

増幅段の構成を変えて実験した

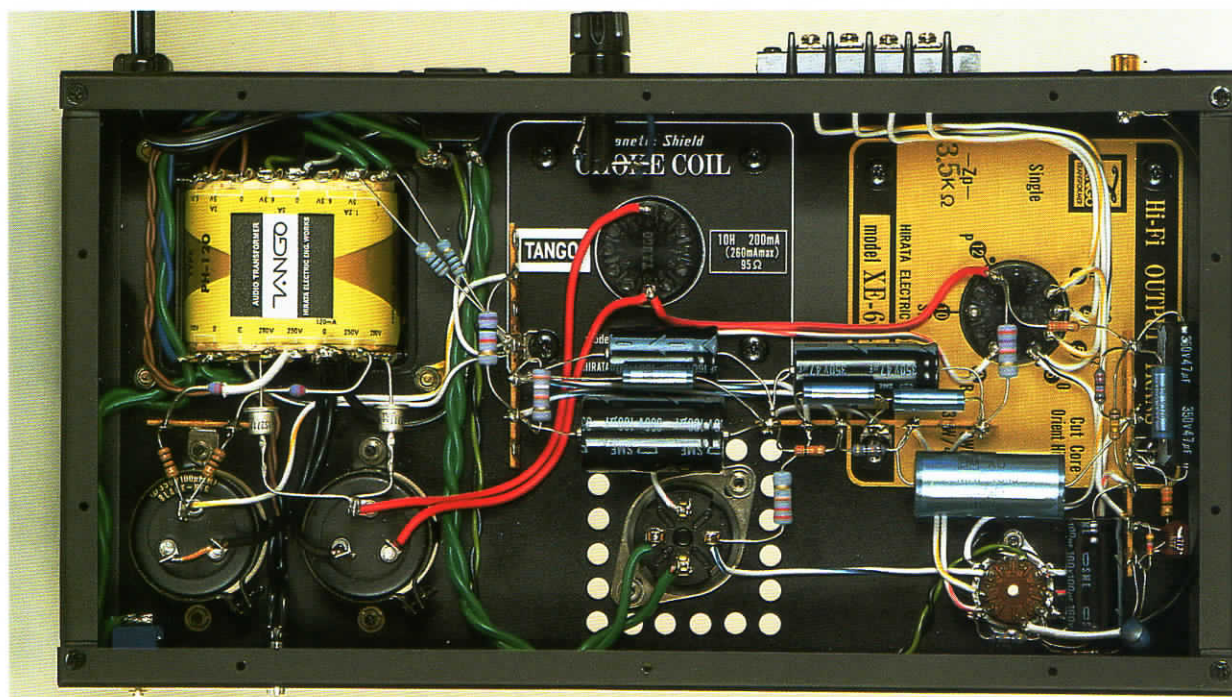
## 300B シングルアンプ 3 例

長 真弓

300B シングルアンプの製作例には、ウエスタン・エレクトリック 91B の回路が一つの標準になっており、これまで多くの試作例が見られるが、今回はオリジナル回路にはとらわれず、300B の可能性を三つの回路で実験してみた。第1作はカソードフォロワードライブ、ノン NFB 構成とし、さらに前段と出力段との間で2次歪みの打ち消しを図ったもの。2作目は、オーソドックスな抵抗容量結合とし NFB をほどこしたものの。第3作はカソードフォロワードライブで NFB 付というもの。さらに歪みの打ち消しについては、素子のばらつきによって効果が無くなるかどうかを調べるため、前段と出力段の真空管メーカーをそれぞれ変更した時の測定データも示した。



この頁で紹介するのは、筆者が一番の好みとする3極5極管の6AN8を前段に使用した第3作



第3作の配線模様。シャシー上面の部品配置からは各パーツが無駄な隙間なくびったりと収まっているが、シャシー裏側はゆったりとしており、見るからに作りやすい



手前から電源部、出力段、前段



## 増幅段の構成を変えて実験した

# 300B シングルアンプ 3 例

長 真弓



小著『真空管アンプ設計自由自在』をおぎなう実際のアンプ設計製作例として、本誌1993年7月号にプリアンプを、そして8月号には6550APPのステレオ・パワーアンプを紹介しました。この多極管プッシュプル対極にあるのが3極管のシングルで、ファンの好みも大きく二分されるように思います。そこで今回は、泣く子も黙る?300B シングルを設計製作してみました。試作を簡単にするためモノ・アンプとしましたが、できるだけ小型にまとめ、ステレオには2台を使う計画です。

## 300Bについて

300B シングルの回路としてはウェスタン91Bのそれがオリジナルとしてよく知られており、トレースしてみるのも興味深い作業には違いありませんが、それでは設計したことにならないので、ここではオリジナルにとらわれずに可能性を探ってみることにします。

表1は300Bの規格で、表2のようにA級シングルの動作例として少しずつ条件を変えたものも発表されています。

気がつくことは、発表されている出力は第2調波が5%前後、第3調波は2%前後になる目いっぱいのものであることです。プレート電圧を高くしたり負荷抵抗を低くした例で

は、許容プレート損失を越えないようにバイアスを深くして対処しているので、当然リニアリティーはわるくなり、歪みの多い動作となっています。このことは $E_p-I_p$ 特性に負荷線を引いてみるとよくわかります。

ともかく広く使われているのが、表1の中にも示されたプレート電圧350V、出力7Wのものと思われ、無理に大出力を欲張らずに、無難なオペレーションのこれを中心に考えることにします。

## 1. カソードフォロワー・ドライブ、ノンNFBの作例

第2調波は、前段に第2調波があれば互いにキャンセルされ、軽減できることが知られていて、「設計自由自在」にもその手法を解説してあります。

大雑把に表を見ると、出力段の歪みは5%であり、バイアスは74Vです。すから実効値では53Vほどです。前段にこれくらいの出力を要求すると大方の球で歪率5%前後になることが、同書にも所載の抵抗容量結合増幅器動作例からも読みとれ、組み合わせで労せずして打ち消しができそうな様子です。

おまけに、NFBを掛けなければハイ $\mu$ 3極管で50倍くらいの増幅度は得られるので、アンプの定格入力

を1Vとすると、これだけで回路はできあがってしまうという、至極単純なアンプが浮かんできます。

NFBなしの3極管シングルというのが一つのトレンドとしてありますので、これの具現化を試みたのが図3の回路です。

出力段の動作は表1に準ずることにします。しかし1次が4k $\Omega$ の出力トランスはないので、5または3.5k $\Omega$ ということになりますが、出力を大きくとれる3.5k $\Omega$ にします。歪みは図2のように負荷を低くするほど増えますが、キャンセルできるのだからと安易に考えるわけです。

前段はハイ $\mu$ 3極管直接ではな

[表1] 300Bの規格

フィラメント電圧	5 V AC/DC
フィラメント電流	1.2 A
設計中心最大定格	
プレート電圧	400 V
プレート電流	100mA
プレート損失	36W
最大グリッド回路抵抗	
固定バイアス	50k $\Omega$
自己バイアス	250k $\Omega$
静特性/代表的動作例	
プレート電圧	350 V
グリッド電圧	-74 V
(入力電圧53Vrms)	
ゼロ信号プレート電流	60mA
最大信号プレート電流	77mA
相互コンダクタンス	5000 $\mu\Omega$
内部抵抗	790 $\Omega$
負荷抵抗	4000 $\Omega$
増幅率	3.9
出力	7 W
全調波歪	5%



く、よりよいドライブ条件で出力管を動作させるためにカソードフォロワーの直結段を入れることにします。

最大出力の小さなアンプでは、出力管のオーバードライブはしばしば起こるものと考えたほうがいいでしょう。オーバードライブが起こればグリッドは正電圧になるのでグリッド電流が流れ、入力インピーダンスが低下するためドライブできなくなってクリッピング歪みを生じます。さらにカップリングコンデンサーがあると、この充放電によるトランジェント現象が耳につくことになります。

クリップを軽減するには、負荷が低くなっても出力を取り出せる、つまりある程度出力のとれる球によるカソードフォロワーでドライブするのがよく、さらに直結にすればトランジェント現象からも逃れることができます。

ということから、小型出力管 6BM8 の 5 極部を 3 極管接続してカソードフォロワーとし、ハイ  $\mu$  3 極部で歪みの打ち消しをしながら増幅する構成としました。

図 4 は 6BM8 3 極部の  $E_g-I_p$  特性ですが、これで 300B のバイアス値である 74 V の振幅を、5 % 歪みのピーク値で得られればよいことになります。

大振幅が必要なので、電源電圧を 350 V として負荷線を引きてみると、負荷 150 k $\Omega$  でバイアスを 2.5 V にとると、 $\pm 1.5$  V の入力のおかげに 85 V、他方に 65 V と非対称の振幅が得られ、このときの歪み率を計算すると 6.67% となります。330 k $\Omega$ 、2 V では  $\pm 1.3$  V で 80 V と 70 V の出力となり歪み率 3.33% ですが、読みとり誤差もあるので、このあたりでまず製作して調整することにします。

歪み率は、

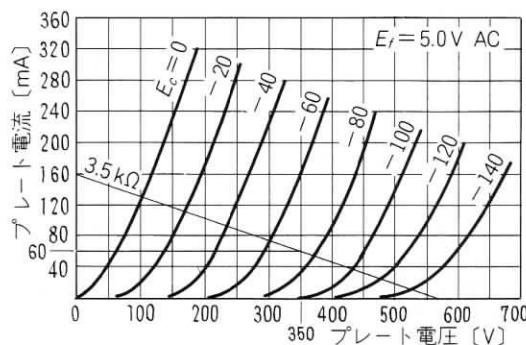
$$\frac{\text{最大電圧} + \text{最小電圧}}{2} - \text{動作中心電圧}$$

$$\frac{\text{最大電圧} - \text{最小電圧}}{2}$$

で計算でき、電圧 (流) はプレート側でもグリッド側でも、歪んでいる

[表 2] 300B シングルの動作例

	プレート 電圧 (V)	グリッド バイアス (V)	プレート電流 (mA)	負荷抵抗 ( $\Omega$ )	出力電力 (W)	2 次高調波 歪み (dB)	3 次高調波 歪み (dB)
動作定格	200	- 42	30	2000	3.0	20	31
	200	- 39	40	2500	2.6	26	38
	200	- 37	50	2500	2.5	30	45
	250	- 55	30	2000	4.9	18	27
	250	- 55	30	4500	3.2	27	40
	250	- 52	40	3000	4.0	26	36
	250	- 50	50	2500	4.4	26	39
	250	- 48	60	2000	4.7	26	38
	250	- 48	60	2700	4.1	30	45
	250	- 45	80	1500	5.0	26	41
	300	- 65	40	2500	6.7	20	30
	300	- 63	50	3000	7.2	26	37
	300	- 63	50	3000	6.1	26	37
	300	- 61	60	2400	6.6	26	37
	300	- 61	60	3400	5.6	30	44
	300	- 58	80	1700	7.5	26	37
	350	- 76	50	3600	7.8	26	38
	350	- 76	50	5000	6.2	30	45
	350	- 74	60	2000	10.2	21	30
	350	- 74	60	3000	8.3	26	38
	350	- 74	60	4000	7.0	30	44
	350	- 71	80	2200	9.6	26	39
	400	- 91	40	5000	8.4	26	37
	400	- 89	50	3000	11.5	21	31
	400	- 89	50	4000	9.4	25	38
	400	- 87	60	3500	10.5	26	38
	400	- 87	60	5000	8.3	30	46
	400	- 84	80	2500	12.5	25	37
最大定格	450	-104	40	6000	9.5	26	38
	450	-102	50	5000	10.7	27	39
	450	-102	50	5500	9.0	30	45
	450	-100	60	4000	12.5	26	38
	450	-100	60	5500	10.1	30	44
	450	- 97	80	2000	17.8	21	90
	450	- 97	80	3000	14.6	26	37
	450	- 97	80	4500	11.5	31	45

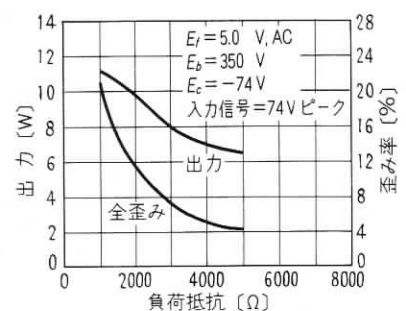


[図 1] 300B の  $E_g-I_p$  特性

ほうの値を入れます。

カソードフォロワー段は、負荷を 10 k $\Omega$  と低めに選び、最適の動作を検討することにします。図 5 は NEC のマニュアルに所載の 5 極部 3 極管接続の  $E_g-I_p$  特性です。10 k $\Omega$  の負荷線を引き、ピーク値 100 V までのオーバードライブさせるものとしてプレート電圧 150 V のときと 200 V のときの動作をみると、150 V 時には

[図 2] 負荷出力/歪み特性



グリッド入力電圧に余裕がないうえに歪みも大きく、200Vのオペレーションが勝っているのにこれに決めます。

カソードフォロワーなので100パーセントのNFBがかかり歪みは軽減されますが、あえて歪みの多いほうを選ぶこともないわけです。プレート電流は15mAで、ドライバーと

しては強力です。

次段とは直結となりますが、ドライバーを通常の+電源で動かしてしまえば、出力管はそれに積み上げたかたちで高電圧を掛けなければならなくなるので、カソード電圧が次段のバイアス値となるようなマイナス電源を設けるのが普通です。計算結果をあてはめた電圧配分は図6のよ

うになります。

なお出力管が直熱で前段が傍熱の場合、カソードフォロワー直結ならいいのですが、プレートフォロワーで直結にすると、前段が動き出すまでのあいだ出力管のグリッドには+電圧がかかって危険です。何らかの対策が必要になります。

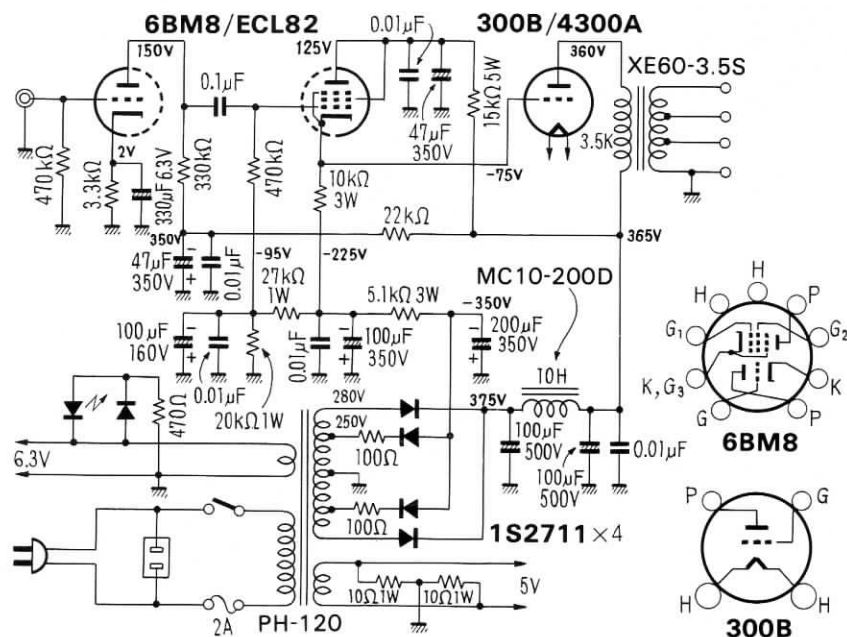
## 部品と製作

シングルアンプで最もむずかしいのが出力トランスです。1次巻線には、1方向にしか直流電流が流れないためコアが直流によって励磁され、磁気飽和を起こして歪みの原因になると共に、 $\mu$ が低下しインダクタンスが小さくなります。つまり低域の特性が著しく悪くなるのです。

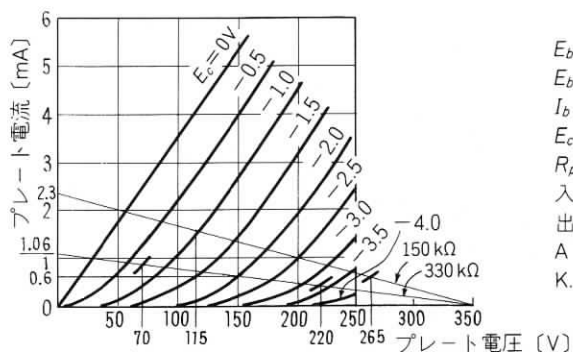
磁気飽和を防ぐためまずは磁気回路に空隙を作りますが、当然インダクタンスの低下につながります。この対策としてコアのボリュームを大きくし、巻数も多くしなければならず、このことは高域の特性劣化と定損失の増大をまねく結果になります。解決作はコア材の選択と巻線技術、それに全体のバランスをどうとるかにかかってきます。

ここで使ったタンゴ XE-60-3.5S はプッシュプルなら60W級の大型トランスですが、定格は40Hzで30W、インダクタンスは30Hあります。結果は後述しますがバランスのとれた極めて優れたもので、高価な300Bに組み合わせるにはこれくらいのトランスは使いたい、逆にいえばいいアンプを作りたいけばどうしても、といったところでしょう。

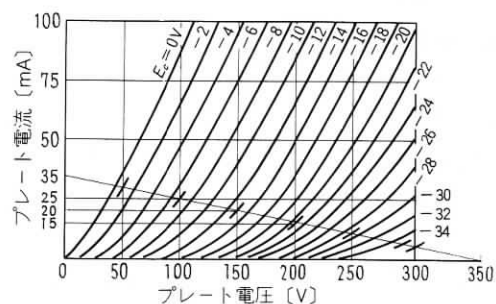
【図3】 カソードフォロワー・ドライブ、ノンNFBアンプの回路例



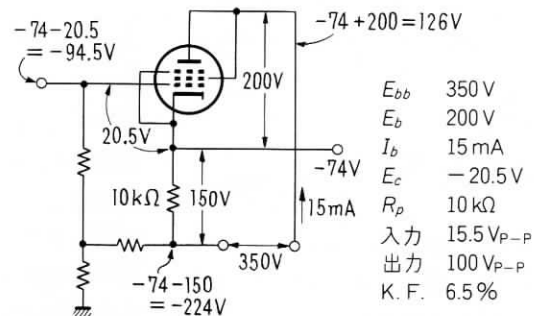
【図4】 6BM8の3極部特性と負荷線



【図5】 6BM8の3極部の3極接続の特性と10kΩ負荷線



【図6】 6BM8カソードフォロワー段の電圧配分と動作規格



のフィラメントを交流点火したため  
の残留雑音が10mVと大きいので、  
400Hz以下をカットして測定すると  
低歪みにおさまっていることがわか  
ります。

直流点火にしたければ、3端子レ  
ギュレーターとして、5V、2Aの  
サンケンSI-3052を利用するのが  
いいでしょう。

図10の周波数特性で、十分に上  
に広帯域です。1W出力時にくらべ  
5Wのときに低域で低下しているのは  
出力トランスの磁気飽和によるもの  
で、20Hz以下では波形の歪むのが観  
察できます。

このへんを明らかにするのが周波  
数出力特性で、図11のように中域で  
は3%歪みで9Wの出力が得られた  
ものが、50Hzでは7W、20Hzでは  
3Wで3%歪みになることを示して  
います。

通常、出力が3dB落ちる(半分にな  
る)までの帯域幅を出力帯域幅と  
呼んでいて、本機の場合でみれば27  
Hzから44kHzということになります。  
いわば出力トランスの実力を示す  
もので、シングルアンプ用として  
は立派なものであり、またシングル  
用出力トランスは大型でなければなら  
ないことの左証でもあるわけです。

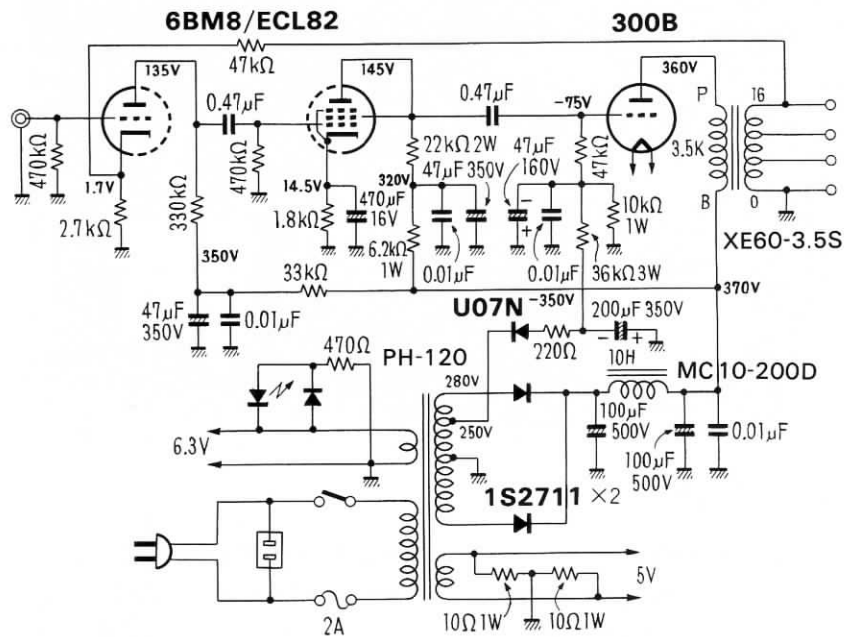
ダンピングファクターは4で、ス  
ピーカーによってはやや不足かなと  
いったところです。試聴結果につい  
ては後述します。

## 2. 抵抗容量結合 NFB付きの作例

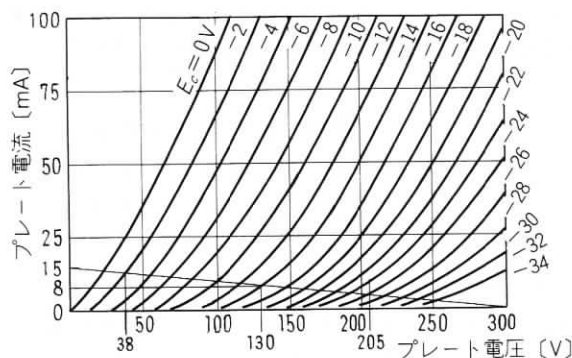
カソードフォロワーの効果を確認  
するには通常の抵抗容量結合の場合  
と比較してみることも必要だろうと  
いうことで組み替えてみました。ゲ  
インが余るので、その分はNFBにま  
わし、その効果も確認することにし  
ました。図12がその全回路です。

300Bは直結回路のときと同じ固  
定バイアス動作とします。固定バイ  
アスのときのグリッドリークは50  
kΩ以下に制限されているので、ド  
ライバーの負荷抵抗も20~30kΩ程

[図12] 抵抗容量結合NFB付きアンプの回路



[図13] 6BM8の5極管部の3極管接続ドライバーの設計



度と低くしなければならないため、  
これも6BM8の5極部の3極管接  
続を当て、かつ歪みの打ち消しもこ  
こでおこないます。初段には出力ト  
ランス2次側からのNFBがかかる  
ことになります。

ドライバーの負荷を20kΩとして  
打ち消しのための動作を図13でみ  
ると、バイアス14Vのときゲイン約7  
倍、歪率5%が得られ、これを中心  
にバイアスを前後してみることにし  
ます。

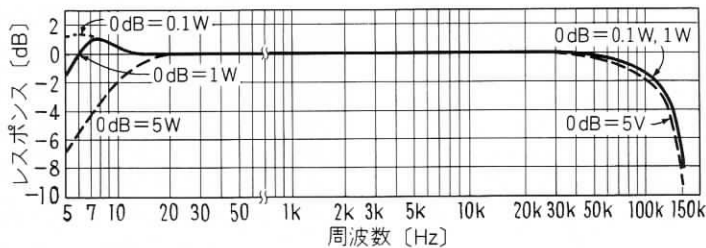
NFBがかかるので結合回路の時  
定数が問題になります。シングルア  
ンプの場合は、出力トランスのイン  
ダクタンスを大きくすることができ  
ないため時定数も小さくなりがちで  
す。しかし本機の出力トランスは30  
Hと大きく、時定数を計算すると、

$$T = \frac{L_p(r_p + Z_p)}{r_p \cdot Z_p} = \frac{30(790 + 3500)}{790 \cdot 3500} = 30 \text{ H} \cdot \text{k}\Omega \text{ (ms)}$$

周波数にすると5.3Hzと十分低く  
なりました。通常は段間の時定数を大  
きく選びたいところですが、出力管  
の入力部ではあまり大きくすると過  
大入力時のトランジェント特性が悪  
くなるので限度があります。

本機では出力段入力部の時定数を  
0.47μF × (47 + 22//16)kΩとし、一  
方前段では10倍以上の0.47μF ×  
(470 + 330)kΩとしました(時定数  
の計算は「自由自在」参照)。出力段  
はこの間に入るかたちになります。  
また、2本のカップリングコンデン  
サーは、同じものを使ったときの色  
づけを逃げるため、ポリプロピレン  
のEROとASCを使いましたが、こ

[図16] 周波数特性



賑やかになるのは、歪みが押さえ込まれていないからでしょう。

### 3. カソードフォロワー・ドライブNFB付きの作例

歪率のデータには表れないのですが、打ち消しができるのは互いの第2調波についてであり、これはプッシュプルアンプの場合と同じことになります。第3調波については減らないというよりも、大振幅では増加することになり、音質的にはいいことではありません。

ということから積極的な打ち消しは行なわないで、カソードフォロワー・ドライブとNFBを取り入れて構成してみたのが図18の回路図に示すものです。

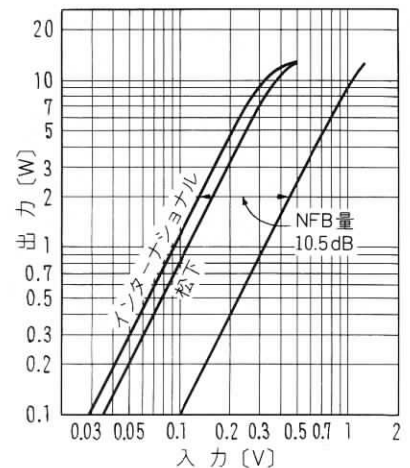
NFBをかけるためには利得の余裕が必要なので、1段目を5極管と

します。ハイ $\mu$ 3極管に対し10dB程度は利得を大きくとれるはずなので、その分がNFBにまわせる計算になり、5極3極管を使うとすると3極部がカソードフォロワーにまわることになります。

5極3極管としては6U8、6EA8、6BL8などの系統と6AN8とがありますが、前者は3極部プレートに隣に5極部のグリッドがくるというピン配列なので、信号の流れがこのとおりになっているときにはいいのですが、逆のときには発振しやすく使いにくいのです。この点で6AN8の配列はオーディオ用に向いているといえるでしょう。ただし本機のように一方をカソードフォロワーにするようなときには、どちらを使っても問題はありません。

6AN8の3極部は出力管である6BM8の5極部のように強力では

[図17] 入力対出力特性

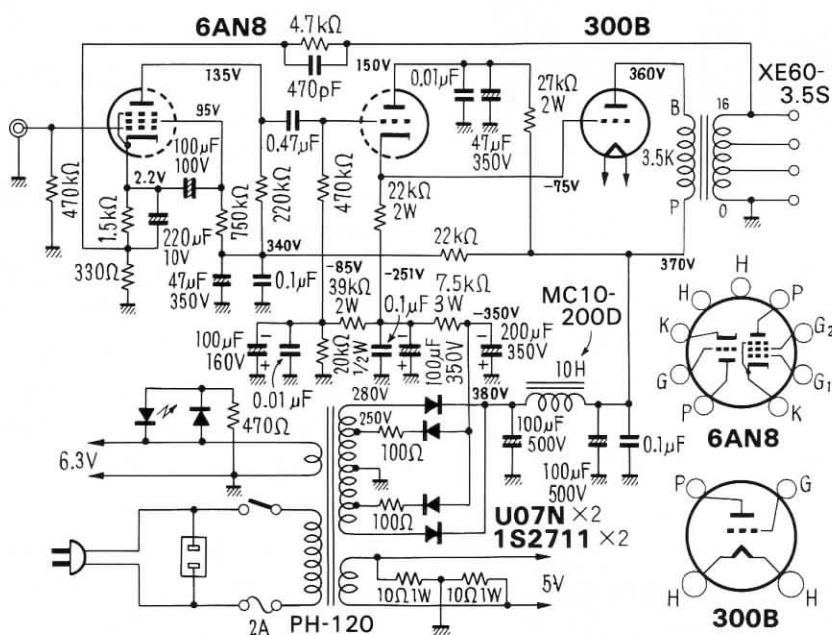


ありませんが、それでも表3に示されているように、最大プレート損失が2.5Wと電極寸法の割りには大きく、十分に300Bをドライブできそうです。

出力に余裕を持たせるために電源電圧を400Vとして、通常の電圧増幅管としては低めの22k $\Omega$ の負荷線を引いてみたのが図19で、これでも100Vくらいの振幅は充分にとれるので、バイアス74Vの300Bを余裕をもってドライブできることがわかります。同様に5極部にもできるだけ高い電圧を与え、必要な出力を取り出すようにするのは当然です。

3段増幅のときはよかったです

[図18] カソードフォロワー・ドライブNFB付きアンプの回路

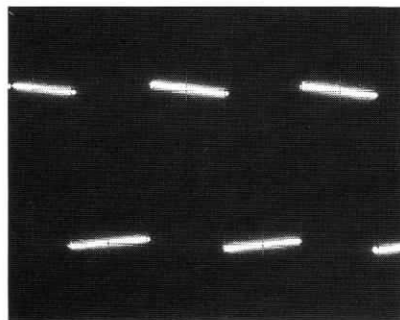


[表3] 6AN8の規格

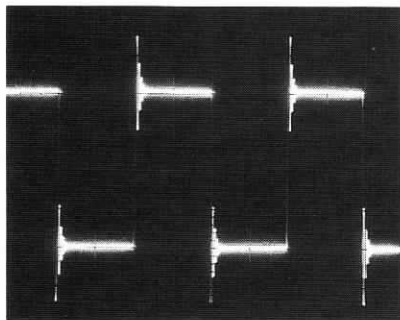
最大定格	3極部	5極部
プレート電圧	300	300 VdcMAX
第2グリッド供給電圧	300	VdcMAX
プレート損失	2.5	2.0 WMAX
第2グリッド損失	0.5	0.5 WMAX
自己バイアス	1.0	1.0 M $\Omega$ MAX
固定バイアス	0.5	0.25M $\Omega$ MAX
ヒーターカソード間電圧(注1)	200	VMAX
注1: ヒーターがカソードに対して正の場合、直流分は100Vを超えてはならない。		
静特性	3極部	5極部
プレート電圧	200	200 Vdc
第2グリッド電圧	—	150 Vdc
第1グリッド電圧	—6	— Vdc
カソード抵抗	—	180 $\Omega$
プレート電流	13	9.5 mAdc
第1グリッド電流	—	2.8 mAdc
増幅率	19	—
内部抵抗	5750	約300,000 $\Omega$
相互コンダクタス	3300	6200 $\mu$ h
第2グリッドカットオフ電圧	約-19	約-8 Vdc
$I_b=10\mu$ Adc		



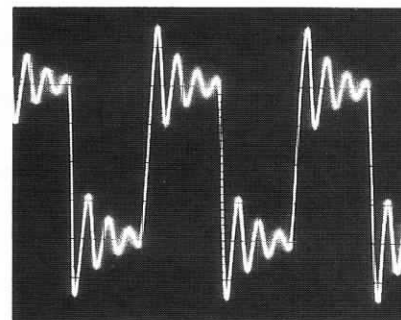
[写真6] 方形波応答特性 (前段 6AN8 カソフォロアンプ)



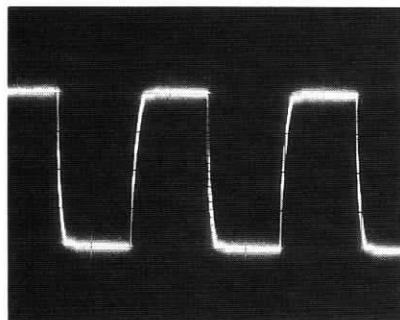
a : 100Hz,



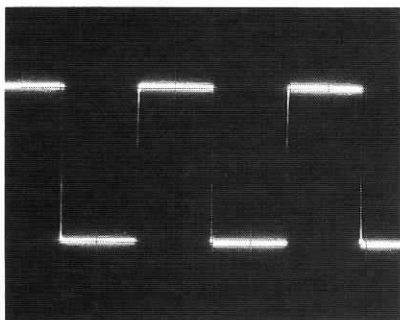
b : 1kHz コンデンサー負荷,



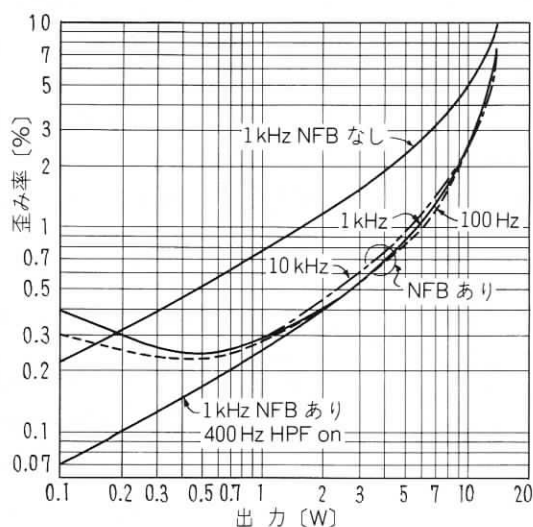
c : 10kHz コンデンサー負荷,



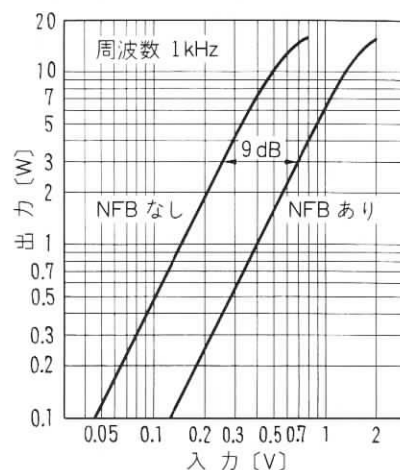
d : 10kHz 位相補正済み,



e : 1kHz 位相補正済み,



[図21] 出力対歪み率特性



[図22] 入力対出力特性

きなものとなっています。これに9dBのNFBをかけた特性は、高調波成分だけを示す400Hz HPF 付きのデータを見ると、きれいに歪みも約9dB低下していることがわかります。

通常の歪み雑音特性でみるとハム分が加わった形になっていますが、100Hzから10kHzまでの特性がよく一致しています。大出力時にも歪みが急激に増加することがなく、いわゆるソフトディストーションになったのはカソードフォロワー・ドライブの効果で、音楽信号を入れて観察した結果でもクリップはあまり目立

ちません。残留雑音は3.5mVで実用にはまあまあ、ダンピングファクターは10となりました。

図21の歪率特性を図9のそれと比較してみると、上手に歪み打ち消しをしたときのものとときわめて似ていることに気がつきます。

ただ、打ち消しは球の組み合わせがデリケートで、歪率を測定してみても結果が分からないのに対し、雑音やダンピングファクターを含め、NFB型のほうがややラフに考えてもそこそこの性能が出せる点で優れているかもしれません。音は、NFB

型のほうがややクリアーさの点で優れているかな、といったところです。

3種類、回路を変えて試作してみた結果は、やはり“いずれがあやめかかきつばた”なのです。強いて筆者の好みをいえば3番目かな、といったところですが、しかし、あらゆるジャンルの音楽を安心して聴くには、300B シングルはややパワー不足という気もします。ちなみにスピーカーはホーン主体にした大型のシステムで能率はいいほうなのですが、