

7MHz 用 1 石再生検波ラジオの試作 (試作 1 号機)

※記憶と再確認等で書いてみました(笑)



2025 年 11 月 14 日

JR5HJJ

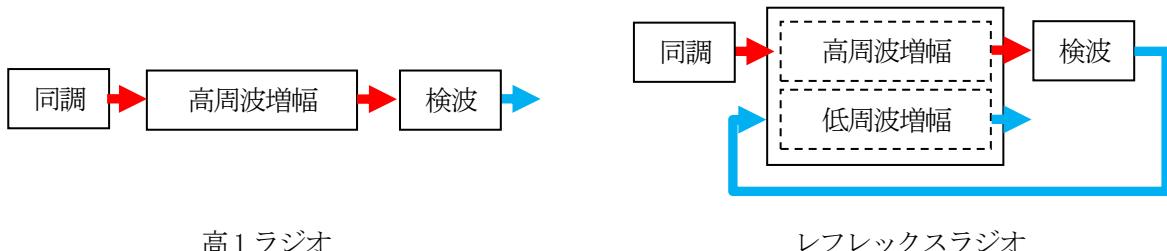
ホームページ <http://wwwb.pikara.ne.jp/potter-2005/>

電子メール jr5hjj@jarl.com

■再生検波ラジオとは・・・

トランジスタ1個で中波のAMラジオを作るなら高周波増幅1段+ダイオード検波の高1ラジオか、1個のトランジスタで高周波増幅と低周波増幅+ダイオード検波のレフレックスラジオを考える。高1ラジオもレフレックスラジオも高周波増幅を行うので感度は悪くないだろうし、電波の強い地域であればバーアンテナだけで受信できるだろう。高周波増幅無しでトランジスタ検波(略してトラ検)・・・という方法もあるが高周波増幅のあるラジオにくらべて感度が低く補助的に外部アンテナが必要で受信に難あり、という感じがする。

図の矢印：→=高周波信号、←=低周波信号



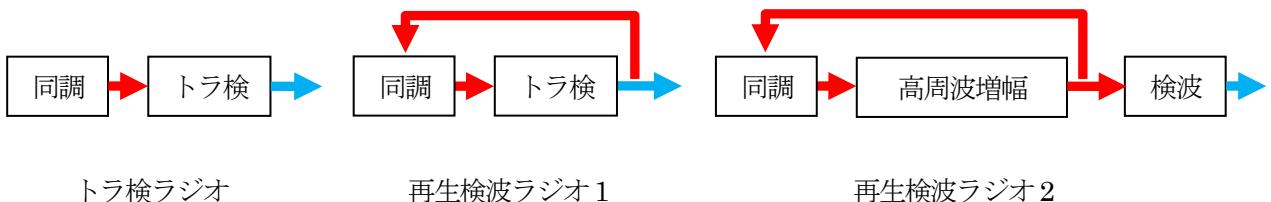
トランジスタ1個または2個を使った短波ラジオの製作記事ではBJT(バイポーラジャンクショントランジスタ)を用いた記事よりFET(電界効果トランジスタ)用いたものが多いように思う。遠くの弱い電波を聴くには同調回路につながる増幅回路の入力インピーダンスを高くできるFETを使った方が感度・選択度ともに有利だからだろうか・・・。

1個のトランジスタで増幅できる能力は限界があるので増幅した信号を、もう一度増幅回路の入力へ戻せば1個の増幅回路で好きなだけ増幅できると考えた人は歴史上たくさんいた(笑)と思う。しかし、増幅した信号を入力側へ戻して再度増幅すると目的の信号やノイズが何回も増幅回路を通って出力できる限界に達するまで増幅された後は、その状態が続くので発振した状態になってしまう。そこで増幅した信号をもう一度増幅回路の入力へ戻す時に発振しないよう戻す信号の強度を調整すれば発振させずに大きな増幅がされることになる。

再生検波は“検波”と名前が付いているのでトランジスタ検波(略してトラ検)の出力に含まれる高周波成分を入力側へ戻して高周波信号を大きくすることによって感度をアップし検波効率を大きくするもの(下の図の再生検波ラジオ1)と認識しているが、再生検波についてネット検索していると、高周波増幅した後、ダイオードで検波している事例があった。それは高周波増幅の出力を出力側のダイオードへ送って検波すると同時に入力側へ戻すという構成だった。(下の図の再生検波ラジオ2)

再生検波ラジオは発振一步手前または弱い発振状態で使用するので、回路の状態としては、やや不安定な状態で使用する。受信周波数を大きく変えれば、回路の周波数特性により状態が変わるので、そのたび調整が必要と考えている。

図の矢印：→=高周波信号、←=低周波信号



再生検波は先に述べたように発振一步手前または弱い発振状態(軽い発振と表現する人もいる)で高感度を得ているため何か回路の状態が変化して強く発振を起こすと受信不可となる。そこで発振一步手前または弱い発振状態を安定して?得るために考えられたのが超再生検波。意図的に非発振状態と発振状態を繰り返すクエンチングを行うと非発振状態と発振状態を往復する途中で必ず発振一步手前または弱い発振状態を通過するので高感度が得られる、ということらしい。詳しくはネットで調べてください。(笑)

■事の始まり

昔の？JARL 徳島県支部の製作技術講習会では市販の電子工作キットやクラブ局・個人等で開発したキットを教材として2月頃開催し、参加対象は既にアマチュア無線を楽しんでいる大人であったと思う。

近年(2021年～2025年)ではコロナ禍の影響もありZoomを使って製作をお題とした座談会を開催した他、後には参加対象に小中学生や初心者？を意識した電子工作のキットや教材を用意し8月開催としている。

科学離れ理科離れの影響か市販の初心者向けのキットは以前より減少しており、教材として価格の割には内容に納得行くもの（教材として使いたいと思えるもの）が無くなり、楽しめそうなキットや実用的なキットはある程度電子工作や無線に対し知識経験を必要とするものが少しうまっているというイメージがある。

初心者向け教材としては電子工作や無線に興味関心を持つてもらうことが最優先であると考えるし、既に電子工作や無線に興味関心を持っている人であれば、作って実用となるものや當時は使わなくても後々実験の他何かの機会に使えるもの等が良いと考えている。また費用対効果も考えたりしている。

製作したものを後々使おうとすれば、なるべくケースに収納した方が良いと思う。しかし価格の安いキットではケースが付いていないものが多く講習会でケース加工まで実施しようとすると簡単なものに限られる。

2023年の講習会は市販のFMワイアレスマイク・FMラジオ・CWトランシーバの各キットをケース無しで用意した。同じケースをキットに添付するより好みのケースを用いた方が良いという判断であったが、参加者全員がケース加工に必要な工具を所有しているわけではないので、教材に加工済のケースやシャーシ・パネルを添付するか、未加工のケースやシャーシ・パネルを添付し講習会の中でケースやシャーシ・パネルの加工を済ませないと、作品を持ち帰った後使用するのが難しいのではないかと感じた。

2024年の講習会は市販キットを使わないゲルマラジオを教材として100円ショップで購入したシンプルなケースを材料に添付し、講習会の中で回路製作・ケースの穴あけ加工・回路をケースに収納などを行い、講習会当日に放送を聴くところまで実施した。初心者にとっては、なんだ作業は難しくなくともケース加工のドリルやリーマー等の使用はハードルが高そうであった。添付したケースについては、好みの違いが意見として寄せられたが使用・保管・安全性等考えて選定したので、それで良かったと認識している。

ちなみに2024年に市販キットを使わないゲルマラジオを教材とした理由は、AM放送廃止の計画が進んでいくが、完全に無くなるわけではなく今後も地元で受信できること。1日の講習会の中で回路組立からケース加工も含めて実習が可能と判断したこと。市販キット(特に外国の格安のキット)に頼ると添付部品の故障・破損・不具合・誤りに備えて予備を何個も仕入れておく必要があること。予告なくキットに変更があったり添付部品の仕様が不揃い(機構部品や抵抗の規格が違うなど)で参加者が戸惑ったり機材準備が増えることがあり、それらを主催者側が事前に充分にチェックし把握するのが困難なこと。

ゲルマラジオは回路が簡単で基板無しに空中配線でも製作可能でケースに組み込めば使い勝手は悪くない。しかし毎回教材がゲルマラジオだけという訳にも行かない。2024年の講習会ではゲルマラジオと合わせてアマチュア無線が聴けるラジオを計画していた。再生検波またはダイレクトコンバージョンで受信に市販のステレオヘッドホンを使用する等考えたが小型化・簡略化・コストダウンも難しく試作に失敗し行事に間に合わなかった。

JARLの行事としてはゲルマラジオだけでは物足りない。かと言って再生検波やダイレクトコンバージョンの短波ラジオキットは市販品にあっても初心者や小中学生の夏休みの教材とするには高価で1日の講習会の中で完成させるのは困難と判断した。・・・やはりオリジナルキットを開発するしかないか・・・2025年の講習会では参加者に楽しんでもらいたいな・・・小中学生のころ読んでいた製作本やネット検索で見つかる情報を参考に考えてみることにした。

この記事は、部品本来の使い方でない部分等もあります。あらかじめご了承お願いします。

■教材について検討

① プリント基板を使う

個人の趣味でプリント基板を製作する時は自宅庭の水道を使っていたが蛇口が低い位置にあつたり製作中にしゃがむ姿勢の作業が多かった。自分が老いたせいか(苦笑)しゃがむことができなくなりプリント基板製作はあきらめて今後の電子工作はユニバーサル基板で・・・ということにしていた。

部品数が少ない簡単な回路であれば教材でもラグ板やユニバーサル基板で可能と思っていたが、参加者からラグ板は経験が無いし実体配線図が無いと不可、ユニバーサル基板では部品面とはんだ面のつながりが認識しづらいという意見があり講習会ではゲルマラジオをのぞきプリント基板が必要と認識した。

教材用のプリント基板を何枚か製作する場合、手間がかかる作業をボランティアで誰かにお願いするのは気が引けるし、基板を何枚も製作すると仕上がりの精度にばらつきが出たり手間に限界がある。そこで今回を機会に自分のスキルアップも兼ねてプリント基板製作をメーカへ依頼することにした。

② セラミックイヤホンを使う

市販のステレオヘッドホンが使用できれば教材にセラミックイヤホンを用意しなくて良い。しかし、市販のステレオヘッドホンを駆動させるには、ある程度低周波信号にパワーが必要で、おそらく低周波増幅回路が必要となる。セラミックイヤホンの駆動はサンスイのトランス ST-30 同等品やチョークコイルなど用いる回路が多いと思うがトランスやコイルは扱う店が限られる。また、小型化やコストダウンが難しくなる。

セラミックイヤホンであればトランスレスにして効率は落ちても何とか聴こえるのではないか。今回は小型軽量・簡略化・コストダウンを意識して抵抗 1 本により低周波信号を取り出すことにした。

③ チューニングはバリキャップを使う

市販のラジオだけでなく電子工作用のラジオキットも DSP 採用でバリコンの需要が減ったせいかバリコンを扱う店が減っていると思う。(2025 年現在、初心者向けキットを扱う店では入手可能)

自分が初めて短波用の再生検波ラジオを作ったのは中学生の時、チューニング後バリコンつまみから手を離すと受信周波数が変わってしまったような・・・手が離せない。(苦笑)ボディエフェクトと呼ばれる現象か。

今回、古い製作本やネットの記事を参考にしたが、バリコンを使用している記事が圧倒的に多い。しかし外国の記事では一部バリキャップを用いたものがあった。同調回路の Q を考えるとバリキャップよりバリコンが良いと思うが、時代の流れを考えるとバリキャップか。以前からオシレータの周波数設定にバリキャップの代用として定電圧ダイオードを流用しているので、今回も同様にやってみることにした。

④ トロイダルコイルを使う

FCZ コイル同等品の市販既製品コイルを使うと作業の効率は良いが、教材としては主にはんだ作業だけで終わるより、自分でコイルを巻くという作業を取り入れた方が良いと思った。中波用のコイルであれば巻き数が多く巻くのは大変であるが短波用であれば巻き数が少ない。トロイダルコアでもコイルの巻き数を変えてインダクタンスを調整できるし今後も入手難にならないと考えてトロイダルコイルを使うことにした。

⑤ BJT(バイポーラジャンクショントランジスタ)を使う

短波ラジオと言えば再生検波に BJT を使ったものより FET(電界効果トランジスタ)を使ったものや真空管を使ったものが多いように思う。遠く離れた送信所から届く弱い電波を選局し検波するにはインピーダンスの高い FET や真空管が都合が良いのだろう。しかし 50 年くらい前に自分が初めて手にしたラジオの製作本には 2SC372-O という BJT1 個を使った再生検波の短波ラジオが掲載されていた。この頃は FET があまり使われて無かったのかも知れない。多くは無いが外国の再生検波の製作記事で BJT を使った回路も見つかった。そこで入手しやすい BJT を使うことにした。※FET を使った方が結果は良いかも知れないが・・・。(苦笑)

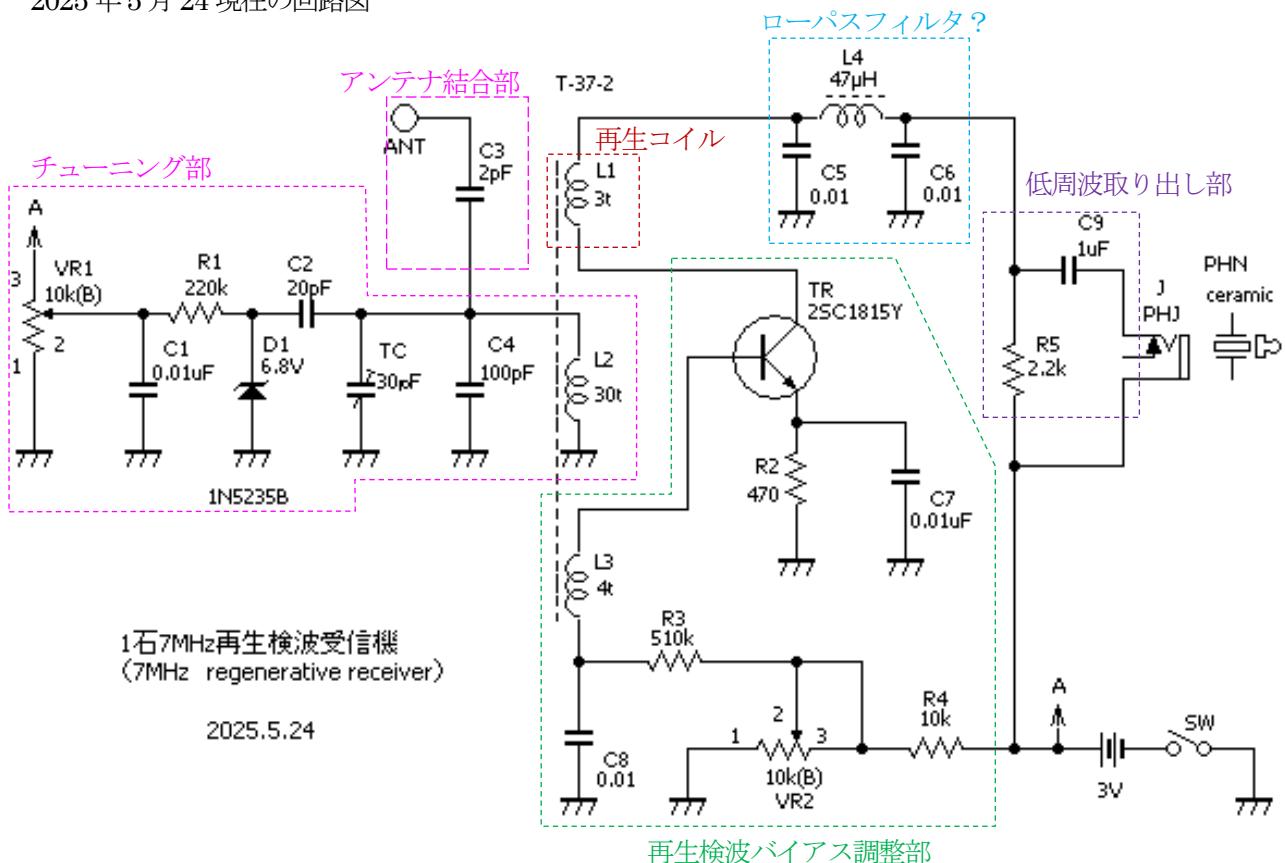
⑥ 1 石にする

今回は 1 石にこだわった。(苦笑)「トランジスタ 1 個でこういうことができる!」という設定が教材としてはおもしろいのではないかと思った。1 石の局部発振器+ダイオードミキサ(バランスドミキサ)という構成も考えたがラジオとしての感度も少しは欲しい・・・と考えて 1 石再生検波とした。

持っていた古い製作本の中に 1 石の短波用再生検波ラジオの記事があつて大電力の海外向けの放送が受信できると書かれていたが、そうでないアマチュア無線が聴けるのか・・・どうだろう・・・やってみることにした。(笑)

■回路図

2025年5月24現在の回路図



■実験メモ

●チューニング部

今後バリコン入手難も考えられるためチューニング用の素子としてダイオードを使うことにした。今まで自作VCOで使った方法。D1は定電圧ダイオードをバリキャップの代用として使った。

以前試した実験で6.8V500mWの定電圧ダイオードで電圧をかけない状態では静電容量は50pF程度と思われる。VR1でダイオードD1に加える電圧を調整するとダイオードD1の端子間の静電容量を変えられる。電池の電圧をVR1で分圧しD1へ加えているため、電池が消耗し電圧が下がってくるとD1に加わる最高電圧が下がり受信できる最高受信周波数も下がってくる。(チューニングできる範囲が狭くなる)

受信周波数の調整方法はVR1とVR2を左いっぱいにまわして電源をONにする。VR2を少しづつ右にまわしイヤホンから「ギヤー」と発振音が聞こえたらVR2少し左に戻し「ギヤー」という発振音が聞こえないところでVR2を止める。イヤホンから「ギヤー」という発振音が聞こえていてラジオから高周波信号が出ているため、これを利用して同調回路の共振周波数を調べることにした。

再生検波ラジオのANTを周波数カウンタにつないで高周波信号の周波数を直読したりスペクトラムアナライザで調べることが可能かもしれないが、周波数カウンタやスペクトラムアナライザを持っていない人が多いと思う。そこで周波数カウンタやスペクトラムアナライザが無くても共振周波数を確認する方法としてバンドスコープ?の付いているトランシーバを用いて調べることにした。

バンドスコープ?がついていないトランシーバでもSメータを頼りに高周波信号を探すのは可能だと思う。

トランシーバで6~8MHzくらいの範囲で強力に受信できる無変調の信号を探してみた。先に弱い発振状態と書いたが、遠くから飛んでくる電波のエネルギーに比べるとはるかに強い信号になる。

ラジオから出ていると思われる信号を見つけたらVR1を回して周波数が変化すれば、その信号がラジオから出ている高周波信号だと思われる。結果は次ページのとおり。

再生検波ラジオのアンテナとトランシーバ IC-705 のアンテナコネクタを同軸ケーブルでなく 1 本の電線で接続してスペクトラムスコープを用いて共振周波数を確認してみた。

IC-705 アンテナコネクタ



再生検波ラジオ
アンテナ端子



VR2 が左いっぱいの時。
正帰還(再生)が効いていないのでトランシーバの周波数ダイヤルを回して探してもスペクトラムスコープには何も現れない。



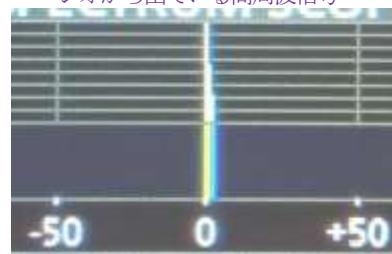
VR2 を右へ回して行くと正帰還(再生)が効きはじめ、弱い発振状態になる。スペクトラムスコープで弱い発振が確認できる。

左の写真は VR1 を左いっぱいにまわしてトリマコンデンサで最低周波数を 7.03MHz に合わせたもの。トランシーバからは「ピー」という発振音が聴こえる。

信号強度は S9+10dB くらい。
S メータは振り切れていない。

拡大写真

0 のすぐ右の水色の縦線が再生ラジオから出ている高周波信号



さらに VR2 を右へ回して行くと正帰還(再生)が過大になり再生検波ラジオのイヤホンから「ギヤー」という発振音が聞こえる状態になる。スペクトラムスコープで帯域の広い信号(200kHz 超)が表示されトランシーバからは「ザー」という音が聞こえる。信号強度は S9+30dB くらい。
S メータは振り切れていない。

スペクトラムスコープを使って受信周波数がどのくらいになるか確認・調整してみた。

L2を30回巻きにした時、確認できた周波数は

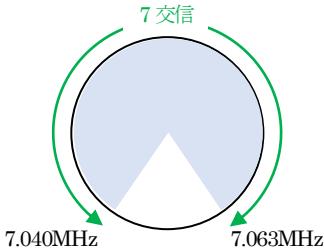
C2が10pFでVR1を左端にしてTCで7.040MHzに合わせVR1を右端に回すと7.063MHz。スパン23KHz。

C2が20pFでVR1を左端にしてTCで7.020MHzに合わせVR1を右端に回すと7.075MHz。スパン55KHz。

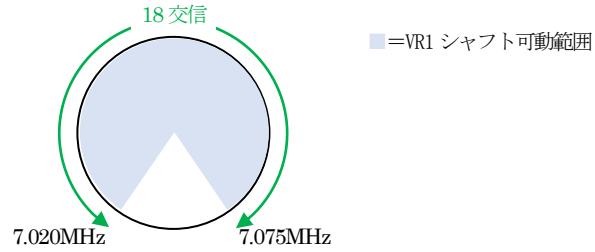
このくらいが良いかも。

あまり範囲を広げてもチューニングしづらくなると思うのでC2は20pF以上に増やさなかった。

VR1の可動範囲内で23KHzということは
1交信占有帯域幅が3KHzとすれば $23 \div 3 = 7$
計算上調整範囲内に最大7交信が入る



VR1の可動範囲内で55KHzということは
1交信占有帯域幅が3KHzとすれば $55 \div 3 = 18$
計算上調整範囲内に最大18交信が入る



最大7交信とか18交信という数字だけ見ると調整範囲の広い方が良いイメージがあるかも知れないが可変抵抗器のシャフトの回転角度は■の範囲で約300度。受信する交信がCWの場合は周波数がずれても聴こえる音の高低が変わるくらいで音の断続は認識できるがSSBの場合はわずかにずれても聴き取れなくなるので調整が難しくなり欲張らない方が良いと思う。(笑)

受信周波数の安定度は思ったより良かった。受信していてほとんど変動を感じない。今回C2とC4はNP0の温度補償コンデンサを使った。毎回製作でコンデンサやコイルの温度特性は気にしている。

短波ラジオの同調コイルは空芯コイルにしてあるものが少なくないと思う。今回コイルは小型化のためトロイダルコアを使用したので温度係数は空芯コイルに比べてプラスになる。

●アンテナ結合部

C3について製作本やネット検索で調べると、静電容量を大きくすれば感度アップするが、大きくし過ぎるとアンテナ側の影響が受信周波数や再生検波に影響して不安定になるらしい。これはC3を通さずアンテナをチューニング回路に直結したりアンテナ線の長さを変えて実験すると何となく感じた(笑)。

どういう感じかというと・・・アンテナをつながずVR2を右にまわして行くとアンテナをつないだ時より早い段階で「ギヤー」と発振音が聞こえ始める。理由を考えてみたが、再生検波の正帰還でチューニングの回路に流れているエネルギーがアンテナから出て行かない分、早い段階で「ギヤー」と発振を起こしやすくなつたのではないかだろうか。C3を通さず直接長いアンテナ線をチューニングの回路へつなぐとVR2をかなり右へ回さないと「ギヤー」と発振しなかつた。

アンテナ線の長さや張り方によって再生検波ラジオから見たアンテナ側の特性が違つてくるのだろう。C3の静電容量が大きいほどアンテナ側の影響が大きくなるとすれば、屋外に張ったアンテナ線が風で揺れると、VR2の「ギヤー」と聴こえる位置が多少変わるものだろうか。C3を省略したりC3の容量を大きくし過ぎるとアンテナ線の長さや張り方によって共振周波数がずれるということもあるのだろうか。

では実際にC3はどのくらい大きくできるだろうか・・・・。

持っている製作本の中に「カップリングコンデンサは共振用コンデンサの1/10とする」という記述を見つけた。しかし実際には1/10以上の容量にしている記事もある。今回TCの調整にもよるが共振回路のコンデンサは120pF前後になる。ちなみにネット検索した記事の一例では4~13MHz受信の再生検波ラジオで3~10pFのバリコンとなっていた。

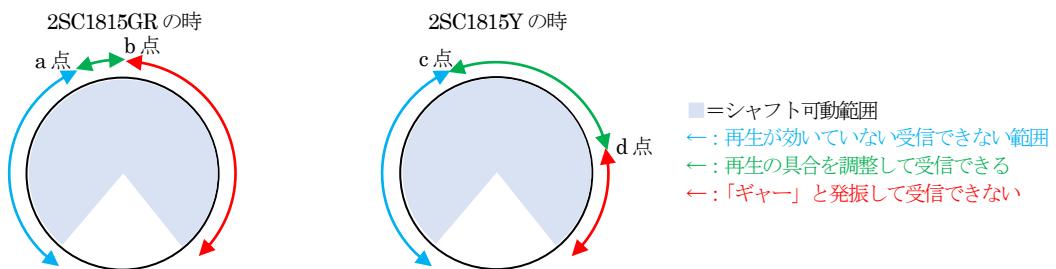
では、なぜ今回、試作機でC3を2pFにしたか・・・。今回7MHz受信で10pFは大きいと思ったし10pF未満の手持ちが2pFだったため。(苦笑)教材は3pFか5pFを用意しようかな。(苦笑)

●再生検波バイアス調整部(もっと他に良い表現があるかも知れない)

再生の効き具合はVR2で調整する。再生が効き始めるVR2の角度の判断は再生検波ラジオを調整しているとわかる。VR2をゆっくり右へ回して行くと放送や交信が聴こえなくても「ん?何か聴こえる」という感覚でわかる。トランシーバのバンドスコープ?やSメータで確認すると実際には耳に聴こえる前から弱い発振が始まっている(バイアスが効いて受信可能な状態になっているはず)ことがわかるが、再生検波ラジオを使う時は耳で聴きながらVR2を調整するので再生が効き始める角度というのは耳で聴いた角度で判断しても良いように思う。この辺が再生検波ラジオを扱う醍醐味のような気がする。

再生検波で使用するトランジスタは電流増幅率 hfe は大きくない方が良いかも知れない。データシートでは2SC1815GRのhfeが200~400、2SC1815Yのhfeが120~240となっている。部品箱にあったトランジスタのhfeをいくつか測定してみると2SC1815GRで320、239、261、339、260、323、254、333、333等、2SC1815Yで173、197、167、169、174、214、194、172、164等だった。

トランジスタに2SC1815GRを使った時の再生が効き始める角度をa点、と「ギャー」と発振してしまう角度をb点、2SC1815Yを使った時の再生が効き始める角度をc点、「ギャー」と発振してしまう角度をd点として調整具合を比較してみた。2SC1815GRではa~c間の角度差が小さくVR2の調整が難しい。2SC1815Yではc~d間の角度差が大きいためVR2の調整が楽だった。



数十年前の1~2石ラジオの自作といえば2SC372-Oがよく使われていた。2SC372-Oのhfeは70~140らしい。当時、他に使われていたと思われるトランジスタでは2SC183でhfeは80程度、2SC668でhfeは60以上となっているようで、近年よく使われた2SC1815と比べると増幅率は低い。

ネットで「2SC1815はGRでなければいけないんだよ!」みたいな(笑)記事を読んだことがある。増幅率の大きいトランジスタは、いろんな面で有利な様で、ラジオを作ればGRの方が感度が良いと書いてある記事もあるが、安定動作の視点から見れば必要以上に増幅率が大きいというのはマイナス的一面もあるようだ。

VR2を回しながらR5の両端の電圧を測ってコレクタ電流を計算してみた。c点を過ぎたところで160mV/2.2kΩ=0.073mA、d点を過ぎ「ギャー」と聞こえたところで365mV/2.2kΩ=0.165mA、VR2を少し左へ戻して「ギャー」が止まったところで279mV/2.2kΩ=0.127mA。電流が極めて少ないので測定誤差の方が大きいかもしれない。

再生検波の再生の効き具合の調整について「発振直前に調整！」と書いてある記事は少なくないと思う。

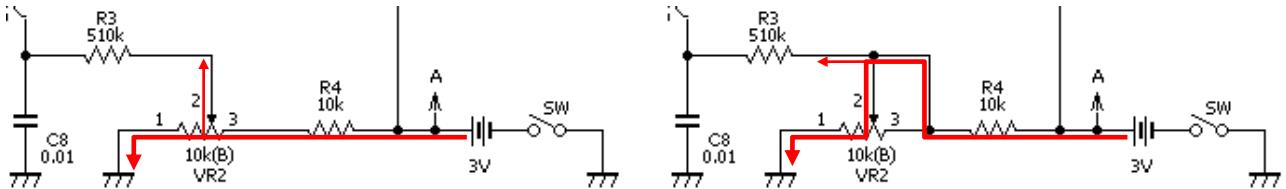
VR2の調整位置は、発振直前のb点やd点のわずかに左が良いかといえば必ずしもそうでもないようで、アンテナから入ってきた信号強度が弱い場合はVR2の調整位置はもう少し a点やc点に近い方が音は小さくても聴きやすいように感じたことがある。また、a~b間、c~d間でよく聴いているとb点やd点に近づくにつれ音量はあまり変わらずノイズが増えただけのように感じたことがある。そう思っただけなのかも知れない。(笑)発振直前で最高感度が得られるように書いてある記事が多いと思うが聴き易さや受信音を考えると必ずしも発振直前に調整するのが良いとは言えないのではなかろうか。音が大きくて聴けないと使えないでの。

でも再生の効きが小さく音が小さすぎると、使えないし。(苦笑)でも、これも醍醐味のひとつだろうか。

バイアスの調整はR3、R4、VR2の値が大きく影響すると思う。R3、R4を小さくするとVR2を回した時にトランジスタに流れるバイアス電流の変化が大きくなり調整はしづらくなると思う。R4に対しVR2を大きくしてもVR2を回した時にトランジスタに流れるバイアス電流の変化が大きくなり、同様に調整はしづらくなると思う。VR2で再生がかかり始める角度と「ギャー」と発振してしまう角度の差を大きくとれるよう定数を決めればよいのだろう。

R3 は VR2 や R4 に比べて抵抗値が大きいので電池から流れてきた電流は大部分が R4 と VR2 を通り、一部が R3 を通してトランジスタのベースへ流れる。

下の図の左側のように VR2 の 2 番端子と 3 番端子を接続しなくても VR2 を調整すれば R3 を通してトランジスタのベースへ流す電流を調整できるのでラジオとしては接続しなくとも動作する。しかし、今回、下の図右側のように 2 番端子と 3 番端子を接続している理由がある。



可変抵抗器のメーカの記事では可変抵抗器に電流を流して使用する場合は 2 番端子は電流が矢印の方向へ流れるように使わないと使用環境によっては、摺動子と抵抗体の接触部で陽極酸化現象が生じ、抵抗体が損傷することで、抵抗値が局部的に高くなることがあるらしい。それを意識して今回 VR2 では 2 番端子と 3 番端子を接続し摺動子の矢印の方向へ電流が流れるようにしている。

製作記事で時々可変抵抗器の矢印と逆方向に流れる使い方をしている例を見るが、電流が少なければ意識しなくて良いのかもしれない。2 番端子に最大(VR2 を右いっぱいにまわした時)どのくらい電流が流れるか・・・トランジスタのベースエミッタ間の電圧が 0.6V として電池の電圧 3V から差し引いて・・・ $(3V - 0.6V) / (10k\Omega + 510k\Omega + 470\Omega) \approx 0.0046mA$ くらいだろうか。このくらいなら気にしなくて良いかも知れない。(苦笑)

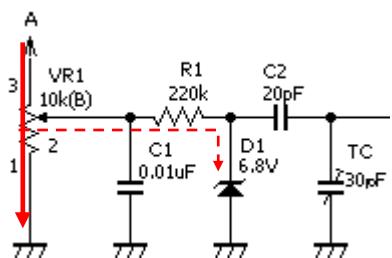
トランジスタの個体差だろうか・・・R3 を 510kΩ にして「ギヤー」と発振しないケースがあつて 220kΩ にしたことがあった。この場合は $(3V - 0.6V) / (10k\Omega + 220k\Omega + 470\Omega) \approx 0.01mA$ くらいだろうか。

後に R3 を 220kΩ にしても「ギヤー」と発振しないケースがあつて再生検波ラジオの「ギヤー」と発振するかしないか帰還量について調べると一般にはバイアスで決まるというよりは再生コイルや帰還量を調整する再生バリコンで決まるように思った。今回試作した回路では L1 や C5 で決まると考えた方が良いのだろう。

ネット検索で出てきた製作記事によれば R3 にあたる抵抗が 10kΩ 程度になっている回路があつた。この場合は $(3V - 0.6V) / (10k\Omega + 10k\Omega + 470\Omega) \approx 0.1mA$ くらいだろうか。

今回 NPN トランジスタを使用しているので、このようなことを書くが PNP トランジスタを使用する場合は電流の方向が逆になるので、このような問題は考えなくて良いと思う。

では、チューニング部の可変抵抗器はというと・・・



チューニング部の VR1 は左の図のように D1 にかかる電圧を分圧調整する目的で使用している。A は電池のプラスに接続されていて電流の大部分は 3 番端子から 1 番端子へ流れる。D1 に用いた 1N5235B の規格表を見ると逆方向漏れ電流 I_R は 5V で $3\mu A$ 、よって 2 番端子にはほとんど電流が流れない。

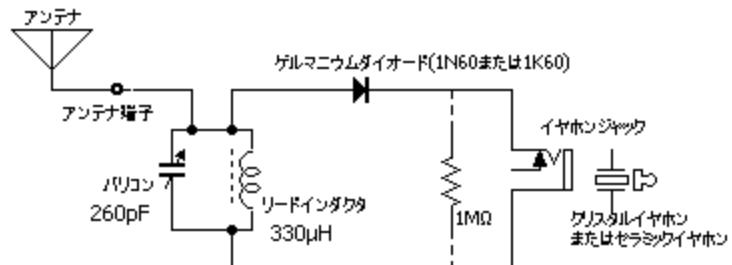
摺動子の矢印と逆方向に流れる電流 \rightarrow は微弱であるため OK とした。(笑)

L3 の巻き数はいくつかの製作記事を参考に決めた。4 回前後になっているものが多いようだ。最適な巻き数があると思うが 5 回以上巻くと再生が効き始めてから「ギヤー」と発振してしまうまで VR2 の受信可能な角度差が小さかったので実験の結果 4 回にした。

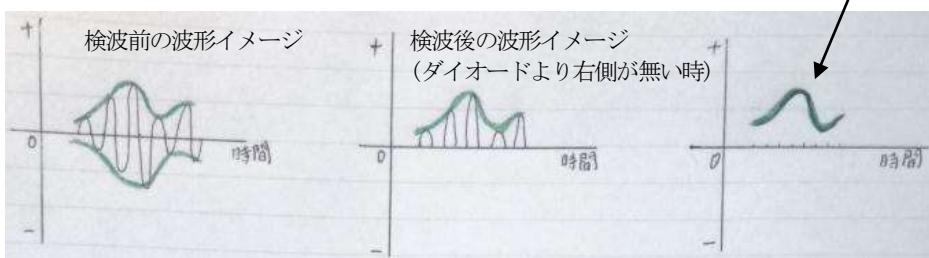
再生の効き具合というのはコイルの巻き数以外に回路構成、使用するトランジスタ、その他・・・いろんなものが影響し合うようで、再生検波を用いた製作事例をネット検索すると、ハマった人もいれば(笑)どこかで妥協したり、あきらめたりした人もいるようだ。

※検波について

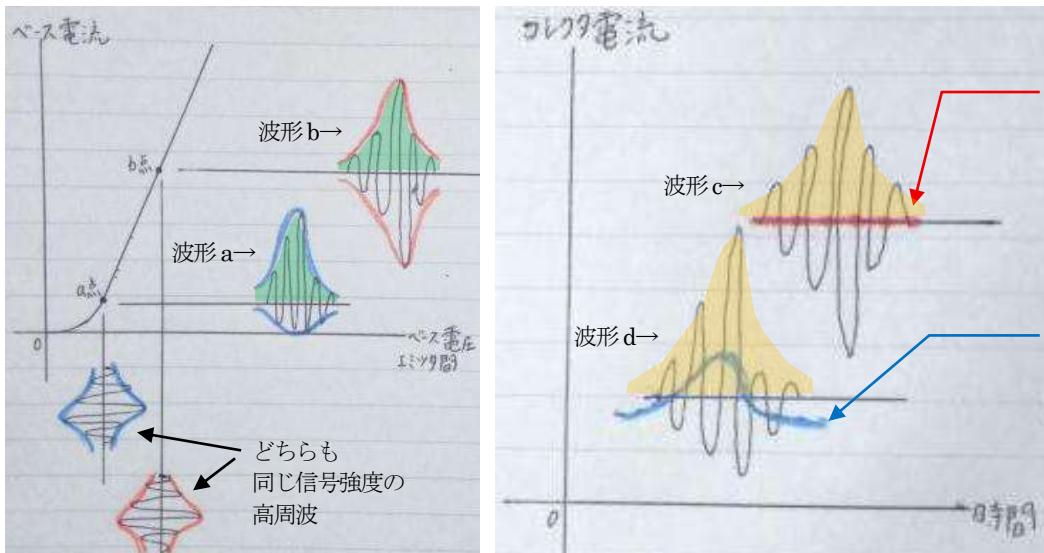
下の図はゲルマラジオの回路の一例。イヤホンと並列接続される抵抗が省略されている製作記事や市販のキットもある。実際にゲルマラジオを作つてみると 500k Ω 前後の抵抗を接続した方が音がまろやか(笑)になり良いこともわかつた。古い記事では抵抗と並列にコンデンサを接続していたような記憶がある。現在コンデンサ接続を見かけないのはクリスタルイヤホンよりセラミックイヤホンの静電容量が大きいからだろうか。



ダイオードから右側の信号は純粋な低周波(交流)ではなく常時プラス側かマイナス側に偏っていて直流が重畠されているが直流重畠の信号でも聴くことができれば、それでOK(笑)ということだろうか。



さて、トランジスタ検波について・・・ネット検索すると下のような図のことらしいが・・・。
受信電波が弱い時に動作点を a 点に調整すればベース電流は波形 a のように上下が非対称になるらしい。
受信電波が弱い時に動作点を b 点に調整すればベース電流は波形 b のように上下がほぼ対称になるらしい。



コレクタ電流はベース電流の波形がそのまま大きくなつたイメージ。
コレクタ電流が波形 c の時は電流の平均値(赤い線)がほぼ一定なので検波できない。(検波でなく高周波増幅している)
コレクタ電流が波形 d の時は電流の平均値(青い線)を取り出すと検波できるらしい。(笑)

動作点が a 点でも b 点でもベース電流の上の半サイクル(■の部分)の電流の変化は波形 a 波形 b ともほぼ同じ。ということは動作点を変えてもコレクタ電流の上の半サイクル(■の部分)の電流の変化は波形 c 波形 d ともほぼ同じ、検波出力はトランジスタの hfe で決まる、ということだろうか・・・。

トランジスタ検波ではベース～エミッタ間の PN 接合でゲルマラジオのダイオード同様にプラスまたはマイナスの半サイクルを取り出し検波すると簡単に書いてある記事もあるが図を見ていると、そう単純でないようだ。

今回試作した再生検波ラジオではトランジスタ検波した信号に含まれる高周波成分を正帰還させるという認識であるが、元々受信した信号が弱くても、正帰還により検波対象の高周波が元々受信した信号より大きくなっているとすれば、ある程度ベース電流を流しても検波できるように思うし、受信した信号が微弱であればベース電流を減らさないと検波できない(発振直前までベース電流を増やすと検波できずに増幅されてしまう)のではないか?等と考えていると受信信号の強度に合わせた最適な動作点があるのだろう、と思った。

●再生コイル

ラジオを作るときにチューニング(選局用)に使うコイルであれば、だいたいAMラジオで $330\mu\text{H}$ だとか・・・使用するバリコンの静電容量との組み合わせでインダクタンスが決まってくる(使用するバリコンというより使う部品の定数には使う場面で、だいたい適切な値がある)と思う。

再生コイル L1 は何回巻けば良いだろうか・・・作って期待通り動作させるには必要な場所に適切な部品を使う必要があると考えているが、自分自身それを判断するノウハウ・知識を持っているかといえば、そうではない。製作本を読んだりネット検索を参考にして再生コイル L1 を何回巻くか考えた。

再生コイル L1 の巻き数は最初 4 回にしていた。「再生コイルの巻き数を調整してみてください」と書いてある記事をいくつか見たし、同じような回路構成(再生コイルがコレクタやエミッタに直列接続されるような構成)では「再生が強く効くので巻き数を減らした」と書いてある記事も見た。再生コイルには大きな電流が流れるので効き具合の影響が大きいのだろう。とりあえず 4 回巻いて効き過ぎな様であれば減らすか。

トランジスタに 2SC1815GR を使うとコイルの巻き数や VR2、R4 等定数を調整しても VR2 の調整で再生が効き始めてからすぐ「ギャー」と発振するまでの余裕が少なく感じた。 h_{FE} の小さいトランジスタが使いやすいのかも知れないと考えて 2SC1815Y に変更し、さらに、L1 の巻き数を思い切って半分の 2 回にしたり等、いじっているうちに VR2 を右いっぱいに回しても「ギャー」と発振しなくなってしまった。(苦笑)

試行錯誤の結果、L1 の巻き数を 3 回にすると再生が効き始めて「ギャー」と発振するまでに余裕ができるで再生の効き具合を調整し易いと判断し L1 の巻き数を 3 回にしてある。妥協したというべきか。(苦笑)

●ローパスフィルタ?

今回試作した再生検波ラジオは古い製作本やネットに掲載されている記事を参考にしている。そうでなくてもだいたい同じことをやろうとすれば似たような部分は当然あると思う。(笑)いくつかの記事ではローパスフィルタ?と書いた部分が $2\text{mH} \sim 4\text{mH}$ のコイルだけになっている回路もあった。

自分は、ローパスフィルタ?と書いてある部分を π 型のローパスフィルタで L1 側の高周波成分がセラミックイヤホンの方へ回り込まないようにするためにあると認識していた。もし違うとすれば C6、L4 は LC ローパスフィルタで C5 は充放電により L1 へエネルギーを供給するためにあるのか?と考えたことはあるが、この部分は C5、C6、L4 の 3 個の素子で構成する回路が良いと考えた。

ネットの記事を見ていると、C5 をバリコンにして帰還量調整用と書いてある記事もある。コンデンサ C5 の静電容量を増やすと高周波成分が再生コイル L1 でなく C5 を通して GND に流れる量が多くなるから・・・どこかに書いてあったと思うので・・・ならば C5 をはずすと一気に帰還量が増えるのだろうかとブレッドボードで実験中に C5 を引き抜くと「ギャー」と発振音が聞こえた。そういう。(笑)C5 を抜くと C5 を通して GND へ流れていたエネルギーが L1 を通るため帰還量が増えたのだろうか。確かに帰還量に関係あるらしい。(苦笑)

ローパスフィルタ?の部分は C5、C6、L4 を外して L4 の代わりに電線でつないでしまっても受信はできるかも知れない。

多くの製作記事で L4 はインダクタンス $2\text{mH} \sim 4\text{mH}$ くらいのコイルが使われていると思うが、コイルを使う時はいつも自己共振周波数 SRF が気になる。いくつか部品の規格を確認するとアキシャルリードインダクタの $47\mu\text{H}$ のコイルで SRF が 6.3MHz の製品と 8.5MHz との製品があった。今回は SRF8.5MHz のコイルを使用した。通信販売で SRF を確認できない場合は同等品で SRF を明記してある広告を探して参考にしている。

レフレックスラジオや再生検波ラジオで高周波をブロックし低周波を通す部品として $2\text{mH} \sim 4\text{mH}$ のコイルが使われているがパーツケースに転がっていた 2.2mH のコイルの SRF は通販広告で 1.2MHz だった。コイル単体で SRF が 1.2MHz ということは基板に実装すればコイルとして機能する上限はもっと低くなると思う。

レフレックスラジオの製作記事を見ているとコイルのインダクタンスを変えるとうまく行ったとか行かないとか書いてある記事があるが製品によって SRF が違うため、そのような成功・失敗があるようだ。

ちなみにパーツケースに転がっていた SRF 不明の $47\mu\text{H}$ のコイルのインダクタンスを周波数 7MHz で測定すると $1\mu\text{H}$ と表示された。(苦笑)そのコイルは $47\mu\text{H}$ と表示されていても 7MHz で使うと $1\mu\text{H}$ のコイルとして動作しているということだろうか。

●低周波取り出し部

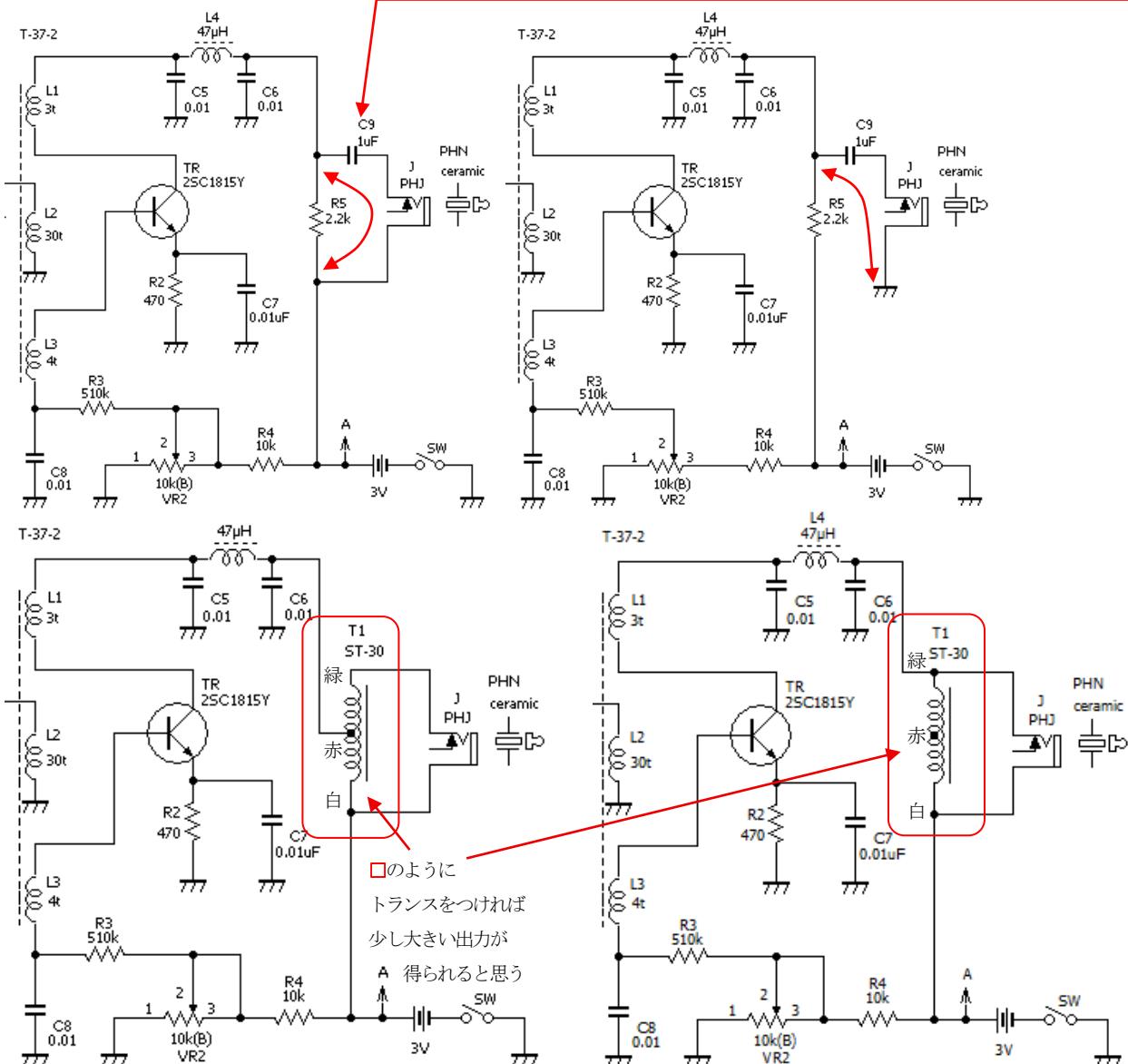
効率は落ちるが今回低周波の取り出しへは $R5$ の $2.2k\Omega$ 抵抗 1 本とした。いろんな製作記事を見ると低周波取り出しの抵抗は $10k\Omega \sim 2.2k\Omega$ くらいになっていて、 $2.2k\Omega$ というのは割と多いように思う。 $R5$ を大きくした方がより大きく聴こえるように思うがセラミックイヤホンのインピーダンスが数キロ Ω と低いようで $R5$ を $2.2k\Omega$ から $10k\Omega$ に増やして大きく聴こえるかと言えば、あまり変わらなかった。

$R5$ を $10k\Omega$ にするとコレクタ電流は最大で $(3V - V_{ce}) / (10k\Omega + 470\Omega) < 0.3mA$ 。いろんな製作記事を見るとトランジスタ検波の回路でコレクタ電流が $0.1mA$ くらいから多いものでは $3mA$ というのがあった。再生検波でも同じくらいのコレクタ電流じゃないかなと思った。 $R5$ を大きくしすぎると少ないコレクタ電流で飽和してしまうので低周波信号を大きく取り出したくても $R5$ を極端に大きくするはどうかな、と思った。

$C9$ のコンデンサは付いていない記事が多いと思うし、無くとも聴こえるが、後にイヤホンジャックへアンプなど接続することを予想して $C9$ を付けてある。

エミッタ共通回路(昔で言うエミッタ接地)で抵抗負荷の場合、イヤホン向け出力は片側をコレクタまたはコレクタにつながる回路に接続し、もう片方を電池のマイナス側に接続している回路と電池のプラス側に接続している回路の 2 通り見かける。電源(電池)の内部インピーダンスが理想的に 0 であれば、どちらにつながっていても大差は無いと思うが、電池と並列にコンデンサを付けていないのでイヤホンから見たインピーダンスはたぶん違う。ある試した人の書いた記事を読むと、どちらにつないでも聴いて違いを感じなかつたようで・・・。自分も試してみたが聴いて違いを感じなかつた。(笑)

今回は $R5$ の両端の電圧を $C9$ を通してイヤホンへ出力することにした。



■プリント基板

アートワークは昔から使用している PcbE を使用。今回も高周波回路を意識した描き方をしている。部品間の配線は短く、配線の曲がり部分は角を斜めにして、コイルの下にはなるべくパターンが無いようにしてある。

自宅でのプリント基板製作をあきらめたのは先に書いたとおりであるが、基板製作をメーカへ依頼した経験は全く無く、いくつかの基板メーカーのホームページを読んでみた。

どこへ発注するのが良いか検討し unicraft(株式会社ユニクラフト)さんへお願ひすることにした。プリント基板のメーカとして「ここだ！」というものがあったし説明を読んでいて解りやすかったから。

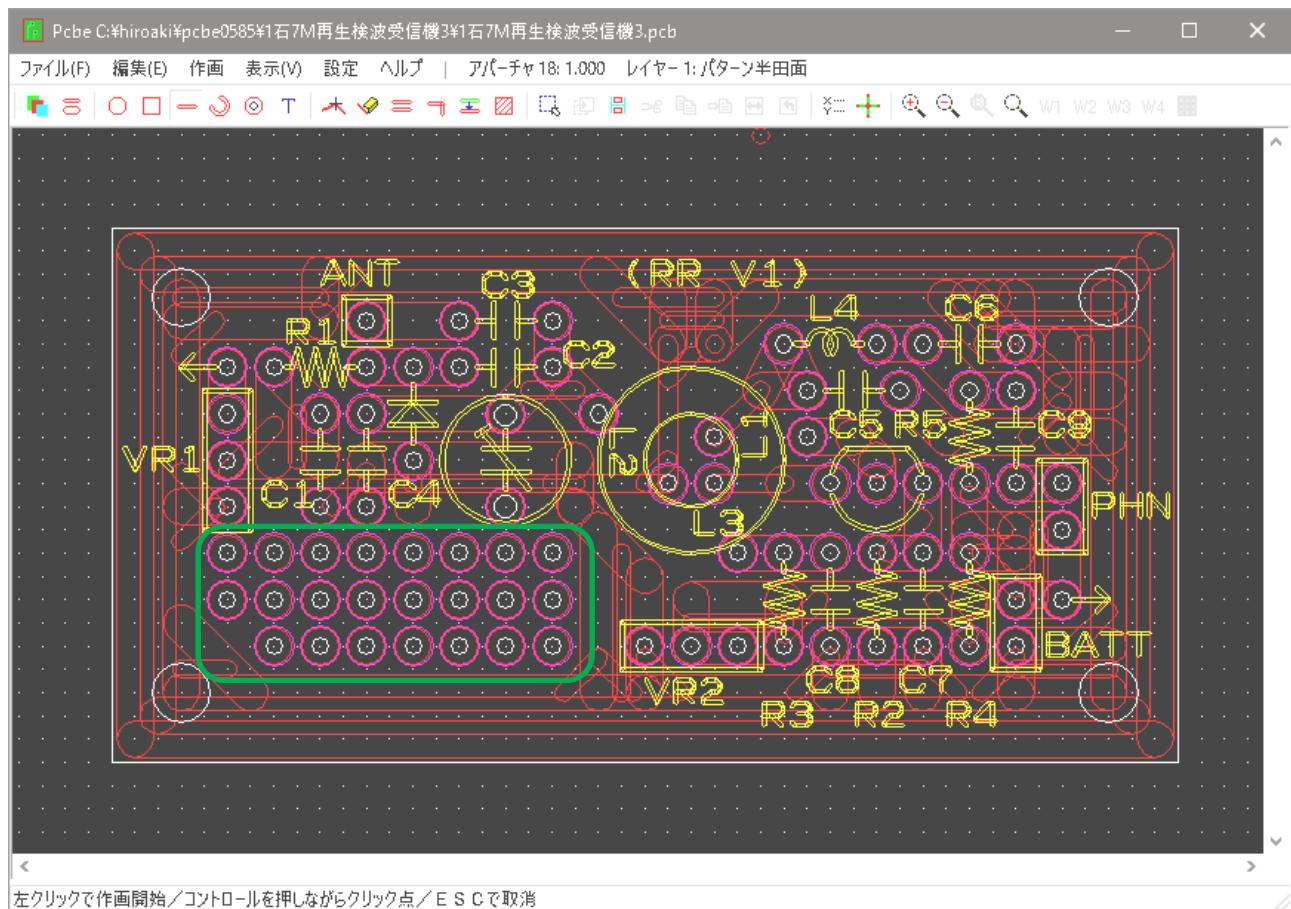
自宅でプリント基板を製作していた時は感光基板用のフィルムを作って露光・現像・エッチング・穴あけ・フラックスを塗布して完成、という方法でレジストやシルクは無しであった。この場合、不要な場所へはんだが着たり流れたりすることもあるし部品の取付位置を確認しづらいという問題があった。

今回基板メーカへ依頼するので初めて(苦笑)レジストやシルクも仕様に入れてみた。教材としては初心者にやさしい部品位置のわかりやすい(苦笑)基板になったと思う。

基板メーカーによって製作可能な条件(配線の幅や間隔、シルクの文字サイズや線の太さなど)が提示されているので、その辺はよく確認して設計。

長方形の基板に部品の配置をしていると一部空きスペースができたのでユニバーサル基板と同様のランドを作った。通電表示の LED や高周波増幅や低周波増幅など簡単な回路を付け足したい時に使えると思う。(下の写真の左下□の部分)

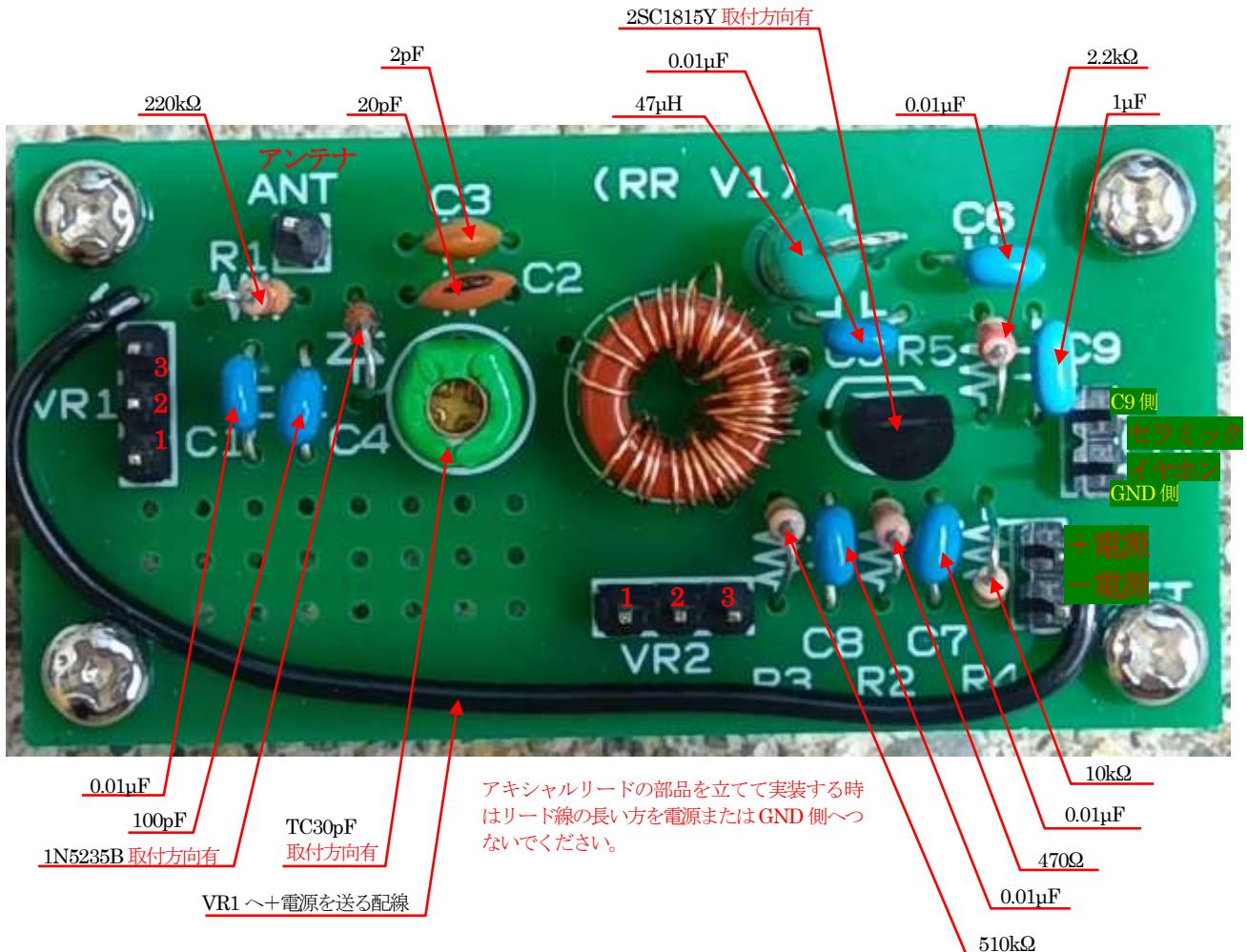
ラジオを作った後で気が付いたが PHN の C9 側にランドを増やしてイヤホンの片側を電源のプラスだけでなく GND に接続できるよう選択可能にした方が良いなと思った。プラス接地マイナス接地を選ぶことができるの



■部品実装

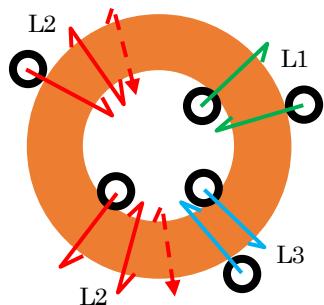
今回はVR、電池、アンテナ、イヤホンジャックが付け外ししやすいようピンヘッダを付けてあるがピンヘッダは必須でない。

小形ケースに組み込む場合は一般的なピンヘッダ・ピンソケットより寸法の短い秋月電子通商さんのロープロファイルピンヘッダ等が良いかも知れない。



トロイダルコアのコイルの巻き方（基板を上から見た図）

L2 を 30 回巻いたコイルを基板にはんだ付けし
基板とコアの隙間を縫うように L1 と L3 を巻く方が
巻きやすいかもしれません。



コイルを巻く方向を**基板の部品面**から見た図
最初にL2を30回巻いてはんだ付けし
L2の上に重ねるようにL1とL3を巻くと巻きやすいと思う

L1 緑: 3回
L2 赤: 30回
L3 青: 4回

注) 回はコアの中を通る回数

可変抵抗器の端子番号



可変抵抗器ピン番号は
基板のVR1、VR2の
1、2、3のとおり

■ケース加工



講習会担当のスタッフから100均のポリプロピレン製ケースを使うと価格が安く加工中に割れにくいという意見があり 2024年の講習会からポリプロピレン製ケースを使用している。

今回はDAISOにあったCARD CASEを使ってみた。

和泉化成の品番3139

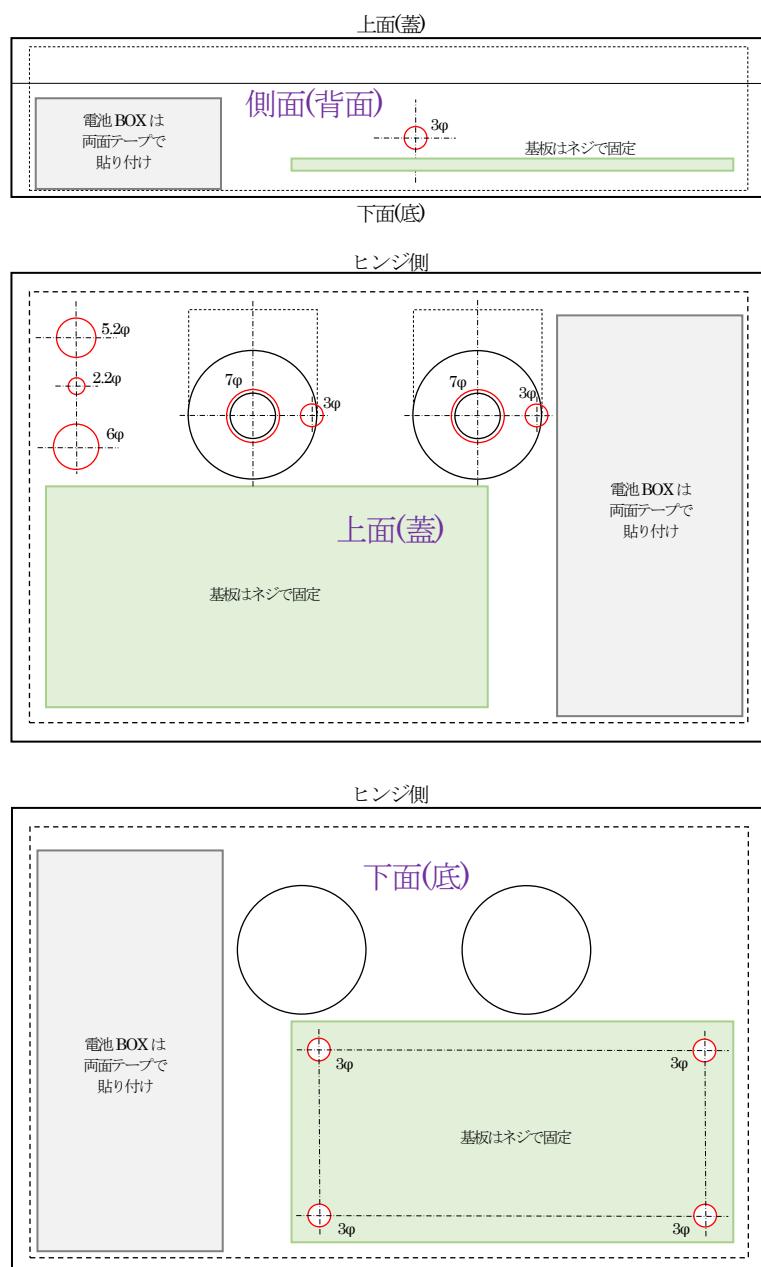
サイズ：約縦100mm×横66mm×高さ21mm

有効内寸：約縦95mm×横57mm

MADE IN JAPAN 良い響きです。

電源SW、イヤホンジャック、VR1、VR2、ANT端子の配置を検討して穴開け。○は穴位置。

ネット検索によると樹脂の穴開けは竹用ドリルがきれいに開けられるらしい。



■外観と内部

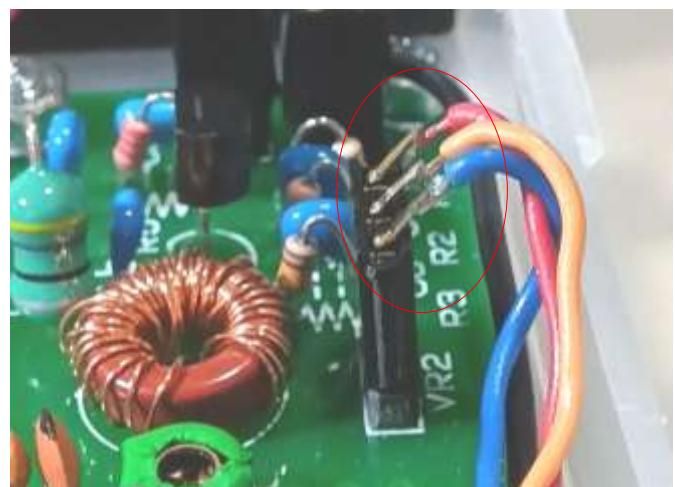
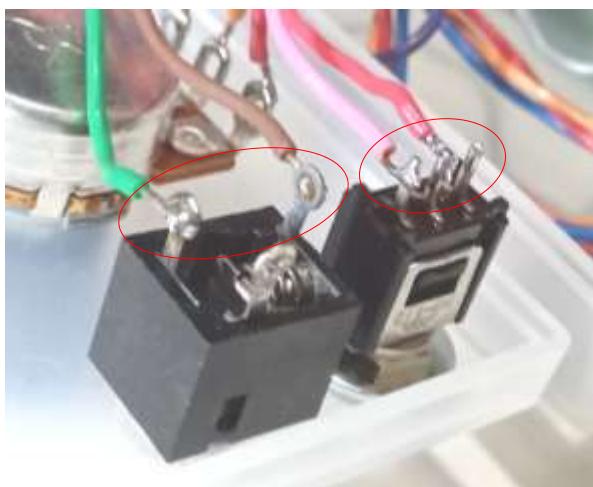
ケースに収納した再生検波ラジオ。

私は右利きなので、チューニングでより細かい調整が必要な VR1 を右に、再生検波バイアス調整の VR2 は左に配置した。電源 SW やイヤホンジャックは VR1 操作時に邪魔にならないよう左端に配置した。VR1、VR2 とも $10\text{k}\Omega$ (B) の可変抵抗器なので入替したい時は基板側のピンソケットの差替えで可能。

ピンソケット付近の配線ははんだを吸って硬くなったので曲げづらく、ケースの蓋を閉じるときに蓋が閉まるか閉まらないか・・・という具合になった。よって、電源 SW とイヤホンジャックの配線はピンに対して横から接続し、ピンソケットのはんだする方は少し斜めに曲げた。下の写真の○の部分。

ケース内の配線はなるべく基板の外周を通し、基板上の部品に乗らないよう引き回した。

部品取付し回路収納後、ケースの底に高さ 3mm 程度のゴム足を付けた。



■機構部品、部品の選定、その他参考

基板取付用のビス：3φ10mm(緩み止めとしてナットと基板の間に座金を入れてある)

基板とケースの間：φ2.5mm ベークスペーサを用いた。

電源 SW：MS-600K-B が良いと思う←私の試作は手持ち(たぶん MS-610A)を使った。

イヤホンジャック：3.5φMJ-355←ネジの部分が長いので樹脂製のケースなど厚いケースにも付けやすい。

アンテナ端子：ミゼットターミナルT-16B←本来アース用らしいが今回ケースが絶縁体なので使用した。

電池 BOX：単4×2本用 BH421-3A、電池 BOX から出ている電線は硬いので柔らかい電線を継ぎ足した。

ゴム足：底からビスが2mm 出ているのでゴム足の高さは2.5mm 以上あった方が良いと思う。

コイルの巻き線：UEW0.29

コンデンサ：チューニング部は温度特性C0Gが入手できる場合はC0Gがおすすめ。

電線：なるべく細い導線を撫った柔らかい電線が使いやすいと思う。

配線を直線接続する部分は熱収縮チューブで絶縁した。

可変抵抗器～基板間の配線：13cm

電源 SW～基板+電源間の配線：12cm

電源 SW～電池 BOX+間の配線：7cm

基板～イヤホンジャック間の配線：13cm

■再生検波ラジオの使い方

再生検波ラジオはAM以外にCW、SSBが受信できると言われているが、使うのは慣れが必要。(笑)

基本的に下記操作になる。

1. VR2を左端から右へ回して再生が効いてくると「サー」とかすかにノイズが聴こえ始める。
 2. さらに右へ回すと「ギャー」と発振音が聞こえるのでVR2を左へ回し発振音が聞こえない状態に戻す。
 3. VR2をゆっくり右へ回し「ギャー」と発振音が聞こえる手前で止める。
 4. VR1を回し選局する。
 5. 選局中に「ギャー」と発振音が聞こえた場合はVR2を左へ回し発振音が聞こえない状態に戻す。
 6. 選局中にVR2をもう少し右にまわしても大丈夫と思えば右にまわしてみる。(笑)
- 1～6の繰り返し。

※VR2を右に回して「サー」と聞こえ始めるとすでに再生は効いているはずで、電波を受信すると音は小さめで落ち着いた感じに聞こえる。VR2をさらに右に回すと再生の効きが大きくなつて音が少し大きくなり感度が上がったような気持ち(笑)になるが同時にノイズも大きくなる。聴きやすいよう調整する。

AMを受信する場合

AMの電波は搬送波が含まれているためVR1により受信周波数を完全に合わせる。←簡単なようで難しい。完全に合っていないと音声といっしょにピーとかポーと搬送周波数との差がうなりとなって聴こえる。

再生検波ラジオの受信周波数は電源の電圧や回路部品や周囲の温度で常時変化しているため完全に合わせても時間の経過とともにずれる。

強い電波であればVR2で再生の効きを少し弱くすれば聴きやすいかも。

CWを受信する場合

CWは搬送波の断続だけなのでVR2で弱い発振状態(「ギャー」と聞こえる直前)にしてVR1で搬送周波数と受信周波数を少しずらして聴きやすい音に調節する。

モールス信号の音が500Hzの音で聞こえる時は

搬送周波数と受信周波数を500Hzずらして聴いていることになる。

SSBを受信する場合

抑圧された搬送周波数にVR1を使って受信周波数を合わせる。←簡単なようで難しい。聴きやすいようVR1を調節するということ。

■あとがきを長々と(笑)

再生検波ラジオは再生が効いている時に再生検波ラジオから高周波信号が出ているため大きなアンテナは使えない。そこで5mの電線をアンテナとして室内で床に転がしたり天井から吊るす等して聴いてみた。

中国国際放送は聴くには充分な音量で受信できたがアマチュア無線の交信は小さい音であった。

伝搬状態にも左右されると思うがアマチュア無線の交信は CW(モールス)と FT8(デジタルモード)による交信はいつ聴いても聴けるような感じ。CWは符号として聴きとれるが強力に受信できることは少ない。SSBは交信が聴けない日もあった。何かしやべっているのが聴こえていても交信の内容まで聴き取れない日が少くない。

このような時、同じ5mの電線をアンテナとして IC-705 に何回かつないでみると IC-705 では交信の内容は聴きとれるが聴こえる局数は試作再生検波ラジオと変わらなかったので、試作再生検波ラジオの感度が低いというより聴くのに充分な強さの電波が届いていなかったのだろうと認識した。

数日に一度、試作再生検波ラジオで SSB を強力に受信できることがあり、この時にはゲルマラジオ並みの聴こえ方で聴くことができた。低い音が聴こえづらいのはセラミックイヤホンの特性かもしれない。

今回試作したのは昔で言う 0-T-0 という構成(高周波増幅無し-トランジスタによる再生検波-低周波増幅無し)であるが他の人の製作記事を見ていると 0-T-1 または 0-V-1(高周波増幅無し-トランジスタまたは真空管による再生検波-低周波増幅 1段)でイヤホンで聴いたり 0-T-2 または 0-V-2(高周波増幅無し-トランジスタまたは真空管による再生検波-低周波増幅 2段)でスピーカーで聴くという内容が多いように思う。

それでも 0-T-0 または 0-V-0 の製作記事が無いかと言えば、いくつかネット検索で見つかる。たかが 1 石されど 1 石か。(笑)

2025年7月27日19時頃、ブレッドボードで1石の低周波アンプを組んで再生検波ラジオにつないでみると 1 エリアなど遠方のアマチュア局の電波がいくつか鮮明に聴こえた。ゲルマラジオにくらべると明らかに力強い聴こえ方で低い音も含めて聴き取りやすくチューニングもし易かった。おそらく 1 石再生検波の 0-T-0 では聴こえなかった小さい音声が低周波アンプで増幅することにより聴こえたのだろう。基板の空きスペースに 1 石の低周波アンプを付け足すのも良いかも知れないな、と思った。空きスペースにアンプを足さず入力インピーダンスの高い市販のアンプ内蔵スピーカーをイヤホンジャックにつないでも良いかも知れない。

ネット検索していたら 並四の再生検波ラジオを使う時に再生が効き始めた時点でスピーカーからパソコンと音が鳴る位置 があり、それが再生のかかったポイントと書かれている記事があった。実は 1 石の低周波アンプを付け足して気が付いたことがある。今回試作した再生検波ラジオに低周波アンプをつないで聴いていて VR2 をゆっくり右にまわして行くと、パソコンとは聴こえないが電波が受信できなくても「サー」とかすかなノイズが聴こえ始める位置があり、再生のかかったポイントはここだと認識した。

中学生の時に製作本を頼りに製作した再生検波ラジオは 1 石だったが、もし 2 石で 0-T-1 のラジオを作っていたなら、この時、再生のかかったポイントというものを認識できたかも知れない。

2025年8月10日と17日に JARL 徳島県支部の製作トレーニング夏季講座の教材として数名再生検波ラジオを製作した中で、VR2 を右いっぱいにまわしても「ギヤー」と強い発振が起きない事例があった。再生の効きが弱くイヤホンから「ギヤー」と聞こえない。再生検波ラジオでは「ギヤー」と強く発振すると、ある意味安心できる(苦笑)のであるが・・・。R3 を $510\text{k}\Omega$ から $220\text{k}\Omega$ に変更しても「ギヤー」と発振しなかった回路では R3 を $510\text{k}\Omega$ に戻し、帰還量を増やすため C5 を 4700pF → 2200pF → 1000pF → 470pF と段階的に小さくしてもらうことにした。(R3 を小さくすると VR2 の使用可能な調整範囲が小さくなるおそれがあるし、R5 を合わせて小さくしないとコレクタ電流がすぐ飽和してしまうと思ったため)

VR2 を右に回して行くと感度は高くなり聴こえる音量も大きくなるが同時にノイズも大きくなるので VR2 は必要以上に右に回さず低周波アンプで音量を大きくした方が聴きやすく思うことが少くなかった。

再生検波ラジオ使用後によく電源 SW を切り忘れていることに気が付いた。ラジオの消費電流は最大 0.7mA くらいなので通電表示の LED をつけると LED の消費電流が大きくなりそうで・・・ラジオが主役か LED が主役かと考えた末に LED をつけるのは止めた。(苦笑)