

EVM User's Guide: UCG28826EVM-093

使用 **UCG28826EVM-093 65W USB-C PD 高密度 GaN**
集成式准谐振反激式转换器

说明

UCG28826EVM-093 是一款 65W USB-C PD 评估模块 (EVM)，可评估适用于交流/直流适配器、充电器、USB 墙壁插座和其他应用的离线 GaN 集成式准谐振反激式适配器。该 EVM 符合 CoC 第 2 级和 DoE 第 6 级标准的能效要求。该 EVM 的用途是进行评估，不是最终产品。UCG28826EVM-093 将 $90V_{RMS}$ 至 $264V_{RMS}$ 的输入电压向下转换为可选的 USB-C PD 输出电压 $20V_{DC}$ (最大输出额定电流为 3.25A) 以及 $5V_{DC}$ 、 $9V_{DC}$ 和 $15V_{DC}$ (最大输出额定电流为 3.00A)。该设计中使用的主要器件是具有集成式 650V GaN FET 和控制器且采用 $5mm \times 5mm$ 封装的 UCG28826。

开始使用

1. 在评估之前，请先完整阅读和学习本用户指南
2. 订购 [UCG28826EVM-093](#) 以进行评估 (如果符合步骤 1 的要求)
3. 根据用户指南说明设置和测试 [UCG28826EVM-093](#)



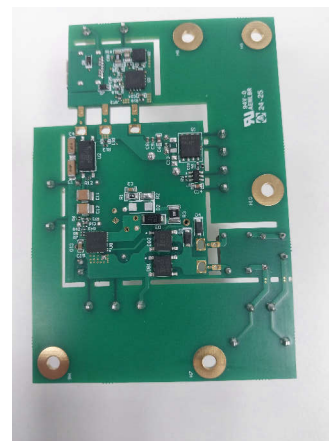
UCG28826EVM-093 (顶视图)

特性

- 整个输入电压范围内满载运行时的效率为 93% 至 95%
- $2.8W/cm^3$ ($3.9cm \times 3.43cm \times 1.71cm$) 功率密度 (通过 140kHz 最大开关频率实现)
- 自偏置和无辅助检测、集成电流检测、集成高压启动和集成 X 电容器放电均可通过集成实现最低 BOM 成本
- 全面的保护特性，包括 OVP、OTP、短路和过流保护以及欠压保护
- USB-C 输出可用于对适配器、笔记本电脑充电器、USB 墙壁插座等终端设备进行全面系统级评估

应用

- USB-C PD 电源适配器
- 交流/直流或直流/直流辅助电源
- 用于笔记本电脑、平板电脑、电视和机顶盒的高密度交流/直流转换器/适配器
- USB-C PPS 电源适配器



UCG28826EVM-093 (底视图)

1 评估模块概述

1.1 简介

UCG28826EVM-093 可方便评估交流/直流 QR 反激式电源转换器内的 UCG28826。UCG28826 是一款集成 GaN FET。该 EVM 适用于 90VAC 至 264VAC 的通用交流输入范围，并支持 USB PD 3.0 20V/15V/9V/5V 输出协议。本用户指南提供了高压安全概述、推荐的测试设置、得到的效率结果、热特性、波形和传导 EMI 性能。

1.2 套件内容

- 65W USB-C QR 反激式转换器评估模块
- 快速入门指南
- 高压声明

1.3 规格

输入	输出	最大输出功率
90VAC-264VAC 47Hz 至 63Hz	20V/3.25A、15V/3.00A、9V/3.00A、5V/3.00A	65W

1.4 器件信息

UCG28826 是一款高频准谐振 (QR) 交流/直流反激式转换器，具有集成式 650V 初级侧 GaN FET，适用于不带 PFC 且功率高达 65W 的电源和带有 PFC 前端且功率高达 120W 的电源。该器件通过 GaN 集成带来优势，能够实现开关频率高达 500kHz 的高功率密度设计。UCG28826 采用业内较早推出的具有自偏置功能的无辅助反激式架构，无需在变压器中使用辅助绕组，即可实现紧凑且成本较低的电源设计。由于无需使用低压降稳压器 (PD) 并消除了生成器件偏置所产生的相关损耗，因此自偏置功能降低了损耗，从而提高了宽输出电压应用（如 USB-LDO 充电器）的效率。UCG28826 支持在低压线路输入条件以及高达 130W（65W 标称输出功率的两倍）的瞬态输出功率条件下，以连续导通模式 (CCM) 运行长达 4ms，而无需使用专为此类瞬态负载条件设计的变压器，从而节省空间和成本。该器件还包含频率折返和突发节点，可分别在轻负载和空载条件下实现更高的运行效率。X 电容器放电电路会在不到 1s 的时间内将输入 EMI 滤波器中的 X 电容器放电至 0V，以防止用户在从壁式插座拔电源时触电。UCG28826 提供可通过电阻器编程的选项，这样用户就能够极其灵活地在所需的工作点优化性能，从而克服集成转换器的系统设计限制。该器件还内置多种保护功能，能够应对输出过压、过流、过载、短路和过热情况，并具有自动重启和锁存响应功能，从而实现稳健的电源设计，防止在此类故障情况下造成任何损坏。

1.5 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。如需更多信息，请联系 TI 的产品信息中心，网址为 <http://support.ti.com>。

保存所有警告和说明以供将来参考。

警告

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。如果不满足合格要求，则应立即停止进一步使用 HV EVM。

1. 工作区安全

- a. 保持工作区整洁有序。
- b. 每次电路通电时，都必须由具有资质的观察员在场监督。
- c. 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。
- d. 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。
- e. 使用稳定且不导电的工作台。
- f. 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良好的工程实践。

- a. 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。
- b. 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。
- c. EVM 准备就绪后，根据需要将 EVM 通电。

警告

EVM 通电后，请勿触摸 EVM 或电路，因为 EVM 或电路可能存在高压，会造成电击危险。

3. 人身安全

- a. 穿戴人员防护装备（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中，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 其他图像

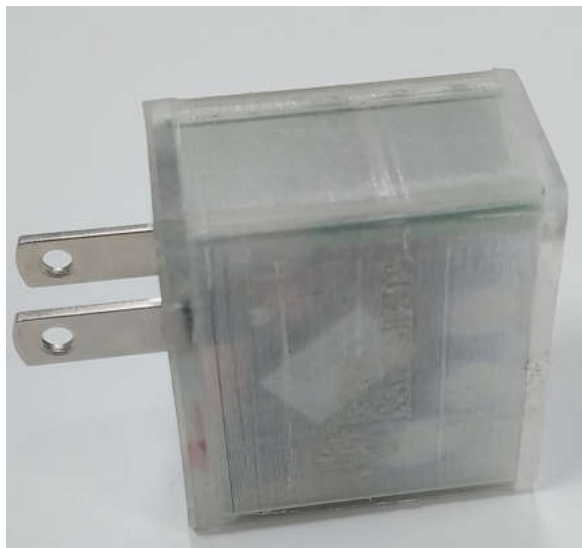


图 2-1. 适配器配置

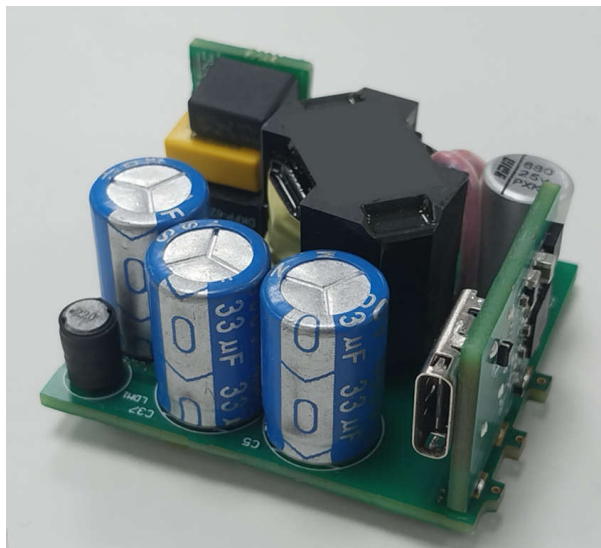


图 2-2. 高密度配置

2.1.1 在具有 USB-C PD 通信功能的负载上使用该 EVM

UCG28826EVM-093 装有 USB-C PD 控制器，需要通过板载 USB-C 连接器与 USB-C PD 负载进行外部连接，以便调整电路板输出来获得 5V、9V、15V 或 20V 电压。为了进行电路板评估，需要 USB-C PD 通信负载。一个此类负载的示例是 USB-C-PD-DUO-EVM。如果没有此类通信负载，电路板输出 USB-C 连接器 (J2) 将不提供可变输出电压。要从 5V、9V 和 15V 获取满载电流 3.00A，可以使用标准 USB-C 电缆。要在 20V 输出下获得 3.25A 电流，必须使用“电子标度”USB-C 电缆。

2.1.2 在不具有 USB-C PD 通信功能的负载上使用该 EVM

通常，需要有 USB-C PD 通信负载才能进行评估。如果没有具有 USB-C PD 通信功能的负载，电路板不会在 USB-C (J2) 连接器上提供输出电压。在这种情况下，可以从 C2 获取电路板输出电压，但输出将限制为 5V 和最高 3.00A。

3 实现结果

3.1 电气性能规格

表 3-1. UCC28826EVM-093 电气性能规格

参数	测试条件	最小值	标称值	最大值	单位
输入特性					
V_{IN} 输入线路电压 (RMS)		90	115/230	264	V
f_{LINE} 输入线路频率		47	50/60	63	Hz
P_{STBY} 空载时的输入功率	$V_{IN} = 115V/230V_{RMS}$, $I_{OUT} = 0A$		10/26		mW
$P_{0.18W}$ 0.18W 负载下的输入功率	$V_{IN} = 230V_{RMS}$, $P_{OUT} = 180mW$		270		mW
$P_{0.3W}$ 0.3W 负载下的输入功率	$V_{IN} = 230V_{RMS}$, $P_{OUT} = 300mW$		400		mW
输出特性					
V_{OUT} 输出电压 (USB-C PD) $V_{IN} = 90V$ 至 $264V_{RMS}$	$I_{OUT} = 0A$ 至 $3.25A$		19.950		V
	$I_{OUT} = 0A$ 至 $3.00A$		15.050		
			9.050		
			5.050		
I_{OUT} 满载额定输出电流 $V_{IN} = 90V$ 至 $264V_{RMS}$	$V_{OUT} = 20.0V$		3.250		A
	$V_{OUT} = 5.0V$ 、 $9.0V$ 或 $15.0V$		3.000		
V_{OUT_pp} 输出纹波电压 ⁽²⁾ $V_{IN} = 115V/230V_{RMS}$	$V_{OUT} = 20.0V$, $I_{OUT} = 0A$ 至 $3.25A$ (包括开关噪声)		420		mV pp
	$V_{OUT} = 15.0V$, $I_{OUT} = 0A$ 至 $3.00A$ (包括开关噪声)		380		
	$V_{OUT} = 9.0V$, $I_{OUT} = 0A$ 至 $3.00A$ (包括开关噪声)		280		
	$V_{OUT} = 5.0V$, $I_{OUT} = 0A$ 至 $3.00A$ (包括开关噪声)		200		
$V_{OUT_Δ}$ 由于负载升压/降压而产生的输出电压偏差 (在 100Hz 速率下, I_{OUT} 阶跃在 0 至 100% 负载之间变化)	$V_{OUT} = 20.0V$		-660/500		mV pp
	$V_{OUT} = 15.0V$		-520/480		
	$V_{OUT} = 9.0V$		-490/460		
	$V_{OUT} = 5.0V$		-480/450		
P_{OUT_opp} 过功率保护阈值	$V_{IN} = 90V$ 至 $264V_{RMS}$		80		W

表 3-1. UCC28826EVM-093 电气性能规格 (续)

参数	测试条件	最小值	标称值	最大值	单位
系统特性					
η 满载效率 ($V_{IN}=115V/230V_{RMS}$)	$V_{OUT}=20V, I_{OUT}=3.25A$	94.08/94.63			%
	$V_{OUT}=15V, I_{OUT}=3.00A$	93.88/94.31			
	$V_{OUT}=9V, I_{OUT}=3.00A$	93.66/93			
	$V_{OUT}=5V, I_{OUT}=3.00A$	92.8/91.67			
η 4 点平均效率 ⁽¹⁾ $V_{IN}=115V/230V_{RMS}$	$V_{OUT}=20V$ (CoC 2 级, 89.0%)	94.14/93.85			%
	$V_{OUT}=15V$ (CoC 2 级, 88.9%)	94.15/92.95			
	$V_{OUT}=9V$ (CoC 2 级, 87.3%)	93.6/91.64			
	$V_{OUT}=5V$ (CoC 2 级, 81.8%)	92.28/89.23			
η 10% 负载时的效率 $V_{IN}=115V/230V_{RMS}$	$V_{OUT}=20V$ (CoC 2 级, 79.0%)	92.04/89.39			%
	$V_{OUT}=15V$ (CoC 2 级, 78.9%)	92.4/89.71			
	$V_{OUT}=9V$ (CoC 2 级, 77.3%)	92.6/89.29			
	$V_{OUT}=5V$ (CoC 2 级, 72.5%)	90.6/86.64			
T_{AMB} 环境工作温度范围	$V_{IN}=90V$ 至 $264V_{RMS}$, $I_{OUT}=0A$ 至 $3.00A$ (5V/9V/15V) 或 $3.25A$ (20V)	25			°C

- (1) 四个负载点的平均效率, I_{OUT} = 每个相应输出电压的额定满载电流的 100%、75%、50% 和 25%。此外, 4 点效率值是使用 MP6951 测量的, 以获得更好的 9V 和 5V 性能。MP6908 和 MP6951 引脚对引脚兼容, 并可在 EVM 上互换使用。
- (2) 上述电压纹波值包括开关噪声。如果不计入开关噪声, 则纹波小于 150mVpp。请参阅“节 3.3.9”一节。

3.2 测试设置

3.2.1 测试设置要求

安全性：此评估模块并未进行封装，电路板中存在超过 50V_{DC} 的可接触电压。

隔离输入变压器：此 EVM 的输入端上应连接额定值合适的 1:1 隔离变压器，该变压器构造为通过增强型绝缘、双重绝缘或连接到保护导体端子的屏蔽将初级绕组与次级绕组隔离开来。



警告

- 如果用户没有接受过安全处理和测试功率电子产品方面的培训，请不要测试此评估模块。
- EVM 通电后，请勿触摸 EVM 或电路，因为 EVM 或电路可能存在高压，会造成电击危险。
- 注意：表面高温。接触会导致烫伤。请勿触摸！
- 在进行测试之前，请仔细阅读本用户指南。

电压源：能够提供 264V_{RMS} 且能够处理 100W 功率级别的隔离式交流电源或可变交流变压器。

电压表：数字电压表

功率分析仪：能够测量 1mW 至 100W 输入功率并能够处理 264V_{RMS} 输入电压。一些功率分析仪可能需要使用精密分流电阻器来测量输入电流，以便测量 5W 或更低的输入功率。请阅读功率分析仪的用户手册，以了解正确测量全功率和待机功率的设置。

示波器：

- 4 通道、500MHz 带宽。
- 能够处理 600V 电压的探针。

输出负载：能够在 20V 条件下处理 130W 的电阻负载或电子负载。

建议线规：绝缘 22AWG 至 18AWG。



警告

注意：在无人看管的情况下，请勿让 EVM 处于通电状态。

3.2.2 测试设置图

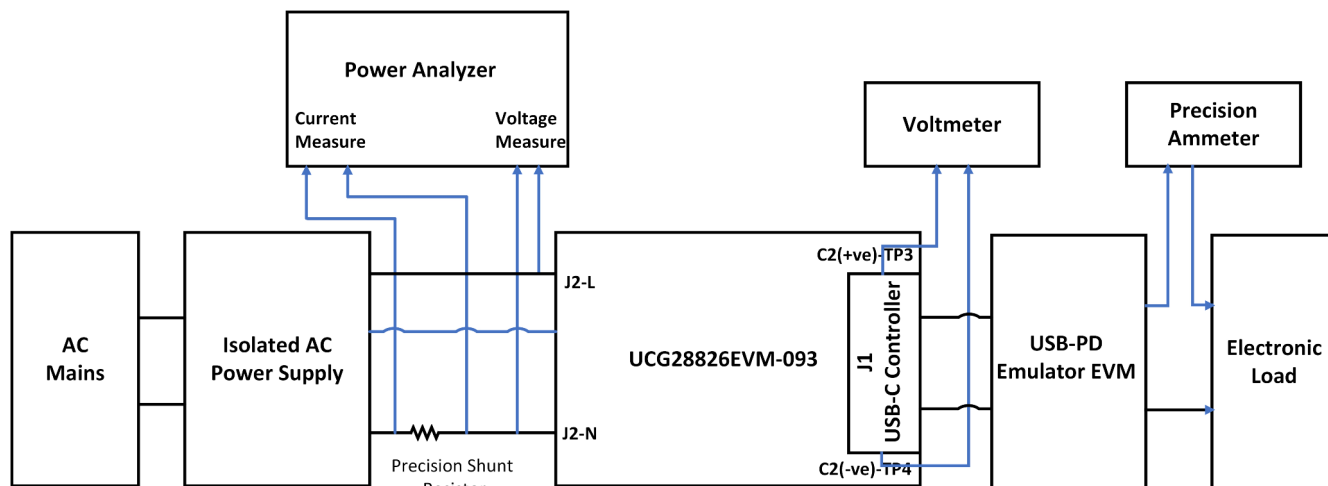
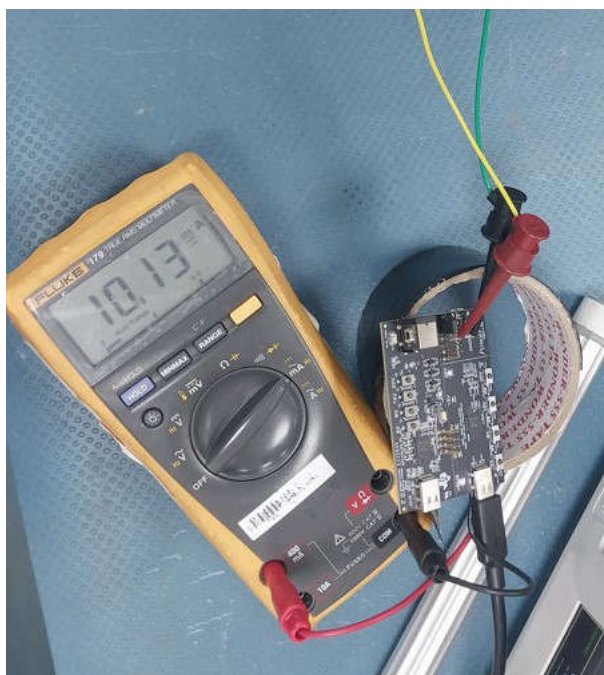


图 3-1. UCG28826EVM-093 测试设置图

25%-100% 负载下的效率结果是使用上述配置得出的。在待机和 10% 负载情况下，电压表移至分流电阻之外，以记录效率值。



- A. 下面的 USB 仿真器 “USB-C-DUO EVM” 用于评估目的。需要注意的是，该 EVM 的电流消耗接近 10mA，在计算效率时需要考虑这一点。

图 3-2. USB-C 仿真器

3.2.3 测试点

表 3-2. 输入/输出端子和测试点功能

端子和测试点		名称	说明
J1	J1 端子	J1	USB-C
J2-L	J2 端子	L	交流电压输入 - 线路
J2-N		N	交流电压输入 - 中性
TPL	输入测试点	TPL1	交流输入监测 - 线路
TPN	输入测试点	TPN1	交流输入监测 - 中性
TP1	批量 电压	VBULK	体电压测量点
TP5 、TP9	电源/初级侧 GND	PGND	接地
TP6	漏极	VSW	开关节点电压
TP8	反馈	FB	反馈引脚电压
TP2	源极	SRC	SR FET 源极
TP3	漏极	VOUT	SR FET 漏极
TP7	SR 栅极	GATE	SR FET 栅极电压引脚
TP10	输出总线电压	VBUS	输出侧的总线电压
TP11	输出返回线路	RTN	输出侧的返回线路

3.3 性能数据和典型特性曲线

3.3.1 20V_{out} 时的 4 点平均效率结果

V _{IN} (VRMS)	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	P _{EMULATOR} (W)	P _{out} %	效率	4 点平均效率
89.88	71.2	20.09	3.264	65.64	0.204	100%	92.48%	93.29%
89.91	52.94	20.08	2.451	49.214	0.2	75%	93.34%	
89.94	35.25	20.03	1.636	32.777	0.2	50%	93.55%	
89.98	17.76	20	0.823	16.46	0.2	25%	93.81%	
90.03	7.359	19.99	0.331	6.6193	0.2	10%	92.66%	
114.91	70	20.09	3.265	65.65	0.203	100%	94.08%	94.26%
114.94	52.5	20.08	2.452	449.235	0.203	75%	94.17%	
114.96	34.9	20.03	1.636	32.778	0.2	50%	94.49%	
115	17.68	20	0.824	16.474	0.2	25%	94.31%	
115.04	7.409	19.99	0.331	6.62	0.199	10%	92.04%	
229.98	69.6	20.08	3.265	65.662	0.2	100%	94.63%	93.83%
230.01	52.27	20.07	2.452	49.235	0.2	75%	94.58%	
230.01	35.06	20.02	1.636	32.778	0.2	50%	94.06%	
230.02	18.11	19.99	0.824	16.471	0.2	25%	92.05%	
230.08	7.63	19.98	0.331	6.6214	0.199	10%	89.39%	
264	69.71	20.08	3.266	65.684	0.2	100%	94.51%	93.29%
264	52.44	20.06	2.452	49.235	0.2	75%	94.27%	
264	35.25	20.03	1.636	32.678	0.2	50%	93.53%	
264.02	18.35	20	0.824	16.475	0.2	25%	90.87%	
264.1	7.705	19.98	0.331	6.62	0.199	10%	88.5%	
CoC 2 级、4 点平均值								89.0%
CoC 2 级, 10% 负载								79.0%

3.3.2 15V_{out} 时的 4 点平均效率结果

V _{IN} (VRMS)	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	P _{EMULATOR} (W)	P _{out} %	效率	4 点平均效率
89.92	49.08	15.11	3.009	45.525	0.15	100%	93.06%	93.77%
89.95	36.55	15.09	2.259	34.088	0.148	75%	93.67%	
89.97	24.23	15.04	1.512	22.735	0.148	50%	94.44%	
89.99	12.28	15.02	0.758	11.384	0.15	25%	93.93%	
90.03	5.098	15.00	0.305	4.5789	0.148	10%	92.71%	
114.94	48.65	15.12	3.009	45.525	0.148	100%	93.88%	94.16%
114.95	36.32	15.09	2.26	34.105	0.15	75%	94.32%	
114.98	24.23	15.05	1.512	22.737	0.15	50%	94.46%	
115	12.272	15.02	0.758	11.382	0.15	25%	93.97%	
115.04	5.115	15.00	0.305	4.5776	0.149	10%	92.4%	
230	48.43	15.13	3.009	45.527	0.148	100%	94.31%	92.98%
230	36.44	15.08	2.26	34.088	0.148	75%	93.95%	
230	24.61	15.03	1.512	22.742	0.148	50%	93.01%	
230.02	12.72	15.01	0.758	11.382	0.148	25%	90.64%	
230.09	5.268	15.00	0.305	4.5757	0.15	10%	89.71%	
264	48.62	15.11	3.009	45.52	0.15	100%	93.93%	92%
264	36.66	15.08	2.259	34.101	0.148	75%	93.42%	
264.02	24.81	15.04	1.512	22.735	0.148	50%	92.23%	
264.04	13.04	15.02	0.759	11.383	0.148	25%	88.43%	
264.08	5.339	15.00	0.305	4.5779	0.148	10%	88.52%	
CoC 2 级、4 点平均值								88.9%
CoC 2 级，10% 负载								78.9%

3.3.3 9V_{out} 时的 4 点平均效率结果

V _{IN} (VRMS)	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	P _{EMULATOR} (W)	P _{out} %	效率	4 点平均效率
89.96	29.4	9.1	3.002	27.316	0.087	100%	93.21%	93.41%
89.98	21.98	9.08	2.249	20.424	0.087	75%	93.32%	
89.99	14.64	9.05	1.504	13.607	0.087	50%	93.54%	
90.0	7.368	9.01	0.755	6.8052	0.088	25%	93.56%	
90.03	3.043	8.99	0.305	2.7394	0.087	10%	92.89%	
114.98	29.25	9.09	3.001	27.307	0.087	100%	93.66%	93.62%
114.99	21.85	9.07	2.25	20.432	0.088	75%	93.92%	
115.0	14.59	9.05	1.503	13.601	0.087	50%	93.82%	
115.01	7.407	9.01	0.756	6.8077	0.088	25%	93.10%	
115.03	3.051	9.00	0.304	2.7368	0.088	10%	92.6%	
230.06	29.47	9.1	3.002	27.319	0.087	100%	93.0%	91.86%
230.06	22.13	9.08	2.249	20.42	0.089	75%	92.67%	
230.06	14.92	9.05	1.503	13.604	0.088	50%	91.77%	
230.06	7.66	9.01	0.755	6.8056	0.088	25%	90.0%	
230.08	3.165	8.99	0.305	2.739	0.087	10%	89.29%	
264.07	29.7	9.09	3.001	27.309	0.087	100%	92.24%	90.9%
264.07	22.34	9.06	2.249	20.42	0.087	75%	91.8%	
264.05	15.11	9.03	1.503	13.606	0.087	50%	90.62%	
264.05	7.747	9.01	0.755	6.803	0.087	25%	88.94%	
264.07	3.206	9.00	0.305	2.739	0.087	10%	88.15%	
CoC 2 级、4 点平均值								87.3%
CoC 2 级，10% 负载								77.3%

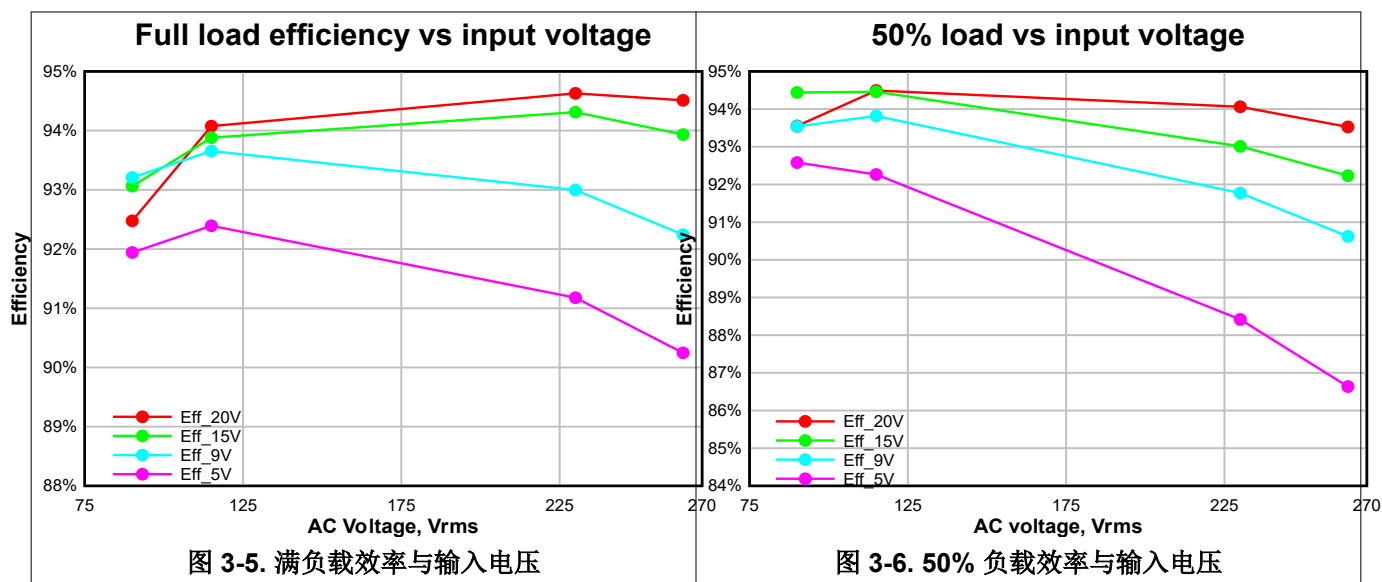
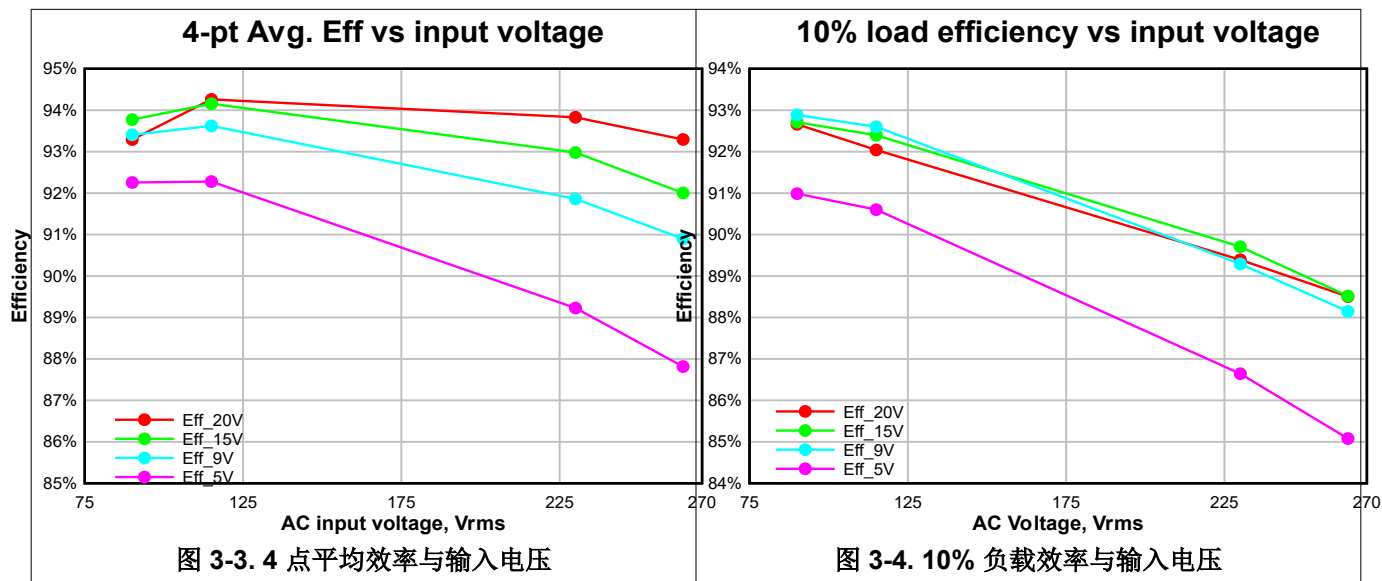
3.3.4 5V_{out} 时的 4 点平均效率结果

V _{IN} (VRMS)	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (W)	P _{EMULATOR} (W)	P _{out} %	效率	4 点平均效率
89.99	16.63	5.09	2.994	15.242	0.048	100%	91.94%	92.26%
90	12.38	5.05	2.254	11.382	0.049	75%	92.33%	
90	8.223	5.01	1.51	7.5643	0.049	50%	92.58%	
90.02	4.151	4.99	0.757	3.7775	0.049	25%	92.17%	
90.03	1.723	4.97	0.306	1.5192	0.049	10%	90.99%	
115	16.55	5.09	2.995	15.243	0.048	100%	92.39%	92.28%
115	12.349	5.05	2.256	11.395	0.048	75%	92.66%	
115.01	8.251	5.01	1.51	7.5648	0.048	50%	92.26%	
115.01	4.167	4.99	0.757	3.7773	0.048	25%	91.18%	
115.03	1.731	4.97	0.306	1.5204	0.048	10%	90.6%	
230.04	16.77	5.08	2.994	15.242	0.049	100%	91.18%	89.23%
230.05	12.72	5.04	2.256	11.395	0.049	75%	89.97%	
230.06	8.62	5.01	1.512	7.5737	0.048	50%	88.42%	
230.06	4.381	4.99	0.757	3.7791	0.048	25%	87.35%	
230.08	1.811	4.97	0.306	1.5205	0.049	10%	86.64%	
264.04	16.96	5.08	2.998	15.258	0.048	100%	90.25%	87.82%
264.05	12.91	5.03	2.257	11.397	0.049	75%	88.66%	
264.07	8.79	5.01	1.51	7.5673	0.048	50%	86.64%	
264.07	4.462	4.99	0.757	3.777	0.048	25%	85.72%	
264.09	1.842	4.97	0.306	1.5192	0.048	10%	85.08%	
CoC 2 级、4 点平均值								81.8%
CoC 2 级，10% 负载								72.5%

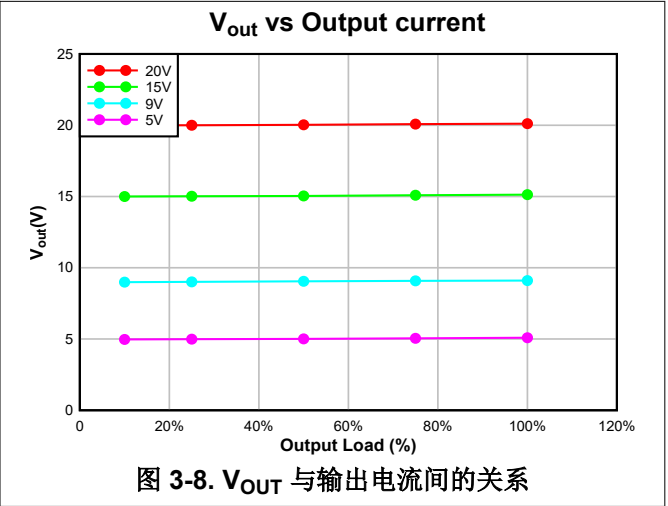
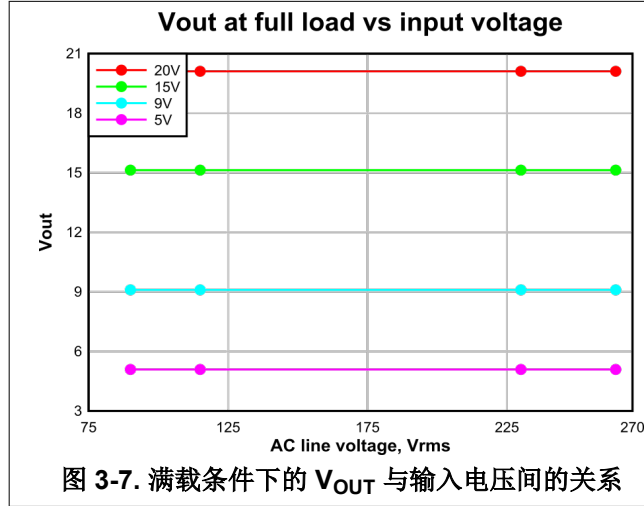
备注

请参阅“节 6”部分，了解使用不同功率分析仪时的更多效率结果。这是因为上述读数显示测得的输入电流中存在一些轻微偏移，因此低压线路效率值略微偏低。

3.3.5 效率典型结果



3.3.6 输出特性



3.3.7 重要开关波形

本节 (图 3-9 至 图 3-24) 展示了满载时的典型开关波形。黄色 = 开关节点，蓝色 = 输出电压，棕色 - SR 栅极电压，红色 - FB



图 3-9. $V_{in} = 90\text{Vac}$, $V_{out} = 20\text{V}$



图 3-10. $V_{in} = 115\text{Vac}$, $V_{out} = 20\text{V}$



图 3-11. $V_{in} = 230\text{Vac}$, $V_{out} = 20\text{V}$



图 3-12. $V_{in} = 264\text{Vac}$, $V_{out} = 20\text{V}$



图 3-13. $V_{in} = 90\text{Vac}$, $V_{out} = 15\text{V}$



图 3-14. $V_{in} = 115\text{Vac}$, $V_{out} = 15\text{V}$



图 3-15. $V_{in} = 230V_{ac}$, $V_{out} = 15V$



图 3-16. $V_{in} = 264V_{ac}$, $V_{out} = 15V$



图 3-17. $V_{in} = 90V_{ac}$, $V_{out} = 9V$



图 3-18. $V_{in} = 115V_{ac}$, $V_{out} = 9V$



图 3-19. $V_{in} = 230V_{ac}$, $V_{out} = 9V$



图 3-20. $V_{in} = 264V_{ac}$, $V_{out} = 9V$



图 3-21. $V_{in} = 90V_{ac}$, $V_{out} = 5V$



图 3-22. $V_{in} = 115V_{ac}$, $V_{out} = 5V$



图 3-23. $V_{in} = 230Vac$, $V_{out} = 5V$



图 3-24. $V_{in} = 264Vac$, $V_{out} = 5V$

3.3.8 开关频率与负载

本节展示了不同负载条件下的典型开关波形。黄色 = 开关节点，绿色 = Vbulk，粉色 = Vfb

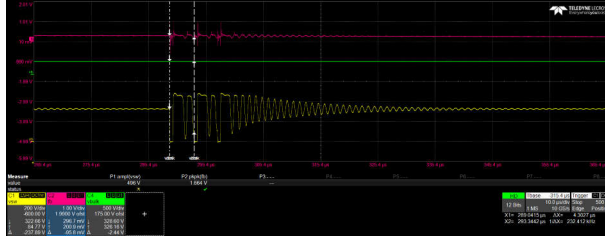


图 3-25. 230Vac/0.6W (240kHz 突发频率/Vfb - 0.3V)

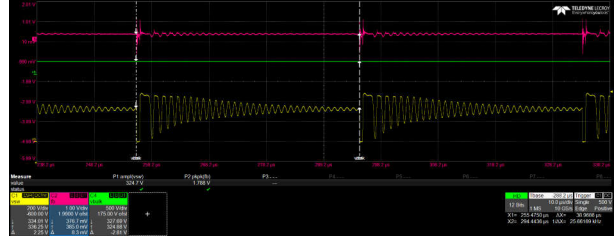


图 3-26. 230Vac/1.2W (25kHz 频率 -折返/Vfb - 0.35V)

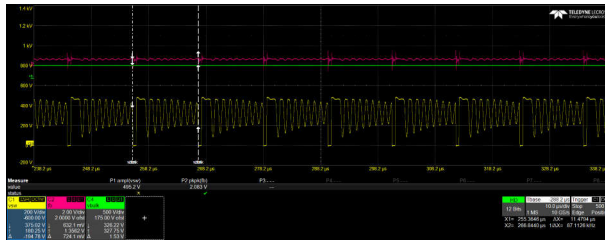


图 3-27. 230Vac/5.3W (87kHz 频率/Vfb - 0.7V)

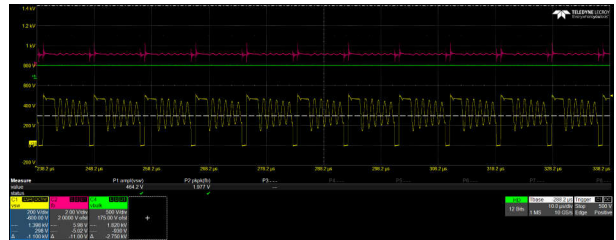


图 3-28. 230Vac/17W (113kHz 频率/Vfb - 1.1V)

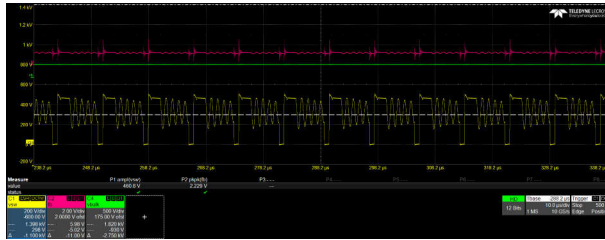


图 3-29. 230Vac/25W (125kHz 频率/Vfb - 1.2V)

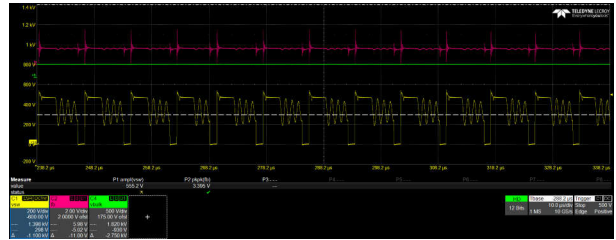


图 3-30. 230Vac/45W (130kHz 频率/Vfb - 1.7V)

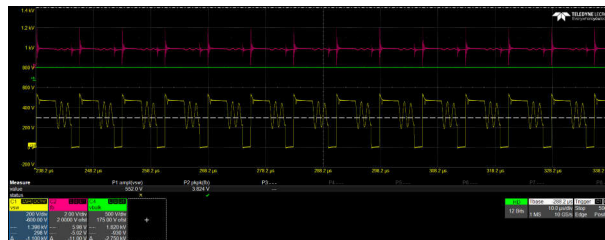


图 3-31. 230Vac/65W (140kHz 频率/Vfb - 1.9V)

3.3.9 输出纹波电压

图 3-32 至图 3-40 展示了输出电压纹波。蓝色 = 输出电压纹波，示波器通道带宽 = 20MHz。除非相同图示中另有说明，否则纹波为 100% 负载条件下的情况。

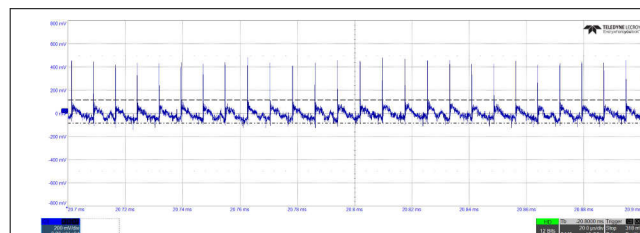


图 3-32. $V_{OUT} = 20V$ 时的典型纹波电压 (420mVpp)

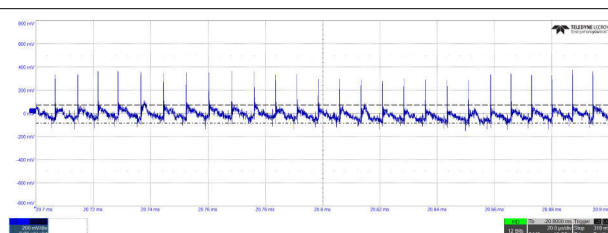


图 3-33. $V_{OUT} = 15V$ 时的典型纹波电压 (380mVpp)

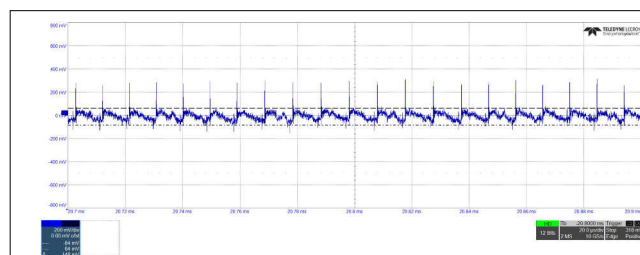


图 3-34. $V_{OUT} = 9V$ 时的典型纹波电压 (280mVpp)

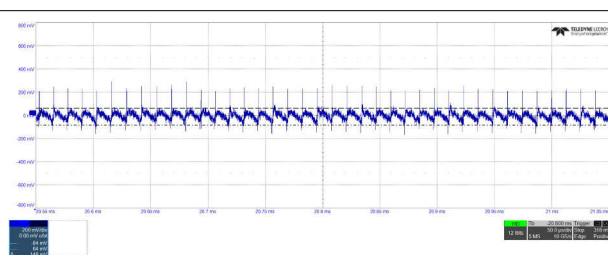


图 3-35. $V_{OUT} = 5V$ 时的典型纹波电压 (200mVpp)

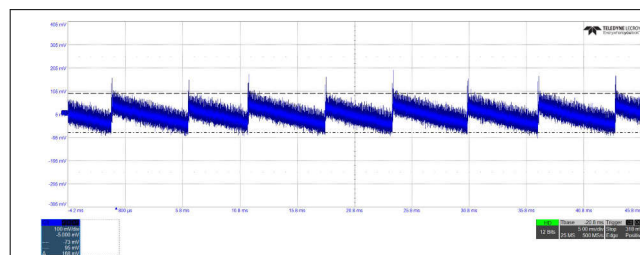


图 3-36. $V_{OUT} = 5V$ 且无负载时的典型纹波电压 (168mVpp)

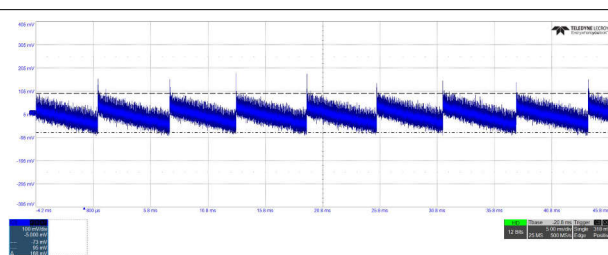


图 3-37. $V_{OUT} = 5V$ 且无负载时的典型纹波电压 (168mVpp)

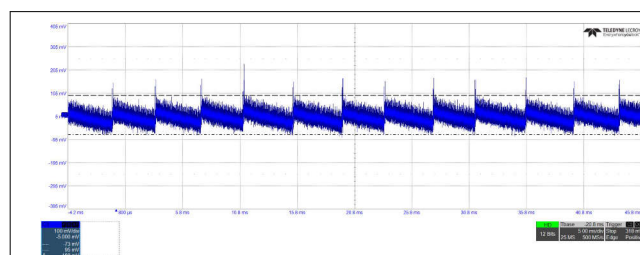


图 3-38. $V_{OUT} = 15V$ 且无负载时的典型纹波电压 (168mVpp)

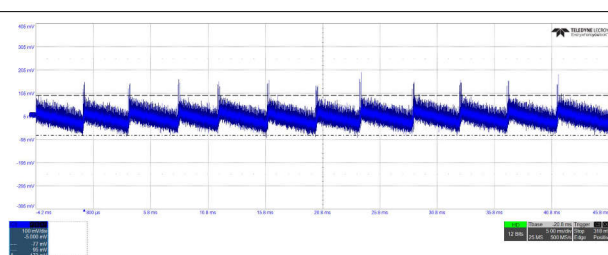


图 3-39. $V_{OUT} = 20V$ 且无负载时的典型纹波电压 (168mVpp)

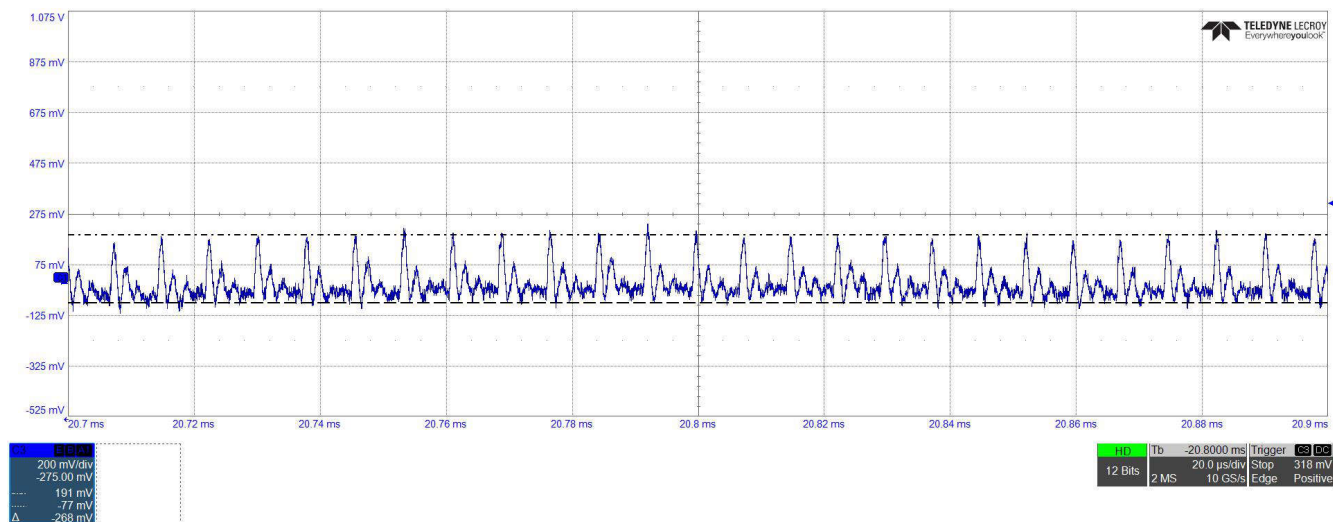


图 3-40. $V_{OUT} = 20V$ 且满载时的典型纹波电压 (260mVpp)

3.3.10 负载瞬态响应

图 3-41 至图 3-44 展示了负载电流阶跃变化介于 0 到 100% 之间、频率为 100Hz 且速率为 2.5A/us 时的输出电压 V_{OUT} 偏差。请注意，捕获的阶跃负载电流是反向的。

绿色 (交流耦合) = V_{OUT} ，粉色 = 负载电流。

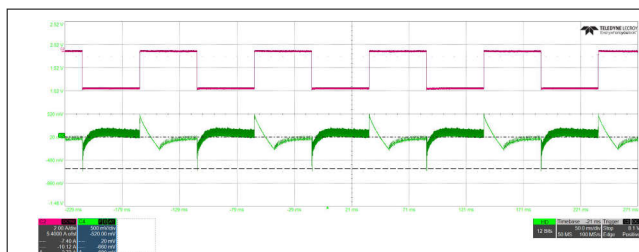


图 3-41. $V_{OUT} = 20V$ 过冲/下冲= 495mV/-680mV 条件下的负载瞬态响应

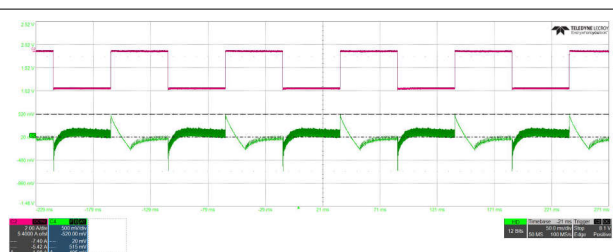


图 3-42. $V_{OUT} = 15V$ 过冲/下冲= 485mV/-630mV 条件下的瞬态响应

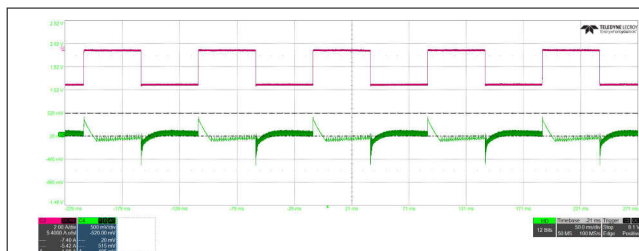


图 3-43. $V_{OUT} = 9V$ 过冲/下冲= 460mV/-500mV 条件下的瞬态响应

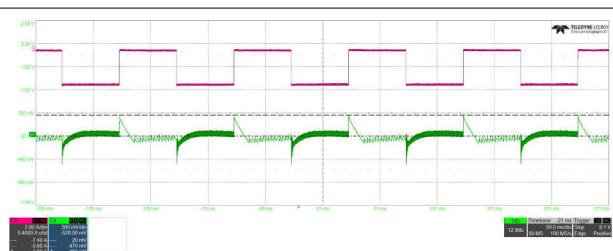
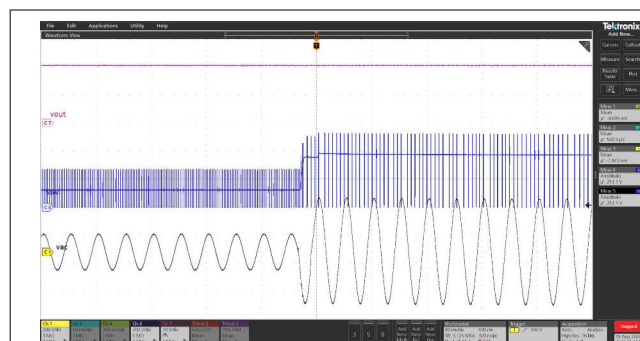


图 3-44. $V_{OUT} = 5V$ 过冲/下冲= 440mV/-480mV 条件下的瞬态响应

3.3.11 线路瞬态响应

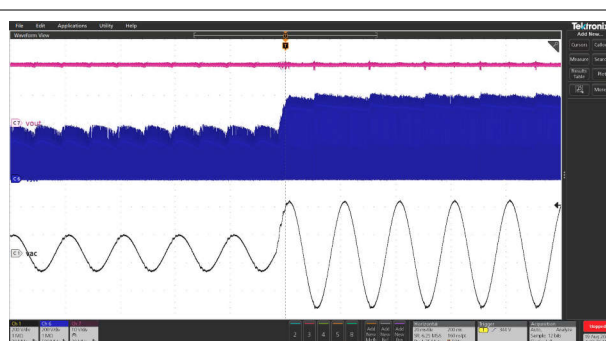
图 3-45 和 图 3-46 显示了空载和满负载条件下从 90Vac 至 264Vac 施加线路瞬态时的输出电压。



备注

红色 - 输出电压，黑色 - 交流输入，蓝色 - 开关节点

图 3-45. 20V 空载条件下从 90Vac 到 264Vac 的线路瞬态



备注

红色 - 输出电压，黑色 - 交流输入，蓝色 - 开关节点

图 3-46. 20V 满负载条件下从 90Vac 到 264Vac 的线路瞬态

3.3.12 浪涌测试

图 3-47 和图 3-48 展示了通过一个正向脉冲对 EVM 施加 2KV 和 1KV 浪涌且相位角 90 度时的响应

黄色 - 体电压，紫色 - 开关节点电压



图 3-47. 230Vac 输入电压时的 2KV 浪涌

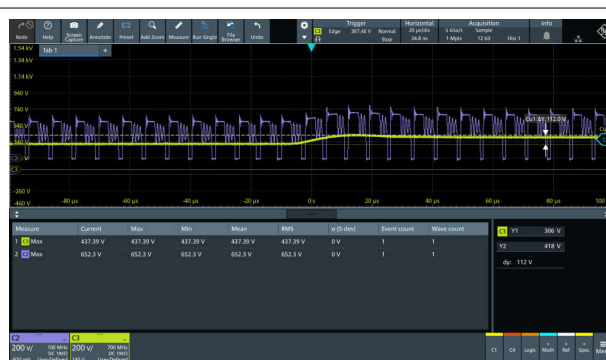


图 3-48. 230Vac 输入电压时的 1KV 浪涌

3.3.13 短期过载运行

该 EVM 能够支持短期过载运行，而不会造成损坏、安全问题或触发保护功能。当施加 6.5A 的峰值短期过载持续 2ms (图 3-50) 时以及施加 7.32A 持续 1ms (图 3-49) 时，输出电压会降至 18V。这些结果已在 230Vac 和 100Vac 条件下进行检查。

VSW = 粉色，负载电流 = 绿色，VOUT = 蓝色，FB = 黄色

输出电压会降至约 18.2V

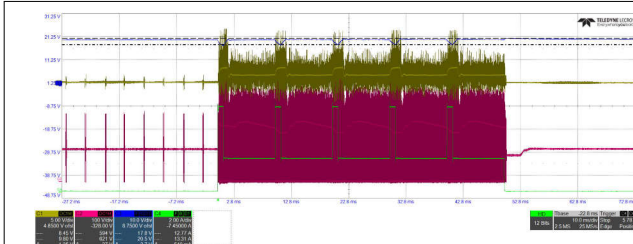


图 3-49. VIN = 100Vac (2.25 倍额定电流持续 1ms , 0.9 倍额定电流持续 9ms)

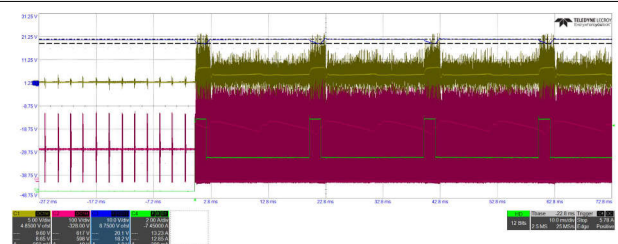


图 3-50. VIN = 100Vac (2 倍额定电流并持续 2ms , 0.9 倍额定电流并持续 18ms)

3.3.14 CCM 运行

VSW = 粉色，负载电流 = 绿色，VOUT = 蓝色，FB = 黄色

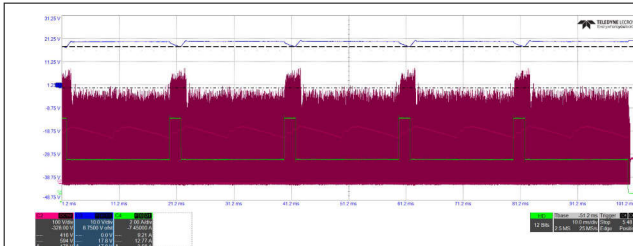


图 3-51. VIN = 90Vac (2 倍额定电流并持续 2ms , 0.9 倍额定电流并持续 18ms)



图 3-52. VIN = 90Vac (2 倍额定电流并持续 2ms , 0.9 倍额定电流并持续 18ms) - 缩放版本

3.3.15 EN55022 B 类传导 EMI 测试结果

对于传导发射测试，SCF-03-650H 共模扼流圈用于代替 L5。

请注意，这在预合规性 EMI 实验中进行了评估。建议需要由具有资质的 EMI 测试机构来验证所有最终设计。

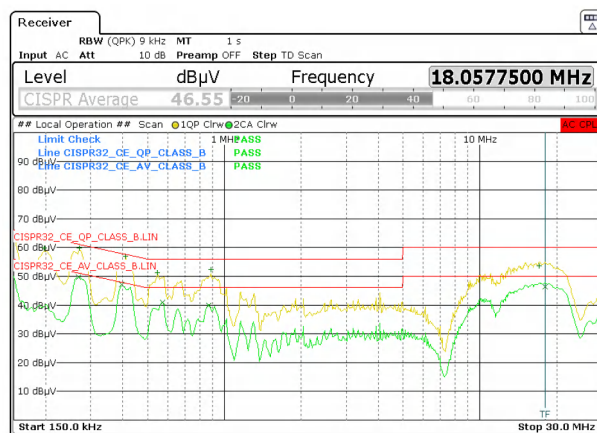


图 3-53. $V_{IN} = 230V_{RMS}$, $V_{OUT} = 20V$, 负载 = 3.25A (输出未接地至 LISN 地)

3.3.16 满负载条件下的热图像 (20V 和 3.25A)

图 3-54 至 图 3-61 显示了不同线路电压下满负载时的热像图数据是在热浸 30 分钟后测量而得。

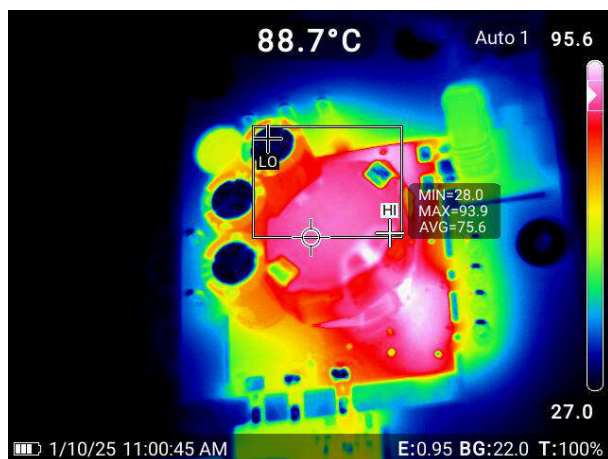


图 3-54. $V_{IN} = 90V_{AC}$, 顶面

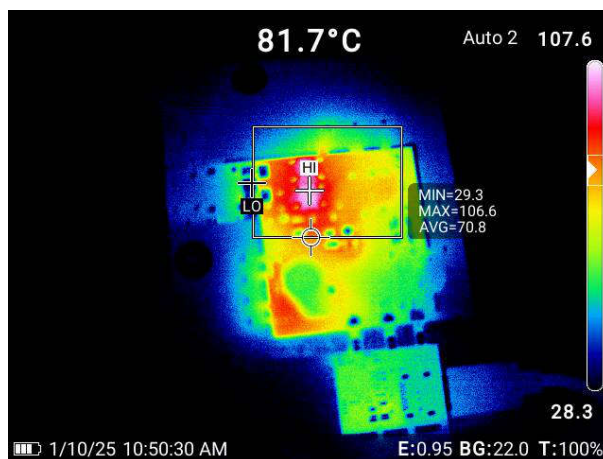


图 3-55. $V_{IN} = 90V_{AC}$, 底面

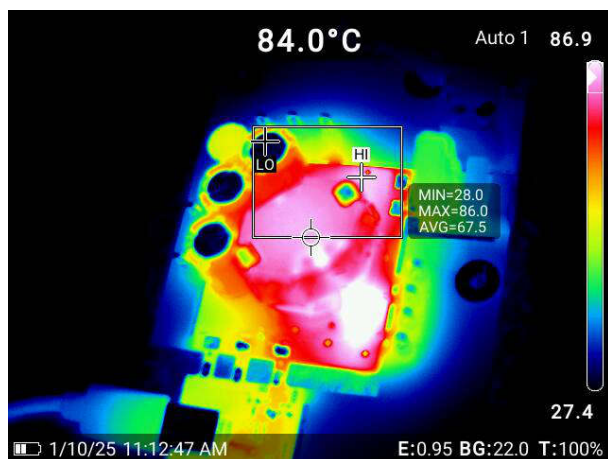


图 3-56. $V_{IN} = 115V_{AC}$, 顶面

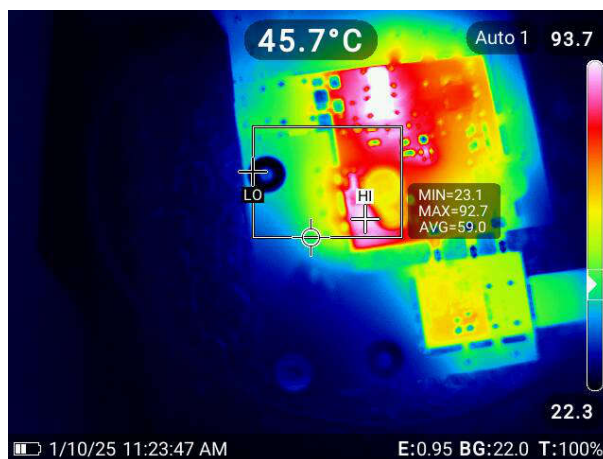


图 3-57. $V_{IN} = 115V_{AC}$, 底面

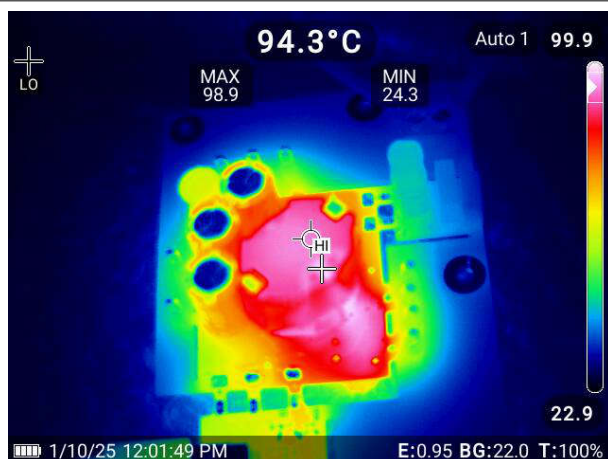


图 3-58. $V_{IN} = 230V_{AC}$, 顶面

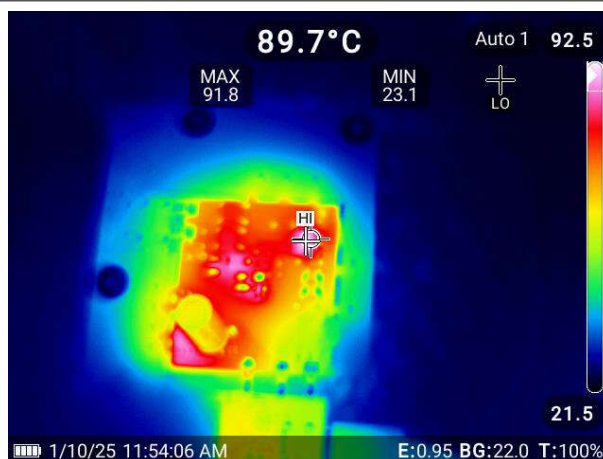


图 3-59. $V_{IN} = 230V_{AC}$, 底面

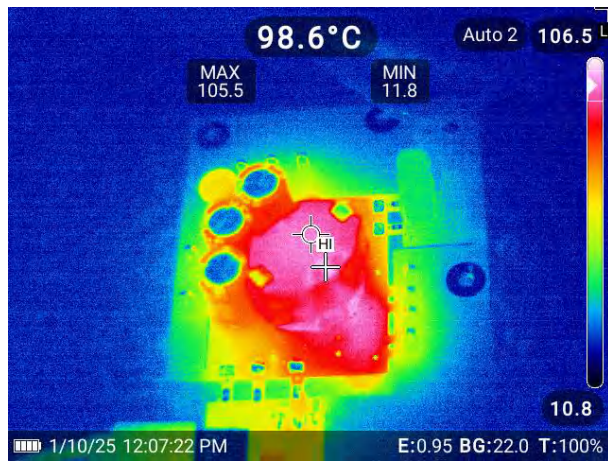


图 3-60. $V_{IN} = 264V_{AC}$ ，顶面

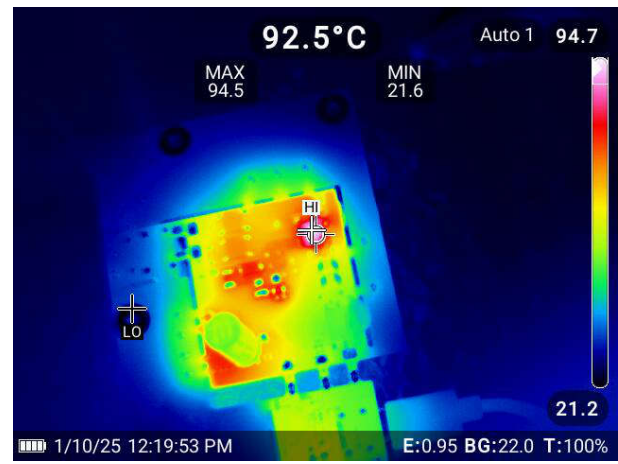
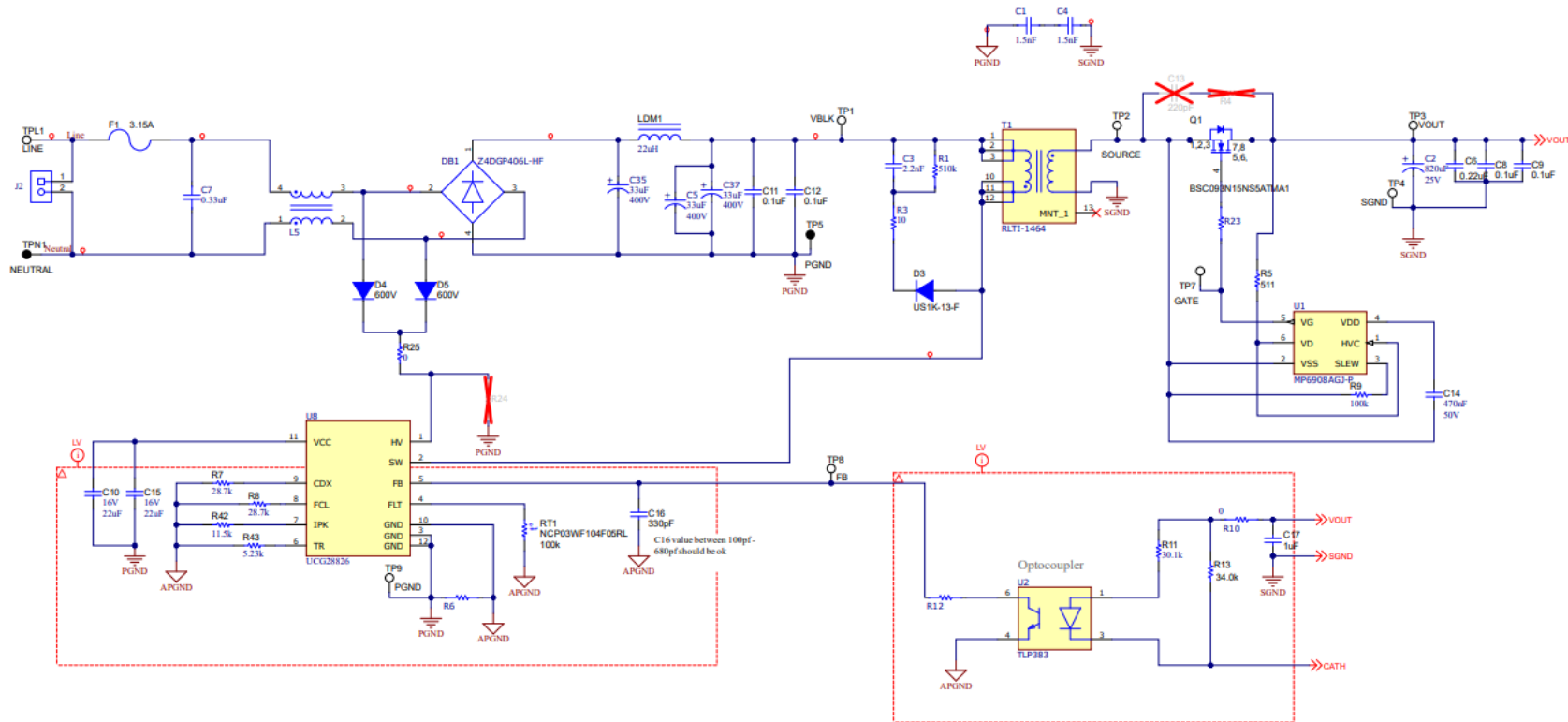


图 3-61. $V_{IN} = 264V_{AC}$ ，底面

4 硬件设计文件

4.1 原理图



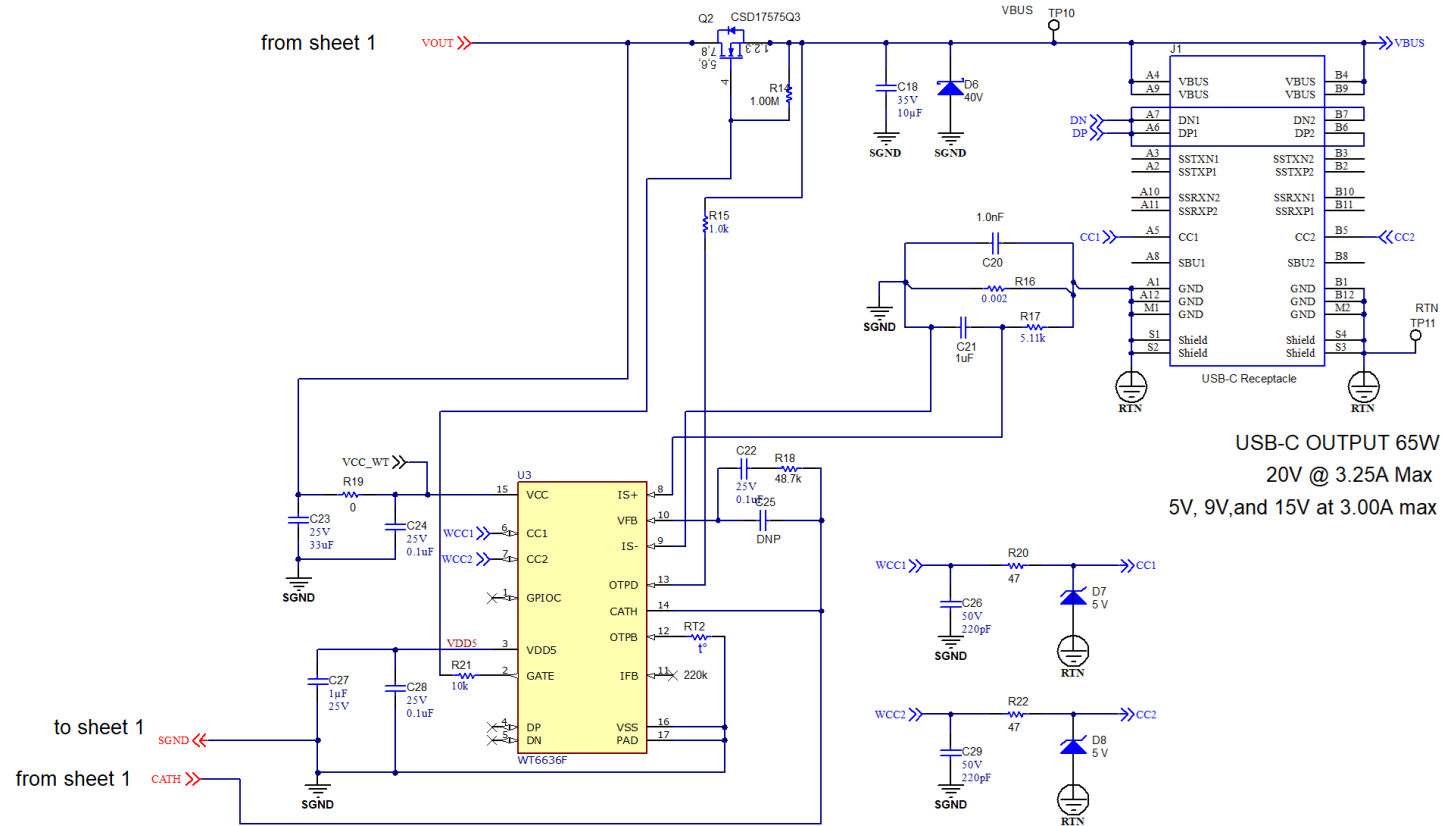


图 4-1. UCG28826EVM-093 原理图

4.2 PCB 布局

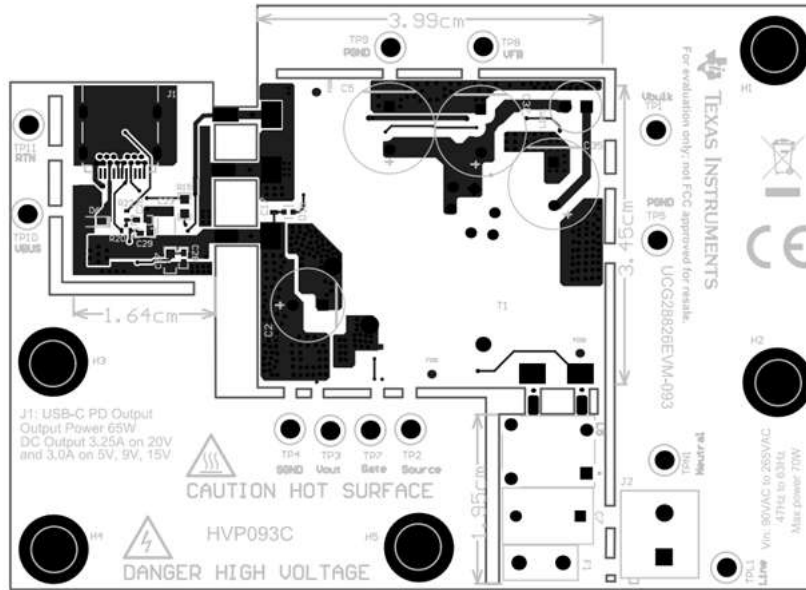


图 4-2. EVM 装配图 (顶视图)

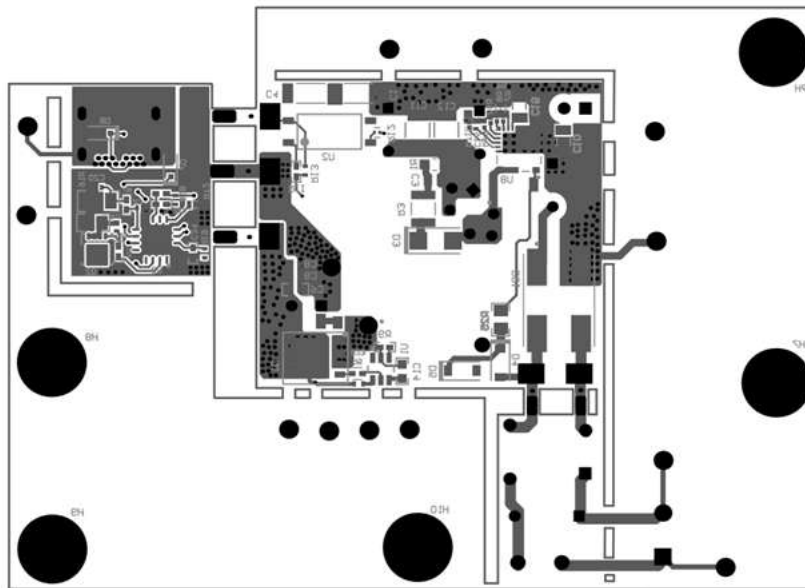


图 4-3. EVM 装配图 (底视图)

4.3 变压器详细信息

本设计使用 Renco 的变压器，规格如下所述。

4.3.1 RLTI-1464 (RENCO)

此变压器是此设计中高度优化的推荐选择，能够满足效率规格要求。这可以在泄漏能量（提高效率）与绕组间电容（有助于改善 UCG28826 热性能）之间实现良好的平衡。

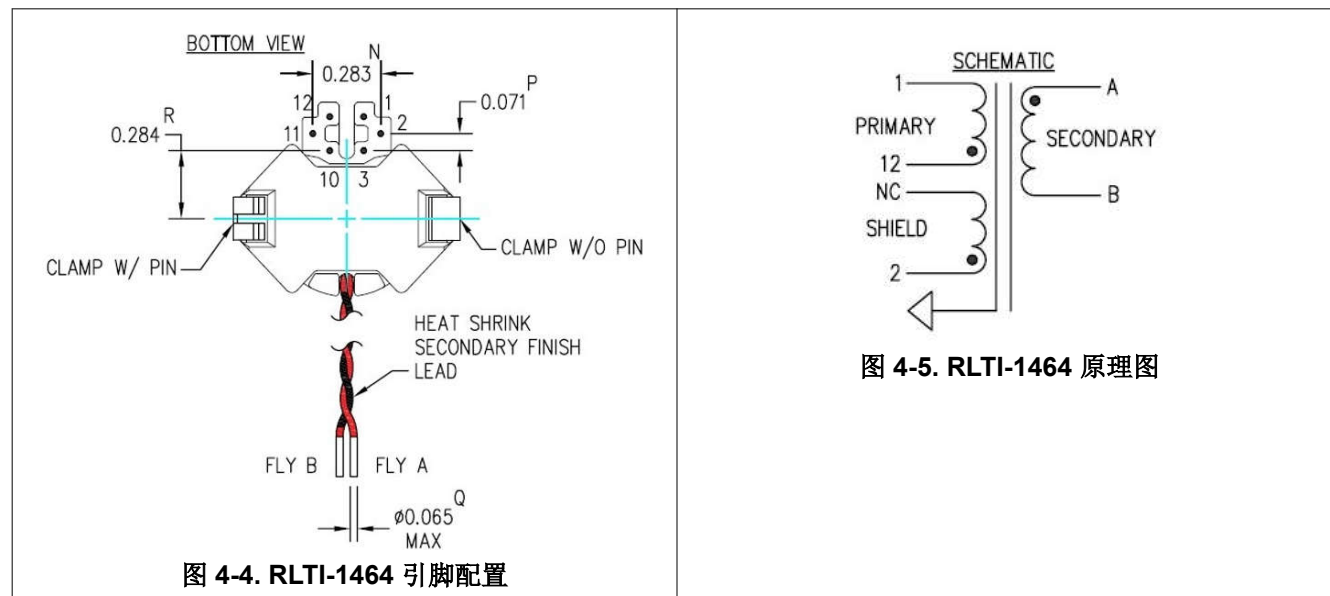


表 4-1. 25°C 时的变压器规格

参数	值	引脚/引线	测试条件
电感 (μH)	200, $\pm 5\%$	1 - 12	所有其他引脚均为开路, 100kHz/0.1Vac
漏电感 (μH)	3.5 (最大值)	1 - 12	短接 A - B, 100kHz/0.1Vac
直流电阻 (Ω)	0.220, $\pm 15\%$	1 - 12	
直流电阻 (Ω)	0.007 (最大值)	A - B	
电介质 (VAC, 60Hz)	3000Vac	1 - A	1mA, 60Hz, 1s
匝数比	6:1	(1-12):(A-B)	施加: 1.0V @ 10kHz 至 (12 - 1) 输出电压: (A-B) 0.167V

4.4 物料清单

表 4-2 列出了 UCG28826EVM-093 的物料清单。

表 4-2. 物料清单

位号	值	数量	说明	器件型号	制造商
C1, C4	1.5nF	2	1500pF $\pm 10\%$ 250VAC 陶瓷电容器 X7R 1808 (公制 4520)	1808YA250152KJTSYX	Knowles Syfer
C2	820uF	1	820uF 25V $\pm 20\%$ 插件、D8xL14mm 铝制电解电容器	NPXD1401E821MF	Ymin
C3	2.2nF	1	2200pF $\pm 10\%$ 500V 陶瓷电容器 X7R 0805 (公制 2012)	C0805C222KCRAC7800	KEMET
C5、C35、C37	33uF	3	33uF 400V 500m Ω @100kHz 370mA@100kHz $\pm 20\%$ 插件、D10xL15mm 铝制电解电容器	87EC0493	KNSCHA
C6	0.22uF	1	电容, 陶瓷, 0.22 μ F, 50V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0603	CGA3E3X7R1H224K080A B	TDK
C7	330nF	1	330nF $\pm 10\%$ X2 插件, P=7.5mm 安全电容器 ROHS	MPX334K31B9KN20600	KNSCHA
C8、C9、C22	0.1uF	2	电容, 陶瓷, 0.1 μ F, 25V, +/-10%, X7R, 0402	GRM155R71E104KE14D	MuRata
C10、C15	22 μ F	2	电容, 陶瓷, 22 μ F, 16V, +/-20%, X7R, 1206_190	EMK316BB7226ML-T	Taiyo Yuden
C11、C12	0.1uF	2	电容, 陶瓷, 0.1 μ F, 630V, +/-10%, X7R, 1210	C1210C104KBRAC7800	Kemet
C14	0.47uF	1	电容, 陶瓷, 0.47 μ F, 50V, +/-10%, X7R, 0603	C1608X7R1H474K080AC	TDK
C16	8330pF	1	电容, 陶瓷, 330pF, 50V, +/-10%, X7R, 0402	GRM155R71H331KA01D	MuRata
C17	1uF	1	电容, 陶瓷, 1 μ F, 25V, +/-10%, X7R, 0603	C1608X7R1E105K080AB	TDK
C18	10uF	1	电容, 陶瓷, 10 μ F, 35V, +/- 10%, X5R, 0805	GMK212BBJ106KG-T	Taiyo Yuden
C20	1000pF	1	电容, 陶瓷, 1000pF, 50V, +/-10%, X7R, 0402	885012205061	Wurth Elektronik
C21	1uF	1	电容, 陶瓷, 1 μ F, 6.3V, +/-20%, X7R, 0402	GRM155R70J105MA12D	MuRata
C24、C28	0.1uF	2	电容, 陶瓷, 0.1 μ F, 25V, +/-10%, X7R, 0402	GRM155R71E104KE14D	MuRata
C23	33uF	1	电容, 陶瓷, 33 μ F, 25V, +/-20%, X5R, 1206	C3216X5R1E336M160AC	TDK
C26、C29	220pF	1	电容, 陶瓷, 220pF, 50V, +/-10%, X7R, 0402	GRM155R71H221KA01D	MuRata
C27	1uF	1	电容, 陶瓷, 1 μ F, 25V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0603	GCM188R71E105KA64D	MuRata
D3	800V	1	二极管, 快速整流器, 800V, 1A, SMA	US1K-13-F	Diodes Inc.
D4、D5	600V	2	二极管, 开关, 600V, 1A, SOD-123	ES1JFL	ON Semiconductor

表 4-2. 物料清单 (续)

位号	值	数量	说明	器件型号	制造商
D6	40V	1	二极管, 肖特基, 40V, 0.2A, SOD-523	RB521SM-40T2R	Rohm
D7、D8	5V	2	TVS, 5V, 双向, SOD-323	PESD5V0L1BA,115	NXP Semiconductor
DB1		1	桥接整流器、单相标准、600V 表面贴装 Z4-D	Z4DGP406L-HF	Comchip
F1	3.15A	1	保险丝, 3.15A, 250VAC/VDC, TH	RST 3.15-BULK	Bel-Fuse
FID1、FID2、FID3			基准标记。没有需要购买或安装的元件。	不适用	不适用
H1、H2、H3、H4、H5		5	机械螺丝, 飞利浦盘形头 4-40	NSP-4-4-01	Essentra Components
H6、H7、H8、H9、H10		5	六角螺柱, 0.5"L #4-40, 尼龙	1902C	Keystone
J1	USB-C 插口	1	连接器, 插口, USB Type C, R/A	632723300011	Wurth Elektronik
J2		1	端子块, 5.08mm, 2x1, 黄铜, TH	ED120/2DS	On-Shore Technology
L5		1	2 路共模扼流圈穿孔 2A DCR 50m Ω	DKFP-6248-02D5	Schurter
LDM1	22uH	1	电感器, 非屏蔽鼓芯, 铁氧体, 22uH, 1.7A, 0.102 Ω , TH	7447462220	Wurth Elektronik
Q1	150V	1	MOSFET, N 沟道, 150V, 87A, PG-TDSON-8	BSC093N15NS5ATMA1	Infineon Technologies
Q2	30V	1	MOSFET, N 沟道, 30V, 60A, DQG0008A (VSON-CLIP-8)	CSD17575Q3	德州仪器 (TI)
R1	510k	1	510k Ω $\pm 5\%$ 0.5W, 1/2W 片上电阻 0805 (公制 2012), 汽车 AEC-Q200, 可承受脉冲, 厚膜	ERJ-P06J514V	Panasonic Electronic Components
R3	10	1	10 Ω $\pm 5\%$ 0.5W 1210 厚膜片上电阻, 符合 AEC-Q200 标准	RMCF1210JT10R0	Stackpole Electronics
R5	511	1	电阻, 511, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402	CRCW0402511RFKED	Vishay-Dale
R6、R12	0	2	0 Ω ± 0 0.05W 0201 厚膜片上电阻, 符合 AEC-Q200 标准	RMCF0201ZT0R00	Stackpole Electronics
R7、R8	28.7k	1	电阻, 28.7k, 1%, 0.05W, 0201	CRCW020128K7FKED	Vishay-Dale
R9	100k	1	电阻, 100k, 1%, 0.1W, 0402	ERJ-2RKF1003X	Panasonic
R10	0	1	电阻厚膜, 0 Ω , 0.2W, 0402	CRCW04020000Z0EDHP	Vishay Dale
R11	30.1k	1	电阻, 30.1k, 1%, 0.063W, 0402	CRCW040230K1FKED	Vishay-Dale
R13	34k	1	电阻, 34.0k Ω , 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402	CRCW040234K0FKED	Vishay-Dale
R14	1.0Meg	1	电阻, 1.00M, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402	RMCF0402FT1M00	Stackpole Electronics Inc
R15	1k	1	电阻, 1.0k, 5%, 0.25W, AEC-Q200 0 级, 0603	ESR03EZPJ102	Rohm
R16	0.002	1	电阻, 0.002, 1%, 1W, 1206	CSNL1206FT2L00	Stackpole Electronics Inc

表 4-2. 物料清单 (续)

位号	值	数量	说明	器件型号	制造商
R17	5.11k	1	电阻, 5.11k, 1%, 0.063W, 0402	CRCW04025K11FKED	Vishay-Dale
R18	48.7k	1	电阻, 48.7k, 1%, 0.063W, 0402	CRCW040248K7FKED	Vishay-Dale
R19	0	1	电阻, 0, 5%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402	CRCW04020000Z0ED	Vishay-Dale
R20、R22	47	2	电阻, 47, 5%, 0.063W, 0402	CRCW040247R0JNED	Vishay-Dale
R21	10k	1	电阻, 10k, 5%, 0.063W, 0402	CRCW040210K0JNED	Vishay-Dale
R23	0 Ω	1	0 Ω 跳线 0.1W, 1/10W 片式电阻器 0402 (公制 1005) - 厚膜	CR0402-10W-000T	Venkel
R25	0 Ω	1	电阻, 0, 0%, W, AEC-Q200 0 级, 0805	PMR10EZPJ000	Rohm
R42	11.5k	1	电阻, 11.5k, 1%, 0.05W, 0201	RC0201FR-0711K5L	Yageo America
R43	5.23k	1	电阻, 5.23k, 1%, 0.05W, 0201	RC0201FR-075K23L	Yageo America
RT1	100k	1	热敏电阻 NTC, 100k Ω , 1%, 0201	NCP03WF104F05RL	MuRata
RT2	220k	1	热敏电阻 NTC, 220k Ω , 5%, 0603	NCP18WM224J03RB	MuRata
T1		1	反激式变压器	RLTI-1464	RENCO
TP1、TP2、TP3、TP4、TP7、TP8、TP9、TP10、TP11、TPL1		10	测试点, 通用, 白色, TH	5012	Keystone
TP5、TPN1		2	测试点, 通用, 黑色, TH	5011	Keystone
U1		1	快速关断智能整流器	MP6908AGJ-Z	Monolithic Power Systems
U2		1	光耦合器晶体管输出 5000Vrms 1 通道 6-SO	TLP383(GR-TPL,E	Toshiba
U3		1	USB PD/QC4/QC4+ 控制器	WT6636F	Weltrend
U8		1	UCG28826 - 反激式控制器	UCG28826	德州仪器 (TI)

5 附录 - 效率

在本节中，我们使用精密电流表测量 EVM 的输入电流，以消除功率分析仪中由于设备校准不当而可能产生的电流测量偏移。

系统特性				
η	满载效率 ($V_{IN} = 115V/230V_{RMS}$)	$V_{OUT} = 20V, I_{OUT} = 3.25A$	94.08/94.63	%
		$V_{OUT} = 15V, I_{OUT} = 3.00A$	93.88/94.31	
		$V_{OUT} = 9V, I_{OUT} = 3.00A$	93.66/93	
		$V_{OUT} = 5V, I_{OUT} = 3.00A$	92.8/91.67	
η	4 点平均效率 ⁽¹⁾ $V_{IN} = 115V/230V_{RMS}$	$V_{OUT} = 20V$ (CoC 2 级 , 89.0%)	94.14/93.85	%
		$V_{OUT} = 15V$ (CoC 2 级 , 88.9%)	94.15/92.95	
		$V_{OUT} = 9V$ (CoC 2 级 , 87.3%)	93.6/91.64	
		$V_{OUT} = 5V$ (CoC 2 级 , 81.8%)	92.28/89.23	
η	10% 负载时的效率 $V_{IN} = 115V/230V_{RMS}$	$V_{OUT} = 20V$ (CoC 2 级 , 79.0%)	92.04/89.39	%
		$V_{OUT} = 15V$ (CoC 2 级 , 78.9%)	92.4/89.71	
		$V_{OUT} = 9V$ (CoC 2 级 , 77.3%)	92.6/89.29	
		$V_{OUT} = 5V$ (CoC 2 级 , 72.5%)	90.6/86.64	

5.1 20V_{out} 时的 4 点平均效率结果

V _{IN} (VRMS)	P _{IN} (W)	I _{IN} (IRMS)	PF	P _{OUT} (W)	P _{EMULATOR} (W)	P _{out} %	效率	4 点平均效率
89.88	70.8	1.665	0.473	65.64	0.204	100%	93.1%	94.04%
89.91	52.64	1.333	0.439	49.214	0.2	75%	93.87%	
89.94	34.82	0.914	0.424	32.777	0.2	50%	94.7%	
89.98	17.62	0.574	0.341	16.46	0.2	25%	94.57%	
90.03	7.36	0.221	0.37	6.6193	0.2	10%	92.68%	
114.91	69.73	1.38	0.44	65.65	0.203	100%	94.45%	94.86%
114.94	52.05	1.226	0.369	449.235	0.203	75%	94.97%	
114.96	34.65	0.815	0.37	32.778	0.2	50%	95.18%	
115	17.58	0.421	0.363	16.474	0.2	25%	94.82%	
115.04	7.39	0.176	0.365	6.62	0.199	10%	92.28%	
229.98	69.01	0.886	0.339	65.662	0.2	100%	95.43%	94.51%
230.01	51.90	0.674	0.335	49.235	0.2	75%	95.24%	
230.01	34.84	0.46	0.329	32.778	0.2	50%	94.65%	
230.02	17.98	0.236	0.331	16.471	0.2	25%	92.7%	
230.08	7.62	0.109	0.304	6.6214	0.199	10%	89.52%	
264	69.11	0.781	0.335	65.684	0.2	100%	95.33%	93.86%
264	52.1	0.596	0.331	49235	0.2	75%	94.89%	
264	35.06	0.411	0.323	32.678	0.2	50%	94.04%	
264.02	18.29	0.215	0.322	16.475	0.2	25%	91.17%	
264.1	7.62	0.096	0.3	6.62	0.199	10%	89.54%	
CoC 2 级、4 点平均值								89.0%
CoC 2 级，10% 负载								79.0%

5.2 15V_{out} 时的 4 点平均效率结果

V _{IN} (VRMS)	P _{IN} (W)	I _{IN} (IRMS)	PF	P _{OUT} (W)	P _{EMULATOR} (W)	P _{out} %	效率	4 点平均效率
89.92	48.79	1.252	0.433	45.525	0.15	100%	93.61%	94.25%
89.95	36.35	0.95	0.425	34.088	0.148	75%	94.18%	
89.97	24.17	0.691	0.389	22.735	0.148	50%	94.67%	
89.99	12.2	0.397	0.342	11.384	0.15	25%	94.54%	
90.03	5.08	0.157	0.36	4.5789	0.148	10%	92.99%	
114.94	48.24	1.161	0.362	45.525	0.148	100%	94.68%	94.69%
114.95	36.1	0.85	0.37	34.105	0.15	75%	94.88%	
114.98	24.07	0.569	0.368	22.737	0.15	50%	95.09%	
115	12.25	0.281	0.379	11.382	0.15	25%	94.11%	
115.04	5.08	0.122	0.362	4.5776	0.149	10%	93.02%	
230	48.1	0.626	0.334	45.527	0.148	100%	94.95%	93.63%
230	36.19	0.477	0.33	34.088	0.148	75%	94.59%	
230	24.39	0.33	0.321	22.742	0.148	50%	93.86%	
230.02	12.65	0.172	0.32	11.382	0.148	25%	91.13%	
230.09	5.19	0.075	0.298	4.5757	0.15	10%	91.1%	
264	48.26	0.554	0.33	45.52	0.15	100%	94.62%	92.71%
264	36.43	0.426	0.324	34.101	0.148	75%	94.02%	
264.02	24.64	0.297	0.314	22.735	0.148	50%	92.88%	
264.04	12.91	0.157	0.311	11.383	0.148	25%	89.33%	
264.08	5.3	0.07	0.287	4.5779	0.148	10%	89.14%	
CoC 2 级、4 点平均值								88.9%
CoC 2 级, 10% 负载								78.

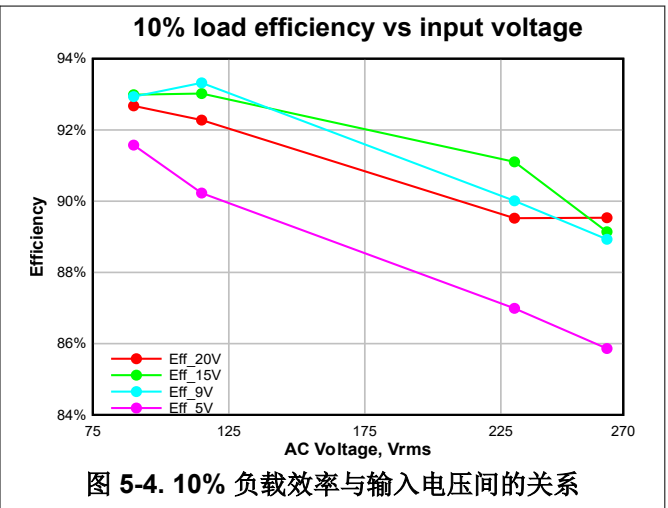
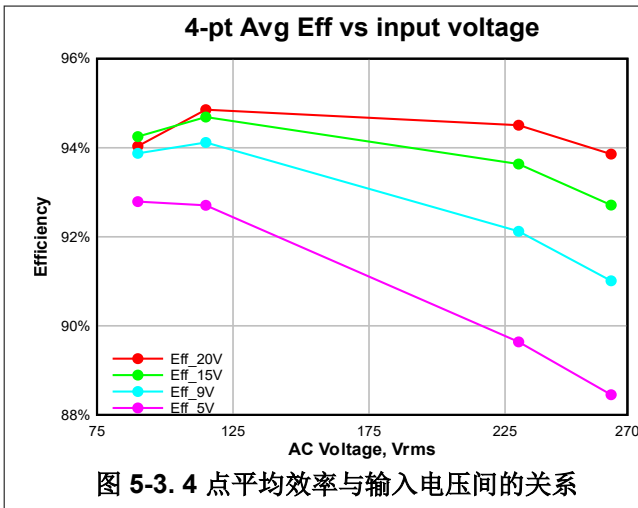
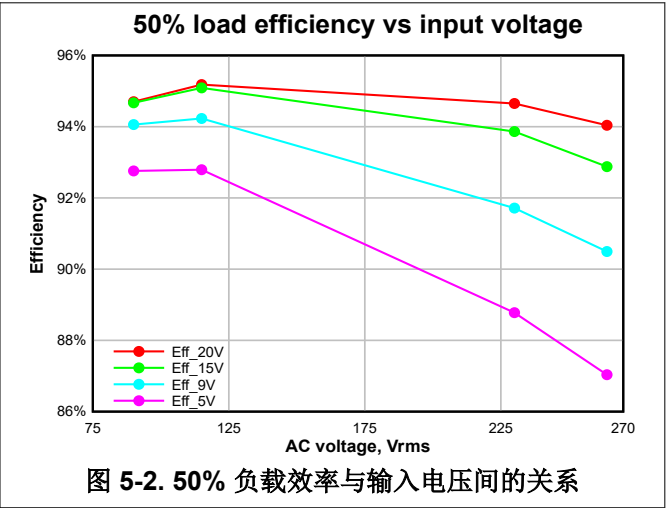
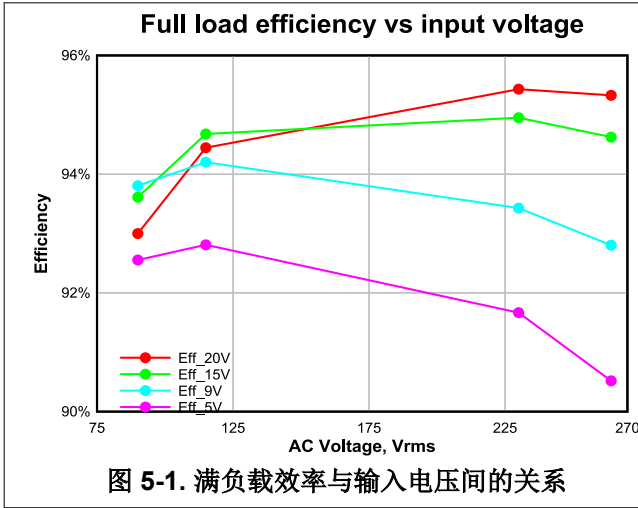
5.3 9V_{out} 时的 4 点平均效率结果

V _{IN} (VRMS)	P _{IN} (W)	I _{IN} (IRMS)	PF	P _{OUT} (W)	P _{EMULATOR} (W)	P _{out} %	效率	4 点平均效率
89.96	29.21	0.784	0.414	27.316	0.087	100%	93.8%	93.87%
89.98	21.86	0.635	0.383	20.424	0.087	75%	93.85%	
89.99	14.56	0.475	0.341	13.607	0.087	50%	94.06%	
90.0	7.35	0.222	0.368	6.8052	0.088	25%	93.78%	
90.03	3.04	0.095	0.356	2.7394	0.087	10%	92.93%	
114.98	29.08	0.683	0.37	27.307	0.087	100%	94.2%	94.12%
114.99	21.72	0.514	0.368	20.432	0.088	75%	94.47%	
115.0	14.53	0.35	0.361	13.601	0.087	50%	94.23%	
115.01	7.37	0.176	0.364	6.8077	0.088	25%	93.57%	
115.03	3.03	0.077	0.342	2.7368	0.088	10%	93.32%	
230.06	29.33	0.391	0.326	27.319	0.087	100%	93.43%	92.12%
230.06	22.04	0.3	0.319	20.42	0.089	75%	93.03%	
230.06	14.93	0.199	0.326	13.604	0.088	50%	91.71%	
230.06	7.63	0.109	0.304	6.8056	0.088	25%	90.32%	
230.08	3.14	0.049	0.279	2.739	0.087	10%	90.01%	
264.07	29.52	0.35	0.319	27.309	0.087	100%	92.8%	91.01%
264.07	22.25	0.27	0.312	20.42	0.087	75%	92.16%	
264.05	15.13	0.181	0.317	13.606	0.087	50%	90.49%	
264.05	7.78	0.098	0.301	6.803	0.087	25%	88.59%	
264.07	3.18	0.045	0.267	2.739	0.087	10%	88.9%	
CoC 2 级、4 点平均值								87.3%
CoC 2 级，10% 负载								77.3%

5.4 5V_{out} 时的 4 点平均效率结果

V _{IN} (VRMS)	P _{IN} (W)	I _{IN} (IRMS)	PF	P _{OUT} (W)	P _{EMULATOR} (W)	P _{out} %	效率	4 点平均效率
89.99	16.52	0.542	0.339	15.242	0.048	100%	92.55%	92.79%
90	12.27	0.399	0.342	11.382	0.049	75%	93.13%	
90	8.21	0.246	0.371	7.5643	0.049	50%	92.76%	
90.02	4.13	0.13	0.353	3.7775	0.049	25%	92.72%	
90.03	1.71	0.057	0.334	1.5192	0.049	10%	91.57%	
115	16.48	0.395	0.363	15.243	0.048	100%	92.81%	92.71%
115	12.32	0.282	0.38	11.395	0.048	75%	92.9%	
115.01	8.2	0.194	0.368	7.5648	0.048	50%	92.79%	
115.01	4.14	0.102	0.353	3.7773	0.048	25%	92.32%	
115.03	1.74	0.047	0.322	1.5204	0.048	10%	90.23%	
230.04	16.68	0.22	0.33	15.242	0.049	100%	91.67%	89.64%
230.05	12.67	0.172	0.32	11.395	0.049	75%	90.32%	
230.06	8.59	0.121	0.308	7.5737	0.048	50%	88.78%	
230.06	4.36	0.065	0.292	3.7791	0.048	25%	87.79%	
230.08	1.805	0.031	0.256	1.5205	0.049	10%	86.99%	
264.04	16.91	0.2	0.32	15.258	0.048	100%	90.52%	88.45%
264.05	12.82	0.156	0.311	11.397	0.049	75%	89.26%	
264.07	8.75	0.111	0.299	7.5673	0.048	50%	87.04%	
264.07	4.4	0.059	0.281	3.777	0.048	25%	87%	
264.09	1.83	0.028	0.243	1.5192	0.048	10%	85.86%	
CoC 2 级、4 点平均值								81.8%
CoC 2 级，10% 负载								72.5%

5.5 效率典型结果



6 其他信息

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

7 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 (February 2025) to Revision B (May 2025)	Page
更新了 测试设置图部分中的图像.....	8
更新了 线路瞬态响应部分中的图注释的输入电压范围.....	22
更新了 EN55022 B 类传导 EMI 测试结果部分中的 EMI 结果.....	24
满负载 (20V 和 3.25A) 条件下热图像部分中已更新的图像.....	25
更新了 硬件设计文件部分中的图像.....	27
更新了 变压器详细信息部分中变压器设计的详细信息.....	30
在 物料清单部分中根据当前 BOM 更新了表.....	31

Changes from Revision * (October 2024) to Revision A (February 2025)	Page
• 满负载 (20V 和 3.25A) 条件下热图像部分中已更新的图像.....	25

重要通知和免责声明

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司