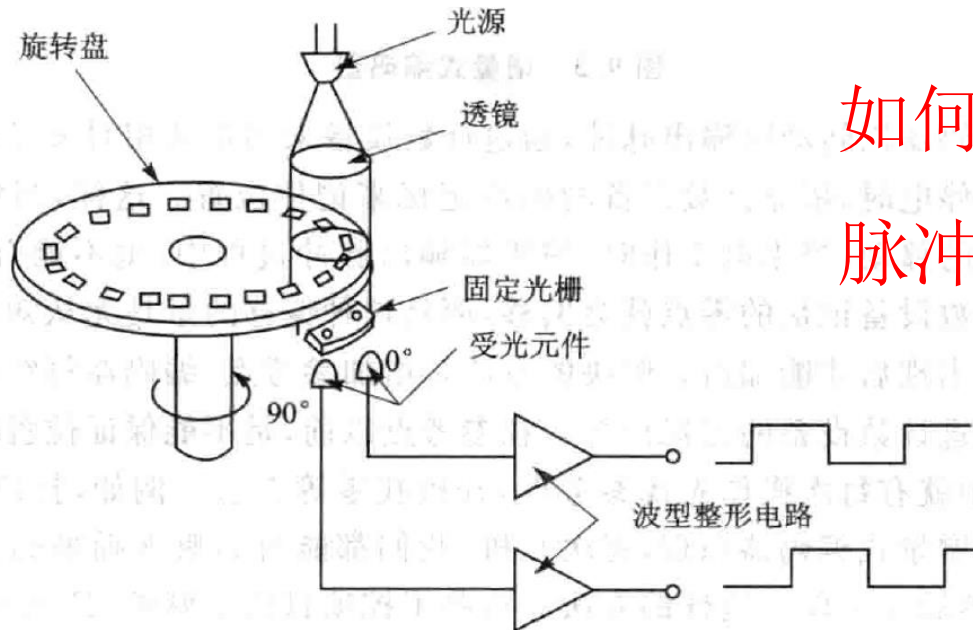
eQEP为编码器提供接口，用于电机控制和位置控制系统中，提供位置、方向和转速信息。



1. 槽的个数决定编码器精度
2. 一个索引脉冲（QEPI）

# 1.2 光电编码器

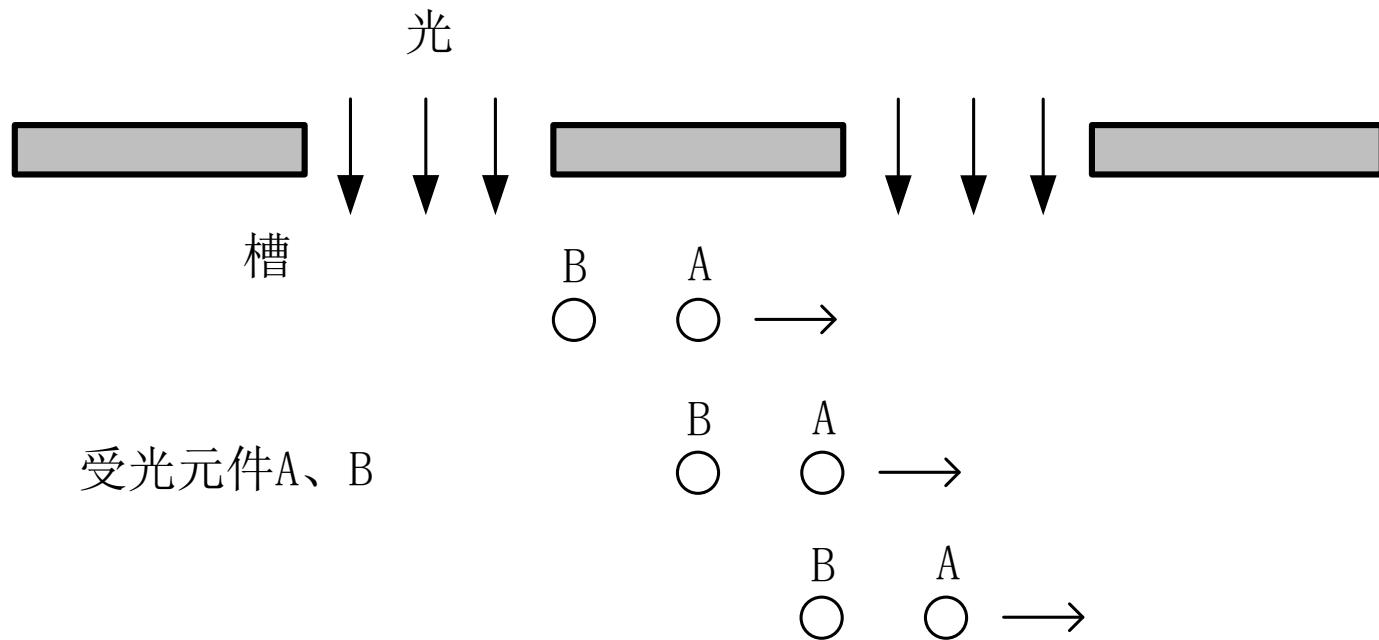
典型的光电编码器由码盘 (Disk)、检测光栅 (Mask)、光电转换电路 (包括光源、光敏器件、信号转换电路)、机械部件等组成。



如何产生正交脉冲A和B呢？

# 附件1

如何产生正交脉冲A和B呢？

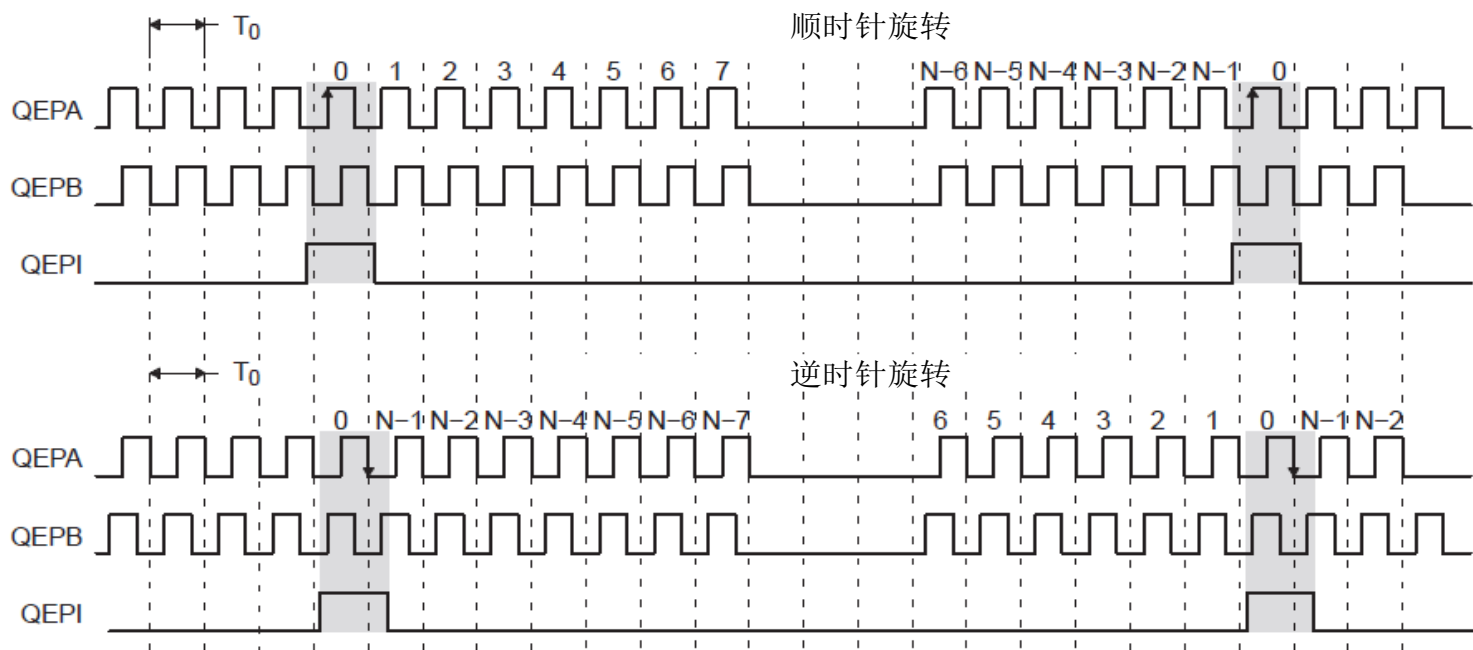


# 1.3 正反转情况下编码器输出脉冲

A、B 两相互差 $90^\circ$

顺时针：A超前B

逆时针：B超前A



注：N=每周槽数



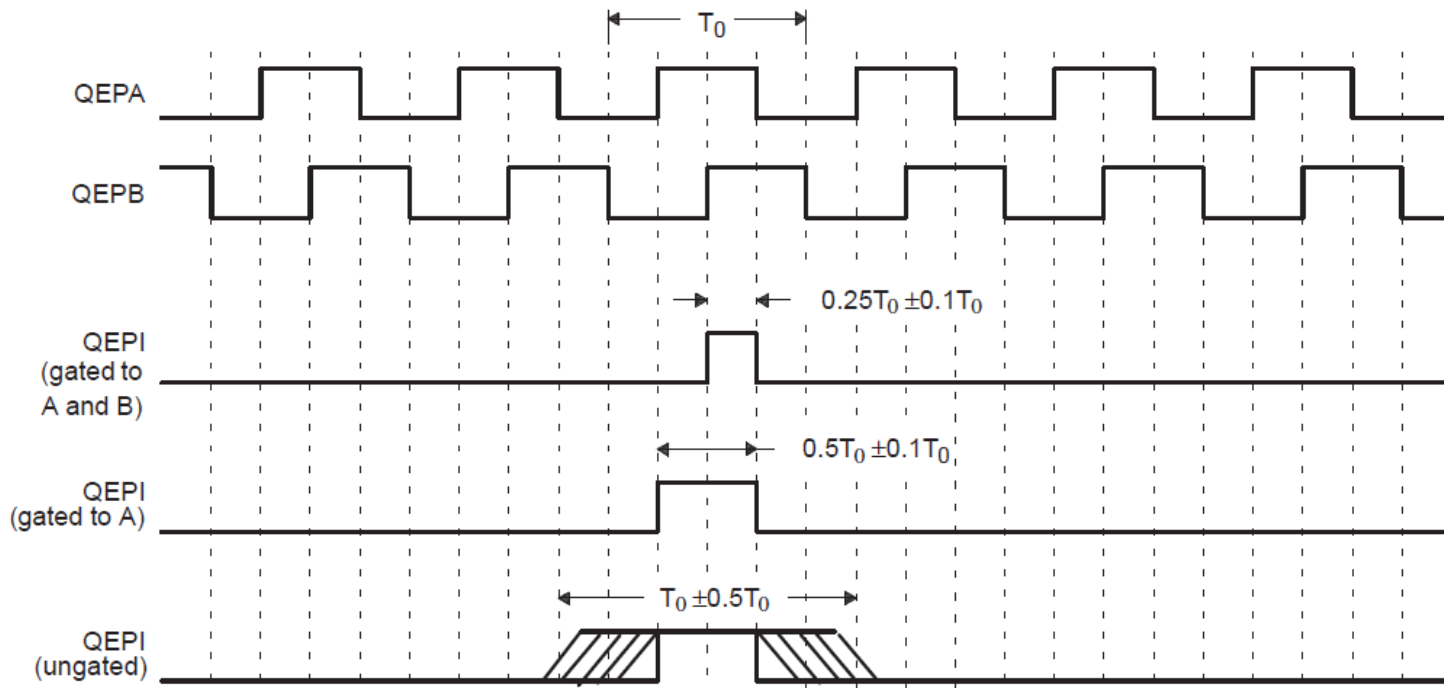
# 1.4 索引脉冲信号QEPI

1. 门控索引脉冲

什么叫门控、

2. 非门控索引脉冲

非门控？



# 1.5 转速测量方法

1. M法测速：固定时间读取位置变化量。

$$v(k) \approx \frac{x(k) - x(k - 1)}{T} = \frac{\Delta X}{T}$$

2. T法测速：固定位置变化量读取所需时间。

$$v(k) \approx \frac{X}{t(k) - t(k - 1)} = \frac{X}{\Delta T}$$

由正交边沿捕获单元（QCAP）实现



# 1.6 eQEP模块整体结构

eQEP主要包括以下几个功能单元：

通过GPIO MUX寄存器编程锁定QEPA或者QEPB功能；

正交解码单元（QDU）；

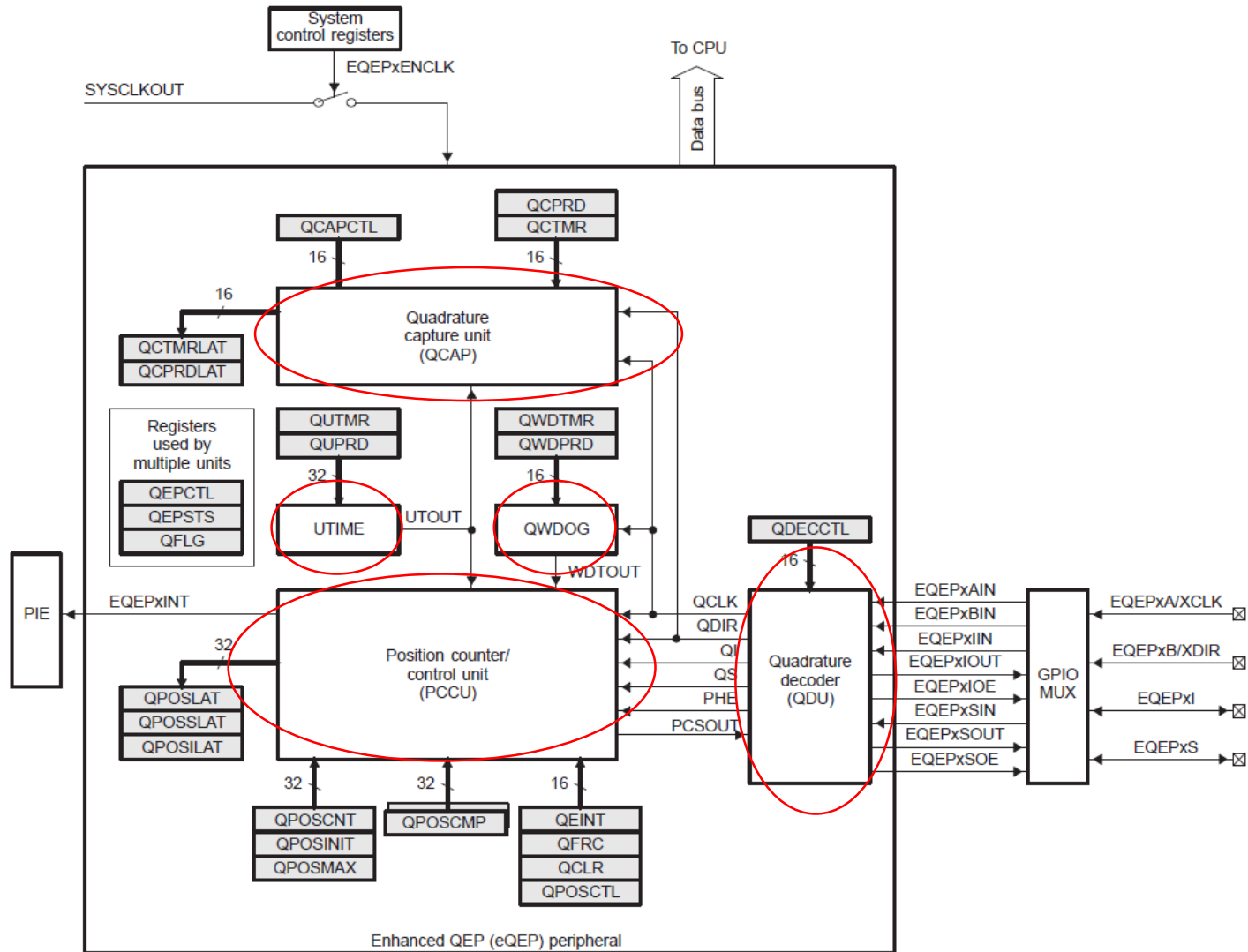
位置计数器和位置计算控制单元（PCCU）；

正交边沿捕获单元（QCAP）；

用于速度/频率测量的时基单元（UTIME）；

用于检测的看门狗模块（QWDOG）；

# 1.6 eQEP模块整体结构



# 第十讲：增强型正交编码模块eQEP

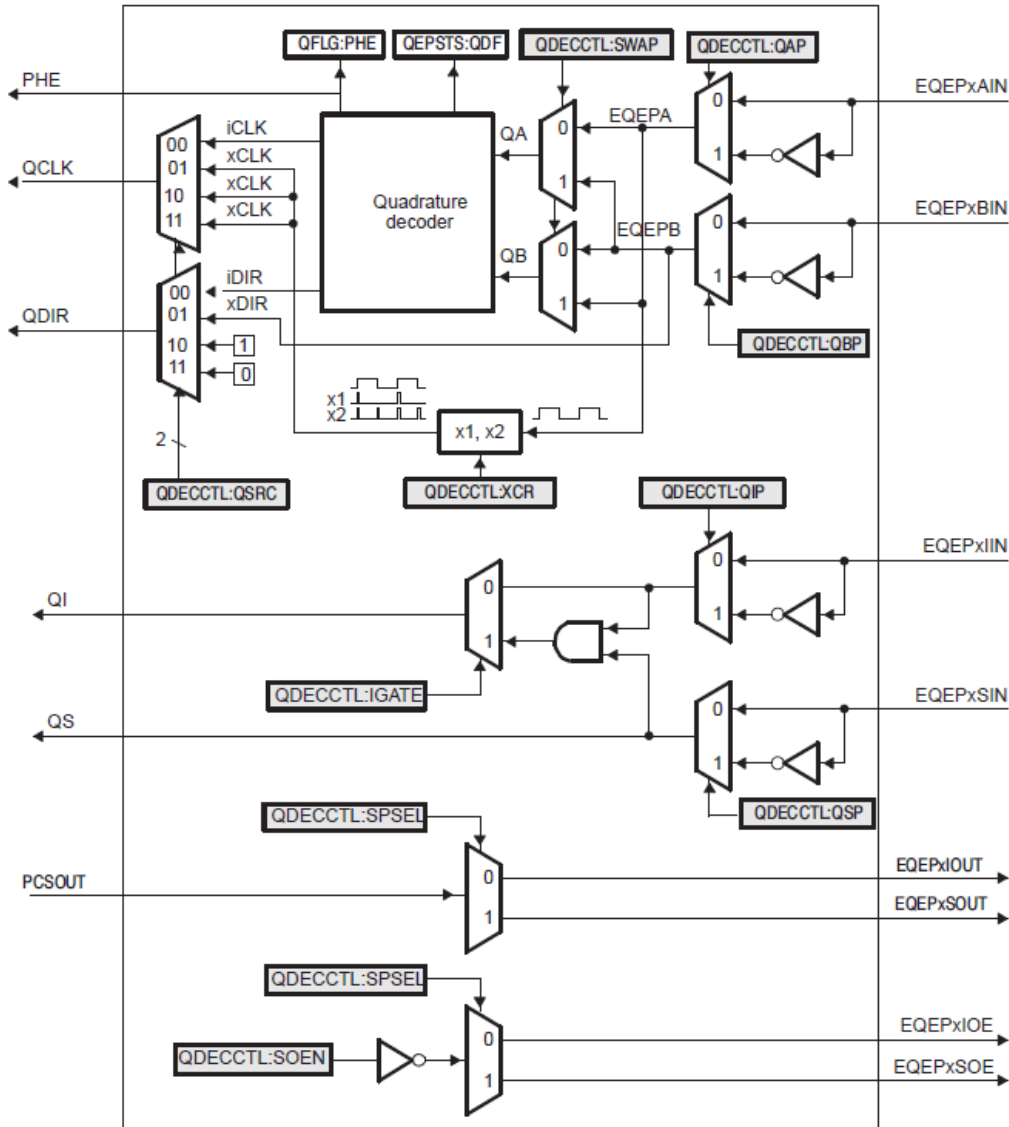
1、概述



2、eQEP的功能单元

3、eQEP寄存器

# 2.1 正交解码单元QDU



QEPSTS ———  
eQEP Status Register

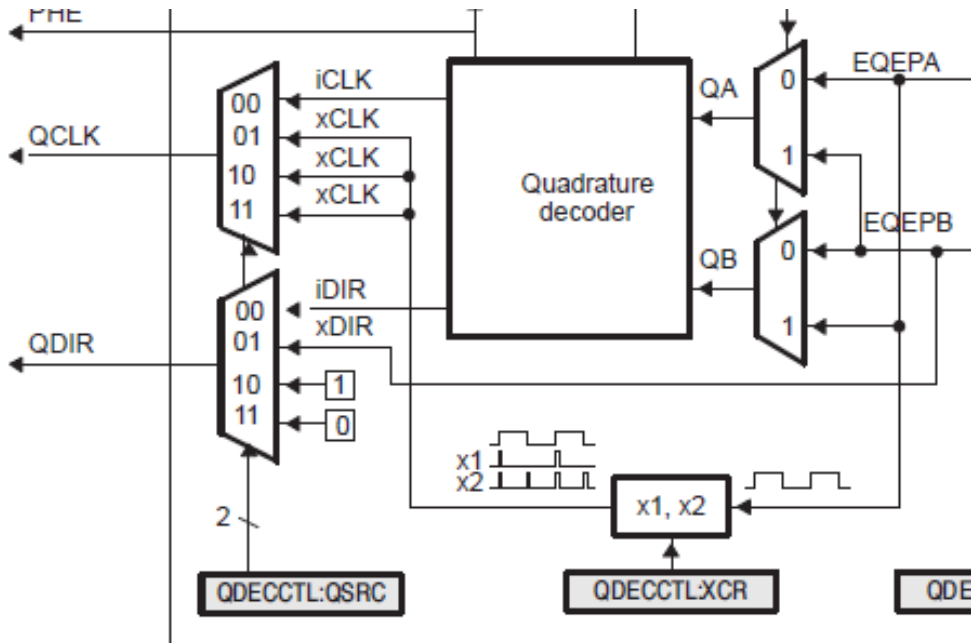
QDECCTL ———  
eQEP Decoder Control Register

QFLG ———  
eQEP Interrupt Flag Register

# 位置计数器输入模式

位置计数器的计数脉冲和方向信号由QDECCTL[QSRC]决定

15-14	QSRC		Position-counter source selection
		00	Quadrature count mode (QCLK = iCLK, QDIR = iDIR)
		01	Direction-count mode (QCLK = xCLK, QDIR = xDIR)
		10	UP count mode for frequency measurement (QCLK = xCLK, QDIR = 1)
		11	DOWN count mode for frequency measurement (QCLK = xCLK, QDIR = 0)



1. 正交计数模式
2. 方向计数模式
3. 增计数模式
4. 减计数模式

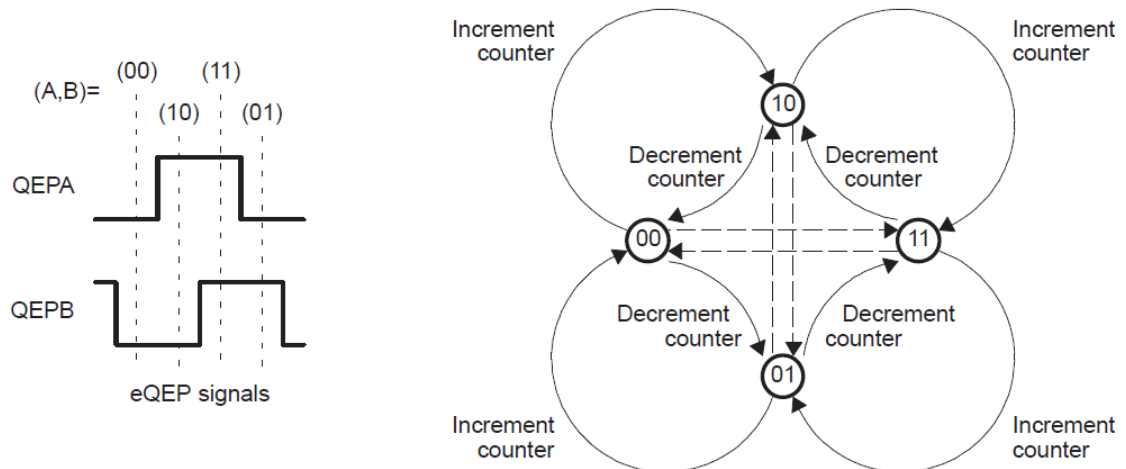
# 位置计数器输入模式

1. 正交计数模式：判断QEPA和QEPB之间的相位。

方向逻辑判断电路真值表：

Previous Edge	Present Edge	QDIR	QPOSCNT
QA↑	QB↑	UP	Increment
	QB↓	DOWN	Decrement
	QA↓	TOGGLE	Increment or Decrement
QA↓	QB↓	UP	Increment
	QB↑	DOWN	Decrement
	QA↑	TOGGLE	Increment or Decrement
QB↑	QA↑	DOWN	Decrement
	QA↓	UP	Increment
	QB↓	TOGGLE	Increment or Decrement
QB↓	QA↓	DOWN	Decrement
	QA↑	UP	Increment
	QB↑	TOGGLE	Increment or Decrement

正交解码状态机：

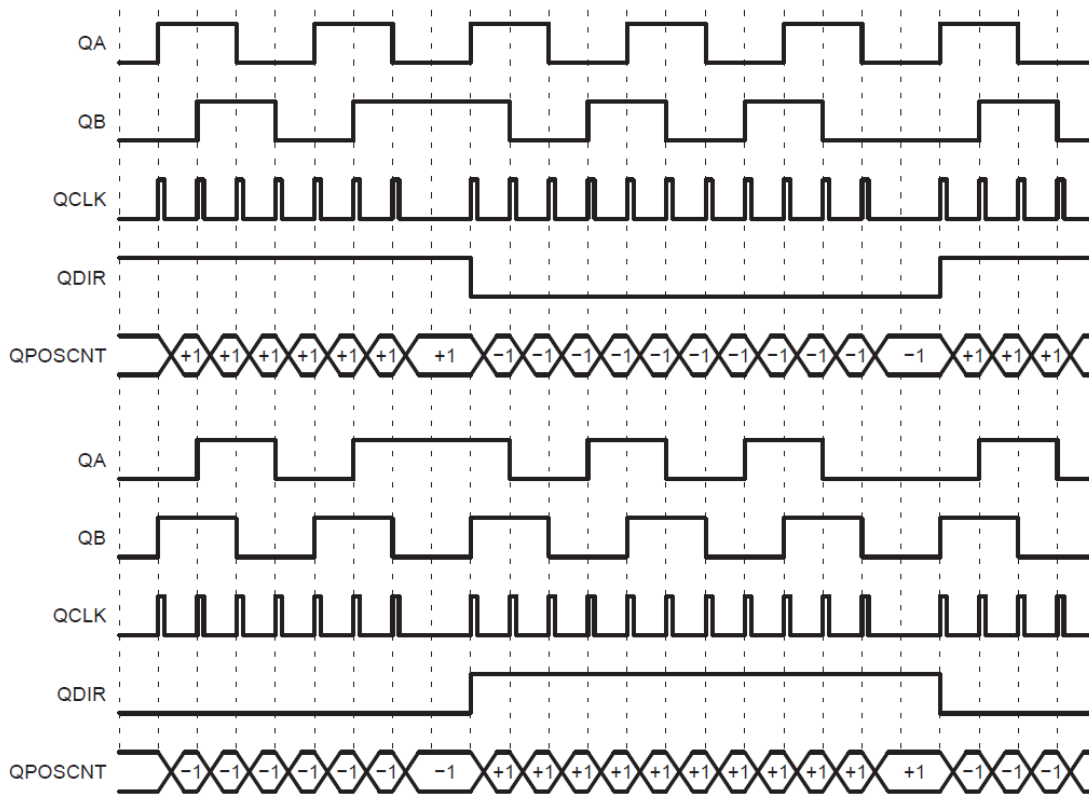


# 继续

1. 正交计数模式：判断  
QEPA和QEPB之间的相位。

Previous Edge	Present Edge	QDIR	QPOSCNT
QA↑	QB↑	UP	Increment
	QB↓	DOWN	Decrement
	QA↓	TOGGLE	Increment or Decrement
QA↓	QB↓	UP	Increment
	QB↑	DOWN	Decrement
	QA↑	TOGGLE	Increment or Decrement
QB↑	QA↑	DOWN	Decrement
	QA↓	UP	Increment
	QB↓	TOGGLE	Increment or Decrement
QB↓	QA↓	DOWN	Decrement
	QA↑	UP	Increment
	QB↑	TOGGLE	Increment or Decrement

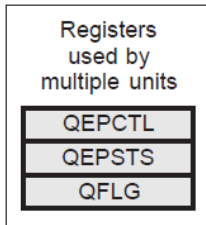
计数脉冲（QCLK）的频率  
是输入脉冲的4倍



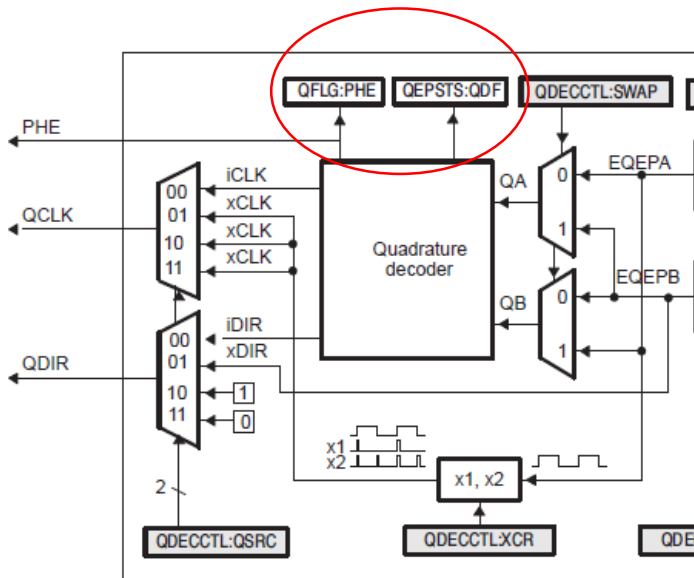


# 位置计数器输入模式

1. 正交计数模式：判断QEPA和QEPB之间的相位获得方向，储存到 QEPSTS [QDF] 中，相位同步时错误标志位 QFLG [PHE] 置位。



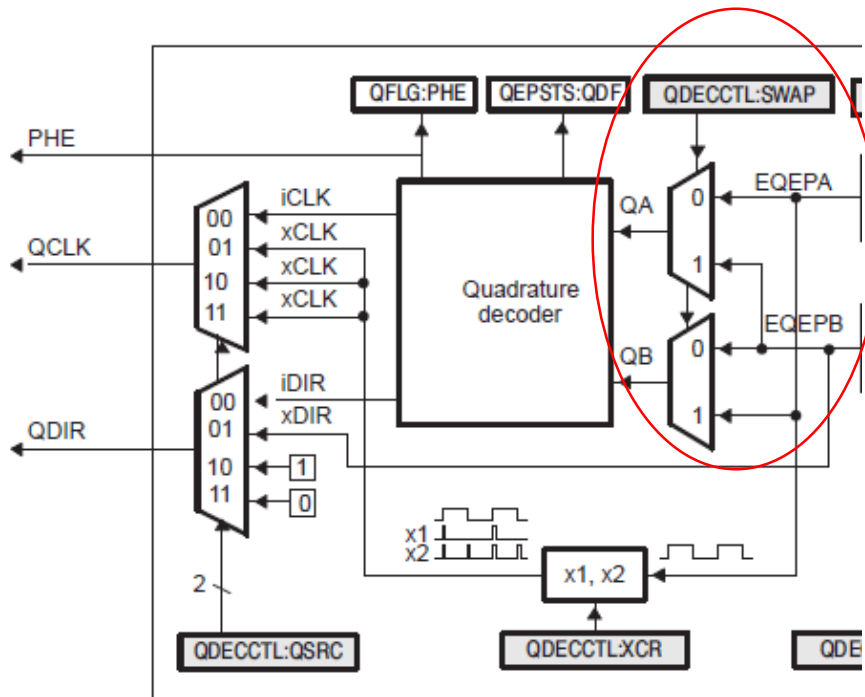
5	QDF		Quadrature direction flag
		0	Counter-clockwise rotation (or reverse movement)
		1	Clockwise rotation (or forward movement)



2	PHE		Quadrature phase error interrupt flag
		0	No interrupt generated
		1	Set on simultaneous transition of QEPA and QEPB

# 位置计数器输入模式

1. 正交计数模式：QEPA和QEPB通过设置QDECCTL[SWAP]可以换位。



10	SWAP		Swap quadrature clock inputs. This swaps the input to the quadrature decoder, reversing the counting direction.
		0	Quadrature-clock inputs are not swapped
		1	Quadrature-clock inputs are swapped

# 位置计数器输入模式

## 2. 方向计数模式:

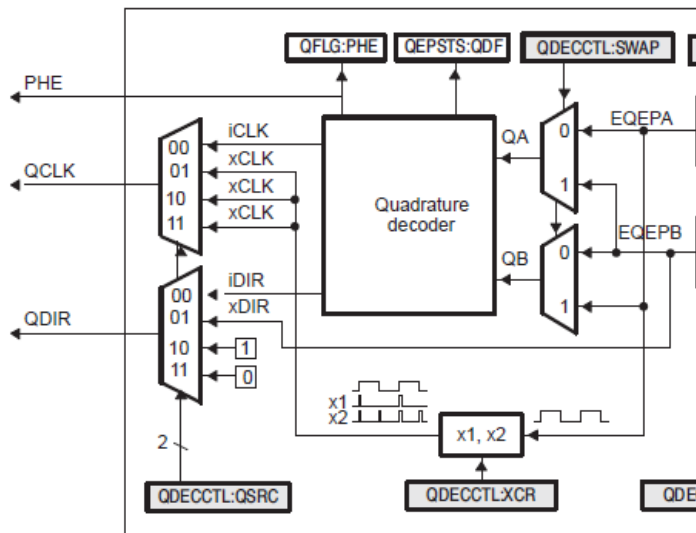
此时QEPA只能作为**时钟输入**，QEPB只能作为**方向输入**。

## 3. 增计数模式:

计数器的方向信号被硬件规定为递增计数, 测频率。

## 4. 减计数模式:

计数器的方向信号被硬件规定为递减计数, 测频率。

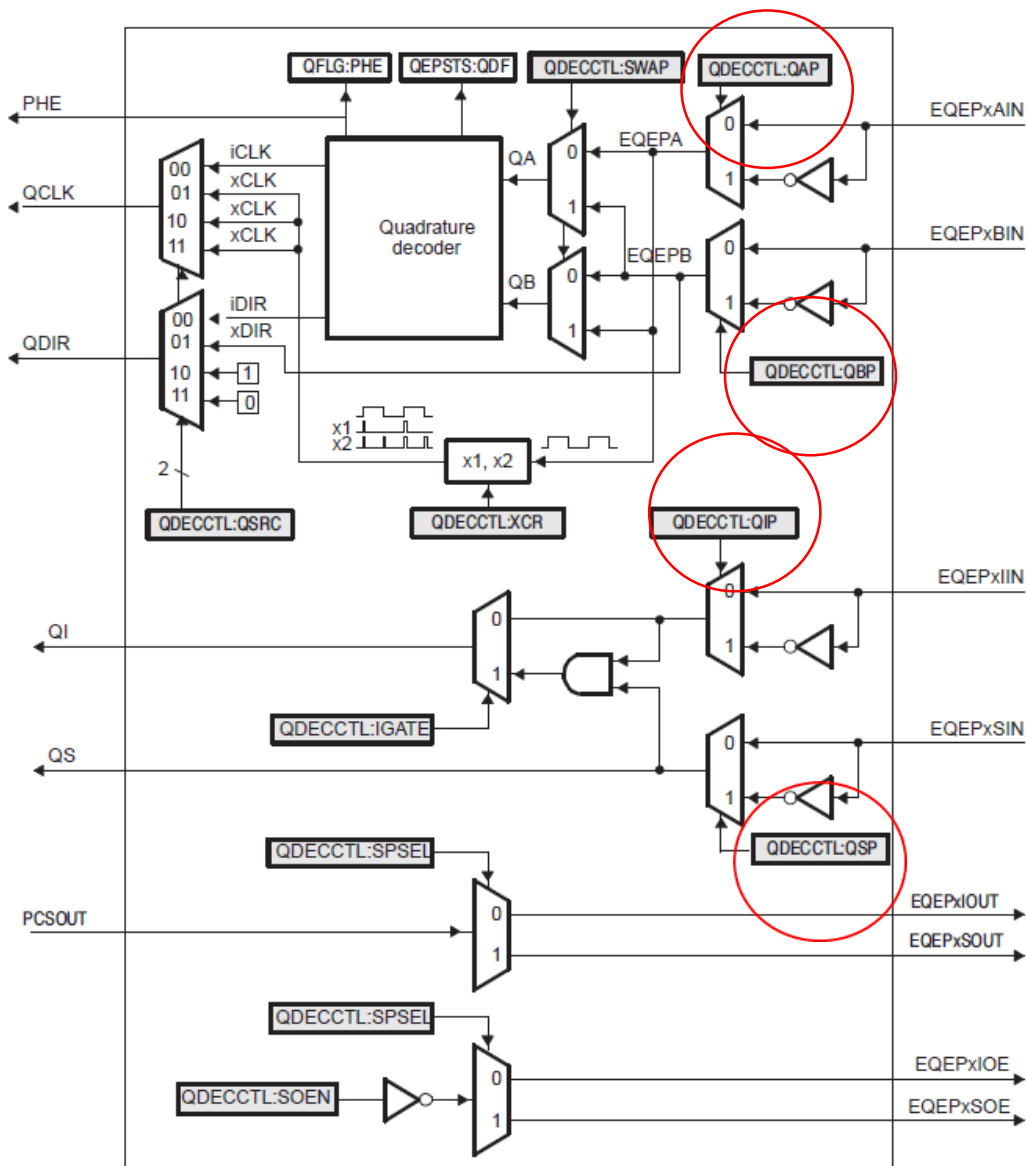


01、10、11模式，QCLK频率由  
**QDECCTL: XCR**控制。

11	XCR	0	External clock rate
		1	2x resolution: Count the rising/falling edge
		1	1x resolution: Count the rising edge only

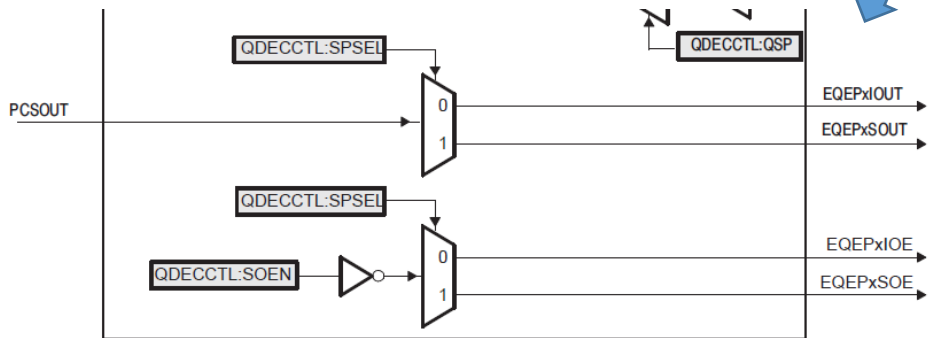
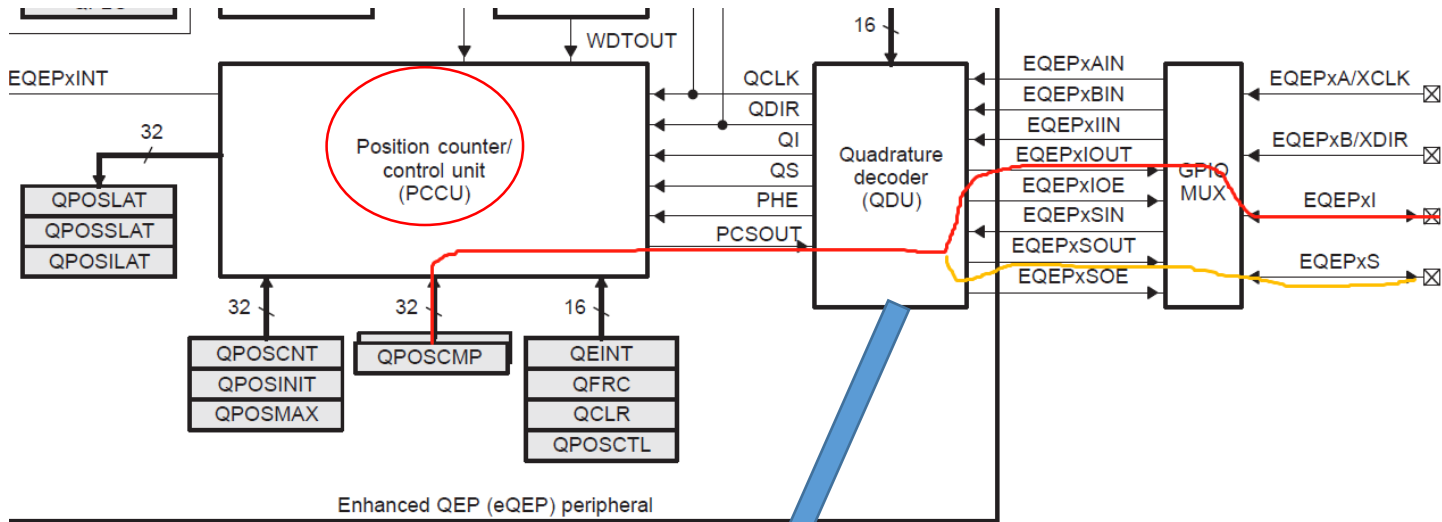
# eQEP输入极性选择

输入信号可通过QDECCTL[8:5]进行取反。



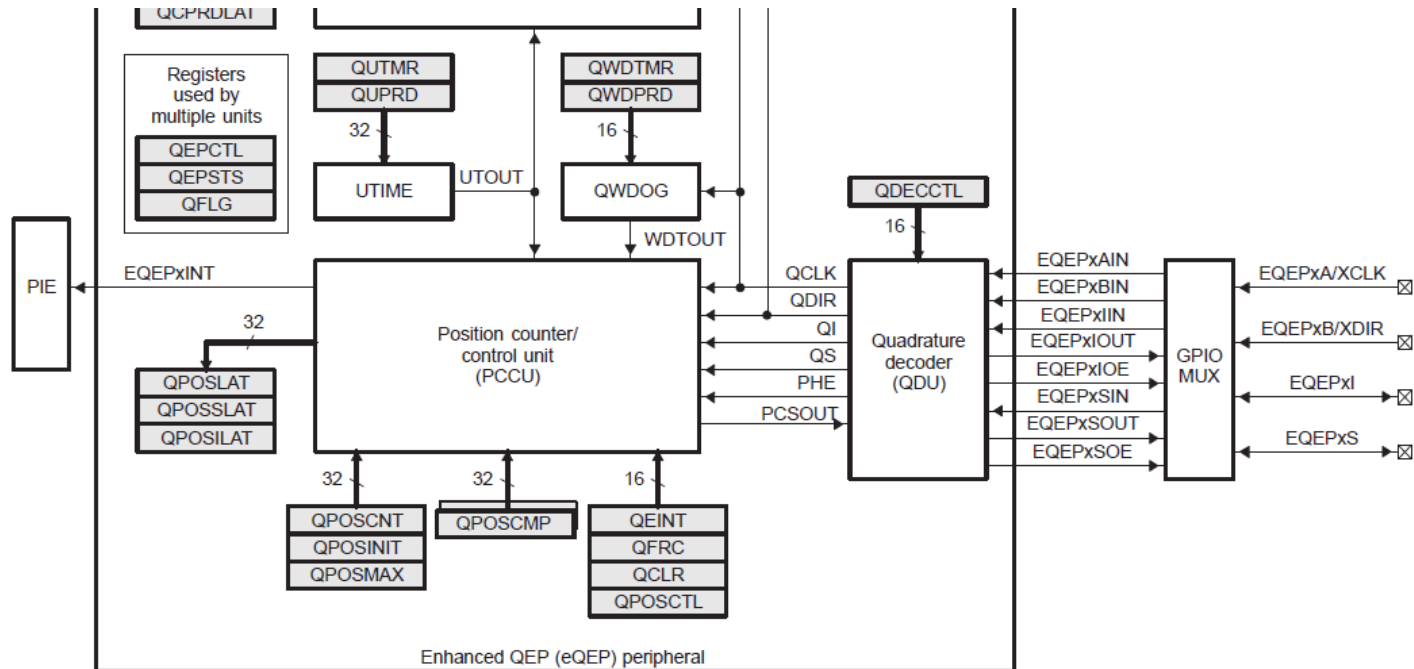
8	QAP	0	QEPA input polarity
		1	Negates QEPA input
7	QBP	0	QEPB input polarity
		1	Negates QEPB input
6	QIP	0	QEPI input polarity
		1	Negates QEPI input
5	QSP	0	QEPS input polarity
		1	Negates QEPS input

# 位置比较同步输出功能



13	SOEN	0	Sync output-enable
		1	Disable position-compare sync output
12	SPSEL	0	Index pin is used for sync output
		1	Strobe pin is used for sync output

# 2.2 位置计数器及控制单元PCCU



# 位置计数器的运行模式

1. 在索引事件到来时，位置计数器复位 (QEPCTL [PCRM]=00)；
2. 在计数值达到设定最大值时，位置计数器复位 (QEPCTL [PCRM]=01)；
3. 第一个索引事件到来时，位置计数器复位 (QEPCTL [PCRM]=10)；
4. 在定时事件到达时，位置计数器复位 (QEPCTL [PCRM]=11)。

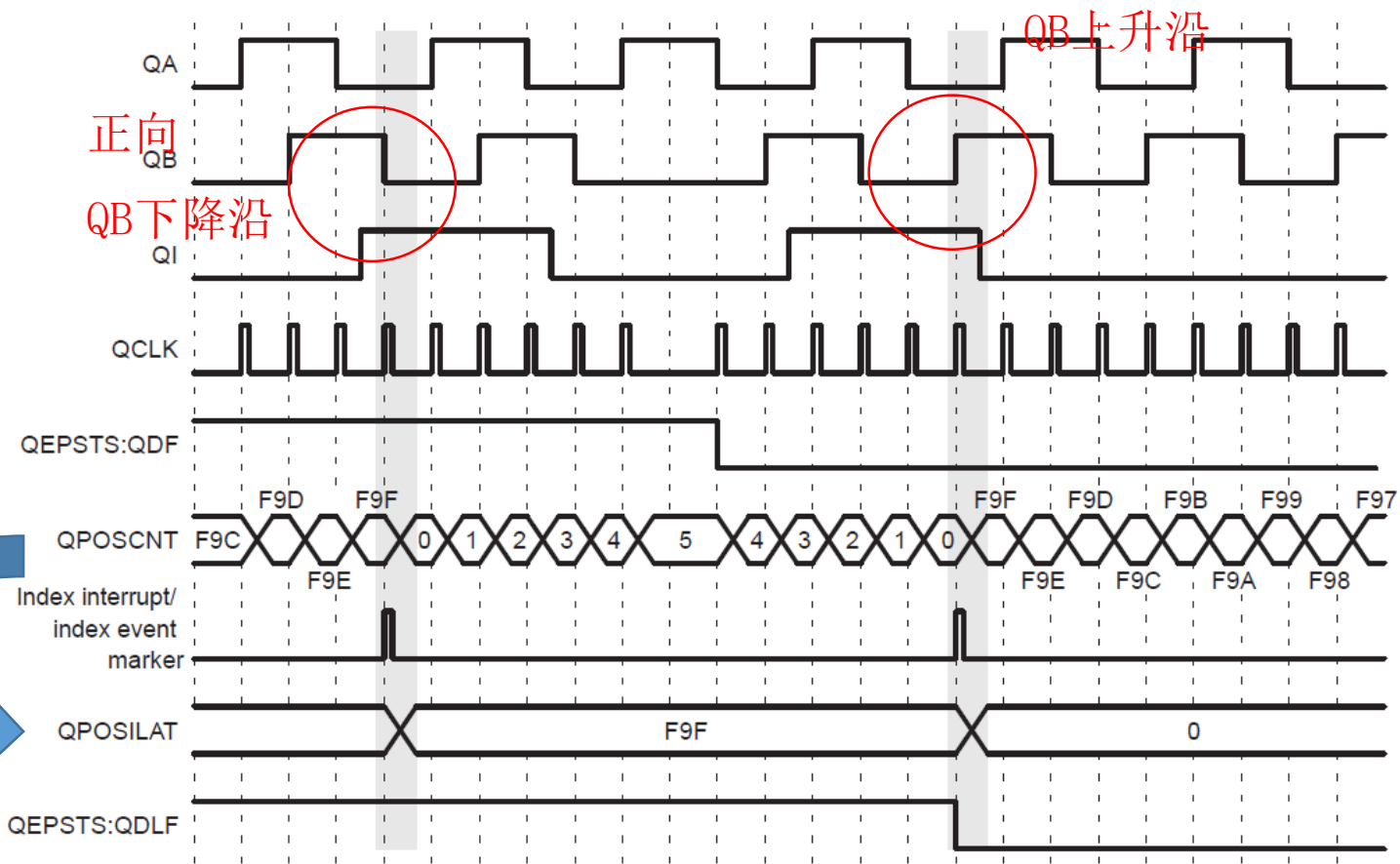
13-12	PCRM		Position counter reset mode
		00	Position counter reset on an index event
		01	Position counter reset on the maximum position
		10	Position counter reset on the first index event
		11	Position counter reset on a unit time event



# 位置计数器的运行模式

- 在索引事件到来时，位置计数器复位 (QEPCNT[PCRM]=00)；First index marker is defined as the quadrature edge following the first index edge。Position Counter Reset by Index Pulse for 1000 Line Encoder (QPOSMAX = 3999 or 0xF9F) 反向

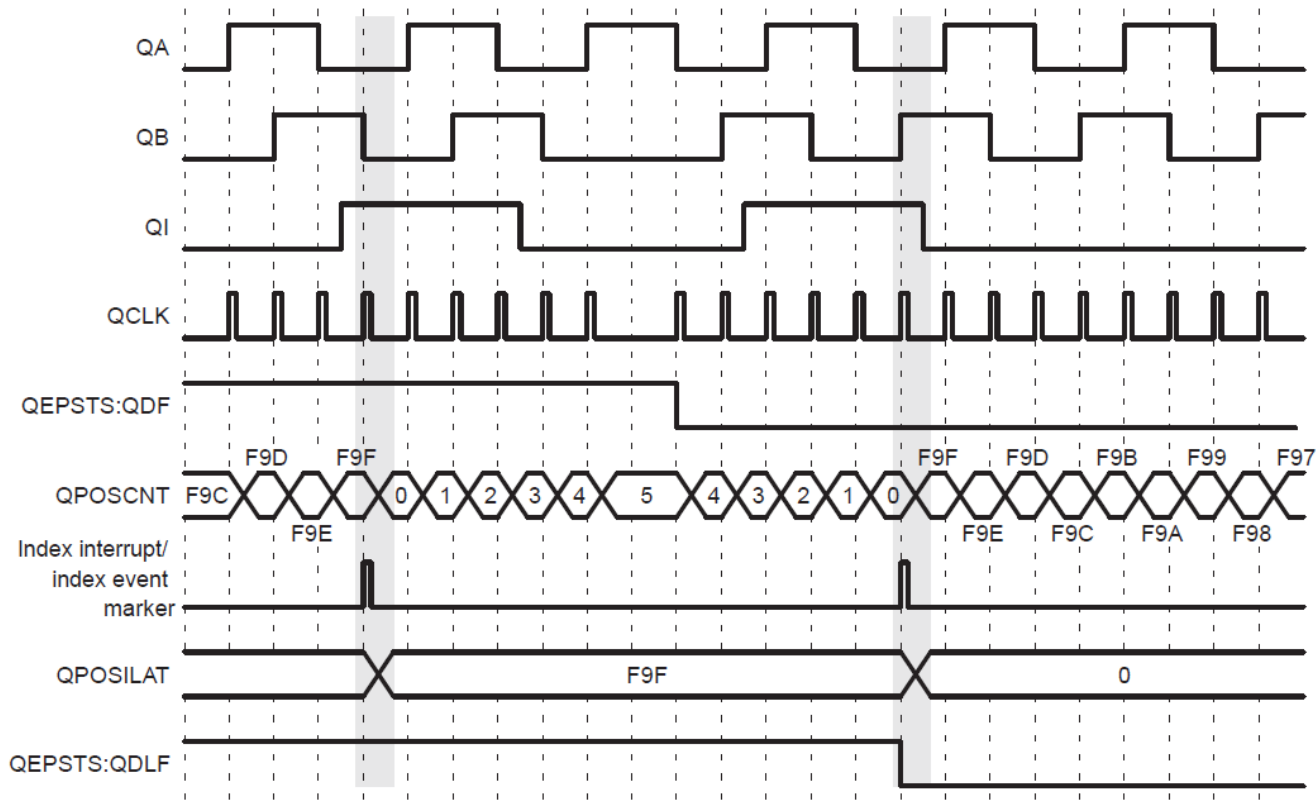
如果QPOSILAT  
不等于0或  
QPOSMAX，报错。



# 位置计数器的运行模式

1. 在索引事件到来时，位置计数器复位 (QEPCNTL[PCRM]=00); Position Counter Reset by Index Pulse for 1000 Line Encoder (QPOSILAT = 3999 or 0xF9F)

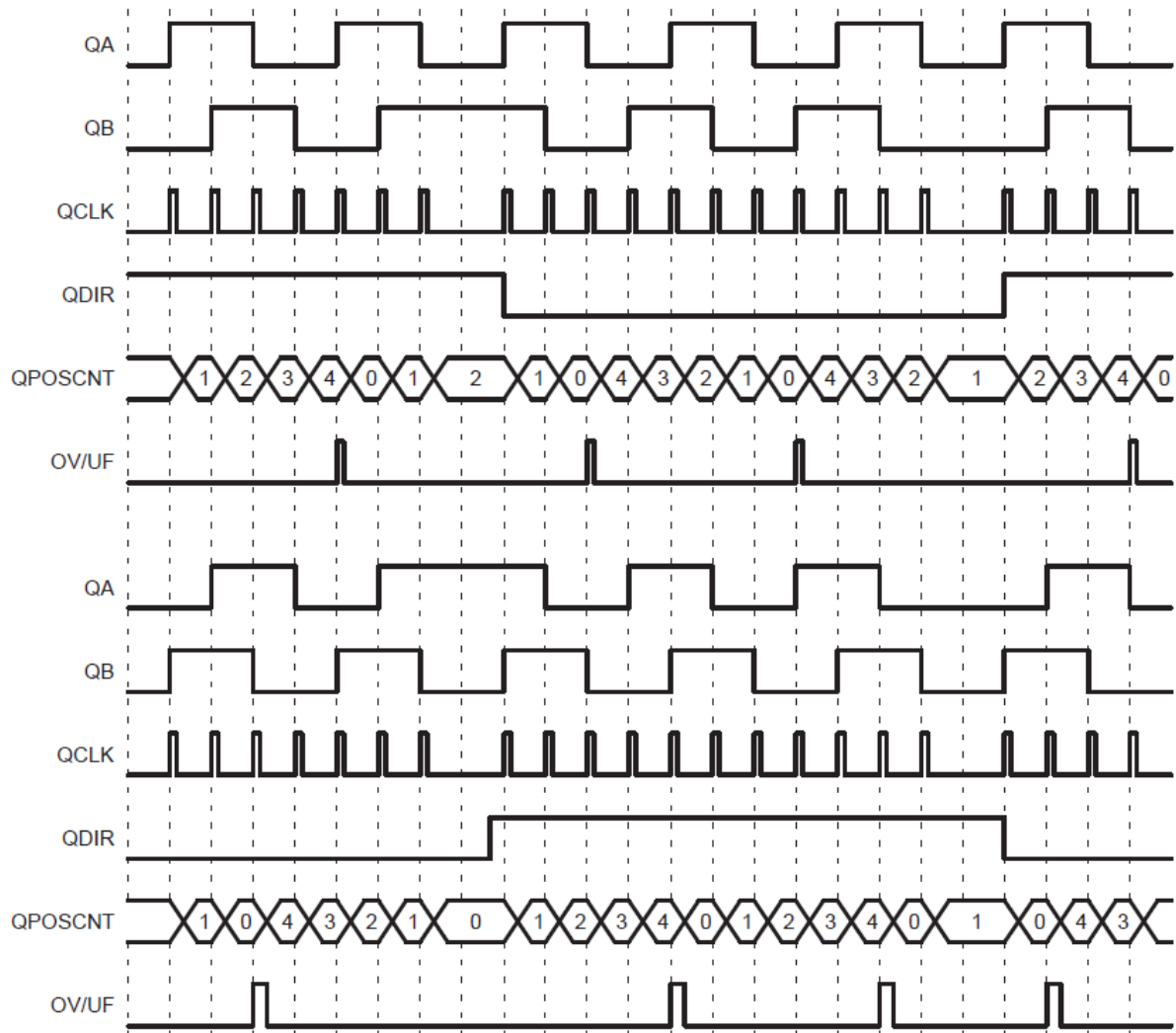
QPOSILAT中不一定是0或MAX，那不是总会报错？（QI不一定每次出现在0或max）



# 位置计数器的运行模式

- 2. 在计数值达到设定最大值时，位置计数器复位(QEPCTL[PCRM]=01)；

Position Counter Underflow/Overflow (QPOSMAX = 4)



# 位置计数器的运行模式

3. 第一个索引事件到来时，位置计数器复位 (QEPCTL[PCRM]=10)；  
    仅在第一次索引脉冲信号到来时复位，之后同第二种运行模式。
4. 在定时事件到达时，位置计数器复位 (QEPCTL[PCRM]=11)。

# 位置计数器的锁存

## 1. 索引事件锁存

- ① 上升沿锁存 (QEPCTL[IEL]=01) ;
- ② 下降沿锁存 (QEPCTL[IEL]=10) ;
- ③ 索引事件标识锁存 (QEPCTL[IEL]=11) 。

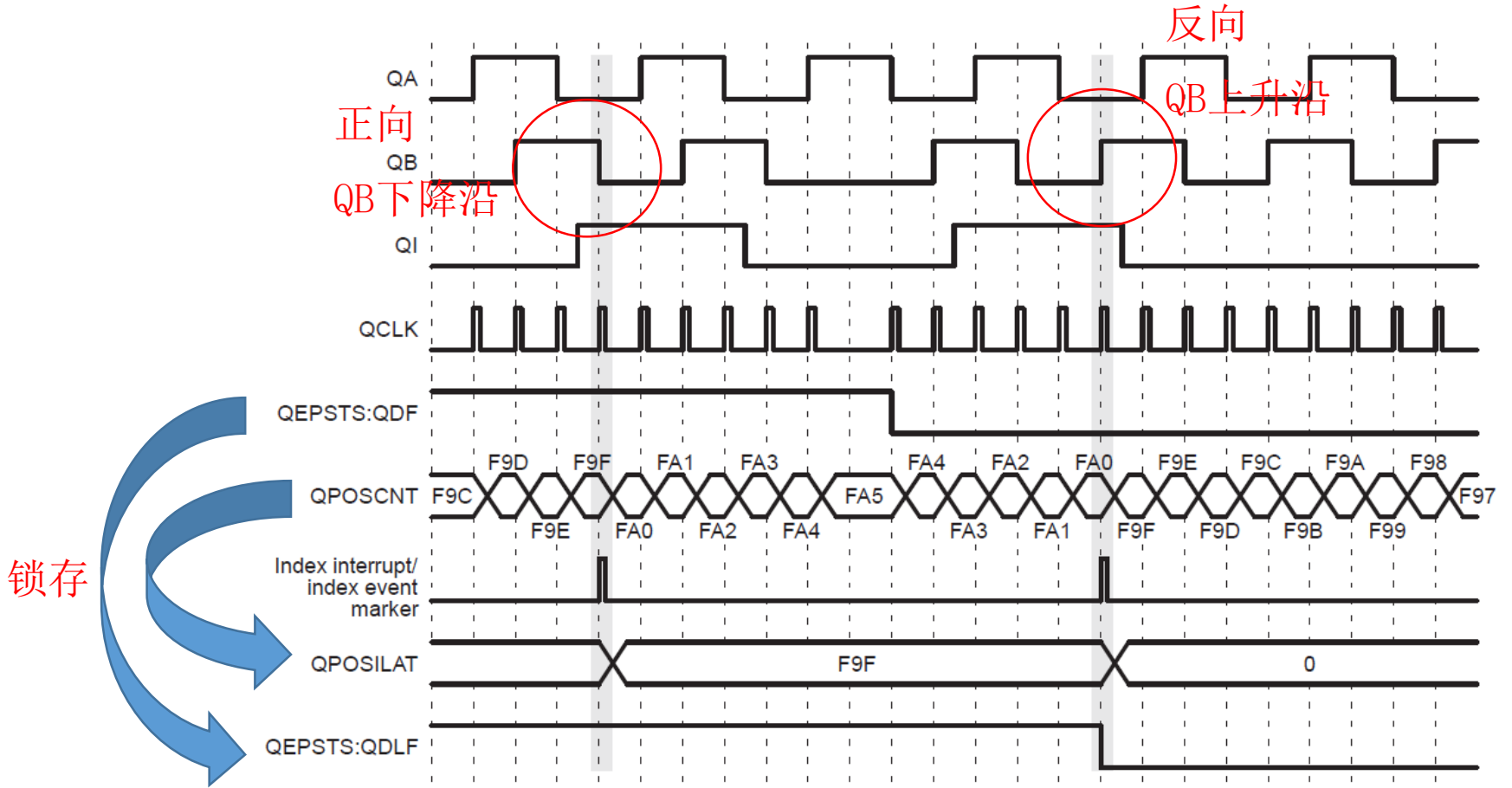
## 2. 提示事件锁存

5-4	IEL		Index event latch of position counter (software index marker)
		00	Reserved
		01	Latches position counter on rising edge of the index signal
		10	Latches position counter on falling edge of the index signal
		11	Software index marker. Latches the position counter and quadrature direction flag on index event marker. The position counter is latched to the QPOSILAT register and the direction flag is latched in the QEPSTS[QDLF] bit. This mode is useful for software index marking.

# 位置计数器的锁存

## 1. 索引事件锁存

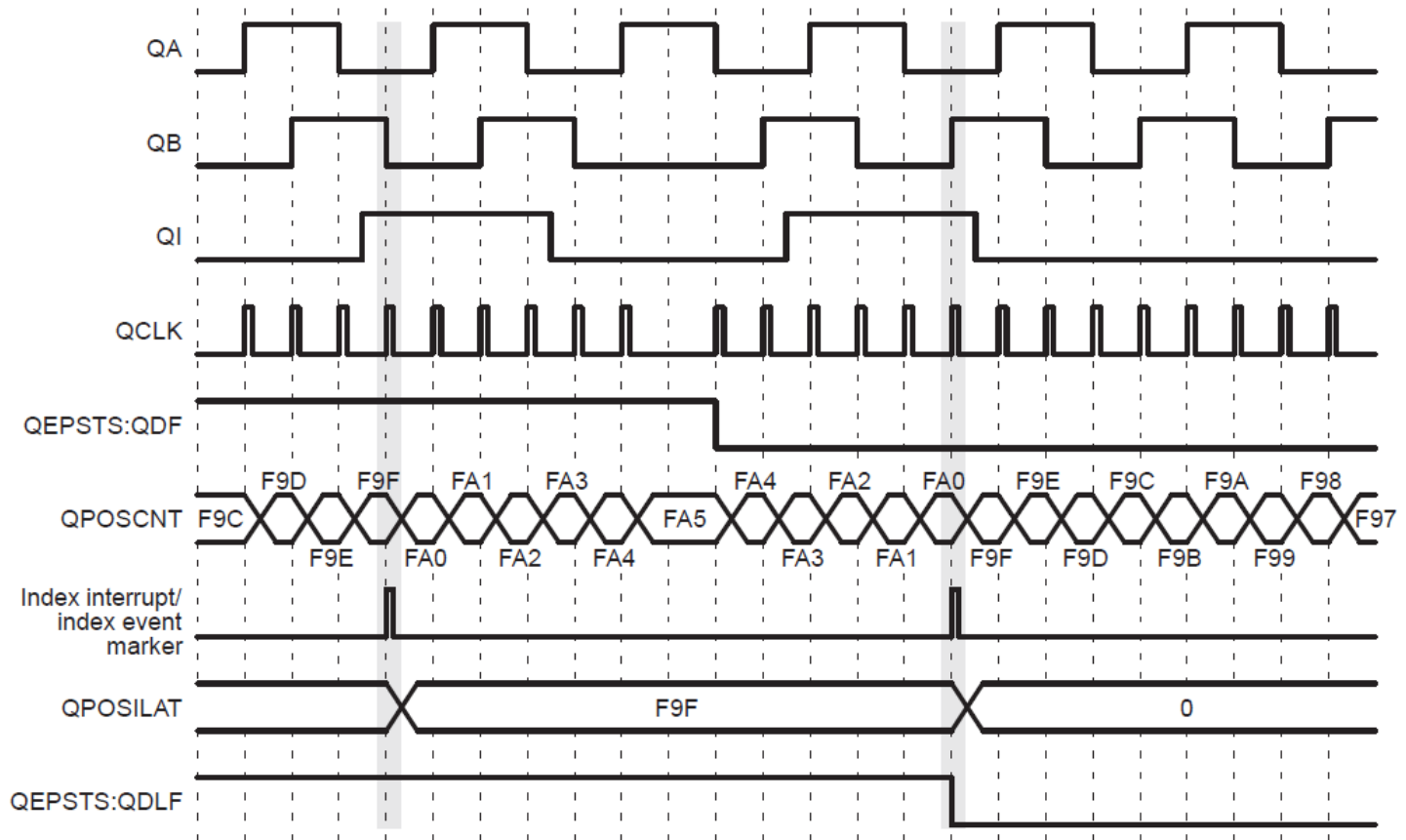
③ 索引事件标识锁存 (QEPCTL[IEL]=11), QFLG[IEL]被置位。



# 位置计数器的锁存

## 1. 索引事件锁存

③ 索引事件标识锁存 (QEPCTL[IEL]=11) 作为**错误检查机制**是很有用的。

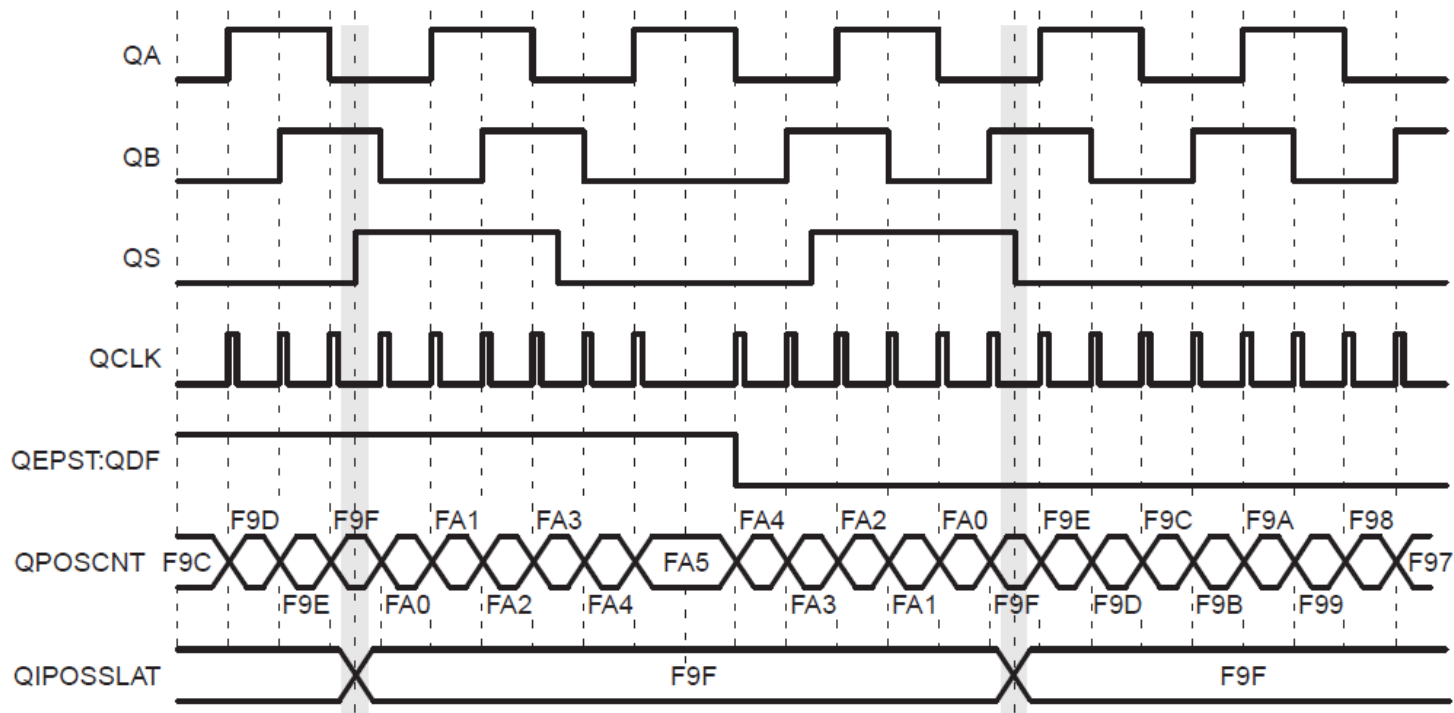




# 位置计数器的锁存

## 2. 提示事件锁存

6	SEL		<p>Strobe event latch of position counter</p> <p>0 The position counter is latched on the rising edge of QEPS strobe (QPOSSLAT = POSCCNT). Latching on the falling edge can be done by inverting the strobe input using the QSP bit in the QDECCTL register.</p> <p>1 Clockwise Direction: Position counter is latched on rising edge of QEPS strobe Counter Clockwise Direction: Position counter is latched on falling edge of QEPS strobe</p>
---	-----	--	--

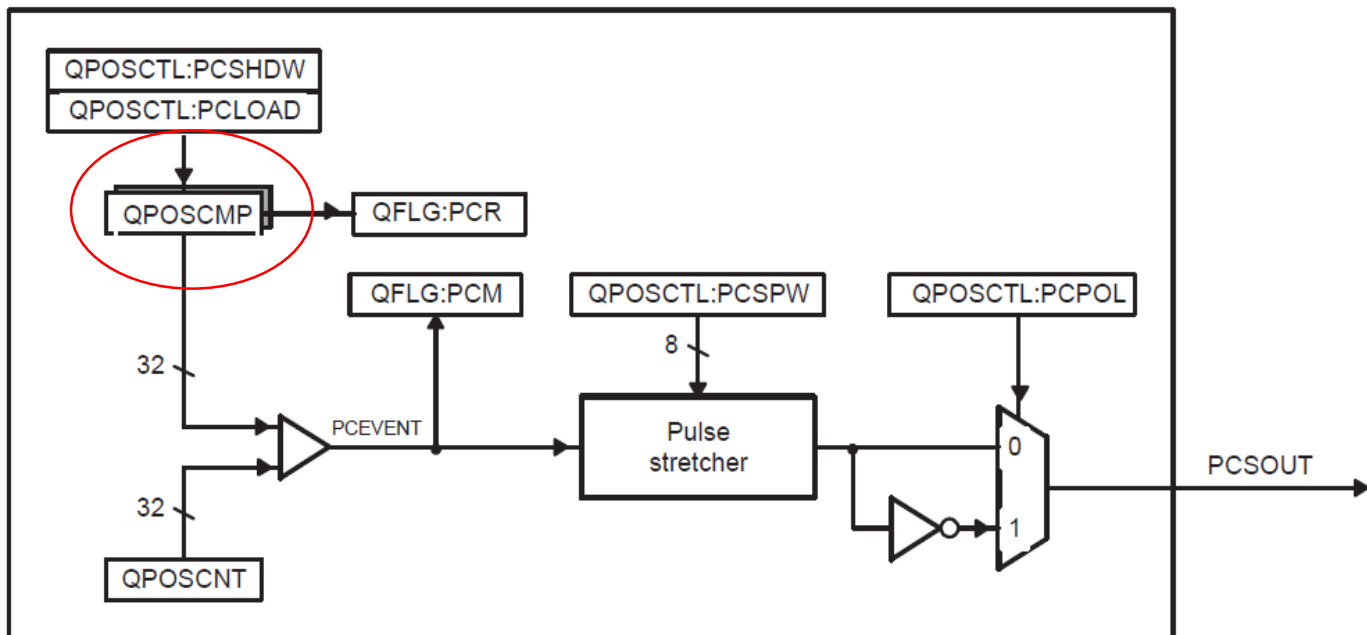


# eQEP位置比较单元

匹配时产生同步输出信号或中断信号

QPOSCMP

Shadow register

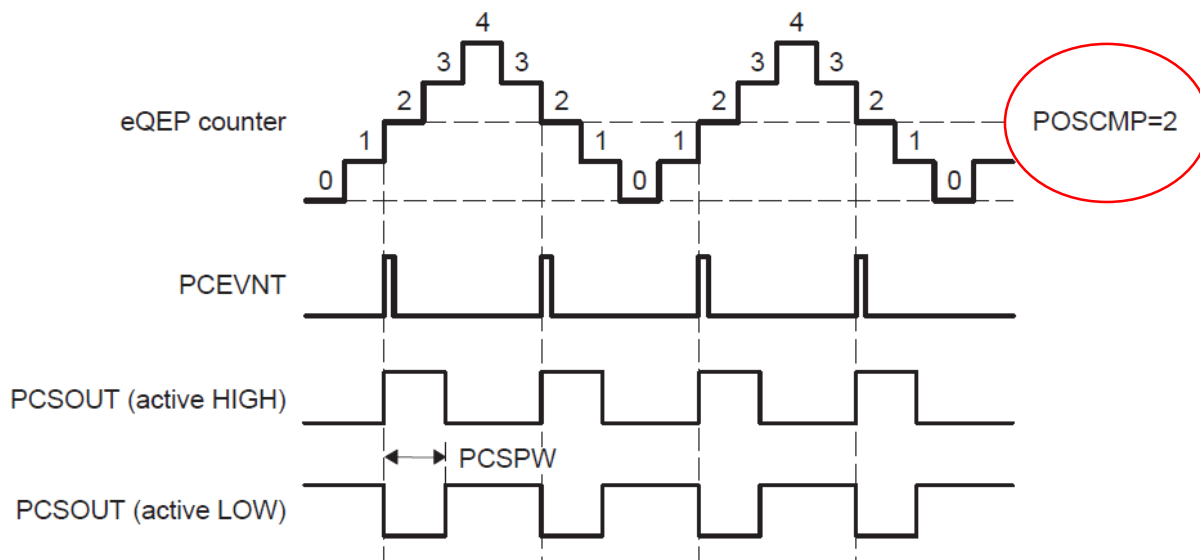
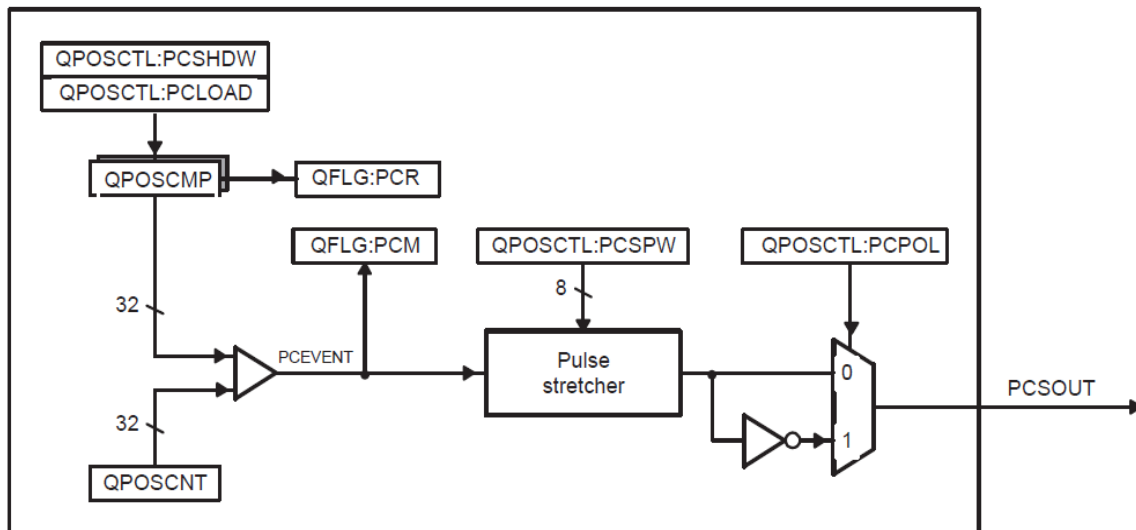


15	PCSHDW	0	Position-compare shadow enable Shadow disabled, load Immediate
		1	Shadow enabled
14	PCLOAD	0	Position-compare shadow load mode Load on QPOSCNT = 0
		1	Load when QPOSCNT = QPOSCMP

13	PCPOL	0	Polarity of sync output Active HIGH pulse output
		1	Active LOW pulse output
12	PCE	0	Position-compare enable/disable Disable position compare unit
		1	Enable position compare unit
11-0	PCSPW	0x000	Select-position-compare sync output pulse width 1 * 4 * SYSCLKOUT cycles
		0x001	2 * 4 * SYSCLKOUT cycles
		0xFFFF	4096 * 4 * SYSCLKOUT cycles

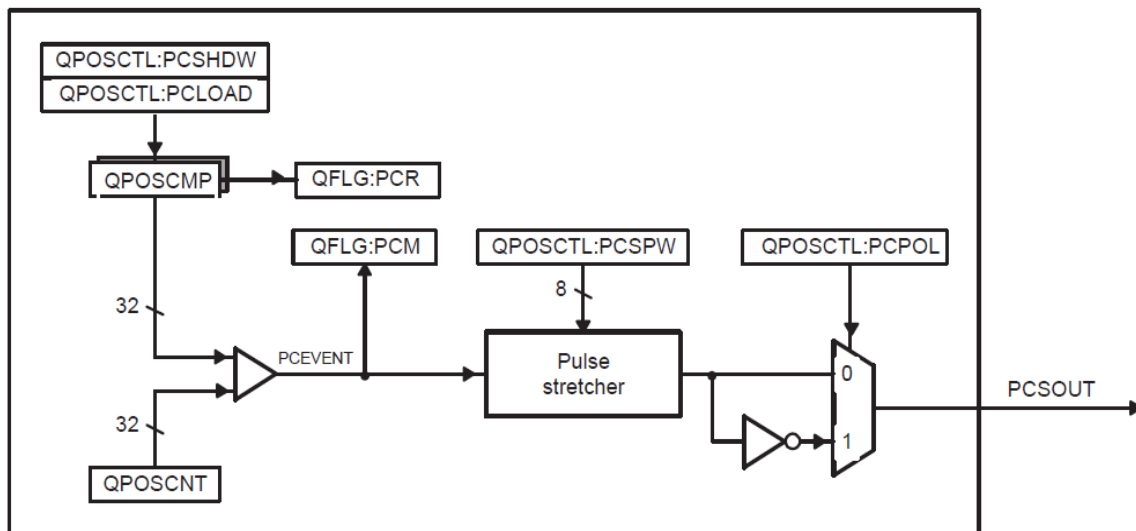
# eQEP位置比较单元

匹配时产生同步输出信号或中断信号

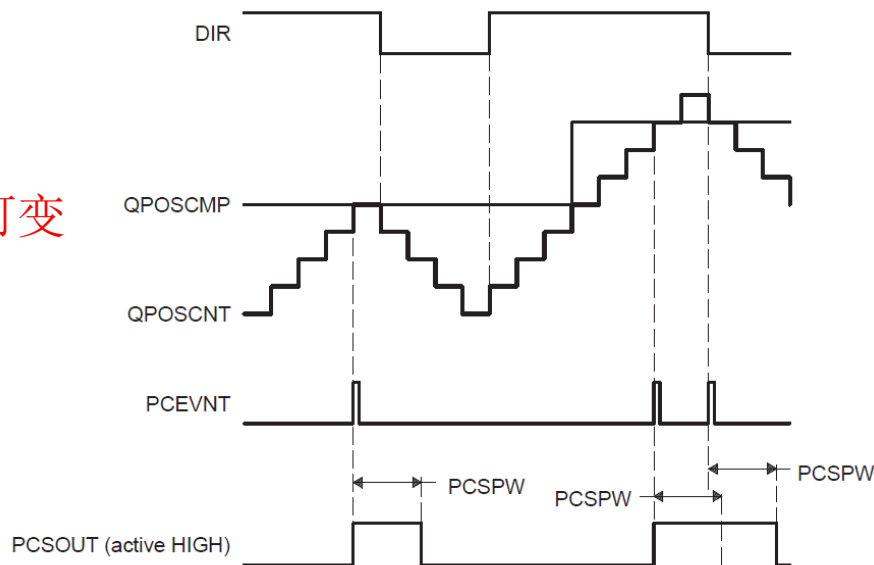


# eQEP位置比较单元

匹配时产生同步输出信号或中断信号



QPOSCMP可变



可不可以用来  
产生PWM脉冲？

## 2.3 边沿捕获单元QCAP

eQEP模块包括一个集成的边沿捕获单元来测量转速，其中针对**低速**和**高速**，此单元提供了两种方式进行计算。

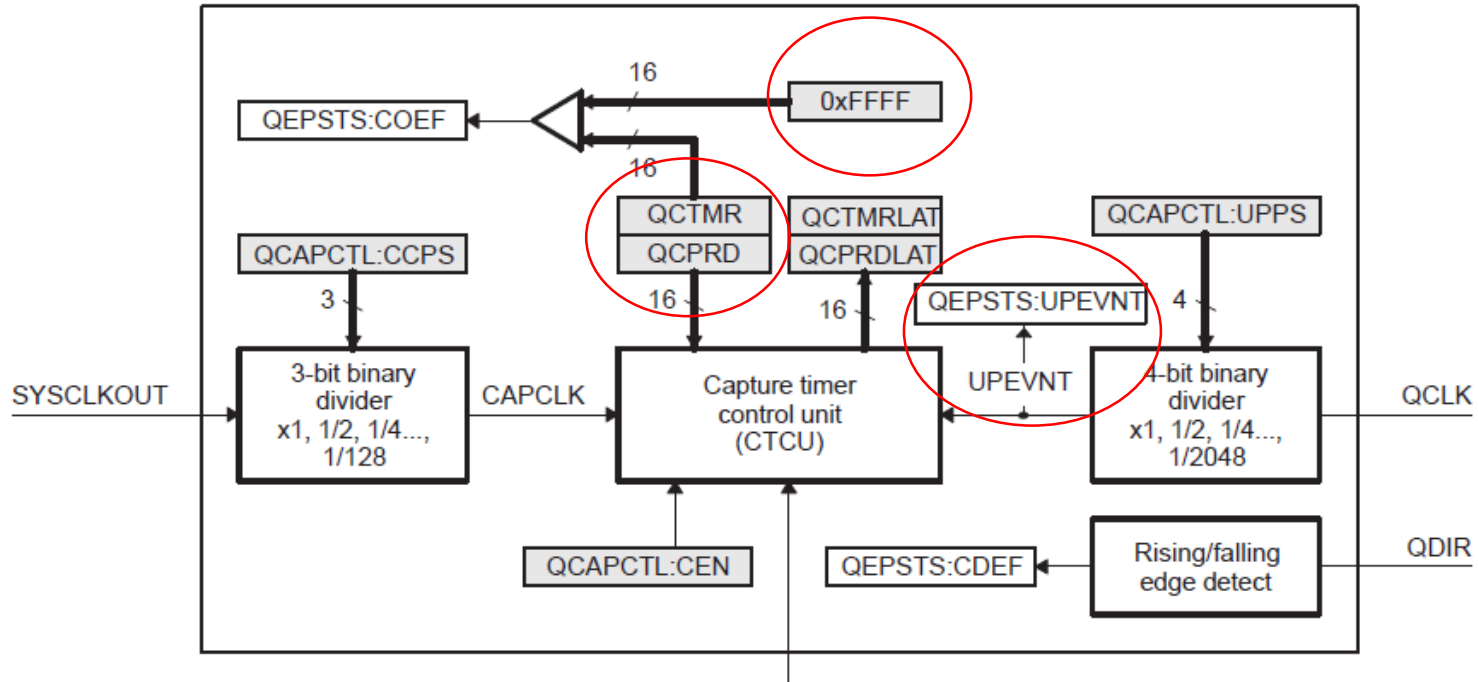
1. 低速测量公式（T法）：固定位置变化量读取所需时间。

$$v(k) \approx \frac{X}{t(k) - t(k - 1)} = \frac{X}{\Delta T}$$

2. 高速测量公式（M法）：固定时间读取位置变化量。

$$v(k) \approx \frac{x(k) - x(k - 1)}{T} = \frac{\Delta X}{T}$$

1. 低速测量公式（T法）：固定位置变化量读取所需时间。

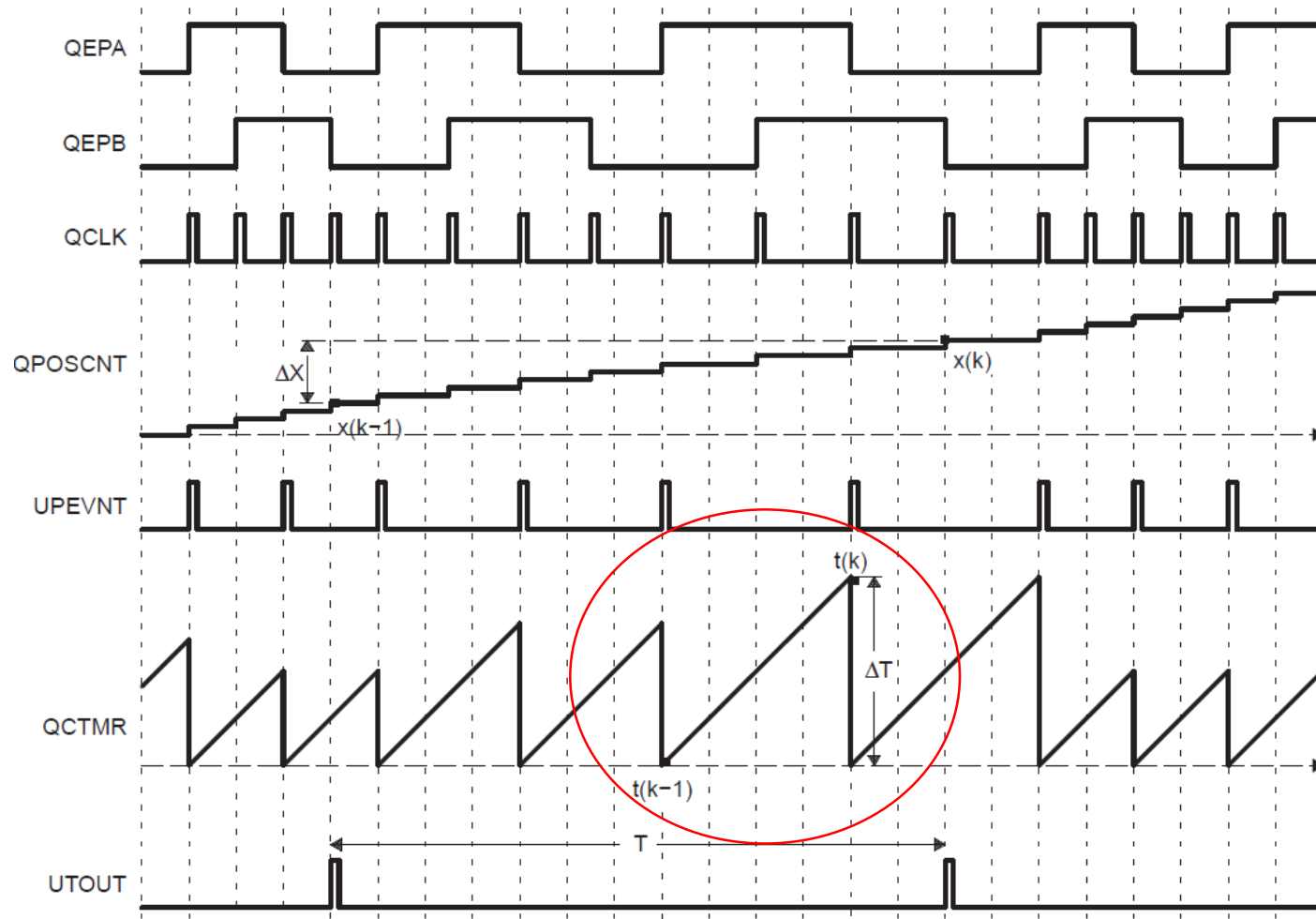


条件一：捕获定时器QCTMR不能超过65535。

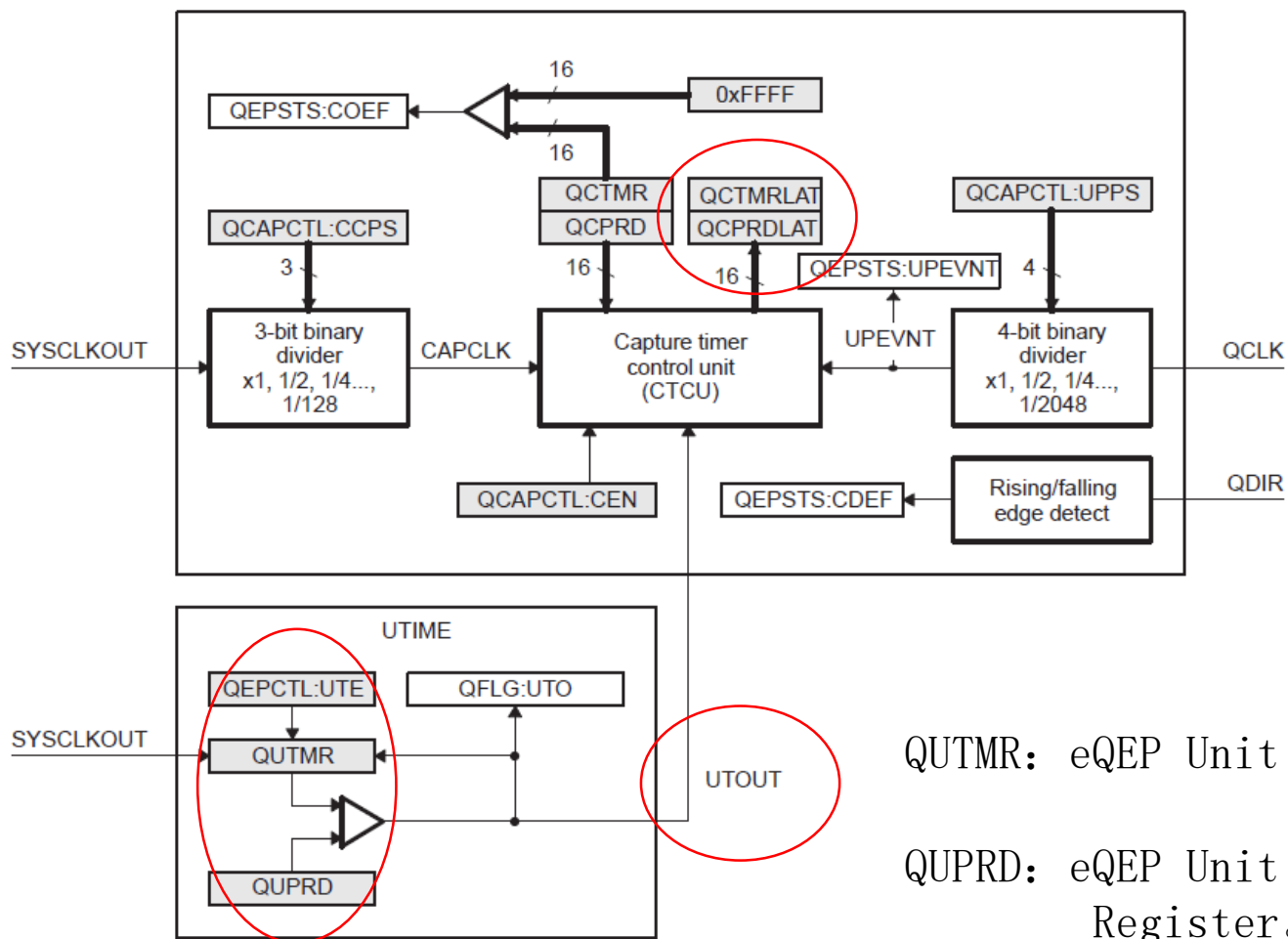
条件二：没有换向发生。

如果上述条件不满足时，定时器上溢时，捕获单元的错误标志位QEPSTS[COEF]会置1，如果两个单元位置事件发生方向变化，则状态寄存器QEPSTS[CDEF]错误标识被置位。

1. 低速测量公式（T法）：固定位置变化量读取所需时间。



## 2. 高速测量公式（M法）：固定时间读取位置变化量。



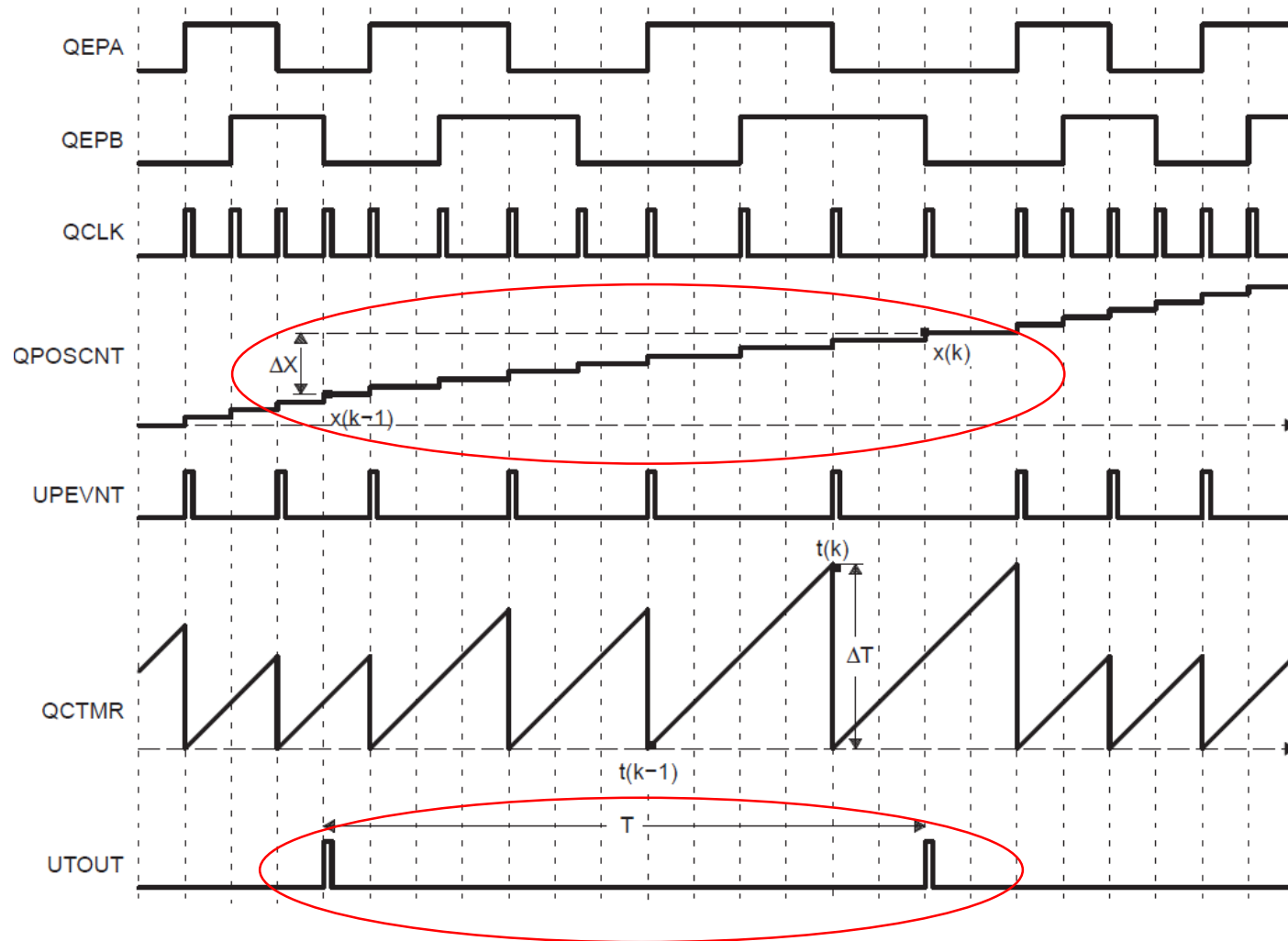
事件一：CPU读取QPOSCNT寄存器。

事件二：单位时间事件发生。

事件一和二时，QPOSCNT被锁存。

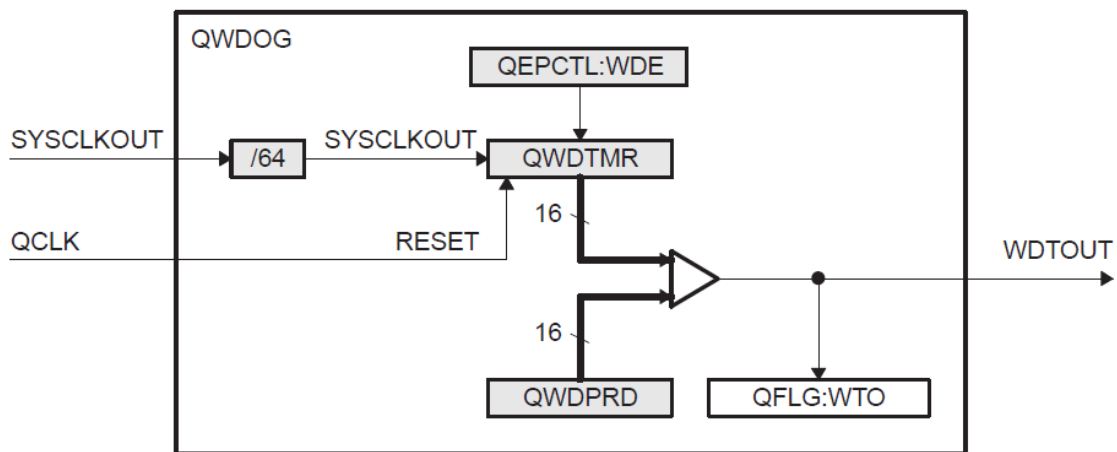


## 2. 高速测量公式（M法）：固定时间读取位置变化量。



## 2.4 eQEP看门狗电路

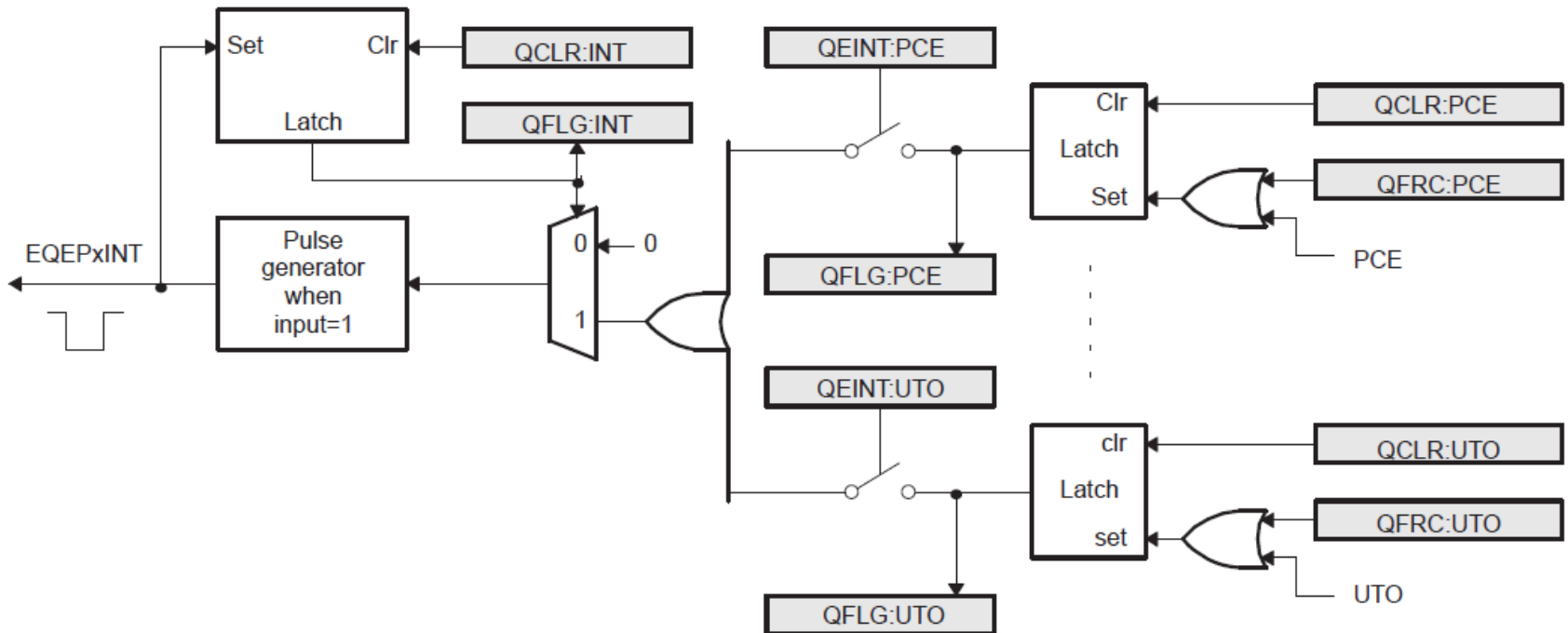
eQEP包括一个16位的看门狗计时器，用来监测正交编码脉冲状态。若有正交编码脉冲到来，看门狗计时器可以复位，如果正交编码脉冲没有到来，当看门狗计时器的值与其周期寄存器的值匹配时，可以产生中断信号给CPU。该看门狗单元可以通过软件使能或者禁止。



0	WDE	0	eQEP watchdog enable Disable the eQEP watchdog timer
		1	Enable the eQEP watchdog timer
4	WTO	0	Watchdog timeout interrupt flag No interrupt generated
		1	Set by watch dog timeout

## 2.5 eQEP中断结构

eQEP一共可以产生11个中断事件（PCE、PHE、QDC、WTO、PCU、PCO、PCR、PCM、SEL、IEL、UTO）。这些中断可以通过中断控制寄存器QEINT来设置使能或者禁止。如果有任一中断使能，那么中断源会产生中断脉冲送给PIE模块，进而送给CPU。这些中断标志可以通过中断清除寄存器QCLR来清除。而且还可以通过中断强制寄存器QFRC来软件强制中断事件，这样对系统测试比较有利。



# 第十讲：增强型正交编码模块eQEP

1、概述

2、eQEP的功能单元

 3、eQEP寄存器

# eQEP的寄存器

寄存器名称	地址单元（偏移量）	大小（×16bit）	寄存器说明
QPOSCNT	0x00	2	位置计数器
QPOSINIT	0x02	2	位置计数器初始化寄存器
QPOSMAX	0x04	2	位置寄存器最大值寄存器
QPOSCMP	0x06	2	位置比较寄存器
QPOSILAT	0x08	2	索引事件位置锁存寄存器
QPOSSLAT	0x0A	2	提示事件位置锁存寄存器
QOSLAT	0x0C	2	位置锁存寄存器
QUTMR	0x0E	2	定时器基准单元寄存器
QUPRD	0x10	2	定时器基准单元周期寄存器
QWDTMR	0x12	1	看门狗定时器
QWDPRD	0x13	1	看门狗周期寄存器
QDECCTL	0x14	1	正交解码单元控制寄存器
QEPCTL	0x15	1	eQEP控制寄存器
QCALCTL	0x16	1	捕获控制寄存器
QPOSCTL	0x17	1	位置比较控制寄存器
QEINT	0x18	1	中断使能寄存器
QFLG	0x19	1	中断标志位寄存器
QCLR	0x1A	1	中断清除寄存器
QFRC	0x1B	1	强制中断寄存器
QEPSTS	0x1C	1	eQEP状态寄存器
QCTMR	0x1D	1	捕获定时器
QCPRD	0x1E	1	捕获周期寄存器
QCTMRLAT	0x1F	1	捕获时间锁存器
QCPRDLAT	0x20	1	捕获周期锁存器

谢谢