

高周波電圧計を作る

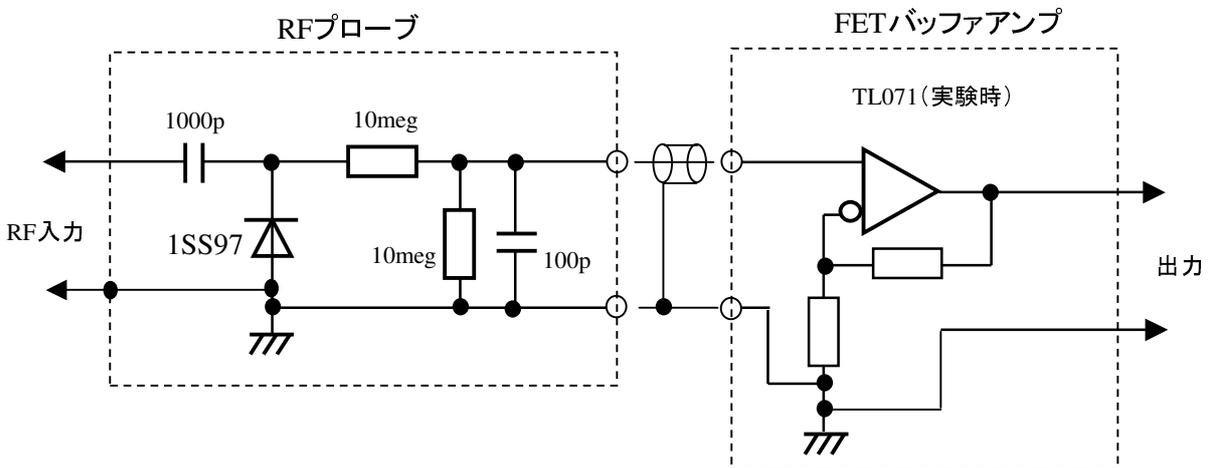
2014.08.01 JA1VCW

1. 高周波電圧計 (Radio Frequency Volt Meter)

機械を作ったり調整したりする時に、高周波の電圧が測定できると便利です。オシロスコープなどで測定値を画面から読み取ってもよいのですが、専用の電圧計があればより楽になります。性能のよい、高インピーダンスの高周波検出器 (RFdet) をご近所のOMが開発されましたので、それを使用して高周波電圧計 (RFVM) としてまとめてみました。

2. 高周波検出器 (RFdet)

一番重要なRFdetの部分です。この回路をRFプローブとして組み込みます。RFdetの入力インピーダンスは可能な限り高いほうが被測定回路に影響を与えません。ダイオードの負荷抵抗がとても大きな抵抗値です。以前この抵抗値が100MΩの回路を見たことがあります。



入出力特性の一例 (実験。バッファアンプのゲインは不明。)

| 1MHz sine V rms | DC 電圧 mV DC |
|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|
| 0.00 | 0.00 | 0.32 | 319.73 | 1.40 | 1758.90 | 3.80 | 5066.20 |
| 0.10 | 65.18 | 0.34 | 339.52 | 1.60 | 2033.80 | 4.00 | 5341.60 |
| 0.12 | 82.46 | 0.36 | 364.80 | 1.80 | 2310.70 | 4.20 | 5622.10 |
| 0.14 | 103.12 | 0.38 | 389.38 | 2.00 | 2593.80 | 4.20 | 5622.10 |
| 0.16 | 125.28 | 0.40 | 415.26 | 2.20 | 2872.20 | 4.40 | 5900.50 |
| 0.18 | 147.91 | 0.50 | 543.15 | 2.40 | 3140.60 | 4.60 | 6181.20 |
| 0.20 | 172.10 | 0.60 | 677.42 | 2.60 | 3429.70 | 4.80 | 6459.90 |
| 0.22 | 195.80 | 0.70 | 812.30 | 2.80 | 3711.70 | 5.00 | 6737.20 |
| 0.24 | 220.20 | 0.80 | 950.14 | 3.00 | 3982.30 | | |
| 0.26 | 244.83 | 0.90 | 1087.33 | 3.20 | 4255.70 | | |
| 0.28 | 269.81 | 1.00 | 1221.50 | 3.40 | 4534.40 | | |
| 0.30 | 295.00 | 1.20 | 1492.40 | 3.60 | 4787.80 | | |

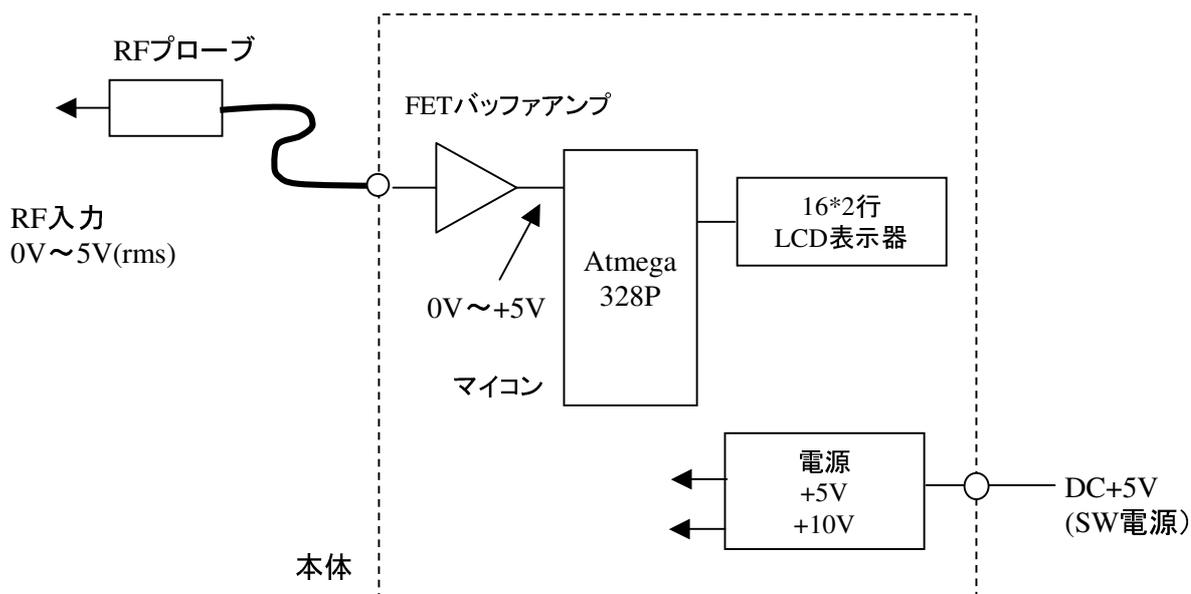
3. その他の回路

デジタル表示のほうが使いやすいので、そのようにします。

- 1)表示は16*2行のLCD表示器を使用します。
- 2)表示のコントロールはマイコンです。(ATMEL社のATmega328P)
- 3)マイコンには10bitのAD変換器が内蔵されていますのでそれを使います。

4. 全体のブロック図

ブロック図はこのようになります。マイコンの“簡単な使用例”のようになりました。



実際の回路としては

- 1)RF入力レンジ 0V~5V をRFプローブでDC値にして、FET入力のバッファアンプを通してマイコンのAD変換器に入力しますが、AD変換器はおよそ+5VでFS1023(カウント)ですので、少し余裕を持って、RF入力が5Vrmsのときにカウント値が1000になるようにバッファアンプのゲインを設定します。
- 2)アンプに安価なLMC662CというC-MOSのオペアンプを使っています。Rail-to-railのアンプですが非反転アンプとして使っている関係上+5V電源では入力の範囲が0V~5Vにはならないので、DC-DCコンバータで昇圧し、0V, +10Vをアンプの電源に供給しています。このオペアンプは最大電源電圧が16Vなので、一般のオペアンプのように±10Vや±15Vでは使用できません。設計時に配慮が必要です。
- 3)おもとの電源は5Vです。SWレギュレータでノイズが心配ですが、RFVMを使いながらノイズの心配をするようなことはなかろうと考えました。5Vの電源では0.5A程度の低電流のものは秋葉原などでジャンクで安価で売っています。恐らくケータイ充電用でしょうがコネクタが特殊なので、付け替えて使用します。
- 4)また内部の+5Vを+10Vからレギュレートして作っています。マイコン内のAD変換器は内部基準電圧がアナログ電源電圧になるように動作させているので、電源電圧が変化しないようにするためです。ACプラグタイプのSWレギュレータよりは電源ICのほうが安定なはずです。
- 5)マイコンのプログラムはベーシック言語のコンパイラである、“BASCOS-AVR”を使用します。デモ版は無償で入手できますが、プログラムメモリの使用量が4095byte以下である制限があります。(4096byte以上になるとエラーが発生してコンパイルしなくなります)ちなみに、今回のアプリケーションでは残りのメモリは数十バイトでした。

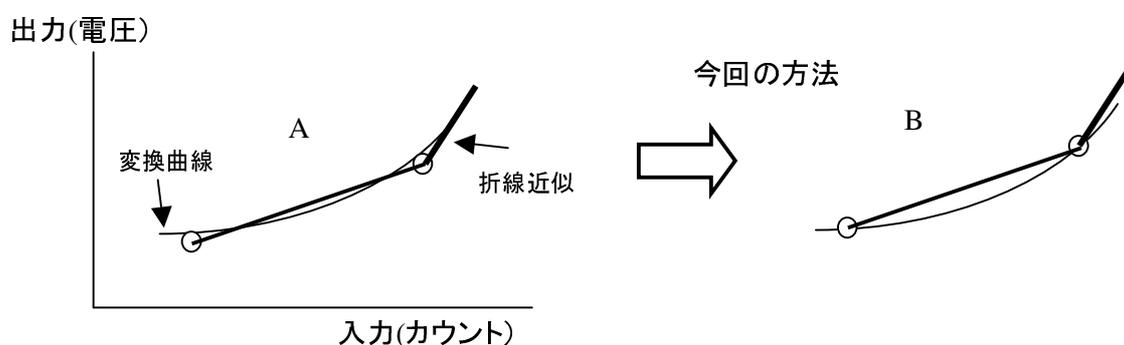
6)RFプローブの出カインピーダンスは約5M Ω と高いので、本体の接続はテフロン同軸ケーブルとテフロンコネクタ(SMA)を使用しました。もっとも内部の配線は一般的なコネクタと実配です。テフロン同軸やコネクタを使用する必要は無いと思いますが、少なくともしっかりしたシールドと高絶縁の部品を使用しないと誘導や湿度の影響を受ける可能性があると思われます。

5. ダイオードの非直線性の補正

ダイオードの検出器では、入力レベルの小さいときに(0V~700mV)出力が入力と比例しないことがおきます。できれば補正したいので折れ線で近似しました。

折れ線の数8区間9ポイントとしました。実測値からこの辺でよいだろうと決めました。(付1.)

図のAのように区間内の誤差を最小になるように補正すればよいのですがそこまでやる必要もなさそうなのでBのようにしました。すなわち曲線上のポイントを折れ線の始点、終点にしました。



比較のために全体を1本の直線で近似して見ると(付2.)のようになりました。

最小自乗法で直線近似の場合です。

(エクセルはこういう計算も簡単にできるので有難いと思います)

これでも200mV以上は使えそうです。

当たり前ですが、分割して近似したほうが精度は上がります。

アナログメータの場合はダイオードの非直線にあわせてメータの目盛りをつければよいので、比較的簡単です。アナログの良い所でしょう。

マイコンを使うので計算能力があります。単にLCDに表示するだけでは芸がありません。

折れ線をRFプローブごとに最適化(キャリブレーション)が可能ないようにしてみました。

6. RFVMの仕様

RFVM (RF Voltage Meter)の仕様です。

仕様

- ①入力測定電圧範囲 : 0V~5V (有効な測定範囲は0.1V~5Vまで)
- ②分解能 : FS付近で約5mV 100mV付近で約7mV
(AD変換後の1カウントに対してどの程度表示値が変化するか)
- ③入力容量 : 2.4 pF / 1 MHz
- ④ダイオードVF補正 : 8ポイント(9本の折れ線)による。
- ⑤表示桁数、単位 : X. XXX V
- ⑥セトリング時間 : 0.5s以下

7. 校正およびキャリブレーション

1)校正

フルスケール(FS)の設定が必要です。

キャリブレーションを行わない場合でもこの1点の校正は必須です。

すなわち、RFプローブに5Vrmsを入力したときに、5.000Vと表示させるための設定です。

キャリブレーション(後出)に使用できる程度の精度の発生器があればキャリブレーションを行えばよいのですが、無い場合は発生器から5Vrms 相当の信号を発生させて校正します。

次のようにして校正します。

- ①5Vrms が得られる1MHz の発生器を用意します。
- ②RFVM のジャンパ設定を JP1:開放 JP2接続 として電源を入れなおします。(JPの状態は電源onの時のみチェックされます) JP1, JP2 については (付4.)のジャンパ接続図を参照。
- ③RFプローブと発生器を接続します。
- ④バッファアンプのゲインを調整して、RFVMの表示値を5.000Vになるようにします。
26.989dBm => 5Vrms (50Ω 終端) => 27dBmで可
20.969dBm => 5Vrms (終端なし) => 21dBmで可

実は5Vrms という値は大きい電圧です。発生器によっては出力できない場合があります。

そのときは3.2Vrms で校正してください。

- 23.113dBm => 3.2Vrms (50Ω 終端) => 23.1dBmで可
17.093dBm => 3.2Vrms (終端なし) => 17.1dBmで可

これで実用上差し支えない程度の精度になります。

実用上差し支えない程度というのは、発生器が実際に使用できる程度の精度ならば、それで校正した機器はまあ使用可能であろうと考えます。

このような突合せの校正では測定精度は発生器の精度より通常良くはなりません。(当たり前ですが)

2)キャリブレーション

検出器が変わったときにその特性ばらつきを補正するために、近似の折れ線をユーザーで変えられるようにしました。この折れ線を作り直す操作をキャリブレーションと呼ぶことにします。

最初から組み込んである折れ線と、作り直した後の折れ線との2種類をジャンパ(JP2)で切り替えて使用できます。

キャリブレーションの方法は別項目を設け(付4.)に記しました。

8. 測定結果

キャリブレーションなしのとき

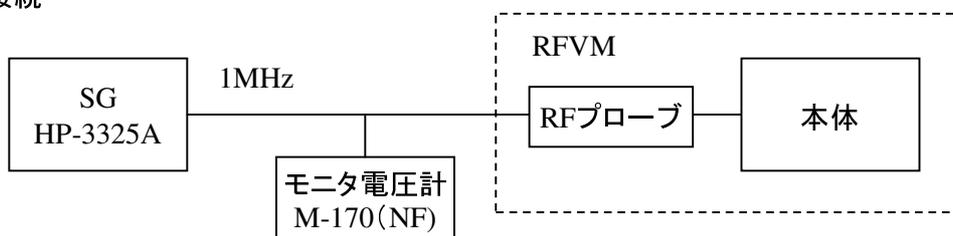
| 入力電圧 (V) | 測定電圧 (V) | 誤差 (%) |
|----------|----------|--------|
| 0.1 | 0.088 | -12.0 |
| 0.2 | 0.194 | -3.0 |
| 0.5 | 0.49 | -2.0 |
| 1 | 0.995 | -0.5 |
| 1.5 | 1.495 | -0.3 |
| 2 | 1.992 | -0.4 |
| 2.5 | 2.492 | -0.3 |
| 3 | 2.996 | -0.1 |
| 4 | 3.941 | -1.5 |
| 5 | 4.956 | -0.9 |

キャリブレーションを行ったとき

| 入力電圧 (V) | カウント値 | 測定値 (mV) | 誤差 (%) |
|----------|-------|----------|--------|
| 0.1 | 99 | 0.099 | -1.0 |
| 0.14 | 14 | 0.133 | -5.0 |
| 0.2 | 25 | 0.2 | 0.0 |
| 0.4 | 61 | 0.399 | -0.3 |
| 0.8 | 142 | 0.805 | 0.6 |
| 1.6 | 303 | 1.609 | 0.6 |
| 3.2 | 642 | 3.253 | 1.7 |
| 5 | 1000 | 4.999 | 0.0 |

※測定値が若干変化 0.088Vのときも有り。

測定接続



9. 感想、その他

- 1) 高インピーダンスのRF電圧計を作るのは初めてです。入力容量が小さいので被測定回路に及ぼす影響が少ないと思います。とても有用な測定器です。
- 2) 検出器の精度が一番重要です。リニアライズなどは計算処理なので精度や経時変化などとは無関係です。
- 3) 測定範囲を0V~5V_{rms}としましたが、ダイオードの規格から考えると(逆耐圧10V)最大3.5V_{rms}が最大になります。実際は問題ないのでこのままにします。
- 4) ショットキーダイオードを使っていますが温度特性があって、順方向電圧の温度変化を規格表から見ると約-2mV/°C位なので、25°C±10°Cを考えると、±20mV程度の誤差が発生します。100mV、200mVといった低い電圧では分解能(7mV程度)とあいまって誤差が大きい印象があります。しかし、このようなレベルを正確に測定したい状況はあまり無く、また、そういうときには別の測定器を使うようにします。そう考えると精度的には表示の桁数はもう一桁くらい少なくともよいくらいですが、読みやすさなどを考慮して最小桁を1mVとしてあります。
- 5) 経時変化は考慮していませんが、昔の真空管のRFプローブよりはずっと少ないと考えます。
- 6) 測定電圧を平均値で検出してrms電圧として表示していますので、測定電圧の波形がひずんでいると誤差が発生します。
- 7) 表示は暫定です。電圧が表示できれば機能としては満足ですが、さわっていると“愛想が無い”とか“表示位置がもうちょっと右だとか左だとか”、考え始めます。本人が思うような表示が良いのですが、個人の感じ方によっても変わりますし、きりがありません。
- 8) マイコンはATmega328Pと決めています。いろいろなマイコンがありますが私が使う場合はこれで機能的に十分で且安価なので、迷わなくてよいです。IOピン数の不足などが発生したら別途考えます。

9) キャリブレーション機能を付けてありますが、実際に使用していると4)項などと考え合わせると必要ないかもしれません。キャリブレーション機能を取り去るとそこに50Ωに対するdBm表示などが組み込み可能です。また、コンパイラを製品版にすれば使えるメモリエリアが増えるので、いろいろな機能が組み込めます。たとえばチューニングメータ(電圧のアナログバー表示)なども可能です。これはトリマなどを調整するときにピークなどをとりやすくなります。今回はこのままです。(電圧表示+キャリブレーション機能)

8. 写真など

1) 全体



RFプローブ
 本体
 電源 (ケータイの充電器、5.4V700mA
 と書いてあります)

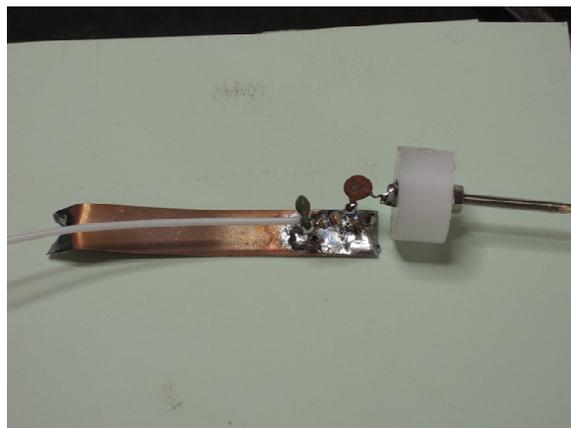
2) RFプローブ

外観



16 mm 直径の真鍮パイプを加工して使った。
 先端、指針を保持しているのは、テフロンのパイプを加工。

内部



1SS97 RF detector probe の中身。
 Input capacitance 2.4 pF / 1 MHz
 dc Impedance が高いので 空中配線。
 Cap 102 // 1SS97 // 10 MΩ 直列

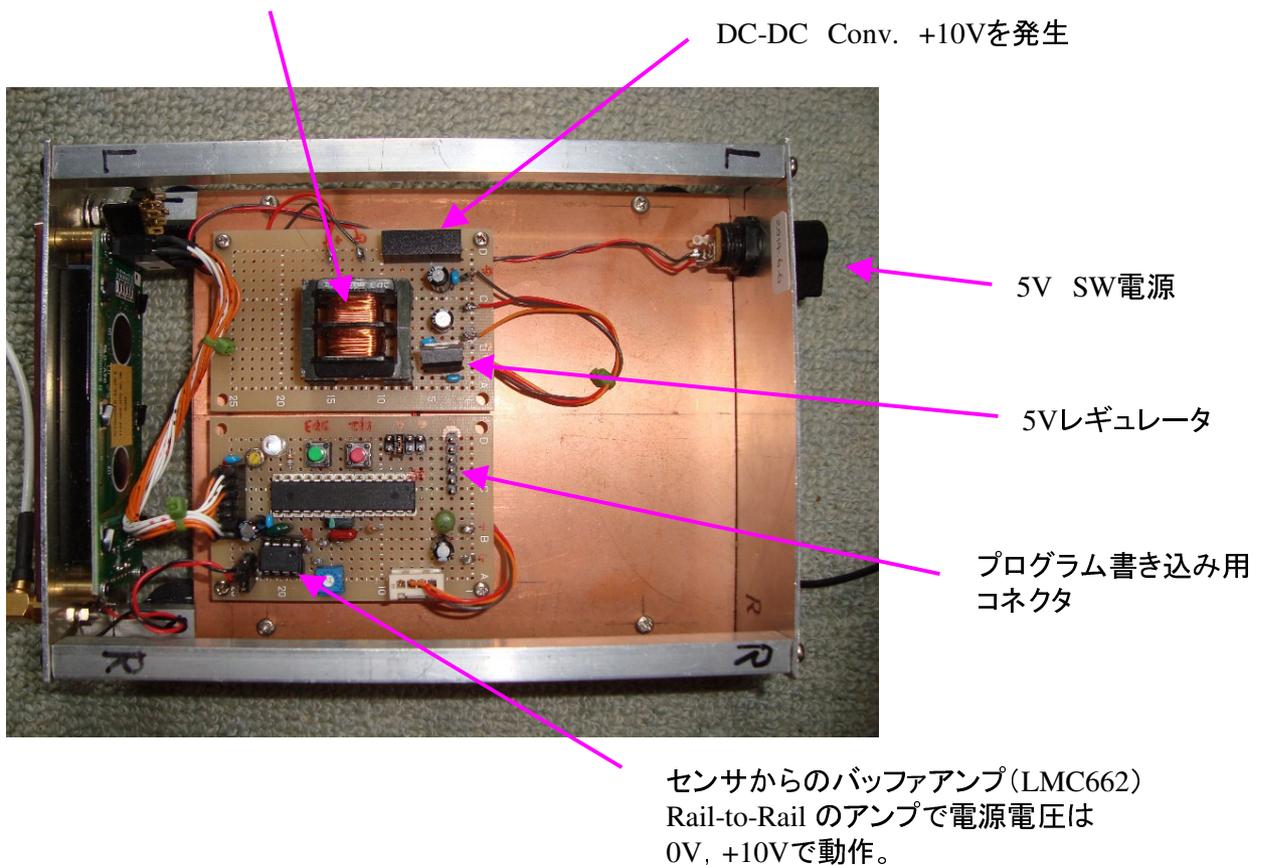
3) 本体詳細

A/Dフルスケール付近(最大は1023)
1000カウントを5.000Vにスケーリング
電圧値とカウント数を実験的に表示してあります。
実際はカウント値は不要ですね。

1000カウントを5.000Vにスケーリングした時に
折れ線近似で100mVのカウント数“9”
リニアな検出器でしたら、“20” カウントのはず。



Common Mode コイル(5V SW電源が少しノイズっぽいようなので、念のため付けました)



Op-amp のoffset 調整は無し。100mV以下は測定値がかなりずれます。
100mV以下はダイオードのVFの曲がりの関係で、より細かく折れ線を設定しないと精度が取れません。

付1. 折れ線によるダイオードのVFのリニアライズ(現在のデフォルト値)

RF signal level vs 1SS97 DET Voltage
With dc Amp. NJM 072D

2014.04.30

Input Level は、NF M-170 で、測定監視
dc Output voltage は、OP Amp pin-6 を HP 34401A で測定。
Freq. = 1.0 MHz / Sin
DET 回路 = 1SS97 / 10 MΩ / 10 MΩ GND / 100 pF GND // 071 のpin-3へ。

入力DC電圧(AD変換後のカウント値)

probe No1 一回目 + probe No1(0.2V~0.4V)の合成

fixed point
40,000

出力表示電圧

折れ線によるダイオードのVFのリニアライズ表

| 1MHz sine V rms | DC 電圧 mV DC | ADに変換 count | scaling ① | *10 ② | Y=AX+B ③ | | 測定値⇒ 電圧 | 真値との 差 | 誤差(%) | 折れ線 ポイント④ |
|--------------------|----------------|----------------|--------------|----------|----------|-----------|------------|-----------|---------|--------------|
| | | | | | A | B | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 0 | 0 | #DIV/0! | 0 |
| 0.10 | 65.18 | 100 | 9 | 90 | 44,444 | 0 | 100 | 0 | 0 | 1 |
| 0.12 | 82.46 | 120 | 12 | 120 | | | 119 | 1 | 1 | |
| 0.14 | 103.12 | 140 | 15 | 150 | 26,666 | 1,600,060 | 139 | 1 | 1 | 2 |
| 0.16 | 125.28 | 160 | 18 | 180 | | | 158 | 2 | 1 | |
| 0.18 | 147.91 | 180 | 21 | 210 | | | 176 | 4 | 2 | |
| 0.20 | 172.10 | 200 | 25 | 250 | 24,000 | 2,000,000 | 200 | 0 | 0 | 3 |
| 0.22 | 195.80 | 220 | 28 | 280 | | | 216 | 4 | 2 | |
| 0.24 | 220.20 | 240 | 32 | 320 | | | 238 | 2 | 1 | |
| 0.26 | 244.83 | 260 | 36 | 360 | | | 261 | -1 | 0 | |
| 0.28 | 269.81 | 280 | 39 | 390 | | | 277 | 3 | 1 | |
| 0.30 | 295.00 | 300 | 43 | 430 | | | 299 | 1 | 0 | |
| 0.32 | 319.73 | 320 | 47 | 470 | | | 322 | -2 | -1 | |
| 0.34 | 339.52 | 340 | 50 | 500 | | | 338 | 2 | 1 | |
| 0.36 | 364.80 | 360 | 54 | 540 | | | 361 | -1 | 0 | |
| 0.38 | 389.38 | 380 | 57 | 570 | | | 377 | 3 | 1 | |
| 0.40 | 415.26 | 400 | 61 | 610 | 22,222 | 2,444,500 | 399 | 1 | 0 | 4 |
| 0.50 | 543.15 | 500 | 80 | 800 | | | 495 | 5 | 1 | |
| 0.60 | 677.42 | 600 | 100 | 1,000 | | | 595 | 5 | 1 | |
| 0.70 | 812.30 | 700 | 120 | 1,200 | | | 695 | 5 | 1 | |
| 0.80 | 950.14 | 800 | 141 | 1,410 | 20,000 | 3,800,000 | 800 | 0 | 0 | 5 |
| 0.90 | 1087.33 | 900 | 161 | 1,610 | | | 900 | 0 | 0 | |
| 1.00 | 1221.50 | 1,000 | 181 | 1,810 | | | 1,000 | 0 | 0 | |
| 1.20 | 1492.40 | 1,200 | 221 | 2,210 | | | 1,200 | 0 | 0 | |
| 1.40 | 1758.90 | 1,400 | 260 | 2,600 | | | 1,395 | 5 | 0 | |
| 1.60 | 2033.80 | 1,600 | 301 | 3,010 | 20,000 | 3,800,000 | 1,600 | 0 | 0 | 6 |
| 1.80 | 2310.70 | 1,800 | 342 | 3,420 | | | 1,798 | 2 | 0 | |
| 2.00 | 2593.80 | 2,000 | 384 | 3,840 | | | 2,002 | -2 | 0 | |
| 2.20 | 2872.20 | 2,200 | 426 | 4,260 | | | 2,206 | -6 | 0 | |
| 2.40 | 3140.60 | 2,400 | 466 | 4,660 | | | 2,399 | 1 | 0 | |
| 2.60 | 3429.70 | 2,600 | 508 | 5,080 | | | 2,603 | -3 | 0 | |
| 2.80 | 3711.70 | 2,800 | 550 | 5,500 | | | 2,807 | -7 | 0 | |
| 3.00 | 3982.30 | 3,000 | 591 | 5,910 | | | 3,005 | -5 | 0 | |
| 3.20 | 4255.70 | 3,200 | 631 | 6,310 | 19,393 | 5,627,070 | 3,199 | 1 | 0 | 7 |
| 3.40 | 4534.40 | 3,400 | 672 | 6,720 | | | 3,399 | 1 | 0 | |
| 3.60 | 4787.80 | 3,600 | 710 | 7,100 | | | 3,585 | 15 | 0 | |
| 3.80 | 5066.20 | 3,800 | 751 | 7,510 | | | 3,785 | 15 | 0 | |
| 4.00 | 5341.60 | 4,000 | 792 | 7,920 | | | 3,985 | 15 | 0 | |
| 4.20 | 5622.10 | 4,200 | 834 | 8,340 | | | 4,190 | 10 | 0 | |
| 4.40 | 5900.50 | 4,400 | 875 | 8,750 | | | 4,390 | 10 | 0 | |
| 4.60 | 6181.20 | 4,600 | 917 | 9,170 | | | 4,595 | 5 | 0 | |
| 4.80 | 6459.90 | 4,800 | 958 | 9,580 | | | 4,795 | 5 | 0 | |
| 5.00 | 6737.20 | 5,000 | 1,000 | 10,000 | 19,512 | 4,879,280 | 4,999 | 1 | 0 | 8 |

- ①ダイオード検波器からのDC電圧を5VFSとし、分解能を1mVとした。
- ②①を計算上で*10した値。
- ③④の区間で、折れ線近似を行うための係数。Y=AX+BとしたときのA,Bの値。
ここではCPUの内部で固定小数点演算を行っているため、精度を上げるために係数がかかっている。
- ④折れ線の区間であり、この区間は③の係数を使用する。

現在、入力DC電圧(VRにて入力)と表示値は、この表のとおりです

付2. 最小自乗法によるダイオードのVFのリニアライズ（1次近似）

最小自乗法によるダイオードのVFのリニアライズ

| 1MHz sine V rms | DC 電圧 mV DC | mVに変換 count | scaling ① | 測定値⇒ 電圧(mV) | 真値との差 mV | 誤差 (%) |
|--------------------|----------------|----------------|--------------|----------------|-------------|-----------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 87 | -87 | #DIV/0! |
| 0.10 | 65.18 | 100 | 9 | 131 | -31 | -31 |
| 0.12 | 82.46 | 120 | 12 | 146 | -26 | -22 |
| 0.14 | 103.12 | 140 | 15 | 161 | -21 | -15 |
| 0.16 | 125.28 | 160 | 18 | 176 | -16 | -10 |
| 0.18 | 147.91 | 180 | 21 | 191 | -11 | -6 |
| 0.20 | 172.10 | 200 | 25 | 210 | -10 | -5 |
| 0.22 | 195.80 | 220 | 28 | 225 | -5 | -2 |
| 0.24 | 220.20 | 240 | 32 | 245 | -5 | -2 |
| 0.26 | 244.83 | 260 | 36 | 265 | -5 | -2 |
| 0.28 | 269.81 | 280 | 39 | 280 | 0 | 0 |
| 0.30 | 295.00 | 300 | 43 | 299 | 1 | 0 |
| 0.32 | 319.73 | 320 | 47 | 319 | 1 | 0 |
| 0.34 | 339.52 | 340 | 50 | 334 | 6 | 2 |
| 0.36 | 364.80 | 360 | 54 | 354 | 6 | 2 |
| 0.38 | 389.38 | 380 | 57 | 368 | 12 | 3 |
| 0.40 | 415.26 | 400 | 61 | 388 | 12 | 3 |
| 0.50 | 543.15 | 500 | 80 | 482 | 18 | 4 |
| 0.60 | 677.42 | 600 | 100 | 581 | 19 | 3 |
| 0.70 | 812.30 | 700 | 120 | 679 | 21 | 3 |
| 0.80 | 950.14 | 800 | 141 | 783 | 17 | 2 |
| 0.90 | 1087.33 | 900 | 161 | 882 | 18 | 2 |
| 1.00 | 1221.50 | 1,000 | 181 | 981 | 19 | 2 |
| 1.20 | 1492.40 | 1,200 | 221 | 1,178 | 22 | 2 |
| 1.40 | 1758.90 | 1,400 | 260 | 1,371 | 29 | 2 |
| 1.60 | 2033.80 | 1,600 | 301 | 1,573 | 27 | 2 |
| 1.80 | 2310.70 | 1,800 | 342 | 1,775 | 25 | 1 |
| 2.00 | 2593.80 | 2,000 | 384 | 1,983 | 17 | 1 |
| 2.20 | 2872.20 | 2,200 | 426 | 2,190 | 10 | 0 |
| 2.40 | 3140.60 | 2,400 | 466 | 2,387 | 13 | 1 |
| 2.60 | 3429.70 | 2,600 | 508 | 2,595 | 5 | 0 |
| 2.80 | 3711.70 | 2,800 | 550 | 2,802 | -2 | 0 |
| 3.00 | 3982.30 | 3,000 | 591 | 3,005 | -5 | 0 |
| 3.20 | 4255.70 | 3,200 | 631 | 3,202 | -2 | 0 |
| 3.40 | 4534.40 | 3,400 | 672 | 3,404 | -4 | 0 |
| 3.60 | 4787.80 | 3,600 | 710 | 3,592 | 8 | 0 |
| 3.80 | 5066.20 | 3,800 | 751 | 3,794 | 6 | 0 |
| 4.00 | 5341.60 | 4,000 | 792 | 3,997 | 3 | 0 |
| 4.20 | 5622.10 | 4,200 | 834 | 4,204 | -4 | 0 |
| 4.40 | 5900.50 | 4,400 | 875 | 4,407 | -7 | 0 |
| 4.60 | 6181.20 | 4,600 | 917 | 4,614 | -14 | 0 |
| 4.80 | 6459.90 | 4,800 | 958 | 4,816 | -16 | 0 |
| 5.00 | 6737.20 | 5,000 | 1,000 | 5,024 | -24 | 0 |

最小自乗法 $Y=AX+B$

A= 4.9366

B= 87.496

①ダイオード検波器からのDC電圧を5VFSとし、分解能を1mVとした。

これでも200mV以上は使えそう

付3. いくつかの計算式（おぼえがき）

1) Data => 表示

RFプローブからのDC電圧を一次近似でRF電圧値に変換します。

$y = Ax+B$ x : 入力データ(A/Dのカウント数) y : 電圧値(表示値)

A: ゲイン係数 B: オフセット

2) A, Bの算出

区間の両端 イ、ロ のポイントを測定して
既知の電圧値 y_1, y_2 に対して
測定カウント値 x_1, x_2 を得たとすると

・ゲイン係数

$$A = \Delta X / \Delta Y = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$$

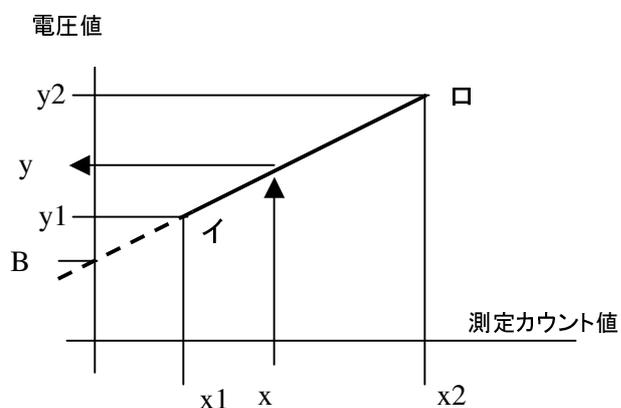
・Offset B

$$\text{図から } y_1 = x_1 * A + B$$

$$B = y_1 - x_1 * A$$

(中学校(小学校?)の算数ですね)

このA,Bを使用すればこの範囲内の測定カウント値 x にたいして
電圧値 y は $y = x * A + B$ で求められます。



3) 固定小数点演算のための精度の確保

演算は固定小数点なので、有効数字を確保するために係数を掛けます。

変数の範囲は word : 0~65535

long : -2,147,483,648 ~ 2,147,483,647

なのでこの範囲でなるべく桁数を多くとるようにします。

このあたりは若干試行錯誤があります。詳細は省略。

プログラム領域が多く使用出来る場合は、はじめから浮動小数点を使用したほうが、ずっと楽でバグも少ないでしょう。今回は無償版なので、プログラムメモリ4kbyteの制限があります。

付4. キャリブレーション

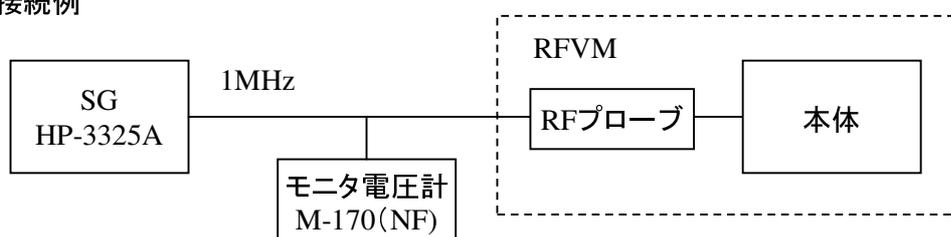
キャリブレーションの方法です。(プログラムを作るときにこのような操作に決めました)。

- ◎ 検出器の精度が実用上許容内であれば、このキャリブレーションは不要です。
- ◎ RFVM の精度は基準になる信号発生器やモニタ電圧計の精度より良くはなりません。

1)使用機器

- ①信号発生器 次の9値の電圧が発生できる発振器。 周波数は1MHz。
0.000 0.100 0.140 0.200 0.400 0.800 1.600 3.200 5.000 (Vrms)
RMS電圧が数値で設定できるものがあれば作業が楽。
- ②電圧計(オプション) モニタ用のAC電圧計。1MHz が十分な精度で測定できるもの。
入力インピーダンスが高いこと。

機器接続例



2)作業方法

- ①各機器を接続。ケーブルは0.5m以下。ターミネーションは行っても行わなくてもよい。
行わない場合は高い電圧値が得られます。(通常2倍)
- ②キャリブレーションモードに設定します。JP1を接続、JP2を開放して電源を入れなおすことによってキャリブレーションモードとなります。JP1,2を操作したときには電源を入れなおすこと。
電源を入れなおすことによって、JPを認識します。
- ③必要な入力電圧が表示されます。“Cal V XX mV” XXが必要な電圧値です。(1MHz、Vrms)
- ④その電圧値をSGから出力します。このときの下の方の表示はそのRFプローブからのDC電圧をAD変換したカウント数を表示しています。
- ⑤カウント数がそれらしい数であればacceptのSW(S2)を1回だけ、1秒以内で押します。
- ⑥2秒後に3)に戻るので続ける。XXは次に入力に必要な電圧を表示しています。
- ⑦3)～6)を合計9回(8区間 9ポイント分)繰り返します。
- ⑧9ポイントの入力が終了すると、係数をROMにセーブするかどうか表示されるので、save SW(S1)を1回だけ、1秒以内で押します。それによって係数がROMにsaveされ、以降電源をoffしてもこのデータは消えません。(ただしプログラムを書き換えたときには消去されてしまう)
- ⑨saveすると通常の測定モードになりますが、これはもういちど信号を入力して正しく測定できるか確認するためです。キャリブレーションモードのままなので電源を入れなおせば3)からスタートします。途中で止めたい時や、ミスがあった時は電源を入れ直せば3)からスタートします。
- ⑩OKならば、JP1を開放して、電源を入れなおすと、新しい折れ線で動作します。
- ⑪デフォルトの折れ線に戻りたいときには(JP2)を接続して、電源をいれなおします。

ジャンパ/スイッチ(回路図参照)

- | | | |
|-----|---|---|
| JP1 |  | ①測定/キャリブレーション切り替え。電源on時のみ有効。 Jumper接続でキャリブレーションモード、開放で測定モード。 |
| JP2 |  | ②測定時のキャリブレーションテーブルの切り替え。電源on時のみ有効。 Jumper接続でデフォルト。開放でキャリブレーションテーブル使用。 |
| S1 |  | ③ ①でキャリブレーションテーブルを作成した場合に、係数をROMに書き込むためのSW。1回のテーブル作成に1回だけ有効。 もし、①で途中でやめなくなったときには、電源を断する。 |
| S2 |  | ④ユーティリティSW 多目的SW。今回はキャリブレーションのときの数値のacceptに使用。 |

※注意

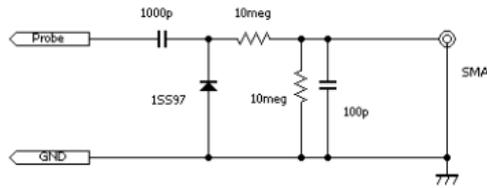
BASCOMではプログラムをAVRに書き込むと、EEROM(不揮発性のRAM)がクリアされてしまう様でキャリブレーションした係数がなくなってしまいます。通常は問題無いのですがプログラムのバージョンアップが発生した時などに困ります。

一般に係数はRFプローブに対応するので、キャリブレーションを実施した時に表示のカウント数を記録しておくことがよいと思います。そうすればバージョンアップ時に本体のRFプローブの入力端子からDC電圧を入力して、カウント数を見ながらキャリブレーション操作を行えば復元します。

プログラム書き込み時にEEROMを消さない方法がおそらくあると思いますが、現時点ではその方法は見つかりません。

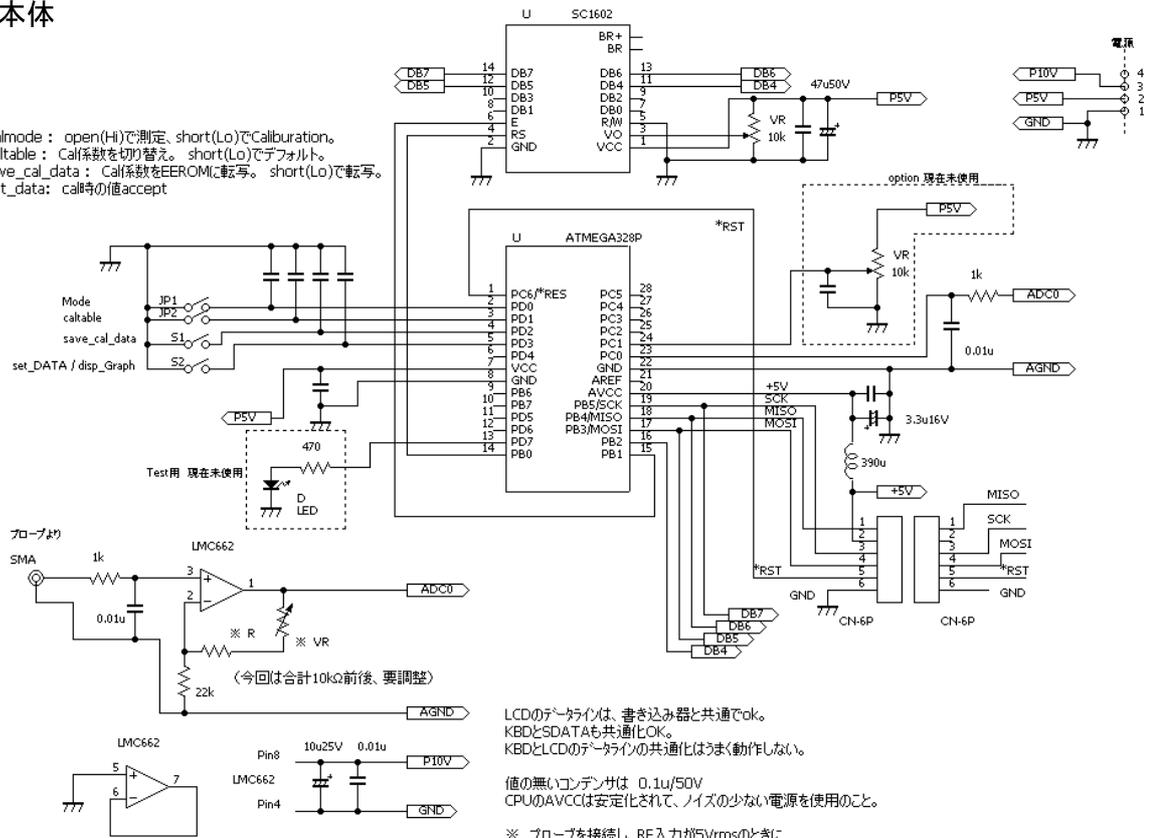
回路図 (2014.08.01 時点。変更が発生する可能性があります)

1) RFプローブ



2) 本体

Calmode : open(Hi)で測定、short(Lo)でCalibration。
 caltable : Cal係数を切り替え。short(Lo)でデフォルト。
 save_cal_data : Cal係数をEEROMに転写。short(Lo)で転写。
 set_data : call時の値accept



LCDのデータラインは、書き込み器と共通でok。
 KBDとSDATも共通化OK。
 KBDとLCDのデータラインの共通化はうまく動作しない。
 値の無いコンデンサは 0.1u/50V
 CPUのAVCCは安定化されて、ノイズの少ない電源を使用のこと。
 ※ プローブを接続し、RF入力力が5Vrmsのときに
 1000カウントになるようにR+VRで調整

3) 電源

