

Test Report: PMP40690

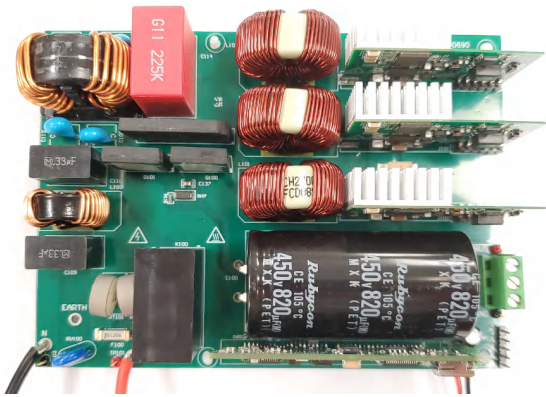
采用 C2000™ MCU 和 GaN 的 4kW 交错式 CCM 图腾柱无桥 PFC 参考设计



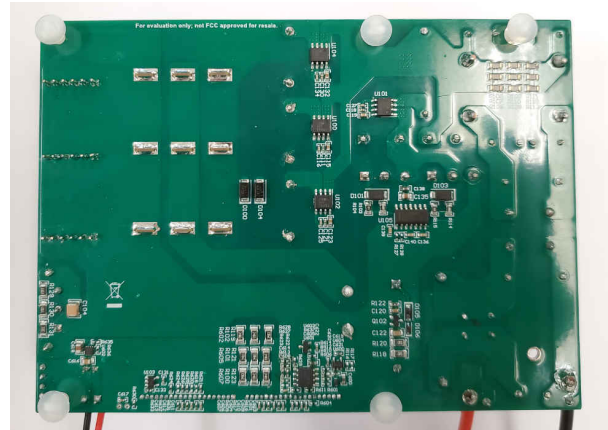
说明

此参考设计是一款 4kW 交错式 CCM 图腾柱无桥 PFC 参考设计，采用了 64 引脚 C2000™ 微控制器、LM3410 氮化镓器件和 TMCS1100 霍尔传感器。它基于使用 C2000™ MCU 的 TIDM-02008 双向交互式

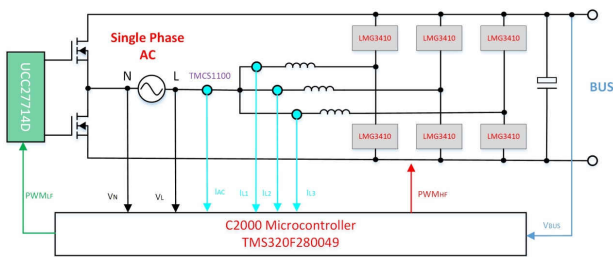
CCM 图腾柱无桥 PFC 参考设计，并将整个 PCB 的尺寸降至 145mm x 105mm x 35mm。氮化镓 (GaN) 器件用于功率级，可实现 98.73% 的峰值效率。该设计包含切相、自适应死区时间和输入电容补偿等高级功能，可提高负载范围内的 PF 和效率，并利用非线性电压环路降低负载瞬态下的电压过冲和下冲。



顶视图



底视图



方框图

1 测试必要条件

1.1 电压和电流要求

表 1-1. 电压和电流要求

参数	规格
输入电压	100Vac 至 240Vac
交流频率	47Hz 至 63Hz
输出电压	400Vdc
输出电流	100V 至 120V、60Hz 时为 5A 200V 至 240V、50Hz 时为 10A

1.2 所需设备

- 万用表 (电流) : Fluke 287C
- 万用表 (电压) : Fluke 287C
- 交流电源 : Chroma 型号 61605
- 电子负载 : Chroma 型号 63204
- 示波器 : Tektronix DPO3054
- 电能表 : Yokogawa WT310EH
- 直流电源 : Goodwill GPS-3303C
- 电热成像 : Fluke TIS65

1.3 尺寸

该电路板的尺寸为 145mm (长) × 105mm (宽) × 35mm (高) 。

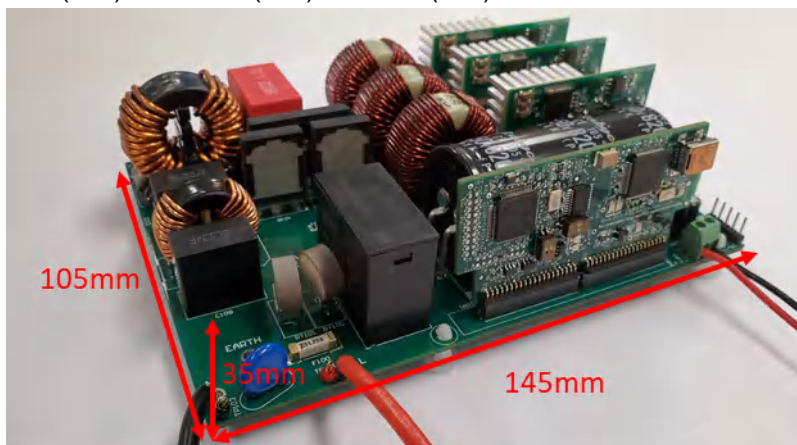


图 1-1. 电路板尺寸

2 测试和结果

2.1 效率图

效率如下图所示。

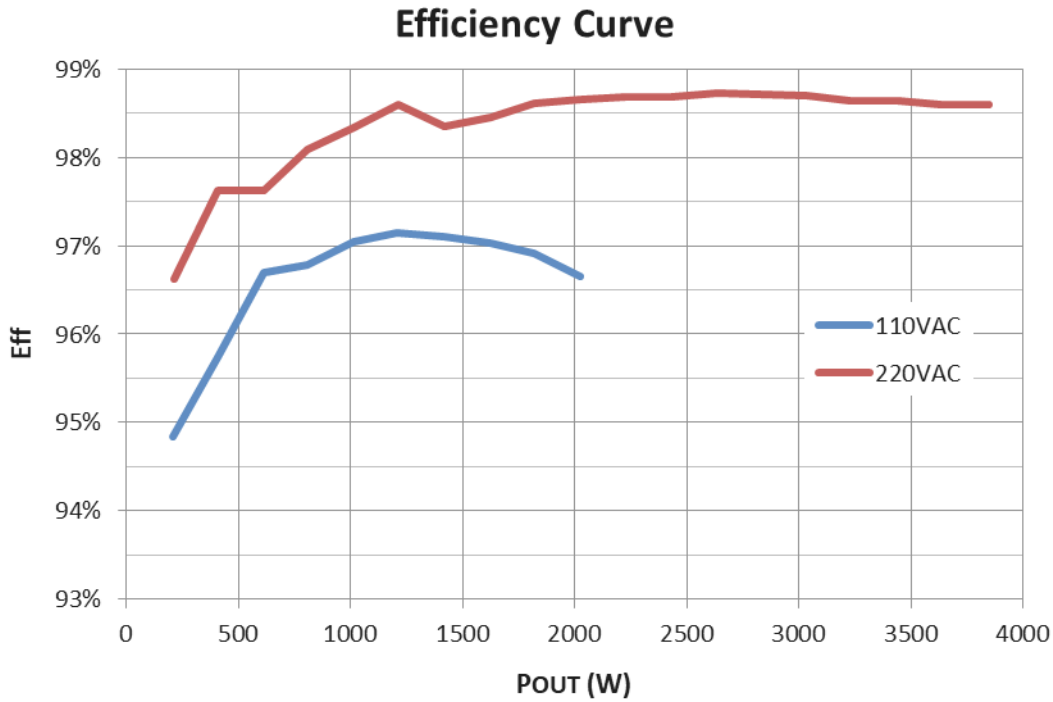


图 2-1. 效率图

2.2 效率数据

效率数据如下表所示。

V _{IN} (V)	I _{IN} (A)	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	P _{Loss} (W)	效率	PF	ITHD (%)
110.32	0.2159	4.0833	403.03	0	0	4.0833			
110.14	2.0287	220.42	403.03	0.5187	209.0517	11.36834	94.842%	0.9866	11.971
110.09	3.8703	422.3	403.04	1.0031	404.2894	18.01058	95.735%	0.9913	7.55
110.02	5.7857	631.73	403.08	1.5156	610.908	20.82195	96.704%	0.9927	5.782
109.97	7.633	834.1	403.04	2.0031	807.3294	26.77058	96.790%	0.9939	4.604
109.91	9.561	1044.8	403.04	2.5156	1013.887	30.91258	97.041%	0.9943	3.997
109.86	11.397	1244.7	403.04	3	1209.12	35.58	97.141%	0.9946	3.533
109.8	13.35	1457.8	403.03	3.5125	1415.643	42.15713	97.108%	0.9947	3.257
109.73	15.319	1671.9	403.05	4.025	1622.276	49.62375	97.032%	0.9948	3.046
109.66	17.191	1875.6	403.11	4.5093	1817.744	57.85608	96.915%	0.9949	2.893
109.57	19.211	2094.5	403.12	5.0218	2024.388	70.11198	96.653%	0.995	2.731
220.51	0.3661	4.1776	403.11	0	0	4.1776			
220.44	1.024	219.04	403.11	0.525	211.6328	7.40725	96.618%	0.969	18.24
220.45	1.9002	415.46	403.11	1.0062	405.6093	9.850718	97.629%	0.9917	12.186
220.37	2.8591	627.11	403.15	1.5187	612.2639	14.8461	97.633%	0.9953	8.932
220.39	3.7498	823.3	403.15	2.0031	807.5498	15.75024	98.087%	0.9963	7.255
220.32	4.6967	1031.3	403.16	2.5156	1014.189	17.1107	98.341%	0.9966	6.17
220.33	5.5907	1227.9	403.17	3.0031	1210.76	17.14017	98.604%	0.9967	5.476
220.26	6.558	1439.8	403.14	3.5125	1416.029	23.77075	98.349%	0.9967	4.932

V_{IN} (V)	I_{IN} (A)	P_{IN} (W)	V_{OUT} (V)	I_{OUT} (A)	P_{OUT} (W)	P_{LOSS} (W)	效率	PF	ITHD (%)
220.26	7.506	1648	403.14	4.025	1622.639	25.3615	98.461%	0.9968	4.517
220.19	8.404	1844.7	403.15	4.5125	1819.214	25.48563	98.618%	0.9968	4.067
220.19	9.354	2053.4	403.16	5.025	2025.879	27.521	98.660%	0.9968	3.721
220.13	10.259	2250.9	403.17	5.5093	2221.184	29.71552	98.680%	0.9968	3.552
220.15	11.211	2460.1	403.18	6.0218	2427.869	32.23068	98.690%	0.9968	3.334
220.07	12.169	2669.8	403.2	6.5375	2635.92	33.88	98.731%	0.9968	3.106
220.08	13.073	2868	403.21	7.0218	2831.26	36.74002	98.719%	0.9968	2.946
220.11	14.028	3077.9	403.21	7.5343	3037.905	39.9949	98.701%	0.9968	2.81
220.03	14.94	3276.8	403.23	8.0156	3232.13	44.66961	98.637%	0.9968	2.693
220.02	15.904	3487.9	403.27	8.5312	3440.377	47.52298	98.637%	0.9968	2.611
219.96	16.82	3687.7	403.31	9.0156	3636.082	51.61836	98.600%	0.9967	2.521
219.96	17.792	3899.2	403.33	9.5321	3844.582	54.61811	98.599%	0.9967	2.443
219.95	18.002	3946.3	403.35	9.6437	3889.786	56.5136	98.568%	0.9967	2.423

2.3 热像图

热像图如下图所示。

备注

运行 20 分钟后进行了测试，采用 84.1-CFM 风扇冷却。

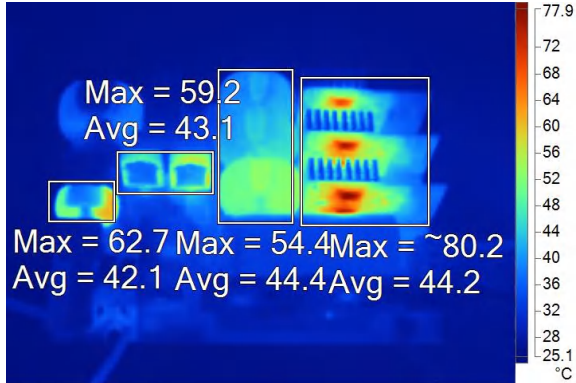


图 2-2. 顶面, $T_a = 25.0^{\circ}\text{C}$, 110V 输入, 2kW 负载

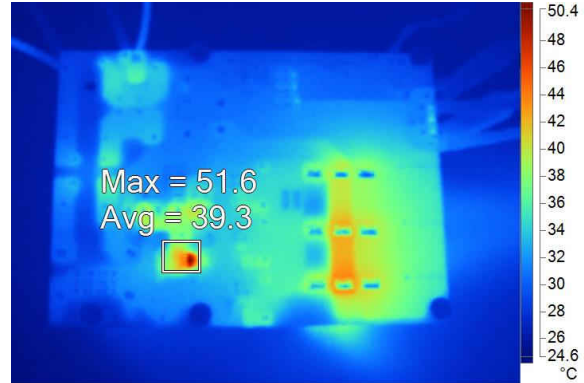


图 2-3. 底面, $T_a = 25.0^{\circ}\text{C}$, 110V 输入, 2kW 负载

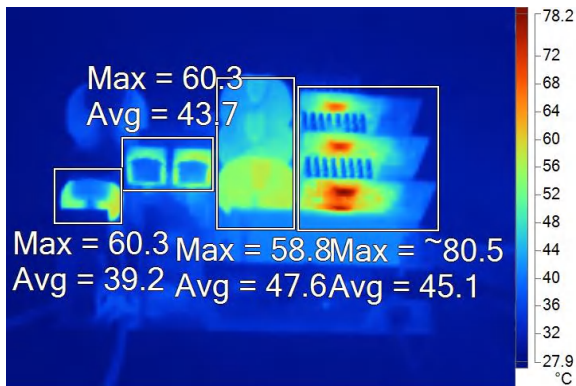


图 2-4. 顶面, $T_a = 28.0^{\circ}\text{C}$, 220V 输入, 3.9kW 负载

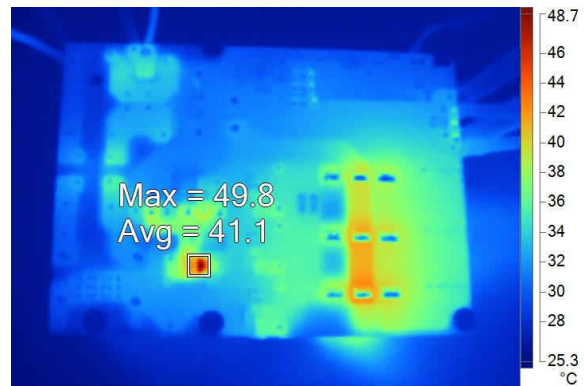


图 2-5. 底面, $T_a = 28.0^{\circ}\text{C}$, 220V 输入, 3.9kW 负载

2.4 波特图

电流环路波特图如下图所示。

测试条件：BUILD 2 AC 在 CCS GUI 中， $k_{dc} = 0.26$ ， $f_{z0} = 30\text{Hz}$ （补偿中）， $I_{ref} = 0.1$ ，120VAC 输入，372VDC/500 Ω 输出。

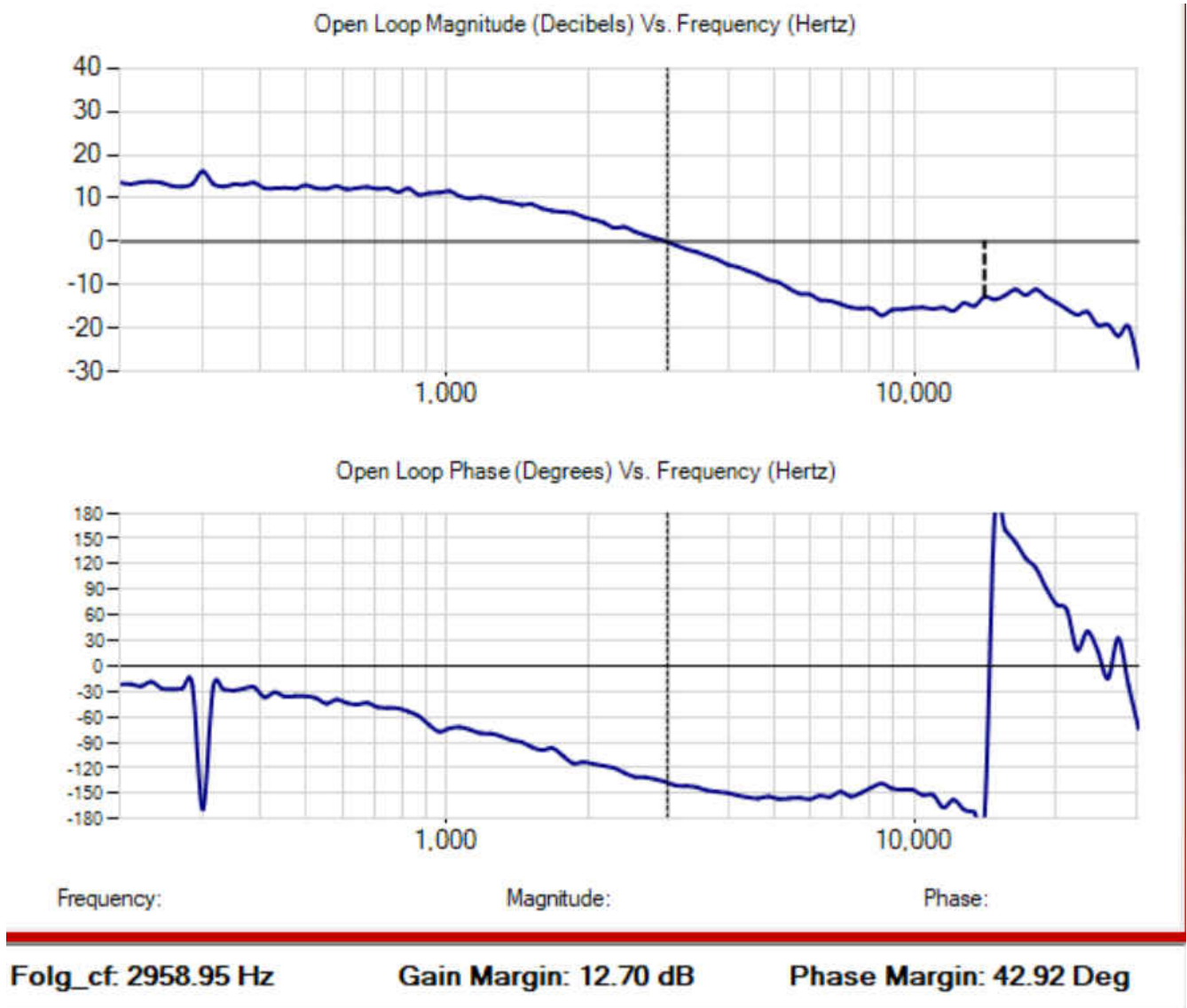


图 2-6. 电流环路波特图

电压环路波特图如图 2-7 和图 2-8 所示。

测试条件：BUILD 3 在 CCS GUI 中， $k_{dc} = 0.6$ ， $f_{z0} = 100\text{Hz}$ （补偿中）。

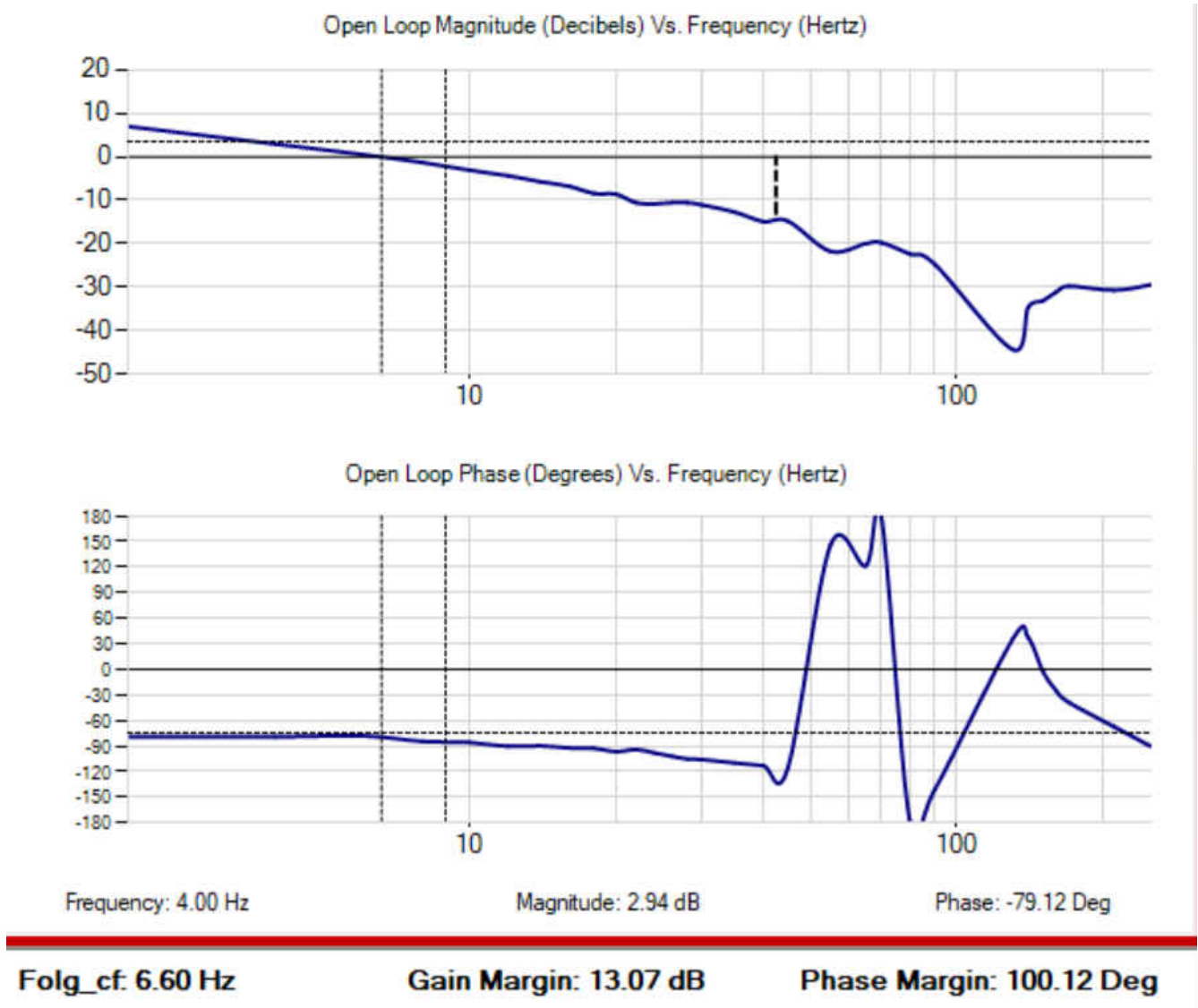
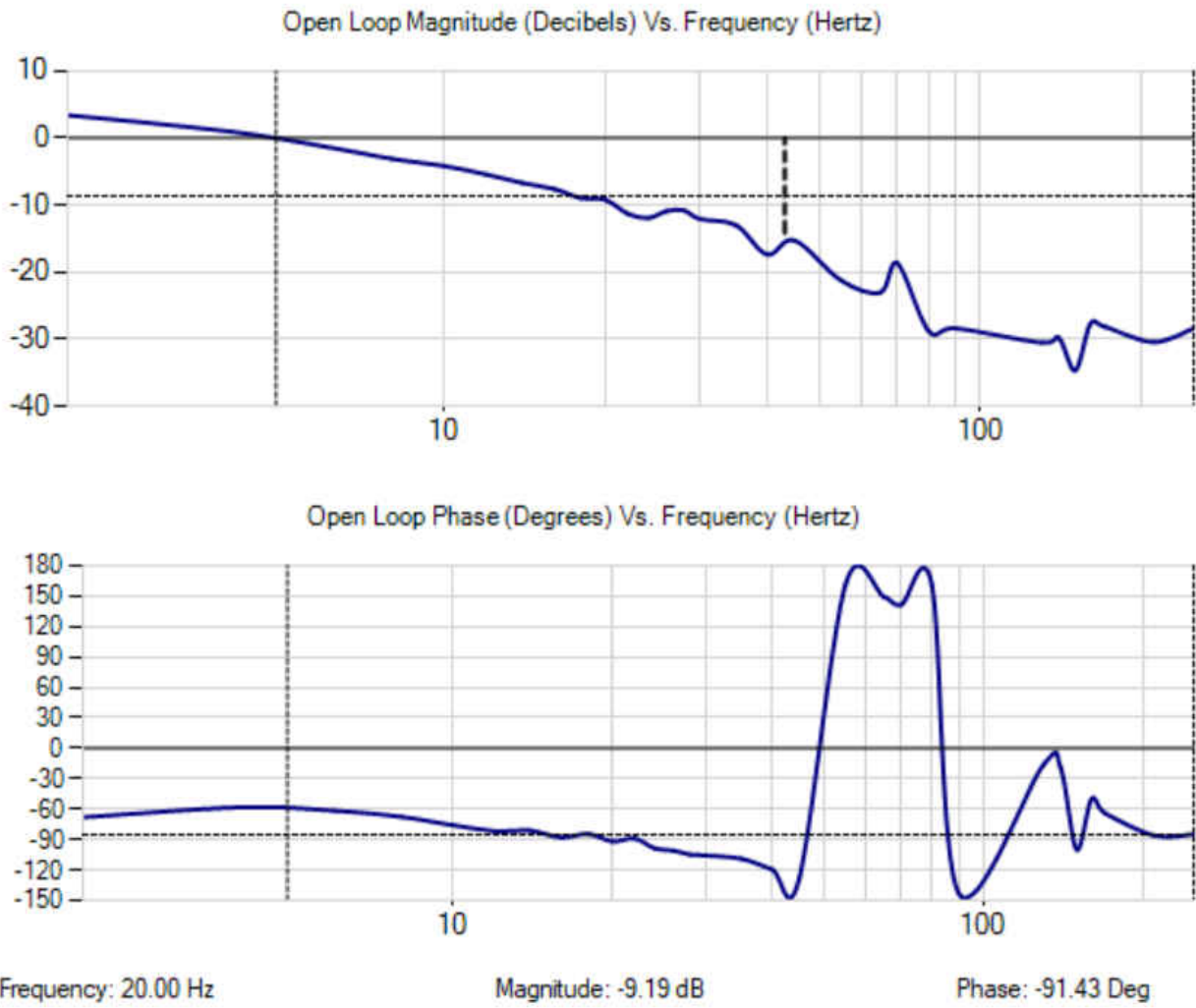


图 2-7. 110V/60Hz 输入，400V 2kW 输出



Folg_{cf}: 4.87 Hz

Gain Margin: 14.16 dB

Phase Margin: 120.56 Deg

图 2-8. 220V/50Hz 输入，400V 3.9kW 输出

2.5 PF 和 iTHD

输入电流的 PF 和 THD 如下图所示。

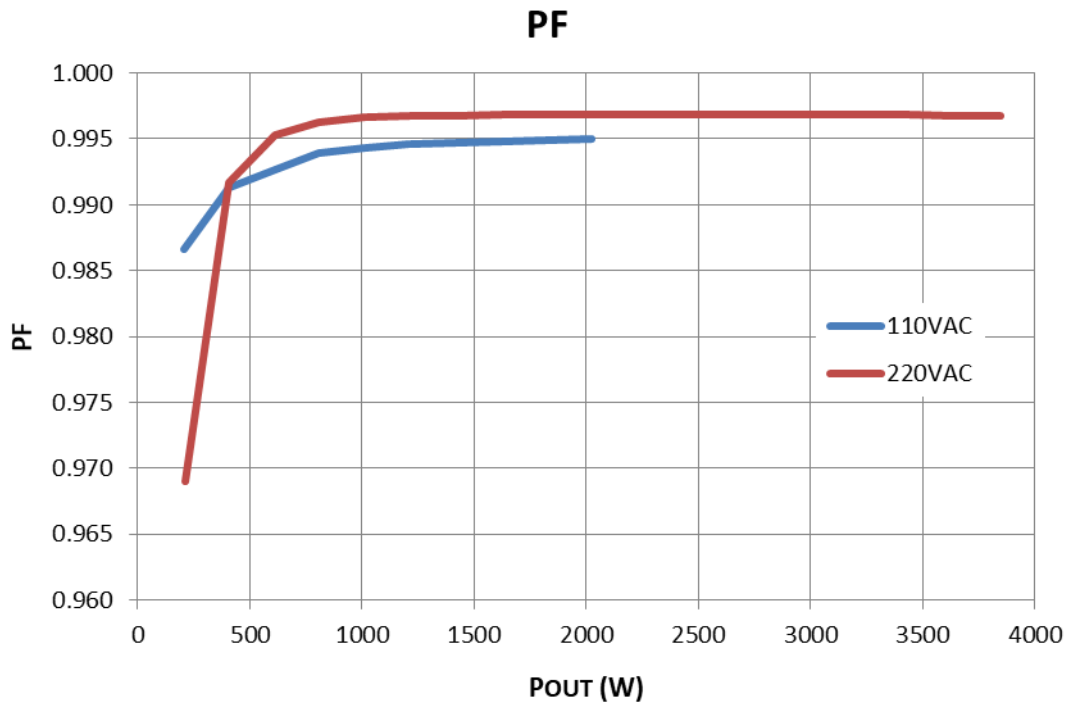


图 2-9. PF

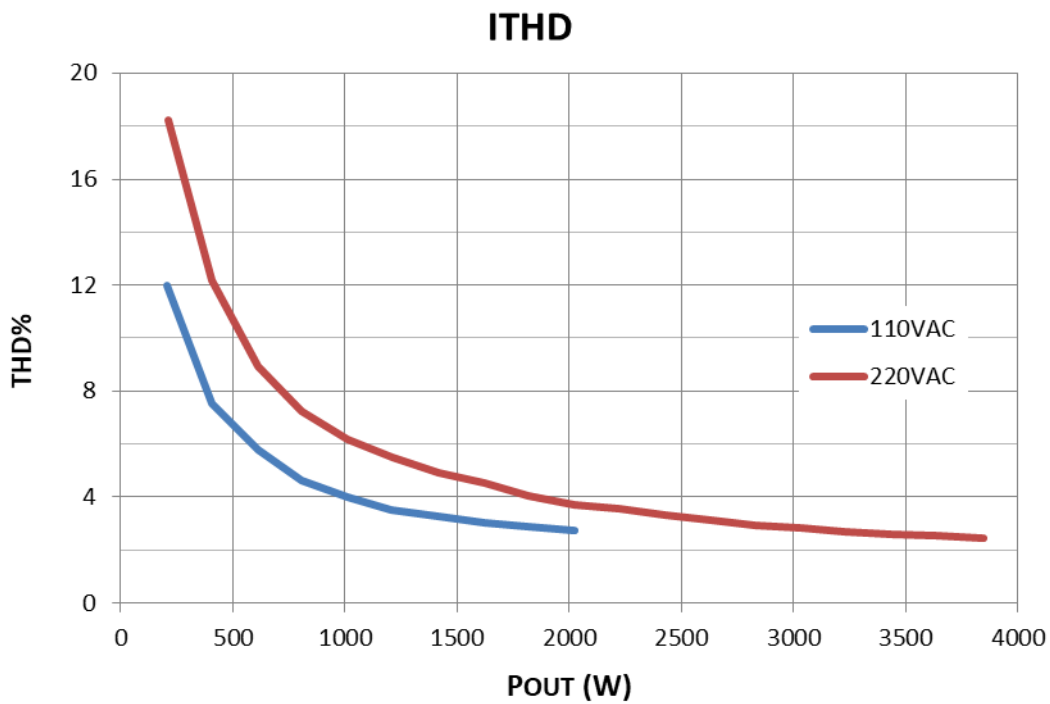


图 2-10. iTHD

2.6 负载调节

负载调节如下图所示。

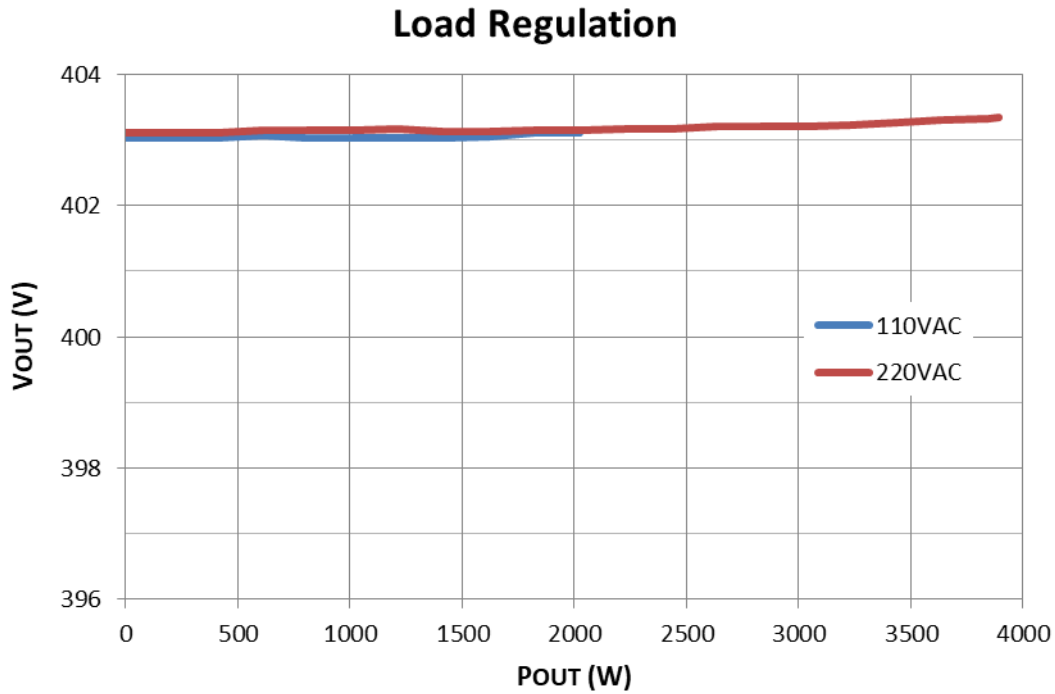


图 2-11. 负载调节

3 波形

3.1 开关

开关行为如下图所示。

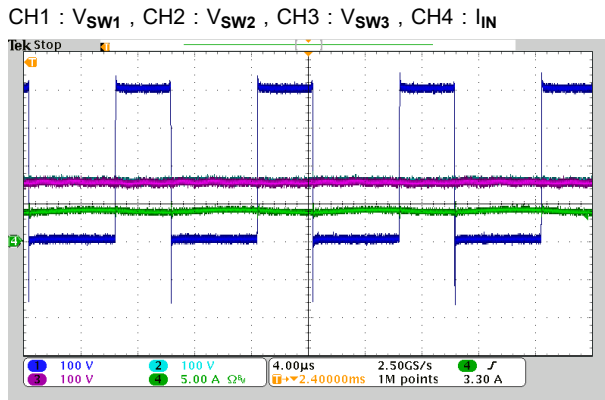


图 3-1. 110VAC 输入，400V 200W 负载

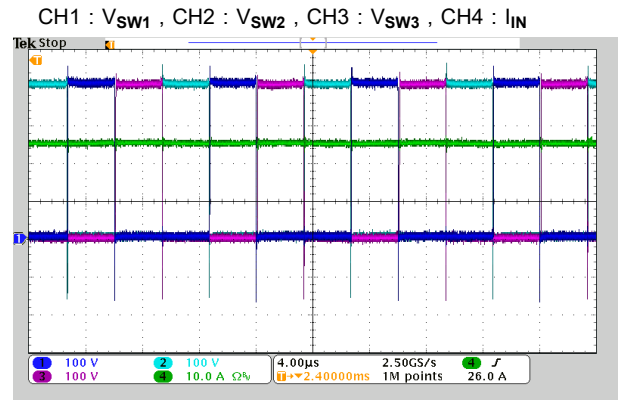


图 3-2. 110VAC 输入，400V 2kW 负载

CH1 : V_{SW1} , CH2 : V_{SW2} , CH3 : V_{SW3} , CH4 : I_{IN}

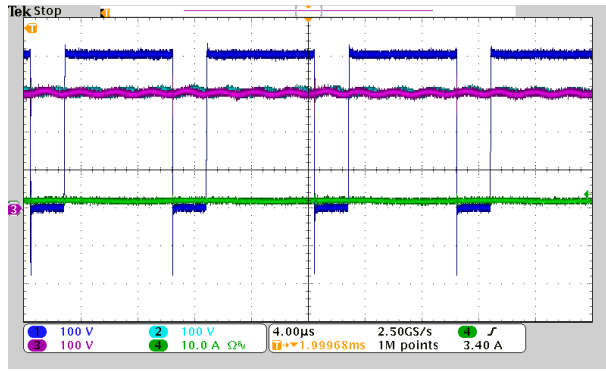


图 3-3. 220VAC 输入，400V 400W 负载

CH1 : V_{SW1} , CH2 : V_{SW2} , CH3 : V_{SW3} , CH4 : I_{IN}

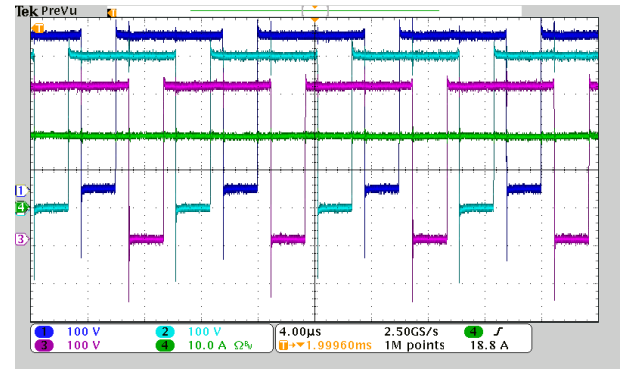


图 3-4. 220VAC 输入，400V 2.8kW 负载

3.2 输出电压纹波

输出电压纹波如下图所示。

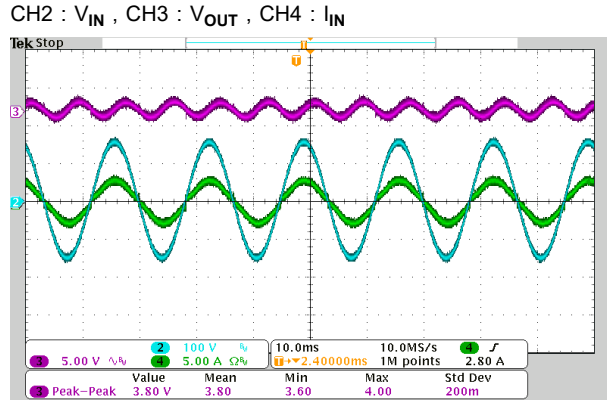


图 3-5. 110VAC 输入，400V 200W 负载

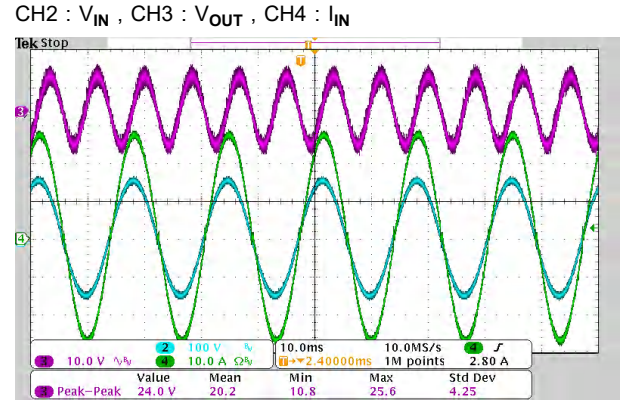


图 3-6. 110VAC 输入，400V 2kW 负载

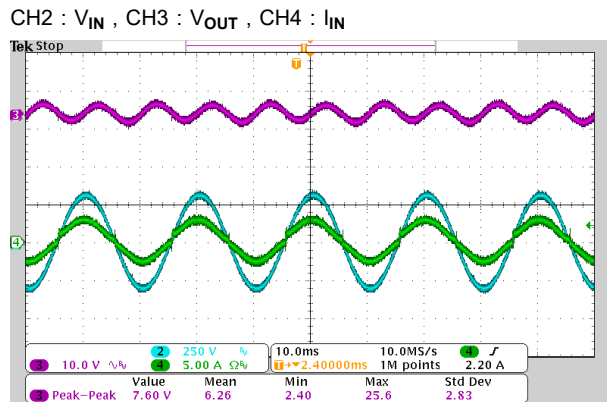


图 3-7. 220VAC 输入，400V 400W 负载

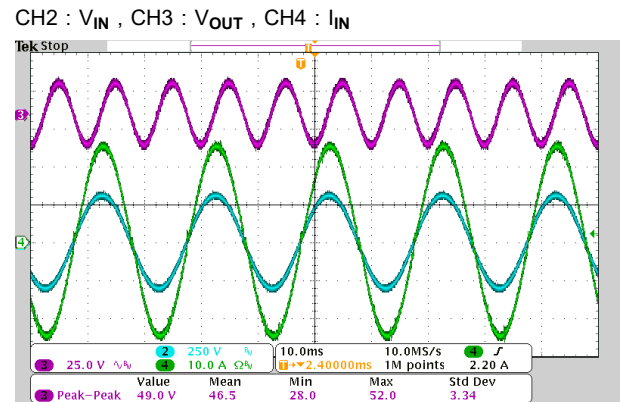


图 3-8. 220VAC 输入，400V 3.9kW 负载

3.3 输入电流

输入电流如下图所示。

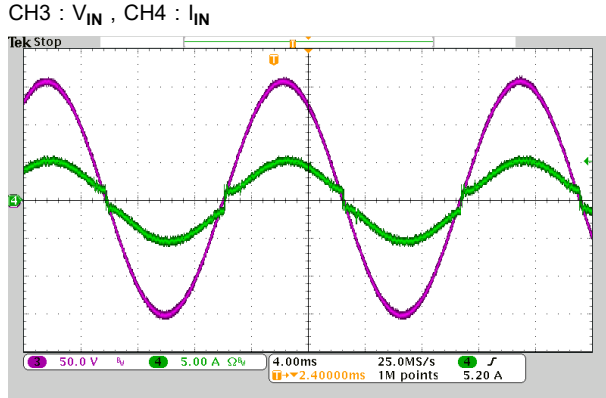


图 3-9. 110VAC 输入，400V 400W 负载

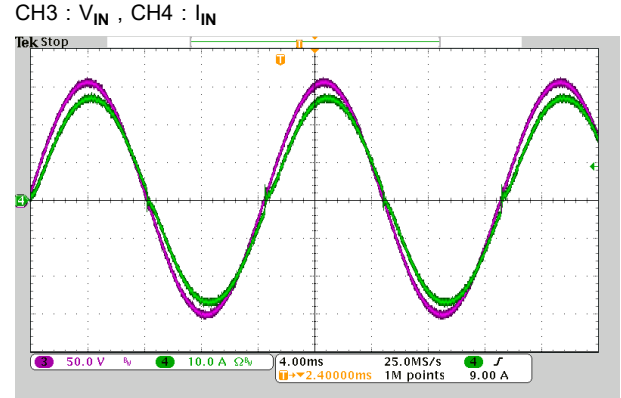


图 3-10. 110VAC 输入，400V 2kW 负载

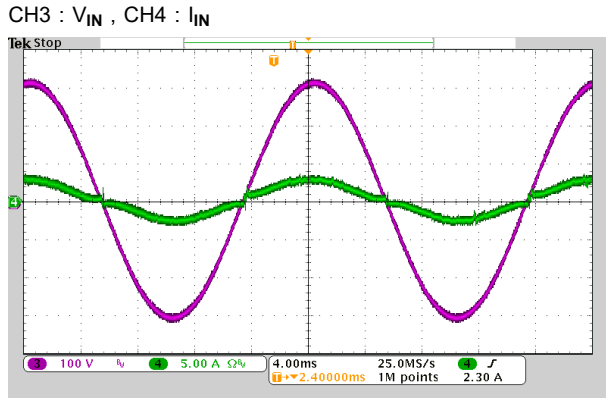


图 3-11. 220VAC 输入，400V 400W 负载

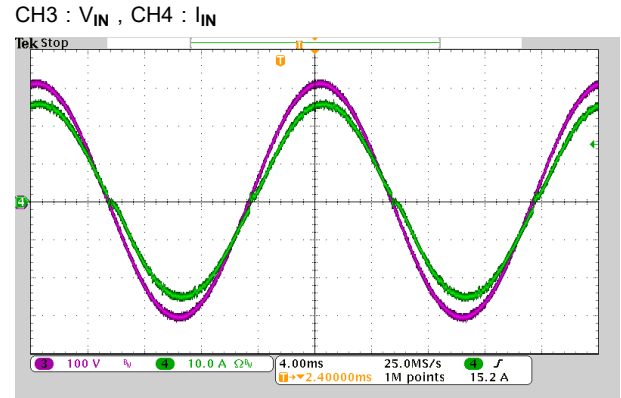


图 3-12. 220VAC 输入，400V 3.9kW 负载

3.4 负载瞬态

负载瞬态响应如下图所示。

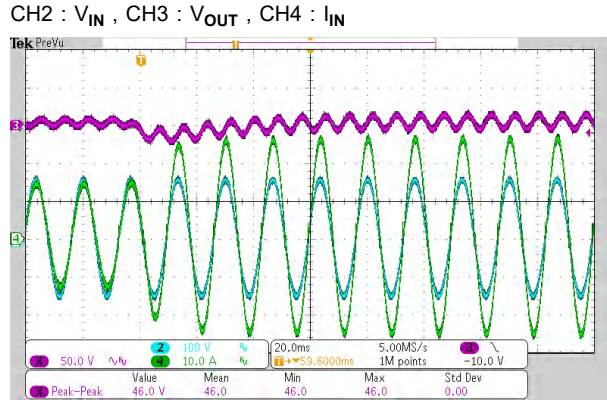


图 3-13. 110VAC 输入, 1kW->2kW

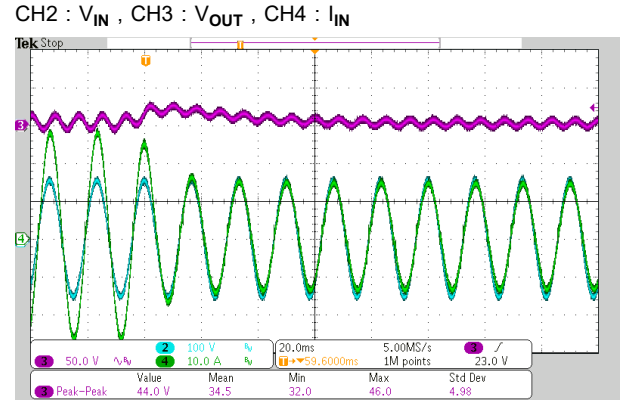


图 3-14. 110VAC 输入, 1kW->2kW

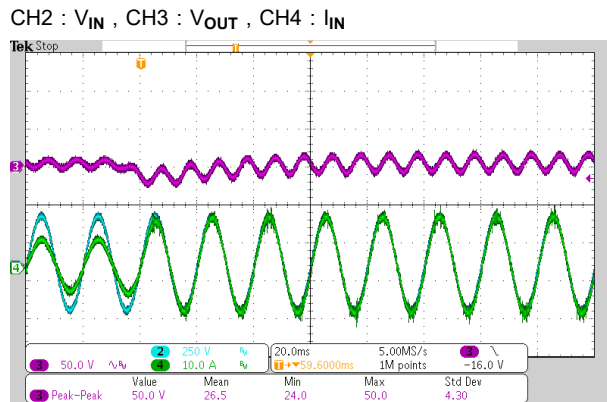


图 3-15. 220VAC 输入, 1kW->2kW

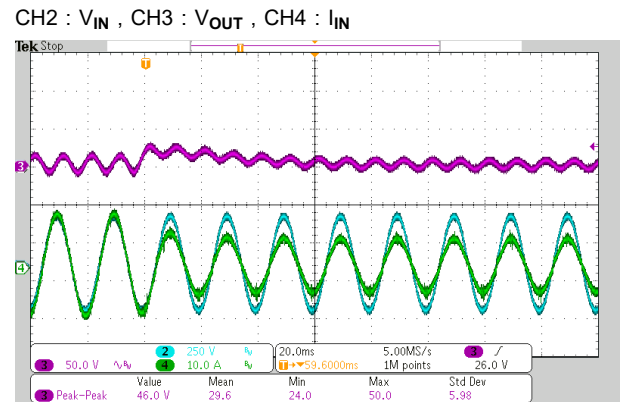


图 3-16. 220VAC 输入, 2kW->1kW

3.5 启动顺序

启动行为如下图所示。

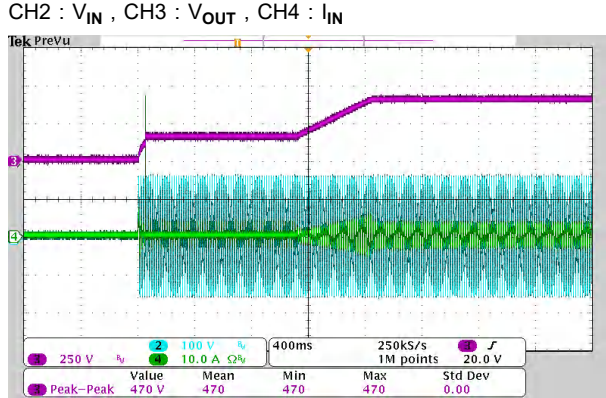


图 3-17. 110VAC 输入, 800 Ω 负载

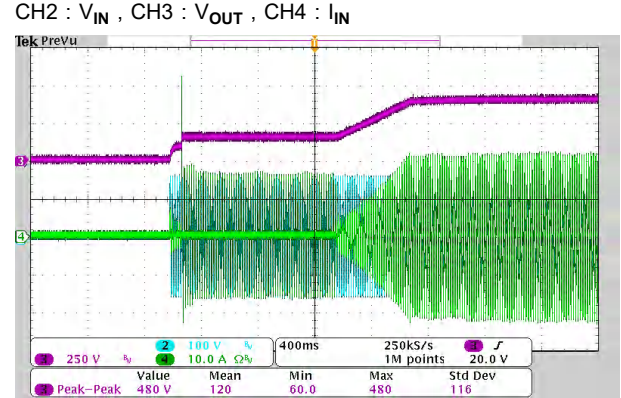


图 3-18. 110VAC 输入, 100 Ω 负载

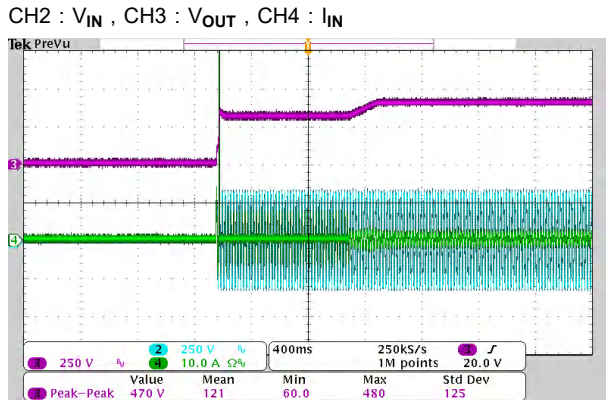


图 3-19. 220VAC 输入, 800 Ω 负载

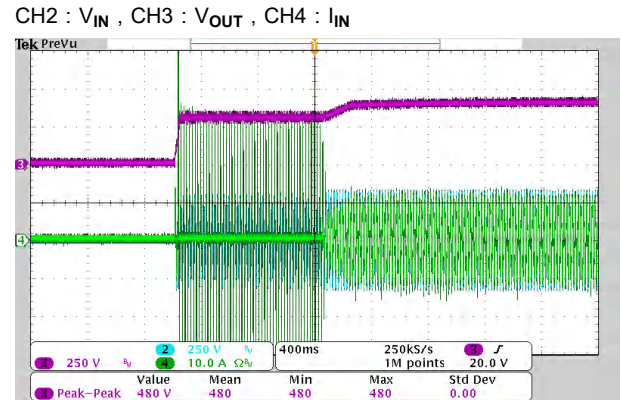


图 3-20. 220VAC 输入, 400V 100 Ω 负载

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