

ロシア球「GU-74B」を使った

50MHzパワーアンプの試作

写真・文：望月辰巳 (JH2GLV/1)



写真1：試作したGU-74Bアンプ

1. はじめに

1998年初冬、単身赴任先のローカル局のすすめで、ロシア製4極管「GU-74B」を入手しました。やがて、この怪しげなピンクのセラミックチューブが、果たしてどの程度のモノなのかを探る、試作と実験が始まりました。

同等管が4CX800Aとしてスベトラーナ社から供給されておりますが、スペックの記述に若干の違いが見受けられます。使用したGU-74Bは、ロシア文字による管名の他に、製造番号と思われる「8807」、アルファベットと数字で「0TK 19」、それに製造元らしき「ロゴマーク」が黒字で印刷されています。

その魅力は、何と言っても値段です。新品でも¥10~15k程度で買えますので、EIMACの3CX800A7等に比べたら破格で、性能はともかくとして衝動買いしてしまう値段です。

国内ではメーカー製アンプの実績は無いようですが、海外ではEuや米・豪を中心に幾つかのメーカーが採用しています。また、内外の多くのアマチュアが買い求め、実験や試作をされている様子がインターネット上で伺い知る事が出来ます。

ロシアのScientific Technical Center Navigatorやスベトラーナ社のWebを覗くと、規格表や試作例を入手することが出来ます。参考までに3CX800A7との比較を表にしました。プレート損失の違いで最高周波数が異なるなど、一部に2種類の表記がありますので注意が必要です。

さて今回の試作は、GU-74Bにはオーバースペックである430MHzから始まり、144MHz、そして50MHzと、約1年かけ転戦してきました。その結果、430MHzでは納得出来るデータが取れていませんが、144MHzは直列同調半波回路で、これから紹介する50MHzに近い動作を確認出来ました。同じ筐体で試作を繰り返しましたので、現在は50MHzにしかその形を留めていません。

ここでは、最後に残った50MHzのパワーアンプを紹介する事にします。



写真2：手にしたGU-74B

ロシア文字が読み取れる。ピンクが大変印象的なセラミックチューブ。

3CX800A7より一回り大きいですが、この様に手のひらに乗る大きさ。

最初は半信半疑だったが、実に扱い易い球だった。

2. 回路構成

図に高周波部と電源部の回路図を示します。

(1)GU-74B の動作

カソードドライブ(グリッド接地)の4極管アンプです。プレートに約2.5kV、Cgに-47V、Sgに280Vと、通常の4極管としての電圧を供給し、AB1級動作をさせます。この状態でプレート入力1.5kWを目標にしております。

CgはC2で高周波的に接地され、カソードはRFC3で浮かせてあります。高周波的にCgとSgが接地されたGGアンプですが、与えているDC電圧はゼロバイアス管とは異なります。Sgのバイパスは、ソケットSK-1A内蔵のパスコン(約0.012 μ F)と外付けのC3で行い、高周波電位を持たないようにします。またHvがかかった状態でSgがオープンになると、Sg電位が浮遊し自己暴走する場合がありますので、必ず抵抗R1でロードをかけます。

また、フェライトビーズFB1/2をCgとSg回路に挿入し、電源方向にインピーダンスを持たせ高周波の流出を押さえます。

保護用として、カソード回路に1Aのヒューズを挿入してあります。なお、部品点数を減らすために、ヒーターの片側はカソードとコモンにしてRFC3に接続してあります。

スタンバイ時のHvは、2.5kVを遙かに越え3kV以上になり一見オーバースペックですが、動作時に最大定格に収めると言う考え方で使用しております。

(2)入力タンク回路

π 型です。VC1でエキサイター側、VC2でカソード側のチューニングが別々にとれるようにしてあります。カソード側のインピーダンスがどの程度かよく分からなかったため、このような可変型にしました。追加コンデンサCaは、調整の段階で取り付けたものです。 $Xc=1/\omega(VC1+Ca)=53\Omega$ 程度ですので、エキサイター側の負荷Qは約1ですが、カソード側は球の入力容量が加算されており恐らく0.5~1前後だと思います。回路は π 型にこだわる必要はありませんので、T型でVCとL比によるチューニングをしても良いと思います。

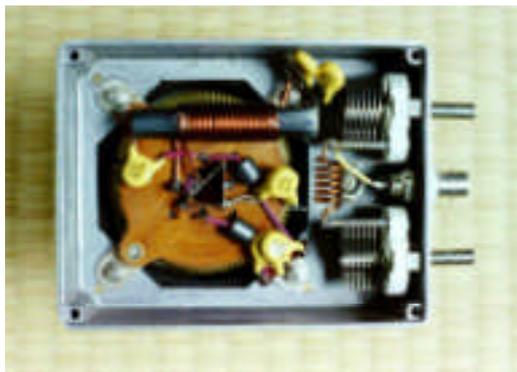


写真3：ファイナルベース入力側

試作の初期段階。コイルL1が見えるが、最終的にもう少し大きくなった。 π 型回路で、VC1とVC2で入力のマッチングを取る。

貫通コンデンサ(端子)板は未だ実装してない。

ソケットの穴は特殊工具が無いいため、丸ではなく8角形に開けた。

表1：GU-74Bと3CX800A7の最大定格を比較

	GU-74B	3CX800A7
ヒーター電圧	12.6V	13.5V
ヒーター電流	3.6A	1.5A
入力容量	51pF	26pF
出力容量	11pF	6.1pF
帰還容量	0.09pF	0.05pF
最高周波数	*150MHz	350MHz
Hv	2.5kV	2.25kV
Esg	300V	-
Ecg	-150V	(zero bias)
Ip	0.8A	0.6A
プレート損失	800W	800W
Sg損失	15W	-
Cg損失	2W	4W
高さ	90mm	64.01mm
直径	72mm	64.26mm
重量	550g	326g

*プレート損失が600Wなら250MHz
GU-74Bは添付FactoryDataSheetによる

(3)出力タンク回路

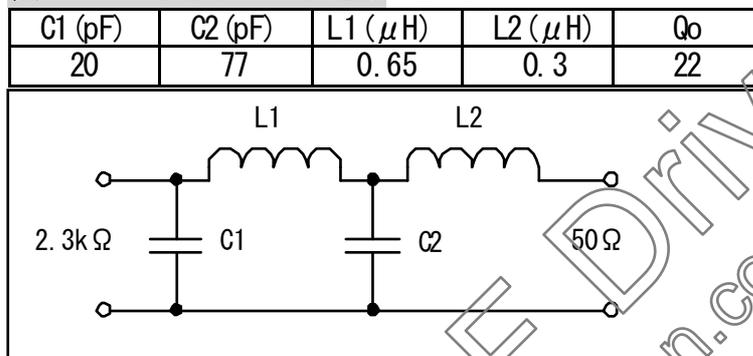
π L型で、単体での高調波低減を狙いました。実は、ARRLハンドブックの1999年度版まで掲載されていた、3CX800A7による50MHzアンプの製作例を参考にしております。

もっとも、出力容量は3CX800A7の6.1pFに対し、GU-74Bでは11pFと倍近くありますので、回路定数は異なっています。 π L回路のデータは、ARRLハンドブックの記事を参考にしました。実装時の回路定数を正確に把握する事は難しく、最後は「カットアンドトライ」になります。

しかし、全てを闇雲にやる訳には行かないので、基本的な運用ラインだけは予め決めておきます。前述のようにHv2.5kVで入力1.5kWを目標にしていますから、電源から見たら0.6Aの電流が流れ、4.17k Ω の負荷になります。このうち、一般的に1/1.8がタンク回路に取り出されるとすれば、 π Lネットワークの入力は4.17k Ω /1.8 \approx 2.3k Ω 付近と概算できます。

さらに、プレート同調容量をストレージも含み20pF程度に見込んで、50 Ω 線路への変換ネットワークの計算を行います。計算はW5FDのPCソフトに任せるつもりでしたが、50MHzには対応していないようなので、やむなく28MHzでの2.3k Ω データから変換(周波数が約1.8倍)して求めました。その数値を表にしました(筆算の場合は参考文献を参考)。

表2: π Lネットワーク定数(参考)



これはあくまで計算値で、机上と実際では大きく異なりますので鵜呑みに出来ません。実装した状態で、ディップメータやSWRアナライザの力を借りる事になります。

結果的にC2は77pFでは不足で、100pFを越えてしまいました。



写真4: GU-74B周辺と出力タンク回路

プレートへの接続はリン青銅板とホースクランプで行っている。配線はホット側にリン青銅、リターン側は軟銅板を使った。

Hvのフィードスルーは米RF PARTSから購入した680pF/6kV。

チムニーはポリカーボネート製を使うが、プレートとの間に隙間を作る。

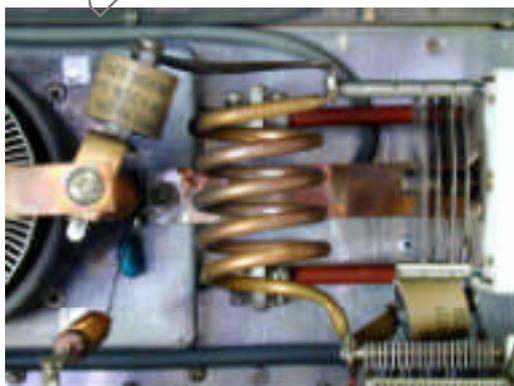


写真5: 出力タンク回路接続状況

羽を容量1/3に抜いたVC3の様子がよく分かる。ローターシャフトとステーターの片側も思い切って切断している。

コンデサは高圧の電力用を使用、コイルは全て手巻き。

タンク回路のコールド側は銅板でRFグランドポイントへ返す。VCの下方のコンデンサはC5。

(4)電源回路

高圧電源 (2.5kV) とヒーター電源 (AC12.6V) 及びリレー電源 (12V) は T1 から供給します。Sg 電源 (280V) は T2、Cg 電源 (-63V) は T3 から独立して供給しました。

トランスが3つに分散した理由は、当初 Sg/Cg 接地型アンプで試作を始めたため、ヒーターと高圧しか考えていなかったからです。それが本来の4極管として使う事になり、急きよ T2 と T3 を追加し Sg と Cg 電源を用意したのです。

スペースの関係で T2 と T3 は小振りになってしまい、後述するレギュレータに大いに依存しています。

①Hv 電源

1000/1200V を両波倍電圧整流します。タップの切り替えは SW3 で行います。HIGH 側が 2.5kV で LOW 側が 2.1kV です (運用時) が、文中では 2.5kV を前提に説明してあります。T1 は特注 (伊勢市西崎電機) の 1kVA の物で、1次側は 100V の複巻のため 200V 受電にも対応します。

整流器は 1kV/2A を 5 個シリーズにし、シリコンゴムチューブに通した物を 2 組用意します。平滑は $220\mu\text{F}/500\text{V}$ を 8 個直列にしたケミコンで行い、それぞれにデバイダーとブリーダーを兼ねた抵抗 $50\text{k}\Omega$ を取り付けます。これらは、ベーク板とポリ製スペーサーで保持しブロック化してあります。

お気付きでしょうが、連続キャリア運用では電流量が不足です。T1 上方には未だ空間がありますので、鉄心を増強したトランスに交換が出来ます。



写真6：整流・平滑ブロック

ベーク板と絶縁スペーサーで骨格を作る。

配線はプリント基板で行うが、電圧が高いので十分な間隔をとる。実装時も同様に、電圧に応じたスペースを確保する。

細いチューブはシリコンゴム製で、内部は 1kV/2A の整流器が 5 個直列になっている。

ケミコンにはインシュロックを巻き、間隔を作る。上面は感電防止のためアクリル板で覆う。

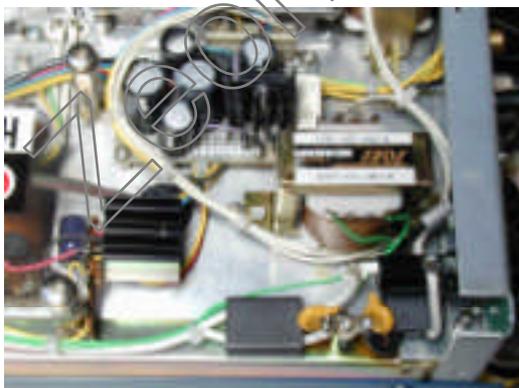


写真7：低圧電源

基板は Sg/Cg 電源のレギュレータ、放熱器は 12VREG 用、小型トランスは T2 と T3 で Sg/Cg 電源用。

メガネ FB は AC ラインフィルター用で、AC ラインへの高周波漏れを押さえる。

配線材料は主に耐熱電線を使用した。

左に電源トランス T1 が見えるが、感電防止用のアクリル板で覆われている。

②Sg/Cg 電源

Sg と Cg 電源は、ブリッジ整流後ツェナーダイオードとパワートランジスターを組み合わせ、簡単なシリーズレギュレーターで安定化します。

Sg 電源用のツェナーダイオードは、1W の物を 3 本シリーズにして目的の電圧を得ました。T2

の容量の関係で 280V としていますが、本来なら 300V 以上は欲しいところです。なお Sg 回路には逆流防止用ダイオード D1 がシリーズに挿入してあります。

Cg 電源は、-63V に安定化後 VR1 により、Cg バイアスのアジャスト (約 -47V) をとれるようにしてあります。なお電流は微小なので、ツェナーダイオードのみの構成で問題ないと思います。

③ヒーター電源

T1 の AC12.6V/5A 出力をそのまま使用します。

④リレー電源

T1 の AC12.6V/1A をブリッジ整流し、3 端子レギュレータで安定化しています。

(5) 制御回路

①電源制御

Hv 電源の投入制御を、タイマーリレー (Ry1) で行います。電源スイッチ (SW1) オンと同時にヒーターに電源が入り、2分30秒後にタイマーリレーが Hv 電源を投入します。Hv 電源以外は電源スイッチオン時から生きますので、誤って Hv オン前に送信しないように、タイマーリレーはスタンバイ回路も制御します。電源スイッチオフ時は全て同時に電源が落ちます。

②ファン制御

ファンは電源スイッチオンと同時に回転を始めますが、電源スイッチオフ後は特別な動作をします。ファイナルボックスに取り付けたバイメタルスイッチにより、電源スイッチオフ後も温度が 45°C に下がるまで回転し続けます。



写真 8 バイメタルスイッチと吸い込み口

左下がバイメタルスイッチ。温度が 45°C に下がるまでファン回路を閉じ回転を継続する。

バイメタルスイッチは一番温度の上がる所に取り付けたい。

吸い込み口はダイアプレスのパンチ板を使用してみた。ここに吸い込まれるエアは、トランス T1 や整流・平滑ブロックも冷却している。

③スタンバイ回路

スタンバイは Sg 電源をリレー (Ry2) で切り替えて行います。送信時は 280V、受信時は R2 を通しグランド電位に落します。

この動作に連動して、外部に DC12V を出力し、同軸リレーを切り替えます。同軸リレー CX-800N は 2 回路 2 接点で、アンテナ側とトランシーバー側を同時に切り替えます。

これら制御動作は、外部の接点 (エキサイター) で行われます。

(6) メーター回路

測定レンジを表にしました。一つのメーターで Icg/Ip/Hv/Isg/Po を読むマルチメーター方式

です。Icg/lp/lsg は、低抵抗を回路に挿入し、その両端に生ずる電圧を倍率器経由で読みます。なお lp/lsg は、安全のため電源線のリターン側で測定しています。

Hv は倍率器のみで読みますが、切り替え時にスイッチ SW4 で火花が散らないよう、抵抗 R18 を負荷してあります。

メーターは、500 μ A フルスケールで内部抵抗が 40 Ω です。倍率器はこの値を基に算出します。抵抗は、なるべく誤差 1% 級のものを選びます。市販品で揃わない場合は、複数個を合成して目的の値を作ります。これらは、カソードヒューズと共に平ラグに取り付けます。

Po はゲルマニウムダイオード D2 の検波出力を読みますが、表示は非直線であくまで目安です。リード線のループとタンク回路の結合度で振れを調整します。

Po はゲルマニウムダイオード D2 の検波出力を読みますが、表示は非直線であくまで目安です。リード線のループとタンク回路の結合度で振れを調整します。

表 3：メータ表示内容

Meter Function	Full Scale
Icg (コントロールリッド電流)	2mA
lp (プレート電流)	1A
Hv (プレート電圧)	5kV
Isg (スクリーングリッド電流)	50mA
Po (高周波出力)	1kW (非直線)

3. 機構関係

(1) ケース・シャシ

リードの LK-1 を使い、サブシャシを作り変えました。サイズとしてはやや小振りですが、セラミック球 1 本ならこれで十分だと思います。ノブやスイッチ類は、ルックスも考慮して配置してあります。レタリングも、半透明の粘着シートに PC からプリントアウトしたものを貼り付けました。簡単には剥がれません。

プレートチューン VC3 はボールドライブで減速し、目盛り板を取り付け、50MHz バンドが全面に展開するようにしました。ロードチューン VC4 は減速せず直接ノブで回しますが、C5 が並列に接続されますので可変は微調になります。

平滑ブロックや T1 のラグ面には高圧が露出しますので、アクリル板でカバーを施し、予期せぬ接触を招かないようにします。

(2) ファイナルベース (仮称)



写真 9：ファイナルベース出力側

この時のチムニーはネプレングムを試用。その後ポリカーボネート製に変更した。

RFC の根元にあるボルトが RF グランドポイントで、ここに出カタンク回路のリターンが返る。

プレートキャップはホースクランプを使用。

BNC にはエキサイター出力が接続される。

2 本のシャフトは入カタンク回路のチューニング VC。

GU-74B を乗せるアルミダイキャストの箱です。箱にはソケット SK-1A が取り付けられ、内部には入カタンク回路と Cg/Sg 回路、それにヒーター回路が組み込まれます。

上部は球以外にプレートチョーク RFC1 とカップリングコンデンサー C4、チムニー、RF グランドポイントがセットされます。

箱はシャシに伏せて取り付け、シャシ下側に 1 次ファンがセットされます。エキサイター入力は BNC コネクタ J2 へ、その他電源 (H/HK/Ecg/Esg) はシャシ側から、貫通コンデンサ (貫通端

子+バスコン) FT1~4 経由で供給されます。

配線は箱を外した状態で行い、出来上がったらファイナルボックスに組み込みます。ブロック化する事でメンテナンスを容易にし、またシャシ側への高周波の回り込みを押さえます。

(3) ファイナルボックス

ファイナルベースとタンク回路が組み込まれます。タンク回路への接続は C4 から出た高周波信号がファイナルベースの RF グランドポイントに最短で戻るようにし、それ以外のルートへの流出を極力押さえるように工夫します。

タンク回路の出力は VC シャフトと背面の N コネ部でシャシグランドに落ちてしまいますが、悪影響は出ていません。前者はシャフトカップリングで絶縁するのがベストですが、より電位の低いリターン回路がこれをカバーしています。後者は同軸ケーブルにフェライトビーズでロードをかけても良いのですが、近いので全く問題はありません。

ファイナルボックスの上部横からは、貫通コンデンサ FT6 経由で Hv 電源が供給されます。また、Po 出力も貫通コンデンサ FT5 経由で外部に取り出されます。

ファン制御のバイメタルスイッチは、上蓋でなるべく温度の上がる場所に取り付けます。



写真 10: ファイナルボックス

GU-74B からタンク回路への接続と Hv 供給の様子がよく分かる。

ロード VC は 150pF ではぎりぎりのため、最終的に並列に 100pF を入れた。

(4) 冷却方法

球の底からエアを送る 1 次ファンと、ファイナルボックス内の熱を外部に排出する 2 次ファンを設けます。ファンは両者共 AC ファンで、風量は約 1 立方 m/分です。1 次ファンだけだと、ファイナルボックスに熱がこもり、筐体に触れなくなります。

セラミック球の冷却は、シロッコファンを使う方法が一般的ですが、こうした手法でもそれなりの効果があります。

チムニーはポリカーボネート製で、電子レンジ用容器を加工した物です。メーカーならセラミックやテフロン製を使うのですが、アマチュアならではの工夫です。取り付けは、四隅をリン青銅金具で固定しますが、チムニーがプレートに直に触れないよう、均等に隙間を作るのがコツです。

2 次ファンは、出力タンク回路やトランス・平滑回路付近の空気も吸い込み、併せて冷却を行います。また排出エア温度の上昇を考慮し、メタルファンにしてあります。

4. 部品について

使用した部品と主な購入先を表にまとめました。真空管とソケットは札幌の FDT LABOR から購入しました。恵比寿の FAL でも取り扱っています。

コイル類は全て手巻きになります。銅パイプはホームセンター等で入手できると思いますが、余り肉厚のあるものだと、折れ曲がって巧く巻けな場合があります。この場合は一度焼きなま

してから巻き込むと良いでしょう。

プレートチョークは三共の 50MHzRFC のタイトボビンに巻きました。

高耐压の VC やコンデンサは専門店かジャンク屋を探す事になります。秋葉原ラジオデパート 3F の斎藤電気、または FAL で入手が可能です。



写真 11 : GU-74B

ピンクのセラミック地が独特な雰囲気漂わせる。

現在、新品で¥10k ちょっとならで買えるプレート損失 800W のセラミックチューブはこれしかない。

大変コストパフォーマンスの高い送信管である。



写真 12 : GU-74B とソケット&チムニー

左上が GU-74B、右上のチムニーはポリカーボネート製、左下は 4CX250B 用のソケット SK-640 だが GU-74B に使用出来る、右下が専用ソケットの SK-1A で、Sg リングとパスコンが取り付けられている。

SK-640 を流用する場合は、Sg バイパスはソケットピンのみから行う事になる。

5. 実装について

実装については、以下の説明と図面、写真を参考にしてください。高周波・低周波・直流・高電圧・大電流等、電気・電子回路の特徴と、温度環境を考慮した配置や配線を行います。

(1) 高周波回路と低周波・直流回路の整理

高周波信号は、ファイナルボックスとファイナルベース内のみで処理し、シャシ内は低周波と直流のみの処理に徹します。



写真 13 : シャシ内部配置

右上は 1 次ファンで GU-74B へエアを送る。

ファンの左はタイマーリレー Ry1 とスタンバイリレー Ry2。Ry1 とその周辺の絶縁には特に注意する。その下の平ラグはメーター回路の抵抗群とカソードヒューズ。小型トランスは T2 と T3 でその周辺は低圧電源関係。電源トランス T1 のラグ面には、アクリル板を取り付け危険を促す表示をする。

シャシ内部は直流と低周波交流しか扱わない。



写真14: シャシ上面配置

各セクションの位置関係が分かる
上部がファイナルボックスで、その内部は左奥から2次ファン、ファイナルベース(GU-74B他)、出力タンク回路が並ぶ。
下部は左から、高圧整流・平滑ブロック、電源トランスT1、メーターが並ぶ。



写真15: 背面パネル配置

左が2次ファン(風量約1立方m/分)でファイナルボックスの熱風を吸い出す。
ファンは熱を考慮し、メタルファンにしてある。
右は2回路2接点の同軸リレーCX-800N。
背面コネクタは全てNコネを使用した。Nコネはストレートで使うとスペースをとるため、L型を多用しすっきりさせている。

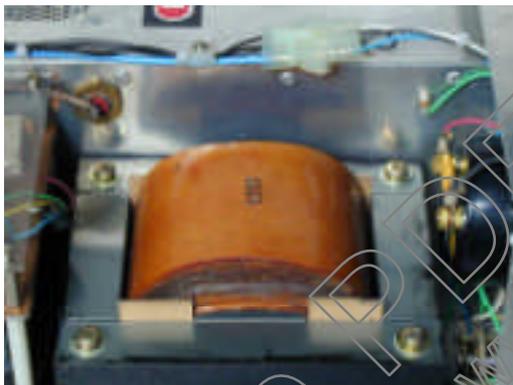


写真16: T1及びHvとPoのフィードスルー

左のHv用(FT6:580pF/6kV)は適当なものが見つからなかったため、米RF PARTSから通販で購入した。
右のPo用(FT5:1000pF/50V)は国産品。
トランスは伊勢市の西崎電機に1kVAの容量で巻いてもらった。
電流計がトランスの横にあり、余り好ましい配置とはいえないが、特に問題は発生していない。

(2) 高周波は不用意にアースしない

オーディオアンプとは違います。不用意にシャシにアースすると、共通インピーダンスを介して入出力が結合し発振の原因になる場合があります。また、筐体が高周波振動し筐体輻射を増大させます。特に出力タンク回路のリターン回路は専用で作る必要があります。

(3) タンク回路は小さく作る

周波数が高くなると部品のループで構成されるインダクタンスが影響(コンデンサを並列に入れたのに共振周波数上がるような領域)してきます。集中定数回路ではこのループを押さえられないと共振周波数を上げる事が難しくなります。

また、リード線や配線材料はインダクタンスですから、回路を組めば随所にインダクタンスが挿入され発振などの不安定動作を招きます。小さく(短く太く)組むことは必須です。

(4) 冷却の対象は真空管だけじゃない

どうしても真空管の冷却に目が行きますが、タンクコイル、トランス、ブリーダー抵抗の発

熱もかなりのものです。全体にエアが流れるよう心掛けます。

(5)半田は絡げてから流す

出力回路では、熱で半田が流れ出しても部品が外れないよう工夫します。部品は絡げて配線し自立させたところに半田を流します。半田だけで部材間を結ぶのは厳禁です。

6. 安全対策

インターロック回路は設けてありません。自作の場合はインターロックを設けても、調整などで解除して使う場合が多いと思いますので、各自が注意するしかありません。

高圧は無負荷で3kV以上に達します。感電は場合によっては生命に影響を及ぼします。体調が悪い時や、幼児がいるような場合は、作業を中止する勇気を持ちましょう。

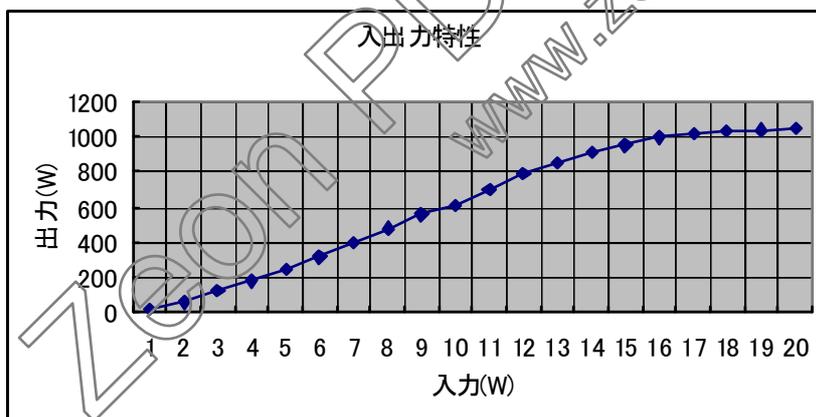
作業中に誤って触ってしまう可能性のある場所は、必ず絶縁材でカバーを施し、文字で警告を促します。そして、作業を行う場合は手袋を着け、なるべく片手で行うようにします。

真空管アンプ作りには、高圧と高周波に対する知識ばかりではなく、危険に対する認識と後処理の知識（人工呼吸・火傷処理）も必要だと思います。

7. 試験成績と考察

(1)入出力特性

1kW(CW)出力でチューニングをとり、その状態から入力電力を変化させて得たデータをグラフにしました。比較的素直な特性だと思います。直線部分が下方にややたるんでいるのは、 I_p の増加に伴う H_v の降下によるものと考えられます。参考までに、入力25Wで1.1kWを示しますが、これが現状での飽和出力となります。このとき H_v は2.4kV、 I_p は610mAで、入力は1.46kWに達します。この状態で、プレート損失には未だ400W以上余裕があるため、 S_g 電圧を350V近くまで上げればもう少し飽和点が伸びるでしょう。



グラフ1：入出力特性

飽和点手前で曲線に「肩」が出来ている。これは3極管には無い特性。

(2)高調波特性

1kW(CW)出力時の高調波をスペアナで測定しました。中央が2次(100MHz)で右が3次(150MHz)です。表示は2次で約-52dB、3次で-71dB、4次(200MHz)はノイズレベルです。

しかし、カップラーのf特が+6dB/octのため(高い周波数が大きく表示される)、2次で-6dB、3次で-9dBの補正をすると、データは2次で-58dB、3次で-80dBになります。 π L型タンク回路の効果が出ています。実運用では、LPFの挿入で全く問題の無い値まで落とせるでしょう。

参考までにエキサイターの特性も測定しました。2次はアンプを通すことで4dB程度悪くなっていますが、3次は逆に4dB程改善されています。測定環境が必ずしも同じでないため、あ

くまでも参考値です。

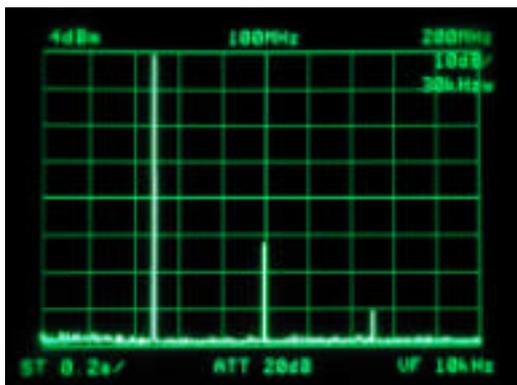


写真 17 : 1kW (CW) 出力時の高調波

表示は 2 次で -52dB、3 次で -71dB。

なお、カップラーが +6dB/oct の f 特を持つので、最終データは基本波に対し、2 次で -58dB、3 次で -80dB になる。

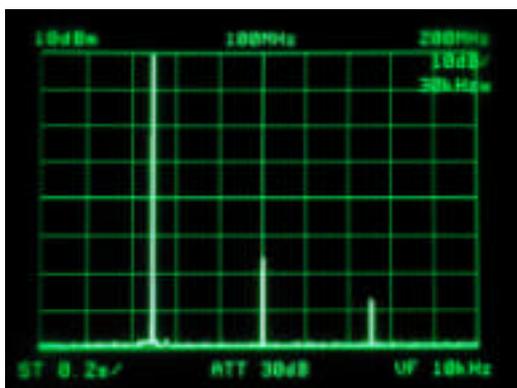


写真 18 : エキサイター (16W/CW 時) の高調波

表示は 2 次で -56dB、3 次で -67dB。

カップラーの補正をかけると、2 次は -62dB、3 次は -76dB となる。

(3) 2 信号テスト

スペアナの分解能が低く IMD 特性がとれませんでしたので、2 信号テストを行いました。オシロスコープで測定した波形を写真に示します。

信号源はアイコムの HM-14 を使用しました。元々 DTMF マイクロフォンですが、テンキーを押すと正弦波のデュアルトーンを出力し、キーを 2 個押せばシングルトーンも出力します。

オーバードライブすると、あっという間に波形の先端が丸みを帯びてきます。2 枚の写真は同じレンジで見たもので、1kW/CW で ±3 目盛りにオシロスコープを校正 (連続送信では電力低下があるため、単点の連続で実施) 後 2 信号を入力し、目視で「飽和直前」と「飽和後」のドライブレベルを決めたものです。なお、2 信号時は電力の表示が難しいため、ここでは何 W という数値表記は入力・出力共にしてありません。波形でその能力を見ることにしました。

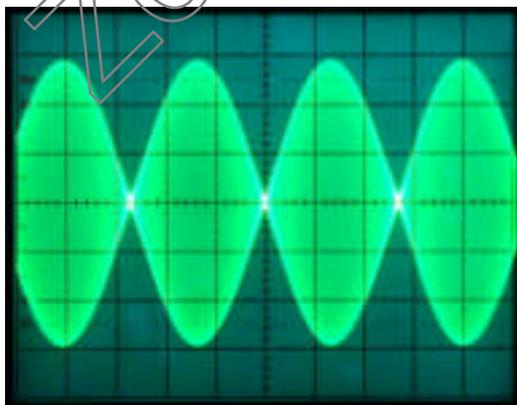


写真 19 : 飽和直前の 2 信号特性

クロス点はきれいに「X 状」で、先端も伸び、教科書通りの波形を確認できる。

±3 目盛りのところが、CW (短点) で 1kW のライン。

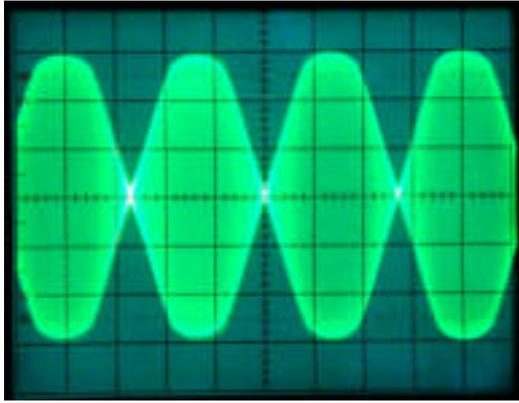


写真 20 : 飽和後の 2 信号特性

写真 19 と同じレンジでドライブレベルを上げる。クロス状態に変化は無いが、先端があっという間につぶれ、丸みを帯びてくる。

更にドライブを上げるとクリップ状態になる。

SSB 運用では ALC を併用するか、ヘッドマージンを考慮したレベル管理が必要だろう。

(4) 30分連続キーダウンテスト

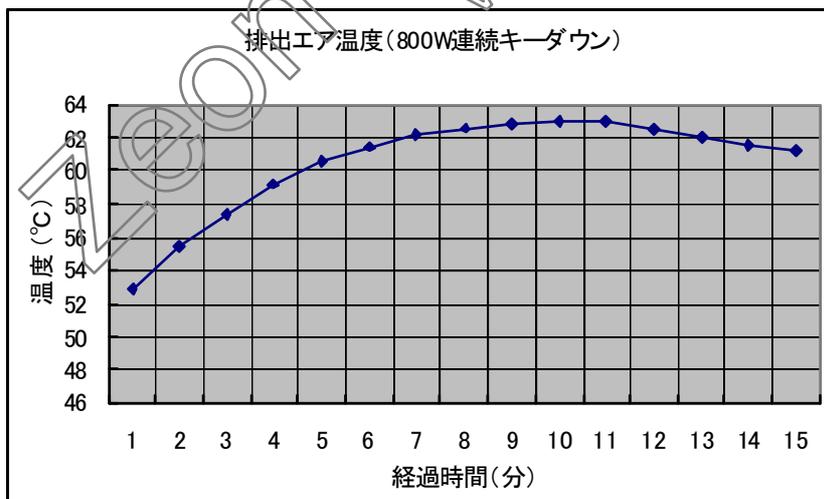
800W (CW) で 30 分間連続送信する耐久テストです。真空管を含むファイナルボックス内の部品や電源からの、異音・異臭・温度変化等を確認します。

本機では、出力タンクコイル L2 が、発熱により中央が焼いたような色になりました。半田が溶けるまでは十分余裕がありますが、膨張によりインダクタンスの変化を招き、若干ですが共振周波数に影響しています。ハードな使い方をする場合は、素材の銅パイプを太くするか、もっとエアを当てるなどの工夫が必要でしょう。

またプレートチョーク RFC1 が、電源側に近い所とプレート間 (約 10mm) でスパークし飛び散る現象がありました。このテストの最中に発覚したのですが、RFC1 に高周波が乗っていたものと推測します。0.8mmEC で巻数を変えて巻き直し、テストをパスしております。

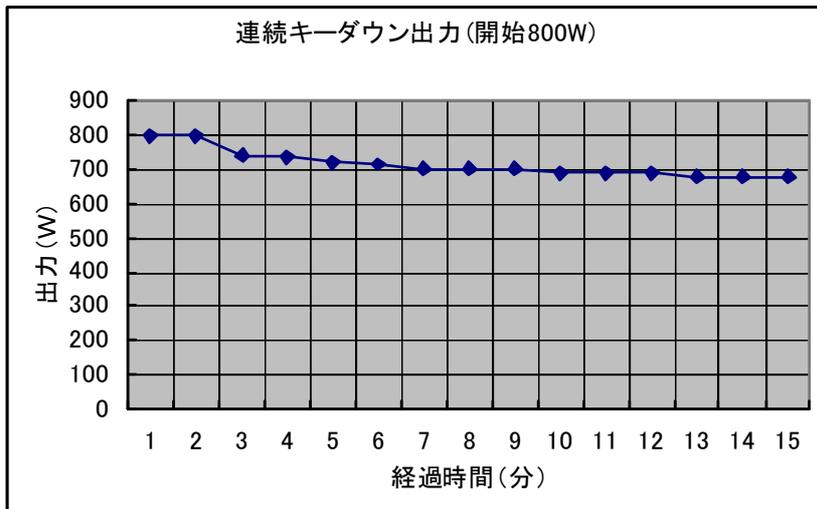
(5) 排出エア温度と出力変動

前項のテスト時に、開始点から 15 分経過までの排出エア温度をグラフにしました。室温は 26°C、送信無入力時の排出エア温度は 35°C でした。約 10 分で 63°C 付近に落ち着きます。12 分以降が低下しているのは、出力が 680W 付近まで低下したためと考えられます。この間の出力変動もグラフにしました。120W 程低下していますが、主な原因は出力タンクコイル L2 の発熱によるものと考えられます。



グラフ 2 : 排出エア温度

10 分程度の経過で、飽和点に達する。



グラフ3：出力変動

800W (CW) で開始するが、15分で680Wまで低下した。使用部品 (L2) の発熱が問題と思われる。

(6) 筐体輻射の確認

TV 受像機の近傍に出力同軸を沿わし、1kW でダミー運転します。このとき各 TV チャンネルに極端な受信障害が無い確認します。本機はケーブル TV 環境下でテストしましたが、問題はありませんでした。

この調査で明らかな障害がある場合は、高周波グラウンド周りの対策が必要です。ましてや、アンテナをつなぐ等の作業には絶対に入れませんのでご注意ください。

なおダミーロードはシールド型が必要です。

(7) 1kW 出力時の動作例

表に 1kW 出力時の動作例を示します。これは、前述の入出力特性で 1kW 出力時のデータを取り出したものです。AB1 級動作のつもりでしたが、若干の Cg 電流が流れています。

ドライブ電力が 16W で Cg バイアスが -47V あるのに、どうして Cg 電流が流れるのか不思議で調査中です。何故なら 16W なら 50Ω 負荷で、28.3V (rms)、最大値でも約 40V で、47V の範囲内だからです。未知数であったカソードインピーダンスが入力側より高く、タンク回路でステップアップしているのかも知れない……でも同調容量比からしてそんな事は無い。それとも、カソードドライブで Cg は高周波的にグラウンドに落ちているから GG アンプ的な名残りがあるとか……でも -47V でバイアスされているしなあ……と色々想像が巡ります。

前述のように、Sg 電圧を 300V 以上に設定できれば、もう少しリニアリティが改善され、プレート入力も伸びるものと思います。プレート入力と出力の差、すなわちプレート損失は定格の半分にも満たず、まだ十分な余裕があります。或いは、プレート損失と電源容量の範囲内でもより A 級動作に近づける選択肢もあります。

(8) 測定機と測定系統

測定系統と使用した測定機を図と表にまとめました。

使用したスペアナは分解能不足で IMD の測定が出来ません。ダミーロードは手頃な物が無かったので、酸化金属皮膜抵抗 200W 分で自作しサラダオイルと共に缶に詰めて使用しました。サ

表4：1kW 出力時の動作例

電波形式	CW
Hv	2.5kV
Ip	550mA
バイアス電流	100mA
Ecg	-47V
Vcg	0.6mA
Esg	280V
Isg	20mA
Sg 損失	5.6W
プレート損失	375W
プレート入力	1375W
出力	1000W
効率	73%
入力	16W
入力 SWR	1.5 以下
AC 受電電圧	97.5V

ラダオイルは膨張が大きいので扱いにくく、本来ならトランスオイルを使うべきでしょう。



写真 21 : ベランダに置いた油冷ダミーロード

測定のために急ぎよ自作した。

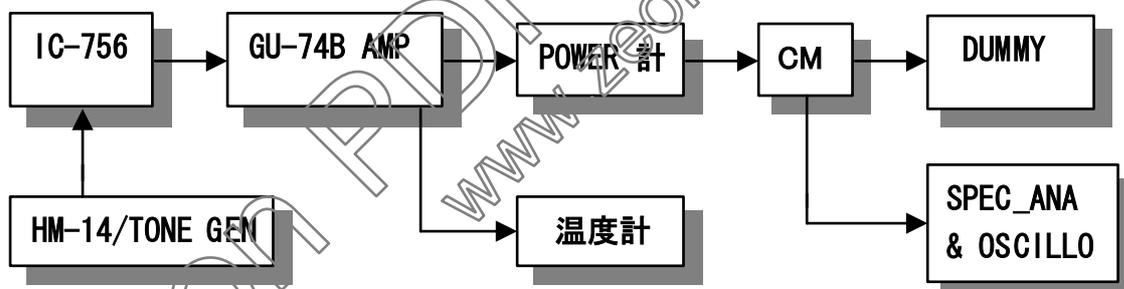
少しでも負担を減らすために、細めの同軸を継ぎ足し、800Wで30分のテストを強引に実施する。

サラダオイルは膨張し易く、エア抜きから溢れ出し、まるで「天ぷら鍋」であった。

表 5 : 測定機

電力&SWR計	CN-101L (DAIWA)
スペクトラムアナライザ	R4131A (ADVANTEST)
オシロスコープ	2215A (TEKTRONIX)
トーン発生器	HM-14 (ICOM)
CMカップラー	自作 (+6dB/oct)
ダミーロード (油冷)	自作シールド型 (200Wドライ+サラダオイル 3リットル)
テスター	EM-3000 (SANWA)
温度計	PRECISION THERMOMETER (EMPEX)
時計	IC-756 (ICOM)
SWRアナライザ	MFJ-259 (MFJ)
デジメータ	DMC-470S (三田無線)

図 5 : 測定系統



(9) GGで使えるか？

Cg と Sg を高周波的にも直流的にも接地した3極管式 GG アンプのテストも行いました。

Hv に 2.5kV、Cg/Sg はゼロバイアスで Ip が約 15mA 流れますが、余りにも少ないので Sg に +15V をかけ 65mA 流した時の様子を表にしました。10W 程度のドライブで出力は 200W を示しますが、Icg は簡単に 100mA を越えてしまい危ない状態になります。

Sg 電圧をもう少し上げ、100~150mA 程度のバイアスを流せばもう少しゲインがとれ、Icg を減らせるかも知れません。

表 6 : Cg/Sg 接地カソードドライブデータ

	Cg/Sg 接地カソードドライブ
Ecg	接地
Esg	+15V
Icg	100mA
バイアス電流	65mA (ゼロバイアス時 15mA)
Hv	2.5kV
Ip	230mA
入力電力	10W
電力利得	約 20 倍

まとめると、ドライブに対し I_p が伸びず、先に C_g 損失が許容値を超えてしまう結果になります。回路が簡単なので期待していたのですが、4CX-250B 等まで行かないにしても、この球は元々そうした向きには積極的に使えないようです。しかし完全なデータ取りは出来ておりませんので、 C_g 損失 2W の中で再び挑戦してみたいと思っています。

8. まとめ

結論から言うと「使い易い球だ！」と言う印象です。最初は半信半疑だったのですが、今では完全に「おすすめ派」に鞍替えしています。御一つ如何でしょう。

試しに無誘導抵抗で終端したグリッドドライブも実験しましたが、利得は落ちるものの、ほぼ同じデータが得られます。この方式は、海外のメーカー各社で採用されています。

3極管 GG アンプと違い、 S_g や C_g の電源が必要ですが、逆にそれを積極的に使えば球の動作をある程度コントロール出来、むしろ4極管は便利な球だと言う結果になります。プレート電圧のみに依存する3極管には無い世界です。

そのためには、 C_g と S_g 電源の安定化は必須です。変動があると即 I_p の変動となって現れます。本機では H_v 電圧を切り替え出来ますが、HIGH/LOW 切り替えで約 400V の変化があっても、 I_p バイアスの変化は殆んどありません。それより、 S_g 電圧の変動による変化の方がはるかに顕著です。当然ですが、出力や直線性にも影響してきます。

現在 S_g に 280V を供給していますが、試しに 350V 近くまで上げると、出力 1kW 以上までピンと伸びるようになり驚きます。その時の I_p は 0.7A 近くになり、入力も 1.5kW を越え、連続キャリアでは電源や空冷が持たなくなります。

入出力特性グラフが示すように、出力は飽和点手前で折れ曲がり、それまでの直線が嘘のように「肩」ができます。これも3極管アンプには無い特性で、運用にはこの癖の把握が必要でしょう。同じプレート電源で使うなら、動作範囲を限定すれば3極管より4極管の方が直線性を得やすいが、その範囲を超えないレベル管理が必要と言うことでしょうか。

以上の結果から、電源や冷却を考慮すれば、「GU-74B 1本で容易に 1kW が得られる」事が分かりました。144MHz でも同じようなデータが取れておりますので、EME アンプにも応用出来るでしょう。

以上、試作機について説明してきましたが、乱筆乱文をご容赦下さい。なお、本機は IMD 特性を確認しておりませんので、「リニアアンプ」の表記は控えました。これから GU-74B/4CX800A を使ってみようとお考えの方の参考になれば幸いです。

……私はその後、5本も購入してしまい、完全に GU-74B のファンになりました。今後、再び 430MHz と 144MHz、そして 50MHz を含めた HF マルチバンドに挑戦する予定で、忙しい単身赴任生活(?)が続きます。

9. 追加情報

(1) タンクコイルの発熱対策

タンクコイル上部(上蓋)に球上部と同じ通風穴を取り付けました。これにより、定常的にエアが通るため、かなりの改善となりました。

より完全にするには、コイル素材である銅パイプを更に太くするか、銅板化などの対策が必要でしょう。

(2) S_g 回路のダイオードについて

別の GU-74B アンプで、 I_{sg} からの逆流がブリーダー抵抗で吸収出来ず、またダイオードで阻

止されるため Sg 電位が上昇したままとなり、結果として Ip が暴走し AC ヒューズが即断する現象が発生しました。この現象は RF でドライブしても、Cg バイアスを浅くしても、Ip が 450mA 程度流れたところで突如として発生しました。昔の OP アンプで体験したラッチアップに似ており、こうなると RF ドライブを落しても、Cg バイアスを深くしても元には戻せず、ただヒューズが飛ぶのを待つだけになります。回路や定数は Alfa 社の 91β を参考にしたものです。この場合 Sg ブリーダーを 50kΩ に落しても変化が無く、ダイオードを 56Ω の抵抗に交換して対策しました。Isg の逆流を嫌ったダイオードでしたが、とんだ落とし穴でした。

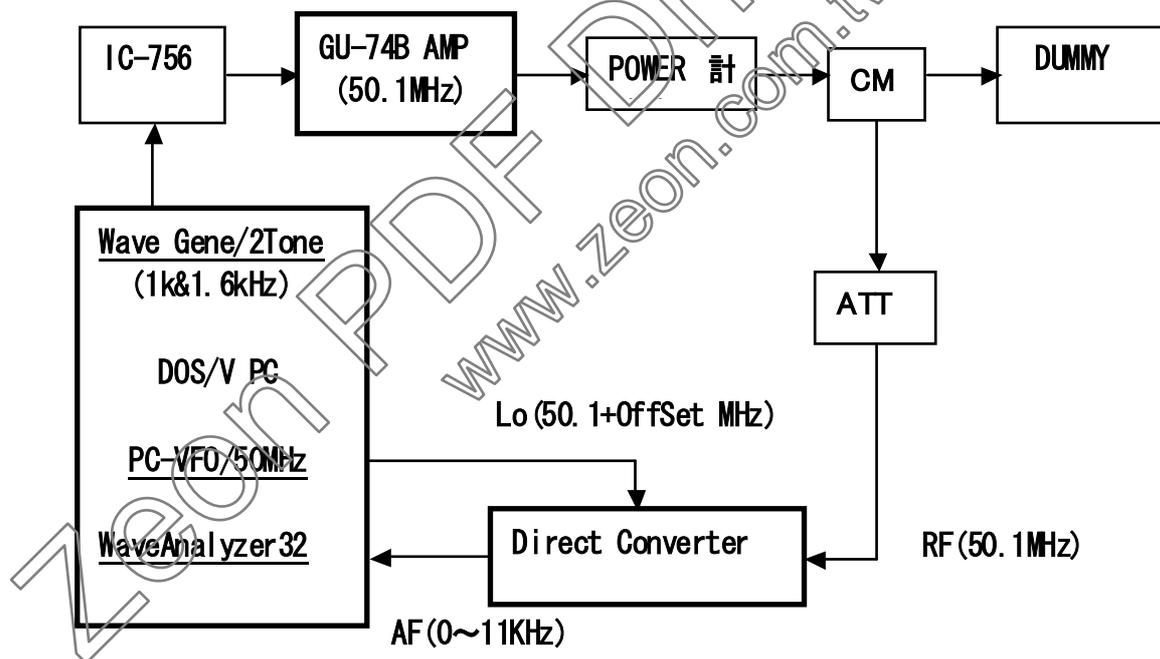
本アンプは 91β に準じた回路でダイオードを入れています、問題は発生していません。

(3) FFTアナライザによる IMD の測定

ウェーブアナライザ 32 (斎藤成樹氏作 FFT ソフト) により、ダイレクトコンバータ (CQ 誌 H12 年 4 月号参考) の出力を表示してみた。ダイレクトコンバージョンのため、反対側のサイドバンドが 0 Hz を境に折り返さないよう、約 4.2 kHz オフセットして表示してある。これにより、2 トーンの中央より ±5.5 kHz 間にある歪が拾い上げられます。

2 トーンはウェーブジェネレータ (efu 氏作) を使用し、1 kHz と 1.6 kHz を発生。ノイズフロアが高いのは、ダイレクトコンバータの PC-VFO のピュリティが悪いため。IMD は 3 次で -35 dB 程度とれ、5 次ではエキサイター出力より良好である。

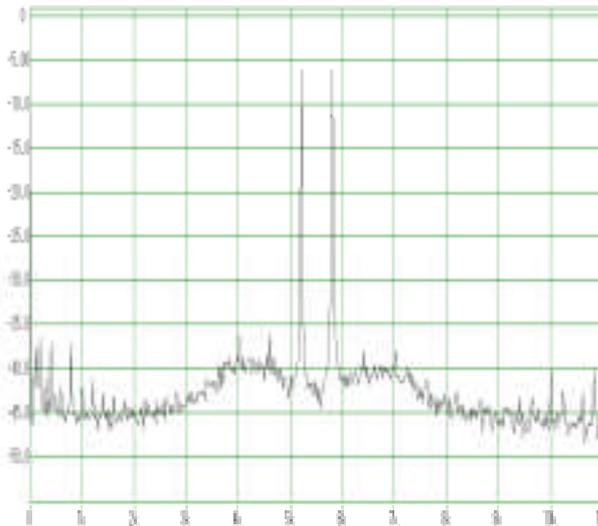
図 6: IMD 測定系統図



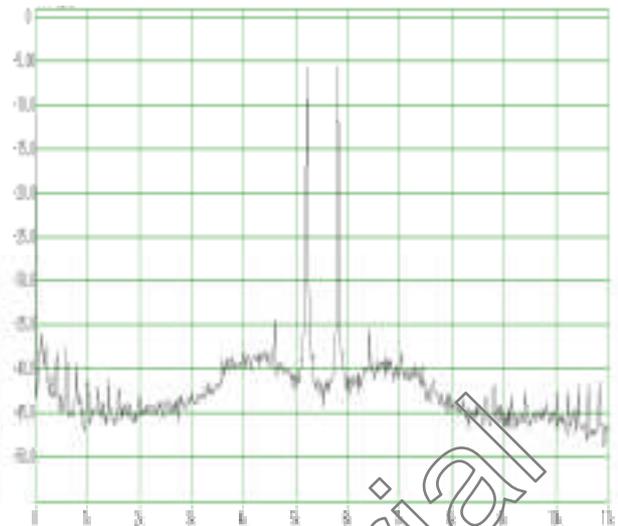
グラフ 4 はエキサイター出力で、シングルトーン 2.0W 出力時。ノイズフロアが高いため、ここまで出力を上げないと IMD がはっきりと顔を出さない。両端のノイズはオーディオ段での被りの模様。

グラフ 5 はアンプ出力で、シングルトーン 4.0W 出力時。5 次がエキサイター出力より改善されている。両端のノイズはオーディオ段への被りと思われる。

全体にノイズフロアレベルが高いのは、ダイレクトコンバータの局発に使用した PC-VFO のピュリティが、この周波数になると悪化するから。



グラフ4 : エキサイター(IC-756)出力



グラフ5 : アンプ出力

【コイルデータ・部品リスト (購入先・メーカー)】

表7 : コイルデータ

L1	1.6mmΦEC、内径 12mmΦ・5T
L2	4mmΦ銅パイプ、内径 25mmΦ・5T、幅 50mm
L3	1.6mmΦEC、内径 10mmΦ・5T
RFC1	0.8mmΦEC、直径 12mmΦタイト・45T、密巻
RFC2	0.8mmΦEC、100k/5W 抵抗に 20T、密巻
RFC3	1.6mmΦEC、直径 8mmΦフェライト棒・10T、復巻

表8 : 一般部品

V1	GU-74B (FDT LABOR)	D18	600V BRIDGE
ソケット	SK-1A (FDT LABOR)	D19	200V BRIDGE
フィルム	電子レンジ用ポリカーボネート容器加工	Tr1	2SC2749 (ヒートシク付き)
PLATE	ホースランプ	Tr2	2SC2752
L1-3	コイルデータ参考	IC1	3端子 REG/7812
RFC1-3	コイルデータ参考	FT1-4	0.001μ/500V 貫通コン (斎藤電気)
RFC4	未実装	FT5	0.001μ/50V 貫通コン (斎藤電気)
VC1	50P/500V (斎藤電気)	FT6	680P/6kV 貫通コン (RF PARTS)
VC2	50P/500V (斎藤電気)	FB1-2	フェライトビーズ/FB801 (斎藤電気)
VC3	10P/3.5kV (30pFの羽抜く・斎藤電気)	FB3-4	フェライトマガコア/#43材 (斎藤電気)
VC4	150P/500V (斎藤電気)	R1	100k/5W 酸化金属皮膜
Ca	30P/450V DIPED MICA (SOSHIN)	R2	10k/5W 酸化金属皮膜
Cb	未実装	R3	8.2k/2W 酸化金属皮膜
C1	0.001μ/450V CERAMIC (MATSUSHITA)	R4	10/1W 金属皮膜1%級
C2	0.001μ/450V CERAMIC (MATSUSHITA)	R5	0.5/1W 金属皮膜1%級
C3	0.001μ/450V CERAMIC (``) & SK-1Aパイプ	R6	1/1W 金属皮膜1%級
C4	0.001μ/5kV CERAMIC (HT50・斎藤電気)	R7	960/1W 金属皮膜1%級
C5	100P/5kV CERAMIC (HT50・斎藤電気)	R8	60/1W 金属皮膜1%級
C6	0.001μ/450V CERAMIC (MATSUSHITA)	R9-12	50k/5W セメント
C7	0.001μ/450V CERAMIC (MATSUSHITA)	R13-16	50k/5W セメント
C8	0.0022μ/6kV CERAMIC (MURATA)	R17	10M/1W 金属皮膜1%級

C9	0.001 μ /450V CERAMIC (MATSUSHITA)	R18	27k/0.5W CARBON
C10	0.001 μ /450V CERAMIC (MATSUSHITA)	R19	20k/5W セメント
C11	0.001 μ /450V CERAMIC (MATSUSHITA)	R20	20k/3W セメント
C12	0.001 μ /450V CERAMIC (MATSUSHITA)	R21	100k/1W 酸化金属皮膜 (未実装)
C13	0.001 μ /450V CERAMIC (MATSUSHITA)	R22	100k/1W 酸化金属皮膜 (未実装)
C14-17	220 μ /500V CHEMICAL (NICHICON)	R23	1k/0.5W CARBON
C18-21	220 μ /500V CHEMICAL (NICHICON)	R24	1k/0.5W CARBON
C22	0.001 μ /450V CERAMIC (MATSUSHITA)	T1	1kV/0.8A・12.6V/5A・12V/1A (西崎電機)
C23	33 μ /450V CHEMICAL (NICHICON)	T2	100V:240V (TOEI)
C24	47 μ /150V CHEMICAL (NICHICON)	T3	100V:18V (TOEI)
C25	0.001 μ /450V CERAMIC (MATSUSHITA)	SW1	20A 2回路
C26	0.001 μ /450V CERAMIC (MATSUSHITA)	SW2	20A 2回路
METER	500 μ A/40 Ω (NISHIZAWA/U-60)	SW3	15A 双投
Ry1	LY-2 AC100V/3分 DELAY/リセット付き (OMRON)	SW4	2回路5接点(ノブリッジ型)
Ry2	LY-2 DC12V/リセット付き (OMRON)	バイメタル	45度わ (坂口電熱)
CoaxRy	CX-800N/東洋通商 (斎藤電気)	ACコード	15A
J1	Nレセカケル (ノブ)	F&ホルダー	筒型 20A (AC)
J2	BNC JACK & PLUG	F&ホルダー	横型 1Aミゼット (カード)
J3	Nレセカケル (ノブ)	フッティング1	ACコード、トランス等
J4	DC PLUG	フッティング2	ユニバーサルフッティングメータ配線穴
J5	RCA	平ラゲ板	5P (メータ回路)
J6	DC JACK	ラゲ板	5P (12V REG用)
J7	RCA	基板	1.6mm厚 ガラスエポキシ片面 (RECTBOARD)
ZD1	100V+100V+75Vシリーズ (TOSHIBA 1W)	基板	3mm厚 エポキシ板 (RECTBOARD)
ZD2	63V (HITACHI 0.5W)	軟銅板	20mm幅0.5mm厚 (タック回路リターン)
D1	10D10(1kV1A)	青銅板	10mm幅0.3mm厚 (PLATE回路)
D2	1N60	スタンドオフ	30mmタイ製/3mmネジ (タック回路L3)
D3	10D10(1kV1A)	スパーサー	25mmベーク製/3mmネジ (AC回路)
D4-9	UF2010 (1kV/2A) x5 (秋月電子)	卵ネジ	適量
D10-14	UF2010 (1kV/2A) x5 (秋月電子)	線材類	適量
D15	10D10(1kV1A)	ビス・ナット類	適量
D16	RED LED & BLAKET		
D17	GREEN LED & BLAKET		

表9：機構部品

ケース	LEAD LK-1	アクリル板	3mm厚 アクリル板 (RECTBOARD/TRANSカバー)
FAN1	AC100V 90mm角 1立方m/分以上	アルミ板	1.2mm厚 適量 (サシヤ用)
FAN2	AC100V 80mm角メタル (IKURA 8500)	アルミ板	1mm厚 適量 (ファイルボックス用)
減速器	BALL DRIVE (UMEZAWA)	アルミ板	1mm厚ダイヤルス 適量 (ファイルボックス用)
目盛板	直径50mm180度 (UMEZAWA)	アングル材	10mm x 10mm アルミ 適量
ボリロッド	直径6mm 若干	ワグ大	サトパーツ x1 (プレートチューニング)
スパーサー	糸製 100mm/3mmネジ (平滑ブロック支持用)	ワグ中	サトパーツ x2 (ロディングメータ選択)
スパーサー	真鍮製 20mm/3mmネジ (平滑ブロック支持用)	ワグ小	サトパーツ x2 (入力チューニング)
スパーサー	真鍮製 30mm/5mmネジ (トランスカバー用)	レタリング	ワーフ粘着フィルム
ジョイント	6mmロッド継手メタルシャフト x3	ビス・ナット	適量
ジョイント	6mmロッド継手ユニバーサルタイ x2	アルミ箱	アルミダイキャストボックス (タチ HD12-10-3)
軸受	6mmロッド軸受けメタル x3	リベット	ブラインドリベット (ファイルボックス用)

【謝辞】

試作に当たり、以下の皆様にお世話になりました、御礼申し上げます。

川崎市……………川村氏 (JN1DNG) / 札幌市……………小池氏 (JA8FDT) / 東京都……………窪寺氏 (JA111V)
名古屋市……………平丸氏 (JA2QKD) / JACOM……………杉井氏 (JH1MLP)

【参考文献・関連Web】

1999年版ARRLハンドブック (ARRL)

リニアアンプハンドブック (CQ出版)

SSBハンドブック (CQ出版)

WaveGene120/WaveSpectra: e f u氏作 (フリーウェア) <http://member.nifty.ne.jp/efu/>

WaveAnalyzer32: 斎藤滋樹氏作 (シェアウェア) <http://www2a.biglobe.ne.jp/~sigeon/>

PC-VFO: 米ByteMark社 (ハード&ソフト製品) <http://www.bytemark.com>

Power Grid Tube Quick Reference Catalog (Varian)

Svetlana <http://www.svetlana.com>

Scientific Technical Center Navigator <http://www.tubes.ru/>

RF PARTS <http://www.rfparts.com/>

EMTRON <http://www.emtron.com.au/>

ALPHA POWER <http://www.alpha-power-inc.com/>

QRO TECHNOLOGIES <http://www.brightnet/~qrotec/>

ACOM <http://www.hfpower.com/>

ARRL <http://www.arrl.org/>

【連絡先】

〒214-0031

川崎市多摩区東生田1-17-4 酒井ビル202

望月辰巳・JH2CLV/1

e-mail: jh2clv@jarl.com

tel: 044-932-4559

【写真集】

パネル面はシルバー調をやめ、青地のアルマイト面を使った。独特の雰囲気漂う。レタリングは半透明の粘着シールにプリントアウトしたもので対応している。



写真22：フロントビュー



写真23：リアビュー



写真25：カバーを外したサイドビュー



写真24：カバーを外したフロントビュー



写真26：カバーを外したトップビュー



写真27：カバーを外したボトムビュー

図1：高周波部回路

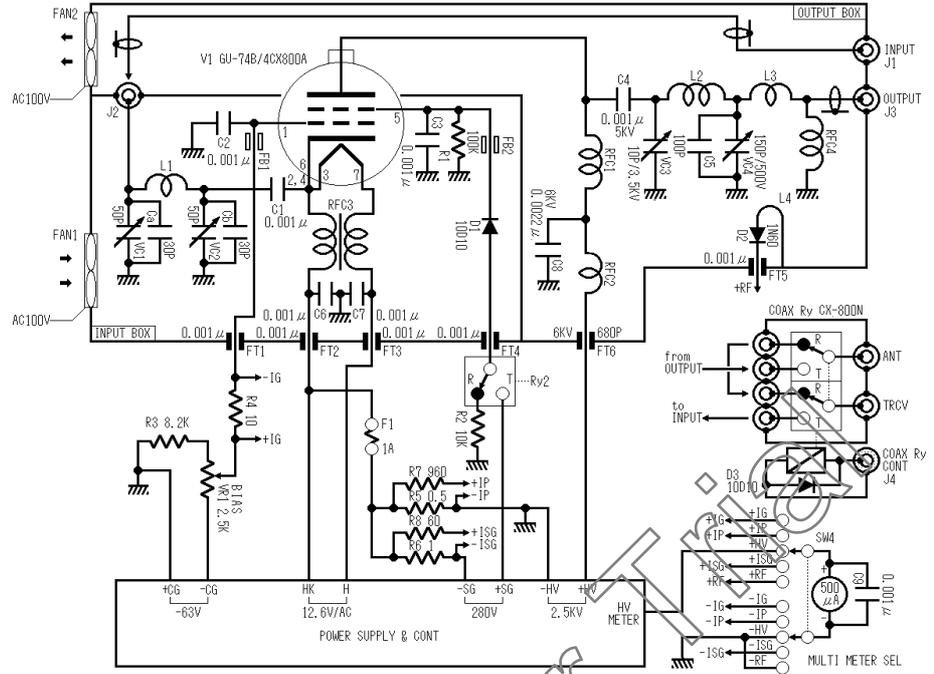


図2：電源部回路

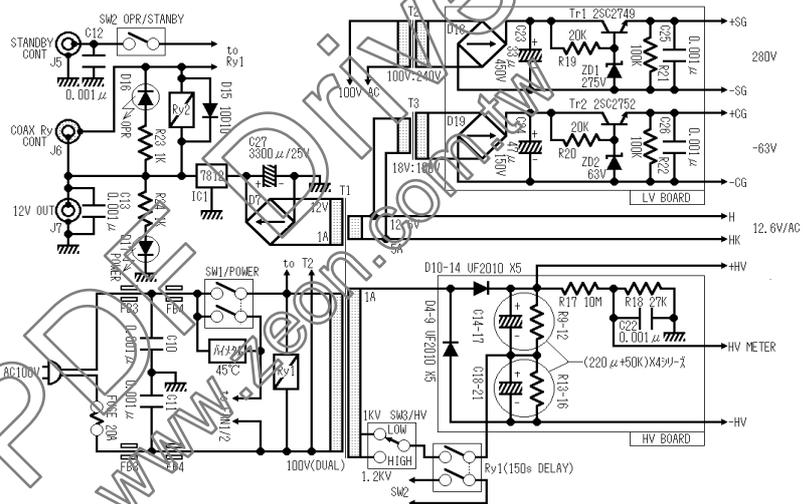


図4：RFイメージ

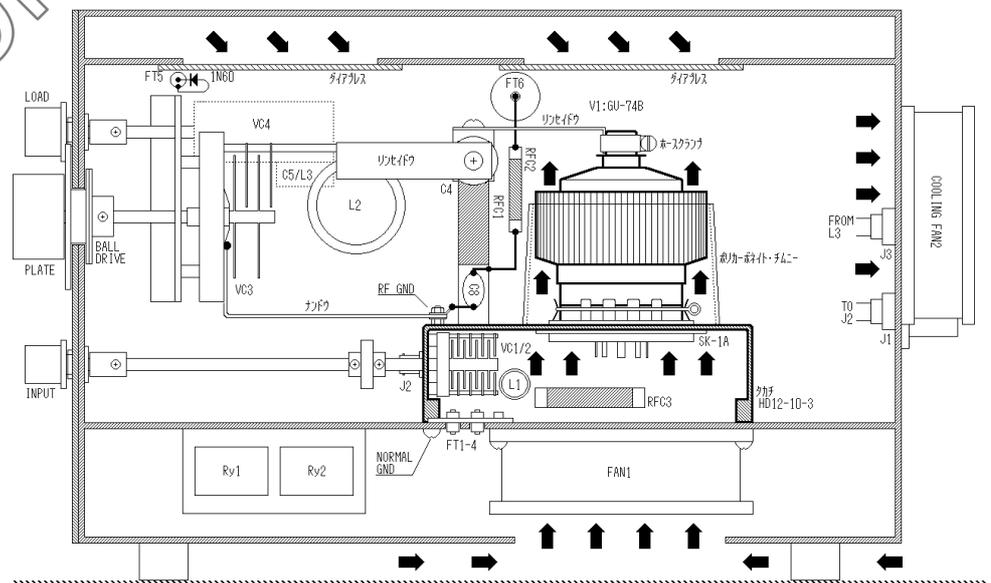


図3：レイアウト

