

# VHF トランシーバーの製作

豊福 優音 西原 漣

識別符号 JO4LGF JO4KVB

## 1. 研究概要

普段、身近に利用している VHF(超短波) トランシーバーを実際に製作することで、電子回路や電波についての知識を深めるとともに電波の有効利用の方法についても同時に習得することにした。

## 2. 研究の内容

今回製作するトランシーバーで使用する周波数は 50MHz である。また、送信出力は 250mW、送信モードは AM(振幅変調)・CW(連続波)、外部付属装置によって A7K(両側波帯によるデジタル信号の 2 以上のチャンネルの音声/電信/ファクシミリ/データ伝送/テレビジョン/無情報)などが送信できるように設計を行った。また、電波法と新スプリアス規定(不要電波)に適合できる様にした。研究は送信回路と受信回路に分けてそれぞれ製作し、送信回路では、発振回路、混合回路、終段増幅回路、BPF(バンドパスフィルター回路)に分けて作っていく。受信回路は RTL-SDR を用いて製作を行っていく。



図1 ブロックダイアグラム

## 3. 製作した回路

### (1) 送信回路について

送信回路は高周波(50MHz)を扱うため、通常の基板製作の時に用いるユニバーサル基板は使うことができない。そのため銅板の上に回路を作っていく「ベタグラウンド方式」を用いて回路設計及び回路政策を行っていった。まず AM(振幅変調)を行うために最も重要な音声を入力し、搬送波と混合するための混合回路の製作を行った。音声を入力し混合する

ために、必要な電力を得るために LM386 を用いて音声増幅回路を設計及び製作をした。

LM386 は、低い電源電圧で動作するように設計されたオペアンプである。外部部品を極力少なくするために、ゲインは IC 内部で 20 倍になるようになっているが、外部に抵抗、コンデンサをつけることによって 200 倍までの値に設定することも可能である。搬送波を発生させるための発振回路は水晶発振器を用いてトランジスタ発振回路とした。最初に周波数を固定することで、容易に製作を行っていくためである。完成時は Silicon Laboratories 社製の Si5351A という半導体を用いて、DDS(Direct Digital Synthesizer)を用いて周波数発振回路を製作した。次に音声信号と周波数発振回路で作った搬送波を混合するための混合回路を製作した。この混合回路は FCZ コイルを用いて搬送波と信号波の混合を行う。次に混合回路で作った変調波の増幅を行うが、混合回路のみで作った変調波では終段回路を動作させるほどの電力がないため、終段回路の前にドライバー段という、回路を追加した。ドライバー段では 2SC1815 を用いた電力増幅回路とし、ドライバー段を通すと -10dBm ほどの電力が実験により確認できた。約 100  $\mu$ W ほどの電力である。dBm と W の変換式は以下の通りである。

$$\text{dBm} = 10 \log_{10}(\text{mW})$$

最後に終段増幅回路の製作を行った。終段増幅回路は NEC 社製の NPN トランジスタ 2SC2952 を用いて製作を行った。終段回路を設計する上で 1 つ考慮することがある。それは AM 変調の B/C 級の増幅回路用いてしまった場合、トランジスタの動作点の理論上音声

のみが出力されずに増幅されてしまう。

そのため終段回路では A 級増幅回路を設計し回路の製作を行っていく。A 級増幅回路とは、増幅素子の入力と出力の関係が直線的（比例関係）になるよう、入力信号の全瞬時値にわたり出力が直線的に対応するバイアス電圧・電流を与え、入力と相似の出力が得られる方式である。B 級や C 級と比べて最も歪みの少ない出力が得られるが、一定のバイアス電流が常時流れているので消費電力が大きく、入力信号が無い時でも増幅素子には直流電流が流れるため電力を消費する。これらの回路をひとつの銅板の上に製作したものが図 2 になる。最終的にモード AM/CW、出力は 22dBm の出力が確認できた。

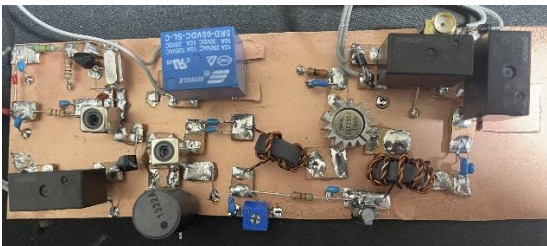


図 2 送信回路図

## (2) 受信回路

受信回路は SDR (Software Defined Radio) と呼ばれる受信機を用いることにした。このソフトウェア無線機では、アナログ高周波部に対してデジタル信号処理部の比率を高めて、ソフトウェアによって無線システムの機能を変更できるようにするものである。ソフトウェア無線機の構成要素には、アナログ高周波部、変換部 (A/D, D/A) デジタル信号処理部がある。さらに、ソフトウェアのダウンロードを扱う必要がある。

## (3) アナログ高周波部

RF 信号を扱う部分。受信側ではアンテナから受信した RF 信号を周波数変換によってデジタル信号処理の可能なベースバンド受信信号に変換する。送信側ではベースバンド送信信号を周波数変換して RF 信号としてアンテナから送信する。

## (4) 変換部 (A/D, D/A)

変換部はアナログとデジタルの橋渡しの部分である。受信側ではアナログのベースバンド受信信号を A/D によりデジタルのベースバンド信号に変換する。送信側ではデジタルのベースバンド信号を D/A によりアナログのベースバンド送信信号に変換する。

## (5) デジタル信号処理部

デジタルのベースバンド信号を扱う信号処理の部分であり、無線システムの要となるデジタル変復調、符号化・復号化、通信プロトコル制御等の機能を持たせている。その機能をソフトウェアで柔軟に変更できるようにするため、ハードウェアとしては、FPGA (Field Programmable Gate Array), DSP (Digital Signal Processor) 等を用いている。ソフトウェアでシステム機能を変更することをリコンフィギュアビリティ (Reconfigurability) と呼び、さらに、無線回線などを介して外部からソフトウェアをダウンロードすることによってプログラム書換えできるダウンロードビリティ (Downloadability) の機能を持たせている。このようにリコンフィギュア

(Reconfigure) の可能な構成を持つハードウェアが利用できるようになると、ソフトウェアをダウンロードすることによって、種々の無線システムの機能を実現できるようになる。図 3 が今回製作した送信機/受信機の回路図になる。

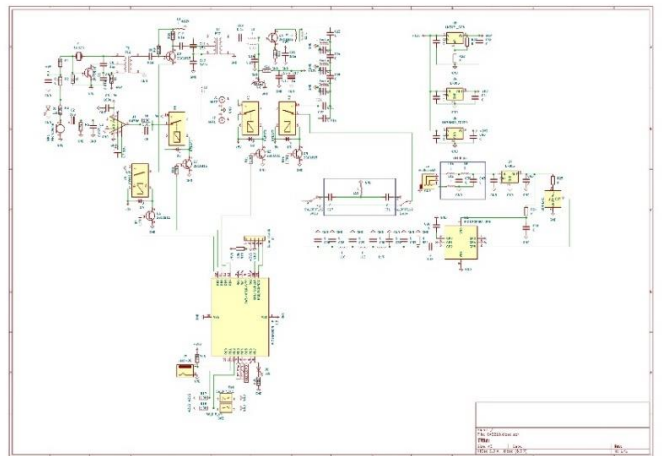


図 3 送信回路図

送信回路ができたので次に送信回路を制御するための制御回路を製作していく。制御回路は Microchip Technology Inc. (マイクロチップ) / Atmel Corporation (アトメル) 社製のマイコン PIC16F1827-I/P を用いて製作を行った。制御回路では送受信リレーの切り替え/送信時受信機の過大入力保護リレーの動作/AM(振幅変調)・CW(連続波)の切り替え/ドライバー段のトランジスタ 2SC1815 のエミッタ端子のコントロール/送受信切り替え入力/送信ボタン及び CW(連続波)送信信号の入力/OLED(有機 EL ディスプレイ)の画面制御これらの動作を制御している。

まず、リレーの制御ではトランジスタのスイッチング回路を用いた。マイコンの HI/LOW のみの信号ではリレーを駆動させる事ができないため、ここでは 2SD1207 を用いてエミッタフォロワで動作させている。次に OLED(有機 EL)は I2C と呼ばれる方式で制御している。これは、フィリップス社で開発されたシリアルバスである。I2C で使われているのは、抵抗でプルアップされた双方向のオープンコレクタ信号線が 2 本だけで通信を行い、シリアルデータ (SDA) とシリアルクロック (SCL) から構成されている。I2C の特徴では、7bit のアドレス空間のうち 16 の予約アドレスを除いた最大 112 個のノードが、同じバス上で通信できる。もっとも一般的な I2C バスのモードは、100kbit/s の標準モード (standard mode) と 10kbit/s の低速モード (low-speed mode) がある。ノード数の拡大と高速動作が可能な 400kbit/s のファーストモード (Fast mode) や 3.4Mbit/s の高速モード (High Speed mode) の追加と、10bit アドレス空間などの機能拡張が行なわれている。実際に I2C の信号をオシロスコープで測定した様子が図 4 である。

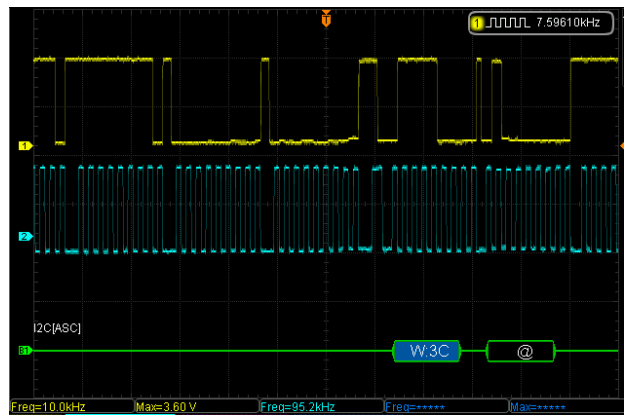


図 4 I2C バス波形

そして PIC マイコンとリレースイッチング回路、OLED 制御回路などをすべてユニバーサル基板上に製作したものが図 5 である。

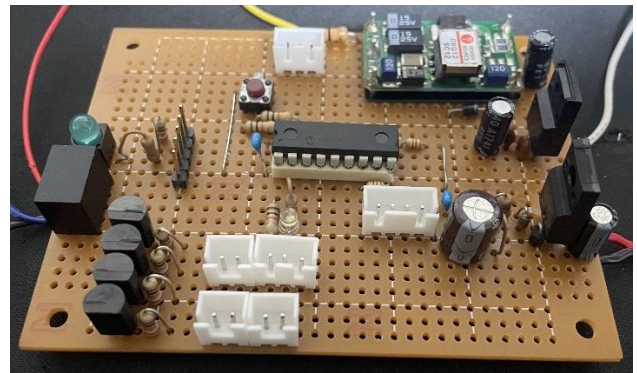


図 5 制御回路



図 6 OLED 表示中写真

(OLED ディスプレイ表示中の画面)

図 6 は OLED の表示の様子である。OLED とは、有機 EL ディスプレイのことを指し、一般的に表示で消費する電力が液晶ディスプレイより少ないことが利点である。ただ、長時間表示をさせると画面に焼き付きが生じる恐れがある。そして、総務省の定めるスプリアス基準を合格するためにフィルター回路も製

作した。バンドパスフィルター(BPF)は 特定の周波数帯の物理現象を抽出するフィルターとした。フィルター装着前は第一次高調波が-21dBm 第二次高調波が-40dBm, 第三次高調波が-55dBm このような高調波が第十まで出力されており, 総務省の定めるスプリアス基準を満たすことができなかった。フィルター装着後は第一次高調波が-23.3dBm 第二次高調波及び第三次高調波が-90dBm 以上となり, フィルターを装着することによって不要電波を抑えることができた。これにより総務省の定める基準を満たすことができた。図7では不要電波を測定した結果のスペクトラムアナライザの出力波形である。

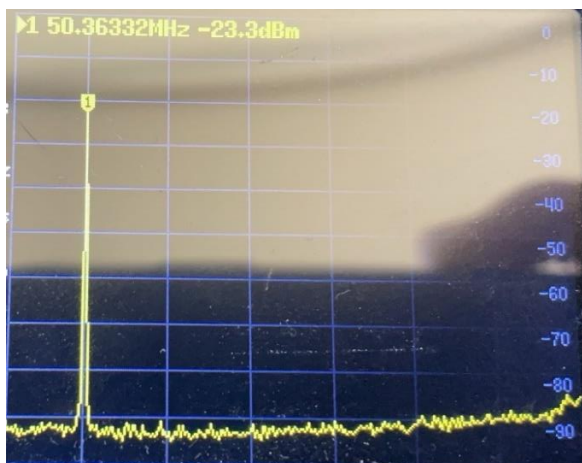


図7 スペクトルアナライザ波形

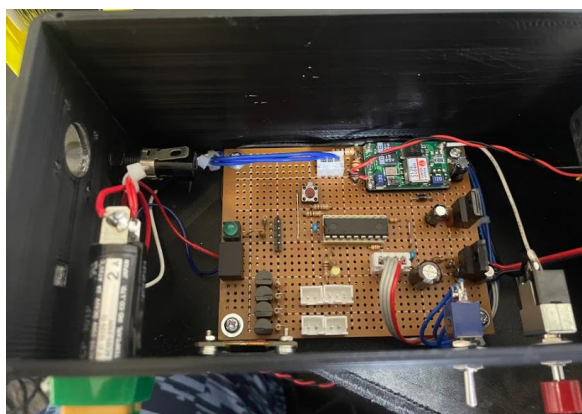


図8 内部配線写真  
(内部の中での配線の様子)



図9 完成写真

### 3. 研究のまとめ

実際に組み立てて完成したトランシーバーの写真が図8と図9である。今回、トランシーバー製作を実際に行ってみて感じたことは、製品が実際に発売されるまでには様々な工程や困難があり, それらの問題点を個人で解決しようとするとは非常に大変だという事だった。先述したように無線機には不要電波の規定や送信出力の規定があるがこの規定に合致するように製作を行おうと心掛けても, 想定外のトラブルが起きて計画より遅れてしまい, 回路製作に時間が掛かってしまう事があり, 予定通りにいかないこともあった。最終的には完成し, 今回の課題研究を通して, 様々な知識と技術を身に付けることができた。

### 参考文献

総務省電波利用 HP 無線設備のスプリアス発射の強度の許容値

<https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/other/s/spurious/>

技術講座：ソフトウェア無線

<https://www.fujitsu.com/jp/group/mtc/technology/course/sdr/>

dBm-Watt 変換表

<https://www.mrf.co.jp/technical/rf/dbmwatts/>

I2C

<https://ja.wikipedia.org/wiki/I2C>