使用 XDP™ 数字电源 XDPS2201 和 EZ-PD™ CCG3PA 的 65 W 高功率密度快速充电器演示板

DEMO_XDPS2201_65W1

关于本文档

范围和目的

使用 XDP™ 数字电源 XDPS2201 和 EZ-PD™ CCG3PA 的 65 W 高功率密度 USB-PD 演示板的设计信息与测量结果。

目标受众

本文档面向希望使用 DEMO_XDPS2201_65W1 演示板的用户。

目录

关于本文档 1

目录 1

1 简介 3

2 主板介绍 4

2.1 输入和输出规格 4

2.2 演示板电路、PCB 和关键组件 5

2.2.1 电路图 5

2.2.1.1 输入级 5

2.2.1.2 主级 5

2.2.1.3 PD 控制电路 5

2.2.2 PCB 设计 6

2.2.3 组件列表 8

2.2.4 磁性元件 11

2.2.4.1 变压器 11

2.2.4.2 共模扼流圈 13

2.2.5 演示板视图 13

3 测量结果 14

3.1 效率和待机功率 14

3.2 EMI 16

3.3 热像 17

3.4 输出纹波 18

3.5 线路和负载瞬态 18

3.6 输出电压电平瞬态 20

3.7 开关波形 20

目录

3.7.1 启动 21
3.7.2 操作模式 22
3.7.3 抖动 26
3.7.4 保护 27
4 总结 32
5 参考文献 33
6 变更历史 34
免责声明 35

1 简介

随着笔记本电脑和智能手机等移动电子设备日益普及，具有 USB 供电 (PD) 功能的高功率密度快速充电器市场吸引力越来越强。这种适配器在宽输入电压范围（通常为 90 V 至 264 V）和宽输出电压范围（5 V 甚至 3.3 V 至 20 V）内工作。除了轻量和小尺寸之外，高系统效率和低待机功耗也是这种应用的关键要求。

对于低于 75 W 的开关模式电源，在不需要功率因数校正 (PFC) 的情况下，反激式拓扑是最具成本效益的解决方案。对于这种拓扑，可使用诸多性能良好的控制方法，如准谐振控制和有源钳位控制。在准谐振控制方法中，功率 MOSFET 在 MOSFET 漏源极电压的谷值导通。
此外，难以在整个输入和输出电压与电流范围内实现零电压开关 (ZVS)。此外，主开关关断时的高电压尖峰会对这种开关造成高电压应力。通过附加组件，有源钳位反激式转换器中的主开关电压应力降低。然而，主开关仍然存在比体电容器电压更高的电压应力。除此之外，在能量传输过程中初级绕组中的损耗更大，难以在整个负载范围内实现全 ZVS，这些会影响这种控制方法的应用。

在混合反激式 (HFB) 拓扑中，主开关自动对体电容器电压进行钳位，因此没有在其他两种拓扑中提到的电压尖峰应力。低侧开关自动开启 ZVS，而受控负电流确保高侧开关的 ZVS 开启。无需如准谐振转换器和有源钳位反激式转换器一样的缓冲电路。此外，HFB 转换器的变压器和谐振电容器均有助于中间能量存储和传输，从而可实现非常紧凑的设计。所有这些特性使 HFB 成为高功率密度设计最有希望的拓扑。
本文档介绍了基于 HFB 控制器 XDPS2201 [1] 和 USB-PD 控制器 CYPD3174-24LQXQ [2] 的用于 USB-PD 应用的 65 W 演示板。这种演示板专为宽输入应用而设计，提供 5 V、9 V、12 V、15 V 和 20 V 的 PD 输出电压配置文件。此外，演示板还支持 5 V 至 20 V 的 PPS 输出，电压阶跃由 PD 器件定义。标称连续输出电流为 3.25 A。

虽然配备 XDPS2201 的 HFB 转换器的设计在设计指南 [3] 和设计 excel 表格 [4] 中进行了说明，但本文档侧重于以下主题：

- 演示板说明（*第 2 章*）
- 测量结果（*第 3 章*）
- 总结（*第 4 章*）
- 变更历史（*第 6 章*）
- 参考资料（*第 5 章*）

2 主板介绍

本章涵盖以下主题：

- 输入和输出规格（*章节 2.1*）
- 演示板电路、PCB 和关键组件（*章节 2.2*）

2.1 输入和输出规格

此演示板适用以下规格：

表 1 用于 USB-PD/PPS 应用的 65 W 演示板的规格

参数	符号	条件	规格			单位
			最小	典型值	最大	
输入 RMS 电压	V_{AC}	最大范围	90		264	V
主电源频率	f_{AC}		47		63	Hz
空载功耗	P_{stby}	115 V/230 V 输入和 5 V 输出			75	mW
连续输出电流	I_{outnom}	20 V 输出		3.25		A
输出电压 [1)]	V_{OUT}		5		20	V
标称输出功率	P_{outnom}			65		W
峰值功率	P_{out_peak}	在 1 Hz 下的 5 ms 内为 95 W，对于 100 V 至 265 V 范围内的交流电，输出电压应高于 17 V，对于 90 V 的交流输入，输出电压应高于 15 V		95		W
系统启动时间	$t_{startup}$	从交流电开启到输出电压达到 90% 的标称值			2.5	s
额定功率下的效率		在 115 V 和 230 V_{AC}、20 V 输出和 65 W 输出功率下	93.5			%

演示板的关键组件和尺寸列于下表。

表 2 关键组件、演示板尺寸和功率密度

项目	规格
HFB 控制器 IC	XDPS2201
PD 控制器	CYPD3174-24QXQ
MOSFET	IPD60R180C7、IPP60R180C7、BSC093N15NS5、BSZ086P03NS3
尺寸（长 x 宽 x 高），无外壳	46 mm x 37 mm x 20.2 mm
功率密度（无外壳）	31 W/inch^3，1.9 W/cm^3

1 USB 端口控制器针对 5 V、9 V、12 V、15 V 和 20 V 的输出电压以及 5 V 至 20 V 的 PPS 进行了编程。

2.2 演示板电路、PCB 和关键组件

本章提供以下信息：

- 电路图（*章节 2.2.1*）
- PCB 设计（*章节 2.2.2*）
- 组件列表（*章节 2.2.3*）
- 磁性元件（*章节 2.2.4*）
- 演示板视图（*章节 2.2.5*）

2.2.1 电路图

电路由以下三个主要部分组成：

- 输入级
- 主级
- PD 控制电路

演示板电路图如*图 1* 所示。

2.2.1.1 输入级

输入级包括共模 EMI 滤波器、桥式整流器、差模滤波器和主储能电容。在该级中，共模扼流圈 (CMC)（*图 20*）由双股线制成，具有低漏电感，有助于更好的共模噪声衰减。

2.2.1.2 主级

两个电源开关 Q1 和 Q2 构成一个半桥。变压器初级绕组的一端接半桥的开关节点，另一端接谐振电容器，谐振电容器是六片贴片陶瓷电容器 C11 至 C16 中的其中一片。这些贴片电容可实现紧凑设计。次级侧电源电路与传统反激式转换器相同。同步整流器 (SR) 用于实现高功率转换效率。PD 控制器 U4 CYPD3174 感应输出电压并生成控制信号。该控制信号通过光耦合器传输到初级侧控制器 U1 XDPS2201，用于输出电压稳压。

有三个来源为控制器 IC U1 供电：控制器 XDPS2201 内部的启动单元、来自辅助绕组的整流电压以及来自谐振电容器 (Cr) 的电压 Vcr。对于第三个来源，需要由 N 沟道耗尽型 MOSFET Q4、齐纳二极管 ZD1 和电阻器 R19 组成的线性稳压器。当第一个来源用于在交流电开启时为 IC 供电时，后两个来源之一在其工作期间为 IC XDPS2201 供电。在任何时候，根据输出电压电平，只有一个沟道向 IC 供电。如果输出电压足够高，因此来自辅助绕组的整流电压高于齐纳二极管的击穿电压，则线性稳压器晶体管 Q4 会由于其栅源电压为负而被阻断。否则，线性稳压器会处于活动状态，并为控制 IC 供电。电容器 C18 是中间储能装置。其电压具有经由组件 D3 和 R18 的谐振电容器两端电压的峰值。考虑到 MOSFET Q4 的功率损耗和热设计，线性稳压器开始工作时的输出电压电平必须尽可能低。由于晶体管 Q4 的封装小且热阻高，需要为晶体管 Q4 加设导热垫。此外，齐纳二极管击穿电压必须高于耗尽型单元开启阈值 $V_{VCCslpHVon}$，以免在突发模式操作期间激活启动单元，这会导致高待机功率。

2.2.1.3 PD 控制电路

此演示板上使用了 24 引脚器件 CYPD3174-24LQXQ。该 PD 控制器根据感应到的 HFB 转换器输出电压，通过光耦合器 U3 向 HFB 控制器提供反馈信号。流经 CATH 路径的电流，即流经光耦合器二极管的电流，与感应到的转换器输出电压（该器件的 FB 引脚）和 5 V 输出的内部带隙基准电压或用于其他电压电平的内部 IDAC 和误差放大器之间的电位差成正比。通过这种方式，输出电压稳压到设定的目标电压电平。

2 主板介绍

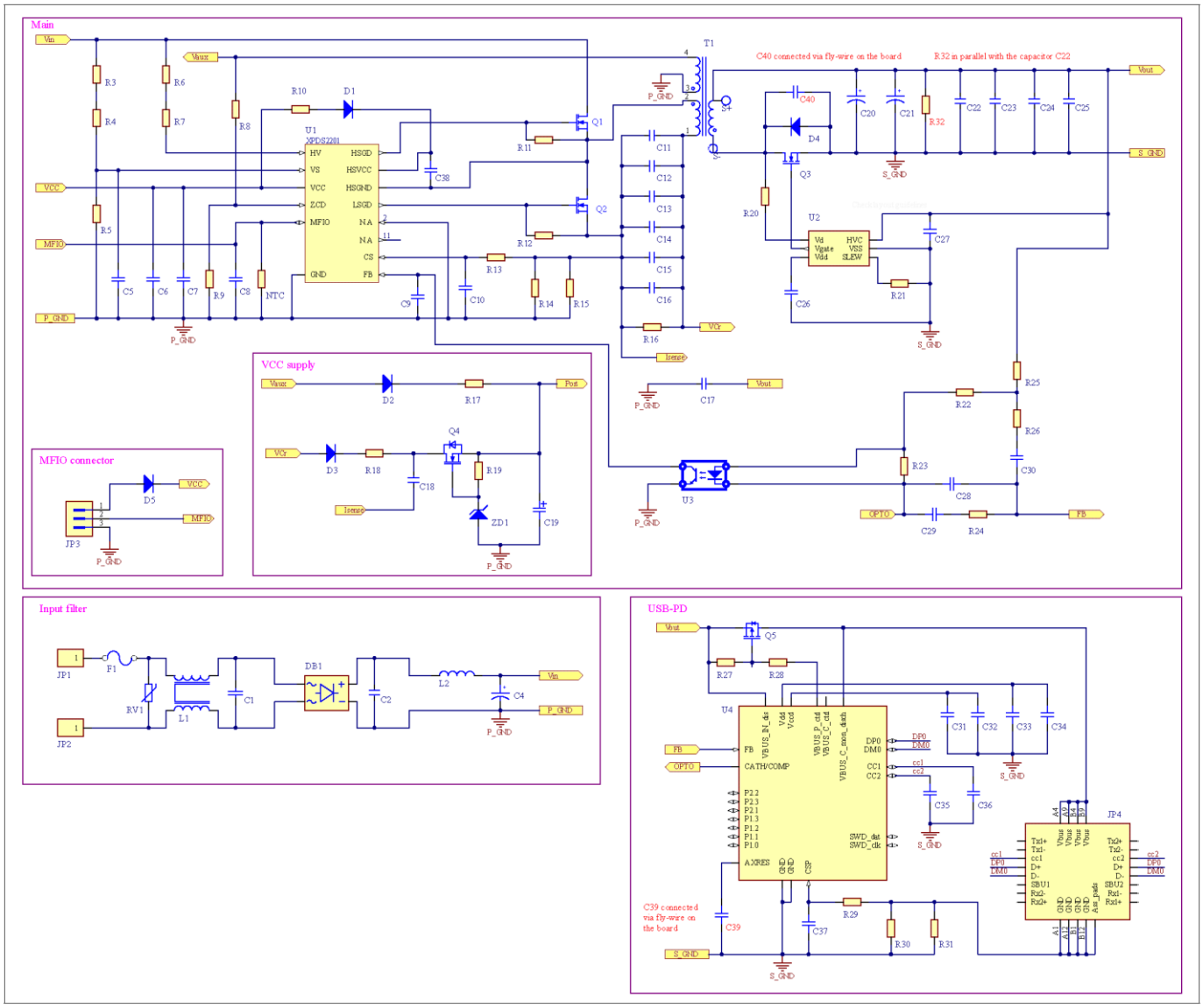


图 1　　演示板电路图

备注：　　电容器 C39 和 C40 以及电阻器 R32 通过飞线连接在此演示板上。

在此演示板上，输出电压设定为 5 V、9 V、12 V、15 V，连续输出电流为 3 A 和 20 V，连续电流为 3.25 A。此外，还支持从 5 V 到 20 的 PPS，连续电流为 3 A。

备注：　　此演示板可在 type-C 连接器上提供 3.25 A 的连续负载电流，但不支持输出电流高于 3 A 的每条电子标识电缆的电流协商。

2.2.2　　PCB 设计

演示板的 PCB 由以下四层组成。

2 主板介绍

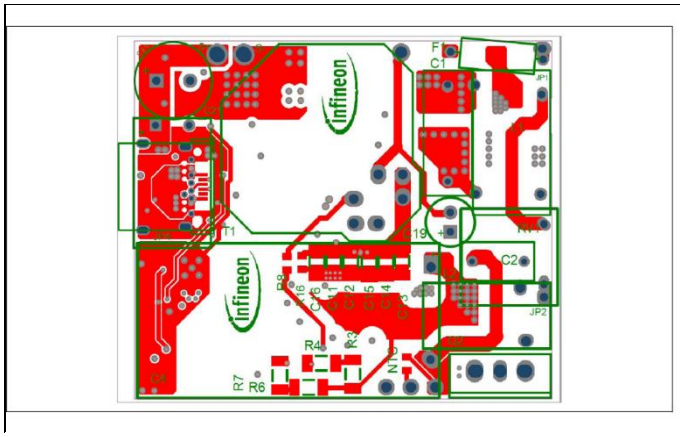


图 2 顶层

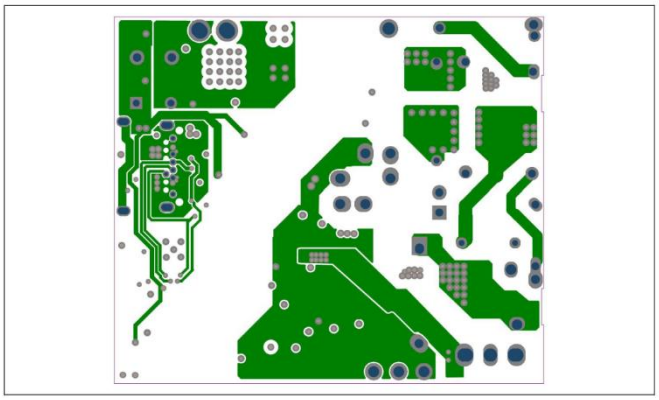


图 3 顶层内层

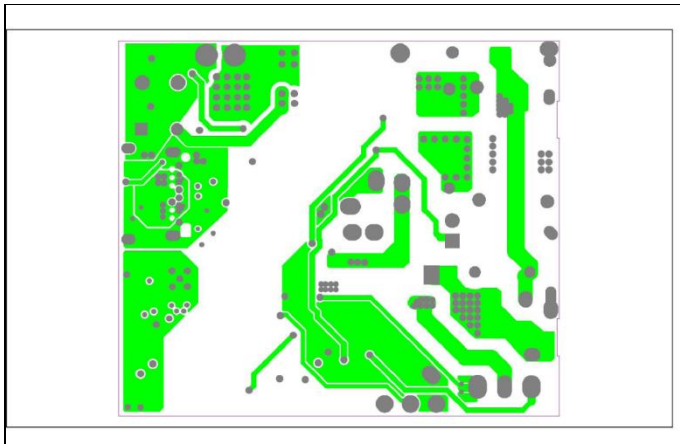


图 4 底层内层

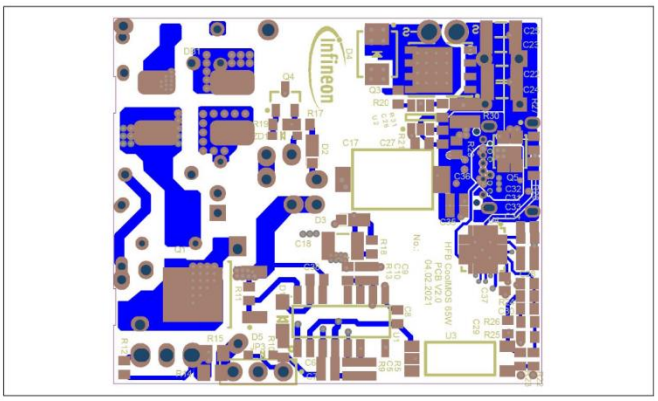


图 5 底层

使 PCB 总厚度约为 0.97 mm 的 PCB 层堆叠如下所示：

#	名称	材料	类型	重量	厚度	DK
	顶层丝印层		丝印层			
	顶层阻焊层	阻焊层	阻焊剂		0.01016 mm	3.5
1	顶层		信号	2 oz	0.07 mm	
	电介质 2	PP-006	预浸料		0.07112 mm	4.1
2	顶层内层		信号	1 oz	0.035 mm	
	电介质 1	RF-4	电介质		0.6 mm	4.8
3	底层内层		信号	1 oz	0.035 mm	
	电介质 3	PP-006	预浸料		0.07112 mm	4.1
4	底层		信号	2 oz	0.07 mm	
	底层阻焊层	阻焊层	阻焊剂		0.01016 mm	3.5
	底层丝印层		丝印层			

图 6 PCB 层堆叠

2.2.3 组件列表

下表列出了演示板的物料清单 (BOM)。

表 3 系统 BOM

#	元件称号	说明	数量	制造商	制造商零件号
1	C1	100 nF，310 V_{AC}, Box_5x13，20%	1	KEMET	R463F310050M1M
2	C2	1.2 uF，450 V，Box_4x7.5，20%	1	muRata	RDED72W125MUB1H03B
3	C4	100 uF，400 V，cyl_16_30_5_hor，20%	1	红宝石 (Rubycon)	400BXW100MEFR16X30
4	C5	330 pF，50 V，0603，X7R，10%	1	muRata	GRM188R71H331JA01
5	C6	100 nF，50 V，0603，X7R，10%	1	太阳诱电 (TAIYO YUDEN)	UMK107B7104KAHT
6	C7	1 uF，50 V，0603，X7R，10%	1	muRata	GRM188R71E105KA12
7	C8、C28	100 pF，50 V，0603，C0G，5%	2	AVX	06035A101JAT2A
8	C9	150 pF，50 V，0603，C0G，5%	1	muRata	GCM1885C1H151JA16
9	C10	22 pF，50 V，0603，C0G，5%	1	muRata	GRM1885C1H220JA01
10	C11、C12、C13、C14、C15、C16	0.15 uF，200 V，1206，10%	6	KEMET	C1206C154K2RACTU
11	C17	1.5 nF，250 V_{AC}，Y_cap_SMD，5%	1	muRata	DK1E3EA152M86RAH01
12	C18	4.7 uF，100 V，1210m_C，20%	1	TDK	C3225X7S2A475M200AB
13	C19	47 uF，35 V，Rad 5x11，20%	1	红宝石 (Rubycon)	35PX47MEFC5X11
14	C20、C21	470 uF，25 V，CAPPRD350W60D800H1300B，20%	2	ILLINOIS CAPACITOR	477AVG025MFBJ
15	C22、C23、C24、C25	22 uF，25 V，1206m_C，10%	4	AVX	12063D226KAT2A
16	C26	1 uF，25 V，0603，C0G，5%	1	AVX	06033D105KAT2A
17	C27、C31、C33、C38、C39	100 nF，50 V，0603，X7R，10%	5	muRata	GRM188R71H104KA93
18	C29	47 nF，50 V，0603，X7R，10%	1	muRata	GRM188R71H473KA61
19	C30	4.7 nF，50 V，0603，C0G，5%	1	muRata	GRM1885C1H102JA01
20	C32、C34	1 uF，25 V，0603，X7R，10%	2	muRata	GRM188R71E105KA12
21	C35、C36	390 pF，50 V，0603，X7R，5%	2	muRata	GRM188R71H391JA01
22	C37	0603，X7R，10%	0	muRata	GRM188R71H104KA93
23	C40	1 nF，200 V，0603，X7R，10%	1	KEMET	C0603C102K2RACTU
24	D1	ES1GL R3G，400 V，SUB_SMA	1	台积电	ES1GL R3G

				(TAIWAN SEMICONDUCTOR)	
25	D2、D3	RF05VAM2STR，200 V，MicroSMP	2	罗姆 (ROHM)	RF05VAM2STR
26	D4	STPS3150U，150 V，SMBflat_diode	1	意法半导体 (STMicroelectronics)	STPS3150U
27	D5	NA，150 V，SOD323_d	1	MULTICOMP	1N4148WS

表 3 系统 BOM（续）

28	DB1	Z4DGP406L，CD-DF4xxS_v3	1	Comchip	Z4DGP406L-HF
29	F1	保险丝 2 A，250 V，cyl_13_3.6_hor	1	MULTICOMP	MST 2A 250V
30	JP3	HTSW-103-07-G-S, CONN3_v2	1	samtec	HTSW-103-07-G-S
31	JP4	USB3.1F, SB_C_24_multiComp	1	MULTICOMP	MC001002
32	L1	2 x 5.5 mH	1	ItaCoil	TOR178
33	L2	68 u，L 12X6	1	Wurth Electronic	74447033
34	NTC, R9	51 K，75 V，0603，1%	2	威世 (VISHAY)	CRCW060351K0FK
35	Q1	IPD60R180C7，DPAK (TO-252)	1	英飞凌	IPD60R180C7
36	Q2	IPP60R180C7，I2PAK (TO-262)	1	英飞凌	IPP60R180C7
37	Q3	BSC093N15NS5, SuperSO8	1	英飞凌	BSC093N15NS5
38	Q4	BSS169, PG-SOT23	1	英飞凌	BSS169H6327XTSA1
39	Q5	BSZ086P03NS3，INF-PG-TSDSON-8-FL	1	英飞凌	BSZ086P03NS3
40	R3、R4	2.4 MEG，400 V，0805，1%	2	威世 (VISHAY)	CRCW08052M40FK
41	R5	28.7 K，75 V，0603，1%	1	威世 (VISHAY)	MCWR06X2872FTL
42	R6、R7	56 K，200 V，1206，1%	2	威世 (VISHAY)	CRCW120656K0FK
43	R8	560 K，75 V，0603，1%	1	威世 (VISHAY)	CRCW0603470KFK
44	R10	2.7 R，75 V，0603，1%	1	威世 (VISHAY)	CRCW06032R70FK
45	R11、R12	22 K，75 V，0603，1%	2	威世 (VISHAY)	CRCW060322K0FK
46	R13、R29	1 K，75 V，0603，1%	2	威世 (VISHAY)	CRCW06031K00FK
47	R14	200 mR，150 V，0805，1%	1	柏恩 (BOURNS)	CRL0805-FW-R200ELF
48	R15	180 mR，150 V，0805，1%	1	柏恩 (BOURNS)	CRL0805-FW-R200ELF
49	R16	1 MEG，75 V，0603，1%	1	威世 (VISHAY)	CRCW06031M00FK
50	R17、R18	0 R，75 V，0603，0R	2	威世 (VISHAY)	CRCW06030000Z0
51	R19、R27	47 K，75 V，0603，1%	2	威世 (VISHAY)	CRCW060347K0FK
52	R20、R26	1 K，75 V，0603，1%	2	威世 (VISHAY)	CRCW06031K00FK
53	R21	100 K，75 V，0603，1%	1	威世 (VISHAY)	CRCW0603100KFK
54	R22	4.7 K，75 V，0603，1%	1	威世 (VISHAY)	CRCW06034K70FK
55	R23	6.8 K，75 V，0603，1%	1	威世 (VISHAY)	CRCW06036K80FK
56	R24	27 K，75 V，0603，1%	1	威世 (VISHAY)	CRCW060327K0FK
57	R25	47 R，75 V，0603，1%	1	威世 (VISHAY)	CRCW060347R0FK
58	R28	2.7 K，75 V，0603，1%	1	威世 (VISHAY)	CRCW06032K70FK
59	R30、R31	10 mR，150 V，0805，1%	2	国巨 (YAGEO)	RL0805FR-7W0R01L
60	R32	9.1 K，75 V，0603，1%	1	松下	ERJ-UP3F9101V
61	RV1	TVS 275 V，Varistor_10x5mm_lay	1	爱普科斯 (EPCOS)	B72207S0271K101
62	T1	Npri:Nsec:Naux=17:6:5，RM8_v2	1	Wurth Electronic	750344351r07

表 3 系统 BOM（续）

63	U1	XPDS2201, SOIC127P600X175-14-66	1	英飞凌	XPDS2201
64	U2	MP6908A, SOT23_6	1	MPS	MP6908AGJ-P
65	U3	TCLT1103, Opto_TCLT1103	1	威世 (VISHAY)	TCLT1103
66	U4	CYPD3174-24LQXQ, QFN24	1	英飞凌	CYPD3174-24LQXQ
67	ZD1	TDZ12J，12 V，SOD323_d	1	Nexperia	TDZ12J,115

备注：　根据工作电压范围，5 V 额定电压对于电容器 C5、C6、C7、C8、C10、C28、C29 和 C30 就已足够。相反，由于价格低，演示板上组装了 50 V 型电容器。

2.2.4 磁性元件

在以下子章节中将详细介绍变压器和 CMC。

2.2.4.1 变压器

变压器 T1 具有以下规格 [4]：

- 匝数比 Np:Ns:Naux = 17:6:5
- 磁芯材料 3C95
- 骨架 RM8
- 主电感 L_p = 53 µH
- 漏电感 L_r = 1.5 µH
- 一层内屏蔽层

图 7 显示了结构、所用线材和绕组布置以及骨架引脚分配。

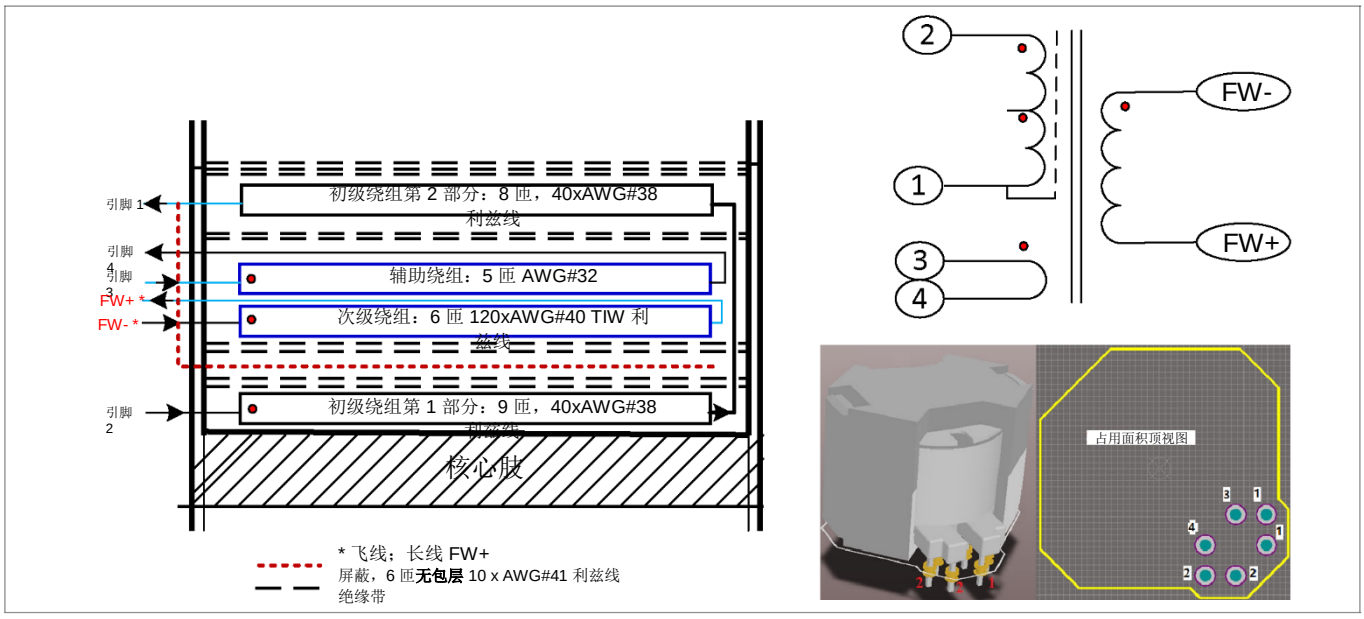


图 7 变压器绕组布置和引脚分配

在该变压器中实施了一个内部屏蔽层，以提高 EMI 性能。为了达到尽可能高的耦合衰减效果，使用了 10 股 AWG 41 中的无包层利兹线。此外，10 股线必须均匀分布并覆盖整个布线层空间，以尽可能地发挥屏蔽效果。建议的接线过程如下图所示。



图 8 骨架准备

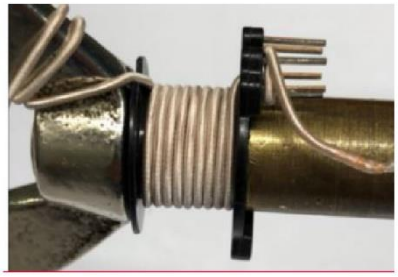


图 9 初级绕组第一部分

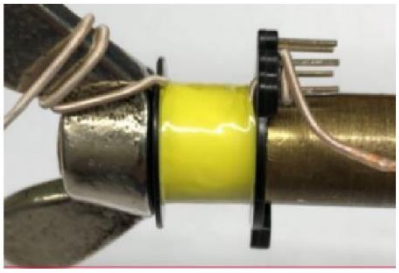


图 10 绝缘层 1



图 11 屏蔽层

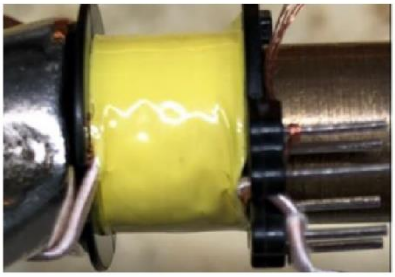


图 12 绝缘层 2

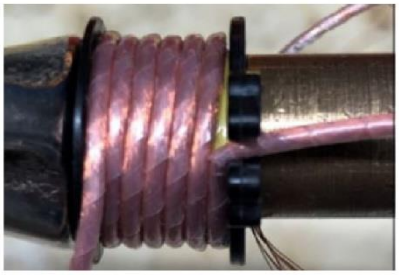


图 13 次级侧绕组

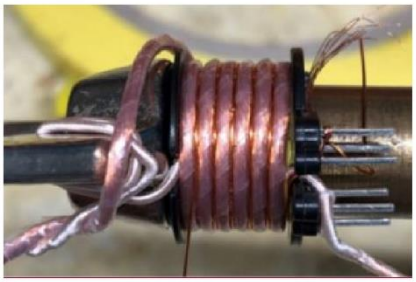


图 14 辅助绕组

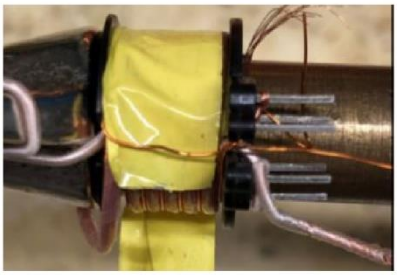


图 15 绝缘层 3a

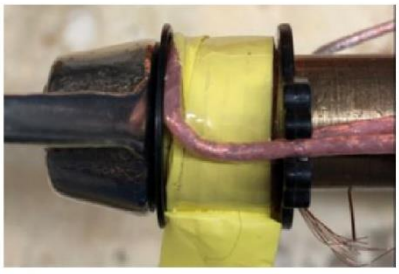


图 16 绝缘层 3b

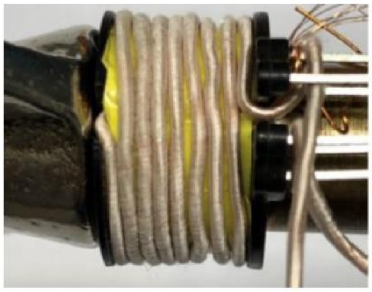


图 17 初级绕组第二部分

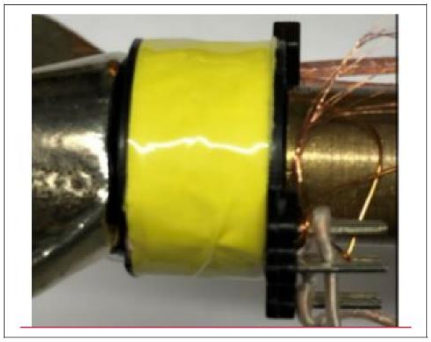


图 18 绝缘层 4

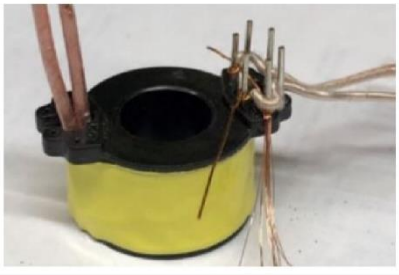


图 19 线材底视图

2.2.4.2 共模扼流圈

图 20 显示了演示板上使用的 CMC。在此，双股线用于尽可能地减少从其周围组件吸收的噪声。

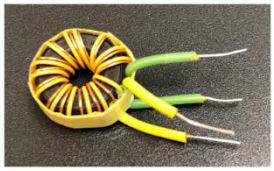


图 20 共模扼流圈

CMC 的规格如下：

- 2 x 5.5 mH
- DCR 41 mΩ
- 电介质强度 2 kV_{AC}/2 s
- 匝数比 1:1
- 磁芯：T60006-L2012-W902，12 x 8 x 4.5 mm；28 µH@10 kHz
- 线材：双股；0.4 mm 直径；一个具有漆包线隔离，另一个具有漆包线隔离加塑料
- 带绝缘管的端子

2.2.5 演示板视图

下图说明了演示板。

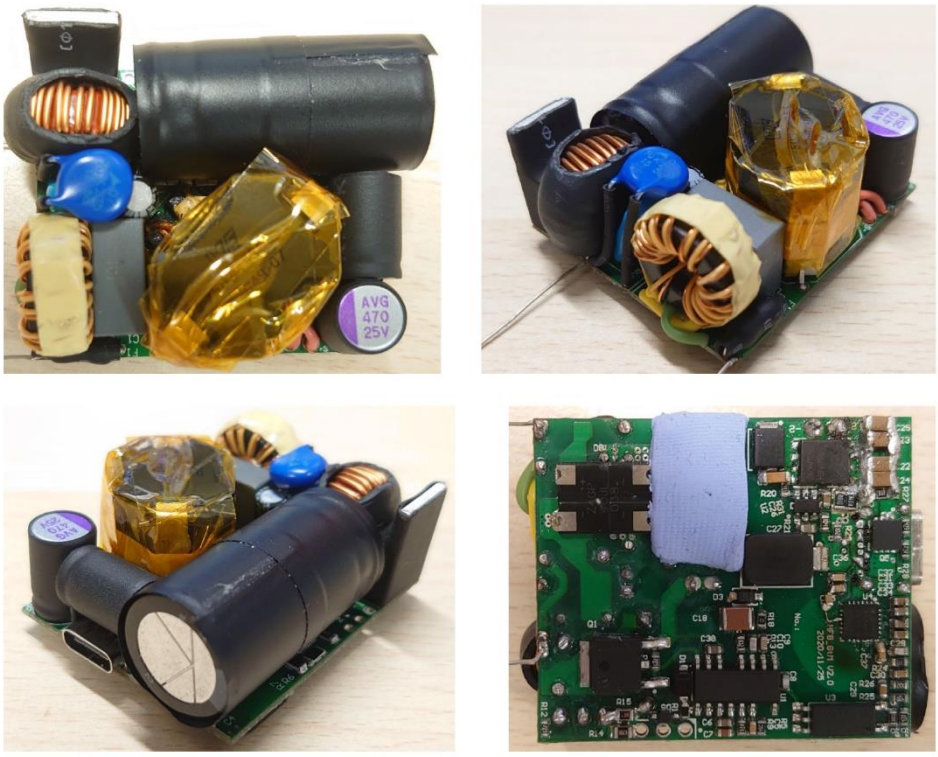


图 21 演示板视图

3 测量结果

测量结果在以下子章节中概述：

- 效率（*章节 3.1*）
- EMI（*章节 3.2*）
- 热像（*章节 3.3*）
- 输出纹波（*章节 3.4*）
- 线路和负载瞬态（*章节 3.5*）
- 输出电压电平瞬态（*章节 3.6*）
- 开关波形（*章节 3.7*）

根据所测项目，采用 HFB 输出或安全开关源或演示板输出作为输出参考点。这将在测量项目中进行介绍。

3.1 效率和待机功率

演示板的效率在安全开关 Q5 的源极端子上测量（*图 1*）。20 V 输出电压的满载电流设定为 3.25 A，其他电压电平的满载电流设定为 3 A。测量效率和待机功率如下所示。

表 4 效率测量

V_{OUT}	V_{IN}\负载(%)	10	25	50	75	100
20	90 V_{AC}	87.6%	90.5%	92.1%	92.9%	91.9%
	115 V_{AC}	88.7%	91.5%	92.9%	93.7%	93.5%
	230 V_{AC}	88.8%	91.6%	92.5%	93.0%	93.8%
	264 V_{AC}	88.4%	91.2%	92.0%	92.7%	93.7%
15	90 V_{AC}	81.8%	87.1%	90.1%	91.3%	91.6%
	115 V_{AC}	82.4%	87.7%	90.6%	91.4%	92.3%
	230 V_{AC}	81.5%	87.1%	90.1%	90.4%	92.2%
	264 V_{AC}	80.8%	86.6%	89.7%	90.2%	91.9%
12	90 V_{AC}	81.7%	86.8%	89.7%	91.2%	91.4%
	115 V_{AC}	82.0%	87.5%	90.3%	91.2%	92.0%
	230 V_{AC}	80.6%	87.1%	89.8%	90.1%	91.8%
	264 V_{AC}	80.1%	86.1%	89.3%	90.7%	91.8%
9	90 V_{AC}	84.4%	86.7%	88.6%	89.4%	87.6%
	115 V_{AC}	84.4%	87.5%	89.8%	90.5%	90.8%
	230 V_{AC}	82.2%	87.9%	89.8%	90.6%	91.6%
	264 V_{AC}	81.2%	87.0%	88.8%	90.2%	91.3%
5	90 V_{AC}	84.5%	86.2%	87.8%	87.8%	87.2%
	115 V_{AC}	84.6%	86.4%	88.1%	88.3%	88.1%
	230 V_{AC}	82.2%	85.9%	87.2%	87.7%	88.3%
	264 V_{AC}	81.4%	85.0%	86.4%	87.1%	88.0%

3 测量结果

表 5　　平均效率

V_{IN}\V_{OUT}(V)	5	9	12	15	20
90 V_{AC}	86.6%	88.1%	89.8%	90.0%	91.8%
115 V_{AC}	86.9%	89.6%	90.2%	90.5%	92.9%
230 V_{AC}	85.8%	90.0%	89.7%	89.9%	92.7%
264 V_{AC}	85.0%	89.3%	89.5%	89.6%	92.4%

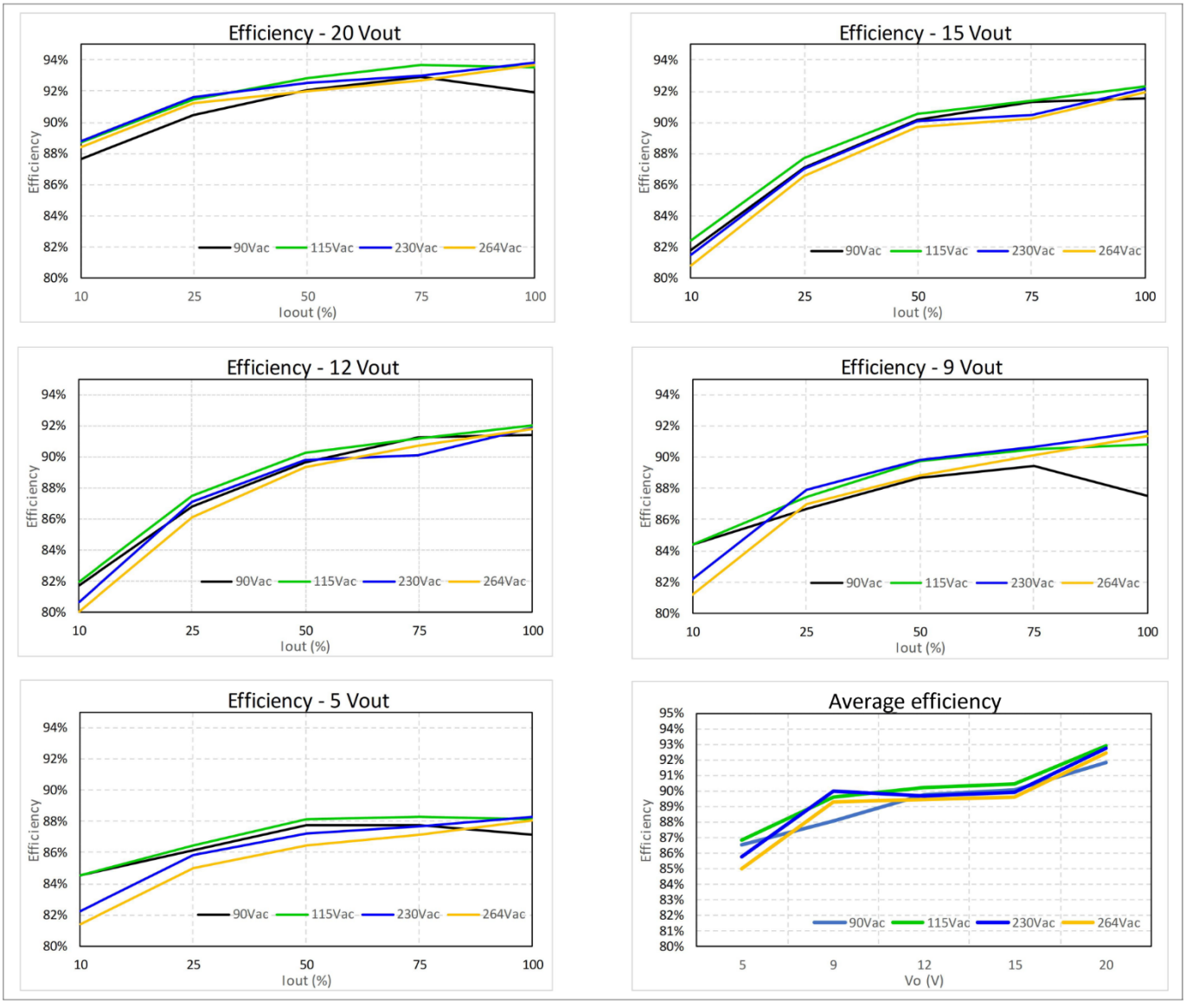


图 22　　效率曲线

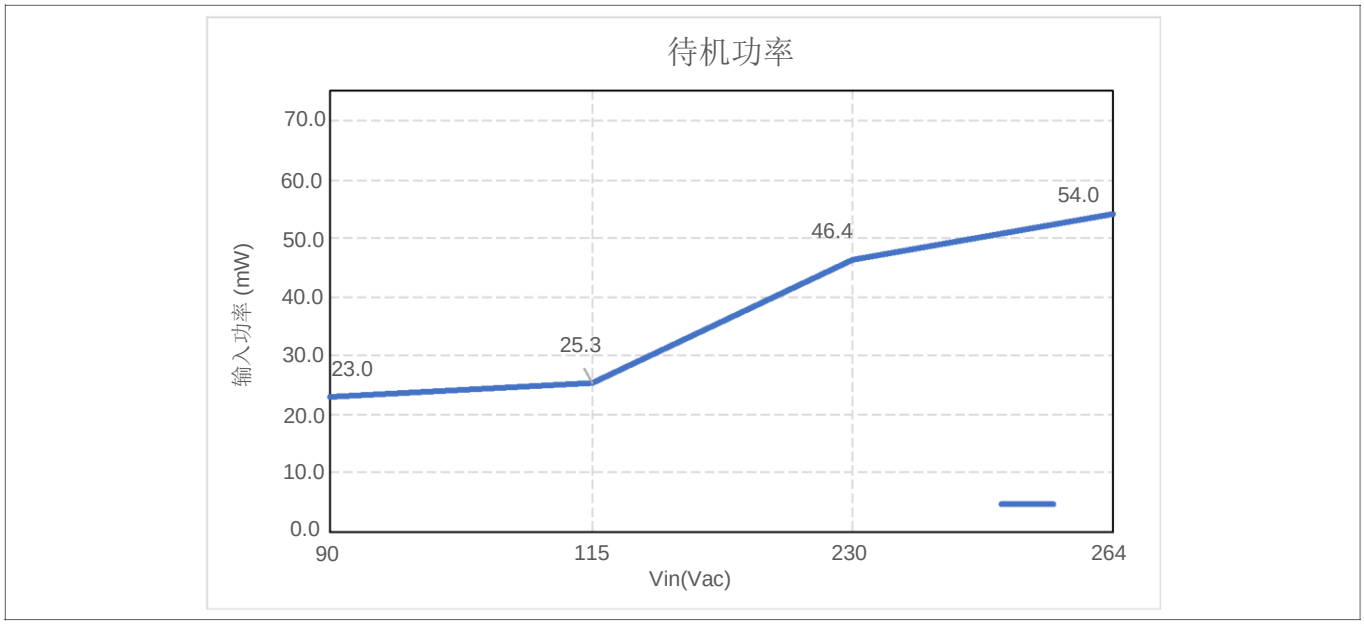


图 23 待机功率

3.2 EMI

演示板通过 EMI 测试，峰值测量具有至少 -3 dB µ V 裕度。下图显示了不同测量的结果。

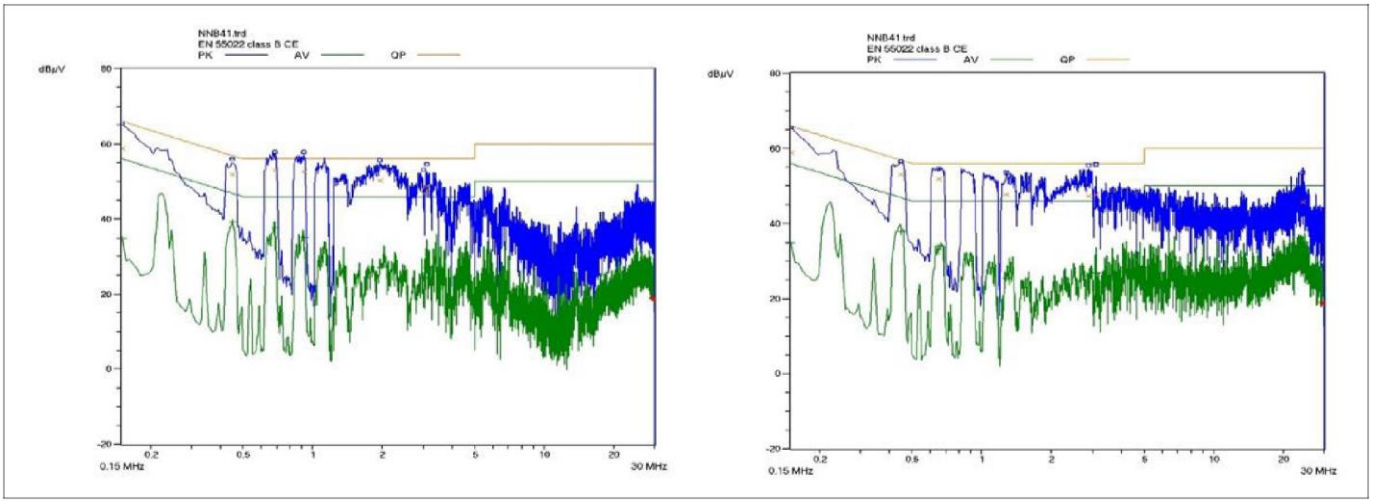


图 24 230 V 下的测量，20 V 和 3.25 A 下的输出：线路（左）和零线（右）

3 测量结果

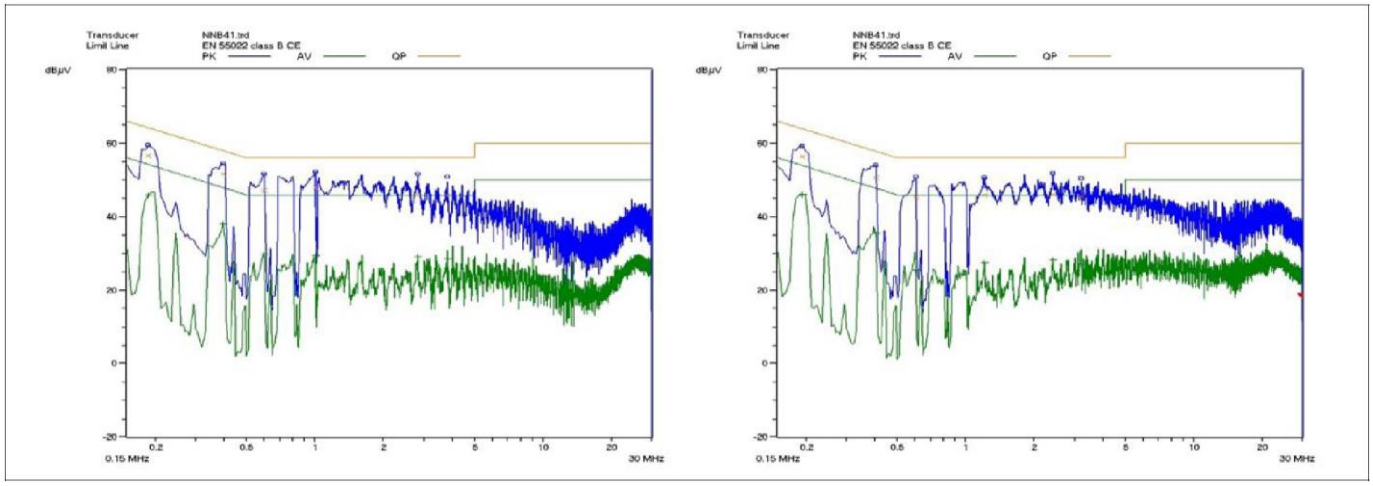


图 25 115 V 下的测量，20 V 和 3.25 A 下的输出：线路（左）和零线（右）

3.3 热像

下图显示了演示板的热性能。在低压线路的桥式整流器处测得 87.1° C 的最高温度，在高压线路的 SR 控制器处测得 86.4° C 的温度。

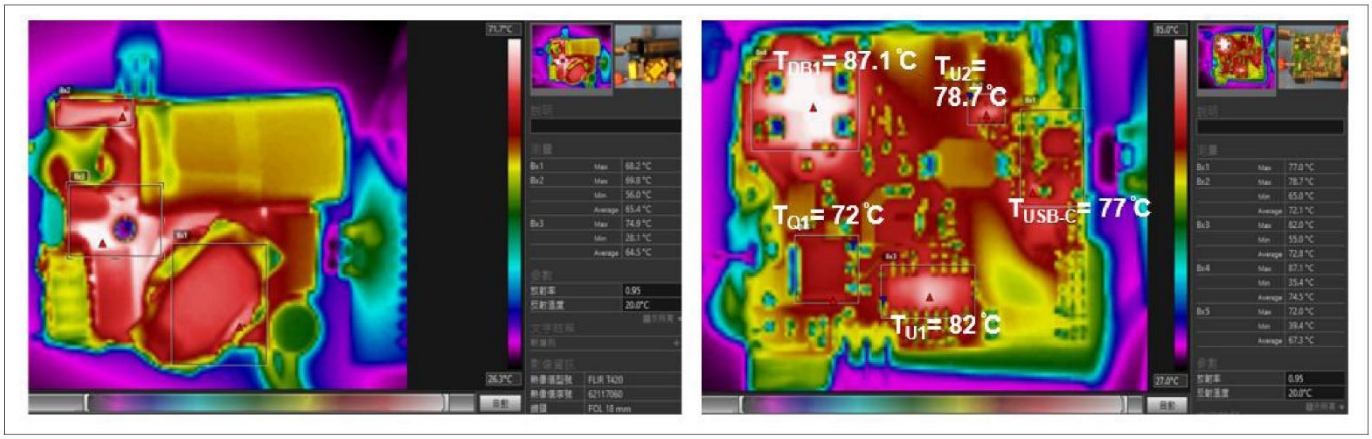


图 26 115 V 交流电，20 V 和 3 A 输出下的热像：顶部（左）和底部（右）

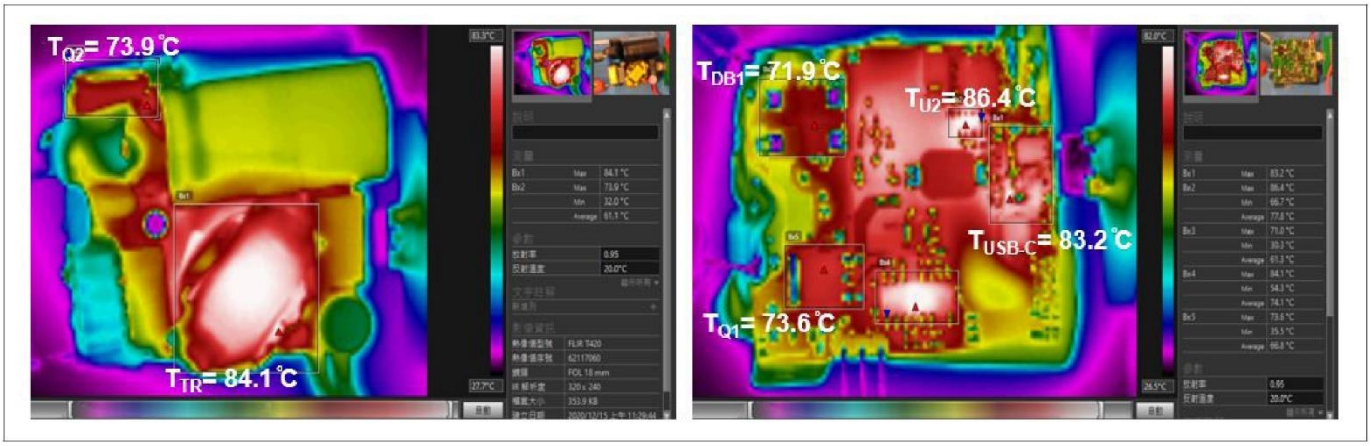


图 27 230 V 交流电，20 V 和 3 A 输出下的热像：顶部（左）和底部（右）

3.4 输出纹波

稳态操作期间的输出电压纹波在 HFB 级的输出电容器上测量。

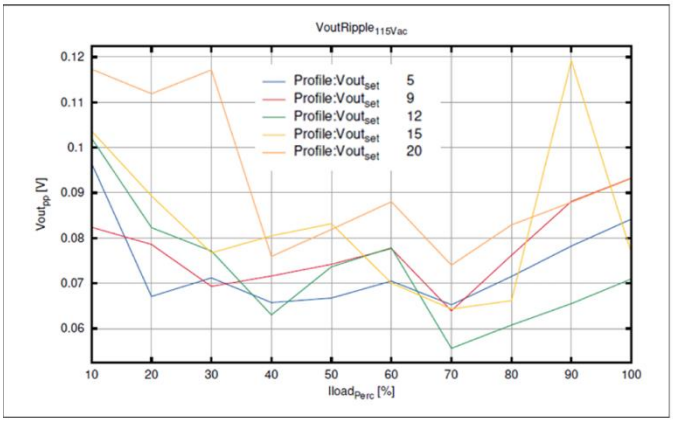


图 28 115 V 下的输出电压纹波

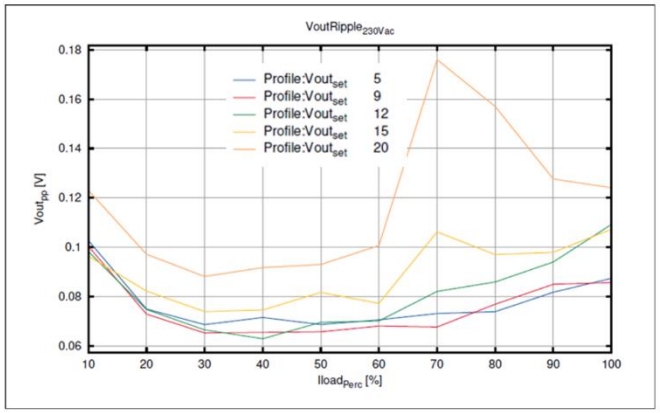


图 29 230 V 下的输出电压纹波

3.5 线路和负载瞬态

下图显示了线路和负载瞬态下的 HFB 输出电压。像往常一样，在探头输入端放置一个 10 µ 电解电容器和一个 100 nF 陶瓷电容器。

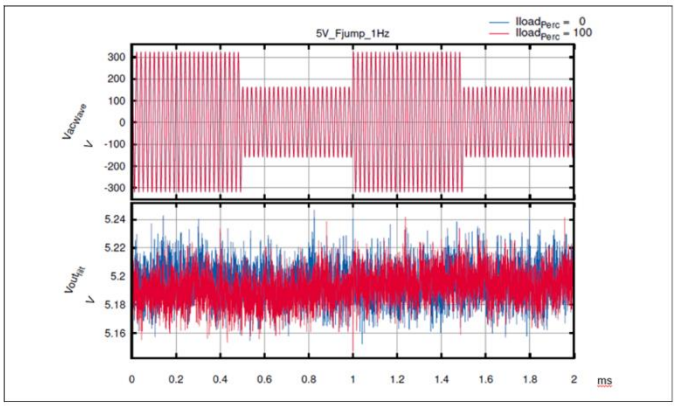


图 30 1 Hz 下 115 V 和 230 V 之间的线路瞬态

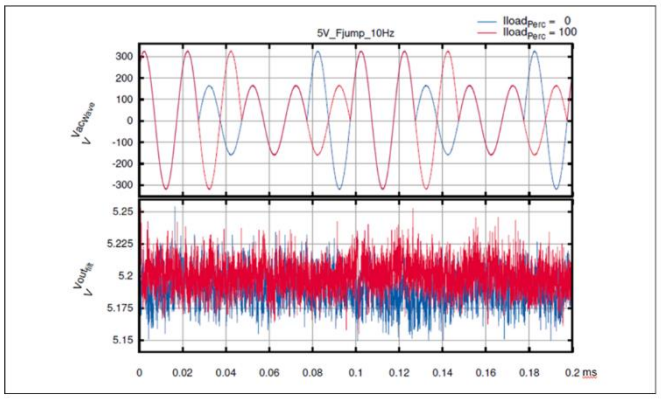


图 31 10 Hz 下 115 V 和 230 V 之间的线路瞬态

3 测量结果

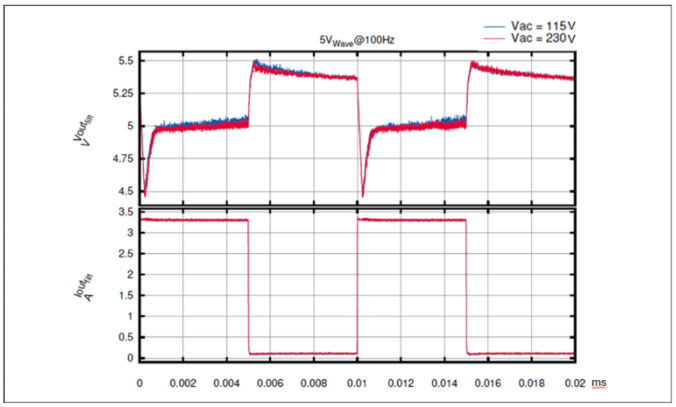


图 32 5 V 输出下 3.25 A 的 10% 和 100% 之间的负载瞬态

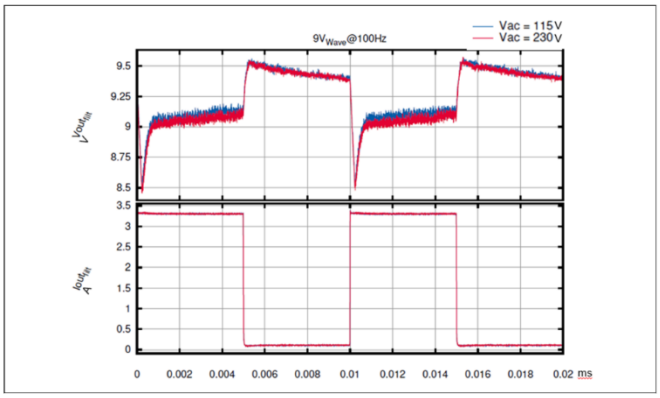


图 33 9 V 输出下 3.25 A 的 10% 和 100% 之间的负载瞬态

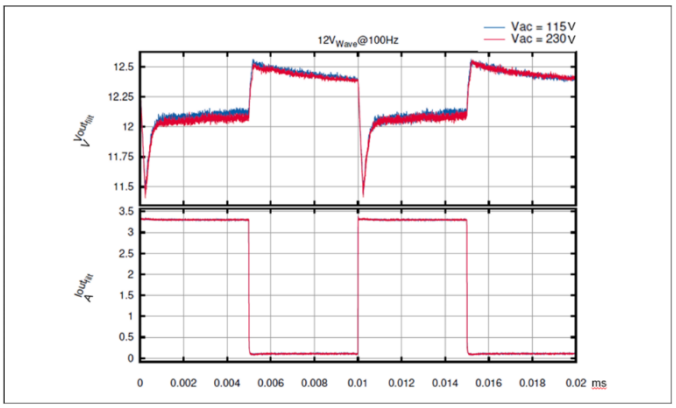


图 34 12 V 输出下 3.25 A 的 10% 和 100% 之间的负载瞬态

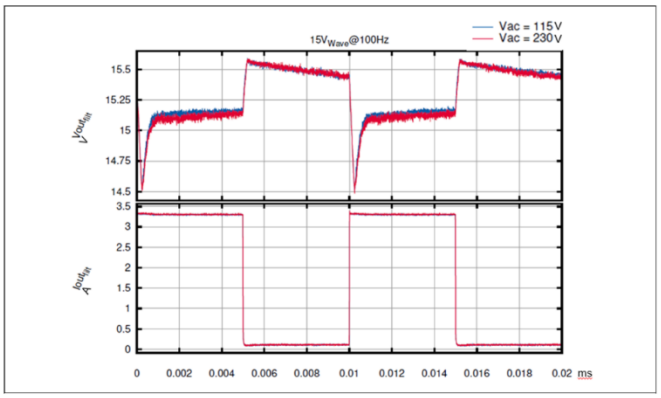


图 35 15 V 输出下 3.25 A 的 10% 和 100% 之间的负载瞬态

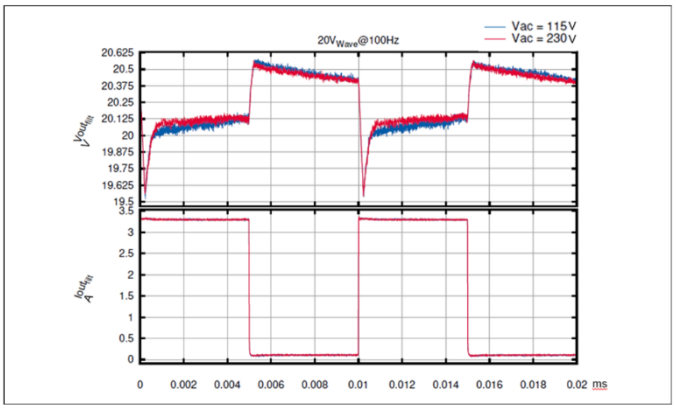


图 36 20 V 输出下 3.25 A 的 10% 和 100% 之间的负载瞬态

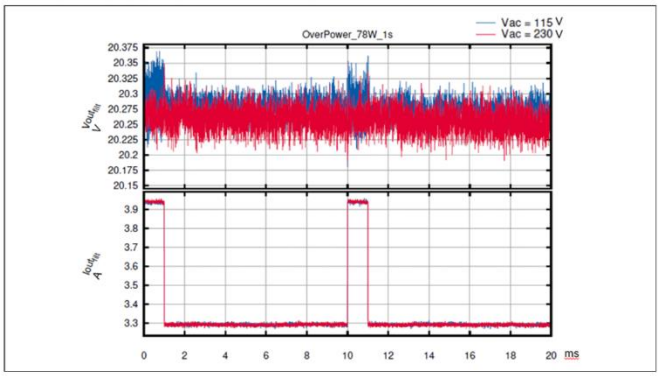


图 37 过载：78 W，持续 1 s

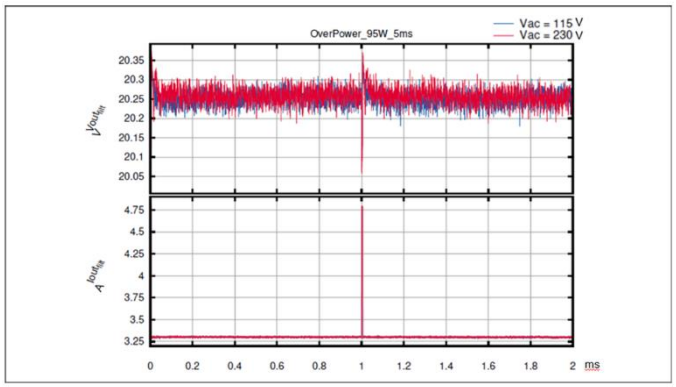


图 38　峰值负载：95 W，持续 5 ms

3.6　输出电压电平瞬态

下图显示处于输出电平的 HFB 输出电压在 115 V 和 230 V_{AC} 输入电压下，在 5 V 和 20 V 之间变化。其他输出电压电平瞬态显示类似波形，但此处未显示。

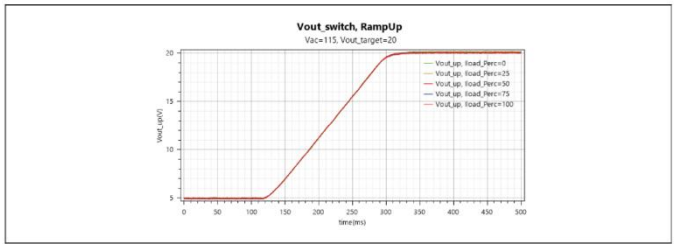


图 39　在 115 V_{AC} 下从 5 V 到 20 V 的输出

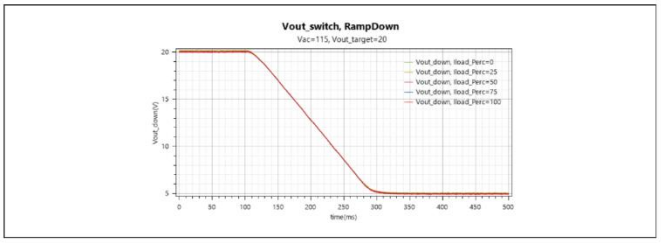


图 40　在 115 V_{AC} 下从 20 V 到 5 V 的输出

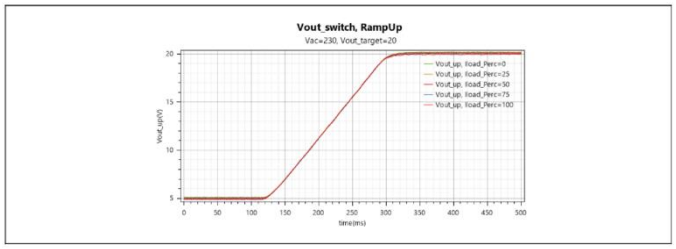


图 41　在 230 V_{AC} 下从 5 V 到 20 V 的输出

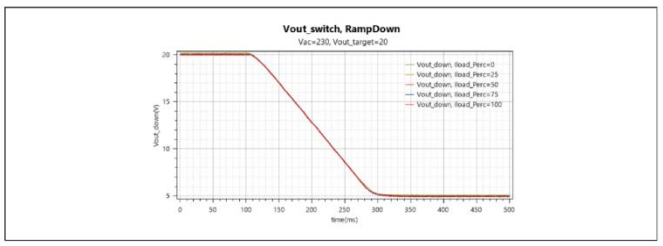


图 42　在 230 V_{AC} 下从 20 V 到 5 V 的输出

3.7　开关波形

本子章节显示了以下开关波形：

- 启动（*章节 3.7.1*）
- 操作模式（*章节 3.7.2*）
- 抖动（*章节 3.7.3*）
- 保护（*章节 3.7.4*）

3.7.1 启动

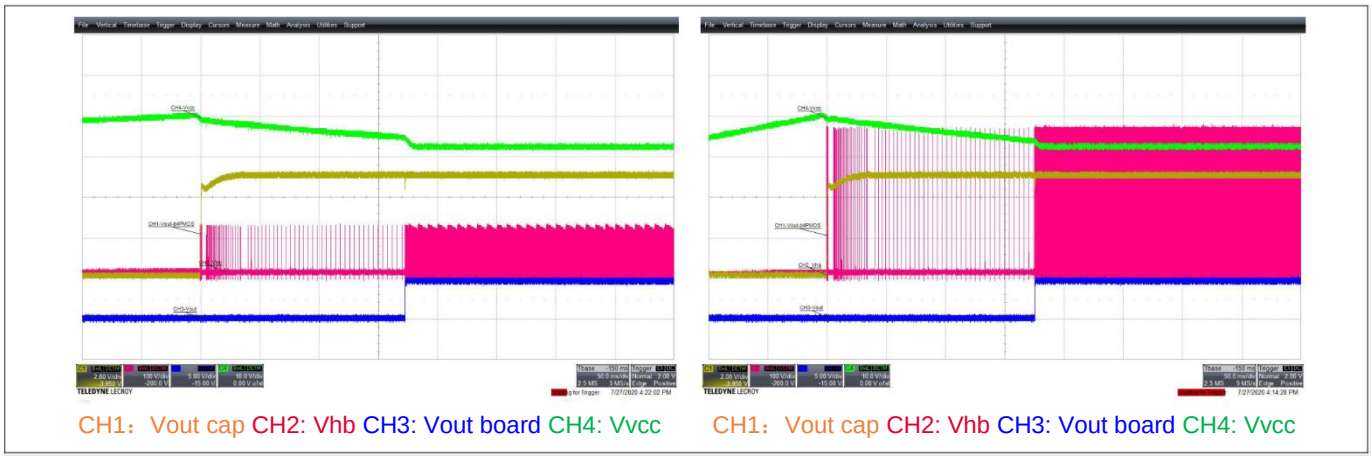


图 43 满载冷启动，输入电压为 90 V（左）和 264 V（右）

图 43 描述了负载连接在演示板输出端时满载启动的情况。HFB 输出端（CH1，黄色）的电压在操作开始后短时间内上升，但 PD 器件需要一些时间进行初始化。演示板输出电压（CH3，蓝色）的上升沿显示时间延迟。在此延迟时间内，HFB 在突发模式下运行，如 HB 开关节点 Vhb（CH2，粉红色）的电压所示。一旦 PD 器件处于活动状态，终端设备就可以使用实现良好稳压的输出电压。

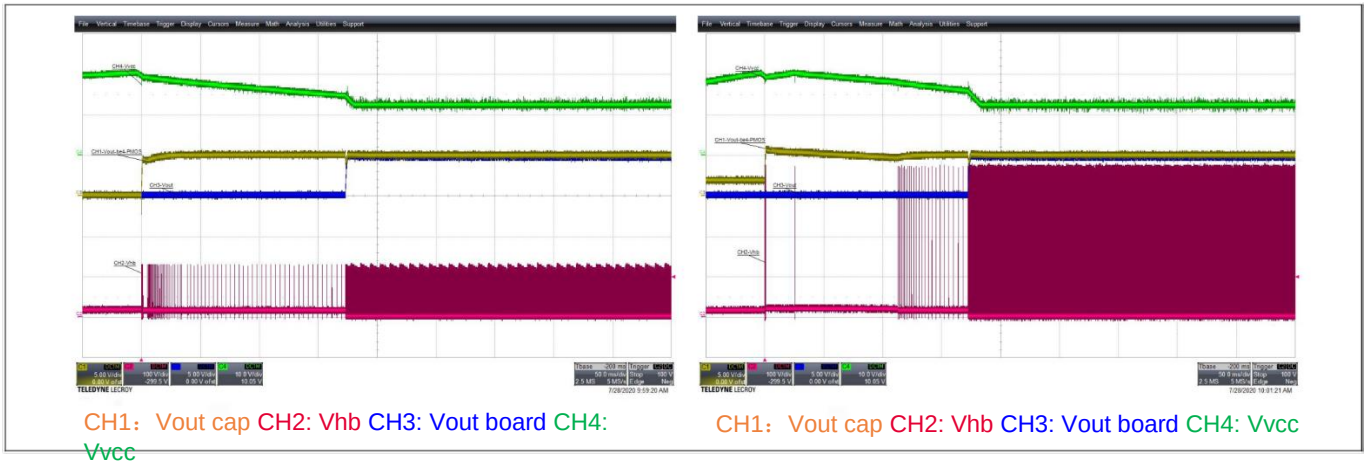


图 44 在演示板输出端添加 470 µF 电容器的情况下满载冷启动，输入电压为 90 V（左）和 264 V（右）

这些波形显示了在负载模块的输入端添加 470 µF 电解电容器时的电容性负载性能。一旦 PD 器件处于活动状态，终端设备就可以使用实现良好稳压的输出电压。

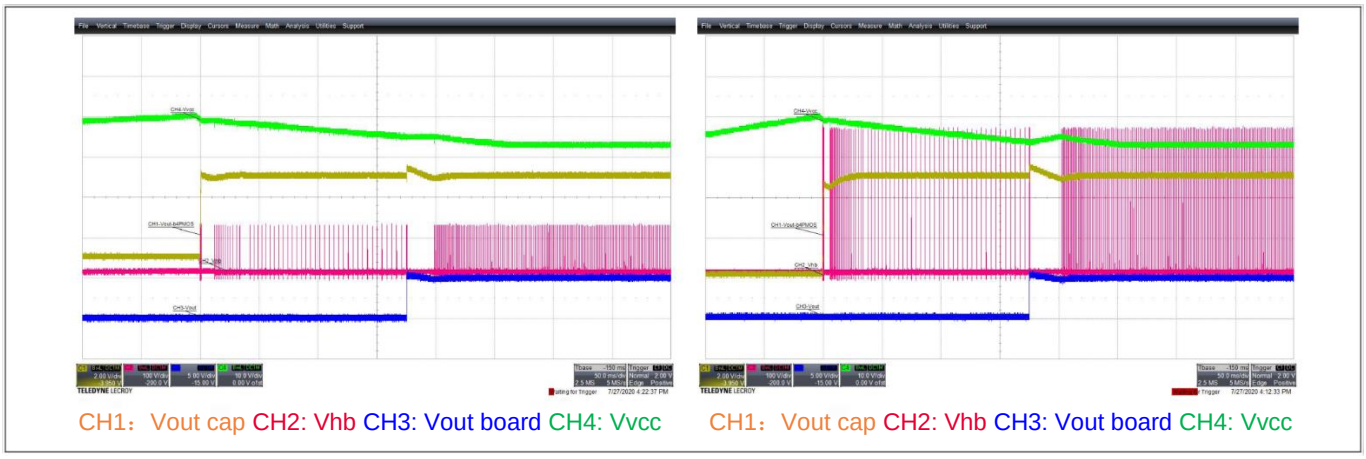


图 45　　0 A 负载电流下冷启动，输入电压为 90 V（左）和 264 V（右）

这些波形显示了 0 A 负载电流下的行为。在 0 A 负载下，系统在突发模式下运行。在 0 A 下启动时，使用的直流负载模块对输出电压具有一定影响。负载模块的输入电容导致相对较长的突发时间，因此电压略有增加。同样的效果适用于下一个 0 A 和 470 pF 电容性负载的测试案例。

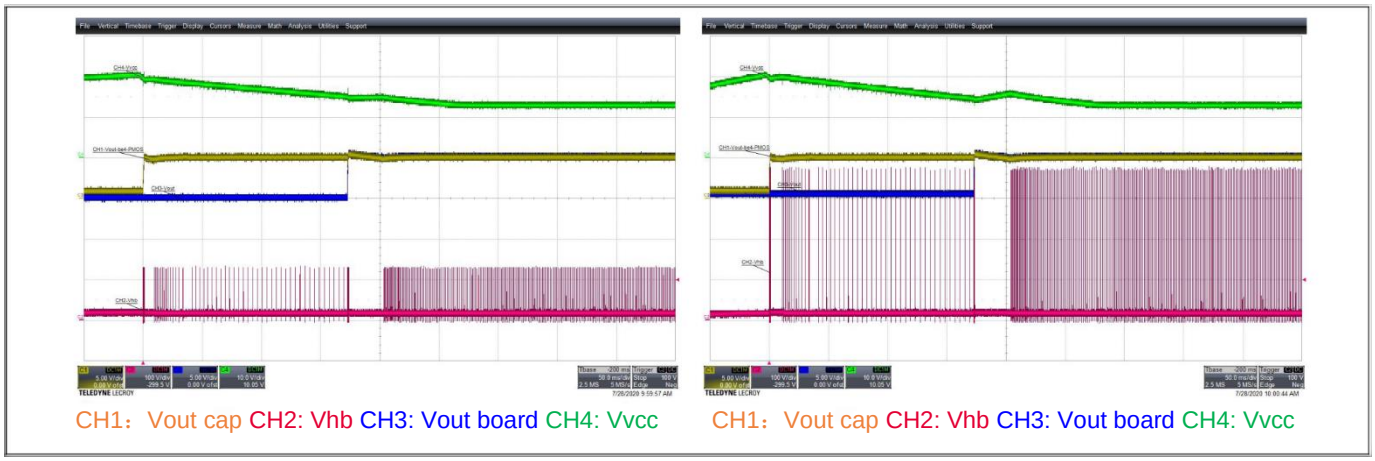


图 46　　在演示板输出端添加 470 µF 电容器的情况下 0 A 负载冷启动，输入电压为 90 V（左）和 264 V（右）

3.7.2　操作模式

以下条件下的操作模式如下所示：

- 交流输入电压 90 V 和 264 V
- 输出电压 5 V 和 20 V
- 输出电流 0 A、0.2 A、1.2 A 和 3.25 A

稳态操作期间的模式

根据配置的参数值和设置的实际输出电压和电流，HFB 以不同的模式运行。在默认参数配置下，仅突发模式和 ZV-RVS 模式可用于 5 V 和 9 V 输出电压，而突发模式、ZV-RVS 和 CRM 操作可用于 12 V、15 V 和 20 V 输出电压。突发模式操作用于轻负载电流，而 CRM 则用于高输出负载电流。在负载电流的中间范围内会产生 ZV-RVS 模式。图 47 至图 50 中仅显示了 5 V 和 20 V 的工作波形。

图 47 显示了 0 A 和 0.2 A 下的突发模式操作，以及 5 V 输出电压的 1.2 A 和 3.25 A 下的 ZV-RVS 操作。在 0 A 负载电流下，如左上图所示，突发中断时间长于 1 ms。因此，在 ZVS 脉冲之前会出现一个预充电脉冲，它会提升高压侧驱动器的 VCC 电源。这可以在初级电流（CH3，蓝色）第一次下降时看到。在 0.2 A 负载电流下，突发中断时间

3 测量结果

短于 1 ms。在这种情况下，没有预充电脉冲可用。

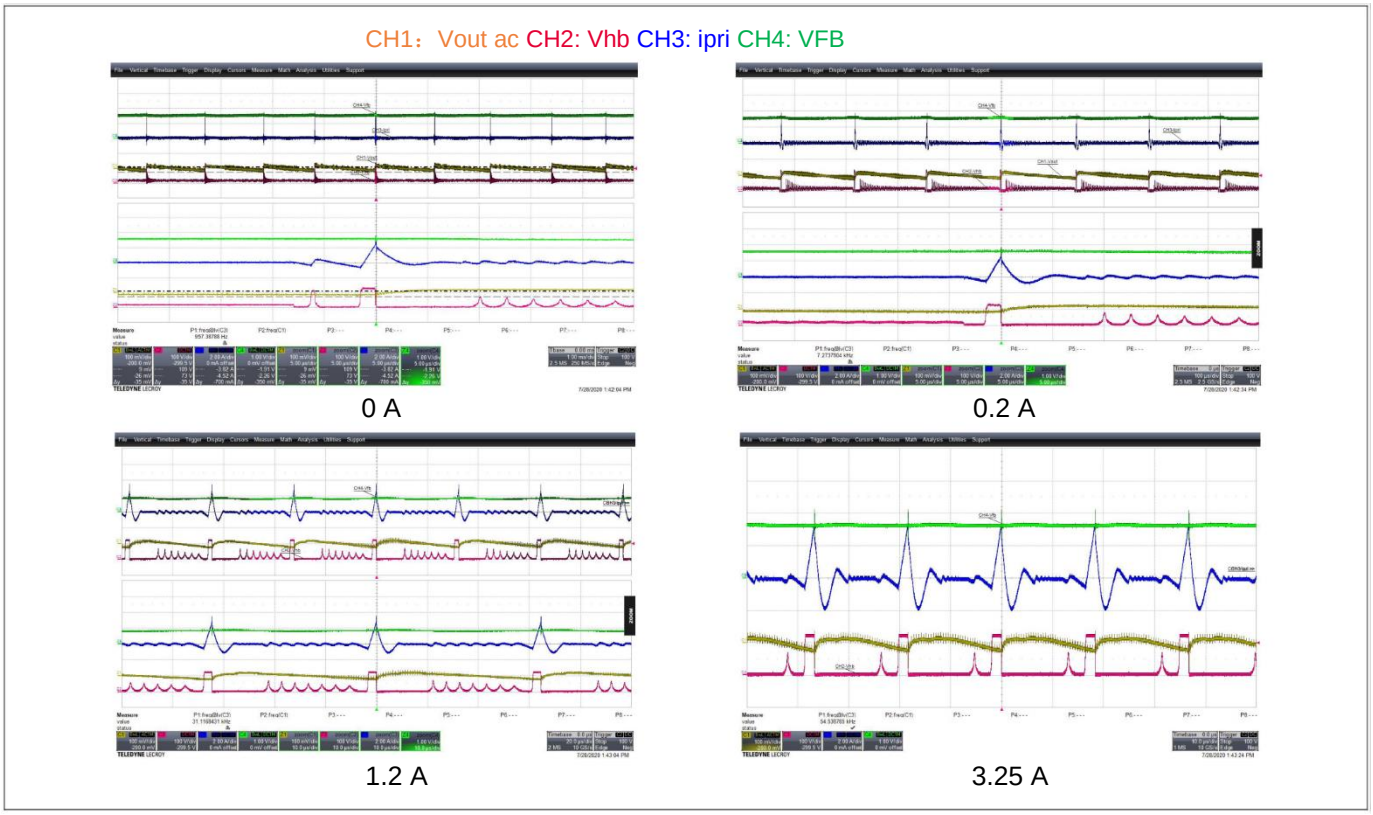


图 47　　在 90 V 输入电压和 5 V 输出电压下运行

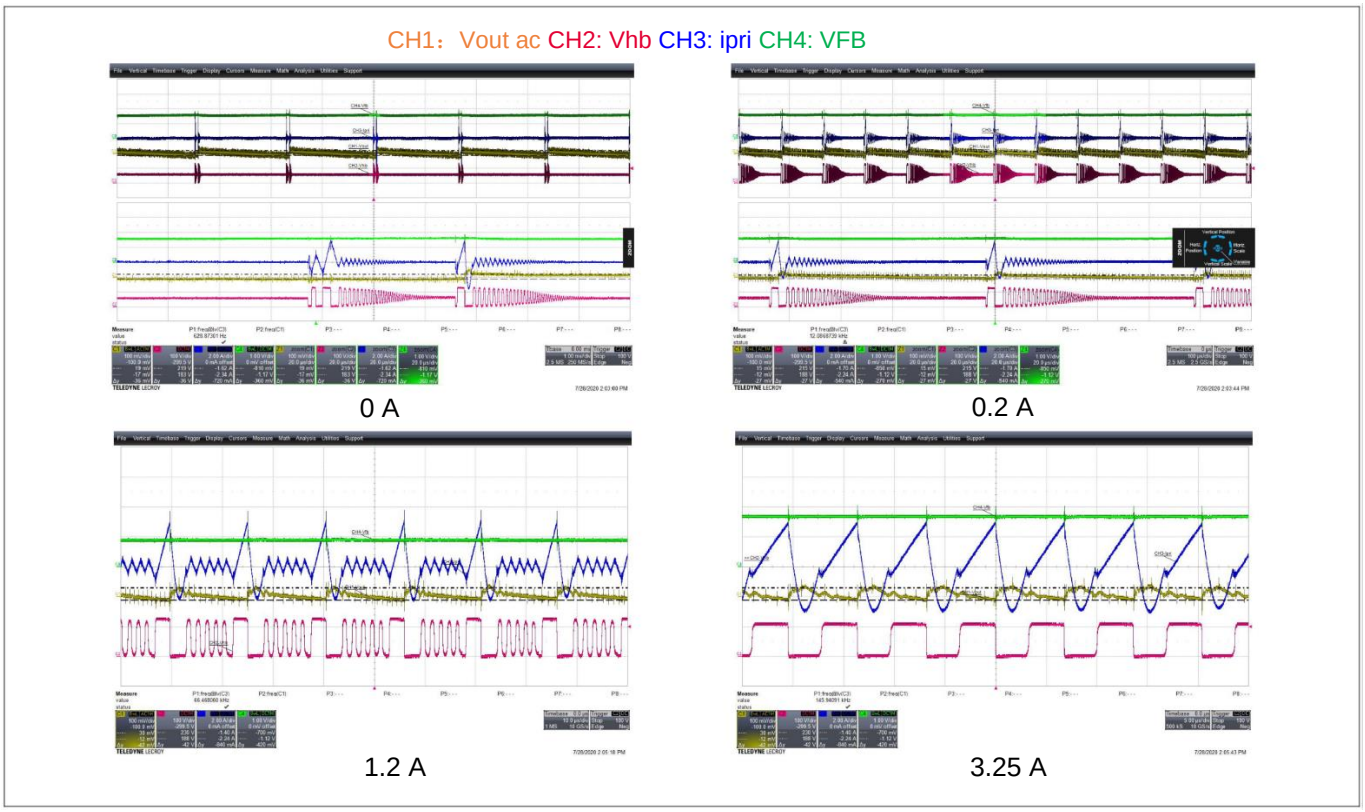


图 48　　在 90 V 输入电压和 20 V 输出电压下运行

在 20 V 输出电压下，HFB 转换器在 0 A 和 0.2 A 的突发模式、1.2 A 的 ZV-RVS 模式和 3.25 A 的 CRM 模式下运

3 测量结果

行。在 0 A 负载电流下，突发中断时间长于 1 ms，预充电脉冲在突发开始时适用。

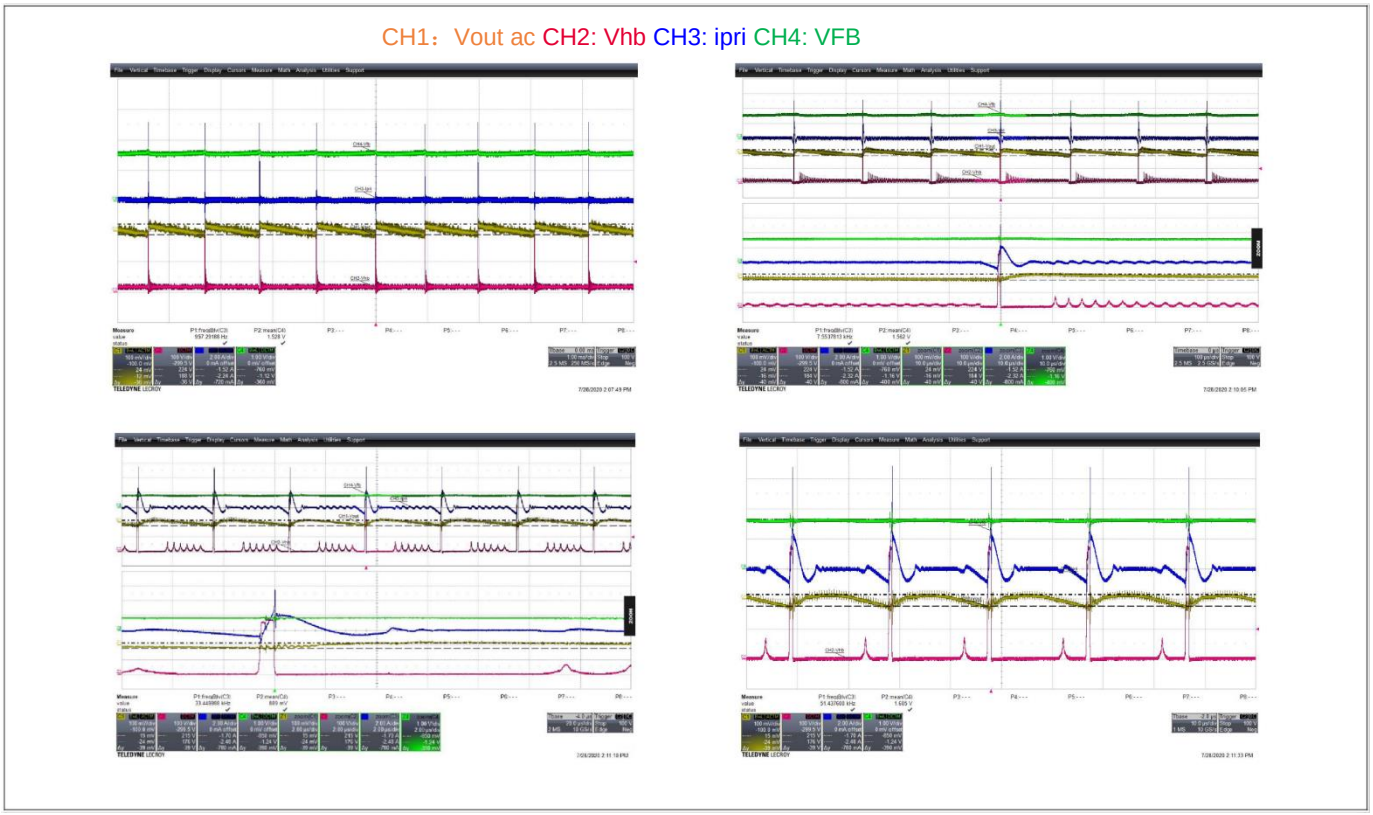


图 49　　在 264 V 输入电压和 5 V 输出电压下运行

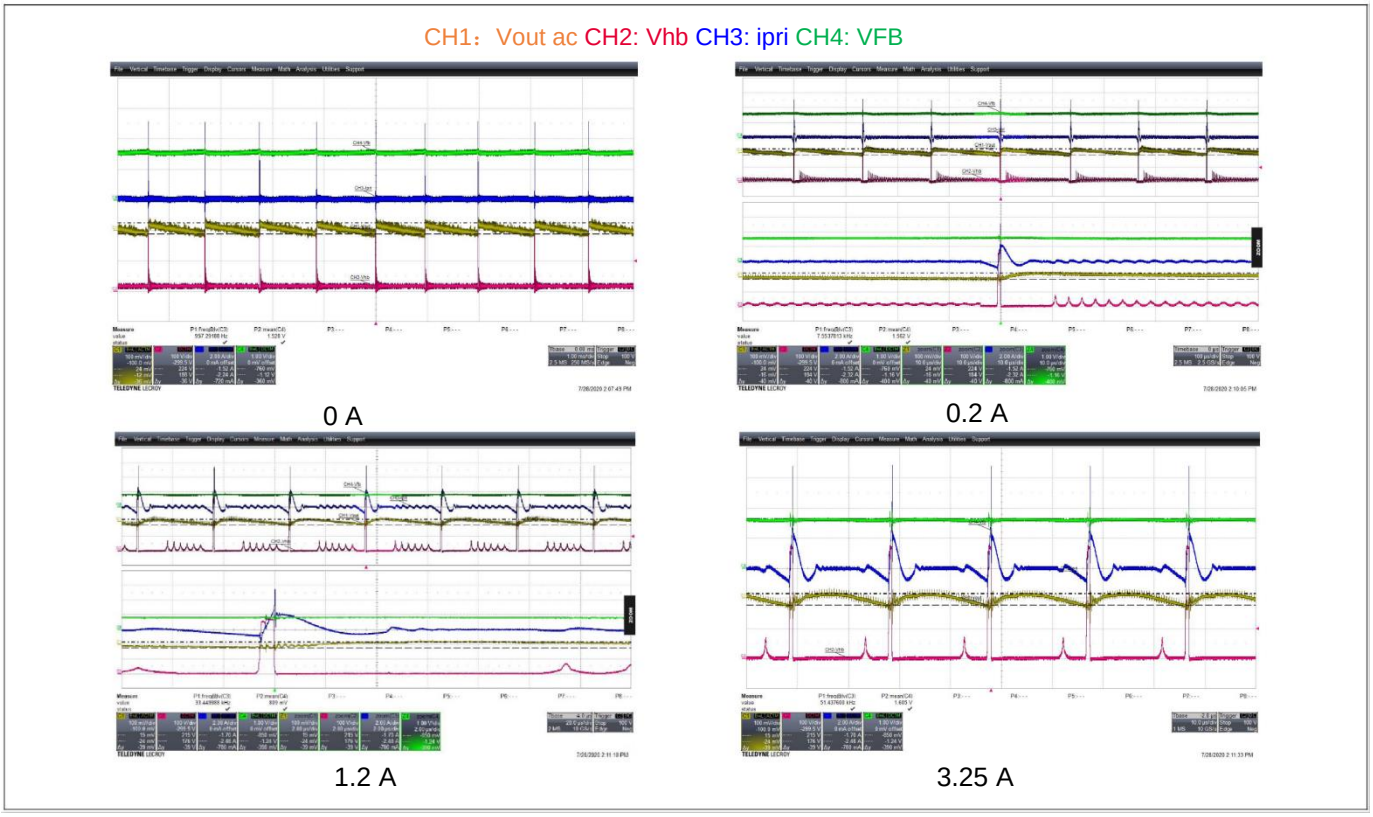


图 50　　在 264 V 输入电压和 20 V 输出电压下运行

3 测量结果

类似的模式变化可以在其他运行条件下观察到，例如高压线路下*图 49* 所示的 5 V 输出和高压线路下*图 50* 所示的 20 V 输出用例。

负载瞬态下的模式

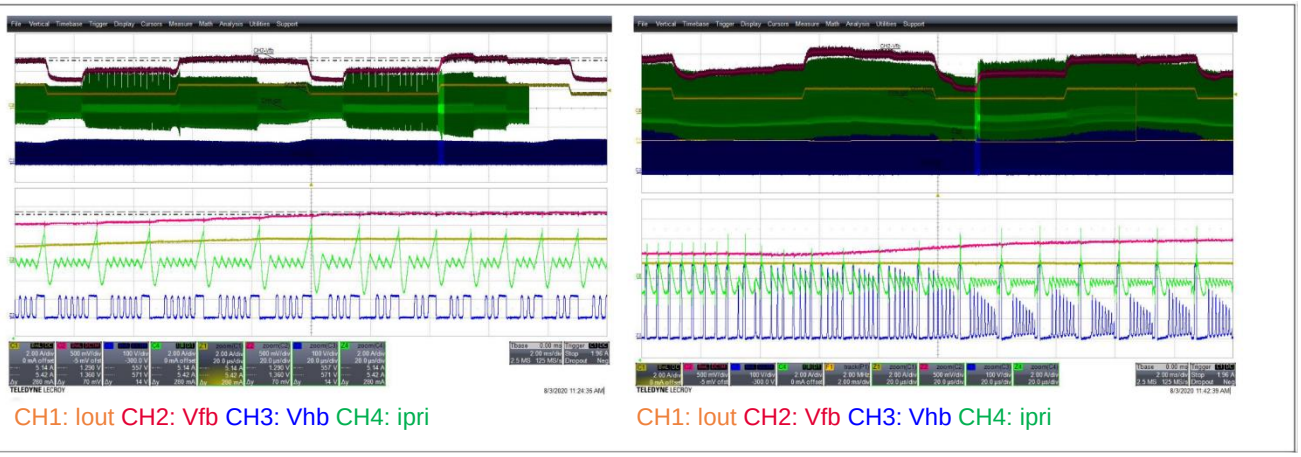


图 51　2.5 A 和 1.5 A 之间的负载瞬态，在 90 V 输入电压和 15 V 输出电压（左）与 264 V 输入电压和 20 V 输出电压（右）下具有 113 Hz 和 50% 占空比

反馈电压及时对输出电流的变化作出反应。相应地，输出电压稳压的谷值发生变化，如左图所示。操作模式也可能改变。如右图所示，随着谷值增加，系统从 CRM 变为 ZV-RVS 模式。然而，操作模式的改变与负载阶跃并不同步。这是因为操作模式的改变还有一些其他标准，以确保在负载瞬态下稳定运行。以 12 V 和 15 V 输出工作情况为例（参见*图 52* 和*图 53*），可以在其他条件下观察到这种模式的改变和负载瞬态下的谷值变化。

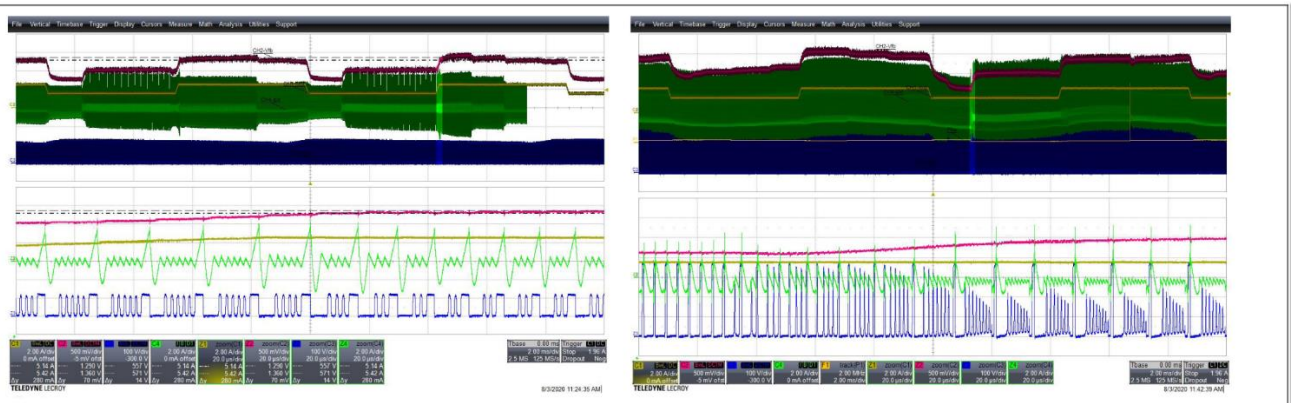


图 52　2.5 A 和 1.5 A 之间的负载瞬态，在 90 V 输入电压和 15 V 输出电压下具有 113 Hz 和 50% 占空比

3 测量结果

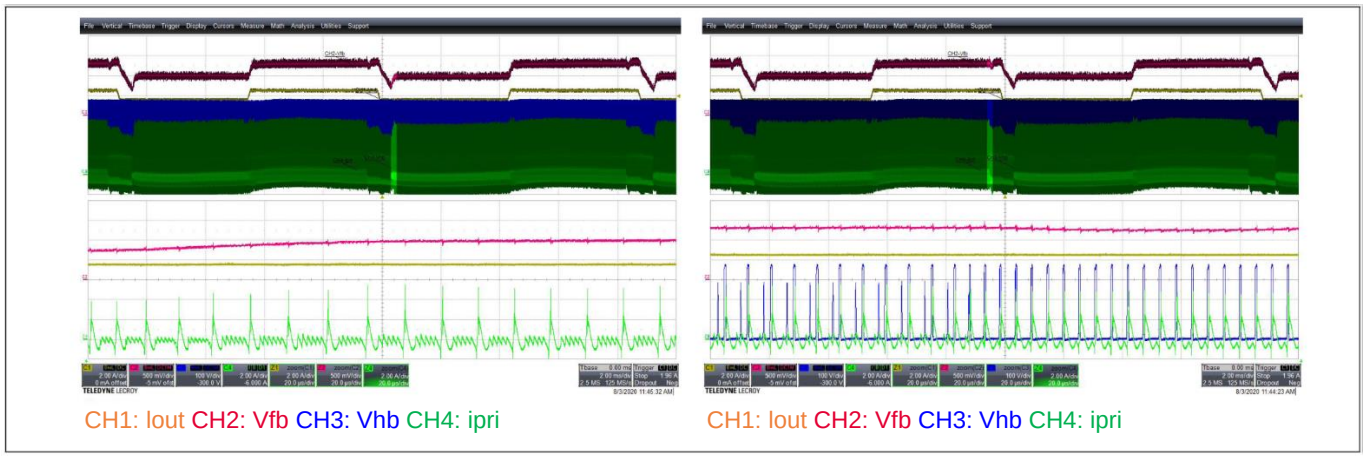


图 53 2.5 A 和 1.5 A 之间的负载瞬态，在 264 V 输入电压和 15 V 输出电压下具有 113 Hz 和 50% 占空比

3.7.3 抖动

开关频率抖动在控制器 IC XDPS2201 中实现。开关频率在体电容器和 CRM 操作中向上抖动一个可配置的电压电平。下图显示了一些测量结果。

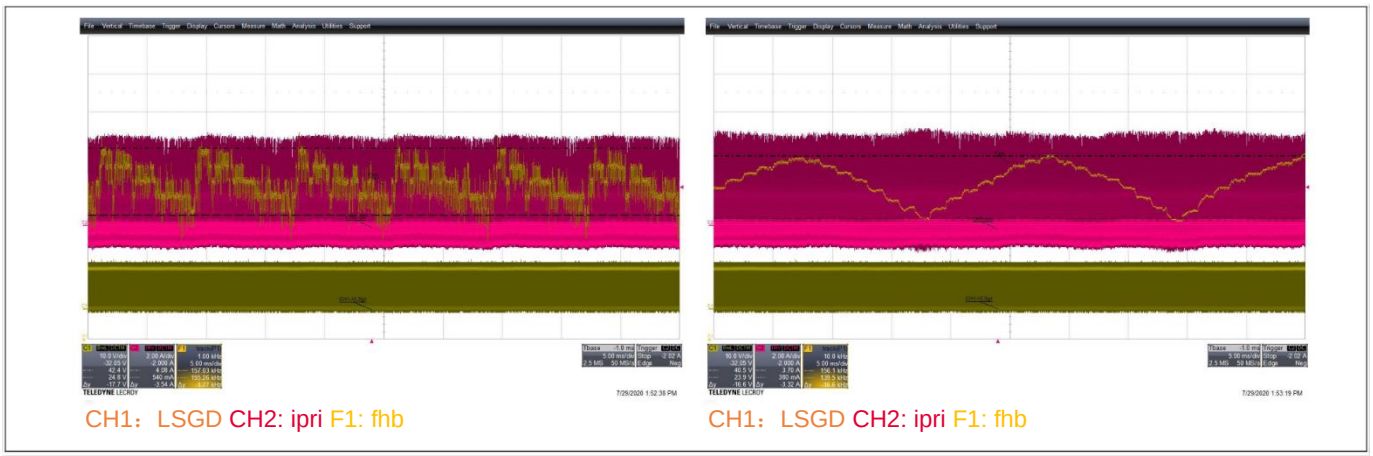


图 54 在 12 V 和 3.25 A 下运行：在输入电压 180 V（左）下无抖动，在输入电压 185 V（右）下抖动

左侧波形没有开关频率抖动，其中输入电压为 180 V rms 且低于设定阈值。频率不规则地变化，并且只有总线电容器两端的相关电压纹波。在右侧，频率根据抖动设置，随规则模式而变化。

频率变化的时间步长和开关频率抖动的跨度均可配置。频率抖动仅在高输出负载下有效，如*图 55* 和*图 56* 所示。

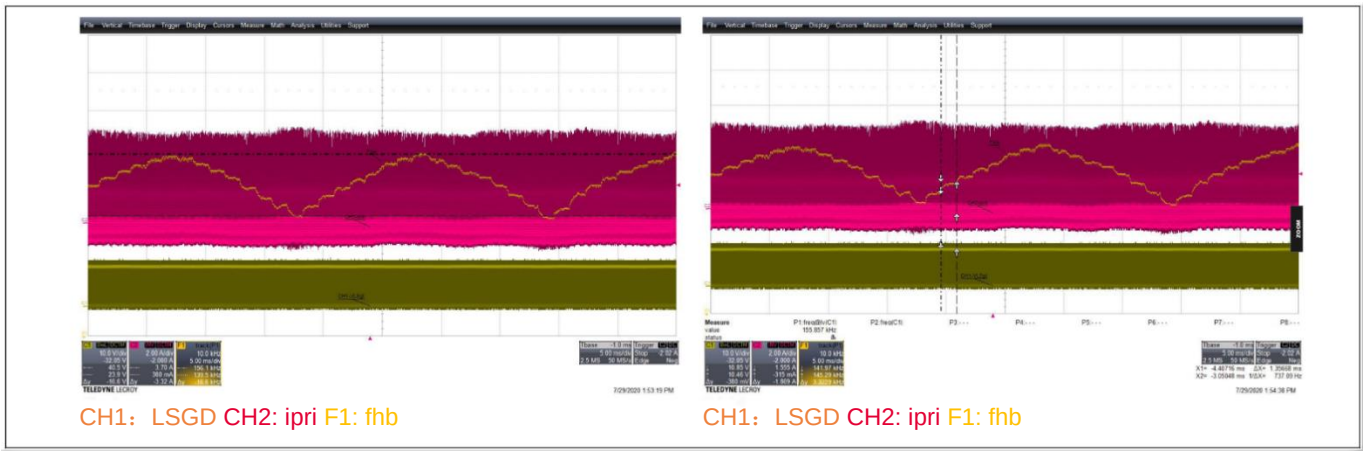


图 55　　在 185 V 输入电压下的抖动频率，在 3.25 A 下为 12 V

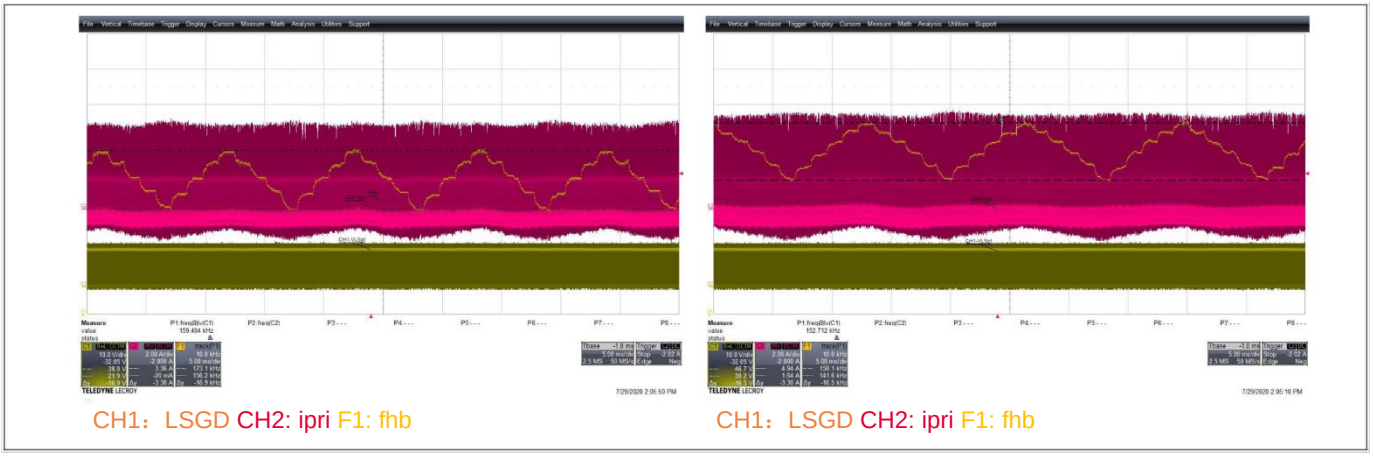


图 56　　在 230 V 下的抖动频率，12 V：3.25 A（左）和 3 A（右）

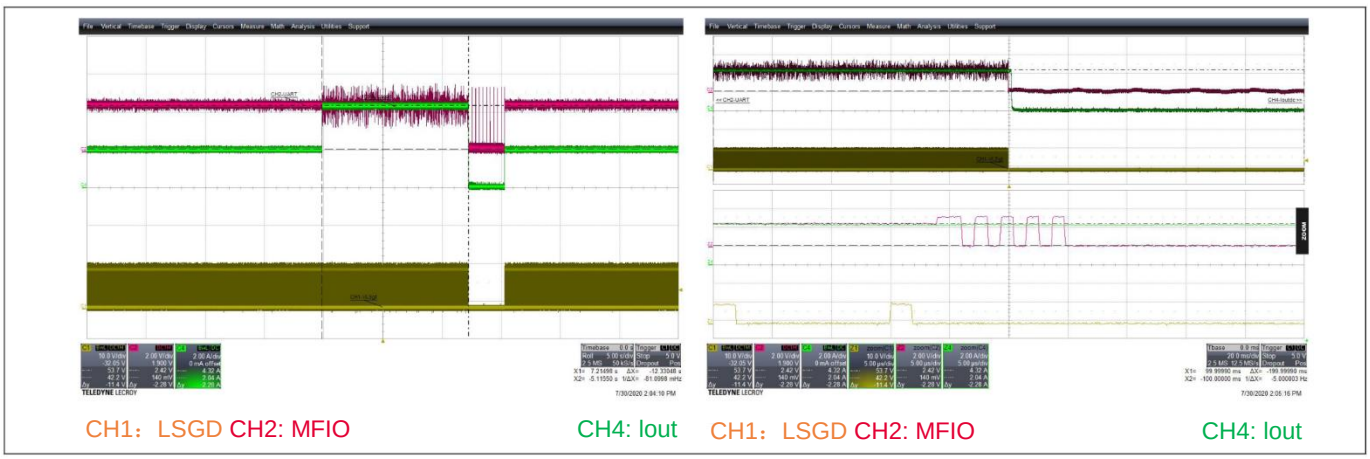
3.7.4　保护

控制器 XDPS2201 中实现了全面的保护功能集。以下子章节将仅说明其中一些功能集。

过流

对于过流测试，负载跨电容器 C21（***图 1***）连接到主级输出，以说明 HFB 控制器 XDPS2201 的功能。

可使用两种类型的过流保护机制：一种基于输出电流估算（包括 OCP1lev1、OCP1lev2 和 OCP1max），另一种基于硬件比较器 (OCP2)。保护 OCP1 具有较低的阈值和较长的消隐时间，因此反应较慢，而保护 OCP2 具有较高的阈值和短得多的消隐时间，因此反应速度要快得多。此外，这两种不同的保护机制服务于不同的目的。OCP1 用于输出负载过流保护，OCP2 用于避免硬件故障导致损坏，例如变压器绕组短路。下面的测试用例对这些进行了说明。



3 测量结果

图 57　　OCP1 1 级在 90 $_{AC}$ 输入下触发

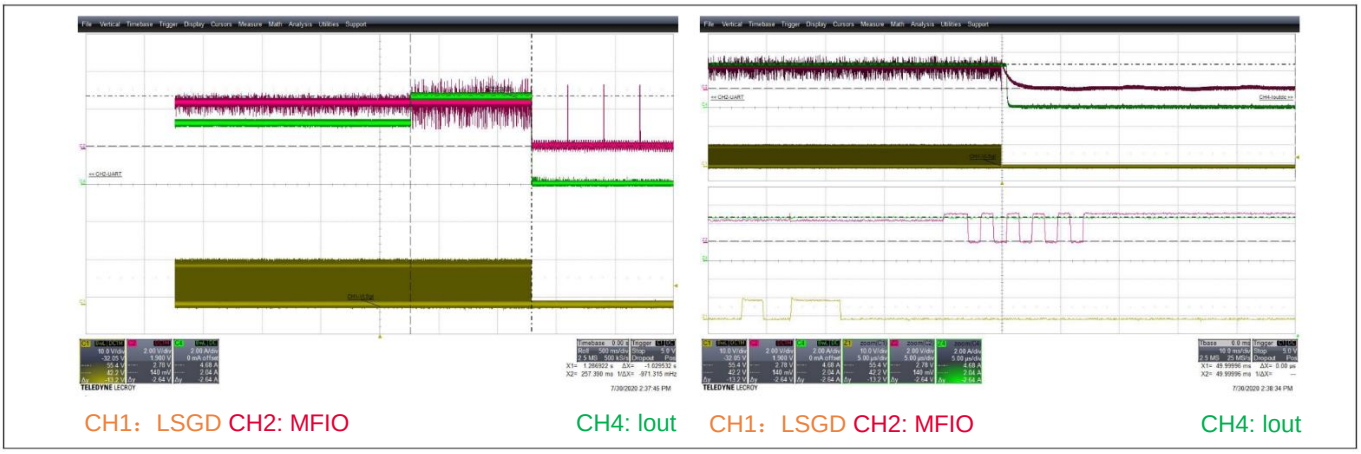


图 58　　OCP1 2 级在 90 $_{AC}$ 输入时触发

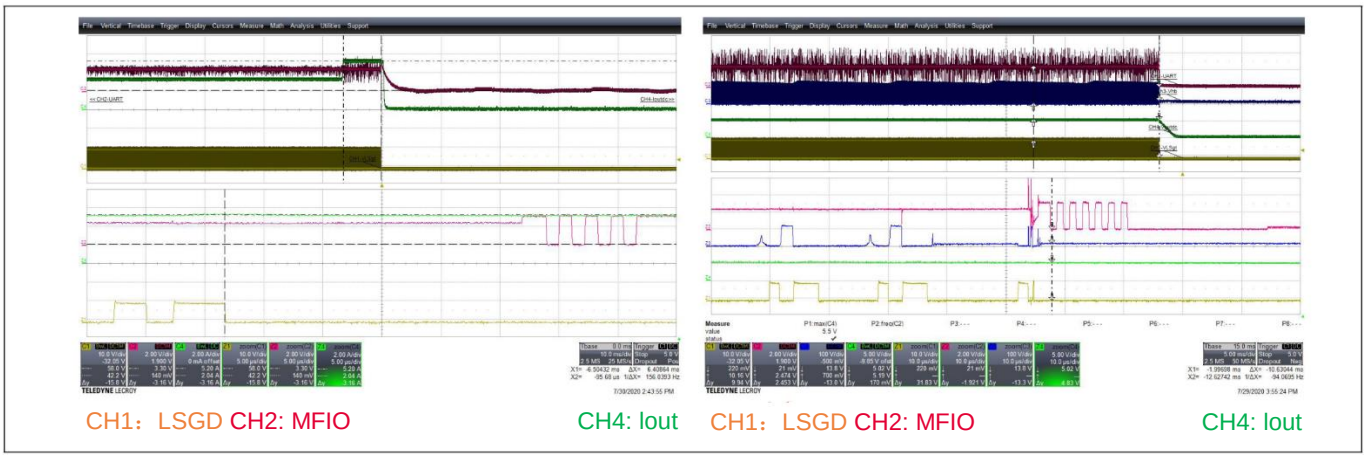


图 59　　90 V_{AC} 下的 OCP1 最大值（左）和 OCP2（右）

在此，OCP2 是由电路板上次级绕组端子的直接短路引发的。

在正常运行期间，一旦出现重负载，就会触发 OCP1。然而，在根本原因相同但运行条件不同时，可能会触发其他保护，例如，在启动时负载电流设定为 10 A（***图 60***）或启动前输出短路。在启动过程中，重负载启动会造成在给定的最大 HB 开关周期 $N_{HBcyclemax}$ 内无法检测到 ZCD 信号。触发保护“未检测到 ZCD 信号”，但未触发 OCP1。

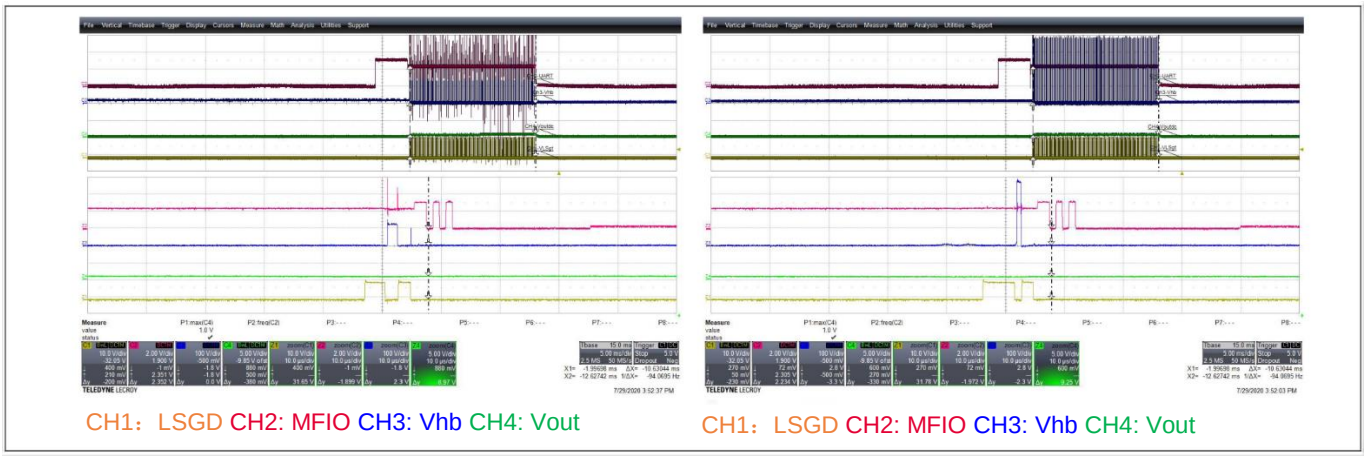


图 60　　在 90 V_{AC}（左）和 264 V_{AC}（右）下采用 10 A 负载电流设置冷启动

控制器 XDPS2201 保护系统免受演示板上可能发生的严重故障。在次级绕组短路的情况下，OCP2 可以在其运行期间随时检测到此故障（***图 61***）。在分流电阻器 R14 或 R15 短路的另一种情况下，这种故障将受到系统启动时测得

3 测量结果

的 HS 栅极的最大导通时间的保护（*图 62*）。

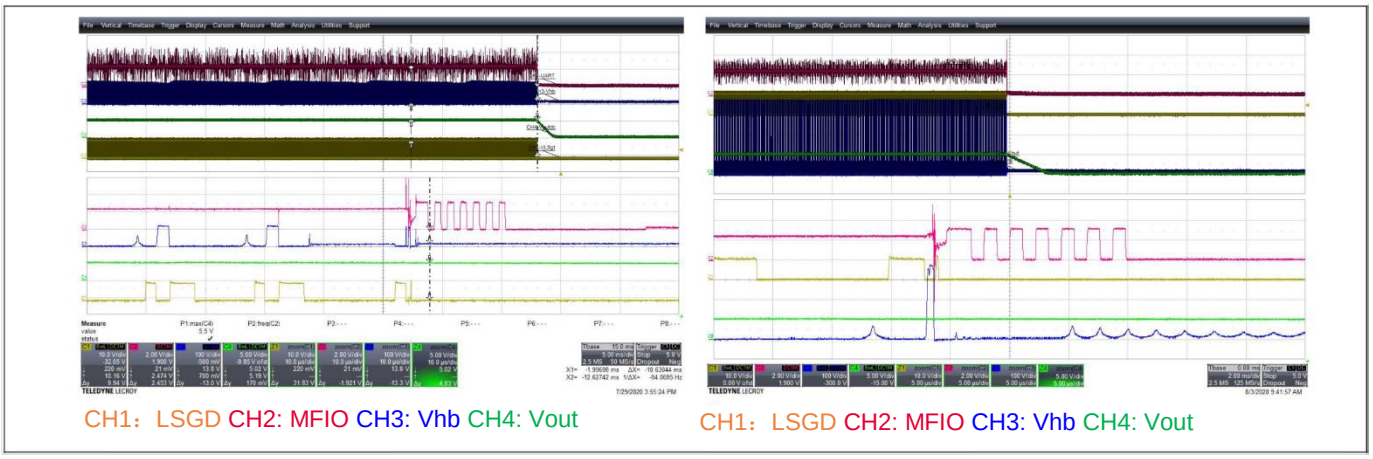


图 61　　次级侧绕组端子的 OCP2 在 90 V（左）和 264 V（右）下正常运行期间短路

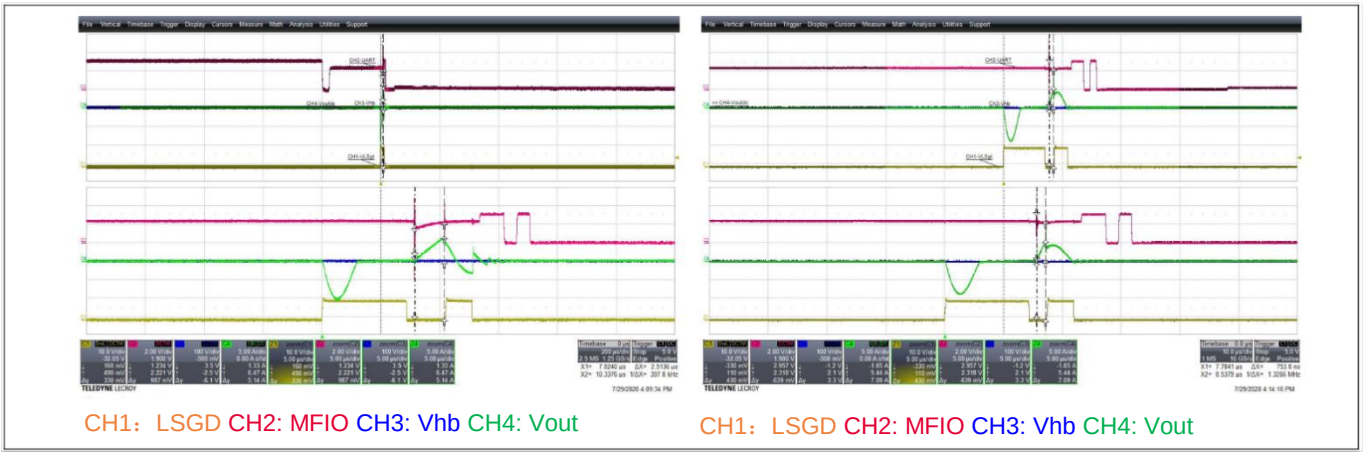


图 62　　分流器在 90 V_{AC}（左）和 264 V_{AC}（右）下短路

在此，在 HS 开关被电流感应信号（即分流电阻器短路时为 0 V）关闭之前会经过最大 HS 栅极导通时间（基于配置数据）。通过高压侧栅极脉冲宽度的最大导通时间检查对这种故障进行检测。

输出过压保护 (OVP)

为了引发输出过压，XDPS2201 的 IC 反馈引脚在其运行期间对地短路。负载连接到主级输出以进行此测试。

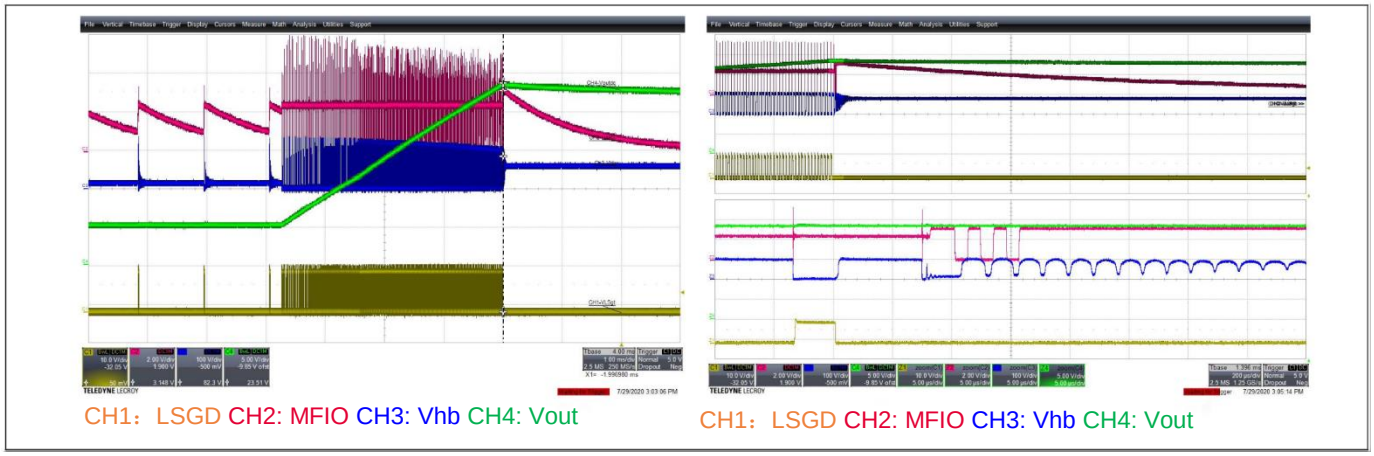


图 63　　在 90 V_{AC} 以及 5 V 和 0 A 输出下触发的输出过压

3 测量结果

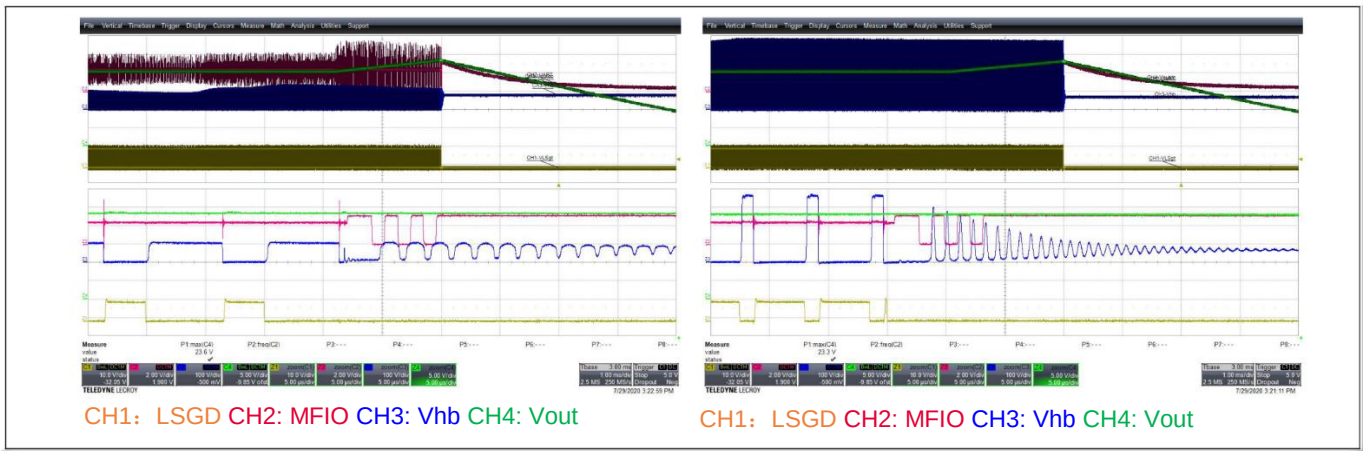


图 64　　在 20 V/3.25 A 输出和 90 V（左）和 264 V（右）输入下触发的输出 OVP

过热保护 (OTP)

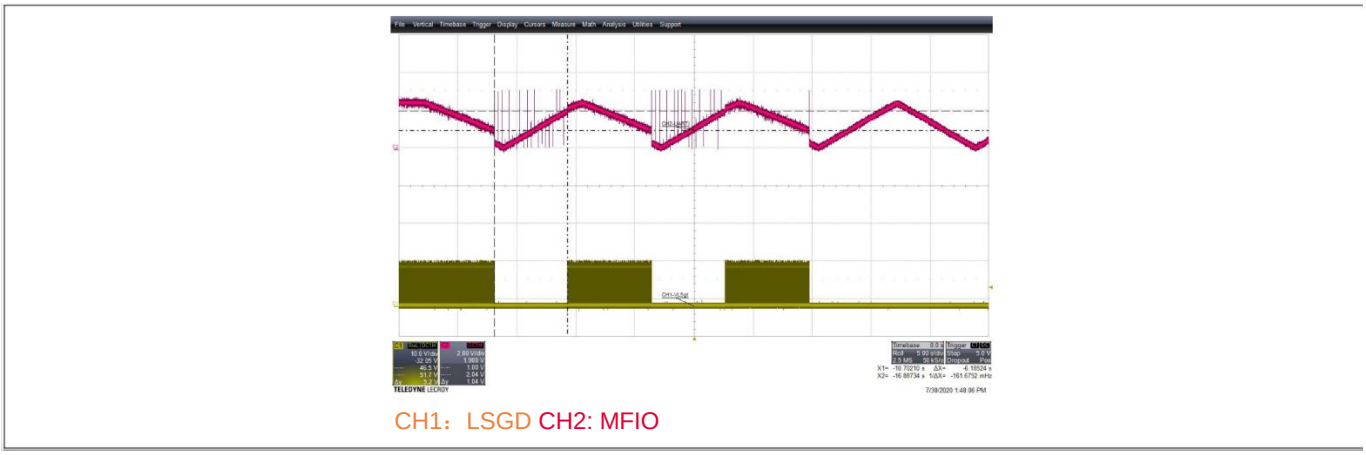


图 65　　MFIO 引脚出现仿真信号时的 OTP

3 测量结果

目前，演示板上没有组装 NTC。MFIO 引脚（CH2，粉红色）上的信号由信号发生器模拟，用于演示外部 OTP 的功能，而 IC 操作则由开关 Q2（CH1，黄色）的栅极信号指示。MFIO 上的电压越高，就表示 NTC 的温度越低。一旦温度足够低（MFIO 引脚电压高），IC 就会开始运行。一旦温度足够高（MFIO 引脚电压低），IC 就会停止运行。触发和释放 OTP 的滞后确保可靠的过热保护。

4 总结

本文档包括使用 HFB 控制器 XDPS2201 和 USB-PD 控制器 CYPD3174 的高功率密度演示板的设计规范、有关演示板和组件的信息以及关键测量结果。

5 参考文献

1. XDPS2201 数据表：XDPS2201_DS_R1.1.pdf
2. http://www.cypress.com/part/cypd3174-24lqxq
3. XDPS2201 设计指南： Hybrid-flyback_converter_design_with_XDPS2201.pdf
4. XDPS2201 设计表：XDPS2201_HybridFlyback_PaperDesign_V1.0.xlsx

6 变更历史

表 6 变更历史

日期	修订版	变更
2021 年 4 月 21 日	V1.0	首次发布

商标

所有引用的产品或服务名称和商标均为其各自所有者的财产。

2021/4/21 版本
发布方
英飞凌科技股份公司
81726 Munich，德国

© 2021 Infineon Technologies AG 保留所有权利。

您对本文档的任何方面有疑问？
电子邮箱：erratum@infineon.com

文档参考
IFX-stf1600759613448

重要通知

本应用指南中包含的信息仅作为产品实施的提示，在任何情况下均不得视为对产品的某些功能、条件或质量的描述或保证。在产品实施之前，本应用指南的接收方必须验证实际应用中的任何功能和其他技术信息。英飞凌科技不承担与在本应用指南中提供的任何信息有关的任何类型的担保和责任（包括但不限于对任何第三方知识产权的不侵权担保）。

本文档中的数据仅供接受了技术培训的员工使用。客户的技术部门有责任评估产品是否适合预期应用，以及本文档中有关此类应用的产品信息的完整性。

警告

由于技术要求，产品可能包含有害物质。若需了解相关物质的类型，请联系距离您最近的英飞凌办事处。

除非英飞凌科技在英飞凌科技授权代表签署的书面文件中明确批准，否则英飞凌科技的产品不得用于可合理预计产品故障或其使用后果会导致人身伤害的应用。