

75GHz MK トランスバーターの製作

JA1EPK 大日方 悟朗

はじめに

アマチュアのマイクロエープの周波数も年々高い方に移ってきて一昨年あたりからミリ波帯の47GHzで運用も盛んになって来ましたが、私も一年ほど前から75GHzの実験を始めましたが流石にこの辺の周波数ともなるとデバイスや測定器などの入手が困難で中々捗りませんでした。ここへ来て何とか電波が出る様になって来たので纏めて見ました。

ミリ波帯となると増幅する素子が有りません〔プロの世界では有る様ですがとてもアマチュアが入手出来るような価格では有りません〕、従ってパワーや感度に注文を付けなければ送受信ともミキサーダイオード+局発という構成となって、局発が出来ればトランスバーターは90%位出来上がった様な物で24GHz以下の周波数のトランスバーターに比較するとその簡単さに驚く位です、以下第1図のブロックダイアグラムに従って説明をしていきます。

局発は103.33333MHzのXTALを使ったXPLLユニットで2480MHzで10dBmを得ています、これを5てい倍器で12.4GHz、5dBmとし、この出力をMGF1302で増幅した後NE329S01で3てい倍して37.2GHz、0dBmを作り出し、MMICモジュールで19dBmまで増幅して、この出力でDB6NT型のミキサーをドライブしています、

ミキサーダイオードは2個のダイオードを逆方向に接続したアンチパラレル型です、これは局発の周波数が通常の1/2で済むので局発が作り易い利点があるのと、変換効率がオリジナルのミキサーよりも数dB悪くなる位ですのでミリ波帯では盛んに使われています。

IF回路は親機の1280MHz出力をミキサーダイオードをドライブするに必要なレベルまで落とす為のアッテネーターと、受信時のポストアンプとしてMGF1302を使ったIFアンプを持っていて、G6Yリレーを使ったキャリアコン回路で切り替えています。

これでミキサーに1280MHz IFを13dBm程加え出力は-7dBm以上を得ています、従ってコンバージョンロスはずっと20dBと想像したより悪い値となりましたが、IF回路のリターンロスは-10dB位ですので果たしてどの位がダイオードに入力されているか不明です、(この点に関してイギリスの47GHzグループが興味有る発表をしているのが良い参考になると思います、彼らのミキサー回路は同じくDB6NTの物でIFも1200MHzです)

XPLLの基準周波数は10MHzのTCXOを使っていますので周波数安定度は0~50度で1ppm以内に収まっています、以上で概略の説明を終わりましたので以下各回路について説明をしていきます。

XPLL型局発回路について

XPLL回路については既に何回か発表していますので、ここではPLL回路の計算について書いて置きます、プリスケラーへの入力周波数は2480MHzで、比較周波数は10MHz/8の1.25MHzですから、全体の分周比は $2480/1.25 = 1984$ となります、プリスケラーにMB510を使って128/144の設定(ピン#3を+5Vにする)にすると、 $1984/128 = 15$

余り 64、 $64 / (144 - 128) = 4$ 、従って PLLIC の MC145152 の設定は $N = 15$ 、 $A = 4$ となります、具体的には MC145152 のピン # 11 ~ 14、# 22 をオープンにします、その他の足はパターンにハンダして下さいオペアンプ周りの C,R の値は原型で OK です

Xtal 発振回路、てい倍回路の定数は殆ど変わりませんが、以前発表した定数では F + - XTAL 周波数のスプリアスが多かったのでコイルの Q を上げる為、各段間のカップリングコンデンサの値を減らしました、更に 2 段目の同調回路を調整した時発振回路に与える影響を少なくする様に発振回路のエミッターと次段のベース間に 50 を挿入したり 9V の電源回路にデカップリング抵抗を追加しました、詳細は第 2 図の回路図を見てください

ここで XPLL の調整が難しいとの話を良く聞きますので私の調整手順を書いて見ました、PLL 基板を除いて全部品が付いているものとします、調整は水晶発振回路から始めますが、その前に MMIC の電源回路に入っている L6 の片方を外して置いて下さい、またバリキャップには 10K の抵抗を接続して置きますがその先はアース又はオープンの何れでも OK です

100mA の電流計を電源に入れて調整による電流変化を見る事が出来る様にします、始めは 20mA 付近を指示している筈ですが、ここで発振回路のトリマーを回す事によって数 mA の変化が有ります、電流の大きくなった所が発振している状態です、ここで次段のトリマーを回して更に電流増加の点を探します、この時トリマーの数点で電流増加が認められる場合は周波数の取り違えの可能性が有りますのでカウンターで確認して下さい

3 段目の調整は一寸クリチカルです、L4、L5 コイルの結合は Q を上げてスプリアスを減らすためギリギリの結合にして有ります、このため L4 の同調点は見つかって L5 の同調点が見つからない場合はコイル同士を近けて見ます、両方の同調点が不明確な場合は密結合になっている時でコイルを離してください、これで同調が取れた時は 100mA 位まで電流が増加するはずですが、ここでも周波数を確認して置いて下さい

電流計のレンジを 300mA にして 4 段目の調整をします、これで全電流が 150mA 位になれば OK です、各段のトリマーを再調整して電流がスムーズに変化する事を確認して下さい、また 4 段目と 5 段目のコレクター電流が 20mA 以上になっている事も確認します

これで先に外した MMIC の L6 をつなげば電流は更に 40 ~ 50mA 増加します、出力にカウンターを入れて最終的に周波数のチェックをします、この時目的周波数の 2480MHz とずれている様でしたら発振回路のトリマーを回して追い込める事を確認して下さい

以上が OK ならばパワーを測定します、パワー計の指示が 1 ~ 2mW でも構いません、これはフィルターの周波数が 2200 ~ 2300MHz で目的周波数とずれている為で、ここでフィルターの調整をします

二つの U 字型エレメントの足 4 本を夫々 2mm 位カットします、これで 10 ~ 12 dBm 位の出力になる筈ですが、カットし過ぎた時は銅箔をハンダ付けし、長すぎるときは再カットして追い込んでください

最後に 9V ラインとアースの間に 10K 位の半固定ポリウムをつなぎ、センターをバリキャップから来ている 10K につなぎます、半固定と発振回路のトリマーを回し、半固定

のどの位置でも目的周波数の前後で発振する事を確認して下さい、若しポリウムの上下で発振が止まる場合は発振回路からバリキャップへの結合コンデンサ 5P を減らします

ここで第3図のPLL基板を取り付け電源の9V、本体基板の2480MHz出力ピックアップラインからの同軸ケーブル、基準発振器からの入力、位相比較器の出力等を接続します

これで今までの調整が出来ていればロックした2480MHzが出てくる筈で、バリキャップに接続されている10Kの電圧を見ると2~7V位になっていればOKですが、これが9V近かったり、振動している時は再調整の必要が有ります

スペアナが有れば出力の2480MHzの波形を観測しながら各トリマーを調整します、初めに水晶発振回路のトリマーを回してバリキャップの電圧が上記の2~7Vに変化する事を確認します、これが変化しない場合は周波数の取り違えかPLL回路のミスの可能性が有りますので、チェックして下さい

この電圧変化がOKでも振動しているような場合は、2段目の回路が発振を引っ張っている時が有りますので、発振回路と2段目のトリマーを交互に調整して安定する所を見つけて下さい

すべてがOKならば3V位になる様トリマーを回します、これは温度が上がると発振周波数が下がる傾向に有りますので、これをキャンセルする為バリキャップの電圧は上がります、従って上の方のマージンを確保する為です、試しに発振コイルに軽く指を触れて見ると周波数が下がる為電圧が上がリ離せば元に戻る筈です

5てい倍回路に付いて

続く第4図の5てい倍回路はこれも24GHz/47GHzの時に発表した物と同じジャンク基板の改造で周波数が違うだけですから特に説明の必要は無いと思います、出力は5dBm有れば充分です

12.4GHz x 3てい倍器

この出力からMMICモジュールをドライブするに必要な37.2GHz、0dBmを作り出す為にMGF1302+NE329S01の2段構成のてい倍器を作りました、回路図を第5図に示します

このてい倍器はかつてハムジャーナルで紹介した14GHz 1W出力の5段アンプの前2段の基板を使いました、原形はMGF1302+MGF1423の構成ですが、前段は12.4GHzのアンプとして働き、出力段はFETをNE329S01に交換しここで3てい倍して出力1mWを得ています、出力はケース底部に設けた37GHzのフィルターを兼ねたWRJ-400相当の導波管部分からSMA型コネクタで取り出しています、モジュールの入力コネクタはK型ですが此れはSMAとの互換性が有りますのでセミリジットケーブルで接続しています

ここでこのてい倍器の調整要領を書き出して見ました

- 1 既存のスタブを全部カットする
- 2 2段目のFETの上に渡してある黄色い線を取り除く
- 3 裏側より半田ごてを当てて2段目のFET MGF1423を取り外す

- 4 代わりに NE32 9 S01 を取り付ける
- 5 上側の黄色い線の付いていたランドをアースにつなぐ
- 6 細いセミリジットケーブルの外皮を取った物を 5 mm 位にカットし、芯線を 1mm 出して基板にハンダ付けする、この時芯線がアースしない様に注意する事
- 7 導波管部分に出るセミリジットケーブルの長さは 2mm 位
- 8 出力コネクタはセンターピンの長さは 4 mm、テフロンを取り去る
- 9 ケースのコネクタセンターピンの通る穴は 3mm に加工する、センターピンは導波管内に 2mm ほど出る
- 10 電源は + 12V、 - 5V が必要で + は基板右下側のランド、 - は上側の細い線です

調整には 37GHz の計れるパワー計があれば確実ですが、18GHz の物でも見当は付きます、初め電流が 60 ~ 70mA くらい流れ、2 段目のドレイン電圧は殆どゼロになっています、この電流が減るように入力段、段間にスタブを付けます、10 ~ 15mA 減ればドライブは OK です、この時 2 段目のドレイン電圧は 2 ~ 4V になっている筈です、次に出力が最大になる様に出力段プローブの付近にスタブを追加します、これで 37.2GHz 出力が 0.5 ~ 1mW は出ますのでモジュールをドライブするには十分です

MMIC 37.2GHz モジュール

これもジャンク出身です、実は今回の 75GHz トランスバーターはこれが有ったので成功した様なものです、原型の DB6NT の 75GHz TRV はこの 37GHz を作り出す為に FLR016+FLR026 のラインアップで 18GHz を 2 倍して 7 d Bm を得ています、しかし数人の方が此れを試みっていますが何れも十分な出力を得ていません、この電力が少ないとミキサーダイオードのバリヤー電圧を超えることが出来ず、ミキサーが働かないという結果になっています、回路のロスを考えるとこのパワーは最低 10 d Bm 以上が必要な様です

それで何とかこのパワーをアップする方法が無い物かと思案していましたが、偶然のチャンスにこの Alpha Industries 社の MMIC モジュール型アンプを入手する事が出来たので、早速テストして見ると 37.2GHz 入力 - 10 d Bm で出力が 19 d Bm 以上も有って難なくミキサーをドライブする事が出来ました、モジュールの出力側は導波管ですので直接ミキサーユニットに取り付ける事が出来ました、ただこのモジュールは外形が 20mm x 44mm x 9mm と小型の割に 6V、800mA の大食いなのでかなりの発熱が有り放熱には注意が必要です、実験中温度上昇の為に出力が減るのが認められました

最終調整として 75GHz の出力が最大になる様にする訳ですが、ミキサーに加える L0 のパワーに対する IF 入力の大きさには最適値が有って、多すぎると反って出力が減る傾向が有ります、其の為最良点を見つける為に L0 出力を可変にする必要が有ります、方法としては 3 倍器の電源に直列に 200 オームの巻線型可変抵抗を挿入して電圧を変える事で解決しました、この電圧を 6V から 12V 迄変化させるとモジュールの出力は 10mW から 100mW くらいまで変える事が出来ます、このモジュールのスペックは入手出来ませんでしたが、外形、入出力特性を第 11 図に示しました

ミキサー回路について

ミキサー部分は DB6NT の基板に HP の HSCH9251 という GAAS のアンチパラレルダイオードを使った物で原型と違う所は、ドライブ回路を別にして第 6 図の様にミキサーだけを一つの箱に収めた事と、L0 の入力導波管を構成する取り付け板と共に一体とした事です

基板は 4 本のビスでケースに取り付けますが、基板の厚さが 0.1mm と薄いのでペナペナしない様に基板の裏面に導電性接着剤か塗料を薄く塗って置きます、基板をケースにビス止めする時にこの塗料等が広がってプローブや出力導波管の穴をふさがない様にする注意が必要です

ダイオードの取り付けは基板が固定された後で行います、何しろ 0.2mm x 0.6mm の大きさですから、取り扱いには最大の注意が必要です、私の場合容器の蓋を開けただけで 2 ~ 3 ケ行方不明になった経験がありますので Hi...、なお 20 倍ほどの両眼顕微鏡と精神統一が必需品です Hi ?

取り付けは非常に熟練を要します、ハンダ付けの場合は予め基板に予備ハンダをして置くのが良い様です、ハンダ鋸の大きさや温度、ハンダの量などは成功する為の大きなファクターです、これに代わる方法として導電性接着剤による事も出来ますが、いずれにしても何個か失敗する覚悟が必要です、私は散々失敗した挙句自分でやるのを諦めてこの作業を OM にお願いしていますが、若し自分でやりたいと思う方は経験者から充分ノウハウを聞いておく事をお勧めします

取り付け板には出力導波管用の 2.6mm 穴とホーンを取り付ける為のフランジ用のタップ穴が明けて有ります、また入力導波管とプローブの間にマッチングビスを取り付ける為の溝が加工して有りますので必要に応じて 1.4mm 位のマッチングビスを取りつけて下さい

IF 切り替え回路について

この回路は 24GHz や 47GHz の物と特に変わった所は有りません、前述の様に親機の 1280MHz 出力を送信時ミキサーをドライブするのに適当なレベルまで落とすアッテネーターと、受信時に働くポストアンプ、これ等を切り替えるキャリアコン回路から構成しています、私の場合親機からの IF 入力は他のトランスバーターと同様に 20 dBm (100mW) に設定して有りますので、アッテネーターの値もそれを基準にしましたが、ミキサーへの入力は L0 のレベルによって決まる最適値が有りますので、それになる様にアッテネーターの値を決めます、大体 7 ~ 10dB 付近にこの点が有る筈です

IF のポストアンプは今まで 24GHz , 47GHz では IF 回路のケーブルロスを補償する意味で簡単に MMIC で済ませて来ましたが、NF の一番小さい MAR-6 でも 3dB は有り、受信時のカラ S が大きくなる割に感度の上昇は少ないので、今回は MGF1302 を使ったアンプにしました、結果は NF 0.8dB、ゲイン 11dB とまあまあ結果でした、第 7 図に回路図を示します

組み立てについて

導波管を使ったトランスバーターはどうしても高さが大きくなるので何時も適当なケー

スを見つけるのに苦労しています、今回はタカチの UC-15 型と言うケースに組み込みました、(第8図)これは内寸で高さが74mm、幅が144mm、長さが185mm有り、高さを3段に仕切ると20mm高のユニットが上中下に置けます、私の場合上段にXPLLユニットを、中段に点検の必要が少ないTCX0を、下段には5てい倍器、3てい倍器を組み込み、余ったスペースにMMICモジュール、ミキサーユニットなどを組み込む事が出来、全体として余裕を持った配置になりました

前板にはスイッチやメーター類を取り付け、後板は強度を上げる為に厚さ3mmの物に交換し、ミキサーユニットやパラボラの取り付け金具等を取り付けました、このケースは元来上下に分かれるケース本体に付属金具を使って内容物を取り付ける構造になっている為前後の板は固定されません、これでは調整や点検に不便なので金具の代わりに同じタカチのAE104型アングルを使用しました、このアングルはT字型で厚さも有り、しかも長手方向にタップを立てられますので、前後板共にアングルに取り付け全体を一体として上下のケースに関係無い構造にして点検を容易にする事が出来ました

調整について

調整といっても各部の調整は個々に済んでいますので残るのはミキサー部分です、75GHzの計れるパワーメーターが有れば送信状態にして出力が最大になる様にL0出力やIF入力を変化させたり、ミキサー基板のプロープの周りにスタブを追加したり、プロープの長さを調整します、ハンダの量でも大きく変わる事が有ります、これでIF入力 $-7 \sim -13$ dBmで -10 dBm以上の出力は得られる筈です

L0とIFのレベルはそれぞれ最良点があって、必ずしも多い方が良い訳では無い様で、別別に細かく調整する必要が有ります

問題は75GHzの計れるパワーメーターが無い時ですが幾つかのHP432用の導波管型センサーをテストした結果正確さを問題にしなければ40GHz用、24GHz用のセンサーでも十分感度がある事が分かりました、2.6mmの円形導波管からの変換器は必要なく直接センサーをミキサーの出口に密着させるだけで十分です

局発の37GHzやその下の周波数成分を拾って指示がおかしくなる事も無く、IFをOFFにすると指針は殆どゼロに戻りますので此れで最大値を見つける事が出来ます

アンテナについて

アンテナはお定まりのカセグレン型としました、大きさは30cmも有れば下手に作っても40dBは堅い所なのでパワー計算では1Wとなります、手持ちのお皿を引っ張り出して見たのですが適当な物が無く、今回はフィードホーンを除いてセブロンさんのお世話になりました

このパラボラや反射鏡の諸元が不明なので実測値を元に作図して見ました(第9図)これは直径30cm、F/D比0.6、仮想パラボラのF/D比が1.5~1.7位と見当を付けた結果です、このパラボラは反射鏡の位置を変えられる構造ですが、この計算結果から見ると仮想パラボラのF/D比が変わっても反射鏡の位置は殆ど変わらず、反対にフィードホーンの位

置は大きく変わる事が分かりましたので、長さの違ったホーンを数種類用意して置きました

フィードホーンはミキサーの出力部分が 2.6 の円形導波管なのでそれに合わせて内径 2.6mmのパイプとしました、初め肉厚のパイプを探したのですが市販品には適当な物は見当たらず、厚さ 0.2mm の物しか入手できませんでしたので、強度を上げる為に第 10 図の様に 2 重パイプの構造にしました、ホーンの開口面の形は PCAAD というアンテナ設計ソフトで計算しました、F/D 比が 1.5~1.7 と変わっても放射角は 36 度~33 度の変化でホーンの寸法も僅かな違いでしたので同じ物で行く事にしました

おわりに

以上で 75GHz トランスパーターの説明を終わりますが、手が届かないと思われ勝ちなミリ波の世界もこんな簡単な物で実験が出来ますので是非多くの方にお勧めしたいと思っています、入手困難な部品も数が揃えば売って貰えると言う事も有りますので

それにしてもデバイスの入手には苦労します、今回はミキサーダイオードを求めてあちこちのメーカーに聞いて回りましたが、ミニマムオーダーが 50 個との事でとても買い切れず、結局割高ですが 1 個でも売ってくれるというイタリーの販売店（アマチュア経営の）から入手しました、5 倍や 2 段アンプの基板はアメリカのアマチュアさんから、ミキサー基板はドイツからの輸入品と正にワールドワイドに集めています！

最後にこれでどの位の距離の QSO が出来るかが興味の有る所ですが、現在相手局が有りませんので専ら出力 10uW + 20dB ホーンのメーカー送信機を使って実験中ですが、1Km 程離れた所でフルスケールで受信出来、また 100m ほど離れた住宅の反射も確認出来ています、これは同じような構成の 47GHz の実験時と殆ど変わらない状態なので今後が楽しみです

以上