



Andy Liu

摘要

TAS5825M D 类音频功率放大器是 TI 全新推出的数字输入放大器，采用了先进的 PWM 开关技术，可在不降低音频性能的情况下减少电磁干扰 (EMI)。本应用手册介绍了相关系统设计和印刷电路板 (PCB) 指南，旨在最大限度地发挥出该器件所采用技术的优势。这些技术包括 EMI 抑制技术，无需昂贵的电感滤波器，并减少外部元件数量。

内容

1 总体概述.....	2
2 先进的发射抑制技术.....	3
3 实现 EMC 的印刷电路板设计.....	5
4 TAS5825M EMI 测试结果.....	6
5 修订历史记录.....	10

插图清单

图 2-1. D 类音频放大器.....	3
图 2-2. 固定频率模式调制.....	3
图 2-3. 扩频模式调制.....	4
图 4-1. 辐射发射 - 水平预扫描 - BC 滤波器.....	6
图 4-2. 辐射发射 - 垂直预扫描 - BC 滤波器.....	6
图 4-3. 辐射发射 - 水平预扫描 - LC 滤波器.....	7
图 4-4. 辐射发射 - 垂直预扫描 - LC 滤波器.....	7
图 4-5. 传导发射 - 行预扫描 - BC 滤波器.....	8
图 4-6. 传导发射 - 中性预扫描 - BC 滤波器.....	9
图 4-7. 传导发射 - 行预扫描 - LC 滤波器.....	9
图 4-8. 传导发射 - 中性预扫描 - LC 滤波器.....	10

表格清单

表 4-1. 辐射发射裕度 - 水平 - BC 滤波器.....	6
表 4-2. 辐射发射裕度 - 垂直 - BC 滤波器.....	6
表 4-3. 辐射发射裕度 - 水平 - LC 滤波器.....	7
表 4-4. 辐射发射裕度 - 垂直 - LC 滤波器.....	7
表 4-5. 传导发射裕度 - 行 - BC 滤波器.....	8
表 4-6. 传导发射裕度 - 中性 - BC 滤波器.....	9
表 4-7. 传导发射裕度 - 行 - LC 滤波器.....	9
表 4-8. 传导发射裕度 - 中性 - LC 滤波器.....	10

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 总体概述

鉴于消费者对于绿色技术和外观时尚的电子产品（如平板电视）的青睐，制造商需要在不牺牲性能的情况下生产出具有吸引力的空间节省型产品。由于具有高效率，TAS5825M D 类音频功率放大器仅使用 PCB 作为散热器即可提供 AB 类音频性能。此外，TAS5825M 器件采用先进的 PWM 调制和开关方案，有助于降低 EMI，同时无需使用传统 D 类输出滤波器。PWM 滤波只需要体积更小、成本更低的射频滤波器元件。没有外部散热器和更少的射频滤波需求，这有助于直接减小 PCB 尺寸。

以下几个部分的内容将介绍 PCB 布局实践和外部元件选型，从而实现出色的音频性能并符合电磁兼容性 (EMC) 规范 EN55022。

- 节 2 介绍了用于对抗 EMI 的先进发射抑制技术。
- 节 3 讨论了旨在改善音频质量和 EMC 的 PCB 设计指南。
- 节 4 显示了 EMC 结果。

2 先进的发射抑制技术

2.1 展频调制

EMI 是由具有快速变化信号（此类信号在 D 类音频功率放大器的输出中很常见）的电气系统发出的电磁辐射。EMI 涉及两个方面：发射和易感性。发射是指设备产生不良的电磁能量。相比而言，易感性是指设备受电磁干扰影响的程度。实现 EMC 的方法是解决发射问题和易感性问题。TAS5825M 器件具有先进的发射抑制技术，使得该器件无需 LC 滤波器即可运行，支持长达一米的扬声器线，并且仍符合 EMI 监管标准，例如 EN55022、CISPR 22 或 FCC 第 15 部分 B 类。

TAS5825M 器件采用先进的展频调制模式以及低 EMI 发射，可降低整体系统成本。这种降低系统成本的实现方法是将大型昂贵的 LC 输出滤波器替换为小型低成本的铁氧体磁珠滤波器。展频调制方案通过使来自扬声器电缆的宽带频谱分量变平而表现出更低的 EMI，并且仍然保留了传统 D 类放大器的高效率特性。

图 2-1 显示了传统（非展频）BD 调制 D 类放大器的拓扑结构。BD 开关技术在输入级使用一个在内部生成并具有固定频率的三角波以及一个互补信号对。输出 PWM 会改变占空比以生成对应于输入模拟信号的信号变动平均值。PWM 开关拓扑的优点是效率高，可实现功耗低和发热小的设计。

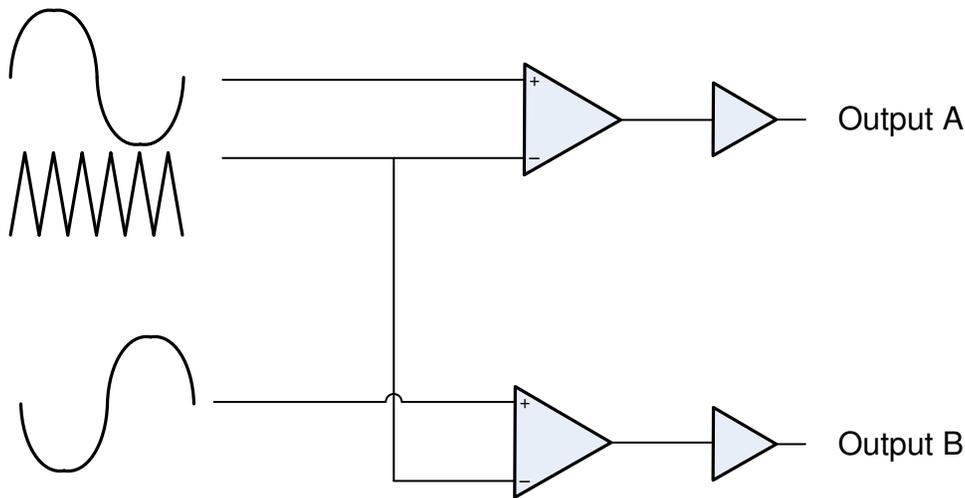


图 2-1. D 类音频放大器

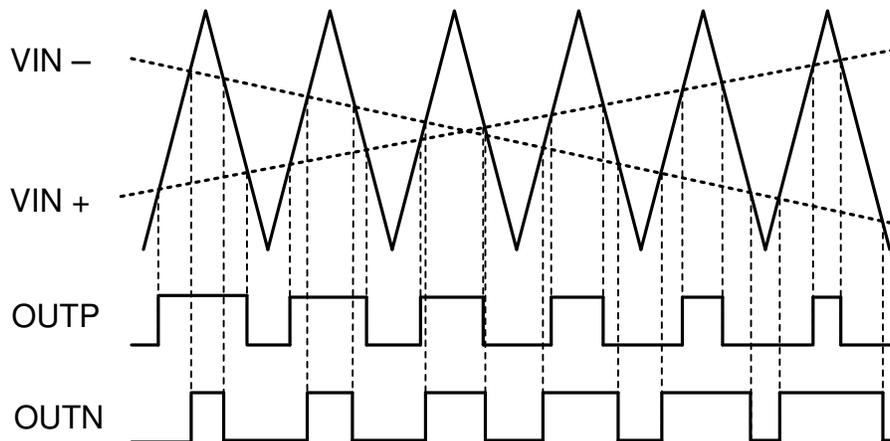


图 2-2. 固定频率模式调制

TAS5825M 器件具有两种调制模式：固定频率调制模式 (FFM) 和展频调制 (SSM) 模式。在传统的 FFM 模式（图 2-1）下，三角波的频率是固定的，如图 2-2 所示。在 SSM 模式下，三角波频率下的频率随配置的开关频率下的中心频率逐周期变化。SSM 模式通过在更大的带宽上分散能量并减少宽带频谱含量来改善扬声器线发出的 EMI 发射。另一方面，FFM 在数倍于 PWM 开关频率的频率下产生大量的频谱能量。开关频率的逐周期变化不会影响音频放大器的效率。图 2-3 所示为频率变化对三角波的影响。

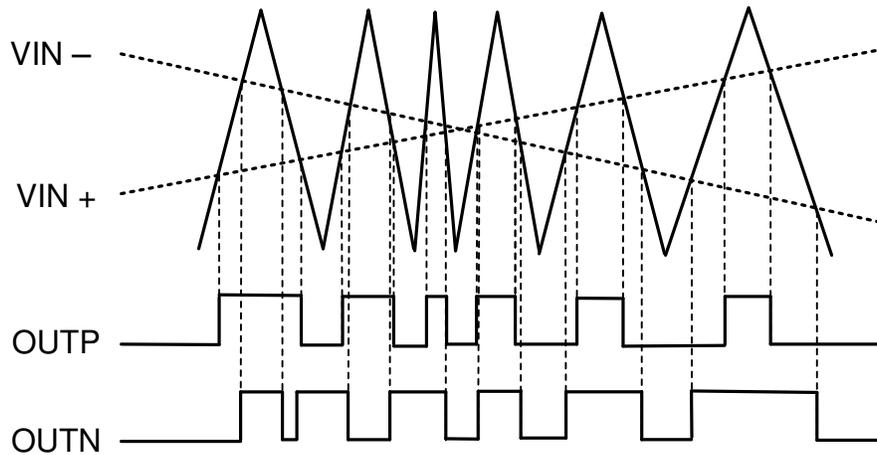
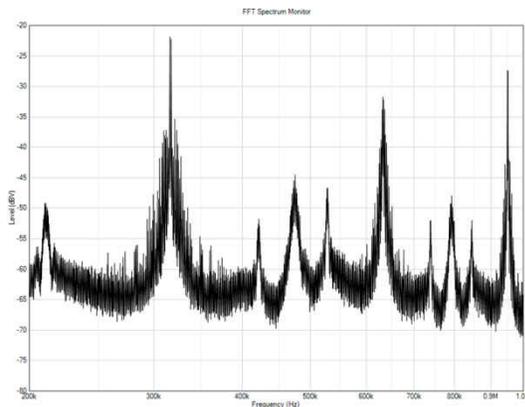
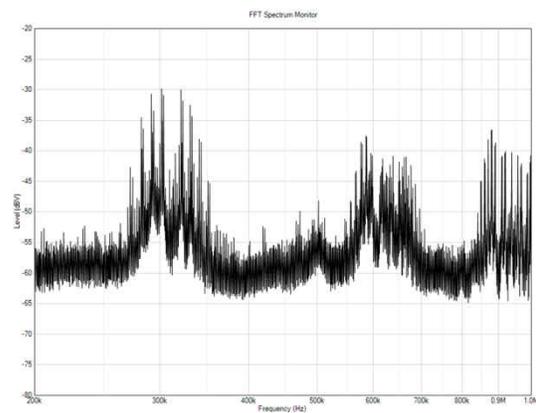


图 2-3. 扩频模式调制

与传统的 FFM D 类放大器相比，展频方案降低了开关频率的峰值能量并减少了谐波。FFM 调制显示了 FFM 和 SSM 调制的比较情况。



FFM 调制



SSM 调制

2.2 去相和多器件相位同步

除了展频技术之外，TAS5825M 器件还采用了去相电路，可在不降低音频性能的情况下进一步减少电磁发射。

去相电路通过交错两个音频通道之间的切换时序来改善 EMI 和噪声性能。这种经改善的 EMI 和噪声性能可降低 PVDD 线路上的传导发射，原因是两个音频通道的输出纹波电流将出现异相，而来自 PVDD 线路的纹波峰值电流将因此减少到一半。

此外，TAS5825M 支持多通道之间的 45° 相移，从而可降低多器件系统中的 EMI。请参阅 [TAS5825M](#) 数据表中提供的更多详细信息。

3 实现 EMC 的印刷电路板设计

3.1 印刷电路板布局布线

为了成功解决 EMC 问题，有必要遵循推荐的 PCB 指南。妥善的 PCB 布局规划、组件选择、组件放置以及布线对于对抗 EMI 都是必不可少的因素。不正确的布局、元件和输出布线长度会导致天线效应，从而使发射程度加剧。实现 EMC 的实用 PCB 设计指南包括：

- 为减少布线的寄生电感，将高频去耦电容器尽可能靠近器件的电源引脚和接地引脚放置。为确保在宽频率范围内具有低交流阻抗以降低噪声，请使用优质、低 ESR、1nF 的陶瓷电容器。对于 PWM 瞬变引起的中频噪声，请尽可能靠近 PVDD 引线再放置一个优质 0.1 μ F 陶瓷电容器。
- 尽可能使用连续的接地平面，并避免接地平面上出现失调电压。
- 返回到源的路径具有低阻抗（返回信号）。
- 电源平面应远离 PCB 的边缘。
- 对 PCB 连接器进行正确滤波。
- 将 EMC 缓冲器和铁氧体磁珠滤波器尽可能靠近 IC 放置。尽可能减少未滤波的环路和布线长度以及杂散电感。
- 保持放大器输出端到扬声器的布线尽可能短。PCB 布线和扬声器导线是最大的发射源。

3.2 铁氧体磁珠滤波器

采用低成本铁氧体磁珠滤波器来抑制 EMI。将它们靠近放大器输出端放置，旨在在尽可能减少环路天线。在低频时，铁氧体磁珠充当没有直流压降的 0 Ω 电阻。不过，在高于 1MHz 的频率下，铁氧体磁珠的阻抗会显著增加，可抑制辐射。铁氧体磁珠对系统的 THD+N 也起着重要作用。经测试并与 TAS5825M 器件配合良好的铁氧体磁珠示例包括 Murata（村田）的 NFZ2MSM 系列。

铁氧体磁珠的权衡因素是其阻抗和额定电流。如果额定电流能够满足系统要求，更大的阻抗意味着更大的 EMI 裕度，特别是针对 5MHz 至 50MHz 的频率范围。典型值为 300 Ω @100MHz，在大多数应用中可满足 EMI 要求。

电容器的权衡因素是其电容和空闲电流。较大的电容将带来较大的空闲电流。在 5MHz 至 100MHz 范围内使用 2.2nF 而非 1nF 电容器会很有帮助。

3.3 电源线和扬声器线

进行传导发射测试时，务必使交流电源线远离扬声器电缆。这样可防止杂散信号耦合到电源和其他潜在的意外辐射体或导体。

使用铁氧体磁珠滤波器时，需要借助带有 EMI 滤波器的交流/直流适配器来满足传导 EMI 的要求。大多数需要 110V/220V 交流电源的应用（例如电视、语音控制音箱、无线扬声器和条形音箱）通常已经在交流/直流适配器中包含了一个 EMI 滤波器。有些应用使用直流电源。它们需要在 PVDD 电源上搭载一个简单的 EMI 滤波器。请参阅此应用手册：《AN-2162 轻松解决直流/直流转换器的传导 EMI 问题》(SNVA489C)。

3.4 TAS5825M 器件配置

如果选择铁氧体磁珠滤波器作为输出滤波器，我们建议选择 BD 调制，将开关频率设置为 384kHz，并启用展频。请参阅 TAS5825M 数据表以了解推荐的展频配置。

4 TAS5825M EMI 测试结果

以下几个部分显示了经过认证的第三方供应商提供的 EMI 测试结果。下面的辐射和传导 EMI 图是采用 TAS58x5M EMI 测试板绘制的；该测试板是一块 2 层板，专为 EMI 测试而设计。此外，在传导发射测试中，使用了 12V 电视电源为电路板供电。

4.1 EN55022 辐射发射结果

TAS58x5M EMI 测试板，铁氧体磁珠滤波器，BD 调制，PVDD = 12V，8Ω + 56uH 负载，105cm 扬声器电缆，启用展频，Fsw = 384kHz，Po = 4W/通道。

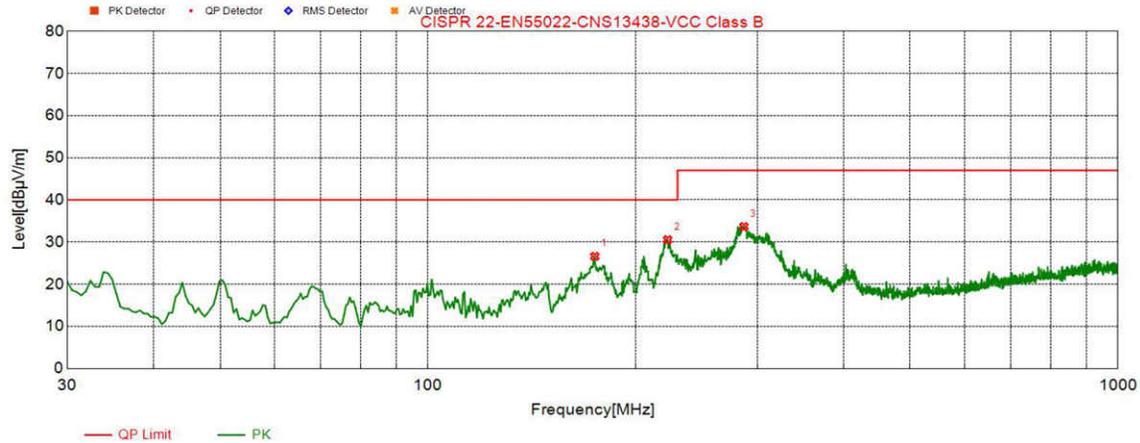


图 4-1. 辐射发射 - 水平预扫描 - BC 滤波器

表 4-1. 辐射发射裕度 - 水平 - BC 滤波器

编号	频率 [MHz]	读数 [dBµV/m]	因数 [dB]	限制 [dBµV/m]	裕度 [dB]	高度 [cm]	水平 [dBµV/m]	角度 [°]
1	174.530	41.71	-15.10	40.00	13.39	200	26.61	259
2	222.545	47.31	-16.76	40.00	9.45	100	30.55	243
3	287.050	48.19	-14.52	47.00	13.33	100	33.67	313

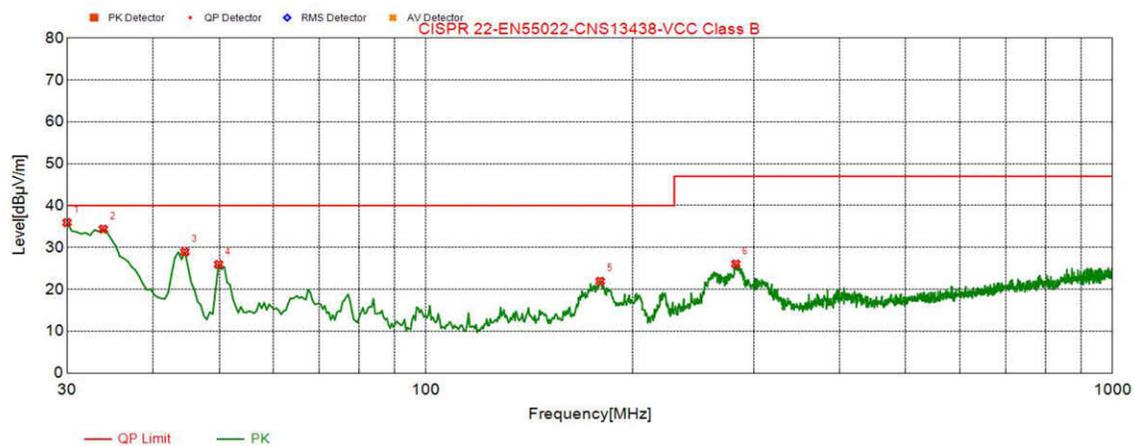


图 4-2. 辐射发射 - 垂直预扫描 - BC 滤波器

表 4-2. 辐射发射裕度 - 垂直 - BC 滤波器

编号	频率 [MHz]	读数 [dBµV/m]	因数 [dB]	限制 [dBµV/m]	裕度 [dB]	高度 [cm]	水平 [dBµV/m]	角度 [°]
1	30.000	51.99	-16.04	40.00	4.05	100	35.95	252
2	33.880	50.44	-16.05	40.00	5.61	100	34.39	61
3	44.550	44.66	-15.73	40.00	11.07	100	28.93	20

表 4-2. 辐射发射裕度 - 垂直 - BC 滤波器 (continued)

编号	频率 [MHz]	读数 [dB μ V/m]	因数 [dB]	限制 [dB μ V/m]	裕度 [dB]	高度 [cm]	水平 [dB μ V/m]	角度 [°]
4	49.885	41.32	-15.36	40.00	14.04	100	25.96	233
5	179.380	37.47	-15.52	40.00	18.05	100	21.95	142
6	282.685	40.74	-14.68	47.00	20.94	200	26.06	356

TAS58x5M EMI 测试板，电感滤波器，BD 调制，PVDD = 12V，8 Ω + 56 μ H 负载，105cm 扬声器电缆，禁用展频，Fsw = 768kHz，Po = 4W/通道。

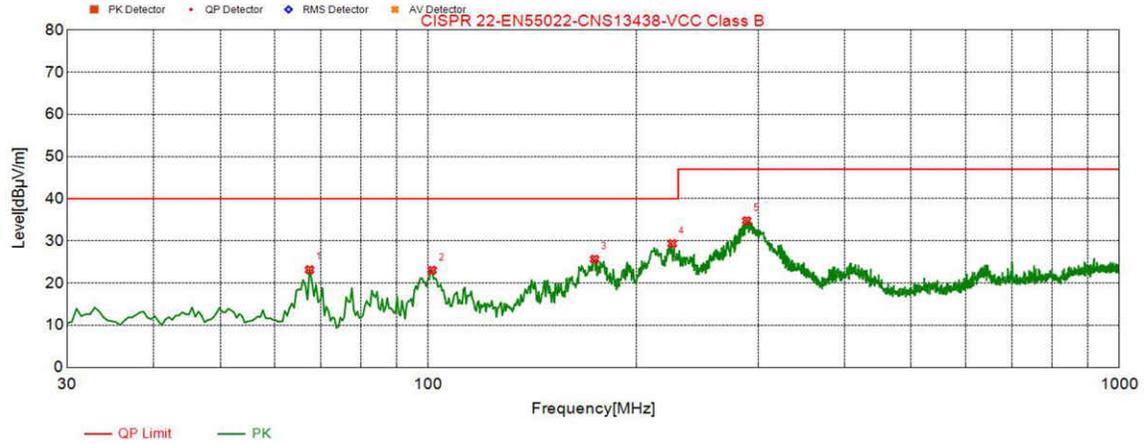


图 4-3. 辐射发射 - 水平预扫描 - LC 滤波器

表 4-3. 辐射发射裕度 - 水平 - LC 滤波器

编号	频率 [MHz]	读数 [dB μ V/m]	因数 [dB]	限制 [dB μ V/m]	裕度 [dB]	高度 [cm]	水平 [dB μ V/m]	角度 [°]
1	67.345	39.94	-16.77	40.00	16.83	200	23.17	352
2	101.295	41.42	-18.36	40.00	16.94	200	23.06	247
3	174.045	40.71	-15.06	40.00	14.35	200	25.65	45
4	225.455	46.07	-16.70	40.00	10.63	100	29.37	254
5	288.990	49.26	-14.46	47.00	12.20	100	34.8	223

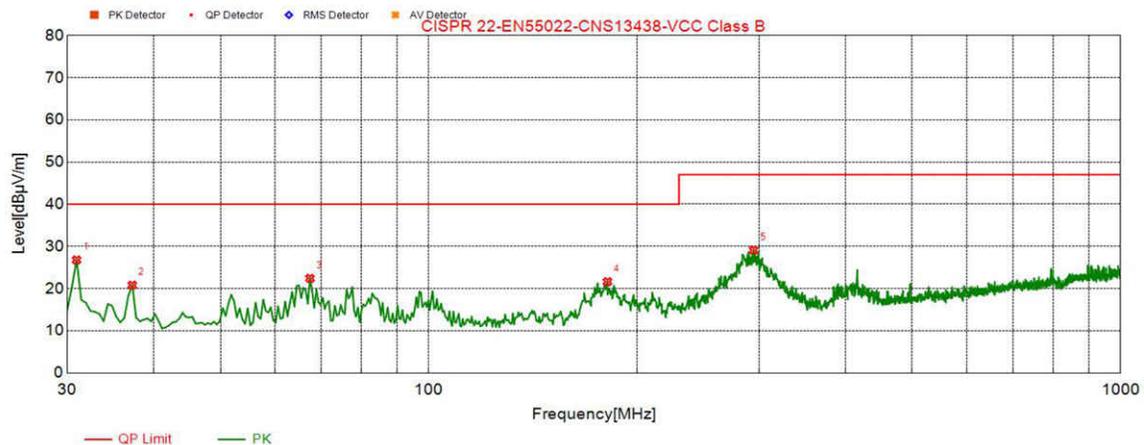


图 4-4. 辐射发射 - 垂直预扫描 - LC 滤波器

表 4-4. 辐射发射裕度 - 垂直 - LC 滤波器

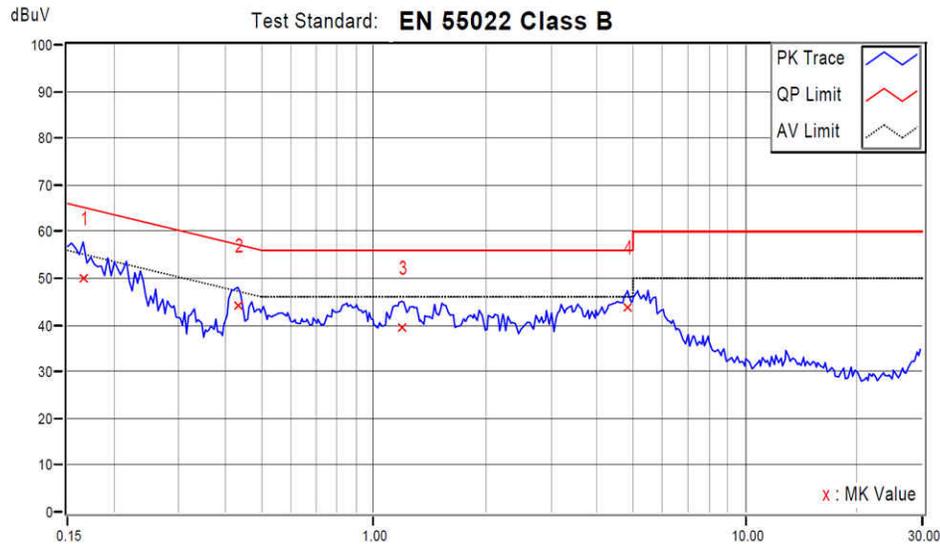
编号	频率 [MHz]	读数 [dB μ V/m]	因数 [dB]	限制 [dB μ V/m]	裕度 [dB]	高度 [cm]	水平 [dB μ V/m]	角度 [°]
1	30.970	42.84	-16.05	40.00	13.21	100	26.79	278

表 4-4. 辐射发射裕度 - 垂直 - LC 滤波器 (continued)

编号	频率 [MHz]	读数 [dB μ V/m]	因数 [dB]	限制 [dB μ V/m]	裕度 [dB]	高度 [cm]	水平 [dB μ V/m]	角度 [°]
2	37.275	36.85	-16.04	40.00	19.19	100	20.81	281
3	67.345	39.20	-16.77	40.00	17.57	200	22.43	204
4	181.320	37.34	-15.70	40.00	18.36	100	21.64	148
5	294.810	43.37	-14.25	47.00	17.88	100	29.12	278

4.2 EN55022 传导发射结果

TAS58x5M EMI 测试板，铁氧体磁珠滤波器，BD 调制，PVDD = 12V，8 Ω + 56 μ H 负载，启用展频，Fsw = 384kHz，Po = 4W/通道。


图 4-5. 传导发射 - 行预扫描 - BC 滤波器
表 4-5. 传导发射裕度 - 行 - BC 滤波器

编号	频率 [MHz]	校正因数 [dB]	QP 限制 [dB μ V]	AV 限制 [dB μ V]	AV 读数 [dB]	AV 裕度 [dB]	QP 读数 [dB μ V]	QP 裕度 [dB]
1	0.16564	9.60	65.18	55.18	23.85	-21.73	40.34	-15.24
2	0.43152	9.60	57.22	47.22	27.66	-9.96	34.40	-13.22
3	1.19550	9.60	56.00	46.00	22.95	-13.45	29.89	-16.51
+4	4.82398	9.63	56.00	46.00	27.57	-8.80	34.06	-12.31

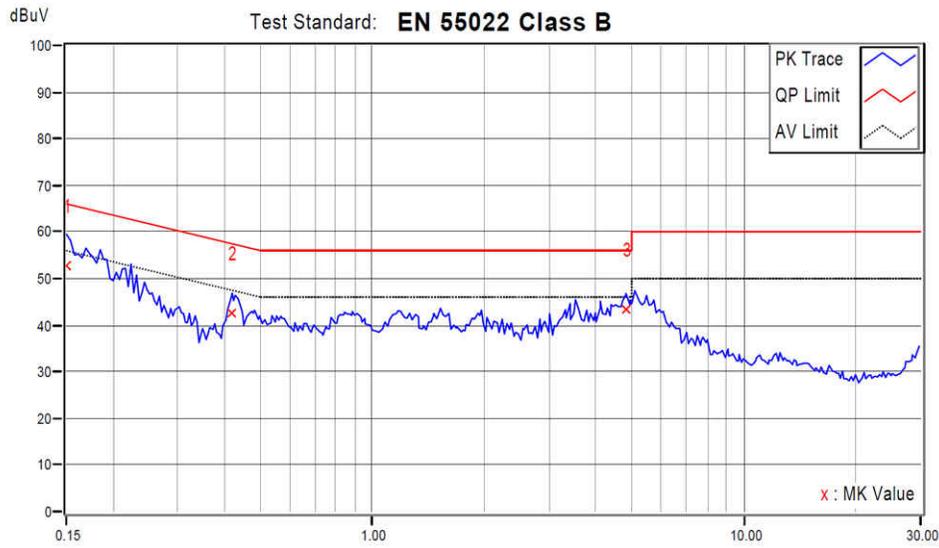


图 4-6. 传导发射 - 中性预扫描 - BC 滤波器

表 4-6. 传导发射裕度 - 中性 - BC 滤波器

编号	频率 [MHz]	校正因数 [dB]	QP 限制 [dB μ V]	AV 限制 [dB μ V]	AV 读数 [dB]	AV 裕度 [dB]	QP 读数 [dB μ V]	QP 裕度 [dB]
1	0.15000	9.60	66.00	56.00	23.32	-23.08	42.96	-13.44
2	0.41979	9.60	57.45	47.45	25.92	-11.93	32.88	-14.97
+3	4.82398	9.63	56.00	46.00	26.94	-9.43	33.55	-12.82

TAS58x5M EMI 测试板，电感滤波器，PVDD = 12V，BD 调制，8 Ω + 56 μ H 负载，禁用展频，Fsw = 768kHz，Po = 4W/通道。

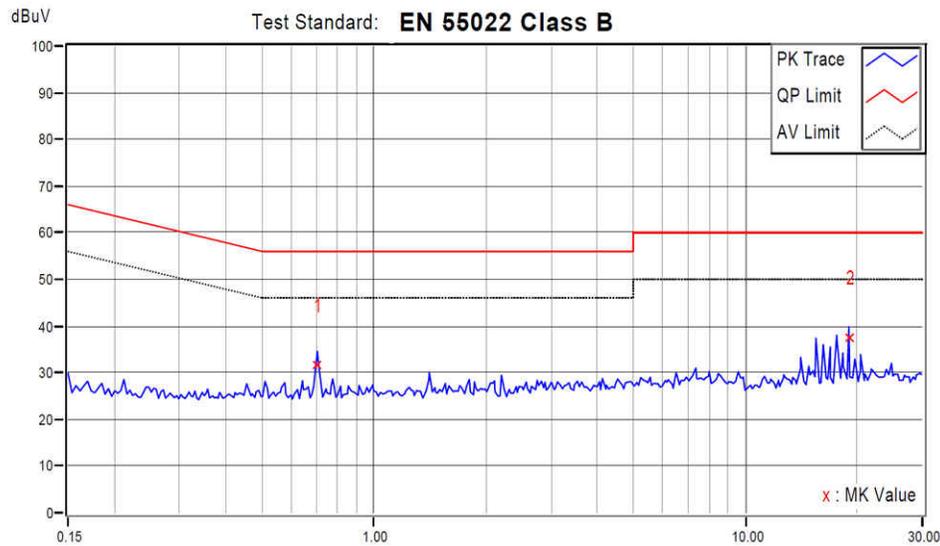


图 4-7. 传导发射 - 行预扫描 - LC 滤波器

表 4-7. 传导发射裕度 - 行 - LC 滤波器

编号	频率 [MHz]	校正因数 [dB]	QP 限制 [dB μ V]	AV 限制 [dB μ V]	AV 读数 [dB]	AV 裕度 [dB]	QP 读数 [dB μ V]	QP 裕度 [dB]
+1	0.70522	10.40	56.00	46.00	19.28	-16.32	21.29	-24.31
2	19.02819	10.80	60.00	50.00	19.77	-19.43	26.74	-22.46

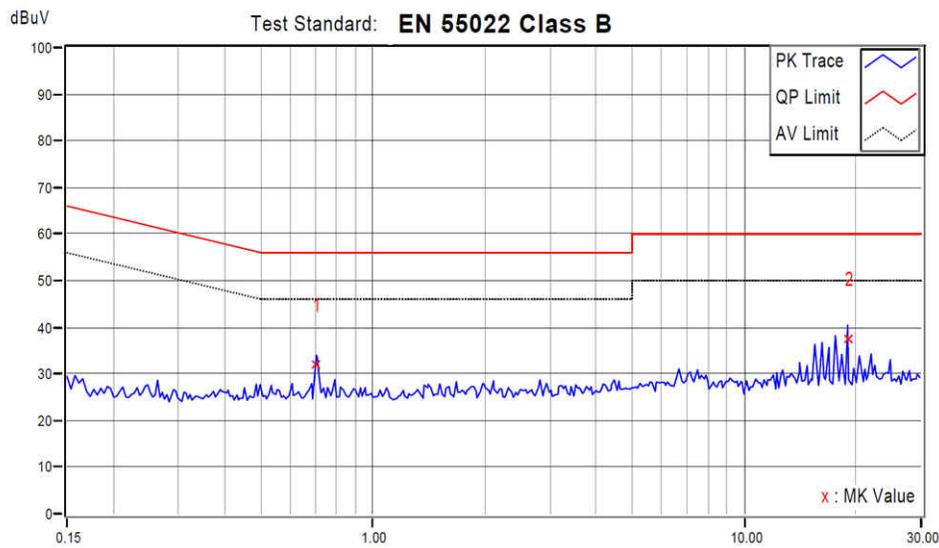


图 4-8. 传导发射 - 中性预扫描 - LC 滤波器

表 4-8. 传导发射裕度 - 中性 - LC 滤波器

编号	频率 [MHz]	校正因数 [dB]	QP 限制 [dBμV]	AV 限制 [dBμV]	AV 读数 [dB]	AV 裕度 [dB]	QP 读数 [dBμV]	QP 裕度 [dB]
+1	0.70522	10.40	56.00	46.00	19.68	-15.92	21.69	-23.91
2	19.03210	10.90	60.00	50.00	19.44	-19.66	26.42	-22.68

4.3 结论

TAS5825M 器件采用了经过验证的先进射频发射抑制技术，有助于设计出符合 EMI 标准的音频系统，而不会影响成本和性能。遵循本报告中讨论的指南，即可满足 EMI 要求并避免代价高昂的 PCB 返工。

请注意，我们通常推荐使用电感滤波器，便于客户能够充分利用 TAS5825M 的特性和功能。

有关该主题的更多问题和讨论，请访问 TI E2E 论坛 (<http://e2e.ti.com/>)。

5 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

Changes from Revision * (July 2018) to Revision A (July 2021)

Page

- 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式。..... 2

重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com](https://www.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。

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

Copyright © 2021, 德州仪器 (TI) 公司

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