

FET 入力 無帰還 A 級 25W パワーアンプ PAV-100

製作マニュアル

2025/7/5 Rev.0.00

SLDJ 合同会社

小型軽量で、音のよい無帰還 A 級アンプを目指して開発したアンプ PAV-001 の FET 入力版です。小型軽量ということで $\pm 24V$ のスイッチング電源を使用する前提としていますが、もちろん通常のトランス電源でも製作できます。スピーカー保護回路も基板に搭載されているので、電源と入出力端子を用意すれば、パワーアンプが完成します。

1. 部品収集

部品表にしたがって部品を集めます。ステレオで製作する場合は基板 2 枚分の部品が必要です。

半導体は基板 1 枚につき 8 組のペア取りおよび 7 組の熱結合が必要です。

また、チャンネル毎の基板については、同一箇所のデバイスの特性をそろえます。

当方で製作したアンプにおいて使用したペア部品データを表 1 に、その他のトランジスタ・FET を表 2 に示します。

表 1. ペア部品データ

PAV-100ペア部品データ		Lch	Rch	
型番	リファレンス	IDSS	hfe	備考
2SK117GR	Q1,Q2	5.5		熱結合
	Q1,Q2	5.6		熱結合
2SK117BL	Q3,Q4	7.1		
	Q3,Q4	7.4		
2SC2240	Q5,Q7		240	熱結合
	Q5,Q7		240	熱結合
2SA970	Q6,Q8		230	熱結合
	Q6,Q8		230	熱結合
2SC2655	Q10,Q12		220	熱結合
	Q10,Q12		220	熱結合
2SA1020	Q9,Q11		310	熱結合
	Q9,Q11		310	熱結合
2SC4382	Q16		66	コンプ°リメンタリハ°ア
2SA1668	Q17		68	
2SC3519	Q18		109	コンプ°リメンタリハ°ア
2SA1386	Q19		111	
2SC4382	Q16		62	コンプ°リメンタリハ°ア
2SA1668	Q17		63	
2SC3519	Q18		97	コンプ°リメンタリハ°ア
2SA1386	Q19		112	

表 2. その他のトランジスタ・FET

PAV-100その他のトランジスタ・FET		
型番	リファレンス	hfe
2SC2240	Q13,Q14,Q15,Q21,Q23,Q24	不問
TK5R3A06PL	Q20,Q22	-

※Q13とQ18およびQ14とQ19はそれぞれ熱結合

2. 熱結合

基板に実装する前に必要な部品を熱結合して準備しておきます。

- ① Q1、Q2 (2SK117GR) を熱結合。捺印面同士を瞬間接着剤で接着し、両サイドを 2 液混合タイプのエポキシ接着剤で充填します(写真 1)。
- ② 同様に Q5、Q7 (2SC2240) を熱結合。
- ③ 同様に Q6、Q8 (2SA970) を熱結合。
- ④ 同様に Q9、Q11 (2SA1020) を熱結合。
- ⑤ 同様に Q10、Q12 (2SC2655) を熱結合。
- ⑥ Q18 を、伝熱シート (TC-30BG) を介してヒートシンクに取り付け、その上に Q13 を密接固定する (写真 2)。写真 2 で Q13 はグリス塗布のうえ Q18 に金具共締めで固定しているが、金具を使わずにエポキシ接着剤で接着しても OK。この場合はグリスは塗布せず、よく掃除してからはがれないようにしっかり接着します。
- ⑦ 取り付けと熱結合ができれば、各端子からリード線を引き出しておきます。リード線をはんだ付けしたら、ショート防止のため熱収縮チューブで覆います。各リード線は配線ミスを防ぐため、色分けするかマジックで印をつけます。Q18 のリード線は太さが必要です。スピーカーケーブルなどを使うと良いでしょう。Q13 のベースとコレクタは接続して一本にします。
- ⑧ 同様に Q19 と Q14 をヒートシンク上で熱結合し、ケーブルを引き出しておきます。



写真 1. 熱結合の様子

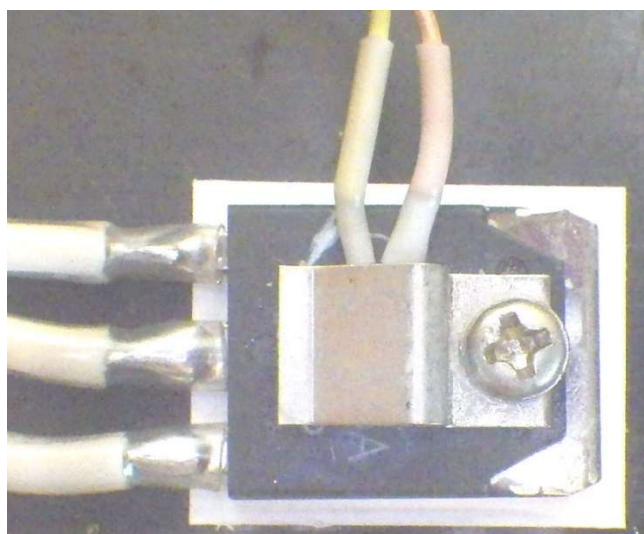


写真 2. Q13 と Q18 (Q14 と Q19) の取り付けと熱結合

3. 基板への部品実装

基板への部品実装はおおむね背の低いものから順に行います。

- ① R6、R7 にジャンパ線（抵抗の足などで可）を実装し、はんだ付けします。
- ② R20、R21 (0.22Ω) 以外の抵抗を実装し、はんだ付けします (R23 は未実装)。
- ③ LED (D1) を実装し、はんだ付けします (極性注意)。

- ④ U1 (TLP591B) を実装し、はんだ付けします。
- ⑤ 半固定抵抗 RV1、RV2 を実装し、はんだ付けします。
- ⑥ Q13、Q14 (ヒートシンクに熱結合) 以外の小型トランジスタを実装し、はんだ付けします。
- ⑦ フィルムコンデンサ C3、C4 を実装し、はんだ付けします。
- ⑧ 電解コンデンサおよび OS コンデンサ C1、C2、C5、C6 を実装し、はんだ付けします。
- ⑨ トランジスタ Q16、Q17 および MOSFET Q20、Q22 を実装し、はんだ付けします (極性注意)。
- ⑩ R20、R21 を実装し、はんだ付けします。このとき、**R20、R21 は基板から 5mm ほど浮かせて**つけておくと、後の調整作業がやりやすくなります。
- ⑪ すべての部品が実装されると、図 1 のようになります。

※Q13、Q14、Q18、Q19 はヒートシンクに装着されているため、基板上には載りません。

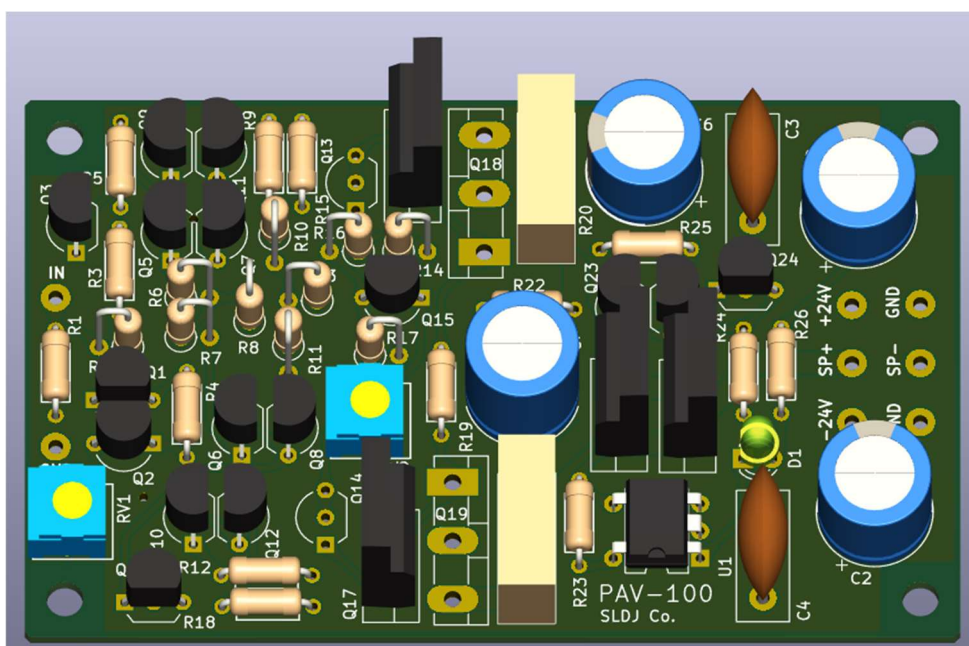


図 1. 部品実装完成

4. 電源ラインの接続と調整

部品の間違いがないか、はんだ付けの漏れや不良、ブリッジがないかよく確認してから、次の手順で電源の接続チェックをします。

- ① ヒートシンク上の Q13、Q14 からリード線で基板上の Q13、Q14 パターンに接続 (極性注意)。
 ※Q18、Q19 はまだ接続しない。
- ② 半固定抵抗 RV1 をセンターにセット。
- ③ 半固定抵抗 RV2 を右回し側最大にセット (要注意)。

この状態で+24V、-24V、GND を接続し、通電します。このとき次の点を確認してください。

- R19 (330Ω) の両端電圧が 1.4～1.5V。
- R19 のプラス側 (Q16 側) が GND 基準でおよそ 0.7～0.75V。
- R19 のマイナス側 (Q17 側) が GND 基準でおよそ -0.7～-0.75V。

もしこれが大きく違うようなら、RV2 が右側 (最大側) にセットされているか、また部品間違い、ハンダ不良がないかよくチェックしてください。

5. 終段トランジスタの接続と調整

最後にヒートシンクの Q18、Q19 を基板に接続し、調整を行います。

- ① Q18、Q19 の各端子のリード線を基板に接続します。間違いのないように慎重に行ってください。
- ② Input、GND 端子に、入力 VR100 k Ω (外付け) のセンターと GND を接続し、VR を最小にセットします。
- ③ 出力 SP+、SP- に 8Ω のダミーロード (30W 以上) を接続します。
- ④ R20、R21 の接続点と GND 間にオフセット電圧モニタ用のマルチメータを接続します。
- ⑤ ±24V 電源を接続し、通電します。
- ⑥ RV1 を調整して、オフセット電圧を 0V に調整します。
- ⑦ R20 の両端にマルチメータを接続し、電圧をモニタしながら RV2 でアイドリング電流を 1.25A (25W の場合) に調整します。RV2 を徐々に左に回し、R20 の両端電圧が 0.27V になるように調整します。このとき R21 の両端電圧も同じ値になっていることを確認します。しばらく時間をおいて、温度が安定したときに調整値の 0.27V に安定していることを確認します。

※アイドリング電流とアンプの最大出力は次式で与えられます

$$P_o(w) = 2 \cdot I_c^2 \cdot R_L \quad (I_c: \text{アイドリング電流} \quad R_L: \text{スピーカインピーダンス})$$

必要な最大出力に応じて、次の例の通り設定することができます。

- ・ 25W の場合 → アイドリング 1.25A (R20 両端 0.27V)
 - ・ 20W の場合 → アイドリング 1.1A (R20 両端 0.24V)
 - ・ 16W の場合 → アイドリング 1A (R20 両端 0.22V)
- ⑧ 上記⑥、⑦を再確認します。
 - ⑨ 上記調整が完了し、出力オフセットがプロテクト電圧以下になっていれば、D1 (LED) が点灯します。LED が点灯しない場合は、出力オフセット電圧が 0.1V 以下に調整されているか、基板の部品や極性に間違いがないか確認してください。

6. アンプ製作 (組み立て) 例

作者が実際にこの基板を使って組み立てたアンプを紹介します。参考にしてください。

添付資料①全体構成図と、添付資料②参考部品表を添付します。写真 3 にシャーシ組み込みの様子を、写真 4 に基板から外部への結線の様子を示します。

主要な構成部品は次のとおりです。

① スイッチング電源

もともと小型軽量の無帰還 A 級アンプを作ることが目的なので、スイッチング電源で手軽に作るということに主眼を置いています。

ただし、使用するスイッチング電源の性能、特にノイズやリップルによってアンプの性能が大きく左右されます。今回使用した台湾 Cincon 社製 CFM60S240 は安価な 24V2.5A スイッチングレギュレータ（若松通商で 1 個 855 円）ですが非常に優秀で、50Hz 系のリップルがほとんど出てきません。これを±で 2 個使用しました。電流が増えると針状のスイッチングノイズが出ますが、フェライトコアを使って抑えています。全体構成図中、フェライトコアが 4 箇所出てきますが、1T は単に通すだけ、一回くぐらせると 2T です。

② ヒューズ

安全確保のためヒューズは必須です。今回の構成では 3A のヒューズで OK でした。

③ サブ基板

電源ノイズのフィルタリングと平滑のためにサブ基板を作ってコンデンサと LED を搭載しています。電解コンデンサは大きくしすぎるとスイッチング電源が起動できなくなるので注意が必要です。

④ 入力 VR

入力 VR はアルプス製デット VR100k Ω A を使用しました。ギャングエラーもほとんどなく非常に優秀です。

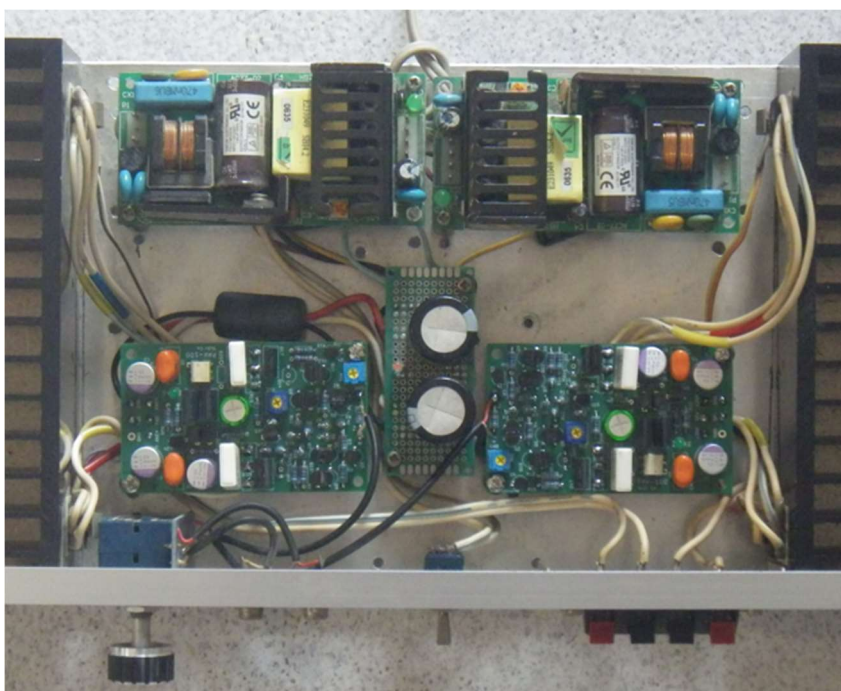


写真 3. シャーシ組み込みの様子

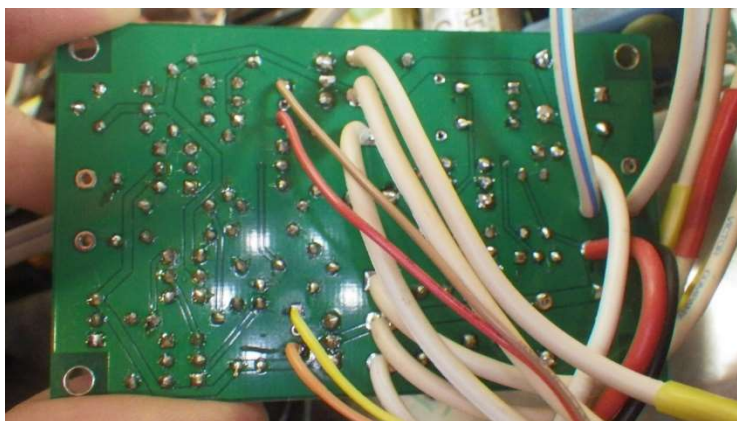


写真 4. 外部との結線

入力信号以外は基板裏側から結線しました。

⑤ 放熱について

写真 3 左右にヒートシンクが写っていますが、シャーシ左右にこのヒートシンクを配置し、アイドリング電流 1A を流すと、このヒートシンク (60 x 55 x 180) はおおむね 65°C になります。

この状態でトランジスタ表面を直接測るとおよそ 75°C でした。このトランジスタのジャンクション-ケース間の熱抵抗 θ_{jc} はおよそ 1°C/W なので、24V・1A なら 24W として 24°C、するとジャンクション温度は 75°C + 24°C で 99°C なので、最大定格の 150°C までまだ余裕があります。とはいえ、ヒートシンクが 65°C ではさわってられない程度の熱さですので、放熱は余裕を持った方が良いでしょう。

スイッチング電源の放熱板は 75°C ~ 80°C ほどになります。スイッチング電源の風通しには注意する必要があります。場合によってはファン冷却も考えた方がいいかもしれません。

⑥ 諸特性

以下にこのアンプの諸特性を示します。THD+N などは電源のノイズ性能に大きく左右されますので、参考程度としてください。以下はアイドリング 1.1A (最大 20W) での特性です。

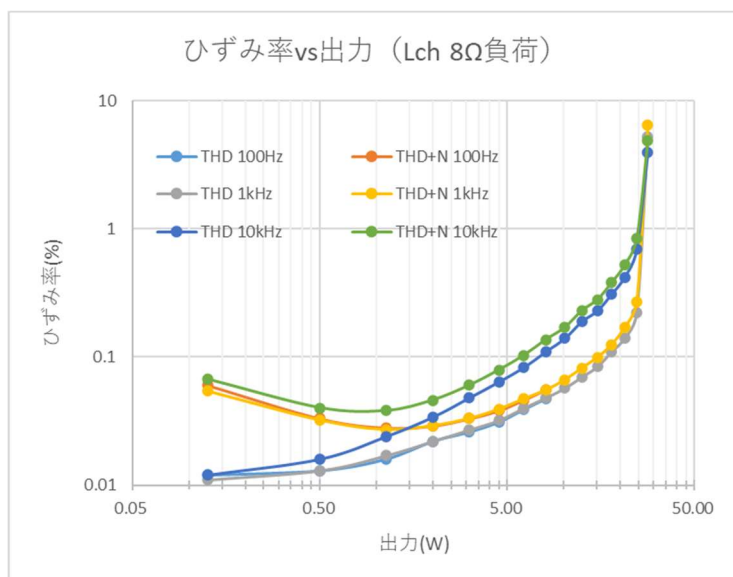


図 2. THD および THD+N

ボトムで 0.03% 程度、10W でも全体で 0.2% 以下となっている

表 3. 出力インピーダンス

周波数	3.1Ω 負荷 (V)	オープン (V)	出力インピーダンス (Ω)
100Hz	3.0	3.39	0.40
1kHz	3.0	3.38	0.39
10kHz	3.0	3.38	0.39

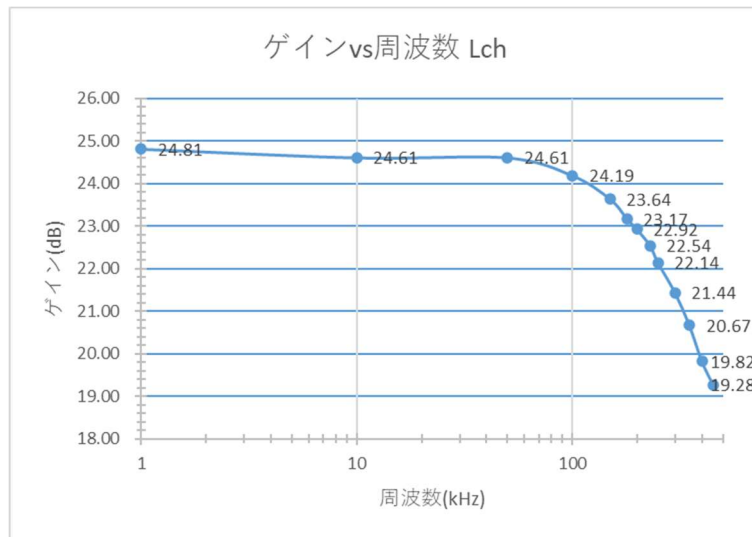


図 3. 周波数特性 -3dB 特性は 0～約 250kHz。

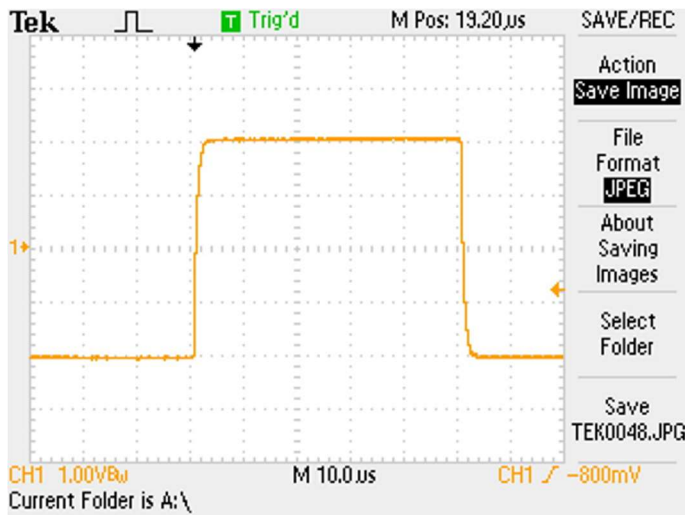
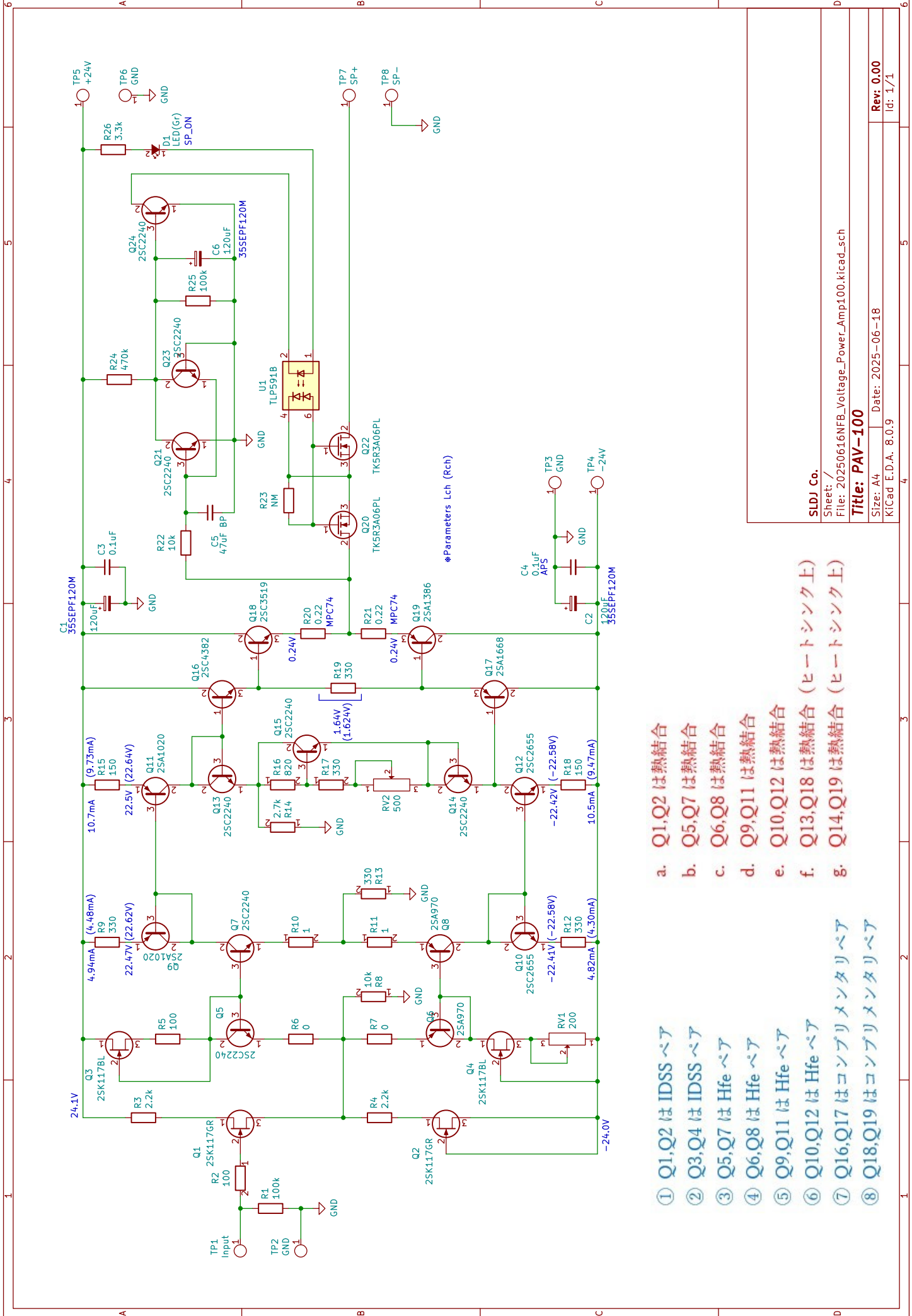


表 4. プロテクト動作電圧

L	+0.46V	-0.87V
R	+0.46V	-0.88V

図 4. 10kHz 4Vp-p 8Ω負荷 矩形波出力

矩形波にひずみが見られないため、位相補償は不要。



- ① Q1,Q2 は IDSS ペア
- ② Q3,Q4 は IDSS ペア
- ③ Q5,Q7 は Hfe ペア
- ④ Q6,Q8 は Hfe ペア
- ⑤ Q9,Q11 は Hfe ペア
- ⑥ Q10,Q12 は Hfe ペア
- ⑦ Q16,Q17 は コンブリ メンタリ ペア
- ⑧ Q18,Q19 は コンブリ メンタリ ペア

- a. Q1,Q2 は 熱結合
- b. Q5,Q7 は 熱結合
- c. Q6,Q8 は 熱結合
- d. Q9,Q11 は 熱結合
- e. Q10,Q12 は 熱結合
- f. Q13,Q18 は 熱結合 (ヒートシンク上)
- g. Q14,Q19 は 熱結合 (ヒートシンク上)

SLDJ Co.

Sheet: /
File: 20250616NFB_Voltage_Power_Amp100.kicad_sch

Title: PAV-100

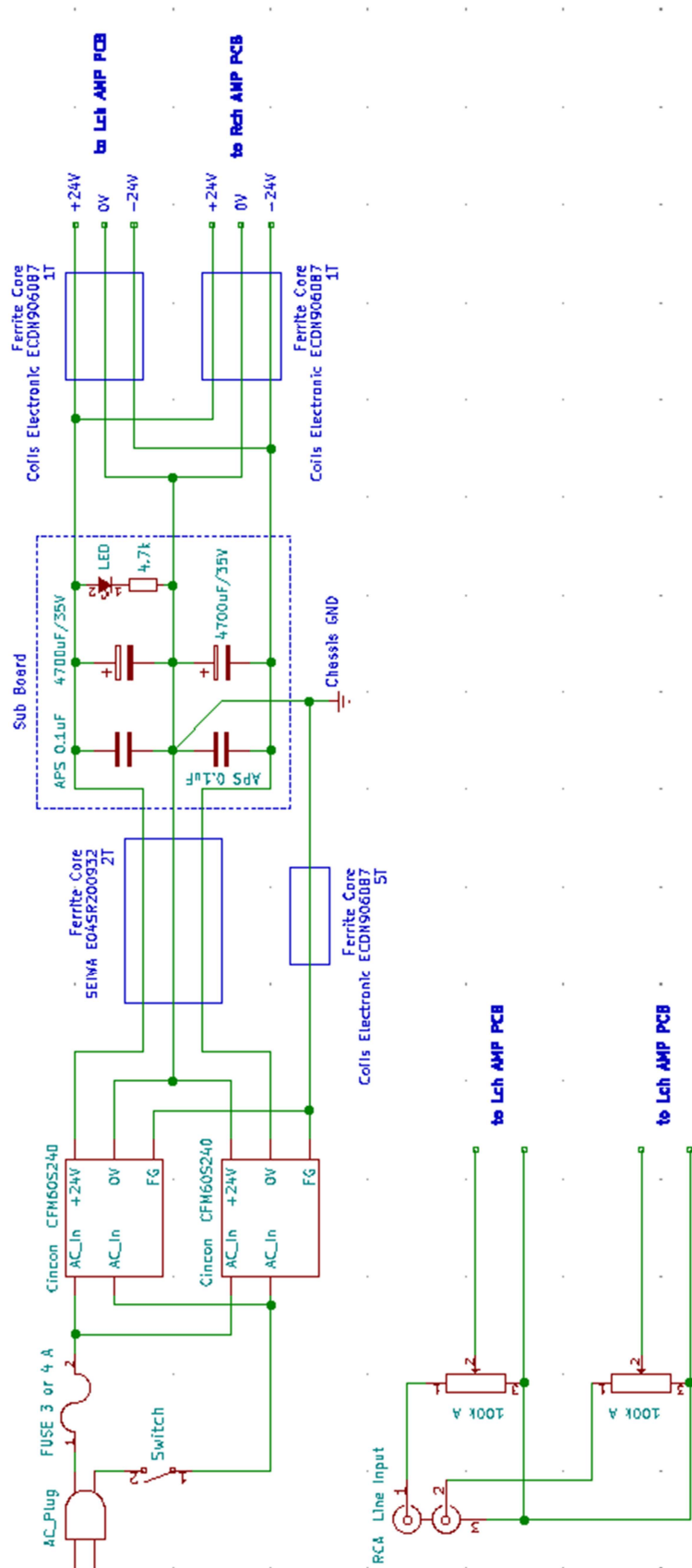
Size: A4
Date: 2025-06-18
KICad E.D.A. 8.0.9

Rev: 0.00
Id: 1/1

PAV-100 部品表 (1チャンネル分)

部品番号	種類	型名・値	型番・備考	数量	備考・入手先
R6,R7	ジャンパ線	0		2	
R10,R11	1/4W抵抗	1	RLC25FY	2	千石電商
R2,R5	1/4W抵抗	100	RLC25FY	2	千石電商
R15,R18	1/4W抵抗	150	RLC25FY	2	千石電商
R9,R12,R13,R17,R19	1/4W抵抗	330	RLC25FY	5	千石電商
R16	1/4W抵抗	820	RLC25FY	1	千石電商
R3,R4	1/4W抵抗	2.2k	RLC25FY	2	千石電商
R14	1/4W抵抗	2.7k	RLC25FY	1	千石電商
R26	1/4W抵抗	3.3k	RLC25FY	1	千石電商
R8,R22	1/4W抵抗	10k	RLC25FY	2	千石電商
R1,R25	1/4W抵抗	100k	RLC25FY	2	千石電商
R24	1/4W抵抗	470k	RLC25FY	1	千石電商
U1	フォトカプラ	TLP591B		1	秋月電子通商
D1	LED	Green	黄緑色	1	
Q1,Q2	JFET	2SK117GR	IDSS = 4~6	2	
Q3,Q4	JFET	2SK117BL	IDSS = 7~10	2	
Q5,Q7,Q13,Q14,Q15, Q21,Q23,Q24	トランジスタ	2SC2240		8	秋月電子通商
Q6,Q8	トランジスタ	2SA970		2	秋月電子通商
Q9,Q11	トランジスタ	2SA1020		2	秋月電子通商
Q10,Q12	トランジスタ	2SC2655		2	秋月電子通商
Q16	トランジスタ	2SC4382		1	秋月電子通商
Q17	トランジスタ	2SA1668		1	秋月電子通商
Q18	トランジスタ	2SC3519		1	若松通商
Q19	トランジスタ	2SA1386		1	若松通商
Q20,Q22	MOS FET	TK5R3A06PL		2	秋月電子通商
C1,C2,C6	OSコンデンサ	120uF	35SEPF120M	3	秋月電子通商
C3,C4	フィルムコンデンサ	0.1uF	APS100J104	2	千石電商
C5	電解コンデンサ	BP47uF/25V	UES1E470MPM	1	秋月電子通商
R20,R21	金属板抵抗	0.22	MPC74-0.22ohmJ	2	秋月電子通商
RV1	半固定VR 200Ω		GF063P B201K	1	秋月電子通商
RV2	半固定VR 500Ω		GF063P B501K	1	秋月電子通商
R23		NM		1	

添付資料① 全体構成図



添付資料② 参考部品表

番号	種類	型名・値	型番	入手先	備考
F1	FUSE 3 ～ 4 A				
SW1	電源スイッチ				
Reg1	スイッチング電源	Cincon CFM60S240		若松通商	
Reg2	スイッチング電源	Cincon CFM60S240		若松通商	
C1	フィルムコン	0.1uF	APS100J104	若松通商	
C2	フィルムコン	0.1uF	APS100J104	若松通商	
C3	ケミコン	4700uF/35V			
C4	ケミコン	4700uF/35V			
D1	LED				
R1	抵抗	4.7k			
RV1	入力VR	100k A			2連VR
RV2	入力VR	100k A			
FC1	フェライトコア		SEIWA E04SR200932		
FC2	フェライトコア		Coils Electronic ECDN906087	秋月電子	
FC3	フェライトコア		Coils Electronic ECDN906087	秋月電子	
FC4	フェライトコア		Coils Electronic ECDN906087	秋月電子	
	伝熱シート	パワートランジスタ用	TC-30BG TO-3P	千石電商	