

No.279 Nutube 6P1 バイポーラ Tr ドライブ
SiC MOS-FET パワーアンプ

作成レポート

2023年11月5日

目次

1. はじめに.....	1
2. 基本方針	2
3. 製作仕様	3
3.1. パワーアンプ／SAOC 基板.....	3
3.2. 誌面の回路図と基板図について	4
3.3. 電源部.....	4
3.4. 電源制御.....	4
(1) 電源 ON/OFF 制御／外部機器 SW 連携	4
(2) 制御回路／過電流検出基板	5
(3) スロースタート／クイックオフ／バッテリーチェック	5
3.5. DC 検出回路.....	6
3.6. 筐体内部配置.....	7
3.7. MOS-FET の実装方法	7
3.8. 放熱器加工	8
3.9. 基板吊り下げフレームと固定金具	8
3.10. フロントパネル	9
3.11. リアパネル.....	9
4. 重要部品の確保.....	10
5. 製作.....	11
5.1. 基板作成.....	11
(1) アンプ／SAOC 基板	11
(2) 制御回路／過電流検出基板	11
(3) スロースタート／クイックオフ／バッテリーチェック	12
(4) DC 検出基板.....	12
5.2. 筐体加工.....	13
(1) 基板吊り下げアングルの加工	13
(2) フロントパネル	13
(3) リアパネル	13
(4) 放熱板の加工.....	14
(5) 天板、底板への放熱用穴あけ	14
(6) レタリング	15
5.3. 組み立てと配線、調整	17
(1) 筐体組み立て.....	17
(2) 電源周りの配線	17
(3) 電源周りの確認	18
(4) アンプ基板、保護回路 DC 検出基板の配線.....	20
(5) 保護回路 DC 検出基板の確認	20

(6) アンプ基板の調整準備	21
(7) アンプ基板の調整	21
(8) 位相補正	23
6. ヒアリング	24
7. 追記.....	25
7.1. 改良版 制御部／電源 ON/OFF 制御／過電流検出基板.....	25

1. はじめに

以前作成した MJ 無線と実験の 2017 年 6 月号、7 月号の「Nutube バッテリードライブハイブリッドパワー IVC」を電圧伝送に変更したが、簡易的な方法での対応であったこと、FET よりバイポーラ Tr の方が好みであることから、今回、No. 279 バイポーラ Tr ドライブのパワーアンプを作成することにした。本来、出力段にトランジスタを用いた Nutube アンプ作成が望みである。最近、2SD218 を使用したアンプが発表され始めたので、今後に期待。

2023 年 6 月 25 日

2. 基本方針

回路は、MJ 無線と実験 2021 年 12 月号の[図 15]改良型 Nutube ハイブリッドパワーアンプを使う。SAOC については、基板図しか記載されておらず、回路図の記載はない。基板図に定数も記載されていないパーツがあが、従来記載の回路図から類推することは可能である。

SiC MOS-FET は、4 本足のロームの SCT3030AR であるが、1 素子 1 万円近くもする高額な SCT3030AR を購入する資金はない。SCT3030AL を使うか、SCT3060AR(誌面では、SCT6060AR と紹介されているがおそらく誤記)が安価であれば購入する。

筐体は、No. 281 amanero combo384 版 DAC と統一したデザインで作成したいので、HY70-33-23SS を新調して作成することにした。

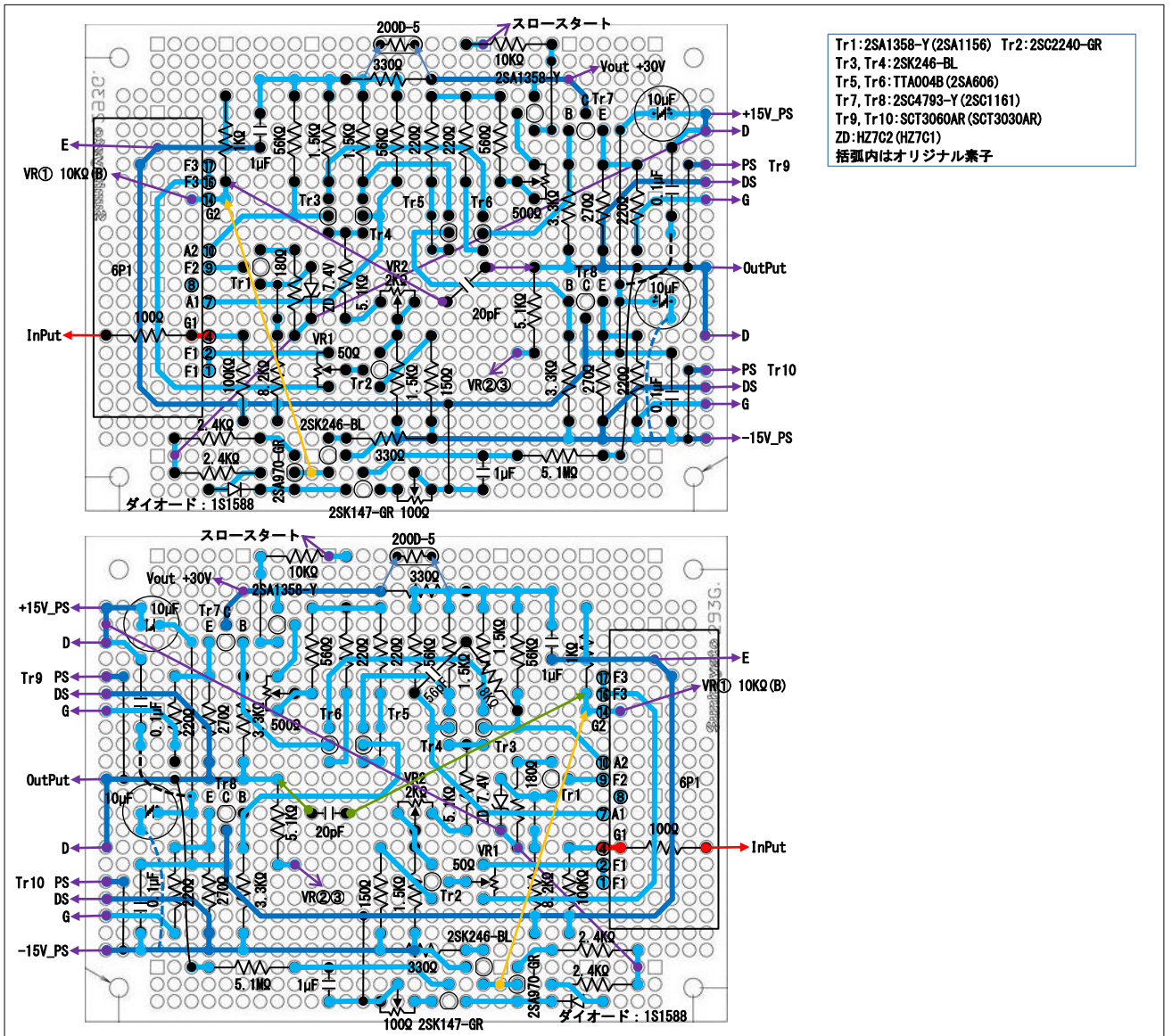
3. 製作仕様

3.1. パワーアンプ/SAOC 基板

パワー素子は、ロームの SCT3030AL より、SCT3030AR と比較してドレイン損失が小さい SCT3060AR の方が安価に入手できることが分かったので、SCT3060AR を使用することにした。Tr5, Tr6 には、2SA606 の代替として、TTA004B を使用する。また、Tr7, Tr8 には 2SC4793 を使用する。

2SC959/960 の C_{0B} は、50pF、2SC1161 の C_{0B} は、30/140pF(おそらく最小と最大)。TTA004B は、17pF(標準)、TTC004B は、12pF(標準)、2SC4793 は、20pF(標準)。

基板図の SAOC の回路は、過去に同等回路が掲載されている。Vo がプラス方向に変動したとき、 I_z が増加し、反転入力グリッド抵抗の電圧がその分高くなり、Vo が低くなる動作の回路。2SK147 のソースの半固定抵抗の抵抗値が不明であるが、類似回路から類推すると 100Ω であろう。なお、この半固定抵抗は、吊り下げアングルで隠れてしまう位置となってしまうが、基板スペースに余裕が無いので致し方ない。2SK147-GR の代替として同等スペックの 2SK369-GR を使用する。パターン図の入力に裏付けの 100Ω を入れてあるが、オリジナルの回路にはない。実装時にどうするか決める。また、フィラメントの半固定抵抗 50Ω もオリジナルには無い。



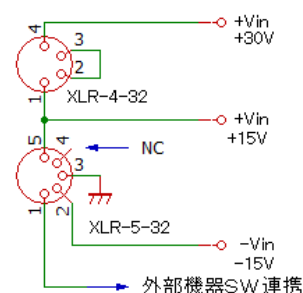
3.2. 誌面の回路図と基板図について

ところで、誌面の回路図と基板図の結線が合っていない。基板図の結線を正とすると、Tr3 のドレインは、Tr5 のベースに結線し、Tr4 のドレインは、Tr6 のベースに結線していただなければならないが、回路図は、Tr3 のドレインが Tr6 のベースに、Tr4 のドレインが Tr5 のベースに繋がっているの、基板図に合わせるなら、その様に回路図を訂正する必要がある。

今回作成したパターン図は、Tr3, Tr4, Tr5, Tr6 間の結線を回路図通りに描いていて、基板図の結線とは異なる。この為、Nutube の入力を誌面の回路図から変更し、T1 の G1 端子を非反転入力、T2 の G2 端子を反転入力としてパターンを描いた。T1 の A1 端子、T2 の A2 端子の結線は回路図通りである。この結線としないと出力の位相が反転し、位相反転増幅回路と同じ位相となってしまうので、SAOC が動作しない。

3.3. 電源部

電源部は、バッテリー等から電源の供給を受けるコネクタのみで構成している。±15V の供給は、対照的な位置のピンから取得しないように誌面の結線とは変えている。-15V は 2 番ピン、+15V は、5 番ピンから取得とした。これは、DAC 等にも同じ 5 ピンのコネクタを使うようにしたが、誤接続が懸念されるので、その対策の為である。DAC 等用のプラグを本機に誤接続しても、+15V の通電が無く、制御部が機能しないため、アンプの電源が入らない。逆に、本機用の 5P 電源供給用プラグを DAC 等の 5P コネクタに接続しても、DAC 等の制御部が機能せず、電源が入らない。



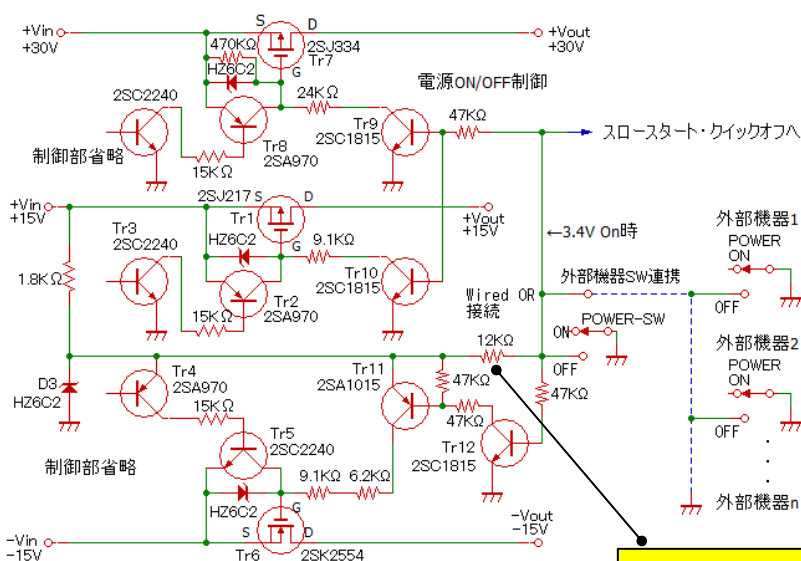
ピン No.	パワーアンプ用	DAC 等用
1	外部機器 S W連携	外部機器 S W連携
2	-15V	-7.5V
3	GND	GND
4	NC	+7.5V
5	+15V	NC

3.4. 電源制御

(1) 電源 ON/OFF 制御／外部機器 S W連携

制御回路に、±15V の他に+30V の ON/OFF 制御を追加した。

外部機器 SW 連携は、DAC 等の外部機器の電源を入れるまで、パワーアンプの電源スイッチが入っていてもパワーアンプが有効にならない様にするための機構である。動作は単純で、パワーアンプ内で電源にプルアップされた Wired-OR 接続なので、抵抗を外部機器で接地している限りパワーアンプの電源は Off のままである。関連機器全ての接地が解かると、パワーアンプの電源が ON と



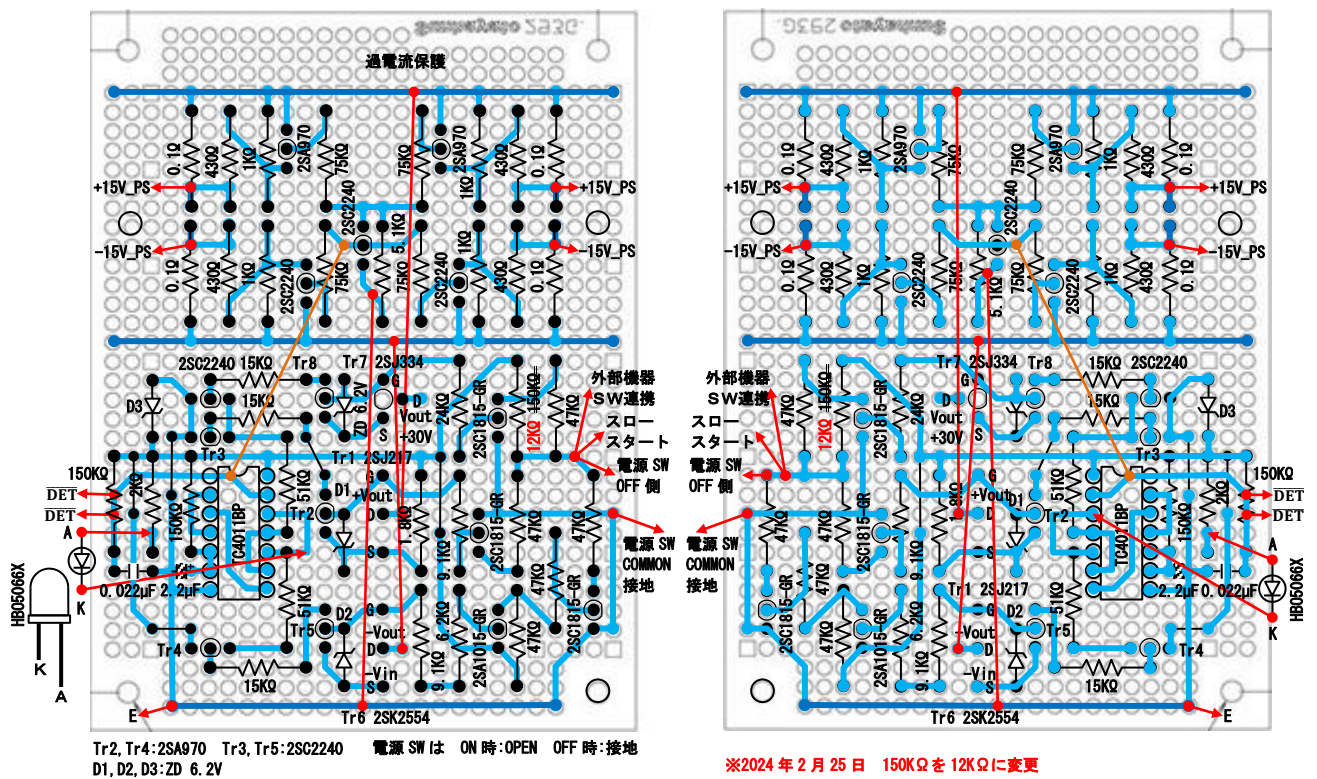
なり、スロースタートが開始される。

外部機器 SW 連携ラインが接地されると、制御部の MOS-FET が OFF になり、アンプへの電源供給が断たれると共に、スロースタートの電解コンデンサの電荷が放電される。

(2) 制御回路／過電流検出基板

過電流電出回路の出力(パターン図内 PS は、Power Save の略)を左右それぞれのアンプ基板の電源ラインに接続する。また、本基板には、電源 ON/OFF 回路、外部機器 SW 連携も組み込んでいる。基板は縦方向に実装しなければならないので、基板吊り下げフレーム幅からはみ出す。高さがある MOS-FET や 0.1Ω の金属板抵抗などがフレームに接しない様に基板パーツ面と基板吊り下げフレーム間の高さスペースを確保する必要がある。

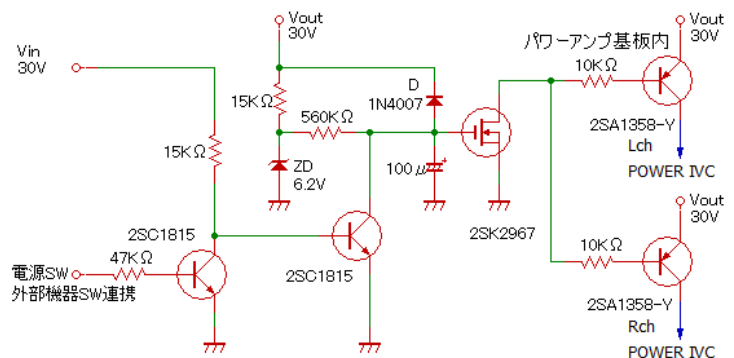
DET 端子には、MJ2023 年 7 月号の回路にあった 0.022μF を付けた。チャタリング除去?。



(3) スロースタート／クイックオフ／バッテリーチェック

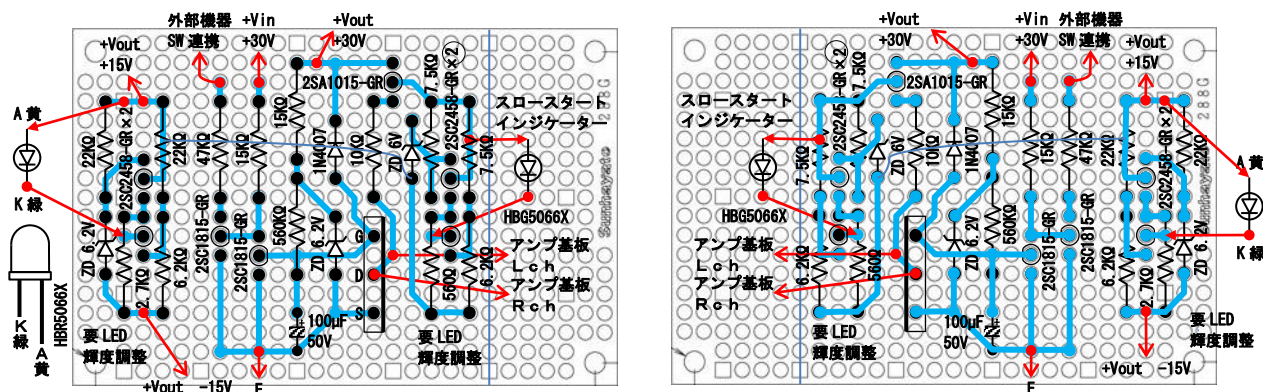
使用したい電源スイッチが 1 回路しか持っていないので、電解コンデンサの電荷放電用にクイックオフ回路と呼んでいる回路(単なるトランジスタのスイッチング回路)を組み込む。

基板にバッテリーチェックを同居させる。バッテリーチェックは、±15V (30V) を監視。LED は、電源スイッチ (GB-PSLED-



A24V-BL)の組み込み LED(DC24V/5mA)を使用する。

回路図に記載していないが+30V(+15V)のバッテリーチェックとスロースタートの状態を示すことを兼ねた緑色 LED の駆動回路を付ける。MJ 無線と実験 2022 年 2 月号[図 13]の回路を使用。

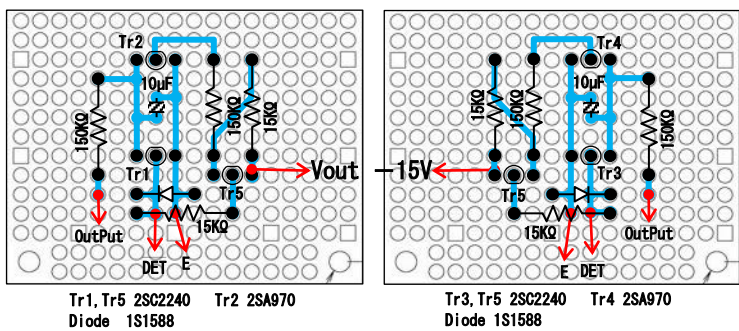


3.5. DC 検出回路

誌面の DC 検出回路は 1 つの回路で、左右両 ch の DC 検出を行うようになっているが、本機では、左右個別に DC 検出回路を設ける。出力ラインを極力長く引き回さない様にし、さらに、入力ラインと交差しない様にしたい為。

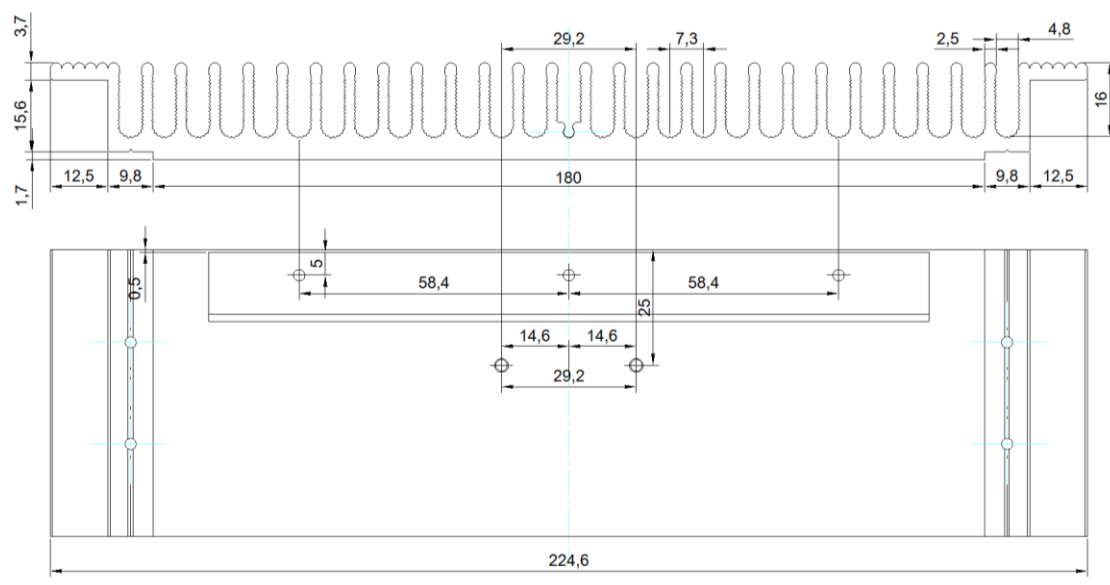
DC アンプシリーズ No. 279
 バイポーラ Tr ドライブ
 SiC MOS-FET パワーアンプ

[図 12]保護回路 DC 検出
 を左右個別用に分割した回路



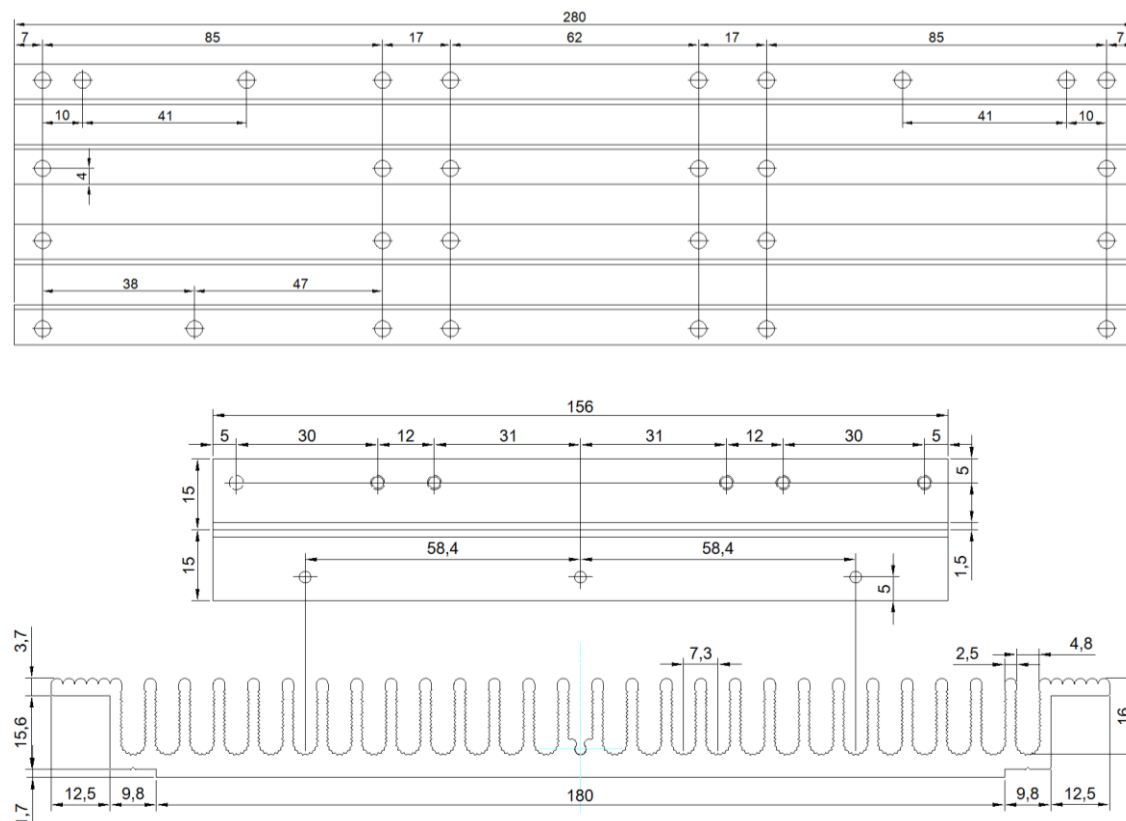
3.8. 放熱器加工

放熱器には SCT3060AR 用の取付穴と基板吊り下げフレームの固定金具 (15mm×15mm 1.5t のアルミ L アングル) の取付穴を開ける。タップを立てて、ねじ止めできる様にする。



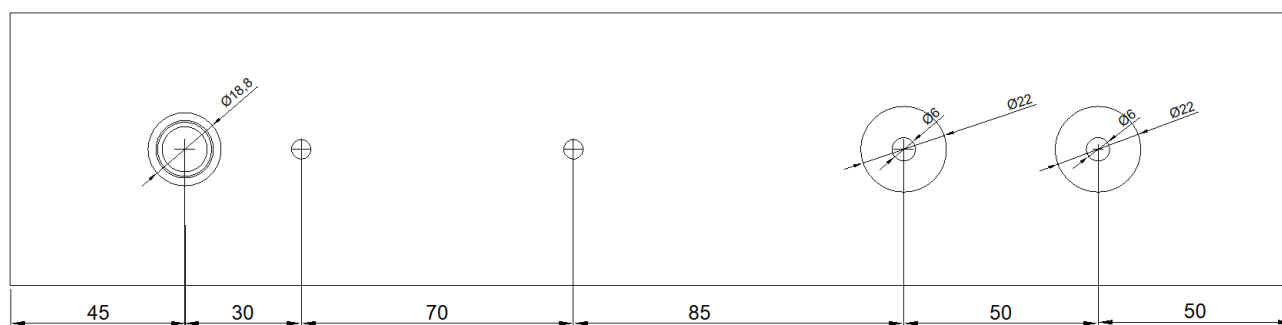
3.9. 基板吊り下げフレームと固定金具

基板吊り下げフレームで筐体中央にアンプ基板を左右に配置・保持し、その中央に制御部、過電流保護回路の基板を保持する。10mm×10mm 1.2t のアルミ L アングルで作成。また、基板吊り下げフレームの固定金具は、15mm×15mm 1.5t のアルミ L アングルで作成する。



3.10. フロントパネル

フロントパネルは、左側にバッテリーチェック LED を兼ねた電源スイッチ。電源スイッチの右隣りにスロースタートの状態をインジケートする LED を設けてみた。音だけでなく視覚的にもスロースタートが有効になったことを確認できるようにする。DC 検出 LED は、電源 LED と区別する為、電源スイッチから離して配置する。右側には、左右のレベル調整のボリュームを配置する。



3.11. リアパネル

紙面通りの配置とする。

MJ 無線と実験 DC アンプシリーズ No. 279
バイポーラ Tr ドライブ SiC MOS-FET パワーアンプ

2021 年 12 月号掲載 [図 40] リアパネル

4. 重要部品の確保

これまで容易に手に入っていた高性能パーツのみならず、汎用パーツも全く手に入らなくなった。これまで重要パーツは、保守を考え2倍(つまり2台分)購入してきたが、これも困難になりつつある。

◎印：指定部品は製造されており、問題なく入手できた部品。

○印：指定部品を入手したが、製造中止か中止予定、もしくは製造状態が不明の部品。

△印：指定部品の後継、改良型を入手した部品。

▽印：指定部品ではなく、定数や耐圧などが同じ相当品を入手した部品

×印：指定部品は入手困難、もしくは入手不可能で、手持ち部品を使用するか代替品を入手した部品。

入手	名称	説明
▽	SCT3030AR	非常に高価。真空管並みの価格。代替として SCT3060AL を使用
怪しい ○	NuTube 6P1	入手。どこの販売店も在庫が極少になって、入手が怪しくなってきた。ある店舗では、1個までという制限が入っている。
○	2SK246-BL	手持ちを使用
▽	2SA606	金に糸目をつけなければ入手できるが、代替として TTA004B を入手
×	2SC959/960	入手は到底無理なので、2SC4793 を入手。TTC004B でも良いだろう。
○	2SA1156	2SA1358 を代替として使用。手持ちを使用
○	2SA970	入手
×	2SC2240	隘路状態。手持ちを使用。
○	2SK147-GR	代替として、同一スペックで安価な 2SK369-GR を入手
○	2SK2554/2SJ217	手持ちを使用。高価。
▽	2SC2259	手持ちの 2SC2458-GR を使用
×	2SC1815-GR/2SA1015-GR	手持ちを使用
○	2SK2967	手持ちを使用
○	TC4011BP	手持ちを使用
×	1S1588	確保。1N4148 も保有。
×	HZ3C2	確保。1N5226B も保有。
×	HZ6C1	1N5233B を入手。ツェナー電圧 6V
×	HZ6C2	手持ちを使用。ツェナー電圧 6.2V。1N5234B も保有。
×	HZ7C1	0.1V 違いの HZ7C2 を使用
ほぼ ×	200D5	販売店が限られている。在庫も少ない。いつまで、このサーミスターを使うのだろう。他の方法で温度補償制御できないものか。
×	板抵抗	必要な定数は殆ど手に入らない。これまで板抵抗の代わりにタクマンの REY50FX や REY50FY を使用してきたが、REY25FX, REY25FY、REX25FY(炭素被膜)といったタクマンのオーディオ用の無酸素銅リード線の抵抗は手に入らなくなった。今後は、汎用の金属皮膜抵抗を使わざるを得ない。
◎	MPC74 0.1Ω	入手。
×	SE コンデンサ	在庫が無くなる前に駆け込みで必要なものをいくつか購入したが、高価なので限度がある。代替として使用したいディップマイカも入手困難。どうすりゃいいんだ状態。
×	APS 0.1μF APS100J104	売り切れ、在庫切れで購入できない。過去基板から取り外して使用。
×	OS コン 10μF 25V	殆どどこも欠品状態。手持ちを使用。
○	電源スイッチ	GB-PSALED-A24V-BL 250V/5A(LED 定格：24V/5mA)オルタネイト OFF-ON

5. 製作

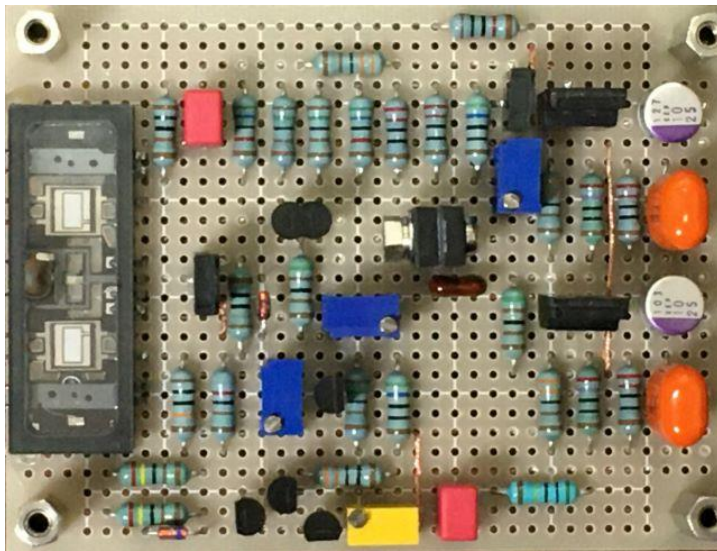
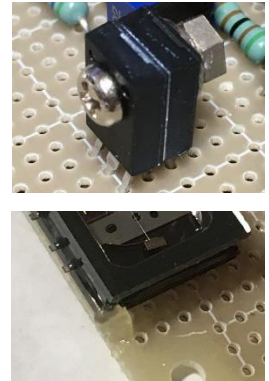
5.1. 基板作成

(1) アンプ/SAOC基板

5.1M Ω の抵抗が入手できず、5M Ω を使用。もともと、5M Ω /5.1M Ω =98%で2%の誤差なので、気にする必要は無いだろう。2SK246-BLはIDSSを測定してペアマッチングした。以前、DAC作成時にIDSS測定済みのペア品を購入し、測定しないでそのまま使用したら、ひどい目にあった。測定済みのペア品の購入時も測定すべきである。IDSS=6.65mA/6.65mAのペアと、IDSS=6.66mA/6.68mAのペアを抽出して使用した。

2SA606の代替として使用するTTA004Bの熱結合は、エポキシ系の接着剤で結合するのではなく、接合面に放熱用シリコングリスを塗布してビスで固定。

Nutube 6P1は、作成中に端子が無い側を不用意にめくってしまう事があるので、ホットポンドで固定。



ボリュームとパラに接続する20pFは、デイクマイカコンデンサを使用した。

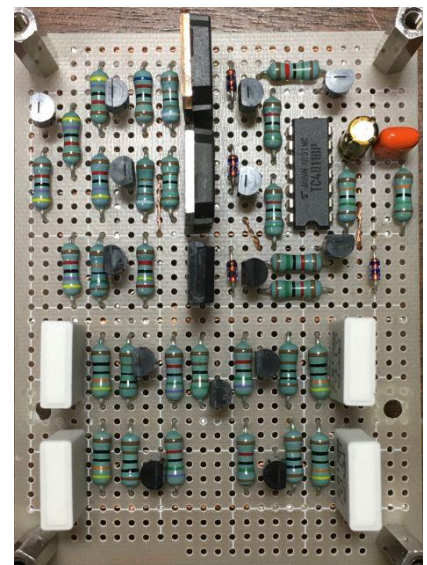
位相補正は、MJ無線と実験2021年12月号の[図15]改良型Nutubeハイブリッドパワーアンプ掲載の初段アノードA1、A2間の値、18K Ω +56pFとした。トランジスタが異なるので、この値が正解ではないかもしれない。測定器が無いので音で判断するしかない。

アンプの半固定抵抗は全てCT-9EW(18回転型)に統一した。SAOCの100 Ω には、CT-9EWと同じく18回転型のRJ-9Wを使用した。RJ-9Wの方が高価。

基板裏面付部品の取付、ケーブルでのジャンパー結線をSCT3060ARの足接続近辺以外行った。

(2) 制御回路/過電流検出基板

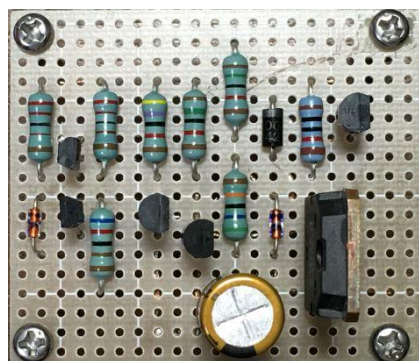
この基板には取付用の穴を追加する必要があるなので、穴あけを行う位置の近辺の穴をエポキシ系接着剤でふさいでから所定位置に穴あけを行う。穴の近辺のランドは剥しておき、基板の上側からエポキシ系接着剤を充填。少し固まってグミのような状態の時、上から穴に押し込むと確実に穴に充てんできる。そして、基板余分な接着剤をカッターで削り、平らに仕上げる。0.1 Ω の金属板抵抗の足の間隔が8.7~8.8mmと2.54mmピッチの基板穴間隔と合わないため、2つの穴の間に ϕ 0.8の穴をあける必要がある。神経を使いとても面倒。また、素子ごとに足の出る位置に偏りと相違があり、見た目が綺麗に揃わない。



(3) スロースタート／クイックオフ／バッテリーチェック

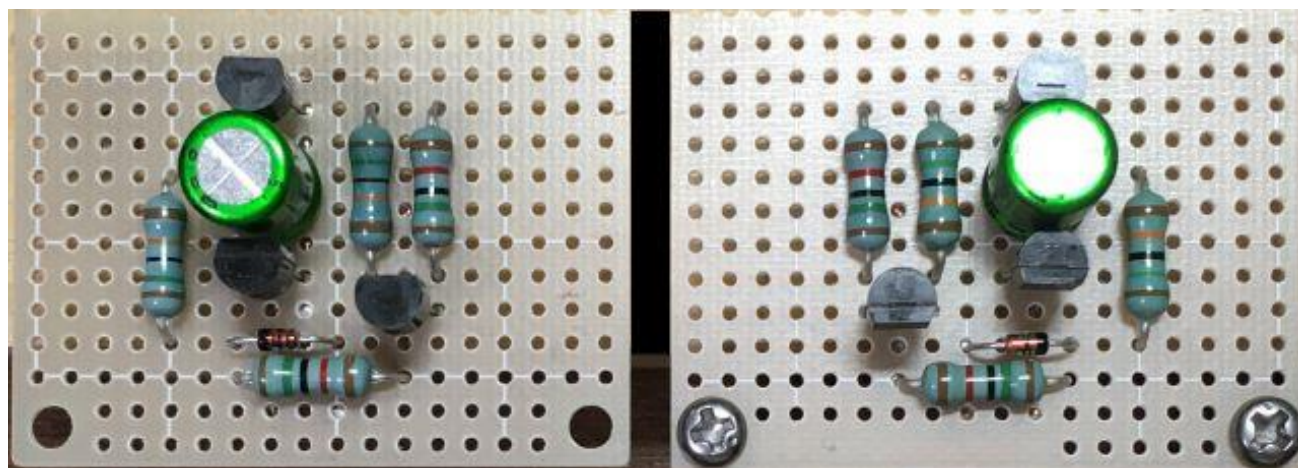
基板 ICB-288G にビス穴を開ける。ビス穴を開ける周辺ランドを剥し、エポキシ系接着剤で穴をふさいでから穴あけする。エポキシ系接着剤が固化し始めてからグミ状態になったタイミングで、接着剤を穴に押し込み、余分なエポキシ系接着剤をカッターなどで取り除いた。穴あけしてから基板をカットしたが、基板をカットしてから穴あけした方が良いかもしれない。

LED の電流調整用の抵抗は、この段階では実装していない。



(4) DC 検出基板

基板 ICB-288G を 2 分割して左右それぞれの DC 検出回路を実装する。



5.2. 筐体加工

(1) 基板吊り下げアングルの加工

基板を吊り下げる 4 本のアングルと放熱器に吊り下げ基板を放熱器に固定するためのアングル「固定金具」をまず加工する。

固定金具は、15mm×15mm1.5t の L アングルの使用を想定したが、手持ちの余材で 15mm×20mm2t の不等辺アングルがあったので、これを利用することにした。20mm の辺は 15mm ではなく、10mm 幅にカットすることにした。このカットが大変で、2 日間を要した。

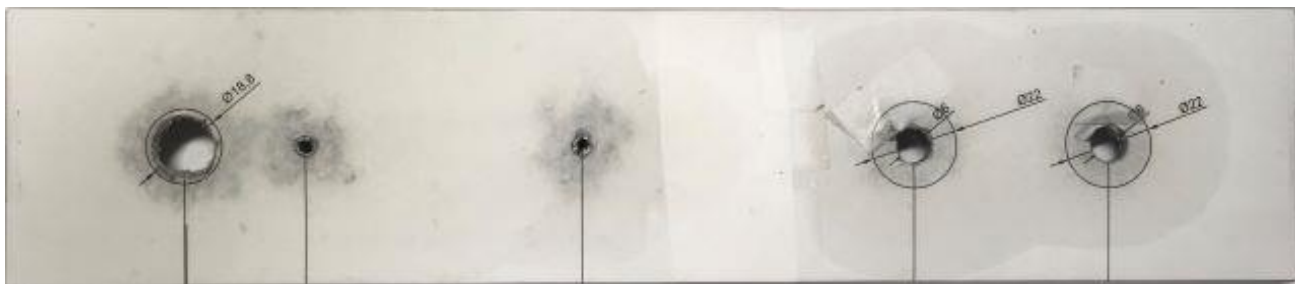


吊り下げアングルは、過去の流用。穴が開いていなかった面に穴あけ加工を施した。



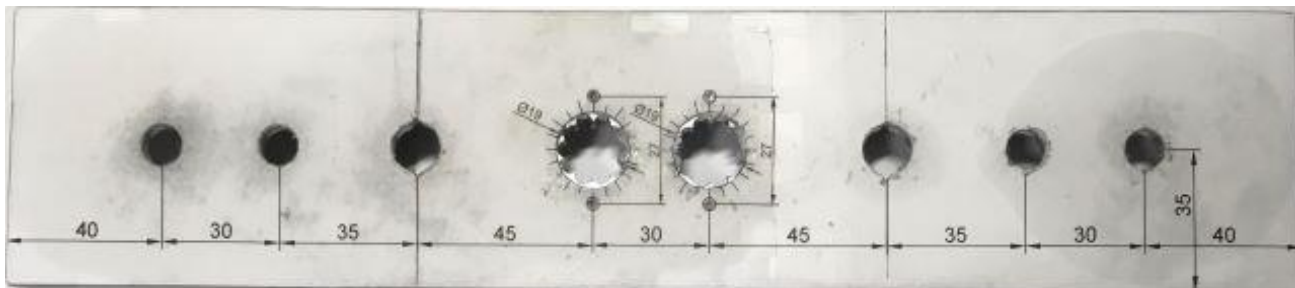
(2) フロントパネル

フロントパネルの他にボリュームの回転止め板の加工も行った。



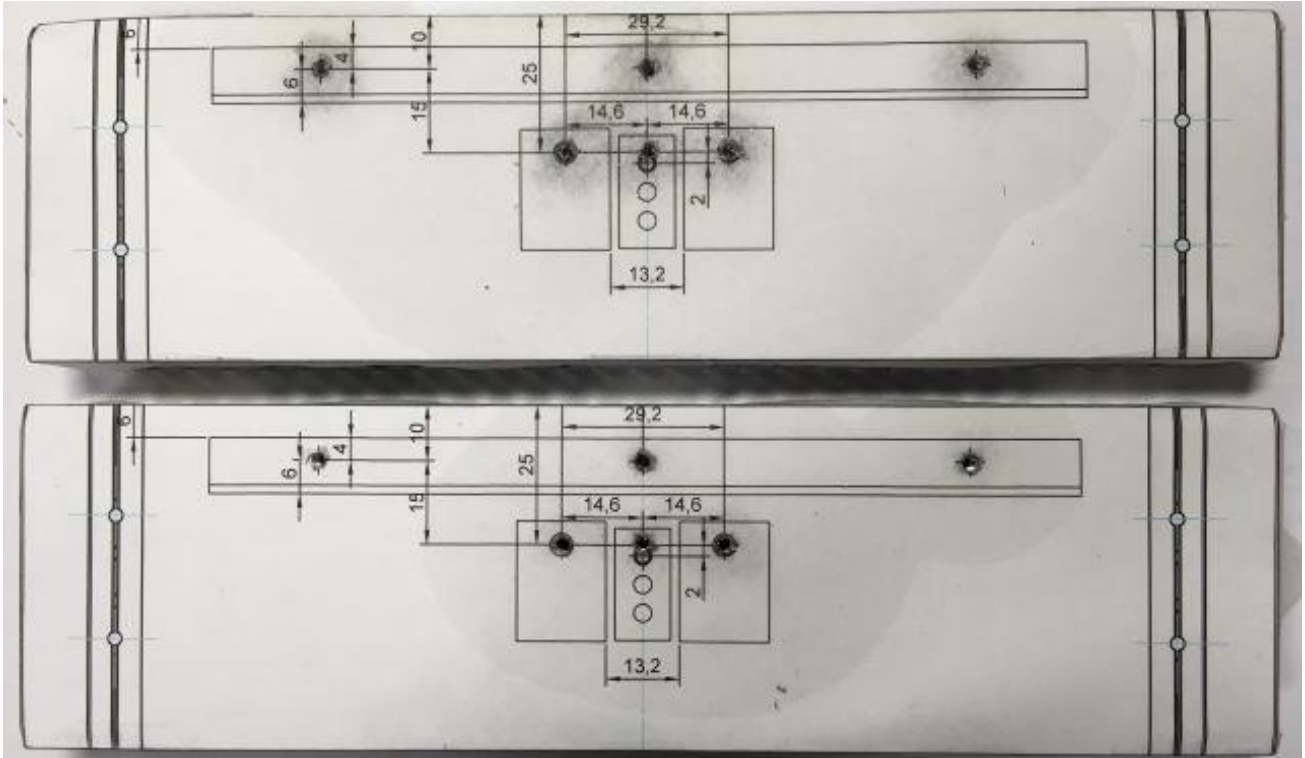
(3) リアパネル

リアパネルには比較的大きな穴を開けるので、一番時間を要する。キャノンコネクター用の 2 つの大きな穴は、穴に沿って丸穴を開けていき、それを繋いでカット。あとは鑿（やすり）で円形に仕上げた。



(4) 放熱板の加工

穴の周りが黒く変色しているのは、穴あけを金属加工用の切削油を使用しながら行った為。それぞれ、タップを立てて、ねじ止めできるようにしている。サーミスター取付用の基板取付穴の位置を変更してMOS-FET の取付穴位置と揃えて穴あけした。油は、後で台所用の中性洗剤をつかって除去した。

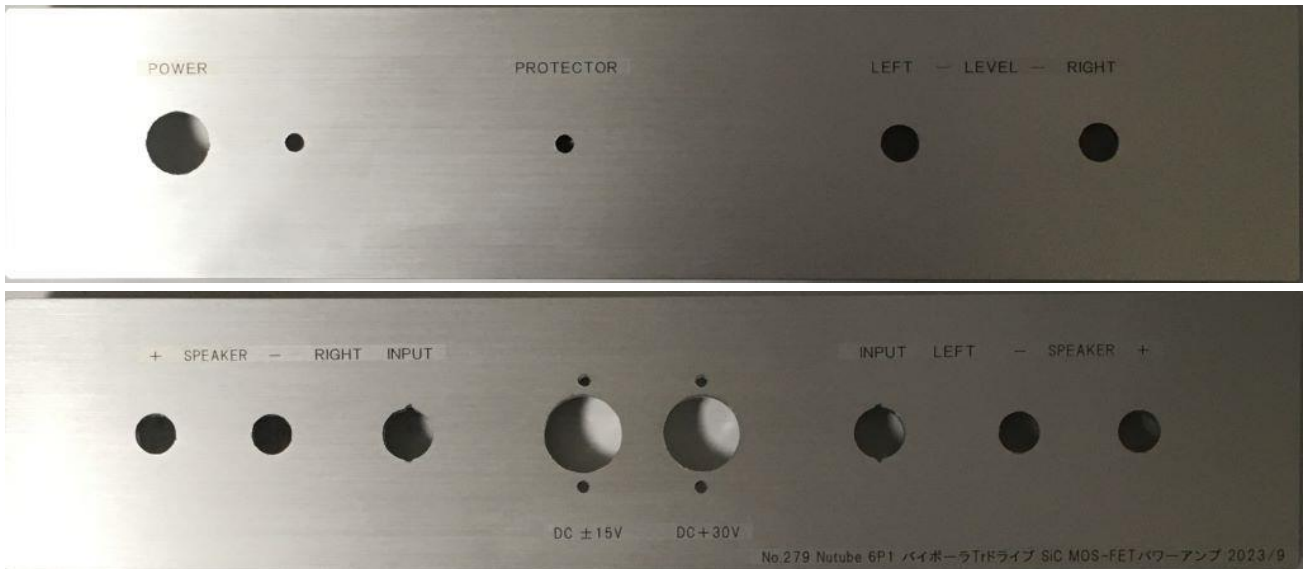


(5) 天板、底板への放熱用穴あけ

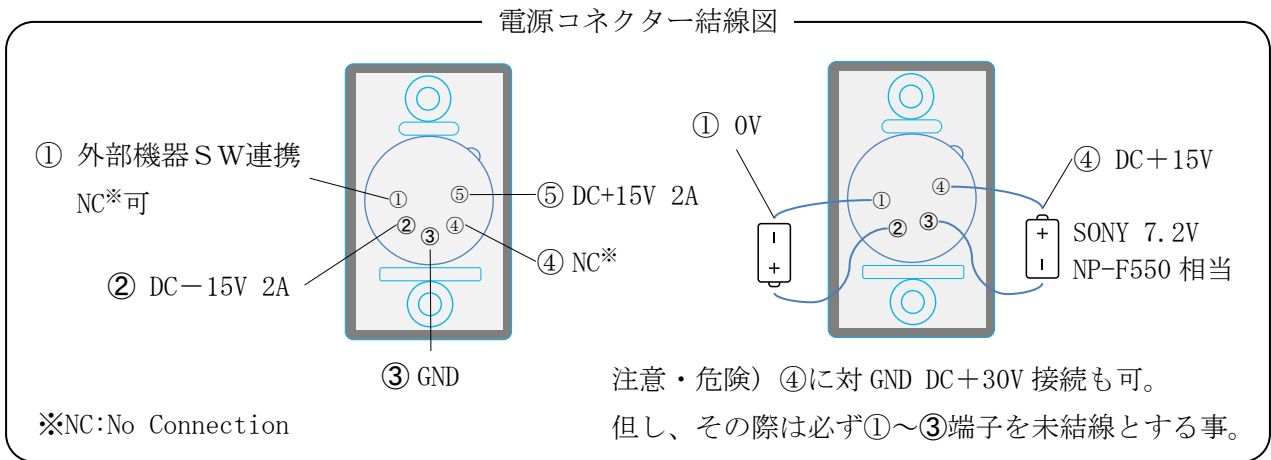
天板、底板への放熱用穴あけ加工は大変であるし、きれいに揃う様に穴あけ加工する自信が無いので、行っていない。筐体外部に放熱器が露出しているので、加工せずで良しとした。

(6) レタリング

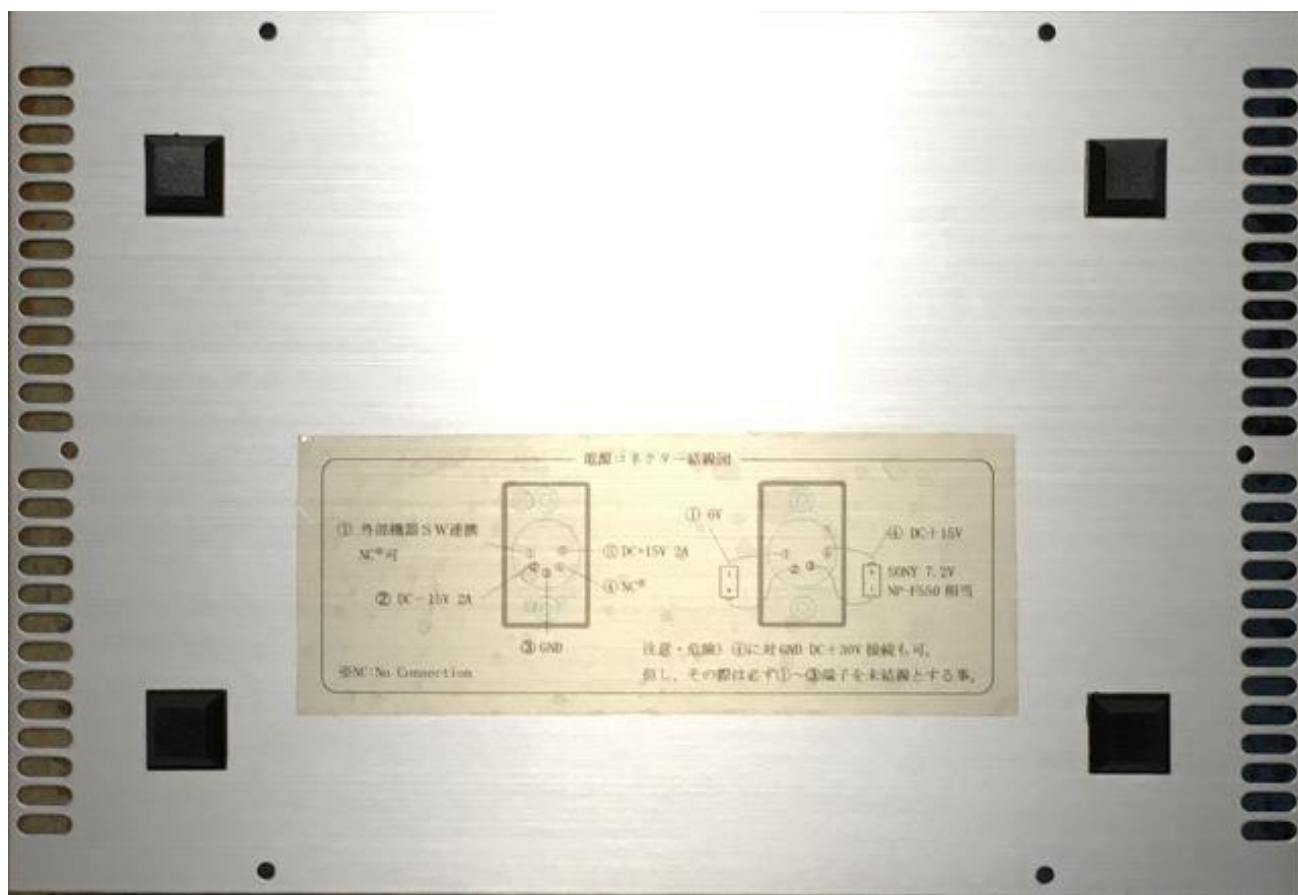
フロントパネルとリアパネルにレタリングを行った。テプラの 4mm 幅の BLACK 文字、透明シートを使って、フォントを HGP ゴシック M 10.5 ぽ の英字全角で作成。



今回からキャノンコネクターのピンサイン図を描いて透明ラベルシートに印刷し、筐体天板か底板に貼っておくことにした。



底板にキャノンコネクターのピンサイン図を貼り付け。ちょっと気泡が入ってしまった。透明フィルムシートを購入したつもりだったが、思ったより透明ではなかった。



5.3. 組み立てと配線、調整

(1) 筐体組み立て

まず、放熱板に基板吊り下げフレーム用固定金具を取り付けた。この段階で、MOS-FET の上部の基板吊り下げフレーム用固定金具が廂(ひさし)の様に素子に覆いかぶさるので、放熱効果を上げる為にフレーム用固定金具に通気用穴を 3 つ追加した。MOS-FET(SCT-3060AR)と絶縁マイラー板にシリコングリスを塗布し、放熱器にねじ止め。この時、穴あけ位置から素子がずれないようにするため、絶縁ブッシュを使った。片側の素子には、サーミスターを取り付け。MOS-FET へのサーミスター固定は、エポキシ系接着剤での固定は行わず、文房具用のクリップを加工利用し、サーミスおターを挟み込んでシリコングリスを塗布した。サーミスターの足は、熱収縮チューブで絶縁し、テストピンを立てた小基板に固定。テストピンからパワーアンプ基板への結線線材を引き出した。



フロント基板に電源スイッチとボリューム、リアパネルにスピーカー端子、RCA ジャック、4P と 5P のキャノンコネクタを取り付けた後、筐体を軽くねじ止めして、組み立て、基板を吊り下げフレームも軽くねじ止めした状態で基板を吊り下げフレームに基板を取り付け、全体に歪みが出ない様に確認しながら各ねじの締め付けを行った。

(2) 電源周りの配線

配線は、まず電源から実施。2 つの CANON コネクタから制御回路基板の 3 つの Mos-FET のソース端子への配線を行った。±15V(Vin±15V)ラインにはモガミ 2415(30 芯) (以降 30 芯ケーブルと記す) を使用し、+30V ライン(Vin+30V)には、モガミ 2414(19 芯) (以降 19 芯ケーブルと記す) を使用した。5P キャノンコネクタの⑤端子(Vin+15V)からは、30 芯ケーブルと 19 芯ケーブルの 2 本ケーブルを引き出し、30 芯ケーブルを 2SJ217 のソースに、19 芯ケーブルを 4P キャノンコネクタの①端子に結線。4P キャノンコネクタの②と③端子を 19 芯ケーブルで繋いで、④端子(Vin+30V)から 19 芯ケーブルで、制御回路基板の 2SJ334 のソースに接続。5P キャノンコネクタの③端子(GND)を制御回路基板のアースラインに 30 芯ケーブルで接続。②端子(Vin-15V)を制御回路基板の 2SK2554 のソースに結線。①端子(外部機器 SW 連携)を 19 芯ケーブルで制御回路基板の外部機器 SW 連携ラインに接続。

過電流検出回路のDETを制御回路のDETに結線。2 つの Mos-FET のドレイン端子(Vout±15V)の電源ラインを過電流検出回路に 30 芯ケーブルで結線。過電流検出回路の 0V を 19 芯ケーブルで制御回路のアースラインに結線。

制御回路基板の外部機器 SW 連携ラインから電源スイッチの電源 ON 時にオープンになる側の端子に結線。このケーブルは音質に影響しないので一般の線材を使用。電源スイッチのもう一方の端子を制御回路基板のアースラインに接続。AC ではないが、線を擦って配線した。

ここから、制御回路基板とスロースタート基板間の配線に入る。スロースタート基板のアースを 19 芯ケーブルで制御回路基板のアースラインに接続。スロースタート基板の 2SC1815 のベース抵抗を制御回路基板の外部機器 SW 連携ラインに 19 芯ケーブルで接続。スロースタート回路の 2SC1815 コレクター抵抗 15KΩ から制御回路基板の 2SJ334 のソース+30V(Vin+30V)に 19 芯ケーブルで結線。スロースタート基

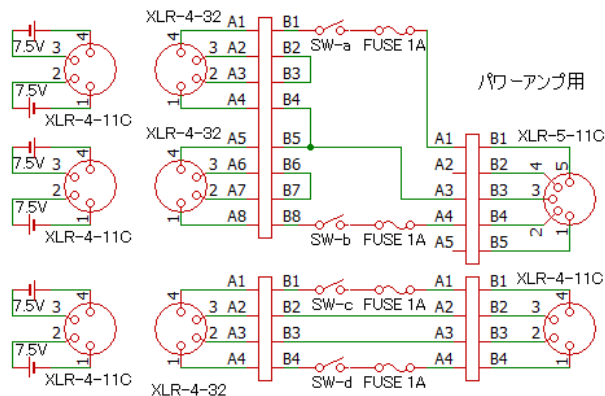
板の 2SC1815 のコレクター抵抗と IN4007 の接続点を制御回路基板の 2SJ334 のドレイン (Vout+30V) に 19 芯ケーブルで配線。スロースタート基板の ±15V 監視用バッテリーチェック回路の正負電源ラインを制御回路基板の過電流保護回路の Vout ±15V にそれぞれ 19 芯ケーブルで配線。

±15V 監視用バッテリーチェック回路の +15V とバッテリーチェック回路の Tr8 のコレクターを LED として使用する電源スイッチ (GB-PSALED-A24V-BL) の LED の + と E 端子に一般の線材で配線。この段階では、バッテリーチェック回路の共通エミッター抵抗は未実装・未調整である。+15V バッテリーチェック回路の LED として緑色 LED (HBG-5066X) を採用。+15V バッテリーチェック回路から緑色 LED (HBG-5066X) に一般の線材で配線。

最後に、制御回路基板の制御部回路からと DC 検出表示用 LED に一般の線材で配線を行った。

(3) 電源周りの確認

電源周りの配線が終わったところで、ヒューズを入れた電源を端子台との組み合わせで作って確認を実施。電源を入れたところいきなり +30V のヒューズが切れた。よくよく調べると、DC 検出時に MOS-FET を制御するトランジスタを +30V と +15V 電源とで 1 つのトランジスタで共有して行っていたが、トランジスタが OFF でフローティングの時、+30V と +15V が競合して過電流が流れたようである。そこで、制御トランジスタを 1 つ追加してそれぞれ個別で制御する様に変更を施した。パターン図にも書き加えている。またもう一つ問題が出た。どうも、+15V の出力が +15V になったり、+10V になったり安定しない。基板上で 2SJ217 をゆすると出力が変わってしまう。2SJ217 を取り外してみたところ、なんとソースの足が破断していた。こんな事初めて。金属は、何回も折り曲げたりしたら破断するが、殆ど動かしていないのに破断していたので驚いた。交換。



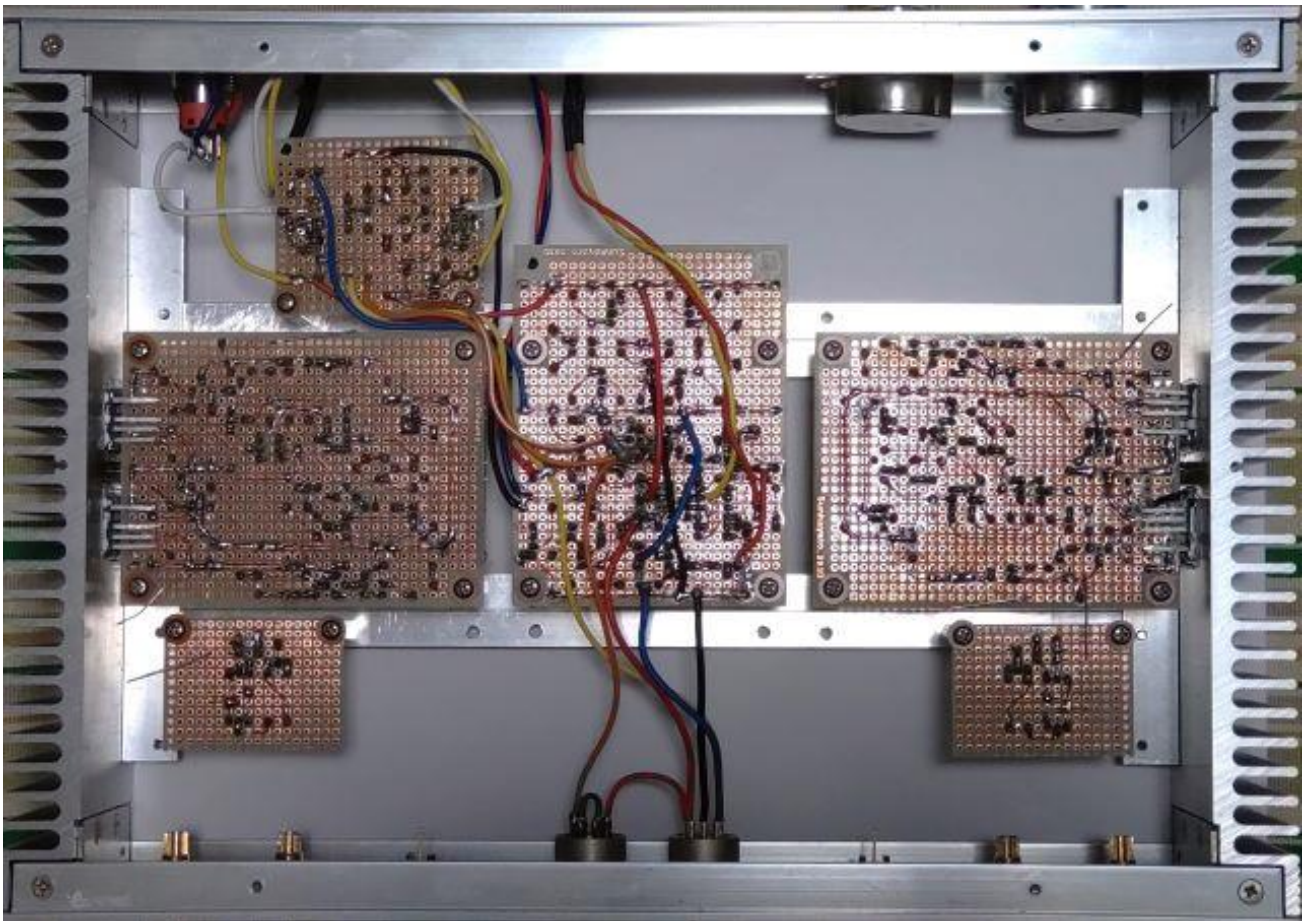
次に電源 LED の電流調整。定格は 5mA なので、バッテリーチェック回路の共通エミッターの抵抗値の調整を行った結果、1.3KΩ で 4.8mA の設定となった。続いて、+30V (+15V) の緑色 LED とスロースタートの動作を兼ねた確認を行い、スロースタートにより前段用 +30V の電源供給が開始された時点で LED が点灯することを確認した。電源 LED の他にスロースタートでの +30V 電源有効化に合わせて緑色 LED が点灯するので視覚的に楽しい。+30V (積み上げた +15V) のバッテリーチェックも兼ねるので実用的でもある。

そして、DC 検出回路の動作確認の前にそれを受ける DET ラインの動作確認を行った。DET ラインをアースに軽くタッチ。DC 検出表示 LED が点灯し、電源の LED、+30V (+15V) インジケート用 LED が消灯することを確認した。ところが、MOS-FET の出力電圧を測ってみたら Vout-15V の出力電圧が -16V 出ている、出力電圧を遮断していない。確認したところ、制御部の Tr4 のエミッターを +6.2V 電源に接続させるところをアースに接続している誤りを発見した。パターン図は 7 本燃り線引き回すように修正したが、実際はモガミ 2514 (19 芯) を使って基板裏側にジャンパー結線した。また、過電流保護回路の DET ラインを繋いだところ、正常に機能しなくなった。よく確認したところ、半田吸い取り器で吸い取った時のカスで過電流保護回路の DET ラインがショートしていた。修正後の再確認で、電源が断されることを確

認。

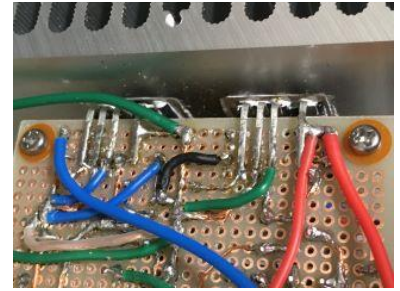
-15V の MOS-FET のゲートの $9.1\text{K}\Omega$ と $6.2\text{K}\Omega$ の接続点が 0V となることを目論んで 2 本の抵抗に分けて設計した。実際は $15\text{K}\Omega$ 1 本で済む。実測値は、 $9.1\text{K}\Omega$ の MOS-FET のゲートへの接続ポイントが -10.47V 、 $9.1\text{K}\Omega$ と $6.2\text{K}\Omega$ の接続点が -0.580V 、つまり、 $9.1\text{K}\Omega$ の電圧降下が 9.89V (1.087mA)、 $6.2\text{K}\Omega$ の 2SA1015 のコレクター接続側が 6.13V で $6.2\text{K}\Omega$ の電圧降下は、 6.71V (1.082mA) と、ほぼ設計通りの値となった。これで正側と同じ電流値になる。

電源を OFF すると電源の LED ゆっくりと 1 分以上かけて消灯する。これは、ゲートのトランジスタが OFF になって、コレクターがフローティング状態になる為で、 $+30\text{V}$ には、フローティング状態になった時、 $+30\text{V}$ にプルアップするように $470\text{K}\Omega$ を取り付けていた。そこで、 $\pm 15\text{V}$ にも $470\text{K}\Omega$ を追加し、フローティング対策を施すことで、LED がすぐ消灯するようにした。プルアップ抵抗に $470\text{K}\Omega$ を使用したが、フローティング時に確実に電源値まで持ち上げ(フローティングなので電流は流れない)、トランジスタが ON になって電流が流れた時、ツェナーダイオードのバイパスとして $470\text{K}\Omega$ に流れる電流が無視できる微少の電流値になる抵抗値であれば構わない。ちなみに、 $+15\text{V}$ での ON 時の電流は、 $6.2\text{V} \div 470000\text{K}\Omega = 0.0132\text{mA}$ (13.2nA) と微少である。



(4) アンプ基板、保護回路 DC 検出基板の配線

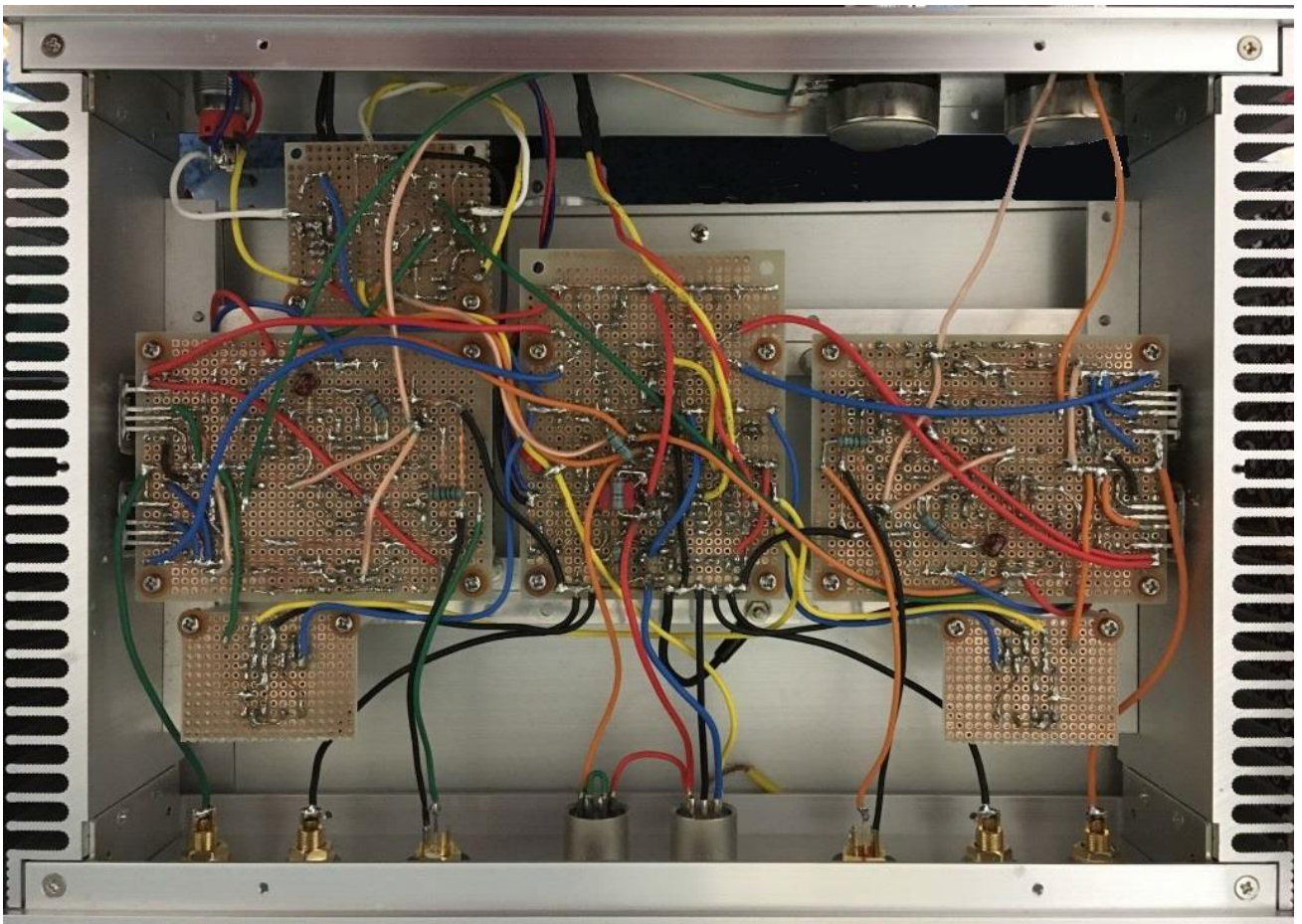
電源の確認ができたので、制御基板のアースラインから基板吊り下げフレームに筐体アースを接続。アンプ基板の配線を行った。最初にアンプ基板に SCT3060AR の直角に足を折り曲げて半田付けし、PS 端子の配線などを施した。その後、制御回路基板の 2SJ334 のドレインから Vout+30V を結線。スロースタート回路の 2SK2997 のドレインからアンプ基板の 2SA1358 のベース抵抗に結線。アンプ基板のアースラインから 30 芯ケーブルで制御回路基板のアースラインに接続。アンプ出力端子のアース側を制御回路基板のアースラインに 30 芯ケーブルで接続。アンプ出力端子の正側をアンプ基板の出力ラインに接続。入力 RCA 端子から信号ラインとアースをアンプ基板に 19 芯ケーブルで接続。ボリュームとアンプ基板を接続。L と R で結線経路を変えている。続いてサーミスターをアンプ基板に結線。



保護回路 DC 検出基板の Tr5 のエミッターと 15K Ω の接続点に Vout-15V を 19 芯ケーブル結線。 $\overline{\text{DET}}$ 出力を制御回路基板の $\overline{\text{DET}}$ ラインに 19 芯ケーブルで配線。アースを制御回路基板に接続。この段階では、150K Ω を出力ラインにまだ制御回路基板に接続しない。

(5) 保護回路 DC 検出基板の確認

保護回路 DC 検出基板の 150K Ω をアンプ出力に接続する側とアース間にニッケル水素電池の 1.2V をタッチ。極性を逆にしても確かめた。正常に機能することを確認。保護回路 DC 検出基板の 150K Ω をアンプ出力に接続。



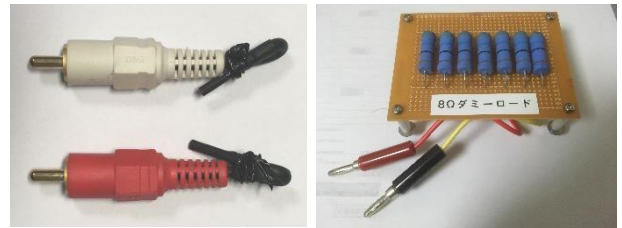
(6) アンプ基板の調整準備

アンプ基板の調整は、MJ 無線と実験の 2021 年 3 月号「DC アンプシリーズ No. 275 Nutube ハイブリッド プリアンプ&パワーアンプ[中編]」のパワーアンプの配線、調整を参照して行った。

過電流保護回路の±15V_PS とアンプ基板の間の±15V_PS 間にヒューズボックスを接続。+15V 側には電流計を入れる必要があるが、電流計は持ち合わせていないので、代替としてテスターを接続。ただ、ヒューズボックスに装着したヒューズが 1A なので、テスターの A(アンペア)レンジ(10A レンジ)だけを使用する。テスターの mA 以下のレンジを使用するとテスター内部の mA ポジション用のヒューズが 500mA なのでテスターのヒューズが切れてしまう。過去何度かの失敗を経験。

DC 検出回路のアンプ基板出力の結線は外したままの状態、スロースタートのアンプ基板の 2SA1358 のベース抵抗への接続も一旦取り外した。

アンプの入力にショートプラグを装着した。既に廃棄した DVD か TV に付属していたケーブルの RCA プラグ部をカットして作成したが、抵抗値が 0.3Ω ある。あまりよろしくないが、使用頻度が低いのでこれで我慢する。問題があるなら、筐体の RCA 入力端子



をワニ口クリップが付いたケーブルでショートするか、アンプ基板の入力を GND に落とすことにした。また、アンプの出力端子に 8Ω のダミー抵抗を取り付けた。 56Ω $5W$ の抵抗を 7 本パラ接続して 8Ω $35W$ のダミー抵抗としている。

+30V を制御する 2SA1358 のエミッター側、スロースタート接続点 V 側の半固定抵抗は、左いっばいすなわち抵抗値を最大にしておく。その他の半固定は全ておおよそ中点にするとの事だが、半固定の初期状態がほぼ中点なので、特に変更しなかった。

ゲインコントロールのボリュームを MAX にセット。

(7) アンプ基板の調整

まず、SAOC の調整を行った。抵抗の切れ端でアースピンを $1\mu F$ の $5.1M\Omega$ (実装は $5M\Omega$) 側に立ててアースピン替わりとし、SAOC の Tr1(2SK147-GR:代替として 2SK369-GR を使用)のゲートをアースした。Tr2(2SA970)のコレクターと Tr3(2SK246-BL)の結合点に 19 芯配線ケーブルを追加で測定用に引き出し。Tr1 のゲートは、 $5.1M\Omega$ に接続されているので、 $5.1M\Omega$ の Tr1 のゲート側とアースピンの間を IC クリップを利用してショート。Tr2(2SA970)のコレクターと Tr3(2SK246-BL)の結合点から引き出したケーブルとアース間にテスターを接続。この状態で電源を入れ、測定値が 0V にするように半固定抵抗を調整。

Tr3 と Tr4(2SK246-BL)のドレイン間($1.5K\Omega$ のドレイン側間)の電圧を 0V になるように、フィラメント間(F1 と F2 間)に入れた 50Ω の半固定抵抗で調整する。ただ、完全に 0 にはならず、 $-0.1V \sim +0.1V$ 間をふらつく。

次に 6P1 の F2 を $-3.5V$ に調整。Tr1 2SA1156(代替として 2SA1358 を使用)のコレクターに IC クリップを取り付けて電圧を確認。 $2K\Omega$ の半固定抵抗 Vr2 で調整する。最初は、 $-4.5V$ ほどあり、ボリュームを調整したが、 $-3.7V$ にしかならず、それ以上下げられない。一瞬 $5.1K\Omega$ をもう少し大きな値に変えようと考えたが、この電圧は、時間が経つとだらだと変化してゆく。時間が経つと $-3.5V$ に調整出来るようになったが、安定するまで結構時間を要した。IF=34mA が流れているかの確認は、電流計で実測しよう

とするとパターンを切るなどの大事になるので、Tr1のエミッター抵抗 180Ωの電圧降下で試算。

$$Lch:IF=(15.31V-8.38V) \div 180\Omega=38.5mA. \quad Rch:IF=(15.31V-8.41V) \div 180\Omega=38.3mA.$$

続いて、スロースタートを結線し、500Ωの半固定抵抗 Vr2 を調整して電流値を 200mA に設定する。誌面に説明があるが、既に 6P1 のフィラメント電流や定電流回路の電流が 45mA 含まれて流れているので、半固定抵抗を左いっぱいにしておいても 0mA ではなく 45mA を示す。つまり、Io=150mA とする為に(実際には 155mA に設定することになる)、電流値を 200mA に設定すること事。ゆっくり右に回してすなわち抵抗値を減少させていって電流値を 200mA に調整。ただ、時間をかけると Io が徐々に低下していくので、ある程度のところで見切りをつけた。次に SAOC の 2SK147-GR(2SK369-GR を代替使用)のゲートのショートを外して Vo=0V を調整。Io の調整と Vo の調整を交互に行った。

自分なりに納得ゆく調整状態になったところで、過電流保護回路の±15V_PS とアンプ基板の±15V_PS 間のユーズ、電流計(テスターの電流計測ポジション)を取り外して 30 芯のケーブルで結線。

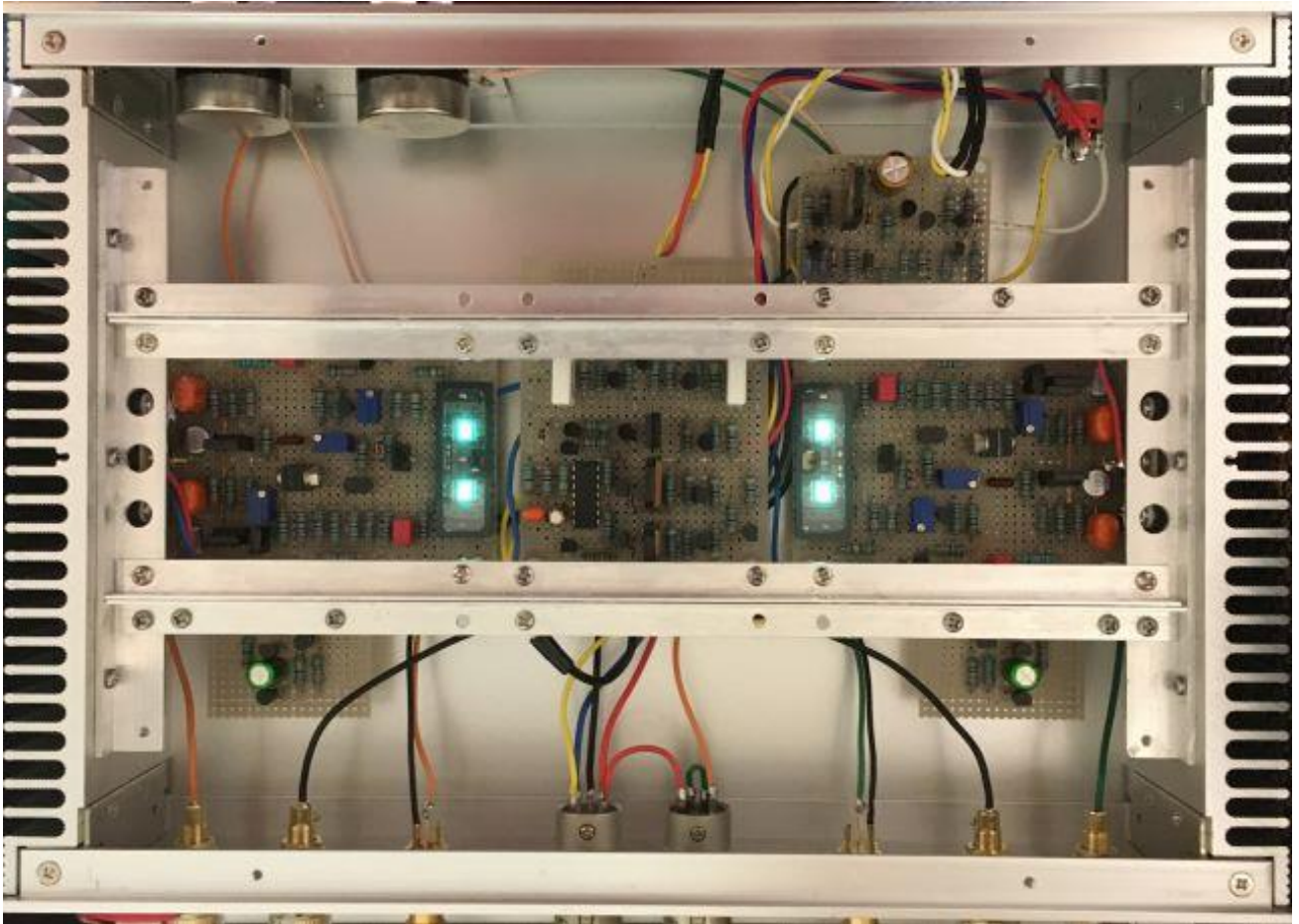
この後、再度、6P1 の F2 を-3.5V への調整、SAOC の判定抵抗での Vo=0V への最終調整をじっくり行った。この時、Io 調整用の 500Ω半固定抵抗 Vr2 をうっかり触らない様に、テープで隠して行った。

各所の電圧を測定して記録。ドライバーの 2SC4793-Y(2SC959/960 の代替)が結構熱くなる。TC(ケース温度)で、PC=20W の 2SC4793-Y にしておいてよかった。ちなみに 2SC959/960 は、TC=25°C で PC=0.7W/1W。

電源を ON する時、「プチッ」と音がする。MJ 無線と実験の 2021 年 10 月号の[図 14]保護回路制御部&+30V バッテリーチェック回路に Tr1(2SJ217)のドレインとベース間、D1(HZ6C1)とパラに 0.68μF が入っていたので、プチ音の対策?と思い、入れてみたが効果なかった。若干改善されたかな~と思う程度。

アンプ部の電圧測定値を以下に纏める。

測定箇所	誌面記載値	Lch	Rch
+15V_PS	+16.14V	+15.34V	+15.34V
Tr1 ベース	+8.62	+7.80V	+7.84V
Tr1 エミッタ	+9.24V	+8.37V	+8.44V
Tr1 コレクタ	-3.94V	-3.502V	-3.501V
SAOC Z	-0.498V	+0.114V	+0.120V
T1 A1(T2 A2)	+18.46V	(+19.25V)	(+18.77V)
T2 A2(T1 A1)	+18.50V	(+19.26V)	(+18.78V)
Tr2 コレクタ	-4.17V	-4.777	-4.543V
Tr2 エミッタ	-10.12V	-9.45V	-9.48V
Tr2 ベース	-9.50V	-8.83V	-8.85V
+30V	+32.80V	+30.88	+30.92V
Tr3 ドレイン	+25.88V	+27.11V	+26.97V
Tr4 ドレイン	+28.87V	+27.11V	+26.97V
Tr3, Tr4 ソース	+20.16V	+20.82V	+21.01V
Tr5 エミッタ	+30.08V	+27.63V	+27.51V
Tr6 エミッタ	+30.08V	+27.64V	+27.52V
Tr8 ベース	-10.07V	-9.64V	-9.64V
Tr7 ベース	+5.54V	+5.58V	+5.58V
Tr7 エミッタ	+4.97V	+5.022V	+5.010V
Tr8 ベース	-10.07V	-9.64V	-9.64V
Tr8 エミッタ	-10.66V	-10.23V	-10.22V
-15V_PS	-15.91V	-15.33V	-15.33V



(8) 位相補正

新たにパソコン版のオシロスコープを購入。2ch で 3 万円台。発振器機能も付いているようで、発振器も購入しなかった。

位相を観測したい。(まだしていない。)位相補正は、ディブマイカ 56PF, 20pF で実装。SE コンデンサの 56PF, 20pF も入手済みだが、値を変えるなら役立たないのでディブマイカにしてある。

差動やドライバーのトランジスタが 2SA606/2SA607 や 2SC959/2SC960 ではなく、TTA004B、2SC4793 なので、当然、位相補正も異なってくるはずである。ただ、最適値を見つけるのは時間がかかりそう。いずれじっくり行いたい。

6. ヒアリング

メインスピーカーにいきなり繋ぐのは怖いので、パワーアンプが安定して動作することが確認できるまでサブシステムのスピーカー (F0SteX FF105WK) で聞くことにした。まずは、ワーグナーのニーベルングの指環の中で「ラインの黄金」(ショルティ指揮ウィーンフィル) が比較的短い方なのでのヒアリング。10cm のスピーカーなのでさすがに低音は出ないが、その分解能、リアルな再現音は、このスピーカーでもはっきりわかる。すばらしい。金床の音が重々しく、生々しく聞こえる。最後の第四場「ラインの黄金! 純なる黄金!」では、音が朗々と鳴り響き、その壮大さ、スケールの大きさに圧倒された。

次にポリニーのショパン、ポロネーズ集を聞いた。ピアノ鍵盤アタック音が濁りなく、完璧に再現。細部の微妙なタッチも手に取るようによくわかる。すばらしい。

ロストロポービッチのバッハ無伴奏チェロ組曲(全曲)を聞いた。まさに目の前でロストロポービッチが演奏してしてくれるような錯覚にとらわれるリアルな再生音。細かい演奏上のノイズや(スタジオ内の?) 残響、椅子らしきずれ動く音まではっきり聞こえる。

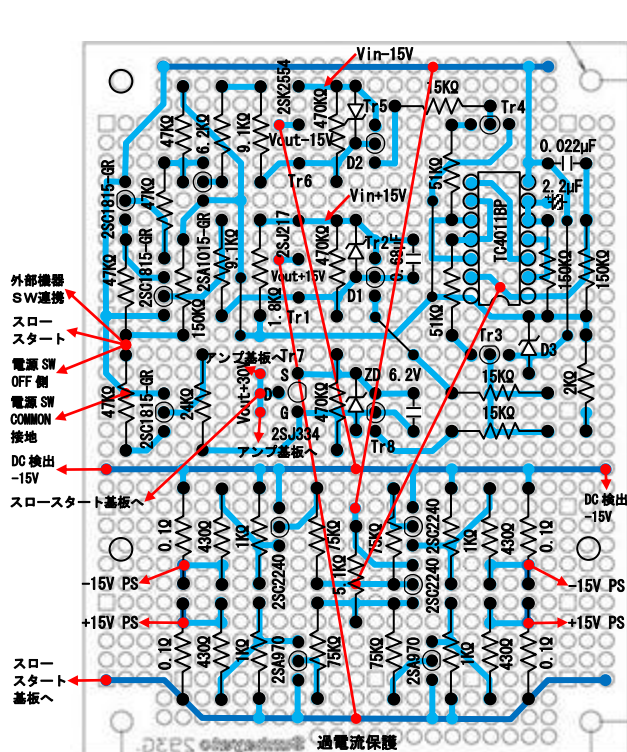
位相補正の確認・調整不要?。



7. 追記

7.1. 改良版 制御部/電源 ON/OFF 制御/過電流検出基板

制御部/電源 ON/OFF 制御/過電流検出基板が込み合って、かつ、裏付けが多く作り辛かったので、パターン図の見直しをした。これで、再作成したいと思っている。



Tr2, Tr4: 2SA970 Tr3, Tr5: 2SC2240 電源 SW は ON 時: OPEN OFF 時: 接地
D1, D2, D3: ZD 6.2V

