

使用 UCC28782EVM-030 65W USB-C PD 高密度有源钳位反激式转换器



1 使用 UCC28782EVM-030 65W USB-C PD 高密度有源钳位反激式转换器

内容

1 使用 UCC28782EVM-030 65W USB-C PD 高密度有源钳位反激式转换器	1
2 通用德州仪器 (TI) 高压评估模块 (TI HV EVM) 用户安全指南	2
3 说明	3
4 电气性能规格	5
5 原理图	6
6 说明	8
6.1 典型应用	8
6.2 在具有 USB-C PD 通信功能的负载上使用该 EVM	8
6.3 在不具有 USB-C PD 通信功能的负载上使用该 EVM	8
7 测试设置	9
7.1 测试设置要求	9
7.2 测试设置图	10
7.3 测试点	10
8 性能数据和典型特性曲线	11
8.1 20V _{out} 时的 4 点平均效率结果	11
8.2 15V _{out} 时的 4 点平均效率结果	12
8.3 9V _{out} 时的 4 点平均效率结果	13
8.4 5V _{out} 时的 4 点平均效率结果	14
8.5 效率典型结果	15
8.6 输出特性	15
8.7 开关频率	16
8.8 主要开关波形和工作模式负载电流	16
8.9 启动	17
8.10 通过 USB-C PD 调节输出电压	18
8.11 线路瞬态响应	18
8.12 输出纹波电压	19
8.13 VDD 偏置的升压功能	20
8.14 X 电容器放电	20
8.15 USB-C PD 过流限制	21
8.16 负载瞬态响应	21
8.17 EN55022 B 类传导 EMI 测试结果	22
8.18 满负载条件下的热图像 (20V 和 3.25A)	23
9 变压器详细信息	25
10 EVM 装配图和布局	26
11 物料清单	28
12 修订历史记录	31

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

2 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 的安装和应用说明，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 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。

WARNING

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

TI HV EVM 一词是指通常以开放式框架、敞开式印刷电路板装配形式提供的电子器件。该器件严格用于开发实验室环境，仅供了解开发和应用高压电路相关电气安全风险且接受过专门培训、具有专业知识背景的合格专业用户使用。德州仪器 (TI) 严禁任何其他不合规的使用和/或应用。如果不满足合格要求，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，合格观察员都必须在场监督。
- c. TI HV EVM 及其接口电子元件通电区域必须设有有效的防护栏和标识，指示可能存在高压作业，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，工程实践中通常需假定整个 EVM 可能存在用户完全可接触到的高电压。

- a. 执行任何电气测量或其他诊断测量之前，需将 TI HV EVM 及其全部输入、输出和电气负载断电。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 EVM 通电。

WARNING

EVM 通电后，请勿触摸 EVM 或其电路，它们可能存在高压，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。

3 说明

UCC28782EVM-030 是一个 65W USB-C PD 评估模块 (EVM)，用于评估笔记本电脑充电和其他应用中所使用的离线有源钳位反激式适配器。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。UCC28782EVM-030 将 $90V_{RMS}$ 的输入电压转换为 $264V_{RMS}$ ，再降压转换为 USB-C PD 可选输出电压 $20V_{DC}$ (最大 3.25A) 以及 $5V_{DC}$ 、 $9V_{DC}$ 和 $15V_{DC}$ ，最大输出额定电流为 3.00A，过功率限制为 160ms。此设计中使用的主要器件是有源钳位反激式控制器 UCC28782 和集成式 GaN 半桥 LMG2610。在为此电路板加电之前，请仔细阅读本用户指南。

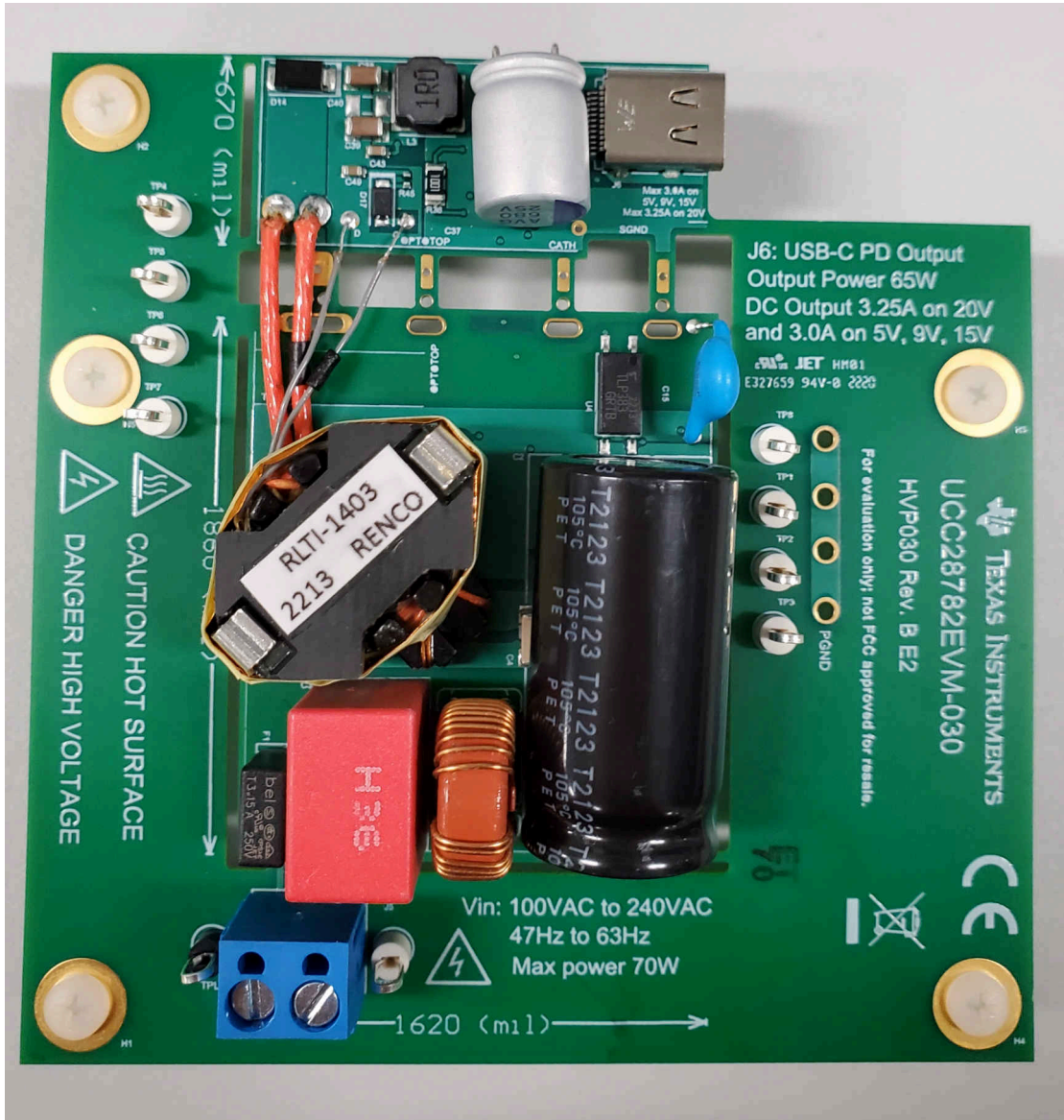


图 3-1. UCC28782EVM-030 顶视图

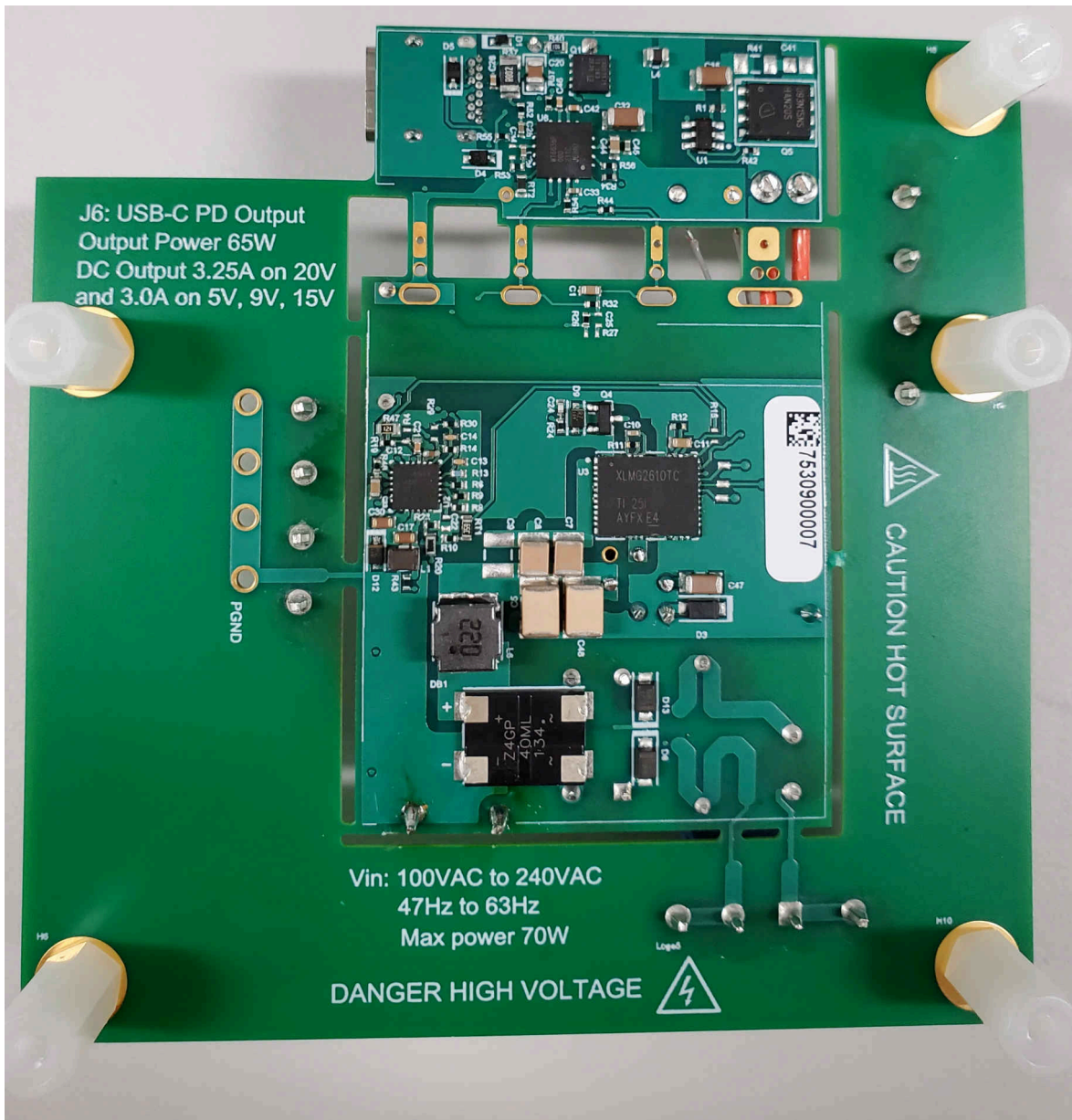


图 3-2. UCC28782EVM-030 底视图



图 3-3. 高密度配置

4 电气性能规格

表 4-1. UCC28782EVM-030 电气性能规格⁽²⁾

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	$V_{IN} = 115V/230V_{RMS}$, $I_{OUT} = 0A$		48/58	mW
$P_{0.25W}$	0.25W 负载下的输入功率	$V_{IN} = 115/230V_{RMS}$, $P_{OUT} = 250mW$		345/385	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
				15.060	
		$I_{OUT} = 0A$ 至 $3.00A$		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 $V_{IN} = 115V/230V_{RMS}$	$V_{OUT} = 20.0V$, $I_{OUT} = 0A$ 至 $3.25A$		150	mVpp
		$V_{OUT} = 15.0V$, $I_{OUT} = 0A$ 至 $3.00A$		150	
		$V_{OUT} = 9.0V$, $I_{OUT} = 0A$ 至 $3.00A$		150	
		$V_{OUT} = 5.0V$, $I_{OUT} = 0A$ 至 $3.00A$		150	
$V_{OUT_Δ}$	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)	$V_{OUT} = 20.0V$		-604/340	mVpp
		$V_{OUT} = 15.0V$		-584/360	
		$V_{OUT} = 9.0V$		-404/304	
		$V_{OUT} = 5.0V$		-404/304	
P_{OUT_opp}	过功率保护阈值	$V_{IN} = 90V$ 至 $264V_{RMS}$		70	W
系统特性					
η	满载效率 ($V_{IN} = 115V/230V_{RMS}$)	$V_{OUT} = 20V$, $I_{OUT} = 3.25A$		94.6/94.4	%
		$V_{OUT} = 15V$, $I_{OUT} = 3.00A$		94.8/94.6	
		$V_{OUT} = 9V$, $I_{OUT} = 3.00A$		94.2/93.8	
		$V_{OUT} = 5V$, $I_{OUT} = 3.00A$		92.9/88.1	
η	4 点平均效率 ⁽¹⁾ $V_{IN} = 115V/230V_{RMS}$	$V_{OUT} = 20V$ (CoC 2 级, 89.0%)		94.2/93.1	%
		$V_{OUT} = 15V$ (CoC 2 级, 88.9%)		93.9/91.8	
		$V_{OUT} = 9V$ (CoC 2 级, 87.3%)		92.0/89.3	
		$V_{OUT} = 5V$ (CoC 2 级, 81.8%)		89.3/83.6	
η	10% 负载时的效率 $V_{IN} = 115V/230V_{RMS}$	$V_{OUT} = 20V$ (CoC 2 级, 79.0%)		90.8/85.0	%
		$V_{OUT} = 15V$ (CoC 2 级, 78.9%)		89.3/84.1	
		$V_{OUT} = 9V$ (CoC 2 级, 77.3%)		88.3/82.2	
		$V_{OUT} = 5V$ (CoC 2 级, 72.5%)		87.4/81.0	
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%。

(2) 使用二次谐振并基于单个电路板的测试结果来实现该表中列出的性能。

5 原理图

Universal AC INPUT
90-265VAC 47/63Hz

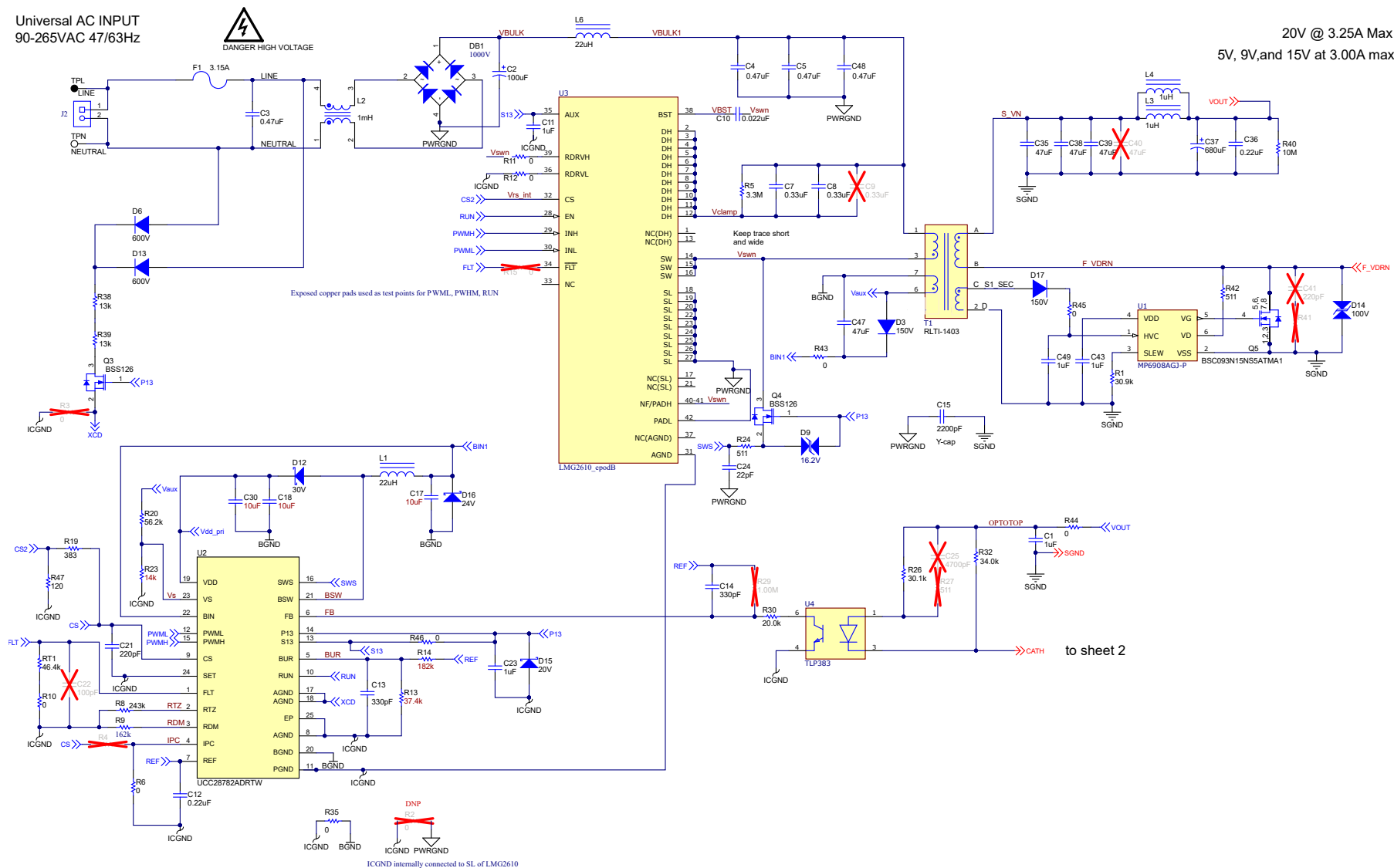


图 5-1. UCC28782EVM-030 原理图 (第 1 个, 共 2 个), 2022 年 10 月更新了 LMG2610 集成式 GaN 半桥

6 说明

6.1 典型应用

- USB-C PD 电源适配器
- USB-C PPS 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

6.2 在具有 USB-C PD 通信功能的负载上使用 EVM

UCC28782EVM-030 装有 USB-C PD 控制器 (WT6636F)，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。例如，PM110、USB Power Delivery Tester 和 PassMark 软件就是这种负载。如果没有此类通信负载，电路板输出 USB-C 连接器 (J1) 将不提供输出电压。此外，为了通过 5V、9V 和 15V 电压获得 3.00A 的满载电流，可以使用不带 E 标记的 USB-C 电缆，但为了在 20V 输出下获得 3.25A 电流，则必须使用带 E 标记的 USB-C 电缆。如果需要在没有 USB-C PD 通信功能的负载上进行测试，下一节将介绍如何修改电路板以进行测试。

6.3 在不具有 USB-C PD 通信功能的负载上使用 EVM

通常，需要有 USB-C PD 通信负载才能进行评估。如果没有此类具有 USB-C PD 通信功能的负载，电路板不会在 USB-C (J1) 连接器上提供输出电压。在这种情况下，可以从 C37 获取电路板输出电压，但只能获得 5V 和最高 3.00A 的电流。

7 测试设置

7.1 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适用的 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网屏将初级绕组与次级绕组隔离开来。



WARNING

- 如果您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，请勿接触 EVM 或其电路，它们可能存在高压，会造成电击危险。
- 注意表面高温。接触可能会导致烫伤。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。**警告：**进行测试时，请勿对该板施加直流电压，否则可能会造成损坏。如果必须使用直流电压源，则需要通过增加 R3 = 0 Ω 并移除 Q3 以将 XCD 引脚接地。

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 电压的探头。

输出负载：能够在 20V 条件下处理 100W 的电阻负载或电子负载。

建议线规：绝缘 22 AWG 至 18 AWG。



WARNING

注意：请勿在无人照看的情况下使 EVM 通电。

！！请勿向此电路板施加直流电压源，否则可能造成损坏！！（请参阅上方的电压源设置）

7.2 测试设置图

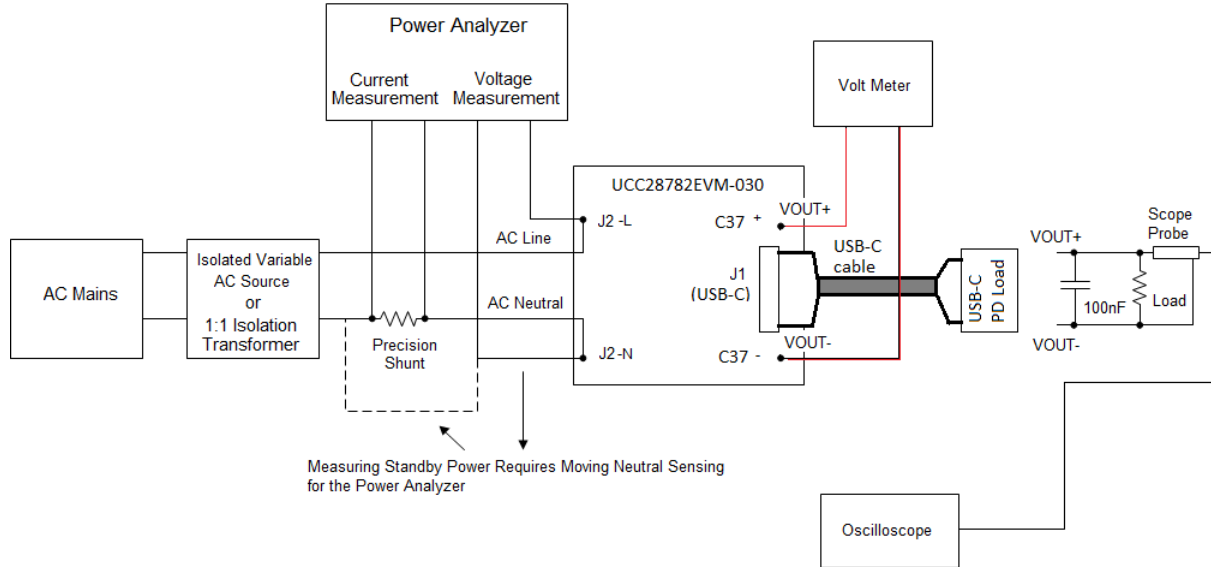


图 7-1. UCC28782EVM-030 测试设置图

7.3 测试点

表 7-1. 输入/输出端子和测试点功能

端子和测试点	名称	说明
J1	位置 J1 端子	J1 USB-C
J2-L	位置 J2 端子	低电平 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	TPL 交流输入监测 - 线路
TPN	输入测试点	TPL 交流输入监测 - 中性
TP1 至 TP4	悬空测试点	TP1、TP2、TP3、TP4 悬空需要焊接连接，如果不使用，则将其保持悬空
TP5 至 TP8	悬空测试点	TP5、TP6、TP7、TP8 悬空需要焊接连接，如果不使用，则将其保持悬空

8 性能数据和典型特性曲线

8.1 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} (%)	效率	4 点平均效率	满负载情况下的 平均开关频率
90.06	70.10	20.03	3.25	100%	93.2%		150kHz
89.9	51.8200	20.02	2.442	75%	94.3%		
90.0	34.64	20.01	1.631	50%	94.2%		
90.0	17.66	19.99	0.822	25%	93.0%		
90.1	7.32	19.98	0.335	10%	91.6%		
115.08	68.80	20.03	3.25	100%	94.6%	94.25%	160 kHz
115.0	51.49	20.02	2.443	75%	95.0%		
115.0	34.66	20.00	1.632	50%	94.2%		
115.1	17.62	19.98	0.822	25%	93.2%		
115.1	7.35	19.97	0.334	10%	90.8%		
230.2	68.90	20.00	3.250	100%	94.4%	93.09%	220 kHz
230.2	51.73	20.02	2.442	75%	94.5%		
230.2	35.07	20.00	1.631	50%	93.0%		
230.2	18.17	19.98	0.823	25%	90.5%		
230.2	7.86	19.97	0.334	10%	85.0%		
265.24	69.20	20.04	3.25	100%	94.1%		230 kHz
265.2	51.93	20.02	2.443	75%	94.2%		
265.2	35.30	19.99	1.630	50%	92.3%		
265.23	18.49	19.98	0.823	25%	88.9%		
265.2	8.14	19.97	0.336	10%	82.4%		
CoC 2 级, 4 点平均						89.0%	
CoC 2 级, 10% 负载						79.0%	

8.2 15Vout 时的 4 点平均效率结果

V _{IN} (VRMS)	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (%)	效率	4 点平均效率	满负载情况下的 平均开关频率
89.94	48.05	15.04	3.00	100%	94.0%		155 kHz
90.0	35.8700	15.02	2.254	75%	94.4%		
90.0	24.22	15.01	1.508	50%	93.4%		
90.0	12.36	14.99	0.759	25%	92.1%		
90.1	5.14	14.98	0.310	10%	90.4%		
114.99	47.61	15.04	3.00	100%	94.8%	93.93%	176 kHz
115.0	35.73	15.02	2.255	75%	94.8%		
115.0	24.11	15.01	1.506	50%	93.7%		
115.1	12.33	14.99	0.760	25%	92.4%		
115.1	5.20	14.98	0.310	10%	89.3%		
230.2	47.7	15.0	3.0	100%	94.6%	91.76%	192 kHz
230.2	36.44	15.02	2.255	75%	92.9%		
230.2	24.60	15.00	1.506	50%	91.9%		
230.2	12.99	14.99	0.760	25%	87.6%		
230.2	5.51	14.98	0.309	10%	84.1%		
265.2	47.9	15.0	3.0	100%	94.3%		190 kHz
265.2	36.70	15.02	2.255	75%	92.3%		
265.2	24.88	15.00	1.509	50%	91.0%		
265.2	13.35	14.99	0.760	25%	85.4%		
265.2	5.68	14.98	0.310	10%	81.7%		
CoC 2 级, 4 点平均						88.9%	
CoC 2 级, 10% 负载						78.9%	

8.3 9Vout 时的 4 点平均效率结果

V _{IN} (VRMS)	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (%)	效率	4 点平均效率	满负载情况下的 平均开关频率
90.0	28.9900	9.04	3.005	100%	93.7%		133 kHz
90.0	22.21	9.02	2.258	75%	91.7%		
90.0	15.84	9.00	1.510	50%	85.8%		
90.0	7.54	8.99	0.762	25%	90.81%		
90.0	3.14	8.98	0.313	10%	89.3%		
115.0	28.8100	9.03	3.003	100%	94.2%	91.95%	140kHz
115.0	21.97	9.02	2.258	75%	92.7%		
115.1	14.99	9.00	1.509	50%	90.6%		
115.1	7.58	8.98	0.762	25%	90.3%		
115.1	3.17	8.97	0.313	10%	88.6%		
230.2	28.9300	9.04	3.005	100%	93.8%	89.28%	132 kHz
230.2	22.44	9.02	2.257	75%	90.7%		
230.2	15.34	9.00	1.510	50%	88.6%		
230.2	8.15	8.98	0.762	25%	84.0%		
230.2	3.39	8.97	0.313	10%	82.8%		
265.2	29.0700	9.03	3.005	100%	93.4%		129 kHz
265.2	22.7000	9.02	2.258	75%	89.7%		
265.2	15.51	9.00	1.510	50%	87.6%		
265.2	8.41	8.98	0.762	25%	81.4%		
265.2	3.50	8.97	0.313	10%	80.47%		
CoC 2 级, 4 点平均						87.3%	
CoC 2 级, 10% 负载						77.3%	

8.4 5Vout 时的 4 点平均效率结果

V _{IN} (VRMS)	P _{IN} (W)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)	P _{OUT} (%)	效率	4 点平均效率	满负载情况下的 平均开关频率
90.0	16.2	5.01	2.99	100%	92.5%		95 kHz
90.0	12.60	4.99	2.246	75%	89.0%		
90.0	8.47	4.97	1.498	50%	88.0%		
90.1	4.25	4.96	0.751	25%	87.6%		
90.1	1.69	4.95	0.302	10%	88.4%		
115.05	16.13	5.01	2.99	100%	92.9%	89.27%	96kHz
115.1	12.59	4.99	2.246	75%	89.0%		
115.1	8.50	4.97	1.499	50%	87.7%		
115.1	4.26	4.95	0.751	25%	87.4%		
115.1	1.71	4.94	0.301	10%	87.4%		
230.19	17.02	5.01	2.99	100%	88.1%	83.63%	82 kHz
230.2	13.40	4.99	2.246	75%	83.6%		
230.2	9.11	4.97	1.498	50%	81.8%		
230.2	4.59	4.95	0.751	25%	81.1%		
230.2	1.85	4.94	0.303	10%	81.0%		
265.23	17.40	5.01	2.99	100%	86.1%		79 kHz
265.2	13.7700	4.99	2.246	75%	81.4%		
265.2	9.45	4.97	1.498	50%	78.8%		
265.2	4.73	4.95	0.751	25%	78.7%		
265.2	1.91	4.94	0.301	10%	77.9%		
CoC 2 级, 4 点平均						81.8%	
CoC 2 级, 10% 负载						72.5%	

8.5 效率典型结果

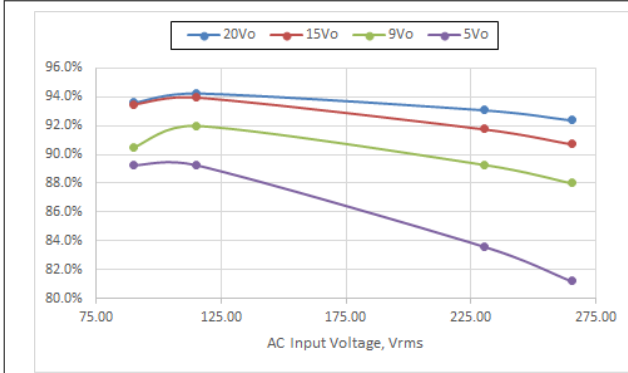


图 8-1. 4 点平均效率与输入电压

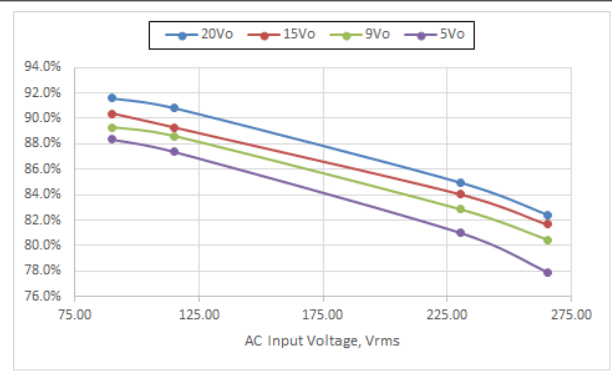


图 8-2. 10% 负载效率与输入电压

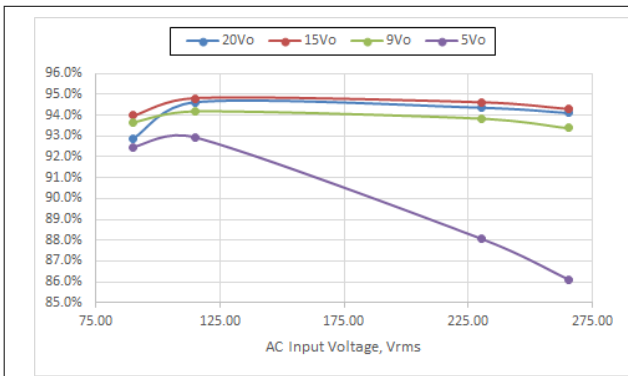


图 8-3. 满负载效率与输入电压

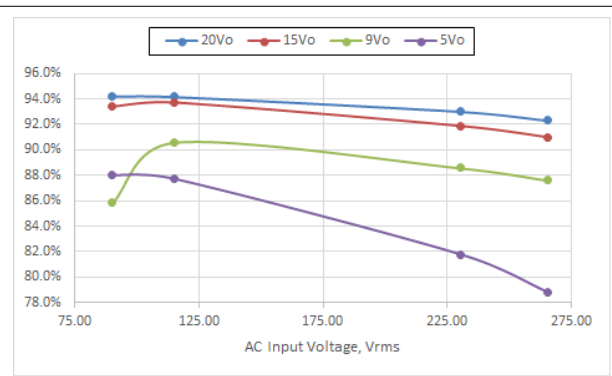


图 8-4. 50% 负载效率与输入电压

8.6 输出特性

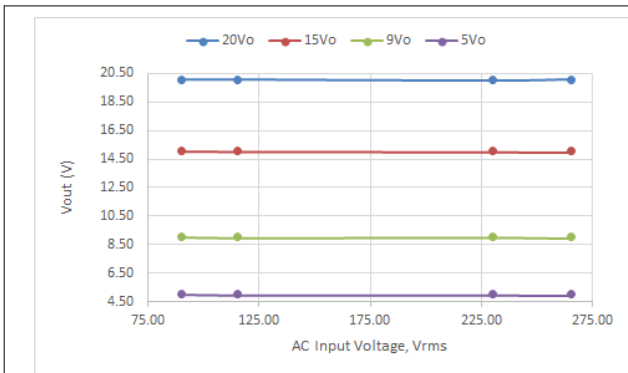


图 8-5. 满负载条件下的 V_{OUT} 与输入电压

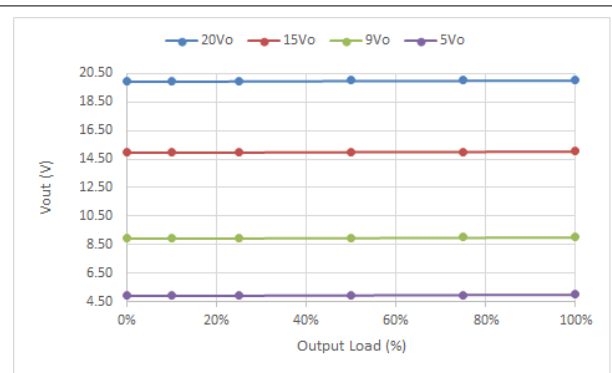


图 8-6. V_{OUT} 与输出电流

8.7 开关频率

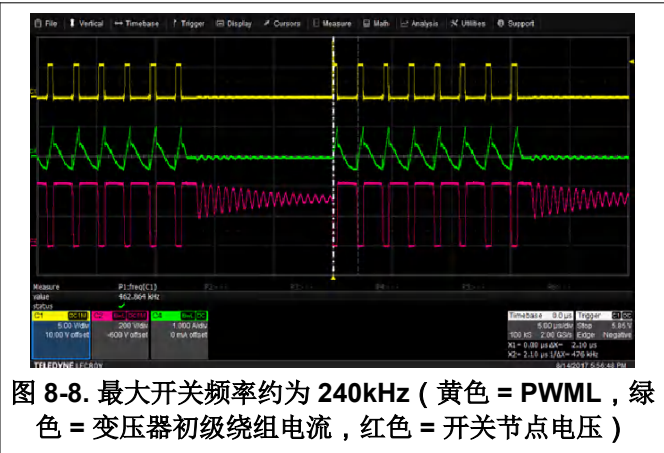
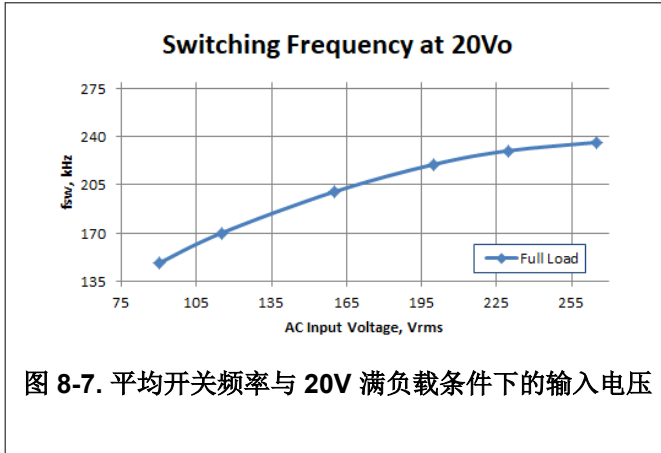


图 8-8. 最大开关频率约为 240kHz (黄色 = PWML, 绿色 = 变压器初级绕组电流, 红色 = 开关节点电压)

8.8 主要开关波形和工作模式负载电流

本节在表 8-1 中显示了典型工作模式，以及本设计中的典型负载电流，以 $V_{in} = 115V_{ac}$ 和 $V_o = 20V$ 为例。

- AAM：自适应幅度调制
- ABM：自适应突发模式
- LPM：低功率模式
- SBP1：第一待机功耗模式
- SBP2：第二待机功耗模式

表 8-1. 20V 输出和 115Vac 输入下的工作模式和负载电流

模式	AAM	ABM	LPM	SBP1	SBP2	生存
突发频率, f_{BUR}	不适用	> 25kHz (2 至 9 个脉冲)	约 25kHz (2 个脉冲)	8.5kHz 至 25kHz (2 个脉冲)	< 8.5kHz (2 个脉冲)	约 8 个脉冲
典型负载电流	1.8A 至 3.25A	0.5A 至 1.8A	0.2A 至 0.5A	0.1A 至 0.2A	< 0.1A	不适用



图 8-9. AAM 工作模式下的典型波形, 黄色 = PWML, 红色 = PWMH, 绿色 = 变压器初级绕组电流 (0.2V/A), 蓝色 = 开关节点电压

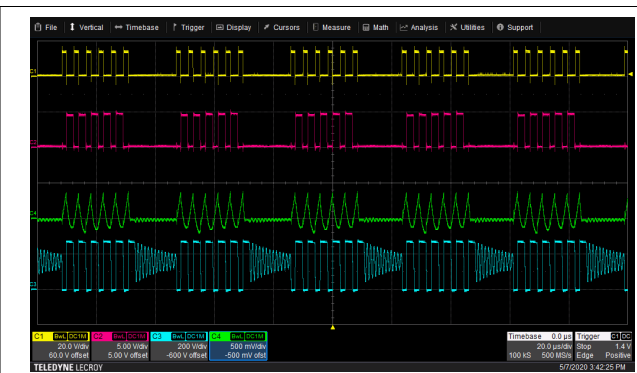


图 8-10. ABM 工作模式下的典型波形, 黄色 = PWML, 红色 = PWMH, 绿色 = 变压器初级绕组电流 (0.2V/A), 蓝色 = 开关节点电压



图 8-11. ABM 工作模式下的典型波形，黄色 = PWML，红色 = SR MOSFET 的 Vgs，绿色 = 变压器初级绕组电流 (0.2V/A)，蓝色 = 开关节点电压

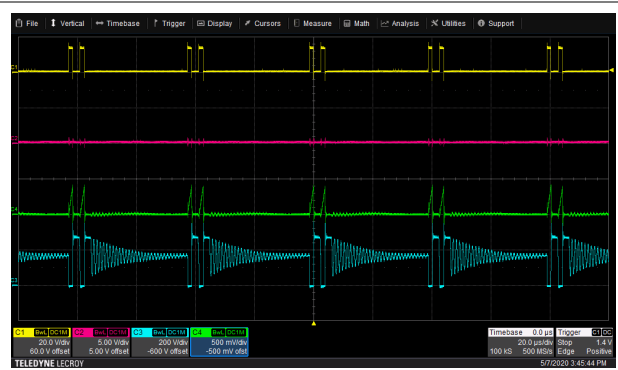


图 8-12. LPM 工作模式下的典型波形，黄色 = PWML，红色 = PWMH，绿色 = 变压器初级绕组电流 (0.2V/A)，蓝色 = 开关节点电压



图 8-13. SBP1 工作模式下的典型波形，黄色 = PWML，红色 = PWMH，绿色 = 变压器初级绕组电流 (0.2V/A)，蓝色 = 开关节点电压



图 8-14. SBP2 工作模式下的典型波形，黄色 = PWML，红色 = PWMH，绿色 = 变压器初级绕组电流 (0.2V/A)，蓝色 = 开关节点电压

8.9 启动

黄色 = PWML，红色 = 开关节点电压，蓝色 = 输出电压，绿色 = 变压器初级绕组电流。



图 8-15. 115V_{AC} 和满负载启动



图 8-16. 230V_{AC} 和满负载启动

8.10 通过 USB-C PD 调节输出电压

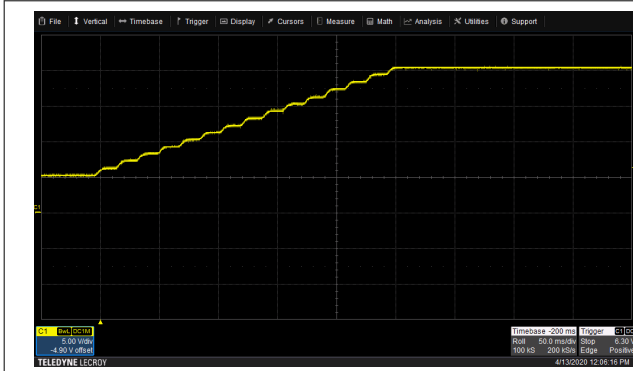


图 8-17. USB-C PD 输出电压从 5V 变为 20V

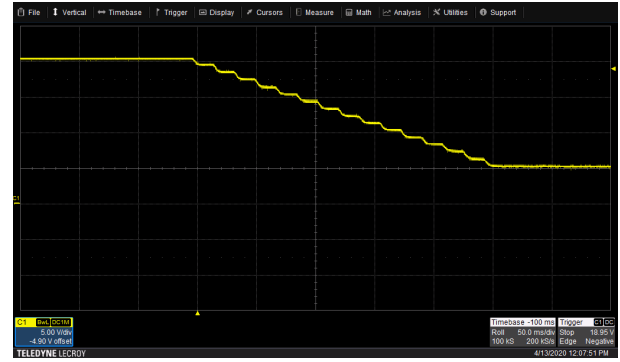


图 8-18. USB-C PD 输出电压从 20V 变为 5V

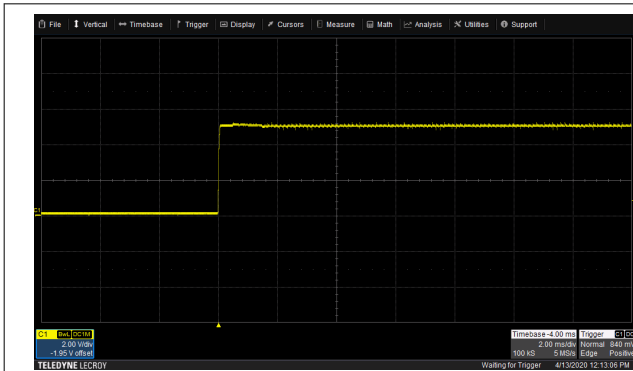


图 8-19. 5V 输出加电

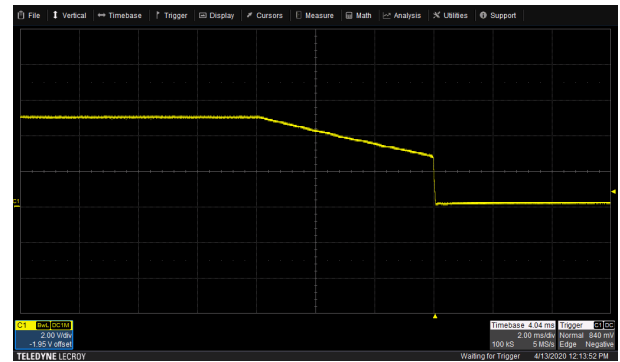


图 8-20. 5V 输出断电

8.11 线路瞬态响应

黄色 = VOUT, 红色 = 线路电压。

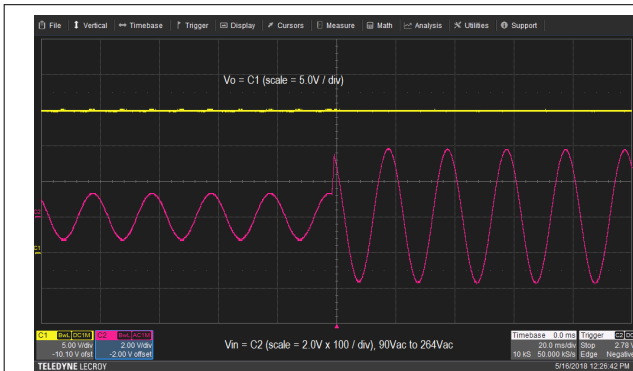


图 8-21. 满负载条件下线路瞬态的输出电压响应。



图 8-22. 无负载条件下线路瞬态的输出电压响应。

8.12 输出纹波电压

蓝色 = 输出电压纹波，示波器通道带宽 = 20MHz，两条虚线间的电压跨度为 150mV。除非相同图示中另有说明，否则纹波为 50% 负载条件下的情况。

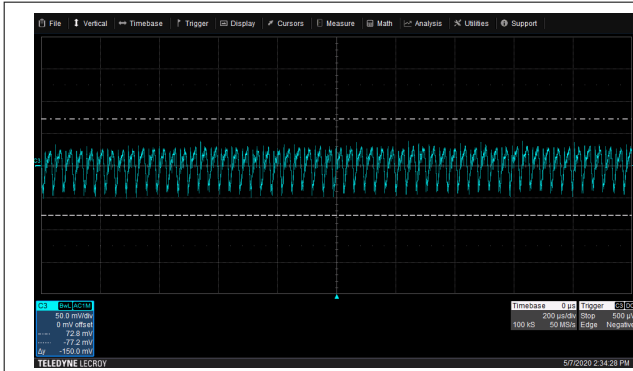


图 8-23. $V_{OUT} = 20V$ 时的典型纹波电压

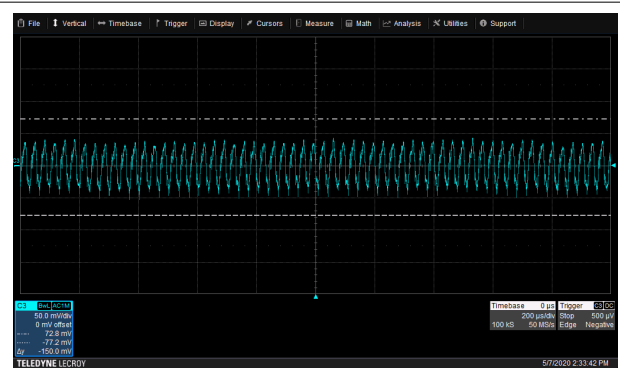


图 8-24. $V_{OUT} = 15V$ 时的典型纹波电压

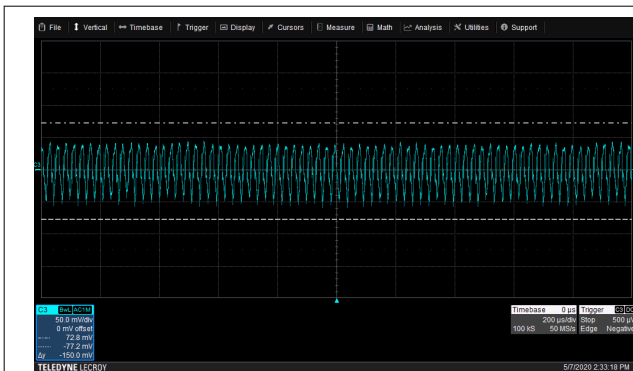


图 8-25. $V_{OUT} = 9V$ 时的典型纹波电压

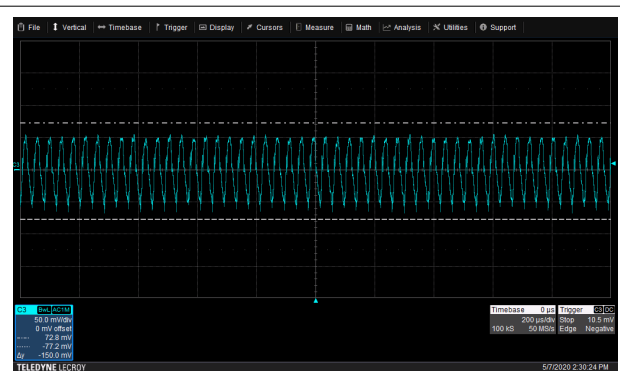


图 8-26. $V_{OUT} = 5V$ 时的典型纹波电压

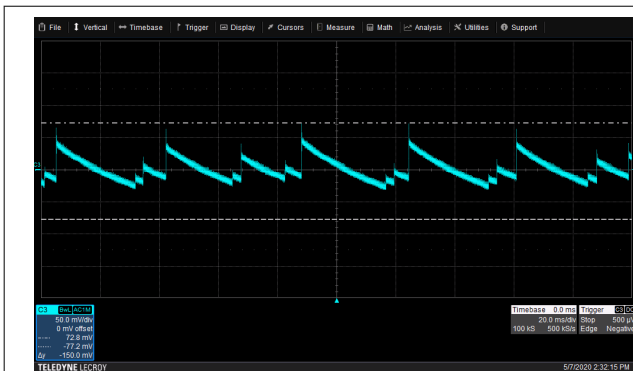


图 8-27. $V_{OUT} = 5V$ 且无负载时的典型纹波电压

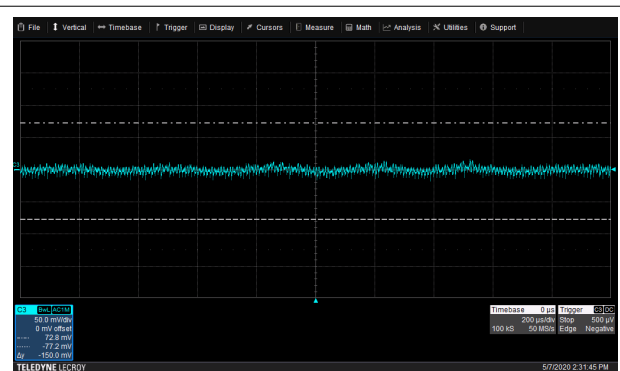


图 8-28. $V_{OUT} = 5V$ 且满负载时的典型纹波电压

8.13 VDD 偏置的升压功能

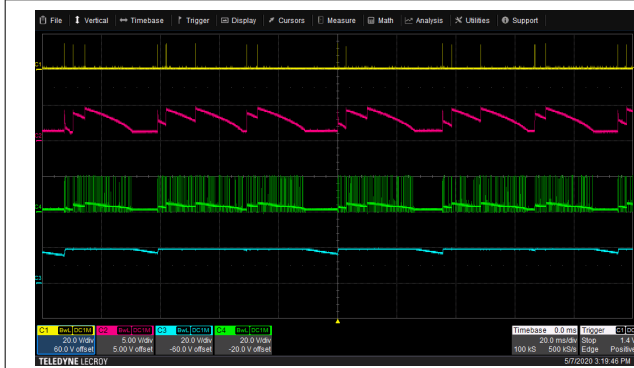


图 8-29. $5V_{OUT}$ 且无负载时的升压操作 (黄色 = PWML, 红色 = BIN, 绿色 = BSW, 蓝色 = VDD)



图 8-30. $5V_{OUT}$ 且满载时的升压操作 (黄色 = PWML, 红色 = BIN, 绿色 = BSW, 蓝色 = VDD)

8.14 X 电容器放电

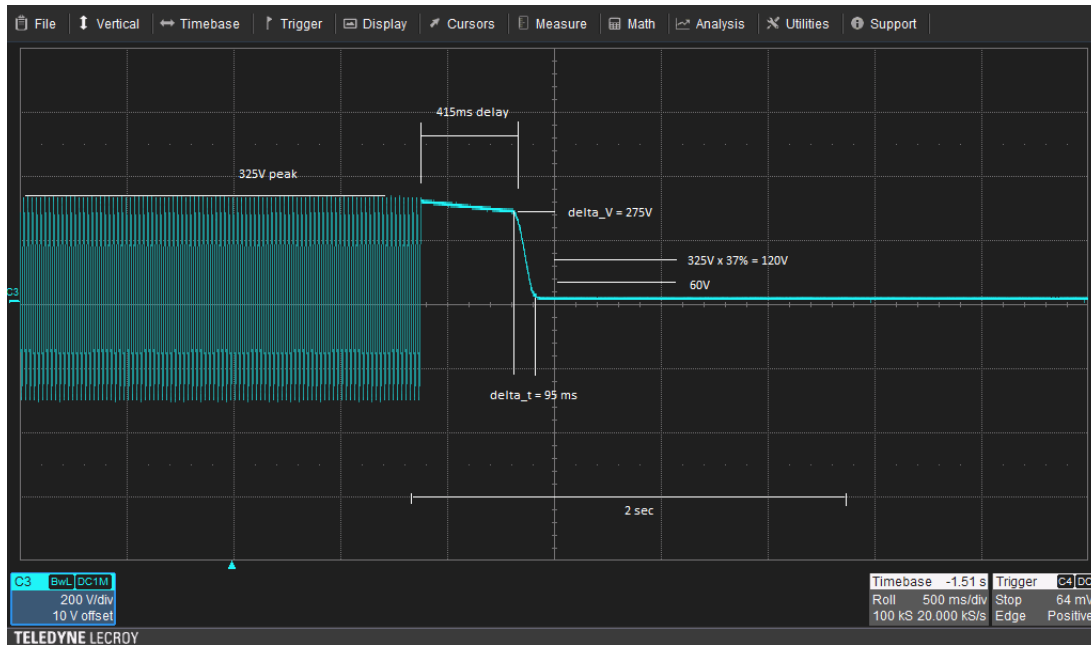


图 8-31. 典型 X 电容器放电

8.15 USB-C PD 过流限制

图 8-32 显示了转换器相对于输入电压的 USB-C PD 过流限制。图 8-33 显示了发生过流后转换器自动重试以恢复运行。

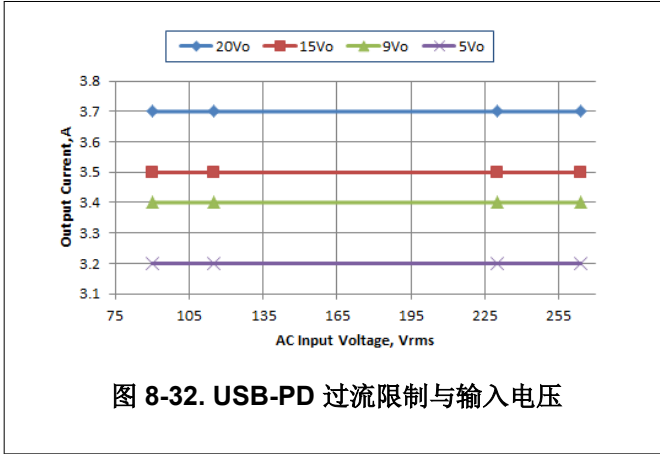


图 8-32. USB-PD 过流限制与输入电压

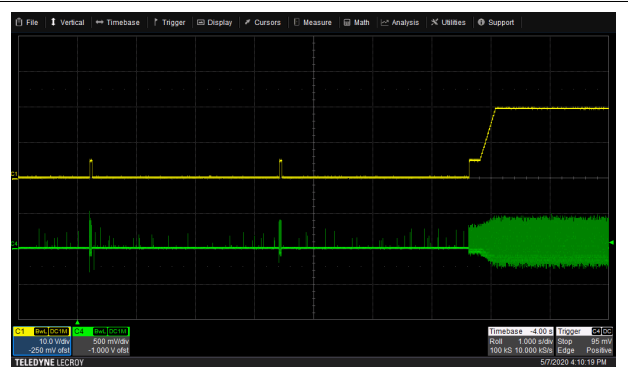


图 8-33. USB-C PD 过流限制重试与恢复 (黄色 = V_{OUT} , 绿色 = 变压器初级电流, 0.2V/A)

8.16 负载瞬态响应

图 8-34 至图 8-37 显示了负载电流阶跃变化介于 0 到 100% 之间且速率为 100Hz 时的输出电压 V_{OUT} 偏差。蓝色 = V_{OUT} , 绿色 = 负载电流。

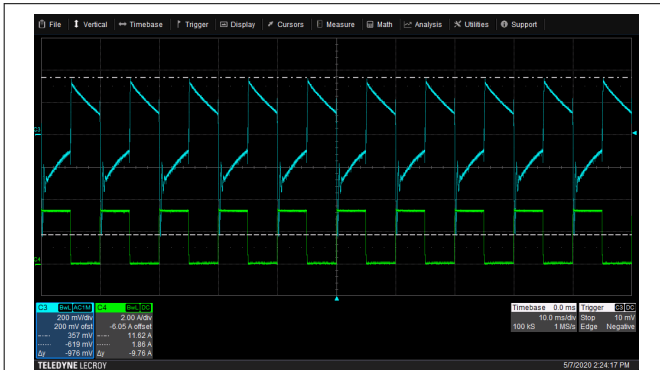


图 8-34. $V_{OUT} = 20V$ 过冲/下冲 = 357mV/-619mV 条件下的负载瞬态响应

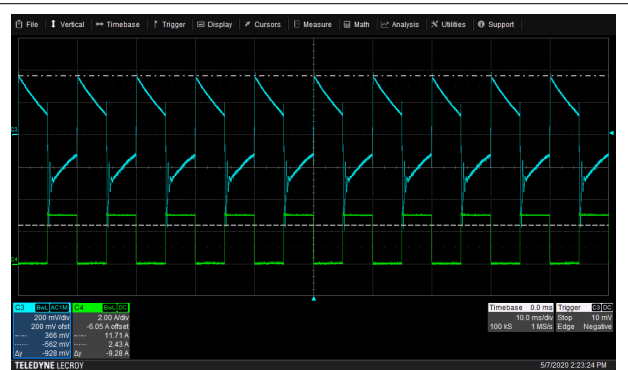


图 8-35. $V_{OUT} = 15V$ 过冲/下冲 = 366mV/-562mV 条件下的瞬态响应

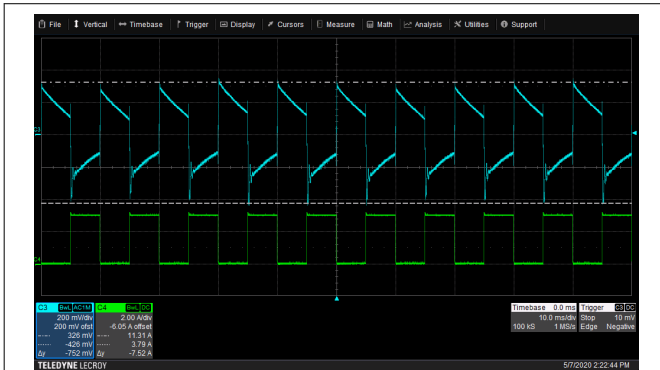


图 8-36. $V_{OUT} = 9V$ 过冲/下冲 = 326mV/-426mV 条件下的瞬态响应

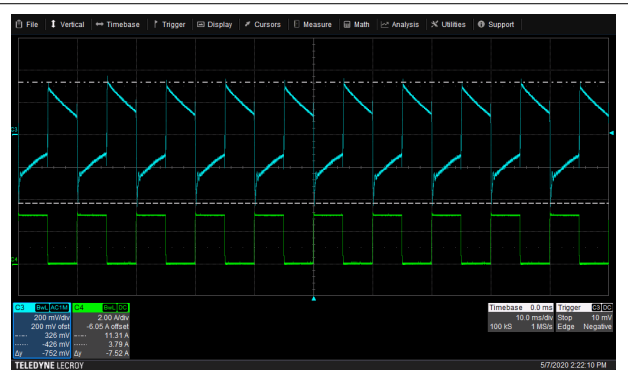


图 8-37. $V_{OUT} = 5V$ 过冲/下冲 = 326mV/-426mV 条件下的瞬态响应

8.17 EN55022 B 类传导 EMI 测试结果

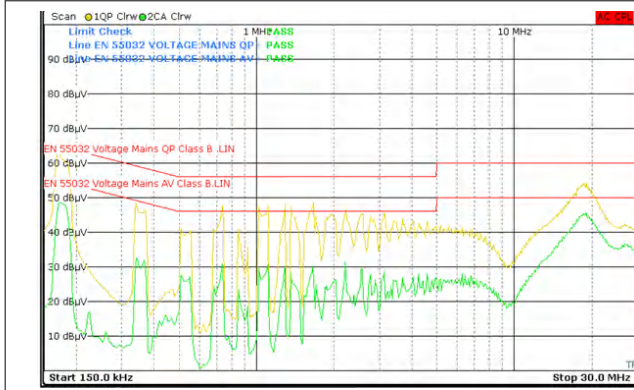


图 8-38. $V_{IN} = 115V_{RMS}$, $V_{OUT} = 20V$, Load = 3.25A (未接地输出至 LISN 地, 请参阅图 54 和 55)

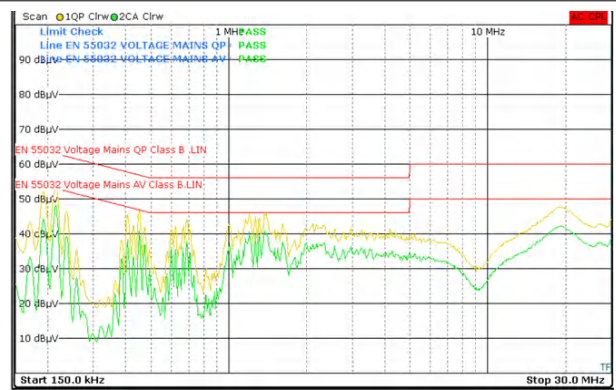


图 8-39. $V_{IN} = 230V_{RMS}$, $V_{OUT} = 20V$, Load = 3.25A (未接地输出至 LISN 地, 请参阅图 54 和 55)

备注

请注意, 这是在 EMI 工作站上评估的, 仅用于预认证目的。建议由具有资质的 EMI 测试机构来验证所有最终设计。

8.18 满载条件下的热图像 (20V 和 3.25A)

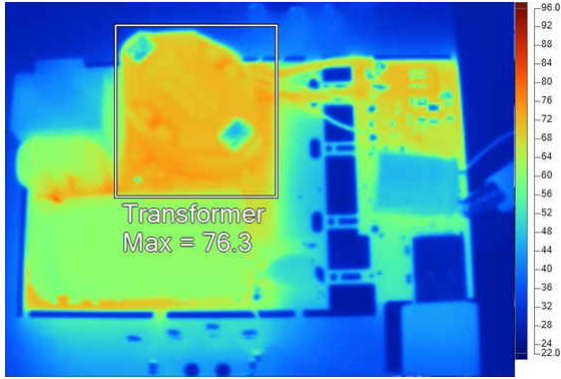


图 8-40. $V_{IN} = 90V_{AC}$, 顶面

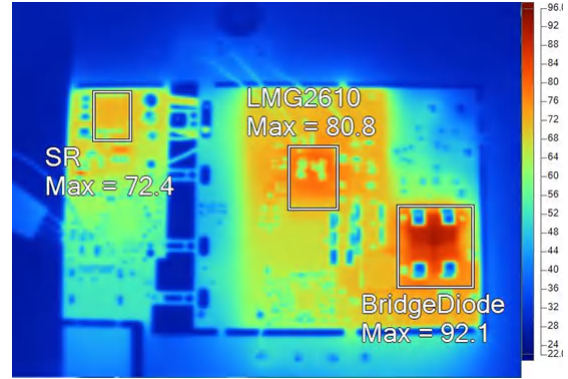


图 8-41. $V_{IN} = 90V_{AC}$, 底部

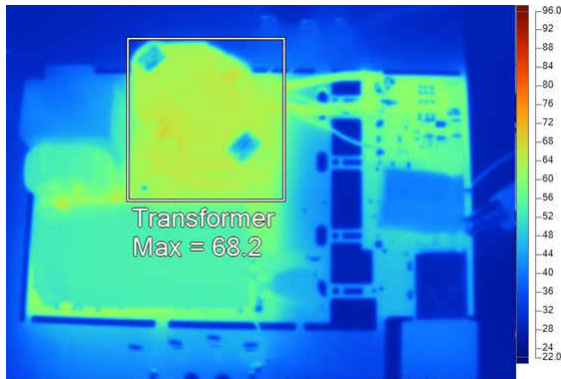


图 8-42. $V_{IN} = 115V_{AC}$, 顶面

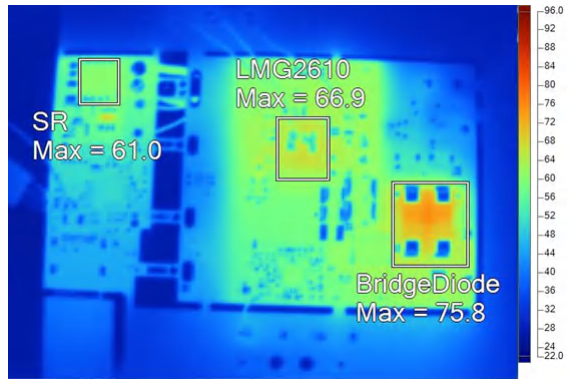


图 8-43. $V_{IN} = 115V_{AC}$, 底部

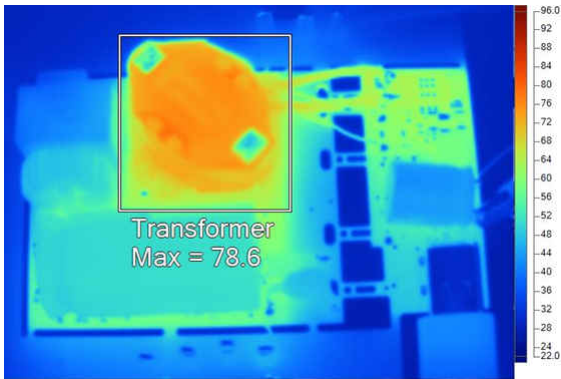


图 8-44. $V_{IN} = 230V_{AC}$, 顶面

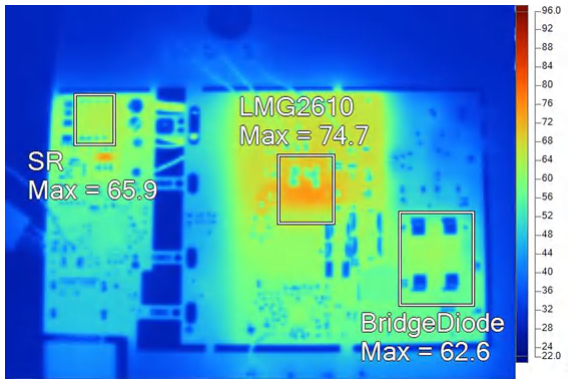


图 8-45. $V_{IN} = 230V_{AC}$, 底部

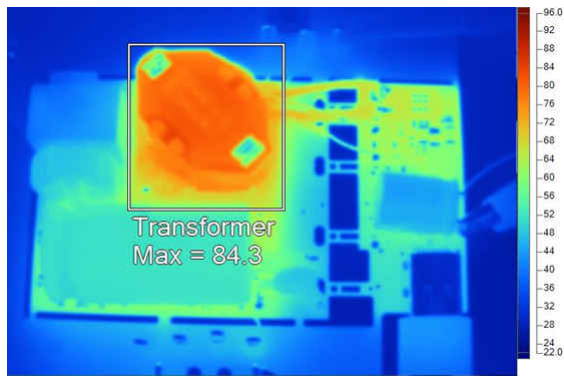


图 8-46. $V_{IN} = 265V_{AC}$, 顶面

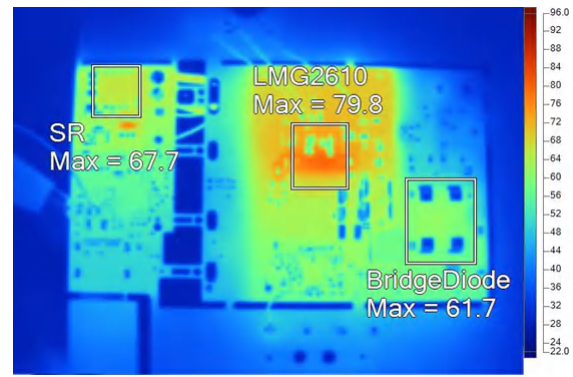


图 8-47. $V_{IN} = 265V_{AC}$, 底面

9 变压器详细信息

此设计中使用的 Renco Electronics 变压器 (器件型号 RLTI-1403) 采用 RM8 铁芯。

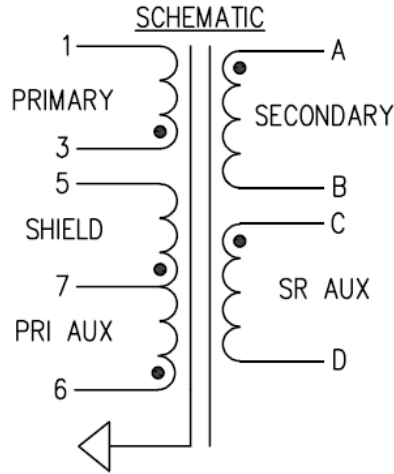


图 9-1. 变压器原理图

表 9-1. 25°C 时的变压器规格

参数	值	引脚/引线	测试条件
电感 (μH)	110, ±5%	1 - 3	所有其他引脚均为开路, 100kHz, 0.1V
漏电感 (μH)	2.5 (最大值)	1 - 3	短接 A - B, 100kHz, 0.1V
直流电阻 (Ω)	0.1, ±15%	1 - 3	
直流电阻 (Ω)	0.007 (最大值)	A - B	
直流电阻 (Ω)	0.02, ±15%	6 - 7	
直流电阻 (Ω)	0.12, ±15%	C - D	
电介质 (VAC, 60Hz)	3000	1, 6 - A	1mA, 60Hz, 1s
匝数比	1 : 0.2 : 0.2 : 0.32	(1-3):(A-B):(6-7):(C-D)	1.0V (10kHz 至 1 - 3)

10 EVM 装配图和布局

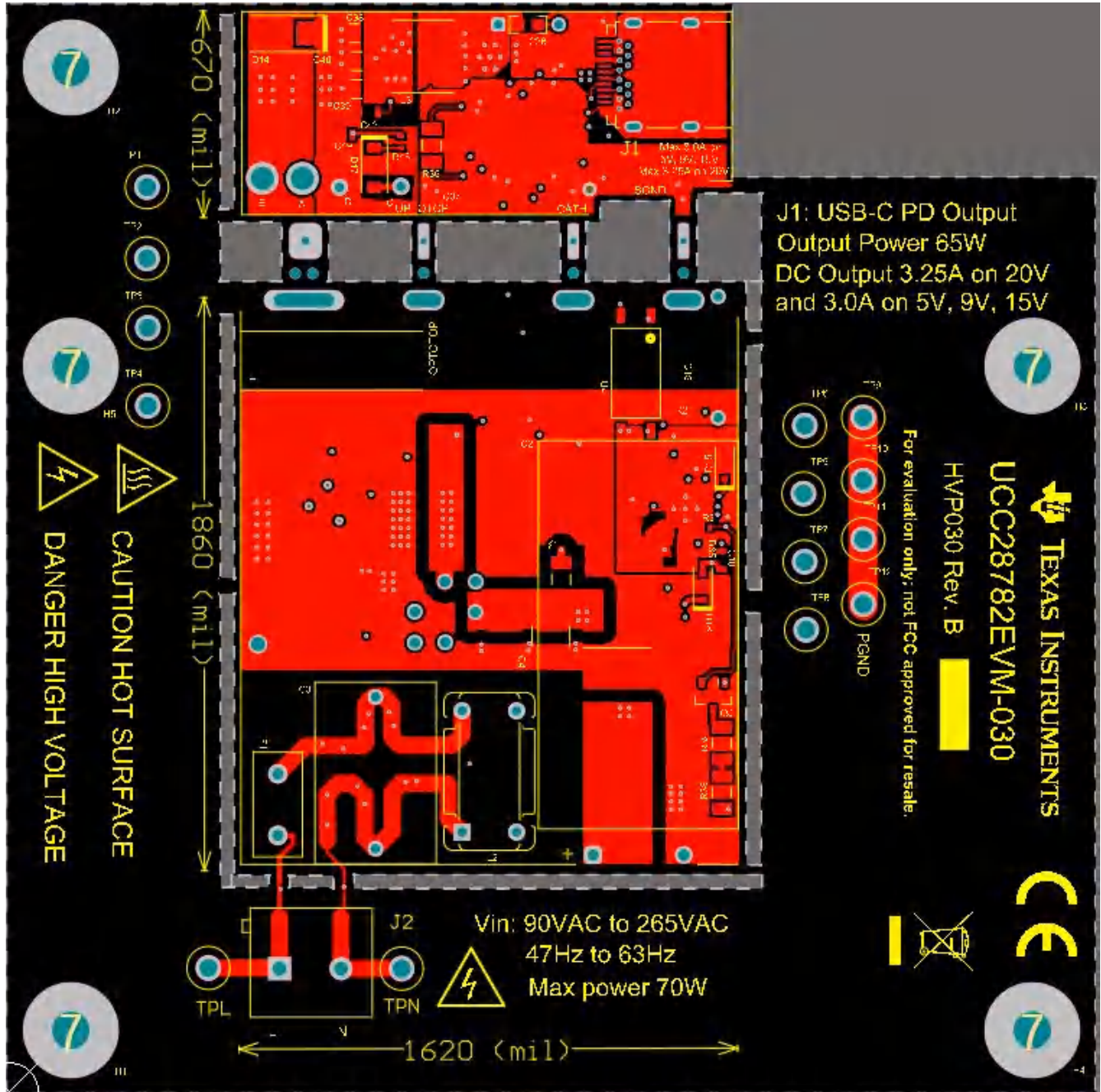


图 10-1. EVM 装配图 (顶视图)

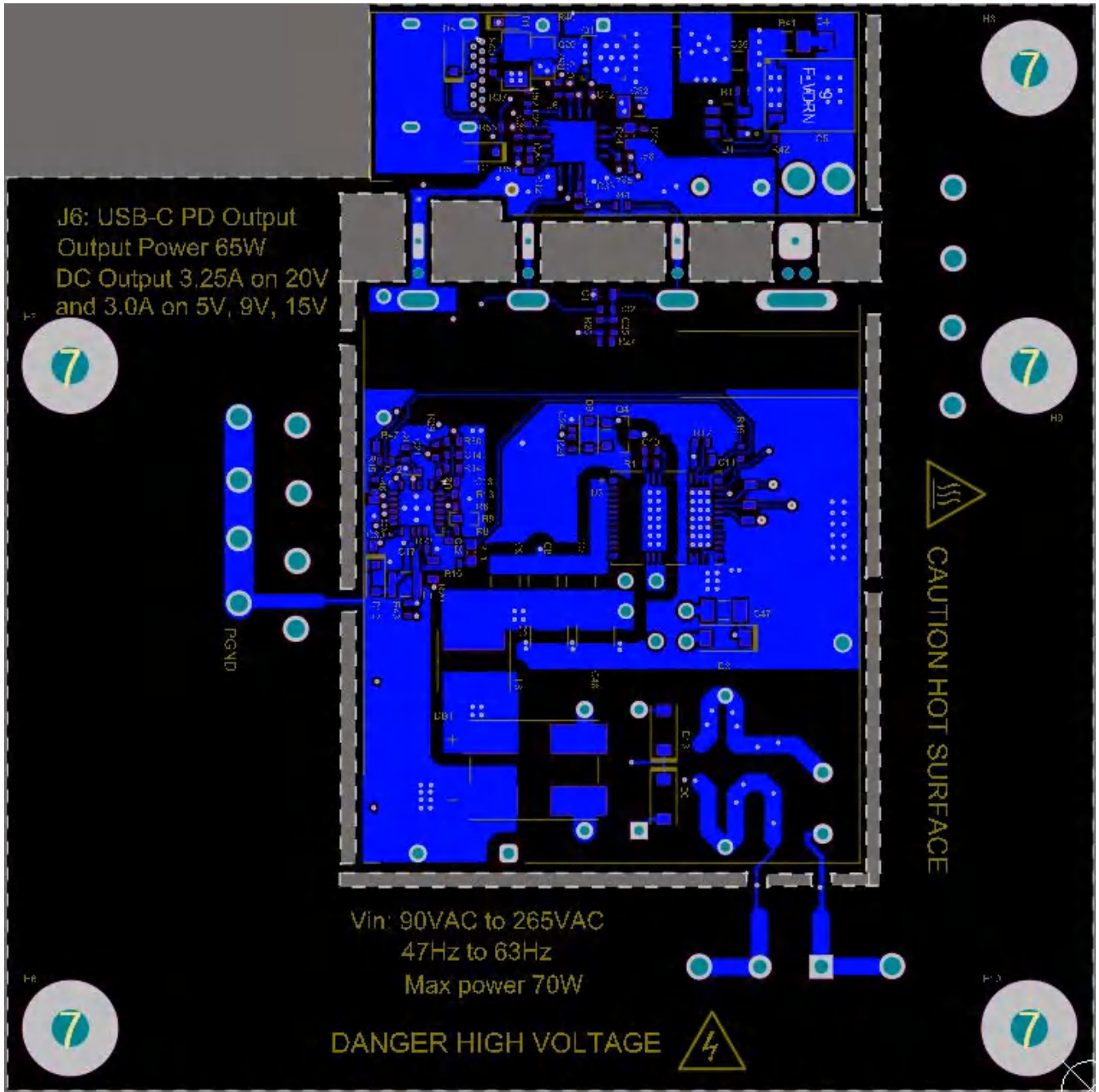


图 10-2. EVM 装配图 (底视图)

11 物料清单

UCC28782EVM-030 物料清单对应图 5-1 和图 5-2 中显示的原理图。

表 11-1. UCC28782EVM-030 物料清单

标识符	数量	器件型号	制造商	说明
C1、C11、C23、C43	4	C1608X7R1E105K080AB	TDK	电容, 陶瓷, 1 μ F, 25V, +/-10%, X7R, 0603
C2	1	400BXW100MEFR16X30	Rubycon	电容, 铝制, 100 μ F, 400V, +/-20%, TH
C3	1	890324024005	Würth Elektronik	电容, 薄膜, 0.47 μ F, 275V, +/-10%, TH
C4、C5、C48	3	1812Y5000474KXTWS2	Knowles Syfer	电容, 陶瓷, 0.47 μ F, 500V, +/-20%, X7R, 1812
C7、C8	2	C1210C334KARACAUTO	Kemet	电容, 陶瓷, 0.33 μ F, 250V, +/-10%, X7R, 1210
C10	1	GRM155R71H223KA12D	MuRata	电容, 陶瓷, 0.022 μ F, 50V, +/-10%, X7R, 0402
C12	1	GRM155R71C224KA12D	MuRata	电容, 陶瓷, 0.22 μ F, 16V, +/-10%, X7R, 0402
C13、C14	2	GRM155R71H331KA01D	MuRata	电容, 陶瓷, 330pF, 50V, +/-10%, X7R, 0402
C15	1	DE1E3RA222MN4AN01F	MuRata	电容, 陶瓷, 2200pF, 250V, +/-20%, E, 直径 9mm
C17、C18、C30	3	GRM188R6YA106MA73D	MuRata	电容, 陶瓷, 10 μ F, 35V, +/-10%, X5R, 0603
C20	1	GRM21BR6YA106KE43L	MuRata	电容, 陶瓷, 10 μ F, 35V, +/-10%, X5R, 0805
C21、C42、C46	3	GRM155R71H221KA01D	MuRata	电容, 陶瓷, 220pF, 50V, +/-10%, X7R, 0402
C24	1	GRM1555C1H220JA01D	MuRata	电容, 陶瓷, 22pF, 50V, +/-5%, C0G/NP0, 0402
C26	1	885012205061	Würth Elektronik	电容, 陶瓷, 1000pF, 50V, +/-10%, X7R, 0402
C28	1	GRM155R70J105MA12D	MuRata	电容, 陶瓷, 1 μ F, 6.3V, +/-20%, X7R, 0402
C29、C33、C45	3	GRM155R71E104KE14D	MuRata	电容, 陶瓷, 0.1 μ F, 25V, +/-10%, X7R, 0402
C32	1	C3216X5R1E336M160AC	TDK	电容, 陶瓷, 33 μ F, 25V, +/-20%, X5R, 1206
C34	1	DNP		DNP
C35、C38、C39、C47	4	C3216X5R1E476M160AC	TDK	电容, 陶瓷, 47 μ F, 25V, +/-20%, X5R, 1206
C36	1	CGA3E3X7R1H224K080A B	TDK	电容, 陶瓷, 0.22 μ F, 50V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0603
C37	1	687AVG025MGBJ	Illinois Capacitor	电容, 铝聚合物, 680 μ F, 25V, +/-20%, 0.29256 Ω , TH
C44	1	GCM188R71E105KA64D	Murata	电容, 陶瓷, 1 μ F, 25V, +/-10%, X7R, 0603
C49	1	UMK107AB7105KA-T	Taiyo Yuden	电容, 陶瓷, 1 μ F, 50V, +/-10%, X7R, 0603
D1	1	RB521SM-40T2R	Rohm	二极管, 肖特基, 40V, 0.2A, SOD-523
D3、D17	2	SS115LW RVG	Taiwan Semiconductor	二极管, 肖特基, 150V, 1A, SOD-123
D4、D5	2	PESD5V0L1BA, 115	NXP Semiconductor	TVS, 5V, 双向, SOD-323
D6、D13	2	ES1JFL	ON Semiconductor	二极管, 开关, 600V, 1A, SOD-123
D9	1	DF2B18FU, H3F	Toshiba	二极管, TVS, 双向, 16.2V, SOD-323
D12	1	CUS08F30, H3F	Toshiba	二极管, 肖特基, 30V, 0.8A, SOD-323
D14	1	SMAJ100CA	Littelfuse	二极管, TVS, 双向, 100V, SMA

表 11-1. UCC28782EVM-030 物料清单 (continued)

标识符	数量	器件型号	制造商	说明
D15	1	MM3Z20VST1G	On Semi	二极管, 齐纳二极管, 20V, 300mW, SOD-323
D16	1	CDSOD323-T24SC	Bourns Inc	二极管, TVS, 24V, 钳位 9A, SOD-323
DB1	1	Z4DGP410L-HF	Comchip Technology	二极管, P-N-桥, 1000V, 4A, Z4-D
F1	1	RST 3.15-BULK	Bel-Fuse	保险丝, 3.15A, 250VAC/VDC, TH
H1、H2、H3、 H4、H5	5	NSP-4-4-01	Essentra Components	机械螺钉盘 飞利浦 4-40
H6、H7、H8、 H9、H10	5	1902C	Keystone	六角螺柱, 0.5"L #4-40, 尼龙
J1	1	632723300011	Wurth Elektronik	连接器, 插口, USB Type C, R/A
J2	1	ED120/2DS	On-Shore Technology	端子块, 5.08mm, 2x1, 黄铜, TH
L1	1	BRC2518T220K	Taiyo Yuden	电感, 线绕, 22uH, 0.49A, 0.56 Ω , SMD
L2	1	744821201	Wurth Elektronik	耦合电感器, 1mH, 2A, 0.045 Ω , TH
L3	1	SRN6045TA-1R0Y	Bourns	电感器, 屏蔽, 铁氧体, 1 μ H, 8A, 0.012 Ω , AEC-Q200 1 级, SMD
L4	1	LBR2012T1R0M	Taiyo Yuden	电感器, 绕线, 陶瓷, 1 μ H, 0.09 Ω , SMD
L6	1	74404064220	Wurth	电感器, 屏蔽, 铁氧体, 22 μ H, 1.8A, 0.089 Ω , SMD
Q1	1	CSD17575Q3	德州仪器 (TI)	MOSFET, N 沟道, 30V, 60A, DQG0008A (VSON-CLIP-8)
Q3、Q4	2	BSS126H6327XTSA2	Infineon Technologies	MOSFET, N 沟道, 600V, 0.021A, AEC-Q101, SOT-23
Q5	1	BSC093N15NS5ATMA1	Infineon Technologies	MOSFET, N 沟道, 150V, 87A, PG-TDSON-8
R1	1	CRCW040230K9FKED	Vishay-Dale	电阻, 30.9k, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402
R5	1	CRCW12063M30JNEA	Vishay-Dale	电阻, 3.3M, 5%, 0.25W, AEC-Q200 0 级, 1206
R6、R10、 R35、R43、 R44、R45、R54	7	CRCW04020000Z0ED	Vishay-Dale	电阻, 0, 5%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402
R8	1	CRCW0402243KFKED	Vishay-Dale	电阻, 243k Ω , 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402
R9	1	CRCW0402162KFKED	Vishay-Dale	电阻, 162k, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402
R11、R12、R46	3	CRCW04020000Z0EDHP	Vishay-Dale	电阻, 0, 0%, 0.2W, AEC-Q200 0 级, 0402
R13	1	CRCW040237K4FKED	Vishay-Dale	电阻, 37.4k Ω , 1%, 0.063W, 0402
R14	1	RC0402FR-07182KL	Yageo America	电阻, 182k, 1%, 0.0625W, 0402
R19	1	CRCW0402383RFKED	Vishay-Dale	电阻, 383 Ω , 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402
R20	1	CRCW060356K2FKEA	Vishay-Dale	电阻, 56.2k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603
R23	1	ERA-2AEB1402X	Panasonic	电阻, 14k Ω , 1%, 0.063W, 0402
R24、R42	2	CRCW0402511RFKED	Vishay-Dale	电阻, 511, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402
R26	1	CRCW040230K1FKED	Vishay-Dale	电阻, 30.1k Ω , 1%, 0.063W, 0402
R30	1	CRCW040220K0FKED	Vishay-Dale	电阻, 20.0k, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402

表 11-1. UCC28782EVM-030 物料清单 (continued)

标识符	数量	器件型号	制造商	说明
R32	1	CRCW040234K0FKED	Vishay-Dale	电阻, 34.0k Ω , 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402
R34	1	RMCF0402FT1M00	Stackpole Electronics Inc	电阻, 1.00M Ω , 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402
R36	1	RC1206FR-071KL	Yageo America	电阻, 1.00k, 1%, 0.25W, 1206
R37	1	CSNL1206FT2L00	Stackpole Electronics Inc	电阻, 0.002, 1%, 1W, 1206
R38、R39	2	ERA-8AEB133V	Vishay-Dale	电阻, 13k, 5%, 0.25W, AEC-Q200 0 级, 1206
R40	1	CRCW060310M0JNEA	Vishay-Dale	电阻, 10M, 5%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603
R47	1	RT0603BRD07120RL	Yageo America	电阻, 120, 0.1%, 0.1W, 0603
R52	1	CRCW04025K11FKED	Vishay-Dale	电阻, 5.11k Ω , 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402
R53	1	CRCW040248K7FKED	Vishay-Dale	电阻, 48.7k Ω , 1%, 0.063W, 0402
R55、R57	2	CRCW040247R0JNED	Vishay-Dale	电阻, 47, 5%, 0.063W, 0402
R56	1	CRCW040210K0JNED	Vishay-Dale	电阻, 10k, 5%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402
RT1	1	CRCW060346K4FKEA	Vishay-Dale	电阻, 46.4k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603
RT2	1	NCP18WM224J03RB	MuRata	热敏电阻 NTC, 220k Ω , 5%, 0603
T1	1	RLTI-1403	Renco Electronics	ACF 反激式变压器
TP1、TP2、TP3、TP4、TP5、TP6、TP7、TP8、TPN	9	5012	Keystone	测试点, 通用, 白色, TH
TP9、TP10、TP11、TP12、TPL	5	5011	KeyStone Electronics, Keystone	测试点, 通用, 黑色, TH
U1	1	MP6908AGJ-P	Monolithic Power Systems	快速关断智能整流器
U2	1	UCC28782ADRTWR	德州仪器 (TI)	UCC28782ADRTW, RTW0024B (WQFN-24)
U3	1	LMG2610	德州仪器 (TI)	用于有源箝位反激转换器的集成 650V GaN 半桥
U4	1	TLP383(GR-TPL,E	Toshiba	光耦合器晶体管输出 5000Vrms 1 通道 6-SO
U6	1	WT6636F	Weltrend	USB PD/QC4/QC4+ 控制器

12 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 B (August 2020) to Revision C (October 2022)	Page
• 替换了 UCC28782EVM-030 电路板图像.....	3
• 更新了待机功耗.....	5
• 通篇更新了性能数据.....	11
• 更新了热图像.....	23
• 更新了变压器详细信息.....	25
• 更新了 EVM 装配图和布局.....	26
• 更新了物料清单.....	28

Changes from Revision A (June 2020) to Revision B (August 2020)	Page
• 添加了有关电路板使用直流输入电压的注意事项.....	9
• 更改了效率测试结果.....	11
• 更改了输出电压纹波波形.....	19
• 更新了 230VAC 时的 EMI 测试结果.....	22

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