参考文献

Application Note

TAS278x D 类放大器中用于提高效率的 Y 桥

Nayeem Mahmud

摘要

随着笔记本电脑、平板电脑和智能无线扬声器等电池供电设备不断集成更高级的功能，电源效率已成为一项关键的设计考虑因素。为了应对这一挑战，德州仪器 (TI) 开发了 Y 桥电源架构，这是对传统 D 类音频放大器设计的巨大增强。TI 的最新 TAS2781 和 TAS2783 器件采用了这种高级架构，这些器件是数字输入 D 类智能音频放大器，采用集成式数字信号处理 (DSP) 和扬声器保护算法。本应用手册深入概述了 Y 桥架构，详细说明了它如何智能管理电源选择以优化电压余量，从而提高整体放大器效率并降低电池功耗。本应用手册还探讨了一些实际实现场景，并概述了 Y 桥设计相对于传统 D 类放大器设计的主要优势。

内容

1 简介.....2
2 什么是 Y 桥.....2
3 D 类开关模式和寄存器设置.....4
4 PWR_MODE1 [CDS_MODE = 00].....5
5 PWR_MODE2 [CDS_MODE = 11].....6
6 外部元件要求.....7
7 Y 桥的优点.....8
8 总结.....10
9 参考资料.....11

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

English Document: SLAAEU5
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

1 简介

传统的音频放大器架构依靠单个高压电源轨 (PVDD) 来实现输出级切换和放大，并依靠一个低压电源轨来实现 I/O 和 LDO。但是，在无音频信号的空闲期间，放大器会继续切换，从而导致电源效率不佳。由于开关仅发生在高压电源轨上，因此过大的电压余量会导致空闲效率降至 20% 以下。为了克服这种限制，德州仪器 (TI) 推出了 Y 桥电源架构。这款智能设计使放大器能够根据输出功率需求在两个电源轨之间无缝切换。通过实时优化电源电压，Y 桥架构可显著降低空闲功耗（高达 90%），并在较低输出电平下将效率提高 15% 至 20%，所有这些都不会影响音频性能。此设计结合了 TI 的高级扬声器保护和信号处理算法，使 OEM 能够在下一代便携式音频应用中最大限度地延长电池寿命并提高总体系统性能。

2 什么是 Y 桥

顾名思义，Y 桥电源架构类似于 “Y” 配置，与传统的线性半桥拓扑不同。在传统的半桥 D 类放大器中，输出级仅由单个高压电源轨 (PVDD) 供电，无论输出功率要求如何。这会在低功耗或空闲条件下（无需全部的电压余量）显著降低效率。Y 桥架构通过在输出级中整合高压电源轨 (PVDDH) 和低压电源轨 (PVDDL) 来解决该限制。

在低输出功率水平（包括空闲状态）下，放大器使用较低压电源轨 (PVDDL) 运行，因为所需的余量很小，可以在不存在信号削波风险的情况下满足。这种方法显著提高了较低输出电平下的电源效率。当需要更高的输出功率时，放大器无缝转换到高压电源轨 (PVDDH)，从而在不影响性能的情况下提供必要的余量。在此状态下，该系统的效率与传统 D 类放大器的效率一致。因此，Y 桥架构在低输出电平到中输出电平情况下可提供最显著的效率增益，而在这种情况下，传统放大器的工作效率通常极低。

图 2-1 说明了传统 D 类放大器和采用 Y 桥架构的放大器之间的结构和操作差异。

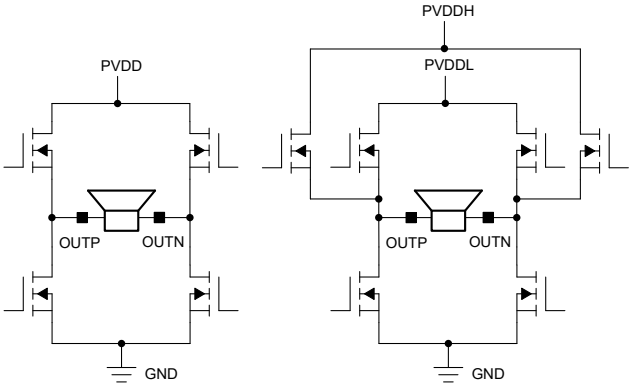

图 2-1. 传统 D 类放大器与简化的 Y 桥架构

德州仪器 (TI) 的最新音频放大器 TAS2781 和 TAS2783 采用 Y 桥架构，可在音频播放期间提高电源效率。图 2-2 展示了 TAS278x 器件的功能方框图。可以通过器件配置来启用或禁用 Y 桥功能，从而根据系统要求提供灵活性。此外，根据所需的性能特性，可以将放大器设置为仅使用低压电源轨 (PVDDL) 或高压电源轨 (PVDDH) 运行。当配置为仅使用 PVDDL 或 PVDDH 时，这一点至关重要，可确保所选的电源电压足以避免输出削波，尤其是在更高输出需求下。有关这些配置和操作含义的详细说明，请参见 节 3。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

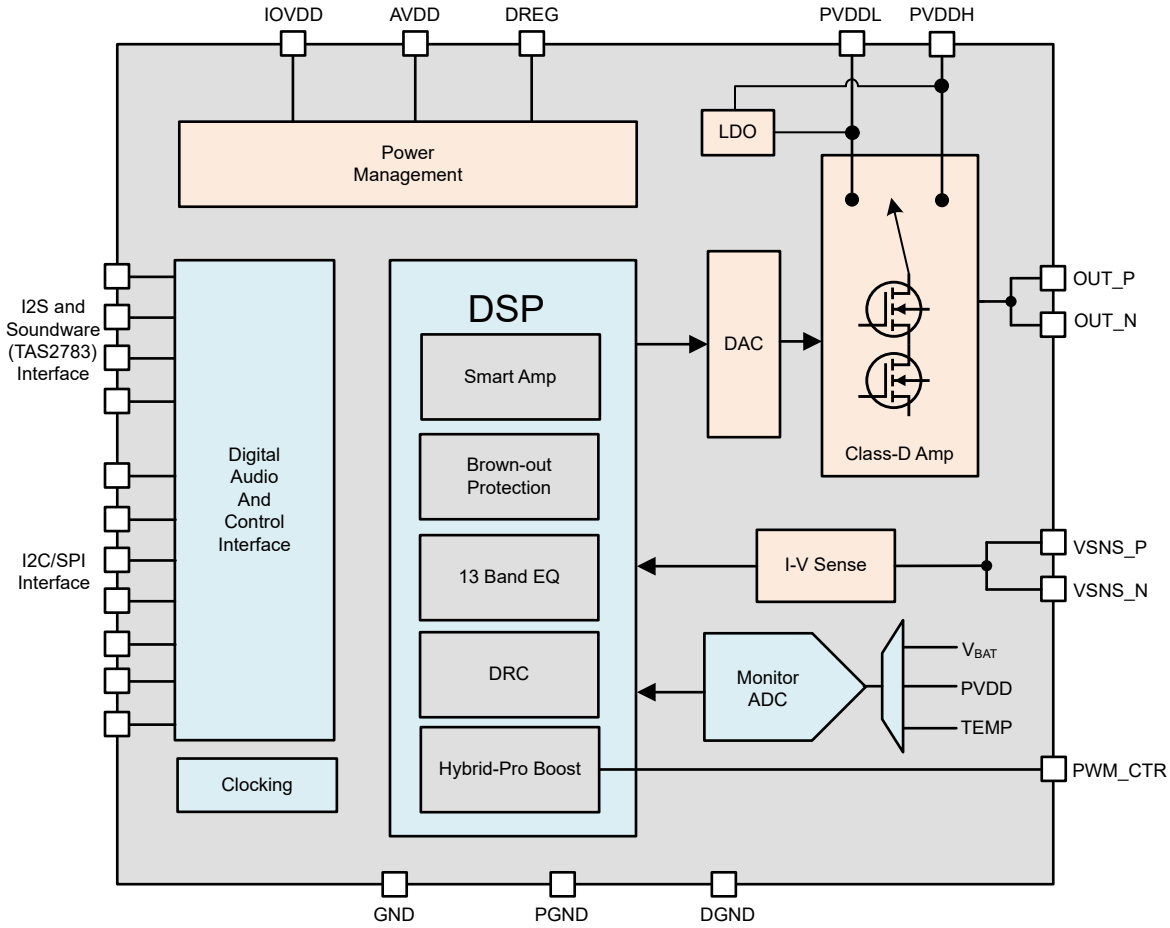

图 2-2. 具有 Y 桥功能的 TAS278x 的功能方框图

English Document: SLAAEU5
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

3 D 类开关模式和寄存器设置

TAS2781 和 TAS2783 器件具有高度可配置性，支持多种电源配置，可满足各种系统要求。这些器件可以通过 Y 桥架构使用 PVDDL 和 PVDDH 电源轨进行动态切换，也可以将这些器件配置为专门使用 PVDDH 或 PVDDL 运行。

表 3-1 总结了可用电源模式和相应用例，使设计人员能够根据应用特定需求选择最有效的配置。

表 3-1. D 类开关电源模式

电源模式	PVDDL_MODE	CDS_MODE	Y 桥	说明
PWR_MODE0	0	10	禁用	**PVDDH** 和 **PVDDL** 均在**外部**向器件提供；但是，只有 **PVDDH** 用于 D 类开关，而 **PVDDL** 为栅极驱动器和内部电路供电。
PWR_MODE1（默认值）	0	00	**启用**	**PVDDH** 和 **PVDDL** 均在**外部**向器件提供，并用于 D 类开关。在此模式下会**启用** Y 桥功能。
PWR_MODE2	1	11	**启用**	只有 **PVDDH** 由外部提供，而 **PVDDL** 由器件**在内部**生成。**PVDDH** 和 **PVDDL** 都用于 D 类开关，并且 Y 桥功能已**启用**。当音频信号电平超过由 LVS_TH_LOW[2:1] 定义的 –71.5dBFS 默认阈值时，D 类输出切换到 **PVDDH**。只有 **PVDDL** 发生空闲通道切换。
PWR_MODE3	0	01	禁用	仅 **PVDDL** 从**外部**向器件提供，并且可以强制器件仅通过 **PVDDL** 电源轨运行以进行 D 类开关。但是，**PVDDH** 电源仍是**必需的**，并且必须满足条件 PVDDH > PVDDL + 0.7V，才能确保器件正常运行，即使 PVDDH 在此模式下未主动用于音频开关也是如此。

表 3-2. 电源模式寄存器设置

地址	字段 [位]	类型	复位	说明
0x04	PVDDL_MODE[7]	RW	21h	PVDDL 电源状态为 0h = 外部供电（默认） 1h = 通过 PVDDH 在内部生成
0x03	CDS_MODE[7:6]	RW	28h	D 类开关模式 0h = PWR_MODE1（默认） 1h = PWR_MODE3 2h = PWR_MODE0 3h = PWR_MODE2

本应用手册专门介绍了 *PWR_MODE1* 和 *PWR_MODE2*，因为这两种配置支持 Y 桥功能，如 表 3-1 所示，并在以下各节中进行了详细讨论。

English Document: SLAAEU5
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

4 PWR_MODE1 [CDS_MODE = 00]

在此配置中，PVDDH 和 PVDDL 电源轨均在外部提供并用于 D 类开关，并且启用了 Y 桥功能。

TAS278x 器件集成了一种机制来监测传入音频流的绝对振幅，从而确定合适的电源轨：PVDDH 或 PVDDL。当音频信号超过可编程低压信号传输 (LVS) 阈值（配置为固定或相对）时，D 类级切换到电压更高的电源轨 (PVDDH) 以防止信号削波。如果信号保持低于该阈值的时间长于由 *LVS_HYS[3:0]* 寄存器位定义的磁滞持续时间，则放大器转换至低压电源轨 (PVDDL) 以省电。当信号再次超过阈值时，电源会切换回 PVDDH。

默认情况下，LVS 阈值设置为与 PVDDL 电压相对 (*LVS_DET = 1*)。使用 *LVS_RTH[3:0]* 寄存器位配置相对阈值电平，默认值为 0.7V。也可以设置 *LVS_DET = 0* 启用由 *LVS_FTH[4:0]* 寄存器位定义的固定 LVS 阈值。LVS 阈值以输出信号电平为参考，以 dBFS 表示。

放大器从 PVDDL 切换到 PVDDH 时的相对阈值电压计算如下：

相对阈值 (Vp) = (PVDDL × D 类效率 – 相对阈值余量)/拐点因子

其中：

- 相对阈值余量由 LVS_RTH 寄存器定义
- D 类的效率通常为 85% (0.85)
- 拐点因子是固定设计参数 1.2

例如，对于 PVDDL = 5V，Y 桥开关的相对阈值 = (5 × 0.85 – 0.7)/1.2 = 2.96Vp

这种智能电源轨切换机制使 Y 桥架构能够保持音频性能，同时显著提高电源效率，尤其是在较低的输出电平下。

表 4-1. PWR_MODE1 寄存器设置

地址	字段 [位]	类型	复位	说明
0x37	LVS_DET[7]	RW	A8h	PWR_MODE1 的 LVS 检测阈值： 0h = 固定 1h = 相对于 PVDDL 电压（默认）
0x37	LVS_FTH[4:0]	RW	A8h	PWR_MODE1 的 LVS 固定阈值： CDS_MODE=0h 00h = -18.5dBFS 01h = -18.25dBFS ……..... 08h = -16.5dBFS（默认） ……..... 1Eh = -11dBFS 1Fh = -10.75dBFS
0x6A	LVS_RTH[3:0]	RW	12h	PWR_MODE1 的 LVS 相对阈值余量： CDS_MODE=0h 0h = 0.5V 1h = 0.6V 2h = 0.7V（默认） …….…….……. Eh = 1.9V Fh = 2V

English Document: SLAAEU5
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 4-1. PWR_MODE1 寄存器设置（续）

地址	字段 [位]	类型	复位	说明
0x36	LVS_HYST[3:0]	RW	ADh	PVDDH 至 PVDDL 磁滞时间（PWR_MODE1 和 PWR_MODE2） 0h - 9h = 保留 Ah = 1ms Bh = 10ms Ch = 20ms Dh = 50ms（默认） Eh = 75ms Fh = 100ms *对于采样率 fs < 48ksps，用上面的值乘以 48/fs
0x14-0x17	CLASSD_EFF[31:0]	RW	6CCCCCCCh	D 类效率设置为 EFF(%) 值 dec2hex [round (EFF*2^31)]

5 PWR_MODE2 [CDS_MODE = 11]

在此配置中，只有 PVDDH 电源轨由外部提供，而 PVDDL 电压由器件在内部产生。PVDDH 和 PVDDL 都用于 D 类开关，并且 Y 桥功能在此模式中启用。

放大器监控音频信号电平，当超过 –71.5dBFS 的固定低压信号传输 (LVS) 阈值时（默认，通过 *LVS_TH_LOW[2:1]* 寄存器位设置），D 类输出从 PVDDL 切换到 PVDDH。在此模式下，只有 PVDDL 电源轨上发生空闲通道切换，而一旦信号超过阈值，主动音频播放就会使用 PVDDH。

表 5-1. PWR_MODE2 寄存器设置

地址	字段 [位]	类型	复位	说明
0x34	LVS_TH_LOW[2:1]	RW	06h	PWR_MODE2 的 LVS 固定阈值： CDS_MODE=3h 0h = - 121.5dBFS 1h = - 101.5dBFS 2h = - 81.5dBFS 3h = - 71.5dBFS（默认）

为了充分利用 PWR_MODE2 中的 Y 桥功能，至关重要的是，PVDDH 电源至少比内部生成的 PVDDL 高 2.5V。例如，如果 PVDDL 在内部设置为 4.8V，则 PVDDH 需要不低于 7.3V。为了满足此要求，需要使用 *PVDDH_UV_TH[5:0]* 寄存器位来配置 PVDDH 的欠压保护阈值。适当设置此阈值可确保保持电压余量，从而实现 Y 桥的无缝运行。

表 5-2. PVDDH 欠压阈值

地址	字段 [位]	类型	复位	说明
0x71	PVDDH_UV_TH[5:0]	RW	02h	PVDDH 欠压阈值 00h = 1.753V 01h = 2.09V 02h = 2.428V（默认） ….….….…. 3Fh = 23V

请注意，如果 PVDDH 降至低于 (PVDDL + 2.5V)，则无论信号电平如何，都可以禁用 Y 桥功能，并且 D 类输出可以保持在 PVDDH 上。

此外，响应音频信号超过 LVS 阈值时从 PVDDL 到 PVDDH（或相反）的转换不是瞬时的。可编程延迟管理此转换，可以使用 *CDS_DLY[1:0]* 寄存器位配置此延迟。利用该延迟设置可以微调开关行为，以在响应能力和音频性能之间达到平衡。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 5-3. D 类开关延迟

地址	字段 [位]	类型	复位	说明
0x6A	CDS_DLY[7:6]	RW	12h	Y 桥开关相对于输入信号的延迟 (1/fs)。

6 外部元件要求

在实现 Y 桥功能时，尤其是在去耦要求方面，设计人员必须密切注意推荐的外部元件。所有电源模式都必须在 PVDDL 电源轨上使用 100nF 去耦电容器，以确保稳定运行。

除了 100nF 电容器 (C2)，特定电源模式还需要进一步去耦：

- 对于 PWR_MODE0、PWR_MODE1 和 PWR_MODE3，PVDDL 上需要一个额外的 10μF 电容器 (C1)。
- 对于 PWR_MODE2，由于 PVDDL 会在内部生成，因此建议使用一个额外的 1μF 电容器 (C1)。

这些元件要求在 表 6-1 中做了总结，对于实现适当的电源稳定性和设计的 Y 桥性能至关重要。

表 6-1. 推荐的外部元件

元件	说明	规格	最小值	典型值	最大值	单位
C1	PVDDL 去耦电容器 — PVDDL 外部提供 (PWR_MODE0/1/3)	电容，容差为 20%		10		μF
		额定电压		10		V
	PVDDL 去耦电容器 — PVDDL 内部生成 (PWR_MODE2)	电容，容差为 20%		1		μF
		额定电压		10		V
C2	PVDDL 去耦电容器	电容，容差为 20%		0.1		μF
		额定电压		10		V
C3	PVDDH 去耦电容器	电容，容差为 20%		10		μF
		额定电压		25		V
C4	PVDDH 去耦电容器	电容，容差为 20%		0.1		μF
		额定电压		25		V

图 6-1 显示了适用于 PWR_MODE0/1/3 的多节电池系统的 TAS2783 典型应用电路，其中 PVDDL 引脚上增加了一个 10uF 的去耦电容器 (C1)。

English Document: SLAAEU5
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

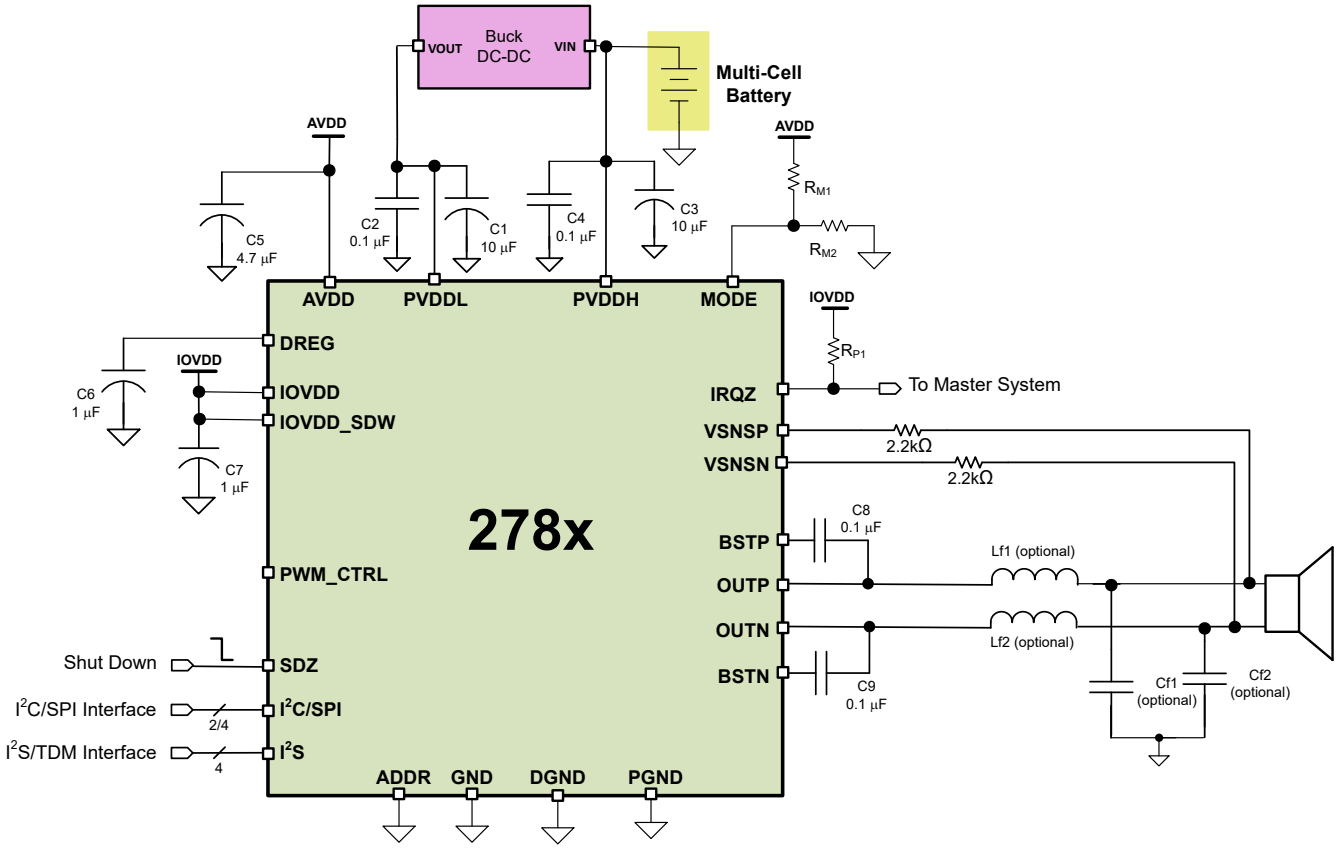

图 6-1. 典型应用电路 — 多节电池电源

7 Y 桥的优点

Y 桥架构在需要高压功率级电源的系统中优势尤其明显，例如通过 2S 至 4S（2 节 至 4 节）电池配置（通常范围为 7V 至 14V）供电的系统。在 TAS2781 和 TAS2783 中，此高压输入通过 PVDDH 引脚提供，该引脚支持的电压范围是 4V 至 24V。PVDDH 可以直接来自多节电池或单节 (1S) 电池系统中的升压转换器的输出。低电压电源轨 PVDDL（2.7V 至 5.5V）通常直接源自 1S 电池或 2S-4S 配置中的降压转换器。

如 图 7-1 所示，与仅使用固定高压电源运行的传统 D 类放大器相比，使用 Y 桥架构可以显著提高低输出电平下的效率。

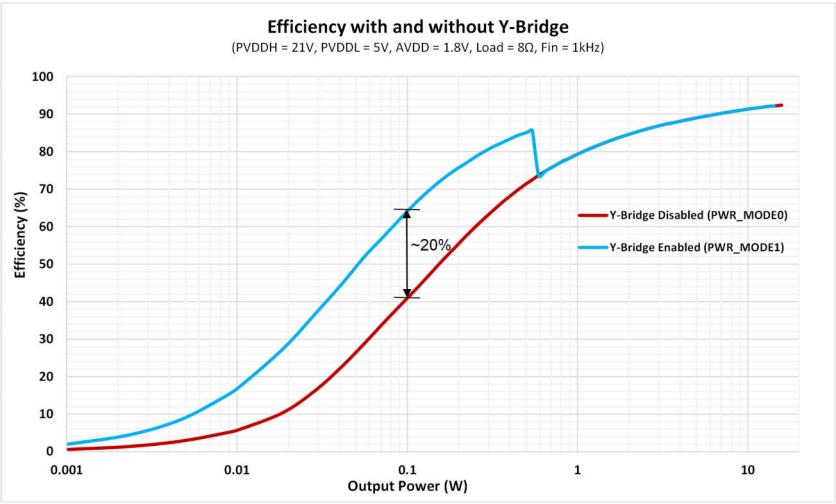

图 7-1. 使用 Y 桥和不使用 Y 桥的情况下测得的效率

English Document: SLAAEU5
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

图 7-2 显示，与不启用 Y 桥功能相比，启用 Y 桥功能可以最多将功耗降低 75%。省电程度因应用和音频内容而异。例如，与音乐等连续的高能内容相比，具有间歇性静音或低信号电平的曲目往往能实现更高的效率增益。

这种功耗降低可以在无需额外软件控制或系统级更改的情况下，将电池总寿命最多延长 20%。Y 桥功能根据信号条件自动运行，提供了一种简单而有效的方法来延长便携式音频设备的电池寿命。

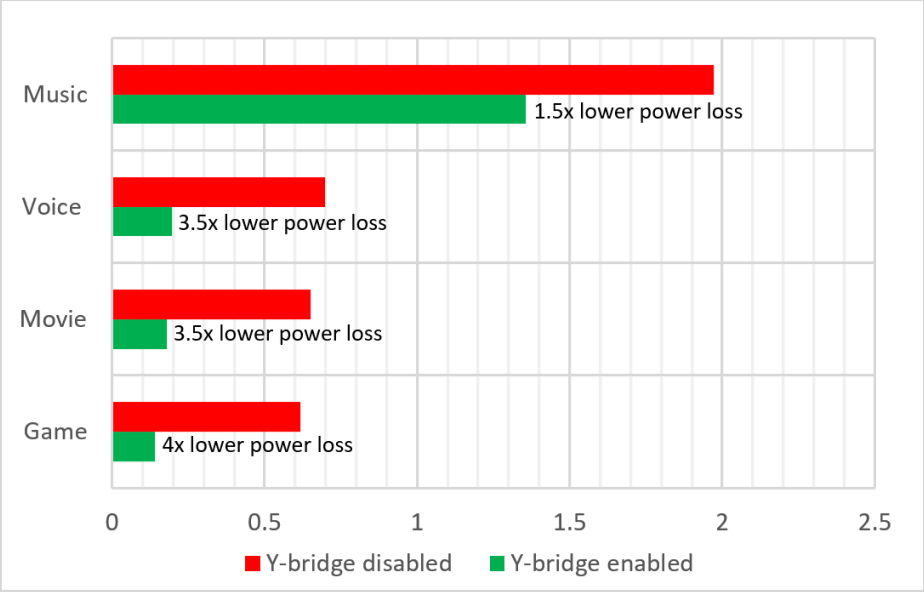

图 7-2. 连接到笔记本电脑扬声器的 EVM 中测得的功耗（单位：W）

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

8 总结

对于需要高效率和延长电池寿命的音频设计，具有 Y 桥架构的放大器的设计非常具有吸引力。德州仪器 (TI) 的最新音频放大器将这种架构与先进的音频处理算法集成在一起，可提供高功效和高性能音质。实施 Y 桥技术可以降低交流供电系统的功耗，并显著延长电池供电设备的播放时间。

要详细了解 TI 支持 Y 桥的音频放大器产品系列，请访问 TI.com。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

9 参考资料

- 德州仪器 (TI)，*TAS2781：25W、4.5V 至 23V、数字输入集成音频处理扬声器保护 D 类放大器*
- 德州仪器 (TI)、*TAS2x20、TAS257x 中使用 Y 桥提高效率*应用手册
- 德州仪器 (TI)，*音频放大器：放大您的音频系统*

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

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出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