



说明

TPSF12C1EVM-FILTER 评估模块 (EVM) 专门设计用于验证 TPSF12C1 电源滤波器 IC 的性能。有源 EMI 滤波器 (AEF) 通过放大有效的 Y 电容值, 帮助改善单相交流电源系统中的共模 (CM) 电磁干扰 (EMI) 特征。

开始使用

1. 订购 [TPSF12C1EVM-FILTER EVM](#)
2. 阅读此 EVM 用户指南和 [PCB 布局文件](#)
3. 使用 TPSF12C1 [快速入门计算器](#) 帮助设计 EMI 滤波器和选择元件
4. 在连接功率级之前, 使用低压信号源测试有源滤波器电路
5. 将滤波器连接到交流输入功率级并验证 INJ 电压摆幅是否在限制范围内
6. 测量总 (DM 和 CM) EMI 特征并使用分离器隔离 CM 贡献

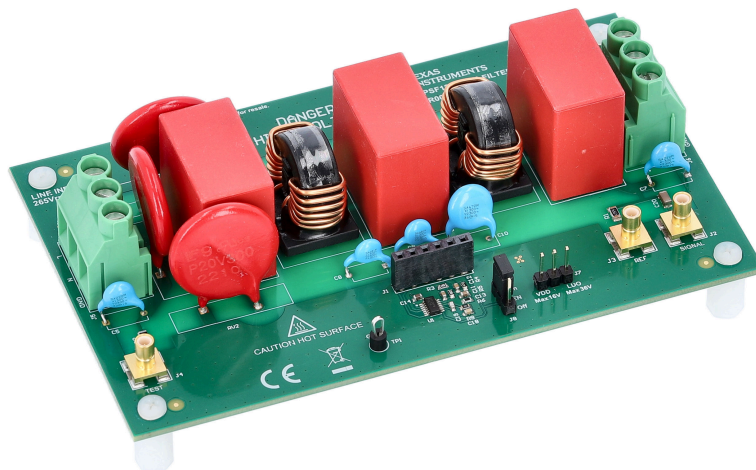
特性

- 提升了具有单相交流输入的应用的 CM EMI 性能
 - 电压检测、电流注入 AEF 拓扑通过放大 Y 电容的有效值来呈现低分流阻抗
 - CM EMI 特征在 100kHz 至 3MHz 范围内减少多达 30dB
 - 较高的有效 Y 电容可缩减 CM 扼流圈尺寸、重量和成本

- 单相交流系统的简单配置
 - 集成检测滤波器和求和网络
 - Y 电容器线路频率到机箱接地的低漏电流可保持安全性
 - 简化的补偿网络
- 固有保护特性, 设计可靠
 - 可承受 6kV 以上浪涌, 更大限度减少外部元件数量
 - 有助于满足 IEC 61000-4-5 浪涌抗扰度系统级规范
 - 集成 SENSE 输入浪涌保护
 - 8V 至 16V 的宽 VDD 电源电压范围
 - 欠压锁定 (UVLO) 设置为在电压为 7.7V 时打开, 在电压为 6.7V 时关闭
 - EVM 包含一个高 PSRR LDO, 用于将电压降至 12V (如果需要)
 - 175°C 热关断保护
 - 从 VDD 到 EN 的集成上拉电阻允许使用漏极开路/集电极开路器件来禁用功能
- 经全面组装、测试和验证的两层 PCB 设计, 总面积为 5" × 3" (127mm × 76mm)

应用

- 适用于 BEV 和 PHEV 的 [车载充电器](#)
- [电力输送](#) - 高密度 [服务器机架 PSU](#)
- [焊机和其他工业系统](#)
- [通信电源交流/直流整流器](#)



1 评估模块概述

1.1 引言

TPSF12C1EVM-FILTER 评估模块 (EVM) 专门设计用于方便地评估 **TPSF12C1** 有源滤波器 IC 的性能。EVM 有助于改善单相交流电源系统中的 CM EMI 特征。

TPSF12C1 为 EMI 测量相关频率范围内的 CM 噪声提供了一条低阻抗路径，有助于满足 EMI 标准的规定限值，如：

- CISPR 11、EN 55011 - 工业、科学和医疗 (ISM) 应用
- CISPR 25、EN 55025 - 汽车应用
- CISPR 32、EN 55032 - 多媒体应用

在指定频率范围 (例如 100kHz 至 3MHz) 的下限降低高达 30dB 的 CM 噪声，可显著降低 CM 滤波器实施方案的尺寸、体积、重量和成本，尤其是用于衰减较低阶谐波因此尺寸较大的 CM 扼流元件。TPSF12C1 使用两个 Y 型检测电容器来检测每条电源线上的高频噪声，并使用 Y 型注入电容器将降噪电流注入电源线。EVM 的 GND 端子需要将低电感直接连接到机箱接地或滤波器电路的接地端子。

1.2 套件内容

- 额定电流为 10A 的完整滤波器板 (EVM)，包括 TPSF12C1 有源 EMI 滤波器 IC
- EVM 免责声明自述文件
- 高压自述文件

1.3 规格

表 1-1 列出了 EVM 规格。输入接受 120VAC 或 240VAC 标准单相电源电压。 $V_{DD} = 12V$ ，除非另有说明。

表 1-1. 电气性能规格

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
输入特征 - EMI 滤波器板					
滤波器输入电压, V_{AC}		85	240	265	V_{RMS}
滤波器额定电流, I_{AC}				10	A_{RMS}
输入特征 - TPSF12C1 AEF IC					
VDD 电源电压, $V_{DD}^{(1)}$		8	12	16	V
VDD UVLO 导通阈值, $V_{DD(on)}$	V_{DD} 上升		7.7		
VDD UVLO 关断阈值, $V_{DD(off)}$	V_{DD} 下降		6.7		
VDD 电源电流, 启用, $I_{DD(on)}$	EN 开路或连接至高电平		12.5		mA
VDD 电源电流, 禁用, $I_{DD(off)}$	EN 连接至 GND		50		μA
输出特征 - TPSF12C1 AEF IC					
注入电压, $V_{INJ}^{(2)}$		2.5	$V_{DD} - 2$		V
注入电流, I_{INJ}	$V_{DD} = 8V$ 至 $16V$	-80		80	mA
系统特性					
降低共模 EMI ⁽³⁾	150kHz 至 1MHz		20		dB
环境温度, T_A		-40		85	$^{\circ}C$
IC 结温, T_J		-40		150	

(1) TPSF12C1 的标称 VDD 电源电压 (相对于机箱 GND) 为 12V。

(2) 验证 INJ 引脚电压摆幅是否在规定的限值之间，以避免饱和与削波。

(3) 从 100kHz 逐渐增加到 3MHz 时，此 EVM 的 EMI 预期会降低高达 30dB (启用或禁用 TPSF12C1)。此性能指标可能会根据 VDD 电源电压、无源滤波器元件值、有源电路补偿和阻尼元件值、环境温度以及其他参数而变化。

1.4 器件信息

鉴于接触电流安全要求，用于商业 (A 类) 和住宅 (B 类) 环境的 CM 滤波器通常具有有限的 Y 电容，因此需要大尺寸 CM 扼流圈来实现必要的衰减，最终导致滤波器设计采用笨重、昂贵且体积大的无源器件。有源滤波器电路的部署可为下一代电源转换系统实现更紧凑的滤波器。

EVM 是单相电源系统的一种实用滤波器电路实现，展示了通过单相电源滤波器 IC [TPSF12C1](#) 可实现的 EMI 性能改进或尺寸减小。

此电路的优点总结如下：

1. 简单的滤波器结构 - 具有宽工作频率范围和高稳定性裕度
2. 更小的 CM 扼流圈尺寸 - 体积更小、重量更轻、成本更低。由于扼流圈自寄生效应较低，自谐振频率较高，因此铜损要少得多，高频性能更好
3. 无需额外的磁性元件 - 仅需 Y 型检测和注入电容器，对峰值接触电流（根据 IEC 60990 进行测量）的影响极小。
4. 增强安全性 - 使用以机箱接地为基准的低压 AEF IC
5. 独立 AEF IC 实现 - 可靠近滤波器元件灵活放置
6. 浪涌抗扰度 - 可稳健地应对线路电压浪涌，以满足 IEC 61000-4-5（在 IC 内部或外部具有适当的电压钳位）。

备注

如果更改了无源滤波器元件（尤其是 CM 扼流圈），此 EVM 包含的阻尼和补偿元件值可能需要修改。有关 AEF 电路运行和闭环增益、无源器件选型和预期 EMI 性能的其他指导，请参阅 [TPSF12C1 用于在三相交流汽车电源系统中降低共模噪声的独立有源 EMI 滤波器](#) 数据表和 [TPSF12C1 快速入门计算器](#)。

	CAUTION 表面高温。接触会导致烫伤。请勿触摸。
	CAUTION 高压。触电危险。

通用德州仪器 (TI) 高压评估模块 (TI HV EVM) 用户安全指南



务必遵循 TI 的设置和应用说明，包括在建议的电气额定电压和功率限制范围内使用所有接口元件。务必采取电气安全防护措施，这样有助于确保自身和周围人员的人身安全。如需了解更多信息，请联系 TI 的产品信息中心，网址为 <http://ti.com/customer support>。

保存所有警告和说明以供将来参考。

WARNING

务必遵循警告和说明，否则可能引发电击和灼伤危险，进而造成财产损失或人员伤亡。

TI HV EVM 一词是指通常以开放式框架、敞开式印刷电路板装配形式提供的电子器件。该器件严格用于开发实验室环境，仅供了解开发和应用高压电路相关电气安全风险且接受过专门培训、具有专业知识背景的合格专业用户使用。德州仪器 (TI) 严禁任何其他不合规的使用和/或应用。如果不满足资格，则立即停止进一步使用 HV EVM。

1. 工作区安全：

- 保持工作区整洁有序。
- 每次电路通电时，都必须由具有资质的观察员在场监督。
- TI HV EVM 及接口电子元件通电区域必须设有有效的防护栏和标识；指示可能存在高压操作，以避免意外接触。
- 开发环境中使用的所有接口电路、电源、评估模块、仪器、仪表、示波器和其他相关装置如果超过 50Vrms/75VDC，则必须置于紧急断电 EPO 保护电源板内。
- 使用稳定且不导电的工作台。
- 使用充分绝缘的夹钳和导线来连接测量探针和仪器。尽量不要徒手进行测试。

2. 电气安全：

- 作为一项预防措施，假定整个 EVM 可能存在用户可完全接触到的高电压是一种好的工程做法。
- 执行任何电气测量或其他诊断测量之前，需切断 TI HV EVM 及其全部输入、输出和电气负载的电源。再次确认 TI HV EVM 已安全断电。
- 确认 EVM 断电后，根据所需的电路配置、接线、测量设备连接和其他应用需求执行进一步操作，同时仍假定 EVM 电路和测量仪器均带电。
- EVM 准备就绪后，根据需要将 EVM 通电。

WARNING

EVM 通电后，请勿触摸 EVM 或其电路，因为这些电路可能存在高压，会造成电击危险。

3. 人身安全

- 穿戴个人防护装备（例如乳胶手套或具有侧护板的安全眼镜）或将 EVM 放置于带有联锁装置的透明塑料箱，避免意外接触。

安全使用限制条件：

勿将 EVM 作为整体或部分生产单元使用。

2 硬件

2.1 EVM 描述

TPSF12C1EVM-FILTER 可用于 EMI 滤波器电路和应用的评估以及系统开发。图 2-1 展示了等效单相无源和有源滤波器设计的典型原理图，其中包含与此 EVM 对应的有源电路元件值。L、N 和 PE 端子分别指火线、零线和保护地线。比较本示例中的无源和有源电路，由于 AEF 有效 Y 电容更高，因此扼流圈 L_{CM1} 和 L_{CM2} 的 CM 电感从 12mH 降低到 2mH。

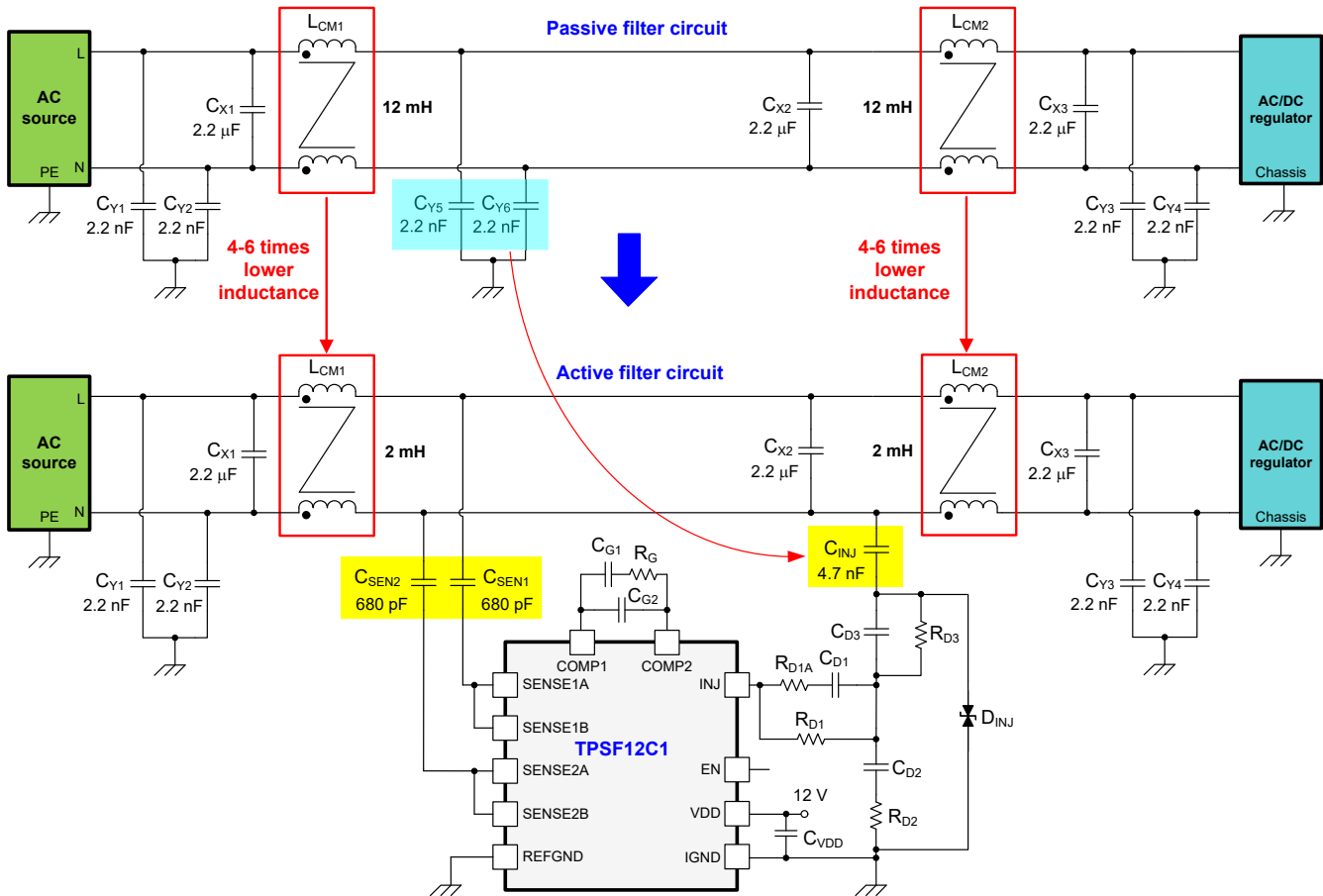


图 2-1. 无源和有源滤波器原理图

在传统的两级无源滤波器设计中，AEF 电路使用电容倍增器电路来代替通常放置在 CM 扼流圈之间的两个 Y 电容器。TPSF12C1 使用两个 Y 型检测电容器来检测两条电源线上的高频 CM 干扰，并使用 Y 型注入电容器将降噪电流注入回电源线。从 CM 的角度来看，放置于两个 CM 扼流圈之间的 X 电容器可以有效地在电源线路之间提供低阻抗路径，通常可达到低兆赫兹频率。这样，仅使用一个注入电容器，便可将电流注入到一根电源线（本例中为零线）。

EVM 可用作具有浪涌抗扰度保护和 X 电容器电阻放电等特性的完整滤波器，它使用推荐的 PCB 布局来最大限度地减少总体噪声特征和所需的电路板面积。如有需要，用户可以添加外部元件以实现浪涌限制和保险丝保护。

2.2 设置

图 2-2 展示了一个典型的 EMI 测量设置。线路阻抗稳定网络 (LISN) 与每条电源线串联，可测量包括 DM 和 CM 传播元件在内的总 EMI。分离器/组合器可用于从总体噪声测量中提取 DM 和 CM 噪声特征。

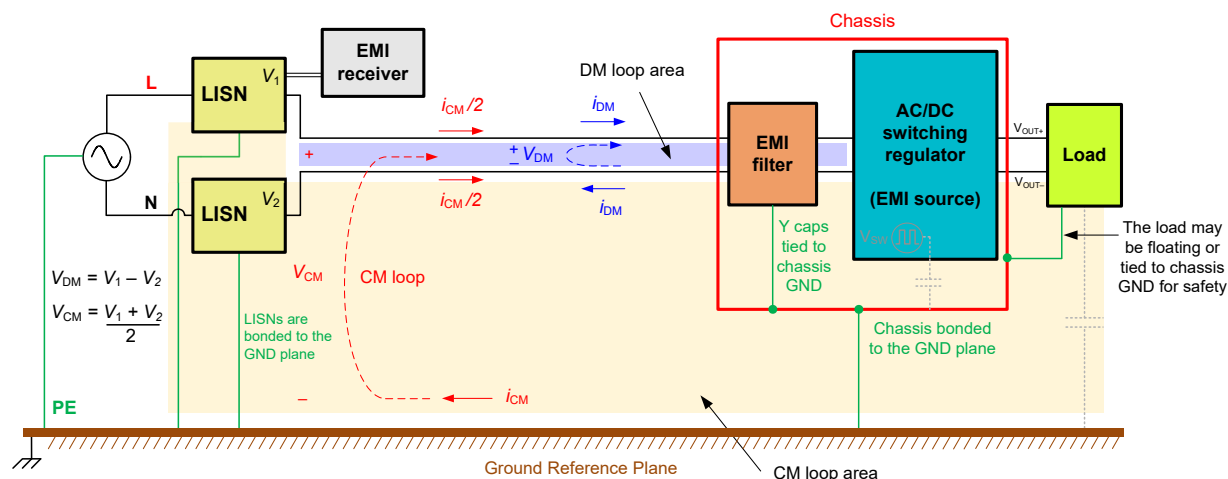


图 2-2. 单相系统的 EMI 测量设置

交流/直流稳压器具有内部高 dv/dt 开关节点，这些节点可以将 CM 噪声容性耦合到机箱。因此，必须验证 EMI 滤波器中的 Y 电容器是否以机箱为基准，如图 2-2 所示。然后，Y 电容器可以在紧密传导环路中将 CM 噪声电流返回到噪声源。否则，噪声电流会在参考接地层中流回 LISN，使得 EMI 滤波器的效率降低。

图 2-3 展示了用于评估连接了功率级的 TPSF12C1 性能的推荐设置。

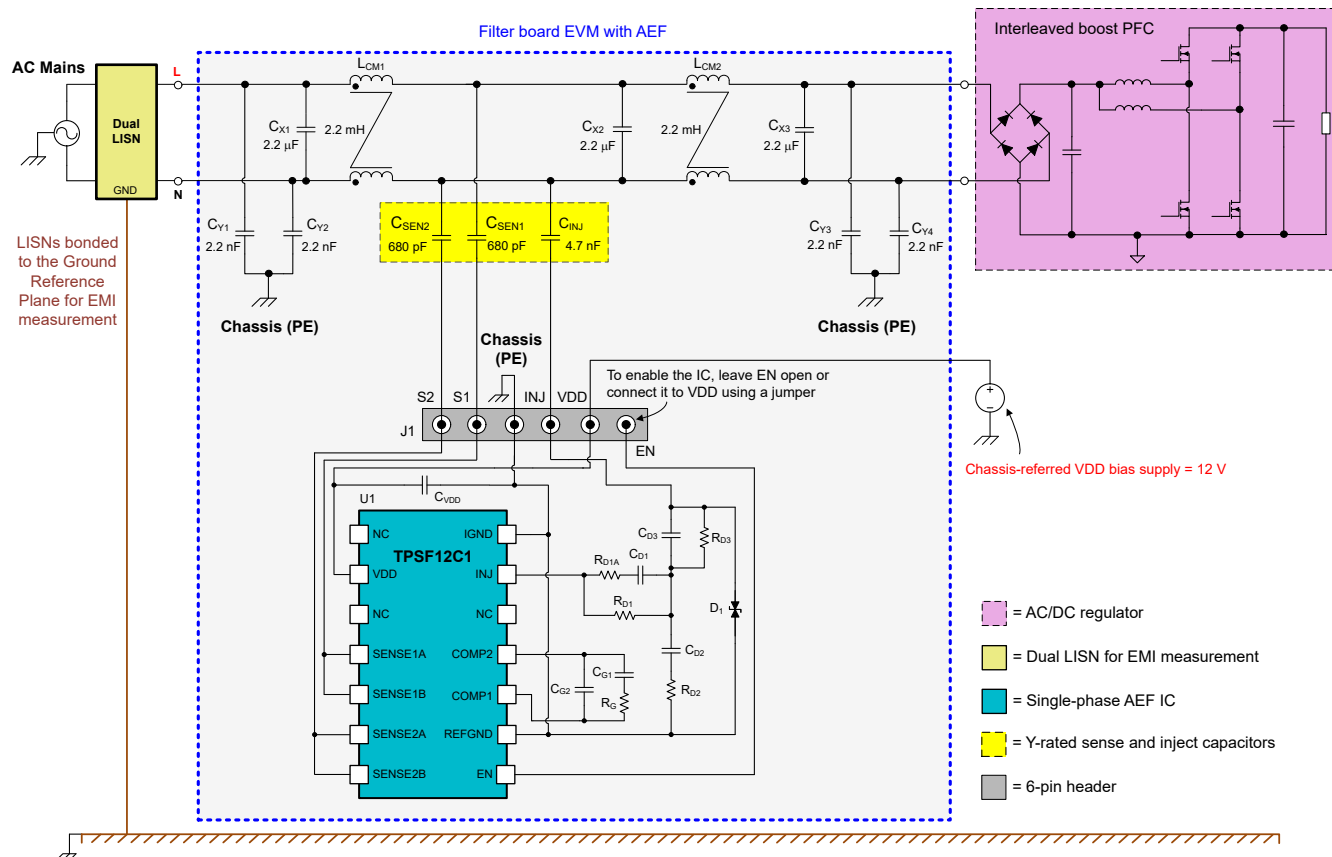


图 2-3. 用于连接了交流/直流功率级的高压测试的 EVM 设置原理图

图 2-3 中的两相交错升压 PFC 拓扑表示典型的单相交流/直流稳压器，仅用作说明。该设置本质上与稳压器拓扑无关。

同时，图 2-4 展示了专用于有源滤波器设计的低电压测试的原理图，包括插入损耗测量和 EMI 性能特性。这有助于在连接到高压开关稳压器之前，轻松方便地验证有源滤波器电路。良好的信号源和耦合电容器可提供 CM 激励，以模拟与实际功率级的开关节点行为相关的 CM 噪声源电压和噪声源阻抗。

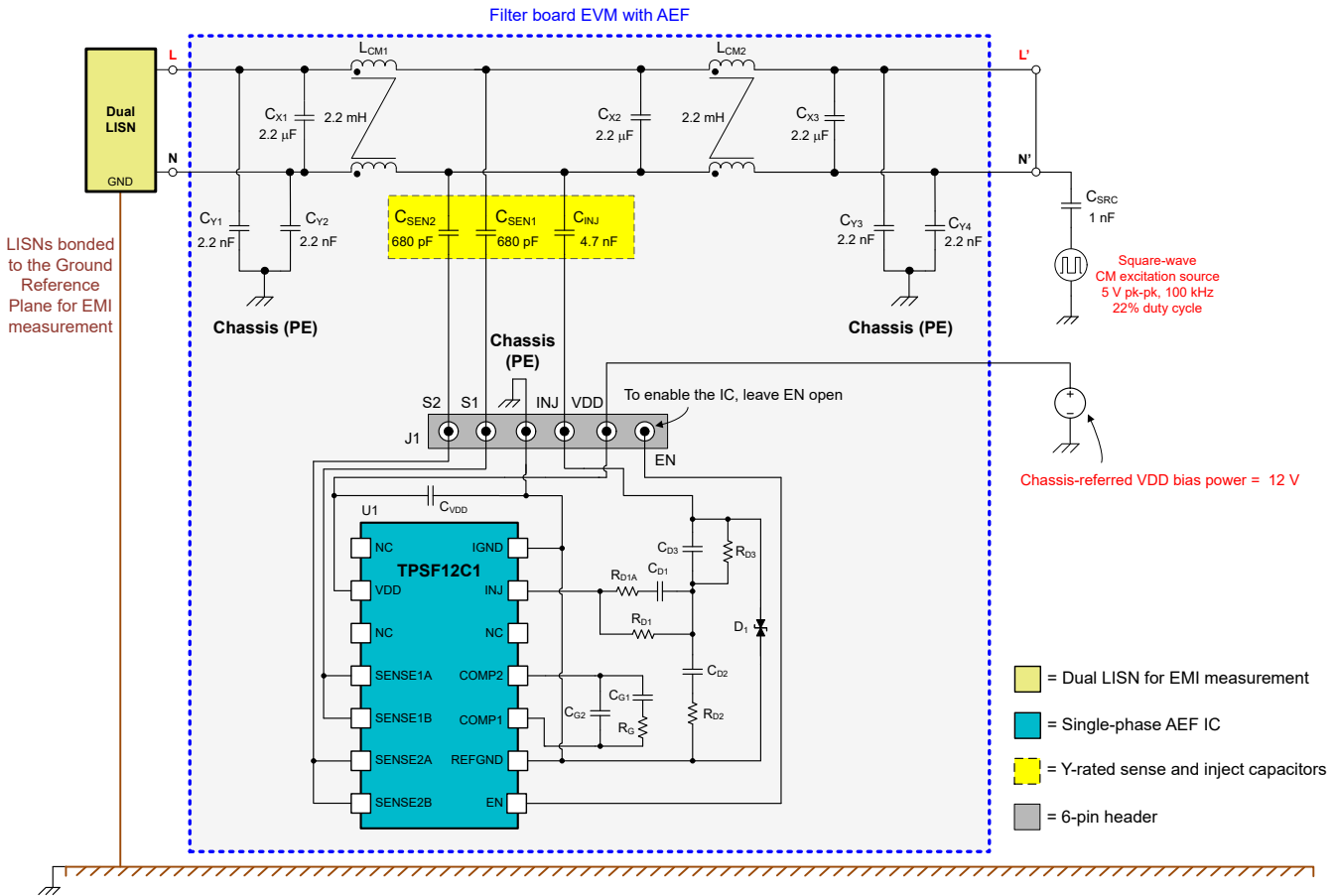


图 2-4. 用于低压测试的 EVM 设置原理图

2.3 接头信息

表 2-1、表 2-2 和表 2-3 详细介绍了 EVM 上安装的各种信号接头。此外，PCB 上指定为 J2、J3 和 J4 的 SMB 插孔有助于振荡器信号注入和频率扫描，以进行滤波器插入损耗或衰减测量。

接头 J1 专门提供与检测电容器低压侧（对应于 TPSF12C1 的 SENSE 引脚）、注入电容器低压侧、IC 辅助电源（VDD 和 GND 引脚）（设置在 8V 至 16V 之间）和远程使能（EN）信号的连接。

表 2-1. J1 接头连接

位置 ⁽¹⁾	标签	说明
1	EN	启用输入 - 保持断开或拉至高电平以启用 IC；连接至 GND 以禁用
2	VDD	电源电压连接 - 连接到以 GND 为基准的 12V 辅助电源 ⁽²⁾
3	INJ	Y 型注入电容器 C10 的低压端子。也连接到 AEF 阻尼网络
4	GND	接地 - 通过直接的低电感连接来连接到系统的机箱接地
5	S1	检测电容器 C9 的低压端子。还连接到 IC 的 SENSE1A 和 SENSE1B 引脚
6	S2	检测电容器 C8 的低压端子。还连接到 IC 的 SENSE2A 和 SENSE2B 引脚

(1) 从 EVM 的顶部查看时，接头 J1 的引脚位置从右到左指定。

(2) 在提供 ESD 保护的工作站上工作时，请确保在为 EVM 加电之前已连接所有腕带、靴带或垫子，从而将用户接地。

表 2-2. J7 接头连接

位置	标签	说明
1	VDD	在 VDD 和 GND 端子之间连接一个低噪声外部源 (8V 至 16V)
2	GND	经由 PCB 上的迹线连接至 GND
3	LDO	在 LDO 和 GND 端子之间连接一个外部源 (最大 36V) , 为向 VDD 输出稳压 12V 的板载 LDO 供电

表 2-3. J8 接头连接

位置	标签	说明
1	ON	经由 PCB 上的迹线连接至 VDD
2	EN	将 EN 跳接至 ON 或 OFF , 分别启用和禁用 TPSF12C1
3	OFF	经由 PCB 上的迹线连接至 GND

2.4 EVM 性能验证

- 在 J7 的 VDD 和 GND 端子之间施加 8V 至 16V (标称 12V , 纹波电压峰峰值小于 20mV) 的辅助电源电压。以 GND 为基准探测接头 J1 处的 INJ 端子, 它应该在 $V_{VDD}/2$ 的直流电压下运行, 并且没有指示不稳定的交流扰动。VDD 电流消耗应约为 12mA。
- 用户应在连接到高压功率级之前执行 **低压测试**。要提供 CM 激励, 请从稳压器侧电源连接器 J6 上的函数发生器连接 5V 峰峰值方波源, 如图 2-4 所示。与源极串联的 1nF 电容器模拟实际的 CM 噪声源阻抗。
 - 使用 CM 激励源, 验证 TPSF12C1 INJ 引脚的动态电压范围。**确保 INJ 引脚在相对于 GND 的 2.5V 至 $V_{VDD} - 2V$ 电压窗口中运行。**
- 在 J5 的输入侧连接一个 LISN, 并在禁用 AEF 的情况下测量 EMI (在 J8 处 EN 跳接至 OFF) , 以对现有的无源滤波器进行基准测试。禁用 AEF 后, 可通过将 J1 的 INJ 端子连接到 GND, 将注入电容器的底部端子短接至 GND。这将模拟等效无源滤波器设计中的 Y 电容器连接。
- 移除注入电容器上的下拉短路, 并通过允许 EN 悬空至高电平来启用 AEF 电路。重复 EMI 测量, 以量化与 AEF 电路运行相关的 EMI 降低量。
- 以类似的方式 (但将 LISN 替换为从 L 和 N 连接到 GND 的 50 Ω 负载) , 请使用合适的网络分析器来比较滤波器 **插入损耗** 性能。EVM 上的 SMB 插孔 J2、J3 和 J4 分别便于信号注入、参考测量和测试测量。
- 使用 **高压安全防护措施**, 连接开关功率级, 如图 2-3 所示。**移除元件 R1、R2 和 C20, 以更大限度增加**从高压节点到 SMB 插孔附近接地的间隙间距。在启用和禁用 AEF 的情况下打开稳压器并执行 EMI 测量, 与上述步骤 3 和 4 中概述的过程类似。
- 关断稳压器。等待所有高压电容器完全放电。
- 关断 IC, 并移除 VDD 电源。

2.5 AEF 设计流程

按照以下步骤设计有源滤波器电路：

1. 快速入门计算器 — 使用 TPSF12C1 快速入门计算器，快速入门。请参阅图 2-5 中的图示。

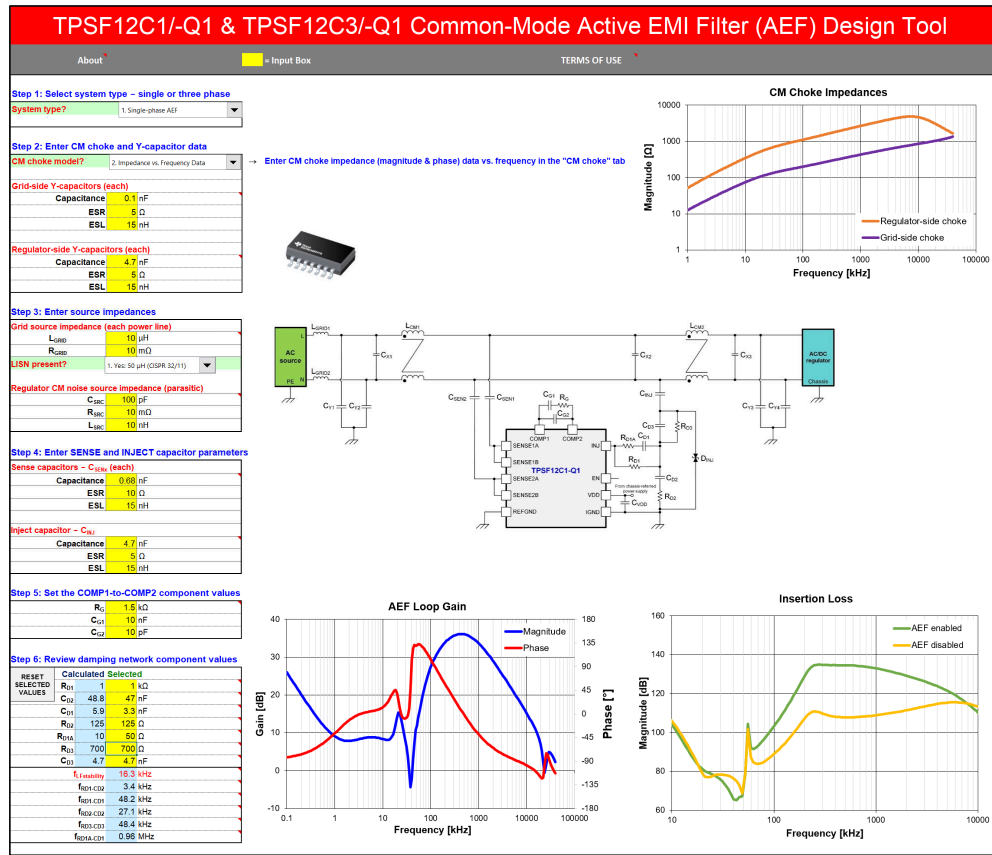


图 2-5. 具有 CM 扼流圈阻抗、环路增益和插入损耗图的快速入门计算器

使用快速入门计算器的典型步骤如下：

- 为 CM 扼流圈选择磁芯材料 — 主要选择为纳米晶 (NC) 或铁氧体。NC 扼流圈由于磁导率更高 (因此绕组匝数更少)、在整个频率范围内具有更宽的阻抗特性、阻抗行为的阻尼更大 (相位转换更柔和) 以及温度稳定性更好, 因此更适合有源滤波器设计。
- 定义 CM 扼流圈阻抗 — 有两个可用选项：
 - 使用网络分析器测量 CM 阻抗幅度和相位与频率间的关系。将数据直接粘贴到计算器文件中。
 - 根据以下要素输入每个扼流圈的行为模型参数：(a) 铁氧体扼流圈的并联 LRC 电路 ($L_{CM} \parallel R_{PAR} \parallel C_{PAR}$) 或 (b) NC 扼流圈的阶梯网络 (包含三个串联起来的并联 RL 电路以及整个网络中的寄生电容)。如果扼流圈数据表包含 CM 阻抗数据, 则最方便的选择是等效电路模型。
- 输入电网侧和稳压器侧 Y 电容器、检测电容器和注入电容器的容值。
- 输入电网电源和噪声源的源阻抗值。如果安装了 LISN (50μH 或 5μH), 请从下拉菜单中进行选择。
- 根据阻尼网络的元件计算值查看 AEF 环路增益图以了解稳定性。调整阻尼网络值以确保相位在谐振频率下不会达到 -180° (当增益为正时)。请参阅 TPSF12C1 数据表以了解有关元件选型的指导信息。查看启用和禁用 AEF 情况下的插入损耗图。

2. 电路仿真 — 使用 TPSF12C1 器件的 PSPICE 或 SIMPLIS 仿真模型。将此类模型与准备的测试台一起用于调查整个有源滤波器电路的运行情况。请参阅图 2-6 中的 SIMPLIS 原理图作为示例。根据需要执行时域和频域分析。

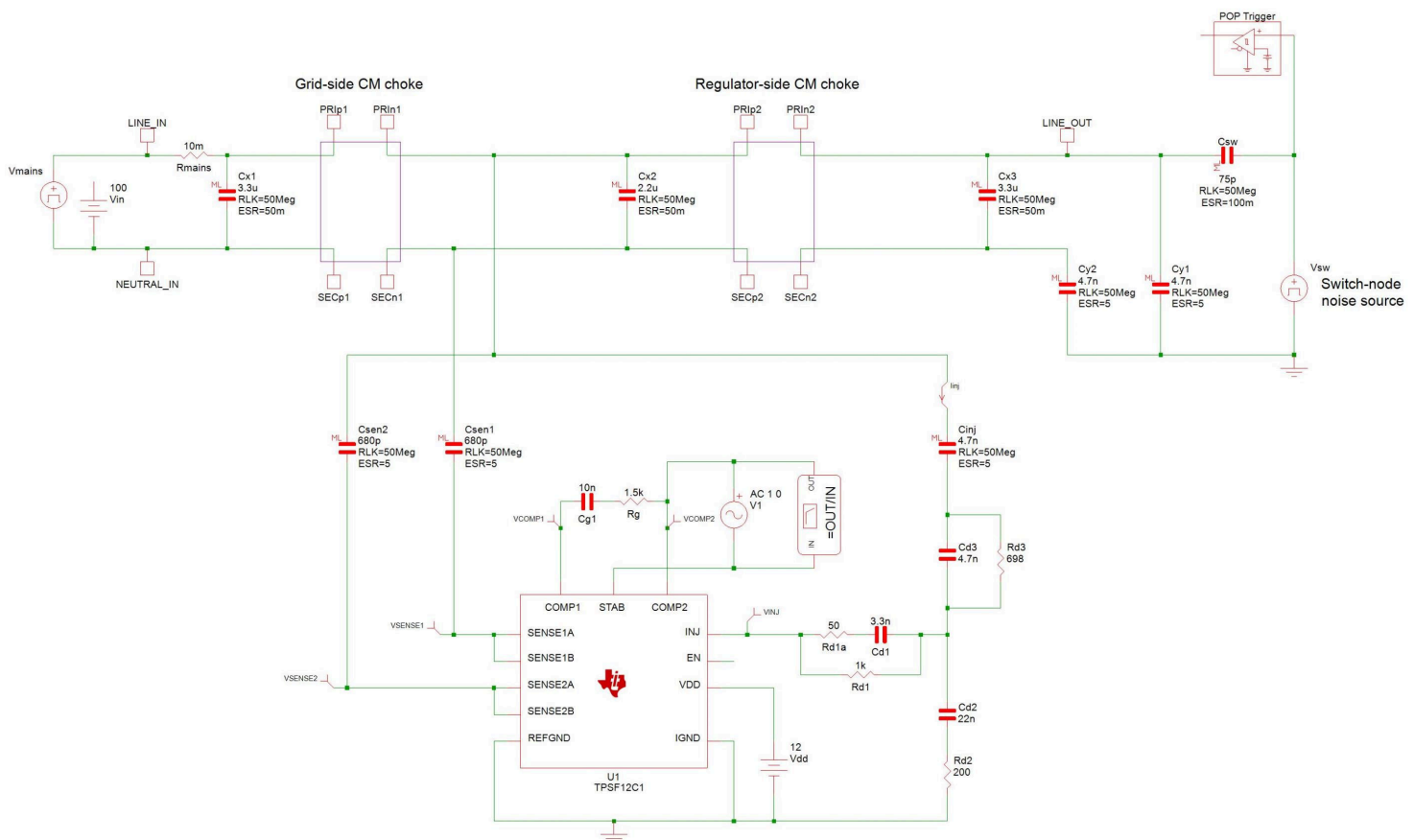


图 2-6. 使用 TPSF12C1 的有源滤波器电路的 SIMPLIS 仿真原理图

请注意，上面未显示 CM 扼流圈模型原理图。如果在快速入门计算器中定义了扼流圈模型等效电路参数，则可根据需要将它们直接传输到仿真模型。

3. **低电压测试** — 在连接到开关稳压器之前，在低电压下验证滤波器设计。这是一个相对简单的步骤，可以确认设计的各个方面，包括滤波器稳定性、插入损耗、INJ 引脚上的电压摆幅以及使用 CM 信号激励时的 EMI 性能。请参阅图 2-4，并参考节 2.4 中所述的测试 4 至 7。
 - 插入损耗 — 使用 50 Ω 源阻抗和负载阻抗进行测量。
 - 使用函数发生器施加 CM 激励信号。
 - 检查 INJ 引脚 (TPSF12C1 引脚 13) 的动态电压范围。
 - 测量 EMI (仅限 CM，该测试中无 DM 传播)。
4. **高电压测试** — 在连接到开关稳压器时验证滤波器设计。请参阅图 2-3，并参考节 2.4 中所述的测试 8 和 9。
 - 检查 INJ 引脚的动态电压范围。
 - 根据 V_{DD} 、 I_{VDD} 、 T_A 和 $R_{\theta JA}$ 计算器件功率耗散。确认在最坏的工作条件下最高结温低于 150°C。
 - 检查检测和注入电容随温度的变化，并确保电路在所有工作条件下都保持稳定。
 - 测量总 EMI。将 CM (非对称) 和 DM (对称) 传播分量分开，因为基于 TPSF12C1 的 AEF 电路仅会衰减 CM 噪声。

2.5.1 AEF 电路优化和调试

以下是优化 AEF 电路运行的一些注意事项和最佳实践：

1. 如果启用 AEF 的 EMI 测量未按预期执行，请在稳压器开关期间探测 INJ 引脚电压。确认 INJ 引脚电压在正电源轨或负电源轨附近没有被削波，如节 2.4 的第 2 步所述。
 - 如果 INJ 引脚电压被削波，请增大稳压器侧 Y 电容和/或注入电容。然后使用 TPSF12C1 快速入门计算器或通过仿真重新检查环路稳定性。

2. 金属机箱结构是总体滤波器实现的关键部分。滤波器 PCB 通常使用多个螺钉附件安装到机箱结构上，机箱用于连接滤波器 PCB 上的各种 GND 节点。这些节点并未在 PCB 上明确地与铜连接，而是依靠机箱来完成电气连接。因此，机箱将成为 CM 噪声电流的最低阻抗返回路径。
 - 在测试包含机箱的功率级时（如图 2-2 所示），CM 噪声可以容性耦合到 EMI 测量设置的接地参考平面，从而绕过与该接地平面不密切相关的滤波器电路。在这种情况下，TI 建议将滤波器 EVM 的 GND 平面覆铜直接绑定到参考接地平面。这还有助于更大限度地减小与 AEF 电路的 GND 连接中的寄生电感。然后，从功率级发出的 CM 电流通过滤波器 Y 电容器（有源和无源）的低分流阻抗进行再循环，从而防止噪声到达 LISN。
3. 基于有效 Y 电容的放大结果，AEF 可减小 CM 扼流电感，同时保持相同的 LC 转角频率和 CM 衰减特性。但是，具有更低 CM 电感和更小尺寸的扼流圈通常具有更低的漏电感，这是导致 DM 与 X 电容器一起衰减的原因。
 - 如果通过较小的 CM 扼流圈显著降低 DM 电感，则应增大 X 电容或添加一个小型分立式电感器以获得足够的 DM 衰减。否则，高 DM 噪声分量（相对于 CM 分量）可能会主导总噪声测量，从而掩盖 AEF 对 CM 噪声降低的影响。
4. 检测和注入电容的典型值分别为 680pF 和 4.7nF。根据目标应用中的最终实现，EVM 上的默认阻尼和补偿元件值可能需要用户进行适当修改，以实现可接受的环路稳定性。铁氧体扼流圈本质上比纳米晶扼流圈更难以稳定。
 - 如需了解有关元件选择和电路优化的更多上下文，请参阅 [TPSF12C1](#) 产品数据表和 [TPSF12C1 快速入门计算器](#)。

3 实现结果

实际性能数据可能会受到测量技术和环境变量的影响，因此这些曲线仅供参考，并可能与实际现场测量结果有所不同。除非另有说明，否则 $V_{DD} = V_{EN} = 12V$ 。

3.1 EMI 性能

有关此测量所用 EVM 元件的详细信息，请参阅 [原理图](#) 和 [物料清单](#)。图 2-1 中的有源滤波器原理图也提供了无源电路元件值。如图所示，启用 AEF 后，200kHz 下的 EMI 会降低 29dB。

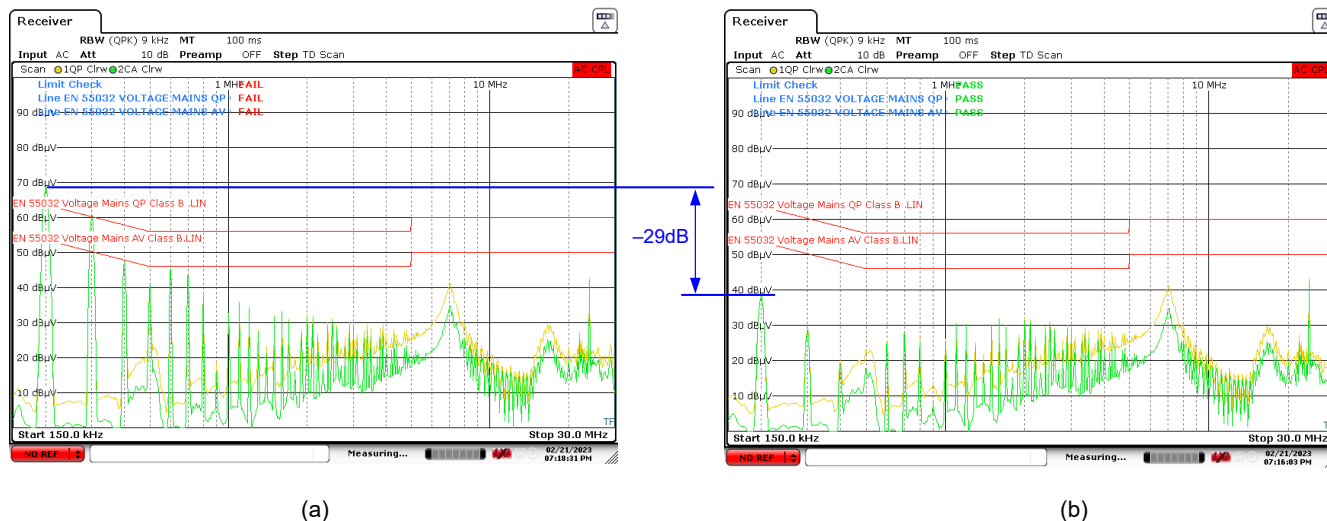


图 3-1. 禁用 (a) 和启用 (b) AEF 时的 CISPR 32 B 类传导发射

3.2 热性能

图 3-2 展示了此有源滤波器设计在额定负载为 10A 时的典型热性能。CM 扼流圈绕组和 TPSF12C1 器件分别在高于当地环境温度 28°C 和 12°C 的温度下运行。

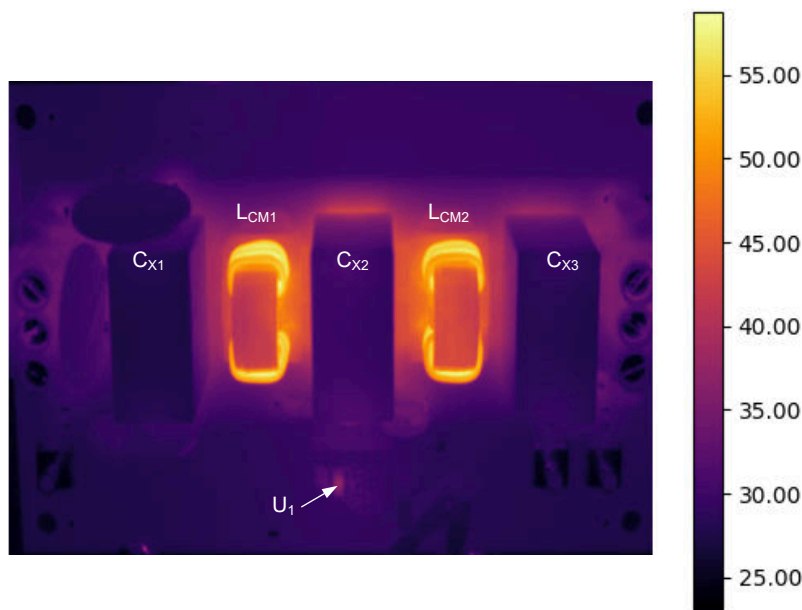


图 3-2. 10A 负载时的热性能图像

3.3 浪涌抗扰度

图 3-3、图 3-4 和图 3-5 展示了浪涌抗扰性结果。在此测试期间，CM 扼流圈会短路，但会根据需要安装 MOV。

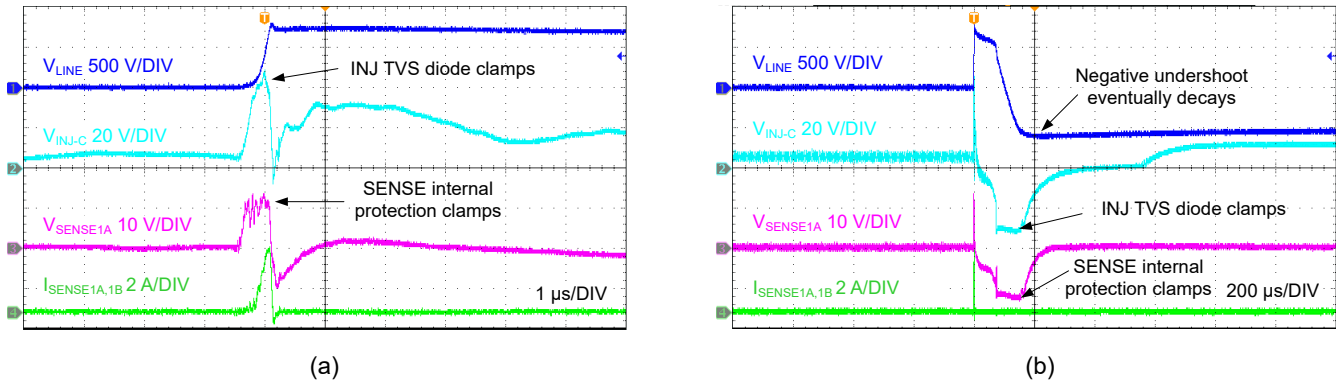


图 3-3. IEC 61000-4-5 正浪涌，6kV 单次冲击 - 1μs/div (a)，200μs/div (b)

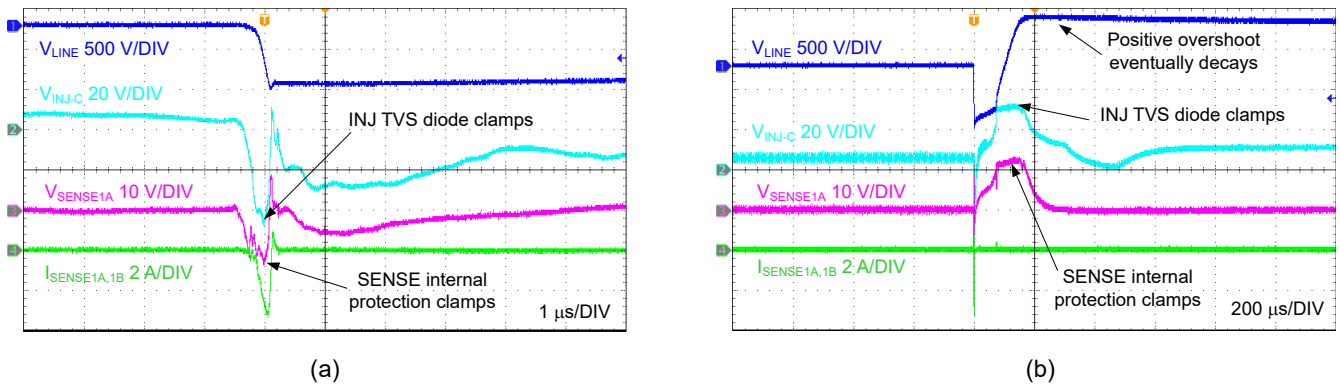


图 3-4. IEC 61000-4-5 负浪涌，6kV 单次冲击 - 1μs/div (a)，200μs/div (b)

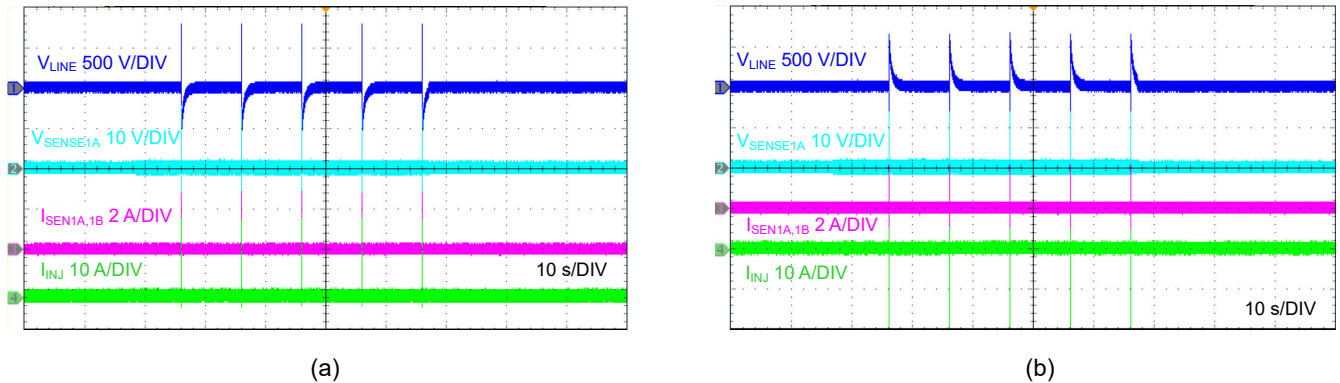


图 3-5. IEC 61000-4-5 浪涌，以 10 秒为间隔的 6kV 重复冲击 - 正 (a)，负 (b)

3.4 SENSE 和 INJ 电压

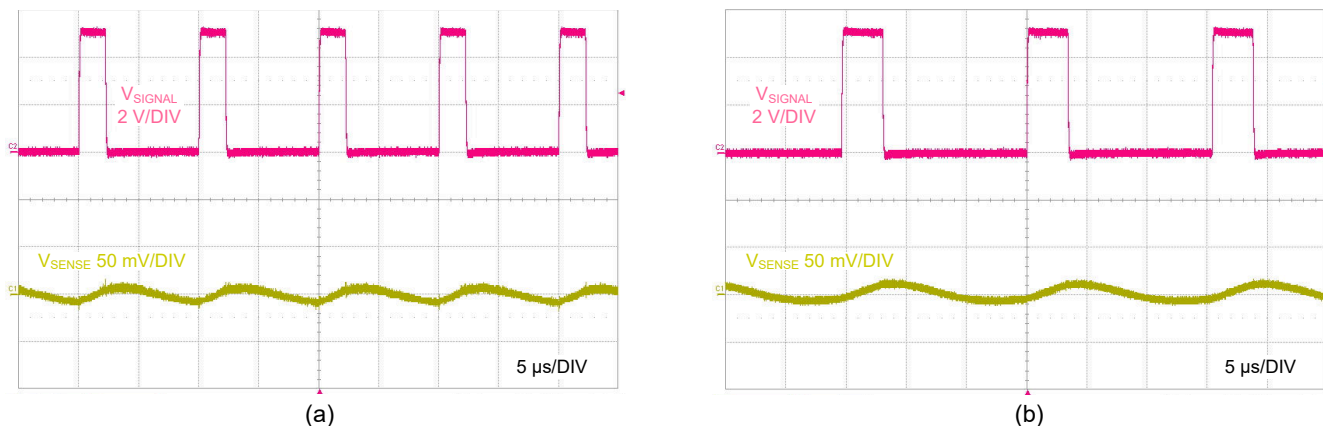


图 3-6. 应用 CM 激励时的 TPSF12C1 SENSE (引脚 4) 电压 - 100kHz (a)、65kHz (b)

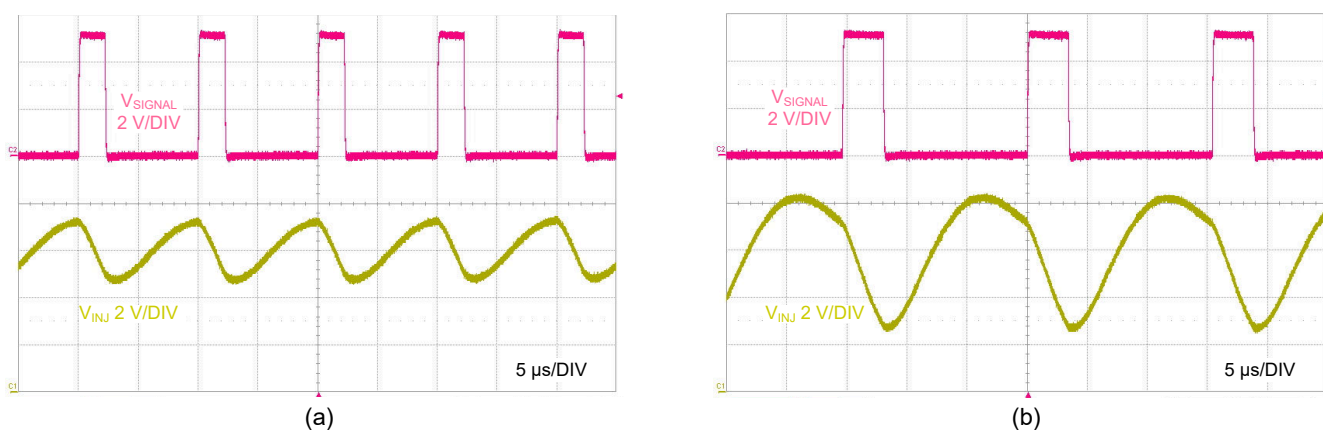


图 3-7. 应用 CM 激励时的 TPSF12C1 INJ (引脚 13) 电压 - 100kHz (a)、65kHz (b)

3.5 插入损耗

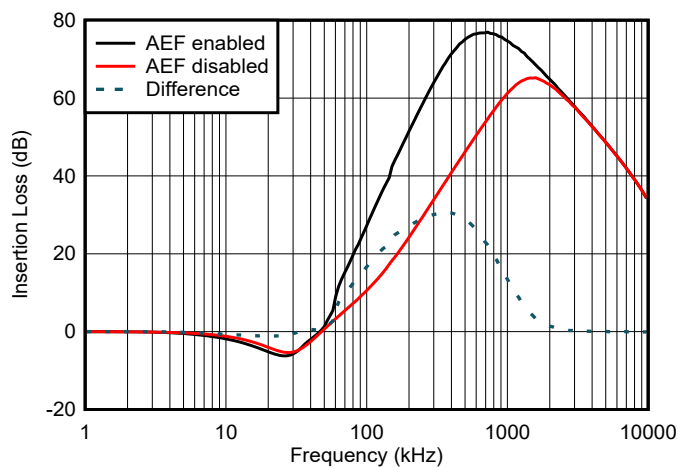


图 3-8. AEF 启用和禁用情况下的典型插入损耗

3.6 无源与有源解决方案比较

表 3-1 展示了分别与 12mH 和 2mH 扼流圈一起安装时，CM 扼流圈在等效无源和有源 EMI 滤波器设计中的适用参数。有源设计在 $10A_{RMS}$ 时可降低 60% 的总铜损 ($P_{CU} = 6W - 2.4W = 3.6W$ ，忽略因温升而增加的绕组电阻)，这意味着元件工作温度更低、散热要求更低并且电容器寿命更长。扼流圈的尺寸、体积和重量分别降低了 41%、52% 和 62%。

表 3-1. 等效无源和有源滤波器设计中的 CM 扼流圈比较

滤波器设计	CM 扼流圈器件型号 ⁽¹⁾	数量	L_{CM} (mH) ⁽²⁾	绕组 DCR ($m\Omega$)	尺寸 (mm)	总质量 (g)	25°C 时的总功率损耗 (W)
无源	7448051012	2	12	15	23 × 34 × 33	72	6.0
运行	7448031002	2	2	6	17 × 23 × 25	20	2.4

(1) 由 Würth Elektronik 制造。

(2) 有关这些无源和有源解决方案的更多详细信息，请参阅白皮书 [有源 EMI 滤波器 IC 如何在单相和三相系统中降低共模发射并节省 PCB 空间](#)。

源自 Würth Elektronik REDEXPERT 工具，图 3-9 为上面映射的 CM 扼流圈提供阻抗曲线。这些曲线表明，尺寸更小的 2mH 扼流圈具有更高的自谐振频率 (SRF) 和更高的高频性能。

更低的绕组内电容在高频下会使 CM 阻抗更高，例如，CM 扼流圈在 30MHz 时的阻抗从 150Ω 增加到 $2.2k\Omega$ (从无源设计中的 12mH 到有源设计中的 2mH)。图 3-9 中 10MHz 和 30MHz 下的 × 和 o 标记表示无源和有源设计的相应 CM 阻抗。在有源设计中，由于扼流圈阻抗明显高于 4MHz，因此无需电网侧 Y 电容器 (通常安装以实现高频衰减)。

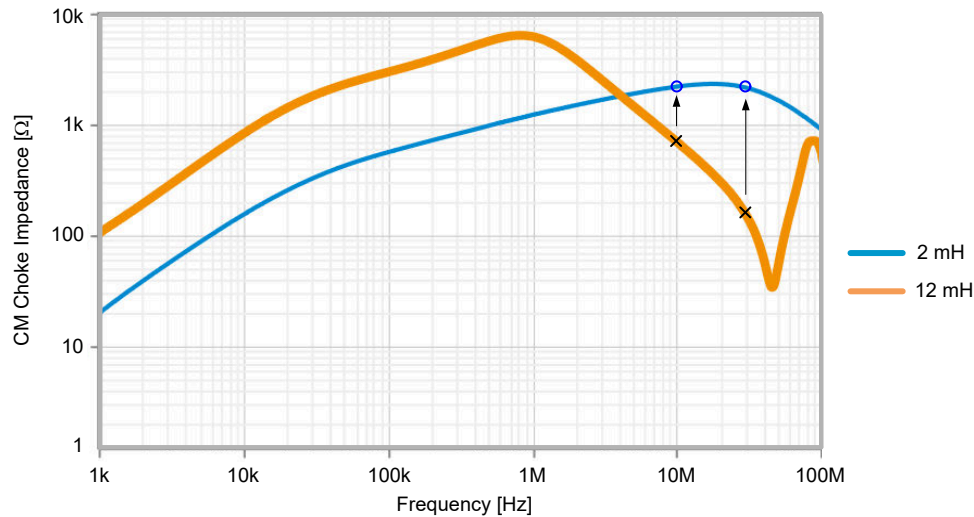


图 3-9. 无源设计 ($2 \times 12mH$) 和有源设计 ($2 \times 2mH$) 中所选的 CM 扼流圈的阻抗特性

4 硬件设计文件

相关开发支持请参阅以下资源：

- TPSF12C1 [快速入门计算器](#)
- TPSF12C1EVM-FILTER [Altium 布局源文件](#)
- TPSF12C1 PSPICE for TI 和 SIMPLIS [仿真模型](#)
- TPSF12C1QEVm [EVM 用户指南](#)
- 有关 TI 的参考设计库，请访问 [TI 参考设计库](#)
- 要设计低 EMI 电源，请查看 TI 的全面 [EMI 培训系列](#)
- 技术文章：
 - 德州仪器 (TI)，[独立有源 EMI 滤波器 IC 如何缩小共模滤波器尺寸](#)

4.1 原理图

图 4-1 提供了 EVM 原理图。

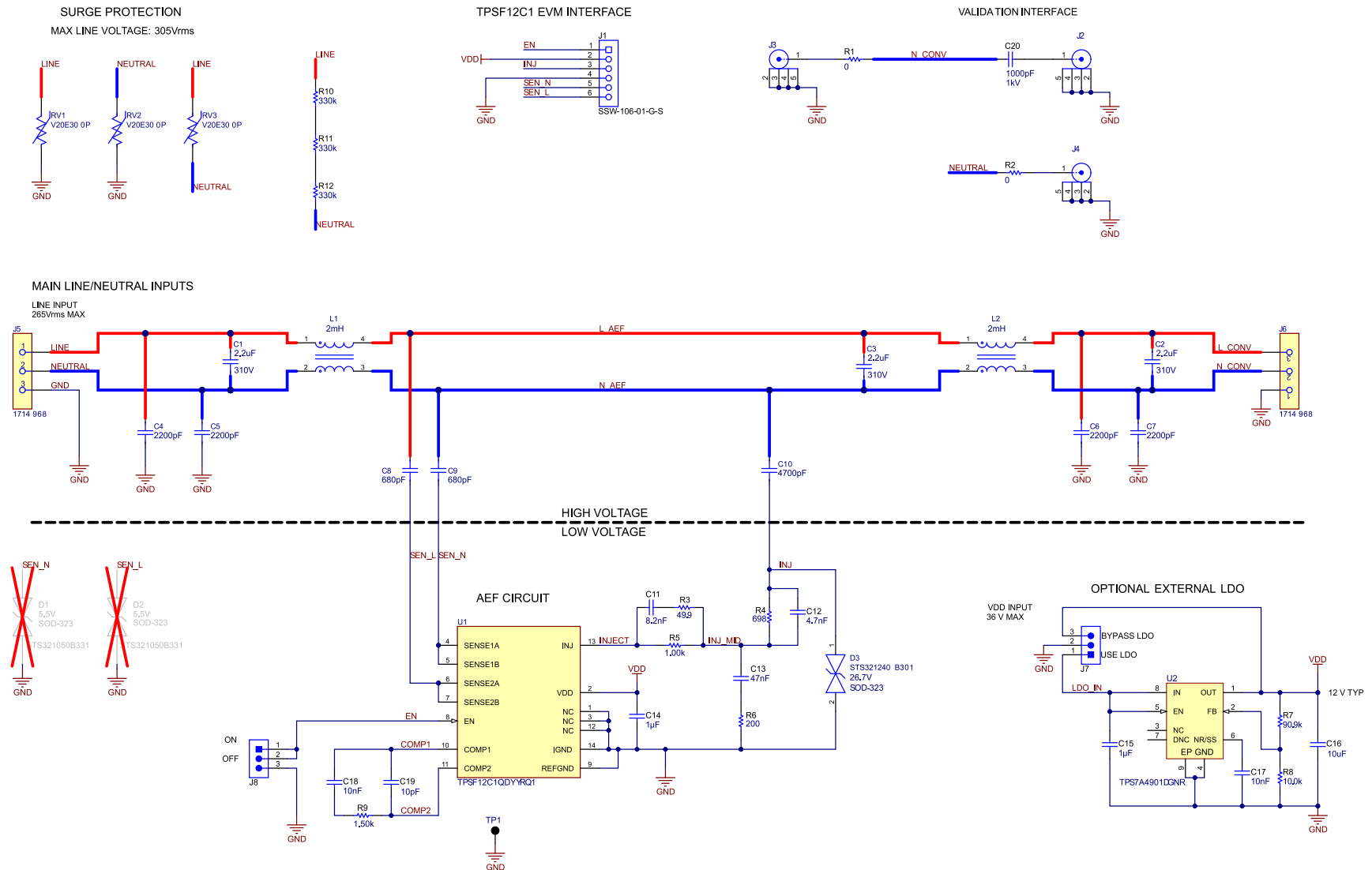


图 4-1. EVM 原理图

4.2 物料清单

表 4-1. EVM 元件 BOM

参考设计	数量	值	说明	封装	器件型号	制造商
C1, C2, C3	3	2.2μF	CAP、MKP、2.2μF、310VAC、X2	26 x 15 x 25mm	890334026034	Würth Elektronik
C4、C5、C6、C7	4	2.2nF	电容, 陶瓷, 2.2nF, 300VAC, Y2	8mm 圆盘	DE2E3SA222MA3BX02F	MuRata
C8、C9	2	680pF	电容, 陶瓷, 680pF, 300VAC, Y2	7mm 圆盘	DE2B3SA681KN3AX02F	MuRata
C10	1	4.7nF	电容, 陶瓷, 4.7nF, 300VAC, Y2	10mm 圆盘	DE2E3SA472MA3BX02F	Murata
C11	1	8.2nF	电容, 陶瓷, 8.2nF, 50V, X7R	0603	GCD188R71H822KA01D	MuRata
C12	1	4.7nF	电容, 陶瓷, 4.7nF, 50V, X7R	0603	C0603C472J5RACTU	Kemet
C13	1	47nF	电容, 陶瓷, 47nF, 50V, X7R	0603	CGA3E2X7R1H473K080AA	MuRata
C14	1	1μF	电容, 陶瓷, 1μF, 25V, X7R	0603	CGA3E1X7R1E105K080AC	TDK
C15	1	1μF	电容, 陶瓷, 1μF, 50V, X7R	0603	C2012X7R1H105K085AC	TDK
C16	1	10μF	电容, 陶瓷, 10μF, 25V, X7R	1206	GRM31CR71E106KA12L	MuRata
C17, C18	2	10nF	电容, 陶瓷, 10nF, 50V, X7R	0603	C0603X103K5RACTU	Kemet
C19	1	10pF	电容, 陶瓷, 10pF, 50V, C0G/NP0	0603	CGA3E2C0G1H100D080AA	TDK
C20	1	1nF	CAP、CERM、1nF、1kV、X7R	1206	GRM31BR73A102KW01L	MuRata
D3	1	24V	TVS 二极管, 24V 关断电压, 50V/8A	SOD-323	STS321240B301	Eaton
J1	1	-	插座, 6 × 1, 2.54mm, 镀金, TH	-	SSW-106-01-G-S	Samtec
J2、J3、J4	3	-	连接器, SMT, SMB 插孔组合件, 50 Ω	-	131-3711-201	Cinch Connectivity
J5, J6	2	-	3 针位端子块, 0.25"	-	1714968	Phoenix Contact
J7、J8	2	-	接头, 100mil, 3 × 1, 镀金, TH	-	TSW-103-07-G-S	Samtec
L1、L2	2	2.2mH	共模扼流圈, 2mH, 10A, 6m Ω	23 x 17 x 25mm	7448031002	Würth Elektronik
R1、R2	2	0 Ω	电阻, 0 Ω, 5%, 0.25W	1206	CRCW12060000Z0EA	Vishay-Dale
R3	1	49.9 Ω	电阻, 49.9 Ω, 1%, 0.1W	0603	CRCW060349R9FKEA	Vishay-Dale
R4	1	698 Ω	电阻, 698 Ω, 1%, 0.1W	0603	CRCW0603698RFKEA	Vishay-Dale
R5	1	1k Ω	电阻, 1k Ω, 1%, 0.1W	0603	CRCW06031K00FKEA	Vishay-Dale
R6	1	200 Ω	电阻, 200 Ω, 1%, 0.1W	0402	CRCW0603200RFKEA	Vishay-Dale
R7	1	90.9k Ω	电阻, 90.9k Ω, 1%, 0.1W	0602	CRCW060390k9FKEA	Vishay-Dale
R8	1	10k Ω	电阻, 10k Ω, 1%, 0.1W	0603	CRCW060310K0FKEA	Vishay-Dale
R9	1	1.5k Ω	电阻, 1.5k Ω, 1%, 0.1W	0402	CRCW06031K50FKEA	Vishay-Dale
R10, R11, R12	3	330k Ω	电阻, 330k Ω, 1%, 0.25W	1206	RC1206FR-07330KL	Yageo America
RV1, RV2, RV3	3	-	470V, 10kA 压敏电阻	20mm 圆盘	V20E300P	Littelfuse
TP1	1	-	测试点, 通用, 黑色, TH	-	5011	Keystone Electronics
U1	1	-	TPSF12C1 共模有源滤波器	SOT23-THIN (14)	TPSF12C1DYYR	德州仪器 (TI)

表 4-1. EVM 元件 BOM (continued)

参考设计	数量	值	说明	封装	器件型号	制造商
U2	1	-	TPS7A4901 36V , 150mA LDO , 具有高 PSRR	MSOP (8)	TPS7A4901DGNR	德州仪器 (TI)

4.3 PCB 布局

图 4-2 至图 4-8 展示了 PCB 布局图像，包括 3D 视图、铜层、装配图和层堆叠图。PCB 的标准厚度为 62mil，顶层和底层的铜厚度为 2oz。有关更多详细信息，请查看 [Altium](#) 源文件。

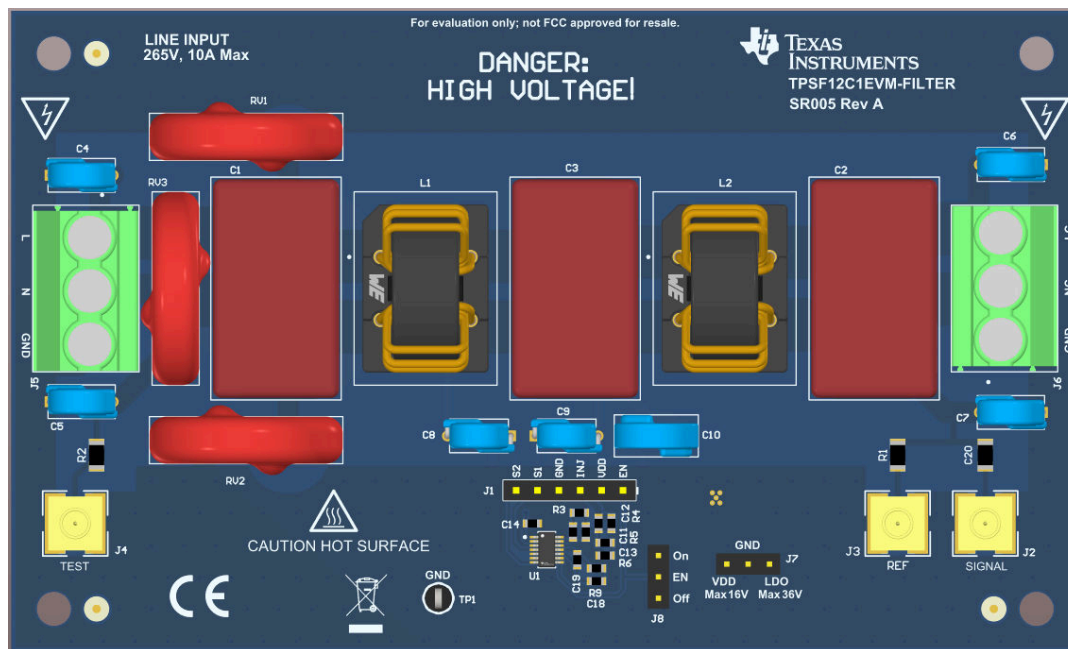


图 4-2. 3D 顶视图

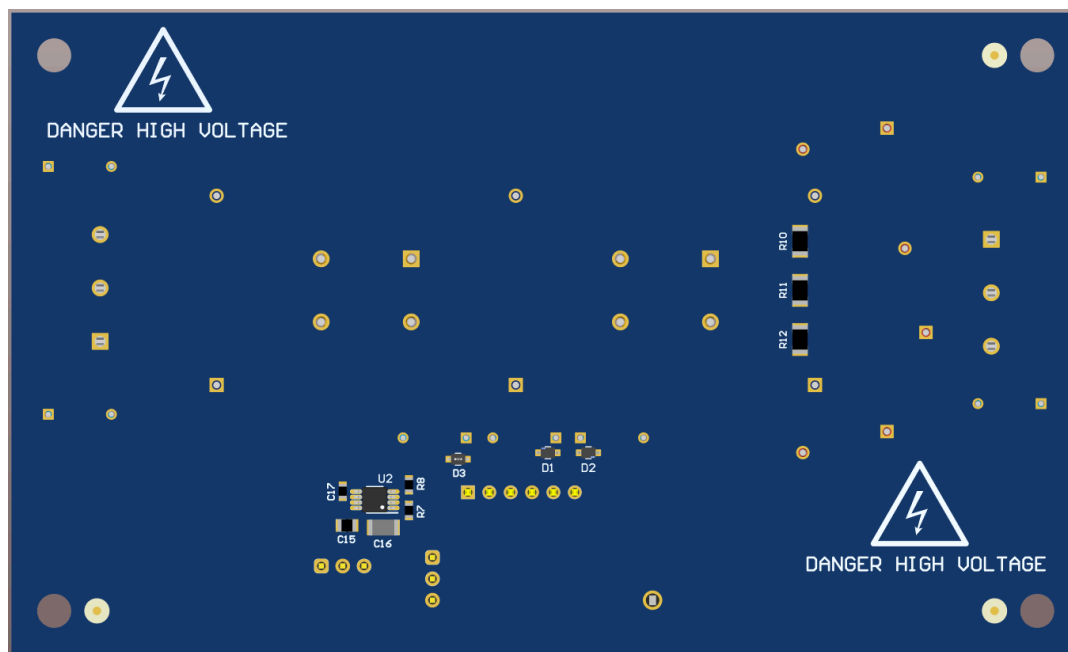


图 4-3. 3D 底视图

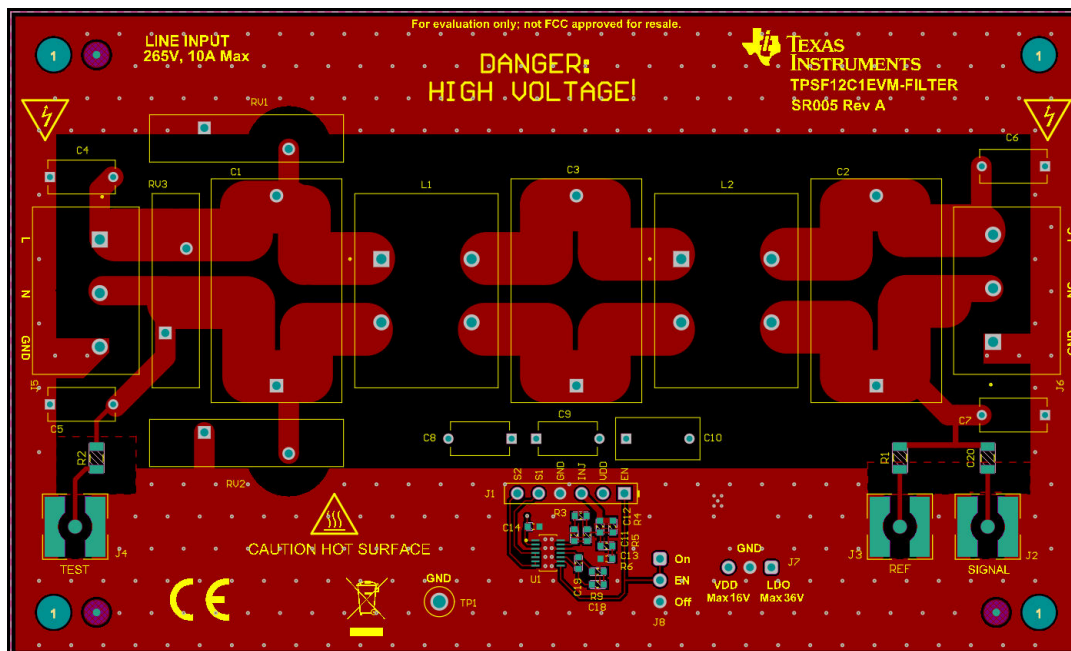


图 4-4. 顶部铜层

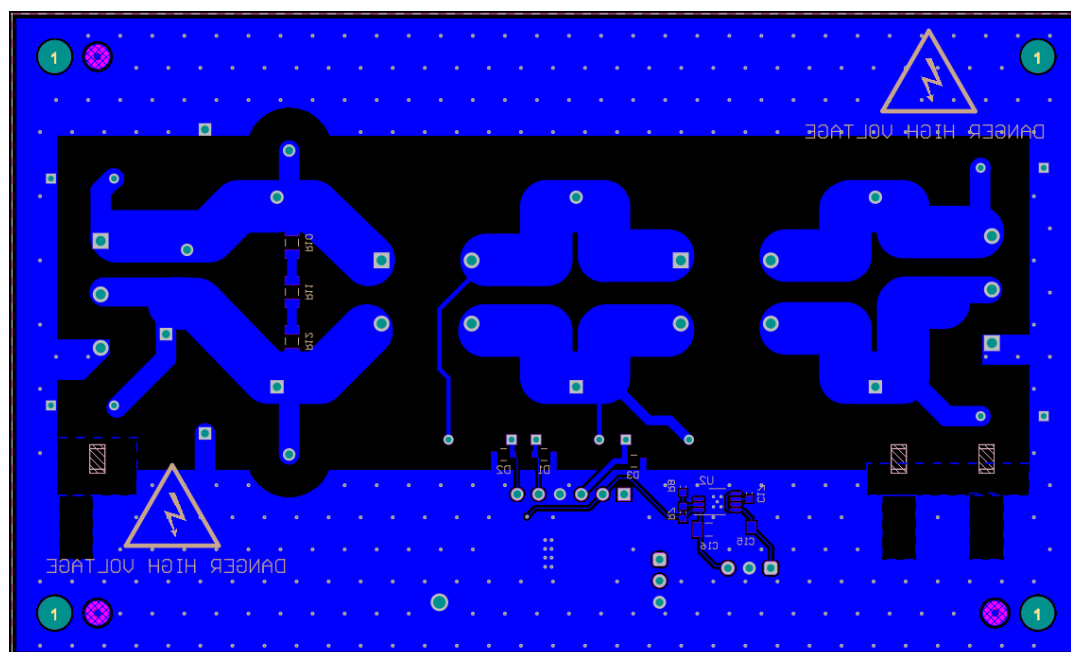


图 4-5. 底部铜层 (顶视图)

4.3.1 装配图

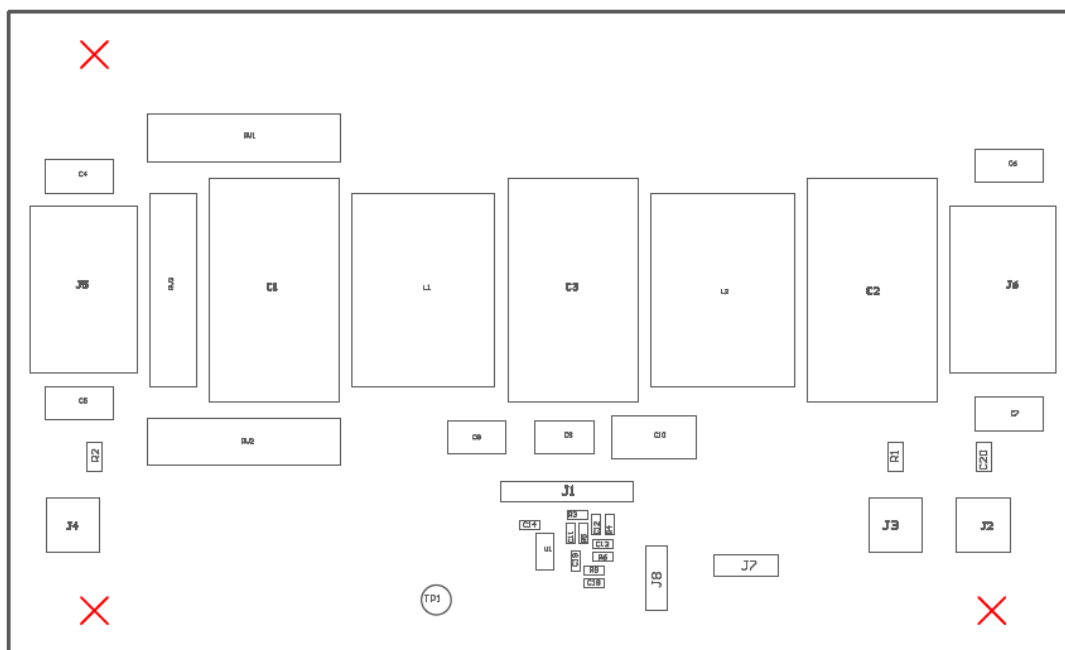


图 4-6. 顶层装配 (俯视图)

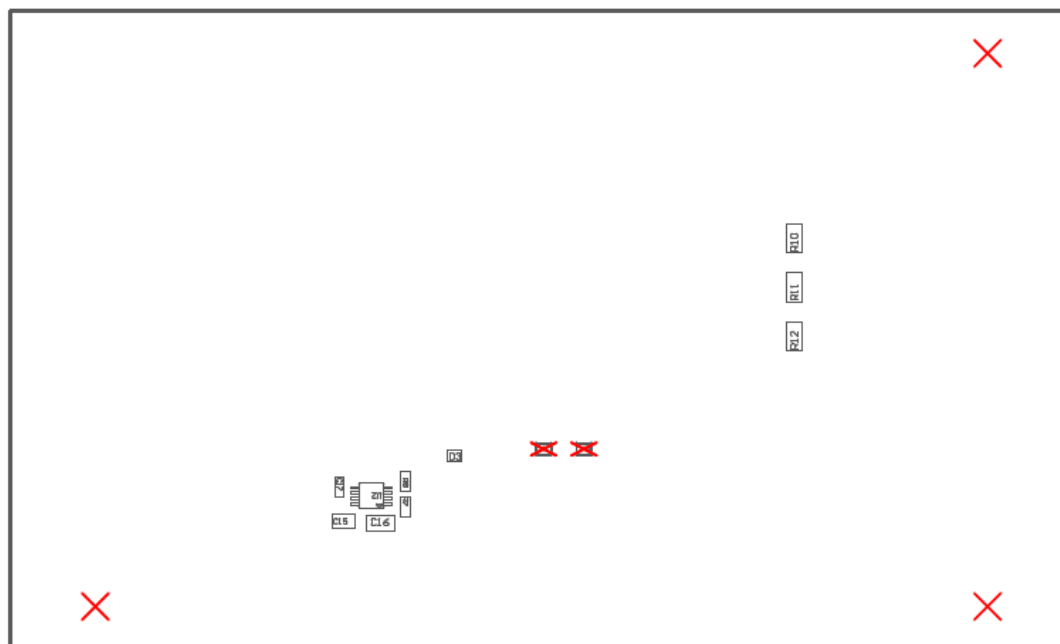


图 4-7. 底层装配 (底视图)

4.3.2 多层叠

#	Name	Type	Material	Weight	Thickness	Dk
	Top Overlay	Overlay				
	Top Solder	Solder Mask	Solder Resist		0.4mil	3.5
1	Top Layer	Signal		2oz	2.756mil	
	Dielectric 1	Core	FR-4 High Tg		56mil	4.2
2	Bottom Layer	Signal		2oz	2.756mil	
	Bottom Solder	Solder Mask	Solder Resist		0.4mil	3.5
	Bottom Overlay	Overlay				

图 4-8. 层堆叠

5 合规信息

5.1 合规性和认证

- [TPSF12C1EVM-FILTER](#) 欧盟关于限制有害物质 (RoHS) 使用的符合性声明 (DoC)

6 其他信息

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

7 相关文档

7.1 补充内容

请参阅如下相关文档：

- [德州仪器 \(TI\) 电源滤波器 IC](#)
- 德州仪器 (TI)，新闻稿 [TI 在业内率先推出支持高密度电源设计的独立有源 EMI 滤波器 IC](#)
- 白皮书：
 - 德州仪器(TI)，[有源 EMI 滤波器 IC 如何在单相和三相系统中降低共模发射并节省 PCB 空间](#)
 - 德州仪器 (TI)，[电源的传导 EMI 规格概述](#)
 - 德州仪器 (TI)，[电源的辐射 EMI 规格概述](#)
- 德州仪器 (TI)，[有关直流/直流稳压器 EMI 的工程师指南](#) 电子书
- 德州仪器 (TI)，[独立有源 EMI 滤波器 IC 如何缩小共模滤波器尺寸](#) 技术文章

要查看 [TPSF12C1](#) 单相 AEF 器件的相关 EVM，请参阅 [TPSF12C1QEVm](#) 用于降低 CM 噪声的单相独立有源 EMI 滤波器 EVM。

8 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 2023) to Revision A (July 2023)	Page
• 添加了 AEF 设计流程 一节.....	9
• 添加了热性能图像.....	12
• 添加了 SENSE 和 INJ 电压	14
• 添加了插入损耗图.....	14

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司