

UL 別巻線付き OPT を使用した 25DQ6/25E5ULpp アンプ

高間 欣也(きん)

本アンプは、ARITO's Audio Lab 製の新型出力トランス DE-5K30W-UL (1次 5Kohm, 20%UL 巻線, 2次 16ohm, 8ohm, 4ohm, 出力 30W)の製品モニターにより製作しました。

CSPP 用の OPT に続き今回のような UL 別巻線を持った OPT がラインナップに加わったことで、現在でも安価かつ大量に入手できる水平偏向出力管をその特長を生かした使い方で使用することができます。

今回は、25V のヒーターを持つ中型の水平偏向出力管の中から、日本でも白黒テレビに良く使われていた 25E5 とそのピンコンパチブルで一回り規格が大きい 25DQ6 を使ってみました。

後述する出力管のバイアス電流自動調整回路により、一度動作条件を設定した後は無調整で真空管を交換することができます。

外観写真



25DQ6 使用時



25E5 使用時

25E5 はトッププレートですが、球の形状は 6CA7(EL34)と同様のスマートな外形で、プレート損失 $P_d=11W$ 。他方、25DQ6 はずんぐりとして視覚的にも安定感がある外形で、プレート損失 $P_d=15W$ と一回り大きくなります。

両者ともヒーターは 25V0.3A で 4 本直列にして AC100V からヒーターを直接点灯させることができるので、電源トランスを小型化できます。

背面およびヒーター点灯時写真

今回使用した真空管はヒーターの灯りがよく見えて視覚的にも綺麗です。(写真はいささかオーバーに映っています。)



特性まとめ

項目	25DQ6 Esg=175V	25E5 Esg=150V
周波数特性 1W 時	12Hz(-3dB) ~ 71KHz(-3dB)	11.4Hz(-3dB) ~ 68KHz(-3dB)
歪率特性 1KHz 1W 時	0.22%	0.2%
出力 1KHz 5%時	26W	23.5W
クロストーク	-70dB 以下 10Hz~30KHz	-70dB 以下 10Hz~30KHz
裸利得	41.3dB	43.7dB
総合利得	29.3dB	29.8dB
NF 量	12.0dB	13.9dB
D.F. 1KHz 注入法	無帰還 0.63 NF=12dB 5.0	無帰還 0.7 NF=14dB 6.3

25DQ6 はスクリーングリッド電圧 Esg=175V。25E5 は Esg=150V での測定。

出力管のバイアス電流は両者とも 35mA。

試聴結果

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本機はダンピングファクターが 5 程度になるように NFB 量を決めました。

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。最大出力は約 25W 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も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。

本 OPT 向きの出力管について

概ねプレート損失 $P_d=10W\sim 20W$ クラスの出力管で、プッシュプル UL 接続で約 20~30W の出力が得られます。この条件に当てはまる水平偏向出力管は多数ありますので、手持ちや入手性の観点で選択してください。

今回の試作ではヒーター巻線を削減するためにヒーター電圧 25V タイプの真空管を選びました。このようなトランスレス管が多く存在するのもテレビ用の真空管の利点です。

本 OPT に適したヒーター電圧 25V の水平偏向出力管の例

管名	ヒーター電流(A)	ソケット	gm (uS)	Rp (ohm)	Pd (W)	Top Plate	Socket 互換
25DQ6	0.3	US	6000	20k	15	○	A
25E5	0.3	US	14000	5k	11	○	A
25DN6	0.6	US	9000	4k	15	○	B
25CD6GB	0.6	US	7700	7.2k	20	○	B
25AV5GT	0.3	US	5900	14.5k	11	×	C
25HX5	0.3	9pin マグノーバル	14000	5k	14	×	D
50H-B26	50V 0.15A	9pin マグノーバル	15000	4k	18	×	D*

自動バイアス調整回路により、Socket やヒーターなどに互換があれば自由に真空管の差し替えができます。

25HX5 と 50H-B26 はヒーター違いのほぼ同等管。ただし、50H-B26 は P_{dmax} が 18W に向上していることと、

2pin の接続が異なる。25E5 も Top Plate と Pd 以外の特性はほぼ同等です。

UL 別巻線 OPT について

今回使用する OPT は動作時のプレート電圧とスクリーングリッド電圧が異なる真空管を UL 接続で使用するために、プレートに接続する 1 次巻線とは別に UL 接続専用の巻線を持っています。

通常のプッシュプル用 OPT に設けられている UL 端子が一般的に 1 次巻線の約 44% に設定されているのに対し、本 OPT の UL 巻線は 1 次巻線の 20% に巻かれています。

これはプレート電圧とスクリーン電圧が同じ電圧、例えば 300V で動作させたときに仮に UL 巻線に 50Vpp の AC 信号が発生したとします。

UL 巻線数が同じ設定でスクリーン電圧を 1/2 の 150V で動作させると、DC150V に対して同様に 50Vpp の AC 信号が発生することになります。

この場合、スクリーングリッドに対する AC 電圧の変動割合は 300V のときの 2 倍になるので、UL 帰還率が 2 倍に増加してしまいます。

そのため、本 OPT は通常の巻線比 44% から約半分の 20% に減らして UL 帰還率を通常の UL 接続時の動作と同様になるようにしています。

水平偏向出力管使用上の注意点について

水平偏向出力管と一般的なオーディオ出力管との主な違いとして、それぞれ例外はありますがトッププレートの有無と動作時のプレート電圧に対してスクリーングリッド電圧が低く設定されている点が挙げられます。

また、真空管としては後期に開発されたものが多いので、大きな gm を持つ真空管が多くなっていることもあります。そのため、発振に対するケアも重要になります。

具体的には、発振防止対策としてプレート直近に $10\ \Omega$ 1/2W 抵抗の外皮に 10 ターン程度のエナメル線を巻いたものを追加し、グリッド直近にも発振防止の抵抗 $4.7k\ \Omega \sim 10k\ \Omega$ 程度を追加します。

電源回路について

本機は小型軽量化のためチョークコイル代替の FET によるリップルフィルター、出力管のスクリーン電圧供給用の可変電圧回路、自動バイアス電流設定回路用基準電圧と負電圧電源、更に初段差動増幅回路用の負電圧電源、初段カスケード段グリッドバイアス電圧など計 6 種の電源を用いています。

回路は複雑になりますが、各電源の電圧変動などの影響が他の回路に及ばないので、設計的にはかえって簡単になり、性能向上にも寄与すると考えています。

多くの回路を蛇の目基板に実装している

これだけの半導体回路を旧来の真空管アンプのようなラグ端子で配線することは困難なので、本機はユニバーサル基板を多用しています。

基板間の接続もコネクタ化しているので、セットの組み立てや回路変更なども容易に行えます。

初段回路について

初段には、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。

通常差動増幅段には FET を使うことが多いですが、今回はドライバ段の高域カットオフ周波数を OPT より高くするため負荷抵抗を $33k\Omega$ (コレクタ電流 $3mA$) と小さくした影響で低下した回路ゲインを補償するために gm の高いバイポーラトランジスタを使用しました。

FET はゲート電流が流れないので真空管と同様に使えますが、バイポーラトランジスタではベースに電流が流れるので、トランジスタのベースを VR のセンター端子に直接接続することはできません。

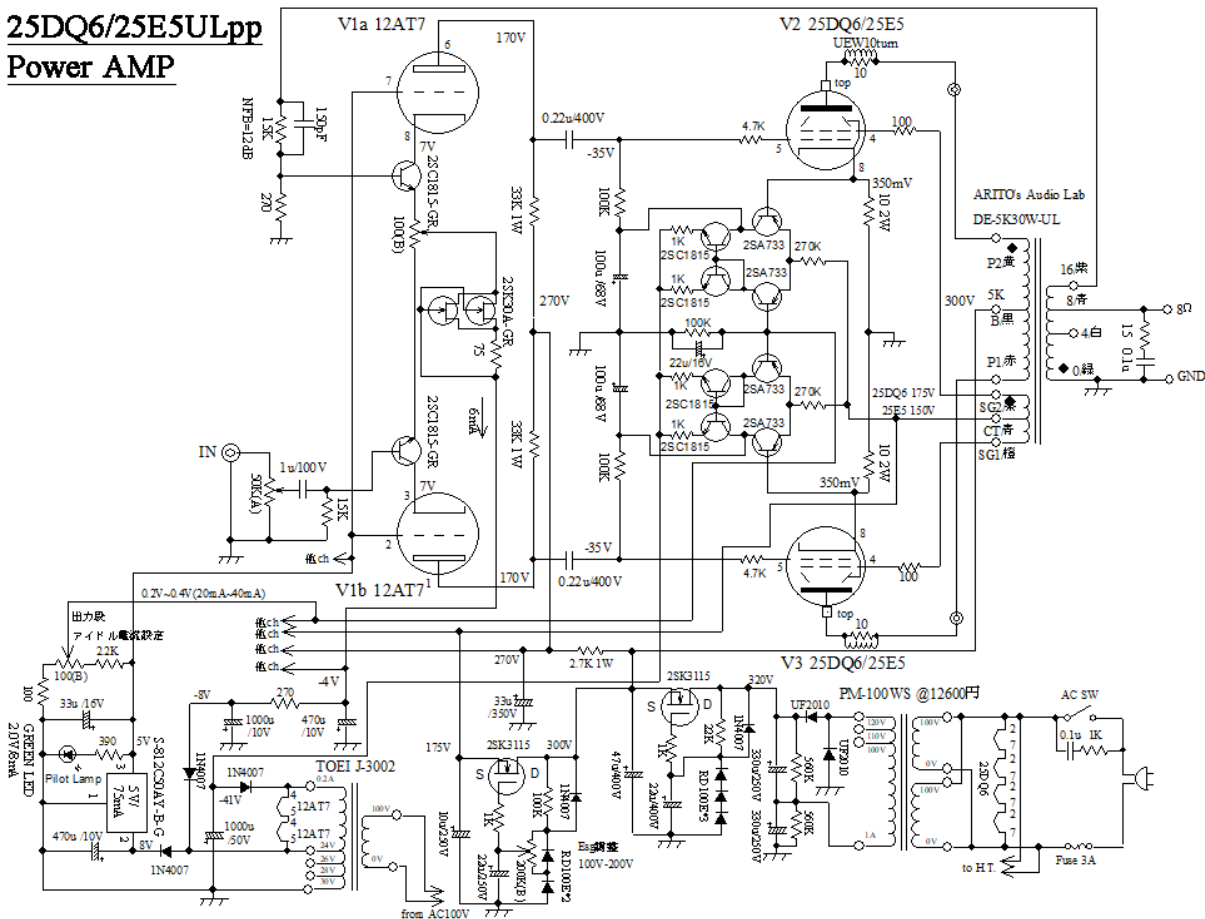
また、ベースに接続された抵抗の影響でオフセット電圧が発生します。本来は入力側と帰還側の入力抵抗も合わせておく必要がありますが、本機ではエミッタに挿入した半固定抵抗でオフセット電圧を調整することで代用しました。

2SC1815-GR の代わりに 2SK117-GR を使用する場合は約 $1/2$ にゲインが低下しますので帰還量を減らすか最大出力時の入力電圧の増加を許容することにより可能です。また、ベース電流が流れないので入力の $1\mu F$ と $15k\Omega$ の HPF は不要になり、VR の中点を直接 FET のゲートの接続できます。

回路図

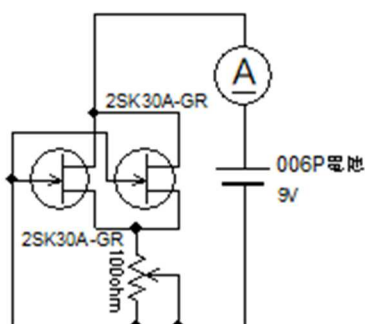
25DQ6/25E5ULpp Power AMP

2024/5/16



カソード用の三極管は 12AT7 を使用して 3mA(2 本分 6mA)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で 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 6mA 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 650uA とコレクタに接続した 100uF のコンデンサによる約 6.6Hz の LPF により音声信号成分をフィルタリングして、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自己バイアスの1方式です。

UL 巻線分離型の OPT はスクリーングリッド電圧をプレート電圧と無関係に設定できることも大きなメリットです。

今回使用した 25E5 と 25DQ6 はピン接続が同じなのでそのまま差し替えが可能です。細かく言うと 25E5 の方が 25DQ6 よりプレート損失が少ない一方、gm が高いためゲインが大きい、25DQ6 に比べ低いスクリーングリッド電圧で同様の出力を得ることができるなどの違いがあります。

今回使用した真空管の動作条件は下記の通り。

25E5	プレート電圧 300V、スクリーン電圧 150V、バイアス電流 30mA~35mA
25DQ6	プレート電圧 300V、スクリーン電圧 175V、バイアス電流 35mA~40mA

電源回路

B 電源用は手持ちの 100VA 級の複巻トランスを使用しましたが一般的にはゼネラルトランス(旧ノグチ)の PM-100WS という一次側 0-100V 2 巻線、二次側 100V,110V,120V 100VA の複巻トランスを使えば良いと思います。回路図は PM-100WS 仕様で書いています。

倍電圧整流で約 320V を作り、FET によるリップルフィルター兼定電圧回路を介し出力管のプレートに約 300V を供給します。

スクリーン電圧用には 300V から更に FET による電圧可変リップルフィルターにて 100V~200V を供給します。

ドライバ段のヒーターとバイアス電圧や差動段用負電圧などは、手持ちのサンスイ DP-63 (0-6.3-12V 0.3A)を使用しましたが、新規に製作する場合は東栄変成器の J-3002 (0-24-26-28-30V 0.2A)の方が合理的に設計できるのでそちらのほうが良いと思います。回路図は J-3002 を使用した例としました。

J-3002 の 6V 端子(30V-24V 間)を半波整流して±8V を作り、正側は 5V の小型 3 端子レギュレーターを使用して 12AT7 のグリッド電圧 5V と出力管のバイアス電流基準電圧 0.2V~0.4V を作ります。ここは一般的な 78L05 でもギリギリ使えますが、できれば低損失タイプの S-812C50AY-B-G を使用したほうが動作に余裕が得られます。

負側の約-8V は、初段差動増幅回路の定電流源の電圧として使用します。

0V-30V 端子を整流して約-41V を出力管のバイアス用不電源として使用します。

さらに、0V-24V 間の端子をヒーター用として 12AT7 のヒーター12V(4pin-5pin)を 2 本直列に接続します。

LED の供給電流

パイロットランプは手持ちの緑色 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して使用してください。

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。

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-17 300*200*40 1.0t (ゼネラルトランス扱い)にしましたが、正直ギリギリのサイズで製作難易度は大変高くなりました。また、板厚も 1.0t と薄いので 0.5t のアルミ板を裏に重ねるなどの手間もかけました。

追試される場合は、一回り大きい O-10 350*200*40 1.2t、もしくは O-9 350*200*60 1.2t を使用したほうが良いと思います。

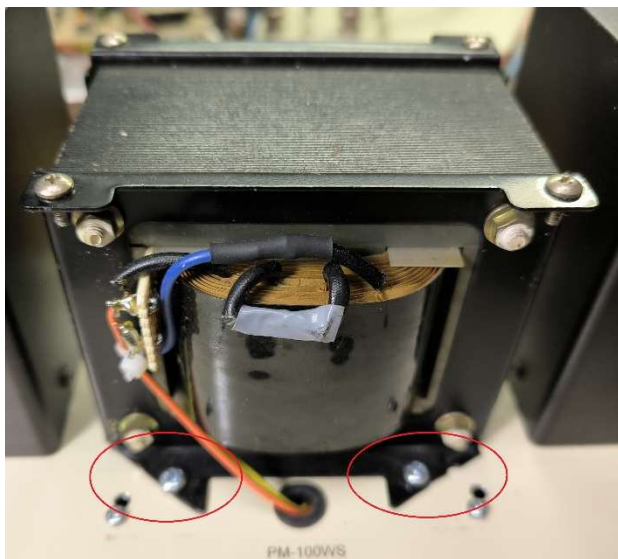
なお、奥沢のシャーシは裏蓋を取り付けるネジ穴も設けてあり大変良いと思います。

電源トランスの PM-100WS 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。出力トランスと並べても違和感ない形状で、気になる品質も価格を考えれば満足できるものです。

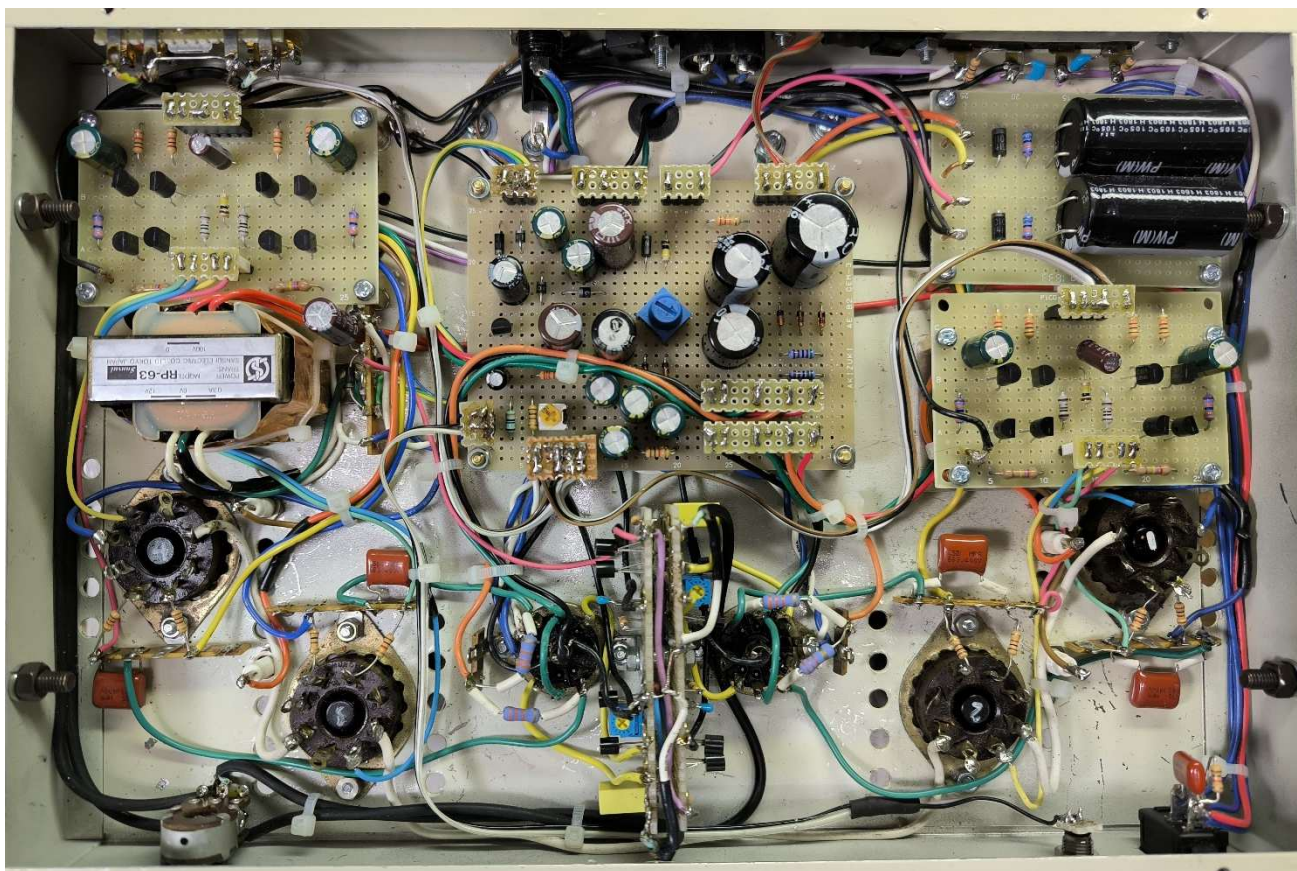
ただし、サイズがギリギリで、写真に示すように電源トランスの取り付けアングルの一部をカットする必要がありました。

https://ja.aliexpress.com/item/32851122312.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.13.b8db585a10cFG&gatewayAdapt=glo2jpn



GD-PARTS 110x100x115mm

シャーシ内部



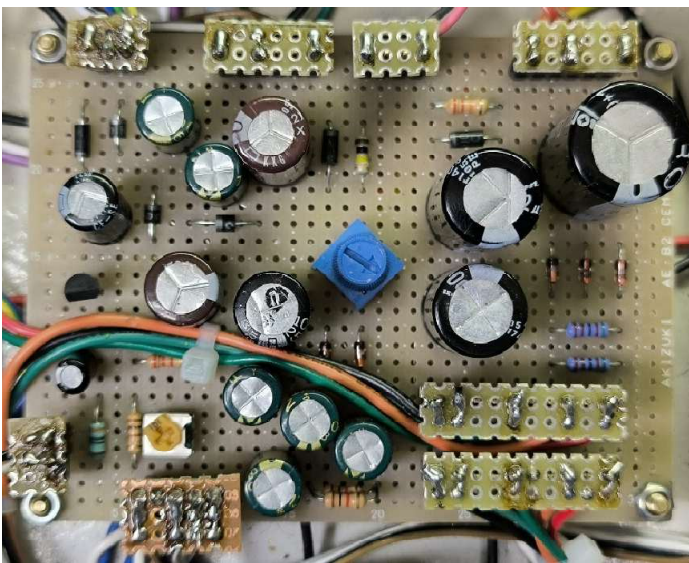
4 枚のユニバーサル基板(倍電圧整流基板、主電源基板、自動バイアス基板*2)と縦型ラゲ化した 2 枚のユニバーサル基板(初段差動増幅基板)で構成されています。

ヒータートランスの適切な設置場所が無く、ハムの影響が気になったのでトランスに銅箔テープのシールド(ショートリング)を追加しました。

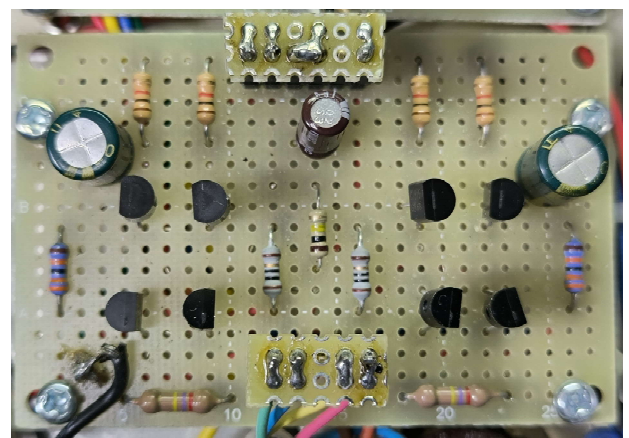
電源部と出力管の定電流回路は秋月電子で購入した蛇の目基板を使いました。(片面ガラスユニバーサル基板 C タイプ、片面ガラスコンポジット・ユニバーサル基板 B タイプ めっき仕上げ AE-B2-CEM3)

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。

初段差動回路部はユニバーサル基板を縦ラグ板の様に使って各真空管のソケット取付ビスに共締めしています。



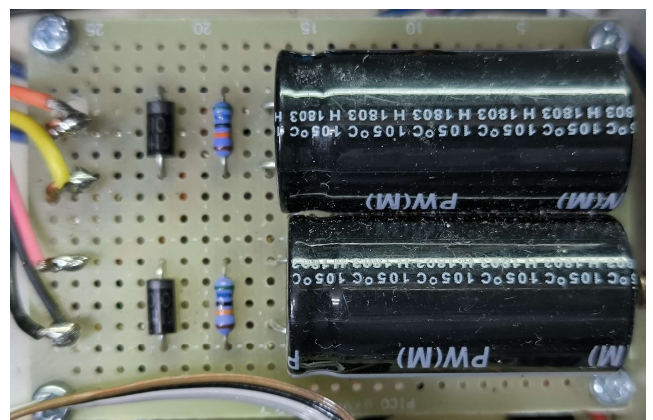
主電源基板



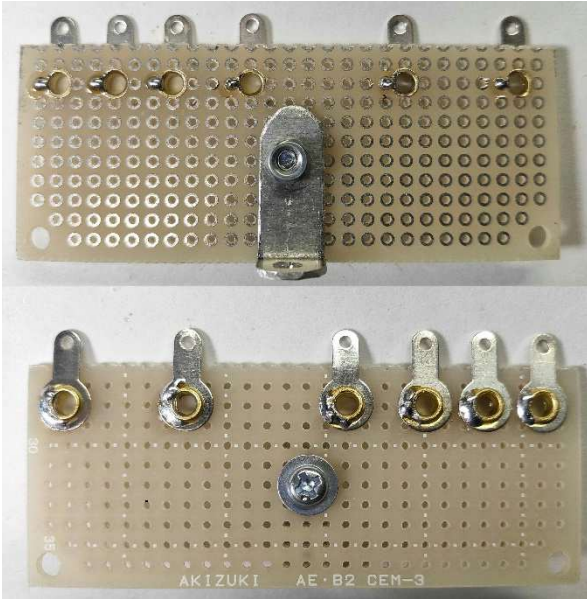
自動バイアス基板



初段差動増幅基板



倍電圧整流基板



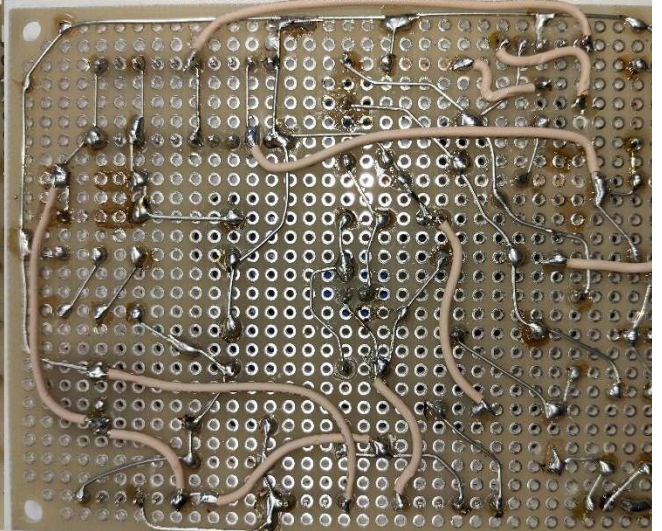
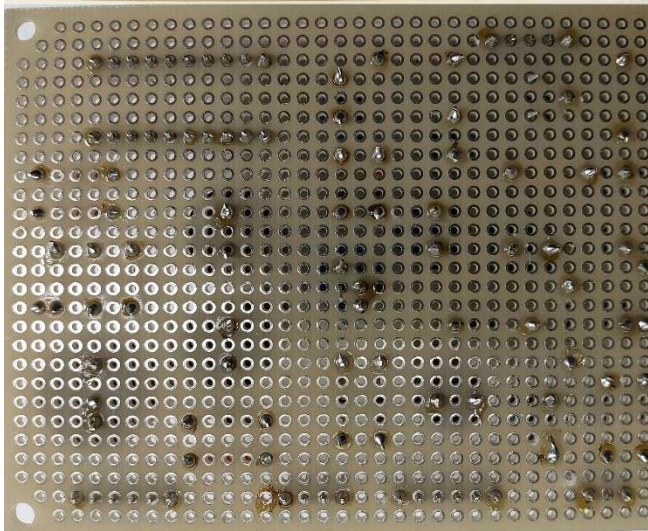
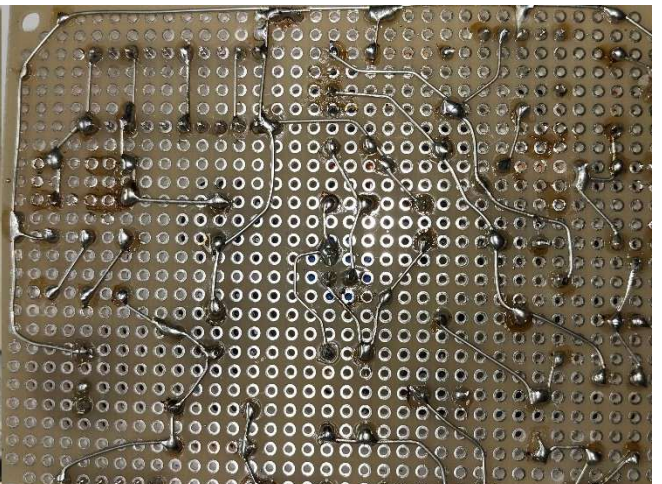
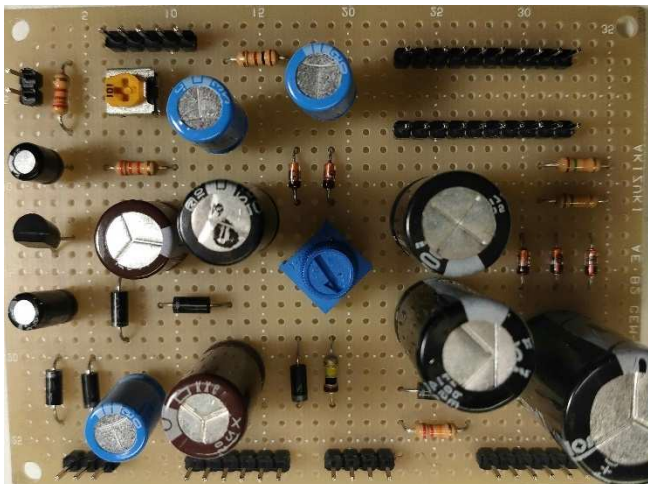
初段差動増幅基板

ユニバーサル基板をカットして初段差動増幅回路を配線します。

ハトメラグを取り付けて縦ラグ形状にして使用しますが、現在ハトメラグの入手が難しいので、入手しやすい卵ラグをハトメを使って基板に留めました。



FET は発振しやすいのでゲート端子の直近に $1k\Omega$ の抵抗を取り付け、熱収縮チューブで絶縁して、放熱のためシャーシにビス止めし、電源基板のコネクタに 10cm 位の配線で接続します。



ユニバーサル基板の配線方法

部品は足を曲げずにハンダ付けした後、部品の足を切り取ります。

切り取った抵抗などの足や、スズメッキ線などを使って部品間の配線を行います。

交差してしまうところはジャンパー線を使って配線します。(私は裏で配線します)

このようにすると、部品の交換が楽に行うことができます。部品の足を曲げて相互に接続してしまうと部品の交換が必要になったときに苦労します。

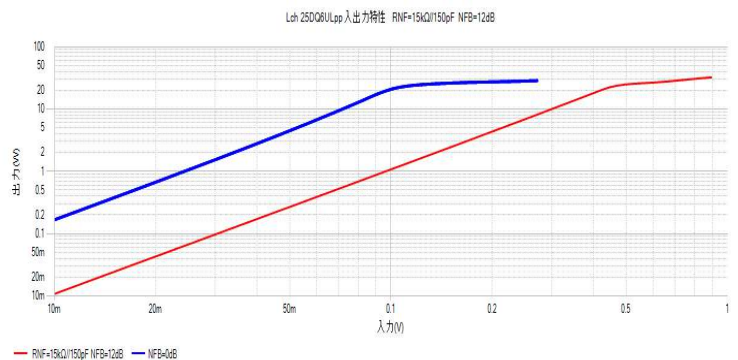
特性について

25DQ6 についての測定データを記します。

入出力特性

約 12dB の帰還をかけた状態で、約 0.5V で最大出力となります。

元回路では、差動増幅回路に 2SK117 を使用していましたが、負荷抵抗を原回路の 100k Ω から 33k Ω に変更したことにより、回路ゲインが約 6dB 低下したため、差動増幅回路に使用する素子を 2SC1815 に変更しました。



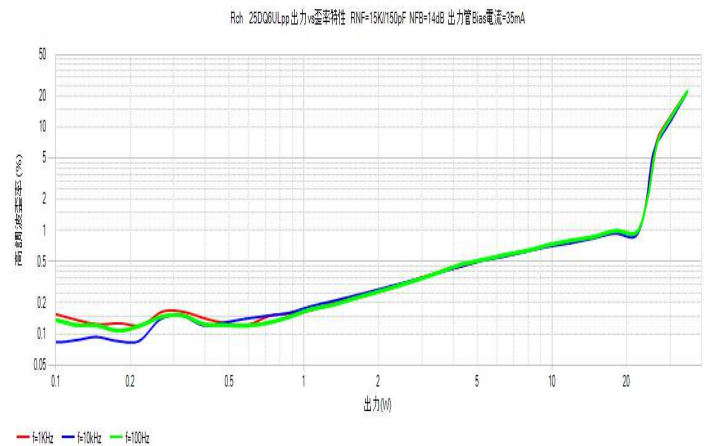
出力 vs 歪率特性

歪率は $f=100\text{Hz}, 1\text{kHz}, 10\text{kHz}$ とともにほぼ同一で約 0.1%まで低下しました。

最大出力は

THD=1% 時に約 23W

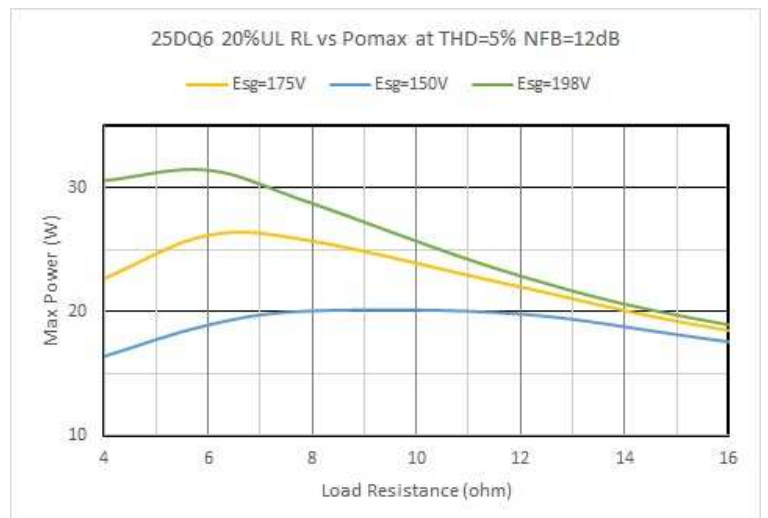
THD=5% 時に約 26W 得られました。



負荷抵抗 vs 最大出力

最大出力は負荷抵抗とスクリーングリッド電圧 (Esg)によって変わります。

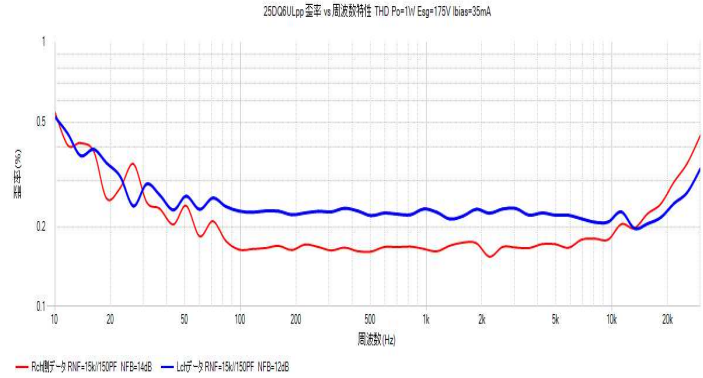
25DQ6UL の場合、Esg=175V の時に負荷抵抗 8 Ω 時に最大出力約 26W(THD=5%)が得られました。



周波数 vs 歪率特性

NFB=14dB と 12dB 出力 1W における歪率の周波数特性のグラフです。

約 50Hz～約 20KHz 程度まで、約 0.2%～0.3% の歪率が得られています。

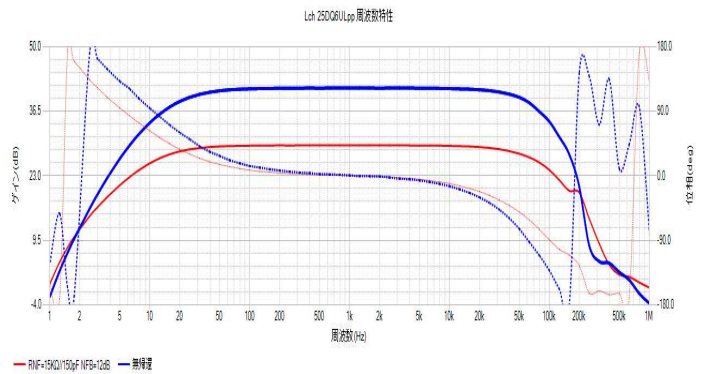


Po=1W 時 周波数特性

高域特性

NFB=12dB において、 $f=70\text{KHz}$ at -3dB 程度。約 150KHz に UL 巻線の影響と思われるピークがあります。

このピークは帰還抵抗に 150PF の微分形位相補正を設けることで実用上問題ないレベルになりました。



低域特性

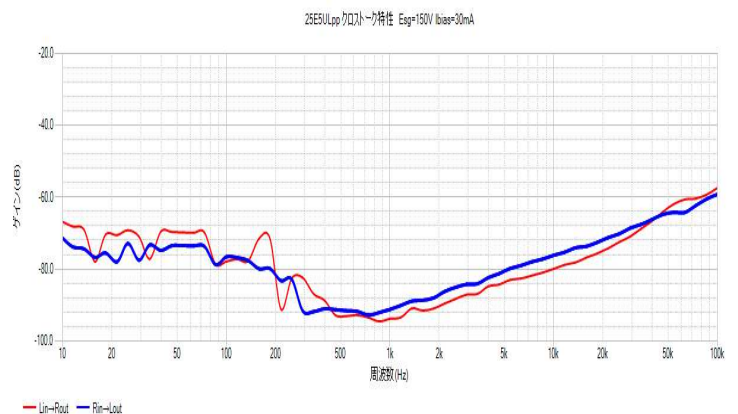
差動増幅回路の入力と出力管のグリッド入力回路の時定数を約 7Hz と高く設定しているため、約 12Hz 程度から周波数特性は低下しています。

むやみに低域を延ばしてもあまり意味は無いので、この状態で良しとしています。

これは、自動バイアス電流回路の時定数と干渉して低域にピークが発生してしまったための対策ですが、もう少しカットオフを下げても動作的には問題ないようです。

クロストーク

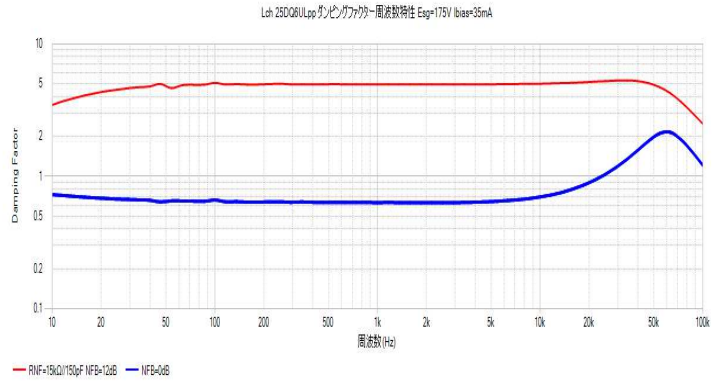
約 10Hz から約 30KHz まで -70dB 程度のクロストークが得られているので、良しとしました



ダンピングファクター

UL 接続のため、無帰還時で約 0.63 のダンピングファクターが得られました。

本試作機はスピーカーシステムとの接続汎用性を考えてダンピングファクターが 5 になるように NFB を設定しました。
(NFB=12dB)



波形特性

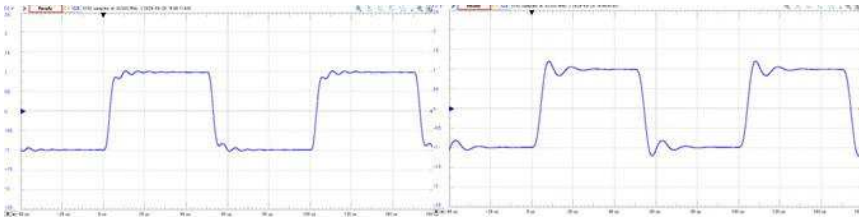


RL=8Ω 100Hz

1KHz

10KHz

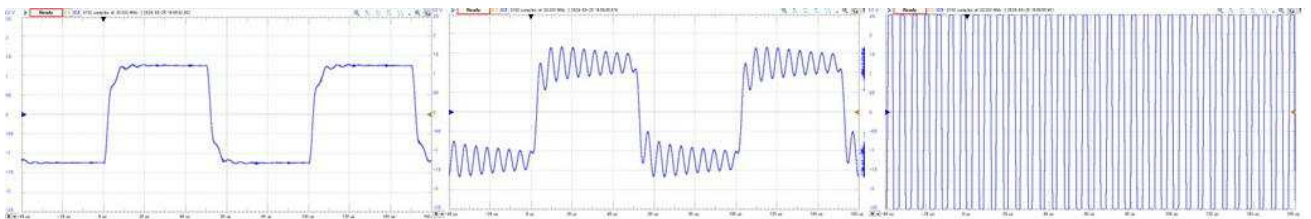
100Hz のサグは入力 HPF の影響。10KHz の波形乱れは 150kHz 付近の f 特ピークの影響。



RL=8Ω 負荷接続時は容量負荷を接続しても発振はしません。

RL=8Ω f=10KHz CL=0.047uF

CL=0.1uF



RL=Open f=10KHz CL=0

CL=0.047uF

CL=0.1uF

負荷 Open 時では負荷容量 0.1uF で発振しましたが、高域特性とのバランスを考慮してこの状態で良しとしました。実用上は問題ないと考えています。

参考

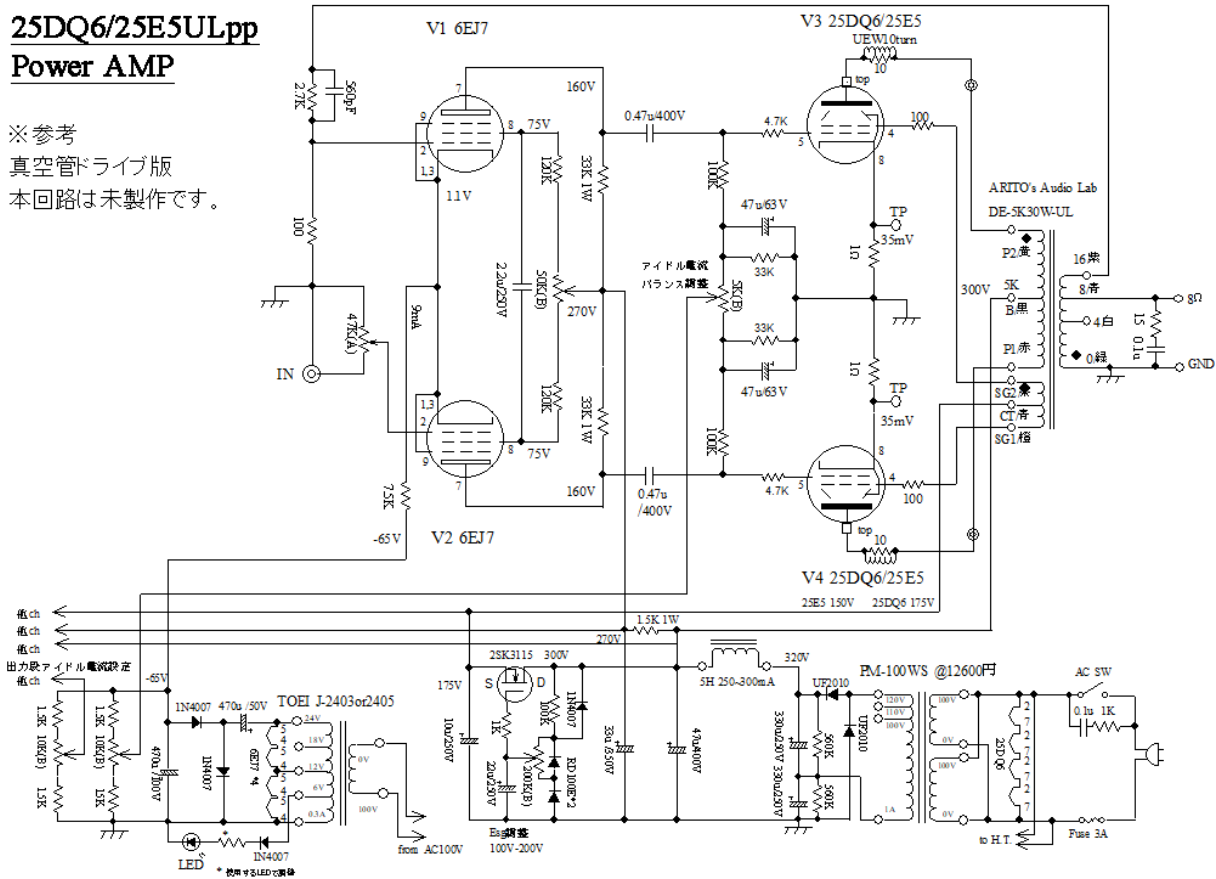
今回試作した回路は半導体をふんだんに使ったものですが、友人より従来の真空管による回路も知りたいという意見があったので、参考として設計例を提示します。

本回路は未製作ですので、ミスや定数の調整などが必要になる可能性があります。

25DQ6/25E5ULpp
Power AMP

※参考
真空管ドライブ版
本回路は未製作です。

2024/5/9



以上