



純国産大型出力管の音を聴く 6G-B8 3結A2級 シングルパワーアンプの製作

長年に渡るアンプ作りで球と散々遊んで来ましたが、最近特に1960年代以降TV全盛期の国産真空管の優秀さに関心させられます。主に1960~70年代前後のカラーTV時代に日本で製造された真空管は、世界的に見ても比類なき最高レベルの性能及び品質であったと思います。

市場では某国製の種々のオーディオ用真空管を入手できますが、良質な国産球は数も少なくかなり高価です。ただ当方のような国産球全盛期を知る年配者にとっては近年製造の某国球は少々抵抗感があり日、米、英、西独のビンテージ球を使いたくなります。これは某国製が悪いということではなく心情的なものです。

真空管全盛期時代1960年初期に造られた純国産の大型出力管に東芝**6G-B8**があります。ビーム4極管構造でプレート損失35W、スクリーン損失10Wと受信用出力管としては最大級の容量です。

球の性格としては低電圧大電流動作、及び高電圧低電流動作のいずれにも適正がありますが、前者の傾向が強いハイgm管で入力感度が大変良い真空管です。

一般的に増幅回路の設計にはメーカー発表の動作例を参考にする訳ですが、**6G-B8**はプレート電圧400V以下の動作では入力電圧が小さいことから励振段の設計が容易である反面、負荷抵抗が低く比較的大きなプレート電流が流れます。このことは電源部に大きな容量が必要になることを意味し、必然的にコストがかかることからこの部分で**6G-B8**の採用をためらうこととなります。他のオーディオ出力管と比較して特に製作例が少ない理由は性能面よりもかかるコスト高にあるようです。

実際にOPTの損失を考慮すると**6CA7**の3結アンプは最大出力5W位で、**6G-B8**の場合も5W強程度と大差ありませんが製作コストは格段に上昇します。音質面の差異はコスト差に見合うだけあるかと言うと難しい所です。

商業ベースで考えるとコスト的に全く**6G-B8**に優位性はなく採用は現実的では無いと言うべきでしょう。ただ趣味の世界では自分の気に入ったアンプを手元に置き、夢を求める機械にコストパフォーマンスを考える人は余りいないと思います。**6G-B8**の堂々とした頼もしい外観は視覚的にも大いに魅力があります。

そんなアンプを手元に常備して置きたいと**6G-B8**の3結シングルアンプを製作して見ました。

1. 6G-B8 3結A2級 シングル・パワーアンプの概要 (簡略説明)

最大出力はシングル動作においてUL+カソード帰還と3極管接続の両方を実験した結果、ノンクリップ出力でULの場合で15W、3結では5W強とその1/3程度となりますが、音質的には3結動作の方が好み合いました。

又、比較的に大掛かりのアンプの割には3結動作で**6CA7**と同じような出力では面白くないものですから、グリッド電圧を正領域までドライブする2級動作とし、もう少し出力を捻り出すことに致しました。

実測では計算通りEC+4Vまで振り込んでおり、最大出力は2.5W位UPしていることが確認できました。

歪率に関しては東芝の3極管接続、A1級シングル動作例によりますと、最大出力時には8%となっており、1W時の歪率は約2.92%となりますので、この部分はなんとか改善する必要があります。歪率改善のため**6CA7**シングルアンプで採用した出力管にカソード帰還をかける事も行いましたが、**6G-B8**では音がおとなしすぎて躍動感に欠ける為、オーバーオールを負帰還を軽めにかけて歪率の低減を図ることに致しました。

NFBをかける時、起用するOPTはラックスのOY15-2.5KHSの場合、3段増幅用になっておりますので2次側16Ω端子からかけるとすると増幅回路は3段構成にする必要があります。

(1) 出力段の検討

試作機の結果**6G-B8**のシングル動作で最も音の良かったのは、3極管接続+カソードホロワー直結ドライブでしたので出力段はこのラインでいくことに致しました。よって出力管は固定バイアス動作となります。

6G-B8の3極管接続A1級シングル動作は東芝より発表されておりますが、自己バイアス動作となっており、固定バイアス動作例は示されておられませんので動作曲線より求めることに致しました。

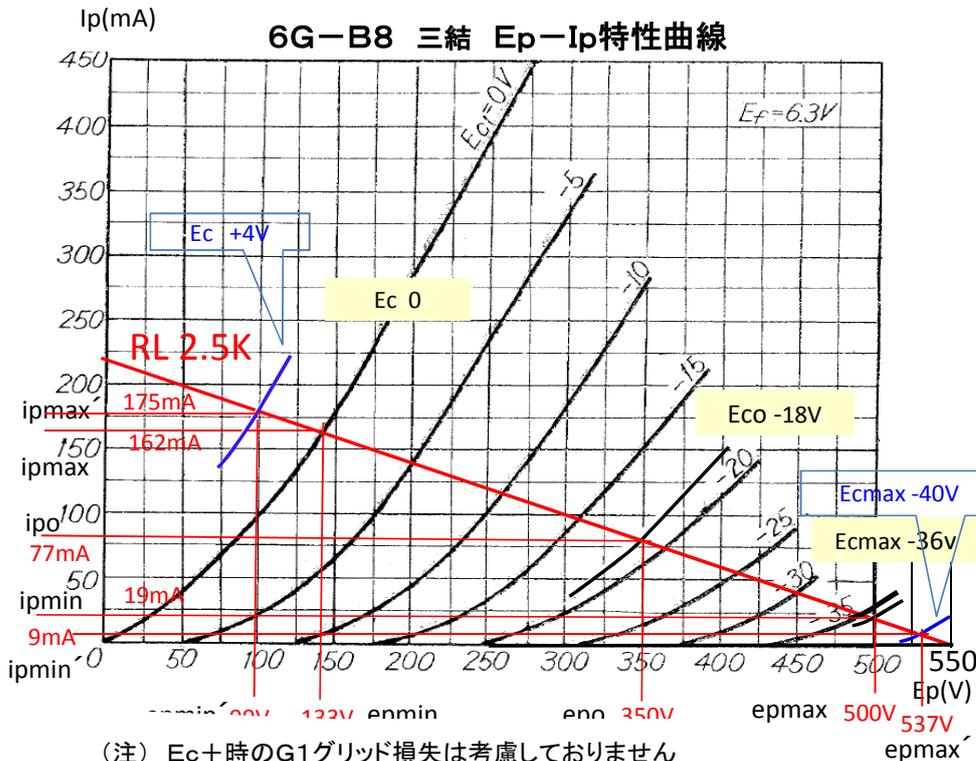
6G-B8 東芝発表の動作例

最大定格(公表値)

プレート電圧	Eb	880V
プレート損失	Pp	35W
第2グリッド電圧	Eg2	440V
第2グリッド損失	Pg2	10W
カソード電流	I _k	200mA
グリッド抵抗 固定バイアス	Rg	500kΩ
〃 自己バイアス	〃	700kΩ
H/K間耐圧	ehk	±100V

三極管接続A1級シングル動作(自己バイアス)

プレート電圧	Eb	350V
カソード抵抗	Rk	160Ω
負荷抵抗	RL	2kΩ
グリッド電圧(信号入力)	Eg1	12.2Vrms
プレート電流(無信号時)	I _{b0}	103mA
出力	P _o	7.5W
高調波歪	KF	8%



固定バイアス動作
(特性図よりの算出値)

三結A1級シングル動作

プレート電圧 Eb	350V
プレート電流 Ib	77mA
グリッド電圧 Ec	-18V
入力電圧 eg(rms)	12.2V
負荷抵抗 RL	2.5kΩ
出力 Po	6.6W
高調波歪 KF	8.8%
DF	2.8

三結A2級シングル動作

プレート電圧 Eb	350V
プレート電流 Ib	77mA
グリッド電圧 Ec	-18V
入力電圧 eg(rms)	15.7V
負荷抵抗 RL	2.5kΩ
出力 Po	9.1W
高調波歪 KF	9.7%
DF	2.8

(注) Ec+時のG1グリッド損失は考慮していません

① 最大出力について

A1級動作 $P_o = \frac{(ip_{max} - ip_{min}) \cdot (ep_{max} - ep_{min})}{8} = \frac{(162 - 19) \cdot (500 - 133)}{8} = 6.6W$

カソードホロワーによりEcoを中心として+4V~-40Vまで励振電圧を振り込んだとするA2動作として考えると

A2級動作 $P_o' = \frac{(ip_{max}' - ip_{min}') \cdot (ep_{max}' - ep_{min}')}{8} = \frac{(175 - 9) \cdot (537 - 99)}{8} = 9.1W$

出力トランスの挿入損失 -0.57dBとすると電力効率ηは0.877で2次側では約8Wとなります。

②

A2級動作における6G-B8シングル動作は定格内に収まっているか安全圏内か確認します。シングル・アンプの出力管のプレート損失は無信号時に最大となりますので、実際の回路動作起点でのプレート損失が出力管の最大定格内に納っていれば良いことになります。製作アンプにおいては設計値で約27W、動作値で約30Wとしておりますが、多極管の3結動作における最大定格プレート損失は一般的にメーカーより発表されておられません。

そこで6G-B8の3極管接続プレート損失はどの位の値なのかという問題になりますが、技術雑誌の製作記事等には3結最大プレート損失 $P_t = P_p + P_{sg}$ として扱っているケースも散見されますがこれは正確ではありません。

多極管の3結時のプレート損失について(6G-B8の3結プレート損失の求め方)は単純にプレート損失 $P_p +$ スクリーニンググリッド損失 P_{sg} とはならず、スクリーングリッドとプレートの特性から求めることになります。その過程は省略しますが、ここではスクリーン電流とプレート電流のγ比を求め簡易的に算出しました。

$$\gamma = \frac{I_{c2o}}{I_{bo}} = \frac{12mA}{140mA} = 0.086 \quad (I_{c2o}/I_{bo} \text{は規格表A1シングル動作の値})$$

最大陽極損失 $P_t = P_p(1 + \gamma) = 35(1 + 0.086) = 38W$ よって3結プレート損失は38Wが正解です。従って3結最大プレート損失38Wに対して約79%と楽な動作であり長寿命動作が期待できます。

(2) 励振段の検討

上記のA2級動作における励振電圧は22Vとなり実効値で約15.7Vとなります。この程度の所用電圧を得るには殆んどどの電圧増幅管を使用できますがOPTの関係でNFBをかける場合、3段増幅となりますので余り増幅度の高くない球を選んだ方がゲイン配分がうまく行きます。

そこで本機の回路構成に適当な球として、直線性の良い12AU7と6FQ7を起用致しました。

(3) NFBについて

6G-B8の3結特性は余り直線性は良くありませんので、ある程度のNFBをかける必要があります。そこで一応、経験則で-10dBほどかけることを想定して数値計算を行いました。NFBの計算にはNF量とアンプ利得が決まっている事が必要で、そこから帰還量を決定するβ抵抗を求めることとなりますが、ここではNFBの基本的計算について簡略して記述いたします。そしてNFBをかける場合はアンプの安定度が重要となりますので、厳密に検討しておく必要があります。

① アンプ利得Atを求めます。

* V1a-1/2 12AU7 の増幅度を求めますが、ここでは電流帰還をかけるので、その時の増幅度A1を求めます。

$$A1 = \frac{\mu \cdot Rl}{\mu + Rl + (1 + \mu)Rk} = \frac{17 \cdot 100}{17 + 100 + (1 + 17)1.8} \doteq 11.4 \quad 21.1\text{dB}$$

* V1b-1/2 12AU7 の増幅度A2を求めます。

動作起点でのrp'を求めます。

規格表よりEb250V時のIb=10.5mA、μ=17、rp=7.7k、gm=2.2 とすると

$$rp' = rp \sqrt[3]{\frac{Ip}{Ip'}} = 7.7 \sqrt[3]{\frac{10.5}{1.74}} \doteq 14\text{k}$$

$$A2 = \frac{\mu \cdot Rl'}{Rl' + rp'} = \frac{17 \times 50\text{k}}{50\text{k} + 14\text{k}} \doteq 13.28 \quad 22.5\text{dB}$$

* V3 6FQ7 カソードホロワ一段の増幅度A3を求めます。

$$A3 = \frac{\mu \cdot Rl}{Rk(\mu + 1) + rp} = \frac{20 \times 47\text{k}}{47\text{k}(20 + 1) + 7.7\text{k}} \doteq 0.94 \quad -0.58\text{dB}$$

* V4の増幅度A4を求めます。

6G-B8は計算値μ=11、rp=0.88kよりとOPT(2.5k:8Ω or 16Ω)出力段の利得を求めます。

$$A4-8 = \frac{\mu \cdot zp}{\sqrt{rp^2 + zp^2}} \cdot \sqrt{\frac{zs}{zp}} = \frac{11 \cdot 2.5}{\sqrt{0.88^2 + 2.5^2}} \cdot \sqrt{\frac{8}{2.5 \times 10^3}} \doteq 0.587 \quad -4.6\text{dB}$$

$$A4-16 = \frac{\mu \cdot zp}{\sqrt{rp^2 + zp^2}} \cdot \sqrt{\frac{zs}{zp}} = \frac{11 \cdot 2.5}{\sqrt{0.88^2 + 2.5^2}} \cdot \sqrt{\frac{16}{2.5 \times 10^3}} \doteq 0.829 \quad -1.63\text{dB}$$

* Total gain At 8=A1·A2·A3·A4≐83.4 38.4dB

At 16=A1·A2·A3·A4≐118 41.4dB

実測値(OPTの損失含まず)

出力	負荷Z	出力電圧	入力電圧	利得
8.62W	8Ω	8.3V	0.112V	74
"	16Ω	11.7V	"	104

} 概ね計算値と近似となります

② β抵抗RnfとRfを求めます。RfはRk=1.8k=Rfとします。

帰還量Fは-10dBとするのでFの値は $F = 1 + A\beta = 1 \frac{10}{0.20} \doteq 3.16$

OPTの2次側16Ω端子からNFBをかける時の帰還抵抗Rnfを求めます。

$$Rnf = \left[\frac{At16}{F-1} - 1 \right] Rf = \left[\frac{104}{3.16-1} - 1 \right] 1.8 \times 10^3 \doteq 85\text{k} \doteq 82\text{k}$$

③ 帰還率βは16Ω時≐0.0208

$$\beta = \frac{F-1}{A} = \frac{3.16-1}{104} \doteq 0.0208$$

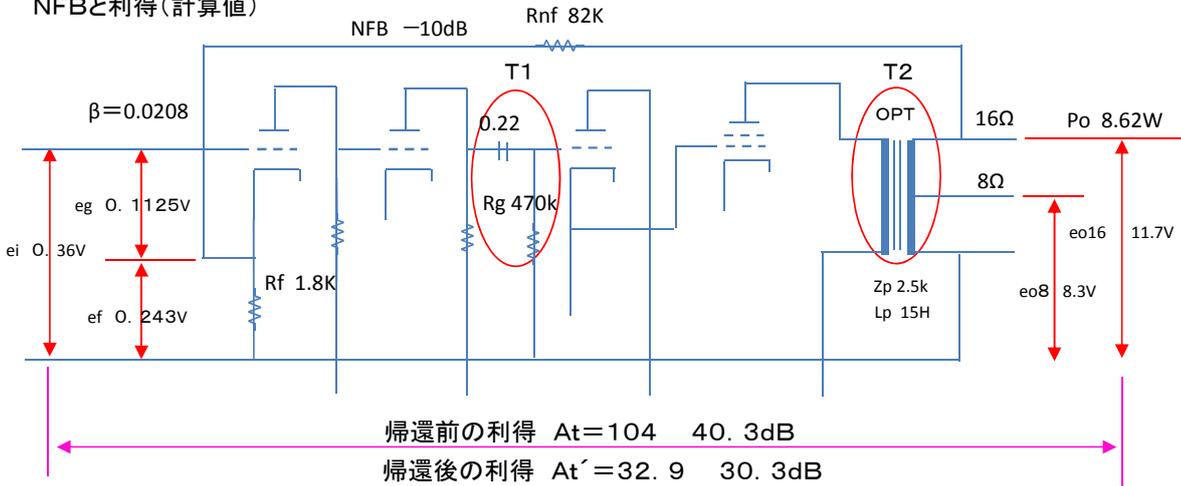
④ 帰還電圧efは≐0.243V

$$ef = eo \cdot \beta = 11.7 \cdot 0.0208 \doteq 0.243\text{V}$$

- ⑤ 帰還後のTotal gain $A_{t'}$ は ≈ 32.9 30dB $A_{t'16} = \frac{A}{1+A\beta} = \frac{104}{3.16} \approx 32.9$
- ⑥ 帰還前の入力電圧 e_g は $\approx 0.1125V$ $e_g = \frac{e_{o16}}{A_{t16}} = \frac{11.7}{104} = 0.1125V$
- ⑦ 帰還後の入力電圧 e_i は $\approx 0.36V$ $e_i = \frac{e_o}{A_{t'16}} = \frac{11.7}{32.9} \approx 0.36V$
 又は $e_i = e_f + e_g = 0.243 + 0.1125 \approx 0.36V$

以下紙面の都合でNFB計算のその他詳細は省略いたします。

⑧ NFBと利得(計算値)



⑨ Stagger ring について

* 低域時定数 $T1$ を求めます。 $T1 = CR = C1 \times Rg = 0.22 \mu F \times 470k\Omega = 103.4 \text{ msec}$

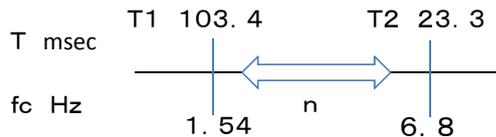
$$f1 = \frac{159}{T1} = \frac{159}{103.4} \approx 1.54 \text{ Hz}$$

* 時定数 $T2$ を求めます。尚、出力トランスは1次インダクタンス $Lp15H$ のLUX OY15-2.5KHSを使用しました。 $T2$ の出力端抵抗 R' は $\approx 0.65k\Omega$ とします。

$$T2 = \frac{Lp(H)}{R'(k\Omega)} = \frac{15}{0.65} \approx 23.3 \text{ msec} \quad f2 = \frac{159}{T2} = \frac{159}{23.3} \approx 6.8 \text{ Hz}$$

* Stagger Ratio

$$n = \frac{T1}{T2} = \frac{103.4}{23.3} \approx 4.4$$



* Peakの生じないNF量は $1+A\beta \approx 3.4$ となります。(計算詳細は省略)
 $20\log F = 20\log 3.4 = 10.7$ \therefore 約11dBまでピーク無しでNFBがかけられます。

(4) 特性

無歪最大出力(ノンクリップ)	両CH動作時	8.0W+8.0W (入力0.38V)
残留ノイズ L/R CH		0.54mV/0.54mV (B1電源+200 μ に強化すると0.2mV以下)
DF値 ON-OFF法		約 6.3
周波数特性	0dB	10~22KHz
	-3dB	10~126KHz
高調波歪	1W時	0.1%
	7.5W時	1.2%

2. その他

本資料は知識不足のアマチュアの記述であり、内容に誤りや不適切な点が多々あろうかと思いますが、同好の士としてその点をご容赦くださるようお願い致します。
 又、皆様方のご指摘やご教示を賜れば幸いです。

以上

