

## EL34ダブルプッシュプルアンプ 30Wモノラルパワーアンプ

ファインメット入出力トランス採用，電圧増幅段もプッシュプル対称構成

岩村保雄 | IWAMURA Yasuo

ファインメット入力トランスとファインメット出力トランスを使い，テレフンケンのパワーアンプV69aをベースとして，UL接続したEL34ダブルプッシュプルパワーアンプを製作した。電圧増幅段はEF86によるプッシュプル回路とし，負帰還も含めて対称な構成。負帰還を8.4dBかけることで，歪率0.04% (0.1W)とDF2.5を得ている。周波数特性(-3dB)は10Hz以下~30kHzとワイドとはいえないが，音質は秀逸。最大出力は30W(歪率4%)。前面にウッドパネルを取り付け，見栄えにも配慮した。

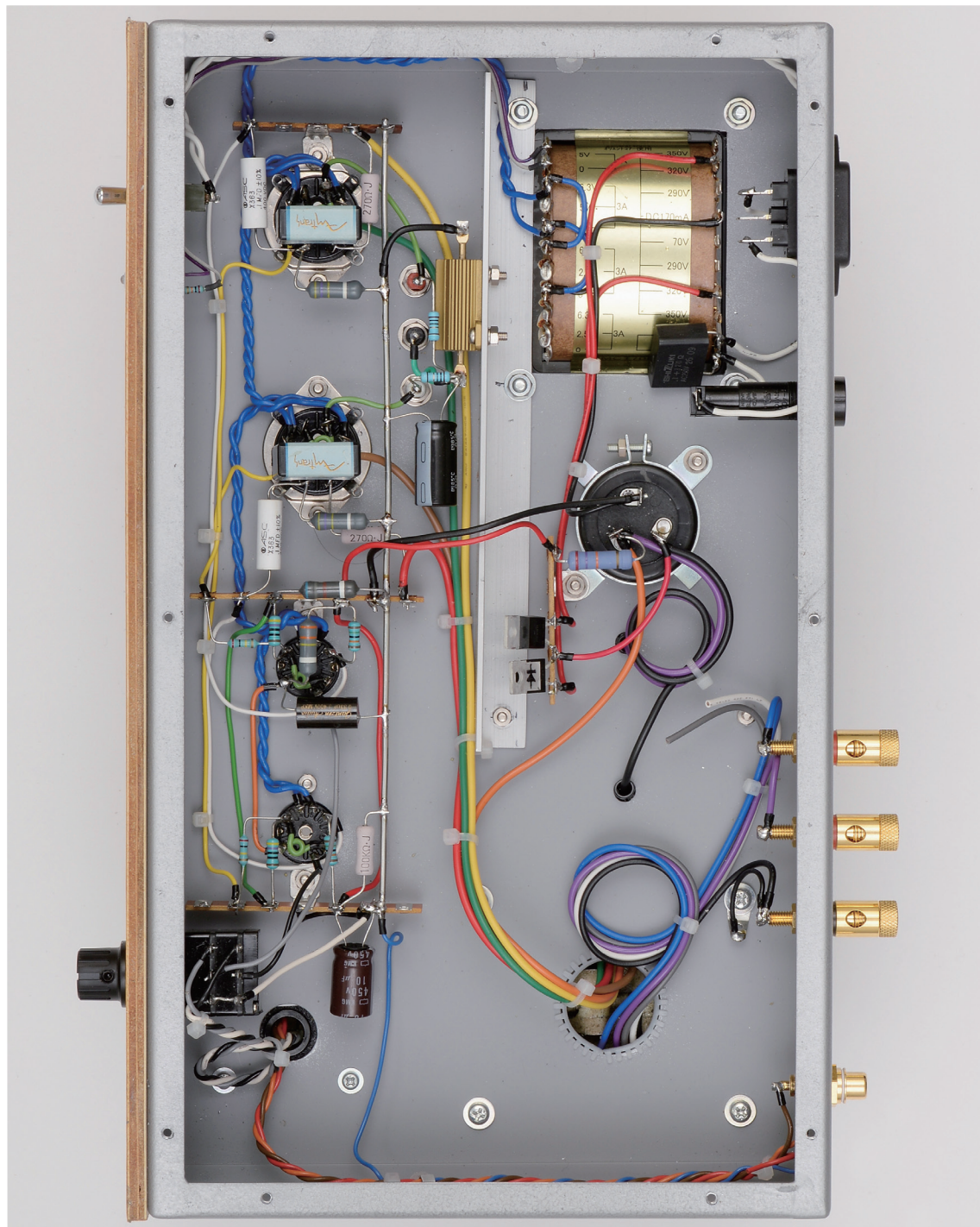


## はじめに

最近、対称構成の回路に興味を持ち、入力トランスを使った6V6GTダブルプッシュプルアン

プ(Dpp)をはじめ、差動回路を使った6V6GTDppアンプ(2019年5月号)とECC33ラインアンプ(同年8月号)を発表してきました。ダブルプッシュプルアンプ

は回路が対称なので、本来的に低歪率という特徴があります。そのため、見かけ上の物理特性を改善するために多量の負帰還をかける必要がなく、少量あるいは無帰還



EL34ダブルプッシュプルモノラルパワーアンプのシャシー内部のようす。シンプルな回路で部品点数が少ない。EL34のカソード抵抗(メタルクラッド型)は、補強を兼ねたL型アルミアングル板に取り付けて放熱対策をしている

でも十分低歪率のアンプとなります。ヒアリングでも繊細というより、ストレートで奥行き感にあふれた音を聴かせてくれます。

2020年春の「MJ オーディオフェスティバル」のアンプ競作のテーマがハイパワーアンプとのことなので、ファインメット入力トランスを使ったダブルプッシュプル構成のEL34パワーアンプを製作することにしました。

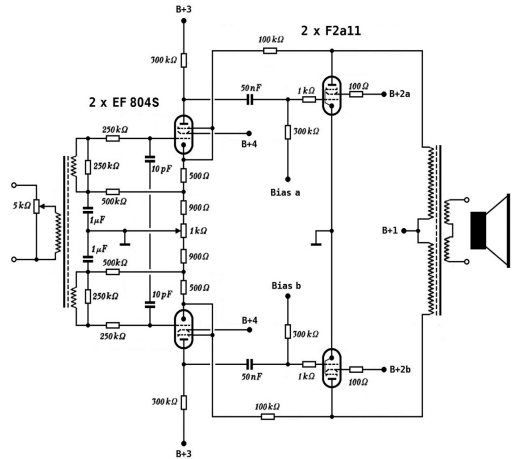
ダブルプッシュプル回路は、古典的な業務用アンプでしばしば採用されてきました。有名なものとしてはウエスタン・エレクトリックのアンプWE 133AやテレフンケンのV69aがあります。前者はドライブ段に348A、出力段に349Aを使って出力は8W、後者はドライブ段にEF804S、出力段にF2a11を使って出力は25Wです。入力トランスを使うこと、出力段は多極管接続とした業務用のアンプ、周波数特性をはじめ、物理特性が特に優れているわけでもないのが共通点でしょうか。

[表1] EL34 (P:5極管, T:3極管, UL接続) / EF86の動作例 (UL接続EL34の特性は、図2のUL接続のプレート特性から求めた)

真空管	EL34 (P)	EL34 (T)	EL34 (UL)	EF86
ヒーター電圧 $E_h$ [V]		6.3		6.3
ヒーター電流 $I_h$ [A]		1.5		0.2
最大定格	設計中心			
プレート電圧 $E_p$ [V]	800	500	800	300
プレート損失 $P_p$ [W]	25	25	12	1.0
スクリーングリッド電圧 $E_{g2}$ [V]	500	-	500	200
スクリーングリッド損失 $P_{g2}$ [W]	8	-	8	0.2
ヒーターカソード電圧 $E_{hk}$ [V]	100	100	100	+100, -50
動作例	AB <sub>1</sub> pp	A <sub>1</sub> pp	AB <sub>1</sub> pp	A 級
増幅率 $\mu_{g1} - \mu_{g2}$	11	10.5	23.4	38
プレート抵抗 $r_p$ [kΩ]	15	0.91	2.04	2500
相互コンダクタンス $g_m$ [mS]	11	11.5	11.5	2
プレート電圧 $E_p$ [V]	375	400	430	250
プレート電流 $I_p$ [mA]	2×107.5	2×70	2×62.5	3.0
スクリーングリッド電圧 $E_{g2}$ [V]		-		140
スクリーングリッド電流 $I_{g2}$ [mA]	2×23.5	-	2×10	0.6
コントロールグリッド電圧 $E_{g1}$ [V]	-33	$R_k=440\Omega$	$R_k=470\Omega$	-2
負荷抵抗 $R_{Lpp}$ [kΩ]	3.5	5.0	6.0	-
最大出力 $P_{Omax}$ [W]	48 (歪率2.8%)	19 (歪率1.8%)	34	-
データの出典	ムラード		参考@岩村	フィリップス

ここでは、これまであまり取り挙げられてこなかったテレフンケンのV69aの回路に検討を加えながら設計しています。その基本となるV69aの回路の主要部分を図1に示します。F2a11を固定バイアスとし、ビーム管接続のプッシュプル動作をさせた、まさに上下対称の回路となっています。図1で省略した電源回路は、傍熱整流管EZ12を2本並列接続したもので約370VのB電圧を、さらに帰路の抵抗の電圧降下によりF2a11の固定バイアス電圧を供給しています。

V69aで使われている出力管F2a11は高価な真空管なので、本機では入手が容易で音質に定評のあるEL34を使用しました。また、電圧増幅段の高信頼管E804Sは入手困難なので



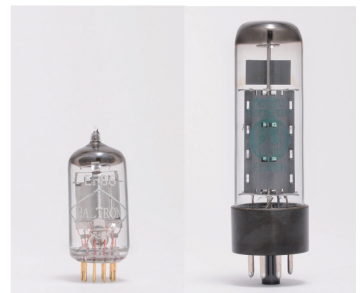
[図1] テレフンケンのアンプV69aの電源とメーター回路を除いた主要増幅回路

EF86を使うことにしました。なお、EL34とEF86の特性、定格を表1に、外観を写真1示します。前述のパワーアンプは、当時普通であった20dB近い負帰還をかけています。本機では5極管接続をUL接続に変更し、元の負帰還の一部を局部帰還で補い、オーバーオール負帰還を10dB以下に抑えようと考えています。

これらによって、およそ出力30WのEL34Dppパワーアンプを製作することができ、満足のいく音質を得ることができました。

## 使用部品と回路の設計

ダブルプッシュプルは特徴的な上下対称の回路で、動作がシンプル、音質においても評価できるのですが、良質な入力トランスを必



[写真1] 使用した真空管。左がEF86 (ハルトロン)、右がEL34 (エレクトロ・ハーモニクス)

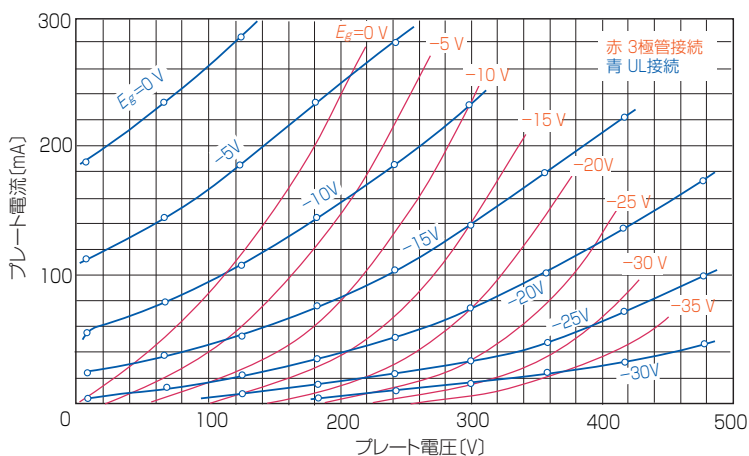


要とすることが大きな壁となっています。そのため入力インピーダンスが低く、入出力600Ωという業務用アンプでは長所である一方で、入力インピーダンスが10kΩ~100kΩといったハイインピーダンスの一般的なオーディオシステムには適用が難しいのです。入力トランスがダブルプッシュプル回路の要なのですが、これまでは入手可能な600Ωのものが少数ありましたが、10kΩのものは見当たりませんでした。最近になってゼネラルトランス販売からファイナメントコアの1次側10kΩ、2次側10kΩという入力トランスFM-10K10KL、FM-1010Nが販売されるようになりました。これによって、ハイインピーダンス対応のダブルプッシュプル構成のパワーアンプが製作できるようになりました。

そこで、前述のようにテレフンケンのアンプV69aをベースにEL34 Dppアンプを検討することにしました。V69aは固定バイアスで5極管接続の出力段ですが、ここをUL接続としてオーバーオール負帰還を減らしたいのです。

まず、データシートに載せられている3極管接続時の特性から計算により、EL34のUL接続時(帰還率β=43%)のプレート特性を求めました(図2)。スクリーングリッド電流の影響を考慮していないので、第一近似の特性と考えてください。それでも、ここから3定数を求めることができ、 $\mu = 23.4$ ,  $r_p = 2.04k\Omega$ ,  $g_m = 11.5mS$ (プレート電圧350V, プレート電流70mA)が得られます。

データシート(表1)に記載のUL接続時の動作例では、負荷インピーダンス6kΩ、自己バイアス $R_k = 470\Omega$ /球で、プレート



【図2】 EL34 3結のプレート特性(赤)と、それを基に計算で求めたUL接続プレート特性(青)

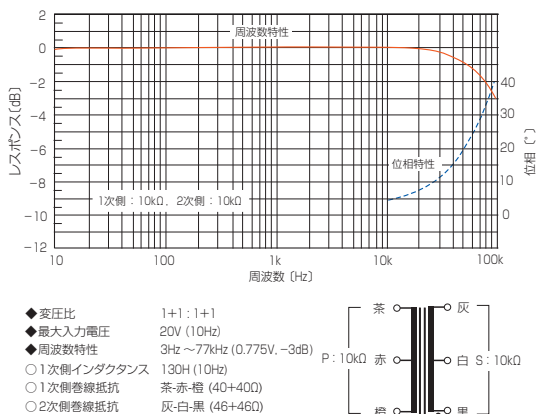
電圧430Vとしたとき最大出力34Wとなっています。最適負荷が6kΩという条件は、図2から求めた $r_p = 2.04k\Omega$ の約3倍にあたり、もっともらしい負荷のようです。本機では動作点を $E_p = 381V$ ,  $I_p = 64.5mA$ とするので、動作は図2に当てはめるとAB級プッシュプルとなります。

ダブルプッシュプル回路に必要な入力トランスには、6V6GT Dppアンプで経験したパフォーマンスから、ゼネラルトランス販売のファイナメントコア入力トランスFM-10K10KLを使うことにしました。FM-10K10KLの特性と接続図を図3に示します。

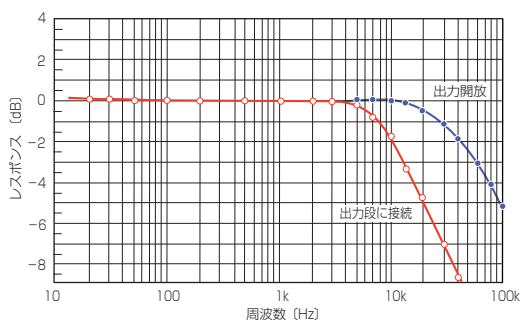
FM-10K10KLは、インピーダンスが1次側、2次側ともにそれぞれ中点タップ付きで10kΩなので、一般的なハイインピーダンスのオーディオシステムに接続して信号を受けることができます。ただし、これまで

のダブルプッシュプルで一般的だった600Ω系では、入力トランスで(たとえば1次側600Ω, 2次側10kΩで4倍ほど)利得を稼ぐことができたのに対して、単なる位相反転とアイソレーションの働きのみとなります。本機で使用した入力トランスFM-10K10KLは、現在1次側、2次側の巻線をスプリットとしたFM-1010Nに変更となっているので、FM-1010Nの場合の配線は、それに対応して変更してください。

入力トランスの2次側には、2連アッテネーターを入れています。ここでは、位相反転した信号を減



【図3】 ファイナメントコア入力トランスFM-10K10KLの特性と接続図



【図4】 ドライブ段のみの周波数特性 (EL34出力段接続の有無による高域特性の違い)

衰させるので、位相反転した信号のバランスが崩れないことが重要で、チャンネル間に誤差のない良質のボリュームが必要となります。そのため高価ですが、東京光音電波の2CP-2500を使っています。入手困難なときは、代わりに2回路6接点のロータリースイッチで作った6dB/ステップ程度のアッテネーターを入れ、音量調整はラインアンプに任せることもスマートではないかと思えます。

V69aの初段グリッド回路は複雑に見えますが、ウエスタン系のアンプで見られる、入力トランスの2次側アースを抵抗で浮かせ、そこをコンデンサーでカソードにつなぐ、いわゆる「ウエスタンつなぎ」ではありません。V69aでは、F2a11のプレートからの負帰還ループは直流カットしていません。初段カソード電位が大幅に上昇してしまいます。これを打ち消すために入力トランスの2次側アースをコンデンサー1μFで交流的に接地、直流的には浮かしているのです。

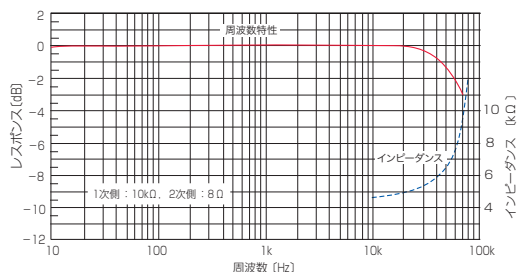
本機ではこの複雑さを避けて、負帰還回路にフィルムコンデンサーを入れて直流カットをしています。V69aでもグリッド回路にコンデンサー(1μF)が入っているのです。どちらの方法を取るかの選択になります。

本機では、負帰還がかかるカソード回路は個々のカソードの470Ωと、不十分ながら差動回路としての共通カソード抵抗680Ωからなっています。

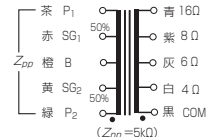
680Ωにパコンが入っていますが、常に正相と逆相の電流が流れるので交流信号は打ち消されます。したがって、オシロスコープで観測しても信号波形は現れません。このようにしたのは、帰還抵抗 $R_f$ が大きくなるのを嫌ってのことで、負帰還の受けを470Ωとすることで $R_f = 200k\Omega$ で済ませることができました。

スクリーングリッドの扱いはV69aと同じように、上下のEF86のスクリーングリッドを共通としてスクリーン電流を供給しています。この電圧増幅段の入力端子からの利得は入力トランスで1/2になるので、49倍に留まっています。さらに、グリッドリーク抵抗470kΩの出力段につなぐと34倍にまで低下してしまうことから、出力インピーダンスが大きいたることがわかります。

そのため、図4のドライブ段の周波数特性の高域カットオフは負荷オープンでは60kHz(-3dB)ですが、出力段をつなぐとEL34の入力容量のため、高域が



- ◆出力 45W (50Hz, 5kΩ-8Ω)
- ◆周波数特性(-3dB) 5~40kHz (5kΩ-8Ω, -1dB)
- ◆1次側許容DC電流 350mA(2本分)
- 1次側インダクタンス 430H (10Hz)
- 1次側巻線抵抗  $P_1-B=56\Omega$  /  $B-P_2=56\Omega$
- 電力損失 0.16dB (16G)



【図5】 ファインメットコア出力トランスFM-45P-5Kの特性と接続図

12kHz(-3dB)にまで落ちてしまいます。最終的には負帰還を使うことで、この点はある程度は改善されています。

出力トランスはぜひいたくですが、ファインメットの大型出力トランスFM-45P-5Kを使っています。FM-45P-5Kの特性と接続を図5に示します。ファインメットコアは、飽和磁束の関係で直流磁化を気にしないで良いプッシュプルトランスや入力トランスに適しています。FM-45P-5Kは、1次側インダクタンスがかなり大きい割に許容アンバランス電流が10mAと大きいので、厳密なDCバランスを考えなくても良く、使いやすい出力トランスです。

目標とする最大出力が30Wなので、サイズ的には定格45Wのこの出力トランスは最適でしょう。なお、本機のトランスはほとんどがファインメットコアなので、まずその特徴である分解能の良さを十分に発揮してくれるのではと期待して製作しました。

UL接続の場合のEL34の1次側インピーダンスは、データシートの動作例では6kΩとなっていますが、V69aのようにPK負帰還をかけるとUL接続時の $r_p = 2.04k\Omega$ はそれによって小さく



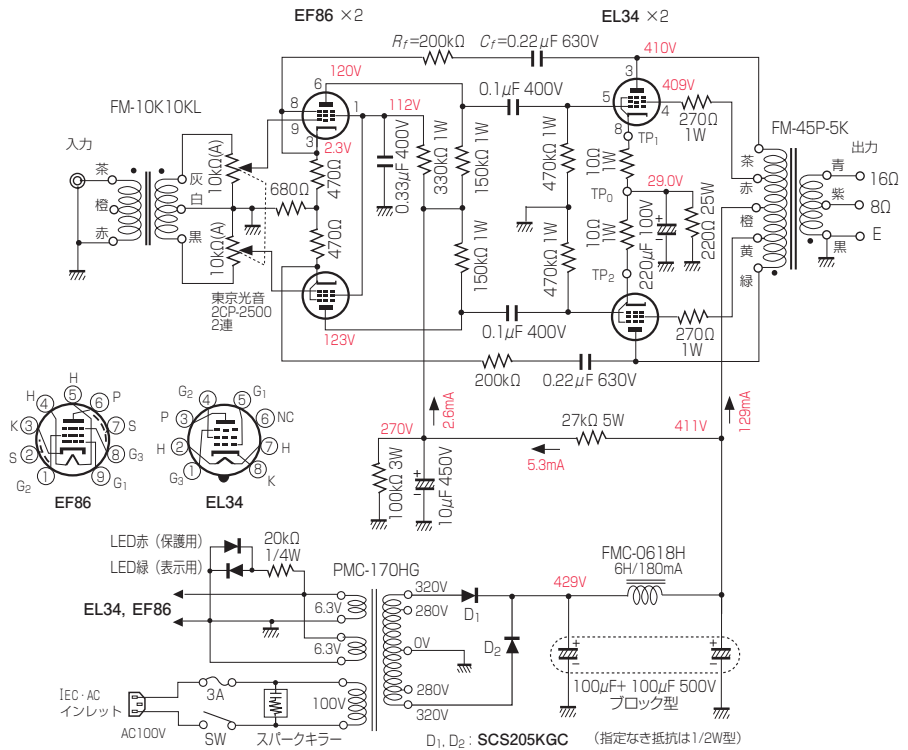
なるので、1次側インピーダンスは5kΩで良しとしました。

V69aの電源回路は、中型の整流管EZ12を2本並列で使った両波整流ですが、本機ではシリコンカーバイド(SiC)のショットキーバリアダイオードを使った両波整流としました。整流管の内部抵抗が音質に影響するとの説があり、ダイオード整流でも相当する抵抗を挿入することがしばしば行われます。本機では、平滑回路のチョークコイルFMC-0618H

(6H/180mA)が小型なので直流抵抗が115Ωあり、これが挿入した抵抗に相当すると考えています。

電源トランスは、B電源用巻線の電圧(320V)と容量(170mA)の条件からPMC-170HGを選びました。この状態でB電圧は411Vが得られ、最大出力30Wが得られます。さらに、巻線タップを350Vに変更するとEL34の定格いっぱいになるものの、さらなる出力アップを図ることも可能です。

UL接続にしたからといっても、プレート抵抗は約2kΩと代表的な3極出力管と比べるとかなり大きく、無帰還アンプでの動作はDFの観点から無理があります。実際、本機でも無帰還での状態ではDFは1にも届かず、DFを考慮して負帰還をかけることにしました(後述)。



【図6】UL接続EL34ダブルプッシュプルモノラルパワーアンプの回路図

真空管は手持ちの関係でEL34はエレクトロ・ハーモニクス、EF86はハルトロンを使っています。これらの真空管はペアで入手可能なもの、あるいは手持ちのものを使ってください。

最終的に決定した回路図を図6に示します。また、使用した部品を購入先を含めて表2にまとめましたので、購入の際に役立ててください。

## 製作手順

シャシー(ゼネラルトランス販売2MM-170)を図7の加工図に従って孔あけ加工をしてください。写真2は、シャシー上面のトランス類、チョークコイル、真空管ソケットの配置のようすです。

シャシーはアルミ板厚が2mmなのでかなり頑丈ですが、電源トランスと出力トランスが重量級なので、補強とEL34のカソード抵

抗の放熱を兼ねて図7に示した2mmのアルミアングルを組み付けています。このアルミアングルには、あらかじめEL34のカソード抵抗のメタルクラッド抵抗をネジどめしておきます。

組み立ては、フロントパネルとリアパネルにスイッチ類や入出力端子などの部品を取り付けてから、天板に真空管ソケット、電解コンデンサーとトランス類を取り付けます。なかでもEL34の電流チェック用のチップジャックは、先にネジどめしてください。その際、補強用のアルミアングルは、電源トランスとチョークコイルのネジで共締めします。

さらに抵抗、コンデンサー取り付け用の立てラグ板を真空管ソケットのネジで共締めします。チョークコイルだけはリード線が通るシャシーの孔にプラスチックブッシングをはめておきます。

[表2] パーツリスト (モノラル1台分)

種類	適用	数量〔個〕	購入先	コメント	
真空管	EL34	2	クラシックコンポネンツ	エレクトロ・ハーモニクス	
	EF86	2	クラシックコンポネンツ	ハルトロン	
ダイオード	SiC ショットキーバリア型, SCS205KGC	1	秋月電子通商	1200V/5A	
トランス類	電源トランス PMC-170HG	1	ゼネラルトランス販売	PMC-170M 也可	
	出力トランス FM-45P-5K	1	ゼネラルトランス販売		
	入力トランス FM-10K10KL	1	ゼネラルトランス販売	ゼネラルトランス販売, 現行はFM-1010N, ともに受注生産	
	チョークコイル FMC-0618H	1	ゼネラルトランス販売	6H/180mA	
コンデンサー	100+100μF/500V	1	海神無線	ブロック型, ユニコン, B電源平滑	
	10μF/450V	1	海神無線	縦型, 日本ケミコンKMG, デカップリング	
	220μF/100V	1	瀬田無線	縦型, 日本ケミコンSMG, カソードバイアス	
	0.1μF/400V	2	海神無線	フィルム型, ASC363, カップリング	
	0.33μF/400V	1	海神無線	フィルム型, Jentzen, 初段スクリーングリッド	
	0.22μF/630V	2	海神無線	フィルム型, Amco, NF回路	
抵抗	680Ω 1/2W	1	瀬田無線	金属皮膜型, 初段自己バイアス	
	470Ω, 200kΩ 1/2W	各2	瀬田無線	金属皮膜型, 初段自己バイアス, NFB抵抗	
	330kΩ 1W	1	瀬田無線	炭素皮膜型, EF86スクリーングリッド抵抗	
	470kΩ 1W	2	瀬田無線	炭素皮膜型, EL34グリッドリーク抵抗	
	10Ω, 270Ω, 150kΩ 1W	各2	瀬田無線	金属皮膜型, テストポイント用, Sg抵抗, EF86負荷抵抗	
	220Ω 25W	1	海神無線	メタルクラッド型, EL34カソード抵抗	
	27kΩ 5W	1	海神無線	酸化金属皮膜型, デカップリング抵抗	
	100kΩ 3W	1	海神無線	酸化金属皮膜型, プリダー抵抗	
	20kΩ 1/4W	1	瀬田無線	LED用, 種類不問	
	可変抵抗器	ボリューム10kΩ (A型2連), 2CP-2500	1	海神無線	東京光音電波, 本文参照
真空管ソケット類	US 8ピン	2	門田無線	QQQ, 手に入る良品	
	MT 9ピン上付き モールド型	2	門田無線	QQQ, 手に入る良品	
入出力端子	スピーカー端子 (赤)	2	アムトランス	CP-212	
	スピーカー端子 (黒)	1	アムトランス	CP-212	
	RCA ピンジャック R-19 (R-ch: 赤)	1	門田無線	(L-ch: 白)	
	IEC 電源インレット EAC-301	1	門田無線		
その他	シャーシ, 2MM-170	1	ゼネラルトランス販売	ゼネラルトランス販売, 底板も含む	
	アルミLアングル (2mm厚, 15×30×200Lmm)	1			
	ツマミ (サトーパーツK4071)	1	門田無線	ポリウム用 (好みのもの)	
	小型トグルスイッチ (単極単投)	1	門田無線	日本開閉器工業, M-2012L/B	
	緑色 LED インジケータ (CTL601)	1	瀬田無線	孔径φ6.2mmのもの	
	赤色 LED (高輝度タイプ)	1	秋月電子通商	径φ3mm, 緑 LED インジケータ保護用	
	ヒューズホルダー (ミニ, 3A ヒューズ付き)	1	瀬田無線	サトーパーツ, F-400-01A1	
	スパークキラー, AU1201	1	門田無線	岡谷電機産業	
	1L6P 立てラグ板	3	瀬田無線	サトーパーツ, L-590, 必要なピン数に切断	
	1L4P 立てラグ板	1	瀬田無線	サトーパーツ, L-590	
	ナイロンチップジャック (赤, 黒, 白)	各1	瀬田無線	サトーパーツ, TJ-1, テスト端子用	
	プラスチックブッシング φ6.5mm	2	西川電子部品	チョークコイル用	
	配線材 #20, 5色	各3m	瀬田無線		
	結束バンド (8cm)	適宜	西川電子部品	インシュロック	
	ゴム脚 (φ21, t=7mm)	4	西川電子部品	接着タイプ	
	ビス・ナット M3×10mm	適宜	西川電子部品	トラス型, 丸皿頭	

ここで、使用する立てラグ板は整流回路を載せるものは1L6Pの立てラグ板を切断した1P1L3Pの立てラグ板を、US8ピンソケットのところには1L4Pを、MT9ピンソケットのところには1L6P立てラグ板を固定します。その後、これら立てラグ板を使ってφ2mmのスズメッキ線のアース母線を張っておきます。

アース母線の左端 (初段管側) と最寄りの立てラグ板中央の固定ピンを結んでシャーシへ接地をし

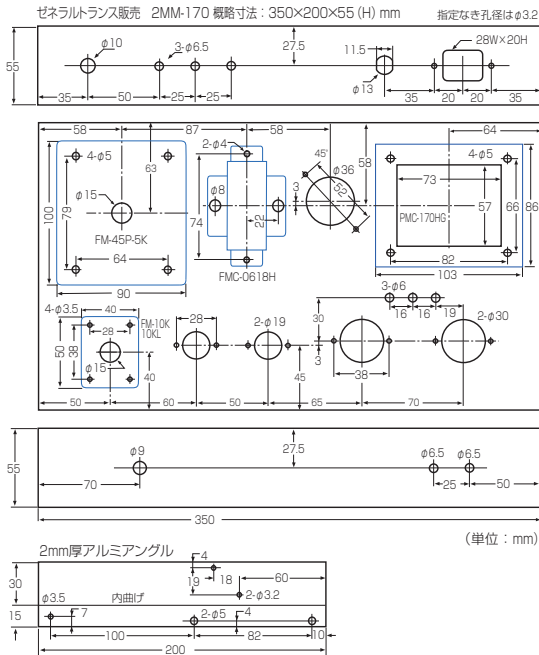
ます (シャーシアース)。ここまでの部品の取り付け位置などは、シャーシ内部写真 (61 ページ) を参照してください。

配線はAC100V関係、ヒーターの配線、B電源まわりと進めます。

RCA入力ピンジャックから入力トランスまでと、入力トランスからポリウムまでは入力トランスのリード線を擦って配線していきます。シャーシ内部を見ればわかるように、部品点数が少なくすっ

きりしています。MT管ソケット周辺がいくらか混んでいるだけなので、配線作業は容易です。各部分は写真3～5を参考にして作業を進めてください。

なお、帰還回路のDCカットコンデンサーの配線にUSソケットの6ピンを利用しています。この6ピンはEL34では使われていないNC (ノーコネクション) なので問題ありませんが、出力管を変更するときはピン接続に注意してください。



[図7] シャシーと補強用アルミアングルの加工図

自作アンプであっても外観を重視するという考えから、本機はアルミシャシーをシルバーのハンマーフィニッシュ塗装するだけでなく、前面にウッドパネルを取り付けています。ウッドパネルは、5mm厚シナ合板にモビング突き板を貼り、透明ニスを薄く塗って製作しました。

このパネルは、電源スイッチとボリュームをシャシーに共締めして取り付けます。写真7のように、電源スイッチとボリュームの

をあげ、ネジ込みます。

配線が終わったら、誤配線がないかゆくりと確認して、間違いがないようでしたら真空管を挿し、電源を入れてください。続いて回路図に記載してある各部電圧をテスターで確認し、各ポイントの電圧が10%以内に収まっていればOKです。TP<sub>1</sub>とTP<sub>0</sub>あるいはTP<sub>2</sub>とTP<sub>0</sub>の間の電圧をテスターで測ると、プレート電流をチェックができます。また、TP<sub>1</sub>とTP<sub>2</sub>の間の電圧は、出力段の



[写真2] シャシー天板上のトランス類、チョークコイル、真空管ソケットの配置。電源トランスの下はテスト端子

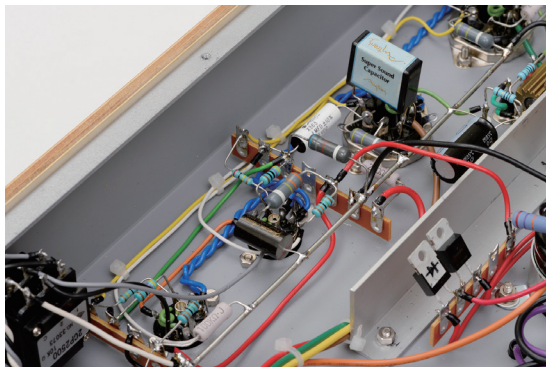
ナットを沈めるために、ウッドパネルにφ17mmの円形で板厚の半分だけ彫り込んでいます。LEDブラケットはウッドパネルにφ6.2の孔

直流バランスを示しています。本機は直流バランス、交流バランスともに省いていますので、これで完成です。ペアで販売されている真空管を使えば、歪率はじめ一定の特性が得られます。

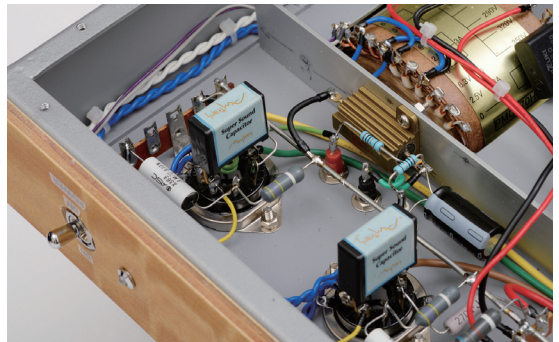
## 特性の測定

出力管EL34は $E_{pk} = 381V$ 、 $I_k = 64.5mA$ なのでプレート損失+スクリーングリッド損失 $P_p + P_{g2}$ は24.6Wです。定格(プレート損失25W+スクリーン損失8W=33W)と比べると、本機は余裕のある動作です。残留ハムは、入力ボリュームを絞った状態で0.8mVです。

入出力特性を無帰還のときと負帰還8.4dBのときに1kHzで測定した結果を図8に示します。これらカーブの差から負帰還量が

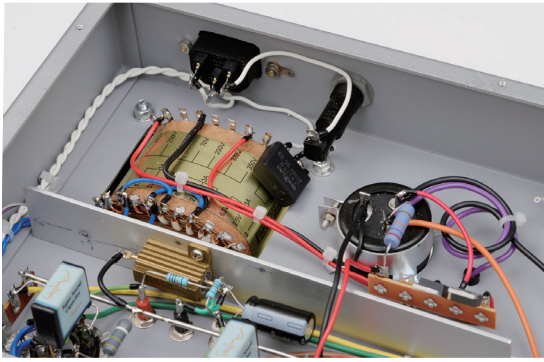


[写真3] 電圧増幅段と出力段の配線。アース母線は、左下の立てラグ板のL端子でシャシー接地している



[写真4] 出力段の配線の様子。補強用のアルミアングルにカソード抵抗(メタルクラッド型)をネジどめしている。3つの端子(TP<sub>0</sub>~TP<sub>2</sub>)はカソード電流測定用チップジャック





[写真5] 電源回路の様子。B電源のSiCショットキーバリアダプターとデカップリング抵抗は、1L6Pの端の2Pをカットした改造立てラゲ板に取り付けている



[写真6] 初段は対称型の増幅回路なので2連VRを使用



[写真7] ウッドパネルのポリウム、電源スイッチとLED部は丸孔を削り、ナットを沈めている

8.4dBであることが確かめられます。最大出力(歪率4%)は入力電圧2.2Vで30Wが得られます。飽和時の出力波形は図9のように、入力電圧2.0Vで波形の上下対称にクリップが始まり、最大出力以上ではクロスオーバー歪みが発生します。

無帰還のときと8.4dBの負帰還がかかっているときの周波数特性を図10に示します。無帰還のときの特性(-3dB)は20Hz以下から12kHzで、信号経路に入力トランスが入っているにもかかわらず低域が伸びていることと、高域がかなり早く減衰してしまうことが印象的です。図4の出力段と接続したドライブ段のみの周波数特性と見比べると、この特性は

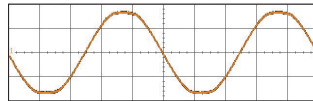
ドライブ段の特性で決まっていることがわかります。

8.4dBの負帰還により周波数特性は高域では30kHz(-3dB)へと改善されていますが、特性重視の方は物足りないと感じられると思います。多量の負帰還をかければかなりの改善がみられるでしょうが、ヒアリングから判断する限り、これはこれで十分であると感じられます。

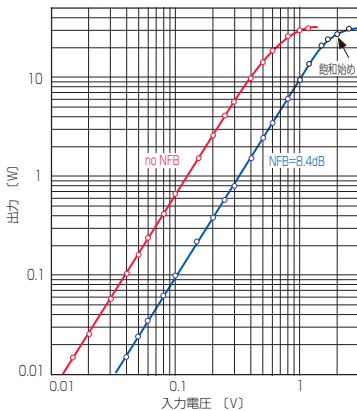
ダンピングファクターDFをON-OFF法により測定しました(図11)。無帰還時のDFはかなり小さいので、どうしても負帰

還は必要となります。オーバーオールNFBを8.4dBかけることで、DFは20Hz~7kHzの中域でおおよそ2.5となり、ヒアリングにおいても制動力の不足を感じることはありませんでした。

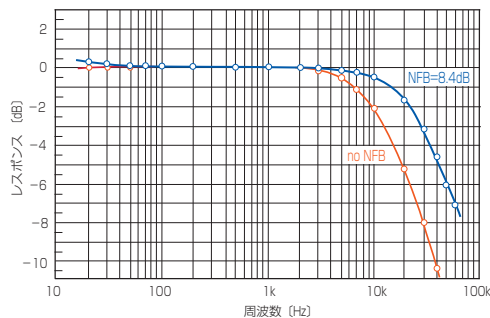
100Hzと1kHz、10kHzの歪率(図12)を測定しました。ただし1kHzと10kHzの測定は、残留ハムの影響を除くために400Hzのローカットフィルターを使用しています。0.1Wでの歪率はおおよそ0.04%なので、8.4dBの負帰還にしては低歪率と感じています。100Hzの歪率は0.3W以下では残留ハムの影響で歪率が増加しています。一方、10kHzの歪率は負帰還量が小さいためか100Hzと1kHzと比べて大きくなっています。最大出力(1kHz)は、歪率4%となる出力から30Wとなります。



[図9] 出力飽和時のサイン波形



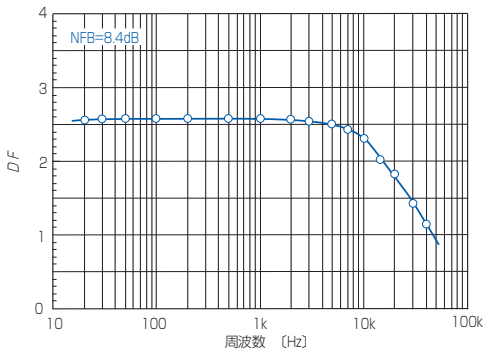
[図8] 無帰還時(赤)とNFB = 8.4dB(青)のときの入出力特性 (8Ω出力, 1kHz)



[図10] 周波数特性 (無帰還およびNFB = 8.4dBのときの0dBは1/2W)

## 方形波応答波形

抵抗負荷8Ωのときの100Hz、1kHz、10kHzの方形波応答波形を図13に示します。ここで100Hzの波形にほとんどサグが見られないのは



【図11】NFB = 8.4dBのときのダンピングファクター特性

特筆もので、入力トランスを介しているにもかかわらず、特性がかなり低域に伸びていることを示しています。

さらに念のため、動作の安定性チェックとして負荷開放および容量性負荷 (8Ω/0.1μF, 0.1μFのみ) としたときの10kHzの方形波応答波形を観測しました(図14)。負荷0.1μFのときのみ、若干のリングングが生じますが、アンプの安定性にまったく問題ありません。

## まとめと試聴

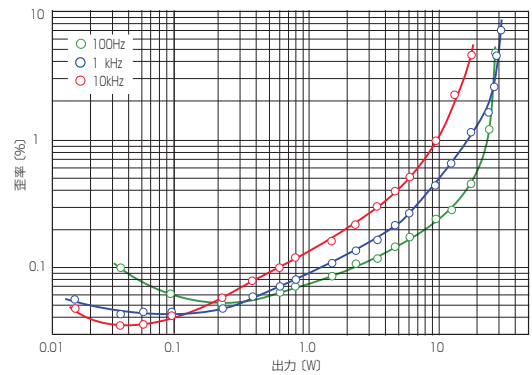
近頃、重いアンプの扱いに困っているので、本機はモノラルアンプとして製作しました。そのため部品点数が少なく、シャシー内部はすっきりとしています。高域の周波数特性は数値的には満足とは言えませんが、音で判断していただければ十分に満足していただけるものと考えています。

最大出力が得られる入力電圧が2.2V<sub>rms</sub>なので若干電圧感度が低いのですが、最大出力30Wなので3~4Wのアンプとボリューム位置はほぼ同じです。

ウッドパネルについては着飾った感じが気に入っています。好みもあるでしょうが、ヘアラインや梨地のフロントパネルも良いので

はないでしょうか。

試聴に使った主なCDは、『アンチェル/ロストロポーヴィチ/トロント交響楽団：ドヴォルザーク チェロ協奏曲』KICC 1102と『ローズマリー・クルーニー & デューク・エリントン楽団：BLUE ROSE+2』SICP-1026です。いま、チェロ協奏曲を聴きながらこの原稿を書いています。以前に製作した6V6GTダブルプッシュプルアンプと同様、ストレートに音が出てくること、奥行き感が優れていることを強く感じています。これがダブルプッシュプルアンプあ

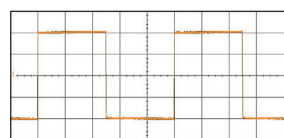


【図12】100Hz, 1kHz, 10kHzの歪率特性(1kHzと10kHzは400Hzのローカットフィルターを使用)

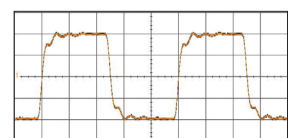
るいは対称回路構成のアンプの特徴なのではないのでしょうか。

なお、本機は2020年3月15日の「M」オーディオフェスティバル」で聴いていただく予定ですので、ぜひ会場にお運びいただけると嬉しいです。

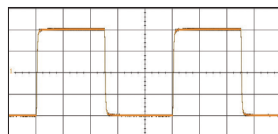
試聴はCD プレーヤー：マランツ SA11-S2, ECC33pp ラインアンプ (本誌2019年8月号), スピーカー：アルテック 604-8H ウーファー+アルテック 802D/811B ホーン+コーラル H-100 (ネットワークは自作) で行いました。



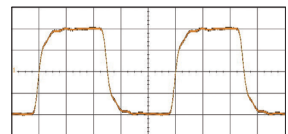
(a) 100Hz



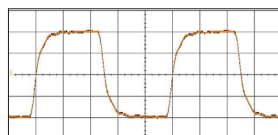
(a) 負荷開放



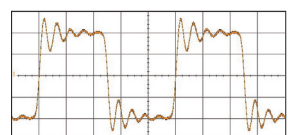
(b) 1kHz



(b) 容量性負荷 8Ω/0.1μF



(c) 10kHz



(c) 容量負荷 0.1μFのみ

【図13】8Ω 純抵抗負荷における方形波応答波形 (2V/div.)

【図14】負荷開放ならびに容量負荷としたときの10kHz方形波応答波形 (2V/div.)