

出力トランス付き 6336/6528 共用単管 pp アンプ

高間 欣也(きん)

約一年前に定電圧電源用の低内部抵抗の双三極管 6080 ($\mu=2$) と その高 μ バージョン 5998 ($\mu=5.5$) を無調整で差し替えられる出力トランス付きの単管 pp アンプを製作しました。

これら定電圧電源用の真空管は増幅度が低いためにドライブが難しく、またヒーター電力が大きく発熱も大きいため、かつては低インピーダンスが必要な OTL アンプ用に使用されましたが、出力トランス付きのアンプとしての使用例はあまり多くありませんでした。

しかし、三倍圧回路使用など電源回路の工夫による電源回路の合理化と自動 BIAS 設定回路の採用により μ の異なる 6080 と 5998 を無調整差し替えの実現など、通常のオーディオ用真空管を使用したアンプに比べても勝るとも劣らない使い勝手を得ることができました。

音質的にも低内部抵抗の特長によるダンピングの良さがオーディオ用としての適性を感じました。

このアンプの成功に気を良くして、6080 約 2 本分の規格をもつより大型の 6336 を使用して同様の構成のアンプを製作することにしました。

6336 にも前述の 6080 と同様に高 μ バージョンの 6528 が存在しており、前記アンプと同様に自動 BIAS 設定回路により、無調整での差し替えを可能にしています。

各出力管の規格比較

	6080	5998	6336	6528
Pd (W)	13	15	30	30
μ	2.0	5.5	2.7	9.0
rp (Ω)	280	400	200	240
Heater (A)	2.5	2.5	5.0	5.0

表に記す通り、6336/6528 は 6080/5998 に対し 2 倍のプレート損失とヒーター電流で正に 6080 系の 2 本分となります。ただし μ が少し高くなっている関係でプレート抵抗 rp は案外下がっていないので、出力トランスの負荷インピーダンスは 6080 系と同様で良いかもしれません。

本アンプ設計時にあたり、工夫した箇所

6336 使用にあたり下記のように特に電源周りが使いにくいと考えています。

1. ヒーター電流が 5A と大きく、かつプレート電圧を印加する前に 30sec のヒーターのウォームアップ時間を推奨されている。
2. ステレオで動作させる場合、出力段に 250V 程度で 300mA くらい、前段用に 380V 程度が必要となるが特注する以外に合理的な電源トランスが入手できない。

この対策として、

1. 電源トランスには 2007 年に三土会でトランス巻き講習会を開催したときに手巻きトランスの例として製作したカット

コア使用のトランスを使用しました。

出力トランスとサイズを揃えて搭載するために、シャーシをくり抜きシャーシからの高さを抑えています。

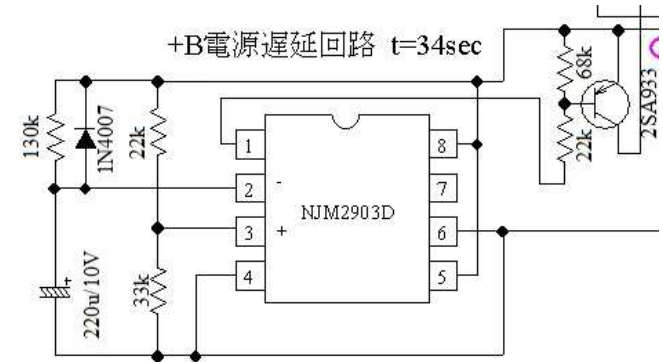
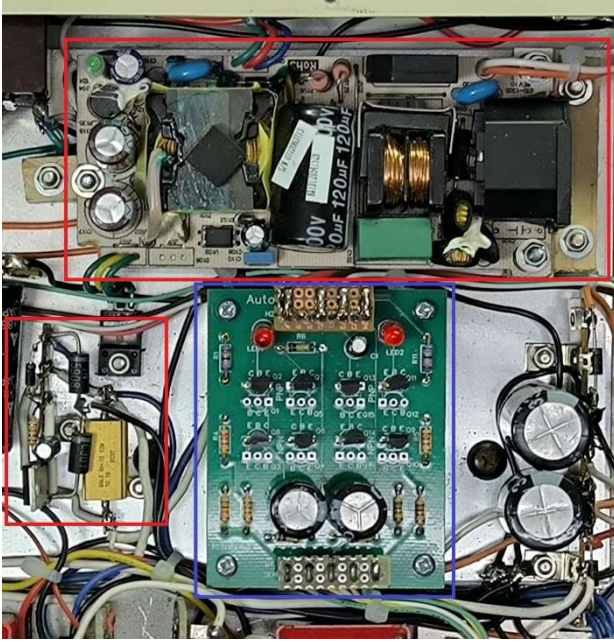


トランス仕様 P 0-100V, S 0.6A-100V-113V *2, 1.2A-6.3V *2, 0.1A-20V *2
113V 0.6A 2 巻線から出力管用 290V 0.4A とドライブ段用 400V を作成。
20V 0.1A 2 巻線から出力管グリッドバイアス用-150V を作成
6.3V 1.2A 2 巻線でドライブ段のヒーターと制御用±5V を作成

2. 6336 の 6.3V5A のヒーターは 12V5A のスイッチング電源 (AC アダプター) を使用して 2 本直列で点火しました。
小型化と放熱性の向上のため、外装のプラスチックケースを取り外し内部基板だけにしています。整流用のブリッジダイオードと降圧用の FET をアンプ本体シャーシに取り付けて放熱効果を増大させています。
真空管のヒーターの抵抗は冷間時には定格よりも大幅に小さいため、通常に点火すると突入電流によりスイッチング電源の保護回路が動作してしまうため、タイマーによる突入防止回路を付加しています。
3. スwitching電源動作 (ヒーター点火) 30sec 後に、タイマーにて電源トランスの電源を ON にする回路を設けて 6336 のヒーターウォームアップ時間を確保しています。

その他の工夫箇所

最近のアンプ製作時に必ず設けている出力管のバイアス電流自動設定回路を、従来の蛇の目基板からプリント基板化して組み立ての容易化を図りました。



B 電源遅延用タイマー回路

この出力で PowerMOS リレーを制御し電源 トランスの ON/OFF を行う。

赤枠部分

12V5A スイッチング電源基板とヒーター突入電流対策用遅延起動回路

青枠部分

プリント配線化した BIAS 電流自動設定回路

トランス類

出カトランスは手持ちのタンゴの FW-50-5 を使用、チョークも手持ちの TRIAD C-15X(4H 150mA 巻線抵抗 100Ω) をソフトンの OPT に付属していたトランスケースに入れて使用しました。コイルの許容電流が不足しているので、チョークに並列に 360Ω 抵抗を付加して電流を分流しています。

電源トランスは前述の通り自作のカットコア品を使用。ケースを 5mm 厚の MDF 板で作り、トランス類全てを黒のチップング塗装をしました。

シャーシ

シャーシは 1.5mm 厚のアルミ板を折り曲げて製作しています。

シャーシのサイズは W 400mm、H 前面 45mm 背面 50mm、D 230mm と前と後ろでシャーシ厚を変えて前面から見たときのシャーシの薄さを強調するように考えました。

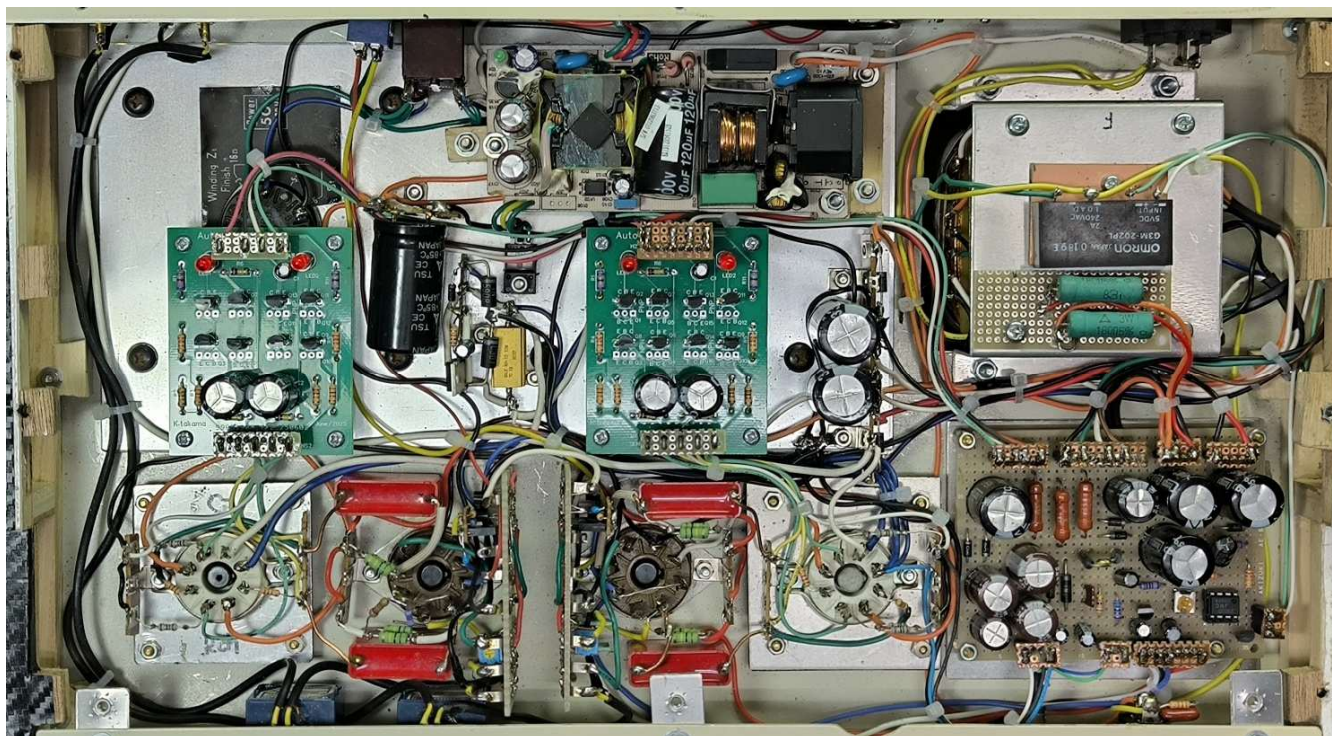
アンプ全体のサイズは W 420mm H 180mm D 280mm 重量 約 15kg

基本回路構成

電源以外の回路は前作の 6080/5998 単管 ppAMP と同様で初段は FET による差動アンプ+耐圧確保用の 3 極管によるカスコード回路で直接出力管を駆動します。

3 極管は前作で使用した 7N7 と同特性の 6SN7 を使用しました。

シャーシ内部



薄型シャーシを使用しているためシャーシ内部の取り付け可能スペースが少なく、電源部の電解コンデンサはできるだけ小型のタイプを使用し、電源部とバイアス電流自動調整回路、初段のFET差動回路を基板化して省スペースと製作の簡単化を図っています。

出力管のヒーター点灯用のスイッチング電源はプラスチック外装を取り外すことでシャーシ内部に実装することができました。

背面写真



ヒートシンクはヒーター点灯用 SW 電源の駆動 FET 用です。また、出力管の負荷抵抗値と NFB の有無を選択する SW を設けています。

特性まとめ

RL=2.5Kpp 時

項目	6336B	6528
裸利得	30dB	39.3dB
総合利得	23.5dB	26.4dB
NF 量	6.5dB	12.9dB
周波数特性 1W 時 無帰還	5.2Hz(-3dB) ~ 35.4KHz(-3dB)	5.2Hz(-3dB) ~ 18.6KHz(-3dB)
帰還有	2.1Hz(-3dB) ~ 77.5KHz(-3dB)	2.0Hz(+0.5dB) ~ 83.5KHz(-3dB)
帰還時歪率特性 1KHz 1W	0.18%	0.21%
最大出力 1KHz 5%	26W	21W
D.F. 1KHz 注入法	無帰還 1.8 NF=6.5dB 5.0	無帰還 1.5 NF=12.9dB 9.7

RL=5Kpp 時

項目	6336B	6528
裸利得	29dB	38.5dB
総合利得	21dB	23.9dB
NF 量	8dB	14.6dB
周波数特性 1W 時 無帰還	5.2Hz(-3dB) ~ 25.8KHz(-3dB)	5.2Hz(-3dB) ~ 18.6KHz(-3dB)
帰還有	2.1Hz(-3dB) ~ 76.0KHz(-3dB)	3.0Hz(+1.2dB) ~ 80.5KHz(-3dB)
帰還時歪率特性 1KHz 1W	0.1%	0.13%
最大出力 1KHz 5%	20W	18W
D.F. 1KHz 注入法	無帰還 3.5 NF=8dB 8.5	無帰還 3.0 NF=14.6dB 14.3

クロストーク $R_{in} \rightarrow L_{out}$ -93dB $L_{in} \rightarrow R_{out}$ -75.3dB

DC 動作点

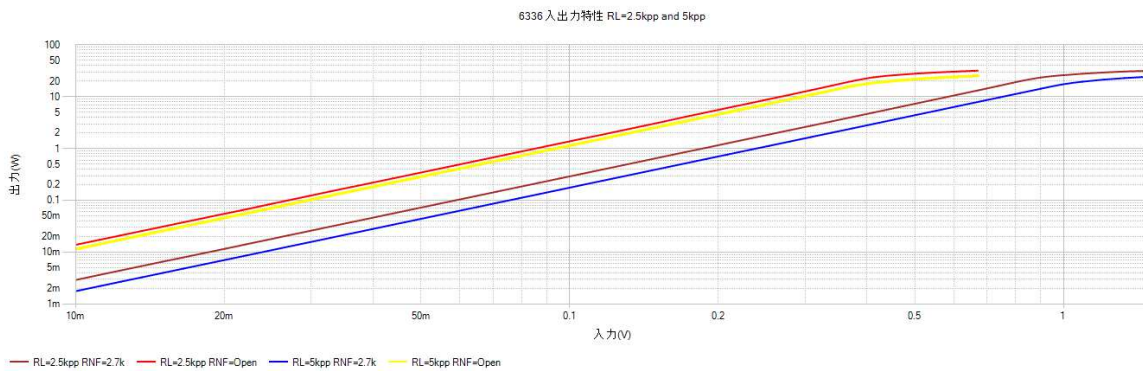
$E_p=270V$ BIAS 電流 $I_b=60mA$ 時 BIAS 電圧は 6336 約-90V、6528 約-30V

無信号時消費電力 約 200W

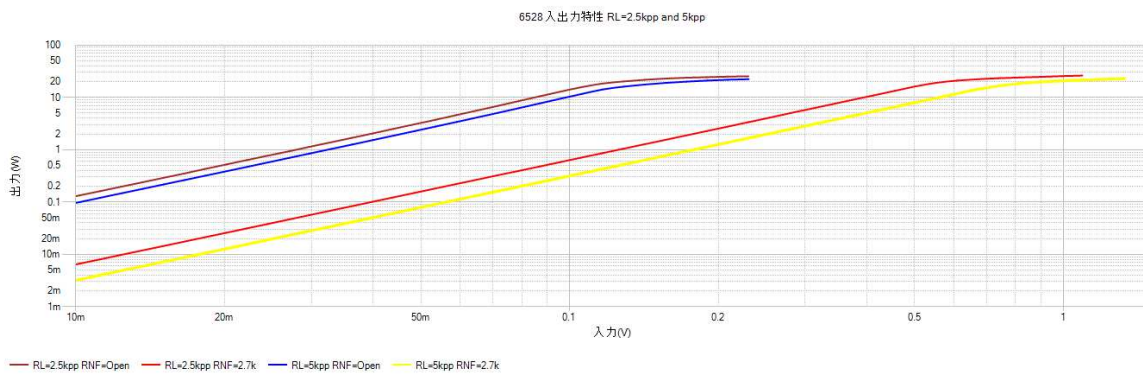
詳細特性

入出力特性

6336 最大出力時の入力を約 1Vrms に設定したとき帰還抵抗 $R_{NF}=2.7k\Omega$ で NFB は約 6~8dB となった。



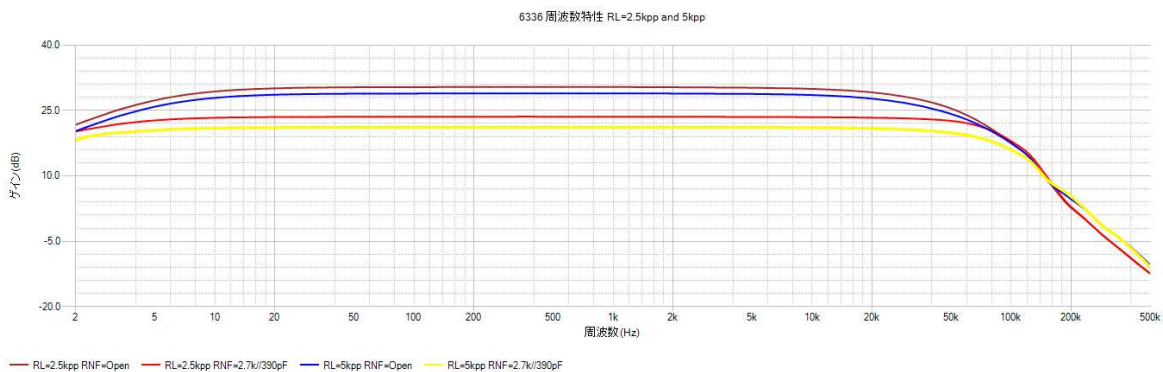
6528 基本的に 6336 で使用する考えなので、帰還抵抗値は 6336 と共用の $2.7k\Omega$ としている。その時の最大出力時入力は約 0.6V NFB は約 13dB~15dB となった。



周波数特性

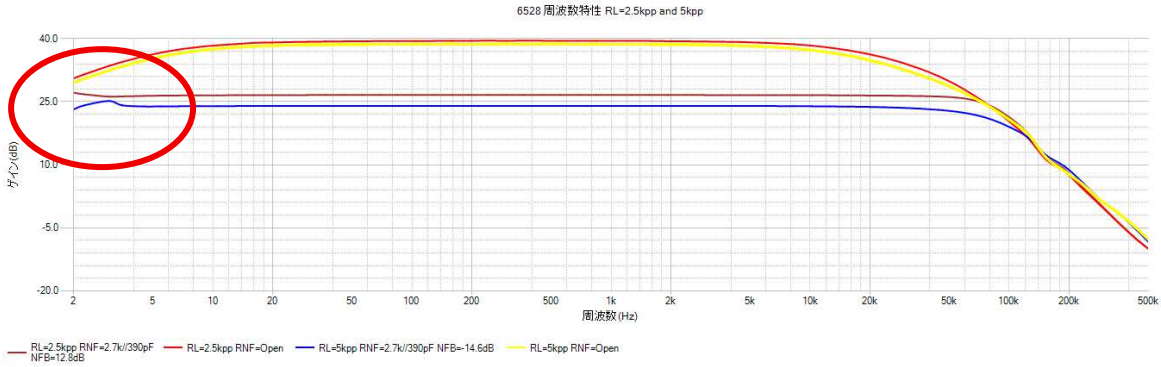
6336

帰還量が少ないため低域、高域共に素直な特性を示している。



6528

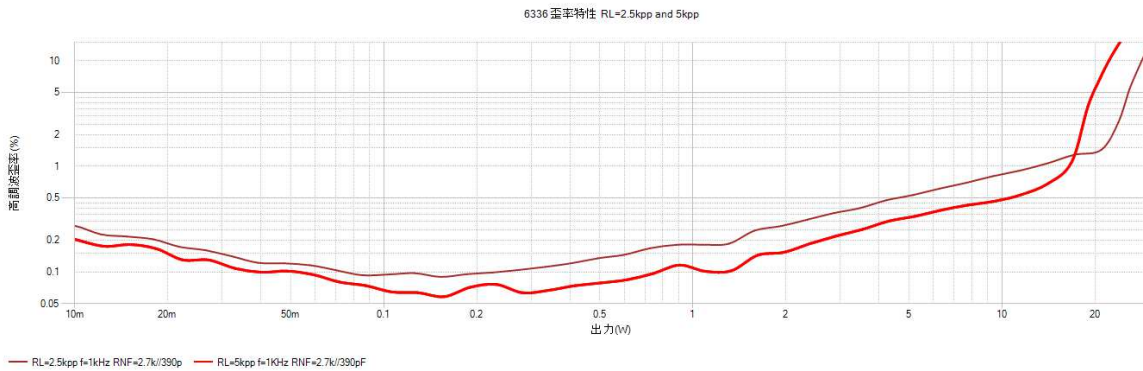
帰還量が約 13~15dB と多めで、自動バイアス回路の低域時定数が原因の 2Hz 付近に不安定さが見られる。



出力 vs 歪率特性

6336

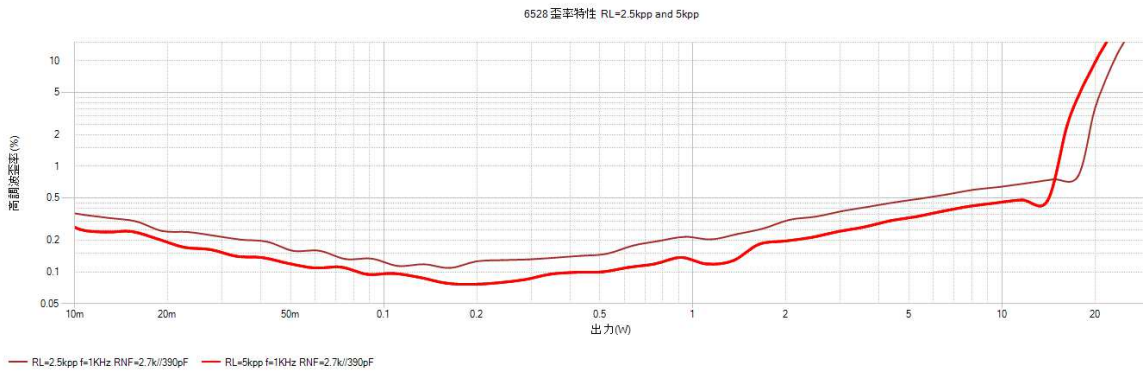
帰還後の 1 次 RL=2.5kpp と 5kpp での歪率特性比較。帰還量が少ない割に、十分な低歪率となっている。2.5kpp に比較して 5kpp の方が最大出力は低下するが歪率は良くなっている。



6528

6336 より帰還量が多くなった割に歪率の低下が見られない。これは、出力管の AC バランスの悪さが影響していると考えられる。6336 でもバランスの悪い球だと歪率は思うように低下しない

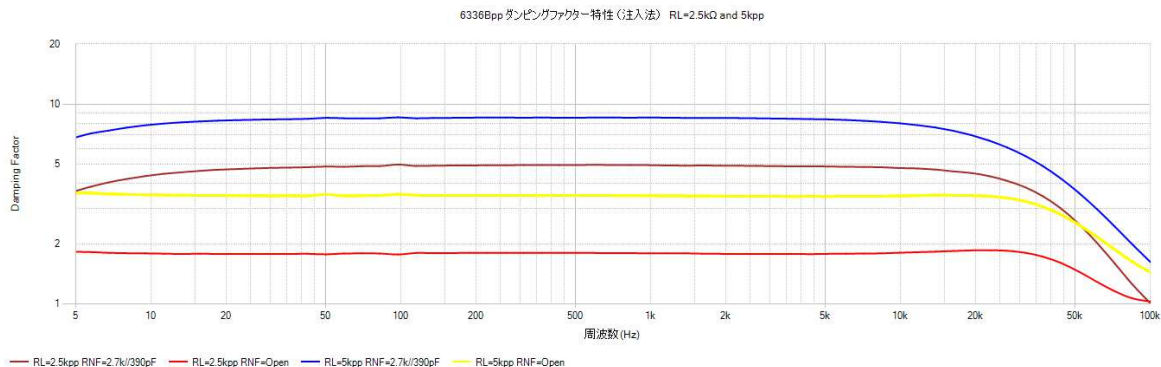
ただし、帰還量が多いため最大出力近くまで比較的歪率を保持している。



注入法による DF 特性

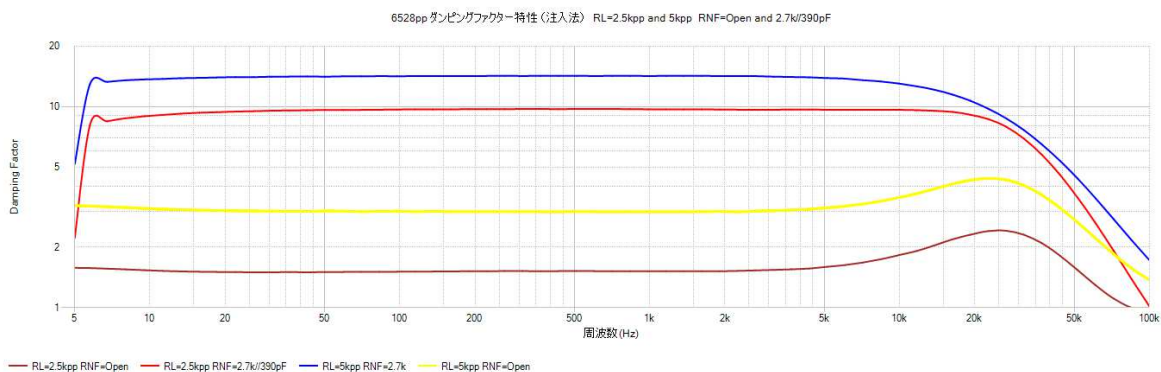
6336

RL=5KΩ で使用した場合、無帰還でも 3.5 程度取れ歪も十分小さいので無帰還での使用も可能。また、帰還を 6~8dB 程度かけることで RL=2.5KΩ でも 5 以上取れるようになる。



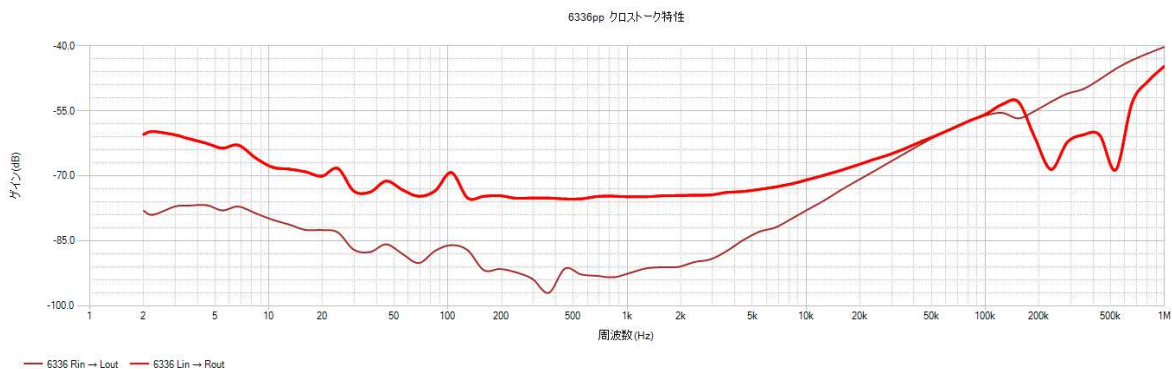
6528

6336 に比べ若干内部抵抗が高いため、RL=5KΩ 無帰還時の DF は 3 とすこし小さくなっている。帰還量が多いため帰還をかけると DF は 10~14 程度に上昇し半導体アンプの特性に近づいていく。



クロストーク特性

Rin → Lout に比べ Lout → Rin の特性が悪化している問題は現状未解決。とりあえず -75dB 程度は取れているので今回は現状で良しとした。

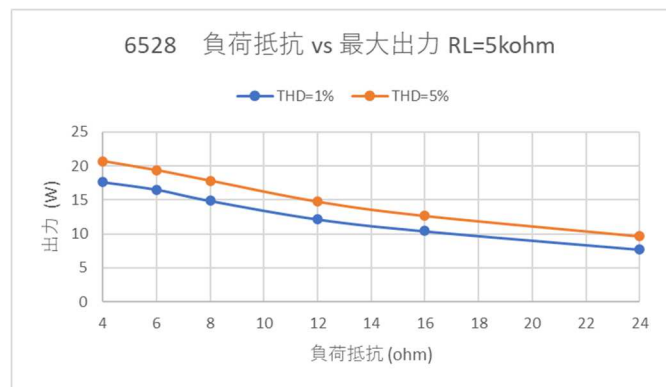
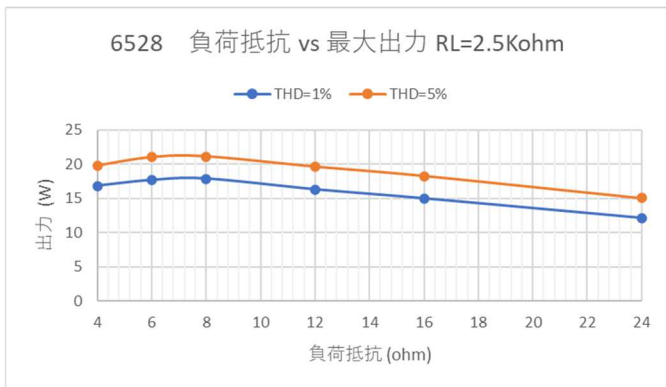
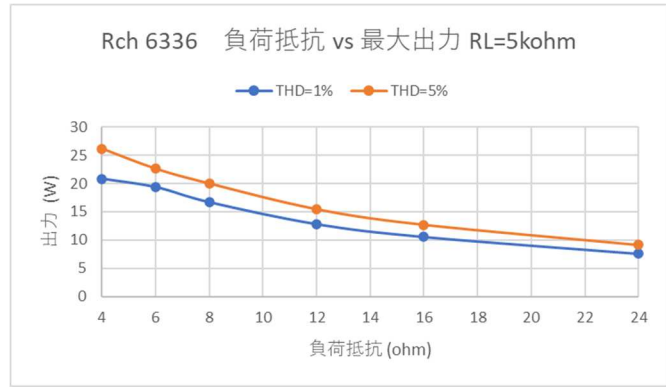
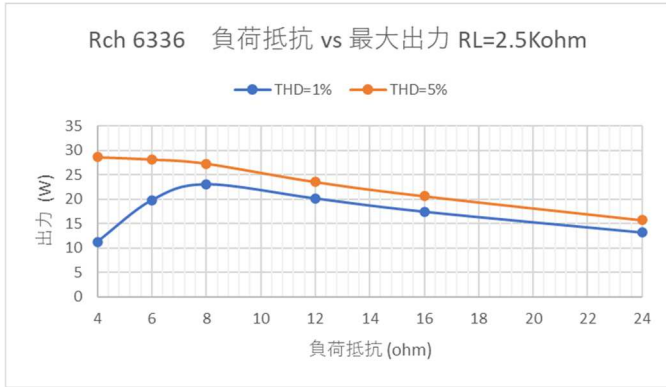


負荷抵抗 vs 最大出力特性

6336 で出力重視の場合 1 次=2.5Kpp 8Ω 負荷時 26W 程度の出力が得られるが、1 次=5kpp でも 20W 程度の出力が得られ、歪率や D.F.上も有利なので、常用は 1 次 RL=5KΩ が良いと考える。

6528 も同様で、1 次=2.5Kpp 8Ω 負荷時 21W 程度、1 次=5kpp で 18W 程度の出力となる。歪率や D.F.も 6336 と同様に有利となるので、常用は 1 次 RL=5KΩ が良いと考える。

どちらの球も 6080 系と比べ規模が 2 倍になっているにも関わらず、出力は 1.5 倍程度しか得られていない。2 倍の出力を得るためにはプレート電圧を現行の 270V から 320V 程度に程度増加させる必要がある。



波形特性

帰還量が少ない 6336 は問題なし。

帰還量が多くなる 6528 で負荷 Open+負荷容量時に大きくリングングが発生するが発振状態にはならないので、安定性は問題ないと考えている。

6336 RL=2.5kpp

負荷 8ohm 時 f=10KHz

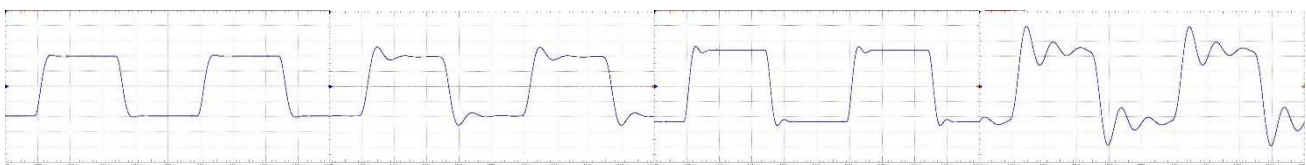
Rc=0

0.47uF

負荷 Open 時 f=10KHz

Rc=0

0.47uF

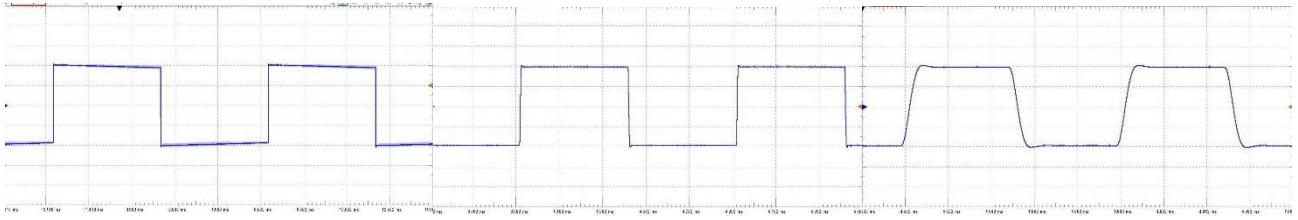


負荷 8ohm 時

f=100Hz

1KHz

10KHz



6528 RL=2.5kpp

負荷 8ohm 時 f=10KHz

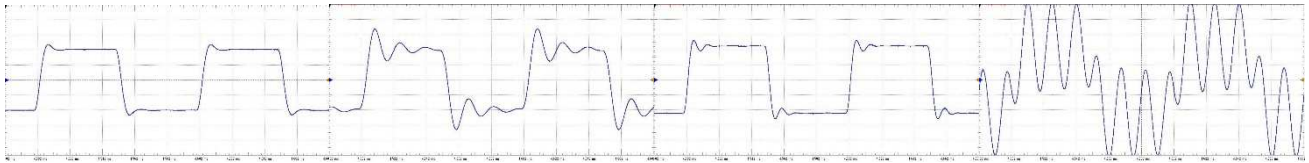
負荷 Open 時 f=10KHz

Rc=0

0.47uF

Rc=0

0.47uF

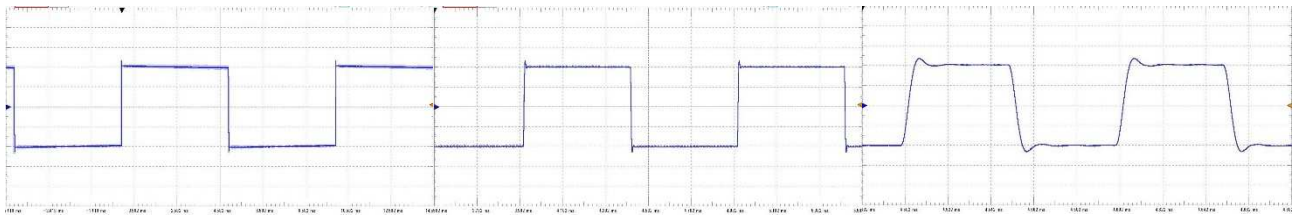


負荷 8ohm 時

f=100Hz

1KHz

10KHz



本アンプ製作後の所感

現行のスピーカーは半導体アンプでドライブされることを前提として設計されているので、真空管アンプといえどある程度のダンピングファクターがあったほうが良いと思います。そのような観点から私は通常、ダンピングファクターが 5 程度になるように NFB 量を決めています。

今回のアンプは低内部抵抗の 3 極管を使用したことで、最も厳しい 1 次 RL=2.5kpp でも無帰還で 3 以上のダンピングファクターが得られ、6dB 程度の軽い帰還量でも問題なく 5 以上のダンピングファクターが得られました。

特にダンピングファクターの違いを聴き比べることを主な目的として負帰還と 1 次 RL を選択できる SW を設けました。

試聴結果は適度に締まった低音と癖のない中高音で、ジャズボーカルはもちろん、最近良く聞くようになったピアノなどを長時間試聴しても疲れません。

製作前に懸念していた消費電力は 200W と案外少なく、発熱も夏以外なら特に問題にならないようです。

以上