

Technical White Paper

如何选择 D 类音频放大器



John Satterla and Avi Yashar

摘要

本白皮书介绍了音频系统的属性，重点阐述了如何理解关键规格，以选择适合具体应用的音频放大器。

内容

1 简介.....	2
2 电源注意事项.....	2
3 电源.....	3
4 扬声器配置.....	4
5 性能.....	5
6 效率.....	6
7 调制.....	9
8 反馈.....	10
9 保护.....	11
10 输入.....	12
11 高级特性.....	13
12 其他信息.....	14
13 修订历史记录.....	14

商标

PurePath™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

多年来，音频内容一直在不断发展。从当地唱片店购买 12 英寸 LP 黑胶唱片的时代已经成为过去，现在我们通过流式传输几乎可即时播放云端的任何内容。虽然一些音频爱好者会为了获得新奇体验而重拾黑胶唱片，但今天绝大多数的音频都是以数字方式进行消费的。尽管消费者接收音频的方式发生了变化，但有一点始终未变：希望聆听的内容具有最初录制时的音质。音响系统中的音频放大器是实现这一目标的一个关键因素。由于音频放大器对最终音质影响非常大，因此了解权衡因素以及如何为设计选择合适的器件非常重要。

2 电源注意事项

最终产品的特性通常在设计之前就已经定义好了 - 例如，典型的指标包括喇叭通道数目，特定距离下的声压级响度等。在电气系统设计方面，响度与输出功率和扬声器/音圈效率相关。在不了解最终系统的许多细节的情况下，输出功率是可用于确定成品的响度（通常以 dB 为单位）的最接近的规格。因此，输出功率水平通常是用于选择音频放大器的首要标准之一。特定放大器功率水平的行业标准是：总谐波失真加噪声 (THD+N) 为 1% 或 10% 时的输出功率。通常，还会提到该功率水平下的通道数，因此在指定立体声器件时，可以使用 10% THD+N 下为 2 x 100W 的表示形式。在提到放大器的功率水平时，需要注意的一个重要事项是，其代表的是峰值功率还是连续功率。通常指代的功率是连续功率。

D 类放大器的效率通常高达 90% 左右，大约会有 10% 的能量损失转换为热量。为了保护集成电路，D 类音频放大器有一个温度阈值，达到该阈值时，它们会关断。因此，器件可能会达到一定的峰值输出功率水平（比如说 30W），但不能长时间维持在该水平而不发生过热关断。系统在不达到过热状态的情况下可支持和维持的最高输出功率水平被视为最大连续输出功率水平。

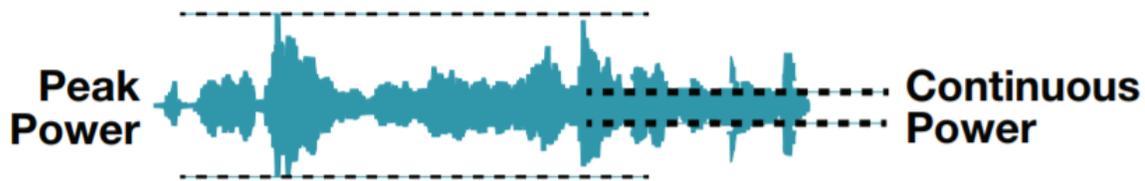


图 2-1. 音频信号中的连续和峰值功率

由于连续输出功率水平依赖于散热，因此它取决于最终系统的各种因素；例如 PCB 的层数，铺铜的厚度、外壳尺寸和通风。对放大器的持续输出功率水平有影响的一个主要属性是散热焊盘的方向。散热焊盘在底部的器件将直接焊接到 PCB 上，而散热焊盘在顶部的器件则需要用到散热器。使用散热器可以提高持续输出功率水平，但反过来可能需要额外的空间和散热器材料。

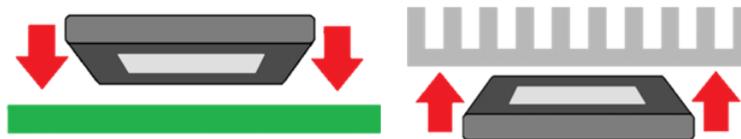


图 2-2. 焊盘朝下和焊盘朝上的音频放大器

3 电源

在输出功率公式中，放大器的电源电压对于输出功率而言至关重要。有些 D 类放大器使用一个电源轨，其他（双极或分离轨放大器）则使用两个幅值相同但极性相反的电源轨来放大音频信号。除此之外，内部逻辑稳压器和栅极驱动电路通常还需要一个电源轨，例如 1.8V、3.3V、5V 或 12V。一些较新的器件（如 TPA322x 系列）在内部集成了线性压降稳压器 (LDO)，从而通过主电源轨生成所需的电源轨。虽然使用内部 LDO 效率不高，但在系统中缺少必要的电源电压时，这种方法可以节省大量成本、减少设计工作量。电池供电的扬声器则是具有 LDO 的单轨电源放大器的一个很好的用例。对于电源电压很低的系统（例如，由一节电池供电），通常使用升压转换器来驱动必要的输出功率。TAS2562 等 D 类放大器甚至通过集成升压转换器，来降低系统总成本和节省空间。

4 扬声器配置

扬声器的输出功率与电源和连接到音频放大器的负载有关。放大器本身也会限制音频系统的输出功率，这是因为音频放大器的核心是 MOSFET，它既能放大模拟信号，也受电压、电流和热限制的影响。欧姆定律规定电流是电压和电阻的函数，因此功率与电阻（负载）成反比。由于放大器具有电压和电流限制，因此在选择放大器时必须考虑扬声器的电阻。驱动器的电阻通常介于 $2\ \Omega$ 至 $8\ \Omega$ 之间。驱动器的阻抗越低，产生的电流越高，输出功率也越高（前提是最大电流不超过放大器的过流保护阈值）。较低的阻抗（ $2\ \Omega$ 至 $4\ \Omega$ ）通常用于低音炮，而较高的阻抗（ $4\ \Omega$ 至 $8\ \Omega$ ）则用于低音扬声器和高频扬声器。

通常，D 类放大器可在调制后根据所采用的拓扑提供不同的功率水平。例如，具有四个半桥的 D 类放大器可驱动 4 个、2 个甚至仅 1 个通道。这些拓扑被称为单端 (SE)、桥接式负载 (BTL) 和并联桥接式负载 (PBTL)。桥接两个输出可以有效地使负载上的电压加倍，而将它们并联配置则可以使功放输出最大电流加倍。理论上，在 PBTL 模式下，将电压和电流加倍应该可使功率增加三倍，但是由于放大器存在电压和电流限制，因此在 PBTL 模式下运行时通常只允许在更低的负载上实现更高的功率。这些输出配置如图 4-1 中所示。有关输出配置的更多信息，请查看《LC 滤波器设计》应用手册的第一部分。

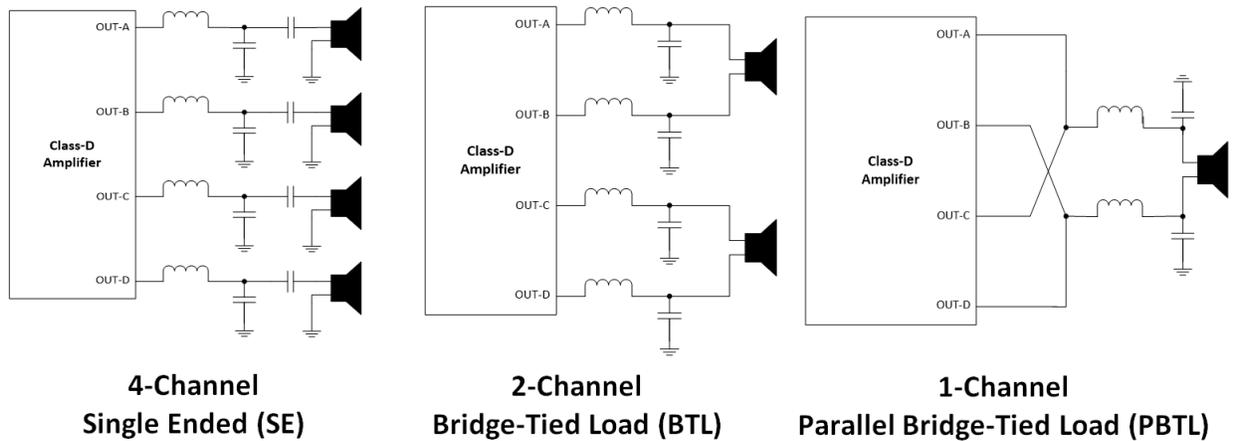


图 4-1. 各种输出配置

5 性能

系统的整体音质取决于“最薄弱的环节”。这涉及到方方面面，从驱动器的质量到数模转换器 (DAC) 的采样率，不一而足。在评估放大器的性能时，首先要了解的主要规格之一是 THD+N。这是指音频信号在放大后加入了多少谐波失真或泛音以及噪声。换句话说，该规格可以测量放大后的信号对原始信号的“忠实”程度，THD+N 越低越好。由于 THD+N 随输出功率水平和频率的变化而变化，因此，在没有图表的情况下，引用设备的 THD+N 的常见方法是：在 1kHz 的频率下使用特定的输出功率水平和负载。例如，0.02% THD+N (4 Ω 的负载，功率为 1W，使用 1kHz 信号)。请参见表 5-1 中来自 TPA3251 数据表的示例。

表 5-1. TPA3251 数据表中的 THD+N

THD+N _{SPK}	总谐波失真和噪声 ($P_0 = 1W$, $f = 1KHz$, $R_{SPK} = 6\Omega$)	$V_{PVDD} = 12V$, SPK_GAIN = 20.9Vp, LC 滤波器	0.03%
		$V_{PVDD} = 24V$, SPK_GAIN = 29.5Vp, LC 滤波器	0.03%

不过，最好还是通过图表来说明器件的 THD+N。有关 THD+N 曲线的示例，请参见图 5-1。

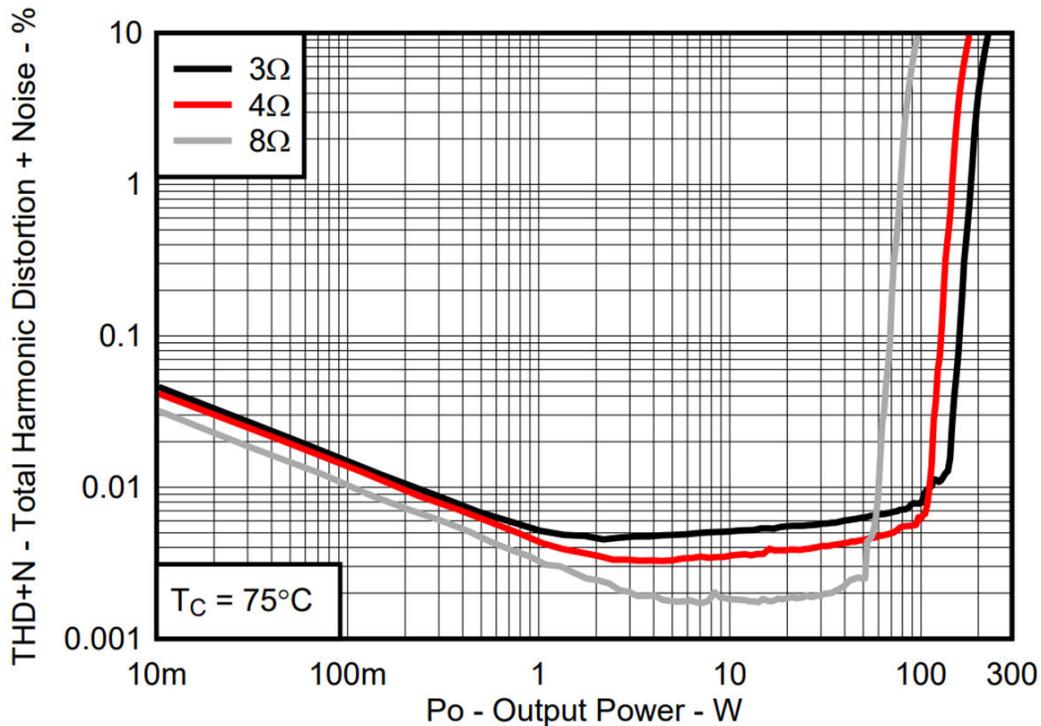


图 5-1. AD 模式下 TPA3221 的 THD+N 与输出功率间的关系

下一个需要考虑的重要规格是放大器的信号带宽和频率响应。带宽是指它可以支持的频率范围。标准 D 类放大器可支持 20Hz 至 20kHz 的频率；但是，高性能放大器可支持更高的频率，以处理来自高清 (HD) 源的内容。随着超声波频率 (大于 20kHz，人类听不见) 被应用到智能手机和智能扬声器中，用于进行手势识别和存在检测，更高的带宽变得越来越重要。频率响应则表示放大器在其带宽内的性能。该规格可以通过多种方式表示，例如相对于终端系统声压级 (SPL) 的频率或相对于 THD+N 的频率。图 5-2 显示了 TAS5805M 在 PBTl 模式下的频率响应 (使用 12V 电压，4 Ω 负载)。

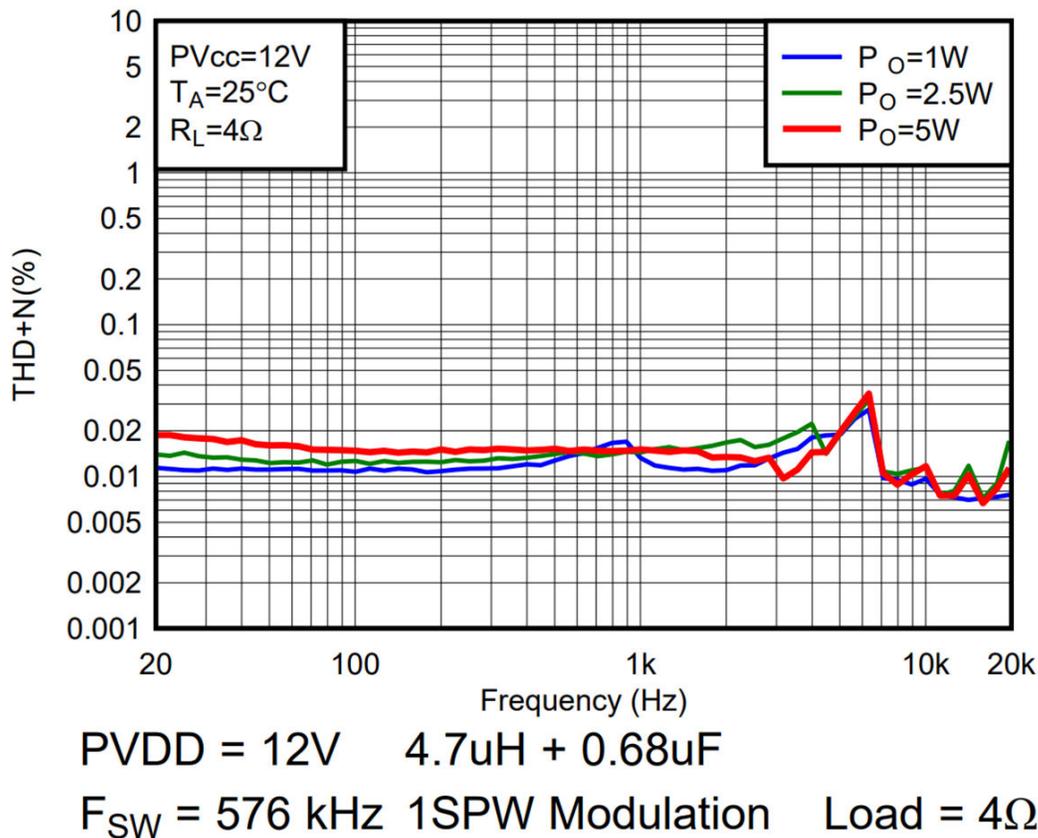


图 5-2. THD+N 与频率间的关系 (采用 PBTl 配置的 TAS5805M)

请勿将带宽与采样率或调制频率混淆，后者也是以 kHz 为单位。如果一个放大器引用了采样率，这是因为它包含 DAC，有时可能还包含数字信号处理器 (DSP)。模拟信号是连续的，而数字信号则是由每秒的数千个信号样本组成。每秒的样本分辨率被称为采样率或采样频率。在数字放大器中，带宽受采样频率限制。根据奈奎斯特定理（也称为采样定理），采样频率必须至少是所需带宽的两倍。因此，一个打算用于播放 40kHz 超声波音调的系统需要大于或等于 80kHz 的采样率，这使得采样率最大可以支持到 96kHz 的放大器成为合适之选。

调制频率或开关频率是指 D 类放大器的脉宽调制器进行开关（调制模拟信号）的速度。从技术上来讲，该规格可能会影响音频信号的分辨率，但对于典型的音频应用而言，它将始终远高于采样率。开关频率通常介于 200kHz 至 1.5MHz 之间，在一些先进的汽车 D 类放大器（如 TPA6304-Q1）中，甚至高达 2.1MHz。虽然开关频率通常不会影响信号带宽，但由于脉冲会产生高频能量，因此它仍然会影响电磁干扰 (EMI)。关于调制方案和 EMI，在后续部分中会有更详细的讨论。

一些更常见的性能参数包括信噪比 (SNR)、动态范围 (DNR) 和电源抑制比 (PSSR)，这些参数均以 dB 为单位。SNR 将传递类似于 THD+N 的信息：重制的放大信号对预期音频信号的忠实程度。虽然 THD+N 也反映了失真，但 SNR 所做的是严格测量平均信号电平与平均噪声电平之间的比率，因此越高越好。然后，动态范围是可能的最低噪声电平（本底噪声）与可能的最大非失真信号之间的比率，实际上相当于理想情况下系统可能实现的最佳 SNR。电源抑制比也与噪声有关，但采用了不同的表现方式它是指功放的输出对来自于电源上干扰信号的抑制能力。如果该比率非常低，则放大器吸收了电源噪声并将其放大到输出中。如果比率较高，则只有较少的噪声被放大到输出中。因此，这个数字也是越高越好。

6 效率

与传统线性放大器相比，D 类放大器的效率显著提高。提高音频放大器的效率通常涉及以下原因：希望电池供电的扬声器能够实现更长的运行时间、优化空间受限应用（例如小型智能扬声器或机顶盒 (STB)）的热管理，以及为了满足政府对于常开器件中待机电流的规定。效率越高意味着能源浪费越少，其中 D 类放大器是以热量和电磁场 (EMF) 辐射的形式浪费能源的。器件的浪费越严重，减少系统能源浪费的需求就越高。就热量处理而言，这可

能意味着需要采用具有较厚铜层的 PCB、散热器和热膏，有时甚至需要配备可通风的风扇，所有这些都可能导致总体系统成本的升高。

如果只是吹捧“效率高于 90%”，那么事情会很简单，但这个数字是指放大器在特定负载和输出功率下的功效，可能并不反映典型的使用情况。图表能很好地展现放大器的效率，例如图 6-1 中 TPA3221 的效率。由于 D 类放大器自身运行会有一个基本的功率消耗，因此其在最低输出功率水平下效率最低，在最高输出水平下效率最高。

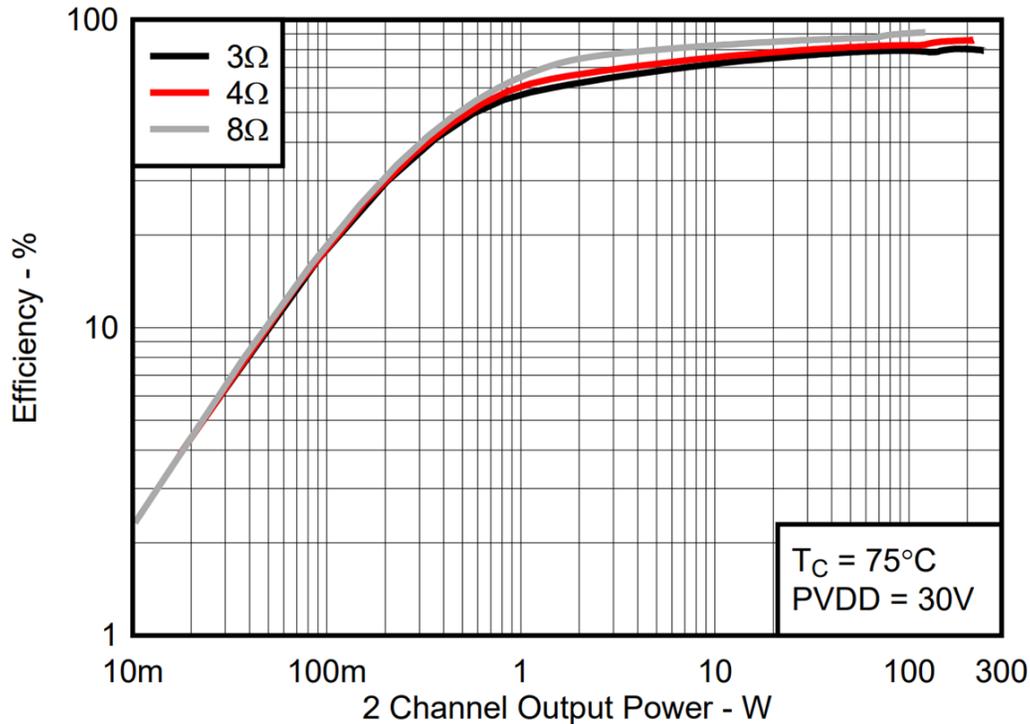


图 6-1. TPA3221 的效率与双通道输出功率之间的关系

音频系统最关注的效率问题之一包括空闲功率损耗也可以称之为静态损耗。这是指在没有播放音频但处于随时可以播放的状态时，音频放大器所消耗的功率。这对于电池供电的应用尤其重要，因为只要设备处于开启状态，即使用户没有主动播放音频，也仍会消耗电池电量。有时，数据表中会明确指出不同配置的空闲功耗，有时则必须通过其他值计算得出。功率是电压和电流的乘积，因此可以通过将放大器中的相应电压和空闲电流相乘，然后将这些乘积相加，来计算总空闲功耗。在有 LDO 或升压转换器的情况下，由于在整个音频系统中还需要考虑额外的损耗，因此计算可能会变得更加复杂。有关 TPA3221 上不同调制方案的空闲电流图示例，请参见图 6-2。

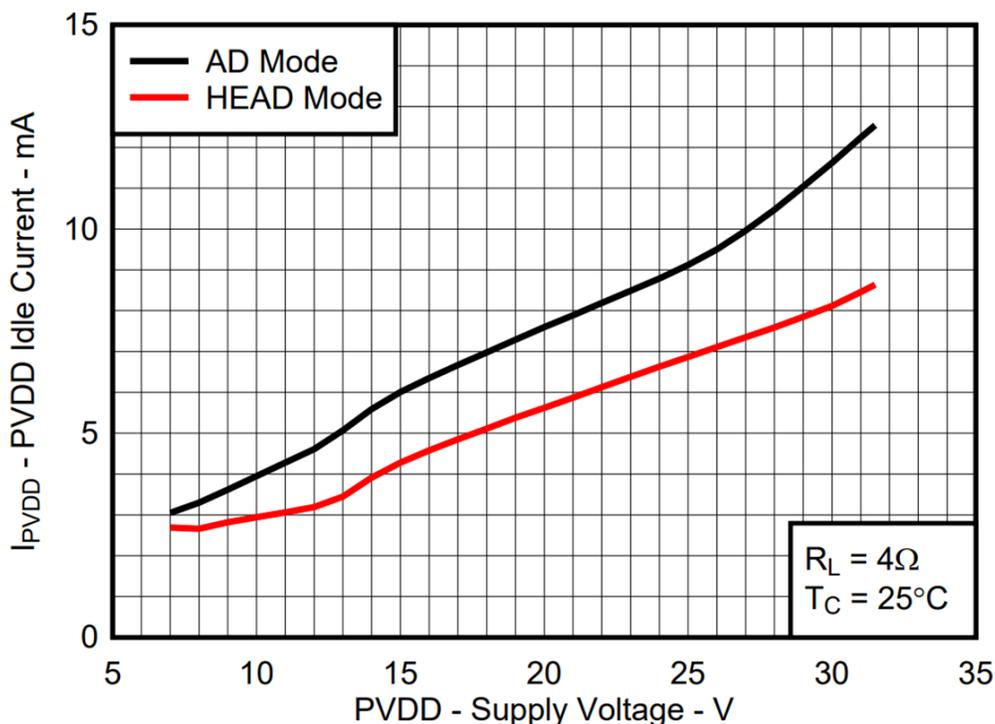


图 6-2. TPA3221 的空闲电流与电源电压间的关系

$R_{DS(ON)}$ 是放大器内部 MOSFET 的漏极和源极端子之间的电阻，它可以有效地影响以偏置方式使 MOSFET 处于打开状态时所消耗的功率。因此， $R_{DS(ON)}$ 越低，空闲电流就越低，所以工程师经常会寻找该值来快速比较放大器的空闲效率。

效率不仅对于电池供电的扬声器来说至关重要（可影响运行时间），而且由于热量和电磁干扰 (EMI) 的原因，它对所有系统都很重要。由于能量守恒，所有“浪费”的电都会转化为其他形式的能量。在音频放大器中，它表现为热量和 EMF。热量是主要的问题，因为器件内的所有组件都具有热工作限制。如果器件过热，便可能会发生损坏，但由于大多数器件都具有热保护功能，因此它们通常会关闭。有些器件具有保护特性，可在接近高温阈值时进行功率回调（例如热折返），以尽可能延长器件的运行时间，而其他器件则会在超出这些阈值时立即关闭。同样，效率越高，放大器的热要求就越低。

7 调制

调制是 D 类放大器的核心，而 A 类、AB 类和 B 类放大器是线性的，不使用调制。D 类放大器不会直接放大音频信号，而是首先使用连续模拟音频输入，然后生成 PWM 信号。PWM 信号之后由输出级放大，然后，使用外部 LC 滤波器来消除高频调制并保留放大后的音频信号。D 类放大器的效率通常要远高于其他放大器，但其中有几个调制方案需要考虑。调制方案是指将连续模拟音频信号转换为 PWM 信号的方法。一些调制方案包括 AD、BD、1SPW、HEAD 和混合方式。不同的方案具有不同的优势这里通常是性能 (THD+N) 和效率的考虑。AD 和 BD 在桥接式输出之间使用 50% 的公共占空比，而 1SPW 则使用接近 15-20% 的较低公共占空比。这将直流共模电压从电源电压的一半降低到电源电压的大约五分之一。同时低占空比意味着可减少流经 LC 滤波器的纹波电流和放大器的电源 (PVDD) 电流，从而减少启动时的“噗噗”噪声、减轻 EMI，最重要的是更大限度地降低功率损耗（尤其是在空闲时）。1SPW 的缺点是：在高输出时，一个输出通道实际上是充当接地，因此 BTL 系统采用单面开关，这使其几乎类似于单端 (SE) 系统。SE 的音频性能不如 BTL，因此效率的提升以 THD+N 为主的的折衷为代价。在混合调制和 HEAD 调制方案中，会执行一些处理来根据音频输出动态地更改公共占空比。这样，在空闲状态下会保持较低的直流失调电压，但在较高的输出电平下则会提高直流失调电压以避免单面开关。这些专有的 TI 调制方案可在不影响音频质量的情况下做到两全其美，从而提高效率。请参阅《LC 滤波器设计》应用手册的第 2 部分，了解有关 AD 和 BD 调制的更多信息。请参阅《TAS5805 混合模式》应用手册的第 5 部分或《HEAD 调制》应用简报，了解混合调制或 HEAD 调制方案如何提高效率，甚至降低 EMI 或“咔嗒”/“噗噗”噪声。

关于 D 类音频放大器的调制，除了方案外还有其他需要考虑的事项。相同的调制方案可以在不同的调制或开关频率下实现。如前文所述，开关频率通常介于 200kHz 至 1.5MHz 之间，在一些先进的汽车 D 类放大器（如 TAS6424-Q1）中，甚至高达 2.1MHz。调制频率会影响失真、器件的 EMI、对 LC 滤波器的需求等。D 类放大器的调制会在调制频率的谐波处的音频信号中留下伪影。具有更高的频率可消除谐波的一些潜在失真。高频还会往外辐射电磁信号从而导致干扰（具体取决于应用）。例如，在数字音频广播 (DAB) 被广泛使用的欧洲，一些 D 类放大器会给无线电设备带来问题。在采用 DAB 无线电设备的应用中，扬声器放大器必须通过比其他应用中的放大器更严格的 EMI 测试，并且选择相应的调制方案和频率将会非常重要。AM 频带也存在类似的问题，因此某些器件具有 AM 回避特性来操纵开关频率，以避免 AM 频带。但是，使用 2.1MHz 开关频率可完全避开 AM 频带（540kHz 至 1600kHz），这在汽车音响主机中特别有用，汽车音响主机通常需要使用重型金属外壳来防止放大器发出的辐射干扰无线电信号。某些 D 类器件提供了一系列调制频率来实现相应器件，因此可在系统基础上进行选择。

无论采用何种调制方案，信号在放大后都需要从 PWM 重新转换成连续音频信号，以通过扬声器播放。为此，会在 D 类放大器的输出端使用 LC 滤波器。根据调制方案、频率和功率水平，有时不需要使用完整的 LC 滤波器。对于低于 10W 的输出功率水平，TI 的一些新款放大器具有扩频和反相控制等高级特性，可将 LC 滤波器的需求降至可使用微型铁氧体磁珠过滤 PWM 信号的程度。由于铁氧体磁珠比电感器更便宜，因此这种功能对于节省总体 BOM 成本非常有价值。

8 反馈

D 类放大器的反馈拓扑各不相同。有些器件具有内部集成闭环反馈电路，有些器件具有开环电路，有些器件则配置为支持外部闭环反馈电路。反馈会影响放大器的音频性能和噪声。一般来说，闭环系统的性能优于开环系统。除此之外，闭环放大器可提供更一致的输出功率，即使是在电源电压不断发生变化时也是如此。开环放大器的输出会逐渐降低（在电池供电的情况下），或者随不稳定电源的变化而变化。以老式手电筒为例，当它的电池电量随着时间的推移而减少时，灯光会逐渐变暗。图 8-1 中所示的是一个实验的结果，在该实验中，我们将一个电池供电的 *Bluetooth*® 扬声器重新接线，由使用 TAS5342A 改为使用 TPA3221。我们使用每个器件进行了多次测试，得到了相同的结果。测试开始时电池是满电状态，播放的是粉色噪声并测量声压级 (SPL)，直到扬声器因电池电量耗尽而停止播放。虽然两个器件的平均 SPL 相似，但闭环的 TPA3221 通过关断保持恒定的 SPL，而开环的 TAS5342A 则表现出与不断消耗的电池电压相关的衰减。

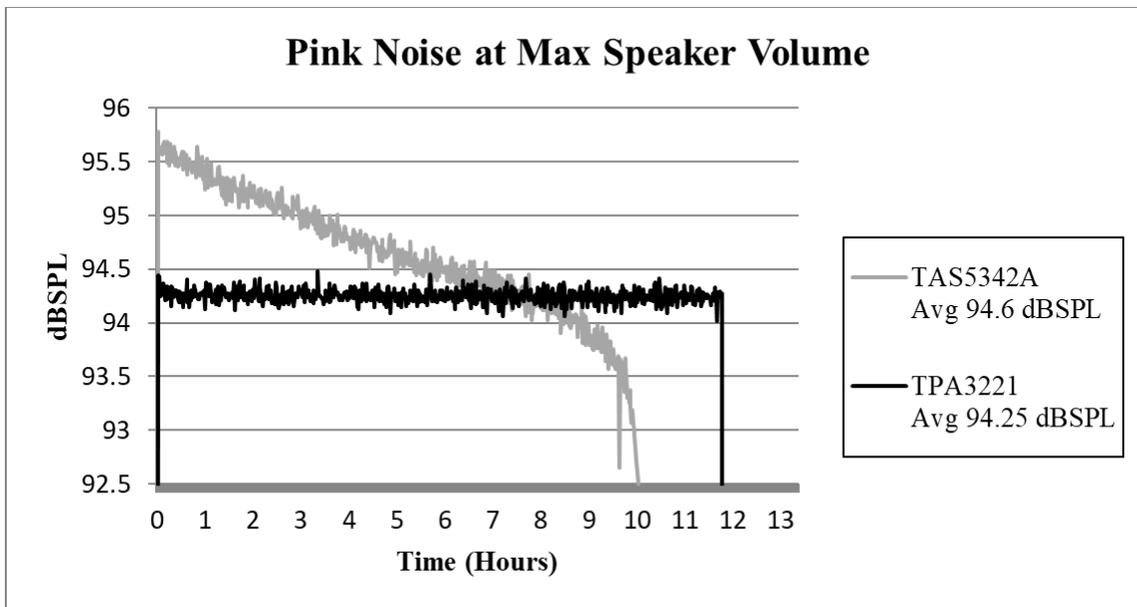


图 8-1. 由电池供电的开环放大器与闭环放大器

除了内部反馈环路外，某些器件还支持使用在放大器外部创建的反馈环路来进一步增强性能。这称为后置滤波器反馈环路。有关这方面的更多信息，请查看《[TPA324x 和 TPA325x 后置滤波器反馈](#)》应用手册。

9 保护

D 类音频放大器中的保护特性涵盖了从电力到热量的所有方面。标配的保护特性是过热关断，即如果温度上升到超过设定的阈值，放大器将关闭。在温度过高时，集成电路可能会受到永久性损坏，甚至有可能发生燃烧，从而导致安全隐患。热量是音频系统中的一个常见争论点，因为即使是出色的 D 类放大器也只能达到大约 90% 的效率。这意味着大约 10% 的电能会作为 EMI 和热量而耗散在系统中。将其放置在狭小的空间中时，问题就会变得很明显，尤其是对于可能暴露在阳光下的便携式无线扬声器等应用而言。热折返等高级热管理系统会随着温度的升高而自动逐步回调增益，从而使器件冷却。这样便不会导致过热和关机，而是降低音量继续播放。

在同样的思路下，有些器件实施了逐周期电流控制 (CB3C)，而不是锁存关断。锁存关断可在输出电流过大的情况下立即关闭输出。通常，采用 CB3C 的器件可同时提供这两种选项。由于 CB3C 会限制每个开关周期的输出电流，因此它可防止因输出电流暂时过高而过早关断。输出电流暂时过高可由高电平音乐瞬态和实际扬声器的负载阻抗下降引起。要更详细地了解 CB3C，请查看 [TPA3244 数据表](#) 的 9.4.1.1 部分，该部分对该特性进行了深入介绍。

欠压和过压保护是另外两个常见的保护特性，可在出现浪涌、欠压甚至上电/下电时保护器件。还有一个需要加以说明的保护特性，那就是直流扬声器保护。这一特性并不常见，但实际上，直流保护方案可防止扬声器的直流电流过大，以防一个扬声器端子意外地短接至机箱接地，而另一个端子连接到放大器的情况。当最终用户认为负扬声器输出端子与接地相同时，便可能会发生这种情况。在 BTL 配置中，这种端子对地短路会导致扬声器上的直流电压达到 $PVDD/2$ ，从而损坏扬声器。直流扬声器保护可检测桥接负载的两个输出之间的任何不平衡情况，并在这种不平衡超过编程阈值时关闭。说到短路，保护器件免受永久性损坏的另一个重要特性是引脚对引脚短路保护 (PPSC)。PPSC 可帮助确保在启动期间放大器的输出引脚上没有短路。这些保护特性不仅可提供保护，而且还可以节省 PCB 空间和 BOM 成本，因为它们会集成到放大器中而不是作为外部保护电路。

10 输入

如调制部分所述，PWM 是 D 类放大器的基础。但是，某些放大器不包含调制器，而是接收已经调制过的音频信号作为输入，因此它们是 PWM 输入 D 类放大器。因为这类放大器与具有集成 DAC 的调制器配合使用，所以它们通常被称为数字输入放大器。或者，某些放大器通过在内部集成 DAC 和 PWM 来直接获取数字输入。当然，模拟输入放大器介于这两者之间，它集成了 PWM 但未集成 DAC。请参阅图 10-1，了解 D 类音频放大器的不同输入类型。

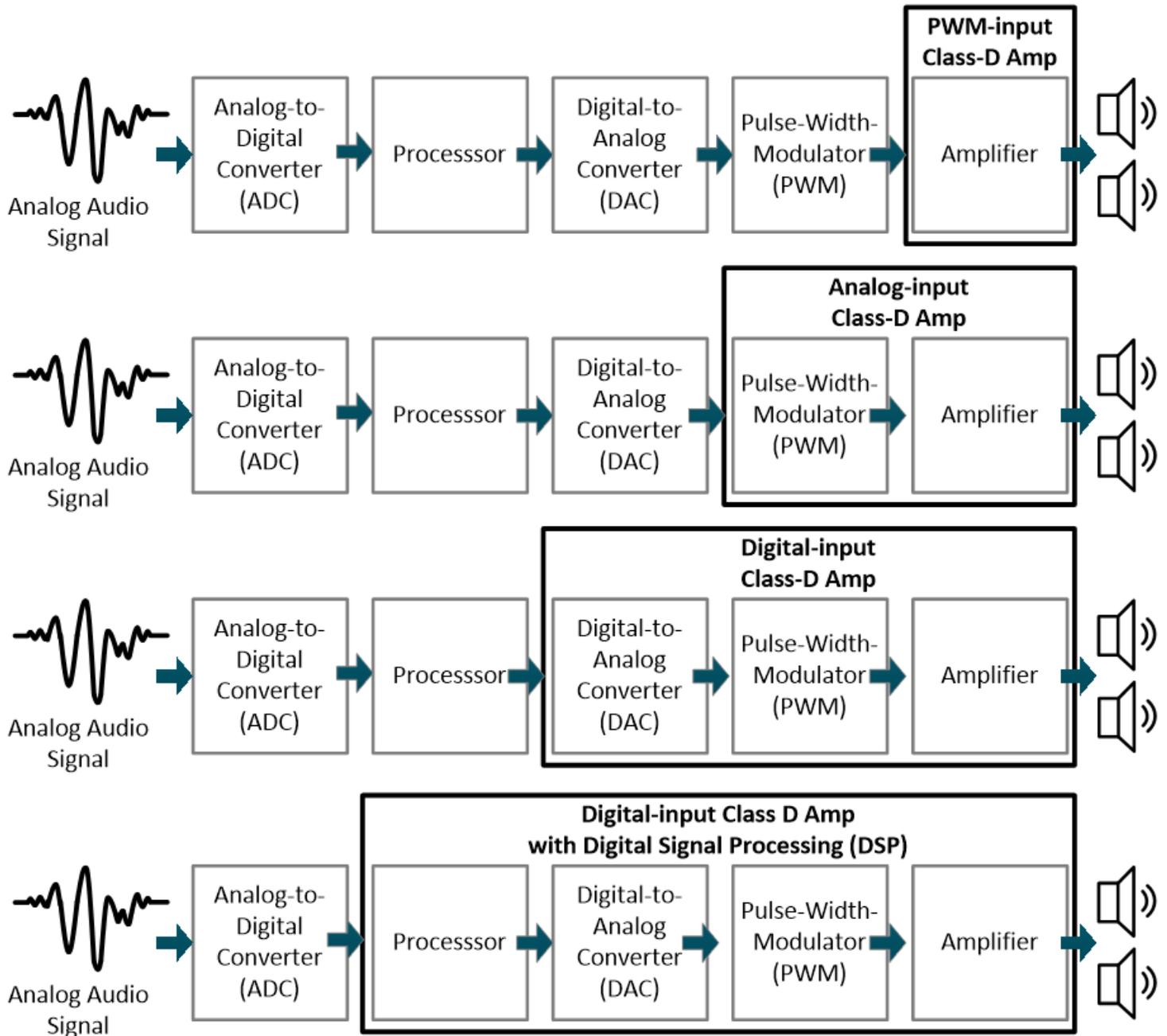


图 10-1. D 类放大器输入拓扑

数字输入格式多种多样，但常见的格式有 IC 间音频 (I2S)、时分多路复用 (TDM)、脉冲密度调制 (PDM) 和 SoundWire。其中最常见的是 I2S，该格式具有通用标准，而 TDM 等其他格式的标准则可能会存在差异。不同格式对数据传输和数据时钟的处理方式不同，例如，有些格式会更适用于具有多个源的系统。

模拟输入放大器虽然稍微简单一些，但仍然具有不同的选项。模拟输入可以采用单端或差分信号的形式。差分输入使用两个引脚来接收高电平 (+) 和低电平 (-) 信号。然后，差分信号便取两个输入之间的差值，这样便可抵消两个引脚上的任何公共电压。这可以有效地降低施加在两个信号上的任何 EMI 或噪声。而单端输入只有一个输入引脚和一个公共引脚，因此更容易将 EMI 和噪声传递到放大级。

11 高级特性

从设计简化到增强的音频，高级特性指的是硬件或软件相关的改进。模拟输入功率级通常需要在音频放大器之前放置较小的电路（称为前置放大器级）。一些器件系列（如 [TPA322x](#)）可提供可选增益来简化前置放大器电路。如前所述，几乎所有 D 类放大器都需要至少两个电源电压才能工作：一个是用于放大音频的主电源电压，另一个是用于门/逻辑的次级电源轨。对于并未配备次级电源轨的系统，添加这种电源轨可能会很麻烦，而且成本也会很高。作为一种硬件特性，集成 LDO 可以解决此问题，它可实现单电源运行（[TPA322x](#) 系列也支持这种运行方式）。

具有 DSP 的数字输入放大器可以提供更多高级特性。集成 DSP 可用于实现均衡 (EQ)、动态范围压缩 (DRC)、自动增益限制 (AGL)，甚至 H 类电源电压包络跟踪。TI 的 PurePath™ 智能放大器技术或许是一个引人注目的高级特性。使用 [PurePath 学习板](#) 和兼容的智能放大器（如 [TAS5825M](#)），可对扬声器进行表征和调优，从而在不损坏扬声器的情况下提高音量并改善频率响应。此 [A/B 比较实验视频](#) 展示了小型语音识别智能扬声器可能改进的方面。要详细了解放大器的高级特性，请参阅 [《TAS5825M 高级特性》](#) 应用手册。

12 其他信息

有关本白皮书所述主题的其他信息，请参阅以下文档。

[《LC 滤波器设计》应用手册](#)

[《HEAD 调制》应用简报](#)

[《通过 TAS5805M 进行混合调制》应用报告](#)

[《后置滤波器反馈》应用报告](#)

[《TAS5825M 高级特性》应用报告](#)

[《TAS5825M 处理流程》应用报告](#)

[《面向 TAS58xx 系列的通用调优指南》应用报告](#)

13 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司