

無帰還ディスクリート
MC,MM 型対応 CR 型イコライザーアンプ
さらなるノイズ低減の探求
レポート



2021年10月5日

1. はじめに

2017年6月号、7月号「MC,MM型対応CR型イコライザーアンプ」の回路でゲインが不足したのは、バッファを追加したときの実装ミスが原因であった。ミスを正すことでゲイン不足が解消された。また、安定化電源の導入でノイズが大幅低減・改善された。

しかしながら、まだ、残留ノイズがある。このノイズの原因が何処にあるかを探る為、バッテリードライブのイコライザーを作成して問題点を探り、対策を講じることにした。

2021年1月11日

2. 基本方針

まず、理想的な電源に近いバッテリー駆動でノイズレベルを確認し、その状態に近づける様に AC 電源駆動の対策を講じることにする。

3. バッテリー駆動版イコライザーの作成

3.1. 検討

MJ無線と実験 2017 年 6 月号、7 月号「MC, MM 型対応 CR 型イコライザーアンプ」のアンプのゲインは、57.3dB に設定されているが、MJ無線と実験 2011 年 3 月号、4 月号の「MM, MC カートリッジ対応プリアンプの作成」では、60.3dB に設定されている。ゲイン配分の違いを下記に書き出した。

	初段	CR 型 RIAA	初段+RIAA	2 段目	トータル
2017 年 6 月号、7 月号	34.3dB	約-20dB	14.3dB (-6dB)	約 43dB	57.3dB (37dB)
2011 年 3 月号、4 月号	40dB (17.9dB)	-16.7dB	23.3dB (1.2dB)	約 37dB	60.3dB (38.2dB)

括弧内は MM モード時

~~この表から、初段+RIAA の回路定数を 2011 年 3 月号、4 月号の値を、2 段目を 2017 年 6 月号、7 月号の回路定数とすると 66.3dB となり、2017 年 6 月号、7 月号と比較して 9dB ものゲイン増を得られることになる。~~

~~そこで、2017 年 6 月号、7 月号の回路の初段+RIAA を 2011 年 3 月号、4 月号の回路定数として新たにイコライザーを作成することにした。~~

2017 年 6 月号、7 月号と同じ回路を作っても脳が無いので、全体のゲイン配分を 2011 年 3 月号、4 月号と同じ配分にする回路構成とした。初段+RIAA の回路定数を 2011 年 3 月号、4 月号の値とし、2 段目以降は 2017 年 6 月号、7 月号の回路構成としつつ、ゲインを 2011 年 3 月号、4 月号の 37dB とした回路とする。

3.2. 設計

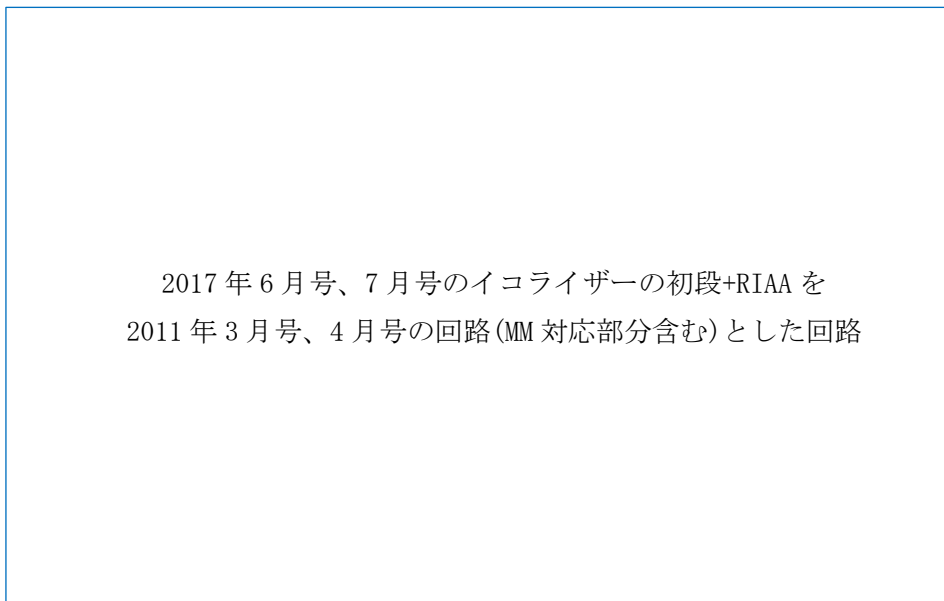
(1) イコライザー

a) イコライザーの回路

先に述べたように、2017年6月号、7月号のイコライザーの2段目のゲインを2011年3月号、4月号と同じ37dBに設定する為、2段目の10K Ω を6.8K Ω に変更する。初段+RIAAは、2011年3月号、4月号の回路とするので同じゲイン配分40dBとなる。

電源を7.5Vリチウムイオン電池(公称値は7.2V)を正負それぞれ3個を使用したバッテリー駆動とするため、公称値は22.5V(21.6V)であるが、バッテリーのフル充電状態では、24V~25Vになる。

2段目の2SA992/2SC1845の代わりに、手持ちの2SA872A/2SC1775Aを使用することにする。また、終段バッファのトランジスタは、2011年3月号、4月号の回路に従い、2SC3423-Yを使用する。



問題は、初段の2SK117-GR。2SK117-GRのIDSSの範囲が2.6mA~6.5mAなので、IDSSが4mA~5mA以上の素子を選別できる割合は少ない。現在、2SK117-GRは、とても高価で、以前の様に多めに買って選別なんてことが出来ない。代替素子の使用を考えると、ミニトランジスタの2SK184-GRか、チップの2SK209-GR。2インタイプ(ソースコモン)の2SK2145-GRもデータシート上は同じスペック。2SK184-GRならまだそれ程高価ではないので、いくつか購入して選別できそう。2SK209は、2SK209-BLしか手に入らない。あるパーツ販売サイトは、2SK209-GR、3000個以上、納期52日なんて書いてある。

あれこれ考えていたが、お金をかけないで作りたいので、以前に何度かチャレンジして取り外した基板から2SK117-GRを外して使うことにした。選別しているので、手間も省ける。ただ、劣化していなければよいが。また、今使用している基板は、今回の取り組みに失敗した時、元に戻せるようにしておきたい。

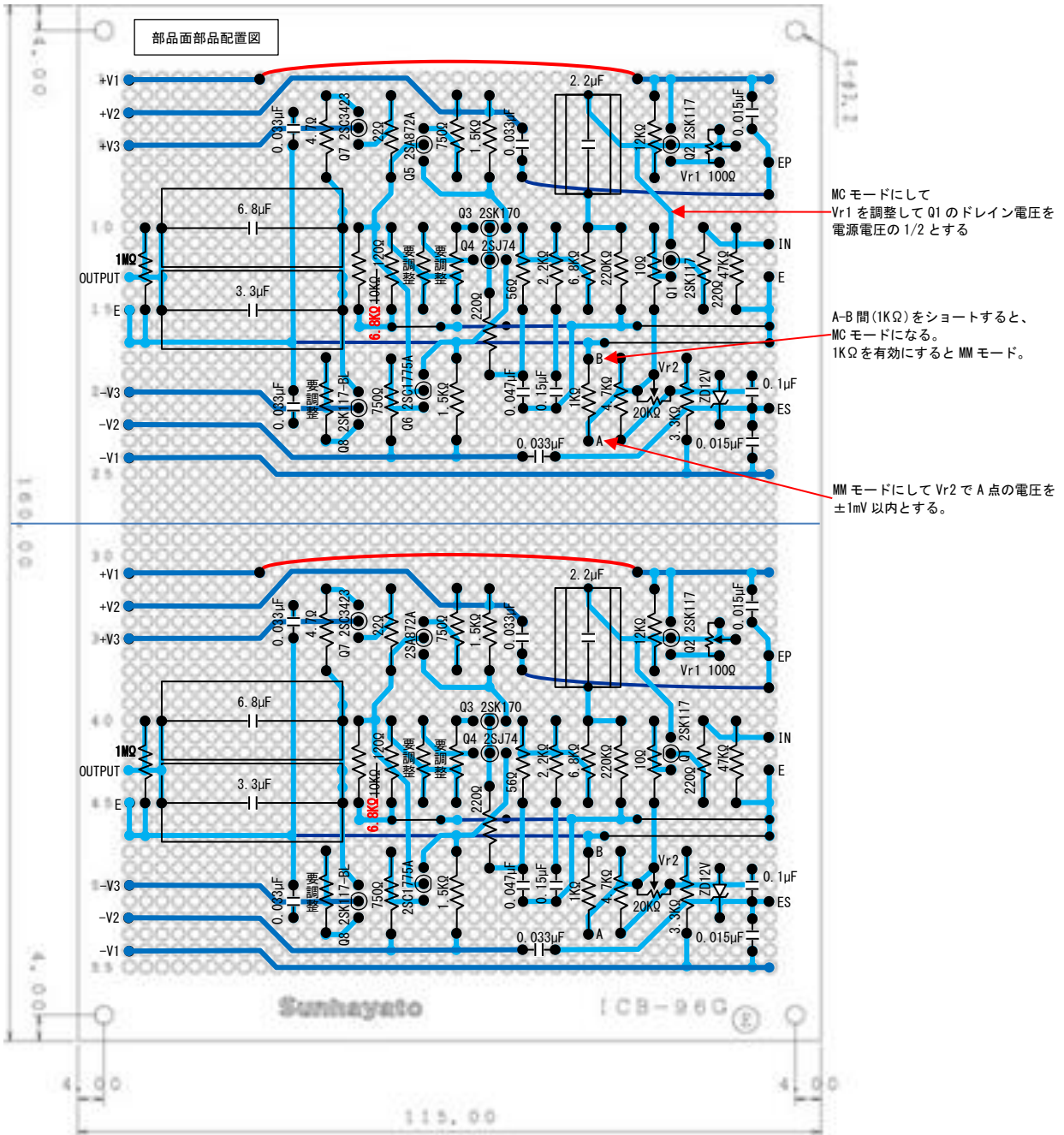
幸い2SK170-GR/2SJ74-GRは、IDSS=5.4mAのペア4組が手持ちである。ただ、VGSを測定して選別し、素子を揃えるなんてことはできない。調整でなんとかしよう。

安井氏のアンプは半導体素子の選別が肝なのでちょっと辛い。

10 μ F(6.8 μ F+3.3 μ F)の積層フィルムコンデンサも以前の基板から取り外して使用する。2.2 μ Fは、以前の基板ではMKS2を使っていたが、積層フィルムコンデンサは、手持ちで持っている。

b) イコライザー基板のパターン図

基板は、現行のパターンを踏襲する。



3.3. 制作

(1) 素子の測定

いくつかの素子を測定して選別することはできないが、理想に少しでも近い組み合わせやソース抵抗の値を決定することはできる。

a) 初段 Q1 用 2SK117-GR の測定

以前使用したものを取り外しただけあって、とてもよく揃っている。

No	IDSS	ID(RS=10Ω)	ID(RS=4.7Ω)
1	5.13mA	4.37mA	4.75mA
2	5.16mA	4.37mA	4.74mA

b) 初段 Q2 用 2SK117-BL の測定

こちらは、新品の 2SK117-BL を測定。

No	IDSS
1	6.31mA
2	6.34mA

c) 2 段目 2SK170-GR/2SJ74-GR のソース抵抗

もう今は、ネット上でコンプリメントペアは入手できない。しかし、自分で測定して揃えるなんてお金がいくらあっても足りない。手持ちの 4 ペアを活用する。

ID=4mA にした時の VGS を測定して RS を決める。

No	2SK170-GR				2SJ74-GR			
	IDSS	ID=4mA 時 RS	採用 RS	採用 RS 時 ID	IDSS	ID=4mA 時 RS	採用 RS	採用 RS 時 ID
1	5.47mA	12.3Ω	12Ω	4.04mA	5.09mA	8.5Ω	8.2Ω 18Ω//15Ω で測定	4.02mA
2	5.42mA	12.1Ω	12Ω	3.99mA	4.99mA	7.0Ω	6.8Ω	4.14mA
							7.5Ω 15Ω//15Ω で測定	4.05mA
							8.2Ω 18Ω//15Ω で測定	3.96mA
3	5.38mA	11.8Ω	12Ω	3.98mA	5.13mA	8.1Ω	8.2Ω 18Ω//15Ω で測定	3.99mA
			11Ω	4.07mA				
4	5.44mA	12.1Ω	12Ω	4.03mA	5.19mA	8.6Ω	8.2Ω 18Ω//15Ω で測定	4.03mA

測定の結果、No. 1 のペアと No. 4 のペアを採用することにした。

d) バッファ用 2SK117-BL のソース抵抗

No	IDSS	ID	RS
1	8.66mA	6.00mA	24Ω
2	8.68mA	6.00mA	24Ω

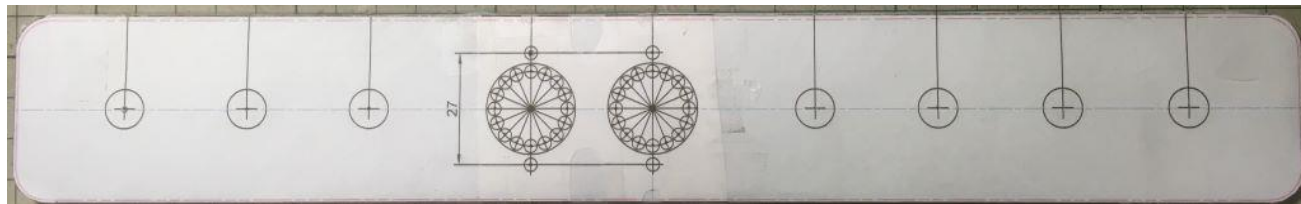
e) その他の素子

Q5, Q6 には、2SA995/2SC1845 の代替として、手持ちの 2SA872A/2SC1775A を使用する。また、Q7 の 2SC1845 の代替に MJ 無線と実験 2011 年 3 月号の「MM, MC カートリッジ対応プリアンプの作成」で使用されている 2SC3423-Y を使用する。

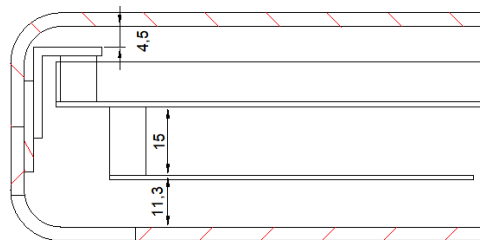
(2) 筐体加工

現状のサブシステムの DAC は、MJ 無線と実験 2012 年 6 月号、7 月号に掲載された DC アンプシリーズ No. 220 電流伝送 D/A コンバーターである。サブシステムの DAC も 6P1 を用いた MJ 無線と実験 2019 年 12 月号、2020 年 1 月号の No. 268 「バッテリードライブ アナログ&デジタル再生システム」にしようと思っている。パワー IVC も電圧入力に改造するので、現状のサブシステム DAC を一足先に引退させ、その筐体 UC32-5-22 を流用する。

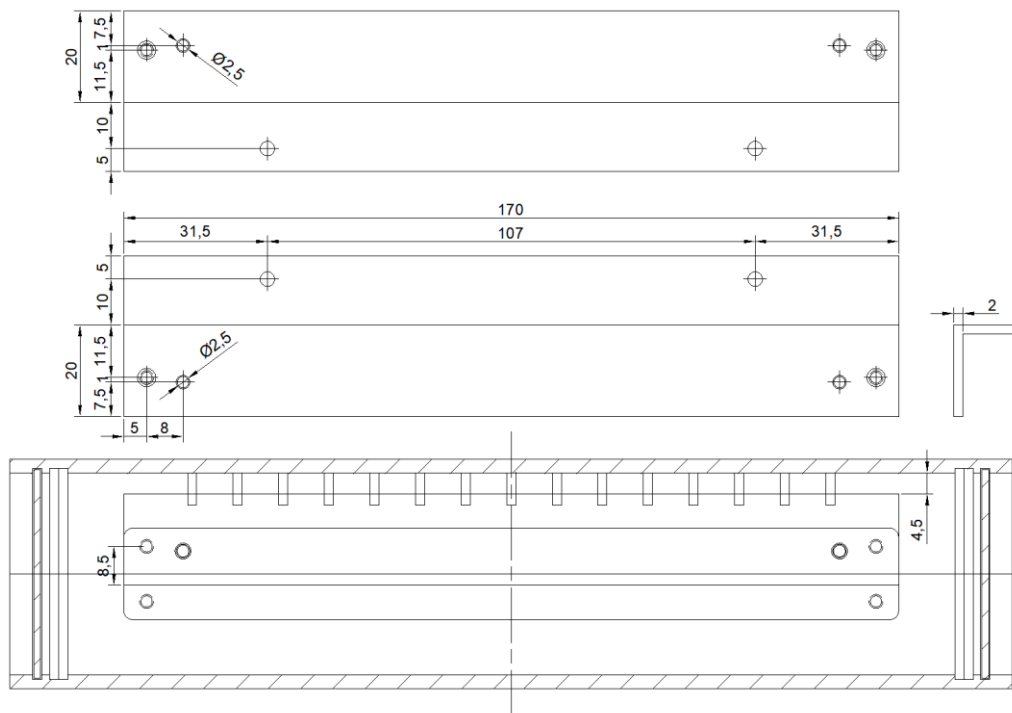
まず、リアパネルをイコライザー用に変更する。1.5t のアルミ板を使ってリアパネルを切り出した。四隅の R を削り出すなど、成形するのに結構手間がかかる。1 日では終わらない。パネルがテカテカなので、240 番の紙やすりで横方向にヘアラインを入れ、1000 番の紙やすりで仕上げた。



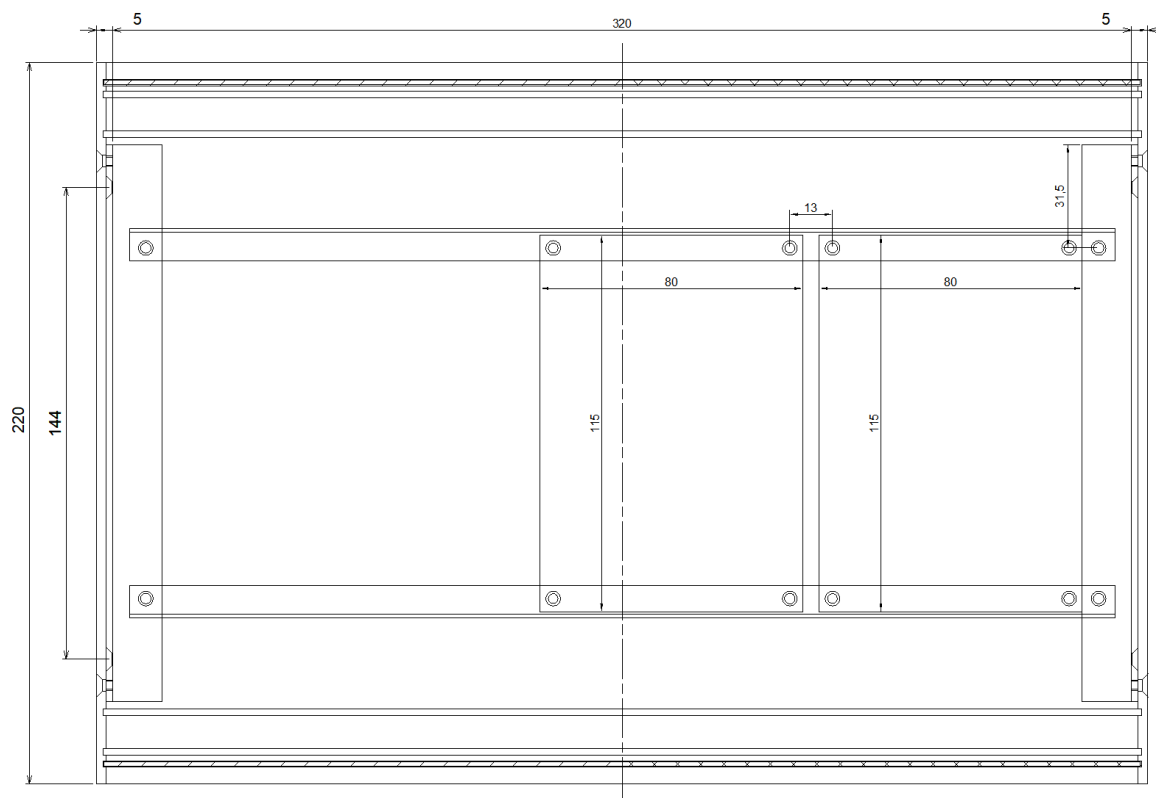
次に、基板を吊り下げ式で取り付ける為、10mm×10mm のアルミ L アンクルとその取付金具を作成。10mm のスペーサーでアンクルを吊り下げて、そのアンクルから 15mm のスペーサーで基板を吊り下げる。



取付金具は、次の寸法で作成した。φ2.5mmの穴は、タップをたてて、筐体の取付金具で固定できるように加工した。



内部の配置を下図に示す。

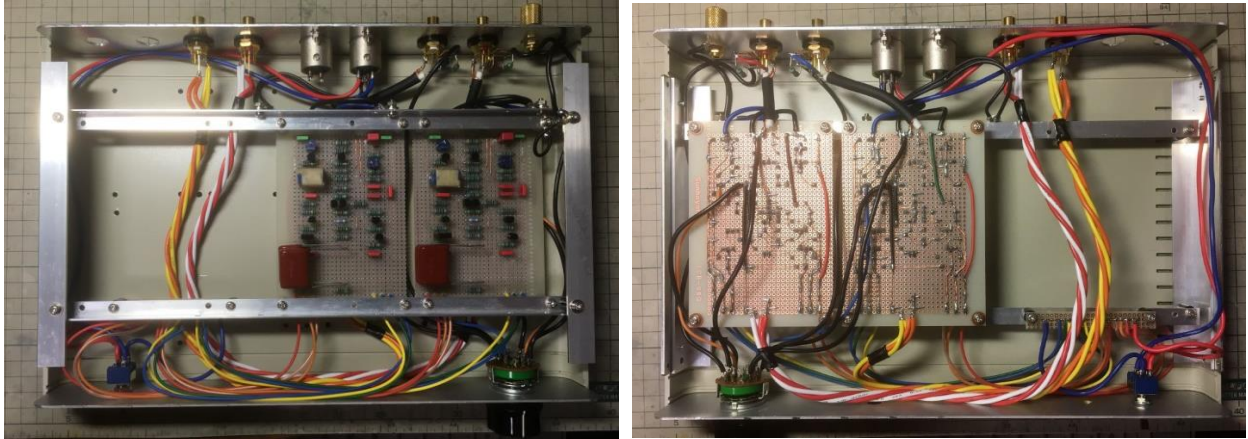


(3) イコライザー基板の作成と筐体への組み込み

イコライザー基板を作成し、筐体に組み込み込んだ。出力の結合コンデンサは、SHIZUKI の積層型メタライズドフィルムコンデンサ 4.7 μ F/100V をパラ接続して組み込んでみた。足をカットしたくなかったので、横に寝せている。(その後、箔振動抑制対策を施したシーメンス MKH に交換)

出力は、スターカッド線にしてみた。ただ、ネジって擦っただけだが、これでいいのかな？。

入力抵抗は、MC カートリッジ用は 300 Ω に固定。MM モード時は、オープン(入力抵抗 47k Ω)。



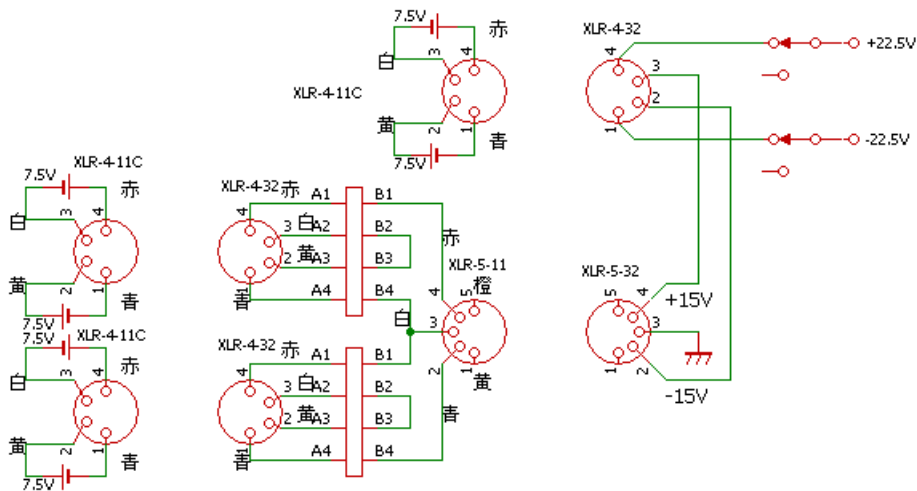
(4) バッテリーチェック(電源 LED)

本機は評価用なので、バッテリーチェック(電源 LED)は省略した。

(5) バッテリー電源の準備

電源は、7.5V(公称値は 7.2V)のリチウムイオン電池 3 個を正負 2 組、合計 6 個使用して、 $\pm 22.5V$ を作り電源とした。フル充電した状態では 8.1V \sim 8.2V あるので、Max 24.6V 程度になった。

なお、電源用のキャノンコネクタを 5P と 2P の組み合わせから 5P と 4P の組み合わせに変更した。5P の方は、先に作成した MC ヘッドアンプと共用する。4P の方も他の機器用のものをそのまま流用できるので都合が良い。



3.4. 考察

本機の出力を2017年6月号、7月号のイコライザーアンプ筐体に組み込んだ2018年11月号、12月号のコントロールアンプで受けて確認を行った。

バッテリードライブだけあってノイズは極小。ポリニーのポロネーズ集を聞いた。強烈なピアノアタック音が濁りなく再生され、すばらしい。ただ、ゲインを小さくしすぎか、または、ノイズが無いからだろうか、2017年6月号、7月号のイコライザーと聞き比べると、音量が上がらなく、音楽に躍動感が無い感じがする。また、RIAAの結合コンデンサが2.2 μ Fだからだろうか、3.3 μ Fの2017年6月号、7月号のイコライザーと聞き比べると、低域が出ないように感じられた。つまり、2017年6月号、7月号のイコライザーの方が、残留ノイズがあるものの音が良い。毎回感じるが、安井式アンプは難しい。

本機を作成して確認できたことは、イコライザーが外来ノイズを拾っているのではなく、AC電源で駆動している2017年6月号、7月号のイコライザーが筐体内のノイズを拾っていることだ。この切り分けができたのだ。次は、バッテリードライブのレベルまでのノイズ低減を目標に掲げ、この目標に少しでも近づくように対策を行う。

4. AC 版 MC,MM 型対応 CR 型イコライザーアンプのノイズ低減への取り組み

4.1. 改善取り組み内容

(1) ミューティングリレー回路用電源、リレー回路を無効にして確認

リレー駆動の電源に対して電源ノイズ対策を施していない。従って、ノイズ発生源がリレー駆動の電源であるという仮定をたてた。この仮定が正しいかを確認する為に、出力ミューティングのリレー駆動回路用の整流回路を外すのと、出力へのリレー結線を外してみた。

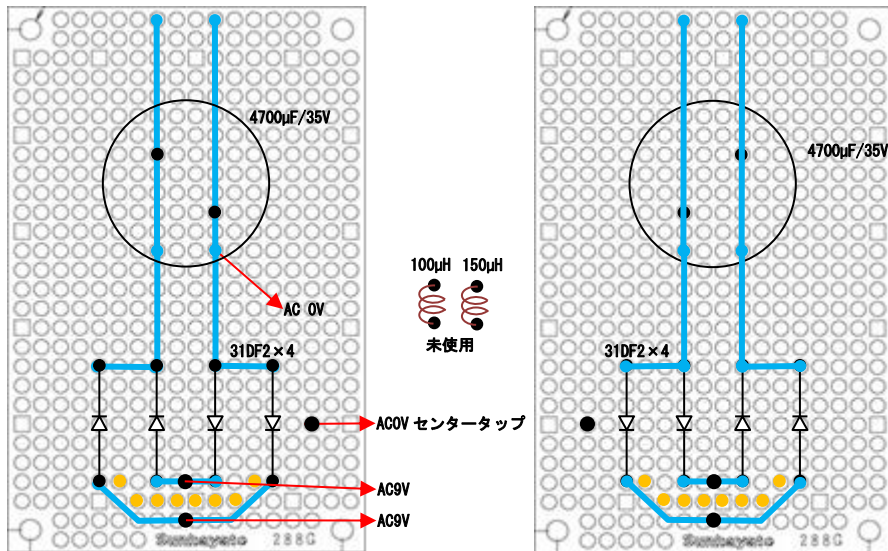
しかし、ノイズ(ブーという 50Hz のハム音)は無くならなかった。しかも、イコライザーだけではなく、コントロールアンプ単独にしても小さい音だが聞こえる。しかも、ボリュームの位置に関係なく一定の大きさだ。ハム音の原因は、ミューティング回路やその電源ではない。

(2) トランスを交換してみる

次の発生源として考えられるのは、トランスだ。北村機電の PT-0023 というトランスを使っているが、このトランスに静電シールドは施されておらず、コアのアースもない。ちょっと大変だが、これを交換してみることにした。ただ、北村機電の PT-0023 は、25.5V-0V-25.5V が 2 回路と、17.5V-0V-17.5V が 1 回路の仕様なので、左右独立の整流回路と安定化電源回路としているが、交換するトランスは、以前フェニックスに特注した 25V-0V-25V 0.5A 1 回路と 9V-0V-9V 0.25A が 1 回路のトランス。従って、左右独立供給は諦め、1 つの整流回路と安定化電源回路で左右両 ch への電源供給する様に変更した。トランスを交換したところ、ノイズ(ブーという 50Hz のハム音)が消え去った。ノイズの発生源はトランスだった。

(3) ミューティングリレー用整流・平滑回路の再接続

再び、リレー用整流・平滑回路を接続してみた。LR によるノイズ除去回路を入れるべきだが、まずは、無しでどのようになるか確認を行った。但し、9V-0V-9V なので、センタータップは使用せず、18V をブリッジ整流する様に変更している。ノイズ除去用の LR を入れなくとも、ノイズ増大はなかった。



(4) 回路状態確認

a) 電源ランプ

電源ランプのミヤマの MS-720F-1-R-N-U の白熱ランプの電流を測定。電流制限抵抗 (1.2K Ω と 470 Ω のパラ 338 Ω) の電圧降下 (25.07-9.67) で除すと 46mA。白熱ランプの規格は、12V 50mA なので問題ないが、だいぶ明るく光って見える。白熱球を長持ちさせるためにちょっと暗くなくても良いので電流値を落としたい。以前は、トランスの端子電圧が 17.5V-0V-17.5V で中間タップを使用した 2 本のダイオードでの整流だったが、新たなトランスでは、18V で 4 本のダイオードでブリッジ整流である。僅かな電圧の違いのはずだが、トランス変更前に白熱ランプに流していた電流は 40mA だった。

そこで、1.2K Ω と 470 Ω のパラ 338 Ω の 1.2K Ω を外して 470 Ω だけにしてみたところ、 $(24.75V-7.01V) \div 470\Omega = 37.9mA$ となった。430 Ω にすれば、40mA 程度になるはずだが、これ以上、突き詰めることもないので、この電流値に決定することにした。

b) 安定化電源

パワートランジスタが熱くなるので、放熱器を装着した。

電源を左右独立 2 系統から 1 系統に統合したので、安定化電源の過電流検出回路の 2.2 Ω で電圧降下を測定し、消費電流を計算してみた。

プラス側 2.2 Ω の両端電圧	23.80V 23.62V	→	81.8mA (36.4mA)
マイナス側 2.2 Ω の両端電圧	-23.63V -23.83V	→	90.9mA (40.9mA)

括弧内は、トランス変更前の片 ch の消費電流。

c) ミューティング/パススルーモード

電源 off 時やコントロールアンプをパススルーするダイレクト接続ボタンの操作で比較的大きいノイズ音が発生する。ただ、サブシステムの 2017 年 6 月号、7 月号の「Nutube バッテリードライブハイブリッドパワー IVC」を電圧伝送に変更したアンプや 300B アンプに接続した状態で電源 off やパススルーボタンを操作してもノイズ音は全く発生しない。従って、本機のどこかが悪いのではなく、電圧伝送化した DC アンプシリーズ No. 262 「Nutube バッテリードライブハイブリッドパワー IVC」のミッドパワー版固有の問題と判断した。

d) MC/MM切り替え

MC/MM 切り替え時にノイズが発生する。イコライザーの半固定抵抗 20K Ω での調整を行って MM 時に回路図の A 点が 0V になるように調整実施したところ問題が解消した。

4.2. 2009 年から 2021 年までの取り組みの総括

AC 電源で駆動されている本機、MJ 無線と実験 2017 年 6 月号、7 月号「MM, MC 型対応 CR 型イコライザーアンプ」+2018 年 11 月号、12 月号「無帰還ディスクリート コントロールアンプ」のノイズは、バッテリー駆動と同等レベルであり、全く問題ない。

イコライザーのゲインが得られなかった原因

イコライザーアンプのゲインが不足したのは、それまで実装していなかったバッファ部分を追加した際のパターンの変更ミスが原因だが、その前のバッファを付けていなかったときの状態も問題だった。バッファを付けなかったのは、ボリュームで受けた後、現状コントロールアンプで受けている部分だが、バッファだったので、不要と思い実装していなかったのだが、50K Ω のボリューム負荷ではインピーダンスが小さすぎたのだろう。そこを理解していなかった。高入力インピーダンスのバッファを組み込まなかったため、音が小さくなっていた。

イコライザーの「ザー」というノイズの除去について

MJ 無線と実験誌に発表された簡易安定化電源では AC に伝番してくるノイズが取り切れず、イコライザーがそのノイズを拾って増幅してしまう。この為、「ザー」という大きな雑音となって現れる。AC 電源はノイズだらけなのだ。だから、安井氏は、このノイズを除去するのに安井氏は抵抗に銅箔を巻き付けたり、AC にラインフィルターを入れて対策している。本機は、長期間に渡ってこの「ザー」という雑音から解放されずにいたが、今回の取り組みで安定化電源によるノイズ除去が効果的であることが実証できた。安井氏は、誤差増幅器による NFB 型の安定化電源を扱いが難しいとして嫌っているが、私はこの安定化電源による対策が最善の方法だと思う。

イコライザー/コントロールアンプ全体の「ブー」というハム音ノイズ対策

「ブー」というハム音の発生原因は、トランスであった。R コアの特許を持つ北村電機の R コアトランスを使用していたのだが、交換したトランスは、同じ R コアではあるがフェニックスの低リーケージフラックスのトランスの設計・製造製造技術によるところが大きいと思われる。安井氏は、トランスに銅箔を巻き付けてフラックス対策をしているが、そんな苦勞無しに、フェニックスの R コアトランスに交換しただけで、ノイズがピタッと止まった。すばらしい製品だ。

これまで 2009 年から始めた MC, MM 型対応 CR 型イコライザーアンプが 2021 年になってやっと完成の域に達した。長かった。

4.3. ヒアリング

リファレンスとしているいつものカラヤンのチャイコフスキーの悲愴とベームのベートーベン交響曲第7番をまず聞いた。低域は体を感じるほどの空気振動は伝わってこないが、出力コンデンサを10 μ Fとしているので、それは仕方ないだろう。高域はとても素直な音。悲愴の第一楽章の最弱音から全合奏に移る部分も、レコードに詰まっている音をそのまま難なく再生しているという印象。ベームのベートーベン交響曲第7番は、ウィーンフィルの美しい弦楽器や管楽器の音がホールに鳴り響く様をありのままに再現しているという感じ。ホールも楽器なので好ましい。

いつもはピアノのアタック音の再現能力を確認する為にポリニーのショパンを聴くのだが、今回は、アルグリッチのショパン24のプレリュードを聞いた。レコードに詰まっているピアノの音を生々しく再生してくれた。

最後にカルロクライバーの椿姫を堪能した。

本機は、いつまでもメインシステムとして活躍してくれるだろう。そういう完成度だ。

2021年10月5日

