

ヘッドフォンアンプ
作成レポート

2022年5月10日

1. はじめに

2013年12月 MJ無線と実験に掲載されたDCアンプシリーズ No. 229「モバイル型多機能デジタル再生システム」の電流入力ヘッドフォン IVC を2020年の11月に電圧伝送化を行ったが、今回、MJ無線と実験 2022年2月号のDCアンプシリーズ No.281 USB&S/PDIF 対応真空管 D/A コンバーター(以下、2022年2月号 No.281) [前編]に「[図 19]半導体ラインアンプ&ヘッドフォンアンプ」を使って再度作成しなおすことにした。

最大の理由は、バッテリーである。従来はニッケル水素電池を8本使用した+6V/-3.6Vの仕様であったが、これを±7.5Vのリチウムイオン電池2個使いの仕様に変更したいからだ。ニッケル水素電池を8本よりリチウムイオン電池2個の方が断然使い勝手が良い。

2022年5月2日

2. 基本方針

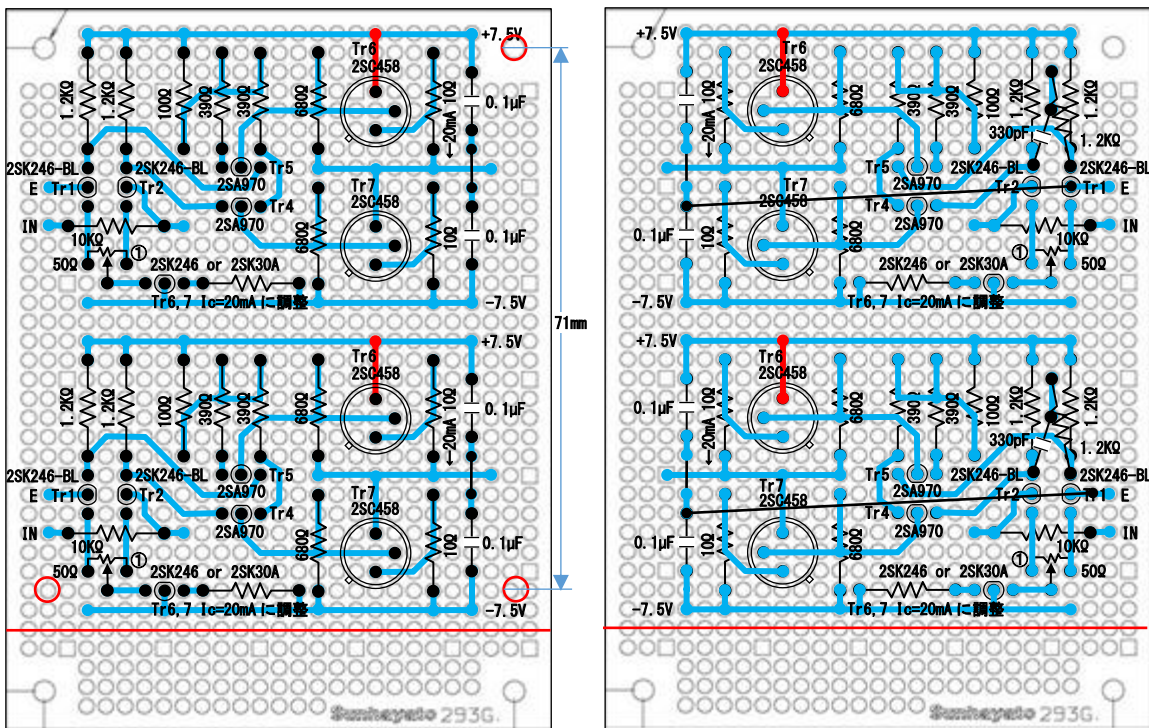
筐体は、タカチの UC10-4-14 を流用して作成する。但し、フロントとリアのパネルは、1.5t のアルミ板から新たに切り出して作成する。DD タイプ (ブロンズアルマイト) が気に入っていたのだが、生産終了となってしまったので、残念。この他、UCK-P 型取付金具 (4 本 1 組) の UCK-P27、パネル振れ止め金具 UCF-26 も流用する。なお、ヘッドホンジャックは金メッキされた製品入手したので使ってみたかったのと、RCA ジャックは使いまわしすると不良になりやすいので、新たなパーツを使用する。

3. 基本設計

3.1. ヘッドフォンアンプに使用する回路

本機には、2022 年 2 月号 No.281 の「[図 19] 半導体ラインアンプ&ヘッドフォンアンプ」をヘッドフォンアンプとして使用する。この回路の 2SC959 は当然入手できないので、代替として 2SC485 を使用する。Tr1, Tr2 のドレイン電流は 1mA の設計だろう。回路図のドレイン抵抗 1.2KΩ の電圧降下の実測値 $(8.23V - ((6.81V + 6.79V) \div 2)) \div 1200\Omega$ から、1.19mA のドレイン電流になっていることがわかる。従って、初段の ID は、2mA~2.4mA に設定すればよい。この回路は、ソースの半固定抵抗でドレイン電流を調整して出力段の Ic を 20mA に調整する仕様になっているが、今回は、調整後、固定抵抗に置き換えて実装する。2SK43 は、2SK246 等に変更する。

MJ 無線と実験 2022 年 2 月号
DC アンプシリーズ No. 281 USB&S/PDIF 対応
真空管 D/A コンバーター [前編]
[図 19] 半導体ラインアンプ&ヘッドフォンアンプ

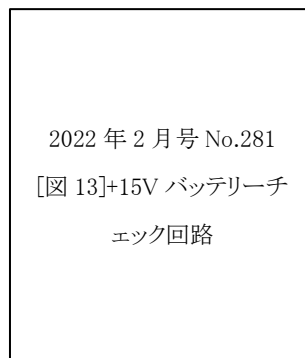
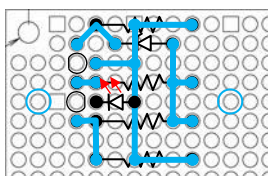
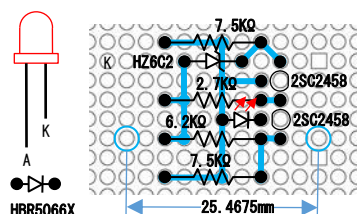


基板は、ICB-293 を使い、長辺の長さを 81mm にカットして使用する。Tr6 のコレクター (赤線) の部分には当初 Ic 調整用の 10Ω を配線しておき、定電流用 FET のソース抵抗も実装しないでおく。

3.2. バッテリーチェック

バッテリーチェックは、+15V をチェックする 2022 年 2 月号 No.281 [図 13]+15V バッテリーチェック回路を使う。LED は、赤色 LED の HBR5066X を使うので、エミッター抵抗の値を赤色 LED 様に変更している。

トランジスタは、2SC2259 や 2SA979 ではなく、2SC1815 のミニパッケージ版の 2SC2458 を 2 個使って、エミッターを基板の同一穴に差し込んで配線する。通常、回路図通りにパターンを描いているが、今回は、スペースの制約から詰め込んだパターンとした。。+7.5V と-7.5V 間の 15V をチェックする。



基板は、L 金具で内部シャーシに立てて取り付ける

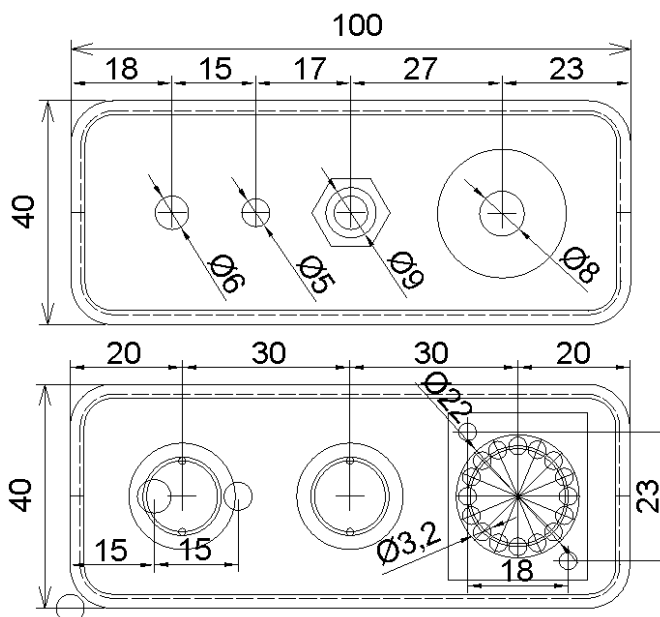
3.3. 筐体

(1) フロントパネル/リアパネル

前作は、キャノンコネクタを前面に配置していた。バッテリー交換が楽なので今回も同様にしたいのだが、ボリュームを取り付けなければならないので、背面に変更した。

ボリュームは、アルプス製を使用すると、端子が筐体に接してしまいそうだ。余裕は僅か 1mm。接触防止策が必要。ヘッドフォンジャックとボリュームの配置が微妙で 1mm 単位でレイアウトを検討した。

パネルは、1.5t のアルミ板から新たに切り出して使用する。リアパネルは、前作のパネルを流用するつもりだが、新たに切り出すことも考える。



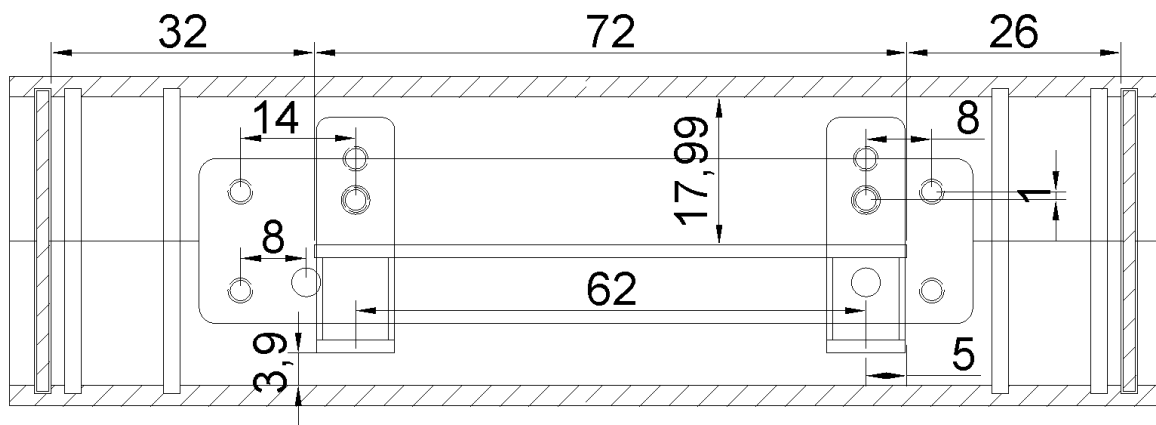
(2) 内部シャーシ

元々の内部シャーシの取り付け位置だとフロントパネルのパーツが当たって取り付けられない為、内部シャーシの取り付け位置をリアパネル側に穴位置を変更してずらす必要がある。元々の取付穴はリアパネル側を基板取付穴として使用する。なお、基板取付スペーサーが内部シャーシの取付穴と重ならない様に配慮する必要があり、さらに、基板のパターンとも接触しない様にも配慮する必要がある。試行錯誤した結果、内部シャーシの利用は取りやめ、内部シャーシの固定金具 uck-27 に直接スペーサーを取り付けることにした。これに伴い、固定金具の取付穴を側板に新たに追加する必要が出てきた。

(3) 基板上の部品の高さ検討

筐体の高さが低いので、基板上の部品の高さを確認しておく必要がある。基板上で一番背が高いのは、APSの0.1 μ Fで13mmほどある。

基板を固定金具 uck-27 に直接スペーサーで保持したとすると、上面までのスペースは、17.99mm。基板の位置に合わせる為、側板に新たに固定金具 uck-27 用の体穴をあける必要がある。また、バッテリーチェック基板の取り付けと、筐体アースの取り付け用にアルミ板が必要。筐体アースは、ヘッドフォンジャックでフロントパネルにアースされるが、フロントパネルが筐体とねじ止めで接合されているわけではないので、確実に筐体にアースする為にヘッドフォンジャックのアースと結線する。フロントパネル、リアパネルと基板間のスペースは、ボリュームやキャノンコネクタの奥行きから、なんとかぎりぎりスペース確保ができたという状況。側板は天地を逆にして新たに穴あけた固定金具 uck-27 用の固定穴を上側にする。



4. 重要部品の入手と代替品の検討

ディスクリートの部品が殆ど製造中止になり、さらに汎用的なパーツまでどんどん製造中止になって、そのバリエーションが急激に減少しつつある今、まず行うことは、キーパーツを入手しておくことである。作成するのはいつになってもよい。キーパーツがあればいつかは作成できる。家族にガラクタ集めなどと言われても、とにかく手元に所有しておくことが重要だ。

最近では、スイッチなど、一般品と思われる領域までこんなものが入手できないのかという場面に遭遇することが多くなってきた。「もはや日本は先進国ではない。」というメッセージが実感される。

◎印: 指定部品は製造されており、問題なく入手できた部品。

○印: 指定部品を入手したが、製造中止か中止予定、もしくは製造状態が不明の部品。

△印: 指定部品の後継、改良型を入手した部品。もしくは、同等スペックの部品を代替品として入手。

▽印: 指定部品ではなく、同等スペックではないが、定数など基本アイテムが同じ部品を購入。

×印: 指定部品は、入手困難、もしくは入手不可能で、相当品、代替品を入手した部品。

入手	名称	説明
×	出力段 2SC959	代替として手持ちの2SC485を使用する。その他、2SC3421-Y、TTC004Bなどが候補。
○	初段差動 2SK246-BL	ペアとする必要があるが、最近高価で自分でペアマッチングすることは実質困難。まだ、ペア選別品が販売されているようなので、IDSS が近い 4ペア購入し、個々に測定してさらに近いペアを 2 ペア見つける。
○	定電流 2SK43	高価なので、手持ちの 2SK30A や 2SK117-GR や 2SK117-Y、2SK246 等から選んで使用する。
○	2段目差動 2SA872A	手持ちの 2SA970 を使用。まだ手に入るが、だんだん高価になってきた。
×	SE コンデンサ	高価で購入したことがなかったが、製造中止とのこと。DM で代用。
◎	φ6.3 標準ステレオジャック	金メッキの製品を購入
◎	50KΩ2連ボリューム	アルプス(アルプスアルパイン)のカーボンポリウム RK シリーズを使用。 品番 : RK27112A0A50K 1 軸 2 連 / A / 50KΩ / 0.05W
◎	トグルスイッチ	ミヤマの MS-500F-F を流用。NKK の M-2022E でもよい。
×	φ5 赤色 LED スタンレーHBR5066X	流用。昔、たくさん購入したので手持ちがあるが、もういい加減他の製品に変えてほしい。市場に種類がありすぎて選べない。
◎	4P キャンココネクター	流用。XLR-4-32-F77。φ2.5mm の取付ビスが必要。
◎	RCA ジャック	色が黒以外に赤、白、黄が選択できるので、トロンと形状が似ている外形 φ19 の Y&M RCA マウントジャック HRJ-700 を愛用している。回転止めが付いているので安心。
◎	筐体	タカチの UC10-4-14AA(アイボリー)を流用して作成する。但し、フロントとリアのパネルは、1.5t のアルミ板から新たに切り出して作成する。取付部品からこれが最小のサイズ。これ以上小さくできない。DD タイプ(ブロンズアルマイト)が好みだが廃番になってしまった。

5. 製作

5.1. 測定

(1) 2SK246-BL の選別

これまで、2SK246-BL のペア選別品を複数、

できる限りペアの組み合わせ間でも IDSS の近いペアを購入し、それらの VGS を測定して値の近い素子をペアとしてきたが、近年そのような贅沢は言えない状況になりつつあるので、購入したペアをそのまま利用することにした。IDSS=6.92mA のペアと 6.88mA のペアを使用。

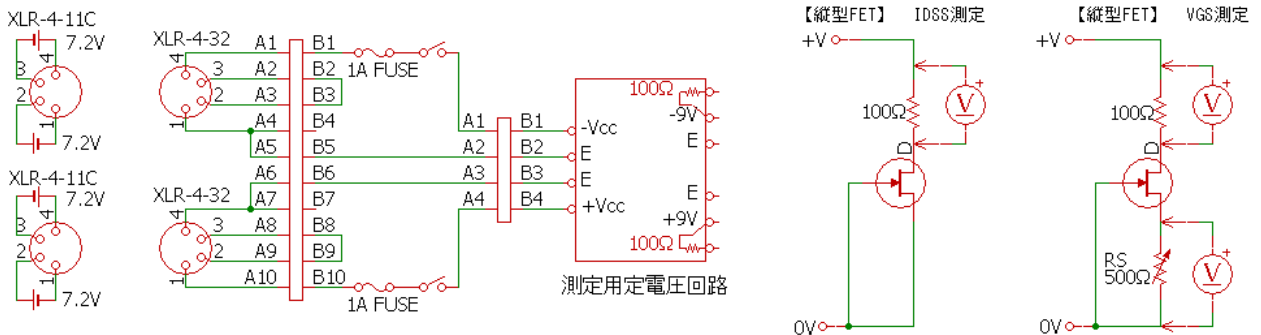
(2) 定電流用 FET の選別

手持ちの 2SK30A, 2SK117-GR の ID が 2.0mA~2.4mA となるソース抵抗値を測定した。

2SK30A-GR は、ソースにいれるボリュームは 500Ω を使用したが、2SK117-GR の場合、100Ω 以下となったので、100Ω のボリュームを使用して測定した。

この結果、2SK117-GR では、固定抵抗値に置き換え辛いと判断、2SK30A-GR を使用する事にした、

番号	素子	IDSS	ID	R	結果
1	2SK30A-GR	4.503mA	2.009mA 2.401mA	428Ω 297Ω	
2	2SK30A-GR	3.672mA	2.001mA 2.401mA	304.8Ω 188.1Ω	使用
3	2SK30A-GR	3.754mA	2.000mA 2.397mA	321.5Ω 204.1Ω	使用
4	2SK30A-GR	4.590mA	200.3mA 2.404mA	450Ω 307.8Ω	
5	2SK30A-GR	4.302mA	200.0mA 2.402mA	398Ω 267.5Ω	
6	2SK117-GR	3.867mA	2.003mA 2.407mA	64.6Ω 40.6Ω	
7	2SK117-GR	3.868mA	2.005mA 2.407mA	65.0Ω 40.8Ω	



(3) 2SA970 の選別

特にペアマッチングする必要はないが、特性を揃えた。手持ちの 2SA970-GR が少なくなってきたため、2SA970-BL から選別した。

番号	h _{FE} ランク	h _{FE}	I _B	I _C	結果
34	BL	442.0	10μA	4.42mA	ペア
31	BL	443.0	10μA	4.43mA	
37	BL	443.0	10μA	4.43mA	ペア
59	BL	445.0	10μA	4.45mA	

(4) 2SC485 の選別

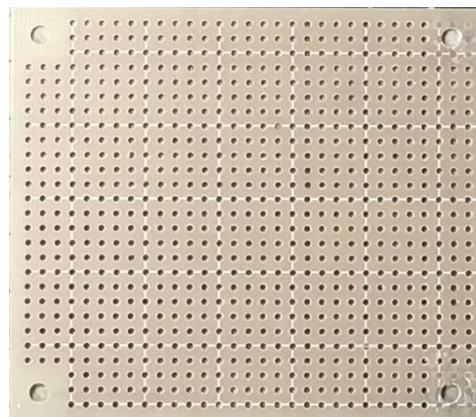
40 年程前から少しずつ買いためた 30 個程の手持ち R ランク、Y ランク、BL ランクの素子の中から Y ランクの h_{FE} が 60 前後の素子を選び出してペアとした。なぜか、GR ランクを所有していない。

番号	h _{FE} ランク	h _{FE}	I _B (μA)	I _C (mA)	結果
20	Y	57.9803	172.3	9.99	ペア
1	Y	58.7719	171.0	10.05	
18	Y	60.7903	164.5	10.00	ペア
19	Y	60.9593	164.7	10.04	

5.2. アンプ基板/バッテリーチェック基板

(1) アンプ基板の加工

部品を半田付けせず、仮に基板に配置してレイアウトを確認してから、まず、基板の加工を行う。ICB-293 の長さ方向を 81mm にカットする。基板の取付穴は、穴あけする前に穴あけ周辺の部品挿入穴にエポキシ接着剤を充填し、固化して開けた穴の形状が崩れないようにしてから所定位置に穴あけする。新たに開ける基板取付穴は、長辺方向が 71mm の位置とする。



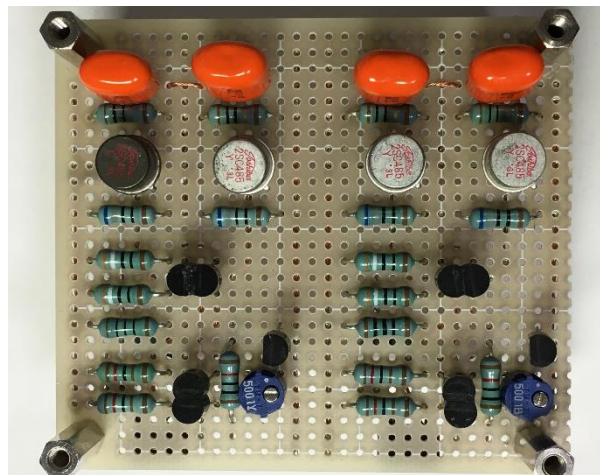
(2) アンプ基板の作成

初段の定電流用 FET のソース抵抗は繋がらないで置き、調整時に実装する。また、Tr6 のコレクターには、Ic 検出用の 10Ω を仮接続した。この調整用の 10Ω は、タクマンの REY シリーズではなく、一般の金属皮膜抵抗を使用。

初段の 2SK246-BL と 2 段目の 2SA970-BL は、エポキシ系の接着剤で熱結合した。半田付けの時、熱を加えすぎると、接着剤がはがれてしまう事があるので、放熱クリップで放熱しながら素早く半田付けした。

写真一番左の 2SC485-Y は、40 年以上前に最初に購入した Tr。錆?で真っ黒。

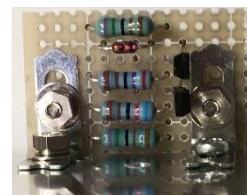
位相補正の 330pF は、150pF と 180pF の DM をパラに使用した。スペースの関係で、1.2KΩ の抵抗と 330pF を回路図、パターン図と逆に付けたが問題ないと思う。



(3) バッテリーチェック基板の作成

バッテリーチェック基板も穴あけは、穴あけする周囲の部品挿入穴をエポキシ接着剤で塞いでから穴あけした。基板は内部シャーシに L アングルで立てて固定する。

使用した抵抗はタクマンの REY50F ではなく、汎用の金属皮膜抵抗も使用している。ツェナーダイオードは、IC クリップで掴みやすい様に 5mm ほど浮かして取り付けした。



(4) 基板パターンの配線方法

基板パターンの配線は、金田氏流の 7 本撚り線で行っている。但し、2497 の素線ではなく、モガミ電線やダイエイ電線のケーブルをほぐして使用。30 芯のケーブルから取ると、7×4=28 で効率が良い。19 芯や 20 芯は、5 本、6 本余るのでよろしくない。また、2497 の素線ではなく、シールド側の線を使うと大量に利用できる。

なお、パーツを基板に差し込んで、ランドからはみ出さないぐらいにパーツの足を折り曲げてランドに密着させ、半田で固定するというやり方が一般的だと思うが、こ私は、下記の様に配線している。

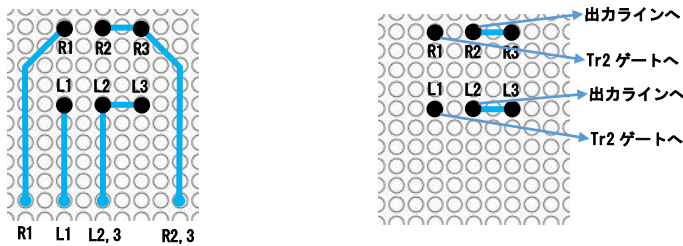
パーツの足は折り曲げず、まっすぐ通したままにする。その足に 7 本撚り線を巻き付けるのだ。こうすれば確実にリード線をパーツ端子に接合することが出来る。半田は、固定する為だけに使用する。最後に「によきつ」と乱立したリード線を纏めてカットする。この実装方法は、頻繁にパーツを誤挿入してしまう私にとってとても都合が良

い。容易に基板から抜くことが出来るからだ。実は、この実装方法は、昔、落合萌氏の記事の「配線はすずめつき線をパーツの足に巻き付ける」という説明から学んだ。

ランドにパーツの足を折り曲げて密着させるのは、エッチング基板のパターンのやり方だと思う。この方法は、パーツを基板から外す時に難儀する。

(5) ボリューム用基板

アルプス(アルプスアルパイン)用のボリューム基板が市販されているが、基板の切れ端がたくさんあるので、カットして使用した。市販品に似せて配線すると左図のようになるが、何もそこまでしなくても直接ボリュームの端子に接続してしまえばよいので、右図の結線とした。

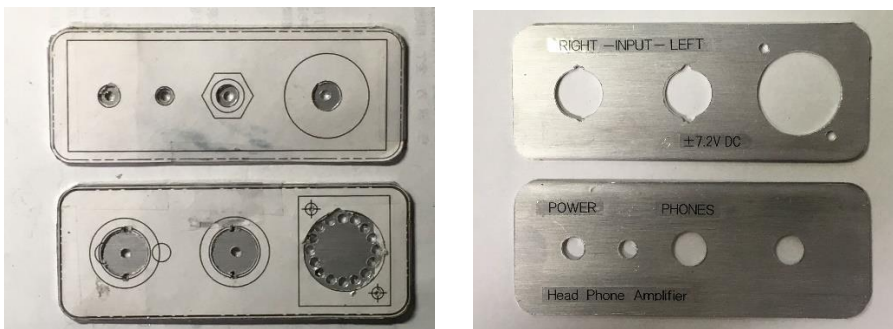


5.3. 筐体加工

(1) フロントパネル／リアパネル

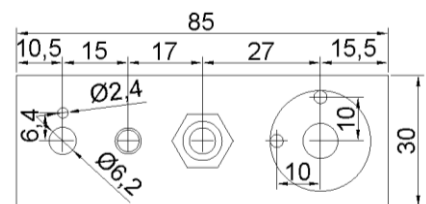
1.5t のアルミ板に紙鑿でヘアラインを付けた後、パネルの寸法に切り出しを行った。四隅の R は、鑿掛けして削り出す。金鋸で 0.5mm の精度でカットするのは至難の業。少し大きめにカットし時間をかけて鑿掛けして成型した。パネル加工で毎回問題になるので、穴あけ位置の精度。ハンドドリルだとどうしてもずれが大きい。小さな径の穴をあけて丸鑿で調整しながら、ひとサイズ大きい径のドリル刃で穴径を拡大、補正を繰り返しながら所定の位置に穴あけを行った。

レタリングはテプラの透明テープを使って貼り付けるのだが、なかなか水平に貼れず、斜めになってしまう。何度も印刷して貼りなおした。



(2) フロントパネル取付部品の回転止め版

その他、フロントパネル部品の回転止め版を作成。アルプスのボリュームの回転止めの爪の高さが 2mm あることから 2mm の厚さの回転止め板が必要。切れ端のアルミ板を使って加工。



(3) 筐体側板加工

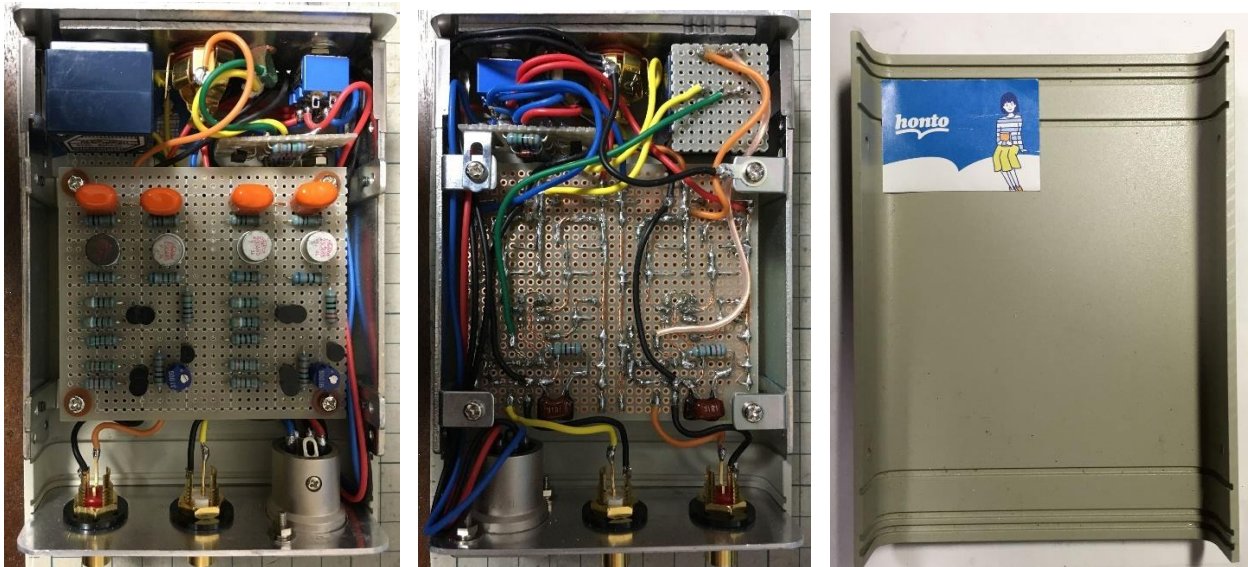
内部シャーシの保持金具 UCK-P27 を利用して基板を取り付けるが、筐体側板の元々の穴位置では、基板が取り付けられないので、側板の天地を逆にして保持金具 UCK-P27 の取り付け穴を追加加工する。これにより、基板の吊り下げ式と同じように基板の部品面からも配線側からでもメンテナンス可能となった。

5.4. 筐体組み立て／配線

フロントパネル側の線材がだいぶ込み合っているが、リアパネル側にキャノンコネクタがあるので、基板をこれ以上リアパネル側に位置を変えることが出来ない。それでも、前作でフロントパネルにあったキャノンコネクタをリアパネルに移動したので、その分は緩和されている。バッテリーチェック基板は、L 金具 1 つで保持することにした。トランジスタを寝せて実装している。筐体のアースポイントは、ヘッドフォンジャックだが、パネルが筐体とねじ止めされて固定しているわけではないので、保持金具 UCK-P27 との間でアース線を結線した。

ボリューム端子の筐体への接触回避は、MJ 無線と実験を購入したときのしおりを筐体に両面テープで張り付けることで対策した。

LED は、エポキシ系接着剤でガッチリ固定するのではなく、ホットボンドをグルーガンで充填して固定してみた。従来は水性ボンドで固定している。わざと取れやすくすることが目的なのだが、ホットボンドは、アルミ板とは、殆ど接着できず、スコッチテープをアルミ板に貼って、その上と LED にホットボンドを充填した。しかし、接着力が弱すぎる。従来の水性ボンドを使った接着の方が接着力の強さと、外しやすさで勝ることが分かった。



5.5. 調整

調整準備として、入力をショート、ボリュームを Max、差動の半固定抵抗を中央に設定し、定電流回路 FET のソースに、100Ω程度の抵抗と、500Ωのボリュームを直列接続して取り付け。ボリュームの抵抗値は、500 Ω Max にしておく。ボリュームの抵抗値を大きくすると出力段の I_c が減り、小さくすると I_c が増加する。

入力段の半固定抵抗 50 Ω で V_o を 0V に調整。次に、Tr6 のコレクターと+7.5V 間に仮付けした 10Ωの電圧降下が 200mV($0.2V \div 10\Omega = 0.02A = 20mA$)となるように定電流回路のソースに付けた 500 Ω の抵抗を調整して、 I_c を調整。 I_c は、電源 ON 直後、15mA 程度から始まり、20mA に安定するまで少し時間がかかる。調整出来たら、抵抗値を計測して市販の抵抗値に置き換える。最適値は、Lch220Ω、Rch195Ω。Rch は、市販抵抗値に合わせると 180Ωか 200Ωだが、180Ωにすると I_c がだいぶ大きくなってしまうので、20mA を若干下回ってしまうが、200Ωを実装した。

Tr6 に仮付けした 10Ωを取り外してコレクターを+7.5V に結線し、再度、入力段の半固定抵抗 50 Ω で V_o を調整して完成。

6. ヒアリング

ワーグナー：楽劇「ニーベルングの指環」ハイライツ(カラヤン / ベルリン・フィル) UCCG5119 (CD 版)を聞いた。『指環』のエッセンスを凝縮した名盤だ。元々、カラヤンの緻密な音楽構成をこの CD で感銘を受けていたが、このこれまで幾度となく繰り返して聞いてきたはずの CD であるにもかかわらず、改めて本機を使い、おんぼろのヘッドフォンで聞いたにもかかわらず、そのあまりにも美しい音楽、演奏が出てきてびっくりした。まるで初めて聞いた様な錯覚に捕らわれた。前作の回路と大差ないはずなのに、あまりにも大きな違い。まず、低音の量感が増して、音全体がバランスよく、美しく聞こえる。歌手の歌声とオーケストラ全体の響きがなんとも美しい。分解能も著しく向上して楽器が鮮明に聞こえる。改めて「ああ、ここでこの楽器が演奏していたのか。」と気付かされた。ホールの残響もよく聞き取れる。ホールも楽器だ。演奏が終わった後、まだホール全体が鳴っているのに、バサッと録音が止められてしまう CD やレコードがなんと多い事か。このアンプを使って音が鳴っていないその余韻までも聞き取れるようになったのに。

ああ、なんとももったいない。



電流入カヘッドフォン I V C

電圧伝送タイプへの変更レポート



2020年11月17日

1. はじめに

2020年9月号の無線と実験誌の金田氏の記事にプリアンプとパワーアンプ間を電流伝送から電圧伝送に戻す事が書かれていた。電圧伝送のパワーアンプが何台もあるので歓迎する。この方針に従い、ヘッドフォン IVC を電圧伝送タイプへの変更を行こう。

(2020年11月17日)

2. 設計

2.1. 回路変更内容

入力に 10KΩ の抵抗を取り付け、帰還抵抗の値をゲインを -6dB に設定する為に 5.1KΩ とする。

入力抵抗を R_1 、帰還抵抗を R_2 とすると、反転アンプのゲインの式 $G=20 \times \log_{10}(R_2 \div R_1)$ より、

$$20 \times \log_{10}(5.1\text{K}\Omega \div 10\text{K}\Omega) = -5.8\text{dB}。$$

変更はこれだけである。使用部品については、過去レポートを参照の事。

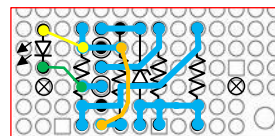
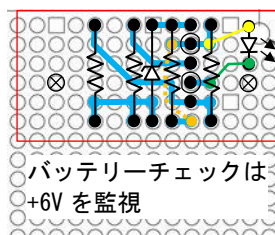
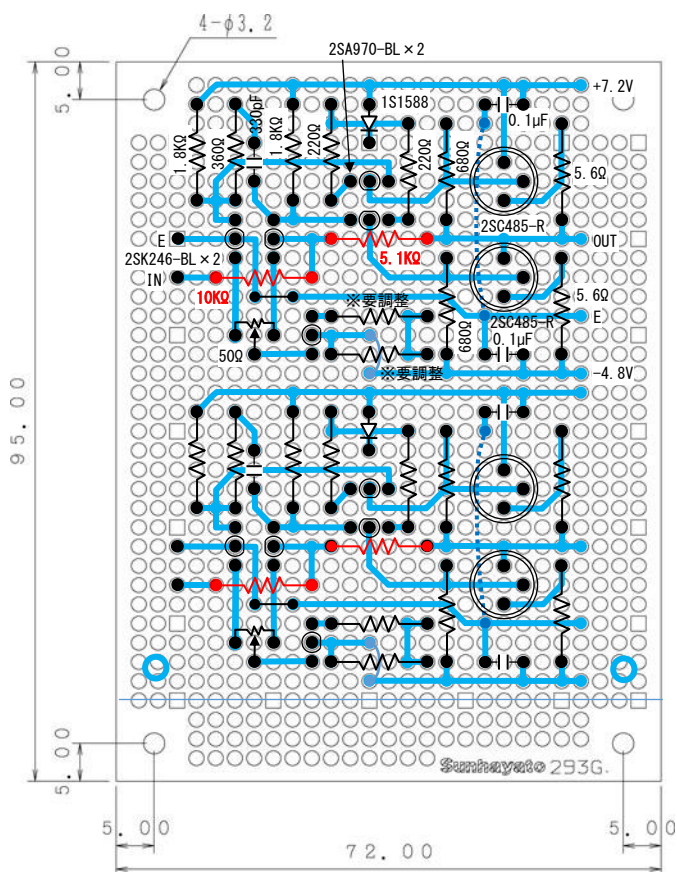
無線と実験 2013 年 12 月号、2014 年 1 月号

モバイル型多機能デジタル再生システム

図 5 ヘッドホン IVC の入力に 10KΩ を追加し、ボリュームを
固定抵抗 5.1KΩ に置き換えて、ゲインを -6dB に設定した回路

元々の回路の電源は
6V/-3.6V であるが、
+7.2V/-4.8V の電源を使
用している。

2.2. 基板パターン



電流入カヘッドフォン I V C

作成レポート



2015年8月30日

2015年10月24日改訂

2019年1月30日改訂

1. 基本方針.....	3
2. 仕様、回路構成、使用部品検討	2
2.1. 電流入力ヘッドフォン IVC 部	2
2.2. 採用部品	3
3. 設計	4
3.1. 基板パターン図	4
3.2. 筐体.....	5
4. 製作	6
4.1. 半導体の測定と素子の貼り合わせ	6
4.2. 基板の製作.....	8
4.3. 筐体加工	8
4.4. 配線.....	9
4.5. 調整.....	9
5. ヒアリング	9
6. 追記.....	9
ゲイン調整.....	10
付記 基板の裏パターン図.....	11

1. 基本方針

電流伝送のイコライザーアンプを作成したが、息子が大学受験で思うように音出しができない。しばらく間は我慢してしたが、やはり、仕事に疲れたとき、音楽で心を癒したい。IVCを介して、電圧入力タイプの機器に繋げて聞いてもよいのだが、介する機器が多く煩わしい。また、iPodも良いのだが、直にヘッドフォンを繋げて聞いても、何となく音を聞いている。なぜか感動が薄く、いつのまにか聞き流している。音に音楽に傾注したい。そこで、2013年12月と2014年1月にMJ無線と実験に掲載されたDCアンプシリーズNo.229「モバイル型多機能デジタル再生システム」の電流入力ヘッドフォンIVC部分をヘッドフォンアンプとして作成することにした。

2015年8月13日

2. 仕様、回路構成、使用部品検討

2.1. 電流入力ヘッドフォン IVC 部

電流入力ヘッドフォン IVC の電源仕様は、+6V/-3.6V であるが、+7.2V/-4.8V で動作させても問題ないのではないかと考えている。実装して確認したい。バッテリーチェックは、+6V を監視する仕様とする。

2013 年 12 月 M J 無線と実験に掲載された DC アンプシリーズ
No. 229 「モバイル型多機能デジタル再生システム」の
電流入力ヘッドフォン IVC 回路

定電流回路のスイッチは省略した。

帰還抵抗に 20pF のコンデンサをパラで接続した。

ゲインが高すぎるので帰還抵抗を 1K Ω から ~~100 Ω~~ 500 Ω に変更した。

DC アンプシリーズ
No. 229 「モバイル型多
機能デジタル再生シス
テム」の
バッテリーチェック回路

2.2. 採用部品

出力段の NEC 2SC959 は、入手できないので、代替として、 $P_c=0.8W\sim 1W$ のトランジスタをあてがう事になる。候補としては色々あるが、今回は、東芝の 2SC485 を使用する事にした。昔、よく使っていた素子(この頃は Y とか GR、BL を入手)に手がのびたのだ。但し、入手できた素子は h_{FE} ランクが一番低い R である。おそらく h_{FE} は 10~30 であろう。他に耐圧違いの 2SC484 であれば、Y や BL も入出来るようである。まあ、あまりゲインを求めると発振がつきまとうので、かえって好都合かもしれない。ちなみに 2SC486 も耐圧違いのトランジスタで、各トランジスタの V_{CB0}/V_{CE0} は、2SC484=150V/110V, 2SC485=100V/80V, 2SC486=70V/50V で P_c はどれも 800mW である。今回の回路の電源電圧であれば、入手できればどれでも 2SC959 の代替として使用可能である。

最近では、2SK117 や 2SK246、2SA970、2SC2240 など、手に入りづらくなって来たので大変困る。2SK117 の代替品は 2SK209、2SK246 は、2SK208、2SA970/2SC2240 の代替品は、2SA1312/2SC3324 と何れもチップ部品になってしまう。なお、2SA1312/2SC3324 の他に 2SA1163/2SC2713 や 2SSA1587/2SCC4117 もあるが、2SA1312/2SC3324の方がローノイズである。チップ部品だと熱結合の為に張り合わせるのは無理なので、2 in 1 の部品が必要になるのだが、2SA970/2SC2240 と同等スペックの HN3A51F/HN3C51F は、2015 年 4 月に生産中止になってしまった。この他、ベースコモンで HN4A51J/HN4C51J や、耐圧が 50V になるが、2SA1015/2SC1815 や 2SA1048/2SC2458 と同等スペックの HN1A01F/HN1C01F がある。

2SK117 の 2 in 1 タイプは、2SK2145、2SK3320 であるが、ソースが共通になっている。初段に使うには可変抵抗が入れられないので、ちょっと使いづらい。2SK246 の 2 in 1 タイプは無いので、さて今後どうするか…。チップ部品用の小さな基板が販売されているので、なんとかかなりそうな気はするが。

2SK117、2SK246、2SA970 は、ペア品を購入するか IDSS、 h_{FE} を測定してペアを揃える。2SK117 は、片 ch に 1 個使用だが、左右で揃えることにする。

2SC458-R については、ペア品は購入できないので、測定して値の近いものを組み合わせる。

抵抗は板抵抗を使うと無線と実験誌で示されている基板図の様に基板サイズを小さくできるが、私の場合は、なにもそこまで小さくする必要性を感じないので、回路図通りに部品を配置したパターンとし、いつもの通りタクマン 1/2W タイプの REY50FX を使用する。

電源 SW に使うトグルスイッチ、日本開閉器の M-2022E (ON-ON 2 極双投 AC 125V 6A) を最近、あまり見かけなくなった。ミヤマの MS-500F-F が代替品候補。見かけはほとんど同じ。旧フジソクの 8C4011 でも良いが、ねじ部のナットが六角ではなく、円形になるので、M-2022E と見てくれが若干異なる。

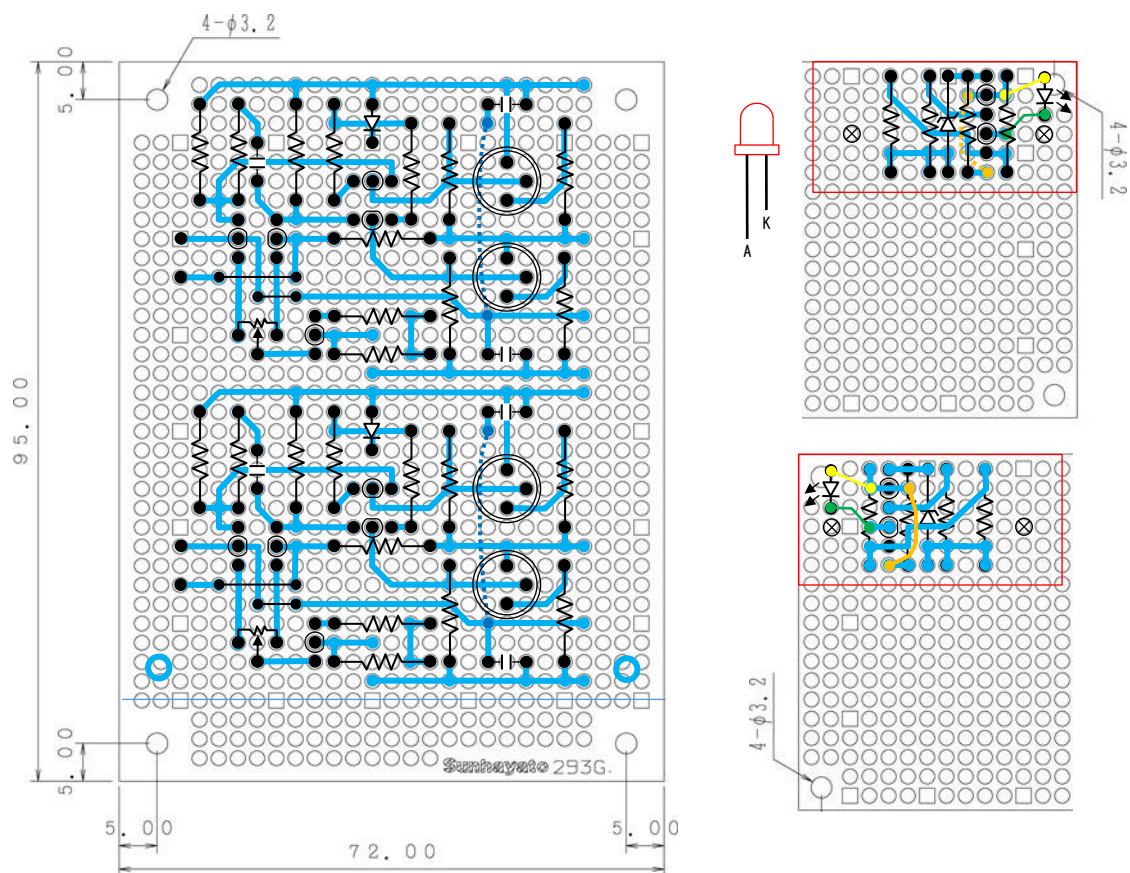
キャンコネクターの高さが低いタイプの XLR-4-32-F77 は、秋葉原に行けば入手できるが、ネットだと通常の高さの XLR-4-32 しか見当たらない。

3. 設計

3.1. 基板パターン図

IVC 基板は、ICB-293G を使用し、小さめのケースに押し込むため 10mmカットして使用する。

バッテリーチェック回路のトランジスタは、2SC2259 や 2SA798 (2SA979) の代わりに 2SC1815、2SA1015 等の汎用トランジスタを使用すれば十分だと思う。紙面のバッテリーチェック回路は、2SA798 を使用しているが、正負を逆にして、2SC2259 や 2SC1815 等を想定してパターン図を作成した。2SC1815 等を使用する場合は、エミッタを同一の基板穴に入れて使用する。

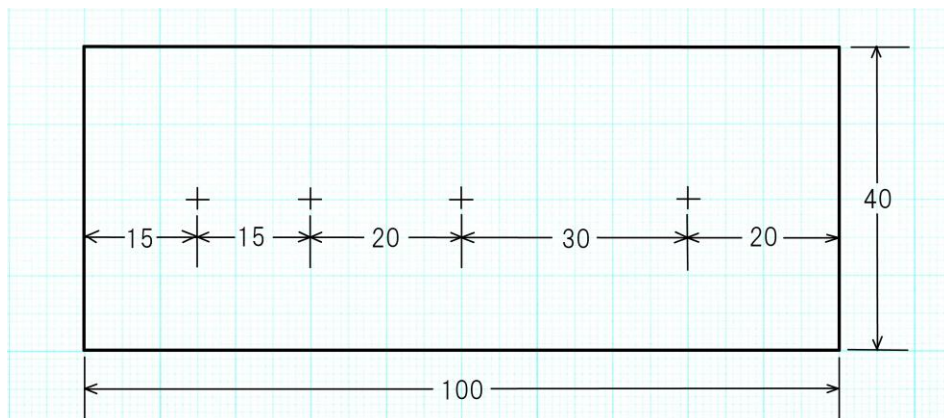


3.2. 筐体

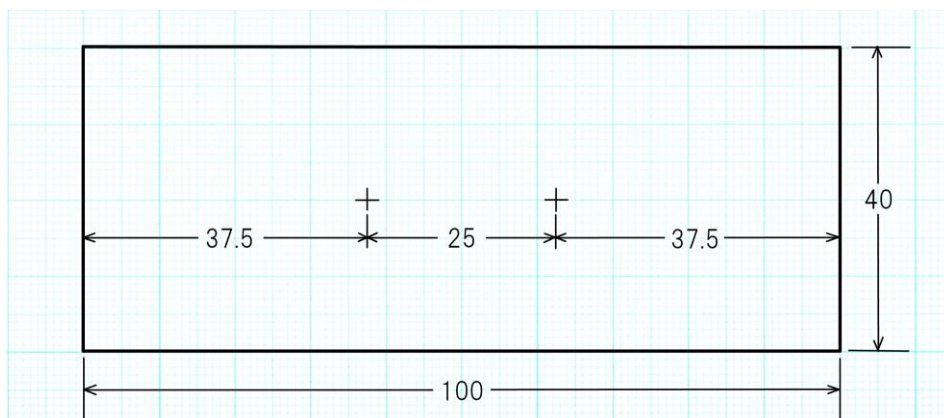
筐体は、タカチの UC10-4-14 を使用する。この他、内部シャーシ UCC10-14、UCK-P 型取付金具(4 本 1 組) の UCK-P27、パネル振れ止め金具 UCF-26 も合わせて購入。

フロントパネルには、電源 SW とバッテリーチェックの LED とキャノンコネクター。リアパネルは RCA ジャックを 2 個を配置する。内部は少し窮屈だが、この程度の大きさにまとめたい。

フロントパネル寸法図



リアパネル寸法図



4. 製作

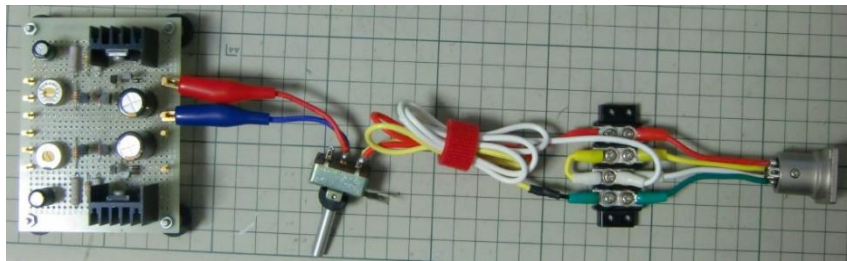
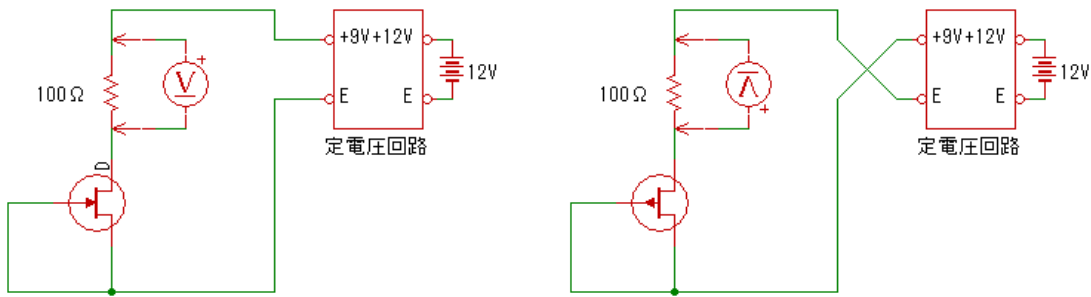
4.1. 半導体の測定と素子の貼り合わせ

初段の定電流回路の 2SK117-BL は、IDSS が揃っていた方が左右の調整用の抵抗値も揃い、部品を用意しやすい。誌面の回路図に記載されている測定電圧から計算すると、2SK117-BL には IDSS が 9~10mA の素子を使っていると推測される。今回測定 of 2SK117-BL は、IDSS=8.24mA であったが、この値だと、誌面の記述に従って 15Ω を 100Ω のボリュームに変えて調整しようとしても調整できない可能性がある。誌面の測定電圧から推定される定電流が流れるようソース抵抗を調整したところ、252Ω (=240Ω +12Ω) となったので、この値の抵抗2本をシリアルに接続して使用することにした。

初段の 2SK246-BL は、ペア間、つまり 4 本の素子の IDSS を揃える。(IDSS が同じペア品を 2 組購入する。)

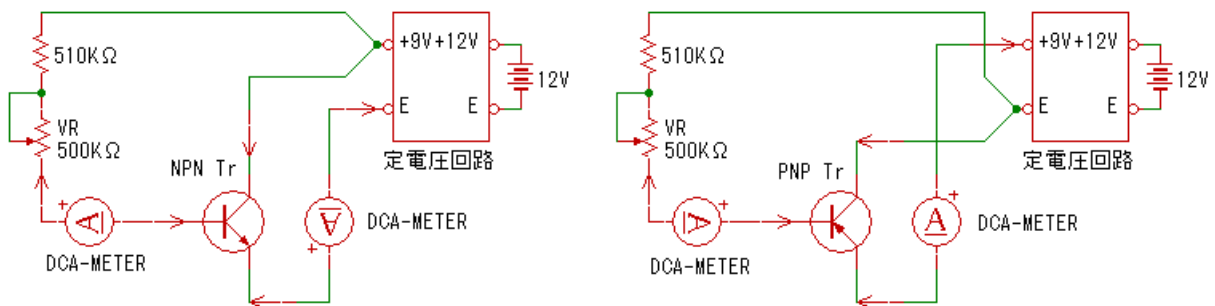
2SK117、2SK246 の IDSS 測定は、以下に示す回路で行った。測定の電源は、+7.2V/-4.8V のバッテリーを使い、キャノンコネクタ XLR-4-32 で受けて、定電圧回路に供給する。定電圧回路を使わないと、どんどん電圧が下がってしまい、同一条件で測定ができない。

【縦型FET】IDSS測定



2 段目の 2SA970 も同様にペア選別する (h_{FE} が同じペア品を 2 組購入する)。ただ、トランジスタの h_{FE} の測定にはテスターが 2 台必要だ。1 台でも出来ない事はないが、効率が悪い。しかし、めったに行わない測定の為にテスターをもう 1 台新たに購入するのは無駄だ。それよりは、ペア選別品を購入した方が良い。

【小信号トランジスタ】 h_{FE} 400~700



ペア選択した 2SK246、2SA970 は、エポキシ系の接着剤で貼り合わせる。貼り合わせには、アラルダイトではなく、同じエポキシ系の接着剤であるコニシ(株)の「クイック 30」を使った。これまでは、セメダイン(株)の「ハイスーパー30」を使っていたが、近所のホームセンターで、「クイック 30」しか入手出来なかった為だ。

なお、2SK246、2SA970 の貼り合わせの際、注意しなければならないのは、素子名称が印刷してある面を貼り付けてしまうので、2SK246 と 2SA970 の区別がつかなくなる事だ。部品を購入したときのビニール袋に入れて分別し、わからなくならないように注意して作業を進めた。

また、基板をカットして小さくするので、合わせて、基板の取り付け穴を開ける位置近辺の穴にもエポキシ系接着剤を充填した。

終段の 2SC959(2SC458) のペア選別品は入手できないので、 h_{FE} を測定して近い値の素子の組み合わせを作る。経験則では、必要な素子数の 2 倍購入するとおおよそ近い値の素子が 2 組揃う。

2SC458-R の h_{FE} を測定したところ、予想通り 10~30 の中にばらついた。この中で $h_{FE}=20$ 前後の素子②と③を採用することにした。

2SC485 h_{FE} 測定 - ペアマッチング

No.	h_{FE} ランク	IB	IC	h_{FE}	h_{FE} 差	ペア
4	R	952	97.9	10.28361	3.63	
5	R	718	99.9	13.91365	0.77	①
3	R	734	107.8	14.68665		
11	R	517.1	99.9	19.31928	1.94	②
10	R	470.8	100.1	21.26168		
6	R	447.3	99.9	22.334	0.74	③
8	R	432.6	99.8	23.06981		
7	R	384.3	99.8	25.96929	5.59	
9	R	316.9	100	31.5557	19.31	
2	R	225.1	115.3	51.22168	1.37	

4.2. 基板の製作

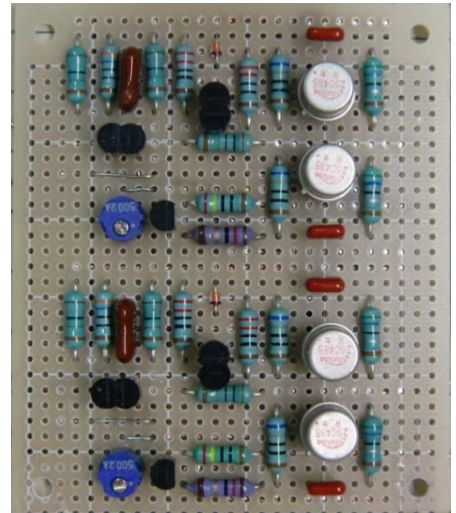
基板は、カットする部分にカッターで両面に切り込みを入れ、ラジオペンチや手で折るとパキッと割れる。取り付け穴を開け、パターン図に従って7本、19本依り線を作りながら製作を進めた。配線は、2497の素線ではなく、モガミ電線の2514等の線材をばらして7本撚り線に加工して使用。パターン図も部品に合わせながら都度、修正を施した。

なお、なんと、接着した2SK246を基板に半田付けしたとたんに接着面が剥がれた。1日経過していたが、まだ固化していなかったのか。試しに、紙の上で2日間放置したが、まだ、グミの様な感じ。

ところで、オリジナルの回路は、入力が同軸ケーブルに接続されないため、帰還抵抗に位相補正用のコンデンサが付けられていない。しかし、本機は、同軸ケーブルが接続される為、コンデンサでの補正が必要になると想定している。

部品実装にあたっては、初段の定電流回路の抵抗値を決定して実装する必要がある。MJ無線と実験2014年1月号のDCアンプシリーズNo.229「モバイル型多機能デジタル再生システム[後編]」の「ヘッドフォンIVCの調整」の記載に従って調整を行った。調整には、1K Ω と56 Ω 2Wの抵抗が必要となる。出力段の $I_c=5mA$ となるように定電流回路のFETのソース抵抗値を調整し、組み込んだ。結局、計算した通り、240 Ω +12 Ω となった。

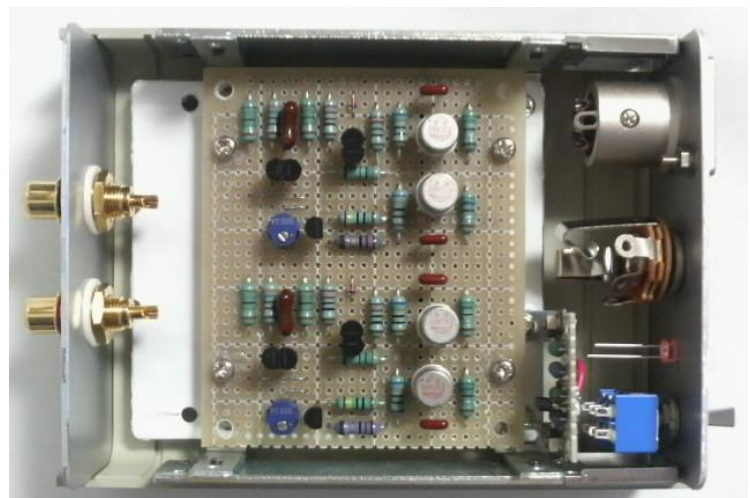
バッテリーチェック基板は、トランジスタに形状の小さな2SC2048-GRを使用して作成した。



4.3. 筐体加工

フロントパネルのキャノンコネクタ用の大きな穴は、いつも通り、小さな穴を円形に開け、半円やすりである程度円形にし、リーマで所定の大きさに仕上げる。その後で、取り付けビス用の穴あけをするために、キャノンコネクタを仮に取り付け、取り付け穴位置を決めて穴開けした。私の場合、寸法図に従って取り付けビス用の穴あけをすると、合ったためしがない。必ず穴位置がずれてしまう。なお、XLR-4-32-F77の取り付けビスは、2.6 ϕ である。リアパネルは、RCAジャックだけだが、LとRを通常の機器と逆にしてしまった。後で直そう。

レタリングはテプラの透明シートを使用。上記の様な誤りの時、剥がすのは楽。HGPゴシックMのフォントサイズ10.5で、英字を全角文字で記述するとサンハヤトのレタリングシートの字体と同じ感じになる。例 POWER。



内部シャーシは、取り付け穴通りにつけると、フロントパネルの部品が当たってしまう為、新たに取り付け穴を開け、位置を後方に変更した。また、基板の取り付け穴が、内部シャーシの取り付け穴と重なってしまう為、基板の取り付け穴を内側に新たに設けた。基板は、5mm 高のスペーサで取り付ける。内部シャーシのリアパネル側をカットして、リアパネルを内側に取り付けつもりだったが、気力を持続できず、写真の位置とした。

バッテリーチェック基板は、L金具で立てて取り付ける。ゴム足は、貼り付けるだけなので、縦横それぞれ 25mm 内側の位置に鉛筆で印をつけ、そこにゴム足を貼り付けた。

4.4. 配線

DCアンプシリーズ No. 229「モバイル型多機能デジタル再生システム」の電流入力ヘッドフォン IVC については、電源を切らずに初段をカットオフすることで DSC のラインアウトへの影響を回避している。本機はラインアウトに常時接続しているわけではないので、この方式での電源の ON/OFF 制御は行わない事にし、接続配線した。

ヘッドフォンジャックの配線で毎回、「あれっ?とつちが L だっけ?」という状態になる。ネットで調べて、プラグの先頭がL、中央がR、付け根がGNDであることを確認して配線した。配線量は少ないが基板と前面パネル間に集中するので、パネルが筐体に装着しづらくなる。

LEDは、パネルに接着剤で固定せず、差し込んで裏からテープで固定しただけにしてある。

4.5. 調整

既に基板レベルで調整しているので、特に行うことはないが、念のため、Vo の調整だけ、MJ無線と実験 2014 年 1 月号のDCアンプシリーズ No. 229「モバイル型多機能デジタル再生システム[後編]」の「ヘッドフォンIVCの調整」の記載に従って調整を行う。

+7.2V/-4.8V のバッテリーを接続して、各部の電圧を測定。+7.2V/-4.8V バッテリーを使用しても問題ないことを確認した。

5. ヒアリング

最初にレコードに針を落とし、イコライザーアンプのボリュームに触れた時、僅かにじゅるじゅる、ビーという音が聞こえた。LPをかけても高音にざらざら感がある気がする。当初の予想通り発振していると思われる。対策は、他のIVCパワーアンプの帰還抵抗やボリュームに付けられている位相補正コンデンサを本機にも付けること。それらの値は 10pF か 20pF だったので、帰還抵抗 1K Ω にパラに 20pF のコンデンサを付けることにした。オシロスコープがないので、こういった調整は耳や現れる現象が頼り。取り付け後は、高音のざらざら感は全くなり、安定して音が聴ける状態になった。(なお、後に、この発振音はイコライザーアンプから出ており、本機は全く問題がないことが判明した。ヘッドフォン IVC で微細な音の問題点が発見できた。2015/10/24 追記)

音は言うまでもなくすばらしい。

6. 追記

ゲインが高すぎて、EQ のボリュームを 8 時の位置まで絞らなければならなかった。そこで、I-V 変換の変換率を小さくする為、帰還抵抗の 1K Ω にパラに 110 Ω を取り付け、帰還抵抗値を 100 Ω とした。これにより、ボリュームを 9 時から 10 時の位置にすることができるようになった。(2015/10/24 追記)

ゲイン調整

帰還抵抗 $R_f=1k\Omega$ にパラに 110Ω を接続してゲインを $-20dB$ としていたが、ちょっと小さすぎたかなとの思いがあり、ゲインの見直しをすることにした。

$R_f=1K\Omega$ のパラ抵抗 110Ω を $1K\Omega$ に変更し、 $R_f/R_s=500/1000=0.5$ 倍 $20\log(0.5)=-6.02dB$ とした。ちょっとゲインを大きくしすぎた感じ。

続いて、 $-12dB$ にする為、パラ抵抗を 330Ω に変更して確認。

$R_s=1K\Omega$ と仮定して、 $1K\Omega$ の R_f にパラに $1K\Omega$ を接続すると、

$$R_f=1000 \times 1000 \div (1000+1000)=500$$

$$20 \times \log_{10}(R_f \div R_s)=20 \times \log_{10}((1000 \times 500 \div (1000+500)) \div 1000)=-6.02dB$$

$R_s=1K\Omega$ と仮定して、 $1K\Omega$ の R_f にパラに 330Ω を接続すると、

$$R_f=1000 \times 330 \div (1000+330)=248.12$$

$$20 \times \log_{10}(R_f \div R_s)=20 \times \log_{10}((1000 \times 330 \div (1000+330)) \div 1000)=-12.1dB$$

ゲインを調整していて、少し時間が経つと音がザラつき始めた。変だなと思い、帰還抵抗の見直しをしているときに I_o を測ってみたら、 $0.5mA$ 。コレクターに入れた I_o 測定用の 10Ω の電圧降下が $5mV$ だったので、きっと勘違いしたに違いない。再度、初段の定電流回路の抵抗を仮付け調整して $6mA$ になったので、抵抗を実装して再測定したら $12.2mA$ 。また、抵抗取り外して調整するの面倒なので、まあこのままでいいっか。

2019年2月2日

付記 基板の裏パターン図

