

EVM User's Guide: LM70880-Q1 LM70880QEVM

LM70880-Q1 降压转换器评估模块



说明

LM70880QEVM 高密度评估模块旨在使用 8V 至 72V 的稳压或非稳压高压输入轨，在负载电流高达 8A 时产生 5V 的严格稳压输出电压。这种宽 V_{IN} 范围的直流/直流解决方案提供了超大的额定电压和运行裕度，可承受电源轨电压瞬变。

自由运行开关频率为 400kHz，可与频率更高或更低的外部时钟信号同步。为该 EVM 选择的动力总成无源器件（包括降压电感器和陶瓷输入和输出电容器）符合汽车 AEC-Q200 标准，可从多个元件供应商处获得。

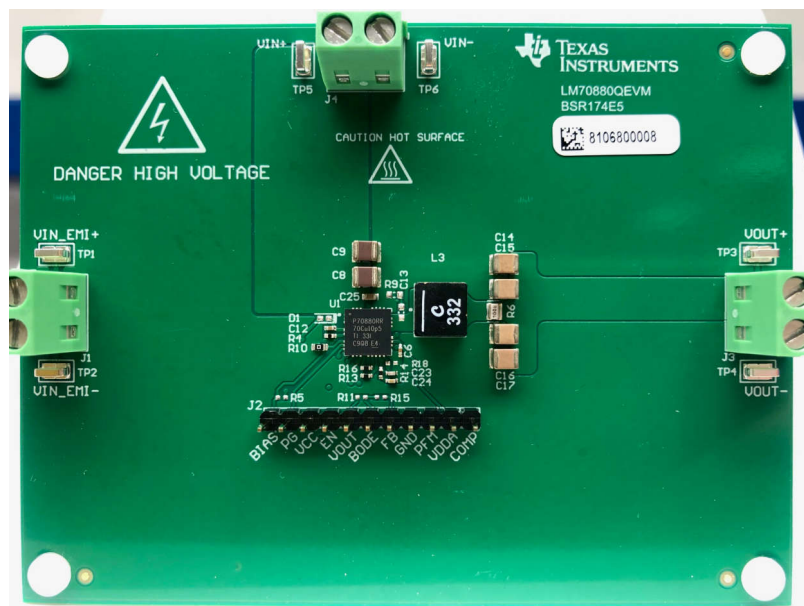
特性

- 8V 至 72V 的宽输入工作电压范围
- 精度为 1% 的 5V、3.3V 固定输出电压或低至 0.8V 的可调输出电压
- 400kHz 开关频率，可从外部进行升高或降低 20% 的同步操作
- V_{IN} 为 12V 时具有 93.6% 的满载效率， V_{IN} 为 48V 时具有 90.5% 的满载效率
- V_{IN} 为 48V 时工作电流为 260 μ A
- 经优化可降低 EMI

- 用于降低 EMI 的双随机展频
- 符合 CISPR 25 5 类和 UNECE 第 10 号法规 EMI 标准
- 峰值电流模式控制架构可提供快速线路和负载瞬态响应
 - 与开关频率相适应的集成式斜坡补偿
 - 强制 PWM (FPWM) 或脉频调制 (PFM) 操作
 - 可选的内部或外部环路补偿
- 集成了高侧和低侧功率 MOSFET
- 通过断续模式为持续过载情况提供过流保护 (OCP)
- 与内部时钟存在 180° 相位差的 SYNCOUT 信号
- 使用 100k Ω 上拉电阻器连接到 VCC 的电源正常信号
- 内部 3ms 软启动
- 经过全面组装、测试和验证的 PCB 布局

应用

- 大电流汽车电子系统
- ADAS 和车身电子装置
- 信息娱乐系统与仪表组
- 汽车 HEV/EV 动力总成系统



1 评估模块概述

1.1 引言

LM70880QEVM 评估模块 (EVM) 是一款采用同步整流实现小尺寸、高转换效率的同步降压直流/直流稳压器。此 EVM 在 8V 至 72V 的宽输入电压范围工作, 可提供 5V 的稳压输出。输出电压具有优于 1% 的设定点精度并可以通过修改反馈电阻值进行调节, 从而允许用户根据需要定制输出电压。

该 EVM 中的 **LM70880-Q1** 同步降压控制器具有以下特性:

- 4.5V 至 80V 的宽输入电压 (宽 V_{IN}) 范围
- 展频调制, 可实现更低的 EMI
- 具有低 $t_{ON(min)}$ 和 $t_{OFF(min)}$ 的宽占空比范围
- 超低关断电流和空载待机静态电流
- 多相功能
- 峰值电流模式控制环路架构
- 集成式高电流 MOSFET
- 具有断续模式的逐周期过流保护功能

1.2 套件内容

- LM70880QEVM 电路板
- EVM 免责声明自述文件
- 原型设计 EVM 免责声明自述文件
- 高压自述文件

1.3 规格

图 1-1 展示了基于 LM70880-Q1 的同步降压转换器的原理图。

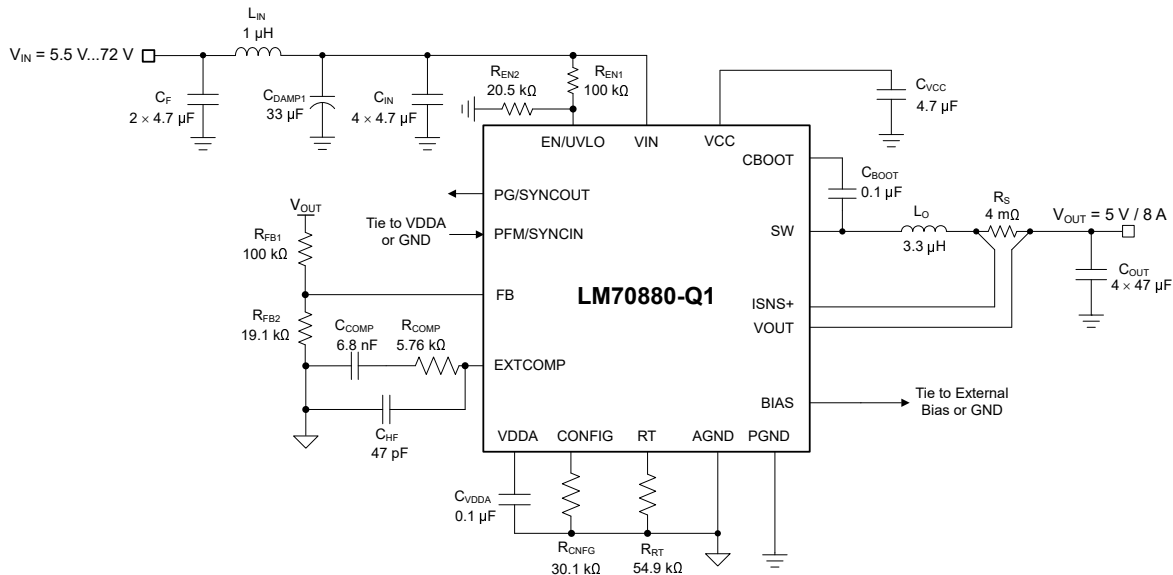


图 1-1. LM70880-Q1 同步降压稳压器简化原理图

1.4 器件信息

该 EVM 的自由运行开关频率为 400kHz, 可根据需要与更高或更低的频率同步。VCC 和栅极驱动 UVLO 在低输入电压条件下保护稳压器, EN 引脚可满足应用特定上电和下电要求。LM70880-Q1 采用尺寸为 6mm × 6mm 的 29 引脚 VQFN 封装, 可实现具有高密度、较少元件数的直流/直流解决方案。有关更多信息, 请参阅“LM70880-Q1 经优化可实现低 EMI 和高功率密度的汽车级降压转换器”数据表。

2 硬件

2.1 测试装置和过程

2.1.1 EVM 连接

参考表 2-1 所述的 EVM 连接，建议用于评估 LM70880-Q1 的测试装置如图 2-1 所示。在提供 ESD 保护的工作站上工作时，请确保在处理 EVM 之前已连接所有腕带、靴带或垫子以使用户接地。

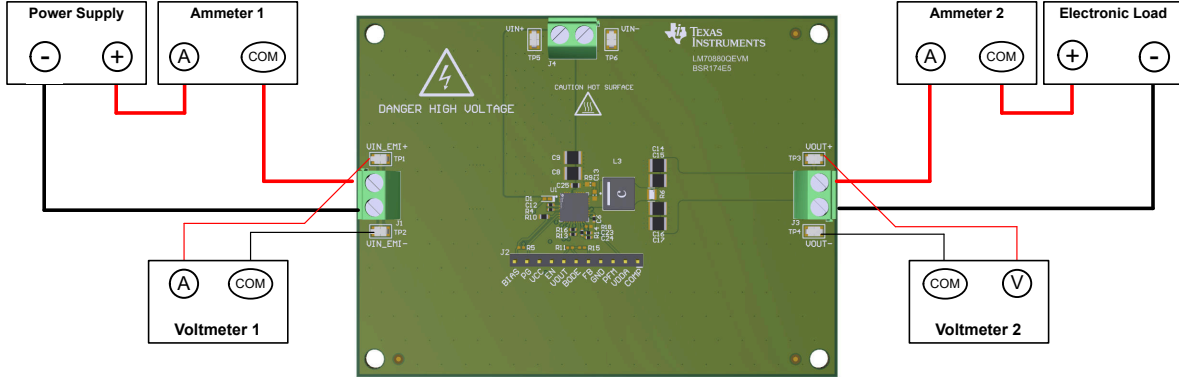


图 2-1. EVM 测试设置

小心

有关元件选型和控制器操作的其他指导，请参阅 [LM70880-Q1 数据表](#)、[LM70880-Q1 Quickstart Calculator](#) 和 [WEBENCH® Power Designer](#)。

表 2-1. EVM 电源接头

标签	说明
VIN_EMI+	使用 EMI 滤波器时的正输入电压电源和感测连接
VIN_EMI-	使用 EMI 滤波器时的正输入电压电源和感测连接
VIN+	绕过 EMI 滤波器时的正输入电压电源和感测连接
VIN-	绕过 EMI 滤波器时的负输入电压电源和感测连接
VOUT+	正输出电压电源和感测连接
VOUT-	负输出电压电源和感测连接

表 2-2. EVM 信号接头

标签	说明
BIAS	用于提升效率的可选外部辅助电源
PG	电源正常指示器
VCC	用于栅极驱动器的内部生成辅助电源连接
EN	使能输入 - 连接到 GND，以禁用该器件
VOUT	输出电压
BODE	环路响应的 50 Ω 注入点
FB	FB 节点
GND	GND 连接
PFM	PFM/FPWM 选择和同步输入
VDDA	模拟电路的辅助电源连接
COMP	误差放大器输出

2.1.2 测试设备

电压源：使用能够提供 0V 至 80V 电压和 12A 电流的输入电压源。

万用表：

- **电压表 1：** VIN+ 到 VIN - 的输入电压。将电压表设置为具有 100M Ω 的输入阻抗。
- **电压表 2：** VOUT 到 GND 的输出电压。将电压表设置为具有 100M Ω 的输入阻抗。
- **电流表 1：** 输入电流。将电流表设置为具有 1 秒的孔径时间。
- **电流表 2：** 输出电流。将电流表设置为具有 1 秒的孔径时间。

电子负载：负载必须是电子恒阻 (CR) 或恒流 (CC) 模式负载，能够在 5V 电压下支持 0A_{DC} 至 10A_{DC} 电流。对于空载输入电流测量，请断开电子负载，因为它会消耗少量剩余电流。

示波器：将示波器带宽设置为 20MHz 并采用交流耦合模式，使用示波器探头通常提供的短接地引线直接测量输出电容器两端的输出电压纹波。将示波器探头尖端放在输出电容器的正极端子上，通过接地引线将探头的接地筒形连接器固定到电容器的负极端子。TI 不建议使用长引线接地，因为这会在接地回路很大时引起额外的噪声。若要测量其他波形，请根据需要调整示波器。

安全性：在接触任何可能带电或通电的电路时，请务必小心。

2.1.3 建议的测试设置

2.1.3.1 输入接头

1. 在连接直流输入源之前，将输入电源的电流限值设置为最大 0.1A。确认输入源最初设置为 0V 并连接到 VIN+ 和 VIN - 连接点，如图 2-1 所示。
2. 在 VIN+ 和 VIN - 连接点上连接电压表 1 以测量输入电压。
3. 连接电流表 1 以测量输入电流并设置为具有至少 1 秒的孔径时间。

2.1.3.2 输出接头

1. 将电子负载连接至 VOUT 接头。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。
2. 在 VOUT 和 GND 接头上连接电压表 2 以测量输出电压。
3. 连接电流表 2，以测量输出电流。

2.1.4 测试程序

2.1.4.1 线路和负载调节，效率

1. 如前所述设置 EVM。
2. 将负载设置为恒阻或恒流模式并具有 0A 的灌电流。
3. 将输入源从 0V 增加到 48V；使用电压表 1 测量输入电压。
4. 将输入电源的电流限值增加到 12A。
5. 使用电压表 2 测量输出电压 V_{OUT}，将负载电流从 0A 更改为 8A_{DC}；V_{OUT} 必须保持在负载调节规格之内。
6. 将负载电流设置为 4A (50% 额定负载) 并将输入源电压从 8V 更改为 72V；V_{OUT} 必须保持在线路调节规格之内。
7. 将负载降至 0A。将输入源电压降至 0V。

3 实现结果

3.1 性能数据和结果

图 3-1 至图 3-11 展示了 LM70880QEVM 的典型性能曲线。实际性能数据可能会受到测量技术和环境变量的影响，因此这些曲线仅供参考，并可能与实际现场测量结果有所不同。

3.1.1 EVM 特性

表 3-1 列出了电气特性。

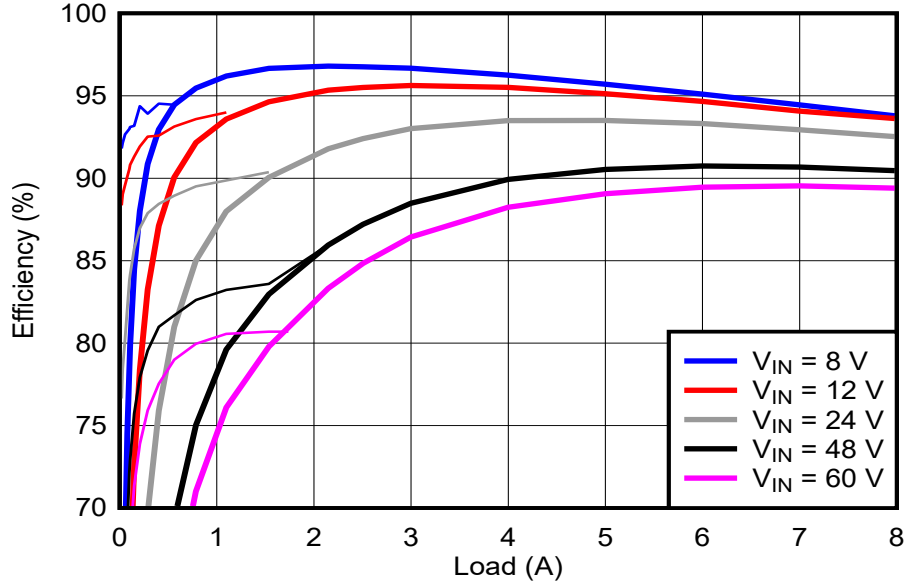
表 3-1. 电气性能特性

参数	测试条件：		最小值	典型值	最大值	单位
输入特性						
输入电压范围, V_{IN}	运行		8	48	72	V
空载时的输入电流 I_{IN-NL}	$I_{OUT} = 0A$, PFM 连接到 VDDA, 移除 UVLO	$V_{IN} = 24V$	37.5		μA	
		$V_{IN} = 48V$	35.4			
		$V_{IN} = 72V$	35.5			
关断时的输入电流 I_{IN-OFF}	$V_{EN} = 0V$	$V_{IN} = 48V$	5.5		μA	
输出特性						
输出电压, V_{OUT} ⁽¹⁾			4.95	5	5.05	V
输出电流 I_{OUT}	$V_{IN} = 8V$ 至 $72V$, 空气流量 = 100LFM ⁽²⁾		0		8	A
输出电压调节, ΔV_{OUT}	负载调整率	$I_{OUT} = 0A$ 至 $8A$	0.1%			
	线性调整率	$V_{IN} = 8V$ 至 $72V$	1%			
输出电压纹波 V_{OUT-AC}	$V_{IN} = 48V$, $I_{OUT} = 8A$		10		mVrms	
输出过流保护, I_{OCP}	$V_{IN} = 48V$		10		A	
软启动时间 t_{SS}			3		ms	
系统特性						
开关频率 F_{SW-nom}	$V_{IN} = 48V$		400		kHz	
PFM 轻负载效率, η_{LIGHT} ⁽¹⁾	$I_{OUT} = 1A$	$V_{IN} = 24V$	89.9%			
		$V_{IN} = 48V$	83.2%			
		$V_{IN} = 60V$	80.6%			
半负载效率 η_{HALF}	$I_{OUT} = 4A$	$V_{IN} = 24V$	93.6%			
		$V_{IN} = 48V$	89.9%			
		$V_{IN} = 60V$	88.2%			
满载效率 η_{FULL}	$I_{OUT} = 8A$	$V_{IN} = 24V$	92.5%			
		$V_{IN} = 48V$	90.5%			
		$V_{IN} = 60V$	89.4%			
LM70880-Q1 结温, T_J			-40		150	°C

(1) 此 EVM 的默认输出电压为 12V。效率和其他性能指标会根据工作输入电压、负载电流、外部连接的输出电容器和其他参数而变化。

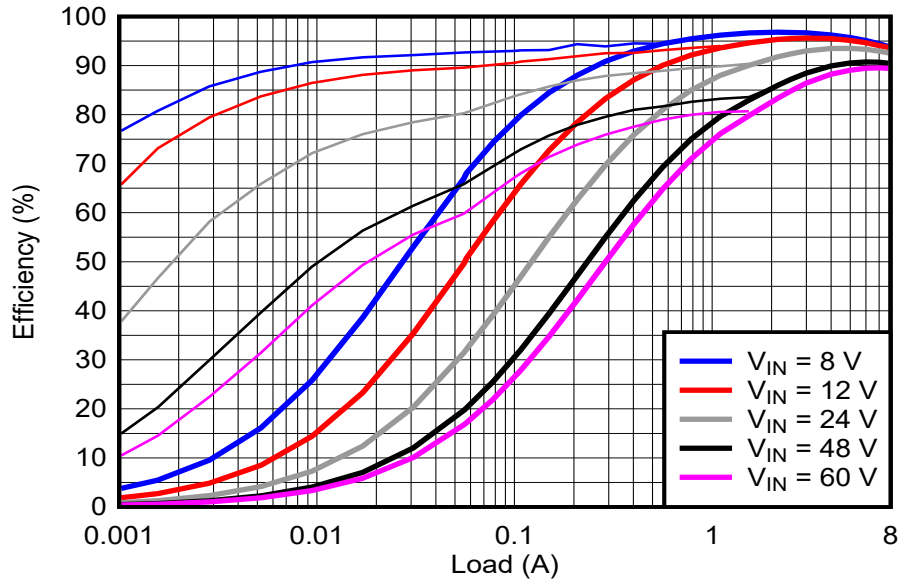
(2) 当工作输入电压高于 60V 时，建议的空气流量为 100LFM。

3.1.2 转换效率



轻负载下效率更高的曲线对应于启用二极管仿真的情形 (PFM 连接到 VDDA)。

图 3-1. 效率, V_{IN} = 48V, V_{OUT} = 5V



轻负载下效率更高的曲线对应于启用二极管仿真的情形 (PFM 连接到 VDDA)。

3.1.3 工作波形

3.1.3.1 开关

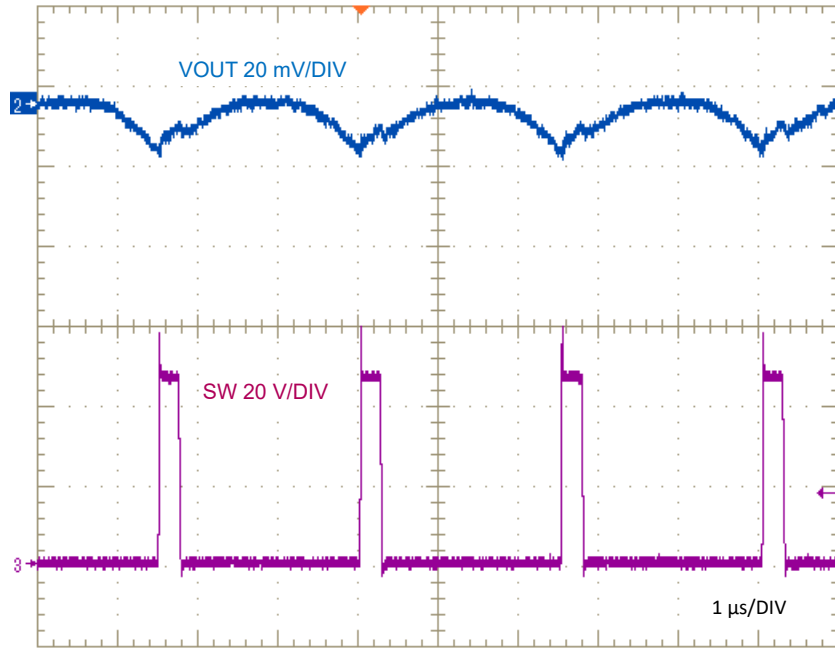


图 3-2. 稳态运行， $V_{IN} = 48V$ ， $I_{OUT} = 8A$

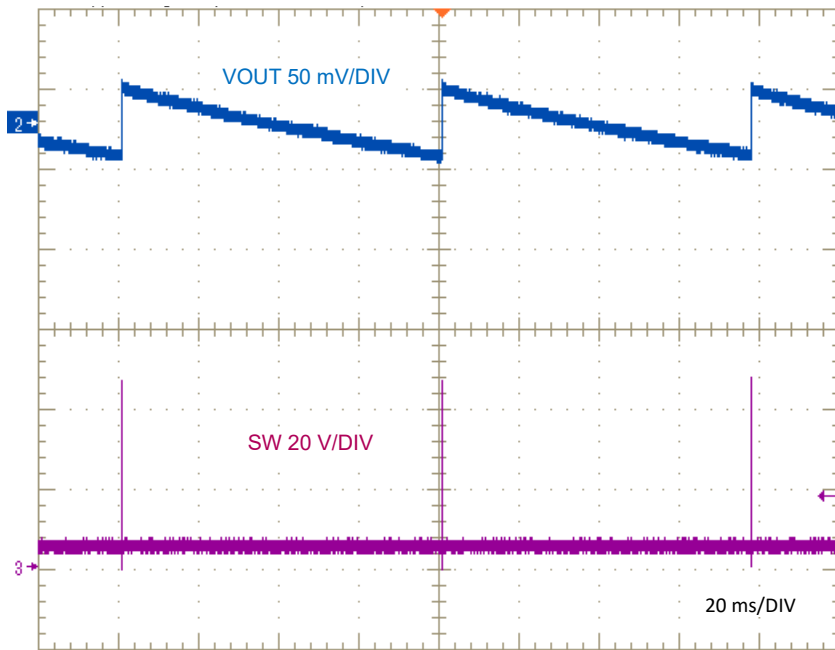


图 3-3. 在 PFM 模式下稳态运行， $V_{IN} = 48V$ ， $I_{OUT} = 0A$

3.1.3.2 负载瞬态响应

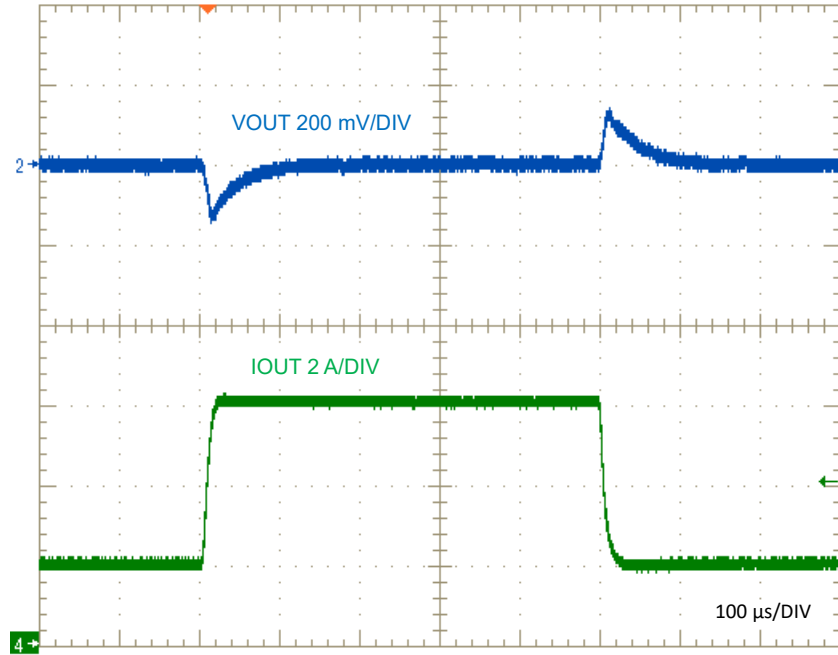


图 3-4. $V_{IN} = 48V$ 、FPWM、以 $1A/\mu s$ 的速度从 2A 变为 6A 时的负载瞬态响应

3.1.3.3 线路瞬态响应

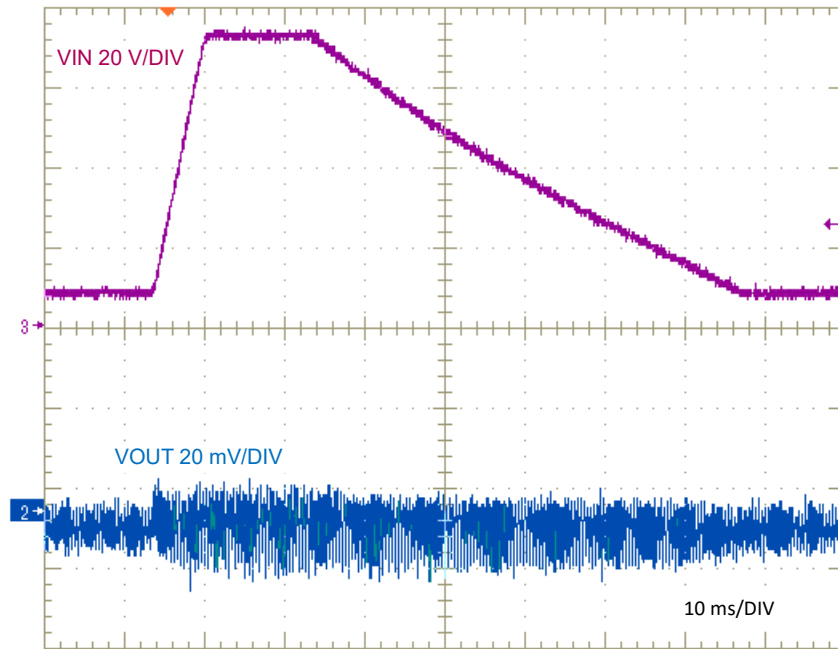


图 3-5. $I_{OUT} = 4A$ 、 V_{IN} 从 8V 变为 72V 时的线路瞬态响应

3.1.3.4 通过 EN 启动和关断

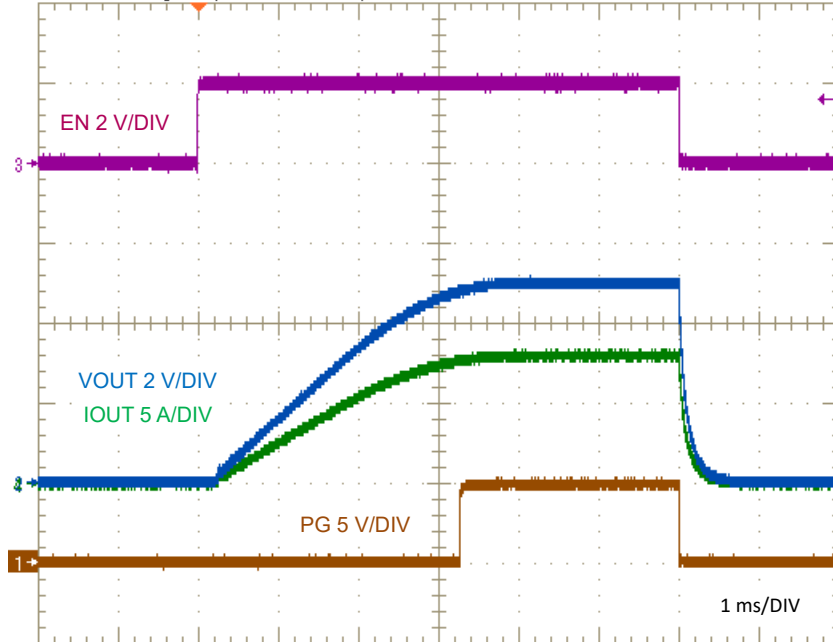


图 3-6. EN ON 和 OFF , $V_{IN} = 48V$, $I_{OUT} = 8A$ 电阻负载

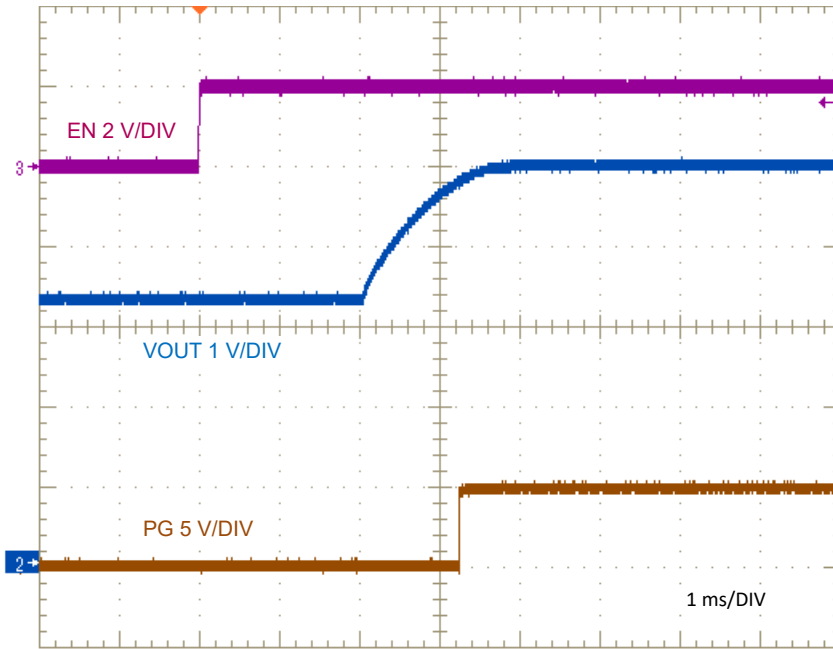


图 3-7. EN ON , $V_{IN} = 48V$, V_{OUT} 预偏置为 3.3V

3.1.3.5 通过 VIN 启动

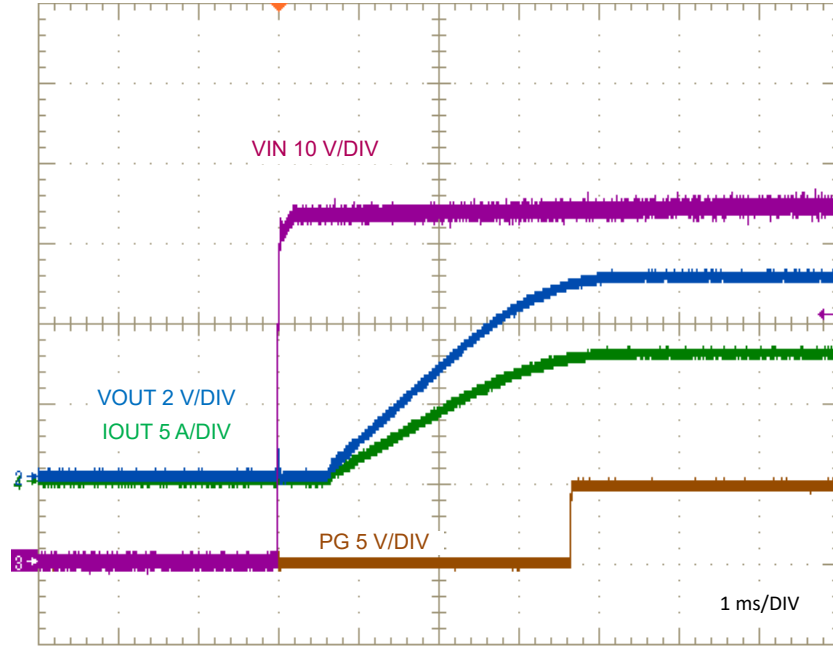
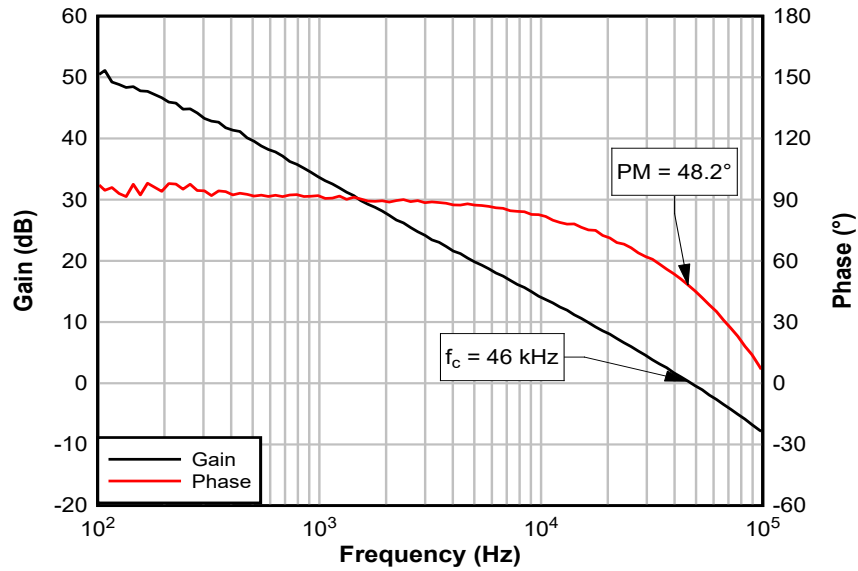


图 3-8. 启动, $V_{IN} = 48V$, $I_{OUT} = 8A$ 电阻负载

3.1.4 波特图



f_c = 交叉频率, PM = 相位裕度。

图 3-9. 波特图, $V_{IN} = 48V$, $V_{OUT} = 5V$, $I_{OUT} = 8A$ 电阻负载

3.1.5 CISPR 25 EMI 性能

图 3-10 展示了禁用 DRSS EMI 缓解技术时 LM70880-Q1 EVM 在 48V 输入下的 EMI 性能。根据 CISPR 25 低频规范使用 5 μ H LISN，在 150kHz 至 30MHz 的频率范围内对传导发射进行测量。CISPR 25 5 级峰值和平均限值线以红色表示。分别使用峰值检测法和平均值检测法来测量黄色和绿色光谱。

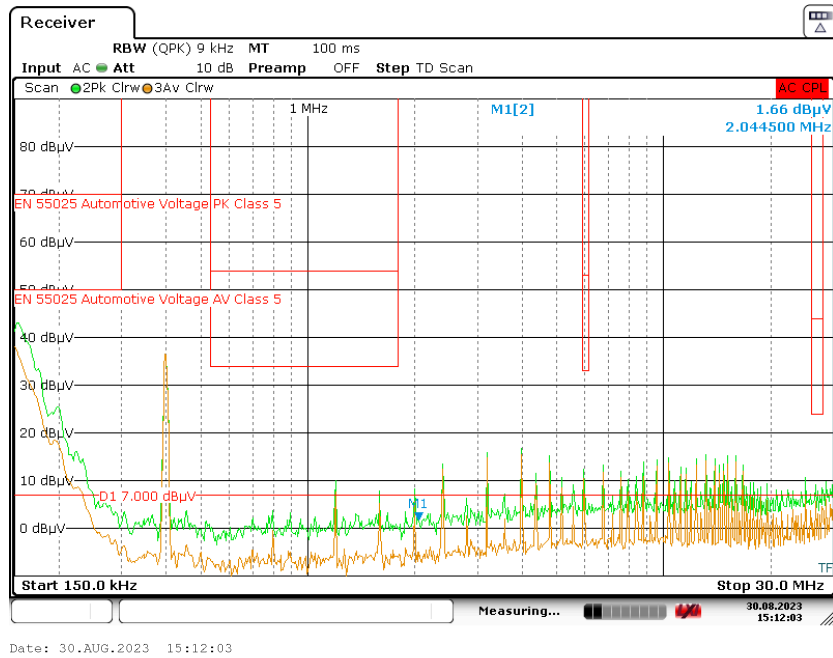


图 3-10. CISPR 25 5 级传导发射图，150kHz 至 30MHz， $V_{IN} = 48V$ ， $I_{OUT} = 5A$ 电阻负载

3.1.6 热性能

图 3-11 所示为热性能图像。

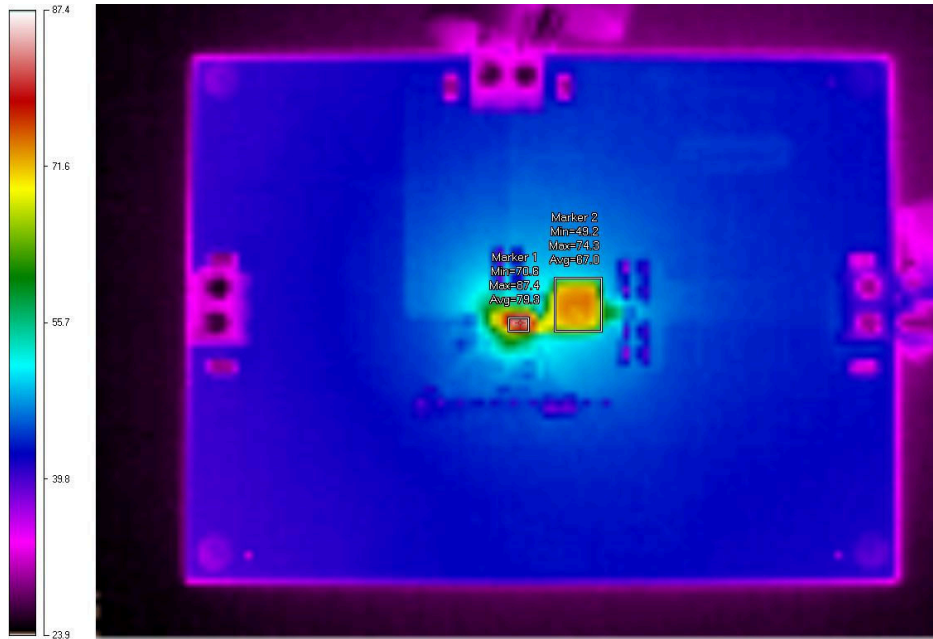


图 3-11. 热性能， $V_{IN} = 48V$ ， $I_{OUT} = 8A$ ， $T_{amb} = 25^{\circ}C$ ，无气流

4 硬件设计文件

4.1 原理图

图 4-1 所示为 EVM 原理图。

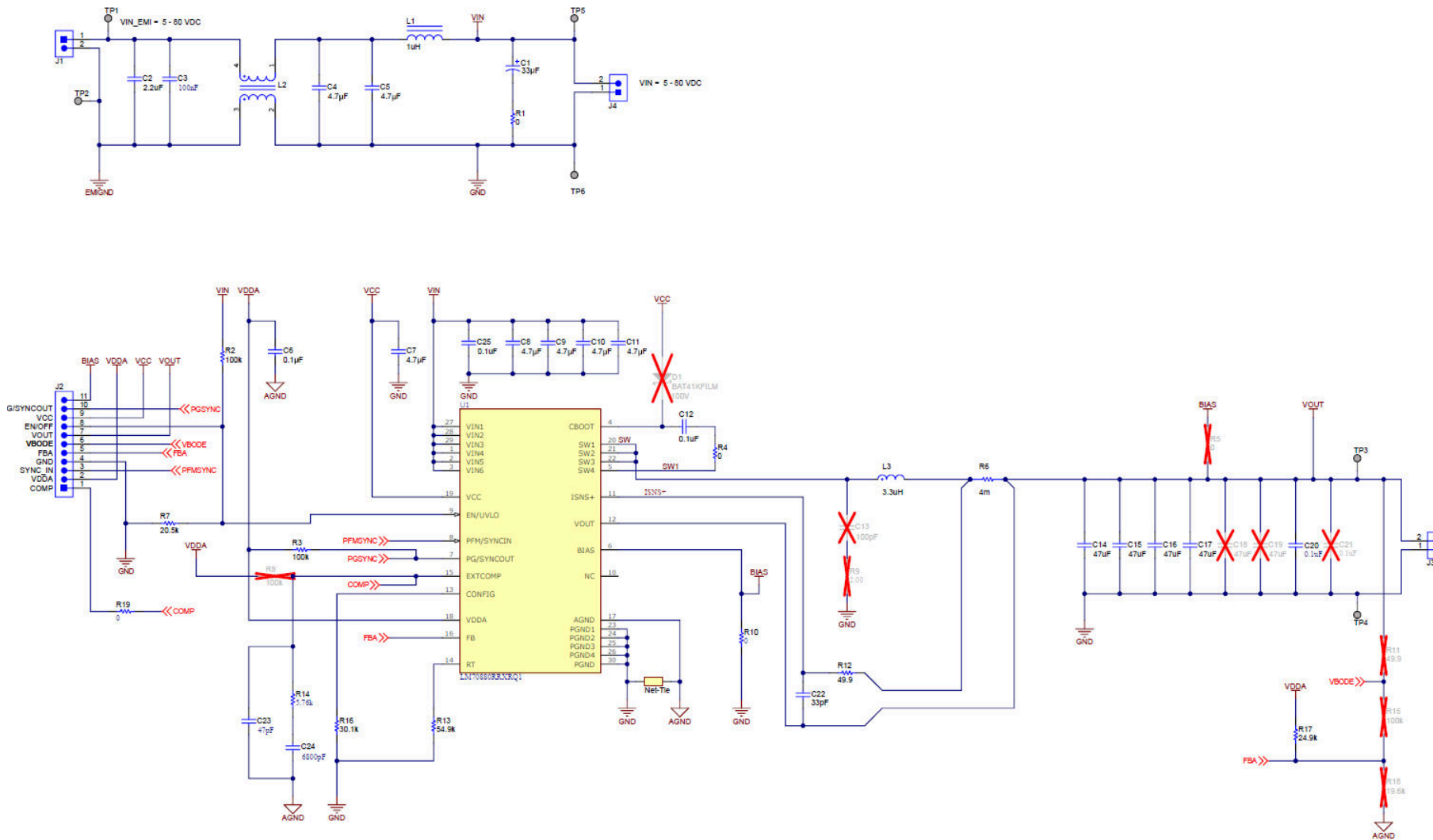


图 4-1. EVM 原理图

4.2 PCB 布局

图 4-2 至图 4-9 展示了使用铜厚度为 2oz 的六层 PCB 的 LM70880-Q1 EVM 设计。

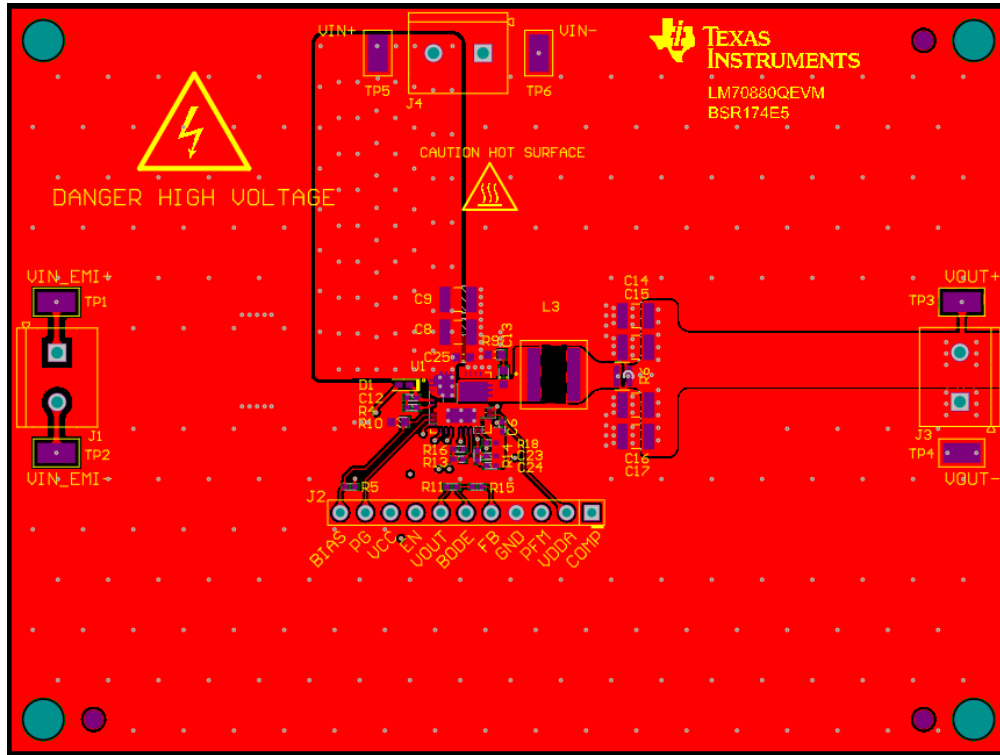


图 4-2. 顶层铜 (顶视图)

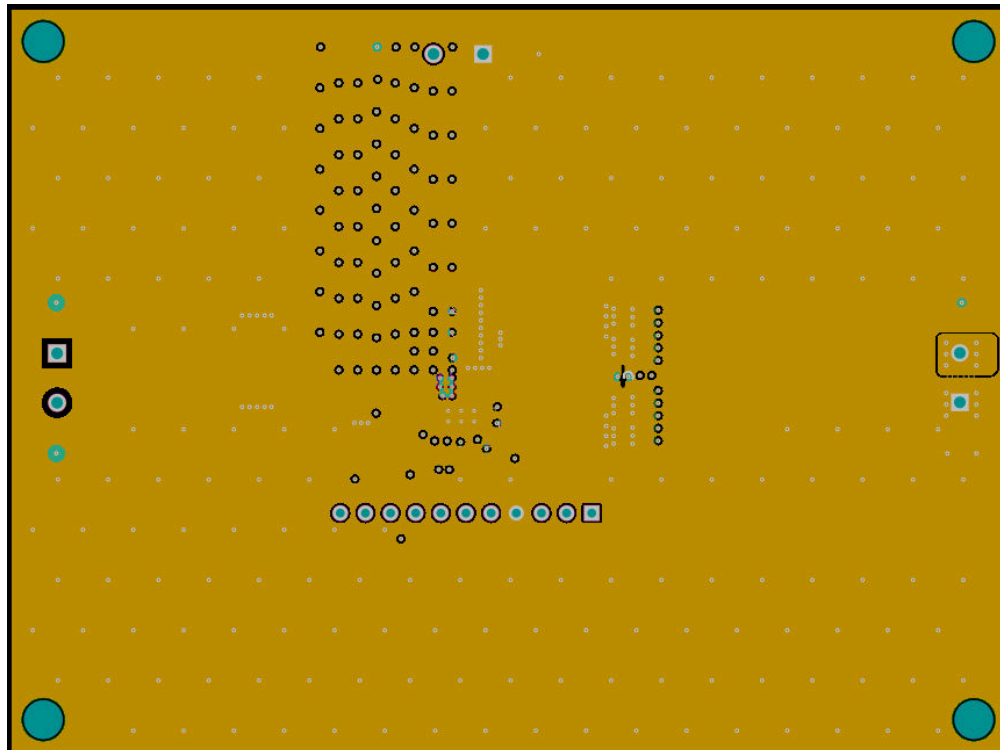


图 4-3. 第 2 层铜 (顶视图)

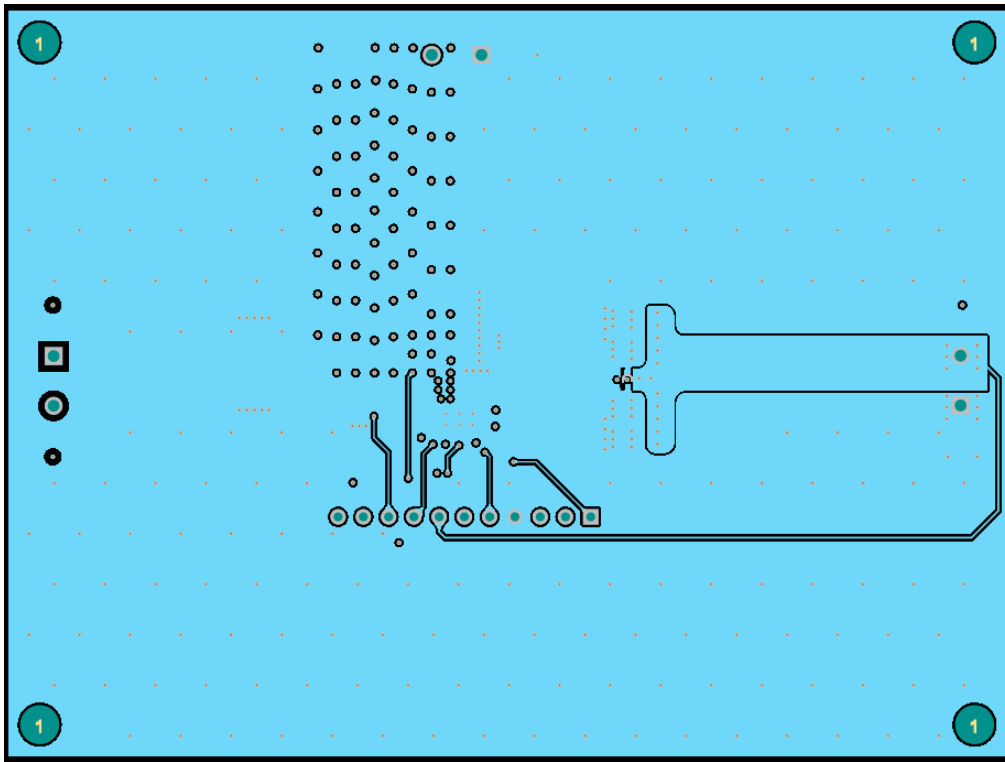


图 4-4. 第 3 层铜 (顶视图)

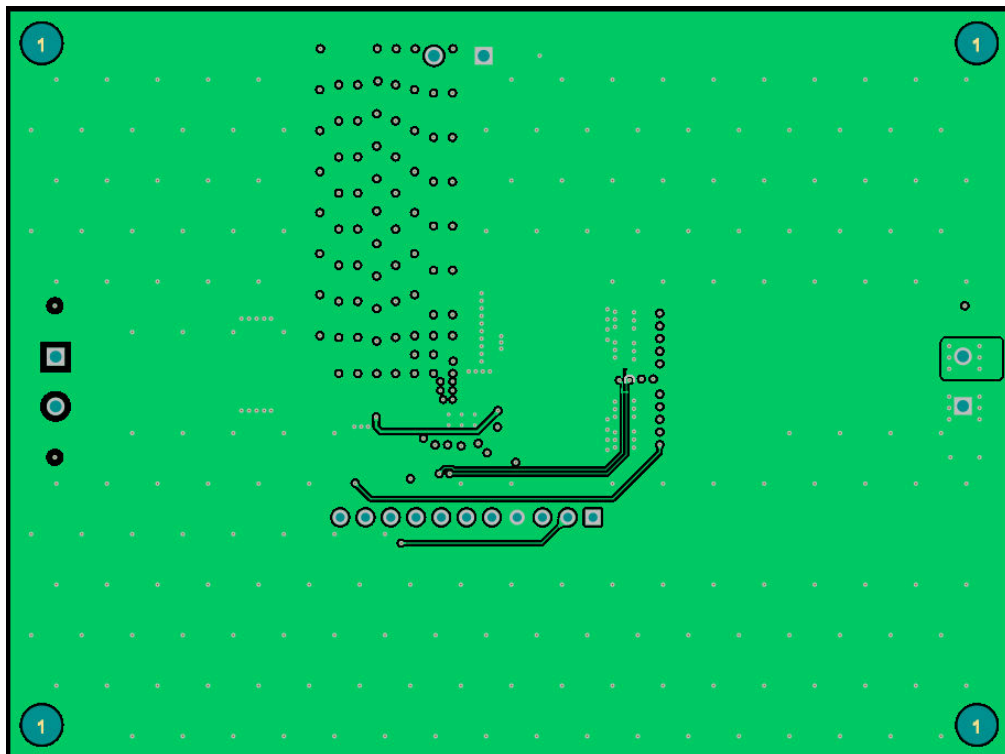


图 4-5. 第 4 层铜 (顶视图)

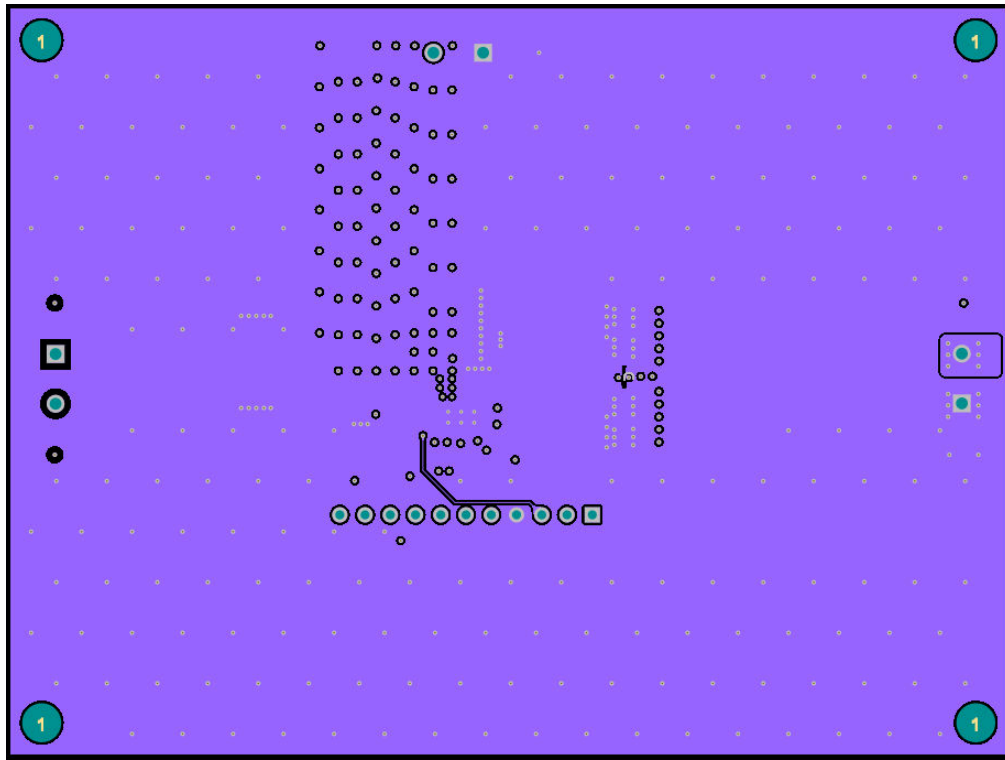


图 4-6. 第 5 层铜 (顶视图)

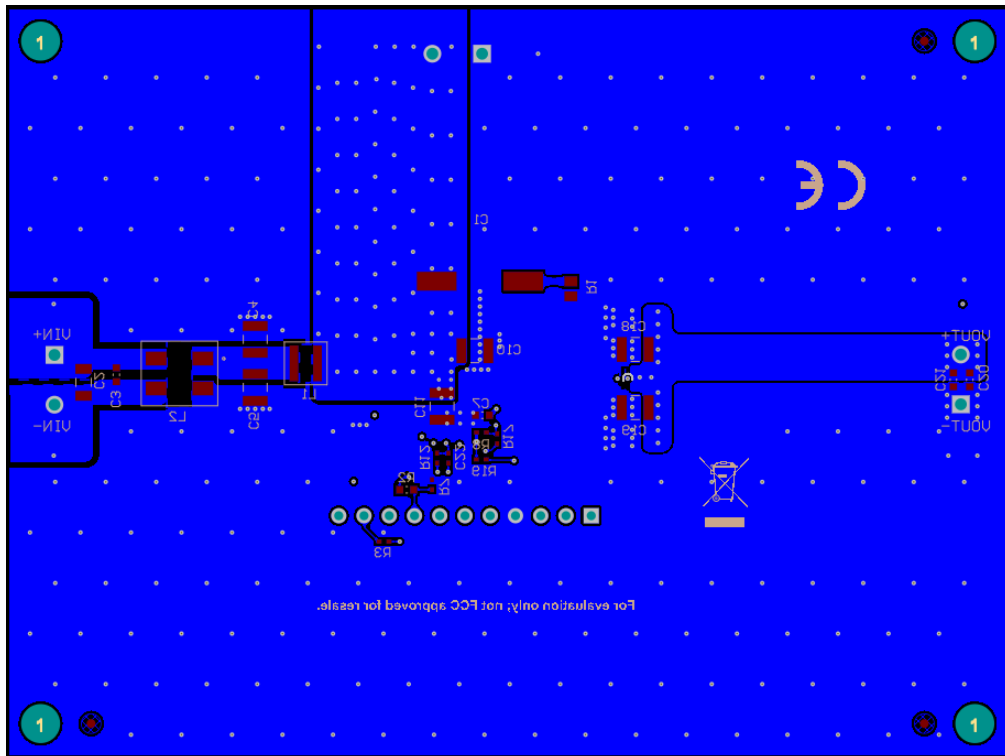


图 4-7. 底层铜 (顶视图)

4.2.1 元件图

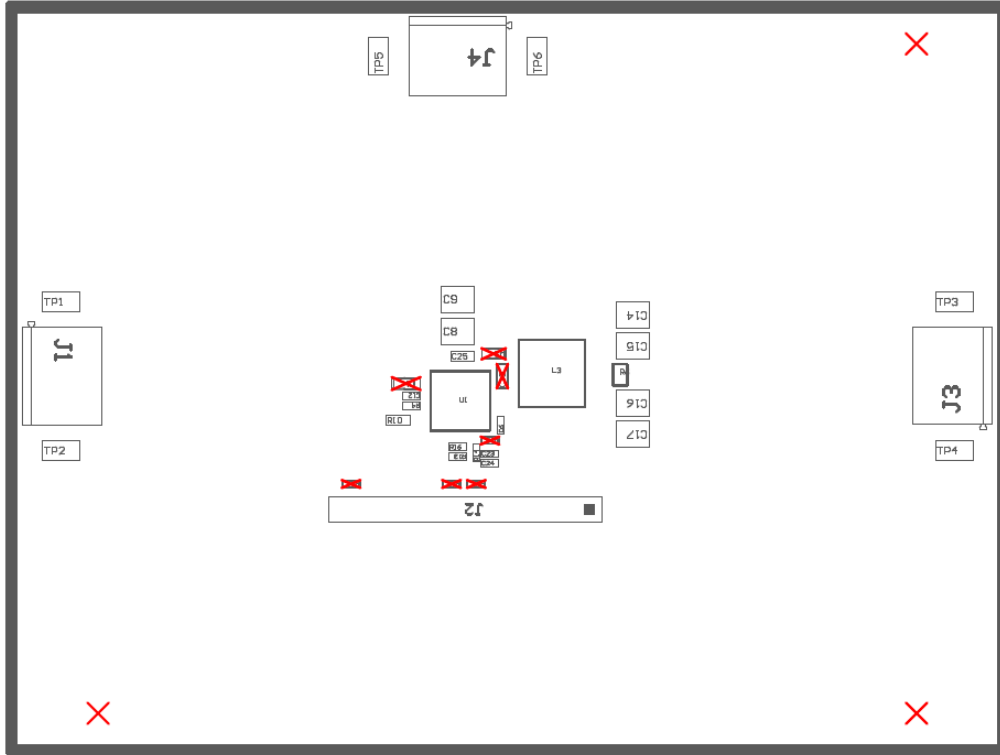


图 4-8. 顶层元件图

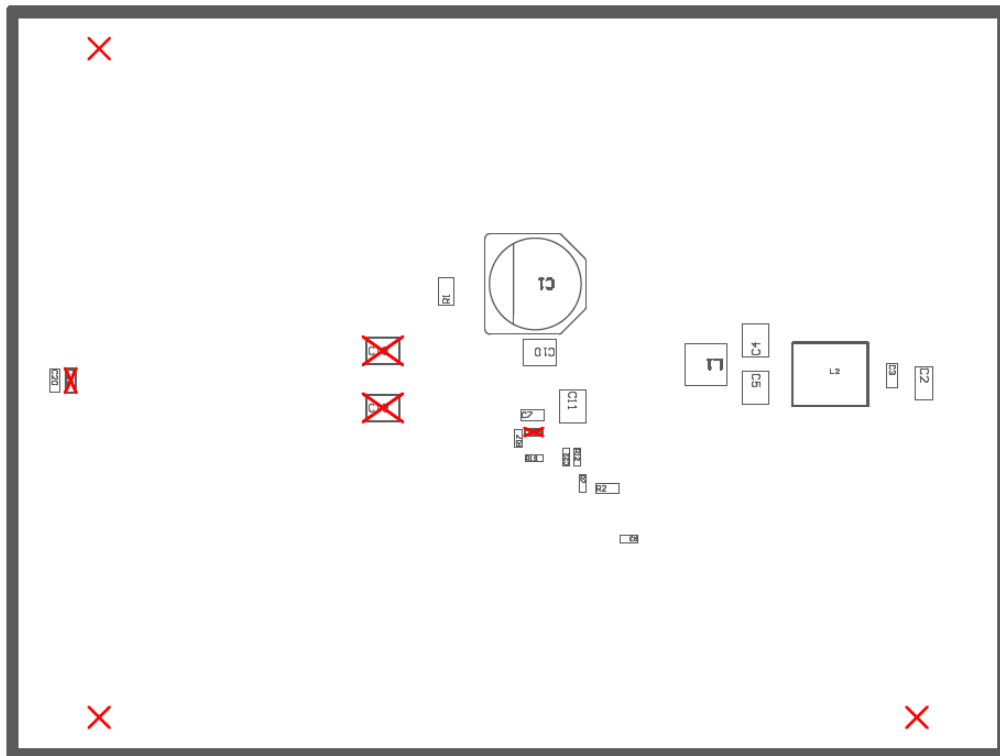


图 4-9. 底层元件图

4.2.2 多层叠

#	Name	Type	Material	Weight	Thickness	Dk
	Top Overlay	Overlay				
	Top Solder	Solder Mask	Solder Resist		0.4mil	3.5
1	Top Layer	Signal		2oz	2.8mil	
	Dielectric1	Core	FR4 Hi Tg		9mil	4.8
2	Signal Layer 1	Signal		2oz	2.8mil	
	Dielectric 2	Prepreg	FR4 Hi Tg		9mil	4.2
3	Signal Layer 2	Signal		2oz	2.8mil	
	Dielectric 3	Core	FR4 Hi Tg		9mil	4.2
4	Signal Layer 3	Signal		2oz	2.8mil	
	Dielectric 4	Prepreg	FR4 Hi Tg		9mil	4.2
5	Signal Layer 4	Signal		2oz	2.8mil	
	Dielectric 5	Core	FR4 Hi Tg		9mil	4.2
6	Bottom Layer	Signal		2oz	2.8mil	
	Bottom Solder	Solder Mask	Solder Resist		0.4mil	3.5
	Bottom Overlay	Overlay				

图 4-10. 层堆叠

4.3 物料清单

表 4-1. 物料清单

数量	参考设计	说明	器件型号	制造商
1	C1	电容器, 铝, 33 μ F, 100V, 1 Ω , AEC-Q200	EEE-TG2A330P	Panasonic
1	C2	电容器, 陶瓷, 2.2 μ F, 100V, X7S, 1206, AEC-Q200	CGA5L3X7S2A225K160AB	TDK
2	C3、C25	电容器, 陶瓷, 0.1 μ F, 100V, X7R, 0603, AEC-Q200	GCJ188R72A104KA01D	Murata
6	C4、C5、C8、C9、C10、C11	电容器, 陶瓷, 4.7 μ F, 100V, X7S, 1210, AEC-Q200	GCM32DC72A475KE02L	Murata
			CGA6M3X7S2A475K200AB	TDK
1	C6	电容器, 陶瓷, 0.1 μ F, 10V, X7R, 0402, AEC-Q200	C0402C104K8RACAUTO	Kemet
1	C7	电容器, 陶瓷, 4.7 μ F, 10V, X7R, 0603	GRM188Z71A475ME15D	Murata
1	C12	电容器, 陶瓷, 0.1 μ F, 25V, X7R, 0402	Std	Std
4	C14、C15、C16、C17	电容器, 陶瓷, 47 μ F, 10V, X7R, 1210	GRM32ER71A476KE15L	Murata
1	C20	电容器, 陶瓷, 0.1 μ F, 50V, X7R, 0603, AEC-Q200	CGA3E2X7R1H104K080AA	TDK
1	C22	电容器, 陶瓷, 33pF, 50V, C0G/NP0, 0402, AEC-Q200	GCM1555C1H330JA16D	Murata
1	C23	电容器, 陶瓷, 47pF, 50V, C0G/NP0, 0402, AEC-Q200	CGA2B2C0G1H470J050BA	TDK
1	C24	电容器, 陶瓷, 6800pF, 50V, X7R, 0402, AEC-Q200	CGA2B2X7R1H682K050BA	TDK
3	J1、J3、J4	端子块, 2 针位, 5mm, TH	Std	Std
1	J2	接头, 100mil, 11 \times 1, Au, TH	Std	Std
1	L1	电感器, 1 μ H, 12m Ω (典型值), 5.3A, 4.1mm \times 4.1mm \times 2.1mm (典型值), AEC-Q200	74438356010	Würth
1	L2	共模扼流圈, 700 Ω (在 100MHz 时), 4A, 15m Ω , 7.0mm \times 6.0mm \times 3.8mm (典型值), AEC-Q200	CM7060P701R-10	Laird
1	L3	电感器, 3.3 μ H, 5.9m Ω , 10.1A, 6.71mm \times 6.51mm \times 6.1mm (典型值), AEC-Q200	XGL6060-332MEC	Coilcraft
1	R1	电阻器, 贴片, 0 Ω , 1/8 W, 1%, 0805	Std	Std
1	R2	电阻器, 贴片, 100k Ω , 1/10 W, 1%, 0603	Std	Std
1	R3	电阻器, 贴片, 100k Ω , 1/16 W, 1%, 0402	Std	Std
2	R4、R19	电阻器, 贴片, 0 Ω , 1/5 W, 1%, 0402	Std	Std
1	R5	电阻器, 贴片, 4m Ω , 1W, 1%, 0508, AEC-Q200	KRL2012E-M-R004-F-T5	Susumu
1	R7	电阻器, 贴片, 20.5k Ω , 1/16 W, 1%, 0402	Std	Std
1	R10	电阻器, 贴片, 0 Ω , 1/10 W, 1%, 0603	Std	Std
1	R12	电阻器, 贴片, 49.9 Ω , 1/16 W, 1%, 0402	Std	Std
1	R13	电阻器, 贴片, 54.9k Ω , 1/16 W, 1%, 0402	Std	Std
1	R14	电阻器, 贴片, 5.76k Ω , 1/16 W, 1%, 0402	Std	Std
1	R16	电阻器, 贴片, 30.1k Ω , 1/16 W, 1%, 0402	Std	Std
1	R17	电阻器, 贴片, 24.9k Ω , 1/16 W, 1%, 0402	Std	Std
6	TP1、TP2、TP3、TP4、TP5、TP6	测试点, 微型, SMT	5019	Keystone
1	U1	IC, LM70880-Q1 采用 VQFN-29 封装、具有超低 IQ 的 80V、8A 同步直流/直流降压控制器	LM70880QRRXRQ1	TI
1	PCB1	PCB, FR4, 6 层, 2oz	PCB	-

5 合规信息

5.1 合规性和认证

- [LM70880QEVM 欧盟关于限制有害物质 \(RoHS\) 使用的符合性声明 \(DoC\)](#)

6 相关文档

请参阅以下相关文档：

- [“LM70880-Q1 具有超低 IQ 的 3.5V 至 80V 同步直流/直流降压转换器” 数据表](#)
- [“通过将电感寄生效应降至最低来降低降压转换器 EMI 和电压应力” 模拟应用期刊](#)
- [“AN-2162 轻松抑制直流/直流转换器中的传导 EMI” 应用报告](#)
- 白皮书：
 - [评估适用于成本驱动型严苛应用的宽 \$V_{IN}\$ 、低 EMI 同步降压电路](#)
 - [电源的传导 EMI 规格概述](#)
 - [电源的辐射 EMI 规格概述](#)

6.1 补充内容

6.1.1 开发支持

相关开发支持请参阅以下资源：

- 有关 TI 的参考设计库，请访问 [TI 参考设计](#)
- 有关 TI 的 WEBENCH 设计环境，请访问 [WEBENCH® 设计中心](#)
- [LM70880-Q1 直流/直流转换器快速入门计算器](#)

6.1.2 PCB 布局资源

- [“AN-1149 开关电源布局指南” 应用报告](#)
- [“AN-1229 Simple Switcher PCB 布局指南” 应用报告](#)
- [构建电源 - 布局注意事项电源设计研讨会](#)
- [“使用 LM4360x 与 LM4600x 简化低辐射 EMI 布局” 应用报告](#)
- Power House 博客：
 - [直流/直流转换器的高密度 PCB 布局](#)

6.1.3 热设计资源

- [“AN-2020 热设计：学会洞察先机，不做事后诸葛” 应用报告](#)
- [“AN-1520 外露焊盘封装实现最佳热阻的电路板布局布线指南” 应用报告](#)
- [“半导体和 IC 封装热指标” 应用报告](#)
- [“使用 LM43603 和 LM43602 简化热设计” 应用报告](#)
- [“PowerPAD 热增强型封装” 应用报告](#)
- [“PowerPAD 速成” 应用简报](#)
- [“使用新的热指标” 应用报告](#)

7 其他信息

7.1 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

8 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 * (September 2023) to Revision A (March 2024)	Page
• 首次公开发布.....	1

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