

誰にでも出来る 24GHz トランスバーターの製作 第3段

JA1EPK 大日方 悟朗

はじめに

今まで2回に亘って簡易型の24GHz トランスバーターに就いて書いて来ましたがいずれも LNA や POWER AMP 無しの裸のミキサーオンリーのトランスバーターなので出力は 0.2~0.3mW、S/N も 10dB 程度と今一つ物足りないところが有りました、それでも 30cm のパラボラとペニーフィードで 80Km 以上の QSO の実績は有ります、その上小型なので一寸した移動実験には専ら愛用しています

今回はこれをグレードアップしてメーカー製の物に負けない性能を持ちしかも誰にでも出来るという目標をクリアできる様な物を考えて見ました、全体の構成は第1図のブロックダイアグラムを見ていただければ分かる様に、11GHz 台の局発部分を除けばローカルダブラーとラットレースミキサーに続くフィルター部分と導波管型の切り替え器に内臓の LNA を兼ねたパワーアンプの3部構成で成り立っています

アンプは此れも以前に紹介した DB6NT の設計による基板と NEC の NE32984 を使った3段アンプですが、今回は切り替え器内に組み込む為入出力がコネクタではなく、切り替え器の導波管部分にプローブを差し込んで結合する方式としましたのでこの部分のロスはずゼロにする事が出来ました、(24GHz ではコネクタ1ヶについて 0.2~0.3dB 位のロスは避けられない様です)

アンプの初段は DB6NT によればローノイズを考えた回路定数に設計されていますので N/F は 1.8 dB との事です、ちなみに同じ回路定数でも同軸型は 2dB となっています、さらにトランスバーターの出口までは同軸ケーブルや同軸リレー等で 1dB 位のロスが有りますので、総合 N/F は 3dB 以上にもなります

出力段は富士通の FHX35 を使って 50mW 程を得ています、これは NE32984 でも同等の出力が得られるそうですが LNA 用のヘムトを出力段に使うのは一寸抵抗が有ります、ミキサーアウトが -7dBm 位ですからゲインは 24dB 程有れば良いわけでこれは3段アンプでおつりが来る位です

導波管型切り替え器について

導波管型切り替え器は4ポートの同軸リレーと同じ動作をする切り替え器で、ジャンクでも時々見掛けますのでご存知の方も多いと思います、通常は4ポートのうち2ポートに送受別々の回路を接続して、内部のローターを90度回転させる事でアンテナポートを送受ポートに切り替えられます、残りのポートはターミネートするかオープンにして置きます、

今回は前述の様にこの切り替え器にアンプを組み込める様な設計で作って貰いました、送受の2つのポートにアンプの入出力を接続しておけば一つのアンプを送受両用に使う事が出来ます、このため外形はアンテナポートとミキサーポートだけの2ポートの様に見えます、この様な構造によってミキサー、フィルター、アンプ等の接続はロスの原因となるコネクタや同軸ケーブルを一切使いませんのでシステム全体のロスは 0.5dB 以内に収め

る事が出来ました、

この切り替え器の駆動方法はプロなみに電動によるスタンバイスイッチとの連動がベストなのですが、適当な方法が見つからずやむを得ず手動でもとっていました、ところがたまたまジャンクでギヤーヘッド付きのマイクロモーターを見つけましたので念願のモータードライブが実現できました、このモーターは6V, 10mA という小電力で働きトルクも十分有ります、回転数は30rpm程なので直結でドライブしても送受切り替え時間は0.5秒程掛かりますが小型なのが魅力で使う事にしました、

試作品はモーターをローターの軸上に置いたのですが高さが大きくなるので、組立図の様に1:1のギヤーを介して切り替え器の側面に配置しました、反対側の側面にはドライブコントロール基板を置きました、ローターギヤーにはマイクロスイッチを蹴飛ばす為のピンが2本90度に取り付けて有ります、片方のピンは円周方向に少し動ける様になっていますのでローターを正確に90度回転させる様にセット出来ます、これら全体の組立図やモータードライブの回路図を第2図と第3図に示して置きました

フィルターについて

フィルターはこれも以前発表したアイリスプレートを使った1セクションの導波管型の物です、キャビティー部分を角型にするのが一般的ですが、これは作り難いので第4図のように円筒型のキャビティーとアイリスプレートの片側をを一体化にした構造にしました、従ってアイリスプレートは1枚で済み、キャビティー本体との接触抵抗によるQの低下も少なくなります、これをミキサーユニットと導波管切り替え器の間に挟んで両者を接続する構造になっています

この円筒形のキャビティーの大きさは実験的に決定しますが大体の目安としてRSGBのMicrowave Handbook Vol.2にあった導波管型フィルター設計のプログラムを変形したものを作って計算しました、この特性を第5図に示しました、フィルターの特性はキャビティー部分のQとアイリスプレートの穴径によって決まります、ロスの大さと切れの良さは反比例しますのでどの位の径にするかは難しい所ですが私は4mm径としました

IF周波数を1200MHzにしましたので、局発の切れが-18dBと一寸物足りない様ですが、ミキサー出力やアンプの特性などを考えて決めました

以下各回路の製作について要点を書いて見ました

3段アンプの製作

このアンプの回路図を第6図にパターン図を第7図に示しました、始めにこの基板にはスルーホール加工がして有りませんので、表裏を2mm幅位の薄い銅箔で接続します、これにはマイナスドライバーの先を薄く切れるようにとがらせた物を使って第7図~第8図のパターン図に示して有る位置に切り込みを入れます、次に厚さ0.05mm位の銅箔(裏面に接着剤の塗ってあるテープが入手し易いと思いますが、この場合はシンナーに漬けておくと糊が簡単に剥がれます)を切り込みに通して両面とも折り曲げハンダ付けします、この際裏側はハンダの為どうしてもでこぼこになりトラブルの原因になるので、ハンダ吸い取り

線か吸い取り機等で余分なハンダを取り除いて出来るだけ平らになる様にして下さい

(この切り込みの位置は主として FET のソースリドの下やバイパスコンデンサのグラウンド側の様に電流を最短距離で基板の裏側に戻す為に設置します)

基板にデバイスやチップコン、チップ抵抗をハンダ付けしたら、ケースヘビス止めしますが、スペースが限られていますのでビスはなるべく細い物が(1.4mm 位の物が)適当です、この時常温乾燥型の導電性塗料か接着剤があれば裏側に薄く塗っておくと、基板とケースとの接触不良によるトラブルを避ける事が出来ます

次に取り付けたケースの下側から 1.7mm 径の良く切れるドリルで基板の裏側の銅箔を軽く浚います、この作業は基板の厚さが 0.25mm と薄いので一寸力を入れると突き抜けてオシヤカになりますのでドリルの先端の反対側に平ワッシャ等を当てておく様な細心の注意が必要です、もし自信の無い方は基板を仮止めしてプローブの位置をマークしたら基板を取り出して外で加工するほうが無難です Hi...

これはプローブの芯線が基板の裏側にショートしない様にする作業で、次に芯線の通る 0.6mm の穴を明けます、最後に導波管内に入るプローブを取り付けます、このプローブは細いセミリジットケーブル(UT85 型)の外皮の銅を取り去ってテフロン付きの芯線とした物で作ります、プローブの全長は導波管部分のケースの厚さによって違って来ますが、導波管内に入る長さが 2.5~3mm になる様にして下さい(この長さのバラツキによるリアクタンス分の違いは最終的にはスタブによってキャンセル出来ますのでクリチカルでは有りません)

ケースの下側からプローブを基板に差し込んでハンダ付けして終わりです、この時芯線が基板から上に出る長さは出来るだけ短く(0.5mm 位)して下さい、此れが長いとアンテナとなって発振などのトラブルの原因になります、導波管内に入る部分はプローブを長めに作っておいて導波管内に出た部分にワッシャを 5 枚ほど重ねてかぶせワッシャの面に沿ってカットすれば必要な長さにそろえる事が出来ます

ローカルダブラーとラットレースミキサーの製作について

この部分は第 2 回の物と同じです、部品配置図と組立図を第 8 図に示しました、ダブラー用の FET は前は三菱の MGF1302 を使って 10dBm 以上のドライブが必要でしたが、NEC の NE32984 に取り替えたところ 3dBm 以下ですむ様になりましたので 11GHz 台のアンプを省略する事が出来ました、ミキサー回路はスイスの HB9MIN が DUBUS の 1993 年 # 2 に発表した 24GHz Rat-Race Mixer を参考にして作ってみた物です、原形はミキサーダイオードに高価な HP 社のビームリード型ダイオード(アンチパラレル型)を使っていますが、私はロスは大きくなりますが安価な HP 社の 12GHz 用のミキサーダイオード HSMS8202 を使う様な設計にしました、ところがダイオードが大きすぎてラットレースの中に入り切らず、ラットレースの外側に置いた為 RF ポートは導波管型になりましたが、これは反って今回の様な使い方にはピッタリとなりました

アンプのときと同じ様にスルーホール代りの切り込みを入れて基板の表裏を接続します、

導波管との結合のプロープも同様です、後は所定の位置にデバイス類やコネクタを取り付けケースに入れて完成です

調整について

配線やハンダブリッジ等のミスが無ければ組み上げただけでもある程度のゲインが有りパワーも出る筈ですが、24GHz 帯の測定器をお持ちの方は次の調整方法にしたがって下さい

調整はミキサーとアンプを別々にする方が無難です、ラットレースミキサーはダブル段が自己バイアスになっていますのでドライブが無い時はドレイン電流が 50mA 以上流れます、ドライブ電力の多少によってこの電流が変化しますが出来るだけ少ない電力で大きな変化のある点にスタブを追加します、大体の目安としてはゲートの手前 1mm 位の所に幅 1mm 長さ 5mm のスタブとなります(このスタブは無くてもドライブ電力を大きくする事でカバー出来ます)

目安として LO 入力 3mW(5dBm)、IF 入力を 10mW(10dBm)程入れるとフィルター無しで 0.5 ~ 1mW の出力が有り、フィルターを入れた時その半分くらいになれば OK です、フィルターの調整はビスの位置によって 3ヶ所ピークになる所が有ります、ビスを入れていって最初のピークが 24GHz ですから間違えない様にして下さい、

アンプの調整は導波管切り替え器に組み込んだ状態で行います、ローターの位置を正しくセットし固定して置きます、なおアンプの調整時にはギヤーが下側に来る形になりますが、この時僅かですがローターとローターケースの高さ方向のギャップが有るためアンプケースの底面とローターとの隙間を通じてフィードバックが掛かりアンプが発振する事が有ります、(通常の使用状態ではローターは重みでアンプケースに接触しますのでこの条件は起きません)このギャップを無くす為とローターの周り止めを兼ねてセロテープでギヤーを固定しておいて下さい、

なおモーターは絶対に手で回さないで下さい、ギヤーヘッドに無理が掛かって破損します、アンプの調整が終わって最後にモーターギヤーを取りつけて下さい、

始めは各段の電流から行います、半固定ボリュームを回してゲート電圧がマイナス最大になる様にして置きます、テスターを電流レンジにして全体の電流を監視します、始めは殆ど流れていない筈です、ついで初段が 10mA 2 段目が 30mA ファイナルが 50mA 位になる様にセットして行きます、これでうまく行けばゲイン 20dB、最大出力 10mW 位は得られる筈ですがそれ以下でも心配は有りません、ここでスタブの調整に掛かります、各段にパターンでスタブが作られていますので段間はまず問題は有りません、入出力側はプロープの大きさによってマッチングが変わって来るのをカバーする為と出力段はパワーを稼ぐ為にスタブを追加する必要が有ります、例によって 1mm 角位の薄い銅板を爪楊枝の先に接着した物を使ってストリップライン上でパワーの上がる所を探して、同じ位の大きさの銅箔をハンダ付けします

スタブの位置の目安としては入出力側ともプロープから 1 ~ 2mm 離れたところに有り

ます、只この調整はスタブのほんの僅かな大きさや位置の違いでゲインやパワーが大きく変化しますから根気良くする事が成功の秘訣です、それでもデバイスが良くなった為か以前に比べてこの調整は格段に楽になりました

半固定ボリュームを回して出力最大になる点を探します、また各段の電源電圧をプラスマイナス 1V 程変化させて見てパワーが大きくなる所がありましたらドレイン抵抗の大きさを変えてパワー最大になる様にして下さい、アンプは送受兼用ですので電源電圧は掛ければなしですが、S/N の良くなる電圧とパワー最大の電圧が違っていると思いますので、送受で電源電圧を変えられる様にしておくのも一つの方法です

最後は総合で再調整しますが、LO が 1~10mW (0~10dBm)、IF 入力 10mW(10dBm)の時 50mW(17dBm)程度の出力があれば OK です、この作業はトランスバーターの性能を決定する所ですのでじっくり取り組んで下さい

以上でこのトランスバーターの主要部分の解説を終わりますが、トランスバーターとしては IF の切り替え回路や局発回路(てい倍回路を含む)、それに電源回路が必要です、これらについては今までに幾つか書いて来ましたので重複すると思いますが以下簡単に触れて置きます

IF 切り替え回路について

ミキサーが送受兼用ですので IF ポートは一つしか有りません、送信時は親機の出力をミキサーに必要なレベル迄落とす為のアッテネーターを挿入する必要があります、受信時に親機がトランスバーターの近くに有る時はスルーでも良いと思いますが、親機までのケーブルが長い時にはそのロスのカバーする為のアンプを入れる事になります、この為 2 回路を切り替えるリレーが必要で、そしてこのリレーを働かせる為のキャリコン回路や手動による切り替えが出来る様にする必要が有ります、更に送受切り替え器のモーターをドライブの為の出力も取り出せなければなりません

これらの回路を一つの IF 基板に組み込みました、この回路図を第 9 図にパターン図を第 10 図に示しました、回路の詳細については説明の必要も無いと思いますので省略させていただきます

局発回路及びてい倍回路について

此れについても XTAL をてい倍して所要の周波数にする回路、PLL を使った回路、流行のドレークのコンバーターを改造したもの等多くの発表例が有りますので詳しくはそれらの参考資料を見て下さい、只周波数に就いては今年には打ち上げられるであろうフェーズのダウンリンクに対応する為 22750MHz としています、その為に 24GHz の下側の 10MHz はカットとなりましたが、多くの局が 24020MHz 付近に出ておられるので QS0 には差し支え有りません

おわりに

以上で 24GHz トランスバーターの説明を終わります、私は写真の様に使わなくなったマキ電機の 1200MHz トランスバーターのケースに組み込み快適に働いています

なおここで使用したデバイスやパーツ類の入手に付いてはご相談下さい

参考資料、参考文献

誰にでも出来る 24GHz トランスバーター 第1段

誰にでも出来る 24GHz トランスバーター 第2段

24/47GHz 用導波管型フィルターの実験

XPLL 型ローカルオシレーターについて

47GHz 導波管型切り替え器の製作 西新潟クラブ報 JAN.FEB.MAR.1998

24/47GHz ローカルオシレーター用てい倍器について マイクロエプ チャレンジ 97

Q3036使用PLL OSC について 以上 JA1EPK

Simple Transverter for 24GHz DB6NT DUBUS 1/93

24GHz Rat-Race Mixer HB9MIN DUBUS TECHNIK 4

24GHz Super Low Noise HEMT Amplifier DB6NT DUBUS 9/96

Waveguide Bandpass Filters RSGB Microwave Handbook Vol.2

註 これらの資料のうち未発表のものや限られた範囲に発表されたものが有りますので
必要な方のご連絡下さい、