

Design Guide: TIDA-060048

汽车紧急呼叫音频子系统

参考设计



说明

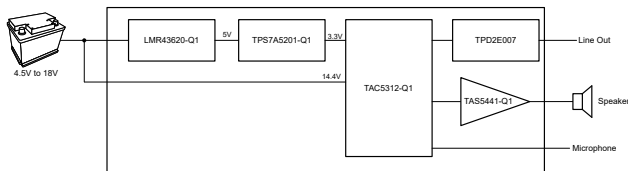
汽车紧急呼叫 (eCall) 系统所需的效率和诊断功能催生了对音频子系统的独特要求, 如录音诊断、扬声器诊断和低功耗。此设计展示了如何将 TI 的汽车双通道音频编解码器和 D 类音频放大器用于 eCall 应用。此参考设计还重点突出了关键设计因素和 TI 的设计优势, 例如低功耗和高效率、清晰洪亮的音频输出以及集成的诊断和保护功能。

资源

TIDA-060048	设计文件夹
TAC5312-Q1	产品文件夹
TAS5441-Q1	产品文件夹
TPD2E007	产品文件夹
LMR43620-Q1	产品文件夹
TPS7A52-Q1	产品文件夹



请咨询 TI E2E™ 支持专家

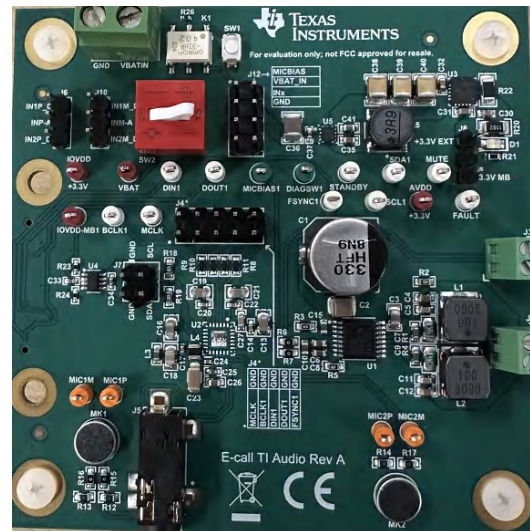


特性

- 通过 CISPR 25 5 类辐射发射限制
- 22W 输出功率 (4 Ω 负载)
- 集成输入录音故障诊断和保护功能
- 集成扬声器负载诊断功能
- 包含用于 TAC5312-Q1 的寄存器设置

应用

- [紧急呼叫 \(eCall\)](#)
- [远程信息处理控制单元](#)
- [域网关](#)



1 系统说明

1.1 主要系统规格

表 1-1. 主要系统规格

参数	规格	最小值	典型值	最大值	单位
输入电压	12V 汽车电池	4.5	14.4	40	V
待机电流	TAS5441-Q1 = 待机模式， TAC5312-Q1 复位		5		μ A
扬声器负载		2	4	6	Ω
输出功率	4 Ω 负载			8	W
线路输出的 ESD 保护	IEC 61000-4-2 接触		±8		kV
	IEC 61000-4-2 空气间隙		±15		
音频输入、音频输出	数字音频 I ² S 输入，扬声器输出麦克风输入，数字音频 I ² S 输出				
ESD 保护	线路输出需要 ESD 保护				
EMC 要求、EMI 要求	CISPR 25 5 类辐射发射				
工作温度		-40		125	°C
外形	3.35in × 4.5in				

2 系统概述

世界各地的管理机构已实施具体立法，要求汽车公司安装紧急呼叫 (eCall) 系统，以缩短紧急响应时间并挽救生命。eCall 系统会在发生碰撞或紧急情况时激活，并自动为紧急服务呼叫提供便利。碰撞后的车辆状态很难预测，其中可能包括电池断开、乘客被困和嘈杂的环境。出于这一原因，eCall 模块需要独立的电池电源，并且必须能够保持大约十分钟的免提呼叫，具体取决于特定的地区法规。因此，为本参考设计所选的音频器件是低功耗的出色选择，同时仍能确保与紧急救援人员进行响亮且清晰的通话。此外，TAC5312-Q1 编解码器和 TAS5441-Q1 扬声器放大器都包含集成的诊断和保护功能，可优化设计并降低系统成本。

图 2-1 显示了包含电源管理、MCU、连接模块和音频的完整方框图。MCU 接收来自车辆其余部分的输入，并在发生事故时激活呼叫。电源管理能够使用汽车的主电池或集成到 eCall 模块中的更小备用电池。无线模块进行呼叫，并使用全双工数字音频信号连接音频子系统。音频子系统可驱动扬声器并处理麦克风输入。

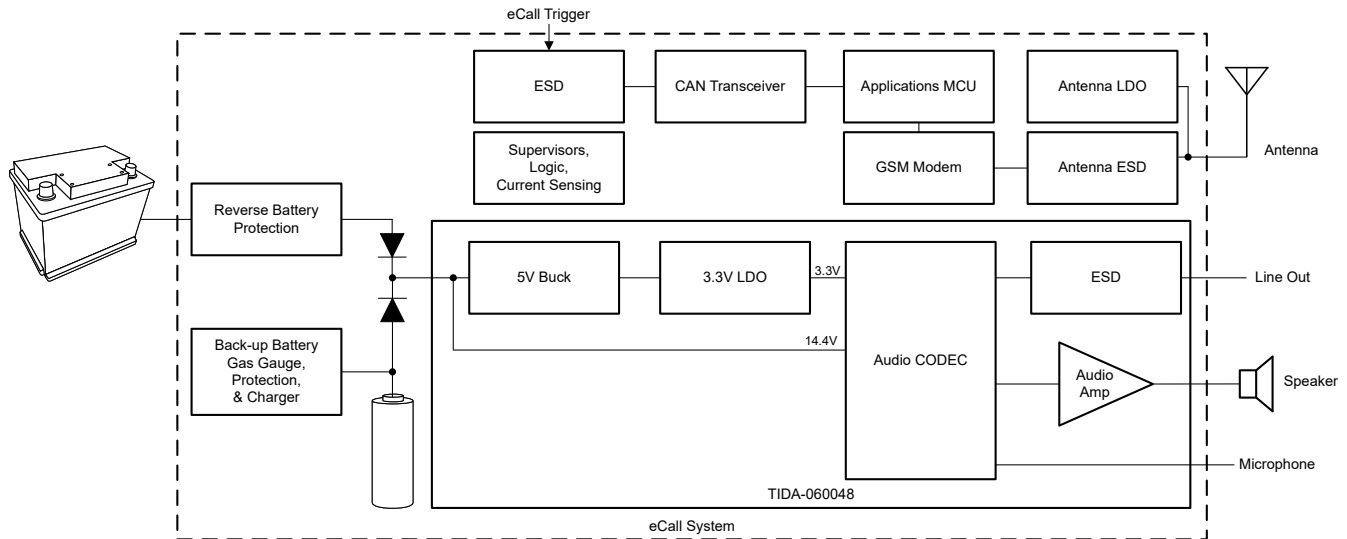


图 2-1. eCall 子系统的系统集成

音频子系统由 D 类音频放大器和音频编解码器组成。音频编解码器将连接模块的数字音频输入连接到驱动扬声器的 D 类放大器。编解码器还必须将麦克风输入转换为数字信号，以便传回连接模块。

2.1 方框图

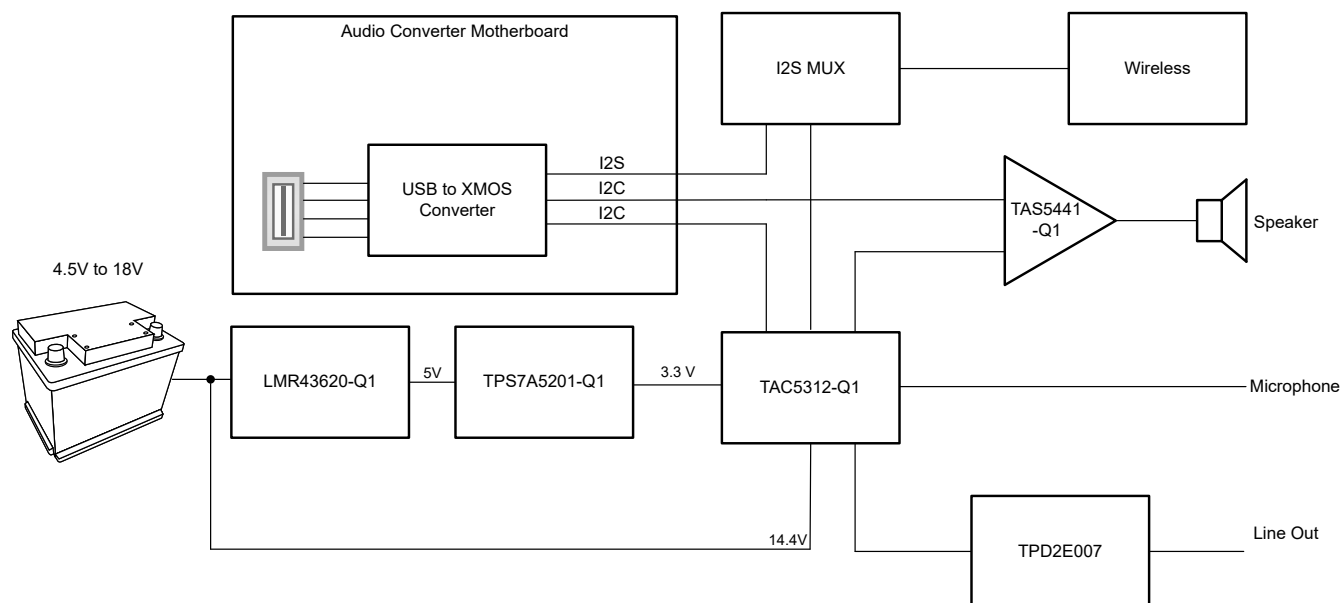


图 2-2. TIDA-060048 方框图

2.2 设计注意事项

2.2.1 编解码器设计

汽车音频编解码器必须设计为能够在各种恶劣环境中运行。随着越来越多的电子器件集成到汽车系统中，系统复杂性和发生故障的可能性也随之增加。eCall 系统中通常使用的麦克风用于波束形成、主动噪声消除或语音识别等算法。这些算法依赖于来自麦克风的可靠数据，如果系统中的一个或多个麦克风发生故障，则处理的数据会不可靠，从而导致错误的计算结果。在这些应用中，可将麦克风放置在远离 PCB 的位置，例如放置在车顶控制台、靠近发动机或在乘客车厢中的不同位置。由于麦克风放置在较远位置，因此需要使用线束与其他电子元件进行连接。虽然在制造过程中已经格外小心地防止出现故障，但随着时间的推移，这些线束会老化，从而导致麦克风连接出现故障。

TAC5312-Q1 提供集成诊断监控功能（节 2.3.1 中突出显示），通过确定固件中何时发生输入故障情况来替代离散检测方案。利用这些信息，系统可以选择如何响应和调整系统算法来处理错误。典型的 eCall 应用倾向于使用电容式麦克风 (ECM)，以便于安装、连接、方向性拾取、防潮和防尘。这些 ECM 麦克风的工作电压介于 2V 至 10V 之间，并且电压摆幅较大。TAC5312-Q1 可以直接处理高达 10V_{RMS} 的摆幅，同时支持在每个输入引脚上进行直流耦合故障诊断，并通过 I²C 报告故障。

eCall 系统通常是空间受到限制的系统，更大限度地提高效率需要依靠集成式元件。TAC5312-Q1 通过使用单个 3.3V 电源支持编解码器数据转换，并通过集成升压转换器使用高压 MICBIAS 电源来减少外部元件数量。

2.2.2 D 类放大器

D 类放大器必须保持足够的输出功率，才能将扬声器提升至足以保证音频质量的指定音频级别。放大器还必须具有高效率和良好的 EMI 和 EMC 性能。此外，许多 eCall 系统还需要扬声器诊断和 IC 保护电路。

使用 D 类放大器是因为其具有出色的效率，这一点在 eCall 应用中至关重要。通过使用开关来驱动桥接式负载的金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 来实现高效率。但是，与其他类别的放大器相比，开关会产生更多的电磁辐射。德州仪器 (TI) 提供多个使用 BD 模式调制的 D 类放大器，以减少流经指示器的纹波电流。这提高了 EMC 性能，且使用的元件更小。此设计根据 CISPR-25 对辐射发射进行了测试。

由于碰撞后环境的性质未知，eCall 应用需要具备诊断和保护覆盖功能。如果在碰撞后扬声器出现故障，则可以将信息发送至呼叫中心，让中心知道扬声器无法正常使用。该覆盖功能还有助于在发生碰撞之前检索负载诊断信息，将系统的任何问题反馈给驱动程序以进行维护。在 eCall 模块内，不太可能发生高压事件。但是，离开 eCall 模块的连接线会处于危险之中。具体来说，在安装、维护或事故期间，将扬声器连接到 eCall 模块的扬声器电缆可

以接地或连接到电池。虽然在输出线路上维持这种状态时，任何 D 类放大器都无法工作，但如果没有保护，即使是瞬时事件也可能会损坏 D 类放大器。TAS5441-Q1 集成了针对这些事件的保护功能，减少了对外部元件的需求，该器件还可以通过 I²C 报告问题。电源输入端的 D 类放大器也可能发生损坏。由于放大器必须在输出扬声器上驱动数瓦的功率，因此直接通过电池为音频放大器供电是有好处的。但是，大多数 D 类放大器无法承受电池线路上可能出现的常见电池状况。TAS5441-Q1 集成了承受 40V 负载突降所必需的保护功能，这意味着电池关断运行时唯一必需的外部保护是电池反向保护二极管。

2.2.2.1 音频滤波器设计

为了提高音频质量并降低电磁辐射，TAS5441-Q1 需要一个输出滤波器。这些输出滤波器可以使用许多元件，例如，图 2-3 显示了配备共模和差分电容器以及 RC 缓冲器的 LC 重建滤波器。

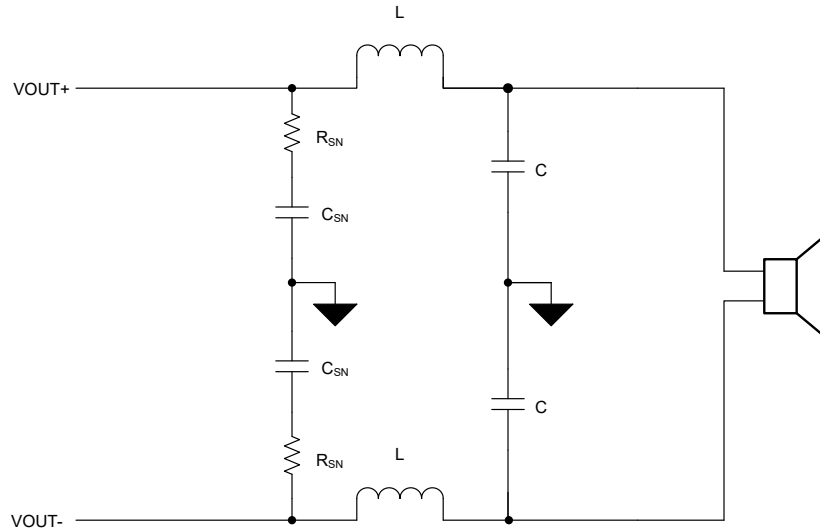


图 2-3. 配备 RC 缓冲器的 D 类放大器 LC 滤波器

RC 缓冲器有助于降低电磁辐射，然而，有许多应用不需要缓冲器。针对该设计进行的辐射发射测试未使用 RC 缓冲器。图 2-4 显示未配备 RC 缓冲器网络的输出滤波器。

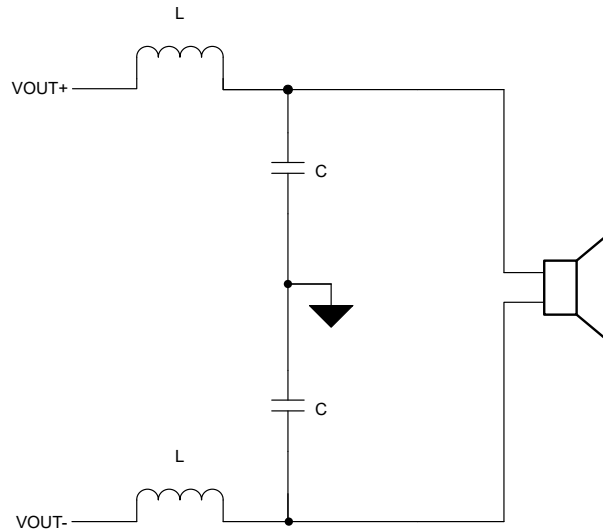


图 2-4. D 类放大器 LC 滤波器

在设计输出滤波器时，应将滤波器视为两个单端输出。因此，在以下设计公式中， R_L 被视为 2Ω ，而不是 4Ω 。二阶巴特沃斯滤波器可提供平坦的通频段响应和合理的急剧滚降。滤波器达到临界阻尼的情况会在以下条件下发生：

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

C 和 L 的公式可从以下两个等式中推导出。

$$Q = R_L \times \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (2)$$

$$\omega_c^2 = \frac{1}{C \times L} \quad (3)$$

通过选择滤波器的截止频率来选择电感器和电容器。对于音频语音应用， 30kHz 或更高频率是一个合理的数字。选择电感的公式如下：

$$L = \frac{R_L \times \sqrt{2}}{\omega_c} \quad (4)$$

$$L = \frac{2\Omega \times \sqrt{2}}{2 \times \pi \times 34\text{kHz}} = 10\mu\text{H} \quad (5)$$

关于电感器的其他注意事项包括通过屏蔽来改善 EMC 性能、饱和电流和低核心损耗。TAS5441-Q1 过流关断保护为 2.4A 至 3.5A 。达到电感器饱和电流会使电感降低，因此选择接近或高于关断电流的饱和电平比较安全。为该设计选择的电感器是 VLS6045EX-100M-H，该电感器提供磁屏蔽，具有低直流电阻，并且典型饱和电流为 3.9A 。

使用以下公式选择电容器：

$$C = \frac{1}{\omega_c \times R_L \times \sqrt{2}} \quad (6)$$

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times 34\text{kHz} \times 4 \times \sqrt{2}} = 1.66\mu\text{F} \quad (7)$$

为了改善 EMC 性能，可稍微调高电容器以略微降低截止频率。对于此设计，使用 $2.2\mu\text{F}$ 电容器，得到如 图 2-5 所示的频率响应。

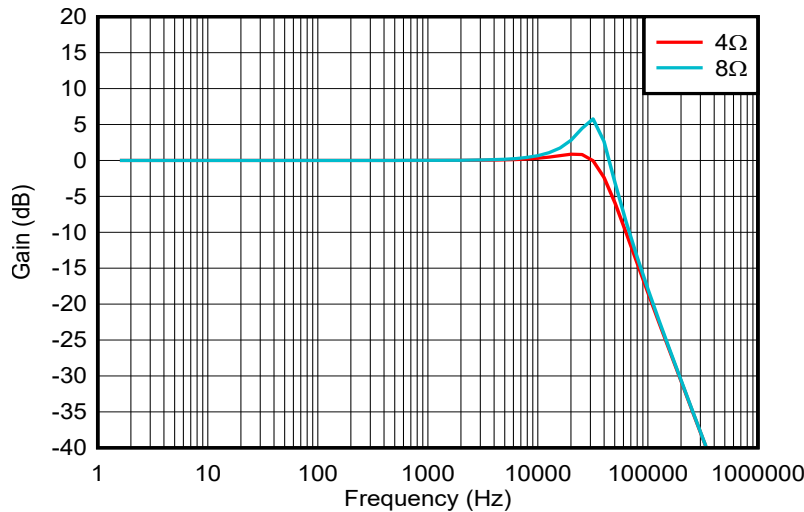


图 2-5. LC 滤波器的频率响应， $L = 10\mu\text{H}$ ， $C = 2.2\mu\text{F}$ ， $R = 4\Omega$ 、 8Ω BTL

虽然此更改有助于提升 EMC 性能，但会将 20kHz 时的增益降至 2dB，而不是 1dB。必须在音频质量和 EMC 测试之间进行权衡。

为了改善 EMC 性能，可以重新添加 RC 缓冲器，但该设计进行测试时没有添加这些缓冲器。

有关设计公式的完整推导，请参阅 [LC 滤波器设计](#) 应用报告。

2.2.3 电源设计

选择的稳压器用于支持从 3.3V 电源导轨获取高达 2A 的电流。TAC5312-Q1 经过优化，可由 3.3V 单电源供电运行，用于 AVDD、IOVDD、BSTVDD 和 BSTSW 引脚。AVDD 和 IOVDD 引脚消耗的电流小于 50mA。BSTVDD 是一种开关电流，因为内部升压功能在不连续模式下运行，产生 250mA 的平均电流消耗和 1.3A 的峰值电流消耗。TAC5312-Q1 上的 VBATIN 引脚是用于输入故障诊断的参考电压，不会消耗电流。

这两个稳压器所需的唯一外部元件是输入和输出电容器。输入电容器可提高瞬态性能并改善噪声抑制。输出电容器是确保电压稳定所必需的。

LMR43620-Q1 器件建议使用至少为 $4.7\mu\text{F}$ 的输入电容器来降低纹波电流，并将开关噪声与周围电路隔离。额定电压必须高于最大输入电压，因此使用了 50V 的电容器。建议使用三个 $22\mu\text{F}$ 电容器来改善瞬态响应并提高 5V 输出的稳定性。TPS7A52-Q1 器件建议使用 $10\mu\text{F}$ 或更大的输入电容器来最大限度地减小输入阻抗。对于此设计，LMR43620-Q1 之后的输出电容器连接到 TPS7A52-Q1 的输入端。对于此设计，输出电容器的最小值为 $10\mu\text{F}$ 。

2.2.4 EMC、EMI 设计注意事项

设计布局时必须考虑 EMC 问题。有关更多信息，请参阅节 4.1.3。LMR43620-Q1 开关频率可在 200kHz 至 2.2MHz 范围内进行调节。在本设计中，开关频率被设置为 2.2MHz，可降低 EMI 并避免 AM 频段干扰。此外，TAS5441-Q1 开关频率可以编程为 400kHz 或 500kHz。改变开关频率有助于改变发射产生的位置。如果系统中的多个器件以相同的频率运行，则更难满足辐射发射限制要求。

2.3 重点产品

2.3.1 TAC5312-Q1

TAC5312-Q1 是一款具有 $10V_{\text{RMS}}$ 差动输入、104dB 立体声 ADC 和 $2V_{\text{RMS}}$ 、114dB 立体声 DAC 通道的高性能立体声编解码器。TAC5312-Q1 支持多种输入和输出配置，例如差动和单端输入和输出、ADC 通道上的麦克风和

线路输入、输入和输出故障诊断，以及 DAC 输出端的线路输出或耳机负载。这些参数使 TAC5312-Q1 能够在信息娱乐系统与仪表组领域的各种音频应用中充当 MCU 和扬声器放大器之间的接口。

立体声音频编解码器支持 8kHz 至 768kHz 的采样率，集成了可编程高电压麦克风偏置和用于直接耦合输入的输入诊断电路。该器件包含诊断电路，用于检测和确定输入和输出连接的状态。该器件支持以下诊断功能：

- 输入短接至地
- 输入短接至 MICBIAS
- 输入开路
- 输入引脚短接在一起
- 输入过压检测
- 输入短接至 VBAT
- 输出过流检测
- 输出虚拟接地检测

该编解码器还集成了数字音量控制、低抖动锁相环 (PLL)、可编程高通滤波器 (HPF)、可编程 EQ 和双二阶滤波器、低延迟滤波器模式，以及次要音频串行接口 (ASI) 支持。串行控制总线支持 I²C 协议和 SPI 协议，而串行音频数据总线可针对 I²S、左右平衡或时分复用 (TDM) 模式进行编程。

如果不需要处理模拟或数字信号，可将器件置于特殊的模拟信号旁路模式。此模式可显著降低功耗，因为在此旁路操作期间，器件的大部分会断电。这些高性能特性以及 3.3V 单电源运行，使得 TAC5312-Q1 特别适用于空间受限的汽车系统。

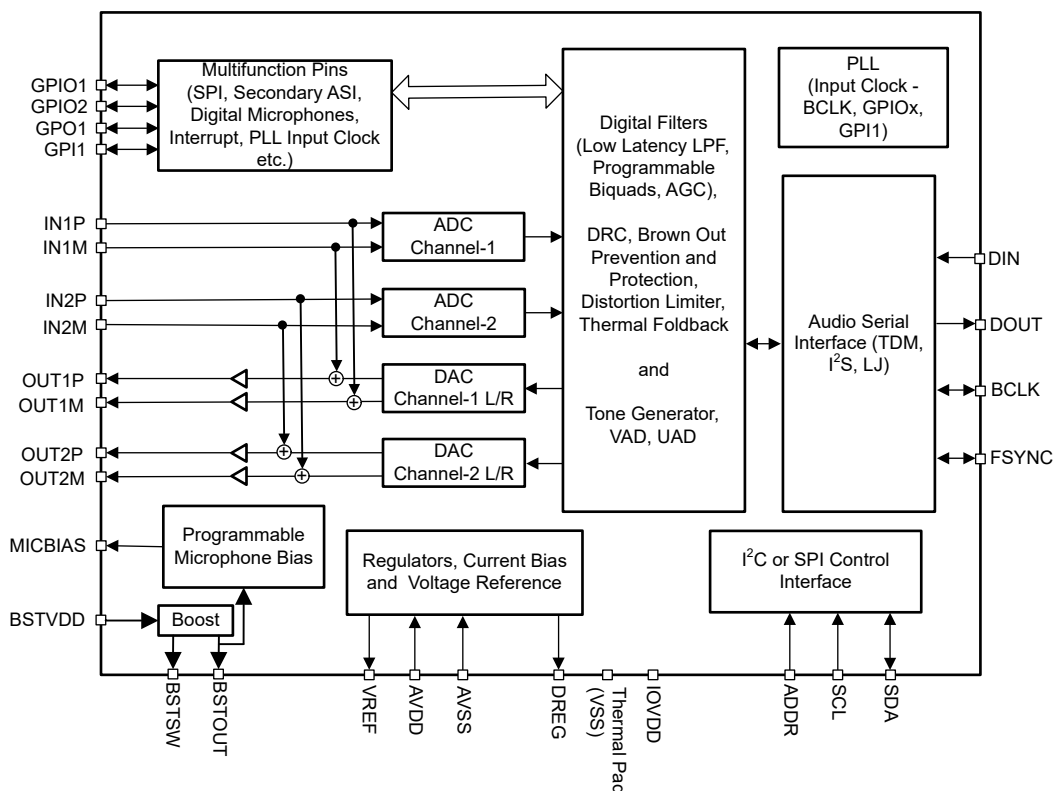


图 2-6. TAC5312-Q1 功能方框图

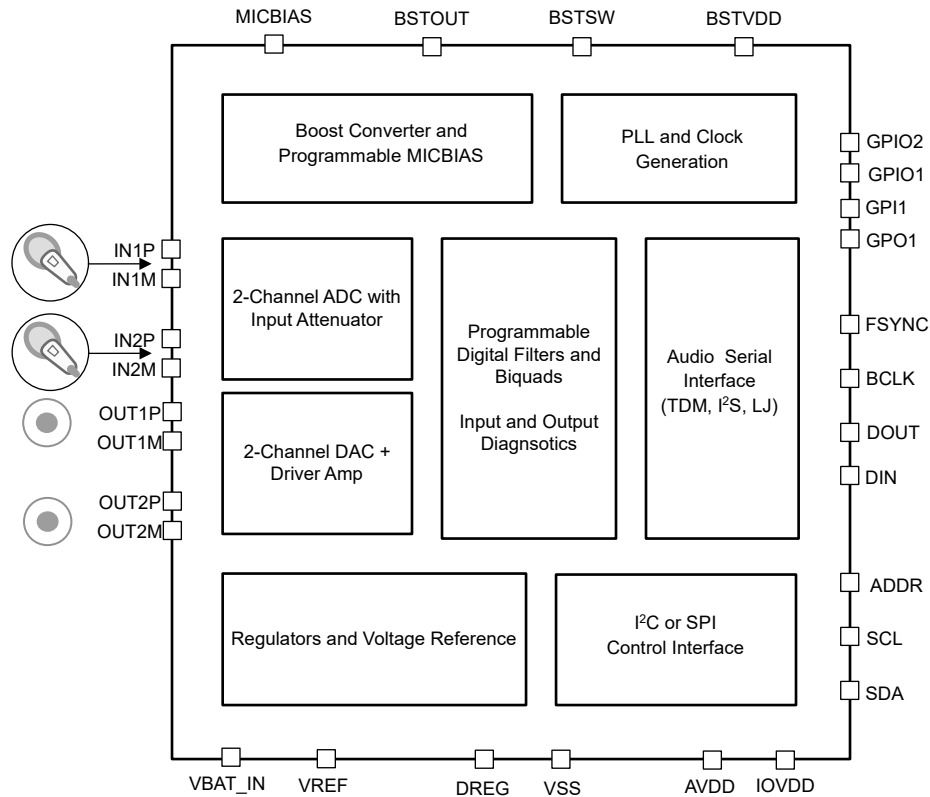


图 2-7. TAC5312-Q1 简化图

2.3.2 TAS5441-Q1

TAS5441-Q1 是一款单声道数字音频放大器，非常适用于汽车紧急呼叫 (eCall)、远程信息处理、仪表组和信息娱乐应用。该器件采用 $14.4V_{dc}$ 汽车电池供电，可在负载为 4Ω 且 THD+N 不超过 10% 的情况下提供高达 22W 的功率。该器件具有宽工作电压范围和优异的效率，是需要启停支持或使用备用电池运行时的理想选择。集成的负载突降保护能够缩减外部电压钳位电路的成本与尺寸，板载负载诊断功能能够通过 I2C 报告扬声器状态。该设计采用了德州仪器 (TI) 开发的超高效 D 类技术，并包含为汽车行业添加的功能。该技术可降低功耗，减少发热量以及电气系统中的峰值电流。相较传统的 AB 类设计，该器件具有体积更小、重量更轻的音频系统设计。该器件包含负载诊断电路，用于检测和确定输出连接的状态。该器件支持以下诊断功能：

- GND 短路
- PVDD 短路
- 负载短路
- 负载开路

该器件会通过 I²C 寄存器读取向系统报告是否存在任何短路或开路情况。负载诊断功能在 STANDBY 置为无效或者器件处于故障状态（例如直流检测、过流、过压、欠压和过热）时运行。在此测试期间，输出处于高阻态。该器件确定输出是 GND 短路、PVDD 短路、负载开路还是负载短路。负载诊断会偏置输出，因此需要限制电容值才能正常运行。负载诊断测试大约需要 229ms 来运行。如果存在故障或输出端存在接地的大电容器，检查阶段最多会重复 5 次。

检测到负载开路时，输出仍会运行。检测到任何其他故障情况时，输出会进入高阻态，并且器件会持续检查负载，直到故障条件消除。检测到正常输出条件后，音频输出开始。负载诊断会在每隔一次过压 (OV) 事件后运行。负载开路的负载诊断仅通过 I2C 进行报告。所有其他故障均具备 I2C 和 FAULT 引脚置位。

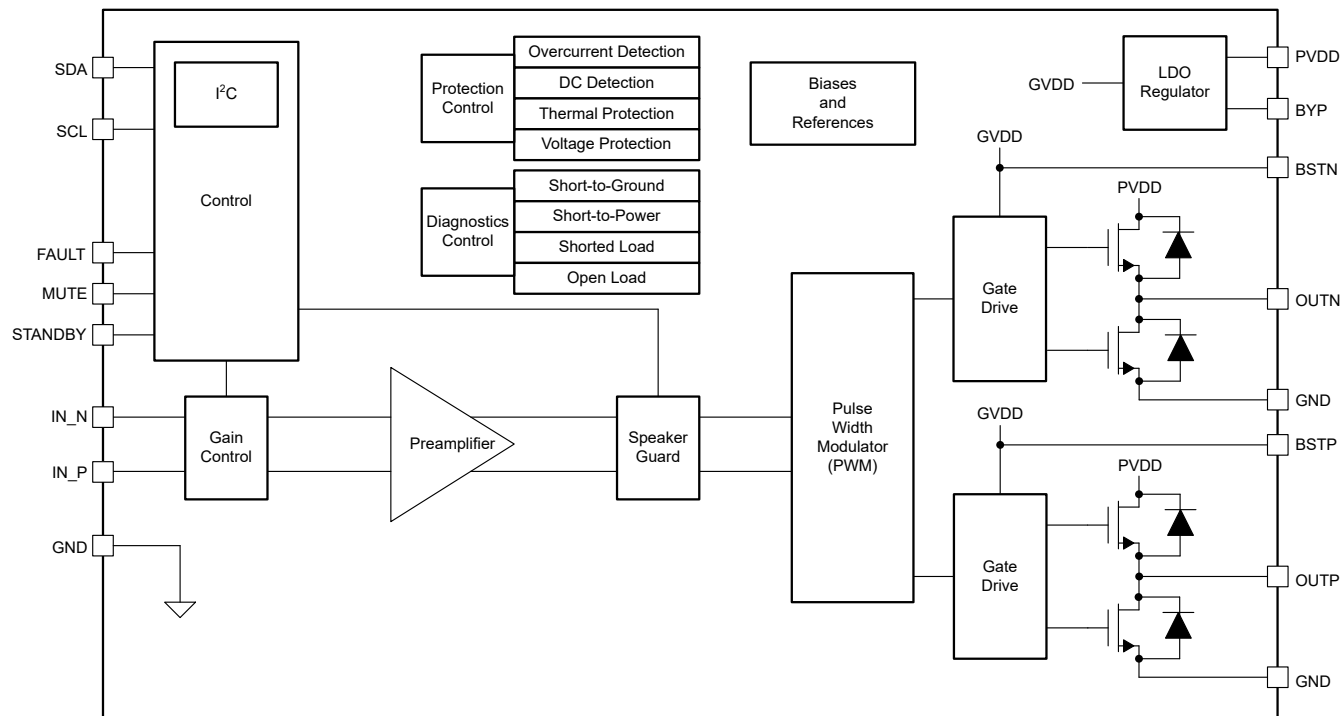


图 2-8. TAS5411-Q1 功能方框图

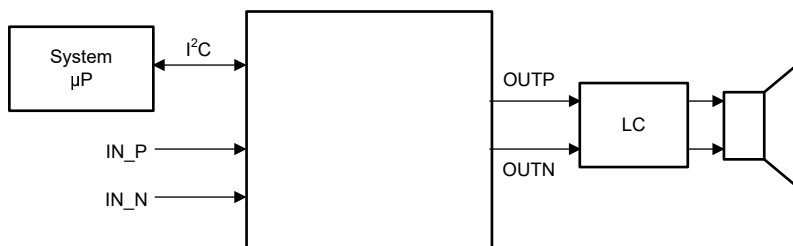


图 2-9. TAS5411-Q1 简化方框图

2.3.3 LMR43620-Q1

LMR43620-Q1 高电压线性稳压器可在 3V 至 36V 的输入电压范围内运行。该器件在轻负载模式下的静态电流仅为 2.5μA (典型值)，并针对超低 EMI 进行了优化，是适合汽车应用中待机微控制单元系统的理想之选。此器件具有 1A 或 2A 的输出电流能力，同时可提供 3.3V、5V 的固定输出电压或可调电压电平。此器件配备可调节的 2.2MHz 开关频率以满足客户要求，还配备了热关断和短路保护，防止过热和过流情况下的损坏。

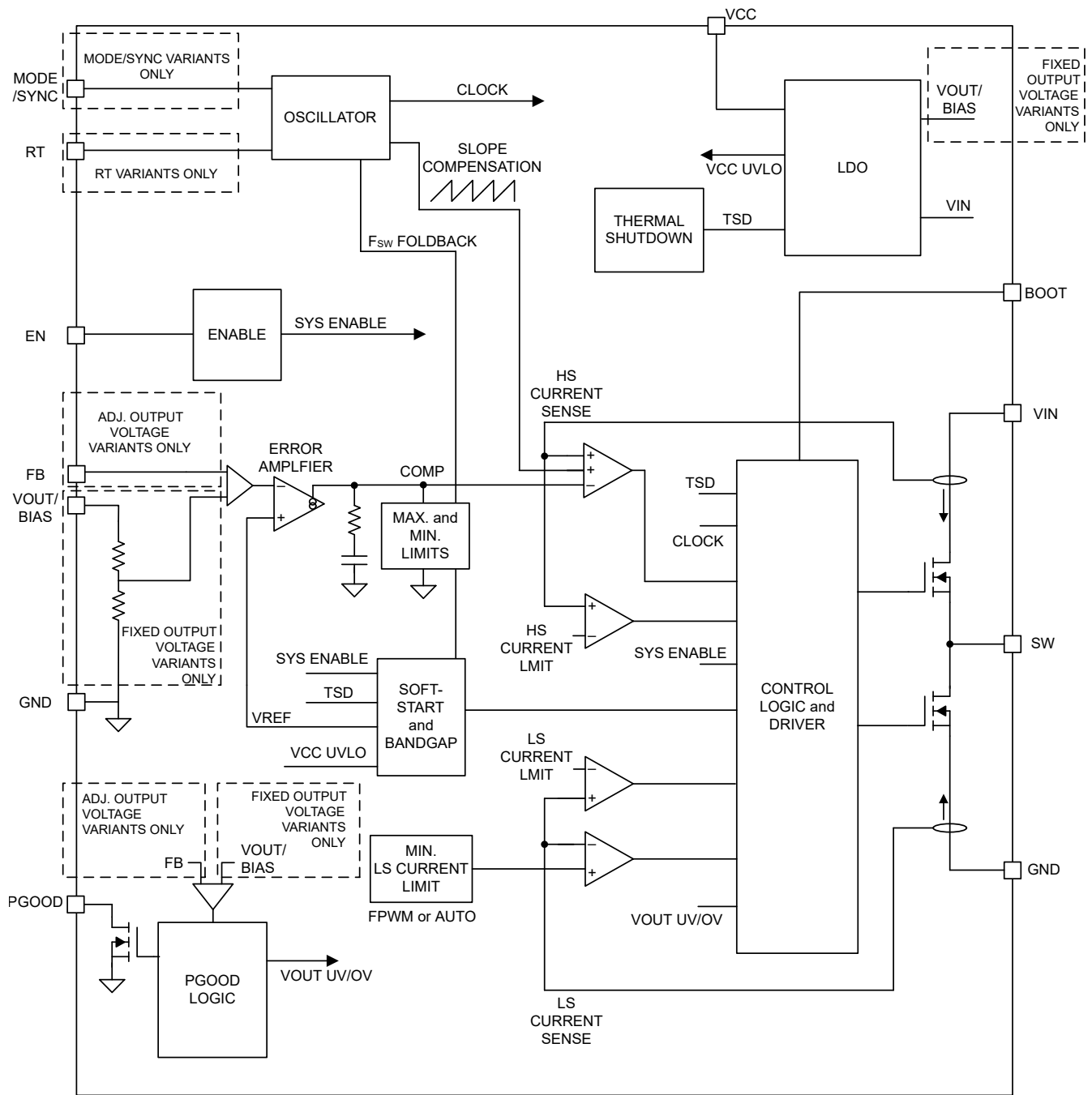


图 2-10. LMR43620-Q1 功能框图

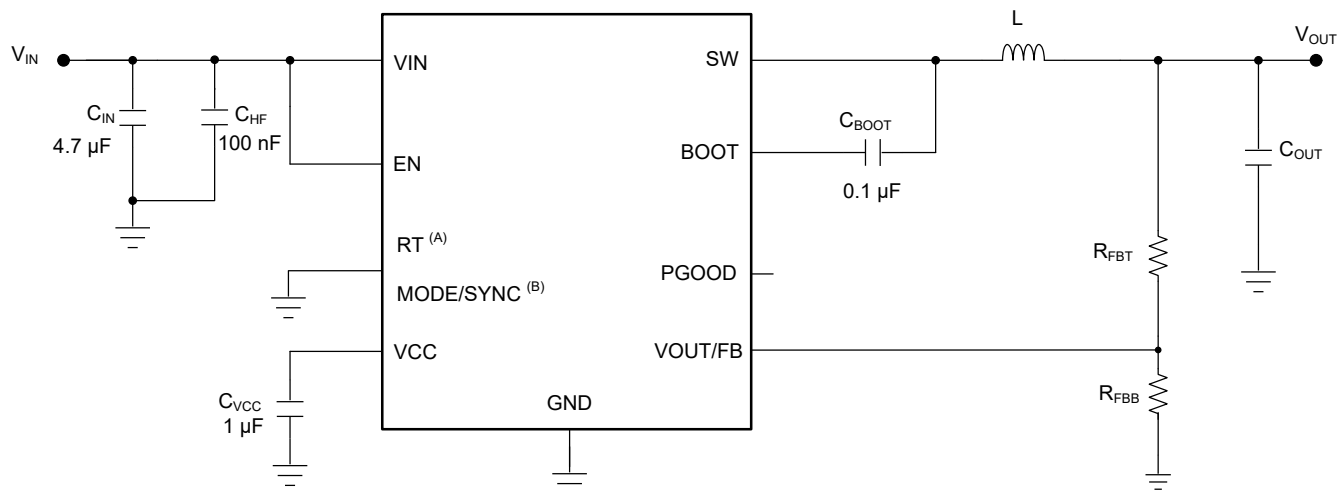


图 2-11. LMR43620-Q1 简化原理图

2.3.4 TPS7A52-Q1

TPS7A52 系列线性稳压器是低噪声器件，专为电源噪声敏感型应用而设计。高精度带隙与误差放大器可提供 1% 的过热精度。该系列器件还具有热关断、电流限制和反向电流保护功能，提升了器件安全性。通过将 EN 引脚拉低启动关断模式。该模式的关断电流低至 25μA (典型值)。TPS709 系列采用具有可湿性侧面的 VQFN (20) 封装。

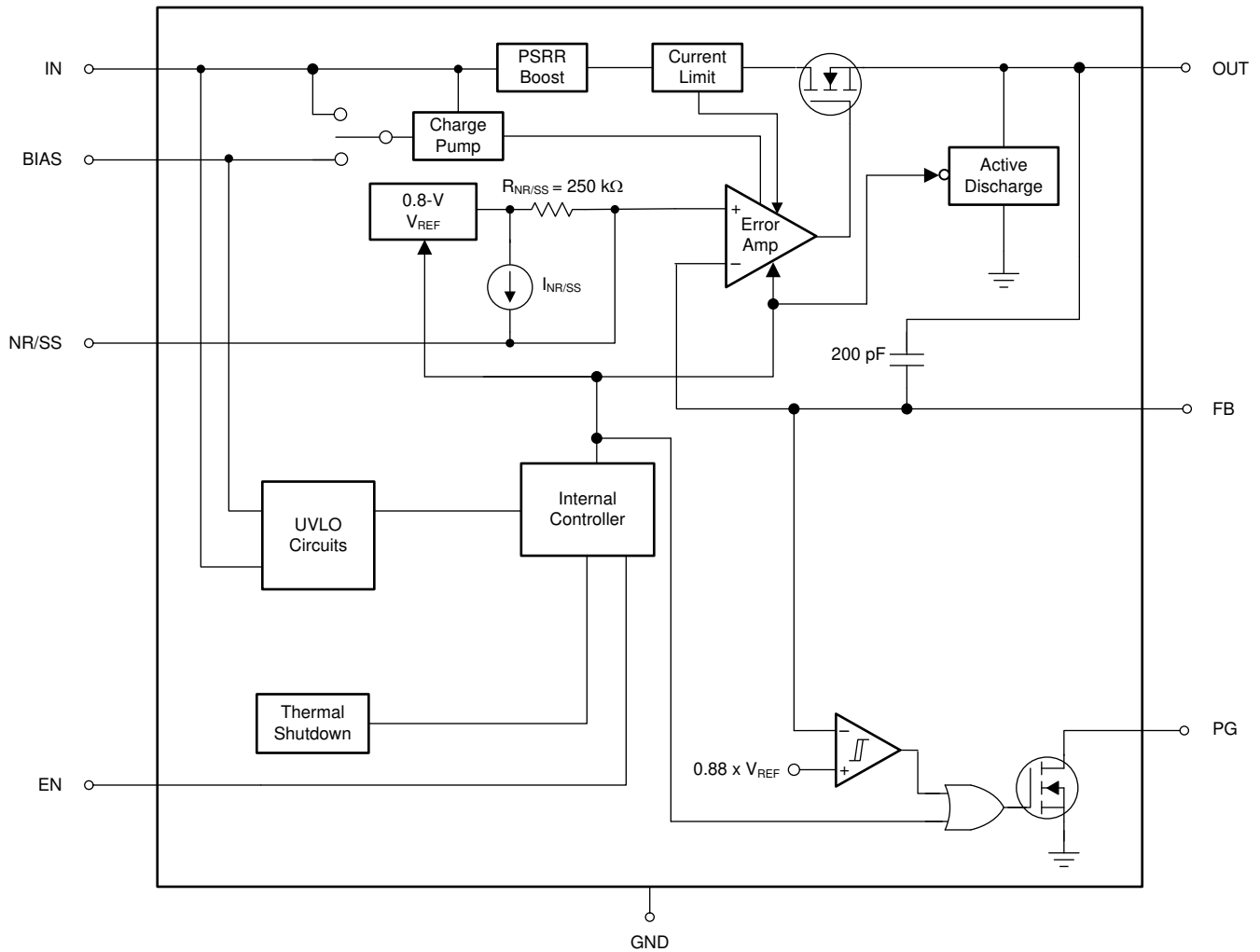


图 2-12. TPS709-Q1 功能方框图

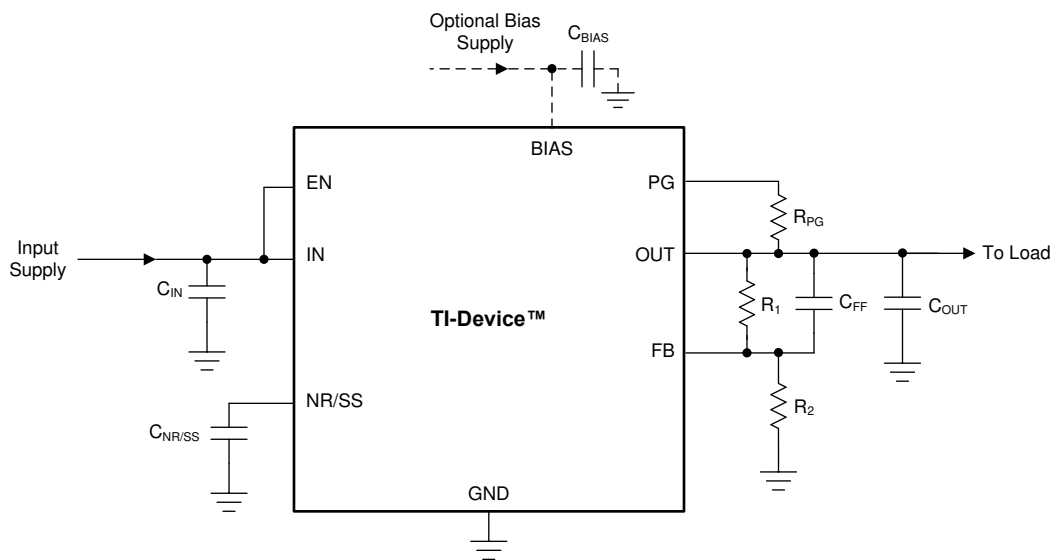


图 2-13. TPS709-Q1 简化原理图

2.3.5 TPD2E007

此器件是一款基于瞬态电压抑制器 (TVS) 的静电放电 (ESD) 保护器件，旨在为各种便携式和工业应用提供系统级 ESD 设计。背对背二极管阵列可在不影响信号完整性的情况下实现交流耦合或负向数据传输（音频接口、LVDS、RS-485、RS-232 等）。该器件超出了 IEC 61000-4-2（4 级）ESD 保护，是在当靠近连接器时为内部 IC 提供系统级 ESD 保护的出色选择。

TPD2E007 采用 4 凸点 PicoStar™ 封装和 3 引脚 SOT (DGK) 封装。建议将封装高度仅为 0.15mm（最大值）的 PicoStar 封装 (YFM) 用于关注封装高度的超节约空间型应用。PicoStar 封装可用于嵌入式印刷电路板 (PCB) 应用或表面贴装应用。业界通用的 SOT 封装可在传统设计中提供简单的电路板布局选项。

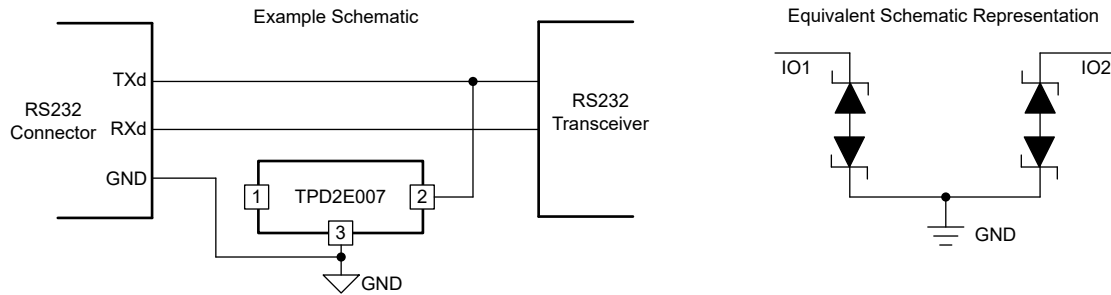


图 2-14. TPD2E007 简化原理图

3 硬件、测试要求和测试结果

3.1 硬件要求

3.1.1 电路板连接

硬件设计包括前面讨论的块以及用于将 I²C 命令发送到 TAS5441-Q1、TAC312-Q1 并监控输入诊断的 AC-MB。在最终系统中，AC-MB 控制器被兼容汽车的 MCU 取代。图 3-1 显示了使用 AC-MB 进行设计的方框图。但是，在评估此设计时，只需要使用 I²C 总线即可，因此可以使用任何 I²C 控制器。

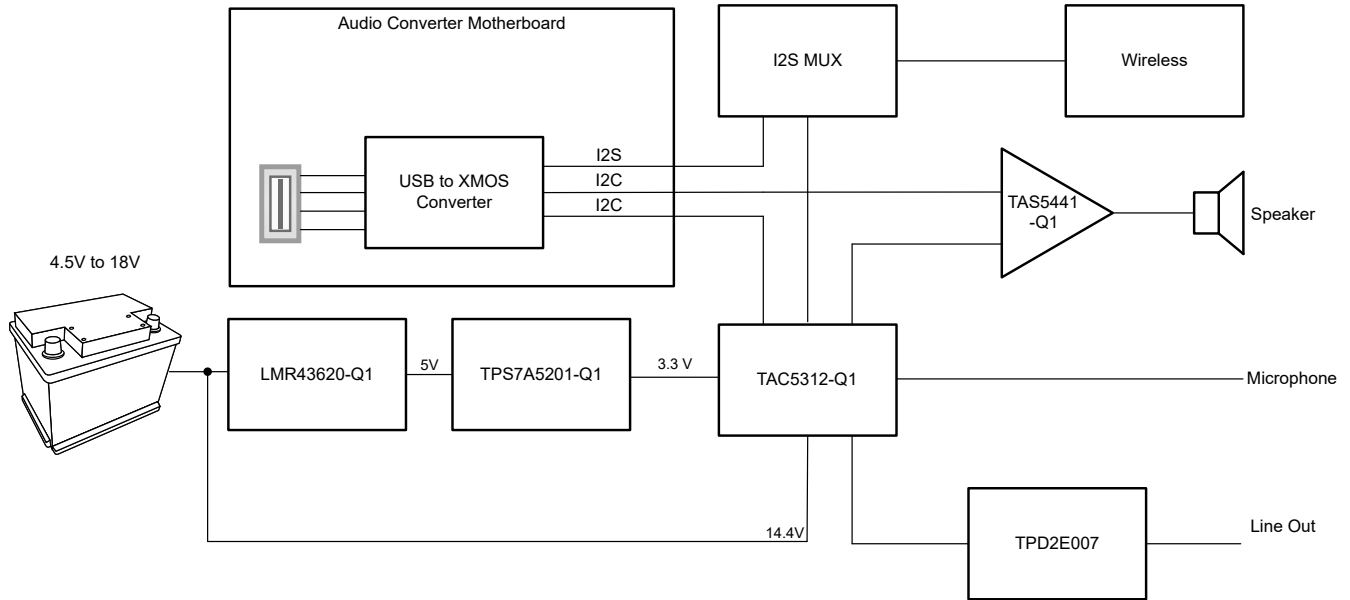


图 3-1. TIDA-060048 完整方框图

表 3-1. 连接器

指示符	名称	说明
J1	扬声器输出	将扬声器负载连接到 J1 的引脚 1 和 2
J2	电源输入	电源输入 (5V 至 18V)
J3	编解码器线路输出	通过 J3 的引脚 1 和 2 直接连接到 MCU 或扬声器放大器
J4	I ² S 总线	用于 MCLK、BCLK、FSYNC、DIN 和 DOUT 的 I ² S 总线连接
J5	外部麦克风输入	要使用外部麦克风，请移除 R15 和 R16
J6	记录诊断 (仅限评估)	在 J6 的引脚 1 和 2 上放置跳线，或在引脚 2 和 3 上放置跳线以进行 INxP 诊断测试
J7	I ² C	直接连接 SCL 和 SDA 线以实现外部 I ² C 控制
J8	电源	在引脚 1 和 2 上放置跳线，以便从 VBAT 分离出 3.3V 电源。在引脚 2 和引脚 3 上放置跳线，以便从 AC-MB 分离出 3.3V 电源
J9	AC-MB (仅限评估)	AC-MB 连接在此处
J10	记录诊断 (仅限评估)	在 J10 引脚 1 和 2 上放置跳线，或在引脚 2 和 3 上放置跳线以进行 INxM 诊断测试
J12	诊断 (仅限评估)	位置 1 - INx 短接至 MICBIAS；位置 2 - INx 短接至 VBAT 位置 3 - 输入同时短接；位置 4 - INx 短接至 GND
SW1	诊断触发器 (仅限评估)	按下开关以触发 J12 故障
SW2	诊断开关 (仅限评估)	左侧位置启用 J6，右侧位置启用 J10

3.1.2 配置电路板

板载麦克风 (MK1) 或外部麦克风 (J4) 均可与本设计搭配使用。如果使用外部麦克风, 请从电路板上移除 R15 和 R16。图 3-2 展示了麦克风输入的原理图。

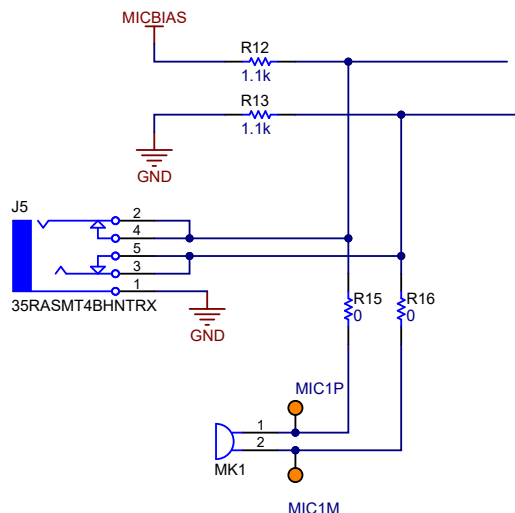


图 3-2. 麦克风输入配置原理图

3.2 软件要求

TAx5xxx-Q1 GUI 用于发送 I2C 命令。脚本格式为：

R/W I2C Address Register Address Data

3.2.1 用于基准测试的固件

以下 I2C 命令显示如何为节 2.2.1 中所示的信号路径配置 TAC5312-Q1。

```
##### Record DC-Couple Differential IN1-IN2 path, Playback LINEOUT #####
# Target Mode, TDM, 32-bit
# Primary ASI only, multiple of 48KHz Sampling
### Initialization and Record Path ###
w a0 00 00 # Set page 0
w a0 01 01 # Software Reset
w a0 02 09 # Wake up with AVDD > 2v and all VDDIO level
w a0 10 50 # Configure DOUT as Primary ASI (PASI) DOUT
w a0 11 80 # Enable PASI DIN
w a0 19 00 # 1 data input and 1 data output for PASI
w a0 1a 30 # PASI TDM, 32 bit format
w a0 1e 20 # PASI Ch1 on slot 0
w a0 1f 21 # PASI Ch2 on slot 1
w a0 00 01 # Set page 1
w a0 73 D0 # auto device, set MICBIAS = 9V
w a0 00 00 # Set page 0
w a0 50 04 # Ch1 diff input, fixed 33.3Kohm, 10Vrms, dc-coupled
w a0 55 04 # Ch2 diff input, fixed 33.3Kohm, 10Vrms, dc-coupled
### Playback Path ###
w a0 28 20 # PASI DIN Ch1 on TDM slot 0
w a0 29 21 # PASI DIN Ch2 on TDM slot 1
w a0 64 20 # Configure OUT1P/M as differential from DAC1
w a0 65 20 # Configure OUT1P LINEOUT 0dB audio band
w a0 66 20 # Configure OUT1M LINEOUT 0dB 2Vrms Differential
w a0 6b 20 # Configure OUT2P/M as differential from DAC2
w a0 6c 20 # Configure OUT2P LINEOUT 0dB audio band
w a0 6d 20 # Configure OUT2M LINEOUT 0dB 2Vrms Differential
#####

w a0 76 ff # Enable Input and Output channels
w a0 78 e0 # Power up ADC, DAC and MICBIAS
```

3.3 测试设置

设备：

- 音频精度 - APX555 和 PSI
- 电源 - 4.5V 至 18V , 3A
- 4 Ω 负载
- 两个万用表

工作台测试设置：

- PVDD = 14.4V
- 4 Ω 负载

CISPR 25，辐射发射测试设置：

- PVDD = 14.4V
- 4 Ω 负载中 10W 输出
- CISPR 25 5 类辐射发射设置

3.4 测试结果

3.4.1 音频性能

THD+N (总谐波失真 + 噪声) 用于衡量正弦波的特异性。1kHz 正弦波由音频精度仪器生成，并通过 I²S 发送到 TAC5312-Q1。然后，音频精度测量 4 Ω 负载上模拟信号的 THD+N。图 3-3 显示了整个负载的 THD+N 与输出功率。

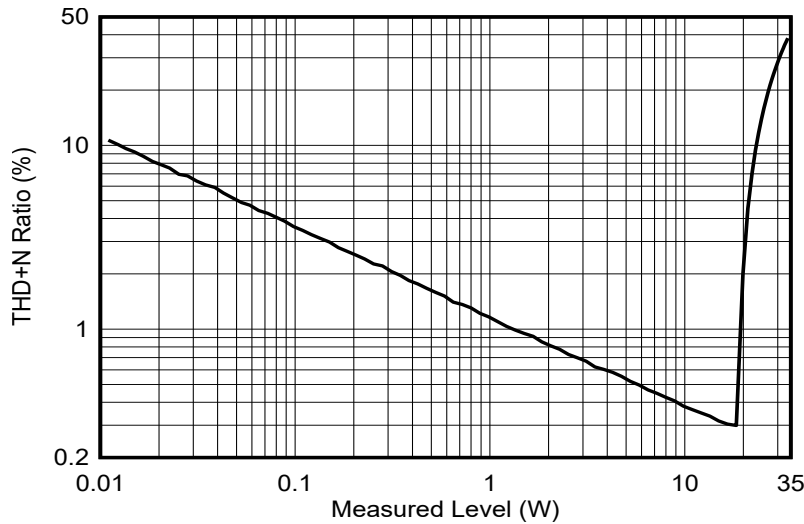
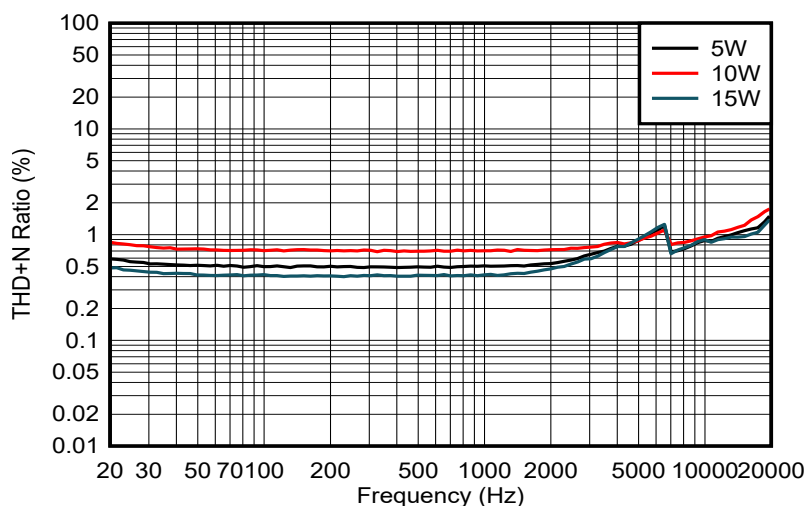


图 3-3. THD+N 与输出功率，负载 4 Ω ，PVDD = 14.4V，1kHz 正弦波

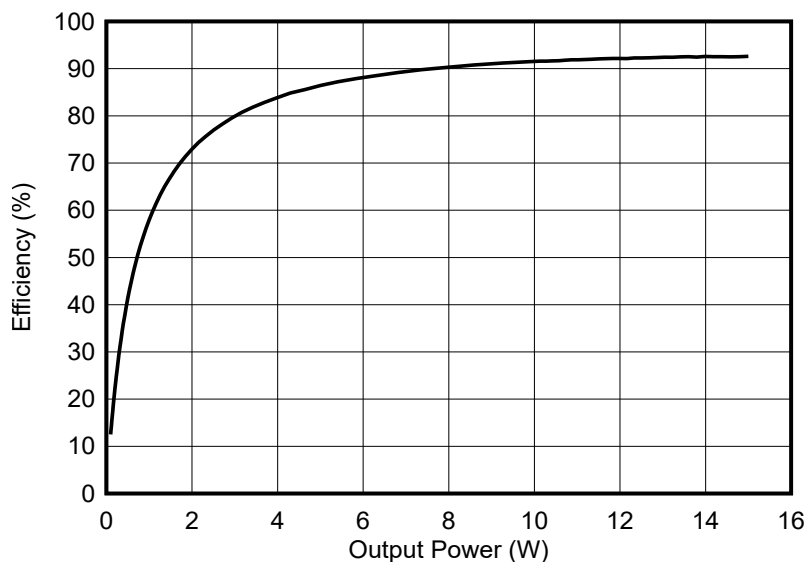
THD+N 也随频率的变化而变化。图 3-4 显示了三种不同功率级别在不同频率下的 THD+N。

图 3-4. THD+N 与频率, 4 Ω 负载, PVDD = 14.4V

扫描	TRACE	颜色	DATA	轴	注释
1	1	黑色	Anlr.TH _D +N 比率	左侧	5W
2	1	红色	Anlr.TH _D +N 比率	左侧	10W
3	1	蓝色	Anlr.TH _D +N 比率	左侧	15W

3.4.2 电源测试

D 类放大器专为在更高输出功率下提高效率而设计。无论输出功率如何, 开关损耗和器件电流消耗都基本相同, 这导致在低输出功率时效率低下, 而随着输出功率增加, 效率也会更高。图 3-5 显示了 TIDA-060048 的效率与输出功率之间的关系。

图 3-5. 效率与输出功率间的关系, 4 Ω 负载, PVDD = 14.4V

在较低的输入电压电平下, 输出信号可能在较高的输出功率下产生削波。这会影响 THD+N。图 3-6 显示了实现 1% 或 10% THD+N 所需的最大输出功率与输入电压间的关系。在超过 10V 的电压下, 当小于 1% THD+N 时, 可实现 8W 输出功率。

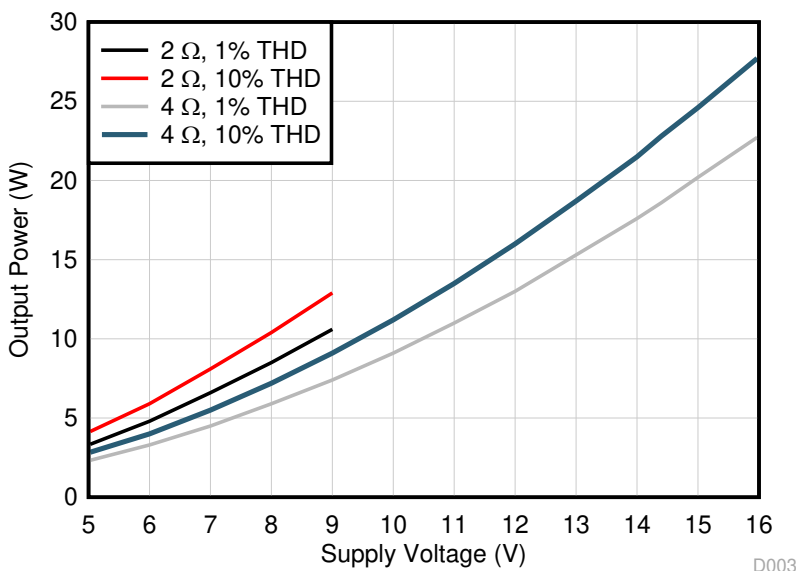


图 3-6. 最大输出功率与输入电压间的关系 (4Ω 负载)

3.4.3 EMI、EMC 测试结果

该设计的构建和测试目标是满足 CISPR 25 5 类标准，即最严格的 CISPR 分类标准的要求。此 CISPR EMI 测试通过第三方设施完成，并遵循国际标准“保护车载接收器免受车辆中传导和辐射发射所产生的干扰”(CISPR 25 Ed. 3.0 b: 2008, pg.7)，这意味着该特定参考设计已接受测试，确保该设计不会干扰车辆中的其他设备。如标准中所述，辐射干扰不会干扰广播和移动服务或频段。对于此特定参考设计，在峰值、准峰值和平均额定值下对广播标准进行了测试。在此测试中，汽车电池或 14.4V 电源与短电缆结合使用，以测试优化后的性能。此外，还使用生成 1W 的电阻负载 4Ω。图 3-7 和 图 3-8 显示了 CISPR 25 5 类测试的设置和结果。



图 3-7. TIDA-060048 的 CISPR 25 5 类测试设置

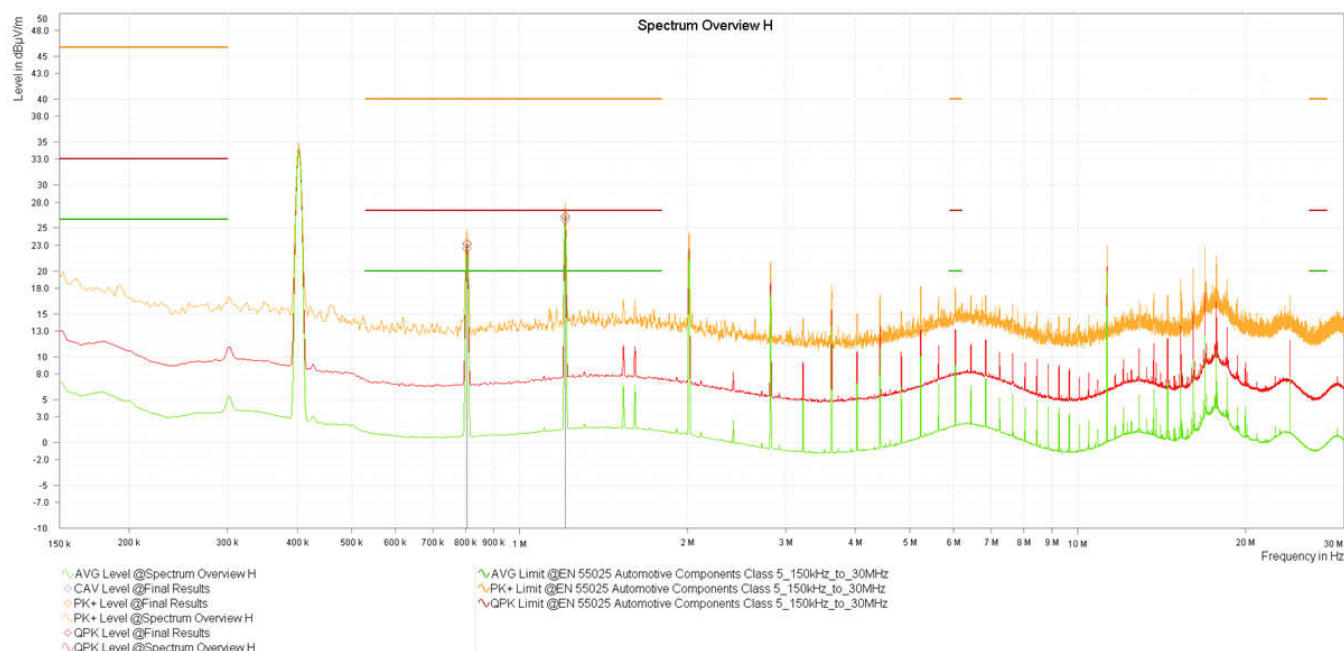


图 3-8. TIDA-060048 的辐射 CISPR 25 5 类测试结果

4 设计和文档支持

4.1 设计文件

4.1.1 原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-060048](#) 中的设计文件。

4.1.2 物料清单

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-060048](#) 中的设计文件。

4.1.3 PCB 布局建议

对于 PCB，需要考虑三个方面：散热、电磁辐射和信号完整性。在围绕 TAS5441-Q1 进行布局设计时，所有这三个注意事项都尤为重要。

TAS5441-Q1 可通过负载提供高达 22W 的驱动功率。虽然 TAS5411-Q1 非常高效，但部分损耗会以热量的形式消散。TAS5411-Q1 底部的散热垫必须通过散热垫正下方直接连接到接地平面。此外，要在顶层放置一个接地平面，请在 TAS5411-Q1 周围留出足够的空间来帮助散热。

D 类放大器输出驱动器的开关波形可能会产生电磁辐射。减小这些开关节点的面积并提供低电感电流路径可减少不必要的发射。具体而言，应缩短从输出到 LC 滤波器的布线，并采用返回接地端的紧凑布线。

在从音频编解码器到 D 类放大器输入的路径中，信号完整性很重要。

这是差分模拟信号。为了保护信号免受不必要噪声的影响，最好缩短音频编解码器的布线，并将布线直接布置在接地平面上方，使得任何数字信号都不会穿过其他层。

4.1.3.1 布局图

要下载板层图，请参阅 [TIDA-060048](#) 中的设计文件。

4.1.4 Altium 工程

要下载 Altium Designer® 工程文件，请参阅 [TIDA-060048](#) 中的设计文件。

4.1.5 Gerber 文件

要下载 Gerber 文件，请参阅 [TIDA-060048](#) 的设计文件。

4.1.6 装配图

要下载装配图，请参阅 [TIDA-060048](#) 中的设计文件。

4.2 文档支持

1. 德州仪器 (TI)，[“LC 滤波器设计”应用报告](#)
2. 德州仪器 (TI)，[“TLV320AIC3104 编程速成”应用报告](#)

4.3 支持资源

[TI E2E™ 中文支持论坛](#) 是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的[使用条款](#)。

4.4 商标

E2E™, PicoStar™, and TI E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

Altium Designer® is a registered trademark of Altium LLC or its affiliated companies.

所有商标均为其各自所有者的财产。

5 作者简介

DAVEON DOUGLAS 是德州仪器 (TI) 的应用工程师，负责提供汽车音频数据转换器方面的支持。Daveon 在德克萨斯州大学城的德克萨斯农工大学 (Texas A&M University) 获得电气工程理学学士学位。

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、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。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司