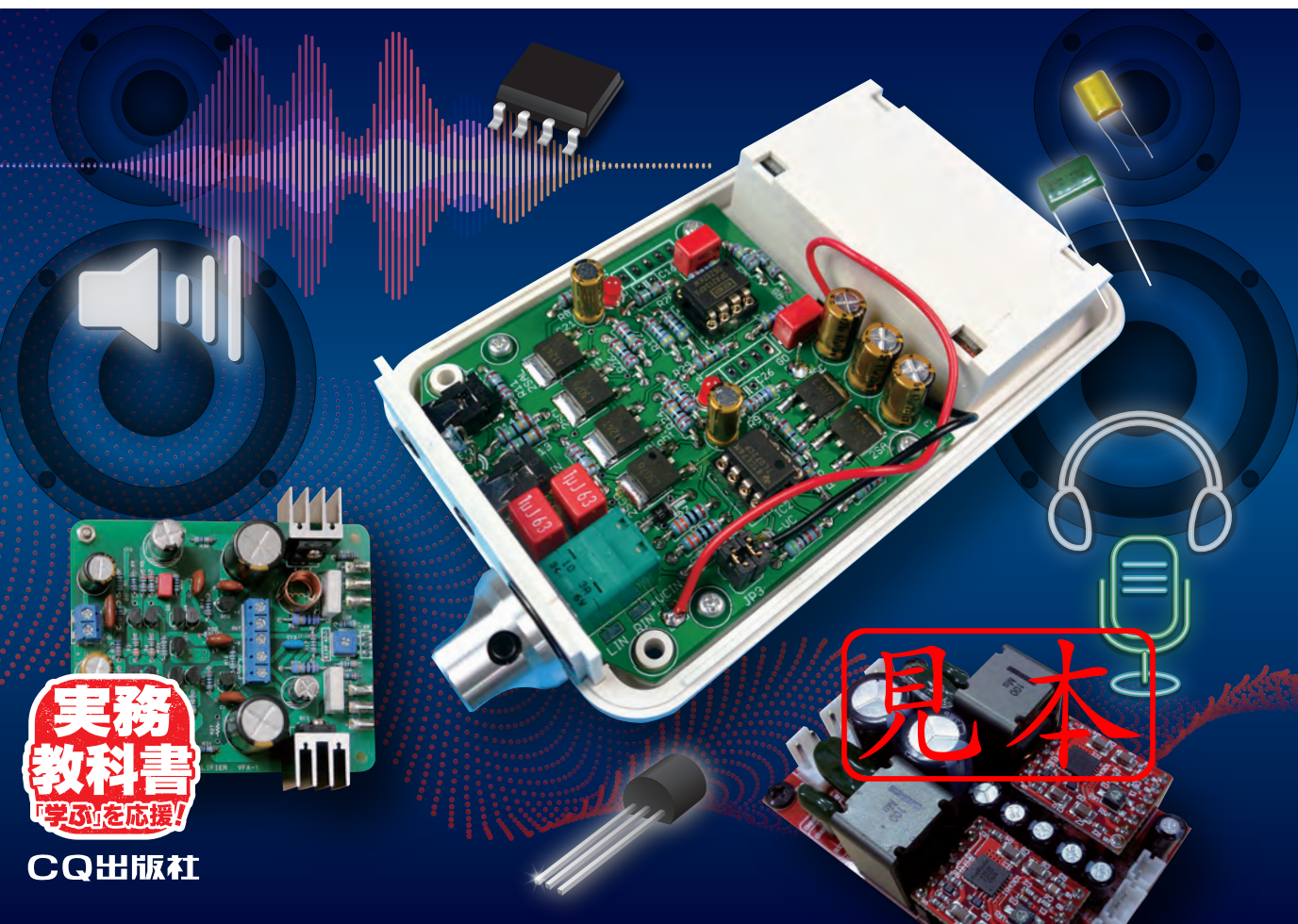


トランジスタ技術 SPECIAL

電圧/電流/ひずみ/雑音/効率…テクニックあれこれ

アナログ回路入門! サウンド&オーディオ回路集



**実務
教科書**
「学ぶ」を応援!

CQ出版社

オーディオ回路の全体像

西村 康 Yasushi Nishimura

オーディオ回路製作の醍醐味

音楽は、演奏・制作・鑑賞などのさまざまな角度から、趣味として(または仕事として)関わる人が多数います。その中に、自分で作った機器で音楽を聴く「自作オーディオ」という分野があります。

オーディオ機器が高価だった昭和のころには、オーディオ・ブームと相まって、多くの人が自作を経験しました。その世代にとっては、今でも真空管アンプ製作は大人気です。

今では市販機器を購入した方が安価で、わざわざ機器を自作する人は少なくなっていました。それでも、初めて自作した機器から好きな音楽が流れてきたという経験は、自作した者にしか味わえない至極の喜びです。

この自作の喜びにはまった人の多くは、次は「出てくる音をもっと良くしよう」と考えます。先人たちが考えた高音質化回路やエフェクト回路を作ってみて、「なるほど効果がある」と感じたら、それをさらに良

くしたいと思います。回路技術を勉強して、より低ひずみ率の回路を考えたり、OPアンプなどの部品の銘柄を変えることによって音色を自分好みに調整したりしたくなります。

オーディオ回路製作は、音が出るだけで満足するものではありません。よりHi-Fi(ハイファイ; high fidelityの略。原音に忠実な再生のこと)を目指したり、より音楽を楽しめる音を目指すなど、その欲求はとどまることを知りません。

オーディオ回路の今

●「今どきオーディオ装置」はBluetoothスピーカやヘッドホン

1970年代に一世を風靡したオーディオという趣味は、2000年以降に大きく変化しました(図1)。音楽メディアはディスクなどの実体を伴わないデジタル・データが主流になり、再生機器もそれに合わせた形のものになってきました(図2)。

現在では、ストリーミング・オーディオ再生が一般

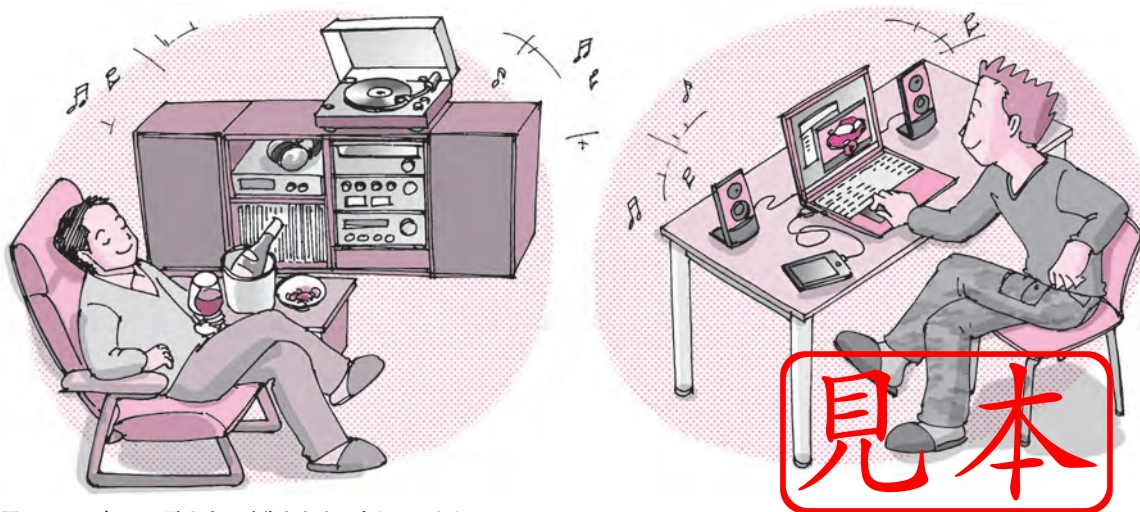


図1 オーディオの聴き方は時代とともに変わってきた

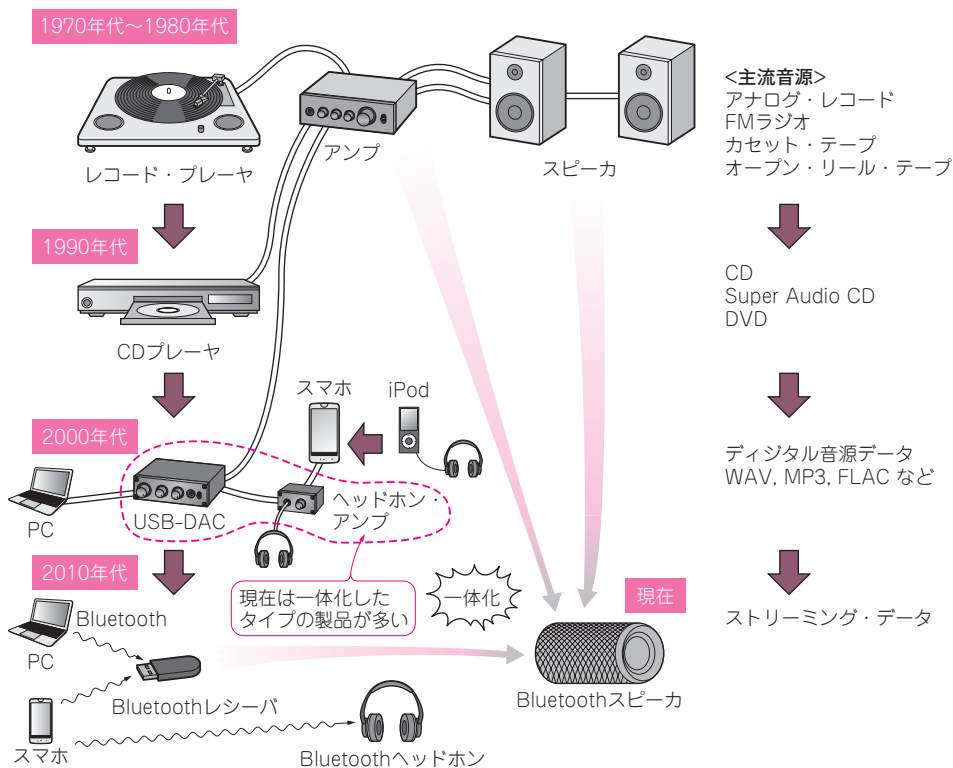


図2 音楽を聴く機器と手段の変遷

的になり、音楽を聴く手段は「スマートフォンで受け取った配信音楽データをBluetoothスピーカやヘッドホンで再生する」形へと変化しています。

より簡便な方に流れるのは世の常ですし、音楽を聴くためのハードウェアが小さくなっていくのは必然ですが、この10年間の変化はあまりに速かったように感じます。

図3に、一般的なアンプ(プリアンプとパワー・アンプが一体化した「プリメイン・アンプ」)の構成を示します。USB入力が増えられたのは2000年代以降ですが、それ以外の基本的な構成はだいたい同じです。

2000年代には、デジタル音楽データを再生するためのUSB-DAC(写真1)という機器が流行りました。このときは複数のICが基板上に並んでいましたが、

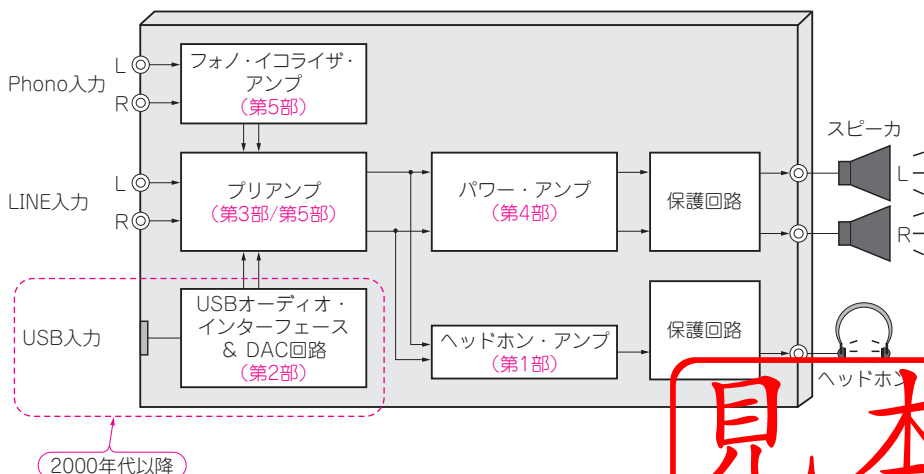
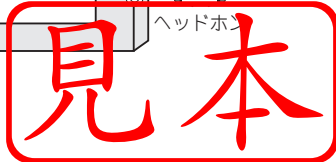


図3 オーディオ(アンプ)回路の一般的な構成
プリアンプには「ボリューム・コントロール回路」や「音質調整回路」, 「グラフィック・イコライザ回路」なども含まれる



1 チップからはじめる ヘッドホン・アンプ回路

佐藤 尚一 / 渡辺 明禎 Hisakazu Sato / Akiyoshi Watanabe

1 オーディオ用OPアンプ1石で作るヘッドホン・アンプ

佐藤 尚一

● オーディオ用OPアンプOPA2134とは

ヘッドホンの能率は100 dB(S.P.L)/mW前後で5 mWもあれば通常の音楽鑑賞には十分です。しかし、曲によっては録音レベルが平均-30 dBFS(dBFSはフルスケールを0 dBとしたもの)以下でも、最大録音レベルが0 dBFS近くとなることもあります。このときにひずまないようにするには、平均的に0.01 mW程度で鳴っていてもピーク時には10 mWの出力が必要です。この余裕をヘッドルームと呼びます。

写真1のプロ・オーディオ用OPアンプOPA2134(テキサス・インスツルメンツ)は、ヘッドルームが23.6 dBu(標準)です。これはアナログ時代のプロ・オーディオのライン出力レベル(+4 dBm基準、ヘッド

ルーム+20 dB@600 Ω)に対応します。

図1にOPA2134の内部等価回路を、表1に仕様を示します。

● 回路

図2はOPA2134と8個の部品で作れるヘッドホン・アンプです。ゲイン11倍の非反転アンプです。出力電流は標準で±35 mAです。

OPアンプと負荷(ヘッドホン)の間に接続する51 Ωのアイソレーション抵抗は、帰還ループに対する負荷の影響を軽減します。同時に短絡時に出力電流を制限する役目も兼ねます。

組み立て時には図3のグラウンド・ループや、配線の接続順序で発生する図4の共通インピーダンス、配線インピーダンスに配慮します。

● $V_{DD} \geq 7V @ 63 \Omega$ ヘッドホンのとき出力能力を100%引き出せる

電源回路を図5に示します。ヘッドホンの負荷を R_L

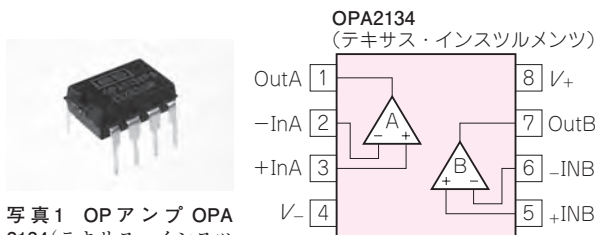


図1 OPA2134の内部等価回路

表1 OPアンプ OPA2134の仕様

| 項目 | 値 |
|--------------|----------------|
| 供給電圧 | ±2.5 V ~ ±18 V |
| ひずみ | 0.0000008 % |
| 雑音 | 8 nV/√Hz |
| I_B | 5 pA |
| スルー・レート | 20 V/ms |
| 周波数帯域 | 8 MHz |
| オープン・ループ・ゲイン | 120 dB(600 W) |

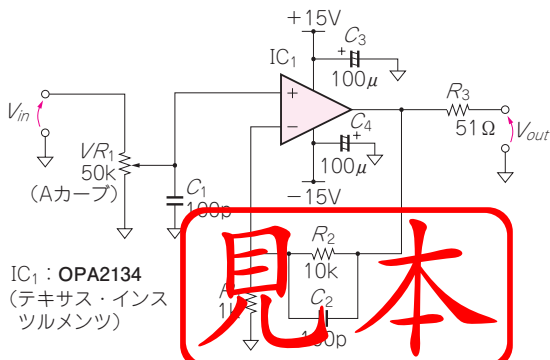
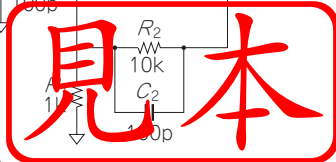


図2 OPA2134を使ったヘッドホン・アンプ



いろいろな ヘッドホン・アンプ回路集

1 低ひずみで広帯域な 電流帰還型ヘッドホン・アンプ

佐藤 尚一

● ゲイン4倍の非反転アンプ型で作ってみた

図1にTPA6120A2(テキサス・インスツルメンツ)を使ったヘッドホン・アンプの回路を示します。シングル・エンド入力でゲイン4倍の非反転アンプとして、信号経路を単純化しています。DCカット・コンデン

サ C_6 を入れてあり、 R_3 両端の電圧はLチャンネル18.5mV、Rチャンネル21.5mVでおよそ $3\mu\text{A}$ の入力電流が流れています。オフセット電圧については、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。オフセット調整として VR_2 による回路を設けています。図1の回路ではゲイン設定も小さく、入力雑音電流にはあまり影響がありません。

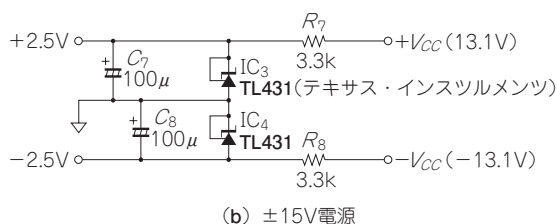
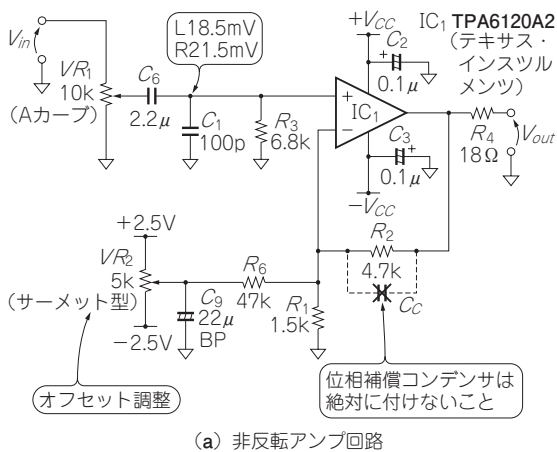


図1 広帯域のTPA6120A2を使ったヘッドホン・アンプ

● 汎用OPアンプを使うより1桁良いひずみ率

図2にdScope Series IIIで測定した $THD+N$ 対出力電力のグラフを示します。測定時の負荷インピーダンスは 66Ω (330Ω の抵抗器を5個並列)です。汎用OPアンプOPA2134(テキサス・インスツルメンツ)を使ったヘッドホン・アンプ(第1章の図7)よりも、1kHz、10mW付近で $THD+N$ は1桁良い値を示しました。最大出力も1桁上がっています。

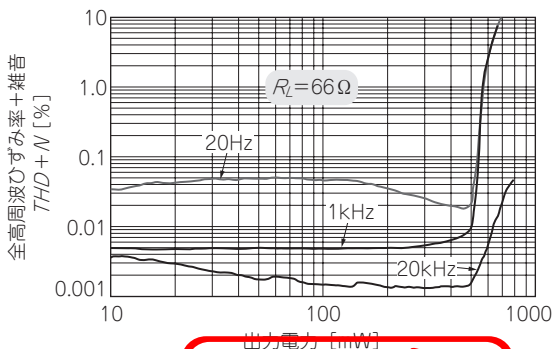
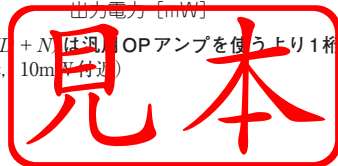


図2 ひずみ率($THD+N$)は汎用OPアンプを使うより1桁高い特性を示した(1kHz、10mW付近)



USB オーディオ入出力アダプタ回路

漆谷 正義 Masayoshi Urushidani

この章では、USB対応オーディオ入出力アダプタについて説明します。写真1に、筆者が製作したUSB対応オーディオ入出力アダプタとモデルにした評価モジュールDEM-PCM2900(テキサス・インスツルメンツ)の外観を示します。

USBオーディオ入出力アダプタ

● 作れると広がる世界

Windows PCに装備されているオーディオ機能(サウンド・デバイス)は、ハイ・ディフィニション・オーディオという多チャンネル/ハイ・ビットの高性能なものになっています。したがって、ここであえてオーディオ入出力アダプタを製作する必要はないような気がします。

しかし、Windows PCに装備されているオーディオ

入出力回路は千差万別であり、家電分野のオーディオ機器との相性も決して良いとは言えません。

写真2のように、USBケーブルでオーディオ機器とつながりたい、USBポートから音声を集集したい、オーディオ機器と光端子で接続してSN比改善やGNDのアイソレーションをしたい、USBのHID機能を使いたい、ダイナミック・レンジいっぱいを使いたい、アナログ部分の特性を変えたい、A-D/D-Aコンバータのビット数を変えたいなどの要望に、このアイテムは応えてくれることでしょう。

● USB付きオーディオ入出力コーデックPCM2906

製作したUSB対応オーディオ入出力アダプタには、USBインターフェースを備えたステレオ・オーディオ・コーデックIC PCM2906(テキサス・インスツルメンツ)を使用しました。PCM2906は、USBのバス・

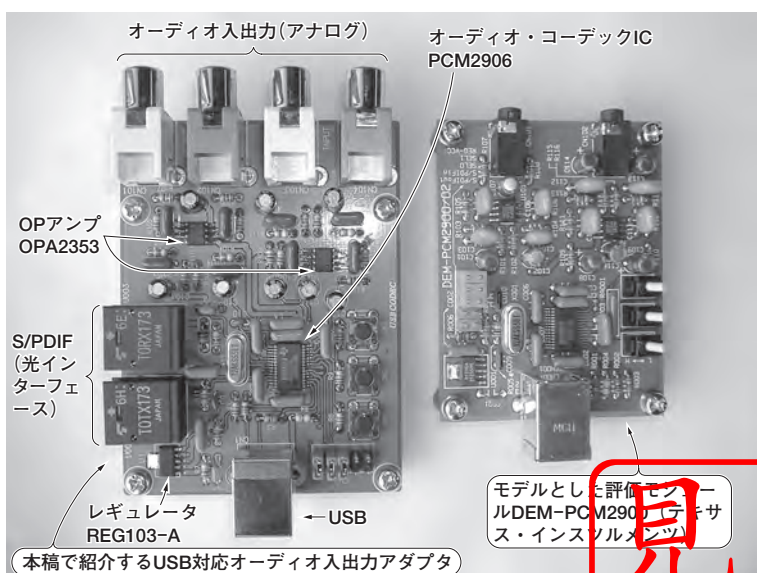


写真1 本稿で紹介するUSB対応オーディオ入出力アダプタ(左)とモデルになった評価モジュールDEM-PCM2900(テキサス・インスツルメンツ、右)

見本

音質調整回路集

1 好みの周波数特性を実現する トーン・コントロール回路

松村 南

● 回路の説明

オーディオ・アンプのコントロール機能のなかでも、基本的なのがトーン・コントロール回路による音質調整です。スピーカの特性や聴取環境の補正をしたり、好みに合った周波数特性を実現するものです。紹介する回路は低音/高音それぞれについて増強および減衰の可変設定ができるものです。

図1に示すのは、回路増幅器の入力および帰還系に周波数特性をもたせたもので、NF型トーン・コントロールと呼ばれます。入力が並列電圧帰還タイプの場合には可変抵抗器の変化カーブはBタイプでよく、フラットな特性を得やすいという特徴があります。信号源インピーダンスが低くないと正しい周波数特性は得られないので、必要に応じてバッファ・アンプを設置します。

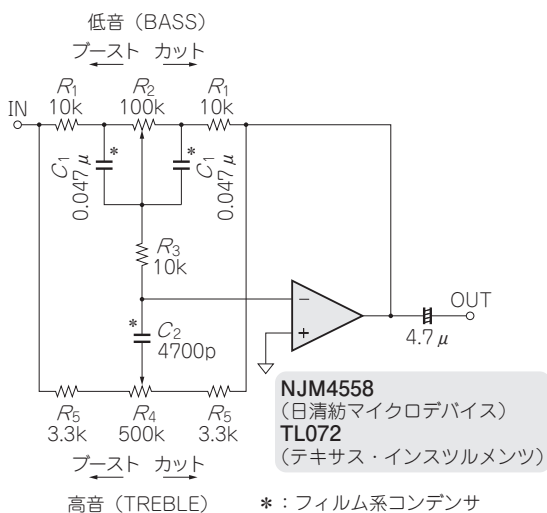
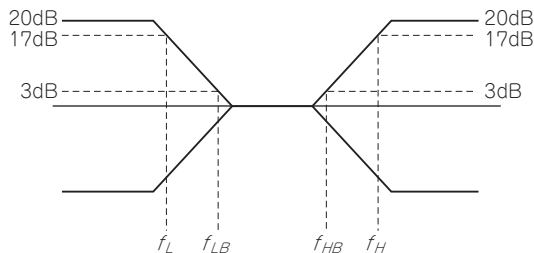


図1 トーン・コントロール回路

● 特性

周波数特性の算出式を図2に示します。一般的にトーン・コントロールの効果は100 Hzで±10 dB、10 kHzで±10 dBは必要といわれることが多いようですが、実際には使用目的により異なります。\$f_{LB} = 400\$ Hz、\$f_{HB} = 2.5\$ kHzくらいを選んで中心周波数を1 kHzにします。ここでは楽器音のエネルギーが多い周波数帯域が数百Hzであることに合わせて、低めの周波数にしています。

図1の最大可変特性は可聴範囲周辺の20 Hz、15 kHzにおいて±20 dBです。トーン・コントロール回路の周波数設定で注意したいのは、可変されない周波数の中心は常識的な1 kHzよりも低いということです。



$$f_L = \frac{1}{2\pi R_2 C_1} \approx 34\text{Hz}$$

$$f_{LB} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \approx 340\text{Hz}$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi R_5 C_2} \approx 10.3\text{kHz}$$

$$f_{HB} = \frac{1}{2\pi (R_1 + R_2 + R_3) C_2} \approx 1.01\text{kHz}$$

図2 周波数特性の算出式

見本

1チップからはじめる パワー・アンプ回路集

1 定番LM386 1個で作る0.2Wパワー・アンプ

森田 一

● 回路の説明

図1は、LM386(テキサス・インスツルメンツ)を使った0.2W出力のオーディオ用パワー・アンプです。ちょっとスピーカを鳴らしたいとか、もう少し音量を増やしたいときに便利です。定番のICであり、外付け部品の少なさはとても魅力です⁽¹⁾。

写真1は製作した基板の外観です。なお、実際に使用したICはセカンド・ソース品のNJM386(日清紡マイクロデバイス)です。

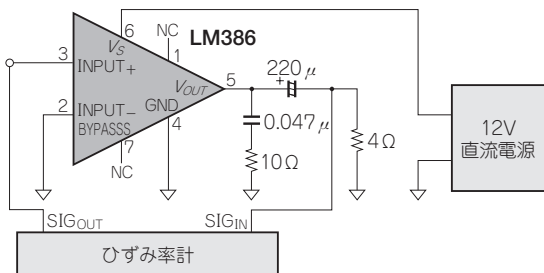


図1 LM386を使った0.2W出力のオーディオ・パワー・アンプ

仕様

- 入力インピーダンス：50 kΩ
- 負荷インピーダンス：4～16 Ω
- 出力電力：200 mW/8 Ω
- 周波数特性：20 Hz～20 kHz

● 設計上の注意

外付けは、発振防止用のCRを入れてもコンデンサ2個と抵抗1個という手軽さです。アプリケーション・ノートには、ゲインを増加させる方法や、低域をブーストする方法、発振器にする方法などいろいろな応用回路が出ています⁽¹⁾。なお、このICのピン名称を見ると入力+と入力-がありますが、OPアンプのように使えません。

● 特性

図2は、負荷4Ωで測定した400Hzと1kHzでの出力電圧対ひずみ率特性です。あり合わせの測定器で測定したため、小信号領域のひずみ率がノイズの影響で悪くなっています。

◆参考文献◆

- (1) LM386データシート、テキサス・インスツルメンツ。

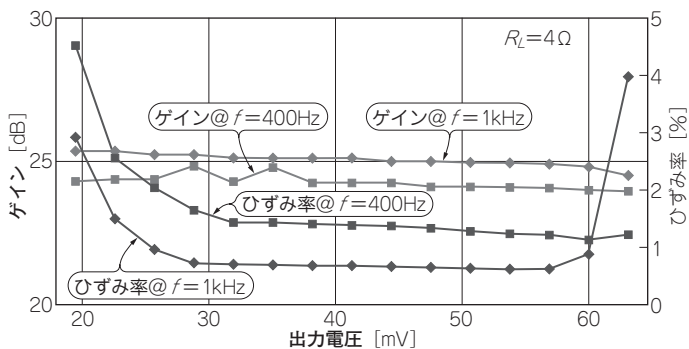


図2 製作したパワー・アンプの出力-ひずみ特性と出力-ゲイン特性

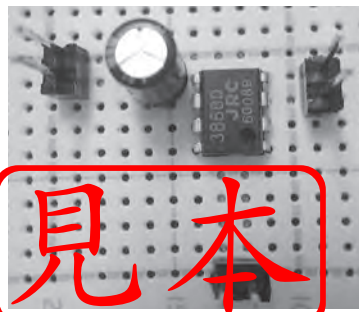


写真1 製作したパワー・アンプ基板の外観

1 チップからはじめる 電源&プリアンプ回路集

1 超定番 78/79 シリーズ 3 端子レギュレータで作るリニア電源 馬場 清太郎

● 3端子レギュレータとは

図1のようにシリーズ・レギュレータの全回路をIC化し、外部接続を入力(IN)、出力(OUT)、グラウンド(GND = 0V)の3端子にまとめたものです。図2に示すように、外部に2個のコンデンサを接続するだけで動作する使いやすいICです。

● 正電圧を安定化する3端子レギュレータ

各社から同等品が出されていますが、ここでは一例として日清紡マイクロデバイスの代表的なICの仕様を表1に挙げます。このICの特徴は、次のようなものが挙げられます。

- (1) 出力電圧は固定で、5V、6V、8V、9V、12V、15V、18V、24Vなどがあり、出力電圧

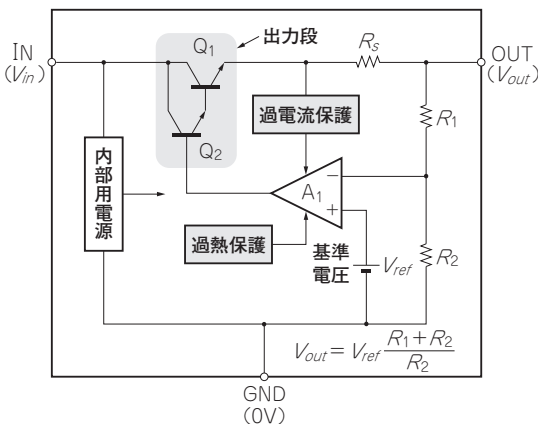
精度は定格値の±5.0%以内。

- (2) 出力電流は、100mA(NJM78L00)、0.5A(NJM78M00)、1.5A(NJM7800)の3種類。
- (3) 入力電圧は出力電圧よりも+2.5V以上(保証値)、+2.0V以上(標準値)であることが必要。
- (4) 各種保護回路(過熱保護、過電流保護)を内蔵して、壊れにくく使いやすい。

出力電圧を可変にしたNJM317 [ナショナル セミコンダクター(現在はテキサス・インスツルメンツ)のLM317がオリジナル] もあります。

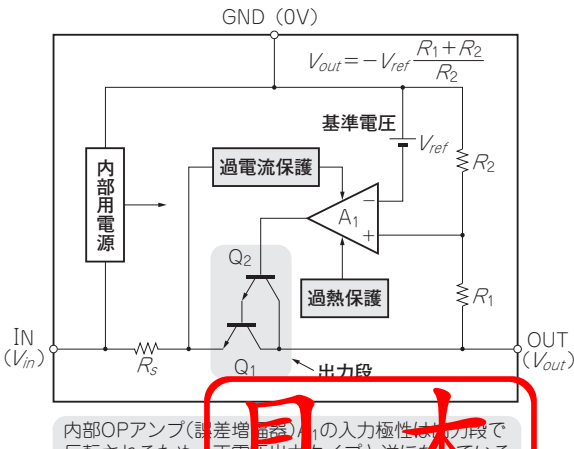
● 負電圧を安定化する3端子レギュレータ

各社から同等品が出されていますが、ここでも日清紡マイクロデバイスの代表的な仕様を表1に追記しま



(a) 正電圧出力タイプ

図1 3端子レギュレータの内部構成
どちらもパワー OP アンプで基準電圧を増幅している



(b) 負電圧出力タイプ

内部OPアンプ(誤差増幅器)A1の入力極性は出力段で反転されるため、正電圧出力タイプと逆に構成している

見本

1 チップではじめる サウンド回路集

1 トランジスタ1石で作る「チチチ…」効果音発生回路

富澤 瑞夫

● 回路構成

ピヨピヨと小鳥が鳴いているような音をスピーカから鳴らせるトランジスタ1個(1石)の回路が図1です。

シンセサイザが高価で一般にはなじみのない1960～1970年代は、効果音(電子擬音)を専用の電子回路で作っていました。部品点数が少なくなるよう工夫された回路がいろいろあり、工作の題材として、よく取り上げられていました。

小型トランスは、品種は限られるものの今でも生産されていて、電子部品販売店で普通に入手できます。インピーダンス変換を行い8Ωのスピーカを駆動すると同時に、1次側のセンタ・タップで反転した電圧を作り、反転アンプと合わせて発振回路を構成しています。

R₁を可変すると、音色を調整できます。音量はトランジスタに流れる電流で変わるので、エミッタ抵抗を大きくすると音量は小さくなります。

● 発振器の原理

発振回路の基本原理は、増幅した出力信号を適切な

極性(位相)で入力に戻すことによります。入力に戻された信号は、再び増幅され、この繰り返しで発振します。発振の源となる入力は、小さな雑音などです。

うまく発振するかどうかは、増幅度と信号の位相(向き)で決まります。トランジスタ1石の増幅器だと、ベースに入力し、コレクタから増幅した信号を出力すると、位相は反転してしまうので、出力を入力に戻しても発振させられません。

電子小鳥の回路では、トランスのセンタ・タップをグラウンドに落とすことで、反対側の端子に、ベースと同相の信号を得ています(図2)。

図1の回路は、ピーという一定の発振ではなく、チチチ…という時間変化がある音を出します。基準信号なら振幅も周波数も一定の純粋な正弦波なのに対して、楽器や擬音は、音高や振幅を時間変化させて音色を作ります。図1の回路では、ベースに入っているCRの充放電により時間変化を作っています。

繰り返しの速さは、コンデンサの値で変わります。ボリュームVR₁を調整すると、音の高さと繰り返しの速さの両方が同時に変わります。

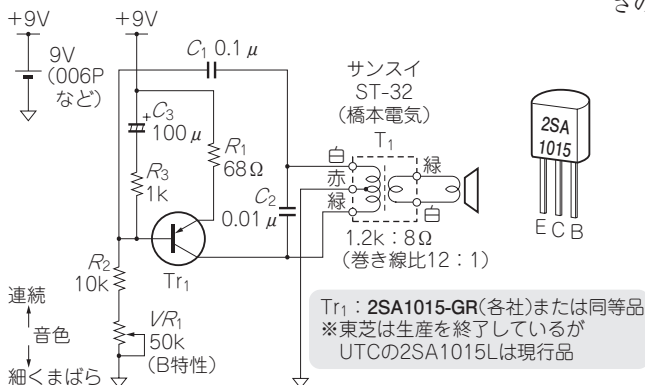


図1 トランジスタ1石で作る「チチチ…」電子小鳥

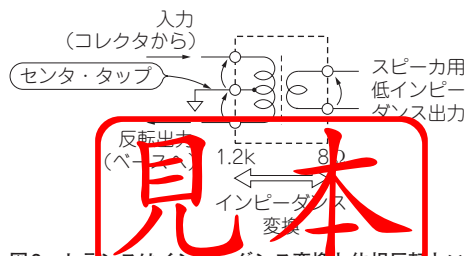


図2 トランスはインピーダンス変換と位相反転という2つの役割を持っている

プロが教える! マイクロホン技術大解剖

秋野 裕 Hiroshi Akino

1 普及型マイクロホンの回路構成

現在使われているマイクロホンは、大きく次の2つに分類されます。

- コンデンサ型
- ダイナミック型

ここでは、最も多く普及しているコンデンサ型の構造や電気的性能、音響性能、指向性など、マイクロホンに作り込まれている技術を紹介します。

普及型マイクの外観と内観

写真1に実際のコンデンサ・マイクロホンを示します。安価ながらスタジオでの取音にも耐える性能をもった単一指向性エレクトレット・コンデンサ型 AT2020(オーディオテクニカ)です。マイクロホンの横方向から取音するサイド・エントリ・タイプです。



写真1 コンデンサ・マイクロホンの製品例(AT2020, オーディオテクニカ)

参考までに寸法も示しておきます。

写真2は、中から、音センサであるエレメントやJFETや出力トランスが実装されたプリント基板を取り出したところです。このように、コンデンサ型は電子回路を内蔵しており、動作させるために電源を供給する必要があります。一方のダイナミック型の多くは電子回路を用いておらず電源も不要です。

①センシング部(エレメント) ～音圧を電荷量に換える～

■音が電気信号に変わるメカニズム

- コンデンサのように音圧で2枚の電極間の距離が変化して電圧が発生する

コンデンサ・マイクロホンには、音を電気信号に変



見本

このPDFは、CQ出版社発売の「トランジスタ技術SPECIAL No.160」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/MSP/MSP202210.html>

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

CQ出版社

見本