

211 無帰還シングル モノーラル・アンプの設計



Rev.1 2025/10

馬場 和章
(美音クラフト株式会社)

本機は、直熱3極送信管 211を使用したモノラル・パワーアンプです。211は、通常高いプレート電圧を掛けて使用します。メーカー各社から高出力のパワーアンプが製品化されています。

本機は、アマチュアの自作に向けて、低電圧動作として取り組みやすさを優先しています。また出力は、ホームオーディオ用として、必要かつ十分と考えられる規模にとどめています。

なお本機は、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。

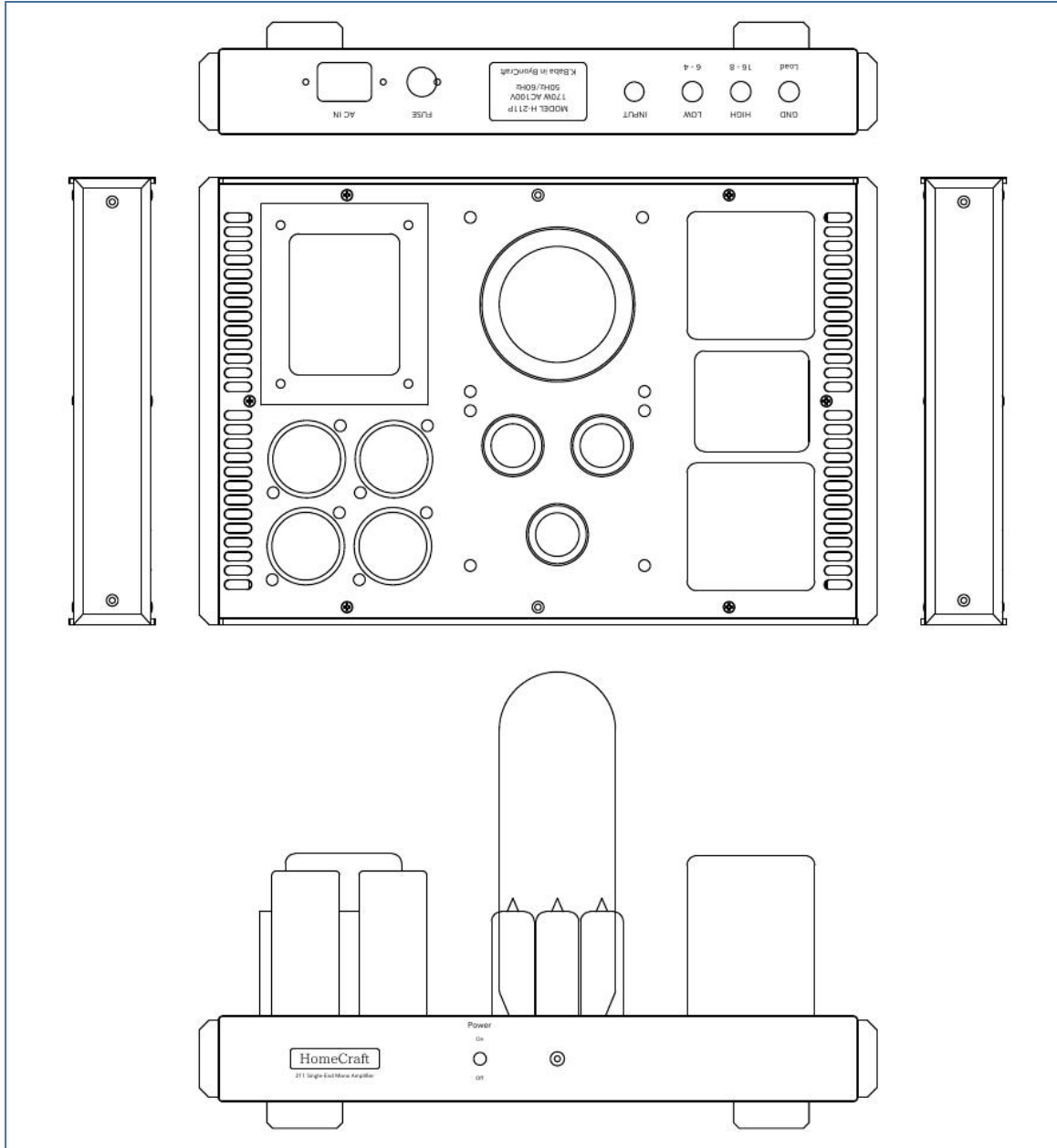
Contents

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. アンプの特性	Page 6
5. 電源部の回路設計	Page 8
6. 実装設計	Page 9
7. 基板設計	Page 11

※ 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

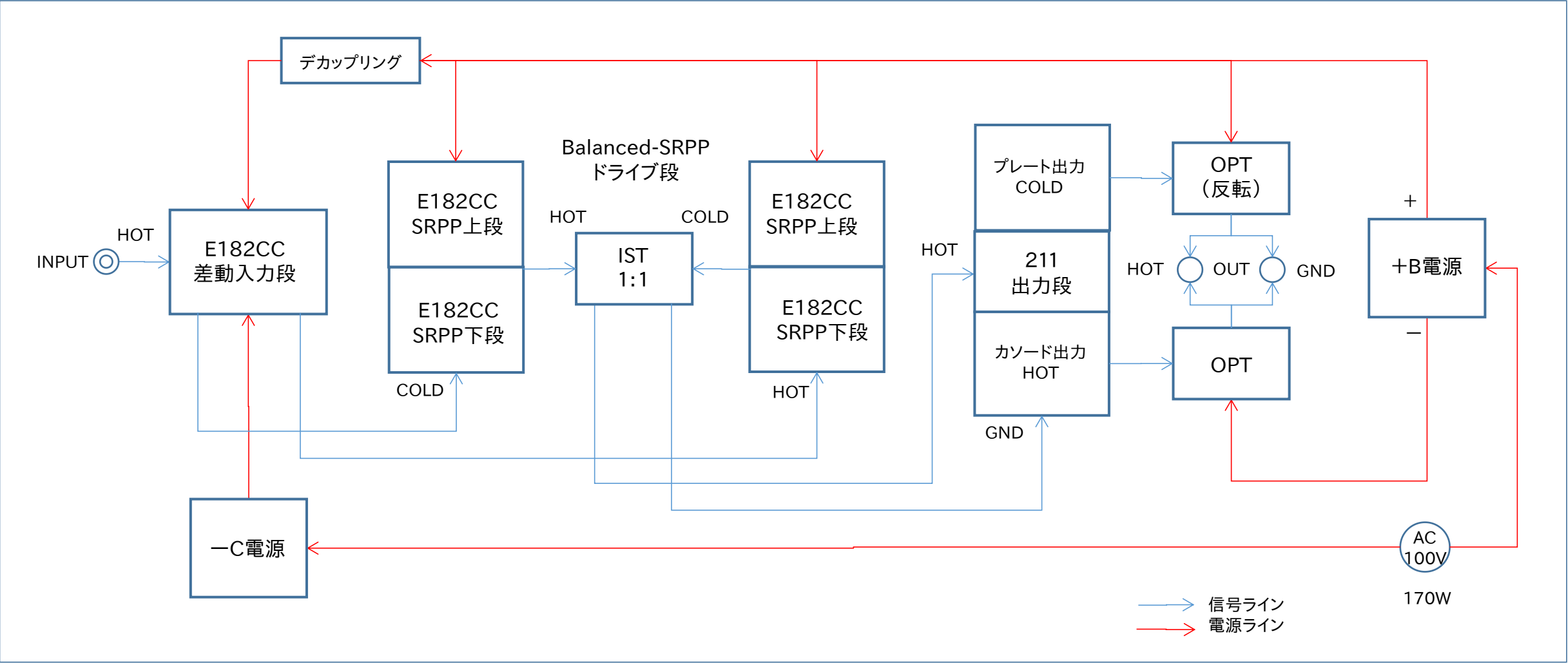


本機は、450Vの低電圧によるA2級動作です。中規模な出力として、厄介なグリッド電流も出力に寄与する方式により、無帰還にて必要な性能を達成しています。

- 1) 出力規模は、定格出力 6.9W/8Ω、最大出力 10W/8Ωです。
- 2) 出力トランスを2個使用して、プレート側とカソード側から出力を取り出し、出力トランス2次側で並列合成しています。
- 3) ドライブ電圧は、段間トランスにより、グリッド-グランド間に印加しており、カソード側はフォロワー回路となっています。
- 4) ドライブ段は、大振幅のドライブ電圧を賄うため、バランス回路を採用しています。
- 5) ゲインは出力規模に合わせて、約21dBとなっています。単機能のモノラル・パワーアンプであるため、プリアンプとの組み合わせが必要となります。
- 6) 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共通のシャーシを採用しました。
- 7) 211の巨躯が、シャーシ中央に屹立する、インパクトのあるスタイルとなりました。

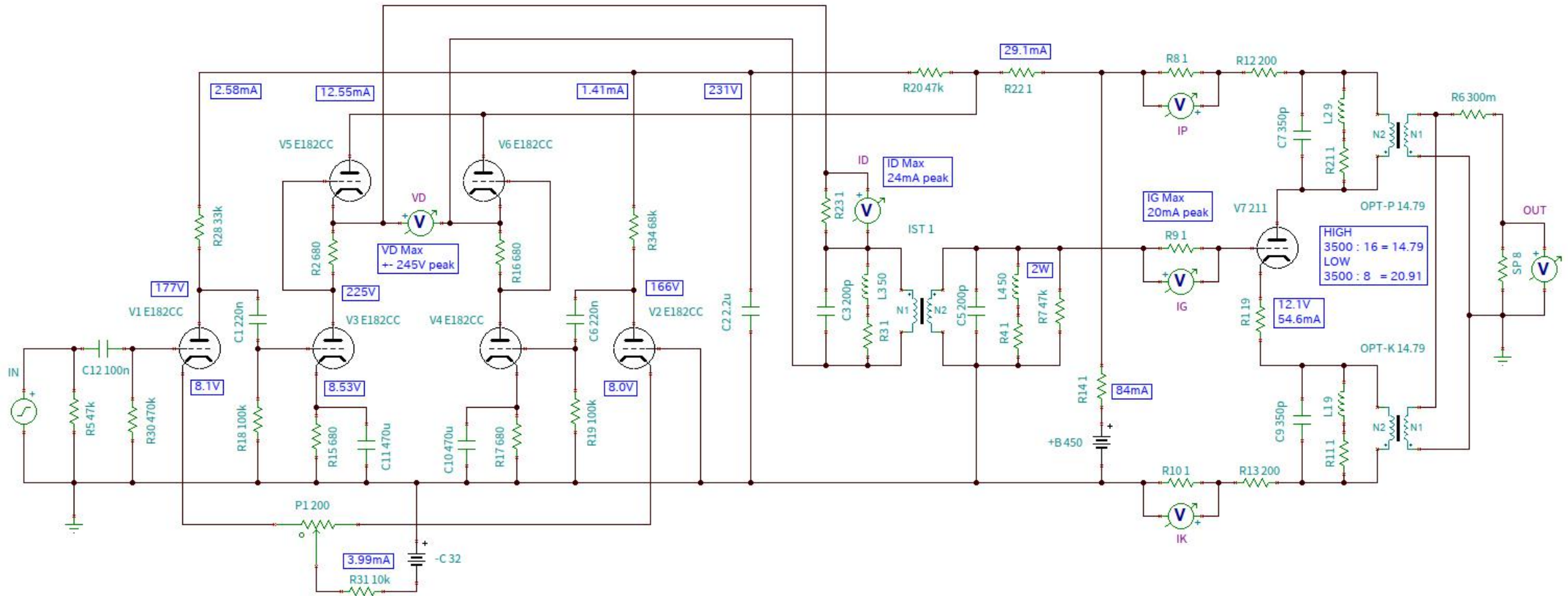
2. ブロックダイアグラム

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。出力は、HIGH/LOWの2つの端子があります。
本機のポイントとなるドライブ段には、± 250Vの大振幅と電流容量を賄うため、Balanced-SRPP 回路を採用しています。



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。次ページにて、当回路のポイントを解説します。



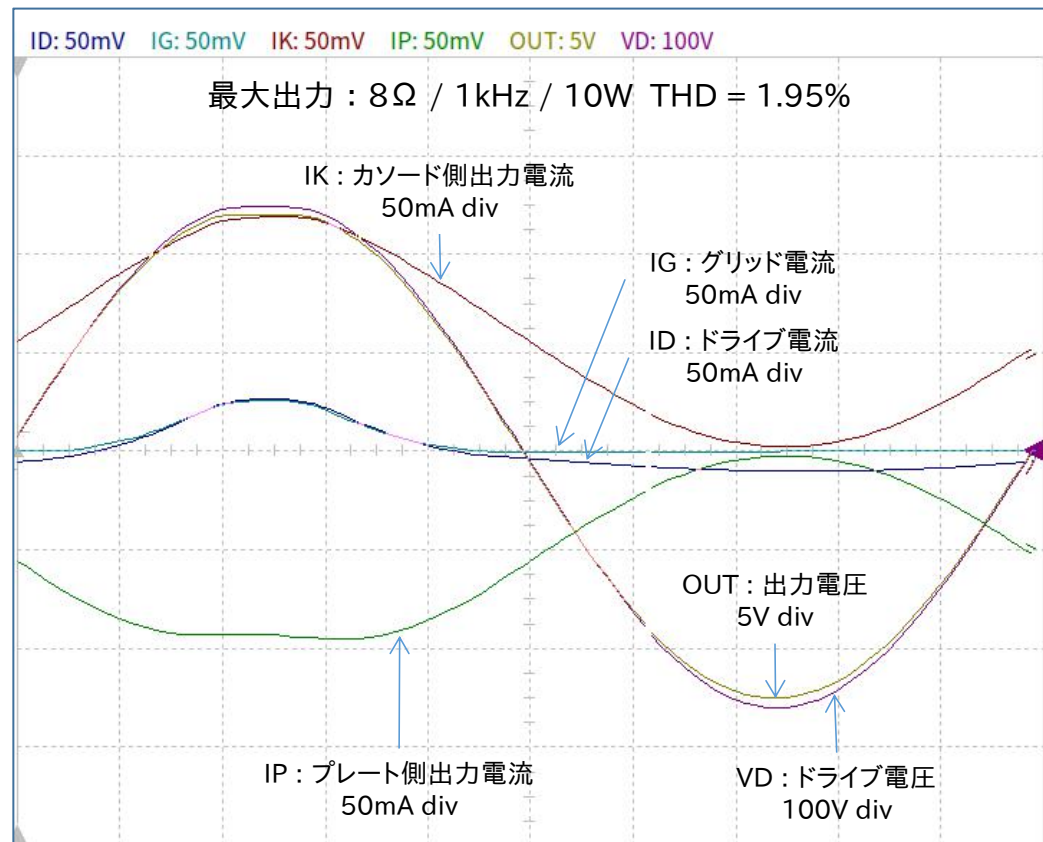
E182CCは、JJ社の現行生産品ECC99が代替可能です。
ただし、ピン配置が異なるので、実装時にご注意ください。

ISTの使用法は、下記のとおりです。巻線比は1:1です。
1次側は、バランス出力を受けるため、直流は重畳されない方式です。
2次側は、47kΩで終端して、1次側の負荷変動を緩やかにしています。

2個のOPTの使用法は同一で、下記のとおりです。
HIGH 3.5kΩ: 16Ω 16Ω端子に8Ωを負荷 出力点は1750Ω
LOW 3.5kΩ: 8Ω 8Ω端子に4Ωを負荷 出力点は1750Ω

3. アンプ部の回路設計(2/2)

- 1) 本機は、211をセロバイアスで使します。ただし、カソード側出力トランスのDCRにより-12V程度のバイアスが掛かります。アイドル電流は50mA ~ 60mAを見込んでいます。
- 2) プレート側出力トランスは反転させて、カソード側出力トランスと並列合成します。出力段のゲインは 約-2dB(=0.8倍)と低くなります。211のカソード側はフォロワー出力ですので、出力インピーダンスは十分に低減されます。また、出力段の同相ノイズは打ち消されて、-22dB(=1/13)程度に低減されます。
- 3) 出力段の+B電源のリプルによるハムは、上記の打ち消し効果で低減されます。これにより、電源のチョークコイルは省略可能です。
- 4) 211 は交流点火します。出力段のゲインは 約-2dB(=0.8倍)と低く、また2次歪も小さくなるため、フィラメントハム電圧は低くなります。精密なハムバランス回路により、フィラメントハムを実用的なレベルに抑えることが可能です。
- 5) ドライブ段はバランス回路であるため、ドライブ電圧は低ノイズです。ドライブ段単体のS/N比は、約110dBです。



※ 左図は、最大出力時の各ポイントの電圧および電流の波形図です。

- 6) 本機は、最大 25mA peak のグリッド電流が流れる前提で設計しています。
- 7) グリッドプラス領域では、エミッションの一部はグリッドに流れ込み、プレート側出力電流は減少します。この時ドライブ段は、ドライブ電圧を正しく維持するように、グリッド電流に見合う電流を供給して相殺し、ドライブ電圧を維持します。
- 8) 相殺されるグリッド電流は、カソードとグラウンド(-B)間の出力トランスを流れているため、カソード側出力電流の一部として出力されます。
- 9) これにより、エミッションは全て出力されますが、グリッド電流分は半分の負荷にしか流れないため、歪は完全には解消されません。
- 10) また、カソード側にも負荷があることから、211には電流帰還が掛かり、非直線性が改善されます。出力段の歪率は 0.4%以内に収まっています。
- 11) アンプ全体の歪率は、多くをドライブ回路の性能に依存しています。大振幅とピーク電流を、低歪かつ低インピーダンスで供給するため、Balanced-SRPP方式のドライブ回路を採用しています。

4. アンプの特性(1/2)

各出力端子における入出力特性を下表に示します。(1kHz時)

HIGH	1W /8 ohm	16 ohm	8 ohm	6 ohm	Max /8 ohm
DF	5.7	11.4	5.7	4.3	5.7
Zo	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
In peak	0.340	0.900	0.900	0.900	1.100
In rms	0.240	0.636	0.636	0.636	0.778
Out rms	2.85	8.08	7.42	7.02	8.95
PWR	1.0	4.1	6.9	8.2	10.0
THD	0.43%	0.38%	0.60%	0.97%	1.95%
Gain dB	21.5	22.1	21.3	20.9	21.2
SPL +dB	0.1	9.1	8.4	7.9	10.0

LOW	2W /4 ohm	6 ohm	4 ohm	3 ohm	Max /4 ohm
DF	4.6	6.9	4.6	3.5	4.6
Zo	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
In peak	0.500	1.000	1.000	1.000	1.100
In rms	0.354	0.707	0.707	0.707	0.778
Out rms	2.86	6.02	5.63	5.24	6.13
PWR	2.0	6.0	7.9	9.2	9.4
THD	0.39%	0.72%	0.83%	2.00%	1.94%
Gain dB	18.2	18.6	18.0	17.4	17.9
SPL +dB	0.1	6.6	6.0	5.4	6.7

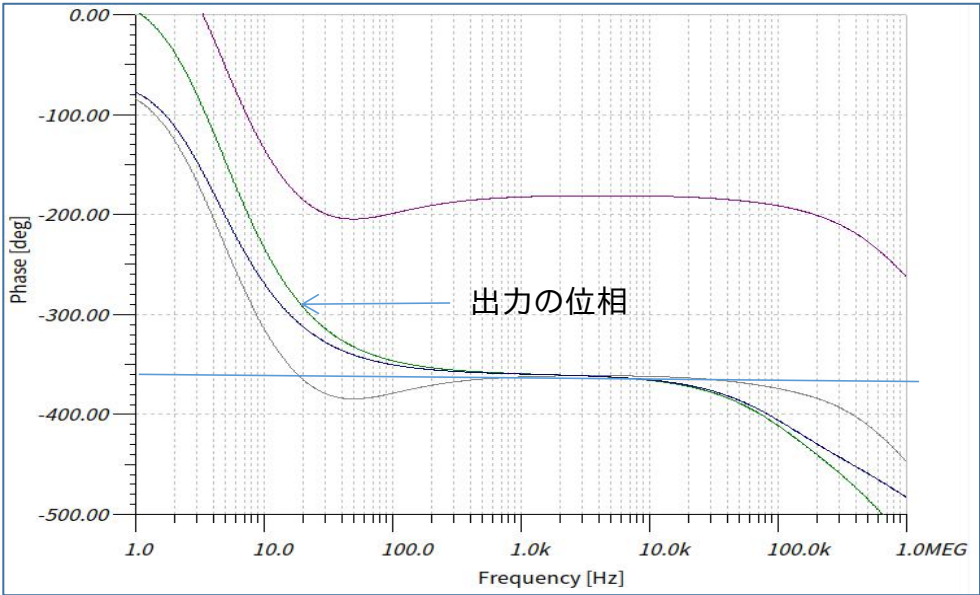
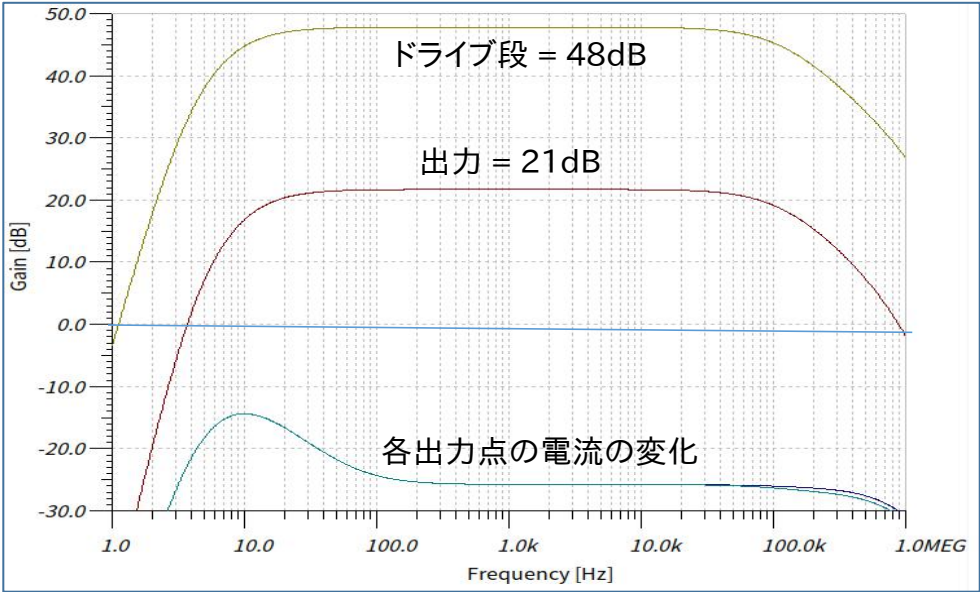
HIGH端子におけるゲインは、約21dBです。7Wクラスのパワーアンプとしては使いやすいゲインとなっています。

- 1) 定格入力(=636mV)では、6Ωまで歪率 1%以内です。4Ω負荷ではクリップします。
- 2) 8Ωの最大出力は、10Wです。定格からのマージンは、+1.6dBです。
- 3) 出力インピーダンスは、ループ帰還のないパワーアンプとしては十分に低い値となっています。
- 4) 歪率は、シングルアンプとしては十分に低い値です。

LOW端子におけるゲインは、約18dBです。定格出力には、若干高い入力が必要です。

- 1) 定格入力(=707mV)では、3Ωまで定格入力が可能です。2Ω負荷ではクリップします。
- 2) 4Ωの最大出力は、9.4Wです。定格からのマージンは、ほとんどなく、+0.7dBです。
- 3) 出力インピーダンスは、出力トランスのインピーダンス比より若干高くなっています。
- 4) 歪率は、シングルアンプとしては十分に低い値です。

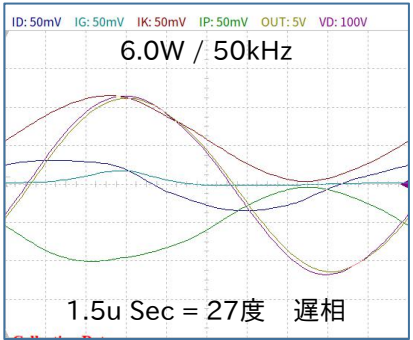
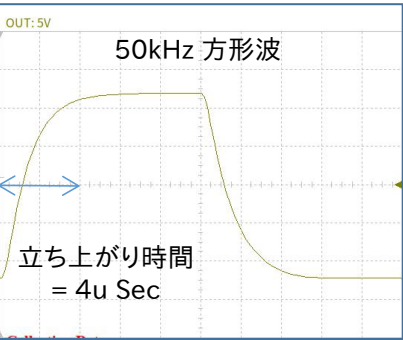
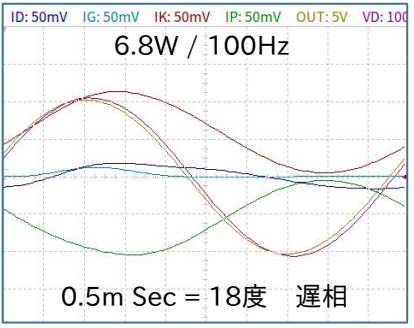
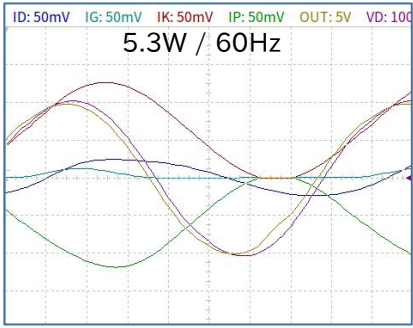
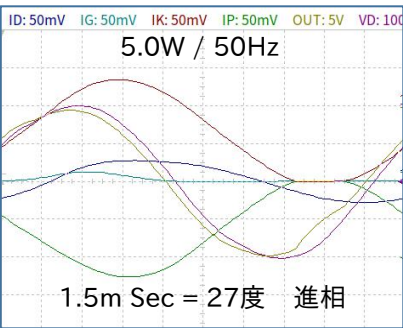
4. アンプの特性 (2/2)



左図に、周波数特性および位相特性を示します。(HIGH端子 1W/8Ω/1kHz)

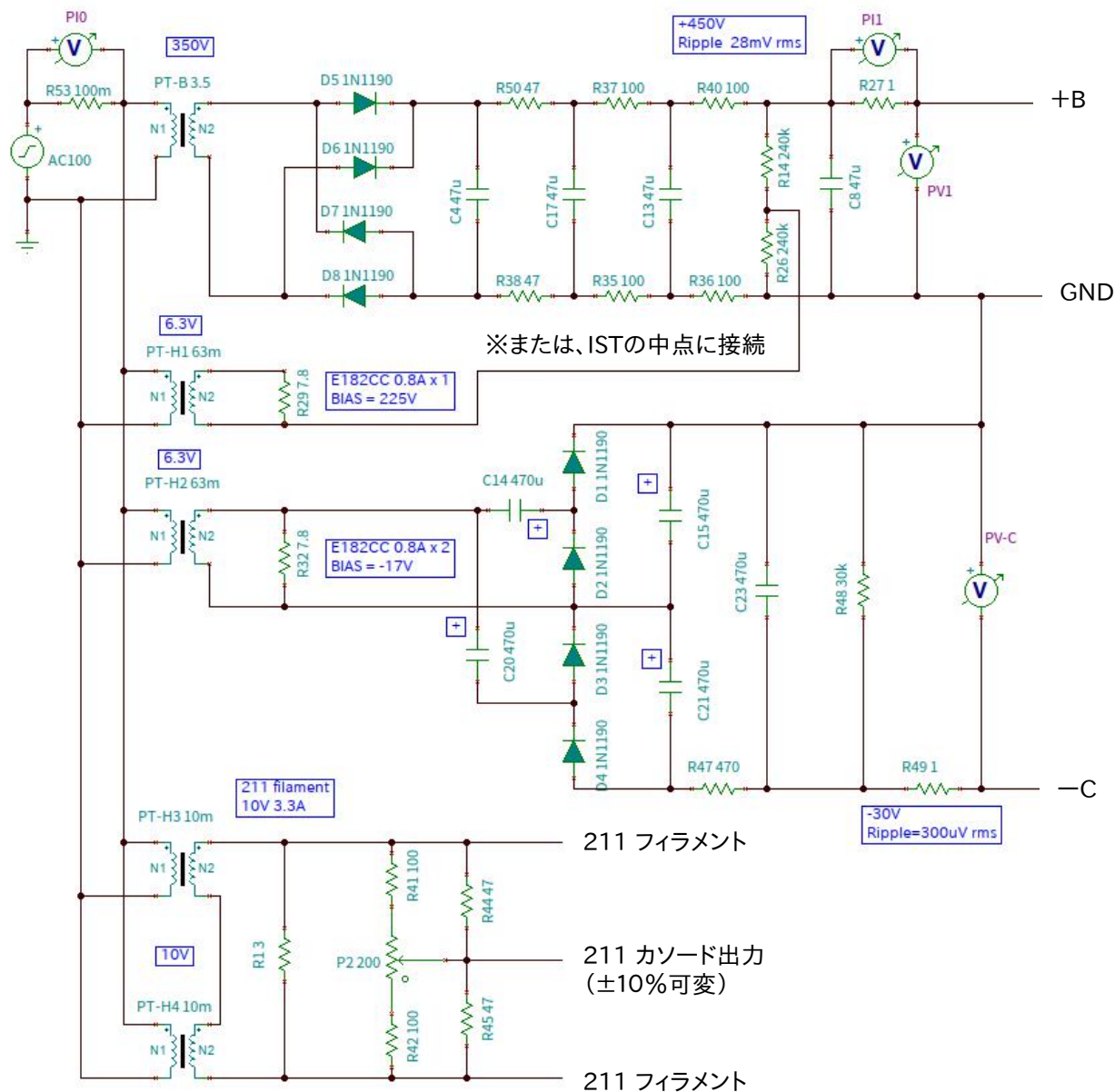
- 1) 周波数特性は、20Hz ~ 50kHz (−1dB)となっています。
- 2) 高域は、段間トランスの性能に依存します。特に巻数が多く、それによる巻線容量(C成分)が多い場合、早めに減衰し、出力段を十分にドライブできなくなります。
- 3) 低域は、出力トランスのインダクタンスに依存します。本機では、2次側に定格の1/2の負荷を接続することで、1次側は3.5kΩの1/2 = 1750Ωで使用しています。1次側巻数はそのまま(9H x 2)ですが、出力トランスが小型のため、インダクタンスは若干不足しています。

下図にパワーバンド特性を示します。(HIGH端子 6.9W/8Ω/1kHz)



- 1) 定格入力(636mV)のパワーバンドは、およそ60Hz ~ 50kHzとなっています。
- 2) 低域の50Hzでは、入力を絞る必要があります。

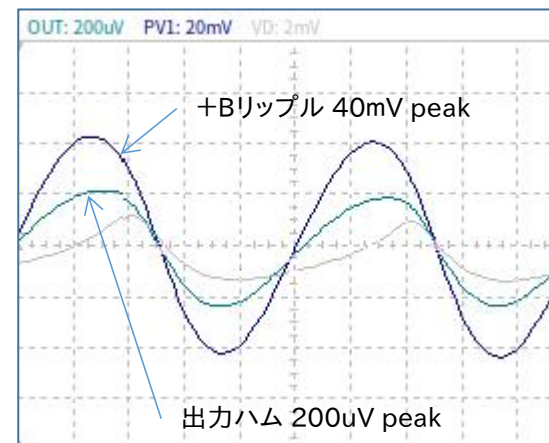
5. 電源部の回路設計



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 (450V前後、90mA)

- 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。Rは小さくしています。Cの合計は200uFで、若干不足しています。
- 3) 出力の+B電源によるハムは、約140uV rmsです。



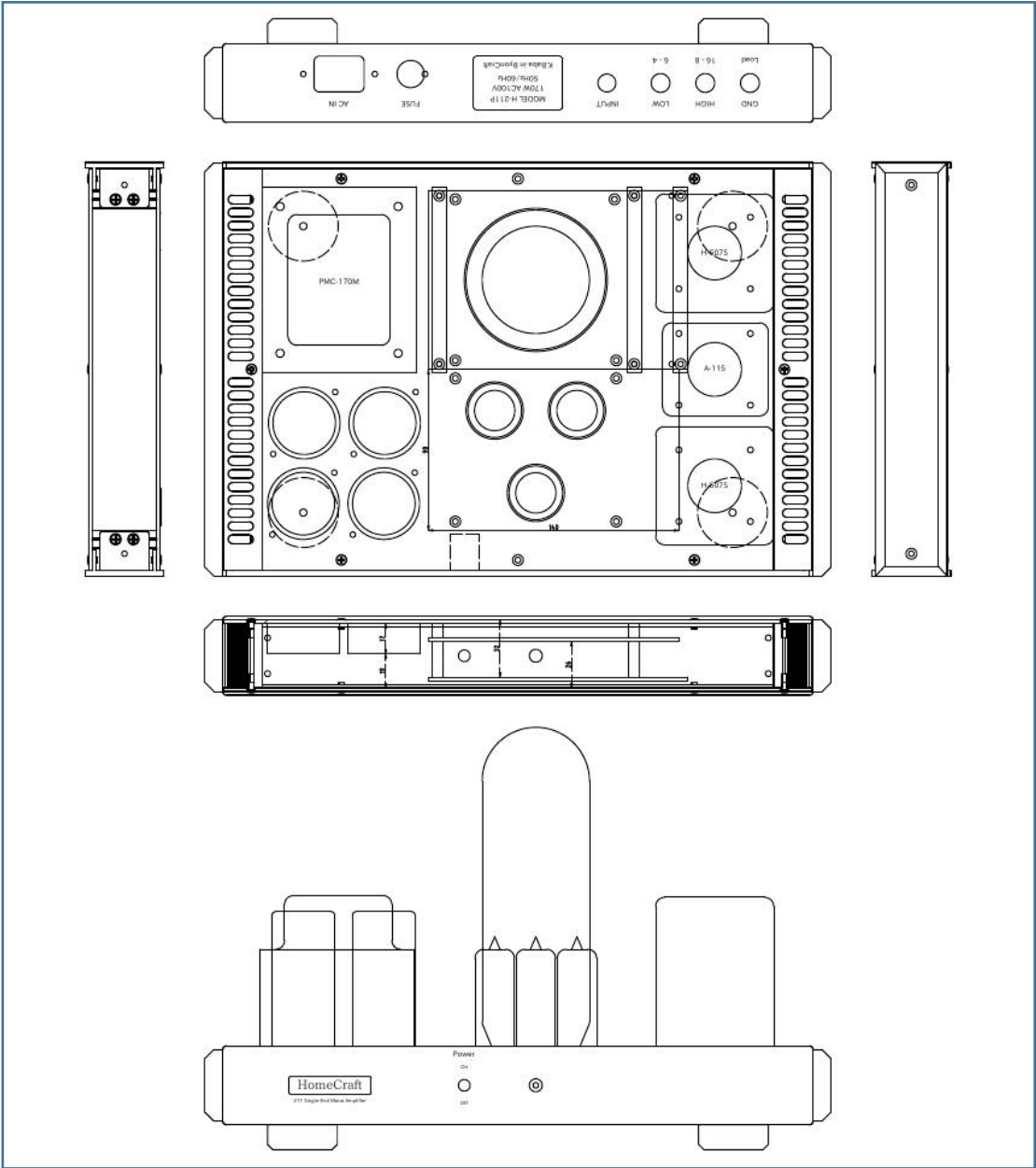
-C電源 (-30V前後、8mA)

- 1) ヒーター回路 (6.3V) から、4倍電圧整流で生成しています。

フィラメント電源 x 2 (10V、3.3A)

- 1) 211は交流点火です。ハムバランスでカソード出力を取り出します。
- 2) 微調整可能なように、76Ωのハムバランス回路を設計しています。
- 3) ハムバランス調整後も、800uV rms 程度の残留ハムが見込まれます。

6. 実装設計(1/2)



左図に実装の概略図を示します。

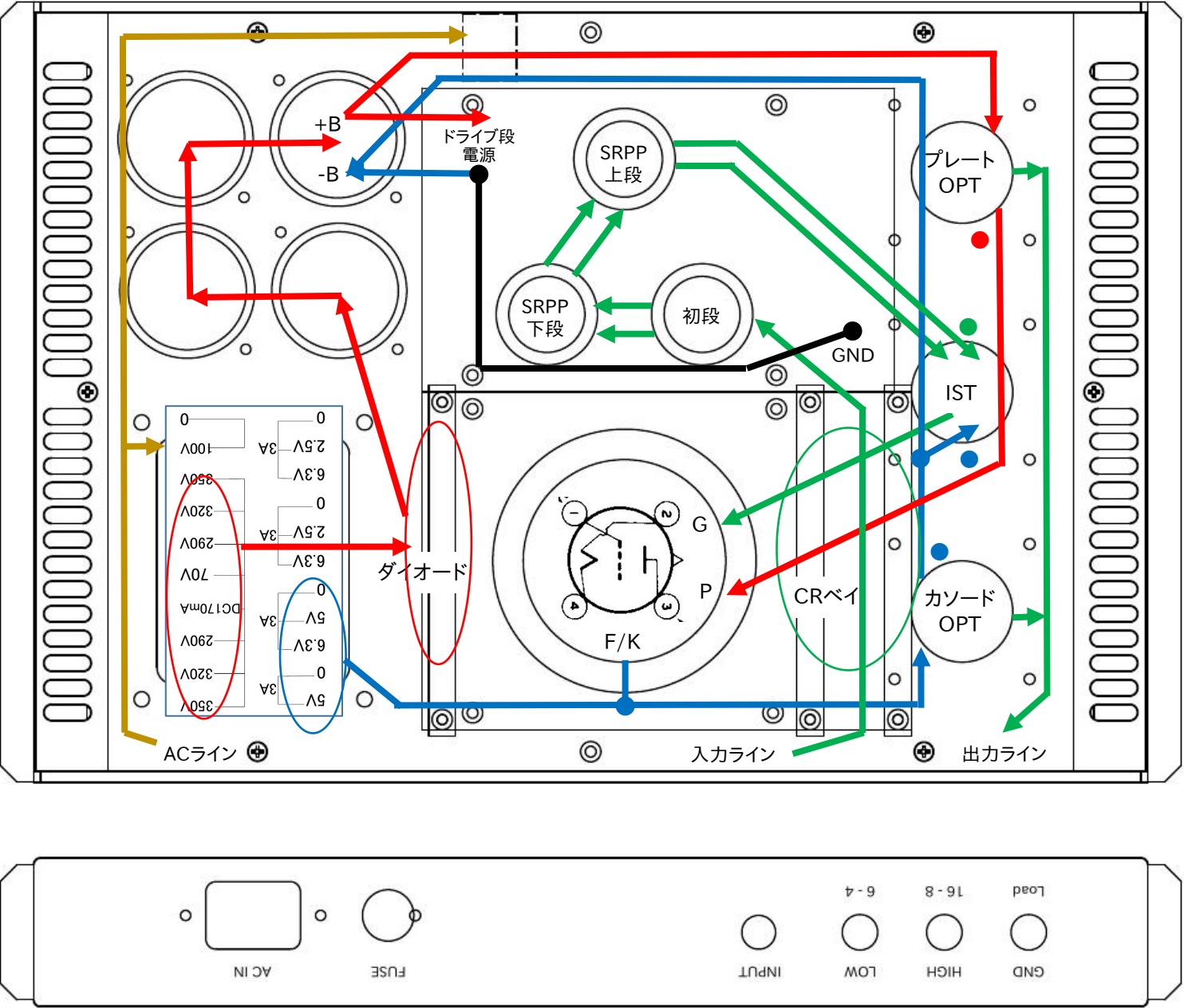
ドライバー段およびC電源は、プリント基板を使用し、極力コンパクトに実装するように工夫しました。

+B電源部と出力管周りは手配線です。出力管サブシャーシに端子板を設けて、ダイオードやCR類を取り付けて配線します。

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-170M	ゼネラルトランス	B巻線 350V
3	出力トランス	H203S x 2	橋本トランス	3.5kΩpp : 16Ω/8Ω 9H/60mA 7W/50Hz
4	段間トランス	A-115	橋本トランス	5kΩ 1:1 50H/15mA 1.8W/30Hz
5	+B平滑コンデンサー	47uF 800V x 4	SHIZUKI RUZ フィルムコンデンサー	取付バンド込み
6	ドライブ段基板	140 x 90 t2	ユニクラフト	特注
7	Power	6P 8A	日本電産フジソク	トグルSW

6. 実装設計(2/2)



左図にシャーシ内部配線の概略図を示します。

- 1) +B電源は、左図のように手配線にて組み立てます。
- 2) 全波整流となるため、ダイオードは2個直列にして、耐圧をクリアしています。

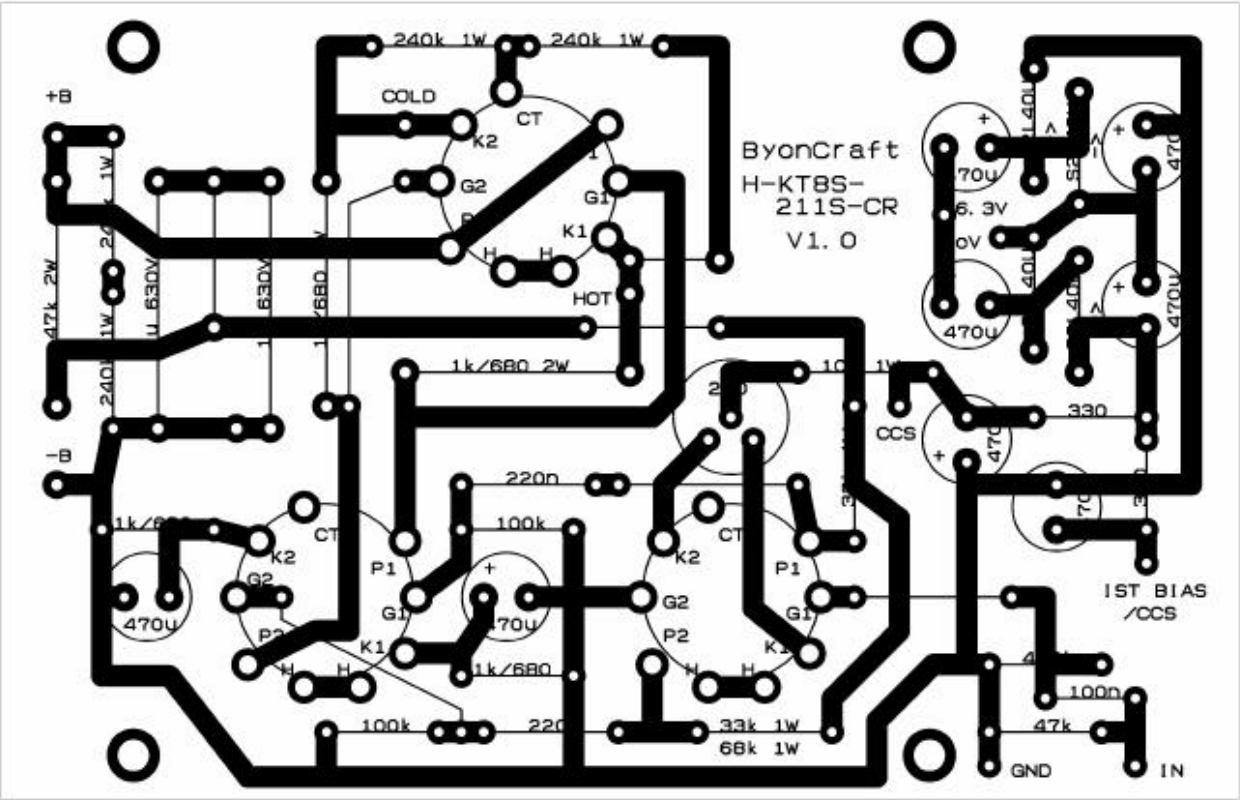
分類	部品名	値、定格等	数量	備考
Di	ダイオード	1000V 2A	4	新電元 S2K100 FRD
R	フィルター抵抗	47 5W	2	セメント
R	フィルター抵抗	100 5W	4	セメント
C	フィルターコンデンサー	47u 800V	4	SHIZUKI RUZ フィルムコンデンサー

- 3) CRベイには、下記の部品を組み込みます。

分類	部品名	値、定格等	数量	備考
R	IST終端抵抗	100k 1W	2	金属皮膜
R	ハムバランス抵抗	47 3W	2	金属皮膜
R	バランス調整抵抗	100 1W	2	金属皮膜
R	バランス調整トリマ	200 RJ-13	1	日本電産コパル

- 4) OPTは、極性に注意が必要です。●印が巻き始めです。OPT2次側は、0Ωが巻き始めです。
- 5) IST 1次側は、+225Vの直流電位が掛かり、± 250V の信号電圧が掛かります。ISTは同位相で使用します。
- 6) 211のカソードは、± 200V の電圧が掛かります。このためフィラメント電源にも± 200V の電位が掛かります。

7. 基板設計



ドライブ段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
R	入力抵抗	47k 1/2W	1	金属皮膜
C	入力コンデンサー	0.1u 250V	1	SHIZUKI DEMS
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	33k 1W	1	金属皮膜
R	初段プレート抵抗	68k 1W	1	金属皮膜
R	初段カソードバランス調整	200 RJ-13	1	日本電産コパル
R	初段カソード定電流抵抗	10k 1W	1	金属皮膜
C	下段結合コンデンサー	0.22u 630V	2	SHIZUKI DEMS
R	下段グリッドリーク抵抗	100k 1/2W	2	金属皮膜
R	下段プレート抵抗	680 2W	2	金属皮膜
R	下段カソード抵抗	680 1/2W	2	金属皮膜
C	バイパスコンデンサー	470u 50V	2	日本ケミコン KYB
Di	ダイオード	400V 2A	4	新電元 S2L40U FRD
R	フィルター抵抗	330 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

(合計 40)

分類	部品名	値、定格等	数量	備考
	プリント基板	140 x 90 t2	1	片面 ユニクラフト 特注
	MT9Pソケット	基板用	3	TECSOL
R	デカップリング抵抗	47k 2W	1	金属皮膜
C	給電コンデンサー	1u 630V	2	SHIZUKI DEMS
R	上段ヒーターバイアス抵抗	240k 1W	2	金属皮膜
R	+B電源放電抵抗	240k 1W	2	金属皮膜