

こうして使おうパワーデバイス：応用編

第8回 高効率、低歪み、使いやすさの進化が進む D 級アンプ



トランジスタやFETは、リニアな増幅動作では電圧、電流をなめらかに連続制御できますが、低効率で発熱が大きくなります。そこで、高速のオン/オフを繰り返して平均の電圧、電流を高効率で連続制御するスイッチング制御が広く用いられています。今回は、MOSFETのもつ高速スイッチング、低オン抵抗という特長を生かして数十kHzの帯域幅のオーディオ出力をPWM制御するD級アンプと、それに最適なデバイスを紹介します。

オーディオ用パワー・アンプの基本構成

オーディオ信号は音(空気の振動)を電気信号に置き換えたもので、可聴周波数帯域で正負に振れる交流信号です。スピーカを駆動して音を出すには、数十Hz～数十kHzの帯域幅で4～8Ωの誘導負荷を駆動するパワー・アンプが用いられます。リニア方式が主流でしたが、最近では高効率で発熱の小さいD級アンプが広く用いられています。

リニア方式のアンプは、増幅素子の動作点の違いでA級、B級、AB級というように分類されています。

A級アンプは振幅全体を1個の素子で増幅するもので、素子の能動領域の中央付近が動作点になります(A級動作)。リニアな特性は優れていますが、効率が低いのが難点です。B級アンプは2個の増幅素子が正側と負側をそれぞれ分担するもので、能動領域の端が動作点になります(B級動作)。効率は優れていますが、動作が不連続で歪が大きくなります。

AB級アンプは2個の増幅素子をオーバーラップ動作させることで高効率と低歪を両立したもので、実際のオーディオ用パワー・アンプでは最も広く普及しています。

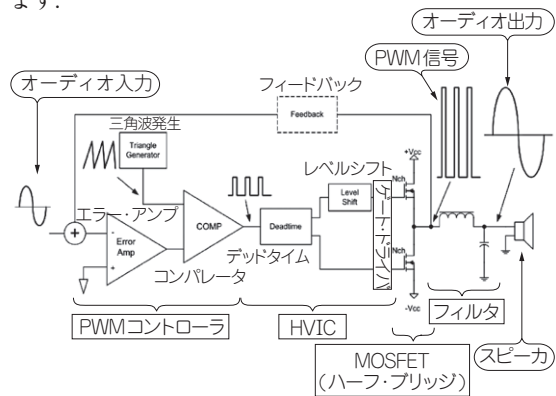


図1 D級アンプ

D級アンプはMOSFETを用いて高速スイッチングを行い、リニアな増幅は行いません。その点はデジタル的ですが、パルス信号のデューティ(オン時間の比率)を用いて平均の電圧、電流を連続的にPWM制御する点はアナログの制御です。

PWM制御の原理はDC-DCコンバータと同じですが、オーディオ周波数に対して少なくとも10倍以上、数百kHz～1MHz程度でスイッチングを行います。また、PWM信号の時間的な誤差が、アナログ的な信号歪みの原因になります。

D級アンプの最大の特徴は高効率であり、AB級アンプの効率が50%程度なのに対して、D級アンプでは90%以上の効率が容易に得られます。

D級アンプ用のパワーデバイス

D級アンプ用のパワーデバイスには、MOSFETとHVIC(高耐圧ゲート・ドライバ)があります。通常は、2個のMOSFETをハーフブリッジにしてスピーカを駆動します。4個のMOSFETでフルブリッジを構成する場合もあります。

高音質が求められるオーディオ用途では低雑音、低歪みの特性が重要です。以前は、D級アンプは高効率だが歪みが大きいと考えられており、ハイエンドのオーディオ機器にはなかなか採用されませんでした。最近では、IRのパワーデバイスがもつ低歪みの特性が評価され、ローエンドからハイエンドまで幅広い用途で使用されています。

低歪みを実現するためには、PWM信号の時間精度を高めることが重要です。ブリッジ構成のドライバでは、ハイサイドMOSFETとローサイドMOSFETが同時にオンになると、過大な貫入電流が流れてデバイスを破壊する恐れがあります。それを防ぐために若干のデッド・タイムをもたせていますが、これが歪みの

要因になっています。

モータ駆動用のドライバでは数百nsのデッド・タイムをもたせるのが普通ですが、D級アンプでは、たとえばTHD(全高調波歪み)を0.1%に抑えるためには、デッド・タイムは最大でも±50ns程度に抑えることが必要です。

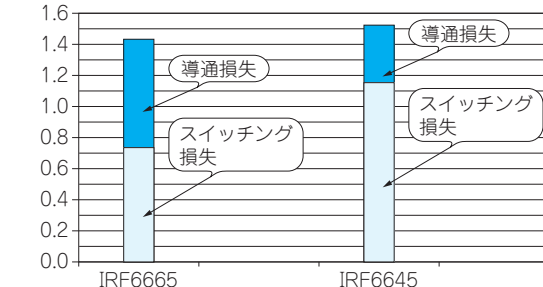
HVICではハイサイド側の遅延が大きくなる傾向があり、ローサイド側に遅延を付加して遅延時間のばらつきを抑える技術も用いられています。また、デッド・タイムの温度変動を抑えることも重要です。最近のオーディオ用HVICでは、デッド・タイムを±15nsに抑えた製品もあり、きわめて低歪みを実現できます。

なお、実際のアンプ回路では、適量の負帰還をかけてさらに歪みを低減することが多くなっています。

D級アンプ用MOSFETの選択

MOSFETの選択では、オン抵抗とQg(ゲート電荷)に注意が必要です。電源用やモータ駆動用では、主にオン抵抗から生じる定常損失が最大の問題になります。一方、高速スイッチングを行うD級アンプでは、主にQgで決まるスイッチング損失の影響が大きくなります。

全損失(W) 100W/6Ω出力時の損失比較



	IRF6665	IRF6645		
ドレイン-ソース間耐圧	V_{DS}	100V	100V	
許容損失	R_{p}	42W	42W	
オン抵抗	$R_{DS(on)}$	max	62mΩ	35mΩ
		typ	53mΩ	28mΩ
ゲート電荷	Qg	max	13nC	20nC
		typ	8.4nC	14nC

図2 IRF6665 vs IRF6645

同一のプロセス技術で比較すると、チップ・サイズを小型化するとQgが小さくなる代わりにオン抵抗は

大きくなり、大型化するとオン抵抗が小さくなる代わりにQgが大きくなるというトレード・オフの関係があります。IRでは低オン抵抗の製品だけでなく、オーディオ用として低QgのMOSFETを幅広く製品化しています。

さらに、同じオーディオ用でも、4Ω負荷の車載用オーディオには低オン抵抗のMOSFET、8Ω負荷の家庭用オーディオには低QgのMOSFETと、負荷条件の違いによってもきめ細かい使い分けが可能です。

オーディオ機器メーカーの設計の負担を減らす PowIRaudio™

IRではD級アンプ用として高効率、低歪みのパワー・デバイスを数多く供給してきました。個別のHVICとMOSFETを組み合わせることで、幅広い要求仕様に合わせて柔軟にオーディオ機器を設計できます。

一方、D級アンプが広く普及するにつれて、もっと簡単に使えるD級アンプICへの要望も高くなっています。ただし、HVICとMOSFETをモノリシック化すると基本性能の低下が避けられません。そこでIRでは、別チップのHVICとMOSFETを組み合わせて小型パッケージに封入したパワー・モジュール製品 PowIRaudio™ を2012年に発売しました。

PowIRaudio™ は、DC-DCコンバータの SupIRBuck® に相当する、高性能と簡単さを両立したパワー・モジュールです。ユーザはHVICとMOSFETを個別に選択する必要がなくても、最適化した保護回路を内蔵していることから信頼性も高く、部品点数も大幅に削減できる製品です。

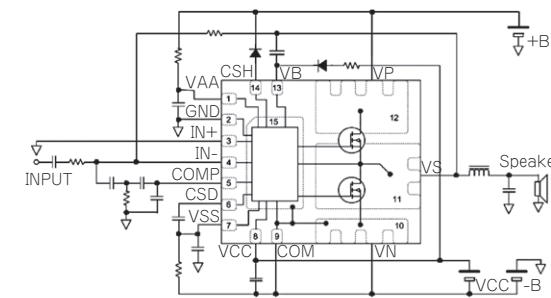


図3 PowIRaudio™