

新兴的 D 类 100W 以上 音频功率放大器

作者: Alex Mihalka, 国际整流器公司

众所周知, 电池供电设备中 D 类音频放大器具有效率和尺寸的优势。专为 D 类设计的固态驱动器促使这些优势现在应用于高达 500W 的放大器。基于新型 IC 的系统具有比 AB 类更好的 THD+N 性能, 并兼容以地为基准的模拟音频输入, 从而简化了设计者的工作。另外如双轨的过流保护以及死区时间可调等特性使这些驱动器更具吸引力。本文将讨论中等功率的 D 类与 AB 类拓扑结构的性能、尺寸和成本效益。

历史背景

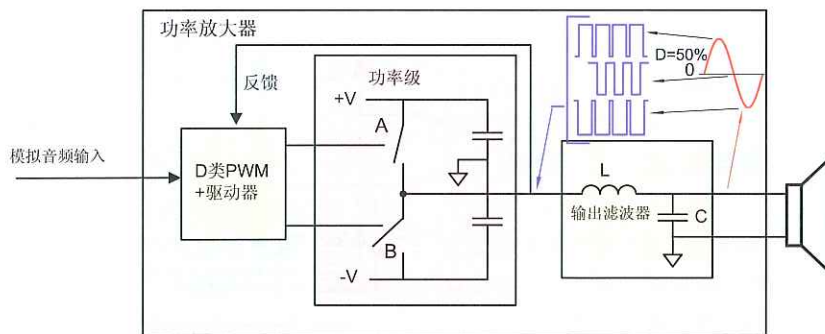
音频放大要求扬声器(或叫做驱动器)沿相反方向来回推动空气, 产生人耳能辨听的声波。而实现这一目标的方式是采用半桥或全桥结构(如图 1 所示 D 类拓扑结构), 在扬声器上施加一个极性不断交替的电压。半桥放大器需要一个具有等幅正、负电压的两轨分离电源, 之间有两个电源开关。负载接在公共开关点与系统地基之间时形成单端负载(SEL)。全桥放大器也称桥接负载(BTL), 由两个半桥构成, 并由负载连接中心。打开与关闭开关导致扬声器运动, 并输出平均值为零的音频。在开关额为定值的情况下, 桥接负载结构能产生更大的功率, 同时单一电源和输出电容使之能够以地为基准, 从而简化了输入控制。但是其缺点是需要增加两个电源开关和栅极驱动器。单端负载或桥接负载结构都适用于 AB 类或 D 类。

A 类放大器是最早的音频放大器,

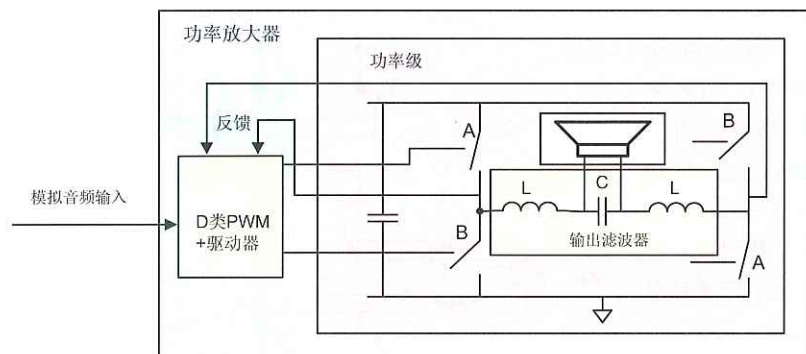
其中两个开关同时打开(但不是完全打开), 提供负载所需电压(见图 2)。这类放大器拥有出色的音频性能, 但功效较差, 只有大约 15%, 因此其系统庞大且昂贵。之后是 B 类放大器。B 类放大器一次只需打开一个开关, 功效也提高到了大约 75%, 但是输出波形零交越的问题却阻碍了它的应用。此外 B 类放大器有一个平坦的区段, 或叫做零电压, 位于波形的正半波和负半波之间, 由于波形不能平滑地越过零点, 从而

产生很大的失真。AB 类放大器是上述两种类型的综合, 两个开关可以同时打开, 但不承载负载电流的开关只是最低限度地打开, 从而大大降低了由于零交越处增益损失而导致的非线性问题。这样零交越失真问题达到可接受水平, 而且效率也高于 A 类放大器, 但 AB 类放大的总功效一般只有 30%。

这三种拓扑结构都会随着音频频率而改变桥的输出电压, 因此频率相对较低。AB 类统治线性放大器市场,



(a) D 类放大器的半桥拓扑



(b) D 类放大器的全桥拓扑

图 1, D 类音频放大器的拓扑结构

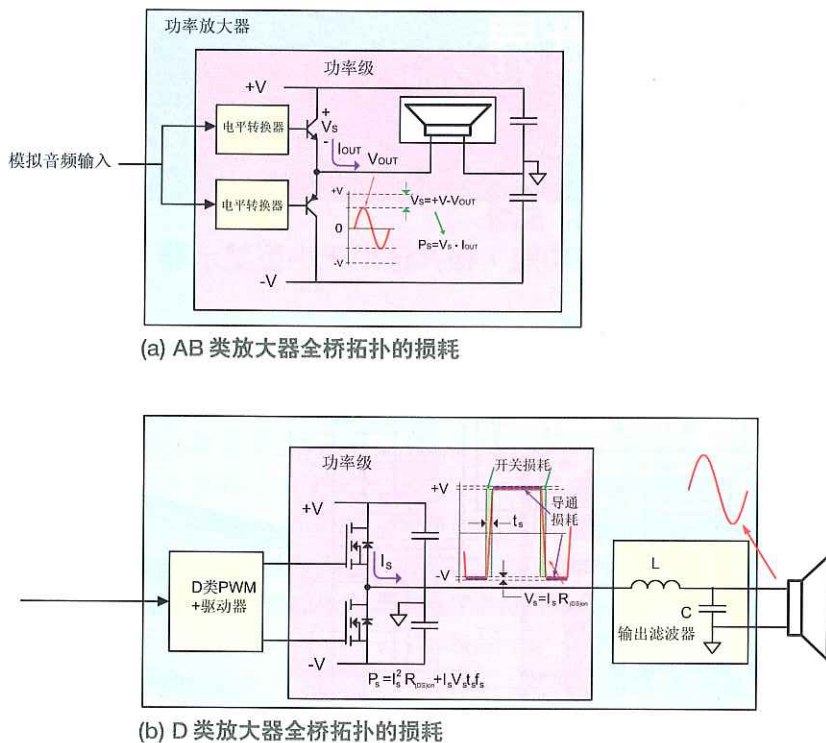


图 2, AB 类和 D 类音频放大器的损耗

一般用双极晶体管作控制器件。

D 类放大器

功率硅片、控制 IC、磁铁和电容的进步实现了高频功率变换，因而导致今天的开关电源远远小于及轻于过去的线性电源。同样，由于主要电子元件的不断改进，D 类放大器能以 200kHz~800kHz 的频率实现开关转换（而不是由 20Hz~20kHz 的音频信号线性驱动），从而降低了音频放大器的尺寸、重量以及系统成本。由于开关速度较快，MOSFET 一般被用作开关。相反极性的每个电源开关在两个导通状态之间的死区时间中都能完全开或关，因此传导损耗 ($I^2 \times R_{(DS(on))}$) 与开关损耗 ($V_s I_s t_f$) 都远小于线性 AB 类的损耗 ($(V_{rail} - V_{out}) \times I$)。即使开关损耗会随频率而增加，但目前的 D 类放大能在中等功率条件下实现 90%~96% 的功效。

D 类放大器的半桥输出可产生轨至轨切换的数字功率信号(见图 2 波

形)，其中开关损耗出现在绿色区，而传导损耗在蓝色区。输出滤波器的 LC 级在负载上重建模拟输出。功率信号的占空比 D 决定了滤波后的输出电压，如图 1 半桥所示。当 D 接近 1 时，输出电压接近正电压轨或波形的正峰值，

当 D 为 50% 时，输出电压为零，而当 D 接近零时，输出电压接近负电压轨，或波形的负峰值。开关频率达到 400kHz 以上时，可以使用由一支电感和一支电容组成的单级输出滤波器。

值得注意的是对于图中的情况，反馈只来自开关结点。为了实现图 3 中的 THD 曲线，商用 AB 类立体声接收机中插入了一块带有输出滤波器和双通道功率级子卡的 D 类主板。由于相同的电源和输入控制(见图 4)，以及相同的电源规格与噪声水平，使测得的性能可以作公平对比。D 类放大器用金属安装板代替了原 AB 类放大器的大散热片。蓝色曲线是 D 类放大器 IRS2092S 和 IRF6645 的测试结果，红色曲线是 AB 类放大器的测试结果。

以橙色显示的是 D 类双通道、半桥子卡，它采用专门的 D 类 MOSFET (即 IRF6645)，因此在无散热片静风状态下每通道额定功率为 120W。这种先进的封装有极低的电感，可以产生更干净的开关波形和更好的性能。

D 类栅极驱动器特性

很多中级电源应用都采用较低成本的半桥功率级而不是全桥方案，因

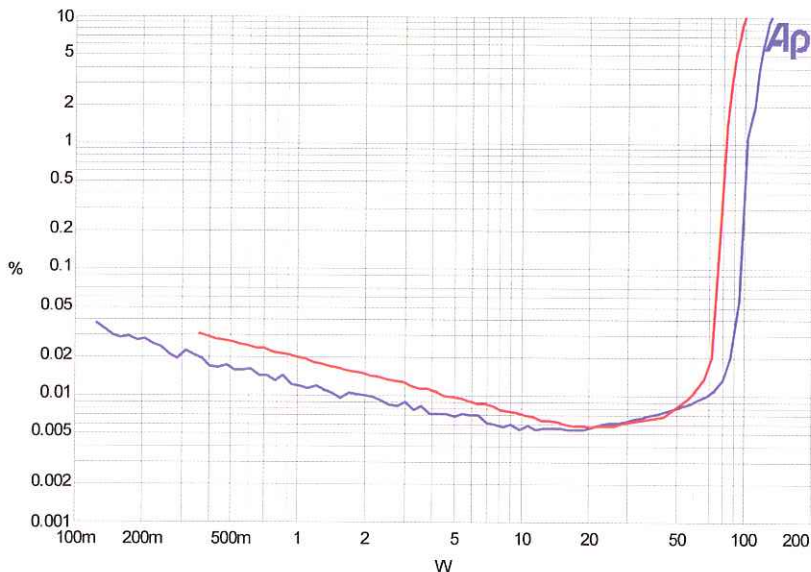


图 3, AB 类放大器与 D 类放大器的 THD+N 性能对比

为半桥需要较少的有源器件。不过,参考地基要比参考负电压轨更容易控制输入与反馈。D类驱动器的对地输入能力提供了电平移位器,能驱动以系统地基为基准的信号上、下开关,大大简化了设计。如有必要,这些驱动器的输入在单端负载模式下还可以以负电压轨为基准,或在桥接负载结构中以地基作基准。

中级电源的专用D类驱动器目前有PWM或模拟音频输入方式。集成的误差放大器可提供脉冲宽度调制,从而可以进一步简化设计,降低成本,提高密度,并通过消除外接PWM带来的EMI而改进性能。

D类栅极驱动器的开关频率可以设置为自振荡,从而消除音频频段的开关噪声(噪声整形)。自振荡较D类的固定频率PWM开关提供更高效率的回路增益,因此性能优于固定频率的D类与AB类。这点在更高功率情况下变得尤为突出,如图3所示。开关频率随功率的增加而减小,有助于提高效率。AB类则缺乏类似的特性。

有些D类驱动器提供可调死区时间,即两个开关均为关闭的时间。通过调整两个开关导通状态之间的时间促使开关适当打开。这点很重要,因为各种功率级的开关有很宽的栅极总电荷范围,而它们的打开和关闭也需要不同的时间长度。可调死区时间的优化降低了THD,提高了效率。

音频放大器设计中最令人头痛的部分是消除打开/关闭开关的噪声,或扬声器的“爆破音”。采用一只继电器可以解决这一问题,但会增加成本、尺寸,也会降低可靠性。D类驱动器集成了降低爆音功能,从而大

大减轻了这方面的烦恼。

保护

驱动开关音频放大器的挑战之一是必须小心确保半桥的每个开关都不会由于低负载阻抗或输出短路而超过其额定电流。因此,两个轨都需要进行严格的放大器设计,包括过流保护(OCP)。通过检测FET上的电压降($I \times R_{(DS(on))}$),专用D类驱动器可以容易地实现过流保护,从而提供一个功耗的间接量度。最小负载电阻内设置触发点,并考虑FET的最大 $R_{(DS(on))}$ 和温度因数。IC内部的电平移位器向控制电路发出故障警告。

AB类系统中的过流保护电路需要同时监控控制器件的电流和电压,并将这些值相乘,这一过程需要使用很多元件,或电阻桥。与之相比,专用D类驱动器IC中的过流保护要简单得多,不仅能够缩短设计时间,提高可靠性,还可以降低成本。

D类驱动器也可以为两个开关的控制电源提供欠压锁定保护(UVLO),从而确保有适当的能量完全打开栅极。如果两个栅极电压都过低,系统故障可能造成FET过热和潜在失效,造成灾难性后果。欠压锁定保护能在危险

情况发生前及时判别,从而提高了可靠性。

成本

D类相对AB类的主要优势是运行效率。不过,让我们假设100W的功率损耗。AB类散热为70W,而D类为5W,两者差14倍。何况还要将此数字乘以两个以上的通道数以及热量管理,这成为设计面临的更加严峻的问题。在与AB类相同的输出功率下,D类的散热片要小得多,甚至根据不同的功率等级可以不用散热片,从而省掉了安装电源开关的劳动力成本。散热片不仅提高了安装时的机器运行成本与劳动力成本,而且还需要更大的机箱容量。集成的电平移位与保护电路减少了电路板空间,而接受模拟输入并提供PWM功能的专用D类驱动器则进一步降低了系统成本。

结论

专用D类IC驱动器用于中功率音频放大器,其效率比AB类高3倍以上,同时每通道功耗减少了一个甚至一个以上数量级。与AB类相比,D类放大器性能相当或更强,密度更高,成本更低。这些IC具有以地为基准的模拟或

数字输入、可调死区时间、过流保护、欠压锁定保护以及爆音降噪等功能,能为产品提供完全的保护,因此具有易于设计、快速上市、高可靠性和环境友好等特性。正如高频、高效开关电源元件已经取代了过去低效线性电源中笨重而昂贵的元件,D类放大器现在已经准备就绪,不久的将来就会取代AB类中等功率音频放大器的地位。

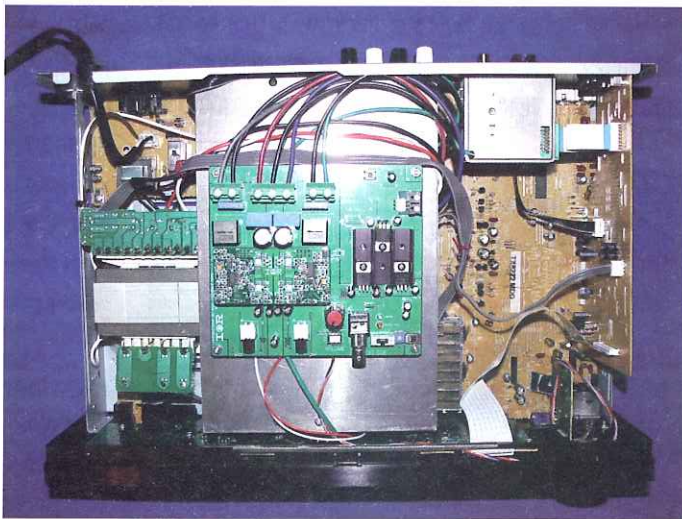


图4, 进行对比实验的 AVR 机箱