

# 無帰還 CR 型フォノイコライザ NFB\_EQA-000

## 製作マニュアル

2025/5/13 Rev.0.00

SLDJ 合同会社

好評の無帰還アンプ回路を前後段に使用した、CR 型フォノイコライザアンプ基板です。カートリッジは DL-103 を想定していますが、MM カートリッジにも対応できるよう、ジャンパ設定により 1kHz ゲインが 46dB と 26dB から選択できます。また入力負荷抵抗もジャンパ設定により 47kΩ および 220Ω のいずれかが選択できるようになっています。

基板上に ±12V のレギュレータが搭載されているため、入力可能な電源電圧は 16V～24V 程度と、製作自由度が高い設計となっています。

### 1. 部品収集

部品表にしたがって部品を集めます。部品表は基板 1 枚分となっています。ステレオで製作する場合には基板 2 枚分が必要です。

半導体は基板 1 枚につき 12 組のペア取りおよび 14 組の熱結合が必要です。半導体デバイスは表 1 のペア組基準によって収集します。

表 1. 半導体デバイスのペア組基準

型番	リファレンス	選別基準	備考
2SK117GR	Q1,Q2	IDSS=4～6mAの範囲内でそろえる	
	Q17,Q18	IDSS=4～6mAの範囲内でそろえる	
2SK117BL	Q3,Q4	IDSS=8～12mAの範囲内でそろえる	
2SK117BL	Q19,Q20	IDSS=8～12mAの範囲内でそろえる	
2SC2240	Q7	Hfeをそろえる (Hfe>200ならラフでOK)	プッシュプルペア
2SA970	Q8		
2SC2240	Q23	Hfeをそろえる (Hfe>200ならラフでOK)	プッシュプルペア
2SA970	Q24		
2SA1020	Q9,Q11	Vbeをそろえる	カレントミラーペア
2SC2655	Q10,Q12		
2SA1020	Q25,Q27	Vbeをそろえる	カレントミラーペア
2SC2655	Q26,Q28		
2SC2655	Q15	Hfeをそろえる	プッシュプルペア
2SA1020	Q16		
2SC2655	Q31	Hfeをそろえる	プッシュプルペア
2SA1020	Q32		

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。

## 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を表 2 に示します。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。

表 2. 熱結合組み合わせ

2SK117GR	Q1,Q2	Q17,Q18
2SC2240	Q5,Q7	Q21,Q23
2SA970	Q6,Q8	Q22,Q24
2SA1020	Q9,Q11	Q25,Q27
2SC2655	Q10,Q12	Q26,Q28
2SC2655	Q13,Q15	Q29,Q31
2SA1020	Q14,Q16	Q30,Q32



写真 1. 熱結合の様子

## 3. 部品実装

※nNFB\_EQA-000（初期バージョン）では、次の通りシルクに間違いがあります。実装作業を始める前に必ずご確認ください。

①R10,R15 のシルクが逆になっています。正しくは、

- ・ R15 は Q7 と Q11 の間に配置
- ・ R10 は C2 と C3 の間に配置

②電源入力端子のシルクが”+12V”および”-12V”となっておりますが、正しくはそれぞれ”+VCC”、”-VCC”です。

③たて配置の抵抗のリード向きが逆になっています。動作上は問題ありませんが、信号確認や測定を行う場合に不便な場合があるため、次の通り実装することをおすすめします。

- ・ 通常、シルクに対する抵抗の実装は図 1 のようになります。
- ・ 今回はシルクの向きが間違っているため、すべての抵抗において図 2 のように実装することをおすすめします。

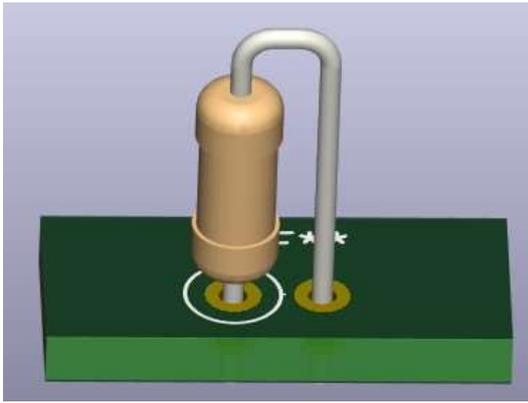


図 1. 通常の実装方向

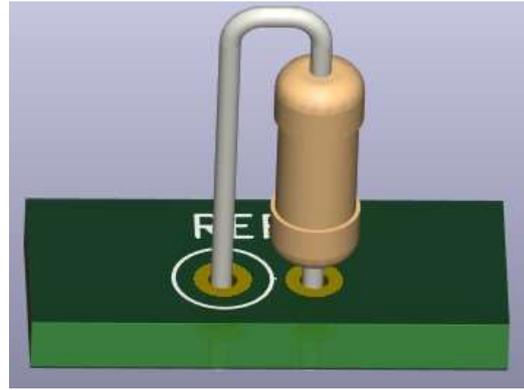


図 2. 今回おすすめの実装方向

-----シルク間違いによる注記はここまでです。

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。実装完成の様子を図 3 に示します。

【注記】本機では音質改善効果を見込んで R1 (470kΩ) を介してカートリッジに微小な直流電流を印加しています。これを行わない場合は R1 は未実装としてください。

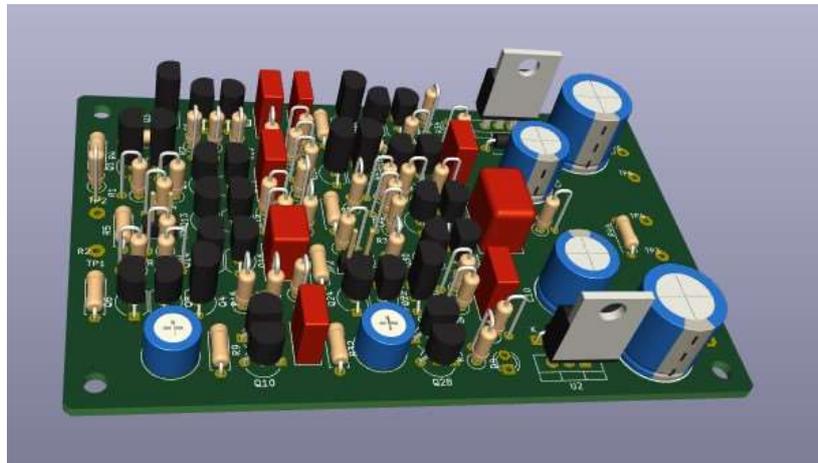


図 3. 実装完成

#### 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、次の手順で電源の接続チェックをします。

- ① Input-GND 間をリード線でショートし、+VCC、-VCC、GND を供給します (Ver000 では誤シルクにより、+VCC→+12V、-VCC→-12V)。±VCC はおおむね 15~24V の範囲であれば OK です。
- ② D3,D4 の各 LED が正常に点灯し、異常に発熱している部品がないか確認してください。もし異常

があれば、直ちに電源を OFF して、部品間違い、はんだ不良、はんだブリッジ、電源誤接続等がないか再度確認してください。

- ③ R18,R19 の接続点の電位が 0V になるように RV1 を調整します。
- ④ R41,R42 の接続点の電位が 0V になるように RV2 を調整します。

以上で調整は完了です。調整が完了したら Input-GND 間のショートリードを外してください。

表 3. ジャンパ設定

		オープン	ショート
JP1	入力抵抗設定	47kΩ	220Ω
JP2	ゲイン設定	46dB	26dB

## 5. ジャンパ設定

JP1、JP2 のジャンパ設定により、入力抵抗とゲインが選択できます。設定内容を表 3 に示します。DL-103 および同等スペックの MC カートリッジを使用する場合は、JP1,JP2 ともにオープンで使用します。必要に応じてゲインや入力抵抗を変更して使用することができます。

## 6. 組み立て例

作者が実際にこの基板を使って組み立てたフォノイコライザアンプを紹介합니다。参考にしてください。試作品を写真 2 に示します。アクリル筐体はトランジスタ技術で販売した SSDAC のものを流用しました。

参考資料として、全体の構成図と、部品表を添付します。

### ① 電源トランス

この基板は±電源とも 1 枚あたり約 70mA 程度の消費電流となっています。従ってステレオでの消費電力は、 $12 \times 2 \times 0.07 \times 2 = 3.36\text{W}$  となりますので、±12V (5W) ~ ±18V (10W) 程度の電源トランスを使用できます。試作では RS コンポーネンツの 671-9050 番を使用しました。

### ② 整流用ブリッジダイオード

ノイズの観点から、ショットキーダイオードのブリッジを選択しました。



写真 2. 試作品

## 7. 諸特性

以下にこのフォノイコライザ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よって左右されますので、参考程度としてください。

### ① フラットアンプ特性

本イコライザアンプは、フラットアンプ(35dB) - CR型 RIAA 回路 - フラットアンプ(35dB) という構成になっています。以下にフラットアンプ単段の特性を示します。

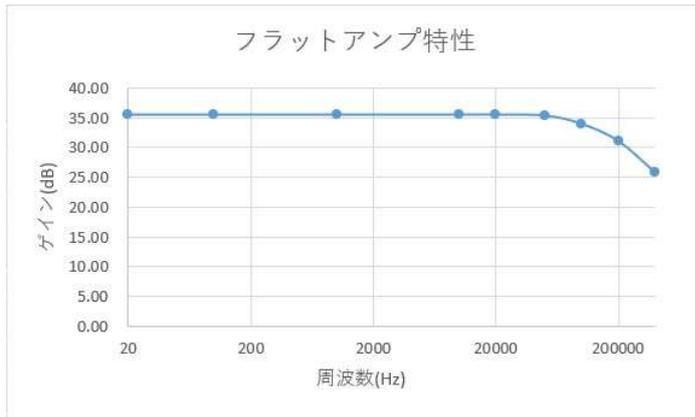


図 4. フラットアンプ周波数特性

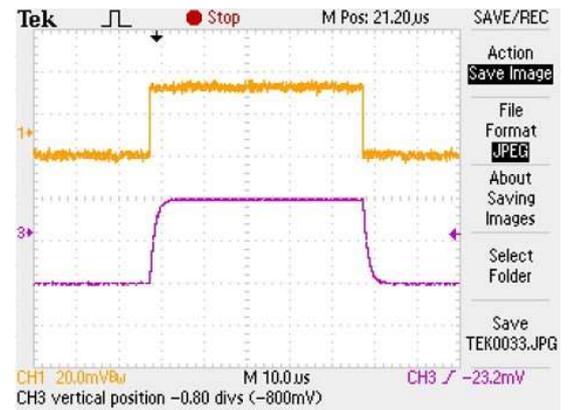


図 5. 方形波応答

(上段:入力、下段:出力 2Vp-p、10kHz)

図 4 はゲイン周波数特性です。-3dB 周波数はおよそ 200kHz です。図 5 は方形波応答です。波形の乱れは発生していません。

表 3. 周波数ごとのひずみ特性

	周波数(Hz)	入力(mVpp)	出力(mVpp)	THD(%)	THD+N(%)
Lch	100	36.8	2200	0.015	0.063
	1k	36.8	2200	0.011	0.072
	10k	36.8	2200	0.027	0.074
Rch	100	36.8	2020	0.012	0.065
	1k	36.8	2040	0.011	0.062
	10k	36.8	2280	0.035	0.071

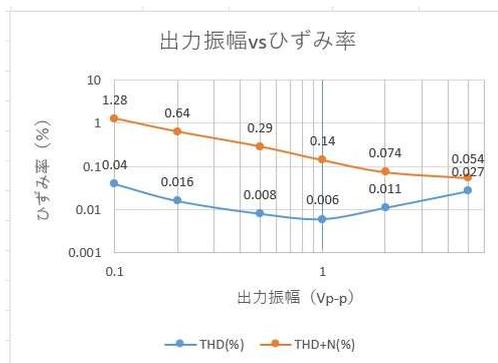


図 6. 出力振幅 vs ひずみ率 (Lch)

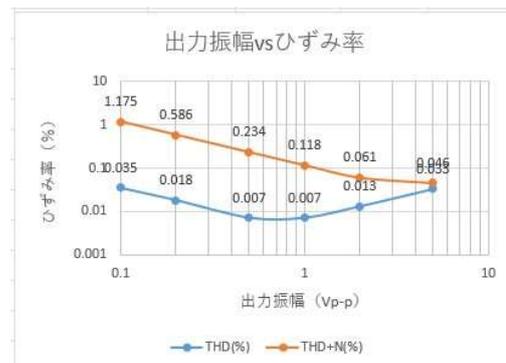


図 7. 出力振幅 vs ひずみ率 (Rch)

表3は100Hz、1kHz、10kHzにおける出力2Vp-pにおけるひずみ率です。THD+Nで0.07%程度となっています。図6、図7は1kHzにおける出力振幅 vs ひずみ率です。

また、クリップレベルはおよそ16Vp-pです。

② RIAA 特性

表4に本フォノイコライザアンプの RIAA 特性の実測値を示します。

表4. RIAA 特性実測値

	周波数(Hz)	入力(mV)	出力(mV)	ゲイン(dB)	1kHz正規化 ゲイン	RIAA理論ゲイン (1kHz正規化)	誤差(dB)
Lch	10	23.2	4480	45.716	19.695	19.743	-0.047
	20	23.2	4280	45.319	19.299	19.274	0.024
	50	23.2	3320	43.113	17.092	16.946	0.147
	100	36.8	3240	38.894	12.873	13.089	-0.215
	200	36.8	1880	34.166	8.146	8.220	-0.074
	500	36.8	984	28.543	2.522	2.648	-0.125
	1000	36.8	736	26.021	0.000	0.000	0.000
	2000	36.8	560	23.647	-2.374	-2.589	0.215
	5000	36.8	292	17.991	-8.030	-8.210	0.180
	10000	36.8	156	12.546	-13.475	-13.734	0.259
	20000	36.8	80	6.745	-19.276	-19.620	0.345
	30000	36.8	52.8	3.136	-22.885	-23.117	0.232
Rch	10	23.2	4480	45.716	19.790	19.743	0.048
	20	23.2	4280	45.319	19.393	19.274	0.119
	50	23.2	3320	43.113	17.187	16.946	0.242
	100	36.8	3280	39.001	13.075	13.089	-0.014
	200	36.8	1880	34.166	8.241	8.220	0.021
	500	36.8	984	28.543	2.617	2.648	-0.030
	1000	36.8	728	25.926	0.000	0.000	0.000
	2000	36.8	544	23.395	-2.531	-2.589	0.058
	5000	36.8	280	17.626	-8.299	-8.210	-0.090
	10000	36.8	150	12.205	-13.721	-13.734	0.013
	20000	36.8	76	6.299	-19.626	-19.620	-0.006
	30000	36.8	51.2	2.868	-23.057	-23.117	0.059

各チャンネルの誤差の最大値を赤字で示しています。Lchで0.345dB(20kHz)、Rchで0.242dB(50Hz)がそれぞれ最大値となりました。

参考のため、本回路をLTSPICEでシミュレーションした場合の RIAA 偏差を表5に示します。

表 5. LTSPICE によるシミュレーションにおける RIAA 偏差

周波数	LTSPICE	正規化	RIAA理論値	誤差
Hz	dB	dB	dB	dB
20	64.733	19.312	19.274	<b>0.038</b>
50	62.379	16.957	16.946	<b>0.011</b>
100	58.491	13.069	13.089	<b>-0.019</b>
200	53.615	8.193	8.220	<b>-0.026</b>
500	48.055	2.633	2.648	<b>-0.014</b>
1k	45.422	0.000	0.000	<b>0.000</b>
2k	42.852	-2.570	-2.589	<b>0.018</b>
5k	37.247	-8.174	-8.210	<b>0.035</b>
10k	31.713	-13.709	-13.734	<b>0.025</b>
20k	25.785	-19.637	-19.620	<b>-0.016</b>

#### 7. 使用上の注意

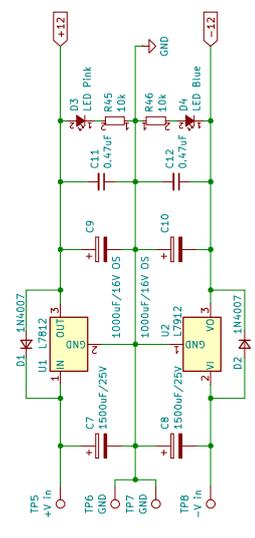
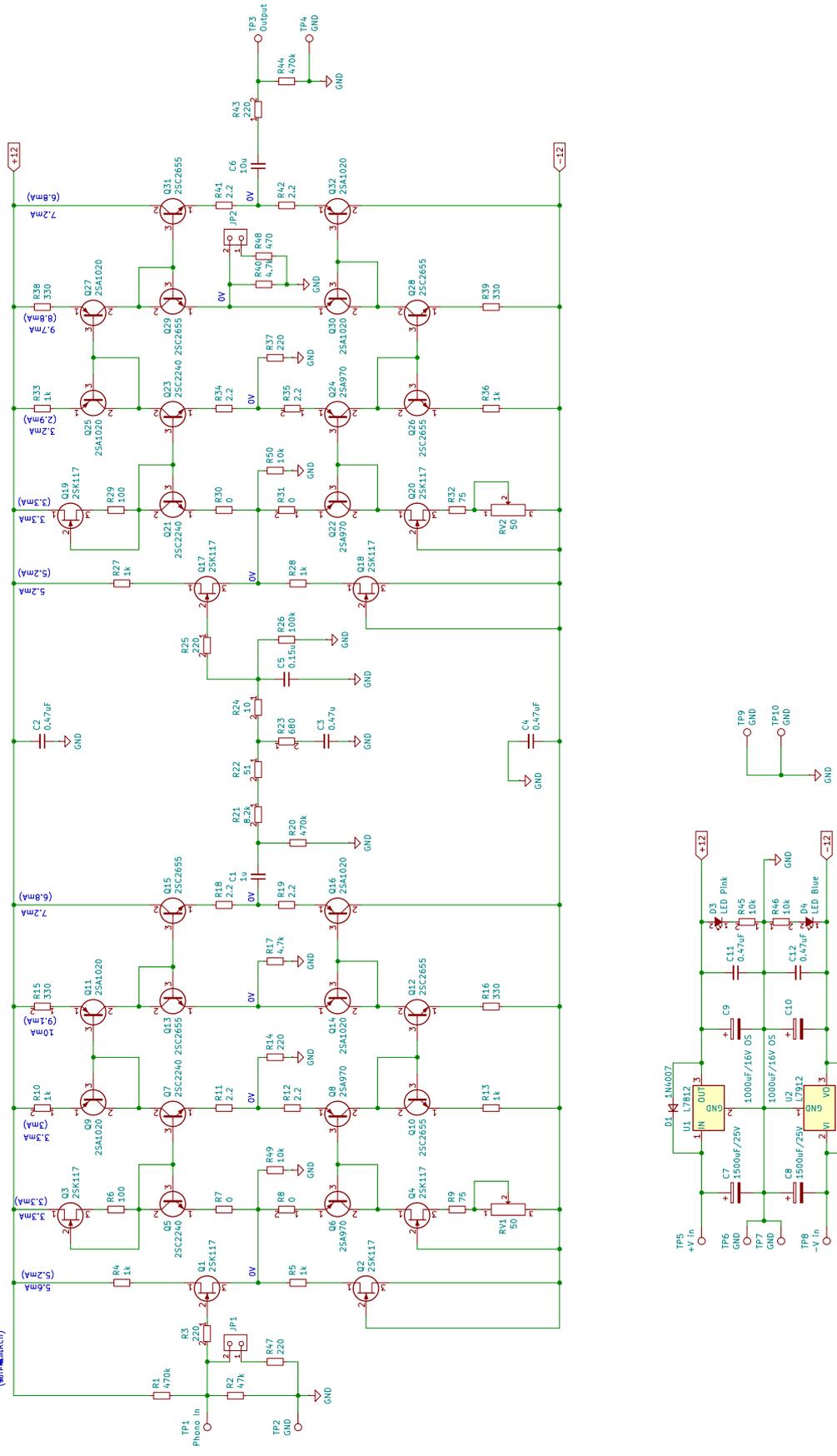
本機は電源投入時にポップノイズが発生しますので、本機電源の ON/OFF は必ずパワーアンプを OFF してから行ってください。

#### 8. 添付資料

次頁以降に次の資料を添付します。

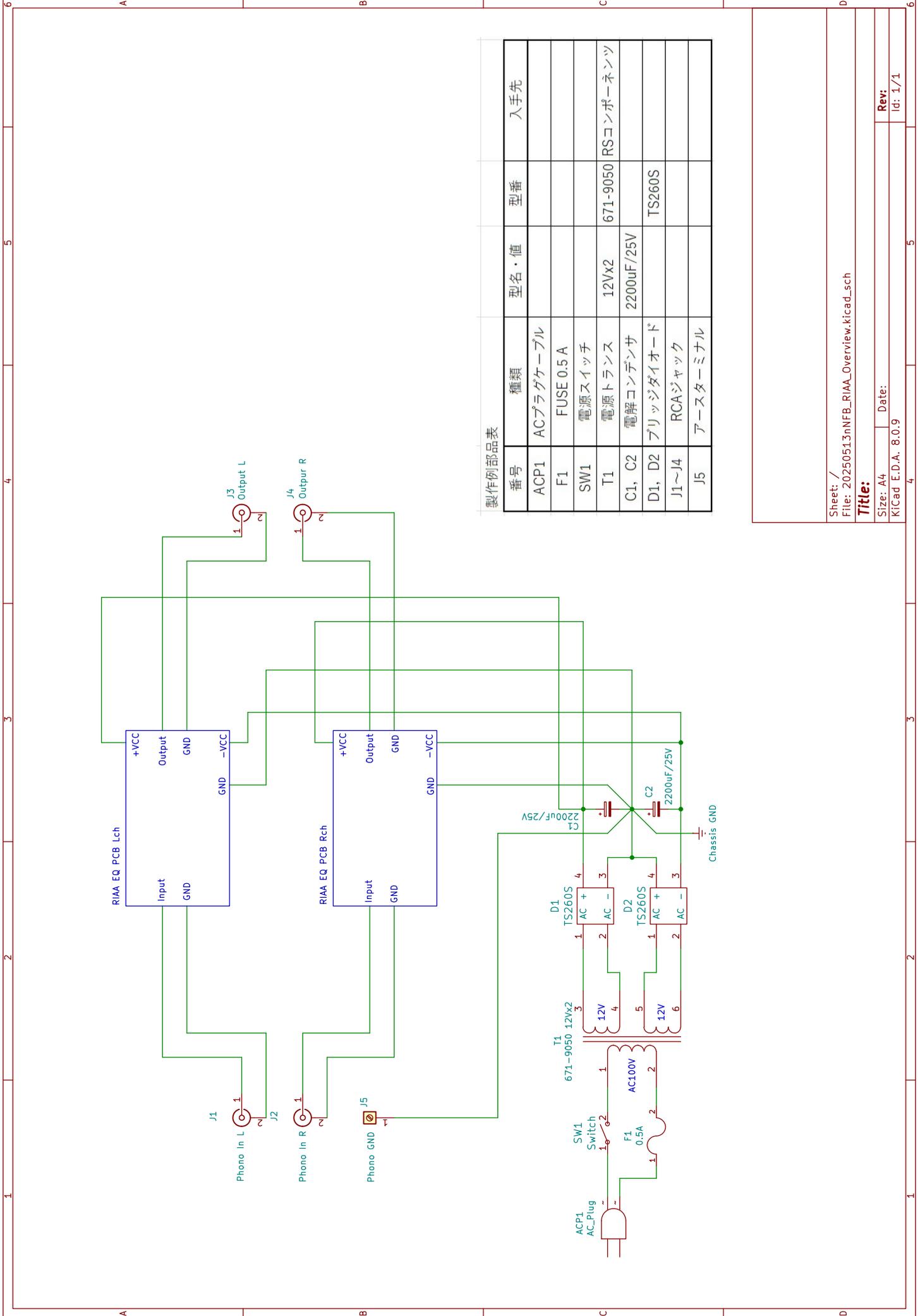
- ・基板回路図
- ・基板部品表
- ・製作例回路図および部品表

動作電源 Lch  
(動作電源Rch)



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
R7,R8,R30,R31	1/4W抵抗	0Ω	ジャンパ線を実装	4	
R11,R12,R18,R19, R34,R35,R41,R42	1/4W抵抗	2.2Ω	RLC25FY	8	千石電商
R24	1/4W抵抗	10Ω	RLC25FY	1	千石電商
R22	1/4W抵抗	51Ω	RLC25FY	1	千石電商
R9,R32	1/4W抵抗	75Ω	RLC25FY	2	千石電商
R6,R29	1/4W抵抗	100Ω	RLC25FY	2	千石電商
R3,R14,R25,R37, R43,R47	1/4W抵抗	220Ω	RLC25FY	6	千石電商
R15,R16,R38,R39	1/4W抵抗	330Ω	RLC25FY	4	千石電商
R48	1/4W抵抗	470Ω	RLC25FY	1	千石電商
R23	1/4W抵抗	680Ω	RLC25FY	1	千石電商
R4,R5,R10,R13, R27,R28,R33,R36	1/4W抵抗	1kΩ	RLC25FY	8	千石電商
R17,R40	1/4W抵抗	4.7kΩ	RLC25FY	2	千石電商
R21	1/4W抵抗	8.2kΩ	RLC25FY	1	千石電商
R49,R50	1/4W抵抗	10kΩ	RLC25FY	2	千石電商
R45,R46	1/4W抵抗	10kΩ	RLC25FY	2	LEDの明るさに応じて
R2	1/4W抵抗	47kΩ	RLC25FY	1	千石電商
R26	1/4W抵抗	100kΩ	RLC25FY	1	千石電商
R1,R20,R44	1/4W抵抗	470kΩ	RLC25FY	3	千石電商
D1,D2	ダイオード	1N4007		2	秋月電子通商
D3	LED	Φ3LED Pink		1	
D4	LED	Φ3LED Blue		1	
JP1,JP2	ピンヘッダ	2.54ピッチ 2ピン		2	必要に応じてジャンパピンも用意
RV1,RV2	半固定抵抗	50Ω	GF063P B500K	2	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,Q21,Q23	トランジスタ	2SC2240		4	秋月電子通商
Q6,Q8,Q22,Q24	トランジスタ	2SA970		4	秋月電子通商
Q10,Q12,Q13,Q15, Q26,Q28,Q29,Q31	トランジスタ	2SC2655		8	秋月電子通商
Q9,Q11,Q14,Q16, Q25,Q27,Q30,Q32	トランジスタ	2SA1020		8	秋月電子通商
C1	フィルムコンデンサ	1uF	WIMA MKS2	1	千石電商
C2,C3,C4,C11,C12	フィルムコンデンサ	0.47uF	WIMA MKS2	5	千石電商
C5	フィルムコンデンサ	0.15u	WIMA MKS2	1	千石電商
C6	フィルムコンデンサ	10u	WIMA MKS2	1	桜屋電機店
C7,C8	電解コンデンサ	1500uF/25V	25ZLH1500MEFC12.5X20	2	秋月電子通商
C9,C10	電解コンデンサ	1000uF/16V OS	16SEPF1000M	2	秋月電子通商
U1	レギュレータ	NJM7812	同等代替品可	1	秋月電子通商
U2	レギュレータ	LM7912	同等代替品可	1	秋月電子通商



製作例部品表

番号	種類	型名・値	型番	入手先
ACP1	ACプラグケープル			
F1	FUSE 0.5A			
SW1	電源スイッチ			
T1	電源トランス	12Vx2	671-9050	RSコンポーネッツ
C1, C2	電解コンデンサ	2200uF/25V		
D1, D2	ブリッジダイオード		TS260S	
J1~J4	RCAジャック			
J5	アースターミナル			

Sheet: /  
 File: 20250513nFB\_RIAA\_Overview.kicad\_sch

**Title:**

Size: A4  
 KiCad: E.D.A. 8.0.9  
 Date:  
 Rev:  
 Id: 1/1