

無帰還ヘッドホンアンプ HPAV-001b

製作マニュアル

2025/6/9 Rev.0.00

SLDJ 合同会社

好評の無帰還 A 級アンプ回路を JFET 入力にアレンジした無帰還ヘッドホンアンプです。PC やメモリプレイヤー等からの接続を考慮し、電圧ゲインは約 12dB とやや低めに設定していますが、定数変更によりゲインの変更が可能です。

電源はリチウムイオン電池を 2 つ使用し、 $\pm 3.8V$ 仕様としています。

新開発の無接点保護回路により、およそ $\pm 0.25V$ の DC 出力検出、および約 $60^{\circ}C$ 以上の温度上昇時にヘッドホン/イヤホンの接続を OFF します。

1. 部品収集

部品表にしたがって部品を集めます。部品種類毎の注意点は次のとおりです。

① トランジスタ・FET

トランジスタ・FET はアンプ回路用に 16 組のペア取りおよび 14 組の熱結合が必要です。また電源および保護回路用として 11 個のトランジスタ・FET を使用します。試作基板で使用したトランジスタ・FET のペア部品の一覧を表 1 に示します。

表 1. トランジスタ・FET のペア組基準

HPAV-001bペア部品データ		Lch	Rch	
型番	リファレンス	IDSS	hfe	備考
2SK117GR	Q1,Q2	3.8		熱結合
	Q17,Q18	3.8		熱結合
2SK117BL	Q3,Q4	8.4~8.6		
	Q19,Q20	8.4~8.6		
2SC2240	Q5,Q7		280	熱結合
	Q10,Q12		280	熱結合
	Q21,Q23		280	熱結合
	Q26,Q28		280	熱結合
2SA970	Q6,Q8		240	熱結合
	Q9,Q11		240	熱結合
	Q22,Q24		240	熱結合
	Q25,Q27		240	熱結合
2SC2655	Q13,Q15		230	熱結合
	Q29,Q31		230	熱結合
2SA1020	Q14,Q16		260	熱結合
	Q30,Q32		260	熱結合

現在 2SK117 が廃品種につき入手困難となっておりますが、これは 2SK2881（秋月電子で販売）でも代替可能だと思います。2SK303 はスペック的には使用できそうですが、ピン配列が異なるので注意が必要です。代替品を検討する場合も表 1 に示す IDSS によってペア組をします。

電源および保護回路用のものは、ペア組や熱結合は不要です。試作で使用したデバイスの一覧を表 2 に示します。

表 2. 電源および保護回路用トランジスタ

型番	リファレンス	hfe
2SC2240	Q35,Q37,Q39,Q41,Q42	360～370
2SA970	Q34,Q36,Q38,Q40,Q43	240

② 抵抗

使用する抵抗のうち、次に示すものについてはカット＆トライが必要な場合があります。

・ R56 (2.4k Ω)

これは保護回路の感度を決める抵抗です。使用するデバイスのばらつきによって、保護回路の感度が不適切になる場合がありますので、予備として 2k Ω 、2.2k Ω 、2.7k Ω をあらかじめ用意しておくことをおすすめします。詳細は後述します。

・ R55 または R57 (1k Ω)

これは保護回路の正負バランスを決める抵抗です。保護回路の DC 検出感度が正負方向でアンバランスな場合に、いずれかを 910 Ω に変更（または 1608 サイズの 10k Ω チップ抵抗を並列に接続）します。詳細は後述します。

・ R13 および R32 (150 Ω)

これはアンプのゲインを決める抵抗です。本アンプでは VR 最大時のゲインを約 12dB として設計していますが、ゲインを変更したい場合はこの抵抗を変更します。ゲインはこの抵抗値に反比例します。たとえばこれを 75 Ω にするとゲインは 2 倍（6dB 増）の 18dB、300 Ω にするとゲインは 1/2（6dB 減）の 6dB となります。

③ LED および抵抗

・ D5, D6 は保護回路の基準電圧発生用の LED です。必ず V_f が 1.8V 程度の LED を使用してください。

・ D7 は保護回路動作確認用の LED です。正常動作時はフォトスイッチと直列で約 10mA で点灯するため、低輝度タイプ（ $V_f=1.8V$ 程度）の LED を使用します。

・ D1,D2 は電源確認用です。任意の LED を使用可能です。LED の輝度が不適切な場合は、抵抗 R43、R44 の値を変更して調整します。

2. 熱結合

基板に実装する前に必要な部品を熱結合します。熱結合の組み合わせは表 1 に示したとおりです。熱結合する組み合わせは、すべて同品種同士です。

熱結合は瞬間接着剤で捺印面同士を貼り合わせ、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）。この方法で熱結合を行うことで、すぐに基板製作にとりかかることができます。



写真 1. 熱結合の様子

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。添付の基板部品表に従って実装します。

おおむね部品表記載の順番で OK です。ジャンパ線は錫メッキ線か、切った抵抗の脚などを使用します。電源接続用のコネクタ J3,J4 は必要に応じて実装します。実装完成の様子を図 3 に示します。

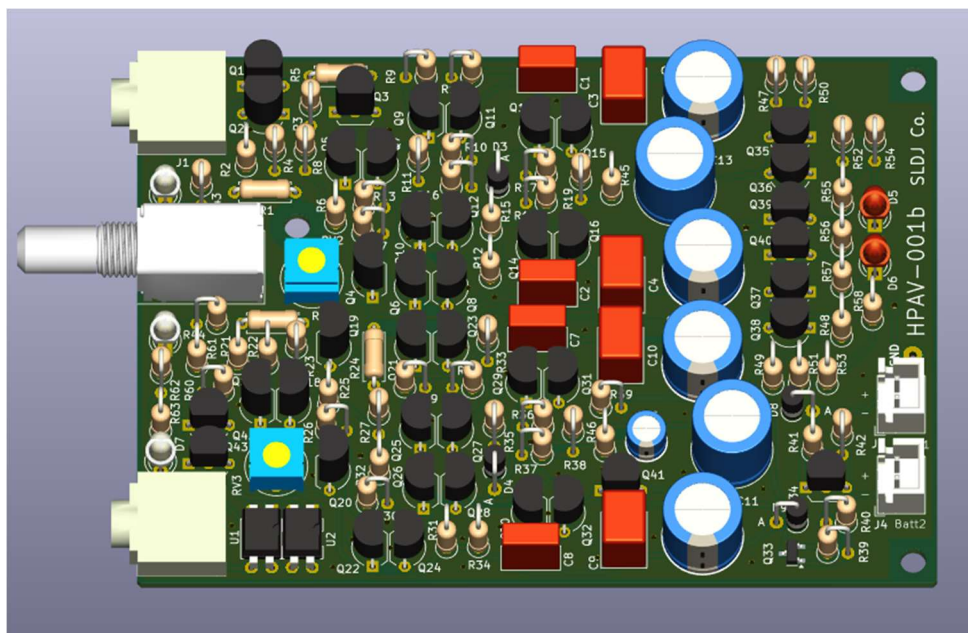


図 3. 実装完成

4. 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、次の手順で電源を接続して、調整および動作確認をします。

アンプの調整

- ① スイッチ付ボリューム RV1 のスイッチは OFF、半固定抵抗 RV2,RV3 がセンターにセットされていることを確認し、極性に注意して J3,J4 にそれぞれリチウムイオン電池（公称 3.8V）を接続します。

- ② スイッチ付ボリューム RV1 のスイッチを ON し、2 秒ほどですべての LED が点灯することを確認します。もしいずれかの LED が点灯しないまたは点灯しても暗い、あるいは異常に発熱している部品がある、などの異常がある場合は直ちにスイッチを OFF して、配線を再度確認します。
※D7 のみが点灯しない場合は、保護回路が働いている状態です。次の手順で出力オフセットのゼロ調整を行います。
- ③ スイッチ ON、ボリューム RV1 最小の状態、R19（未実装）の端子間の電圧をテスターなどで見ながら、これが 0V になるように半固定抵抗 RV2 を調整します。
- ④ 同様に R38（未実装）の端子間の電圧が 0V になるように RV3 を調整します。
- ⑤ 上記③、④の調整が完了したら、D7 が点灯していることを確認します。

保護回路の動作確認

- ⑥ 次に保護回路の動作確認を行います。入力ジャックの L と GND 間に 1.2V または 1.5V の電池を接続し、R19 端子間の出力電圧を測れる状態にし、RV1 でスイッチ ON 後、徐々にボリュームを上げていき、D7 が消灯したときの R19 端子の電圧を記録します。
- ⑦ 入力ジャックの L と GND への電池の接続極性を逆にして、同じく D7 が消灯する R19 端子の電圧を記録します。
- ⑧ 上記により確認した電圧がおおむね $\pm 150\text{mV} \sim \pm 250\text{mV}$ 程度であれば OK です。これがヘッドホン保護が働く出力 DC 電圧（プロテクト起動電圧）です。この電圧が 150mV よりも低い場合や、正負のバランスが著しくわるい場合は、以下の例を参考にして調整を行ってください。

保護回路の調整と確認

- ⑨ ここでは例として、プロテクト起動電圧が $+160\text{mV}, -70\text{mV}$ だった場合の対処方法を紹介します。まず、この例ではプロテクト起動電圧が低いので、R56 を $2.4\text{k}\Omega$ から $2.2\text{k}\Omega$ に変更します。
- ⑩ R56 を $2.2\text{k}\Omega$ に変更したところ、プロテクト起動電圧は $+240\text{mV}, -130\text{mV}$ となりました。次に土のバランスをとります。この例ではプラス側が大きく出ているので、R57 を $1\text{k}\Omega$ から 910Ω に変更します。（もし逆にマイナス側が大きい場合は R55 を 910Ω に変更します。）
R57 の付け替えが面倒な場合は、R57 の基板裏面のパッド間に、1608 サイズの $10\text{k}\Omega$ の抵抗を追加しても OK です。この場合も合成抵抗によりおよそ 910Ω となります。
- ⑪ 以上の変更により、プロテクト起動電圧は約 $\pm 200\text{mV}$ となりました。

5. 組み立て例

実際にこの基板を使って組み立てたヘッドホンアンプを紹介します。参考にしてください。試作品を写真 2 に示します。この例では 3D プリンタにより電池ホルダー一体型ケースを成型しています。電池は単 3 型リチウムイオン電池（14500 サイズ）を 2 本使用しています。

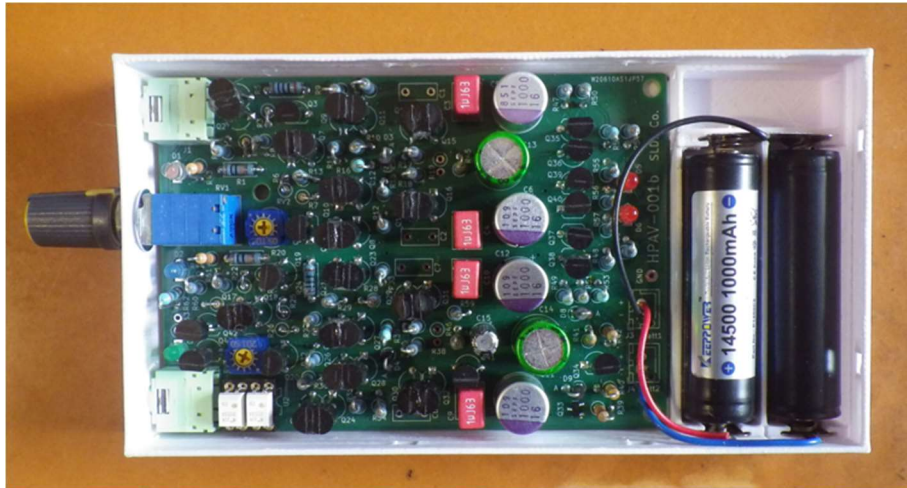


写真2. 3D プリントケースによる試作品

6. 諸特性

以下にこのヘッドホンアンプの諸特性を示します。特性は電源やシャーシ組み込みに状態によって左右されますので、参考程度としてください。

① ゲイン周波数特性

図4、図5は33Ω負荷時のL、Rチャンネルそれぞれのゲイン周波数特性です。DC～1MHz までほぼフラットであり、-3dB 周波数は3.2MHz です。

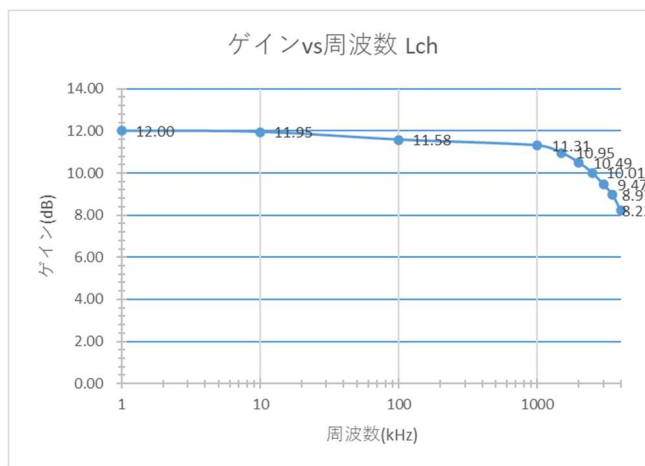


図4. ゲイン周波数特性 Lch

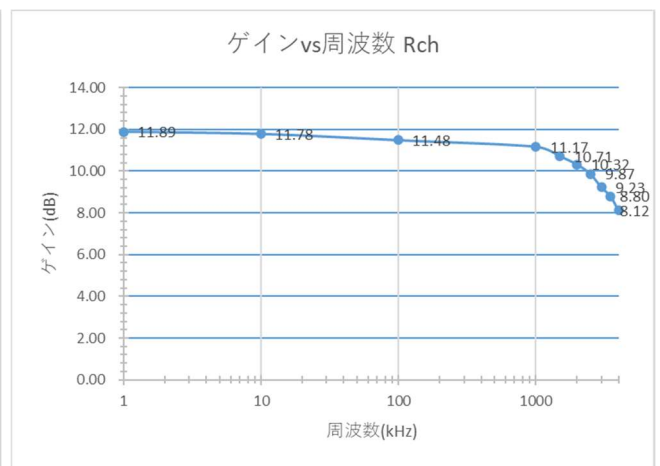


図5. ゲイン周波数特性 Rch

図6、図7は33Ω負荷時のL、Rチャンネルそれぞれの10kHz 2Vp-p 方形波出力波形です。波形にオーバーシュート、リングングなどの乱れはなく、位相補償は不要です。

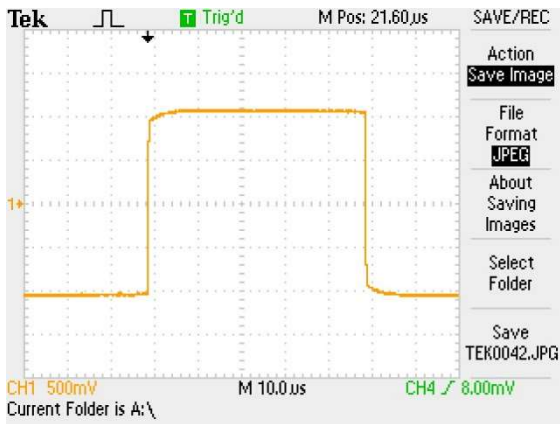


図 6. 10 k Hz 方形波応答 Lch

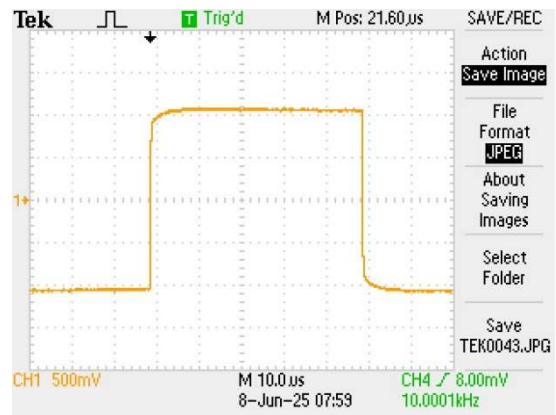


図 7. 10 k Hz 方形波応答 Rch

② ひずみ率特性

図 8、図 9 は 33Ω 負荷時の L、R チャンネルそれぞれのひずみ率 vs 出力レベルです。THD+N のボトムは両チャンネルともに 0.02～0.03% 程度となりました。

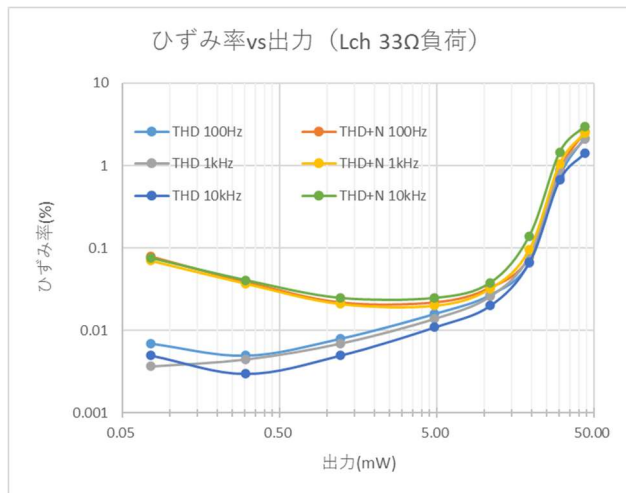


図 8. ひずみ率 vs 出力レベル Lch

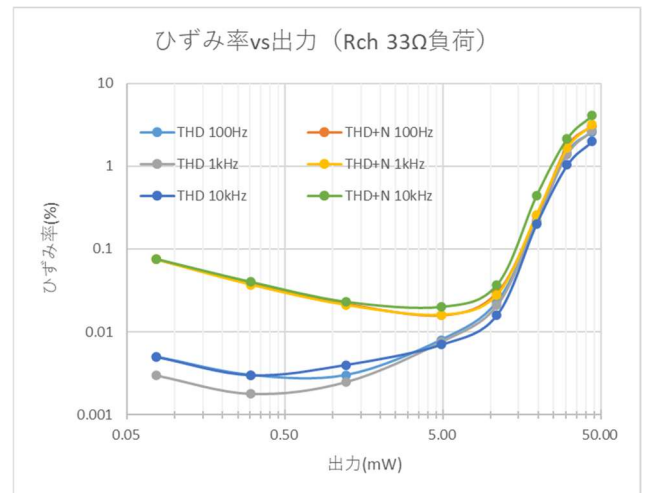


図 7. ひずみ率 vs 出力レベル Rch

図 9、図 10 は、出力 500mVrms 時のひずみ率 vs 周波数です。可聴帯域において、ひずみ率は周波数によらず、ほぼ一定の結果となりました。

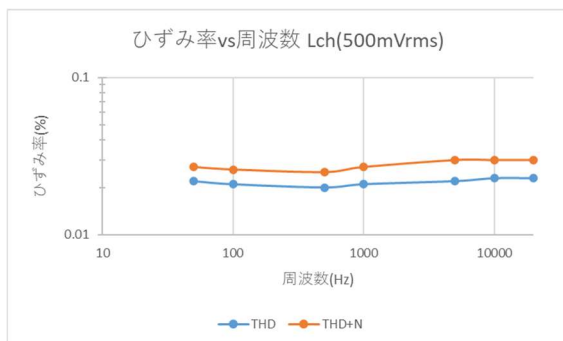


図 9. ひずみ率 vs 周波数 (Lch)

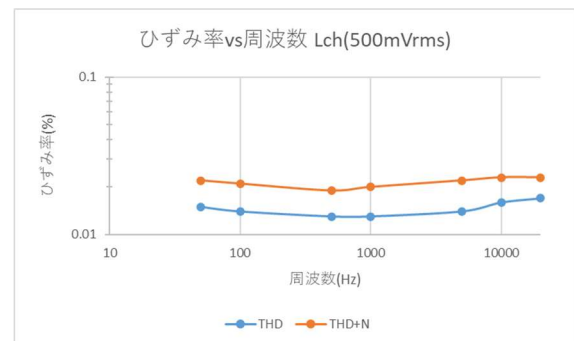


図 10. ひずみ率 vs 周波数

7. その他の注意事項など

- ・本機の正負電源の消費電流はほぼ等しく 150mA～160mA 程度となっています。正負電源に電池を使用する場合は、ほぼ等しく消費しますが、消耗レベルの違う電池を使用する場合、電圧差によってはオフセットが発生し、保護回路が働くことがあります。正負電源に使う電池は同程度のものを使用してください。
- ・ボリューム（RV1）の金属部分からノイズを拾う場合は、ボリュームの取り付けナット部分と基板上の GND をアース線により接続してください。

8. 添付資料

次頁以降に次の資料を添付します。

- ・基板回路図
- ・基板部品表
- ・基板外形寸法図

HPAV-001b基板部品表

部品番号	種類	型名・値	型番・備考	数量	備考・入手先
Q33	MOSFET	AO3400A		1	秋月電子通商
D1	LED	Pink		1	
D2	LED	Blue		1	
D5,D6	LED	Red		2	
D7	LED	Green		1	黄緑色
U1,U2	フォトリレー		TLP3553A	2	秋月電子通商
R3,R4,R6,R7,R22,R23, R25,R26,R60	ジャンパ線	0		9	
R10,R11,R29,R30	1/4W抵抗	1	RLC25FY	4	千石電商
R17,R18,R36,R37	1/4W抵抗	2.2	RLC25FY	4	千石電商
R14,R15,R33,R34	1/4W抵抗	33	RLC25FY	4	千石電商
R2,R5,R9,R12,R21, R24,R28,R31	1/4W抵抗	100	RLC25FY	8	千石電商
R13,R32	1/4W抵抗	150	RLC25FY	2	※ゲイン変更可
R16,R35,R52,R53,R62	1/4W抵抗	220	RLC25FY	5	千石電商
R54,R58	1/4W抵抗	470	RLC25FY	2	千石電商
R40,R43,R44,R50,R51	1/4W抵抗	1k	RLC25FY	5	千石電商
R55,R57	1/4W抵抗	1k	RLC25FY	2	※バランス調整
R56	1/4W抵抗	2.4k	RLC25FY	1	※要調整
R8,R27,R39,R41,R42, R47,R48,R49,R59,R61	1/4W抵抗	10k	RLC25FY	10	千石電商
R45,R46	1/4W抵抗	47k	RLC25FY	2	千石電商
R1,R20	1/4W抵抗	100k	RLC25FY	2	千石電商
C3,C4,C9,C10	フィルムコンデンサ	1u	WIMA MKS2	4	千石電商
C5,C6,C11,C12	電解コンデンサ	1000uF/16V OS	16SEPF1000M	4	秋月電子通商
C13,C14	電解コンデンサ	BP47u/25V	UES1E470MPM	2	秋月電子通商
C15	電解コンデンサ	47uF/16V	16PX47MEFC5X11	1	秋月電子通商
D3,D4,D8,D9	ショットキー	1S4		4	秋月電子通商
Q1,Q2,Q17,Q18	JFET	2SK117GR	IDSS=4~6	4	
Q3,Q4,Q19,Q20	JFET	2SK117BL	IDSS=8~10	4	
Q5,Q7,Q10,Q12,Q21, Q23,Q26,Q28,Q35,Q37, Q39,Q41,Q42	トランジスタ	2SC2240		13	秋月電子通商
Q6,Q8,Q9,Q11,Q22, Q24,Q25,Q27,Q34,Q36, Q38,Q40,Q43	トランジスタ	2SA970		13	秋月電子通商
Q13,Q15,Q29,Q31	トランジスタ	2SC2655		4	秋月電子通商
Q14,Q16,Q30,Q32	トランジスタ	2SA1020		4	秋月電子通商
RV1	SW付2連VR100kΩA		RK0972SA104L15F	1	秋月電子通商
RV2,RV3	半固定VR 200Ω		GF063P B201K	2	秋月電子通商
J1,J2	Φ3.5ジャック		MJ-495	2	秋月電子通商
J3,J4	2.5ピッチ2Pコネクタ	B2B-XH-A(LF)(SN)	必要な場合のみ	2	秋月電子通商
C1,C2,C7,C8,R19,R38, R63		N.M.		7	

基板外形寸法図

