

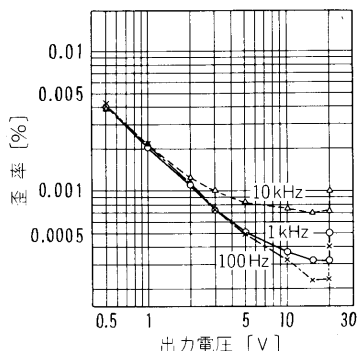
1段増幅回路採用プリアンプ

柴田由喜雄

はじめに

最近の Tr アンプの回路は、差動 1 段増幅プラスエミッター接地増幅あるいは差動 2 段増幅の DC アンプ構成がほとんどで、電圧増幅は初段と次段の計 2 段でなされるのが一般的です（筆者製作フラットアンプ例、図 1）。性能も見かけ上まったく問題ありません（同歪率特性、図 2）。

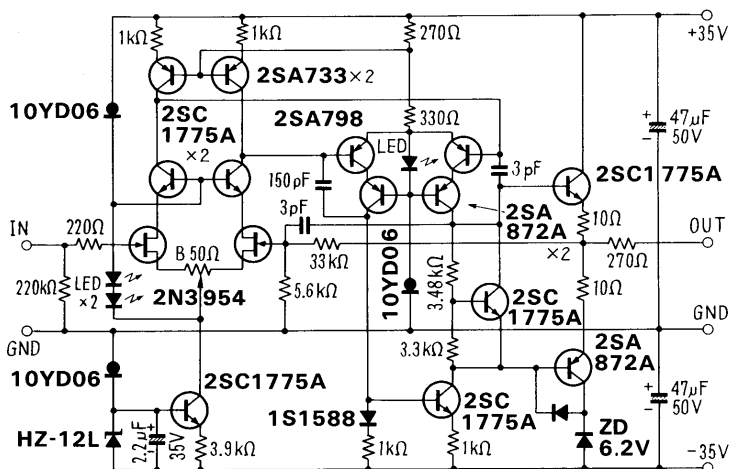
しかし、私は、本来 Tr は電流増幅素子的な使い方が良く、電圧増幅段数も可能な限り抑えるべきであると常々思っていました。そしてその結果として得られる素直な高域特性と安定性によって、より忠実な音楽信号の増幅が保証されと考えています。



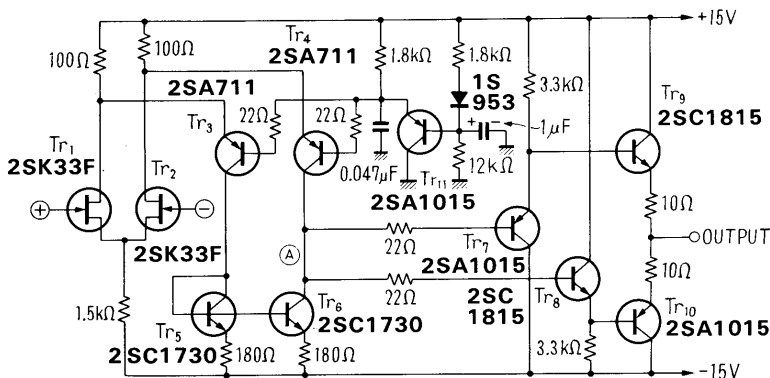
【図 2】 図 1 の歪率特性

真空管式アンプに比べ性能が 2 ケタ以上優れている Tr 式アンプを試聴比較した場合でも、大型スピーカ

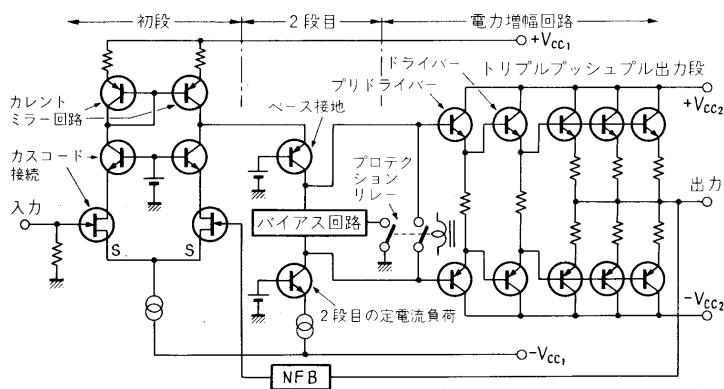
ーなどでの音質の有意差は、意外と Tr 式アンプの偶然とも言える不安定要素に基づく悪さに影響されるこ



【図 1】 差動 2 段増幅フラットアンプ（筆者製作例）



【図 3】 1 段増幅アンプ回路例 「実用電子回路設計ノート」（CQ 出版社）より引用

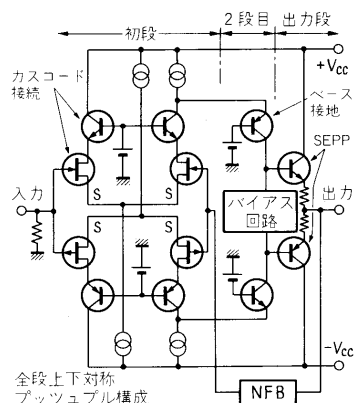


【図4】 ラックス M05 パワーアンプ回路構成 (MJ '84年2月号より引用)

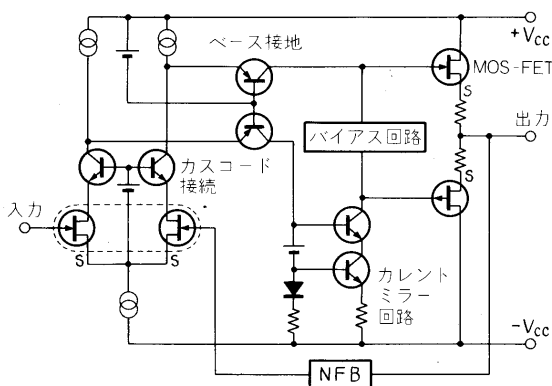
とはよく言われる事です。

本機は、そのような考えのもとに、より忠実な音楽再生を狙って、増幅段数を思い切って1段とした構成とし、また、その良さを見極めるために、良質な信頼性のある部品を採用して製作しました。

目標とした音質は、付帯音を極小にした優しい高域と澄んだ低域でありましたが、コンテストでは確認できなかったようです。



【図5】 ラックス C05 プリアンプ回路構成 (MJ '84年2月号より引用)



【図6】 本機の基本回路構成

基本回路構成

1段増幅アンプについて、そのポイントを基本となる設計の見地から概要を説明します。

1段増幅アンプは見本となる2, 3の例があるものの、必ずしも十分に満足できるものではありません。

図3は初段の T_r の負荷抵抗100 Ω を次段ベース接地 T_r のエミッターに入力する例です。この回路は非常に簡単ではあるものの、初段負荷抵抗値の選択において、裸ゲインの増大と電源電圧利用率向上の相反する課題があります。

1段増幅アンプの設計で最も苦労するのは裸ゲイン確保です。

つまり初段 FET でアンプの全ゲインを稼ぐために、通常の FET の使い方では著しい歪率の増加を招い

てしまいます。

そこで裸ゲインを安定して確保するには次の5つの点が重要となります。

1. 初段 FET の選択 (高 g_m と低 C_{iss} , 低 C_{rss} の兼ね合い)
2. 初段 FET と2段目 T_r 間のゲインロス防止
3. 2段目 T_r の出力抵抗アップ
4. 2段目 T_r の負荷を軽くする
5. DC バランス (ドリフト)

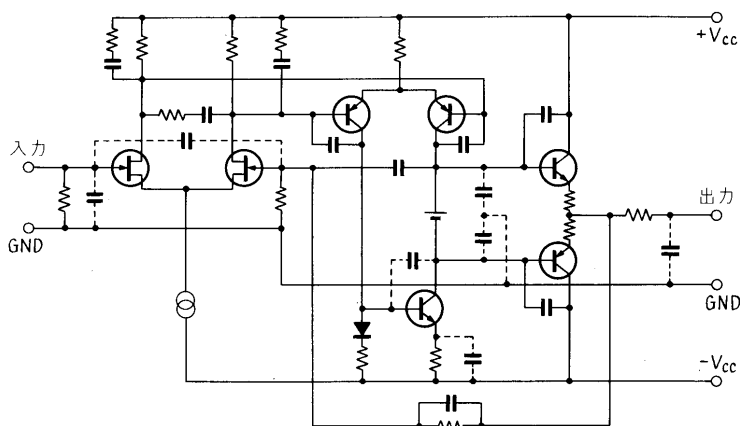
図3の回路では2番目の項目を改善させるべきです。

図4はラックス M05 のパワーアンプの例です。初段差動アンプ出力をカレントミラー合成して、さらに3段ダーリントン出力段の高入力インピーダンスでゲインを稼ぐというのですが、2段目 (= 初段) の動

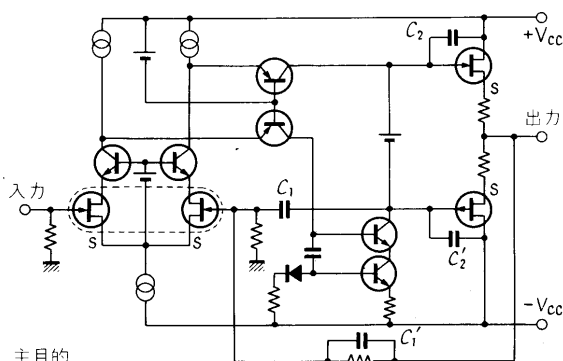
作点変動と定電流負荷とに起因する出力 DC ドリフトを超低域 NFB で対処している (?) 点が気になるところです。

図5は同 C05 プリアンプの例で上下対称プッシュプル合成としています。この回路構成では、イコライザー部において、ローノイズ化のためにイコライザー素子のインピーダンスを低く設定すると終段がエミッター接地1段であるので、ややもすると2段目 T_r の負荷が重くなって低域の歪が多くなりがちであり、初段上下 FET の高 g_m 化が設計のポイントになります。

以上の例を参考にして設計した本機の基本回路が図6で、この回路構成は私が考案したオリジナルなものです。



【図7】 差動2段増幅アンプの高域補償方法



【図8】 1段増幅アンプの高域補償方法

主目的

- ① C_1, C_1' …位相進み補償 ② C_2, C_2' …カットオフ周波数低下

初段差動FETのドレイン電流をそれぞれ定電流負荷で受け、反転した電流を2段目ベース接地のエミッターに注入し、上側電流と下側カレントミラー回路の出力電流を合成して、ソースフォロアー高入力インピーダ

ンス出力 FET で受ける構成です。

本機では、前記5つの重要点をそれぞれ次の工夫で解決しています。

1. 初段 FET に高耐圧 Tr をカスコード接続する
2. 初段 FET 負荷を定電流負荷

とする

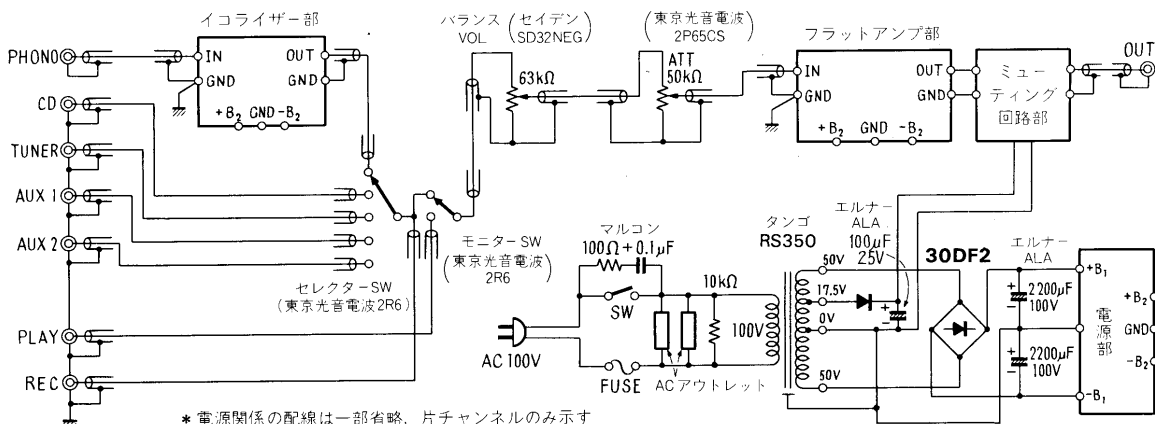
3. カレントミラー回路にベース接地回路を追加接続する
4. 出力段を FET とする
5. 初段 FET に1チップペア FET を用い、温度変動に強いプッシュプル構成とする

特に、2番目と4番目の項目の効果によって、高 g_m の FET (例えば 2SK146) の必要性がなくなったのが大きな特徴です。

次に、1段増幅アンプの高域補償について説明します。本稿の紙数の関係で詳細なデータは割愛しますが、実は前述裸ゲイン確保の課題とともに、ここがもう1つの1段増幅アンプの特徴であり、逆に最も苦勞するところです。

図7に差動2段増幅アンプの一般的高域補償方法を示します。非常に多くのコンデンサの組合せがあり、それぞれの値の選択はほとんどノウハウに近いものです。敢えて一口で言うと、アンプの素性(裸ゲインおよび位相特性)に応じて、順々あるいは繰り返し、

1. 方形波応答(オーバーシュート、リングング、スルーレート)
2. 歪率
3. 入力・出力に接続されるコードとのマッチング



* 電源関係の配線は一部省略、片チャンネルのみ示す

【図9】 本機の全回路図

を確認することと言えるでしょう。

一方、1段増幅アンプではそのシンプルさによって、上手く設計すればスタガー比をとり易くなる大きなメリットがあります。しかし、反面このことは、図8のように高域補償のうちカットオフ周波数変更は1箇所に限られるために、初段FETでゲインを稼ぎすぎて新たなポールが生じると最適高域補償が困難となるという難しさにつながります。初段FETの選択はこの面でも重要と言えます。

本機の高域補償は、初段FETを種々取り替えながら、方形波応答にほとんど無理がでない範囲で歪率の低下を狙って決定し、負荷としてみた場合軽めとなるよう心がけました。

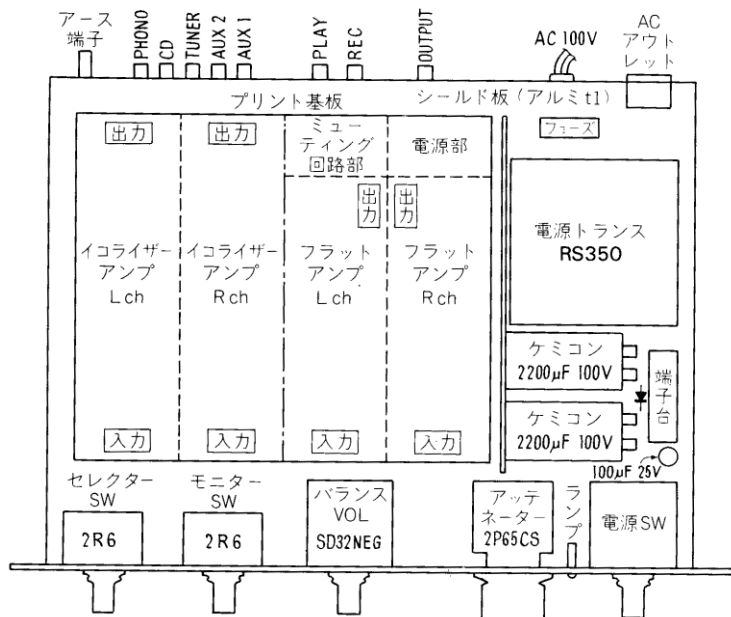
全体構成と配線

図9に全回路図を示します。

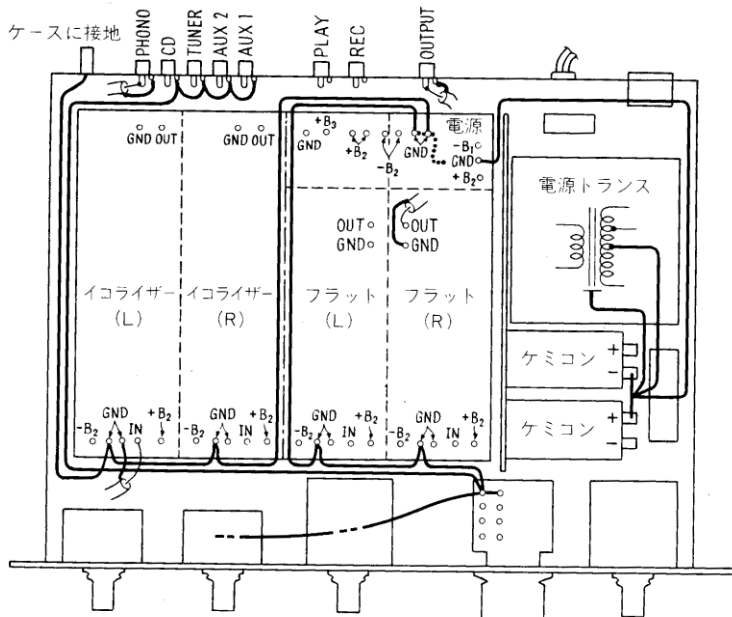
ケースに鈴蘭堂のEL-660 IIを使用した関係で、入出力ピンの種類はケースに合わせました。ツマミ、電源SW、電源ランプ、ACアウトレット等の部品は別売のキットを使用しました。ただし、入出力ピンのみは貧弱（以前カシメ部でガタつくトラブルがあった）なので削り出し金メッキのものを3tのベーク板取付に変更しました。

図9では、イコライザー部、フラットアンプ部、ミューティング回路部、電源部が別のようにになっていますが、実際にはピン端子間の配線を除いてすべて1枚のプリント基板上に構成されています。ただ、プリント基板はサンハヤトのフォトレジスト用品と市販のレタリングツールを使って自作しましたが、本稿の依頼の直前に、きれいなコピーを取らずにベターアース方式の 패턴に変更してしまったことで紹介できないのが残念です。

部品レイアウト(図10参照)も入



【図10】 部品レイアウト



【図11】 アース回りの配線

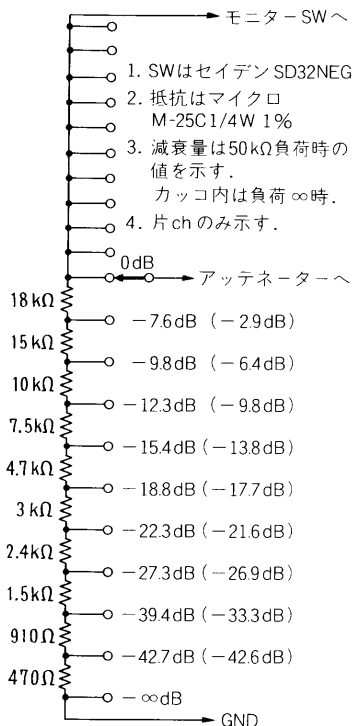
出力を最短距離で配線することから自然と決まりましたが、イコライザー部は入力1系統であるので、入出力方向は前後逆の方が良かったかも知れません。

配線上で重要となるアース回りの配線(図11)は、安定化電源出力端子を基準にして、イコライザー部お

よびフラットアンプ部へ振り分けています。フラットアンプの入力ピン関係シールド線のアースは入力ピン側のみ接続し、他端はフリーとし、同様に、セレクターSW関係シールド線も片側のみアースに接続してあります。ケースへの接地は扱う電圧の最も低いプリント基板のイコライザ

一入力アース端子から行なっています。

配線材にはオーディオテクニカの PCOCC を用いました。電源関係は AT-6131 及び AT-6132 を用い、シ



【図12】 バランス VOL 抵抗値

ールド線は2芯の AT-6134 を1芯として使いました。PCOCC を使ったのは、以前に用いたことのある LC-OFC のギラギラとした音質傾向の反省によるものです。

本機では後述するようにアンプ部電源電圧を $\pm 60V$ と高くしてあり、電源トランスはタンゴのトロイダル型 RS-350(50V-0.35A) を用いました。

トランス2次側の平滑回路は日本インター製ファーストリカバリー・ダイオード 30DF2 (4 pcs) とエルナー製セラファイン ALA 2200 μF / 100V $\times 2$ を使い、スパイクノイズを多く発生するこの部分は増幅部関係と離してケース最右端で端子台を用いて配線をしました。

本機では電源部と増幅部を1tのアルミ板で仕切ったため、整流ダイオードに小容量のコンデンサーを抱

かせる等の必要は全くありませんでした。

セレクター SW およびテープモニター SW には銀合金接点の東京光音電波製 2R6 を、バランスボリュームには接点金メッキ処理のセイデン SD32NEG とマイクロ M-25C(抵抗値は図12)の組合せを、アッテネーターには東京光音電波製 2P65CS (50 k Ω) を用いました。

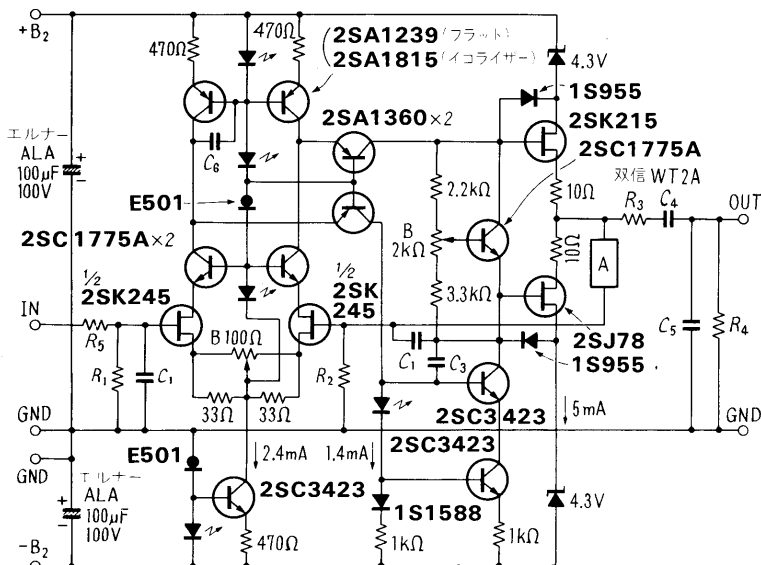
プリント基板回路と使用部品

図13にアンプ部回路を示します。

前述のように1段増幅アンプのポイントは初段差動 FET の選択にあり、代表的なデュアル FET と諸特性を表1に示します。 g_m の大きな 2SK146 は歪率の面で有利(図14)な反面、電極間静電容量が非常に大

FET (メーカー)	g_m (I_D)	C_{iss} (V_{GS})	C_{rss} (V_{DS})	V_{GDS}	備考
2N3954(ソリトン他)	1 m Ω (0.5mA)	3.2pF (20V)	1 pF (20V)	50 V	
2SK245(ソニー)	6 m Ω (0.9mA)		2.4pF (10V)	30 V	
μ PA68H(日電)	7 m Ω (1mA)	15pF (10V)	3 pF (10V)	50 V	入手不可
2SK150(東芝)	12m Ω (3mA)	15pF (10V)	3 pF (10V)	50 V	入手不可
2SK240(東芝)	22m Ω (2mA)	30pF (10V)	6 pF (10V)	40 V	
2SK146(東芝)	40m Ω (5mA)	75pF (10V)	15pF (10V)	40 V	

【表1】 代表的デュアル FET と特性



【図13】 アンプ部回路図

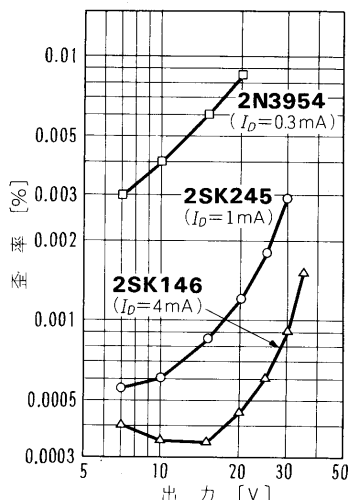
	イコライザー部	フラットアンプ部
	560k Ω 47k Ω 5100pF 510pF 56pF	33k Ω 1.2k Ω 1500pF
R_1	51 k Ω	470 k Ω
R_2	1.2 k Ω	5.6 k Ω
R_3	470 Ω	33 Ω *
R_4	100 k Ω	なし
R_5	なし	1 k Ω *
C_1	100 pF	なし
C_2	なし	2 pF
C_3	5 pF	なし
C_4	6.8 μF	なし
C_5	6200 pF	なし
C_6	なし	39 pF*

1. 指示なき抵抗はリケノーム RMA1/2W1%
2. *印抵抗はマイクロ M-30C1/2W1%
3. 指示なきコンデンサーは双信 SE99 2%
4. LED LT8001P
5. 半固定抵抗器 NEC ネオポット
6. *印は基板裏付け

きな値をとるため、 T_r をカスコード接続しても入力インピーダンスが高いフラットアンプでは、高域補償を強くして方形波応答速度を劣化させざるを得なくなります。

一方、1チップで熱結合で優れている2N3954は g_m があまりにも小さいために、高域補償では余裕を持つものの歪率が T_r 式アンプとしては大きすぎるようです。また、2N3954は0.3mA程度のドレイン電流が動作点として適当ですが、その初段の電流がそのまま終段のドライブ電流となるため、ドライブ能力で不安が残ります。そこで本機では1チップで g_m がほぼ高く、動作点が1mA程度ということから2SK245を使用することにした。最終的な設定電流は初段FETが1mA、2段目 T_r が1.4mAです。

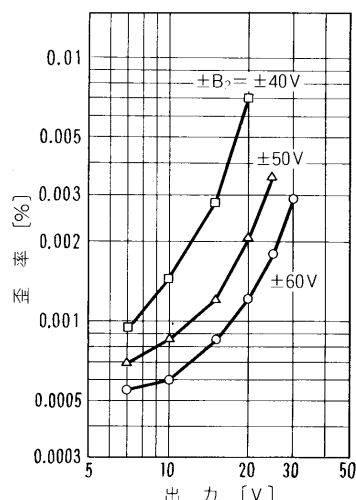
動作電流の設定において、初段FETソース側の定電流回路 T_r および初段の定電流負荷 T_r のベース定



【図14】 初段FETと歪率変化

1. 図13 (イコライザアンプ) にて初段FETと動作電流 I_D を変更した場合の特性
2. 試作実験回路にて測定

電圧設定部にはLED (シャープLT8001P) を用いて、ノイズ発生を抑えています。このLEDはガラス封



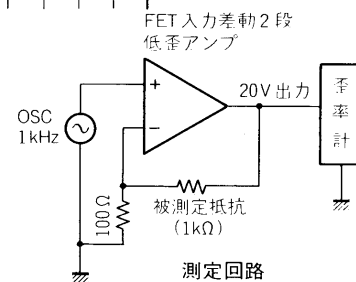
【図15】 電源電圧と歪率変化

1. 図13 (イコライザアンプ) にて電源電圧 $\pm B_2$ のみ変更した場合の特性
2. 試作実験回路にて測定

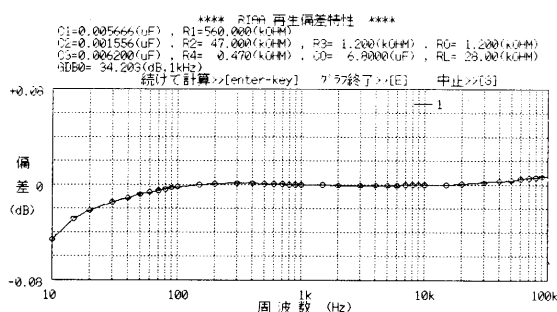
入のダイオードタイプで外観だけ見るといかにも信頼性がありそう(?)です。

抵抗種類 (1/2W)			誤差%	実測値 kohm	歪率%
金属被膜抵抗	アルファ	RCX 1/4W	1.0	0.999	
	進工業	RE55	1.0	0.998	
	マイクロ	M30C	1.0	0.999	
	東京光音電波		1.0	0.998	
	デンケン		0.1	1.000	
			0.5	0.999	
			1.0	1.003	
	東京電音		1.0	0.994	
	多摩電機		1.0	0.998	
	興亜		1.0	1.000	
カーボン被膜抵抗	リケン	RMA	1.0	0.994	
	マイクロ	AM	2.0	1.000	
		SM	5.0	1.017	
	東京光音電波	オーディオ	5.0	0.985	
	メーカー不明品		5.0	0.980	
A & B ソリッド抵抗			5.0	1.035	

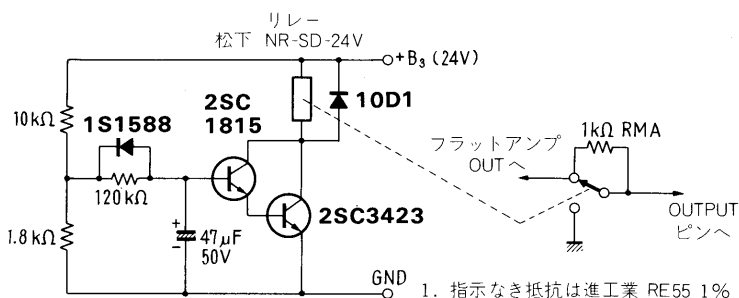
アンプ 残留歪 (100kHz フィルター ON)



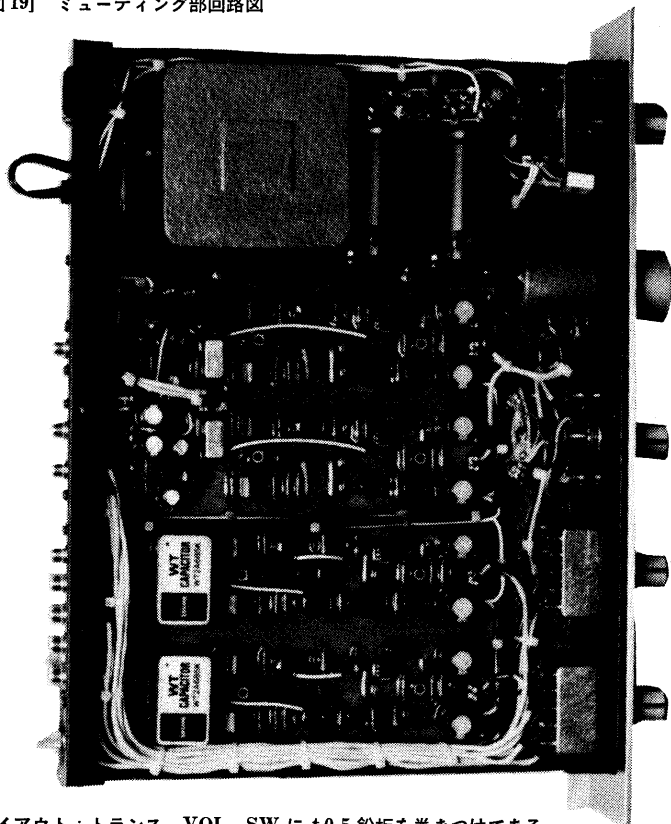
【図16】 抵抗の種類と歪率



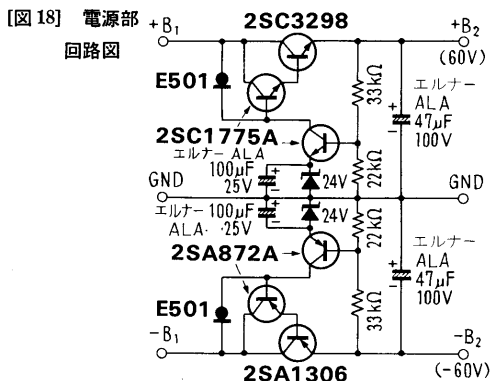
【図17】 RIAA 偏差計算値



【図19】 ミューティング部回路図



レイアウト：トランス，VOL，SW に t0.5 鉛板を巻きつけてある
(天・底板にも貼る)



【図18】 電源部
回路図

終段は MOS-FET コンプリの 2S K215, 2SJ78 を用い、2 段目の負荷を極限まで軽くしています。ここは Tr を 3 段ダーリントンとしてもよいのですが、素子数の増加を防ぐ意味で MOS-FET を使用しました。MOS-FET の動作電流は発熱量から 5 mA としていますが、本機のイコライザー素子定数では 3 mA 程度でよく、5 mA 以上流しても歪率等諸特性はほとんど変化しません。なお、MOS-FET のバラツキは非常に大きくコンプリの選別は不可欠なようです。

ところで、初期の試作段階では電源電圧を $\pm 40V$ として 2 段目ベース接地 Tr に 2SA872A を用いていたのですが、終段に耐圧が 180V と高い MOS-FET を使用することに決定してからは、耐圧 (160V) の高い 2SA1360 は C_{ob} に変更しました。2SA1360 が小さく、出力抵抗も十分に高くとれる上、電源電圧を高く設定して歪率を下げ (図 15)、イコライザー許容入力が高めることができるからです。

抵抗はリケンのリケノーム RMA (炭素皮膜) とマイクロの M-30C (金属皮膜) を使い分けています。抵抗は音質面から使い分けるべきで、RMA は特に音質が良いことで評判が高いのですが、私は結果として高周波特性の良さを必要とする部分に RMA を使い、NFB ループ以外の部

分や NFB 素子には歪の発生が少なく信頼性の高い M-30C を使うというふうに使分けけることにしました。

パーツの中で最も注意を払ったのがこの抵抗であり、実は秋葉原で30種類程の抵抗を買って、その歪を調べてみました。

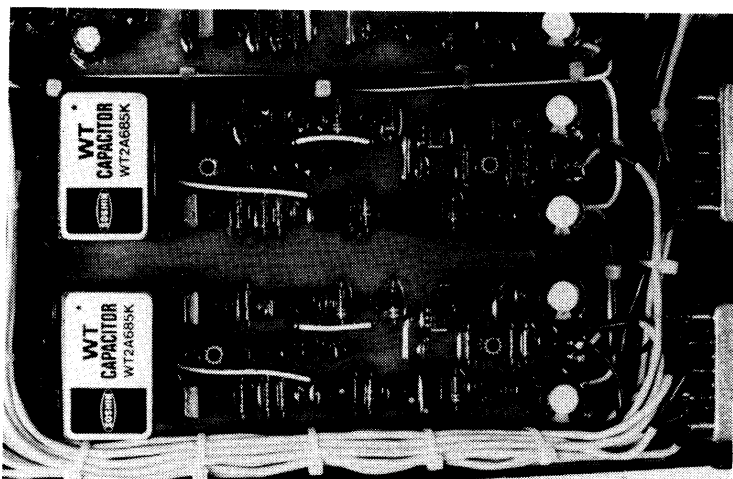
抵抗に印加する電圧が小さい場合はどの抵抗もそれほど差異はないのですが(例 MJ '88年5月号参照)、印加する電圧が大きくなると顕著な違いが出てきます(図16, 筆者測定)。明らかに炭素皮膜系の歪は大きく、特にW数が小さくなるにしたがい増大する傾向にあります。参考までに真空管アンプでしばしば使われる A&B のソリッド抵抗ですがとても使用に耐える歪レベルではありません。

さて、気になるのが音質なのですが、不本意ながら正直なところ、どの抵抗も私のヒアリング装置では有意差は検知できませんでした。これが抵抗を性能面から使い分けただ理由です。

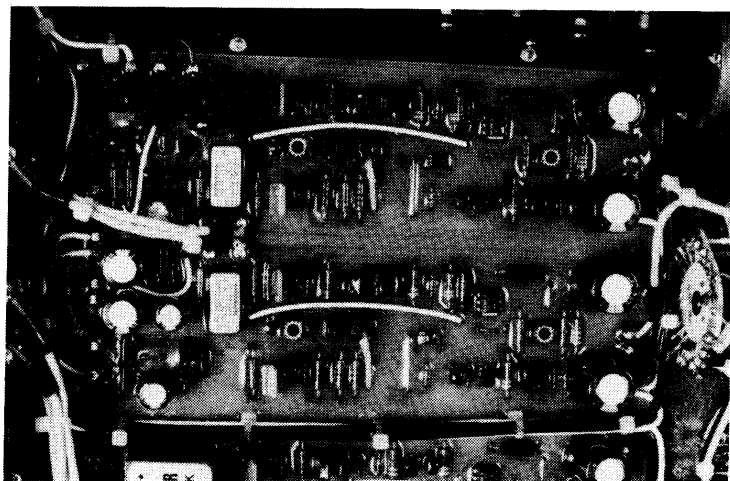
RIAA 素子や高域補償には経時変化が小さく信頼性の高い双信 SE コンデンサー(2%)を容量選別して用いました。SE には1%級のものもありますが、私の実測では誤差は2%級と大差ありませんでした。RIAA 素子の値は筆者制作のパソコンのプログラム計算で偏差 ± 0.01 dB 以内(50Hz-100kHz, 図17)に抑え込んであります。

イコライザーアンプ出力部は双信のポリカーボネイト+ポリプロピレンの WT2A ($6.8\mu\text{F}$) で DC ドリフトをカットし、アンプ部は DC アンプ構成としています。

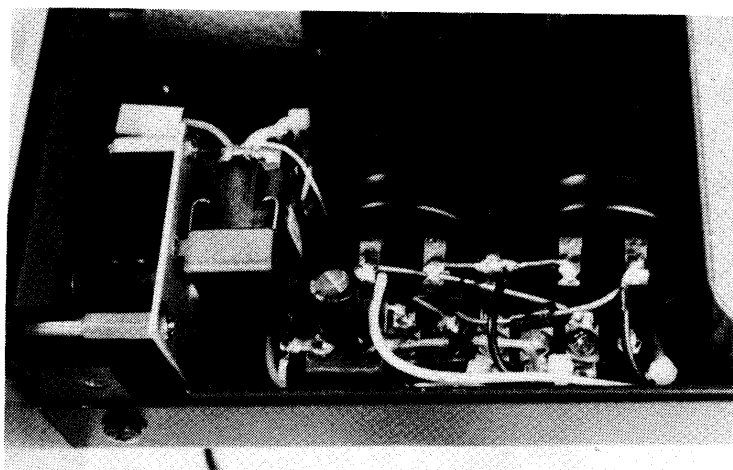
最近では出力コンデンサーを省く目的で、超低域に100%の NFB をかける AC アンプ方式が増えていますが、私の実験ではそのボールと RIAA 低域ボール($3180\mu\text{s}$)との干渉(スタガー比)がなかなか解決で



イコライザーアンプ部：RIAA 偏差は計算・実測によって極小におさえてある



フラットアンプ部：良質なパーツを使用



電源部：端子台を使って配線してある。

きません。通常の正弦波ではほとんどわからないのですが、方形波入力で出力（のこぎり状波形）をクリップさせて、クリップ寸前とクリップ直後の DC 変動を観察すれば、容易にその安定性が確認できます。この理由から、本機（に限らず私のすべてのアンプ）では超低域 100% NFB を使用していません。この点は読者の方にもぜひ確認をお奨めします。

終段 MOS-FET のドレインに挿入してあるツェナーダイオードおよびゲート・ドレイン間の SW 用ダイオードはオーバードライブを防いで出力クリップ時の復帰を速やかにさせるために入れてあり、フィードバックが強く影響するイコライザーアンプの高域で特に効果があります。余分なものは付けたくないのですが、NFB アンプの宿命でしょうか。

本機に限らず私はクリップ時の安定性には歪率以上に気をつかいます。クリップで音質が変化するとすれば、それはかなり次元の低い問題であるからです。しかし、もともとクリッ

プしないにこしたことはなく、その意味で本機のイコライザー部は異常とも言える許容入力を確保してあります。

図 18 に電源部回路を示します。誤差増幅部の負荷に定電流ダイオードを使用している点を除けば、きわめてオーソドックスな構成です。定電流ダイオードは高周波特性があまり良くないのですが、本機の場合まったく問題なく、高域補償も必要ありませんでした。ケミコンはアンプ部とともに ALA セラファインを用い、ツェナーダイオードはローノイズの HZ-24L を使用しました。

図 19 にミューティング部の回路を示します。CR の時定数と金属シール型のリレー（松下 NR-SD-24 V）駆動による簡単なものです。

本機の特性

図 20、図 21 にチャンネルセパレーションを示します。入力ショートでイコライザー部が 83dB 以上 (20

Hz~20 kHz)、フラットアンプ部が 86dB 以上とれており問題ありません。いずれも入力オープンでやや悪化しているのは、入力回りの配線で Lch と Rch が接近していることによります。

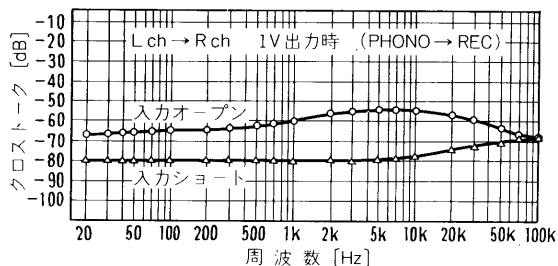
本機の残留ノイズ（補正なし）はイコライザー部が、

入力オープン	Lch	0.12 mV
	Rch	0.13 mV
入力ショート	Lch	0.035 mV
	Rch	0.035 mV

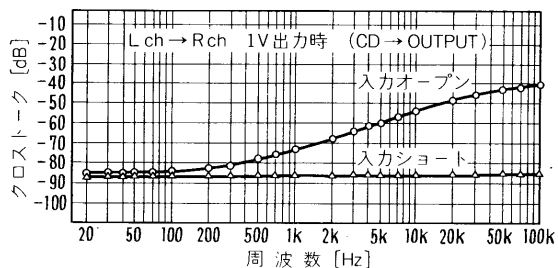
フラットアンプ部が、

入力オープン	Lch	0.055 mV
	Rch	0.055 mV
入力ショート	Lch	0.044 mV
	Rch	0.044 mV

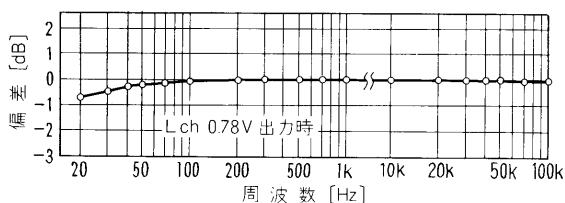
でした。本機では高域補償コンデンサの容量を小さくする目的で、NFB 素子インピーダンスをいたずらに低く設定することを避けたため、残留ノイズはそこそこの値になりました。しかし、実用上はカートリッジのインピーダンスあるいはアッテネーターのインピーダンスがノイズ



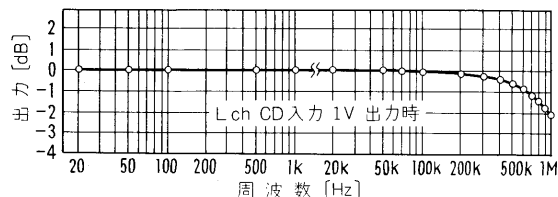
【図 20】 イコライザーアンプクロストーク特性



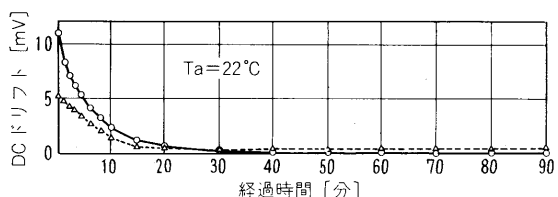
【図 21】 フラットアンプクロストーク特性



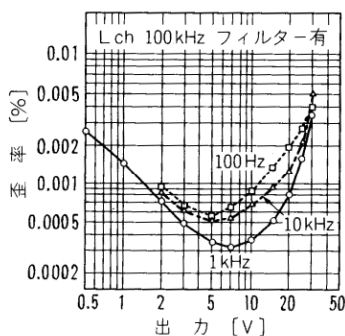
【図 22】 RIAA 偏差



【図 25】 フラットアンプ周波数特性



【図 26】 フラットアンプ部 DC ドリフト



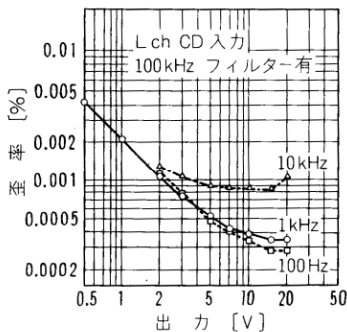
【図23】 イコライザーアンプ部歪率特性
量を左右するため、アンプとしてはまったく問題ないレベルです。

図22にRIAA偏差実測値を示します。RIAA偏差は入力に筆者製作のパワーアンプ駆動逆RIAA素子を入れて測定しました。イコライザー出力コンデンサー(6.8 μ F)の容量不足によって、100Hz以下でやや偏差がありますが、20Hzで-1dB以内に入っています。100Hz以上では測定誤差内です。

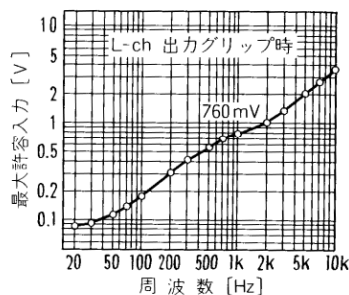
図23にイコライザーアンプ部の歪率特性を、図24にフラットアンプ部の歪率特性を示します。いずれも筆者製作の低歪発振器と多段フィルターからなる歪率計で測定しました。

特性は、イコライザー部は控えめの裸ゲインとしたことによってソフトディストーションタイプに仕上がっており(ただし、10数年前の歪率計ではハードディストーションタイプかも知れませんが)、フラットアンプ部はほとんどが残留ノイズです。

図25にフラットアンプ部の周波数特性を示します。-1dBが650kHz、測定はしていませんが-3dBが1.5MHz程度と予想され、非常に広帯域となっております。これも1段増幅の効用でしょう。ただし、本機に接続される機器との間は漏れの少ないシールド線を用いないとその特性を発揮できないばかりか、逆にトラブルの発生を引き起こし易いのので注意が必要です。



【図24】 フラットアンプ部歪率特性



【図27】 イコライザーアンプ部最大許容入力電圧

<フォノイコライザー部>	・入力感度(許容入力) ・入力インピーダンス ・定格出力 ・出力インピーダンス	2.0mV(760mV), 1kHz 51k Ω // 100pF 100mV, 1kHz 470 Ω
<フラットアンプ部>	・入力感度 ・入力インピーダンス ・定格出力(最大出力) ・出力インピーダンス	100mV 28k Ω 690mV(30V) 33 Ω

【表2】 定格

帯域	ソース	評価
中域～高域	バイオリン タルティエニ ソナタ短調 ERX2410	・透明感 優 ・up bow, down bowへの節度 良 ・羊の腸のタッチ 可 ・高～超高域でやや粉っぽさ有り
	オペラ トスカ EAC87013-4	・テノール 優(男の色気有り) ・アルト 優 ・ソプラノ 良
	オーケストラ A 同上	・トランペット 優(きれいに抜ける、オペラ座のホール感有り) ・金管全体の広がり、Volume やや不足
	オーケストラ B Brahms sym No. 4 E35G-21006	・チェロ、コントラ 優 ・有り余る透明感有り ・定位感 優 ・チェロのさわり(演奏ミス)はgood ・Poisonが不足 ・ビオラ、ファゴットにやや粉っぽさ有り
低域～中域	チェロ	・まじめな感じ 1hr以内なら優
	J.S.Bach MA-5023-5025	・透明感 優 ・量感不足だが伸び伸びしている ・ややかため
	ピアノ、ベース RJL-6013	・ベースの張り 優の上 ・ハイハットがややシャリシャリした感じ
	バリトン VIC2117	・非常によい ・欲を言えば情念が漂わない
	オルガン A 70PC1	・ボアユメーン 優の上
	オルガン B VDC1325	・きれい ・色どりがすばらしい(錦絵) ・古い教会のホール感(馬舎の古びた感じ)が不足

【表3】 本機の音質評価(友人H氏評)