

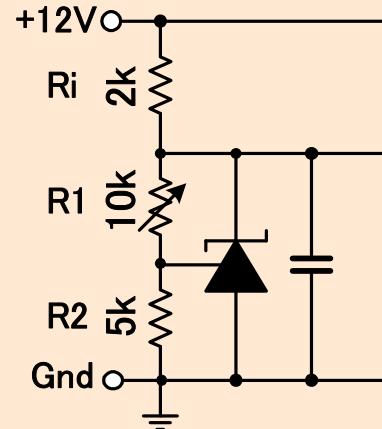
## 前回の基準電圧回路の電圧調整について

### ちょっと、本題に入る前に

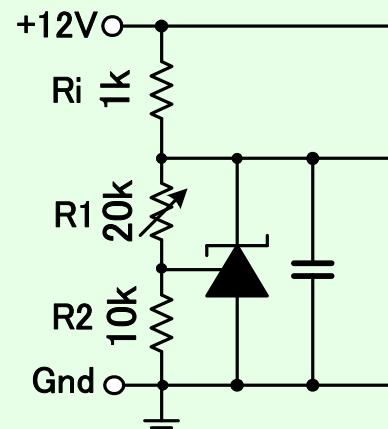
前回 120の動画にて、動画の下の説明欄に追加で、説明を書いてましたが、気付かなかつた方もおられるかもしれないと思い書いておきます。TL431 電圧可変で、理論上は、2.5V ~ 7.5V 出るはずなのに 2.5V ~ 6.8Vまでしか出なかった件にて、原因が分かりました。R1の10kΩの 可変抵抗の抵抗値が、8.6kΩぐらいで 抵抗値がかなり低かった事と、R2の 5kΩは 5.1kΩ ±1%の 金属皮膜抵抗です。よって R2は、若干 抵抗値が 高かったという事です。出力する基準電圧は、 $V_{ref} = \text{約 } 2.5V$  で出力  $V_o = V_{ref} * (1 +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



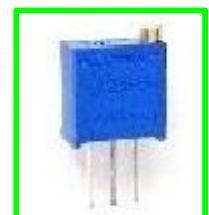
(新)回路定数 こちらの  
定数を使用して下さい



- ④  $R1 > R2$  の場合、 $5V < V_o <$  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。



20円



120円

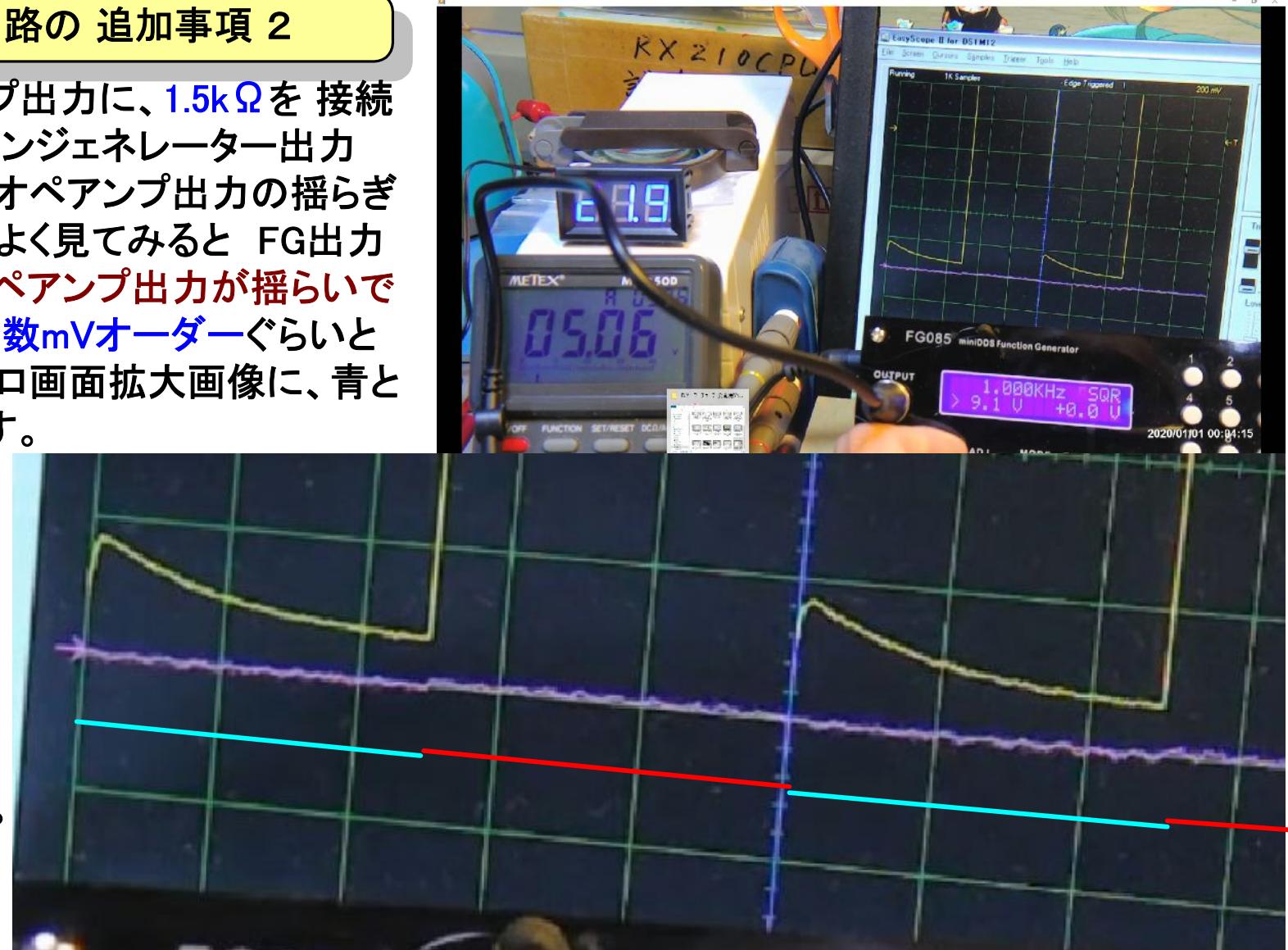
## 前回の基準電圧回路の 追加事項 2

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オーダーぐらいと思ひます。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ません。

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

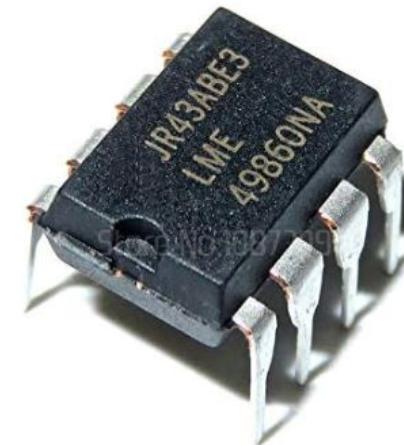
## オペアンプ使用ヘッドホンアンプ 開発の経緯

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  
ミューティング回路の基  
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  
リレーミューティングを  
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 ±9Vか ±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。ミューティングリレーが 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。

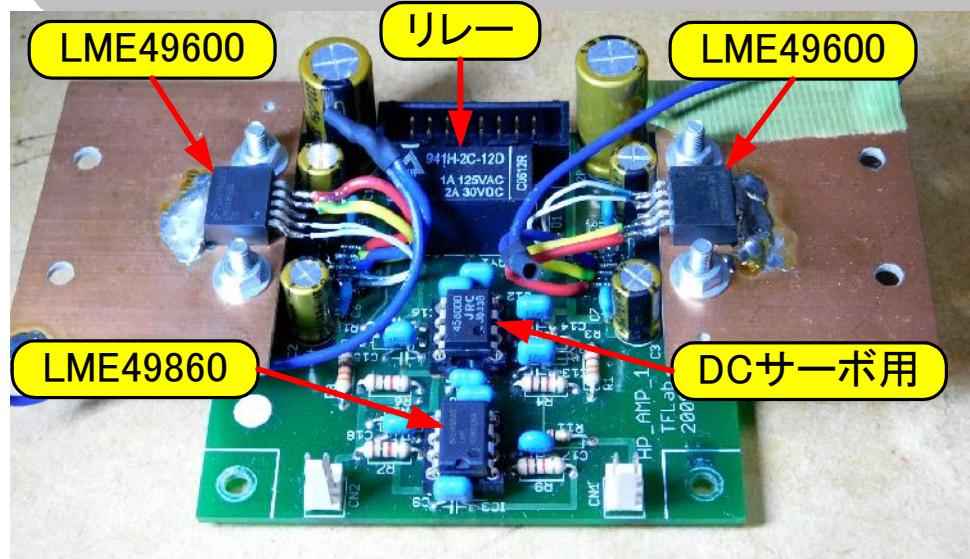
また、ヘッドホンジャックに 奥までプラグを差し込むと、ONする接点が付いていたので、挿し込まれて2秒して リレーをONするようにも、しています。プラグを 引き抜こうとする時は



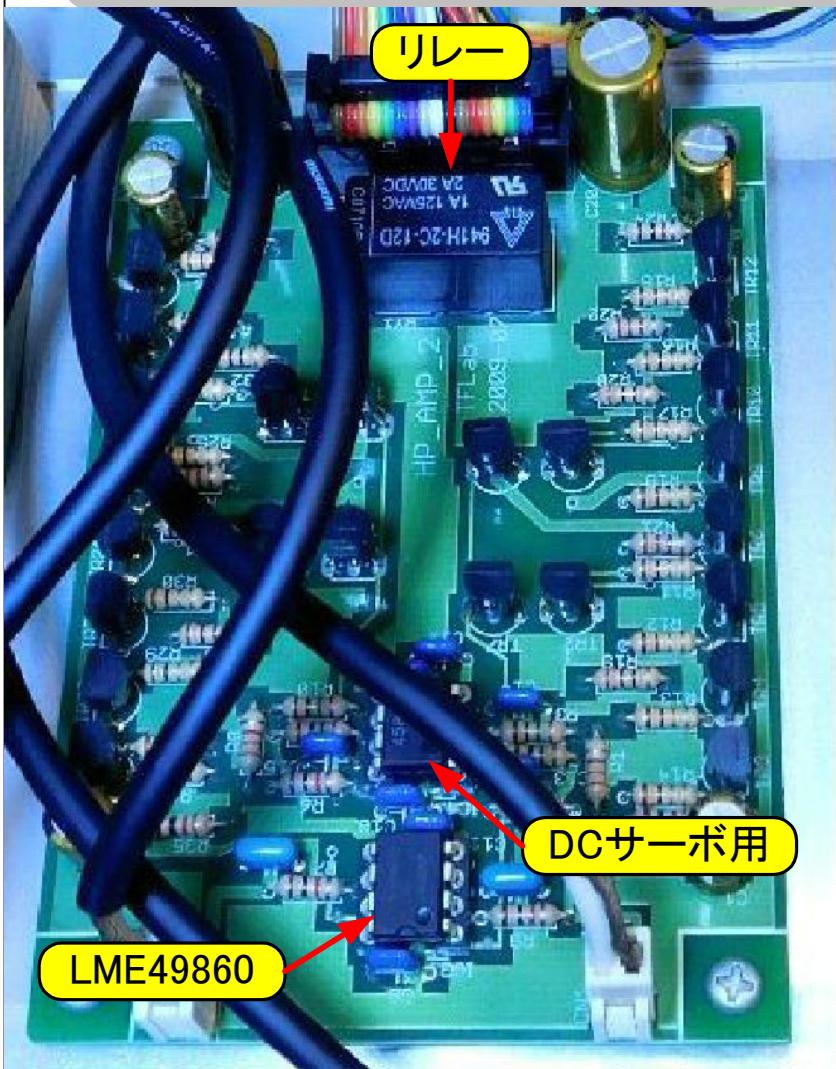
即座に リレーを OFFします。よってプラグが挿入されて無い場合は、電源ONして待っていても、リレーは ONしません。よって、電源ONから指定時間が経過して、且つ ヘッドホンプラグが、挿入されて指定時間が経過して、初めてリレーが ONします。このリレーの制御を 8pin PICマイコンにて行っています。

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 Bの 説明



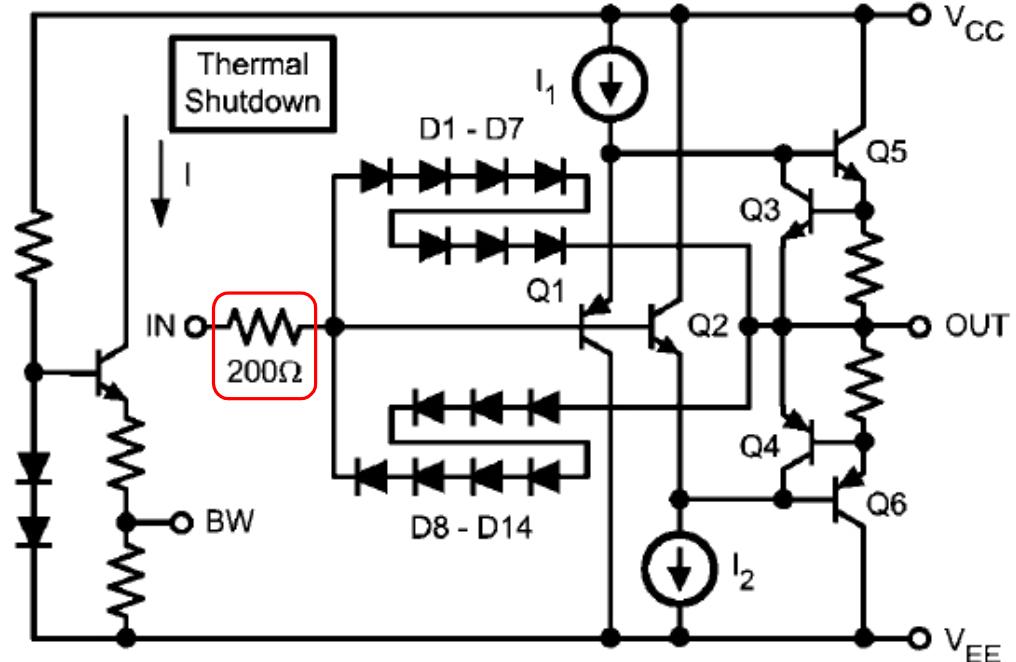
ヘッドホンアンプ Bの基板は、オペアンプ後段のバッファアンプを、小信号トランジスタ 2SA1015、2SC1815を 多数使用して **4パラ構成の終段プッシュプル**にしています。回路図は、後でお見せします。4パラにした理由は小信号トランジスタなので、1個のトランジスタにあまり負荷をかけないで、 $50\Omega$ ぐらいのヘッドホンも強力に駆動したかった。という事です。もう一つの理由は、パワートランジスタは、キャリア蓄積効果のせいか 高い周波数の再生が苦手な傾向があります。よって**高周波特性のいい 小信号トランジスタを 使ったかった**のです。

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  $-3\text{dB}$ 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、違いを見出しました。 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  
お願ひします。 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、遙か昔の 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いました。

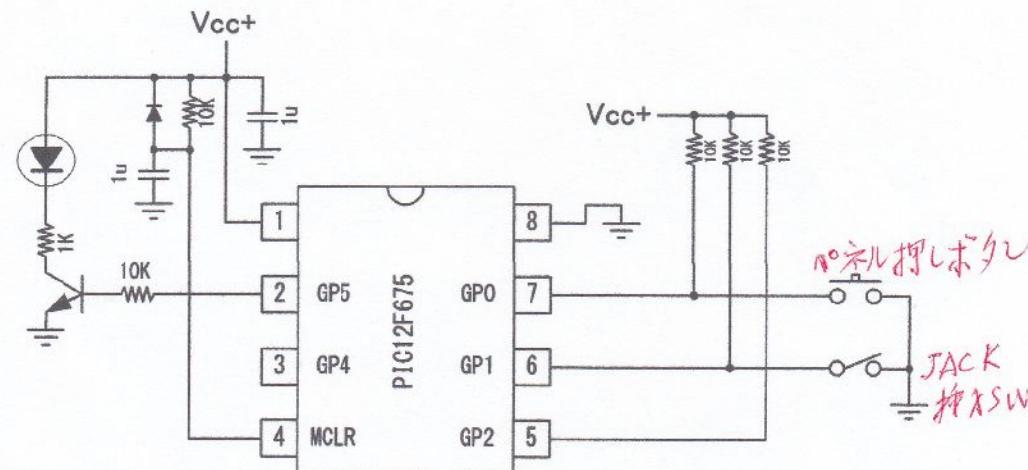
この時のインバタ回路は、筐体も アルミだったのです。アルミばかりであれば、磁力線で、共振しにくいと思いますが、パワー素子を固定するために、ネジを使用します。そのネジは 殆どの場合、鉄です。であれば、鉄のネジの共振から アルミに振動が 伝わるのかもしれませんね。あくまで推測です。

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。

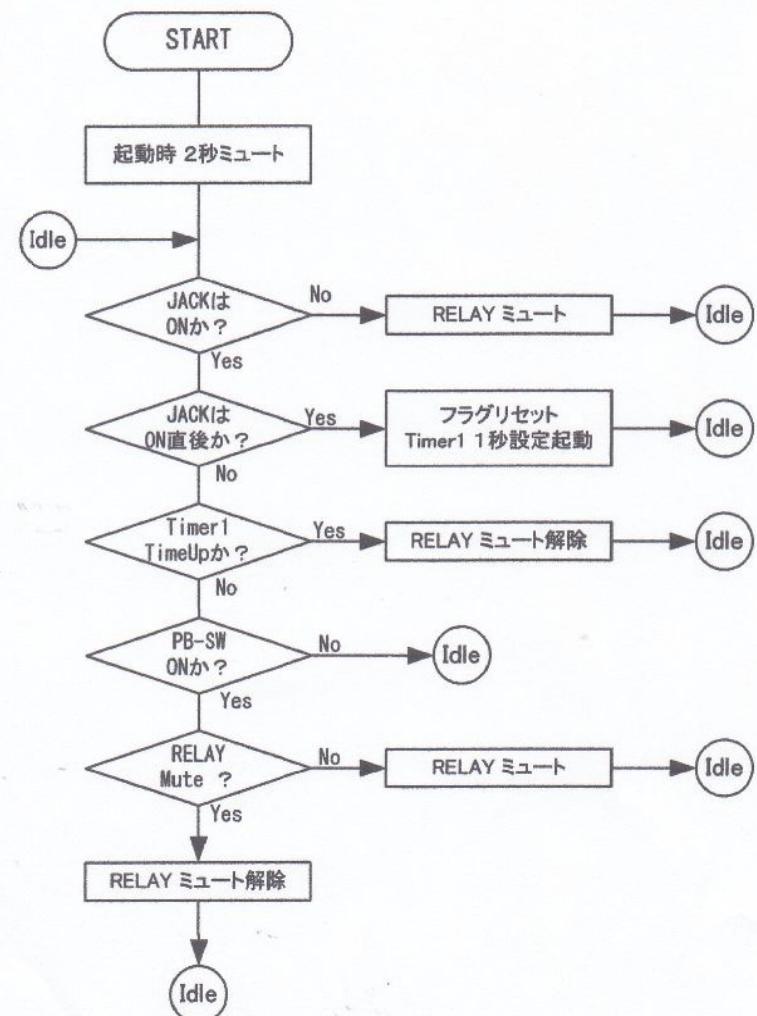
HPAMPミュートトリレー制御用  
8ピンPICテスト回路図



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。

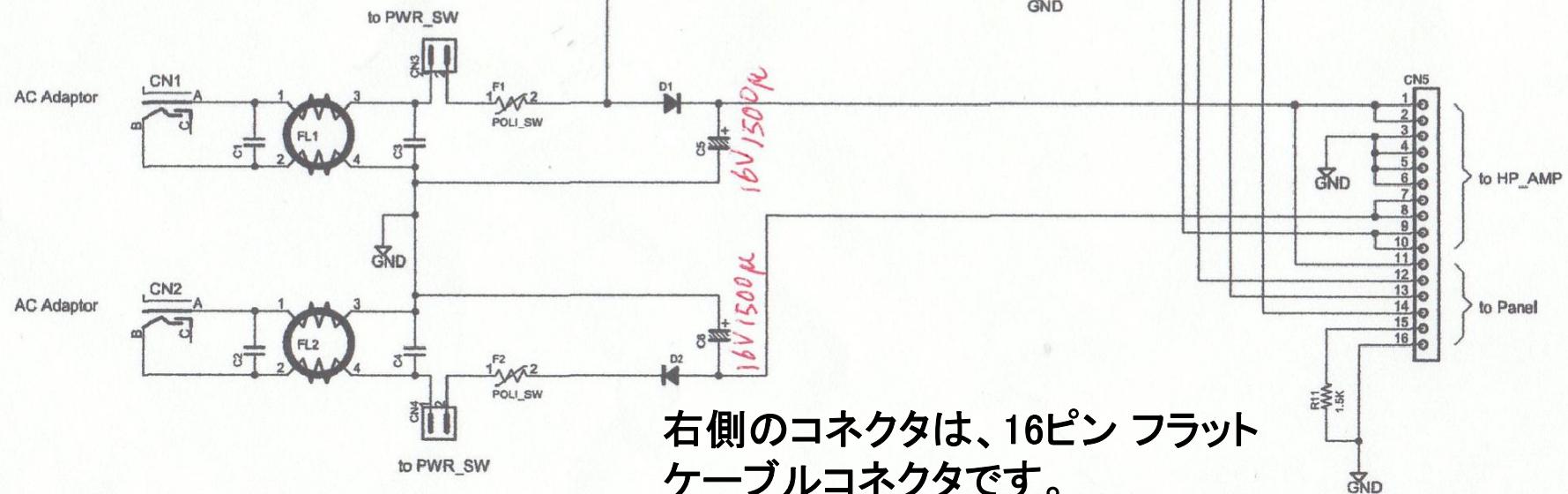
リレーON、OFFのシーケンス



## 電源、マイコン基板

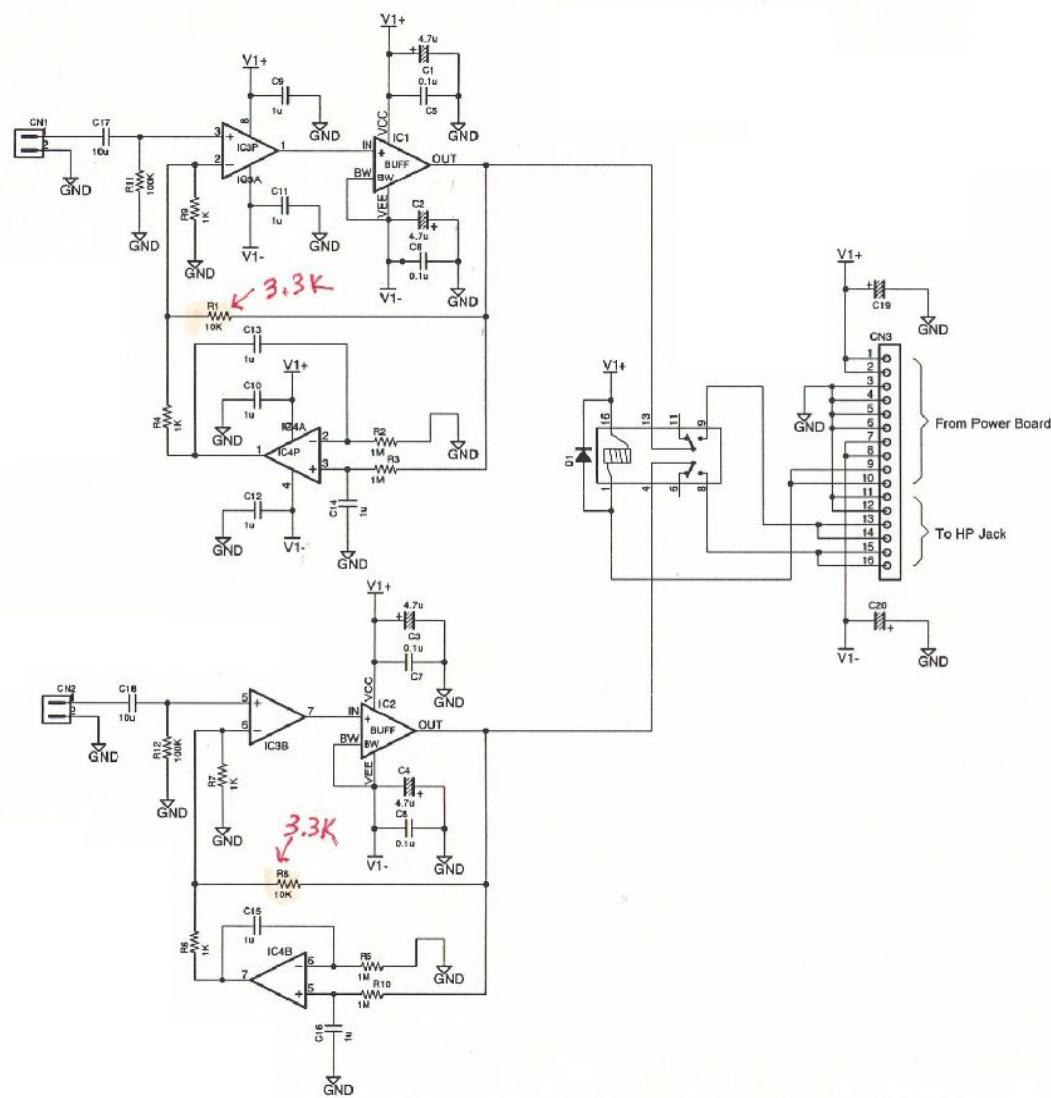
左下が、ACアダプタを接続するコネクタです。丸い輪のある部品は、コモンモードフィルターです。

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、ヒューズと思って下さい。IC1は 5V三端子電源ICです。 IC2は PICマイコンです。



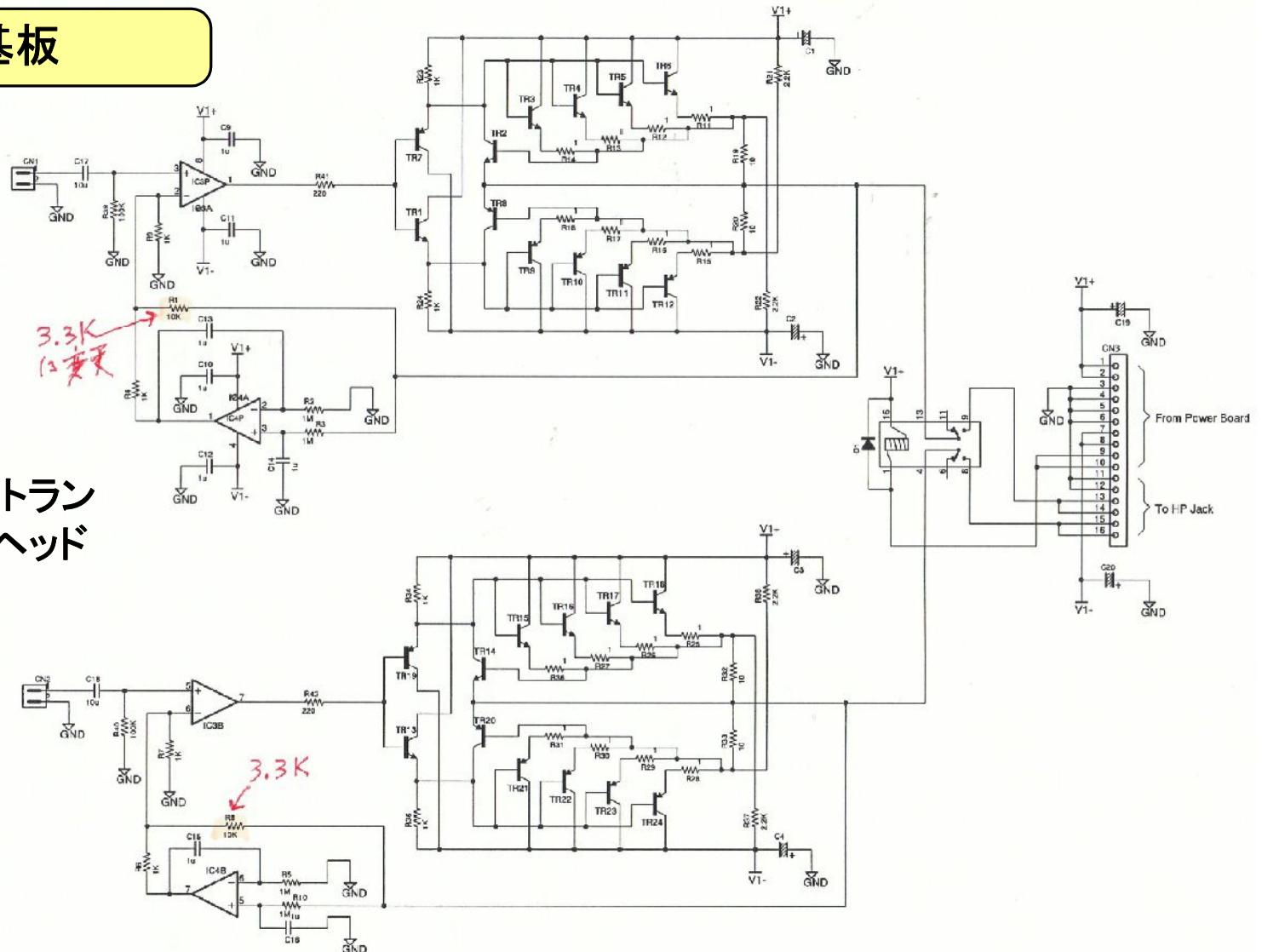
## HP-AMP\_A 基板

バッファアンプに LME49600を使用したヘッドホンアンプです。



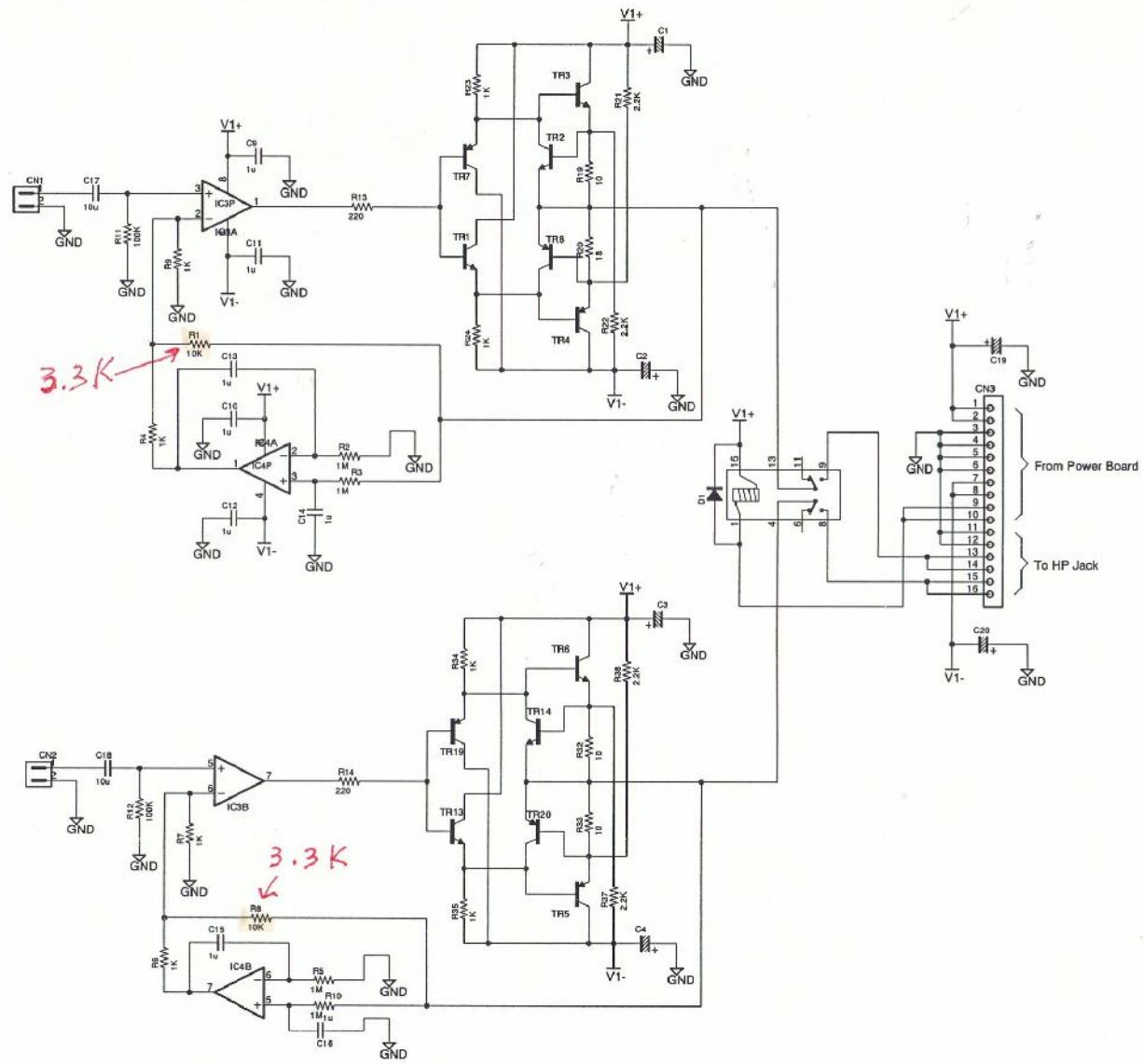
## HP-AMP\_B 基板

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接続図 (Ver. 1.0)

