

# PAM8403

## 楽器アンプになるか 試してみる

なんとって D 級アンプ。  
ちゃんと鳴るのか？ 楽器に使えるか？  
わからなければ試すしかない。  
アンプユニットは 1 個 10 円以下。  
本来用途は PC モニタ程度らしいが  
3W 出力というスペックを信じよう。

### ■ D 級アンプ？ ■

モノにはおのずと順番がある。子丑寅の次は卯だ。特に法律で決められたものではなく、ひとつの文化圏（少なくとも日本）では当然の共通認識として存在する。同様に一部の印欧諸国語で用いられるアルファベットでは、ABC の次は☆や▲ではなく D に決まっている。アルファベットの文字は「言語を記述する際に音素を表す」という共通点があり、これを外れればアルファベットではない。

最初に「D 級アンプ」という言葉を聞いたとき、頭の中を大小の?? がシャボン玉のように飛び交い、まるでワケがわからなかった。えっ、C 級よりバイアス深くするの？ それで、どんな出力になるの？

ご存知のように、アンプでの A-C 級とは、バイアスのかけ方のクラス分けで、A 級は歪が最小になる設計ができる代わりに電源効率は悪い。C 級は歪むのが当たり前だが効率は良い。B 級は音の良し悪しを言わなければ音楽にも使える。A 級と B 級の間には AB 級があって、さらに AB<sub>1</sub> と AB<sub>2</sub> に細分され……以下、詳しくは別稿で。

とにかく D 級なんていうアンプは存在しないはず。で、少々調べてみると、何のことはない PWM アンプじゃないの。紛らわしい！ こ



りゃ民衆を惑わせるためにわざとやってるな。誰の策謀だ。左段の例で言えば子丑寅ゴジラだ。

というのも、PWM アンプは数十年前から実用化されているからだ。何故堂々と PWM と言えないのか？（だからデジタル屋は嫌いだ）私が最初に PWM の音を聞いたのは 40 年以上前、ソニーのカーオーディオだった。記憶によればローがドカドカきて迫力がある割には繊細さが足りないような音だった。ま、カーオーディオだからね。

PWM アンプはいわゆるデジタルアンプの一形式だ。効率が良く、出力段にスイッチング動作しかさせないので素子のバラつきも問題になりにくい（はず。ひたすらスピードだけが要求される）。ただし、出力段の後ろにそれなりのローパスフィルタ（LPF）が必須になる。信号をバタバタ動かしているクロック成分を除去するためだが、これがまた面倒で……この記事は PWM アンプの説明ではなかった。読者各位はどこかで調べておくれ。それでもわからないという声が多ければ、あらためて説明を書きます。そんなに難しいリクツじゃない。

### ■ PAM8403 ■

時は流れて REIWA の御世に。PWM アンプを「D 級アンプ」と呼ぶ風習は定着してしまい、音が出ればいいだけの実用機には、ほぼ例外なく使われるに至った。携帯電話、PC スピーカ用アンプ、自動販売機、その他いろいろ。小さくて電気を食わなくて壊れにくければ誰だって使う。386 の時代は終わったみたい。

その D 級アンプ、折があれば試してみようと思いつつ、それほど積極的ではなかった。ただ頭の片隅では、それほど実用化されているなら IC は安いだろうな、ともボーッと思っていた。ひと月ほど前、Amazon の基板ユニットのページを眺めていたら、どこかで見たようなユニットの写真があって 1 個あたり 9 円。これで D 級アンプのパワー部とのこと。ちょっと



待てよ、これウチにある！

少し前に友人からもらったパーツいろいろの中に 10 枚 1 シートで入っていた。まさかパワーアンプが「10 枚綴り」とは思わないし、サイズも切手より小さい。うーん、すべてが想像以上。

まず PAM8403 のデータを調べる。一番大切なのは電源電圧で 5V とのこと。つまりこのユニットの最大出力電圧は、理論値では 5Vp-p。どうやらゲイン調節はできず 24dB 固定のようだ。ということは、この数字から基板ユニットへの最大入力レベルがわかる。5V を 16 で割って（24dB は 16 倍なので）315mVp-p。これを普通の実効値に直すと約 110mVrms になる（315 を半分にして 0.7 を掛ければいい）。かなり小さい上に理論値どおりに動くわけがなく、実際は 100mV も無理だろう。CD プレーヤを直接つなぐと歪むかもしれない。入力側に VR は必須だろうな。

ついでに最大出力の理論値も計算してみようか。（興味のない人は飛ばしてください）簡単に言えば、スピーカという負荷に 5V の電圧が加わる時、スピーカは何 W 消費するでしょ

電圧のシンボルに私は V を使う。教科書の E とほぼ同じ意味だが、これには深〜いワケがある。

う？ということと同じで、スピーカのインピーダンスによって結果が変わる。仮に 8 Ω とすれば、5V が加わったとき、電流はオームの法則で 0.625A 流れる ( $I=V/R$ )。これは結構大切な数字だ。つまりフルパワー時のアンプの消費電流でもあるからだ。また D 級アンプに限っては出力電流に近い値でもある。D 級の多くのアンプでは電源効率が非常に良く、90% 程度にもなるから、近似的に「消費電流=出力電流」と考えても差し支えない。アナログアンプではこうは行かず、アンプが熱くなった分だけ、エネルギーは無駄に消費される。

PAM8403 はステレオ。最大消費電流は片 ch の 0.625A を 2 倍にして、1.3A 以上の電源が必要になる。もっともこれは理論値だから、ガンガン鳴らしたい人（この IC で鳴るかなあ）は多少の余裕をみて 1.5A の電源を考えておこう。もちろん電圧は 5V。

元に戻って、このときスピーカは何 W 消費するか？ 再びオームの法則で  $P=I \cdot V$  だから  $0.625 \times 5 = 3.125$  (W) になって、メーカーが言うところの最大出力。この計算には別の算出方法も使える。 $P=I^2R$  でもいいし、 $P=V^2/R$  でも結果は同じ（違ったら困る）。

もっとも 3W といっても一般的な実効値ではない。矩形波が出力されるときのみこの数字になる（矩形波では波高値=実効値）。楽器音等で用いられる実効値では、この 70% くらいになって片 ch で 2Wrms 強といったところだ。それでもステレオ 2ch を同時に鳴らせば全体では 4W くらいは出る計算。練習用には充分でかい音だ。

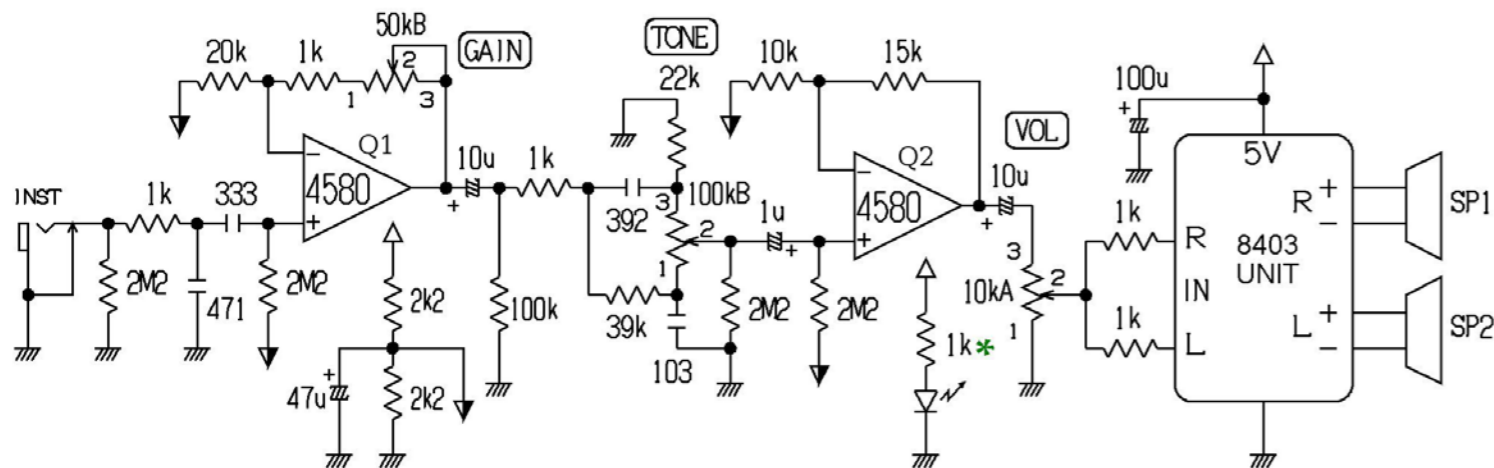
この辺の計算は左段で書いているようにピーク電圧と実効値電圧が入り乱れ、きちんと考えようとすると頭が痛くなる。要はそこそこデカイ音が出ればいいんでしょ？ それなら大丈夫。386 や 380 より充分に大きく、しかもノイズは極小……のはずだ。

## ■ 回路の問題 ■

計算ばかりで申し訳ない。たまには電卓も使わないと。ここからは数字が嫌いな人も読んで。

下が全回路。今回使うのは PAM8403 を表面実装基板にはんだ付けしてある半完成ユニット。狭いピン間隔のはんだ付けで苦労なくて済み、老眼でも作る気になる。しかし反面、IC 周りの CR がどんな値かわからない。ということは、ユニットとしての増幅率が不明ということでもあり、すべてはやってみなくちゃわからない。中国人がもう少し進化すればユニットのスペックを公開する（普通は必須）だろうが、その重要性を理解するほどの文化レベルに達していないらしい。彼らにとっては最終的に「鳴ればいい」だけなのだから。ただ、そういった文化レベルからして、IC 周りの回路は PAM8403 のアプリケーションに出ている定数をそのまま使っているはず。だからとりあえず +24dB としておこう。

またこのユニットはステレオ出力だ。しかも R・L ともに BTL のようなスピーカのマイナス側がアースに落ちていない構成。こういったステレオをモノラル出力にするにはコイルを外付けし、かなりの容量の C も必要になる。せっかく簡単に作れるアンプ。面倒はイヤだからシンプルにスピーカを 2 個使うことにした。片方壊れても鳴るし……。



もうひとつ、電源電圧が 5V というのも楽器アンプには致命的。CD などのパッケージ音源なら信号レベルのアタマは決まっている。アタマでも歪まないように設計すればいい。しかし楽器音はピークが決まっていない。ギターなら（いろんなピックアップがあるけれど）最大でも 500mV と思って構わないが、ベースだと低音弦を弾いたときには 1V 出てもおかしくない。チョッパーなどされた日には 10V 以上来る。つまり楽器のダイナミックレンジは広すぎて読めないのだ。

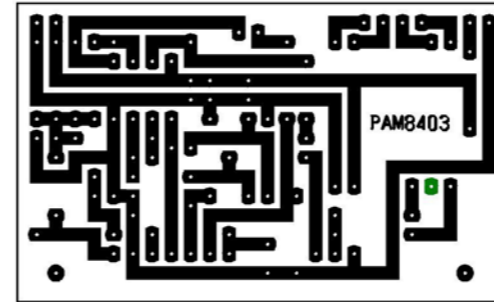
回路の電源電圧が低ければ、どうやっても大信号は受け入れられない。せめて 9V あれば、歪んでも一瞬だからセーフ！という設計もできる。でも 5V じゃあねえ。とりあえずベースには対応しないと決めて、ギター専用と割り切り、ゲイントリムも最大で 5 倍以下にする。

実はこれでも危ないのだ。前ページで書いたように 8403 ユニットの計算上の最大入力はとても小さい。実際のところ、どんなレベルまで受け入れられるのか、やってみなくちゃわからない。鳴らしてみても、歪む直前になるようにゲイン設定し直すしかない。

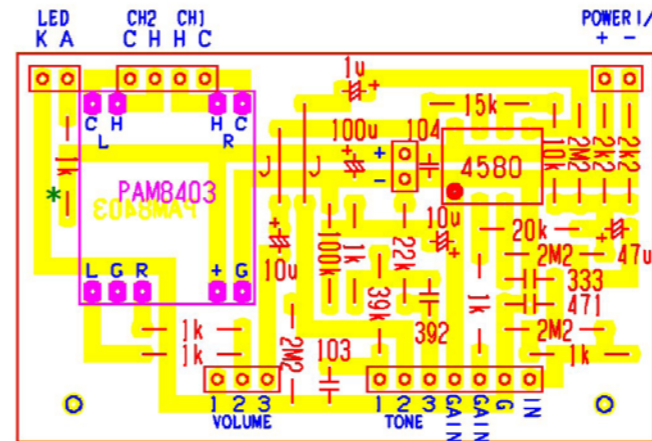
以上、まるで暗中模索の情けない気分ながら、とにかく基板にしてみた。

話の順番が逆になったが、回路の構成は Q1 のヘッドアンプの次にパッシヴのトンコロ。これはビッグマフの定数をコピーしたもので簡単だが効きはいい。トンコロで約 8dB 減衰するため、Q2 でその分（2.5 倍）持ち上げている。

2.55\*1.55 inch (65mm\*40mm)



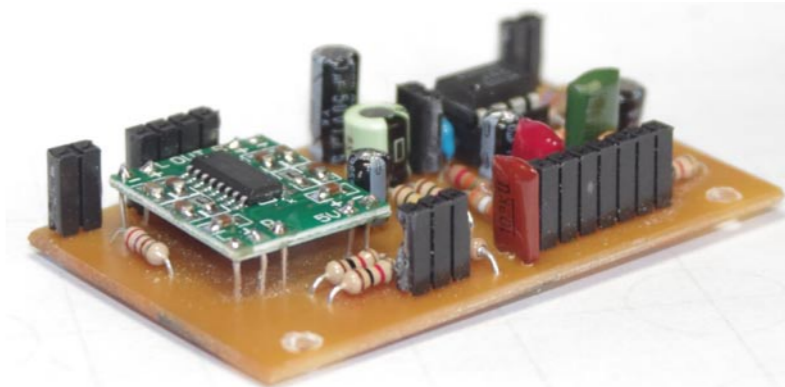
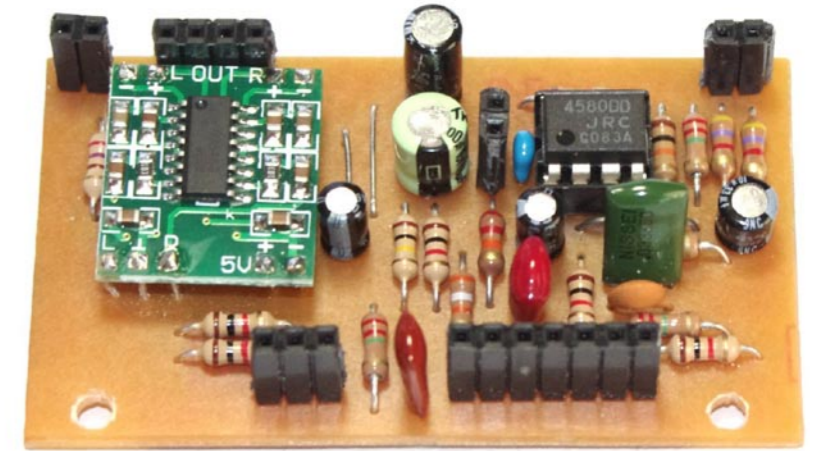
■はGNDだが、どこにもつながらない



## ■ 基板 ■

問題はゲイン設定だけなので基板パターンは上図で決定。定数さえ追い込めば実用になるはず。実は前項で書いた信号レベルへの危惧にはもうひとつ要素があって、8403 内部で A/D 変換する際に、どんなレベル範囲に決めているのかわからない。しかもユニット上の定数で、それを何倍にしているかも不明。レベル範囲を一瞬でも超えれば正常な A/D はできなくなって、ものすごいノイズを発する可能性もある。……なんて考えていると、いつまで経っても始まらないから、ノイズ上等！と居直ることにした。

たしかにオーバーレベルでは思い切り汚いノイズになった。いつもなら歪みは歓迎すべきものだが、デジタル系のノイズは何にも使えない。使いこなせるミュージシャンがいたら会いたい。どんな音なのか聴きたい人は、GAIN の VR を 50k から 250k（以上）に換えれば、イヤでも聴ける。この辺の冗長性の無さが音という自然現象を数字というデジタルで扱う上での折り合いの悪さの根源だろう。

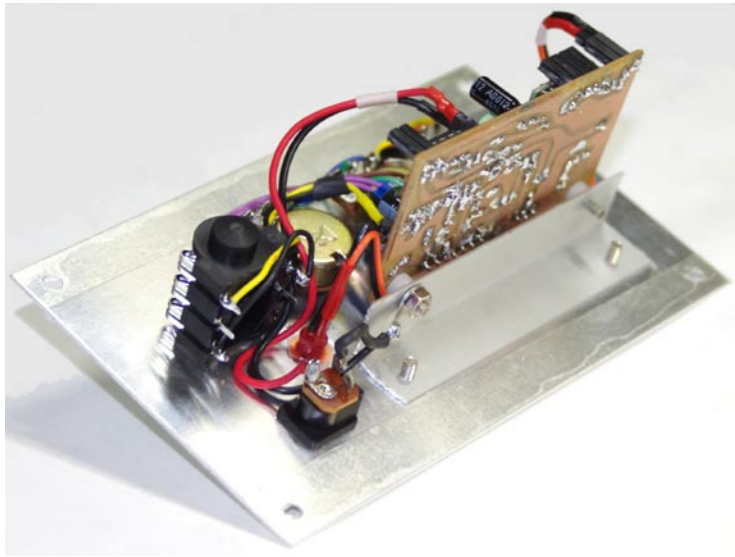


なにとはともあれ、あっちのゲインを削って、こっちを増やして、の結果が回路図と基板レイアウトの定数。ゲイントリムは約 1 倍～3.5 倍、トンコロのマイナスゲインをリカバーするフォロア (Q2) のゲインは 2.5 倍。これで実用になり得るアンプになった。

使用したギターは手元にある 3 種類。ベースは低音弦がいきなり歪むのでダメ。もし諸君のギターで歪むようならゲイン VR を下げるしかない。下げても最大音量に変化はない。

基板には写真のようにピンソケットを使った（秋月出身）。もちろん配線直出しでも構わない。

8403 ユニットの、一応放熱にも配慮して、少し浮かせて取り付けた。方法は、まずユニットの各穴に抵抗リードの余りをハンダ付けして、それを基板の穴にハンダ付け。このユニットのような両面基板へのハンダ付けは予想以上に熱量が要る。敵が銀ハンダを使っているからでもあろう。イモハンダにならないように、ユニットの穴にはハンダを完全に流し込むこと。



## ■ 構造と結線 ■

今回作るのは楽器アンプモジュール。各自好きな箱にスピーカと一緒に組み込む。だから上の写真の状態でも完成。箱はもちろん、どんなスピーカと組むかで音が変わる。

写真のようにするには適当なサイズのアルミ板と 12 × 12 ミリくらいの L アンクル、5 ミリくらいのネジカラー（プラスチックスペーサ）2 個とビスナットが要る。

見出しページの写真が完成した前面。私は某 M 氏からごっそり寄贈された 13 × 8 センチの 1 ミリ厚アルミを使った。パネル文字は裏に糊が付いたシール紙に印刷してアルミ板に貼り、仕上げに透明シール。そこそこの見栄えでしょ。パネル加工図は出しても仕方ないから省略。

電源 SW は付けていない。5V の AC アダプタを差すと ON。パワーオンは LED でわかる。フルパワーでもアダプタは 1.5A でいい。パワー SW を付けたい人は DC ジャックと基板の間に。フューズまでは要らないだろう。

LED にはジャンク箱の底から出てきた 25 年ほど前の拡散光 5 ミリを使った。古くても光るが、どうにも効率が悪く大電流を流さないとも明るくならない。で、回路図と基板上に \* 印を付けた 1k が LED の輝度調節。今の LED なら 1k でギラギラ光るだろう。もし明るすぎたら抵抗値を増やす（オームの法則ですね）。暗ければ減らす。私は 220 Ω まで減らした。このとき注意すべきは抵抗のワットテージだ。今回は電源が 5V だから燃えることはまずないけれど、一応計算だけはすること。R = 220 だと、LED の電圧降下を 1.5V とすれば、 $I \approx 0.016$ 、 $P \approx 56(mW)$  になって 1/4W 抵抗でも悠々クリアする。



写真と結線図を見れば構造も結線もわかるだろう。能書きが多い割には作業量は小さなエフェクタ並みだ。図中にもあるように、ジャックが絶縁型か非絶縁型かでパネルへのアースポイントが変わる。これでもパワーアンプだから一点アースの原則は守りたい。

なおオペアンプの（図では）左側の 2p コネクタは電源入力コネクタと同じ。必要ならここから +5V を取り出して組込み型エフェクタなどに使える。入れるならディストーションかな。

## ■ どんな音？ ■

まず結論をひとこと言えば「使えます」。3W+3W というのは誇大広告としても LM380 よりデカイ音だし、何故か素直な感じ。無音時のノイズは極端に少ない。タチの良い 3 ~ 4W の練習用アンプといえは当たっているだろう。

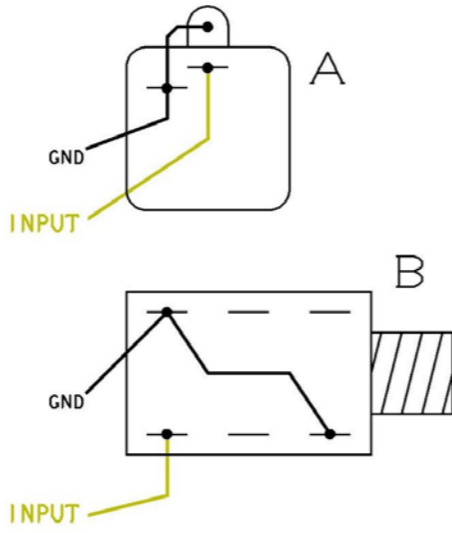
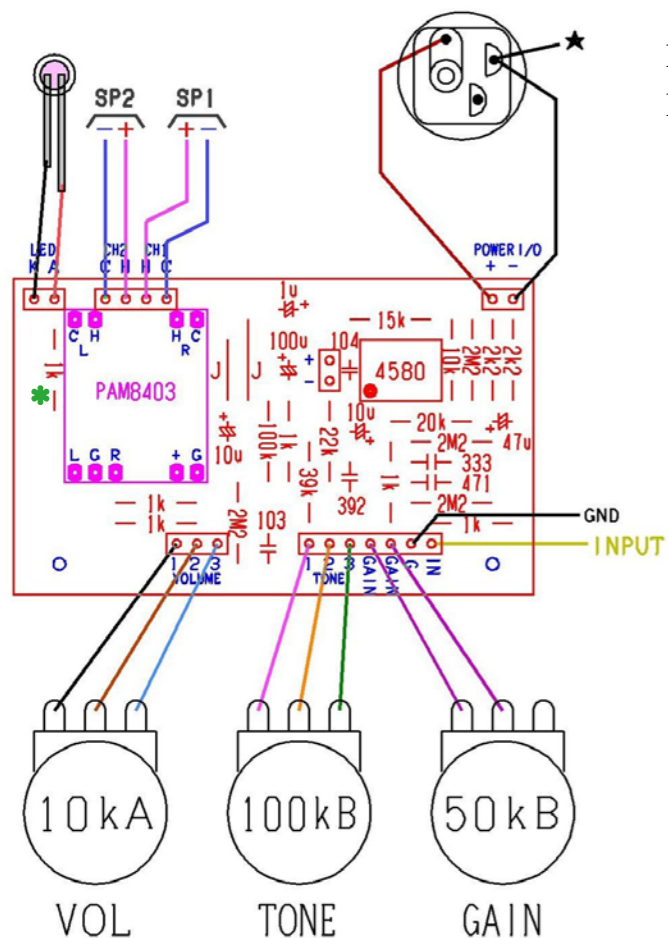
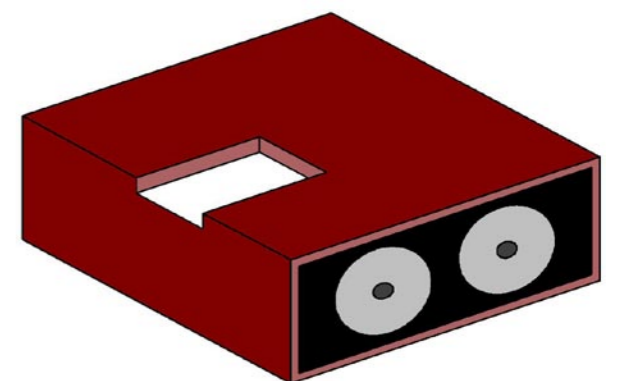
これはトーンを 1VR にしたせいでもある。欲張って Treble/MID/Low といった 3VR なんかにすると、そこがモロにノイズ発生元になる（楽器用のトーン回路はインピーダンス高すぎだから）。ビッグマフのトーン回路（定数）はギターに良く合う。練習用なら十分だ。これで不足なら、各自回路を切り張りして好みのトーン回路を組み込めばいい。ただ、それにしてもパワーアンプ部が力不足だから、次回以降に発表するハイパワー版で考えても遅くないかも。（基板はできています。それも 2 種類。全部ネットです。近日公開予定）

アナログアンプと違うのはスピーカを換えると音量・音質とも如実に変わるところ。アナログアンプでも変わるけれど、そんな比ではなかった。最初、カーステ用の 16 センチ 4 Ω をつないだら、これが悲しくなるほど貧弱な小音量。わぁ、このアンプまるでダメじゃん。でもちょっと心に引っかかる場所があって 30 センチの楽器用 8 Ω にしてみたら、鳴る鳴る。八畳の部屋いっぱいになり響き渡り、音のバランスも良好。う～ん、なるほどなぁ（心に引っかかったことは後述）。

手持ちのスピーカをいろいろ試し、結局 K 氏からもらった 8 センチの小スピーカ（8 Ω）2 個に決めた。この子は正体不明で、ウーファにしてはハイが出るし、フルレンジにしてはローが張り出す。小口径なのに目立って低能率ではなく、ちゃんと吼えてくれる。現在、仮に作った箱で鳴らしている。専用の箱は、この時期（1 月末）に野外で大工仕事をする気になれないので、木取り図面を描いただけで中断している。暖かくなったらゆるゆるやろう。

完成すると下のルックスになる。楽器アンプらしくなくていいでしょ？ 天板が切れているところに今回のアンプモジュールが付く。後面は開放か半分開放になるだろう。出音次第だ。

しかしまあ、こんなデバイスが 60 年前、つまり私が半田ごてを持ち始めたころにあつたら、果たして自作趣味に走っただろうか？ 真空管を覗んで、この中を電子が飛んで電流が流れるんだ、なんて考えたから今の私があるような気がする。8403 のように何も考えさせられないパーツばかりなら、好んで面倒事に挑戦する気になっただろうか？



B など絶縁型ジャックの場合 DC コネクタのアース端子（★）をパネルに接続。非絶縁型ジャックでは不要。

## ■ PWM だから… ■

最初のページの右段で、PWM アンプの最後部には LPF が要る、と書いた。ところがこのアンプに LPF は無い。これがスピーカを換えれば音も変わるのでは？と思ったきっかけだ。きちんと説明するには PWM の仕組みを書かなきゃならないので、きちんとではなくザッと説明しよう。

PWM アンプの出力波形は、波高値と周波数が一定の矩形波。ね、これだけでヘンでしょ？波高値と周波数は電源電圧と IC の規格で決まるのだが、動いている間は変化しない。矩形波の周波数はオーディオ帯域より遥かに高く、8403 では 200kHz だ。そんなもので、どうやってアナログの音を出す？

デューティサイクルって知ってる？ 矩形波の上の辺と下の辺の比のこと。上が短くて下が長ければ、つまり針みたいに細い矩形波なら、その波形が持っているエネルギーは小さい。逆に上の辺が長くて下が短ければエネルギーは大きい。わかりにくければ絵に描いてみよう。

PWM アンプでは、入ってきたアナログ波形の瞬間瞬間の電圧を捉えて（8403 では 1 秒間に 200k 回 = 20 万回捉える）、それが低ければ針みたいな矩形波に、高ければ上の長い矩形波に変える。つまりデューティを変えるわけだ。

一般的な WAVE 波形で言えば、クロック周波数（200kHz）でサンプリングして量子化（システムの bit 数で粗さが変わる）し、それをデューティに置き換えているわけ。ま、上の 3 行がわからなくても平気。

こうしてできた、デューティが超スピードで変化する矩形波が持つエネルギー（正しくはエネルギーの変化）はアナログ波形と変わらない。そのままスピーカに入ればちゃんと音になる。これが基礎の基礎。

ただし、この PWM 信号には 200kHz の矩形波成分が混ざっている。そりゃそうだろう、

アナログ波形をバサバサとぶった切ったのだから、その痕跡が残らないはずがない。そこでアンプとスピーカの間には LPF を入れて、超高域の矩形波成分を落としてやる。こうすれば LPF の出力にはアナログ波形だけが残るから、スピーカはもちろん鳴る。

PAM8403 の周辺製品を調べると、上記の用途の LPF ユニットも揃っていた。値段はわからない。あまり使われていないようだから高いのだろう。もちろん買わない。

さて、モノの解説書等によると、小出力の PWM アンプでは最後の LPF を省略することもある、とあった。今回のアンプがこれに該当するのだが、どうして省略できるんだ？

二つの理由が考えられる。その 1 は、ごく普通のスピーカは可聴周波数範囲しか再生しない。周波数の上限は  $20\text{kHz} + \alpha$  といったところ。これに 200kHz なんていう高い周波数を加えても音になるわけがない。鳴らないのなら聴こえない。だから LPF なんて要らない。

その 2 は、スピーカはコイルである。加えられた信号はボイスコイルに流れてコイルを揺らして音にする。コイルには質量があって、規格以上に速く動くのは苦手。多かれ少なかれ高域は落ち、周波数が高くなるほど落ちる率は大きくなる。これって LPF じゃん。わざわざ外付けのフィルタ（スピーカネットワークに似た L と C でできている）を使うまでもない。スピーカのコイル成分（L = インダクタンス）が代わりに仕事をしてくれる。

以上二つのどちらが合っているか、どちらも間違っているか、私にはわからない。いずれにしても、結果としてスピーカからは正常に音が出ているので、今は深追いしないことにした。

いずれにしてもスピーカの特性によって出音はかなり変わりそうだ。特に「その 2」ならボイスコイルによる音の違いは顕著になりえる。また、いくらアナログ波形と PWM 波形のエネルギーは同じだとしても、負荷（ボイスコイル）

の質による出音の違いは絶対にあるはず。低能率のスピーカは見事に低能率ぶりを発揮するだろうし、マジなスピーカはきちんと鳴るだろう。そもそも現在のスピーカは PWM 信号が入ってくるなんて予想もせずに設計されているから、最初から無茶なのだ。軽自動車にボート用船外機を付けますか？ 走るだろうけどね。

そんな雰囲気が頭をよぎり、いろんなスピーカで試すことにしたわけ。私の推論（まで行かない）が当たっているかどうかは別にして、確かに出音は変わった。アナログアンプ以上に変わった気がする。だから諸君も、もし PWM アンプで遊ぶなら、手持ちスピーカを片端からつないでみるといい。何か発見があるかも。

ついでに懸念も書いておこう。各種 PWM アンプ IC の説明書を読むと、アナログ信号を切り刻むクロックの周波数は 200kHz ~ 400kHz あたりのようだ。もちろん矩形波。矩形波は倍音（高調波）がメチャクチャ多い。高次倍音が多く含まれ、100 次倍音、ときには 1000 次倍音あたりまであって、他の機器に影響することがある。これは電磁波障害（EMI）といって、その筋からの規制はかなりうるさい。

そんな矩形波が PWM アンプ内のどこかで必ず暴れまわっている。振幅が小さければ基音も倍音も小さいからお目こぼしにもあずかれようが、パワーを出すには大振幅が必要。今回のアンプだって（多分）5Vp-p だろう。もしも 100W やら 1kW のアンプとなれば電磁シールドは必須だ。放熱処理に加えてシールドとなれば金属の塊みたいな風体になってしまう。

■ 次回予告 ■ シリーズであと 2 台。どちらも定数はまだ FIX してません。

