

時計機能付GPS同期型10MHz基準信号発生器の製作

目次

1. まえがき
2. 基準発振器
 2. 1仕様
 2. 2画面と使い方
3. 製作準備
 3. 1GPSの入手
 3. 2OCXOの入手
 3. 3制御CPU
 3. 4ハードウェアブロック図
 3. 5ソフトウェアブロック図
4. ハードウェアの製作
 4. 1CPUユニット
 4. 2RFユニット
 4. 3GPSユニット
 4. 4OCXOユニット
 4. 5電源とケース
5. ソフトウェアの製作
 5. 1ソフトウェアの構成
 5. 2タスクスケジューラ
 5. 3割り込み処理
 5. 4タスク0
 5. 5タスク2
 5. 6タスク3
 5. 7タスク4
 5. 8タスク5
 5. 9タスク6
 5. 10タスク7
6. アセンブラ
 6. 1アセンブラと環境

1. まえがき

ラジオ少年のころ測定器も無しにラジオを作っていました。もちろんテスターも持っていませんでした。ラジオ雑誌の回路どおりに製作して、鳴った鳴らないと一喜一憂していました。そのうちお小遣いを貯めて、最初買った測定器は当然テスターでした。テスターを買って少し製作範囲が広がりました。と言っても大きくはわかりませんが。数十年たって測定器の中古が安く入手できるようになったのとラジオ少年はラジオおじさんへとなり小金が使えるようになり、少年のころ欲しかった測定器を買い集めるようになりました。今では当然のようにスペアナ、SSG、ユニバーサルカウンタ、デジタルマルチメータを並べて製作に励んでいます。

さて、測定器がそろってくるとお互いの周波数のずれが気になりだします。スペアナの表示周波数、SSGの出力周波数、カウンタのカウント周波数など一致していないと気になり出します。

そこで入手したのが中古のルビジウム発振器で10MHzの基準周波数として使用しました。しかし、ルビジウム発振器といえども完全ではなく、周波数調整部分がありGPSによる基準発振器で調整して戴きました。しかもルビジウムは寿命があり、入手したルビジウムの残存寿命は不明であり、いつ発信停止するか判りませんので、常時動作させて置くわけにはいきません。

そこで、代わりになるものが必要になりました。ルビジウム発振器に匹敵する基準発振器はGPS制御の発振器しかないと考えました。ネットでいろいろ検索すると数年まえにHPのZ3801Aが中古で放出されたようですが、現在では入手困難になっています。あるいは放送局用にGPSでロックする発振器が市販されているようですが、この中古が出回るのを気長に待つしかありません。でも気長に待つほど若くないし・・・、これはもう作るしかないと思いました（2006年夏当時）。

2008年11月08日

7K2ABJ 崎山 洋二

2. 基準発信器

2. 1 仕様

製作したGPSの1PPSにロックさせる基準発信器の仕様は以下のとおりです。

<基本仕様>

電源	AC100V
10MHz (出力)	SinWave 5dBm BNC×1
	TTL BNC×4
GPS (入力)	BNC×1
周波数確度	$\pm 5 \times 10^{-11} \times 1$
周波数安定度	$2 \times 10^{-11} \times 1$

<表示>

GPS捕捉状態

時刻表示 (JST、GMT切り替え)

GPS信号有効状態

GPSロック状態

緯度経度表示

捕捉衛星ナンバー

捕捉衛星信号レベル

1PPS位相カウンタ値

D/A出力値

<データ設定>

D/A出力手動設定

D/A出力ゲイン設定

フィルタ時定数設定

バックライトタイマー設定

※1周波数確度と安定度は予想です。なにせ測定器が無いので検証できません。

2. 2 画面と使い方

2. 2. 1 画面構成とキー操作

画面は4つのメイン画面とそれぞれのメイン画面にいくつかのサブ画面があります。

全ての画面の最下行に4個の押しボタンSWの機能を表示し、押しボタンSWをファンクションキーとして操作するようにします。(以下“キー”と表現します。)

(1) メイン画面

各画面の「MODE」のキーを押すことでメイン画面が順次切り替わります。

画面A

```
GPS: 04 / 08 *
2007.08.16 16:16:31Z
S: A D: 3
GPS U/J MODE
```

画面B

```
COUNTER - A: 0077
COUNTER - B: 8000
CNTR B - A: 7F79
NEXT MODE
```

画面C

```
D/A OUT : 7F79
FILTER : 3
GAIN : 09.9 DATA
MODE
```

画面D

```
BACK LIGHT: 1
LIGHT TIME: 99
DATA
MODE
```

画面Aへ戻る

(2) サブ画面

画面Aのサブ画面は3画面あります。メイン画面で「GPS」キーを押すとサブ画面A-1になります。A-1画面で「GPS」キーを押すとA-3画面になります。A-1画面で「→」キーを押すとA-2画面になります。A-2画面で「←」キーを押すとA-1画面、「GPS」キーを押すとA-3画面になります。サブ画面で「MODE」キーを押すとメイン画面へ戻ります。他の画面も同様の操作になり、ファンクションキーの表示に従ってキーを押せばサブ画面に切り替わります。全体の画面切替構成を図2-1に示します。

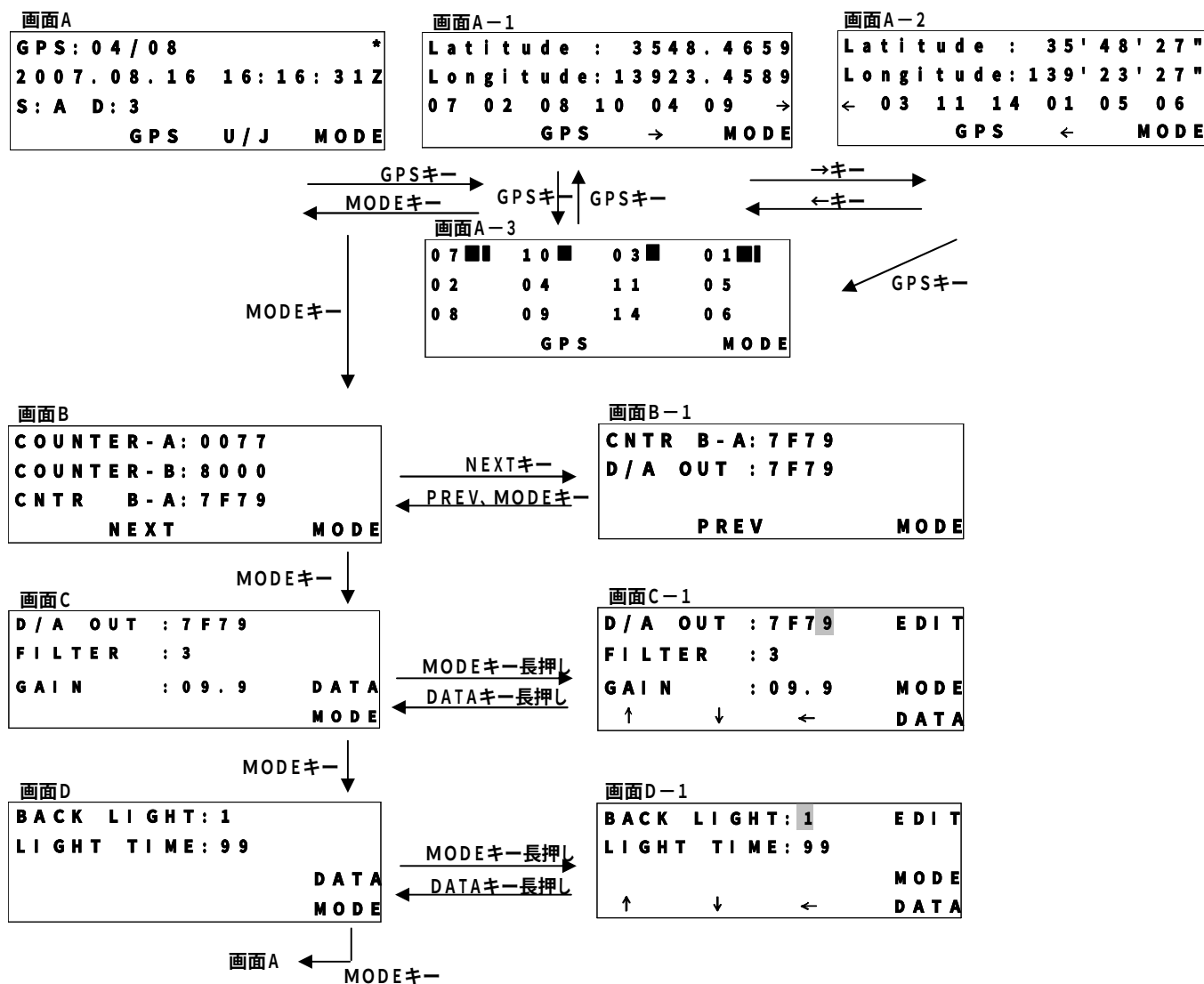


図2-1画面切替構成

2. 2. 2 各画面の説明

(1) 画面A (メイン画面)

GPS: 04 / 08	*
2007.08.16 16:16:31Z	
S: A D: 3	
GPS	U / J MODE

1行目の“GPS: 04 / 08”はGPSからのデータで見えている衛星数とデータ解析に使っている衛星数です。見えている衛星数が分母（この表示では8）、解析に使っている衛星数が分子（この表示では4）となっています。1行目の右端の“*”は10MHzロックした状態で表示されます。何らかの原因で衛星を見失

って10MHzロックからホールドへ切り替わった場合は“+”の表示になります。

2行目は日付（年、月、日）と時刻（時：分：秒）になっています。UTC表示では最後に“Z”が、JST表示では“J”が表示されます。UTCとJSTの切替は「U/J」キーを押すことで交互に切り替わります。

3行目はGPSデータのステータスです。“S: A”はデータの状態で“A”はデータ使用可、“V”はデータ使用不可を表します。“D: 3”はデータ解析状態で“3”は3D（3次元）、“2”は2次元、“1”は解析未完を示します。いずれのデータもGPSからNMEAフォーマットで送られてくるデータをそのまま表示しています。「GPS」キーで画面A-1へ切り替わります。

(2) 画面A-1 (緯度・経度表示1)

L a t i t u d e	:	3 5 4 8 . 4 6 5 9
L o n g i t u d e	:	1 3 9 2 3 . 4 5 8 9
0 7 0 2 0 8 1 0 0 4 0 9	→	
G P S	→	M O D E

1行目は緯度、2行目は経度のGPSからのデータをそのまま表示しています。3行目は見えている解析に使用している衛星の番号を表示しています。6個まで表示しており残りは画面A-2に表示します。「→」キーで画面A-2へ、「GPS」キーで画面A-3へ切り替わります。

(3) 画面A-2 (緯度・経度表示2)

L a t i t u d e	:	3 5 ' 4 8 ' 2 7 "
L o n g i t u d e	:	1 3 9 ' 2 3 ' 2 7 "
← 0 3 1 1 1 4 0 1 0 5 0 6		
G P S	←	M O D E

1行目と2行目は緯度と経度を度、分、秒で表示しています。3行目は解析に使用している衛星の画面A-1に表示できない残りを表示します。「←」キーで画面A-1へ、「GPS」キーで画面A-3へ切り替わります。

(4) 画面A-3 (GPS入力レベル表示)

0 7 ■■	1 0 ■	0 3 ■	0 1 ■■
0 2	0 4	1 1	0 5
0 8	0 9	1 4	0 6
G P S			M O D E

見えている衛星の番号をGPSから受信したデータの順番で表示します。衛星番号の右側にGPSから送られてくるSNR値で簡易グラフィック表示をしています。3キャラクタの表示エリアに横5ドットの幅を1ドットずつ塗りつぶしたパターンで簡易棒グラフ表示にしています。0~99dBHzを3キャラクタに割り当てるので1キャラクタ33dBHz、1ドット6.6dBHzとなります。簡易グラフィックなので棒に切れ目(キャラクタ表示の隙間)が入ります。

「GPS」キーを押すと画面A-1へ切り替わります。

画面A-1~3のどの画面でも「MODE」キーを押すと画面Aへ戻ります。

(5) 画面B (位相カウンタ表示)

C O U N T E R - A	:	0 0 7 7
C O U N T E R - B	:	8 0 0 0
C N T R B - A	:	7 F 7 9
N E X T		M O D E

位相を検出するカウンタの値をモニタします。1行目がカウンタAの値、2行目がカウンタBの値、3行目がカウンタの差です。カウンタの差を使って位相ロックを掛ける(PLL)演算を行います。「NEXT」キーで画面B-1へ切り替わります。

(6) 画面B-1 (D/A出力表示)

C N T R B - A	:	7 F 7 9
D / A O U T	:	7 F 7 9
P R E V		M O D E

1行目には画面Bのカウンタの差が表示され、2行目にD/Aに出力したデータが表示されます。「PREV」キーまたは「MODE」キーで画面Bへ戻ります。

(7) 画面C (PLLループパラメータ表示)

D / A O U T	:	7 F 7 9
F I L T E R	:	3
G A I N	:	0 9 . 9
		D A T A
		M O D E

1行目は画面B-1のD/A出力値と同じデータが表示されます。2行目はPLLのフィルタ時定数の設定値で電源立ち上げ時のデフォルト値は3になっています。3行目はPLL入力データのゲインを決める定数です。デフォルトは1.0になっています。

(8) 画面C-1 (パラメータ設定画面)

D / A	OUT	:	7 F 7 9	EDIT
FILTER	:	3		
GAIN	:	0 9 . 9	MODE	
↑	↓	←	DATA	

画面Cで「MODE」キーを長く押す(1秒以上)と画面C-1へ切り替わります。反転カーソルが表示されてデータを設定できる箇所を示します。画面が切り替わった最初はD/A出力値の1桁目にカーソルが出ます。この画面が表示されている間は、PLLの演算結果は保留されて、この画面で設定されたデータをD/A出力します。D/A回路の調整に使います。

「↑」キーでカーソルの桁が+1され、「↓」キーで-1されます。カーソル位置の数値が桁上がり、または桁下がりした場合は、カーソルの左側(上の桁)へ桁上がりし、または桁下がります。

「←」キーで+1, -1させたい桁を移動できます。左端まで行くと右側へ戻ります。

数値変更したいデータを切り替えるには「DATA」キーを押します。順次データが切り替わり、一番下でキーを押すと上へ戻ります。

2行目にフィルタの時定数が表示されています。

「DATA」キー押してカーソルをこの表示に合わせて「↑」、「↓」で値を変更します。1~9まで変更でき、それ以上は変化しません。

3行目にゲインの値が表示されます。カーソルを合わせて「↑」、「↓」で値を変更します。0. 1~99. 9まで変更できます。

設定画面では右上(1行目)に“EDIT”の表示を出して、モニタ画面でないことを表しています。D/A出力がPLLのデータではないので、この画面を長時間出しておくと10MHzの周波数がズレます。D/Aの調整以外でこの画面を長時間表示しないようにして下さい。

「DATA」キーを長押しすることで、画面Cへ戻ります。

(9) 画面D (バックライトパラメータ表示)

BACK	LIGHT	:	1	EDIT
LIGHT	TIME	:	9 9	
				MODE
				DATA

画面のバックライトをコントロールするパラメータ画面です。1行目はバックライト点灯フラグで“0”だとバックライトは点灯させません。“1”だとキー操作をすると点灯させ、2行目のライトタイマーの設定値だけ点灯して消灯します。設定値1でおよそ1秒間点灯します。ただし、0を設定すると永久点灯、つまり常時点灯になります。

(10) 画面D-1 (バックライトパラメータ設定)

BACK	LIGHT	:	1	EDIT
LIGHT	TIME	:	9 9	
				MODE
↑	↓	←		DATA

画面Dで「MODE」キーを長押しするとこの画面に切り替わります。「DATA」キーでデータを選択し、「←」キーで桁を選択し、「↑」、「↓」キーで値を変更します。

「DATA」キーを長押しすれば画面Dへ切り替わります。

3. 製作準備

3. 1 GPSの入手

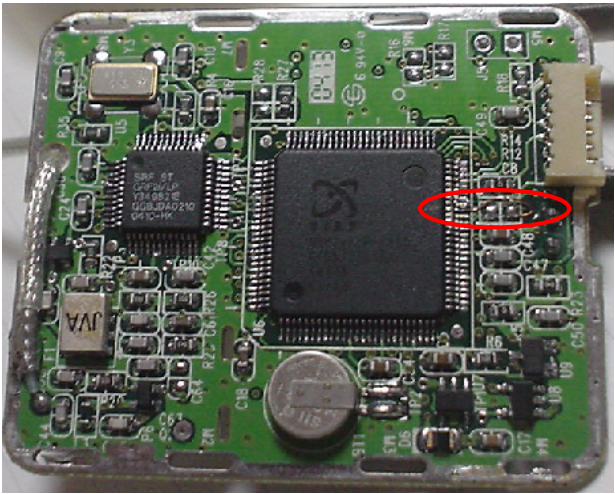
まずはGPSを入手して1PPS信号を体験しようと
考えて、ネットオークションでGPSを落札しました。
機種はDC-210 (Axis Electronic
s Manufacturing) です。アンテナ一体
型でUSBでパソコンへ接続して使うようになっていま
す。USBで接続するようにはなっていますが、実際にはGPSからRS232Cで出力されシリアル-USB
変換器でUSBへ変換しています (図3-1)。



図3-1 DC-210 (マニュアルより)
写真を取り忘れたのでマニュアルから抜粋です。

付属の説明書をみてもシリアル信号はありますが、1
PPSの信号はなさそうです。それではと早速ばらして
みました。このGPSはアンテナが一体構造で取り付け
られています。アンテナの下側のシールドケースとその裏
側のシールドケースをはずしてGPS信号処理ICを確

認しました。ICの型番はGSP2e/LP-7450
と読み取れます。型番をネットで検索してもICのスペ
ックやピンアサインは見つかりませんでした。しかし、
このICを搭載したGPS受信機のカatalogは見つかり
ました。そのCatalogによると1PPSの信号出力があ
ります。つまりこのICからは1PPSの信号が出てい
るようです。しかし、ピンアサインが無いのでICのピ
ンをしらみつぶしに調べて1PPS信号を見つけるしか
ありません。オシロのプロブをピンに順番に当てなが
ら信号を確認していくと、42ピンに1PPS信号が出
ているのを発見しました。DC-210からは通信用信
号としてRS232Cレベルの信号の他にTTL (CM
OS) レベルの信号が出ているので、TTL信号を切断
し、1PPS信号に接続するように改造しました。(写



真3-1)

表3-1

	DC-210	GARMIN 15L
電源電圧	4.5~5.5V	3.3~5.4V
受信衛星数	12	12
受信感度	-175dBW	-165dBW
測位時間	ホットスタート: 8秒 ウオームスタート: 38秒 コールドスタート: 45秒	ウオームスタート: 15秒 コールドスタート: 45秒
1PPS	なし (要改造)	あり
インターフェイス	RS232: 4800bps, 8bit, Noparity, 1stop	RS232: 4800bps, 8bit, Noparity, 1stop
プロトコル	NMEA 0183 V2.2	NMEA 0183 V2.0

しばらくしてもう一つGPSを入手しました。GARMIN社の15Lです。このGPSは1PPS出力を持っているので無改造で使えます。概略スペックを表3-1に示します。

DC-210と15Lの1PPS信号精度を測定してみました。DC-210は $\pm 30\text{ nS}$ (25 nS かも)のバラツキがあります。15Lは $\pm 100\text{ nS}$ のバラツキです。測定データを図1に示します。DC-210はアンテナ一体なのでアンテナを取り外し別置きとして屋根の上に設置しています。パッシブアンテナなのでRFアンプは本体側にあります。アンテナには直接同軸を半田付けして延長してより同軸での減衰が心配でしたが、

ならない理由は短期間の安定度です。1PPSにロックさせると言うことは周波数の制御は最短で1秒間隔になります。たとえば発信周波数が1秒に1Hzずれる発振器だとすると、周波数の補正直前に1Hzずれていることになりますので、10MHzに対して 1×10^{-7} より良い結果は得られません。OCXOも同様にネットオークションで型式TCO-6920を入手しました。これはダブルオープンタイプで安定度はカタログによると $\pm 5 \times 10^{-11} / \text{day}$ となっています。周波数さえきっちり合わせられれば、このまま使っても良いからです。当然ですが電圧で周波数を可変できるタイプでないとダメです。そう言う意味ではOCVCXOでなければなりません。

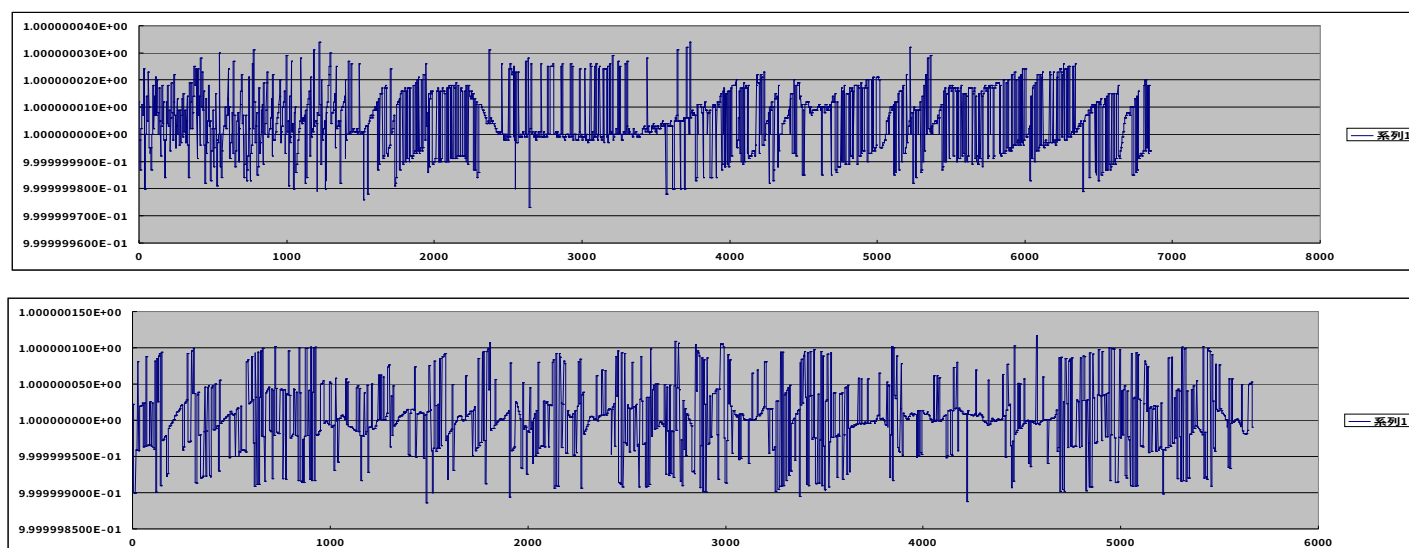


図3-2 上がDC-210、下が15Lです。同じように見えますがスケールの単位が違います。上は10nSで下は50nSです。

どうにか動作しているようです。15LはRF内蔵型のアクティブアンテナを使用します。いわゆるカーナビ用のGPSアンテナです。このアンテナも同様に屋根の上に設置しました。1PPSのバラツキから見るとDC-210の方が良いのでこちらを使いたいところですが、パッシブアンテナと言うところが少し不安です。どちらを使用するかは実験をしながら決めて行きたいと思います。(図3-2参照)

3. 2OCXOの入手

GPSの次に入手しなければならないのはOCXOです。TCXOでも良いかもしれませんができればOCXOを入手したいところです。OCXOでなければ

3. 3制御CPU

さてCPUで2信号の位相を検出しなければなりません。ハードロジックのように位相差をアナログ電圧に変換してA/Dで読むことも考えられますが、それではそのアナログで制御すれば良いことであり、そのアナログ生成が困難なので苦勞するわけですから、アナログの考え方は意味がありません。そこで位相差を

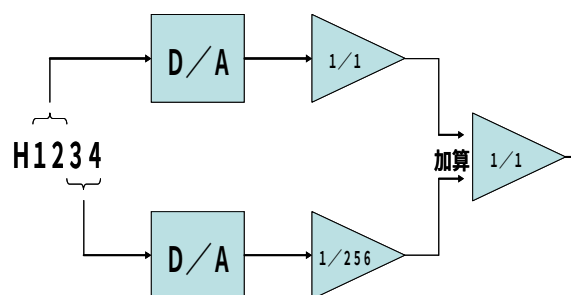


図3-3 D/A出力の合成

カウンタでカウントする方法を考えて見ました。

制御CPUを何にしようかと考えましたが、丁度手元に秋月のAKI-H8（3048）が実験用としてありましたし、カウンタを内蔵していますのでこれで制御する方法を考えました。また、OCXOのコントロールはH8のD/A出力で制御すれば良いと単純に考えました。

しかし、H8のD/Aは8Bitコンバータです。リファレンス電圧を5Vとすれば分解能は $5/256=19.5\text{mV}$ となります。OCXOの電圧による周波数

3. 4ハードウェアブロック

以上のGPSとOCXOを使って基準発振器を製作します。1PPSは比較的周期が長いのでCPUを使って制御するのが楽なようです。CPUには使いなれたH8CPUを使うことにしました。H8CPUを使ったハードウェアブロックは図3-4のようになりました。H8マイコンは製作開始当初はH8/3048を使っていたのですが、最終的にはH8/3052にしました。

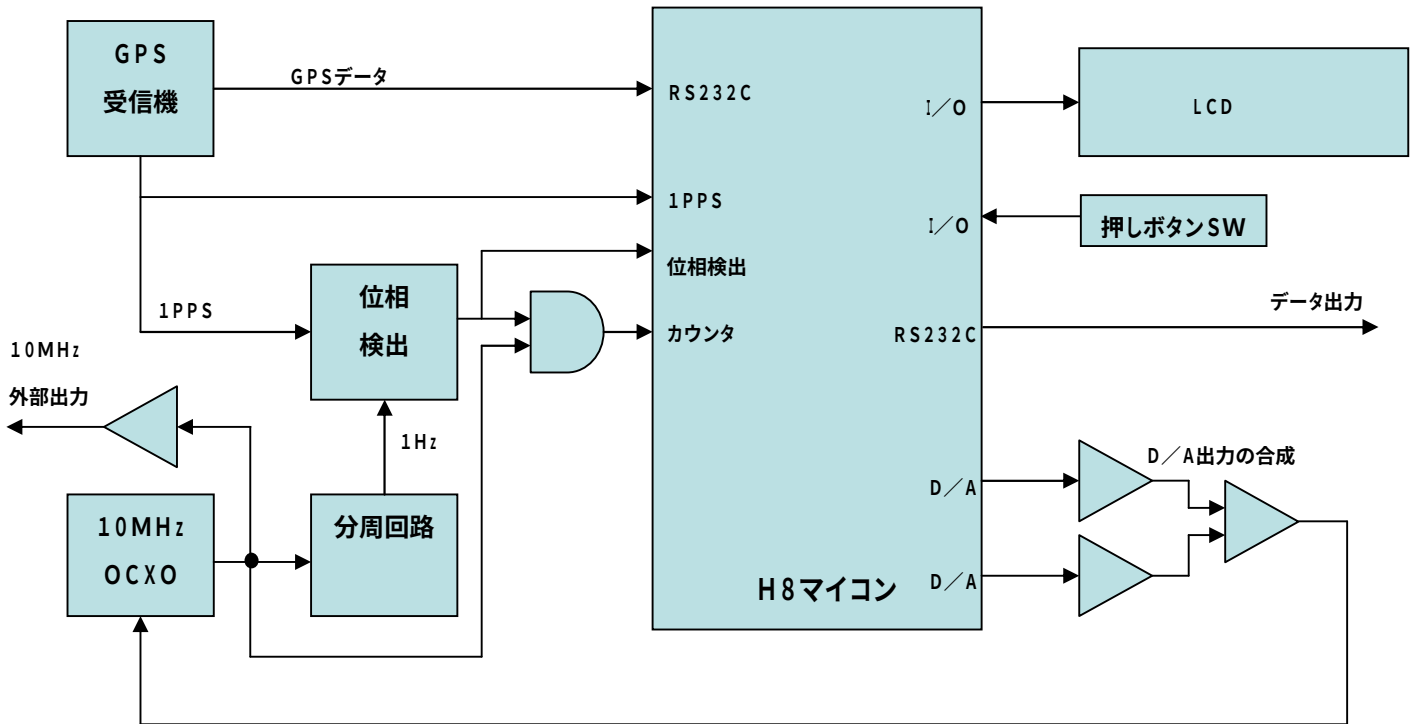


図3-4 ハードウェアブロック図

可変範囲は $5\text{V} \pm 5\text{V}$ で $\pm 3\text{Hz}$ となっています。19.5mVでは11.7mHzの分解能です。ちょっと荒すぎます、せめて0.1mHz分解能は欲しいところです。オペアンプを付けて100分の1にすればよさそうですが、周波数可変範囲が0.03Hzとなってこの制御範囲に調整で追い込むのは大変そうです。

H8にはD/A出力が2つあります。これを合成すれば8Bit+8Bitで16BitD/Aとなるはずですが、つまり16進数で4桁の上半分と下半分をそれぞれD/Aコンバータへ出力し、下半分の出力を256分の1にして上半分の出力と加算すれば全体で16BitのD/Aコンバータと同じになります。（図3-5）これで分解能は約46μHzとなります。

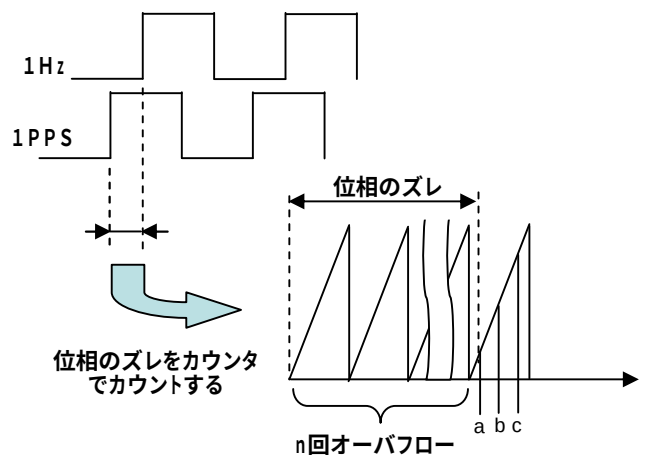


図3-5 カウンタのカウンタ値の変化

(1) 位相検出

GPSからの1 PPS信号と10MHz OCXOの分周出力1 Hzの位相を比較するには、1 PPSの立ち上がりから1 Hzの立ち上がりまでをH8の16 bitカウンタでカウントします。カウントする信号源はOCXOの10MHzを利用しますが、16 bitカウンタなので65535までカウントするとオーバーフローします。位相差が最大で1 s (1 Hzなので) となりますので、10MHzをカウントすると152回オーバーフローします。オーバーフローしてしまうカウンタが役に立つのでしょうか。発振器の位相がロックしているということは、位相がズレないことであり、カウンタの値が変化しないはずです。何回目のオーバーフローであるかは関係なくカウンタの値が変化しないようにD/Aデータを制御すれば周波数がロックしたことになります。

たとえば、n回目のオーバーフローの後のカウント値が図3-5のa点であればD/Aの制御電圧を低くして周波数を下げることによってカウント値が増える方向へ位相がズレb点へ向かいます。また、c点であれば制御電圧を高くして周波数を高くすればカウント値が減る方向へ位相がズレb点へ向かいます。b点で

丁度10MHzになるように設定しておけばb点に落ち着いてカウント値は変化しなくなるはずです。つまりオーバーフローの回数nは問題ではなく、いかにカウンタの中央値に引き込むかです。

(2) D/A出力

1 PPSの信号と位相検出の信号はH8の割り込みのできる入力ポートへ接続し、割り込み処理とします。割り込み信号によりカウンタ値を読み込んでD/Aへ出力すべき値を計算し、D/Aへ出力します。D/A出力は前述のように2チャンネルを合成し16 bit D/A出力とします。

(3) 表示器と押しボタンSW

表示器には時刻、GPS受信状況、位相カウンタ値、D/A出力データ、パラメータを表示させます。時刻はJST、UTC切り替えとし、パラメータは編集モードでデータ設定できるようにします。このため、切り替えSWを設けファンクション表示をしてSWの機能切り替えをするようにします。ファンクション表示をさせると2行表示では不足しますので、4行表示器にします。表示器は20文字×4行の表示ができるSC2004Cを使い、H8のI/Oポートで制御するようにします。

押しボタンSWはジャンクBOXから拾い集めました。

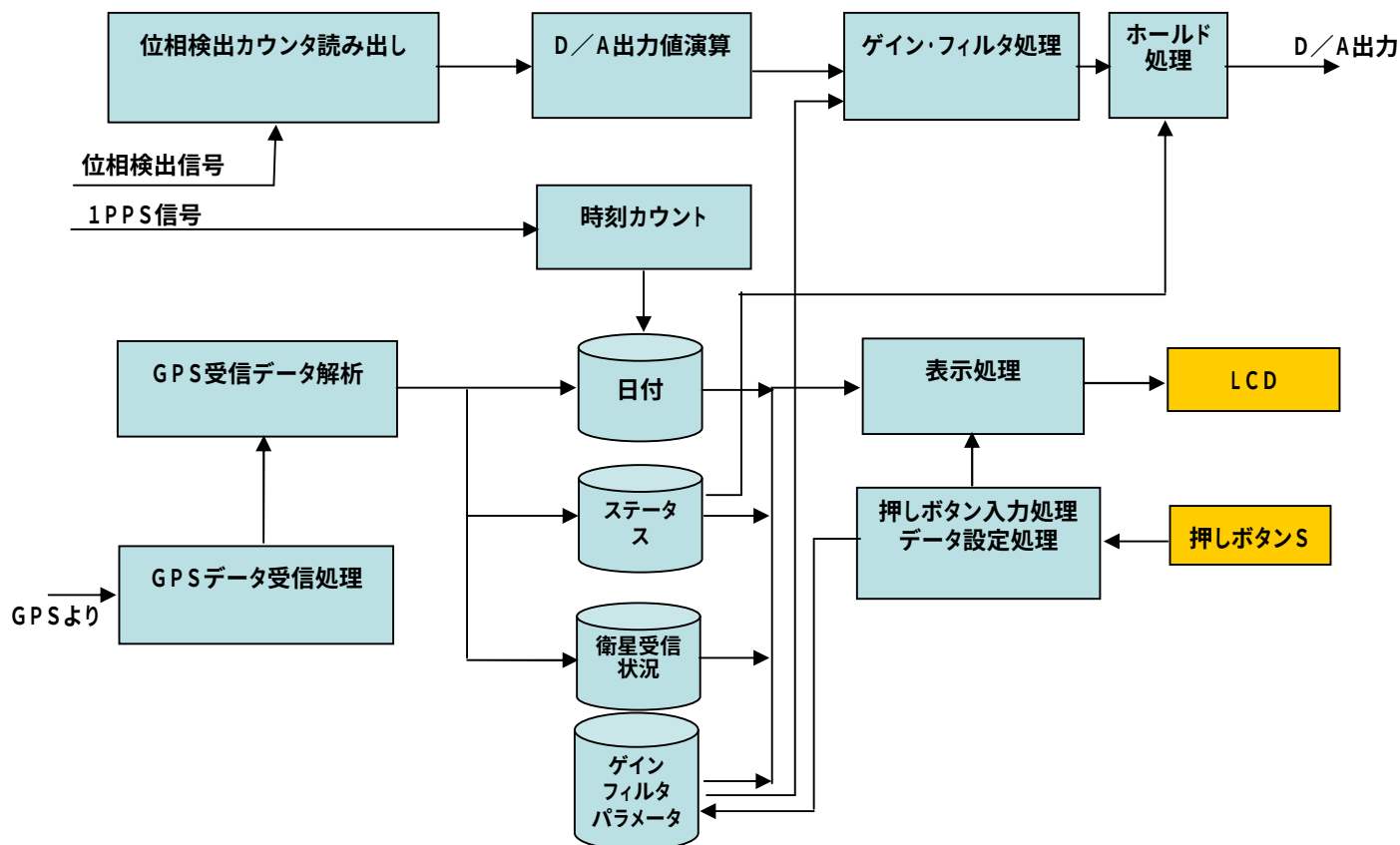


図3-6 ソフトウェアブロック図

4個を表示器の下に並べて付けて、表示器の最下行にファンクション表示をし、SWの機能を切り替えて使うようにします。SWの信号はH8のI/Oポートで読み込みます。H8/3048はI/Oポートが多いのでこのような用途には最適です。

(4) 通信ポート

H8/3048は通信ポート(RS232C)を2つ持っているので、1つはGPSとの通信に使い残りは外部へ出しパソコンと接続できるようにします。

3. 5ソフトウェアブロック

図6にソフトウェアの機能ブロック図を示します。

(1) 位相検出カウンタ読み出し

位相検出信号の割り込みで16bitカウンタの値を読み出します。オーバーフローは前述のように無視し、カウンタ値だけを取り込んで次に備えてクリアしておきます。

(2) D/A出力演算

カウンタ値からD/A出力値を計算します。位相カウンタが中央値(8000H)へ収束する方向へのD/A値となるようにします。

(3) ゲインフィルタ処理

D/A値をそのまま出しても(ゲイン=1)良いですがゲインを設けて設定を変えて実験できるようにしました。たとえばゲインを3にすれば、カウンタの値の変化の3倍のD/A値の変化になり位相の変化に対する感度があがります。ただし、分解能が悪くなりますので実験で最適な設定値を決めるようにします。

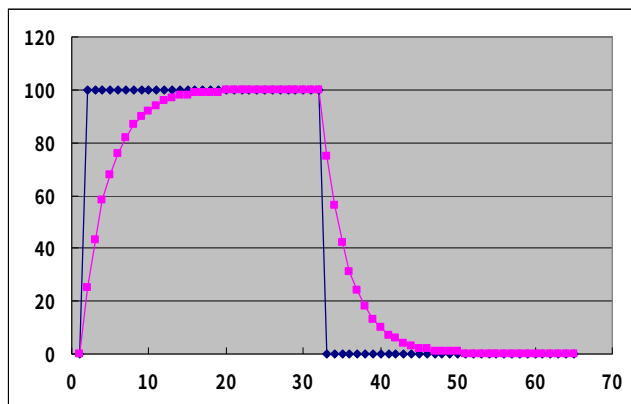


図3-7 フィルタの波形

フィルタはゲイン計算の結果を平均化して出力するために入れます。これにより1PPSのジッタを軽減しま

す。フィルタは移動平均フィルタが一般的ですが、単純平均ではなく指数タイプにしてみました。

図3-7はエクセルでフィルタ演算のシミュレーションを実行した波形です。矩形波形が入力データで、なだらかな波形がフィルタの出力波形で、コンデンサの充電・放電の様な指数関数波形と近似しています。ただし、単純な整数演算での計算であり、指数演算をやっている訳ではないので厳密には指数関数波形ではありません。

(4) ホールド処理

ホールド処理は周波数ロック後にGPSデータが何らかの理由で喪失した場合に基準周波数を安定化するために設置します。GPSデータのステータスが3D以外になると1PPSの信頼性が落ちますので、この時にD/Aデータを単純にホールドするようにします。D/Aデータを変化させなければ、OCXOの安定度と電源の安定度で周波数が保持されます。この間の温度保証などは特にやっていません。いわばOCXOまかせの状態です。

(6) 時刻カウンタ

1PPSの割り込みで時刻のカウント処理を行います。GPSから受信した時刻データを元に時刻をカウントして現在のUTC時刻を生成します。JSTはこの時刻に9時間加算してJSTを生成します。また、このタイミングで周波数がロックしたかどうかの判定も行っています。

(7) GPS受信データ処理

GPSからのデータを受信します。RS232Cの受信データをバッファに受けてGPSデータ解析へ渡します。バッファは2つ準備して交互に解析へ渡し、解析中でも次のデータを受信できるようにします。

(8) GPS受信データ解析

GPSからの受信データはNMEAフォーマットで送られて来ます。これを解析して日付・時刻データ、ステータス(データの有効性、モードなど)、衛星受信状況(見えている衛星数、有効な衛星番号、受信レベルなど)を抽出してデータバッファへセットします。

(9) 表示処理

LCDへ日付・時刻、GPSステータス、GPS受信状況、カウンタ読み込み値、D/A出力値、ゲイン、フィルタ時定数、バックライトフラグ、バックライト点灯時間の表示をします。表示は表示フラグで切り替えます。

(10) 押しボタン入力・データ設定処理

押しボタンは4個にして画面毎に機能を切り替える、いわゆるファンクションキーのようにして、画面の4行目（最下行）に押しボタンの機能を表示するようにします。ディジタル時計が少ないボタンでうまくデータ設定できるように、少ないボタンでデータ設定するようにしました。使い勝手はイマイチかもしれませんが、しょっちゅう設定変更することは無いのでスペースとの兼ねあわせで4個にしました。

4. ハードウェアの製作

ハードウェアの回路図と製作の解説をします。

4. 1 CPUユニット

CPUユニットの回路は図4-1のようになります。

CPUのAKI-H8/3052は回路図には書いてい

ません。CNx-x xの記号がH8のコネクタ番号になっています。

(1) 位相検出

位相検出は10MHzから分周した1Hzの信号と1PPSの信号の位相差をカウンタでカウントすれば良いのですが、位相差を検出する回路を考えるのが面倒なので、ソフトで対処しようと考え（その方が面倒？）検出回路は単純にそれぞれの信号でカウンタをスタートさせて、両方の信号がそろったところで割り込みを掛けて、それぞれのカウント値を読み込み差を取れば位相差が分かるという仕掛けです。

(2) D/A出力

D/A出力は前述のように2チャンネルを合成しています。16進数の下の2桁を受け持つ出力は5Vを単純に256分の1にしようと思いましたが、電圧が小さくなりすぎてS/N比が悪くなることが考えられます。で

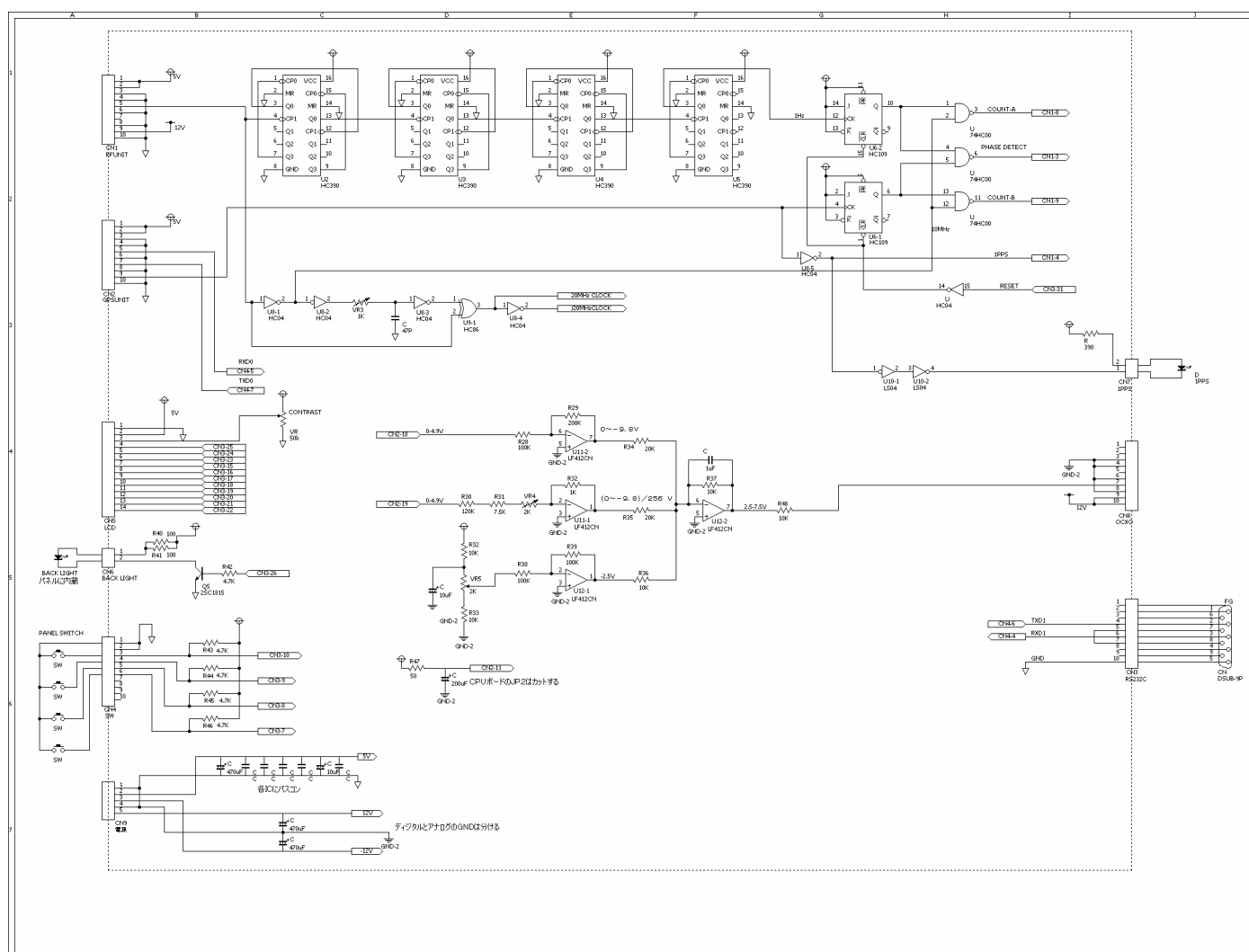


図4-1

きるだけ分割数を小さくしてS/N比をかせぎたいとこれです。そこで、このチャンネルを128分の1にして、一方のチャンネルを2倍にして加算するようにしました。つまり一方をMAX10V、もう一方を5V/128=10V/256としてその後加算するようにします。これで最小電圧は5V/256とするよりも2倍の電圧となりS/Nの改善が期待されます。ここに使う抵抗は誤差1%の金属皮膜抵抗を使います。

AKI-H8のD/A出力CH1は上位8bit、CH2には下位8bitが出力されます。H8はワードアクセスするとアドレスの少ない方に上位8bitが出力されますのでご注意ください。

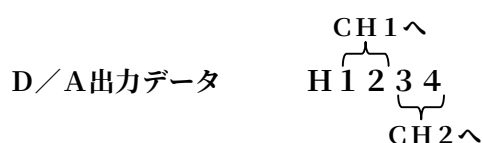


図4-2

CH1(CN2-18)はオペアンプで2倍にします。CH2(CN2-19)は同様に128分の1にします。それぞれの出力を加算すると同時に2分の1にします。さらにオフセットを2.5V掛けることで、D/A出力データ0~FFFFで最終出力電圧は2.5V~7.5Vになります。OCXOのコントロール電圧が5V±5Vとなっていますので、5V中心に変化させる必要があります。D/A出力が5V±2.5Vとなることで、約±1.5Hzの変化になります。

CH2の128分の1の回路に調整箇所を設けました。電圧を加算したときにうまく直線的に変化するようにしなければなりません。オペアンプの回路には金属皮膜抵抗1%タイプを使っていますが、なにせ128分の1なので1%の誤差では大きすぎます。回路図のVR4は多回転タイプ(25回転)を使用して細かい調整ができるようにしています。

VR4の抵抗値が小さい場合は継ぎ目は図4-3のようになり、逆に大きすぎる場合は図4-4のようになります。最適に調整すれば図4-5のようになります。この調整のためには1μV位が測定できるデジボルが必要です。

このオペアンプの回路のGNDは独立に配線して1点アースとなるようにし、配線がループを描かないようにします。また、デジタル回路のGNDとは電源入力部のコンデンサの部分で接続します。こうすることで少しでもデジタル回路のノイズが混入しないように心がけ

ます。

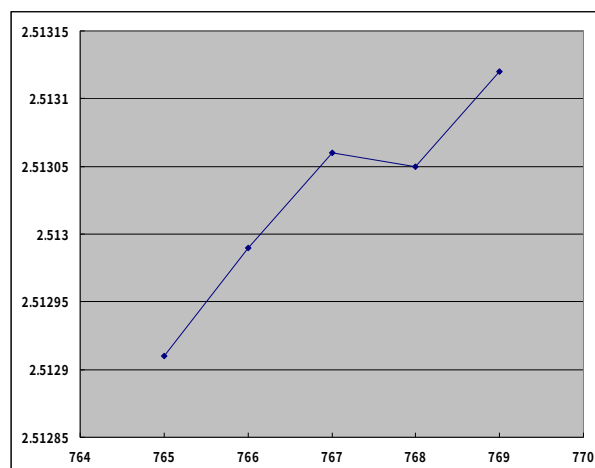


図4-3

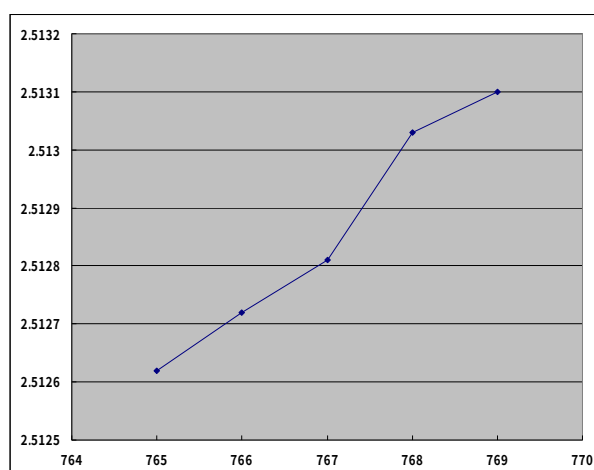


図4-4

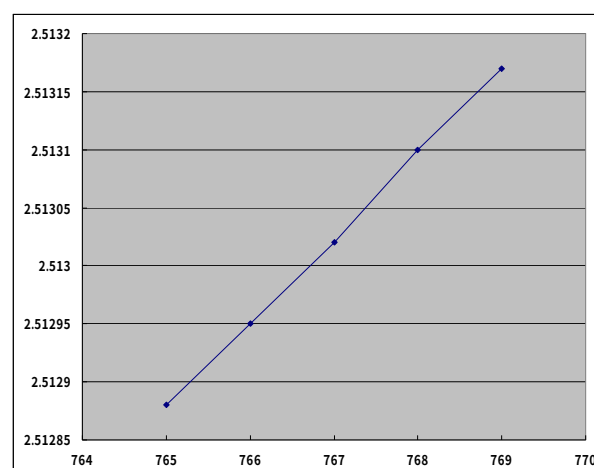


図4-5

組み立て完了後、実験をしているとどうもD/Aにノイズが乗っているような挙動を示します。オペアンプ回路のグラウンドはCPUとロジックのグラウンドと分けていますので、ロジックのノイズは乗りにくいはずですが、オペアンプの出力にオシロスコープを接続して観測しましたが、良くわかりません。そこでパソコンのマイク端子にオペアンプの出力を接続してFFTアナライザソフトで観測しました。つまり、ノイズ成分をマイクアンプで増幅してFFTで観測しようと考えたわけです。すると外部へ接続したRS232Cの通信と同期してFFTの波形が変動することが判りました。どうやら通信の負荷で5Vにノイズが乗っているのかもしれませんが、D/Aのリファレンスを5Vにしたのがまずかったようです。そこで、D/Aのリファレン스에フィルタを入れることにしました。AKI-H8/3052ボードのJP2をカットして外部からリファレンスを入れるようにして、5Vから50Ωの抵抗と200μFのコンデンサでフィルタを形成してCN2-11から供給しました。これでノイズはFFTアナライザでも観測できない位になり、ノイズの乗ったような挙動は無くなりました。内部のGPSとの通信ノイズが乗っていたかどうかは判りませんが、波形の観測だけでは乗っていないような感触でしたが、リファレンスにフィルタを入れたので判らなくなりました。

(波形の保存に失敗したので波形はありません。)

ICの電源とGND間にはパスコンを入れます。特に10MHzから1Hzへ分周する74HC390の周波数の10kHz以下の部分にはパスコンと電解コンを入れます。周波数が低いのでパスコンの容量も大きくしておきます。

LCDの接続はH8のI/Oポート1、2を使用します。LCDのステータスを読み込む必要があるので出力モードと入力モードが切り替えられるポートを使用(H8は全てのI/Oが切替可能)します。

SW(ファンクションキー)はI/Oポート3から読み込みます。割り込みは使用せずソフトスキャンで読みます。

位相の検出タイミング信号と1PPS信号はI/Oポート8の割り込みに接続します。この2つの信号だけ割り込み処理とし、他のキー入力やLCD表示処理は内部クロックの割り込みで処理します。もう1つ使っている割り込みは通信ポート0の割り込みです。GPSからの通信データを受けます。

他の各ユニットとは実験やメンテを考慮してフラットケーブルで接続するようにします。コネクタは10ピンを採用しました。LCDへの接続だけは14ピンです。GPSユニットはGPSを2種類入手したので2個作成し

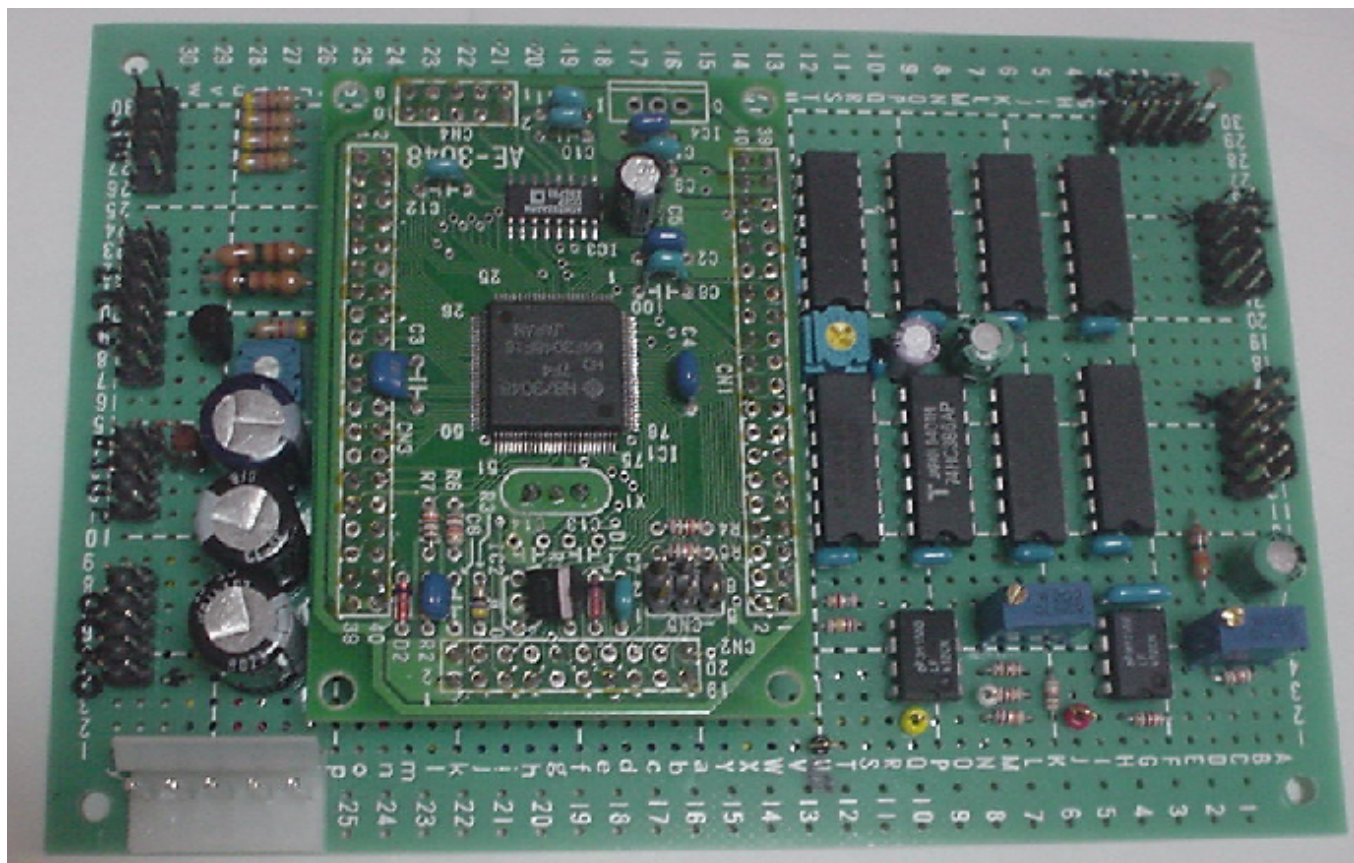


写真4-1

てコネクタの差し替えだけで交換できます。基板の取り外し改造も簡単にできます。

写真4-1に組み立てた状態を示します。AKI-H8には実験開始当初のH8/3048が装着されています。これは後にH8/3052に変更しました。ピンコンパチなのでそのまま差し替えできます。なお、回路図の20MHzクロックは使用していません。

るので、コイルの線を切らないように足を切らなければなりません。足の根本を少し残すようにします。(この先FCZコイルの入手は困難でしょう。無精しないでトロイダルコアで作しましょう。)

VR1はバイアス調整で、スペアナで見ながらスプリアスの少ない所に調整します。VR2は10MHzのTTL波形をオシロで見ながら50%デューティに調整します。

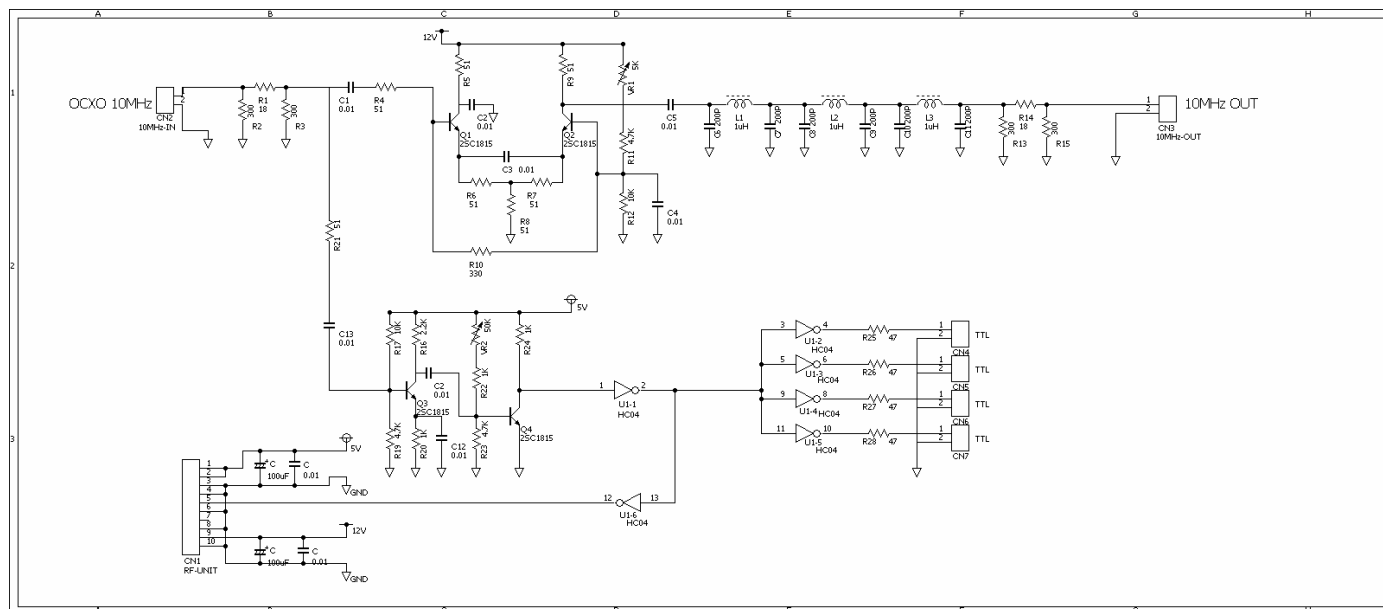


図4-6

4. 2 RFユニット

RFユニットの回路図を図4-6に示します。

OCXOからの10MHz出力をインプットして、3dBパッドを通して2つに分けます。一つはコレクタ接地アンプとベース接地アンプのカスケード接続アンプで増幅して、ローパスフィルタと3dBパッドを通してSIN波の約5dBm出力とします。もう一つは5Vの矩形波に変換してTTL出力とします。

TTL出力の一部をCPUユニットへの10MHz出力としています。

10MHzのローパスフィルタのコイルは計算上1μHのコイルとなります。小さいトロイダルコアが入手できなかったで、手持ちのFCZコイルの5mm角の50MHz用(FCZ05S50)を使いました。FCZコイルの資料を見ると50MHzコイルのインダクタンスはMAX0.86μHとなっています。資料からみると28MHzコイルの方が良いかもしれませんが、手持ちが無かったので50MHzのコイルで製作しました。

(写真4-2)

FCZコイルは写真のように斜めに付けると足が丁度穴に合います。ただし、3本足の真ん中は切断する必要があります。コイルの線は外側で足に半田付けされてい

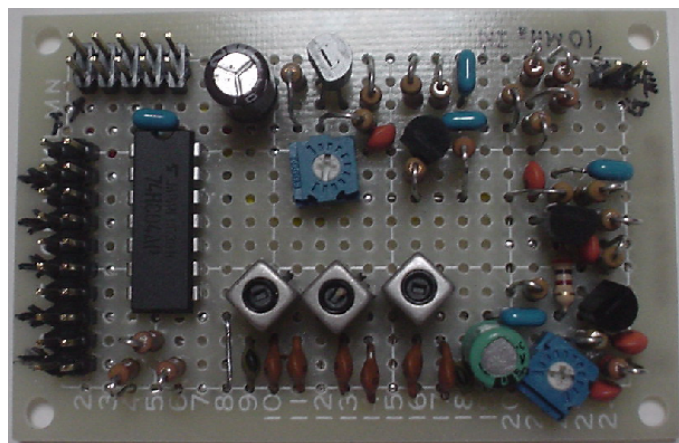


写真4-2

4. 2 GPSユニット

前述のようにGPSユニットは2個製作しました。写真4-3はDC-210を使ったユニットです。

写真4-4はGARMIN 15Lを使ったユニットです。

入手した15Lは24時間以上連続運転するとハングアップして機能なくなることが判りました。入手した15L固有の問題だと思いますが、これでは使用できないので、DC-210を使わざるを得ません。

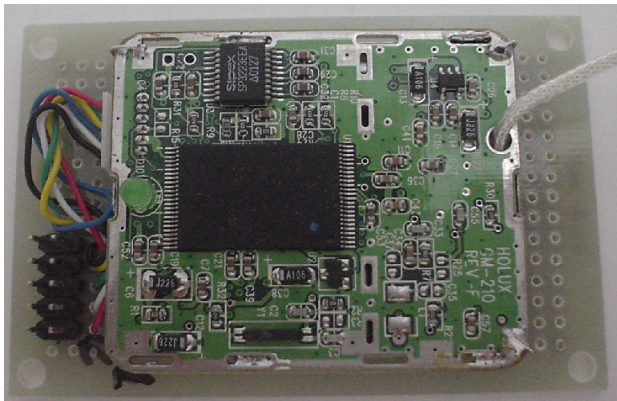


写真4-3

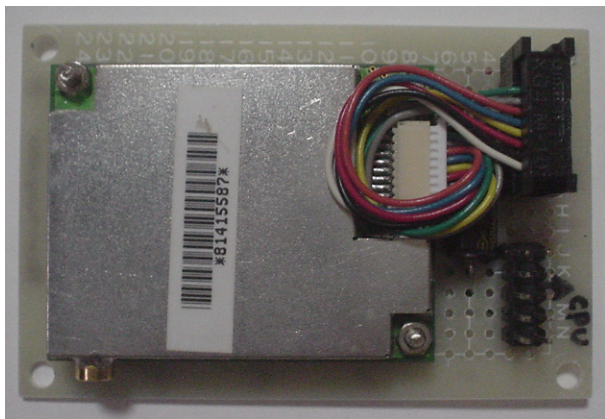


写真4-4

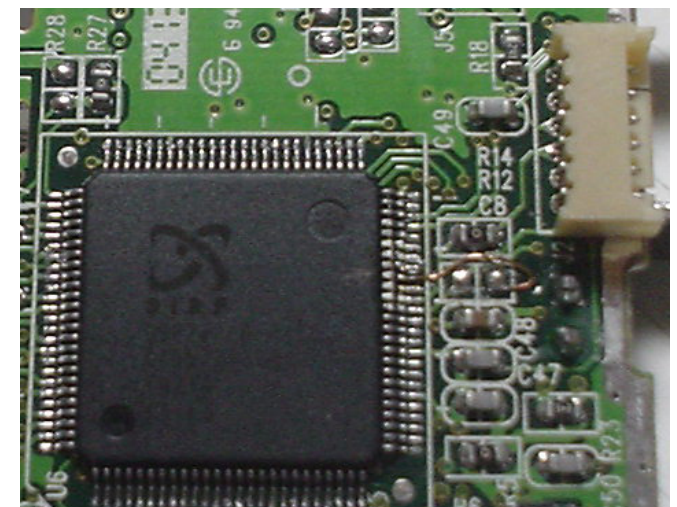


写真4-5

図4-7がDC-210を使ったユニットの回路図です。GPS本体のコネクタ5ピン、6ピンはTTLレベルの出力と入力になっており、今回は使用しませんので、

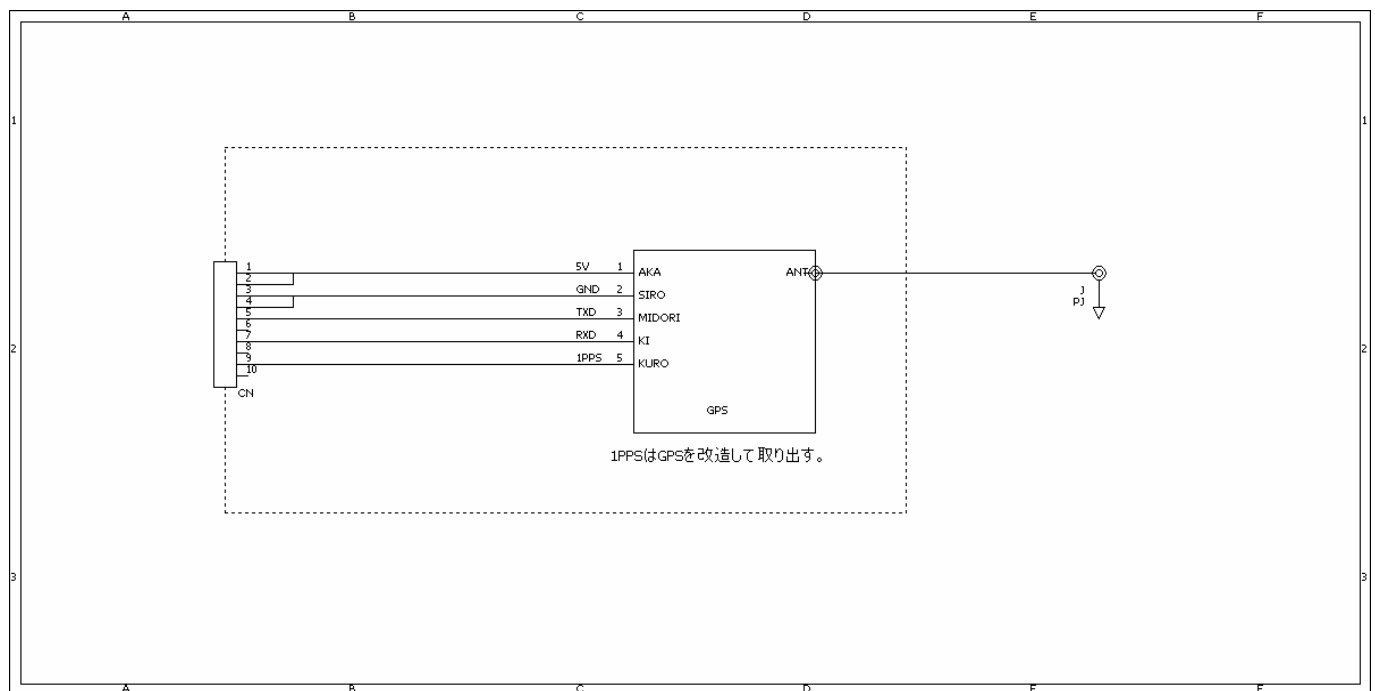


図4-7

5ピンから1PPS信号を取り出すように改造します。GPS2e/LP-7450の42ピンから5ピンのTTL信号へ接続しますが、丁度良く5ピンからTTL信号出力への接続途中に0Ω抵抗のいわゆるジャンパがありますので、このジャンパ抵抗を取り去って、5ピンへ行く側にICの42ピンから細い線で接続します。(写真4-5参照)

4. 3 OCXOユニット

OCXOはTCO-6920をユニバーサル基板に取り付けただけです（図4-8）。

写真4-6は基板に取り付けたところです。

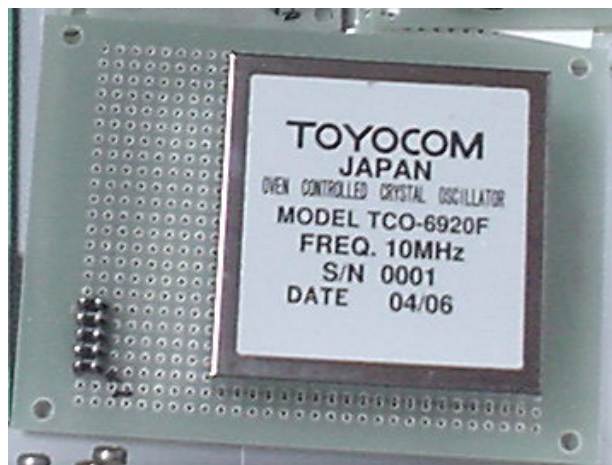


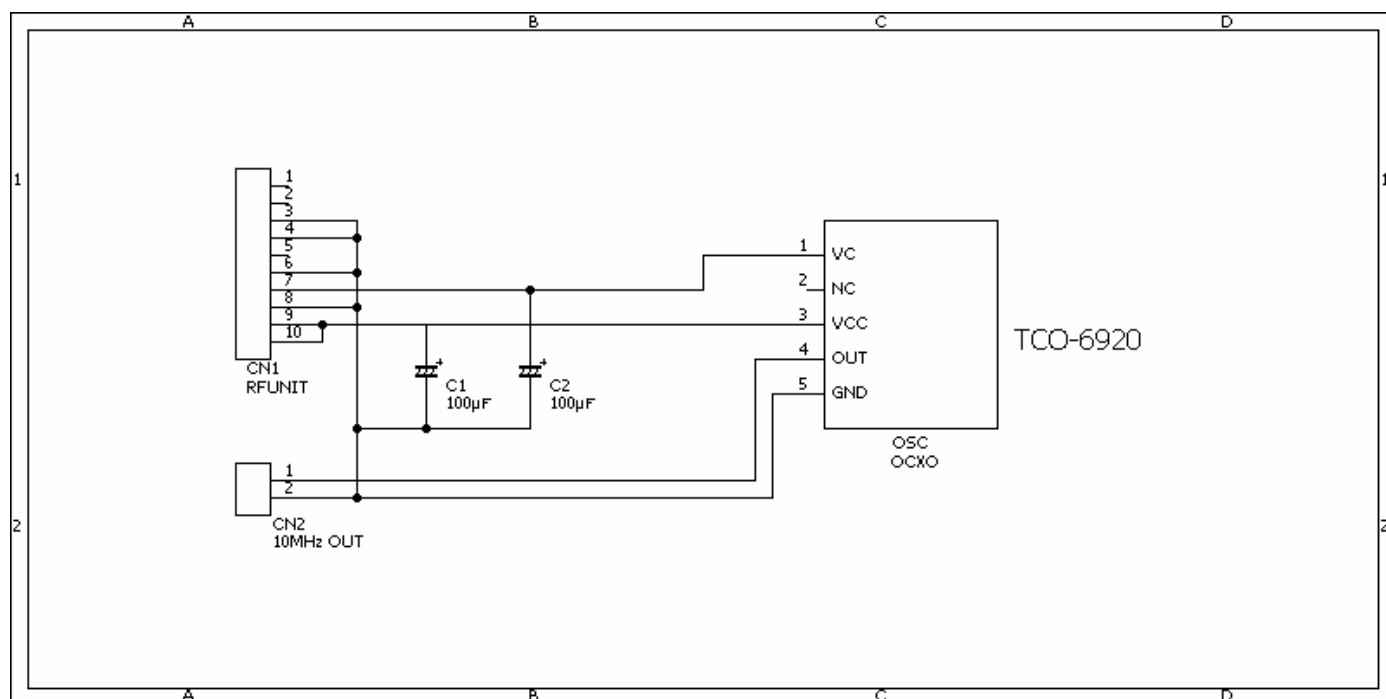
写真4-6

基板に装着したところ。配線はこれから。

図4-8

ダブルオープンなので温度変化は少ないと考えられますが、さらに断熱材で覆ってみました。（図？-？）

電源回路と周波数制御電圧回路にノイズ防止用コンデンサを入れてあります。周波数は1秒周期での微小な制御となりますのでコンデンサの容量は大きめにしています。

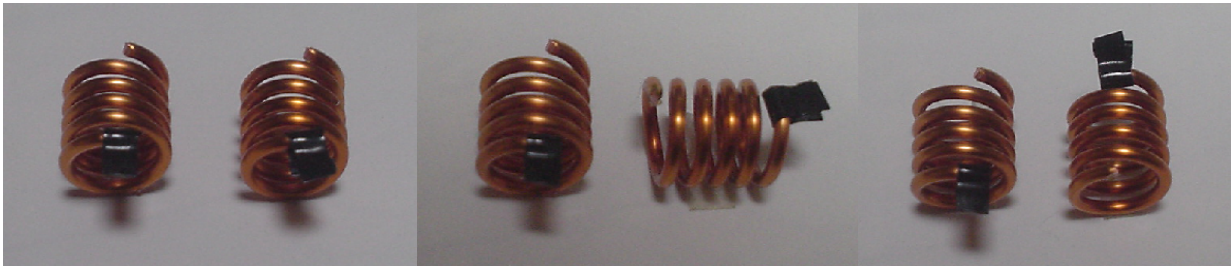


===コーヒープレイク===



○ダミーを製作するときに抵抗を2本使って1本を逆にして並列接続したので、お互いに電流の流れる方向がキャンセルされて周波数特性が良くなったとの記事を目にしたことがあるが、本当かな？

では、検証してみましょう。抵抗はサイズを小さくするために抵抗体は抵抗器に螺旋状に作られています。このため抵抗にはインダクタンス成分（L成分）があります。このL成分が比較的高い周波数で効いてくるのでキャンセルしたかったのだと考えられます。抵抗の螺旋状を判りやすくコイルで表してみました。図Aをご覧ください。抵抗の螺旋をコイルに見立てて2個のコイルを置いてあります。向きが判るように目印を付けてみました。図Cは右側のコイルを逆にした所です。目印を付け替えただけのようにも見えますが、図Bの途中の状態を目で追って頂ければ逆に向けている様子がわかると思います。



図A

図B

図C

さて、このコイルに電流を流したとします。図Aでの電流の流れ方、と図Cの電流の流れ方は同じです。どちらも手前から電流を流すと左回りに流れることがお分かり頂けるでしょう。逆にすると右回りになりそうですが実はなりません。

身近なところでも経験があると思いますが、ネジをナットで締めるときを考えてください。ナットの内側にはネジが切っています。当然これはコイルのように螺旋状になっています。ナットは通常右へ回せば締まります。では、ナットを裏返しにして締めようとするとうどうなりますか？やはり右へ回せば締まります。裏返したからといって左回りにはなりません。

そうです。冒頭に書いた抵抗の片側を逆にしても、しなくても結果は同じです。キャンセルすることはありません。Lを並列にしたために実効インダクタンスが減少したと考える方が自然です。

アマチュア無線家はチャレンジ精神だとしてこのことを寛大に見てあげるとすれば、抵抗を逆にとキャンセルするのでは無いかと閃いたらデータを探って比較して頂けたらと思います。今回の場合はデータを探れば差が無いことに気づいたかもしれません。



4. 5 電源とケース

電源はOCXO用に電圧12Vで1A位の電流を供給できるものがが必要です。それにロジック回路に5Vとオペアンプ用に-12Vがあれば良いです。これもネットオークションでひたすら待ってようやく入手できたのがCOSELのPMC30-1というスイッチング電源です。仕様は5V(3A)、+12V(1.2A)、-12V(0.3A)です。大きさも組み込むのに丁度よい大きさです。基板と電源をならべてケースの大きさを見積もり買出しに行きました。なかなかデザインがよくて丁度よい大きさのケースが見つかりません。ようつやと少しきつかなという大きさのケースに決めました。

ケースはタカチのUS-260LHで大きさは、260W×190D×85Hです。ケースに基板と電源を並べてみたところが写真4-7です。

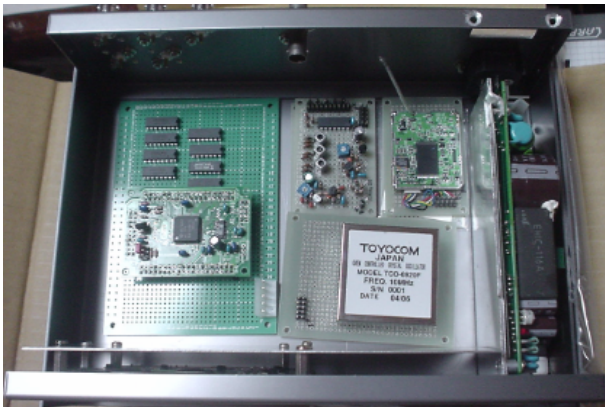


写真4-7

LCDは内部にアルミパネルを立ててそこにとりつけました。ファンクションSWもユニバーサル基板を加工して取り付けました。組み立てた状態の写真しかありませんが、写真4-8のようになりました。ただし、このLCDの位置は左に寄り過ぎています。最初に位置あわせを行ったときにLCDを逆さまに合わせてしまいました。LCDの基板のシルク印刷がまともに読める方向に置いてしまったのです。説明書をよく見ると接続コネクタが左に来なければなりません。そうするとシルク印刷の文字は逆さまになります。



写真4-8

試しに通電したときには気づかず、右下にカーソルらしき表示が出てきました。まだ設定がうまく行っていないと思い、説明書を読みながら設定すると何だか不思議な記号が現れました。えー！不良品かな（失礼、本当にそう思ったのです）・・・。数分後、あ！逆さまだー。

その後一生懸命取り付けなおしました。前面パネルに四角い穴（表示窓）を開けているので、それに合わせて取り付けネジの穴の明けなおしです。接続コネクタが左に来るためこのままでは蓋が閉まりません。L字型コネクタを少し加工して何とか収めることが出来ました。

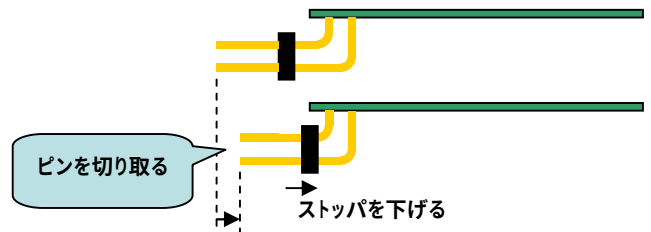


図4-9

内部のアルミパネルを加工してコネクタを後ろの方向へ出せば良いのですが、コネクタが右側になるつもりだったのでL字型コネクタにしてしまいました。この加工でダメなら後ろへ出すしか方法は無いですが、何とか収まったのでこのままにしています。