

[DAC基板付き]

ヘッドホン・アンプ 製作実例集

トランジスタ技術編集部[編]

こだわりの

手作り

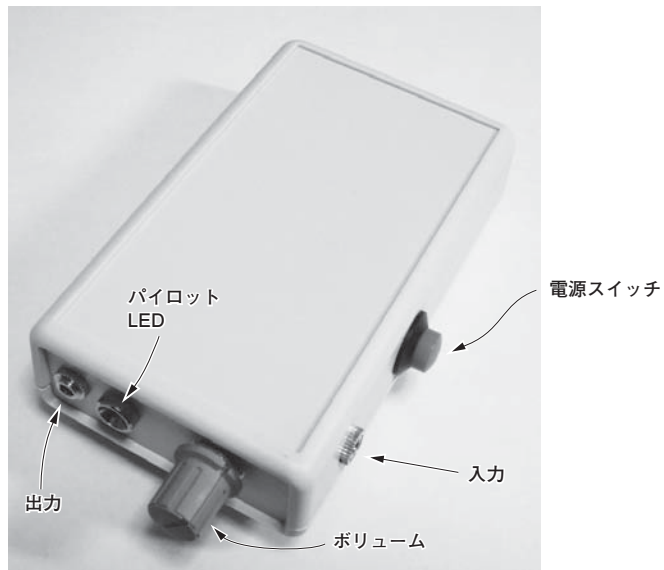
初版限定

USB D-A
コンバータ基板付き

完成度の高い定番
PCM2704を搭載

高性能も狙う!

写真 1-2
ヘッドホン・アンプの試作器



*

写真1-2に試作器の外観を示します。

1-3 回路を設計する

設計した回路を図1-1に示します。なぜ、このような回路になったのか理由を説明しましょう。

■ 回路方式

● +9V単電源から±4.5Vを作る電源回路

006P積層乾電池の+9V単電源で動作させます。抵抗分圧を使って仮想的なグラウンド電位を作る必要があります。このグラウンド電位を基準に回路は動作します。OPアンプも仮想的に±4.5Vで動作することになります。トランジスタやOPアンプを組み合わせるとより理想的な仮想グラウンドを作ることができますが、消費電流やコストを考えた結果、この方式を採用することにしました。

● ボリューム周辺の回路

入力インピーダンス1k Ω という条件から、図1-1のようなボリューム回路を考えました。図中に示したように、これは通常のボリューム回路と少し異なります。

これは、OPアンプの非反転入力端子から見たインピーダンスが1k Ω 以下とってしまわないようにするための工夫で、OPアンプを低ひずみで使用することができます。詳しくはあとで説明することにします。

■ 抵抗の定数や許容差など

● 抵抗から発生している雑音の影響を考慮する

非反転増幅回路の雑音は、図1-2に基づいて計算することができます。図1-2の R_A は、図1-1の信号源インピーダンスに、 R_S は R_5 と R_7 に相当します。

図中の式からわかるように、 R_A や R_S の値はOPアンプの出力雑音に大きな影響を与えます。

アンプを低雑音化したい場合は、影響の大きい R_A と R_S が小さくなるように設計します。 R_A と R_S が十分に小さければ、OPアンプ自体から発生する熱雑音の影響のほうが大きくなります。このような場合は、抵抗の熱雑音よりも内部雑音の小さなOPアンプを選ぶ必要があります。

R_F から生じる熱雑音は、-1倍で出力されるだけですから、出力雑音への影響は軽微です。 R_F は、図1-1の R_6 と R_8 に相当します。図1-2の式に含まれている雑音電流の影響については、設計条件が厳しい場合には検討する必要があります。今回の設計仕様のような数十nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 以下のアンプでは、最初は計算から除外して考えてもよいでしょう。

図1-2の計算を簡単に行うソフトウェアや、Excelなどで作成したスプレッド・シートを使って、すべての影響を考慮した定数設計を行うのも一つのやり方ですが、簡易的に定数を設計する手法を知っておくことは無駄ではありません。

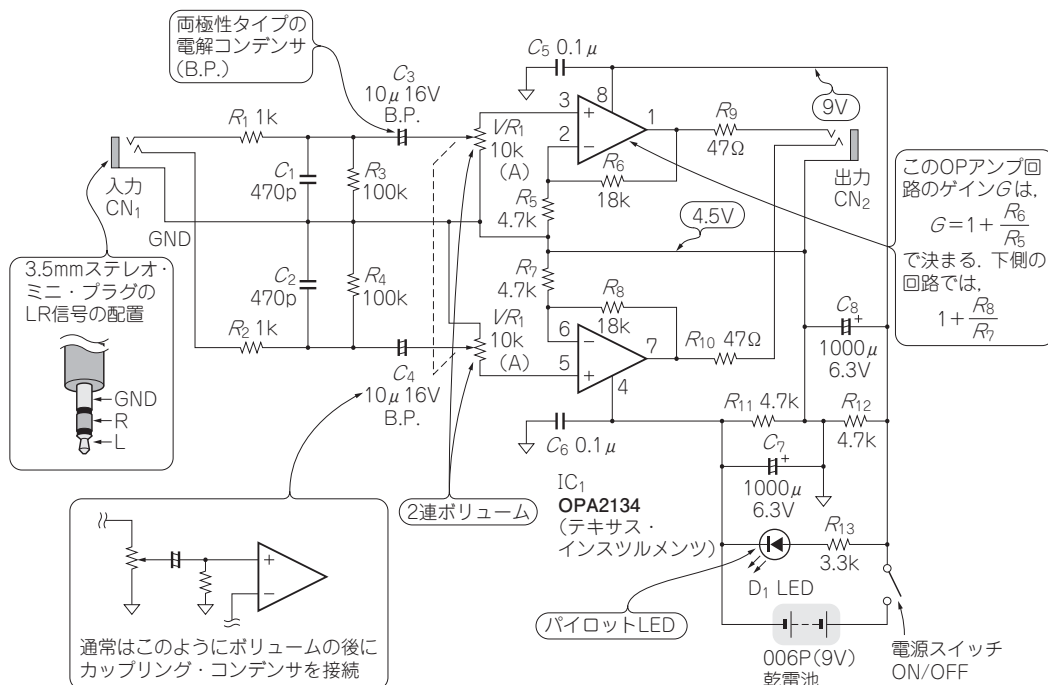


図1-1 設計を終了したヘッドホン・アンプの回路

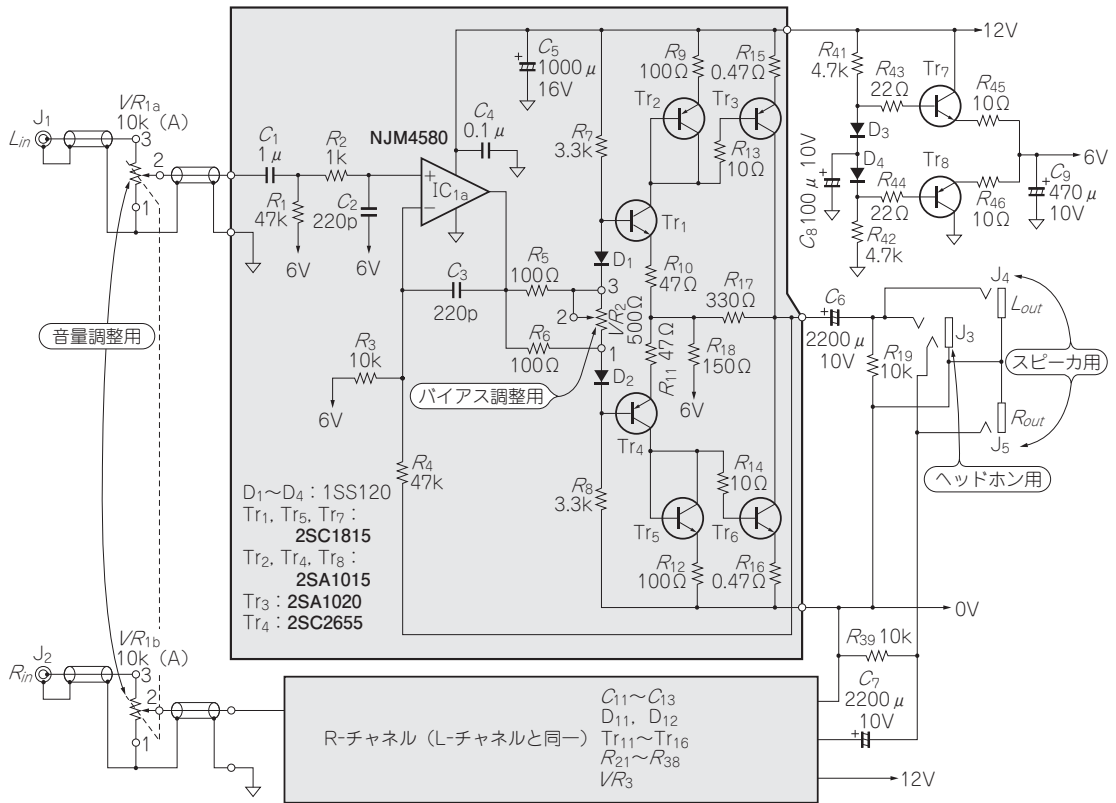


図 2-13 設計したヘッドホン・アンプの全回路図

Tr₂ と Tr₃、Tr₅ と Tr₆ を熱結合するために接着剤でくっつける。

ツタ接地コンプリメンタリ・バッファを組み合わせて、図2-13に示すように非反転増幅器としました。ゲインは5.7倍としましたが、もし不足なら、 R_4 (R_{24})を変更します。入力には音量調整用のボリュームを付けます。

スピーカ用のジャックも左右で2個付けます。動作点を決定する6V(= $V_{CC}/2$)の内部電源は、図のようにTr₇とTr₈のコンプリメンタリ・エミッタ・フォロワで作りました。この回路によって、電解コンデンサの個数と容量を減らせます。

出力電力を見積もるため、図2-14に示すように使用したトランジスタの I_C - V_{CE} 特性⁽³⁾⁽⁴⁾にエミッタ抵抗($R_E = 0.47\Omega$)を加えた負荷線を描いてみました。これから、 K の最大値を $K = 0.85$ (8Ω負荷時)、 $K = 0.9$ (32Ω以上負荷時)とすると、式(3)から、

$$\begin{aligned}
 P_O &= 1.9\text{W} \text{ (8}\Omega\text{負荷時)}, P_O = 0.51\text{W} \text{ (32}\Omega\text{負荷時)}, P_O = 0.32\text{W} \text{ (50}\Omega\text{負荷時)}, \\
 P_O &= 0.16\text{W} \text{ (100}\Omega\text{負荷時)}
 \end{aligned}$$

と、仕様の100mW以上は十分得られそうです。考慮していないその他の内部損失による出力低下がどの程度かは、実験結果を見てみます。

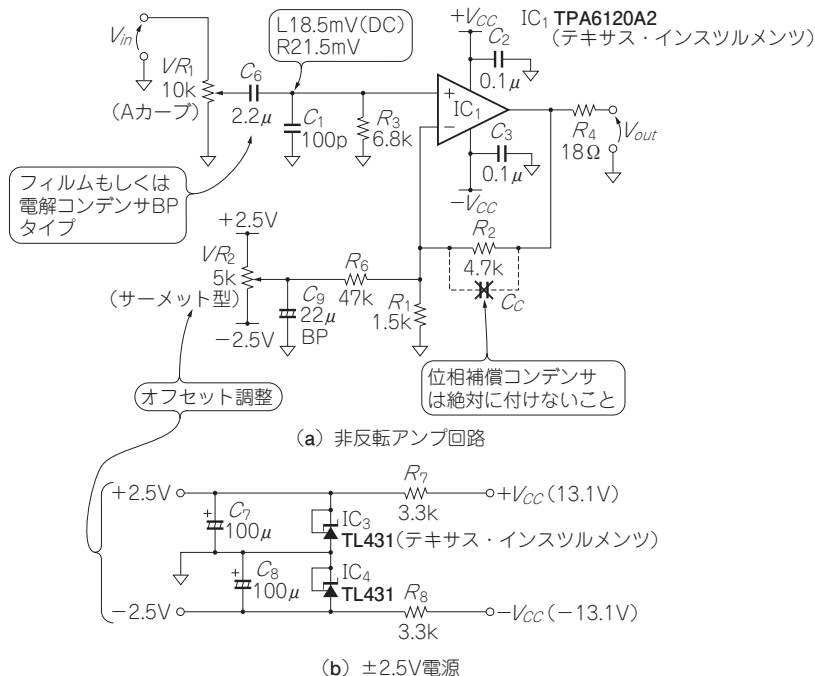
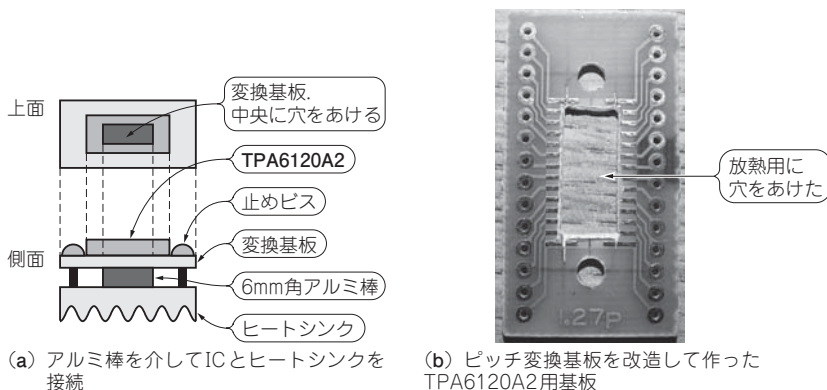


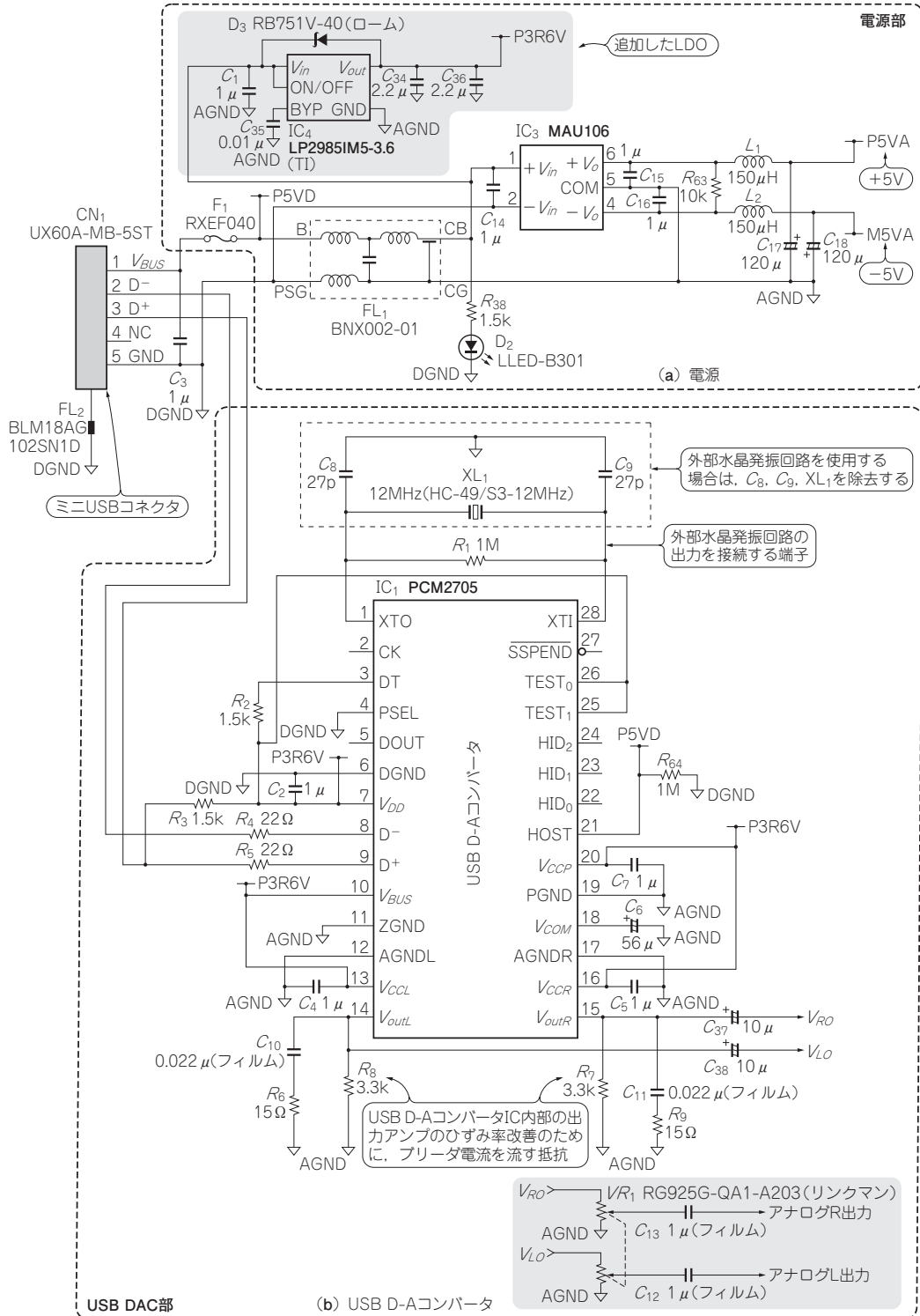
図 3-2 TPA6120A2 を使って製作したゲイン 4 倍の非反転アンプ
 一般に電流帰還型アンプのオープン・ループ利得は帰還抵抗の並列合成抵抗に反比例するが、
 電圧帰還アンプのように位相余裕度を得るためにコンデンサを入れると、高域でオープン・
 ループ利得が大きくなってかえって不安定になるおそれ大きい。



入力バイアス電流によるボリュウムの摺動ノイズ対策用のDCカット・コンデンサ C_6 を入れてあります。 R_3 両端の電圧はLチャネル18.5mV、Rチャネル21.5mVでおよそ $3\mu\text{A}$ の入力電流が流れています。

R_3 の $6.8\text{k}\Omega$ は、入力電流によるオフセット電圧を抑えるため小さめにしてあります。計算では約80mV、実測で約100mVのオフセット電圧が発生します。ヘッドホンにとっては大きめなので、オフセット調整として VR_2 による回路を設けています。約10mV以下に追いこめるでしょう。

図 3-2 の回路ではゲイン設定も小さく、入力雑音電流と信号源抵抗の積による雑音電圧はあま



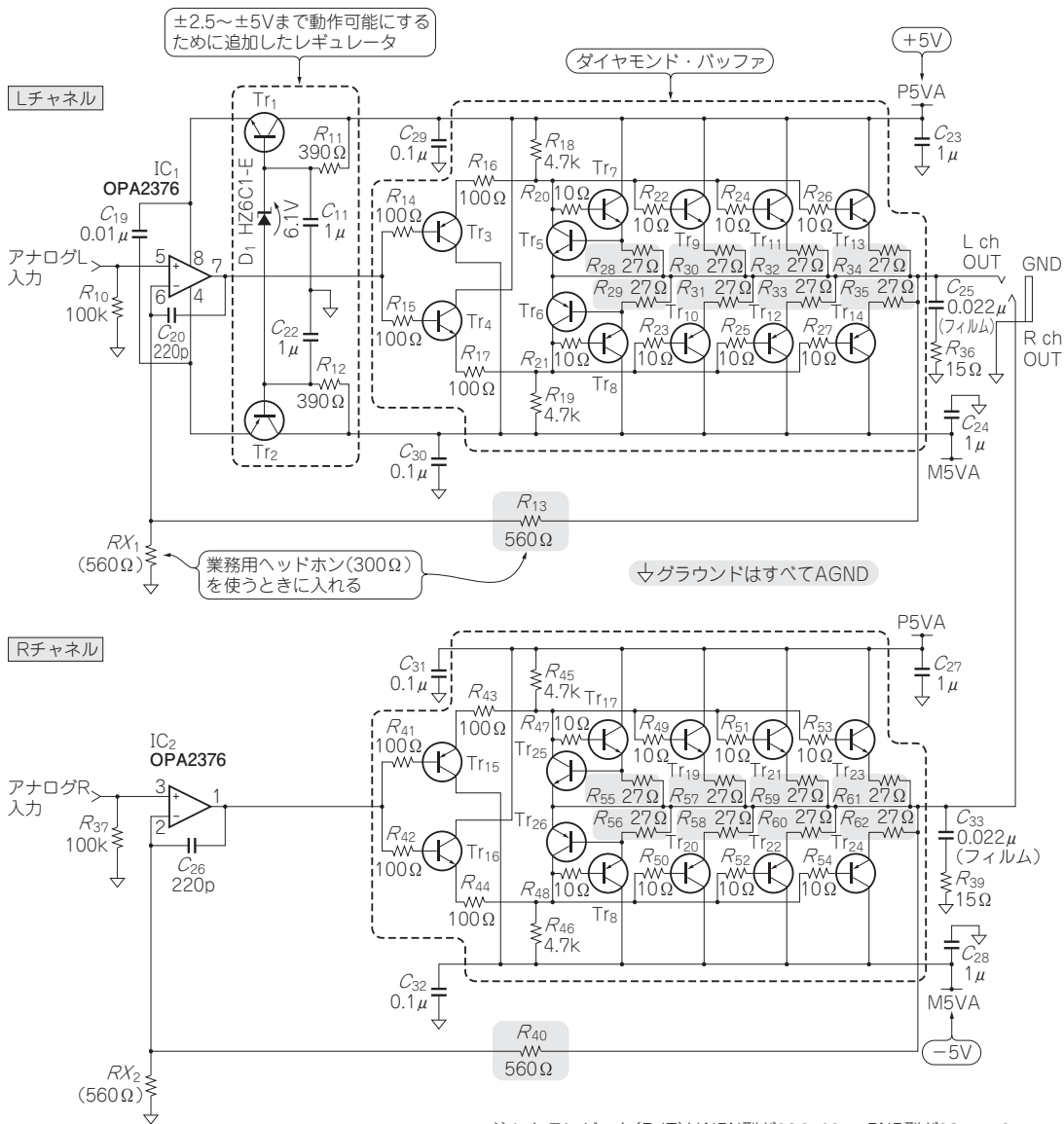
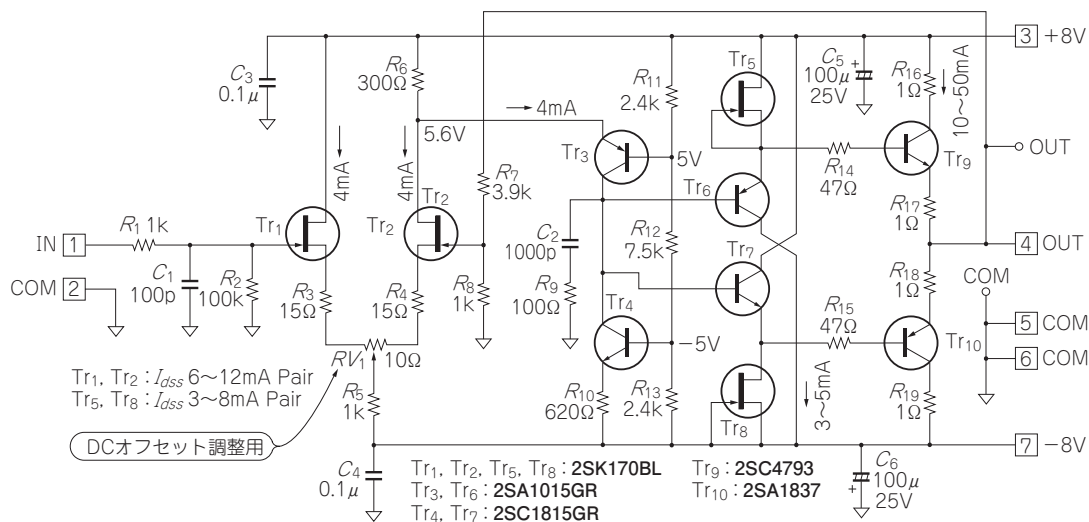


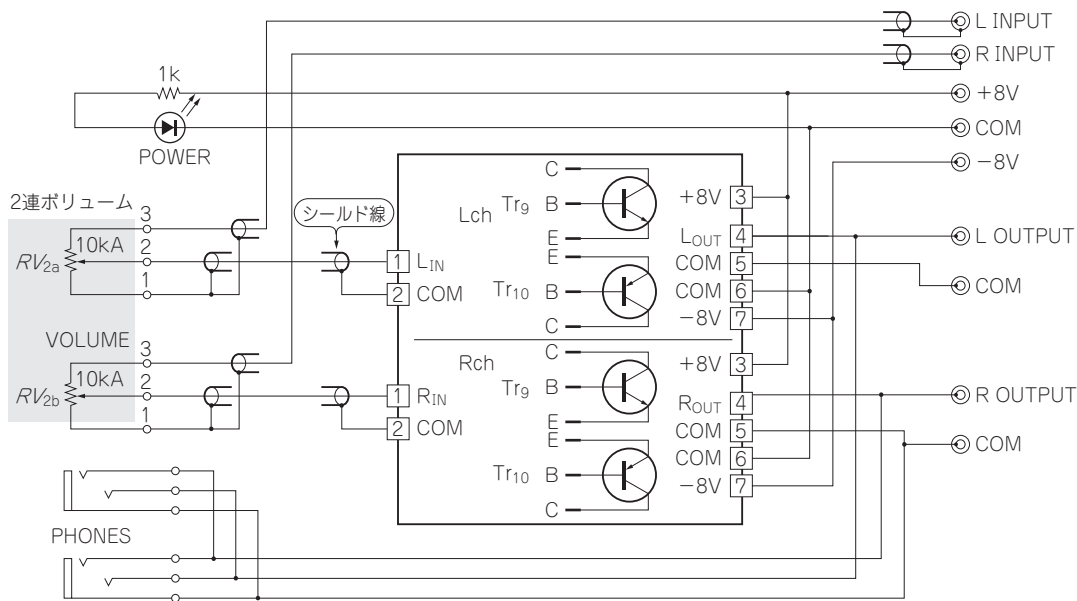
図4-L セルフ・パワー動作に変更して、外部ボリュームを追加したヘッドホン用 USB D-A コンバータ・アンプ(R2)の回路

◆マルツエレクトロニクス(株)から発売のキット◆

- (1) 型式：MHPA-CM2705U(R2)-KIT
電子回路研究教材 USB-DAC内蔵ステレオ・ヘッドホン・アンプキット [セミキット版(基板上の大部分のSMD部品は実装)] 販売価格 12,800円(消費税5%込)
- (2) 型式：MHPA-CM2705U(R2)-FK
電子回路研究教材 USB-DAC内蔵ステレオ・ヘッドホン・アンプキット [フルキット版(すべての部品のはんだ付けが必要)] 販売価格 12,800円(消費税5%込)



(a) ヘッドホン・アンプ(片chのみ)



(b) ケース内配線

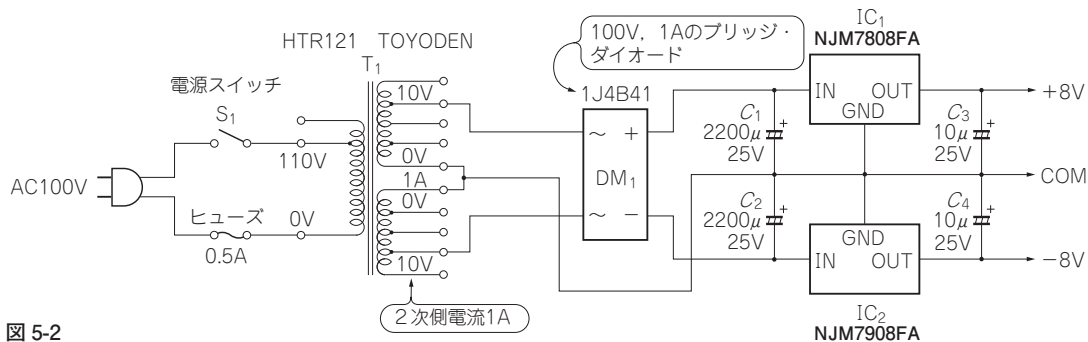


図 5-2
ヘッドホン・アンプの回路と配線

(c) 電源回路

カスコード回路は1段増幅器のため利得は低くても素直な高域特性が得られ、負帰還が楽に施されます。

比較的少ない素子数を目標にしたので、差動増幅器の定電流回路は抵抗で済ませています。したがって、電源が変動すると出力の直流電位が変動することになるので、電源は三端子レギュレータなどで安定化する必要があります。

回路の無信号時の電圧・電流は、 $-8V$ の電源電圧と R_5 で約 $8mA$ の電流が流れ、これを基準とします。 Tr_3 のエミッタ電流が Tr_2 のドレイン電流、 $4mA$ と等しくなるように R_{11} 、 R_{12} 、 R_{13} の抵抗値をE24系列の数値から決定します。

最大出力電圧の目標が約 $6V_{0-peak}$ なので、電源電圧はそれよりも $2V$ 高い $\pm 8V$ にすることにしました。このため出力段は電圧利用率が有利なPNP、NPNのダイヤモンド接続のエミッタ・フォロワ回路にし、大振幅のときのひずみが少なくなるように Tr_6 、 Tr_7 のエミッタ抵抗の代わりに2SK170の定電流回路を使用しました。 Tr_5 、 Tr_8 は I_{dss} が $3\sim 8mA$ であれば別のFETでも使えます。

利得は R_7 、 R_8 の帰還抵抗により決定され、 $(1k + 3.9k)/1k = 4.9$ 倍になります。初め20倍の利得で製作し、CDプレーヤを接続したところ利得が大きすぎ、ボリュームの目盛りが1でも少し音量が大きすぎるほどでした。4.9倍ではボリュームの目盛りが2程度でちょうどよい音量が得られました。また、出力のDCドリフトの点からも利得は低いほうが安全です。

図5-2(b)がケース内配線図です。正面に $3.5mm$ と $5mm$ のジャックを配置し、裏面にスピーカに接続する場合の端子を配置しました。

図5-2(c)に、このヘッドホン・アンプに使用できる標準的な電源回路例を示します。

写真5-3に製作したヘッドホン・アンプの外観を示します。

5-4 FETの選別

DCアンプ構成にしたので、初段の差動増幅器に使用するFET、 Tr_1 、 Tr_2 は、本来ならば2SK389などのDUALFETを使用すべきところです。しかし、日本各社のDUALFETはすべて



写真 5-3
製作したヘッドホン・アンプ
(右下)

Appendix C たったこれだけでもしっかり音が鳴るぞ


トランジスタ1個から作る超シンプル・ヘッドホン・アンプ

佐藤 尚一

ICを使ったヘッドホン・アンプは簡単に作ることができて高性能です。しかし、どこか既製品を購入するのと似ていて味気ないような気がします。単純にハードウェアが欲しいだけでオーディオを自作する人はむしろ少数派で、既製品を買うだけでは得ることのできない何かを求めている人がほとんどでしょう。絶対的な性能やコスト・メリット以外の何かを求める目的では、あえて原始的な回路に臨むのも一興です。

真空管アンプの世界では、自作に限らず製品でもそのようなことも市民権を得ていて、チャンネルあたり1球か2球のごく基本的な回路構成のアンプも現役として活躍しています。半導体アンプでは、なぜかいきなり入力に差動アンプを使ったDCアンプかそれをIC化したOPアンプでひたすら高性能を目指す人がほとんどようです。1球、2球の回路は初心者にも簡単に製作できるといふ以外に、真空管の性質を実感しながら自然に学ぶことができる利点がありました。

C-1 こんな回路

というわけで、C-1のようなアンプ^(*)を作ってみました(写真C-1)。教科書そのものというおもむきですが、実はそうではなく、学校のテストでこの回路を書いたら不合格になるかもしれません。エレクトロニクスのプロを自認する人はまずやらない設計だと思います。それでも音は出ます。

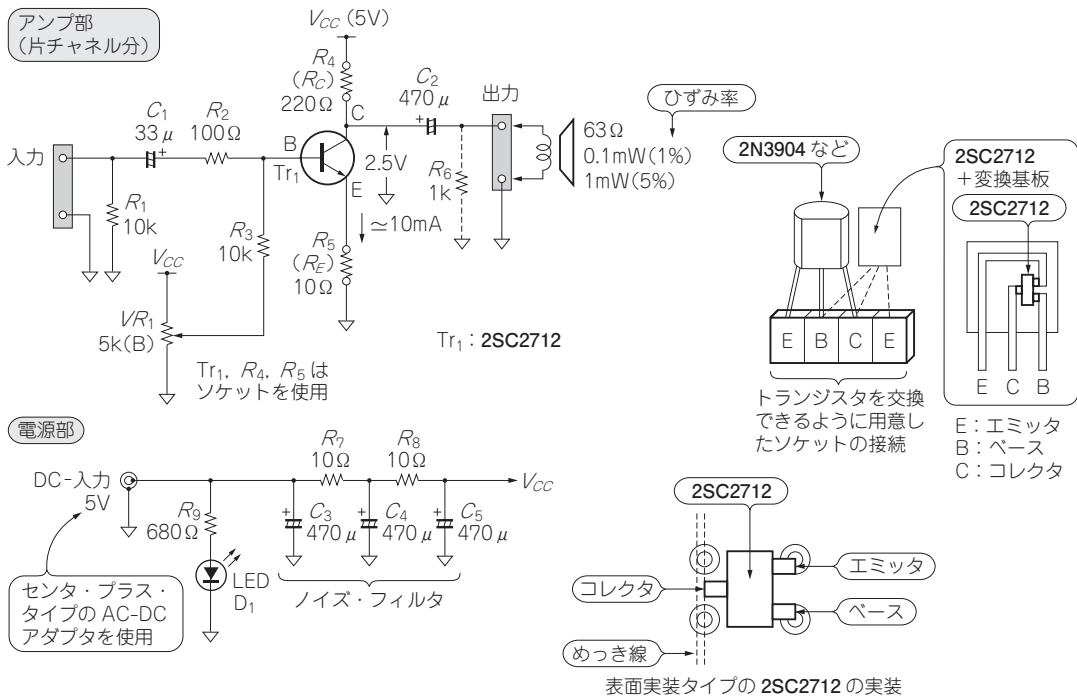
なぜこんなものを持ってきたかという、トランジスタの数が最も少ないからです。解決すべき問題が山積みで、しかも簡単にいじることができることも理由です。趣味だからこそできるという意味では面白いような気がします。ちなみに「通称オーディオ・マニア」の言葉で表すと、「1段増幅、純A級、無帰還、シングル・アンプ」という悩殺的な特徴が並ぶことになります。

● 1石ヘッドホン・アンプの作り方

はんだ付けや部品の規格など電子工作の基礎は、ほかの書籍を参考にしてください。製作例ではユニバーサル基板上に組み立てました。抵抗はすべて1/4Wの金属皮膜型、使用した電解コンデンサの耐圧は25Vですが、6.3Vまで下げても規格上はOKです。

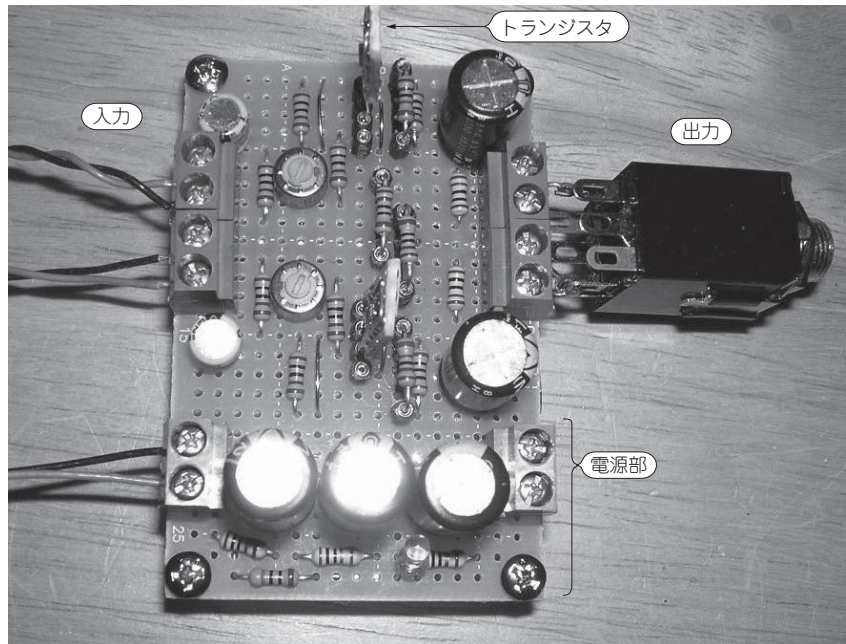
心臓部のトランジスタは東芝の2SC2712です。これは表面実装型なので2.54mmピッチのユニ

(*)1 このアンプは直後に実験する一連のアンプの電圧増幅段としても使う。



図C-1 1石ヘッドホン・アンプの回路図

使用するトランジスタを簡単に交換できるようにソケットを使った。電源は入手しやすいスイッチング・タイプのAC-DCアダプタを利用した。



写真C-1

試作した1石ヘッドホン・アンプ

入出力のケーブルをつながないといけないところは、ターミナル・ブロックを使った。トランジスタ、 R_4 、 R_5 のところにはピン・ヘッダ(メス)を流用したソケットを取り付けて、交換しやすくした。

見本

ISBN978-4-7898-1892-6

C3055 ¥3800E

CQ出版社

定価：本体3,800円（税別）



9784789818926



1923055038004

[DAC基板付き]
**ヘッドホン・アンプ
製作実例集**

このPDFは、CQ出版社発売の「[DAC基板付き]ヘッドホン・アンプ製作実例集」の一部見本です。

内容・購入方法などにつきましては以下のホームページをご覧ください。

内容 <http://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/18/18921.htm>

購入方法 <http://www.cqpub.co.jp/order.htm>