

# OTLヘッドフォンアンプの設計



Rev.1 2025/07

馬場 和章  
(美音クラフト株式会社)

本紙は、パーソナル・オーディオに向けた、ヘッドフォンアンプを紹介しています。  
真空管ヘッドフォンアンプを製作する場合、特性の良い出力トランスの選択に迷います。また高価であることも  
悩みの種です。本機は、出力トランスを使用しないOTL方式を採用しています。  
また参考として、併用可能なトランスボックスを紹介しています。

## Contents

1. ヘッドフォンアンプの概要	Page 2
2. ブロックダイアグラム	Page 3
3. アンプ部の回路設計	Page 4
4. 電源部の回路設計	Page 6
5. 実装設計	Page 7
6. 基板設計	Page 8
7. (参考)トランスボックスの設計	Page 10

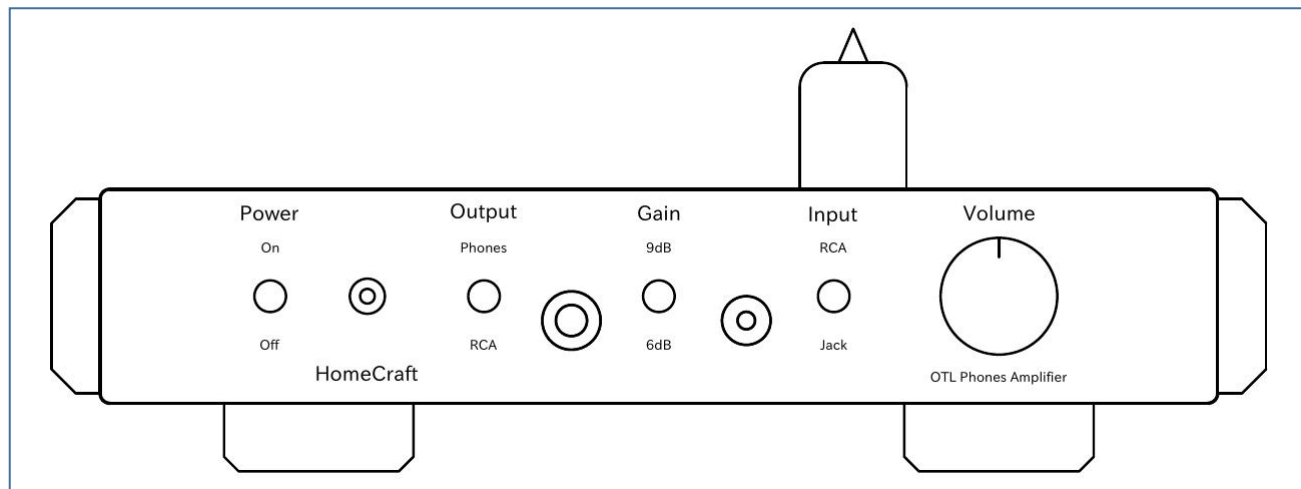
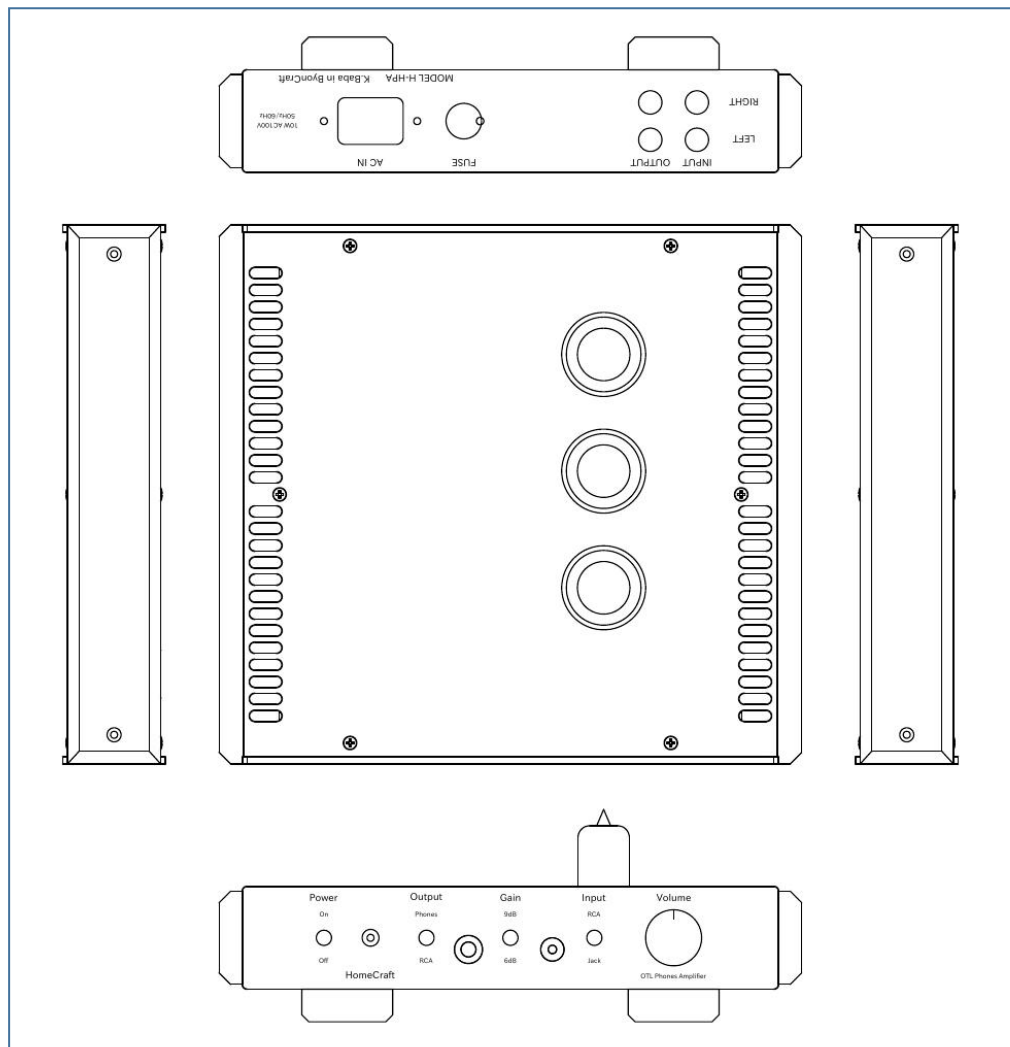
### ※ ご注意

本紙は、アンプの自作をなさる方の、ご参考にしていただくことを目的としています。  
本紙の無断転載や商用利用などの行為は、なさらないようお願いします。

## 1. ヘッドフォンアンプの概要

本機は、ハイ・インピーダンス・ダイナミック型ヘッドフォン専用です。低電圧動作管ECC88を採用し、3本（6ユニット）で構成しています。

一般的にスマートフォン等のヘッドフォン出力は出力電圧が低く、ハイ・インピーダンス・ヘッドフォンでは音圧不足となります。本機はそれを増強します。

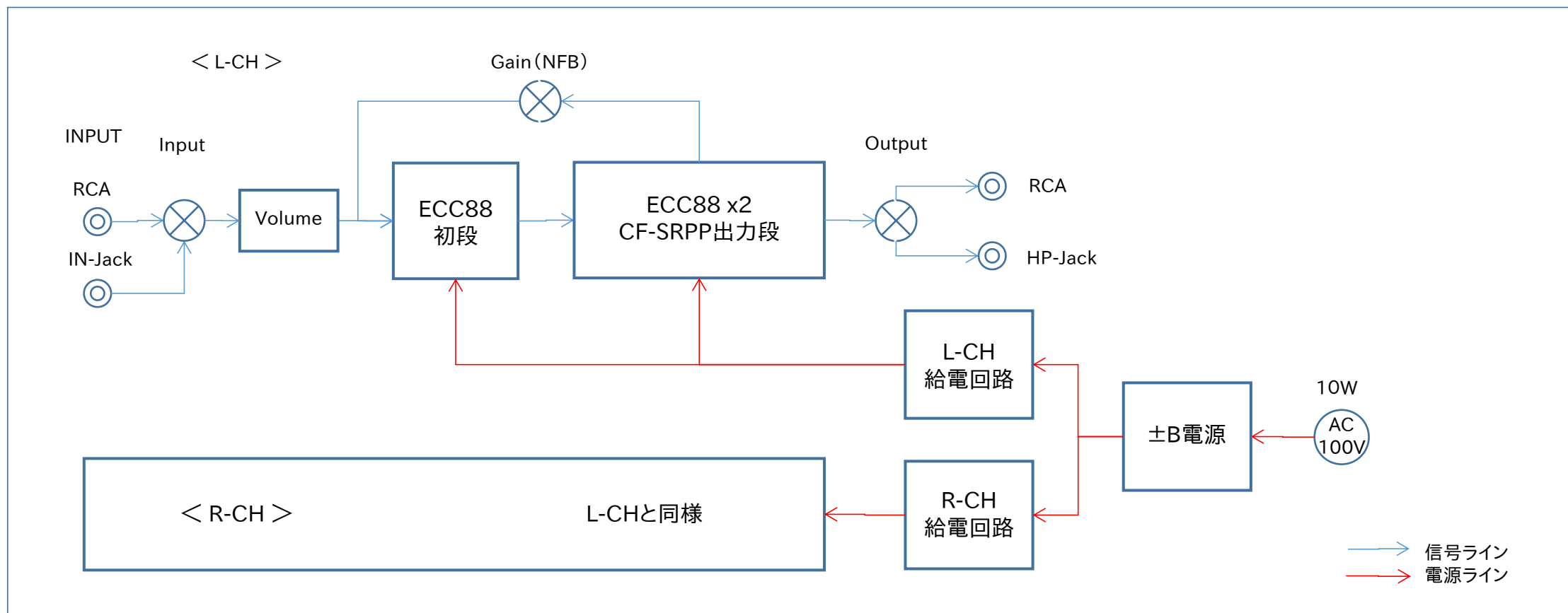


- 1) 適合するヘッドフォンは、インピーダンス100Ω以上のモデルです。
- 2) 定格出力は、100Ωにて10mW、200Ωにて20mW、300Ωにて30mWです。
- 3) 高出力ではありませんが、適切な音圧での聴取には十分な余裕があります。過大な音圧での聴取は、聴覚にダメージを与えるため厳に慎むべきです。
- 4) OTL/OCL方式ですので、出力は真空管回路に直結しています。電源ONから安定するまで、および電源OFF時は、ヘッドフォンと聴覚を保護するため出力スイッチの操作が必要です。
- 5) 使用中の出力へのDC漏れは、製作時の調整で十分小さくすることができます。
- 6) 本機をプリアンプとして使用する場合は、本機の電源ON後安定してから、パワーアンプの電源をONしてください。

OTL : Output Transformer Less    OCL : Output Capacitor Less

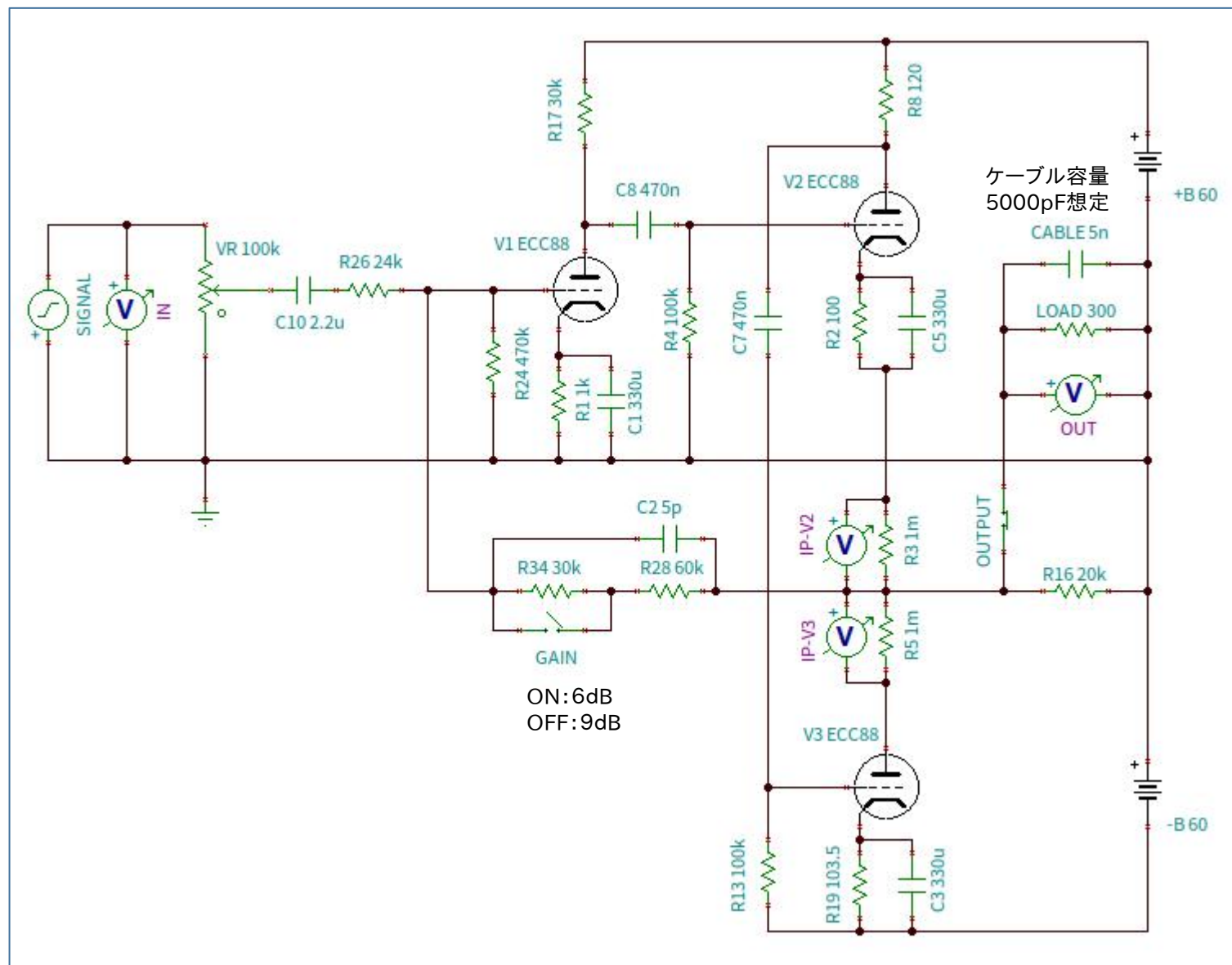
## 2. ブロックダイアグラム

下図にブロックダイアグラムを示します。グラウンドラインは省略しています。



- 入力、リアのRCAとフロントの3mmステレオジャックの2系統です。
- 出力は、リアのRCAとフロントの6mmステレオジャックの2系統です。
- 操作系は、入力切り替え、ボリューム、ゲイン切り替え(6dB/9dB)、出力切り替え、および電源スイッチです。
- 電源は、チャンネルごとに給電回路を設けて、チャンネル・セパレーションを確保しています。

### 3. アンプ部の回路設計(1/2)



アンプ部のシミュレーション回路図を示します。

#### 入力段

- 1) V1はゲイン27dBのカソード接地回路です。増幅段は単段なので、アンプ全体は反転アンプとなります。
- 2) 出力段より初段グリッドに帰還(21dB/18dB)を掛けて、仕上がりゲイン(6dB/9dB)を設定しています。
- 3) ボリュームはBカーブを使用します。ボリュームのインピーダンスも帰還回路に含まれるため、Aカーブ的な操作感となります。中点で25%です。(一般的なAカーブは中点で15%)

#### CF-SRPP出力段

- 1) 古くからプリアンプの出力回路などで使われてきたカソードフォロワー型SRPP回路です。電源を±2電源とすることで、入出力の電位をグランド電位としています。
- 2) V2は初段に励振されるカソードフォロワー回路です。
- 3) V3はV2のプレート抵抗に発生する電圧にて励振されるカソード接地回路です。
- 4) 本機では、V2のプレート抵抗を調整してV2とV3のAC動作電流を合わせることで、A級PP動作としています。
- 5) 出力のDCバランスは、V3のカソードバイアス抵抗で調整します。実装では調整用トリマーを入れています。

### 3. アンプ部の回路設計(2/2)

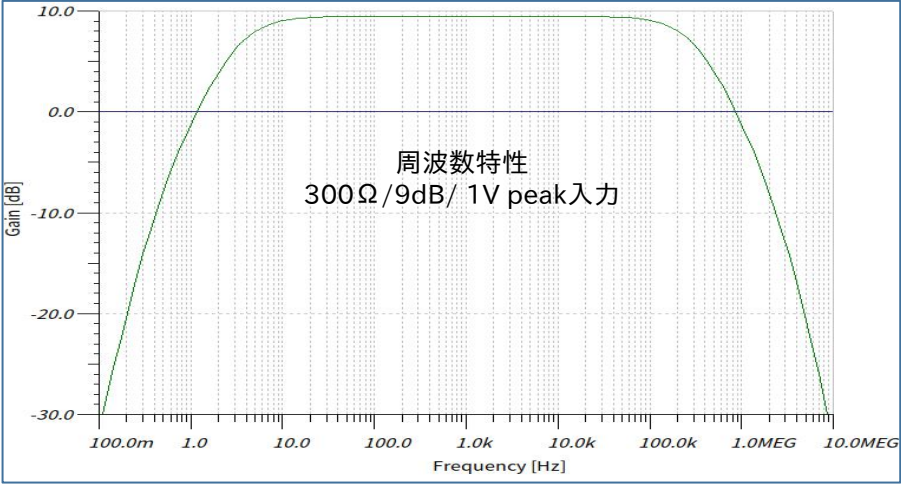
入出力特性(1kHz)を下表に示します。

- ・ ハイインピーダンス・ヘッドフォンを十分な電圧で駆動することが可能です。
- ・ 定格入力を超えるとカットオフに近い状態となり、PPバランスが崩れて歪が増大します。  
(SPL +dB は、ヘッドフォンの能率表示(1mW)に対する、出力音圧の余裕度を示しています。)

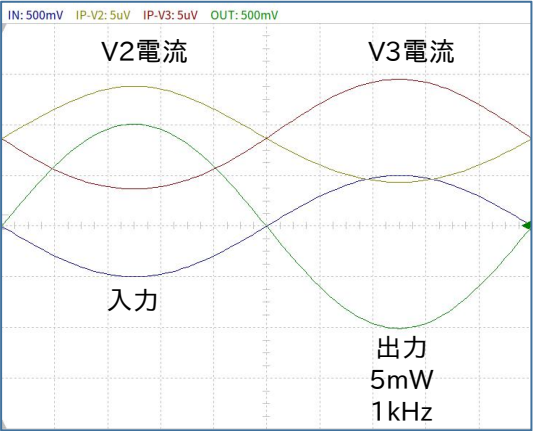
Load	100 ohm		200 ohm		300 ohm	
Gain SW	6dB			9dB		
DF	15.8	15.8	31.7	20.2	30.3	30.3
Zo ohm	6.3	6.3	6.3	9.9	9.9	9.9
In peak	0.500	0.700	1.000	1.000	1.000	1.414
In rms	0.354	0.495	0.707	0.707	0.707	1.000
Out rms	0.713	1.000	1.410	2.070	2.100	2.970
Gain dB	6.1	6.1	6.0	9.3	9.5	9.5
PWR mW	5	10	10	21	15	29
THD	0.10%	0.17%	0.03%	0.10%	0.10%	0.13%
SPL +dB	7.1	10.0	10.0	13.3	11.7	14.7

周波数特性を下図に示します。

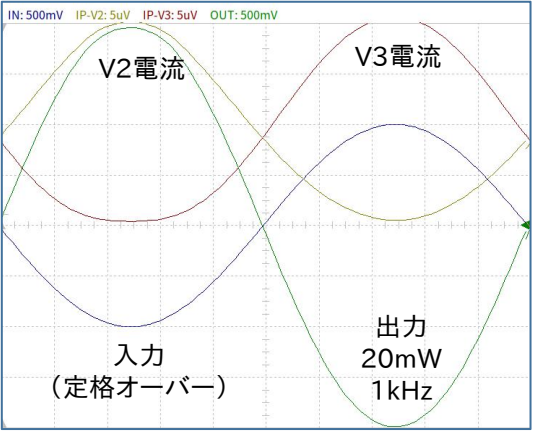
- ・ 高帰還のため、ケーブルの容量負荷は不安定要因になります。  
このため高域は100kHzまでとして、位相を補正しています。
- ・ 音楽信号でのパワーバンドは、20Hz ~ 50kHzです。



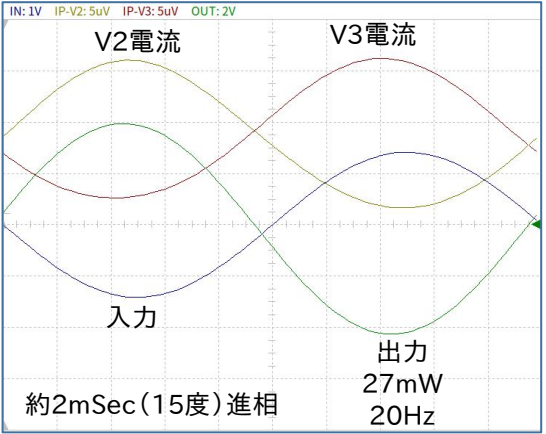
100Ω/6dB/500mV peak入力 THD=0.1%



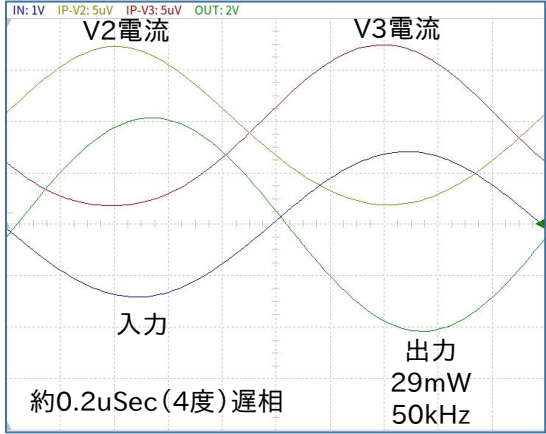
100Ω/6dB/1V peak入力 THD=0.8%



300Ω/9dB/ 1.4V peak入力 27mW/20Hz



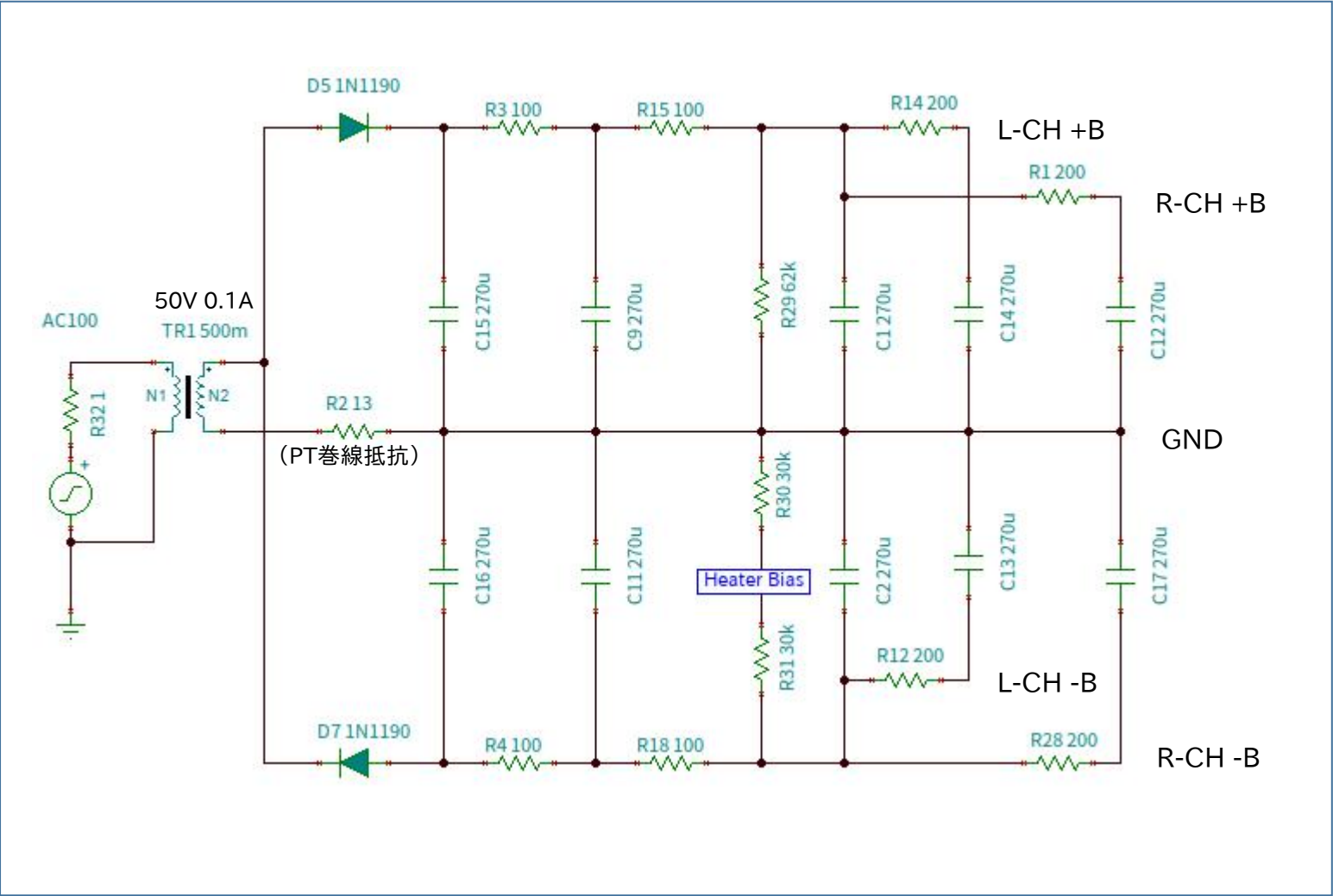
300Ω/9dB/ 1.4V peak入力 29mW/50kHz





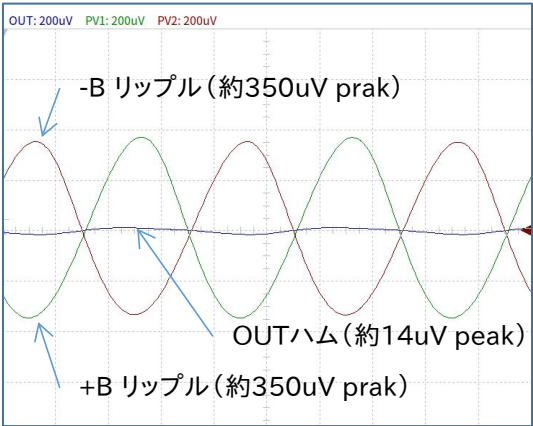
# 4. 電源部の回路設計

電源部のシミュレーション回路図を示します。電源ハムのみで計算した S/N比は、1mW (316mV/100Ω) に対して、90dB (補正なし) です。

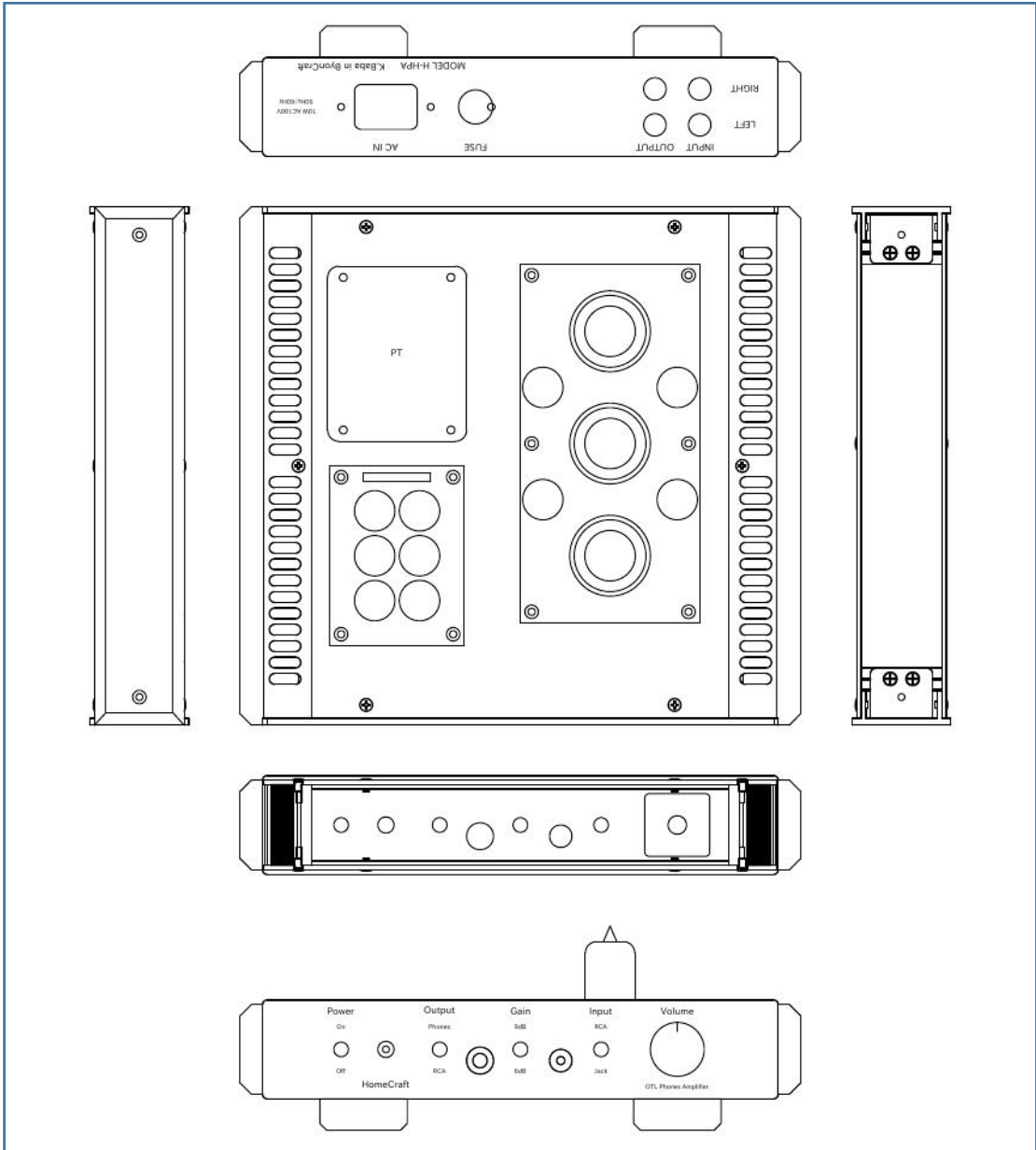


±B電源 (±60V、10mA x 2)

- 1) ダイオードによる倍電圧整流回路です。正負の電圧を合わせやすいメリットがあります。
- 2) 4段CRフィルターで平滑します。Cを大きく取り、Rは小さくしています。合計2700uFのコンデンサーを投入しています。
- 3) 正負のリップルは打ち消されるので、出力のハムは小さくなります。(下図参照)
- 4) ECC88のヒーターは同一巻線から交流点火します。HK耐圧考慮し、-30Vのバイアスを掛けるようにしています。



5. 実装設計



左図に実装の概略を示します。  
本機は、プリント基板を使用し、コンパクトに実装するように工夫しました。  
各自の好みに工夫していただきたいと考えます。

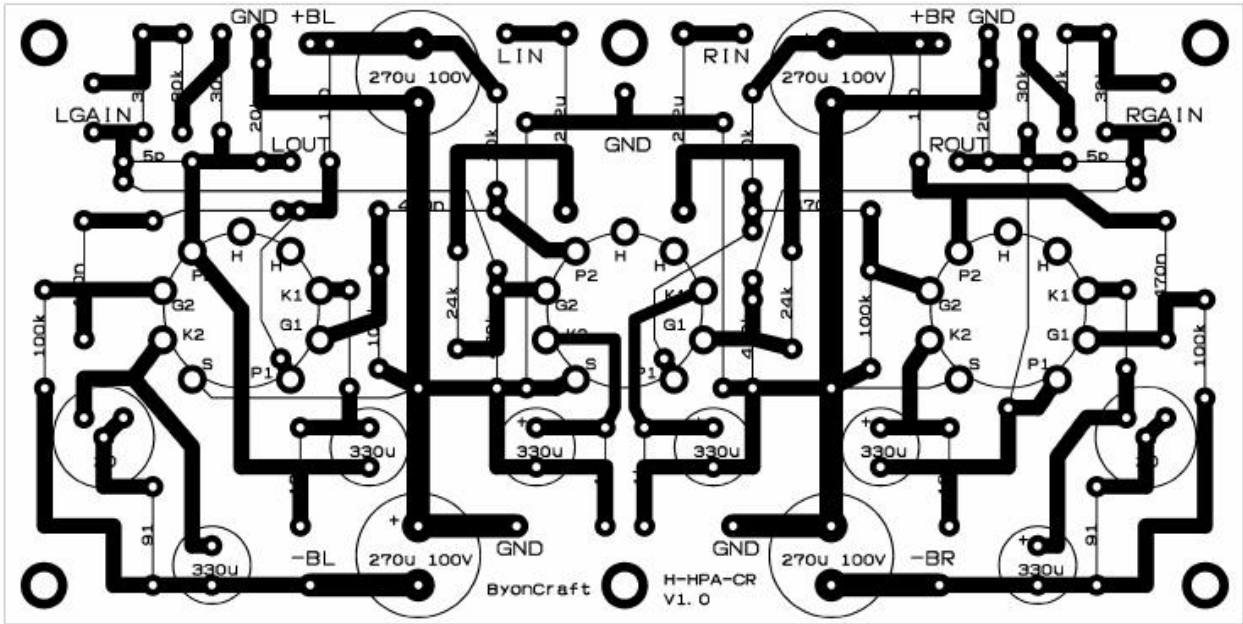
下記に本機の主要部品の一覧を示します。

No	部品名	定格等	メーカー	備考
1	筐体	アルミケース	タカチ HY-44-23-23	W=230,D=230,H=44 カスタム加工特注
2	電源トランス	50V 0.1A 6.3V 0.9A	フェニックス Rコア型	特注
3	電源基板	80 x 60 t2	ユニクラフト	特注
4	アンプ基板	160 x 80 t2	ユニクラフト	特注
5	Volume	100k $\Omega$ (B)x2	アルプス・アルパイン	RK27
6	Input	6P	日本電産フジソク	トグルSW
7	Gain	6P	日本電産フジソク	トグルSW
8	Output	6P	日本電産フジソク	トグルSW
9	Power	6P 8A	日本電産フジソク	トグルSW



6. 基板設計(1/2)

アンプ基板のパターン図と部品表を示します。中央に初段を配置し、左右に各チャンネルの出力段を配置しています。



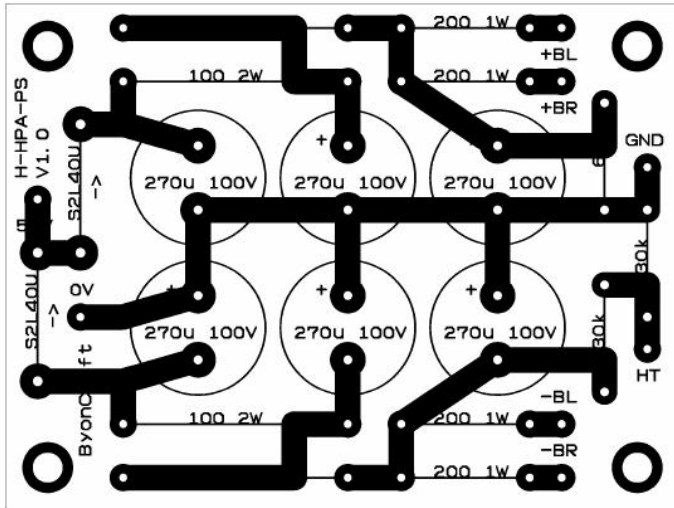
- 1) パターン図は実寸大ではありません。部品配置の参考にしてください。
- 2) パターンは裏面片面です。表面に部品を実装します。数カ所ジャンパーがあります。
- 3) ソケットの取付を工夫すれば、2.54mm間隔の穴あき基板も使えると考えます。

分類	部品名	値、定格等	数量	備考
	プリント基板	160 x 80 t2	1	片面 ユニクラフト 特注
	MT9Pソケット	基板用	3	TECSOL
C	給電コンデンサー	270u 100V	4	日本ケミコン KYB
R	初段プレート負荷抵抗	30k 1/2W	2	金属皮膜
R	カソードバイアス抵抗	1k 1/2W	2	金属皮膜
C	バイパスコンデンサー	330u 25V	2	日本ケミコン KYB
R	グリッドリーク抵抗	470k 1/2W	2	金属皮膜
C	入力コンデンサー	2.2u 250V	2	SHIZUKI DEMS
R	NFB Rs 抵抗	24k 1/2W	2	金属皮膜
R	NFB Rf 抵抗	30k 1/2W	6	金属皮膜
C	NFB 位相補正コンデンサー	5p	2	SOSHIN DM
C	出力段結合コンデンサー	0.47u 250V	4	SHIZUKI DEMS
R	グリッドリーク抵抗	100k 1/2W	4	金属皮膜
R	V2 プレート抵抗	120 1/2W	2	金属皮膜
R	カソードバイアス抵抗	100 1/2W	2	金属皮膜
R	カソードバイアス抵抗	91 1/2W	2	金属皮膜
R	カソードバイアス・トリマー	20 0.7W	2	日本電産コパル RJ-13
C	バイパスコンデンサー	330u 25V	4	日本ケミコン KYB
R	出力負荷抵抗	20k 1/2W	2	金属皮膜

(計 46)

## 6. 基板設計(2/2)

電源基板のパターン図と部品表を示します。(両チャンネル共用)



分類	部品名	値、定格等	数量	備考
	プリント基板	80 x 60 t2	1	片面 ユニクラフト 特注
Di	ダイオード	400V 2A	2	新電元 S2L40U FRD
R	フィルター抵抗	100 2W	4	金属皮膜
R	フィルター抵抗	200 1W	4	金属皮膜
C	フィルターコンデンサー	270u 100V	6	日本ケミコン KYB
R	放電用抵抗	62k 1/2W	1	金属皮膜
R	放電用抵抗	30k 1/2W	2	金属皮膜

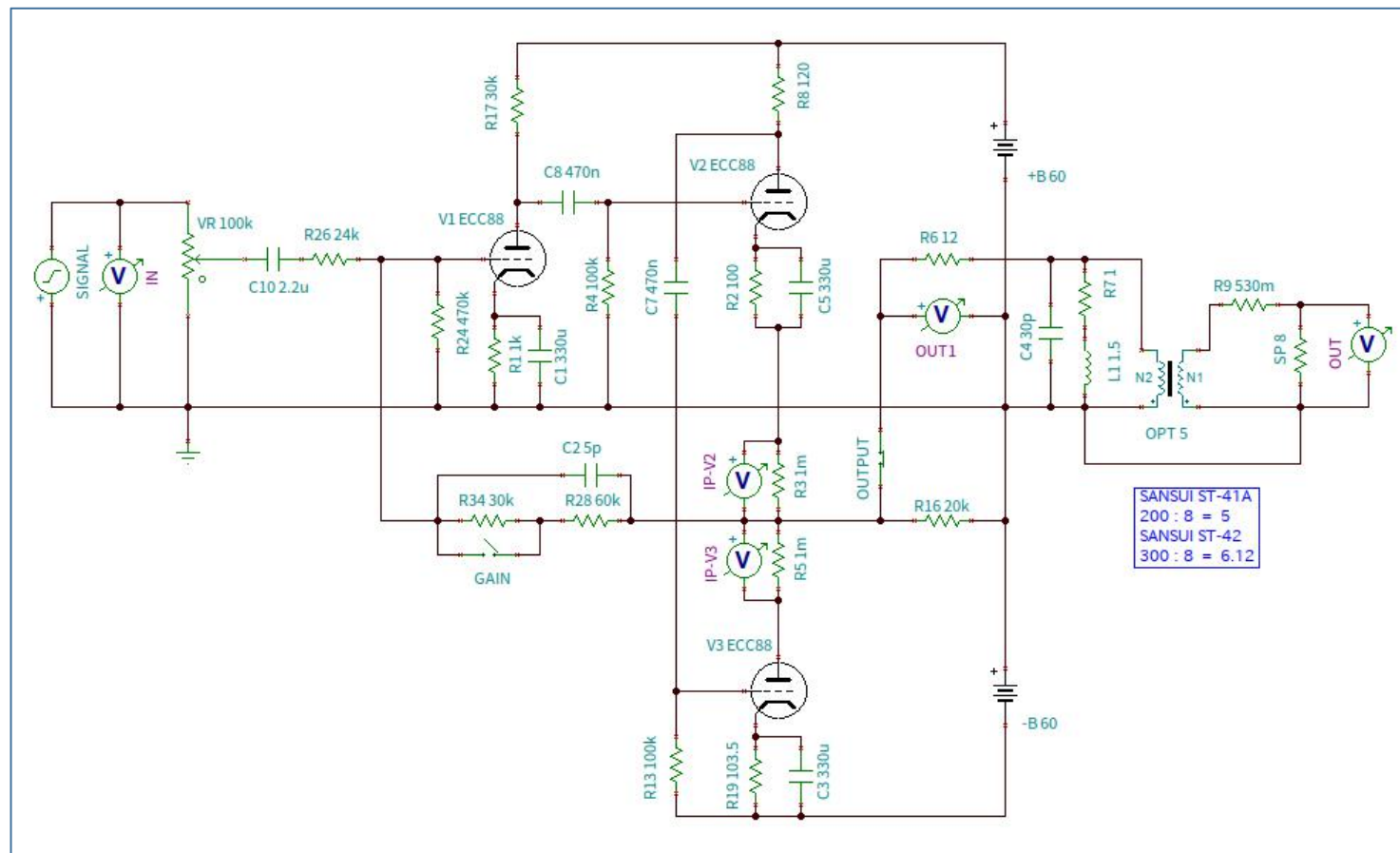
(計 20)

- 1) パターン図は実寸大ではありません。部品配置の参考にしてください。
- 2) パターンは裏面片面です。表面に部品を実装します。
- 3) 2.54mm間隔の穴あき基板も使えろと考えます。

## 7. (参考)トランスボックスの設計(1/3)

本機出力にステップダウン・トランスを追加することで、スピーカーおよびロー・インピーダンス・ヘッドフォンに対応します。

- スピーカーは定格8Ω、口径10cm前後のフルレンジ・スピーカーを想定しており、スピーカーから1m前後でのニアフィールド・リスニングを想定しています。
- スピーカー能率が86dBの場合、最大70dBの音圧が得られます。デスクワークの合間に、静かに音楽を楽しむのに好適だと考えます。
- ロー・インピーダンス・ヘッドフォンでも真空管サウンドが楽しめるように、ヘッドフォン端子を設けています。



### トランスの選定

古くから信号伝送用として使われてきた山水トランスのSTシリーズから、下記の2モデルを選定しました。

#### 1) ST-41A

- 200Ω:8Ω 巻線比=5:1
- 巻線抵抗 1次=12Ω 2次=0.53Ω
- 出力=0.7W 1次インダクタンス=1.5H想定
- 今回採用

#### 2) ST-42

- 300Ω:8Ω 巻線比=6:1
- 巻線抵抗 1次=17Ω 2次=0.53Ω
- 出力=0.7W 1次インダクタンス=2H想定
- 採用可能(約1.5dBゲイン減)

# 7. (参考)トランスボックスの設計(2/3)

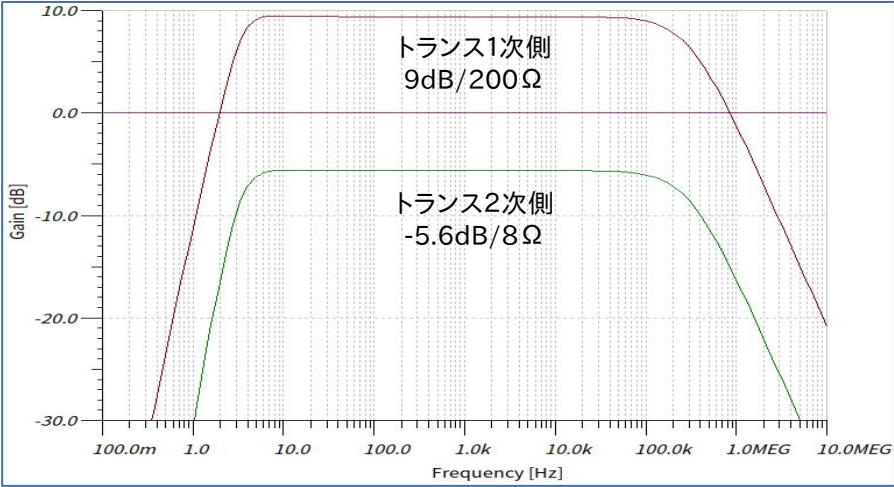
本体接続時の入出力特性(1kHz)を下表に示します。

- スピーカー出力は最大25mWです。定格(1W)の音圧の約1/6(−16dB)の音圧となります。
- ロー・インピーダンス・ヘッドフォンのゲインは約−5dBです。音圧は小さくなりますが、ハイ・インピーダンス・ヘッドフォンとの音圧の差が小さくなって、ボリューム操作は楽になります。

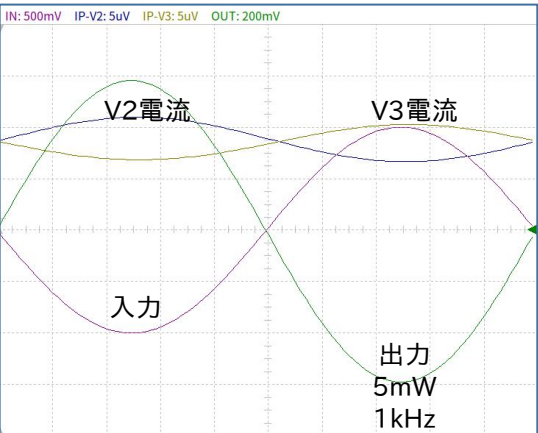
Load	32 ohm HP		16 ohm HP		8 ohm SP	
Gain SW	9dB					
DF	24.4	24.4	12.2	12.2	6.1	6.1
Zo ohm	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
In peak	0.700	1.000	0.700	1.000	1.000	1.200
In rms	0.495	0.707	0.495	0.707	0.707	0.849
Out rms	0.290	0.414	0.279	0.398	0.370	0.443
Gain dB	-4.6	-4.6	-5.0	-5.0	-5.6	-5.6
PWR mW	2.6	5	5	10	17	25
THD	0.11%	0.16%	0.10%	0.14%	0.08%	0.11%
SPL +dB	4.2	7.3	6.9	10.0	-17.7	-16.1

本体接続時の周波数特性を下図に示します。

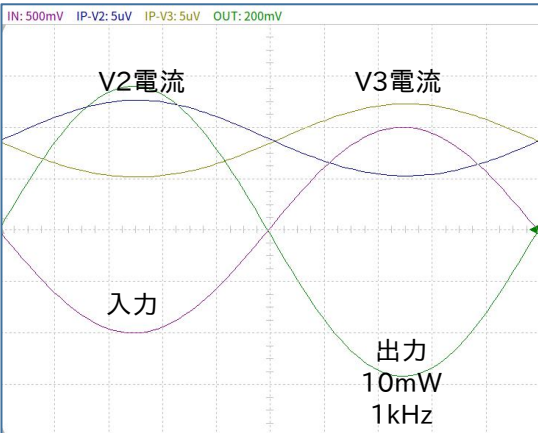
- トランスを低インピーダンスで駆動するため、広帯域です。
- ただし、トランス1次側のインダクタンスが小さいため、8Ωスピーカーでのパワーバンドは、約50Hz ~ 50kHzとなります。



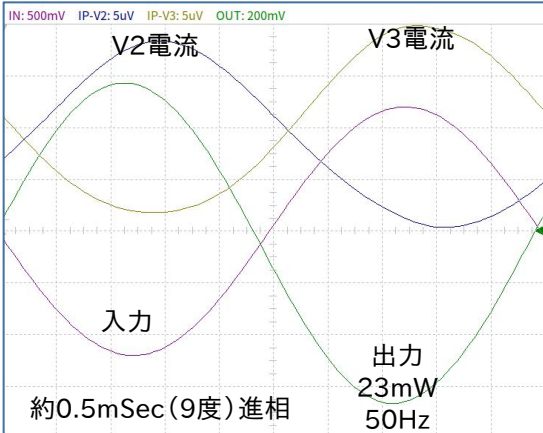
32Ω/1V peak入力 THD=0.16%



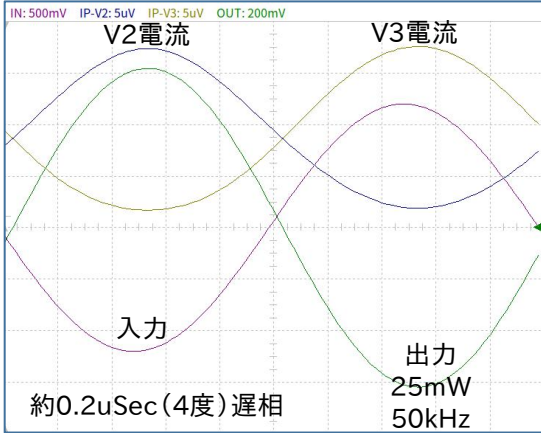
16Ω/1V peak入力 THD=0.1%



8Ω/1.2V peak入力 23mW/50Hz

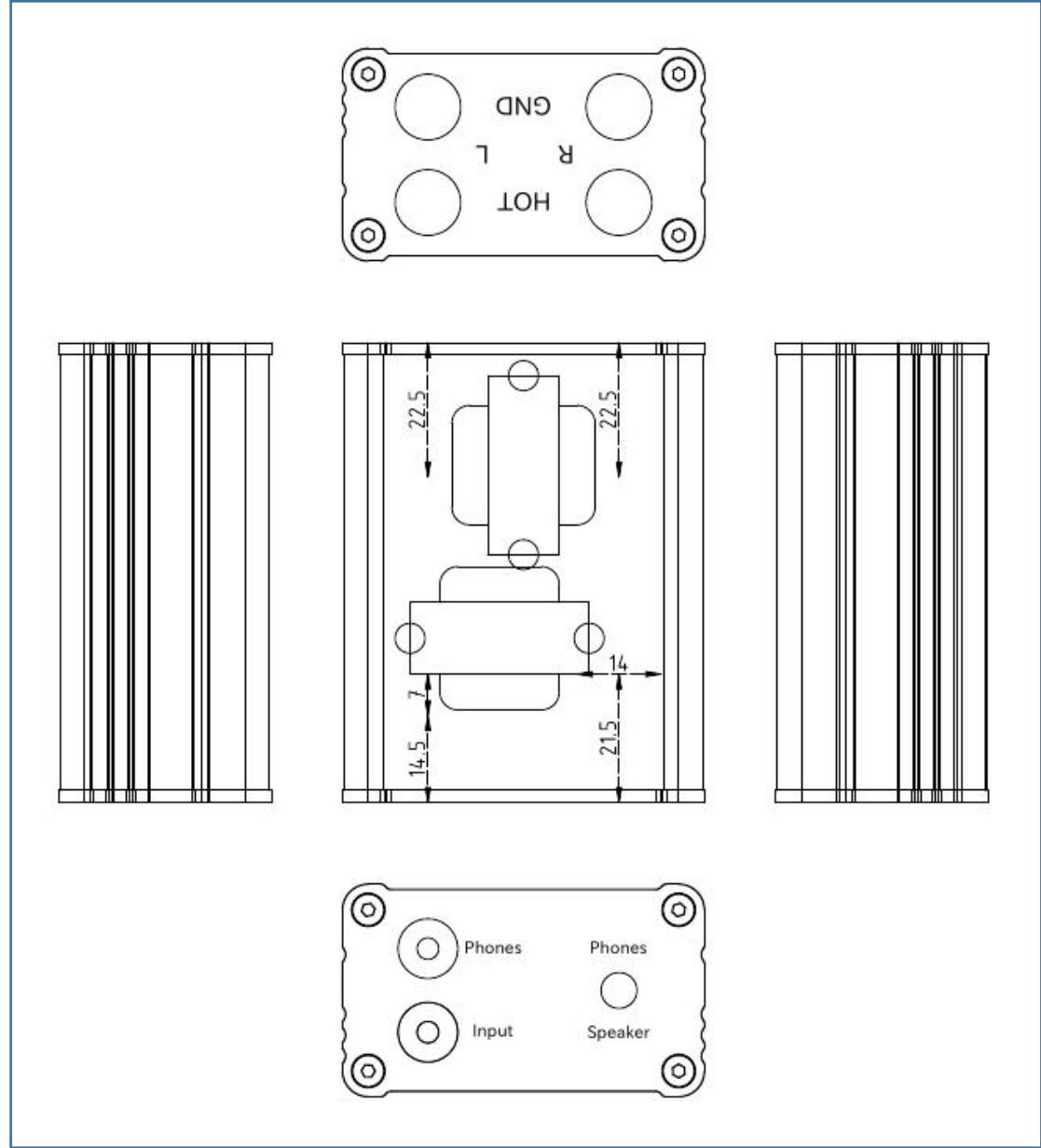


8Ω/1.2V peak入力 25mW/50kHz





7. (参考)トランスボックスの設計(3/3)



左図に実装の概略を示します。

本機は、本体の天板に重ね置きできるように、極力コンパクトに実装しました。

各自の好みで工夫していただきたいと考えます。

トランスは発熱の懸念はないので、両面テープで固定し、取り付け用リブをケースに設けた穴にかしめて取り付けます。

下記に本機の主要部品の一覧を示します。

端子類は、任意に手持ちをご活用ください。

No	部品名	定格等	メーカー	備考
1	筐体	アルミケース	タカチ EX-6-4-8	W=60,D=80,H=40 カスタム加工特注
2	トランス x 2	200Ω:8Ω	橋本電気 SANSUI ST-41A	
3	出力切り替え	6P	日本電産フジソク	トグルSW