

第8章 放熱設計をして 高性能な MOSFET を試す

100~200 W 大出力 パワー・アンプの製作と研究

渡辺 明禎
Akiyoshi Watanabe

特集

高効率パワー・アンプの作り方

D級アンプの設計には二つのアプローチがあります。一つは、必要なパワーを出力できる**最終パワー段まで集積化されたIC**を使用する、もう一つは、ドライバ段までを集積化したICを使い、**必要なパワーに合わせて最終段のパワー MOSFET を選択する**、というものです。どちらが優れているのかというのは一概に言えず、目的に合わせて選ぶことになります。

ここでは、後者の手段を用いた場合に、必要なパワーに対してどのような設計を行い、どのような注意が必要になるのかについて、付録D級アンプ基板を題材に解説します。

写真1に、ハイ・パワー化した付録D級アンプ基板の外観を示します。

● 付録D級アンプ基板を 30 W から 100 W にパワーアップ!

付録D級アンプ基板は、電源電圧が± 15 V で設計

されているので、**最大出力は 30 W (4 Ω 負荷) / 15 W (8 Ω 負荷)**です。この出力はなかなか強力で、ほとんどのケースでパワー不足を感じることはないと思います。

付録D級アンプ基板は、ドライバICとパワーMOSFETが分離されているので、パワーMOSFETを変更するだけで、ハイ・パワー化が容易です。そこで、**100 W 出力 (4/8 Ω 負荷)**を最終目的とし、いくつかの条件で設計を行います。

オーディオ・アンプ用途では、出力にゆとりのある方が、瞬間的に大きな電力を出力でき、効率の悪いスピーカーでも力強く鳴らすことができます。

ハイ・パワー化のための 二つのアプローチ

- 最大出力からのアプローチ
まず、必要な最大出力を決め、そこから電源電圧、パワーMOSFETを決定する方法です。

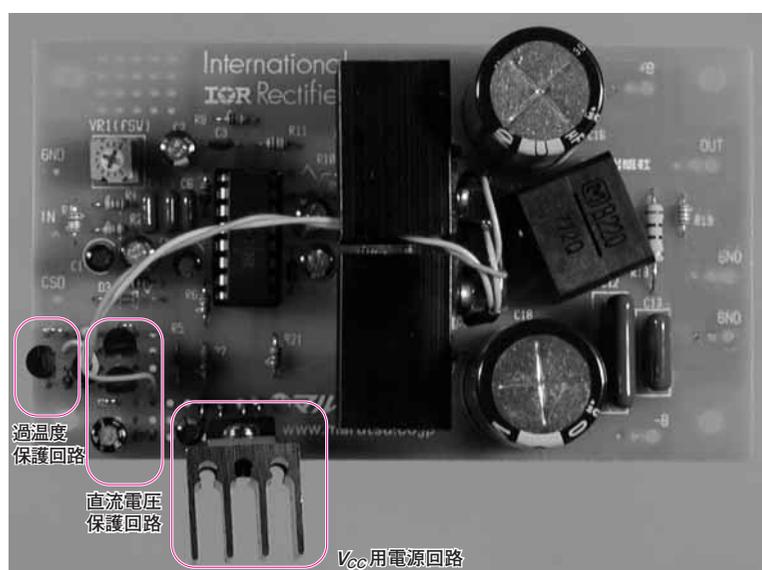


写真1 ハイ・パワー化した付録D級アンプ基板の外観
30 W から 100 W へパワーアップ!

▶電源電圧

まず、必要となる電源電圧 B を次式から求めます(注1)。

$$B = \frac{\sqrt{2 \times P_{out} R_{load}}}{M}$$

ここで、 B : 電源電圧 [V]、 P_{out} ; 出力電力 [W]、 R_{load} ; 負荷抵抗 [Ω]、 M ; 最大変調率 (0.8 ~ 0.9) です。

最大変調率 M とは、電源電圧と出力正弦波のピーク・ツー・ピーク値の比率です。 $M=1$ は電源電圧までフル・スイングできていることを示しています。

8 Ω 負荷で 100 W 出力、 $M=0.9$ とすると、 $B=44$ V となり、 **± 44 V の電源が必要**となります。AC トランスを整流した電源を使う場合は、電圧変動があるので、**無負荷時の電源電圧を 10 ~ 20 % ほど大きい値**とします。

▶パワー MOSFET の選定

パワー MOSFET として使えるものは、スイッチング速度が高速、全ゲート電荷 Q_g が小さい、 $R_{DS(ON)}$ が小さいなどが一つの判断基準です。ここでは、メーカーから D 級アンプ用としてパワー MOSFET がラインナップされているのでそこから選択します。そのときの選択基準は、ドレイン-ソース間最大電圧 $V_{(BR)DSS}$ と最大ドレイン電流 I_D です。

●ドレイン-ソース間最大電圧 $V_{(BR)DSS}$

必要となる V_{BDSS} [V] の最小値は次式から求めます

$$V_{(BR)DSS} = \frac{\sqrt{2 \times P_{out} R_{load}}}{M} \times 1.3$$

ここで、係数 1.3 は**配線インピーダンス**です。

配線インピーダンスは、電源変動分、サージ電圧などを考慮した補正值で、1.5 が使われる場合もあります。

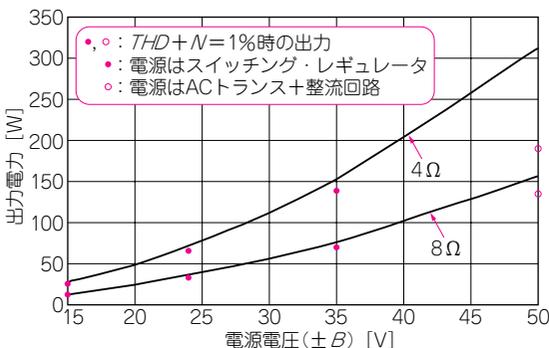


図1 電源電圧 ($\pm B$) と出力電力の関係 (●, ○は実際に製作し測定した $THD+N=1\%$ 時の出力電力)

表1 実験に使用したパワー MOSFET の主な使用

型番	V_{DSS} [V]	R_{ON} [m Ω]	I_D [A]	Q_g [nC]	スイッチング時間[ns]	パッケージ	メーカー
IRFB4019PbF	150	80	17	13	40	TO220AB	インターナショナル・レクティブファイアー
IPP50CN10N	100	38	20	13	31	TO220AB	インフィニオン・テクノロジーズ

注1 ▶付録D 級アンプ基板は電源のシルクに +B, -B を使用しているため、電源電圧の記号は、+B, -B, $\pm B$ を使用する。

8 Ω 負荷で 100 W 出力、 $M=0.9$ とすると $V_{(BR)DSS}$ の**最小値は 116 V** となります。

●最大ドレイン電流 I_D

必要となる I_D [A] の最小値は、

$$I_D = B/R_{load}$$

から求めます。 $B=44$ V とすると、

$$I_D = 44/8 = 5.5$$

となります。負荷が 4 Ω の場合は 11 A です。実際に 1.5 倍の余裕をみると、 **$I_D > 17$ A 品** を選択すればよいでしょう。

なお、IRS2092 の場合、パワー MOSFET のドレイン電流制限回路が付いているので、そちらで制限をかけることも可能です。

●電源電圧からのアプローチ

すでに、使用する電源電圧が決まっている場合で、最大出力などを予想し、そこからパワー MOSFET を決定する方法です。

▶出力電力

使用する電源電圧から次式で得られる最大出力 P_{out} [W] を求めます。

$$P_{out} = \frac{(M \times B)^2}{2 \times R_{load}}$$

ここで、 B : 電源電圧 [V]、 P_{out} ; 出力電力 [W]、 R_{load} : 負荷抵抗 [Ω]、 M : 最大変調率 (0.8 ~ 0.9) です。

$M=1$ のときの、電源電圧と出力電力の関係を図1に示します。図1の●, ○は実際に製作、測定した $THD+N=1\%$ のときの出力電力です。

▶パワー MOSFET の選定

必要となる V_{BDSS} [V] の最小値は次式から求めます。

$$V_{BDSS} = 2 \times B \times 1.3$$

今回実験に使用したパワー MOSFET の主な仕様を表1に示します。

放熱設計が欠かせない

●放熱設計の概要

D 級アンプは効率が良いために、パワー MOSFET の放熱器が不要な場合も多くあります。

しかし、いくら効率が良いといっても、**出力が大きくなるとパワー段での消費電力が大きくなっていくので、放熱器が必要**になってきます。

効率 η [%] は、