

144MHz 用 ARDF 受信機の試作 (試作 3 号機)

※記憶と再確認等で書いてみました(笑)



2015 年 6 月 13 日

JR5HJJ

ホームページ <http://wwwb.pikara.ne.jp/potter-2005/>

電子メール jr5hjj@jarl.com

■事の始まり

「144MHz 用 ARDF 受信機の試作(試作1号機)」参照。

<http://www.pikara.ne.jp/potter-2005/kousaku/ardfprototype1.pdf>

2号機は1号試作で感じた部分・思った部分を見直して試作。回路は基本的に1号機と同じ。2012年11月4日、第20回北四国 ARDF 競技大会で試作の2号受信機を使って選手として参加した。

詳細は「144MHz 用 ARDF 受信機の試作(試作2号機)」参照。

<http://www.pikara.ne.jp/potter-2005/kousaku/ardfprototype2.pdf>

2号機試作後、小型軽量化、コストダウン、高性能化(笑)を考えていた。理由は・・・自己啓発もあるし、友人知人に ARDF の楽しみを知ってもらうためには、安く作れて貸し出して、ぶっ壊されても惜しくない(笑)受信機が何台か必要だ、輸入機に頼っていたら、いずれ行き詰まる、と思ったから。

そして2013年5月ころ3号機の製作に着手したのであるが・・・この年は公私とも恐ろしく忙しくて・・・ケースにけがきしたあと製作は半年以上ストップ。

2014年1月製作を再開。さて・・・3号機はどうなるやら。(笑)

■3号機試作で主に見直した部分

①1号機2号機より小型のケースを使う

1号機2号機はどちらもタカチのMY-100。3号機はMY-80を使うことにした。

MY-80はMY-100と比べて容積が約1/2。いきなり半分のサイズにして大丈夫か?という不安(笑)もあったが、まあ何とかなるだろう、という安易な考もあり。しかし、あとでしんどいことになった。(苦笑)。

②アンテナジャックを減らす

1号機2号機は二つのダイポールアンテナでとらえた信号を受信機内のトロイダルコアで合成して指向性を得ていたの、同軸ケーブルを受信機につなぐためのジャックが2つついていた。3号機では小型化するためにジャック1つで取り込むようにした。2つのアンテナの信号を合成する場所は受信機内部である必要は無いし、2本のケーブルを受信機につなぐというのは、わずらわしいと感じていた。

③既製品のバランスドミキサを使う

バランスドミキサの話は1号機試作以前にJR5PVCから聞いていた。しかし、バランスドミキサがほんとに必要なか?トランジスタのベース注入かエミッタ注入で簡単でいいんちゃうの?という疑問以外に、秋月電子通商ではTUF-2というミキサがあるが900円で値が高い、共立エレクトロニクスではNJM1496Dという安いミキサICがあるが14ピンで基板のスペースをたくさん必要とする、その他、入手できる店に限られる等の理由から使ってなかった。

その後、SA602という8ピンのミキサICの存在を知って、それを使ってみることにした。

④ラジオICを変更

1号機2号機は中間周波増幅・検波にミツミのラジオ用ワンチップIC LMF-501Tを使っている。ところが、LMF-501Tはもう製造されていないようであるし、入手も困難らしい。

同様のICとしてUTC7642というのがあるが容易に手に入るようなので・・・使ってみた。しかしネットではLMF-501Tと比べて酷評している記事を多く見るわけで・・・(^;))

※後にネットでLMF-501Tを扱ってる店が見つかった。

LMF-501Tを使った方が感度・SN比の面で良いかも知れない。(笑)

⑤低周波増幅にICを使う

1号機2号機は低周波増幅にトランジスタ2SC1815を使ったが、2SC1815は生産終了予定だそうで・・・それならばICで小型化を、と考えて、今回はLM386Nを使った。LM386Nはノイズが多くてヘッドホンで聞くには適していないとネットでは酷評されている記事が少なくない。しかし、どこでも入手できるし安いので今回使うことにした。

試作・製作については、部品本来の使い方からはずれていたり、失敗で終わっていたり、考えただけで終了している部分もあり、勘違いもあるかも(苦笑)、等、あらかじめ了解ください。

■小型軽量化

より小型で、より軽ければ、競技するうえでも良いはずで・・・。ケース代が安ければなお良いはずで。

受信機にはスイッチや可変抵抗器、ジャックをつけるが、入手しやすい部品のうち、一番大きなのは可変抵抗器だろう。

TX 用とゴールビーコン用の 2 つの周波数をケース内部の部品、半固定抵抗器等で設定しておいて、ケースの外側からスイッチで切り替える、そのような話は JR5PVC との話題に何回か出ている。確かにそうなんだけど・・・。

受信機の感度を 2 段か 3 段切り替えにして・・・。感度調整用の可変抵抗器を省略する、感度切り替えスイッチはスイッチの表示を「遠い」「中くらい」「近い」等で切り替えるとか・・・。

周波数や感度の調整を可変抵抗器でなくスイッチで操作できれば、より小型のケースが使えるだろうけど・・・。

(1) ケース外部から可変抵抗器を操作する必要性

3 号機は 1 号機や 2 号機と同様にスーパーヘテロダインにした。構成は下の図 1。

アンテナから入ってくる電波がノイズ等の電波(周波数 f_n)、TX から届いた電波(周波数 f_t)、ゴールビーコンから届いた電波(周波数 f_b)の 3 つだとすれば、周波数の和と差だけ考えると周波数変換器の出口では受信信号の周波数に局部発信器の周波数を足した周波数と引いた 6 つの周波数が出てくる。ノイズ等の電波が無ければ、この 2 つの周波数は出てこないと思う。(混変調・相互変調の話は抜きとして：笑)

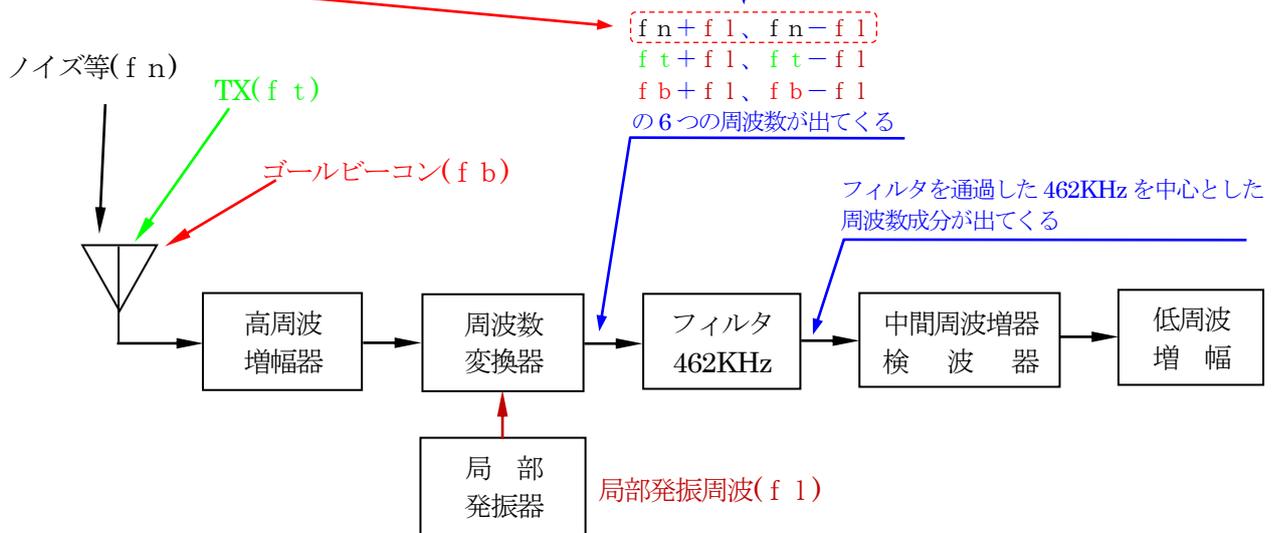


図 1 3 号機の構成

周波数変換器から出てくる信号のうち目的の信号をフィルタや中間周波トランス IFT を使って選び出すことになるのでフィルタや中間周波トランス IFT の特性(周波数や通過帯域)が気になるところ。

局部発振器の周波数が安定していれば周波数変換器から出てくる信号(ノイズや混信の元となる周波数、TX、ゴールビーコンの周波数変換後の信号)の周波数も安定していて目的の信号をうまくフィルタに通すことができるが、局部発振器の周波数が温度の影響等で変動すると周波数変換器から出てくる信号の周波数も変動するので安定して目的の信号を受信できない。

試作受信機は局部発振器に LC 発振回路を使っているので、機械的な振動や気温の変化で周波数が少しづつずれる。少しじゃないかも。(笑)

多少周波数がずれても聞けるようにするには中間周波トランス IFT やセラミックフィルターの通過帯域の広いものを使えば良いのかもしれないが・・・通過帯域が広いと TX とゴールビーコンと受信機の位置によっては TX とゴールビーコンの信号が同時に聞こえてしまいそうだ・・・。

中間周波増幅器に入ってくる信号を考えてみた。TX の周波数は 145.66MHz、ゴールビーコンの周波数は 145.78MHz。ノイズ等が TX より少し低い周波数で入ってきて、**入るすべての信号強度が同じ**だとして・・・。

フィルタの通過帯域が広い場合、フィルタを通過する信号の強度は図 2-a、図 2-b のようになるだろうか。

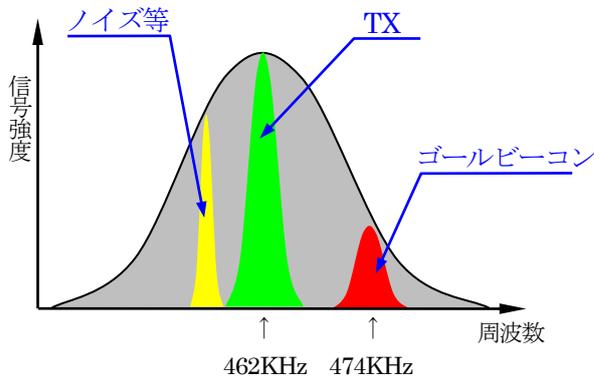


図 2-a 局部発振周波数が 145.198MHz のとき

グレーの山はフィルタの通過特性。
TX の音が大きくゴールビーコン小さく両方が聞こえる。
ノイズも大きく聞こえる。
競技中、受信点で TX の信号がゴールビーコンより弱ければ上の図と違って緑の山が低くなり、ゴールビーコンと重なって TX の信号が聞きづらくなると思う。

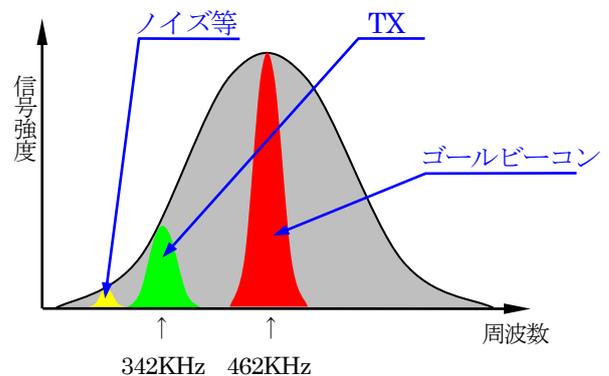


図 2-b 局部発振周波数が 145.318MHz のとき

グレーの山はフィルタの通過特性。
TX の音が小さくゴールビーコンの音が大きく両方が聞こえるだろうか。ノイズはほとんど聞こえないかも。
局部発振周波数が 145.318MHz から低い方にずれると黄・緑・赤の山が右にずれて、ノイズと TX の信号が大きくなりゴールビーコンの信号は小さくなる。聞きづらくなりそう。

フィルタの通過帯域が狭い場合、フィルタを通過する信号の強度は図 3-a、図 3-b のようになるだろうか。

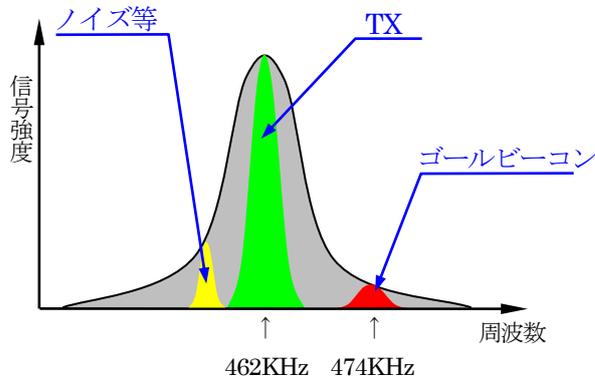


図 3-a 局部発振周波数が 145.198MHz のとき

グレーの山はフィルタの通過特性。
TX の音が大きく聞こえ、ゴールビーコンはほとんど聞こえないかも知れない。
局部発振周波数が 145.198MHz から高い方へずれると黄・緑・赤の山が左にずれて、TX の音が聞こえなくなり、145.198MHz から低い方へずれると TX の信号が小さくノイズが大きくなると思う。

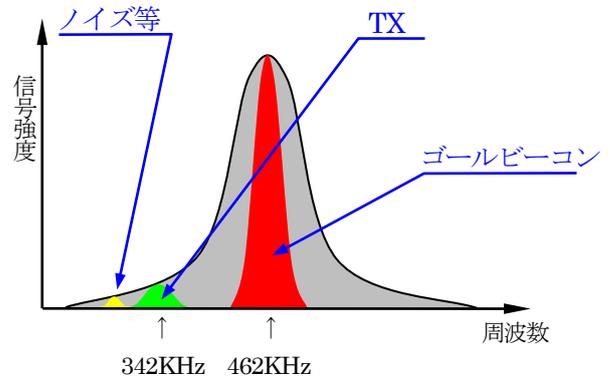


図 3-b 局部発振周波数が 145.318MHz のとき

グレーの山はフィルタの通過特性。
ゴールビーコンの音が大きく聞こえ TX の音やノイズはほとんど聞こえないかもしれない。
TX・ゴールビーコン双方の信号が強力に入る場所で局部発振周波数が 145.318MHz から低い方へ大きくずれると、ゴールビーコンの信号が小さくなり、TX の信号が聞こえ始めるかも。

選択度を良くして混信を避けたり SN 比を改善しようとするれば、通過帯域の狭いフィルタや中間周波トランス IFT を増やさないといけないと思うが、同時に局部発振周波数は安定したものが必要なだろう。

PLL や DDS を使えば安定した周波数が得られるが、LC 発振回路が安くて簡単で、コストと性能のバランスの取れた、どこかで妥協できる場所(笑)探すのも良さそうだ。

ひとつの考え方であるが、何とか競技できる周波数の変動であれば周波数を人間が補正しながら競技するのもある意味楽しいような気がする。(そんなことは無いか・・・笑)

(2) 電源 SW の必要性

ランド方式で試作した 3 号機ケースのけがきの段階で電源 SW のことを忘れていて(苦笑)、穴あけ中に気がついた。時既に遅しである。しかし、電源 SW は無くても良いのではないか? 負荷電流は少ないし電源 SW が必要なら外部に設けてもいいか、と妥協した。それと、競技中 OFF にすることはまず無いだろうと思ってそのまま進めたのであるが。

局部発振器に LC 発振回路を使っていると周波数が安定するまで時間がかかるので、スタート前に電源を入れて局部発振周波数を少しでも安定させておいてスタートし、競技終了までそのまま、という考えもあったが、後に ARDF のルール改正でスタート前に電源を ON にできないと明記されてしまったので、重ね重ね後悔。スタート直後に DC プラグを受信機に差し込むのはスマートではない、DC プラグを抜き挿ししているうちに線が傷んで切れたら、そこで終わってしまう。(^^;)というわけで、やはり電源 SW はあったほうが良い、と思った。

(3) 部品の突起物

どの程度小型にできるか、というのを考えると、実装する回路がどうなるかで何とも言えないのであるが・・・。

3 号機ではミキサに SA602、低周波増幅に LM386N を使うという条件で考えると、多少回路の変更があっても 1 号機 2 号機で使ったタカチ MY-100 から約半分の MY-80 でも何とかかなと思った。結果的にはけっこうキツかったが・・・。

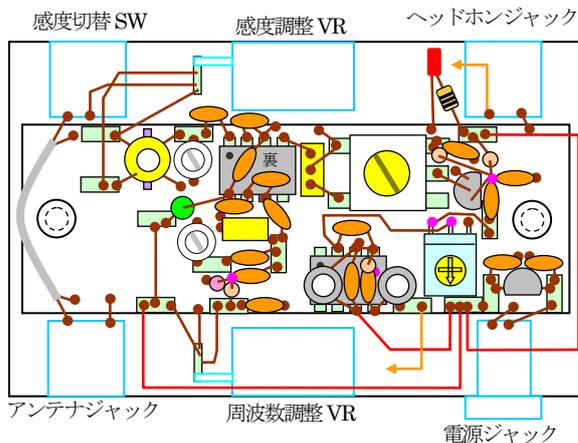


図 4 Word で書いた部品レイアウト

3 号機について考え始めた頃、使う部品のレイアウトを Word のオートシェイプで図 4 ように描きながら考えてみたが、もう 2 度とやることは無いと思う。(笑)

当時は PcbE の使い方を知らなかったし、使おうとしなかったのがそうだったが、今では部品の所要スペースや配線について PcbE で考えることができる。PcbE は、部品のサイズも形状も編集に入ってるのでプリント基板でなくてもレイアウト検討にも使えそう。

ARDF 受信機を作る中で、一番サイズの大きな部品は可変抵抗器であるが、奥行き長いのは、ミニジャックだったり、SW だったり。(写真 1 参照)



SW やジャックの端子が突起物として基板の上へ張り出している。
←○の部分

※左の写真は実験中の写真で後に使わなくなった部品も写っている。

写真 1 ランド方式で試作実験中の 3 号機

後にプリント基板で回路を製作するまでに、検討の結果、上の写真1に写ってる部品で省略したものもあるが、ジャックやSWの突起を含み奥行きが長い。いろいろ部品を探したが、機構部品はどれもあまりサイズが変わらない。

ジャックやスイッチをつけた状態で基板をつけはずし可能にするとともに基板寸法が小さくなる。ディスクリート部品ではMY-80が限界か。操作性を考えても、これより小さくなると操作性が悪くなりそうだ。

(4) その他

3号機のケースのサイズは1号機2号機の半分くらいで内部の温度が変わりやすいとすれば、局部発振周波数への温度の影響は大きくなったかも知れない。

回路を動作させると多くの部品から熱が出る。温度が一定になれば周波数が安定する。局部発振回路以外の回路の熱が局部発振回路へ伝わらないようにするには、ケースを閉じずに開放して放熱するか。

部品の放熱はヒートシンクを使って放熱したい場所へ熱を逃がす、というのが一般的だと思うが・・・。

アルミケースの内側にヒートシンクをつけて熱をとらえて、アルミケースの表面を使って熱を逃がす、というのはどんなんだろうか・・・やろうとは思わないが・・・(笑)

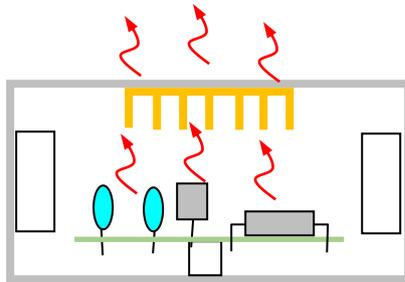


図5 ケースの内側にヒートシンク？

ステレोजacksをアルミケースに取り付けする時、ジャックの3極のうち、1つは受信機の金属ケースとつながっている。

受信機を使うときには、ヘッドホンを使うが、ヘッドホンのステレोजacksの3極のうち、1つは受信機の金属ケースにつながっている。

図7の(a)はステレोजacksの3極全部を使うので、電氣的にアンテナのエレメントから同軸ケーブル、受信機のケース、受信機の回路(回路のGND)、ヘッドホンがつながっている。

アンテナ以外から入ってきた電波が受信機に受信信号としてどう入るか・・・(^_^;)

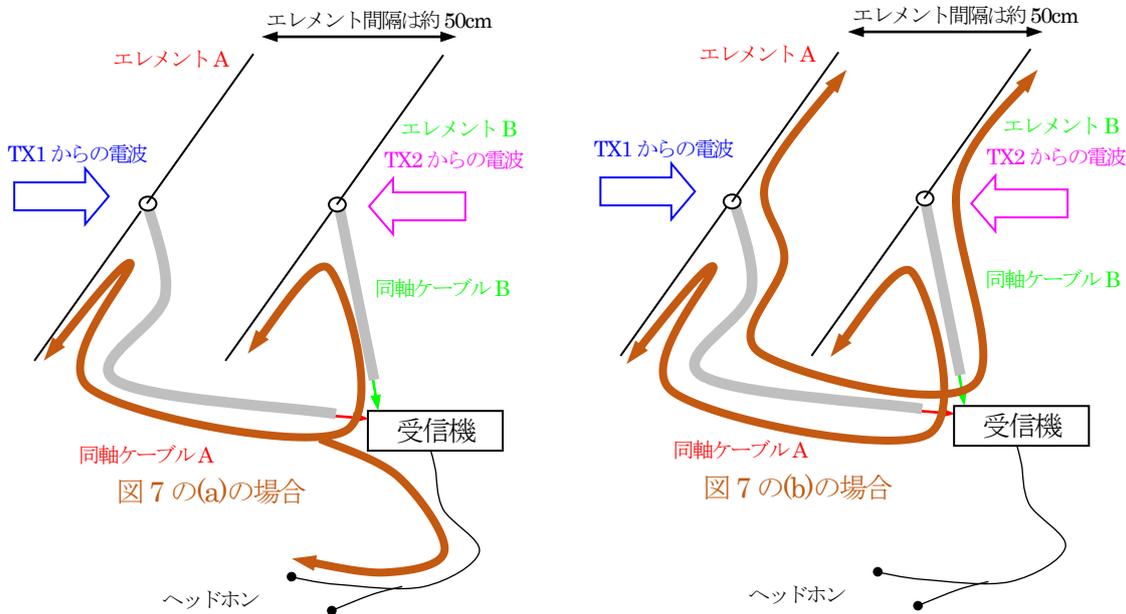


図8 アンテナで捉えた信号の通り道は？

2つのダイポールアンテナで捉えた信号は受信機入力以外につながっていると指向性が乱れるような気がする。あくまで、実験して耳で聞いた印象なのであるが、同軸ケーブルをエレメントと平行に大きく引き回したり、自分の腕を伸ばして試作受信機を横へ突き出して、ヘッドホンのコードがエレメントと平行になると、エレメント以外で電波を受ける長さが長くなるせいか、指向性が変なような・・・。確かに予想通りエレメントAの方から電波を受けると信号を強く聞けるのであるが、受信機と体の位置等で違う方向からも強く聞こえたりする感じだった。

もともと・・・、実験中にテストした場所は住宅地の・・・周りに電波を反射するであろうものがたくさんあるところ当てにはならないかもしれないが。(苦笑)

想像ではあるが、アンテナエレメント以外で受けた電波を信号としてなるべく受信機入力へ入れない、ということを考えないといけないのかな・・・。いや、当然か。(苦笑)

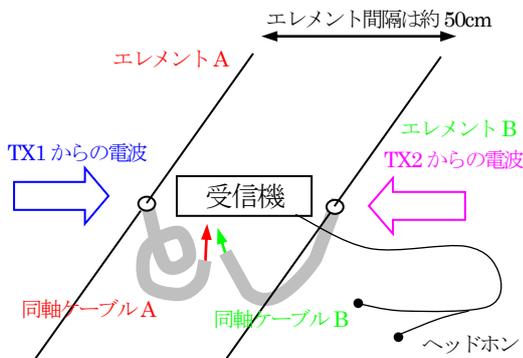


図9 同軸ケーブルをまとめる

二つのダイポールアンテナで捉えた電波(信号)の位相を同軸ケーブルの長さの差を使って受信機に取り込み合成しようとする、どうしても位相合わせの同軸ケーブルの長さが必要になる。

ケーブルをある程度丸めたりしてまとめれば指向性の乱れは減るかも知れないが、2つのケーブルをつなぐというのはいやわらわしい。(苦笑)

そのようなわけで八木アンテナの使用を考えた。

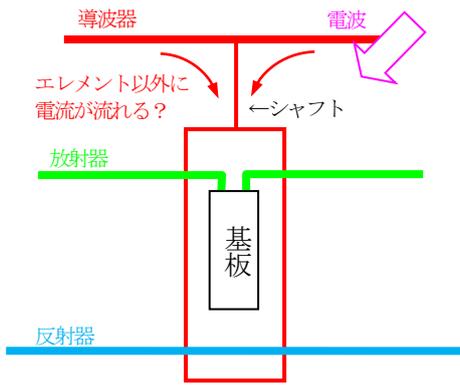


図 10 どこに電流が流れる？

左の図はメーカ機の八木アンテナのイメージ。メーカ機はよくできていると思う。受信機のケースを開けて見ると、放射器エレメントが最短距離でプリント基板につながってるし、電波を捉えるエレメントは放射器一つだけだ。

※放射器エレメントの片側は直流的にプリント基板の GND につながっていてヘッドホンの 3 極のうちの 1 つにもつながっているようだ。

反射器のエレメントは受信機ケースから浮いているが、導波器はシャフトで受信機ケースと電氣的につながっている。

正面でない向きから電波を受けるとシャフトにも電流が流れるような気がするが・・・。

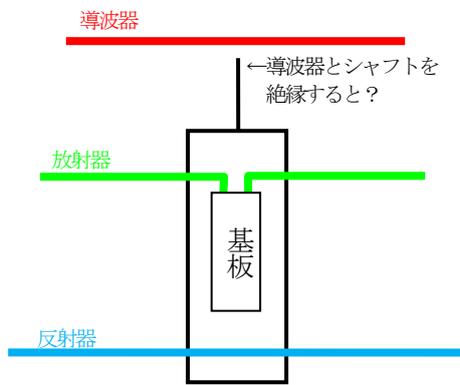


図 11 エレメントをシャフトから絶縁すると？

左の図は導波器を取り付けしているシャフトと絶縁したイメージ。受信機をどちらに向けても導波器を流れる電流がシャフトを通過して受信機の方へ流れることは無い。

絶縁するのと絶縁しないので指向性は変わるだろうか？ネットの記事では八木アンテナを製作する際、導波器と反射器はブームと絶縁しなくて良いと書いてあるものがあり、絶縁しないとイケないと書いてあるものがある。ちなみに僕が持ってメーカ製の八木アンテナは絶縁していない。

メーカ製の ARDF 受信機で反射器がケースから絶縁されているのは意味があると思うが、2014 年 10 月現在、ナゾだ。(笑)

思うに・・・図 12 で金属ブームは電波 1 と平行に置かれていてブームの両端に電位差は無い、導波器の中央 A 点と反射器の中央 B 点の間には電位差が無くブームと絶縁されてなくてもブームに電流が流れないから

改めて絶縁する必要が無い、ということなのだろうか。

しかし電波 2 に対してブームは平行でなく、電波を受けてブームには電流が流れ、ブーム両端の A 点と B 点の間には電位差が生じ、それを導波器と反射器につながっているのだから H 形の導体(赤の部分全体)の中で電流は流れると思う。

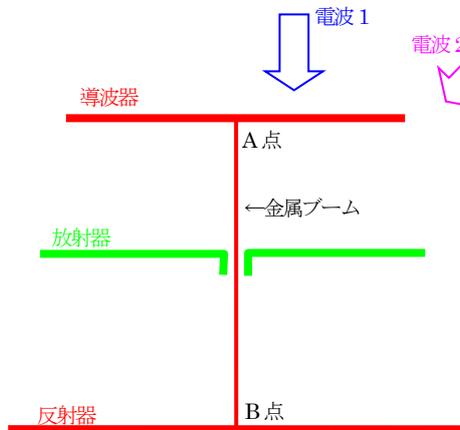


図 12 電波到来方向の影響

だからエレメントがブームと絶縁されてなければ導波器と反射器の電流の流れ具合に(指向性にも)影響はあるのでは？

空間に導体があって電波を受ければ電流が流れる。流れる電流は導体が共振していれば大きくなるはずだと思う。

それでも導波器と反射器がブームと絶縁されていないというのは、絶縁されてなくても悪い影響を無視できる、ということなのかも知れない。

??? うーん??? よくわからない。(笑)

(2) エレメントの太さ

可能な限り手持ちの材料を使ってコストを抑えるということで、見た人は笑うかもしれないが、アンテナには1号機試作の時から極細の線(写真2の細いエレメント)を使っている。それとアンテナが145MHz付近で共振しているか?という点も未確認。受信アンテナで電流は微弱だから太くなくてもまあいいか、という感覚だった。手持ちの電線に細いのしかなかったという理由もある。(後に、まあいいか、ではなくなったが・・・)

2012年のJARL徳島県支部「ハムの集い」へ1号機2号機を持って行ったとき、OMさんから「アンテナの共振周波数がずれているのかもしれないね。エレメントを太くすれば、アンテナの帯域が広くなり、おおよそで長さを決めても共振周波数は未確認でもそこそこOKかもね(笑)」とアドバイスもらった。

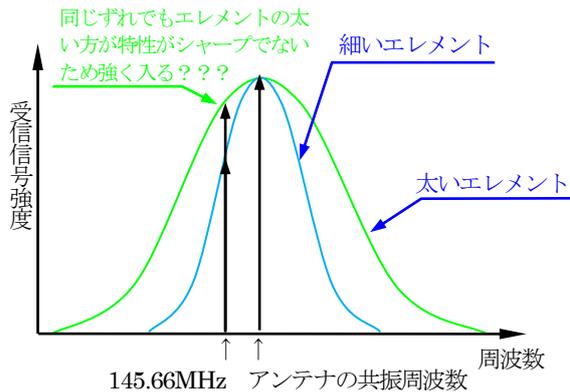


図13 OMさんから聞いた話



写真2 実験で使ったアンテナエレメントの電線

たまたま他の工作で不要になったケーブルのシールド(網線)が出たので、それを試しに放射器のエレメントとして使ってみた。写真2の一番右

聴き比べたが耳で聞く限り、違いはわからない。(^^;)

違いを比べる前にアンテナの共振周波数を確認するべきだったかもしれないね。(笑)

細いエレメントのアンテナと太いエレメントのアンテナの共振周波数を合わせてから比較しないと比較にならないだろうから。(反省)

ちなみに持っているメーカー製のモバイルホイップアンテナのエレメントは太いところは5mmくらいか。先端に近いところは2mmくらいかな。細くは無いが太くもないと思う。

手持ちのメーカー機のARDF受信機のアンテナではエレメント(コンベックスでできている)の太さ(幅)が13mmくらいある。

導体に流れる高周波電流は周波数が高くなるほど導体の表面しか流れなくなる表皮効果というのがある。太いエレメントを使うと帯域が広くなるというより、表面積の大きいエレメントが受信電界のエネルギーをより効率良く拾えるのではないかと、思うのは僕だけだろうか?

以前は、受信機のアンテナは大きな電流が流れるわけでもないから表面積は小さくなくて良いと考えていた。実際はどんなだろうか?

手持ちの部品で試してみた。(笑)

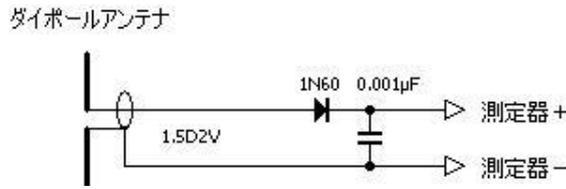


図 14 テスタで測定した時の回路

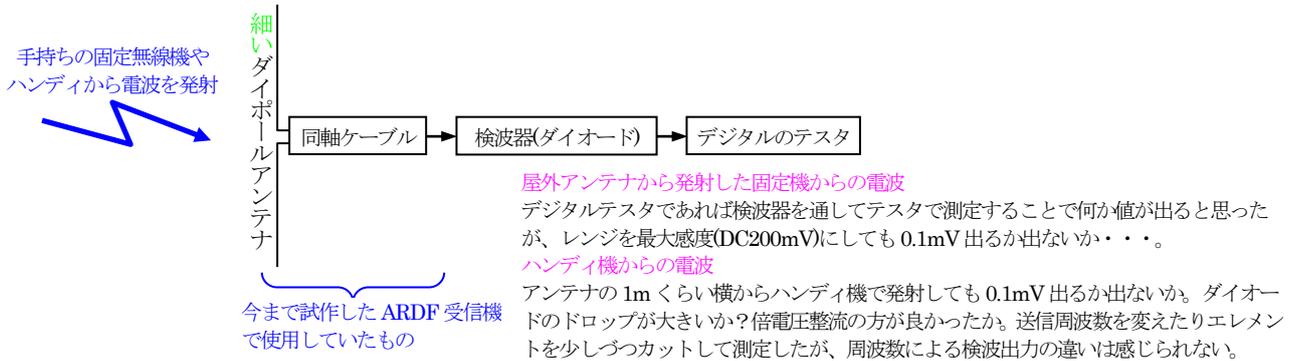


図 15 テスタで測定した時の方法

何か、やり方が悪かったのかも知れないが、テスタでは検波器出力を測定してアンテナの具合を確認できそうになかったので、アンテナをオシロスコープにつないで直接波形を見ることにした。



図 16 細いダイポールアンテナをオシロスコープで測定

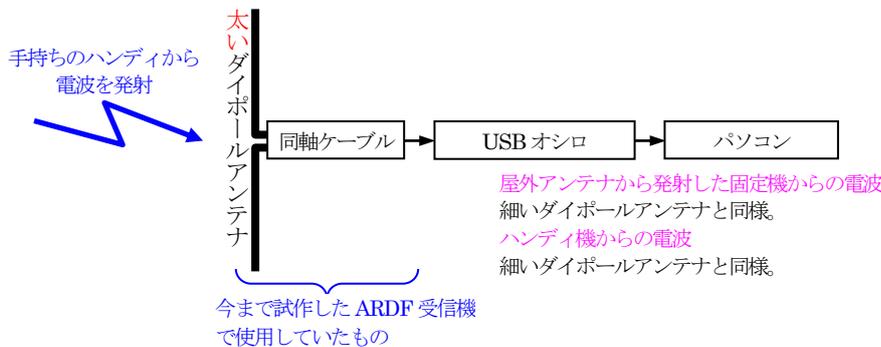


図 17 太いダイポールアンテナをオシロスコープで測定

なぜ、ハンディ機で測定中に体の位置や姿勢で信号強度が大きく変わったのか考えてみた。

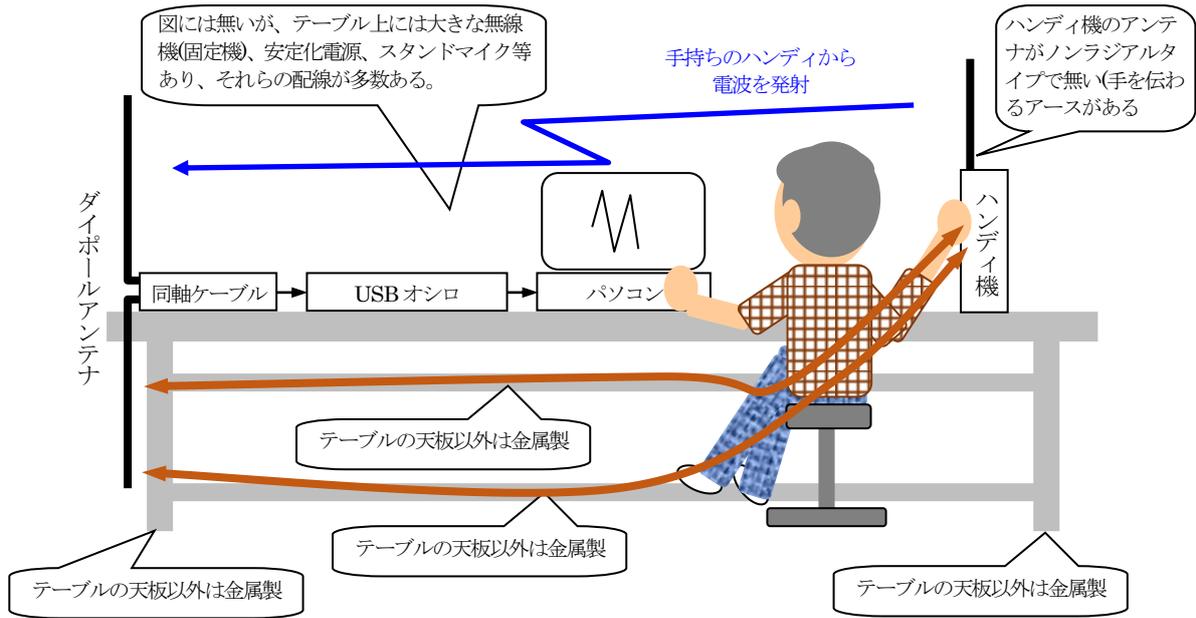


図 18 マイシャック内での測定は無理か(笑)

たぶん、ハンディ機で付属ホイップアンテナを使うと、人の体がラジアル代わりに働くだろうし、金属製のテーブルを伝わってダイポールアンテナへ入るエネルギーがかなりあるのではないだろうか？

図 18 の ←→ を参照。

ハンディ機から送信したのでは無理か・・・、固定無線機から送信すれば、ざっとなら何かわかるか・・・。

他にはテーブル上に容易に動かせない配線や金属がいっぱいあるし、家は木造トタン張り、電波測定は無理と思った方がいいか。でも電波暗室ないし、これのために屋外測定できる機材もそろえたくない。(苦笑)

(3) エレメントの長さ

アンテナのエレメントの長さは、 $\text{波長} \div 2 \times \text{短縮率}$ 。

短縮率は速度係数でもあり、だいたい 0.93~0.97 らしい。

短縮率は周波数とエレメントの太さから、どのくらいかわかるらしい。僕はアンテナの製作本に載っているグラフを見て判断している。そのグラフではエレメントを極端に細くしていくと 0.9775 くらいになるように見えるが、実際にはこの値より少し小さくなるそうで 0.95 くらいで考えるようだ。

試作機では最初極端に細い電線をアンテナのエレメントに使ったのでエレメントの長さは約 98cm で製作した。

使用周波数に合ったエレメントであればエレメントが太くても細くても利得は同じとされているが、極端に細いエレメントであればどうなんだろうか。

受信アンテナは写真 2 に写ってるように、細いエレメントは 30 年くらい前(1985 年頃)にマイコンの回路でフラットケーブル使われていた電線らしきもの。被服電線で中の心線は髪の毛のように細いので ABS パイプに沿わせてある。太いエレメントは当時 RS232C か何かに使われていた電線らしきものの残りのシールドを ABS パイプにかぶせてみた。外皮は無い。外径 5mm くらいのエレメントの代用になると思って使ったのであるが、長さの足りない分はアルミホイルを切って足してみたが、どうだか・・・。(^^;)

144MHzの固定無線機からFMで出力は最小(たぶん1Wくらい)、アンテナは屋外設置のスリムジムから送信してみた。周波数は145.78MHzだっただろうか・・・。

周波数は変えずにダイポールアンテナのエレメントを少しずつ切って短くしつつ固定無線機から送信した電波をダイポールアンテナで受け、USBオシロのスペアナ画面で読み取り。

測定値は振れてるのをおおよそで読み取ったものであり、実験データとしては最悪のものかもしれない。それに体の位置や体勢の影響が有るような無いような・・・。

(苦笑・・・笑であるが、それしかないのである)

表1 エレメントの長さに対する測定結果

エレメント長 (mm)	ゼロピーク電圧(mV)	
	細い被覆付 エレメント	太い被覆無 エレメント
1140	14	20
1130	14	20
1120	14	20
1110	14	22
1100	15	23
1090	16	23
1080	16	23
1070	16	23
1060	16	24
1050	17	25
1040	17	25
1030	18	25
1020	18	25
1010	19	26
1000	22	26
990	23	26
980	25	27
970	25	27
960	27	27
950	27	27
940	27	27
930	27	27
920	27	26
910	27	25
900	25	25
890	25	25
880	24	24
870	23	22
860	22	22
850	21	22

ざっとやったので長さで±3mmくらい誤差があるかもしれない。(苦笑)

同じ太さ同じ長さのエレメントであれば被覆無より被覆付エレメントの方が中心周波数が低くなるし、エレメントの長さが同じでエレメントの太さが違う場合は、エレメントの太い方が中心周波数が低くなるらしい。

今回測定したエレメントは表を見る限り太い被覆無エレメントの中心周波数が高いようだ。細い被覆付エレメントの中心周波数がグッと下がったのは被覆以外に細いエレメントを支えるために使ったABSパイプの影響だろうか。ABSパイプが無ければ細い被覆付エレメントの中心周波数が太い被覆無エレメントより高くなるように思う。

エレメントが細くても太くても短縮率の上限?0.97に相当する長さ970mmあたりより短いエレメントで144MHz帯の電波に共振しているようで理論どおりに見える。エレメントの太さが違って中心周波数での電圧の測定値が同じであるということで、信号を耳で聞いて感度に差を感じなかったことを改めて納得した。

適当に電圧値25mV以上を着色してみた。エレメントを太くすると中心周波数からはずれても高い電圧が出ている。図13のグラフのような、OMさんの言うとおりである。

アンテナの製作本やネット情報では短縮率0.95というのが多いような・・・。

表を見てると・・・確かに短縮率0.94~0.95あたりで考えた方が良さそうだ。

※ 細くてもエレメントとして効いている、ということは、いろいろ試作受信機のテストをやっていて、ヘッドホンのコードも影響するということかな。3号機ではアンテナの片線が基板のGNDを通してつながってる。

(4) 自作機でのアンテナ

メーカー機のアンテナエレメントは頑丈な受信機ケースやシャフトに頑丈なネジで固定するようになっているが、自作機の場合、同様な構造にすると、工作に手間がかかると同時に部品代が高くなると思う。

そこでホームセンターで売ってる ABS パイプや棒状のプラスチックで「カブセ」というものを使っている。平たいカブセであれば電線ではなく銅テープをエレメントとして使うこともできると思う。その他、細いワイヤプロテクタでも使えると思う。



写真3 アンテナエレメントを支える材料

(5) その他

手持ちのメーカー機ではアンテナと高周波増幅回路の間にフロートバラン(ソーターバランともいうらしい)らしきものが入っている。メーカー機の指向特性はすばらしいものがあるが、反射器をケースから絶縁してある以外に、中に入っているバランが効果を発揮しているのだろうか？図19

ダイポールアンテナと同軸ケーブルをつなぐ時、バランを入れないといけないとか、入れなくても大丈夫なことが多いとか・・・記事はよく見る。また、アンテナ製作・バラン製作の記事ではバランを入れると指向性の乱れが改善できると書かれているものが少なくないと思う。

エレメントの片側だけ折り返したアンテナをバラン無しで使っている記事を見たことがある。セミフォールデッドダイポールアンテナというらしい。それに導波器と反射器を追加して3号機で使うアンテナとすれば何らかの改善ができるかも知れない。図20

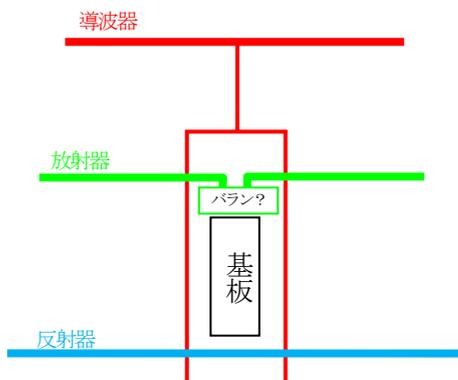


図19 平衡・不平衡変換？

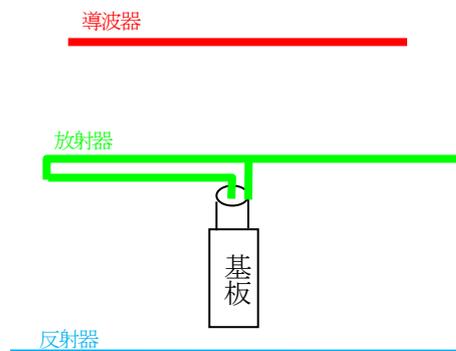


図20 平衡・不平衡変換？

■受信機入力から高周波増幅等

JR5PVCからは、音の聞こえ具合と感度調整用のつまみの位置でTXとの距離を推測する、と聞いたが、僕自身は競技中そんな余裕は無い。(笑)感度調整はあくまで聞きやすい音量に設定して受信機の方向(アンテナの向き)でTXの方向を探る。その場その場での音量を聞いて何番のTXが遠い近いの判断はしているが・・・。

では、つまみの位置でTXとの距離を判断できるか?と云えば、僕自身はできないと思っている。数少ない経験でものを言うが(笑)ARDFの行われる地域は、大きな構造物は少ないがTXのアンテナの設置状態や周辺の地形の影響でTXからの距離でなく選手の位置により受信信号のレベルはまちまちなことが多いと思う。そこがARDFの楽しみでもあり、体力だけが成績に現れない良いところだと思う。

百戦錬磨のJR5PVCのいうとおり、同じ受信機を繰り返し使っていると感覚的につまみの位置でTXまでの距離が想像できるのかもしれない。彼は受信機と体が一体化しているぞ。きっと。(笑)

感度調整について、感度調整用のつまみの位置をTXまでの距離の判断に使うか、つまみの位置はあまり意識せず単に聞きやすい音量に調節してアンテナの指向性を頼りに電波到来方向へ向かうかは好みの問題だろうか。

話が飛ぶが(苦笑)、ARDFの受信機は通常のラジオと違ってAGCがついてない方が望ましいと聞いたことがある。AGCがついているとアンテナの向きを変えても信号の強弱がわかりづらくアンテナの指向特性が活かされない、ということだそう。当然、耳Sを使ってもAGCがあると音の高低が出にくいかもしれない。

AGCについて調べると、一般的な受信機(AMラジオなど)は常に最大感度の状態で動作するように設計されていて、過大入力となる時に初めて利得を下げる、と書いてあるものがある。受信する電波が強すぎなければAGCが効くことは無く一定の利得で動作している。通信の相手の決まっている無線機(受信機)であれば、電界強度が変わっても常に安定した一定の大きさの信号となるよう常時AGCが効いている。という認識を持っている。

間違っていたらごめんなさい。m(_ _)m

メーカー製のARDF受信機を何回か使っているが、電波が強いと鼓膜が破れそうな大きな音を聞いてしまうことがある。やっぱりAGCはついて無いらしいなあ。(苦笑)AGCが無くてもしミッタくらいは欲しいなあ。

ARDF受信機は、弱い電波から、強い電波まで強弱を判断できないといけない。最高感度が低いと遠いTXの方向がわからないし、充分感度を下げられないと受信機をどちらに向けても電界の強弱がわからないのでTXの近くでTXの方向がわからない。(指向性については、1号機2号機では受信電界強度でTXの方向を判断するのせずに、2つのダイポールアンテナで受信した信号の位相差を利用してTXの方向を判断するよう考えていた。)

1号機2号機の感度調整の方法はアンテナで捉えた信号を可変抵抗器で分圧する方法を使った。

ネットのいろんな記事でトランジスタやICのバイアス(電圧や電流)を可変抵抗器により調整し感度を変える方法も見かけたので3号機ではそれを試してみた。

(1) 試作機では

ミキサICとしてSA602を使用しているARDF受信機の記事をネットで見つけたが、その構成はアンテナで捉えた信号を同調回路を通して、高周波増幅せずに、そのままSA602へつないでいた。

高周波増幅と周波数変換にトランジスタを各1個しか使っていない2号機に比べて、SA602を使った3号機はミキサだけでもIC内のトランジスタ6個使ってる。高周波増幅が無くてもミキサICの変換利得があれば2号機に劣ることは無いだろう、という思いがあった。

そういうわけで高周波増幅無しでSA602の利得だけで足りると認識していたので3号機試作の前半は高周波増幅無しで試作を進めていた。

で、試してみると・・・高周波増幅無しでも2号機に勝るとも劣らない感度のような気がした。
 その理由は、受信機近くの小さな発振回路から出るモレ電波やパワーを絞った無線機の電波を3号機で聴いて、可変抵抗器を左いっぱいにも感度を絞りきれなかったから。
 可変抵抗器の抵抗値を変えるなど、いろいろ試したのであるが・・・これと言った成果は無く・・・(^;)

アンテナ側のインピーダンスが低いので可変抵抗器は抵抗値が小さい方がいいのかなと思って小さく500Ωにしたら感度が一気に落ちたので、その後10kΩに戻した。
 抵抗値の小さい可変抵抗器を使うと可変抵抗器を右いっぱいにも感度最大にしても可変抵抗器でエネルギーを食われて次段への入力不足するようだ。
 それと、左いっぱいにも感度を最小にしてもTXの信号を絞りきれない。

同調回路のQが低いのか、SA602の入力インピーダンスが低いのかSA602のINA~INB間の静電容量の影響か、なかなか同調できず。なんだか受信音を聞いていると同調回路があってもなくても大差無い様な・・・。
 1号機2号機のように共振回路を電氣的に高周波増幅につながらない方が良かったかも。

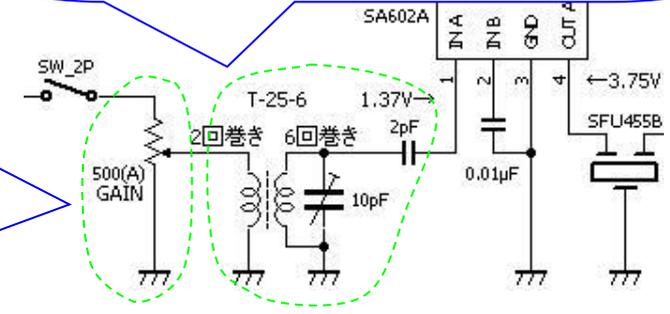


図 21 3号機試行錯誤

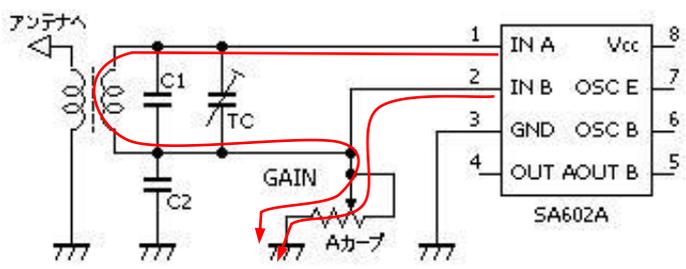


図 22 SA602 のバイアスを外部から調整

ネットで見たSA602のバイアスを外部から調整して感度を変えている記事を参考に3号機でも試してみた。図22参照。試した感想としては、感度の絞れ具合はいい感じ。IC内部の回路に供給しているバイアス電流を外部の可変抵抗器を通してICの外へ流すことにより本来の利得より下げる、ということらしい。が、当然、ICの正しい使い方とは言えない。(^^;)アマチュアならではの方法だろう。

感覚的には受信した信号(高周波)を可変抵抗器で分圧する方法で感度を最低にしても、電波が強いと受信音が聞こえたのに対し、SA602というバランスドミキサのバイアスを変える方法では可変抵抗器を左いっぱいにも回せば、全く聞こえないところまで感度調整できた。

ところが、2014徳島県支部ARDF競技大会に3号機と2号機を持参し、大会終了後、JR5PVCとJLANDNにアドバイスもらいながら受信点を変えて本物のTX相手にテストしたが、2号機より3号機の感度が低いことがわかった。また、2号機の感度でもまだまだ・・・ということで、さらに3号機をいじることになった。

コストを抑えても、ある程度は弱い電波も拾えないと・・・少なくとも2号機より感度を上げないと。実はARDF慰労会の席でOMさん(JA5FUC)から、高周波増幅はついているのか?という問いがあつて、無しと答えていたものの、その後いろいろ実験を繰り返しても2号機以上の感度は出ないようで・・・。う～ん・・・。
 やはりミキサはミキサか、簡単でも高周波増幅は要るか・・・反省。
 高周波増幅回路を付けたとなると後段となるミキサのバイアスで感度調整するのは好ましくない。

高周波増幅を組み込む予定は無かったので、実験の途中で基板スペースが問題になってきた。3号機ではケースを小さくしたので何かを省略しないと収まりそうに無かった。(^^);、同調回路を省略することにした。
 2号機で競技大会へ参加した際、探索中にバリバリ雑音が入ってきたことがある。不要な信号は回路へ入らないようにするというのは基本なのだろうけど、Qの低い同調回路をつけても選択度の効果は少ないと考えれば省略しても支障ないのではないかと、思った。

また、同調回路を増やせば選択度は向上するが感度は落ちる、入ってきた信号がコイルやコンデンサを通る際、必ず損失があるから、と昔どこかで読んだ。

他には、目的の周波数の電波を効率よく受信し不要な周波数の電波をなるべく避けるのは、アンテナの共振周波数を考えるところから始まっているとネットのどこかで読んだ。

144MHz用のアンテナは144MHzの電波を一番感度良く拾えるはず、ということなのだろう。

(2) メーカー機では

自分が持っているメーカー機の一部ではアンテナからの入力信号や回路内で信号を可変抵抗器で分圧するという基本的な？(笑)感度調整はしていないようだ。

メーカー機の一部では高周波増幅や中間周波増幅のコレクタやドレインの電圧・電流をVRにより複数の増幅回路に向けてコントロールしている。

しかし、VRの位置によって極端に音が小さかったり、感度を少し上げると急激に音が大きくなって鼓膜が破れそうなほどの(苦笑)大きな音で聞こえたりするのは、それが原因ではないだろうか？小さい信号は小さく、大きい信号は大きくというのは理屈ではわかる。

僕の好みの問題であるが、いくら強く信号が入ってきたとしても必要以上の音量では聞きたくない。(笑)やはり過大入力にはAGCがほしい。

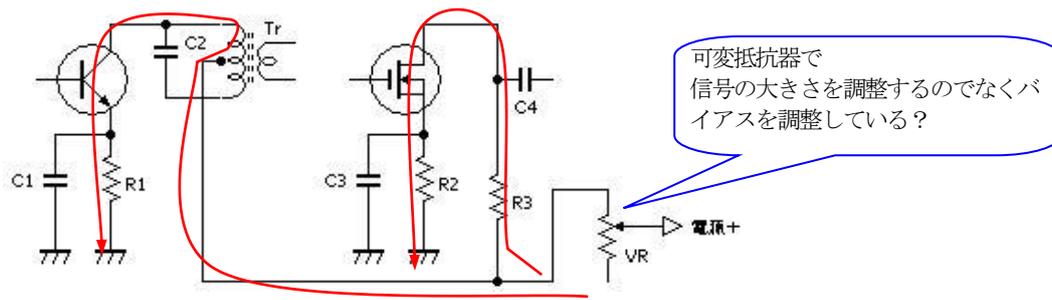
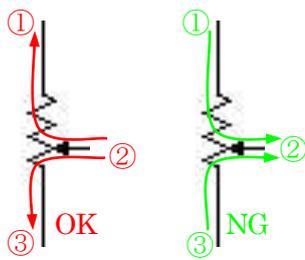


図 23 メーカー機の感度調整のイメージ

ここで興味があるの前述の SA602 の話と同様にバイアスで感度調整をしている、ということ。可変抵抗器は基本的に直流は流すべきでないらしい。しかしバイアスを調整するという事は可変抵抗器に直流を流している。

パーツ屋さんで売られている可変抵抗器は抵抗値とカーブ以外に定格電力が書かれているので、この定格電力未満であれば直流を流しても大丈夫なのだろう。しかし定格電力は下の図でいう①～③の間で消費される電力だそうで、摺動子(←)の位置によっては、小さい抵抗に大きな電流が流れるので十分な余裕を見て使わないといけないらしい。



直流の電圧がかかる時は②から①や③の方向へ電流が流れる向き(電流が流れなくて電圧がかかるだけの時も同様らしい)で使わないといけないそうで・・・。
※図 23 のメーカー機でもそのように使われている。

図 24 可変抵抗器に電圧の向き？

■局部発振器

(1) 受信周波数をスイッチで切り替えるのはどうか？

スイッチで受信周波数を切り替える方法を考えてみた。(図 25 参照)

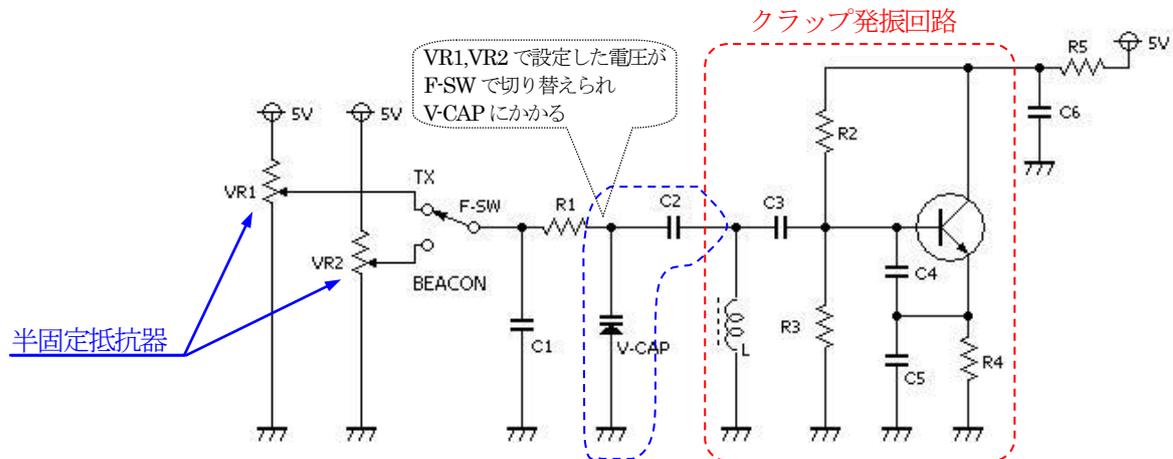


図 25 スイッチによる周波数切替方法を考える

クラップ発振回路で周波数は緑の破線のコンデンサを直列合成した静電容量と青の破線のコンデンサとバリキャップを直列合成した静電容量とコイル L によってだいたい決まる。(だいたいというのは・・・、部品や配線の静電容量やコイル成分他で考えた周波数より少し低い周波数になるようで・・・)

バリキャップ V-CAP には VR1・VR2 で設定した電圧が F-SW により切り替えられる。

F-SW を TX 側にして VR1 で TX 用の局部発振周波数に設定する。F-SW を BEACON 側にして VR2 でゴールビーコン用の局部発振周波数に設定する。

VCO を作る時はコンデンサ C3、C4、C5 で予定の周波数より高めの周波数になるよう考えて $C3 < C4$ 、 $C3 < C5$ にしている。クラップ発振回路では C3 に小さい容量のコンデンサを用いて、コイル L とコンデンサ C3 によって安定した周波数を得るために、コイル L とコンデンサ C3 の温度特性を重視するらしい。

一般にコイルはプラスの係数を持っていて、温度が上がるとインダクタンスが増加するので、組み合わせて使うコンデンサにはマイナスの係数を持つ部品を使用し、温度による影響を打ち消すと安定した周波数が得られる、という考え方があるそうで・・・。

僕の知る限り、入手しやすいコイルの材料では黄色のトロイダルコアが $35\text{ppm}/^\circ\text{C}$ で一番良いと思っているので、それを使ってる。黄色のトロイダルコアは 145MHz あたりの周波数では適していないらしいが・・・(笑)

で、黄色のトロイダルコアの温度特性に対してコンデンサで $-35\text{ppm}/^\circ\text{C}$ の係数を持った部品を知ってるか？という・・・知らない(苦笑)

コイルとコンデンサの双方の温度係数が大きくても互いに温度特性を打ち消す部品があれば、それを使うか？といえば、基本的にコイルもコンデンサも温度係数の数値の小さいものを選ぶのが良いような気がする。

ネット情報では、コンデンサの温度特性の表示として NP0(エヌピーゼロと呼ぶらしい)や C0G(シーゼロジーと呼ぶらしい)と書かれていれば $-55\sim+125^\circ\text{C}$ で $0\pm 30\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 、CH と書かれていれば $-25\sim+85^\circ\text{C}$ で $0\pm 60\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ということらしいが。NP0 の中に $0\pm 60\text{ppm}/^\circ\text{C}$ と書いてあるものがある。???

NP0 というのは部品の温度係数目標値が 0 というだけで誤差のことを言ってるのではない、という事か。

メーカーによっては NP0 は $-55\sim+150^\circ\text{C}$ で $0\pm 30\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 、C0G は $-55\sim+125^\circ\text{C}$ で $0\pm 30\text{ppm}/^\circ\text{C}$ と書いてある。C0G と書いてるコンデンサの方が硬いか。(笑)

黒のペイントがついているコンデンサは NP0 のコンデンサと認識している・・・(ついてない製品もある：笑)
(写真4 参照)

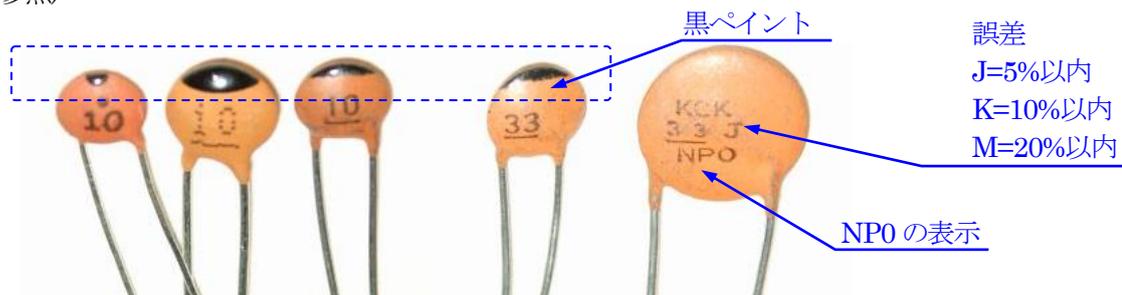


写真4 セラミックコンデンサの例

黒のペイントのついていないコンデンサや NP0 と宣伝されていたコンデンサで作った発振回路がいくつかあるが以前作った発振回路に比べると周波数変動が大きいような・・・気がする。コンデンサの個体差だろうか。

それと、以前作った発振回路はスイッチ ON のあと周波数が下がったが、今手元にある一番新しい発振回路ではスイッチ ON のあと周波数が上がって行く。以前作った発振回路はコンデンサの温度係数が $-35\text{ppm}/^\circ\text{C}$ より高くして新しい発振回路のコンデンサは $-35\text{ppm}/^\circ\text{C}$ より低かったのかも知れないね。例えば $-50\text{ppm}/^\circ\text{C}$ とか。

いろいろ読んでみると NP0 は温度係数がゼロとして作られているが正確にゼロではなくて、係数の誤差として4種類あって、NP0 の CG 特性であれば $0\pm 30\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 、NP0 の CH 特性であれば $0\pm 60\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 、NP0 の CJ 特性であれば $0\pm 120\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 、NP0 の CK 特性であれば $0\pm 250\text{ppm}/^\circ\text{C}$ のようである。

ネット情報では NP0 と同時に C0G と書かれていたり、C0G とだけ書かれていることがある。C0G と書かれていれば $0\pm 30\text{ppm}/^\circ\text{C}$ に間違いはないらしいが・・・。

ということであれば NP0 でなく C0G を使うか、NP0 であれば CG 特性または $0\pm 30\text{ppm}/^\circ\text{C}$ と明記してあるコンデンサを選びたい。

誤差の影響を減らす方法として同じコンデンサを複数組み合わせれば誤差の影響は減るのだろうか？

1個1個のコンデンサでばらつきがあるならコンデンサを複数組み合わせると誤差が平均化できるかも知れないが、部品の材料の性質やロットに原因があるなら、まとめて出荷されたものは特性がプラスばかりやマイナスばかりということも考えられる。

複数組み合わせるより交換したほうが省スペースで良いかも(^)。

温度特性の話が続くが・・・(笑)次はトリマコンデンサの話。

製作上、希望の周波数帯で発振させるためにトリマコンデンサを使うが、トリマコンデンサの温度特性も気になるところ。トリマコンデンサの仕様を見ると温度特性が小さいものでも $0\pm 200\text{ppm}/^\circ\text{C}$ とか・・・(^;))

0 を基準に $\pm 200\text{ppm}/^\circ\text{C}$ の範囲でばらつきがある、ということか・・・。製品としての実力は、大多数は小さくて、最悪値として $\pm 200\text{ppm}$ と信じたい。固定コンデンサで温度係数の小さいものを選んでいいるのだから。

NP0 のトリマコンデンサは 10pF くらいまでであるらしいが、容易に手に入るのは 3pF くらい。当然、 3pF のトリマコンデンサでは周波数の設定範囲が狭い。それと、表面実装でない NP0 のトリマコンデンサが少ない。

3号機の VCO は1号機2号機と同様でクラップ発振回路。緩衝増幅は SA602 に入っているようなので省略した。

6.8V の定電圧ダイオードをバリキャップ代わりに使うのも同じ。

試作受信機は電源の安定化にレギュレータ 78L05 を使い 5V を供給しているがもう少し高い電圧が欲しいのが本音。6V の方が周波数可変範囲も広く取れるだろうし、同じ発振器出力を得るなら電圧の高い方がバイアスの抵抗値を高くして共振回路の Q を高くできるとかメリットは大きいと思うが、部品の入手しやすさを考えて 78L05 で 5V 供給にしている。

テスト用 VCO、プリント基板で試作した 3 号機、ランド方式で試作した 3 号機の 3 つで、電源 ON から 30 分間の周波数変動を測定(周波数カウンタを使わず無線機で VCO の漏れ電波を受信)してみた。

プリント基板で試作した 3 号機、ランド方式で試作した 3 号機のケースの容積は同じ。テスト用 VCO の容積は 3 号機よりやや小さい。3 つの VCO の周波数を決めているセラミックコンデンサは NP0 を使用している。

テスト用 VCO はクラップ発振回路(2SC1907)と緩衝増幅回路(2SC1907) が 1 つのケースに入っていて、出力は開放されている。

プリント基板で試作した 3 号機、ランド方式で試作した 3 号機はクラップ発振回路(2SC1907)以外に高周波増幅回路(2SK241GR)、周波数変換回路(SA602)、中間周波増幅・検波回路(UTC7642)、低周波増幅回路(LM386N-1) という多数の熱源(笑)が 1 つのケースに入っている。

ランド方式のテスト用 VCO とランド方式の 3 号機の VCO は双方ともトリマコンデンサに村田製作所 TZC3Z030A110R00 面実装セラミックトリマコンデンサ 1.4~3pF(NP0±300ppm/°C)を使用している

プリント基板で試作した 3 号機はトリマコンデンサにスワロー誘電 CVSSA0301 リード付トリマコンデンサ 1.5~3pF(NP0±300ppm/°C)を使用している。

表 2 のトランジスタとコンデンサ近いと書いてあるのは VCO のトランジスタと周波数を決めている一番近いコンデンサとの距離が 1mm 程度、トランジスタとコンデンサ近いと書いてあるのは VCO のトランジスタと周波数を決めている一番近いコンデンサとの距離が 3mm 程度。

ケース閉、ケース開の違いは測定中にアルミケースを閉じて測定したか開放して測定したかの違い。

表 2 VCO の周波数測定結果 1

電源 ON からの経過時間(分)	テスト用 VCO の周波数 (MHz)	プリント基板で試作した 3 号機の VCO 周波数(MHz)				ランド方式で試作した 3 号機の VCO 周波数(MHz)			
	実験 A	実験 B	実験 C	実験 D	実験 E	実験 F	実験 G	実験 H	実験 I
	ランド方式	プリント基板				ランド方式			
	面実装トリマコンデンサ	リード付トリマコンデンサ				面実装トリマコンデンサ			
	トランジスタとコンデンサ近い	トランジスタとコンデンサ近い		トランジスタとコンデンサ遠い		SA602と接続	SA602と切断 熱的近い	SA602と切断 熱的遠い	SA602の電源切
ケース閉	ケース閉	ケース開	ケース閉	ケース開	ケース閉				
0	145.780	145.242	145.240	145.240	145.100	145.240	145.240	145.150	144.890
1	145.780	145.253	145.259	145.251	145.115	145.255	145.257	145.160	144.903
2	145.780	145.266	145.272	145.259	145.128	145.264	145.268	145.174	144.912
3	145.779	145.275	145.282	145.266	145.138	145.272	145.276	145.179	144.920
4	145.778	145.282	145.287	145.270	145.146	145.278	145.283	145.184	144.925
5	145.778	145.286	145.292	145.272	145.151	145.283	145.288	145.189	144.928
6	145.778	145.290	145.294	145.275	145.156	145.288	145.293	145.192	144.933
7	145.778	145.293	145.297	145.277	145.160	145.290	145.297	145.195	144.936
8	145.778	145.297	145.301	145.278	145.165	145.293	145.300	145.197	144.939
9	145.778	145.299	145.305	145.280	145.166	145.296	145.302	145.198	144.941
10	145.778	145.300	145.309	145.281	145.168	145.299	145.305	145.200	144.943
15	145.778	145.309	145.311	145.287	145.168	145.304	145.315	145.205	144.945
20	145.779	145.315	145.316	145.287	145.168	145.308	145.321	145.209	144.947
25	145.780	145.319	145.313	145.290	145.169	145.314	145.326	145.210	144.947
30	145.780	145.323	145.315	145.290	145.169	145.318	145.330	145.212	144.947

VCO が出せる適当な周波数を無線機で受信し、VCO または試作機の電源を ON、VCO の周波数を調整して無線機で受信できたら、SSB モードで S メータを見て、S メータのピークとなる周波数を測定。時計を見ながら手でピークを探して周波数を読むので、あまり精度は無いと思うし、電源 ON に近い時間の周波数は VCO のトランジスタが熱的には過渡期中で、あまり安定してないので、あくまで参考。(笑)

スタートの周波数が違うのは、その時の温度や回路の条件が異なるため。
というわけでスタートの周波数は深く考えないように。

作表後、30 分後の周波数から差が 10KHz 以内の周波数となる数値を青文字にしてみた。使用しているセラミックフィルタの 3dB 帯域幅が 10.0kHz ±3.0kHz だったので、そのくらいで、と思って青文字に。(笑)

実験 A として、電源 ON 後、すぐ安定している。ケースの外から 30 秒ほど手で暖めると 5KHz くらい周波数が下がる。ハーッと息を吹きかけても同様。それをやらなければ表 2 のとおり安定している。安定しすぎだ。偶然か何かの間違いか。(笑)

次に実験 B としてプリント基板で試作した 3 号機を測定。あまり安定していない。(笑)

VCO 自体はテスト用 VCO とほぼ同じ。何が周波数変動の原因か。ケース内の温度が上昇するのか？

ケースを開放したら温度上昇が緩くなるか・・・と思って実験 C として測定してみた。30 分後の周波数に近づくのが実験 B より早い。安定に向かうのが早いですが、変動はある。トランシーバの SSB モードで聴いていると実験 B より音が少し高く低くふらついているように聞こえる。エアコンの温風が当たるのだろうか？(笑)

ケースの中をよく見ると VCO のトランジスタとコンデンサの 1 つが 1mm 程度と近く感じた。VCO のトランジスタの熱がコンデンサに伝わるのが主原因か？と思って、トランジスタを指で押して傾けて 3mm 程度離して、ケースを閉じて、実験 D として測定してみた。実験 C と変動自体はあまり変わらないような・・・。

ならば再度ケースを開けると、もっと安定するか・・・と実験 E として測定してみた。確かに早く安定するようだ。短時間で部品の温度が一定になるのだろうか？実験 C 同様、音が高く低くふらついているように聞こえる。

熱はどこから？ケース内の空気？配線を通して？VCO の出力は SA602(ミキサ)へつながっている。その辺いじるとランド方式の 3 号機の方がやりやすい。3 号機の VCO の周波数変動は実験 F のとおり。実験 B と似たようなものか・・・。

試しに実験 G として VCO と SA602 をつないでいる結合コンデンサを電氣的に切り離してみた。ただし、熱は伝わるようにコンデンサのはずした足を SA602 のプラスチック部分に接触させた。結果は実験 G とさほど変わらないように思う。やはり熱か。

実験 G で SA602 のプラスチック部分に接触させたコンデンサの足を SA602 のプラスチックから離して熱が結合コンデンサを通して VCO へ伝わりやすくしてみた。実験 H。少し安定するのが早くなったか。

熱源であろう SA602 そのものの電源を切ってしまうとどうだろうか。SA602 の電源を切って VCO と SA602 をつないでいる結合コンデンサを電氣的に元どおりつないでみた。実験 I。かなり安定した。

実際にはケースを開放したり必要な回路を切ったり止めたりすれば受信機として使えなくなるが、やはり周波数変動は温度上昇(熱が伝わる)が主原因化か。消費電力を抑えて発熱そのものを抑えるか、温度係数の小さい部品を使うか、周波数に関係する部品に熱が伝わりやすくする(別の場所へ熱を逃がす)か・・・。

VCO と他の回路の間に紙の仕切りを入れて熱の行き来を抑えられるだろうか・・・。

やってみた。(笑)

下の表3の実験A~Eは前の実験A~Eと同じ。プリント基板で作った3号機なら紙の仕切りを入れるのは難しくないので、それを実験Jとして記録して比べてみる。



仕切りを入れると VCO と他の回路との熱の行き来が少なくなると思う。

←写真5 紙の仕切りを入れてみた1

表3 VCOの周波数測定結果2

電源 ON から の 経過 時間 (分)	テスト用 VCOの 周波数 (MHz)	プリント基板で試作した 3号機のVCO周波数(MHz)							
	実験A	実験B	実験C	実験D	実験E	実験J	実験K	実験L	実験M
	プリント方式	プリント基板							
	面実装トリマコンデンサ	リード付トリマコンデンサ							
	トランジスタとコンデンサ近い	トランジスタとコンデンサ近い		トランジスタとコンデンサ遠い		VCOを仕切る	VCOにかぶせる	コンデンサを1個交換	他のコンデンサも交換
ケース閉	ケース閉	ケース開	ケース閉	ケース開	ケース閉				
0	145.780	145.242	145.240	145.240	145.100	145.090	145.000	145.750	145.240
1	145.780	145.253	145.259	145.251	145.115	145.105	145.020	145.752	145.235
2	145.780	145.266	145.272	145.259	145.128	145.123	145.036	145.754	145.231
3	145.779	145.275	145.282	145.266	145.138	145.134	145.049	145.756	145.229
4	145.778	145.282	145.287	145.270	145.146	145.144	145.060	145.756	145.227
5	145.778	145.286	145.292	145.272	145.151	145.148	145.069	145.758	145.226
6	145.778	145.290	145.294	145.275	145.156	145.152	145.077	145.758	145.226
7	145.778	145.293	145.297	145.277	145.160	145.155	145.085	145.759	145.225
8	145.778	145.297	145.301	145.278	145.165	145.157	145.090	145.759	145.225
9	145.778	145.299	145.305	145.280	145.166	145.161	145.094	145.760	145.226
10	145.778	145.300	145.309	145.281	145.168	145.165	145.097	145.760	145.226
15	145.778	145.309	145.311	145.287	145.168	145.183	145.108	145.761	145.227
20	145.779	145.315	145.316	145.287	145.168	145.200	145.121	145.762	145.227
25	145.780	145.319	145.313	145.290	145.169	145.215	145.131	145.763	145.226
30	145.780	145.323	145.315	145.290	145.169	145.225	145.138	145.763	145.225

結果は最悪であった。(苦々々々々々・・・笑) 仕切った分だけゆっくりと温度が上がり続けたか。(笑)

うーん・・・、機械的に動く部品は無いので電気の消費量の多い部品が一番発熱しているはずで・・・部品の面積が広ければ熱が速く広がると思うし・・・しかし、速く温度が一定になれば周波数も安定すると思うし・・・

一番多いのは2SK241GRで約9mA、二番目はLM386N-1で約5mA、三番目はVCOで約3mA、四番目はSA602で約2mA。

仕切りの方法を変えて実験 K としてやってみた。(笑)
 VCO の上から覆いかぶせるように紙を置いて仕切ってみる。



結果は良くない。はっきり言って悪い。(苦笑)
 これは・・・、回路を変に仕切らない方が良くないかと思えない。(笑)

←写真 6 紙の仕切りを入れてみた 2

周波数の決定と周波数の安定に 1 番重要なコンデンサ 1 個を NPO の円盤型コンデンサから COG の積層セラミックコンデンサに交換して周波数の変動を実験 L として確認してみた。下の図の 10pF。部品の個体差か部品の規格差か断定はできないが、格段に安定したと思う。

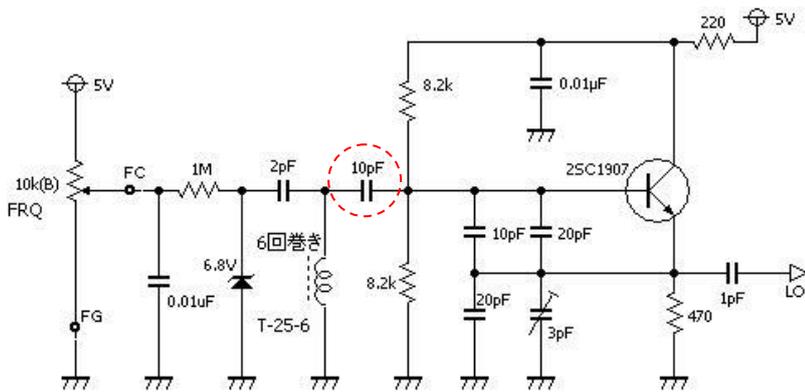


図 26 一番重要なコンデンサ？

周波数の決定に影響のあるほかのコンデンサも NPO の円盤型コンデンサから COG の積層セラミックコンデンサに交換して周波数の変動を実験 M として確認してみた。下の図の 33pF。部品の個体差か部品の規格差か断定はできないが、さらに安定したと思う。しかし、1 番重要なコンデンサではないので、実質、実験 L で交換した 10pF のコンデンサだけ COG に変えれば充分かも知れない。

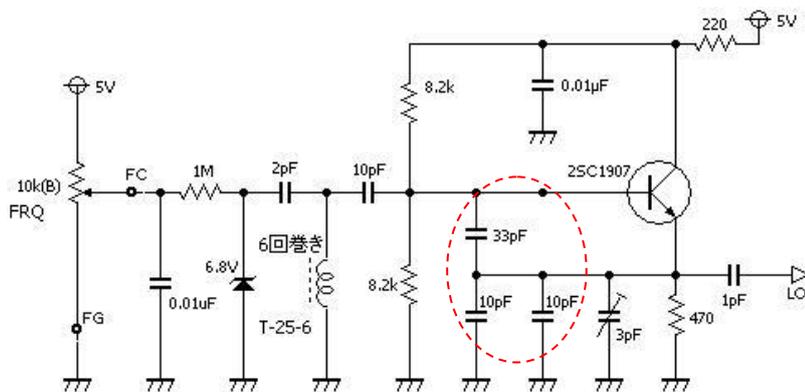


図 27 周波数に影響のあるコンデンサ(笑)

(2) 寄生容量による共振周波数のずれ？

図 28 の回路はランド方式で試作した 3 号機の局部発振回路。 20pF, 15pF, 3pF のコンデンサの容量の組み合わせは部品配置等の影響で同じ組み合わせにしても希望の周波数にならない時がある。寄生容量の影響か？

プリント基板で作る時はランド方式の時とは部品配置が当然違う。コンデンサをいくつか組み合わせできるようにプリント配線を用意しておくか、温度特性悪化を我慢して 3pF のトリマコンデンサを 30pF くらいに大きくして 15pF のコンデンサをやめるか、あるいは 3pF のトリマコンデンサを NP0 の 10pF くらいにして 15pF のコンデンサはそのまま行くか 10pF に変えるか。

温度係数の小さいトリマコンデンサは 10pF 以下の製品しか見つからないし、だいたい NP0 のトリマコンデンサは 3pF くらいまでのようである。僕の知る限り 10pF のトリマコンデンサで NP0 の製品は(2014 年 11 月 16 日現在)せんごくネット通販で扱っているムラタの TZ03Z100F169B00 しか無い。これを使えば作った後の調整は楽になると思うが、他の店では見かけない。

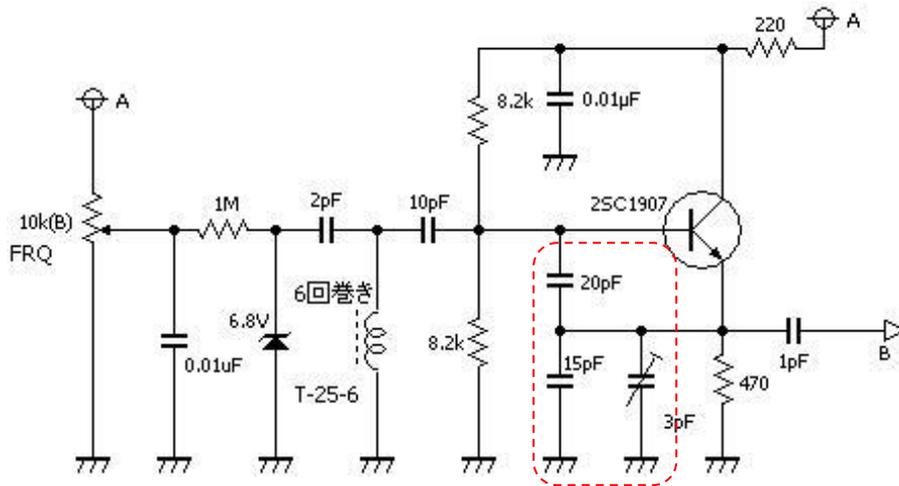


図 28 ランド方式で試作の局部発振回路

3 号機はランド方式で製作した以外にプリント基板でも作ってみた。図 29。ランド方式の時と同じコンデンサの組み合わせで作っても発振周波数が違ってくことは想定していたが、3pF のトリマコンデンサの調整だけでは希望周波数にあわせることができず、コンデンサの組み合わせをカットアンドトライで探して 10pF, 20pF, 20pF, 3pF の組み合わせで何とか希望周波数を得ることができた。しかし、コンデンサが 1 個多くなったので、やむをえずプリント基板のパターン面へ 1 個ハンダ付けした。

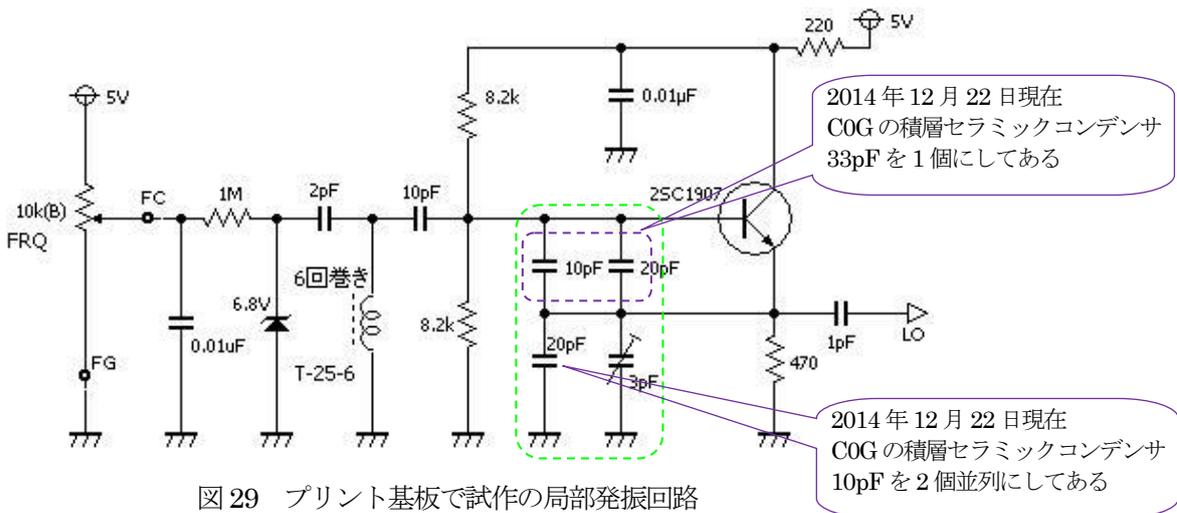


図 29 プリント基板で試作の局部発振回路

(3) 感度を最小から最大にすると局部発振周波数が 4KHz くらい下がる？

感度調整用の可変抵抗器の配線を太くした。理由は VHF の高周波が流れるので太い方が損失も減ってトラブルが少ないだろうという考えがあったから。しかし、その後、VCO の温度特性が変わってしまった(電源 ON の後、周波数が下がってゆくようになった)、感度調整用の可変抵抗器のシャフトを回すと局部発振周波数がずれてしまう。たまにずれが大きくて受信できなくなる。まずいぞこれは・・・。(苦笑)局部発振回路に影響のある静電容量が変わるのだろうか。配線を太くすると損失が変わる代わりに配線の表面積が増える分、周辺の影響を受けやすくなるのだろうか・・・。

可変抵抗器の摺動子につながっている配線をはずしてシャフトを回すと、周波数は変化しなかった。

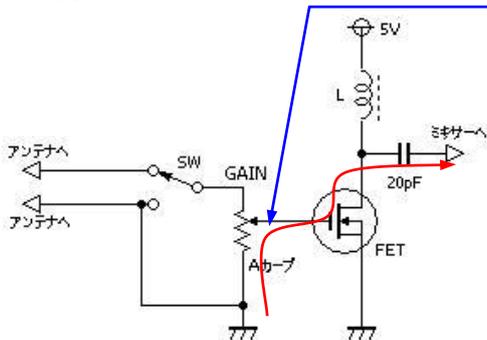


図 30 可変抵抗器の寄生容量？

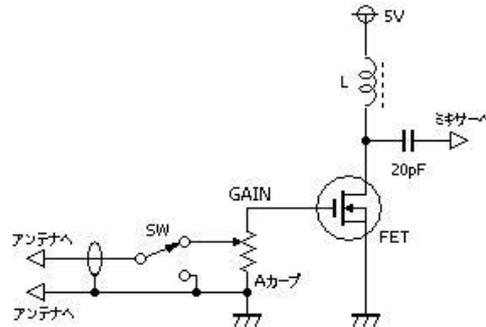


図 31 改善の試行錯誤

局部発振回路はミキサ(SA602)につながっている。ミキサを通して高周波増幅回路につながっている可変抵抗器が影響してるのか？本当かなあ・・・。摺動子と他の端子または摺動子と摺動子につながってる回路との静電容量が変わって影響しているのか・・・。わからない。

しかし、摺動子につながっている配線をはずして周波数のずれが無かったわけだから・・・摺動子には FET しかつながっていない。

摺動子を FET につながらず、感度調整をするには・・・図 31 の方法しか思いつかない。可変抵抗器の摺動子を入力側に向けた。ついでに感度切替 SW も共通端子(コモン)をアンテナ側へ向けてみた。

やってみると周波数の変化はあるものの、最小から最大にすると最大付近で局部発振周波数が 100Hz くらい上がる。・・・上がるって???・・・でも、このくらいならまあ、ええか。(苦笑)

感度切替 SW をの接続を変えて感度をグッと落とすこともできるようになった。

・・・やってみないとわからない。(笑)

(4) 局部発振器の発振周波数確認方法、調整方法

緩衝増幅が無い 3 号機は局部発振回路に周波数カウンタを直接つなぐと、測定コードがコイルやコンデンサとなり、測定コードをつないだるとたん大きく周波数が変わってしまう。しかし、高抵抗や小さい容量のコンデンサで発振回路と疎結合にすると周波数カウンタの入力レベルが不足してしまう。

そこで、おおよその発振周波数は周波数カウンタで、より正確な周波数確認はハンディトランシーバを使用した。ハンディトランシーバを 3 号機の横に置いて局部発振周波数をトリマコンデンサを回して調整。局部発振回路から無変調の微弱な電波が出ているのでトランシーバの受信周波数と合えばスケルチが開くので確認できる。

調整後、アルミケースを閉じると周波数が少し下がるので、閉じる前と閉じた後の周波数の差を確認して、差を考慮して再度周波数の調整を行った。

調整中、スプリアスのせいかわずみのせいかわ、何ヶ所かスケルチが開く周波数がある。S メータの振れ具合で、どれが本物か見極める。

試作実験中、発振回路または発振回路の近くにハンダこてを当てる作業をすると、温度が下がるまで周波数が安定しなかった。また、電源をしばらく OFF にしていた場合は ON にして 5 分くらいは周波数が大きく変動した。周波数の調整は発振周波数が安定してから行う必要がある。

(5) SA602 に対する局部発振器からの信号強度

SA602 のミキサへ外部発振器から信号を供給する場合は $200\text{mV}_{\text{p-p}}$ 以上の電圧が必要らしいが図 27 の回路で B 点にどのくらいの電圧が出ているか確認するのは、思ったより難しかった。

手持ちのオシロスコープはパソコンへ USB でつなぐデジタルオシロでプローブの静電容量が 12.5pF あり、 $10:1$ や $1:1$ の切り替えをすれば $40\text{mV}_{\text{p-p}}$ に見えたり $200\text{mV}_{\text{p-p}}$ 超え程に見えたり、オシロスコープのモードをスペアナ(FFT)にするとまた違ったり・・・そもそもデジタルオシロで等価サンプリングしていて、FFT で波形を表示している(直接アナログで表示していない)し、プローブの容量が 12.5pF もあれば、それを測定のために回路につないだとなん電圧が低くなるだろうし・・・

12.5pF といえは 145MHz で 88Ω くらいのリアクタンスになる。そんな小さいリアクタンスを発振回路につなげば信号レベルが下がる。当然 B 点には SA602 の 6 番ピンが繋がっている。

やっけて信号の大きさが $200\text{mV}_{\text{p-p}}$ あるのかないのかわからなくなってきた。(苦笑)

考え直して RF プロブで測定してみた。高周波信号の有無やだいたい大きさが測定できるとされているが、あくまで“だいたいこのくらい”ということ。(笑)

RF プロブの回路は図 32 のようになるが書き直す? と図 33 のような半波倍電圧整流回路か?

測定器にはデジタルテスタ。電圧レンジで 25mV が表示された。

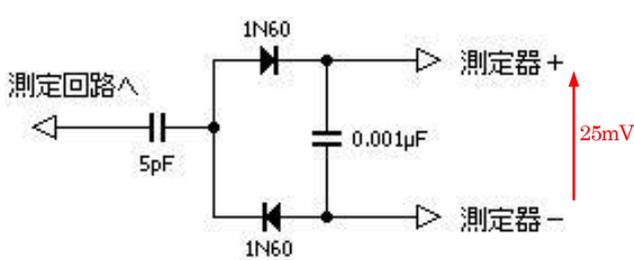


図 32 RF プロブ

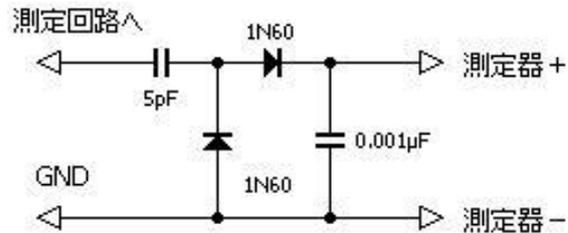


図 33 RF プロブの回路を書き直す?

ネットの記事を参考にすると正の半サイクルと負の半サイクルでは図 34、図 35 のようになるらしい。

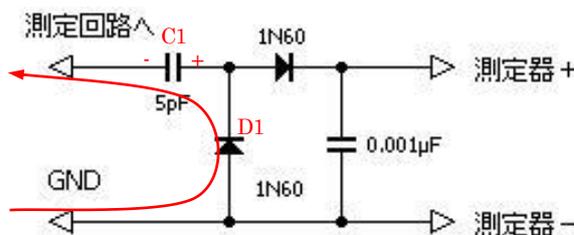


図 34 負の半サイクル

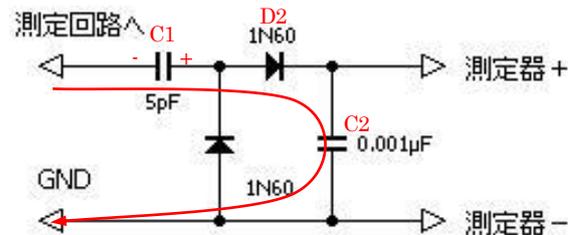


図 35 正の半サイクル

図 34 で負の半サイクルの時は $D1(1\text{N}60)$ 、 $1(5\text{pF})$ に電流が流れ $C1$ が充電されるが $D1$ の電圧降下分低い電圧で充電される。

図 35 で正の半サイクルの時は $C1(5\text{pF})$ 、 $D2(1\text{N}60)$ 、 $C2(0.001\mu\text{F})$ に電流が流れるが $D2$ の電圧降下がある。この時、測定対象の回路の電圧に負の半サイクルで充電された $C1$ の電圧が加算される。

ゲルマニウムダイオードはだいたい 100mV 以上電圧をかけると電流が流れると高校の時習ったが(笑)電圧降下を 100mV と考えると、正負それぞれのサイクルで 100mV の電圧降下がある、ということになる。

測定器に 25mV 表示されたということは、図 36 のように測定対象の回路の正の半サイクルの電圧 E_p + 負の半サイクルで $C1$ に充電された電圧 E_n が $100\text{mV} + 25\text{mV} = 125\text{mV}$ となるが・・・

125mV ? 125mV のうち $C1$ を充電した電圧 E_n はいくら? わからない。 $E_p + E_n$ が 125mV としかわからない。(苦笑)

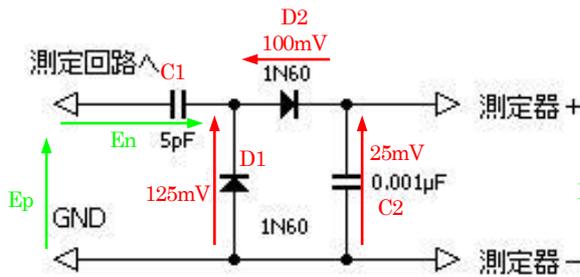


図 36 正の半サイクル時の電圧の推定 1

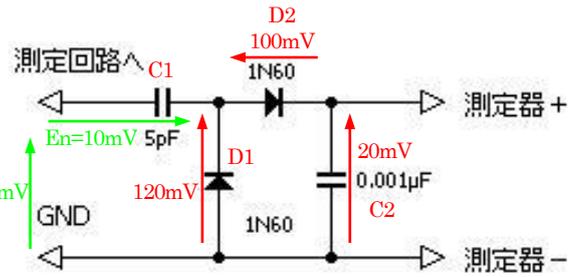


図 37 電圧の推定 2

振り出しに戻ってしまったが・・・(苦々々々々々：笑)

そもそも測定対象ヶ所の電圧がだいたい100mV以下ではダイオードがONにならないから(実際のゲルマニウムダイオードはそうではないが)測定器の方へ電圧が出ないはずである。ゲルマニウムダイオードは0.1Vくらいから、シリコンダイオードは0.6Vくらいから電流が流れ始める(ONになる)と高校のとき習ったような・・・。

測定対象が110mVだったと仮定してダイオードの電圧降下が100mVだったとして図37で考える。

負の半サイクルでD1には100mVの電圧降下があり、C1にはD1の電圧降下を差し引いた10mVで充電される。正の半サイクル時にはこの10mVが測定対象の電圧に加算される。

正の半サイクルで10mVが加算されるとD1には120mVかかるが順方向で無いので電流は流れない、120mVの電圧はD2からC2方向へ電流を流す。この時120mVのうち100mVがD2の電圧降下となり、残りの20mVが測定器に表示されるはず。

こういうことを考えていると、測定器で25mVを表示したということは測定したい信号の電圧は110mVは超えているはずで・・・これをピークピーク値としてイメージすれば220mVp-pは超えているだろう、という推測をした。

※測定器の電圧レンジでの内部抵抗が無敵大で無ければ、ピークピーク値はもっと大きいと思うが・・・。

220mVp-pであればSA602のミキサへの供給電圧としては何とかOKというところだろうか。

(6) 局部発振器のバイアス

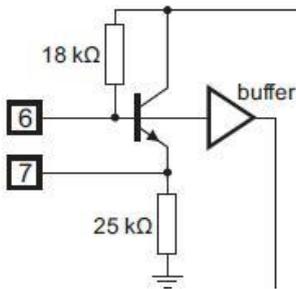


図 38 等価回路

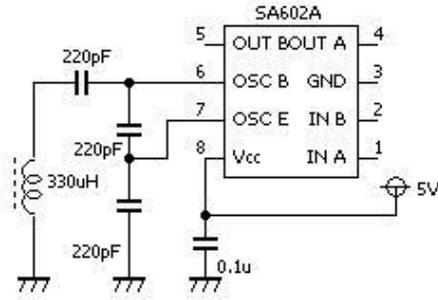


図 39 内部発振回路の利用

SA602 の内部発振回路(増幅回路)は等価回路としては図 38。3 号機の SA602 にかかっている電圧は電源が 5.13V、6 番ピンの電圧は 5.00V、7 番ピンの電圧は 4.30V。

内部発振回路を使って適当な周波数で発振させて波形を確認してみた。図 39

SA602 の内部発振回路では 6 番ピンが buffer につながっているため 7 番ピンの波形は、ミキサへつながらない。あまり気にしなくて良いのかもしれない。波形 1~3

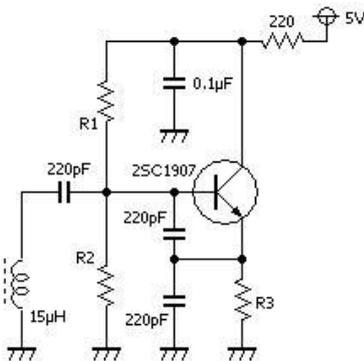
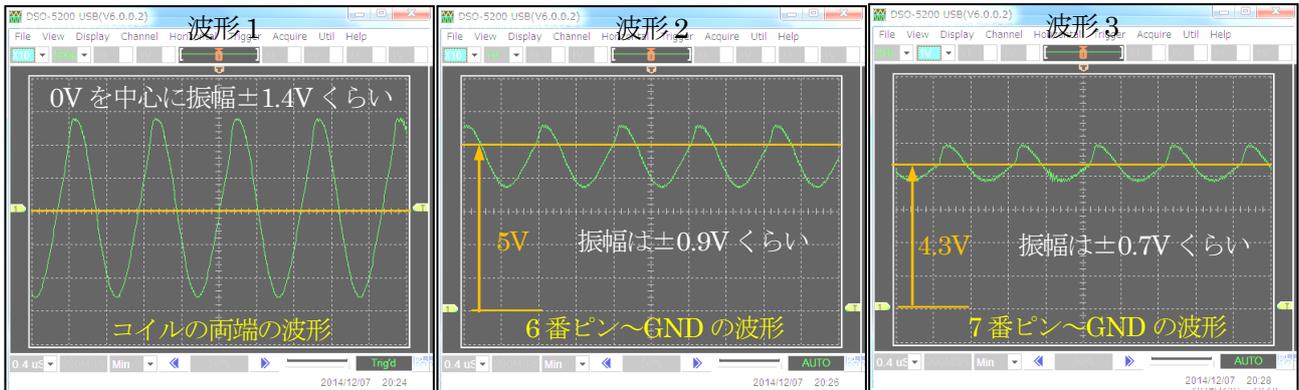


図 40 試作機と同様の回路

試作機のクラップ発振回路では流したい電流を決めて、エミッタやベースの電位をなるべく電源電圧の中間くらいに設定する。

これはトランジスタのエミッタから出力を取っているため、バイアスで設定したエミッタの電圧を中心にプラス側マイナス側へ振幅が取れるだろう、という考えがあるから。確認してみた。

コイルの両端の電圧が一番大きく、その電圧がコンデンサで分圧されてベースにかかっているようだ。エミッタの電圧波形はさらに分圧されると同時に - を中心に波形の下 3 分の 1 くらいが削られているようだ。波形 4~6

R3 を 470Ω、バイアスはベース電圧 2.12V、エミッタ電圧 1.38V、コレクタ電圧 4.40V でコレクタ電流 2.93mA



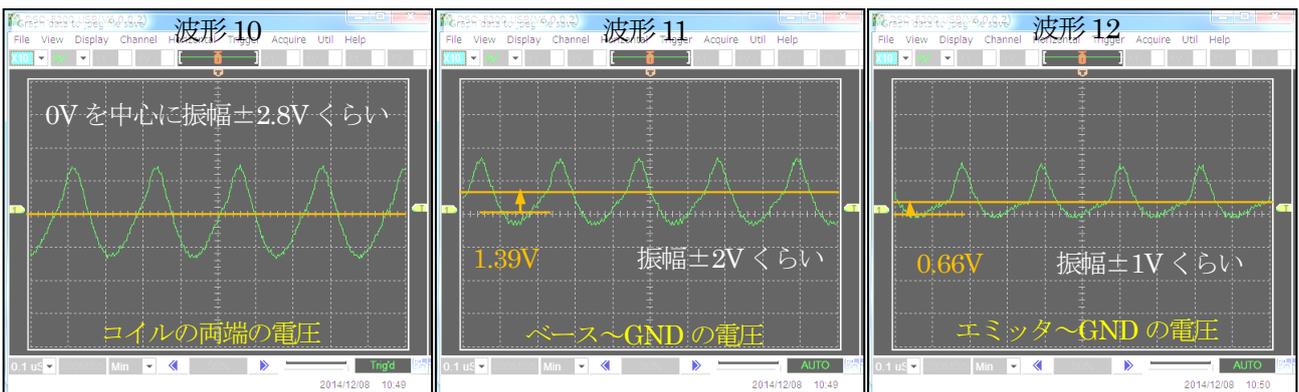
R3 を $1k\Omega$ と大きくして、バイアスはベース電圧 $3.57V$ 、エミッタ電圧 $2.87V$ 、コレクタ電圧 $4.31V$ でコレクタ電流 $3.49mA$ として波形を見てみた。

すべての波形は小さくなり、ひずみが大きくなったように見える。—を中心に波形の上の波が削れているようだ。波形 7~9



R3 を 200Ω と小さくして、バイアスはベース電圧 $1.39V$ 、エミッタ電圧 $0.66V$ 、コレクタ電圧 $4.31V$ でコレクタ電流 $3.21mA$ として波形を見てみた。

R3 を 470Ω とした時と似ているが波形は少し小さい。エミッタの電圧波形は—を中心に波形の下 3 分の 1 くらいが削られているようだ。波形 10~12



その後、ネットで発振回路のほとんどは半サイクルがトランジスタ OFF になっている、らしい。半サイクルだけ増幅すれば、反対側の半サイクルは共振回路が補うらしいのであるが・・・。エミッタの下半サイクルの波が削れているように見えるのは、この部分(下半サイクル)のトランジスタは OFF になっているということなのだろう。

しかし、コレクタ電流が波形の全周期(なるべく 1 サイクル 360 度)にわたって流れた方が安定するということも書かれていた。

全体的にコイルの両端の波形がきれいに見える。

(7) その他

バリキャップに使っているのは実はどこでも手に入りそうな定電圧ダイオード($6.8V0.5W$)。温度による周波数変動はこれが原因かも。またコンデンサやコイルに他の部品の熱が伝わって・・・というのは実際にはコンデンサやコイルに通電したことによる熱が原因かもしれない。僕自身わかっているわけではない。(苦笑)

■周波数変換器

小型軽量化のためにはディスクリート半導体を使うより IC や既製品のミキサを使う方が良いと思うが製造中止になれば入手困難になるわけで・・・その辺考えると、できるだけディスクリートで、という気持ちはある。

しかし、どんどんディスクリート部品でさえリード線の無い表面実装の部品に変わりつつあるし、足のある部品(笑)が少なくなる中、電子工作は難しくなる一方だ。今回、3号機をいろいろいじってるうちに入手困難になってしまった部品もある。使おうとしている部品がいつまで手に入るか解らない。

そろそろ表面実装部品で製作していくテクニックも考えたほうが良いのだろうか。

平成 26 年 3 月ころネットでミキサについて調べた。

既製品は秋月電子通商で TUF-2 というミキサがあるが 900 円で値が高い。共立エレショップでは NJM1496D という 194 円の安いミキサ IC があるが DIP の 14 ピンで基板のスペースをたくさん必要とする、その他入手できる店に限られる等で使いたくなかった。

その後、マルツパーツ館で SA602AN という DIP8 ピンのミキサ IC の存在を知った。

価格は 352 円。それを使うことにした。

ネットでは SA602 や同様のミキサである SA612、NE602、NE612 を使った製作記事があり、いろいろと参考になった、ARDF 用の受信機で使われている例もあった。

※平成 26 年 10 月、マルツで SA602AN が無くなって SOT96-1 とかいう表面実装の SA602AD という IC に変わっていることを知った。価格は 502 円にアップしている。プリント基板製作までやってみたのであるが・・・残念。しかし通常の DIP の SA612AN を含め他店でまだ入手できるようなので、しばらくは作ったプリント基板が使いそうだ。

さて、SA602 であるがデータシートは下記 URL にある。(SOT96-1 とかいうものだけど:笑)

http://www.nxp.com/documents/data_sheet/SA602A.pdf

下の図は SA602 メーカーホームページのブロック図と等価回路

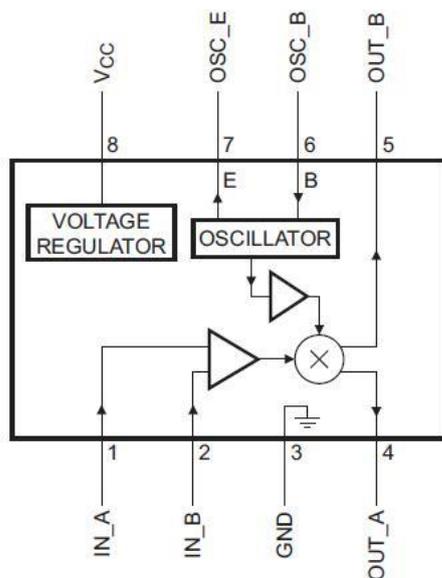


図 41 SA602 のブロック図

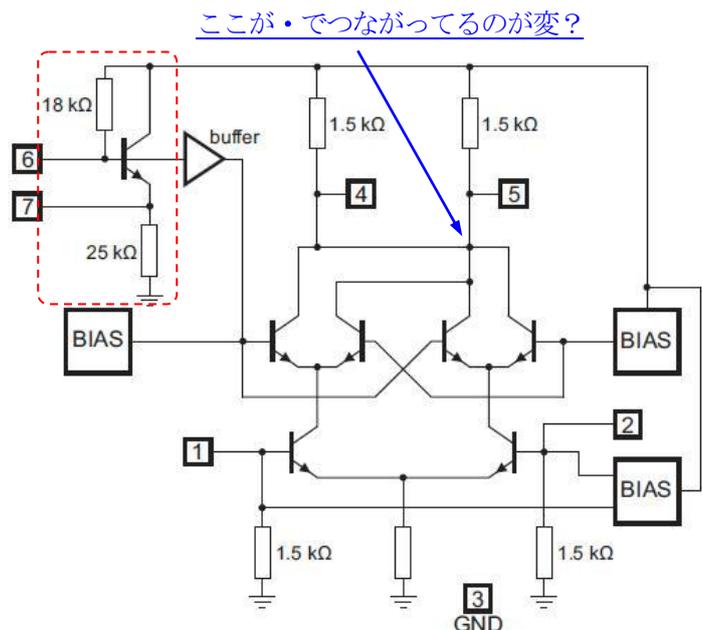


図 42 SA602 の等価回路

(1) SA602 の内部 OSCILLATOR

SA602 はバランスドミキサとそれに使うオシレータ(正確にはオシレータ用のアンプ)が入った IC で最初は局部発振回路を外付けせず IC の内部オシレータを使おうと思ったのであるが・・・。

あまり高い周波数では発振できないらしい。それと、低い周波数でも内部オシレータを使っていないネット記事が少なくない。外部で発振させ SA602 の 6 番ピンから局部発信器の信号を供給している記事がいくつか。なんでだろう・・・。

僕自身気になったのは等価回路の内部発振回路で使う図 42 の の部分。

SA602 のオシレータに使われているトランジスタ増幅回路は固定バイアス+エミッタ抵抗という形で、安定度は固定バイアスより良く自己バイアスよりは悪い、ということらしい。

以前、バイアスを安定化すると発振周波数も安定する、ということがあったが、いわゆるブリーダ電流を流している電流帰還バイアスに比べると SA602 のバイアス回路が大丈夫かな？という気持ちになった。ミキサの部分は **BIAS** と書いた四角があるのに内部発振回路の方はない。

SA602 のデータシートには高い周波数で発振させたいときは 7 番ピンに抵抗をつないでアースにつなぐと良いように書いてある。データシートの英語が難しい。(僕は語学がダメなのです、苦笑)

7 番ピンに抵抗器をつなぐと内部のトランジスタに流れる電流は当然増える。7 番ピンにつなぐ抵抗器を小さくするほど増える。

ちなみに試作受信機は局部発振回路に 2SC1907 というトランジスタを使っているが、その特性は図 43、44。コレクタ電流を 10mA くらいにすると、もっとも高い増幅率でもっとも高い周波数まで増幅できる。でも実際にはせいぜい 3mA くらいまで考える。以前、発振回路の実験をしていた時に電流を増やせば周波数が安定するまでに時間がかかるという経験をした。発熱の関係だと思う。

SA602 の 7 番ピンに抵抗をつないで・・・というのは電流を増やせば内部のトランジスタの増幅可能な周波数が上がったり増幅率が大きくなるということから来た話のような気がする。

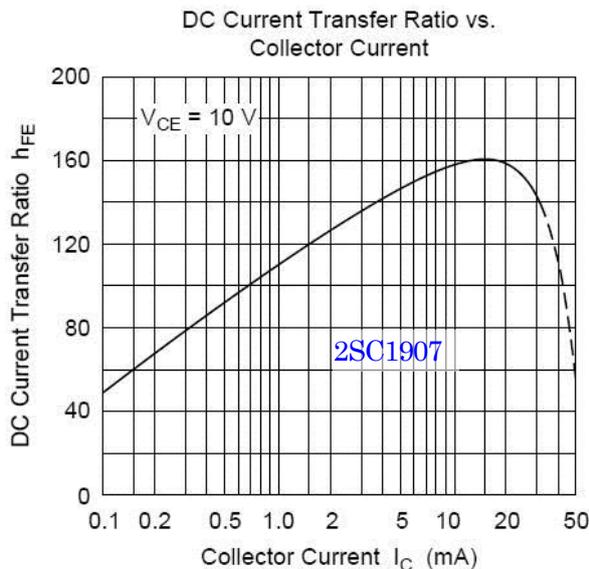


図 43 コレクタ電流に対する増幅率の特性

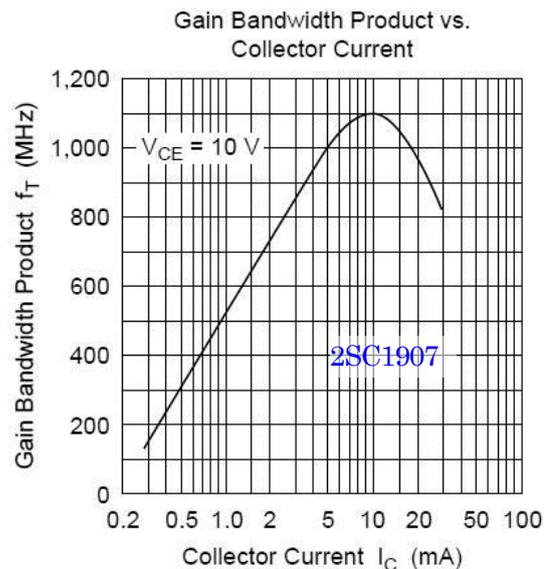


図 44 コレクタ電流に対する周波数の特性

とりあえず、SA-602 の 6 番 7 番ピンを使ってクラブ発振回路を組んでみたが、まったく発振しない。発振していたのかもしれないが、内部発振回路のパワーが弱いのか周波数カウンタで周波数が出ない。発振が確認できない。

7 番ピンに抵抗器をつないで、抵抗器をどんどん小さくしていったが、発振しない。

7番ピンにつなぐ抵抗の値を小さくすればICに流れ込む電流はどんどん大きくなる。消費電流と発熱による周波数変動が気になるところ。

結局、発振させることができたが内部のトランジスタに大きい電流を流したので、消費電流が極端に増えて、電流が増えたことによるIC内部の温度上昇が原因だと思うが、電源をONにした後、発振周波数がしばらく安定しなかった。

Qの低いコイルとコンデンサでLC発振回路として145MHzあたりの周波数を発振させようとするのが無謀なのかもしれないね。

しかたないので、クラップ発振回路でなくコルピッツ発振回路にしてみたら容易に発振させることができたが、周波数は不安定だったと記憶している。記憶違いかもしれないけど。(^^)

※この時NP0のコンデンサを使用していたが、COGのコンデンサなら短時間で安定したかも知れない。

(2) SA602 のミキサ

SA602の中にはギルバートセルというダブルバランスドミキサが入っているらしい。図42参照

入出力は平衡・不平衡どちらも可能なようであるが、2SK241を使った高周波増幅回路からコンデンサだけでミキサへ信号を渡すのが小型で簡単なので不平衡入力とした。出力はIFTを省略しセラミックフィルタをつないだので不平衡出力とした。

ネットの記事ではミキサのバイアスを外部からコントロールして感度調整する記事がいくつか載っている。AGCの信号をSA602のIN A、IN Bへつないでバイアスを自動調整したり、ARDF受信機に使われている例としてSA602のIN A、IN Bに変圧抵抗器をつないでIC内部のバイアス電流を外部へ逃がし、感度を調整する回路としているものもある。

このバイアスによる感度調整は可変抵抗器を左いっぱいに戻すと、強い電波を受けても全く受信しないところまで、TXの横でやっと聞こえるところまで感度を絞ることができたが、後にSA602だけでは感度不足ということで高周波増幅を付け足した関係でSA602のバイアスによる感度調整は使うのをやめた。

前段の高周波増幅で過大入力により飽和すればSA602の感度調整できるようにしても意味が無い、と考えたからである。

Vccが5Vの時、電源以外のピンを開放すると、ICに流れる電流は2.43mAで1番2番ピンには1.38V、4番5番ピンには3.92V出ている。

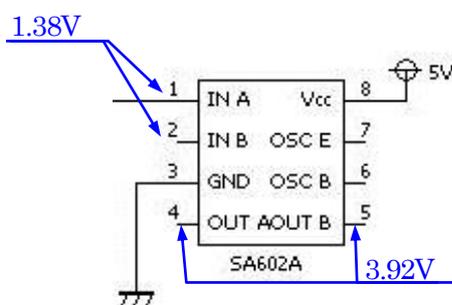


図45 常時の電圧の確認

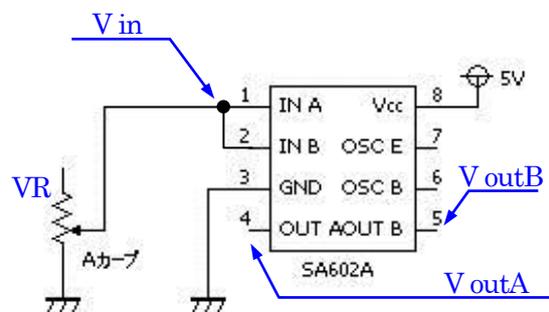


図46 可変抵抗器によるバイアスの変更の実験

SA602 のバイアスを可変抵抗器で変更した時の出力 OUT A、OUT B の電圧測定結果は表 4。

表 4 バイアス変更時の電圧測定結果

VR(k Ω)	V in(V)	VoutA(V)	V outB(V)
2000	1.38	3.95	3.94
1500	1.37	3.94	3.94
1000	1.38	3.96	3.95
400	1.35	3.96	3.95
300	1.36	3.96	3.95
200	1.36	3.98	3.97
100	1.33	4.00	4.00
90	1.35	4.02	4.01
80	1.34	4.03	4.02
70	1.32	4.03	4.02
60	1.32	4.05	4.04
50	1.32	4.08	4.07
40	1.31	4.10	4.09
30	1.27	4.14	4.13
20	1.24	4.23	4.23
10	1.09	4.45	4.45
5	0.89	4.76	4.76
2	0.57	5.10	5.10
1.13	0.42	5.11	5.11
0~1.13	0~0.42	5.11	5.11

可変抵抗器の抵抗値が 1.13k Ω 以下でミキサのトランジスタがしゃ断状態になるようだ。

可変抵抗器が 2M Ω であっても OUT A、OUT B の電圧は 3.92V まで落ちてないが、300k Ω 以上の抵抗値であれば、ミキサとしてはほぼ IC の規格に近い利得が出るのではないかな。

ミキサのバイアスを変えると感度を大きく変えられるなら、高周波増幅回路のバイアスを変えても大きく感度を変えられる、様な気がするが、可変抵抗器には基本的に直流は流したくない、という気持ちと試作受信機は電源電圧が 5V で高周波増幅に使っている 2SK241 の最低使用電圧が 5V であるため高周波増幅回路のバイアスを変えるだけの電圧の余裕が無いのでバイアスを変える方法の感度調整はやめた。

■セラミックフィルタ、中間周波増幅器・検波器

(1) セラミックフィルタ

セラミックフィルタのメーカーである村田製作所のセラミックフィルタアプリケーションマニュアルでは「機械振動を利用しているので基本振動以外に他の励振状態で、あるいは高次振動で振動したりするためスプリアスの問題があります。10.7MHz や 4.5MHz のセラフィル®ではエネルギー閉じ込め振動を用いていることもあり実用上あまり問題となるスプリアスはありませんが、450kHz フィルタの場合はスプリアスに対する対策が必要となってきます。スプリアスの対策としては次のようなことが考えられます。

<対策>

- (1) セラフィル®を IFT と併用することにより、コイルでスプリアスを抑圧します。
- (2) セラフィル®を 2 個以上組み合わせ併用し、スプリアスを互いに打ち消し合うようにします。
- (3) 固定の LC のローパスまたはハイパスフィルタを設け、スプリアスを抑圧します。

これらのうち最も一般に用いられているのが (1) の方法です。」

と書かれている。特性図で表すと図 47、図 48 になるらしい。

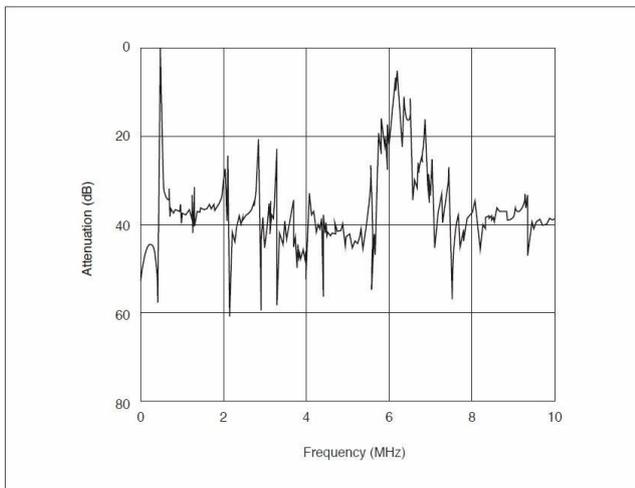


図 47 450kHz セラミックフィルタのスプリアス特性

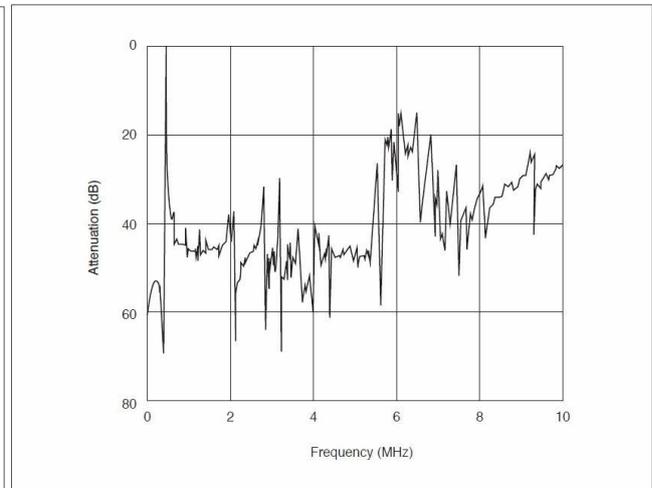


図 48 450kHz セラミックフィルタ+IFT のスプリアス特性

1号機2号機では、一般に用いられるというセラミックフィルタ+IFTで試作した。3号機も同様に試作したが中間周波増幅に使った UTC7642 の入力インピーダンスが低いのか、SA602 と UTC7642 に対してインピーダンスがミスマッチなのか・・・IFT のコアを調整しても、どういうわけか、明確にどのコア位置が良いかわかりづらかった。

調整しても効かない(効きのわからない)IFT ならばずしてしまおうか・・・しかし IFT をはずすと選択度が悪くなって受信機の近くで無線機の送信周波数を変え聞き比べても選択度が悪くなっているのが確認できた。選択度が悪かったのかスプリアス特性で離れた周波数も聞こえたのかはわからないが、そう感じた。

そこで村田製作所のセラミックフィルタアプリケーションマニュアルに書いてある(2)の方法を試してみた。フィルタ 1 個の時より選択度は良く感じた。また、フィルタ 2 段にすることで通過の際の損失は 2 倍に増えるが、目的の周波数を受信していて感度に格別な差を感じなかった。

購入したフィルタは SFULA455KU2A-B0 だったはずであるが、あれ？・・・3号機のフィルタ本体には SFU455B と書いてある。(苦笑)SFU455B は旧型番ということなので、同じと考えていだろう。

表5 セラミックフィルタの一例

品番	中心周波数(fo) (kHz)	3dB 帯域幅 (kHz)	選択度(+) (dB)	選択度(-) (dB)	挿入損失 (dB)	入出力 インピーダンス (Ω)	素子数
SFULA455KU2A-B0	455.0 ±2.0kHz	10.0 ±3.0kHz	4 以上[fo+10kHz]	6 以上[fo-10kHz]	5.0 以下	3000	1
SFULA455KU2B-B0	462.0 ±2.0kHz	10.0 ±3.0kHz	4 以上[fo+10kHz]	6 以上[fo-10kHz]	5.0 以下	3000	1
SFZLA455KN2A-B0	455.5 ±2.0kHz	4.0 ±1.0kHz	23 以上[fo+9kHz]	23 以上[fo-9kHz]	7.0 以下	3000	2
SFZLA455KS2A-B0	456.0 ±2.0kHz	5.5 ±1.0kHz	18 以上[fo+9kHz]	18 以上[fo-9kHz]	7.0 以下	3000	2
SFZLA455KT2A-B0	456.0 ±2.0kHz	7.0 ±1.0kHz	16 以上[fo+9kHz]	16 以上[fo-9kHz]	6.0 以下	3000	2

 は試作機で使っているフィルタと同等品

試行錯誤の中でセラミックフィルタと IFT について、いろいろ試してみた。下の図以外にもいくつか試してみたのであるが、いちおう、抜粋ということで。(苦笑)

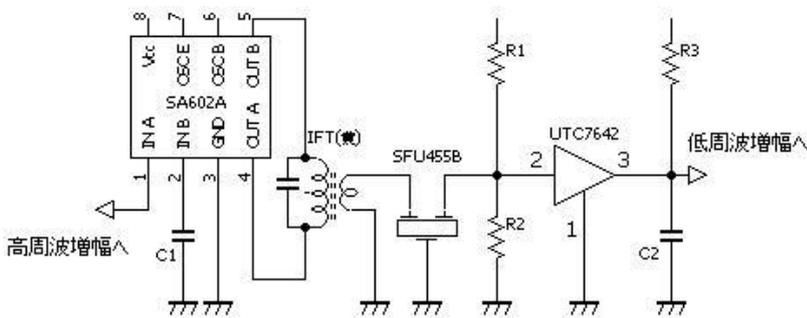


図 49 先に IFT、後ろにフィルタ

左の図の回路では、感度は良いが IFT のコアを回しても調整が効かなかったと思う。左の図では SA602 の OUT A と OUT B の両方を使って平衡回路としているが OUT A だけ使った不平衡回路でも同様の結果だったと思う。後から思えば IFT のタップを使って SA602 につなげばうまく行ったかも。まあ・・・、いずれにしてもよく覚えていない。(苦笑)

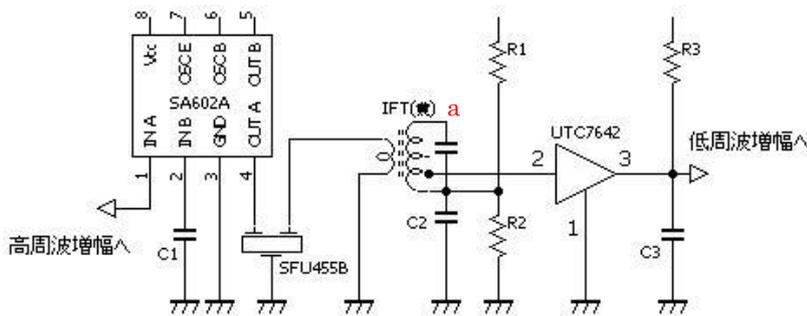


図 50 先にフィルタ、後ろに IFT

左の図の回路では、分離は良くて感度は悪かったと思う。感度アップのため UTC7642 の 2 番ピンを IFT の a 点へつなげかえると発振して使い物にならなかったと記憶しているが、定かではない。(苦笑)

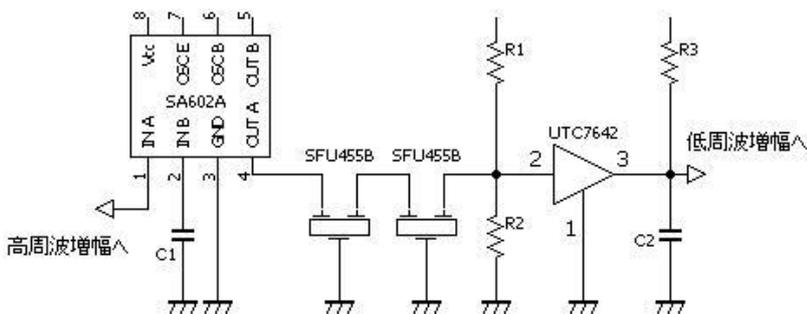


図 51 フィルタ 2 段

結局、IFT+フィルタの回路で納得行かなくて左の図の回路となった。まあ・・・IFT とフィルタの組み合わせを使いこなせなかった自分の妥協でもあるが、IFT を使わなければ IFT の調整そのものが不要となるし、回路の簡略化省スペース化にもなるので、これで良しとした。(苦笑)

(2) 中間周波増幅器・検波器

1号機2号機では中間周波増幅器・検波器としてAMラジオ用のIC、LMF-501Tを使用したが、LMF-501Tが既に製造されていないし、ほとんど手に入らないので、3号機ではUTC7642を使用した。酷評されている記事の多いICであるが低価格であるし入手も簡単なので使ってみることにした。

ネットの情報で酷評されている内容は「分離が悪い」「感度が悪い」「受信周波数がずれてるような・・・」等が多いようであるが・・・しかし、それらはLMF-501Tと比較しての評価だろうか。(笑)

逆に数は少ないが成功例もいくつか記事がある。まあ、いずれにしてもLMF-501Tの入手が難しいのでUTC7642を使うことができれば楽である。ネットを見ると、皆さん、同調回路のコイルのタップまたは2次側の巻き数の少ないコイルを使ってUTC7642へつないで改善しているようだ。

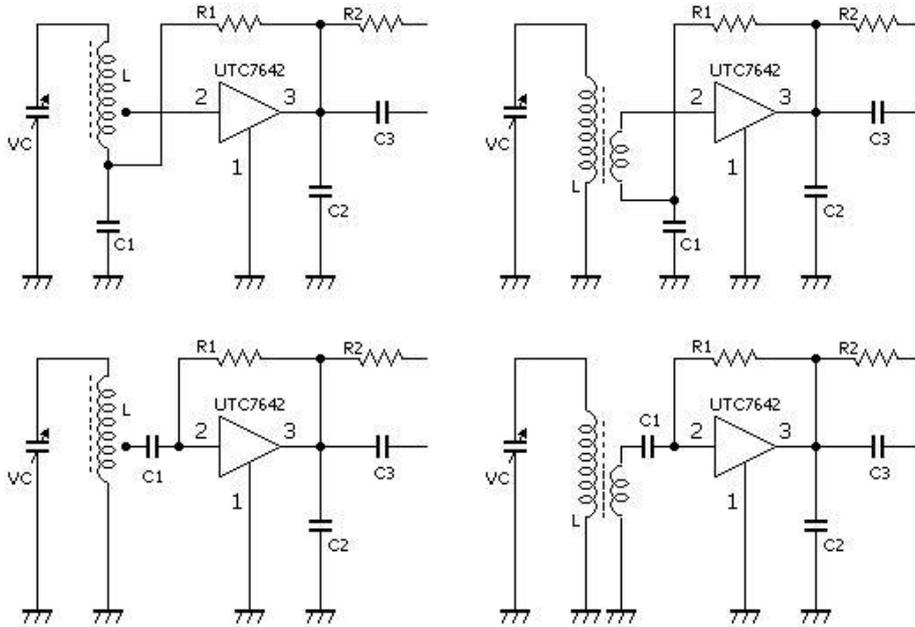
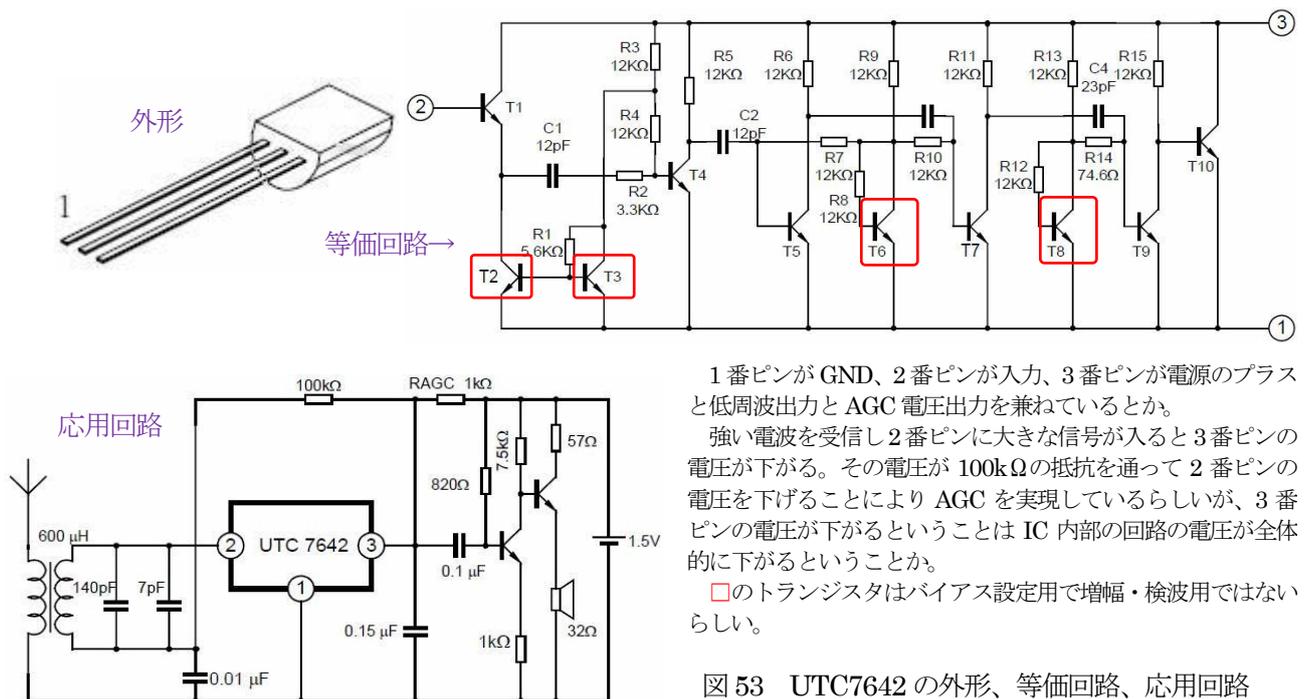


図52 UTC7642を使ったラジオのいろいろ

さて、そのUTC7642であるが、外形、等価回路、応用回路は下の図のとおり。



1番ピンがGND、2番ピンが入力、3番ピンが電源のプラスと低周波出力とAGC電圧出力を兼ねているとか。

強い電波を受信し2番ピンに大きな信号が入ると3番ピンの電圧が下がる。その電圧が100kΩの抵抗を通して2番ピンの電圧を下げることによりAGCを実現しているらしいが、3番ピンの電圧が下がるということはIC内部の回路の電圧が全体的に下がるということか。

□のトランジスタはバイアス設定用で増幅・検波用ではないらしい。

図53 UTC7642の外形、等価回路、応用回路

選択度はフィルタで何とかするにして、感度は……。感度が悪いといいながら、ブレッドボードで UTC7642 を使って AM ラジオを組みれば放送が聞こえる。ARDF 受信機では UTC7642 の前段に SA602 があってアンテナから入った電波を UTC7642 で直接受けるわけではない。感度を他の石で補って UTC7642 を何とか使いたい。

UTC7642 は LMF-501T と同様に AGC がついている。データシートに書かれている図 53 のような回路(電源が 1.5V で 1kΩ と 100kΩ の抵抗を 3 番ピンにつなぐ等)が最適な構成なのだろう。では最大感度でどんなもの？ブレッドボードで組んだ AM ラジオが今最高感度なのか？ということをもとに考えた。これは JR5PVC が以前から言ってる ARDF 受信機には AGC は無い方が良いという意見も覚えていたし、試作機ではどうなの？というところからである。

そもそも AGC とは受信機が過大入力にならないと効かない。(どこかで、そう読んだ)ならば、今、その受信機が過大入力を受けているのかいないのか。

UTC7642 でデータシートの応用回路のような AM ラジオをブレッドボード上に組んでバリコンを回してみると、放送をわずかに受信したとたん 3 番ピンの電圧が下がる。最適にチューニングしていくと受信音量が大きくなり、3 番ピンの電圧がますます下がる。これは過大入力無くても 3 番ピンの電圧が変化し 2 番ピンに伝わっているということになると思う。伝わっているということは少しでも信号を受ければ感度調整(最適な低周波出力するために感度を下げるよう)が働いているような気がした。

では下の回路のように 3 番ピンの電圧が 2 番ピンに伝わらないようにすれば、どうなるか。R1 と R2 で 2 番ピンにかかる電圧を固定するとどうなるか。とりあえず R1、R2 に半固定抵抗器を使って 2 番ピンの電圧を変えながら受信入力がない状態で 3 番ピンの電圧を測定してみた。

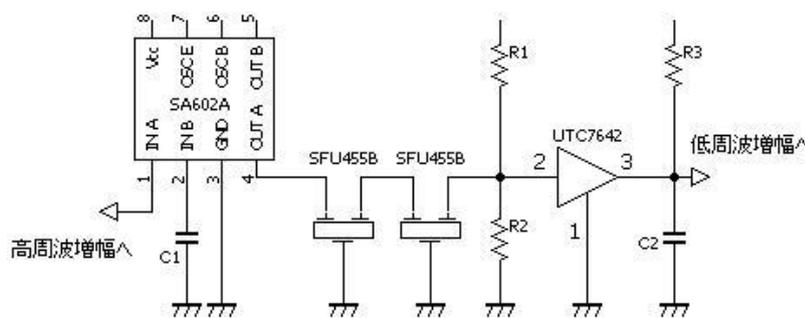


図 54 AGC を止める？

表 6 電圧測定結果

2 番ピンの電圧(V)	3 番ピンの電圧(V)
0.5 以下	1.29
0.60	1.28
0.65	1.27
0.70	1.23
0.75	1.20
0.80	1.16
0.85	1.15
0.90 以上	1.14

表 6 は受信入力がない状態での結果である。

受信入力小さい時には 3 番ピンに高い電圧が出て、受信入力が大きくなるにつれて電圧は下がる。本来はそれが 100kΩ の抵抗器を通して 2 番ピンに伝わる。ならば 2 番ピンにかかる電圧の高い方が利得は大きいはずである。表 6 を見ると 2 番ピンに 0.9V 以上の電圧をかけても 3 番ピンの電圧が変化しない。ということは、0.9V 以上の電圧をかけても利得はそれ以上上がらないと判断した。

ちなみに UTC7642 の 2 番～3 番ピンに 100kΩ、3 番ピン～電源プラス間 1k オーム、電源に単三乾電池 1 個をつないで受信入力がない状態では 2 番～1 番間の電圧は 0.85V だった。恐らくこれが最高感度の状態だろう。

実際に受信音を聴いてみると 2 番ピンの電圧を上げていくと 0.6V を超えてまもなく音が聞こえるようになるが、さらに電圧を上げると音が大きくなると同時にノイズも増えていく。(LMF-501T だとどうなんだろうか)

3 号機の UTC7642 の 2 番ピンにかかる電圧は 0.85V 前後となるよう R1、R2 を設定し受信した具合では、ほぼ最高感度になっている感じがした。

信号受信の際は 3 番ピンの電圧が表 6 に書いてある電圧よりさらに下がる。また受信している電波が強くなるほど受信音と同時に聞こえるノイズが減少する。

■低周波増幅

ヘッドホンで音を聞くのにそんなにパワーはいらないはずである。しかし、1号機は検波出力をエミッタフォロアで1段増幅だけ、2号機はエミッタフォロアの前に電圧増幅を1段つけて小さい音も聞こえやすくなったが部品点数が増えた割りにちょっと力不足のように思っていた。

ヘッドホンに適した石を探してみたが・・・1号機2号機のようにトランジスタ 2SC1815 を使うという方法もあるが、2SC1815 は生産終了予定だそうで・・・トランジスタで増幅回路を組むより IC で組んだ方が小型化できそう。低周波増幅で定番といえば LM386N かな。しかし、LM386N はノイズが多くヘッドホンで聞くのには適していないとネットでは酷評されている記事が少なくない。しかし、どこでも入手できるし安いので今回使うことにした。

(1) LM386N

出力、消費電力、電源電圧のことを考えて LM386N-1 を使うことにした。

表 7 LM386 と互換品

型番	メーカー	電源電圧	出力	無負荷時消費電力
NJM386BD	新日本無線	4 から 18	1000mW	6V で 30mW
LM-386N-1	ナショナルセミコンダクタ	4 から 12	325mW	6V で 24mW
LM-386N-3	ナショナルセミコンダクタ	4 から 12	700mW	
LM-386N-4	ナショナルセミコンダクタ	5 から 18	1000mW	

(2) 等価回路とピン配置

図 55 は LM386N の等価回路とピン配置。1 番ピンと 8 番ピンの間に $10\mu\text{F}$ のコンデンサをつなぐと電圧利得が 200 倍、つながず開放すると 20 倍。今回は $10\mu\text{F}$ のコンデンサをつないだ。

7 番ピンの BYPASS というのは何もつながないことが多いらしいが、ネットの情報の一部では、IC 内部の抵抗器と外付けのコンデンサを使って図 55 の [] の部分と [] の部分のデカップリングを行うものらしい。

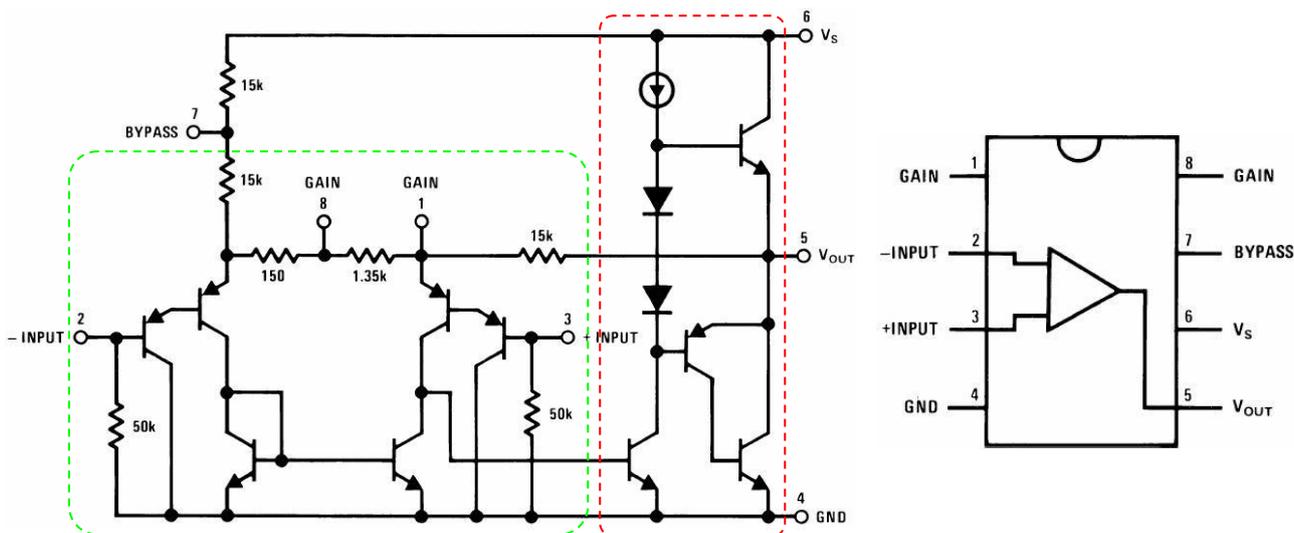


図 55 等価回路とピン配置

(3) ノイズのこと

LM386N はヒスノイズが大きく NJM386BD はヒスノイズが無いという記事を読んだことがある。3号機は LM386N-1 を使っていて、音量を上げるとシューシューとノイズが聞こえるが、機会があれば NJM386BD に変えてみようかな。でも、あのノイズの大部分は UTC7642 から出ているような気がする。

なぜなら試作3号機で UTC7642 と LM386N-1 を切り離すか、UTC7642 と LM386N-1 のつなぎの途中でコンデンサを使って接地すると静かになるから。また、試作3号機の UTC7642 と LM386N-1 の間にある半固定抵抗器を左いっぱいに戻し音量をゼロにするとノイズは聞こえるがかなり小さく聞きつけていても恐らく大丈夫だと思うし、屋外では注意していないとほとんどノイズが聞こえない程度。しかし、音量ゼロでは受信音が聴けないので(笑)音量を上げてゆくとノイズが大きくなり、さらに音量を上げるとヘッドホンで聞き続けるには耐えがたい大きさのノイズになる。(苦笑)

ブレッドボードで3号機と同様の回路を組んでテストしてもノイズは聞こえる。3号機と違って配線がジャンプワイヤなので3号機よりノイズを拾いやすいのかノイズはやや大きな気がする。ちなみに1番ピンと8番ピンの間につないだ $10\mu\text{F}$ のコンデンサをはずすとノイズは聞こえない。

僕の持っているメーカ機は回路図で低周波増幅部分に LM386 と書かれているが1番ピンと8番ピンの間にコンデンサが無い、電圧利得 20 倍で使っている。他には5番ピンからヘッドホンジャックの間にコイルがついている(ローパスフィルタだろうか)。ちなみに3番ピンは GND につながっていて検波出力を LM386 の2番ピンへ導いている。

ARDF の受信はモールス信号を音で聞くわけだから、その音だけ聞こえれば良いのだろう。追々、しゃ断周波数 800Hz くらいのローパスフィルタを外付けでヘッドホンジャックに挿して試してみようかな。でも半固定抵抗器で音量調整してノイズが支障なければフィルタ無しでもいいかも知れない。

または LM386N-1 の入力側にローパスフィルタを入れるか・・・。

使った感じは酷評されているほどでもないと思うし、ネットの情報では「良い」「使いやすい」という評価もある。うまく使えばいい、ということなのだろうか。

ネットでノイズ対策について見えそうな記事を見つけた。

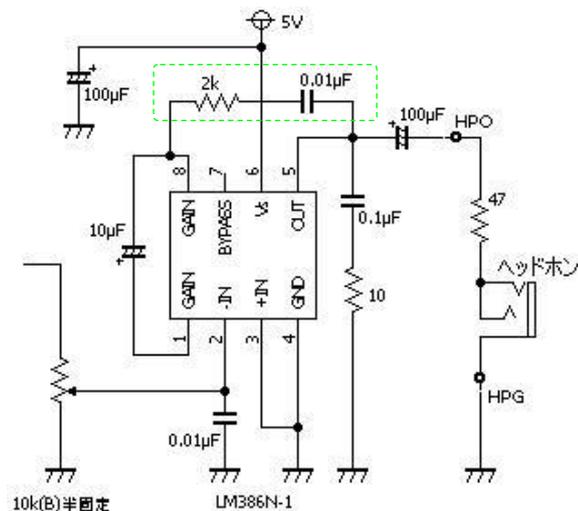


図 56 ノイズ対策

記事を読むと出力の5番ピンから1番ピンまたは8番ピンに負帰還をかける、ということらしい。

キーワードは **LM386 革命**。

コンデンサと抵抗が各1個、簡単である。しかし、効くのか?1番ピンへフィードバックさせるもの8番ピンへフィードバックさせるもの、コンデンサと抵抗の値は記事によって多少違うが、今回はこのくらいで、と $2\text{k}\Omega$ の抵抗と $0.01\mu\text{F}$ のセラミックコンデンサを使ってやってみた。

やってみるとノイズは減少し、音量を上げてもあまり苦痛(笑)でなくなった。ノイズが減少したというかノイズのうち耳障りな周波数成分が減ったという感じがした。

(4) 発振のこと

3号機は UTC7642 から届いた低周波を半固定抵抗器を通して LM386N-1 の 2 番ピンへつないでいる。半固定抵抗器を調整して音量を上げてゆくと最大音量の少し手前で発振してしまう。しかし、そこまで上げることは無いと思うし、今後の改良で発振しなくなるかも知れない。

LM386N の 7 番ピンを使ったデカップリングが無いと NG という情報もある。発振した時に 7 番ピンにコンデンサをつないで GND へバイパスさせるより 6 番ピンにつながってるバイパスコンデンサの容量を増やした方が発振を抑える効果が大きかった。

だから必ずしも 7 番ピンは使わなくていいと思うし、多くの人が 7 番ピンをオープンにしているのは、その辺の理由があるのだと思う。

市販のラジオで最大音量で発振することがなくても音量を最大にして聴くことはまず考えられない。同じように今回試作の 3 号機も発振するような最大音量で聴くことは無いと思う。

これについてもうまく使えばいい、ということなのだろう。

(5) 入力ピンの使い分け？

ネットを見ていると LM386 を高周波回路と組み合わせて使うときは、2 番ピンを使った方が良い、トラブルが少ない安定して動作する、等の話がいくつか出てくる。メーカーのデータシートには、そのような記述は見当たらないが、メーカーのデータシートで「代表的なアプリケーション」にある回路図を見ると、それを暗に(笑)裏付けるような(意味ありげな)回路になっている。図 57、図 58

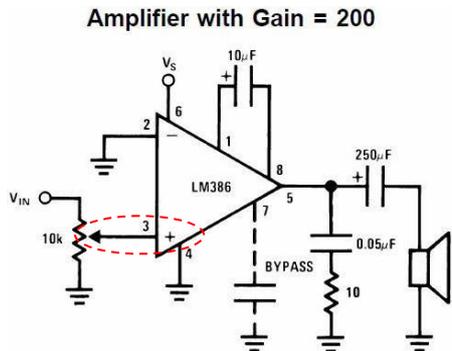


図 57 電圧利得 200 倍のアンプ

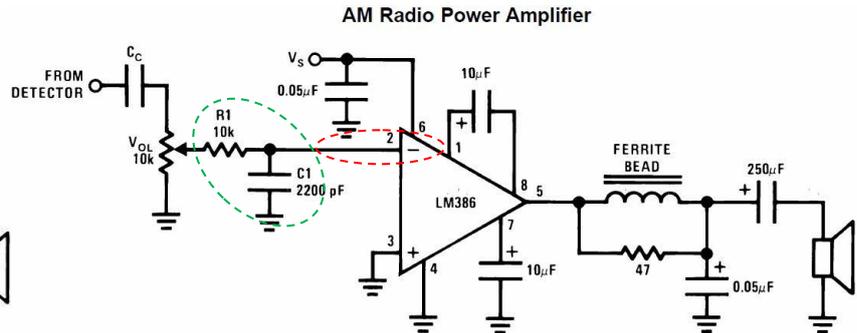


図 58 AM ラジオ用低周波アンプ

アンプとして使う回路の中では 3 番ピンが入力、AM ラジオ用の回路では 2 番ピンが入力に使われている。偶然とは思えない。の部分。

図 58 で可変抵抗器の右側に R1(10kΩ)の抵抗器がついている。R1 と C1 で高域をカットするためのものらしい。AM ラジオをスピーカで聴くときには良いのかもしれない。の部分

試作受信機のノイズを減らすのに有効かと試作受信機で同様に 2 番ピンに 10kΩ の抵抗を付けてみたが、可変抵抗器を左いっぱいにして音量を最小にしてもノイズが聞こえて気になるので、2 番ピンに 10kΩ の抵抗を付けるのはやめた。

■消費電力

試作受信機では1号機からすべて9V電池(006P)×1個を使っている。理由はレギュレータIC(78L05)を使って回路に供給する5Vを作るのに便利だから。78L05では5Vより2V以上高い電池があればいいのであるが、単三×5本や単四×5本を使うほどの容量は必要ないと思うし、それだけの電池を持って走るよりは9V電池(006P)×1個の方が小型軽量。

以前の製作記で9V電池(006P)の容量が500mAhくらいと書いたが、その後ネット情報を見ると他にもデータがある。まあ、元々、電池は負荷(流す電流)によって持ち時間が変わるものだからしかたない。改めてネット情報を見てると、50mA程度流して7Vまで落ちるまで、という条件では300mAhくらいになるらしい。負荷が軽ければ(流す電流を少なくすれば)計算上、もっと容量は大きくなるだろう。

使っている電池の資料がPanasonicのホームページにあった。

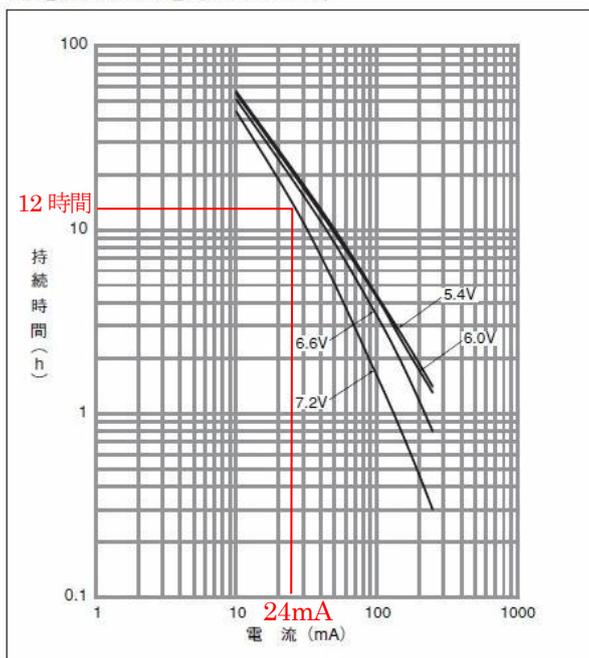
<http://industrial.panasonic.com/www-data/pdf2/AAC4000/AAC4000CJ26.pdf>

図 59

定電流連続放電 (20°C±2°C)



写真 7



78L05で5Vの出力を得るのに電池の電圧が7.2V以上であればOKとした場合、左のグラフでは7.2Vのカーブを見る。

※ただし、連続で受信機を動作させて、という条件になる。

試作受信機の消費電流は24mAくらい。(今後もいじると変わるかもしれないが)上の図で見ると連続で12時間くらい動作する、ということになるのだろう。

実際には12時間スイッチ入れっぱなしということは無いと思うので、もっと長く動作すると思う。

■部品の入手

1号機の試作の初歩的な実験(クラブ発振回路の実験など)を始めたのが2010年か・・・まだ4年もう4年である。

ワンチップAMラジオICのLMF-501Tが無くなり、2SK241が無くなり、自己共振周波数の高いアキシャルリードのインダクタが無くなり、リードのついたトリマコンデンサで温度係数の小さい部品が無くなり、ミキサICのDIP8ピンSA602が無くなり、NPNトランジスタ2SC1907が無くなり・・・

(もう製造してない等で入手できないか困難、または扱ってる店に限られる等)

3号機はプリント基板で複数台製作することを考えてみたものの、部品が無いと配線のパターンを変えざるを得なくなる恐れもある。

だいたい世の中は表面実装の部品に置き換わっているようで、あと何台か3号機を作ったら次は表面実装を考えないといけないかも。

アマチュア無線応援団「キャリブレーション」さんのキットでいくつか表面実装部品を使った製作をしたことあるけど、ノウハウは？といわれると、ほとんど無い。まあ、慣れるしかないだろう。

表面実装でいいところもある。基板にドリルで穴を開ける手間が減る。

悪いところは、ユニバーサル基板では表面実装部品で試しにくいだろうなあ・・・。

一番弱るのは表面実装の部品だとブレッドボードが使えないこと。どうしても使おうとすれば、ユニバーサル基板をニップで切って、そこへ表面実装部品をつけてリード線を付け足すか、部品に直接リード線ハンダ付けするしか無い。

■加工・工作

3号機で新しく使った工具等としてピンバイスと加工用の台がある。

ピンバイスを初めて実際に使ったのは2014年7月、おもちゃドクター養成講座だった。なかなか小型で便利な道具。今までアルミケースの穴あけといえばハンドドリルか電動ドリルだったが、3号機の3個目のケース加工の時ピンバイスで作業してみると作業しやすかった。写真8、写真9

加工用の台は以前から適当な木の板を使っていたが板のサイズが大きくなり使いづらかった。ホームセンターコーナーで材木のコーナーに一袋いくらの安い端材の木切れを置いてある。これを木工用ボンドで接着して台を作ってみた。小型のケース加工には小型の台が使いやすい。



タミヤの精密ピンバイス D
交換用のチャックが本体内に収められていて0.1~3.2mmの穴あけに対応している

写真8 ピンバイス



写真9 作業台

■プリント基板

3号機の1台目は従来どおりランド方式で組み立てた。試作では部品を何回も取り替えたり配線をつなぎ変えたりするのでランド方式が便利であるが、3号機は量産(大量ではなくて数台作りたいという意味:笑)も考えてみた。

ランド方式のようにベタグラウンドの広いGNDが使えないので、配線(アートワーク)には気を使う。また部品のサイズやリード線の間隔を正確に確認しておく必要がある。

若い頃(30年くらい前、高校生の頃:笑)に試作したプリント基板は生基板に油性マジックでパターンを手で書いて・・・という作り方だった。

現在ではプリント基板を作るのにPcbe他便利なパソコンソフトがある。実はPcbeの存在はかなり前から知っていたのであるが、「必要ないな〜」(苦笑)と思って使ったことがなかった。なぜなら同じものや同じようなものを複数自作するということが無かったから。

それにエッチングの作業がめんどくさい、と思っていたから。エッチングだけ外注するという方法もあったが外注の場合はアートワークのルールというものがあって、それに従わないといけなかった。それにPcbeの使い方を知らなかった。

しかし、今後も趣味で電子回路を作るだろうし、自己啓発にもつながるだろうと思って、Pcbeをいじることにした。大昔(PC-9801全盛期)に確かSimpleCADというのを使ったことがあるが、全く使い方が違うなあ。(苦笑)

しばらく練習も兼ねてPcbeを使って、何とかパターンができた。何十年(20~30年前か)も前に買ったサンハヤトの感光基板自作のセットを新品のまま(苦笑)置いてあった。感光基板は古いとうまく感光しないらしい。そりゃ30年も経てば無理だろうし、セット添付の基板は12Kという紙ポリエステル。144MHzで使うのは無理だろう。エッチング液と現像剤は長期間経っても大丈夫らしいのでガラスコンポジットの感光基板だけ新規購入して作ってみた。

ネット情報では紫外線ランプが無ければ日光か蛍光灯などでも良い、という情報があったので、まず直射日光で試してみた。初めての感光と現像。結果は大失敗。

ネット情報では快晴の直射日光で約2分と書いてあったが・・・

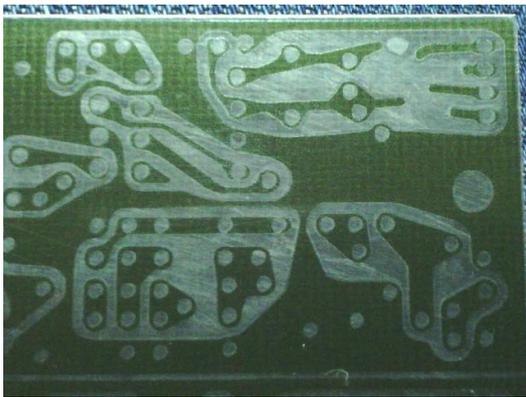


写真10 現像剤が古すぎたか？

露光して現像液に浸けてみたが・・・いつまで経っても光の当たった部分の感光膜が溶けきらず、銅箔が見えてこない。露光不足の場合は現像液をふき取って再度露光可能ということらしいので再度露光し現像液に浸けてみたが・・・無理だった。現像液に4時間浸けても(苦笑)左の写真のような状態なので現像剤が劣化していたとしか考えられない。何十年も経てば湿気などでダメになっていたのかも。

しかし、ガラスコンポジットの感光基板1枚パーにしたのは惜しかった。まあ・・・失敗した基板は感光剤削り落として生基板としてでも使うしかないか。

気を取り直して感光基板と現像剤を再度購入し、同時にアートワークも見直し、今度は蛍光灯で露光することにした。

ネット情報では蛍光灯での露光について成功・失敗の記事があるが・・・自宅の30Wサークライン下11cmで40分露光。針金を灯具の笠に引っ掛けるのに使いやすそうな形にしたら、サークラインから11cmくらいになっただけで、何かを計算して11cmにしたわけではない。

これで2回感光基板を露光し、どちらも成功。仕上がりには満足している。

CEM3 1.0t×75×100 ガラスコンポジット 製造後306日

CEM3 1.0t×75×100 ガラスコンポジット 製造後102日←少し露光オーバーだったのか・・・

製造後102日の基板が露光40分で時間オーバーだと思ったのは、製造後306日の基板を露光40分で何のトラブルも無く仕上がったのに対し、製造後102日の基板では同じ露光時間でも現像中に早く濃くパターンが浮き上がって短時間で銅はくが見えてきたと感じたから。しかしエッチングはどちらも全く問題無かった。

実際には製造後306日の基板が露光40分ではわずかに露光不足で、製造後102日の方は露光40分でちょうど良かったのかも知れない。

感光基板で失敗する原因は大部分が露光不足らしい。露光オーバーと思えば早めに現像を終わらせると何とかなるような気がした。現像時間を計ってないが、新鮮な(笑)現像剤であれば現像時間は2分くらいだろうか。

現像も露光同様、長めの方が良いと思った。現像が進むと銅はくが見えてくるが、銅はくが見えても、まだ薄く感光膜が残っているかも知れない。そのままエッチングするとエッチング液と銅はくに届かないので失敗するだろう。現像中に銅はくが見えてきても配線のパターンがくっきり残っていればエッチングに支障は無いだろうから、少し長かったかなと思うくらい現像した方が無難だと思う。

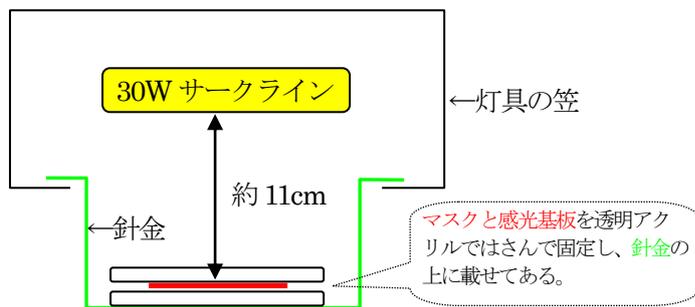


図 60 自宅天井の蛍光灯での露光方法

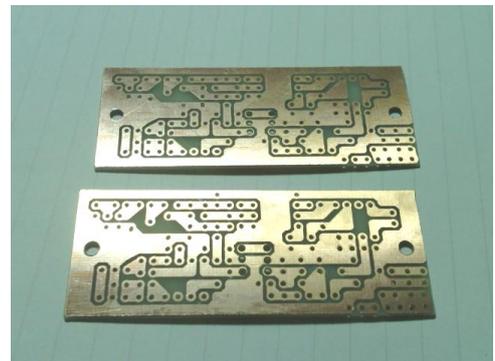


写真 11 3号機用プリント基板(初版)

3号機をプリント基板で1台作ってみた。正常に動作しているが、局部発振周波数がかなり高くなってしまった。寄生容量が減ったからだろうか。ランド方式では空中配線が多かったのに比べてプリント基板では空中配線は無いので・・・。希望の局部発振周波数を得るためにコンデンサの組み合わせを変える必要があった。

またプリント基板をケースに收容するとスイッチやステレオジャックの突起物(端子含む)と接触しそうな位置関係であることがわかったりで、基板のアートワークを見直した。

■受信テスト

2015年1月4日、JR5PVCの協力を得て吉野川の南岸を歩きながら受信の具合をメーカ機 AITEC の FX-5 と聞き比べ。河川敷のしげみの中に TX を設置。TX の至近距離では TX から 10m 手前くらいまで指向性は感じられる。受信機を縦にしてエレメントを垂直にするれば行けるか……。遠方ではどうか……。河川敷を歩きながら西へ西へ。

思ったより TX から離れても聞こえる。しかし、20dB ほど試作機の感度が低いらしい。途中橋の下を 2 回くぐったが TX から約 2km が限界か。

局部発振周波数は LC 発振回路の特性上、多少ずれるが聞こえなくなる程はずれない。しかし、正確に最高感度で受信するためには時々確認・調整は必要ようだ。

フィルタ特性は良好。セラミックフィルタ 1 段(ランド方式)と 2 段(プリント基板)で聞き比べた。フィルタ 1 段ではビーコン付近で TX からの電波とビーコンからの電波が同時に聞こえることもあると思うが、フィルタが予想より効いていて使用に支障無いのではないか、フィルタ 2 段では恐らく同時に聞こえることは無いだろう、という感じ。

SN は良好。感度を上げててもノイズが少ないので弱い電波も聞こえやすい。JR5PVC からはシングルスーパーの受信機としては良いところまで来てるのではないかと評価をもらった。

感度調整は「まるい」(笑)という感じ。メーカ機のような、つまみの位置によるシャープな切れは感じない。

ここまでの段階のアンテナは放射器エレメントの長さをダイポールアンテナとして電圧値が最大で得られる長さにしてしたが、導波器や反射器のエレメント長はいろんな記事を参考に放射器より少し短く少し長くと適当に長さを決めて作っていた。

受信機とは別の問題として認識しているが、アンテナの指向性は改善の余地あり。西に向いて歩いた後、戻りでは導波器を放射器に近づけてみた。前後比が改善された代わりにノイズが増えたような。(苦笑)JR5PVC が言うには 4 エレ木でゲインと指向性の改善もありかも……。

う〜ん……。確かに。でもエレメントが増えると増えたエレメントがわずらわしい。(^^;) どうしようかな。

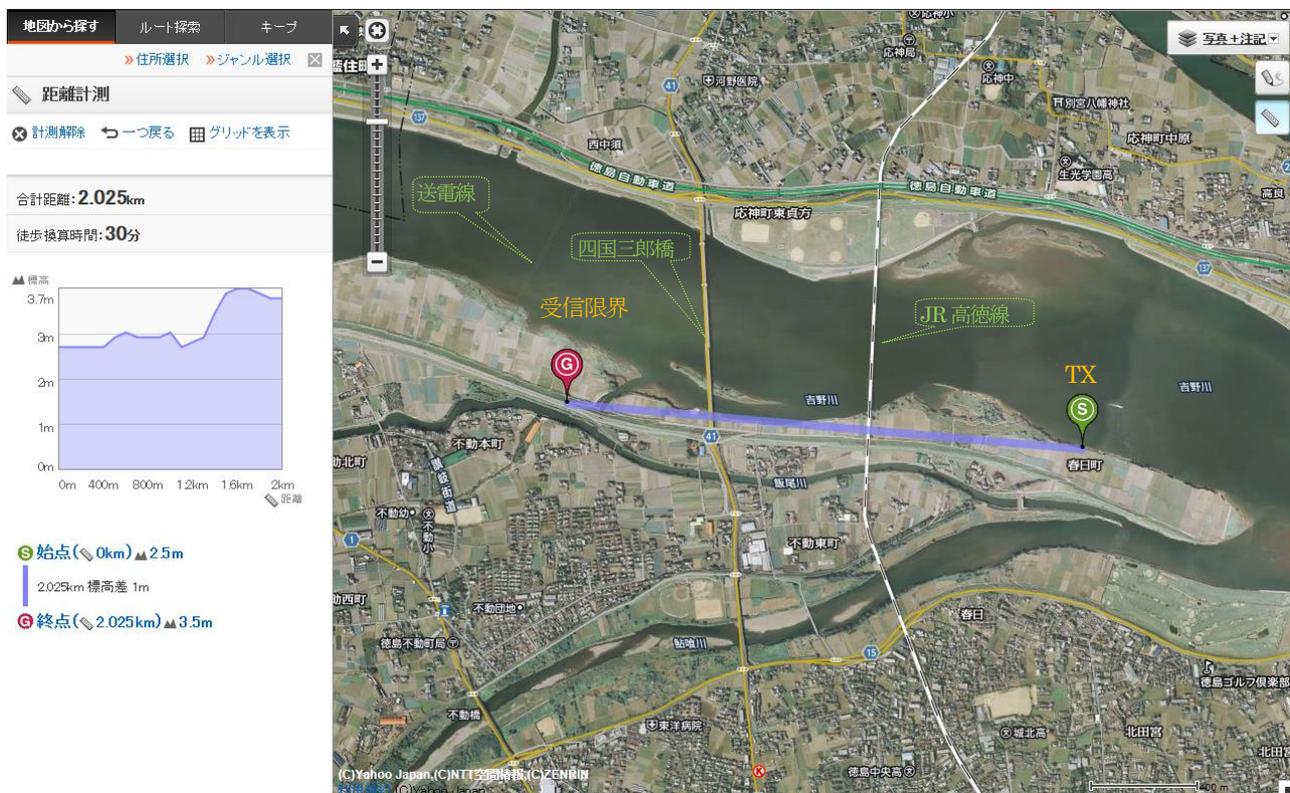


写真 12 受信テストの場所

その後、JR5PVC からアンテナのシミュレーションソフト Ysim Win の話を聞いた。僕自身はそういうのは使ったことが無かったのであるが、手持ちの CD-ROM(15 年位前の CQ ham radio の付録?)に入っていたので JR5PVC に助言もらいながら計算してみた。

下の図は 1 月 4 日の吉野川河川敷でテストしたときの条件で計算した結果である。

指向パターンを見て・・・これは・・・笑うしかない。ふふふ、これでは真後ろから来た電波も聞こえて当然か。放射器を導波器に少々近づけたくらいでは、差は無いか。(苦笑)

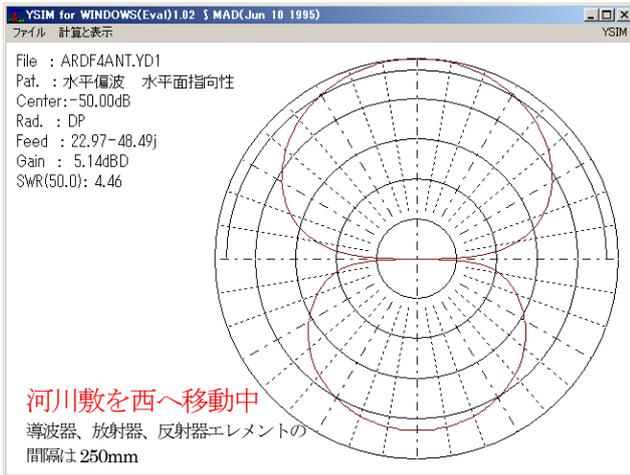


図 61 西へ移動時のアンテナのシミュレーション結果

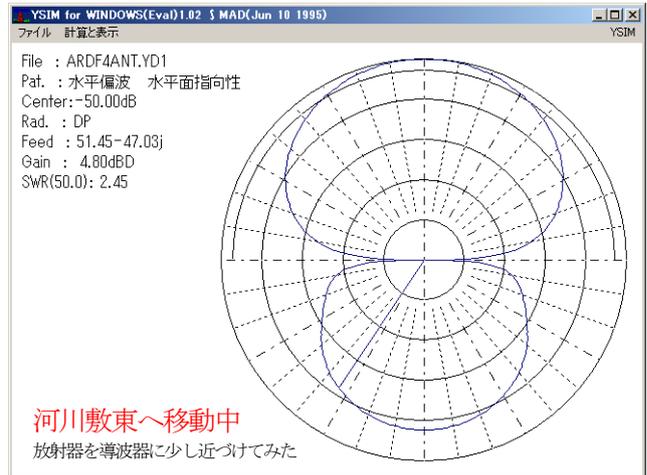
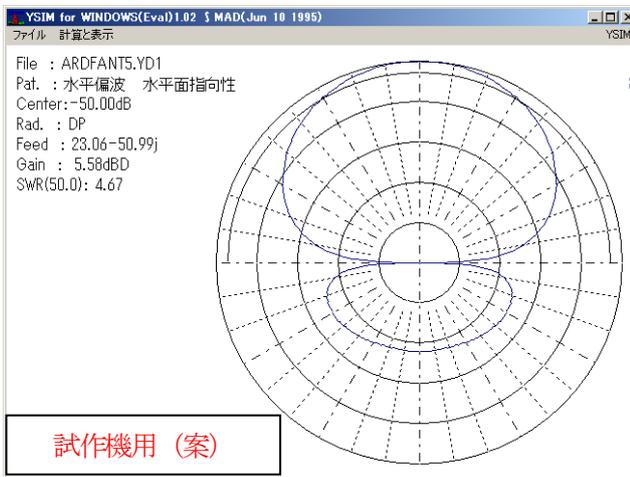


図 62 東へ移動時のアンテナのシミュレーション結果

JR5PVC の話では前後比 20dB は欲しい、ということらしい。受信専用なので SWR は気にせず、というアドバイスもあり、チョコチョコいじって得られたのが下の図。



導波器長さ 950mm
 間隔 255mm
 放射器長さ 960mm
 間隔 355mm
 反射器長さ 1,030mm

図 63 F/B 比を大きくしたシミュレーション結果

試作受信機のアンテナは裸導体でない。被覆付で樹脂に沿わしてある。共振周波数が低くなりシミュレーションどおりには行かないと思うが、まあ、作って試してみよう。それが酒題趣味。(笑)

しかし・・・作って試してみたが、やっぱりうまく行かない(苦笑)。指向性が出ない・・・シミュレーションソフトは樹脂の棒に被覆電線を沿わせることを想定していないだろうし・・・。

シミュレーションソフトを使わず何とかならないか・・・。
 以前確認した方法と同じ、アンテナで拾った電波の強さをオシロスコープか、テスタで見るか・・・。
 以前、テスタで失敗しているが倍電圧整流のプロープで何とかならないか・・・それしかないか・・・。(^^)

ダイポールアンテナを作ってアンテナの端子電圧がピークとなるエレメントの長さを確認する。
アンテナエレメントは樹脂の棒に沿わせて、樹脂の棒は木の棒(角材)に固定し天井から吊るした。

ハンディトランシーバは出力を最小の0.5Wに設定して測定記録中は連続送信状態にする。手でPTTを押さずにマイク端子のPTTとGNDを抵抗を通して接続し送信させる。

アンテナのエレメントは1mくらい、長めに作っておいて、5mmづつ両端をカットしながらRFプローブ(入力側のコンデンサを5pFから20pFに取替)で整流した電圧をデジタルテストで読み、記録してみた。

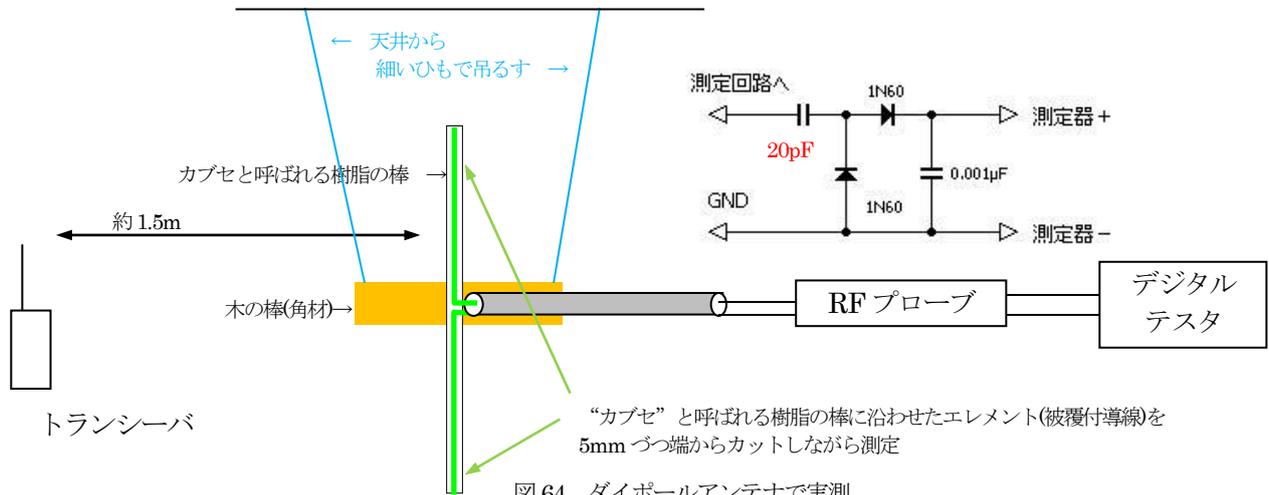


表 8 エレメント長に対する実験

各 エレメント 長 (mm)	放射器 だけ① (mV)	導波器を 追加② (mV)	逆方向に 反射器を 追加③ (mV)
1100			65
1090			64
1080			63
1070			56
1060			58
1050			63
1040			57
1030			54
1020			53
1010			51
1000	10	20	49
990	11	24	43
980	12	25	37
970	14	30	29
960	17	34	22
950	23	40	16
940	30	47	9
930	35	60	3
920	33	78	19
910	34	106	80
900	28	162	180
890	30	150	254
880	23	122	250
870	20	92	230
860	15	71	204
850	13	58	184
840	9	47	163
830	8	44	163
820	6	36	154

アンテナで拾った電波の電圧値はテストで読めたが、何だか・・・以前ABSパイプをエレメントの支えとして使いUSBオシロで確認した結果ではエレメント長 930mm~940mm にピークがあるようであるが、今回使っている“カプセ”と呼ばれる棒を支えに使うとピークがやや低い周波数にあるような。左の表8の①

グラフにしてみた。ピーク付近がうまく取れていない。ピーク付近の電圧値がばらついているのは天井から吊るしているアンテナがゆれたからだろうか。

独断と偏見による推定(苦笑)でカーブを補ってみるとエレメント長 910mm あたりで電圧値が最大になっているようだ。

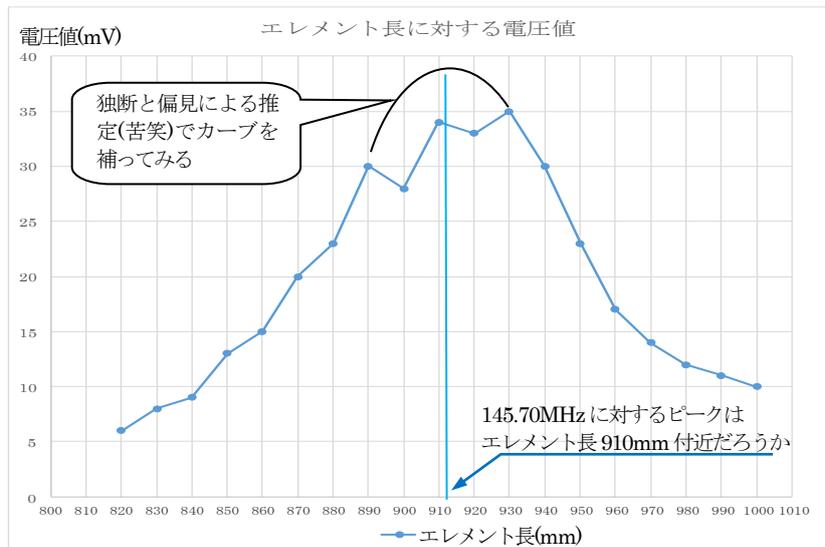
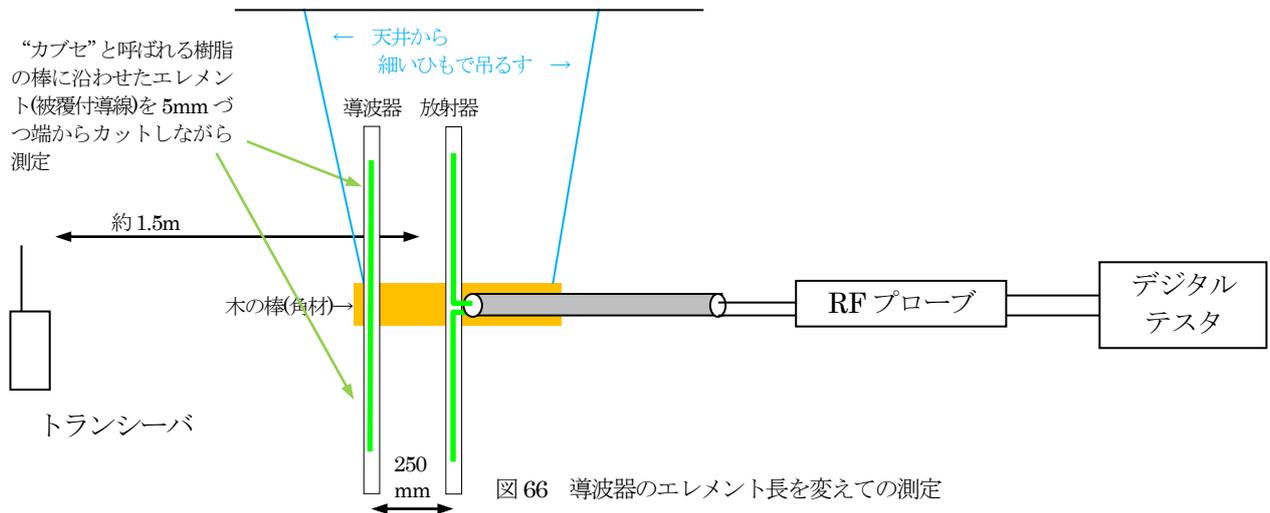


図 65 ダイポールアンテナでの測定結果

エレメントをカットしながら測定の終わったダイポールアンテナはエレメントが短くなっているのですが、導線を継ぎ足してエレメント長を 910mm に延ばすとダイポールアンテナとしては最も強い信号で受信できるはずだ。これを八木アンテナの放射器として使う。導線がたくさんあれば新しい導線でエレメントを作り直しても良いだろう。

次に放射器のトランシーバ側に導波器を取り付けた。エレメントの間隔は今回は 250mm とした。250mm でなくても良いのであるが(^^)、八木アンテナの 3 素子を 250mm 間隔で並べると見栄えが良いのかなと・・・。時間がたっぷりあれば間隔も変えて試したいところではあるが、今回はとにかく 250mm 間隔で。(笑)



導波器のエレメントを少しづつカットして行くと放射器から出てくる電圧が上がってきた。導波器のエレメント長 900mm あたりで電圧のピークがある。前頁の表 8 の②

次に下の図のように導波器の位置を変えて(放射器から見てトランシーバと逆の方向に付けて)導波器のついていた部分に反射器を取り付けた。八木アンテナの指向性としてはトランシーバと逆方向になるが、こうした理由がある。

反射器をつけて、さらに受信信号が最大となる反射器のエレメント長を確認するのではなく、アンテナの指向性としてバック方向の感度を最小にするためのエレメント長を確認したかった。前頁の表 8 の③

バック方向を最小にした時に先に確認したフロント側の感度が落ちているかもしれないが・・・、そうしたかった。

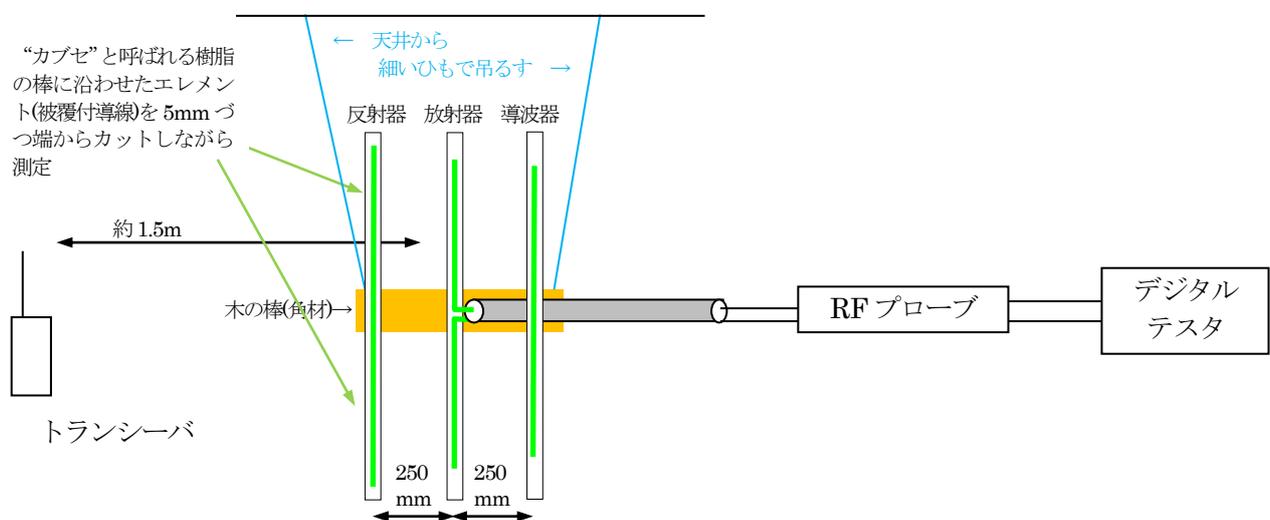


表 8 の測定結果をグラフにしてみた。

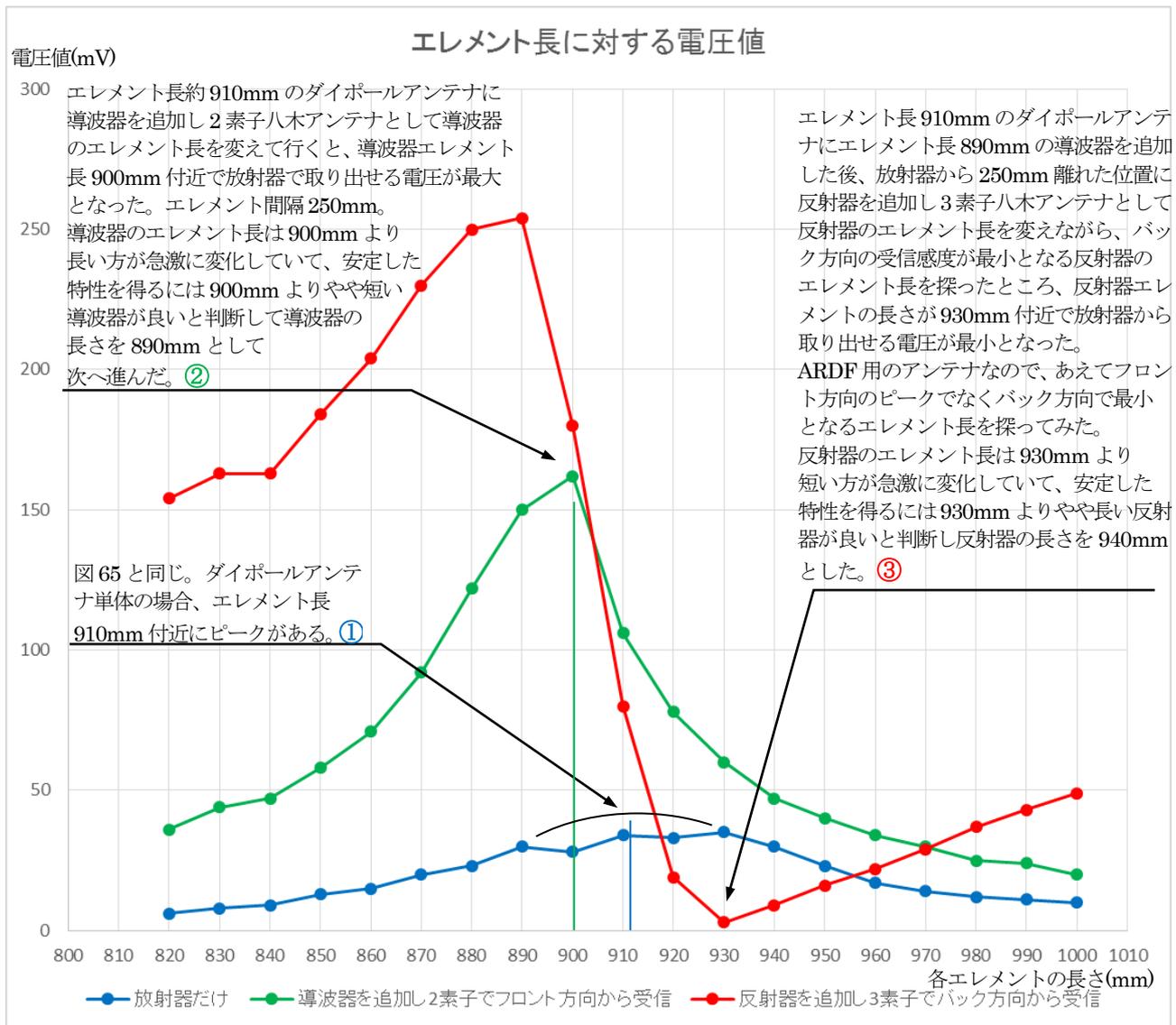


図 68 エレメント長を変えながら信号の大きさを測定してみる

このようにシミュレーションでなく実測から得られたエレメント長で 3 素子八木アンテナを作って試作受信機につないでみたが、良い感じ。受信感度が明らかに良い。前後比も良い感じ。平成 27 年 1 月 4 日に JR5PVC と吉野川河川敷を歩いた時より良い感じ。(今まで初めは良い感じで、後でいまいち、というのが多かったが、さて、今後使ってみてどうなることやら(笑))

いろんなラジオ少年(笑)向けの製作記事で、「導波器は放射器より少し短く、反射器は放射器より少し長く」とよく見かけるが、今回の測定結果では「少し短く」「少し長く」という表現が適していないように思った。

少しってどのくらい？人によれば 1cm だったり 5mm だったり 2cm だったりするように思う。

「少し短く」「少し長く」については「製作の条件によって最適値が異なるので、最適値を探ってください」くらい添えた方が良いのでは？と、かつてのラジオ少年(僕)は思った。(笑)

さらに、今回試作のように電線を樹脂に沿わせるような方法でアンテナエレメントを作ると、支えとなっている樹脂棒の形状や材質によって一般に言われる短縮率とだいぶ違うように感じた。

■競技大会で使ってみた

平成 27 年 5 月 24 日、徳島県美馬市で開催された四国地方 ARDF 競技大会で選手として参加し使ってみた。

スタート待ちの間、前日の天気予報に反して天気が良くなり日差しはきつく気温は上昇。保管場所(直射日光の当たるブルーシートの上)にある受信機の温度上昇を恐れた。回路の定数は見直してあるが・・・大丈夫だろうか。

選手呼び込みで名前を呼ばれ受信機を取りに行きケースに触ってみると明らかにケースが暖かくなっている。まずいぞこれは・・・。(^^;)

スタート後、受信開始地点を過ぎ、聴いてみると、調整時とほぼ同じつまみの位置で TX・ビーコンとも正常に聞こえた。この瞬間、ホッとしたのは言うまでもない。(笑)

競技中の受信周波数(局部発振周波数)の安定度については、わずかに競技中の周波数ずれを感じた。競技中につまみをまわして受信周波数を調整したら少し受信音が大きくなることがあったが支障は無いと思う。これは温度変化の影響を受けてもケースを開けてまで再調整を不要としないよう広範囲の周波数を受信できるように定数を変更したためと思われる。

アンテナの指向性は、鋭さに欠けるが電波到来方向は判断できた。山の反射に惑わされたが、それを楽しむのも ARDF の醍醐味、充分すぎるほど楽しめた。(苦笑)

移動しながら各 TX からの電波を聴くと 5 分前に受信して予想した方向とは全く違う方向から同じ TX の電波が飛んでくる。(苦笑)正に電波を楽しめる大会であった。

感度については、受信開始地点付近で全 TX の電波は無理なく聞けたし、競技中、感度最大にすれば、ほとんどの場所で TX からの電波を聞けた。地形的に条件が良かったのかもしれない。1 号機 2 号機では受信開始地点で 2~3 個の TX からの電波を聞くのがやっとで、競技中、どの TX の電波も聞こえないということもあった。

TX の至近距離では、10m くらい手前までは通常のコピー(感度切替と感度調整つまみの操作)で探索できた。さらに近くなると受信機を傾けたり(偏波面を変える)、アンテナのヌル点を利用したり、意図的に受信周波数をわずかにずらしたりして探索は可能だった。

選択度については、1 号機 2 号機ではフィルタとして IFT(中間周波トランス)+セラミックフィルタであったが、3 号機では IFT を省略した代わりにセラミックフィルタを 2 段とした。ゴールビーコンから 150m くらいの位置ではゴールビーコンが TX にかぶることは無かった。が、ゴールビーコンから 300m くらい離れた位置で少しかぶることがあった。高低差や付近の構造物などの影響か。競技中にかぶりが支障になることは無かった。

■製作に特化した資料

この製作記と別に、3 号機の製作に特化した資料を用意した。

<http://wwwb.pikara.ne.jp/potter-2005/kousaku/ardfprototype3kousaku1.pdf>

■考察・・・でなく3号機を作った感想(笑)

アンテナに導線を使って樹脂の棒に沿わせる等した場合、短縮率が想像よりだいぶ小さい。逆にそれを利用すれば少しでもエレメントの短いアンテナが作れるのではないか？

局部発振回路の温度特性については短時間(数十秒～数分単位)の周波数のずれにとらわれていたが、調整する場所と使用する場所の温度の違いや季節的温度的違いの方が影響が大きいと思った。

調整した時の温度と使う時の温度の差が大きいと受信可能な周波数のずれも大きくなるので、その分最初から受信可能な周波数の範囲を持たせないと頻繁にケースを開けて調整しないとイケないし、最悪部品を交換しないと目的の周波数が受信できない。

試作受信機は極ありふれたツェナーダイオードをバリキャップ代わりに使っているの、ダイオード自体が温度の影響を受けやすいだろうから、コンデンサよりダイオードの方が周波数ずれの原因として大きいのかもかもしれない。

「感度の良い受信機とは？」の問いに「SNの良い受信機です」、と言われる理由を痛感した。試作の過程で利得重視の回路を考えて試行錯誤する中で、ノイズが多くて、結局使えないという事があった。

受信機のSNを良くすると電波が弱くても聞きやすい、利得を大きくしてもSNが悪いと使えない。

感度については、遠近レンジ切替はアンテナからの入力を入り切りするのではなく高周波増幅回路への電源供給を入り切りするのもアリかも知れない。

遠近レンジ切替SW または感度調整VRはアンテナ放射器の給電点付近の方が良いかも知れない。

端子電圧を測定しながらの導波器・反射器エレメント長調整は目からうろこだった。「少し長く」「少し短く」の少しというのは測定しながら決まる結果の長さであって、適当に長く短く、という意味ではないと理解した。

3号機試作中に、使用している部品が広告から消えたり生産終了など今後の部品入手が困難になりそうな話が出てきた。

代替できそうな部品はあるし、生産終了している部品を取り扱いしているショップもあるので、今しばらくは作ることができそう。

しかし、そろそろ表面実装で製作することも考えた方がいいかな、と思った。ブレッドボードで事前のチェックするには不便になるけど、プリント基板で回路製作する時は穴あけの手間が減るのでいいかも。

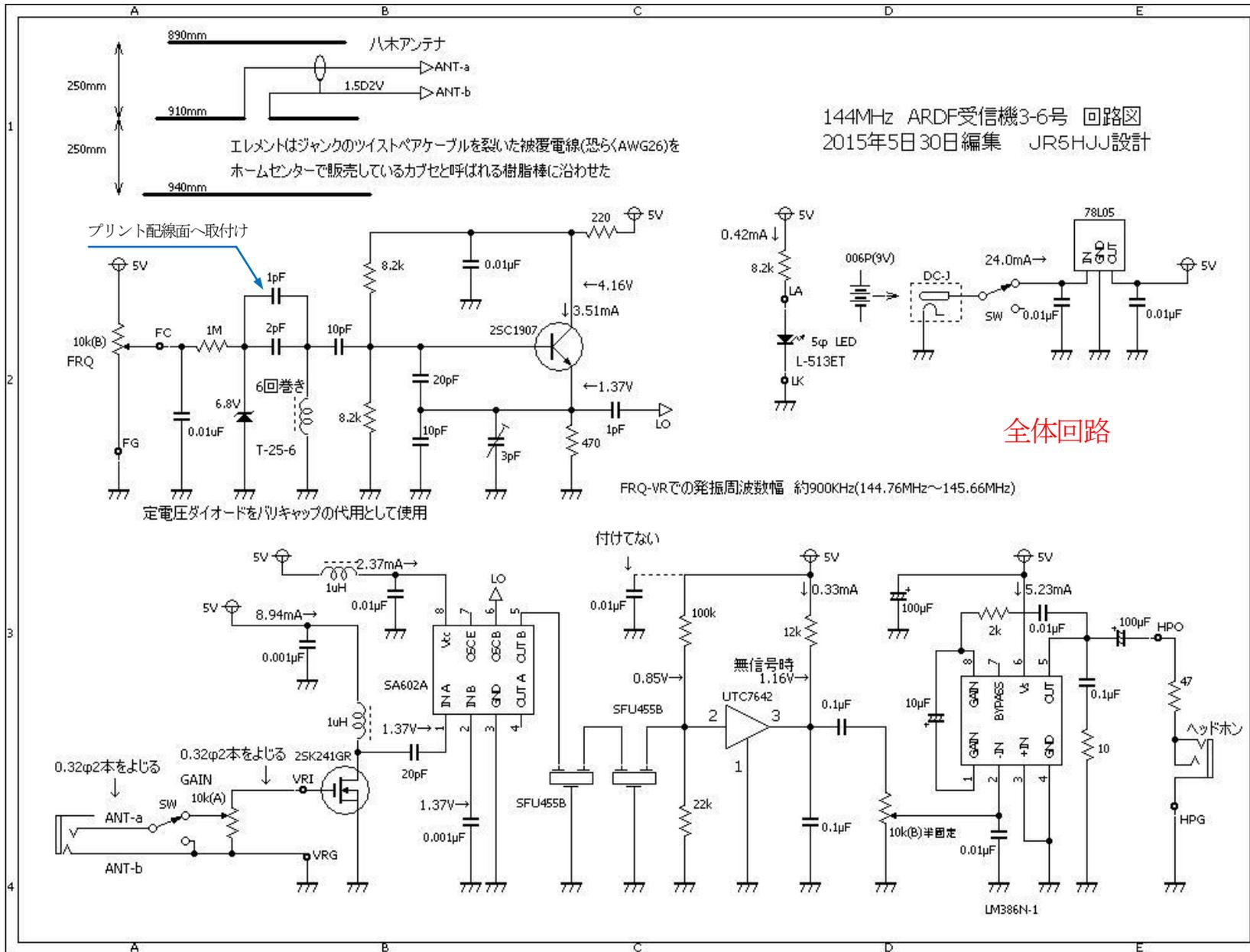
受信時にケースを触るとわずかに受信音のノイズ減少があった。言われてみれば・・・というくらいの差であるが、ノイズが減ると受信音が浮かび上がって、感覚的にTXからの電波を聞きやすくなるがあった。ケースの電位が安定するからだろうか・・・。手で持つ部分を金属にして受信機とつなぐか、アルミケースにアース線つないで手で握る位置まで延ばしておくともノイズが減るかも知れない。

課題はいくつかあるが、また追々。(笑)

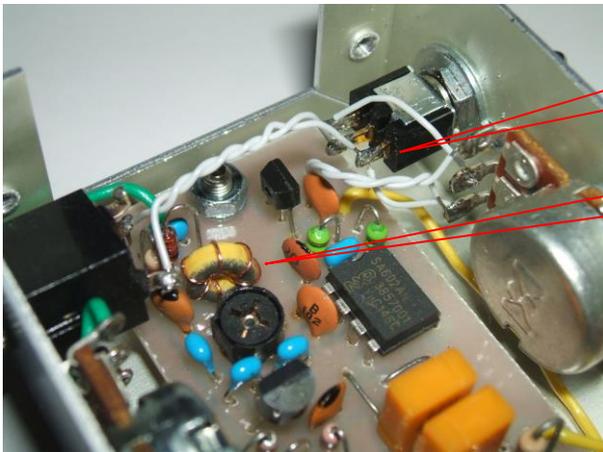
■注意

この文書や当方サイトの情報および情報を元に製作した機器によっていかなる損害を被られた場合であっても、当方は一切の責任を負いません。

■回路図



■写真



アンテナからSW、可変抵抗器へプリント基板は細い配線をよじってある。
細い同軸ケーブルが良いかも知れない。

トロイダルコアに巻いてあるコイルは接着剤を薄く塗って固定してある

ホームセンターで売ってる角材の端材を接着剤でつなぎ合わせて棒状にして、それに受信機・電池・アンテナエレメントを輪ゴムで固定してある。



放射器の給電点エレメントをハンダ付けしたあと、熱収縮チューブで補強してある

エレメントはスパイラルチューブで“カブセ”と呼ばれる棒に固定してある



■2015年9月21日追記

①感度切替について

ハムフェアにJL4NDNがARDFの出展をしているからとJR5PVCから連絡があり、プリント基板で試作した3号受信機を持って2015年8月22日東京へ向かい、午後JL4NDNとJR5PVCと合流。

展示コーナー近くでもらった評価や話題は、受信機としては素直であるが探索に対するTXの至近距離で感度をもう少し下げられないと今一步のところではTXを見つけられない恐れがある、指向性のキレが甘いが多点はハッキリしている。アンテナ一体型ではないので使う人がHB9CVにするなど使う人が自由に選択できる。

競技者は受信機(アンテナ)を最も強く受信できる方向に向けてTXを探索する特性があり、ARDFに慣れるにつれて短時間でTXへ接近できてもTXの近くでTXの方向がわかりづらくTXの近くで時間を費やすことになる、もう一步改善できないか、というような話であった。

うーん、感度アップが裏目に出たか。(苦笑)

確かに四国地方ARDF競技大会でTXの至近距離でTXの方向がわからずアンテナのヌル点や偏波面、視覚に頼ったところがある。←4ページ前参照

試作機の目的は上位入賞ではないがTXを目前にTX発見に至らないということが重なればARDFをやっても楽しくないかもしれないし、ARDFに慣れていない人が試作機を使ってARDFや無線に興味を持ってもらうためにも、今一度、改良を考えてみようと思った

感度ダウンの方法は以前から、いくつか頭の中には案があって、それを試してみた。

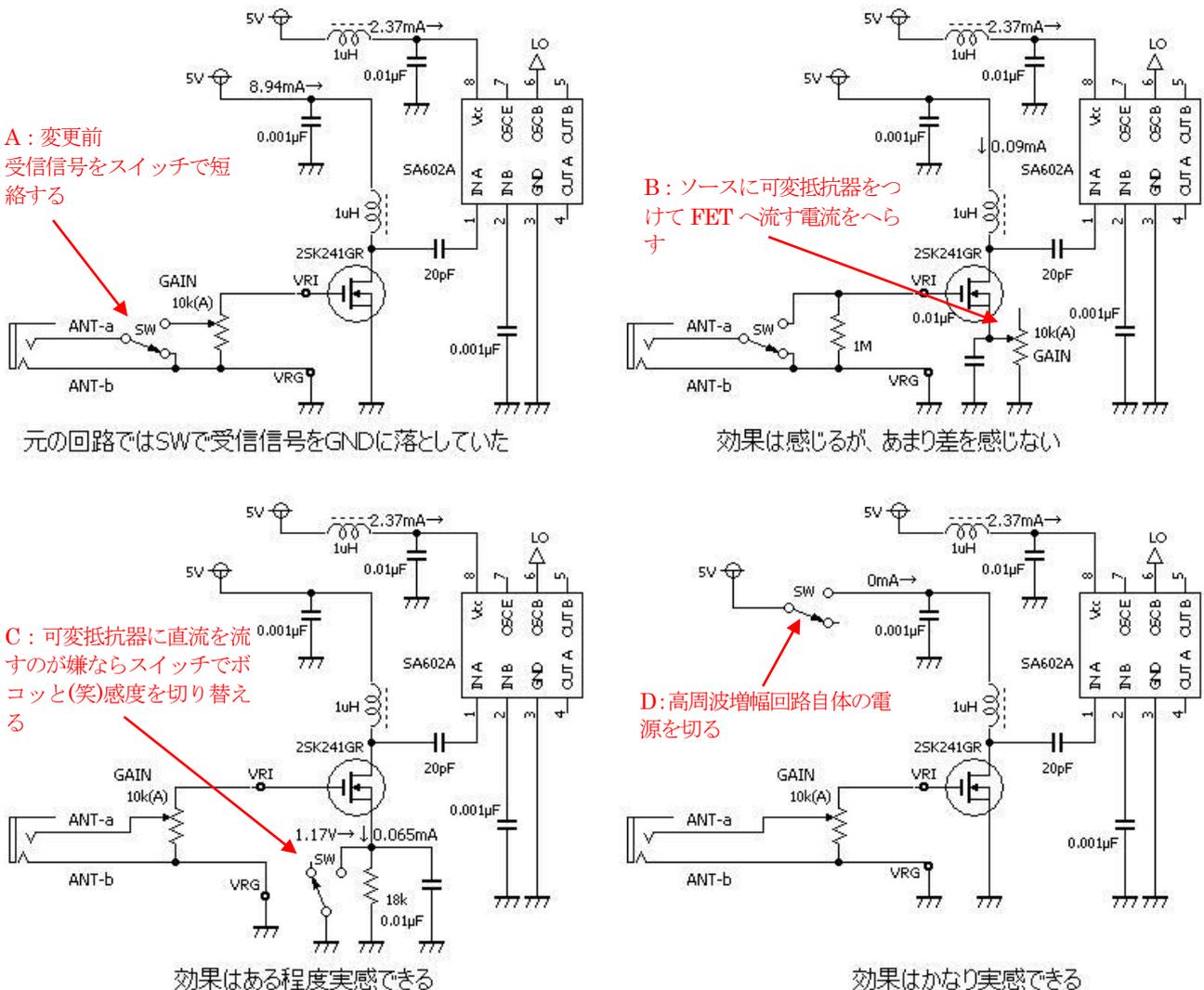


図 69 感度ダウンの方法

元々、感度を一気に落とす方法として受信信号を短絡させてしまう方法を使っていた(前頁左上 A)が、”一気に”と言いながら、TX の近くでは感度ダウンが不充分だった。(苦笑)

受信信号をスイッチで短絡し GND に逃がしても 2SK241 を使った高周波増幅回路は組まれたとおりの増幅率で動作していて、アンテナから入ってきた受信信号のモレが受信機のケース内を飛んで、高周波増幅回路に入ってしまうと、それなりに増幅されて感度が絞れないようで・・・。

そこでメーカー機で使われている素子のバイアスを調整して感度を落とす方法(前頁の右上 B)として感度調整に使っていた 10k オームの可変抵抗器をそのまま FET のソースへつないで電流を調整してみることにしたが、可変抵抗器の抵抗値を最大の 10kΩ にして電流が約 9mA から約 0.1mA に減らしたにもかかわらず元の回路よりマシという程度で、もっと電流を減らさないといけないか・・・と思った。

個人の回路設計の趣味として可変抵抗器になるべく直流電流を流したくない(抵抗値を減らしてゆくと 9mA ほどの電流が可変抵抗器内の抵抗体と摺動子(可変抵抗器の可動接点の部分)一部を流れることになることが好ましくないと考えているから)という思いがあったので、スイッチと固定抵抗で感度を切り替える方法(前頁の左下 C)を試してみた。

固定抵抗の値は手持ちにあった 18kΩ をつないでみたが、可変抵抗器で電流を抑えた時より効果は実感できた。

そこで、思ったのであるが、ソースに 18kΩ もの抵抗を入れて電流を約 0.065mA まで抑えて利得を抑えることを考えるなら、思い切って高周波増幅回路を OFF にしてしまったらどうか? 電流を限りなく 0(ゼロ)にするのと OFF にしてしまうのと、あまり変わらないのと違うか? いや OFF にしたら一番効きが良いような・・・。

しかし、2SK241GR の特性としてソースに抵抗を入れてゲートの電圧を下げたとしても、ソース抵抗を 10kΩ からさらに大きくしても、そう変わらないような気がしたが、高周波増幅回路の電源 ON/OFF を試してみた(前頁右下 D)。

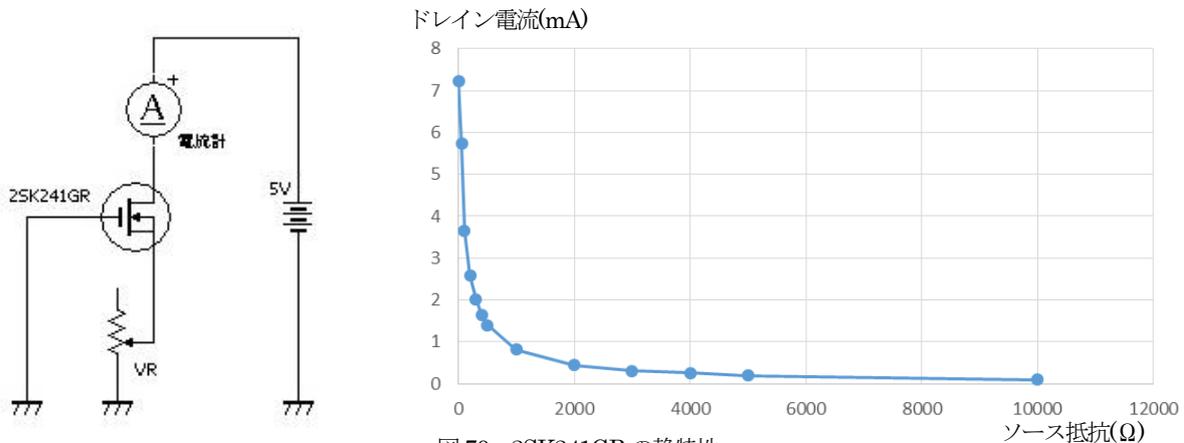


図 70 2SK241GR の静特性

一気に感度を落とす方法は高周波増幅回路を OFF にするのが一番効果を大きく感じたが、この方法は邪道かも知れない。(苦笑)物理的な部品配置や配線の引き回しで変わってくるように思うから。

電源を切る方法を一番最後に試したのは理由がある。試作受信機は電源の安定化に 78L05 というレギュレータ IC を 1 個使っていて負荷電流はすべての回路を動作させた状態で 24mA 程度。2SK241GR だけで約 9mA の電流が流れているということは感度切替をするたびに負荷電流が倍半分とまで行かないもののボコボコ変化する。その影響が局部発振周波数に変化を起こさせないか心配だったから。発振回路の周波数安定の条件として電源電圧の安定化は基本中の基本のはず。

144MHz のトランシーバの SSB モードで局部発振周波数を聴いてみると確かに周波数は ON/OFF で音が変わるが 200Hz くらいの変化だろうか。FM トランシーバに自作の ID ジェネレータをつないで電波を出して受信してみた感じでは高周波増幅回路の ON/OFF を切り替えても周波数の合わせ直し無く受信できた。ARDF の競技で使われる AM の電波でどうかは、やってみないとわからないが。(笑)

プリント配線を変えずに高周波増幅回路の電源を ON/OFF できるように改造するには

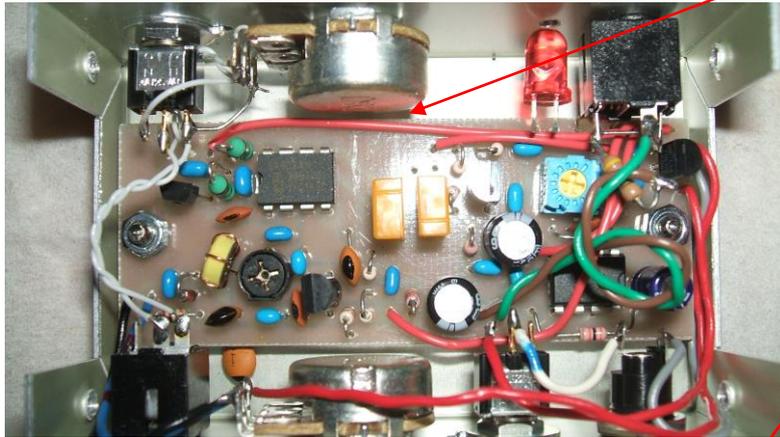


写真 13

SA602 と 2SK241 へ 5V を供給する配線を抜いて
(この写真ではこの赤の配線)

SA602 の 8 番ピンにつながっているリードインダクタの 5V 電源側を切断し (X の部分)

切断したリードインダクタ側に抜いた 5V の配線をつなぐ。

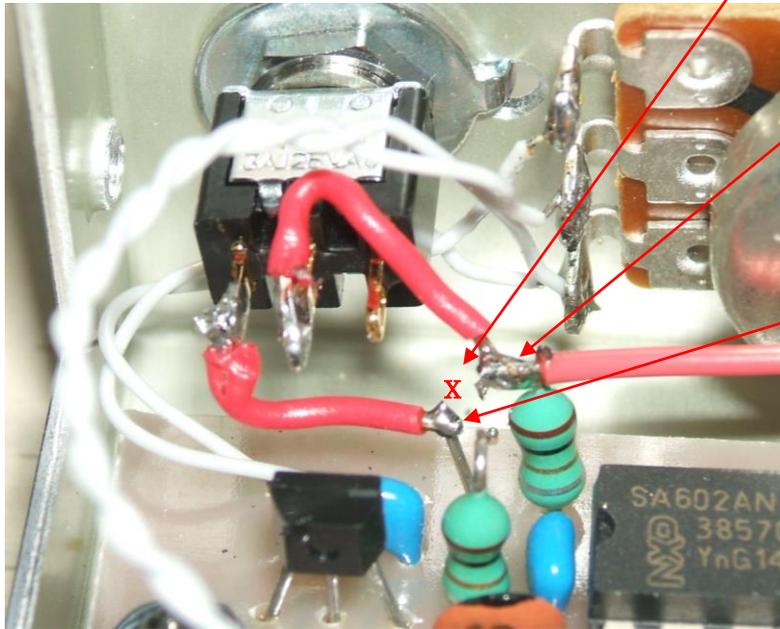
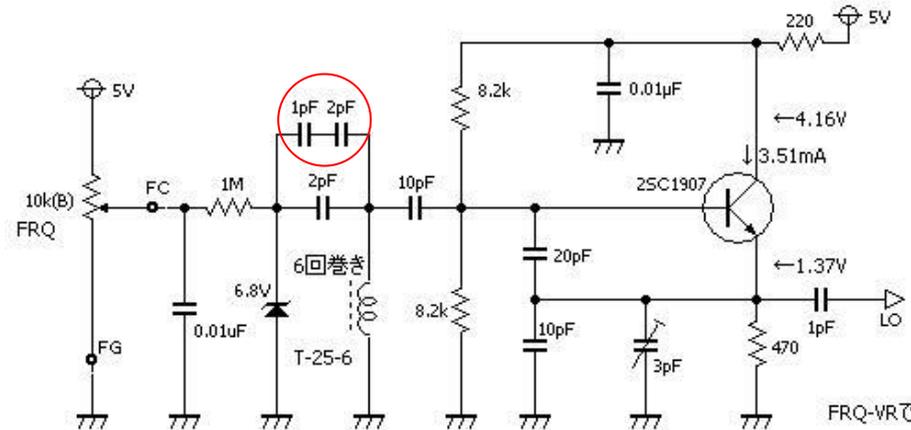


写真 14

さらに、その 5V の電源を SW を通して、先ほど切断したリード線のプリント配線側へつなぐ。こうすることで SA602 には常時 5V が供給され 2SK241 には SW の ON/OFF で 5V の供給を入り切りできる。

②局部発振周波数の合わせ込み

局部発振回路のコイルにつながっている 2pF のコンデンサに基板の裏側で 1pF のコンデンサを並列につなぐと局部発振周波数が低すぎることがあったので、1pF のコンデンサに 2pF のコンデンサを直列接続したものを基板の裏側でつないで合わせ込んだ。○の部分。



○のコンデンサのは 1pF と 2pF を直列にする以外に 1pF を 2 個直列にするなどカットアンドトライが必要になるかも知れない。

図 71 周波数の合わせ込みはカットアンドトライ