

目次

- p.3 東北大学アマチュア無線部へようこそ@富沢いずみ
- p.6 お手軽移動運用@WTX
- p.11 アナログ変調方式の種類とその利点について@リー
- p.15 1 アマ受験記@WTX
- p.19 135kHz アンテナの制作@部員 A
- p.23 E級アンプを用いた 135 kHz 帯 FSK/GFSK 送信機の試作 @JP7VTF

東北大学アマチュア無線部へようこそ

富沢いずみ

さて、このページを今見てくださっているということはアマチュア無線に少しでも興味を持っている方ということになるのでしょうかアマチュア無線って何なの?大学のサークルのアマチュア無線部はどんな団体でどんな活動をしているの?と素朴な疑問を持っている方も多いと思われます。確かに今の時代アマチュア無線に全く触れることがなくても国内外の人と電話、SNS、ウェブサイトなどを使って気軽に連絡を取ることが出来るためその存在をあまり知らなくても自然なことと思われれます。しかしアマチュア無線は未だに様々な可能性を持つ楽しい趣味としてそして時には便利なものとして知って、使って損のないものなのです。このページではそんなアマチュア無線についての基礎知識と当部についての紹介を行っていきます。また本冊子の他の記事にはアマチュア無線に関する技術的な記事や運用についての記事など色々取り揃えていますので是非楽しんで読んでみて下さい!!

1.アマチュア無線とは

アマチュア無線と通常の電話での交信との一番大きな違いは電波を直接相手に届けて交信するということです。通常の電話では基地局を経由する反面、アマチュア無線では限られた周波数帯域のうちアマチュア無線用に使うことの出来る周波数帯域の電波を使い身近な友人から県内県外、世界中まで幅広い人と交信をすることが可能です。アマチュア無線のハードルが高く感じてしまうのもここに起因し、電波を公正公平にしようするために「免許」を取得しないと使えないこと、また各自で無線機を買わないと交信が始められないことがあります。ただ「免許」についても、国内を中心に通常運用をするのであればアマチュア無線技士免許の「第四級アマチュア無線技士(4 アマ)」か「第三級アマチュア無線技士(三アマ)」を取得すれば良く、この試験は比較的簡単なため無線に関

する法規的な知識と技術的な知識を過去問中心に覚え理解すれば誰でも取得出来ると思われます。また無線機についても当部には幾つもの無線機があるため、そちらを使用することが可能ですし、安いものであれば数万円から自分の無線機を購入することも可能です。

実際に無線機を使い運用(アマチュア無線で交信することを運用と言います)する際に必要なものとしては呼出符号(コールサイン)がありますがこちらも部としてのコールサインがあるため最初はそちらを使い運用できます。コールサインや運用時のルールについてはまた別記事で触れておりますのでそちらも参考にしてみてください。



図1：片平部室



図2：川内部室

2.アマチュア無線部について

当部、東北大学アマチュア無線部は歴史あるアマチュア無線を行っている団体であり、各種コンテストでの受賞履歴を持つサークルで、現在片平キャンパスと川内キャンパスの2つの部室を中心に活動しています。

片平キャンパスは東北大学発祥の地でもある伝統的な場所であり、その一角にある部室には実際の運用に使うアンテナや無線機器、工具類などが数多く保管されており、当部の活動拠点といっても過言ではない部室です。また川内キャンパスは1,2年の一般教養の授業を受けるキャンパスでありその一角にこちらも部室があります。普段の部会はこちらを中心に行っており、無線機やオシロスコープなどが保管されています。

当部の活動内容の中心は勿論無線の運用ですが、それ以外にも電子工作やプログラミングなどを行う環境・部員がおり無線を中心とした幅広い分野を活動内容としています。

活動は基本週に一回部室で集まり情報交換や準備を行っている他、年に数回コンテストに出場したり、近辺の山などに無線機を持っていき移動運用を行っています。またそれ以外にも春には新歓 BBQ、秋には芋煮、冬には忘年会や追いコンなど楽しいイベントも行っています。現在部員は現在 10 名おり、学部 2 年から大学院生まで、学部も理学部工学部薬学部と幅広い所属の部員が在籍しています。

初心者、文系理系問わず大歓迎です。無線に興味ある方、単純に部に興味を持った方誰でも歓迎!

是非一度部室を見学に来てください!!



お手軽移動運用

WTX

はじめに

アマチュア無線には様々な運用スタイルがある。常置場所での運用、モバイル運用、移動運用などである。示した3つの運用スタイルのうち、常置場所で運用することに越したことはない。というのも常置場所であれば電源に困ることもなく、常置場所では50Wをこえた出力の免許をおろすことができるからだ。常置場所以外で移動する局の免許では50W以下の出力しか免許されないのである。ただ、私の環境で常置場所運用ができるかと言われれば、NOである。私の自宅は小さな学生アパートであり、ベランダにVUのアンテナくらいなら設置できているが、波長の大きなHFのアンテナなどは設置ができて、短いものだと飛びがいまいちである。そこで、私のできる運用方法は移動運用である。移動運用と聞くと、車に発動発電機やらの大がかりな設備のことや毎回アンテナの設営をしなければならず大変だという考えをお持ちの方もいるかもしれないが、この記事ではお手軽移動運用と題してお手軽に低コストで移動運用をしようというコンセプトで私の移動運用を紹介していきたいと思う。

移動運用の設備の紹介

まずは、私が個人で所有する無線機の紹介をしたいと思う。まずハンディ機としてFT-65を、HF機としてIC-7100を所有している。ここでは、HF機として使用しているIC-7100での7MHz帯の運用について紹介する。まず、最初の問題は、私は車を持っていない。そのため、徒歩か公共交通機関での移動となるので、できるだけ軽く、持ち運びやすく、コンパクトにすることを念頭に置いて物品の準備を行った。

次に揃えた物品をどうやって持ち運ぶのかということについて紹介する。物品は折り畳み式の台車で持ち運びをする。ここに、ポール、工具箱、バッテリー、同軸、ロープなどが収納できるようにボックスを固定した。だいたい 10kg 近く重量があると思うが、徒歩での持ち運びはそこまで負担にならなかった。リグについては振動に弱いと思ったのでリュックに 100 均で購入した包装のビニールやタブレット端末のケースを使用しそこにコントローラーとケーブル類を入れている。ポールは台車にうまくロープなどで取り付けて運ぶ。ポールはホームセンターで購入した 6m の掃除用ポールである。安くて軽いのがこのポールを購入した理由だ。耐久性はそこまでなく、ローカルの方によると風が強いときに設営すると曲がってしまうらしい。また、かなり重量のあるアンテナなどのものは取り付けられないと思われる。実際、左右のエレメントの張り方のバランスが悪いとカーブしてしまった。バッテリーは、カーバッテリー 40B19L を使用している。重さは、約 8kg。5 時間率容量は 28AH ということである。少し重いが安価に手に入れることができた。このように、そろえた物品は、お掃除用のポールや一番安いタイプのバッテリーであるが、私のコンセプトである「お手軽に、低コスト」という点においてはピッタリであると思っている。

表 1 物品の所在

リグ	リュック
電池	台車のボックス
アンテナ、ロープ	ボックスの上のカバン
同軸	ボックスの上のカバン
バッテリー	台車のボックス
ポール	台車



図 1 物品の様子

次にアンテナの設営についてである。アンテナは半波長ダイポールアンテナを使用した。6mのお掃除用ポールに balan を取り付け、同軸ケーブルは 10m の 5d-2v を使用し balan に取り付け、ポールに這わせる。ポールの固定はそもそもポールが台車についているので、台車とポールごと柵に固定する形で固定をした。固定は 100 均で購入した、マジックテープを使用。エレメントについては、エレメントの先に、ロープを取り付ける。そのロープの固定は、柵や転がっている石にロープを結んで固定を行った。バッテリーから電源をとり、無線機は台車に取り付けたボックスの上に置き、同軸、電源ケーブルを無線機に差し込み、設営完了である。



図1 設営したアンテナ

最後に、運用についてである。運用はカーバッテリーのため、出力を絞って10Wで運用を行った。このような出力であっても2,3,8エリアを中心にとってもらうことができた。まだ、通常交信1回とコンテスト2回だけしか運用を行っていないので正確なことはわからないが、QSBがあるということも言われたこともあったように、ちゃんと電波が飛んでくれるかどうかはコンディションとロケーション次第だと思った。コンテストでは、3時間弱使用したが、電池は残りがなくなることもなく大丈夫であった。カーバッテリーは残りが0になると充電しても復活しなくなるのでその点にはご注意ください。



図2 運用中の様子
9

まとめ

「お手軽、低コスト」という2つのキーワードで移動運用の紹介をしてきた。どうしても、HFだとアンテナが大きくなるため自宅に設置できない。しかしながら、「移動運用は大変そう」と思う方の解決の手がかりとなればと思った。

今回はあまり紹介しなかったが、究極のお手軽、低コスト移動運用はハンディ機1台運用ではないかと思う。ぜひ、私の運用方法も参考にさせていただきながら、自分にあった運用方法を見つけていただければと思う。

アナログ変調方式の種類とその利点 について

リー

私たちは、日々の暮らしをスマートフォンなどの電子機器に支えられています。その中でも、電話やインターネットなどの無線通信の発達が私たちの生活を良くも悪くも劇的に変えたものだと思っています。ですが、その無線通信について私たちが知っていることはあまりありません。ということで、どのように情報が私たちの元へと届けられているのかを調べてみました。

まず、情報は電波を通して届けられると聞いたことはあるかと思います。山などに行くと「電波がこない」であたり「ここ圏外かー」、とついつい言ってしまいますよね。ですが、どうやって電波から0、1の情報に直すのでしょうか。当然、機械が私たちの言葉を勝手に機械語にして伝えてくれるわけではありません。人の声と同じように波に変化をつけて、それから内容を読み取る・波にする方法があるのです。その方法を変調と言い、変調の仕組み(アナログ変調方式¹)は3個あってそれぞれ特徴があります。次はそれらを説明していきます。

まずはAM(Amplitude Modulation)です。ラジオなどで聞いたことはあるかも知れませんが、このAMは振幅を変化させることで情報を送っています。簡単に言うと図1の(b)のように波のあるときを1、ないときを0という方法で情報のやり取りを行なっているわけです。スイッチのON・OFFみたいなものだと考えた方が簡単かも知れないです。

この方法の特徴は、キャリア波と呼ばれる細かい波と元の波を数学的に掛け算するだけで作れるため簡単に設計できる点と周波数の占有幅が小さい、

¹ 今回は連続的な波という現象から話を進めたためアナログだけの話をします。自分で電子工作を行う時や歴史的にみてもデジタルよりアナログのほうが現象論的で理解も難しくないと考えます。

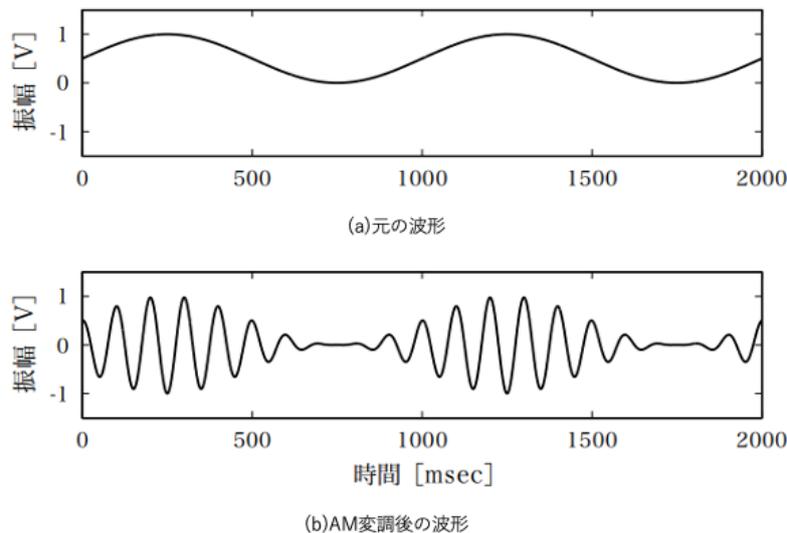


図 1 AM 変調の波形

(引用:「無線知識」第 2 回 電波を使った情報伝達 図 3

http://bfcc.jp/radiocom_2.html より)

ノイズに弱く、送電電力が時間的に変化する点の 4 つ存在します。設計が簡単なのは言葉の通りです。一応、(1)式のように計算すると使える周波数帯域が 2 つあることに気がつきます。この内、上側の周波数 $((\omega_1 + \omega_2)/2\pi)$ のことを USB(Upper Side Band)、下側の周波数 $((\omega_1 - \omega_2)/2\pi)$ のことを LSB(Lower Side Band)と言います。なお、SSB と USB の違いは送受信をシングルバンドで行うか(LSB の部分はフィルタで除去する)、2 つの周波数を送受信するかの違いです。

ノイズに弱く、送電電力が時間的に変化する点の 4 つ存在します。設計が簡単なのは言葉の通りです。一応、(1)式のように計算すると使える周波数帯域が 2 つあることに気がつきます。この内、上側の周波数 $((\omega_1 + \omega_2)/2\pi)$ のことを USB(Upper Side Band)、下側の周波数 $((\omega_1 - \omega_2)/2\pi)$ のことを LSB(Lower Side Band)と言います。なお、SSB と USB の違いは送受信をシングルバンドで行うか(LSB の部分はフィルタで除去する)、2 つの周波数を送受信するかの違いです。

$$\sin(\omega_1 t) \times \sin(\omega_2 t + \varphi) = \frac{1}{2} \{ \cos((\omega_1 - \omega_2)t - \varphi) - \cos((\omega_1 + \omega_2)t + \varphi) \} \quad (1)$$

次に、周波数の占有幅についてです。これは他も方法と比べて幅が狭く済むと

という話で、1つの周波数で1つの情報を渡せることを意味しています。詳しくは次の変調方式にて話します。最後のノイズに弱い・送電電力が時間的に変動するという話も見てわかる通りです。ノイズについては、AM変調を行った波形にノイズが侵入すると振幅が簡単に変化してしまうことで、復元(復調)した波形が変化してしまうということです。電力についても、振幅が電力の強さと同じ意味を持つため信号の強さが不安定となります。

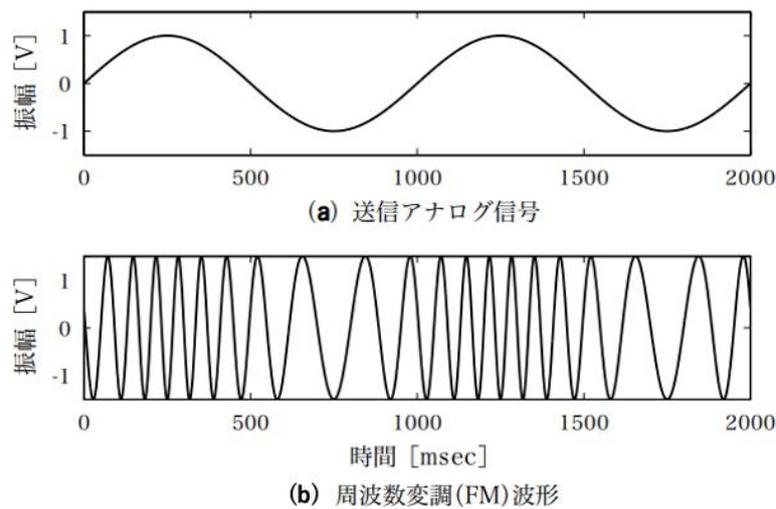


図2 FM変調の波形

(引用:「アナログ変調」図2-6

https://www.cqpub.co.jp/hanbai/books/30/30341/30341_2syo.pdf より)

次に、周波数の占有幅についてです。これは他も方法と比べて幅が狭く済むという話で、1つの周波数で1つの情報を渡せることを意味しています。詳しくは次の変調方式にて話します。最後のノイズに弱い・送電電力が時間的に変動するという話も見てわかる通りです。ノイズについては、AM変調を行った波形にノイズが侵入すると振幅が簡単に変化してしまうことで、復元(復調)した波形が変化してしまうということです。電力についても、振幅が電力の強さと同じ意味を持つため信号の強さが不安定となります。2つ目の変調方式はFM(Frequency Modulation)です。これは、周波数を2つ使いそれぞれ0,1として情報を送る方法です。この方法の特徴は設計がそこまで難しくなく、ノイズに強く、送信電力が一定に保たれるが、周波数の占有幅が大きいという点です。設計は、元の信号に f_1 の周波数をかけて(信号が1の時に f_1 の影響が強くなる)、位相を 90° 変化

させた信号に f_2 の周波数をかけて(信号が 0 の時に f_2 の影響が強くなる)、その和を計算するだけで求められます。AM 変調の乗算機 1 個と比べると乗算機 2 個に加算機 1 つを用いるため多少設計は難化しているといった程度でしょう。また、AM 変調の時と違い振幅が一定のため、ノイズで振幅が変化しても周波数自体に変化が加えられない限りは元の信号を正確に復元できますし、常に信号の強さが変わらずとても安定です。ただし、周波数を 2 つ使用して 1 つの情報を送るため、この点で AM 変調より効率は劣ります。

最後に PM(Phase Modulation)です。名前の通り、位相(Phase)を変化させて情報を送る方法です。この変調方式の名前を聞いたことがある人は少ないのではないのでしょうか。私も図 2 と区別できるわかりやすい画像を見つけられませんでした。この方法があまり知られていないのは他の 2 つの変調より設計が複雑で、位相が $\pm 180^\circ$ までの変化しか認識できないために振幅や周波数より変調する時の選択幅が少ないためです。しかし、使用している周波数が 1 種類で占有幅が小さく、信号もノイズに強く、電力も安定しているという点で他のものより優れています。アナログでは問題がありますが、デジタル(PSK)では位相の問題が解決されるので幅広く使われるものになります。

このように、無線を用いる以上が変調なくては情報を伝えることができせんし、その方法には様々な優劣があることがわかります。例えば、ノイズに強く電力が安定している FM は AM より音の質が良い、という現象や、AM 変調で無線をすると FM では聞こえなかった音声聞こえる²、といった現象が存在します。この説明では書いていないことはまだまだあるので興味を持ってくれた方はぜひ自分で調べてみてください。

参考文献

まずは基本の基本「アナログ変復調」

https://www.cqpub.co.jp/hanbai/books/30/30341/30341_2syo.pdf

周波数変調(FM) <https://www.ni.com/ja-jp/innovations/white-papers/06/frequency-modulation--fm-.html>

² FM は送信電力が小さい信号は大きい信号に書き消されてしまうためこういったことが起こります。

1 アマ受験記

WTX

1.はじめに

アマチュア無線の資格は1級から4級まで存在する。私は大学に入学してから、まず3アマを取得した。しかし、1級への憧れの気持ちがあり、1級を取得したいと思っていた。ただ、不安もあった。電気系の勉強をほとんどしていないからだ。それに大学での専攻も工学部ではない。この記事では、電気系の知識が皆無な私がどうやって1アマの受験に臨み、合格したのかということをもとめたいと思う。

2.1 アマについて

まず、私の受験記に入る前に、1アマという資格についてまとめたいと思う。アマチュア無線の無線従事者資格には、1級から4級までの資格がある。それぞれの資格で操作範囲が異なる。電波法施行令第三条3によると次の表1のようになっている。

資格	操作範囲
第一級アマチュア無線技士	アマチュア無線局の無線設備の操作
第二級アマチュア無線技士	アマチュア無線局の空中線電力二百ワット以下の無線設備の操作
第三級アマチュア無線技士	アマチュア無線局の空中線電力五十ワット以下の無線設備で十八メガヘルツ以上又は八メガヘルツ以下の周波数の電波を使用するものの操作

<p>第四級アマチュア無線技士</p>	<p>アマチュア無線局の無線設備で次に掲げるものの操作（モールス符号による通信操作を除く。）</p> <p>一 空中線電力十ワット以下の無線設備で二メガヘルツから三十メガヘルツまで又は八メガヘルツ以下の周波数の電波を使用するもの</p> <p>二 空中線電力二十ワット以下の無線設備で三十メガヘルツを超えるの周波数の電波を使用するもの</p>
---------------------	---

表1 資格と操作範囲

この表からわかるように、1番操作範囲の広い資格が、1アマなのである。

次に1アマの試験の実施の概要について説明する。1アマは4月、9月、12月の年に3回国家試験が実施されている。試験の形式は多肢選択方式であり、試験内容は、無線工学と法規に分かれている。モールスの聞き取りの試験はないが、法規の試験の中で筆記試験の形で、モールスの問題が出題されているためその知識は必要である。一昔前まではモールスの聞き取りの試験があったそうだが、今は無くなったため、以前より取得しやすくなったのではないかと思っている。

3.私の勉強方法について

1アマの試験の問題の多くは過去問で今までに出題された問題と似たようなパターンで出題されることが多い。そのため、過去問を徹底的に解いて理解するということを念頭に置き勉強を進めた。使った問題集としては、CQ出版の「第1級ハム国家試験問題集 2019/2020年版」を使い、参考書として、CQ出版の「解説・無線工学 2019/2020」を使用した。2019年12月の国家試験に照準を合わせ、10月くらいから勉強を始めた。試験までの期間は2カ月。この2冊の本を購入した時の勉強の計画としてはまず、参考書を読み、理解してから過去問の演習に移るという計画であった。しかしながら、参考書の最初のほうは簡単で理解できたが、読み

進めて行くにつれ、公式、回路図など、単に読んでいるだけでは訳が分からないことが増え、勉強が順調に進まなくなった。そこで、勉強のやり方を変えることにした。まず、過去問を解き、一通り解き方を理解したうえであまり理解できていないところを後から参考書で見るというやり方に変えた。また、モールス符号は、語呂合わせで覚えた。モールスの語呂合わせは、ネットで調べれば出てくるかと思うので、興味のある方は調べていただければと思う。そのようなやり方で試験まで突破した。このやり方には問題もあり、試験問題の解き方は理解できるが本質的な理解はあまりできないことだ。ただ、私はこのような勉強法で合格したということで見えていただければと思う。

まず、過去問を解く。解き方を理解し、よくわからないところを後から参考書で見る。この勉強法は本質的な理解のできない勉強法かも知れない。ただ、本質的に理解できなくても、とにかく解き方、単語を覚えてしまうことによって、より短時間で、過去問が解けるようになると思っている。過去問がすべて解ければ合格できるのではと思いますが、あくまでこの勉強方法は私の方法であり、この勉強法で落ちたとかいうクレームにはお答えしかねます。

4. 受験後の感想

私は、2019年12月の試験を受験した。ほとんど過去問と同じようなものが出題され、過去問の演習をしておいてよかったと思った。また、時間についてもかなり余り途中退室をした。あまり理解していなかった交流の問題については計算問題が出題されなかったのが助かった。しかし、月面反射通信の問題のような初見の問題もあった。その問題以外は見たことがあったので、やはり過去問の演習が1アマ合格のためには有効な方法なのだろうというのが1アマ受験の感想であった。

5.まとめ

電気系の知識のほとんどない人が 1 アマに合格するための勉強の手がかりにしていただければと思い、この記事をもとめた。私としてはやはり、過去問の演習は合格するためにはとても有効な勉強法だと思っている。なぜならば、試験には過去に出題された問題と同じようなパターンの問題が出題されるからである。ぜひ、私のやり方も参考にしながら自分に合った勉強法を模索して、1 アマの合格を手に入れていただければと思っている。

[参考文献]

[1]日本無線協会 <http://www.nichimu.or.jp/> (閲覧 2020/05/13)

[2]一般財団法人 日本アマチュア無線連盟 (2020) 「アマチュア局用 電波法抄録 2020/2021 年版」 CQ 出版

135kHz アンテナの制作

部員 A

1.はじめに

アマチュア無線における通信は、長波(LF 帯)からミリ波(EHF 帯)まで行われている。高周波では素子の寄生容量や伝送線路の遅延など考慮すべき事項が増え、特にミリ波では特に送受信機の設計が困難になる。一方で、主にアマチュア無線で使用される HF 帯や VHF 帯、UHF 帯と比較すると、LF 帯は寄生容量等の影響が少ないため、送受信機の設計が比較的容易であるが、波長が非常に長いため、送信アンテナが巨大化してしまうという問題がある。具体的に 135 kHz において波長は約 2.2km であり、半波長ダイポールアンテナであれば約 1.1km、1/4 モノポールアンテナであれば約 0.5km の寸法が要求される。また、低周波では垂直偏波を用いることが一般的であり、500 m 超えのアンテナを設営することは非現実的である。更に実用的な大きさまで小型化を図ると、波長に対し小さいため効率が悪く、十分なアンテナゲインが得られないことが推測される。

本稿では、135kHz の送信機で使用するアンテナを設計する。アマチュア無線以外での LF 帯の利用例としては RFID や電波時計のバーアンテナがあり、それらのアンテナを使用することが考えられる。しかし、両者とも磁界を使用したアンテナであり、受信専用なら問題ないがアマチュア無線の長距離送受信には不適切である。そのためここでは、図 1 に示す構成で 135 kHz モノポールアンテナを設計する。

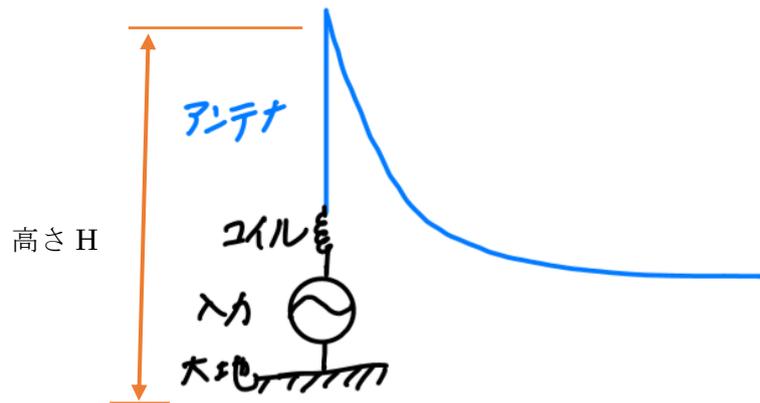


図1 設計するモノポールアンテナの構成

2.原理

2.1 モノポールアンテナ

モノポールアンテナの原理図を図2に示す。1/4波長モノポールアンテナはグラウンド側を完全導体とみなされる大地に接続することで、電荷鏡像法より大地の反対側にモノポールアンテナの鏡像が形成され、1/2ダイポールアンテナと同等の振る舞いをする。これにより、1/4波長の大きさで済むモノポールアンテナが実現される。

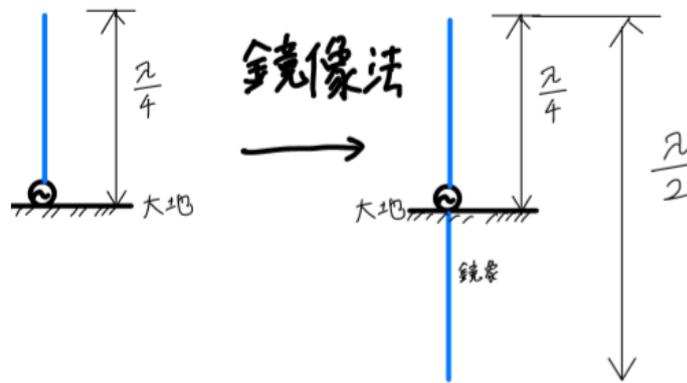


図2 モノポールアンテナの原理

2.2 ローディングコイル

ローディングコイルは延長コイルとも呼ばれ、アンテナ長を短縮するために使用するものである。アンテナは等価回路ではRLCの直列共振回路で表すこと

ができ、抵抗とリアクタンス成分でも表せる。一般的には抵抗分が放射、リアクタンス部が共振周波数に関係する。

波長に対し短縮するとリアクタンスは容量性（リアクタンスが負）になるが、ローディングコイルの誘導性（リアクタンスが正）リアクタンスを追加することで、リアクタンスを 0 に近づけ、共振周波数をさげることができる。

ローディングコイルの取り付け位置はアンテナの下部・中央・上部がある。下部では構造的に安定であるが大電流が流れるためコイルの損失が多い。一方で、上部はアンテナ端に近いので、流れる電流は少なくコイルでの損失が少ない。

3.設計

設計するアンテナは図 1 に示すようにモノポールアンテナを元にしたものである。ローディングコイルはアンテナの下部に配置し、アンテナの高さは実現性の観点とシミュレーション結果から高さ H を 20m とし、大地-アンテナ間の電界の励起をより大きくするため、アンテナの上部から横方向に導線を垂らす構成をしている。

この構成で 3D EM(Electro-Magnetic) Simulation に掛けると、-20~30dBi 程度のアンテナ利得が得られた。また、高さ H =20 m では必要なローディングコイルは 2mH 程度、高さ 10 m では 20 mH と大きいインダクタンスが必要という結果が得られた。更に、高さ H=20m はマッチングが取りやすくよりよい SWR が取れるため、20 m を使用した。

法律上は、135kHz のアンテナでは EIRP を 1 W (30 dBm) 以下に抑えなければいけないが、本アンテナではアンテナゲインが非常に低いため、50W(47 dBm)程度入力しても問題ないと考えられる。

4.試作・測定

ローディングコイルには外形約 40cm の漬物樽に導線を巻きつけることで中空コイルを作成する。使用する導線はΦ1mm のエナメル線（銅の表皮効果は約 0.2mm）を使用した。

モノポールアンテナのグランドプレーンには接地面積を増やすため金網としてバーベキュー網を使用し、必要に応じて数を増やす。

ローディングコイル等の試作に使用予定のものを図 3 に示す。コロナウイルスの影響で設営場所と設備を利用できないため、アンテナの組み立て、SWR の測定等ここでは載せられない。



図 3 使用予定の物品

(自宅で良い撮影場所がなかったため、Amazon より引用)

[参考文献]

http://www.gxk.jp/elec/musen/1ama/H16/html/H1612B04_.html

<http://jo2asq.a.la9.jp/135khzant.html>

<https://keisan.casio.jp/exec/user/1470493163>

<http://www.rf-world.jp/dls/fujihira/pdf/Fujihira-radio-s01a.pdf>

<http://www.diamond-ant.co.jp/support/know6.html>

E 級アンプを用いた 135 kHz 帯 FSK/GFSK 送信機の試作

JP7VTF

1.はじめに

135 kHz 帯は長波帯に属する、アマチュア無線で運用可能なバンドにおいて最も周波数の低いバンドです。135 kHz 帯においてアマチュア無線に割り当てられた帯域は 2.1 kHz (135.7~137.8 kHz)と狭く、運用可能な電波形式および通信方式は CW(モールス符号による通信)や狭帯域データ通信など占有帯域幅が 200 Hz 以下のものに限られます[1]。135 kHz 帯の送信機は市販品が少なく、自作やキットを製作することが多いようです。135 kHz 帯の波長は約 2.2 km と非常に長く、アンテナ製作においても技量が必要とされています。これらの特徴は、通信業務を困難にすることばかりではあるものの、技術的には極めて魅力的な課題です。そこで今回、JA7YAA でもこの 135 kHz 帯の運用に挑戦するために FSK/GFSK 送信機を試作したので報告します。

2.仕様

135 kHz 帯では CW および狭帯域データ通信での運用が認められていますが、今回は狭帯域データ通信用の送信機を試作しました。この狭帯域データ通信にも様々な種類があり、たとえば、FSK や GFSK を用いた通信方式では JT4、JT9 や FT8 などがあります。また、「交信」ではなくどちらかという「放送」に近い通信方式に WSPR があります。これらの方式は、狭帯域化と前方誤り訂正 (FEC)を用いることでノイズ耐性を向上させています。これにより比較的簡便な系であっても DX が可能であり、HF 帯においては近年人気を博しています。今回はこれに乗っかり、FSK 系の狭帯域データ通信用送信機を試作しました。

135 kHz 帯での狭帯域データ通信信号の生成方法としては、PC で生成した信号を市販の HF トランシーバに入力し、HF 帯の変調信号を生成したうえで、これをダウンコンバータで周波数変換し、135 kHz の信号を得るものが発表されています。また、ダウンコンバータは周波数変換のための変調器と電力増幅アンプを組み合わせた構成のものが一般的です。これに対して今回はパソコンで生

成した信号を SSB 変調器で 135 kHz に周波数変換し、その後電力増幅を行う方式としました。電力増幅の際に、PSK などの線形変調信号は振幅や位相に信号が乗っているため、基本的には線形アンプを用いて増幅する必要があります。しかしながら、線形アンプは一般的に電力効率が低くなってしまいます。たとえば、理論値において A 級アンプでは 50%、B 級アンプでは約 78% となり、実際の回路ではさらに悪化します。これに対し、FSK などの非線形変調信号は非線形アンプを用いて増幅できます。非線形アンプを用いると、入出力信号の間で線形性は保たれないものの高い電力効率で増幅できます。今回、高効率な非線形アンプである E 級アンプ(理論的には電力効率 100%)[2]を採用しました。

3.実験回路と実験結果

3.1 実験回路の概要

初めに、今回試作した送信機の系統図を図 1 に示します。初めにパソコンを用いて 1.4 kHz の搬送波をベースバンド信号で変調した被変調波を生成します。実験回路内では、初めに SSB 変調器を用いて 135 kHz 帯の被変調信号に周波数変換します。135 kHz 帯の被変調信号波を LPF に通し高調波を低減します。LPF 出力信号は正弦波となりますが、E 級アンプに入力するにあたって矩形波に波形を変換する必要があります。今回はコンパレータを用いて正弦波を矩形波に変換しています。この信号をプッシュプル E 級アンプにより送信電力が 50 W となるように増幅します。E 級アンプの出力にはスプリアス成分が含まれているため LPF を用いて除去します。この信号をアンテナに入力することで、空中に電波を発射できます。なお、今回はアンテナを 50 Ω ダミーロードに置き換えています。なお、送信周波数および送受信切り替えの制御には Atmel 社製 AVR マイコンを用いており、マイコンとパソコン間は USB-シリアル変換モジュールを介して接続されています。

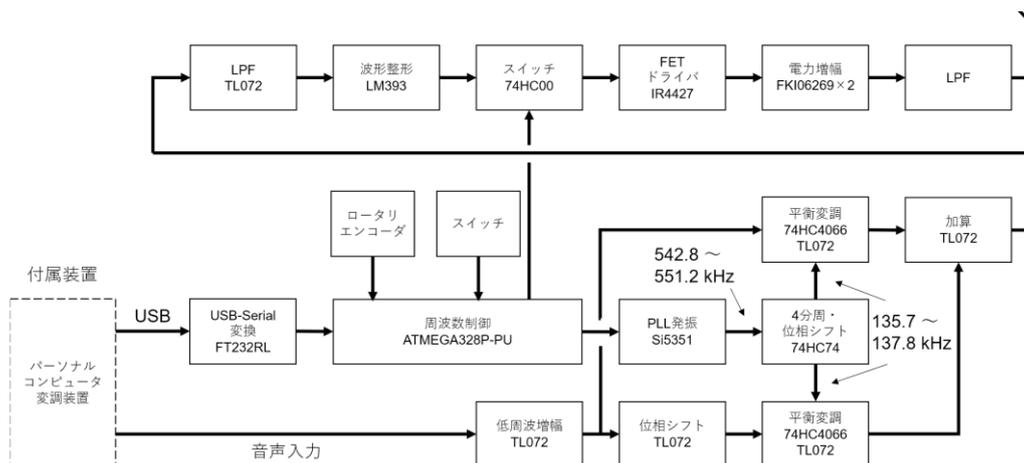


図 1 試作した送信機の系統図

3.2 変調回路および波形変換回路

図 2 に変調回路および波形変換回路の回路図を示します。図 2 の回路はすべて汎用部品をもちいて構成されます。また、オペアンプには TI 社製の TL072 を用いていますが、帯域的にはぎりぎりかと思imasるのであまり推奨される使い方はありません。筆者は大学から帰ってきたあとの深夜に実験をしており、部品を買いに行く暇がなく、その場にある素子で実験をしているためです。

SSB 変調器は 2 つの平衡変調器と移相器から構成されます。この SSB 変調方式は大学学部課程の通信工学の教科書によく掲載されているので、原理についてはそちらを参照してください[3]。この SSB 変調器には位相が 90 度ずれた搬送波を入力する必要があります。そこで、フリップフロップを用いた分周・位相回路を用いて $135 \times 4 = 540$ kHz の矩形波信号から 4 分周して 135 kHz の搬送波を生成しています。なお、540 kHz 矩形波信号の生成には、Silicon Laboratories 社製 Si5351A を用いています。SSB 変調器から出力される信号は高調波成分を多く含んでいるため、4 次の正帰還型 LPF を用いて基本波成分のみを取り出します。次の処理で波形変換を行うためには、LPF による高調波の除去が必要となります。最後にこの正弦波を矩形波に変換します。E 級アンプはスイッチングアンプであり、矩形波を入力する必要があるためです。波形の変換にはコンパレータを用いています。

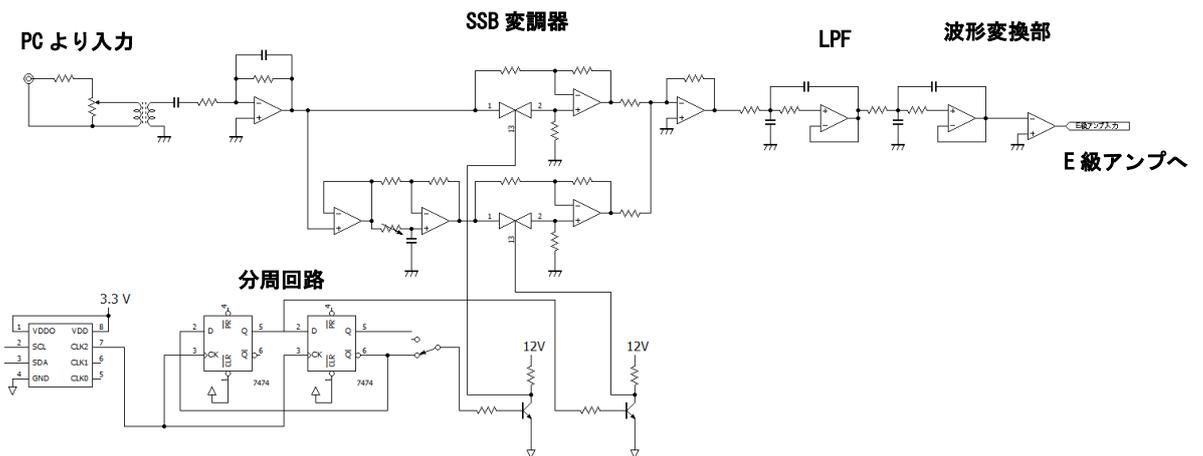


図 2 変調回路および波形変換回路

3.3 プッシュプル E 級アンプおよび LPF

図 3 にプッシュプル E 級アンプおよび LPF の回路図を示します。E 級アンプは、Zero Voltage Switching (ZVS) と Zero Voltage Derivative Switching (ZVDS) を満たすスイッチングアンプであり、高効率で電力増幅を行うことが可能です。なお、E 級アンプの出力信号には高調波成分が多く含まれています。シングルエンドアンプに比べプッシュプルアンプでは偶数次の高調波を減衰させることができるため、今回はプッシュプルアンプを採用しました(設計法については[4])。また、図 3 の回路では LPF(ハーフウエーブフィルタ[5])を用いて高調波成分を減衰させています。

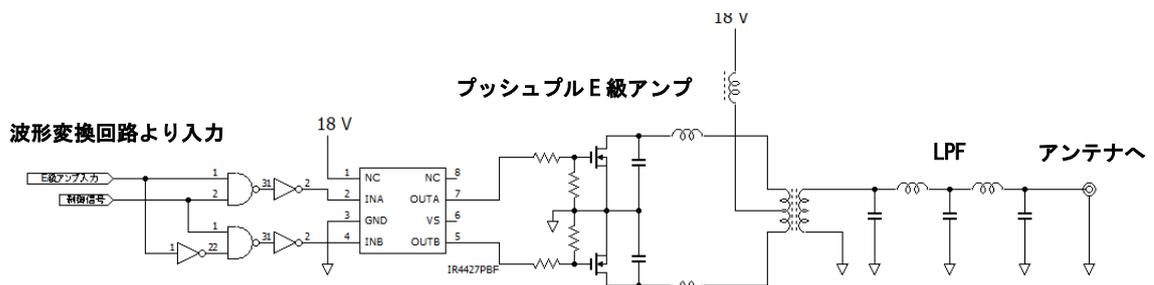


図 3 プッシュプル E 級アンプおよび LPF

3.4 製作した回路とその測定結果

図 4 に試作機の外観を示します。E 級アンプ出力の高調波がスプリアス基準を満たしているか確認を行いました。図 5 に 50 W 送信時の送信機の出力信号のスペクトルを示します。なお、送信機とスペアナの間には 40 dB アッテネータが挿入されているため、実際の電力は表示値に 40 dB を上乗せした値になります。無線設備規則によると、アマチュア業務で使用する、空中線電力が 5 W を超える送信機については、高調波成分が基本波成分に比べ 50 dB 以上低い値であり、なおかつ 50 mW 以下である必要があります[6]。図 5 においては、この基準を満たしていることがわかります(とはいえぎりぎりではあるので改良は必要ですが……)。



図 4 試作機外観

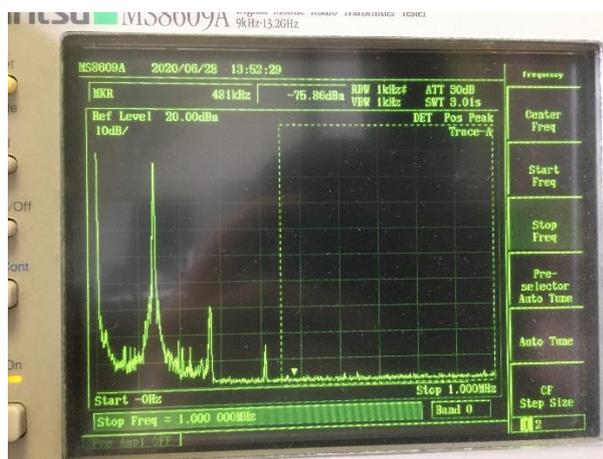


図 5 出力のスペクトル(40 dB ATT 挿入)

4.まとめ

今回、135 kHz 帯 FSK/GFSK 送信機の試作を行いました。今後はスプリアス確認保証・免許の変更を行い、実際に伝送実験を行いたいと考えています。

[参考文献]

[1] JARL“アマチュアバンドプラン(PDF)”

“[https://www.jarl.org/Japanese/A_Shiryo/A-](https://www.jarl.org/Japanese/A_Shiryo/A-3_Band_Plan/bandplan20150105.pdf)

3_Band_Plan/bandplan20150105.pdf”、2020年5月14日閲覧

[2] 末次 正、“RF 電力増幅器の基礎と設計法”、科学情報出版(2015)

[3] 安達文幸、“通信システム工学”、朝倉出版(2007)

[4] 稲葉 保、“パワーMOSFET の高速スイッチング応用”、CQ 出版(2011)

[5] 山村 英穂、“トロイダル・コア活用百科”、CQ 出版社(1983)

[6] 無線設備規則 第 7 条 別表 第三号 41

