

ホームオーディオ向け 2Wayマルチアンプの設計 (低音域パワーアンプ編)

byoncraft

Rev.1 2025/03

馬場 和章
(美音クラフト株式会社)

本紙は、ホームオーディオ用の2Wayマルチアンプ・システムを紹介しています。
各人の好みに合わせた2Wayマルチスピーカーシステムを構築し、それをドライブする
真空管アンプを設計する際のポイントを解説しています。
本システムは自宅用に設計したものです。

Contents

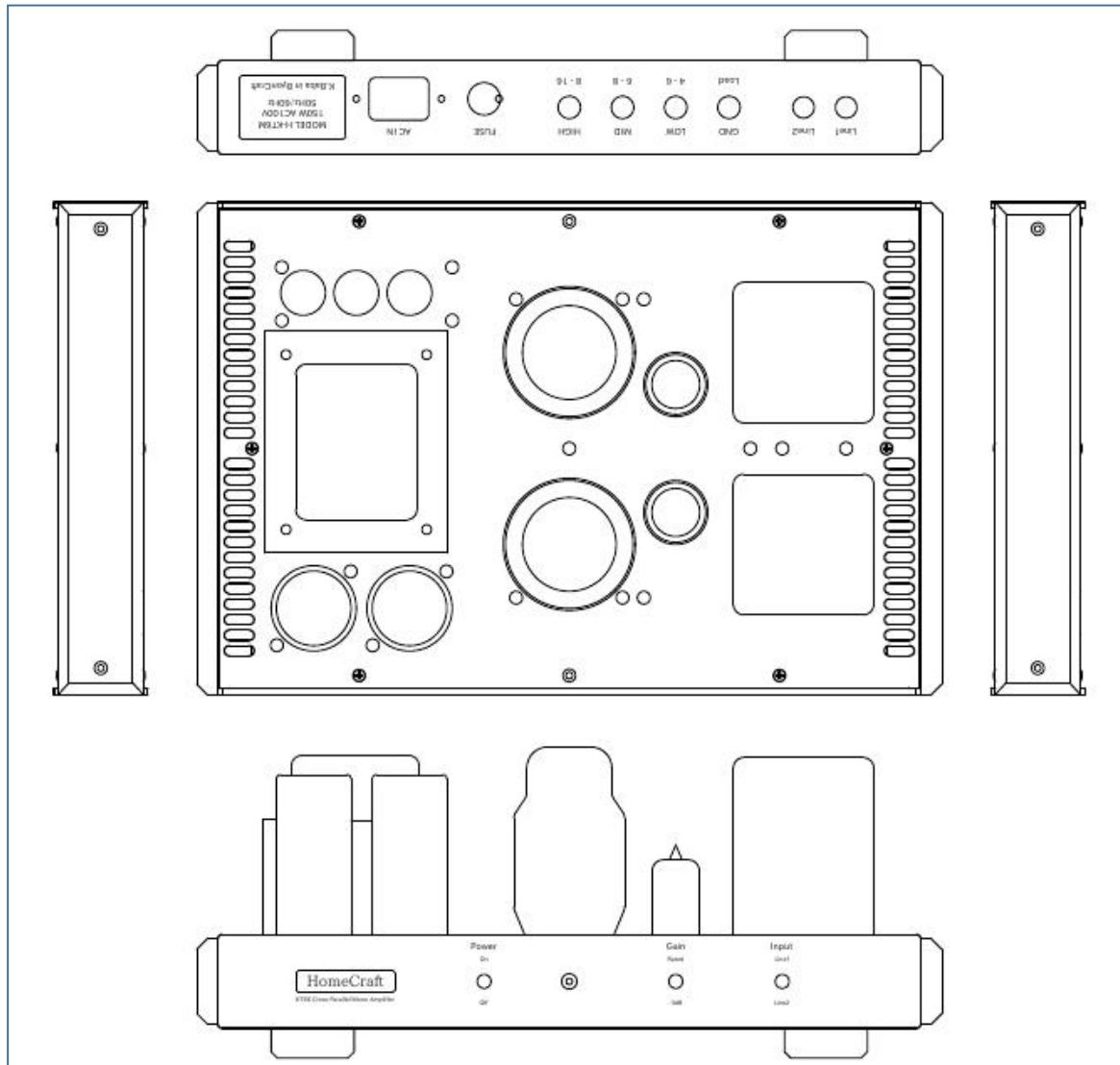
1. 低音域パワーアンプの概要(概要編より再掲)	Page 2
2. ブロックダイアグラム	Page 3
3. アンプ部の回路設計	Page 4
4. 電源部の回路設計	Page 6
5. 実装設計	Page 7
6. 基板設計	Page 8

※ ご注意

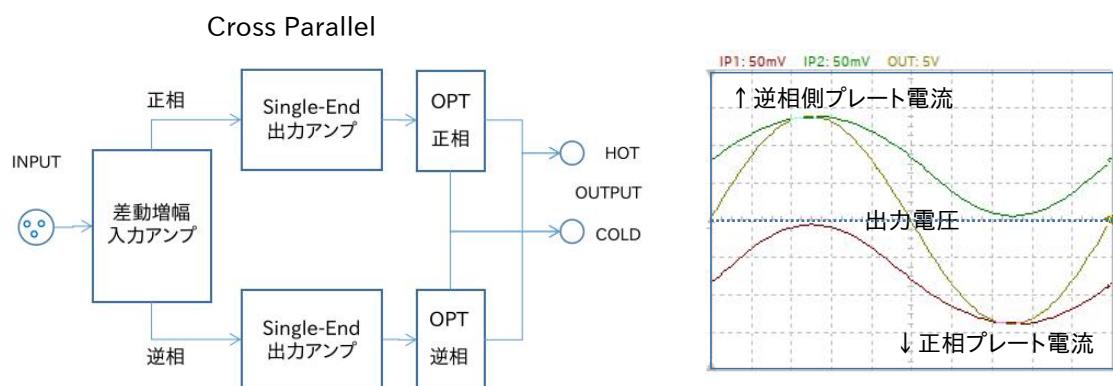
本紙は、アンプの自作をなさる方の、ご参考にしていただくことを目的としています。
本紙の無断転載や商用利用などの行為は、なさらないようお願いします。

1. 低音域パワーアンプの概要 (概要編より再掲)

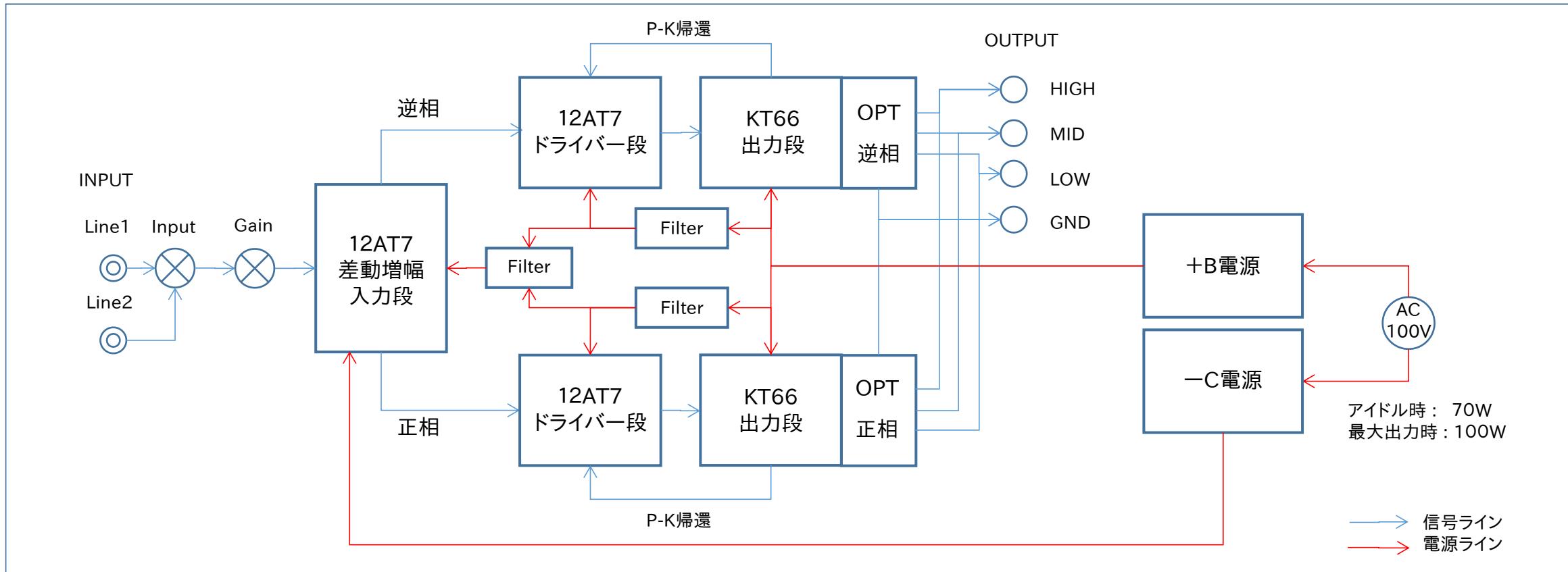
低音域パワーアンプはモノーラルアンプ2台構成として、全体的に、使用部品やデザインを高音域アンプと統一する方針としました、本機は、2組のシングルアンプを相互に反対位相で駆動し、2個の出力トランスの2次側で並列に電流合成する、クロス・パラレル方式を採用します。



- 1) 出力管は高音域アンプと同じKT66を採用して、同じUL接続を採用します。また、使用するシングル用の出力トランスについても、高音域アンプと同じ出力トランスを2個使用します。
- 2) 定格出力6W/8Ωは、100HzまではA級動作ですが、それ以下は出力トランスのインダクタンスが制約となりAB級動作となります。
- 3) AB級では11W位までの余力がありますので、パワーバンドの拡大と、スピーカーインピーダンス低下時の対応能力に振り向けています。
- 4) クロス・パラレル方式の採用目的は、出力トランスでの磁気合成を避けて単純なインピーダンス変換器とする方式原理により、高音域のシングル方式との親和性を高めることにあります。



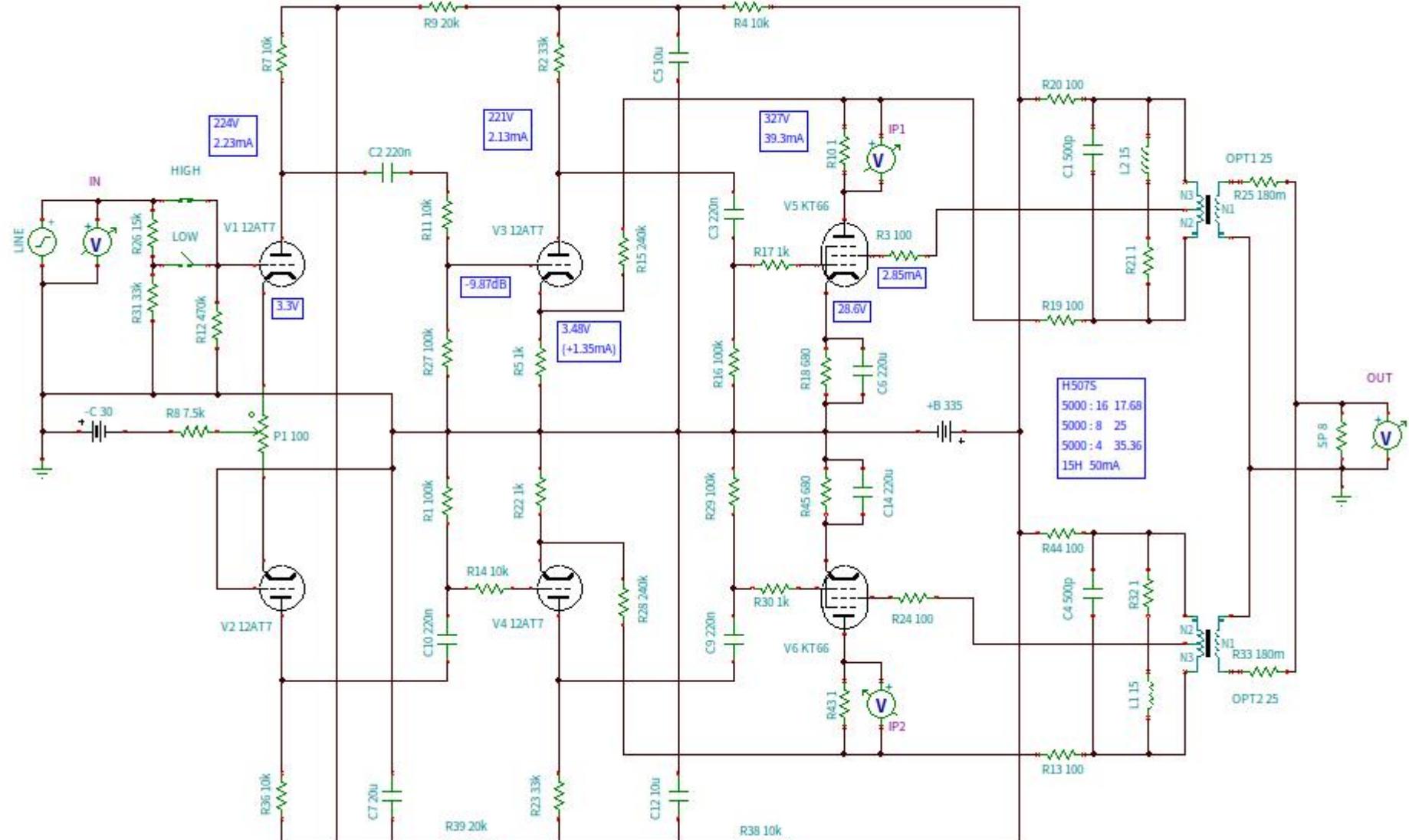
2. ブロックダイアグラム



上図にブロックダイアグラムを示します。グランドラインは省略しています。

- 1) 入力はアンバランス入力(RCA)2系統です。定格ゲインは、26dB(8Ω/MID端子)です。ゲインは定格と-3dBの切り替えが可能です。
- 2) 出力は HIGH / MID / LOW の端子を備えており、スピーカーの公称インピーダンスに対応して選択が可能です。
- 3) アンプ部は、入力段で差動増幅して、相互に反対位相で2組のシングルアンプをドライブします。逆相側の出力は出力トランジスタで反転させて、出力トランジスタ2次側で両方の出力を並列に電流合成します。帰還は、2組のシングルアンプのゲインを合わせるため、出力段からドライバ一段へP-K帰還を掛けています。
- 4) 電源部は、+B電源と差動増幅用の-C電源を供給します。Filterはデカップリング回路です。

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。以下、ポイントを解説します。

- 1) 初段の差動増幅の定電流回路は高抵抗1本で済ませています。定電流特性は不十分ですが、ノイズは少なく抑えることができます。
- 2) 初段の差動増幅の出力は完全にはバランスしないので、ドライバ一段の入力回路で調整します。逆相側は $10\text{k}\Omega$ と $100\text{k}\Omega$ で分圧してゲインを下げます。正相側は同じ $10\text{k}\Omega$ を直列に入れて高域特性を下げて、ACバランスを整えます。
- 3) ドライバ一段のカソードへ出力管のプレートから直流カットなしで、P-K帰還をかけています。直流電流を加味してドライバ一段の直流動作点を調整しています。
- 4) 出力段は、シンプルな自己バイアスのUL接続です。

3. アンプ部の回路設計(2/2)

HIGH	1W /16 ohm	16 ohm	8 ohm	6 ohm	4 ohm
DF	5.1	5.1	2.6	1.9	1.3
Zo	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12
In peak	0.200	0.500	0.500	0.500	0.500
In rms	0.141	0.354	0.354	0.354	0.354
PWR	1.1	6.7	9.8	10.9	11.7
THD	0.10%	0.60%	0.38%	0.40%	0.57%
Gain dB	29.4	29.3	28.0	27.2	25.7
SPL +dB	3.4	11.2	9.9	9.1	7.7

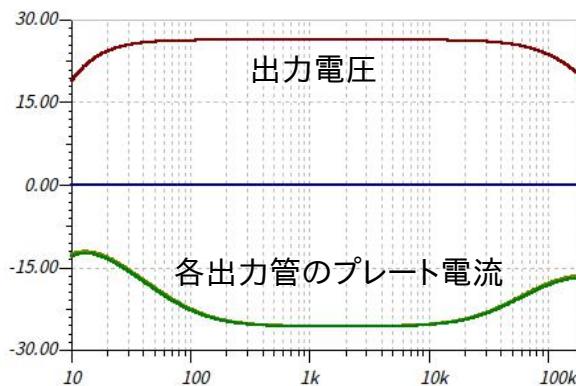
MID	1W /8 ohm	8 ohm	6 ohm	4 ohm	3 ohm
DF	4.7	4.7	3.5	2.4	1.8
Zo	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69
In peak	0.200	0.500	0.500	0.500	0.500
In rms	0.141	0.354	0.354	0.354	0.354
PWR	1.1	6.6	7.9	9.6	10.6
THD	0.10%	0.61%	0.47%	0.40%	0.44%
Gain dB	26.3	26.3	25.8	24.9	24.1
SPL +dB	0.3	8.2	7.7	6.8	6.0

LOW	1W /4 ohm	6 ohm	4 ohm	3 ohm	2 ohm
DF	4.6	6.9	4.6	3.5	2.3
Zo	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
In peak	0.200	0.500	0.500	0.500	0.500
In rms	0.141	0.354	0.354	0.354	0.354
PWR	1.1	4.9	6.5	7.7	9.3
THD	0.10%	0.90%	0.62%	0.49%	0.45%
Gain dB	23.2	23.7	23.2	22.7	21.7
SPL +dB	-2.8	5.6	5.1	4.6	3.7

各出力端子における入出力特性は左表のとおりです。(1kHz時)

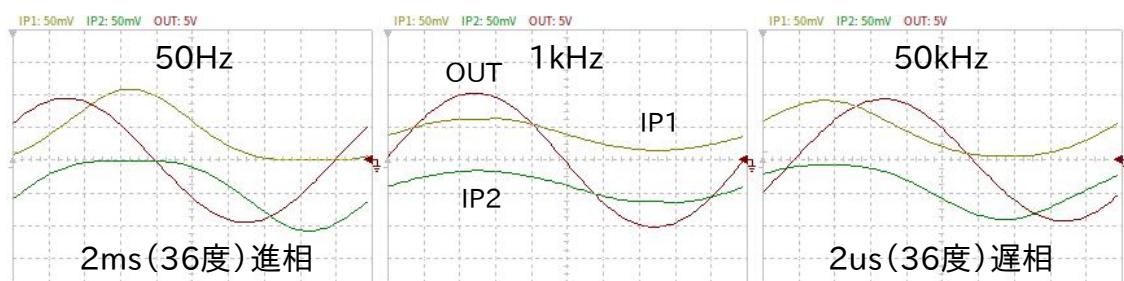
- 1) MID端子(8Ω)のゲイン26dBと比べて、HIGH端子(16Ω)のゲインは+3dB、LOW端子(4Ω)のゲインは-3dBとなります。
- 2) 歪率は、各出力端子での各負荷に対して、0.5%~1%以内に収まっています。本機ではACバランスの調整がポイントとなります。
- 3) 出力インピーダンスは、十分低くなっています。オーバーオール帰還は不要です。

MID端子(8Ω)における周波数特性は下図のとおりです。(1W/1kHz時)

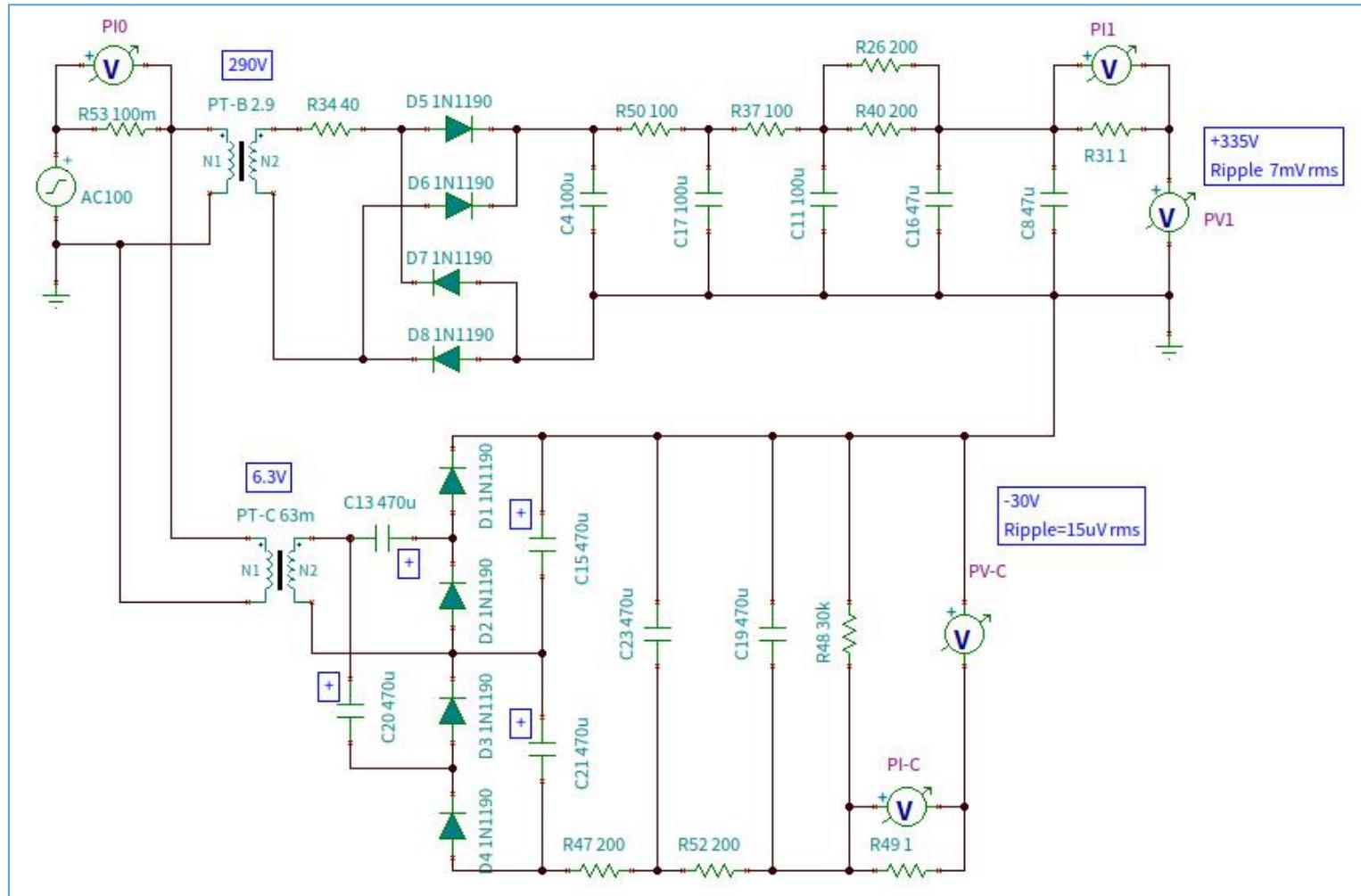


- 1) 低音域は出力トランジスタ(15H)が飽和しないように50Hz以下を減衰させています。
- 2) 高音域は出力トランジスタの巻線容量(500pF)の影響ですが、出力管の内部抵抗の低減が有効に働いています。

MID端子(8Ω)におけるパワーバンド特性は下図のとおりです。(6W/1kHz時)



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。

電源回路は参考例です。各自、工夫していただきたいです。
以下、当回路のポイントを解説します。

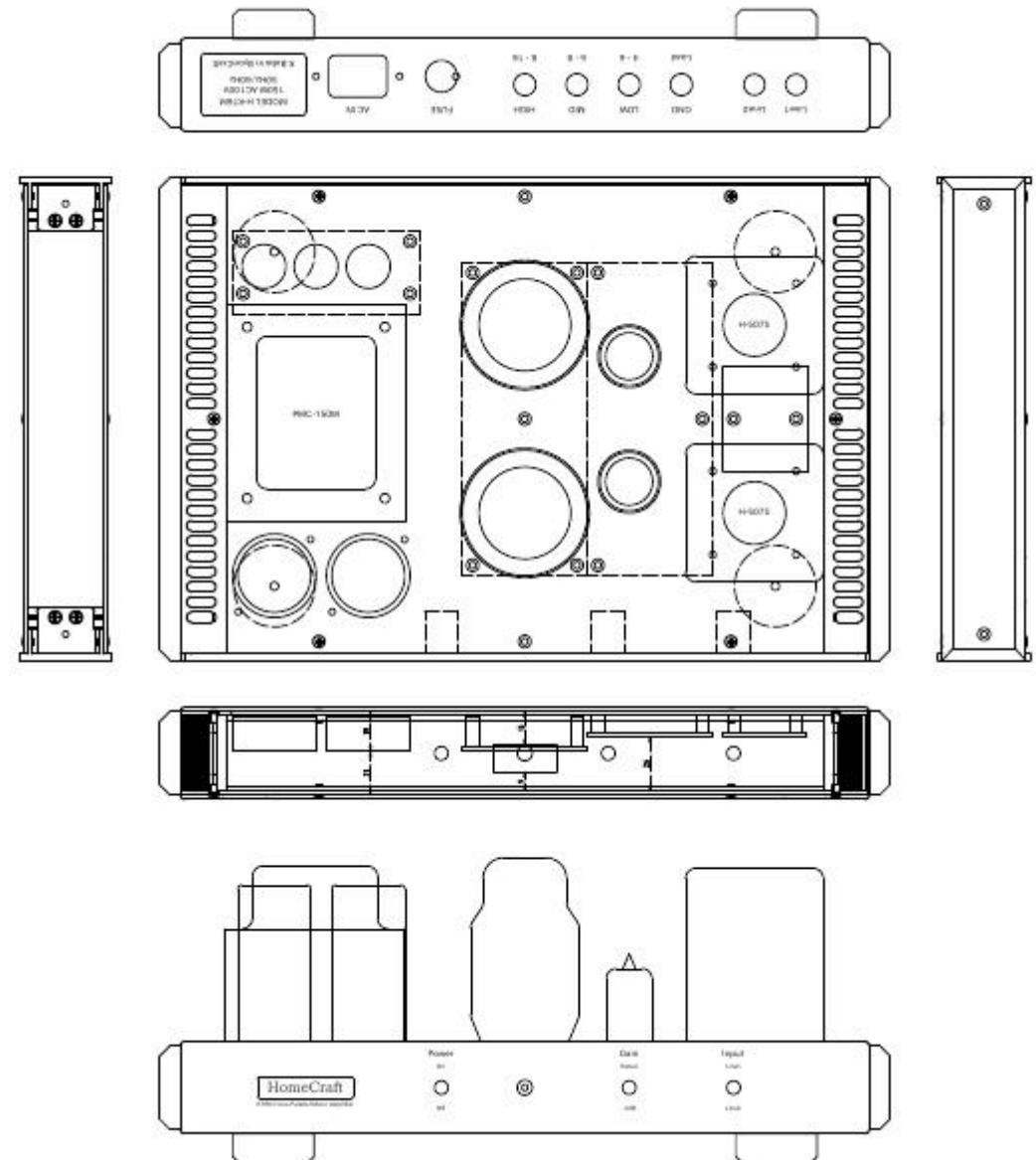
+B電源 (340V前後、アイドル:100mA、最大出力:150mA)

- 1) ダイオードによるブリッジ整流または全波整流回路です。
- 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400uFのコンデンサーを投入しています。
- 3) リップルは7mVです。出力トランスの巻線比から280uVが
出力に出ますが、クロス・パラレル方式では打ち消されます。
本機では、2uVrmsです。
- 4) コンデンサーの耐圧は、AC電源が105Vとなった時のサ
ージ電圧から、450V以上が安全です。
- 5) 真空管を挿入しないテスト用の放電用抵抗は不要です。P
-K帰還回路がその役割をします。

—C電源 (30V前後、約5mA)

- 1) 6.3Vの余ったヒーター巻線から4倍圧整流で所定の電圧を確保しています。定電流回路用の電源はしっかりとリップルを除去するようにします。本回路では15uVです。
- 2) 真空管を挿入しないテスト用の放電用抵抗は必要です。1mA程度となるよう30kΩとします。
- 3) なお、6.3V+5Vから倍電圧整流するのも、よいでしょう。

5. 実装設計



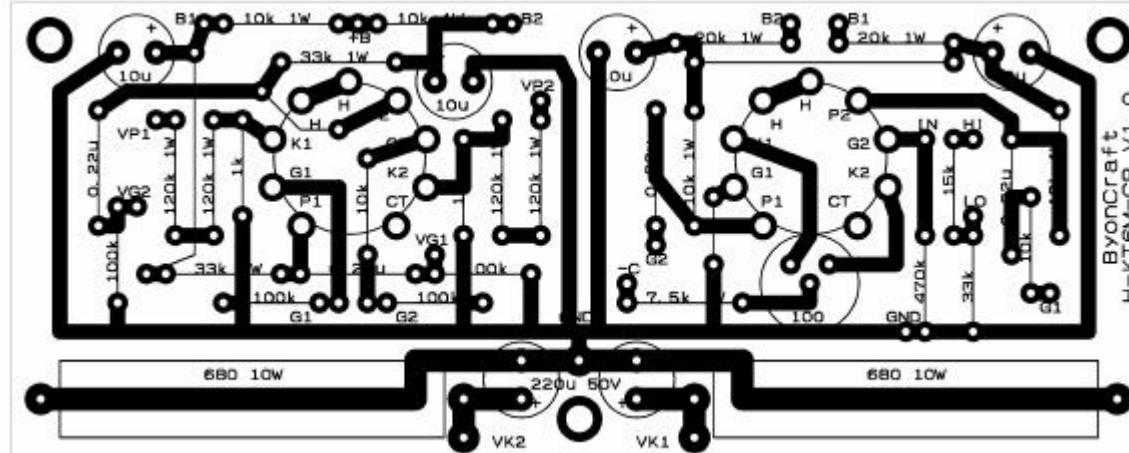
左図に実装の概略図を示します。

本機は、プリント基板を使用し、極力コンパクトに実装するように工夫しました。
各自の好みで工夫していただきたいと考えます。

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-44-33-23	W=330,D=230,H=44 カスタム加工特注 出力管サブシャーシ込み
2	電源トランス	PMC-150M	ゼネラルトランス	B巻線 280V~290V
3	出力トランス	H507S x 2	橋本トランス	5kΩ : 16/8/4Ω 15H/50mA 7W/50Hz
4	+B電源基板	90 x 40 t2	ユニクラフト	特注
5	+B給電コンデンサー	47uF 800V x 2	SHIZUKI RUZ フィルムコンデンサー	取付バンド込み
6	-C電源基板	50 x 40 t2	ユニクラフト	特注
7	アンプ基板	150 x 60 t2	ユニクラフト	特注
8	Gain	6P	日本電産フジソク	トグルSW
9	Input	6P	日本電産フジソク	トグルSW
10	Power	6P 8A	日本電産フジソク	トグルSW

6. 基板設計(1/2)



分類	部品名	値、定格等	数量	備考
	プリント基板	150 x 60 t2	1	片面 ユニクラフト 特注
	MT9Pソケット	基板用	2	TECSOL
R	デカップリング抵抗	10k 1W	2	金属皮膜
R	デカップリング抵抗	20k 1W	2	金属皮膜
C	給電コンデンサー	10u 450V	4	日本ケミコン KXJ
R	ゲイン切替抵抗	15k 1W	1	金属皮膜
R	デカップリング抵抗	33k 1W	1	金属皮膜
R	初段グリッドリーク抵抗	470k 1/2W	1	金属皮膜
R	初段プレート抵抗	10k 1W	2	金属皮膜
R	カソードバランス調整	100 RJ-13	1	日本電産コパル
R	カソード定電流抵抗	7.5k 1W	1	金属皮膜

アンプ基板のパターン図と部品表を示します。

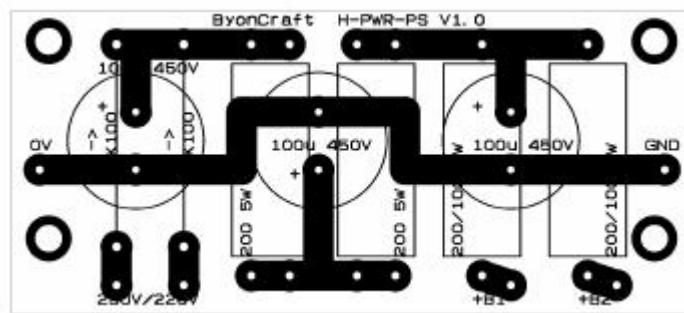
- 1) パターン図は実寸大ではありません。部品配置の参考にしてください。
- 2) パターンは裏面片面です。パターン面にMT9Pソケットを実装します。
- 3) 表面にCRを実装します。数カ所ジャンパーがあります。
- 4) ソケットの取付を工夫すれば、2.54mm間隔の穴あき基板も使えると考えます。

分類	部品名	値、定格等	数量	備考
C	次段結合コンデンサー	0.22u 630V	2	SHIZUKI DEMS
R	次段グリッドリーク抵抗	100k 1/2W	2	金属皮膜
R	ゲインバランス抵抗	10k 1/2W	1	金属皮膜
R	高音域バランス抵抗	10k 1/2W	1	金属皮膜
R	次段プレート抵抗	33k 1W	2	金属皮膜
R	次段カソード抵抗	1k 1/2W	2	金属皮膜
R	次段P-K帰還抵抗	120k 1W	4	金属皮膜
C	出力段結合コンデンサー	0.22u 630V	2	SHIZUKI DEMS
R	出力段グリッドリーク抵抗	100k 1/2W	2	金属皮膜
R	出力段カソード抵抗	680 10W	2	セメント
C	バイパスコンデンサー	220u 50V	2	日本ケミコン KYB
R	出力段グリッド入力抵抗	1k 1/2W	2	金属皮膜 出力管ソケットにて配線
R	出力段SG抵抗	100 1W	2	金属皮膜 出力管ソケットにて配線

6. 基板設計(2/2)

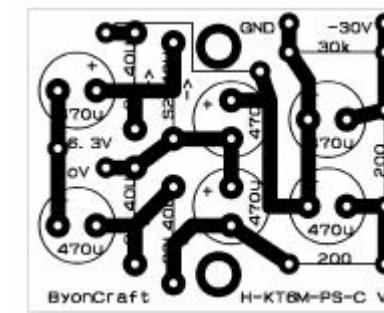
＋B電源基板のパターン図と部品表を示します。

- 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。
- 3) 表面にケミコンを実装します。基板を取り付けると、天板から頭が突出します。
- 4) パターン面にダイオードと抵抗を実装します。
- 5) 回路図中の 100Ω は、 200Ω を上下に重ねて並列に取り付けます。
- 6) 2.54mm間隔の穴あき基板も使えると考えます。



－C電源基板のパターン図と部品表を示します。

- 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。
- 3) すべて表面に実装します。
- 4) 2.54mm間隔の穴あき基板も使えると考えます。
- 5) 4倍圧整流は、余ったヒーター巻線から低電圧電源をつくる便利な方法です。固定バイアス電源、ハイブリッド構成の半導体用十一電源など、応用可能です。



分類	部品名	値、定格等	数量	備考
	プリント基板	90 x 40 t2	1	片面 ユニクラフト 特注
Di	ダイオード	1000V 2A	2	新電元 S2K100 FRD
R	フィルター抵抗	200 5W	6	セメント
C	フィルターコンデンサー	100u 450V	3	日本ケミコン KXJ

分類	部品名	値、定格等	数量	備考
	プリント基板	50 x 40 t2	1	片面 ユニクラフト 特注
Di	ダイオード	400V 2A	4	新電元 S2L40U FRD
R	フィルター抵抗	200 1/2W	2	金属皮膜
C	フィルターコンデンサー	470u 50V	6	日本ケミコン KYB
R	放電用抵抗	30k 1/2W	1	金属皮膜