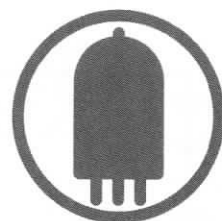


EL84/6BQ5 5結プッシュプル 15Wパワーアンプ



前作のEL84/6BQ5 3結プッシュプルを
改修し、5極管接続として出力増大を図る

上野浩資 | UENO Hiroshi

2017年11月号で紹介したEL84/6BQ5 3極管接続(3結)プッシュプルアンプの主要部品を流用し、5極管接続(5結)プッシュプルとして再構築し、良い結果が得られたので報告する。6BQ5 3結ppの音の切れ込みが今1つで、音像定位が甘いと感じたことから、全面的に回路を見直して作り変えている。5結としたことで、最大出力は15Wを得、約20dBの負帰還をかけることで良好な特性となった。DFが高いのでスピーカーの制動が良く、低域まで音像が膨らまずカッチリと決まり、スピード感のあるジャズやポップスが得意分野と言えそうだ。

はじめに

私が所属する蓮田オーディオ倶楽部では、定期的に「真空管アンプ競技会」を開催しています。今年4月に予定していた競技会は、新型コロナウイルス拡大の影響で残念ながら中止となりましたが、競技規程が「出力段に真空管を用いたプッシュプルアンプ」であったため、手持ちのプッシュプルア

ンプを自宅で聴き比べて準備していました。その際、前述の6BQ5 3結ppの音の切れ込みが今1つで、音像定位が甘いと感じたことから、これまでの製作経験も取り入れつつ、全面的に回路を見直して作り変えることとしました。

また、今後の予定として6L6系のビーム管各種を差し替えることのできるプッシュプルアンプを計画しており、その基本回路の検討を兼ねた「習作」としての位置付けもあります。

本機の外観は、2017年11月号のアンプとはほぼ同じですが、回路定数や諸特性はまったく異なります。興味のある方は、2017年11月号の記事と比較してみてください。

設計方針

既存アンプの設計変更ですので、



シャシーや外装部品、トランス類などはそのまま流用します。その上で、以下の方針で設計変更しました。

(1) 真空管も既存のものを流用する

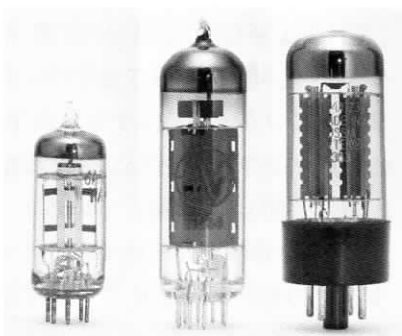
真空管を変更すると、ソケットの配線まで大幅な変更が入りますので、大変なことになってしまいます。初段6AH6、出力段EL84/6BQ5、整流管5AR4の顔ぶれは不変とします。写真1は、使用した真空管です。

(2) 6BQ5は5極管接続とし、出力増大を図る

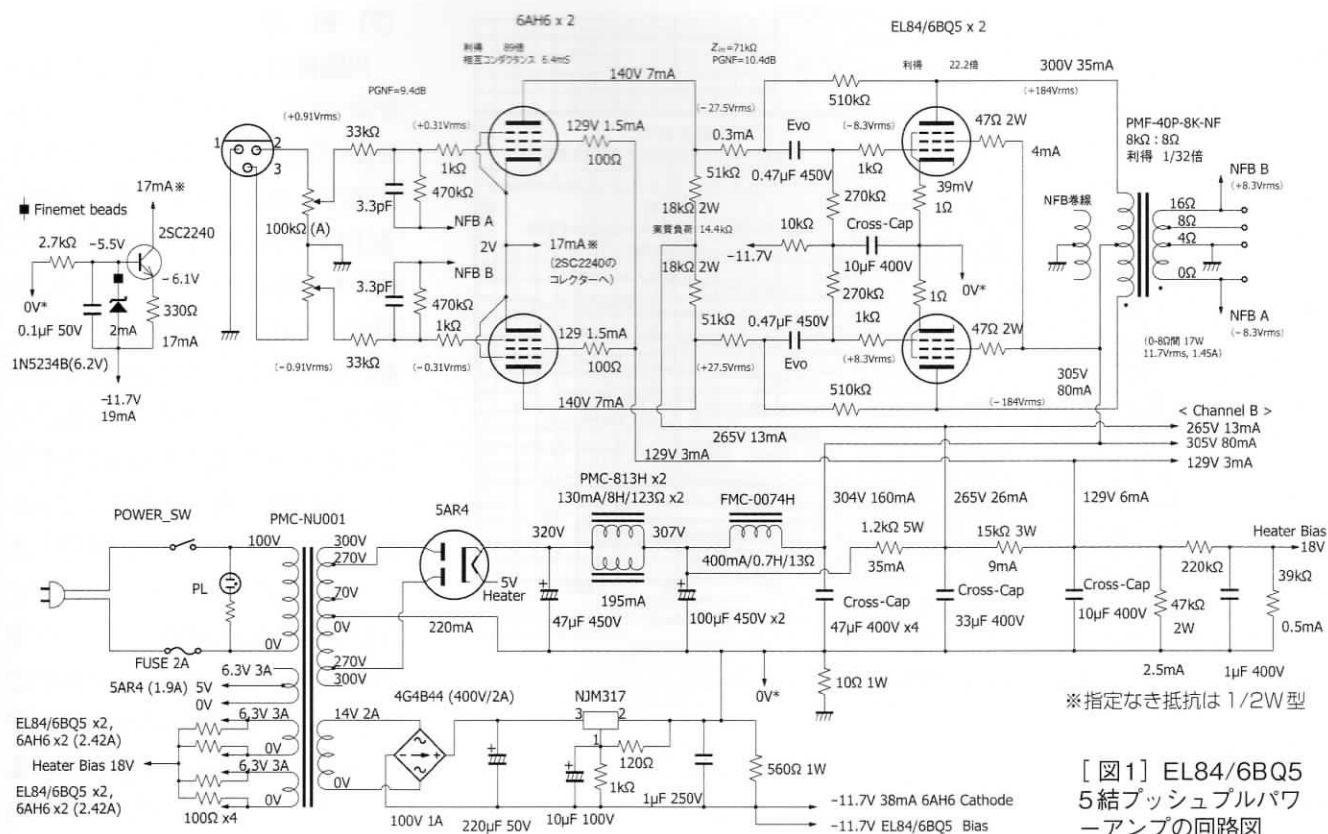
6BQ5の3結プッシュプルは無帰還で低歪率が得られる反面、最大出力は5~6Wが良いところで、1本あたり10W以上のプレート損失を消費している割に出力が控えめで非効率です。6BQ5はプレート300V、負荷8kΩ(pp)のとき、最大出力17Wの使用例が公表されている高性能管ですので、5結として最大出力15Wを目標とします。

(3) 負帰還を十分にかける

3結では、内部抵抗も歪率も低いので4.3dBの負帰還(PG帰還またはKNFBの切り換え)として



【写真1】使用した真空管。左からノーブランド6AH6、JJエレクトリックEL84、ソヴェック5AR4



いましたが、5結では特性改善のため合計20dBを目途に負帰還をかけます。出力トランスのPMF-40Pシリーズはオリントコアで、低域の音像が広がる傾向がありますので、ここをうまくまとめるためにも、高帰還とすることが有効と思います。

回路の説明

本機の回路図を図1に示します。
また、使用した真空管の諸特性は
表1のとおりです。

(1) 出力段

6BQ5 の定格（設計中心定格）は最大プレート電圧 $E_{p\max}$ と最大スクリーングリッド電圧 $E_{g2\max}$ がいずれも 300V、最大プレート損失 $P_{p\max}$ が 12W です。図 2 をご覧ください。プレート電圧 E_p とスクリーングリッド電圧 E_{g2} を定格一杯の 300V とし、グリッドバイアス電圧 E_{g1} を -11.7V とすればプレート電流 I_p は 35mA ほど流れますので、プレート損失 P_p

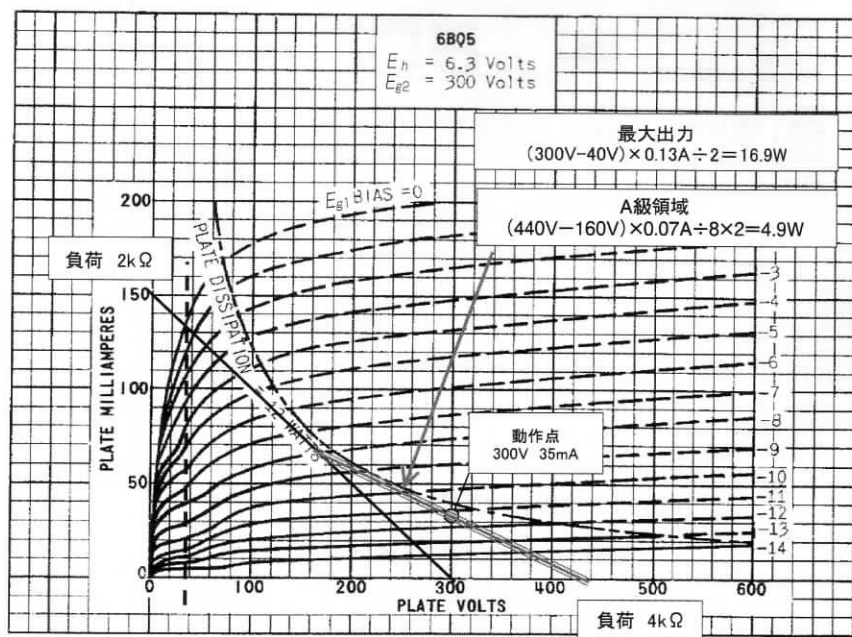
= 10.5Wと定格内に収まります。出力トランスPMF-40P-8Kの1次側負荷は8kΩ ppですので、第1グリッドに $11.7V_{\text{peak}} \div 1.414 = 8.3V_{\text{rms}}$ を入力したとき、プレートには $520V_{\text{P-P}} = 184V_{\text{rms}}$ が出力され、出力段の裸利得は22.24倍です。また最大出力の計算値は16.9Wで、このうち約5Wまでは

A級動作となります。

負帰還は局部PG帰還とオーバーオール帰還を併用します。まず、局部PG帰還を10dBかけます。図3～5のPG帰還説明チャートのとおり、 $R_f = 510\text{k}\Omega$ 、 $R_s = 51\text{k}\Omega$ とすれば、I点の所要入力 V_{rms} は27.5Vとなり、 $20 \times \text{Log}_{10}(27.5 \div 8.3) = 10.4\text{dB}$ の帰還量と

[表 1] EL84 (6BQ5) / 6AH6 / 5AR4 の諸特性

真 空 管	記号〔単位〕	EL84/6BQ5	6AH6	5AR4
用 途		電力増幅用	映像・IF増幅用	両波整流用
ヒーター電圧／電流	E_h 〔V〕 / I_h 〔A〕	6.3/0.76	6.3/0.45	5/1.9
最大定格				
プレート電圧	E_p 〔V〕	300	300	600
スクリーングリッド電圧	E_{g2} 〔V〕	300	300	—
カソード電流	I_k 〔mA〕	65	13	250
プレート損失	P_p 〔W〕	12	3.2	—
スクリーングリッド損失	P_{g2} 〔W〕	2	0.4	—
動作例				
プレート電圧	E_p 〔V〕	250	300	450
スクリーングリッド電圧	E_{g2} 〔V〕	250	150	—
プレート電流	I_p 〔mA〕	48	10	225
負荷抵抗	R_L 〔kΩ〕	5.2	—	—
入力信号電圧（ピーク値）	e_i 〔V〕	6.1	—	—
出 力	P_o 〔W〕	5.7	—	—
相互コンダクタンス	g_m 〔mS〕	11.3	9.0	—
増 幅 率	μ	19.5	40	—
内部抵抗（概略値）	r_p 〔kΩ〕	40	500	0.16



〔図2〕 6BQ5 プレート特性 (Tung-Solのデータシートより)

なります。一方、前段からI点を見た場合の入力インピーダンスはI-O間の抵抗値ですが、これは

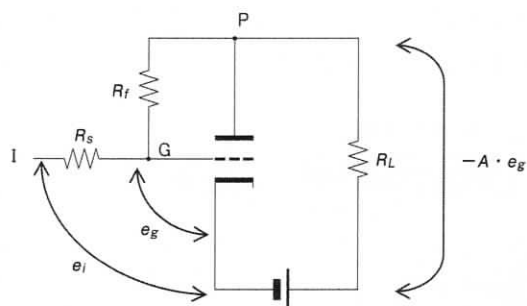
- ・I-G間の $R_s = 51k\Omega$
- ・G-O間の $22k\Omega$ とグリッドリーク $270k\Omega$ の並列合成値 $20k\Omega$ の合計ですので $71k\Omega$ となります。

6BQ5を5結とした場合、第1グリッド・プレート間容量(C_{gp})

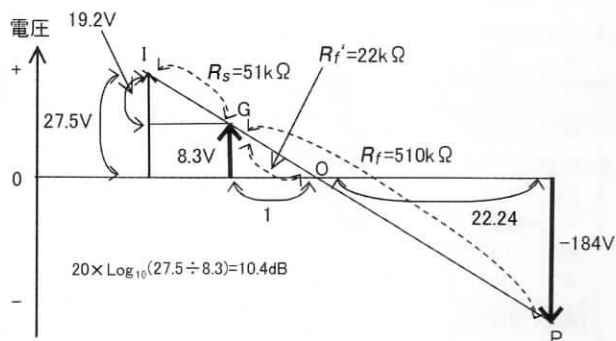
が $0.5pF$ 、入力容量($C_{in} \cdots G_1$ から見た C_{gp} 以外の容量)が $10.8pF$ ですので、利得22.24倍によるミラー効果を勘案した実質入力容量は、

$$(0.5pF \times (22.24 + 1)) + 10.8pF = 22.4pF$$

となり、浮遊容量を見込んで $40pF$ と想定しておきます。



〔図3〕 PG帰還の基本回路



〔図4〕 PG帰還の解析

(2) 初 段

出力段は $71k\Omega$ の入力インピーダンスで、片側 $27.5V_{rms} = 77.8V_{P-P}$ の最大信号電圧を要求しますので、出力インピーダンスを引き下げつつ必要電圧を確保するため、**6AH6**のプレート抵抗を $18k\Omega$ として電流を多めに流します。**6AH6**の実質負荷は $18k\Omega$ と出力段の入力インピーダンス $71k\Omega$ の並列合成値である $14.4k\Omega$ ですので、**6AH6**の動作は図6となり、約 $55V_{rms}$ の出力電圧が得られますので要求を満たします。また、**6AH6**は5極管動作のため、真空管自体の内部抵抗は非常に高いですから、この段の出力インピーダンスは負荷抵抗の $18k\Omega$ となります。段間の高域遮断周波数は、出力インピーダンス $18k\Omega$ と R_s の $51k\Omega$ の合計 $69k\Omega$ と、出力段の入力容量 $40pF$ で決まり、

$$1 \div (2\pi \times 40pF \times 0.069M\Omega) = 58kHz$$

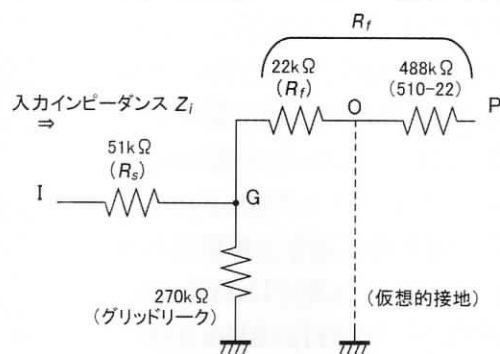
となり、まったく問題ありません。

図6から**6AH6**の利得は89倍です。また初段は差動回路であり、電流帰還はかかりませんので、初段グリッドの所要入力は、

$$27.5V_{rms} \div 89 = 0.31V_{rms} \text{ (片側)}$$

となります。

なお、**6AH6**のカソードは上下段を結合して、バイポーラートランジスタの**2SC2240**を使った定電流回路でマイナス電源に引き



〔図5〕 入力インピーダンス



した。間違えて0Ωをほかの機器のアース電位と接続すると負荷がショートとなり危険ですので、注意を促す効果があると思います。

本機の入力は、バランスXLR端子(2番ホット)です。アンバランスのRCAプラグから信号を受け取る場合には、図8に示す接続のRCA⇒XLRアダプターを使用します。

そのほかは、実装面で特殊な部分はありません。

特 性

各特性は、負帰還を合計約20dBかけたときのRchのものです。

(1) 入出力特性 (図9)

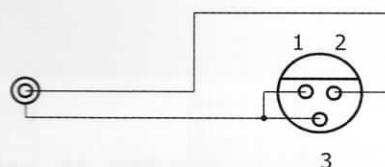
アンバランス入力1.8V_{rms}のとき、最大出力15Wが得られました。このときの1kHz歪率は1.5%です。

(2) 周波数特性、ダンピングファクター (図10, 11)

低域は20Hzまでフラット、高域も100kHzで-1.4dBと超ワイドレンジです。また、ダンピングファクターは、真空管アンプとしては高めの9.1となりました。

(3) 歪率特性 (図12, 13)

合計約20dBの負帰還のお陰で、10W超まで1%以下です。1kHzの歪み成分は、10Wを超えると3次歪みが増えてきます。最大出力の15Wを超えると、波形の上下

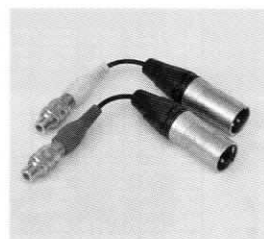


ソースから

本機へ接続

RCA アンバランス出力のソースを本機のXLR入力に接続するためのアダプター例

〔図8〕 RCA⇒XLR変換アダプターと製作例



がほぼ同時に潰れます。

(4) 方形波 (写真8～12)

写真8～10は100Hz、1kHz、10kHzの方形波応答です。100Hzと1kHzは、両方ともきれいに方形波が通っており、ほとんど区別がつきません。低域の周波数特性と位相特性の良さを表しています。

10kHzは20dB負帰還にもかかわらず、3pFの補正が奏功してピークはほとんどありません。写真11、12はそれぞれ補正なし、補正ありのときの方形波を縦方向に拡大したものです。補正がない場合は約100kHzの振動が発生していますが、補正後は1波で振動が収まっています。

(5) パワーバンド (図14)

30Hz～3kHzの帯域で15Wの正弦波を出力できます。低域は20Hzが10W、高域は20kHzまでが14Wで、40kHzあたりから落ちていきます。

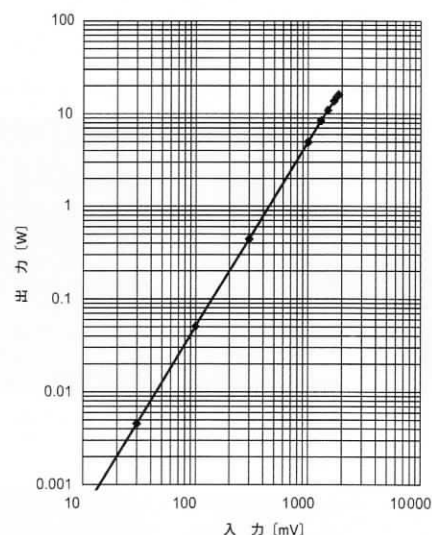
(6) 位相特性 (図15)

これまでに製作したアンプの

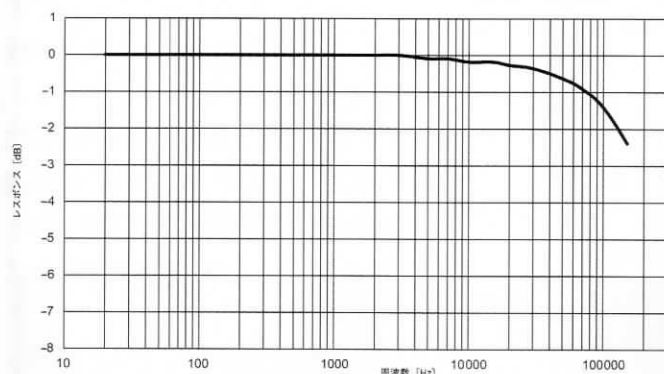
中で、最も良い特性になりました。低域は20Hzで電圧進相が1.3°と、ほぼ位相回転はありません。また高域は20kHzで17°の電圧遅相です。特に、低域の位相は低域音像の定位に影響すると思われるので、効果が楽しみです。

ヒアリングとまとめ

パワフルでストレート、曖昧さがなく、すべてをバシッと表現するタイプです。DFが高いのでスピーカーの制動が良く、低域まで音像が膨らまずカッチリと決まります。また、位相補正がほとんど入っておらず遅延感がないので、



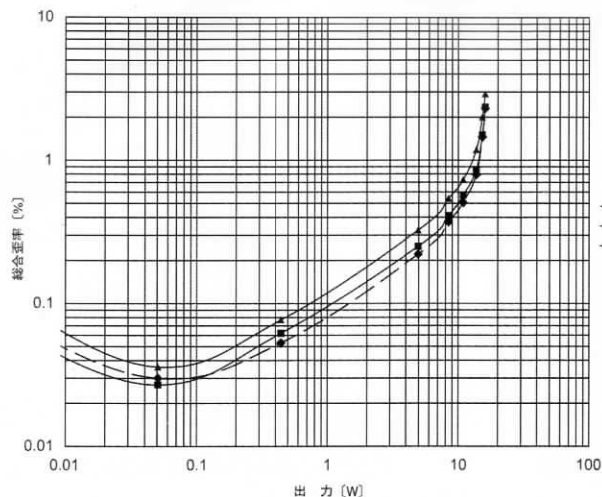
〔図9〕 入出力特性 (1kHz)



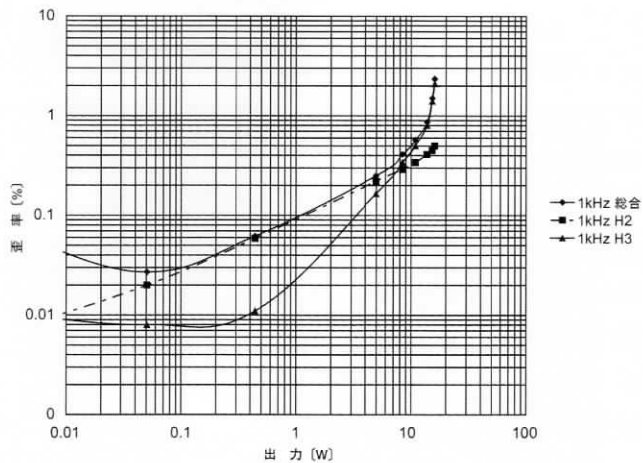
〔図10〕 周波数特性 (1/4W出力時)



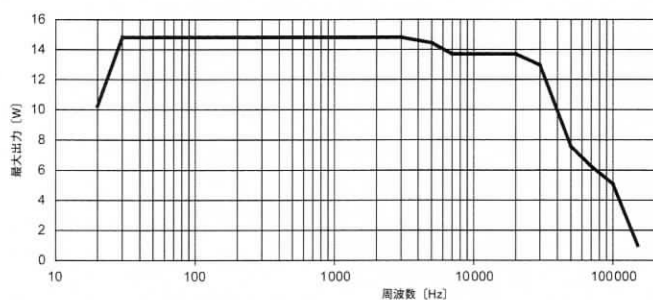
〔図11〕 ダンピングファクター特性 (1/4W出力時)



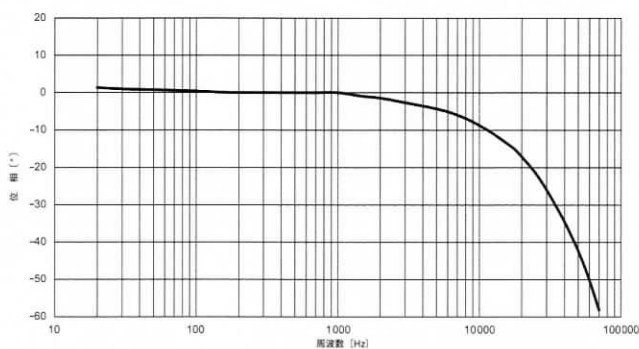
〔図12〕 歪率特性
(1kHz, 10kHz は 400Hz ローカットフィルター使用)



〔図13〕 1kHz 歪みの内訳



〔図14〕 パワーバンド特性



〔図15〕 位相特性 (1/4W出力時)

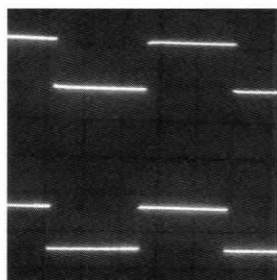
入力信号に対する反応が速く感じます。スピード感のあるジャズやポップスが得意分野と言えそうです。

なお、このレポートをお読みいただいて、次の疑問を持たれた方もいらっしゃるのではないかと思います。

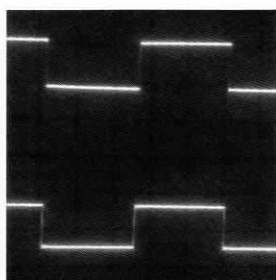
います。

「PMF-40P-8K-NFには、負帰還専用のKNFB巻線があるのに、なぜ2次側巻線から負帰還をかけるのか？」

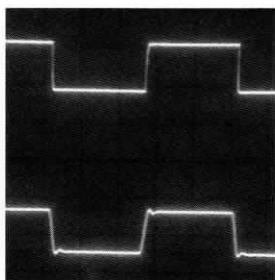
確かに、本トランスのKNFB巻線はインピーダンスが16Ωですので、2次側からの帰還と同じ帰還量が得られます。実は改造の途上で、オーバーオール帰還をKNFB巻線から初段グリッドにかけることもトライしたのですが、音像が定まらなかったため断念した経緯があります。おそらく、KNFB巻線と2次側の周波数特性が異なっており、この違いが帰還後の音に影響したのではないかと想像しています。KNFB巻線は出力管のカソード回路に入れてこそ、真価を発揮するものと理解しました。



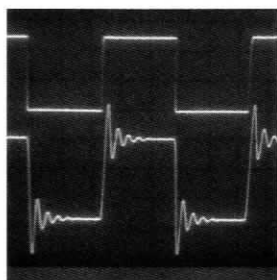
〔写真8〕 100Hz の方形波応答波形



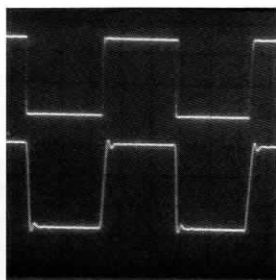
〔写真9〕 1kHz の方形波応答波形



〔写真10〕 10kHz の方形波応答波形



〔写真11〕 10kHz の方形波応答波形 (補正なし)



〔写真12〕 10kHz の方形波応答波形 (補正あり)