

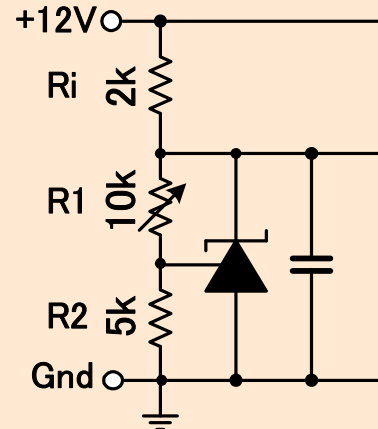
## 前回の基準電圧回路の電圧調整について

### ちょっと、本題に入る前に

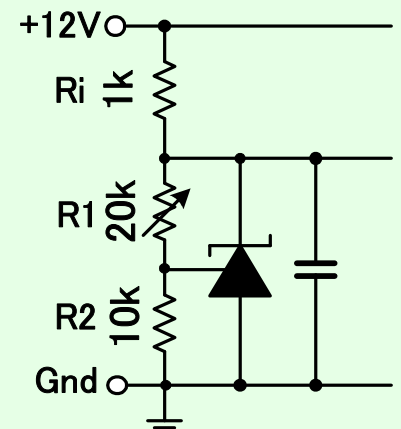
前回 120の動画にて、動画の下の説明欄に追加で、説明をかいてましたが、気付かなかった方もおられるかもしれないと思い書いておきます。TL431 電圧可変で、理論上は、2.5V ~ 7.5V 出るはずなのに 2.5V ~ 6.8Vまでしか出なかった件にて、原因が分かりました。**R1の10kΩの可変抵抗の抵抗値が、8.6kΩぐらいで抵抗値がかなり低かった**事と、R2の5kΩは5.1kΩ ±1%の金属皮膜抵抗です。よって**R2は、若干抵抗値が高かった**という事です。出力する基準電圧は、 $V_{ref} = \text{約 } 2.5V$  で出力  $V_o = V_{ref} * (1 + R1/R2) + I_{ref} * R1$  です。 **$I_{ref}$ が0.000002なので  $I_{ref} * R1$  が出力電圧に及ぼす影響は僅かです。**

- ①  **$R1 = 0$  の場合  $V_o = V_{ref}$  (約 2.5V)**
- ②  **$R1 < R2$  の場合  $2.5V < V_o < 5V$**
- ③  **$R1 = R2$  の場合、 $V_o = V_{ref} * 2 = 5V$**

### (旧) 回路定数

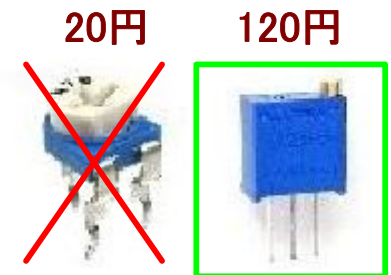


### (新) 回路定数 こちらの定数を使用して下さい



④  $R1 > R2$  の場合、 $5V < V_o < \text{電源電圧}$  となります。という事で  $R1$  と  $R2$  の抵抗値の比で、電圧は決まります。 $R1$ の抵抗値が目標の抵抗値より小さければ、出力電圧も小さくなります。それと  $R1$ に使用する可変抵抗器は信頼性の高い右側の物を使用して下さい。

自分の使った部品が 20円とは知りませんでした。



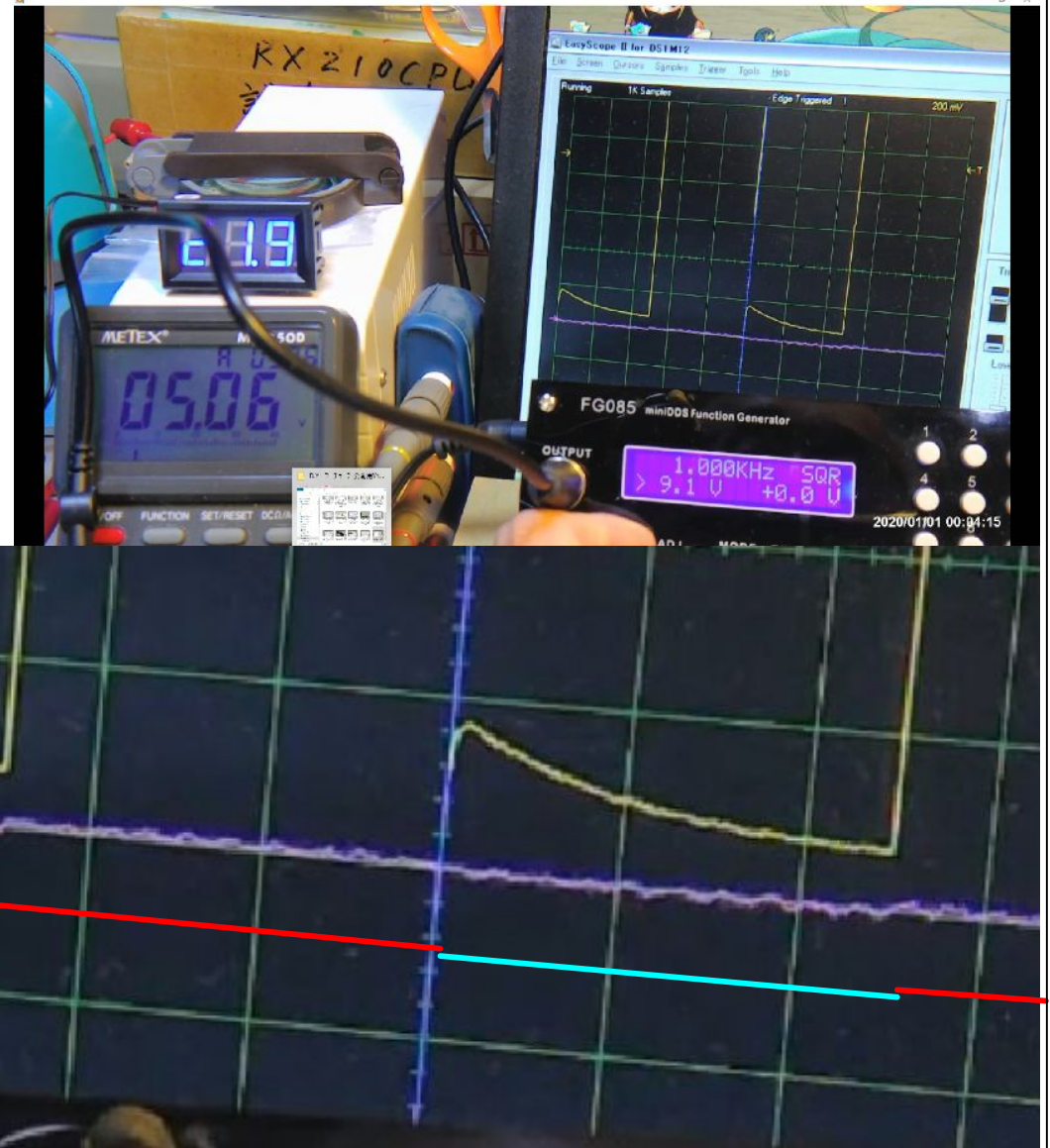
## 前回の基準電圧回路の 追加事項 2

120の動画で、オペアンプ出力に、 $1.5k\Omega$ を接続し反対側に ファンクションジェネレーター出力  $1kHz$  方形波を出力してオペアンプ出力の揺らぎを確認する動画を、よくよく見てみると FG出力  $6V$ 以上にて 僅かにオペアンプ出力が揺らいでいるように見えました。数mVオーダーぐらいだと思います。下側のオシロ画面拡大画像に、青と赤でこの程度の段差です。

という事で 線を入れてみました。

まあ、大雑把に見れば無視出来るレベルかもしれませんが。

次のページから、  
今回のお題に 移ります。



## ヘッドホンについて

今回は、オペアンプ使用 ヘッドホンアンプ 3種の紹介を行います。

ヘッドホンは説明の必要は無いと思いますが、右側の画像の様な物です。通常 音楽鑑賞用、録音モニター用、電子楽器レッスン



用などに用います。ヘッドホンは、振動板の駆動方式で、ダイナミック型とコンデンサ型の2つに分かれます。主流は、ダイナミック型で、コンデンサ型は、専用の高圧バイアスを出力するアンプを必要とするため、高価であまり見ません。画像の物は ソニーミュージックコミュニケーションズの MDR-CD900STです。

ダイナミック型で インピーダンス  $63\Omega$ と書いてあります。ケーブル末端のコネクタは、 $\phi 6.3\text{ mm}$  の ステレオ フォーンプラグが 付いて

います。で、ダイナミック型ヘッドホンの ボイスコイル インピーダンスは、 $50\Omega \sim 600\Omega$ と 結構幅が あります。日本製は 殆ど  $50\Omega$  前後ですが、ドイツの AKGは  $600\Omega$  です。

携帯用オーディオ機器では、電源電圧が低いため、AKGのヘッドホンは 小さい音しか出ません。しかし流れる電流は  $600\Omega$ で 少ないため  $\pm 9\text{V} \sim \pm 12\text{V}$ で、割と電流の流せるオペアンプであれば ヘッドホンの直接駆動が 可能かもしれません。

逆に、 $50\Omega$  前後のヘッドホンの場合、低い音声電圧出力で、結構大きい音で鳴らせます。が、電流が、結構流れるので、オペアンプの後段にバッファアンプを 入れた方がいいです。

よって、 $\pm 9\text{V} \sim \pm 12\text{V}$ の電源電圧で オペアンプ出力に バッファアンプを付ければ、 $50\Omega \sim 600\Omega$  の ヘッドホンに対応出来ます。



## オペアンプ使用ヘッドホンアンプ 開発の経緯

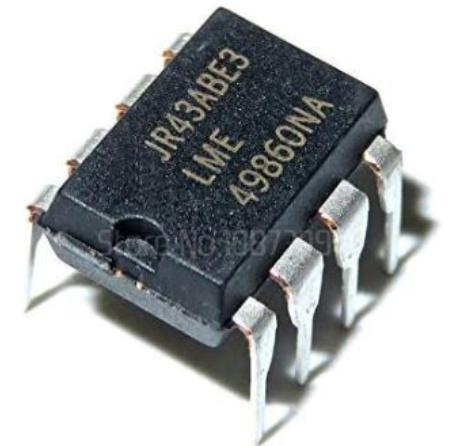
という事で、前ページの  $50\Omega \sim 600\Omega$  に対応できるヘッドホンアンプという事で、3種類のヘッドホンアンプを 10年ぐらい前に作成しました。この3種類というのは、使用するオペアンプは同じですが、後段のバッファアンプ部分を 3種類作って音質比較してみた。という事です。3種類には、HP-AMP\_A0、HP-AMP\_B0、HP-AMP\_C0 と名前を付けました。略して A B Cで 呼びます。

まず、オペアンプですが 3種類 共通で、LME49860 です。ネット上では「2007年に発表されたオペアンプで、オーディオ用途としての性能が大変優れている。価格も手ごろ」との事で、このオペアンプのデータシートの特徴に書いてあるのは「ウルトラ低歪率、ローノイズ、高スルーレイトで、ハイパフォーマンス、ハイフィデリティの用途専用」と 書いてあります。

過去に 秋月電子で購入しましたが、今は 販売していません。いい物は早く売り切れてしまう。という事でしょうか？  
確かにいい音がします。

Amazonで 売られている物を見つけましたが価格は、1個 1,181円で私が買った時よりだいぶ高いです。

もう一つ、3種で共通な物は、電源と リレーミュート回路の基板です。8pinの黄色いシールを張ったICが、見えますがこれは PICマイコンです。これでリレーミュートを制御しています。



### 3種類のヘッドホンアンプの 画像

電源は、DC 9V または DC 12Vの ACアダプタを 2個使用します。よって  $\pm 9V$ か  $\pm 12V$ で 使用します。よってヘッドホンとは、カップリングコンデンサを使わず、直結します。

その関係で、出力に DC成分が出ないようにもう一つ オペアンプを使用して DCサーボ回路を構成しています。このヘッドホンアンプの外観は 右の画像を参照して下さい。

右の画像を見て、四角い白い押しボタンに気付かれた方もいるでしょう。ミュートングリレーが ONしている時、押しボタンは背後からLEDで 光る様にしています。押しボタンを押す事で、リレーを ON、OFF 出来ます。

また、ヘッドホンジャックに 奥までプラグを差し込むと、ONする接点が付いていたので、挿し込まれて2秒して リレーをONするようにも、しています。プラグを 引き抜こうとする時は

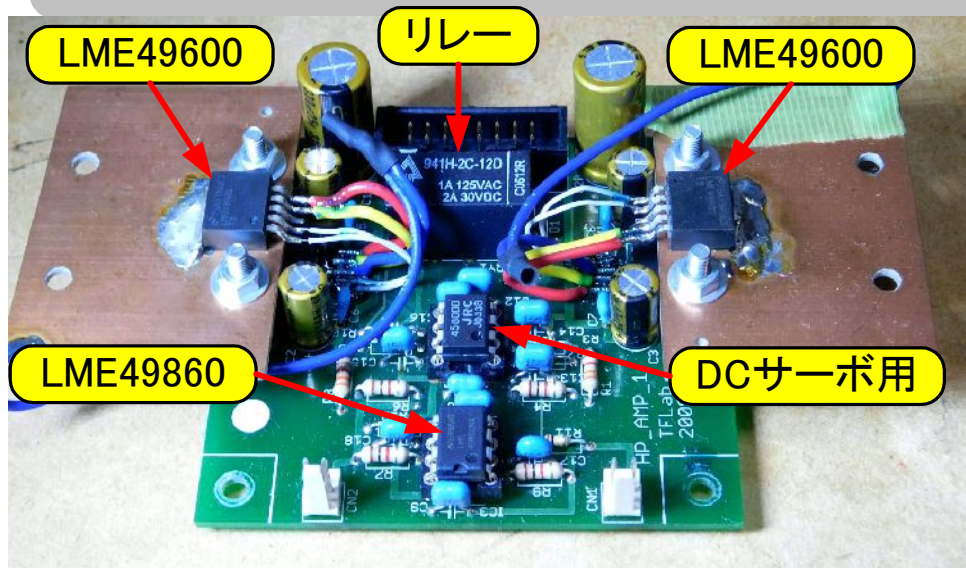


即座に リレーを OFFします。よってプラグが挿入されて無い場合は、電源ONして待っていても、リレーは ONしません。よって、電源ONから指定時間が経過して、且つ ヘッドホンプラグが、挿入されて指定時間が経過して、初めてリレーが ONします。このリレーの制御を 8pin PICマイコンにて行っています。

尚、上の蓋は 中身を見せるため外しています。



## ヘッドホンアンプ Aの 説明

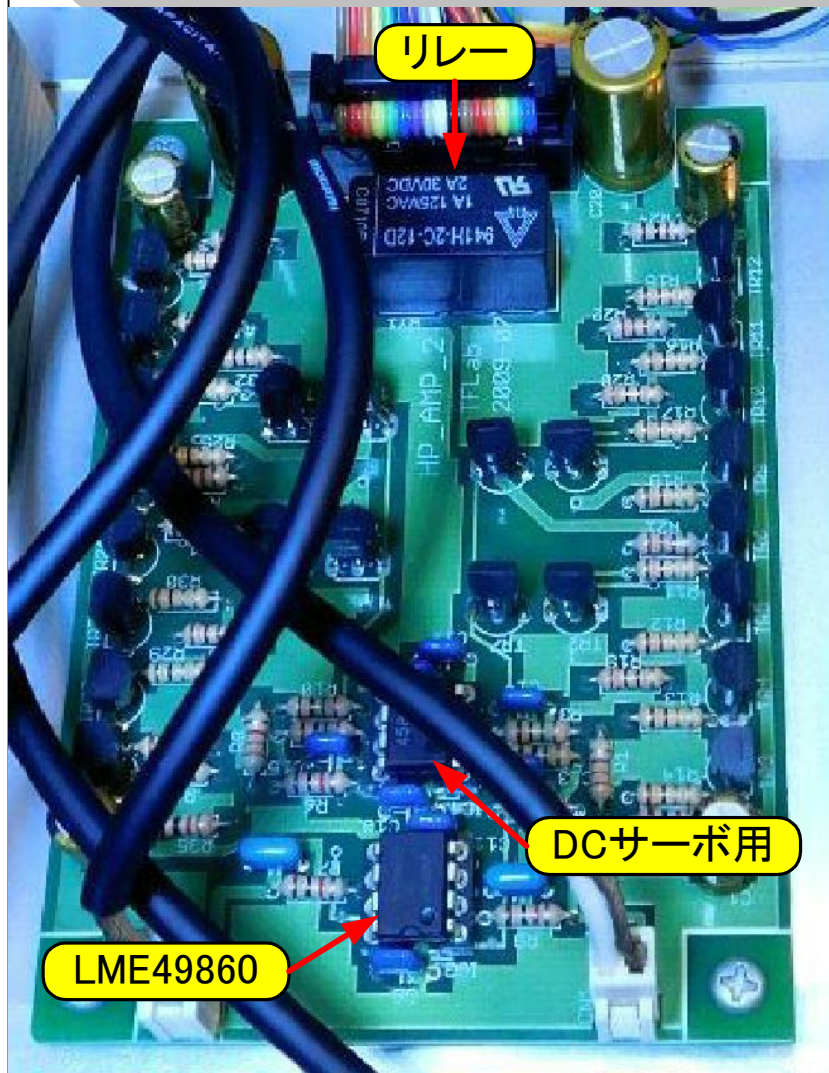


ヘッドホンアンプ Aの最初の試作基板です。オペアンプ後段の**バッファ**に **LME49600** を使用しています。型板がオペアンプと似ているので ナショナルセミコンダクタは、ファミリーとして使用する事を想定していたと思われます。LME49600は、**電圧利得 1** で、ヘッドホンのドライバとして出力電流( **定格 250mA** )を流し出します。電源電圧は、 $\pm 2.25V \sim \pm 18V$  です。

左の画像を見てもらえば分かりますが、表面実装のパワー素子という感じで、放熱フィンの周りに、半田付けする時は、60Wぐらいのハンダごてでやった方がいいです。反対側の 5本の足も表面実装用です。よって蛇の目基板には、付けにくいです。



## ヘッドホンアンプ Bの 説明



ヘッドホンアンプ Bの基板は、オペアンプ後段のバッファアンプを、小信号トランジスタ **2SA1015**、**2SC1815** を多数使用して **4パラ構成の終段プッシュプル**にしています。回路図は、後でお見せします。4パラにした理由は小信号トランジスタなので、1個のトランジスタにあまり負荷をかけないで、50Ωぐらいのヘッドホンも強力に駆動したかった。という事です。もう一つの理由は、パワートランジスタは、キャリア蓄積効果のせいか 高い周波数の再生が苦手な傾向があります。よって**高周波特性のいい 小信号トランジスタを 使いたかった**のです。

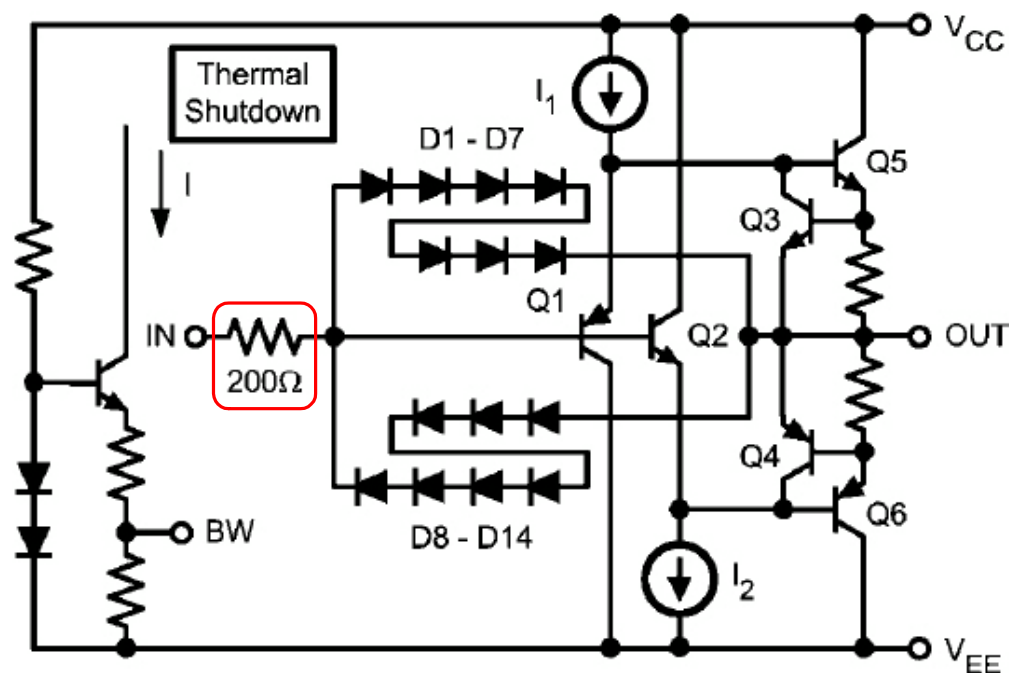
LME49600 バッファアンプとは、いい勝負なのですが、若干 Bが 勝っています。高域の周波数特性が -3dB落ちる周波数が、**Aの アンプの場合 700KHz**で、**Bの アンプが 800KHz**でした。そんな高い周波数まで 高域が伸びていると危ないぞ。と言われそうですが、実は 組み上げてすぐは Bと Cの ヘッドホンアンプは、何と **60MHzで寄生発振を起こしました**。Aの ヘッドホンアンプは、ナショセミのデータシートの回路図を 採用したので 発振しませんでした。



では、何故 バッファIC LME49600Aを 採用した ヘッドホンアンプ Aは、寄生発振を起こさず私が、トランジスタで構成した バッファアンプは寄生発振を 起こしたのか、原因が分かりませんでした。何か違いがあると考え LME49600Aのデータシート内の内部等価回路を見てみたら、違いを発見出来ました。入力端子直後に1本 200Ωの抵抗が、入っていました。右の等価回路で、赤い枠で囲ってます。

ダンピング抵抗です。以前のコイルの動画にて、LC発振回路の 振動系のQを下げる目的で 抵抗を入れました。その抵抗をダンピング抵抗と呼ぶと説明したと思いますが、それと同じ物です。抵抗を入れる事により、寄生発振のQを下げて 発振を押さえているという事です。過去の 開発時の資料を見ると Bと Cのヘッドホンアンプには、220Ωの 抵抗を入れているようです。

LME49600の内部等価回路



という事で、ダンピング抵抗 220Ωを 追加する事により、B 及び C のアンプも 正常に動作するようになりました。過去の記録によると、他にも基板の 設計ミスにより パターンカット、ジャンパ線を 飛ばしている箇所が 若干ある様です。



## ヘッドホンアンプ Cの 説明



Cの ヘッドホンアンプでは、出力段にパワー  
トランジスタを使用したバッファを採用していま  
す。 Aと Bの ヘッドホンアンプと比べ、作る  
前から 性能が ちょっと劣るだろうな。

とは、思っていました。

実は、この3種のヘッドホンアンプの試作品を  
持って、熊本の音楽舎という 真空管オーディオ  
に詳しい店長さんの オーディオショップに 持ち  
込み、しばらく置いておきますので音の評価を  
お願いします。 という事で帰りました。

数日後、試聴の感想を お伺いしましたが、  
やはり、LME49600を使用した Aの ヘッドホンア  
ンプが、一番ニュートラルで バランスがいい。  
との事でした。 で、Bのアンプは、チェンバロの  
高音とかが、魅力的なところがある。 との事  
でした。 Cのアンプは、放熱器が 共振してい  
ると、言われました。 確かに、ちょっと残響が付  
いたように聞こえるので、放熱器の共振が、ある  
ようです。 で、放熱器の共振というのが、スピー  
カーから出る大音量で、放熱器が 音響エネル  
ギーで共振するのではなく パワー段の電気信  
号のエネルギーで共振するようです。

アルミの放熱器が 電気信号で共振するのか。  
と 疑問に思われる方もおられると 思います。

私も、昔そんなバカなと 思っておりましたが、電気信号で金属が共振する現象を 最初経験したのは、遥か昔の MS-DOSパソコンで、CPUが 第二世代の i286で、CADソフトのデバッグ中の時、後輩からメモリを確保する時パソコンから音がする。という報告を受けた時でした。

にわかには信じられない感じでしたがそこに行くと 確かに 高いシーンという音、別の音に例えるとドラムのシンバル音が減少していく時の、シーンという音が もうちょい濁った感じに 似ています。

因みに メモリを確保するとは、どういう事かというと、C言語の関数で calloc という関数があります。 動的にメモリを確保する関数で、確保したメモリーに、0 を書き込み初期化します。

パソコンの場合は、筐体が 鉄で出来ているので0を 連続的に書き込むという事は、同じ方向に電流が 高速の断続信号としてバスラインに流れてその電流の周りに 断続信号の磁力線が発生して鉄の筐体が 共振したのかな。と考えました。

その後、年月は流れ 蓄電システムの、インバータの制御で、H8マイコンを使用してファームウェアを開発していた時です。 インバータの主回路は放熱のため、アルミの大型ヒートシンクに基板が固定されています。 インバータが稼働していると、この時も シーンという音がしてました。

この時のインバータ回路は、筐体も アルミだったのです。アルミばかりであれば、磁力線で、共振しにくいと思いますが、パワー素子を固定するために、ネジを使用します。 そのネジは 殆どの場合、鉄です。 であれば、鉄のネジの共振からアルミに振動が 伝わるのかもしれませんが。あくまで推測です。

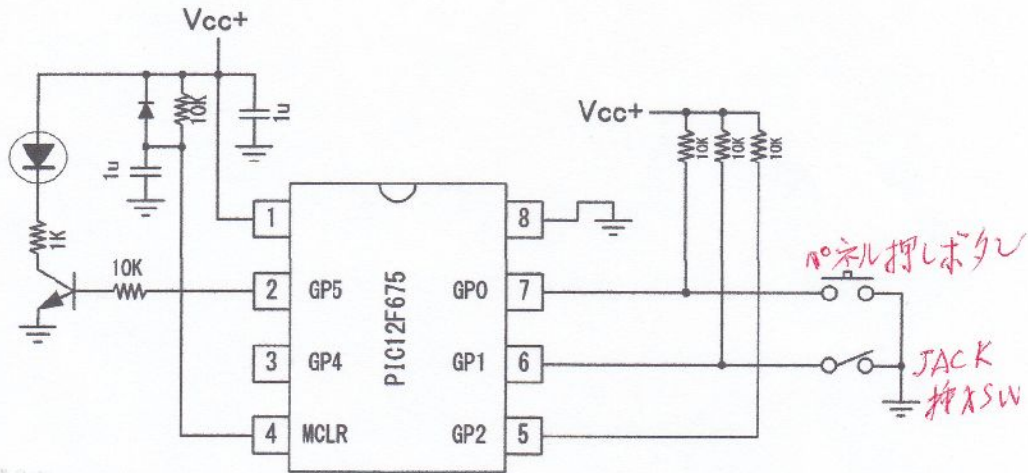
アルミの共振音の話が、長くなってしまいました  
たが、Cのアンプの周波数特性は 憶えていま  
せんが、A、B のアンプより 性能は 低かったと  
思います。 音もちょっと魅力に欠ける音だった  
と思います。

で、回路図ですが、元のドキュメントファイル  
が残っておらず、紙の印刷物が、ありました。  
よって紙の印刷物をスキャナーで取り込み画  
像ファイルとして保存しました。 元が 縦長の  
A4イメージだったので、物によっては、横に寝  
かして表示してます。 そして文字が 小さいで  
す。 ごめんなさい。

次のページから表示します。



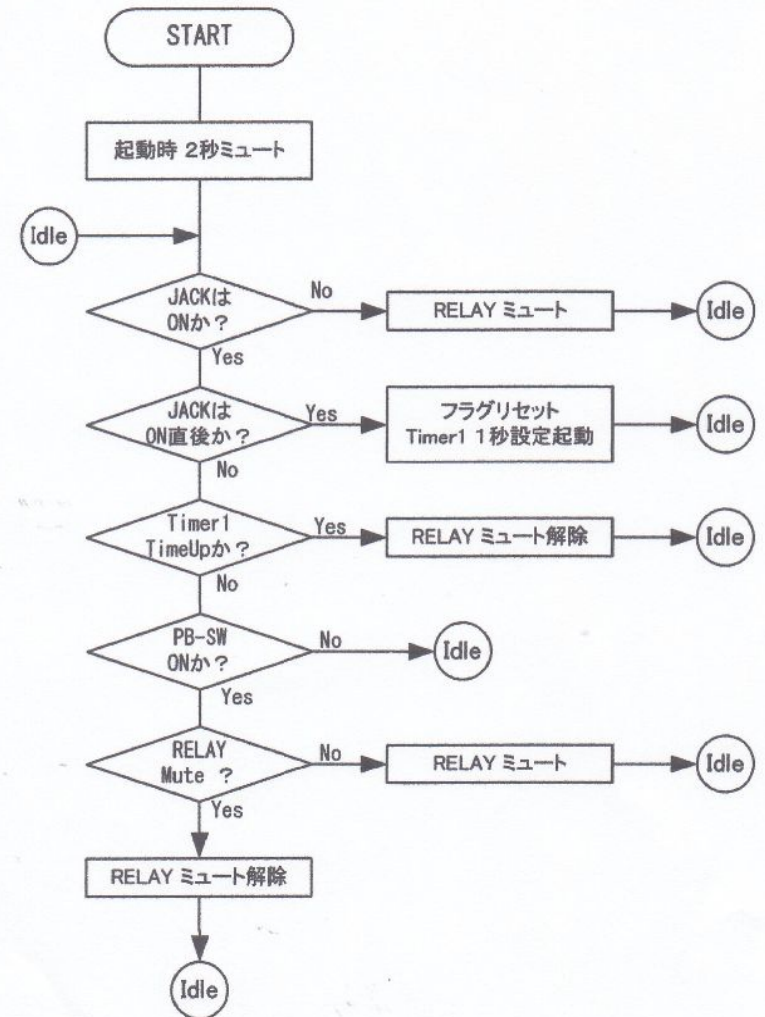
HPAMPミュートリレー制御用  
8ピンPICテスト回路図



### リレーON、OFFの条件

- ① 電源ON時： 1～2秒ミュートする。
- ② ヘッドホンジャックのジャック挿入検出SWが OFF時ミュートする。
- ③ ジャック挿入検出SWが ONになったら、1秒後に ミュートを解除する。
- ④ ミュート解除時、押しボタンを押したらミュート、再度押したら解除が出来るようにする。
- ⑤ ジャック引抜きを検出したら即座にミュートする。

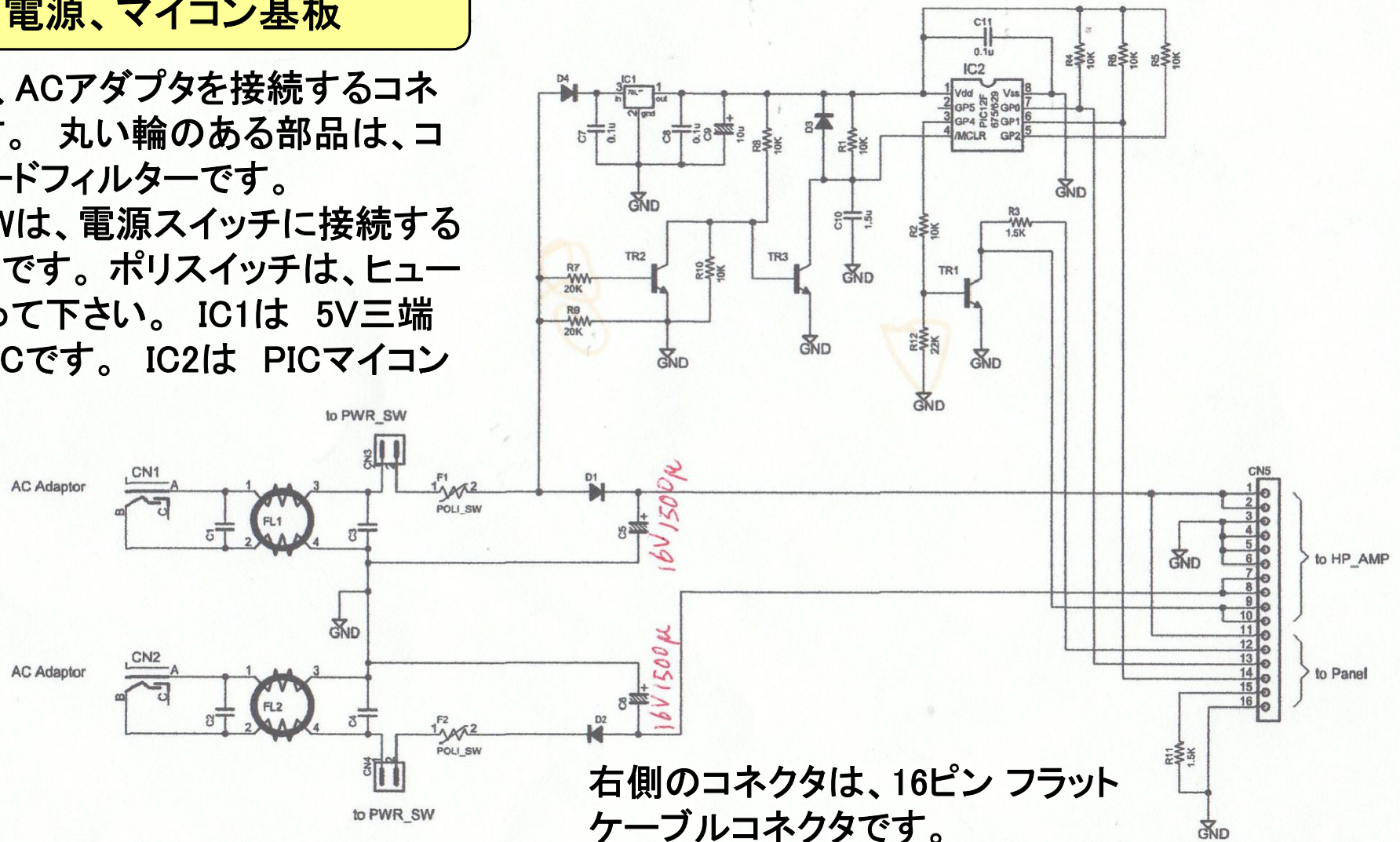
### リレーON、OFFのシーケンス



## 電源、マイコン基板

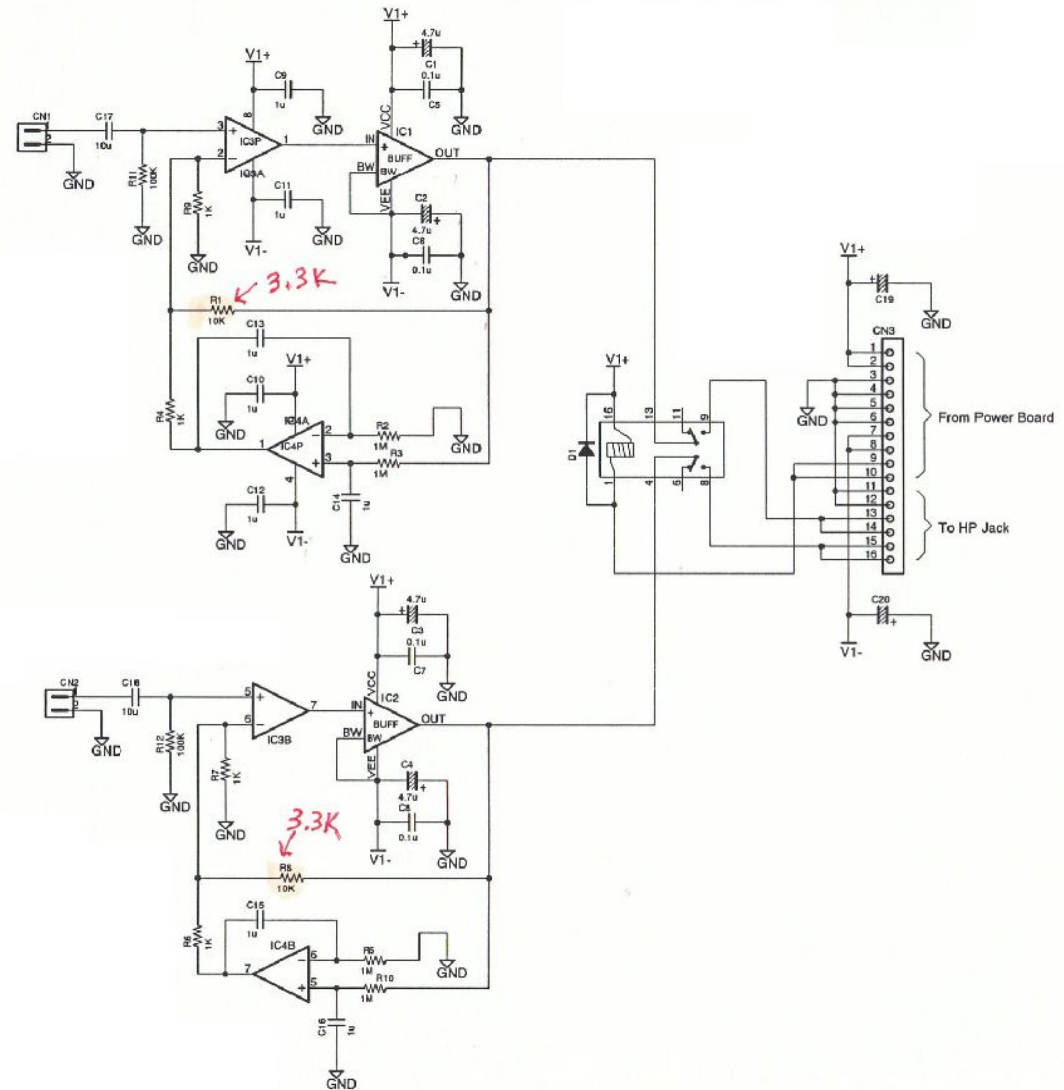
左下が、ACアダプタを接続するコネクタです。丸い輪のある部品は、共通モードフィルタです。

PWR\_SWは、電源スイッチに接続するコネクタです。ポリスイッチは、ヒューズと bitte 下さい。IC1は 5V三端子電源ICです。IC2は PICマイコンです。



## HP-AMP\_A 基板

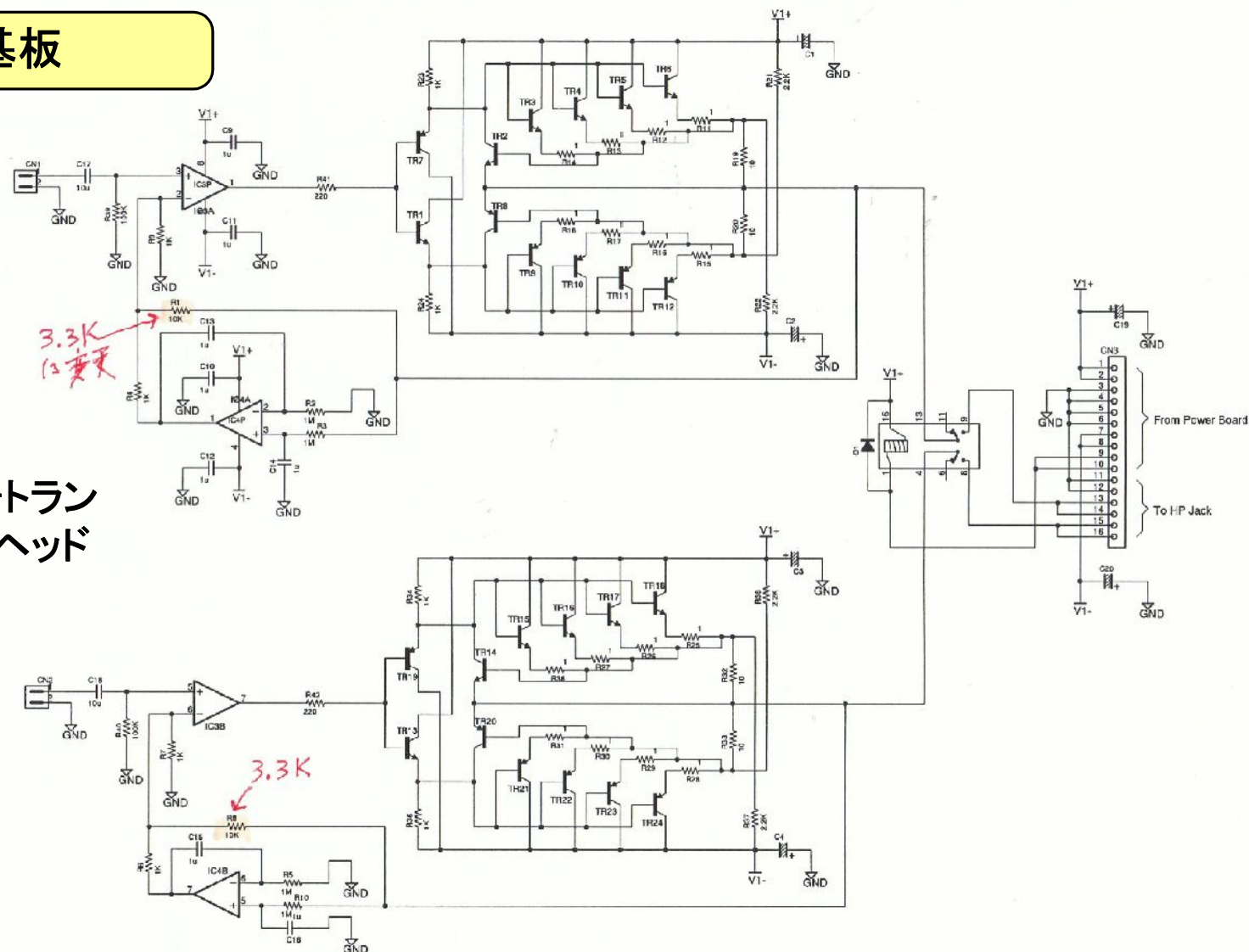
バッファアンプに LME49600を使用したヘッドホンアンプです。





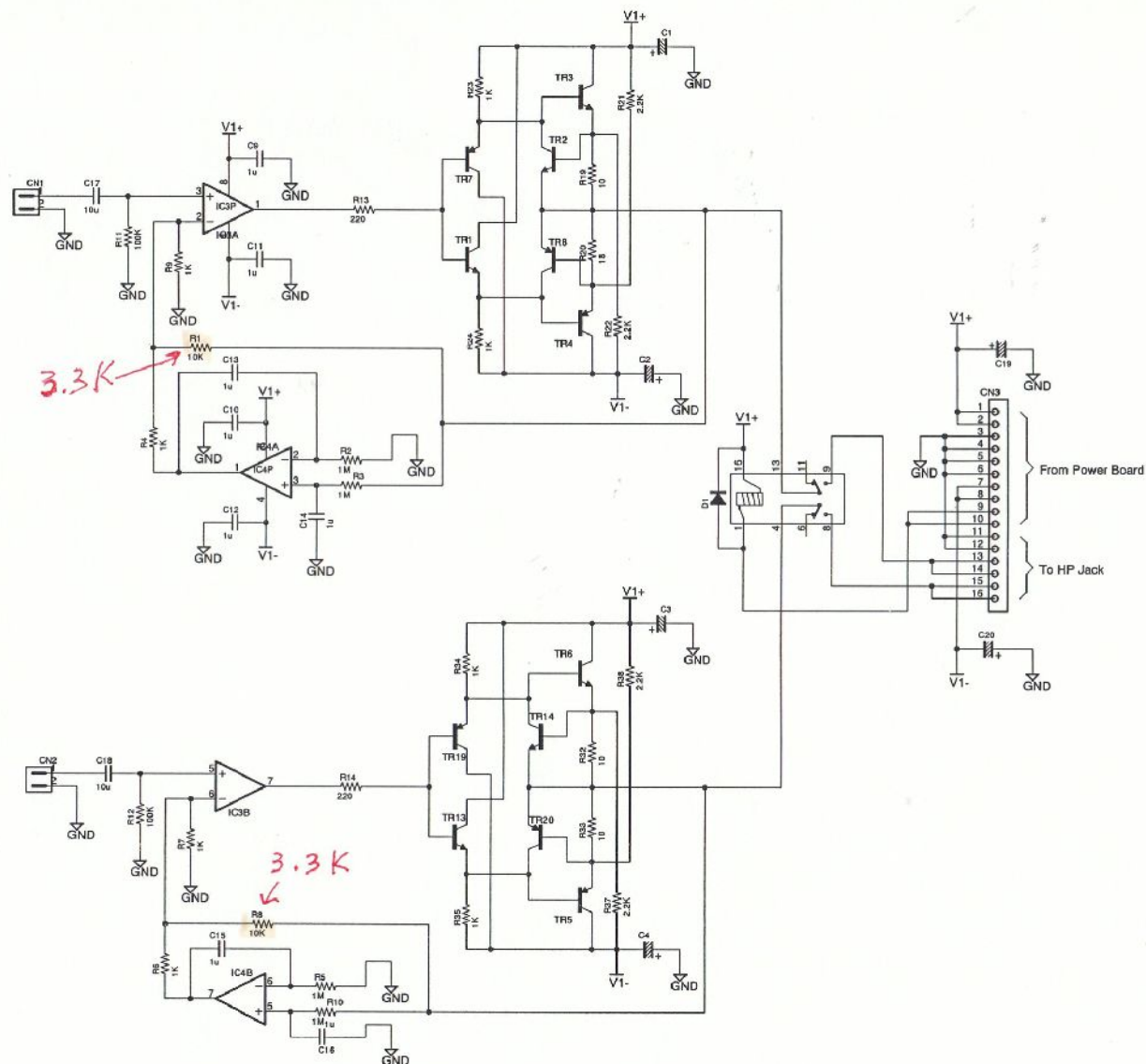
## HP-AMP\_B 基板

バッファアンプに 小信号トランジスタを 4パラ接続したヘッドホンアンプです。

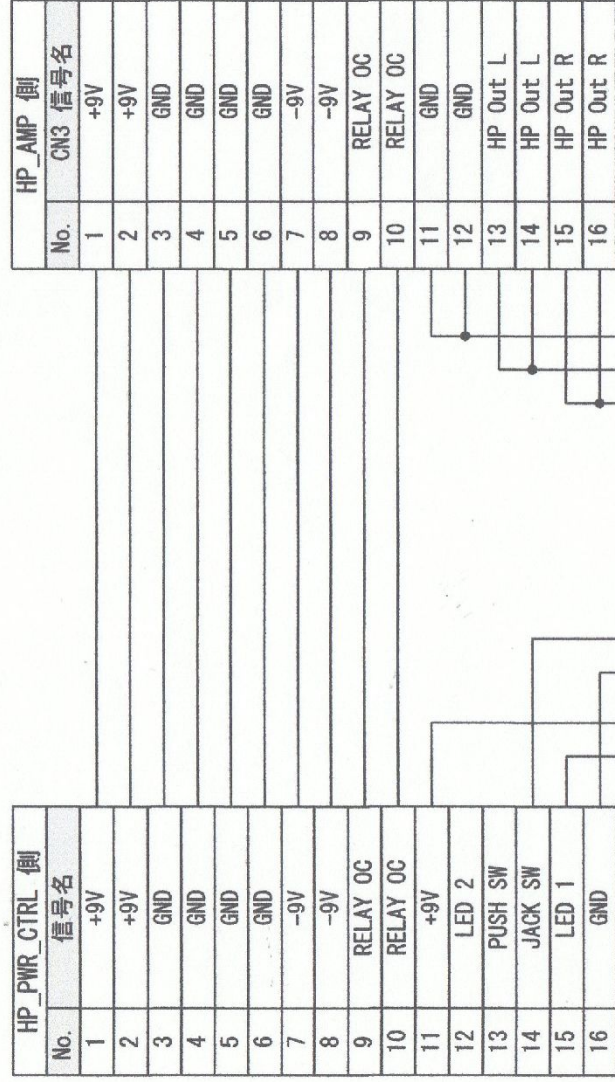
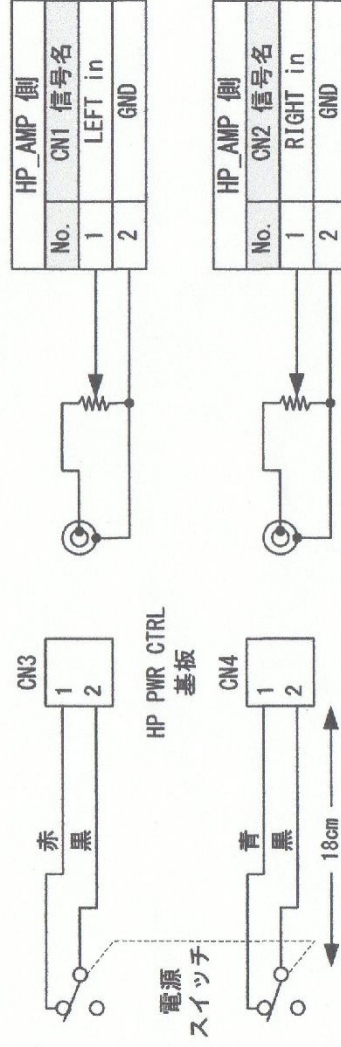


## HP-AMP\_C 基板

バッファアンプに パワートランジスタを使用した ヘッドホンアンプです。



# ヘッドホンアンプ基板間結線図 (Ver.1.0)



電源 LED

照光式Pushスイッチは廃止

