TI DSP, MCU 및 Xilinx Zynq FPGA 프로그래밍 전문가 과정

(eQEP 엔코더 속도측정)

학생 - 문한나

mhn97@naver.com

학생 – 장성환

redmk1025@gmail.com

eQEP

- **저속측정**

34.2.2.4 eQEP Edge Capture Unit

The eQEP peripheral includes an integrated edge capture unit to measure the elapsed time between the unit position events as shown in Figure 34-15. This feature is typically used for low speed measurement using the following equation:

$$v(k) = \frac{X}{t(k) - t(k-1)} = \frac{X}{\Delta T} \quad (70)$$

where,

- X - Unit position is defined by integer multiple of quadrature edges (see Figure 34-16)
- ΔT - Elapsed time between unit position events
- v(k) - Velocity at time instant "k"

고정된 단위 시간 이벤트(거리)를 기준으로 두고, 단위 위치 이벤트 간의 경과 시간을 구하여 속도를 구하는 방법이다.

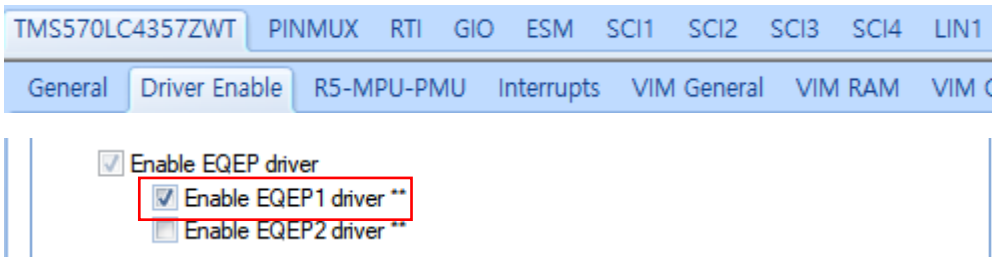
주의할 점은 위치 이벤트 사이의 주기 카운트 값이 65,535를 넘지 않아야 하며, 방향이 변경되어서는 안된다. 만약 오버플로우가 발생하거나 위치 이벤트 간 방향이 변경되면 상태 플래그에 오류 플래그가 설정된다. (QEPSTS [CDEF])

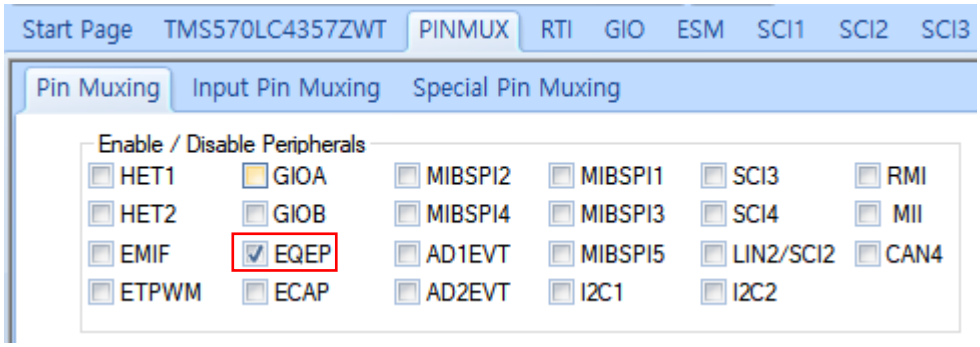
X : 고정된 단위 시간 이벤트

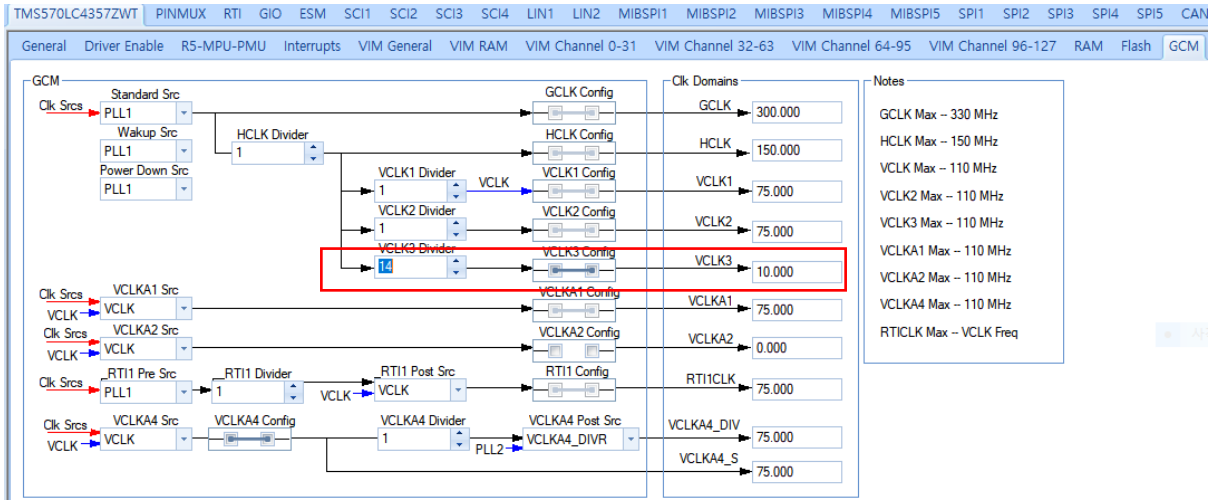
ΔT : 위치 이벤트 사이의 주기 카운트 값

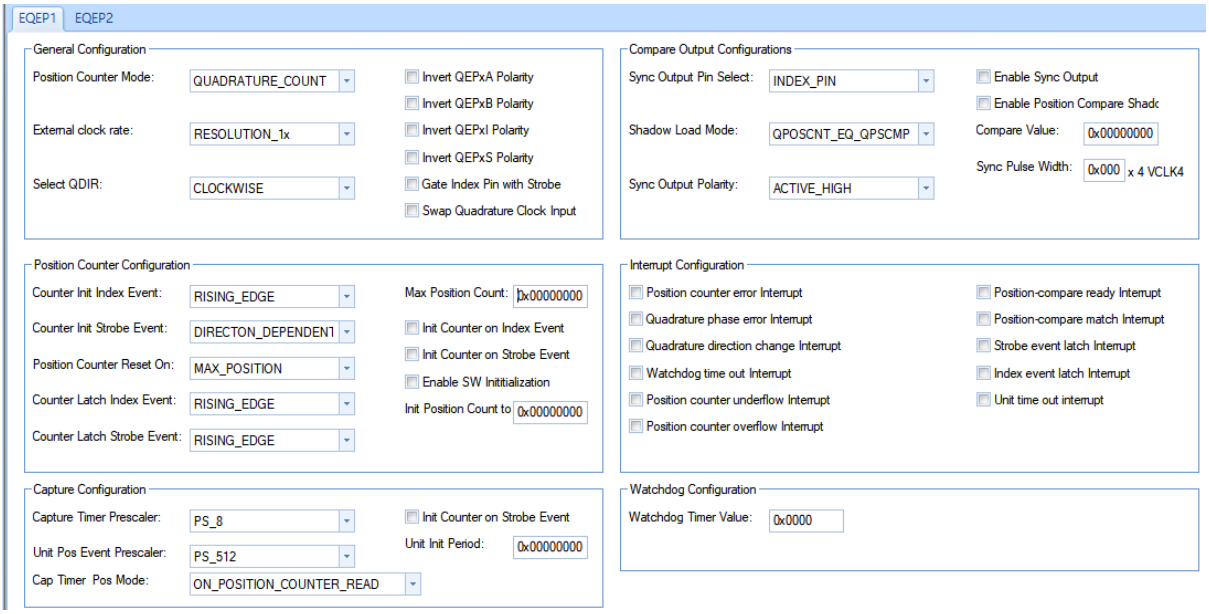
v (k) : 시간 "k"에서의 속도

HCG 설정


TMS570LC4357ZWT
PINMUX
RTI
GIO
ESM
SCI1
SCI2
SCI3
SCI4
LIN1
General
Driver Enable
R5-MPU-PMU
Interrupts
VIM General
VIM RAM
Enable EQEP driver
Enable EQEP1 driver **
Enable EQEP2 driver **


Start Page
TMS570LC4357ZWT
PINMUX
RTI
GIO
ESM
SCI1
SCI2
SCI3
Pin Muxing
Input Pin Muxing
Special Pin Muxing
Enable / Disable Peripherals
HET1
HET2
EMIF
ETPWM
GIOA
GIOB
EQEP
ECAP
MIBSPI2
MIBSPI4
AD1EVT
AD2EVT
MIBSPI1
MIBSPI3
MIBSPI5
I2C1
SCI3
SCI4
LIN2/SCI2
I2C2
RMI
MII
CAN4

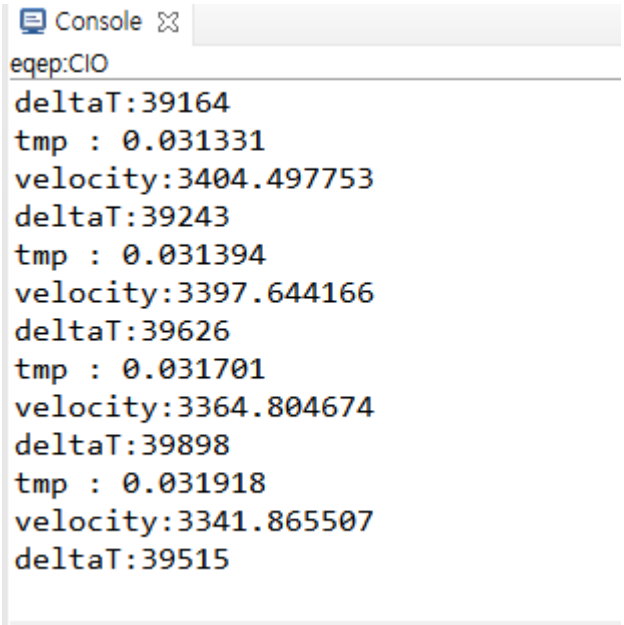

TMS570LC4357ZWT
PINMUX
RTI
GIO
ESM
SCI1
SCI2
SCI3
SCI4
LIN1
LIN2
MIBSPI1
MIBSPI2
MIBSPI3
MIBSPI4
MIBSPI5
SPI1
SPI2
SPI3
SPI4
SPI5
General
Driver Enable
R5-MPU-PMU
Interrupts
VIM General
VIM RAM
VIM Channel 0-31
VIM Channel 32-63
VIM Channel 64-95
VIM Channel 96-127
RAM
Flash
GCM
GCM
Clk Srcs
Standard Src
PLL1
Wakup Src
Power Down Src
HCLK Divider
VCLK1 Divider
VCLK2 Divider
VCLK3 Divider
VCLK
GCLK Config
HCLK Config
VCLK1 Config
VCLK2 Config
VCLK3 Config
VCLKA1 Src
VCLKA1 Config
VCLKA2 Src
VCLKA2 Config
RTI1 Pre Src
RTI1 Divider
RTI1 Post Src
RTI1 Config
VCLKA4 Src
VCLKA4 Config
VCLKA4 Divider
VCLKA4 Post Src
VCLKA4_DIVR
PLL2
Clk Domains
GCLK
300.000
HCLK
150.000
VCLK1
75.000
VCLK2
75.000
VCLK3
10.000
VCLKA1
75.000
VCLKA2
0.000
RTI1CLK
75.000
VCLKA4_DIV
75.000
VCLKA4_S
75.000
Notes
GCLK Max -- 330 MHz
HCLK Max -- 150 MHz
VCLK Max -- 110 MHz
VCLK2 Max -- 110 MHz
VCLK3 Max -- 110 MHz
VCLKA1 Max -- 110 MHz
VCLKA2 Max -- 110 MHz
VCLKA4 Max -- 110 MHz
RTICLK Max -- VCLK Freq


EQEP1
EQEP2
General Configuration
Position Counter Mode:
QUADRATURE_COUNT
External clock rate:
RESOLUTION_1x
Select QDIR:
CLOCKWISE
Invert QEPxA Polarity
Invert QEPxB Polarity
Invert QEPxI Polarity
Invert QEPxS Polarity
Gate Index Pin with Strobe
Swap Quadrature Clock Input
Compare Output Configurations
Sync Output Pin Select:
INDEX_PIN
Shadow Load Mode:
QPOSCNT_EQ_QPSCMP
Sync Output Polarity:
ACTIVE_HIGH
Enable Sync Output
Enable Position Compare Shadc
Compare Value:
0x00000000
Sync Pulse Width:
0x000
x 4 VCLK4
Position Counter Configuration
Counter Init Index Event:
RISING_EDGE
Counter Init Strobe Event:
DIRECTON_DEPENDENT
Position Counter Reset On:
MAX_POSITION
Counter Latch Index Event:
RISING_EDGE
Counter Latch Strobe Event:
RISING_EDGE
Max Position Count:
0x00000000
Init Counter on Index Event
Init Counter on Strobe Event
Enable SW Initialization
Init Position Count to
0x00000000
Interrupt Configuration
Position counter error Interrupt
Quadrature phase error Interrupt
Quadrature direction change Interrupt
Watchdog time out Interrupt
Position counter underflow Interrupt
Position counter overflow Interrupt
Position-compare ready Interrupt
Position-compare match Interrupt
Strobe event latch Interrupt
Index event latch Interrupt
Unit time out interrupt
Capture Configuration
Capture Timer Prescaler:
PS_8
Unit Pos Event Prescaler:
PS_512
Cap Timer Pos Mode:
ON_POSITION_COUNTER_READ
Init Counter on Strobe Event
Unit Init Period:
0x00000000
Watchdog Configuration
Watchdog Timer Value:
0x0000

ccs 코드

```
#include "HL_sys_common.h"
#include "HL_eqep.h"
#include "HL_sys_core.h"
#include "stdio.h"

#define UNIT_POSITION_X 106.667 //각도

void main(void)
{
    uint32 deltaT = 0U;
    double velocity = 0U;

    double tmp = 0U;

    /* EQEP initialization based on GUI Configuration. */
    QEPInit();

    /* Enable Position Counter */
    eqepEnableCounter(eqepREG1);

    /* Enable Unit Timer. */
    eqepEnableUnitTimer(eqepREG1);

    /* Enable capture timer and capture period latch. */
    eqepEnableCapture(eqepREG1);

    while(1)
    {
        /* Status flag is set to indicate that a new value is latched in the QCPRD
register. */
        if((eqepREG1->QEPSTS & 0x80U) !=0U)
        {
            /* Elapsed time between unit position events */
            deltaT = eqepREG1->QCPRD;

            printf("deltaT:%d\n", deltaT);

            tmp = (double)((double)deltaT / (10000000.0 / 8.0));

            printf("tmp : %f\n", tmp);

        /* Calculate Velocity from deltaT and the value of the unit position. */
            /* The value of Unit Position is a sample value and should be changed
by the User as per the actual value in the UNIT_POSITION_X macro above. */
            velocity = (double)(UNIT_POSITION_X/tmp);

            /* Clear the Status flag. */
            eqepREG1->QEPSTS |= 0x80U;

            printf("velocity:%f\n", velocity);
        }
    }
}
```

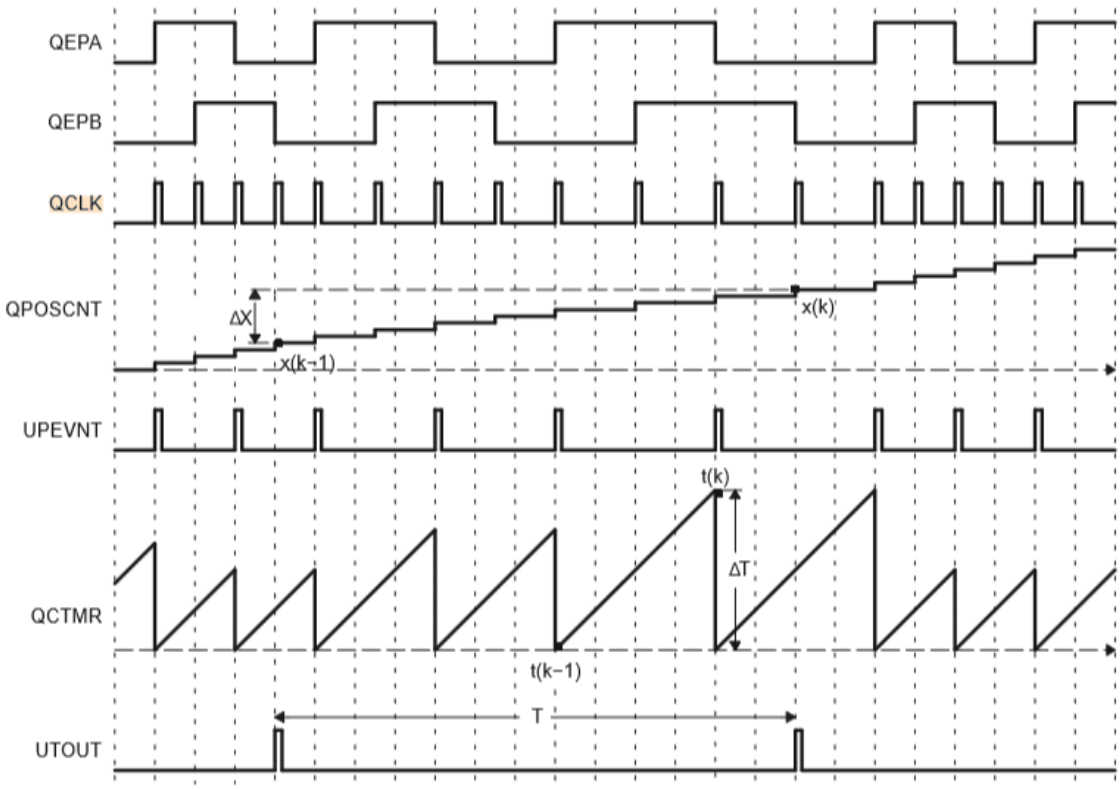
결과


Console
eqep:CIO
deltaT:39164
tmp : 0.031331
velocity:3404.497753
deltaT:39243
tmp : 0.031394
velocity:3397.644166
deltaT:39626
tmp : 0.031701
velocity:3364.804674
deltaT:39898
tmp : 0.031918
velocity:3341.865507
deltaT:39515

코드설명

`UNIT_POSITION_X` 106.667

Figure 34-17. eQEP Edge Capture Unit - Timing Details



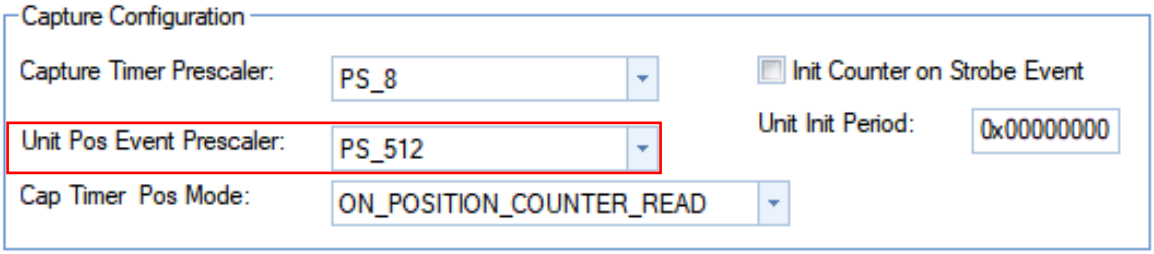
모터의 분해능이 432P/R이므로 한바퀴 돌 때 마다 파형이 432개가 나온다.

모터 사양 MOTOR SPECIFICATION

항목	사양	항목	사양
정격 회전수	2,000 rpm (오차범위 10%)	정격 전류	1.3A이하
정격 출력	12W	무부하 전류	0.4A이하
정격 토크	0.6 Kg-cm	무부하 회전수	2,800rpm
엔코더 전원	DC 5v (오차5%)	방식	인크리멘탈
분해능	432 P/R	출력 파형	단형파
출력 전압	L=0.4v/10mA 이하	응답 주파수	36Khz이하
제품 중량	500g 이하	제품 소음	50cm에서 54db이하

Quadrature Encoder는 한 주기마다 4번의 신호가 나오므로 엔코더의 분해능은 432 * 4 = 1728이 된다. (QCLK)

HCG에서 Unit position event prescaler를 512로 맞춰주었기 때문에 거리(각도)는 1728 / 512 = 106.667로 설정했다.




```
deltaT = eqepREG1->QCPRD;
```

34.3.23 eQEP Capture Period Register (QCPRD)

Figure 34-43. eQEP Capture Period Register (QCPRD) [offset = 3Eh]

15	0
QCPRD	
R/W-0	

LEGEND: R/W = Read/Write; *-n* = value after reset

Table 34-26. eQEP Capture Period Register (QCPRD) Field Descriptions

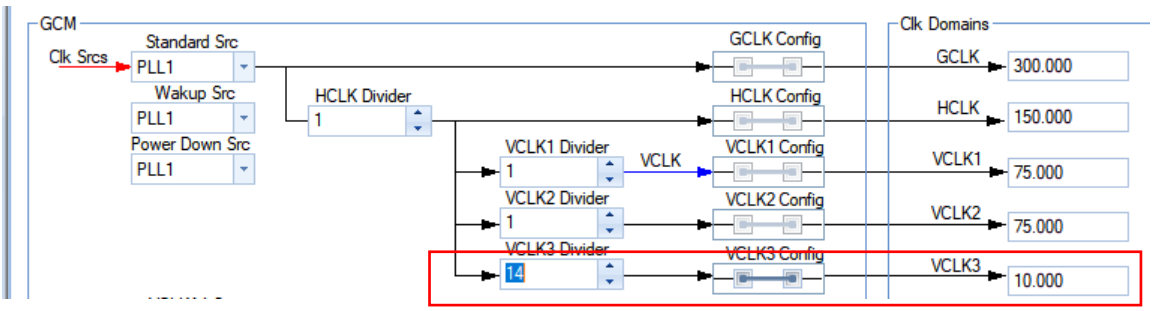
Bits	Name	Description
15-0	QCPRD	This register holds the period count value between the last successive eQEP position events.

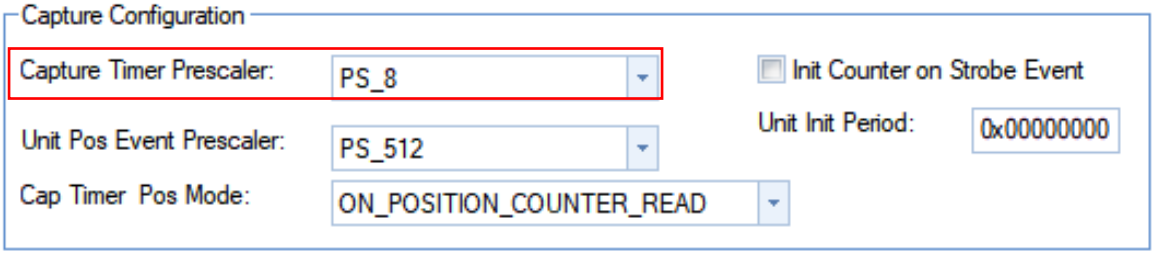
QCPRD는 위치이벤트 사이의 주기 카운트값이다.

QCTMR(eQEP캡쳐 타이머)이 VCLK3의 주파수를 기반으로 계속 카운트하고, UPEVNT를 만나면 초기화 된다. 카운트된 값은 **QCPRD**(위치이벤트 사이의 주기 카운트값)에 저장된다.

```
tmp = (double)((double)deltaT / (10000000.0 / 8.0));
```

카운트한 값에서 주파수(10MHz)와 프리스케일한 8을 또 나눠준다.






```
velocity = (double)(UNIT_POSITION_X/tmp);
```

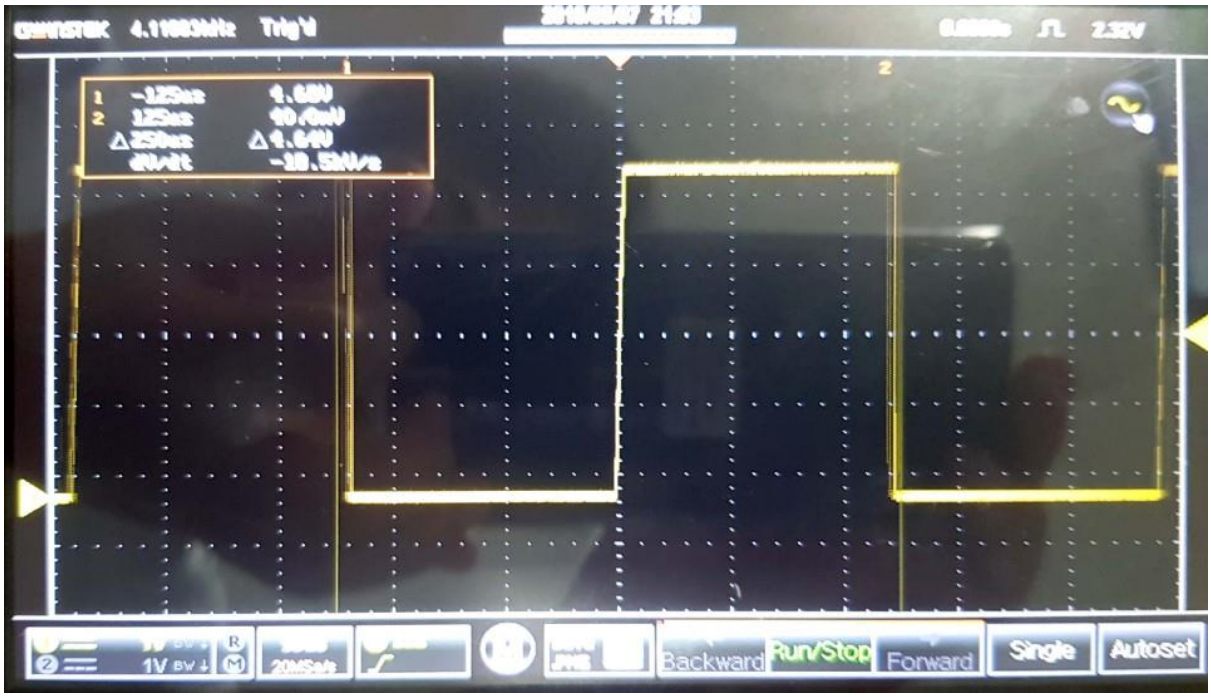
마지막으로 각속도를 구하기 위해 아까 설정한 106도(각도)에서 구한 시간을 나눠준다.

$$Velocity = \frac{106.67}{QCPRD / (10MHz / 8)}$$

따라서 결과를 보면 약 3400정도가 나온다.

3400 / 360 = 9.4로 1초에 9.4바퀴 도는 것을 알 수 있다.

$$회전수 = \frac{4110}{432} = 9.51$$



실제 측정값과 거의 동일한 수치를 나타낼 수 있다.

문제점은 2800rpm이상이면 제대로된 결과값이 나오지 않는다.

eQEP를 사용한 고속 속도 측정

큰 모터 속도와 높은 센서 분해능의 조합은 시간 간격 ΔT를 작게 만들어 타이머 분해능에 더 큰 영향을 받는다. 속도 범위가 큰 시스템의 경우 (즉, 저속 및 고속 둘다 속도 추정이 필요한 경우) 저속 측정 방법 뿐만 아니라 고속 측정법이 필요하다.

고속 측정법은 다음과 같은 방정식을 사용한다.

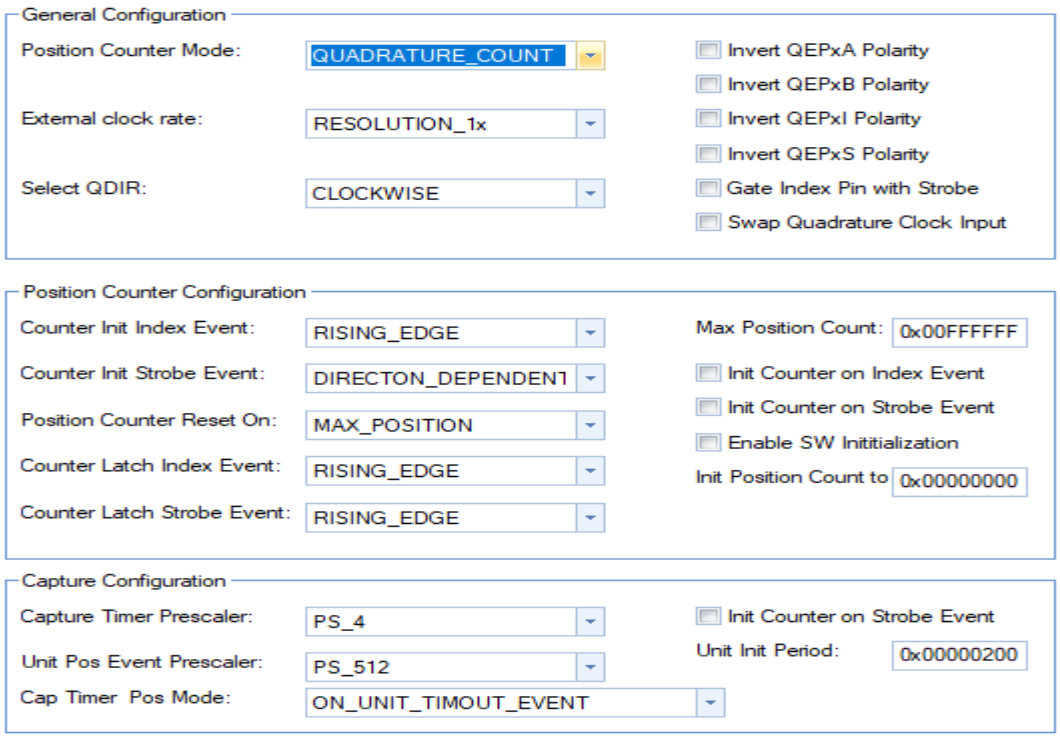
$$\mathrm{V(k)} = \frac{X(k) - X(k-1)}{T} = \frac{\Delta X}{T}$$

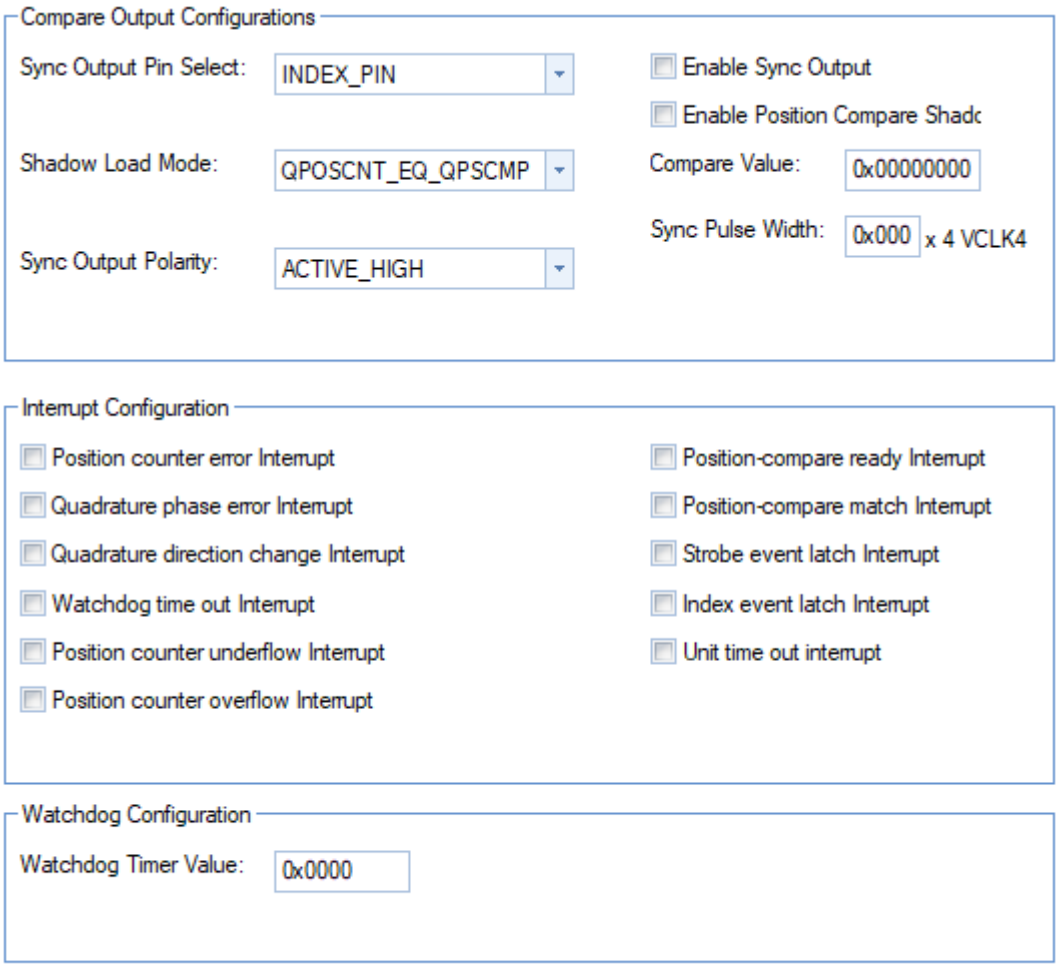
V(k): 어떠한 k인 순간의 속력.

X(k) - X(k-1) : 고정된 시간 T 가 지난 최종 위치에서 처음 위치를 뺀 거리 (이동 거리)

T : 고정된 시간 (매 측정하고 싶은 시간을 설정)

즉, 모터를 T마다 이동거리를 측정하여 $\frac{거리}{시간} = 속력$을 이용하여 매 T 초마다의 순간 속력을 얻는다.





VCLK3를 분주하여 15MHz로 맞춰주고 PINMUX 설정을 완료한다.

사용한 모터의 엔코더의 스펙은 다음과 같다.

432P/R으로 모터가 1초에 1 회전할 때, A상과 B상이 90도의 위상차를 가지고 432Hz로 동작한다.

eQEP QUADRATURE_COUNT 모드의 특성 상, 432 Hz * 4 를 통하여 1728Hz로 동작하게 된다.

다음으로 eQEP 고속 측정 모드의 코드를 확인하면,

```c
#include <HL_eqep.h>
#include <HL_hal_stdtypes.h>
#include "HL_sys_common.h"
#include "HL_system.h"
#include "HL_can.h"
#include "HL_esm.h"
#include "HL_sys_core.h"
#include "stdio.h"

#define UNIT_TIME_T 0.1 //거리
#define prescaler 1875000.0 // 분주비
#define encoder_trans_degree_coefficient 0.83333 //
#define circle_angle 360.0 // 1회전 각도

int main(void)
{
    uint32 distance_cnt = 0;
    //double angle_distance[2] = {0,0};
    //uint8 distance_flag = 1;
    uint32 dx = 0;
    double angle_velocity = 0;

    QEPInit();
    /* Enable Position Counter */
    eqepEnableCounter(eqepREG1);
    /* Enable Unit Timer. */
    eqepEnableUnitTimer(eqepREG1);
    /* Enable capture timer and capture period latch. */
    eqepEnableCapture(eqepREG1);

    eqepREG1->QEPCTL |= 0x3002; //Position counter reset mode = 0x11 (unit time
reset mode), eQEP unit timer enable.
    eqepREG1->QCAPCTL |= 1 << 15; // Enable eQEP capture.
    //eqepREG1->QUPRD = 0x2DC6C; // Time set is 187500 count -> GCM = 15MHz,
prescaler = 8 so, capture time = 1875000hz and dt = 0.1(fixed value)
    eqepREG1->QUPRD = 0x5B8D8; // Time set is 375000 count -> GCM = 15MHz,
prescaler = 4 so, capture time = 3750000hz and dt = 0.1(fixed value)

    while (1)
    {
        distance_cnt = (eqepREG1->QPOSLAT);
        angle_velocity = (double)(distance_cnt*encoder_trans_degree_coefficient) /
UNIT_TIME_T;
        printf("각 속도: %f\n", angle_velocity);
        printf("rpm  : %f \n", (angle_velocity / circle_angle)*60);
        printf("초당 회전 수: %f\n", angle_velocity/circle_angle);

    }
    return 0;
}
```

각각의 계수를 확인하여 보자.

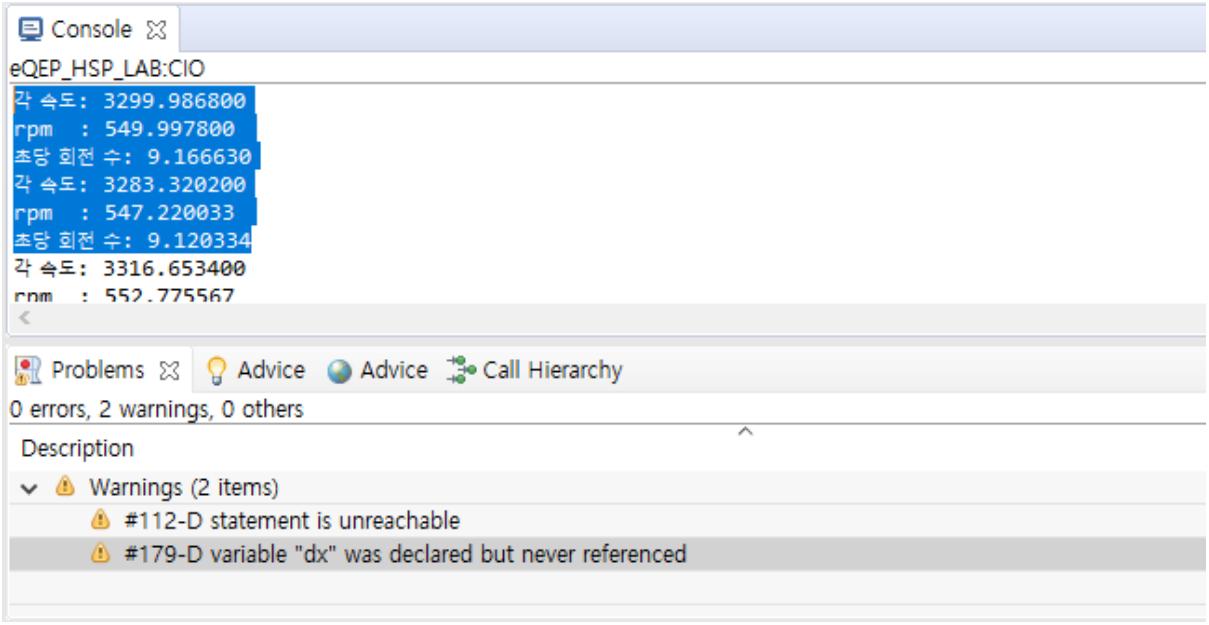
```
#define UNIT_TIME_T 0.1 //거리
```
해당 계수는 설계자가 원하는 시간을 입력하는 것이다.

```
eqepREG1->QUPRD = 0x5B8D8;
```
15Mhz의 분주비를 4로 나누면, 3750000hz의 오실레이터가 된다. 해당 오실레이터가 375000번이 동작하면, 0.1s의 주기를 갖게 된다.

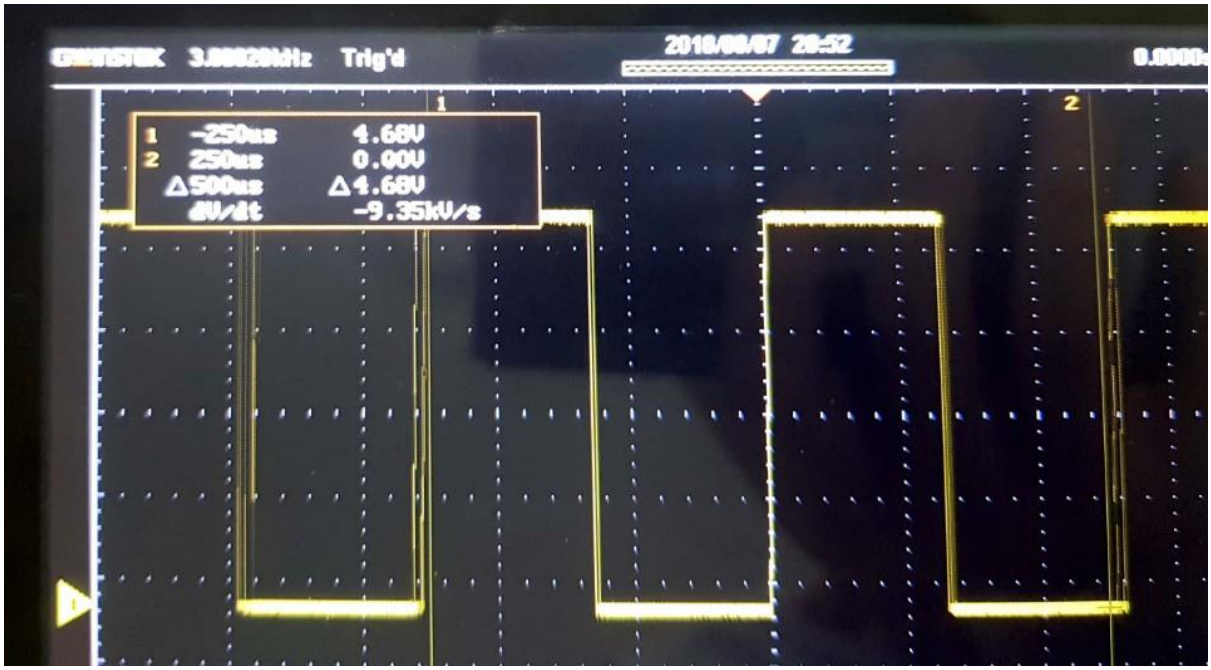
```
#define encoder_trans_degree_coefficient 0.83333 //
```
엔코더의 스펙은 432P/R 이므로, 360(degree) / 432 를 하면 0.83333이 된다.
해당 레지스터는 degree나 radian을 반환하는 것이 아니라 count의 값을 반환하므로, count를 이용하여 degree나 radian으로 변환해야 한다.

결과를 확인하면 다음과 같다.

해당 결과값은 5볼트의 입력을 모터에 인가하였을 때, 속력을 나타낸다.



결과를 검증하기 위하여 오실로스코프로 파형을 확인한다.



사진상으로는 조금 확인하기 힘들지만, 주파수가 3.9kHz 근처를 나타낸다.

$$\text{회전수} = \frac{3900}{432} = 9.02\ \textit{회/전}$$

거의 동일한 수치를 나타냄을 알 수 있다.

저속모드에서 2800rpm 이상인 경우에 문제점이 발생하였는데, 해당 고속모드로는 정확한 결과값이 출력되었다.

저속모드로 측정을 하다가 입력 받은 속력 값이 어느 임계치 이상이면 고속모드로 전환하여 측정해야 모터의 출력을 정확히 측정 할 수 있다.