

12GN7 CSPP アンプ

高間 欣也（きん）

本アンプは、ARITO's Audio Lab 製の出力トランス BW-2K7W (2Kohm*2 巻線 CSPP 用出力 7W)の製品モニターにより製作しました。

ARITO's Audio Lab 製の OPT は高度な巻線技術により製作されていて、低域、高域ともに大きく伸びているにも関わらず、高域の減衰特性も大変素直な高性能トランスです。

今回は私自身初めての CSPP アンプということで、動作の勉強などしながら大変楽しく製作させていただきました。

外観写真

12GN7 はどちらかと言うと珍しい無印品。新規に揃えるならプレート損失が増大されている 12GN7A をお勧めします。

12AU7 も手持ちの関係でロシアの Electro Harmonics 製を使いました。特性上は全く問題ありませんが、出力管より管が太くて若干の違和感があります。



背面およびヒーター点灯時写真

12GN7 はプレートが 2 分割されておりヒーターが外からよく見えるので、大変綺麗です。



特性一覧

周波数特性 1W 時	7Hz(0dB) ～ 78KHz(-1dB)	
歪率特性 1KHz 1W 時	約 0.05%	
出力	1KHz 1%時 7W	1KHz 5%時 9W
クロストーク	-60dB 以下 5Hz～80KHz	
裸利得	30.2dB	
総合利得	22.5dB	
NF 量	7.7dB	
DF 1KHz	注入法 無帰還 7 帰還 14	ON-OFF 法 無帰還 7.1 帰還 15.1

試聴結果

本機の音は一聴してクリアでかっちりとしている様に感じました。CSPP の特長としてダンピングファクターが約 14 と高いためと思います。

締まった低音と歪み感が少ない中高音で、私のよく聞くジャズボーカルが大変心地よく聞けます。

最大出力約 9W は私の 92dB/W/m の能率のスピーカーでも私の部屋(10 畳洋室)で聞いて十分すぎる音量が得られます。

出力管に 12GN7 を選んだ理由

CSPP 回路に適した出力管は回路の特長から

- 出力管に大きなカソード帰還をかけ真空管自体のリニアリティーや出力インピーダンスなどを圧縮してしまうので、高効率の 5 極管でも良好な特性が得られる。
- プレート電圧 = スクリーン電圧 で動作できる 5 極管を使うと部品点数の削減ができる。
- CSPP 回路特有の問題として、カソードにプレートと同じ大きさの大振幅波形が発生するので、ヒーターとカソードの耐圧が 200V 程度あるものが好ましい。

これらの条件に合った真空管で、価格や入手が容易な球として 6V6 や 6AQ5 があります。当初はこれで作ろうと思ったのですが、これらの球は既に製作例が多くあり、今更私が作っても新しい内容は紹介できないと思い今回はプレート電圧 = スクリーン電圧 ではありませんが、ネットや SNS で賛否が分かれる球で、かつ CSPP での製作例があまり無いと思われる 12GN7 を使ってみることにしました。

この真空管は本来テレビの映像増幅用で 36mS もの gm があり、上記 6V6 の gm 4.1mS に比べなんと 9 倍もあります。

高い gm は発振などの危惧がありますが、高い利得が取れることから CSPP で使用したとき球自身のカソード帰還が多くかかり、出力段単段で低歪、低出力抵抗などが期待できます。

ただし、高 gm のネガ要因として、発振以外にもバイアス電圧が大変浅くてグリッド電圧に対するプレート電流変化が非常に大きくなるので、固定バイアスはもちろん、自己バイアスでも電流管理が難しくなることが予想されます。

今回は、自己バイアス抵抗の代わりに定電流回路を使用して強制的にカソード電流を一定とすることで、電流の安定化だけでなく出力管のバラツキを問わず精密な DC バランスがとれるようにしました。

なお、12GN7 には改良型の 12GN7A があり、最大プレート損失が 7.5W→11.5W に増加しています。私は入手した球が 12GN7 であったため、しかたなく 12GN7 を使用しましたが、新規に球を購入する場合はできれば 12GN7A としたほうが良いです。

また、同様の球で差し替え可能な 12HG7 があり、こちらはプレート損失 10W です。

回路構成と動作点について

私自身 CSPP は初めてなので、多くの製作例がある初段 FET 差動にカスケードで 3 極管を重ねる回路を採用しました。

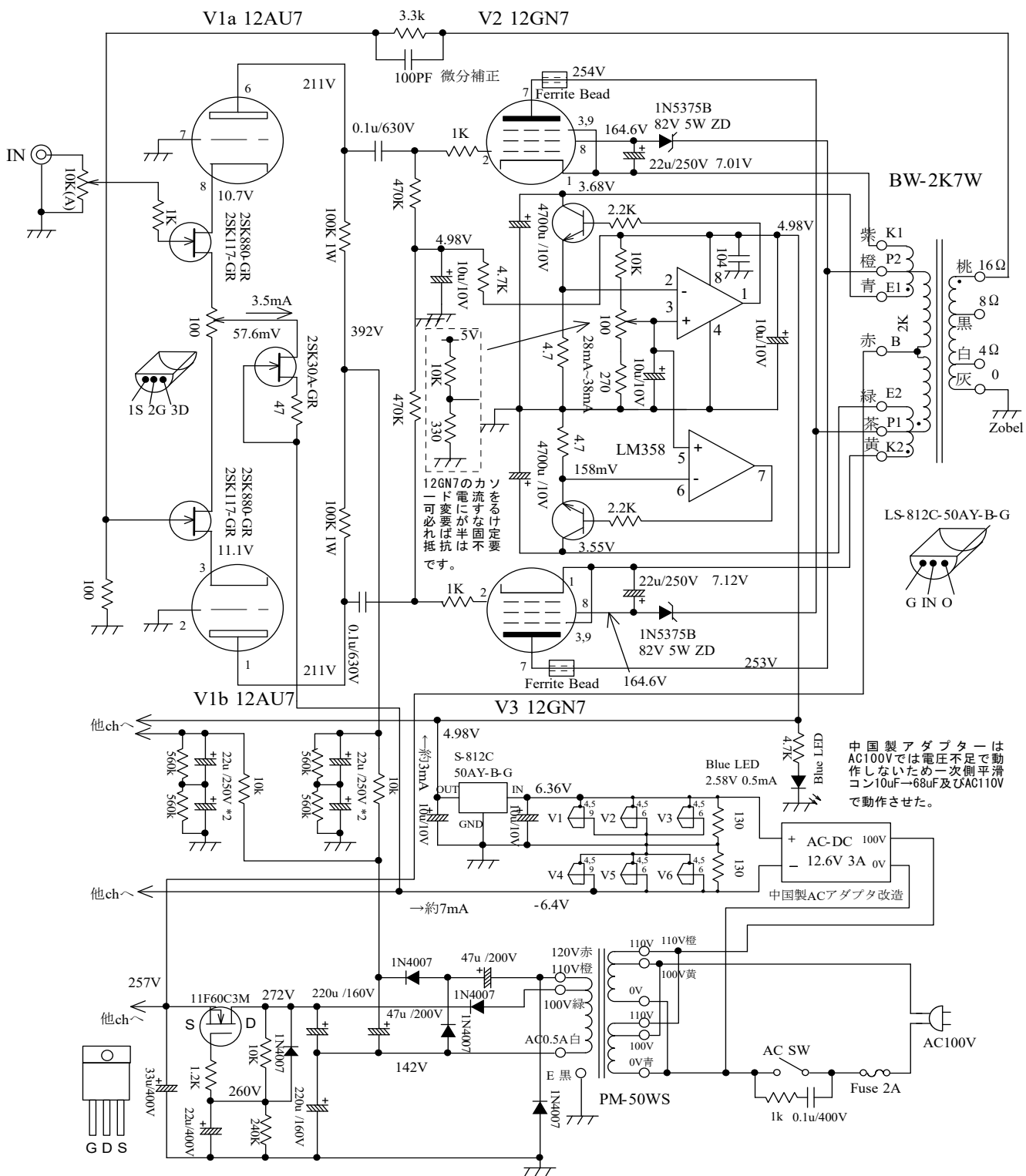
この回路は良く使用されるだけ有って、大変合理的で作りやすいと思います。

CSPP 回路は出力段に大きな局部帰還がかかるため、大きな駆動電圧が必要になります。一方、CSPP 回路では出力管の大きな局部帰還のため、帰還後の増幅度（ゲイン）の違いが圧縮されますので、必要な駆動電圧はほぼ負荷抵抗と出力電圧で決めても良いようです。

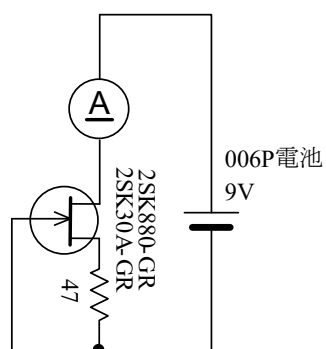
今回の OPT の巻線 2K*2 と最大出力 9W 程度では両グリッド間で約 140Vrms 程の駆動電圧が取れば良く、そのためにドライバ段の電源電圧は 400V としました。

これは、言い換えればあるていど出力管の品種に関わらずドライバ段は共通に出来るということで、例えば本アンプの出力管 12GN7 を 6V6 に変更してもドライバ段は同一で、出力管周りのバイアス電圧などの変更をすれば良いことになります。

回路図



差動増幅、ドライバ段



2SK880-GRはペアごとの相対電流値が揃っていればOK。2SK30A-GRは電流値が3.5mA近く流れるものを選ぶ。所定の電流値のものが取れないときは47Ωの抵抗値を変えて合わせる。

使用している 2SK880-GR は従来から一般的に使用されている 2SK117-GR (廃止品) の代替品として秋月電子で販売されているものです。この FET の特性は 2SK117 と同等ですが表面実装タイプなので取り付けにはやはり秋月電子で販売されている変換基板を使用しました。

FET の I_{dss} のバラツキは結構大きいので、できれば 10pcs 程度購入し、電流の選別をして使用することをお勧めします。選別を行えば、電流バランス用の 100Ω 半固定抵抗を削除することが可能になります。

FET の電流選別方法

カスコード用の三極管は耐圧さえ問題なければどのような増幅率のものでも使えますが、FET のゲートと真空管のグリッドを共に GND レベルに設定した状態で FET のドレインに 10V 程度の電圧をかけたかったのでバイアス電圧が深い低 μ の 12AU7 としました。

12AX7 などを使用する場合はグリッドを GND ではなく +5V を印加すれば良いと思います。

差動増幅用の定電流回路は手持ちの関係で 2SK30A-GR を使用しました。これも、予め電流選別をしておくことが重要です。

出力段

出力段は、先に記したように 12GN7 のカソード電流を一定に固定する定電流回路を設けたことが本試作機の特徴になっています。

動作電圧は 12GN7 の最大プレート損失を考慮してプレート電圧 250V、カソード電流は約 33.5mA (プレート電流 28mA、スクリーン電流 6.5mA プレート損失 7W スクリーン損失 1W) としました。スクリーングリッド電圧は電圧降下用のツェナーダイオードを交換して 120V、140V、ほぼ最大定格の 157V の 3 通り実験し最も出力が得られる 157V に決めました。

試作機はカソード電流を 28mA~38mA まで可変できるようにしていますが、カソード電流により高出力時に発生するクロスオーバー歪の出力が変わり、できればプレート損失の大きな 12GN7A を使用して 38mA~40mA 程度まで増加して使用したほうが良いです。

一般的にカソードに振幅が発生している回路のスクリーングリッド電圧供給は面倒なのですが、片側の球のカソード振幅と反対側の球のプレート振幅が同じという CSPP 回路の特徴を利用して、簡単に供給することができます。今回はプレート電圧 250V、スクリーン電圧 (プレート電圧 - カソード電圧) が 157V なので、反対側の球のプレートから 82V のツェナーダイオードで電圧を降下させています。

スクリーングリッドとカソード間のインピーダンスを低下させる目的で電解コンデンサを入れておきましたが、これは無くても良いかもしれません。

ここで使用した 5W 82V のツェナーダイオード 1N5375B は一般に入手が難しいかもしれませんが、下記のサイトから格安に手に入れることができます。

<https://www.aliexpress.com/item/4000437886425.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.27424c4dDtTOw0>

もし、国内で入手したい場合は千石電商に ON Semiconductor 製 1W 27V 1N4750A がありましたので、27V 3 本を直列に接続して 81V とすれば代替できます。

BW-2K7W の一次側の巻線抵抗は各巻線とも約 100Ω 程度あり、カソード電流により約 3.3V 程度電圧が発生します。

12GN7 のグリッドバイアス電圧は、高 gm のため 2V 程度しかありませんので、グリッドには正の電圧をかけなくては適したバイアス電圧がかけられません。

今回使用した定電流回路は 0.5V 以上の電圧があれば動作しますが、ある程度の余裕をもたせたほうが良いので、グリッドに+5V を与え、定電流回路には約 3.7V 程度の電圧がかかるようにしました。

高 gm の真空管を安定に使うための対策として、先に期した定電流回路に加え、寄生発振対策としてグリッド直近に 1KΩ の抵抗、プレートにフェライトビーズを設けましたが、この状態で問題は無いようです。

電源回路

電源はゼネラルトランス（旧ノグチ）の PM-50WS という一次側 100V,110V、二次側 100V,110V,120V 50VA の複巻トランスを使い、出力段用の 250V とドライバ段用の 400V を作ります。

出力段には倍電圧整流で約 270V を作り、FET によるリップルフィルターを介し出力管のプレートに約 255V を供給します。ドライバ段用には 3 倍圧整流で約 390V を作ります。

整流回路のダイオード接続がおかしいと思われる方がいるかも知れませんが、必要な電圧を得るための方策として 250V 用として 100V+110V を使用し、400V 用として 110V+110V 半波倍電圧を使っています。

ヒーター点灯用 AC アダプタ

ヒーター回路は、当初ヒーターを直列にして AC100V から直接得る予定で設計を進めていましたが、CSPP 回路はカソードに大きな信号電圧が発生するためヒーターとカソード耐圧が厳しく、ヒーターを AC100V から点灯することは諦めました。

しかし、既にシャーシは比較的小型の奥沢 O-46(250mm(W) X 160mm(D) X 50mm(H)、板厚:1.5mm)を購入しており、ヒータートランスを追加設置するスペースがどうしても取れなかったので、手持ちの 12V3A の汎用 AC アダプタを分解し内部基板をシャーシ内に無理やり取り付けることで対応しました。

AC アダプタを使うにあたり、基板内にある電圧設定用の帰還抵抗値を調整して出力電圧を 12V→12.6V に変更しました。（これは気休めで、実際には 12V のままで問題ありません）

なお、今回使用した中国から直接購入した中国製 AC アダプタが仕様上では AC100V～AC240V 動作となっているのに、実際には AC120V 以上でなければ電圧不足でまともに動作しない欠陥品だったので、

AC アダプター一次側整流回路の平滑コンデンサを 10uF→68uF に交換し、かつ AC110V で動作させることで無事に動作させることができました。

このように、中国製の製品は玉石混交で当たれば良品が大変安く手に入れることができますが、ハズレを引くととんでもないものが送られてくることがありますので、この事を十分に覚悟して取引を行ってください。

+5V と -6V 供給方法

定電流回路動作と出力管グリッドバイアス用の +5V と、差動増幅回路の定電流源 2SK30A 用の -6V は、ヒーター用の 12.6V を真空管のヒーターを二組に分けて中点を接地することにより ±6.3V を得ました。この ±6.3V をそのまま使用しても良いのですが、出力段の定電流回路の電流設定基準を確実にするために低ドロップアウトタイプの 3 端子レギュレーターを使用して正確な +5V を供給しました。

LED の供給電流

パイロットランプ（青色 LED）の電流 0.5mA も +5V 電源から取りました。

現在の高輝度 LED は大変発光効率がよく、一昔前の LED の 1/10 程度の電流で十分ですので、使用にあたっては事前に電流量と輝度の関係を実験して、電流制限抵抗の値を決めておくことをお勧めします。

シャーシ、トランスケース

製作例ですのでシャーシはあまり小さくせず作りやすさを優先させたほうがよいと思うのですが、ある程度タイトな配置にしたほうが見栄えが良いので、奥沢の O-46（ゼネラルトランス扱い）にしてみました。

その結果、内部はそれなりに込み入っており、もし、追試をされる場合はもう一回り大きなもののほうが作りやすくなります。なお、奥沢のシャーシは裏蓋を取り付けるネジ穴も設けてあり大変良いと思います。

電源トランスの PM-50WS はバンド型の製品で、これをそのままシャーシ上に設置するのはデザイン的に気に入らないので、トランスケースに入れることにしました。

トランスケースは自作をしてもよいのですが、種類も多く価格も安い中国製を使ってみました。気になる品質も価格を考えれば満足できるものです。

<https://www.aliexpress.com/item/32851122312.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.27424c4dDtTOw0>

サイドパネル、レタリングについて

サイドパネルはダイソーの MDF 板の表面に、やはりダイソーのデコレーションシートを貼って作りました。文字入れは、インクジェットプリンタで作れるタトゥーシールを使っています。



キレイになじむ透明タイプでリアルな仕上がり!

写真・動画・イラスト・写真・イラスト
無料でダウンロード!

SK
CO
U

ネイルシールにも使えます!

オリジナルのタトゥーシールが楽しめる!

印刷ベースシート
+
粘着剤シート

フリー
カット

はがき
サイズ
[100×148mm]

10
セット

タトゥーシール 透明

ELECOM [インクジェット専用紙] EJP-TAT10 お買しNo. Q90

Produced for DAISO JAPAN

Decoration Sheet

カーボン柄インテリアシート

自由に切って
貼るだけ簡単!

CARBON
Black
ブラック

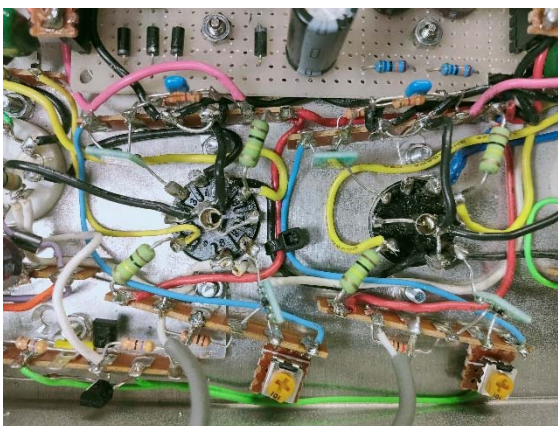
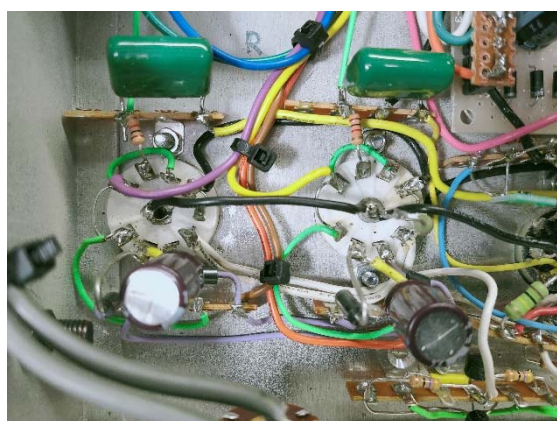
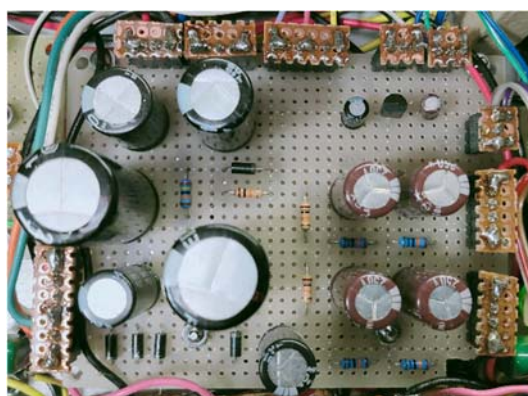
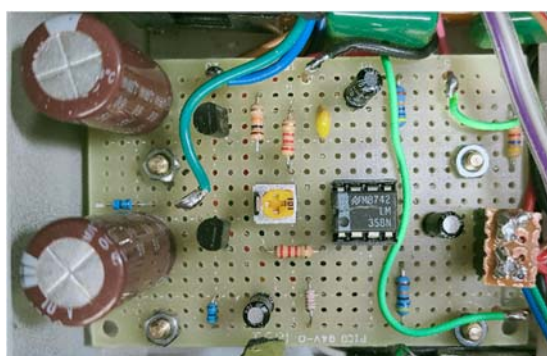
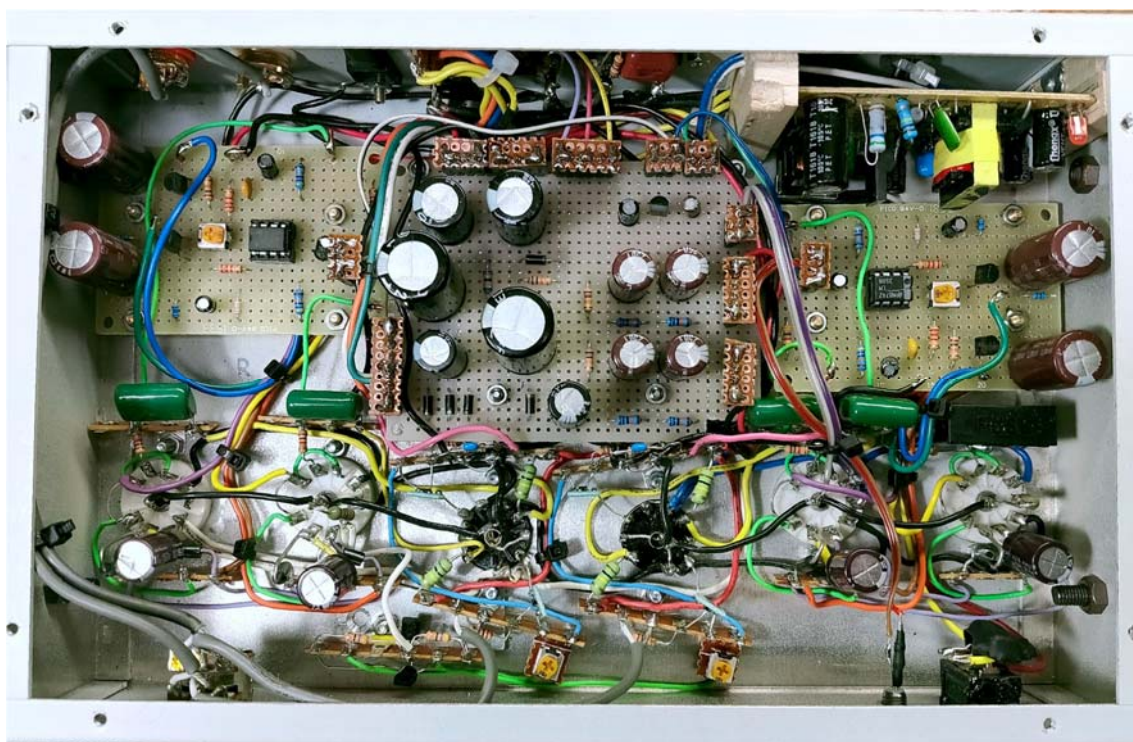
裏面シールタイプ
SEAL TYPE

サイズ / 約 **40×20** cm
SIZE / Approx. 15.7"×7.9" (actual) / Approx. 40×20cm

DAISO
Daiso Company

CAR 524

シャーシ内部



電源部と出力管の定電流回路は秋月電子で購入した蛇の目基板を使いました。(P-00517 及び AE-B2-CEM3)

また、基板間は簡単化のため低電圧で使用する 2.54mm ピッチのピンヘッダとピンソケットを使って接続しています。B 電源は隣接するピンを抜いて間隙を稼ぐなどの対処をしていますが、信頼性の面からはコネクタを使用したほうが良いかもしれません。

信号部の配線は各真空管のソケット取付端子に共締めした縦ラグ板を使っています。

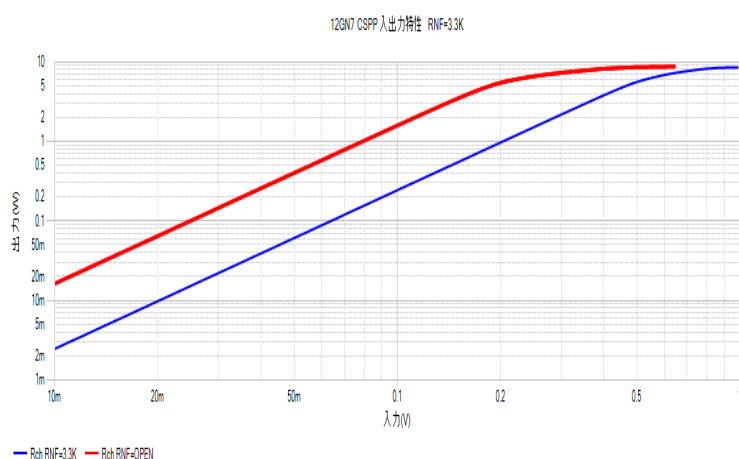
ヒーター点灯用 AC アダプタ



今回使用した電源トランスにはヒーター巻線が無いので、ヒーターは 12V3A の市販 AC アダプタの内部基板を取り出し、シャーシ内に内蔵しています。

特性について

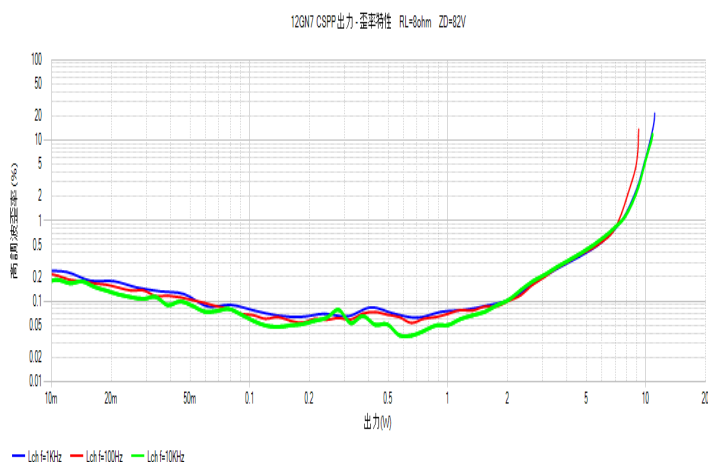
入出力特性



約 8dB の帰還をかけた状態で、約 0.7V で最大出力となります。

更に帰還量を増やすこともできますが、感度低下を嫌ったのと、特性的にも特に問題ないレベルになりましたので、NFB は 8dB としました。

出力 vs 歪率特性



歪率は $f=100\text{Hz}, 1\text{KHz}, 10\text{KHz}$ とともにほぼ同一で約 0.05%まで低下しました。

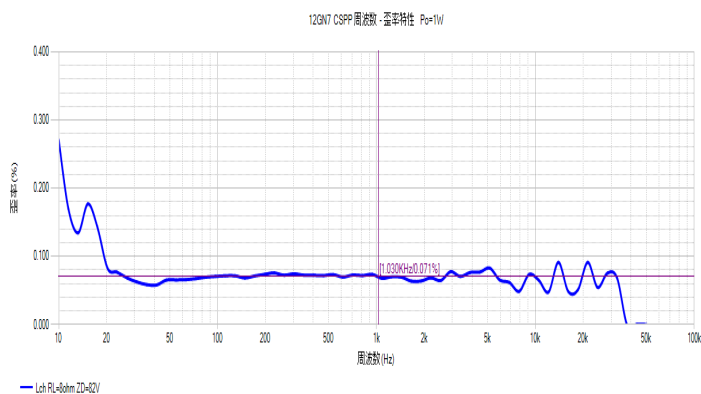
出力は

THD=1% 時に約 7W

THD=5% 時に約 9W 得られました。

出力段に大きな局部帰還がかかっているためか、僅か 8dB 程度の NFB としては大変良い特性と思います。

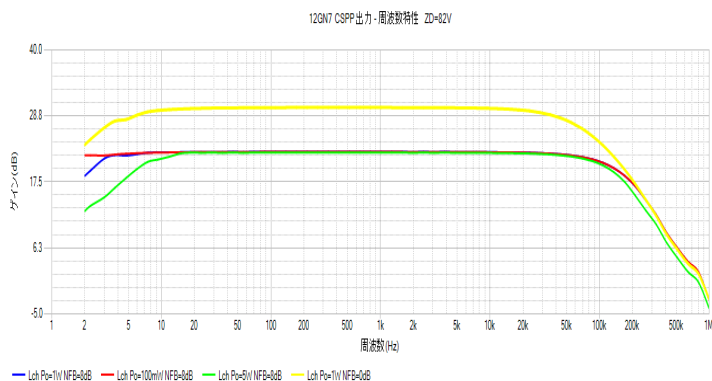
周波数 vs 歪率特性



NFB=8dB 出力 1W における歪率の周波数特性のグラフです。

約 20Hz～約 30KHz 程度まで、約 0.05%の歪率が得られており、管球アンプとして大変優れた特性と思います。

出力 vs 周波数特性



高域特性

NFB=8dB において、 $f=78\text{KHz}$ at -1dB 程度まで伸びていて、周波数特性の暴れも殆ど見られません。

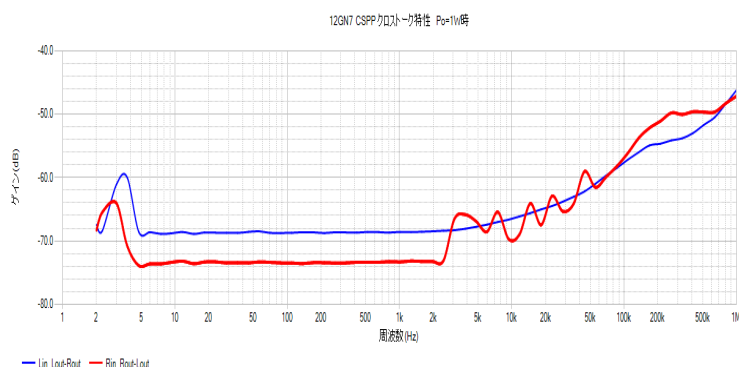
負荷 OPEN 時における容量負荷に対する安定性も 100PF の微分形位相補正だけで問題ないレベルになりました。

低域特性

出力 1W で $f=7\text{Hz}$ 程度までフラットに出力できるので真空管アンプとしては大変広帯域の特性が得られていると思います。

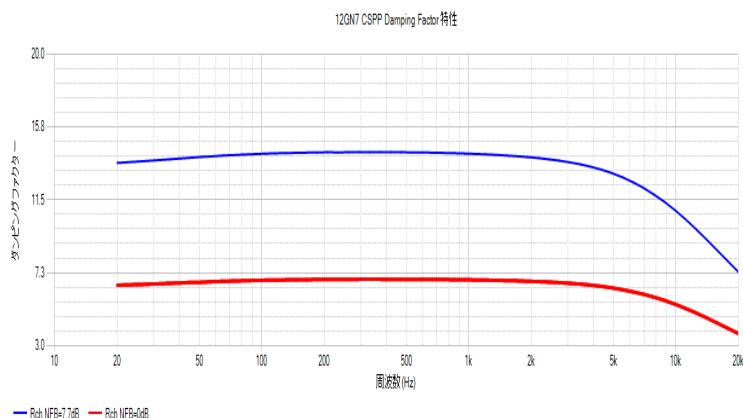
これは、今回使用した出力管の定電流回路により、DC バランスがほぼ完全に取りれていることも影響しているかもしれません。

クロストーク



グラフの形がおかしいですが、約 80KHz 程度まで-60dB 程度のクロストークが得られているので、良しとしました

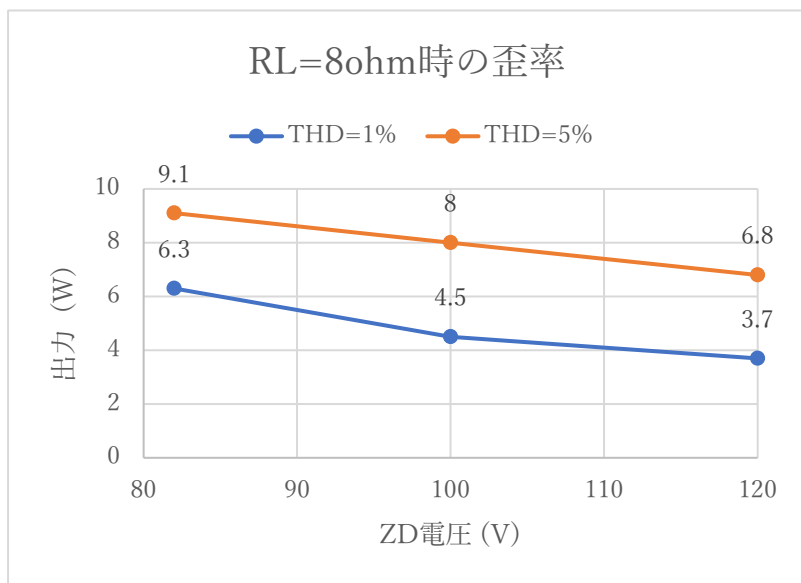
ダンピングファクター



CSPP 回路の特長を遺憾なく発揮して注入法による計測にて $NFB=0$ でも約 7、 $NFB=8dB$ では約 14 が得られました。

真空管アンプらしからぬクリアーでしっかりとした音色はダンピングファクターが高いためではないかと思っています。

ZD による電圧降下と出力の関係



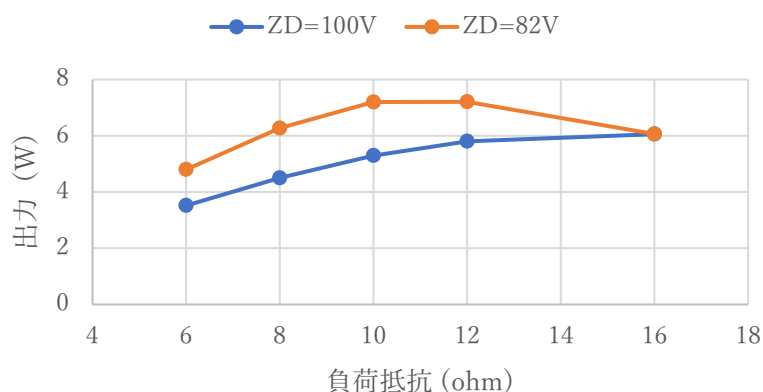
最適なスクリーングリッド電圧を調べるために手持ちの ZD

(82V,100V,120V) を交換して特性を測定しました。

結果、ツェナー電圧 $ZD=82V$ (SG 電圧 157V 相当) 時の特性が最も優れているので採用しましたが、12GN7 の定格から考えてこれがギリギリです。

負荷抵抗と出力の関係

負荷抵抗 vs THD=1%時の出力



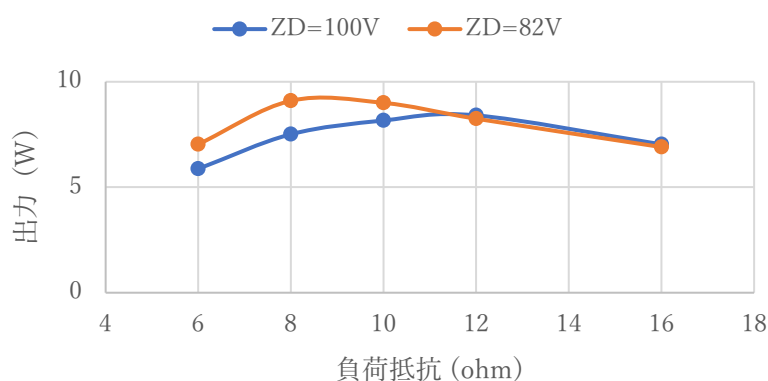
THD=1%を維持した時の負荷抵抗と最大出力です。

ZD=100V はスクリーングリッド – カソード間電圧 140V 相当

ZD=82V はスクリーングリッド – カソード間電圧 157V 相当です。

ZD=82V では負荷抵抗 8ohm～10ohm 辺りの出力が大きく改善されていることが判ります。

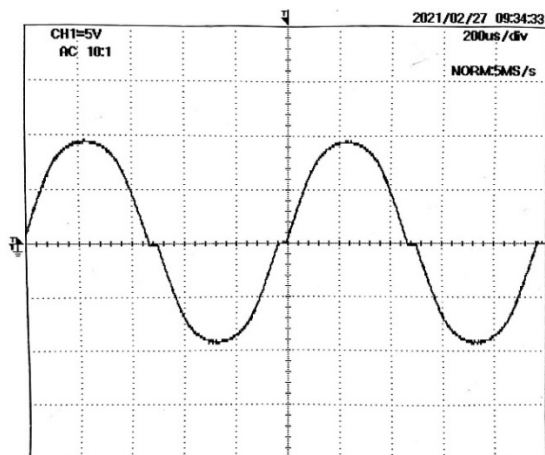
負荷抵抗 vs THD=5%時の出力



THD=5%時でもこの関係がよく現れています。

ZD=82V で 8ohm 負荷時に BW-2K7W の 2Kohm のロードライン上に 12GN7 のニー（肩）電圧が乗るような関係になっていると思われる。

12GN7 出力飽和時のクロスオーバー歪



THD=5%時のクロスオーバー歪

本機の出力を上げてゆくとクロスオーバー歪が発生します。

この原因は、出力管が飽和した時にグリッド整流電流が流れ、グリッド電圧が低下しグリッドバイアスが深くなってプレート電流が徐々に流れ難くなり、AB 級→B 級→C 級へと動作点が推移してしまうためです。

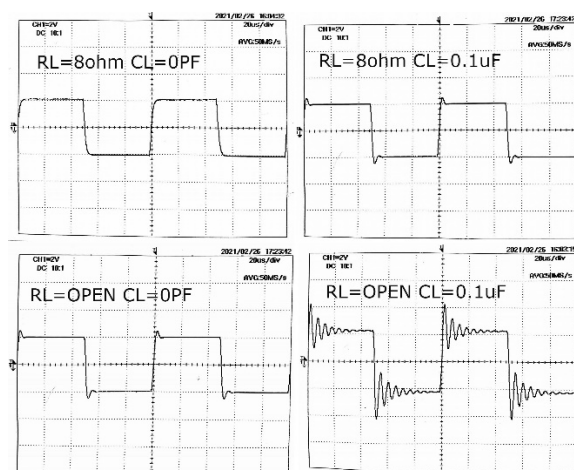
動作点が C 級になったときにクロスオーバー歪が顕著に発生します。

この現象は、ドライバ段とグリッドをC結にしているアンプでは多かれ少なかれ発生しますが、12GN7はグリッドバイアス電圧が約2Vと大変低いためか、グリッド電流が流れやすいためか不明ですが、一般的な出力管に比べクロスオーバー歪が発生しやすいように感じます。

アイドリング電流を多めに流しプレート電流がカットオフするまでの電圧を稼ぐことである程度の対策ができますが、根本的にはドライバ段と直結するなどの対策が必要と思います。

今回は、出力が飽和するまではクロスオーバー歪が発生していないので、このままで進めることにしました。

波形特性

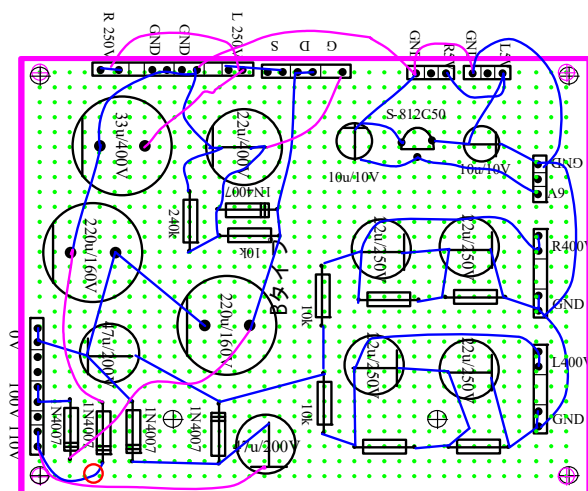


負荷開放時に容量を付けると発振したので、100PFの微分形位相補正をかけましたが、これだけで特に問題となるような波形は見られませんでした。

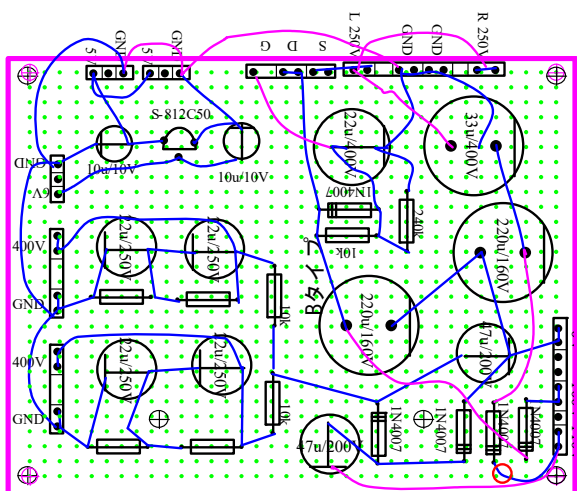
参考

参考として、蛇の目基板（2.54mm ピッチ片面基板）の部品配置図（パターン面、部品面）を挙げておきます。

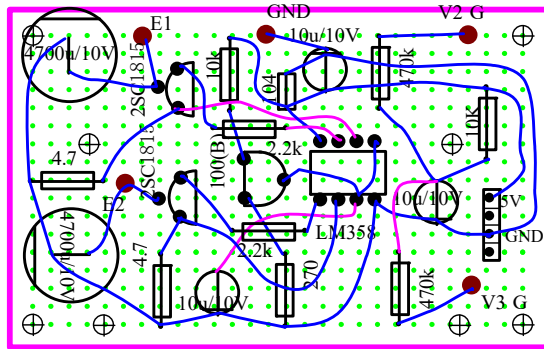
電源基板 部品面



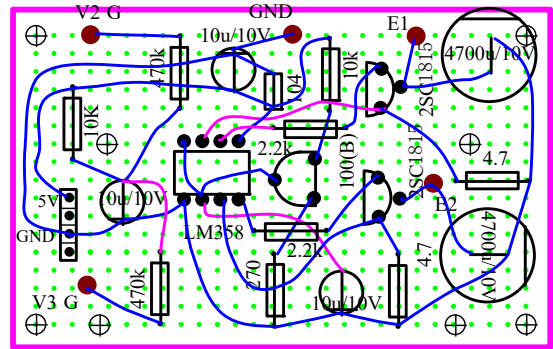
電源基板 パターン面



12GN7周辺基板 部品面



12GN7周辺基板 パターン面



以上