

第3章 低ひずみ特性を実現する PWM 変調段と出力段のインターフェース術

心臓部「D級ドライブ回路」の設計

本田 潤
Jun Honda

図1に示すのは、一般的なデジタル・アンプのPWM信号出力からD級出力段までのブロック図です。PWM変調段から出力されるのは、3~5Vのロジック・レベルの信号です。この信号でD級出力段のパワー・MOSFETを直接駆動することはできません。図に示すように、両者の間にD級ドライブ回路と呼ぶインターフェース回路が必要です。

D級ドライブ回路は、ハイ・サイドとロー・サイドが同時にONする現象を防ぐためのデッド・タイム生成回路、ハイ・サイドのゲートを駆動できるレベルにロジック・レベルを昇圧するレベル・シフタ、パワー

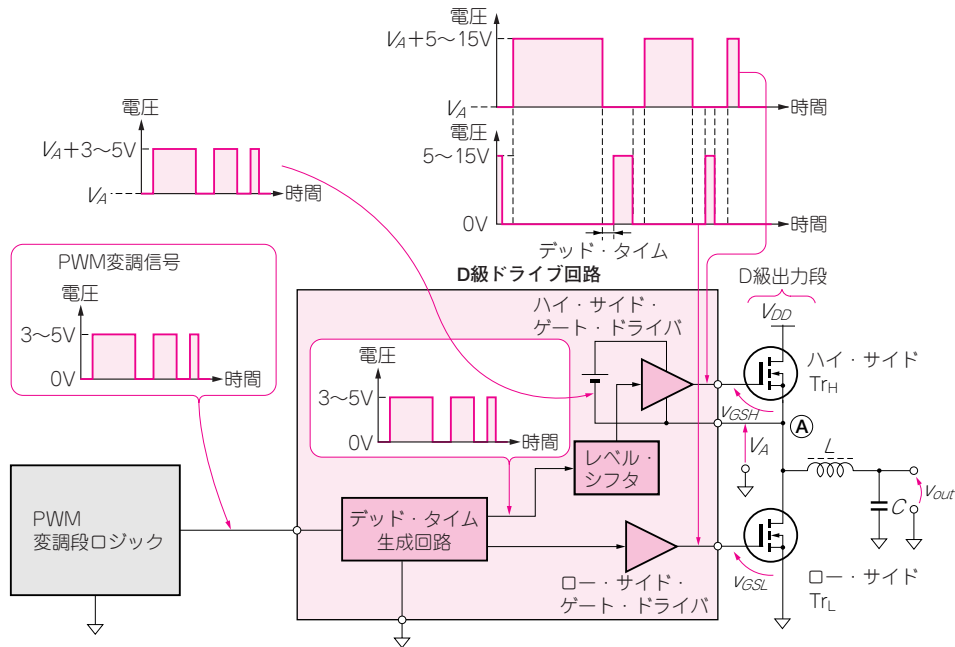
MOSFETを低インピーダンスで駆動するゲート・ドライバで構成されます。

ひずみや雑音特性などのオーディオ性能は、D級ドライブ回路の設計次第で大きく変化します。本章では、このデジタル・アンプの心臓部ともいえるD級ドライブ回路の設計法について解説しましょう。

パワー・MOSFETの性質を理解しよう

- 大電流を高速にスイッチングできる
パワー・MOSFETは大電流を高速にスイッチするの

〈図1〉 PWM変調回路とD級出力段をインターフェースするD級ドライブ回路



Keywords

D級出力段、D級ドライブ回路、レベル・シフタ、コンデンサ結合、ハイ・サイド、ロー・サイド、ゲート・ドライバ、浮遊インダクタンス、放射ノイズ、ディレイ・マッチング、デッド・タイム、ボディ・ダイオード、リバース・リカバリ、ゲート・チャージ、出力容量、ブートストラップ。

に最適です。D級増幅の原理は30年以上前からありましたが、パワーMOSFETの価格が下がったため、ようやく実用にこぎつきました。

バイポーラ・トランジスタは、負荷電流にかかわらず大きなベース電流を流しておく必要があるうえ、少数キャリアの蓄積効果によって、ベースに入力した信号をOFFしても、ターン・オフが遅れます。したがって、大電力かつ高速なスイッチング動作には向きませんでした。

一方パワーMOSFETは、少数キャリアが動作に関与せず、ゲートに加える電圧信号の速度に追従して高速にON/OFFします。

● ゲート-ソース間に電圧を加えるとONする

パワーMOSFETは、ゲート-ソース間に電圧を加えるとONして、ドレイン-ソース間に電流が流れるようになります。電圧を加えなければ、ドレインとソースには電流が流れません。

ON状態の抵抗値はとて低く、数十mΩも簡単に実現できます。ゲートは、ドレイン-ソース間のチャネルに対して電氣的に絶縁された構造の電極なので、いったんONしてしまえば、ON状態を続けるためにゲートに電流を流す必要はありません。

● ゲートの駆動はコンデンサを充放電するようなもの

図2に示すように、パワーMOSFETを外から見るとコンデンサ(約数千pF)に見えます。パワーMOSFETのゲート電極は電氣的に絶縁されていて、ほかの電極などとコンデンサを構成しているからです。

ONやOFFの状態を保つには、いっさい電流を消費しない代わりに、ONからOFFまたはOFFからONに移行するときに、このコンデンサを充放電するための電流が必要です。これがパワーMOSFETの駆動電流です。

レベル・シフトのあらまし

● 役割…ソース基準のゲート駆動電圧を発生させる
レベル・シフトは、デジタル系グラウンドを基準に振幅するPWM変調パルスを、パワーMOSFETのソースを基準に振幅する信号に電位変換する回路です。

図1に示すD級出力段の出力ノード、つまりハイ・サイド(T_{RH})のソース(点A)の電位は、スイッチング動作とともに電源とグラウンド間を上下しています。 T_{RH} をON/OFFするには、ソース電位を基準に振幅する電圧をゲートに加える必要があります。

ゲート・ドライバは、PWM変調信号の電圧(振幅3~5V)をパワーMOSFETをON/OFFするのに必要な電圧に増幅し、低インピーダンスでゲートを駆動します。

● レベル・シフトのいろいろ

▶ コンデンサ結合タイプ [図3(a)]

出力段にNチャネルとPチャネルのパワーMOSFETを使います。

この方式は、ゲート駆動のためのフローティング電源が不要です。しかも一つのゲート・ドライバで、二つのパワーMOSFETを直接駆動できます。さらに二つのスイッチング時間のずれが小さく、デッド・タイムが自動的に発生するので、駆動回路がとてシンプルになります。

しかし、図4に示すように、電源電圧変動の影響を受けやすい欠点があります。比較的小出力のデジタル・アンプで使われます。図中の V_{th} はパワーMOSFETがONするゲート-ソース間しきい値電圧です。

▶ 専用のゲート・ドライブICを使う [図3(b)]

50W以上の中~大出力には専用ゲート・ドライブICが使われます。ゲート・ドライブICは、二つのNチャネルのパワーMOSFETを直接駆動できます。ハ

〈図2〉パワーMOSFETの駆動はコンデンサを充放電するようなもの

