

デジタル通信用 **13-Tr** トランシーバ キット組み立てマニュアル

Rev. A

Designed by BD6CR

PCB Layout by BD4RG

CRKITS.COM

Dec 30, 2021

翻訳: 加藤 輝男 / exJA5GHK

変更履歴:

Dec 30, 2021: Add a few links and photos.

目次

デジタル通信用 13-Tr トランシーバキット組み立てマニュアル	.....1
仕様	.....2
動作原理	.....2
部品表	.....4
キットの組み立て手順	.....5
モジュールベースの手順	.....5
スピード違反の手順	.....23
調整	.....27
操作	.....28
リンク	.....28

たった1種類のトランジスタ、例えば2N4401、だけを使用した、実用的なアマチュア無線用のトランシーバを設計できるでしょうか?。かなり前ですが、NorCal QRPクラブは、2N2222を使ったデザインコンテストを行い、CWトランシーバを設計したJim Kortge、K8IQYが第一位になりました。現在、CWオペレータ以外にもデジタルモードFT8が人気を博しています。DSBだったD4Dトランシーバと違って、SSBモードをサポートするも、簡単に組み立てできるように設計することにしました。参考にしたのは、VK3YEのKnobless WonderとK1SWLのWarbler PSK31トランシーバキットです。何回かのChocボードを使ったプロトタイプを経た後、BD4RGにPCBレイアウトを依頼して、CRKIT.COMの十周年(2011~2021)を祝う新しいキット製品になりました。

仕様

寸法: 奥行 103mm x 幅 88mm x 高さ 38mm

重量: 約 235g(内蔵バッテリーを除く)

周波数とモード: 7074kHz USB

フィルタ: 4x 7078kHz クリスタルフィルタ。7075.5-7077kHz をカバー

オーディオ通過帯域: 約 1500-3000Hz

PTT 制御: VOX

電流(受信時): 約 50mA

電流(送信時): 約 300-350mA

送信出力: 約 1 W

高調波レベル: -53dBc

動作原理

China QRP のグループに入ると、ディレクトリ(<https://groups.io/g/crkits/files/13%20Transistor%2040m%20FT8%20SSB>)に最新版の回路図(Rev 1.3 以降)があります。BITX の設計と同様、RX と TX の信号の流れに双方向のアンプを多用しました。さらに VOX 回路を追加し、オーディオアンプなどの回路をいくつか変更し、送信部の出力部は 2N4401 のみを使用しています。最初のプロトタイプで動作しましたが、いくつかの問題が発生しました。例えば、受信部の SNR によるヘッドフォンのバックグラウンドノイズです。特に性能不足のサウンドカードでは問題になりました。RX 時に RX と TX のオーディオチャンネルを分離し、TX 時には混合するためのスイッチを追加するために回路を少し変更しました。

順を追って回路図を見てゆきましょう。まず最初に、コネクタについて簡単に説明します。

J3 は電源コネクタです。10-14V の安定化電源またはバッテリーパックを接続します。500mA 以上の電流が必要です。キットでは単三型リチウムイオン電池(14500)3本の電池ケースを同封しており、ケース内に収納可能です。14500 サイズのリチウムイオン電池(セル電圧 3.7V。1.2-1.5V の普通の乾電池を使わないでください)3本で電源電圧 11.1V(最大 12.6V)になり、800mAh の容量で FT8 を 4 時間運用可能です。リチウムイオン電池を内蔵した場合、J3 は充電時に使用しますので、適切な充電器、12.6V/0.5A の定電圧/定電流充電器を使用してください。過充電すると、発煙や出火などの問題になることがあります。リチウムイオン電池を使用した場合に電圧低下が検出されると、オーディオ入力も正常であっても、VOX(voice operated transmitter)がうまく動作しないことがあります。その場合、プッシュボタン S1 を押し電源スイッチを切って、充電してください。低電圧の検出は 12V リレー(K1)の特性によるもので、正確ではありませんが、過放電をよく防いでくれます。

J2はオーディオ入力で、サウンドカードのヘッドホンジャックに接続します。コネクタやケーブルはステレオ用ですが、モノラルでしか使用していません。最適なオーディオレベルは、R43を負荷とする約150mVRMSです。これで安定してリレーを切り替え可能です。C19はRFの干渉を除去するためのデカップリングキャパシタです。入力されたオーディオ信号はC1を通過して、Q1により約20倍に増幅されます。再びC3を通過した後、増幅されたオーディオ信号はD1とD2により整流されDC信号になります。DCレベルはC4に蓄えられ、R5を介してQ2をドライブします。Q2はリレーK1をドライブします。D6はリレーのコイルによるダメージからQ2を保護するフライバックダイオードです。K1はDPDT(2回路2接点)のリレーで、モードがRXかTXかによってアンテナと電源線を切り替えます。R4はC4の方電容の抵抗で、オーディオ入力信号がなくなると、速やかにリレーをオフにします。回路図を詳しく読むと、TX時にAUDIO_RXとAUDIO_TXを接続するためのスイッチD8が見つかると思います。これは前に述べたように受信時のSNRを改善させるためのものです。

J1はオーディオ出力で、サウンドカードのマイクジャックに接続します。コネクタやケーブルはステレオ用ですが、モノラルでしか使用していません。Q3はゲイン約20倍のオーディオアンプであり、出カインピーダンスは約1kΩで、マイク入力のインピーダンスと一致します。WSJT-XまたはJTDXソフトウェアの場合、最適なオーディオレベルは約50dBです。最適な結果になるようマイクレベルを調整してください。

ANTコネクタはBNC型コネクタです。特性インピーダンス50Ωの同軸ケーブルにより、発信時は50Ωのアンテナに、テスト時はダミーロードに接続します。L1-L3とC37-C40は、送信部より発生する高調波やその他のスプリアスを除去し、RF関係の法規に準拠させるための、3段のLPF(低域通過型フィルタ)です。

Q4は、ローカル発振器(LO)用のコルピッツ型の水晶発振回路です。X5は水晶発振子で、負荷容量は20pFです。C46は発振周波数を調整するための半固定キャパシタです。Q5はドライブ能力を稼ぐためのエミッタフォロアです。

D3とD4を伴ったT1はRX時またはTX時用のダブルバランスミキサです。TX時には、J1からのオーディオ信号は、C47、D8とC8を通過して、R10に行き、C22とC23によりRF信号が除去されます。ミキサによりローカル発振器からの信号とミクスされた後、R44、R29とR30によるアッテネータに入力されます。TX部の第一アンプQ6に入力され、順次X1-X4のクリスタルフィルタ、TX部の第二アンプQ9、TX部のドライブアンプQ10、出カアンプQ11-13の入力されます。RX時には、それぞれQ8はRX部の第1アンプに、Q7は第2アンプになり、受信信号はX1-X4のクリスタルフィルタに入力されています。R44、R29とR30によるアッテネータを通過して、T1、D3とD4によるミキサへ、その後C23、R10とC22によりRF信号が除去され、C5を介してQ3により増幅されます。受信部はフロントエンドにSSBフィルタを配置したダイレクトコンバージョン方式です。

部品表

部品/表示	値	数量
R1/R2/R12-R19/R51-52	1.0k	12
D6/D7	1N4007	2
D1-D5,D8	1N4148	6
R4/R5/R38-R42/R49	2.2k	8
Q1-Q13	2N4401	13
R45-R48	4.7Ω	4
J3	10-14V 電源	1
R20-R23	10Ω	4
C1-C8、C47	10μF	9
K1	12V リレー	1
L4	22μH	1
R8-R11/R43/R44/R50	47Ω	7
C46	50pF 半固定	1
R3/R6/R7	100k	3
C41-C44	100pF	4
C9	100μF	1
C10-C36	103(0.01μF)	27
C45	220pF	1
R24-R32	220Ω	9
C37、C38	390pF	2
X5	7074kHz	1
X1-X4	7078kHz	4
LED	赤色/緑色 LED	1
ANT	BNC	1
T2	FT37-43 8T バイファイラ巻き. 本文を参照のこと	1
T1	FT37-43 8T トリファイラ巻き. 本文を参照のこと	1
S1	押しボタン SW	1
L1-L3	T37-2 16T	3
J1	MIC 用	1
J2	HEADPHONE 用	1

キットの組み立て

キットを組み立てる前に、いくつかの約束事について説明しておきます。

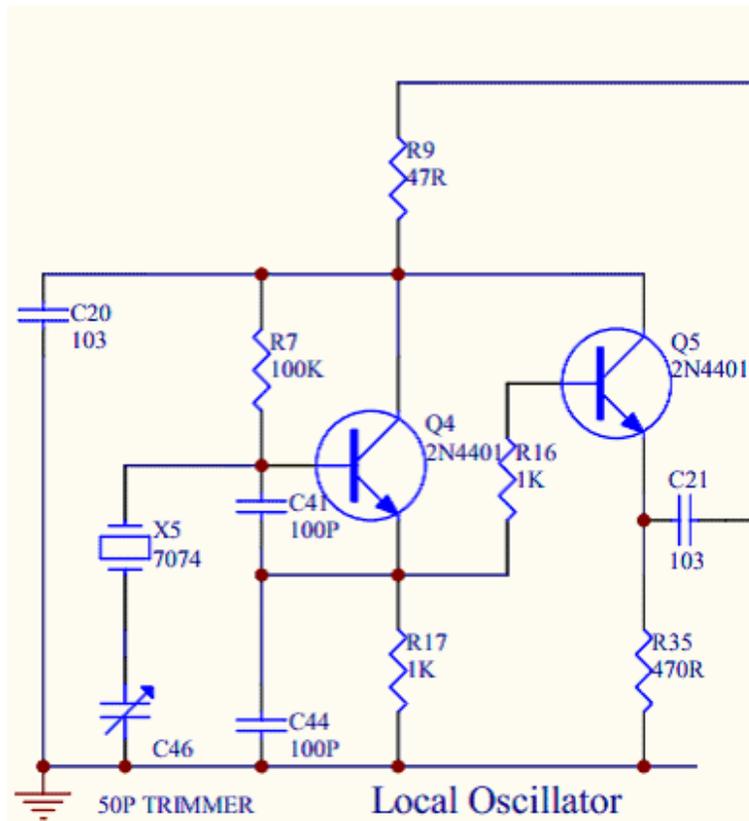
1. 103 キャパシタ($0.01\mu\text{F}$)はすべて 2.54mm 幅で、それ以外のキャパシタは 5.08mm 幅です。本回路では 104 キャパシタ($0.1\mu\text{F}$)は存在しません。
2. トランジスタはすべて、TO-92 パッケージの 2N4401 です。ピンの順序は、平らな面を上にして、左から右に E(エミッタ)-B(ベース)-C(コレクタ)です。最初に、Q11-Q13 用に hFE(電流増幅率)が一致したものを 3 個選別しておくことをお勧めします。それ以外はどれでも構いません。
3. ダイオードや電解コンデンサなど極性のある部品に関して、すべて PCB 上の短いラインがカソード(またはマイナス)を示します。部品は正しく挿入してください。
4. コネクタはすべて隙間がなく PCB に取り付けます。そうしていないと、パネルに取り付けるのが大変になります。

モジュールベース(ステップバイステップ)の組み立て

初めてキットを作成する場合は、以下の手順を考慮して、モジュールをステップバイステップで組み立て/テストしてください。

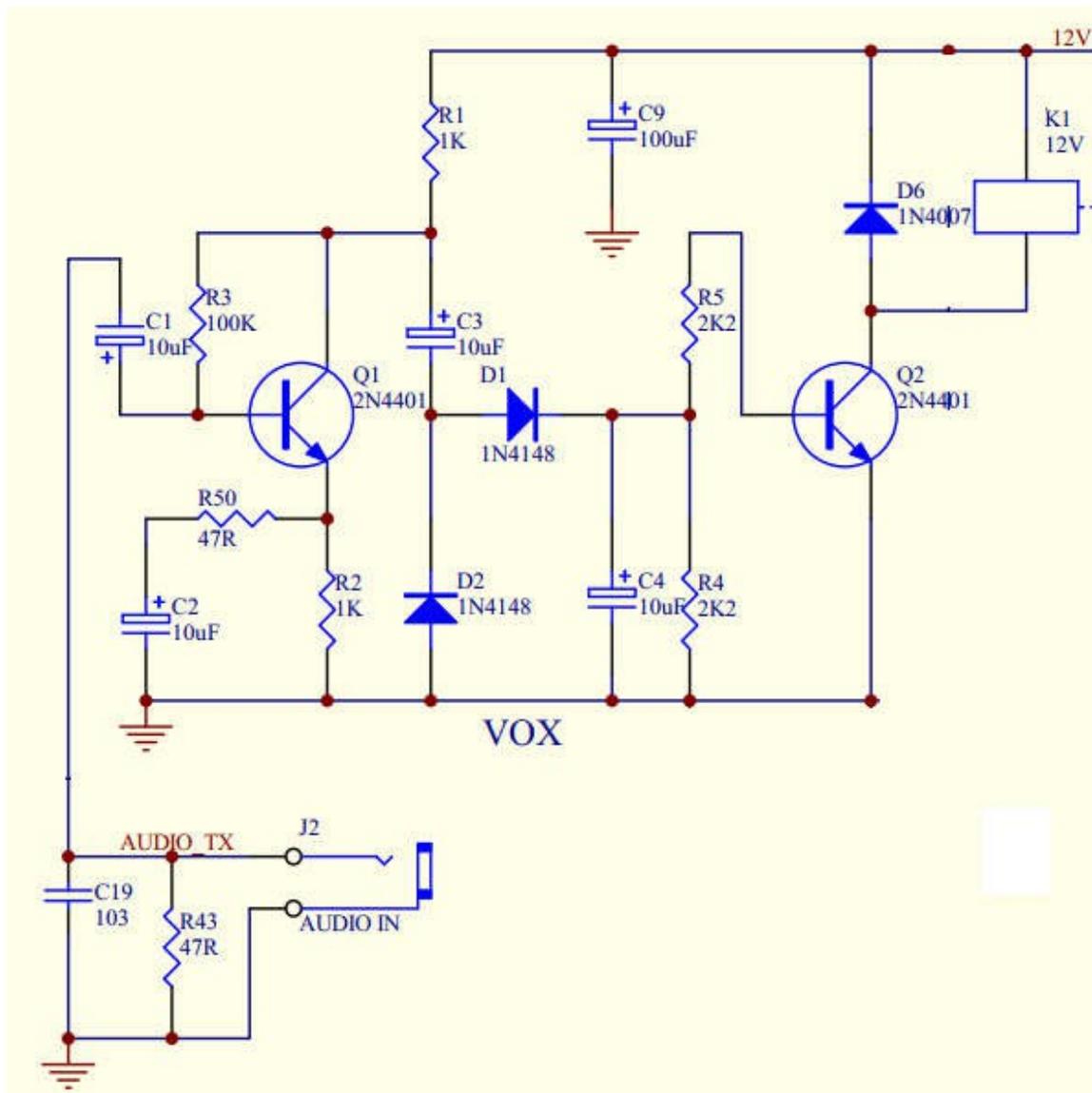
ステップ 1: ローカル発振部 - X5、Q4 と Q5

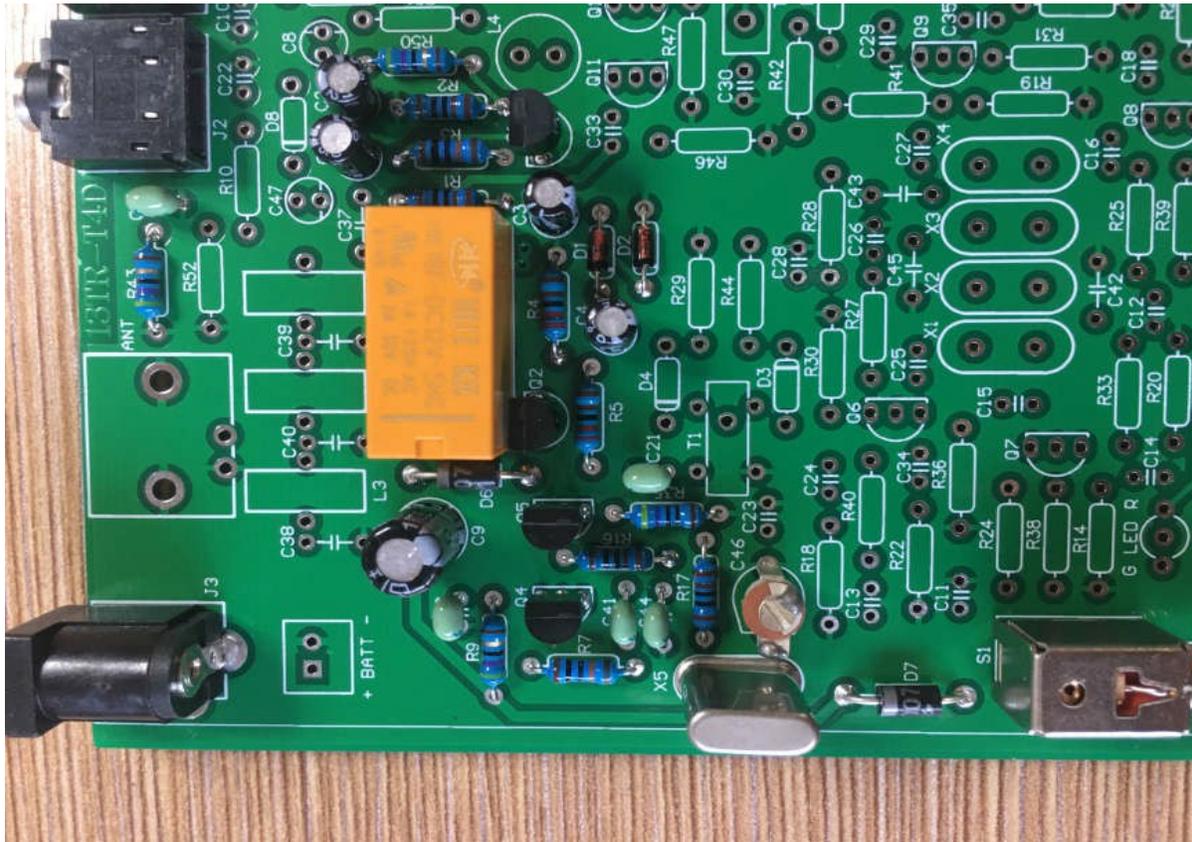
回路図を確認してください。このステップをテストするには、その前に J3、S1、D7 それに C9 も取り付けます。回路図には正しい値が表記されていますが、再度部品表と見比べてください。抵抗のカラーコードに慣れていない場合は、マルチメータで抵抗値を確認してください。色が似ていて識別が難しいものもあります。



ステップ 2: VOX - Q1、Q2 と K1

回路図を確認してください。

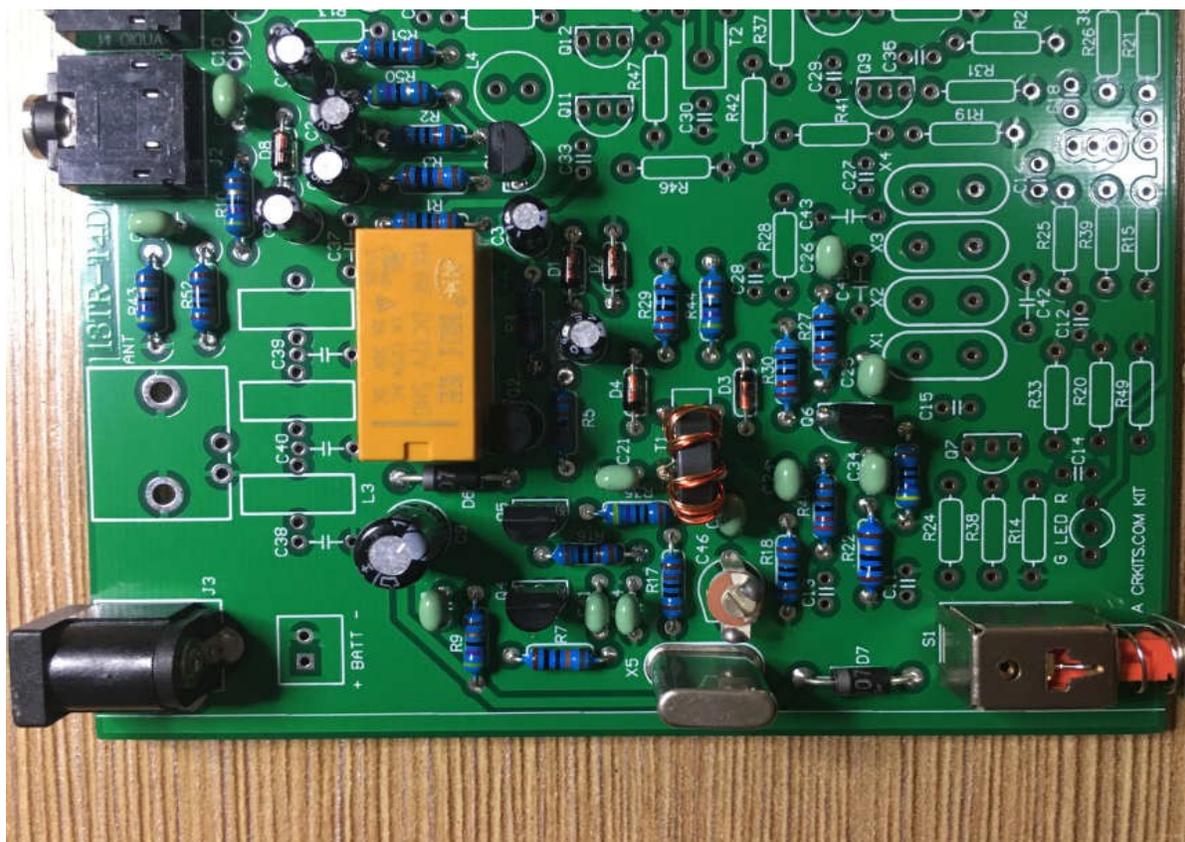
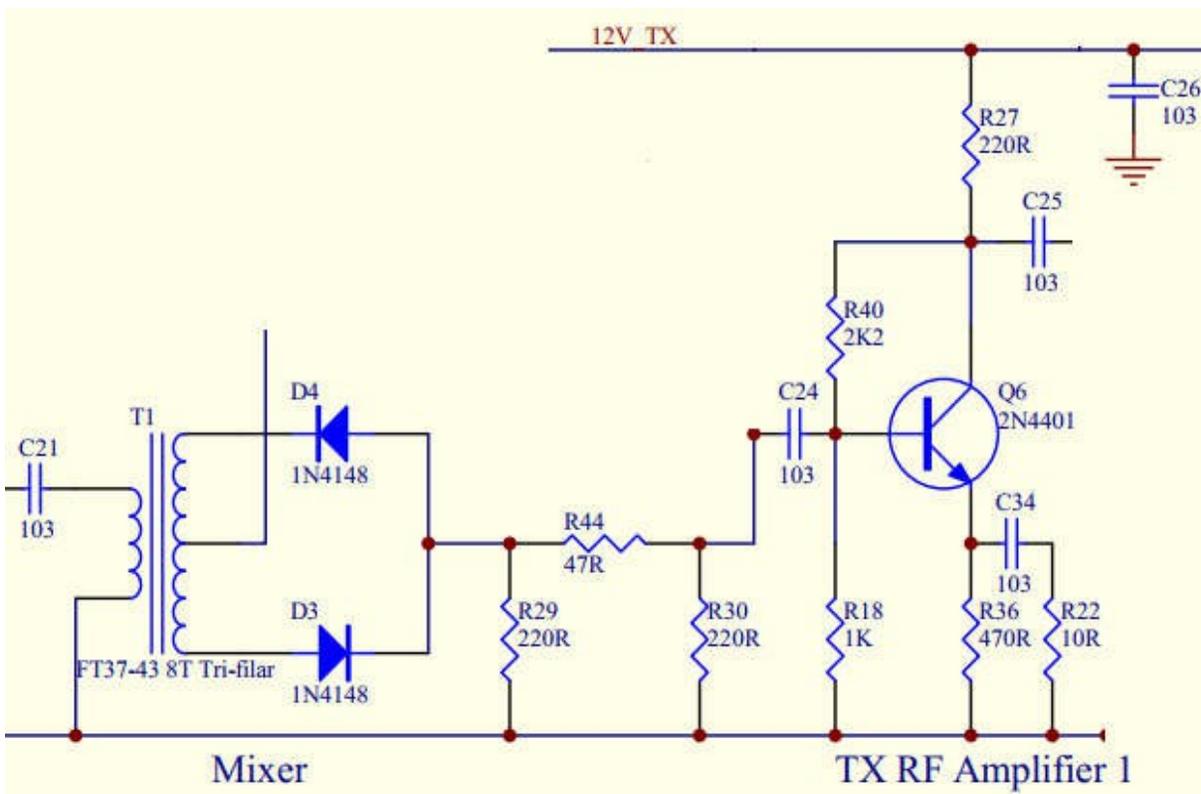




このステップの終了後、J2に2000Hz、150mV RMSの正弦波信号を入力し、リレーがONするかどうかを確認します。また信号を外してリレーがOFFするかどうかを確認します。信号発生器をお持ちでない場合は、(iPhoneならSonic Toolのような)アプリケーションをダウンロードし、スマートホンに信号発生器として使用します。スマートホンの音量を最大に設定します。状態を判断しやすくするために、このステップで3ピンLEDとR49を取り付けても構いません。足の短いピンがG(緑色)、次に短いピンがR(赤色)で、中央の足の長いピンが共通端子のグランドです。パネルから頭が出るように足を曲げ、S1の中心と同じ高さになるよう取り付けます。J2にオーディオ信号が入力されると、赤色が点灯します。

ステップ 3: ミキサおよび TX RF アンプ 1 - T1 と Q6

回路図を確認してください。このステップでは、R10、C22、C23、R51、R52、C8、C47 それに D8 も取り付けます。

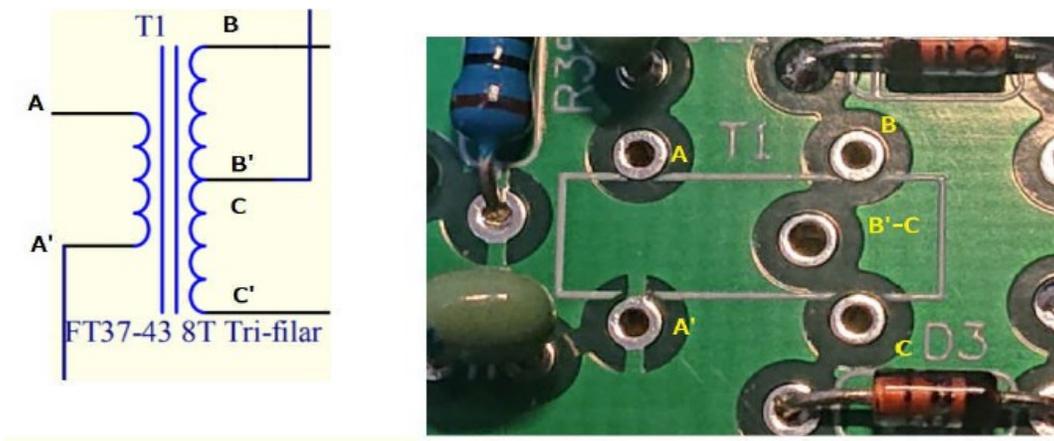


T1の巻き方は、このキットでは最も難しい部分です。ダイオードリングミキサ(ダイオード式DBM)ではよくある方法です。トロイダルコイルの巻き方についてW2AEWがよくわかるビデオを作成しています。ビデオとは違うのは、赤色のワイヤ20cmと、真ん中で折り曲げた金色のワイヤ40cmを使用して、トロイダルコアFT37-43に8回巻くことです。下に掲載した写真も役に立つでしょう。

<https://www.youtube.com/watch?v=a8ViWS61hsU>

T1とT2の巻き方について中国語のビデオを作成しました。

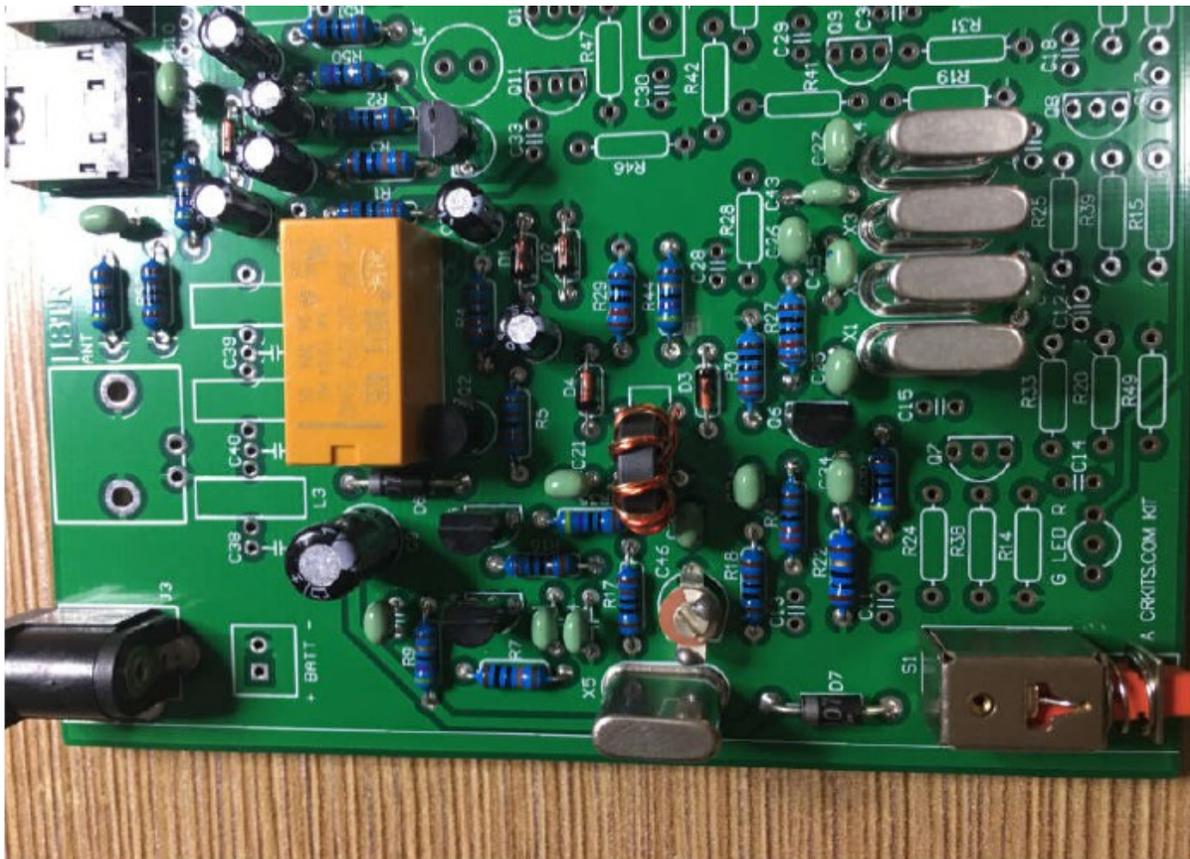
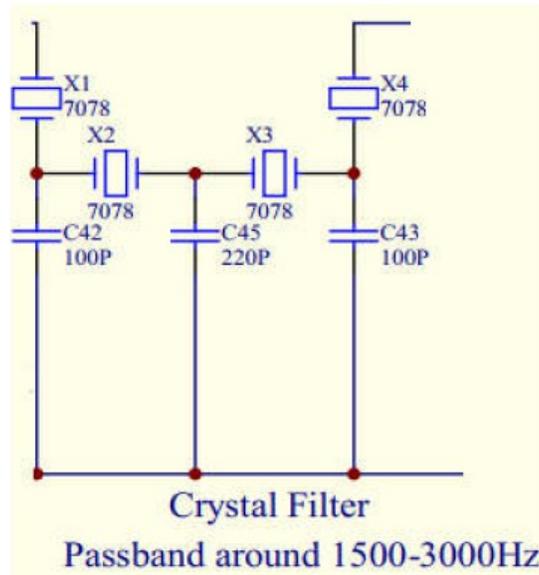
<https://mp.weixin.qq.com/s/8dQuNIRKEHyKq9VB69Oynw>



略図はJL1KRAが作成してくれました、感謝します。

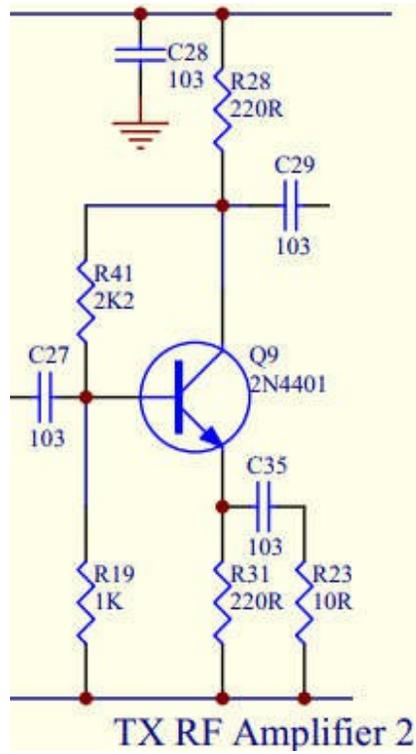
ステップ 4: クリスタルフィルタ - X1-X4

回路図を確認してください。



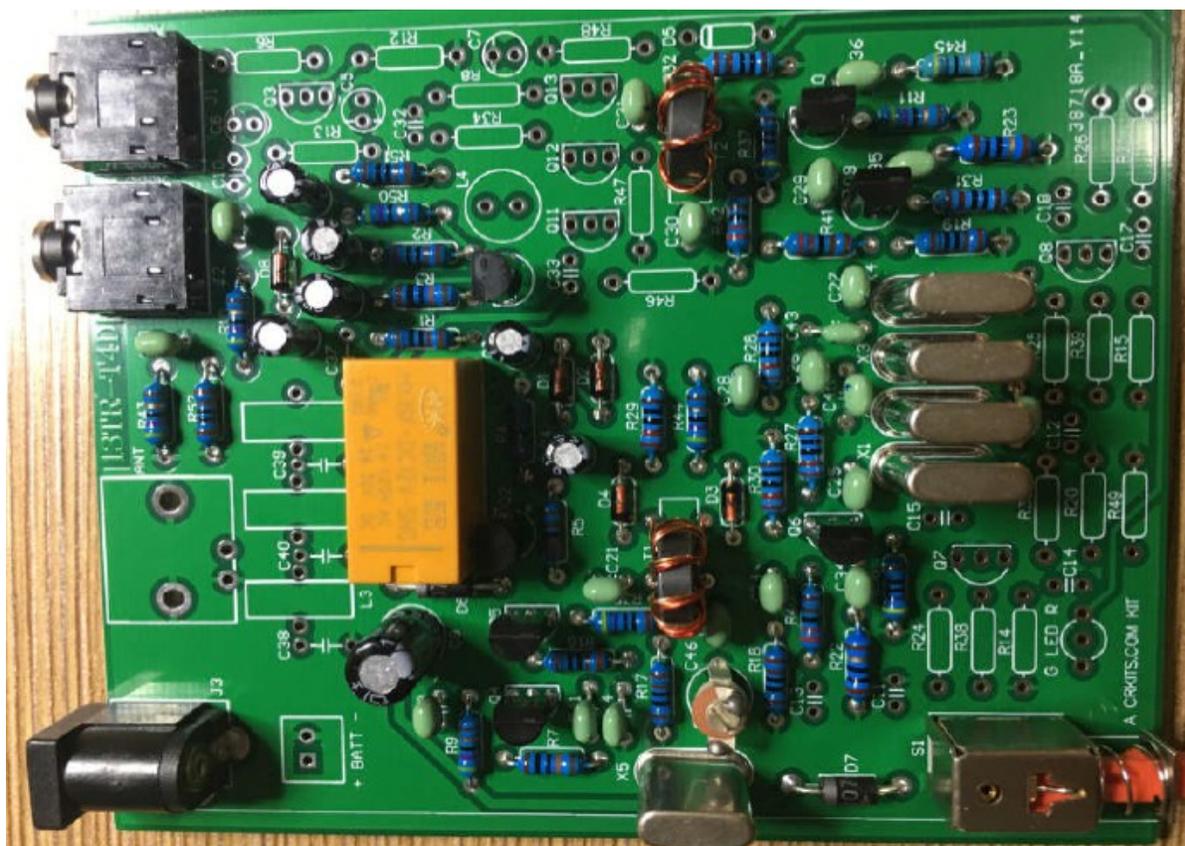
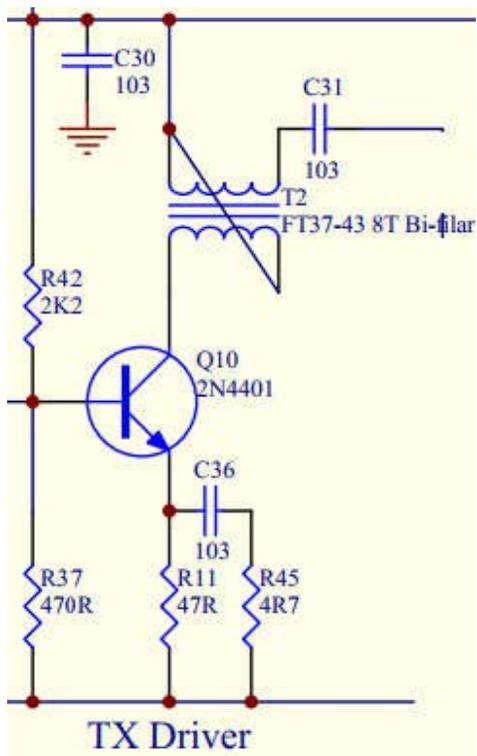
ステップ 5: TX 部の RF アンプ 2 - Q9

回路図を確認してください。



ステップ 6: TX 部のドライバンプ - Q10 と T2

回路図を確認してください。

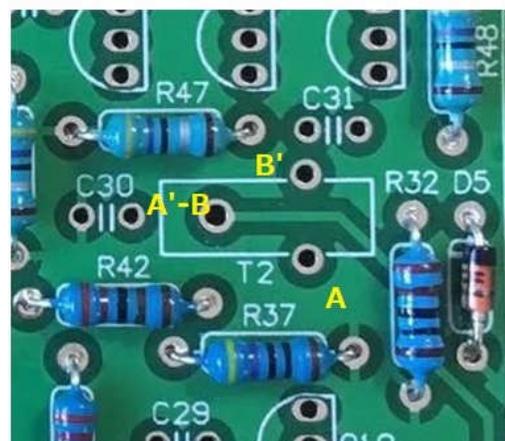
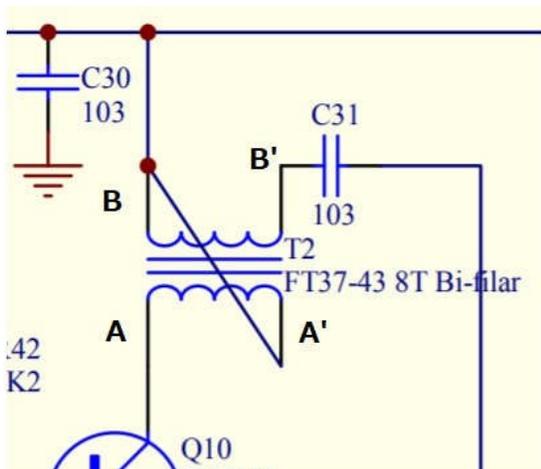


T2の巻き方は、このキットでは最も複雑な部分です。

赤色のワイヤ 20cmと金色のワイヤ 20cm を使用して、トロイダルコア FT37-43 に8回巻きます。下に掲載した写真も役に立つでしょう。

T1とT2の巻き方について中国語のビデオを作成しました。

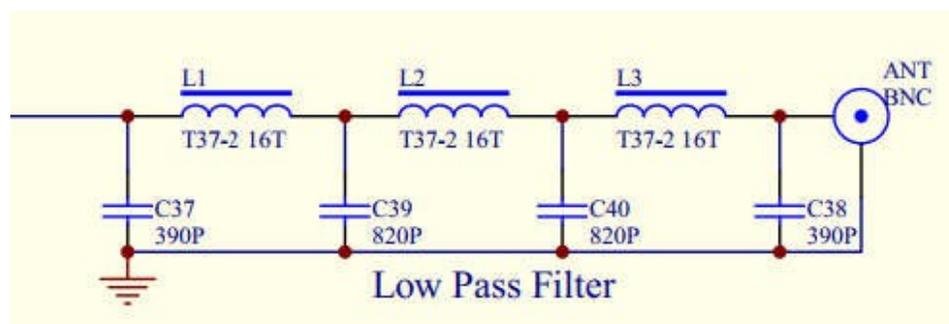
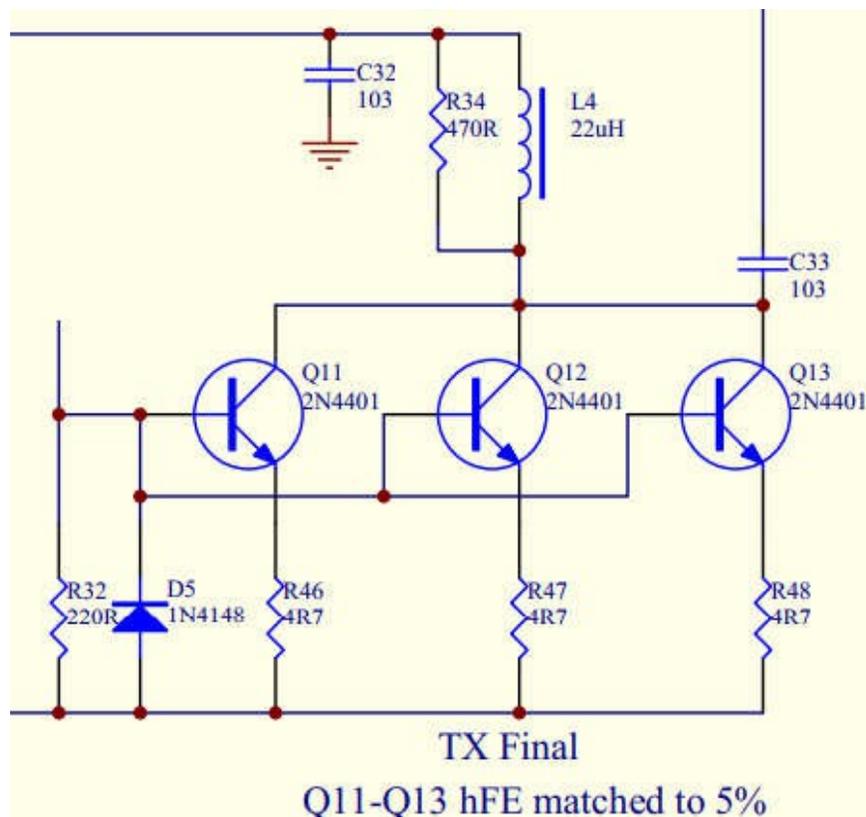
<https://mp.weixin.qq.com/s/8dQuNIRKEHyKq9VB69Oynw>



略図はJL1KRAが作成してくれました、感謝します。

ステップ 7: TX 部の出力アンプと LPF – Q11-Q13 それに L1-L4

TX 部の出力アンプと LPF については回路図を確認してください。ここまでに取り付けしていない場合は、LED と R49 9 も取り付けます。



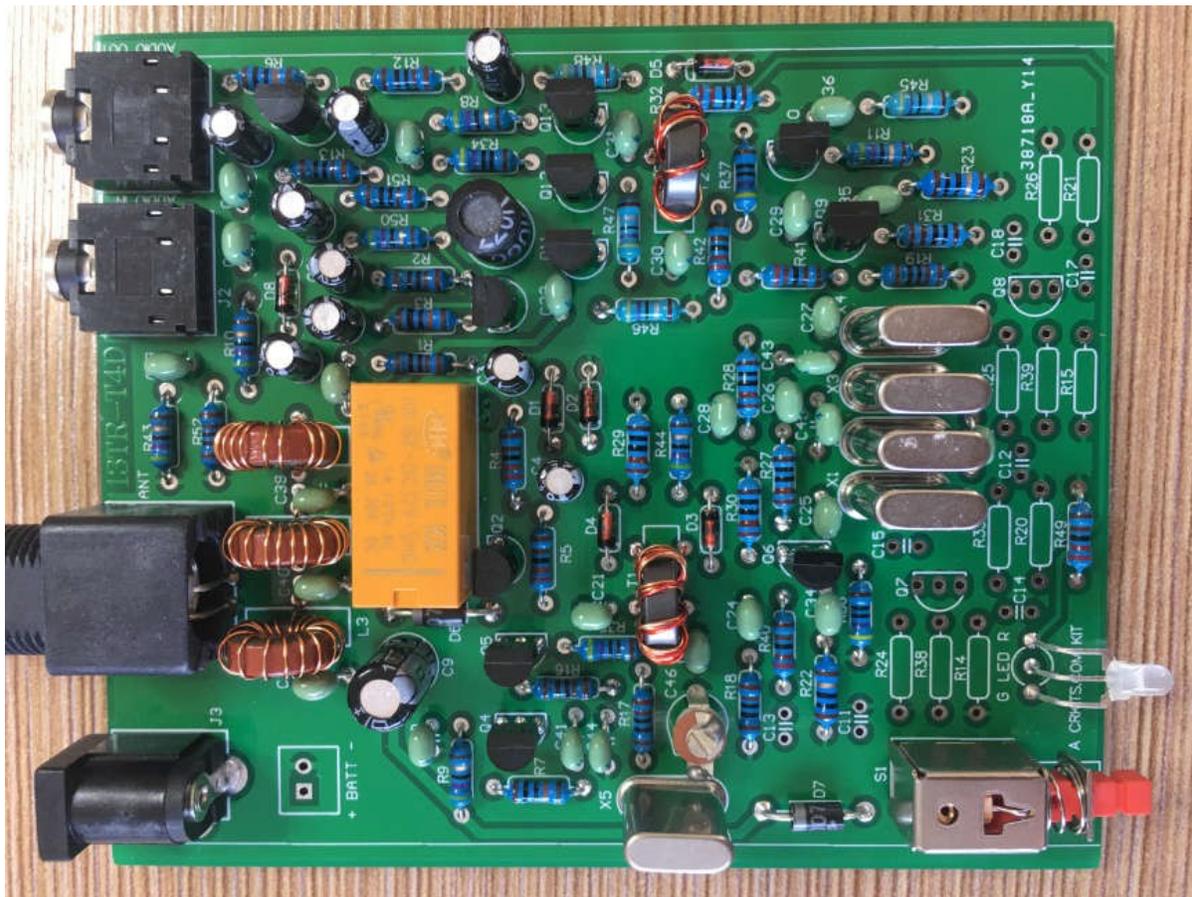
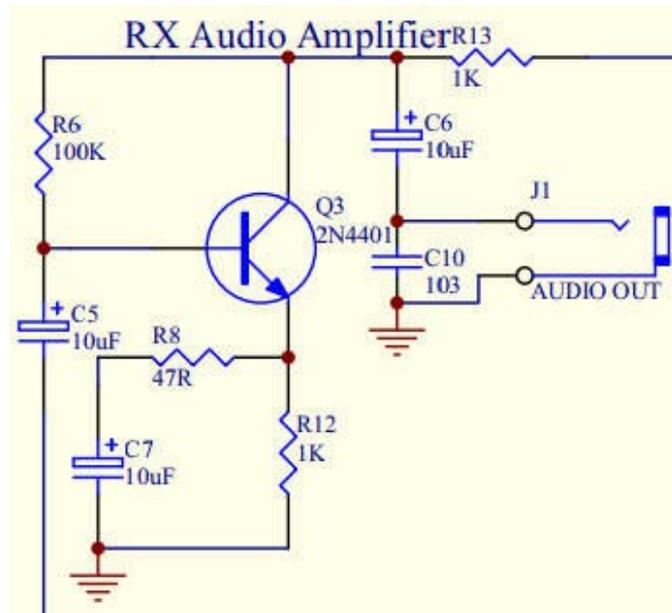
前に述べたように、Q11-Q13 用に hFE が 5% 以内で一致するものを選別するようお勧めします。通常 hFE は 200 前後なので、 ± 10 以内なら大丈夫です。大抵のマルチメータには hFE の測定機能があると思います。2N4401 は NPN トランジスタで、ピンの並びが E-B-C です。L1-L3 の巻き方はずっと分かりやすく、金色のワイヤ 25cm を使用してトロイダルコア T37-2 に 16 回巻きます。



このステップの終了後、送信部をテストします。再びスマートホンを使用して、2000Hzのオーディオ信号を発生します。アンテナコネクタに接続する50Ωのダミーロードも必要です。電源を電源コネクタJ3に接続し、スイッチS1を押します。J2にオーディオ信号を入力し、手近の受信機を7.076MHzにあわせて、何か信号が聞こえるかどうか確認します。S1をOFFにしてS1に流れる電流値を測定し、TX時に大体300-350mAであることを確認します。

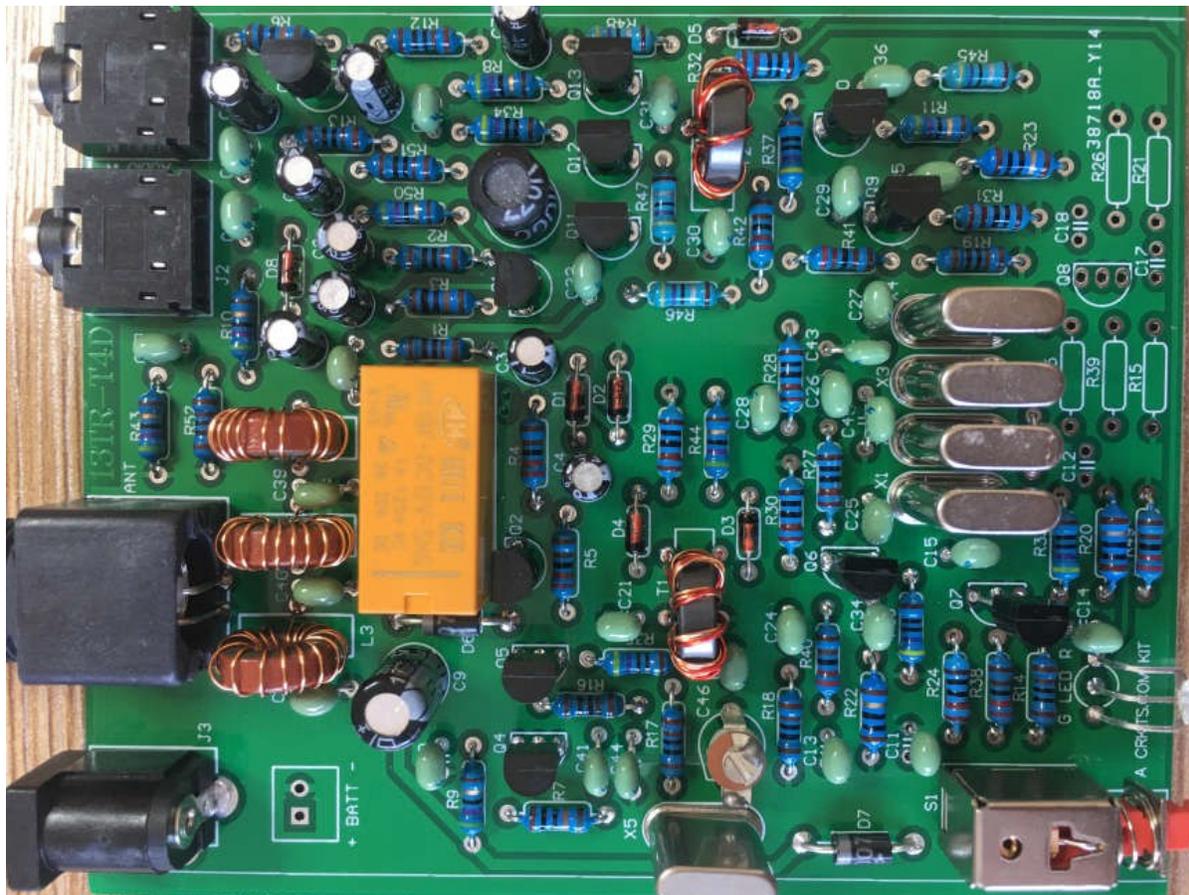
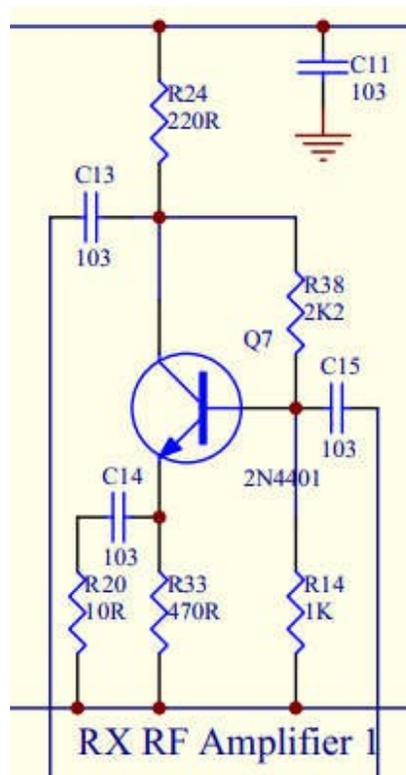
ステップ 8: オーディオアンプ - Q3

回路図を確認してください。



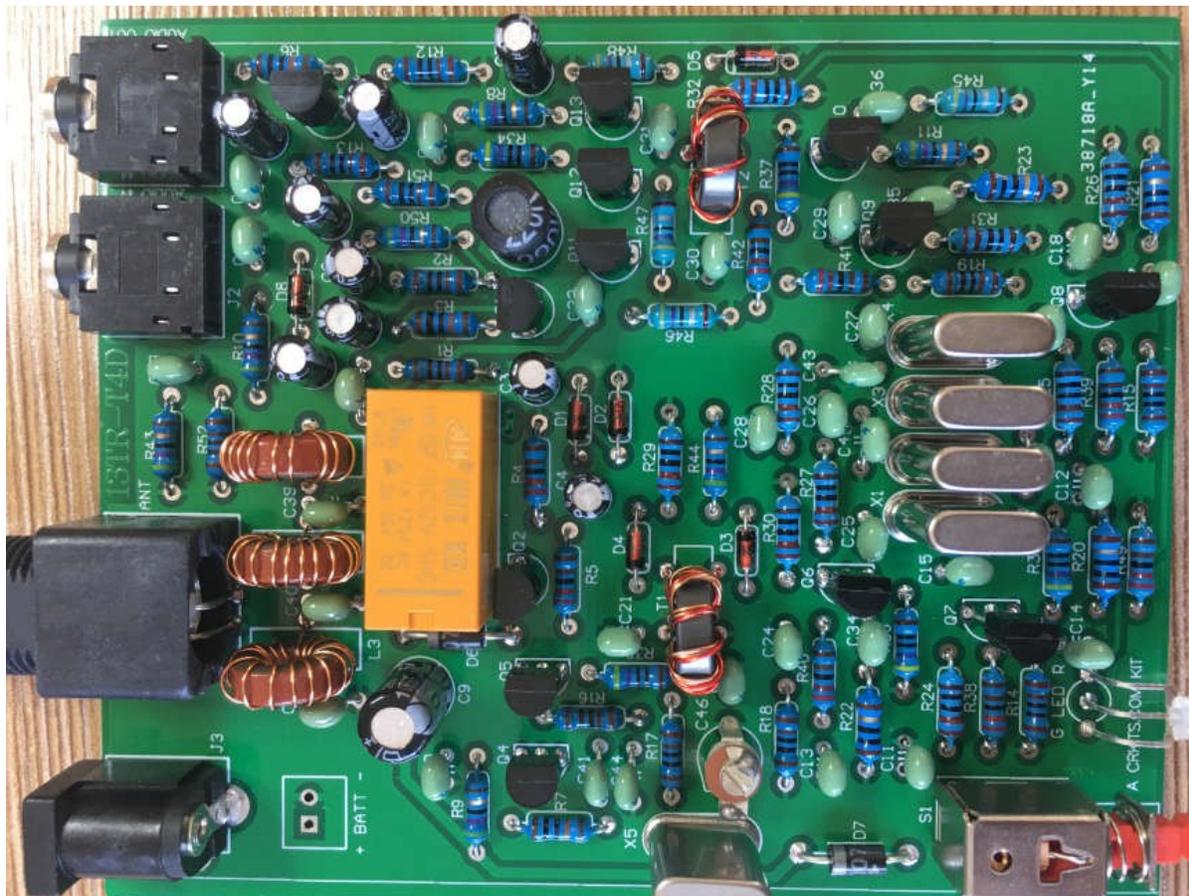
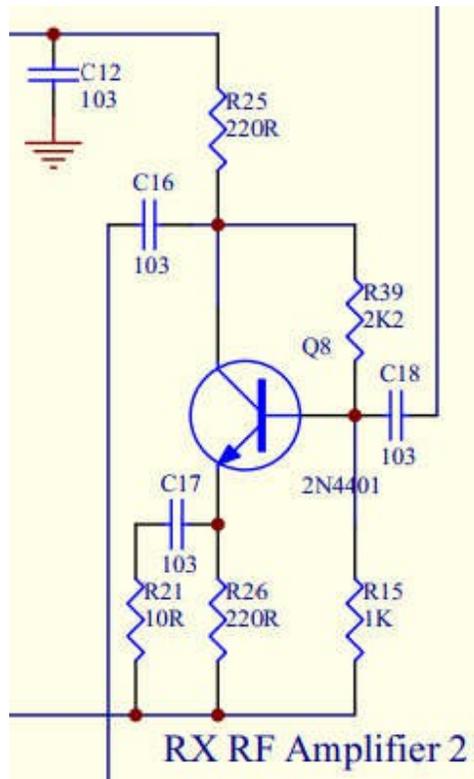
ステップ 9: RX 部の RF アンプ 1 - Q7

回路図を確認してください。



ステップ 10: RX 部の RF アンプ 2 - Q8

回路図を確認してください。



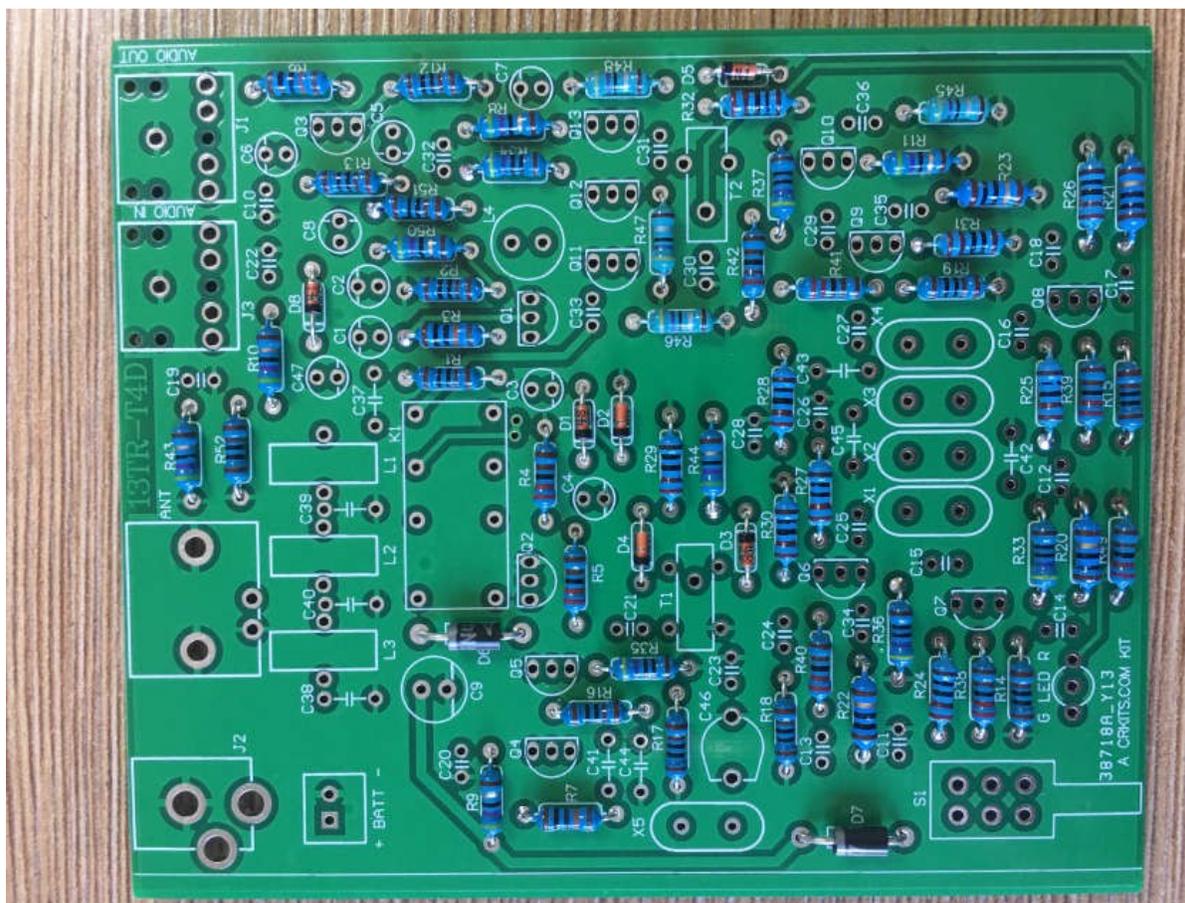
このステップの終了後、受信部をテストします。アンテナをコネクタに接続します。

電源を電源コネクタ J3 に接続し、J1 を USB サウンドカードの MIC 入力に接続して、スイッチ S1 を押します。MIC 専用の入力端子のあるサウンドカードをお勧めします。WSJT-X または JTDX を使用して、アンテナに届いた信号のスペクトラムを確認します。PC の時計が正確ならば、なにかデコード結果が表示されると思います。S1 を OFF にして S1 に流れる電流値を測定し、RX 時に大体 50mA であることを確認します。

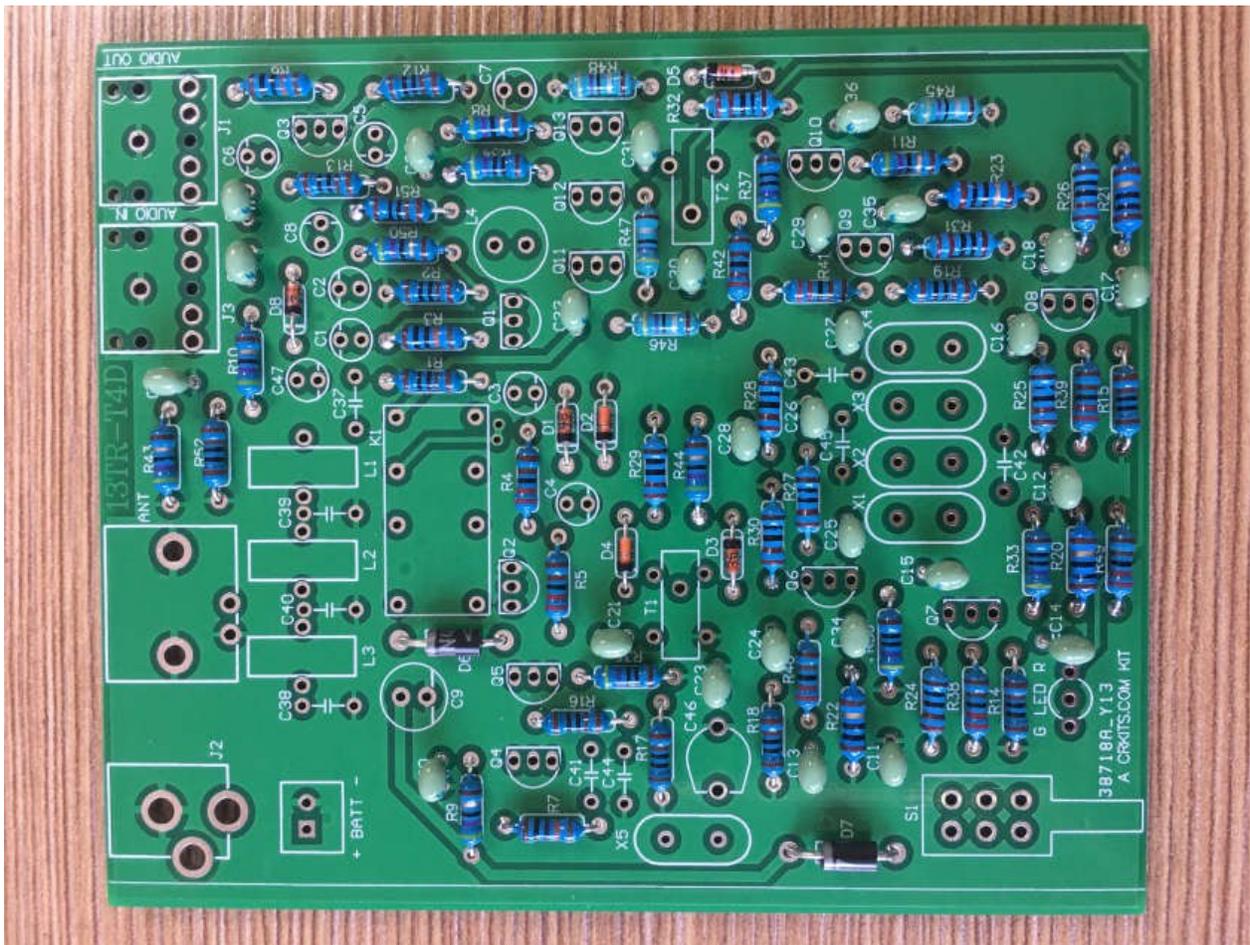
スピード組み立ての手順

組み立ての熟練者でしたら、組み立て時間を短くするために、以下の手順でも構いません。

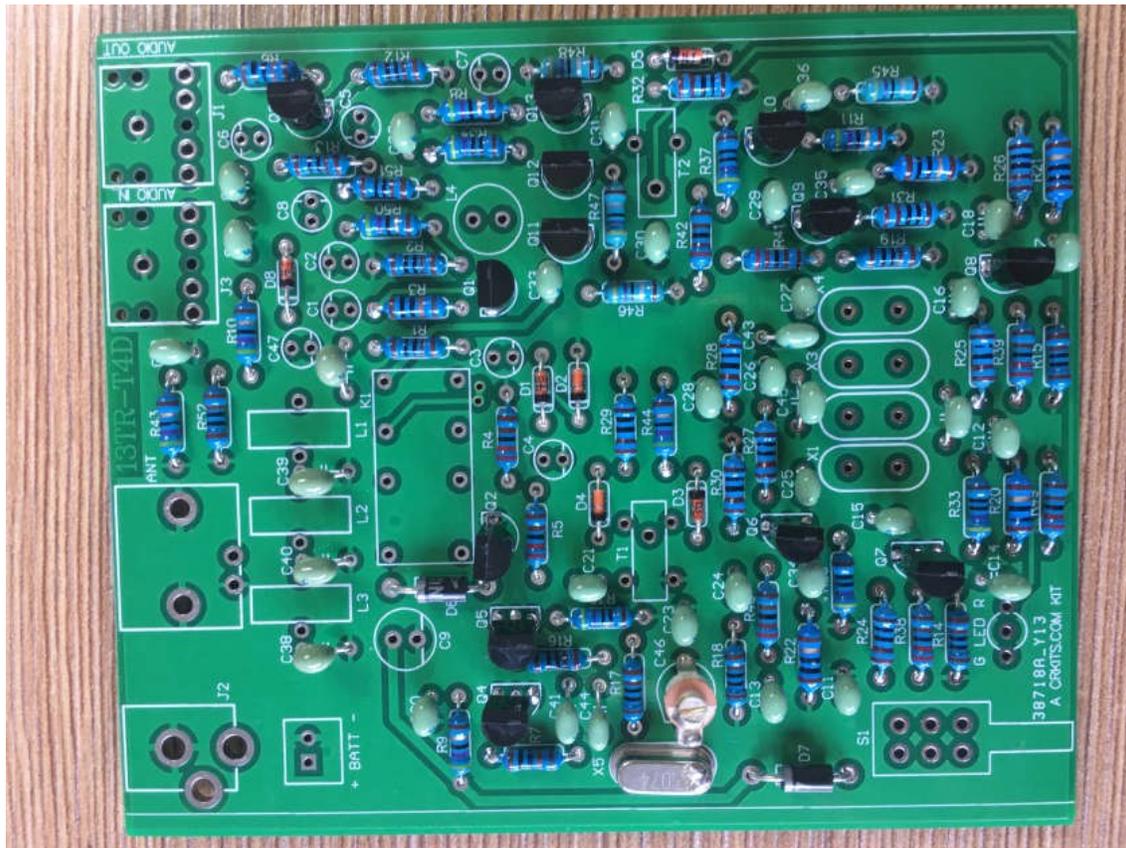
ステップ **1**: 抵抗とダイオードをすべて取り付けます。



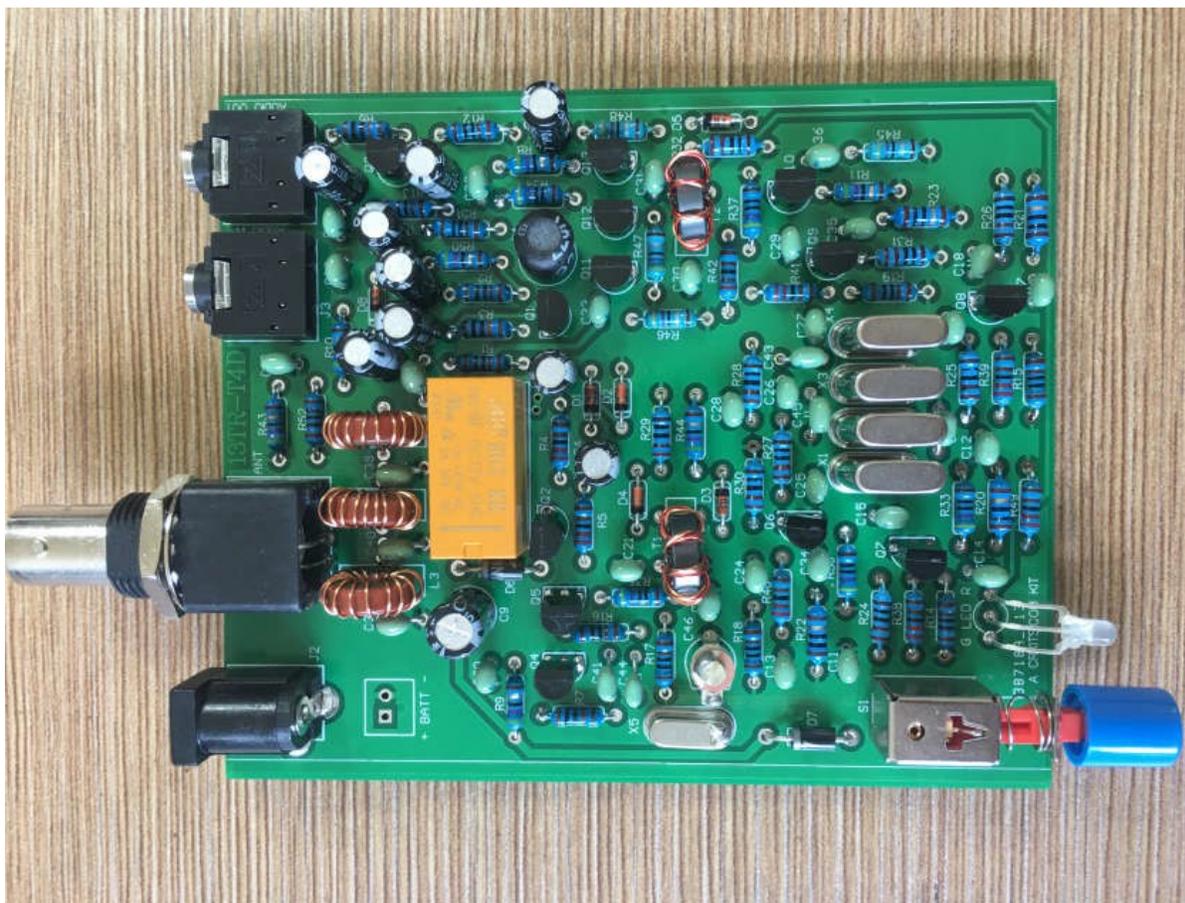
ステップ **2**: 103(0.01 μ F)キャパシタをすべて取り付けます。



ステップ 3: すべての **2N4401** とその他の部品を取り付けます。



ステップ 4: 残りの部品を取り付け、ボードの組み立ては終了です。トロイダルコイルの巻き方、特に **T1** と **T2**、については前述の説明を参照ください。



ステップ 5: ケースに組み込んで、キットの組み立ては終了です。



調整

これまでのキットの組み立ての間に、ローカル発振器の周波数の調整を終了し、RX時およびTX時の電源電流を測定しています。動作時の実際の温度は多少上昇するので、実際の動作時に周波数を精確に合わせるの
は動作3分後に行うことをお勧めします。

私は有名な TCXO 付きの受信機を使用しています。2000Hz のオーディオ信号を入力して、TX 状態にすると、調整済の受信機で信号を受信します。繰り返しますが、オーディオスペクトラムを観測し、出力される信号のピークを探すために、Sonic Tools のようなアプリケーションを使用してください。信号のピーク周波数が 2000Hz になるように C46 を調整します。それで OK です。

TUNE 機能を使用して、ソフトウェア WSJT-X や JTDX のオーディオ出力をいつでも調整できます。オーディオレベルを上げた場合は、僅かに RF 出力が大きくなりますが、歪みが増加する危険性があります。場合によっては、リレーがカチャカチャ動作することがあるかもしれません。そのようなレベルに設定することを避けてください。

運用方法

ケーブルの接続:

- ・MICと HEADPHONE が別々になった USB サウンドカードを使用し、
- ・オーディオ出力を MIC に、オーディオ入力を HEADPHONE に接続します。

ソフトウェアの設定:

- ・PTT モードを VOX にして、Radio を None に設定し、
- ・RX 時のオーディオレベルを調整し、安定して VOX が切り替わるように TX 時のレベルを 50dB に調整します。

注意:

ソフトウェアの設定値は D4D とほぼ同じです。詳しくは D4D のキット組み立て説明書をご覧ください。ページ 20 から始まるステップ 8 です。

TX 周波数の修正方法:

- ・注意:TX 周波数がフィルタの通過帯域内にあるように注意してください。さもないと、RF 出力電力が低下しゼロになることがあります。
- ・したがって、TX オーディオ周波数が明確に 1500-3000Hz にあることを確認の上、TX 周波数を修正するように注意してください。これは呼び出しに応答する際に特に重要です。

QRP 運用テクニック:

- ・強力な信号に反応すると、聞こえる可能性が高くなります。
- ・GrayLine 期間のような伝搬期間では、CQ を出すことが可能です。

リンク

- ・各ステップ毎に BOM の付いた Larry のマニュアル

http://www.qrvtrronics.com/CatHAM_Radio/files/13_Transistor_DigitalTransceiver.pdf

- ・各ステップごとの LTspice シミュレーション、13TR の組み立てとテスト(日本語) - JK1EJP のページ

<https://jk1ejp.hatenablog.com/>