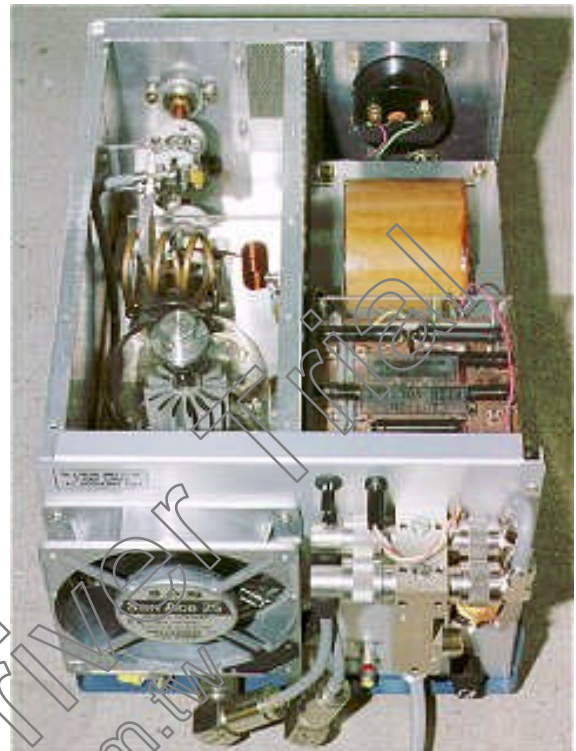


144MHz 3-500Z Single GG Power Amplifire

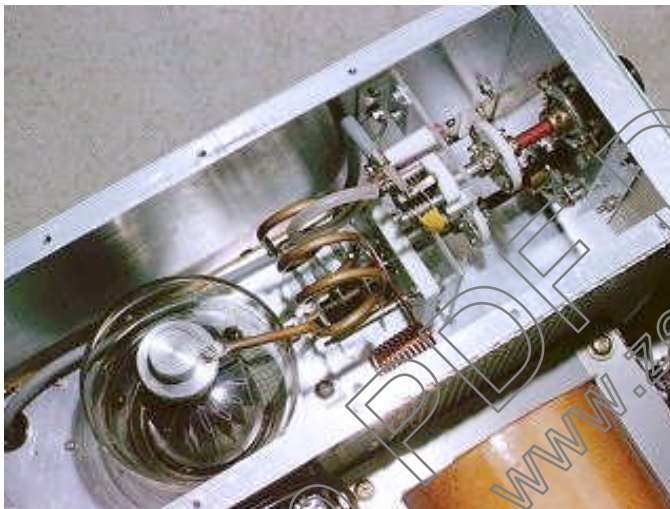
- Serial Resonance Anode Tune
- 20W Input to 500W Output with above 50% efficiency



Front Panel : Multi-meter , Knobs and Tube Finder



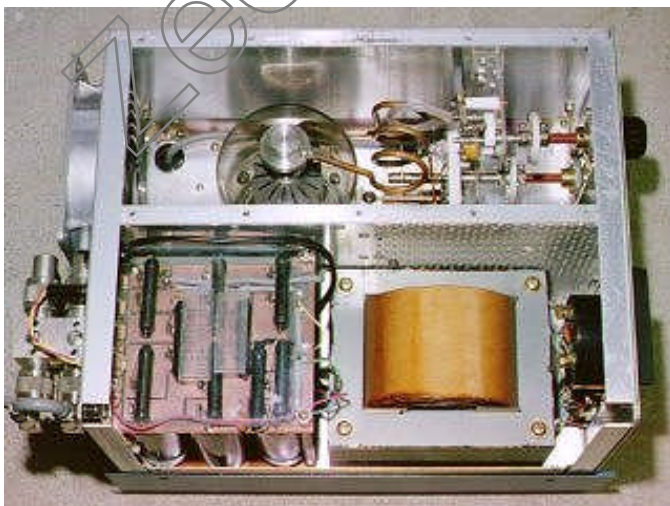
Rear Panel & Top View : Coaxial Relay is CX-800N



3-500Z & Anode Tune Circuit : Serial Resonance & 1Turn Couple



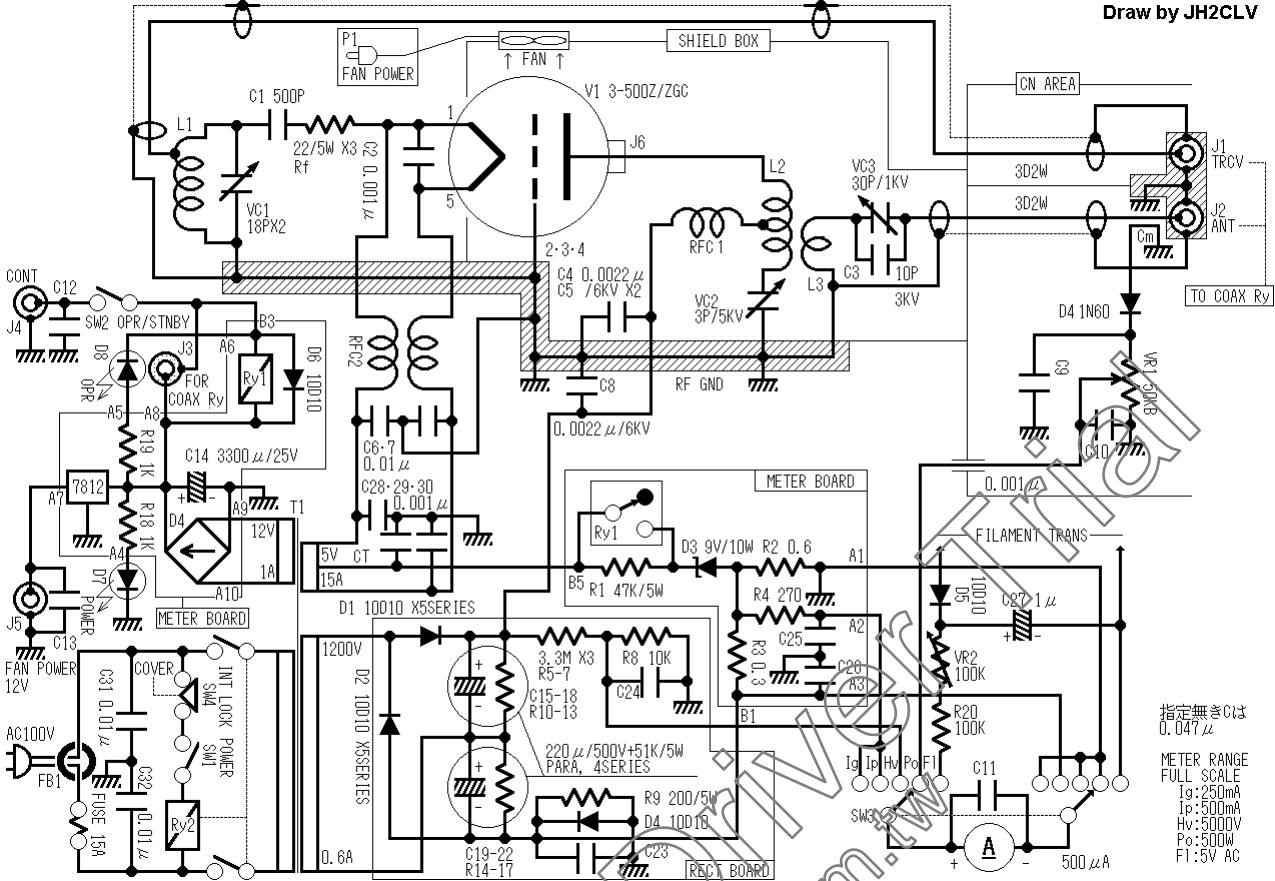
Front Panel & Top View



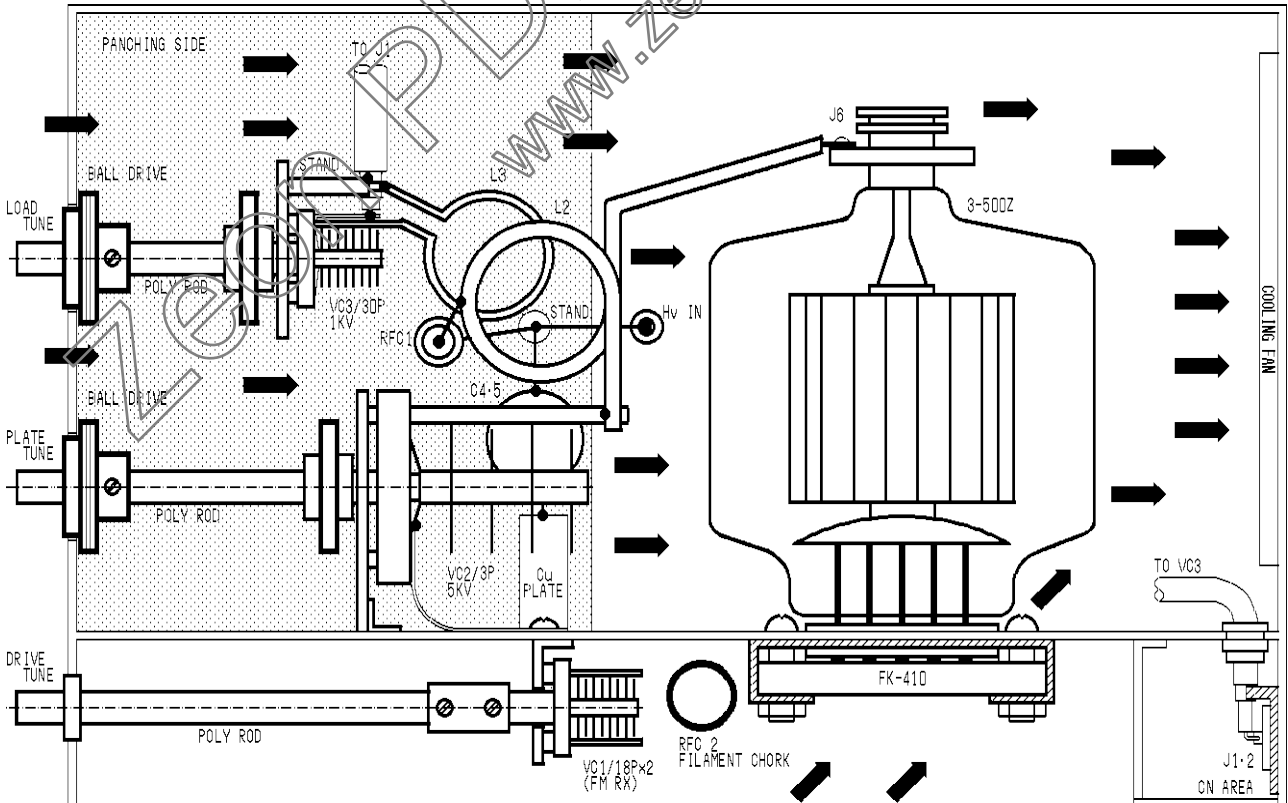
Left Side Top View : All in One for Desk Top

Circuit

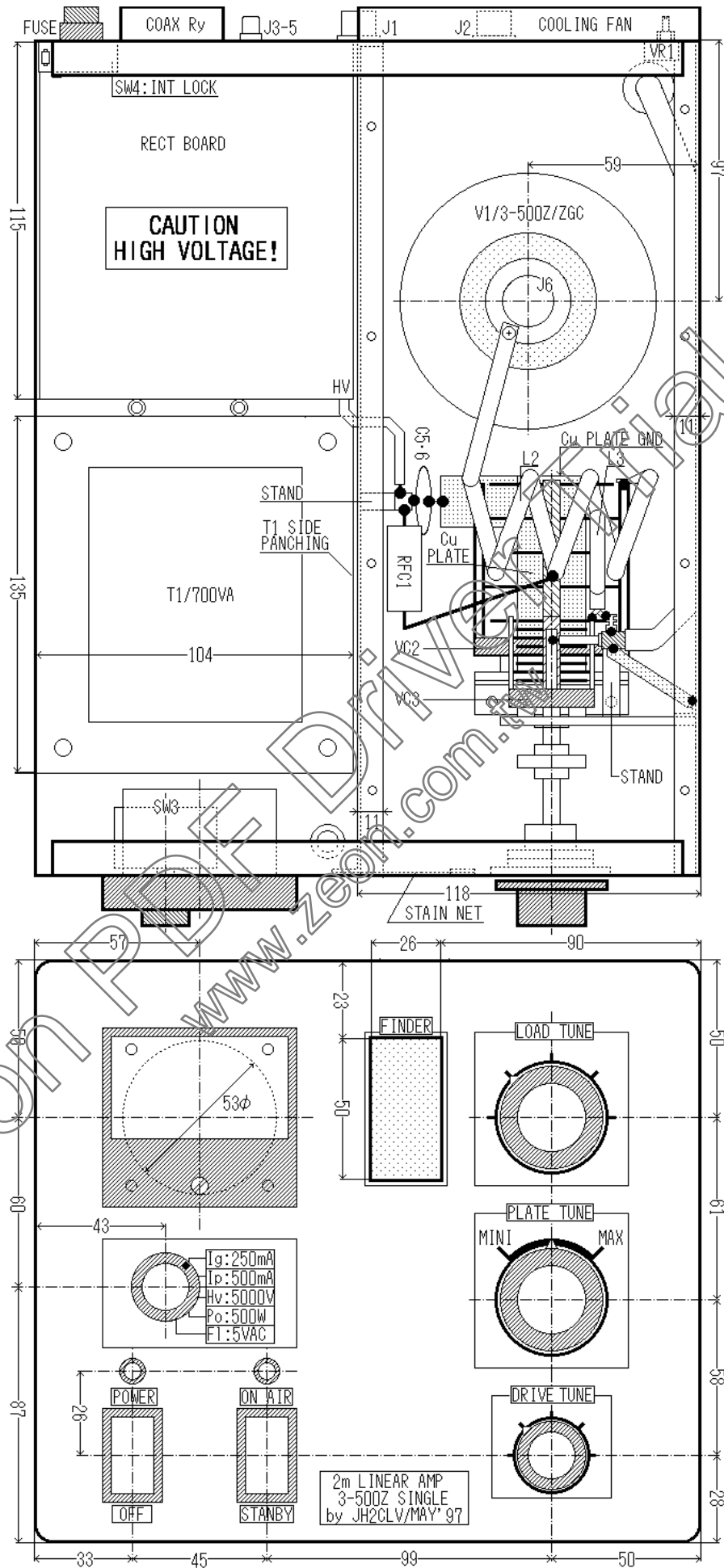
Draw by JH2CLV



Final Box Image



Rayout



片手で運べる500Wリニアアンプ (第2弾)

「タブーに挑戦、3-500Zを2mで使う！」

望月辰巳/JH2CLV

はじめに

試みに、3-500Zのプレートとグリッド間に金属板を渡し、ディップメーターを突っ込んだところ、約160MHzに共振している事が分かりました。

金属板と電極のリードインダクター、それに出力容量が共振ループを構成します。金属板の大きさは、幅30mm・厚さ2mm・長さ約20cmでした。

この結果、もしかしたら「2mでも使えるのでは！」という期待が湧いたのは当然です。

真空管規格表には、3-500Zの最高使用周波数は110MHzとなっており、普通ならそこで諦めるところです。そして、論評好きのOMから「そんなの巧くいく筈がない！」とアドバイスでも頂けば、やる気も完璧に失せるところでしょう。

しかしそこはアマチュア、やってみるまで分からないとばかり、このタブーに挑戦する事にしました。

えっ、目的ですか。それはもちろん「ムーンバウンズ」です。しかし、それよりも技術的興味の追求が第一です。また当局では、HFから2mまで全て同じ球が使える事になり、維持コストの低減化が実現するのです。

目標を何処に

①3-500Zで最大出力500W

ムーンバウンズに使える電力を確保する。

②その時のプレート効率50%以上

プレート損失500W以下でそれを実現する。

③タンク回路は集中定数回路による

リニア回路やキャビティは使用しない。

④コンパクト設計

片手で運べる重量・容積とする。

⑤作品性を落とさない

試作機が、そのまま実用機となるように作る。

⑥タブーを打ち破る

そんなの無理だとする一般的常識を覆す。

タンク回路は「直列同調」

図1に全回路図を記します。3-500Zによる、言わずと知れたGrouded Gridアンプです。

回路の特徴は、何と言っても「直列同調」による出力タンク回路です。これは、V/UHF_MANUAL (RSG B版/CQ出版社)に、4CX250Bのタンク回路として記載があります。興味ある方はそちらも御覧下さい。

原典には、コイルデータの記述がありますので、このデータを基に3-500Z用のコイルデータを、カット&トライで決めます。

入力タンク回路は並列同調で、入力側でタップダウンしてエキサイターと整合させます。

今回、メーター回路に「フィラメント電圧」を加えて見ました。単純に半波整流しただけですので、リニア表示ではありません。

入出力リレーは、背面に設置した同軸リレーで、本体からスタンバイ電源を供給します (写真参考)。

インターロックは、AC側のみ考慮してあります。上蓋を外すとAC100Vが遮断されます。

出力タンク回路の構成

図2に高周波部の側面図を、図3にシャシーレイアウトを示します。

直径5mmの銅パイプ3T（内径25mm）のプレートコイルL2と、VC2（約3PF+ストレー）を直列にし、コイルは直にプレートキャップヘネジ止めします。VC2のコールドは、銅リボン（15mm幅）でグラウンドに落とし、集中定数回路を構成します。

プレートキャップに直にコイルを取り付けますので、プレートの放熱効果が期待出来ます。

出力の取り出しは、十分に絶縁された1T（直径20mm）のリンクコイルL3を、L2のコールドエンド手前に挿入し、VC3を介し行います。

電源は、RFC1を経由してプレートコイルの中央へ給電します。コールド側のパスコンC5・6も、銅リボンでグラウンドに落とします。

RFC1は、当初原典に習い10Ω/10Wの巻き線抵抗を実験的に使いましたが、試験中に閃光を放って燃えてしまいました。そのため1.6ECを、直径10mmに10T、スペース巻きして使用します。

VC2には、直流と高周波の重畳した高圧が掛かるため、より高耐圧の物が必要になります。特に、直列同調は電圧共振のため、負荷が軽くなるとかなりの電圧上昇が予想されます。

当初、無理を承知で、2KV程度のVCで実験しましたが、同調点で猛烈なスパークが発生し黒化してしまいました（当たり前ですが）。

次に、エポキシ基板による固定コンデンサーを試しましたが、電極の周辺が黒化しエポキシが溶け出し、再びスパーク状態に陥りました。

続いて、真鍮板をスペーサーで浮かせたエアコンデンサーを試しましたが、このスペーサー（ベーク製）が轟音を伴って破裂してしまいました。この時は、さすがに家族も心配して振り返り、「うんざり顔」になり後処理が大変でした。

スパークに付随する現象は、プレート電流計の振り切れ、AC15Aヒューズ断、メーターシャント抵抗断（I_g又はI_p）の何れかです。

そこで、高耐圧化した改造VCが登場する事になります。秋葉で購入した30PF/3KVを、羽根をむしって高耐圧化したものです。但し、シャフトとステーターの間隙には変化はありませんので、羽根の間隔ほど耐圧は上がっていません。

特注は納期の都合で止めましたが、本当はその方が好ましいでしょう。

その他の主要部品

主要部品リストを表1に示します。特に注意を必要とする部品について、以下に説明を付け加えます。

【真空管】

初めは3-500Zを使用しておりましたが、最終的に許容プレート損失に余裕のある、3-500ZGCを実装しました（後述）。

【ソケット】

FAL製のSK-410です。ソケットは5mm程度沈めて取り付けます。グリッドはソケット周辺に銅パイプを巻き付け、これに接続し取り付けボルトでグラウンドに落とします。

【プレートキャップ】

シールド蓋との静電容量の増加を嫌って、背の低いケンウツのキャップ（TL-922で使用）を使いました。

【高圧パスコン】

0.0022μ/6KVのセラミックを2個使用しました。グラウンド側、はなるべく最短でRFグラウンドに落としますが、適当なルートが無いので銅リボンを使用します。

【同軸ケーブル】

送信中のシールドボックスは、ファンの外でも50度を越えますから、かなりの温度になります。このため、テフロン等の耐熱性のある同軸ケーブルが必要になります。

【同軸リレー】

当初は、オムロンのLY-2を使用しましたが、自己発振時にソケットが絶縁破壊し炭化したため、同軸リレーに変更しました。

2mで500Wともなると、汎用リレーではアイソレーションが悪く、また線路インピーダンスの暴れが多く、異常動作につながります。よって、無理をしてでも同軸リレーを使うべきです。ここでは東洋通商のCX-800Nを使用しました。

【電源トランス】

伊勢市の西崎電機に巻いてもらいました。鉄心容量は700VAです。納期は5日程度で、料金は税/送料込みで¥17Kでした。本当は、もう少し鉄心を積み重ねて、1KVA位にしたいところです。

【平滑コンデンサ】

200 μ /500WVのケミコンを8本直列にします。ベーク板上に、端子を上向きに並べ、上部にプリント基板を配し配線を行います。最上部はアクリル板で覆い安全対策します。それぞれの板は絶縁スペーサーで固定します。

【ツェナーダイオード】

手持ちのRD-9B(NEC)を使用しました。無い場合は、1Wの物を5~10個パラにして使用します。ベース電流が100mAを越えると、無入力でも損失が250W近くになるため、是非入れたいところです。

【ケース】

イデアルのLK-1を使用しました。サブシャシーは別途製作し入れ替えます。

【冷却ファン】

500Wの発熱がありますので、風量を考慮して選択します。SANYO製の12cm角の物を使用しました。ただ余り馬力があっても、騒音の問題がありますのでそこは兼ね合いと言う事です。

実装について

部品配置は図3と写真を参考にしてください。

【リターン回路の把握】

実装のポイントは、グラウンドリターン回路の整理です。即ち、信号が信号源に戻るグラウンド回路を、如何に能率よく作れるかです。例えば、大電力を不用意にシャシーに流すと、シャシーのそこかしこで高周波振動が始まり、作りが悪いと入出力がグラウンド経由で結合してしまいます。これを断ち切れないと、最後まで自己発振に悩まされます。

【効果的冷却】

冷却ファンは吸い出し式で、シールドボックス背面に1つです。このため、電源トランス、Hv平滑回路、フィラメントRFCはシールドボックスの吸入口付近に巧く配置し、全体に風が通る様にします。

【シールドボックス内】

銅パイプやリボンを多用していますが、ネジ止めする部分は、必ずハンダメッキを施します。

ハンダ付けは、必ず部材を絡げたところに、ハンダを流すようにします。

ネジ類の締め付けは十分に力を加えて行き、不要なロスを発生させないようにします。

VC類は、3mm厚のアクリル板をアルミアングル材で立て、これに取り付けます。ボールドライブへの接続もなるべく金属類は避け、ベーク棒やポリロッドを使用します。要は、なるべく金属を嫌った作りをした方が、不要な誘導から逃れられる訳です。

【パネルデザイン】

実験機ではありませんので、パネルデザインにも気を配ります。ノブやスイッチ類のレイアウトは、背面も含め自然な操作が出来るよう配置します。

レタリングは、インスタントレタリングは使用せず、PC画面で作画したものを、粘着シートにプリントアウトし張り付けます。同じものが何枚も作れ、しかも擦っても簡単には消えません。

パネル中央にステンレスネットの覗き窓を配し、球の状態が監視出来るようにしました。

【その他】

扱う電圧が、直流でも3KV近くになりますので、高圧部の露出は極力避け、アクリル板等で覆うように心掛けます。

VC2・3はボールドライブを介し、チューニングを取りやすくします。更に指針を取り付け、レタリングと合わせ、VC角度を分かり易く表示します。

調整について

電源投入前に、入・出力タンク回路がバンド内に共振点がある事を、またRFC1が、バンド内で共振していない事を、ディップメーターで確認します。

L3は、L2のコールドエンド手前に、直径の約半分程度挿入しておきます。

【仮調整】

アンプを送信状態にし、2W程度でドライブし「仮調整」します。VC1でI_g最大、VC2でI_p最大にした後、出力が最大になるように、VC3を調整します。3者の調整を繰り返し、最後はVC1で入力SWR最小点、VC2・3で出力最大点に合わせます。【L3の結合度調整】

次に、L2とリンクコイルL3の結合度を調整します。この調整はクリチカルで、ゲインと最大出力に影響を与えます。結合を増すとゲインが下がり、浅くするとゲインが上がりますが発振し易くなります。

L2にはHvと高周波が掛かりますので、作業はプラスチックの棒（歯ブラシの柄が便利）で慎重に行います。

出力が最大になるように、L3の位置を円方向と軸方向で微調整します。この作業を【仮調整】を含めて繰り返し、出力最大点に合わせます。

【L1のタップ調整】

次に、ドライブ電力を20W程度上げ、再び前項までの調整を繰り返します。そして、入力SWRが最小になるようにL1のタップ位置を調整し、VC1を再調整します。

【各ノブとメーター表示】

VC1は入力SWR最小でI_g最大に、VC2はI_p最大で出力最大、VC3で出力最大が理想の状態です。出力側のチューニングが入力SWRに効いて来ますので、調整は繰り返して行います。

なお、本機は中和を取ってないので、出力とI_pの最大位置は若干（20mA程度）ずれます。

20Wの入力で、商用受電が正常なら450～500Wの出力が容易に得られる筈です。

この時、P_oメーターを好みのスケールに合わせ、以後の目安にします。

【注意事項】

調整中は、常に自己発振の危険性があります。入力SWRやI_gとI_pの変化には、細心の注意を払います。時として、400W近くの自己発振を起こす事があります。この場合、発振出力の一部がエキサイターに逆流し、終段デバイスを破壊する事もありますので、入力SWRの監視は必須です。

シールドボックス内は、直流高圧と大電力高周波の巣です。このため直流はもとより、高周波中の金属類の扱いには十分注意が必要です。

例えば、シールド蓋を外して作業をする場合、近付けた金属板や棒に高周波を誘起する場合があります、素手で持っていると感電や火傷を負う場合があります。

作業中に、シールド蓋の片側を数cm持ち上げると、出力電力の大幅な低下と共に、シールド蓋への電力の誘起を確認する事が出来ます。片側がグラウンドに落ちていても危険なのです。

また、出力同軸の取り出しは、必ずボックス側もグラウンドに落としておかないと、シールド部に電力を誘起し、絶縁被覆が溶け出す場合があります。

これらは、設置条件で変わるものですが、事前に想定しておいた方が無難です。

【発振対策】

入力を切っても出力があったり、VCを回した時や入力を入れた瞬間に、 $I_g \cdot I_p \cdot P_o$ の振れに癖があるときは、自己発振や寄生振動を伴っています。

これは、レベルの低い入力側に抵抗を挿入し、回路のQを落として対策します。若干のゲインの低下がありますが、安定性を優先します。本機ではRfがそれで、 $22\Omega/5W$ を3本並列に入れています。

この他に、Hvを下げるのも有効な手ですが、500W出力を考えると2KV以下には落とせません。

3-500ZGCについて

当初は3-500Zを使用していたのですが、プレート損失が400W前後になるため、余裕を持たせる目的で3-500ZGCを実装しました。

この球は、許容プレート損失が600Wで、プレートがグラファイト製と言うのが売りの中国製です。他の規格は3-500Zと同等です。

手にした感じを記しますと、ガラスは透明度が高く気泡や濁りは確認出来ません。電極リードとガラスとの密着も良好で、プラグのハンダ上げもきれいです。プレートロッドは、キャップをネジ留めしても滑らないように、側面が平に削り込まれています。購入した物は、このネジが緩みキャップが動きましたので締め直しましたが、実装前に確認が必要でしょう。

球の表面には、何故か「3-500C」と印刷がありますが、爪で擦ると剥げ落ちます。また製造メーカー名は、球にも箱にも表示がありません。箱は段ボール製で、球の支持に3分割のウレタンフォームが使用されており好感が持てます。また、球名と検査印、それに出荷年月日が記された「CONFORMITY CERTIFICATE」と称するカードが添付され、箱にも同じ内容で赤字の検査証が貼られています。

以上、一見すると質素ですが、中国流の品質管理がなされており、裸で売られている中国球とは明らかに格が違います。

なお、発売元のTEC（テックコミュニケーション）では、3KVでのベース電流を測定し、箱に記入の上出荷しております。ペアで欲しい時、この数字が目安になる訳です。

今回の様に、プレート効率が55%付近で、しかも500Wを出力したい時、許容プレート損失600Wと言うのは大変な魅力です。

試験成績とファイリング

図5に測定系統と測定器を示します。

【入出力特性】

表3に入出力特性をまとめました。図4はそれをグラフにプロットしたものです。電源のレギュレーションが、全体の直線性を崩しています。

我が家は、時間によって受電が95V近くまで落ちます。このため測定日には運悪く、500Wが得られませんでした。それにエキサイターも何故か18Wしか出なかったのです。

電源需要が少ない時間帯なら、500W出力が容易に得られたと思います。直線性は、Hvを2.5~3KVで使えば、かなり改善される筈です。

【高調波特性】

図6に高調波特性を示します。スペアナで測定したもののコピーです。第2次で-38dBまで落ちていますが、これでは法規をクリアしませんので、LPFを挿入し高調波対策をする必要があります。

【立ち上がり特性】

受信状態でクールダウンしてから送信に移り、最大出力までの遅延時間を確認しますが、ほぼ瞬時に立ち上がりまし

た。入力側のカップリング部品（C1・Rf等）に温度特性があると、立ち上るまで数秒以上かかる場合があります。

【連続キーダウン】

5分間のCW連続キーダウンを行い、出力の低下や異常な温度上昇が無いか確認します。

プレートの下半分が赤化し、ファンの排出空気温度が50度を越え、出力が約5%程度低下しますが正常に動作しました。

【所見】

「直列同調」タンク回路は意外にも安定に動作し、ほぼ期待通りの数字を出す事が出来ました。

表4に、別の電源環境で測定したデータを示しますが、20Wのドライブで500Wを効率57%で出力します。

この時、入力は900W近くに、プレート損失も400W近くになるため、冷却ファンの排出空気温度は50度以上になります。

I_pと出力の関係は、直列同調のためI_pの最大点が出力の最大点となります。この現象は、並列同調で「I_pのディップ」に慣れ親しんで来た我々には奇異で、慣れるまでに時間が掛かります。

なお、L3を抜き結合を極端に浅くした時、また負荷をオープンにした時は、入力が無くても発振気味になりますが、通常状態では全く問題になりません。

【マニュアルの作成】

一定の結果が出たら、図面や関係資料それに写真をファイリングしマニュアルを作成します。この時、奇異現象やトラブルなどを、ドキュメントとして書き残しておけば、後々に役立つ事になります。

まとめ

以上、「直列同調」出力タンク回路による、2m/500Wリニアの製作について述べました。

実は、このタンク回路の採用に至る前に、「並列同調型」を実験しております。

しかし、並列共振回路であるにも関わらず、どう調整してもI_p最大点が出力最大点になるのです。良く言われる、中和ずれのレベルではありません。採用を断念した主な理由はそこにあります。

通常なら、I_pのディップ点が出力最大点になる筈です。これは「一体何なんだ」とばかり、等価回路を書き検討を加えましたが、残学な私には未だ解明に至っておりません。久々にj（複素数）の計算や、LC回路の直-並列変換等を駆使してみたのですが、今後の課題です。何方かご教示頂ければ幸いです。

以下は、製作に当たって感じた注意点です。

①球のリードインダクタンスは、電極に直列に入り、周波数の上昇で一定のインピーダンスを持つ。さらに、静電容量も含めると、より複雑な値をとる。

②集中定数回路でも、分布定数回路として動作したり扱わなければ理解が出来ない場合がある。

以上を感じるのは、上記のI_pと出力の関係の他に、VC1を回すと同調点が2カ所にあったり、周波数を高くしたのに入れる方で同調したり。またプレート側でも、シールド蓋をしたのに共振点上がる等の、奇妙な現象を体験する時です。

さて、ここでの回路定数はあくまで実験値で、タンク回路の数字的解析や表示は、最初からしておりません。しかし、このままでは余りにもドンブリなので、表4のデータから、せめてプレート負荷抵抗R_l位は求めておきます。

$$R_l = E_p / 1.8 I_p = 2100 / 1.8 \times 0.42 = 2.8 K \Omega$$

・・・と、シングルにしてはやや低めです。4KΩ前後に設定し、2.5Kv以上で使いたいところですが、これは今後の課題にしたいと思います。

終わりに

本格的な、V/UHF送信管を使用されている方や、固体電力素子を使われている方から見れば、何と前近代的な事をやっているかと思われるでしょう。私も最初はそう思っていました。

しかし、そんなに特殊な部品を使用しなくても、2mで500Wの出力が得られる事実、「捨てたもんじゃないなあ」と認識を新にしております。

500W出力時でも、許容プレート損失にはまだ200W近くの余裕があり、絞り切りの状態では無いのです。

今さら真空管アンプだなんて・・・と言う気もしますし、声も聞かれそうですが「ハンドメイド」の精神は永遠で、手法を問わないと思います。

高校時代に、並列共振回路にコンデンサーを追加したら共振周波数が高くなってしまい、その理由を理解するのに数時間を費やした事を思い出しました。100MHzを越えると、コンデンサーのリードインダクタンスがキャパシタンスを上回り、コンデンサーなのにコイルになってしまう事が結構あるものです。そうした部品の振る舞いに、今回もラジオエレクトロニクスの面白さを感じてしまいました。

ところで冒頭の目標ですが、データを見て皆様はどの様なご感想を持たれたでしょうか。私は十分クリアしたと考えていますが如何でしょう。

もし、ムーンバウンズ用リニアの製作で、頭をお悩ましの方がいらっしゃいましたら、是非検討材料に入れて見て下さい。

最後に、部品の調達と技術アドバイスを頂いたFALの中島氏、3-500ZGCの情報を頂いたTECの扇田氏、測定器を提供して頂いた平丸無線（名古屋市）のご主人に御礼申し上げます。

参考文献

V/UHF MANUAL (RSGB/CQ出版)

リニアアンプハンドブック (CQ出版)

リニアアンプスタイルブック (CQ出版)

SSBハンドブック (CQ出版)

アースと熱/及びアースシリーズ (日刊工業新聞)

放送機 (日本放送出版)