

6BQ5 パラ・シングル パワーアンプの設計

byoncraft

Rev.1 2025/08

馬場 和章
(美音クラフト株式会社)

6BQ5は、古くからオーディオアンプの自作において親しまれてきた、MT出力管です。5極管動作のプッシュプルでは10W以上の高出力も可能です。

本紙では、UL接続パラ・シングルの構成で、シングルアンプの魅力を追求するとともに、その設計ポイントを紹介しています。

本機は、別稿のMC入力無帰還プリアンプとの組み合わせを想定して、設計しています。

Contents

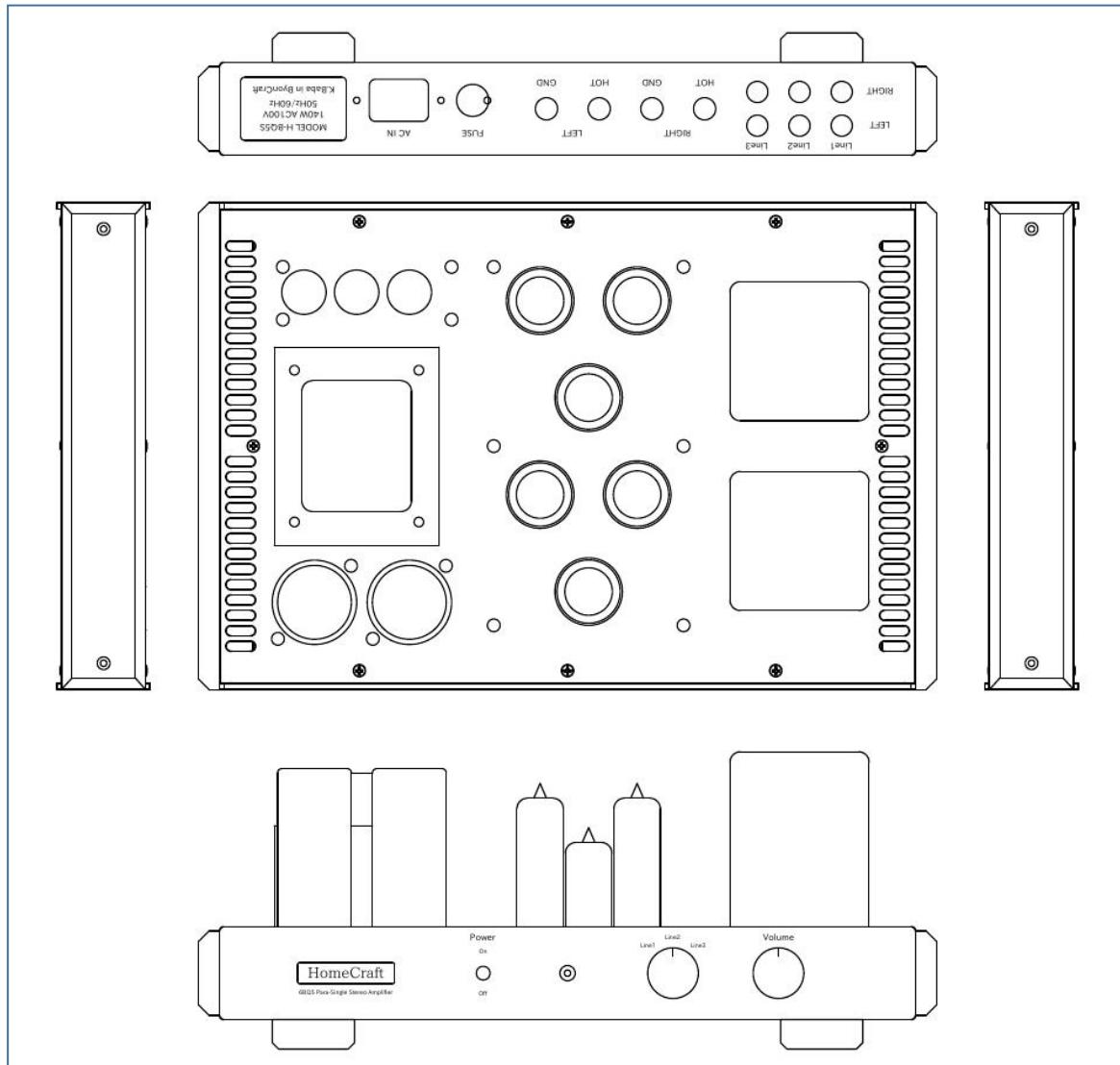
1. パワーアンプの概要	Page 2
2. ブロックダイアグラム	Page 3
3. アンプ部の回路設計	Page 4
4. 電源部の回路設計	Page 5
5. アンプの特性	Page 6
6. 実装設計	Page 9
7. 基板設計	Page 10

※ 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. パワーアンプの概要

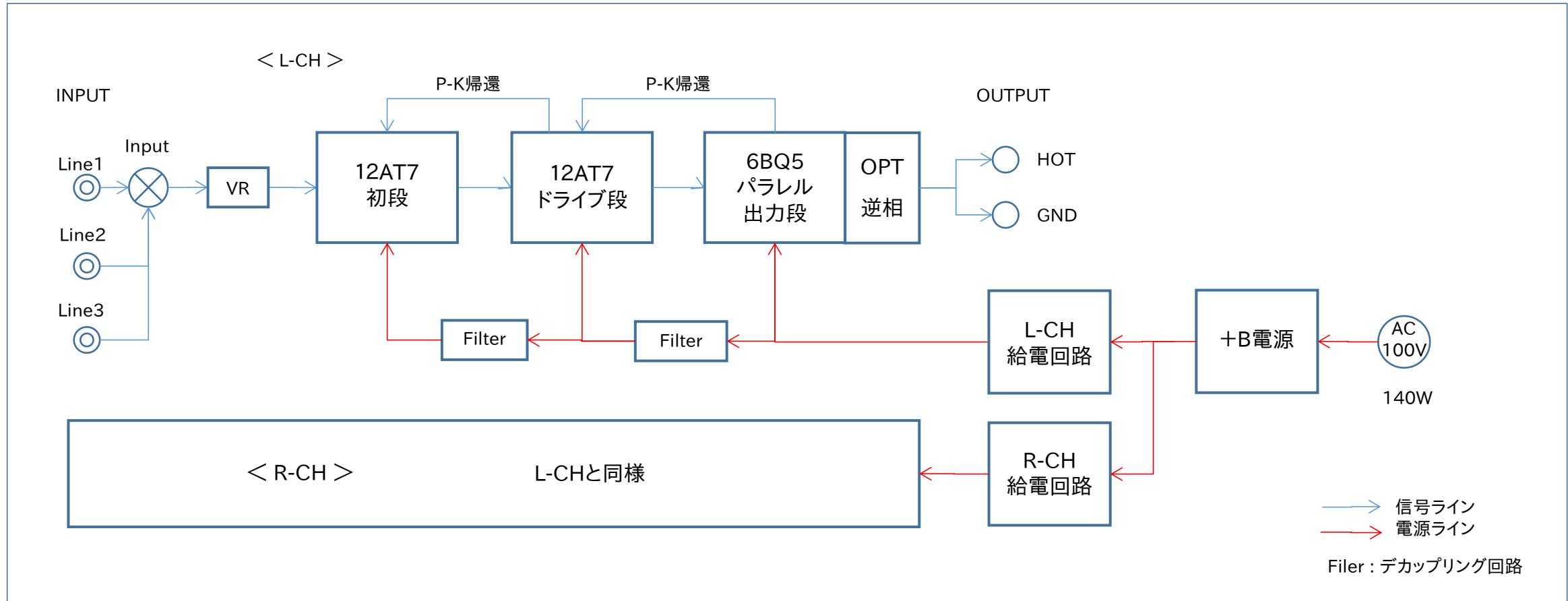
パワーアンプの性能向上には、何らかの打ち消し補正を使用します。本機は、2段階の局部帰還による増幅段間の2次歪打ち消し補正を採用しています。その効果を見るため、ループ帰還は使用していません。



- 1) 本機は、定格出力3W+3Wのステレオ・パワーアンプです。
- 2) 最大出力は、4.7W+4.7Wです。ホームオーディオ用の真空管パワーアンプとしては、十分な出力であると考えます。
- 3) 出力段は、6BQ5のUL接続パラレル構成として、出力増大と出力インピーダンスの低減を図っています。
- 4) ドライブ回路は、12AT7の2段階P-K帰還回路です。この回路により、2次歪打ち消し補正を行っています。
- 5) 周波数特性は、ループ帰還なしでも十分に広帯域となっています。
- 6) ゲインは高め(約21dB)となっています。入力セレクターとボリュームを装備して、単体でライン・プリメインアンプとしても使用可能となっています。
- 7) デザインは薄型の筐体として、MC入力無帰還プリアンプやその他のアンプとマッチするデザインとしました。

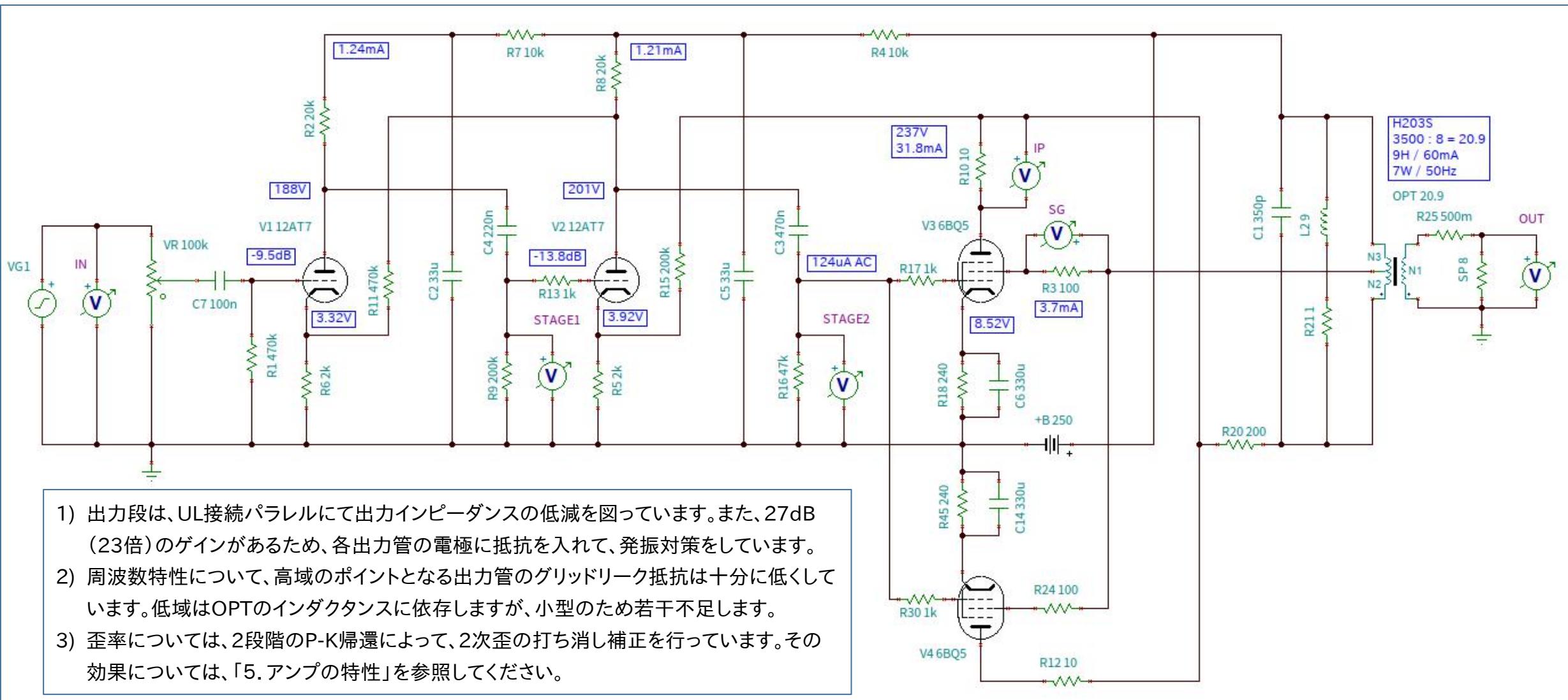
2. ブロックダイアグラム

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。詳細は、回路設計にて解説しています。



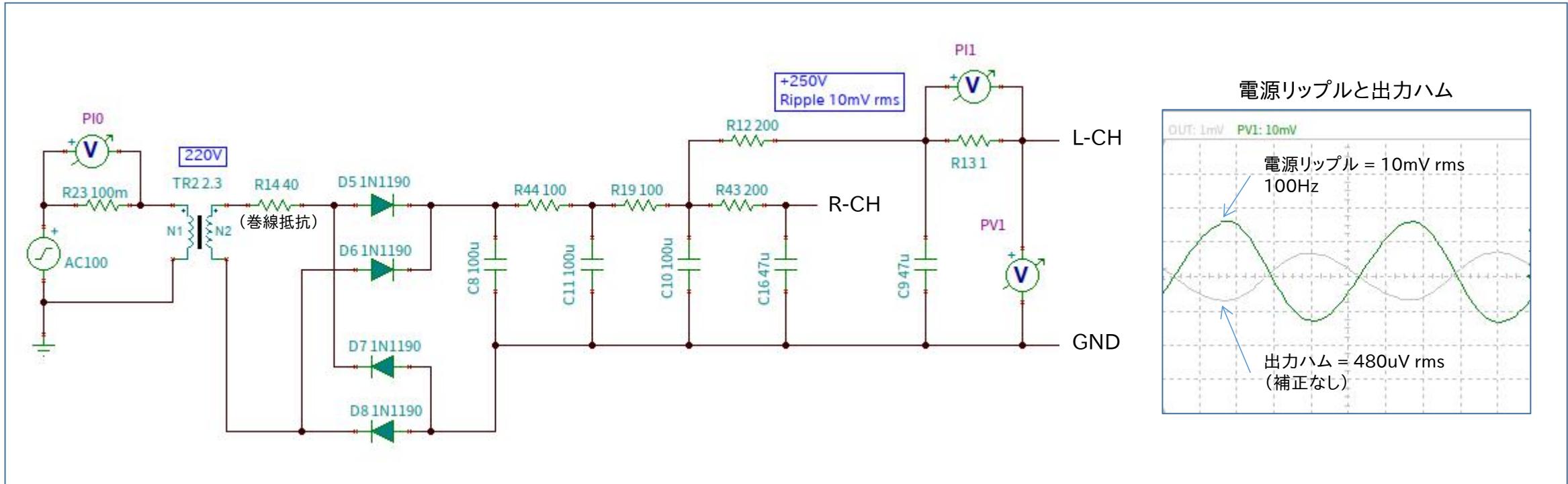
3. アンプ部の回路設計

アンプ部のシミュレーション回路図を示します。以下に、ポイントを解説します。なお、6BQ5はペア・チューブの使用を推奨します。



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 (250V前後、65mA x 2)

- 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10mV rmsです。出力には、出力トランスの巻線比(8Ω端子にて1/20.9)により、約480uV rmsのハムが出力されます。
- 4) 左右チャネルは、個別の給電回路から給電します。ステレオアンプにおいては必須の回路です。省略した場合、クロストーク特性が悪化し、ステレオ感が損なわれます。
- 5) 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、350V以上が安全です。
- 6) 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。

5. アンプの特性(1/3)

入出力特性(1kHz)は、下表のとおりです。

3.5k / 8 ohm	1W / 8ohm	16 ohm	8 ohm	6 ohm	4 ohm	Max / 8ohm
DF	3.1	6.3	3.1	2.3	1.6	3.1
Zo	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56
In peak	0.335	0.600	0.600	0.600	0.600	0.750
In rms	0.237	0.424	0.424	0.424	0.424	0.530
Out rms	2.83	5.73	5.01	4.61	3.95	6.16
PWR	1.0	2.1	3.1	3.5	3.9	4.7
THD	0.58%	0.37%	1.10%	1.89%	3.90%	1.58%
Gain dB	21.5	22.6	21.4	20.7	19.4	21.3
SPL +dB	0.0	6.1	5.0	4.2	2.9	6.8

- 1) 8Ωの定格出力は、3.1Wです。8Ωの最大出力は、4.7Wです。
- 2) 定格入力で、スピーカー・インピーダンスが低下する局面では、4Ωまではカットオフせず出力可能です。
- 3) 使用する出力トランスには、16Ω/8Ω/4Ωの2次側タップがあるので、当該インピーダンスのスピーカーにも対応可能です。
- 4) 出力インピーダンスは、2.56Ωです。8Ωに対するダンピング・ファクターは、3.1です。
- 5) 出力段の出力インピーダンスは、約700Ω(1本当たり1400Ω)と見込まれ、直熱3極管に匹敵します。低インピーダンス・ドライブによって、出力トランスの性能を引き出すことが可能です。
- 6) ゲインは、21.4dB(約12倍)です。定格出力の入力感度は424mV(フルボリューム)ですので、ボリュームは使いやすい操作感になると考えます。
- 7) プリアンプと接続する場合は、フルボリュームとします。別稿のMC入力無帰還プリアンプと組み合せた場合、プリアンプのボリュームが15%(12時のノブ位置)で約1W出力となります。

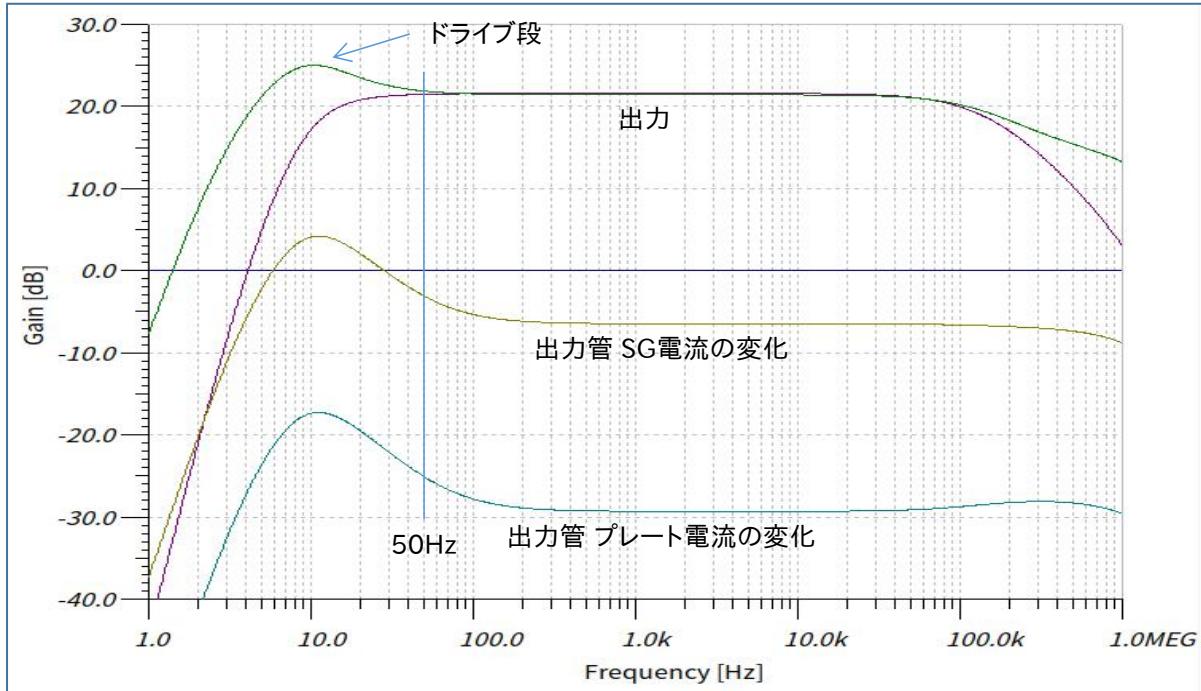
下表は、各增幅段の出力歪率(1kHz)です。

1W / 8Ω	STAGE1	STAGE2	OUT
THD	0.47%	1.65%	0.58%
2次歪	0.13%	1.19%	0.08%
3次歪	0.001%	0.02%	0.02%
4.7W / 8Ω	STAGE1	STAGE2	OUT
THD	1.07%	3.83%	1.58%
2次歪	0.46%	2.75%	0.24%
3次歪	0.02%	0.23%	0.47%

- 1) 歪率は、16次高調波までシミュレーションしています。
- 2) 本機は、2段階のP-K帰還を掛けて、シングルアンプの弱点である2次歪を、増幅段間の打ち消しによって低減しています。
- 3) 最大出力でも、2次歪が3次歪と同程度となっており、十分な効果が得られています。
- 4) 2段階としているのは、初段とドライブ段に同じ管種を使うことで、相互の非直線性の補正を意図したもので、当方式の汎用性を高めるためです。
- 5) また、2段階とすることで、十分な帰還量を確保することが可能となっています。

5. アンプの特性(2/3)

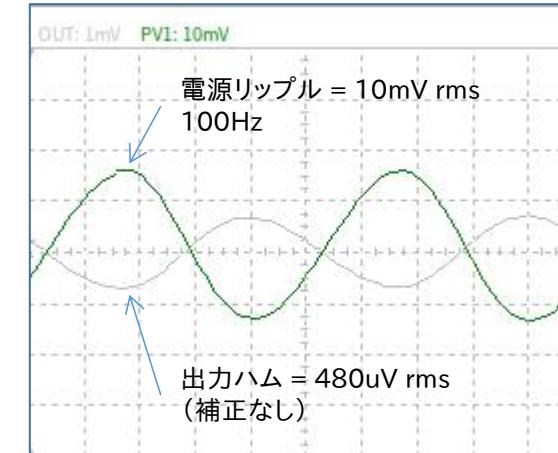
周波数特性(1W/8Ω)は、下図のとおりです。



- 1) 1W出力では、20Hz ~ 80kHz を-1dBでカバーしています。
- 2) 高域特性は、6BQ5パラレルの入力容量($10\text{pF} \times 2$)に対応して、グリッドリーク抵抗を $47\text{k}\Omega$ と低くしたことと、2段目のP-K帰還により、良好な特性となっています。
- 3) 低域特性は、出力トランスのインダクタンスに依存します。1次側= $3.5\text{k}\Omega$ 、インダクタンス= 9H 、巻線容量= 350pF にてシミュレーションしています。
- 4) 100Hz以下では、インダクタンス不足により動作電流が増大しており、1次側負荷が重くなっていることが伺えます。定格入力でのパワーバンドは、50Hz程度となります。

残留ノイズの評価は、以下のとおりです。

a) 電源リップルとハム



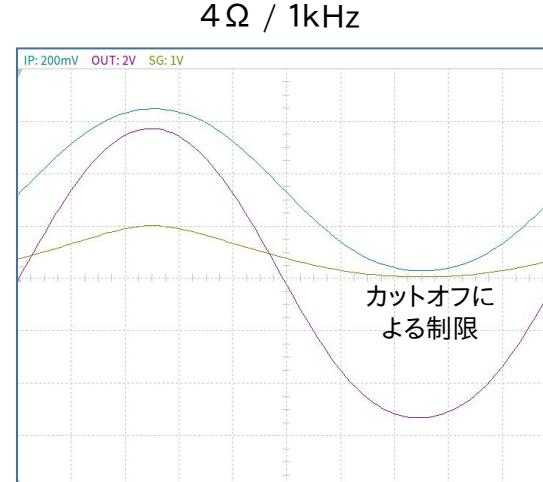
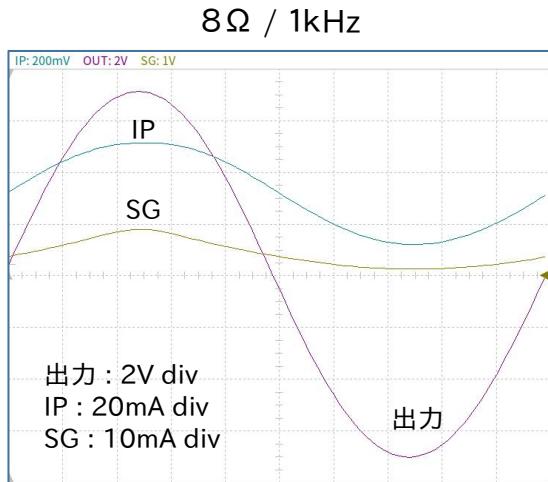
b) アンプ部のノイズ

- 1) シングルアンプなので、同相打ち消し等はありません。
- 2) シミュレーションによる計測では、 25uV rms です。
- 3) 実装状態では、ヒーターノイズも含め、 100uV rms 程度と想定しています。
- 4) 回路のインピーダンスを低くする、抵抗のW数に十分余裕を持たせるなどにより、低減を図っています。

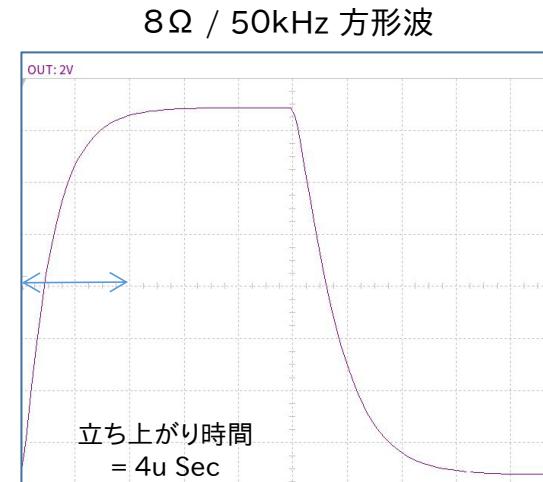
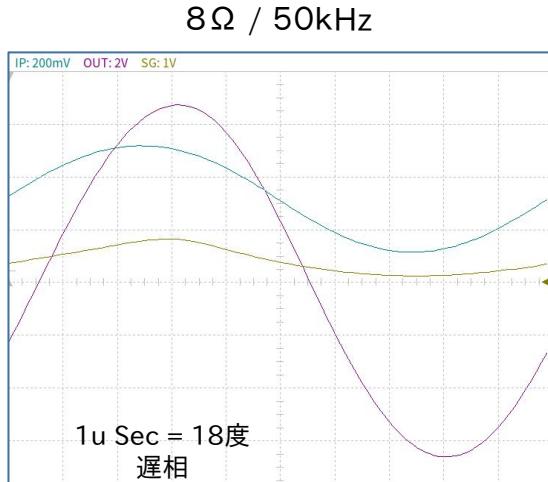
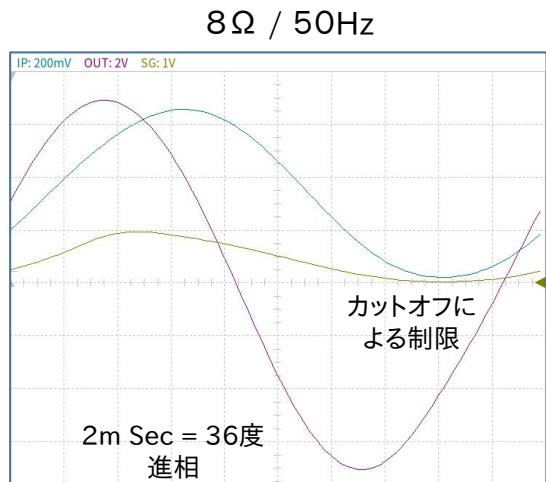
- 1) 電源部の回路設計で示したとおり、 480uV rms のハムが出力に出ます。
- 2) 電力に換算すると、 8Ω で $0.03\mu\text{W}$ となります。
- 3) 90dB の能率のスピーカーでは、 14.6dB (-75.4dB)の音圧レベルであり、ほぼ無音と評価しています。

5. アンプの特性(3/3)

下図は、各スピーカー・インピーダンスに対する、定格入力(424mV)時の各出力管の動作状態を示しています。

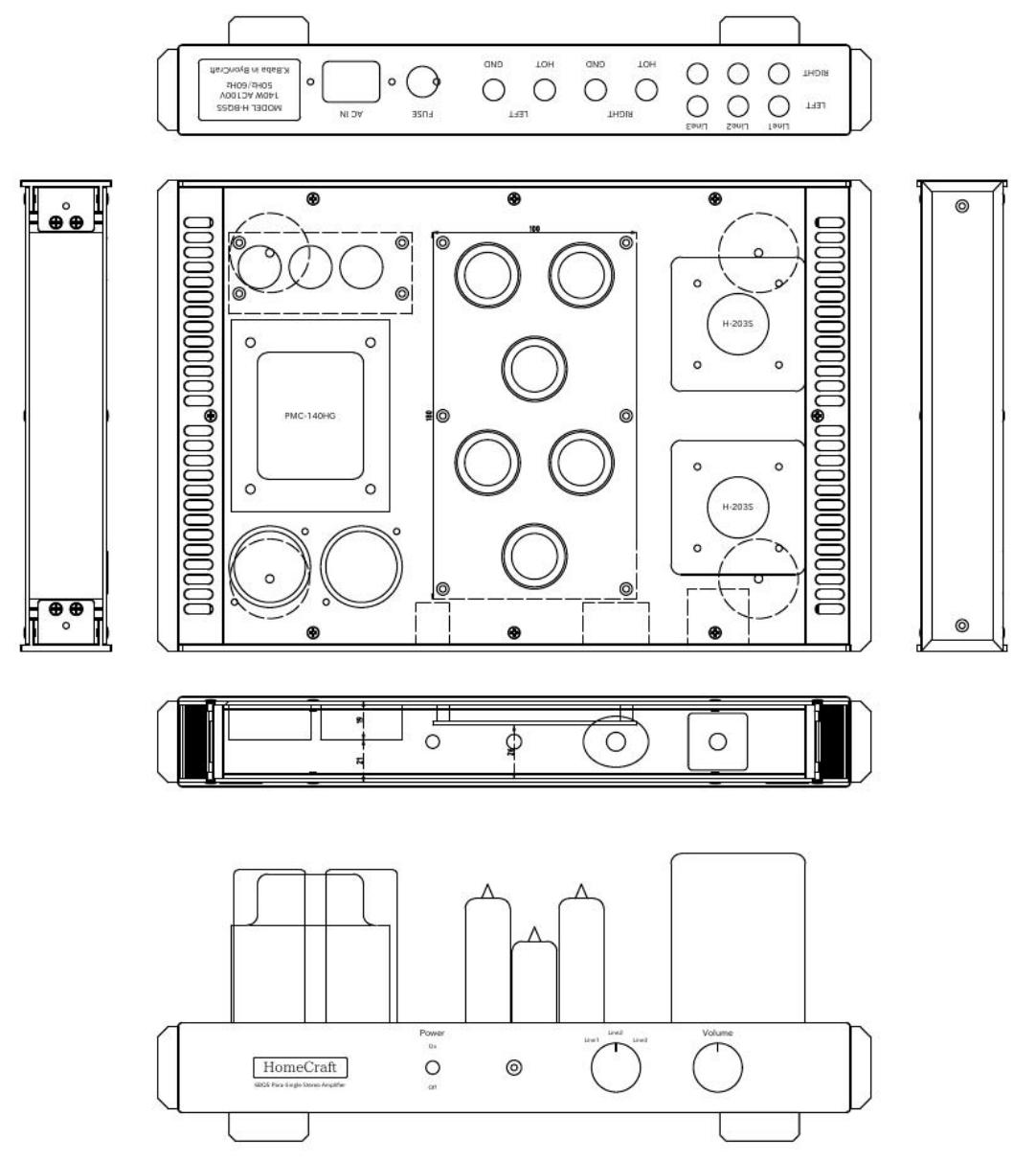


下図は、低域と高域の出力トランジスタ1次側負荷が重い状態での、定格入力(424mV)時の各出力管の動作状態を示しています。



- 1) 低域はOPTのインダクタンス低下により、高域はOPTの巻線容量の影響により、OPT1次側の負荷は重くなります。
- 2) 定格入力でのパワーバンドは、およそ50Hz ~ 50kHzと見込まれます。

6. 実装設計



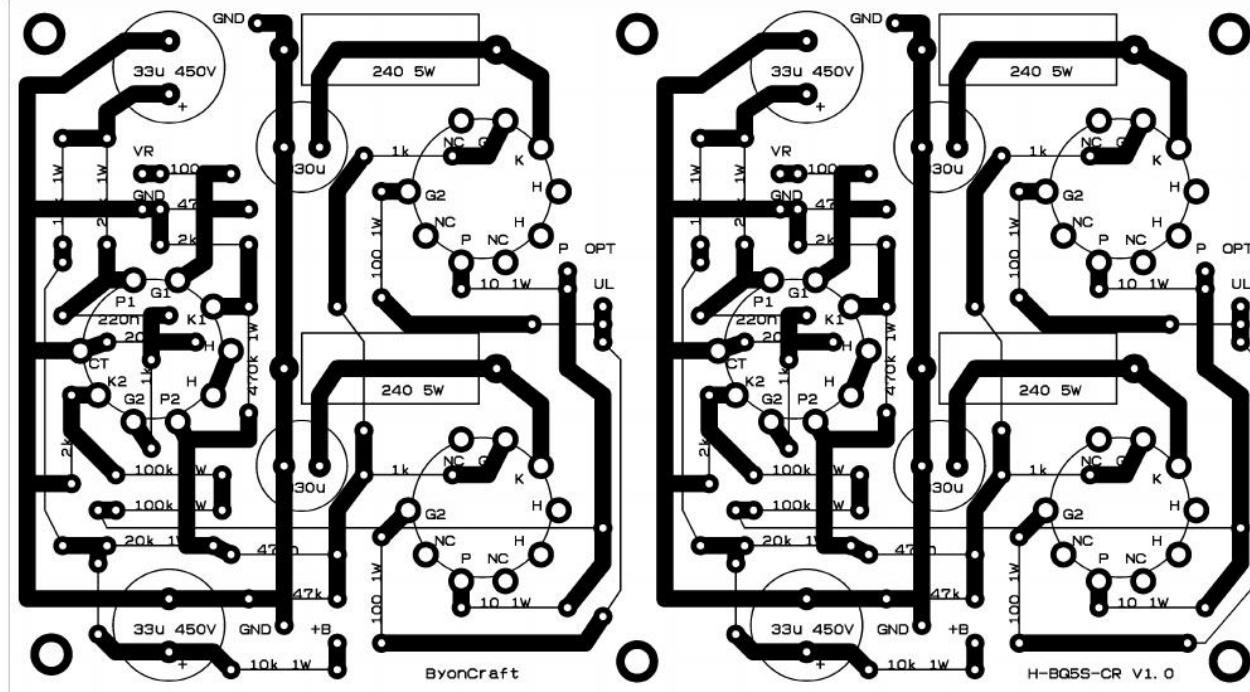
左図に実装の概略図を示します。

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
2	電源トランス	PMC-140HG	ゼネラルトランス	B巻線 220V
3	出力トランス	H-203S x 2	橋本トランス	3.5kΩ : 16/8/4Ω 9H/60mA 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	アンプ基板	180 x 100 t2	ユニクラフト	特注
7	Volume	100kΩ(A)x2	アルプラス・アルパイン	RK27
8	Input	4回路 3接点	アルプラス・アルパイン	SRRN ロータリーSW
9	Power	6P 8A	日本電産フジソク	トグルSW

7. 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	180 x 100 t2	1	片面 ユニクラフト 特注
	MT9Pソケット	基板用	6	TECSOL
C	デカップリングコンデンサー	33u 450V	4	日本ケミコン KXJ
R	デカップリング抵抗	10k 1W	4	金属皮膜
C	初段入力コンデンサー	0.1u 250V	2	SHIZUKI DEMS
R	初段グリッドリーク抵抗	470k 1/2W	2	金属皮膜
C	ドライブ段結合コンデンサー	0.22u 400V	2	SHIZUKI DEMS
R	ドライブ段グリッドリーク抵抗	200k 1/2W	2	金属皮膜
R	ドライブ段グリッド入力抵抗	1k 1/2W	2	金属皮膜 発振防止用

アンプ基板のパターン図と部品表を示します。(両チャネル分)

- 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。数力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。
- 5) なお、ソケットの裏面にあたる部分にも、部品を実装していますので、ご留意ください。

分類	部品名	値、定格等	数量	備考
R	プレート負荷抵抗	20k 1W	4	金属皮膜
R	カソードバイアス抵抗	2k 1/2W	4	金属皮膜
R	初段P-K帰還抵抗	470k 1W	2	金属皮膜
R	ドライブ段P-K帰還抵抗	100k 1W	4	金属皮膜
C	出力段結合コンデンサー	0.47u 400V	2	SHIZUKI DEMS
R	出力段グリッドリーク抵抗	47k 1/2W	2	金属皮膜
R	出力段カソードバイアス抵抗	240 5W	4	セメント
C	バイパス・コンデンサー	330u 35V	4	日本ケミコン KYB
R	出力段グリッド入力抵抗	1k 1/2W	4	金属皮膜 発振防止用
R	出力段プレート抵抗	10 1W	4	金属皮膜 発振防止用
R	出力段SG抵抗	100 1W	4	金属皮膜 発振防止用

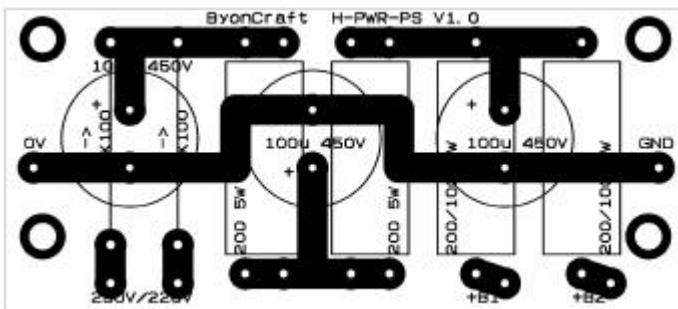
(合計 63)

Page 10

7. 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。(両チャネル共用)

- 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。



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

(合計 12)