

無帰還 A 級 25W パワーアンプ PAV-001

製作マニュアル

2022/4/22 Rev.0.05

SLDJ 合同会社

肥後信嗣

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です。小型軽量ということで±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。

回路図に記入したとおり、半導体は基板 1 枚につき 7 組のペア取りおよび 6 組の熱結合が必要です。

そのなかで特に注意すべきこと、および備考は次のとおりです。

- ① 入力段の Q2,Q6,Q3,Q5 は、可能ならすべて HFE を揃えるのが望ましい。
- ② Q7,Q9,Q8,Q10 は、可能ならすべて HFE を揃えるのが望ましい。
- ③ L、R 基板でも上記指定箇所の IDSS,HFE を揃えるのが望ましい。

※参考のため作者が実際に使ったペア取り部品の定数を回路図上に記載し、ペア部品データを添付します。

2. 熱結合

基板に実装する前に必要な部品を熱結合しておきます。

- ① Q2 (2SA970GR) と Q5 (2SC2240GR) を熱結合。捺印面同士を 2 液混合タイプのエポキシ接着剤で接着。接着してしまうと 2SA970GR と 2SC2240GR の見分けがつかなくなってしまうので、あらかじめマジックなどで印をつけておくこと。
- ② 同様に Q3 (2SC2240GR) と Q5 (2SA970GR) を熱結合。
- ③ 同様に Q7 と Q9 (2SA1020) を熱結合。接着してしまうと Q8,Q10 (2SC2655) と見分けがつかなくなってしまうので、あらかじめマジックなどで印をつけておくこと。
- ④ 同様に Q8,Q10 (2SC2655) を熱結合。
- ⑤ Q16 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 Q11 を密接固定する (図 1)。図 1 で Q11 はグリス塗布のうえ Q16 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。この場合ははがれないようによく掃除してからしっかり接着すること。

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。Q16 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。Q11 のベースとコレクタは接続して一本にします。

⑥ 同様に Q17 と Q13 をヒートシンク上で熱結合。

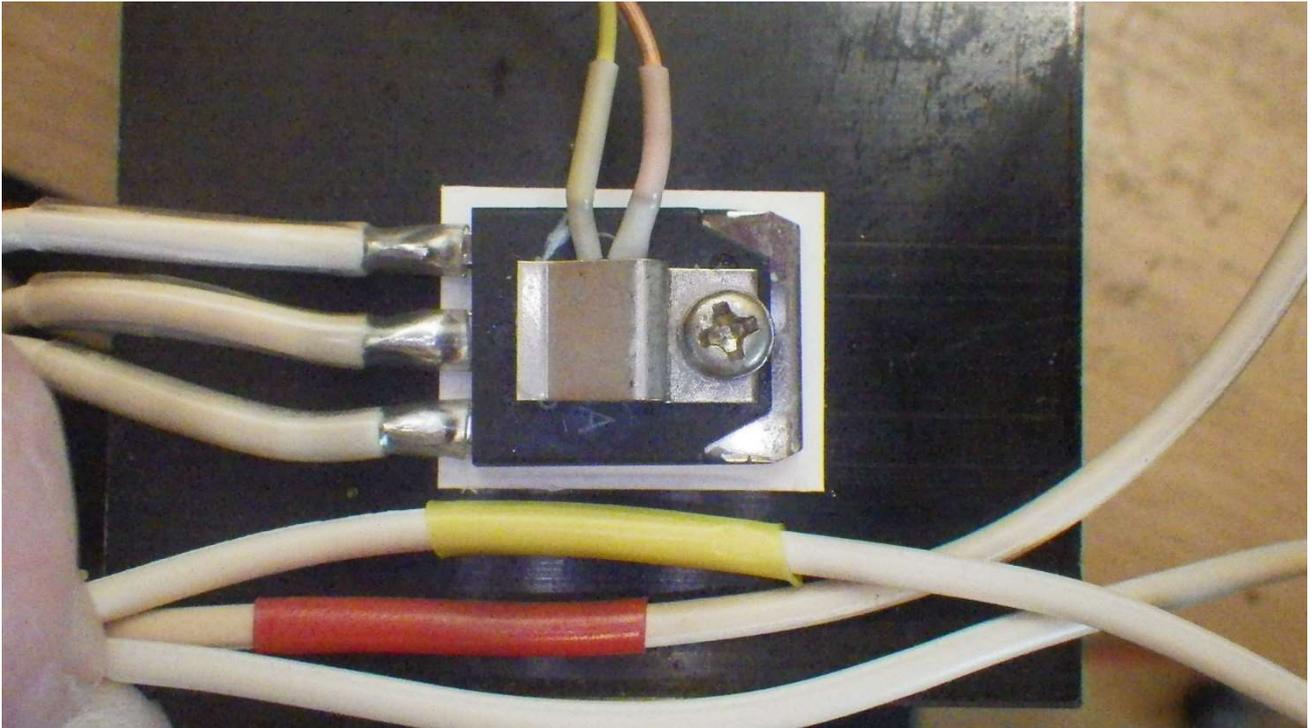


写真 1. Q11 と Q16 (Q13 と Q17) の取り付けと熱結合

3. 部品実装

基板への部品実装は背の低いものから順に行います。

- ① R5,R6 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 0.22Ω 以外の抵抗を実装し、はんだ付けします。（R20 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~RV3 を実装し、はんだ付けします。
- ⑥ Q11,Q13（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 Q14,Q15 および MOSFET Q21,Q22 を実装し、はんだ付けします。（極性注意）

- ⑩ R14,R15 を実装し、はんだ付けします。このとき、R14,R15 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。

すべての部品が実装されると、写真 1. 写真 2 のようになります。

※Q11,Q13,Q16,Q17 はヒートシンクに装着されているため、基板には載りません。

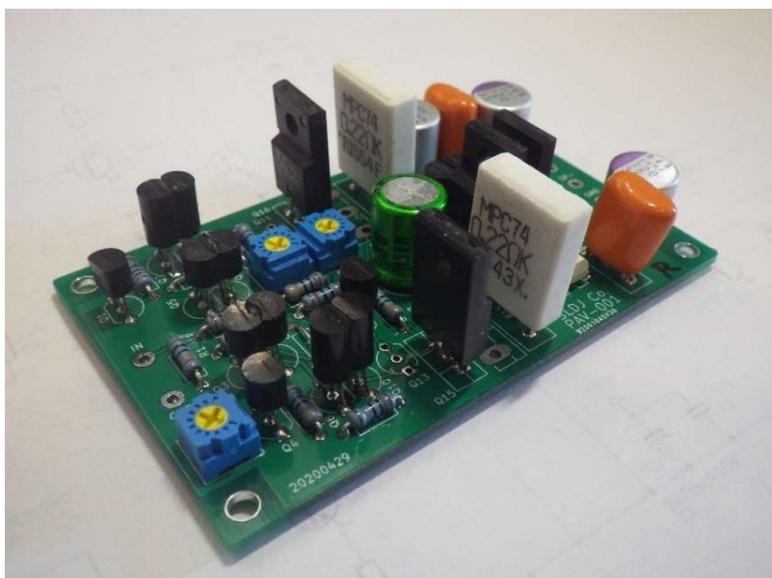


写真 2. 実装完成①

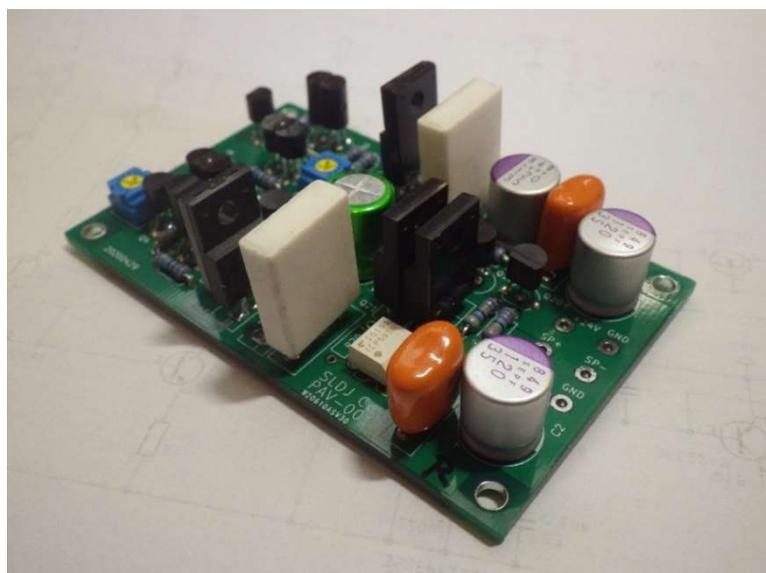


写真 3. 実装完成②

4. 電源ラインの接続

部品の間違いがいないか、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 Q11,Q13 からリード線で基板上の Q11,Q13 パターンに接続（極性注意）。
※Q16,Q17 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 をセンターにセット。
- ④ 半固定抵抗 RV3 を右側（最大側）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。

- R13 (330Ω) の両端電圧が 1.4~1.5V。
- R13 のプラス側 (Q14 側) が GND 基準でおよそ 0.7~0.75V。
- R13 のマイナス側 (Q15 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、RV3 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 Q16,Q17 を基板に接続し、調整を行います。

- ① Q16,Q17 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 間に、入力 VR100 k Ω (外付け) のセンターと GND を接続します。
- ③ 出力 SP+、SP- に 8Ω のダミーロードを接続します。
- ④ R14、R15 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 通電します。
- ⑥ オフセット電圧が 0.5V 以上ある場合は、RV2 で 0 に調整します。
- ⑦ 入力 VR を回して、全域でオフセットの変化が最小になるように RV1 を調整します。
- ⑧ ふたたび RV2 でオフセット電圧を調整します。オフセットが 0.1V を超えない範囲で、RV2 をできるだけセンターになるようにします。(左右チャンネルのゲインに差が出ないようにする)
- ⑨ R14 の両端にマルチメータを接続し、電圧をモニタしながら RV3 でアイドリング電流を調整します。アイドリング電流は必要に応じて 1A (16W) ~1.25A (25W) の範囲で調整します。RV3 を徐々に左に回し、R14 の両端電圧が 0.22V (16W) または 0.275V (25W) になるように調整します。このとき R15 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 0.22V (または 0.275V) に安定す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
$$P_o(w) = 2 \cdot I_c^2 \cdot R_L \quad (I_c: \text{アイドリング電流} \quad R_L: \text{スピーカインピーダンス})$$
- ⑩ 上記⑥~⑨までを再確認します。
- ⑪ 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、基板の部品に間違いがないか確認してください。

【注記】

出力オフセット調整半固定抵抗 RV2 は、オフセット調整と I/V 変換を兼ねており、センターであ

ンプゲインが最大になります。オフセット調整のためセンターから大きくずれるとゲインが下がります。そのため、左右の基板で大きくゲインが変わるようでしたら、出力オフセットが0.1Vを超えない範囲で、左右のゲインを揃えるようにしてください。テスト信号を入力し、出力のダミー抵抗両端の信号レベルを確認します。

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全体の構成図と、②参考部品表を添付します。

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。これを土で 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 はアルプス製デテント VR100kΩA 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。

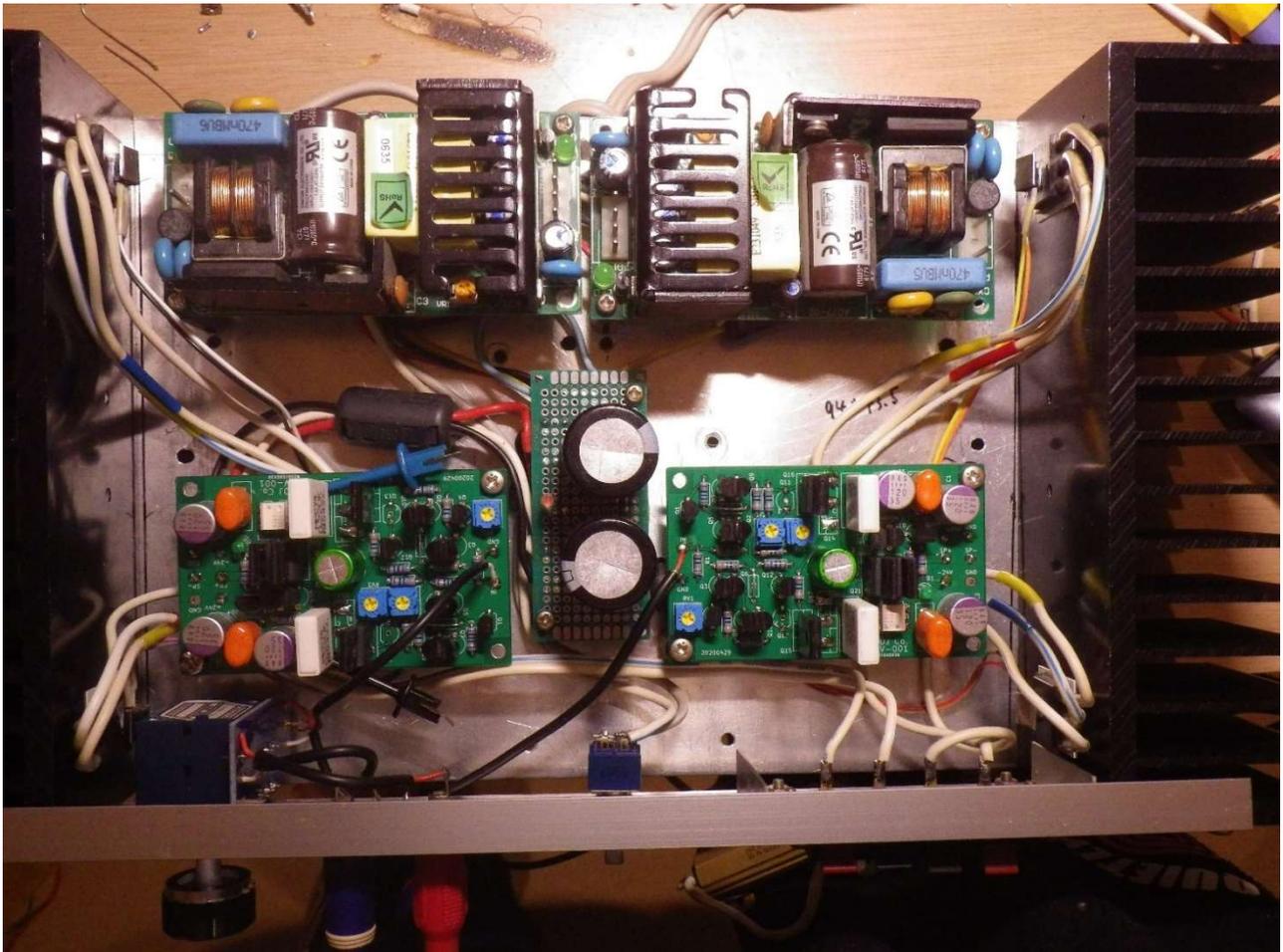


写真4. シャーシ組み込みの様子

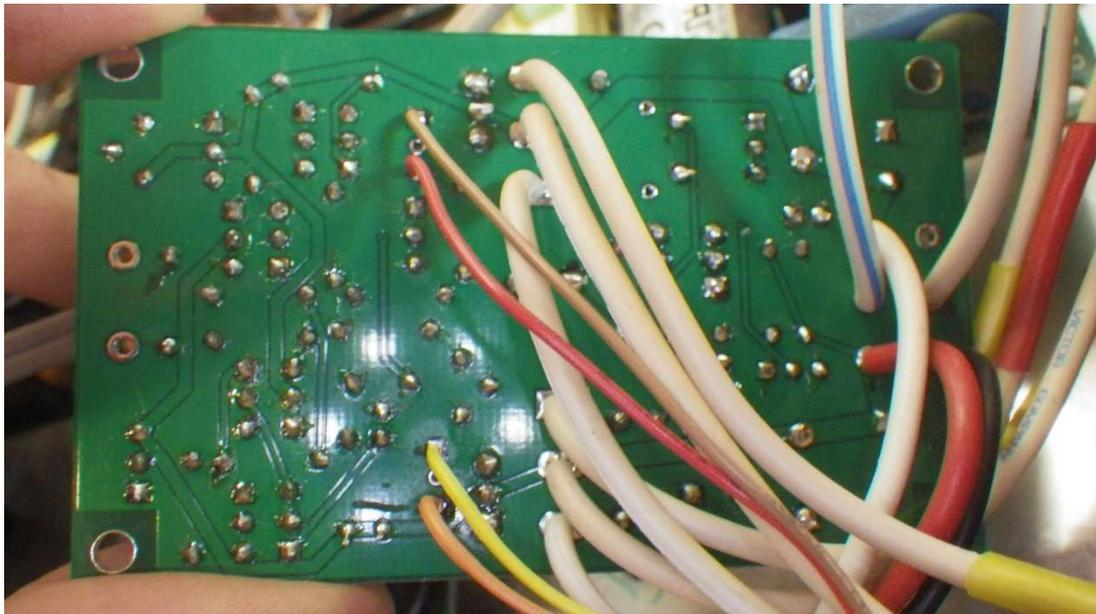


写真5. 外部との結線
入力信号以外は基板裏側から結線しました。

⑤放熱について

写真4右側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、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1.25A(最大25W)での特性です。

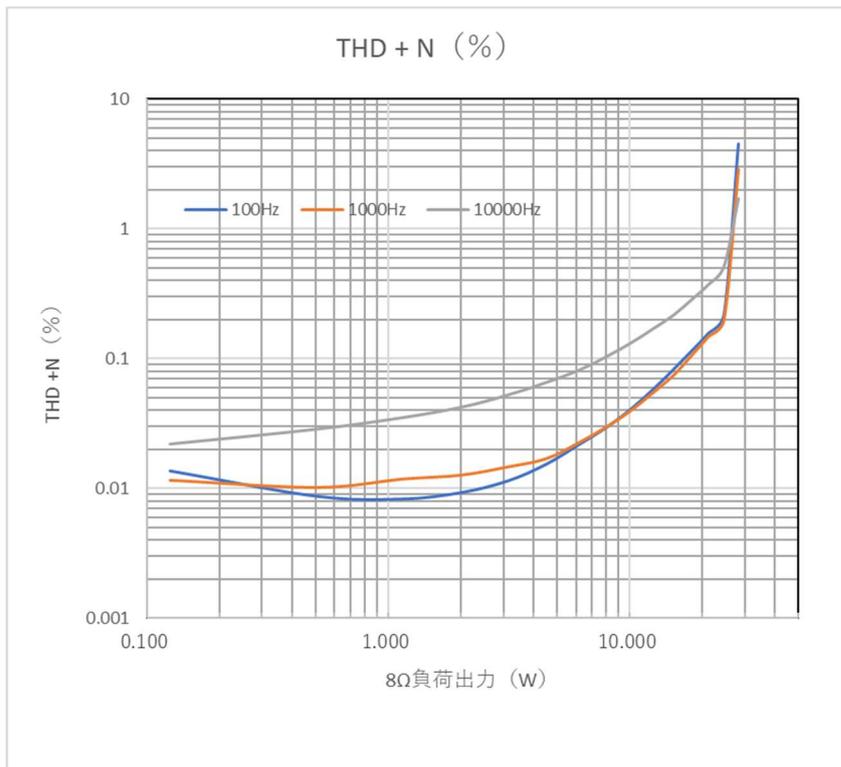


図1. THD+N

ボトムで0.01%程度、10Wでも全体で0.2%以下となっている

表1. 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	3.36	0.37
1KHz	3.01	3.37	0.37
10KHz	3.03	3.38	0.36

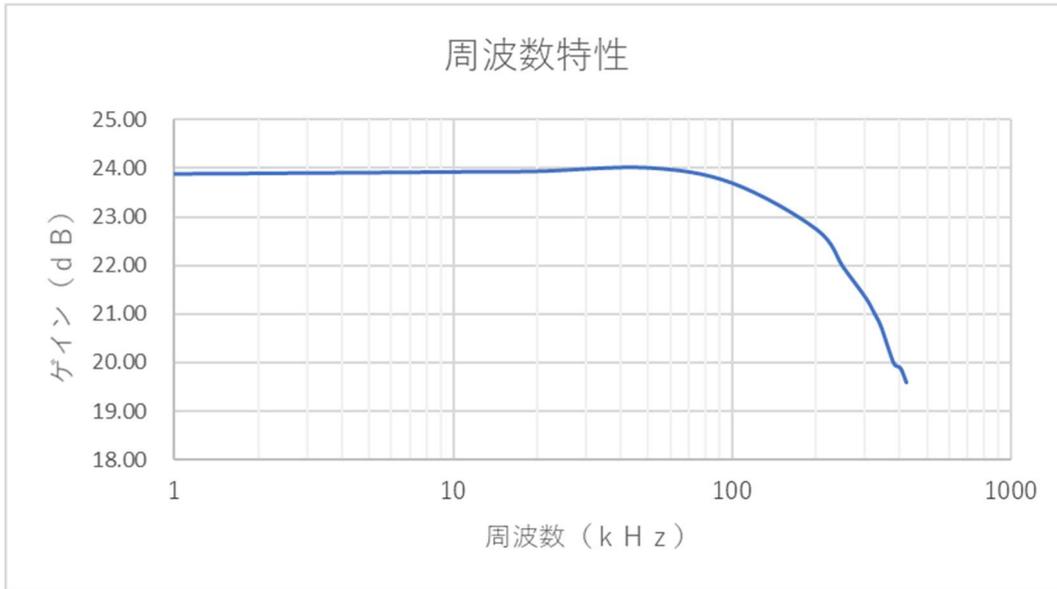


図 2. 周波数特性
-3dB 特性は 0～約 300kHz。

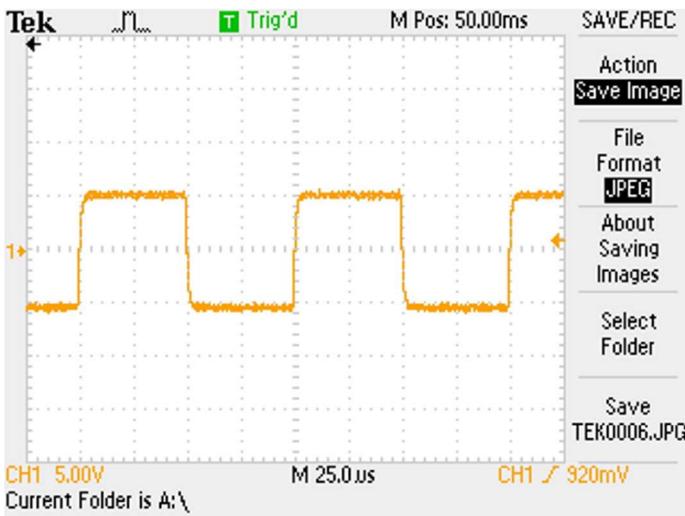
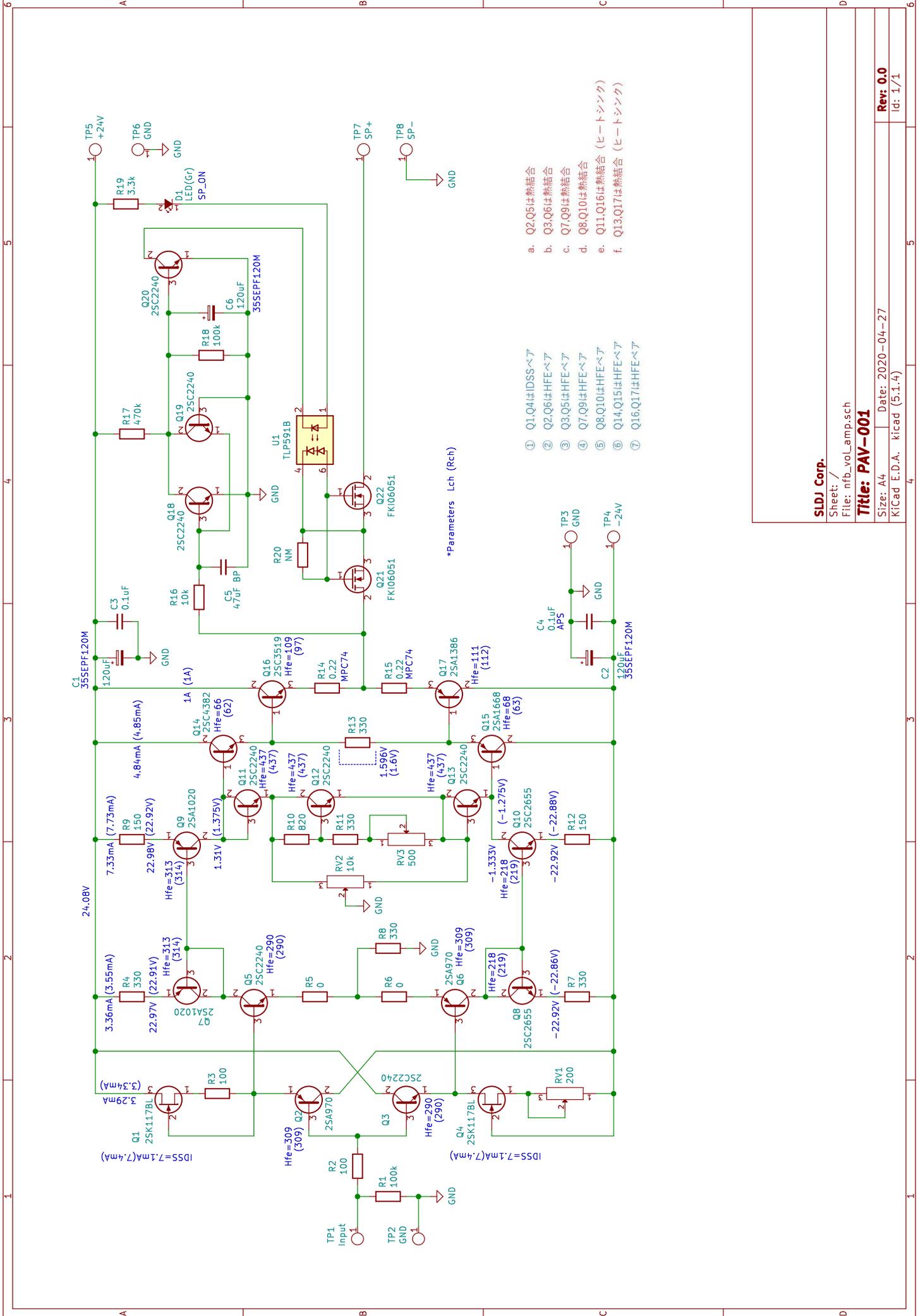


図 3. 10kHz5V 矩形波出力
矩形波にまったくひずみが見られないため、位相補償は不要

表 2. プロテクト動作電圧

プロテクト	+470mV
	-850mV



- a. Q2,Q5は熱結合
- b. Q3,Q6は熱結合
- c. Q7,Q9は熱結合
- d. Q8,Q10は熱結合
- e. Q11,Q16は熱結合 (ヒートシンク)
- f. Q13,Q17は熱結合 (ヒートシンク)

- ① Q1,Q4はIDSSベア
- ② Q2,Q6はHFEベア
- ③ Q3,Q5はHFEベア
- ④ Q7,Q9はHFEベア
- ⑤ Q8,Q10はHFEベア
- ⑥ Q14,Q15はHFEベア
- ⑦ Q16,Q17はHFEベア

SLDJ Corp.

Sheet: /
File: nfb_voLamp.sch

Title: PAV-001

Size: A4 Date: 2020-04-27
KiCad E.D.A. kicad (5.1.4)

Rev: 0.0
Id: 1/1

基板実装部品表

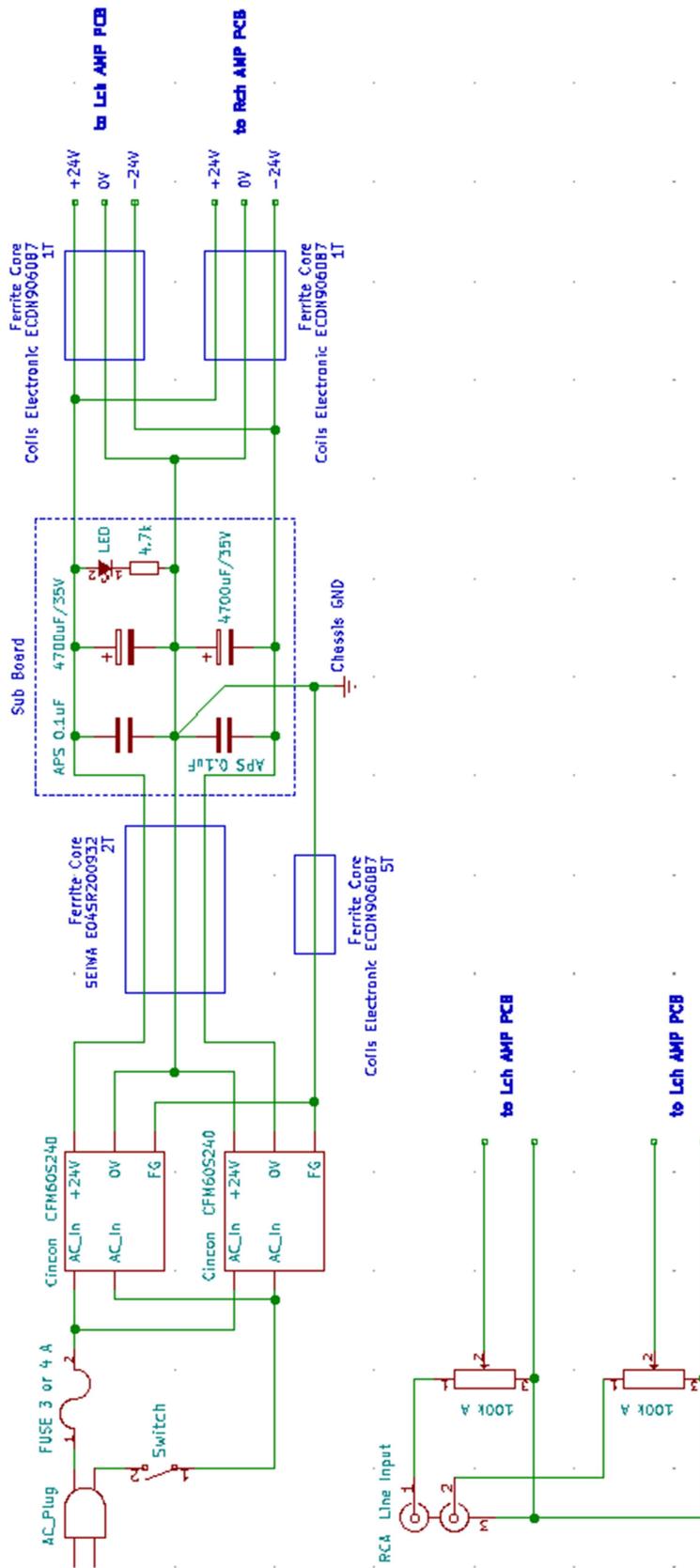
番号	種類	型名・値	型番	入手先	備考
Q1	JFET	2SK117BL		若松通商/樫木総業	
Q4	JFET	2SK117BL		若松通商/樫木総業	
Q2	TR (PNP)	2SA970GR		秋月電子	
Q6	TR (PNP)	2SA970GR		秋月電子	
Q3	TR (NPN)	2SC2240GR		秋月電子	
Q5	TR (NPN)	2SC2240GR		秋月電子	
Q11	TR (NPN)	2SC2240GR		秋月電子	
Q12	TR (NPN)	2SC2240GR		秋月電子	
Q13	TR (NPN)	2SC2240GR		秋月電子	
Q18	TR (NPN)	2SC2240GR		秋月電子	
Q19	TR (NPN)	2SC2240GR		秋月電子	
Q20	TR (NPN)	2SC2240GR		秋月電子	
Q7	TR (PNP)	2SA1020		秋月電子	
Q9	TR (PNP)	2SA1020		秋月電子	
Q8	TR (NPN)	2SC2655		秋月電子	
Q10	TR (NPN)	2SC2655		秋月電子	
Q15	TR (PNP)	2SA1668		秋月電子	
Q14	TR (NPN)	2SC4382		秋月電子	
Q17	TR (PNP)	2SA1386AP		秋月電子	
Q16	TR (NPN)	2SC3519AP		秋月電子	
Q21	MOS FET	FKI06051		秋月電子	FKI06075 EKI04027
Q22	MOS FET	FKI06051		秋月電子	TK100E06N1 等代替可
U1	フォトボル	TLP591B		秋月電子	
D1	LED	LED(Gr)	Φ3.0		
RV1	半固定抵抗	200	3362P (CT-6P)	秋月電子	
RV2	半固定抵抗	10k	3362P (CT-6P)	秋月電子	
RV3	半固定抵抗	500	3362P (CT-6P)	秋月電子	
R15	金属板抵抗	0.22	MPC74	秋月電子	
R14	金属板抵抗	0.22	MPC74	秋月電子	
R2	金属皮膜抵抗1/4W	100	RLC25FY	千石電商	代替品可
R3	金属皮膜抵抗1/4W	100	RLC25FY	千石電商	代替品可
R9	金属皮膜抵抗1/4W	150	RLC25FY	千石電商	代替品可
R12	金属皮膜抵抗1/4W	150	RLC25FY	千石電商	代替品可
R4	金属皮膜抵抗1/4W	330	RLC25FY	千石電商	代替品可
R7	金属皮膜抵抗1/4W	330	RLC25FY	千石電商	代替品可
R8	金属皮膜抵抗1/4W	330	RLC25FY	千石電商	代替品可
R11	金属皮膜抵抗1/4W	330	RLC25FY	千石電商	代替品可
R13	金属皮膜抵抗1/4W	330	RLC25FY	千石電商	代替品可

R10	金属皮膜抵抗1/4W	820	RLC25FY	千石電商	代替品可
R19	金属皮膜抵抗1/4W	3.3k	RLC25FY	千石電商	代替品可
R16	金属皮膜抵抗1/4W	10k	RLC25FY	千石電商	代替品可
R1	金属皮膜抵抗1/4W	100k	RLC25FY	千石電商	代替品可
R18	金属皮膜抵抗1/4W	100k	RLC25FY	千石電商	代替品可
R17	金属皮膜抵抗1/4W	470k	RLC25FY	千石電商	代替品可
R5	ジャンパ線	0			
R6	ジャンパ線	0			
R20		NM			実装しない
C5	ケミコン	47uF BP	UES1E470MPM	秋月電子	
C1	OS-CON	120uF	35SEPF120M	秋月電子	
C2	OS-CON	120uF	35SEPF120M	秋月電子	
C6	OS-CON	120uF	35SEPF120M	秋月電子	
C3	フィルムコン	0.1uF	APS100J104	若松通商	
C4	フィルムコン	0.1uF	APS100J104	若松通商	

ペア部品データ

	デバイス	L ch	R ch
Q1	2SK117BL	IDSS=7.1mA	IDSS=7.4mA
Q4		IDSS=7.1mA	IDSS=7.4mA
Q2	2SA970GR	HFE=309	HFE=309
Q6		HFE=309	HFE=309
Q3	2SC2240GR	HFE=290	HFE=290
Q5		HFE=290	HFE=290
Q7	2SA1020	HFE=313	HFE=314
Q9		HFE=313	HFE=314
Q8	2SC2655	HFE=218	HFE=219
Q10		HFE=218	HFE=219
Q14	2SC4382	HFE=66	HFE=62
Q15	2SA1668	HFE=68	HFE=63
Q16	2SC3519AP	HFE=109	HFE=97
Q17	2SA1386AP	HFE=111	HFE=112

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	