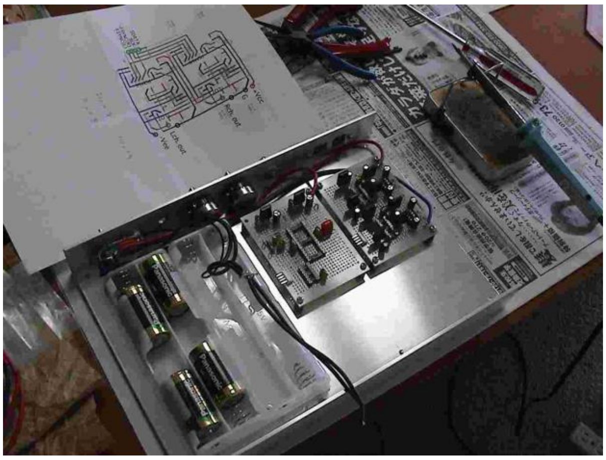
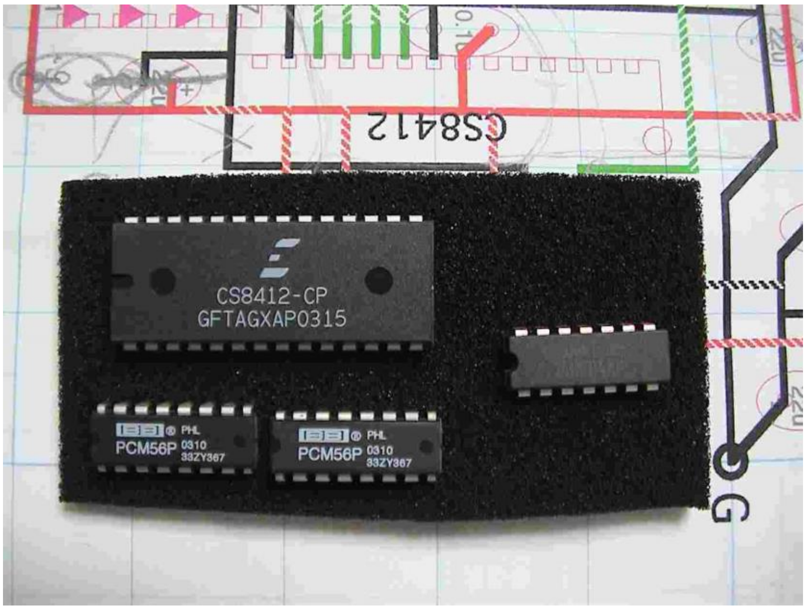
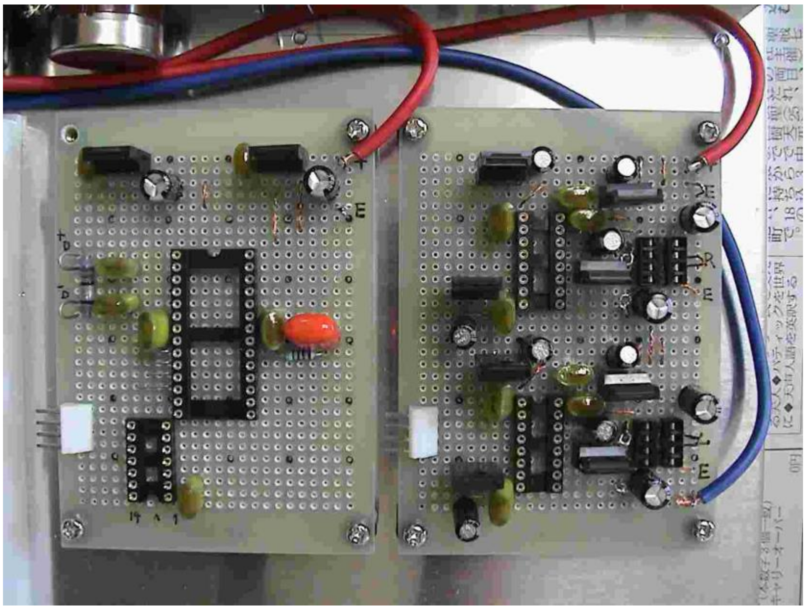
DAC で行ってみよう！の巻



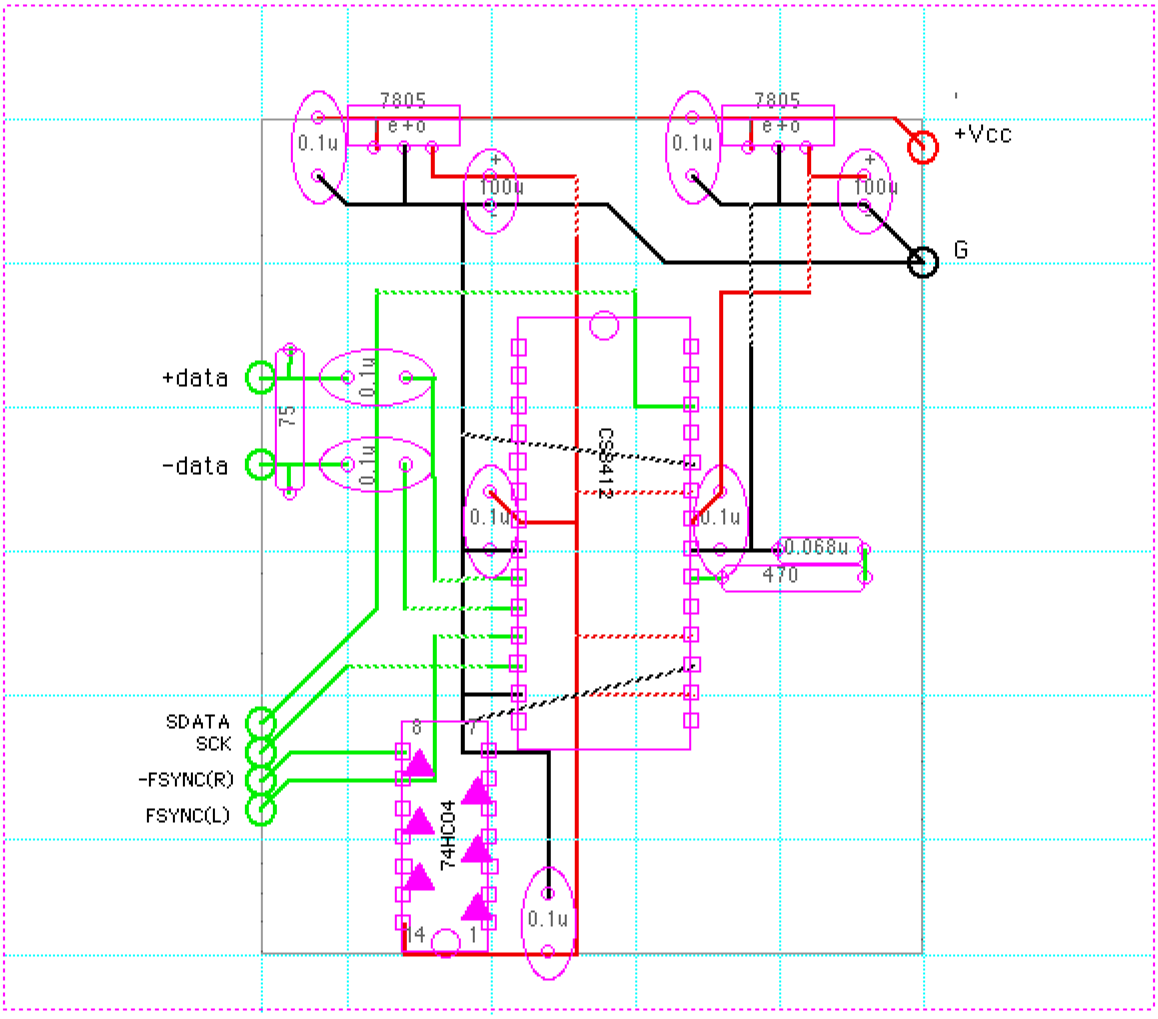
サンディエゴから届いた怪しい小包。そう、またしても悪巧みの虫が疼いてしまいました。アナログに浮気をするわけではないのですが、色々な CD ソフトもできるだけマニアックに楽しみたい。とうとう DAC の自作に踏み切ることになりました。"AudioCips"から手に入れたのはラインレシーバ用 LSI の CS8412 と、16 ビット DA コンバーターの PCM56 です。

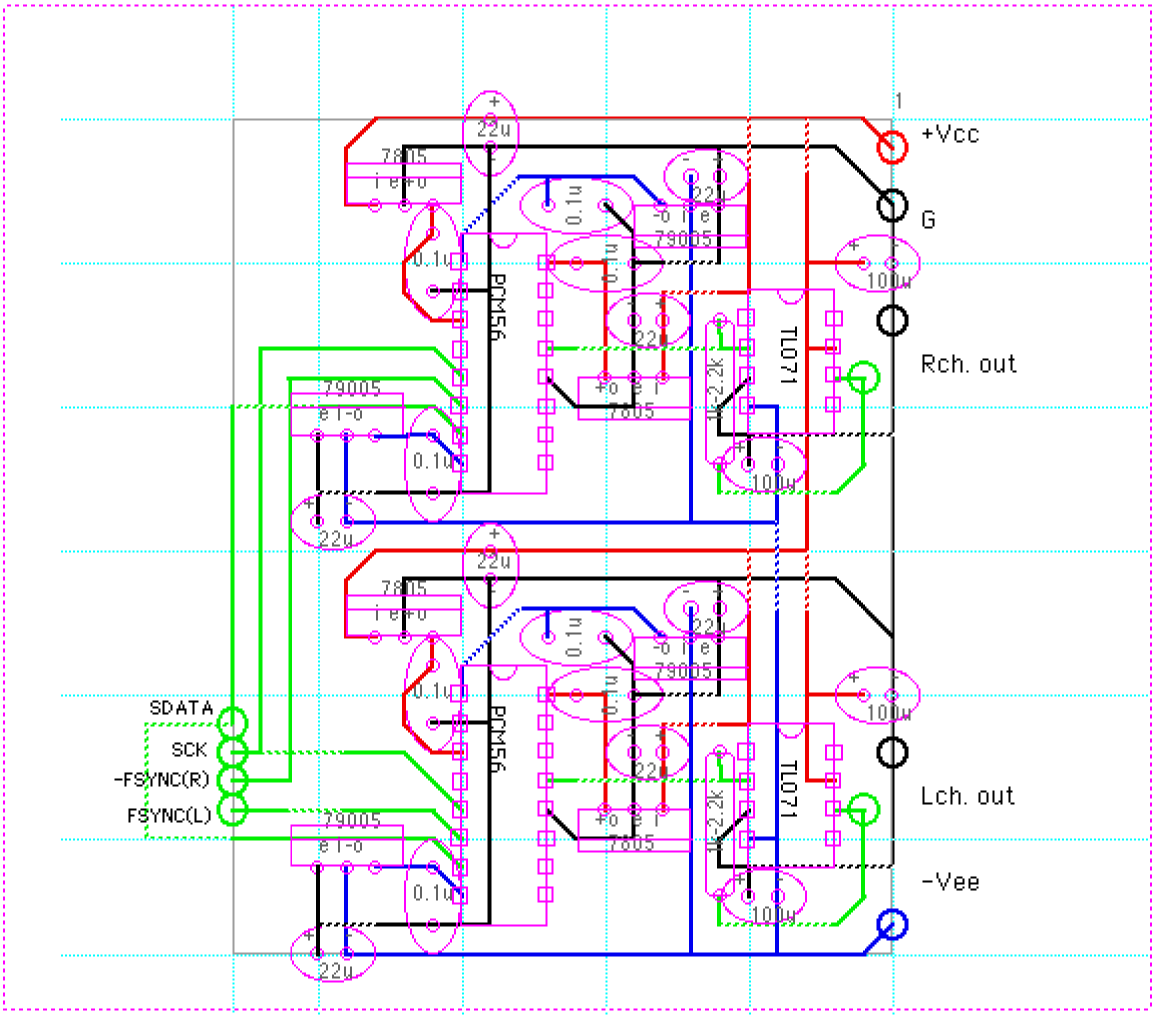


アナログ関連サイトだけでなく、御同好諸子は実に活発にディジタルオーディオを論じておられます。色々とウエブの波間をサーフィンしておりますと、大変参考になる先輩サイトが目にとまりました。今回とおるさんもチャレンジしてみようと考えたのは、Nob さんのサイト
http://www.y-min.or.jp/~nob/Audio/DAC/DAC03.html　を拝見したからです。上記の写真にある cs8412 は便利なインターフェースレシーバーですが、これにどのような DAC を組み合わせるかで色々とバラエティが楽しめます。Nob さんは PCM56 というバーブラウン社製 DAC を用いておられますが、魅力は、+/-2 電源方式で、カプリングコンデンサを省略できることです。参考にさせていただいたお礼を Nob さんに申し上げようと思ったのですが、メールが上手く届かず、この場にて御容赦ください。

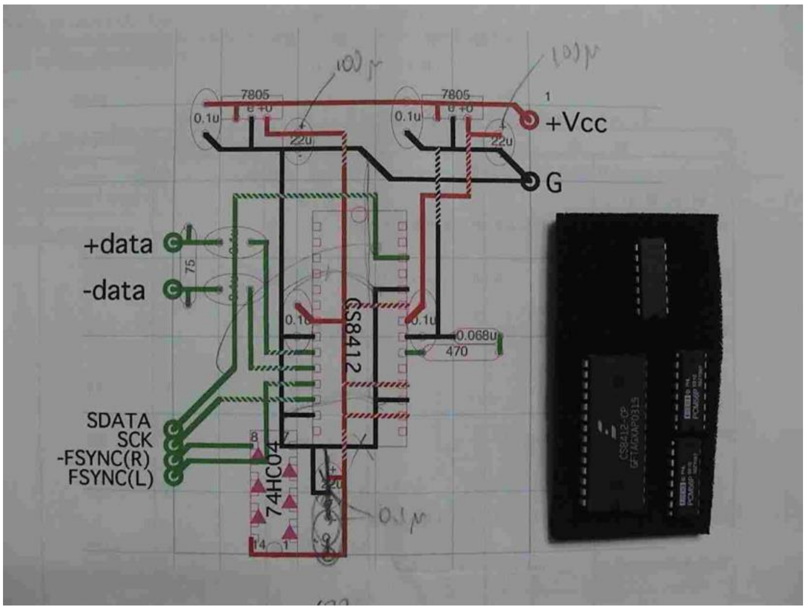


上記は、IC ソケットを実装し、ほぼ配線の仕上がったインターフェースレシーバ基板（左）と DAC 基板（右）です。インターフェースレシーバ基板には CS8412 と 74HC04（L/R チャンネル切り替え）、および２個の＋５V レギュレータ（デジタル電源とアナログ電源）が乗っています。DAC 基板には、PCM56 が２個、I-V 変換用オペアンプ TL071 が２個、+/−電源レギュレータを左右独立、デジタル／アナログ独立で、計８個の３端子レギュレータを乗せました。

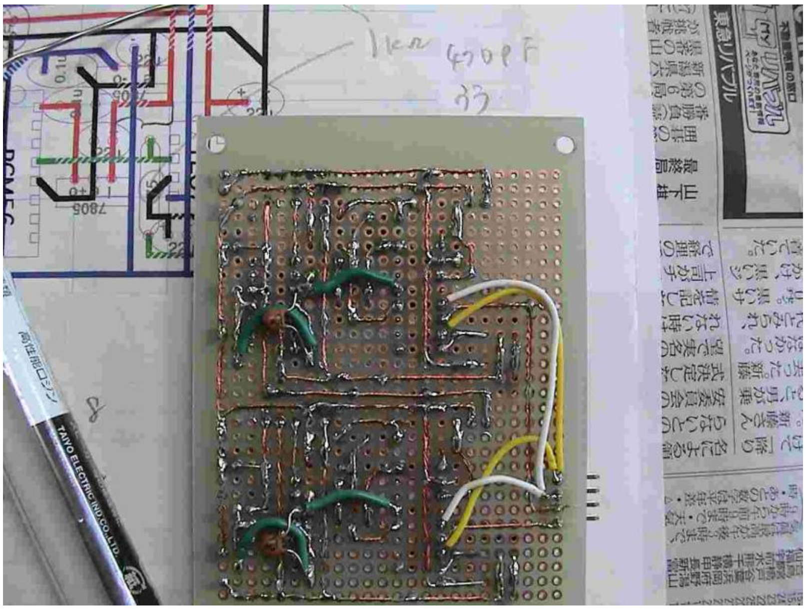




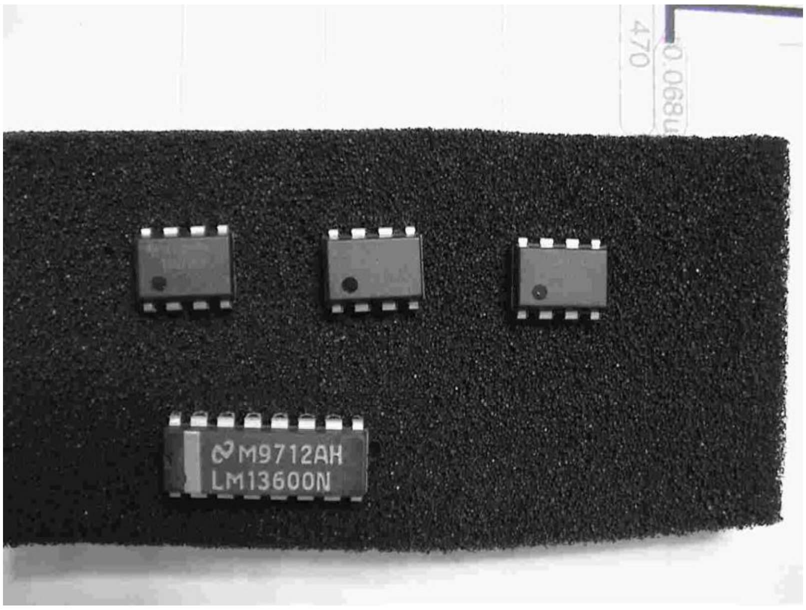
とおるさん家定番となった、アップルワークスによる基板配線図。DAC 基板はやたらめたらにレギュレータとパスコンを盛り込んだおかげで、結構な実装密度になりました。回路上のそれぞれのパートでアースラインと電源ラインを分離するように心掛けました。



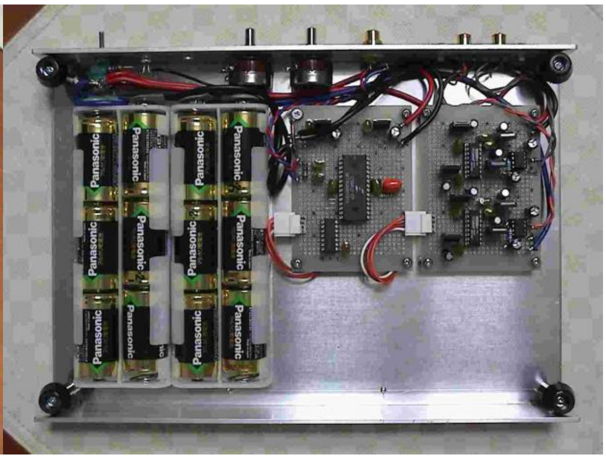
配線図を見ながら基板を組み立てている最中。実際に部品を詰め込んでゆくと、元の配線図通りに配置できない場合とか、もっとシンプルに引き回した方が良いと思える場合もあります。



DAC 基板のウラ側。7 本より配線にて実施。うーむ。昨今ますます XX 眼が進展したようぢゃ。メガネを付けたり外したりしながら作業していると、とおるさん家のお嬢が面白がってしょうがない。



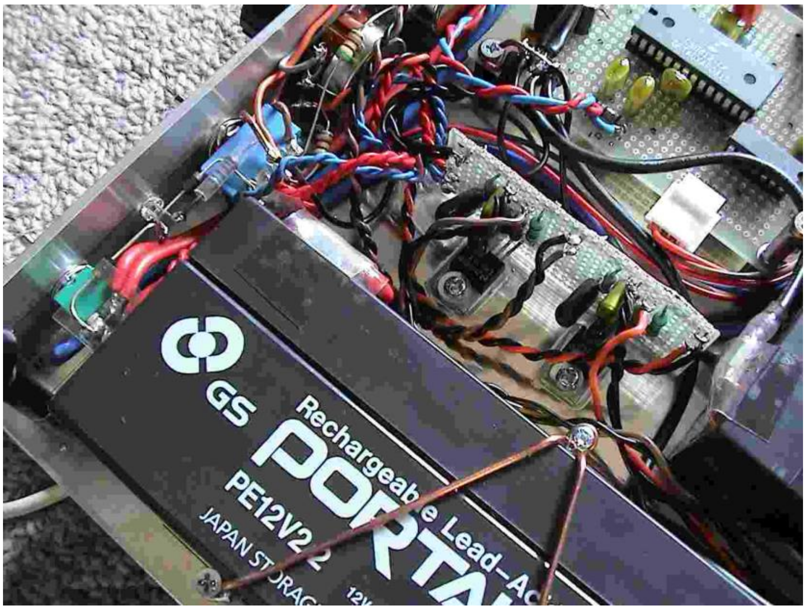
PCM56 にはもともと I-V 変換用オペアンプが内蔵されています。これを使えば、ダイレクトに電圧出力が取りだせるのですが、将来色々なオペアンプを差し換えて、ベストマッチングなものを選ぼうと考えたので、I-V 変換回路を別途配置しました。ターンテーブル制御アンプの入力部分に使う目的で購入してあった TL071 を使うことにし、電圧変換用の帰還抵抗は 1kΩとしました。1mV フルスケール出力が 1V に変換される勘定です。後で分かったことですが、これではちょっとパワー不足気味のようです。超高域のカット／発振防止のため、この帰還抵抗にパラに 470pF のセラミックコンデンサを抱かせてあります。



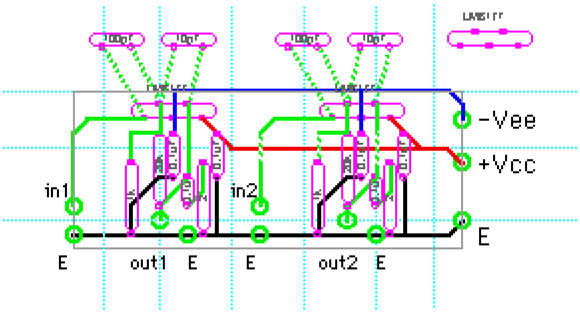
仕上がった DAC ユニット。単2型アルカリ乾電池を+/−各6本内蔵しています。初めてブルーLED によるパイロットランプをあしらってみましたが、結構ギラギラと輝度が高く、ちょっとうるさいかな。リスニングには雰囲気も大事です。ボリウム2個は、そのうち LM675T を使ったパワーアンプを内蔵してやろうとの目論見です。最近、とおるさん家の居間をとおるさんが占有できるのは、深夜もしくは早朝のみに限られるので、寝室でお昼寝がてらオーディオを楽しみたいときはコイツを持って行こうかと考えています。ケースの構造は徹底的に横着をしましたが、頑丈さは追求したかったので、3mm 厚のアルミ板（200mmx300mm）に、3mm 厚の L アングル（幅 40mm）をネジ止めして、これをフロント／バックパネルとしました。サイドパネルと底板が無いので、まるでハカマをつけていない武士のようです。威勢は良いが、スッポンポンです。

とおるさん家初のデジタルオーディオ自作機に火を入れました。まずは IC を挿さない状態でテスタを当てて、各電源ピンに正しい電圧が掛かっていることを確かめます。順番に IC を挿し、その都度電源を投入し、熱くなっている部品が無いかどうかなどをチェックしました。異常なところが無かったので、とりあえずこの状態で試聴と相成りました。入力に DVD プレーヤのデジタルアウト信号を繋ぎ込み、アナログ出力を真空管プリに接続。DVD プレーヤのアナログ出力もこれまでと同様繋がっていますので、切り替えて音質比較が出来ます。違いは？（・・・・・）うーーーーーーーん、難しい。自作 DAC の音質は、透明、淡麗の生っ、て感じです。ジャズギターなどでは弦をこする音が際立って聞こえる（ような気がする）。メータ指揮のマーラー3番などで比較すると、元の DVD プレーヤ出力ではオドロオドロしく響く低音が、新型 DAC では少し軽やかになる感じがし、オーケストラの拡がりも新型 DAC のほうが雰囲気が出ているようです。もうちょっと聴き込んでみることにいたしましょう。（Part 7 の終わり：2004.3.18）

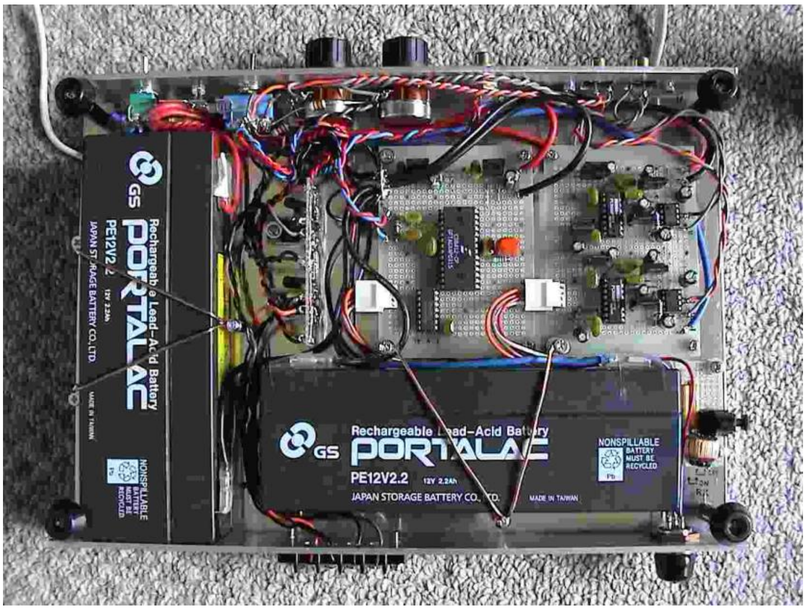
DAC に簡易型パワーアンプ組み込み



かねてよりの計画通り、簡易型パワーアンプを DAC に組込むことになりました。ポータブルの CD プレーヤーがつなげるように、光入力端子（トスリンク受信機：TORX178B）も搭載します。これでカンペキに小型 DAC パワーアンプとなります。お昼寝リスニングギアの完成も間近ぢゃ！



欲を言えばディスクリート部品で金田式バッテリー動作 DC アンプを組み込みたいトコロですが、シャーシサイズは 300mmx200mm の限られたスペースです。バッテリーと全ての回路を押し込むには、パワーアンプの回路基板は圧縮せざるを得ません。自ずと選択肢は IC アンプに。。。音の良い疑似 DC アンプとして、とおるさん家の疑似 DC ターンテーブルのモータードライブアンプに用いた LM675T を再び採用することになりました。IC 一個あたりのアイドリング電流も 18mA で、バッテリー動作にはうってつけです。上記がその回路基板です。ステレオ構成で、約 70mmx30mm のコンパクトな回路に仕上がりました。基板の取り付け方法は、放熱も兼ねて、２個の LM675T の放熱フィンでシャーシへネジ止めするようにしました。フィンにはマイナス側電源がつながっていますので、絶縁スペーサとマイカ板でグランドとのショートを防止します。



全ての回路基板とバッテリーを組込んだ状態です。もうこれ以上詰め込むのは無理だ！最初横着して、アルカリ電池を用いてパワーアンプに小型スピーカー（8Ω）を接続し、DAC と合わせて動作させてみたのですが、片方のチャンネルの音がガサガサと歪み、雑音も乗ってしまいました。PCM56 を左右入れ替えてみると、歪みとノイズの出るチャンネルも入れ替わります。パワーアンプの電源スイッチをカットし、ただの DAC として動作させ、外付けのメインアンプに接続すると、両チャンネルとも正常に動作します。内蔵パワーアンプの電源スイッチを ON にしても、スピーカーを接続しなければ、DAC から出てくる出力にはノイズも歪みも乗っていません。また、パワーアンプに DAC の出力を接続しないで、アナログ信号を入力した場合も、全く正常に動作します。この時点でアルカリ電池の電圧は、正負ともに 8.6V 程度に低下していましたが、5V のレギュレータが動作するのには十分な電圧のはずです。原因不明のまま、しばらく DAC のみの動作を続けていました。1時間ほど DAC のみで運転していたところ、片方のチャンネルにノイズが乗りはじめました。そこで原因を想像してみたのですが、次のようなものです。

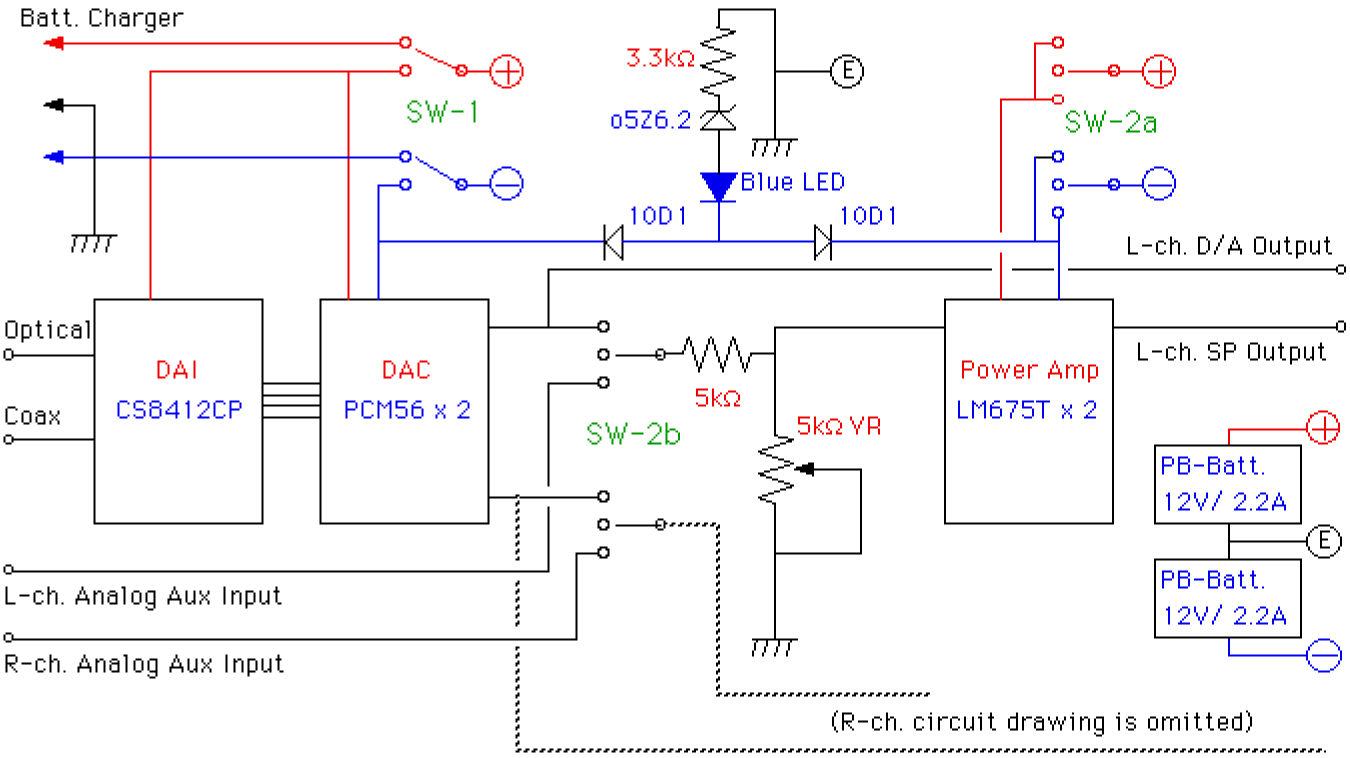
アルカリ電池が弱る→　電池のインピーダンスが増える→　パワーアンプからスピーカへ出入りする電流でグランドラインが揺らされる→　ノイズが乗る

左右の PCM56 で、多少電源ラインのインピーダンス増加に対する感受性が違うのかも知れません。ともかく思いきって、電源を鉛シールバッテリーに切り替えてみました。鉛バッテリーなら、電池としての内部インピーダンスは極めて低いはずです。容量 2.2A の 12V バッテリー（34mm x 60mm x 178mm）を2個搭載し、充電端子も付けました。幸い、DC ターンテーブルのバッテリー充電器と共用でき、経済的です。アルカリ6本に比べ、電源電圧が高くなったことも効果があったのでしょう。結果はオーライでした。対策が図に当たったのでホッとしました。なお、上記の写真で、右サイドについている小さな基板が、トスリンク光受信部です。このトスリンクの消費電流、5V で 22mA と意外と大きい。受信器から出るノイズが電源ラインに乗らないよう、小型のインダクタを付けてあります。

できあがった DAC アンプを試聴中。DVD プレーヤーから同軸ケーブルでデジタル信号を取り出し、いつもの、8 オーム 30W の小型スピーカーを繋ぎました。内蔵パワーアンプの電源スイッチオン／オフ時に多少ポップ音が出ますのでメインスピーカをつなぐのは止めておきました。マーラーの交響曲各種を CD で演奏。なかなかパワフルで心地よい音を出してくれます。フォルテシモの部分にさしかかっても大丈夫です。これなら、お昼寝用サブシステムとして十分満足できます。ホントに眠りこけてしまっても、充電すれば良いので、電池代を気にしなくてすみます。

一方、鉛バッテリーに変えた後、再び DAC オンリーとして動作させ、真空管プリ＋メインアンプ＋メインスピーカーのラインアップで CD を試聴してみましたが、クレンペラー指揮の2番も御機嫌に鳴りました。メーター指揮の3番／6楽章も、従来の DVD プレーヤのアナログ出力に比べて、ずっと深みと拡がりが増したような気がします。LP の銘盤とウワサに聞くメータ指揮の3番を一度はアナログで聴いてみたいのですが、CD でもこれだけ鳴れば何とか満足できそうです。いつものことながら、自作機が完成したヨロコビでずいぶんと心理的増幅度も増しているのかも知れないけど、それでいいのだ。（Part 7.1 の終わり：2004.4.3）

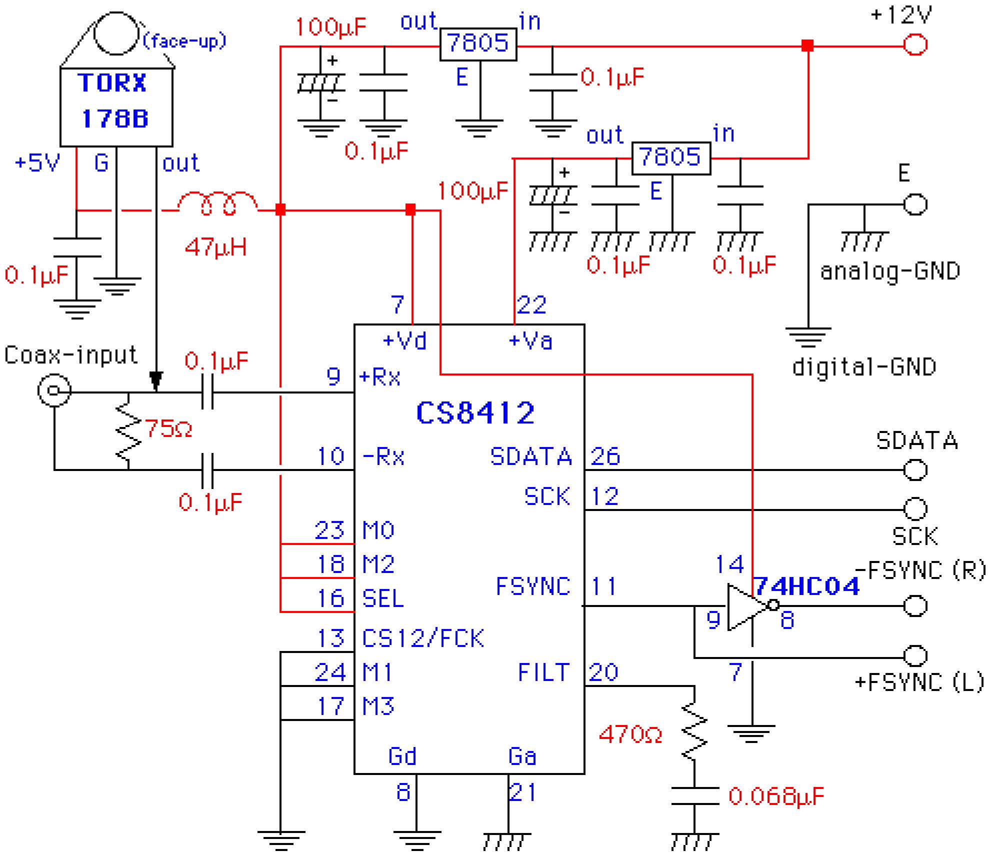
DAC＋パワーアンプ回路図など



SW-1:
* Power-off/ Charge
* Power-on

SW-2a/ 2b (synchronized):
* Power-on/ DAC Input
* Power-off
* Power-on/ AUX Input

今回完成したパワーオペアンプつき DAC の全体回路図です。パワーオペアンプは8Ωのスピーカを接続して動作／音質を確認済みです。将来、長距離（といっても 10m 程度ですが）のラインアンプとしても試してみようと思います。ソース機器が手元にあって、スピーカとパワーアンプが向うの方にある、というような場合に役立つかと。。。（しかし、我が家は今の所それを心配する程大きな部屋はありません。トホホ。）容量の大きな鉛蓄電池を抱えているとはいえ、パワーアンプが動作しっぱなしだとさすがに電池の減り方も早かろう、ということで、パワーアンプ用のオン／オフスイッチを設けました。このスイッチに 12p のセンターオフ型トグルスイッチを用い、連動させて DAC 入力、予備入力を切り替えるようになっています。ただし予備入力端子の装着／配線は未だ行っていません。DAC はオフで、パワーアンプ単独でオン、という動作も可能です。DAC 用スイッチをオンにしても、パワーアンプ用スイッチをオンにしても、どちらの場合でもインジケータ（青色 LED）が光るようにしてあります。また、電池が目減りしてきて 10V を切ったら、LED が消えるようになっています（直列に入っている 6V のゼナーダイオードによる）。この場合、まだスイッチが入っているというインジケータが別途必要ですが、今の所省略しちゃってます。使い始めてまだ 10V 以下に消耗させたことがないので、このインジケータの動作は未確認です。これまで2—3度充電してみた感じでは、プラス側電池の方が早く消耗するような気がします。青色 LED は大変高輝度なので、0.5mA 程度の順電流でもはっきりと点灯します。従来の緑色 LED とは様子が違います。なお、パワーアンプ動作時の音量調整として、5kΩの固定抵抗と 5kΩのボリウムによるアテネータを構成しました。たまたま手元にあった部品を活用したのでこうなりましたが、D/A 出力部の TL071 の負荷としては少し重いかもしれません。特に比較していませんが、高音域の音質に影響しそうなので、固定抵抗は 10kΩくらいに増やした方が良いかもしれません。

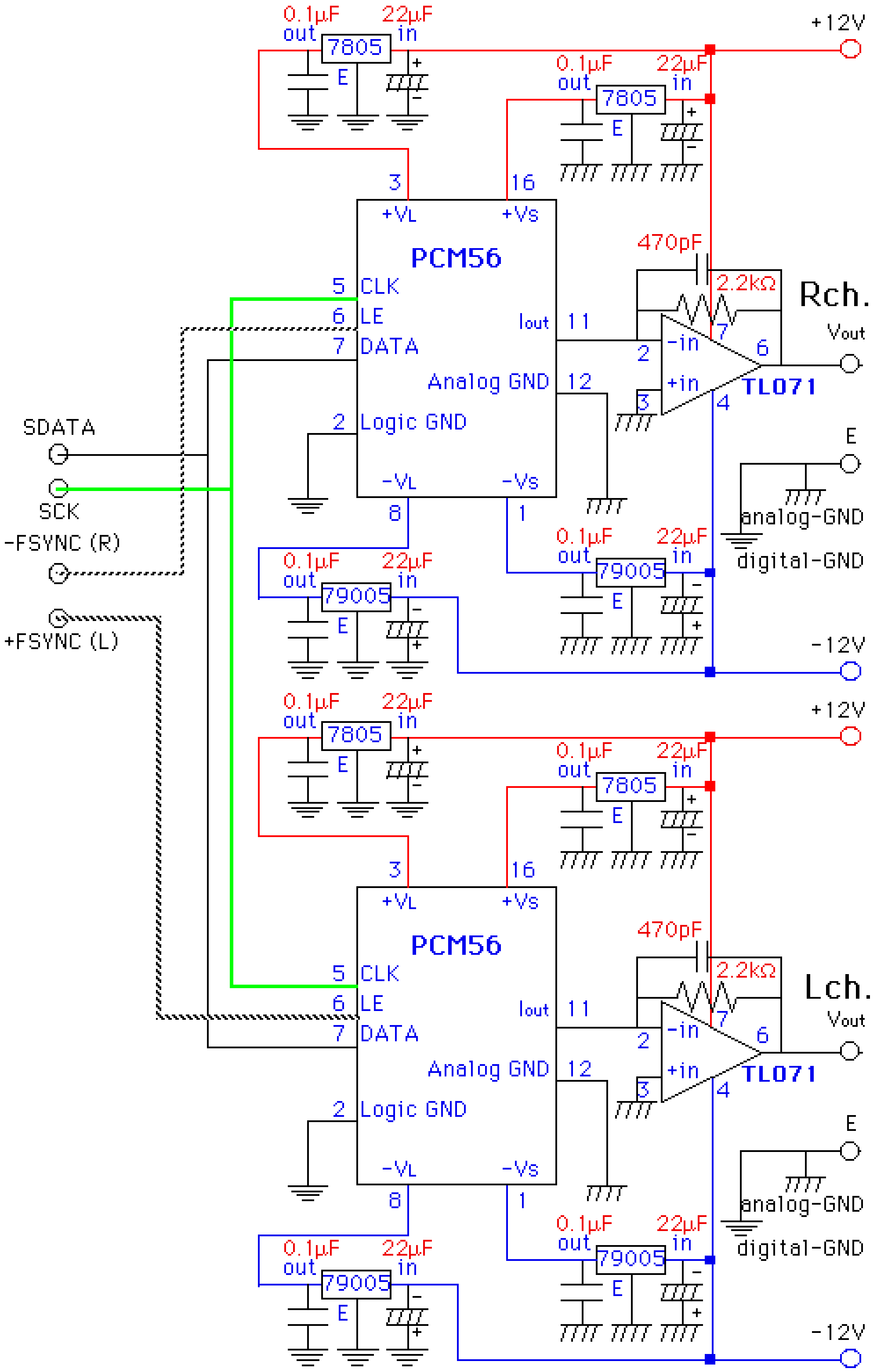


D/A インターフェース部分(cs8412)の回路図です。Nob さんのページを参考に、再度書き下してあります。基板の中に二つの独立した3端子レギュレータを配置し、DAI のロジックインターフェース部分とアナログ信号出力部分とに電源を供給しています。これで一応動作確認していますので、間違いはないと思いますが、あくまで小生の備忘録として書いたものですから、これを読んで作ってみようと思う方には、御自分でも 8412 など各 IC のデータシートを横においてチェックしていただくことをお薦めします。複雑な回路ですので、念には念をいれて。。。例えば 74HC04 など、6つのインバータゲートの位置、入出力の向き、など単純ミスしやすいのです。VCC/VDD/GND など電源の極性を間違えなければ IC そのものを壊してしまうケースはほとんどないですが、音が出ないとか、ノイズが乗るとか、悩ましいトラブルのシューティングには手を焼きそう。。。とおるさんの場合、前ページ(Part7「DAC で行ってみよう！」)の基板図に記したような基板接続により、一応ノートラブルで着陸しました。

(・・・・と、言ってるそばから良く見ると、その基板図の 74HC04 の向きが見事に間違っていました。IC の切り欠きマークを示すマルの位置が違います。アップルワークスを見やすく2倍に拡大したときミスしたようです。大変失礼いたしました。訂正したものを張り付け直しました。)

なお、この回路図に記したトスリンク受信部分(TORX178B)は、パスコンおよび 47uH のコイルと合わせて別な基板に組み、少し離れた場所に配置してあります。3本の配線(+VCC/グランド／信号)は良く撚り合せて、回りにノイズをまき散らさないようにしました。効果の程は不明ですが。。。ちなみに、DVD の音声を再生中、たびたび音声が途切れるトラブルがありました。原因不明ですが、近くのキッチンで自動食器洗い器が動作している時に多発しました。全くの想像ですけれど、フトしたことで DAI の入力にパルス性雑音が乗って変なことになるのでは、と考えています。電池を電源としているので、100V のラインノイズからは解放されているはずなんですが。。。

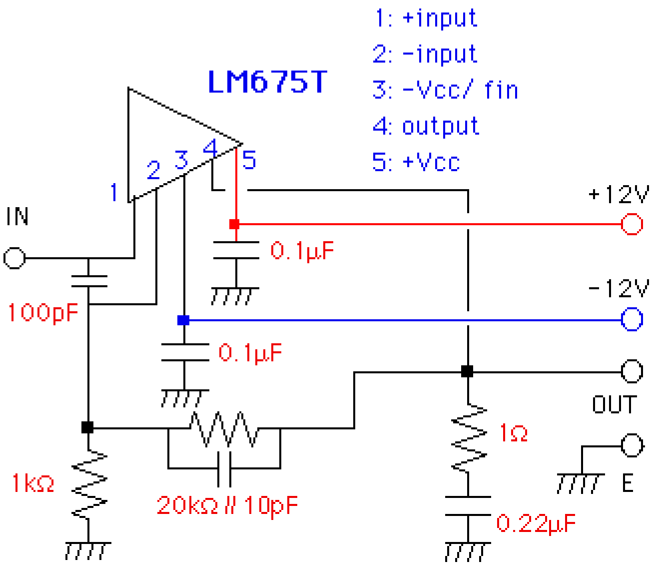
ところで、セクション7「DAC で行ってみよう」に記した基板図は、見やすく拡大して張り直しました。アップルワークスの図面のウェブへの張り付け、ちと面倒です。グラフィックコンバータで加工するとベクトル情報が失われてしまい、分解能が落ちてしまいます。



同じく、PCM56x2個によるD/Aコンバータ部の回路図です。御覧の通り、8個の3端子レギュレータを積んでます。ちょっとやり過ぎたかな。。。面倒臭いと思う人は、左右のレギュレータを共通にしても良いと思います。デジタル部分とアナログ部分は分離したほうが良いでしょう。前ページでも紹介しましたが、このD/A コンバータは、信号ラインに DC カット用のコンデンサを挿入する必要がありません。音質へ影響するファクタをひとつ減らせるというわけです。各電源ラインのパスコン／ケミコンについては安物で間に合わ

せてます。また、I/V 変換用オペアンプ TLO71 に付けた帰還抵抗 2.2kΩには並列に 470pF のセラミックコンデンサを接続しています。前出の基板図にはうっかり記入し忘れましたが、基板裏側に配線しました。本来 40kHz くらいから利得を減衰させようと思えば、このコンデンサは 1800pF くらいないといけない計算ですが、470pF 程度では 200kHz から上の超高域をゆるやかにカットするくらいの効果しかありません。何も無理に高域をカットしなくてもいいか、と考え、このままにしてあります。

余談ですが、マイナス側のレギュレータ（79005）のピン配置はプラス側（7805）と異なります。回路図では区別してありませんので御注意を。さらにまた余談ですが、最近の IC/トランジスタなど素子のマーキングは大変読みづらいです。とおるさんの XX 眼が進行してしまったのも一因ですが、よーく見ないと識別できません。79005 というようにひと桁多くしてあるのもそれが理由かな？秋葉原で買い物した時も、店のおぢさんは虫眼鏡で点検してくれました。「最近、細けえ字が見えなくっていけねえや」ですと。



(above drawing shows one channel only)

これはおなじみ LM675T によるパワーアンプ回路です（片チャンネルのみ表示）。+/−入力間に 100pF、帰還抵抗 20kΩにパラに 10pF、それぞれ小さなセラミックコンデンサを挿入し、発振防止しています。

余談ついでに、I/V 変換用オペアンプは、上記の回路図中では TLO71 になっていますが、その後ピン配置の同じな NE5534 と交換してあります。5534 の方が出力インピーダンスが低く（600Ω）、高音質が期待できます。実際試聴した限りでは、TLO71 よりも低音域の奥行きが深くなったようです。またまた登場するマーラー3番ですが、出だしのティンパニーの迫力、間奏のチェロの深みでそう感じましたが、気のせいかな。。。I/V 回路を K 式アンプで作られたご同好の先輩からは、「AD797 も良いですよ」とアドバイスいただきました。今後色々と試してみることといたしましょう。（PART7.2 の終わり：2004.05.03）

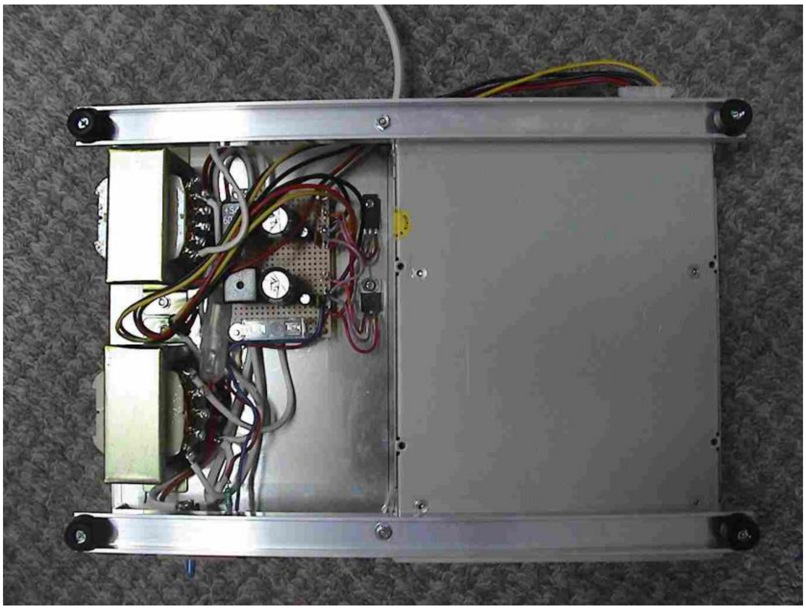
CD トランスポート事始め

とおるさん自作の DAC はなかなか快調に動作しております。既製の DVD プレーヤのアナログ出力と比べてどうか、と言うと難しいのですが、何となく全般的に音が立体的になったような気がいたします。I-V 変換に用いたオペアンプで少し味付けが可能ですが、低音の厚みに特徴が出てまいりました。チェロの名演奏などは、なかなか LP では入手困難ですから、まずは CD によるリスニング環境をグレードアップしたいと考えました。そこで、今度は CD トランスポートもいじってやろう、と考えたわけです。

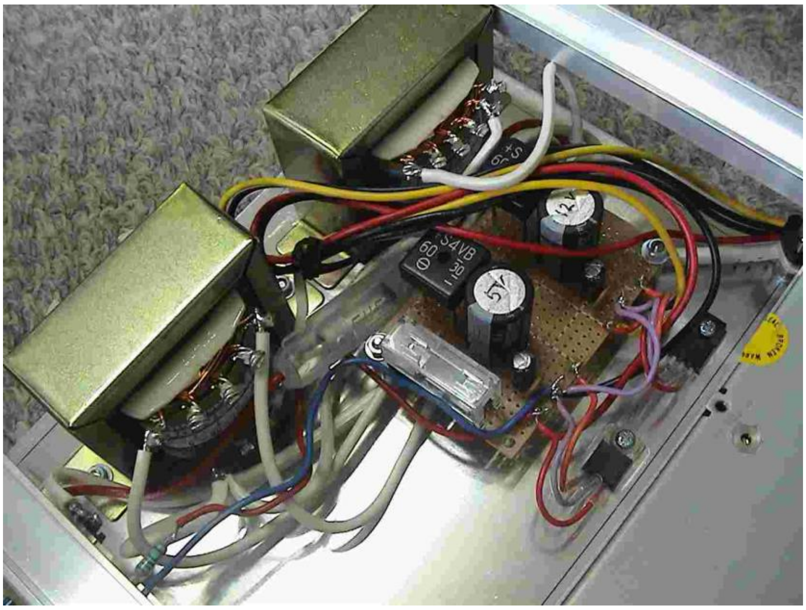
今回は「Hard Off」で 1260 円で手に入れた CD-ROM ドライブをベースに、簡単な電源と組み合わせた即席トランスポートといたしました（写真下段）。DAC とサイズを合わせ、横 30 センチ、奥行き 20 センチにおさめました。この CD-ROM ドライブ、トレイの開閉、Start/Stop、曲送り、と一通りのボタンがそろっており、曲番表示が見えないなどの不便さを除けば、使用上の不都合はほとんどありません。のちほど CD-ROM ドライブの制御回路を付加するつもりです。この方法については、上野さんのホームページ http://members.jcom.home.ne.jp/tube-audio/ に大変詳しく紹介されています。

CD トランスポートも、アナログプレーヤーと同様、ディスクを回転させるときの振動を如何に押さえ込み、レーザピックアップのトレース能力を向上するか、が肝心なところです。まずは、3mm 厚のアルミ板を天板

とし、これにすべての部品をネジ止めし、締め付けることにしました。CD-ROM ドライブの匡体の厚みは約 40mm 強ですので、アルミ板の四隅に 40mm の長さの絶縁サポーターを立て、これを橋脚にみたてて橋を渡す格好でコの字アングルをビス止めします。コの字アングルと 3mm 厚アルミの天板の間に CD-ROM ドライブをサンドイッチし、締め付けることで、振動を押さえ込んでみようということにいたしました。



CD トランスポートを裏かえして見た図です。写真の上下に見えますが、30cm の長さのコの字アングル2本でもって、CD-Rドライブを匡体ごと押さえ付けてあるわけです。CD-Rドライブ匡体の厚みは 42mm 弱です。橋脚の役目をしているサポートの長さはきっちり 40mm ですから、いささか長さが合いません。サポータをネジ止めするとき、ワッシャを3～4枚かませて調整します。また、CD-R ドライバの表面で、コの字アングルが当たる部分にビニールテープを張り重ね、若干のクッションとすれば、コの字アングルを締め付けることでで、かなり強固にドライバが天板に抑えつけられます。



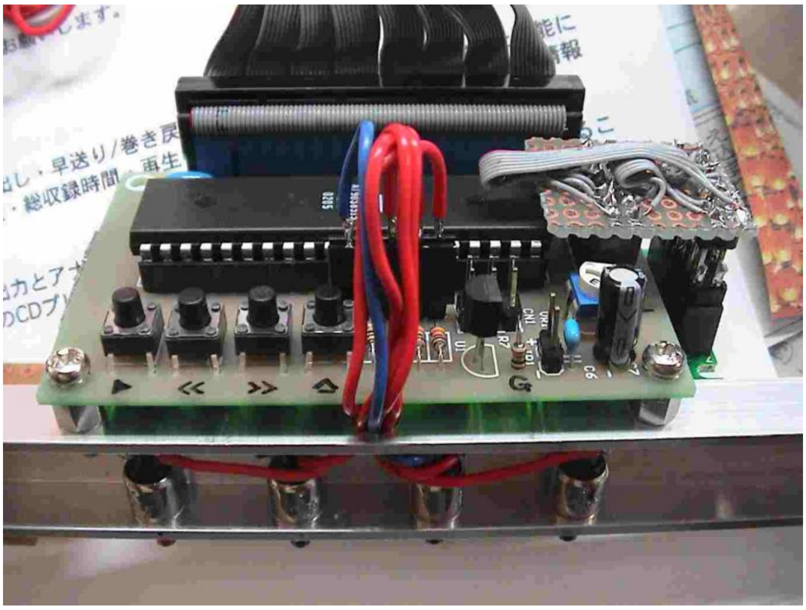
CD-ROM ドライブへ供給する、+5V と+12V の電源部です。トランスの電流電圧容量の設計に迷いましたが、必要以上に大型にはしたくなかったので、若干小さめのトランスを2個購入しました。5V 電源用トランスは2次巻線が 8Vx2A のもの、12V 電源用には 14Vx1A のものを選択しました。それぞれ両波整流後、

無負荷で 11V および 19V 程度になります。CD-ROM ドライブは意外と電流を食うようで、電源ラインを接続し、負荷をかけるとそれぞれ 9V 強、と 17V 前後、までドロップします。定電圧回路はとりあえず単純な3端子レギュレータですませてあります。アルミ天板にネジ止めし、放熱対策をとっています。結構発熱するので要注意です。ところで、最近チマタに売っている3端子レギュレータは、放熱フィンまでプラスチックモールドされた、電流容量 1A（1個 80 円程度）のものが殆どです。秋葉原をしみじみ探していたら、3A の容量をもつレギュレータ（単価 300 円ほど）を見つけました。こちらは放熱フィンがむき出しで、ひと世代前の TO-220 パッケージですが、より多くの熱を逃がせそうです。

さて、最近お仕事の影響ですっかり低コスト意識を植え込まれてしまったとおるさんですが、今回の CD トランスポート、全部の部品を合わせてせいぜい 8000 円程度で仕上がりました。果たしてこんなもので良い音がするのでしょうか。。。。DAC と組み合わせ、試聴中ですが、割と安定感のある音に思えます。最近、マーラーのほか、モーツアルトの弦楽四重奏やバッハの無伴奏チェロあたりまでリスニング範囲を広げてきました。既製（あまりお高くない）DVD プレーヤーで聞いた時は、出だしのバイオリンの音はまるで電子オルガンのような音色がし、とても LP 再生で得られるような雰囲気には及ばない、と思ったのですが、この CD システムで聞くと、これらのストリングスの響きが心なしか本物っぽくなったように感じました。バルビローリのマーラー９番を CD で仕入れ、LP と音質の比較をしたりしておりますが、CD から得られる音質も徐々にクオリティが上がってきました。今後の計画として、まずは上野さん式 CD-ROM ドライブコントロール回路の追加、リクロックやリタイミング回路によるブラッシュアップ、などを試みる予定です。（Part 7.3 の終わり：2004.8.5）

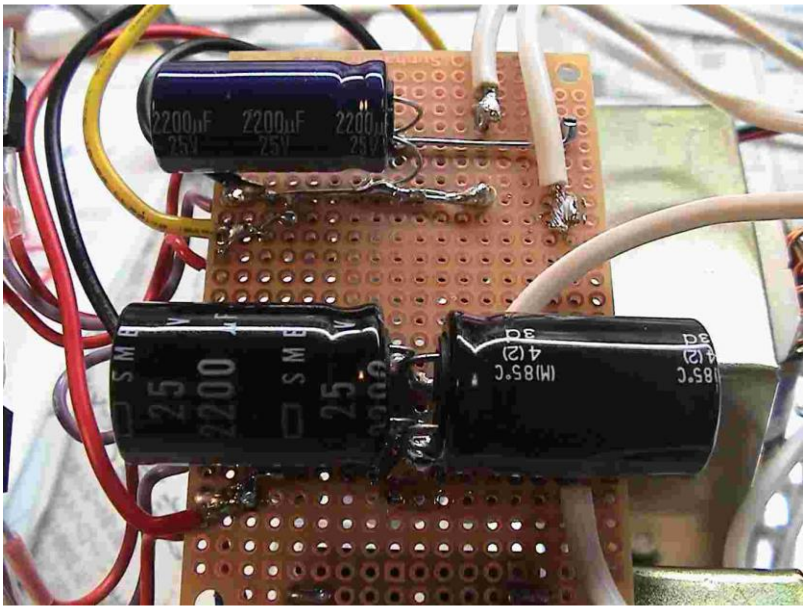
CD トランスポートにコントローラ設置

あいかわらず、自作システムのほうが音が良く聞こえる、というきわめて主観的な趣味に走っておりますが、そうした自画自賛効果を多少割り引いても、CD を聞くのが前よりも楽しくなったのは事実です。なぜ、という原因は特定し難いのですが、BGM 的な鳴り方をしなくなったのもまた事実です。さらには、中古部品やオークションで安価に入手可能な様々な CD-ROM ドライブを取り替え引っかえして、ころころ音質が変化するのも不思議で面白い。ともあれ、各メーカのいろんな CD-ROM ドライブを試したいのですが、なかにはディスクのイジェクトボタンしか持っていないモデルも多数あります。そうしたドライブを扱うためには、ATAPI インターフェースに信号を送って、ディスクのイジェクト／ローディング、スタート／ストップ、曲送り／戻し、などの機能を持たせねばなりません。



前ページで予告しましたように、上野さんのホームページで紹介されたコントローラを分けていただき、基板組立／組込んでみました。CD-ROM ドライブを下から押さえ付けているコの字アングルに基板の片側をネジ止めし、さらに、そのコの字アングルの中に小型のプッシュスイッチ4つを仕込みました。

組込んだコントローラのディスプレイ(LCD)パネルを正面から見た様子。LCD パネルの真横にはライトアップ用の LED を配線するパターンが設けてあります。とおるさんの場合は、青色 LED をあしらいました(写真向かってパネルの右横)。しかし結果的にはパイロットランプよろしく光るのみで、肝心のパネルの文字を浮き立たせるのには役立ちませんでした。むしろ、パネルの真正面から均一に照らす方が良いようです。従って、とおるさんのこのままの設計では、暗闇で LCD パネルの文字が読めません。まあいいや。



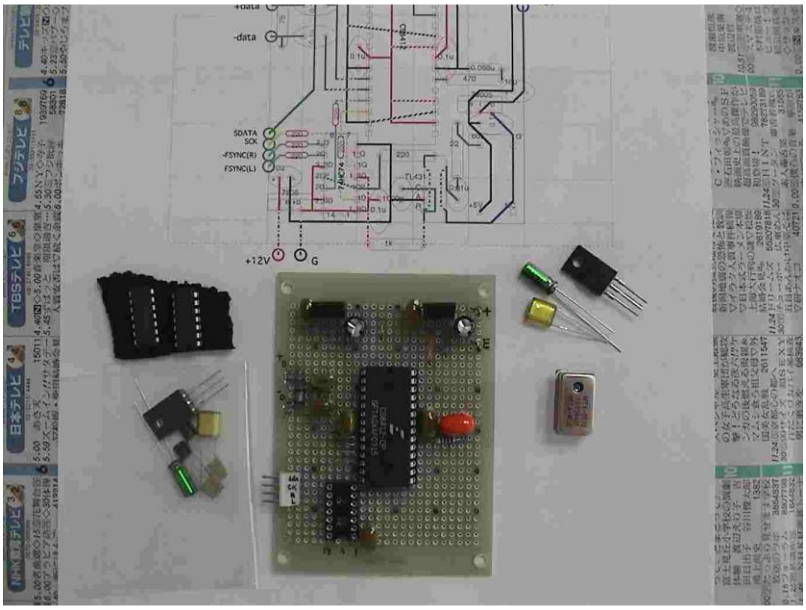
一番最初に購入した CD-ROM ドライブが、たまたま一番音質的に気に入っております。44 倍速の読み出しスピードながら、ディスクの回転音（風きり音？）は僅少です。出だしの曲（内周部）の読み込みで高速回転する時に、匡体ごとブルブルと振動するのが難点ですが、とおるさん考案のこの構造ですとコの字アングルで締め付けて、CD-ROM ドライブ匡体、2個のトランス、3mm 厚のアルミ板、の3者が一体化されるので、匡体単体よりも振動の幅が減少する感じがします。この 44 倍速ドライブは、低音の厚み、曲のプレゼンスなど、感心することしきりだったのですが、なぜかある CD に限って、ある曲の、いつも同じ場所で音とびがします。CD の読みとり面にゴミやキズなどは見えません。念のため、その CD を灯りに透かしてみると、アルミの蒸着膜側から、レーベル面の文字やパターンが透けて見えます。つまり、レーベル面の一部のみ文字やパターンが塗装してあるもの、逆にレーベルの一部に塗装がされていないもの、はその部分でデータの読み込みに失敗する様子なのです。レーベル一面にべったり塗装が施してあるような CD は問題ありません。サーボ電流の増減が激しく、制御が追随していないのかもしれない、と考え、スペースの許す限り電源の平滑コンデンサを増設することにしました。5V 側は 2200uF を2個、12V 側は 2200uF を 1 個、それぞれ電源基板の裏面にハンダ付けしました。

電源平滑コンデンサの強化にもかかわらず、このCD-ROMドライブの音とびは止みません。場合によっては、途中で再生が中断されてしまうものもあります。せっかく音質はピカいちなのに。。。レーザのフォーカスが甘いのかもしれない。しかたない、2台目導入じゃ。。。って、その後3台にフラれました。そのつど中古品販売店のお兄さんには、交換の手続きでお世話になりました。トレイが出てこないもの、全くCDを認識しないもの、ディスクが回転せず異音のみするもの。。。やっと動作問題なしの48倍速を入手しましたが、1曲目のディスクの回転音は、ターボエンジンのよう。マーラー9番の出だしが聞けない。また心なしか、1台目のドライブで得られたような、演奏のプレゼンスが感じられないのがツラい。ともかくさらに構造的に補強、というわけで、3本目のコの字アングルを配置しました。これは気休めだった。あきらめて、もう3世代くらい前の低倍速のドライブを使うべきです。しばらく中古品発掘の行脚をするしかない。

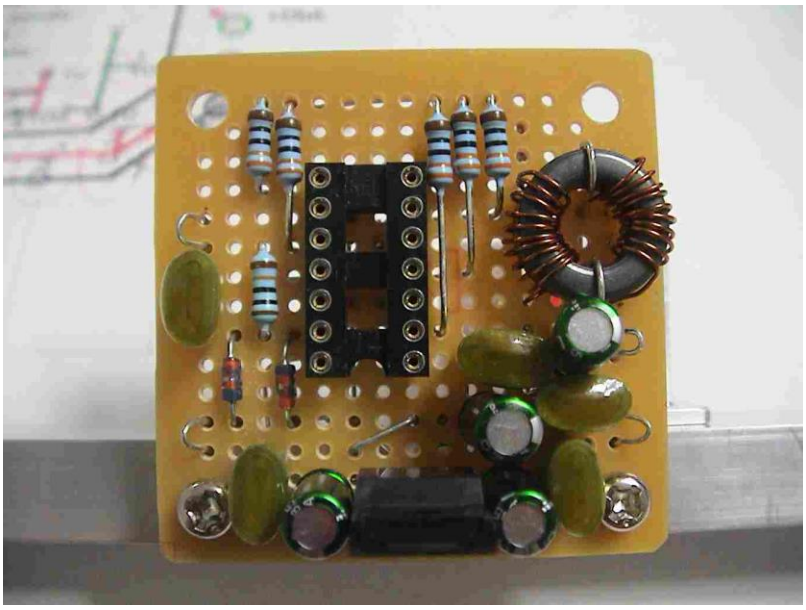
ともあれここまででひとまずの完成。DACと上下に積み重ねて動作中の本機です。まだまだ納得の行かない部分は残っていますが、世の中にゴマンと積まれてしまった中古CD-ROMドライブを供養してやるためにも、音楽再生のためもうひと働きさせてあげようじゃありませんか。

今回種々のROMドライブの内部構造を観察する機会に恵まれました。レーザピックアップをトラッキングする機構も実にさまざまです。ラック／ピニオン方式あり、ボールねじ方式あり。ピックアップをサポートする金属のシャシの厚みもピンキリです。がっちり作ってあるもの、コスト重視で徹底的に簡素化してあるもの。殆どの製品が、台湾／中国／マレーシアなどで海外生産されているのも興味深い。今回はあまり再生音質の向上には興味がおよばず、ハードウエアの中身に没入してしまったとおるさんでありました。。。。（Part 7.4の終わり：2004.8.25）

ジッタ低減作戦の巻

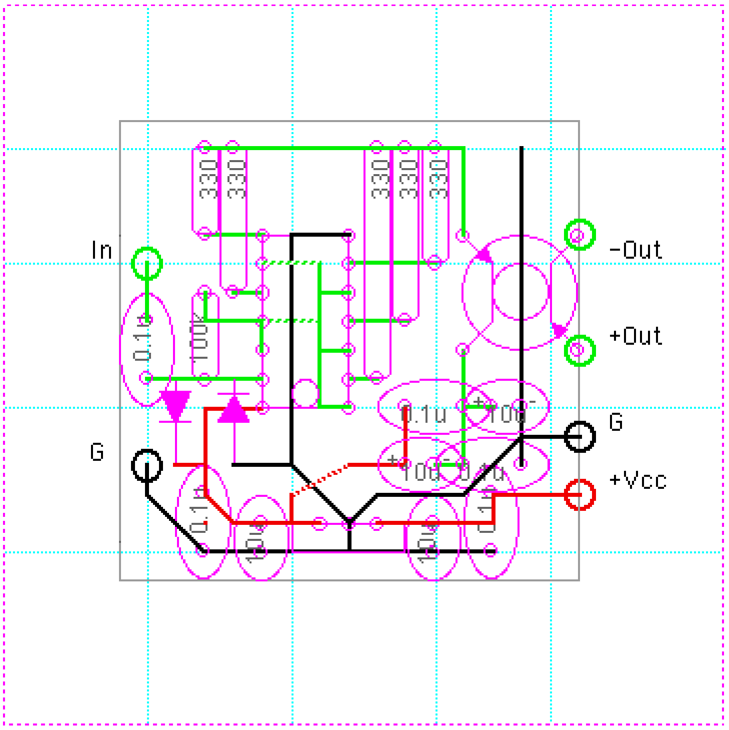


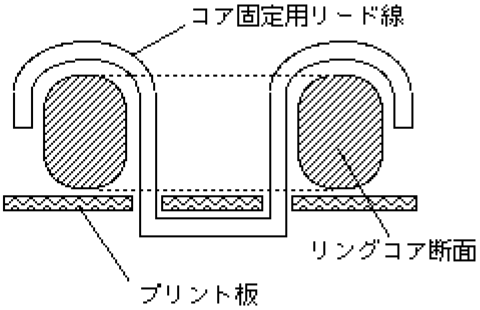
今年のとおるさんは、会社のプロジェクトにどっぷり漬かる毎日。結構ぼろキレのようになって帰って参ります。海外出張も多い。帰宅後まっ先にアンプのスイッチをオンします。心がスポンジのように乾いていますので、音楽はストレートにしみわたります。マーラーのほかにも色んな音楽が聞きたい。ベートーベンのチェロや、モーツアルトやチャイコフスキーの弦楽4重奏なんかも良い。古い LP の中から名盤を探し当てるのは大変ですが、CD ならばシリーズ物できちんと揃っている。LP の音は最高ですが、ボロきれ状態で操作すると大変危険。酔っぱらって帰ってくることもしばしばで、（とおるさんにとっては）貴重なレコードやカートリッジを傷つけそうになったこともしばしば。やっぱり、CD をできるだけ良い音で再生したいわけです。目標は LP のかもし出す音場間に迫ること。と、いうわけで、表題写真のようにまたぞろ工作開始です。



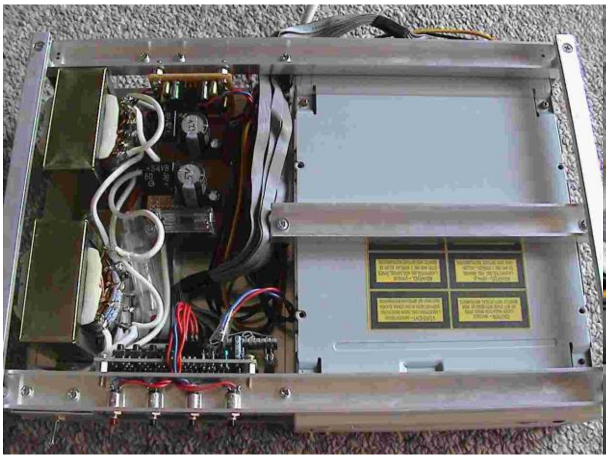
御同好先輩諸氏は、CD 再生システムにおけるジッタ低減が、驚く程の音質向上をもたらすことを様々な実験で証明しております。小生もこれに挑戦。まずその第一弾は CD トランスポートのデジタルデータの出力をバッファ回路で強化すること。上の写真は、その回路基板ですが、「無線と実験」の 2004 年 2 月号 86

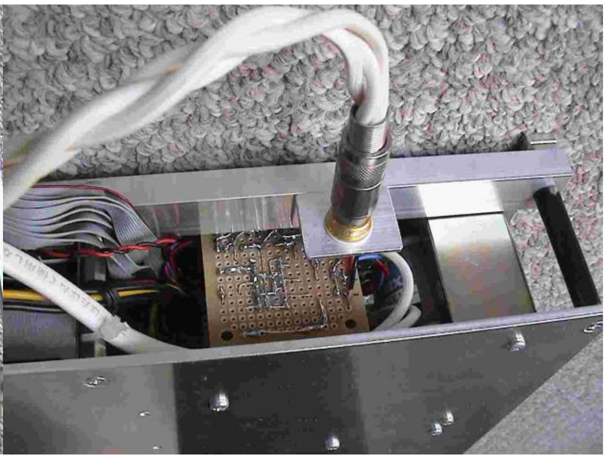
ページジに柴崎功氏が投稿された「チャージポンプによるデジタル出力の音質改善」という記事をもとに作りました。トランスポートや、CD-ROM 出力の同軸出力を 74HC04 の反転バッファー1回路で受け、残りのインバータ5回路を並列にして電流増幅し、アミドンのフェライトリングコアで自作したパルストランスで送りだすという回路です。こうすると、デジタル波形のエッジがシャープに立つので、もとデータのジッタ(タイミングのばらつき、位相ノイズ、ともいわれる)が低減されるという仕組みです。



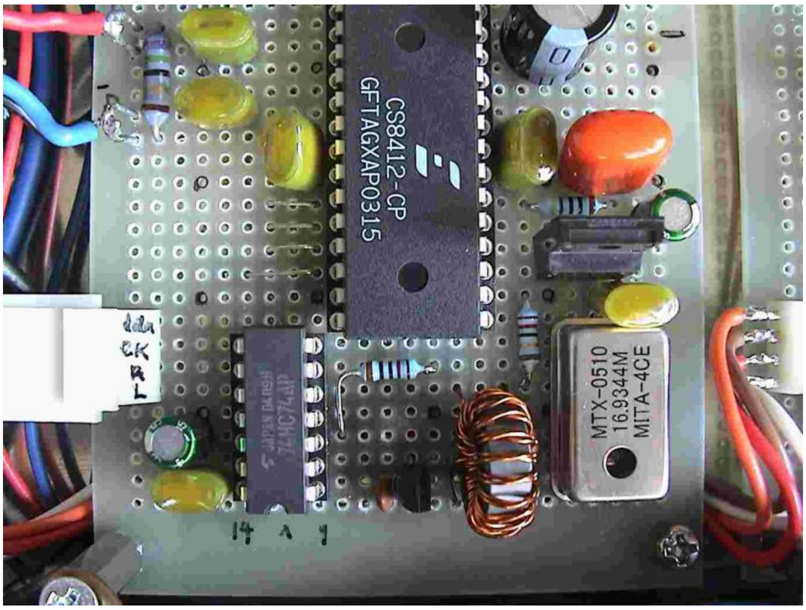


穴あきプリント板に各部品をレイアウトした様子。過大入力の保護用ダイオードは記事では 1SS176 と指定されていますが、何でも良さそう。小生も同等品からテキトーに選びました。5V の三端子レギュレータもボード上に配置します。パルストランスの自作は始めてでしたが、意外と簡単です。この場合は、FT-50#77 という直径 15mm 程度の小型リングコアに、0.4mm 径のホルマル線を1次側、2 次側ともに9ターン巻きます。巻く方向によって極性が決まります。小生は1次側、2 次側ともに同じ(左ネジ)方向に巻きました。基板図で、矢印の頭が巻きはじめを示します。部品代全部で 1000 円強で仕上ります。ちなみに、リングコアの1次巻き線と2 次巻き線とはシールド板で分離したほうが良いのですが、とおるさんは簡単に、リングコアを基板に固定するのに用いた抵抗やコンデンサのリード線の切れ端をグランドに落としただけで対処しました。ただし、リングコアの断面をぐるりと一周させてはだめです。磁束がそこを通過し、電流が流れてしまいます。リード線を J の字型に曲げ、それでリングコアを押さえ付けてあるだけです。(上の右側のポンチ絵)

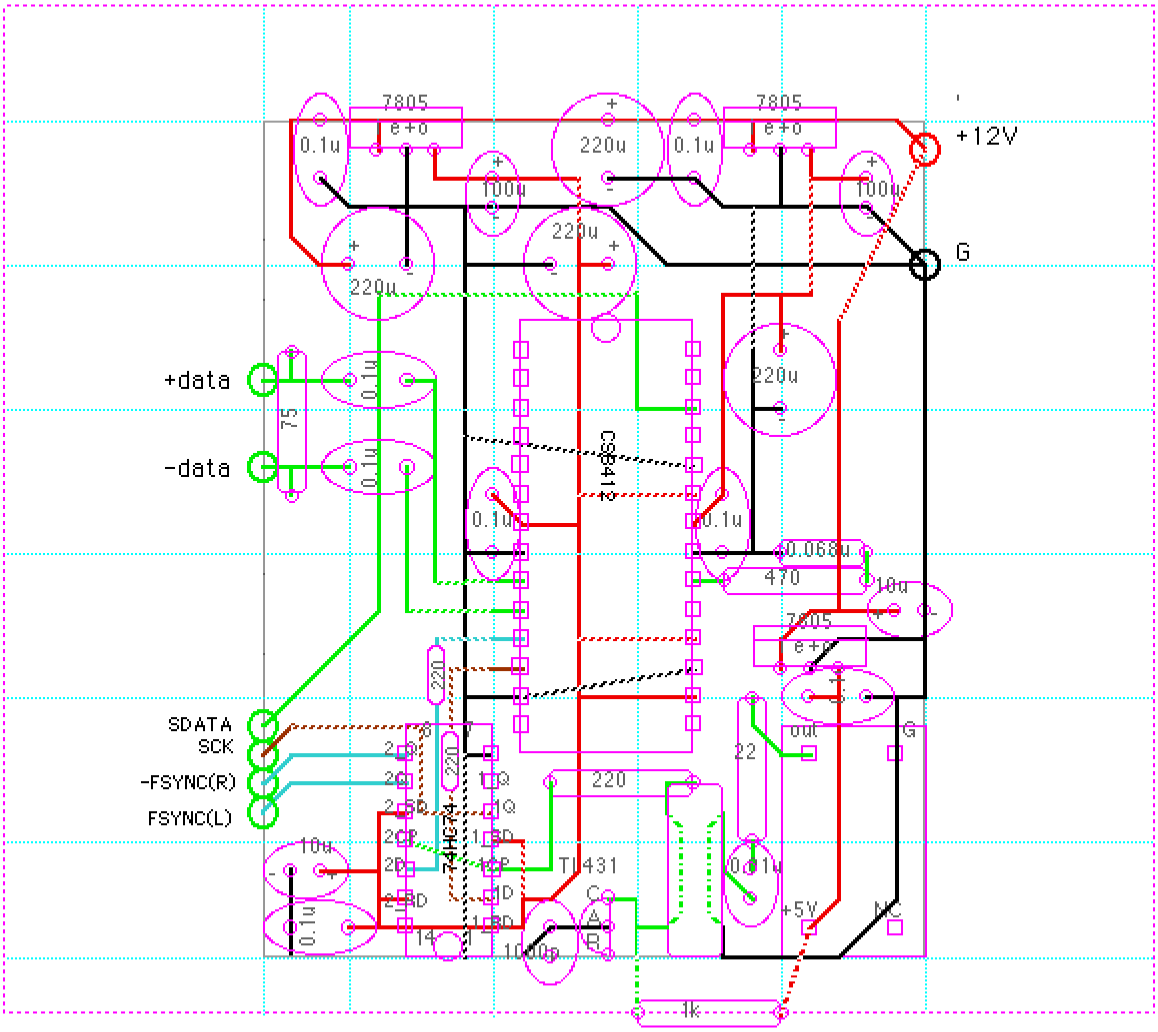




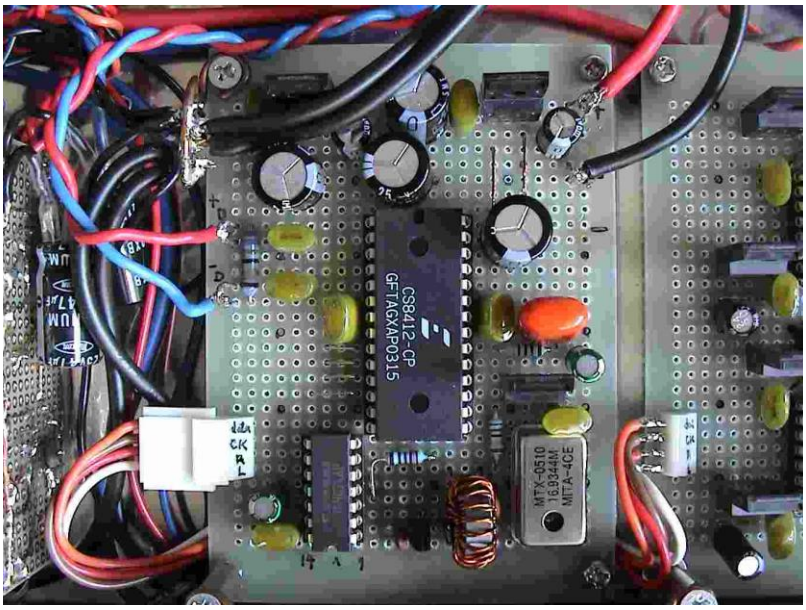
この小さな回路基板を、くだんの自作 CD トランスポートの空きスペースに組み込みました。特別に企画してあったわけではないのですが、お誂え向きにビシっとおさまりました。こういうのって、キモチいい。自己満足の世界です。まずはこの段階で、御試聴～♪。。。。ジッタ低減で期待できる音質改善は、奥行き感、低音域の風圧、と聞いていますが、それが認識できるほどとおるさんの耳は修行できていないようです。良く分からんが、気分的にはスッキリ感のただよう、心地よい音質になったような感じはいたします。デジタル伝送に使っているケーブルを、自作の三つ編み蛇腹ケーブルから、75Ωの同軸ケーブルに替えた方が良いかも知れません。



改造第 2 弾は、DAC にリクロック回路を導入することです。CS8412 の乗っているインターフェース基板にはまだ実装スペースが残っています。ここに、「プラクトサウンドシステム」から購入した高精度水晶発振器（16.9344MHz）を乗せてマスタークロックとし、これで 74HC74 によるフリップフロップ回路を駆動して、CS8412 から出力される SCK（シリアルクロック）信号と、左右 ch 出力のトリガとなる FSYNC（フレームシンクロ）信号のタイミングを、マスタークロックにきちんと同期させます。



こちらの回路は、「ラジオ技術」2004 年 10 月号の 129 ページに掲載の、村木健三氏の記事を参考にしました。上は基板レイアウト図ですが、これらの回路を追加したら結構ぎっしりとなりました。当初善かれとおもって、74HC74 を+5V の三端子レギュレータで独立給電したところ、プチプチというノイズが出てしまいました。また、水晶発振器から 74HC74 へのマスタクロック信号受け渡しには、フェライトコアによるパルストランスでグランドノイズをカットする形で行いますが、これを指先で摘むとノイズが減少します。試しにリクロックしない場合の状態に戻すべく、L/R チャンネルの切り替用の 74HC04 に実装し直してみましたが、ノイズは元に戻りません。どうやら、SCK や FSYNC 信号を処理する回路の給電方法や、グランドのとりあつかいは非常にデリケートな模様です。試行錯誤の末、このようなレイアウトとなりました。結局 74HC74 の給電は CS8412 のデジタル Vcc やデジタルグランドと共通とし、水晶発振器は独立の三端子レギュレータで給電しました。

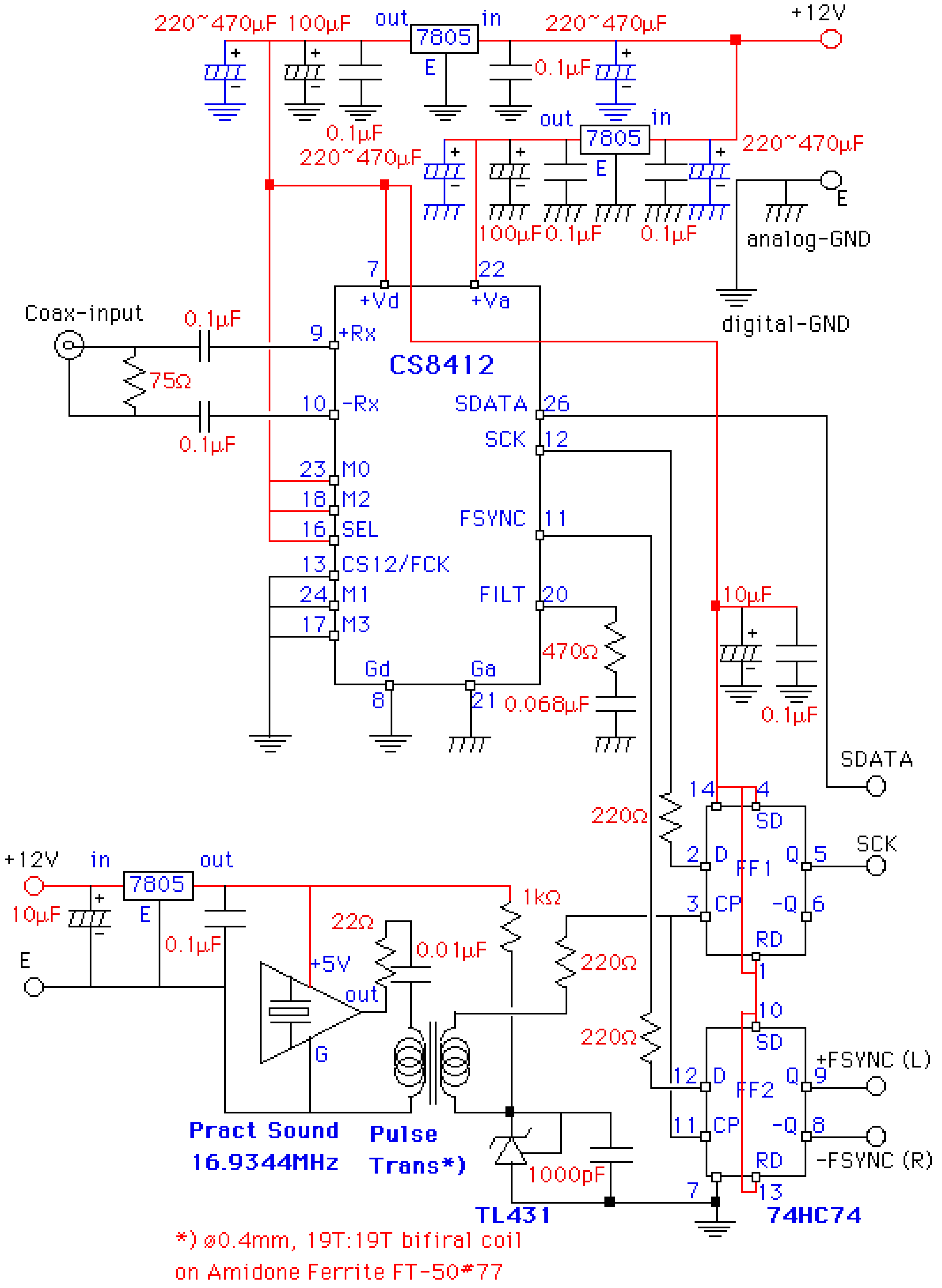


基板の全体図。デジタル用給電ラインと、アナログ用給電ラインそれぞれに 220uF/25V のケミコンを挿入し、強化しました。これで実装スペースはもう目一杯ですね。今回追加した部分の回路図は後日また紹介します。

さて、ようやく改造作業は終了しましたが、結果は如何に。市販の DVD プレーヤの音質とは、確かに一線を画す仕上がりです。最近、小林研一郎（コバケン）指揮のマーラー３番を仕入れましたが、ブラスの音がブラスらしく響いてくれます。市販プレーヤではこれが MIDI 音源のように味気ない音に聞こえるのです。また、ティンパニーなどのパーカッションのドロドロっとした雰囲気に磨きがかかったようです。とおるさん家のスピーカーは、スペースの関係からこれ以上大きなサイズのものはおけません。あこがれの 416-8B ダブルウーハー、なんて、遠い目標。まずは、身近なところで音源を極めるしかないのです。LP と同様、時間軸の制御、位相ノイズの克服、こいつはどうやら面白いキーワードです。（Part 7.5 の終わり: 2004.11.13）

リクロック回路について

下記はリクロック機能を追加した cs8412 による DAI (Digital Audio Interface) 回路全図です。



回路のポイントをいくつかまとめます。繰り返しになりますが、「ラジオ技術」の記事を参考にしております。

1) 16.9344MHz のマスタークロック: 「プラクトサウンドシステム」さんから購入した高精度水晶発振モジュールを、3端子レギュレーターで独立駆動。出力をリングコアトランスを介してフリップフロップ IC に接続。

2）リングコアトランス： 型式 FT−50#77 または同等のフェライトコアに、0.4mm 径ホルマル線を 19 ターン、バイファイラ巻きして作ります。「バイファイラ巻き」は（これもラジオ技術誌からの受け売りですが）１次巻き線と2次巻き線を固く撚りあわせたものをまとめてリングコアに巻き付ければ簡単に実現できます。記事によれば、巻き込んだ後、ニスで固めるとなお良い、そうです。小生は横着してやっておりません。

3）レベルシフト回路： リングコアトランスの2次側、すなわちフリップフロップ側につながる巻き線に生ずる電圧は、+/−2.5V となり、もとの水晶発振器の出力の DC 成分が取れてしまって、グランドから分離された形になっています。そこで、フリップフロップの TTL 入力レベルに合わせるため、シリーズレギュレータ（TL431）をコールド側に接続して、2.5V だけプラス側に全体をレベルシフトしてやります。

4）グランド回り： なんでこんなに回りくどいことをするかというと、あくまでマスター発振器のグランドまたは電源に、ディジタル信号処理系のノイズが乗らないよう、隔離するためです。しかし、小生のように、DAI 本体回路基板の狭いところに同時実装した場合、どれほど効果があるかというと、正直自信がありません。

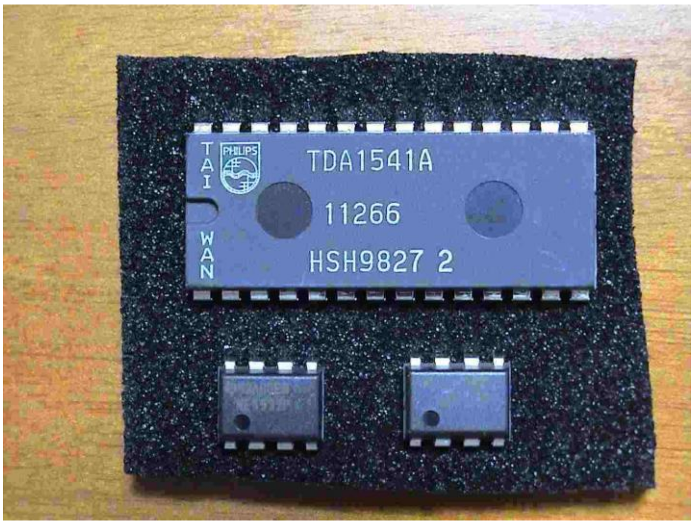
5）フリップフロップによる「叩き直し」： 74HC74 にはフリップフロップ２回路が入っています。そのうち１回路を使って、ステレオ２チャンネルのデータ読み出し（トリガ）パルス（FSYNC）を生成することができます。L チャンネルに対し、R チャンネルのトリガパルスを論理的に反転させる必要があり、以前はこれを74HC04（HEX インバータ）を使ってやっていました。IC ソケットをそのまま活かし、74HC74 に乗せかえて、基板裏の配線を変えました。残りの１回路で、基本クロック（シリアルクロック：SCK）のタイミングをマスタークロックにきちんと同期させます。DAC についての同好諸氏のサイト間では、これらの機能を称して、「叩き直す」という言葉が流行っているようです。なお、実際の波形データは、DAC 回路の中で SCK に合わせて処理され、電圧に読み替えられるので、ここで「叩き直しておく」必要はないそうです。肝心なのは、電圧データが読み出されるタイミング（FSYNC）が、サンプリングの基本周波数に正確に同期していることです。なお、前ページでも述べましたが、74HC74 の電源を別な3端子レギュレータで供給したら、なぜかノイズが乗ってしまいました。マスタークロックなしで、74HC04 を使って FSYNC の反転信号を生成していた時のように、8412 のデジタル電源と共通にしたらもとに戻りました。理由は不明です。回路や実装の状況に応じての試行錯誤になります。

6）リクロック回路付加後の課題： 電源投入直後に左チャンネルからプチプチノイズが出ます。もともとPCM56 に動作バラツキがあるらしく、当初、乾電池駆動していたときにパワーアンプを動作させると同じようなノイズが出たことがあります。左右の PCM56 を入れ替えたらノイズも左右で入れ替わりました。5 分程気長に待つと完全に消えて無くなりますので、そのままにしてあります。そのうち、PCM56 ではなく、抵抗ラダー型 DAC をディスクリートに組んでみたいなと考えています。こちらは、上野さんのホームページに詳しい記述があります。

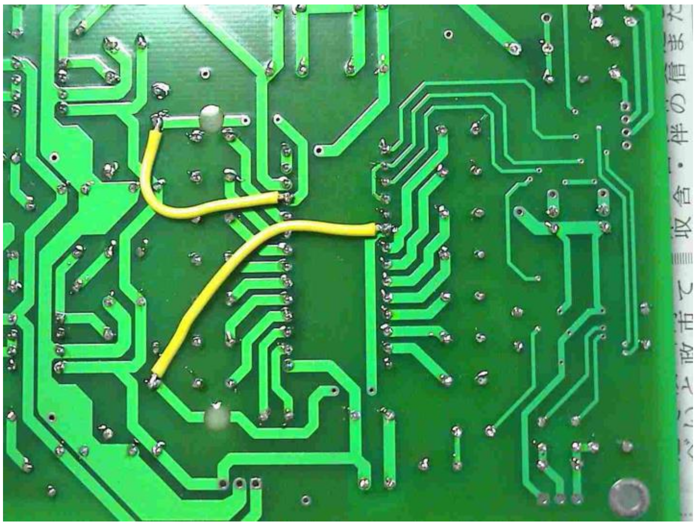
ディジタルフィルターを用いない、いわゆる「ノンオーバーサンプリング」方式の DAC をたまたま（回路が簡単そうじゃん、という全く単純な理由で）採用したのですが、今のところこれがすっかり気に入っております。最近このジャンルの音楽を聞き慣れたせいかもしれませんが、以前は CD を借りたり、買ってきたりしてクラシックを聞いても全く面白くなかったのですが、ずいぶんと雰囲気が変わったように思います。表面的な鳴り方をしなくなったというか、なんと言うか、表現が難しいのですが、もともとアナログ録音された古い名演奏を CD にリマスタリングしたものから、最新鋭のデジタルの録音機器で作られた新しい CD まで、色々と楽しむことができるようになりました。アナログディスクによる再生は今でも捨て難い魅力にあふれてい

ますが、現代の優れた指揮者による演奏は、CD で聴くよりほか手がないのですから致し方ありません。
（Part 7.6 の終わり：2005.04.02）

二代目 DAC 襲名の巻

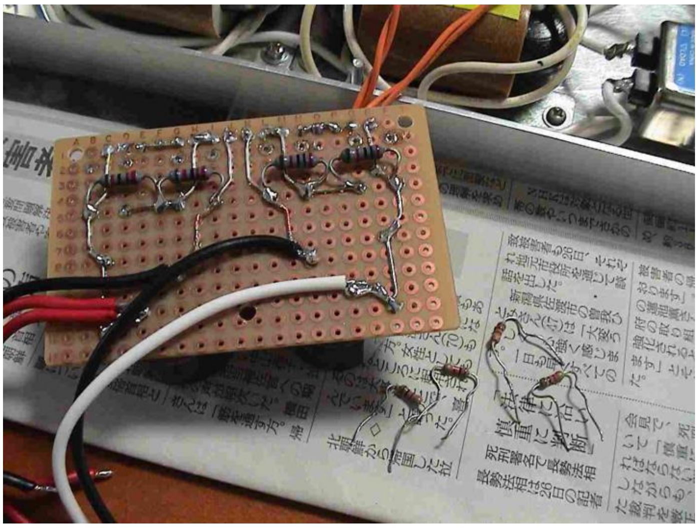


DAC 初代機はバーブラウン製 16 ビット DAC チップ（PCM56）を用い、バッテリー駆動とリクロック回路でクリーンな音質を楽しませてくれましたが、最近は内蔵の鉛バッテリーが劣化し、2 時間程度しかもたないのと、音質的にも張りがなくなってきたようなので、使いづらくなっていました。ネットで薄型の R コアトランスを入手したので、これを用いて AC 電源に改造しようかとつらつら考えておりました。一方、最近のネット上では、様々な DAC チップを用いた作例が増えてきており、興味も湧きました。どの石の音質が優れているか、というと良くわからないのですが、フィリップスの石は比較的評判が良いようです。たまたま閲覧していた HP で頒布されていた TDA1541A を用いた DAC 基板セットを衝動的に購入してしまいました。このセットは、ご同好の MHI さんも使用されて大変気に入ったとの話をうかがっておりました。また、偶然にも記事を切り抜いて保管していたラジオ技術誌（1994 年 1 月号 208 ページ、「D/A アンプの製作」：別府俊幸氏）には、この石を4つも使った豪華な DAC の作例が紹介されていました。デジタルフィルタを用いない、いわゆるノンオーバーサンプリング方式は、使用する LSI の数が少ない割に、加工の少ないピュアな音質が得られるような気がします。自作派向き、ってこともあり、今回もこれで行くことにしました。いずれは、抵抗ラダー型回路などで、さらに原点に戻った取り組みもしてみたいと考えています。



さて、「ElectrArt」さんから届いた基板やパーツをしばし眺めながら、どんな風に仕上げようか考えました。基板セットは、DAI に CS8414（シリアル→2 チャンネル変換）、DAC に 1541A、さらに I/V 変換とアナログフィルタをデュアルオペアンプ 5532、を載せた構成になっています。まずはオリジナル構成のまま使用するとして、今後は段階的に、I/V 変換回路をディスクリート化するなどして音質を改善してゆくことにしました。従って将来は後段の 5532 の部分を全く使わないことになるので、パターンの一部をカットし、1541A の出力部分から後を切り離せるようにしました。上記の写真に見える、ふたつの白い丸が、パターンの途中をドリルで皿状にザグってカットした部分です。R と L のチャンネル 2 ケ所に相当します。ザグっただけではさみしいので、アラルダイトでチョンチョンと埋めてあげました。

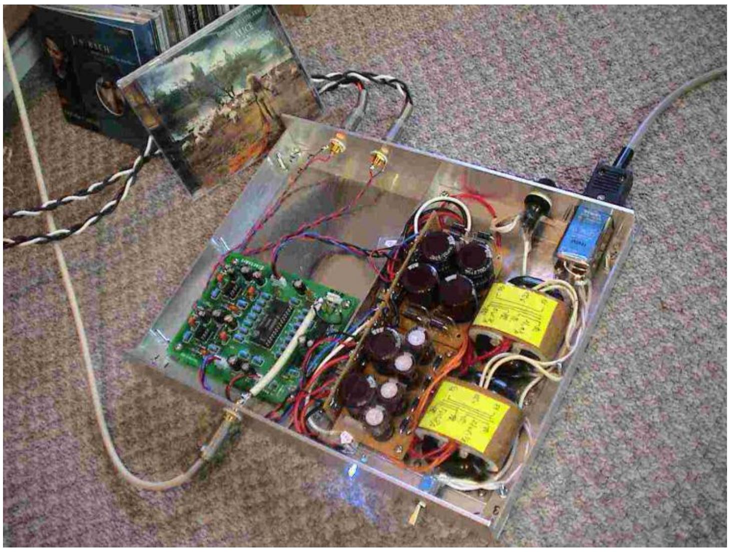
上の写真が電源部（R コアトランスと基板）です。このトランス１個には、21V(0.5A)-AC と、5V(0.8A)-AC の 2 種類の 2 次巻線がついています。安かったので 2 個購入し、それぞれをプラス電源とマイナス電源に振り分けて用いることにしました。21V 巻線を両波整流し平滑すると 30V(DC)が得られ、5V 巻線を倍電圧整流のうえ平滑すれば 14V(DC)が得られます。将来増設予定のディスクリートの I/V 変換回路の電源に+/-30V を利用し、基板上のオペアンプと 1541A 用の+/-15V については+/-30V から３端子レギュレータでステップダウンすることにしました。また、倍電圧整流によって得られた+/-14V(DC)にはやはり３端子レギュレータをつないで+/-5V を作りました。詳細は後日回路図をもって説明しますが、結局５個の３端子レギュレータ（317 タイプを３個、337 タイプを 2 個）を用い、CS8414 用に+5V、TDA1541A 用に+/-5V、1541A の負電源とオペアンプ 5532 用に+/-15V を作りました。



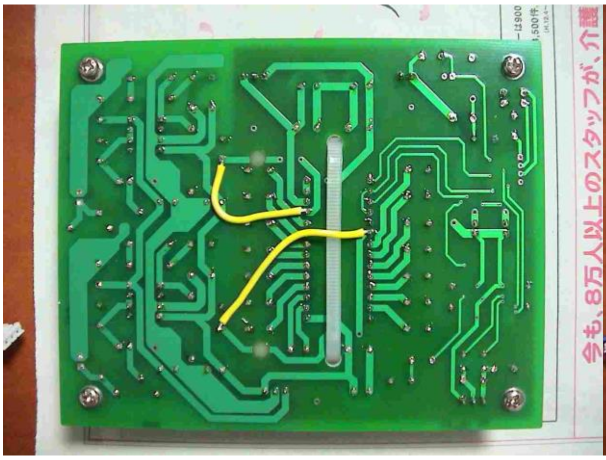
+/−5V(AC)を倍電圧整流して、+/−14V(DC)を作る基板の裏側です。コンデンサを重ねて 2 倍の電圧を得ますが、このそれぞれのコンデンサに値の等しい分流抵抗（ブリーダ）を並列に繋いで電圧が均等に掛かるようにする必要があります。特に根拠なくエイやで 20k オームを選びましたが問題はないようです。なお、基板キットの説明書には、TDA1541A に印可される各電源（+/−5V、−15V)のオン・オフのタイミングが同時になるようにせよ、とありましたが、+/−30V 電源の方は割とゆっくりと放電される様子だったので、この +/−14V(DC)電源に用いるブリーダ抵抗値はあまり小さくない方が良いかもしれません。貴重な 1541A を壊してしまっては寂しいので思わず慎重に構えてしまいました。

トランス、電源基板、レギュレータ基板、DAC 基板を組み込んだ状態を示します。ケースは例によって自作しました。リアおよびフロントパネルは厚さ 3mm の L 型（断面 40mmx20mm)アングルを用い、トップパネルは 300mmx200mm の 3mm 厚平板です（全てアルミ製）。これらを3本のアルミアングルを左、中、右の骨組みにして前後に結び付ければ非常に頑丈なケースができあがります。今回も底板は省略です。ちなみにこれらの金属工作の素材は比較的精度よく寸法を揃えてカットしたものが東〇ハンズなどで売られており、便利です。良く考えて組み合わせれば安上がりで頑丈なケースが出来上がるので、しばしば利用している次第。レギュレータ IC のフィンは絶縁マイカ板を介して真中のアルミアングルに直接ネジ止めしてあり、放熱効果もまあまあです。適宜 3mm タップを切って、これらの IC ほか、トランスなどを厚板に直接固定します。メインの DAC 基板の下の空きスペースには、のちのち、金田式プリアンプを I/V 変換動作させた基板を実装するつもりです。

今回作成の DAC2 号機（左）と1号機（右）を並べてみました。両方とも同じサイズの平板（3mmt x 300mm x 200mm）をトップパネルに用いていますが、1号機の場合はフロントとリアパネルに用いた L アングルを直接この平板にネジ止めしているので、前後の奥行きが短くなっており、またケースの内寸も 34mm に減ってしまいます。鉛バッテリーやら、簡易型パワーアンプやら、色々な部品を詰め込んだので非常に窮屈な中身になっていたのは以前のページで御覧いただいたとおりです。今回はトランス 2 個と、平滑コンデンサが場所を取ることがわかっていたので L アングルは平板とツライちに固定し、前後の面積（内寸）を増やすことができました。2 号機はディジタル（同軸）入力をフロントに、左右のオーディオ出力をリアに持つのみで、思いっきりシンプルにしました。



裏っかえして試験動作・試聴中の DAC2 号機です。DAC 基板とリアパネルの RCA 出力端子の間はごく普通のビニール線をよじり合わせたもので配線しました。実は、とおるさんはまだ、有名なモガミの同軸ケーブルはまだ使ったことがありません。

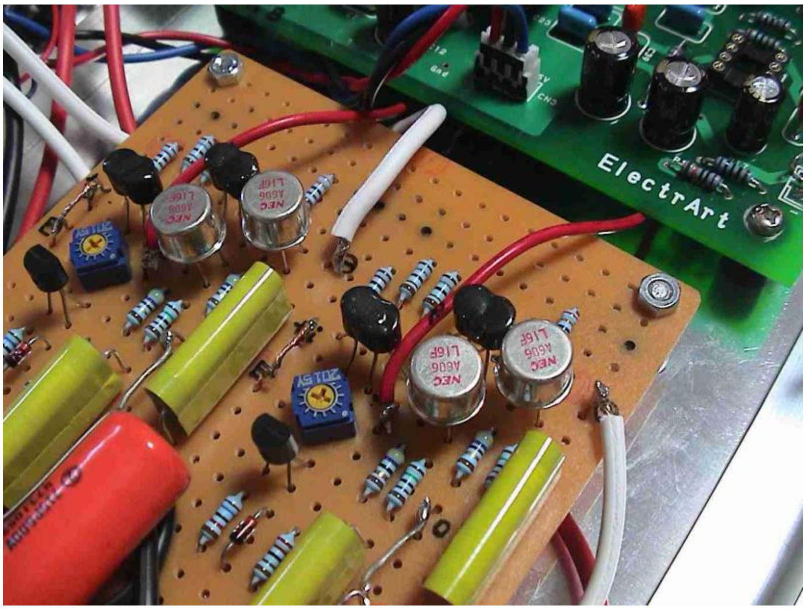


ものの本によると、TDA1541A など DAC 用 IC には「おもり」を載せた方が良いのだとか。本当かいな？と思いつつ、動作中の TDA1541A の上面にフト触れてみると、意外な温度に暖まっています。ほんのり、というより結構アッチッチになっているので、「おもり」というより放熱のほうが心配だわい、と考え、またしても乱暴に手を加えました。基板のパターンを慎重に避けて 3.5mm のキリ穴をあけ、これにタイラップを通して小型の放熱フィンを括りつけました。放熱フィンと IC の間にはシリコングリスを塗ってあります。

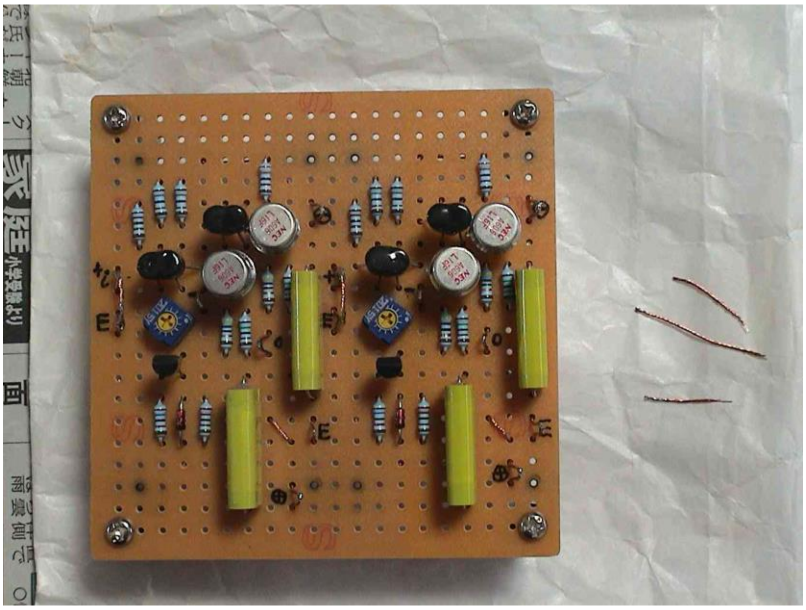
さて、肝腎の試聴結果ですが、左右の拡がり感に改善あった、と思われます。オーケストラでは低音の奥行きが良くなったようです。AC 電源はやっぱり便利で、気兼ねなくシステムをつけっ放しにしておけるのが嬉しいです。ただし、高音域の滑らかさというか、音の粒のつながり度合いというか、その点では若干気になる結果です。DAC1 号機とは、もちろん電源の構成や DAC チップも異なりますが、ノンオーバーサンプリングの出力の処理の違いに目をつけています。1 号機では NE5534（5532 のシングル版）による I/V 変換の出力を、帰還抵抗にコンデンサを抱かせて1次のバンドパスフィルタを構成しただけですが、2 号機にはさらにオペアンプによるアクティブフィルタも入っています。これを取り払ってみようと思います。さらに、I/V 変換アンプには金田式の対称回路を利用してみる予定です。明瞭な効果が出れば面白いのですが、さてどうなりますことやら。。。。（Part 7.7 の終わり：2006.10.21）

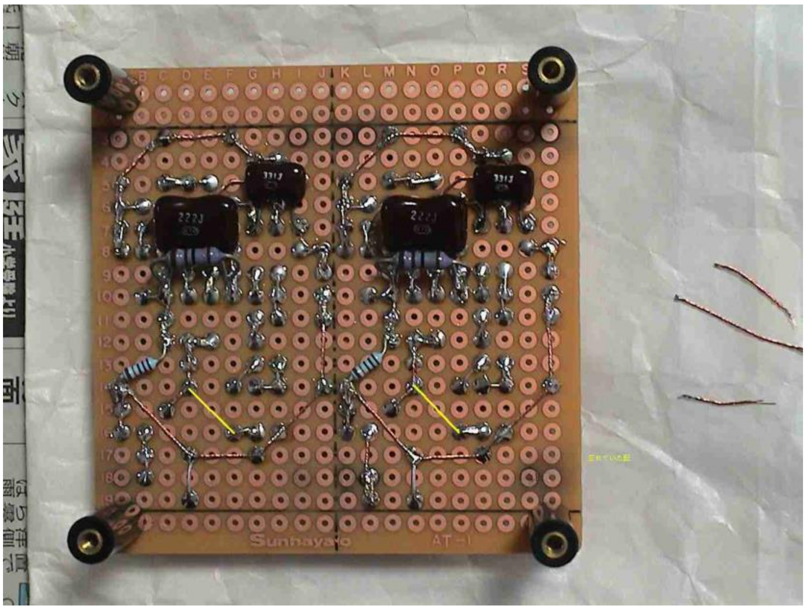
二代目 DAC をグレードアップする

二代目 DAC は快調に動作中。フィリップスの TDA1541A は CD プレイヤーが普及しはじめたころの DAC チップとして一世風靡しましたが、なるほど低域にどっしりと腰の座った頼もしい音質です。ネット上で仕入れたセットは、デュアルオペアンプ 5532 を用いた I/V 変換回路とアナログフィルタを備えています。5532 は決して音の悪いオペアンプではありませんが、やはりこれをディスクリート回路で組めば、相応の音質向上につながり、良ろしかるべし、と考えました。 DAC 初代機もオペアンプ 5534 による I/V 変換回路が付いてましたが、アナログフィルタは省略してあります。このほうが何となく音質的にスッキリした感覚でした。今回は I/V 変換部分をディスクリートとしますが、やはりアナログフィルタを省略してナマの音質となることを期待しました。ディスクリート回路については、昨年 2006 年出版の無線と実験９月号に掲載された、金田明彦氏の「反転増幅アンプ採用 CD ラインアンプ」を参考にしました。



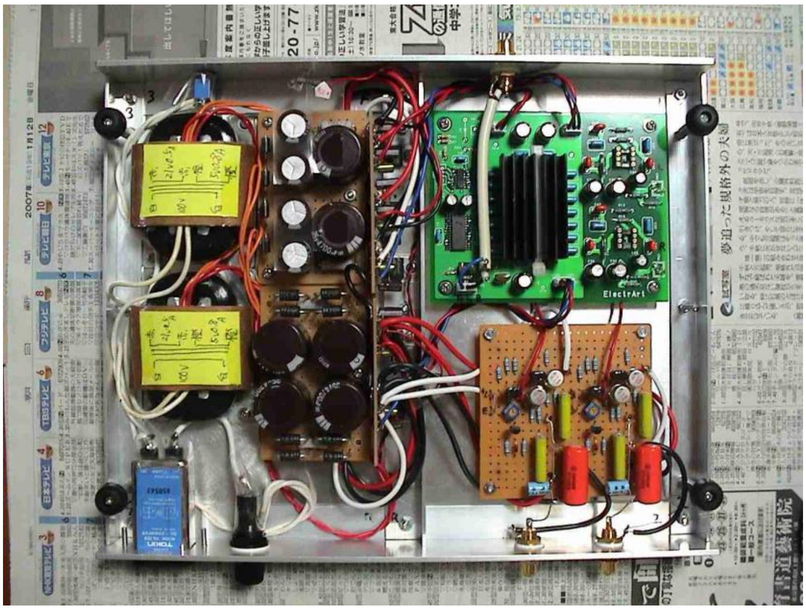
MJ の記事には、オール半導体回路 2 種類、真空管回路1種類について、合計3種類の回路が記されていますが、今回は、pnp 型トランジスタ、すなわち、もはや「名石会入り」してしまった 2SA606 をアンプ終段素子に用いた「p 型回路」を採用することにしました。2SA606 とコンプリメンタリペアになる npn 型トランジスタは 2SC959 または 2SC960 になりますが、こちらは名石会どころか国宝入りしてしまったようなものです。入手はほとんど不可能。入手できたとしてもすごく高価です。あっさりあきらめて次善のチョイスといたしました。



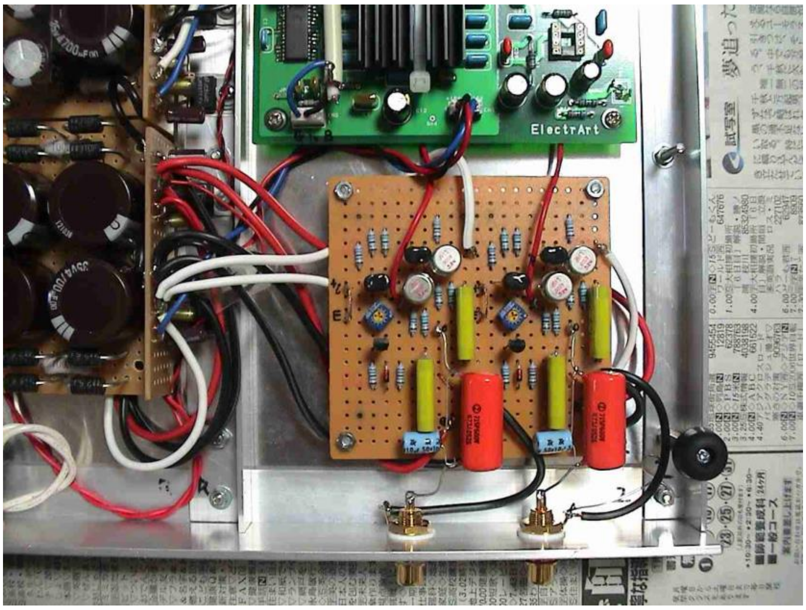


アンプ回路は、初段差動増幅：2SJ103BL、次段差動増幅 2SK246BL、終段 2SA606pp で構成されています。差動入力のプラス側をアースに落とし、一方のマイナス入力と、終段出力との間を直接 1.8k オームの抵抗で結べば、反転型のトランスインピーダンス型アンプとなります。入力端から見れば、アースとの間に 1.8k オームの入力インピーダンスに見え、出力は低インピーダンスの電圧出力端となります。TDA1541A は電流出力端子を持っているので、これとアースとの間を 1.8k オームの負荷抵抗で結んでも良さそうなものですが、ケーブルの駆動能力はありません。金田式回路ならば安定かつ高品質なラインアンプが実現できるであろう、との期待です。上記の写真のように、穴明き基板を用いて、ウラ／オモテの配線を行いました。差動増幅のペア素子はエポキシ接着剤で熱結合。素子の数も少なく、楽勝～、のノリで仕上げました。あとで気が付いたことですが、初段の差動増幅の定電流回路が電源に繋がっていなかったため、最初は動作しませんでした。「あれっっ？おやっっ？」としばし頭をひねり、しかたないので基板を取り外して裏を再度チェックしたところ、たった一本だけ、「7本より」配線を忘れていました。単純ミスとは言え、少々焦りました。上記の写真（裏側）は、そのミスに気が付く前に撮った写真ですが、忘れていた配線を黄色く記入しました。 なお、裏側に配線してある抵抗はトランスインピーダンスの帰還抵抗（1.8k オーム）で、これには 2200pF のディップマイカコンデンサがパラってあります。サンプリング周波数の n 倍調波で超高域のノイズが乗っていると、ツイーターや、リスナーの耳そのものが痛む、という心配からです。TDA1541A

のアプリケーションノートを参考にしました。ディップマイカコンのもうひとつは、差動初段の位相補正用の330pF です。



この時のために空けてあったスペースに、仕上がった基板を納め終わったところ。TDA1541A は無信号時にDC で 2mA ほどの電流を出力（マイナス電流、すなわち吸い込む）するので、I/V コンバーターの出力は（反転の）+3.6V となります。これを直接ラインにつなげるわけには行きません。完全 DC とはなりませんが、DC カット用コンデンサを介して出力端子に結びます。写真にあるとおり、I/V 変換回路基板と出力用 RCA ジャックとの間は、10uF の無極性電解コンデンサと、真空管アンプに良く使われるフィルムコン（0.047uF のオレンジドロップ）で結合しました。



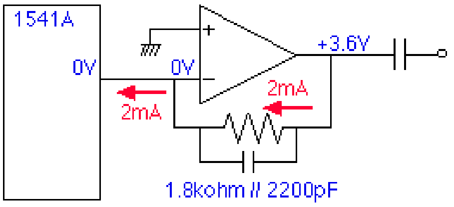
TDA1541A の L および R 出力を結ぶ前に反転アンプのゼロ点を調整します。ゼロ点がふらつくなどのトラブルはなく、動作は安定しているようですので、発振などの徴候はなさそうです。念のため各部の電圧をチェックし、正常に動作しているかどうかを確かめました。おおむね、９月号記事の設計値と同等でした。終段の 2SA606 には 10mA 程度のアイドリング電流が流れており、無信号時に素子１個あたり 300mW の消費電力となります。手で触ってみると意外と熱い。2SA606 は小信号用トランジスタですが、熱暴走など

の心配はないかなあ。。。この後 TDA1541A の電流出力を接続すると、前述したように I/V 変換回路の出力電圧は 3.6V となります。帰還抵抗 1.8k オームに 2mA の電流が流れるからで、下側の 2SA606 のアイドリングも 12mA に増えています。上側の 2SA606 のアイドリング電流との差分が帰還抵抗に流れているわけです。

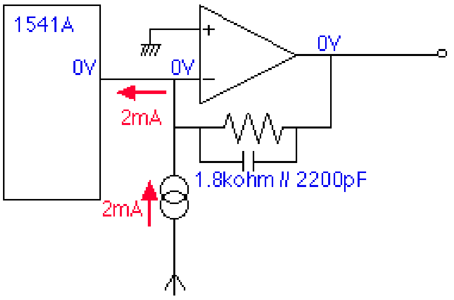
とりあえず仕上がったところで数時間の試運転および試聴と相成りました。夜間にベストの状態でリスニングすると、曲の ppp 部分での静けさが際立ち、スピーカーの裏側に奥行きが深くなったような気分になりました。fff では上下左右に拡がりが増したような感じです。家族のいる昼間は音量をしぼって BGM 的に鳴らします。普通ですとクラシックの曲はか細くキーキーと鳴るばかりで、何となく騒がしいところが、改造後は気のせいか、小音量でも明瞭に聴こえます。これも「手前味噌効果」かもしれませんので、あくまで参考程度に。。。。でも、NOS 型 DAC はこのような簡単な構成のディスクリート出力回路を設けることで、ずいぶんとクオリティが上がるのではないかと思った次第です。できればプッシュプル出力段の動作点を対称にするためにも、入力回路周りを工夫してゼロ点での入力電流をキャンセルしたいものです。今後の課題かな。。。。（Part 7.8 の終わり：2007.01.14）

出力の電位をゼロにして、カプリングコンも外して、完全 DC 動作させるにはどないしたらえーんやろか？ちゅうわけで、下記↓（Part 7.8 に追記：2007.01.21）

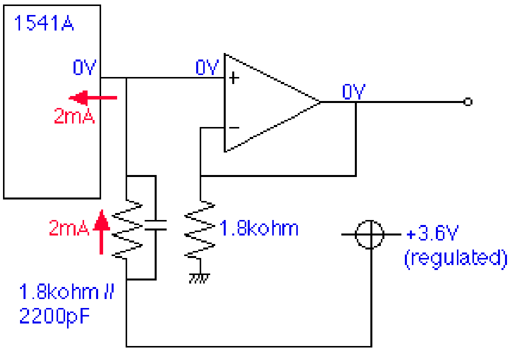
(1) Conventional trans-impedance config.



(2) Current compensated 'DC' trans-impedance config.

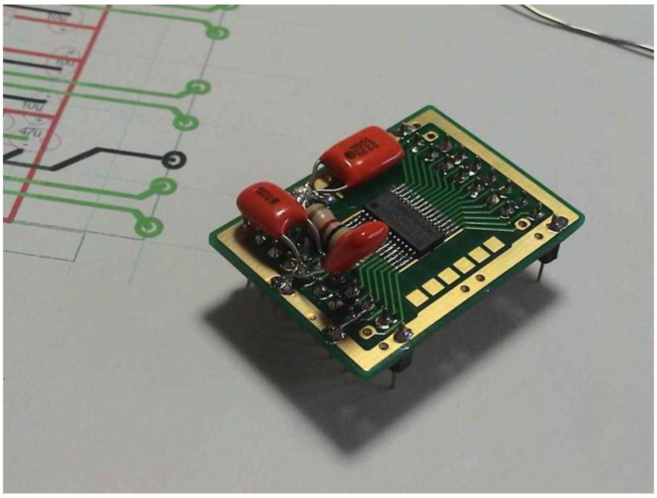


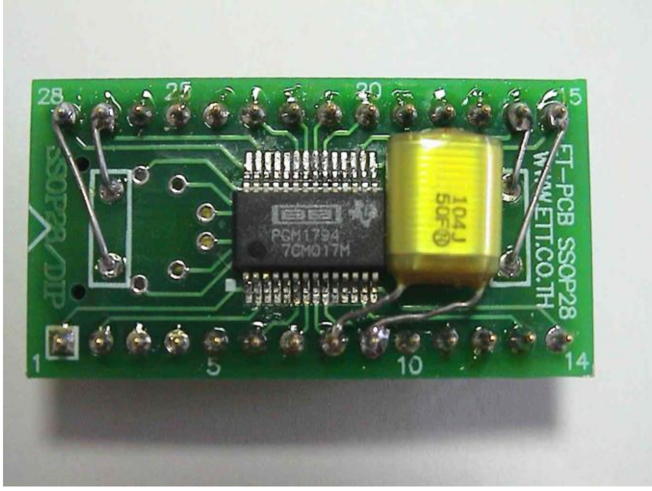
(3) Voltage compensated 'DC' buffer config.



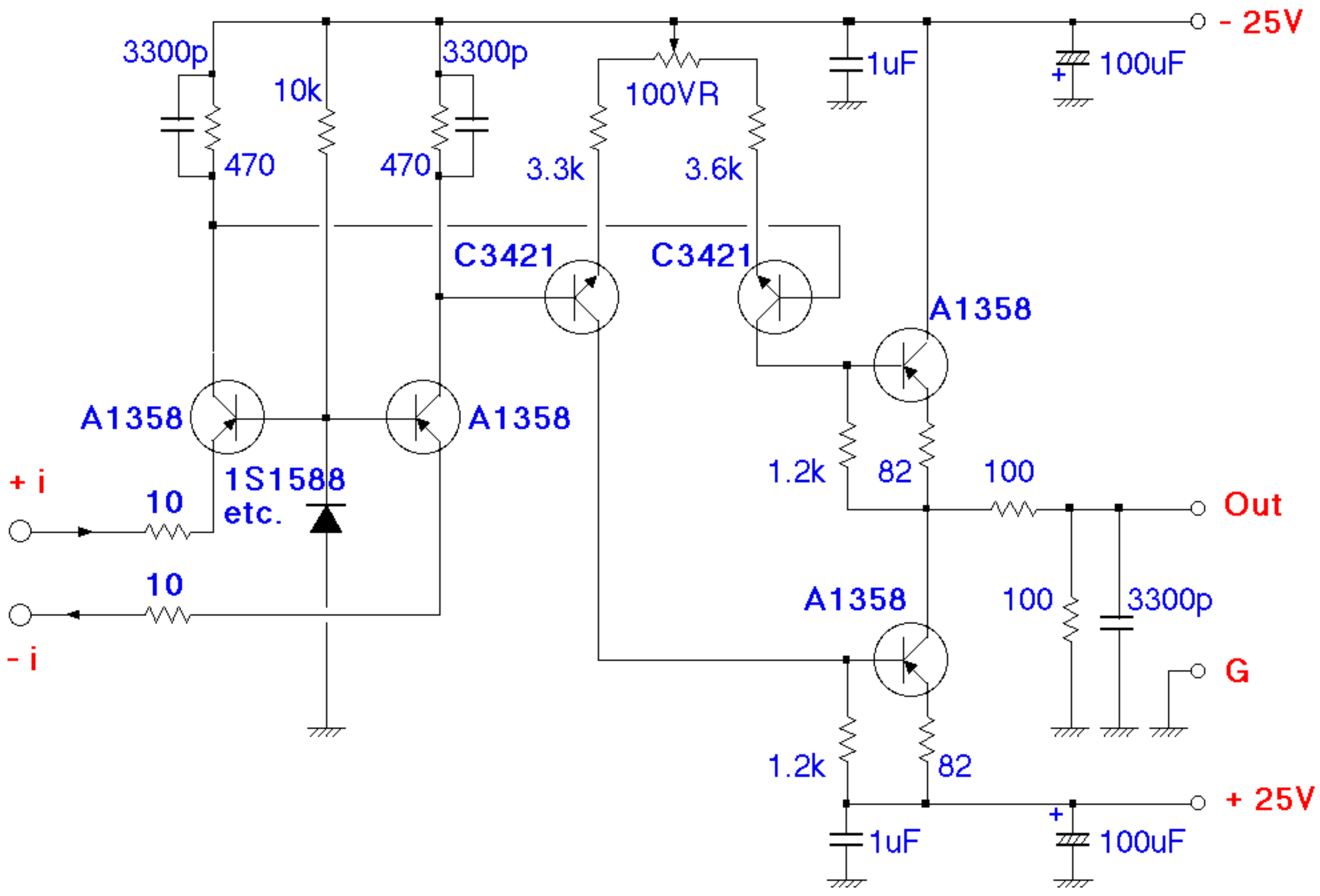
上図の（1）が現在の回路。出力段から入力に 2mA の電流が吸い込まれ、出力の電位はプラス 3.6V です。次の（2）が、今までに見たことのある回路形式。別途定電流源を用意し、ゼロ信号時の電流出力のバイアス分をキャンセルする方法。ノイズの少ない電流源が必要です。（3）は、今回とおるさんが机上でデッチあげた考え。もしかしたら大間違いかも知れない。+3.6V のバイアス電圧を用意し、アンプは反転動作ではなく通常の非反転アンプとし、ゲイン＝1のバッファとして動作させます。ノイズの少ない、かつ音の良い定電圧源を用意すれば良いわけですが、これは金田式レギュレータが使えそうです。当面は紙の上のアイデア。いつ実行に移すかは、もう少し頭の中を整理してからにしようっと。。。。。（Part 7.8 に追記：2007.01.21）

第3世代 DAC 発進！





「無線と実験」誌の 2008 年3月号に掲載された、我等が金田先生の新型 DAC の記事には色々とイマジネーションをかきたてられました。フィリップスの 1541 を用いた第 2 世代 DAC の音質は気に入っているし、あえて電子工作の苦労をするまでもない・・・・・と自ら言い聞かせつつも、とおるさんの目は誌面に吸い寄せられてしまうのでした。だいたい、冬ごろ道楽の虫が疼き出す。今年のテーマはなんじゃろか、ということで、連休前後をメドに計画を練りはじめてしまうのです。　と、いうわけで、やはり衝動買いしてしまった。上の写真はインターフェースレシーバーCS8416 および 24 ビット高精度 DAC の PCM1794 をサブ基板に組み立てたところ。CS8416 と一緒にいるオレンジ色の部品は、LSI の電源ラインに必須のバイパスコンデンサと、クロックリカバリ回路の PLL フィルタ用のコンデンサです。できるだけ LSI の身近に配置してやろうと思ったのですが、最終的には全て取り払ってメイン基板上に再配置しました。PCM1794 の脇っちょには、0.1uF のフィルムコンを配線。サブ基板の裏っ側にも同じコンデンサが 2 個入れてあります。



第3世代 DAC として、とおるさんが目論んだのは、CS8416 や PCM1794 などの新しい石を試してみたいからではなく、正負プッシュプルの電流ソースをもつ DAC の後ろに、どのような電流－電圧変換回路を組み合わせたら良いだろう、という興味を持ったからです。勿論、PCM1794 のマニュアルに掲載の推奨回路や、K 先生の記事をそのままコピーというやり方もあるのですが、そこは「天野 Jack」なとおるさんの悪い癖です。回路構成を何とか単純にし、トランジスタほか半導体素子の数は減らせないものかと、考えました。3 月号の記事を見てから、約1ヶ月後に思いついたのが上記の回路図です。

最高分解能 24 ビットの高精度で、しかも位相反転済みというおあつらえの電流ソースがあるのに、これをオペアンプのような複雑な回路で電圧変換するのは、何やら遠回りだな・・・と、まずは考えました。

次に、純抵抗でシンプルに電圧変換、という良く見かける手法を検討しました。しかし、PCM1794 の電源電圧は 3.3V もしくは 5V で頭打ちになるため、程よい電圧出力を得ようとするときっと歪んでしまうなあ、と悩みました。PCM1794 の出力端の電圧が振られないように工夫が必要です。

そこで、トランジスタによるベース接地回路で受けていきなり電圧変換してしまう案を思い付きました。ハイエンドオーディオ用差動増幅器の初段はローノイズ FET のペアでなければいけない、という先入観があったので、この案が出てくるまで時間がかかりました。DC パワーアンプの初段で良く見るブートストラップつき差動増幅器の FET 部分をごっそり取ってしまい、そこから先を対称動作出力段と型通り合体させると、冒頭の回路図のようになります。PCM1794 からの電流出力を吸い込む形になるので、回路的には K 先生のいわゆる「p 型素子用回路」になります。

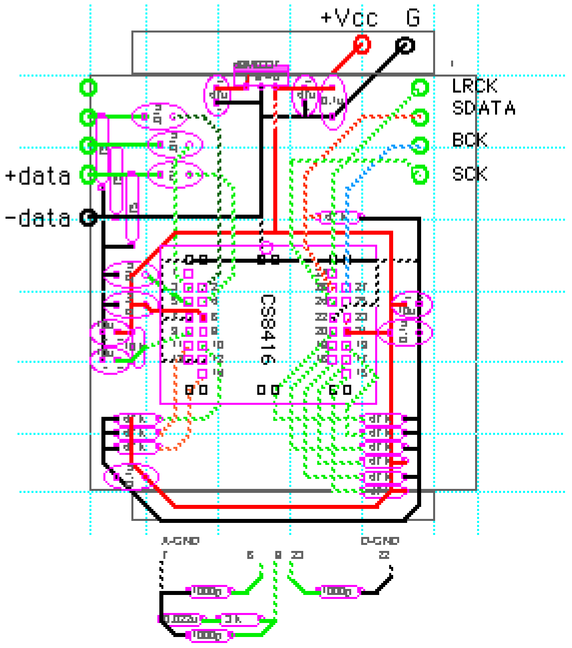
DAC から出力される信号電流は、素のままですと階段状のデジタル波形そのものです。これでは、後段に繋がる素子や機器、とどのつまりはとおるさんの耳にもよろしくないので、ベース接地回路の負荷抵抗（470 オーム）とパラに 3300pF のコンデンサを抱かせて一次のフィルターをかけました。カットオフは約 100kHz です。

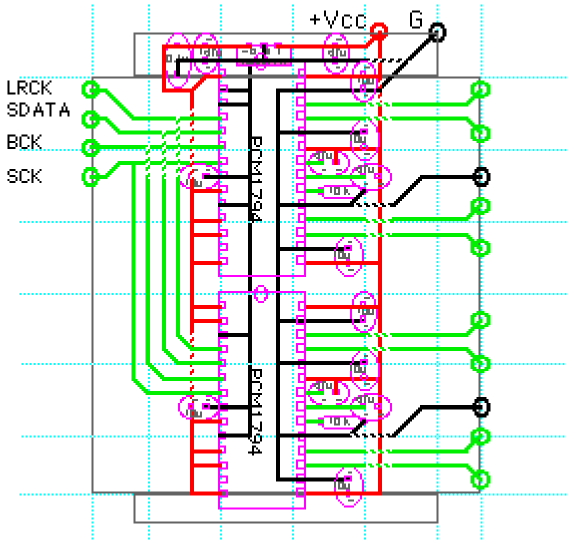
もう少し悩んだのは、出力回路の形式です。普通の差動アンプと違い、比較対象となる NFB 信号が存在せず、かつ電流は出っ放しとなるので、出力に何も負荷抵抗を入れないとどのような電圧波形が出力されるか見当がつきません。そこで、シンプルに 100 オーム程度の負荷抵抗を配し、この両端に出力信号が現れるようにしました。この先に長いケーブルが繋がっても、これだけロー・インピーダンスであれば、問題ないでしょう。さらにもう一回コンデンサを並列接続し、ここでも 2 回目のフィルタが掛かるようにしました。

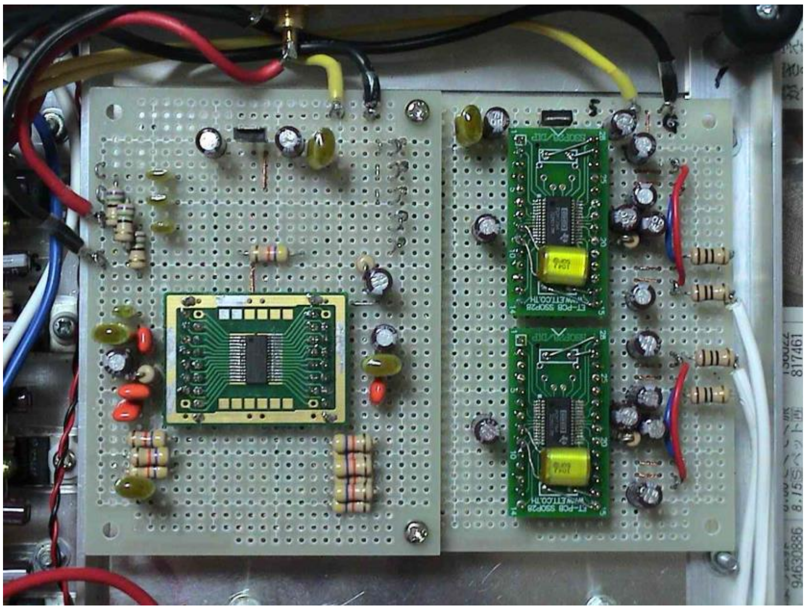
最後に頭をひねったのは、この回路の二つの入力端子となる、トランジスタのエミッタの電位をどのように決めてやるか、です。ここがふらふらと定まらなかったり、プラス側に大きくずれていたりすると、PCM1794 の動作がおかしくなりそうです。と、いうことで、初段のトランジスタ 2 個のベース電圧を、ごく通常のスイッチング用シリコンダイオードを用いて、アース電位から pn 接合電位分だけシフトしてやることにしました。こうすれば、入力エミッタの電圧はほぼゼロボルト近辺になるはずです。（回路完成後に実測したら、マイナス 100mV 近辺となりました。）

ちなみに、2 段目 n 型トランジスタのエミッタ抵抗がアンバランスになっていますが、出力端子の DC 電圧のゼロ点を補正するためです。最終段の対称回路の上側トランジスタの出力にはベース電流が加算されるため、下側トランジスタとのバランスが若干崩れるからです。

結果的には、各段個別の NFB があるのみで、回路の出力端から入力端へのオーバーオール NFB が全く掛かっていない、「ノン NFB 回路」となってしまいました。







肝腎のDAIおよびDAC部分が完成する前に、アナログ変換回路のアイデアが出来上がってしまい、一刻も早く試したくなりました。そこで、近年ますます進行中の「ろ一眼」に鞭打ってデジタル部分の組み立て配線に臨みました。上記は、事前レイアウト準備を経て、DAI基板とDAC基板を別々に作ってカプリングした模様です。「デジタル回路は配線図通り確実にやれば失敗は少ない」と、これまで2回のDAC試作、あるいは五年前のターンテーブル制御回路組立の実績（エヘン！）をもってタカをくくってたのですが、今回は見事にハマった。

この時点で、アナログ回路のCRの定数などを再検討中だったので、とりあえずDACまでのところの動作確認のため、PCM1794の片側出力だけをDAC2号機のIVコンバータ回路に入力してみました。スイッチオン・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・って、沈黙の戦艦。

本当にウンともスンとも言わない。こんなとき、デジタル回路は痺れます。アナログ回路であれば、とりあえずノイズやら異音やらしてくれるので、診断のしようもあるのですが、「テスターいっちょう」しか持っていないとおるさん家ではこのような場合立ち往生です。

まずはDAIのSPDIFマルチ入力端子の選択が合っているかどうか、Vcc端子に正しい電圧がかかっているか、グランドに落ちるべきピンはちゃんと落ちているか、プルアップか、プルダウンか、などなど、サブ基板からの結線をば、文字どおり血まなこになってチェック。どこもおかしくない。とおるさんの役にも立たない助言ですが、いかに道楽とは言えウイークデー帰宅後の電子工作はやめましょう。翌日の勤務にさしつかえるわい。

回路をブロックごとに分けるのが好きなとおるさんの癖が幸いしたのですが、まずはDAC回路が生きているかどうか確かめよう、ってんで、第1世代のDAI部分と繋いでみることにしました。いにしえの16bitDAC(PCM56)回路の片割れであるCS8412の基板と結線してみました。PCM1974にはシステムクロックの入力が必要ですが、これにはCS8412の基板上に搭載の、高精度水晶発振器の出力をつなげれば良いと考えました。

あわよくばこのまま動作してしまえ、と念じたのですが、そうは問屋が卸さなかった・・・・・・ですが、出力端子につないだ携帯用パッシブスピーカーからは、「ピー」という発振音に混ざった、遠雷のようなマーラー五番が聞こえてくるではありませんか。「しめた、どうやらPCM1794どもは生きておる」

と、いうわけで、CS8416の載った基板を再度総点検です。次の手を打ちました。

1）回路のリセットスタートの動作がうまく行っていないのではないかと考え、CS8416 のリセットスタート用コンデンサに充電する 10k オームの電圧供給元が、アナログ Vcc に繋がっていたのを、デジタル Vcc に繋ぎ直しました。

2）さらに、同じタイミングで PCM1794 にもリセットスタートがかかるように、コンデンサの端子電圧を PCM1794 のリセットピン（14 番）にも接続しました。もうひとつついでに、PCM1794 の動作モードを、「24 ビット右詰め」ではなく「16 ビット右詰め」に切り替えておきました。「万が一やはり CS8412 を使わねばならないとしたら、データは 16 ビットなんだよなあ」とシロウト考えしたからです。

3）PLL 回路や、バイパスコンデンサの配置が悪影響を与えている（もしくは細かい配線ミスをしている）かも知れないと思い、サブ基板上にこてこてと載せてあった CR を撤去し、メイン基板上に載せ変えました。さらに、ピン間が接触しそうな際どい配線がしてあったところを見直し、すっきりさせました。こんな細かい回路を手配線でやるのは、なかなか大変です。特に、こんなトラブルに見舞われると、「出来合いの基板を頼むんだった・・・・」と後悔しきり。そういえば、ご同好の MHI さんが良サ気なプリント基板を起こしていたよなあ、と思わず弱気に。さらに悪魔の声は、「サブ基板にハンダ実装のとき、素子をあたため過ぎてこわしちったんじゃないの？」と囁きます。都合３個の IC は総計で諭吉おじさん１本のコストです。これを買い直すわけにはゆかん。かつてとおるさんが中学生だったころ、FM チューナーの IF アンプを始めて自作した時、どうしてもうまく IC が動作しなかったので、2 回も部品を買い直した苦～い、せつない記憶が蘇ります。三千円くらいの小遣いが煙のように消えるのがひたすら悔しかった。このときの原因はついに分からず仕舞いでしたが、その後の経験で、「素子は滅多に壊れない」、「素子ではなくまず自分の腕を疑え」という教訓を得ています。

4）余分なコメントをしましたが、多分今回の原因は、初チャレンジした「SSOP パッケージのハンダ付け」にあったようです。CR を撤去したサブ基板をあらためて点検。SSOP のハンダ付け点検には、「虫めがね」が必要です。お嬢から借りて、あらためて見てみると、ブリッジを恐れる余りに、どうやらハンダを吸い取り過ぎた模様。CS8416 の 26 番ピン（SDATA 出力およびソフト／ハードモード切換え端子）と、パターンとの濡れ具合がどうも怪しい。テスタの針も立たないような小さなピンなので、覚束ないですが、一応テスタでサブ基板～メイン基板間の導通をあたってみると、なにやら接触が悪い。そこで、もう一度ハンダをテンコ盛りしたのち、今度は適量を残して余分なハンダを引き上げると、今度は良さそうです。

5）これでだめだったら、もう当てがない。ままよ、とスイッチを入れると、今度はチンモクのセンカンではなく、感激の瞬間、でした。音が出た。何か変だけど。ともかく音が出た。例によって家族も寝静まった、居間の真中で、奇妙なくるくるダンスで何かが降りてきた状態のとおるさんでした。ひとしきり舞い終わった後、はて、この変な音（ざらざら、ばりばり、とノイズが乗っている）は何であるか・・・・と悩む。

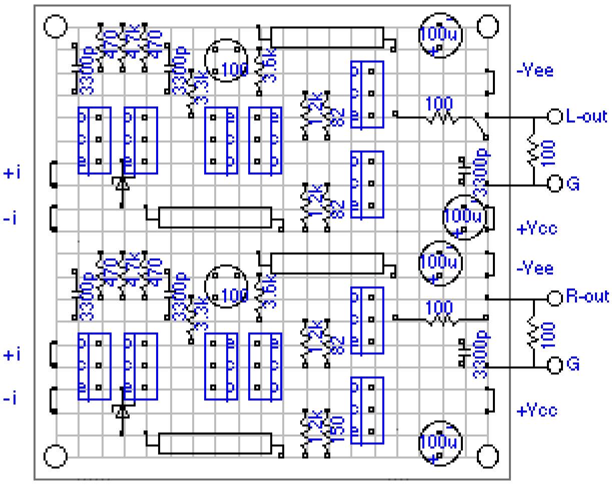
6）結局、2）で行った変更作業が余分だったようです。PCM1794 の基板は元通り何も変えなくて良かったわけです。PCM1794 の 14 番ピンは直接 Vcc に繋ぎ、11 番および 12 番ピンも Vcc に接続して 24 ビットモードに戻しました。再びスイッチをオンしたところ、見事！歪みも雑音もない綺麗な音声が聞こえてきました。

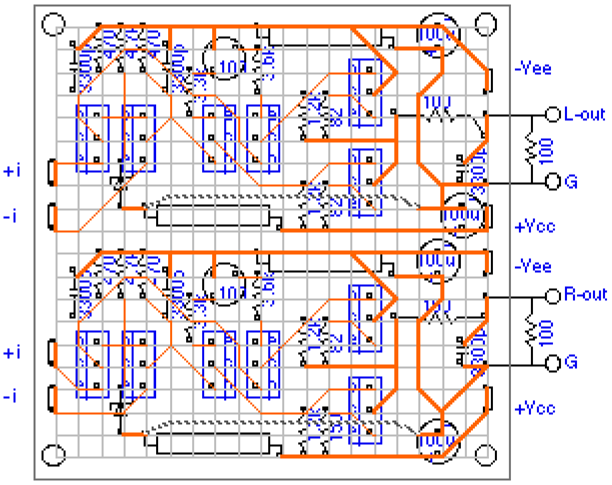
教訓：　やっぱりオシロスコープは必需品だ！

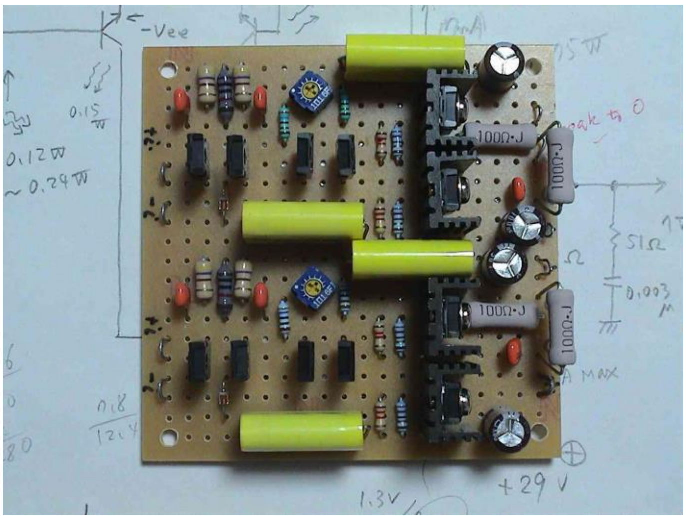
もひとつ教訓：　デジ物は若い内にいじるべし。40 代に入ったら、真空管とアナログを愛でるべし。

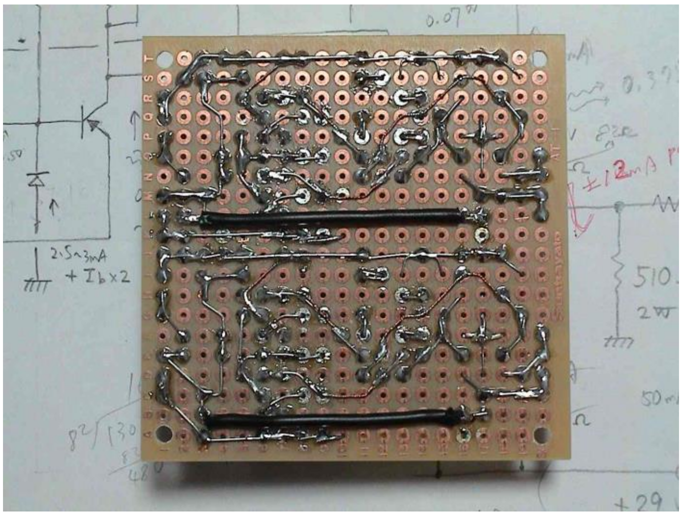
さ～て、これからが本番だ。冒頭で述べた、とおるさん思い付きの、名付けて「バランスド・I/V コンバーター」を試す番です。これがうまく行けば、対称回路３つ分に必要な素子、すなわち貴重な国宝級トランジスタの個数を大幅に削減できるわけです。お試し回路なので、とおるさんは１個 40 円のローコストトランジスタ（2SA1358/2SC3421）を採用しました。これらの素子のバラエティーは色々考えられます。工夫すれば、

終段素子をJAN5670などの三極管で置き換えるのも面白そうです。実証前から「でへへへへへ」と妄想たくましく変な笑いが浮んできますが、まてまて。まだ影も形もないんだから。









この回路の組立は早かった。上記は、部品レイアウト図と、部品実装後の基板上面および裏面の写真です。回路自体ものすごくシンプルなことと、「実験回路」のお気楽さも手伝って、「7本より線」は思いっきり省略。抵抗やコンデンサの足を基板裏で曲げて直接隣の素子と配線しちゃう。終段トランジスタは消費電力が大きくなる（1本あたり0.3Wないし0.5W）ので、小型の放熱器を付けました。ちなみに、終段トランジスタのアイドリング電流は約12mAで、フルスイング時にはこの約6割の片側振幅（7mA、peak to peak で14mA）が得られます。100オームの出力抵抗の両端にはpeak to peakで約1.5Vの電圧振幅が発生する勘定です。出力抵抗値を多少増減させればお好みの電圧振幅が得られます。アイドリング電流の大小も

チューニングポイントになります。終段トランジスタのエミッタ抵抗（82 オーム）を減らす（47 オーム程度が下限か？）と、アイドリング電流が 20mA くらいまで増える勘定です。

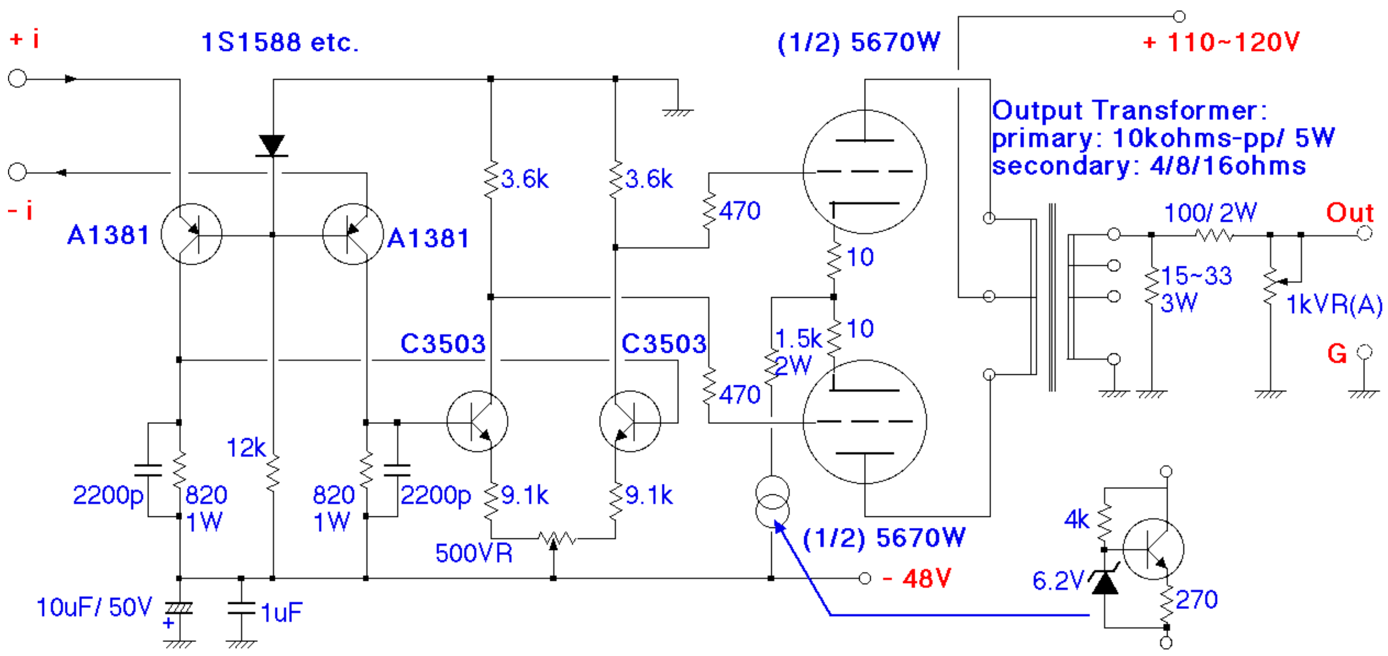
仕上がった基板を組込み、電源ラインも繋いで、スイッチオン。まずは各部分の DC 電圧をテスタで当たります。初段コレクタ負荷抵抗（470 オーム）の両端電圧は 6V 弱になります。PCM1794 のモノラル動作時の、片側合成出力電流（26 ピンと 17 ピン）が 12.4mA となるためです。出力のゼロ点が、100 オームの半固定抵抗で調整できれば、勝ったも同然！最初、回転角の範囲では調整できなかったので、回路図上の 2 段目、左側トランジスタのエミッタ抵抗（3.6k オーム）の片側に高抵抗（51k オーム）を並列にハンダ付けしてバランスを取り直しました。2 段目のエミッタ抵抗は、両方とも 3.3k オーム位に減らし、かわりに半固定抵抗の値を 500 オーム位に増やした方が、ゼロ点調整し易いかも知れません。

以上調整中の第3世代 DAC です。 CD プレーヤ備え付けのアナログ出力端子で得られる音質との大きな違いは、「落ち着き」「静けさ」「奥行き」にあるようです。まだじっくり聞き込んだわけではないですが、大音響のオケを聞いて特にそう感じました。最近お気に入りとなった「ブル８」を、テンシュテット＋LPO で聞きました。たった 1300 円の一枚ですが、どっしりとしたティンパニーや、へそのあたりに響くチューバのうなり声などを満喫できます。おなじくテンシュテットの「マーラー６番」にも、新たな魅力をみつけました。間合いにひそむオケの息遣いのようなものを聞いたような気がしたのですが、ホントに気のせいかな。何はともあれ、自分で設計した回路が動作したのが嬉しい！終段トランジスタに、もっと容量の大きな TO-3 キャン型素子なんかを使うなど、素子の数も少ないので、気軽に色々遊べそうです。（Part 7.9 の終わり：2008.04.29）

第４世代：真空管 DAC の巻

昨年の第 3 世代 DAC に採用した「バランスド-IVC」は、シンプルながらも大満足の音質でした。プッシュプル動作であること、大電流・大振幅の信号源により、ダイナミックレンジが稼げること、CS8416 内蔵の PLL クロックが優秀であること、などから、CD の音質が一段と向上したのでありました。「無線と実験」2008 年 11 月号には、K 先生の真空管式 DAC が掲載されましたが、チビ達磨型 396A は私も大好きなタマです。ただし、クローンで安価な 5670W の想定ですけどね。実は、第 3 世代の発展形として、終段を 5670W に替

えた回路をいくつか模索していました。3 つくらいのアイデアを検討した結果、2008 年の夏頃行き着いた回路が下記のものです。



下記、回路設計時に色々と悩んだ経緯です。

まずは、第 3 世代で成功した、「ベース接地回路によるエミッタ入力」はそのまま活かすことにしました。また、コレクタの負荷抵抗は 820 オームに変更し、DAC チップの推奨回路や、K 先生のオリジナル回路と同じ値にすることにしました。しかし残念ながら、この部分を真空管に置き換えるアイデアは浮かびませんでした。グリッド接地回路というのは理屈上存在するのですが、どうもイメージが湧きません。

次に、出力段をそのまま対称回路風プッシュプル(トランスレス)とする方法を探しました。スケッチは出来上がりましたが、電源電圧の配分がうまく行きません。また、5670W に流せるバイアス電流はせいぜい 8mA 程度ですので、トランジスタに比べて、ラインケーブルのドライブ能力の点ではかえって不利になりそうです。また、せいぜい 2~3Vpp 程度の出力電圧を得るのに、真空管には 100V 以上のプレート電圧が掛かっているというのは何やら勿体無い・・・・

そこで、オーソドックスにプッシュプルトランスで逆相の信号同志を合成することにしました。K 先生も最近はトランス式の真空管アンプを DC 化しておられることだし・・・・しかも、5670W については、ネット上で見ると同好諸子は小型のパワーアンプやヘッドフォンアンプ化して楽しんでおられる様子。パワーアンプ用出力トランスとの相性もきっと良かるべし、と判断いたしました。

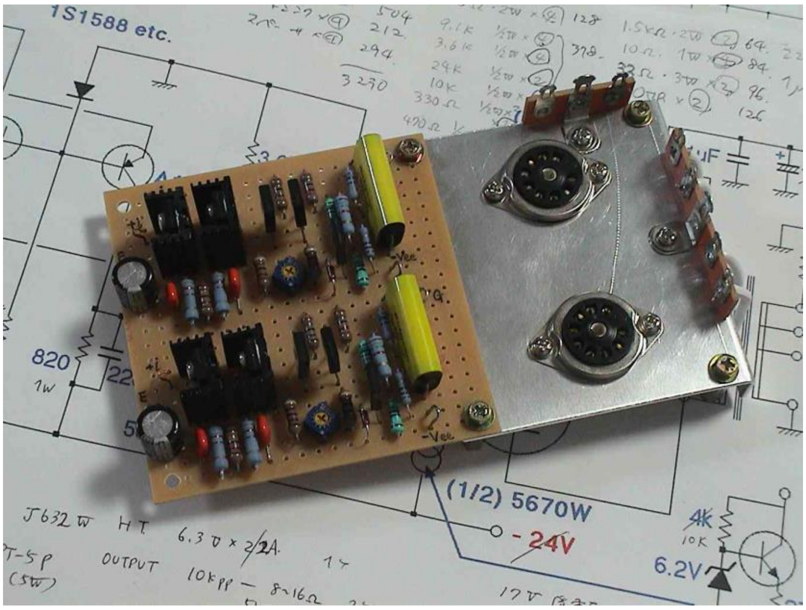
簡単な見積もりですが、5670W は片側振幅 5mA くらいの電流を出力する勘定なので、プッシュプル型出力トランスの 1 次側インピーダンスを 10k オームとすると、トランスの 1 次側は 100Vpp の電圧で励振されます。2 次側 1 の 6 オーム巻線に対する巻線比は 25 対 1 なので、2 次側電圧は 1 次側の 25 分の 1、則ち 4Vpp となります。

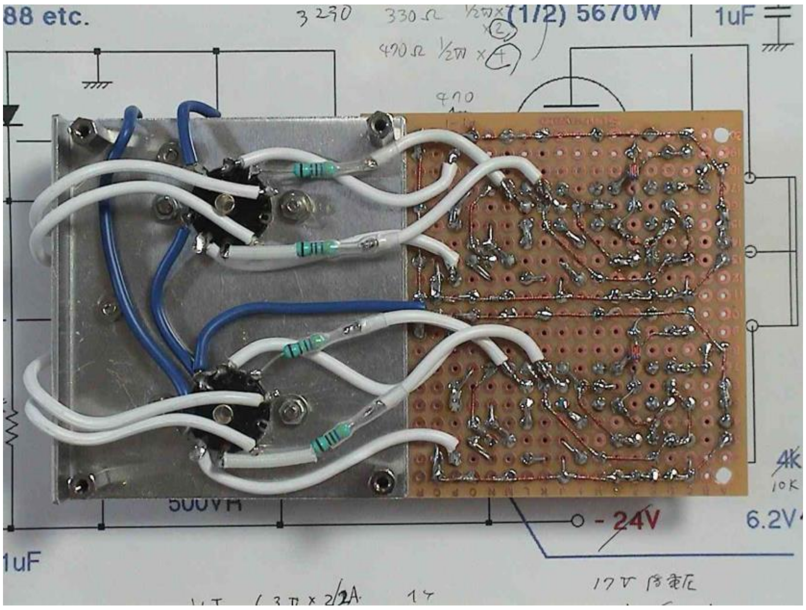
上記の動作条件を決めてやるためには、2 次側端子を何らかの負荷抵抗でターミネートする必要があります。今回まずは 33 オームから始め、後程音質を調べながらカットアンドトライすることにしました。出力端子につながるケーブルをドライブするのは、結局この負荷抵抗がエネルギー源となりますので、抵抗の種類(銘柄)によっても音質は左右されると思います。ちなみに、出力トランスについては、まずは実験的にということで、東栄変成器さんの 5W プッシュプルトランスを使いました。出力トランスの選択肢も大いに音質に影響しそうです。

また、入力段と終段とを仲介する、レベルシフト兼電流電圧変換の回路も、結局は、グランドからぶら下げた 3.6k オームの抵抗負荷を用いるシンプルな形式にしました。最初は+Vcc (+110~120V)に接続した定電流源と、2SC3503 のコレクタ電流出力との差を、負荷抵抗（やはり 3.6k オーム）に流す回路形式を考えたのですが、まずはシンプル化に徹することに決めました。

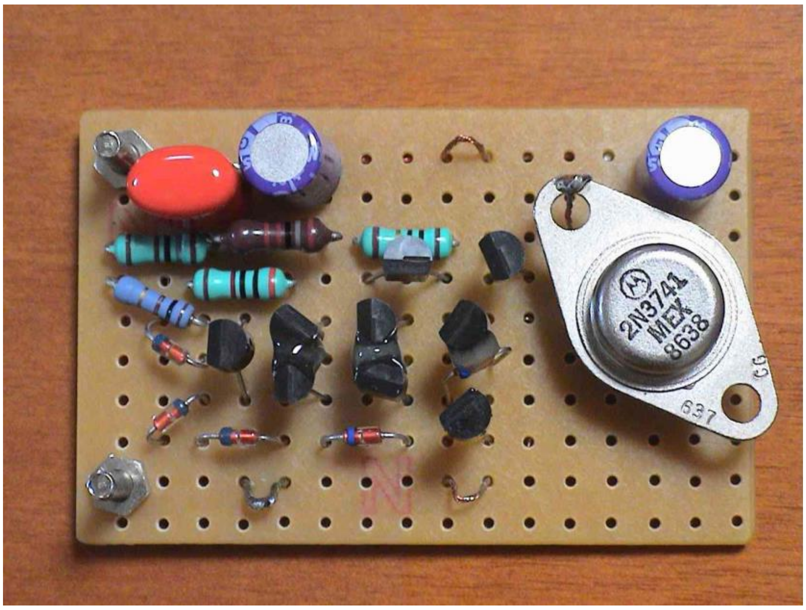
5670W の動作点（バイアス電流）を決める方式については、上下の真空管のカソード電流を合成し、トランジスタによる定電流回路で供給することにしました。共通電流が固定されるので、上側真空管が正相電流を出力するとき、下側真空管にはその差分で逆相電流が生じます。いわゆる A 級差動型の動作をします。

これらの基本回路設計をもとに、ぼちぼちと部品集めと、製作にかかりました。シミュレータも何にも使っていないので、ホントにエイやですな。うまく行くかな。



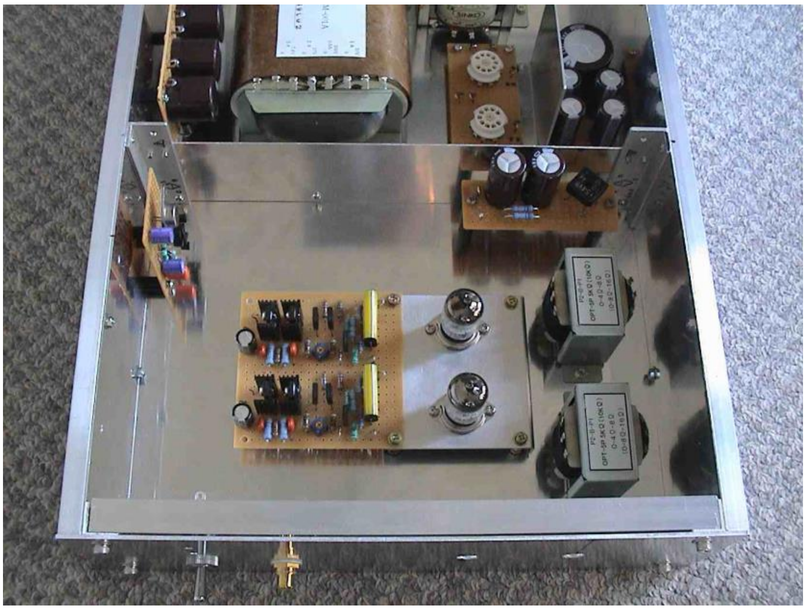


まずはメインの回路基板。トランジスタによる入力および 2 段目を穴明き基板に組んで、5670W を 2 本をアルミ板に載せました。9 ピンの MT 管ソケットの各端子と、基板とは、裏側でビニール線により結線。2 本の 5670W のヒータは直列に接続し、2 本のヒータ回路の中間点をグランドに落としました。



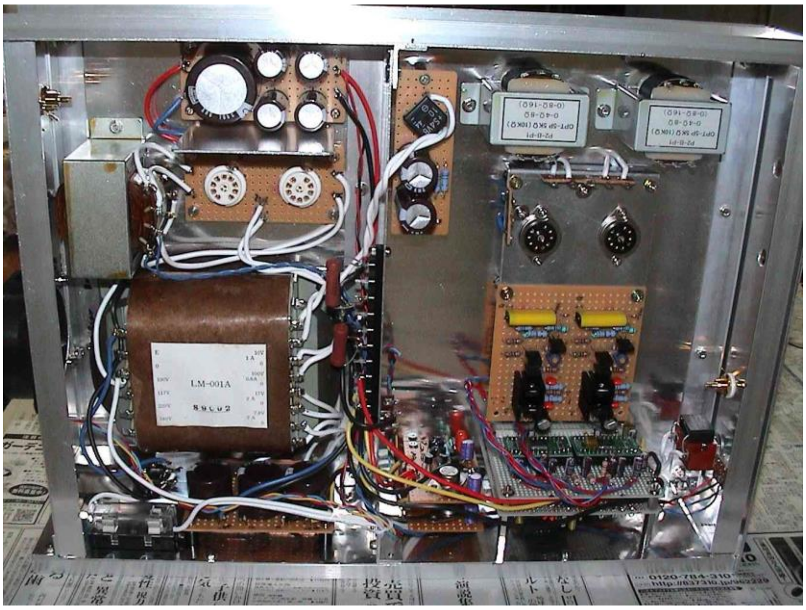
K 先生の記事に登場したシリーズレギュレータを、とおるさんも使うことにしました。レギュレータの出力トランジスタ用に、モトローラの中出力メタルキャン：2N3741 を入手しました。「御指定」のトランジスタの入手も、年々難しくなります。皮肉な物で、絶滅したはずの真空管の方は、代替え品が今でも製造されている。古代のトランジスタは、プロセス装置そのものが復元不可能です。作るテクニシャンもお年を召されたでしょうし・・・・

今回の DAC は、「ディジタルソース用プリアンプ」として、とおるさん家のシステムの中核にしようと思いました。2002 年以来活躍中のアナログソース用プリアンプと並べて使うので、同じケースサイズ（幅 300mm、奥行き 400mW、高さ 80mm）とするため、結局ケース自作の道に走りました。上の写真は、加工中のケースの様子です。ハンズで正確に裁断ずみのアルミ板を購入し、さらに補強用のアルミアングルも買って、組立てた模様。側板の上下に「コ」の字型断面のアルミチャンネルを多数のネジで止めて、強度を持たせます。もう少し肉厚のアングルを使うべきでした。ケース内の部品の重みでケースの全体が多少ねじれるようです。底板の板厚は 1.5mm としましたが、これも予算に応じもっと肉厚にすべきです。



ケース内の配置は色々悩みました。アナログプリアンプでは、ケースシャシ内の左半分に電源（トランス、ケミコン、整流管（6754 x 2 本）を、右半分を増幅回路とセレクタ用スイッチ、入力用ピンジャックなどを、分けて配置しました。結局今回はケース後ろ半分を電源回路で、前半分に十分スペースを空けて、ケース

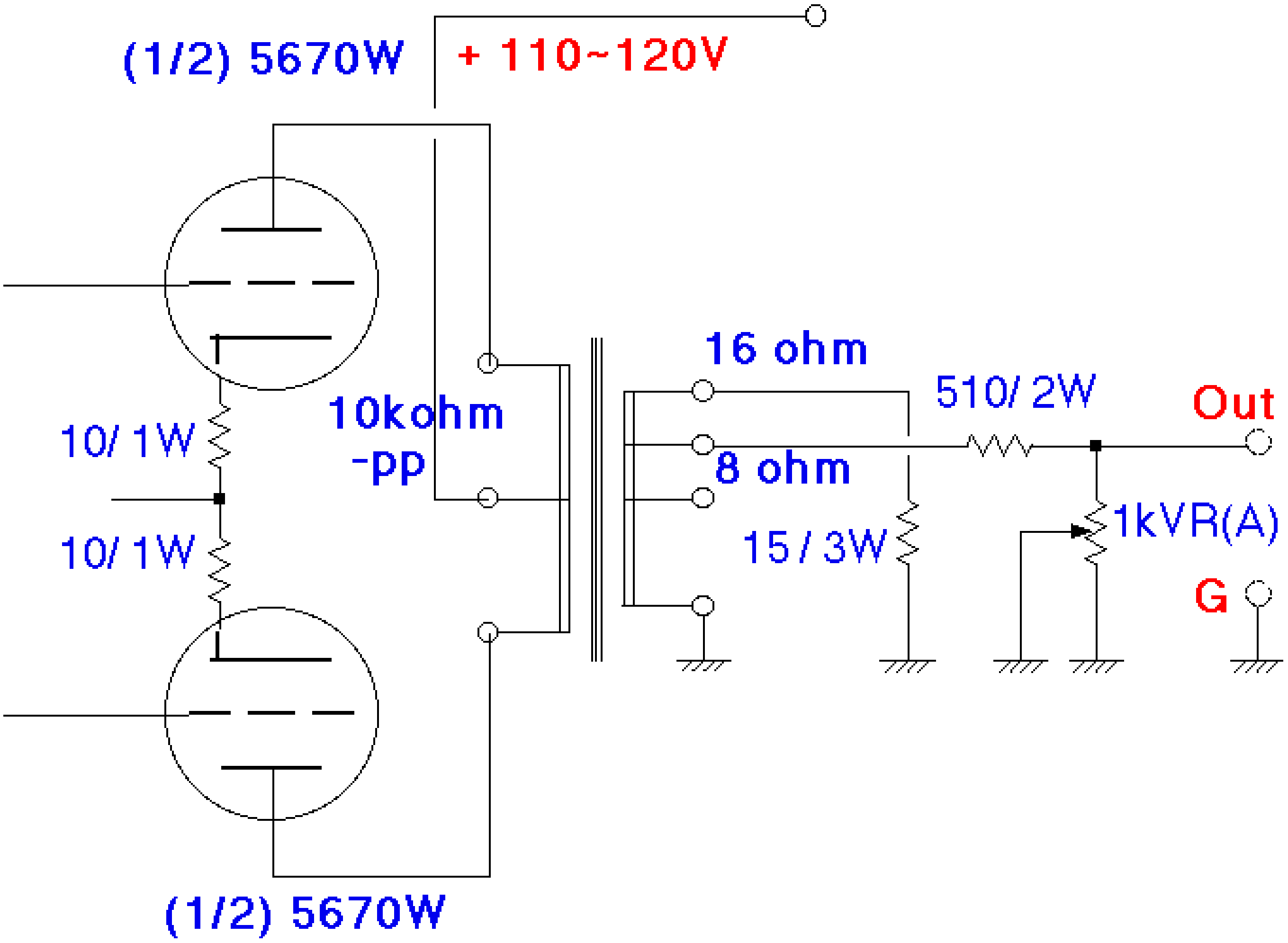
前半分に DAC-DAI のデジタル部分、バランスド IVC のアナログ基板を詰め込みました。前後を仕切るアルミ板およびアングルをケース中程にネジ止めしましたが、これでケースの強度も多少改善されたようです。



整流管 6754 を 2 本立てた整流回路基板のほか、+Vcc（120V）用コンデンサ基板、−50V 整流回路、デジタル用整流回路基板、5670W の直流点火用ヒータ電源、など、こまごまと基板を揃えるのはケース作製と平行して一気にやりました。ケースのどこに配置できそうか、というイメージも作りながら、各基板のサイズを決めました。設計図など何も無く、ほとんど感性で作業を進めていますが、本業ではこんな自由奔放なやり方は通用しないですな・・・・・

各種電源電圧が正常に出力されていることを確認し、次に 5670W と 6754 を差さない状態で、3.6k オームに正常な電流（設計上は約 1mA）が流れていることを確認しました。ヒータ電圧は、トランス巻線の内部抵抗でドロップし、ぎりぎり 12.5V（6.3V 直列２本分）確保できました。あぶないあぶない。ちなみに、今回使用した R コア型トランスは、ネットオークション上でお安く出品されているのをたまたま見つけた物ですが、100V−0.6A のほか、2 次巻線が何種類か設けられており、役にたちそうだと思って購入しておいた物です。仮に完全対称回路風に+/−100V の正負電源が欲しくなっても、電流容量に余裕があるので、半波整流にすれば良いと考えました。

というわけで、まずは完成した本機の試運転風景です。5670W の上下ユニットのカソード間電圧が限り無くゼロとなるようにすれば、両ユニットのプレート電流が等しくなるということですので、これを基板上の 500 オーム反固定抵抗で調整。また、カソードを結ぶ共通抵抗 1.5k オームの両端の電圧が 25V 強出ていることもテスタで確認しました。これで、プレート電流の合計が約 16mA 前後となっていることがわかります。出力回路には A カーブ 1k オームのバリオームが入れてあり、これを回すと音量調整ができます。夜まで掛かって上記にたどりつくまでの配線やら確認作業やらを、えいやー、とりゃー、みぎゃー、とすませたので、例によって試聴は真夜中となりました。眠気を通り越してややハイ状態で聴いた交響曲関係ですが、まずまずの出来です。半導体型の DAC と比べ、躍動感があるような気がします。コンテンポラリー系ソースでは、ボブ・ジェームスのアルバム（Restless）を聴きましたが、ベースおよびドラムスのリズム感が良いです。ピアノ、ボーカルも悪くないです。分解能も上がった感じ。エージング無しの一発目の音だしとしては出色の出来です。あまりあわてず、様子を見ながらチューニングすることにしましょう。トランス 2 次端子の負荷抵抗値がまず気になりますので、色々と取り替えてみるか。（Part 7.10 の終わり：2009.01.11）



約一昼夜のエージング＋ヒアリングの結果出力段の回路に若干変更を加えました。トランス 2 次側出力巻線の 16 オーム端子には、想定負荷抵抗に近い 15 オーム（3W：酸化金属皮膜抵抗）を装荷し、出力は8オーム端子から 510 オームを介して取り出しました。また、1k-VR（A カーブ）の接続を変えて、スライド接点をグランドに落とし、固定端子の方を出力端に結びました。こうすると、スライド接点には信号電圧が印可されないので、微少な歪みなどが発生しにくいと思います。

負荷抵抗その他の変更理由はいくつかあるのですが、最初のヒアリングの時に次のいくつかの点が気になったからです。（その1）VR の位置を通常よく使う9時から12時の辺りに合わせるとレベルが高すぎる。

（その２）良く聞き込むと、ギターやピアノの弦が鳴りはじめ（アタック時というんですかね）の音が微妙に歪む気がする。（その3）高音が弾けて気持ちが良いのだが、低音に元気が無いような気がする。 などです。

エージング当初は、上記の点が妙に気になって、トランス出力形式を諦め、トランスレスの対称出力回路形式に急きょ切り替えようかと思いました。代替えの回路図をあれこれ考え込んでしまったほどです。実は妙案も浮かび、ほとんど大幅変更の実行に踏み切ろうかと思った今週の前夜（１月１７日）に、さらにエージングとリスニングを進めていたら、何と先週の夜（１月１１日）とは全く異なる音が出だしたではありませんか。低音域はダイナミックな方向に、（何も回路を変更していないのに）自動的に大幅改善されてゆきます。「真空管式のアンプは、少なくとも１００時間エージングしないとマトモな音が出ない」とは、K 先生もどこかでコメントされていたような気がします。まずは慌てず騒がず、ということでしょうか。

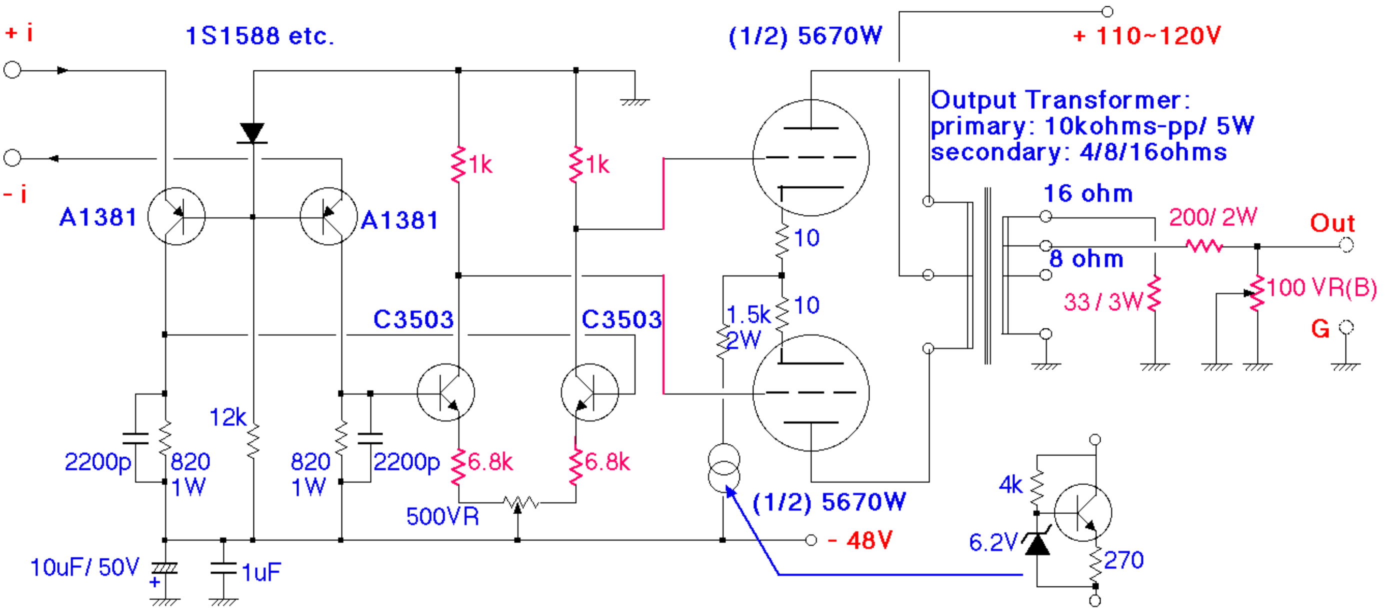
5670W は途中まで使用した（エージング済みの）タマだったので、エージング効果のあった素子は 6754 か、フィルタコンデンサ類か、シリーズレギュレータか、出力トランスか、そのいずれかでしょう。これればかりはさっぱり分からない。ともかく、出力レベルの点だけは改善したいので、出力回路の抵抗類は変更しました。トランスの負荷抵抗も、2 次側の負荷抵抗を適正な範囲にするという考えに沿って変更しました。

本格的にラックに設置するため、ケースを完成させることにしました。まずは、外気を取り入れるファンを設けました。最近は PC 用に「超静音ファン」がありますので、これを採用。本当に静かで、オーディオ用に最適です。（風量は弱めですが）ケース外から冷気を取り込み、トップパネルに明けた穴から熱気を押し出します。6754、5670W、DAC 回路部分のちょうど真上にいくつか穴を明けて試してみたところ、運転時にふわーっと熱気が出てくるのが確認できました。この日曜日に、ほとんど朝から晩まで連続運転したあと、5670W のバイアス電流をチェック。4ユニットとも、10オームの両端電圧は 87mV 近辺（つまりプレート電流は 8.7mA 程度）にぴたりと合っています。これで無事ラックにおさめられます。

この新しい DAC の出力は、アナログプリアンプをスキップし、マルチアンプ駆動用のパッシブ型チャンネルデバイダにダイレクトに接続しました。さきほどのエージング効果に加えてびっくりしたのは、このダイレクト接続の音質のすばらしさです。低音の出方がまるで違います。まるで釜のそこを抜いたようにズドン、と出てきます。高音のきらびやかな点も特筆に値します。出力トランスのおかげで、この DAC の出力インピーダンスは、直接スピーカーが鳴らすことが出来るほど低く強力になっています。これによって、ラインケーブル、チャンネルデバイダのパッシブ素子などが無駄なくドライブされているという雰囲気です。ベース接地入力回路＋オールトランジスタの前回回路もダイナミックな音がして大変気に入っていたのですが、この新回路には、真空管独特の艶が高域に、深々とした奥行きが低域に、それぞれ付け加わりました。バイオリン、チェロ、ピアノ、ティンパニ、ホルン、などそれぞれの楽器が豊かに鳴ります。この際、今までのアナログプリアンプは LP 専務とし、この DAC は「ディジタルプリアンプ」としてルーキーデビューです。

いつものお気に入り CD として、マゼールのマーラー4番を聴きました。けだし名盤だと思いますが、バイオリンのフレーズ、ティンパニーの響き、それぞれに改善されました。3楽章終盤の ff 部分におけるティンパニーの強打音にさらに迫力が増しました。また、いままで腰軽に聴こえて苦手だったモーツアルトの CD が、ずっと上品で落ち着いた雰囲気になりました。5670W のドライブ力の凄さは恐るべしです。（Part 7.10 の若干の追加変更：2009.01.18）

完成後約3週間、ヒアリングを続けながら、いくつかの定数をカットアンドトライしました。



まずは出力回路の負荷抵抗を200オームに、音量調節用バリオームを100オーム（B カーブ）に、それぞれ変更。出力トランスの 2 次側16オーム端子に装荷した負荷抵抗（RL）は当初の33オームに戻しました。

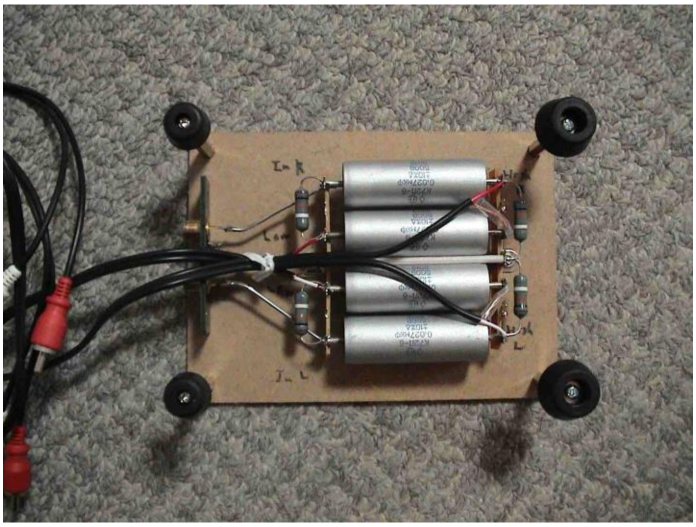
これらの定数変更の根拠は、ほとんど勘頼みです。RL が小さく（重すぎる）、また音量調節用 VR の値が大きい（軽すぎる）と、ラインケーブルに導かれる電力が小さくなり、ラインケーブル以降をドライブする能力が薄れてしまうかな、という印象がありました。

次に、ジャズ系ソースを再生した時、ピアノやギターのアタック音が乱れる（歪む）傾向があったので、首を傾げていたのですが、5670W のグリッド抵抗（3.6k オーム）が大きすぎることが原因でした。DAC の出力電流（12.4+/−8.4mA）は、2SA1358 の負荷抵抗 820 オームと、次段 2SC3503 のエミッタ抵抗 9.1k オームを介して、1+/−0.7mA にスケールダウンされますが、最終的には 3.6k オームの両端に生ずるグリッド電圧に、約+/−2.5V の最大振幅を与えます。これがどうやら大きすぎたようです。5670W のプレート電流特性を見ると、ほとんど特性カーブの外に振り切れています。

プッシュプル出力トランスを励振しているパワーがある程度高くないと、低域の周波数特性が伸びない、ということは、「無線と実験」の過去の記事に記載がありました。（2004 年 9 月号の 94 ページ、柳沢正史さんによる、「ラインアンプ兼用3球ヘッドフォンアンプ」） 確かに、一連のカットアンドトライを通して、ピアノのアタック音が歪むほどの振幅レベルだと、芯の太いベースラインが魅力でしたが、逆に平均振幅を押さえ込むと、線の細い、ガッツのない音になってしまいます。この兼ね合いは微妙です。

結局、色々と頭の中で計算した末に、上記の回路図に示したような定数に変更しました。2 段目の電流は 1.3+/−0.9mA 程度に若干増えるが、グリッド電圧の振幅は+/−0.9V 程度に抑えられます。DAC のもともとの出力電流は強大なのですが、全てを効率良く使うわけにはゆかず、結果的には真空管に入る手前で1V そこそこの電圧振幅になってしまうと言うのは何となく勿体無い気がします。回路定数をさらに工夫すれば、出力段真空管として、6V6 や6L6などのパワー管をそのまま繋げることだってできそうです。DAC 直結の真空管パワーアンプが実現するわけで、面白いテーマになるかも。

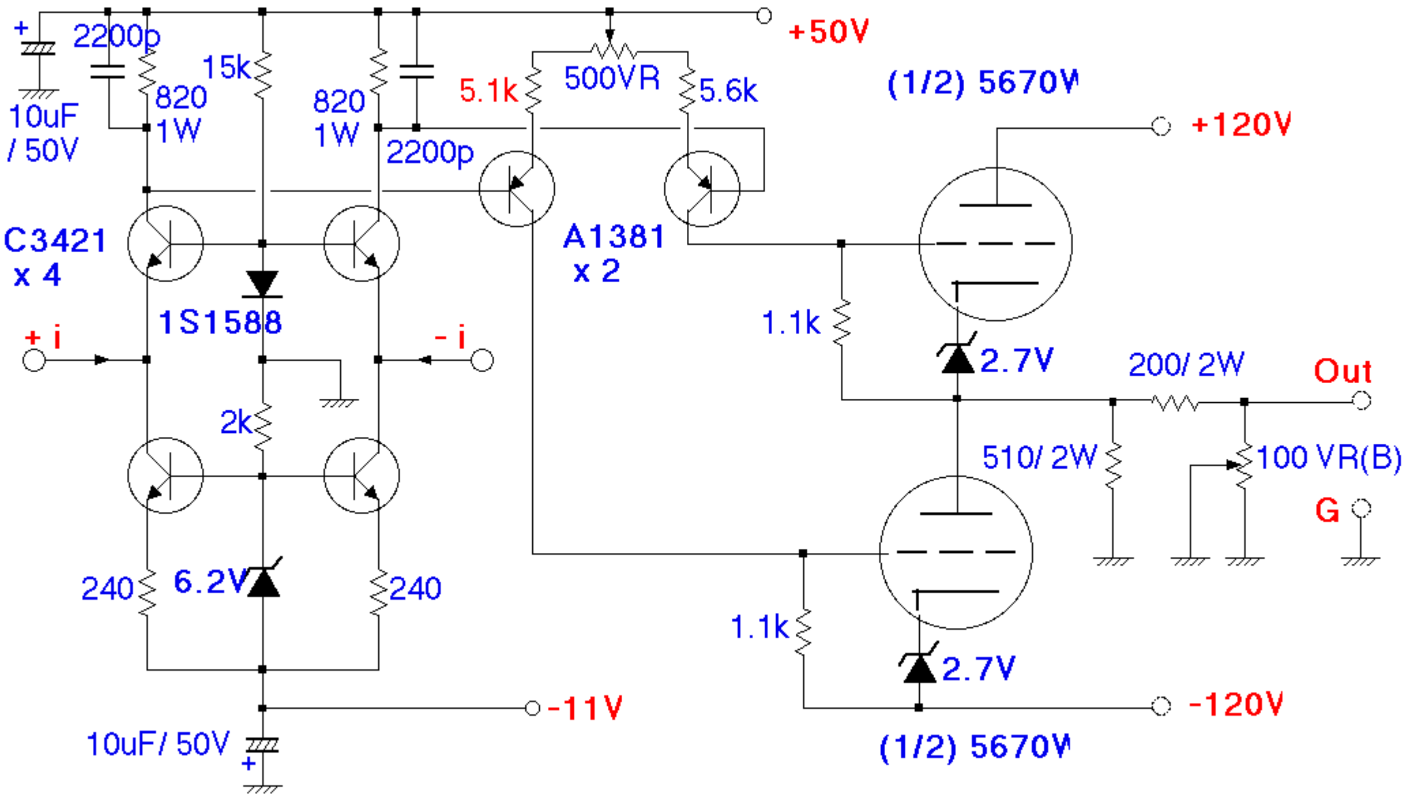
・・・・というような夢想は置いといて、とりあえずこの定数変更でしばらく使ってみましょう。ピアノのアタック音はもはや崩れることなく、ギターもすっきりとした響きになりました。バリオームの可変範囲で、ジャズ系ソースも、クラシック系ソースも、どちらも納まります。ソースによって、CD の平均音圧レベルがこれほどピンからキリまで変わるのか、ということをあらためて実感しました。マーラーの交響曲などは、途中に強大なティンパニーが入っていたりするので、アダージョ部分で pp で囁いているチェロやコントラバスの奥行きを出すのが大変難しいと思いました。少しお金がたまったら、出力トランスをグレードアップしてみたいと思っています。（（Part 7.10 のさらなる追加変更：2009.01.30）

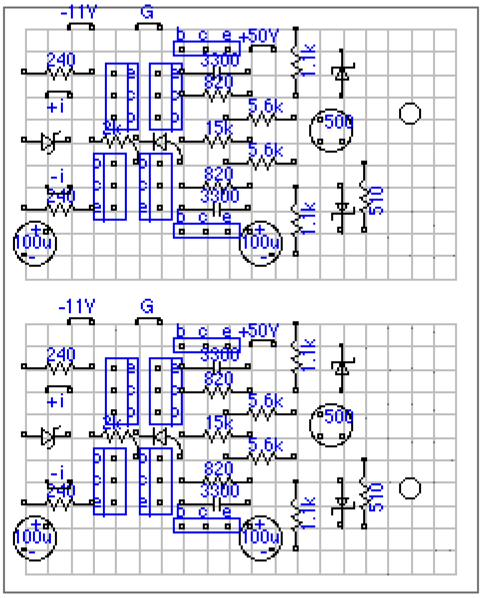


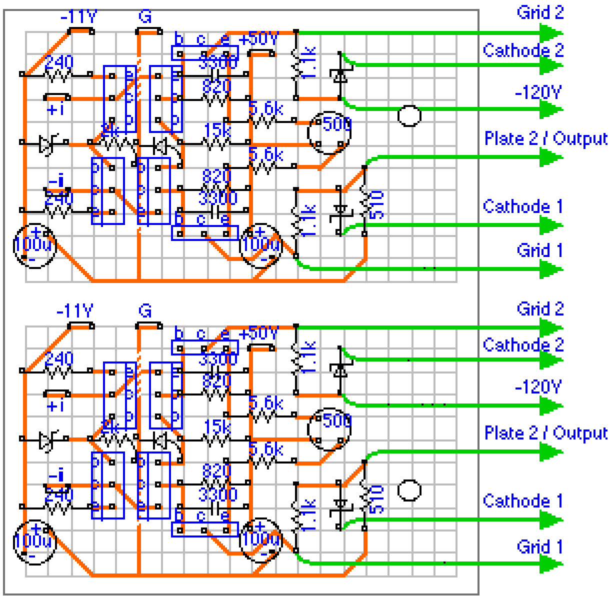
ところで、とおるさん家のパワーアンプはいよいよマルチ化の一歩を踏み出しました。まずは低音（600Hz 以下、ジムテックウーハー）と、高音（600Hz 以上、パイオニア S-77T）をそれぞれ、「DC 風 KT-88pp」と、「ど真空管回路 E34Lpp」で独立に駆動するため、上の写真に示すパッシブ型チャンネルフィルターで入力信号を分割してあります。オークションでたまたま拾った、「テフロンコンデンサ」を用いています。低音から高音へのつながりがうまく行くかな、と思いましたが、割とすんなりボリュームの調整でベストなポジションが見つかりました。結果はオーライですが、日々システムに電源を入れられるのはとうとうとおるさんだけになってしまいました。ヤレヤレ。

真空管 DAC 回路バリエーション試作

トランス出力回路の音質にとりあえず満足はしたのですが、トランスレス回路との比較がしてみたくなりました。いわゆる対称出力回路にするには、どうしたらよいでしょうか？ちょっと悩んだ挙げ句に、下記のような構成としました。ついでに、新しい回路の基板は、ちょっと趣向を変えて、プラスマイナスの入力を「対称」に配置してみました。



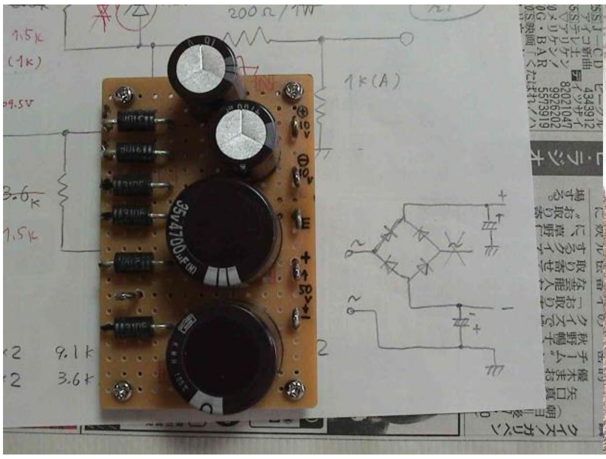


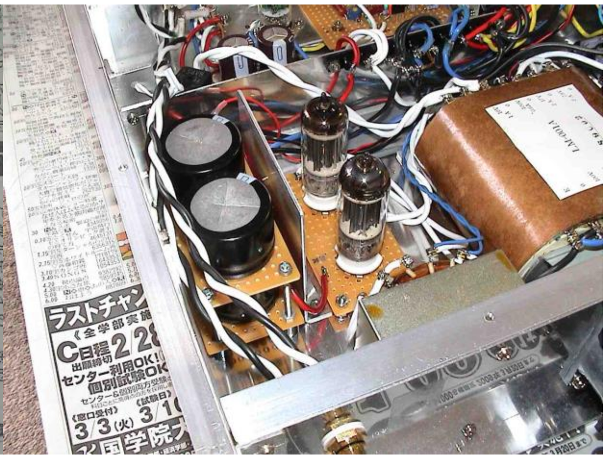


DAC から出力される電流を pnp トランジスタのベース接地回路で吸込み方式で受け取ると、電圧変換するための負荷抵抗が負電源側に接地されてしまいます。これではトランスレス真空管出力回路とうまく接続できません。

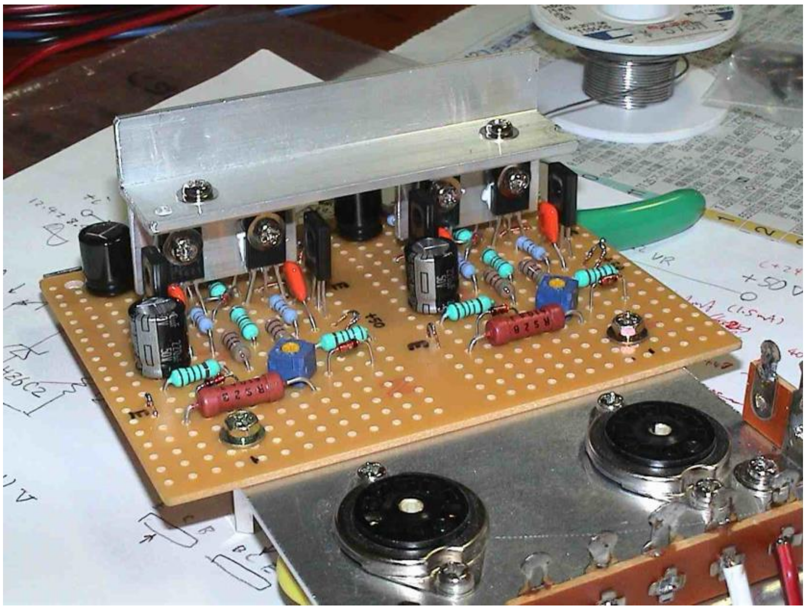
そこで、電流を吸い込む側を固定の定電流源とし、差し引きで生じた電流変化を、npn トランジスタ（2SC3421）のベース接地回路で受けるようにしました。こうすると、負荷抵抗（820 オーム）がプラス側電源に設置されます。これで、金田先生の記事でお馴染みの対称出力回路と接続できます。少し電流に余裕が見たかったため、2 段目の電流受け渡し回路には 2SA1381 を採用しました。コレクタ・エミッタ間の耐圧は 300V あるので、今回の回路の電源電圧（プラス・マイナス間電位差 240V）に適しています。

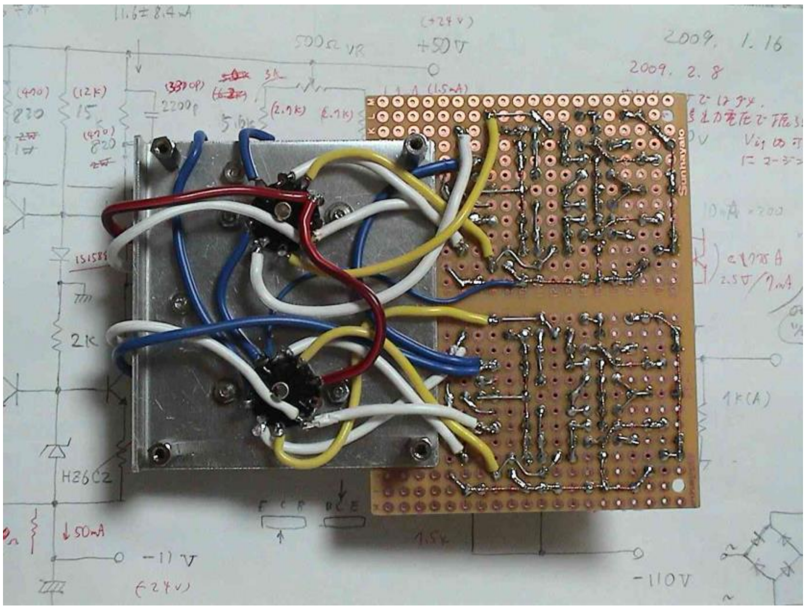
仮に出力端子がオープンになっても大丈夫なように、一次負荷抵抗として 510 オームで終端しています。出力レベルをコントロールするために、200 オーム固定抵抗＋100 オームのバリオームを使っています（トランス出力回路と同様）。





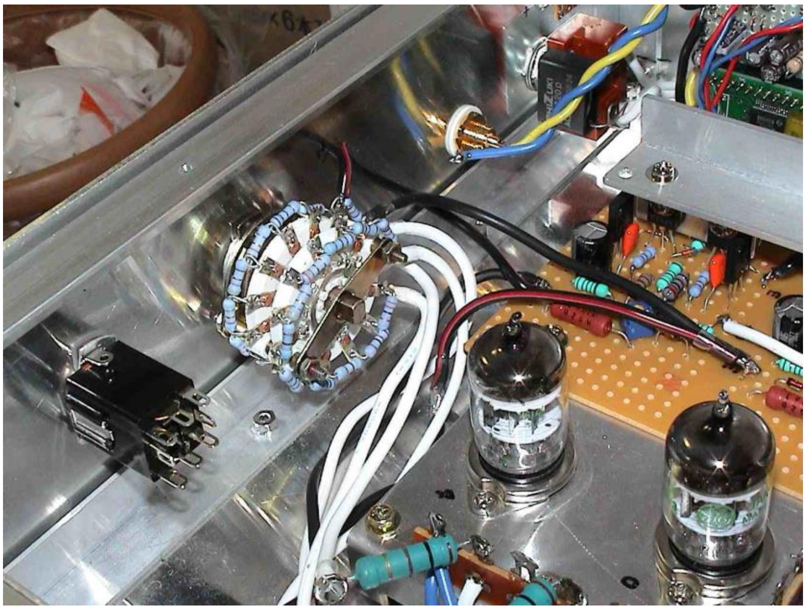
前回のトランス出力回路にくらべ、前段には−10V、終段はプラス・マイナス 120V、ということで、電源回路は 2 系統増やさねばなりません。デジタル回路の5V 電源を得るための回路を全波整流から片波整流へ、終段の 5670W によるブリッジ回路をちょっと変更して片波整流とし、それぞれプラス・マイナス出力できるようにしました。





上記写真は、今回新しく起こした基板の表および裏の様子です。入力トランジスタ（2SC3421）の発熱があまりに大きいので、アルミのアングルによる放熱器を追加しました。

対称回路の特性として、下側の真空管（5670W）のプレートには、上側真空管のプレート電流にグリッドバイアス電圧を与える電流（1.1K オームに流れる電流）が加算された電流が流れるため、厳密には対称には動作していません。結果的には下側の真空管には上側よりも多めのプレート電流、したがって少し高めのグリッドバイアス電圧が必要となります。そのため、回路図 2 段目のエミッタ抵抗の左側は、右側よりも少し小さめに設定しないと、DC バランスが取れないことがあります。上記写真 2 枚は、その補正をするために、それぞれ数 10K オームの抵抗を並列にチョン付けしてあります。狭いところへのハンダ付けにはちょっとしたコツが要ります。

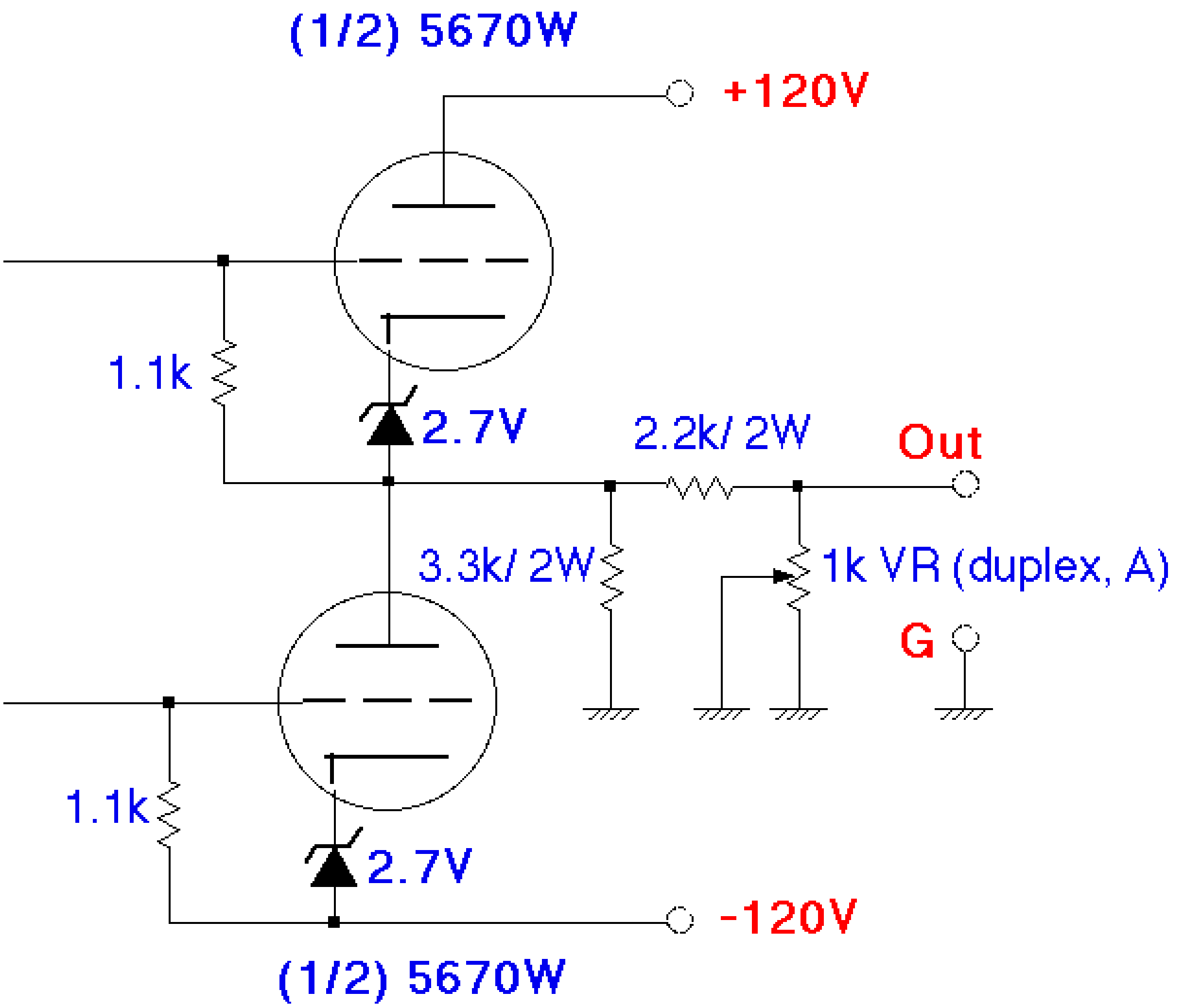


ちなみに、100オームの出力レベル調整用バリオームは接点抵抗が大きめで、目一杯絞り込んでも微かに音が出ます。左右のエラーも大きく、また100オームでは A カーブ補正されたバリオームもみつからないので、御覧の写真のように、2 回路 11 接点のロータリースイッチに、酸化金属皮膜型の低抵抗を組み合わせて、ディスクリート型のアッテネータを自作しました。ショーティングタイプのスイッチが見つからなかったので、可動接点をアース（コールド）に落とす方式はやめて、可動接点を出力とする普通のつなぎ方にしました。また、出力端子（ピンジャック）には並列に 10K オームをつないであり、切換えの瞬間にオープンにならないように工夫してあります。

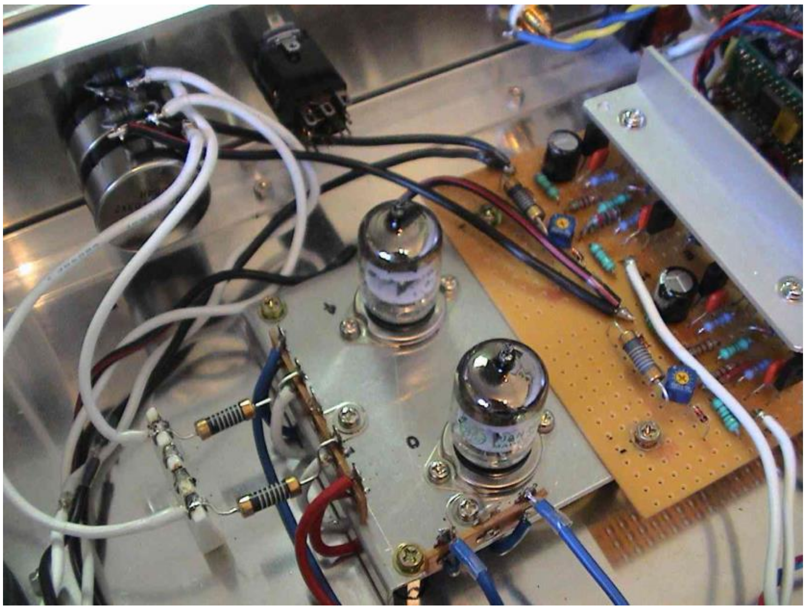
という状況で、現在使用中。飽きのこない音質です。たまにアナログLPと音質比較するのですが、低域はあまり誇張されないように感じます。ソフトによるのかもしれないですが。肝心のトランス方式との比較ですが、どちらかというと、対称出力回路の方が落ち着きがあるような気がします。うーむ、なんとも言えん。（Part 7.11：2009.04.12）

↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓　以下追記（20090506）↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓

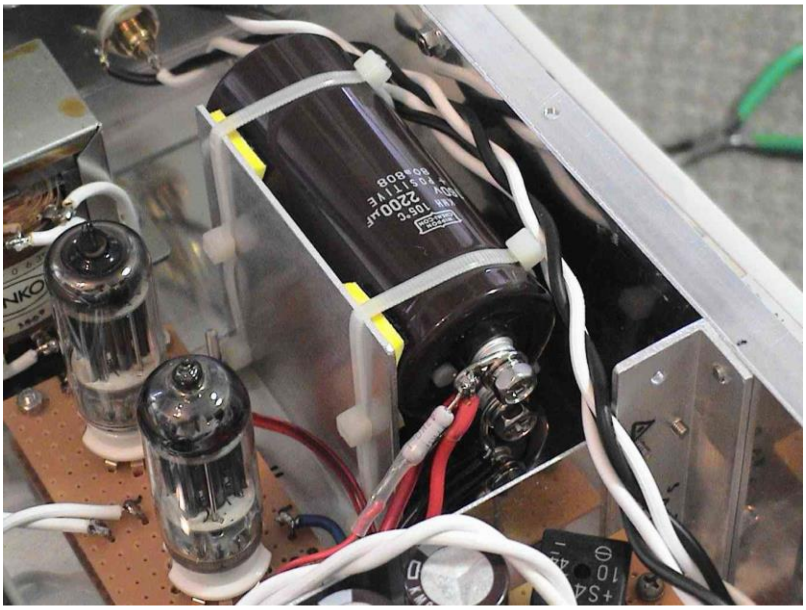
連休中、少し修正を加えました。これまでのヒアリングで、「飽きのこない音質」とは申しながら、クラシック系ソフトの低音再生には、若干不満が募ってきました。確か半導体式のコンバーター回路ではもう少しティンパニーやホルンの奥行きが豊かだったような記憶があります。また、トランス出力回路の折しも、負荷抵抗を試行錯誤している最中ツボにピタリとハマると盛り上がるような低音の波を体感できたのですが、「ちょっと待てよ？」という状況です。「はて・・・・・？」と考えたのですが、「もしかして負荷が重すぎか？」と思い当たりました。



改良前は、出力段負荷をまず510オームの抵抗で受け、さらに200オームの抵抗を介して100オームのボリュームで出力を可変しました。今回の改造ではそれぞれ3.3kオームと、2.2kオームに変更（上記回路図）し、さらに出力可変はネットで見つけた1kオーム（Aカーブ）2連のボリュームで行いました。接続方法は例によって、摺動端子をグランドに落とす方法です。また、この際、上記の負荷抵抗類には、定評のある「スケルトン抵抗」を用いました。下記写真のうち、ベーク基板上に乗っているのが3.3k、ラグ板に渡してあるのが2.2kです。



この際ついでに、平滑コンデンサを、金田式アンプの 6574 整流回路に定番で使われているネジ端子式の高圧コンデンサに交換することにしました。ちょっと高価なのですが、奮発です。低音の出方に直接は関係していない様子です。（うーむ。気持ちの問題。）



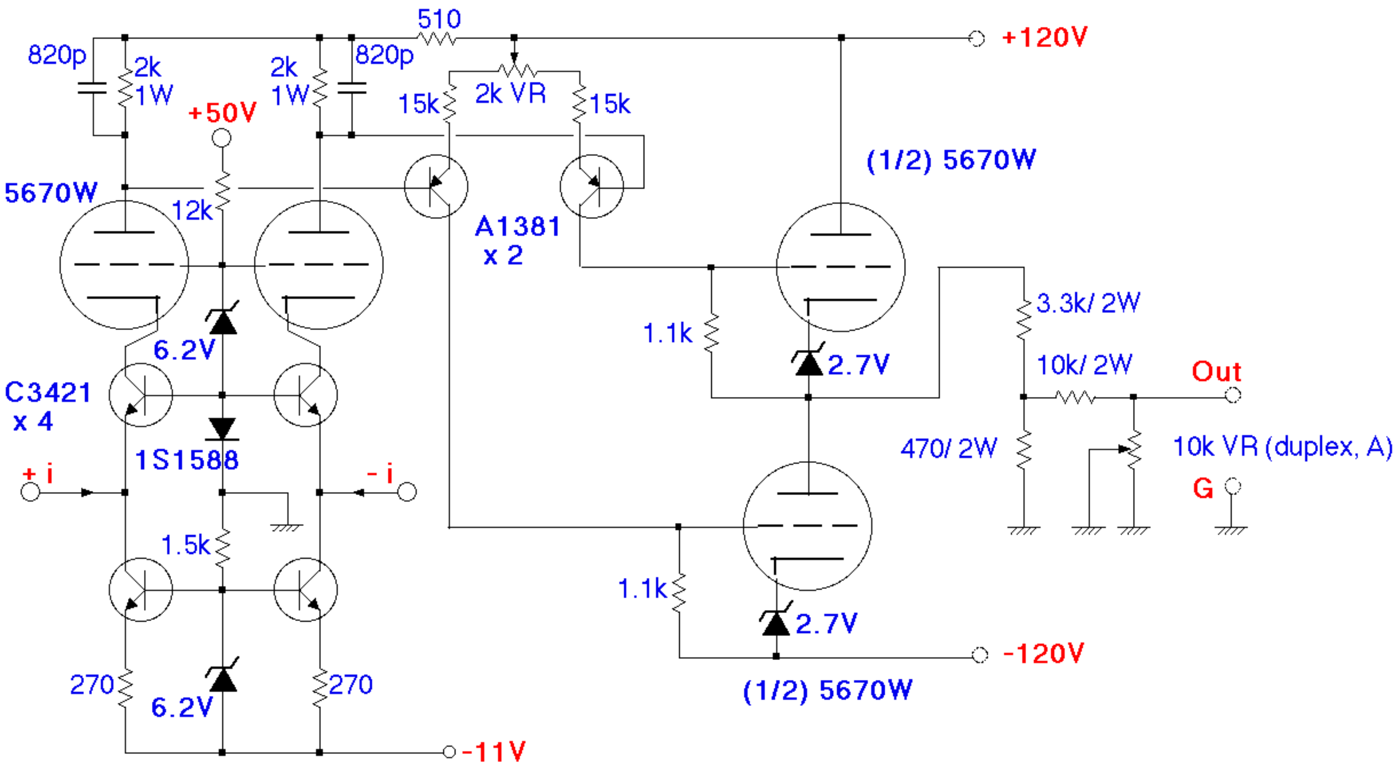
一連の実験を通して分かったことは、5670W のような真空管には、最適負荷抵抗があるということです。トランス出力の場合も、2 次側にどのような負荷が接続されるかで、音の傾向が変わったように記憶しています。後段につながるケーブルやパワーアンプの入力回路を低インピーダンスで駆動するのが良いと考えたわけですが、出力素子の性能に適した負荷抵抗値を選ぶべき、ということでしょう。また、真空管アンプの場合、負帰還量の大小で音の傾向が変わるというのは良く聞く話ですが、今回は負荷の一歩手前まで全くの負帰還が無い回路でもあり、負荷抵抗そのものが音質の制動の多寡に影響するようです。キロオーム台の負荷抵抗とすることで、俄然「躍動感」が良くなりました。5670W はプッシュプルで最大 10mApp の動作をしていますから、修正後の回路では負荷抵抗の両端に、10 ないし 20Vpp の電圧出力が生じているはずで、電源電圧（片側）120V の範囲で、5670W ちゃんは気持ちよく「スイング」している様子。低音の出方も深々とした感じに戻ってきましたので、まずは満足です。

さて最近とおるさんのお好みのソフトですが、マーラーから流れ流れてブルックナーに辿り着いたという状況です。クナッパーツブッシュの振った 8 番のほか、9 番はジュリーニ、バーンスタイン、シューリヒト、などを立続けに仕入れては楽しんでおります。ヨッフムの4番もなかなか良かった。これらの楽曲を聴く場合は、小さな音量でも、低音は深々と、中高音は煌めくように鳴らなければ欲求不満になります。今回のちょっとした改良はその意味で運良く当たりました。半導体式の DAC を解体してしまって久しいので、比較ができないのが残念。復活させるかな。（Part 7.11 の追記：2009.05.06）

グリッド接地入力の試み

真空管を用いた、バランス電流入力型 I/V コンバーターの音質には、今の所満足しておりますが、肝腎の電流入力部分がトランジスタのベース接地回路になっている点、ちょっと心残りです。電源その他、大略の回路構成をあまり変えずに、入力部分も真空管方式にするにはどうしたら良いでしょうか？

ベース接地に対抗するとすれば、「グリッド接地」になるわけですが、当初から悩んだ問題点がいくつかあります。グリッド接地回路の場合、入力となるカソードの電位が一定にならず、プレート電流が変調されるためにはグリッドに対するカソードの電位も変調されねばならない、という点です。折衷案として採用したのが下記の回路です。



グリッド接地回路については、ネット検索で「Grounded Grid」等のキーワードを入れて探すと色々なサイトにヒットします。グリッド電位を固定し、カソード側に挿入した負荷抵抗に電流または電圧入力を加えると、プレート電流が変調され、プレート負荷抵抗に電圧出力が生ずるというものです。説明によれば、アースに接地されたグリッドが、入力と出力回路をシールド・分離する効果があり、入出力間の結合・とび付きを防止できるとのこと。元来、高出力・高周波アンプ用途の回路ですが、オーディオ帯域に応用する例はアマチュアの間でも盛んに議論されている模様。

実際の所は、カソード側の入力に、トランジスタや FET を併用する例が多く見受けられます。とおるさんが今回採用した方式は、結局トランジスタのベース接地回路のうえにグリッド接地回路をカスコードに重ねたのみで、「何だこれだけ？」という印象は拭えませんね。他にシンプルな方式が見つからず、やむを得ません。しかし、次段に電圧振幅を与える役割と、その振幅の大きさから言っても、主役は 2SC3421 から 5670W へと、明らかに交代するはずです。5670W がその性格を目一杯表現してくれるはず、と期待しましょう。

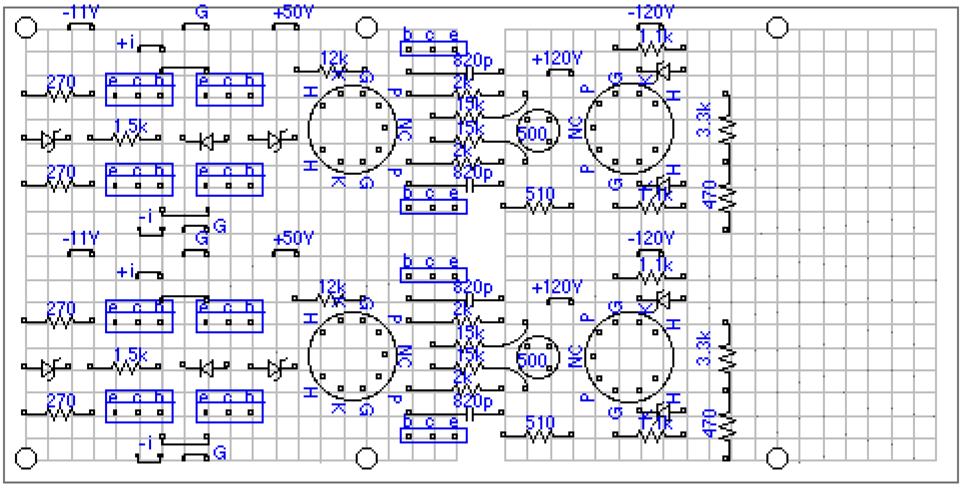
対抗馬として考えたのは、pnp 型トランジスタのベース接地入力回路と、真空管グリッド接地回路を、定電流源に並列接続する案です。定電流回路が可変のカソードバイアス電圧を与えてくれます。これも面白そうなのですが、次の機会かな？いずれにせよ、入力端の電位を振らさずに、電流入力を受けるためには、トランジスタの力を借りねばなりません。

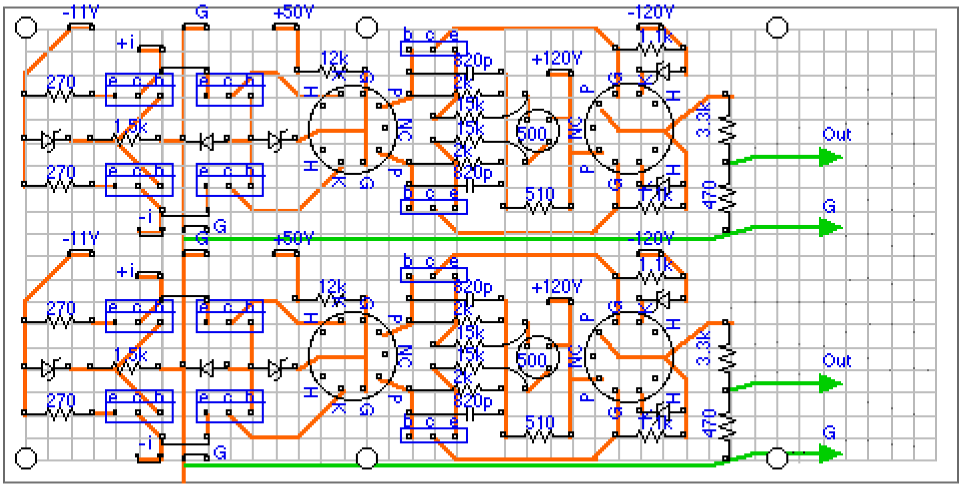
上記回路について、工夫した点があといくつかあります。まず、真空管（5670W）のロードラインから、トランジスタの時に用いた 820 オームのような低負荷抵抗は苦しいので、これを 2k オームに変更。さらに、バイポーラゼロ点で流れる電流を中心に、プレート電流のバイアス点を設定。プレート電流は、約 8mA を中心に、プラスマイナス 7.8mA 振れます。すなわち変調度は約 100%になります。こうしないと、ロードラインが 5670W の許容損失の外に出てしまいます。

これをこのまま次段に受け渡すと、出力段の 5670W がフルスイングしますが、歪みが盛大に出そうです。途中で少しスケールダウンしたほうが良さそうだ。・・・・と思いましたが意外と良い方法が見つからない。二日くらい悩んで、付け足したのが、回路図の最上部にある、510 オームの抵抗です。初段の振幅受け渡し用の 2SA1381 のベース電位は、510 オームの両端電圧（プラスマイナスの電流振幅が合成され、常に一定）と、2k オームの電圧振幅とを合わせたものになり、約 26V を中心に、プラスマイナス 16V 振れます。変調度は 60%程度にスケールダウンします。

ちなみに、ちょこまかと変更をくり返した挙げ句、現在の出力ボリューム回路も、上記回路のように変更されています。負荷抵抗を 3.3k オームと 470 オームで分割。10k オームを介して、30mmφのコスモスのボリュームで受けています。特に 10k オームの値は試行錯誤した結果、ある程度の高抵抗でないと、低音が痩せてしまうということを学んだ末に行き着いた定数です。どうやら、この出力回路につながるパッシブのチャンネルフィルター(インピーダンス 10k オームの K 式パッシブディバイダ)と相関があるようです。

以上の背景・考察を経て、回路図を決定の上、これから試作です。まずは穴明き基板のレイアウト(下記)でもやって・・・・という状況です。

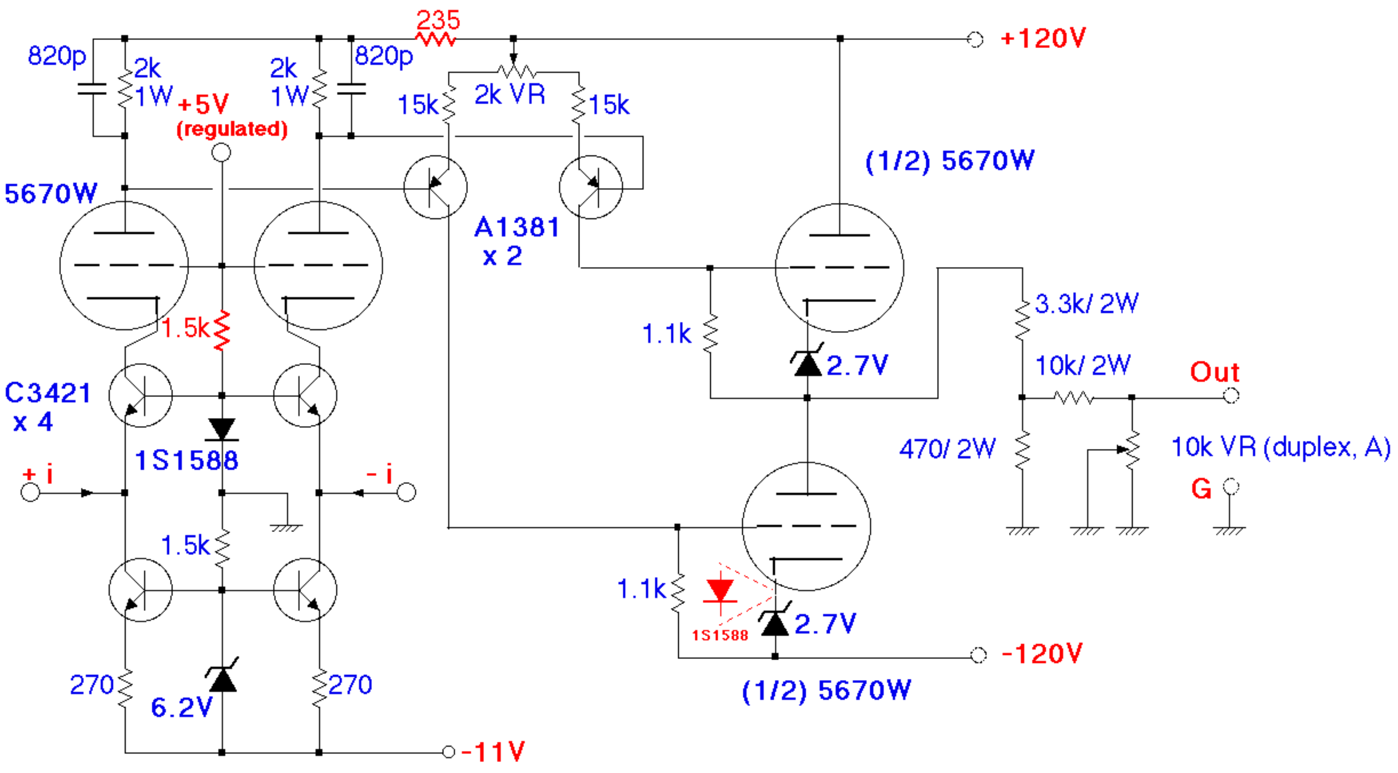




今年の夏は天候不順。地震もちょくちょくあるし、あんまりがしがし物づくりをする気分ではないので、ぼちぼちやるとしましょう。結果報告は後日。(Part 7.12:2009.08.16)

↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓　以下に基板完成・実装・試聴の様子を追記しました　↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓

実際に製作し、トリミング・チューニングを行った最終回路は下記のようになりました。

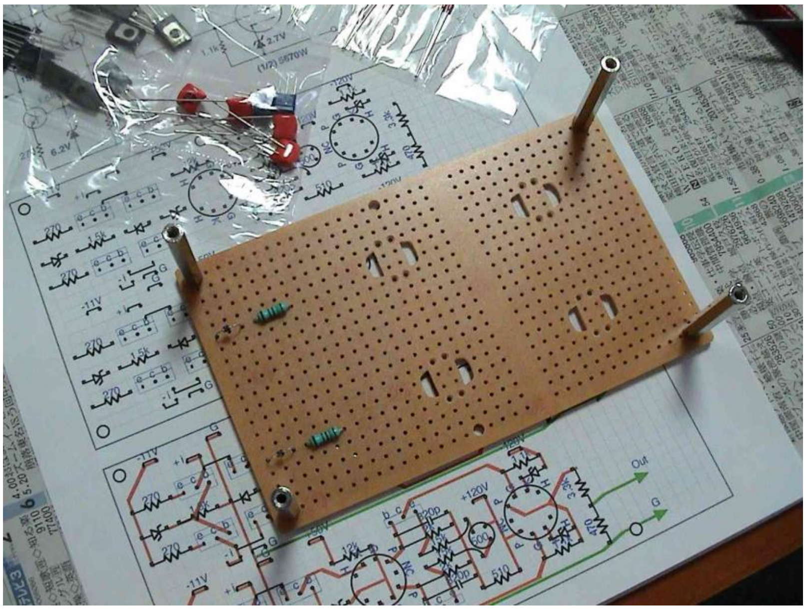


変更点その1：グリッド電圧の供給を、K 式シリーズレギュレータ（5V）から行うように変更しました。本回路に限らず、前回の回路でも若干のハムノイズが乗ることを確認しています。音楽が入れば全く気にならないのですが、グリッドバイアス兼ベース電流の供給源を極力クリーンにしたらどうなるかという興味が半分と、50V の電源を省略しても良いなあと思ったからです。結果あまり関係ありませんでした。ハムノイズの件は今後の課題です。

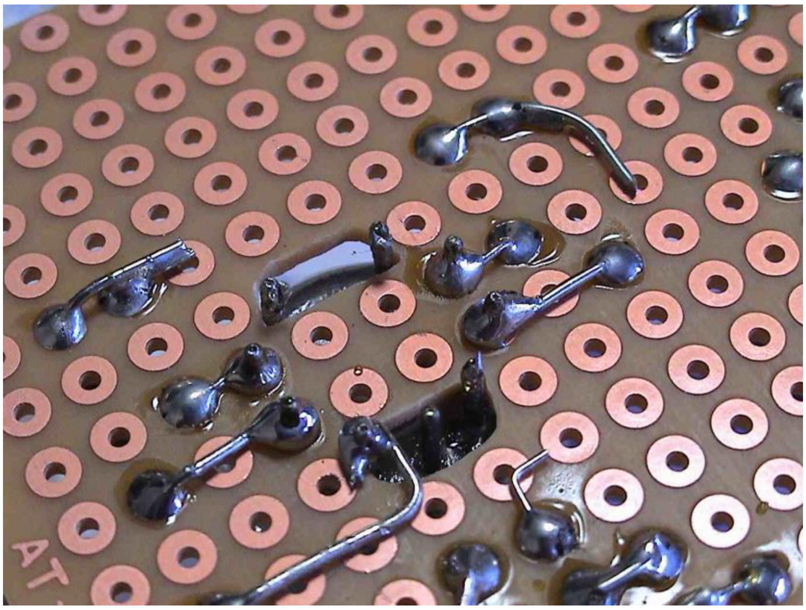
その2：前段グリッド接地回路の共通抵抗を 235 オームに低減。2 段目の 2SA1381 による受け渡し回路のバイアス電流を1割から 2 割ほど減らし、終段 5670W のバイアス電流を若干小さくしました。変更前は 5670W のプレート電流は 10mA 強も流れており、定格一杯と言う感じでした。これまで使用してきた感触では丈夫な球だと言う印象ですが、オリジナル球 396A を用いた K 先生の作例ではいつも 7mA 前後に設定されているようなので、7～8mA 程度になるよう狙いました。

その3：左チャンネルの 5670W のバランスが悪く、2k オームのトリマでは調整し切れませんでした。グリッドバイアス電圧の差にして 0.5V 程度だったので、プレート電流が多めに流れている下側のユニットのカソード回路にあるツェナーダイオードに直列に 1S1588 を挿入（順方向）しました。もちろん、異なった電圧のツェナーダイオードを用意しておけば良いわけですが、そこは安直なとおるさんのやることで・・・・・・

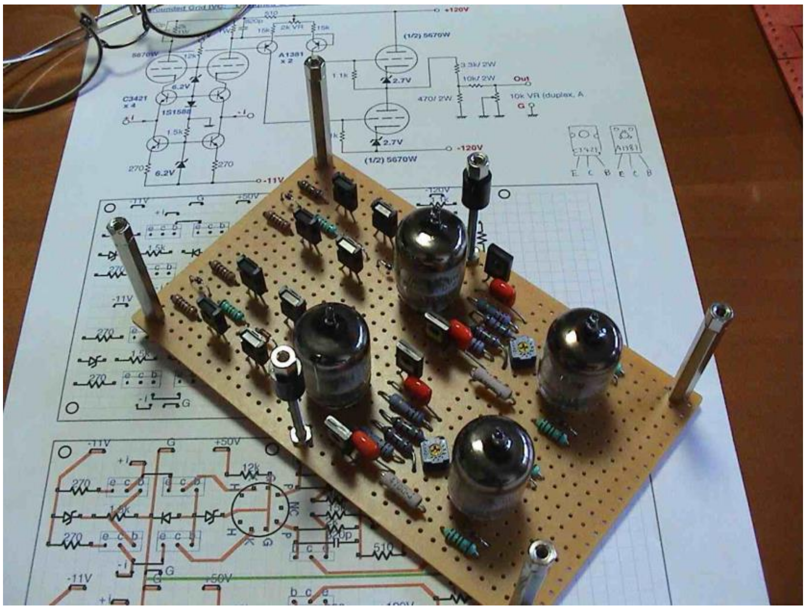
以下製作風景。まずは基板上に4本の 5670W を搭載するため 9 本のピンがとおる穴を開けました。今回は真空管の種類の交換を想定せず、直接配線・ハンダ付けすることにしました。



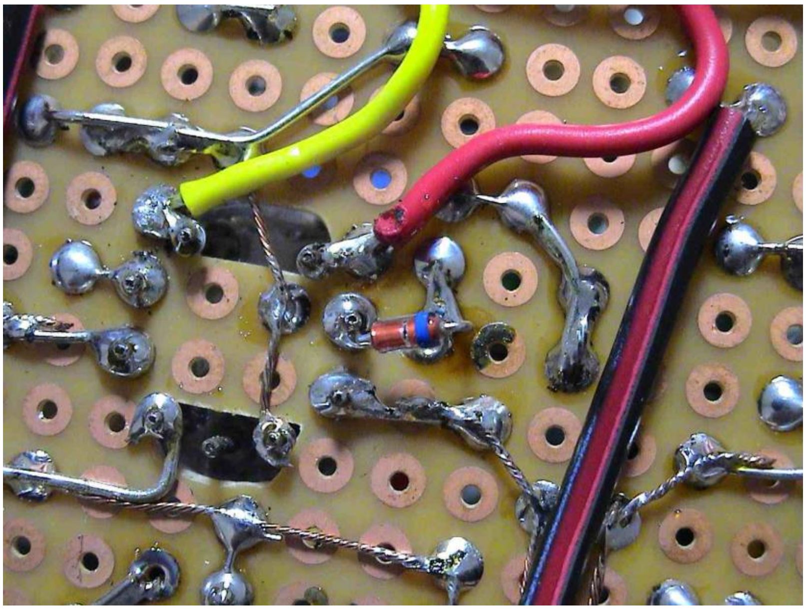
基板裏側で 5670W への配線を直接ピンにハンダ付けしている様子。5670W のピンの表面には酸化膜が付いているようです。このままでは全くハンダは乗らないので、精密ヤスリでかなりしつこく磨き、綺麗な表面を出します。そこへすかさずハンダでプリコートしてやると準備完了。使わないピンをのぞくと、5670W4 本で都合 32 本のピンを磨き、ハンダプリコートする作業ですが、疲れた。根気が要ります。でもうまく行くと、ピカピカのハンダ付けになり、配線抵抗は小さく、かなり信頼できる仕上がりになります。



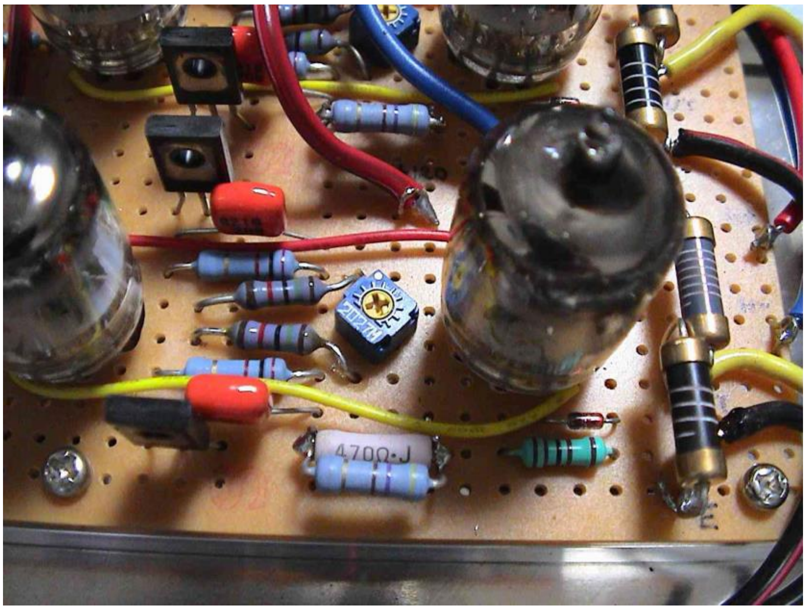
おおかたのパーツを載せ終わった基板上面の様子。



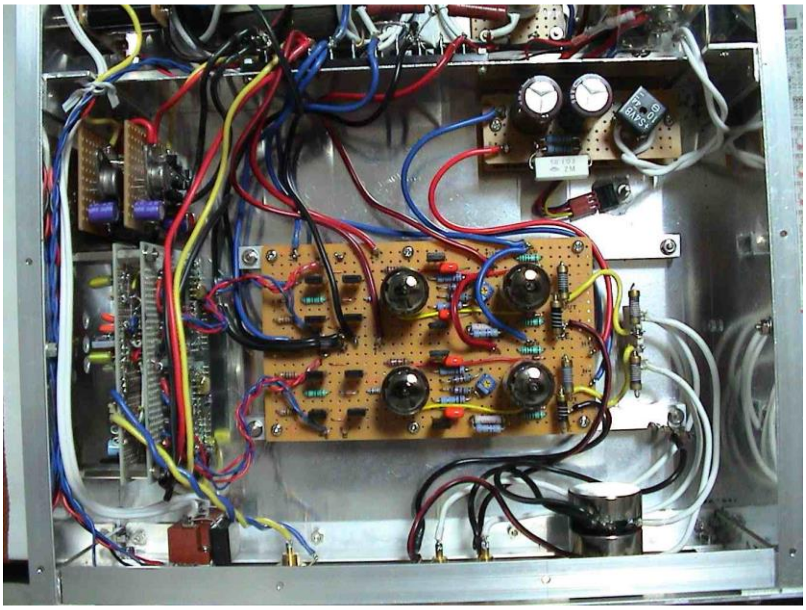
プレート電流のバランス調整のため、バイアス電圧変更用の 1S1588 をカソード回路に挿入した状態。



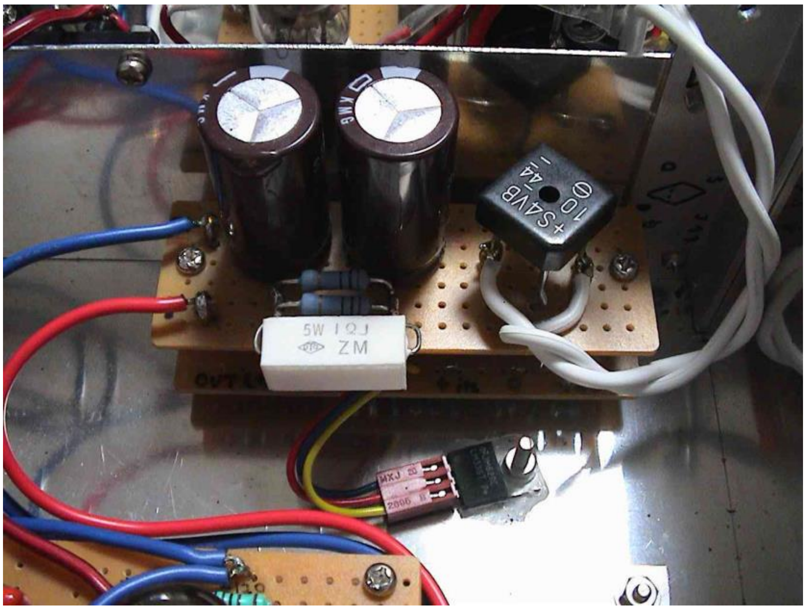
1段目の共通抵抗を調整した様子。470 オームを基板上でパラに結び、235 オームとしました。



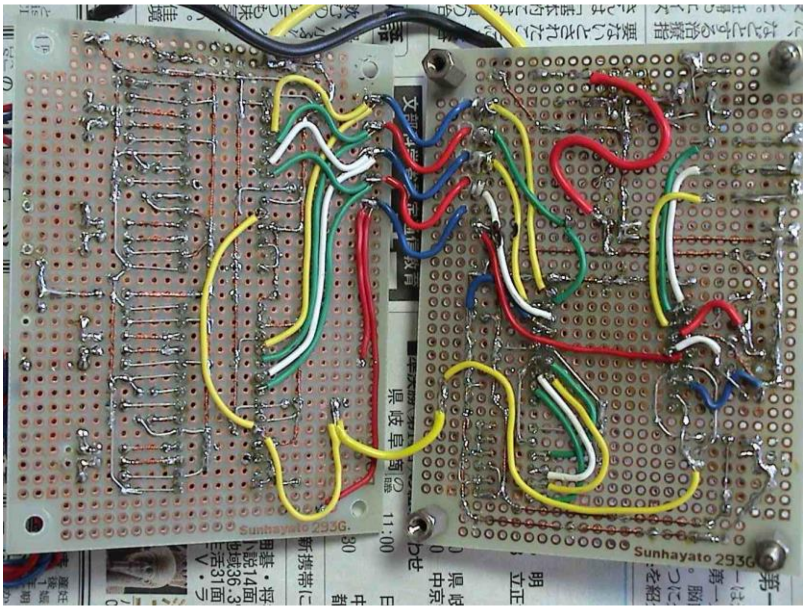
以上もろもろの調整を経て、最終的にシャシ内に実装された新 IVC 基板。



真空管 5670W が 2 本から4本に増えたので、ヒータ回路の電流容量が足りなくなりました。そこで RS○ンポーネンツからトライダルトランスを仕入れてシャシ内に収めました。9V−0.86A の巻線が 2 系統あるので、パラにすれば楽勝だろうと思っていたら、1 次巻線が 115V 仕様だったことも災いして、負荷時には 7.5V くらいまでドロップしてしまいました。結局3端子レギュレータは使えず、セメント抵抗等を用いて 6.3V 近辺に調整しました。



おまけの改造：　CS8416 に SPDIF 入力が無い場合、PCM1794 は中途半端な出力を出します。つまり、音楽信号が入っていない状態では、DAC からヒスノイズのような不安定な出力が出ています。前から気になっていたので、ちょっと手を加えてみました。CS8416 の14ピンは「NV/PERR」つまり入力エラーのフラグを立てますので、これを PCM1794 の 10 ピン（Mute 端子）に入れてやると、SPDIF 信号が入力されていない状態、もしくはロックが外れたりしておかしくなった時、に PCM1794 の出力は自動的にバイポーラゼロにセットされます。結果、未入力時のヒスノイズが無くなり、ゼロ点調整も楽にできるようになりました。



シャシ内の様子。何だかんだで大分立て込んでまいりましたが、何とか全て収まりましたね。

グリッド接地回路の効果や如何に。運転直後の印象は、「スッキリ・透明感」です。もっといわゆる真空管クサイ音がするのかと思いきや、リニアリティが改善されたと言う印象を持ちました。低音域はボリュームというよりも弾力が増した感じ。高音域はあばれが抑えられて静かになった印象です。ボリュームを上げたくなる音と言うのでしょうか。ただいまエージングもかねて、これで約 2 週間ほど聞き込んでいますが、低音の深みはちょっとずつ増してきているようです。リスニングする時間帯や体調、聴いている音量レベルによっても印象が異なるので、一概な評価は難しいですが、回路の動作に問題はなさそうです。出力端に設けたアッテネーター（RV30・10k オーム2連）を介してパッシブデバイダを直接駆動する方式ですが、今の所この定数で音質的にも満足できています。最近はブルックナーを聴く機会が増えました。5 番、7 番、9 番あたりを巡回して聴いています。蝉時雨の中で聴くマーラーとブルックナー。正直言って暑いぞ。（Part 7.12 の追記：2009.09.05）

回路のさらなる簡略化と改善にむけて

このあしかけ 2 年、PCM1794 を DAC とし、バランス型 I/V 変換回路のアイデアと試作ではずいぶんと楽しませてもらいました。特段高価なトランジスタや真空管を使わず、若干のパーツの補充であれこれと回路を組んでは、シャーシに組込んだり、外したり、のくり返しで時が経ちました。経緯はとおるさん家のページに残っているわけですが、大きな流れとして、 1）pnp トランジスタのベース接地・エミッタ入力回路の採用（オールトランジスタ版） 2）さらににトランジスタの折り返し回路を付加し、真空管＋トランス出力段採用 3）定電流回路を付加して npn トランジスタのベース接地入力回路とし、真空管の対称型出力段採用 4）入力回路をグリッド接地回路に変更

と変更してきました。

一方、これら一連の変更を通じてわかったことは、

a） 真空管は負荷抵抗を適正とする必要があり、「電圧でフルスイング」させるべし。

b）出力アッテネータは、次段入力回路とおおむね（桁の合う）インピーダンスで組むこと。超低インピーダンスが必ずしも良いわけでは無い。（とおるさん家のように、10kohm のパッシブデバイダーで受けていたりする場合特に）

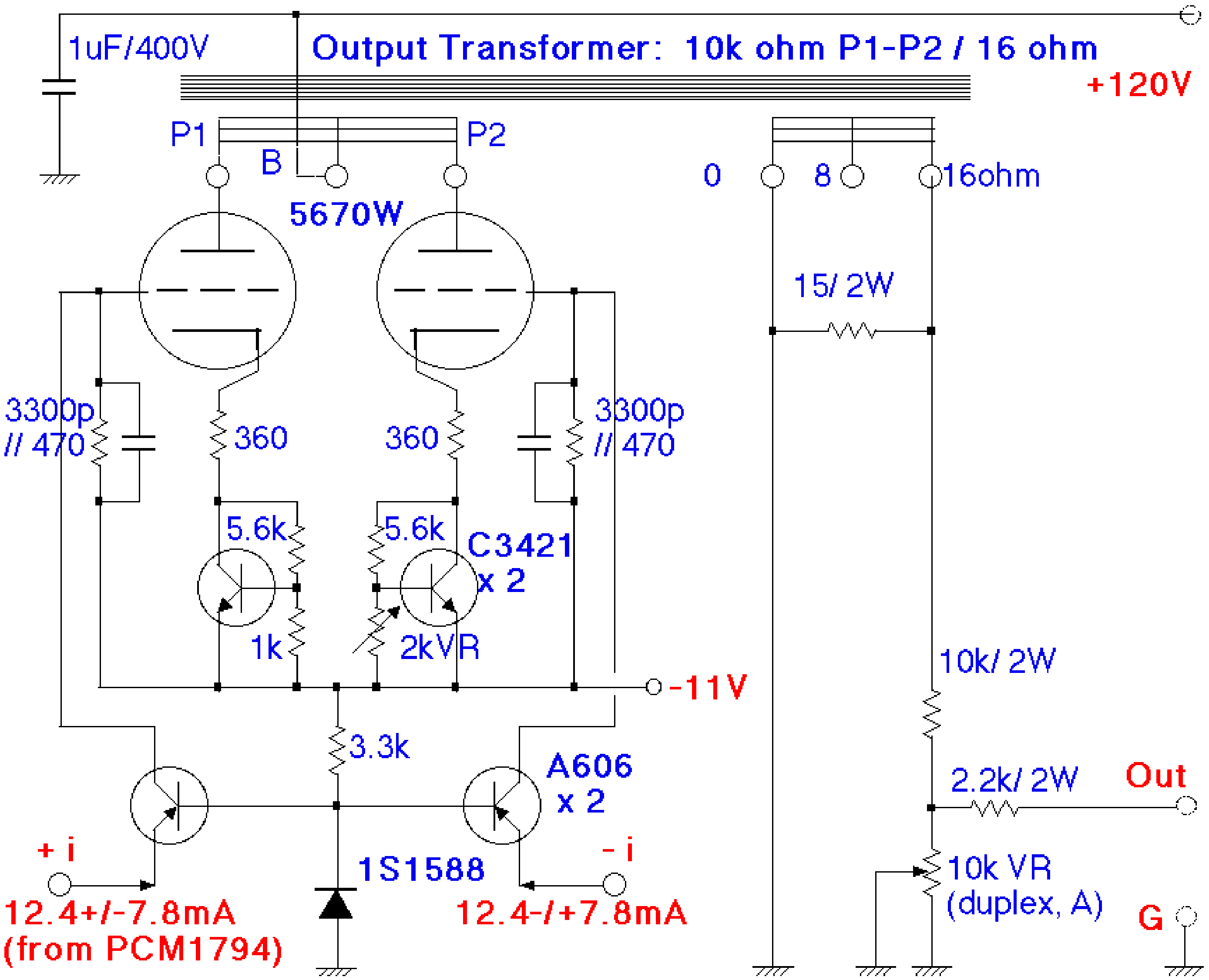
c）定電流回路の動作に疑問符（ハムノイズ、低域再現性）

3）の真空管式対称出力段を採用し、a）および b)をケアしてやることにより、低域の厚みが増しました。その点は良かったのですが、上記、c）定電流回路の疑問（ハムノイズ、低域再現性）については、どうにも原因の特定が難しいと感じました。2SC3421 とツェナーダイオードを用い、約 20mA の定電流回路を組み、PCM1794 の出力電流との差分を次段以降（真空管回路）に回していたのですが、果たして理想的な動作をしているのでしょうか？測定器などでの確認はしていないのですが、1）や2）のときには気が付かなかったことを状況証拠として思い起こすと、定電流回路もしくは、対称型出力段の電源（電源トランスの関係で片波整流を採用）のどちらかが原因のように思えます。

回路の構成を大きく変えずに何か手を打てないかと思い、いくつか改良を施してみました。ひとつは、定電流回路のツェナーダイオードに、比較的容量の大きなケミコンをパラに配線してみたことです。容量の大小、ケミコンの銘柄で、音質が変化することをを発見しました。例えば、OS コンを用いた場合、全体的にきらびやかな印象に、日ケミの KMG では高域のフォーカスがソフトに、30 年前にローカルに話題となった「NUM コン」をパラった時は、小容量にもかかわらず奥行きの深い音質に、という具合です。銘柄によらず、並列コンデンサを付加した場合は、微少なハム音も僅かながら目立たなくなります。

次に、対称回路による出力段の正負電源近傍（基板裏側）に、220uF/160V 程度のケミコンをバイパスコンデンサとして配線し、出力段起因のリップル成分があるのならこの手で殺しておこうと思いました。心無しか低音の基盤が強固になった印象は受けたものの、微少なハムは取り切れませんでした。ちなみに、ハムと言っても実際に音楽がなっている最中は気がつきません。ウーハーに耳を寄せたり、真夜中でそっと聴いているオケの ppp の合間にちょっと気になる、という程度です。

完璧を期す、ほど執着は無いのですが、実験的な好奇心が湧いてまいりましたので、もういちど基本に戻るような面白い回路はないものか、とあれこれ考えた末、下記のような回路を思い付きました。ここに至るまで、紆余曲折を説明すると退屈なのですが、新しく盛り込んだ主な特徴をまとめると、（i）終段はもう一度トランス出力を試みる。インピーダンスマッチングを考えた出力アッテネータ回路を付加する。(ii)グリッド接地も、定電流回路も、一旦御破算にしてみる。DAC(PCM1794）の電流出力を抵抗で受け、これを真空管 I/V コンバータのグリッド入力とする。 以上を取りまとめた回路が下記の物です。上記(ii)を実現するには、どうしてもトランジスタのベース接地入力回路の力を借りざるを得ませんでした。どうせなら音質に定評のあるトランジスタを、と思い、虎の子の国宝級トランジスタ 2SA606 を投入しました。



5670W のグリッドに入る素子は、470 オームの抵抗と 3300pF のコンデンサです。これが PCM1794 の電流出力の直接の負荷になります。これを 2SA606 によるベース接地回路で受けてやれば、PCM1794 の出力端子電圧をゼロボルト近辺に固定（揺らさない）ことができます。K 式 IVC 回路では、この機能を真空管式またはトランジスタ式のユニットオペアンプ丸ごと1つで受け持ちます。とおるさんは 2SA606 を1個で済ませてしまおうというのですから横着きわまりないですな。

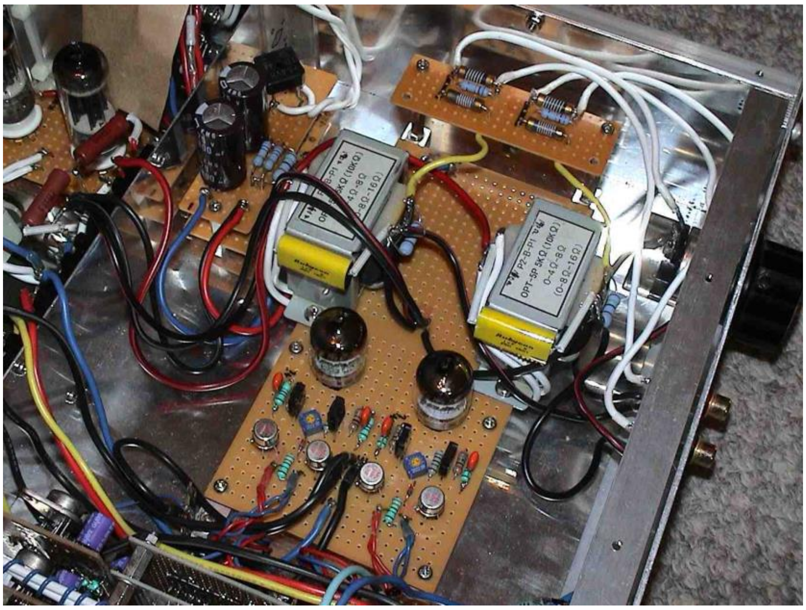
PCM1794 の電流出力は、モノラルモードで 12.4+/−7.8mA 振れますから、グリッド電位は6V を中心に+/−4V も振れます。これは振れ過ぎ。

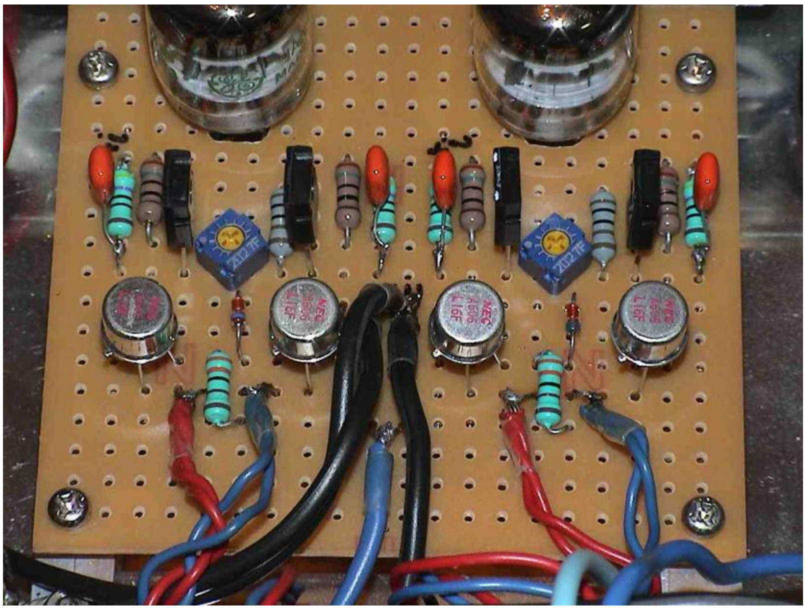
そこで、カソード抵抗を 360 オームとしてやると、「自己バイアス」がかかり、プレート電流が+/−6mA 触れる想定で、グリッドとカソード間の電位は差し引き+/−1.5V 程度振れることになります。

ただし、定常状態（音楽振幅が無い場合）でこのままでは、グリッドとカソード間の DC 電位が合わず、とんでもないプレート電流が流れてしまいます。そこで、2SC3421 を用いた定電圧回路（約4V）をカソード回路に入れました。プラス・マイナス入力回路間のバランスを取るため、片方には調整用のバリオーム（2k オーム）を入れてあります。いわば、「半固定バイアス回路」となります。

グリッド抵抗、カソード抵抗を含めた真空管回路上の基準電圧は、マイナス電源電圧−11V となります。結局、グリッドとカソードの間に変なノイズ成分を呼び込まなければ良いわけで、グリッド抵抗の接地先は必ずしもゼロボルト電位でなくても良いわけ

です。また、回路はすべてプラスマイナスのバランス動作をしているので、全消費電流は暴れません。従って、プラスマイナスの電源電圧が信号入力で揺すられる心配もありません。





以上の回路に決定の上、例によって穴明き基板にまとめました（上記写真）。5670W は、今回もソケットを介さず基盤上に直接配線です。真空管のピンを磨くコツが分かって、ハンダ付けは大変楽になりました。出力トランスは、前回採用し、しばらくお蔵に眠っていた安価なもの（pp 型、出力 5W 対応）を復活させ、ベーク基板を介して、金属サポートにネジ止めしてあります。出力 5W の小型なものとは言えそれなりの重量がありますのでしっかり固定した方が良いです。デジタル部分は全く変更なく、回路基盤の載せ変えも至って簡単です。電源は 6754 を 2 個用いて片波・正負電源としていたものを、若干の接続変更で両波・正電源（約＋120V）に変更です。5670W は全部で 2 個に減ってしまったので、ヒータ電圧の合わせ込みのため、直列に入るセメント抵抗をあれこれ取り替えてカットアンドトライをしました。

以上、めでたく完成、スイッチオン！　5670W の各プレート電流は約 7mA に揃いました。試しにフルボリュームにしてみましたが、気になっていたハム音は皆無。この点は成功です。肝心の音質は、エージング途上ですが、明らかに低音域の奥行き拡がりました。真空管特有の、粘りと潤いが感じられます。これまで

で一番シンプルな回路になった割には、音質的には一番進歩したような気がする。パーツ箱には、これで都合４枚くらいの試作基板が出来上がってしまった。（Part 7.13：2009.11.22）

（基板写真を追加し記述を修正：2009.12.27）

トランス出力と対称出力の比較：最終版か？

PCM1794 の正負の電流出力を受け止める前段を、2SA606 によるベース接地回路と、5670W のオーソドックスなグリッド入力回路の組合せで構成し、トランスによってシングルエンド出力に合成する前回の手法は、シンプルかつ音質的にも優れていることがわかりました。ただし、5Wpp の小型出力トランスが、音質の物量的なところ（特に低域再生の質）を制限している可能性はあります。このトランスにお金をかければ、きっとさらに大きな音質改善が図れるでしょう。

今回、前段回路と出力回路（トランス式）の両方をいっぺんに変えてしまったため、一体何が原因でハムノイズが改善されたのかが不明になってしまいました。もともと、グリッド接地入力のところは変えずに、トランス出力にする所だけを変えようと思っていたのですが、ついつい横着して一息に変更してしまった。とおるさんの悪い癖です。幸い、改善の方向に行ったから良いようなものの・・・・

そこで、トランス出力回路の音質をしばし堪能しつつ、その傍らで、もとのトランスレス回路の前段の変更を傍らで実験することにしました。最初に試みたことは極めて単純かつ短絡的で、Part7.12 の回路のうち、前段 5670W のプレートから上の部分を全く変えずに、Part7.13 の前段回路と合体させたのです。

結果＝見事敗退。 最近のとおるさんの実験の中では、もっとも当てが外れた結果となってしまいました。まずは、ハムノイズは前よりもはっきりと大きく、これは音楽鑑賞に耐えられないほどのレベルです。次に、全体の利得ががっくりと減退。ただし、不思議なことに、ハムノイズの合間に聞こえる低域の馬力は何となく潜在的な力を秘めているような気がしました。

ということで、どうやらハムノイズの原因は、前段の入力方式（I/V 変換部分）にあるのではなく、後段の出力回路にあるようです。敗退結果にはがっくり来ましたが、何とかしてやろうと頭をひねりました。原因としていくつかの推定をしました。

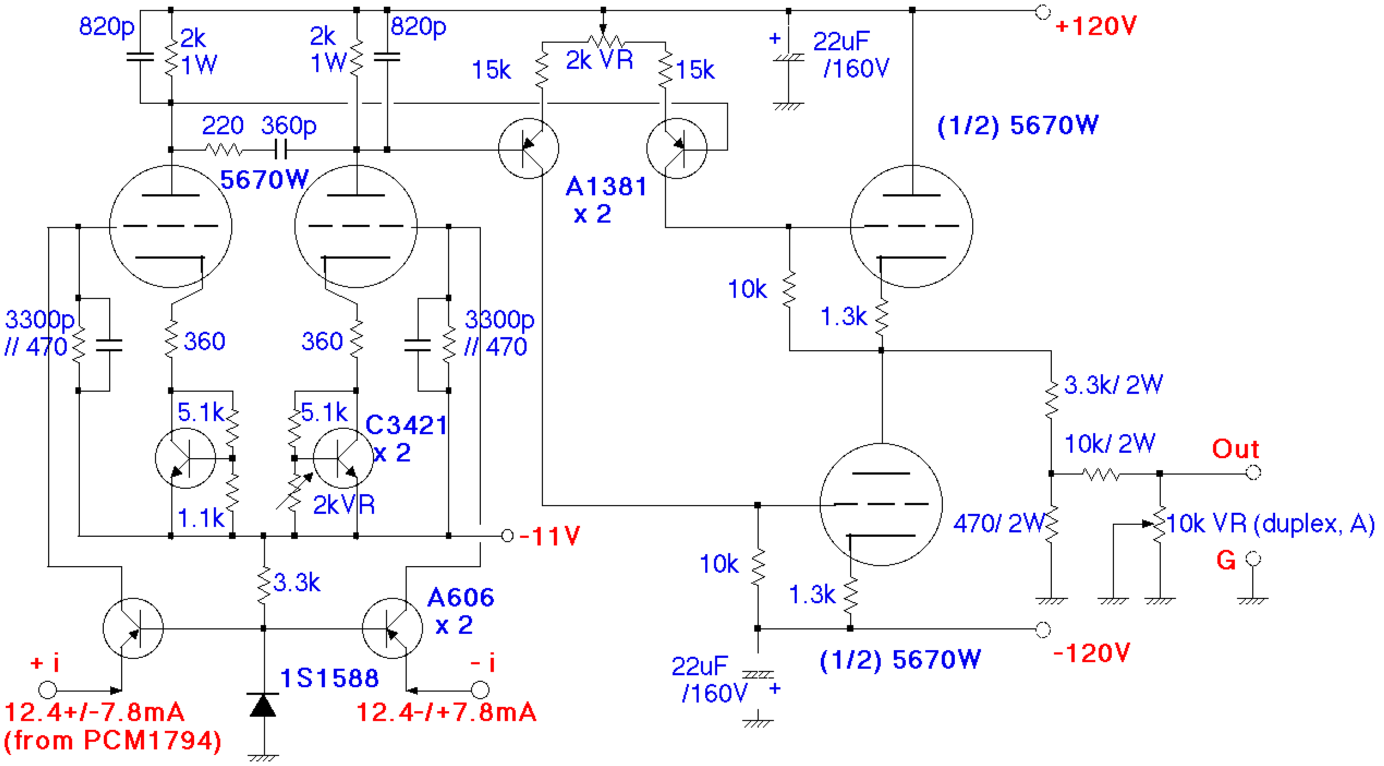
推定1： 後段対称出力回路の上下（正負）のグリッド入力回線が離れ過ぎている。基板上、この入力回路の間に+120V の Vcc 回線が来ている。 → 二つの入力回路をジャンパー線で配線し、しかも正負の入力線を撚り合わせた。

推定2： +120V の Vcc、−120V の Vee にリップル成分が、何らか経路を介して出力にあらわれる。 → 220uF/160V のケミコンをきちんと配置し、基板上の電源線から最短距離でアースにバイパスしました。

推定3： 固定バイアスを与えているツェナーダイオードの電圧 2.7V は、最近の K 式回路と比べても極端に小さい。グリッド終段のグリッド電圧の微妙な変化に対し敏感に反応し過ぎるのかも知れません。あるいは上下回路の動作点の差が出やすいのかもしれません。 → 前段回路でオーソドックスな自己バイアスに近い動作をさせたのにならって、この際ツェナーダイオードを取り払ってしまうことにしました。

推定4： 前段回路に挿入した 235 オームが災いし、トータルのゲインが不足している。そこへ輪をかけて、後段の固定バイアス＋対称出力回路がノイズに敏感になっている。 → 235 オームを排除。

以上の対策を施した回路を下記に示します。ある意味、とてもシンプルな回路になりました。後段の対称出力回路は、K 先生のトランジスタ型対称出力回路と同じように、グリッド抵抗（10K オーム）と、カソード抵抗（1.3k オーム）の倍率に反比例して、電流増幅を行います。左側チャンネルの 5670W は、上下のユニットの特性差が大きく、1S1588 を一個入れて補償していたのですが、その必要も無くなりました。



以上、修正点はさほど多くないのですが、ハンダ吸い取り・除去と、7 本よりを外して配線し直す、などの作業は結構根気が要るし、疲れるものです（まる１日かかったわい）。しかし、出てくる音・実験結果に興味が湧きます。

というわけで、再び試作終了。トランス型回路基板とごっそり入れ替えます。+/−120V の正負電源に戻すのと、ヒータ電圧の再調整。慎重に配線を確認しつつも、ミスが恐い。でも電源スイッチをオンしてしまおう・・・・・後段のグリッド電圧、カソードバイアス電圧を確認。特に大事な、カソード抵抗（1.3k オーム）の両端電圧をまず当たりましょう。左右および上下（正負）、4 箇所とも 9V 前後を示していますので、5670W の上下ユニットには 7mA 内外のバイアス電流が流れている計算です。ほぼ設計値と合っています。上下対称回路の特徴ですが、下側真空管のプレートには、上側真空管のグリッドバイアス電流とカソードバイアス電流の加算されたものが流れ込みますので、下側カソード抵抗の両端電圧は上側のそれよりも若干大きくなります。ここまで来たら、ゼロ点の調節に入りましょう。今回の回路の場合、電圧シフト動作をしている 2SA1381 のペア調整点の VR（2K）で調整し切れない場合は、前段 5670W のカソード回路に入っている VR（2K）を使えば追い込めます。しばらくエージングもかねてゼロ点のふらつき具合を見てみます。ローカルに発振している場合は、テスタで触れるたびに値が変わるなど、不安定になります。「見事敗退」の時はまさにそんな様相でした。今回は落ち着いています。さてさて・・・・・試聴と参りますか。

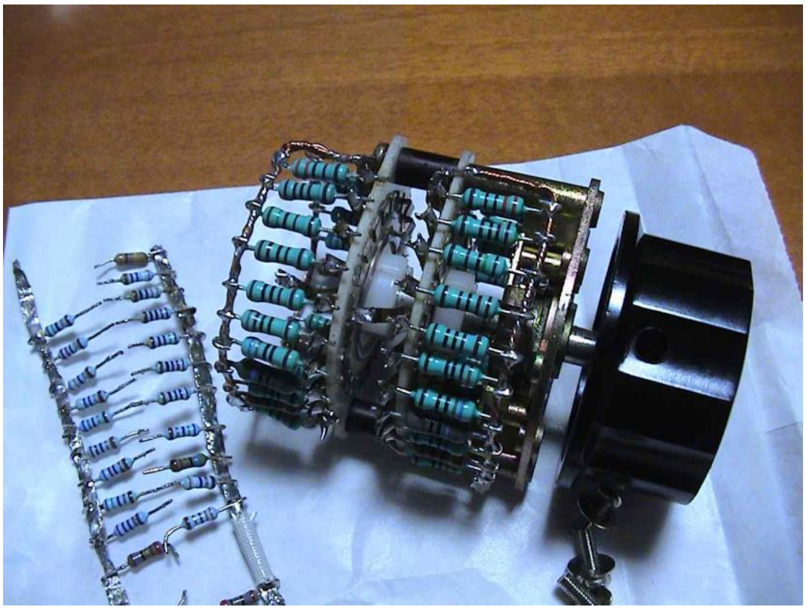
まずは肝心のハムレベル。ぐっと減少しました。フルボリュームにしないと感知できません。大幅改善と言えるでしょう。次に低音再現力。も～言うことありましぇん。量感と奥行き感はとおるさんの知る限り最高の部類でしょうか。ジュリーニ＋ブルックナー9 番の冒頭の fff なんか、ヤバ過ぎ。静寂感や、左右の広がり

についてもそれぞれ一段とグレードアップしたような気がします。しばらくは「いぢり屋本舗」も休業ですかな。（Part 7.14：2009.12.27）

またしてもグリッド接地回路・比較実験

PCM1794 の正負の電流出力を受け止める前段を、2SA606 によるベース接地回路と、5670W のオーソドックスなグリッド入力回路の組合せで構成した第 7 版の DAC 回路の音質は満足の行くものです。ピラミッド形の低音域の安定感はこれまでにない仕上がりです。しばらく「いぢり屋本舗」も活動休止していました。

後は、深夜のリスニングでも問題ないように、出力回路に用いている RV30 タイプのボリウムが何とかならないものかと思案しておりました。回転角中ほどの音質はまあまあですが、音量を絞った時の左右のバランスの崩れは、まさに摺動接点の接触抵抗と、塗布された抵抗膜の誤差によるものでしょう。正しいステレオ効果が得られず、奥行き感や、低音域の定位が損なわれているようです。そこで取り出しましたる中古ロータリースイッチ（下の写真）。いきなり高価なものは買えず、さりとて是が非でも試してみたいとの一心でネットを検索。何とか求めるスペックのものが見つかりました。22 ポジション x2 回路、接点から隣の接点へショートしながら切り替わる形式です。



各ポジションに用いた抵抗は、一本20円ほどの安価な金属皮膜抵抗ですが、結果はオーライです。可動接点をアース（グランド）側に持ってきたことで、さらに歪み感が無くなったようです。実は以前も試したのですが、定数の選び方が間違っており、出力回路のインピーダンスと、接続されるパッシブデバイダのインピーダンスとをあわせることが出来ず、低音が腑抜けになってしまいました。今回は大丈夫です。大変滑らかで、かつ奥行きの深い音質になりました。ちなみに、用いた抵抗値は、

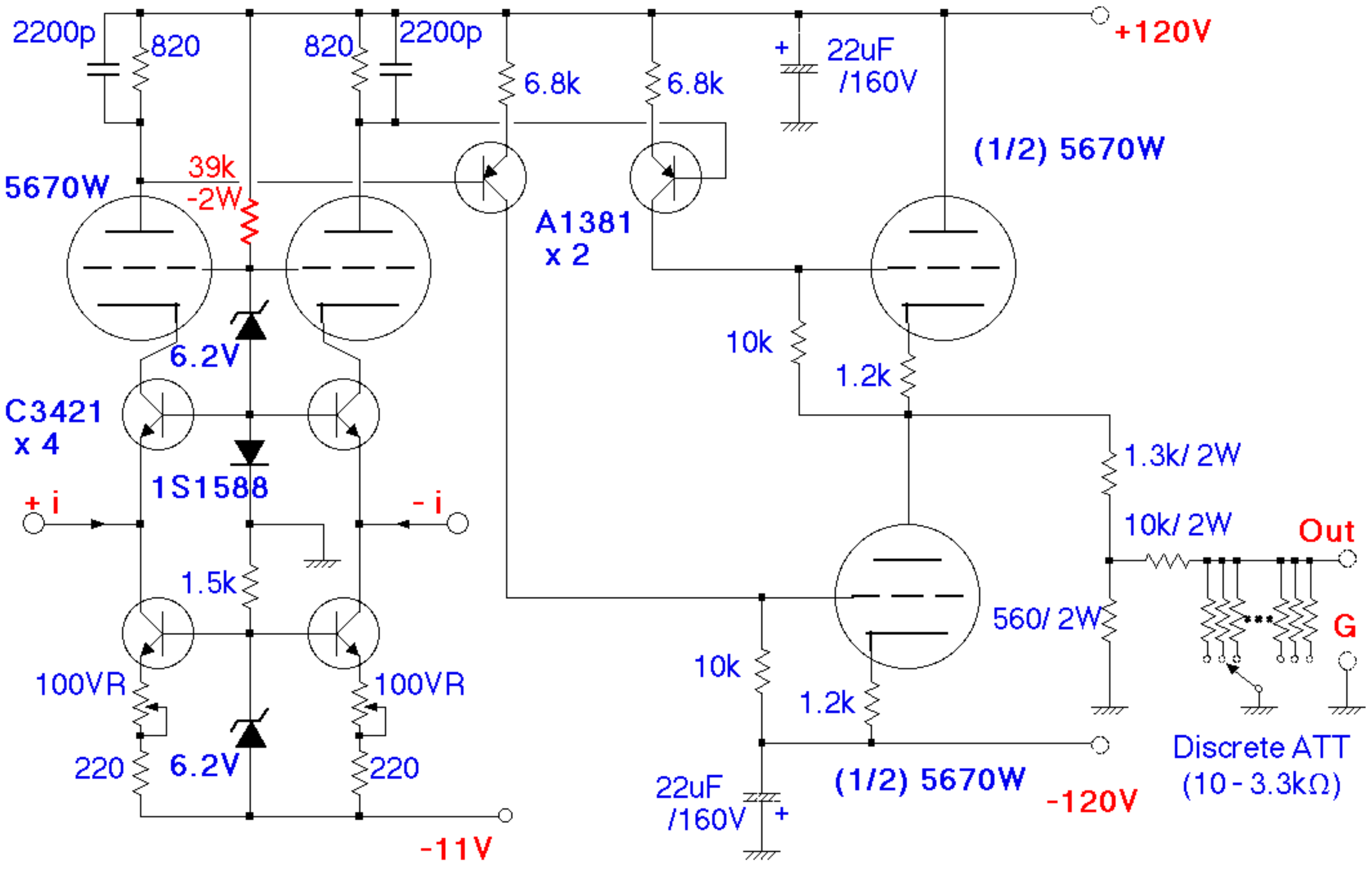
0(ground)/ 10/ 22/ 47/ 68/ 91/ 120/ 150/ 180/ 220/ 270/ 330/ 390/ 470/ 560/ 680/ 820/ 1000/ 1200/ 2200/ 3300ohm、です。

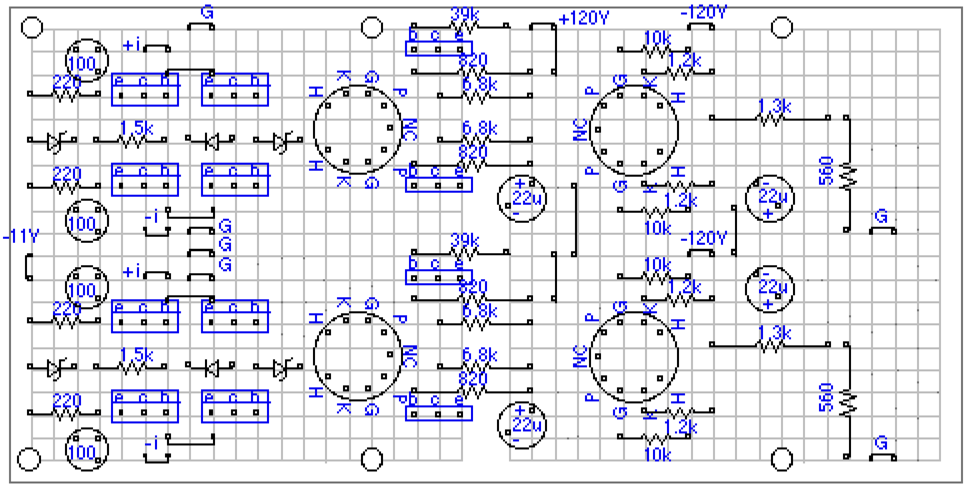
さて、改善されたアッテネータを用いてしばらくリスニングをしているうちに、あらためて色々と感じることがありました。

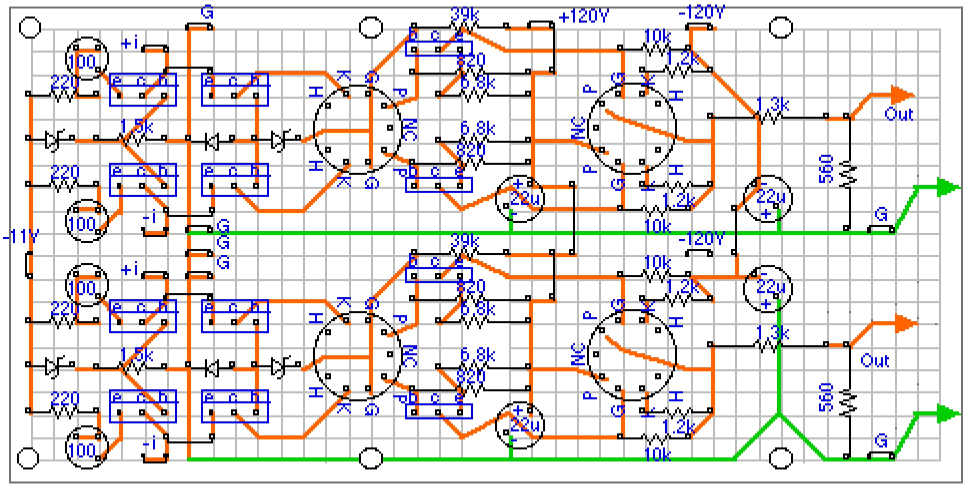
その1： ダイナミックな音質、というのがお気に入りでしたが、反面、若干の歪み感を伴う気がする。 → この点、よくよく定数を見直すと、終段のカソード抵抗を 1.3kohm としたことで、出力回路の負荷抵抗（3.3kohm + 560ohm）と合わせて既にかなりの高抵抗になっている。特に、プッシュプル出力段で換算すると、1.3kohm に上乗せされるのは、（3.3kohm + 560ohm）のさらにその 2 倍、ということになります。3.3k のスケルトン抵抗に、2.2k のスケルトンをパラに接続し、負荷抵抗を低減してみたところ、効果ありでした。録音レベルの高いジャズのピアノトリオ作品や、アコースティックギターのソロ作品など、アタック音の乱れがすっきりと納まりました。

その2： 2SA606 のベース接地回路を介してグリッド電圧が変調され、これに追随して 5670W のプレート電流（すなわちカソード抵抗の両端電圧）が振られているわけですが、はたしてどれほど正確に、あるいは迅速に応答しているのでしょうか。これもとおるさん的に極めて感覚的に捉えると、どうやら「おおらかに」応答しているように感じます。多少の歪みも、応答帯域の制限も、「真空管的に」対処しているのでは、と思えます。 → この点をぜひ比較実験してみたくなりました。対抗相手は、「グリッド接地回路」です。

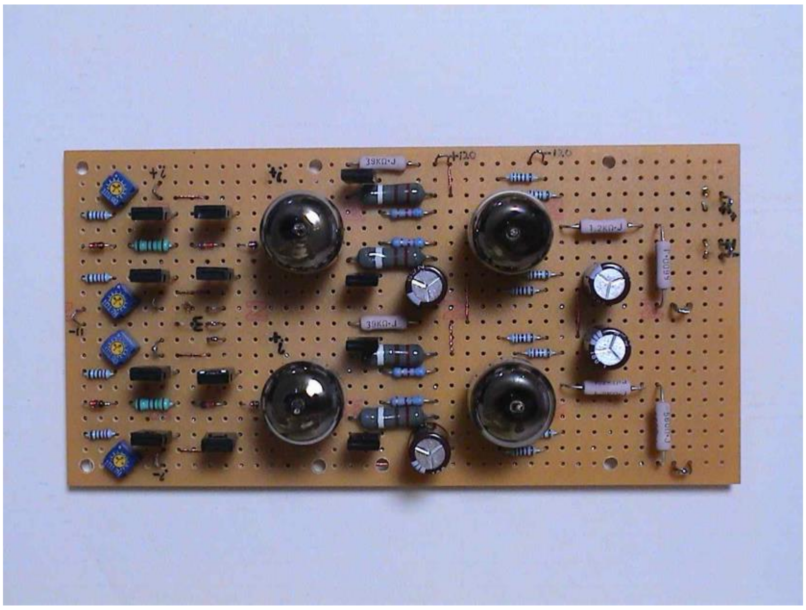
と、いうわけでまたやっちゃったのが下記の回路図・基板レイアウトです。対称回路の終段は、前回お試し済みです。前段・PCM1794A の受けをグリッド接地回路とし、再度合体させました。

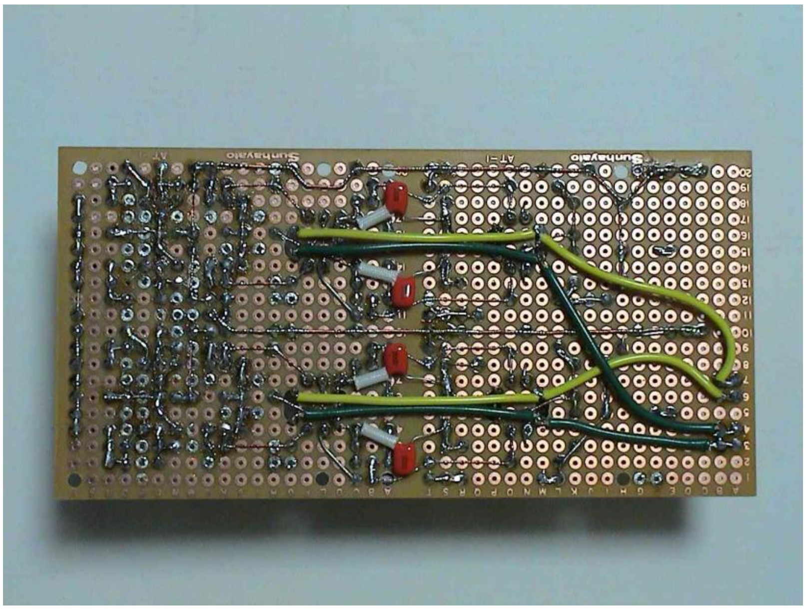




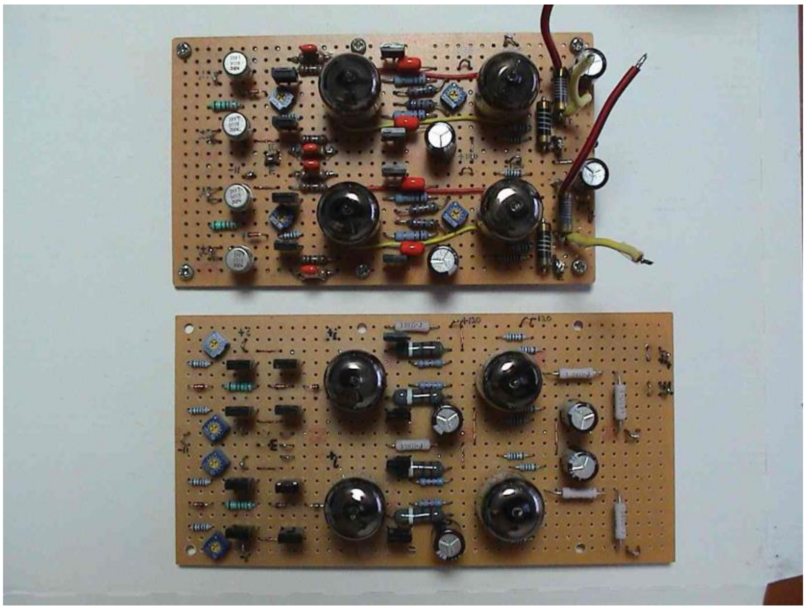


この 2 年くらいの実験と試作で、主要部品はおおよそ揃っています。前々回のトランス出力回路を実験した基板を改造して仕上げました。回路基板の表と裏を下の写真に示します。

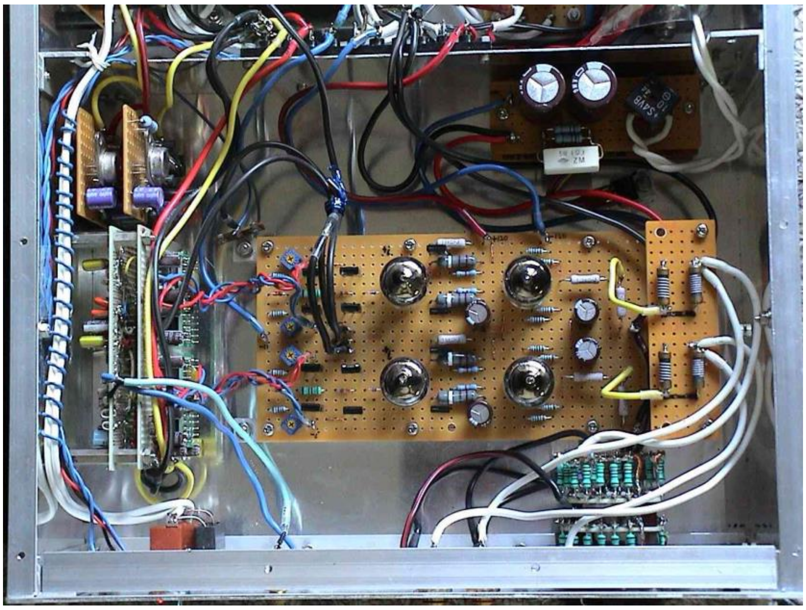




新旧の基板を並べてみたところ。2 種類の基板で、取り付けネジ穴の配置、電源、アース、入出力、それぞれの端子の配置を共通にしたので、入れ替えは簡単です。今後、取替え引っ換えするときもミスはしなくてすみます。出力回路（抵抗による分圧回路）をゆったりと配置したので、新しい回路基板のほうが大きいです。



下図、新しい回路基板を DAC 匡体に設置したところ。配線も済ませました。まずは、整流管 6754 を抜き、+/−120V の供給は後回しにします。−11V と、PCM1794A からの電流出力を配線し、スイッチをオンにしました。入力回路上側の 2SC3421 によるベース接地入力と、カスコードになっている 5670W グリッド接地回路とが、まだ起動していないので、PCM1794A の電流出力端子電圧は−0.7V 位に引っ張られます。また、定電流回路の 220 オームには 4.4V ほどの電圧が生じているので、20mA の電流が流れていることが分かります。PCM1794A のバイポーラゼロ状態での電流は 12.4mA なので、余分の 7.6mA はどこから供給されているのかな？PCM1794A が頑張っているとするとちょっと心配です。



一旦スイッチをオフにした後、6754を差し、もういちどスイッチを入れます。6754がヒートアップすると、グリッド接地回路が起動し、今度は余分の7.6mAが+120Vから5670Wを通して供給されます。この時点でPCM1794Aの電流出力端子の電圧は+0.1V程度となり、正常な動作状態となっていることが分かります。また、5670Wのプレート負荷となっている820オームの両端電圧を見れば、実際の電流値が分かります。PCM1794Aのフルスイング電流振幅は、+/−7.8mAですが、2段目2SA1381のベースエミッタ電圧0.6Vの分を確保しなければいけないので、820オームに流れる電流値は最低でも8.5mAは必要です。従って、820オームの両端電圧が7Vほどになるよう、定電流回路のVR(100オーム)を調整します。終段の出力端子のゼロ点も、このVRを調整することで合わせ込みます

終段5670Wのバイアス電流は今回少し多め(8〜9mA)としました。カソード抵抗1.2kohmの両端電圧は、10V(回路図上側の5670W)、または11V(回路図下側の5670W)位になります。例によって、下側5670Wのプレート電流は、上側5670Wのグリッド電流も引き受けますので、その分多めになるわけです。ここらへんは、とおるさんの極めてラフな机上計算ですが、概ね計算通りの結果だったので、満足満足♪5670Wの自己バイアス回路が分かりやすく動作してくれている、ってことでしょう。

というわけでいきなり試聴の結果。「大らかトーン」から、「高分解基調」へ、明らかに変化しました。今回のグリッド接地回路には、PCM1794Aの出力パルス電流に対するフィルターとして、820オームとパラの2200pFの1段しかないので、まだまだ高域成分が取りきれずに残っているのかも知れません。とりあえずエージングにより音質が落ち着くのを待つため、ほぼ一昼夜、色々なCDをかけまくりました。電源回路などはすでにエージングが進んでいるためか、今回は10時間前後から、割とエージング効果が見え始めました。あばれが無くなって、浮き立っていた腰が落ち着く、というイメージです。コントラバスの細かなフレーズが見える感じで、ライブ感が増した感じです。ホールトーンも協調されたようです。2段目のフィルタを入れるとすれば、出力回路最終段の560ohmの所だと考えています。いずれカットアンドトライをしてみましょう。今はまずこの音質で特に破綻はなく、むしろグレードアップしたと言って良いでしょう。しばし様子を見ることにします。(Part 7.15:2010.04.18)

アーカイブの終わり (201601029)