

無帰還 A 級電流駆動 25W パワーアンプ PAC-100

製作マニュアル

2025/7/10 Rev.0.00

SLDJ 合同会社

本製品は、小型軽量で音のよい無帰還 A 級電流駆動アンプを目指して開発しました。当初は Auratone 5C 専用として開発しましたが、ネットワークのないフルレンジスピーカー全般に対応します。電流駆動の場合、スピーカーのインピーダンス特性に沿った音圧特性となるため、f0 付近と、高域が強調され、自室で小音量で音楽を楽しみたいといった用途に適しています。

本製品は DC アンプとして構成され、スピーカー保護回路を搭載しています。スピーカー保護回路はリレー接点の影響を受けないスピーカー短絡方式とし、あわせて二次的な事故を防止する目的で SSR（ソリッドステートリレー）を用いて AC100V 電源入力を遮断します。

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、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。本基板 1 枚でステレオアンプを構成できます。
- ・半導体は 12 組のペア取りおよび 6 組の熱結合が必要です。
- ・チャンネル毎の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を表 2 に示します。

表 1. ペア部品データ

PAC-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	6.0		熱結合
	Q15,Q16	6.0		熱結合
2SK117BL	Q3,Q4	8.6		
	Q17,Q18	8.6		
2SC2655	Q10,Q12		220	熱結合
	Q24,Q26		230	熱結合
2SA1020	Q9,Q11		220	熱結合
	Q23,Q25		230	熱結合
2SC4382	Q7		61	コンパ`リメンタリベ`ア
2SA1668	Q8		58	
2SC3519	Q13		102	コンパ`リメンタリベ`ア
2SA1386	Q14		117	
2SC4382	Q21		59	コンパ`リメンタリベ`ア
2SA1668	Q22		61	
2SC3519	Q27		97	コンパ`リメンタリベ`ア
2SA1386	Q28		113	

表 2. その他のトランジスタ

PAC-100その他のトランジスタ		
型番	リファレンス	hfe
2SC2655	Q5,Q19,Q35	不問
2SA1020	Q6,Q20	不問
2SC1815	Q29~Q34	不問

2. 熱結合とヒートシンクへの取り付け

基板に実装する前に必要な部品の準備をしておきます。

- ① Q1、Q2 および Q15、Q16 (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 Q9、Q11 および Q23、Q25 (2SA1020) を熱結合。
- ③ 同様に Q10、Q12 および Q24、Q26 (2SC2655) を熱結合。
- ④ Q13、Q14 および Q27、Q28 を、それぞれ伝熱シート (TC-30BG) を介してヒートシンクに取り付けます。
- ⑤ 取り付けができれば、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。Q13、Q14 および Q27、Q28 のリード線は太さが必要です。もし適当な線材がなければ、スピーカーケーブルなどを使うと良いでしょう (写真 2)。



写真 1. 熱結合の様子

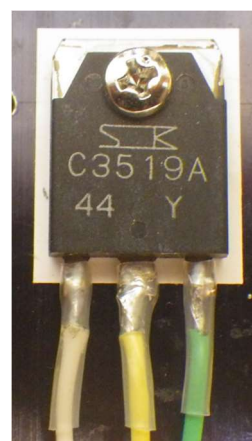


写真 2. トランジスタの放熱板への取り付け

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 R13、R14、R27、R28 (0.47Ω) 以外の抵抗を実装し、はんだ付けします (R12、R26 は未実装)。
- ② LED (D9、D10) を実装し、はんだ付けします (極性注意)。
- ③ ダイオード (D1～D8、D11～D14) を実装し、はんだ付けします (極性注意)。
- ④ 半固定抵抗 RV1、RV2 を実装し、はんだ付けします。
- ⑤ すべての小型トランジスタ (Q7、Q8、Q21、Q22 以外) を実装し、はんだ付けします。
- ⑥ フィルムコンデンサ (C1～C4、C7～C10) を実装し、はんだ付けします。
- ⑦ 電解コンデンサおよび OS コンデンサ (C5、C6、C11～C15) を実装し、はんだ付けします。

- ⑧ トランジスタ Q7、Q8 および Q21、Q22 を実装し、はんだ付けします（極性注意）。
【注記】シルクが間違っているため、実装方向にご注意ください。実装図（図 1）の向きが正です。
- ⑨ R13、R14 および R27、R28 を実装し、はんだ付けします。このとき、**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。
- ⑩ リレー K1 を実装してはんだ付けします。
- 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。

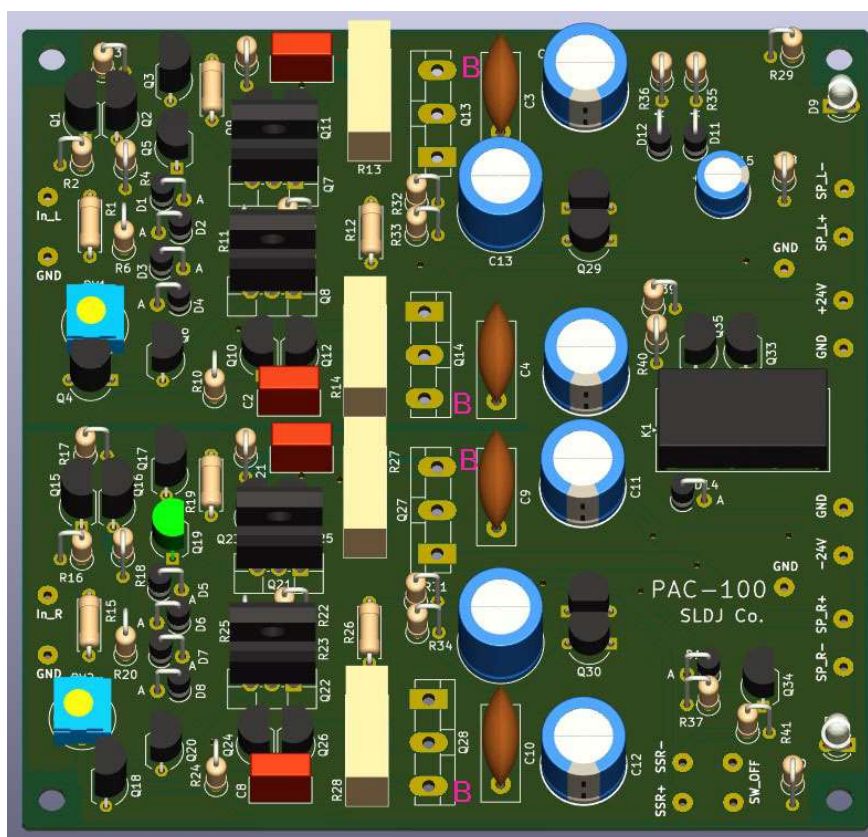


図 1. 部品実装完成

【注意】 Q7、Q8、Q21、Q22 および Q13、Q14、Q27、Q28 のシルク枠線が間違っています。

- ⑫ ヒートシンク上の Q13、Q14 および Q27、Q28 からリード線で基板上の Q13、Q14 および Q27、Q28 パターンに接続（極性注意）。

【注記】 Q13、Q14、Q27、Q28 のシルク枠線が間違っています。正しくは図 1 中、“B”の表記があるピンが B(ベース)ピンです。トランジスタのピンは図 2 のようになっています。間違いないように接続してください。



図 2. トランジスタのピン接続

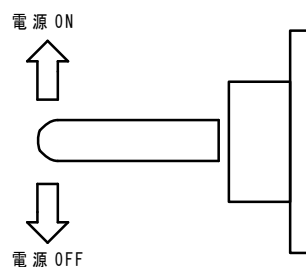


図 3. 電源スイッチの構成

4. 電源ラインおよび電源スイッチと SSR の接続

本製品は短絡型のスピーカー保護回路を搭載しており、スピーカー端短絡保護時に、ソリッドステートリレー（SSR）を使用して AC100V 電源入力を遮断して電源を OFF します。この機能を実現するために、電源オンと電源オフにモメンタリー（瞬時）スイッチを使用しています。これは図 3 に示すようにレバーがセンター位置（中立）となっていて、上方向に倒すと電源オン、下方向に倒すと電源オフとなるように設計しています。添付資料① 全体構成図を参照して、本基板と、電源、電源スイッチおよび SSR 基板を接続します。スイッチは押している間だけオンするプッシュスイッチ 2 個でも代用可能です。

5. 通電と調整

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 電源スイッチを上方向に 0.5 秒ほど倒して、電源をオンします。基板上の LED を確認して電源が供給されていることを確認します。
- ② 電源スイッチから手を放すと、自動的に電源がオフします。これは保護回路が正しく働いている状態です。
- ③ アンプ基板の左右両方のスピーカー出力端子に、 8Ω のダミーロードを接続し、まずは左チャンネルのダミーロードの両端（アンプ出力）に電圧計（テスター）を接続します。

【注記】ダミーロードがない状態では調整できません。必ず左右両方に接続してください。

- ④ RV1、RV2 をセンター位置にセットします。
- ⑤ 再度電源スイッチを上方向に倒して電源をオンします。このときすぐに電源がオフされるようなら、電源スイッチをオン側に倒したまま電圧計で出力電圧を見ながら 0V になるように RV1 を調整し、同じく右チャンネルの出力が 0V になるように RV2 を調整します。
- ⑥ 左右チャンネルの 0V 調整ができれば、電源スイッチから手を放しても電源オン状態を維持することを確認します。

- ⑦ トランジスタの温度が上昇し、状態が安定するまで 15 分から 30 分程度かけて、繰り返し 0V 調整してください。

もし調整がうまく行かない場合は、部品間違いやはんだ洩れ、ブリッジ、また SSR 基板を含む全体の電源配線が正しいかどうかをもう一度よく確認してください。

6. 終段トランジスタのアイドリング電流の確認と調整

本アンプは終段トランジスタのアイドリング電流が無調整で約 1.1A~1.2A 程度になるように設計されています。R13（左チャンネル）と R27（右チャンネル）の両端電圧が、電源投入後 10 分程度経過した時点で 0.5~0.6V になっていれば OK です。

※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

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

8Ωスピーカ使用時の最大出力とアイドリング電流の目安は次のとおりです。

- ・ 25W の場合 → アイドリング 1.25A (R13、R27 両端 0.59V)
- ・ 20W の場合 → アイドリング 1.1A (R13、R27 両端 0.52V)
- ・ 16W の場合 → アイドリング 1A (R13、R27 両端 0.47V)

アイドリング電流を調整したい場合は、R8、R9、R22、R23（36Ω）を変更します。この抵抗を減らすとアイドリング電流は増え、抵抗を増やすとアイドリング電流は減少します。抵抗値を一段変更（33Ωまたは 39Ω）すると、アイドリング電流はおよそ 8%~10%増減します。

アイドリング電流の確認ができれば、最後にもう一度ダミーロードの両端電圧を確認します。0.2V 以内に収まっていれば OK です。

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。今回使用したイータ社製 BNC24SA-U は 24V3.5A スイッチングレギュレータで、パワーは余裕がありますが、アンプ基板近くに配置すると 50Hz 系の放射ノイズの影響が出ますので、アンプ基板からは離して配置するといいいでしょう（今回の製作例は電源と基板の距離が近

く、あまりよくない例)。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3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。もし使用時に頻繁に切れるようでしたら、4Aか5Aに変更します。

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電解コンデンサとフィルムコンデンサを搭載しています。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 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。

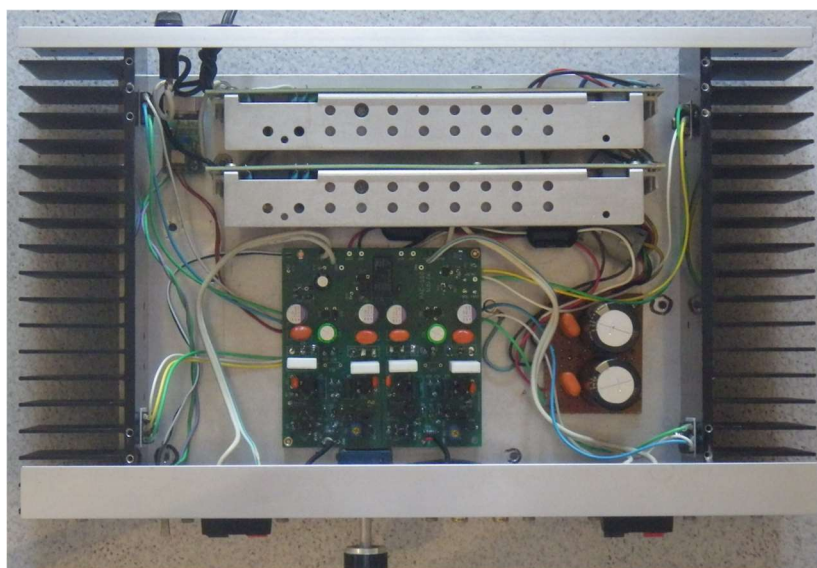


写真 3. シャーシ組み込みの様子

⑥ 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、このヒートシンクを使ってアイドリング電流 1.17A を流すと、このヒートシンク (60 x 55 x 230) はおおむね 60°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 65~70°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・1.17A なら 28W として 28°C、するとジャンクション温度は 70°C + 28°C で 98°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 60℃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も 65℃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。

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 1.17A（最大 22W）での特性です。

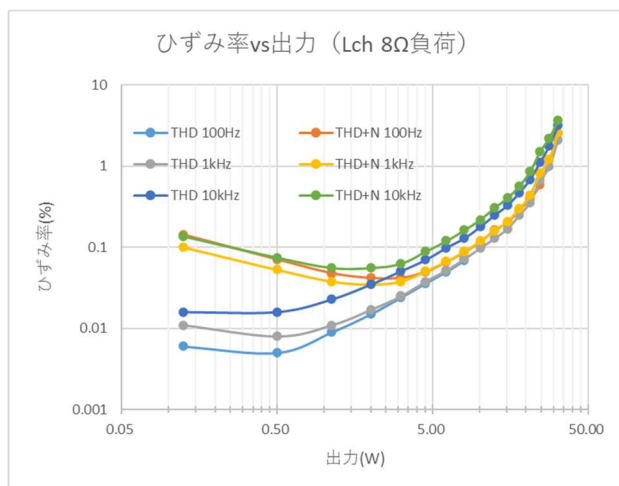


図 4. THD および THD+N

THD+N はボトムで 0.04%程度、10W で 0.3%程度。

表 3. 出力インピーダンス

周波数	出力インピーダンス	
	Lch	Rch
100Hz	970Ω	970Ω
1kHz	1.4 k Ω	1.3kΩ
10kHz	425Ω	380Ω

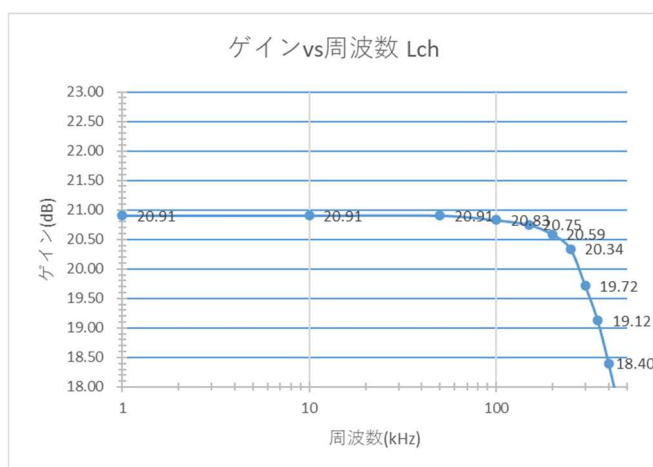


図 5. 周波数特性 -3dB 特性は 0～約 450kHz。

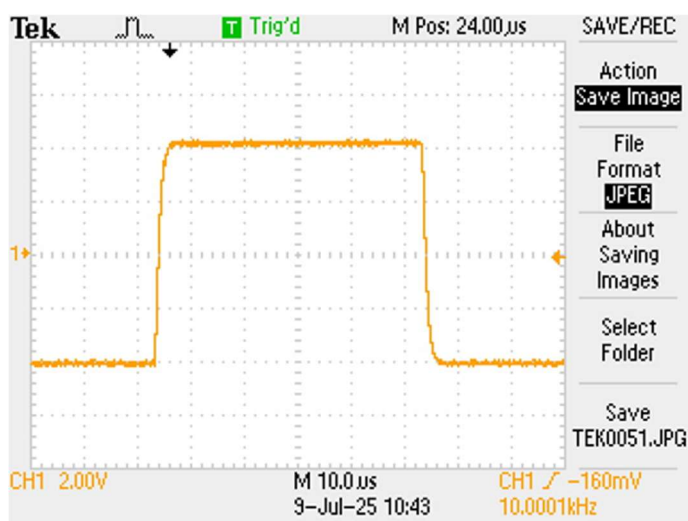
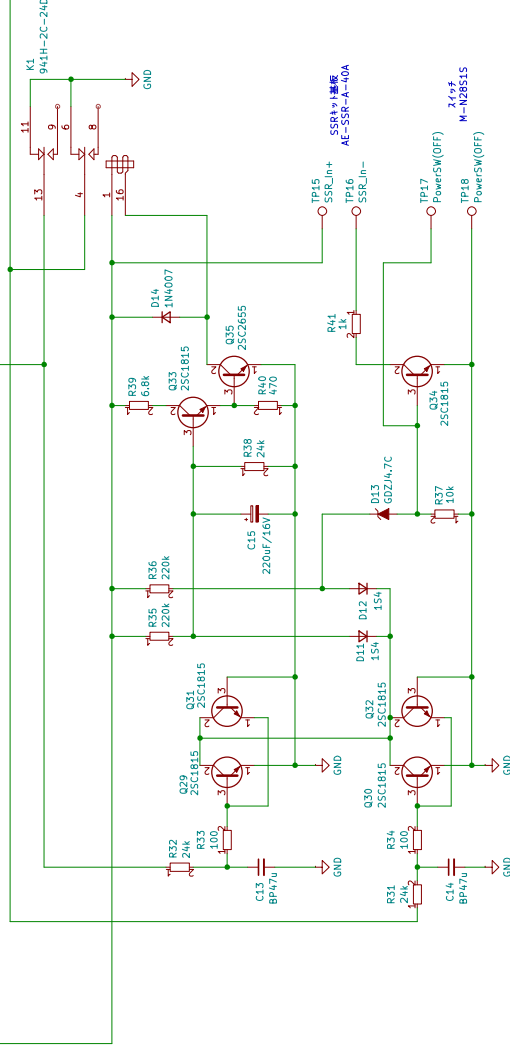
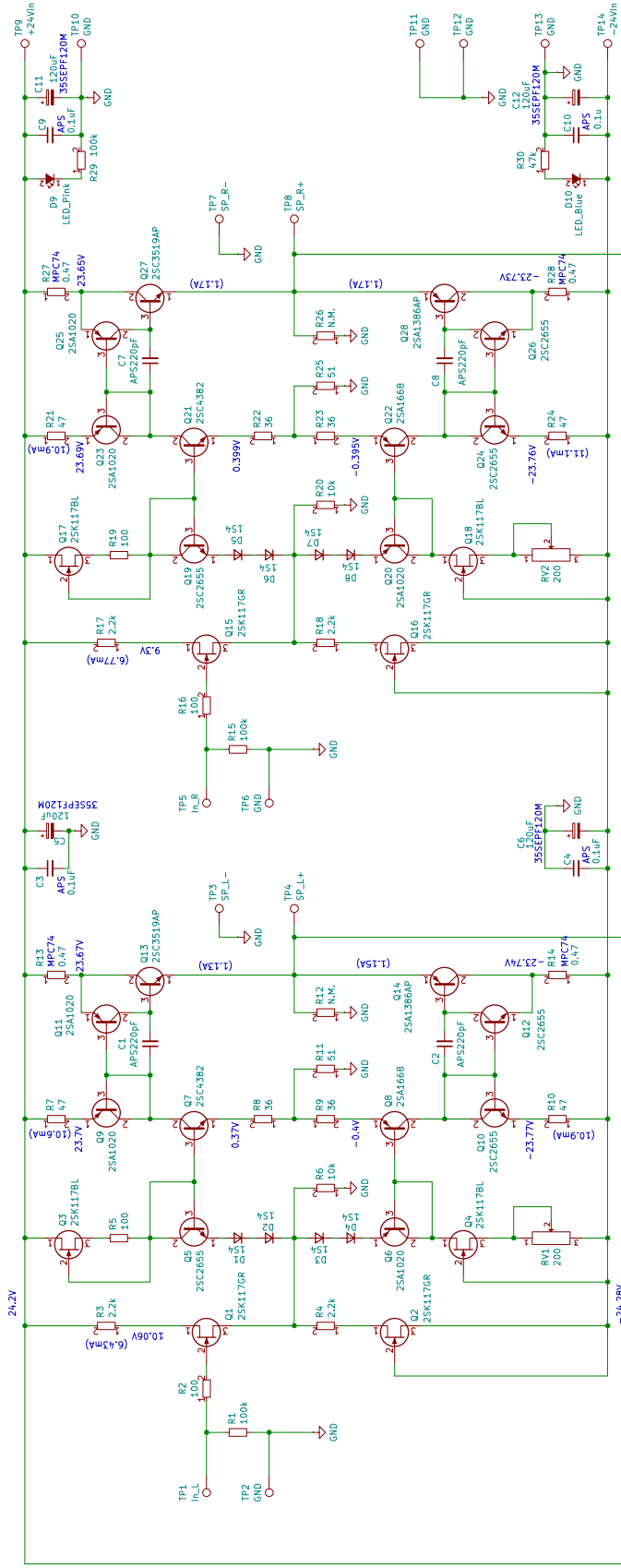


図 6. 10kHz 4Vp-p 8Ω負荷 矩形波出力
矩形波にひずみが見られないため、位相補償は不要。

表 4. プロテクト動作電圧

L	0.52V	-0.87V
R	0.52V	-0.87V



- ① Q1,Q2 および Q15,Q16 は IDSS ペア
- ② Q3,Q4 および Q17,Q18 は IDSS ペア
- ③ Q9,Q11 および Q23, 25 は Hfe ペア
- ④ Q10,Q12 および Q24, 26 は Hfe ペア
- ⑤ Q7,Q8 および Q21,Q22 は コンブリメンタリペア
- ⑥ Q13,Q14 および Q27,Q28 は コンブリメンタリペア

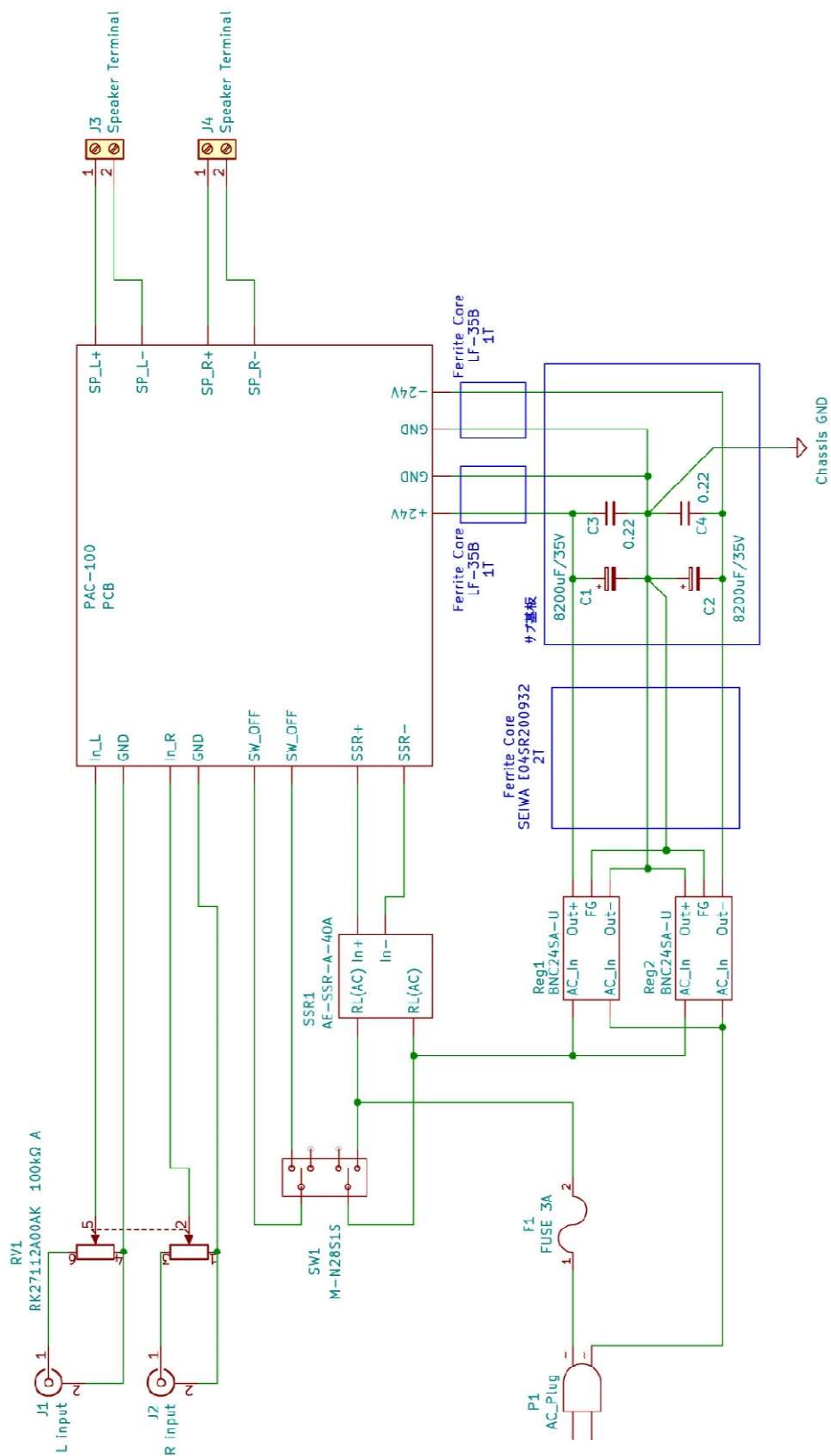
- a. Q1,Q2 と Q15,Q16 はそれぞれ熱結合
- b. Q9,Q11 と Q23,Q25 はそれぞれ熱結合
- c. Q10,Q12 と Q24,Q26 はそれぞれ熱結合

PAC-100部品表

部品番号	種類	型名・値	型番・備考	数量	備考・入手先
R8,R9,R22,R23	1/4W抵抗	36	RLC25FY	4	千石電商
R7,R10,R21,R24	1/4W抵抗	47	RLC25FY	4	千石電商
R11,R25	1/4W抵抗	51	RLC25FY	2	千石電商
R2,R5,R16,R19,R33, R34	1/4W抵抗	100	RLC25FY	6	千石電商
R40	1/4W抵抗	470	RLC25FY	1	千石電商
R41	1/4W抵抗	1k	RLC25FY	1	千石電商
R3,R4,R17,R18	1/4W抵抗	2.2k	RLC25FY	4	千石電商
R39	1/4W抵抗	6.8k	RLC25FY	1	千石電商
R6,R20,R37	1/4W抵抗	10k	RLC25FY	3	千石電商
R31,R32,R38	1/4W抵抗	24k	RLC25FY	3	千石電商
R30	1/4W抵抗	47k	RLC25FY	1	千石電商
R1,R15,R29	1/4W抵抗	100k	RLC25FY	3	千石電商
R35,R36	1/4W抵抗	220k	RLC25FY	2	千石電商
D9	LED	Pink		1	
D10	LED	Blue		1	
D1,D2,D3,D4,D5, D6,D7,D8,D11,D12	ダイオード	1S4		10	秋月電子通商
D13	ツェナーダイオード	GDZJ4.7C		1	秋月電子通商
D14	ダイオード	1N4007		1	秋月電子通商
Q1,Q2,Q15,Q16	JFET	2SK117GR		4	
Q3,Q4,Q17,Q18	JFET	2SK117BL		4	
Q5,Q10,Q12,Q19, Q24,Q26,Q35	トランジスタ	2SC2655		7	秋月電子通商
Q6,Q9,Q11,Q20, Q23,Q25	トランジスタ	2SA1020		6	秋月電子通商
Q29,Q30,Q31,Q32, Q33,Q34	トランジスタ	2SC1815		6	秋月電子通商
Q7,Q21	トランジスタ	2SC4382		2	秋月電子通商
Q8,Q22	トランジスタ	2SA1668		2	秋月電子通商
Q13,Q27	トランジスタ	2SC3519AP		2	若松通商
Q14,Q28	トランジスタ	2SA1386AP		2	若松通商
C1,C2,C7,C8	フィルムコンデンサ	220pF	APS100J221	4	若松通商
C3,C4,C9,C10	フィルムコンデンサ	0.1uF	APS100J104	3	若松通商
C5,C6,C11,C12	OSコンデンサ	120uF	35SEPF120M	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	220uF/16V	16PX220MEFC6.3X11	1	秋月電子通商
R13,R14,R27,R28	金属板抵抗	0.47	MPC74-0.47ohmJ	4	秋月電子通商
K1	リレー	941H-2C-24D		1	秋月電子通商
RV1,RV2	半固定VR	200	GF063P B201K	2	秋月電子通商
SSR1 (※)	SSR基板		AE-SSR-A-40A	1	秋月電子通商
SW1 (※)	電源スイッチ		M-N28S1S	1	モノタロウ
※	伝熱シート		TC-30BG TO-220	4	千石電商
R12,R26		N.M.		2	

※は基板外使用

添付資料① 全体構成図



添付資料② 参考部品表

部品番号	種類	型名・値	入手先	備考
P1	AC_Plug	AC_Plug		
C1,C2	電解コンデンサ	8200uF/35V		
C3,C4	フィルムコンデンサ	0.22uF		
F1	ヒューズ	FUSE 3A		
J1,J2	RCAジャック			
J3,J4	スピーカーターミナル			
Reg1,Reg2	スイッチング電源	BNC24SA-U	若松通商	
RV1	VR 100kΩ A	RK27112A00AK	若松通商	
PAC-100	アンプ基板	PCB		

添付資料③ 基板寸法図

