

ブロックダイアグラムが学べる QRP トランシーバ

2024.8.23

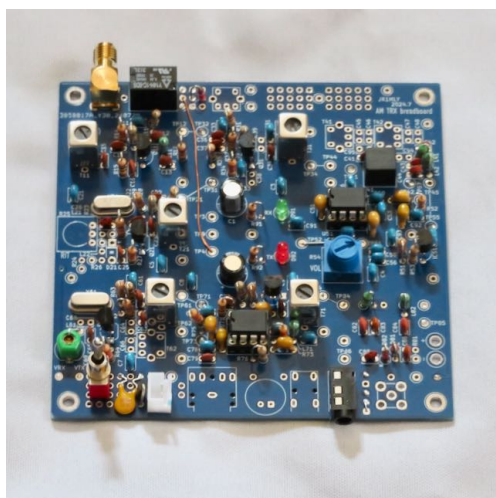
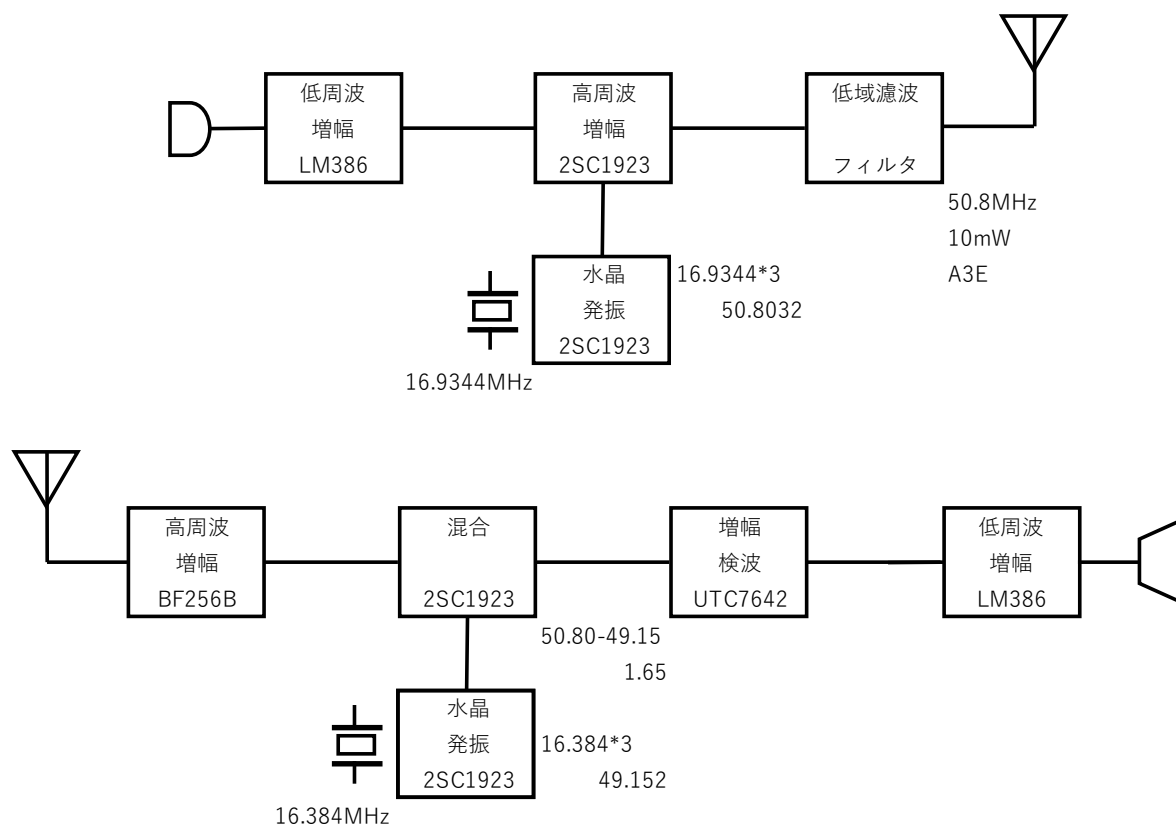
JK1MLY

本書はハムフェア 2024 で頒布した QRP トランシーバ基板に関する資料です。

この基板を作る前、作りながら、作ったあとに学ぶことができそうなことが書いてあります。

製作、実験などに関する相談と資料提供は GitHub で行います。

この基板は 7M(40m)、28M(10m)、50M(6m)で動作実績があり下記は 50M の場合の構成例です。



https://github.com/Packet-Radio-Users-Group/QRP_AM_Transceiver_JK1MLY

Discussions
または
New issue
して下さい

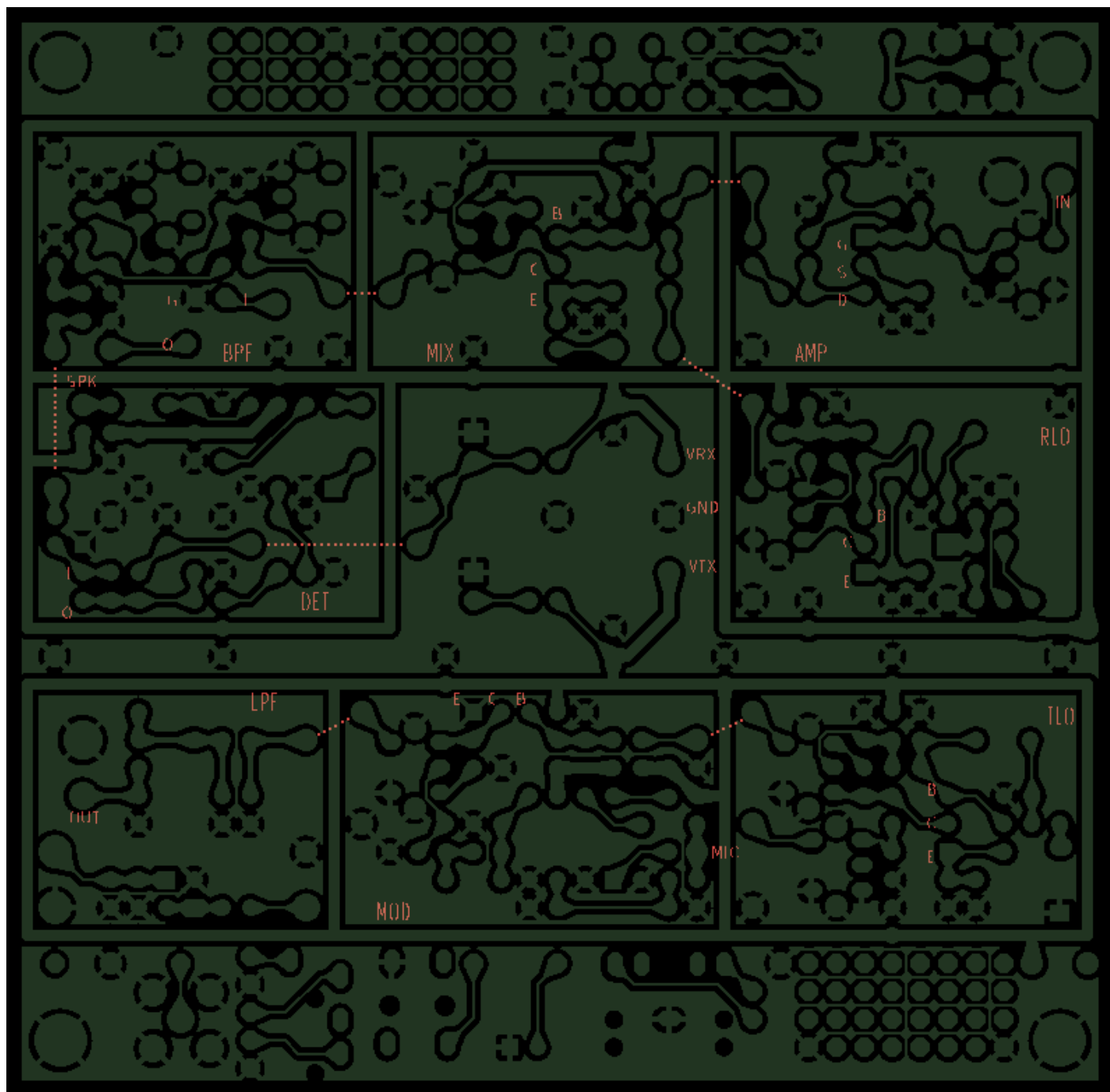


CC BY-NC 4.0

作る前

各ブロックの動作と基板上の場所について

基板の裏面を見ると幾つかのブロックがあり、それぞれシルク印刷されているのが分かります。ブロックを分けているのは、実際には電源の配線になっています。



書かれている文字はブロックの動作を簡易的に示したもので、ブロック図との関係は以下です。

送信は水晶を発振させ、その振幅がマイクからの入力に従って大小するように動作します。

受信はシングルスーパーヘテロダインと呼ばれる構成で、受信した信号と水晶の信号でビートをとって、それを増幅・検波して信号の大小を音にしています。

シルク	ブロック図の名称	機能
送信		
TLO	水晶発振	送信する周波数の信号を発生させる
MOD	低周波増幅＋高周波増幅	マイクの入力にしたがって高周波信号の大きさを変える
LPF	低域濾波フィルタ	不要な信号を減衰させる
受信		
AMP	高周波増幅	アンテナからの信号を増幅する
RLO	水晶発振	受信する周波数より 1MHz ぐらい違う周波数を作る
MIX	混合	受信信号と前項の信号を掛け合わせる
BPF	－	中間周波数として低い側の信号だけを取り出す
DET	増幅・検波＋低周波増幅	信号を増幅、検波してイヤホンを鳴らせるようにする

ブロック間の接続と全体

各ブロックの間には点線が惹かれているところがあります。この部分をジャンパ線で接続することで、ブロック間の信号を伝えます。このジャンパ線はブロック間の信号を見るポイントにもなります。

実験を行っているときジャンパ線を外したくなることがあります。このため組み立てる際には裏面で接続すると良いです。これは、表には多くの部品が実装されているので、ジャンパ線を外すことや、改めて接続する作業は行いにくいからです。

基板のパターンを見ていくと、BPF のところには別な回路が入っていますが、これは高周波信号の大きさをテストで測れるようにするための検波回路です。

またブロックが書かれていないところに、マイク、コネクタ、リレーなどが実装できるパターンがあり、ランドだけのユニバーサル部があります。

これらを使うことで実験がしやすくすることを意図した部分になります。

大まかなイメージのみしか書いていけませんので、細かいところは無線工学の教科書とかを見て頂ければと思います。ただ、難しく考えずに順に作っていくと良いかもしれません。

いっぺんに全てを組み立ててしまうと、動作しなかった場合に原因を見つけるのが難しくなります。このため 1 つずつブロックを組み立て、動作確認や調整を行ない次のブロックに進めることを推奨します。

作りながら

BPF 内の検波回路

100MHz 帯域で 500MHz サンプリングぐらいのオシロスコープが使えるとか、簡易的なもので十分なのでスペアナを持っている方は、それらを使って信号の波形やレベルを見て下さい。

そんなの持っていない、あるいは持っているけど使わずに楽しみたい方のために、この基板には検波回路が組めるようになっていました。この回路を使って動作を確認していきますので、ここから組み始めましょう。

回路図で RF Detector と書いてあるダイオードとコンデンサの回路です。使うダイオードはラジオとかの検波用として売られているものなら何でも良いです。

そのような用途のダイオードが手元に無い、あるいは入手できなかった場合には、小信号用のショットキバリアでも今回の用途には十分です。ただ一般的なスイッチングダイオードでは少し厳しいかと思います。

TP86 と書いてあるところにリード線を付けておき、それを回路に当てると信号の大きさによって TP87 に電圧が出てきます。それをテストの電圧レンジで測定して使います。

TLO；水晶発振回路

部品番号が 60 番代の部品になっている箇所を組み立てます。この基板では基本的に 10 の位が同じ部品番号な部品は同じ回路ブロックに属しています。

周波数を調整する回路にも対応できるようになっていますが、未実装の指定（バツ印が付いている）は付けずに単純な発振回路を作ります。はじめはシンプルに作って、あとから必要だと思ったら回路を追加して下さい。

実際に電波を出す（免許を取る）予定のある場合は T62 も使い不要な信号を減らします。そうではない場合は発振回路のトランジスタに入っている T61 だけで 50.8M の信号を取り出せば大丈夫です。

次に VTX と書いてあるところと GND に 9V の電池を接続するための B スナップを接続します。そして B スナップ間がショートしてないのをテストで確認します。手間はかかりますが、1 つずつ確認していく方が失敗は少ないです。

異常がなかったら電池を接続します。

TP61 または TP62 に検波回路をつなぎ、レベルが最大になるよう T61 と T62 のコアを調整します。

コアの調整は必ずコア調整用のドライバを使い、普通のードライバは絶対に使わないで下さい。コアを割ってしまうと、コイルを交換するのは容易ではありませんので注意しましょう。また何度も回わすと緩くなってしまい、振動とかでコアが動いてしまうことがあるので、ほどほどな調整にしておく方が良いかと思います。

調整できたら電池を外します。作業しにくいだけでなく、電池をショートさせてしまう可能性があるためです。最近ではアルカリ電池が一般的かと思われます。マンガン電池よりエネルギーがあるので、ショートさせると電池の発熱も大きいので、外して電池が部品のリードでショートしたりしないよう注意しましょう。

MOD; 変調回路 低周波増幅 + 高周波増幅と LPF

部品番号が 70 番台、80 番台の部品を実装します。この段階ではマイクを接続しないので TP73 はオープンのままになります。

部品が実装できたら、TP71 と TP61 または TP62、および TP74 と TP84 をジャンパ線で接続します。

B スナップ間がショートしてないのをテストで確認し、異常がなかったら電池を接続します。

TP85 に検波回路をつなぎ、レベルが最大になるよう T71 のコアを調整します。

調整できたら電池を外します。

AMP ; 高周波増幅

部品番号が 10 番台の部品を実装します。

高周波増幅回路では出力側にも同調回路を入れることが多いですが、使用部品の中では高額なコイルを減らすため使っていません。

もし入れたい場合は近くにコイルのパターンがあるので、そことの間で配線してください。

部品が実装できたら、TP71 と TP11 をジャンパします。可能なら 100Ω と 1Ω などで分圧してレベルを下げた方が良いですが必須ではありません。

VRX と書いてあるところと GND に 9V の電池を接続するための B スナップを接続します。

B スナップ間がショートしてないのをテストで確認し、異常が無かったら VTX 側、VRX 側とも電池を接続します。電池を 1 つで済ませる場合は、製作途中は VTX から VRX にジャンパでも良いです。

TP12 に検波回路をつなぎ、レベルが最大になるよう T11 のコアを調整します。

調整できたら電池を外します。また TP71 と TP11 のジャンパを外します。

いっきに部品を実装する作り方をした場合、誤って RLO に周波数を合わせてしまう可能性があります。このため R21 を外すか、Q21 のベースを GND に落とすなどして発振を止めて調整した方が良いでしょう

RLO ; 水晶発振回路

部品番号が 20 番代の部品になっている箇所を組み立てます。

受信側も本当は発振させた信号の純度は高い方が良いでしょうが簡略化して 1 段での同調になります。

こちら周波数を変えられるパターンですが、バリキャップを使い VR で可変する回路です。ただ最初は TLO と同じで未実装な指示のところは使わない回路として下さい。

B スナップ間がショートしてないのをテストで確認し、VRX 側のみに電池を接続します。

TP21 に検波回路をつなぎ、レベルが最大になるよう T21 のコアを調整します。

調整できたら電池を外します。

MIX; 周波数混合回路 + BPF

部品番号が 30 番台と 40 番台の部品になっている箇所を組み立てます。

BPF は色々と試験できるようにパターンが用意されていますが、まずはシンプルな状態で組みます。

部品が実装できたら TP12 と TP32、TP21 と TP31 をジャンパします。

さらに TP85 と TP11 にジャンパ線を接続し、それを燃って高周波的に結合させます。

B スナップ間がショートしてないかテストで確認し、異常がなければ VTX 側、VRX 側とも電池を接続します。

TP45 に検波回路をつなぎ、レベルが最大になるよう T21 のコアを調整します。ただ、あまり Q が高くないので、レベルの差は小さいかもしれません。

このためコアを半回転させても差がない場合、元の位置あたりにしておいて下さい。やたらとコアを回さないことも大切です。

調整できたら電池を外します。あとで使うので TP85 と TP11 の結合は残しておいて下さい。

DET; 増幅・検波 + 低周波増幅

部品番号が 50 番台、90 番台の部品を実装します。

D91 の LED はラジオ用の IC が低い電圧で動かすために使っています。このため極端に純方電圧が大きい、あるいは小さい LED を使うと、感度が落ちてしまいます。その場合には定数を変更して下さい。

TP51 と TP52 をジャンパします。また TP56 にスピーカかイヤホンを接続します。

イヤホンなどを接続するため 3 極あるいは 4 極のコネクタのパターンが用意されています。これらを使う場合は、TP57 側からジャンパして配線すると良いです。

4 極のコネクタは PC やスマホで使うマイク付きイヤホンと、無線機で使うスピーカマイクではピン配置が違います。このため GND も未配線なのでコネクタを使う際には注意して下さい。

B スナップ間がショートしてないのをテストで確認し、異常がなかったら VRX 側のみに電池を接続します。

R54 を回して適当にノイズが聞こえる大きさに音量をして下さい。

TP55 に適当な線を接続して AM ラジオが聞こえれば問題ありません。ただラジオが入らない環境の場合は、ノイズが聞こえることの確認までとなります。

確認できたら電池を外します。

全体の動作確認

ここまでのステップで必要な部品は実装されたはずです。このため最終的な確認を行います。

TP45 と TP55 をジャンパし、50MHz 帯の電波がラジオ用の IC に入るようにします。

TP73 と ECM（マイク）のパターン、あるいはコネクタとの間をジャンパします。

もし TP85 と TP11 の結合を外してある場合は、あらためて擦って結合させて下さい。

念のため改めて B スナップ間がショートしてないのをテストで確認します。

異常がなかったら VTX と VRX とともに電池を接続し、送受信とも回路を動作させます。

マイクに向かって話したことが聞こえれば成功です。

送受の切り替え

動作は確認できましたが、そのままでは送受の切り替えができていないので、トランシーバにはなっていません。

このためスイッチを介して VTX と VRX を切り替えます。

送信回路あるいは受信回路とアンテナとの間の切り替えもスイッチで十分ですが、もしリレーを使う場合には K91 と J92 が使えます。この場合は送信時に K91 へ電圧がかかるように配線し。NC（電源をかけないで世導通）側と TP11、NO 側と TP85 をつなぎます。0.8D-QEV などの同軸で配線する前提で、GND になっているランドがありますので、これらを活用して下さい。

この基板には PTT スイッチで送受を切り替える仕組みは実装していません。無線機用のスピーカマイクの PTT で制御しようとする、2 ないし 3 つのトランジスタが必要なので、無線機の回路に対して豪華すぎるためです。どうしても必要な人は、ユニバーサル部に組むか、外に回路を追加して下さい。

全体の配線ができたなら、送受どちらの状態でもショートしていないことを確認して電池を接続します。

この状態では送信または受信しかできませんから、ほかの無線機と動作を確かめる必要があります。

ちゃんと動いたら、全体を整えてケースに入れれば自作無線機として完成です。

ただ実験を主眼に置いていますので、その場合にはケースに入れる必要はありませんし、電源も切り替えるのではなく、送受ともに ON することもできるようにスイッチを付ける方が良いかもしれません。

作ったあと

電流を測る

各ブロックへの電源は 10 または 100 オームの抵抗を介して供給されています。

例えば R11 の両端の電圧を測れば、Q11 を用いた高周波増幅回路の電流がわかります。もしテストで測った電圧が 0.5V であれば、オームの法則から $I=E/R$ で 5mA になります。

送受ともトータルすると約 30mA になっているかと思います。

トランジスタの動作点

エミッタの電圧を測ることで、どのくらいコレクタ側に電流が流れているかが分かります。またベースの電圧も測ることで、どのあたりでトランジスタが動いているか分かります。

オシロで波形を見ることができると、どの範囲で動いているかも分かります。ただ Q71 はエミッタ接地であり、さらに音声でコレクタの電圧が変わるので見にくいかと思います。このため代わりに R73 両端の電圧を測ると良いかと思います。

ユニバーサル部にツイン T 発振回路を組み込む

歪みが多いことバレますが、2 現象オシロが使えるなら振幅の変化をみることができます。

C と R でノッチフィルタを構成していて、この働きにより 1kHz 程度で発振します。この信号を TP73 に入れ、オシロのトリガとして TP85 を見ます。

さらに TP85 と検波器の TP86 をつないで TP88 を見るとダイオードでの検波が見られます。

この回路については github 内の caddata/twint のファイルを参照して下さい。

電源電圧を変える（落とす）

実験だけなら 10mW でも出力は大きいです。

このため 3V でも動かせるように設計して、定数を変えて動かしてみるのも良いと思います。

ミキサの方式を変える

参考用の回路は少しでもゲインを稼げるようベースで混合しています。ただ一般的にはローカルはエミッタに入れて周波数を変換しています。

エミッタに入れた場合の動作を見るには、TP21 と TP31 の代わりに TP21 と TP33 をつなぎます。

初期状態では C38 が未実装なので取り付けるのを忘れないで下さい。

同調回路の Q

オシロがある場合、TP21 の信号を R28 と R29 どちらを実装するかで波形を比べてみて下さい。

スペアナがあると、もっと良いですオシロでも波形の差、歪みの差が分かるかもしれません。

T61 と T62 を実装している場合は、TP61 と TP62 の比較もしてみると良いかと思います。

さらに C64 の値を少し変えると、それだけで TP62 の出力が変わるかと思います。

バリキャップ

D21 ほかの部品を実装すると周波数を変えることができます。

周波数カウンタで TP21 を測るか、TP21 に短いリード線をつけて受信機で聞いて確認します。

受信帯域幅が広いので周波数を変えても受信状態は変わらないかと思います。

受信フィルタ

T41 と T42 を使って、受信信号の帯域を狭くすることができます。

1 段の場合は T41 を使い C41 は 10p、C95 は 1000p 程度で試すと良いかと思います。C41 が大きいと LPF 側との結合が強くなり正常に動作しません。

2 段の場合は C41 を未実装、C95,C96,C94 は 10p 程度で試すと良いかと思います。

フィルタで減衰が生じますが、AM ラジオ用の IC のゲインに救われて何とかなるかと思います。

X21 と X61 の差が 455kHz 前後の水晶が使える場合、ラジオ用のフィルタが使えます。この場合は U41 を実装して TP34 と TP41、TP42 と TP55 を接続して下さい。

本来はマッチングを取ってフィルタは使いますが、簡易的な実験用の回路のため省略しています。

LPF を変える

普通ならトロイダルコアを使ったコイルにしますが、マイクロインダクタを使っています。このためロスが大きいので、フィルタの設計をし直して回路を変更すると良いかと思います。

パターンとしては T12-6 か T12-10 あたりのトロイダルコイルを使う前提になっています。このため T25 以上のサイズや、空芯コイルだと厳しいかと思います。

パワーアップ

さすがに 10mW では良い条件が揃わないと交信できることは難しいです。ただ、あまりキレイな電波ではないので 1 段だけトランジスタを追加して 0.1W にする程度が良いかと思います。

追加したトランジスタで変調した方が良いので、C75 と R73 を外し、L71 は電源に接続します。そして C75 か R73 のランドからトランスを介して追加したトランジスタのコレクタに供給します。

詳しく書くに至ってないので、適当に AM 送信機の回路を探して真似してみてください。ほかの人の回路を真似するところから入るのも大切です。ただ本当に動いた実績のありそうな回路を探す必要はあります。

免許申請

電波を出して交信するには無線機を追加する申請（届出）をしないなりません。

「平成 17 年 12 月に施行された新スプリアス規格により設計・製作」していることを明記し、ブロック図と実測したスペクトラムを添付すれば保証認定を受けられると思います。

JARD の保証認定に払う金額の方が、この無線機の部品代より高いかもしれませんが、趣味のためとはいえ公共の電波を使うので遵法で電波は利用し、アマチュア無線を楽しみましょう。

以上