

特集①:アンプデバイス

米 インターナショナル・レクティファイアー社

D 級アンプ用デバイスの紹介

IR ジャパン株式会社

技術部 西村 康

近年、オーディオアンプに D 級方式が広く普及していますが、事の初めは 20 年ほど前に、ノート PC のバッテリー寿命と電源電圧効率の改善のために必要だったように記憶しています。その後は TV やホームオーディオセット、カーオーディオアンプ、業務用オーディオアンプと瞬く間に普及し、未だ音質的な理由からアナログアンプが主流の Hi-Fi オーディオアンプにも、音質が認められた D 級アンプが現れてきています。

ここでは、大出力の D 級アンプを簡単に構成出来る弊社チップセットについてご紹介させていただきます。

1. はじめに

インターナショナル・レクティファイアー社（以下 IR）が本格的にオーディオ用デバイスのビジネスに参入したのは、その社歴（1947 年設立）の中では比較的新しく、2003 年のことでした。当時、既にローパワーアンプの分野では、モノリシック IC の D 級アンプデバイスが複数のメーカーから発売されており、100W 以上のハイパワーアンプの分野でも、トライパス社を筆頭に ICE パワー社などから、D 級アンプデバイスやアンプモジュールが発売されていました。

そのような状況の中で、弊社としてはパワー半導体専門メーカーとして大出力デバイスに特化し、その信頼性面での強みを活かした製品でビジネスを確立することが出来ました。

D 級アンプは損失の小ささだけでなく、アナログアンプに比べ半導体チップの小型化も実現できることから、ハイパワーアンプになればなるほどコスト低減効果が大きく、いまや、1kW を超える業務用アンプの価格は \$300 を切る勢いです。

しかしながら、小型化されたものは無理が効かず、初期のハイパワー D 級アンプの信頼性は極めて低いものでしたが、弊社はパワー-MOSFET や HVIC（高耐圧 IC）の開発メーカーとしての技術的アドバンテージ、また独自の D 級アンプ用過電流保護機能の開発によって、D 級アンプの品質と信頼性を大きく向上させました。今では、発熱の少ない D 級アンプの市場不良率はアナログアンプを大きく下回ります。

2. D 級アンプ用チップセット

IR の D 級アンプ用デバイスは、出力段を構成するパワー-MOSFET と、それを駆動する HVIC の二つのカテゴリーに分けられます。

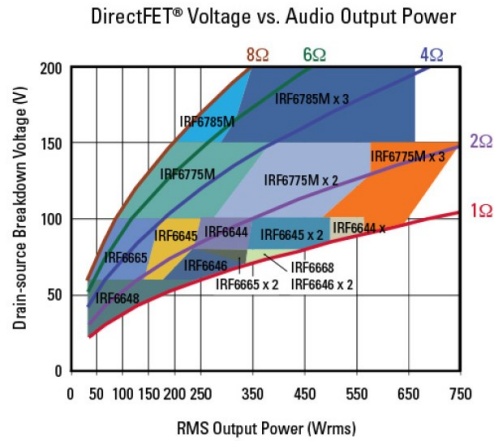
MOSFET は多くの品種が存在しますが、D 級アンプ用に使えるものは限られており、 Q_g が 100nC 以下の高速タイプのものに限定されます。

Digital Audio MOSFETs

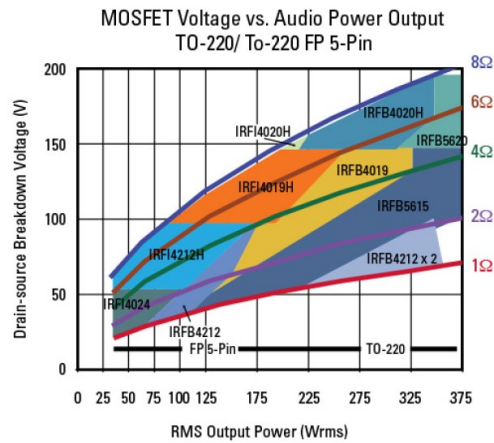
Part Number	BVD _{ss}	R _{DS(on)} (mΩ)	Q _{gtot} (nC)	Package
IRF6644	100	10.3	35	DFET SJ
IRF6645	100	28	14	DFET SJ
IRF6665	100	53	8.4	DFET SH
IRF6648	60	5.5	36	DFET MN
IRF6646	80	7.6	36	DFET MN
IRF6668	80	12	22	DFET MZ
IRF6643	150	34.5	39	DFET MZ
IRF6775M	150	47	25	DFET MZ
IRF6641	200	60	34	DFET MZ
IRF6785M	200	85	26	DFET MZ
IRFB4212pbf	100	72	15	TO-220
IRFB5615pbf	150	32	26	TO-220
IRFB4019pbf	150	80	13	TO-220
IRFB4227pbf	200	19.7	70	TO-220
IRFB5620pbf	200	60	25	TO-220
IRFB4020pbf	200	80	18	TO-220
IRFB4229pbf	250	38	72	TO-220
IRFI4024H-117P	55	48	8.9	5-pin TO-220
IRFI4212H-117P	100	72.5	15	5-pin TO-220
IRFI4019H-117P	150	80	13	5-pin TO-220
IRFI4020H-117P	200	80	19	5-pin TO-220

Digital Audio MOSFETs Selection Chart

DirectFET®



TO220

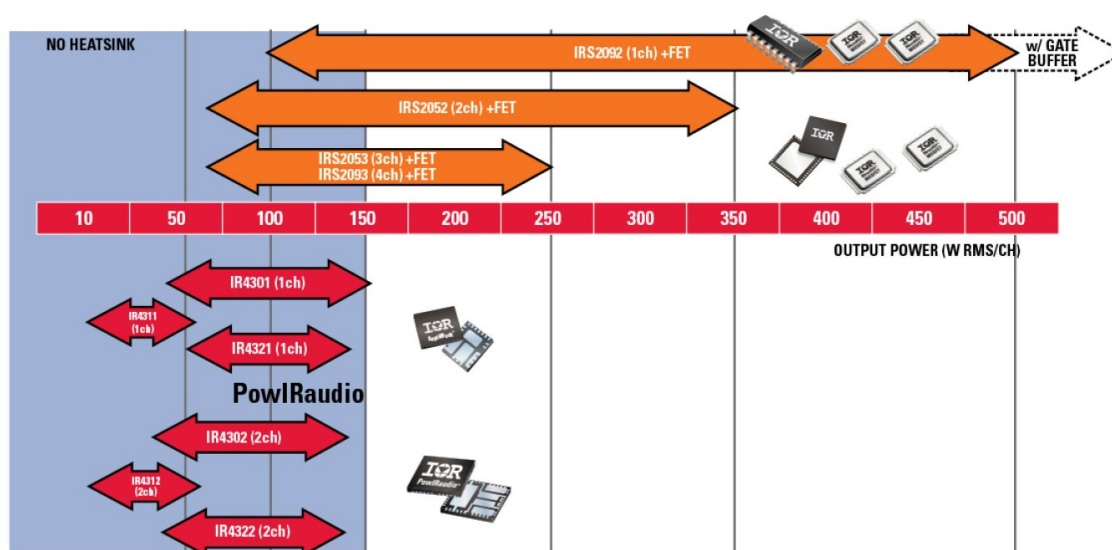


HVIC は、入力形式やチャンネル数により数品番が存在しますが、中でも IRS2092S は 1 チャンネルタイプのアナログ入力タイプのもので、ハイパワー D 級アンプ用デバイスでは定番 IC です。



Specifications	IRS20124SPbF	IRS20957SPbF	IRS2092(S)PbF	IRS2052MPbF	IRS2053MPbF	IRS2093MPbF
Number of Audio Channels	1	1	1	2	3	4
Max Power per Channel	500 W	500 W	500 W	300 W	300 W	300 W
Supply Voltage	200V	+/-100V	+/-100V	+/-100V	+/-100V	+/-100V
Max PWM Frequency	1MHz	800kHz	800kHz	800kHz	800kHz	800kHz
Gate Sink/Source Current	1.2/1.0A	1.2/1.0A	1.2/1.0A	0.6/0.5A	0.6/0.5A	0.6/0.5A
Features	IRS20124SPbF	IRS20957SPbF	IRS2092(S)PbF	IRS2052MPbF	IRS2053MPbF	IRS2093MPbF
Over-Current Sensing	•	•	•	•	•	•
PWM Input	•	•				
Floating Input		•	•	•	•	•
Shut Down	•	•	•	•	•	•
Protection Control Logic		•	•	•	•	•
PWM controller			•	•	•	•
Clip Detection				•	•	
Click Noise Reduction			•	•	•	•
Temperature Sensor Input				•	•	
Thermal Shutdown				•		
DC Offset Protection					•	
Clock Oscillator				•		
Package and Reference Design	IRS20124SPbF	IRS20957SPbF	IRS2092(S)PbF	IRS2052MPbF	IRS2053MPbF	IRS2093MPbF
Package type	14-pin SOIC narrow	16-pin SOIC narrow	16-pin PDIP 16-pin SOIC narrow	MLPQ48	MLPQ48	MLPQ48
Reference Design		IRAUDAMP4A, IRAUDAMP6	*IRAUDAMP5, IRAUDAMP7S, IRAUDAMP7D, IRAUDAMP9*	IRAUDAMP10	IRAUDAMP11	IRAUDAMP8

また、これらのデバイスのシリコンチップを1パッケージに収めた PowIRaudio™ シリーズも展開しており、こちらの方はモノリシックの D 級アンプ IC と比べても使い勝手に引けを取りません。単体の MOSFET のシリコンチップを内蔵することにより、低損失、高破壊耐量を実現しており、モノリシック IC では温度上昇的に不利な場合の置き換え用途として最適なものです。



3. なぜ IR のデバイスは壊れにくいのか？

パワーアンプは、昔から故障との戦いでした。スピーカーを鳴らすには電力が必要で、それを制御するためにアナログアンプでは無効な電力を熱として損失させていたため、パワーアンプには巨大なヒートシンクが付きものでした。半導体において、この熱は、デバイスの寿命に直結するだけでなく定格をオーバーすれば破壊に至ります。

世の中には D 級アンプの信頼性が低いと感じておられる方も多いと思いますが、正しく設計された D 級アンプでは発熱の少なさから、アナログアンプよりも確実に製品信頼性が向上します。

アナログアンプでは放熱設計が肝で、いかにパワートランジスタの発熱を効率よく逃がすか、また素子の定格をいかに守るかが重要で、出力段デバイスについては電圧、電流ともに気を配りデバイスの定格ぎりぎりまで上手く使うことが設計者の腕の見せ所でした。

D 級アンプでは、再生帯域が数十 kHz まで伸びているので、スイッチング周波数はその十倍ほど必要とすること、歪を抑えるにはハードスイッチングにして波形再現性を良くすることが必須です。オン/オフだけのハードスイッチングゆえに、そこでは電圧はあまり考える必要が無く、過電流だけに注意を払えば、ほとんどの破壊を防ぐことができます。

そこで IR はリアルタイム過電流検出回路をドライバ IC に内蔵し、過電流時に素早く出力段を止める保護回路を開発しました。D 級アンプ用のパワー-MOSFET はアナログパワーアンプ用の出力デバイスに対してシリコンチップのサイズが小さく過渡熱抵抗が高いため、過電流時に T_j が急激に上昇します。したがって、アナログアンプ時代の検出抵抗等を使った過電流検出では間に合わないため、パワー-MOSFET のドレイン-ソース間の電圧降下から過電流を等価的に検出する方法で、高速な過電流保護機能を実現しています。

4. なぜ、IR の D 級アンプは性能が良いのか？

IR の標準アプリケーションは、非常にアナログアンプに近い回路となっており、簡単に言えば、アナログアンプの出力段をスイッチングさせただけとも言えます。

IRS2092 の入力段は差動回路になっており、アンプのノイズ性能はここで決まります。これなどもアナログアンプとまったく同じ原理です。

また出力からは、自励発振させるための帰還ループが存在しますが、これはアナログアンプ同様の NFB も兼ねています。そのため、デッドタイムによる歪などが NFB により圧縮され、上手く基板設計が出来れば、アナログアンプ以上の THD が実現可能です。

出力段はハードスイッチングしているので、そのスイッチングノイズの影響を少なくすることも重要です。ドライバ IC の中では、初段回路と出力段スイッチング回路は接合分離技術によって同一シリコンチップ内であっても電氣的に分離されており、必要な信号のみがレベルシフト回路によって伝達されます。この技術のおかげでアナログアンプに劣らない性能が実現出来ています。

また、ゲートドライバは時間軸特性が厳密に管理されており、これも NFB を掛ける前の裸の特性や破壊強度面で有効な手段となっています。

こうして得られた高性能が寄与し、市場で音の良さという評価をいただけているものと思われませんが、私どもとしては、採用していただいたメーカー各社の目指す音質に仕上げられているという結果の方が大切だと思っています。

オーディオ製品で特定の部品を使ったら音が良くなったでは、各社同じ音になってしまい、趣味の商品としてつまらないものになってしまいます。どのデバイスにも音色は存在しますが、それが設計者の邪魔にならないようにするには、基本性能を向上させていくことこそがオーディオ用デバイスメーカーの務めであると考えています。