

No.279 第四世代 SiC MOS-FET 採用
ミドルパワーパワーアンプ
作成レポート

製作準備中

2024年10月27日

目次

1. はじめに.....	1
2. 仕様検討	2
2.1. SCT3060ARC14 と SCT3060ARC15 のパッケージ形状.....	2
2.2. 誌面の回路図と基板図について.....	3
2.3. No.279 回路のミドルパワーアンプ化.....	3
2.4. SAOC 回路図	4
2.5. アンプ基板パターン図	4
2.6. 電源部.....	5
2.7. 電源制御.....	6
(1) 電源 ON/OFF 制御／出力制御連携	6
(2) スロースタート／バッテリーチェック	6
(3) 制御回路／過電流検出基板	7
2.8. DC 検出回路.....	8
2.9. 筐体内部配置.....	9
2.10. MOS-FET の実装方法	9
2.11. 放熱器加工と固定金具	10
2.12. 基板吊り下げフレームと固定金具.....	10
2.13. フロントパネル	11
2.14. リアパネル	11
2.15. 天板／底板放熱穴	12
3. 重要部品の確保.....	13
4. 製作.....	14
4.1. 基板作成.....	14
(1) アンプ／SAOC 基板	14
(2) 制御回路／過電流検出基板	14
(3) スロースタート／クイックオフ／バッテリーチェック	14
(4) DC 検出基板.....	14
4.2. 筐体加工.....	15
(1) 基板吊り下げアングルの加工	15
(2) フロントパネル	15
(3) リアパネル	15
(4) 放熱板の加工.....	15
(5) 天板、底板への放熱用穴あけ	15
(6) レタリング	16
4.3. 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	17
(4) アンプ基板、保護回路 DC 検出基板の配線.....	17
(5) 保護回路 DC 検出基板の確認	17
(6) アンプ基板の調整準備	17
(7) アンプ基板の調整	17
(8) 位相補正	17
5. ヒアリング	18

1. はじめに

現在、メインシステムに使用しているのは、SCT3030AL で無線と実験 2018 年 12 月号、2019 年 1 月号で発表された No. 262 のミドルパワー電流伝送 IVC パワーアンプを電圧伝送用に改造したものである。また、MJ 無線と実験 2021 年 10 月号と 11 月号で発表された No. 279 バイポーラ Tr ドライブ SiC MOS-FET パワーアンプを第三世代トレンチ構造の SCT3060ARC14 を使ってサブシステム用にパワーアンプを作成した。最近、第四世代トレンチ構造の SCT3060ARC15 が生産されていることを知った。メインシステム用に No. 279 をベースに第四世代トレンチ構造の SCT3060ARC15 を使用してミドルパワーにパワーアップさせたパワーアンプの作成に挑戦する。

2024 年 10 月 26 日

2. 仕様検討

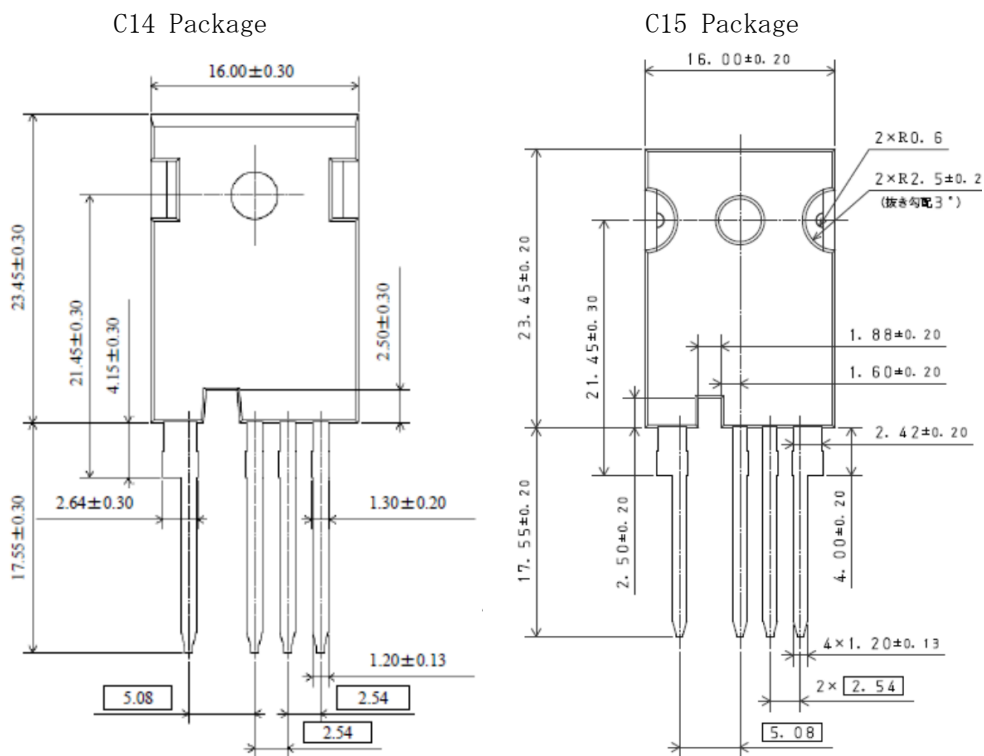
2.1. SCT3060ARC14 と SCT3060ARC15 のパッケージ形状

ROHM の SiC MOS-FET の型名のつけ方が ROHM のホームページの「ドキュメント アプリケーションノート「型名の構成」」の pdf に解説されていたので、以下に抜粋する。

SCT3030AR SC SiC のこと
T MOSFET のこと
3030 の後ろの 30 は ON 抵抗 $30\text{m}\Omega$ の製品ということ
A 耐圧 650V の製品
R TO-247-4L つまり 4 本足のパッケージ
この後に HR が付くと車載用だそうである。
C14 とか C15 はパッケージ形態とのこと。
C14 は第三世代トレンチ構造で C15 は第四世代トレンチ構造とのこと。
違いはよくわからない。

従って、本機に採用した SCT3060ARC14 は、耐圧 650V で 4 本後、オン抵抗 $60\text{m}\Omega$ (Typ.) の SiC MOSFET 製品ということになる。

ROHM ホームページに掲載されているパッケージ寸法を示した PDF から C14 と C15 の形状を引用して以下に記載する。外形寸法は同一だが、切り欠きや一番右のゲート端子の形状が異なる。



2.2. 誌面の回路図と基板図について

ところで、No. 279 の誌面の回路図と基板図の結線が合っていない。

基板図の結線は、入力 Nutube の T2 の G2。T2 のアノード A2 が Tr3 のベースに接続され、Tr3 のドレインが Tr5 のベースに結線しており、Tr5 のコレクターが Tr8、Tr10 に接続されている。つまり、G2 の入力信号が T5 と T6 の差動で位相反転した信号が Tr8、Tr10 に接続され、同相の信号が Tr7、Tr9 に接続されている。よって、G2 が非反転入力と扱われている。

一方、No. 279 の誌面の回路図の結線では、T2 のアノード A2 が Tr3 のベースに接続され、Tr3 のドレインが Tr6 のベースに結線しており、Tr6 のコレクターが Tr7、Tr9 に接続されている。この場合、G2 の入力信号は T5 と T6 の差動で位相反転した信号が Tr7、Tr9 に接続され、同相の信号が Tr8、Tr10 に接続されることになる。これでは、出力の位相が反転してしまう。回路図の結線とする場合は、G1 を非反転入力、G2 を反転入力とする必要がある。(回路図の結線が誤っている。入力を G1 に接続する必要がある。)

サブシステム用 No. 279 パワーアンプでは、Tr3、Tr4 と Tr5、Tr6 の結線は回路図に従い、G1 に入力信号を入れて対応した。

2.3. No. 279 回路のミドルパワーアンプ化

No. 262 の回路を参考に、No. 279 の回路をミドルパワー化する。変更箇所は、以下となる。

1. Nutube のフィラメントへの電流供給回路。Tr1 のベースに接続されているツェナーダイオードの電流を決定する $8.2\text{K}\Omega$ を $15\text{K}\Omega$ とする。
2. Tr2 のエミッター抵抗 150Ω を 360Ω に、ベースに接続されている $1.5\text{K}\Omega$ を $3.6\text{K}\Omega$ に変更する。
3. Tr3、Tr4 の共通ソース抵抗 $5.1\text{K}\Omega$ を $8.2\text{K}\Omega$ にする。

この他は同じ定数とする。なお、No. 262 の回路の Tr1 のベースに接続されているツェナーダイオードは、HZ5C1 が記載されているが、ツェナー電圧 $7.2\text{V}\sim 7.6\text{V}$ の HZ7C1 の誤りと思われる。

出力の電源電圧は、 $\pm 22.5\text{V}$ 。前段の電源電圧は 37.5V 。Tr9、Tr10 には、第四世代トレンチ構造の SCT3060ARC15 を使用する。

今回の基板パターンは、G2 を非反転入力端子とし、Tr3 のドレインを Tr5 のベースに結線、Tr4 のドレインを Tr6 ベースに結線する MJ 無線と実験の基板図に従ったパターン図とした。

電源電圧は $\pm 22.5\text{V}$ 、前段 37.5V とする。問題は、位相補正の値を最適値にしなければならない事。

No.279 パワーアンプのミドルパワー版回路図

2.4. SAOC 回路図

SAOC は、無線と実験 2021 年 2 月号の No. 275 の[図 15]パワーアンプ用 SAOC を使用する。非反転アンプ用の SAOC である。

2.5. アンプ基板パターン図

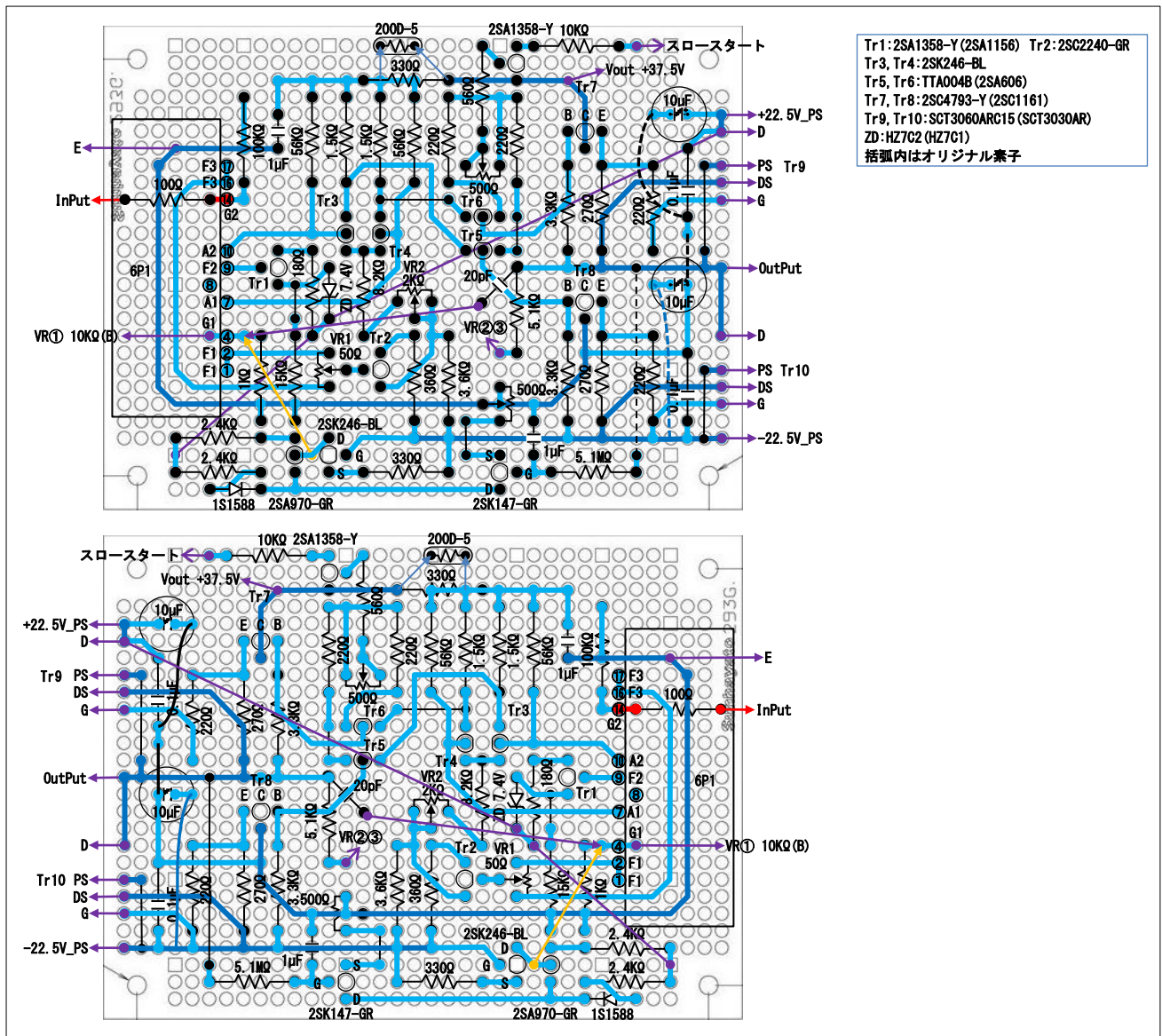
アンプ基板にはアンプ回路と SAOC を同居させる。

基板はサンハヤトの ICB-293G を使用する。

2SA606 の代替として TTA004B を使用し、2SC959(2SC960)の代替として、2SC4793 を使用する。

2SC4793 には、小さな放熱器が取り付けられるようにスペースを確保した。

無線と実験 2021 年 2 月号 No. 275
[図 15]パワーアンプ用 SAOC

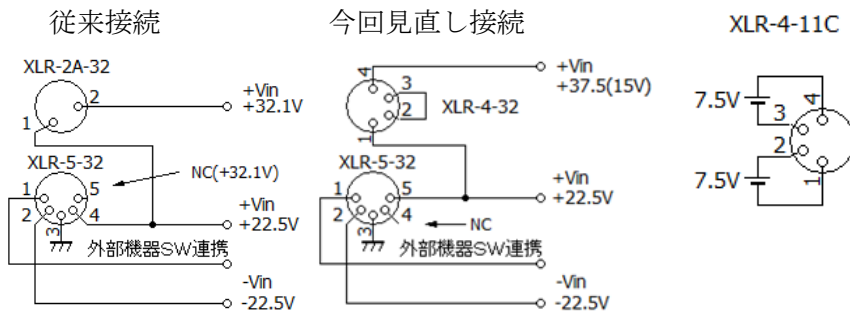


2. 6. 電源部

電源は、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。±22.5V 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。-22.5V は 2 番ピン、+22.5V は、5 番ピンから取得としている。これは、DAC 等も同じ

ピン No.	パワーアンプ用	DAC 等用
1	出力制御連携	出力制御連携
2	-22.5V (-15V)	-7.5V
3	GND	GND
4	NC	+7.5V
5	+22.5V (+15V)	NC

5 ピン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、+22.5V 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。また、前段部用のキャノンコネクタは、2P から 4P に変更する。+7.5V のバッテリーを使用する際、バッテリー側で直列接続配線しないようにして、誤接続を防ぐためと、他のパワーアンプと合わせるためである。



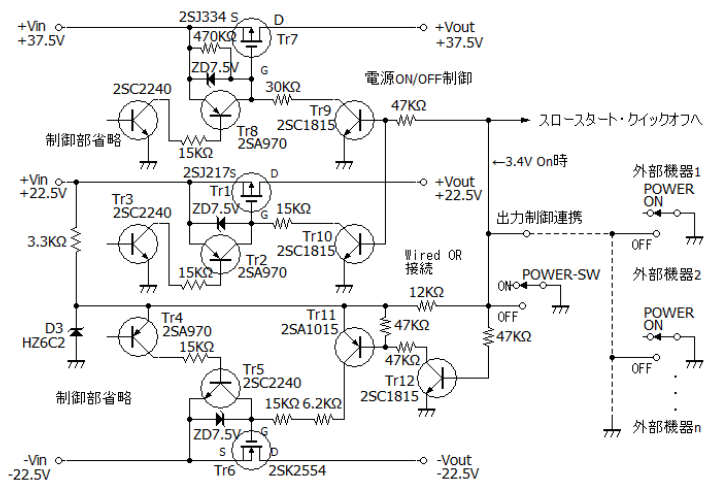
+15V
 バッテリーチェック
 MJ 無線と実験
 2022年2月号
 [図 13]

2.7. 電源制御

(1) 電源 ON/OFF 制御／出力制御連携

制御回路には±22.5V と+37.5V の ON/OFF 制御を設ける。

出力制御連携は、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 接続の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。連携ラインの接地が解かれると、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。



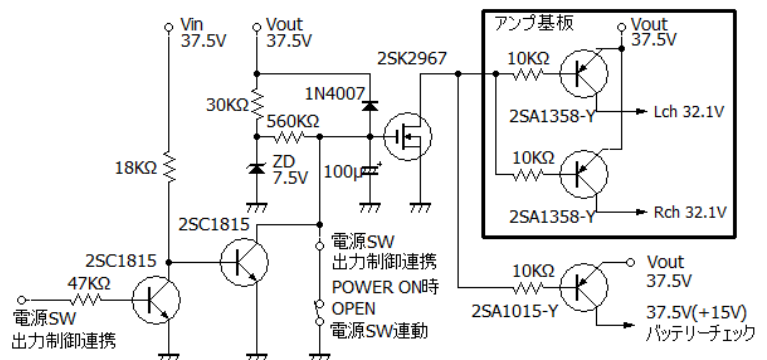
(2) スロースタート／バッテリーチェック

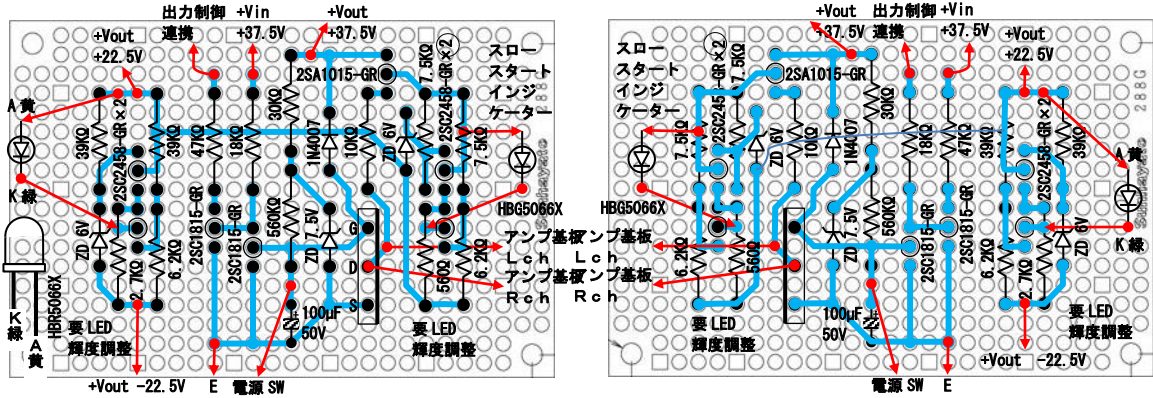
本機の電源スイッチは2回路あるので、1回路を電解コンデンサの電荷放電用に使用できる。

スロースタート基板にはバッテリーチェックを同居させる。±22.5V インジケータは、電源スイッチの組み込み LED (DC12V/15mA) を使用する。±22.5V のバッテリーチェックは、MJ 無線と実験 2018年12月号 [図 18] 電源部の回路を使用。

+37.5V (+15V) のバッテリーチェックとスロースタート状態を示すことを兼ねたバッテリーチェックを付ける。電源が有効になったとき LED が光る。

15V 用のバッテリーチェックは、+側を Vout+37.5V に接続。-側は、Vout+22.5V に接続する。

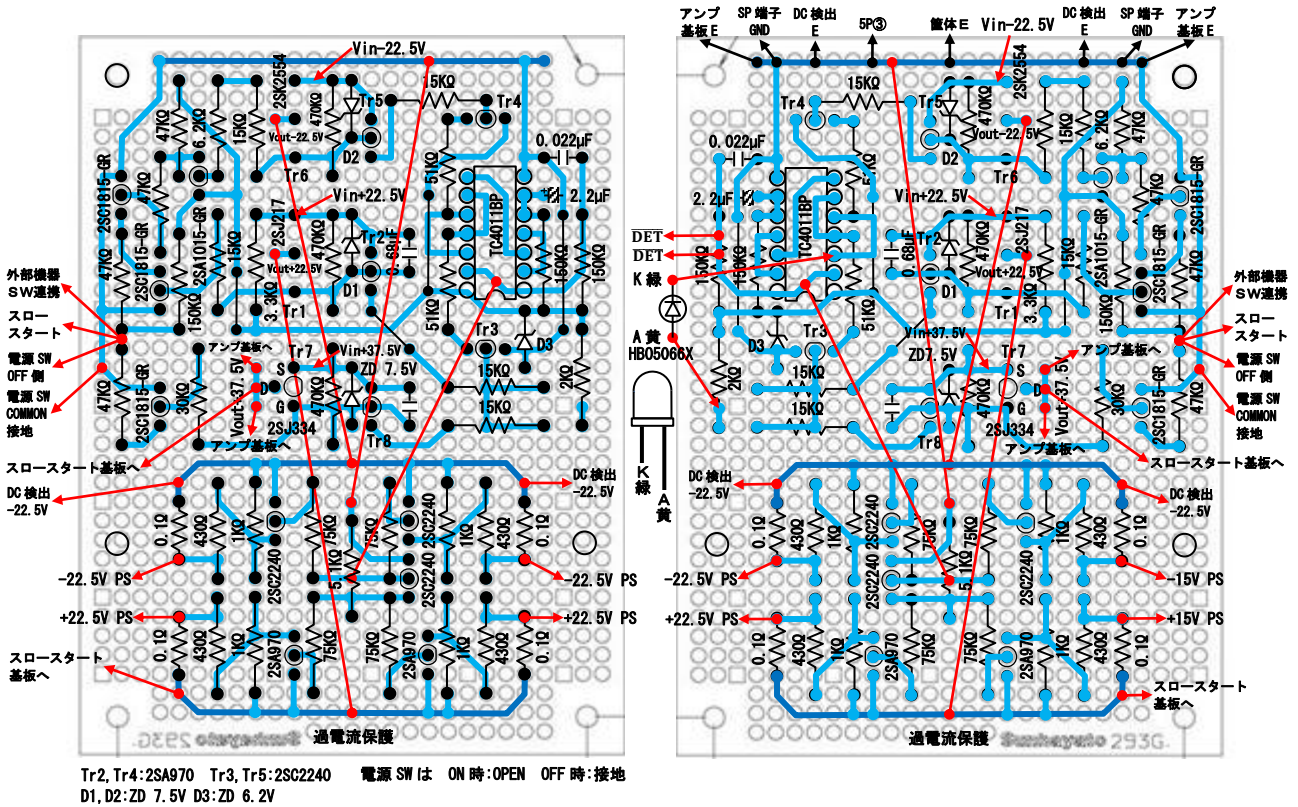




(3) 制御回路／過電流検出基板

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するので、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。制御部の $\overline{\text{DET}}$ 端子には、MJ2023 年 7 月号の回路にあった 0.022μF を付ける。

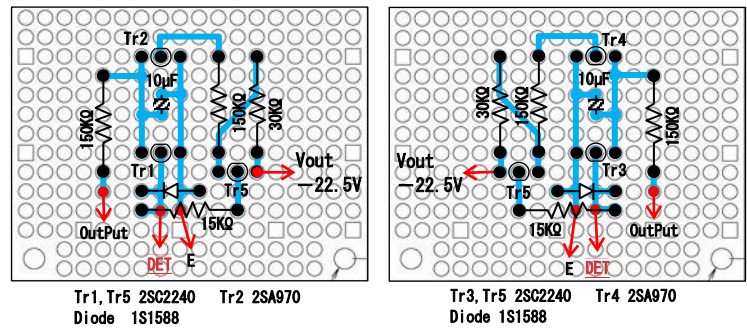


2.8. DC検出回路

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. 262
2018年12月号

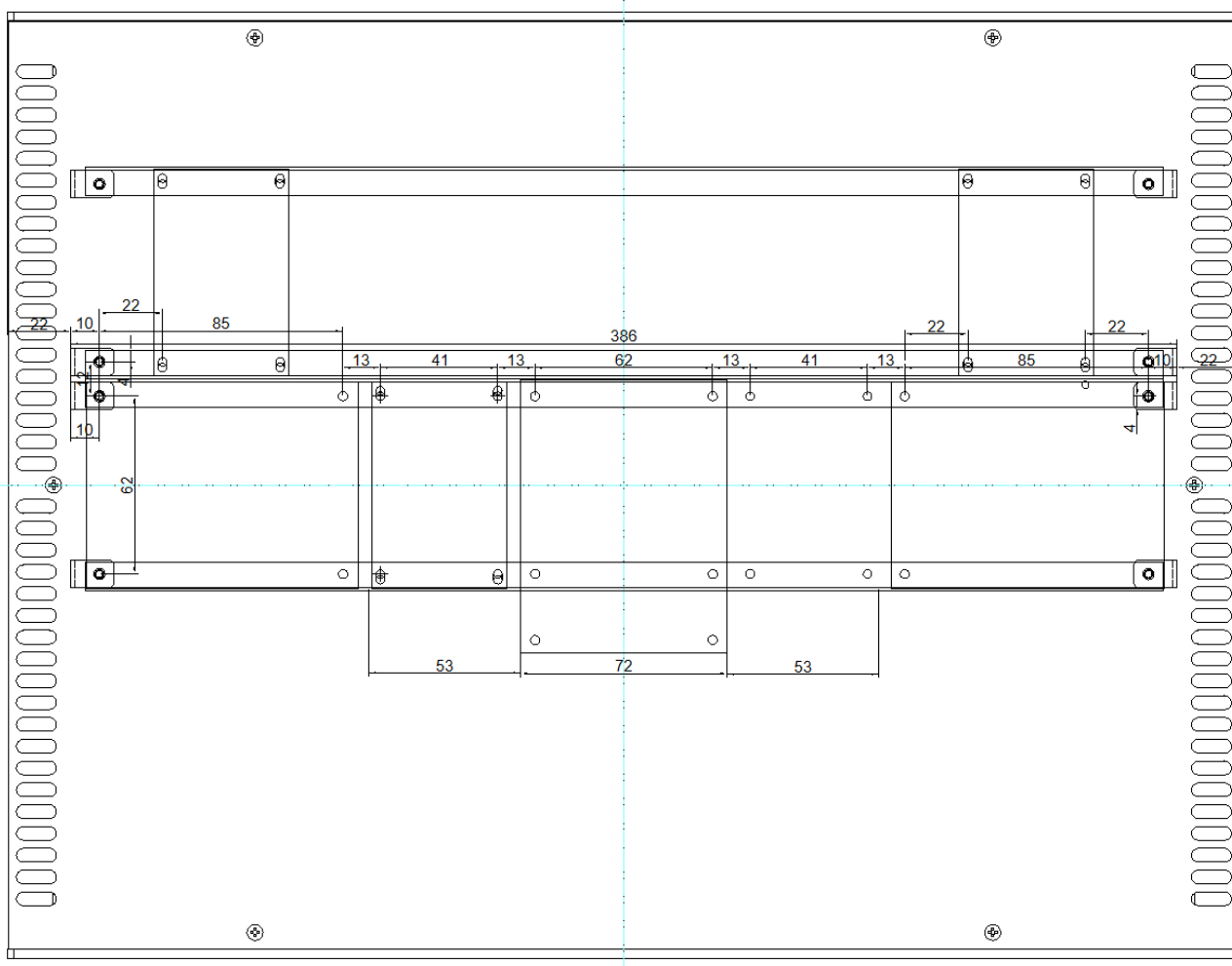
[図15] 保護回路 DC 検出
を左右個別用に分割した回路



2.9. 筐体内部配置

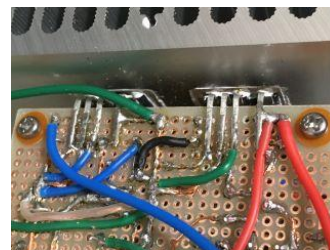
筐体は、現行アンプの筐体を流用する。HY70-43-33 と大型の筐体だ。アンプ基板を左右横向きに配置するが、制御部／過電流保護基板は、縦向きに配置。当然、基板が出っ張る。高さのあるパーツが基板吊り下げフレームにあたってしまわないか要確認。

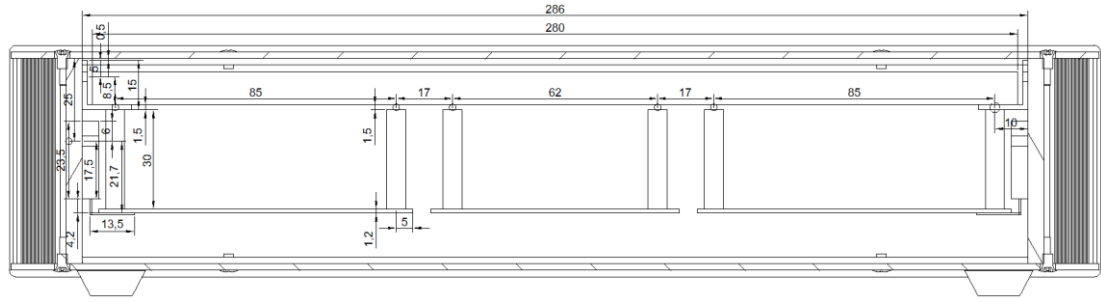
DC検出をリアパネル側左右に配置。縦配置に描いたが、横向きでも良い気がする。



2.10. MOS-FET の実装方法

MOS-FET は、筐体両サイドの放熱器に取り付けるが、MOS-FET の足を基板の上から挿すのではなく、基板の裏側から MOS-FET の足を直角に折り曲げて半田付けする。こうした方が素子を放熱板から取り外さずに基板の取り外しを行う事が容易にできる。写真は、サブシステム用に制作した No. 279 パワーアンプの SCT3060ALC14 の実装写真である。

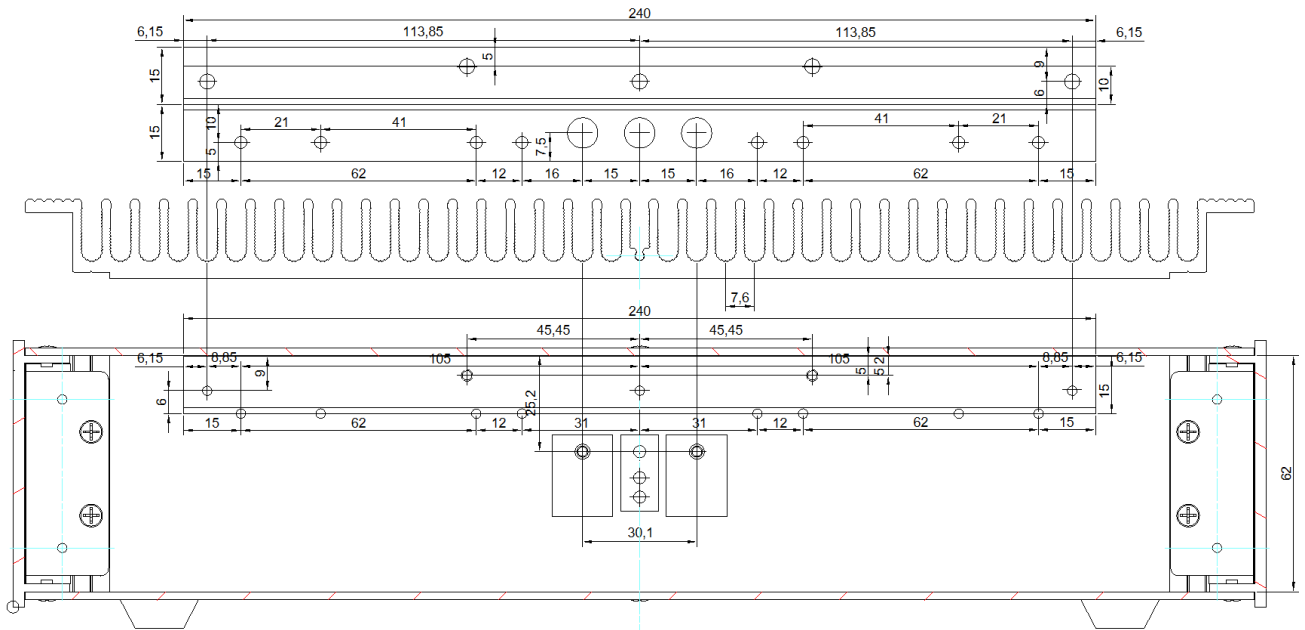




現行の筐体では、UCK-P13 で L アンクルを基板吊り下げ用の L アンクルを支えているが、今回、基板吊り下げ用の L アンクルの間隔が違うので、UCK-P13 を 15mm×15mm の L アンクルに置き換えて基板吊り下げアンクルを取り付ける。

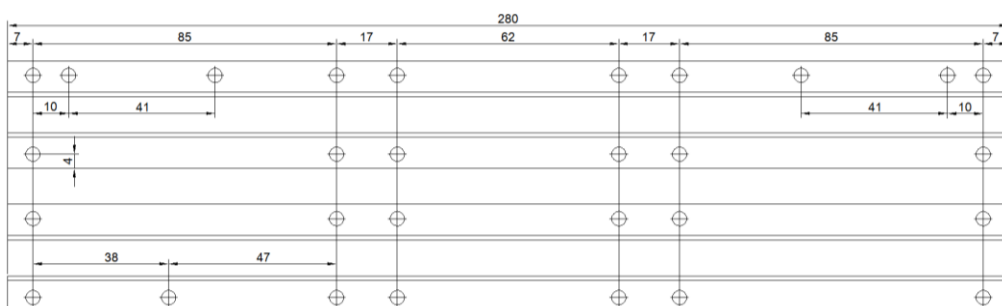
2.11. 放熱器加工と固定金具

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 アンクル) 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。



2.12. 基板吊り下げフレームと固定金具

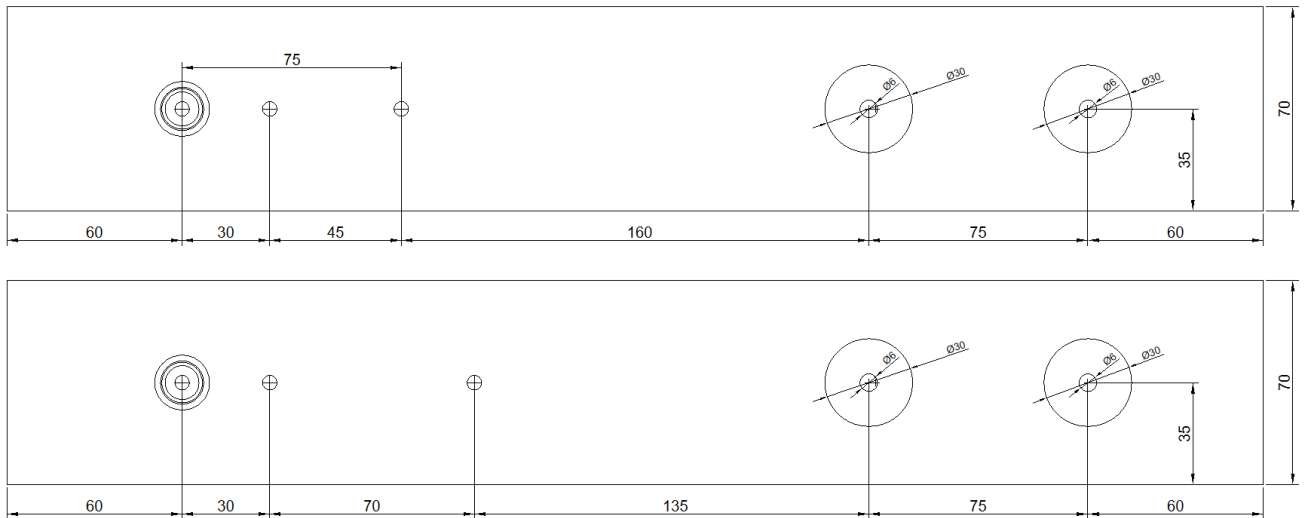
基板吊り下げフレームで筐体中央にアンプ基板を左右に配置・保持し、その中央に制御部、過電流保護回路の基板を保持する。10mm×10mm 1.2t のアルミ L アンクルで作成。また、基板吊り下げフレームの固定金具は、15mm×15mm 1.5t のアルミ L アンクルで作成する。



2.13. フロントパネル

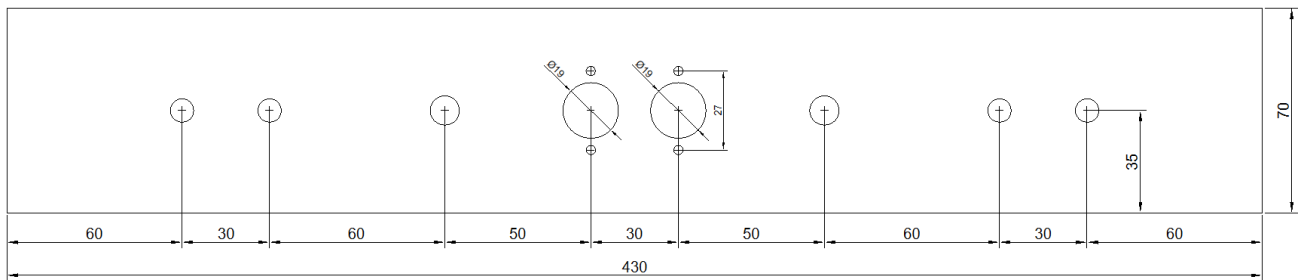
フロントパネルは、左側に±22.5V のバッテリーチェック LED を兼ねた電源スイッチ。電源スイッチの右隣りにスロースタートの状態のインジケートと+37.5V(+15V)のバッテリーチェックを兼ねた LED を設け、音だけでなく視覚的にもスロースタートが有効になったことを確認できるようにする。DC 検出 LED は、電源 LED と区別する為、電源スイッチから離して配置する。右側には、左右のレベル調整のボリュームを配置する。

本来、下段の LED 配置としたいが、既に DC 検出の LED 用があるので、上段の配置となる。スイッチの形状も丸形ではなく、長方形。



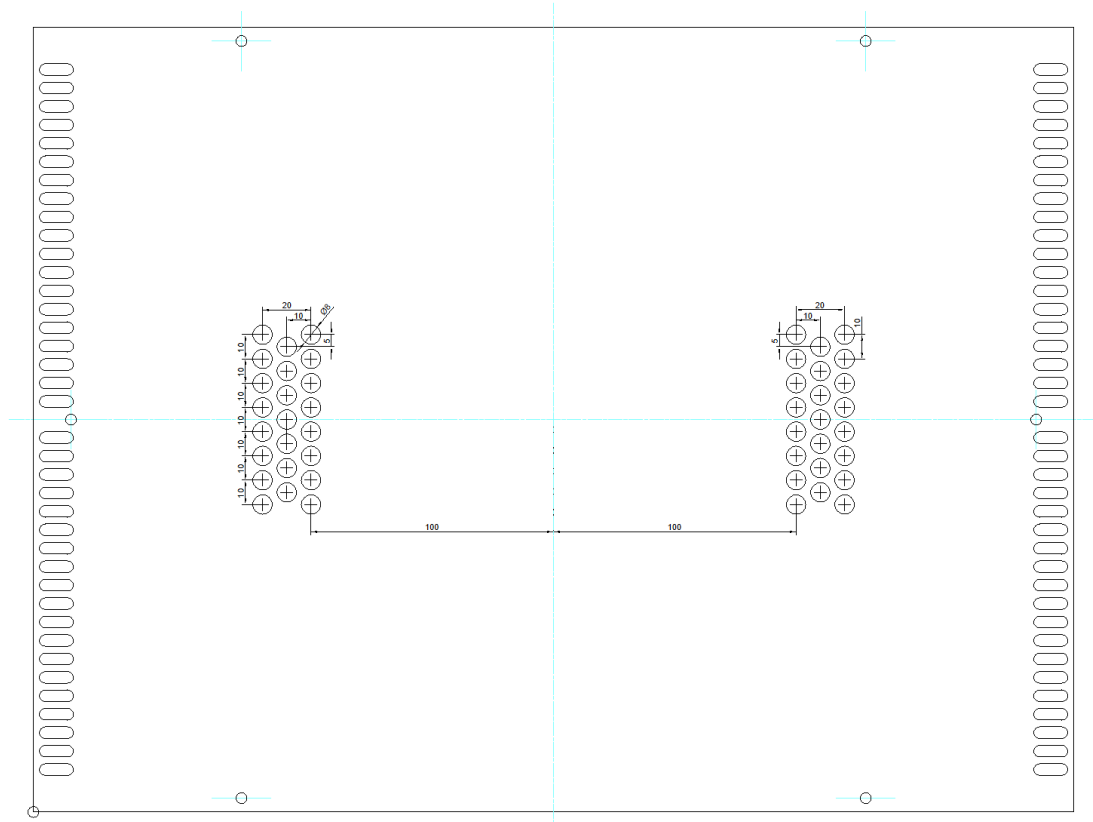
2.14. リアパネル

パワーアンプとして標準的な配置。変更しない。



2. 15. 天板／底板放熱穴

天板と底板の放熱穴数は、HY70-33-23 の時と同数としたが、現状、放熱穴があげられている SL シリーズの鉄製の天板を流用しているため、引き続き流用する。



3. 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、オーディオ用の抵抗やコンデンサまでもが生産中止が相次いでいる。近々に、汎用品しか手に入らなくなるだろう。

◎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 SCT3060ARC15 を使用
○	NuTube 6P1	問題なく入手。
○	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、手持ちの 2SC4793 を使用。
○	2SA1156	2SA1358 を代替として使用。手持ちを使用。
○	2SA970/2SC2240	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。
○	2SJ334	廃品種だが、特定のお店にたくさん在庫がある模様。
▽	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	1N4148 を使用。
×	HZ3C2	手持ちを使用。1N5226B も保有。
×	HZ6C1	ツェナー電圧 6V。1N5233B を使用。
×	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	必要な定数が手に入らない。これまでタクマンの 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や炭素皮膜抵抗を使わざるを得ない。
◎	抵抗 5.1MΩ	以前は、瀬田無線でフィリップスの金属皮膜抵抗 1/2W 5.1MΩ を購入していたが、瀬田無線が廃業してしまったため、タクマンの 1/4W ハイメグ抵抗 RMG25FX 5.1MΩ を使用。
×	SE コンデンサ	代替の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	流通量が減ってきたのか売り切れる事が多い。手持ちで賄う。
×	OS コン 10μF 25V	どこも欠品状態。手持ちを使用。
○	電源スイッチ	現行を流用する

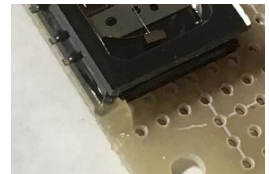
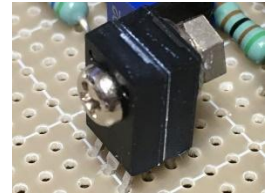
4. 製作

4.1. 基板作成

(1) アンプ／SAOC基板

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。



(2) 制御回路／過電流検出基板

(3) スロースタート／クイックオフ／バッテリーチェック

(4) DC 検出基板

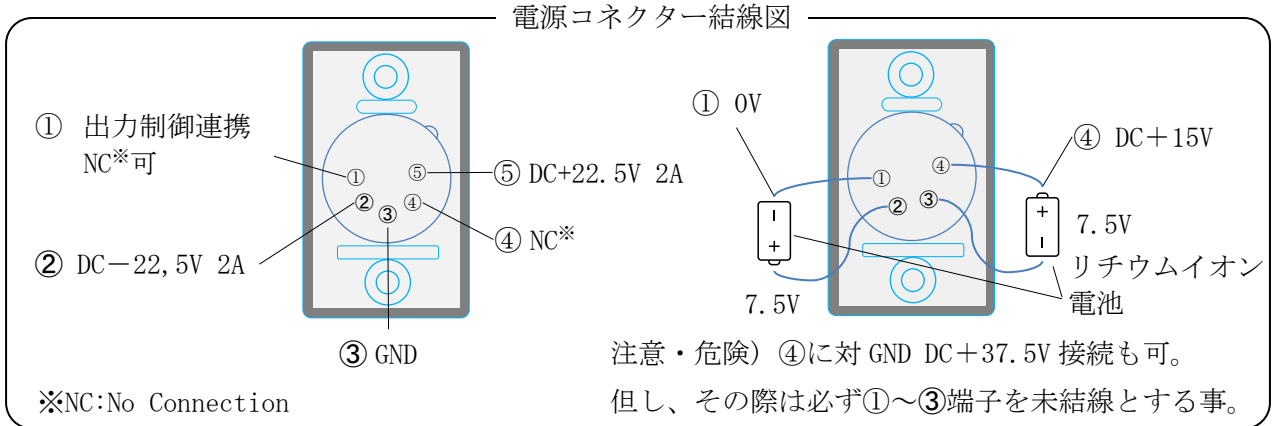
4.2. 筐体加工

- (1) 基板吊り下げアングルの加工
- (2) フロントパネル
- (3) リアパネル
- (4) 放熱板の加工
- (5) 天板、底板への放熱用穴あけ

(6) レタリング

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ポットの英字全角で作成。

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、底板に貼っておく。



4.3. 組み立てと配線、調整

- (1) 筐体組み立て
- (2) 電源周りの配線
- (3) 電源周りの確認
- (4) アンプ基板、保護回路 DC 検出基板の配線
- (5) 保護回路 DC 検出基板の確認
- (6) アンプ基板の調整準備
- (7) アンプ基板の調整

測定箇所	誌面記載値	Lch	Rch
+15V_PS	+16.14V		
Tr1 ベース	+8.62		
Tr1 エミッタ	+9.24V		
Tr1 コレクタ	-3.94V		
SAOC Z	-0.498V		
T1 A1 (T2 A2)	+18.46V		
T2 A2 (T1 A1)	+18.50V		
Tr2 コレクタ	-4.17V		
Tr2 エミッタ	-10.12V		
Tr2 ベース	-9.50V		
+30V	+32.80V		
Tr3 ドレイン	+25.88V		
Tr4 ドレイン	+28.87V		
Tr3, Tr4 ソース	+20.16V		
Tr5 エミッタ	+30.08V		
Tr6 エミッタ	+30.08V		
Tr8 ベース	-10.07V		
Tr7 ベース	+5.54V		
Tr7 エミッタ	+4.97V		
Tr8 ベース	-10.07V		
Tr8 エミッタ	-10.66V		
-15V_PS	-15.91V		

- (8) 位相補正

5. ヒアリング