番外地 そのまた番外編 #2

8038 ファンクションジェネレータ China 製 300 円キット

#2 青雲の野望編

安さにつられて入手したキット
ちょっと直したらきれいに動いた。
（基本回路だから当たり前だけど）
そうなると欲が出る。
もっと良くならないかなぁ、
いっそ、完全な実用機に仕上げちまおう。

■ まずは再改訂 ■

前回のリカバー編までで、「とりあえず」のファンクションジェネレータになった。周波数可変で三波形が同時に出るのだから立派なものだ。しかし、三波形の振幅が違う、中心電圧が 0V ではない、信号が 8038 直出しで保護回路が無いといった問題を解決しないと実用機にはならない。今回はそこらへんを仕上げてみよう。

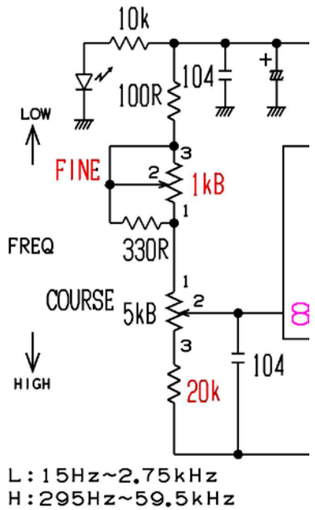
まず前回の訂正というか補完と言うか。周波数を変える VR 周りを以下に変えてみた。やはり FINE を付けないと希望周波数に合わせにくい。VR1 個の可変範囲が広すぎるからだ。根本的に解決するには時定数の C を現状の 2 個から 5 個くらいに増やして多レンジにし、VR での可変範囲を狭くするのがベスト。ただ、現状の 2 レンジでも、SW を切り替える手間がなくて便利といえば便利。どっちが使いやすいかは考え方の問題だ。

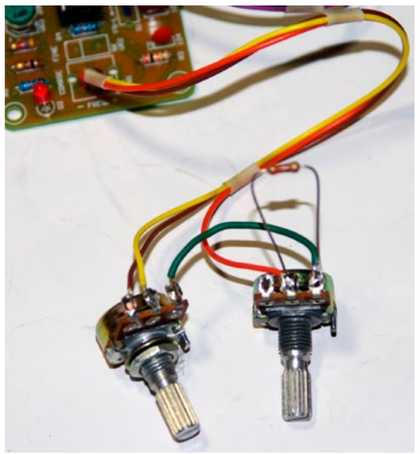
FINE を付ける方法はいろいろ試した。結局、小さな可変抵抗を入れて分圧比を変え、8038 の 8 番ピンにかかる電圧を変えるという、ごく普通の方法にした。この「小さな可変抵抗」には、私の感覚だと 250 Ωの VR がマッチする。でもそんな製品は手に入らない。で、図のように 1k の VR に 330R を抱かせて解決。抵抗値の変化カーブが変わる？ そんなこと誰が気にする？

こうするとまたまた発振が不安定になるかもしれない。そこで基板上の 18k を 20k に変更して万事目出度く収まった。

この部分、もう絶対に変えないから安心しておくれ。

さて、上に出した汚い機材の写真は 30 年以上前に作った 8038 ファンクションジェネレータ。一度も故障せず、発振周波数に大きな狂いもなく、まだ現役だ。たださすがにダイアルのメカが甘くなって、時々ツマミが空回りする。そろそろ押入れに隠居させてもいいだろう。というあたりから、今作っている 300 円キット版を、この爺さんの後継機にしよう、なんていう妄想が始まった。





この爺さん機は、驚くことにダイアル面で周波数が直読できる。右上の写真がダイアル面。はい、全部私が描きました。元々このダイアルは摂津金属製の VFO ケースに付いていたもの。VFO 製作に失敗していたため盤面は白紙だった。そこに、ジェネレータを発振させながら、カウンタで読み取った周波数を線と数字で記入したわけ。二晩徹夜の労作です。

周波数カウンタはカマデンで売っていたキットで、作ったのは私。つーことは全部が信じられない精度になるけれど、とにかく我が家の大事なリファレンスだ。

このダイアルはバーニアのような多回転型だ。ゆっくりしか動かないので、望みの周波数にかなり正確に合わせられる。針をピッタリ合わせれば 3% 以下の精度になる。次に作るなら、これと同じくらいの使い心地にしたい。でももう一回ダイアル面を描くのはイヤだなぁ。

そこで、また買った。600 円の周波数カウンタキット。こいつを組み込んでしまえば文字通りの周波数直読になるではないか。もちろんカウンタも China キットなので致命的にやばい箇所もあるが、克服できないことはない。なにしろ 600 円で手に入るのだ。文句は言わない（カマデンのキットは、この 20 倍もした）。このあたりの、周波数カウンタ話は次回ゆっくりと。

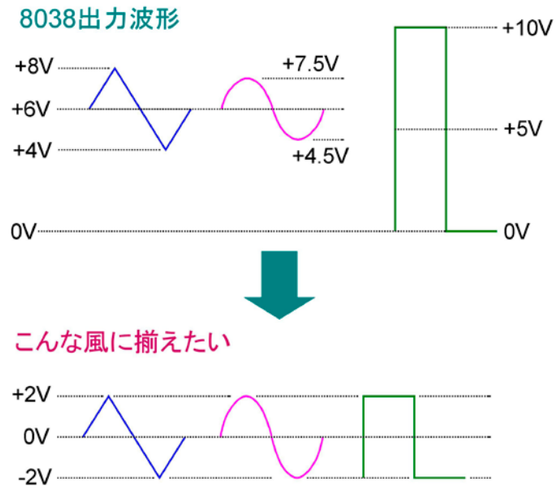
気になる人もいるだろうから書いておくと、お爺さんの上にある同じサイズの 2 個の箱は製作機材の音質を簡易チェックするヘッドフォンアンプで、右がモノラル、左がステレオ。石は東芝、電源は 9V のスイッチングから取って、コイルと C のスノコで要らん高域ノイズを濾過している。その上の箱は 1kHz サイン波のスポット発振器。この子は AC 電源内蔵。かなりの振幅（15Vp-p 以上）まで振れるように作った。だから -20dB のアッテネータ付きだ。これに KENWOOD のオシロが加わって私の製作環境になる。

■ 8038 出力波形と対策 ■

8038 は基本的には単電源で動く。china キットももちろん単電源だ。すると出力される波形は右上のような電圧配置になる。三角波とサイン波が +6V を中心に振れているのは 1/2Vcc（電源電圧の半分）が中心になってるためで、これは仕様だから致し方ない。サイン波は三角波のトンガリを丸めて作っている。だからその分だけピークが下がってしまい、振幅は三角波の約 3/4 になる。

矩形波は、やはり三角波から作るものの、削ったり盛ったりするのではなく、コンパレータのような回路で電圧を跳ね上げ・跳ね下げしている。そして矩形波の出力部分はオープンコレクタになっていて、外部につなぐ電圧によって振幅が決められる。のだけれど、普通は安直に IC の電源と同じ電圧を使うから、リクツでは +12V と 0V の間で上下するはずなのだ。それが実際には上側が下がっているのは IC 内のトランジスタのコレクタにつなぐプルアップ抵抗が 10k と大きいからだろう（といって、もっと小さくすれば出力インピーダンスは下がるものの電流を余計に食うことになって有難くない）。

これら 3 種類の波形を「測定器仕様」に生まれ変わらせるには、各自が勝手な電圧でバラバラに動くのではなく、同じ電圧（0V）を中心に行儀よく同じ振れ幅でプラス / マイナスに動くようにしたい。



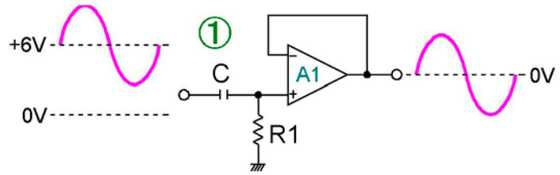
上の例では± 2V の 4Vp-p で描いた。特にこの電圧である必要はなく、揃ってさえいれば± 10V だって構わない。（1mV とかはイヤだ。ノイズに負けるから）

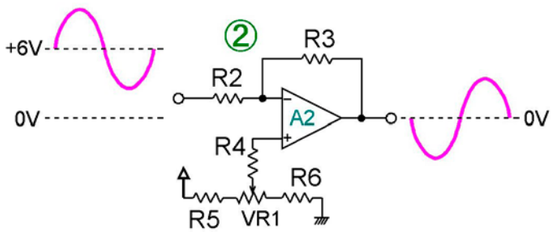
こんな風に波高値で考えるのは、これが測定器だからだ。音のアンプなら波形の大きさを揃えるより音量をほぼ同じにすべく実効値電圧（単位は Vr.m.s.）で考える。シルバーアップルズが使うファンクションジェネレータならそうすべきだろう。波高値と実効値の換算は波形によって異なる。詳しくは電気実用講座を（宣伝！）。

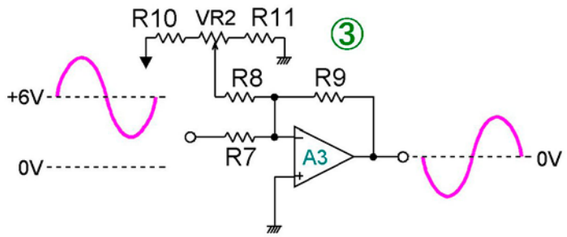
もっとも、波高値を揃えるのは波形を切り替えたときに使いやすいからだけのことで、「俺は波形切り替えなんかしない」とか「絶対にサイン波しか使わない」のなら 8038 の出力レベルそのままでも一向に構わない。がしかし、波形振幅の中心が 0V でないのは、どうにもこうにも使いにくい。

+6V 中心の信号を 0V 中心に変えるには、下の①のようにコンデンサで直流成分をカットするのが一番簡単。コンデンサの左側にどんな信号が加わろうとも、右側が R1 で GND に引っ張られているため、信号は 0V 中心になる（コンデンサの両極にかかる最大電圧が、その C の耐圧以下であること）。A1 というアンプなど無くても、C の右側では 0V 中心の信号になる。A1 はバッファで、信号のインピーダンスを下げて、この後に何がつながっても（限度はあるけどね）大丈夫な状態にしている。もちろんフォロワではなくゲインをとってもいいし、ワケがわかって使うなら反転側に入れても構わない。

ページの看板に出したお爺さんオシレータでは、まさにこの方法で信号の中心を 0V に揃えた。結論から言うと間違っていた。超低域で信号レベルが下がり波形が歪むのだ。考えれば当然で、C と R1 で HPF というかローカットフィルタになっている。30 年前の私とて、一応は計算して低域に影響が出ないように定数を選んでいる。たとえば R1=1M で C=0.1u なら f=1.6Hz になって、10Hz くらい







なら充分に通過しそうだ。さらに C=1u にすれば f=0.16Hz だから、もう完璧！と思うかもしれない。それがダメなのだ。f というカットオフ周波数では、すでに信号レベルが約 70% に落ちている（-3dB）。じゃ、C をもっと大きくしてカットオフを下げればいい……理想的な特性のコンデンサがあればそれも可能。

どんなコンデンサにも漏れ電流がある。製品の表面を伝ったり、絶縁体をくぐり抜けたりして電極間を勝手に電流が流れる。もちろんごく微小なものだから信号周波数がある程度高ければ無視できる。漏れる電流の量が時間当たり一定と考えると、信号が素早く動くほど影響は少ない。でも信号波形がゆっくり動く低域では、信号波形が動いているのか漏れ電流が流れているのかわからなくなる（これは極端な話）。でもって、漏れが少ない高級コンデンサが「良い」とされるのだが、こういうのを五十歩百歩という。漏れるものは漏れる。

■ 直流回路 ■

いっそ面倒なコンデンサなど追放してしまえ！で出てくるのが、高級オーディオアンプなどにも使われる DC 結合アンプ、直流アンプだ。いや、全然難しいことではない。交流信号を「動く直流」と考えるだけのこと。オペアンプなら簡単にできる。そもそもオペアンプは演算増幅器というのだ。演算ですぜ皆さん。今のデジタル計算機の前に使われたアナログ計算機の心臓部でもあり、たとえばセンサで得たいろんな電圧を足した引いたり掛けたり割ったりする。つまり直流電圧の四則演算ができる。そのために生まれたのがオペアンプ。初代ジャンボジェットはこれを積んでいた。

話がだんだん外れてきた。そうだ、+6V 中心の信号を 0V 中心にシフトする方法だった。元に戻そう。②はオペアンプの反転・非反転の両入力を使って電圧を加算し、信号を 0V 中心にする回路例。ここではモノゴトを簡単にするため R2=R3 としておこう（どちらも 100k と思えばいい）。+6V 中心の信号は R2 を通ってアンプに入り、位相が反転して出力になる。このとき、非反転入力の R4 をただアースに落としておくと、アンプの出力に現れるのは -6V を中心に振れる信号だ。そう、中心の直流 +6V も極性反転する。

そこで非反転入力に +6V を加えてみる。+Vcc を R5、R6 で分圧して、VR1 で +6V になるように調節して R4 を介して非反転有力に加える。（R4 は無くても構わないことが多い）。この電圧は「非反転」だから出力にそのまま出てくる。ということは、出力では -6V と +6V が加算されて 0V、めでたく信号の振幅は 0V 中心になる。

実は②はオペアンプを使った小型エフェクタで多用されているごく普通の回路だ。エフェクタ内の信号は 1/2Vcc、つまり +4.5V を中心に振れている（例外もある）。そのためオペアンプの非反転側には +4.5V バイアスを加える。それとまったく同じこと。

③は非反転側は使わずに、反転側だけで信号の中心をシフトする例。ややこしくしないため R7、R8、R9 は全部同じ 100k と考えよう。+6V 中心の信号は R7 を通ってアンプに入る。このとき同時に R8 を通して -6V の電圧も加える。-6V を作るのは R10、R11 と VR2 なのはわかるだろう。

アンプの反転入力端子では +6V と -6V が合算されて、すでにここで 0V になる。したがって出力には 0V 中心の信号が現れる。簡単でしょ？ さらに便利なことに R9 の値を変えてアンプの増幅率が変わっても出力の 0V 中心は変わらない。

ただし、R7 や R8 を変えた場合にはちょっとややこしいことになる。しかし一方、「ややこしいこと」＝「もっといろいろできること」でもあって、電卓できちんと計算すれば、通称「重み付け加算」など便利なことにも使える。

以上、初歩の直流回路入門でした。これがわかればアナログシンセ各モジュールの入力部分だけは理解できるし、揺れものエフェクタの LFO を、既定のレンジ外にシフトするのも可能になる。

■ あとの祭りとタタキ大工 ■

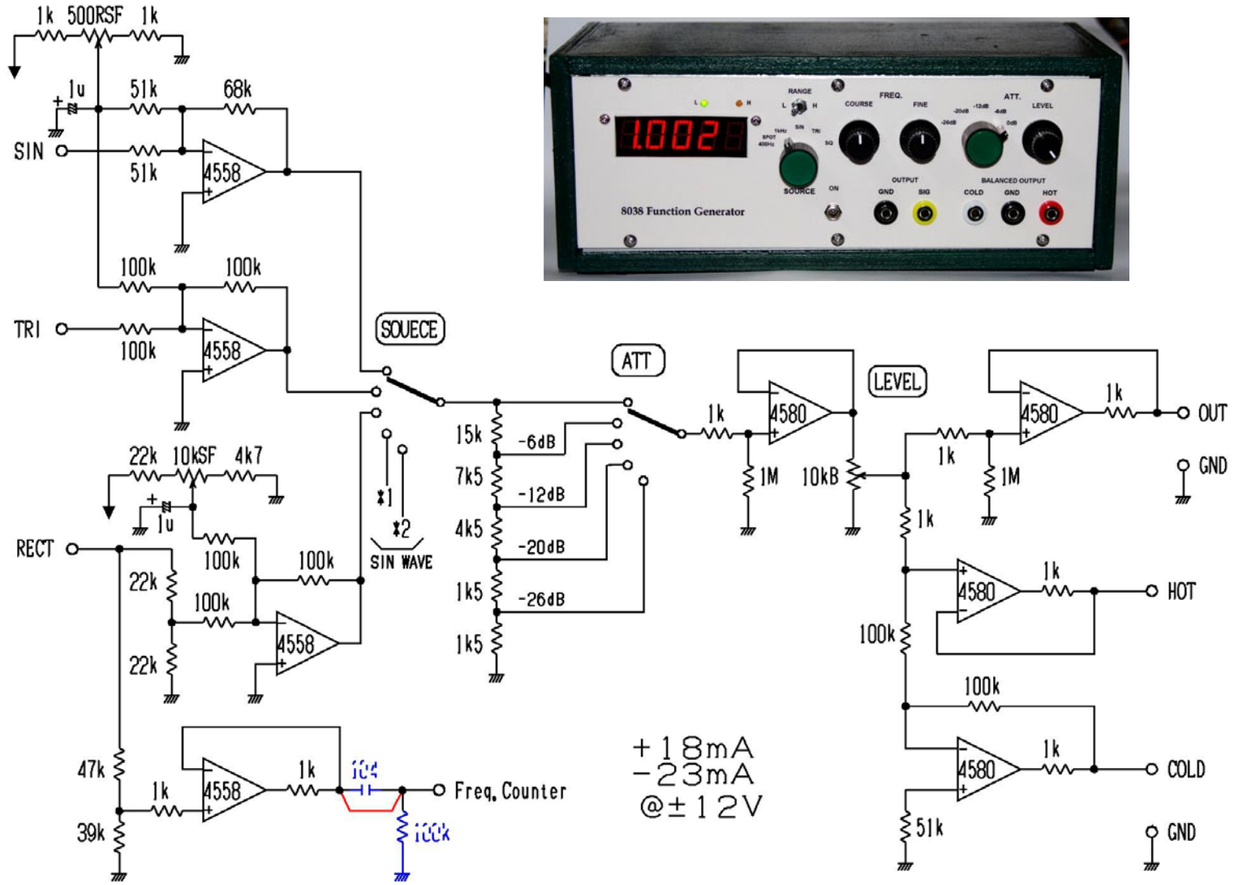
なんていうことを考えながら描いたのが右ページの回路だ。キットの出力を 0V 中心にシフトし、波形選択してから任意のレベルにアッテネートする、ファンクションジェネレータの波形整形と出力回路。図面を描いている途中で、ふと思い出したことがひとつ。妄想してしまったことがふたつ。

まず思い出したこと。8038 はプラス／マイナスの 2 電源でも動くということ。耐圧も結構高く ± 18V まで使えた。っていうことは ± 12V の電源も OK で、そうすればサイン波と三角波の出力は **0V 中心で出てくる**。うわぁ、ここまでゴチャゴチャ書いたレベルシフトなんか要らないじゃん。正負電源のトラッキングをシビアにする必要はあるはずだけど、2 電源のほうが遥かにラクだ。どうしようか 3 分迷った。いや、ここは初志貫徹、ここまま進もう。電圧を変えれば発振周波数も変わるから、測り直すのは面倒だ、という理由で。

妄想したこと、その 1 は、周波数直読にしたいな、と思ったこと。お爺さんジェネレータも直読できた。30 年前より科学は進歩しているのだから、新しい機材がより不便になっては困るではないか。そうだ、周波数カウンタを付けてしまおう。China キットで 600 円くらいで売っていることだし（多分動くだろう。動かなければ念力でも動かす）。

その 2 は、やはりお爺さんに付いていた 1kHz サイン波のスポット発振器を内蔵しよう、ということ。1kHz が一発で出るととても使い勝手が良い。多くの測定では 1kHz しか使わない。どうせなら 400Hz か 440Hz も入れてスポット周波数を 2 個にしたらさらに便利だろう。

その 1、その 2 とも妄想だけに終わらせず実行に移した。思い付くままに仕様を変えるタタキ大工だ。タタイた結果、昨日目出度く完成したので、嬉しいから写真を載せておこう。作り方は続きます。



■ レベルシフトとアッテネータ ■

上図がその回路。私のように妄想を抱かず、シンプルなジェネレータを目指すなら、この回路と以下に書く電源だけ作れば事足りる。もしも一台目のジェネレータなら、そうしたほうが賢明だろう。

SOURCE のロータリ SW は、普通なら WAVE FORM だ。スポット周波数のサイン波も選べるため、ここでは SOURCE にした。この SW の左側がレベルシフタ回路で +6V やら +5V やらが中心の波形を 0V 中心に直す。サイン波と三角波は同じ +6V なので同じ半固定（500 Ω）からの -6V を足している。ん？ 定数がヘンだって？ 2 本の 1k で半固定を挟んでいる部分。たしかに妙だが、これには深〜いワケがある。最後のカコミをどうぞ。

そうそう肝心なこと。レベルシフト回路には信号振幅をほぼ同じにする機能も持たせていて、各波形とも 4Vp-p（± 2V）になるように揃えた。この振幅でもオーディオ回路のチェックには不足はないし、大出力なら良いものでもないから、まあ妥当な線でしょう。

矩形波（RECT 表示）は入力直後に二手に分かれ、ひとつは 2 本の 22k で半分に分圧されて 0V 中心にレベルシフトされる。この元信号の中心電圧は +5V 程度なので、サイン波等とは別の電圧源からのマイナス電圧を使う。二手に分かれたもう片方は、やはり分圧されて適度な振幅（0V 〜 +4V くらい）になり、レベルシフトされないまま、プラス側だけの振幅で Freq.Counter 出力になる。もし周波数カウンタを内蔵しないとしてもこの出力は便利だ。外部のカウンタを使う際、ここから専用の信号を取り出せる。なお、私の場合は赤い線で描いたジャンパをつないで、104 と 100k は不使用にしている。理由は、China のカウンタキットの入力が、これでないとまずいから。一般のマジなカウンタの場合、赤いジャンパの代わりに 104 のマイラを入れ 100k も付ける（これで信号は 0V 中心）。

SOURCE の SW で *1、*2 の SIN WAVE というのは、スポット発振器からの 1kHz と 400Hz のこと。そんなの要らない人は、この SW は 3 接点でいい。スポット発振器の作り方は次回。

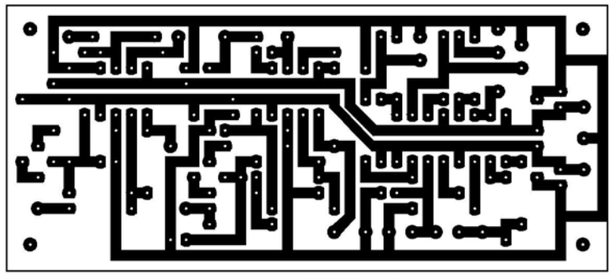
ここまでに使うオペアンプは 4558 でいい。というか 4558 以下の、いわゆる超汎用品（一般に安物と見られる）にすること。高級品を使って入力インピーダンスの影響を受けたり、無闇に発振させても誰も面倒を見てくれない。

ATT の抵抗の列は信号を一定量ずつ段階的に減衰させる。これはジェネレータに不可欠。減衰比は 0dB（減衰なし）、-6dB、-12dB、-20dB、-26dB の 5 段階。つまり、1、1/2、1/4、1/10、1/20 のステップにした。気に入らなければ計算して変えてもいい。抵抗列の 4k5 は製品には無い。3k+1.5k とか 2.7k+1.8k で間に合わす。

LEVEL はボリュームで信号を無段階に減衰させる。ATT の SW と合わせて、かなり微妙なレベル調節ができるわけ。

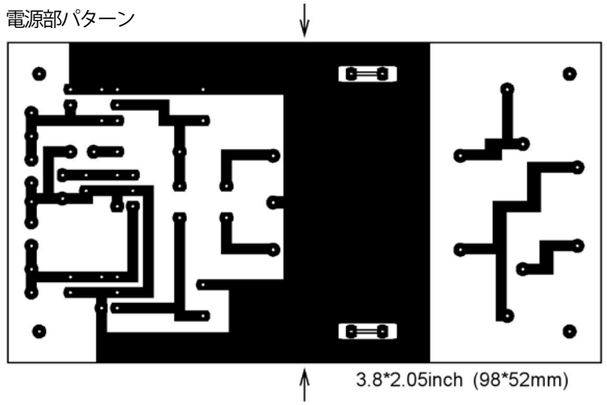
その右側は出力回路。そこそこの負荷までドライブできるように、ここには 4580 を使おう。上段が一般的なアンバランス出力で、もちろんこれは要る。下段はバランス出力。バランス機材を持っていなければ、下のオペアンプ 2 個は付けなくていい。

波形整形部パターン



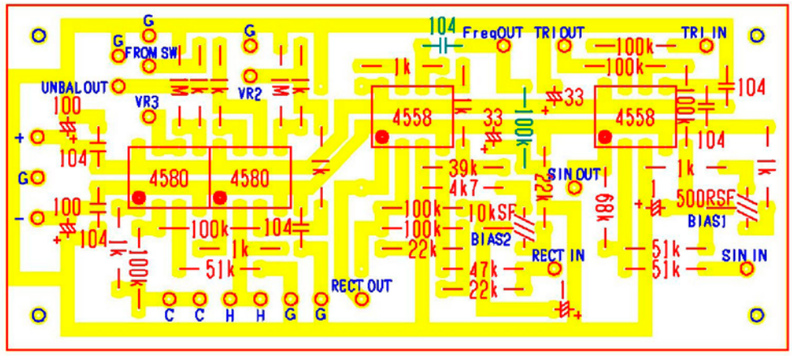
3.85*1.7inch　(98*43mm)

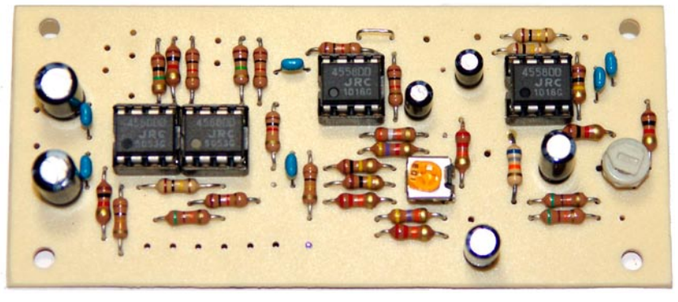
電源部パターン

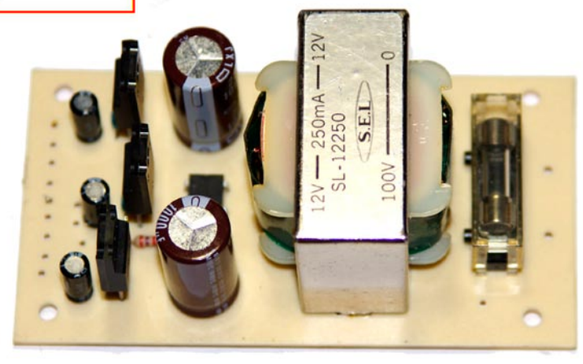


3.8*2.05inch (98*52mm)

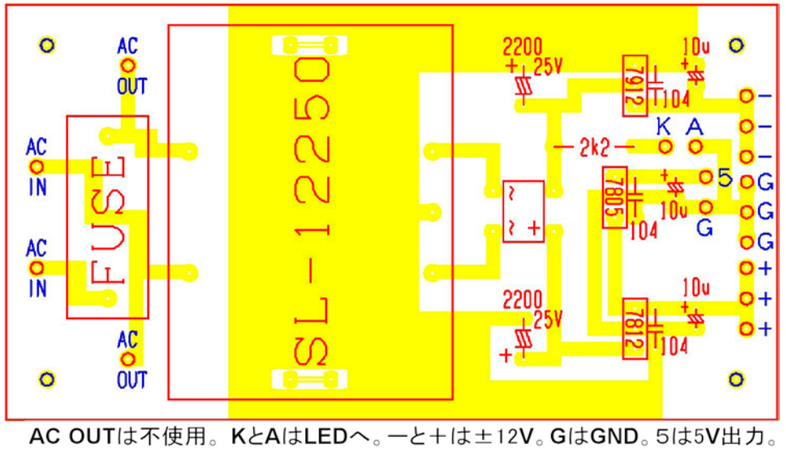
波形整形部パーツ配置



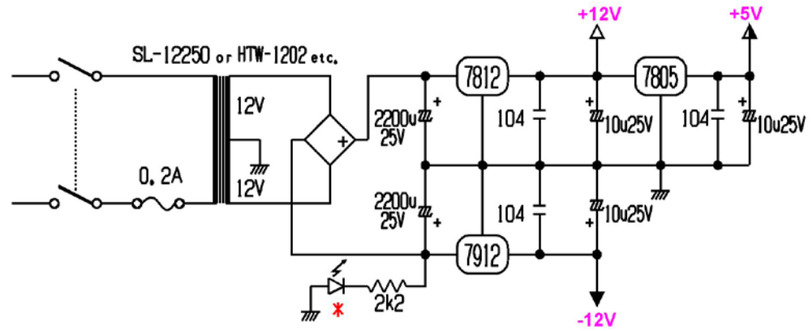




電源部パーツ配置



AC OUTは不使用。KとAはLEDへ。ー と＋は±12V。GはGND。5は5V出力。



■ 電源回路と基板 ■

ファンクションジェネレータ本体部分は +12V、波形整形部分は ± 12V、それに周波数カウンタを加えるなら、これが +5V。つまり 3 種類の電圧を出さねばならない。電源回路は三端子なので簡単としても、電流を賄えるトランスを探すと、手持ちでは SL-12250 しかなかった。こいつを基板に取り付けるには糸ノコ工作が必須になる。糸ノコを使いたくない人は普通のケース付けトランスでもいい。電流がギリギリでもいいなら HTW-1202 など、余裕を持ちたければ HTW-1203 あたりか、その同等品が適している。

なんで 250mA も要るのさ、と思うだろう。私も思った。周波数カウンタが電流を大食いするのだそうだ。ピークでは 100mA 以上になるらしい。これだけでもう 200mA のトランスでないと間に合わない。もっとも、キットを設計した人たちは「当然スイッチング電源だろ」と決めてかかっているはずだから大電流など怖くないのだ。だけど私は怖い。カウンタ部分の電源だけ小型スイッチング電源の中身を取り出して使うことも考えたが、もし高調波が漏れて信号に紛れ込んだら……やっぱやめとこ。

カウンタ部分以外だと、ジェネレータ本体が +20mA 以下、波形整形部が、回路図中に描いたとおり +18mA と -23mA だから、カウンタを付けなければ 100mA のトランスでもオツリがくる（たとえば HTW-1201）。ギリギリでもよければ 50mA のトランスだって使える（HP-126、HTW12005 など）。どうするかはご自由に。

いずれにしても SL-12250 以外のシャーシ付けトランスを使う場合は、左ページのパターン図で上下の矢印部分から右は要らない（HP-126 は基板付けなので、右側でピン位置を決め直す）。私が基板付けトランスにしたのは、フューズホルダも基板上に付けたかったから。なんせ木造ケースなので、リアパネルにフューズホルダは取り付けにくいでしょ。

カウンタの電源が要らない人は、基板上の 7805 とその周辺の 10u、104 は不要。取り付けなくていい。

電源の回路図は上。全部三端子だから説明することも無い。プラス側だけ大きな電流が流れて、7812 には気の毒な気がする。やっぱカウンタの電源は別にすべきだったかなぁ。✱の LED はパワーオン表示だが、発振周波数のレンジ表示も兼ねさせるので、実際は SW で切り替えて緑かオレンジを点灯させている（次ページ参照）。

電解の耐圧は 2200u だけ 25V、その他の 10u は 16V でも構わない。電源基板では三端子の方向に注意。78** は外側を向き、7912 だけ内側の電解のほうを向く。LED を光らせる 2k2 は、LED が暗いようなら 1k くらいまで小さくしてもいい。マイナス側の電流は有り余っているから遠慮なく使おう。LED のアノードが GND につながることも注意。

何はなくともまず電源。基板を組み上げてベニア板にでも仮止めしておこう。発振部の 8038 キットを完成させている人は、この電源で動作を確認してから今回の波形整形基板に移る。

私の描いたパターンだから、もちろん手描きでいける。そうそう、この基板サイズにしたのは理由がある。2 枚の基板の横幅はほぼ同じ約 100 ミリだし、2 枚合わせた縦の長さは 95 ミリ。つまり 10 センチ角の生基板 1 枚で間に合うようにした。私は本当に親切だな。次に作るスポット発振器は別の話で、親切にする余裕がなかった。

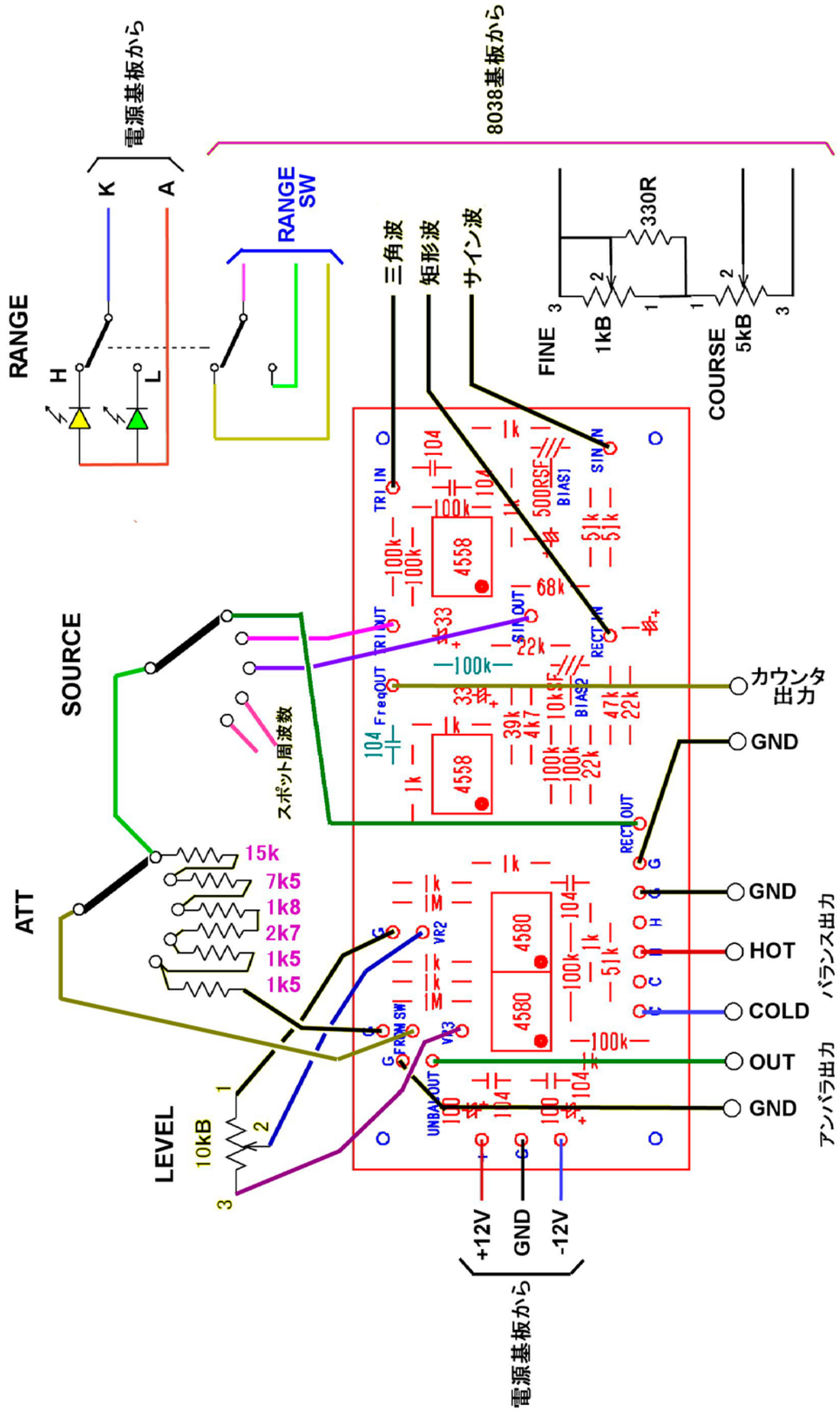
波形整形基板には半固定抵抗が 2 個ある。500 Ωは三角波とサイン波の、10k は矩形波のそれぞれ振幅の中心を決める。ここには今売られている安い半固定なら何でも付くように穴をあけておいた。だから真ん中のピンの穴が 2 個あるけれど間違いではない。製品に合わせてどちらかを使えばいい。もちろんポピュラーな水色の四角のものも使える。

左ページのレイアウト図で緑になっている 104 と 100k は、周波数カウンタに送る信号を一般的な 0V 中心にするか、次回紹介する China キットのためにマイナス側に振れないようにするかを決める箇所。マジな外部のカウンタなら 104 と 100k は両方とも付ける。China キットなら 104 の箇所はジャンパにして直結、100k は付けなくてもいい（付けても実害は無い）。

基板に乗らない抵抗が 6 本ある。アッテネータの SW 周りの 6 本だ。これらはロータリ SW に直付けする。回路図をよく見て方向を間違えないように。ツマミを右に回しきったときの接点が -0dB だから 15k の片方が付く。4.5k は前述したように 2 本をシリーズにして作る。なお、これらの抵抗は 5%もので構わない。そんなに厳密にしたところで、使用時には次段の LEVEL の VR で絞るはずだから。メーカー機ならこうはいかないけれど、自分で使うのなら OK。

ロータリ SW には 5 接点のものを使った……ことになっている。実は手持ちに 5 接点が 1 個しかなく、それは SOURCE に使ったため、ATT は 6 接点になってしまった。しかしこれはこれで使い途があって、一番下の接点を GND につなげば抵抗も取り付けやすいし、なにより -∞ dB のポジションを作れる。このポジションはときどき必要になる。機材測定中に妙な波形が出て来たとき -∞ dB にすれば、その波形がジェネレータから出た信号が歪んでいるのか、それとも測定している機材が発振でもしているのか判別できる。

さて、この 2 枚の基板を 300 円の Chine キットに追加するだけで「簡単に」ファンクションジェネレータが完成するわけだ。逆に、少なくともこれだけ追加しないと「使える」機器にはならない、とも言える。やっぱ 300 円は安くなかったかもね。ここまで作って、とりあえず動かしたい人は次ページに結線図みたいなものを載せるのでぜひ動作チェックを。きちんと動けば、あとはオプション回路だけ。成功を祈る。



左の図を仕上げるのに３時間もかかった。我ながら素晴らしい公徳心だと思う。次の選挙に出ようか。

とりあえず、周波数カウンタもサイン波スポット発振器も要らないなら、これだけでファンクションジェネレータだ。独立したカウンタ出力も出ているので、ここから外部の周波数カウンタにつなぎっぱなしにすれば周波数は直読になる（当たり前）。バランス出力は使わない人も多いだろうけれど、ホットとコールドの間では振幅が２倍になるから大レベルがほしいときには便利かもしれない。どんなとき？ そうだなぁ、パワーアンプの出力段だけテストしたいとき……一生に一度くらいはあるだろう。

波形選択の SOURSE の SW は５接点で描いているが、スポット周波数が要らないなら、もちろん３接点でいい。

２個のロータリ SW は、この図ではどちらも１回路しか使っていない。もう１回路あまっている。次回書くようにスポット周波数発振器も詰め込む場合、SOUESE のほうの余っている１回路も使う。だから出力波形表示の LED などをこの SW で切り替えるのは無理。ATT の SW では１回路分が永遠にあまるから何に使ってもよろしい。バーメーターでも光らせる？

China の販売サイト banggood は最近、罠を仕掛け始めた。送料無料のはずが、トータル金額では送料が付いてくる。詐欺か？ ま、一種のね。購入申し込みのページで、デフォルトでは「送料有料」になっているのだ。これを Free Shipping に変えてやらないと無料にならない仕組み。くそっ、ひっかかっちまった。有料だと良いことがあるわけではない。配送日数はまったく変わらないし梱包（灰色の袋に無造作に入っている）も同じだ。また面倒なことに書留扱いになるので、受け取り時にいちいちハンコを押さねばならない。本来、書留扱いだとトラッキングが可能なはずだが、これが常に Not Found でまるっきりダメ。向こうで中国郵政に登録していないからだ。

抗議のメールを出したら、購入時にトータル金額を Clearly に表示しているからいいのだ、との返事。う～む China。あのさぁ、販売ページでは Free Shipping とクリアリィに表示してるじゃない。言い合いになっても決して非を認めないのが中国人。どんな小さなメンツも守る。リクツではないのだ。だから今の日本のやりかただと尖閣問題は絶対に解決しない。田中角栄が周恩来をたらしこんだ方手法を思い出す必要がありそうだ。

ケつまずいたこと

+12V を分圧して +6V を得るには同じ値の抵抗２本を直列にすればいい。ボーッと単純にそう思えた。そう、波形の中心を 6V シフトする回路でのこと。そこで、最初は①の定数にした。真ん中の 10kSF で電圧はいくらか変わる。どこかでオフセットが出ていたらこれで吸収できる。安心しきって作り、安心しきってテストしたところ、ん？なんじゃこりゃ。+6V が来ない。もっと低く出ていて、波形の中心が 0V にならない。奇ッ怪なり。

解決方法はふたつ。きちんと考えるか、力づくでカットアンドトライするか。矩形波のシフトは力づくでやっつけた。だから 22k と 4k7 というワケのわからない定数になっている。でも三角波／サイン波のほうは思考力を活用して解決する気になった。

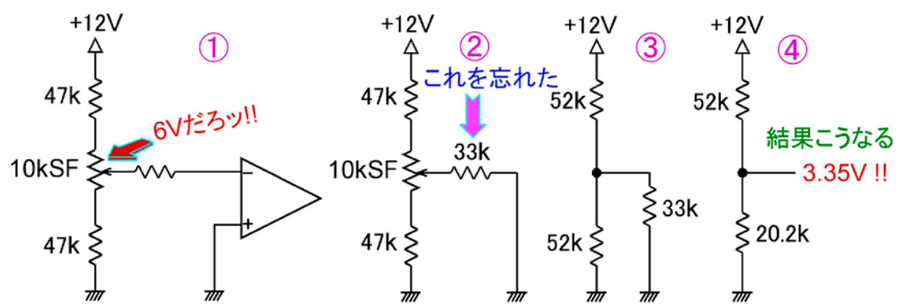
見落としていたのは半固定の中点から２個のオペアンプ反転入力につながる抵抗。51k と 100k だ。反転入力回路ではこの抵抗が入力インピーダンスを決める。別の言い方をすればオペアンプの反転入力端子は非反転入力端子と同じ電位で、この場合 0V、つまり GND なのだ。このように反転入力端子と非反転入力端子の電圧が同じになるのが有名なバーチャルショート。イマジナリィショートともいう。この現象があるからこそオペアンプたり得て便利なのだが、詳しくは岡村先生の本をどうぞ。

51k//100k は 33k だから、等価的に描くと②になる。さすがにここまでバレれば私にもわかる。半固定が中点位置だとすると③が分圧の様子で④が結論。これじゃ、どうやっても半分の電圧にはならない。

どう解決する？ ①で２本の 47k をジャンパに置き換えれば、半固定を回したどこかで +6V が出るだろう。でもそれじゃ、まるっきり芸の無い解決だ。それに半固定での可変電圧範囲が広すぎて（0V ～ +12V）アジャストが難しくなる。

要はオペアンプの２本の Rs（入力抵抗）に対して、分圧抵抗が大きすぎた。大きいほど Rs の影響はひどくなる。この際、マイナス側の電流があまっていることだし、分圧抵抗列を思い切り小さくしてやった。その結果が２本の 1k と 500 Ωの半固定（もちろん消費電力定格の計算はした）。これで波形は 0V 中心になる。半固定での可変範囲も、Rs を無視すれば 4.8V ～ 7.2V のはず。もし 500 Ωで足りなければ 1kSF にすれば絶対に合う。

私としては常々「ロー出し、ハイ受け」を実践してきたつもりだ。A カーブの VR を受けるには、VR の抵抗値の少なくとも３倍の抵抗で受けている。でも、ここでつまずくとはなぁ。まだまだ修行が足りないなぁ。



実際はマイナス電圧ですがメンドーなのでプラスで描いてます

著者はこの記事の著作権を放棄しません。リンクは自由ですが、どんな形式に於いても無断転載、無断複製等はご遠慮ください。著作権を主張するということは、記事内容に責任を持つということでもあります。