

EVM User's Guide: UCC25661x

UCC25661x 半桥 LLC 评估模块



说明

UCC25661EVM-128 可协助设计人员评估 UCC25661x LLC 谐振控制器 (16 引脚 SOIC 封装, 移除了用于高压间隙的引脚) 的运行情况和性能。此评估模块演示了 UCC25661x 如何控制 LLC 谐振半桥直流/直流转换器, 以在负载和输入电压范围内实现高效率。

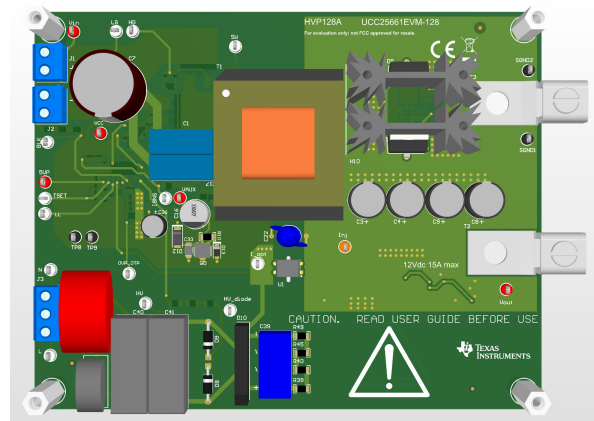
特性

- IPPC 控制 (输入功率比例控制) LLC 谐振半桥直流/直流电源转换
- 365VDC 至 410VDC 直流线路输入
- 85VDC 至 265VAC 的交流输入电压
- 稳压 12VDC 典型输出
- 满载功率为 180W, 或满载电流为 15A
- 高效率
- 增强的轻负载管理 :
 - 高频脉冲跳跃可提高轻负载效率
 - 低频突发可降低待机功耗
 - 可闻频率范围跳跃可降低可闻噪声
 - 用于禁用的用户选项
 - 集成 PFC 开/关控制信号
 - LF 突发软开启/软关闭可以降低可闻噪声

- 通过一个引脚组合谐振电流和谐振电容器电压检测
- 自适应死区时间
- X 电容器放电
- 自动电容区规避
- 具有超低浪涌电流的自适应软启动
- 全套保护 :
 - 逐周期电流限制, OCP1 保护
 - 可配置的过功率保护
 - OVP、内部和外部 OTP
 - Vin 和 VCC UVLO
 - 内置 19.5V VCC 钳位
- 提供测试点来简化器件和拓扑评估

应用

- 电视 SMPS 电源
- 工业交流/直流适配器
- 电动工具
- 医疗电源
- 多功能打印机
- 企业和影院投影仪
- PC 电源
- 游戏机电源
- 照明



UCC25661EVM-128 180W LLC 谐振直流/直流转换器 (顶视图)

1 评估模块概述

1.1 简介

EVM 旨在协助评估 UCC25661x LLC 谐振控制器。EVM 是一款独立的 LLC 谐振半桥直流/直流电源转换器，设计为在 365VDC 至 410VDC 的直流输入、85VRMS 至 265VRMS 的交流输入、47Hz 至 63Hz 以及 12VDC 的标称输出和高达 180W 功率下运行。该 EVM 在输出端使用二极管整流器提供。用户可以选择通过组装 UCC24624 和 SR FET 来使用同步整流器 (SR) 评估此转换器。

本用户指南旨在介绍 UCC25661EVM-128 评估模块 (EVM)。本用户指南从独立 LLC 谐振电源转换器的系统运行角度提供了基本评估说明。在为此电路板加电之前，请仔细阅读本用户指南。

1.2 套件内容

表 1-1. UCC25661EVM-128 套件内容

条目	说明	数量
UCC25661EVM-128	PCB	1

1.3 规格

表 1-2. UCC25661EVM-128 规格

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
输入特性					
DC 电压范围		365	390	410	VDC
AC 电压范围		85		265	VAC
交流电压频率		47		63	Hz
输入直流 UVLO 导通			365		VDC
输出特性					
V _{OUT}	输出电压 - 正常模式	满负载 = 15A 时的突发模式阈值		12	VDC
I _{OUT}	输出负载电流	365 到 410VDC		15	A
	输出电压纹波	390VDC 且满负载 = 15A		120	mVpp
系统特性					
	谐振频率		100		kHz
	工作温度	自然对流		25	°C

1.4 器件信息

UCC25661x 是一款具有集成高电压栅极驱动器的全功能 LLC 控制器。UCC25661x 的设计涵盖了各类应用，其中添加了特定的功能，使该器件易于设计，可满足宽输入和输出电压工作要求。此器件可与 PFC 控制器配对使用，以使用最少的外部元件提供完整的电源系统。由此实现的电源系统无需单独的待机功率转换器即可满足严格的待机功耗要求。

UCC25661x 实施了一种新的控制算法，可提供高效且一致的低功耗和突发模式。低功耗和突发模式运行旨在更大幅度地降低可闻噪声，同时满足 DoE VI 级 EuP 法规的要求。突发功率电平 and 迟滞是可编程的，并且与输入功率直接相关，从而简化了设计并实现了宽输入和输出电压操作。

UCC25661x 提供多种保护功能，包括逐周期保护、电容区运行规避、外部 OVP 和 OTP，用以增强 LLC 功率级的可靠性。

通用德州仪器 (TI) 高压评估 (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。如需了解更多信息，请联系 TI 的产品信息中心，网址为 <http://ti.com/customer support>。

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，应立即停止进一步使用 HV EVM。

1. 工作区安全：

- 保持工作区整洁有序。
- 每次电路通电时，都必须由具有资质的观察员在场监督。
- 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。
- 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。
- 使用稳定且不导电的工作台。
- 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一种好的工程做法。
- 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。
- 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。
- 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

- 穿戴个人防护装备（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，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 测试设置

2.1.1 测试设备

高压直流电压源：能够支持 365VDC 至 410VDC，可调节，最小额定功率为 500W，或额定电流不低于 1A，具有电流限制功能。要使用的直流电压源必须满足 IEC 60950 增强型绝缘要求。

交流电压源：能够提供单相输出交流电压 85VAC 至 265VAC，47Hz 至 63Hz，可调，最小额定功率为 100W，具有电流限制功能。要使用的交流电压源必须满足 IEC 60950 增强型绝缘要求。

直流数字万用表：一个单元可支持 0VDC 至 450VDC 的输入范围，首选四位显示；另一个单元可支持 0VDC 至 20VDC 的输入范围，首选四位显示。

输出负载：能够接收 0VDC 至 20VDC、0A 至 15A 以及 0W 至 300W 或更高功率的直流负载，能够显示负载电流和负载功率等信息。

示波器：能够实现 500MHz 全带宽（数字或模拟）：如果是数字，则为 5 Gsps 或更高。

风扇：建议使用 200LFM 至 400LFM 强制通风冷却，但不是必需的。

建议线规：能够提供 25A 或优于 14 AWG 的电流，电线总长度小于 8 英尺（4 英尺用于输入和 4 英尺用于返回）。

2.1.2 建议的测试设置

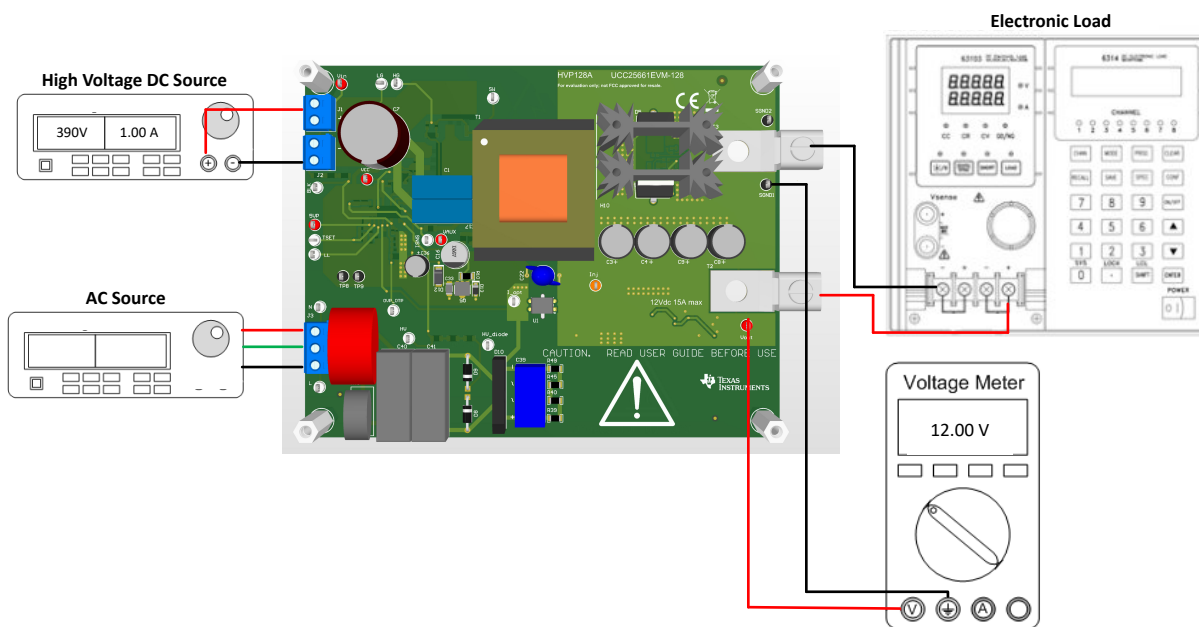


图 2-1. UCC25661EVM-128 测试设置图

警告

此评估模块 (EVM) 上存在可能导致人身伤害的高电压。在使用此 EVM 时，请确保已遵循所有安全程序。切勿让已通电的 EVM 无人看管。

2.2 将 EVM 与 UCC256612 配合使用

UCC25661EVM-128 配有 UCC256611。要将此 EVM 与 UCC256612 配合使用，请执行以下步骤。

- 将 U4 替换为 UCC256612
- 将测试点 “Vin” 连接到 “HV_diode”
- 断开交流电压源

2.3 将 EVM 与 UCC256613 配合使用

UCC25661EVM-128 配有 UCC256611。要将此 EVM 与 UCC256613 配合使用，请执行以下步骤。

- 将 U4 替换为 UCC256613
- 移除 R5 和 R28
- 在测试点“VCC”和 TP8 之间连接 12V 直流电源。
- 断开交流电压源

2.4 测试点

表 2-1 列出了 EVM 测试点。

表 2-1. 测试点

测试点	说明
Vin	输入电压正极端子
HG	初级侧高侧 MOSFET 栅极，Q1
VAUX	整流后的辅助绕组电压
SGND1	次级侧接地
SGND2	次级侧接地
SW	初级侧开关节点，或 Q1 与 Q3 的交点
VCC	控制器电源输入
LG	初级侧低侧 MOSFET 栅极，Q3
TP8	初级侧接地
TP9	初级侧接地
Vout	输出电压正极端子
Inj	小信号注入端子
I_opt	反馈电流测量
HV	高电压启动引脚
HV_diode	高电压启动引脚
5VP	稳压 5V 偏置
BLK	输入电压检测
L	交流线路
N	交流中性
LL	轻负载突发模式阈值
ISNS	谐振电流检测
OVP_OTP	偏置绕组电压检测/外部过热保护
TSET	导通时间最小和最大编程/PFC 开/关逻辑

2.5 端子

表 2-2 列出了 EVM 端子。

表 2-2. 终端列表

端子	名称	说明
J1	VIN	输入电压正极端子
J2	PGND	输入电压返回端子
J3	交流输入	3 引脚、交流电源输入、85V 至 265V _{RMS}
T2	VOUT	输出电压正极端子
T3	SGND	输出电压接地端子

2.6 测试程序

请按照以下步骤操作来执行测试程序：

1. 有关基本设置，请参阅节 2.1.2。节 2.1.1 列出了这种测量需要用到的设备。
2. 在进行电气连接之前，目视检查电路板，确保没有可疑的损坏点。
3. 使高压直流电压源输出保持关闭状态。将此直流电源连接到 J1 (+) 和 J2 (-)。该直流电压源必须隔离，并满足 IEC 60950 要求。将直流输出电压设置为表 1-2 中指定的范围，介于 365VDC 和 410VDC 之间；将直流电源电流限制设置为 1A。

小心

电路板未安装保险丝，依靠外部电压源电流限制来验证电路保护。

4. 使交流电压源输出保持关闭状态。将电源的 AC_neutral 连接到 J3-1，将 AC_earth 连接到 J3-2，将 AC_line 连接到 J3-3。隔离交流电压源并满足 IEC 60950 要求。将交流输出电压和频率设置在表 1-2 中指定的范围内，介于 85VAC 到 265VAC 和 47Hz 到 63Hz 之间。将交流电源电流限制设置为 200mA。
5. 连接设置为恒流模式或恒阻模式的电子负载。负载范围为 0A 至 15A。
6. 如果负载没有电流或功率显示，TI 建议在输出电压和电子负载之间插入一个电流表。
7. 将电压表连接到 Vout 和 SGND1/SGND2，以监控输出电压。
8. 开启交流电源输出。
9. 开启直流电源输出。

2.6.1 设备停机

按以下步骤关闭设备：

1. 关断交流电压源。
2. 关断直流电压源。
3. 关断电子负载。

警告

关断直流电源后，谐振电容器上仍然存在高电压。

3 实现结果

3.1 性能数据和典型特性曲线

3.1.1 UCC25661EVM-128 独立待机功耗和轻负载功耗

表 3-1 列出了独立 EVM 的总待机和轻负载功耗测量值。平均输入功率是在 6 分钟间隔内测量的。

表 3-1. 独立待机功耗

I_{OUT} (mA)	V_{OUT} (V)	P_{OUT} (mW)	V_{IN} (V)	P_{IN} (mW)
0	12	0	390	50

3.1.2 效率、负载调节、开关频率与输出电流间的关系

表 3-2 给出了各种输入电压和不同负载电流下的效率、负载调节和开关频率数据。

表 3-2. 性能数据

V_{IN} (V)	I_{IN} (mA)	P_{IN} (W)	V_{OUT} (V)	I_{OUT} (A)	工作频率 (kHz)	运行频率	效率 (%)
390	507.2	197.808	12.023	15	97.56	正常	91.17174
390	438.3	170.937	12.024	13	98.43	正常	91.44422
390	379.2	147.888	12.025	11.25	99.26	正常	91.47547
390	370.8	144.612	12.027	11	99.38	正常	91.48411
390	303.7	118.443	12.027	9	100.52	正常	91.38826
390	253.7	98.943	12.028	7.5	101.54	正常	91.17371
390	237	92.43	12.028	7	101.86	正常	91.09164
390	170.01	66.3039	12.028	5	103.35	正常	90.70356
365	543.4	198.341	12.023	15	85.78	正常	90.92674
365	470	171.55	12.025	13	86.5	正常	91.12504
365	406.5	148.3725	12.026	11.25	87.13	正常	91.18435
365	397.4	145.051	12.027	11	87.24	正常	91.20723
365	325.6	118.844	12.028	9	87.99	正常	91.08748
365	272.4	99.426	12.028	7.5	88.6	正常	90.73079
365	254.6	92.929	12.028	7	88.83	正常	90.6025
365	184.75	67.43375	12.028	5	89.7	正常	89.18383
410	480.8	197.128	12.026	15	108.81	正常	91.50907
410	416	170.56	12.027	13	110.24	正常	91.66921
410	359.8	147.518	12.028	11.25	111.74	正常	91.72779
410	351.8	144.238	12.029	11	111.97	正常	91.73657
410	287.9	118.039	12.029	9	113.99	正常	91.7163
410	240.3	98.523	12.029	7.5	115.82	正常	91.56999
410	224.6	92.086	12.029	7	116.53	正常	91.43952
410	161.54	66.2314	12.029	5	119.72	正常	90.8104

3.1.3 启动

以下波形展示了输出电压、谐振电流检测电阻电压和启动期间的低侧栅极行为。最初在交流输入端施加 115V/60Hz 交流输入，然后在直流输入端施加 390V 直流输入。

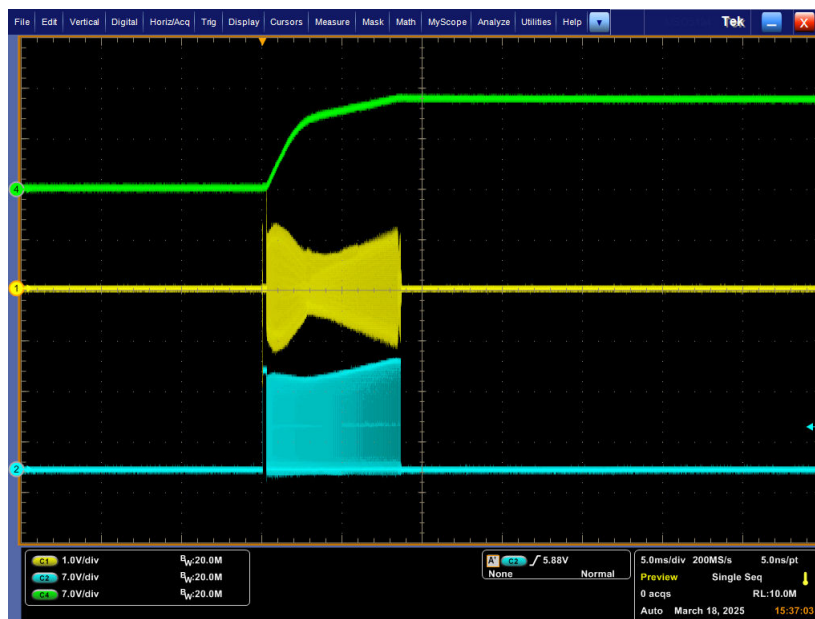


图 3-1. 无负载 (0A) 启动 (Ch1 = ISNS ; Ch2 = LO ; Ch4 = V_{OUT})

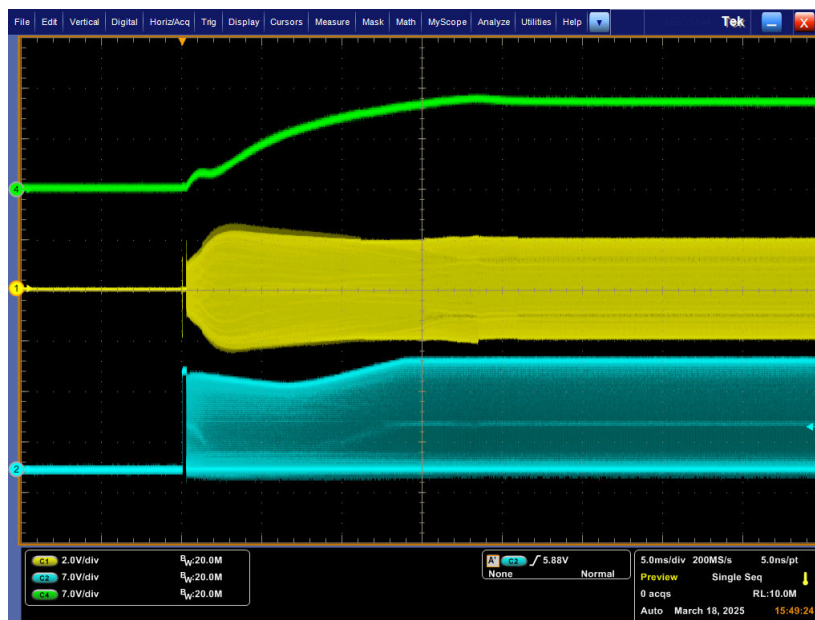


图 3-2. 满载 (15A) 启动 (Ch1 = ISNS ; Ch2 = LO ; Ch4 = V_{OUT})

3.1.4 在软启动期间增强了 ZCS 规避功能

以下波形展示了谐振电流检测电阻电压、启动期间的开关节点电压。最初在交流输入端施加 115V/60Hz 交流输入，然后在直流输入端施加 390V 直流输入。

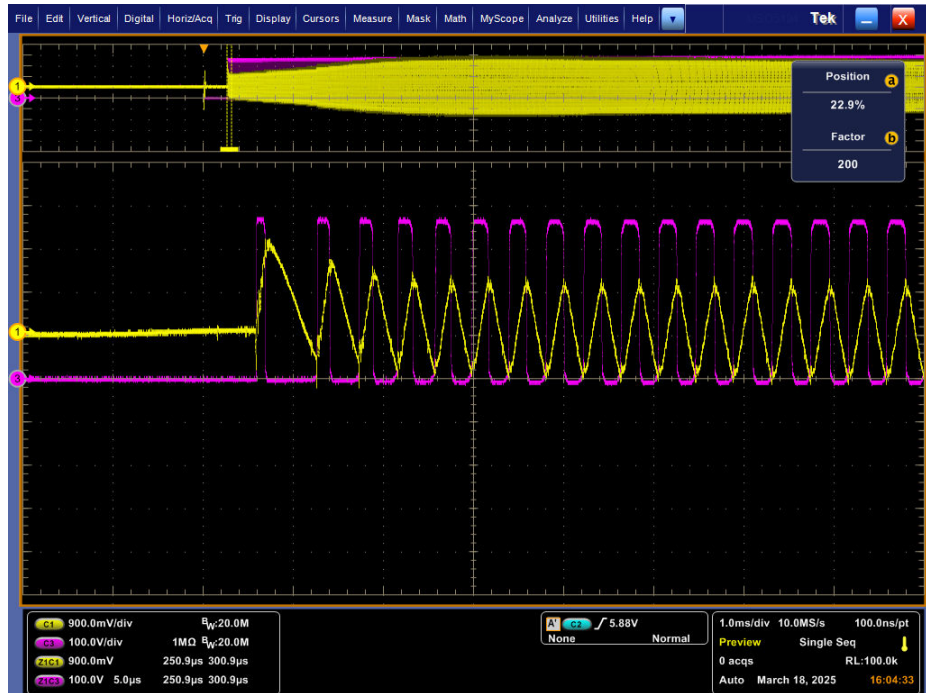


图 3-3. 满载 (15A) 启动 (Ch1 = ISNS ; Ch3 = SW)

3.1.5 热像图

以下各图展示了在满载条件下浸泡 20 分钟、无强制通风且在直流输入端施加 390V 直流输入后的 EVM 温度。



图 3-4. 热像图顶部

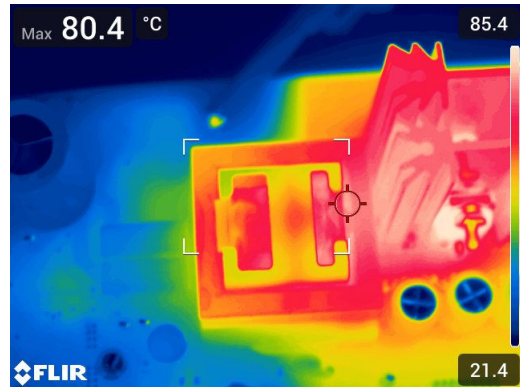


图 3-5. 热像图顶部

表 3-3. 元件温度

元件	温度 (°C)
T1	80.4
D2	90

3.1.6 输出电压纹波

以下波形展示了在交流输入端施加 115V/60Hz 交流输入以及在直流输入端施加 390V 直流输入时的输出电压纹波。示波器探头采用交流耦合方式。

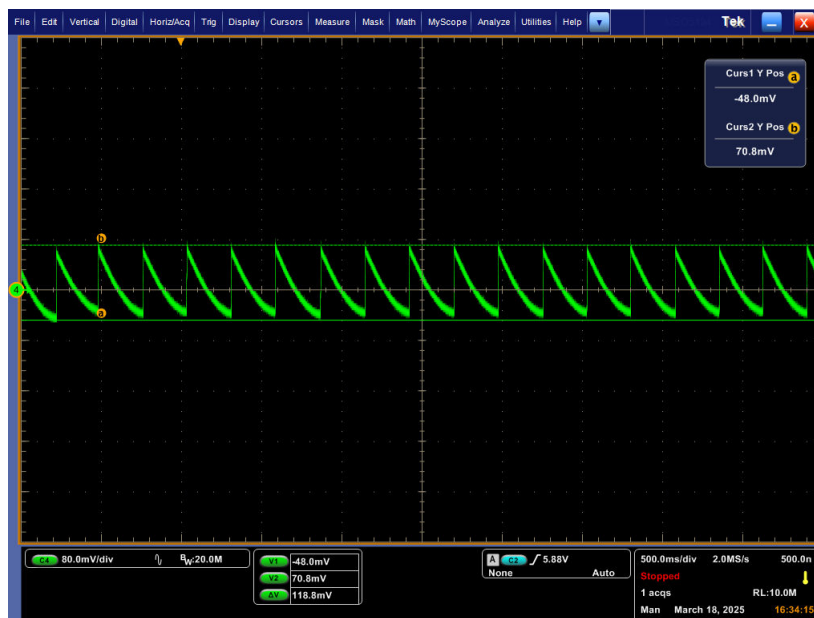


图 3-6. 无负载 (0A) 输出纹波 (Ch4 = V_{OUT})

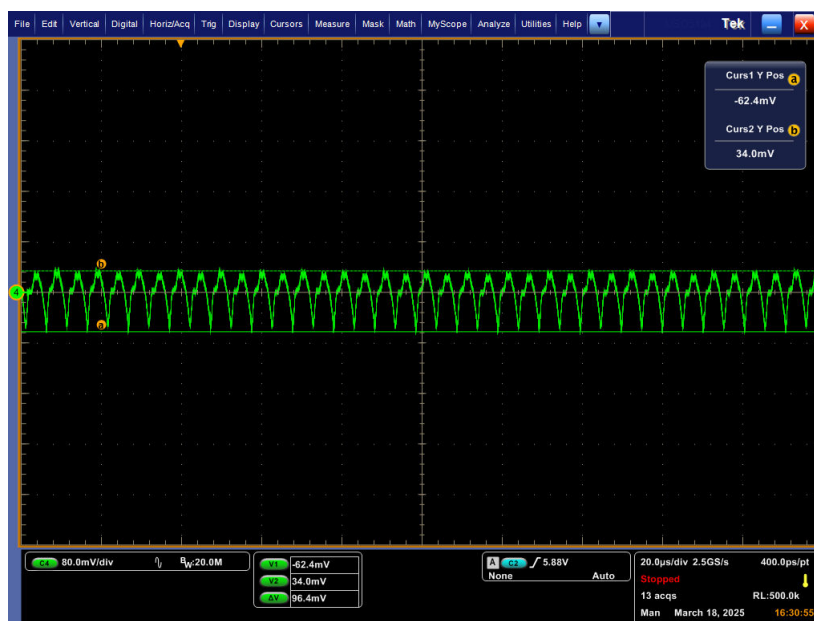


图 3-7. 满载 (15A) 输出纹波 (Ch4 = V_{OUT})

3.1.7 负载瞬态响应

以下波形展示了在交流输入端施加 115V/60Hz 交流输入以及在直流输入端施加 390V 直流输入时的输出电压。



图 3-8. 10mA 至 15A 瞬态，压摆率为 1A/us (Ch4 = V_{OUT} 交流耦合；通道 1 = I_{OUT})

3.1.8 环路响应

下图显示了在满负载条件下对交流输入施加 115V 交流、60Hz 以及对直流输入施加 390V 直流输入的环路响应。

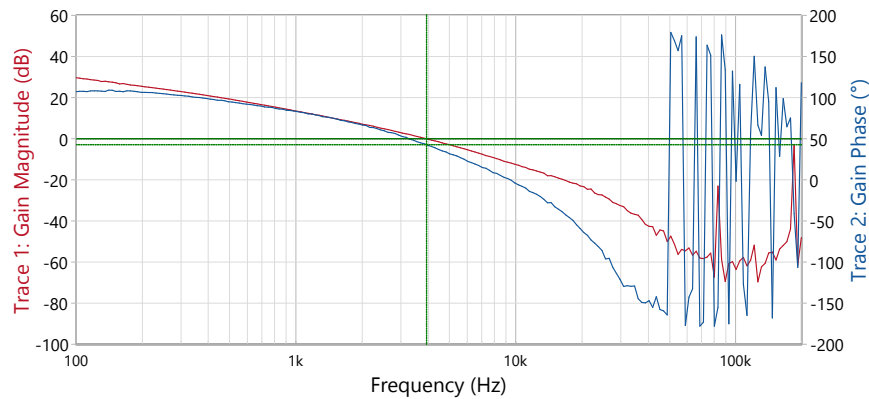


图 3-9. 15A 负载时的波特图

3.1.9 稳态

以下波形展示了 $10k\Omega$ 两端的电压 (I_{OPT})、谐振电流检测电阻两端的电压 (I_{SNS})、开关节点电压 (SW) 和输出电压 (V_{out})，在交流输入端施加 115V/60Hz，在直流输入端施加 390VDC。图 3-10、图 3-11 和图 3-12 分别展示了正常开关模式和高频突发模式以及低频突发模式期间的波形。

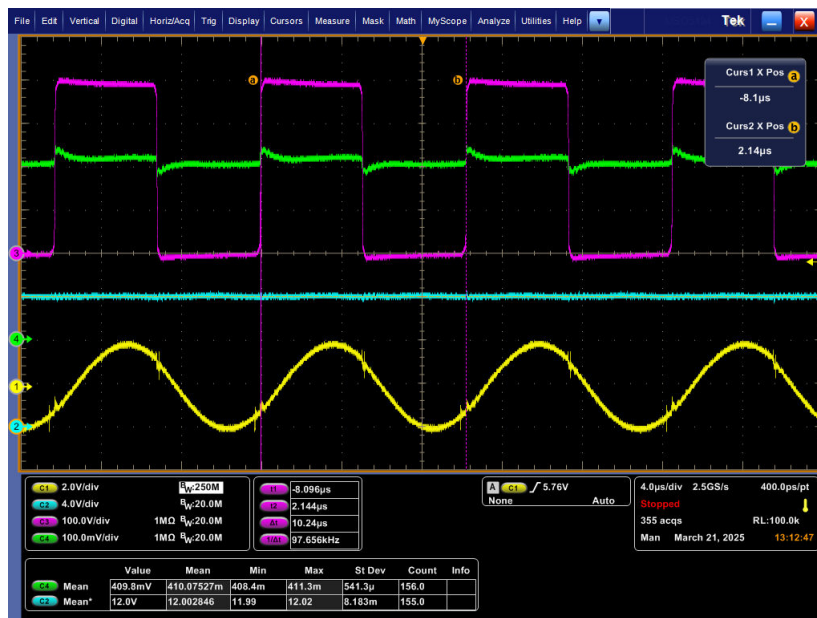


图 3-10. 15A 负载时的稳态波形 (Ch1= ISNS ; Ch2 = Vout ; Ch3 = SW ; Ch4 = I_OPT)

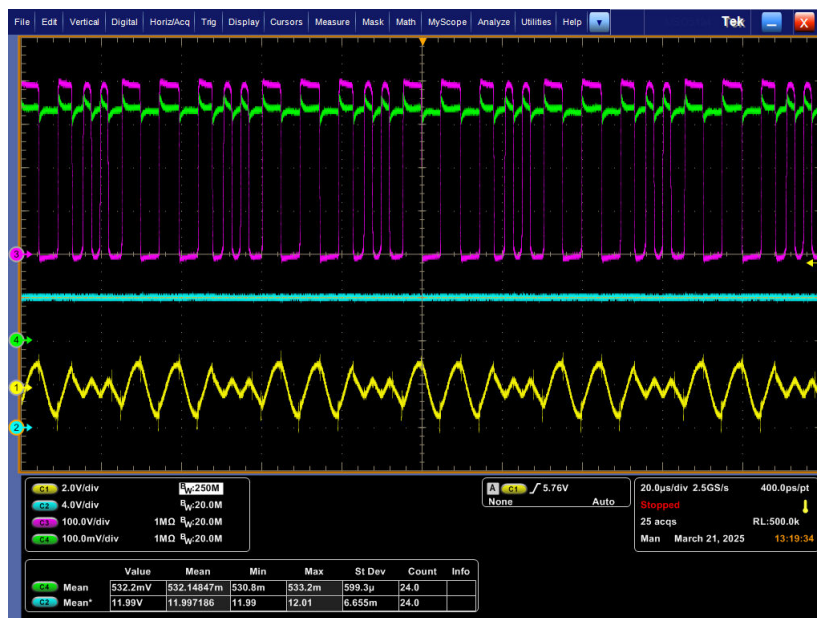


图 3-11. 3.5A 负载时的稳态波形 (Ch1= ISNS ; Ch2 = Vout ; Ch3 = SW ; Ch4 = I_OPT)



图 3-12. 0A 时的稳态波形 (Ch1= ISNS ; Ch2 = Vout ; Ch3 = SW ; Ch4 = I_OPT)

3.1.10 X 电容器放电

下面的波形展示了断开 265VAC 交流输入后 X 电容器的放电情况。在直流输入端施加 390V 直流输入。

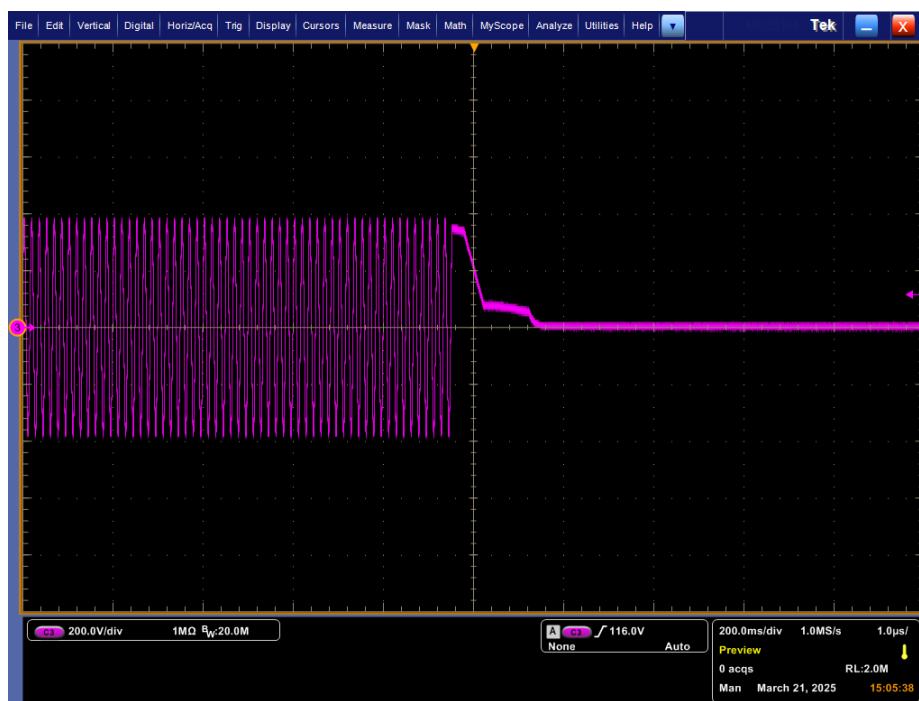


图 3-13. X 电容器放电 (Ch1 = X 电容器、C40 和 C41 两端的电压)

4 硬件设计文件

以下部分包括 UCC25661EVM-128 的硬件设计文件。本节包含板级原理图、PCB 布局和物料清单 (BOM)。

4.1 原理图

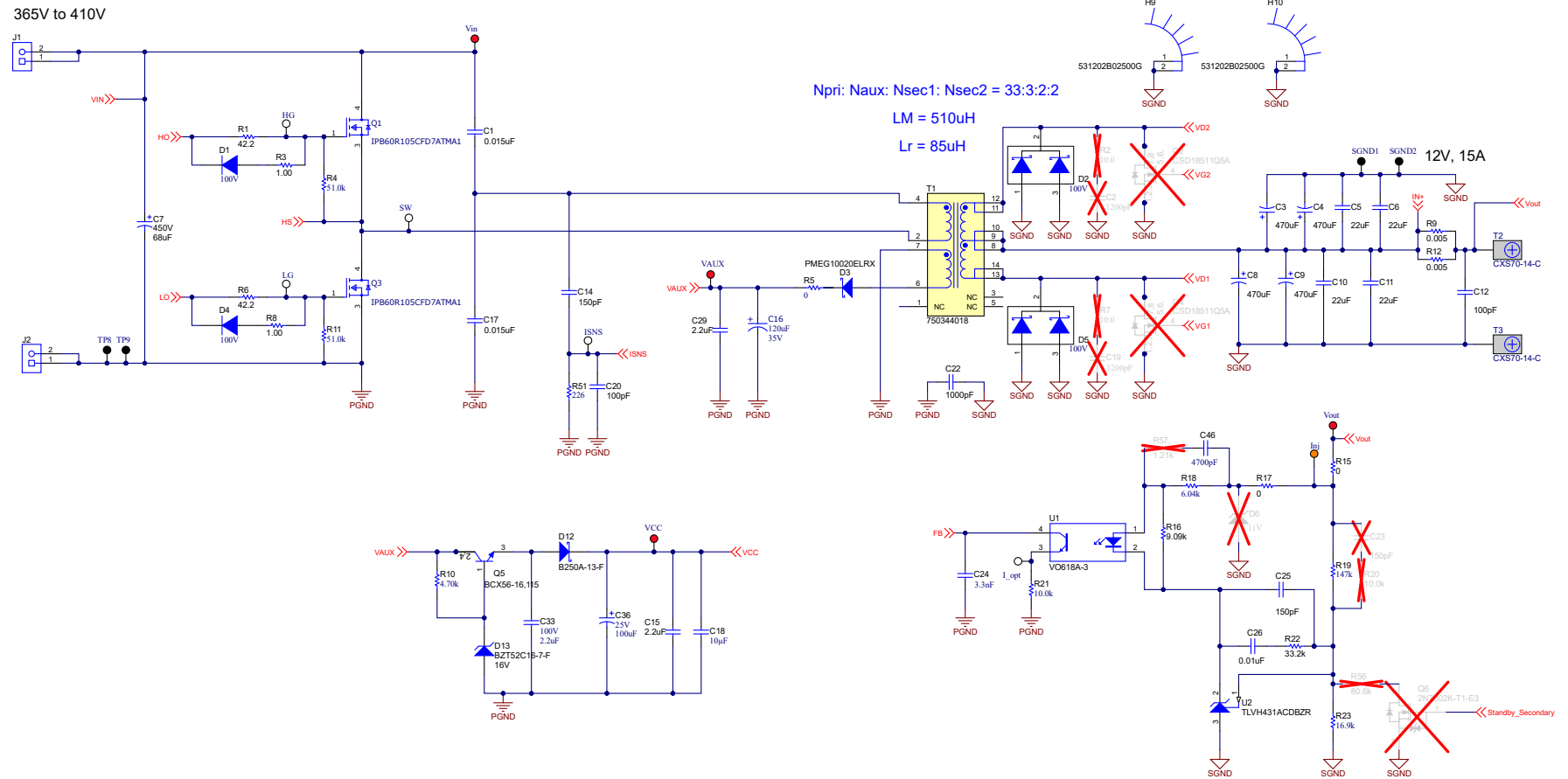


图 4-1. UCC25661EVM-128 功率级原理图



4.2 PCB 布局

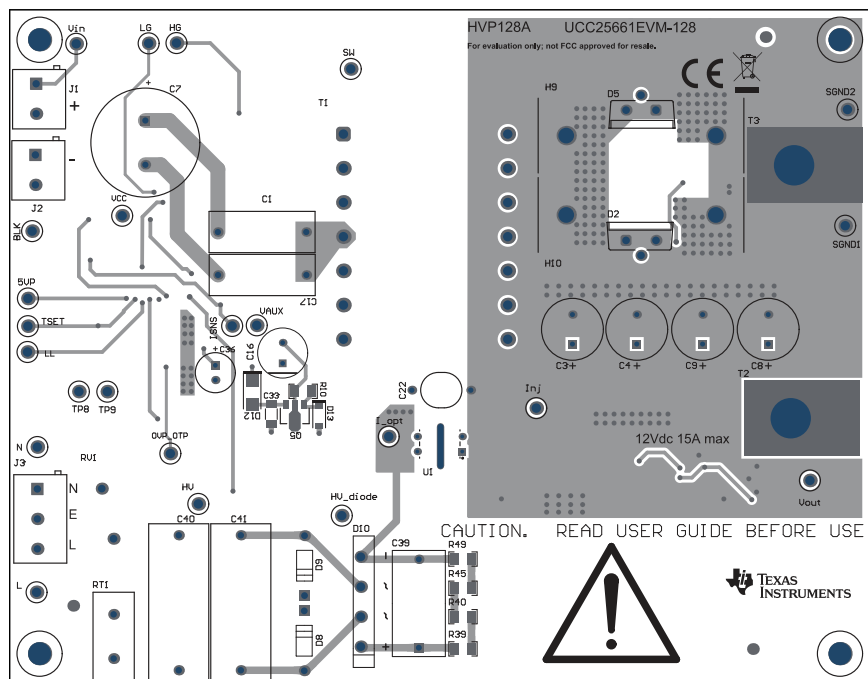


图 4-3. UCC25661EVM-128 (顶视图)

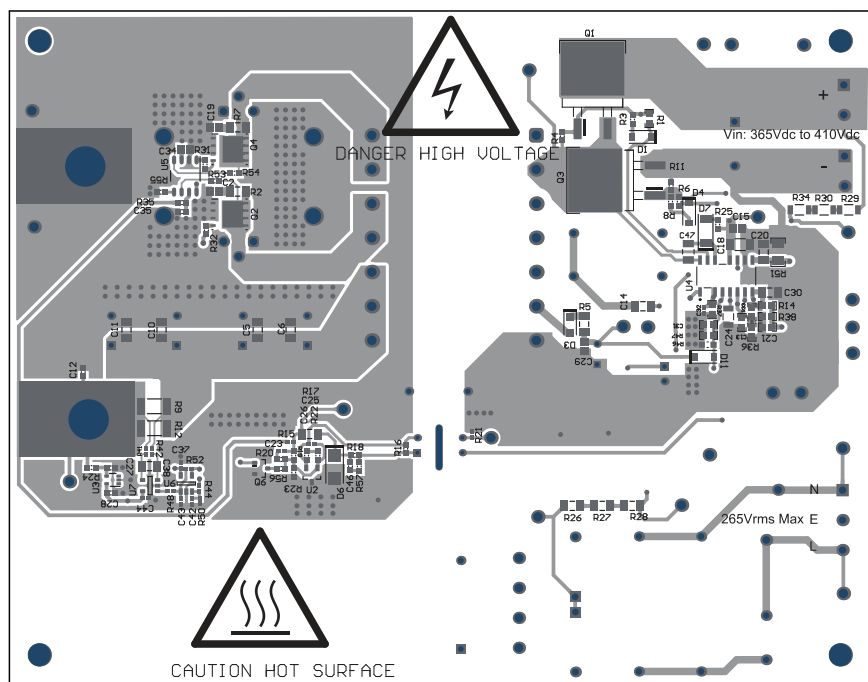


图 4-4. UCC25661EVM-128 (底视图)

4.3 物料清单

表 4-1. 物料清单

位号	数量	说明	器件型号
!PCB1	1	印刷电路板	印刷电路板
5VP、VAUX、VCC、Vin、Vout	5	测试点, 通用, 红色, TH	5010
BLK、HG、HV、HV_diode、I_opt、ISNS、L、LG、LL、N、OVP_OTP、SW、TSET	13	测试点, 通用, 白色, TH	5012
C1、C17	2	电容, 薄膜, 0.015uF, 1250V, +/-5%, AEC-Q200 3 级, TH	B32652A7153J000
C3、C4、C8、C9	4	电容, 铝制, 470μF, 35V, +/-20%, 0.03 Ω, TH	UHW1V471MPD
C5、C6、C10、C11	4	电容, 陶瓷, 22 μF, 25V, +/-20%, X5R, 1206_190	C3216X5R1E226M160AB
C7	1	电容, 铝制, 68uF, 450V, +/-20%, TH	EKXG451ELL680MMN3S
C12	1	电容, 陶瓷, 100pF, 50V, +/-1%, C0G/NP0, 0603	06035A101FAT2A
C13	1	电容, 陶瓷, 330pF, 50V, +/-1%, C0G/NP0, 0603	C1608C0G1H331F080AA
C14	1	电容, 陶瓷, 150pF, 630V, +/-5%, C0G/NP0, 1206	GRM31A5C2J151JW01D
C15、C29	2	电容, 陶瓷, 2.2μF, 35V, +/-10%, X7R, 0805	C2012X7R1V225K085AC
C16	1	120μF 35V 铝 - 聚合物电容径向, Can 30mOhm 5000 小时, 105°C	RPA0808121M035K
C18	1	电容, 陶瓷, 10μF, 25V, +/-5%, X7R, AEC-Q200 1 级, 1206	C1206C106J3RACAUTO
C20	1	电容, 陶瓷, 100pF, 100V, +/-5%, C0G/NP0, 1206	12061A101JAT2A
C21	1	电容, 陶瓷, 220pF, 50V, +/-10%, X7R, 0603	C0603X221K5RACTU
C22	1	电容, 陶瓷, 1000pF, V, +/-20%, E, D7xT6mm	CD45-E2GA102M-NKA
C24	1	电容, 陶瓷, 3300pF, 50V, +/-5%, C0G/NP0, 1206	GRM3195C1H332JA01D
C25	1	电容, 陶瓷, 150pF, 50V, +/-5%, C0G/NP0, 0402	885012005062
C26	1	电容、陶瓷、0.01μF、100V、+/- 5%、X7R、0603	06031C103JAT2A
C30	1	电容, 陶瓷, 4.7uF, 25V, +/-10%, X7R, 1206	C3216X7R1E475K085AB
C31	1	电容, 陶瓷, 2200pF, 50V, +/-10%, X7R, 0603	C0603X222K5RACTU
C32	1	电容、陶瓷、0.01μF、50V、+/- 5%、X7R、0402	C0402C103J5RACTU
C33	1	电容, 陶瓷, 2.2μF, 100V, +/-10%, X7S, 1206	C3216X7S2A225K160AB
C36	1	电容, 铝制, 100uF, 25V, +/-20%, TH	ECA-1EHG101
C39	1	电容, 薄膜, 0.47μF, 630V, +/-10%, TH	B32922C3474K
C40、C41	2	电容, 薄膜, 1μF, X2 275VAC, +/-20%, TH	R46KN410000P0M
C46	1	电容, 陶瓷, 4700pF, 100V, +/-5%, C0G/NP0, 0603	C0603C472J1GAC7867
C47	1	1μF ±10% 25 V 陶瓷电容器 X7R 1206 (公制 3216)	C1206R105K3RACTU
D1、D4	2	二极管, 超快速, 100V, 0.15A, SOD-123	1N4148W-7-F
D2、D5	2	二极管, 肖特基, 100V, 20A, AEC-Q101, TH	STPS41H100CTY
D3	1	二极管, 肖特基, 100V, 2A, AEC-Q101, SOD-123W	PMEG10020ELRX
D7	1	二极管, 超快速, 600V, 1A, AEC-Q101, SMAF	ES1JAF
D8、D9	2	二极管, P-N, 1000V, 1A, TH	1N4007-E3/73
D10	1	二极管, 开关电桥, 420V, 8A, TH	GBU8J-BP
D11	1	二极管, 齐纳, 23V, 500mW, SOD-123	DDZ23-7
D12	1	二极管, 肖特基, 50V, 2A, SMA	B250A-13-F
D13	1	二极管, 齐纳, 16V, 500mW, AEC-Q101, SOD-123	BZT52C16-7-F
H1、H2、H3、H4	4		4824

表 4-1. 物料清单 (续)

位号	数量	说明	器件型号
H5、H6、H7、H8	4		1903C
H9、H10	2		531202B02500G
H13、H14	2		4708
Inj	1	测试点, 通用, 橙色, TH	5013
J1、J2	2	端子块, 5.08mm, 2x1, 黄铜, TH	ED120/2DS
J3	1	端子块, 5.08mm, 3x1, 黄铜, TH	ED120/3DS
MP1、MP2	2	M3 盘头机螺钉十字槽不锈钢	RM3X8MM-2701
MP3、MP4	2	TO-220 散热器安装套件	4880SG
Q1、Q3	2	功率晶体管 MOSFET N 沟道增强型 600V 21A 3 引脚 D2PAK T/R	IPB60R105CFD7ATMA1
Q5	1	晶体管, NPN, 80V, 1A, AEC-Q101, SOT-89	BCX56-16,115
R1	1	电阻, 42.2, 1%, 0.1W, 0603	RC0603FR-0742R2L
R3、R8	2	电阻, 1.00, 1%, 0.1W, 0603	RC0603FR-071RL
R4、R11	2	电阻, 51.0k, 1%, 0.1W, 0603	RC0603FR-0751KL
R5	1	电阻, 0, 5%, 0.25W, AEC-Q200 0 级, 1206	ERJ-8GEY0R00V
R6	1	电阻, 42.2, 1%, 0.1W, 0603	RC0603FR-0742R2L
R9、R12	2	电阻, 0.005, 1%, 1.5W, 2010	CSNL2010FT5L00
R10	1	电阻, 4.70k, 1%, 0.25W, 1206	RC1206FR-074K7L
R14	1	电阻, 576k, 0.1%, 0.1W, 0603	RT0603BRD07576KL
R15	1	电阻, 0, 5%, 0.063W, 0402	RC0402JR-070RL
R16	1	电阻, 9.09k, 1%, 0.1W, 0603	RC0603FR-079K09L
R17	1	电阻器, 0, 0.75W, AEC-Q200 0 级, 1206	CRCW12060000Z0EAHP
R18	1	电阻, 6.04k, 0.1%, 0.1W, 0603	RT0603BRD076K04L
R19	1	电阻, 147k, 1%, 0.1W, 0603	RC0603FR-07147KL
R21	1	电阻, 10.0k, 1%, 0.1W, 0402	ERJ-2RKF1002X
R22	1	电阻, 33.2k, 1%, 0.1W, 0603	RC0603FR-0733K2L
R23	1	电阻, 16.9k, 1%, 0.1W, 0603	RC0603FR-0716K9L
R25	1	电阻, 2.20, 1%, 0.1W, 0603	ERJ-3RQF2R2V
R26、R27、R28	3	电阻, 1.65k, 1%, 0.25W, AEC-Q200 0 级, 1206	CRCW12061K65FKEA
R29、R30、R34	3	3.3mΩ ±1% 0.25W, 1/4W 片上电阻 1206 (3216 公制), 汽车 AEC-Q200, 高电压厚膜	KTR18EZPF3304
R33	1	电阻, 536k, 0.1%, 0.1W, 0603	RT0603BRD07536KL
R36	1	电阻, 169k, 0.1%, 0.1W, 0603	RT0603BRD07169KL
R37	1	电阻, 35.7kΩ, 0.1%, 0.1W, 0603	RT0603BRD0735K7L
R38	1	电阻, 100k, 0.1%, 0.1W, 0603	RT0603BRD07100KL
R39、R40、R45、R49	4	电阻, 10M, 5%, 0.25W, AEC-Q200 0 级, 1206	CRCW120610M0JNEA
R46	1	NTC 热敏电阻 470k 0603 (公制 1608)	B57371V2474J060
R47	1	电阻, 15.0kΩ, 0.1%, 0.1W, 0603	RG1608P-153-B-T5
R51	1	电阻, 226, 1%, 0.25W, 1206	RC1206FR-07226RL
RT1	1	热敏电阻 NTC, 4.70 欧姆, 20%, 15x7mm	B57237S0479M000
RV1	1	压敏电阻 1200V 10KA 圆盘 20MM	TMOV20RP750E
SGND1、SGND2、TP8、TP9	4	测试点, 通用, 黑色, TH	5011
T1	1	变压器, 510μH, TH	750344018
T2、T3	2	端子 70A 接线片	CXS70-14-C

表 4-1. 物料清单 (续)

位号	数量	说明	器件型号
U1	1	光耦合器, 5.3kV, 100-200% CTR, SMT	VO618A-3
U2	1	低压可调精度并联稳压器, 129ppm/°C, 80mA, 0°C 到 70°C, 3 引脚 SOT-23 (DBZ), 绿色环保 (RoHS, 无镉/溴)	TLVH431ACDBZR
U4	1	针对轻负载效率进行优化的 750kHz 宽 VIN/VOUT 范围 LLC 控制器	UCC256611

5 其他信息

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

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