



第5章 1977年に誕生した初期型を再現

世界初のD級アンプのPWM回路を研究

渡辺 明禎
Akiyoshi Watanabe

世界で初めてオーディオ用D級パワー・アンプを市販したのは、1977年、日本のソニーでした。

製品の開発期間、それ以前の先人たちのトライアルを考えると、D級アンプ(デジタル・アンプ)の歴史はとても長いことになります。

ここでは、世界初の市販D級パワー・アンプの紹介とその動作原理を実験してみたいと思います。

世界初のD級パワー・アンプTA-N88

世界初の市販D級アンプTA-N88(ソニー)の電源電圧は $\pm 80V$ で、 8Ω 負荷で250Wもの出力が出ました(表1)。搬送波の周波数は500kHzで、周波数帯域は5~40kHz、SN比は110dBと、現在のオーディオ用D級パワー・アンプと遜色ありません。

TA-N88の簡略回路を図1に示します。この回路を見たとき、はて?どのように動作するのだろうか?と、すぐには分かりませんでした。

前述の三角波比較方式、自励発振方式とは異なっているように思えます。その動作原理に興味を持ち、動作解析しようと思いました。

PWM回路を再現

回路を組むといっても、図1に示す回路を組むのは実質不可能でしょう。今回は動作原理の概要を知りたいだけなので、図2に示すように思いっきり簡略化しました。

搬送波となる方形波は、第2章で製作した三角波発振回路の方形波出力を使用しました。最初は動作原理を

表1⁽¹⁾ TA-N88の仕様

項目	条件	値
出力@ $R_L=8\Omega$, $THD=0.5\%$	1kHz 20Hz~20kHz	250W+250W 160W+160W
SN比	—	110dB
周波数特性	+0.5dB, -1dB, 8 Ω	5Hz~40kHz
入力感度	50k Ω	1.4V _{RMS}
ダンピング・ファクタ	1kHz, 8 Ω	20
サイズ	—	480[W]×80[H] ×360[D]mm
質量	—	11kg

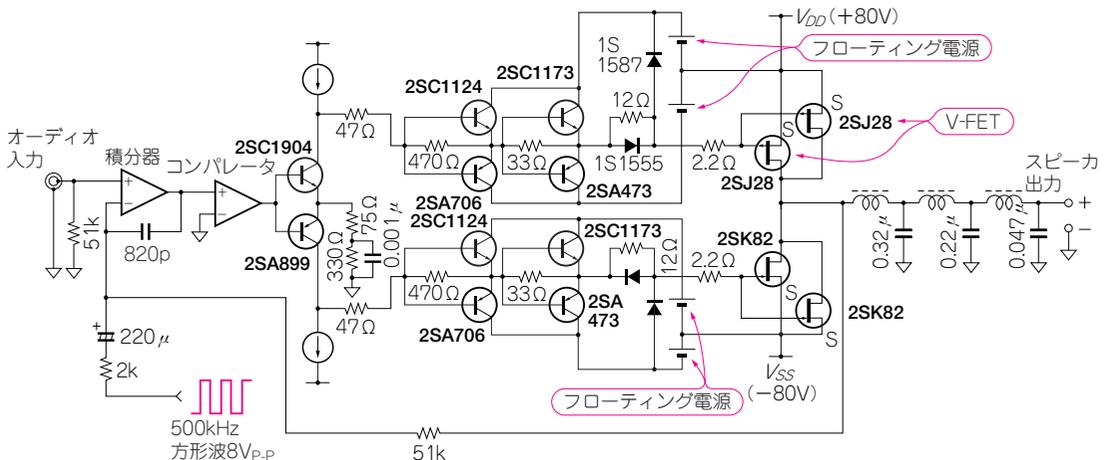


図1⁽¹⁾ 世界初の市販D級パワー・アンプTA-N88のパワー・アンプ部の回路

V-FET(Vertical FET)とは、パワーMOSFETのさきがけとなった接合型のコンプリメンタリ・パワーFETである

知りたいので、PCのサウンド・デバイスで解析できるように、搬送波の周波数は**条件1**(第2章の表1参照)の3.8 kHzとしました。従って、**図2**の回路の積分用コンデンサ C_2 は $0.1 \mu\text{F}$ としました。

製作した実験回路の部品配置、配線を**図3**に示します。

動作原理を調べる

● 入力電圧が0Vの場合

まず、入力電圧が0Vの場合です。サウンド出力の全ミュート・チェック・ボックスにチェックを入れると、出力電圧が0Vとなります。サウンド出力Lチャンネルは**(D6)**に挿し込みます。サウンド入力Rチャンネルは**(A3)**、サウンド入力Lチャンネルは**(J8)**にそれぞれ挿し込みます。

図4(a)にその結果を示します。IC_{1a}の非反転端子は0Vなので、仮想零点の原理でIC_{1a}の反転入力端子は0Vです。従って、IC_{1a}の出力は搬送波の方形波を積分した波形、すなわち三角波となります。

IC_{1b}によるコンパレータの比較基準電圧は0Vなので、IC_{1b}からは、方形波が出力されます。そのオン・デューティは50%なので、平均出力電圧は0Vです。

● 入力信号として500 Hzの正弦波を入力した場合

次に、入力信号として500 Hzの正弦波を入力した場合です。サウンド出力を500 Hzの $0.3 \text{ V}_{\text{RMS}}$ にします。

結果を**図4(b)**に示します。仮想零点の原理で、IC_{1a}の非反転端子と反転端子の電圧は常に同じなので、反転端子は500 Hz、 $0.3 \text{ V}_{\text{RMS}}$ となります。

それが、IC_{1a}の出力端子に重畳されるので、**図(a)**の三角波と500 Hzの信号が重畳されて、**図(b)**のように三角波が500 Hzの周期で変化します。この波形と0Vの交点でコンパレータ出力は反転するので、出力

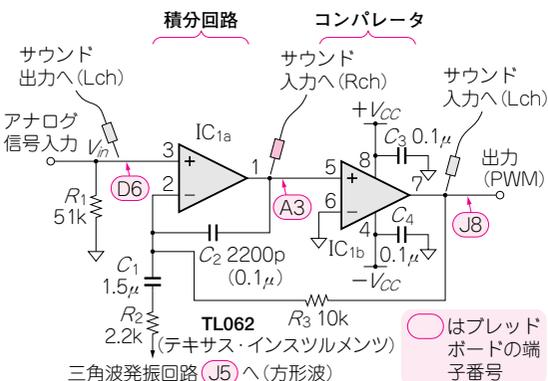


図2 TA-N88の動作を実験する回路

動作原理だけに着目するために思いっきり簡略化した

は、入力信号の電圧レベルに従い、オン・デューティは変化し、PWM波が得られます。

● アナログ信号はどのように出力されるか

次はアナログ信号がどのように出力されるかです。アナログ信号に関係する部分だけに着目すると、**図5**の等価回路となります。

従って、ゲイン G [倍]、低周波のカットオフ周波数 f_L [Hz] は以下ようになります。

$$G = 1 + \frac{R_3}{R_2} \approx 5.5 = 14.9 \text{ dB}$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi C_1 R_2} = 48 \text{ Hz}$$

実際に、ゲインの周波数特性をとると、**図6**の結果となり(搬送波周波数は38 kHzとした)、当然のように良く一致します。

● 自励発振型だ!

さて、この状態での周波数スペクトラムを**図7**に示します。アナログ入力信号の500 Hz、搬送波の3.8 kHz、イメージなどのスペクトラムが観測できます。

そこで、三角波発振回路につないでいる R_2 を GND に接続してみてください。そのときのスペクトラムを**図8**に示します。13 kHzの信号のほかに、500 Hzの信号成分もほぼ同じ大きさで含まれています。どこから

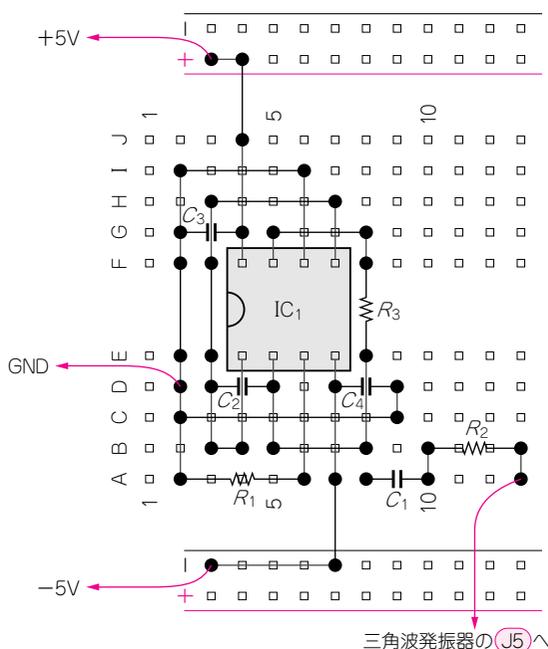


図3 実験回路の部品配置と配線