

サブシステム用
AC 電源 BOX 作成レポート

2024 年 2 月 17 日

1. はじめに

MJ 無線と実験 2022 年 2 月号、3 月号、4 月号に掲載された No. 281 「USB & S/PDIF 対応真空管 DAC / Nutube 版ラインアンプ DAC」の XU208 を amanero combo384 に置き換えた DAC (以降 No. 281 DAC と記す)、MJ 無線と実験 2021 年 10 月号～12 月号にかけて No. 279 バイポーラ Tr ドライブ SIC MOS-FET パワーアンプの Nutube 版 (以降、No. 279 パワーアンプと記す) を作成した。最近、リチウムイオンバッテリー NP-970 の互換製品の供給が少なくなってきたように感じる。バッテリーが持つのは 2 年ほどで充電の手間や買い替えを考えると、AC 電源での電源供給を考えたい。現行、サブシステム用のドライブ段用の電圧が変化する度に改作を重ねた AC 電源 BOX2a があるが、このドライブ段用の電源は +24.6V となっている。

そこで、作成した No. 281 DAC と No. 279 パワーアンプに対して AC 電源を整流・平滑、定電圧化して電源を供給する AC 電源 BOX3 を作成することにした。

2023 年 11 月 10 日

2. 仕様

2.1. 基本仕様

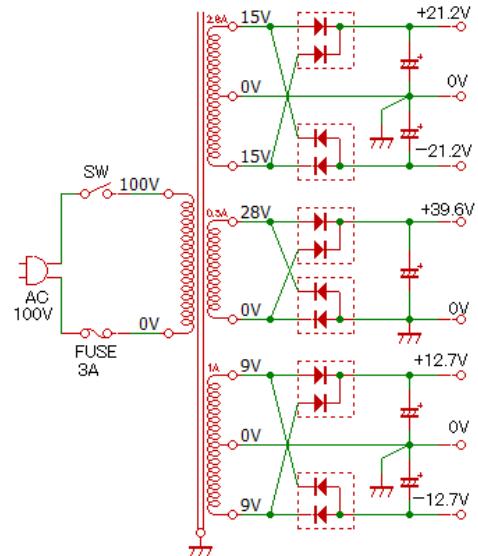
No. 281 DAC のドライブ段に+22.5V を供給し、No. 279 パワーアンプのドライブ段には+30V を供給する仕様とする。現在、AC 電源 BOX2a(電源サブシステム用。BOX1 は、No. 262 Nutube バッテリードライブ ハイブリッドパワー IVC のミッド(ミドル)パワーアンプ用)を使って、No. 281 DAC のドライブ段には+24.6V を供給し、No. 279 パワーアンプのドライブ段にはバッテリーで+30V を供給して動作させている。

本機 AC 電源 BOX3 に必要な電源構成を以下に記す。

パワーIVC 出力段用	±15V	想定 Max 2.6A
パワーIVC 前段用	+30V (15V+15V)	想定 Max 0.1A No. 279PA で 84mA
DAC または、EQ 用	±7.5V	No. 268 DCA で 241.67mA(+5V, +3.3V 含む)
DAC または、EQ ライン IVC 前段用	+22.5V (15V+7.5V)	No. 268 DCA で 41.67mA(但し、19.5V 仕様)

上記を考慮すると、以下の電源トランスのスペックが最低限の要求仕様となる。各電圧必要な容量の2倍と設定した。

パワーIVC 出力段用	±15V	Max 2.6A
パワーIVC 前段用	+30V	Max 0.25A
DAC、EQ 用	±7.5V	Max 0.5A
DAC、EQ ライン IVC 前段用*	+22.5V	Max 0.25A



2.2. トランスの仕様

では、実際に入手するトランスの仕様を決める。

今回も、長野県の株式会社フェニックスさんに特注する。

9V-0V-9V は、1A も必要ないが、DAC と EQ の 2 台への供給も

想定して倍とした。トランスのコアサイズ(RA100 95-110VA)で最大限取れる容量(110VA)である。

スペック	1次側	AC	100V		
	2次側	AC	15V-0V-15V	2.6A	78V▷A
		AC	28V-0V	0.5A	14V▷A
		AC	9V-0V-9V	1A	18V▷A
				合計	110V▷A

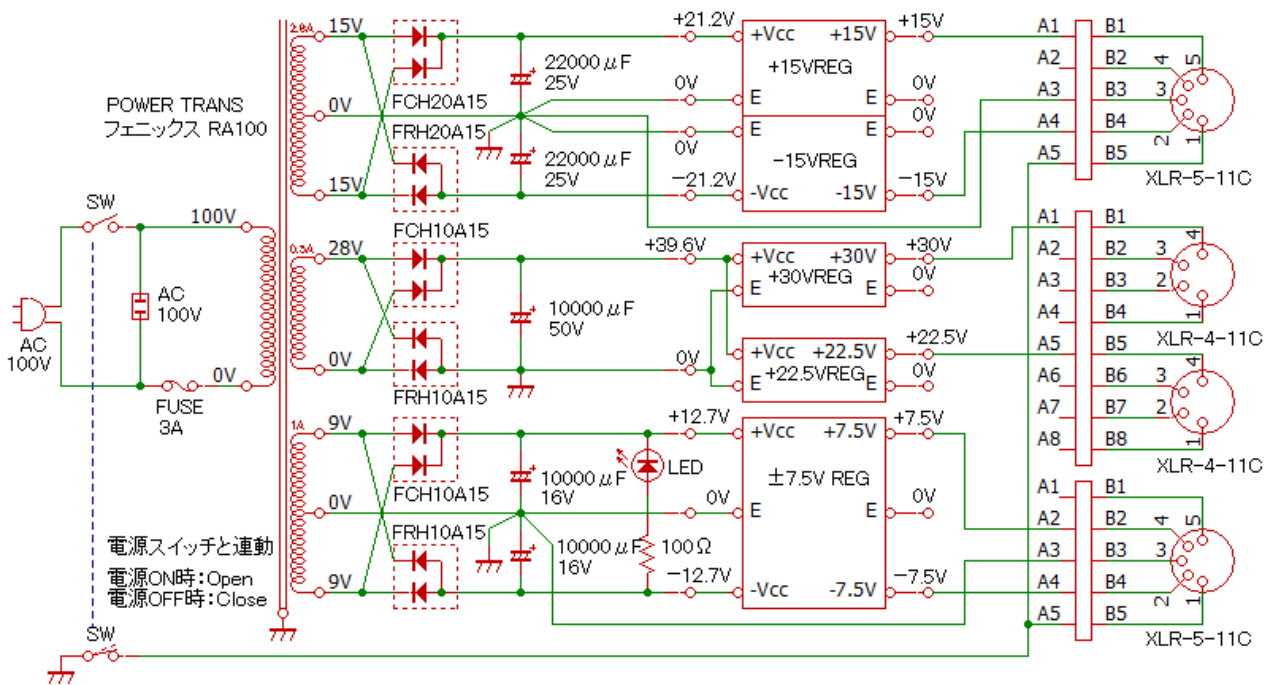
3. 設計

3.1. 回路ブロック図

電源供給用のキャノンコネクタは、パワーIVC用に5P(XLR-5-11C)と4P(XLR-2A-11C)をDAC用にも5P(XLR-4-11C)と4P(XLR-2A-11C)を使用する。

パワーIVCの前段用電源の電圧は+30Vで、一方、DACのラインIVCの前段用電源電圧は+22.5Vであるが、整流回路は共有する。なお、+30Vおよび22.5Vの4Pのキャノンコネクタでの電源供給は、ケーブル1本のみの結線・電源供給のみとしなければならないが、それでは心もとないのでケーブルは4本束ねて使用するが、+30Vまたは、+22.5Vのみ電源供給の結線を行い、他の3本の結線は必ずオープン状態にしておく。これは、他の結線、特に0Vラインを結線すると、パワーIVCの+15VやDACのラインIVCの+7.5Vが接地されてしまう事になるので、事故となり大変危険だから。

外部機器SW連携用の結線ラインは、電源ON時にOpenとしOFF時は接地する。ただ、使用予定の電源スイッチは、1回路しかないので、工夫が必要。



3.2. 回路設計

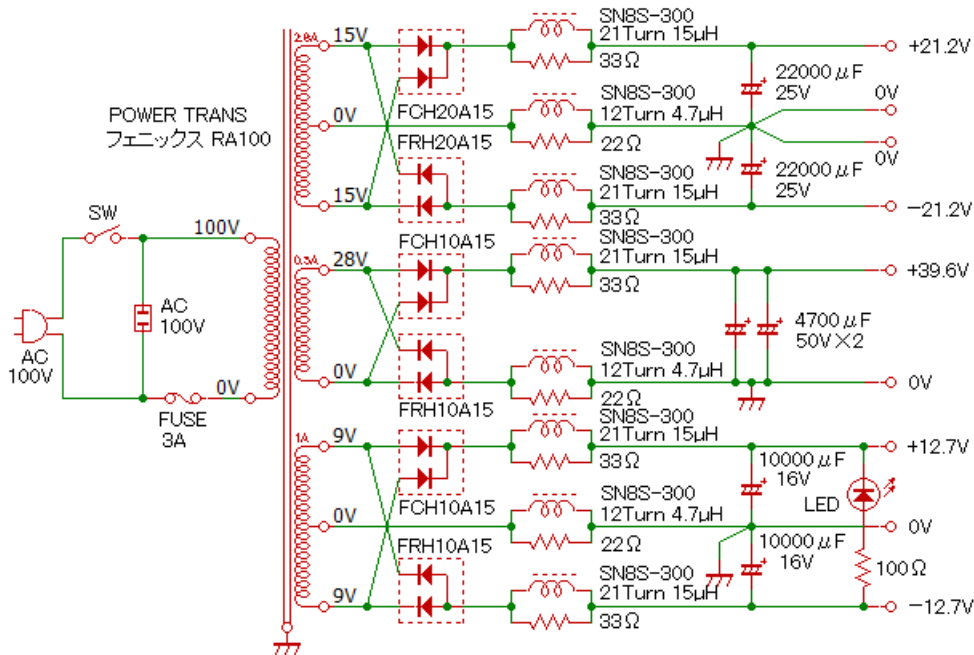
(1) 整流・平滑回路

整流平滑回路は、±15V 用、+30V と 22.5V 用、±7.5V 用の 3 回路である。

±15V の整流・平滑回路には、スペースの関係で LR のノイズフィルターを入れることが出来ないのが残念だ。平滑コンデンサは、22000 μ F/25V を正負それぞれ 1 個使用。

+30V と 22.5V 用の平滑回路には、LR のノイズフィルターを入れる。±7.5V 用の平滑回路には、同じく LR のノイズフィルターを挿入。10000 μ F/16V を 2 個使用。

回路図に書くと複雑になるので書いていないが、各ダイオードにノイズ除去の為に 8200pF のコンデンサをパラ接続する。

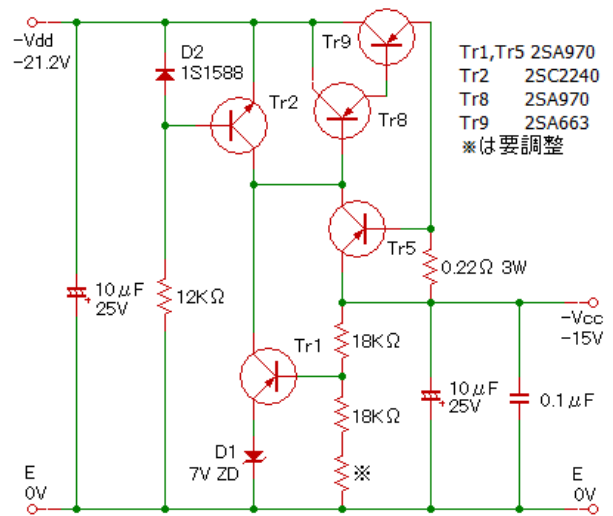
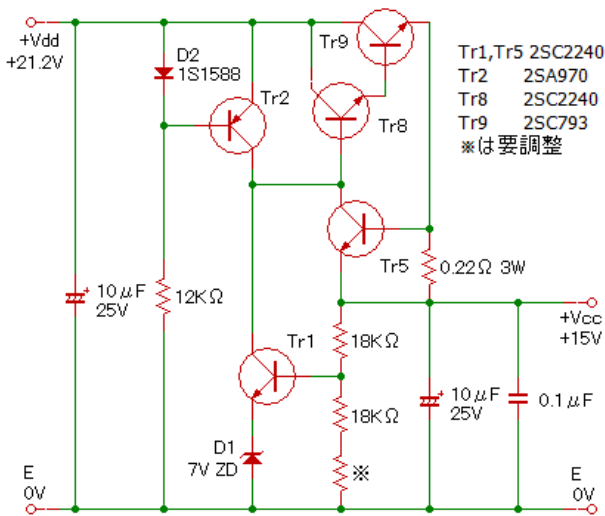


(2) ±15V 定電圧電源回路

±15V の定電圧電源は手持ちのパワートランジスタ 2SC793/2SA663 を使用した定電圧電源回路とする。ただ、スペース的にちょっときついで、無理であれば、2SC5198/2SA1941 に変更する。

これまで D2 の 1S1588 に流す電流を 1.5mA とするように定数を決めてきたが、今回、計算上 13.7kΩ という中途半端な抵抗値になってしまうので、12kΩ として 1.72mA に設定することにした。電流制限値は、0.22Ω を使用して 2.7A。過電流検出用の抵抗の電力は、 $P=IV$ より、 $0.6V(\text{Tr5 } V_{BE}) \times 2.7A = 1.6W$ 。→3W タイプの抵抗を使用する。

誤差増幅器の基準電圧を出力したい電圧 15V の半分の値 7.5V に設定すると、素子のばらつきに依存してしまいが、出力電圧を調整する抵抗値が同じ値で済み、調整用の抵抗が不要になる確率が高くなる。ツェナーダイオードのツェナー電圧が 6.9V であれば、誤差増幅器のトランジスタの $V_{BE}=0.6V$ を加えて基準電圧が 7.5V になる。



(3) +22.5V 定電圧電源回路

+22.5V 定電圧回路も 30V 用と同一の回路構成とする。

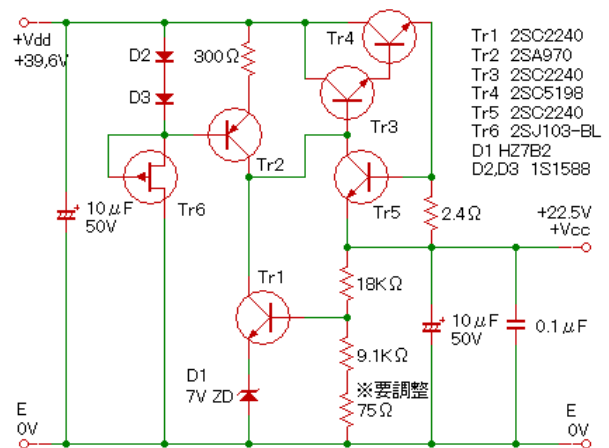
出力電圧は、ツェナー電圧 7.0V、基準電圧=7.6V $R_E=0\Omega$ と仮定して 22.7V。

$$7.6V \times (18k\Omega + 9.1k\Omega + 75\Omega) \div (9.1k\Omega + 75\Omega) = 22.51V$$

電流制限値は、2.4Ω で 250mA とする。接続するパワーアンプの 22.5V 消費電流の実績値は、No. 268 DCA で 41.67mA (但し、19.5V 仕様) である。

電力は、 $P=IV$ より 0.077W。→0.5W の抵抗を使用。

なお、この電圧を 24.6V に設定すれば、24.6V をパワーアンプと 22.5V の DAC 双方に電源供給できる。



(4) +30V 定電圧電源回路

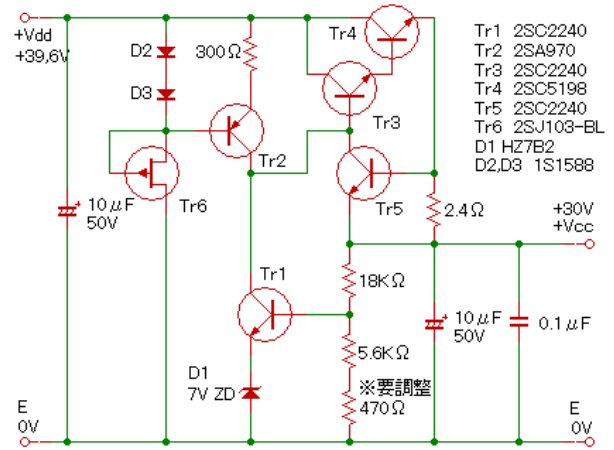
パワートランジスタによる FET(Tr6)によるリップル低減回路を採用した定電圧電源回路とする。

出力電圧は、ツェナー電圧 7.0V、基準電圧=7.6V
 $R_E=1K\Omega$ と仮定して 30V となる。

$$7.6V \times (18K\Omega + 5.6K\Omega + 470\Omega) \div (5.6K\Omega + 470\Omega) = 30.1V$$

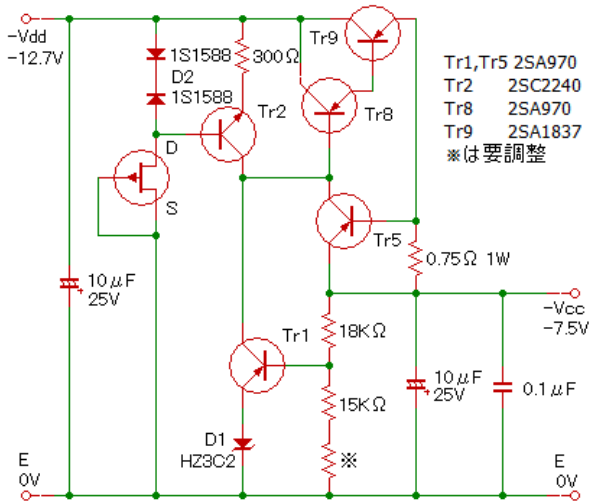
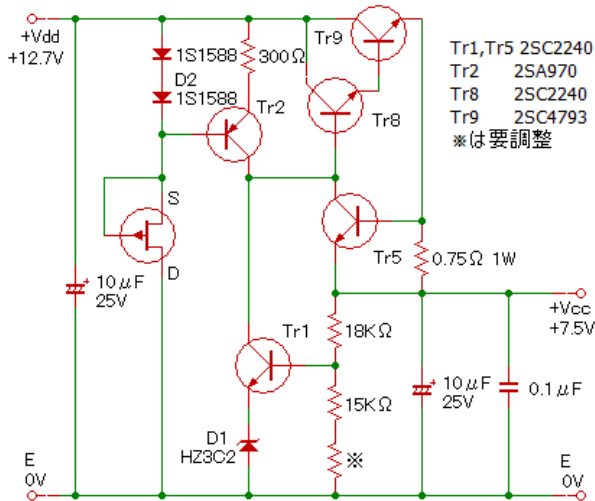
電流制限値は、2.4Ωで 250mA とする。接続するパワーアンプの 30V 消費電流の実績値は、No. 279Nutube版で 84mA である。

電力は、 $P=IV$ より 0.15W。→0.5W の抵抗を使用。



(5) ±7.5V 定電圧電源回路

±7.5V の定電圧電源もトランジスタのパワー素子やドライバー段用の素子を使用した回路とする。電流制限抵抗は、0.75Ωとして Max0.8A とする。抵抗の電力は、 $P=IV=0.8A \times 0.6V \approx$ より 0.48W。→1W 以上の抵抗を使用。電流制限は、トランスの容量 1A より少ないが、DAC とイコライザーを同時に動作させても ±7.5V の必要電流は賅えるだろう。



(6) 外部機器 SW 連携制御

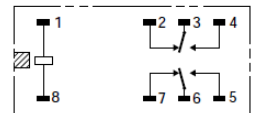
本 AC 電源 BOX3 では、パワーアンプの電源 ON/OFF を DAC 等の機器から制御する仲立ちをすればよいだけなので(仲介的に結線するだけでよいので)、本機で外部機器 SW 連携ラインを制御する必要はない。しかし、本機で制御すると、本機の電源を OFF した時、パワーアンプの電源も平滑コンデンサの放電を待たずに電源 OFF 制御できるので、ノイズ発生抑制に効果がある。

外部機器 SW 連携ラインの制御は、電源 OFF 時は接地、電源 ON 時に Open とすればよいので、電源スイッチが 2 回路あれば、容易に実現可能である。しかし、今回採用した電源スイッチは残念ながら 1 回路のみなので、リレーを使って ON/OFF することにする。リレーは、リレーコイルへの供給電圧が低くなると必要電流が多くなるので、これまで 24V タイプに拘って使用してきたが、今回、24V~25V の整流・平滑後の電圧が無いので、+9V を整流した 12.7V の電源で 12V タイプのリレーを利用することにした。

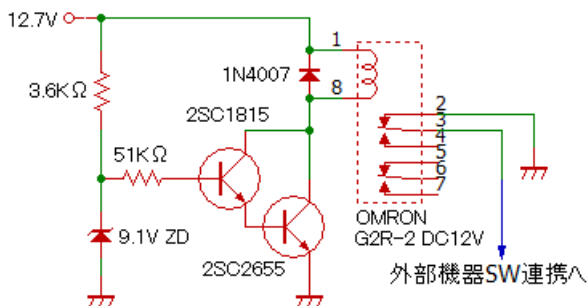
電源スイッチ ON/OFF の検出は、ツェナーダイオードを使って判断する。確実に ON/OFF を検出するには、ヒステリシス特性を持った素子を使うのが好ましいが、そこまでする必要はないと判断した。このツェナーダイオードには 1mA 流して動作させることにする。電源を検出する役目。少なくとも、9.1V になるまでは、トランジスタが ON しないはず。もう少し高いツェナー電圧のダイオードを使った方が良くもしいないが、手持ちが無い。

使用するリレーは、オムロンの G2R-2 DC12V 用。電源の最大許容電圧は、170%なので、12V 用のリレーだと 20.4V まで許容される。整流後電圧 12.7V で電元に変動があったとしても全く問題ない。リレーは、非動作時に③(⑥)と接続している②(⑤)の端子を使用する。②(⑤)をアースに接続し、③(⑥)を外部機器 SW 連携ラインに接続する。コイルの抵抗は 275Ω で、定格電流は、43.6mA だが、12.7V の時は、46.2mA 流れる。駆動するトランジスタは、2SC2655-0(hFE=70~140)と 2SC1815-GR(hFE=200~400)をダーリントン接続するので、 $hFE=(70 \times 200=14000 \sim 140 \times 400=56000)$ になり、仮に $100 \times 300=30000$ とすると、2SC1815-GR のベースに $1.54\mu\text{A}$ 以上のベース電流を流せば、リレーを駆動できる。今、回路図の定電流回路にツェナー電圧 9.1V のツェナーダイオードでベース電圧を固定したとすると、 2SC1815-GR のベース抵抗にかかる電圧降下は、 $9.1\text{V}-0.6\text{V}-0.6\text{V}=7.9\text{V}$ になり、 $7.9\text{V} \div 1.54\mu\text{A}=5.1\text{M}\Omega$ のベース抵抗で良いことになる。まあ、最低限の値なので、十分な余裕(100倍)を見てベース抵抗を $51\text{k}\Omega$ とする。(結局、細かい事気にしなければ、適当に在り物の抵抗で動作するという事。必要のない電流は無駄に流れていく。)

端子配置/内部接続図
(BOTTOM VIEW)



なお、リレーは、1回路の G2R-1 で良いが、信頼性向上の為に 2 回路パラで使用することにした。

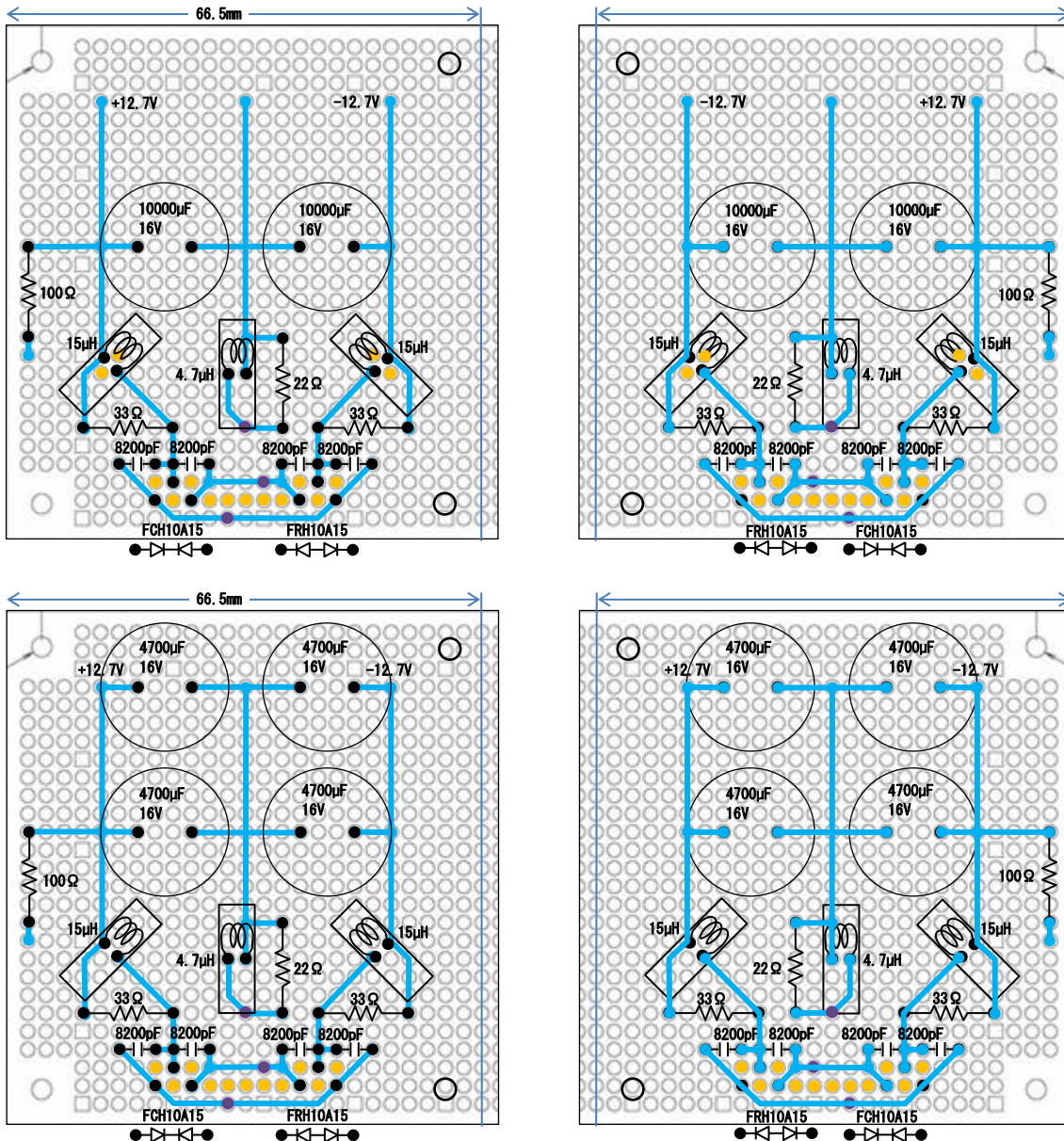


3.3. 基板設計

(1) ±7.5V 用整流・平滑回路基板

±7.5V 用の平滑回路の整流ダイオードにも 8200pF のコンデンサを付ける。整流回路と平滑回路の間に LR のノイズフィルターを挿入。SN8S-300 の巻き線を巻き戻して 21Turn:15μH にしたコイルと、33Ω を + 電源ラインに、0V ラインに SN8S-300 の巻き戻して 12Turn:4.7μH にしたコイルと 22Ω をパラにして 0V ライン挿入する。平滑回路の電解コンデンサには、ニチコン 10000μF/16V KW を 2 個使用。高さが 50mm ある。これまでは、筐体高を抑える為、高さ 40mm のニチコン 4700μF/16V FG を 4 個使ってきたが筐体裏面からのメンテナンスを考えると 10000μF/16V にせざるを得ない。

基板の平滑コンデンサの配線パターンを筐体裏から見た時、フレームに隠れない様にするため、極力基板下側(フロントパネル側)に各パーツを配置する。なお、筐体内のフレームへの取付は、フロントの電源スイッチにあたらないう様にフレームのリアパネル側に配置する。基板は、ICB-293G を 66.5mm 幅にカットして使用する。

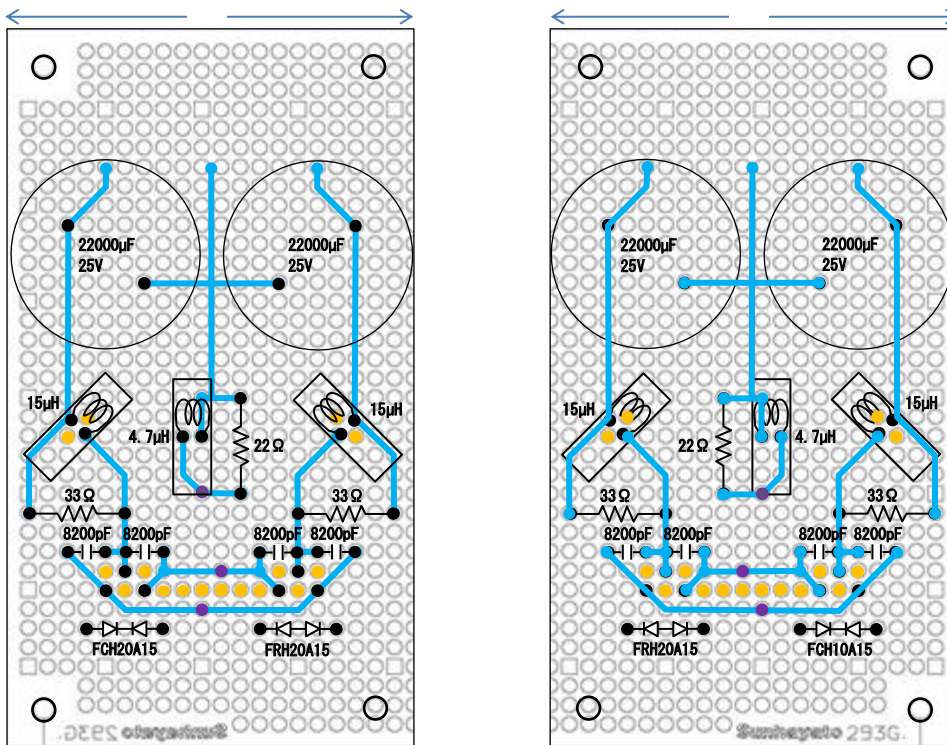


(2) ±15V 用整流・平滑回路基板

±15V の整流ダイオードにもまたダイオードが発生するノイズを吸収する目的で 8200pF のコンデンサを付ける。整流・平滑回路にも、LR のノイズフィルターを入れ、平滑コンデンサには、ニチコンの一般オーディオ用の KW 22000μF/25V の手持ちを使用。高さが 50mm ある。筐体設計で高さ検討が必要だ。

22Ω、33Ω は、平均の電流が 250mA だとすると、 $P=I^2R$ より、1.375W、2.0625W。3W ぐらいの抵抗を使った方がよさそうだが、殆ど、コイルの方に電流が流れると思うので、1/2W でもよいか。

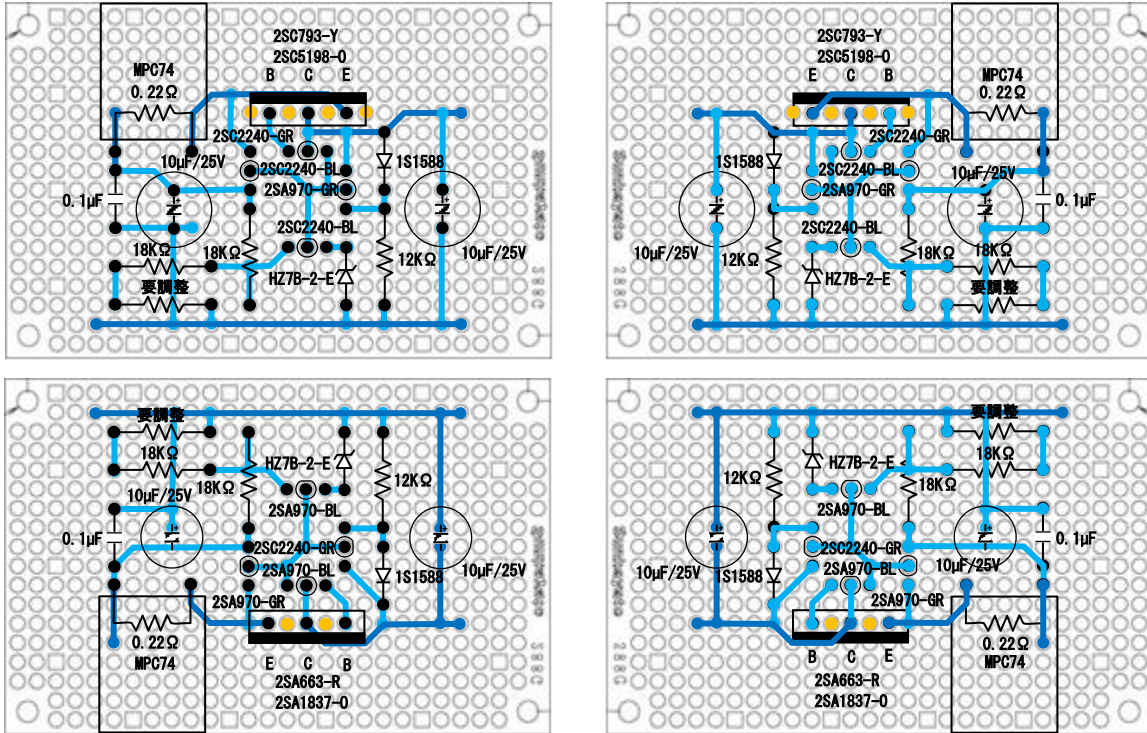
基板は、ICB-293G の短辺の幅を 54mm にカットして使用する。各パーツは、筐体の裏から見た時、配線パターンがフレームに隠れない様に中央に配置する。



(3) ±15V 定電圧電源基板

正負同一基板に実装するパターンが基板枚数が少なく効率的だが、実装スペースが無いので正負分割して行う。パワートランジスタは 2SC793/2SA663 の使用を計画していたが、スペース的に実装は無理だと判断し、2SC5198/2SA1941 を使用することにした。基板は、筐体側板に放熱器と共に取り付けれる。

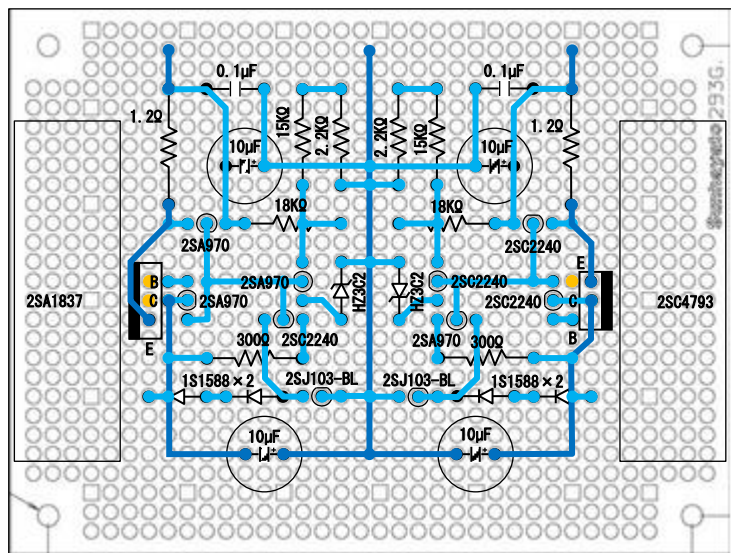
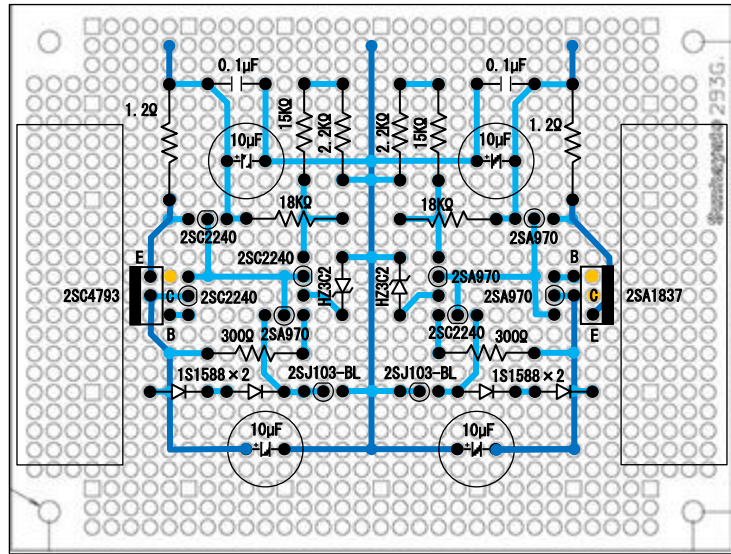
0.22Ω は、MPC74 を所有しているので使用したが、高さがあるので寝かして実装する。



(4) ±7.5V 定電圧電源基板

±7.5V の定電圧回路は、30V、22.5V 用と同一回路構成である。パワートランジスタには、Pc が 20W~30W のパワートランジスタとして、2SC4793/2SA1837 を使用するつもりだが、手持ちの NEC の 2SD297 とサンケンの 2SA764 の利用も考えている。

Nutube を使用した機器への電源供給に考慮した場合、±250mA の電流を DAC と EQ の 2 台に電源供給するとなるので、0.5A 程度を流すことが必要になる。従って、利用する放熱器は、大きめの放熱器を取り付ける必要がある。



(5) +22.5V/+30V 定電圧電源基板/整流・平滑回路

パワートランジスタには、2SC4793 を使う。放熱器は、スペース的に小さなものしか入らないが、できる限り大きめの放熱器を使用する様にする。幅は 30mm 程度フインの厚さは 12mm が限度。高さが高い放熱器を探すしかない。

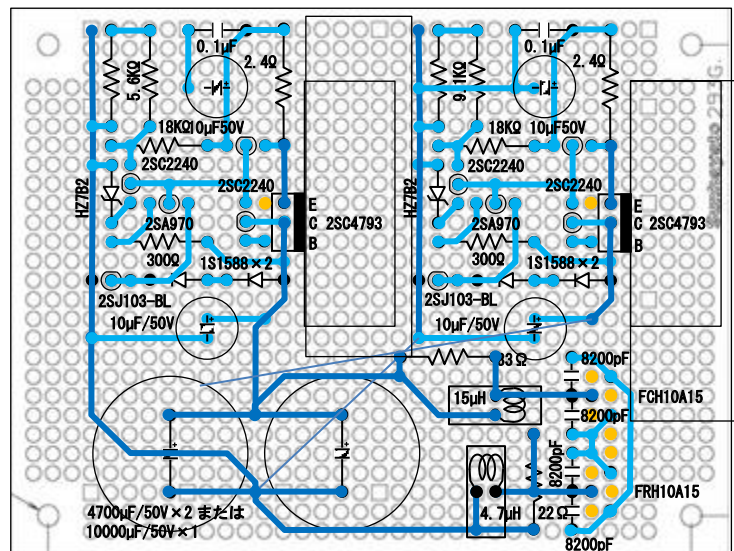
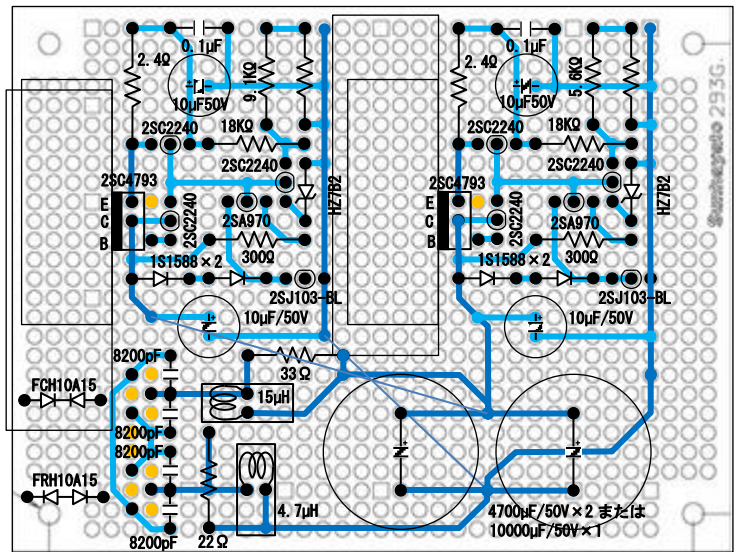
10 μ F コンデンサは OS コンが良いのだが、10 μ F/50V の OS コンは販売されていない(入手できない?)ので一般の電解コンを使用する。

整流回路は、トランスの中間タップは無いがブリッジ整流する。整流ダイオードには、ダイオードが発生するノイズを吸収する目的で 8200pF のコンデンサを付ける。また、LR によるノイズフィルターを組み込む。

平滑コンデンサ 10000 μ F には、ニチコンの KW 4700 μ F/50V をパラ接続使用する。

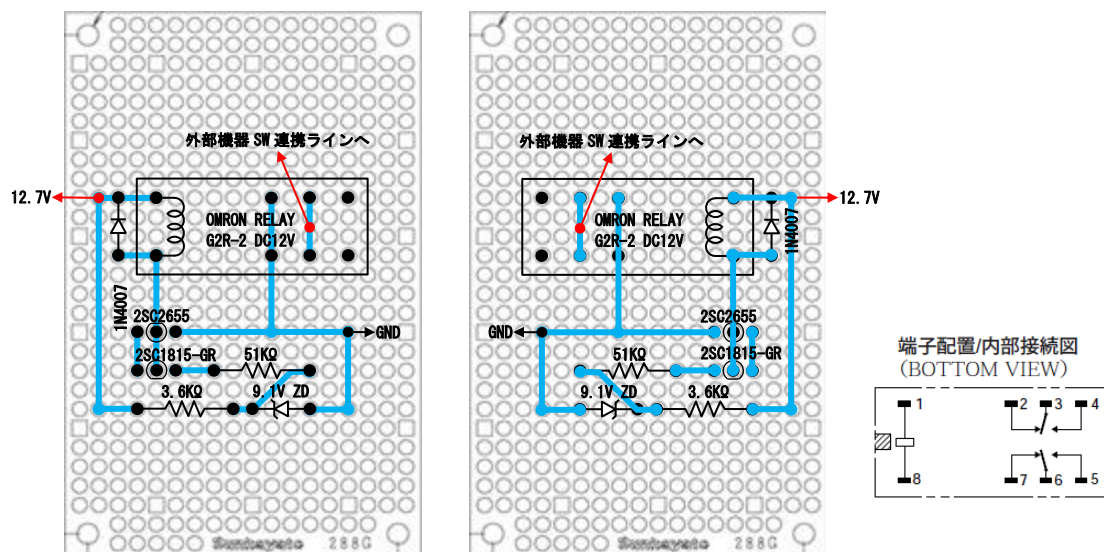
なお、22.5V 定電圧回路の入力は、+30V の出力から取った方が良いかもしれない。平滑後の 39.6V から 17V の電圧差があるので、発熱量が大きく、放熱器の大きさが小さすぎる事が懸念される。

大きめの放熱器も描いてみたが、+30V 用の方は、平滑回路の 33 Ω を裏付けすれば取付できることがわかった。



(6) 外部機器 SW 連携用リレー基板

基板穴は、端から 3mm のところに開けられているので、縦方向に 2mm 拡大して、縦方向 5mm の長円形に加工する必要がある。リレーは、OMRON の G2R-2 DC12V である。本電源供給 BOX3



(後記) 設計変更したので。変更内容を後述している。

3.4. 筐体設計

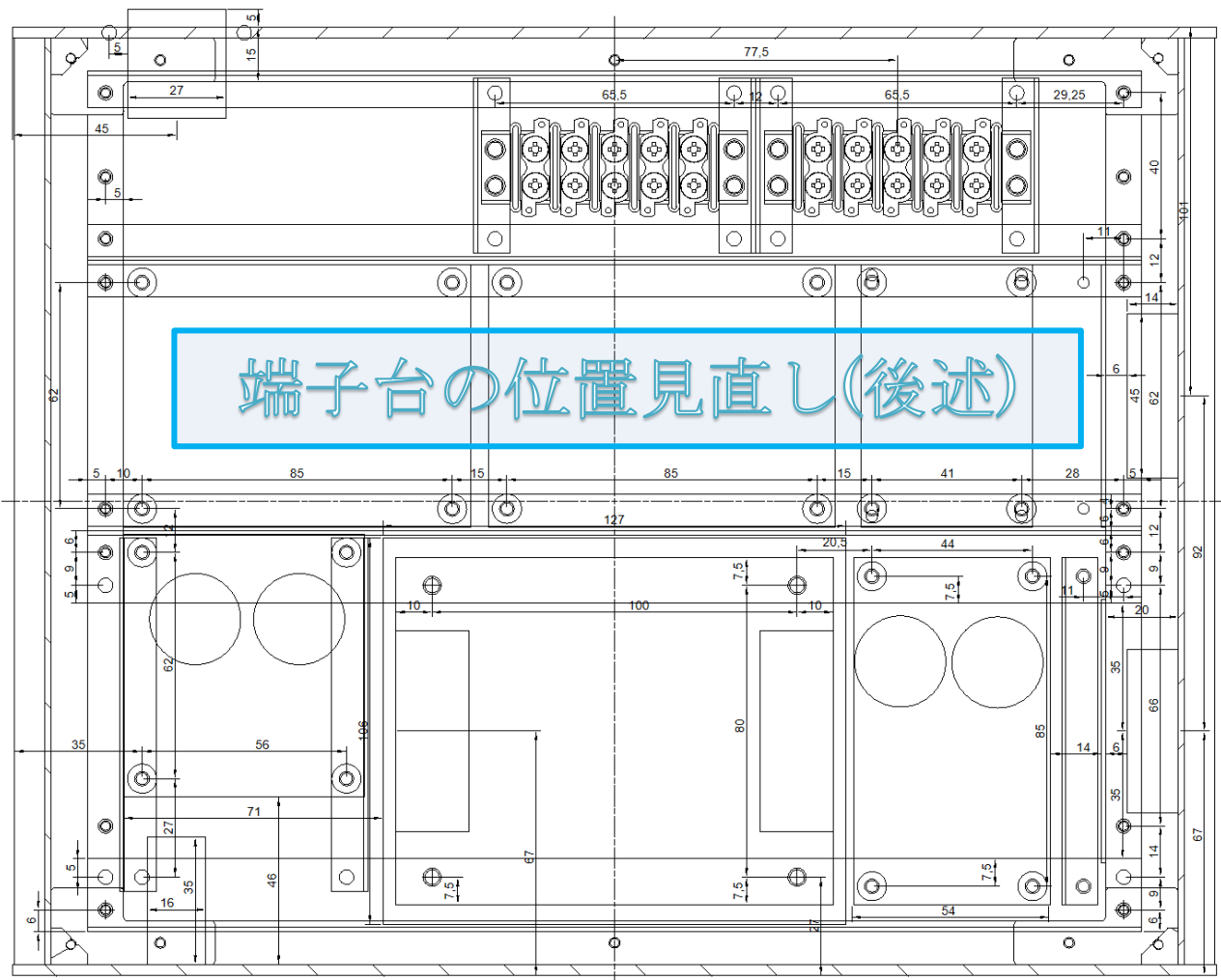
(1) 内部配置

各パーツは、底板に取り付けても良い気がするが、全てLアングルで固定する。

キャノンコネクタのケーブルを受ける端子台は、5P のものを 4 つ使用する。2 つの底面を合わせて配置し、スペースを確保する。リアパネル側中央は、AC インレットやフューズホルダー、AC コンセントを配置するので安全に考慮し、奥行きを開けておく必要がある。少なくとも 40mm はスペースが必要なので、余裕を見て配置を考えた。トランスの磁束の基板への影響に配慮する必要があるが、そこまで配慮すると収まるものも収まらなくなるので、安全配置優先で考えた。

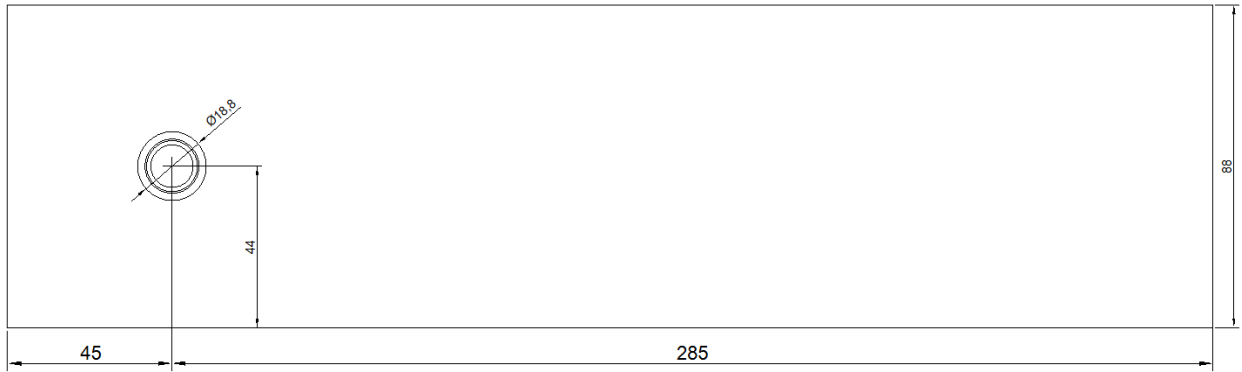
基本的に、フロント側にトランスと整流・平滑回路、中央に定電圧回路基板、リア側に端子台の配置である。±15V の定電圧回路基板は、リアパネル側に立てて取り付ける。当初、T0-3 型パワートランジスタの採用を考えていたが、±15V の整流・平滑基板を入れる十分なスペースが取れ無いので T0-3P 型のトランジスタを採用することにした。トランジスタを筐体のサイドパネルに放熱器と共に取り付ける。ただ、こうすると、中央の基板取付フレームの取付ビスに±15V の整流・平滑基板のスペーサーが位置的にかぶってしまうので、組み立てやメンテナンスの際、手順を考える必要が出てくる

なお、端子台の位置見直しを行った。後述。



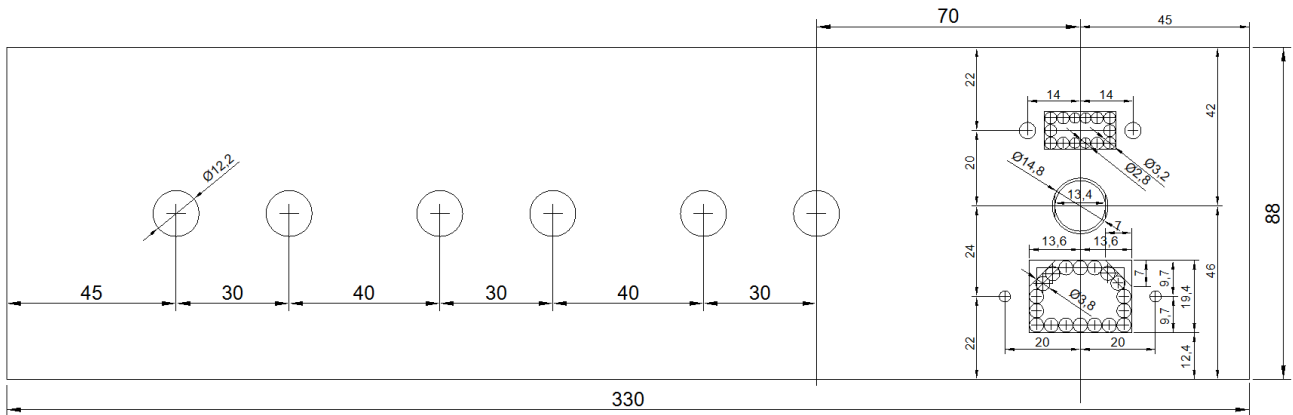
(2) フロントパネル

電源スイッチしかなく、至ってシンプル。



(3) リアパネル

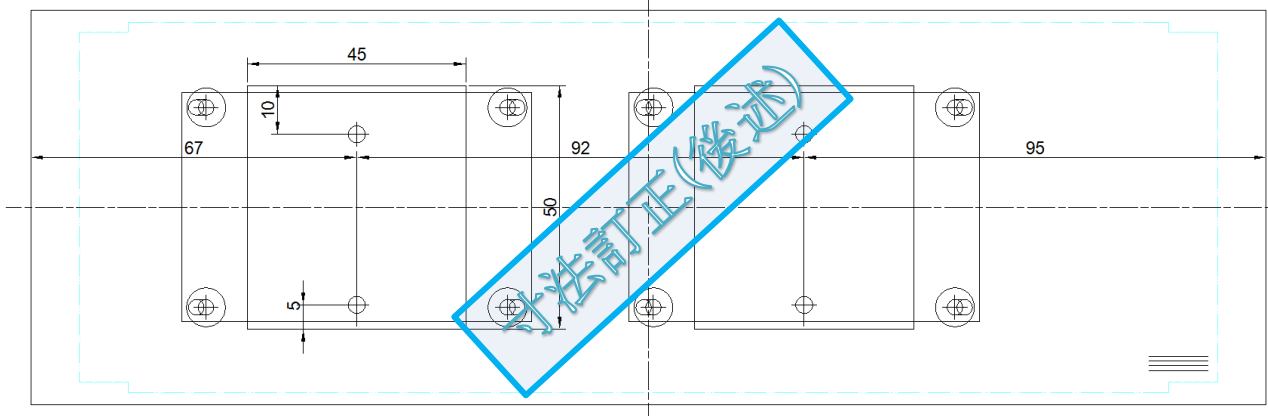
キャノンコネクタのケーブルを通す穴に、これまでベーク製のプロテクターを使ってきたが、今はあまり見かけない。今回は、タカチのゴム製プロテクター（コードブッシュ）を使ってみようと思う。



(4) 側板

±15V 定電圧回路のパワートランジスタの放熱器および定電圧回路基板を取り付ける。放熱器は、昔購入した縦 50mm×横 45mm のサイズで LSI コーラーという代物。トランジスタ用ではないので、放熱器の上側に $\phi 4$ mm トランジスタ取付穴、下側に $\phi 3$ mm のタップを切って側板に固定できるようにする。

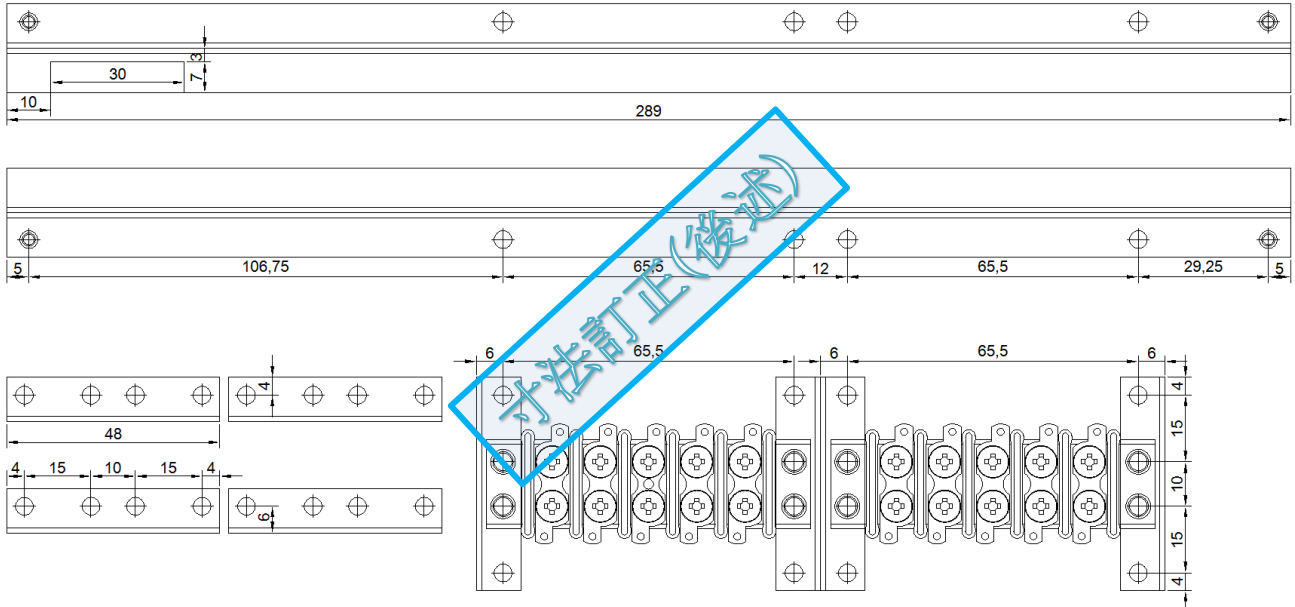
なお、寸法が誤っており、図面の変更を行った。後述。



(5) 端子台取り付けフレーム

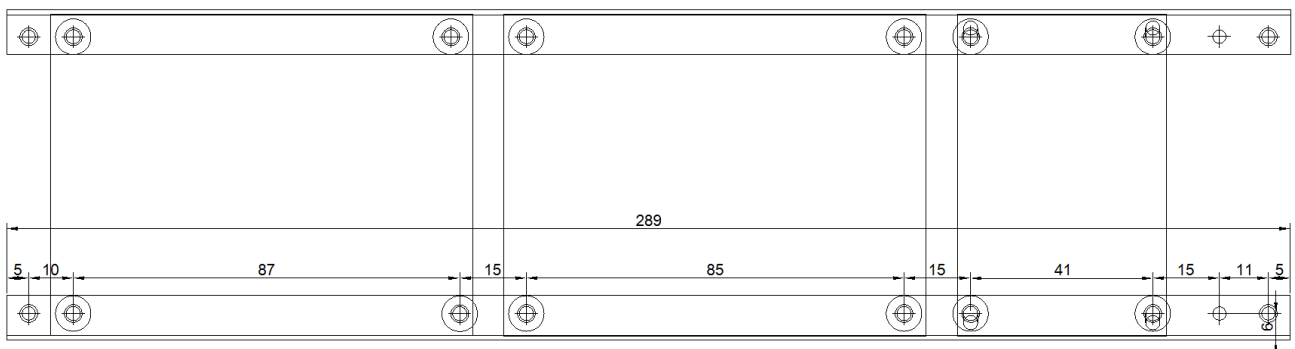
端子台取付用のフレームから 30mm のスペーサーを立てて、端子台保持用の金具を持ち上げ、それに 2 つの端子台を背中合わせで装着する。1 つは 5P キャンコネクター用で、もう一つは、4P キャンコネクター用である。筐体リア側の両端に No. 281 DAC への電源供給用と No. 279 パワーアンプへの電源供給用として設ける。リアパネルの AC インレットがアングルにあたるので、切り欠きを入れる。

なお、端子台の取付寸法の変更を行った。後述。



(6) 基板取付フレーム

±7.5V 定電圧回路基板、+22.5V/+30V 定電圧回路基板、外部機器 SW 連携制御リレー基板、±15V の+15V 側用定電圧回路基板保持用のフレームである。+15V 側用定電圧回路基板は、本フレームでの取り付けは行わず、側板にスペーサーを使って立てて実装する。

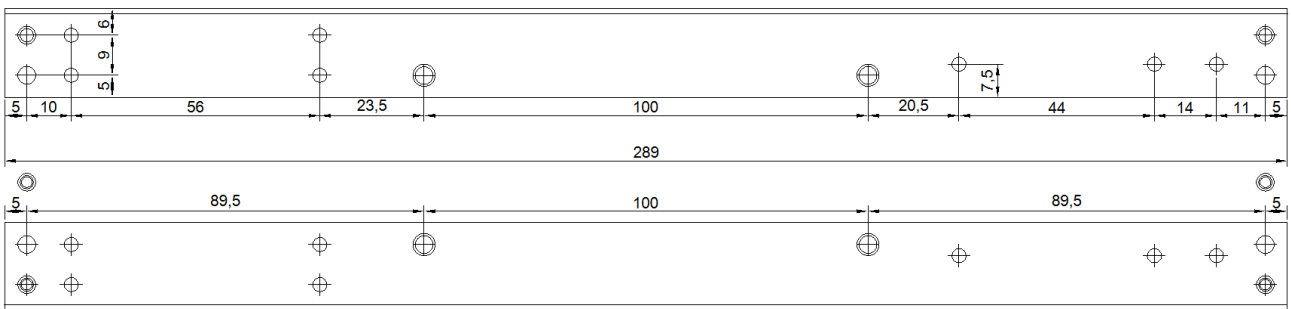
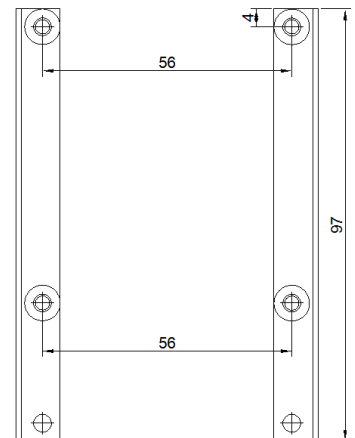


(7) トランス取付フレーム

トランスは、フロントパネル側のフレームに取り付ける。幅 20mm の不等辺 L アングルを使用する。このフレームには、トランスの他に ±7.5V 用の整流・平滑基板と ±15V 用整流・平滑回路基板を取り付ける。なお、±15V の定電圧回路と放熱器は、フレームには取り付けず、側板に固定する。

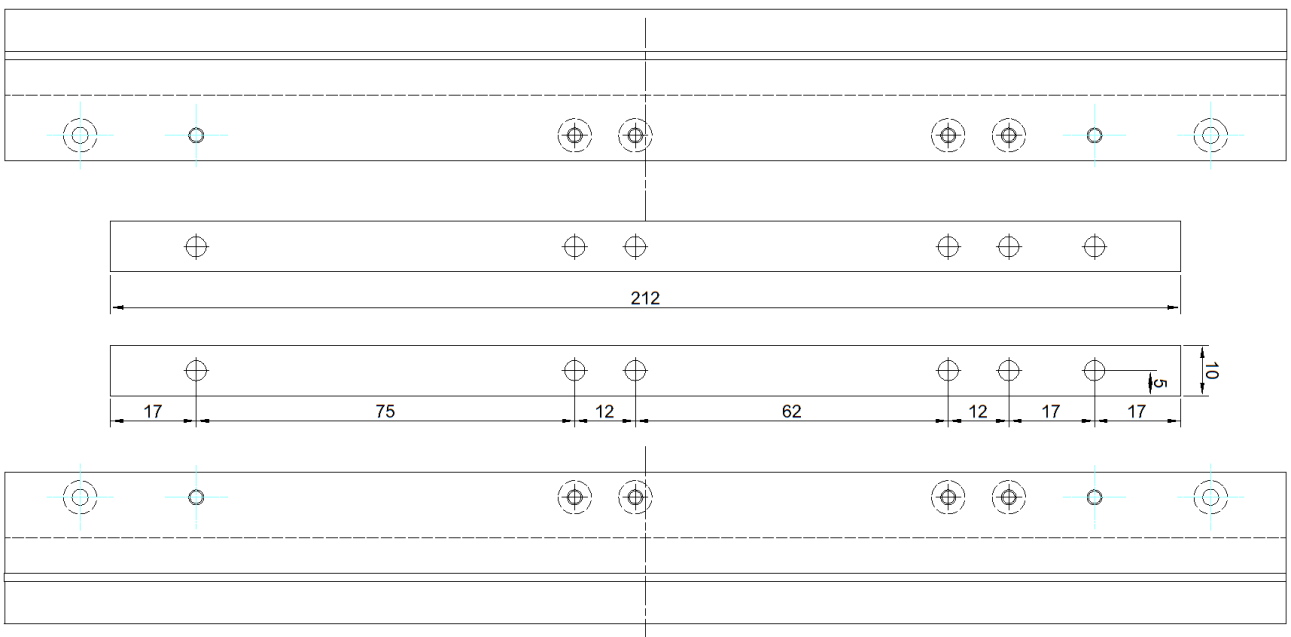
トランス取付用の φ4mm ビスのビス頭の高さが 4mm ほどあるので、フレームと底板までの間が 4mm 以上のスペースが必要。4mm ぎりぎりなので、ワッシャーで高さを上げて取り付けたほうが無難。

±7.5V 用の整流・平滑基板は、電源スイッチがあるので、極力、リアパネル側に寄せ、フロント側のスペースを確保する必要がある。



(8) 筐体側板側フレーム

筐体フレームに L アングルを取り付ける穴加工を行う。フロント側、リア側のアルミアングルは、筐体フレームを構成する為の L 字金具に固定するので、フレームとの間に L 字金具分の厚さ 2mm の差ができる。その段差を解消するために 2mm 厚、10mm 幅のアルミ平板を挿入する。

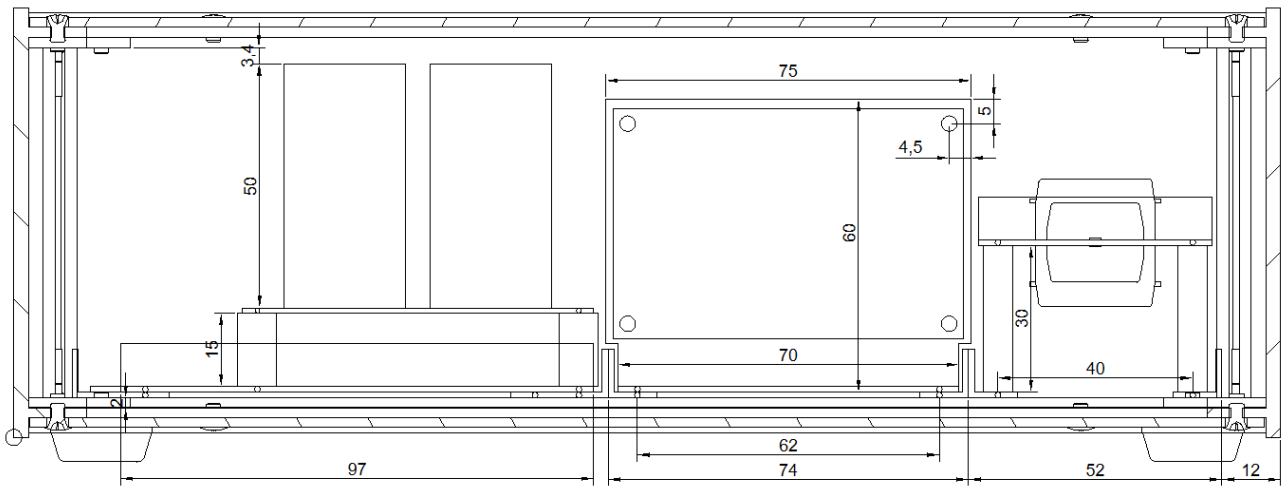


(9) 高さ検討

15mm のスペーサーを挟んで基板を取り付け、50mm 高の電解コンデンサを取り付けた時、スペースは金具まで 3.4mm。天板まであと 4mm あるので 7.4mm のスペース。5P の端子台を 2 個背中合わせにして 30mm のスペーサーで持ち上げ、筐体の高さ中央に位置させる。この時、スペーサーとキャノンコネクタの線材を引き出すコードブッシュの位置が重ならない様に配慮しないと組み立てし辛くなる。

前述の様に±15V の定電圧回路基板は、当初フレームに取り付ける予定であったが、使用するパワートランジスタを T0-3 型から T0-3P タイプに変更して、基板取付のスペースを確保する。

こややの配置だと AC インレットがリアパネル側の L アンクルとあたってしまうので、L アンクルに切り欠きを入れる必要がある。



4. 重要部品の確保

一般的には、機器の製作を行う場合、設計と部品の製作・確保を平行して行うが、直ぐに制作しなくとも、気になる記事の主要部品は、その時点で確保しておく事が必要と考えている。現在、オーディオ用の半導体、コンデンサ、抵抗は、殆ど生産終了しており、パーツ入手は絶望的。

◎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：指定部品は入手できるが、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
◎	筐体	タカチ OS88-26-33SS を使用。パワートランジスタに TO-3P タイプを使用することにしたので、HY タイプの筐体が使えらるかも。
◎	トランス	R コアトランスのフェニックスに特注
○	Pc=60W~100W の PNP と NPN のトランジスタ	±15V 用に手持ちのメタルキャンタイプ Pc=60W の 2SC793/2SA663 を使用する。予定だったが、スペースが確保できないため、PC=100W の 2SA1941/2SC5198 に変更。但し、現在入手できず、今時点では PC=150W の 2SC5200/2SA1943 が入手できる。
○	Pc=10W~30W の PNP と NPN のトランジスタ	±7.5V に手持ちの 2SC4793/2SA1837 を使用する。また、+22.5V、+30V 用にも 2SC4793 を使用する。+22.5V、+30V 用の整流後電圧が高く、電圧差が熱として消費されるので十分な放熱対策が必要だ。現在、2SC4793/2SA1837 の入手は困難。新規購入の場合は別のトランジスタにする必要がある。
▽	小信号用汎用ダイオード	1S1588 の代替として 1N4148 を使用。
×	ツェナーダイオード 9.1V、7.0V、3.3V	6.8V と Tr の $V_{BE}+0.6V$ で基準電圧 7.4V となるので、最適な製品は、HZ7B1 (6.7V~7.0V) であるが、手持ちの HZ7B2 (6.9V~7.2V) を使う。代替としては RD6.8E-B3 (6.70V~6.97V) や 1N5235B (6.46V~7.14V) が考えられる。3.3V には手持ちの HZ3C2 を使用する。
○	整流ダイオード	手持ちの日本インター(現京セラ)の SBD FCH10A15/FRH10A15 と FCH20A15/FRH20A15 を使用。 現行品も多種販売されているので特に困らない。
◎	コイル 4.7 μ H、15 μ H	ノイズ吸収用のコイルを作成する。コイル SN8S-300 を巻き戻して、12Turn:4.7 μ H と 21Turn:15 μ H を作成する。
▽	コンデンサ	出力段用の±15V 平滑回路の電解コンには、以前保守用に購入したニチコンの KW 22000 μ F/25V を使用。現在、在庫無し状態で手に入らないので、保守用に日本ケミコンの KMH を購入した。±7.5V 用にニチコン KW 10000 μ F/16V を、+22.5V、+30V 用にニチコンの KW 4700 μ F/50V を 2 個パラで使用する。 APS 0.1 μ F を多用するが、品薄で大量に購入できない。 整流ダイオードのサージ吸収用 8200pF は APS を使用する。
×	10 μ F/25V OS コン	入手困難。電解コンで代用するしかない。
○	放熱器	手持ちの縦 50mm 横 45mm フィンの厚さ 12mm の LSI 用放熱器を使用する。トランジスタ (2SA1941/2SC5198) の裏側がコレクタになっているので、TO-3P 用の絶縁マイラーシートが必要。
○	ヒューズホルダー	筒形のサトーパーツ F-4000A を使用。
◎	リレーG2R-2 DC12V	OMRON の G2R は、入手しづらくなったが、まだ購入できる。

5. 製作

5.1. トランスへのラベル貼り

特注していたトランスが届いたので、テプラでケーブル色の説明を入れたラベルを作って貼り付けた。2個注文。1つは本機に使用するが、もう一台は保守用として保管する。

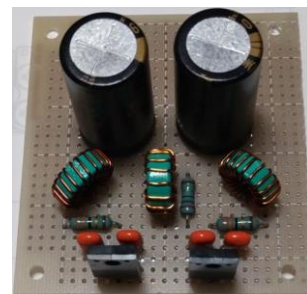


5.2. 基板作成

(1) $\pm 7.5V$ 用整流・平滑回路基板

コイルはSN8S-300 (26 μ H) を巻き戻して4.7 μ Hと15 μ Hとする。4.7 μ Hは12Turnに巻き戻す。15 μ Hは21Turnに巻き戻して作成。

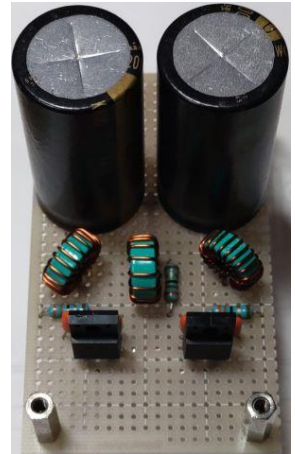
筐体裏側から見た時、パターンがアルミアングルに隠れない様に位置を寄せて実装。整流ダイオード (FCH10A15/FRH10A15) をこれまで通り発熱した場合、放熱器を装着できるように背面を基板措置側に向けた。しかし、これまでの経験からするとこの配慮は必要ない。印字面が見える向きで実装しておくの確認しやすい。



APS 8200pF の定数記載が“822Z”で誤差“Z”となっていた。確か“G” $\pm 2\%$ の商品を注文したはず。“Z”は初めて見るのでどのような誤差かわからない。調べてみたらなんと-20%~+80%の誤差と判明。次回購入の際は気を付けよう。

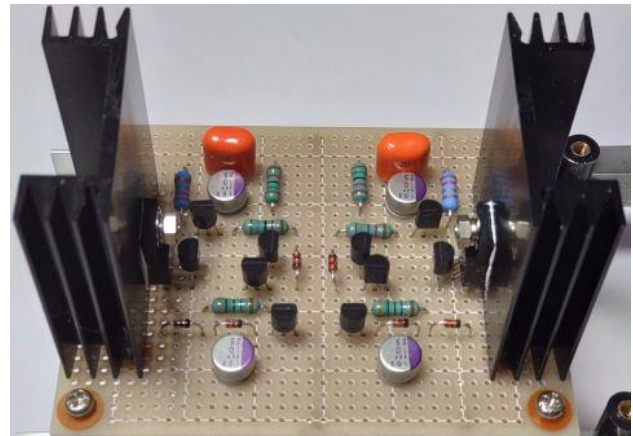
(2) ±15V 用整流・平滑回路基板

±7.5V 用整流・平滑回路と同様に SN8S-300(26 μ H) を巻き戻して 4.7 μ H(12Turn)、15 μ H(21Turn)を作成。いつもは、整流ダイオードの向きを背面を基板外側に向けて実装していたが、放熱器を付ける必要が無かったので、整流ダイオード(FCH20A15/FRH20A15)の印字面が見える向きでこの基板の実装を行った。大電流を扱う整流・平滑回路であるが、22 Ω 、33 Ω の抵抗は 1/2W 型を使用。特定の周波数以外の電流の大半がコイルに流れると想定。パーツは、基板中央に寄せて実装している。



(3) ±7.5V 定電圧電源基板

トランジスタ(2SA1837/2SC4893)の放熱器は、手持ちの放熱フィン部分の厚さ 14mm、幅 45mm、高さ 50mm と大きめの LSI 用の放熱器を使用した。でかすぎだが、新たに探して購入するのも面倒。トランジスタ取付用の穴は開いていないので、取付の高さはトランジスタのデータシート上からすると 17.6mm であったが、実測してみて 16.75mm が適切と判断し、穴あけ、 ϕ 3mm ビス用のタップをたてた。また、放熱器底面を基板にビス固定する為に放熱器底面の取付穴らしき箇所にも ϕ 3mm ビス用のタップもたて、基板に固定した。



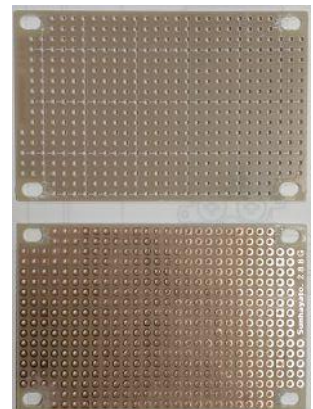
基板には、放熱器を固定する為のビス穴を追加。他の同様にエポキシ接着剤で、穴あけ周辺の穴を埋め、穴あけする箇所のランドを剥して穴あけを行った。トランジスタがモールドタイプなので、絶縁に気を配る必要はない。トランジスタ、放熱器双方にシリコングリスを塗布して放熱器に取り付け。ビスの頭をトランジスタ側から取り付けると後で、ドライバーが入らず、取外しが出来なくなると思い、ビスの頭を放熱器側にしてトランジスタ側はナットで止めるように装着方法を変更。

なお、この段階では、電圧調整用の抵抗 $R_E=2.2\text{K}\Omega$ を裏付け配線とした。小信号ダイオードは、1S1588 の代替として 1N4148 を使用。ダーリントン接続及び誤差増幅回路の 2SC2240、2SA970 は、 h_{FE} ランク BL を使用。その他は GR。

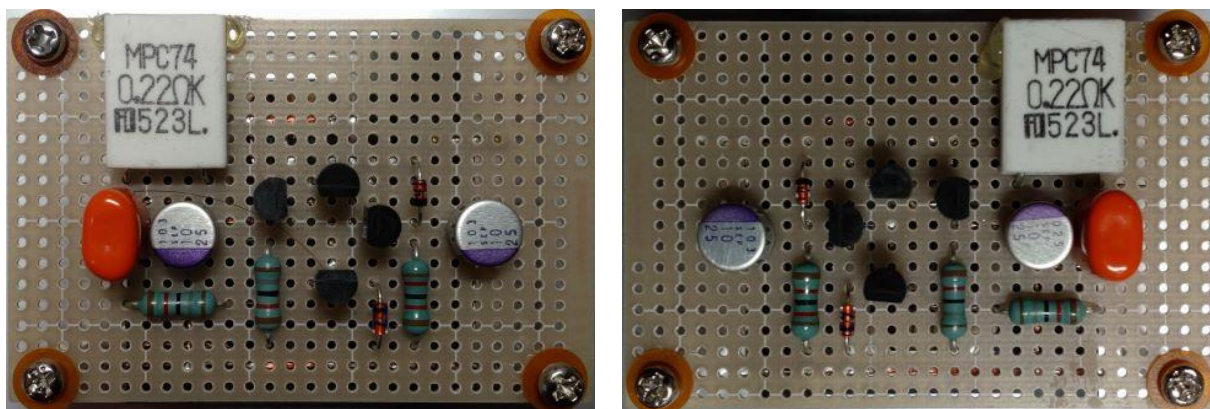
(4) ±15V 定電圧電源基板

±15V の定電圧回路は筐体側板に固定するので、パターン図通り、正負それぞれ ICB-288G を 2 枚使って分割して実装した。パーツ実装前に、取付穴位置を端から 5mm の位置に長円形に拡大。拡大に際しては、事前に穴埋めする穴のランドを除去し、エポキシ系接着剤で穴あけ位置周辺の穴を塞いでから丸鋸(やすり)を用いて穴の拡大加工を行った。

1S1588 の代わりに 1N4148 を使用。0.22 Ω の金属板抵抗は、そのまま取り付けると高さが必要なので、寝かせて取り付けた。その際、ホットポンドで固定している。パワートランジスタには $P_C=100\text{W}$ の 2SA1941/2SC5198 を使用した。



2SA1941/2SC5198 は、筐体側板に放熱器と共に取付、合わせて本基板も取り付ける。出力電圧調整用の R_E は、この段階では、ジャンパー線で結線している。



(5) +22.5V、+30V 及び整流・平滑定電圧電源基板

+22.5V の定電圧回路の放熱器にも、 $\pm 7.5V$ にで使用した手持ちの放熱フィン部分の厚さ 14mm、幅 45mm、高さ 50mm の LSI 用の放熱器を使用した。

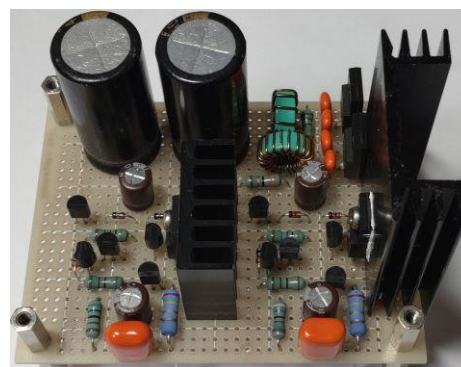
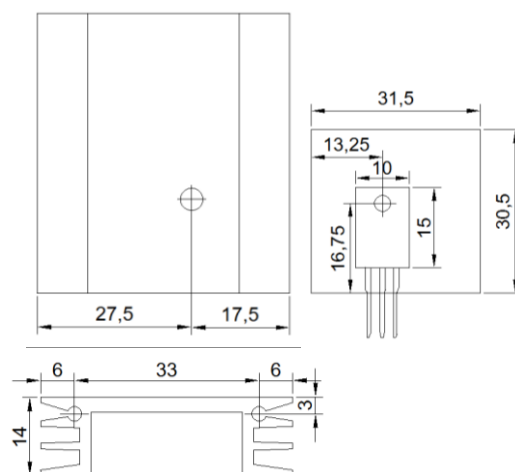
放熱器が大きいのので、基板にねじ止めしたが、基板を傷めない様にバーク製のワッシャーを使用すると整流回路のパターンにかかってしまう事がわかり、避けるようにパターンを変えた。

信号用ダイオードは、1S1588 の代わりに 1N4148 を使用。

入出力の電解コンは、50V/10 μ F の SILMIC II を使用した。

一方、+30V 定電圧回路の放熱器には、幅 31.5mm 高さ 30.5mm、フィンの厚さ 12mm の放熱器を使用した。+22.5V と同じ大きさの放熱器を取り付けるには、整流回路のノイズ除去の 33 Ω を裏付けしなければならないのと、+22.5V ほど入力と出力の電圧差が無い事、消費電流が少ない事などから、放熱しなければならない熱量も小さいであろうと想定し、+22.5V に使用した放熱器より小型の放熱器を採用した。各放熱器には、トランジスタ取付用のビス穴はあけられていないので、 $\phi 2.5mm$ のドリルで穴あけした後、タップを立ててビスで固定できるようにした。ただ、取付位置は、放熱器の左右の中心ではない。6mm 長のビスを使用してトランジスタを固定している。

なお、この時点では、定電圧回路のプラス側は、整流・平滑回路に接続していない。整流・平滑回路が正しく動作している事を確認した上で結線する。

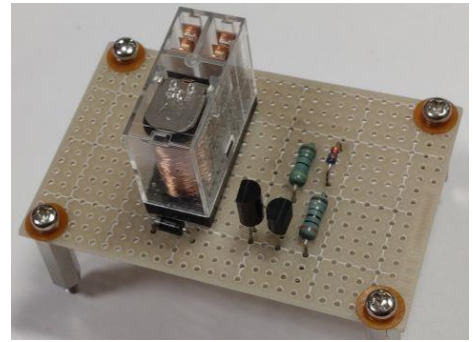


(6) 外部機器 SW 連携用リレー基板

こちら、ICB-288G の取付穴を長円形に拡張して基板端から 5mm の位置でビス止めできるように加工。丸鑿(やすり)を使ってノギスで測りながら削って仕上げた。

ダーリントン接続のトランジスタのベース抵抗には、51K Ω を使用する設計だったが、基板から取り外した 47K Ω があったので、使用した。

電池が足りず、10V しかかけられなかったが、動作確認。カチカチとリレーが動作。ベース抵抗 47K Ω の電圧降下が 6.93V であったので、0.147mA (147 μ A) がベースに供給されたことになる。1.54 μ A のベース電流でトランジスタが On して 46.2mA がリレーのコイルに流れる計算だったので 100 倍ずれている。1.54 μ A は、計算上 5M Ω の抵抗で得られ値なので、その 1/100 の抵抗値で、100 倍のベース電流が流れた結果は正しいと判断できる。



5.3. L アンゲル加工

(1) トランス取付フレーム

まず、トランス取付フレームの加工から開始。20mm \times 9mm 1.6t (20mm \times 10mm 1.5t を購入するつもりなのだが、近所のホームセンターではなぜかこの寸法しか手に入らない。)。以前作成した時の 500mm 長の余りが 2 本あったので、これを利用。いつも、プリンターに寸法図を印刷してアルミアングルに貼り付けて加工するのだが、たいてい 2 枚つなぎ合わせないと長さが足りない。今回は、幅が 289mm なので、A4 の 297mm に収まる。プリンタの印刷可能領域があるので、2mm 程度印刷できないが紙 1 枚で済んだ。 \pm 7.5V 用整流回路基板を取り付ける為の橋渡しする 10mm \times 10mm 1.2t のアルミアングルも以前加工して取り外したアングルがあったので再利用。穴あけしていなかった面を使用した。

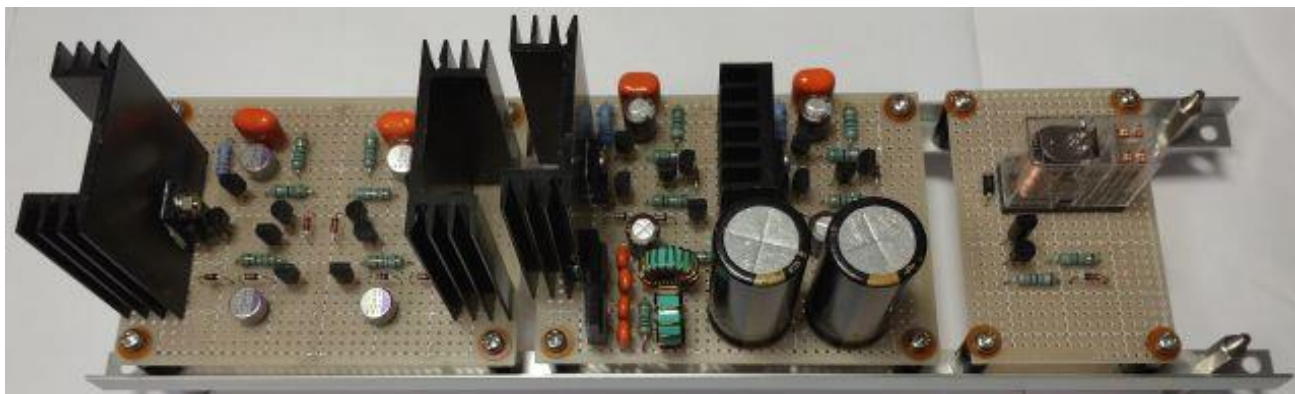
\pm 7.5V 用整流回路基板は、15mm 高のスペーサを使用して取り付けたが、出力段用の \pm 15V 用の整流回路基板の取付は、電解コンの高さが 50mm なので 10mm 高のスペーサを使用した。

筐体へのアースポイントを何処にするか、この段階でまだ決めていない。定石はトランスの近くだが、定電圧回路基板の取付フレームを作成してから決める。



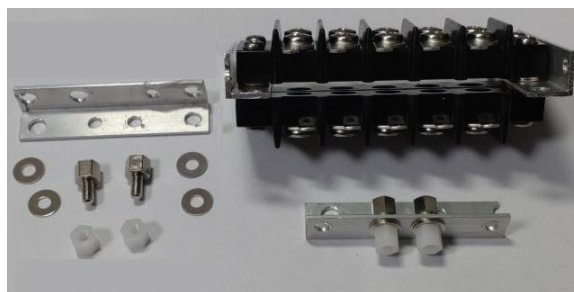
(2) 基板取付フレーム

基板取付フレームには、±7.5V 定電圧回路基板 (ICB-293G)、+22.5V、+30V 基板整流平滑・定電圧電源基板 (ICB-293G)、外部機器 SW 連携制御基板 (ICB-288G) の 3 枚をマウント。



(3) 端子台取付金具、端子台取付用フレーム

端子台は、端子台取付用金具に六角 5mm 長の連結スペーサーと、メス-メス 5mm 長の六角スペーサー、ワッシャーを使って端子台固定用のスペーサーを組み合わせて、固定金具に 2 つの端子台を固定した。これを端子台取付用フレームに設計では 30mm だったが、20mm のメス-メスのスペーサーを使って固定。リアパネル側の端子台取付フレームには、穴あけの他に AC インレットがフレームにあたってしまうのを回避する為に切り欠きを付けた。

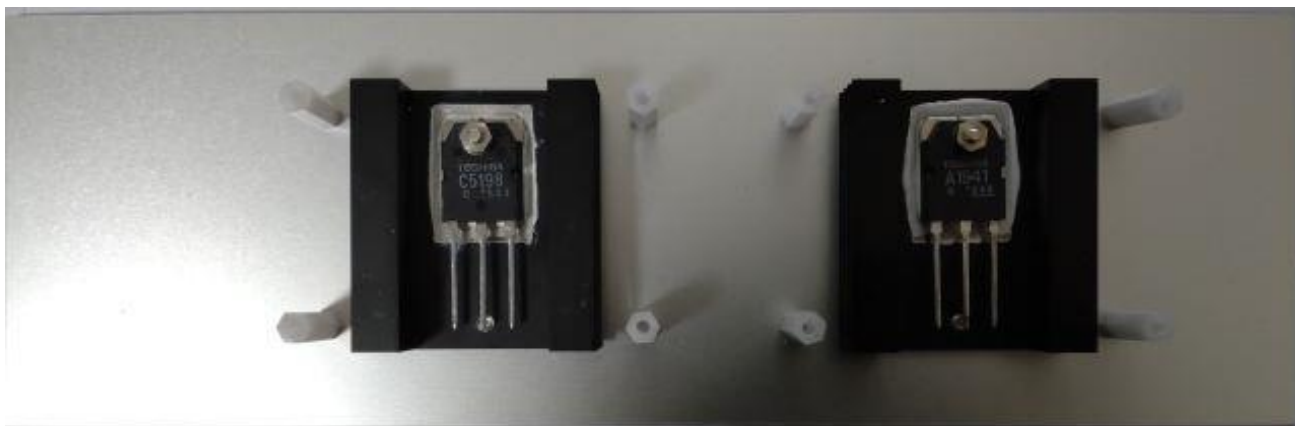


なお、組み立て後、取付位置の変更を行った。後述。

5.4. 筐体加工

(1) 側板加工

±15V 定電圧電源回路のパワー半導体 2SC5198-0/2SA1941-0 の放熱器と定電圧回路基板を取り付ける加工を行い、取り付けを行った。放熱器と側板の間にシリコングリスは塗布していない。



(2) 側板フレーム

端子台取付用フレーム、基板取付フレーム、トランス取付フレームを固定する為の皿モミした穴を筐体の側面フレームに穴あけした。また、スペーサーとして、2mm厚、10mm幅の平板の加工を行った。



(3) フロントパネル

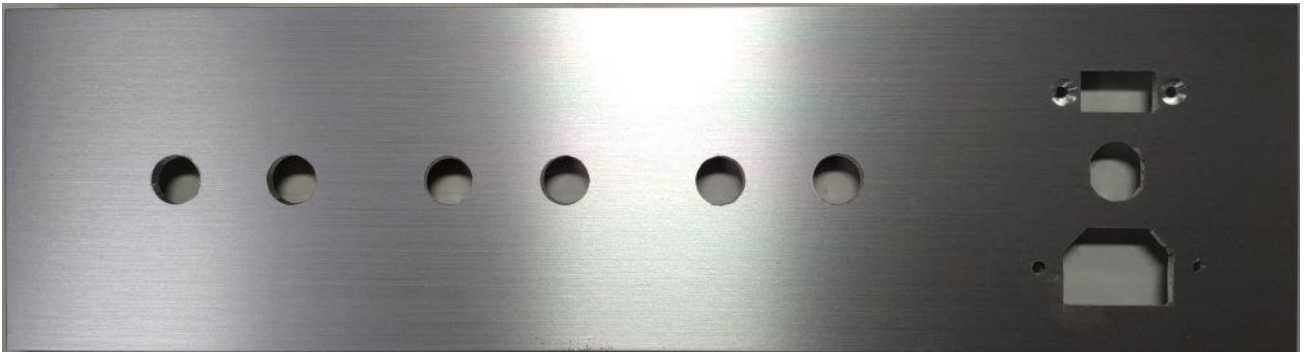
電源スイッチのみなので、加工は容易。レタリング POWER のみ。





(4) リアパネル

リアパネルが大きな穴あけがいくつもあるので、加工が一番大変。キャノンコネクタのケーブル用の穴はパワーアンプ用、DAC 用にそれぞれ 2 つ、合計 4 つあればよいのだが、それに加えて、イコライザー用も電源供給できるように、2 つ余分に穴あけをしておく。

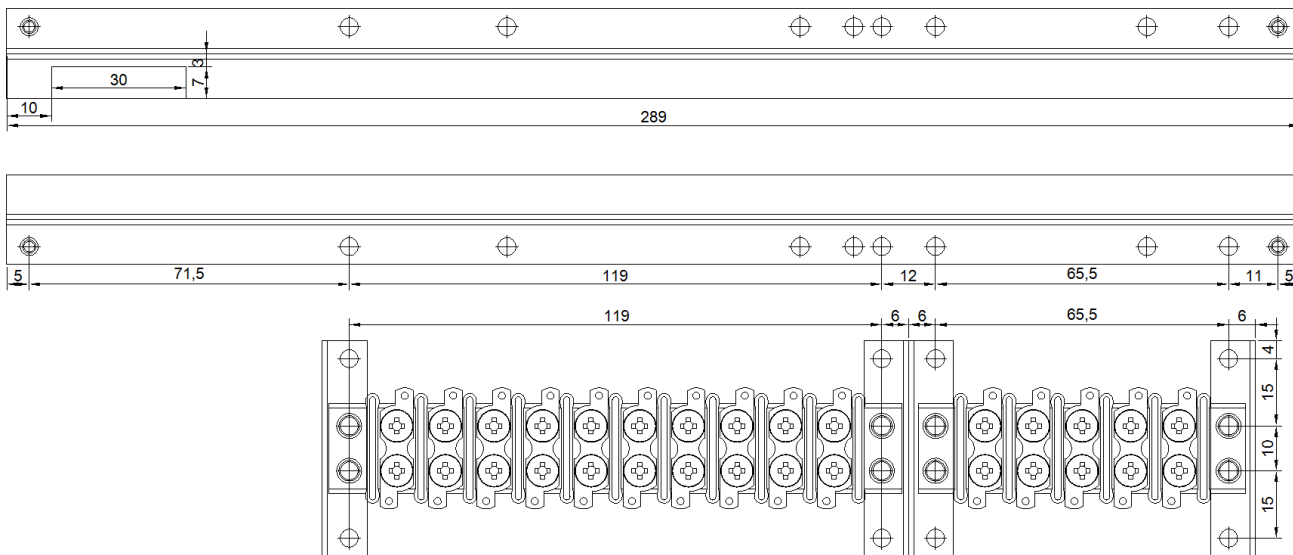


5.5. 組み立て

(1) 筐体組み立て

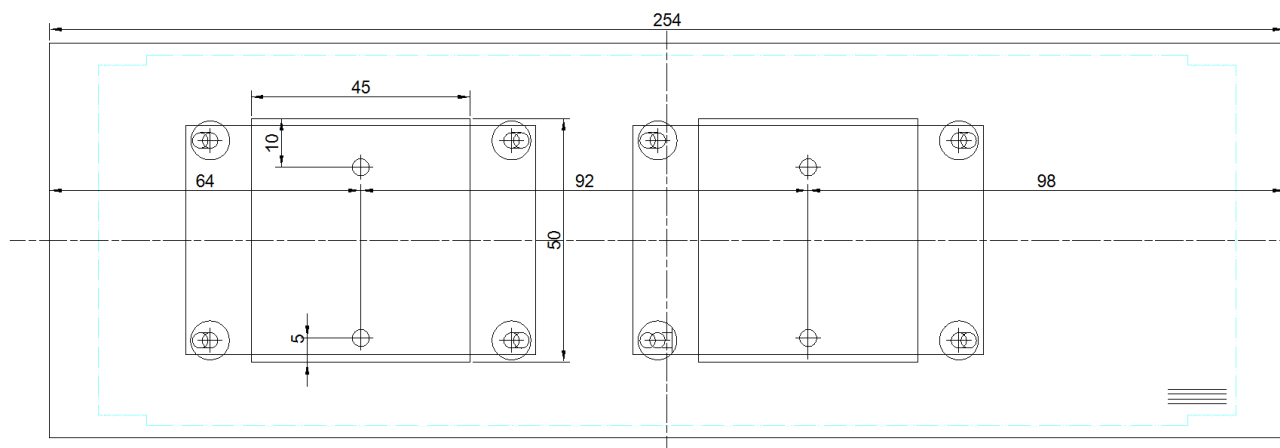
筐体を組み立てた。端子台の右側に余裕があるので、右に移動して、左側の 5P 端子台を 10P に変更すればよいと考えた。そこで、フレームの穴位置を下図に設計変更し、追加加工実施。

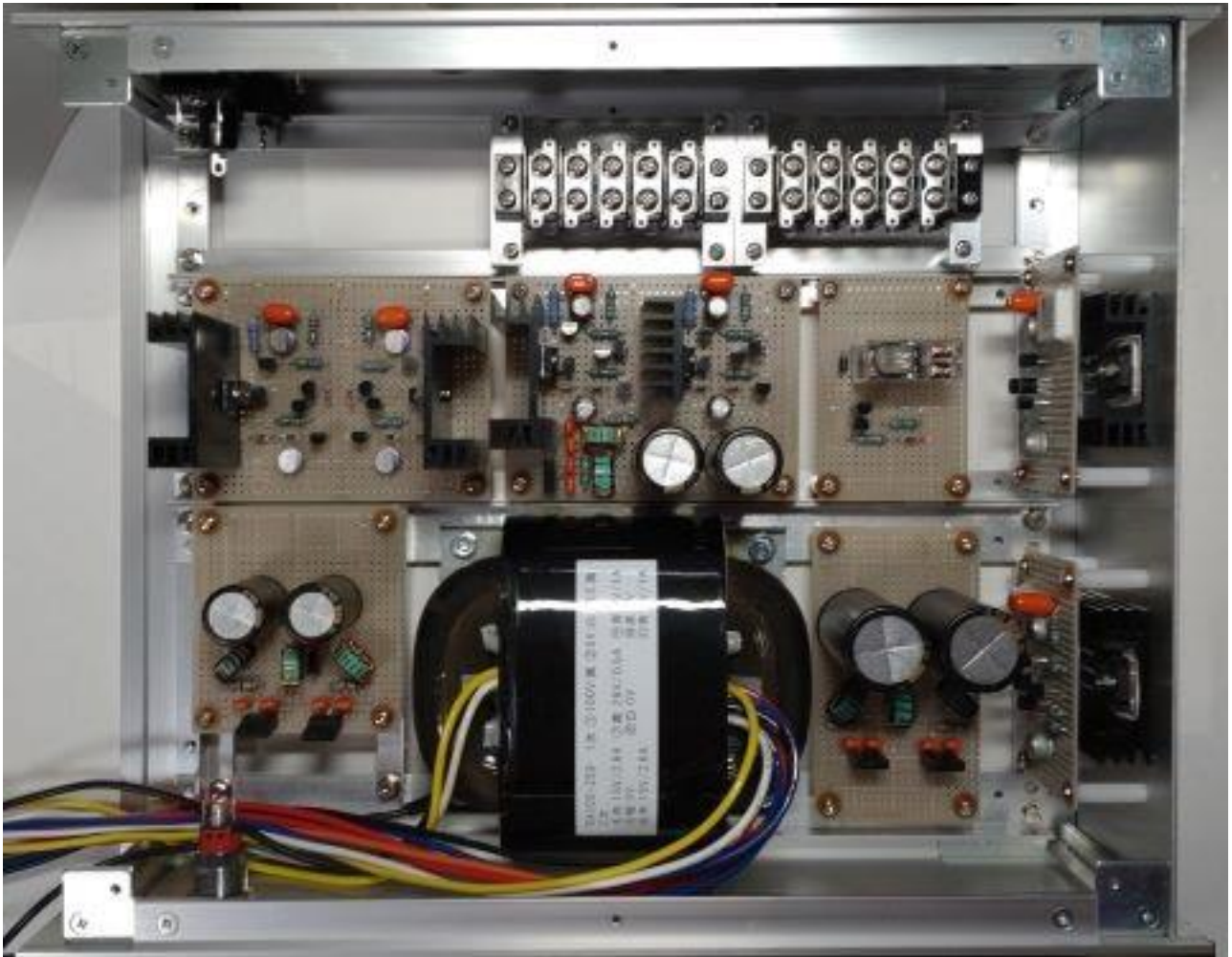
ただ、現段階で急いで 10P に変更する必要はないので左側の端子台は継続して使用する事にした。



この時点で、±15V 基板、放熱器の側板取付寸法の誤りを発見。

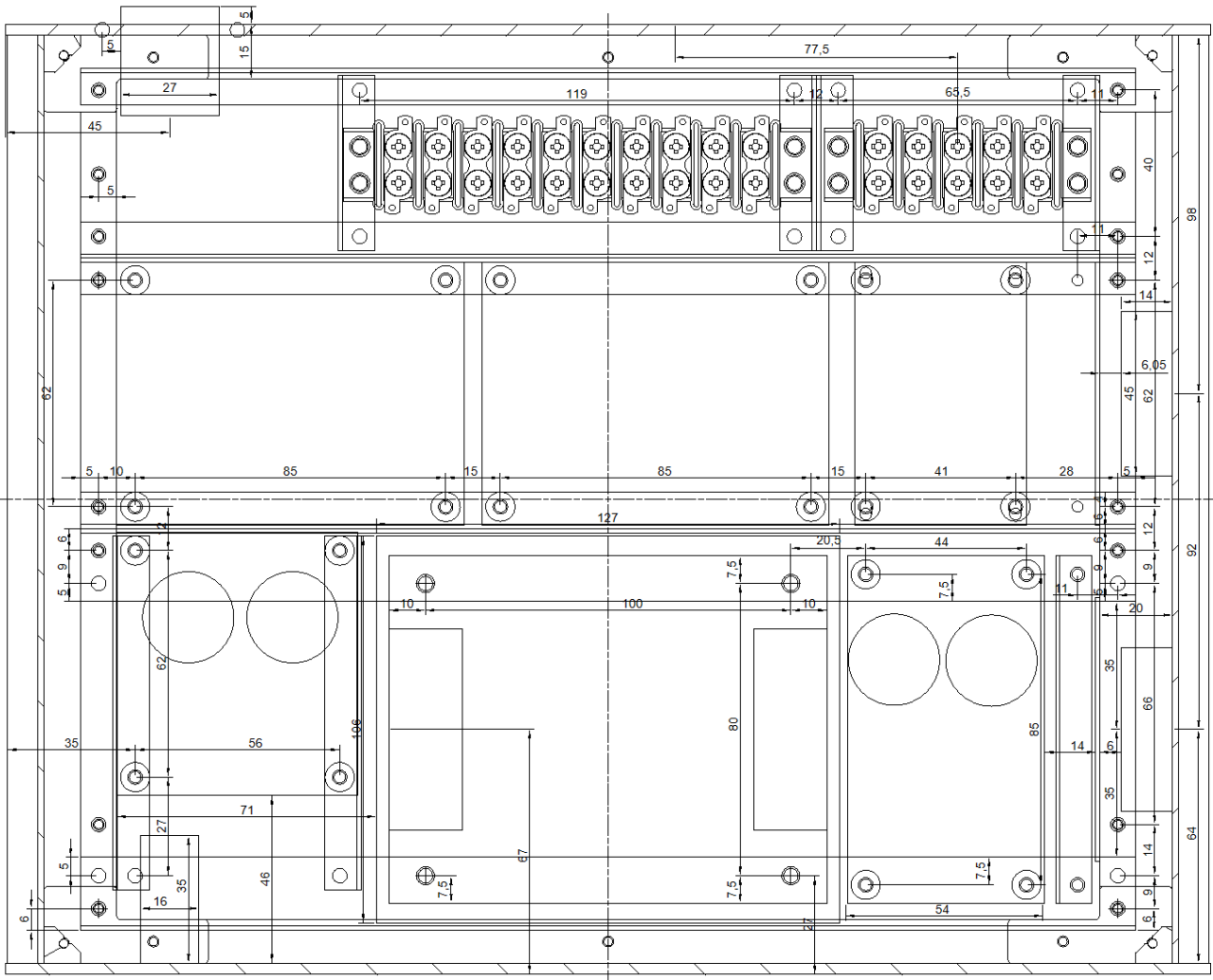
下図が正しい寸法。もう覆水盆に返らず状態だが、側板の加工図面の寸法が誤っていた。図面だけ書き換えたが、加工はそのまま。端子台の位置をずらすとわずかだが接触してしまう。ちょっと L アンクルを削って対応。





端子台を少し右側に位置変更。+15V 基板とわずかに接触。Lアングルを削って対応。





(2) AC 電源関係の配線

電源スイッチ、AC コンセント、フューズホルダー、AC インレット、トランスの一次側を配線。ケーブルはダイエイ電線の 30 芯を使用。続いてトランスの二次側を各整流・平滑回路に接続。アースポイントは、±15V 用整流・平滑回路のトランス寄り、基板フレーム側のトランスの取付ビスに位置にした。

平滑回路	出力電圧
+15V	+22.41V
-15V	-22.43V
+22.5V/+30V	+41.91V
+7.5V	+13.47V
-7.5V	-13.48V

この段階で配線誤りがないかよく何度もチェックした後、フューズホルダーに 3 A のフューズを入れて電源オン。AC なのでこの瞬間が一番緊張する。各平滑後の電圧を測定。電圧測定後、56 Ω の抵抗で平滑回路の電解コンデンサの電荷を放電。

(3) +30V 定電圧回路の確認と出力電圧の調整

最初に+30V の定電圧回路の確認と出力電圧の調整を行った。なぜなら、+30V 定電圧回路の出力電圧を+22.5V 定電圧回路、+15V 定電圧回路の入力にすれば、+30V 定電圧回路の過電流保護回路が利用できるから。何かあっても少しは安心。同様に、±7.5V 定電圧回路の入力に±15V 定電圧回路の出力が使える。しかし、残念ながら-15V 定電圧回路の確認は、+30V と同様に行うしかない。

+30V の出力電圧測定。アレ？出力 0V。試しに 22.5V を平滑回路出力に接続すると、22.61V が正常に出力されている。回路的に何も変わらないので、配線ミス、パーツの装着ミス、半田がちゃんとしていないなどぐらいしか考えられない。裏パターン配線を良くチェックすると、線材の切屑 1 本が残っていてショートしていた。最近こういったミスが多い。

改めて出力電圧の調整にとりかかる。平滑回路の出力から+30V への定電圧回路の+入力に IC クリップで接続。R_E を 500 Ω (1K Ω パラ) を裏付けして正常に出力電圧が出る事を確認。正式に 470 Ω を取り付けて改めて測定。出力電圧 30.42V となった。試しに 470 Ω をショートしてみた時の出力電圧は 32.32V。これでも良いかも。ツェナーダイオードの電圧は 6.99V。誤差増幅器の 2SC2240 のベース電圧は 7.62V。

平滑回路の出力から+30V 定電圧回路への+入力をモガミ 2414 (19 芯) で配線。

各平滑コンデンサの電荷を 56 Ω で放電。

(4) +22.5V 定電圧回路の確認と出力電圧の調整

+22.5V の調整は、+30V の出力で行うつもりであったが、+30V のトラブルの時、確認してしまったので、+22.5V も平滑回路の出力で確認することにした。

R_E に 75 Ω を裏付けして出力電圧を測定。22.61V。75 Ω をショートしたときは 22.69V。ほとんど変わらない。何もぴったり 22.5V に合わせる必要はないので、R_E を 75 Ω とすることにした。

この時のツェナーダイオードの電圧は 7.00V。誤差増幅器の 2SC2240 のベース電圧は 7.63V。

平滑回路の出力から+22.5V 定電圧回路への+入力をモガミ 2414 (19 芯) で配線。

各平滑コンデンサの電荷を 56 Ω で放電。

(5) ±15V 定電圧回路基板の側板への取付と配線

2SC5198 のベースからの配線は 19 芯黄色、コレクターは 30 芯赤色、エミッターは、30 芯緑色で基板と結線。トランジスタの足には、耐熱チューブが良いのだが、購入していなかったので、わかりに熱収縮

チューブを付けて絶縁した。同様に 2SA1941 にもコレクターは 30 芯青色にして結線。入力から平滑・整流回路基板までのケーブルと出力から端子台までの配線ケーブルとして 30 芯ケーブルを必要な長さから少し長めにカットして配線した。

+15V 定電圧回路の調整を+30V の出力で行おうとしたが、出力が不安定。結局、整流・平滑回路の出力を使用した。出力電圧は 15.33V。RE を付けていないのだがこれで良い。誤差増幅器の 2SC2240 のベース電圧は 7.62V。ツェナーダイオードの電圧は 7.00V。

続けて、-15V の定電圧回路の調整。出力電圧は、-15.50V。誤差増幅器の 2SA970 のベース電位は-7.67V。ツェナーダイオードの電圧は-7.03V。+15V 側より少し大きい。これが影響して出力電圧が+15V より若干少し高くなっている。

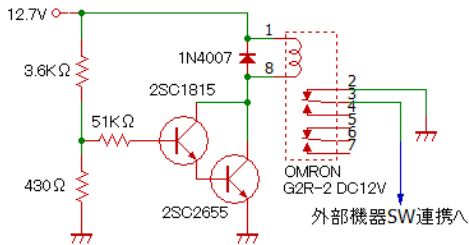
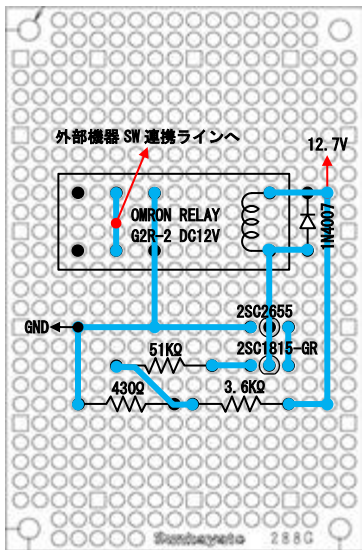
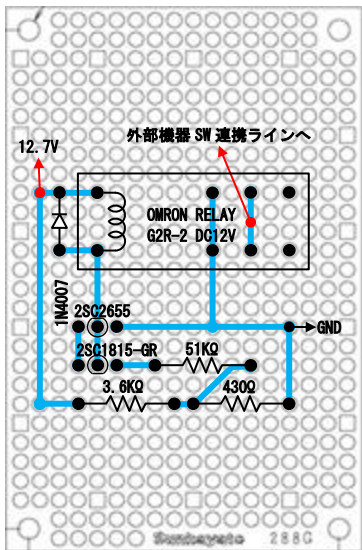
-15V の出力電圧に合わせるため R_E を調整。 $R_E=430\Omega$ として-15.34V となり、僅差で同等とすることができた。

(6) ±7.5V 定電圧回路基板の確認と出力電圧の調整

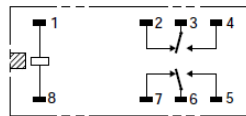
±15V の低転圧回路の出力を利用して、±7.5V の動作確認。最初+15V から確認したら、どこを測っても 14V。アレ?。よく見たらアースを結線していなかった。気を取り直してアースを結線し、出力電圧を測定。+7.68V/-7.55V。双方 $R_E=2.2K\Omega$ としているので、マイナス側の R_E を $R_E=2K\Omega$ がまだ合わないため、8.2K Ω をパラ接続して 1.6K Ω としたところ、最初は計った+7.68V と正側の値が変わったが、±7.76V に揃った。

(7) 外部機器 SW 連携基板の確認と調整。

外部機器 SW 連携用のリレーが、電源を入れる時は即座に駆動するが、電源を切るとき、電解コンデンサの電荷が残っているので、2~3 秒ぐらい暫くしてから切れる。電源 ON 時はゆっくりで構わないが、電源 OFF した時は、即座に OFF してほしい。ダーリントン接続トランジスタのベース電圧を 9.1V のツェナーダイオードで確保しているが、これががんばってしまうので、なかなか切れない様だ。安定した動作をさせる為にツェナーダイオードとしていたのだが、ここは、冒険して抵抗に置き換えることにした。抵抗にすると、AC 電源の変動できちんと機能しない事態が発生するリスク大。ダーリントン接続トランジス



端子配置/内部接続図 (BOTTOM VIEW)



タのベースは、1.2V で ON するので、ここを確実に確保することが必要。そこを今回は、ぎりぎりを狙って、0.2V 差の 1.4V をベースに加圧することにした。電源に 3.6K Ω の抵抗が接続されているので、計算上 430 Ω とした。3.6K Ω +430 Ω に 3mA の電流が流れることになる。ツェナーダイオードを取り外して、430 Ω を装着したところ、3.6K Ω と 430 Ω の接続点の電位は 1.38V。47K Ω を介してベースに電流を供給しているが、ベースの電位は 1.27V。この時の電源電圧は、12.89V。これにより、電源を切った時、即時にはいかないが、1 秒以内にリレーが動作するようになった。±15V の平滑回路や±7.5V の平滑回路、+22.5V/+30V の平滑回路の各電解コンデンサが放電しきるまで結構な時間がかかるので、これで問題(電源 OFF 時にパワーアンプからノイズが発生すること)は回避できると期待する。

(8) 電源 LED

LED は、回路図上 24V 用を想定していたが、実際に使用する LED は 12V 用で、定格は、12V/7mA なので、抵抗を挿入して電流値を調整する。平滑回路+12.7V 側の整流・平滑回路には、45mA を消費するリレーがつながれているので、回路図と異なり、-12.7V 側を使用する。LED のプラス側を 0V に、一側を-12.7V に接続し、間に電流調整用の抵抗を挿入する。7mA とする為の抵抗は 300 Ω 。300 Ω の電圧降下は、 $2.110V=7.03mA$ となった。

(9) 端子台の配線

各定電圧電源基板から端子台への配線と、キャノンコネクタの引き出しを行った。内部の線材は、±15V だけ 30 芯のモガミ 2415 で、後は、19 芯 2414 で結線。内部基板から端子台への接続は、R1.25-4 の丸型圧着端子で接続。キャノンコネクタの使用ケーブルは、パワーアンプ用の 5P が外部機器 SW 連携ラインを 20 芯のダイエー電線とし、その他は全て 30 芯のダイエー電線とした。パワーアンプ用の 4P は全て 20 芯のダイエー電線を使用。キャノンコネクタのケーブルは、径を小さくしないとスルーホールのゴムブッシュを通せなくなってしまう(抜けなくなってしまう)ので、径の小さな R1.25-3.5S を使用。実際のケーブルへの取付は、筐体のスルーホールのゴムブッシュを通してからの圧着端子を圧着し、端子台に接続した。キャノンコネクタの線材の長さは 50cm とした。あまり長くしても無駄だし、短すぎると機器の配置によっては届かなくなる。外部機器 SW 連携は、外部機器間の配線とリレーとを接続。

キャノンコネクタの出力端子を受けのコネクタに繋いで電圧が正しく出力されているか確認した。

6. 最終確認

結束バンドでケーブルの纏めを実施。

一番気になる放熱器の大きさだが、No. 281 Nutube DAC、No. 279 トランジスタドライブ SCT3060AR パワーアンプに電源供給し、この条件で暫く動作させてから放熱器を手で触ってみた。やけどするほど熱くなっていると怖いので、最初は軽くタッチ。大丈夫そうだったら、長い時間触ってみて確認した。一番気になる+30V の放熱器は、少し熱いが長く触っていないないほどではない。他はほんのり暖かいかなという程度でまったく問題ない。やはり、大きすぎか。

電源 OFF 時には、リレーが動作し、まだ電解コンデンサが電荷ほ放電しきっていないので、先に外部機器 SW 連携によりパワーアンプの電源が閉じられる。期待した通りノイズき全く発生せずに電源を切ることが出来ることを確認した。

No.281 Nutube DAC、No.279 トランジスタドライブ SCT3060AR パワーアンプ接続時の放熱器

回路名	出力電圧 (V)	過電流検出 抵抗値(Ω)	電圧降下 (mV)	電流 (mA)	放熱器
+30V 定電圧回路	+30.43V	2.4Ω	208mV	86.7mA	少し熱いが長く触ってられないほどではない
+22.5V 定電圧回路	+22.64V	2.4Ω	130.5mV	54.4mA	暖かい
+7.5V	+7.67V	1.2Ω	302.9mV	252mA	ほんのり温かい
-7.5V 定電圧回路	-7.67V	1.2Ω	250mV	208mA	ほんのり温かい
+15V	+15.30V	0.22Ω	91.1mV	414mA	側板に熱が伝わっているようで放熱器自体は熱を持っていないように感じる
-15V	-15.27V	0.22Ω	111.2mV	505mA	

