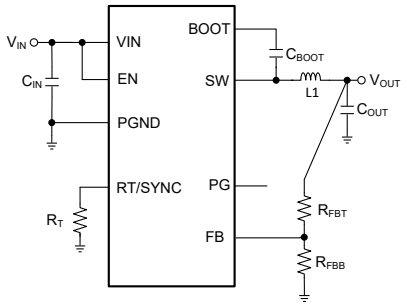
LMR38025-Q1 具有 40μA I_Q 的 4.2V 至 80V、2.5A、SIMPLE SWITCHER® 电源转换器汽车类同步降压转换器

1 特性

- 符合面向汽车应用的 AEC-Q100 标准
  - 温度等级 1：–40°C 至 +150°C，T_J
- 功能安全型
  - 可提供用于功能安全系统设计的文档
- 专为低 EMI 要求而设计
  - 展频选项可降低峰值发射
  - 低封装寄生效应，有助于符合 CIPR25 5 类标准
- 专用于条件严苛的汽车应用
  - 输入电压范围为 4.2V 至 80V
  - 2.5A 持续输出电流
  - 40μA 超低工作静态电流
  - 200kHz 至 2.2MHz 可调节开关频率
  - 与外部时钟频率同步
  - 97% 最大占空比
  - 支持预偏置输出启动事件
  - 温度范围内的基准电压容差为 ±1.5%
  - 精密使能端
  - 易于使用，具有集成补偿网络，可实现较少的 BOM 数量
  - 集成同步整流
  - 具有可湿性侧面的 PowerPAD™ 12 引脚 WSON 集成电路封装
  - PFM 和强制 PWM (FPWM) 选项
- 使用 LMR38025-Q1 并借助 WEBENCH® Power Designer 创建定制设计

2 应用

- 汽车逆变器和电机控制
- 汽车直流/直流转换器
- 汽车电池管理系统
- 汽车类 48V 轻混合动力 ECU 辅助电源



简化版原理图

3 说明

LMR38025-Q1 同步降压转换器用于在宽输入电压范围内进行调节，从而尽可能减少对外部浪涌抑制元件的需求。LMR38025-Q1 能够在输入电压降至 4.2V 时根据需要以接近 100% 的占空比运行，因而是 48V 电池汽车应用和 MHEV/EV 系统的理想选择，因为绝对最大输入电压为 85V。

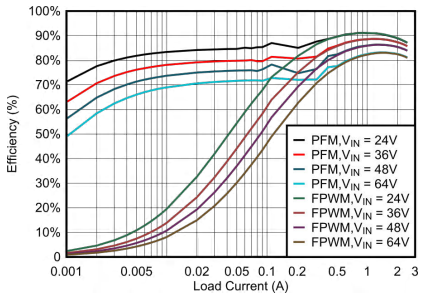
LMR38025-Q1 具有高压使能引脚，可通过将器件连接到宽输入电源电压或在启动和关断过程中进行精密 UVLO 控制来启用该器件。附带内置滤波和延迟功能的电源正常状态标志可提供系统状态的真实指示，免去了使用外部监控器的麻烦。该器件采用伪随机展频选项，可更大程度地降低 EMI。开关频率可在 200kHz 至 2.2MHz 范围内进行配置，从而避开噪声敏感频段。此外，可通过 RT 引脚对频率进行编程，从而在低工作频率下提高效率，或通过在高工作频率下缩小设计尺寸来实现。

该器件具有内置的保护功能，例如逐周期电流限制、断续模式短路保护以及功耗过大情况下的热关断功能。LMR38025-Q1 符合汽车 AEC-Q100 1 级标准并采用 12 引脚 WSON 封装。

封装信息

器件型号	封装(1)	封装尺寸(2)
LMR38025-Q1	DRR（WSON，12）	3.00mm × 3.00mm

(1) 有关更多信息，请参阅 节 11。
(2) 封装尺寸（长 × 宽）为标称值，并包括引脚（如适用）。



效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 5V，400kHz

本资源的原文使用英文撰写。 为方便起见，TI 提供了译文；由于翻译过程中可能使用了自动化工具，TI 不保证译文的准确性。 为确认准确性，请务必访问 ti.com 参考最新的英文版本（控制文档）。

内容

1 特性.... 1
2 应用.... 1
3 说明.... 1
4 器件比较表.... 3
5 引脚配置和功能.... 3
6 规格.... 4
6.1 绝对最大额定值.... 4
6.2 ESD 等级.... 4
6.3 建议运行条件.... 4
6.4 热性能信息.... 5
6.5 电气特性.... 5
6.6 系统特性.... 7
6.7 典型特性.... 8
7 详细说明.... 9
7.1 概述.... 9
7.2 功能方框图.... 9
7.3 特性说明.... 9
7.4 器件功能模式.... 16
8 应用和实施.... 17
8.1 应用信息.... 17
8.2 典型应用.... 18
8.3 优秀设计实践.... 25
8.4 电源相关建议.... 25
8.5 布局.... 25
9 器件和文档支持.... 28
9.1 器件支持.... 28
9.2 文档支持.... 28
9.3 接收文档更新通知.... 28
9.4 支持资源.... 28
9.5 商标.... 29
9.6 静电放电警告.... 29
9.7 术语表.... 29
10 修订历史记录.... 29
11 机械、封装和可订购信息.... 29

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

4 器件比较表

可订购器件型号	电流	FPWM	展频	输出
LMR38025FSQDRRRQ1	2.5A	是	是	可调节
LMR38025SQDRRRQ1	2.5A	否	是	可调节
LMR38025S5QDRRRQ1	2.5A	否	是	固定 5V
LMR38025FS3QDRRRQ1	2.5A	是	是	固定 3.3V

5 引脚配置和功能

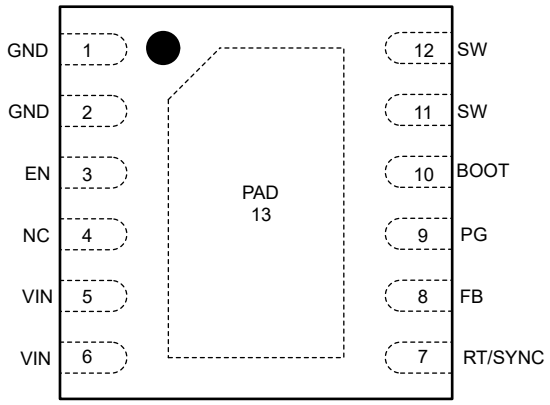


图 5-1. DRR 封装，12 引脚 WSON（顶视图）

表 5-1. 引脚功能

引脚		类型[(1)]	说明
名称	编号		
GND	1、2	G	电源和模拟接地端子。所有电气参数都是相对于这个引脚测量的。使用短而宽的布线将优质旁路电容器直接连接到此引脚和 VIN。
EN	3	A	使能输入到稳压器。高电平 = 开启，低电平 = 关闭。可直接连接至 VIN。*请勿悬空*。
NC	4		无连接。悬空引脚。
VIN	5、6	P	到稳压器的输入电源。使用短而宽的布线将一个或多个优质旁路电容器直接连接到此引脚和 GND。
RT/SYNC	7	A	电阻时序或外部时钟输入。当使用外部接地电阻设置开关频率时，内部放大器将该引脚保持为固定电压。如果该引脚拉至超出 PLL 上限阈值，则模式发生变化，引脚变为同步输入。内部放大器禁用，引脚现在呈现为内部 PLL 的高阻抗时钟输入。如果时钟边沿停止，内部放大器将重新使能，并且工作模式会恢复为通过电阻进行频率编程。
FB	8	A	到稳压器的反馈输入。连接到反馈分压器的抽头。*请勿悬空*。*请勿接地*。
PG	9	A	开漏电源正常标志输出。通过限流电阻器连接到合适的电压电源。高电平 = 电源正常，低电平 = 电源不良。当 EN = 低电平时，标志拉至低电平。可在不使用时保持开路。
BOOT	10	P	内部高侧驱动器的自举电源电压。在该引脚与 SW 引脚之间连接一个 100nF 优质电容器。
SW	11、12	P	稳压器开关节点。连接到功率电感器。
EP	散热焊盘	热	连接到系统地。

(1) A = 模拟，P = 电源，G = 地

6 规格

6.1 绝对最大额定值

在 -40°C 至 +150°C 结温范围内测得（除非另外说明）[(1)]

		最小值	最大值	单位
输入电压	VIN 至 PGND	–0.3	85	V
	EN 至 PGND	–0.3	VIN + 0.3	V
	FB 至 PGND	–0.3	5.5	V
	RT/SYNC 至 PGND	–0.3	5.5	V
输出电压	CBOOT 至 SW	–0.3	5.5	V
	SW 到 PGND	–0.3	85	V
	SW 至 PGND（瞬变小于 10ns）	-5.0	85.3	V
	PGOOD 至 PGND	-0.3	20	V
结温 T_J		-40	150	°C
贮存温度，T_{stg}		-65	150	°C

(1) 超出绝对最大额定值运行可能会对器件造成损坏。绝对最大额定值并不表示器件在这些条件下或在建议运行条件以外的任何其他条件下能够正常运行。如果超出建议运行条件但在绝对最大额定值范围内使用，器件可能不会完全正常运行，这可能影响器件的可靠性、功能和性能并缩短器件寿命。

6.2 ESD 等级

			值	单位
$V_{(ESD)}$	静电放电	人体放电模型 (HBM)，符合 AEC Q100-002[(1)] 器件 HBM 分类等级 2	±2000	V
		充电器件模型 (CDM)，符合 AEC Q100-011 器件 CDM 分类等级 C5	±750	

(1) AEC Q100-002 指示必须按照 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 规范执行 HBM 应力测试。

6.3 建议运行条件

在建议的 -40°C 到 +150°C 工作结温范围内测得（除非另外说明）[(1)]

		最小值	标称值	最大值	单位
输入电压	输入电压范围（启动后）	4.2		80	V
输入电压	EN 至 PGND			VIN	V
输入电压	RT 至 PGND			5	V
输入电压	PGOOD 至 PGND			20	V
输出电压	SW 到 PGND			80	V
输出电压	可调版本的输出电压范围[(2)]	1		75	V
频率	频率调节范围	200		2200	kHz
同步频率	同步频率范围	300		2100	kHz
负载电流	输出直流电流范围 (LMR38025-Q1)[(3)]	0		2.5	A
温度	工作结温 T_J 范围 [(4)]	-40		150	°C

(1) 建议运行条件表示器件可正常工作的条件，但不保证特定性能限制。有关符合要求的规格，请参阅“电气特性”表。
(2) 在任何情况下，输出电压都不得降至零伏以下。
(3) 在高开关频率或高环境温度下运行时，最大持续直流电流可能会降低。有关详细信息，请参阅“应用”部分。
(4) 高结温会缩短工作寿命。结温高于 150℃ 时，工作寿命会缩短。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.4 热性能信息

热指标[1]		LMR380X5 DRR (WSON) 12 引脚	单位
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻	54.3	°C/W
$R_{\theta JA(Effecitve)}$	结至环境热阻 (LMR38025QEVM)	23.0	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳（顶部）热阻	39.1	°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	21.7	°C/W
ψ_{JT}	结至顶部特征参数	0.6	°C/W
ψ_{JB}	结至电路板特征参数	21.7	°C/W
$R_{\theta JC(bot)}$	结至外壳（底部）热阻	4.7	°C/W

(1) 有关新旧热指标的更多信息，请参阅*半导体和 IC 封装热指标*应用报告。

6.5 电气特性

限值适用于 -40°C 至 +150°C 工作结温范围 (T_J)（除非另外说明）。最小和最大限值[1]经过测试、设计和统计相关性分析确定。典型值表示 T_J = 25°C 条件下最有可能达到的参数标准，仅供参考。除非另有说明，以下条件适用：V_{IN} = 24V。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
电源电压和电流						
$V_{IN_OPERATE}$	工作输入电压	启动需要			4.2	V
		运行后			3.8	V
I_{Q-NON_SW}	非开关工作静态电流	V_{EN} = 3.3V（仅限 PFM 型号）		40		μA
I_{SD}	关断静态电流；在 VIN 引脚处测得	V_{EN} = 0V		3	8	μA
ENABLE						
V_{EN-H}	使能输入高电平	V_{ENABLE} 上升	1.1	1.25	1.4	V
V_{EN-L}	使能输入低电平	V_{ENABLE} 下降	0.95	1.10	1.22	V
I_{LKG-EN}	使能输入漏电流	V_{EN} = 3.3V		5.0		nA
电压基准（FB 引脚）						
$V_{OUT-3.3V-Fixed}$	输出电压	4.2V ≤ V_{IN} ≤ 80V，0.5A，T_J = 25°C，FPWM	3.28	3.3	3.32	V
		4.2V ≤ V_{IN} ≤ 80V，0.5A，-40°C ≤ T_J ≤ 150°C，FPWM	3.25	3.3	3.35	V
$V_{OUT-5V-Fixed}$	输出电压	4.2V ≤ V_{IN} ≤ 80V，0.5A，T_J = 25°C，FPWM	4.97	5.0	5.03	V
		4.2V ≤ V_{IN} ≤ 80V，0.5A，-40°C ≤ T_J ≤ 150°C，FPWM	4.92	5.0	5.08	V
V_{REF}	反馈基准电压	V_{IN} = 4.2V 至 80V，T_J = 25℃，FPWM	0.99	1	1.01	V
V_{REF}	反馈基准电压	FPWM	0.985	1	1.015	V
I_{LKG-FB}	反馈漏电流	FB = 1.2V（可调节电压）		2.1		nA
电流限值和断续						
$I_{SC-LIMIT}$	高侧电流限值[2]		3.18	3.9	4.64	A
$I_{LS-LIMIT}$	低侧电流限值[2]		2.25	2.85	3.5	A
I_{L-ZC}	过零检测器阈值	仅限 PFM 型号		0.07		A
$I_{PEAK-MIN}$	最小电感器峰值电流[2]	仅限 PFM 型号		0.6		A
I_{L-NEG}	负电流限值[2]	仅限 FPWM 型号		–1.1		A
功率级						
$R_{DS-ON-HS}$	高侧 MOSFET 导通电阻			303		mΩ

6.5 电气特性（续）

限值适用于 -40°C 至 +150°C 工作结温范围 (T_J)（除非另外说明）。最小和最大限值[(1)]经过测试、设计和统计相关性分析确定。典型值表示 T_J = 25°C 条件下最有可能达到的参数标准，仅供参考。除非另有说明，以下条件适用：V_{IN} = 24V。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$R_{DS-ON-LS}$	低侧 MOSFET 导通电阻			133		mΩ
t_{ON-MIN}	最短开关导通时间	V_{IN} =24V，Iout = 1A		80	131	ns
$t_{OFF-MIN}$	最短开关关断时间			190	300	ns
t_{ON-MAX}	最大开关导通时间			5		us
开关频率和同步						
F_{OSC}	开关频率	R_T = 49.9kΩ	430	525	650	kHz
F_{SPREAD}	启用展频时 内部振荡器的展频		-8%		8%	
VSYNC_HI	SYNC 时钟高电压阈值				2	V
VSYNC_LO	SYNC 时钟低电压阈值		0.6			V
t_{PULSE_H}	需要识别为脉冲的高电平持续时间				50	ns
C_{LOCK}	时钟在同步周期中锁定到有效同步信号所需的时间				230	μs
启动和跟踪						
t_{SS}	内部软启动时间			4.2		ms
电源正常						
$V_{PG-HIGH-UP}$	电源正常上限阈值 - 上升	FB 电压 %	110%	112%	114%	
$V_{PG-LOW-DN}$	电源正常下限阈值 - 下降	FB 电压 %	90%	92%	94%	
V_{PG-HYS}	电源正常状态迟滞（上升和下降）	FB 电压 %		2.2%		
$V_{PG-VALID}$	适当的电源正常功能的最小输入电压				2	V
R_{PG}	电源正常导通电阻	V_{EN} = 0V		140		Ω
R_{PG}	电源正常导通电阻	V_{EN} = 3.3V		92		Ω
$t_{PGDFLT(fall)}$	PGOOD 功能的干扰滤波器时间常数			45		us
热关断						
$T_{SD-Rising}$ [(3)]	热关断	关断阈值		163		℃
$T_{SD-Falling}$ [(3)]	热关断	恢复阈值		150		℃

(1) 最小值和最大值限值在 25ºC 下经过 100% 生产测试。使用统计质量控制 (SQC) 方法通过相关性验证了工作温度范围内的限值。这些限值用于计算平均出厂质量水平 (AOQL)。
(2) 此表中的电流限制值在生产中经过开环测试。可能不同于闭环应用中的那些值。
(3) 未经生产测试。根据设计确定。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.6 系统特性

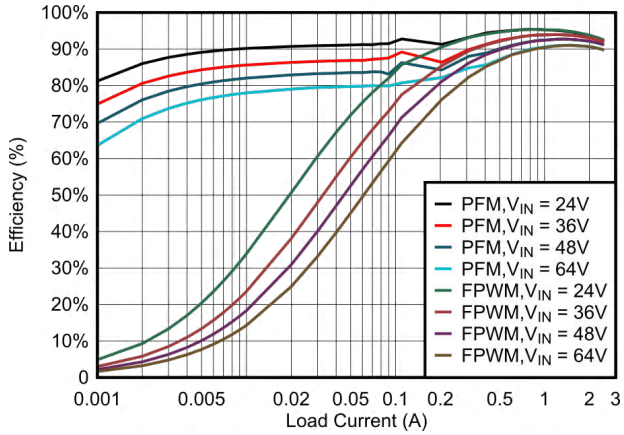
以下规格适用于具有标称元件值的典型应用电路。典型值列中的规格仅适用于 T_J = 25℃ 的情况。最小值 (MIN) 和最大值 (MAX) 列中的规格适用于典型元件在 T_J = -40℃ 至 +150℃ 温度范围内的情况。*量产测试未指定这些规格。*

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{IN}	工作输入电压范围		4.2		80	V
V_{OUT}	可调输出电压调节(1)	PFM 运行	-1.5%		2.5%	
V_{OUT}	可调输出电压调节(1)	FPWM 运行	–1.5%		1.5%	
I_{SUPPLY}	稳压时的输入电源电流	V_{IN} = 24V，V_{OUT} = 3.3V，I_{OUT} = 0A，R_{FBT} = 1MΩ，PFM 型号		40		μA
D_{MAX}	最大开关占空比(2)			97%		
V_{HC}	触发短路断续模式所需的 FB 引脚电压			0.4		V
t_D	开关电压死区时间			5		ns
T_{SD}	热关断温度	关断温度		163		°C
T_{SD}	热关断温度	恢复温度		150		°C

(1) V_{IN} = 24V、I_{OUT} = 0A 至满载时 V_{OUT} 与标称输出电压值的偏差。
(2) 在压降运行中，通过降低开关频率来增加实际占空比。最低频率被钳位在大约：$F_{MIN} = 1 / (t_{ON-MAX} + t_{OFF-MIN})$。$D_{MAX} = t_{ON-MAX} / (t_{ON-MAX} + t_{OFF-MIN})$。

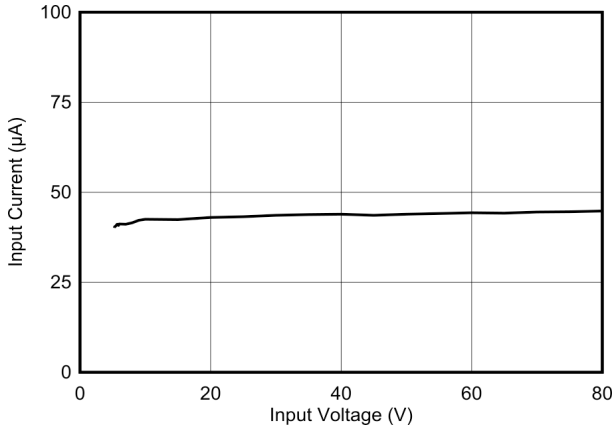
6.7 典型特性

除非另有说明，否则以下条件适用：T_A = 25°C，V_{IN} = 24V，f_{SW} = 400kHz



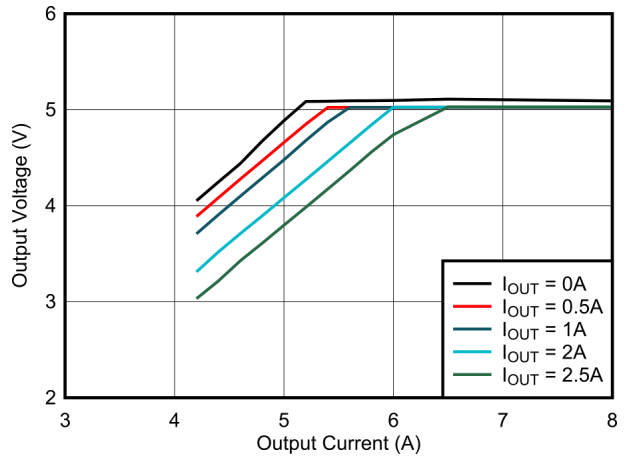
F_{SW} = 400kHz　　V_{OUT}= 12.0V

图 6-1. 效率与负载电流之间的关系



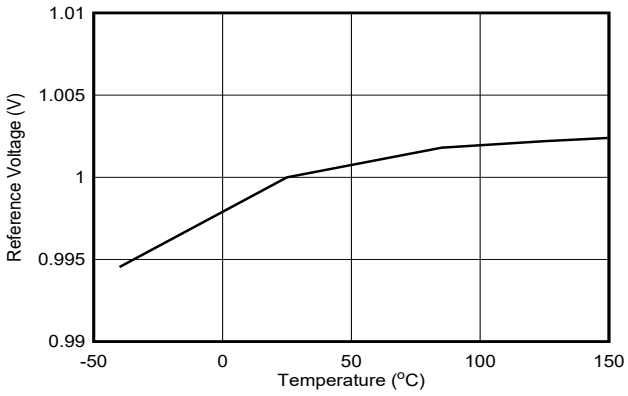
V_{OUT}= 5V　　R_{FBB} = 100k

图 6-2. 空载输入电流与输入电压间的关系



F_{SW} = 400kHz　　V_{OUT}= 5.0V　　PFM 版本

图 6-3. 5V 压降



V_{IN} = 48.0V

图 6-4. 基准电压与温度间的关系

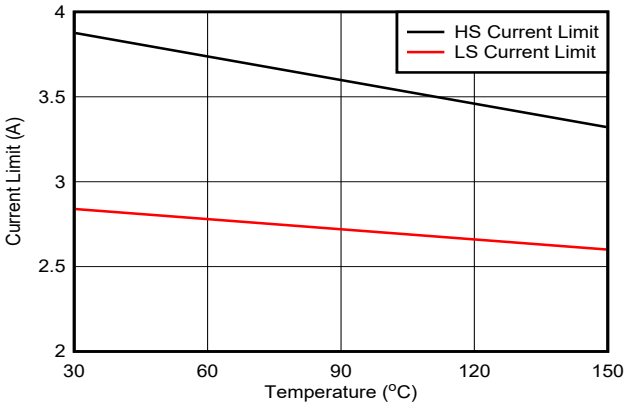


图 6-5. 高侧和低侧电流限制与温度间的关系

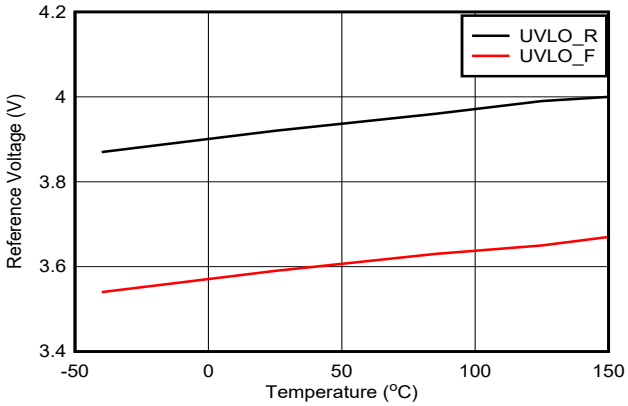


图 6-6. V_{IN} UVLO 与温度间的关系

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7 详细说明

7.1 概述

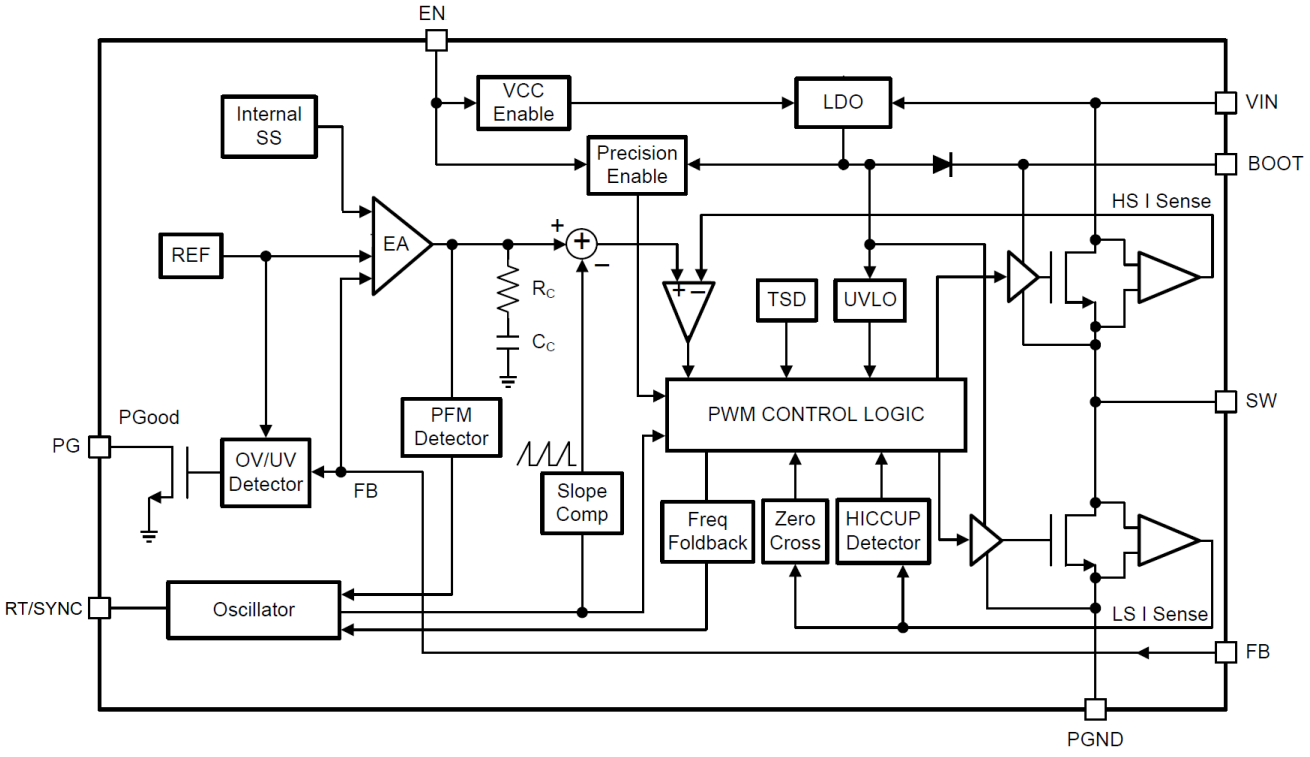
LMR38025-Q1 转换器是一款简单易用的同步直流/直流降压转换器，工作电源电压为 4.2V 至 80V。该器件能够以较小的设计尺寸提供高达 2.5A 的直流负载电流。LMR38025-Q1 采用峰值电流模式控制。该器件在轻负载时会进入 PFM 模式，以便在以 PFM 模式运行时实现高效率。FPWM 版本可在轻负载条件下实现低输出电压纹波、严格的输出电压调节和恒定开关频率。该器件具有内部补偿功能，可节省设计时间并仅需几个外部无源器件。

精密使能和内部软启动等其他特性为各种应用提供了灵活且易于使用的设计。保护特性包括以下几项：

- 热关断
- V_{IN} 欠压锁定
- 逐周期电流限制
- 断续模式短路保护

该器件需要极少外部元件，引脚排列的设计可实现简单且出色的 PCB 布局。

7.2 功能方框图



7.3 特性说明

7.3.1 固定频率峰值电流模式控制

LMR38025-Q1 是一款同步降压转换器，具有集成式高侧 (HS) 和低侧 (LS) 开关（同步整流器）。LMR38025-Q1 通过使用受控的占空比打开高侧和低侧 NMOS 开关，来提供稳定的输出电压。高侧开关导通期间，SW 引脚电压上升至约 V_{IN}，电感器电流 i_L 以线性斜率 $(V_{IN} - V_{OUT})/L$ 增加。当高侧开关被控制逻辑断开时，低侧开关在经过反击穿死区时间后将会导通。电感电流通过低侧开关以斜率 V_{OUT}/L 放电。降压转换器的控制参数为占空比 $D = t_{ON}/T_{SW}$，其中 t_{ON} 是高侧开关导通时间，T_{SW} 是开关周期。转换器控制环路通过调整占空比 D 来维持恒定的输出电压。在可忽略损耗的理想降压转换器中，D 与输出电压成正比，与输入电压成反比：$D = V_{OUT}/V_{IN}$。

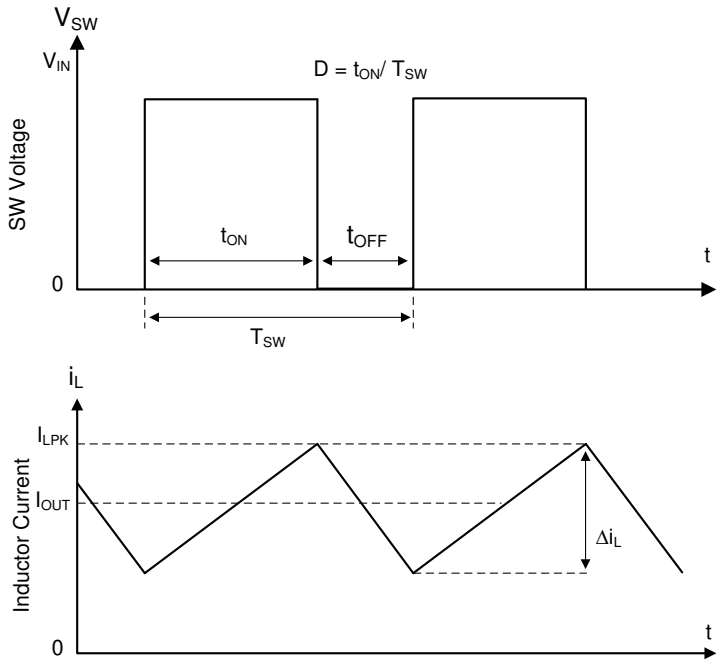


图 7-1. 连续导通模式 (CCM) 下的 SW 节点和电感器电流波形

LMR38025-Q1 采用固定频率峰值电流模式控制。通过调节峰值电流命令，高增益电压反馈环路用于获得经精确稳压的输出电压。通过检测高侧开关的峰值电感电流，并与峰值电流阈值进行比较来控制高侧开关的导通时间。电压反馈环路具有内部补偿功能，需要较少外部元件，使设计和提供几乎任何输出电容器组合的稳定操作变得简单。正常负载条件下，转换器以固定开关频率工作。在轻负载条件下，LMR38025-Q1 将以 PFM 模式工作来维持高效率，或以 FPWM 模式工作来实现低输出电压纹波、严密输出电压调节和恒定的开关频率。

7.3.2 可调节输出电压

为在整个工作温度范围内保持严格的稳压输出电压，设计中使用了一个 1.0V 的精密基准电压 (V_{REF})。输出电压通过输出电压和 FB 引脚间的电阻分压器进行设置。TI 建议使用容差为 1% 且温度系数低的电阻器作为 FB 分压器。根据所需的分压器电流选择合适的低侧电阻值 R_{FBB}，并使用方程式 1 来计算高侧 R_{FBT}。对于大多数应用，TI 推荐的 R_{FBT} 范围为 10kΩ 至 100kΩ。在 PFM 运行模式下，如果静载荷需要降低 V_{OUT} 失调电压，则可选用较低的 R_{FBT} 值。在极轻负载条件下，R_{FBT} 越小，效率越低。R_{FBT} 越大，流过的静态电流越小，因此当轻负载效率极为关键时，使用更大阻值较为理想。TI 不建议将 R_{FBT} 设为大于 1MΩ，因为如果 R_{FBT} 大于 1MΩ 会使反馈路径更容易受到噪声的影响。R_{FBT} 值越大，就越需要仔细地设计 PCB 上的反馈路径。电阻分压器的容差和温度变化将影响输出电压调节。

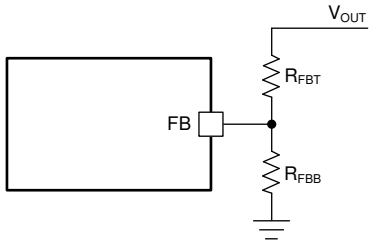


图 7-2. 输出电压设置

$$R_{FBT} = \frac{V_{OUT} - V_{REF}}{V_{REF}} \times R_{FBB} \quad (1)$$

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.3.3 启用

EN 引脚电压控制 LMR38025-Q1 的开启或关闭操作。低于 0.95V 的电压会禁用该器件，而需要高于 1.4V 的电压才能启用转换器。EN 引脚是输入引脚，不得处于开路或悬空状态。使 LMR38025-Q1 运行的最简单方法是将 EN 连接到 VIN。当 V_{IN} 处于允许的工作范围内时，此连接让 LMR38025-Q1 可以自启动。此外，还可使用外部逻辑信号来驱动 EN 输入实现系统定序和保护。请注意，EN 引脚电压不能高于 V_{IN} + 0.3V。TI 不建议在 V_{IN} 为 0V 时施加 EN 电压。许多应用都受益于采用使能分压器 R_{ENT} 和 R_{ENB} (图 7-3) 来为转换器建立精密的系统 UVLO 电平。这种方法可用于时序控制，从而确保用户可靠运行或实现电源保护（例如电池放电电平）。请参阅节 8.2.2.8 公式来确定使能电阻分压器网络的大小。

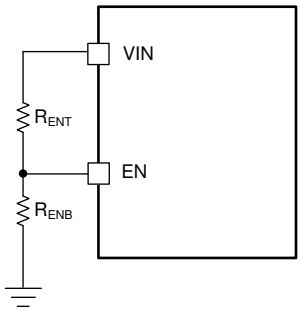


图 7-3. 由使能分压器实施的系统 UVLO

7.3.4 开关频率和同步 (RT/SYNC)

可以通过电阻器 RT 从 RT/SYNC 引脚和 GND 引脚对 LMR38025-Q1 的开关频率进行编程。RT/SYNC 引脚不能悬空或短接至地。对于给定的开关频率，要确定时序电阻，请使用方程式 2 或图 7-4 中的曲线。表 7-1 给出了在给定 f_{SW} 下的 R_T 值。

$$R_T(k) = 30970 \times f_{SW}(kHz)^{-1.027} \quad (2)$$

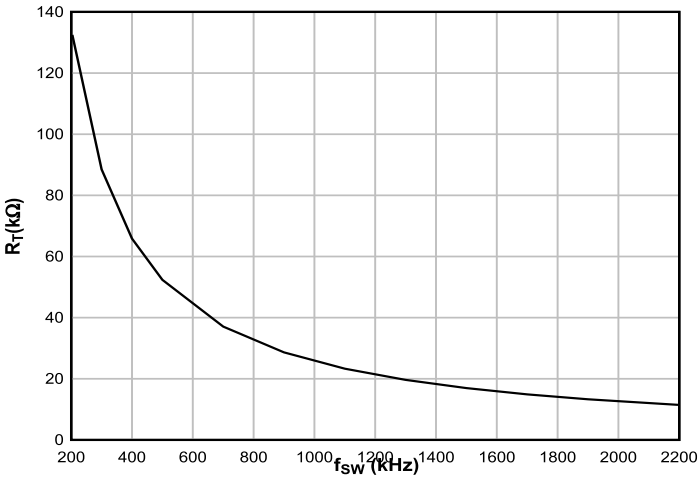


图 7-4. R_T 与频率曲线间的关系

表 7-1. 典型频率设置 R_T 电阻

f_{SW} (kHz)	R_T (kΩ)
200	133
400	64.9
500	52.3
750	34.8

表 7-1. 典型频率设置 R_T 电阻（续）

f_{SW} (kHz)	R_T (kΩ)
1000	25.5
1500	16.9
2000	12.7
2200	11.5

LMR38025-Q1 开关操作也可以同步至频率为 300kHz 至 2.1MHz 的外部时钟。通过图 7-5 中所示的任一电路网络，将方波连接至 RT/SYNC 引脚。内部振荡器由外部时钟的下降沿同步。外部时钟的相关建议包括：高电平不低于 2.0V、低电平不高于 0.6V，以及逻辑高电平脉冲宽度必须大于 50ns。在使用低阻抗信号源时，频率设置电阻器 R_T 与交流耦合电容器 C_{COUP} 并联，然后连接至端接电阻器 R_{TERM}（例如 50Ω）。两个串联电阻器在信号源关闭时提供默认的频率设置电阻。对于 C_{COUP}，使用 1pF 陶瓷电容器。

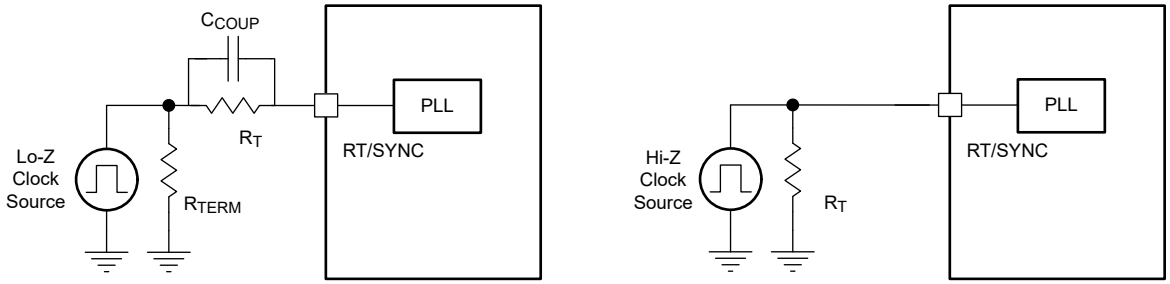


图 7-5. 与外部时钟同步

7.3.5 电源正常标志输出

LMR38025-Q1 的电源正常标志功能（PG 输出引脚）可用作标志，用以在输出电压超出稳压范围时提醒主机微处理器。该开漏输出在电流限制情况等故障条件下变为低电平，导致输出超出稳压范围或发生热关断事件。干扰滤波器可防止在输出电压的短时偏移（例如在线路和负载瞬态期间）时出现错误标志。持续时间少于 t_{PG} 的输出电压偏移不会触发电源正常标志。请注意，在软启动事件期间，电源正常状态保持低电平，并在输出电压达到最终调节值时释放。

电源正常输出包含一个开漏 NMOS，需要一个外部上拉电阻器连接到合适的逻辑电源。还可以根据需要通过 100kΩ 电阻器将电源正常输出上拉至 VCC 或 V_{OUT}。如果不需要此功能，则必须将 PG 引脚保持悬空。当 EN 拉低时，标志输出也被强制为低电平。在 EN 为低电平时，只要输入电压为大于或等于 2V（典型值），电源正常状态就保持有效状态。请注意，如果 EN 恢复高电平，电源正常状态仅在输出电压达到最终值后才会变为高电平。TI 建议将进入电源正常标志引脚的电流限制为小于 5mA 直流。当器件被启用时，最大电流在内部被限制在大约 35mA，而当器件被禁用时，最大电流被限制在大约 65mA。内部电流限值可在此输出连接的滤波电容器放电时，保护器件免受可能出现的瞬态电流的影响。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

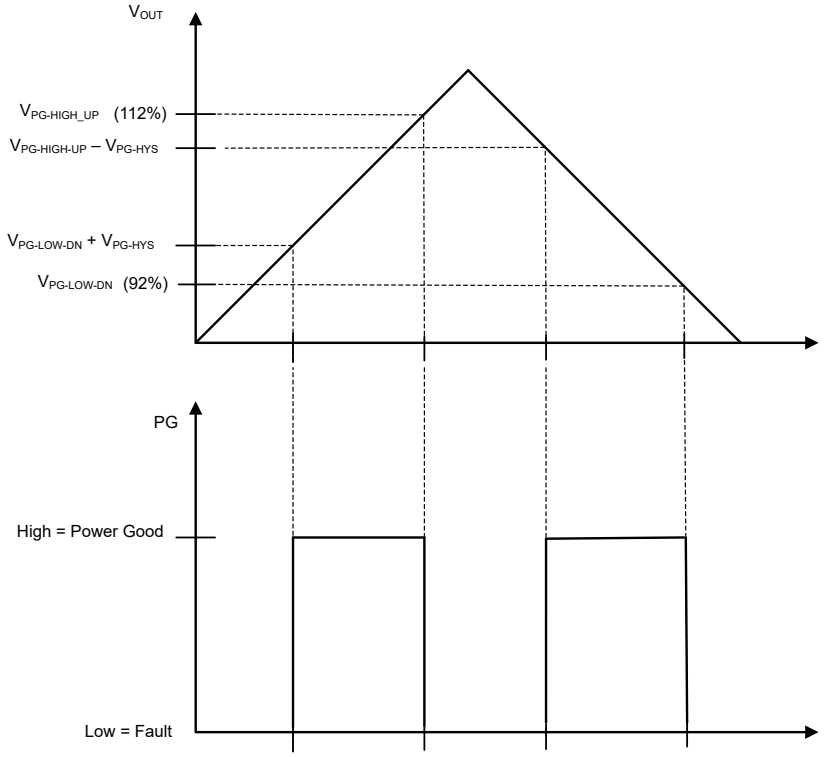


图 7-6. 静态电源正常运行

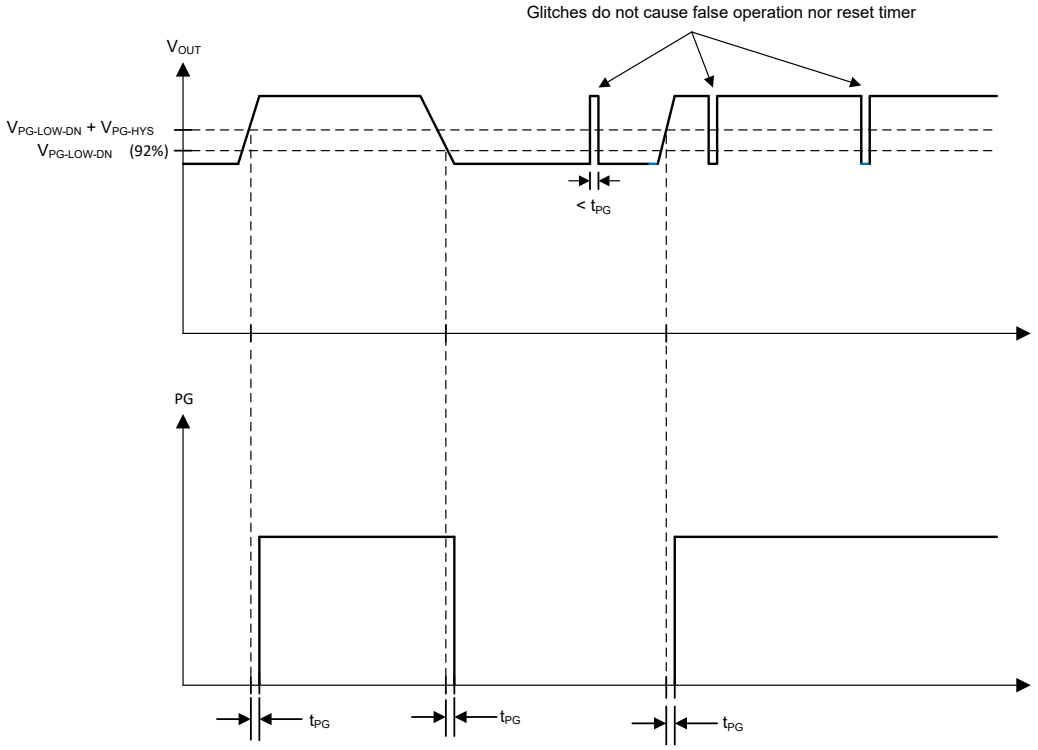


图 7-7. 电源正常时序行为

7.3.6 最短导通时间、最短关断时间和频率折返

最短导通时间 (T_{ON_MIN}) 是指高侧开关可导通的最短时间。LMR38025-Q1 的 T_{ON_MIN} 典型值为 80ns。最短关闭时间 (T_{OFF_MIN}) 是指高侧开关可关闭的最短时间。T_{OFF_MIN} 通常为 190ns。在 CCM 运行模式下，T_{ON_MIN} 和 T_{OFF_MIN} 将限制电压转换范围，而没有开关频率折返。

不允许频率折返的最小占空比为：

$$D_{MIN} = T_{ON-MIN} \times f_{SW} \tag{3}$$

不允许频率折返的最大占空比为：

$$D_{MAX} = 1 - (T_{OFF-MIN} \times f_{SW}) \tag{4}$$

给定所需的输出电压时，无频率折返的最大 V_{IN} 可通过以下公式得出：

$$V_{IN_MAX} = \frac{V_{OUT}}{T_{ON-MIN} \times f_{SW}} \tag{5}$$

不考虑频率折返时，可由下式计算得出最小 V_{IN}：

$$V_{IN_MIN} = \frac{V_{OUT}}{1 - (T_{OFF-MIN} \times f_{SW})} \tag{6}$$

在 LMR38025-Q1 中，触发 T_{ON_MIN} 或 T_{OFF_MIN} 后，采用频率折返方案，这可以提高最大占空比或降低最小占空比。

导通时间会随着 V_{IN} 电压的增加而减少。一旦导通时间降至 T_{ON_MIN}，开关频率就会开始降低，同时 V_{IN} 会增大，这进一步降低了占空比，从而使 V_{OUT} 保持在符合方程式 3 的稳压范围内。

当在低 V_{IN} 条件下需要更大的占空比时，频率折返方案也适用。在器件达到 T_{OFF_MIN} 后，频率就会降低，从而根据方程式 4 延长最大占空比。在这种情况下，频率可以低至大约 133kHz（最小值）。宽频率折返范围使 LMR38025-Q1 输出电压能够在电源电压 V_{IN} 大幅降低的情况下保持稳定，从而实现更低的有效压降。

在 FPWM 模式下以固定频率工作，在约 100mA 的最小负载电流下保持大于 1.2MHz 的开关频率，以实现更宽的输入电压范围。对于超轻负载和超过 1.2MHz 的开关频率，预计在最小 toff 频率折返期间会出现频率下降。

在发生频率折返的情况下，f_{SW} 减小时，V_{IN_MAX} 将升高，而 V_{IN_MIN} 将会降低。

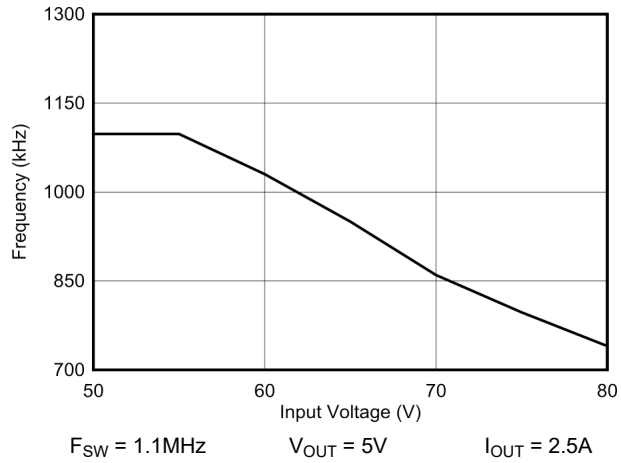


图 7-8. T_{ON_MIN} 时的典型频率折返

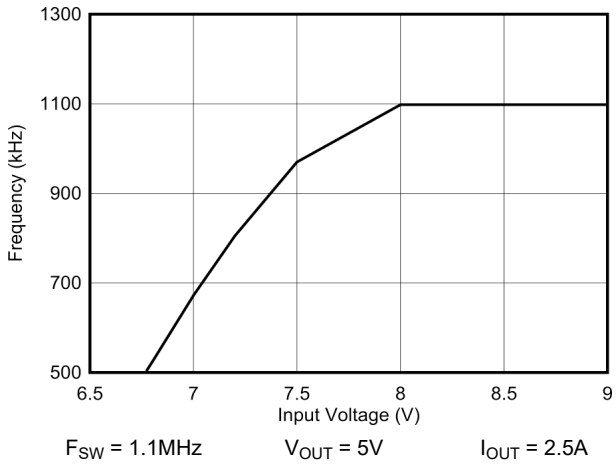


图 7-9. T_{OFF_MIN} 时的典型频率折返

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.3.7 自举电压

LMR38025-Q1 具有集成的自举电压转换器。CB 引脚和 SW 引脚之间的小电容器为高侧 MOSFET 提供栅极驱动电压。当高侧 MOSFET 关闭而且低侧开关导通时，自举电容器充电。建议使用 0.1μF 的自举电容器。TI 推荐使用电介质等级为 X7R 或 X5R、额定电压为 16V 或更高的陶瓷电容，以在整个温度和电压范围内保证稳定的性能。

7.3.8 过流和短路保护

LMR38025-Q1 通过峰值和谷值电感电流的逐周期限流来防止出现过流情况。如果故障条件持续存在，会激活断续模式，以防止过热。

高侧 MOSFET 过流保护是通过峰值电流模式控制的特性来实现的。当高侧开关在既定消隐时间后接通时，会检测到高侧开关电流。每个开关周期内，高侧开关电流会与误差放大器 (EA) 减去斜坡补偿的输出进行比较。高侧开关的电流峰值受最大钳位峰值电流阈值 I_{SC_LIMIT}（恒定值）限制。

此外，还会对流经低侧 MOSFET 的电流进行检测和监控。当低侧开关导通时，电感电流开始下降。如果低侧开关的电流在开关周期结束时高于低侧电流限制 I_{LS_LIMIT}，将会关闭。低侧开关保持导通，从而使电感器电流不断下降，直到电感器电流低于低侧电流限值 I_{LS_LIMIT}。然后，低侧开关关断，高侧开关导通。下图说明了器件在过流情况下的工作情况。使用方程式 7 计算最大负载电流。

$$I_{OUT_{MAX}} = I_{LS} + \left(\frac{V_{IN} - V_{OUT}}{L \times 2 \times f_{SW}}\right) \times \left(\frac{V_{OUT}}{V_{IN}}\right) \quad (7)$$

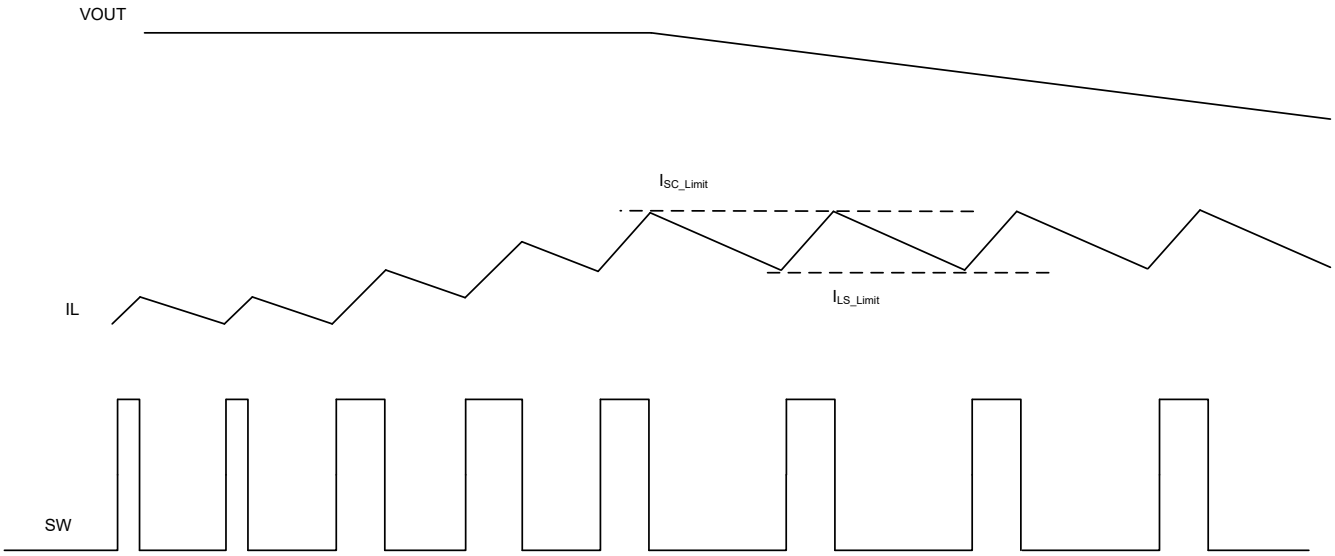


图 7-10. 对负载阶跃的过流响应

如果反馈电压降至 V_{REF} 的 40% 以下，则会激活计数器。如果流经低侧开关的电流连续 256 个周期达到 I_{LS_LIMIT}，则器件会进入断续模式。在断续模式下，转换器会关闭并会在断续时间 T_{HICCUP}（典型值为 76ms）内一直保持关闭状态，然后 LMR38025-Q1 会尝试再次软启动。如果过流或短路故障情况仍然存在，则断续模式会重复，直到故障情况消失。断续模式会降低严重过流条件下的功耗，防止器件过热和受到潜在的电过应力。

在 FPWM 下，电感器电流可以是负值。当该电流超过低侧负电流限值 I_{LS_NEG} 时，低侧开关将断开，高侧开关将立即接通。该操作可保护低侧开关不受过大负向电流的影响。

7.3.9 软启动

集成软启动电路可防止输入浪涌电流影响 LMR38025-Q1 和输入电源。软启动是通过在器件首次启用或上电时缓慢升高目标稳压电压来实现的。典型软启动时间为 4.2ms。

LMR38025-Q1 还在上电开始时采用过流保护消隐时间 T_{OCP_BLK}（典型值为 18ms）。如果没有此特性，在具有大输出电容和高 V_{OUT} 的应用中，浪涌电流会大到足以触发限流保护，从而使器件进入断续模式。该器件在断续周期后尝试重启，然后达到电流限制并再次进入断续模式，因此 V_{OUT} 无法升至设定电压。通过引入 OCP 消隐功能，断续保护功能在 T_{OCP_BLK} 期间被禁用，而 LMR38025-Q1 用最大限制电流为 V_{OUT} 充电，从而在此期间更大程度地提高了输出电流能力。请注意，峰值电流限制 (I_{HS_LIMIT}) 和谷值电流限制 (I_{LS_LIMIT}) 保护功能在 T_{OCP_BLK} 期间仍然可用，因此不存在电感器电流失控的问题。

7.3.10 热关断

LMR38025-Q1 提供内部热关断功能，以便在结温超过 163°C 时保护器件。高侧和低侧 FET 在热关断时都停止开关，电源正常被拉至低电平。在裸片温度降至 150°C 以下后，器件将重新启动由内部软启动电路控制的上电序列。

7.4 器件功能模式

7.4.1 自动模式

在自动模式下，器件会随着负载的变化在 PWM 和 PFM 之间切换。轻负载时，稳压器以 PFM 模式运行。在较高负载时，模式更改为 PWM。

在 PWM 下，稳压器作为恒频电流模式完全同步转换器运行，使用 PWM 来调节输出电压。在此模式下运行时，通过以恒定频率切换和调制占空比来调节输出电压，从而控制负载的电源。此操作可实现出色的线性调整率和负载调整率以及低输出电压纹波。

在 PFM 下，高侧 MOSFET 在一个或多脉冲突发中导通，为负载提供电源。突发的持续时间取决于电感器电流达到 $I_{MIN\text{-}PEAK}$ 所需的时间。通过调整上述突发的频率可调节输出，而二极管仿真用于更大限度地提高效率（请参阅*词汇表*）。该模式可减少在轻负载下调节输出电压所需的输入电源电流值，从而提供高轻负载效率。这能够在更大的输出电压纹波和可变的开关频率下实现非常好的轻负载效率。此外，轻负载时输出电压会轻微升高。实际开关频率和输出电压纹波取决于输入电压、输出电压和负载。

7.4.2 强制脉宽调制 (PWM) 运行

当在整个工作负载范围内需要恒频时，通常选择强制 PWM 运行模式。在 FPWM 模式下，二极管仿真特性关闭。在轻负载条件下，该器件保持在 CCM 模式。该模式平衡了低输出电压纹波的轻负载效率降低、更精密的输出电压调节和更好的瞬态响应之间的关系。

7.4.3 压降

任何降压稳压器的压降性能都受功率 MOSFET 的 R_{DSON}、电感器的直流电阻和控制器可实现的最大占空比的影响。当输入电压降至输出电压时，高侧 MOSFET 的关断时间开始接近最小值。超过此值后，开关可能会变得不稳定，输出电压会下降到稳压范围之外。为了避免此事件，LMR38025-Q1 会自动降低开关频率以增加实际占空比并维持稳压。在该数据表中，压降电压定义为当输出降低标称值的 1% 时输入和输出电压之间的差值。在这种情况下，开关频率已降至约 140kHz 的最小值。请注意，在压降模式下，0.4V 短路检测阈值不会激活。

7.4.4 最短开关导通时间

每个开关稳压器都有一个最小可控导通时间，此时间由与控制电路相关的固有延迟和消隐时间决定。这情况会强制实现最小的开关占空比，从而实现最小的转换比。在高输入电压和低输出电压下会遇到此限制。为了帮助延长最小可控占空比，LMR38025-Q1 会在达到最短导通时间限制时自动降低开关频率。这样，转换器可以在最大输入电压下调节最低可编程输出电压。在发生频率折返之前，使用方程式 8 找出给定输出电压的近似输入电压估算值。随着输入电压的增加，开关导通时间（占空比）会减少以调节输出电压。当导通时间达到限值时，开关频率下降，而导通时间保持固定。

$$V_{IN} \leq \frac{V_{OUT}}{t_{ON} \times f_{SW}} \tag{8}$$

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8 应用和实施

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 元件规格，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客户负责确定元件是否适合其用途，以及验证和测试其设计实现以确认系统功能。

8.1 应用信息

LMR38025-Q1 直流/直流降压转换器通常用于将较高的直流电压转换为较低的直流电压，最大输出电流为 2.5A。可按照以下设计过程为 LMR38025-Q1 选择元件。也可以用 WEBENCH 设计工具完成完整设计。此工具采用一种迭代设计过程，可访问综合元件数据库。此功能使该工具能够创建优化的设计，并允许用户使用各种选项进行实验。

备注

除非另有说明，否则以下应用信息中给出的所有电容值均指*有效* 值。*有效* 值定义为直流偏置和温度下的实际电容，而不是额定值或铭牌值。在整个过程中使用具有 X7R 或更好电介质的低 ESR 优质陶瓷电容器。除了正常的容差和温度影响外，所有高容值陶瓷电容器还具有大电压系数。在直流偏置下，电容会显著下降。在这方面，较大的外壳尺寸和较高的额定电压会更好。为了帮助减轻这些影响，可以并联多个电容器，以使最小*有效* 电容达到所需值。此操作也可以降低单个电容器上的 RMS 电流要求。必须仔细研究任何电容器组的偏置和温度变化，以确保提供*有效* 电容的最小值。

8.2 典型应用

图 8-1 显示了 LMR38025-Q1 的典型应用电路。该器件旨在各种外部元件和系统参数下正常工作。但是，针对特定的外部电感和输出电容设计了内部补偿。作为快速入门指南，表 8-1 提供了一系列最常见输出电压下的典型元件值。

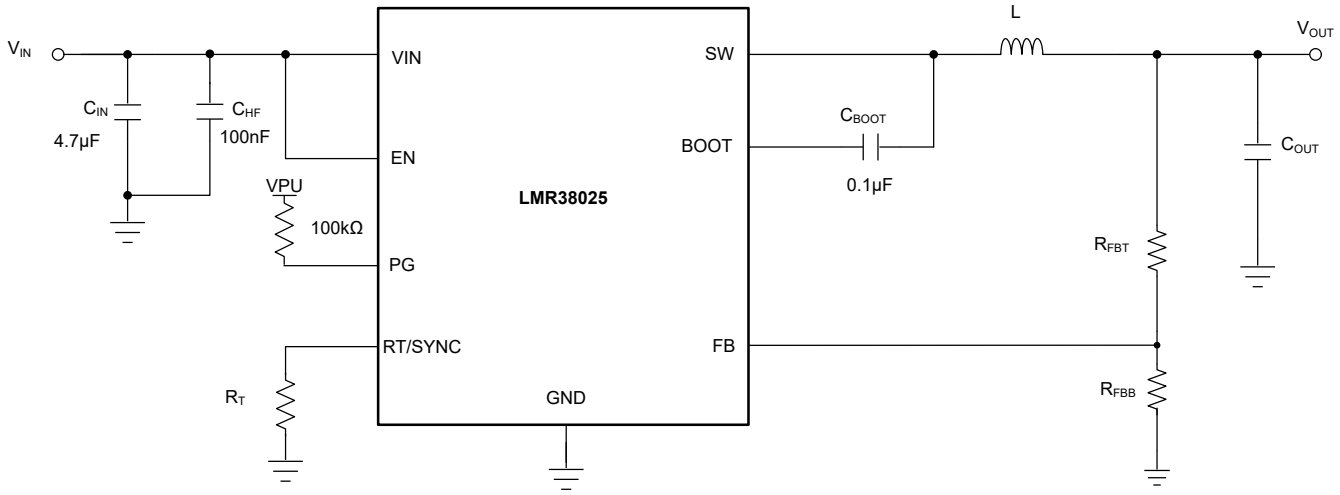


图 8-1. 应用电路示例

表 8-1. 2.5A 输出电流下的外部元件典型值

f_{SW} (kHz)	V_{IN} (V) 典型值	V_{OUT} (V)	L (µH)	标称 C_{OUT}（额定电容）	最小 C_{OUT}（额定电容）	R_{FBT} (Ω)	R_{FBB} (Ω)
300	48	5	15	3 × 22µF	3 × 15µF	100k	24.9k
400	48	3.3	10	4 × 47µF	3 × 47µF	100k	43.2k
400	12	5	6.8	3 × 22µF	3 × 15µF	100k	24.9k
1100	48	12	10	2 × 10µF	2 × 4.7µF	100k	9.09k
1100	48	24	33	3 × 4.7µF	1 × 10µF	100k	4.32k
2200	24	5	4.7	2 × 22µF	3 × 10µF	100k	24.9k

8.2.1 设计要求

节 8.2.2 提供了基于表 8-2 的详细设计过程。

表 8-2. 详细设计参数

设计参数	示例值
输入电压	6V 至 80V
输出电压	5V
最大输出电流	0A 至 2.5A
开关频率	400kHz

8.2.2 详细设计过程

以下设计过程适用于图 8-1 和表 8-1。

8.2.2.1 使用 WEBENCH® 工具创建定制设计方案

点击此处，使用 LMR38025-Q1 器件并借助 WEBENCH® Power Designer 创建定制设计方案。

1. 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。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

2. 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。
3. 将生成的设计与德州仪器 (TI) 其他可行的解决方案进行比较。

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 PDF 格式的设计报告并与同事共享

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

8.2.2.2 选择开关频率

选择开关频率时需权衡转换效率和整体设计尺寸。较低的开关频率意味着较小的开关损耗，通常会实现更高的系统效率。不过，较高的开关频率允许使用较小的电感器和输出电容器，因此得到的设计更加紧凑。在本示例中，使用了 400kHz。

8.2.2.3 可调节输出的 FB

在可调输出电压版本中，器件的引脚 5 为 FB。LMR38025-Q1 的输出电压通过一个外部电阻分压器网络从外部调节。分压器网络由 R_{FBT} 和 R_{FBB} 组成，并闭合输出电压与转换器之间的环路。转换器通过保持 FB 引脚上的电压与内部基准电压 V_{REF} 相等来调节输出电压。分压器的电阻是噪声拾取过多和输出负载过大之间的折衷。较小的电阻值会降低噪声灵敏度，但也会降低轻负载效率。R_{FBT} 的建议值为 100kΩ，最大值为 1MΩ。选择 R_{FBT} 后，根据方程式 9 选择 R_{FBB}。V_{REF} 的标称值为 1V。

$$R_{FBB} = \frac{R_{FBT}}{\left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1\right)} \tag{9}$$

对于该 5V 示例，选择 R_{FBT} = 100kΩ 且 R_{FBB} = 24.9kΩ。

8.2.2.4 电感器选型

电感值和饱和电流是选择电感器的参数。电感值基于理想的纹波电流峰峰值得出，通常选择为最大输出电流的 20% 至 40% 范围。经验表明，电感纹波电流的理想值是最大负载电流的 40%。请注意，当为最大负载远小于器件可用最大值的应用选择纹波电流时，使用最大器件电流。方程式 10 可用于确定电感值。常数 K 是电感器电流纹波的百分比。在本示例中，选择 K = 0.4，并得出电感 L = 12μH。

$$L = \frac{(V_{IN} - V_{OUT})}{f_{SW} \times K \times I_{OUT_{max}}} \times \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \tag{10}$$

理想情况下，电感器的饱和额定电流至少与高侧开关电流限制 I_{SC} 一样大。此额定值可确保即使在输出短路期间电感器也不会饱和。当电感磁芯材料饱和时，电感下降到一个非常低的值，导致电感电流上升非常快。虽然谷值电流限值 I_{LIMIT} 旨在降低电流耗尽的风险，但饱和电感器会使电流迅速上升到高电平。这种上升可能导致元件损坏。不允许电感器饱和。采用铁氧体磁芯材料的电感器具有非常*硬*的饱和特性，但通常比铁粉磁芯具有更低的磁芯损耗。铁粉磁芯具有*软*饱和，允许在一定程度上放宽电感器的额定电流。但在高于大约 1MHz 的频率下，铁粉磁芯具有更多的内芯损耗。在任何情况下，电感器饱和电流不得小于满载时的最大峰值电感电流。

为了避免次谐波振荡，电感值不得小于方程式 11 中给出的值：

$$L_{MIN} \geq M \times \frac{V_{OUT}}{f_{SW}} \tag{11}$$

其中

- L_{MIN} = 最小电感 (H)
- M = 0.25
- f_{SW} = 开关频率 (Hz)

最大电感值受到电流模式控制正确执行所需的最小电流纹波的限制。作为经验法则，在正常情况下，最小电感器波纹电流必须不少于器件最大额定电流的约 10%。

8.2.2.5 输出电容器选型

LMR38025-Q1 器件的电流模式控制方案允许在宽输出电容范围内运行。输出电容器组通常受限于负载瞬态要求和稳定性，而不是输出电压纹波。有关 5V 至 24V 输出电压下的典型输出电容值，请参阅表 8-1。对于 5V 输出设计，在本示例中，TI 建议使用 3 个 22μF 陶瓷输出电容器。对于其他具有其他输出电压的设计，可以使用 WEBENCH 作为选择输出电容值的起点。

实际上，输出电容器对瞬态响应和环路相位裕度的影响非常大。负载瞬态测试和波特图是验证任何给定设计的理想方法，必须始终在应用投入生产之前完成。除了所需的输出电容外，放置在输出端的小型陶瓷电容器还有助于降低高频噪声。1nF 至 100nF 范围内的小外壳尺寸陶瓷电容器非常有助于减少由电感器和电路板寄生效应引起的输出尖峰。

将总输出电容的最大值限制在设计值的 10 倍左右，或 1000μF，以较小者为准。较大的输出电容值会对稳压器的启动行为以及环路稳定性产生不利影响。如果必须使用大于此处注释的值，则必须仔细研究满载启动和环路稳定性。

8.2.2.6 输入电容器选型

除了提供纹波电流并将开关噪声与其他电路隔离，陶瓷输入电容器还为稳压器提供低阻抗源。LMR38025-Q1 的输入端要求最小陶瓷电容为 4.7μF。必须至少为应用所需的最大输入电压设置该电容，该值最好为最大输入电压的两倍。可以增大该电容以帮助降低输入电压纹波，并在负载瞬态期间保持输入电压。此外，必须在输入端尽可能靠近稳压器的位置放置一个 100nF 至 220nF 的小外壳尺寸陶瓷电容器。此项要求为器件内部的控制电路提供了高频旁路。在本例中，选择了一个 4.7μF、100V、X7R（或更好）的陶瓷电容器。100nF 电容器必须也具有 100V 的额定电压，并且具有 X7R 电介质。

通常最好在输入端使用与陶瓷并联的电解电容器。如果使用长引线或布线将输入电源连接到稳压器，情况尤其如此。该电容器的中等 ESR 有助于抑制由长电源引线引起的输入电源上的任何振铃。使用这个额外的电容器还有助于处理由具有异常高阻抗的输入电源引起的电压骤降。

大多数输入开关电流流经陶瓷输入电容器。该电流的近似均方根值可根据方程式 12 进行计算，且必须根据制造商的最大额定值进行检查。

$$I_{RMS} \approx \frac{I_{OUT}}{2} \tag{12}$$

8.2.2.7 C_{BOOT}

LMR38025-Q1 需要在 BOOT 引脚与 SW 引脚之间连接自举电容器。此电容器存储的能量用于为功率 MOSFET 的高侧栅极驱动器供电。需要一个 100nF 的优质陶瓷电容器，电压至少为 16V。

8.2.2.8 外部 UVLO

在某些情况下，需要一个与器件内部提供的输入 UVLO 电平不同的输入电平。可以使用图 8-2 中所示的电路来满足这种需求。导通电压指定为 V_{ON}，而关断电压指定为 V_{OFF}。首先，R_{ENB} 阻值在 10kΩ 至 100kΩ 的范围内选择，然后使用方程式 13 和方程式 14 计算 R_{ENT} 和 V_{OFF}。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

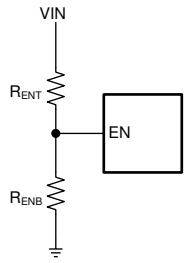


图 8-2. 外部 UVLO 应用的设置

$$R_{ENT} = R_{ENB} \times \left(\frac{V_{ON}}{V_{EN-H}} - 1\right) \tag{13}$$

$$V_{OFF} = V_{EN-L} \times \left(\frac{V_{ON}}{V_{EN-H}}\right) \tag{14}$$

其中

- $V_{ON} = V_{IN}$ 导通电压
- $V_{OFF} = V_{IN}$ 关断电压

8.2.2.9 最高环境温度

与任何电源转换器件一样，该器件在运行时会消耗内部功率。这种功耗的影响是将转换器的内部温度升高到环境温度以上。内核温度 (T_J) 是环境温度、功率损耗以及器件的有效热阻 $R_{\theta JA}$ 和 PCB 组合的函数。LMR38025-Q1 的最高结温必须限制为 150°C。这会限制器件的最大功率耗散，从而限制负载电流。方程式 15 显示了重要参数之间的关系。很容易看出，较大的环境温度 (T_A) 和较大的 $R_{\theta JA}$ 值会降低最大可用输出电流。可以使用本数据表中提供的曲线来估算转换器效率。如果在其中某条曲线中找不到所需的运行条件，则可以使用内插来估算效率。或者，可以调整 EVM 以匹配所需的应用要求，并且可以直接测量效率。$R_{\theta JA}$ 的正确值更难估计。如*半导体和 IC 封装热指标* 应用报告中所述，*热性能信息* 部分中给出的值对于设计用途无效，不得用于估算应用的热性能。该表中报告的值是在实际应用中很少获得的一组特定条件下测量的。

$$I_{OUT_{MAX}} = \left(\frac{T_J - T_A}{R_{\theta JA)}}\right) \times \left(\frac{\eta}{1-\eta}\right) \times \left(\frac{1}{V_{OUT}}\right) \tag{15}$$

其中

- η = 效率

有效 $R_{\theta JA}$ 是一个关键参数，取决于许多因素，例如：

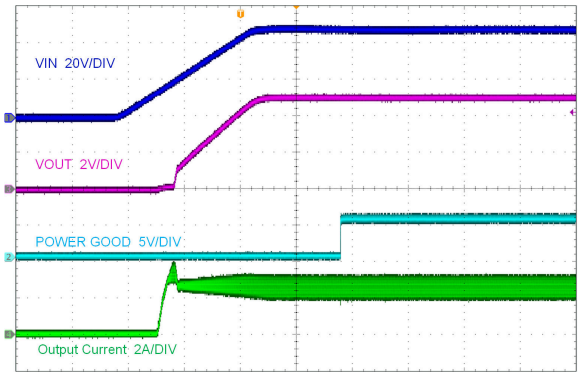
- 功率耗散
- 空气温度，流量
- PCB 面积
- 铜散热器面积
- 封装下的散热过孔数量
- 相邻元件放置

以下资源可用作理想热 PCB 设计和针对给定应用环境估算 $R_{\theta JA}$ 的指南：

- *热设计：学会洞察先机，不做事后诸葛* 应用报告
- *外露焊盘封装实现理想热阻的电路板布局布线指南* 应用报告
- *如何使用热指标正确评估结温* 应用报告

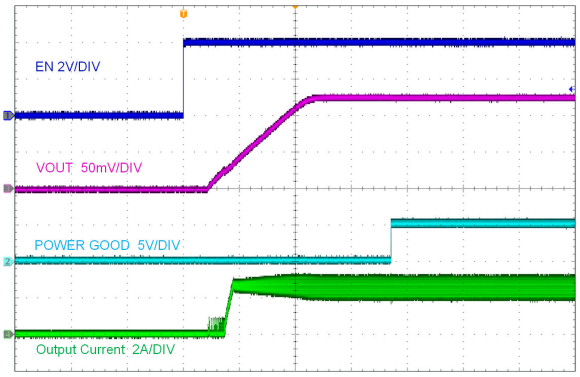
8.2.3 应用曲线

除非另有说明，否则以下条件适用：V_{IN} = 48V，L = 12μH ，T_A = 25°C。



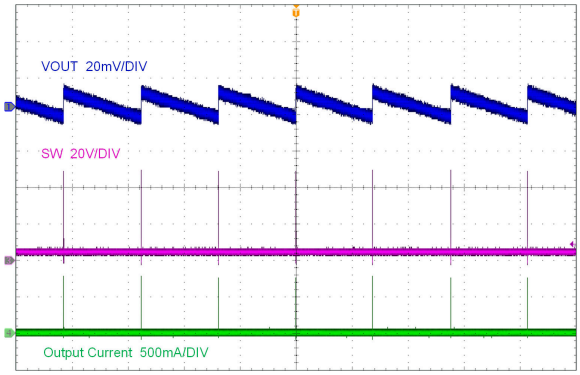
12V　V_{OUT} = 5V　400kHz
LMR38025-Q1　2.0ms/DIV

图 8-3. 由 VIN 启动



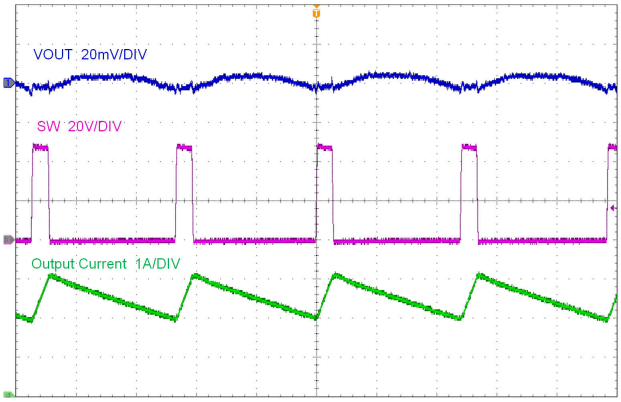
LMR38025-Q1　V_{OUT} = 5V　400kHz
2.0ms/DIV

图 8-4. 由 EN 启动



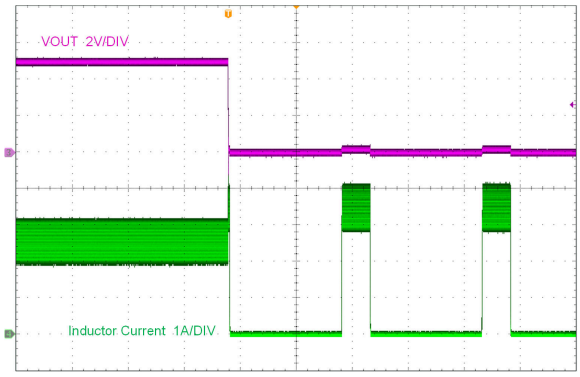
LMR38025-Q1　V_{OUT} = 5V　空载
交流耦合　8.0ms/DIV

图 8-5. PFM 开关



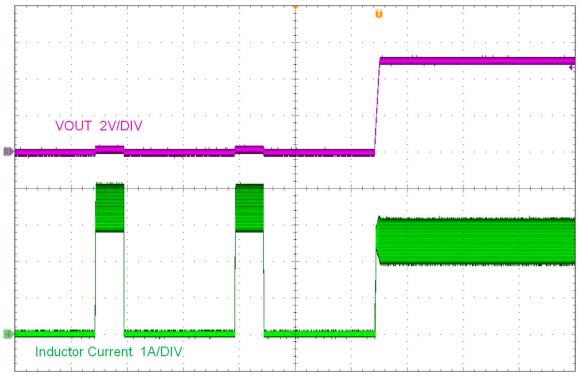
LMR38025-Q1　V_{OUT} = 5V　400kHz
交流耦合　1.0μs/DIV

图 8-6. 满载开关



LMR38025-Q1　V_{OUT} = 5V　2.5A 到短路
40ms/DIV

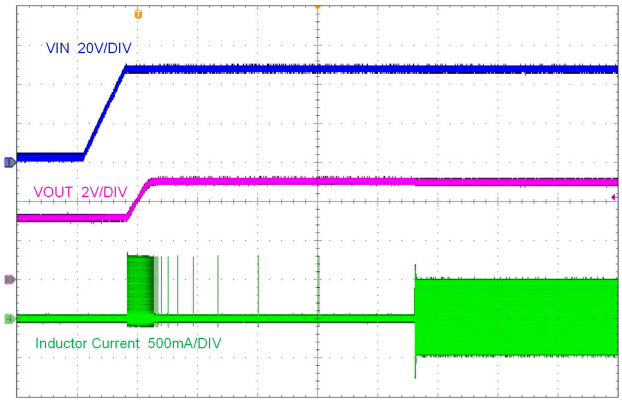
图 8-7. 应用短路



LMR38025-Q1　V_{OUT} = 5V　短路恢复
40ms/DIV

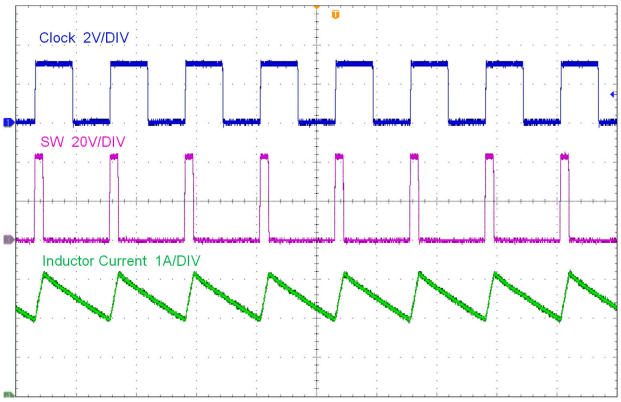
图 8-8. 短路恢复

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated



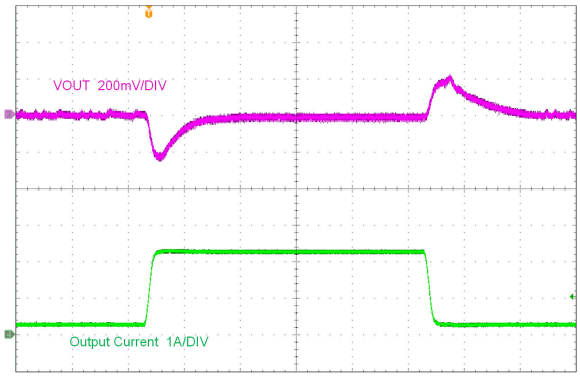
LMR38025-Q1 V_{OUT} = 5V 空载 4.0ms/DIV

图 8-9. 以预偏置进行启动



LMR38025-Q1 V_{OUT} = 5V 400kHz 2μs/DIV

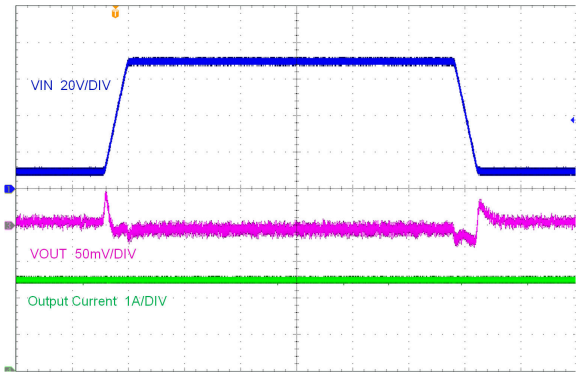
图 8-10. 频率同步



LMR38025-Q1(PFM) V_{OUT} = 5V（交流耦合） 400kHz，100μs/DIV

200mA/μs 时为 250mA 至 2.25A

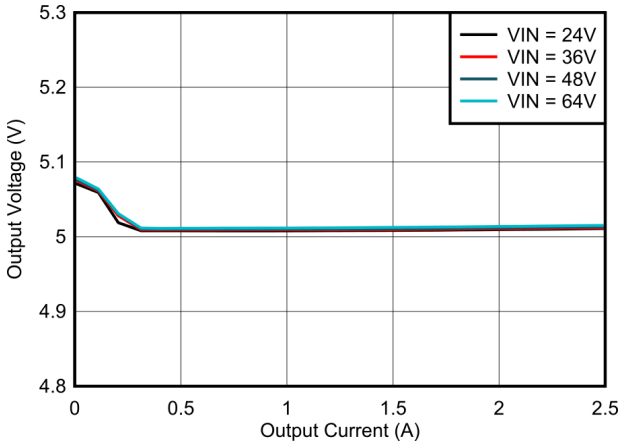
图 8-11. 负载瞬态



LMR38025-Q1(PFM) V_{OUT} = 5V（交流耦合） 400kHz 800μs/DIV

200V/ms 时为 10V 至 70V

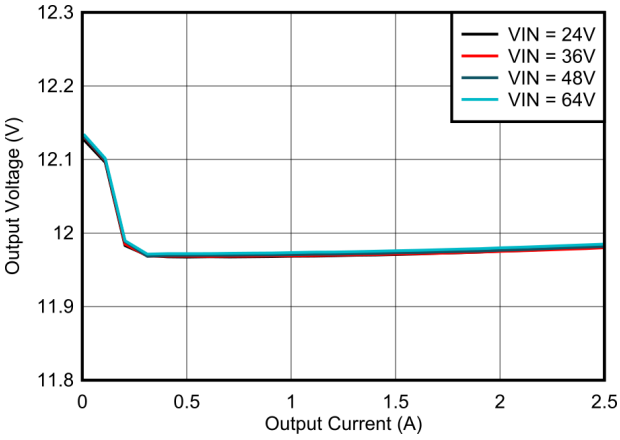
图 8-12. 线路瞬态



LMR38025-Q1 V_{OUT} = 5V 400kHz

PFM 版本

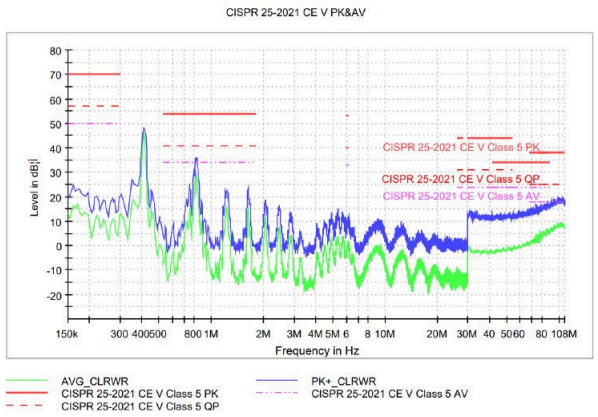
图 8-13. 5V 负载调节



LMR38025-Q1 V_{OUT} = 12V 400kHz

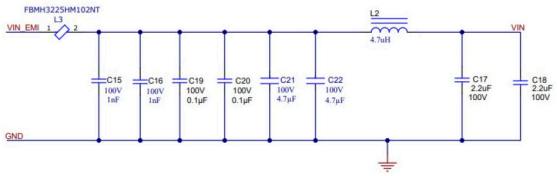
PFM 版本

图 8-14. 12V 负载调节



V_{IN}=48V V_{OUT} = 5V Fsw = 400kHz

图 8-15. 典型的 CISPR 25 传导 EMI 150kHz 至 108MHz 绿色：平均值检测，蓝色 = 峰值检测



铁氧体磁珠 FBMH3225HM102NT

图 8-16. 典型 EMI 输入滤波器

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.3 优秀设计实践

- 请勿超出*绝对最大额定值*
- 请勿超出*建议运行条件*。
- 请勿超出 *ESD 等级*。
- 请勿使 EN 输入悬空。
- 不要让输出电压超过输入电压，也不要低于接地值。
- 在将设计投入生产之前，请遵循此数据表中的所有指南和建议。TI 应用工程师随时乐意帮助您对设计和 PCB 布局进行评论，助力项目取得成功。

8.4 电源相关建议

输入电源的特性必须符合本数据表中的*绝对最大额定值* 和*建议运行条件*。此外，输入电源必须能够向负载稳压器提供所需的输入电流。使用方程式 16 来估算平均输入电流。

$$I_{IN} = \frac{V_{OUT} \times I_{OUT}}{V_{IN} \times \eta} \tag{16}$$

其中

- η = 效率

如果稳压器通过长导线或 PCB 布线连接到输入电源，则需要特别谨慎，以实现良好的性能。输入电缆的寄生电感和电阻可能会对稳压器的运行造成不良影响。寄生电感与低 ESR 陶瓷输入电容器相结合，可形成欠阻尼谐振电路，从而在稳压器的输入端产生过压瞬变。每当负载瞬变施加到输出时，寄生电阻都会导致 VIN 引脚上的电压下降。如果应用的工作电压接近最小输入电压，此下降会导致稳压器暂时关断并复位。要解决这些类型的问题，最好的办法是缩短输入电源与稳压器之间的距离，并/或将铝或钽输入电容器与陶瓷电容器并联使用。这些类型的电容器的中等 ESR 有助于抑制输入谐振电路并减少任何过冲。22μF 至 68μF 范围内的值通常足以提供输入抑制，并有助于在大负载瞬变期间保持输入电压稳定。

有时，出于其他系统注意事项，在稳压器前面使用输入滤波器。除非经过精心设计，否则这种使用方法可能会导致不稳定以及上面提到的一些影响。*AN-2162：轻松解决直流/直流转换器的传导 EMI 问题* 应用报告提供了一些为任何开关稳压器设计输入滤波器时的实用建议。

在某些情况下，稳压器的输入端使用瞬态电压抑制器 (TVS)。一类此器件具有*迅速反向* 特性（晶闸管类型）。TI 不建议使用具有此类特性的器件。当 TVS 触发时，钳位电压降至非常低的值。如果该电压小于稳压器的输出电压，则输出电容器通过器件向输入端放电。这种不受控制的电流可能会损坏器件。

输入电压不得低于输出电压。在这种情况下（例如输入短路测试），输出电容器通过器件的 VIN 和 SW 引脚之间的内部寄生二极管放电。在这种情况下，电流会变得不受控制，从而可能损坏器件。如果认为这种情况很可能发生，则必须在输入电源和输出之间使用一个肖特基二极管。

8.5 布局

8.5.1 布局指南

任何直流/直流转换器的 PCB 布局对于实现设计的理想性能而言都至关重要。PCB 布局不良可能会破坏原本良好的原理图设计的运行效果。即使转换器正确调节，PCB 布局不良也意味着稳健的设计无法大规模生产。此外，稳压器的 EMI 性能在很大程度上取决于 PCB 布局。在降压转换器中，最关键的 PCB 功能是由一个或多个输入电容器和电源地形成的环路，如图 8-17 所示。该环路承载大瞬态电流，在布线电感的作用下可能产生大瞬态电压。这些不必要的瞬态电压会破坏转换器的正常运行。因此，该环路中的布线必须宽且短，并且环路面积必须尽可能小以降低寄生电感。节 8.5.2 展示了 LMR38025-Q1 关键元件的建议布局。

- *将输入电容器尽可能靠近 VIN 引脚放置，并通过一条短宽布线接地。*
- *应用* LMR38025EVQM 中所示的对称输入电容器技术
- *为 C_{BOOT} 电容器使用宽布线。*将 C_{BOOT} 电容器放置在尽可能靠近器件的位置，并使用短/宽的布线连接至 BOOT 和 SW 引脚。BOOT 和 SW 引脚相邻，这简化了 C_{BOOT} 电容器的放置。

- *将反馈分压器尽可能靠近器件的 FB 引脚放置。*将 R_{FBB}、R_{FBT} 和 C_{FF}（如果使用）在物理上靠近器件放置。与 FB 和 GND 的连接必须短且靠近器件上的这些引脚。到 V_{OUT} 的连接可能会更长一些。但是，不得将这一条较长的布线布置在任何可能电容耦合到稳压器反馈路径的噪声源（例如 SW 节点）附近。
- *在其中一个中间层中至少使用一个接地层。*该层充当噪声屏蔽层，也充当散热路径。
- *将散热焊盘连接到接地层。*WSON 封装具有可焊接到 PCB 接地平面的散热焊盘 (PAD) 连接。此焊盘用作散热器连接。该焊接连接的完整性直接影响应用的总有效 $R_{\theta JA}$。
- *为 VIN、VOUT 和 GND 提供宽平面。*使这些路径尽可能宽和直接可减少转换器输入或输出路径上的任何电压降，并更大限度地提高效率。
- *提供足够大的 PCB 面积，以实现适当的散热。*必须使铜面积足够大，以确保实现与最大负载电流和环境温度相称的低 $R_{\theta JA}$。使用 2 盎司（不少于 1 盎司）的铜制作 PCB 顶层和底层。对于 WSON 封装，至少使用三个散热过孔将散热焊盘 (PAD) 连接到 PCB 底部层的接地平面。如果 PCB 设计使用多个铜层（建议），则散热过孔也可以连接到内层散热接地平面。
- *保持较小的开关面积。*保持 SW 引脚与电感器之间的铜区域尽可能短且宽。同时，必须更大程度地减小此节点的总面积，以帮助降低辐射 EMI。

有关其他重要指南，请参阅以下 PCB 布局资源：

- *开关电源布局指南* 应用报告
- *Simple Switcher PCB 布局指南* 应用报告
- *构建电源之布局注意事项* 研讨会
- *使用 LM4360x 与 LM4600x 简化低辐射 EMI 布局* 应用报告

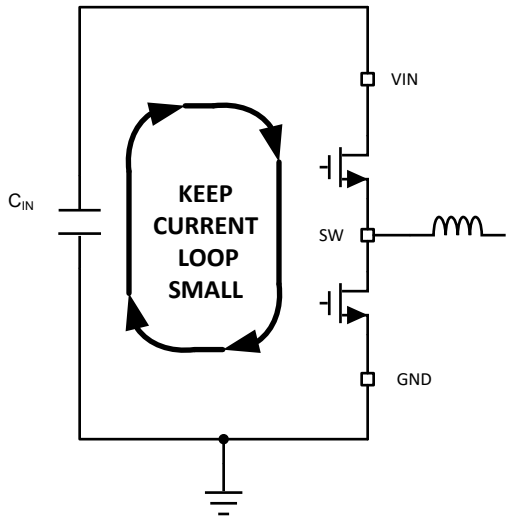


图 8-17. 具有快速边沿的电流环路

8.5.1.1 接地及散热注意事项

如上所述，TI 建议使用一个中间层作为实心接地层。接地层可为敏感电路和布线屏蔽噪声，接地平面还可为控制电路提供干净的基准电位。PGND 引脚直接连接到低侧 MOSFET 开关的源极，也直接连接到输入和输出电容器的接地端。PGND 网在开关频率下会产生噪声，会因负载变化而反弹。PGND 布线以及 VIN 和 SW 布线应限制在接地层的一侧。接地层另一侧的噪声要少得多，必须用于敏感的布线。

TI 建议使用器件的散热焊盘 (PAD) 作为主要散热途径，从而使器件充分散热。使用至少三个 10mil 散热过孔将 PAD 连接到系统接地平面散热器。过孔必须均匀地分布在焊盘下方。系统接地平面顶层和底层的铜箔越厚，越利于散热。使用四层电路板，四层的铜厚（从顶层开始）依次为：2oz/1oz/1oz/2oz。具有足够铜厚度和适当布局布线的四层电路板可实现低电流传导阻抗、适当的屏蔽和较低的热阻。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8.5.2 布局示例

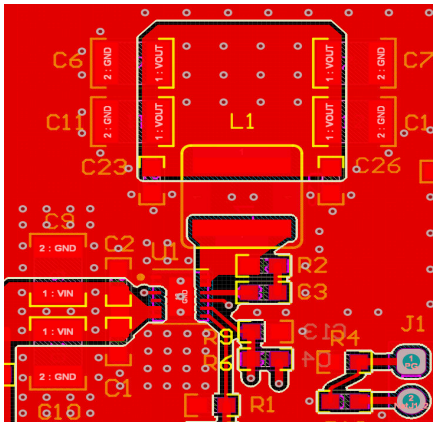


图 8-18. WSON (DRR) 封装的布局示例

9 器件和文档支持

9.1 器件支持

9.1.1 第三方产品免责声明

TI 发布的与第三方产品或服务有关的信息，不能构成与此类产品或服务或保修的适用性有关的认可，不能构成此类产品或服务单独或与任何 TI 产品或服务一起的表示或认可。

9.1.2 开发支持

9.1.2.1 使用 WEBENCH® 工具创建定制设计方案

点击此处，使用 LMR38025-Q1 器件并借助 WEBENCH® Power Designer 创建定制设计方案。

1. 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。
2. 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。
3. 将生成的设计与德州仪器 (TI) 其他可行的解决方案进行比较。

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 PDF 格式的设计报告并与同事共享

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

9.2 文档支持

9.2.1 相关文档

请参阅以下相关文档：

- 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)，*开关电源布局指南* 应用报告
- 德州仪器 (TI)，*Simple Switcher PCB 布局指南* 应用报告
- 德州仪器 (TI)，*构建电源之布局注意事项* 研讨会
- 德州仪器 (TI)，*使用 LM4360x 与 LM4600x 简化低辐射 EMI 布局* 应用报告
- 德州仪器 (TI)，*热设计：学会洞察先机，不做事后诸葛* 应用报告
- 德州仪器 (TI)，*外露焊盘封装实现理想热阻的电路板布局布线指南* 应用报告
- 德州仪器 (TI)，*如何使用热指标正确评估结温* 应用报告
- 德州仪器 (TI)，*半导体和 IC 封装热指标* 应用报告

9.3 接收文档更新通知

要接收文档更新通知，请导航至 ti.com 上的器件产品文件夹。点击*通知* 进行注册，即可每周接收产品信息更改摘要。有关更改的详细信息，请查看任何已修订文档中包含的修订历史记录。

9.4 支持资源

TI E2E™ 中文支持论坛是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的使用条款。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

9.5 商标

PowerPAD™ and TI E2E™ are trademarks of Texas Instruments.
SIMPLE SWITCHER® and WEBENCH® are registered trademarks of Texas Instruments.
所有商标均为其各自所有者的财产。

9.6 静电放电警告

静电放电 (ESD) 会损坏这个集成电路。德州仪器 (TI) 建议通过适当的预防措施处理所有集成电路。如果不遵守正确的处理和安装程序，可能会损坏集成电路。

ESD 的损坏小至导致微小的性能降级，大至整个器件故障。精密的集成电路可能更容易受到损坏，这是因为非常细微的参数更改都可能会导致器件与其发布的规格不相符。

9.7 术语表

TI 术语表	本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

10 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 * (November 2023) to Revision A (February 2024)	Page
• 添加了电感值	19

11 机械、封装和可订购信息

下述页面包含机械、封装和订购信息。这些信息是指定器件可用的最新数据。数据如有变更，恕不另行通知，且不会对此文档进行修订。有关此数据表的浏览器版本，请查阅左侧的导航栏。

PACKAGING INFORMATION

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package | Pins	Package qty | Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
LMR38025FS3QDRRRQ1	Active	Production	WSON (DRR) | 12	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 150	825FS3
LMR38025FS3QDRRRQ1.A	Active	Production	WSON (DRR) | 12	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 150	825FS3
LMR38025FSQDRRRQ1	Active	Production	WSON (DRR) | 12	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 150	3825FS
LMR38025FSQDRRRQ1.A	Active	Production	WSON (DRR) | 12	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 150	3825FS
LMR38025S5QDRRRQ1	Active	Production	WSON (DRR) | 12	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 150	3825S5
LMR38025S5QDRRRQ1.A	Active	Production	WSON (DRR) | 12	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 150	3825S5
LMR38025SQDRRRQ1	Active	Production	WSON (DRR) | 12	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 150	3825SQ
LMR38025SQDRRRQ1.A	Active	Production	WSON (DRR) | 12	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 150	3825SQ

(1) **Status:** For more details on status, see our product life cycle.

(2) **Material type:** When designated, preproduction parts are prototypes/experimental devices, and are not yet approved or released for full production. Testing and final process, including without limitation quality assurance, reliability performance testing, and/or process qualification, may not yet be complete, and this item is subject to further changes or possible discontinuation. If available for ordering, purchases will be subject to an additional waiver at checkout, and are intended for early internal evaluation purposes only. These items are sold without warranties of any kind.

(3) **RoHS values:** Yes, No, RoHS Exempt. See the TI RoHS Statement for additional information and value definition.

(4) **Lead finish/Ball material:** Parts may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

(5) **MSL rating/Peak reflow:** The moisture sensitivity level ratings and peak solder (reflow) temperatures. In the event that a part has multiple moisture sensitivity ratings, only the lowest level per JEDEC standards is shown. Refer to the shipping label for the actual reflow temperature that will be used to mount the part to the printed circuit board.

(6) **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

OTHER QUALIFIED VERSIONS OF LMR38025-Q1 :

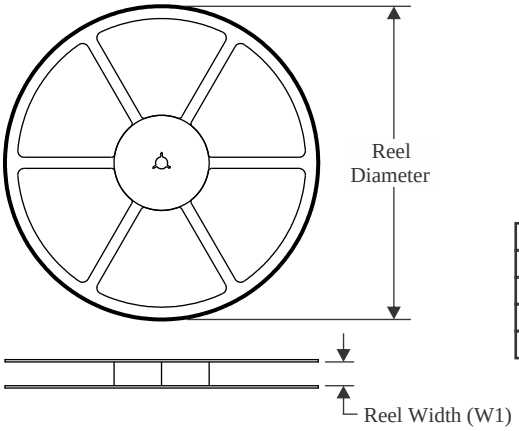
- Catalog : LMR38025

NOTE: Qualified Version Definitions:

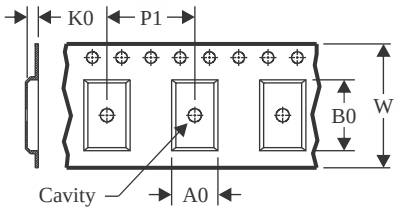
- Catalog - TI's standard catalog product

TAPE AND REEL INFORMATION

REEL DIMENSIONS

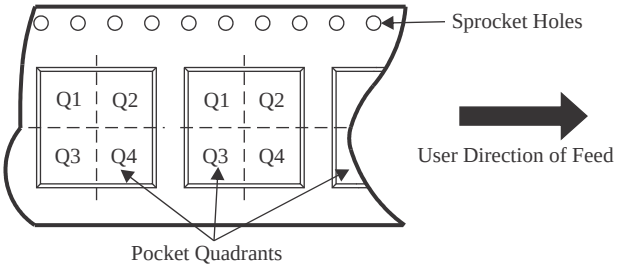


TAPE DIMENSIONS



A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

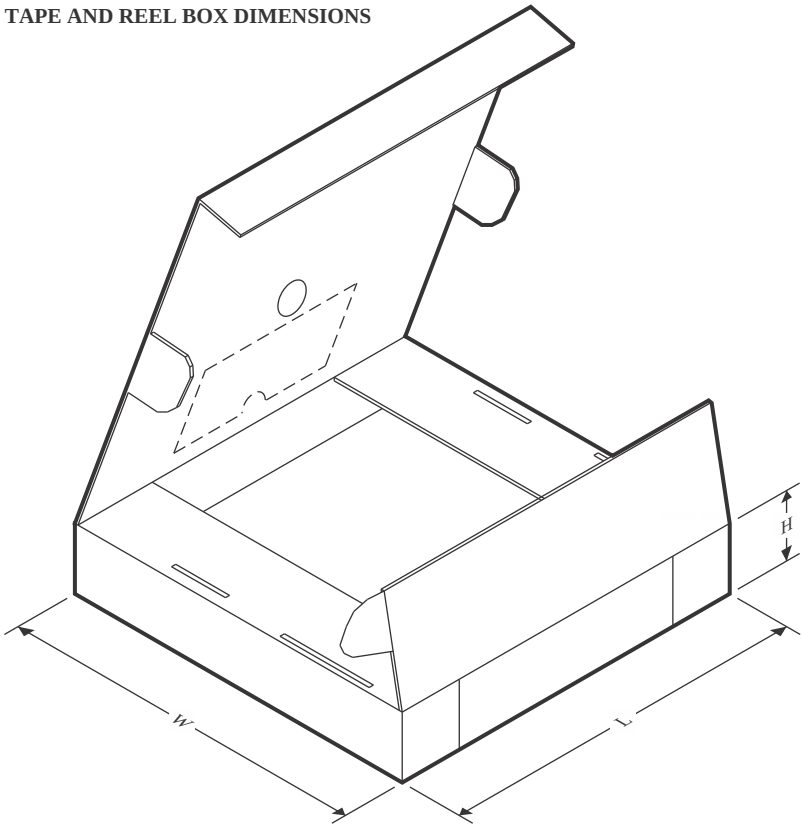
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
LMR38025FS3QDRRRQ1	WSON	DRR	12	3000	330.0	12.4	3.3	3.3	1.1	8.0	12.0	Q2
LMR38025FSQDRRRQ1	WSON	DRR	12	3000	330.0	12.4	3.3	3.3	1.1	8.0	12.0	Q2
LMR38025S5QDRRRQ1	WSON	DRR	12	3000	330.0	12.4	3.3	3.3	1.1	8.0	12.0	Q2
LMR38025SQDRRRQ1	WSON	DRR	12	3000	330.0	12.4	3.3	3.3	1.1	8.0	12.0	Q2

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
LMR38025FS3QDRRRQ1	WSON	DRR	12	3000	367.0	367.0	35.0
LMR38025FSQDRRRQ1	WSON	DRR	12	3000	367.0	367.0	35.0
LMR38025S5QDRRRQ1	WSON	DRR	12	3000	367.0	367.0	35.0
LMR38025SQDRRRQ1	WSON	DRR	12	3000	367.0	367.0	35.0

GENERIC PACKAGE VIEW

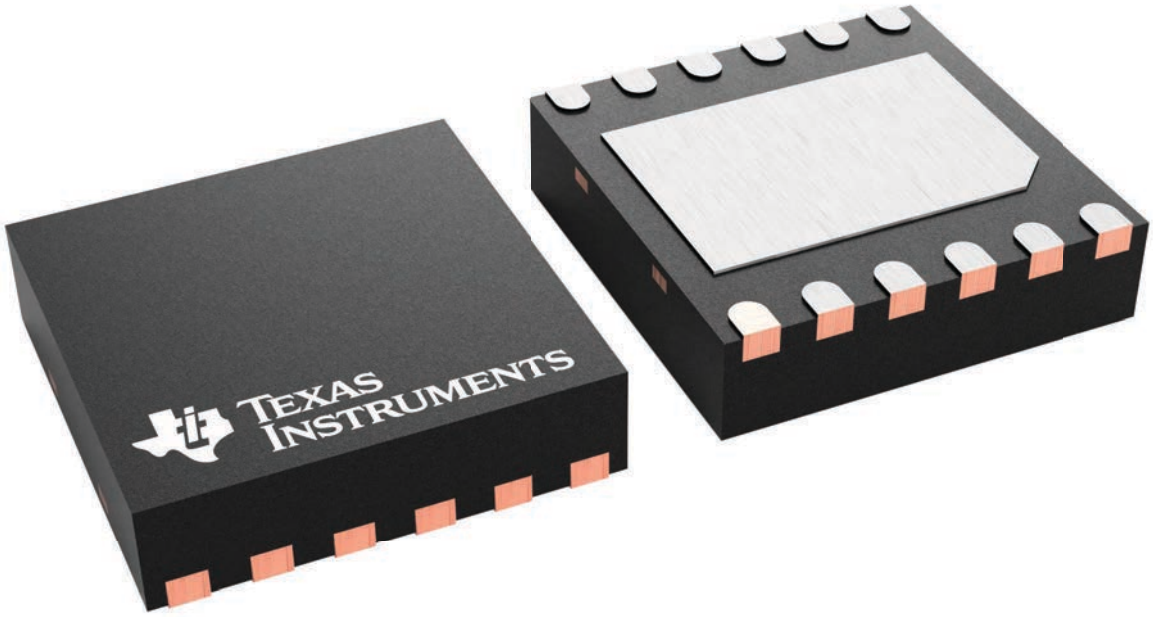
DRR 12

WSON - 0.8 mm max height

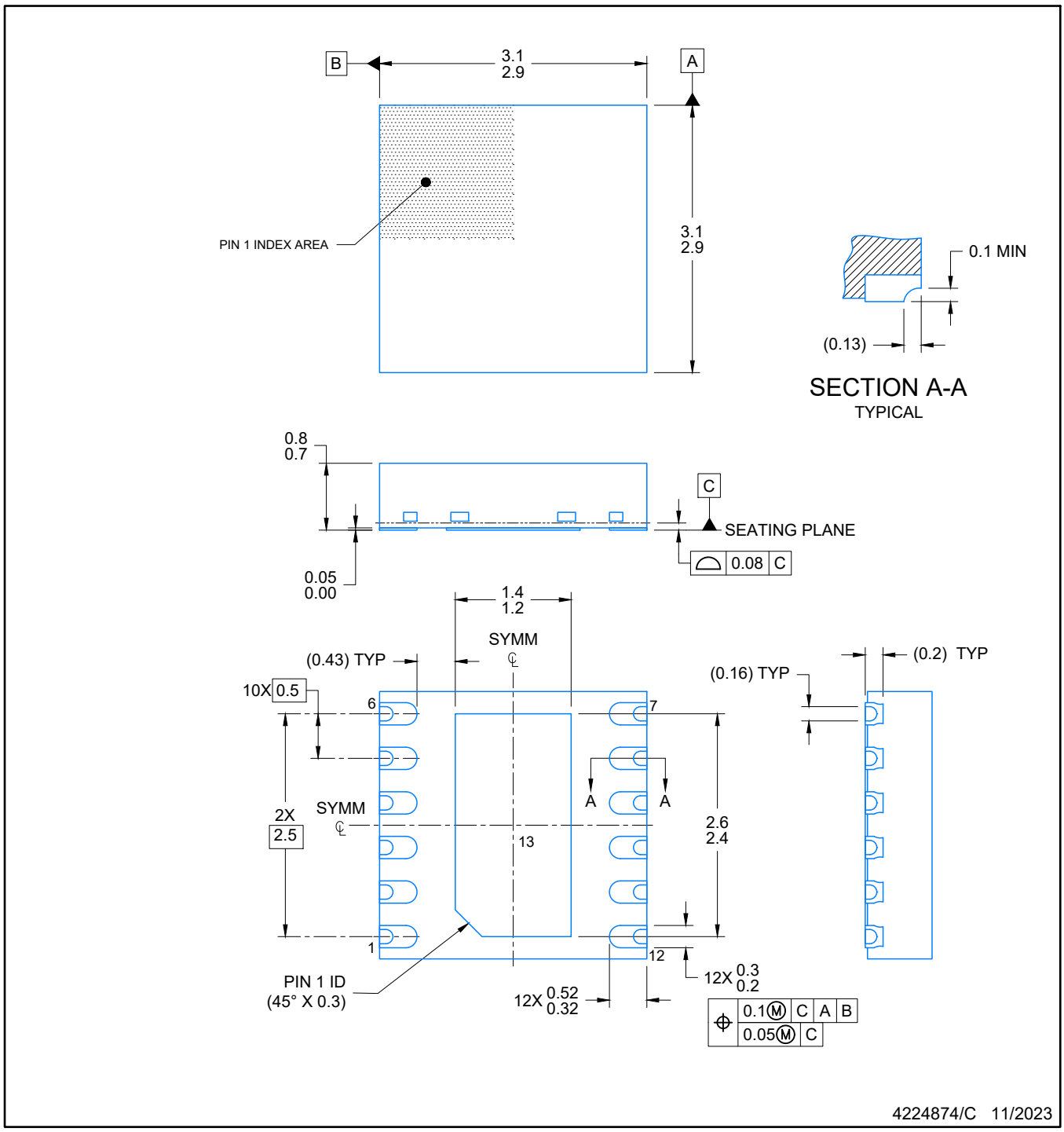
3 x 3, 0.5 mm pitch

PLASTIC SMALL OUTLINE - NO LEAD

This image is a representation of the package family, actual package may vary.
Refer to the product data sheet for package details.

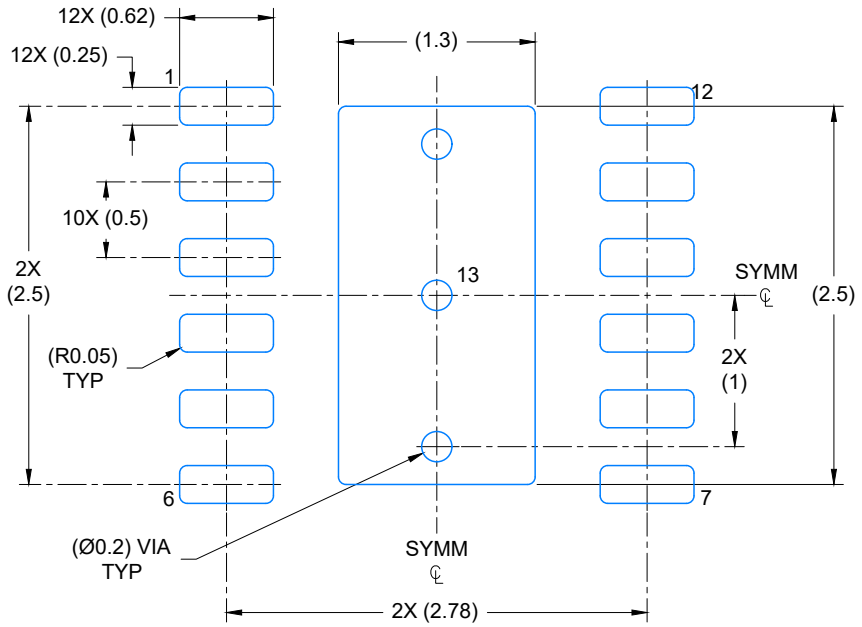


4223490/B

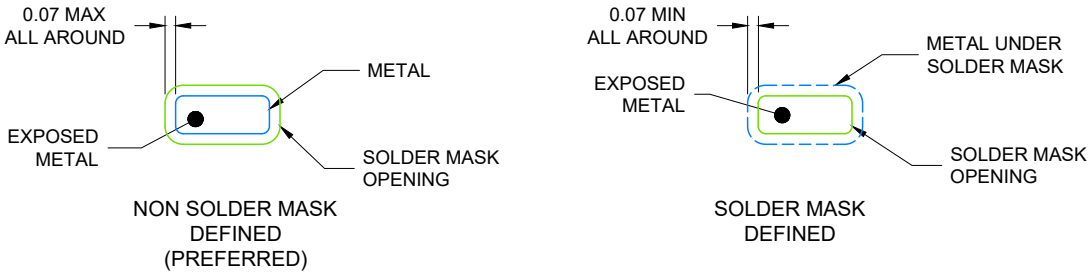


NOTES:

1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. The package thermal pad must be soldered to the printed circuit board for optimal thermal and mechanical performance.



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE: 20X

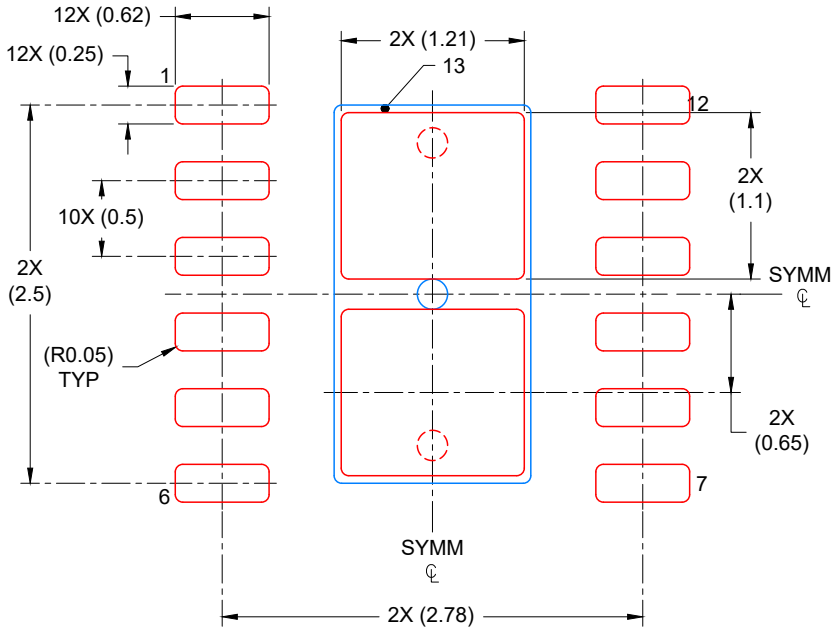


SOLDER MASK DETAILS

4224874/C 11/2023

NOTES: (continued)

4. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 (www.ti.com/lit/slua271).
5. Vias are optional depending on application, refer to device data sheet. If any vias are implemented, refer to their locations shown on this view. It is recommended that vias under paste be filled, plugged or tented.



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL

EXPOSED PAD
82% PRINTED COVERAGE BY AREA
SCALE: 20X

4224874/C 11/2023

NOTES: (continued)

6. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.

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出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