

Balanced-SRPP 無帰還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)

本紙は、ホームオーディオ向け真空管パワーアンプの設計を紹介しています。
小出力ながら、バランス出力回路を採用し、無帰還で必要な性能を達成しています。
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

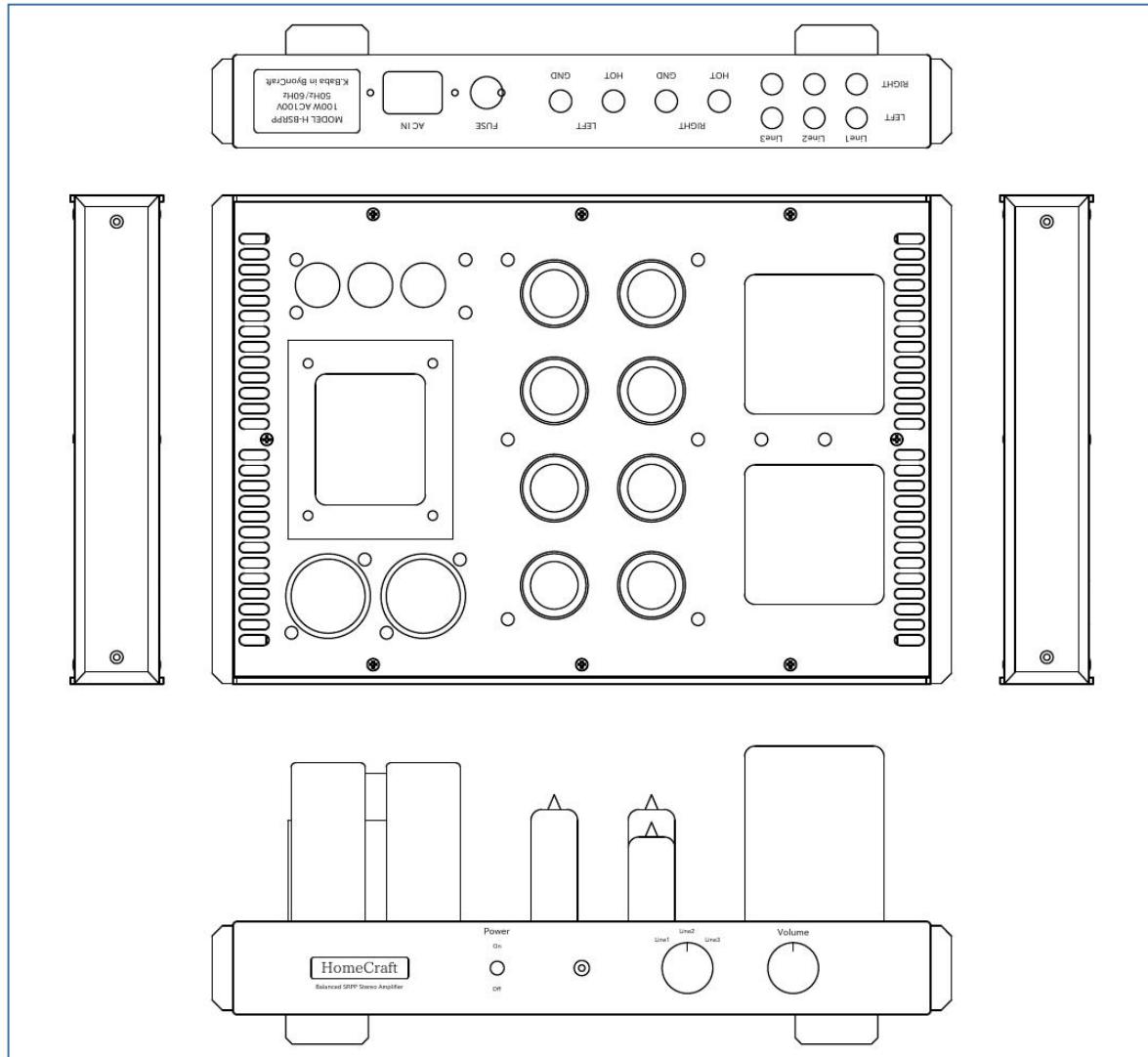
1. パワーアンプの概要	Page 2
2. ブロックダイアグラム	Page 3
3. アンプ部の回路設計	Page 4
4. アンプ部の特性	Page 5
5. 電源部の回路設計	Page 7
6. 実装設計	Page 8
7. 基板設計	Page 9

※ 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

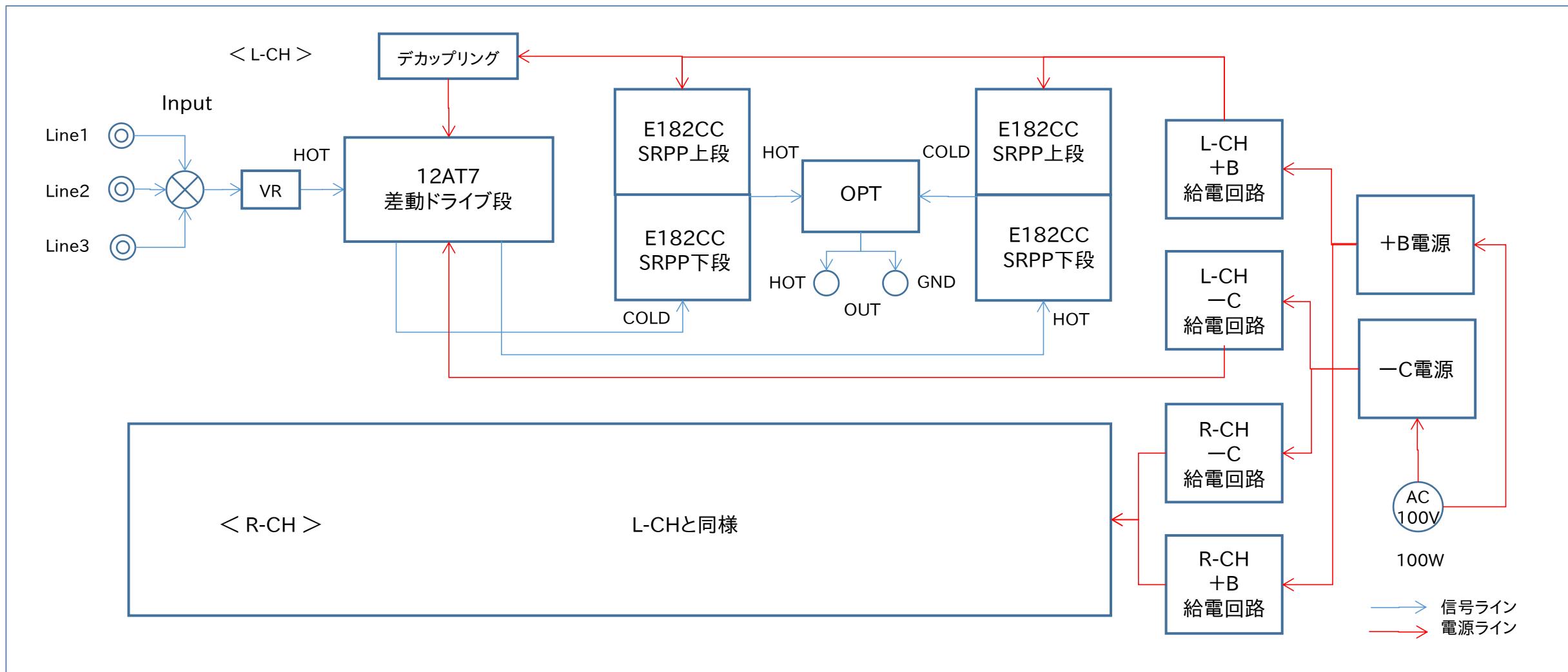
パワーアンプの性能向上には、何らかの打ち消し補正を使用します。本機は、バランス回路によって、各増幅段で同相ノイズや歪を打ち消す方式を採用しています。シンプルな構成とするため、ループ帰還は使用していません。



- 1) 本機は、定格出力3W+3Wのステレオ・パワーアンプです。実装設計を踏まえて、真空管8本で収まる回路規模としています。
- 2) 無帰還とするため、出力段は3極管を使用し、さらに出力インピーダンスを下げるため、SRPP回路を採用しました。
- 3) SRPPのバランス出力段を構成する場合、通常の出力管では本数が超過するため、電流容量のある双3極管を採用しています。
- 4) 双3極管を採用した結果、定格出力は3W+3Wとなっていますが、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。
- 5) 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。
- 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。

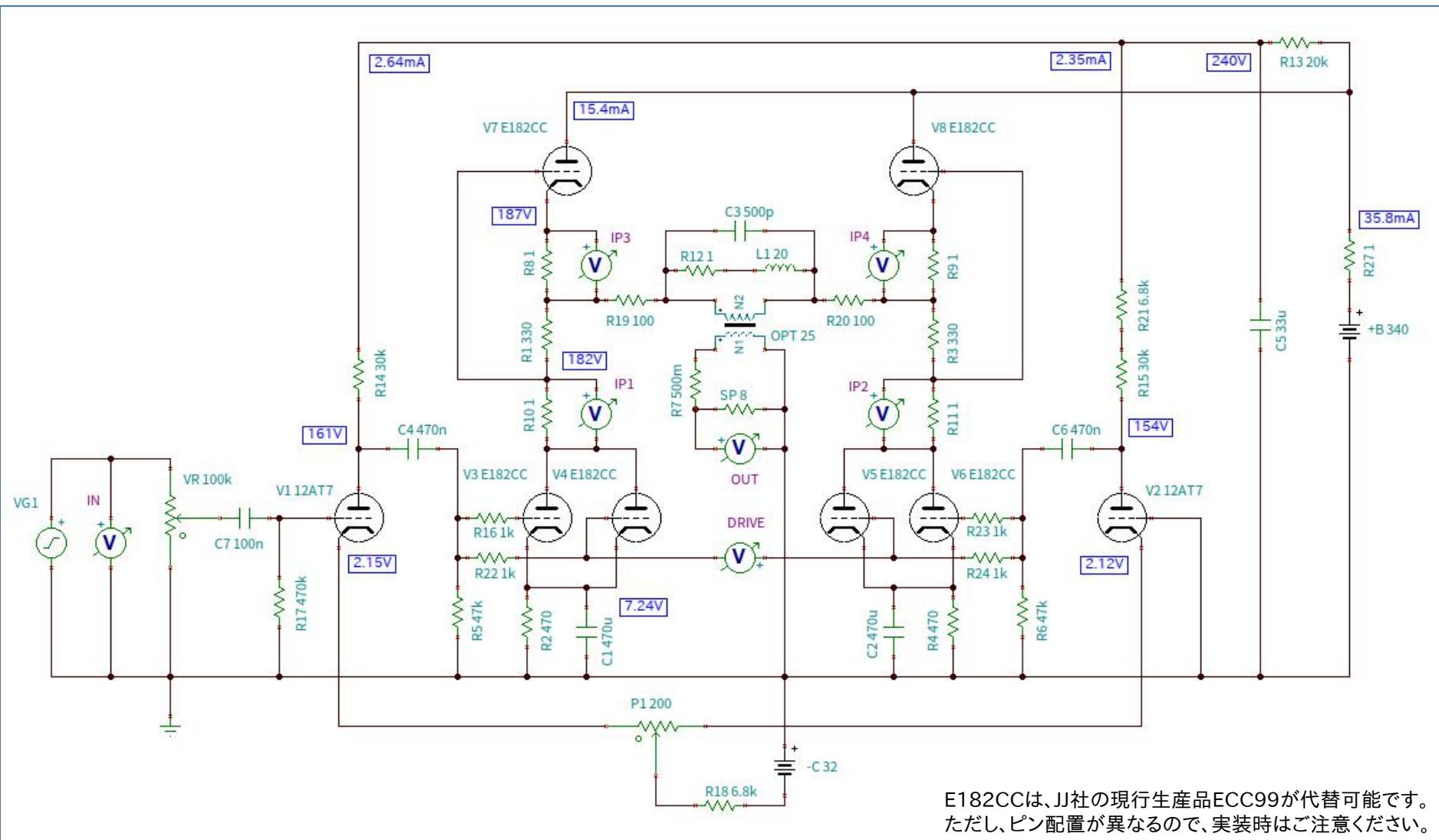
2. ブロックダイアグラム

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。詳細は回路設計の項で解説します。



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。出力段には、直熱出力管のドライバー管として採用される、電流容量の大きいE182CC(Philips)を用いています。バランス方式のSRPP回路の採用により、出力トランジスタには直流は重畠されず、単純なインピーダンス変換器として動作する方式となっています。



- 1) SRPPの電圧配分は、カソードバイアス抵抗の調整により、下段は約190V、上段は約150Vとなっています。
- 2) SRPP下段は、パラレルすることで負荷を軽くし、クリップやカットオフしないように動作点を設定しています。
- 3) SRPP上段は、負荷が重くなる局面ではAB級動作となります。プレート損失に留意して動作電流を決定しています。
- 4) 初段は差動回路となっています。定電流回路は抵抗1本で済ませています。
- 5) 差動回路の出力は完全にはバランスしないため、負荷抵抗に差をつけてACバランスを調整しています。

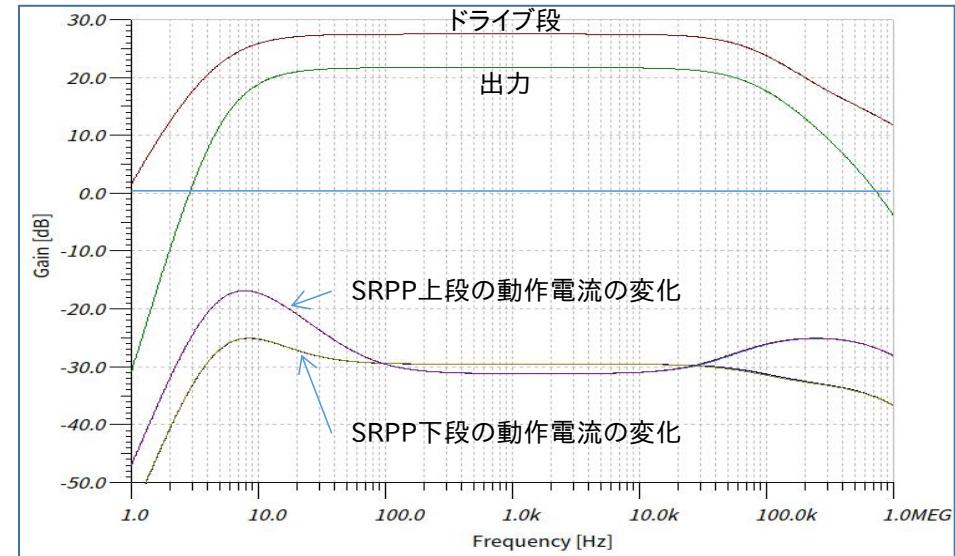
4. アンプ部の特性(1/2)

入出力特性(1kHz)は、下表のとおりです。

5k / 8 ohm	1W / 8ohm	16 ohm	8 ohm	6 ohm	4 ohm
DF	3.6	7.1	3.6	2.7	1.8
Zo	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
In peak	0.330	0.600	0.600	0.600	0.600
In rms	0.233	0.424	0.424	0.424	0.424
Out rms	2.84	5.86	5.15	4.71	3.93
PWR	1.0	2.1	3.3	3.7	3.9
THD	0.07%	0.50%	0.24%	1.05%	3.10%
Gain dB	21.7	22.8	21.7	20.9	19.3
SPL +dB	0.0	6.3	5.2	4.4	2.9

- 1) 8Ωの定格出力は、3.3Wです。ダンピング・ファクターは、3.6です。
- 2) スピーカー・インピーダンスが低下する局面では、4Ωまではクリップせず出力可能です。
- 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) 歪率は、0.1%以下 / 1W、0.3%以下 / 3.3W となっています。バランス方式の採用により、ループ帰還なしでも十分に低歪となっています。
- 5) ゲインは、21.7dB(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。
- 6) 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わせた場合、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。

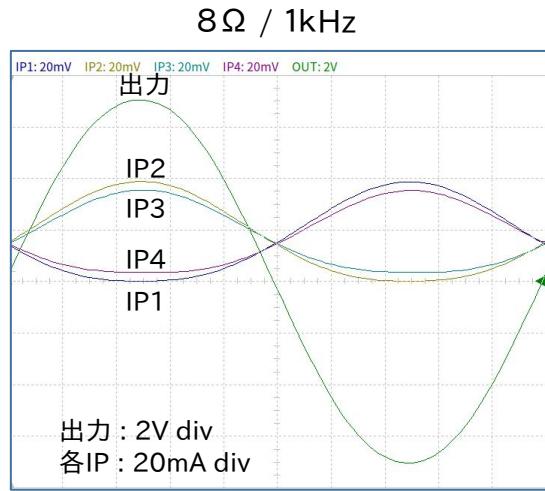
周波数特性(1W/8Ω)は、下図のとおりです。



- 1) 無帰還のため広帯域ではないものの、20Hz ~ 50kHz を-1dB でカバーしています。
- 2) 特性はドライブ段に依存しています。低域は結合CR定数が、高域はE182CCパラレルの入力容量が、制約となっています。
- 3) 出力トランスは、音質等を考慮し、単純な巻線構造のシングル用トランス(コアギャップあり)を選択しています。
- 4) 1次側=5kΩ、インダクタンス=20H、巻線容量=500pFにてシミュレーションしています。低域、高域では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。

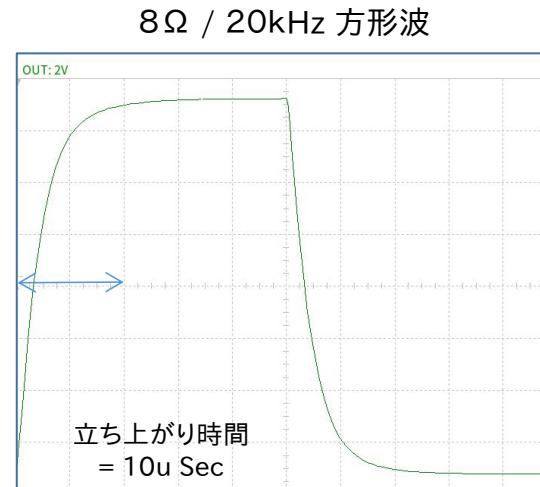
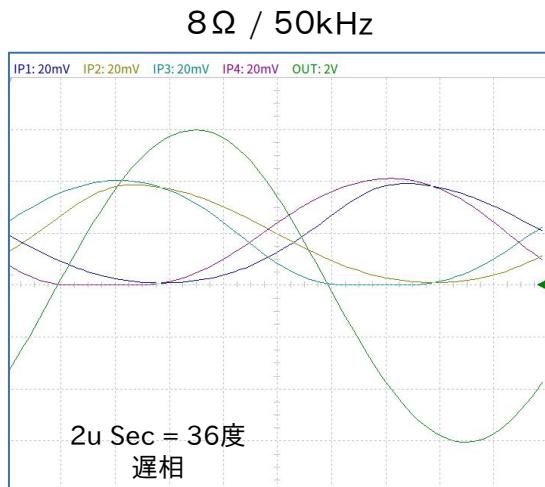
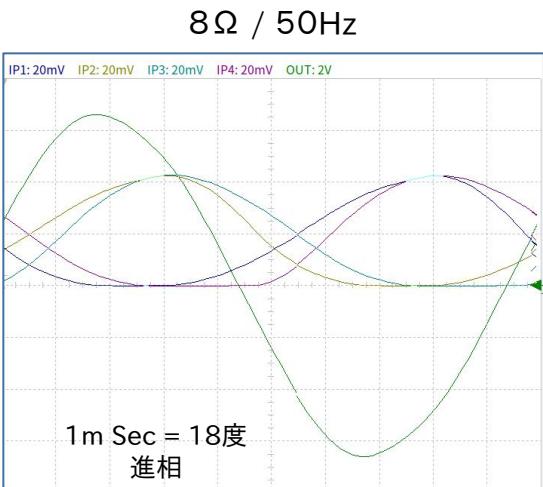
4. アンプ部の特性(2/2)

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。



- 1) 負荷が軽い時は、SRPP上段は軽い動作となります。
- 2) 負荷が重くなるにつれてSRPP上段の電流が増えて、最終的にはAB級動作となります。
- 3) SRPP下段がカットオフやクリップすると、出力はクリップします。

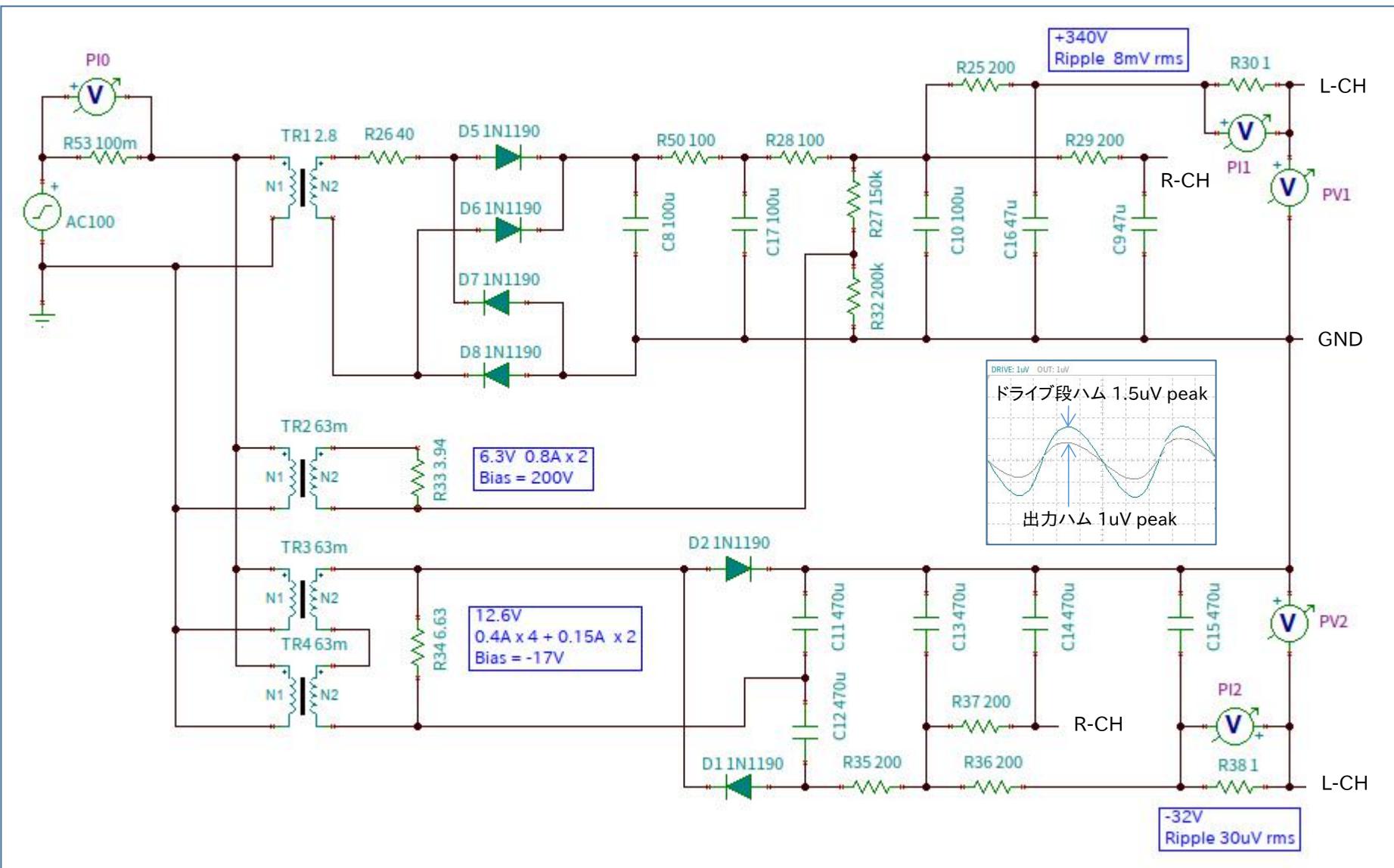
下図は、低域と高域の出力トランジスタ1次側負荷が重い状態での、定格入力(424mV)時の各出力管の動作状態を示しています。



- 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。それに伴って、SRPP上段はAB級動作となります。
- 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。

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 (350V前後、36mA 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ます。
- 3) 出力のハムは、約1uV peakに収まっています。

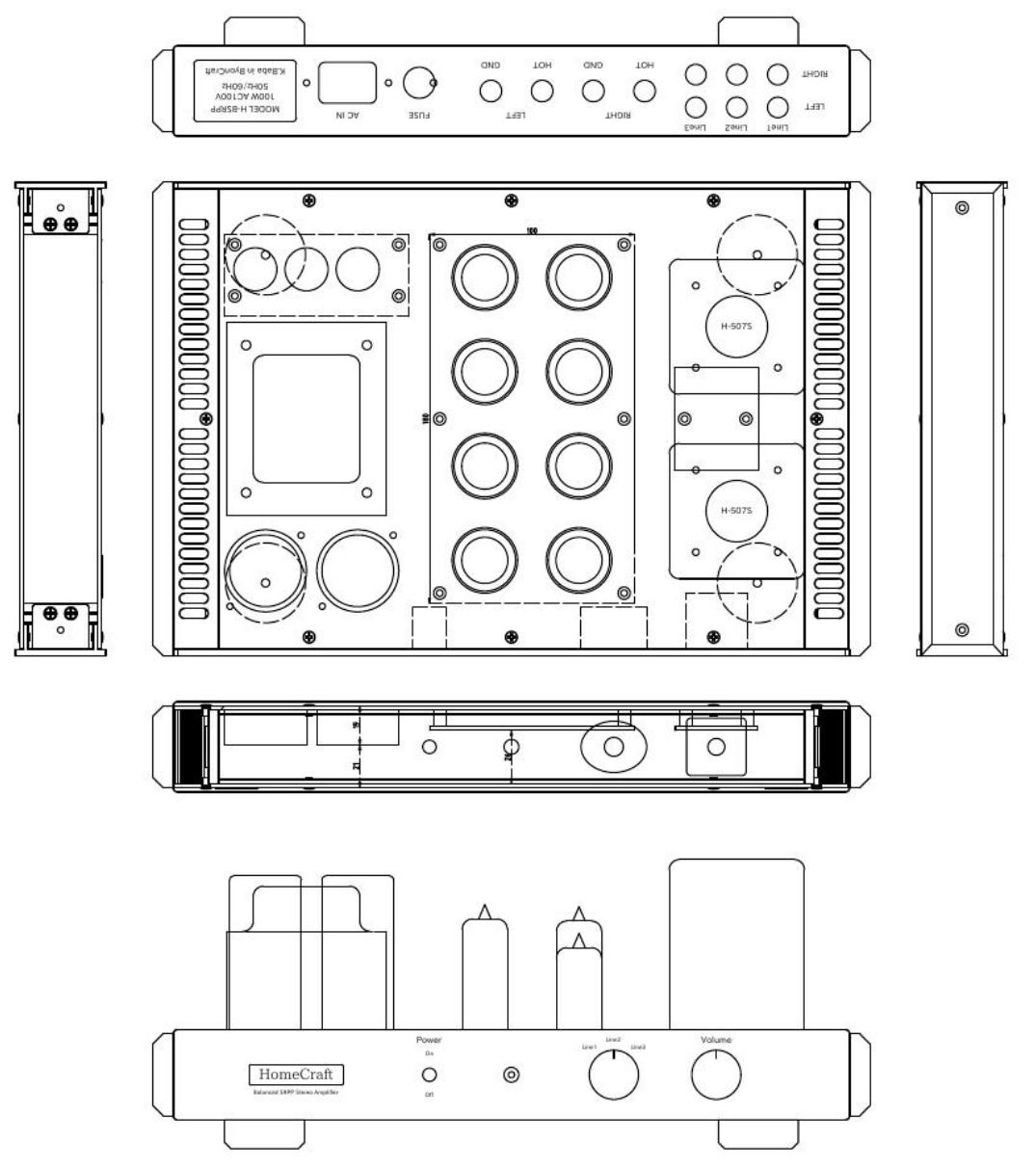
-C電源 (-32V前後、10mA)

- 1) ヒーター回路(12.6V)から、倍電圧整流で生成しています。

ヒーター回路

- 1) SRPP上段には、200Vのヒーターバイアスを掛けています。または、出力トランジストの1次側中点をバイアスに利用する方法もあります。
- 2) SRPP下段とドライブ段は、-C電源と共に用となるため、12.6Vで点火します。-17Vのヒーターバイアスが掛かります。

6. 実装設計



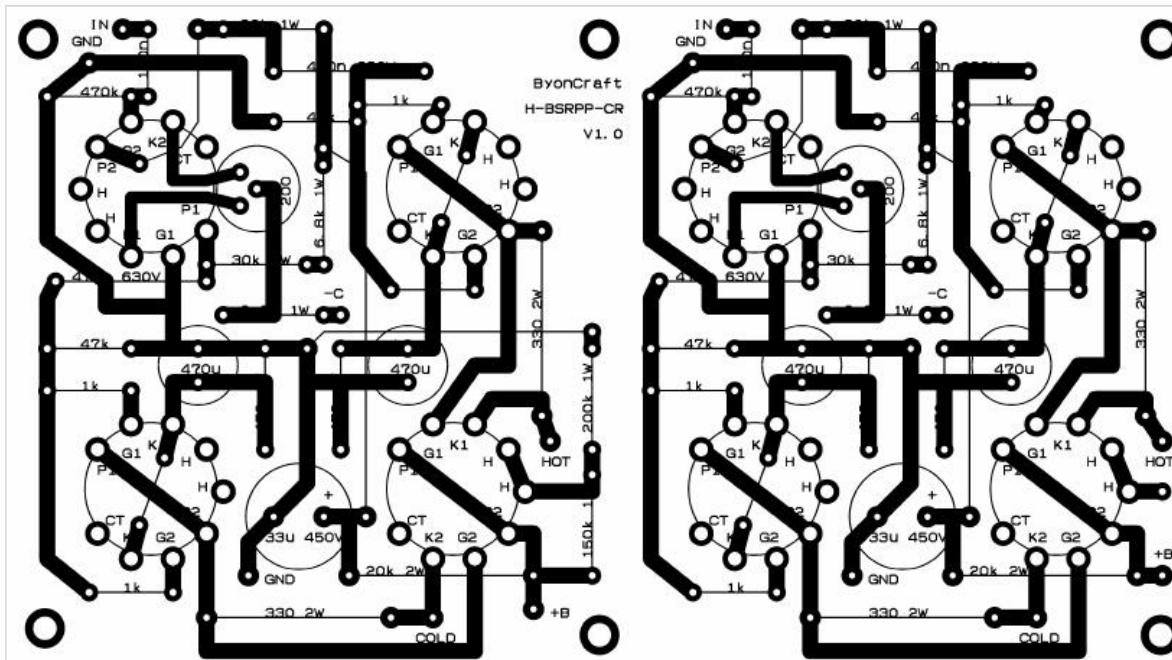
左図に実装の概略図を示します。

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 HY-44-33-23	タカチ	W=330,D=230,H=44 カスタム加工特注
2	電源トランス	PMC-100M	ゼネラルトランス	B巻線 280V
3	出力トランス	H-507S x 2	橋本トランス	5kΩ : 16/8/4Ω 20H想定(DC重畠なし) 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	180 x 100 t2	ユニクラフト	特注
8	Volume	100kΩ(A)x2	アルプス・アルパイン	RK27
9	Input	4回路 3接点	アルプス・アルパイン	SRRN ロータリーSW
10	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	8	TECSOL
R	デカップリング抵抗	20k 2W	2	金属皮膜
C	フィルターコンデンサー	33u 450V	2	日本ケミコン KXJ
C	入力コンデンサー	0.1u 250V	2	SHIZUKI DEMS
R	ドライブ段グリッドリーク抵抗	470k 1/2W	2	金属皮膜
R	ドライブ段プレート抵抗	30k 1W	4	金属皮膜
R	ACバランス調整抵抗	6.8k 1W	2	金属皮膜
R	DCバランス調整トリマー	200 RJ-13	2	日本電産コパル

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)

- 出力管のピン配置は、JJ社の現行生産品ECC99に合わせたパターンとなっています。
- SRPP上段のヒーターバイアス回路は、この基板に実装しています。
- 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。
- 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。
- 表面にCRを実装します。数カ所ジャンパーがあります。
- 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。

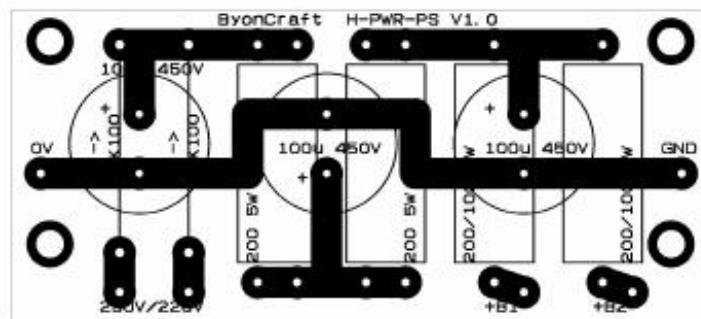
分類	部品名	値、定格等	数量	備考
R	カソード定電流抵抗	6.8k 1W	2	金属皮膜
C	出力段結合コンデンサー	0.47u 630V	4	SHIZUKI DEMS
R	SRPP下段グリッドリーク抵抗	47k 1/2W	4	金属皮膜
R	SRPP下段グリッド入力抵抗	1k 1/2W	8	金属皮膜
R	SRPP下段バイアス抵抗	470 1W	4	金属皮膜
C	バイパス・コンデンサー	470u 25V	4	日本ケミコン KYB/KMG
R	SRPP上段バイアス抵抗	330 2W	4	金属皮膜
R	ヒーターバイアス抵抗	200k 1W	1	金属皮膜
R	ヒーターバイアス抵抗	150k 1W	1	金属皮膜

(合計 57)

7. 基板設計(2/2)

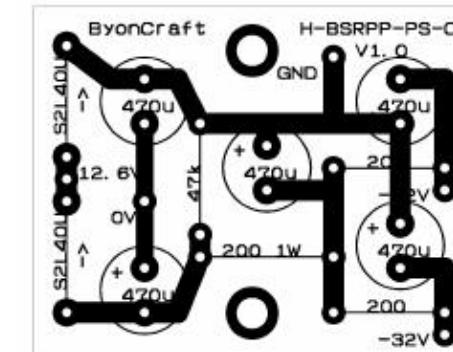
+B電源基板のパターン図と部品表を示します。

- 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) シュミレーション回路図にはありませんが、放電用抵抗を追加しています。



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)

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	2	新電元 S2L40U FRD
R	フィルター抵抗	200 1W	1	金属皮膜
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	5	日本ケミコン KYB
R	放電用抵抗	47k 1/2W	1	金属皮膜

(合計 12)