

75GHz 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ウエーブ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、これを続く 5 倍の倍器で 12.4GHz、5dBm とし、この出力を MGF1302+S8850 の 2 段アンプで 20dBm まで増幅し、バラクタ倍器で 3 倍の 37.2GHz、13dBm を作り出して、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コン回路で切り替えています。

これでミキサーに 1280MHz IF を 7dBm 程加え出力は -10dBm を得ています、従ってコンバージョンロスが 17dB と思ったより悪い値となりましたが、IF 回路のリターンロス測定していませんので果たして 7dBm 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 位の半固定ポリュームをつなぎ、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 2段アンプ

この出力をバラクタ3てい倍器をドライブするに必要な20dBmにまで持ち上げる為にMGF1302+S8850の2段アンプを使いました、これもジャンクの14GHz5段アンプの前2段を流用した物で原型はMGF1302+MGF1423のラインアップでしたが終段を東芝のS8850に置き換え、定数を変更した結果出力を20dBm以上とする事が出来ました、回路を第5図に示します

12.4-37.2GHz バラクタてい倍器

これもジャンク出身でNEC製の37GHz送受信機に使われていた物です、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75GHzTRVはこの37GHzを作り出す為にFLR016+FLR026のラインアップで18GHzを2てい倍して7dBmを得ています、しかし数人の方がこ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10dB

Bm 以上が必要な様です

それではとローバリアーの HSCH5330 を入手して 2ヶ逆方向に取りつけアンチパラレルとして見たのですが、受信は何とか働きましたが送信はサッパリでした（原因不明）

47GHz の時に使ったバラクタでてい倍器を作ってみたのですが此れも機械加工の精度が悪かった為か思う様に出力が出ず失敗でした

そんな事でこの 75GHzTRV は暫くお休み状態でしたが、偶然のチャンスにこの NEC 製のてい倍器を入手する事が出来たので、早速テストして見ると 12.4GHz 入力 20 dBm で 37GHz の出力が 13 dBm 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、しかしジャンクでは入手も尠ならず、と言って物が無ければ出来ないの、このてい倍器を自作できないかと考えて居る所です、このてい倍器の詳細については別稿を見て下さい

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ヶ行方不明になった経験が有りますので 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 L_0 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とまあまあの結果でした、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TCXOを、下段には5てい倍器、2段アンプを組み込み、余ったスペースにサーキュレーター、3てい倍器、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型アングルを使いました、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7~10dBmで-12dBm以上の出力は得られる筈ですが、どうしても少ない時は L_0 入力の反射が多い事も考えられますので、3てい倍器からミキサーまでの導波管部分にスタブ用のビスを数箇所設けると効果のある事も有ります

L_0 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こ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 30 c m 有れば下手に作っても 40 dB 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 30 c m、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的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

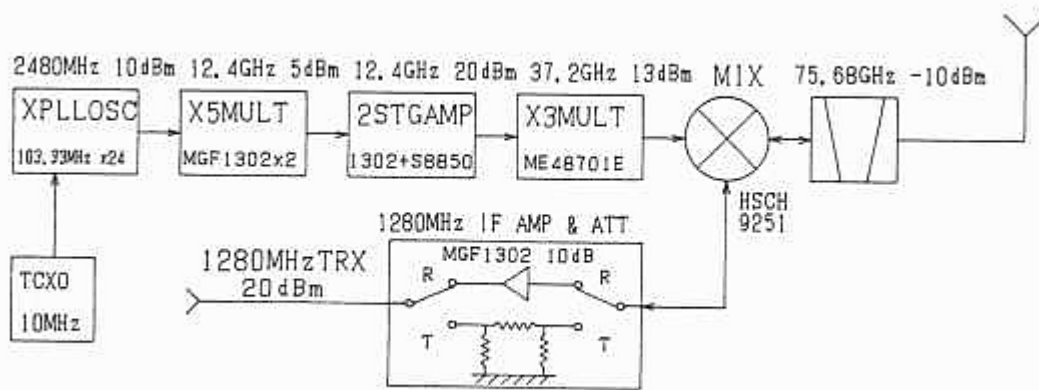
以上で 75GHz トランスパーターの説明を終わりますが、手が届かないと思われ勝ちなミリ波の世界もこんな簡単な物で実験が出来ますので是非多くの方にお勧めしたいと思っています、入手困難な部品も数が揃えば売って貰えると言う事も有りますので

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アの販売店(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!

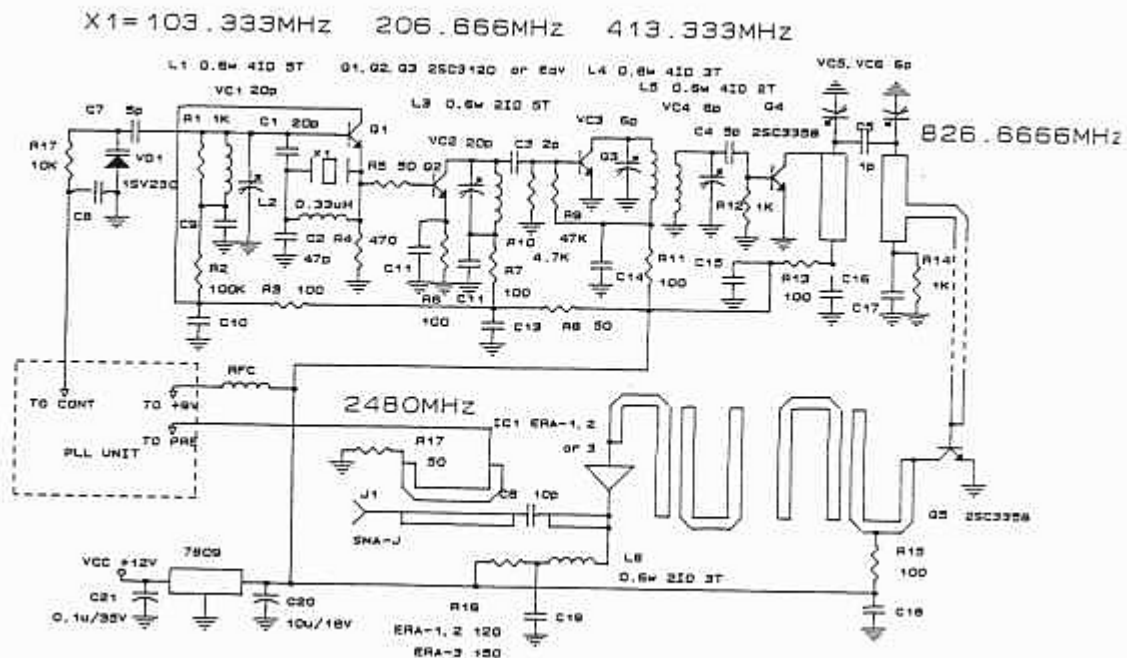
最後にこれでどの位の距離の QSO が出来るかが興味の有る所ですが、現在相手局が有りませんので専ら出力 10uW + 20dB ホーンのマーカー送信機を使って実験中ですが、1Km 程離れた所でフルスケールで受信出来、また 100m ほど離れた住宅の反射も確認出来ています、これは同じような構成の 47GHz の実験時と殆ど変わらない状態なので今後が楽しみです

以上

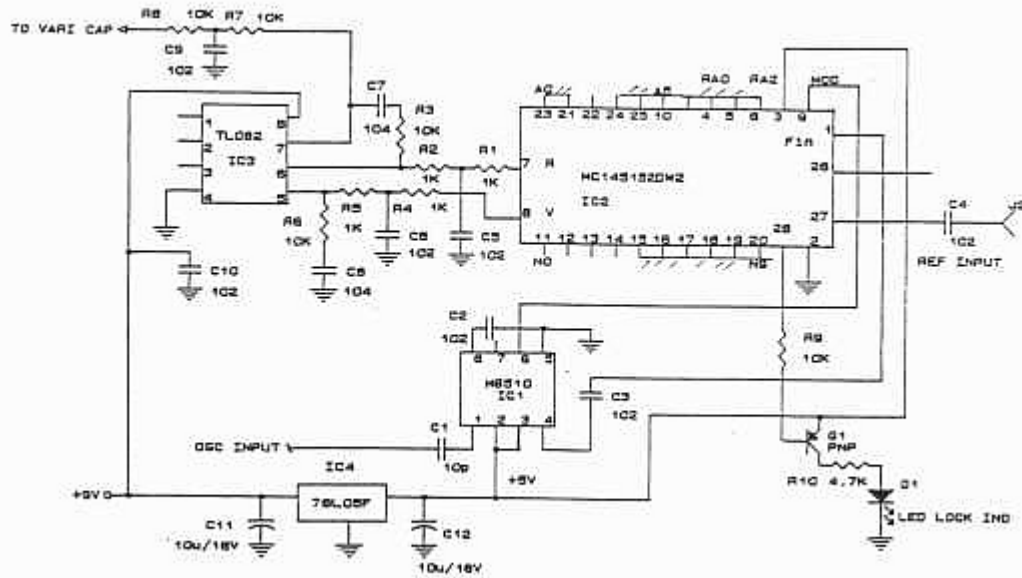
第 1 図 75GHz トランスバーター ブロックダイアグラム



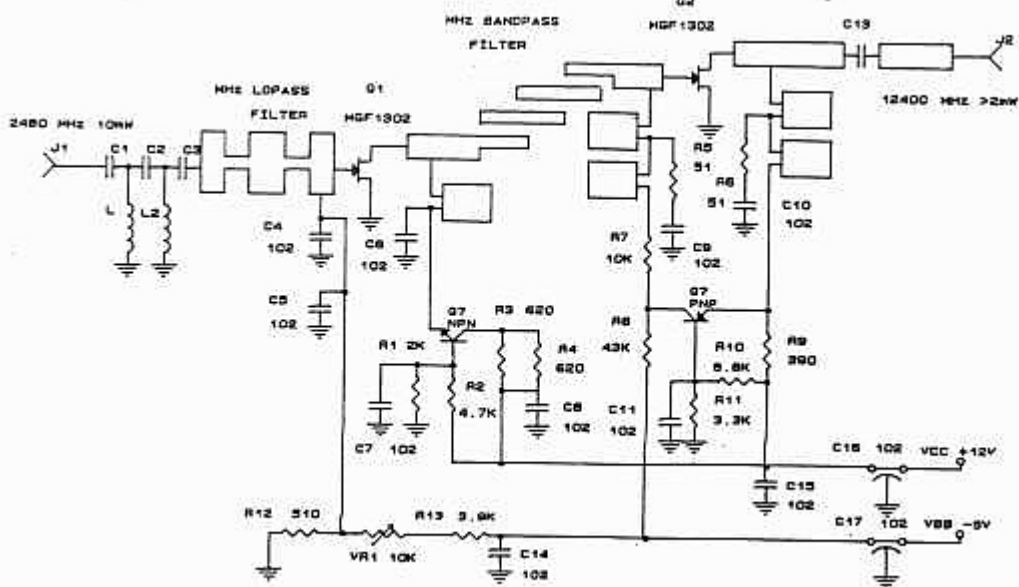
第 2 図 2480MHz XPLL OSC 回路図



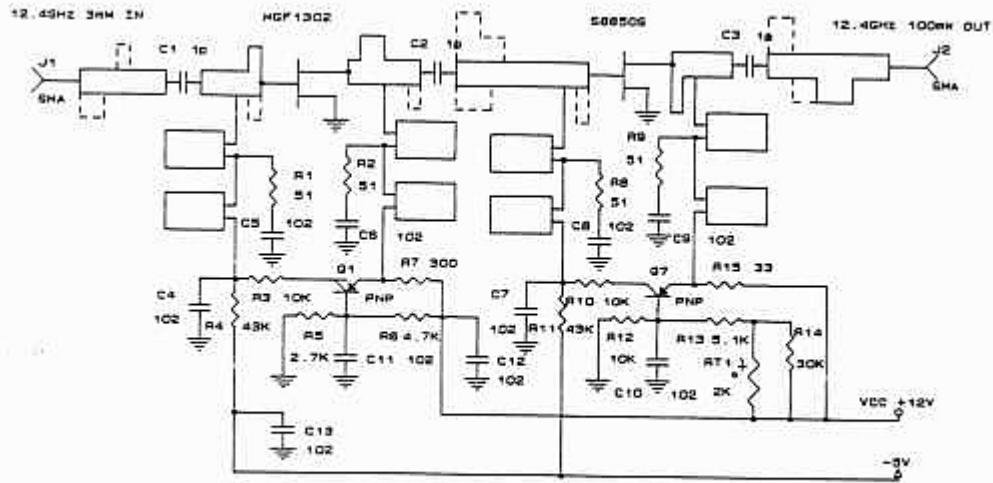
第 3 図 PLL 回路図



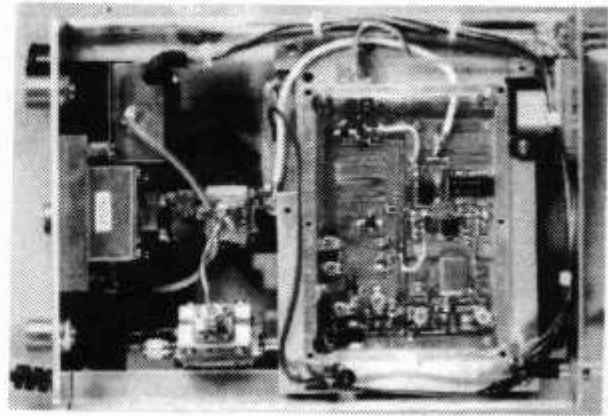
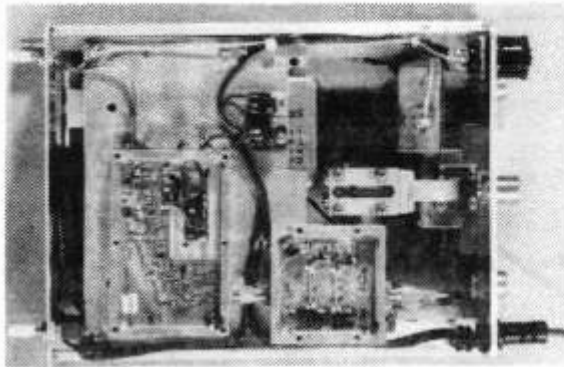
第 4 図 2480MHz x5 てい倍回路図



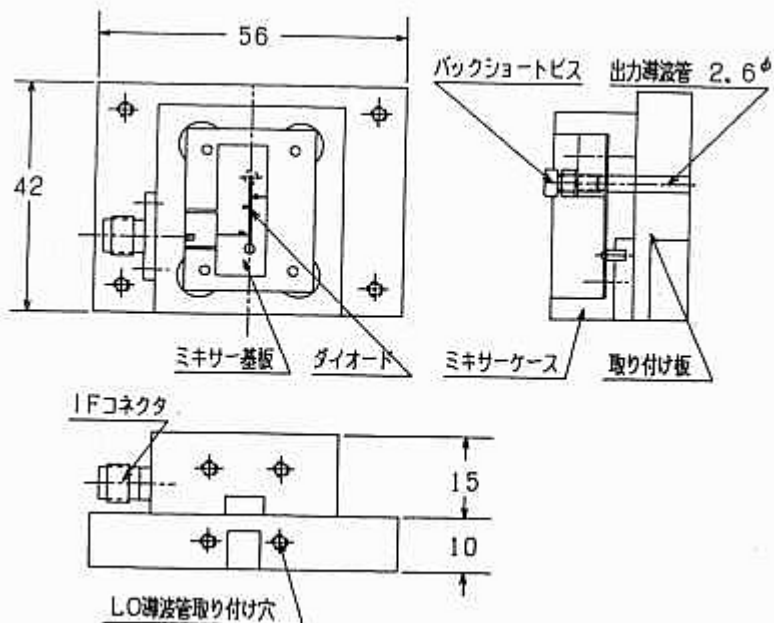
第 5 図 12.4GHz 2 段アンプ回路図



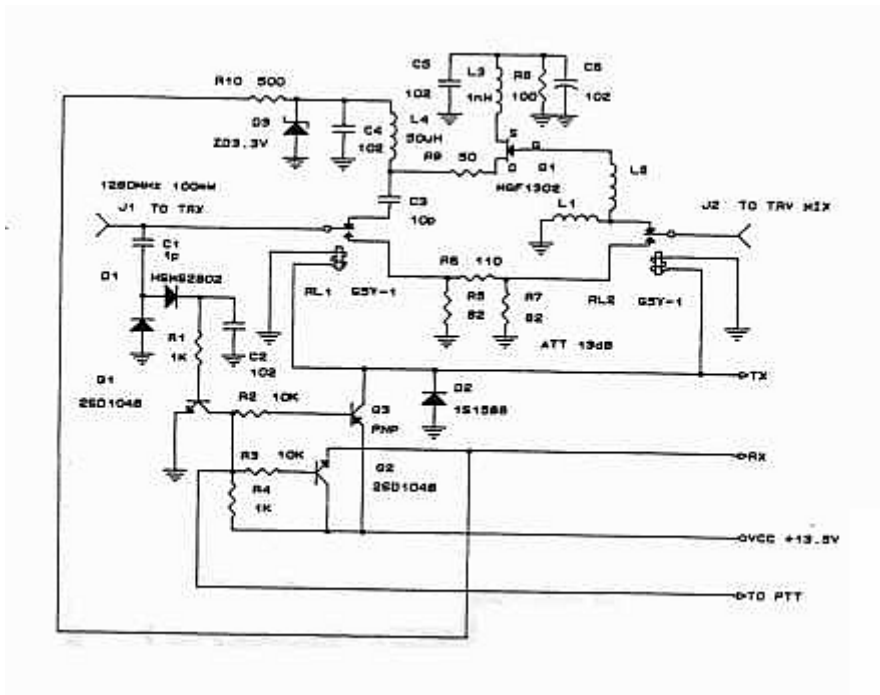
--- PATTERN CUT



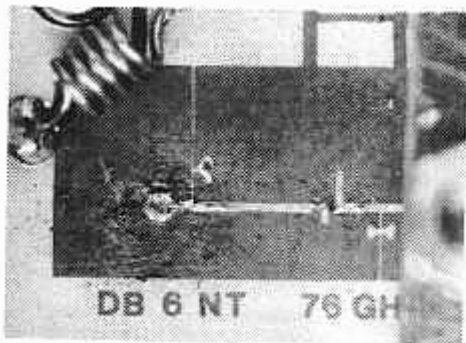
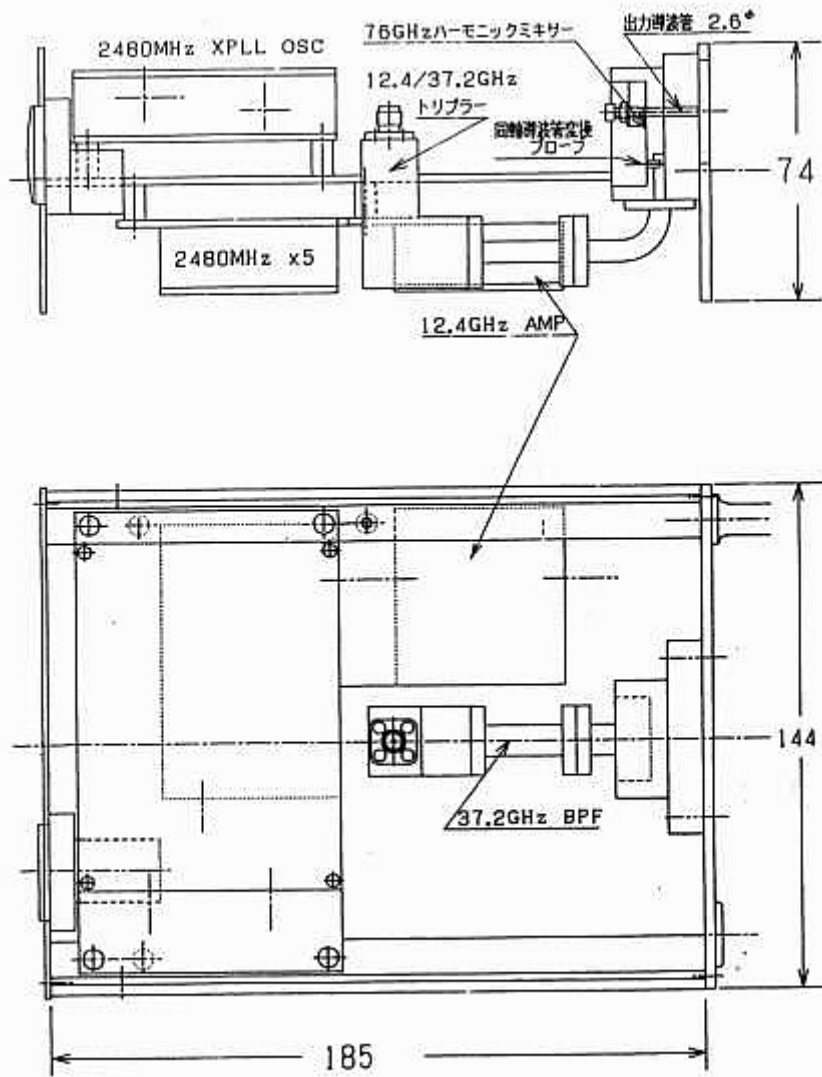
第 6 図 アンチパラレル ミキサー組立図

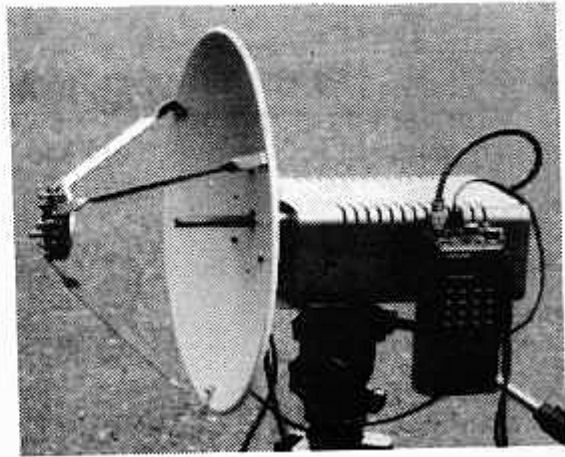
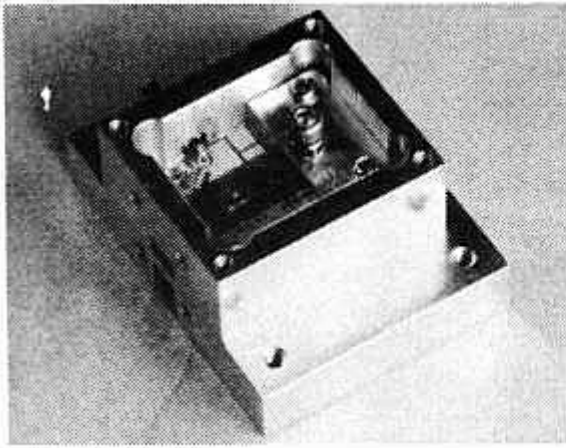


第 7 図 IF 切り替え、キャリコン回路図

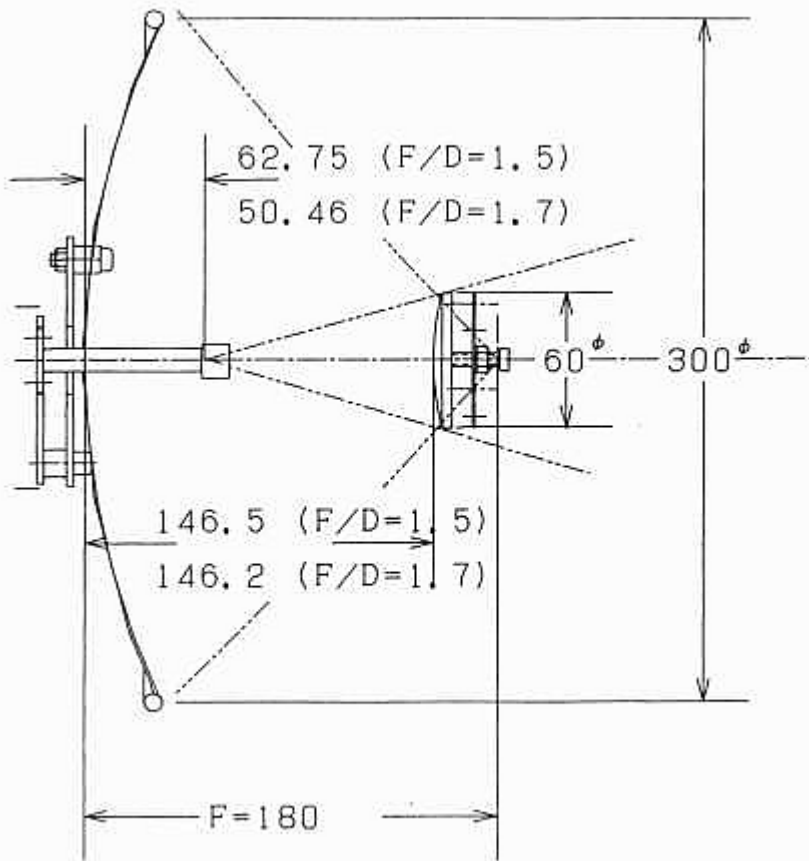


第 8 図 75GHz トランスバーター組立図





第 9 図 カセグレンアンテナ組立図



第 10 図 カセグレン用フィードホーン

