

出力トランス付き 6080 (6AS7G)単管 pp アンプ

高間 欣也(きん)

6080 (6AS7G)は、本来定電圧電源用に作られた球で、 280Ω という大変低い出力抵抗とこれまた大変低い増幅率 $\mu=2$ を特徴としています。

オーディオ用としては大変使いにくいのですが、低出力抵抗を利用して主に OTL アンプ用として使用されてきた経緯があります。

しかし、OTL アンプとして使用する場合、通常は最低でも片側 2 球は必要で、発熱も大きくて回路的にも複雑となるので、最近ではほとんど製作例を見かけなくなりました。

通常の回路ではオーディオ用として使いにくいこともあり、真空管自体も「猫またぎ」と蔑視されて大変安価に投げ売りされている現状です。

本アンプは、この使いにくい 6080 (6AS7G)をオーディオ用の 3 極出力管を使用した場合とあまり遜色ない使い勝手に同等以上の特性も得られる回路を使って製作したので、報告させていただきます。

6080 を $RL=5K\Omega$ 程度の AB1 級プッシュプル回路で使用すると、単球 pp で 10W~15W 程度の出力が得られ、球自体の内部抵抗が低いため無帰還でも十分低いダンピングファクターが得られます。

今回出力トランスは、サンスイの SAX-200 という 6BM8pp の総合アンプ(1964 年製)から抽出した 1 次 4.5Kpp のもの、電源トランスは 6R-A8pp 等用の SEL SD-3000D (サンスイ PV-145 相当)を使用しました。

6080 (6AS7G) が使いにくい理由

1. $\mu=2$ という低増幅率のため、使用時のグリッドバイアス電圧が約 $-100V\sim-120V$ と大変深く、グリッドの駆動に 200Vpp 程度の大振幅が必要になる。
2. 大振幅駆動をさせるために、ドライバ段に 400V 程度の電源電圧が必要なるが、6080 自体は 200V 程度で動作させるため、出力段とドライバ段の必要電圧に大きな差が発生する。
3. 出力段のグリッドバイアス $-120V$ を自己バイアスで発生させると自己バイアス用の抵抗に 5W 程度の損失が発生して、発熱や電源回路の効率が悪化する。
4. かといって、出力段を固定バイアスにしたくても、6080 はグリッドのプレート電流制御能力が不安定で、単なる固定バイアス回路では実用にならない。(仕様書でも固定バイアスは不適と記してある)
5. ヒーターが 6.3V2.5A と大食いでヒーター巻線の不足が心配。

本アンプにおける対策

1. 私が最近の製作例で多用しているバイアス電流自動設定回路(カソード電流をサーボ回路でグリッドに帰還してカソード電流を安定化させる)を使用して固定バイアス時の動作不安定を解決した。また、本回路は出力管を無調整で差し替えられる大きなメリットを有している。
2. 出力段 220V と前段 380V の電圧差は、前者を倍電圧整流、後者を 3 倍電圧整流とすることで対策。一般的な倍電圧整流用トランスの使用を可能にした。

3. もう一点問題となる固定バイアス用の $-150V$ 程度の負電圧も、電源トランスに用意されていた固定バイアス用 AC50V 巻線を 3 倍圧整流する事により得ることができた。
4. ヒーターは出力管 2 本分と考えれば、1 本あたり 6.3V1.25A とオーディオ管の約 1.5 倍程度で、電源トランスに用意されている 4 回路の 6.3V2A 巻線を 2 回路ずつ並列接続して、2 回路 6.3V4A の巻線として使用した。

シャーシについて

シャーシは $t=1.2\text{mm}$ のアルミ平板を折り曲げ、左右に $t=6\text{mm}$ の MDF 板にカーボン調のカッティングシートを貼ったものを取り付けて作りました。

シャーシを自作することにより、シャーシサイズを自由に設定できますので、冗長性を排除したタイトなレイアウトが可能になります。

サイズ W 255mm D 205mm シャーシ厚 45mm

外観写真

6080 使用時

出力管とドライバ管のデザイン統一化を狙い、ドライバ管に 6SN7 相当のロクタル管 7N7 を使用しています。



6AS7G 使用時

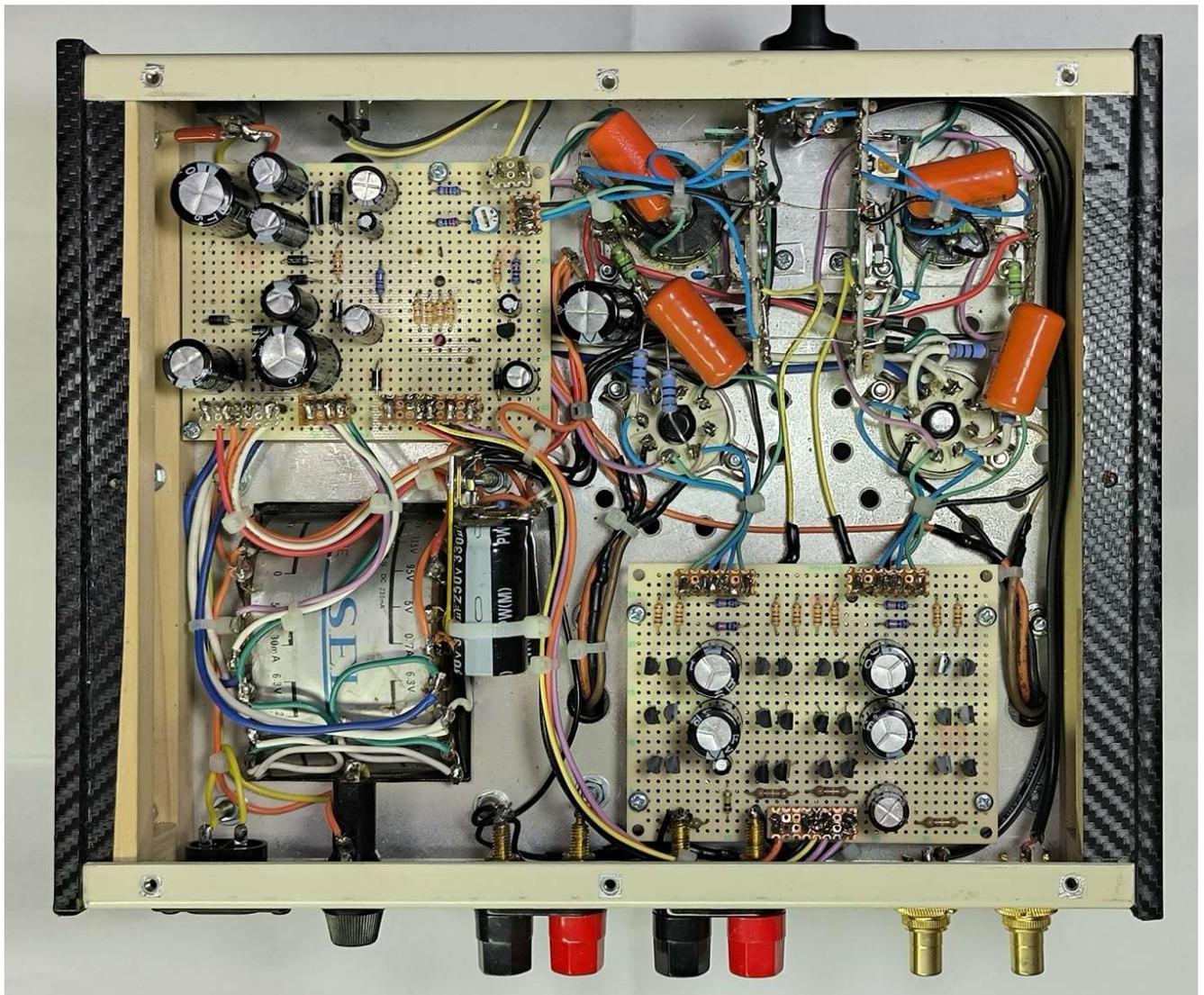
6AS7G はデザイン的に合わないと思っていましたが、製作後に差し替えてみると、こちらのほうがデザイン的にまとまっているようにも思えます。



シャーシ内部

小型薄型シャーシを使用するため、部品は電源部、バイアス電流自動調整回路を 2 枚の蛇の目基板に実装しています。電源部基板は設計当初の回路を再検討した結果、大きく部品点数が削減できたので空き地が目立つ格好となっています。

ドライバ段の部品も蛇の目基板を縦ラグのような使い方で球のソケット周りに配置することにより、省スペース化を実現しています。



背面写真

SAX-200 総合アンプ の OPT を使用



特性まとめ

項目	6080 Lch	6080 Rch
周波数特性 1W時	6.8Hz(-3dB) ~ 152KHz(-3dB)	6.8Hz(-3dB) ~ 152KHz(-3dB)
歪率特性 1KHz 1W時	0.28%	0.26%
出力 1KHz 5%時	13.3W	13.3W
クロストーク	-70dB 以下 10Hz~30KHz	-70dB 以下 10Hz~30KHz
裸利得	19.4dB	20.1dB
総合利得	16.1dB	16.0dB
NF量	3.2dB	4.1dB
D.F. 1KHz 注入法	無帰還 4.0 NF=3.2dB 5.6	無帰還 3.7 NF=4.1dB 5.1

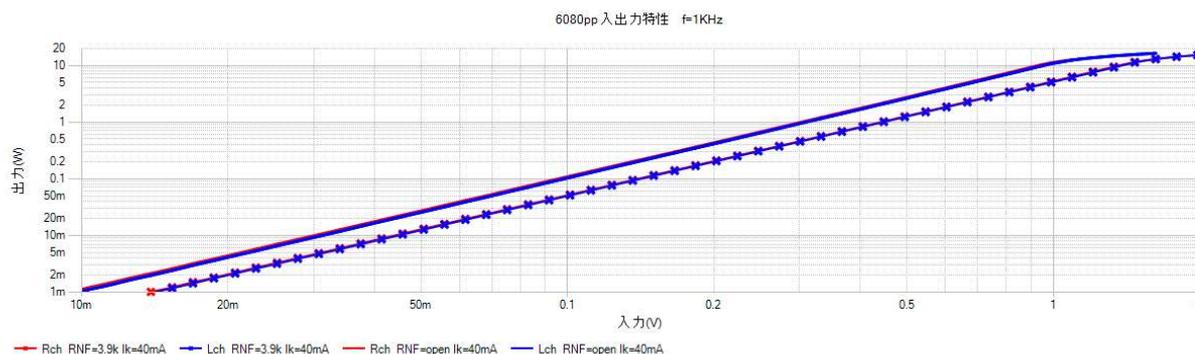
$E_p=220V$ バイアス電流 $I_b=40mA$ 、バイアス電圧は約-110V

消費電力 約 98W

詳細特性

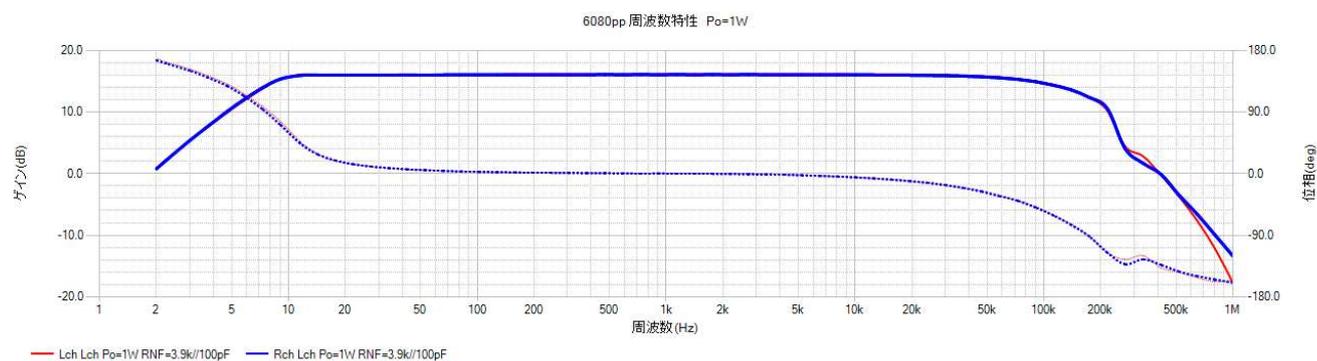
入出力特性

ゲインは低めで、NFB=4dB で最大出力時の入力は約 2Vrms 必要となる。



周波数特性

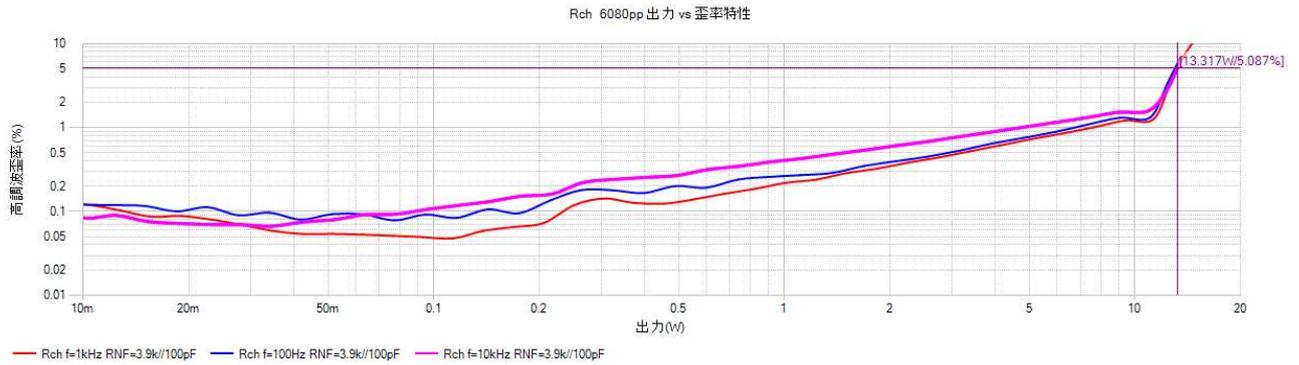
150KHz 付近に f 特のディップが見られるが、帰還量が 3~4dB と少ないため大きな問題にはならない。



出力 vs 歪率特性

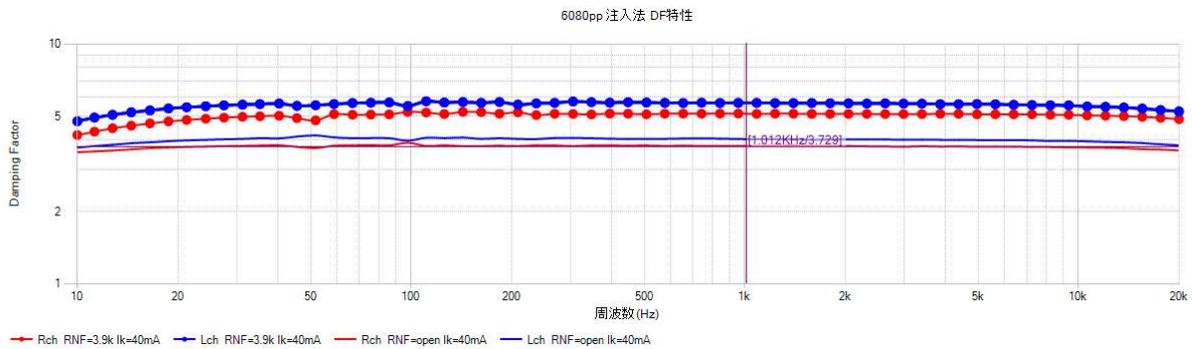
帰還量が少ない割に、十分な低歪率となっている。また、残留ハムなども少ないため小出力時の歪率悪化も少ない。

Rch



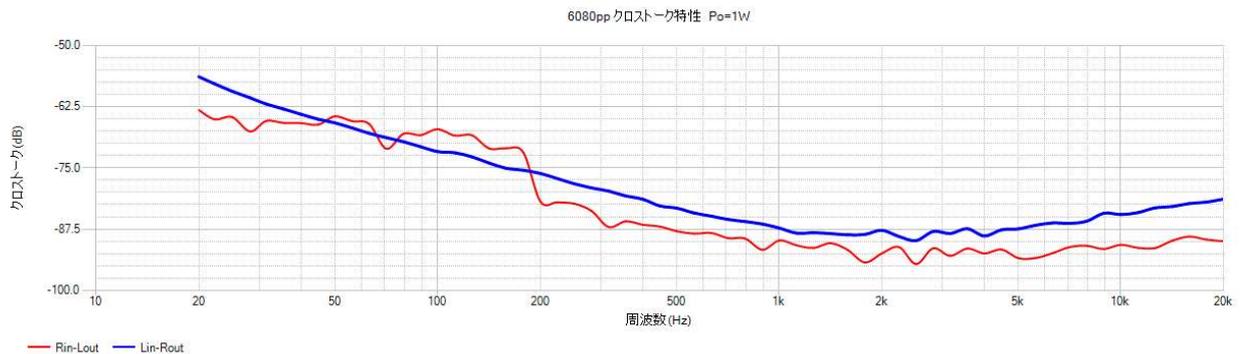
注入法による DF 特性

無帰還でも 4 程度取れており、歪も十分小さいので、無帰還での使用も十分可能と考える。

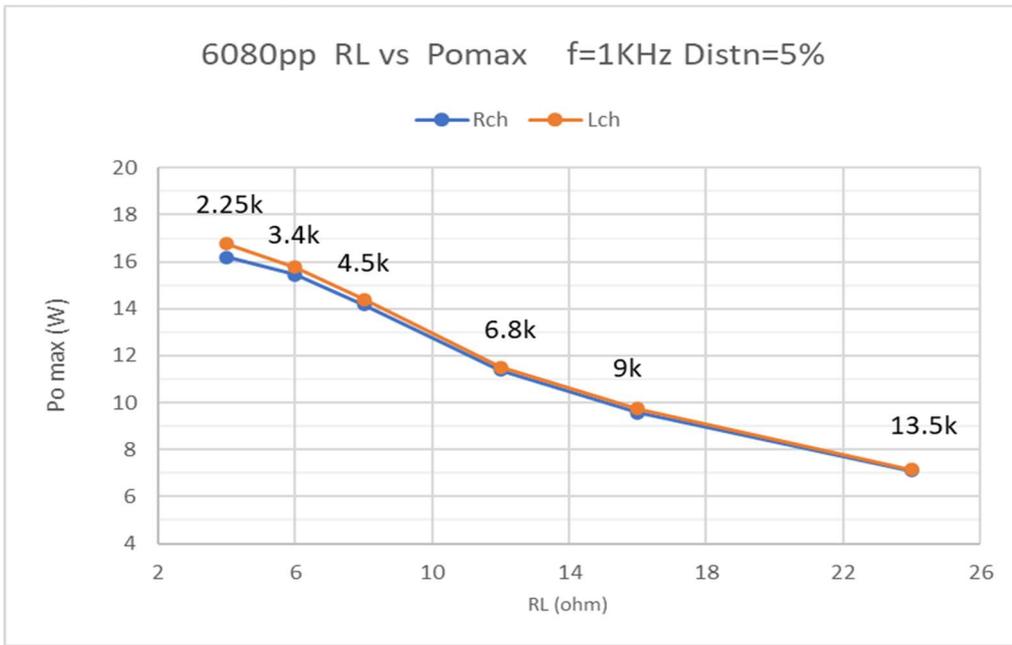


クロストーク特性

低域になるに従いクロストークの悪化が見られる。原因は現在調査中だが、Choke 出力側のケミコン容量を 47 μ F \rightarrow 22 μ F に増加すると 10dB 程度改善して 100Hz でも約 -70dB 程度は取れるようになったので実用上問題ないと考えている。



負荷抵抗 vs 最大出力特性

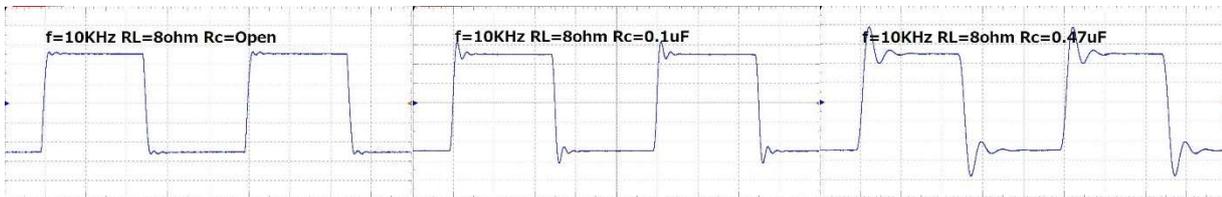


8Ω 負荷時 1 次
RL=4.5KΩ
負荷抵抗を下げていくと最大出力は増加するが、ダンピングファクターが低下する悪影響も出てくるので、現状程度の負荷抵抗が適当だと考えている。

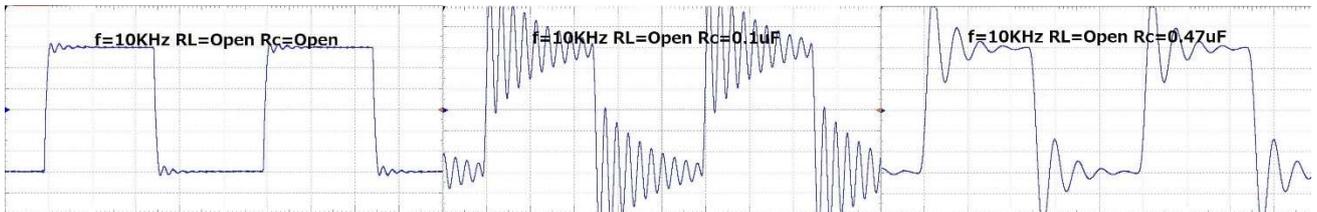
波形特性

負荷 Open で負荷容量をつけた状態でも発振状態にはならないので十分な安定性が得られている。

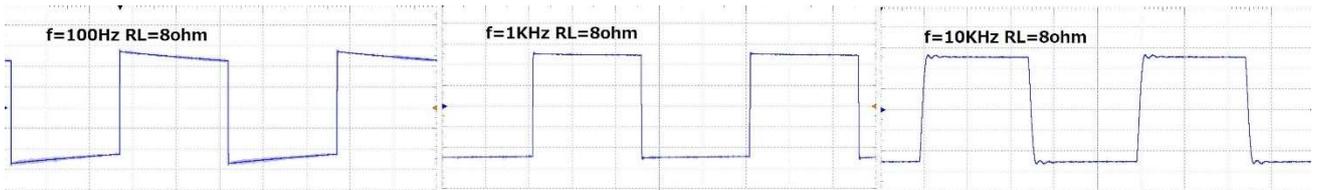
負荷 8ohm 時 f=10KHz Rc=0 , 0.1uF , 0.47uF



負荷 Open 時 f=10KHz f=10KHz Rc=0 , 0.1uF , 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。

今回のアンプは無帰還でも 4 程度のダンピングファクターと THD=0.1%程度の低歪率が得られているため、トータル NFB は 3~4dB と非常に軽い帰還量でまとめることができました。

60 年近く前に作られた普及品の出力トランスにも関わらず、周波数特性も 150kHz 以上まで素直に延びており、当時のトランス製造技術の高さを感じるとともに、今回使用したレギュレーター用低増幅率低内部抵抗 3 極管がオーディオ用途での適性が高いことにも大変驚いた次第で、今後、6336A など更に大出力が得られる球なども使ってみようと考えています。

試聴結果

適度に締まった低音と癖のない中高音で、私のよく聞くジャズボーカルを長時間試聴しても疲れません。最大出力は方チャンネル約 13W ありますので、能率の悪いブックシェルフタイプのスピーカーでのオーケストラやロックなどの再生にも十分対応可能と思います。

回路の説明

電源回路

本機は出力段用の 240V、ドライバ段用の 380V、出力管バイアス用の-150V、出力管電流基準用 400mV、自動バイアス回路耐圧対策用-82V、ドライバ段差動用-5V、ドライバ段グリッドバイアス用 5V、ヒーター用 6.3V2.5A+0.64A=3.14A 2 回路の計 8 種類の電源が必要です。

リップルフィルター回路として最近は小型化のため専ら FET を使うのですが、今回はシャーシのレイアウト的にチョークコイルを配置するスペースができたので、久々にチョークコイルを使いました。

ドライバ段用の 380V は、両波倍電圧整流で作成した出力段用の 240V の中間点 120V に、半波倍電圧整流回路で作成した 260V を接続して、生成しました。ドライバ段は 15mA 程度の一定電流しか流れないので、この回路で問題ないリップルなどが得られています。

出力管の固定バイアス電圧約-110V 用に電源トランスに用意されていた 50V30mA の巻線を 3 倍圧整流し、62V と 82V のツェナーDi にて-150V を作成します。-82V 端から自動バイアス電圧回路の耐圧不足対策用電圧を取り出します。

ヒーター用の 6.3V 巻線を整流して 5V の 3 端子レギュレーターで+5V を作成し、+5V をドライバ段 7N7 のグリッドバイアス電圧に使用。更に自動バイアス回路基準電圧用に半固定抵抗で可変できる 400mV を供給。同じくヒーター用 6.3V 巻線を整流して-5V を作成してドライバ段の差動増幅回路用負電圧として使用しています。

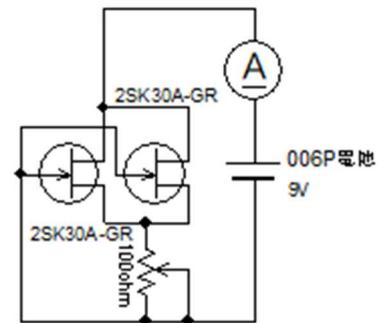
ドライバ段回路

ドライバ段には、多くの製作例がある半導体による差動回路に耐圧を稼ぐことを目的として 3 極管をカスケード接続す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り、大変合理的で作りやすいと思います。

差動増幅段には従来からよく使用された 2SK117 の互換品である 2SK209-BL(2SK880-GR でも可)を使用しました。特性は同等ですがパッケージが小型面実装タイプなので、秋月電子で販売しているチップトランジスタ用変換基板を使います。

カスコード用の三極管は 7N7(6SN7 相当)を使用して 3.75mA(2 本分 7.5mA)の電流を流す設計にしています。

差動増幅用の定電流回路は手持ちの関係で 2SK30A-GR(I_{dss} 2.6mA ~ 6.5mA)を使用しましたが、単体では 6mA の電流が流せなかったのが 2 本パラに接続して使用しました。ソース抵抗の値は図に示す回路を組んで予め抵抗値を把握しておくか半固定抵抗を使用して実装後 7.5mA に調整する必要があります。



出力段

出力段は、先に記したように出力管カソード電流をグリッド電圧に帰還して一定のバイアス電流を得ることのできる自動バイアス電流調整回路を設けています。

この回路により、固定バイアスと同様に自由にバイアス電流(アイドリング電流)を設定できるだけでなく、一度設定したバイアス電流は真空管を交換しても一定値に制御されるため、メンテナンスが大変楽になるだけでなく、真空管の経時変化による安定性も格段に向上します。

動作原理はカソードに発生したバイアス電流 + 音声信号電流をトランジスタによるコンパレータで基準電圧と比較し、コンパレータのコレクタ電流約 1mA とコレクタに接続した 100uF のコンデンサにより平滑して、直流のバイアス電流分だけの電圧をグリッドに帰還します。

したがって本回路は低域に時定数が発生しますので、固定バイアスではなく一種の自己バイアス方式です。

今回はバイアス電圧が約 -120V と高く、手持ちのトランジスタでは耐圧が不足するので、耐圧を稼ぐためにトランジスタを 2 段積みになっています。

LED の供給電流

パイロットランプは手持ちの赤色 LED を使用しました。LED は色や型式によって明るさが大きく違いますので、実際に使用する LED を使用して電流制限抵抗の値を調整する必要があります。一般的に赤色は発光効率が高く、青や緑色などは発光効率が低い傾向になります。

今回は赤色 LED なので発光効率が高く、LED に 0.5mA (6.8k Ω) 流すだけで十分な輝度が得られました。

