



说明

此参考设计是一款 4kW CCM 图腾柱 PFC，采用 F280049 或 F280025 controlCARD 和 LMG342x EVM 电路板。此设计展示了一个具有成本效益的强大 PFC 控制器，它将控制器接地置于 MOSFET 桥臂的中间位置，避免了隔离式电流检测。得益于非隔离特性，可以通过高速放大器 OPA607 进行交流电流检测，从而实现可靠的过电流保护。在此设计中，效率、热感图像、交流压降、雷电浪涌和 EMI CE 均进行了充分的验证。此参考设计中的测试数据表明：采用 C2000 和 GaN 的图腾柱 PFC 是非常成熟的产品，并且是高效产品 PFC 级设计的良好平台。

资源

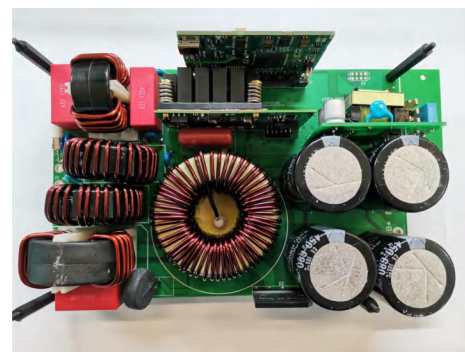
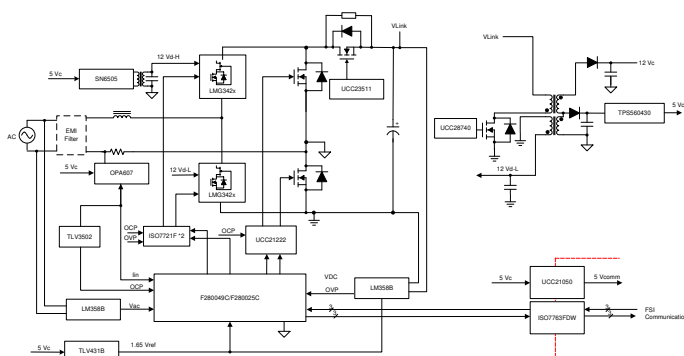
TIDA-010203	设计文件夹
LMG3422R030	产品文件夹
TMS320F280025C	产品文件夹
OPA607	产品文件夹
UCC21222	产品文件夹

特性

- 最大功耗：4000W (标称值为 200V - 277V)
- 峰值效率： $\geq 99.1\%$ ；功率因数：0.999
- 通过非隔离式高速放大器进行具有成本效益的电流感测
- 采用 TI Gen2 子卡的单相 CCM 图腾柱
- 通过 TMS320F28004x 或 TMS320F28002x 控制卡进行数字控制
- 包含 FSI 通信端口

应用

- 商用网络和服务服务器 PSU
- 商用通信电源整流器
- 空调室外机



1 系统说明

该参考资料展示了采用 TI GaN 和 C2000 的 4kW、单相 CCM 图腾柱无桥 PFC，该产品具有非隔离电流检测、隔离驱动、差分电压感测功能和隔离 FSI 通信端口。

表 1-1. 主要系统技术规格

参数	规格
输入电压	200V 至 277V
输入电流	20A _{RMS} (最大值)
输出电压	400VDC
输出电流	10A (最大值)
额定功率	4kW (单相 200V _{RMS})
电流 THD	< 2% (额定负载 230V _{RMS})
PFC 电感器	480μH
输出电容	680μF × 4

2 系统概述

该系统使用 TI C2000 controlCARD TMDSCNCD280049C (兼容 TMDSCNCD280025C) 作为控制器，使用 TI GaN EVM 板 LMG3422EVM-043 作为快速开关臂。

该设计将 C2000 参考地移至 MOSFET 桥臂的中点，因此它可以使用 OPA607 非隔离式高速放大器来检测电感器电流。凭借这一优势，必须针对低速 MOSFET 桥臂更改隔离式驱动 UCC21222，而 LM358B 放大器用于直流电压感测。MCU 接地变化不会影响 GaN 驱动，因为通常期望使用隔离器来阻止开关噪声从 GaN FET 传输到控制器端。在 GaN EVM 板上，LMG3422R030 由 ISO7741F 隔离，并由 SN6505 驱动隔离式直流/直流供电。

该设计没有使用笨重的继电器，而是使用由 UCC23511 驱动 MOSFET 来实现浪涌保护，从而节省了 PCB 空间。

该设计具有带 UCC28740 的反激式板，可生成两个隔离的 12V 输出；一个用于控制电路，另一个 12V 用于低侧 MOSFET 驱动。这两个 12V 输出设计为具有 500V 的相互隔离能力，可承受高侧 MOSFET 导通时的直流链路电压。控制电路的 12V 输出产生 5V 电源，TPS650430 降压控制器用于 MCU 卡和 GaN 卡。

此外，该设计包括一个带有 ISO7763 隔离器的 FSI 通信端口，由 UCC21050 供电。FSI 通信协议可实现更快的通信和固件更新。

2.1 方框图

图 2-1 展示了此设计的方框图以及其中的关键 TI 器件。

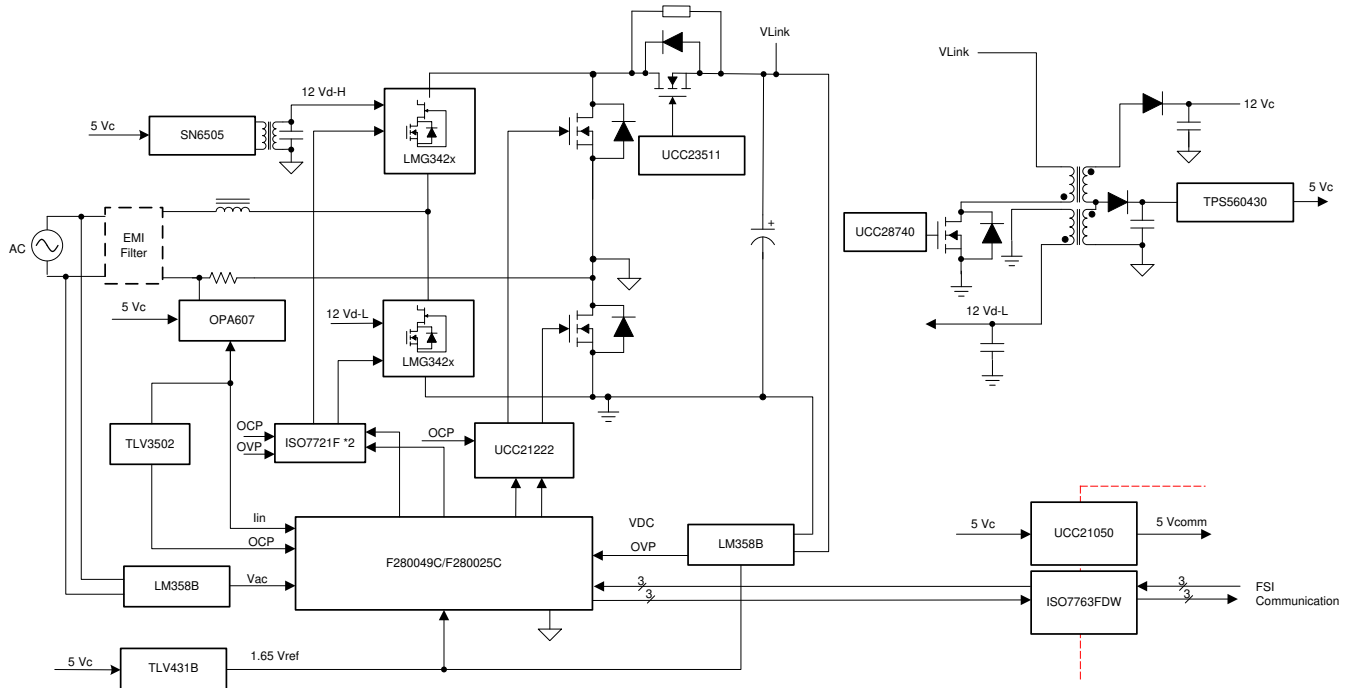


图 2-1. 系统方框图

以下 EVM 用于实现本指南中记录的参考设计操作：

1. F280049C controlCARD 评估模块：TMDSCNCD280049C
2. LMG342x GaN EVM 板：LMG3422EVM-043

2.2 设计注意事项

数字电源设计包括功率级和控制级。此设计中的功率级设计类似于所有其他升压 PFC 设计，与 [1kW、80 Plus titanium、GaN CCM 图腾柱无桥 PFC 和半桥 LLC 参考设计 \(TIDA-010062\)](#) 的设计流程类似。图 2-2 显示了功率级设计参数。

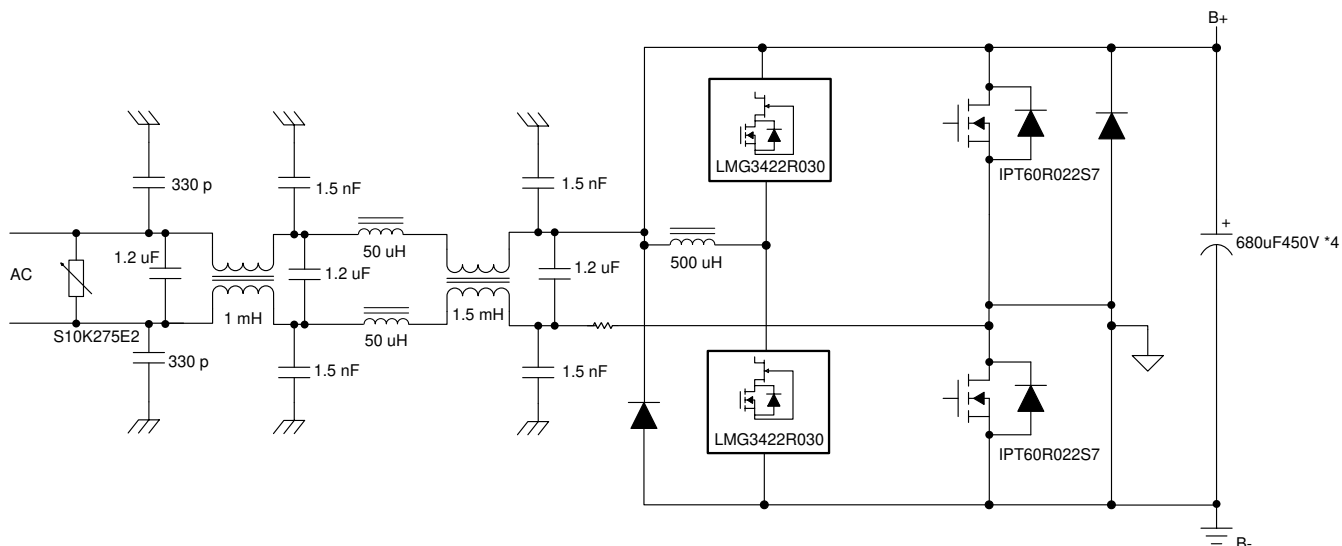


图 2-2. 功率级设计参数

以下关键考虑因素适用于控制阶段设计：

- 输入电流检测

在图腾柱 PFC 中，大多数交流电流检测使用隔离式电流传感器，例如霍尔传感器、隔离式放大器和电流互感器。从常识来看，模拟隔离比数字隔离更具挑战性。例如，与非隔离放大器相比，霍尔传感器和隔离放大器具有相对较低的带宽和较长的传播延迟。但是，处理 PWM 驱动隔离要轻松得多。在此设计中，MCU 的接地改为 MOSFET 桥臂的中点。这种细微的变化允许使用分流电阻器并通过非隔离放大器来感测电流。

选择具有 50MHz GBW 的 OPA607 运算放大器，该高速放大器有助于 MOSFET 上的电流环路控制和过流保护。输入电流检测比设置为 0.033V/A，感测范围为 -48A 至 +48A。

- 直流链路电压感测

在 MOSFET 桥臂的中间位置设置控制器的接地后，直流链路相对于控制器接地具有较高的共模电压。必须使用电阻分压器很好地抑制这种共模电压，而放大器的 CMRR 用于消除这种干扰。

CMRR 20 μ V/V 是 LM358B 的一个通道，用于通过差分放大电路来感测直流链路电压。直流链路电压感测比设置为 0.0072，感测范围设置为 0V 至约 462V。

- 输入交流电压感测

交流线路电压在半个周期内为负，因此 0V 输入必须偏移至 1.65V 输出。LM358B 的另一个通道用于感测交流线路电压，它执行标度并同时引入 1.65V 偏移。交流电压感测比设置为 0.0037，感测范围设置为 -471V 至 +471V。

- 输入 OCP (过流保护)

输入 OCP 可以通过 C2000 中集成的 CMPSS 模块来实现，但在此设计中，用于 MOSFET 桥臂的额外硬件 OCP 是多余的。输入电流是双向的，因此需要一个双通道比较器来实现保护。此设计使用 TLV3502 设置带滞环的双向电流保护。保护阈值设置为 -48A 和 +50A，具有迟滞。

- 直流母线 OVP (过压保护)

由于直流总线过压非常危险，会导致财产损失，因此本参考中包含硬件 OVP。在验证固件 OVP 功能良好之前，强烈建议这样做。此硬件 OVP 可通过 LM358B 的一个通道轻松实现，OVP 阈值设置为 445V，具有 15V 迟滞。

- GaN FET 驱动

此设计使用 LMG3422EVM-043 GaN 半桥 EVM 作为开关臂。EVM 板包括两个 ISO7741 隔离器和两个 SN6505 隔离式直流/直流变压器驱动器，适用于高侧和低侧 GaN FET。所以，GaN 桥可直接由 MCU 驱动。

备注

对于 EVM 板：LMG3422EVM-043 在 ISO7741 V_{CC} 的 MCU 侧使用 5V。这在功能上适用于 3.3V MCU 逻辑，但需要更改为 3.3V 以匹配逻辑电平。

• MOSFET 驱动

由于控制器的接地设置在 MOSFET 桥臂的中间，当高侧 MOSFET 导通时，低侧 MOSFET 的电压为 -400V，因此在这种情况下需要功能性隔离驱动器。当 PCB 布局空间非常有限时，可以使用采用 VLGA 封装的 UCC21225A，但在本设计中，采用 SO-16 封装的 UCC21222 是性价比更高的选择。UCC21222 和 UCC21225A 都可以使用死区配置来实现互锁功能。

• 浪涌保护

所有 PFC 级都需要处理交流电源开启期间的浪涌电流。通常使用机械继电器和电阻器或 PTC 来执行电流限制。但是，当电流大于 16A 时，继电器会变得非常笨重且难以选择。因此，在本设计中，浪涌继电器被具有隔离驱动的 MOSFET 取代。由于 MOSFET 体二极管的原因，它不能阻挡从源极到漏极的电流，为了避免这种情况，它必须使用两个背对背 MOSFET，浪涌 MOSFET 放置在直流链路侧。

2.3 主要产品

2.3.1 LMG342xR030

LMG342xR030 GaN FET 具有集成驱动器和保护功能，可让设计人员在电力电子系统中实现更高水平的功率密度和效率。

LMG342xR030 集成了一个硅驱动器，可实现高达 150V/ns 的开关速度。与分立式硅栅极驱动器相比，TI 的集成精密栅极偏置可实现更高的开关 SOA。这种集成与我们的低电感封装相结合，可在硬开关电源拓扑中提供干净的开关和超小的振铃。其他特性（包括用于 EMI 控制的可调栅极驱动强度、过热保护、稳健过流保护和故障指示）帮助实现了 BOM 成本、布板尺寸和外形尺寸的最优化。

高级电源管理功能包括数字温度报告和 TI 的理想二极管模式。GaN FET 的温度通过可变占空比 PWM 输出进行报告，这使系统能够以理想方式管理负载。理想二极管模式通过启用自适应死区时间控制功能来降低第三象限损耗，从而更大幅度地提高效率。

2.3.2 TMS320F28002x

TMS320F28002x (F28002x) 是 C2000™ 实时微控制器系列中的一款器件，该系列为可扩展、超低延迟器件，旨在提高电力电子设备的效率，包括但不限于：高功率密度、高开关频率，并支持使用 GaN 和 SiC 技术。

实时控制子系统基于 TI 的 32 位 C28x DSP 内核，可针对从片上闪存或 SRAM 运行的浮点或定点代码提供 100MHz 的信号处理性能。三角函数加速器 (TMU) 和 VCRC (循环冗余校验) 扩展指令集进一步增强了 C28x CPU 的性能，从而加快了实时控制系统关键常用算法的速度。

高性能模拟模块集成在 F28002x 实时微控制器 (MCU) 上，并与处理单元和 PWM 单元紧密耦合，以提供更好的实时信号链性能。14 个 PWM 通道均支持与频率无关的分辨率模式，可控制从三相逆变器到高级多级电源拓扑的各种功率级。

2.3.3 OPA607

OPAX607 是一款去补偿 (增益 = 6V/V 稳定)、通用型互补金属氧化物半导体 (CMOS) 运算放大器，可提供 $3.8\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 的低噪声和 50MHz 的宽增益带宽。OPAX607 器件具有低噪声和高带宽特性，因此非常适合要求在成本和性能之间达到良好平衡的通用应用。凭借高阻抗 CMOS 输入特性，OPAX607 放大器非常适用于连接具有高输出阻抗的传感器（例如，压电式传感器）。

OPA607 具有断电模式，最大静态电流小于 $1\mu\text{A}$ ，因此，该器件非常适合便携式电池供电型应用。OPA607 的轨至轨输出 (RRO) 相对于电源轨具有高达 10mV 的摆幅，可最大限度地扩大动态范围。

此运算放大器经优化，可在低至 2.2V ($\pm 1.1\text{V}$) 和高达 5.5V ($\pm 2.75\text{V}$) 的低压下工作，额定工作温度范围为 -40°C 至 $+125^\circ\text{C}$

2.3.4 UCC21222

UCC21222 器件是具有可编程死区时间的隔离式双通道栅极驱动器。该器件采用 4A 峰值拉电流和 6A 峰值灌电流来驱动功率 MOSFET、IGBT 和 GaN 晶体管。

UCC21222 器件可配置为两个低侧驱动器、两个高侧驱动器或一个半桥驱动器。该器件的 5ns 延迟匹配性能允许并联两个输出，能够在重负载条件下将驱动强度提高一倍，而无内部击穿风险。

输入侧通过一个 3.0kV RMS 隔离栅与两个输出驱动器隔离，共模瞬态抗扰度 (CMTI) 的最小值为 100V/ns。

可通过电阻器进行编程的死区时间帮助您调整系统限制的死区时间，从而提高效率并防止输出重叠。其他保护特性包括：当 DIS 设置为高电平时，通过禁用功能同时关闭两路输出；集成的抗尖峰滤波器可抑制短于 5ns 的输入瞬变；以及在输入和输出引脚上对高达 -2V 的尖峰进行 200ns 的负电压处理。所有电源都有 UVLO 保护。

3 硬件、测试要求和测试结果

本部分将详细介绍硬件，并说明电路板上的不同区域，以及如何为本设计指南所述的实验设置这些区域。

3.1 硬件要求

子板

1. C2000 controlCARD 评估模块：TMDSCNCD280049C/ TMDSCNCD280025C
2. LMG342x GaN EVM 板：LMG3422EVM-043

设备

1. 可编程交流电源
2. 隔离式高电压电气直流负载
3. 12V1A 隔离式直流电源，×2
4. 空气冷却风扇

3.2 测试设置

该参考设计包含一个反激级，该级提供两个 12VDC 和 600V 功能隔离，用于独立操作。但在固件测试过程中，不应使用辅助电源板进行设置，因为在运行固件时，预计直流总线上没有电源。

以下步骤显示了外部 V_{CC} 电源的常见设置：

1. 卸下或断开反激板（如果已组装）
2. 确保 C2000 和 GaN 板组装良好
3. 将 12VDC1 连接到“12Vc”和“GND-c”；将另一个 12VDC2 连接到“12V-L”和“B-”；（12VDC1 和 12VDC2 必须有 500VDC 的相互隔离能力）
4. 将交流电源线连接到输入端子，但不要通电
5. 将直流负载连接到输出端子**注意直流极性**。负载**必须**与电网和 PE 线隔离）
6. 使用强制风冷风扇来冷却电路板
7. 在测试效率之前，插入带有电流和电压表的功率计。（确保所有电压探针都靠近电路板一侧。）

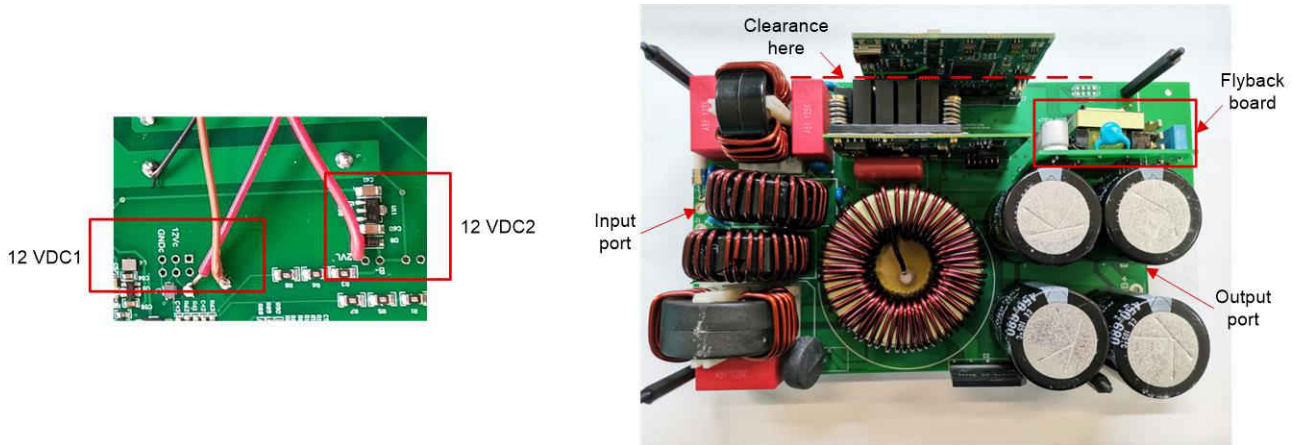


图 3-1. 电路板设置

3.3 测试结果

3.3.1 测试过程

图 3-2 展示了 EUT 设置。

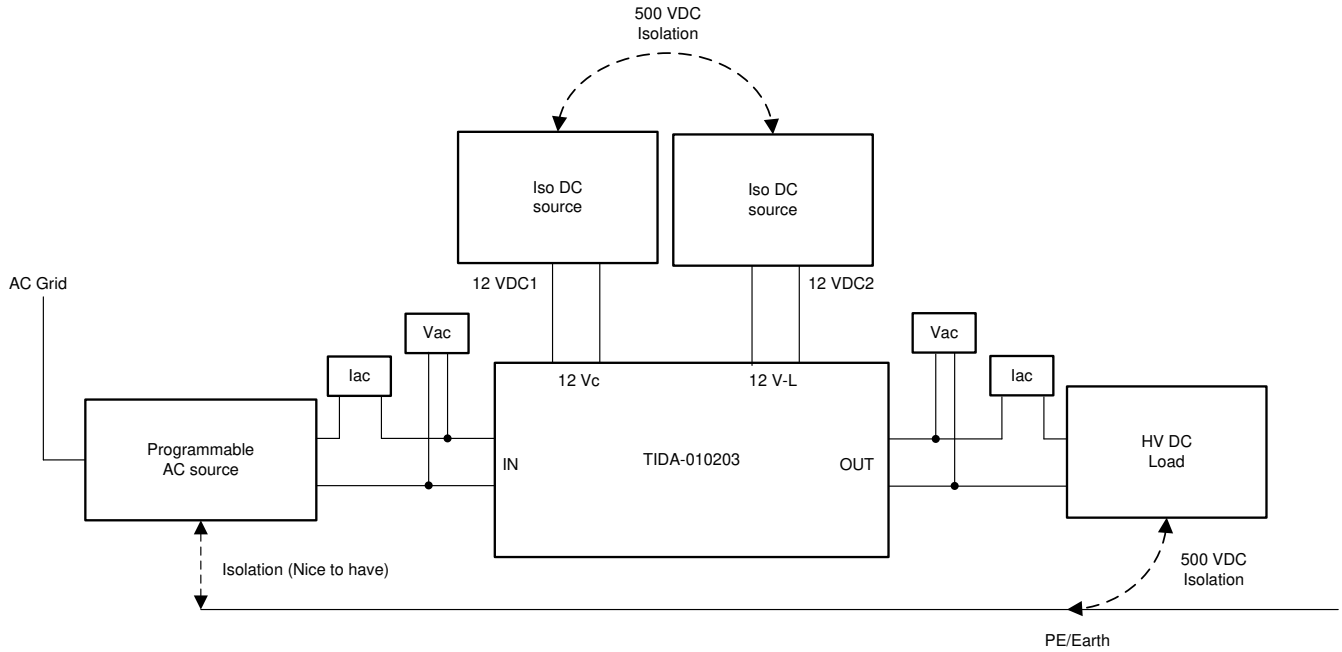


图 3-2. EUT 设置

上电过程：

1. 打开用于冷却的风扇
2. 为 12VDC_1 供电，功耗应接近 0.13A
3. 为 12VDC_2 供电，功耗应小于 0.01A
4. 将直流负载设置为 CC 模式，0.5A，负载开启
5. 打开交流电源（200VAC 至 277VAC），将看到直流输出逐渐增加到 400VDC
6. 在 0-10A 之间调整直流负载，用于测试

断电过程：

1. 将负载降至 1A
2. 切断交流输入的电源
3. 切断 12VDC_1 和 12VDC_2 的电源
4. 关断冷却风扇

3.3.2 性能数据：效率、iTHD 和功率因数

表 3-1 展示了 230V 输入时的效率、iTHD 和功率因数数据，不包括控制和驱动功率损耗。图 3-3 展示了相关 230V 效率曲线。

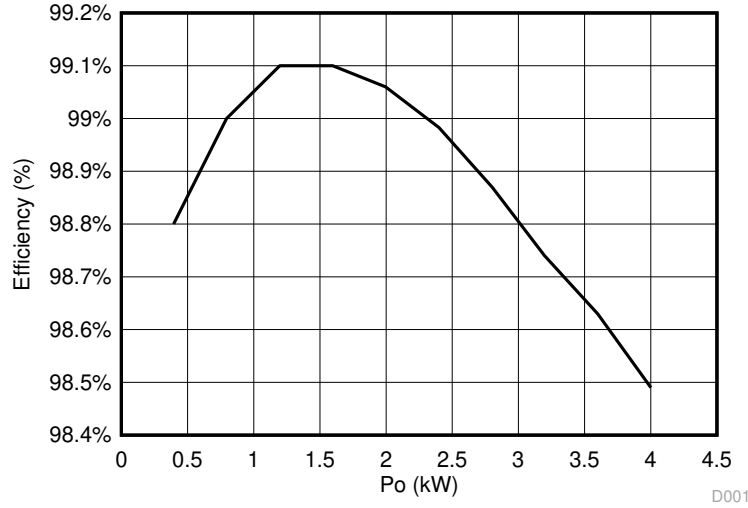


图 3-3. 效率曲线，230V 175

表 3-1. 输入为 230V 时的效率、iTHD 和功率因数数据

输入电压/Vac	输入电流/Aac	引脚/kW	输出电压/V	输出电流/A	输出功率/kW	Eff.	iTHD	PF
228.3	1.924	0.4005	401.17	0.984	0.3946	98.80%	13.65%	0.984
226.11	3.651	0.8021	401.22	1.982	0.7951	99.00%	7.53%	0.996
226.89	5.37	1.2071	401.19	2.982	1.1964	99.10%	5.56%	0.998
226.06	7.158	1.6109	401.21	3.979	1.5963	99.10%	4.20%	0.999
225.71	8.956	2.0158	401.11	4.978	1.9966	99.06%	3.18%	0.999
224.82	10.802	2.4236	401.26	5.978	2.3986	98.98%	3.02%	0.999
223.2	12.711	2.8329	401.28	6.98	2.8009	98.87%	2.75%	0.999
222.89	14.545	3.238	401.28	7.967	3.1968	98.74%	2.49%	0.999
222.23	16.438	3.649	401.34	8.968	3.599	98.63%	2.22%	0.999
221.38	18.37	4.062	401.12	9.967	4.0008	98.49%	2.10%	0.999

图 3-4 展示了相关 200V 和 277V 效率曲线。

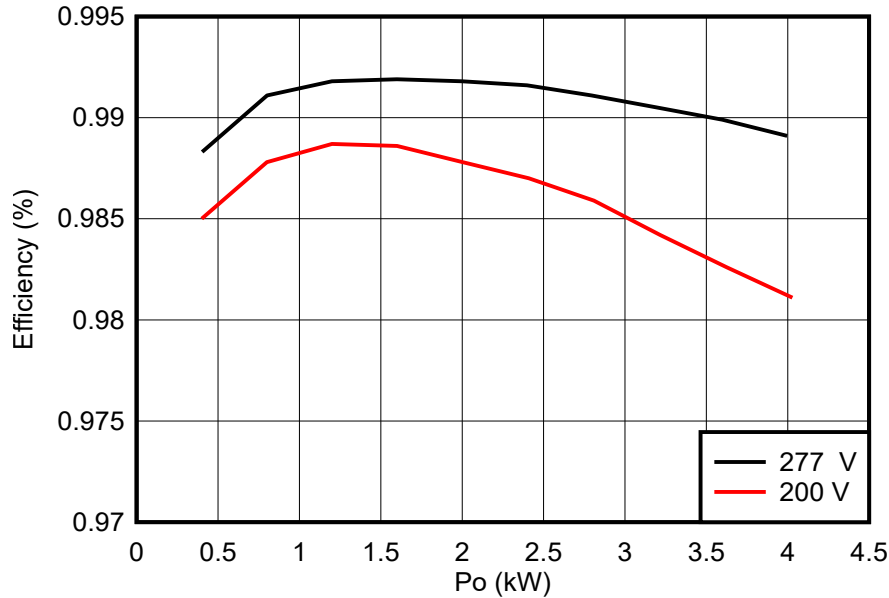


图 3-4. 效率曲线，200V 和 277V

表 3-2 和表 3-3 分别展示了输入为 200V 和 277V 时的效率，不包括控制和驱动功率。

表 3-2. 输入为 200V 时的效率

引脚/kW	输出电压/V	输出电流/A	输出功率/kW	效率
0.4006	396.12	0.996163	0.3946	98.50%
0.8004	396.14	1.995759	0.7906	98.78%
1.2002	396.16	2.995254	1.1866	98.87%
1.6008	396.16	3.994851	1.5826	98.86%
2.0029	396.16	4.994194	1.9785	98.78%
2.4093	396.27	6.000959	2.378	98.70%
2.8091	396.25	6.989022	2.7694	98.59%
3.2165	396.27	7.988745	3.1657	98.42%
3.6249	396.27	8.988568	3.5619	98.26%
4.0285	396.25	9.974763	3.9525	98.11%

表 3-3. 输入为 277V 时的效率

引脚/kW	输出电压/V	输出电流/A	输出功率/kW	效率
0.4028	396.2	1.004796	0.3981	98.83%
0.8013	396.21	2.004493	0.7942	99.11%
1.2	396.2	3.003786	1.1901	99.18%
1.5991	396.22	4.003331	1.5862	99.19%
1.9984	396.2	5.002776	1.9821	99.18%
2.3983	396.18	6.002575	2.3781	99.16%
2.7949	396.22	6.991066	2.77	99.11%
3.1961	396.22	7.989753	3.1657	99.05%
3.5982	395.22	9.012449	3.5619	98.99%
3.9961	396.21	9.976275	3.9527	98.91%

3.3.3 功能波形

3.3.3.1 电流检测和保护

图 3-5、图 3-6 和图 3-7 分别展示了 100kHz、500kHz 和 1MHz 下的 OPA607 电流检测波形。220ns 相位延迟是有意引入以过滤高频噪声，可根据系统要求进行优化。

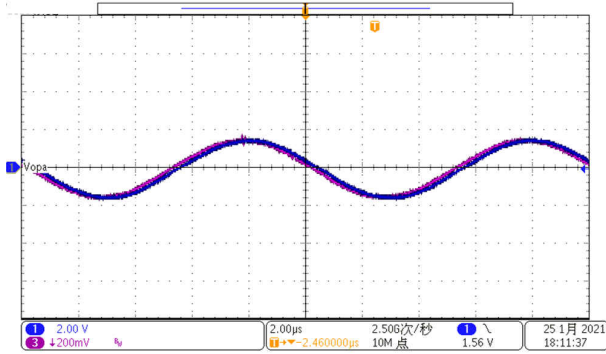


图 3-5. 100kHz 波形

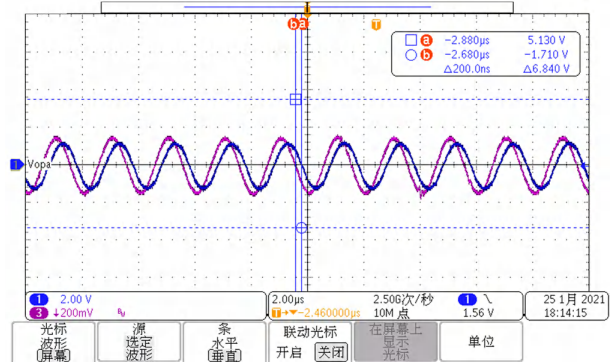


图 3-6. 500kHz 波形

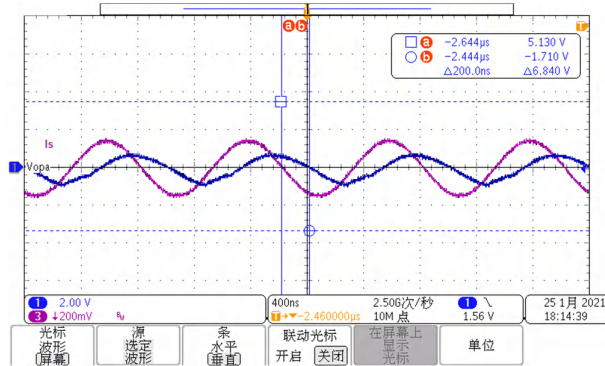


图 3-7. 1MHz 波形

使用 OPA607 放大器和 TLV3502 比较器，MOSFET 响应的过流保护得到验证，如图 3-8 展示的负方向 OCP 响应时间，图 3-9 展示的正方向 OCP 响应时间所示。

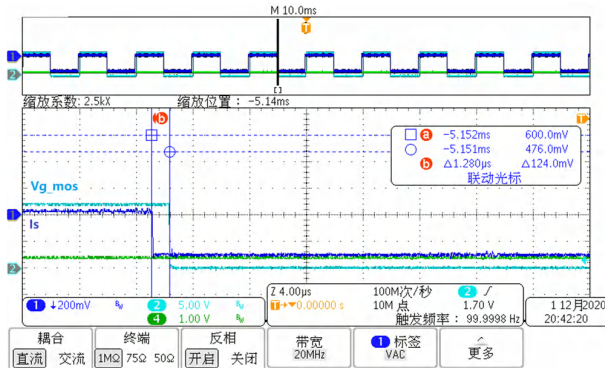


图 3-8. 负 OCP 操作

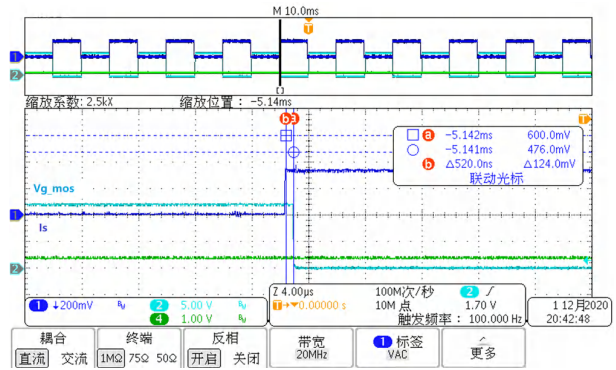


图 3-9. 正 OCP 操作

3.3.3.2 功率级启动和输入波形

图 3-10 展示了轻负载条件下的启动波形。

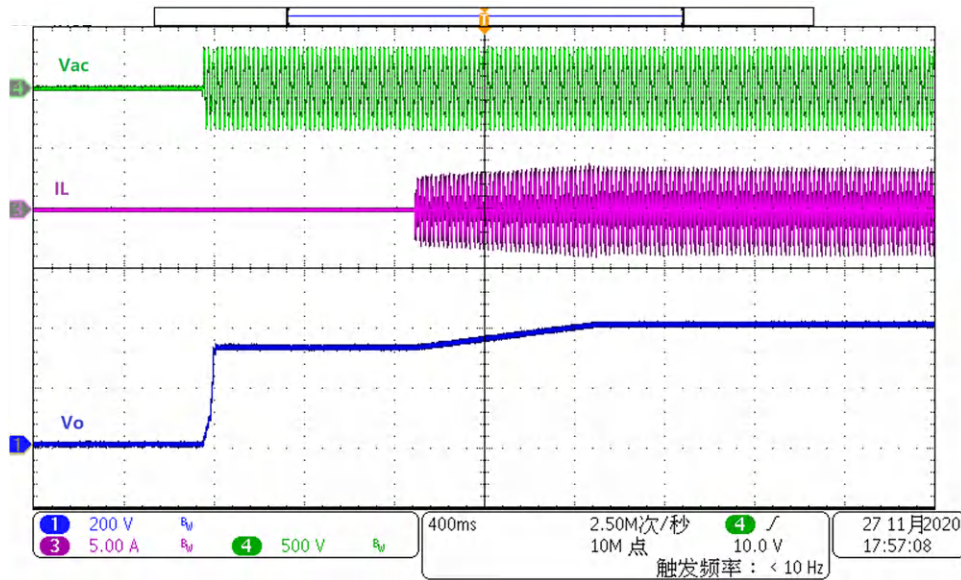


图 3-10. 轻负载条件下的启动波形

图 3-11 展示了 200V 输入和 4kW 负载条件下的输入电流和电压波形。

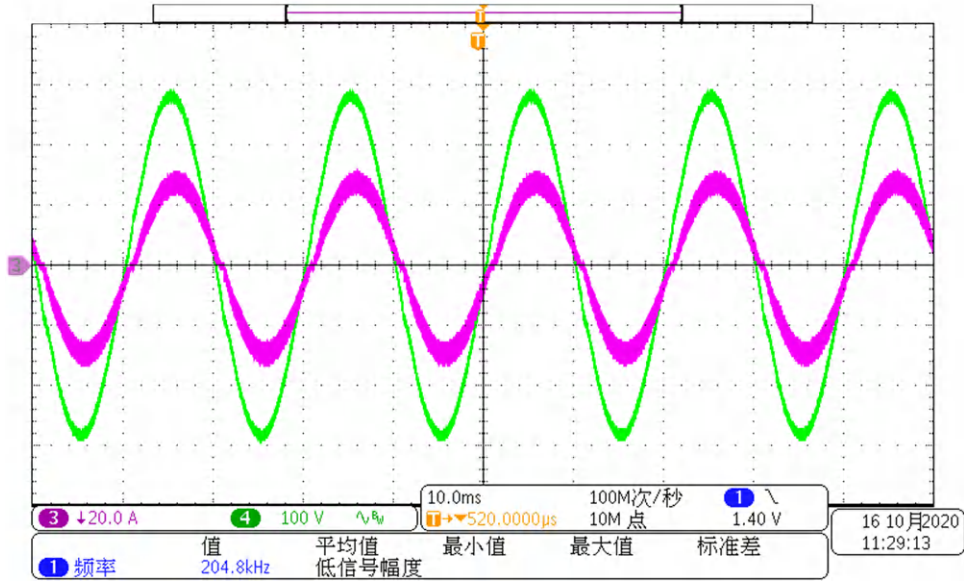


图 3-11. 输入电流和电压波形，200V 输入和 4kW 负载

图 3-12 展示了方波交流输入下的输入电流和电压波形。

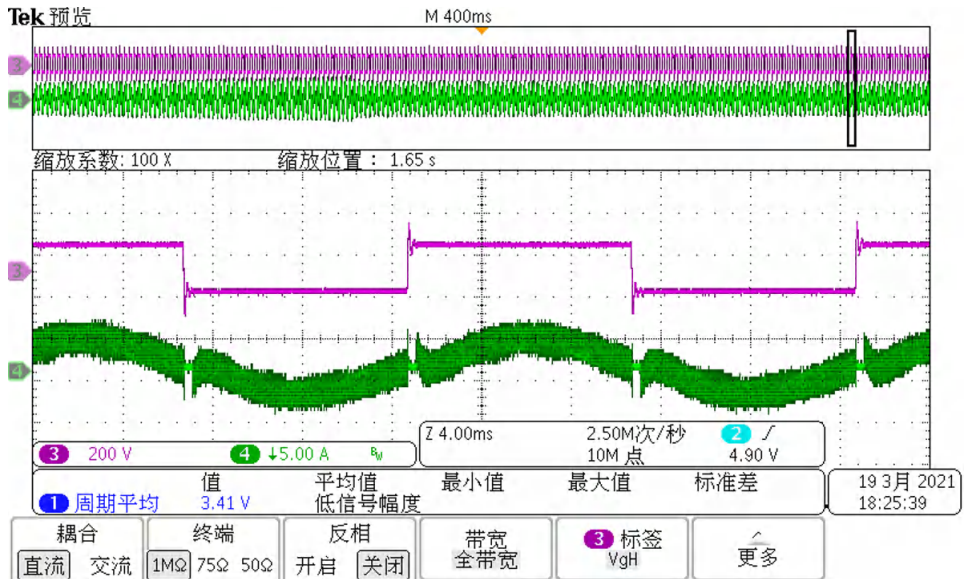


图 3-12. 230V 方波交流输入下的输入电流和电压波形

3.3.3.3 交流压降测试

在此设计中，功率级在 2.8kW 负载条件下进行了交流 45° 压降测试。测试结果表明控制逻辑不受交流失真的干扰。图 3-13 中的波形展示了相关结果。

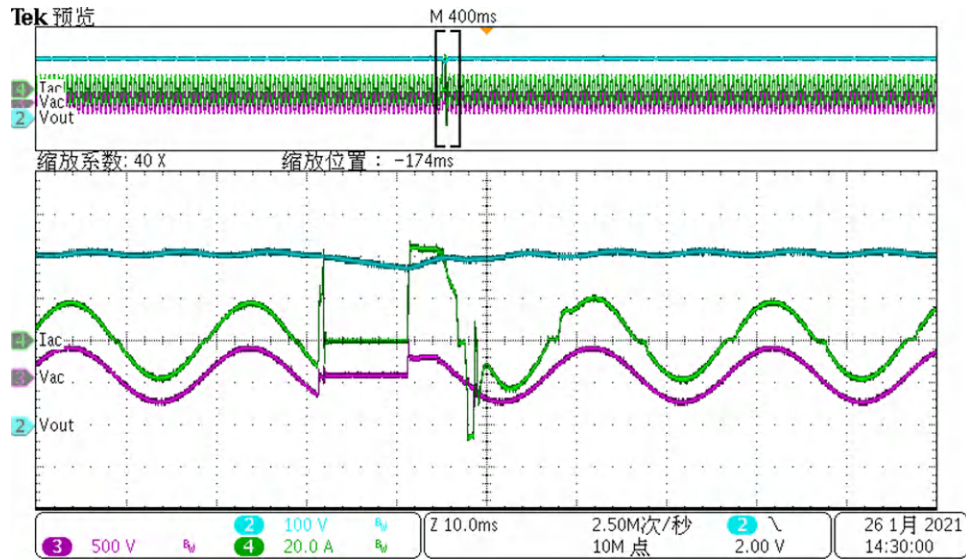


图 3-13. 交流压降测试

3.3.3.4 浪涌测试

在此设计中，在 ACL 和 ACN 之间执行了雷击浪涌测试。图 3-14 展示了未连接 EUT 时的 3kV 火线与零线间浪涌电压波形。

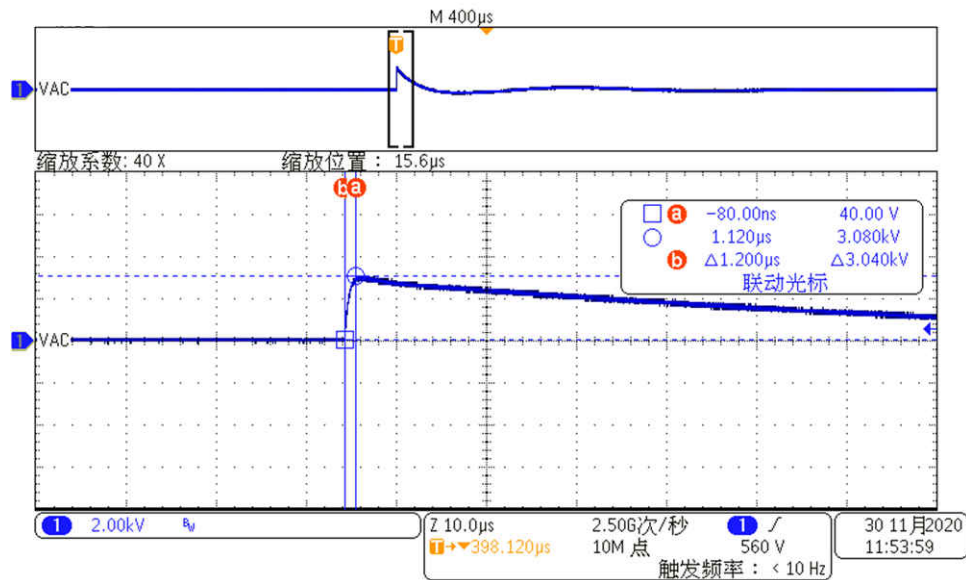


图 3-14. 浪涌电压波形

通过使用浪涌波形，测试了输入电流和 PFC 扼流电流，该电流与流过 GaN FET 的电流相同。结果清晰表明，浪涌电流完全被浪涌二极管绕过，不会对 GaN FET 带来风险（请参见图 3-15）。

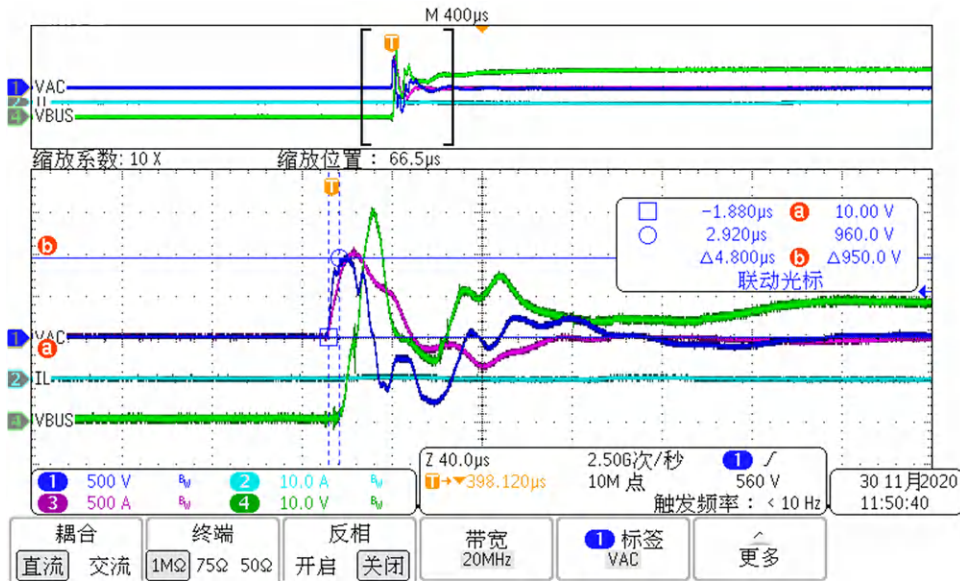


图 3-15. GaN FET，浪涌测试中的扼流电流

流过 MOSFET 的浪涌电流会带来威胁。如图 3-16 中的测试波形所示，3kV 浪涌下的电流超过了 MOSFET 的最大峰值电流规格。

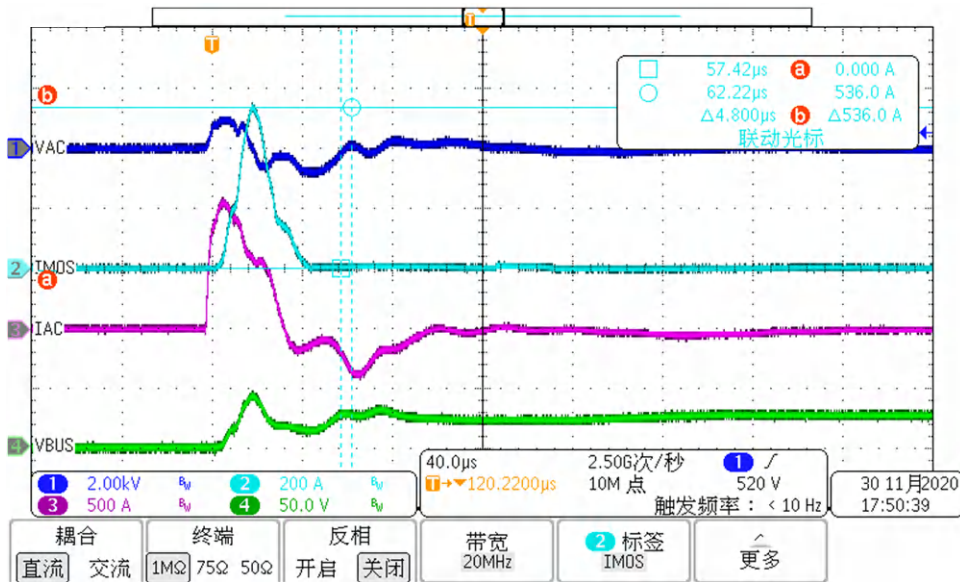


图 3-16. 流经 MOSFET 的浪涌电流

实验表明，功率级在 $\pm 3\text{kV}$ 浪涌下仍可承受，但 MOSFET 桥臂在 -4kV 浪涌下断开。图 3-17 和图 3-18 分别展示了 $\pm 3\text{kV}$ 下的浪涌波形。

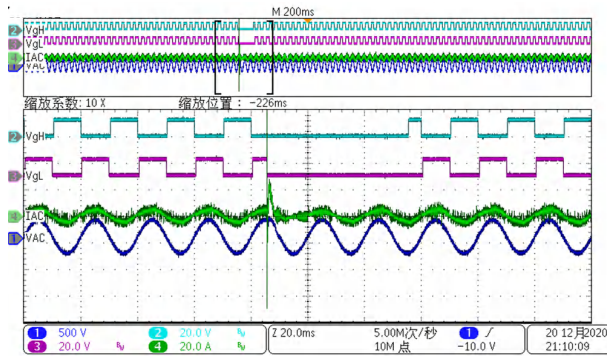


图 3-17. +3kV 90 度下的浪涌测试

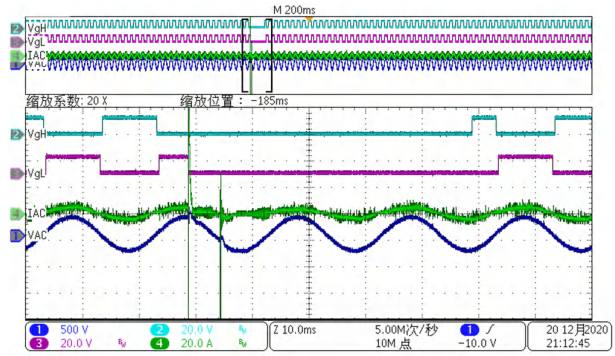
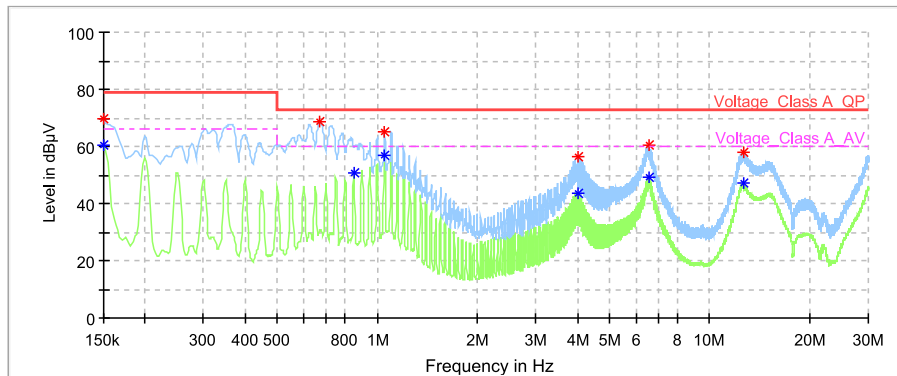


图 3-18. -3kV 90 度下的浪涌测试

3.3.3.5 EMI 测试

此参考设计必须处理 EMI CE，存在 1.1MHz 和 5.5MHz CM 噪声，可以通过 PFC 扼流圈上的屏蔽层来抑制。图 3-19 显示了在 230VAC 和 40R 电阻负载下向 PFC 扼流圈添加屏蔽铜后的电路板 CE 测试结果。



Critical_Freqs

Frequency (MHz)	MaxPeak (dBμV)	Average (dBμV)	Limit (dBμV)	Margin (dB)	Meas. Time (ms)	Bandwidth (kHz)	Line	Filter	Corr. (dB)
0.15	69.96	---	79.00	9.04	---	---	L1	ON	19
0.15	---	60.41	66.00	5.59	---	---	L1	ON	19
0.67	68.81	---	73.00	4.19	---	---	L1	ON	19
0.85	---	50.89	60.00	9.11	---	---	L1	ON	19
1.05	---	56.79	60.00	3.21	---	---	L1	ON	19
1.05	65.17	---	73.00	7.83	---	---	L1	ON	19
4.00	---	43.76	60.00	16.24	---	---	L1	ON	19
4.00	56.56	---	73.00	16.44	---	---	L1	ON	19
6.55	---	49.22	60.00	10.78	---	---	L1	ON	19
6.55	60.42	---	73.00	12.58	---	---	L1	ON	19
12.59	---	47.15	60.00	12.85	---	---	L1	ON	19
12.67	57.99	---	73.00	15.01	---	---	L1	ON	19

图 3-19. 在 230Vac、40R 负载下添加屏蔽铜后的 EMI CE 结果

备注

此参考设计必须处理 EMI CE，存在 1.1MHz 和 5.5MHz CM 噪声，可以通过 PFC 扼流圈上的屏蔽层来抑制。图 3-19 显示了在 230VAC 和 40R 电阻负载下向 PFC 扼流圈添加屏蔽铜后的电路板 CE 性能。

3.3.4 热力测试

在此设计中验证了热性能。测试条件如下：

- 200VAC，负载为 4kW
- 冷却风扇：27CFM，24V 2.64W
- 10 分钟后热均衡

图 3-20 展示了测试结果。

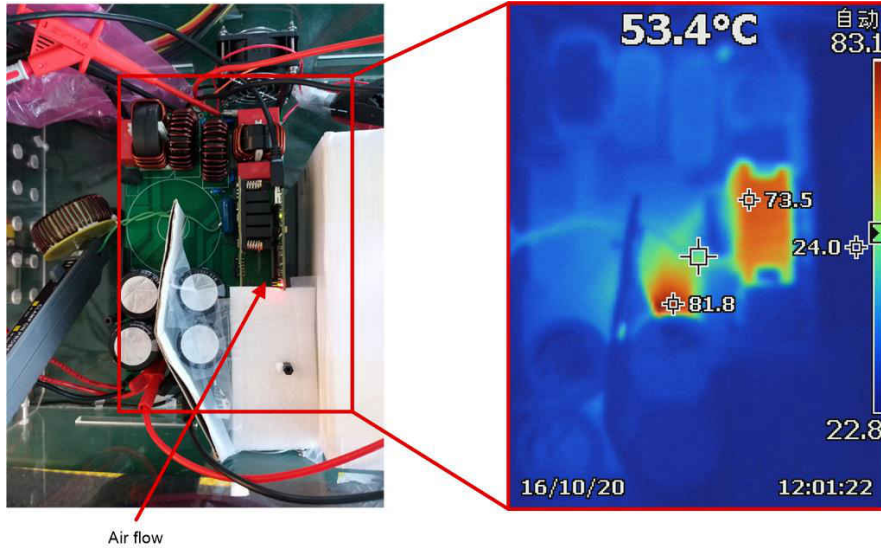


图 3-20. 热性能测试

3.3.5 GaN FET 开关波形

图 3-21 所示为 LMG3422R030 GaN FET 开关波形。该波形显示了 100V/ns 的压摆率，开启时在硬开关期间的下冲非常小。

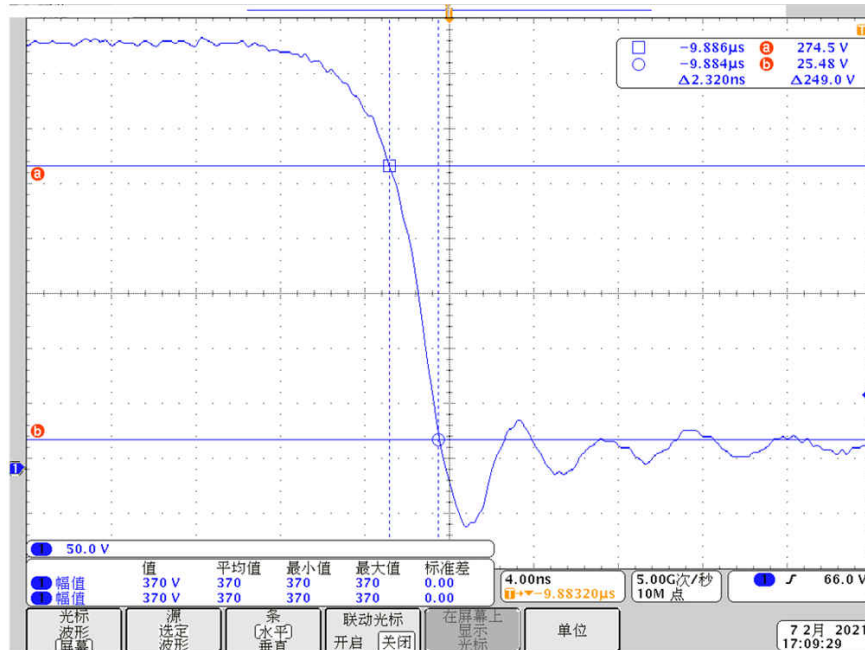


图 3-21. LMG3422R030 开关波形

4 设计和文档支持

4.1 设计文件

4.1.1 原理图

若要下载原理图，请参见 [TIDA-010203](#) 中的设计文件。

4.1.2 BOM

若要下载物料清单 (BOM)，请参见 [TIDA-010203](#) 的设计文件。

4.2 文档支持

1. 德州仪器 (TI), [1kW、80 Plus Titanium、GaN CCM 图腾柱无桥 PFC 和半桥 LLC 参考设计](#)
2. 德州仪器 (TI), [使用 C2000™ MCU 的双向交错式 CCM 图腾柱无桥 PFC 参考设计指南](#)
3. 德州仪器 (TI), [LMG342XEVM-04X 用户指南](#)
4. 德州仪器 (TI), [具有集成驱动器、保护和温度报告功能的 LMG342xR030 600V 30mΩ GaN FET 数据表](#)
5. 德州仪器 (TI), [TMS320F28004x 微控制器数据表](#)
6. 德州仪器 (TI), [TMS320F28004x 实时微控制器技术参考手册](#)
7. 德州仪器 (TI), [Piccolo F280049 controlCARD 信息指南](#)

4.3 支持资源

[TI E2E™ 支持论坛](#) 是工程师的重要参考资料，可直接从专家获得快速、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可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

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

5 关于作者

DESHENG GUO 是德州仪器 (TI) 的系统应用工程师，负责开发作为工业领域电力输送组成部分的电源解决方案。Desheng 于 2007 年获得了哈尔滨工业大学电力电子专业硕士学位，在加入 TI 之前他就职于 DELTA。

6 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 A (June 2022) to Revision B (April 2023)	Page
• 更新了效率曲线，200V 和 277V 图形。.....	9

Changes from Revision * (April 2021) to Revision A (June 2022)	Page
• 更新了在 230Vac、40R 负载下添加屏蔽铜后的 EMI CE 结果图像.....	16
• 添加了注释.....	16

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