

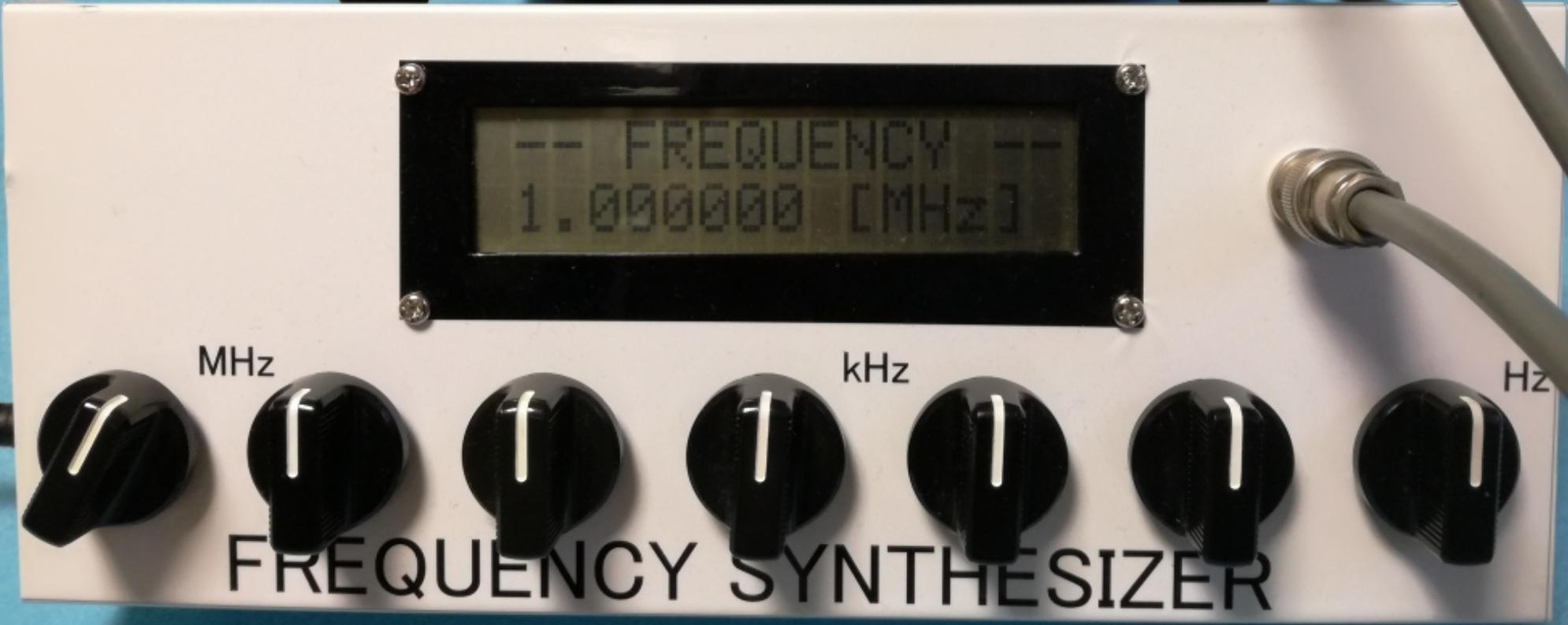
GPS を利用した高精度 周波数カウンタの製作

<https://www.craft-design.yokohama>
にプログラムも公開しています。

坂井 雅紀



FREQUENCY dip10s
1.0000182MHz



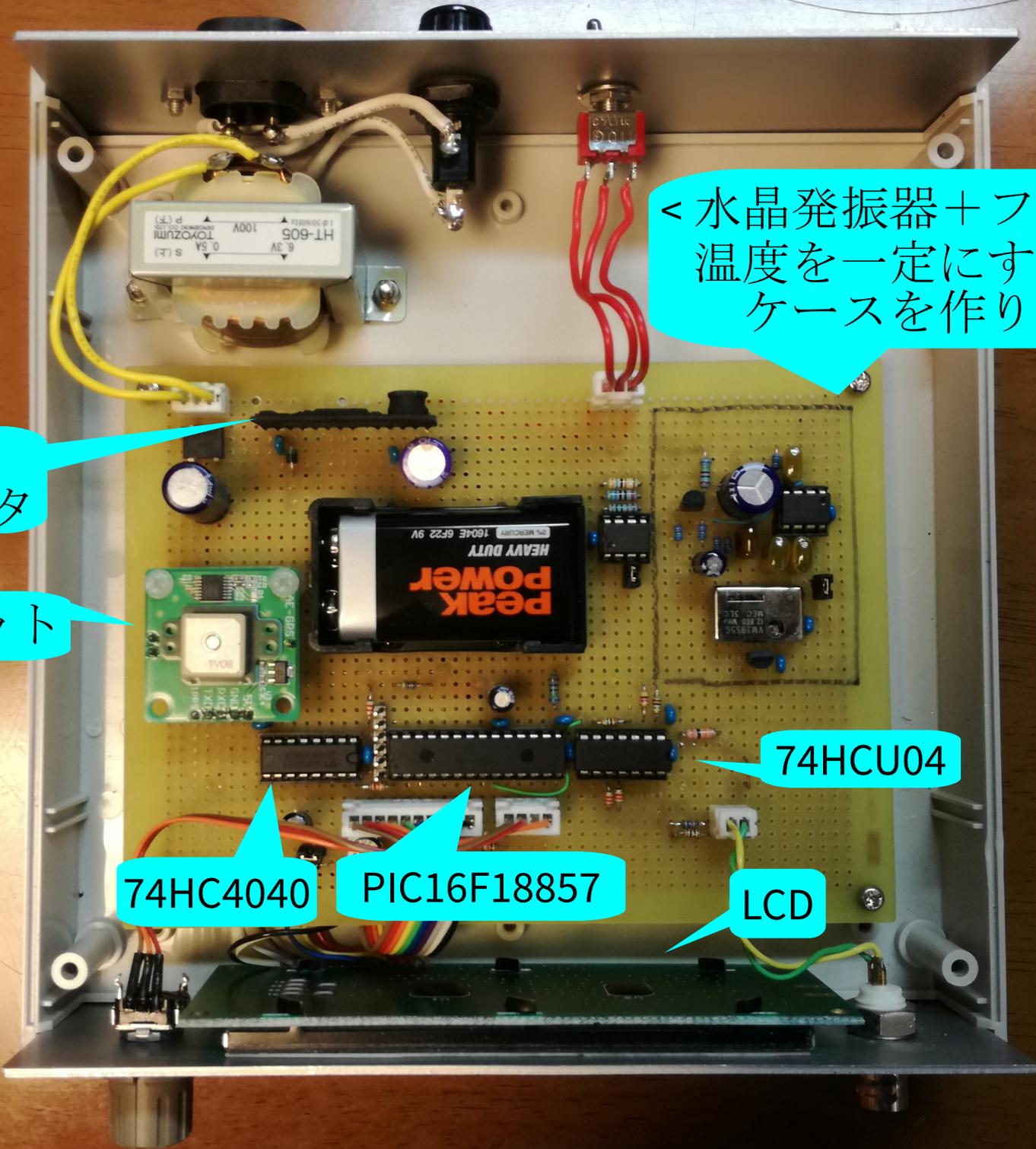
-- FREQUENCY --
1.000000 [MHz]

MHz

kHz

Hz

FREQUENCY SYNTHESIZER



< 水晶発振器 + フィルタ >
温度を一定にするため
ケースを作ります

DCDC
コンバータ

GPS ユニット

74HCU04

74HC4040

PIC16F18857

LCD

仕様

- 測定周波数範囲 これから測定します (T1CKIperiod 60nSec:16MHz)
- 入力チャンネル 1 チャンネル
- 入力感度 TTL
- 入力インピーダンス 1M Ω
- 入力カップリング DC
- ゲート時間 1Sec または 入力信号の周期
- 原発振 12.8MHz \pm 1ppm
- 表示 最大 8 桁
- 電源 AC100V または 006p 電池
- サイズ 190mm \times 54mm \times 200mm

設計方針

- 8桁精度を有する周波数カウンタを作る
- 8桁精度を実現するために、**GPS** の **1PPS(Pulse/Sec)** 信号を利用する
- **GPS** が受信可能な環境では、**GPS** からの **1PPS** 信号を基準ゲート信号とし、水晶発振器 (**12.8MHz**) をカウントすることにより、水晶発振器の周波数変動を補正する。
- **GPS** が受信できない環境では、水晶発振器の温度による周波数変動が $\pm 3\text{ppm}/^\circ\text{C}$ と大きいいため、温度センサーで水晶発振器の周辺温度を測定し予め測定していた周波数変動を外部制御端子から制御する。
- 8桁精度を実現するために、信号入力回路、ゲート回路などはハードウェアのみで周波数カウント可能な構成とする（ソフトウェアによるタイミング制御はしない）
- **PIC** を利用し 最小のハードウェアで構成する

水晶発振器

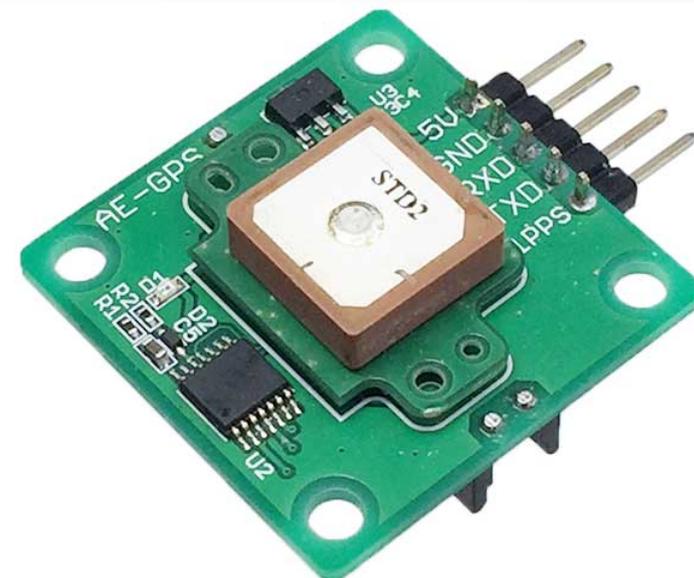
- 型名 VM39S5G VCTCXO 温度補償型水晶発振器
- 発振周波数 12.8MHz±1ppm
- 温度による周波数変動 ±3ppm/°C (-10°~+60°)
- エージングによる周波数変動 ±1ppm/年
- 周波数外部制御 2.5V±2V (fo±6ppm)



現物で確かめると 1.5V±1V であつた

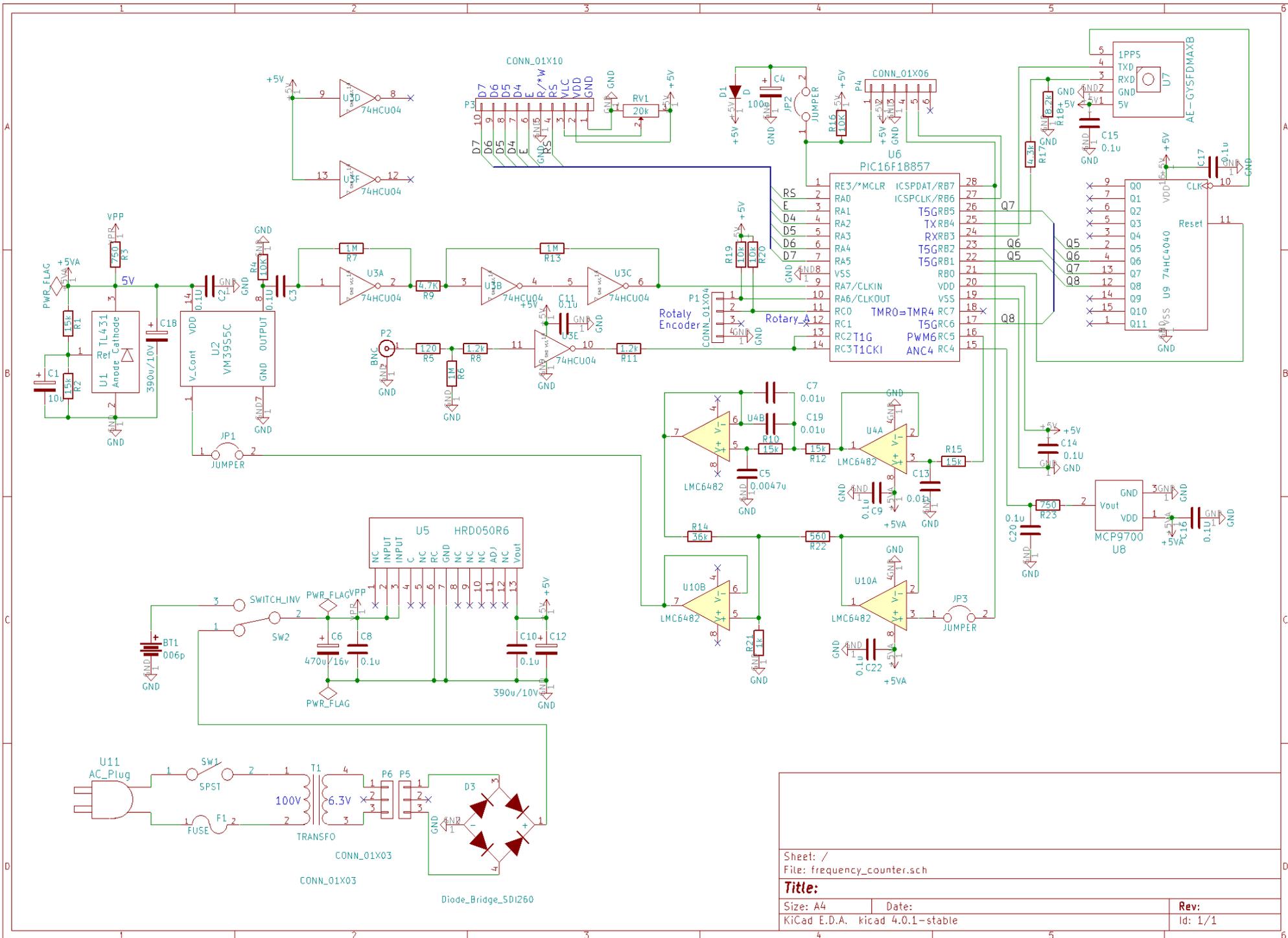
GPS モジュール

- 型名 AE-GYSFDMAXB(太陽誘電製)
- 搭載GPS 受信チップ MT3339(Media Tek)
- 受信周波数 1575.42MHz(L1,C/A コード)
- 受信チャンネル数 66 (アキュイジョン)、22 (トラッキング)
- 対応測位衛星システム GPS(米国)、QZSS (日本)
- 受信 (トラッキング) 感度 -164dBm(typ.)
- 測位角度 2m(typ. 緯経度の水平位置)@-135dBm
- 出力データ形式 NMEA0183 Ver3.01 準拠
- 測地系 WGS1984(デフォルト)
- 電源電圧 DC5V(3.8V~12V)/ 電源電流 40mA
- 入出力信号レベル C-MOS ロジック (3.3V) レベル
- UART 通信速度 9600bps(デフォルト),4800~115200bps
- 出力データ更新レート 毎秒1回(デフォルト)、毎秒1~10回出力可
- 1PPS 出力 C-MOS ロジック (3.3V) レベル、パルス幅:100ms (アクティ Low)
- 1PPS 角度 ±10nSec



設計 (水晶発振器制御部)

- GPS の 1PPS 信号は、74HC4040(12stage カウンタ) のクロックに入力されており、Q0 出力は 0.5Hz であり、信号の H 区間は 1 秒、L 区間も 1 秒である。同様に Q8 の H 区間は 256 秒、L 区間も 256 秒である。
- これらの信号の Q8(256 秒) を、PIC 周辺機能の Timer5 のゲートに入力するとともに、クロックには水晶発振器 12.8MHz を入力する。これから水晶発振器が正確な 12.8MHz 出力時は、 $12.8\text{MHz} \times 256 \text{ 秒} = 3276800000$ カウントが基準カウントとなる。
- 温度による周波数変動などがあると、このカウント数に変動する。よって測定カウント数 ÷ 基準カウント数の偏差を求め、水晶発振器の外部制御電圧をコントロールする。
- 外部制御電圧は、PIC の周辺モジュールである DAC と PWM + ローパスフィルタで制御する。
- DAC の基準電圧は、FVR モジュールで生成され、4096mV に設定し分解能は 5bit(32) から、電圧分解能は $4096\text{mV}/32 = 128[\text{mV}]$ となる。DAC の設定値を x とすると出力電圧は、 $128 * x[\text{mV}]$ となる。 ($0 \leq x < 32$)
- PWM の基準電圧は電源電圧の 5 V を利用し、PWM 分解能が 10bit(1024) から、電圧分解能は $5000\text{mV}/1024 = 4.88[\text{mV}]$ となる。PWM の設定値を y とすると出力電圧は $4.88 * y[\text{mV}]$ となる。 ($0 \leq y < 1024$)
- DAC 出力と PWM 出力は、オペアンプによる加算器を構成している。DAC 出力は、560Ω と 1kΩ によって分電圧され出力電圧は $128 * x * 1\text{k}/(1\text{k} + 560) = 82 * x[\text{mV}]$ となる。PWM 出力は、36kΩ と 1kΩ によって分電圧され出力電圧は、 $4.88 * y * 1\text{k}/(1\text{k} + 36\text{k}) = 0.13 * y[\text{mV}]$ となる。
- 以上より 水晶発振器の外部制御電圧は $82 * x + 0.13 * y [\text{mV}]$ となる。



ソフトウェア (main プログラム)

START

TMR0(ゲート信号生成) 初期設定
TMR4 (ゲート信号生成) 初期設定
PWM7 (ゲート信号生成) 初期設定
TMR1/3(周波数 / 周期カウンタ) 初期設定、**割り込み設定**
TMR5(キャリブレーションカウンタ) 初期設定、**割り込み設定**
TMR6(発振周波数制御電圧生成カウンタ) 初期設定
FVR,DAC1(発振周波数制御電圧生成) 初期設定
PWM6(発振周波数制御電圧生成 PWM) 初期設定
TMR2(ロータリーエンコーダ) 初期設定、**割り込み設定**

周波数表示など

ソフトウェア 割り込み処理プログラム

TMR1G 割り込み

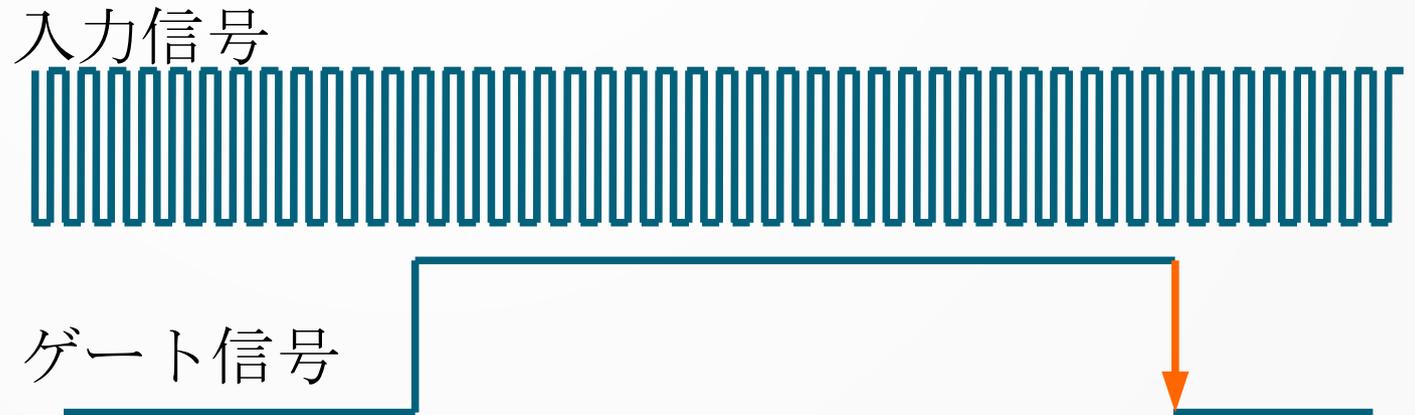
周波数 / 周期表示

end

TMR3IF 割り込み

周波数 / 周期
オーバーフロー
表示

end



ゲート信号の立下りで TMR1 と TMR3 の値から、
LCD に周波数または周期を表示する

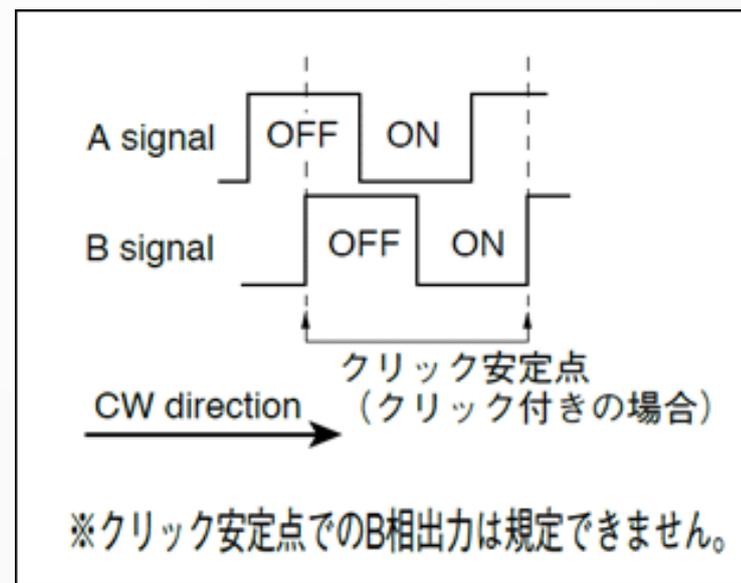
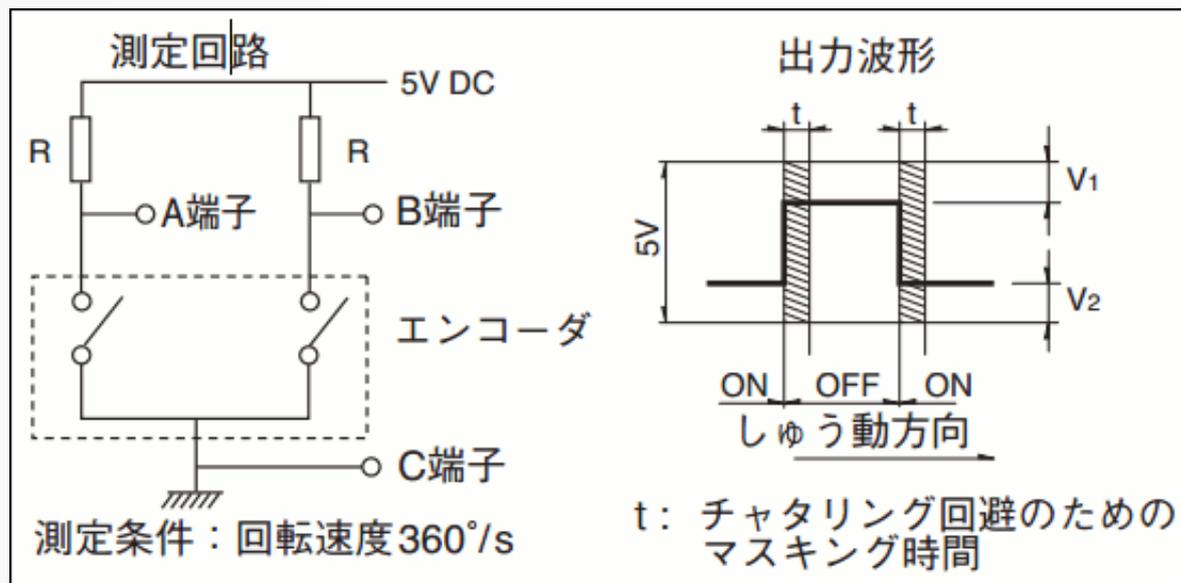
ロータリーエンコーダ

<アルプス電気 型名 EC12E2420801 >

24クリックのメカニカルロータリーエンコーダです。

- ・クリック数：24
- ・パルス数：24
- ・定格：0.5mA 5VDC
- ・出力信号：A、B 2信号の位相差出力

秋月電子で80円/個です

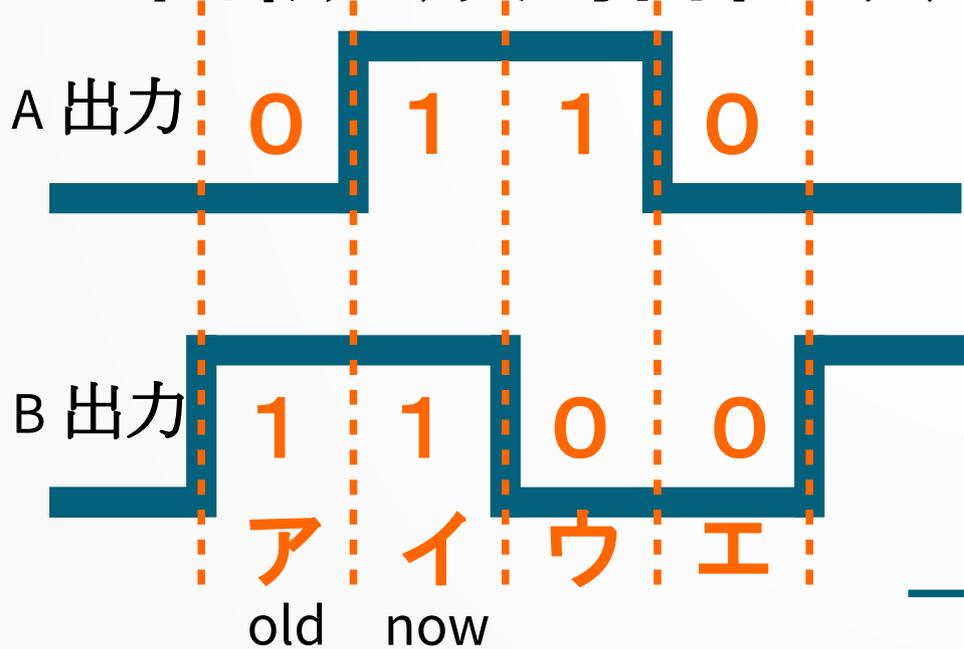


$V1=V2=1.5V$ max.

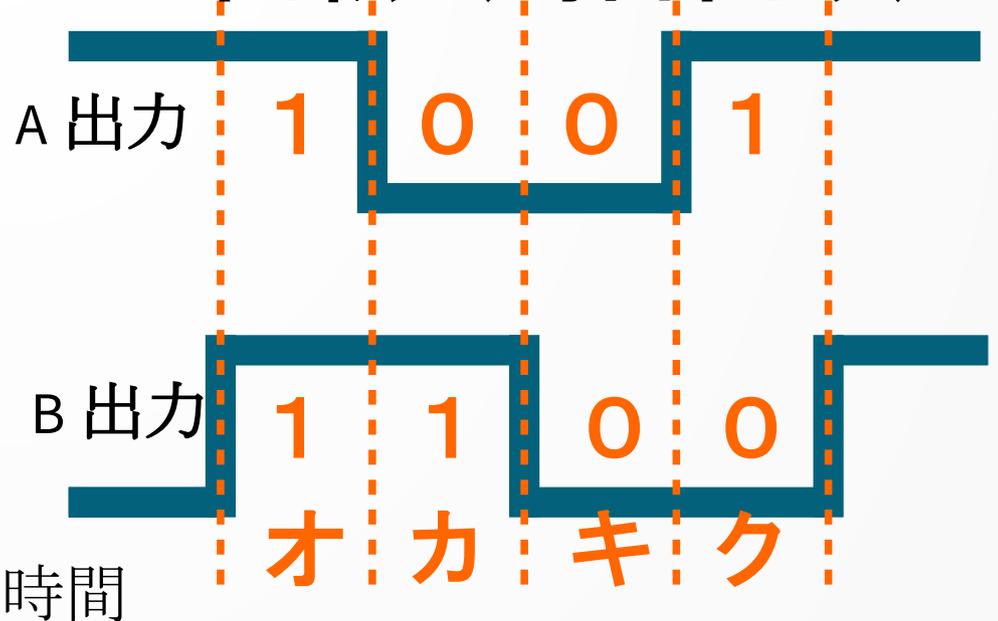
R=10k Ω にて チャタリング:3ms max. バウンス:2ms max.

ロータリーエンコーダの使い方 1

左回転（反時計回り）



右回転（時計回り）



左回転時、ア⇒イ⇒ウ⇒エ⇒アの順番で出力波形が変化する。左回転を検出するには、ア⇒イ、イ⇒ウ、ウ⇒エ、エ⇒アのどれか一つの波形の変化を検出すれば可能である。

右回転時、オ⇒カ⇒キ⇒ク⇒オの順番で出力波形が変化する。右回転を検出するには、オ⇒カ、カ⇒キ、キ⇒ク、ク⇒オのどれか一つの波形の変化を検出すれば可能である。

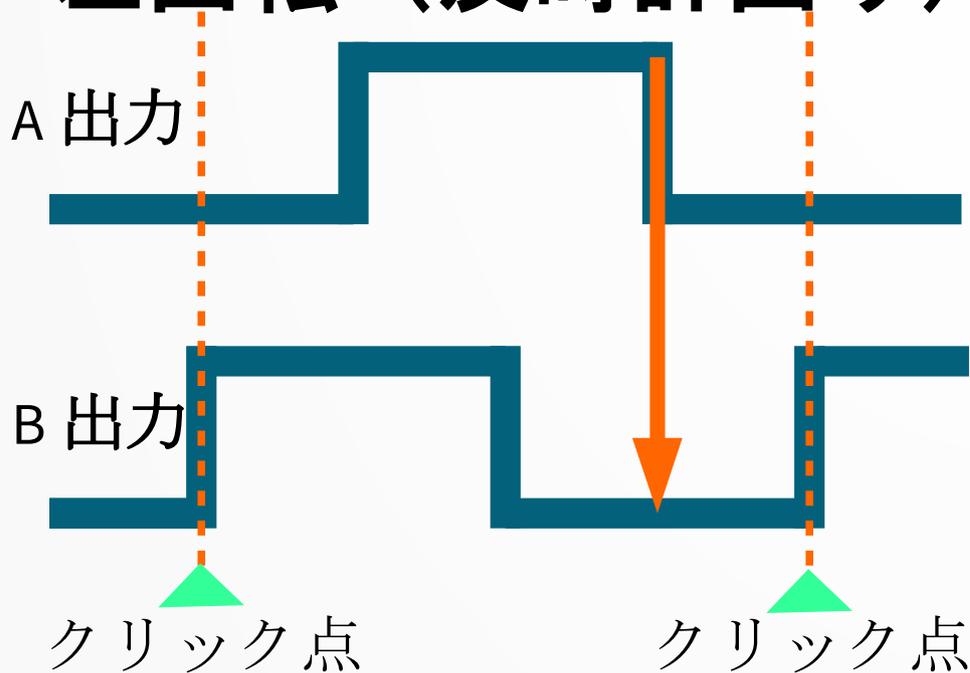
ロータリーエンコーダ の使い方1

- チャタリングが 3mS(max) あるため、出力信号 A/B のサンプリング時間を 3mSec 以上 (5mSec) とする。
- 前頁の出力波形の変化（アからク）までを表にすると右のようになる。
- 例として、現在 (now) の波形がイとすると 5 m Sec 前 (old) の波形はアとなる。
- 右の表は、前頁のパターン以外も書いているが、論理的には 16 種類のパターンがあるので記載している。
- ソフトは、5 m Sec ごとにロータリーエンコーダ A/B の出力を記憶し、右の表に当てはめることにより回転方向が求まる。

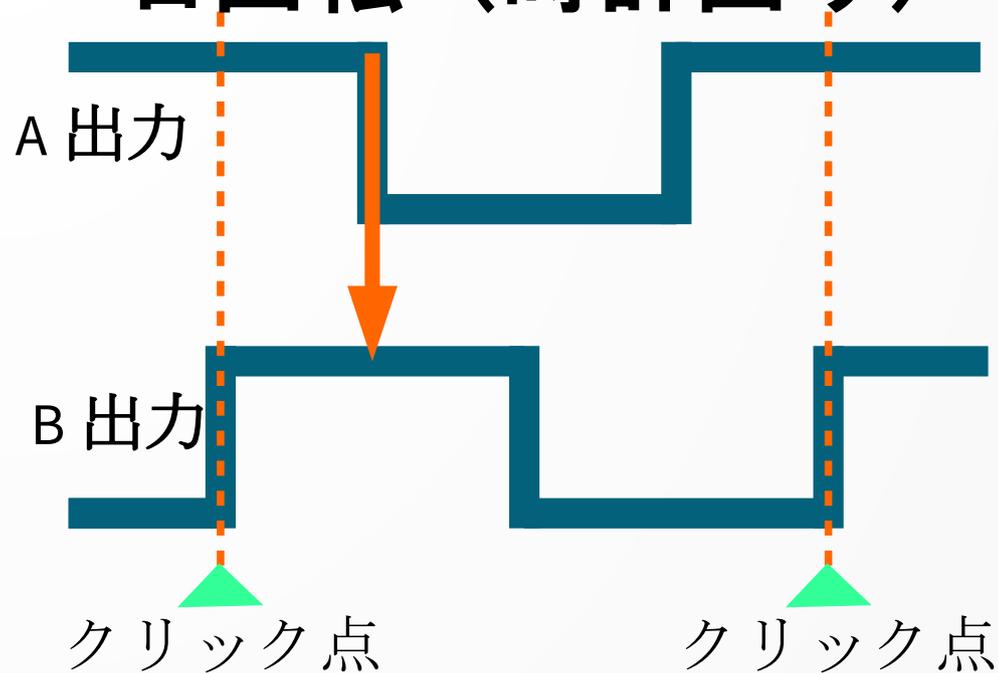
old_B	old_A	now_B	now_A	パターン	回転
0	0	0	0	なし	
0	0	0	1	キク	右回転
0	0	1	0	エア	左回転
0	0	1	1	なし	
0	1	0	0	ウエ	左回転
0	1	0	1	なし	
0	1	1	0	なし	
0	1	1	1	クオ	右回転
1	0	0	0	カキ	右回転
1	0	0	1	なし	
1	0	1	0	なし	
1	0	1	1	アイ	左回転
1	1	0	0	なし	
1	1	0	1	イウ	左回転
1	1	1	0	オカ	右回転
1	1	1	1	なし	

ロータリーエンコーダの使い方 2

左回転（反時計回り）



右回転（時計回り）



上図のように、A出力の立下りエッジでB出力のレベルを見ると、Lレベルの時は左回転、Hレベルの時は右回転である。
ただしA出力の立下りエッジには、多くのチャタリングがあるためA出力を5mSecのサンプリングを行うことにより、取り除く。
その後、サンプリング後のA出力の立下りエッジでB出力レベルを判定する。（A出力の立上りエッジでも同様である）