

EVM User's Guide: TPSM64406EVM-4PH

TPSM64406 四相 36V 单路 12A 输出同步降压模块评估模块



说明

此 TPSM64406 评估板展示了采用多相单输出配置、具有集成功率 MOSFET 和电感器的多个 TPSM64406 直流/直流降压模块的特性和性能。EVM 可提供能够带动高达 12A 电流的单个输出。输出电压可以单独编程为 3.3V 或 5V 固定电压，也可以使用外部反馈电阻和跳线进行调节。

满负载时的默认开关频率编程为 1MHz。轻负载时的开关模式可以在 FPWM 和 PFM 模式之间选择。可通过选择跳线来启用或禁用每个通道。最后，还可以通过选择配置电阻来启用或禁用展频。TPSM64406EVM-4PH 在设计上可在单个 PCB 设计中展示两个堆叠器件的全部功能。

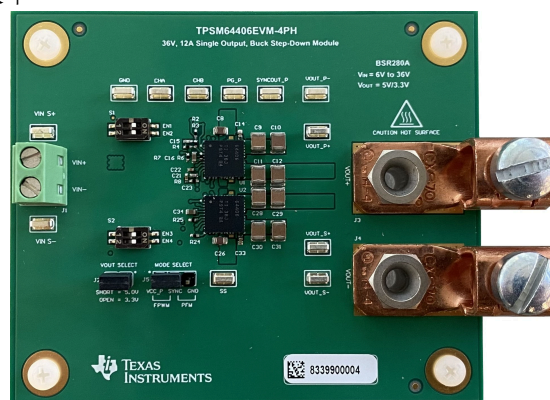
特性

- **功能安全型**
 - 可提供用于功能安全系统设计的文档
- 多功能双路输出电压或多相单路输出同步降压模块
 - 集成 MOSFET、电感器和控制器
 - 6.3V 至 36V 的宽输入电压范围
 - 可调输出电压范围为 0.8V 至 16V
 - 6.5mm × 7.0mm × 2mm 超模压封装
 - -40°C 至 125°C 的结温范围
 - 负输出电压能力
- 在整个负载范围内具有超高效率

- 94%+ 峰值效率
- 具有用于提升效率的外部偏置选项
- 外露焊盘可实现低热阻抗。EVM $\theta_{JA} = 20^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。
- 超低的 EMI 传导和辐射信号
 - 具有双输入路径和集成电容器的低噪声封装可降低开关振铃
 - 输入 EMI 滤波器，带有用于并联阻尼的电解电容器
 - 电阻器可选展频
 - 恒定频率 FPWM 运行模式
 - 符合 CISPR 11 和 32 B 类发射要求
- 可扩展电源的理想选择
- 4 层 2 盎司 PCB 设计
- 固有保护特性，可实现稳健设计
 - 精密使能输入和漏极开路 PGOOD 指示器（用于时序、控制和 V_{IN} UVLO）
 - 过电流和热关断保护
- 使用 TPSM64406 并借助 WEBENCH® 设计工具创建定制设计。

应用

- 测试和测量以及航天和国防
- 工厂自动化和控制
- 降压和反相降压/升压电源



TPSM64406EVM-4PH 电路板 (顶视图)

1 评估模块概述

1.1 简介

TPSM64406 是一种高度集成的支持 36V 输入的直流/直流设计，它将多个功率 MOSFET、一个屏蔽式电感器和多个无源器件结合在增强型 HotRod™ QFN 封装中。该器件采用交错式、可堆叠的电流模式控制架构来支持双路输出或高电流单路输出，以实现简单环路补偿、快速瞬态响应、出色的负载调整率和线性调整率，以及准确的电流共享，输出时钟支持多达六相（电流高达 18A）。该模块的 VIN 和 VOUT 引脚位于封装的边角处，可优化输入和输出电容器的放置。模块下方具有一个大的散热焊盘，可在制造过程中实现简单布局和轻松处理。TPSM64406 具有 1V 到 16V 的输出电压，旨在快速、轻松地实现小尺寸 PCB 的低 EMI 设计。总体设计仅需六个外部元件，并省去了设计流程中的磁性元件选型。尽管针对空间受限型应用采用了简易的小尺寸设计，但 TPSM64406 模块还提供了许多特性来实现稳健的性能：具有迟滞功能的精密使能端可实现输入电压 UVLO 调节，而展频可改善 EMI。与集成式 VCC、自举和输入电容器一起使用，可提高可靠性和密度。该模块可配置为在整个负载电流范围 (FPWM) 内保持恒定的开关频率，也可配置为可变频率 (PFM) 以提高轻负载效率，包括用于时序控制、故障保护和输出电压监测的 PGOOD 指示器。

1.2 套件内容

- TPSM64406 器件 (U1、U2)
- BSR280A 四相单路输出 EVM 板

1.3 规范

表 1-1. 电气性能规格

除非另有说明，否则 VIN = 12V，VOUT = 5.0V，IOUT = 12A 且 f_{SW} = 1MHz。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
输入特性					
输入电源电压范围	VIN 范围	6 ⁽³⁾		36	V
	VIN_EMI 范围	12		36	V
输入电流	VIN 处的输入电流			12	A
	VIN_EMI 处的输入电流			8	A
输出特性⁽¹⁾					
输出电压	可选 5.0V	4.9	5.0	5.1	V
输出电压	可选 3.3V	3.234	3.3	3.366	V
输出电流		0		6	A
系统特性					
默认开关频率, f _{sw}			2.1		MHz
满负载效率 ⁽²⁾	VIN = 12V, IOUT1 = 12A		91%		
	VIN = 24V, IOUT = 12A		87%		

(1) 默认输出电压和开关频率分别为 5V 或 3.3V (可选择) 和 1MHz。

(2) 运行时建议的空气流量为 200LFM

(3) 当输入电压在 3V 至 6V 范围内时，EVM 运行，但如果输入电压不足以调节输出电压，则进入压降模式。

1.4 器件信息

表 1-2. TPSM644xx(-Q1) 双路直流/直流降压转换器系列

器件型号	额定值 I _{OUT}	封装	尺寸
TPSM64404(-Q1)	双路 2A/2A 或可堆叠 4A	增强型 QFN (25)	6.50mm × 7.0mm
TPSM64406(-Q1)	双路 3A/3A 或可堆叠 6A		

2 硬件

2.1 EVM 连接

在提供 ESD 保护的工作站上工作时，请确保在为 EVM 加电之前已连接所有腕带、靴带或垫子，从而将用户接地。

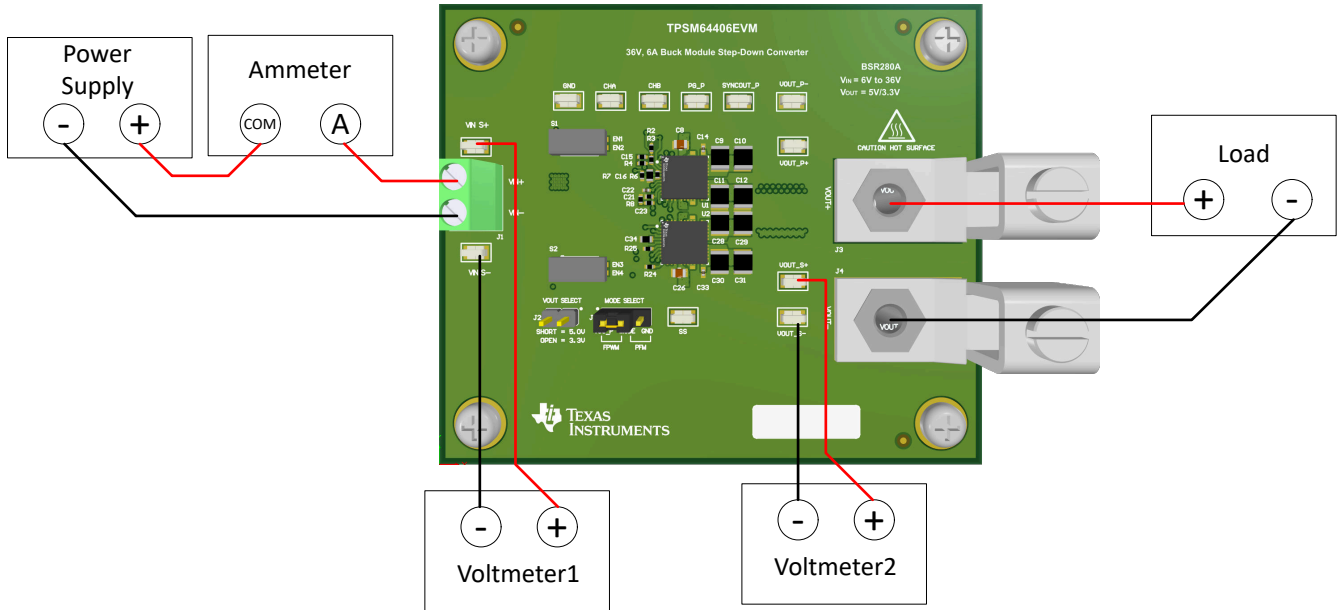


图 2-1. EVM 测试设置

表 2-1. EVM 电源接头

标签	说明
VIN+	正输入电源连接
VIN-	负输入电源连接
VIN_EMI+	用于 EMI 测试的正输入电源连接。此输入的最小工作电压为 12V。
VIN_EMI-	用于 EMI 测试的负输入电源连接。此输入的最小工作电压为 12V。
VOUT+	正输出电源连接
VOUT -	负输出电源连接

表 2-2. EVM 信号接头

标签	说明
VINS+	用于测量效率的正输入检测引脚。
VINS -	用于测量效率的负输入检测引脚。
VOULTS+	用于测量效率以及线路和负载调节的正输出检测引脚。
VOULTS -	用于测量效率以及线路和负载调节的负输出检测引脚。
GND	接地参考点。
模式	轻负载开关模式选择。连接引脚 1 和引脚 2 以实现 FPWM 模式。连接引脚 2 和引脚 3 以实现 AUTO 模式。向 SYNC 施加外部同步脉冲时，移除所有跳线。
VSEL	输出电压选择。连接引脚 1 和引脚 2 以获取固定 5V 输出。连接引脚 2 和引脚 3 以获取固定 3.3V 输出。使用外部电阻分压器对调节目标进行编程时，请移除所有跳线。安装外部反馈电阻分压器。
PG	指示电源正常的探测点。一个上拉电阻器连接到 VCC。

2.2 EVM 设置

使用位于电源端子块附近的 VINS+ 和 VINS - 测试点以及 VOUT1S+、VOUT1S - 、VOUT2S+、VOUT2S - 测试点作为电压监测点，通过连接电压表来分别测量输入和输出电压。请勿将这些检测端子用作输入电源或输出负载连接点。连接到这些检测端子的 PCB 迹线不能支持高电流。在向 EVM 供电之前，请确保已在合适的位置放置了跳线，以获得所需输出电压。请务必在更改跳线设置之前移除输入电源。在接触任何可能带电或通电的电路时，请务必小心。

小心

在高输出电流下长时间运行会使元件温度升高到 55°C 以上。为避免烧伤风险，请在断开电源后不要触摸元件，直到充分冷却为止。输入电源和输出电气负载的线规必须至少为 9AWG，且长度不得超过 1 英尺。请拧紧输入和输出端子螺钉，以尽量减少接触电阻。

2.2.1 输入接头

- 在 VINS+ 和 VINS - 处连接电压表 1。
- 将电流表 1 连接至 VIN+。
- 在连接电源之前，将电源的电流限制设置为最大 0.3A，并确保将初始输出电压设置为 0V。如图 2-1 所示连接 VIN- 和电流表 1。

2.2.2 输出接头

- 在 VOUTS+ 和 VOUTS - 检测点处连接电压表，以测量输出电压。
- 将负载连接到 VOUT+ 和 VOUT - 接头，如图 2-1 所示。在施加输入电压之前，将负载设置为恒阻模式或恒流模式，电流为 0A。

3 实现结果

3.1 测试设备

电源：连接至 VIN(-) 和电流表 1。电源必须能够供应 16A 电流。必须能够在 6V 至 36V 范围内调节电压。

万用表：

- **电压表 1：**测量 VINS+ 至 VINS- 的输入电压。
- **电压表 2：**测量 VOUTS+ 至 VOUTS- 的输出电压。
- **电流表：**测量输入电流。连接到电源和 VIN(+)

电子负载：

- **负载：**连接到 VOUT(+) 和 VOUT(-)。电子负载必须能够灌入 12A 电流。

3.2 测试数据和性能曲线

除非另有说明，否则 VIN = 12V，VOUT = 5V，IOUT = 12A 且 F_{SW} = 1MHz。

3.2.1 效率和负载调节性能

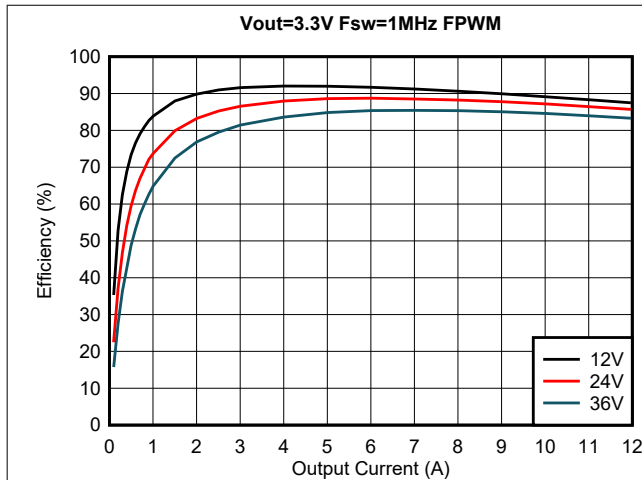


图 3-1. 效率，VOUT = 3.3V，FPWM 模式

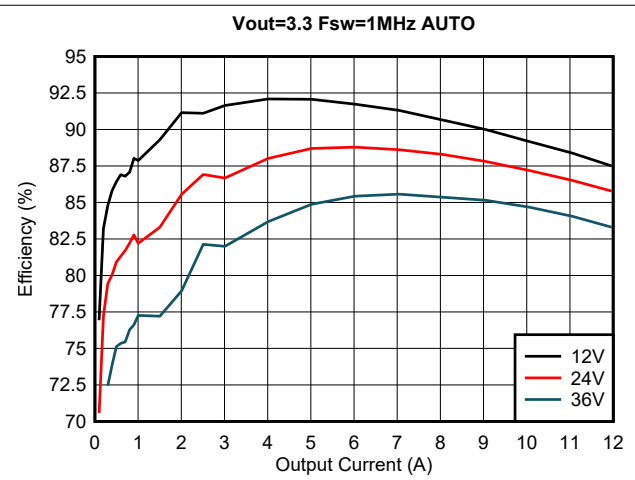


图 3-2. 效率，VOUT = 3.3V，AUTO 模式

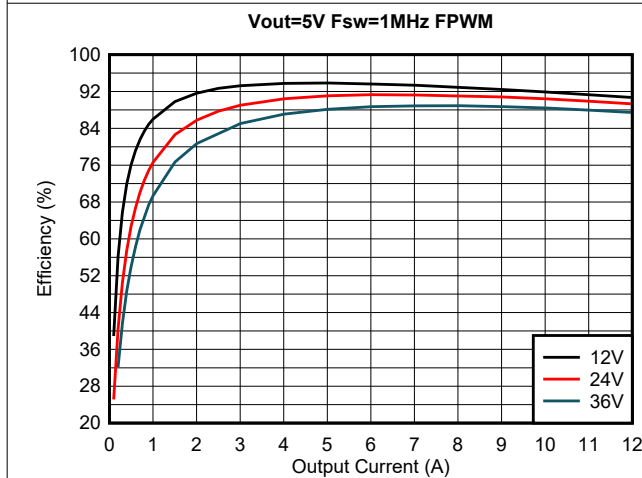


图 3-3. 效率，VOUT = 5.0V，FPWM 模式

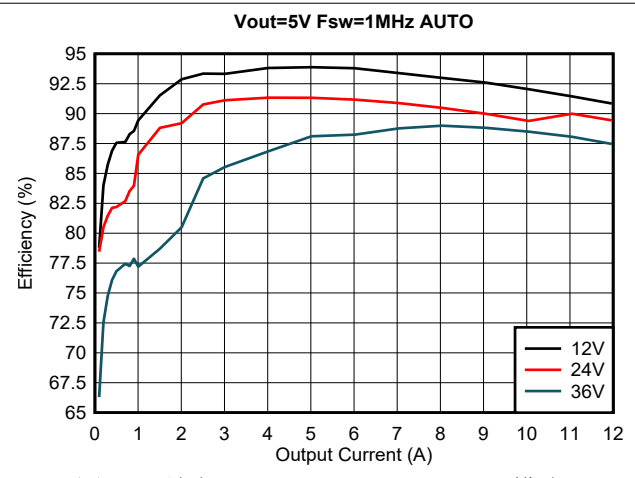


图 3-4. 效率，VOUT = 5.0V，AUTO 模式

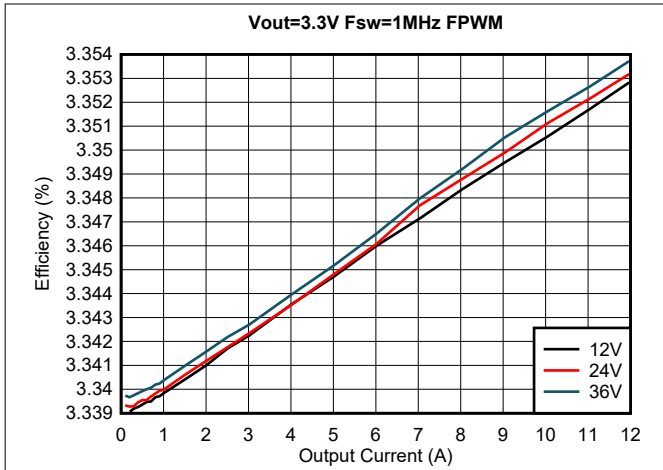


图 3-5. 负载调节, VOUT = 3.3V, FPWM 模式

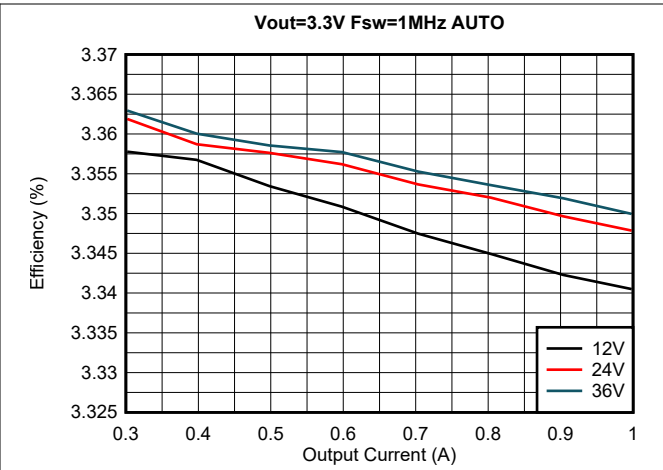


图 3-6. 负载调节, VOUT = 3.3V, AUTO 模式

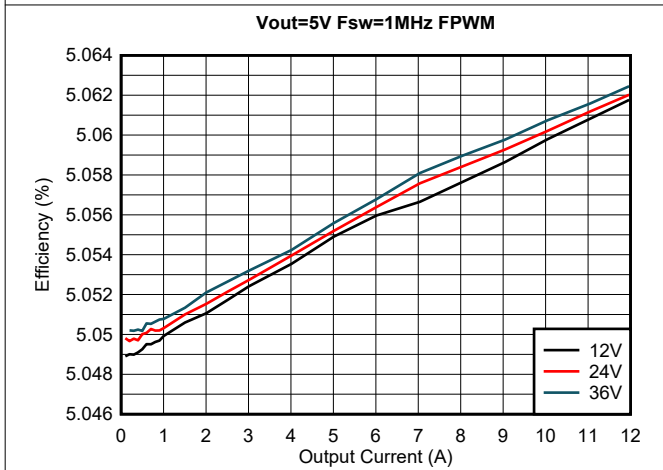


图 3-7. 负载调节, VOUT = 5.0V, FPWM 模式

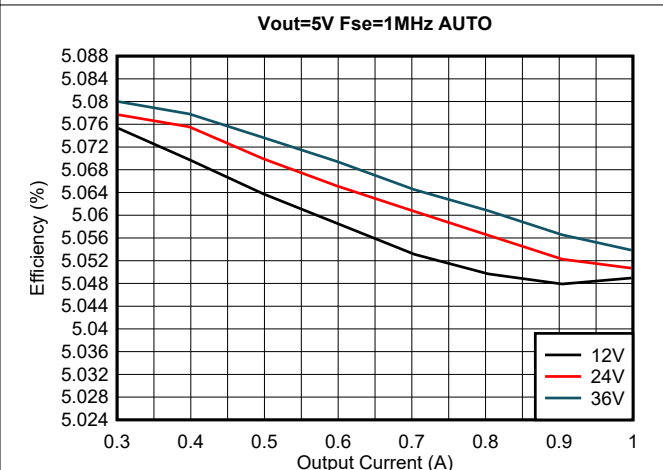


图 3-8. 负载调节, VOUT = 5.0V, AUTO 模式

3.2.2 波形和图

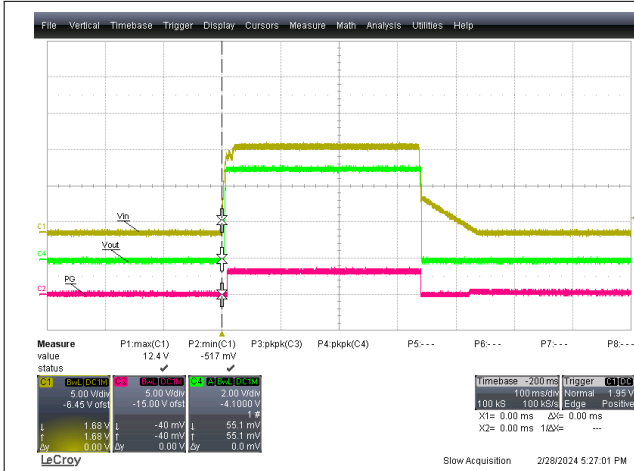


图 3-9. 启动和关断, $V_{OUT} = 5V$

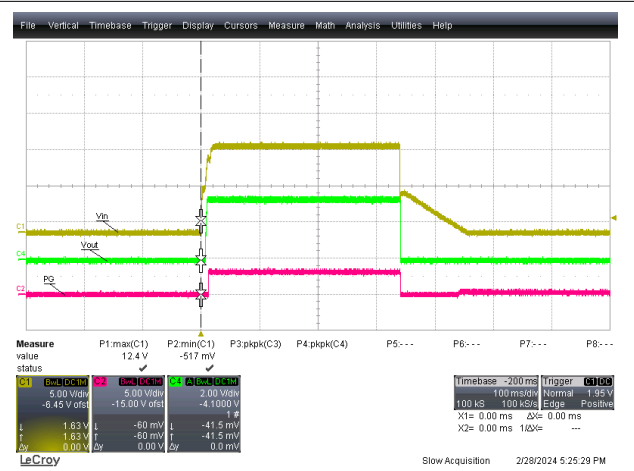


图 3-10. 启动和关断, $V_{OUT} = 3.3V$

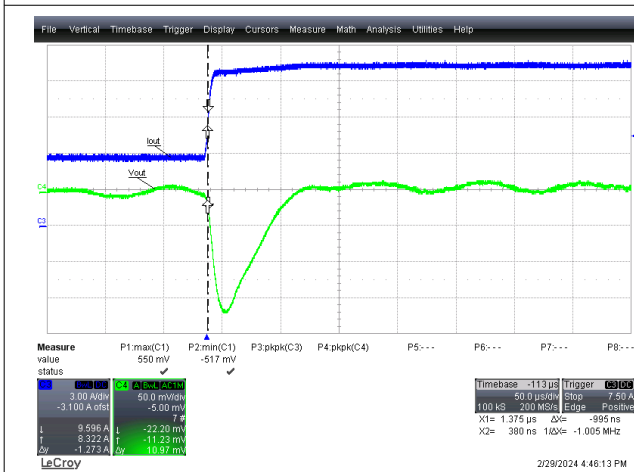


图 3-11. 负载瞬态上升, $V_{OUT} = 5V$, $I_{OUT} = 6A$ 至 $12A$

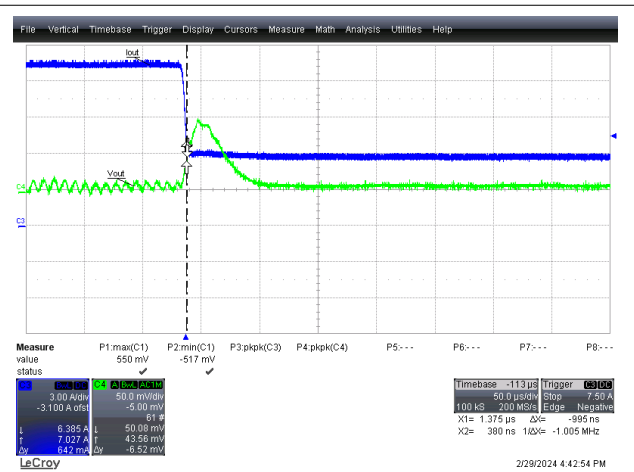


图 3-12. 负载瞬态下降, $V_{OUT} = 5V$, $I_{OUT} = 12A$ 至 $6A$

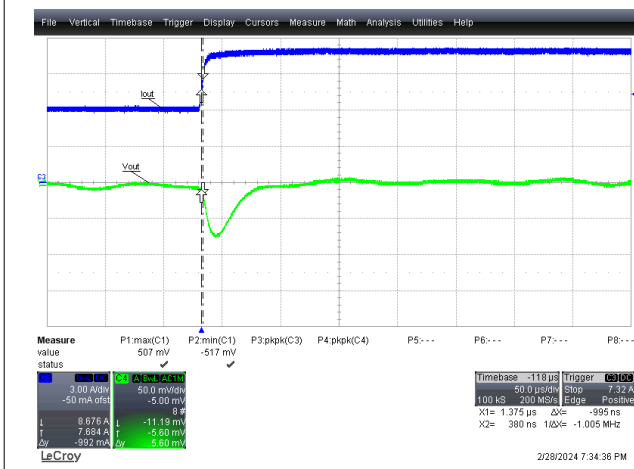


图 3-13. 负载瞬态上升, $V_{OUT} = 3.3V$, $I_{OUT} = 6A$ 至 $12A$

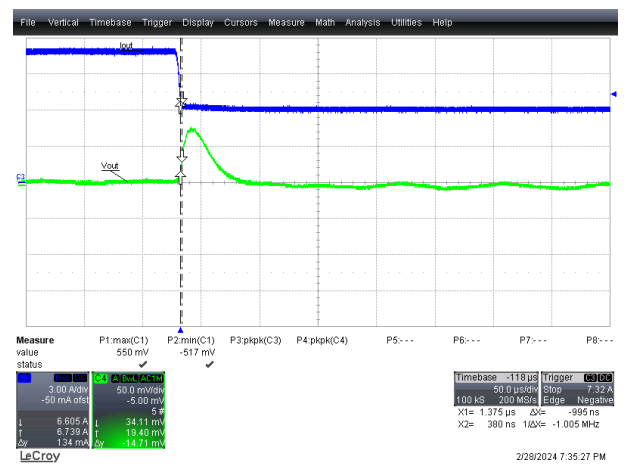


图 3-14. 负载瞬态下降, $V_{OUT} = 3.3V$, $I_{OUT} = 12A$ 至 $6A$

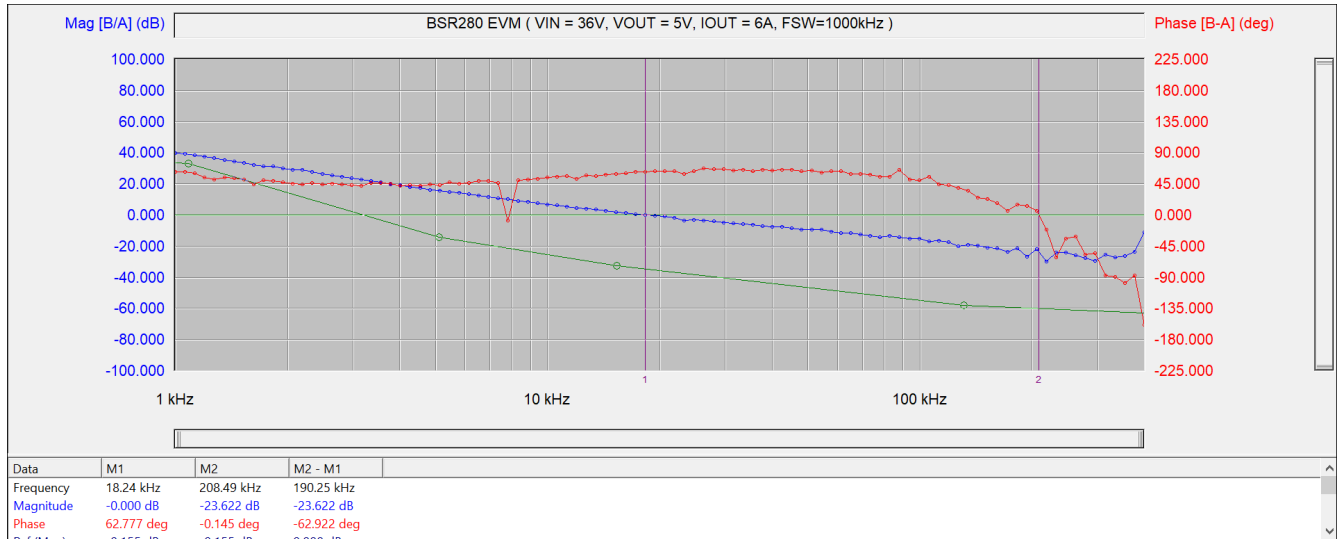


图 3-15. 波德图 (VOUT = 5V)

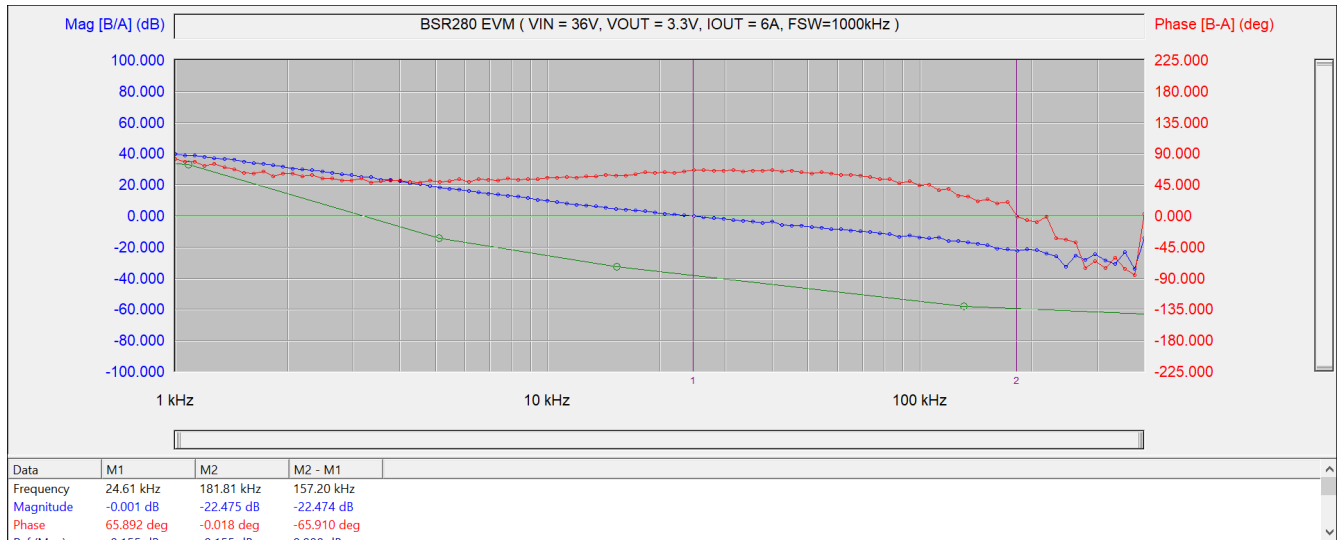


图 3-16. 波德图 (VOUT = 3.3V)

3.2.3 EMI 性能

VIN = 12V , VOUT = 5V , IOUT = 12A , 启用展频。

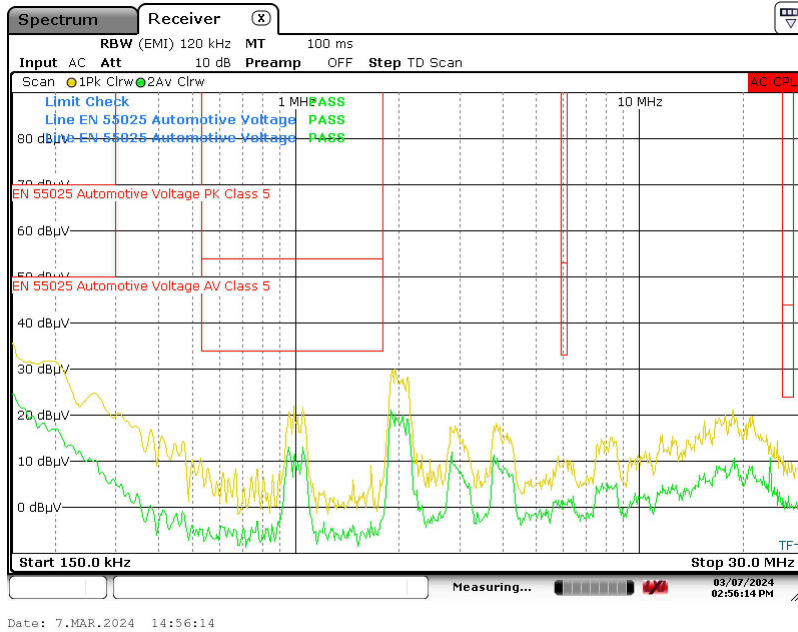


图 3-17. CISPR 25 传导发射 : 150kHz 至 30MHz



图 3-18. CISPR 25 传导发射 : 30MHz 至 108MHz

3.2.4 热性能

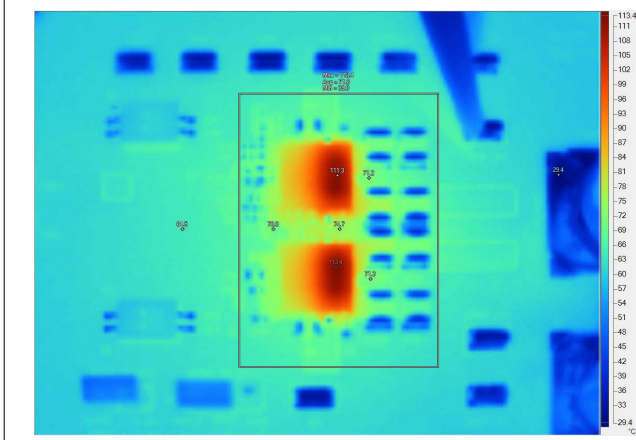


图 3-19. 红外线热感图像 : VIN = 12V , IOU = 12A

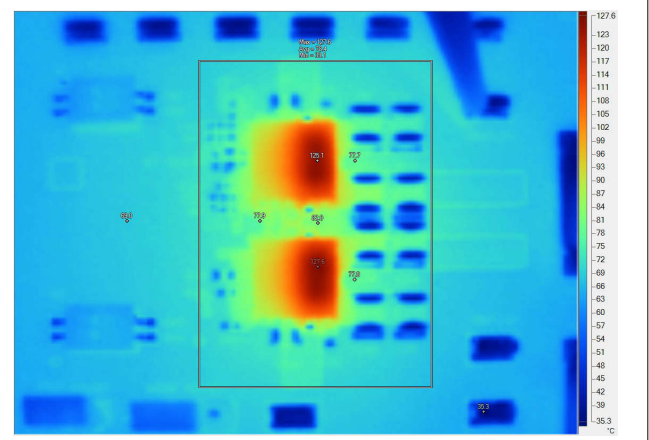


图 3-20. 红外线热感图像 : VIN = 24V , IOU = 12A

4 硬件设计文件

4.1 原理图

图 4-1 所示为 EVM 原理图。

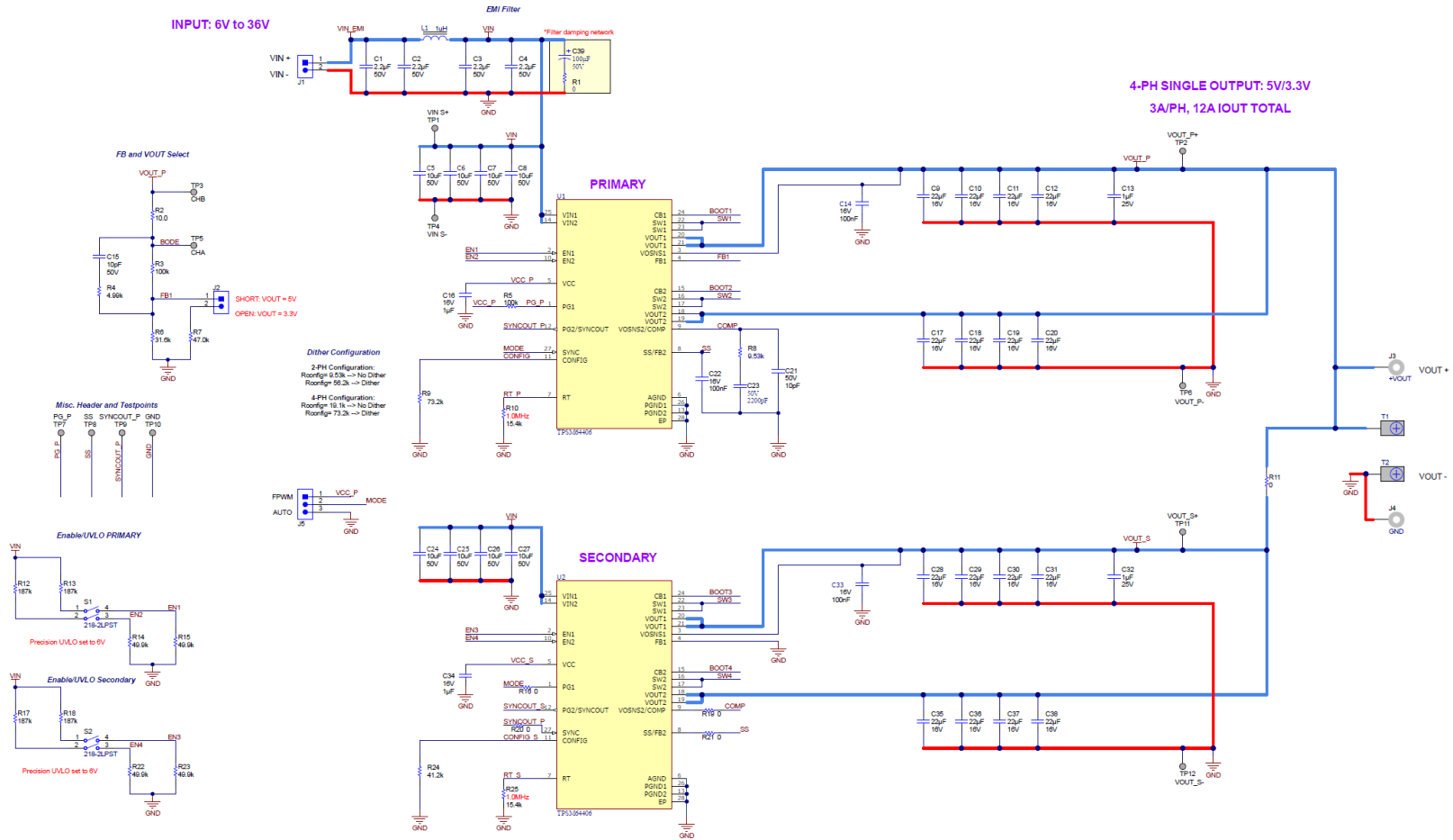


图 4-1. EVM 原理图

4.2 PCB 布局

该 PCB 为 62 密耳标准厚度，所有 6 层均为 2 盎司覆铜。

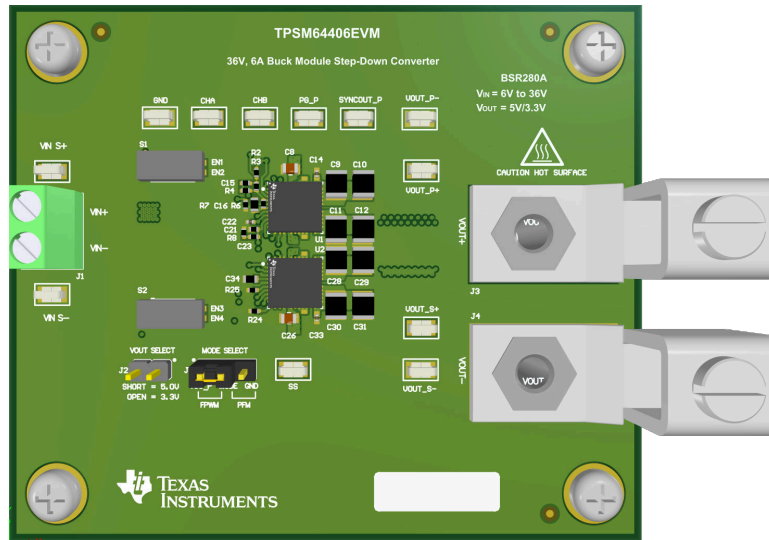


图 4-2. 3D 顶视图

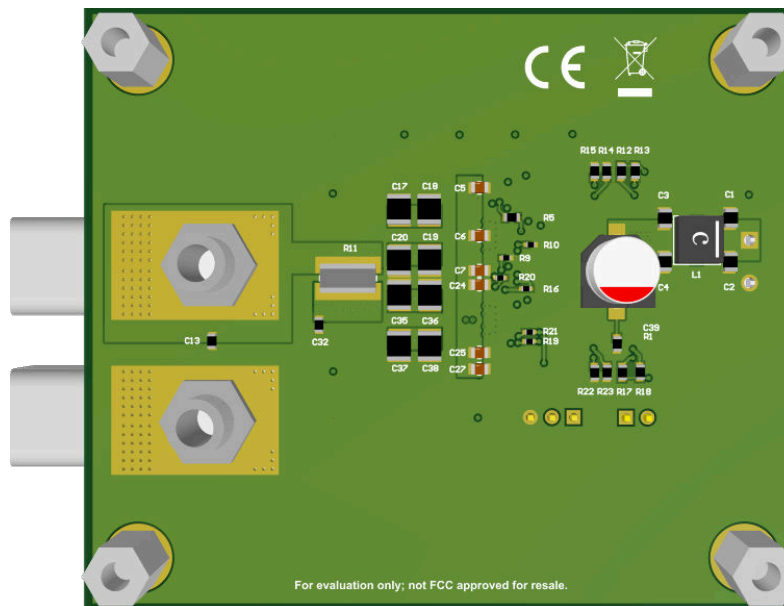


图 4-3. 3D 底视图

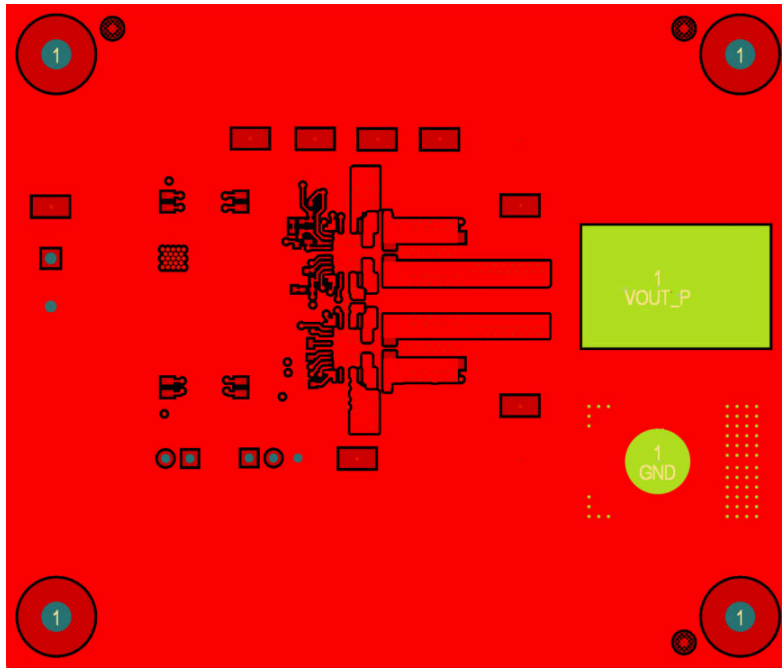


图 4-4. 顶部铜层

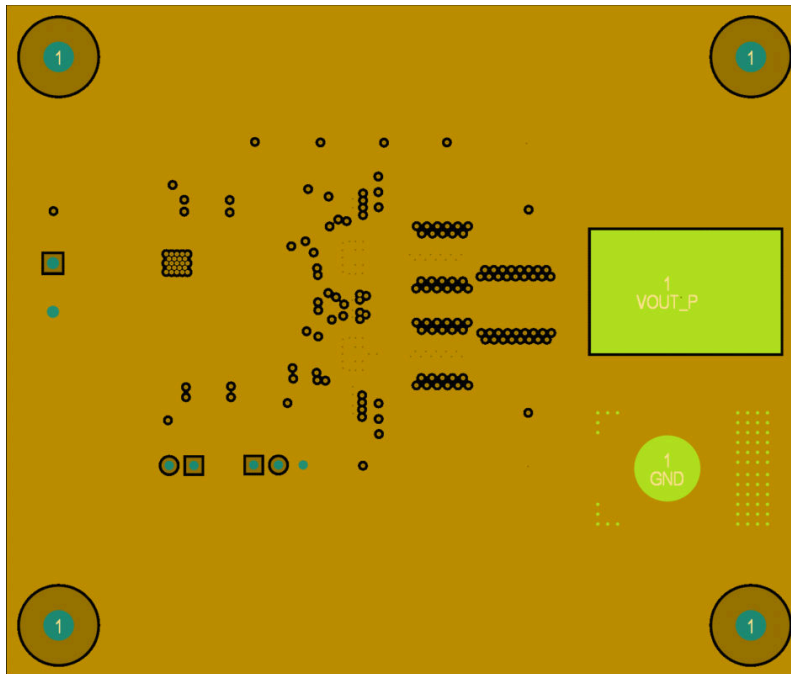


图 4-5. 第 2 层覆铜

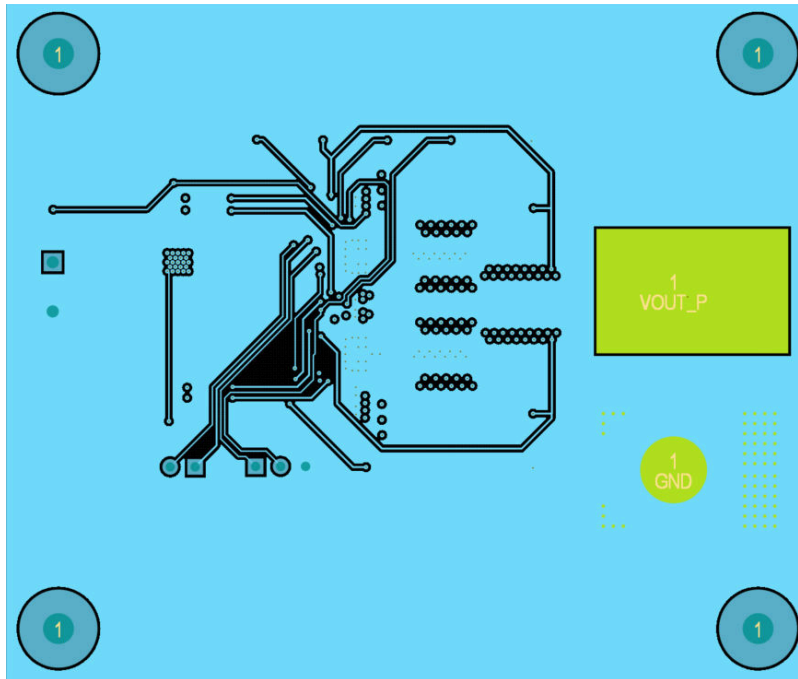


图 4-6. 第 3 层覆铜

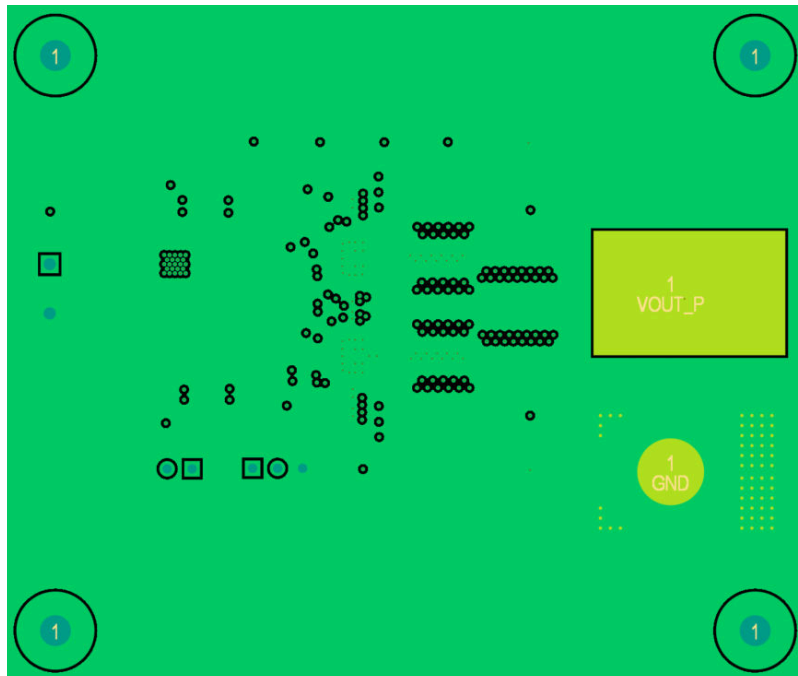


图 4-7. 第 4 层覆铜

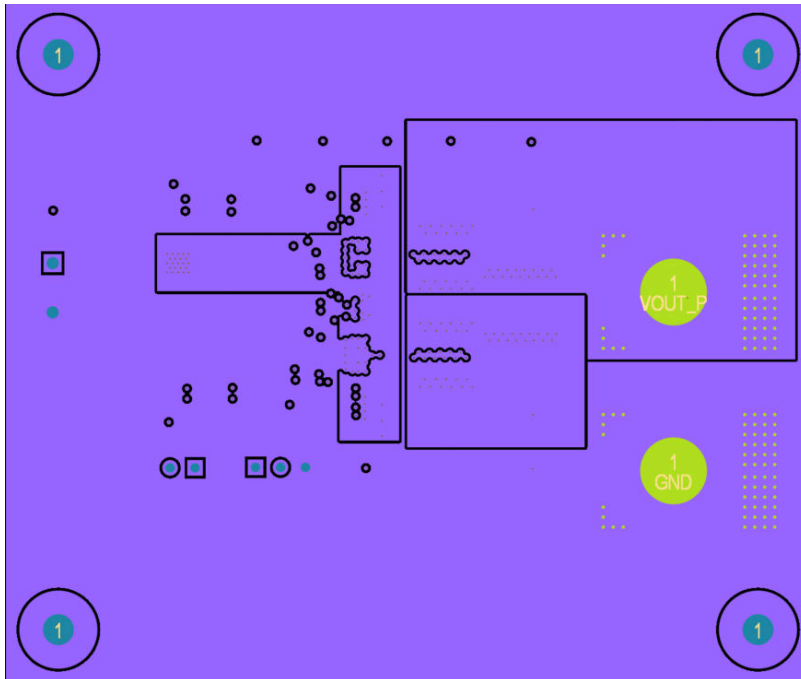


图 4-8. 第 5 层覆铜

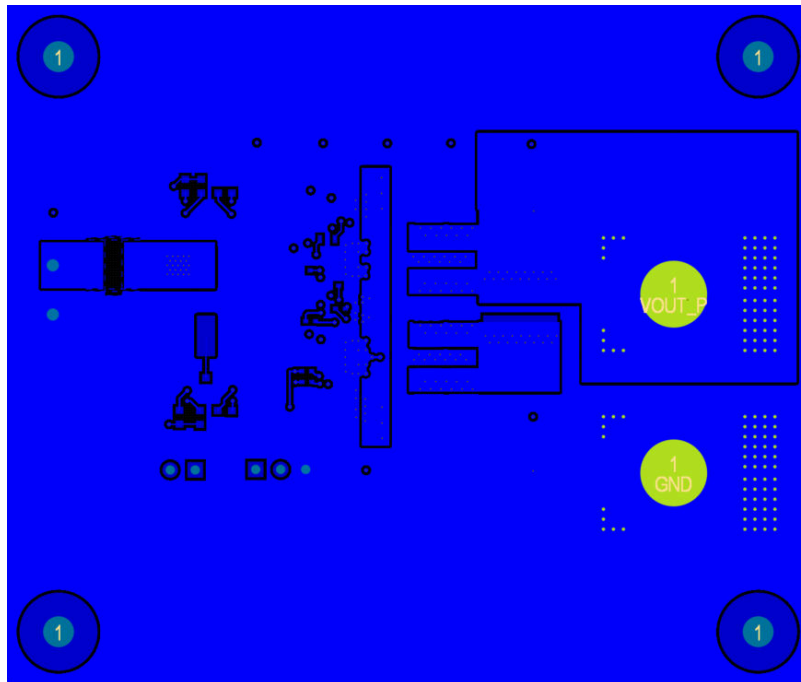


图 4-9. 第 6 层覆铜

#	Name	Material	Type	Weight	Thickness	Dk
	Top Overlay		Overlay			
	Top Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.4mil	3.5
1	Top Layer		Signal	2oz	2.8mil	
	Dielectric 1	FR-4 High Tg	Prepreg		5mil	4.2
2	GND Layer 1		Signal	2oz	2.8mil	
	Dielectric 2	FR-4 High Tg	Core		9mil	4.2
3	Signal Layer 1		Signal	2oz	2.8mil	
	Dielectric 3	FR-4 High Tg	Prepreg		16.4mil	4.2
4	GND Layer 2		Signal	2oz	2.8mil	
	Dielectric4	FR-4 High Tg	Core		9mil	4.2
5	Signal Layer 2		Signal	2oz	2.8mil	
	Dielectric6	FR-4 High Tg	Prepreg		5mil	4.2
6	Bottom Layer		Signal	2oz	2.8mil	
	Bottom Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.4mil	3.5
	Bottom Overlay		Overlay			

图 4-10. 层厚

4.3 物料清单 (BOM)

表 4-1. 物料清单

位号	数量	值	说明	封装参考	器件型号	制造商
C1、C2、C3、C4	4	2.2 μ F	电容器, 陶瓷, 2.2 μ F, 50V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0805	0805	CGA4J3X7R1H225K125AB	TDK
C5、C6、C7、C8、C24、C25、C26、C27	8	10 μ F	通用片状多层陶瓷电容器, 0805, 10 μ F, X5R, 15%, 20%, 50V	0805	GRM21BR61H106ME43L	Murata
C9、C10、C11、C12、C17、C18、C19、C20、C28、C29、C30、C31、C35、C36、C37、C38	16	22 μ F	电容器, 陶瓷, 22 μ F, 16V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 1210	1210	CL32B226KOJVPNE	Samsung Electro-Mechanics
C13、C32	2	1 μ F	电容器, 陶瓷, 1 μ F, 25V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0603	0603	GCM188R71E105KA64D	MuRata
C14、C22、C33	3	100nF	0.1 μ F \pm 10% 16V 陶瓷电容器 X7R 0402 (公制 1005)	0402	ATC530L104KT16T	American Technical Ceramics
C15	1	10pF	电容, 陶瓷, 10pF, 50V, +/-5%, C0G/NP0, AEC-Q200 1 级, 0402	0402	CGA2B2C0G1H100D050BA	TDK
C16、C34	2	1 μ F	电容器, 陶瓷, 1 μ F, 16V, +/-20%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0603	0603	GCM188R71C105MA64D	MuRata
C21	1	10pF	电容器, 陶瓷, 10pF, 50V, +/-1%, C0G/NP0, 0402	0402	GRM1555C1H100FA01D	MuRata
C23	1	2200pF	电容, 陶瓷, 2200pF, 50V, +/-10%, X7R, 0402	0402	GRM155R71H222KA01D	MuRata
C39	1	100 μ F	电容, 铝制, 100 μ F, 50V, 20%浮动范围, SMD	D8xL10.5mm	865060653010	Würth Elektronik
FID1、FID2、FID3	3		基准标记。没有需要购买或安装的元件。	不适用	不适用	不适用
H1、H2、H3、H4	4		机械螺钉, 圆头, #4-40 x 1/4, 尼龙, 飞利浦盘形头	螺钉	NY PMS 440 0025 PH	B&F Fastener Supply
H5、H6、H7、H8	4		六角螺柱, 0.5"L #4-40 尼龙	螺柱	1902C	Keystone
J1	1		端子块, 2POS 5mm, TH	10mm x 10mm x 8.1mm	1729018	Phoenix Contact
J2	1		接头, 100mil, 2x1, 镀金, TH	Sullins 100mil, 1x2, 绝缘体上方 230mil	PBC02SAAN	Sullins Connector Solutions
J3、J4	2		标准香蕉插孔, 非绝缘, 15A	香蕉插孔	108-0740-001	Cinch Connectivity
J5	1		接头, 100mil, 3x1, 镀金, TH	PBC03SAAN	PBC03SAAN	Sullins Connector Solutions
L1	1		电感器, 屏蔽, 复合, 1.0H, 16.9A, 0.0084 Ω , AEC-Q200 1 级	SMT_5MM28_5MM48	XEL5030-102MEB	Coilcraft

表 4-1. 物料清单 (续)

位号	数量	值	说明	封装参考	器件型号	制造商
LBL1	1		热转印打印标签, 0.650" (宽) x 0.200" (高) - 10,000/卷	PCB 标签, 0.650 x 0.200 英寸	THT-14-423-10	Brady
R1	1	0	电阻, 0, 5%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	0603	CRCW06030000Z0EA	Vishay-Dale
R2	1	10.0	电阻, 10.0, 1%, 0.063 W, 0402	0402	CRCW040210R0FKED	Vishay-Dale
R3	1	100k	电阻, 100k, 1%, 0.063 W, AEC-Q200 0 级, 0402	0402	CRCW0402100KFKED	Vishay-Dale
R4	1	4.99k	电阻, 4.99k, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402	0402	CRCW04024K99FKED	Vishay-Dale
R5	1	100k	电阻, 100k, 1%, 0.1W, 0603	0603	RC0603FR-07100KL	Yageo
R6	1	31.6k	电阻, 31.6k, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402	0402	CRCW040231K6FKED	Vishay-Dale
R7	1	47.0k	电阻, 47.0k, 1%, 0.0625 W, 0402	0402	RC0402FR-0747KL	Yageo America
R8	1	9.53k	电阻, 9.53k, 1%, 0.063 W, AEC-Q200 0 级, 0402	0402	CRCW04029K53FKED	Vishay-Dale
R9	1	73.2k	电阻, 73.2k, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402	0402	CRCW040273K2FKED	Vishay-Dale
R10、R25	2	15.4k	电阻, 15.4k, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402	0402	CRCW040215K4FKED	Vishay-Dale
R11	1	0	电阻, 0, 5%, 2W, 2512 宽	2512 宽	RCL12250000Z0EG	Vishay Draloric
R12、R13、R17、R18	4	187k	电阻, 187k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	0603	CRCW0603187KFKEA	Vishay-Dale
R14、R15、R22、R23	4	49.9k	电阻, 49.9k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	0603	CRCW060349K9FKEA	Vishay-Dale
R16、R19、R20、R21	4	0	电阻, 0, 0%, 0.2 W, AEC-Q200 0 级, 0402	0402	CRCW04020000Z0EDHP	Vishay-Dale
R24	1	41.2k	电阻, 41.2k, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402	0402	CRCW040241K2FKED	Vishay-Dale
S1、S2	2		SPST 开关, 2 芯, 25mA, 24VDC, SMD	3.71x5.8mm	218-2LPST	CTS Electrocomponents
SH-J1、SH-J2	2	1x2	分流器, 100mil, 镀金, 黑色	分流器	SNT-100-BK-G	Samtec
T1、T2	2		端子 70A 接线片	接线片, 32.3 x 14.5 x 11.7	CXS70-14-C	Panduit
TP1、TP2、TP3、TP4、TP5、TP6、TP7、TP8、TP9、TP10、TP11、TP12	12		测试点, 微型, SMT	测试点, 微型, SMT	5019	Keystone

表 4-1. 物料清单 (续)

位号	数量	值	说明	封装参考	器件型号	制造商
U1、U2	2		采用 6.5mm x 7mm x 2mm 封装的 3V 至 36V 双路 3A 或可堆叠 6A 电源模块	QFN-FCMOD28	TPSM64406	德州仪器 (TI)

5 其他信息

5.1 商标

HotRod™ is a trademark of Texas Instruments.

WEBENCH® is a registered trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

6 相关文档

请参阅以下相关文档：

- 德州仪器 (TI), [有关直流/直流稳压器 EMI 的工程师指南](#) 电子书
- 德州仪器 (TI), [EMI 滤波器组件及其针对汽车直流/直流稳压器的非理想因素](#) 技术简报
- 德州仪器 (TI), [设计高性能、低 EMI 的汽车电源](#) 应用报告
- 德州仪器 (TI), [AN-2020 热设计：学会洞察先机，不做事后诸葛](#) 应用报告
- 德州仪器 (TI), [AN-2162：轻松抑制直流/直流转换器中的传导 EMI](#) 应用报告
- 德州仪器 (TI), [采用直流/直流电源模块的实用性热设计](#) 应用报告

6.1 补充内容

相关开发支持，请参阅以下文档：

- 有关 TI 的参考设计库，请访问 [TI Designs](#)。
- 有关 TI 的 WEBENCH 设计环境，请访问 [WEBENCH® 设计中心](#)。
- 要设计低 EMI 电源，请查看 TI 全面的 [EMI 培训系列](#)。
- 技术文章：
 - [器件级功能和封装选项如何帮助有效降低汽车设计中的 EMI](#)
 - [优化汽车设计中倒装芯片 IC 的热性能](#)

6.2 使用 WEBENCH 工具定制设计方案

[点击此处](#)，使用 TPSM66406 器件并借助 WEBENCH Power Designer 创建定制设计方案。

- 首先键入输入电压 (V_{IN})、输出电压 (V_{OUT}) 和输出电流 (I_{OUT}) 要求。
- 使用优化器表盘优化该设计的关键参数，如效率、占用空间和成本。
- 将生成的设计与德州仪器 (TI) 其他可行的设计进行比较。

WEBENCH Power Designer 提供了定制原理图，并罗列了实时价格和元件供货情况的物料清单。

在多数情况下，可执行以下操作：

- 运行电气仿真，观察重要波形以及电路性能。
- 运行热性能仿真，了解电路板热性能。
- 将定制原理图和布局方案以常用 CAD 格式导出。
- 打印设计方案的 PDF 报告并与同事共享。

有关 WEBENCH 工具的详细信息，请访问 www.ti.com/WBENCH。

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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司