

《D 类音频子系统中的电流感应放大器》



与可将输出效率提升 50% 的 AB 类放大器相比，D 类音频放大器可将输出功率的效率提升至 90% 以上。D 类放大器可在提供高品质声音输出，并延长电池寿命的便携个人音频系统中实现。D 类放大器广泛应用于在紧急情况下为司机提供关键音频反馈的汽车电子呼叫系统。在紧急通话系统中，分立式电流检测通常用于连续检测，以确保扬声器始终正常运行。

音频子系统中的电流检测通常与 D 类放大器结合广泛检测或向 DSP 提供扬声器电流反馈以增强扬声器，从而模仿 SmartAmp 系统。扬声器是音频子系统中最昂贵的元件。扬声器的阻抗从低音炮的 2Ω 到立体声扬声器的 8Ω。超过流经扬声器的电流可能导致音圈过热，从而对扬声器造成永久损坏。

D 类放大器子系统如图 1 所示。高功率、高电压 D 类系统通常作为集成 D 类放大器与具有热限制的硅 FET 分开构建。凭借更高的效率和在更高频率下的开关能力，采用 GaN FET 的高压 D 类系统广受欢迎。集成 D 类放大器具有集成过流保护功能，可保护 D 类系统

和扬声器不超过电流限制。然而，通过分立式 D 类实现，需要分立式电流传感器来实现过流保护，为扬声器提供保护诊断，从而使整个系统更加可靠。

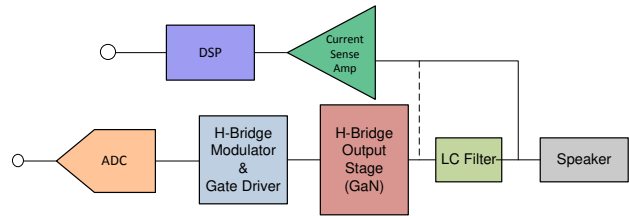


图 1. 分立式 D 类系统方框图

D 类系统中的电流检测可以通过基于分流器或基于电磁的系统来实现。由于线性、更低的噪音和更高的动态范围，基于分流器的电流检测最适合音频应用。然而，磁性霍尔效应传感器的实现成本较低，但存在缺点，如动态范围较低、噪声较高以及对外部磁场的输出灵敏度增加。表 1 总结了与音频系统中的磁性解决方案相比，使用基于分流器的解决方案的优缺点。

表 1. D 类电流检测摘要

电流检测应用	基于分流器的电流检测解决方案		基于电磁的电流检测解决方案	
	优点	缺点	优点	缺点
过流保护	精确的过流保护 (<1%)	串联分流器功率损耗，分流器的串联电感较高	无分流器功率损耗，无寄生	由于外部磁场和环境场，输出精度无法预测
模拟反馈控制	高线性反馈 (<0.01%)，高动态范围，低噪声	解决方案成本	解决方案成本	较低线性 (>5%)，较高的输出噪声，较低的范围控制
SmartAmp 控制	高线性反馈 (<0.01%)，高动态范围，低噪声，更快的环路控制，更快的 DSP 处理	解决方案成本	解决方案成本	较低线性 (>5%)，更慢的控制回路响应，更长的 DSP 处理时间

分立式 D 类保护和诊断

对于诊断，最好将分流器和分立式电流检测放大器前置滤波器连接起来，如图 2 所示。前置滤波器电流测量的挑战在于，放大器会受到快速开关瞬变的影响。需要具有高带宽和快速输出稳定的放大器才能测量准确的电流。随着开关频率增加到超过 150kHz，电流检测放大器对单位带宽增益积的需求显著增加到 15MHz 数量级。这种高带宽放大器的缺点是 I_q 较高、失调电压较高和输出压摆率有限。然而，前置滤波器电流测量对过流检测提供了快速响应时间，并能够为外部 LC 滤波提供诊断，以检测无源器件中的异常。

为了克服前置滤波器测量中电流检测的难题，提供完整诊断的一种可能的经济高效的解决方案是测量 LC 滤波器之后的电流。经过 LC 滤波器之后，共模信号是一种限制在 30kHz 以下的缓慢移动信号。对于后置滤波器电流检测，电流检测放大器可以检测到扬声器短路连接，并将信息反馈回控制环路以便关断，从而提高系统可靠性。

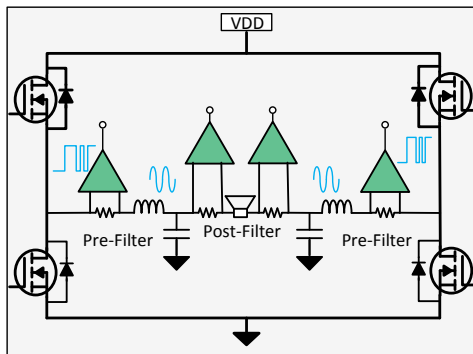


图 2. D 类放大器中的电流检测

用于 SmartAmp 实现的扬声器参数提取

当今，数字信号处理技术正在不断进步，从而使处理能力越来越强、DSP 越来越小和功耗也越来越低。电流、电压、阻抗和温度等实时扬声器参数越来越多地得到测量，以创建能够适应扬声器系统环境变化的实时闭环扬声器系统。实现闭环 SmartAmp 系统的关键元件之一是具有高动态范围、低噪声和更高带宽（大于 200kHz）的精密电流检测放大器。通过测量反馈系统中的电流来测量 DSP 子系统内的扬声器参数，如图 3 所示。

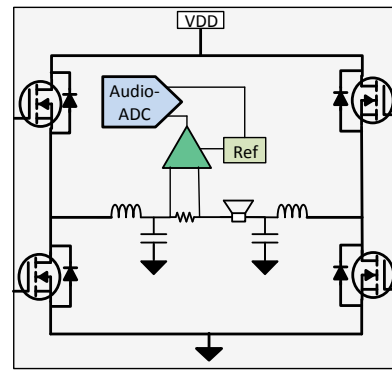


图 3. 具有电流检测功能的闭环 D 类系统

INA240 是一款高压 (V_{CM} : -4V 至 80V)、高精度、双向电流检测放大器，在整个温度范围内具有低输入偏移和增益漂移，这使得该器件非常适用于测量 D 类子系统内的电流。INA240 专用于在开关节点环境中工作，其中共模瞬变的 dv/dt 信号较大。对较高的 dv/dt 信号抑制能力使电流测量精确，且精度高，线性高。凭借 80dB 的大动态范围和小于 0.04% 的 THD+N，INA240 确保反馈系统可以校正非线性。INA240 的信号吞吐量带宽为 400kHz，增益为 20。放大器的高带宽使电流测量精确，平坦响应带宽高达 200kHz，并有利于信号吞吐量更快的过流检测。INA240 的最大输入失调电压低至 25 μ V，最大增益误差为 0.2%，可在不影响测量精度的情况下使分流电阻值更小。

表 2. 备选器件建议

器件	优化参数	性能权衡
INA241	V_{CM} : -5V 至 110V, 带宽: 1MHz, V_{os} : 12 μ V	更高 IQ
INA168	带宽: 800 kHz, 封装: SOT-23	可调增益, 外部元件
LMP8601	V_{CM} : -22 V 至 60 V	失调电压: 1mV, 带宽: 60kHz
INA253	V_{CM} : -4V 至 80V, 集成电感 2m Ω , 3nH 分流器	\pm 15A

表 3. 相关文档

序号	标题
SBOA174	H 桥中的电流感测》
SBOA176	开关电源电流测量
SBOA166	具有 PWM 抑制功能的高侧驱动、高侧螺线管监视器

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