

Application Note

在汽车座椅震动装置应用中使用 TI 音频放大器



Justine Smith

摘要

本文探讨了 TI 音频放大器在汽车座椅振动器系统中的应用。该系统通过座椅振动提供反馈，用于高端汽车的安全警报、音频增强和舒适性功能。文档分析了线性共振传动器 (LRA)、偏心旋转质量 (ERM) 电机和螺线管，并论证了这三种主要振动技术如何与传统音频扬声器的技术要求良好匹配。通过利用 D 类音频放大器，汽车设计人员可以采用统一的音频基础设施，高效驱动传统扬声器和振动元件。本文提供了基于通道数量、功率要求和附加功能选择合适 TI 放大器的标准，并重点介绍了一些可用于这类新兴座椅振动应用的符合汽车级标准的器件。

1 简介

高端车辆致力于提升驾驶员的体验，并提供额外的反馈与辅助功能。实现这类反馈的方式之一，是通过震动装置使驾驶员座椅产生振动。这些振动可作为倒车碰撞预警、车道辅助等安全警告，也可作为提升生活品质的功能，例如增强音频低音效果。在最高端的车辆中，此技术可用作腰部按摩器。同样的技术也可应用于驾驶模拟器和游乐设施领域。

尽管座椅振动可通过典型的电机驱动器实现，但音频放大器因其能与系统中现有的音频基础设施良好配合，成为系统设计人员青睐的方案。一款精心选择的多通道 D 类放大器既能向振动元件提供所需功率，同时也可驱动传统的音频扬声器。振动效果所选用的频率通常也处于音频带宽 (20Hz - 20kHz) 范围内，这使得音频放大器非常适合此类应用。

2 振动负载的类型

振动元件通常为以下三种类型之一：线性共振传动器 (LRA)、偏心旋转质量 (ERM) 电机或螺线管。

2.1 线性共振传动器 (LRA)

LRA 与传统扬声器音圈的设计最为相似。施加到电磁铁上的电压会根据所施加的交流信号使固定在弹簧上的质量块产生振荡。所需电压通常较低 (2Vrms)，且运动质量块施加的力仅为线性力，可提供明确的定向力。然而，仅在 LRA 的谐振频率附近，其输出力才会有显著提升，这限制了其产生有效作用力的可用频率范围。LRA 的谐振频率通常在 100Hz 至 300Hz 之间。由于 LRA 与扬声器的相似性，且同样采用交流信号驱动，因此可轻松适配音频放大器。

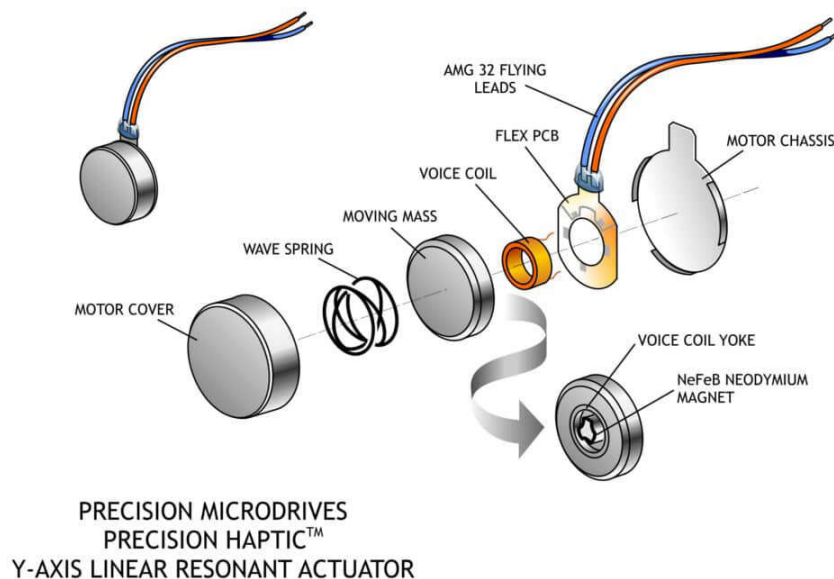


图 2-1. LRA 架构示意图 (由 Precision Motordrives™ 提供)

2.2 偏心旋转质量 (ERM)

ERM 的工作方式与有刷直流电机类似，通过直流电压驱动一个非平衡质量块旋转。其产生的力不具备方向性，且质量块启动和减速过程较慢。因此，ERM 产生的触感不如 LRA 那样尖锐或明确。然而，ERM 不像 LRA 那样受到谐振频率的限制，能够以更高的频率振荡来增强作用力。尽管音频应用通常仅处理交流信号，但 TI 音频放大器可通过禁用其高通滤波器，支持在输出端驱动直流信号。

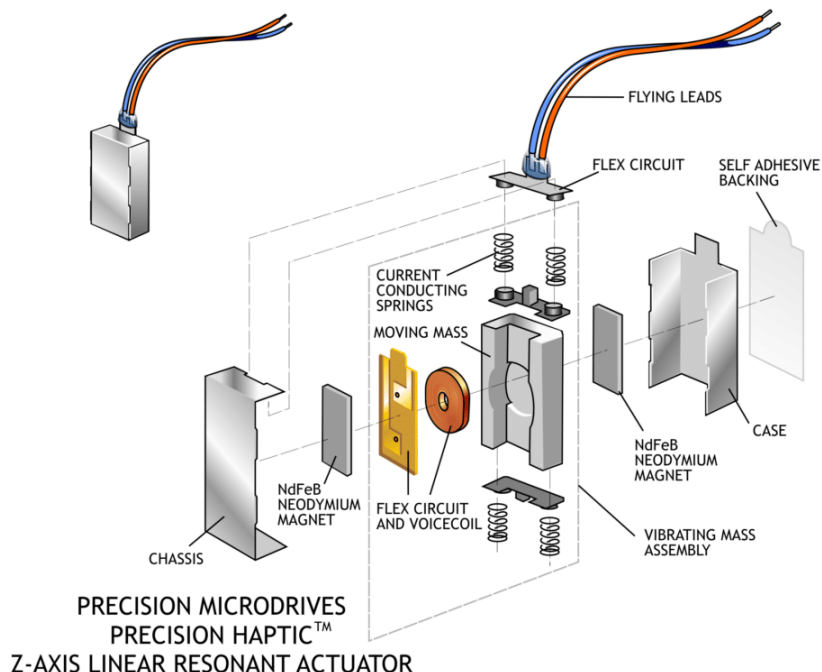


图 2-2. ERM 架构示意图 (由 Precision Motordrives™ 提供)

2.3 螺线管

螺线管有多种类型，按产生力的方式可分为：推挽、闭锁/双稳态，以及比例式。每种类型都使用直流或交流信号产生作用力，而这两种信号均可由音频放大器支持。有关每种类型的详细信息，请单击[此处](#)。无论使用何种螺线管，D 类放大器中使用的 H 桥电路同样可用作这些螺线管的驱动器。

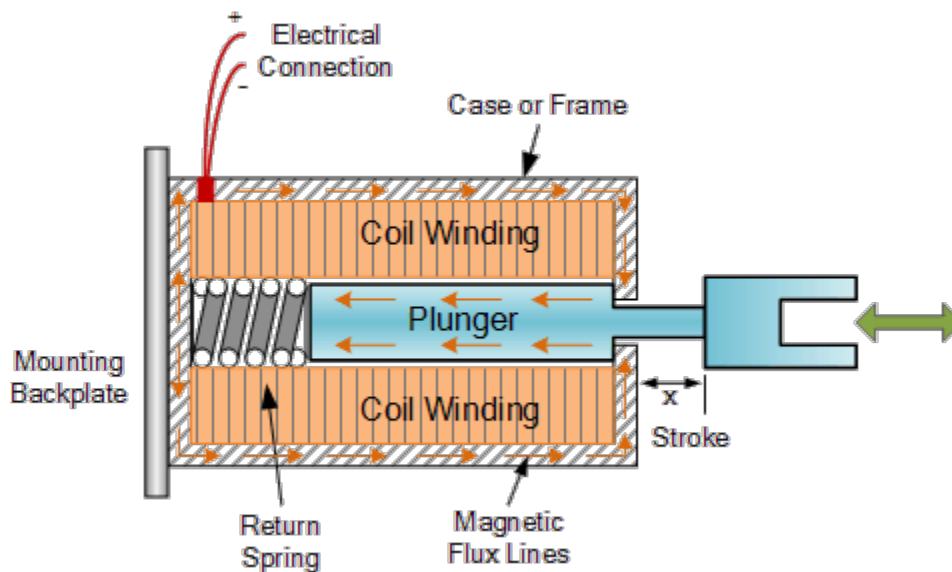


图 2-3. 螺线管架构示意图 (由 Aspentec、Inc.© 提供)

3 选择 TI 音频放大器

LRA、ERM 和螺线管的直流阻抗通常与音频扬声器的阻抗范围相同： 4Ω - 16Ω 。这使得几乎任何 D 类音频放大器都能轻松驱动这些负载。为了帮助缩小器件选择范围，还需要考虑其他参数。选择标准可包括但不限于以下方面：

- 通道数量
- 每通道输出功率
- 电源电压
- 音频输入源（模拟或数字）
- 动态处理功能（均衡器、压缩器等）
- 负载诊断

TAS6424E-Q1 是一款能够驱动车辆中所需执行器和扬声器的出色器件，因此可成功应用于此类场景。该通用设计不仅能轻松驱动扬声器负载，还可利用额外通道驱动执行器，所有功能均通过同一数字音频总线实现。

有关该应用的主要器件简要选型指南，请参见表 3-1。

表 3-1. 汽车放大器主要器件

器件	通道计数	每通道输出功率； 4Ω 时 THD < 10%	电源电压	显著特性
TAS6424E-Q1	4	75W	4.5V 至 26.4V	2MHz 开关、负载诊断、40V 负载突降
TAS6754-Q1	4	30W	4.5V 至 19V	1L 调制、电流检测、实时负载诊断、 40V 负载突降
TAS6684-Q1	4	54W	4.5V 至 45V	每通道高达 13A、电流检测和实时负载 诊断、50V 负载突降
TAS6422-Q1	2	75W	4.5V 至 26.4V	2MHz 开关、负载诊断、40V 负载突降
TAS6511-Q1	1	30W	4.5V 至 19V	1L 调制、电流检测、实时负载诊断、 40V 负载突降

4 总结

LRA、ERM 和螺线管与传统扬声器在电气与机械特性上具有诸多共同点。这意味着，诸如汽车座椅中的振动负载应用可通过 TI 汽车级放大器来实现。TI 音频产品组合涵盖了从通道数量、输出功率到其他用户体验功能等多方面的需求，使得客户能够在音频系统的基础上同时驱动振动负载。

5 参考资料

- 德州仪器 (TI) : [触觉 : ERM 与 LRA 传动器解决方案手册](#)。

Precision Microdrives , [振动电机 - ERM 与 LRA](#) 网页。

Piezo.com , [触觉执行器 : 压电式与 ERM 及 LRA 对比](#) 博客文章。

Custom Coils , [螺线管 : 工作原理、类型与应用](#) 网页。

Electronics Tutorials , [螺线管 : 工作原理、类型与应用](#) 网页。

德州仪器 (TI) , [“TAS6424E-Q1 具有负载突降保护和 I2C 诊断功能的 45-W、2-MHz 数字输入 4 通道汽车用 D 类音频放大器” 数据手册 \(修订版 A \)](#) , 数据手册。

德州仪器 (TI) , [“TAS6754-Q1 具有电流传感和实时负载诊断功能的 1L 调制、2MHz 数字输入 4 通道汽车 D 类音频放大器” 数据手册 \(修订版 A \)](#) , 数据手册。

德州仪器 (TI) , [“TAS6684-Q1 - 具有电流检测和实时负载诊断功能的 45V、13A 数字输入 4 通道汽车 D 类音频放大器” 数据手册 \(修订版 A \)](#) , 数据手册。

德州仪器 (TI) , [TAS6422-Q1 75W、2MHz 数字输入 2 通道汽车 D 类音频放大器](#) , 数据手册

德州仪器 (TI) , [TAS6511-Q1 - 具有电流检测和实时负载诊断功能的 50W、2MHz 数字输入单通道汽车级无散热器 D 类音频放大器](#) 数据手册

重要通知和免责声明

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、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月