

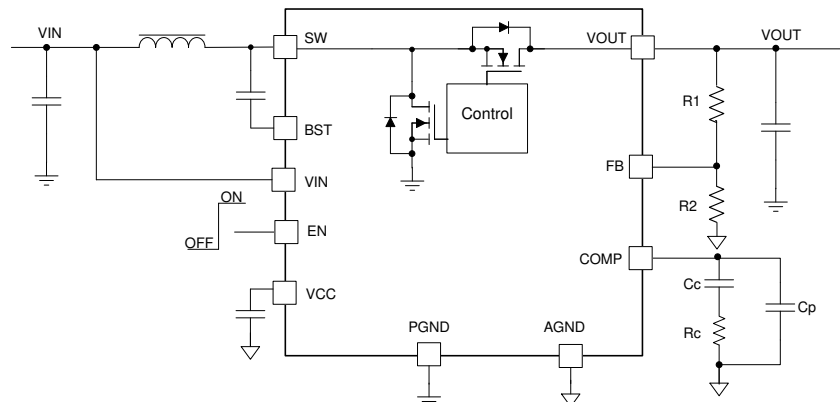
TPS61288 18V、15A 全集成同步升压转换器

1 特性

- 具有 HotRod™ Lite 选项的 2.5mm × 3.0mm QFN 封装
 - TPS61288 HotRod
 - TPS61288L HotRod Lite
 - 建议使用 TPS61288L 进行热性能改进
- 宽输入电压和输出电压范围
 - V_{IN} : 2.0 V 至 18 V
 - 启动时的最小输入电压为 2.4V
 - V_{OUT} : 4.5V 至 18V
- 较高的效率和功率容量
 - 开关电流峰值限制: 15A
 - 两个 6.5mΩ (LS)/8.5mΩ (HS) MOSFET
 - 开关频率: 500kHz
 - 效率高达 94.7% ($V_{IN} = 3.6V$ 、 $V_{OUT} = 13V$ 且 $I_{OUT} = 2A$ 时)
 - 效率高达 96.9% ($V_{IN} = 7.2V$ 、 $V_{OUT} = 16V$ 且 $I_{OUT} = 2.5A$ 时)
- 延长系统运行时间
 - V_{OUT} 引脚静态电流典型值为 110μA
 - 关断期间, V_{IN} 引脚的电流最大值为 2.1μA
 - 在轻负载和低占空比下平滑导通时间/关断时间 (SOO) 调制, 并且 PFM 和 PWM 之间没有直流失调电压
- 丰富的保护特性
 - 19 V 输出过压保护
 - 逐周期过流保护
 - 热关断

2 应用

- [Bluetooth™ 扬声器](#)
- [LCD 显示屏的电源驱动器](#)
- [USB Type-C 电力输送](#)



典型应用电路

3 说明

TPS61288 是一款高功率密度的全集成同步升压转换器, 配有一个 6.5mΩ 功率开关和一个 8.5mΩ 整流器开关, 可为便携式系统提供高效的小尺寸解决方案。TPS61288 具有 2V (2.4V 上升) 至 18V 的宽输入电压范围, 可支持由单芯或两芯锂电池供电的应用。该器件具备 15A 开关电流能力, 并且能够提供高达 18V 的输出电压。

TPS61288 使用具有 SOO 调制的峰值电流控制拓扑来调节输出电压。在中等到重负载条件下, 该器件以脉宽调制 (PWM) 模式工作。在轻负载和低占空比条件下, 它会自动在脉冲频率调制 (PFM) 模式下运行。SOO 调制可在宽负载/ V_{IN} 范围内实现精确调节, 同时保持高效率和低输出纹波。PWM 模式下的开关频率为 500kHz。TPS61288 提供 19V 输出过压保护、逐周期过流保护和热关断保护。

TPS61288 采用 2.5mm x 3.0mm QFN 封装。

器件信息

器件型号	封装 ⁽¹⁾	封装尺寸 (标称值)
TPS61288	四方扁平无引线 (QFN) (11)	2.5mm × 3.0mm

- (1) 如需了解所有可用封装, 请参阅数据表末尾的可订购产品附录。



内容

1 特性.....	1	8.3 特性说明.....	11
2 应用.....	1	8.4 器件功能模式.....	11
3 说明.....	1	9 应用和实施.....	13
4 修订历史记录.....	2	9.1 应用信息.....	13
5 器件比较.....	3	9.2 典型应用.....	13
6 引脚配置和功能.....	4	10 电源相关建议.....	20
7 规格.....	5	11 布局.....	21
7.1 绝对最大额定值.....	5	11.1 布局指南.....	21
7.2 ESD 等级.....	5	11.2 布局示例.....	21
7.3 建议运行条件.....	5	12 器件和文档支持.....	23
7.4 热性能信息.....	5	12.1 接收文档更新通知.....	23
7.5 电气特性.....	6	12.2 支持资源.....	23
7.6 典型特性.....	8	12.3 商标.....	23
8 详细说明.....	10	12.4 静电放电警告.....	23
8.1 概述.....	10	12.5 术语表.....	23
8.2 功能方框图.....	10	13 机械、封装和可订购信息.....	23

4 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision B (December 2021) to Revision C (May 2022)	Page
• 添加了 HotRod Lite 选项.....	1

Changes from Revision A (December 2020) to Revision B (December 2021)	Page
• 将文档状态从“预告信息”更改为“量产数据”.....	1

5 器件比较

器件名称	封装
TPS61288	HotRod
TPS61288L	HotRod Lite

6 引脚配置和功能

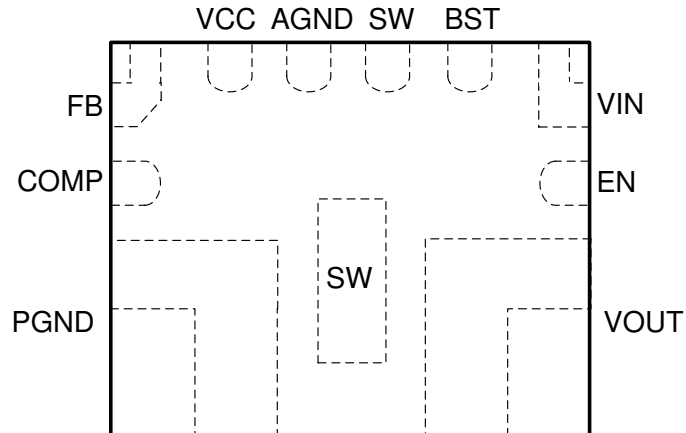


图 6-1. 11 引脚 RQQ VQFN 封装 (顶视图)

表 6-1. 引脚功能

引脚		I/O	说明
名称	编号		
FB	1	I	电压反馈。连接到电阻分压器的中心抽头，可对输出电压进行编程。
COMP	2	O	内部误差放大器的输出，即环路补偿网络应连接在该引脚和 AGND 引脚之间。
PGND	3	PWR	IC 的电源接地。它连接到低侧 MOSFET 的电源。
SW	4.9	PWR	转换器的开关节点引脚。它连接到内部低侧功率 MOSFET 的漏极，以及内部高侧功率 MOSFET 的源极。
VOUT	5	PWR	升压转换器输出
EN	6	I	启用逻辑输入。逻辑高电平可启用器件。逻辑低电平可禁用器件并将其转换为关断模式。
VIN	7	I	IC 电源输入
BST	8	O	高侧 MOSFET 栅极驱动器的电源。必须在此引脚和 SW 引脚之间连接一个 0.1 μ F 的陶瓷电容器。
AGND	10	-	IC 的信号接地
VCC	11	O	内部稳压器的输出。在此引脚和接地之间需要一个大于 1.0 μ F 的陶瓷电容器。

7 规格

7.1 绝对最大额定值

在自然通风条件下的工作温度范围内测得 (除非另有说明) ⁽¹⁾

		最小值	最大值	单位
电压	BST	-0.3	SW+6	V
电压	VIN、VOUT、SW	-0.3	20	V
电压	其他引脚	-0.3	6	V
T _J	工作结温	-40	150	°C
T _{stg}	贮存温度	-65	150	°C

(1) 超出绝对最大额定值下列出的应力可能会对器件造成永久性损坏。这些仅为应力等级，并不意味着器件在这些条件下以及在建议运行条件以外的任何其他条件下能够正常运行。长时间处于绝对最大额定条件下可能会影响器件的可靠性。

7.2 ESD 等级

		值	单位
V _(ESD)	静电放电	±2000	V
		±500	

(1) JEDEC 文档 JEP155 指出：500V HBM 时能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。
(2) JEDEC 文档 JEP157 指出：250V CDM 时能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。

7.3 建议运行条件

在自然通风条件下的工作温度范围内测得 (除非另有说明)

		最小值	标称值	最大值	单位
V _{IN}	输入电压范围	2.0		18	V
V _{OUT}	输出电压范围	4.5		18	V
L	有效电感范围	0.8		5.6	μH
C _{IN}	有效输入电容范围	1	10		μF
C _{OUT}	有效输出电容范围	10		1000	μF
T _J	工作结温	-40		125	°C

7.4 热性能信息

热指标 ⁽¹⁾		TPS61288		单位
		RQQ (VQFN) - 11 引脚	RQQ (VQFN) - 11 引脚	
		EVM ⁽²⁾	标准	
R _{θJA}	结至环境热阻	33.6	71.4	°C/W
R _{θJC(top)}	结至外壳 (顶部) 热阻	不适用	不适用	°C/W
R _{θJB}	结至电路板热阻	不适用	不适用	°C/W
Ψ _{JT}	结至顶部特征参数	1.7	2.7	°C/W
Ψ _{JB}	结至电路板特征参数	13.4	15.8	°C/W
R _{θJC(bot)}	结至外壳 (底部) 热阻	不适用	不适用	°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。
(2) 在 TPS61288EVM 上测得，4 层 2oz 铜 PCB。

7.5 电气特性

$T_J = -40^{\circ}\text{C}$ 至 125°C , $V_{IN} = 2.5\text{V}$ 至 9V , $V_{OUT} = 16\text{V}$ 。典型值在 $T_J = 25^{\circ}\text{C}$ 下测得 (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
电源						
V_{UVLO}	输入电压欠压锁定 (UVLO) 阈值	V_{IN} 上升		2.3	2.4	V
	输入电压欠压锁定 (UVLO) 阈值	V_{IN} 下降, $V_{OUT} > 3\text{V}$	1.8	1.9	2	V
	欠压锁定磁滞	V_{UVLO} 上升 - V_{UVLO} 下降		400		mV
V_{CC}	V_{CC} 调节电压	$I_{CC} = 5\text{mA}$, $V_{IN} = 9\text{V}$		4.8		V
V_{CC_UVLO}	V_{CC} 下降阈值	V_{CC} 下降	1.9	2		V
I_{Q_IN}	流入 V_{IN} 引脚的静态电流	EN = 高电平、无开关、 $2.4\text{V} < V_{IN} < 16\text{V}$ 、 $V_{OUT} > 1.1V_{IN}$ 、 $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 85^{\circ}\text{C}$		3	10	μA
I_{Q_OUT}	流入 V_{OUT} 引脚的静态电流	EN = 高电平、无开关、 $2.4\text{V} < V_{IN} < 16\text{V}$ 、 $V_{OUT} > 1.1V_{IN}$ 、 $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 85^{\circ}\text{C}$		110	165	μA
I_{SD}	流入 V_{IN} 引脚的关断电流	EN = 低电平、无开关、 $2.4\text{V} < V_{IN} < 18\text{V}$ 、 $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 85^{\circ}\text{C}$			2.1	μA
I_{SD_SW}	流入 SW 的反向漏电流	EN = 低电平、无开关、 $V_{SW} = 0\text{V}$ 、 $4.5\text{V} < V_{OUT} < 18\text{V}$ 、 $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 85^{\circ}\text{C}$			1	μA
输出						
V_{REF}	反馈调节基准电压	PWM 运行	0.588	0.6	0.612	V
I_{FB}	反馈输入偏置电流				20	nA
V_{OVP}	过压保护	上升阈值	18.3	19	19.5	V
V_{OVP_HYS}	过压保护磁滞			600		mV
电源开关						
$R_{DS(on)}$	高侧 FET 导通电阻	$V_{CC} = 5\text{V}$		8.5		$\text{m}\Omega$
$R_{DS(on)}$	低侧 FET 导通电阻	$V_{CC} = 5\text{V}$		6.5		$\text{m}\Omega$
电流限值						
I_{LIM}	开关峰值电流限制	$V_{IN} = 7.2\text{V}$ 、 $V_{OUT} = 16\text{V}$ 、 $L = 2.2\mu\text{H}$ 、 $-20^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	12	15	17.1	A
逻辑接口						
V_{IH}	EN 高电平输入电压				1.2	V
V_{IL}	EN 低电平输入电压		0.4			V
V_{HYS}	控制逻辑磁滞		50			mV
R_{EN}	控制引脚的下拉电阻器			850	1100	$\text{k}\Omega$
误差放大器						
V_{COMP_H}	COMP 输出高电压	$V_{FB} = V_{REF} - 200\text{mV}$		1.88		V
V_{COMP_L}	COMP 输出低电压	$V_{FB} = V_{REF} + 200\text{mV}$		0.55		V
G_m	误差放大器跨导			180		μS
K_{COMP}	功率级跨导 (电感器峰值电流/补偿电压)			13.5		A/V
I_{SINK}	COMP 引脚灌电流	$V_{FB} = V_{REF} + 200\text{mV}$, $V_{COMP} = 1.5\text{V}$		20		μA
I_{SOURCE}	COMP 引脚拉电流	$V_{FB} = V_{REF} + 200\text{mV}$, $V_{COMP} = 1.5\text{V}$		20		μA
开关时间						
T_{SS}	软启动时间	$V_{IN} = 7.2\text{V}$ 、 $V_{OUT} = 16\text{V}$; $L = 2.2\mu\text{H}$ 、 $C_{out(eff)} = 50\mu\text{F}$		3		ms
f_{SW}	开关频率	$V_{IN} = 7.2\text{V}$ 、 $V_{OUT} = 16\text{V}$; $V_{IN} = 3.6\text{V}$ 、 $V_{OUT} = 13\text{V}$	440	500	600	kHz
t_{ON_MIN}	最短导通时间			60	110	ns
保护						

7.5 电气特性 (续)

$T_J = -40^{\circ}\text{C}$ 至 125°C , $V_{IN} = 2.5\text{V}$ 至 9V , $V_{OUT} = 16\text{V}$ 。典型值在 $T_J = 25^{\circ}\text{C}$ 下测得 (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
T_{SD}	热关断	结温上升		160		$^{\circ}\text{C}$
T_{SD_HYS}	热关断迟滞			20		$^{\circ}\text{C}$

7.6 典型特性

$T_A = 25^\circ\text{C}$, $f_{\text{SW}} = 500\text{kHz}$ (除非另有说明)。

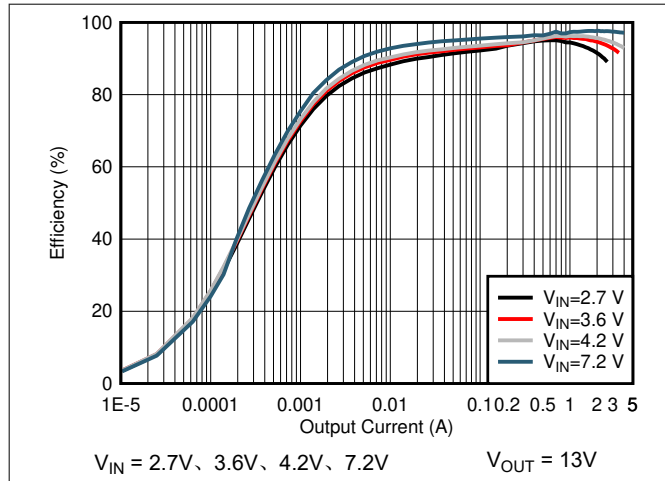


图 7-1. 效率与输出电流间的关系 $V_{\text{OUT}} = 13\text{V}$

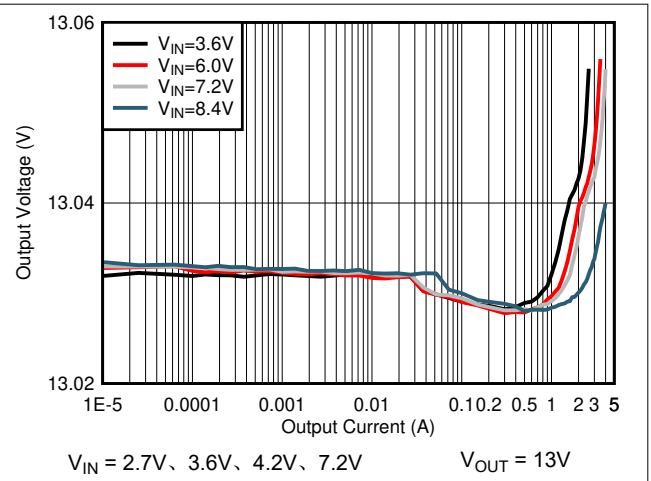


图 7-2. 输出电压与输出电流间的关系, $V_{\text{OUT}} = 13\text{V}$

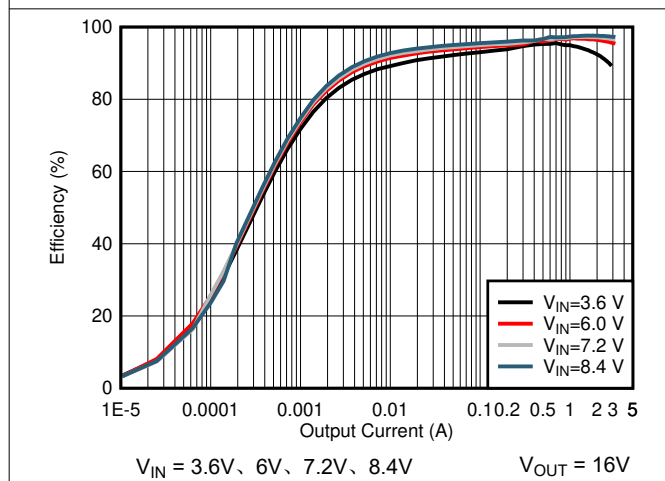


图 7-3. 效率与输出电流间的关系, $V_{\text{OUT}} = 16\text{V}$

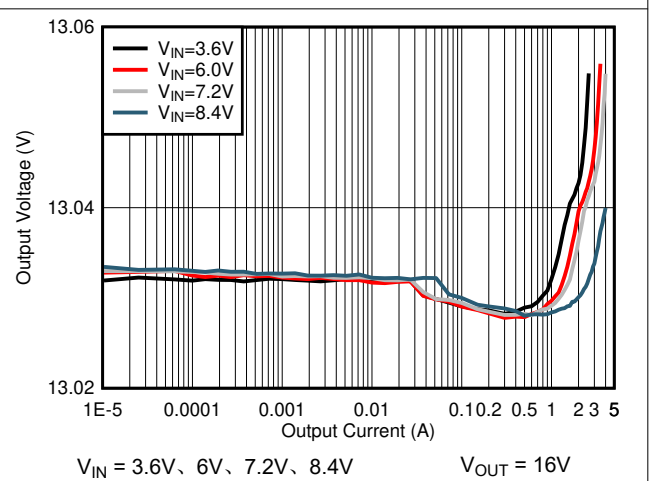


图 7-4. 输出电压与输出电流间的关系, $V_{\text{OUT}} = 16\text{V}$

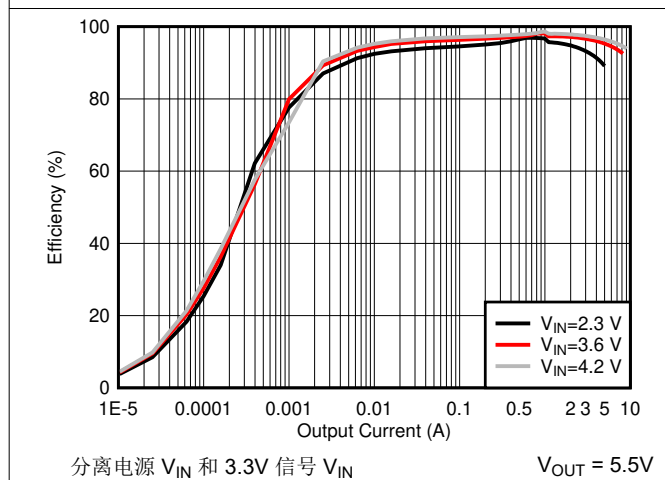


图 7-5. 效率与输出电流间的关系, $V_{\text{OUT}} = 5.5\text{V}$

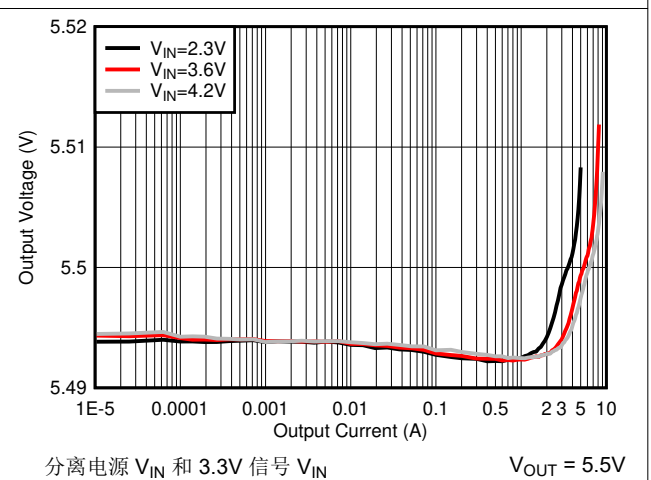


图 7-6. 输出电压与输出电流间的关系, $V_{\text{OUT}} = 5.5\text{V}$

7.6 典型特性 (续)

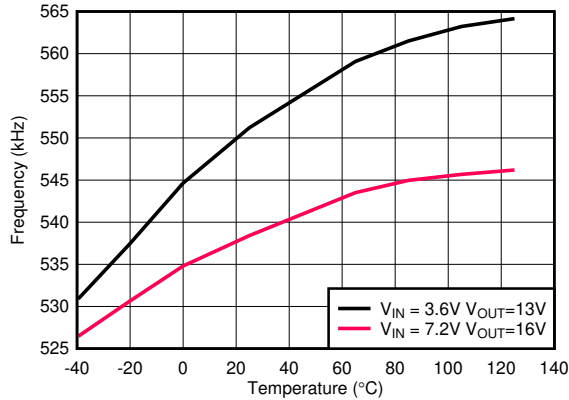


图 7-7. 开关频率与温度间的关系

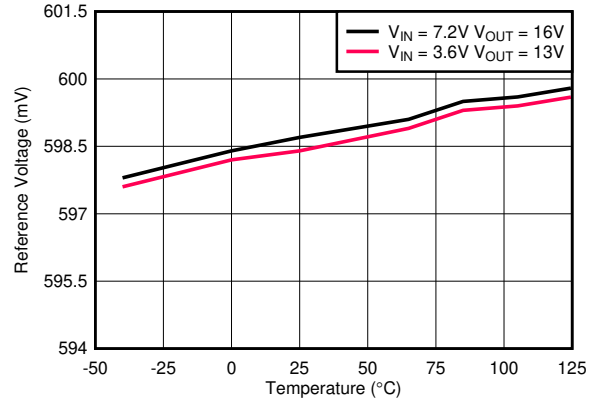
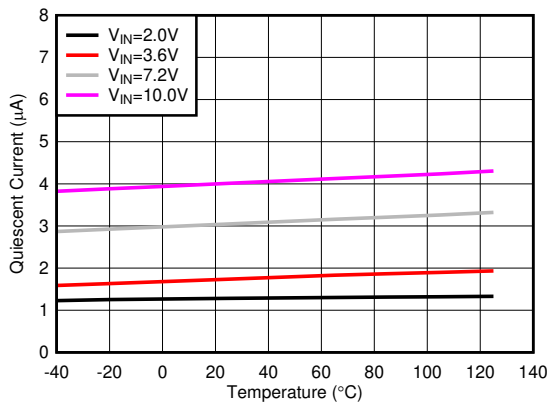
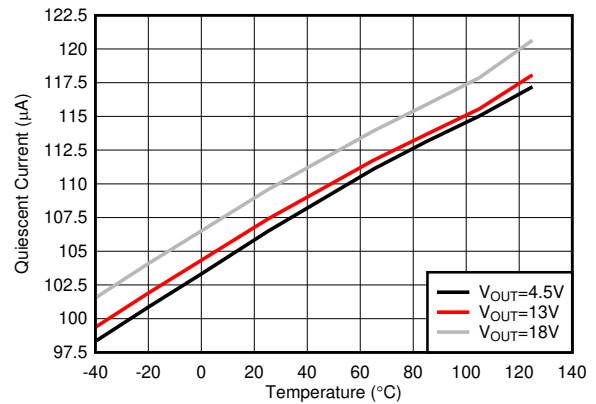


图 7-8. 基准电压与温度间的关系



$V_{IN} = 2.0V, 3.6V, 7.2V, 10V$ $V_{OUT} = 13V$

图 7-9. 流入 V_{IN} 的静态电流与温度间的关系



$V_{IN} = 3.6V$ $V_{OUT} = 4.5V, 13V, 18V$

图 7-10. 流入 V_{OUT} 的静态电流与温度间的关系

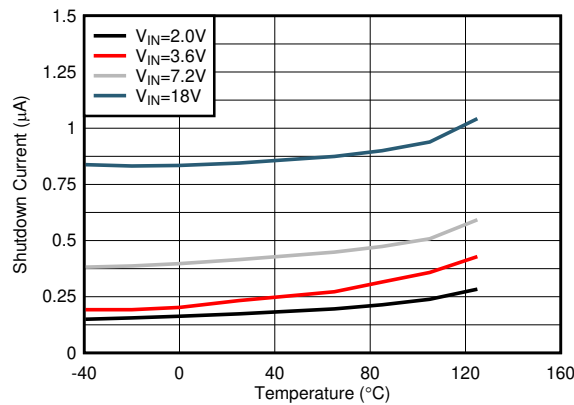


图 7-11. 关断电流与温度间的关系

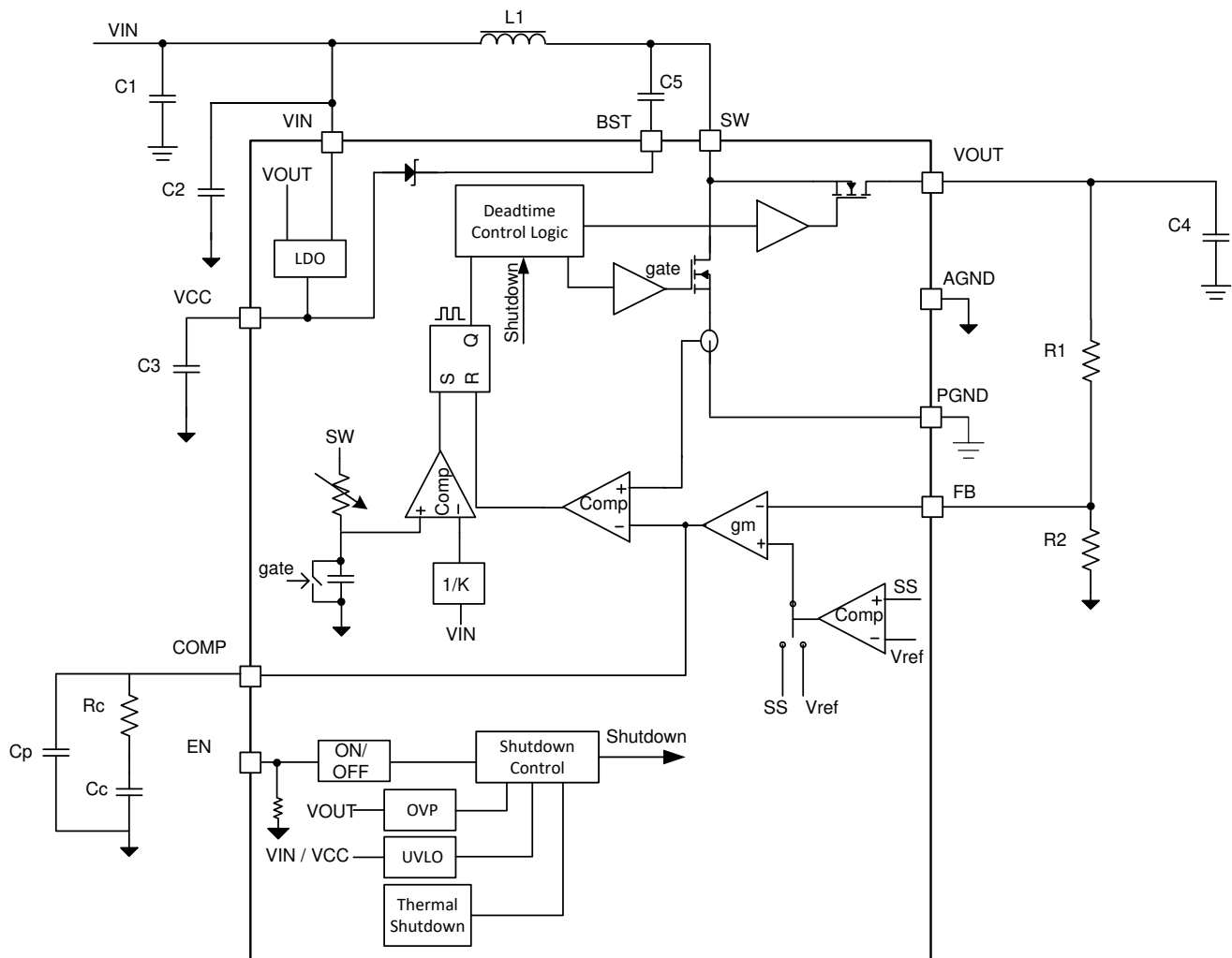
8 详细说明

8.1 概述

TPS61288 是一款全集成同步升压转换器，配有一个 $6.5\text{m}\Omega$ 功率开关和一个 $8.5\text{m}\Omega$ 整流器开关，可以利用单节或两节电池组成的锂电池输出高功率。该器件能够提供 18V 的输出电压，使用单节锂电池输出高达 35W 的功率，使用两节锂电池输出 45W 的功率。

TPS61288 使用具有 SOO 调制的峰值电流控制拓扑来调节输出电压。在中等到重负载条件下，TPS61288 在准恒频脉宽调制 (PWM) 模式下运行。与传统的自适应关断时间转换器一样，该器件会以输入和输出电压的函数形式改变关断时间，从而保持一个接近恒定的频率 500kHz 。在轻负载条件下，器件在脉冲频率调制 (PFM) 模式下运行。关断时间由反馈环路进行调制并随着负载变得更轻而延长。由于在高侧 N-MOSFET 中实现了零电流检测、该器件能够在不连续导通模式 (DCM) 下运行，从而优化轻负载效率。TPS61288 执行逐周期电流限制，以便在升压开关期间保护器件免受过载情况的影响。典型的开关峰值电流限制为 15A 。TPS61288 使用外部环路补偿，从而可以灵活地使用不同电感器和输出电容器。峰值电流控制方案具有出色的瞬态线路和负载响应，而输出电容极小。

8.2 功能方框图



8.3 特性说明

8.3.1 使能和启动

TPS61288 具有软启动功能，可防止启动期间出现高浪涌电流。当 EN 引脚被拉高时，内部软启动电容器以恒定电流充电。在此期间，软启动电容器电压与内部基准电压 (0.6V) 进行比较。较低者被馈入误差放大器的内部正输入。随着软启动电容器电压的上升，误差放大器的输出 (决定电感峰值电流值) 缓慢上升。软启动阶段在软启动电容器电压超过内部基准 (0.6V) 后完成。当 EN 引脚被拉至低电平时，软启动电容器的电压会放电至接地。

8.3.2 欠压锁定 (UVLO)

UVLO 电路防止器件在低输入电压时出现故障，并且防止电池过度放电。TPS61288 具有 VIN UVLO 和 VCC UVLO 功能。当 VIN 引脚上的下降电压跳变 UVLO 下降阈值 V_{UVLO} (通常为 1.9V) 时，器件将禁止切换。当 VIN 引脚上的上升电压跳变 UVLO 上升阈值 (通常为 2.3V) 时，器件将开始工作。当 VCC 引脚上的下降电压跳变 UVLO 阈值 V_{CC_UVLO} (通常为 2.1V) 时，器件也会禁用。

8.3.3 开关峰值电流限制

为了避免意外的大峰值电流，TPS61288 有一个内部逐周期电流限制。一旦开关峰值电流达到典型的 15A 电流限制，低侧开关就会立即关闭。

8.3.4 过压保护

如果检测到 VOUT 引脚上的输出电压高于 19V (典型值)，TPS61288 将立即停止开关，直到 VOUT 引脚上的电压将迟滞值降至低于输出过压保护阈值。此功能可防止输出端出现过压，并保护连接到输出端的电路，免受过压的影响。

8.3.5 热关断

实施了热关断功能，以防止因过热和功率耗散而造成损坏。通常，在 160°C 结温下发生热关断。当触发热关断时，器件会停止开关，直到结温降至 140°C 典型值以下，然后器件再次开始开关。

8.4 器件功能模式

8.4.1 PWM

在中等到重负载条件下，同步升压转换器 TPS61288 以准恒定频率脉宽调制 (PWM) 模式运行。根据 VIN 与 VOUT 之比，电路可预测开关周期所需的关断时间。在每个开关周期的开始，低侧 N-MOSFET 开关 (节 8.2 中所示) 被接通，并且电感器电流斜升至峰值电流，此电流由内部误差放大器的输出确定。达到峰值电流后，电流比较器会跳闸，会关闭低侧 N-MOSFET 开关，在死区时间内，电感器电流流经高侧 N-MOSFET 的体二极管。在死区时间持续时间过后，高侧 N-MOSFET 开关接通。由于输出电压高于输入电压，电感器电流会下降。在达到计算的关断时间之前，高侧开关不会关闭。在经过一段短暂的死区时间后，低侧开关再次导通，并且重复开关周期。

8.4.2 PFM

TPS61288 以平滑的导通时间/关断时间 (SOO) 模式提供从 PWM 到 PFM 运行的无缝转换，并启用自动脉冲跳跃模式，该模式可在宽负载范围内提供出色的效率。随着负载电流下降或 VIN 上升，内部误差放大器的输出会降低，使电感器峰值电流降低，从而为负载提供更低的功率。如果输出电流进一步降低，在关断期间电感器的电流会降为零。转换器会检测电感器电流，并通过关闭高侧 MOSFET 直到下一个开关周期开始来防止负流。

当电感器峰值电流达到 2.6A (典型值) 时，随着峰值电流的降低，TPS61288 延长开关周期的关断时间，以减少为输出提供的能量，并将输出电压调节到目标值。误差放大器的输出持续下降，并达到相对于 1.3A (典型值) 峰值电流的阈值，误差放大器的输出被钳位在该值，并且不再下降。

在 SOO 模式下，TPS61288 会使输出电压等于设置电压。此外，由于峰值电流较低，因此在轻负载时的输出电压纹波要小得多。请参阅图 8-1。

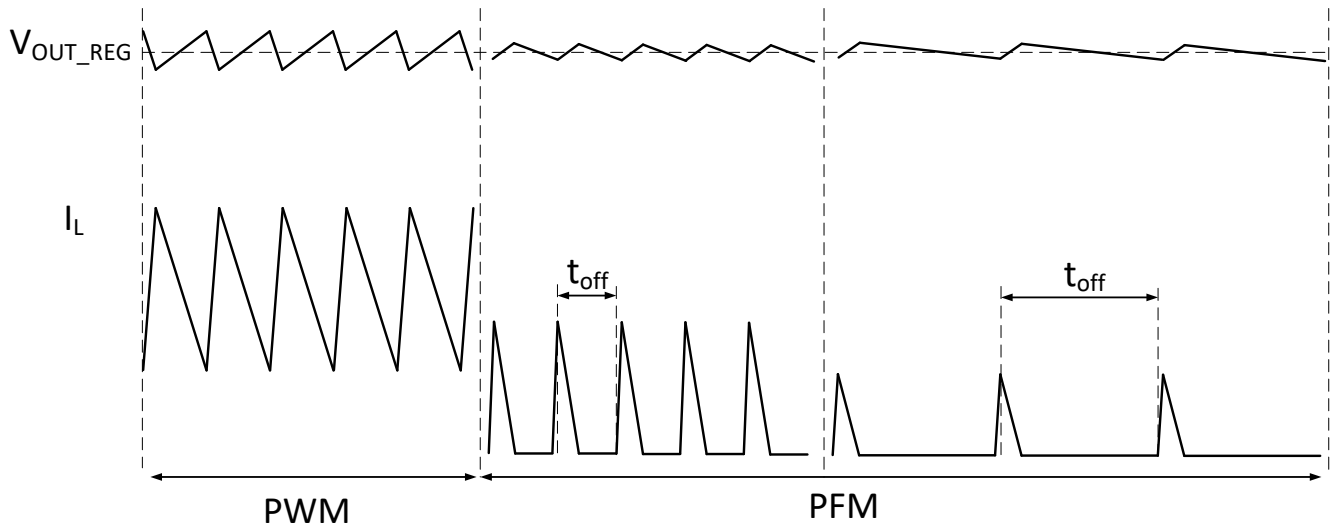


图 8-1. PFM 模式图

9 应用和实例

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 器件规格的范围，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客户应负责确定器件是否适用于其应用。客户应验证并测试其设计，以确保系统功能。

9.1 应用信息

TPS61288 具有最高 18V 的输出电压和 15A 的开关电流能力。在中等到重负载条件下，TPS61288 以准恒定频率脉宽调制 (PWM) 模式运行。在轻负载条件下，转换器以单脉冲 PFM 模式运行。PFM 模式可在整个负载范围内实现高效率。该转换器使用自适应恒定关断时间峰值电流控制方案，该方案以超小的输出电容提供出色的瞬态线路和负载响应。通过外部环路补偿，TPS61288 可以使用不同的电感器和输出电容器组合运行。

9.2 典型应用

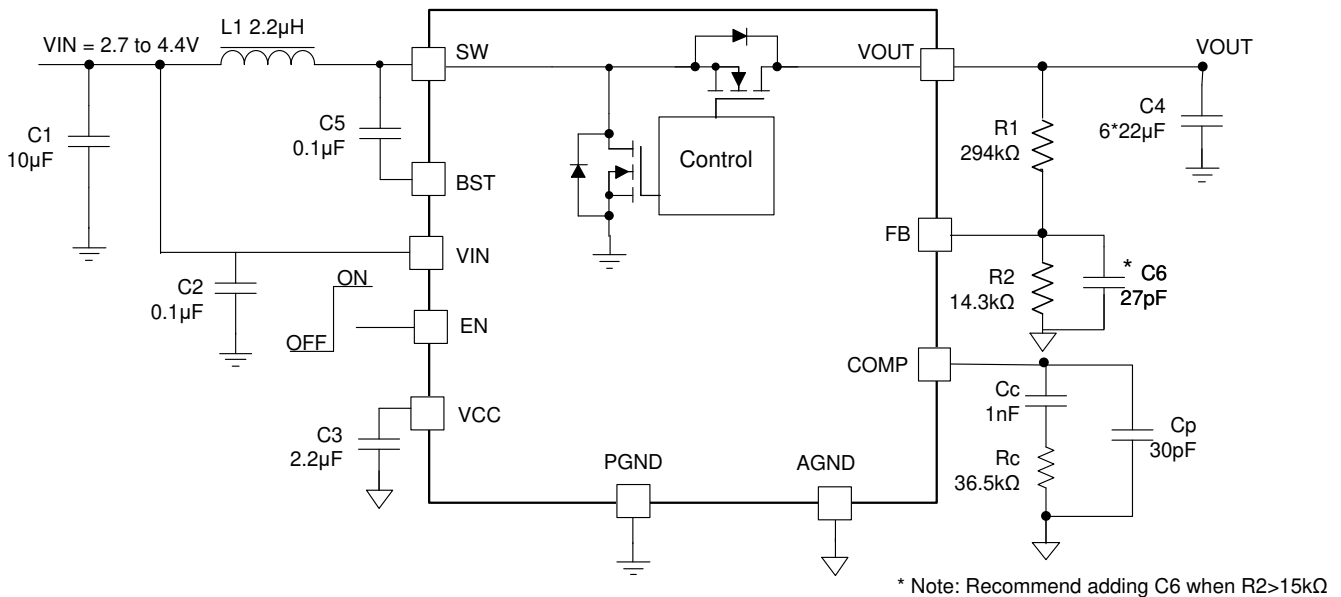


图 9-1. TPS61288 3.6V 至 13V/2.3A 输出转换器

9.2.1 设计要求

表 9-1. 设计参数

设计参数	示例值
输入电压范围	2.7 至 4.4V
输出电压	13V
输出电压纹波	100mV 峰峰值
输出电流额定值	2.3A

9.2.2 详细设计过程

9.2.2.1 设置输出电压

输出电压由外部电阻分压器 (图 9-1 电路图中的 R1、R2) 设置。为了获得出色精度，R2 应小于 300kΩ，以确保流过 R2 的电流至少比 FB 引脚漏电流大 100 倍。将 R2 更改为较低的值可提高抗噪声注入干扰的能力。当 R2 高于 15kΩ 时，为了实现抗噪性能，TI 建议与 R2 并联一个 27pF 的陶瓷电容器 (图 9-1 中的 C6)。

然后，通过下式计算 R1 的值：

$$R_1 = \frac{(V_{OUT} - V_{REF}) \times R_2}{V_{REF}} \quad (1)$$

9.2.2.2 电感器选型

由于电感器的选型会影响电源运行的稳态、瞬态行为、环路稳定性和升压转换器效率，电感器是开关电源稳压器设计中最重要元件。对于电感器性能而言，三个最重要的规格是电感值、直流电阻与饱和电流。

TPS61288 可与 1.0μH 至 4.7μH 的电感器配合使用。1.0μH 电感器通常采用较小或薄型封装，而 4.7μH 电感器则会产生更低的电感器电流纹波。如果升压输出电流受到 IC 峰值电流保护的限制，则使用 4.7μH 的电感器可以更大限度地提高控制器的输出电流能力。

在没有电流偏置的情况下，电感值的容差可以为 ±20%，甚至是 ±30%。当电感器电流接近饱和水平时，其电感可以比 0A 电流时的电感值减少 20% 至 35%，具体取决于电感器供应商对饱和电流的定义。选择电感器时，请确保其额定电流 (尤其是饱和电流) 大于运行期间的峰值电流。

按照公式 2 至公式 4 计算电感器的峰值电流。如需计算最坏情况下的电流，请使用应用的最小输入电压、最大输出电压和最大负载电流。为了留出足够的设计裕度，TI 建议在计算时使用最小开关频率、容差为 -30% 的电感值以及低电源转换效率。

在升压稳压器中，按公式 2 计算电感器直流电流。

$$I_{DC} = \frac{V_{OUT} \times I_{OUT}}{V_{IN} \times \eta} \quad (2)$$

其中

- V_{OUT} 是升压稳压器的输出电压。
- I_{OUT} 是升压稳压器的输出电流。
- V_{IN} 是升压稳压器的输入电压。
- η 是电源转换效率。

按公式 3 计算电感器电流峰值纹波。

$$I_{PP} = \frac{1}{L \times \left(\frac{1}{V_{OUT} - V_{IN}} + \frac{1}{V_{IN}} \right) \times f_{SW}} \quad (3)$$

其中

- I_{PP} 是电感器峰峰值纹波。
- L 是电感值。
- f_{SW} 为开关频率。
- V_{OUT} 是输出电压。
- V_{IN} 是输入电压。

因此，可以通过公式 4 来计算电感器的峰值电流 I_{Lpeak} 。

$$I_{Lpeak} = I_{DC} + \frac{I_{PP}}{2} \quad (4)$$

将 TPS61288 的电流限值设置为高于峰值电流 I_{Lpeak} 。然后选择饱和电流高于设定电流限值的电感器。

升压转换器效率取决于电流路径的电阻、与开关 MOSFET 相关的开关损耗和电感器的磁芯损耗。TPS61288 优化了内部开关电阻。但是，整体效率受电感器直流电阻 (DCR)、开关频率下的等效串联电阻 (ESR) 和内芯损耗的影响很大。磁芯损耗与磁芯材料有关，不同的电感器具有不同的磁芯损耗。对于某个电感器，较大的电流纹波会产生更高的 DCR 和 ESR 导通损耗和更高的磁芯损耗。通常，电感器的数据表不提供 ESR 和磁芯损耗信息。如果需要，请咨询电感器供应商以获取详细信息。一般而言，TI 会建议使用具有较低 DCR 和 ESR 的电感器。但是，需要在电感器的电感、DCR 和 ESR 电阻以及占位面积之间进行权衡。此外，屏蔽电感器的 DCR 通常高于非屏蔽电感器。表 9-2 列出了为 TPS61288 推荐的电感器。根据前面的计算和基准评估，验证推荐的电感器是否可以支持用户目标应用。在此应用中，选择了 Cynotec 的电感器 CMLE105T-2R2MS-99，因为它的尺寸小和 DCR 低。

表 9-2. 建议的电感器

器件型号	L (μH)	DCR MAX (mΩ)	饱和电流/额定热电流 (A)	最大尺寸 (长 × 宽 × 高 mm)	供应商
CMLE105T-2R2MS-99	2.2	4.5	26.0/19.5	10.3 x 11.5 x 5.0	Cynotec
CMLE105T-1R0MS-99	1.0	2.5	36.0/25.5	10.3 x 11.5 x 5.0	Cynotec
XAL1060-222ME	2.2	4.95	32.0/20.0	10.0 x 11.3 x 6.0	Coilcraft
104CDMCCDS-2R2MC	2.2	7.0	18.0/15.0	11.5 x 10.3 x 4.0	Sumida

9.2.2.3 输入电容器选型

为了实现良好的输入电压滤波，TI 建议使用低 ESR 陶瓷电容器。VIN 引脚是 TPS61288 的电源。建议使 0.1 μF 陶瓷旁路电容器尽可能靠近 TPS61288 的 VIN 引脚。VCC 引脚是内部 LDO 的输出。需要在 VCC 引脚上使用一个高于 1.0 μF 的陶瓷电容器，以实现 LDO 的稳定运行。

对于功率级，由于电感电流纹波，如果电源和电感之间存在寄生电感和电阻，则输入电压会发生变化。建议具有足够的输入电容，以使输入电压纹波小于 100mV。通常，10 μF 的输入电容足以满足大部分应用的需求。

备注

直流偏置效应：高电容陶瓷电容器具有直流偏置效应，会对最终的有效电容产生很大影响。因此，必须仔细选择正确的电容器值。额定电容器值和有效电容之间的差异是由封装尺寸和额定电压以及材料引起的。一个具有 10 μF 且额定电压为 10V 的 0805 电容器在输出电压为 5V 时的有效电容可能小于 5 μF。

9.2.2.4 输出电容器选型

要实现小输出电压纹波，TI 建议使用诸如陶瓷电容器之类的低 ESR 输出电容器。通常，三个 22 μF 陶瓷输出电容器可满足大多数应用的需求。可以使用更高的电容器值来改善负载瞬态响应。评估直流偏置下电容器的降额时请小心。偏置可以显著降低电容。在额定电压下，陶瓷电容器可能会损失大部分电容。因此，在额定电压方面应留有余量，以确保足够的有效电容。根据所需的输出电压纹波，使用以下公式计算所需的最小有效电容 C_{OUT} ：

$$V_{ripple_dis} = \frac{(V_{OUT} - V_{IN_MIN}) \times I_{OUT}}{V_{OUT} \times f_{SW} \times C_{OUT}} \quad (5)$$

$$V_{ripple_ESR} = I_{Lpeak} \times R_{C_ESR} \quad (6)$$

其中

- V_{ripple_dis} 是由输出电容器充放电引起的输出电压纹波。
- V_{ripple_ESR} 是由输出电容器的 ESR 导致的输出电压纹波。

- V_{IN_MIN} 是升压转换器的最低输入电压。
- V_{OUT} 是输出电压。
- I_{OUT} 是输出电流。
- I_{Lpeak} 是电感器的峰值电流。
- f_{SW} 为转换器开关频率。
- R_{C_ESR} 是输出电容的 ESR。

9.2.2.5 环路稳定性

TPS61288 需要外部补偿，从而可以针对每个应用优化环路响应。COMP 引脚是内部误差放大器的输出。一个由电阻器 R_C 和陶瓷电容器 C_C 和 C_P 组成的外部补偿网络连接至 COMP 引脚。

采用峰值电流控制的恒定关断时间 (COT) 的功率级小信号环路响应可通过公式 7 建模。

$$G_{PS}(S) = K_{COMP} \times \frac{R_O \times (1-D)}{2} \times \frac{\left(1 + \frac{S}{2\pi f_{ESRZ}}\right) \times \left(1 - \frac{S}{2\pi f_{RHPZ}}\right)}{1 + \frac{S}{2\pi f_P}} \quad (7)$$

其中

- D 是开关占空比。
- R_O 是输出负载电阻。
- K_{COMP} 是功率级跨导 (电感器峰值电流/补偿电压)，为 13.5A/V。

$$f_P = \frac{2}{2\pi \times R_O \times C_O} \quad (8)$$

其中

- C_O 为输出电容。

$$f_{ESRZ} = \frac{1}{2\pi \times R_{ESR} \times C_O} \quad (9)$$

其中

- R_{ESR} 为输出电容器的等效串联电阻。

$$f_{RHPZ} = \frac{R_O \times (1-D)^2}{2\pi \times L} \quad (10)$$

COMP 引脚是内部跨导放大器的输出。公式 11 展示了补偿网络的小信号传递函数。

$$G_C(S) = \frac{G_{EA} \times R_{EA} \times V_{REF}}{V_{OUT}} \times \frac{\left(1 + \frac{S}{2 \times \pi \times f_{COMZ}}\right)}{\left(1 + \frac{S}{2 \times \pi \times f_{COMP1}}\right) \left(1 + \frac{S}{2 \times \pi \times f_{COMP2}}\right)} \quad (11)$$

其中

- G_{EA} 是放大器的跨导。
- R_{EA} 是放大器的输出电阻。

- V_{REF} 是 FB 引脚的基准电压。
- V_{OUT} 是输出电压。
- f_{COMP1} 、 f_{COMP2} 是补偿网络极点的频率。
- f_{COMZ} 是补偿网络零点的频率。

下一步是选择环路交叉频率 f_C 。环路增益在交叉之前保持在零以上的频率越高，环路响应越快。通常，环路增益交叉点不高于开关频率 f_{SW} 的 1/10 或 RHPZ 频率 f_{RHPZ} 的 1/5 (以较低者为准)。

然后，按照以下公式设置 R_C 、 C_C 和 C_P (在图 9-1 中) 的值。

$$R_C = \frac{2\pi \times V_{OUT} \times C_O \times f_C}{(1-D) \times V_{REF} \times G_{EA} \times K_{COMP}} \quad (12)$$

其中

- f_C 是所选的交叉频率。

C_C 的值可以通过公式 13 设置。

$$C_C = \frac{R_O \times C_O}{2R_C} \quad (13)$$

C_P 的值可以通过公式 14 设置。

$$C_P = \frac{R_{ESR} \times C_O}{R_C} \quad (14)$$

如果计算得出的 C_P 值小于 10pF，则可以将其保持开路状态。

设计大于 45° 相位裕度和大于 10dB 增益裕度的环路，可消除线路和负载瞬态期间的输出电压振铃。

9.2.3 应用曲线

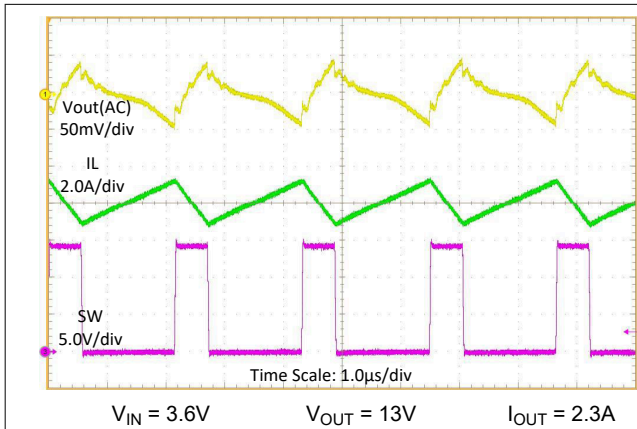


图 9-2. CCM 中的开关波形

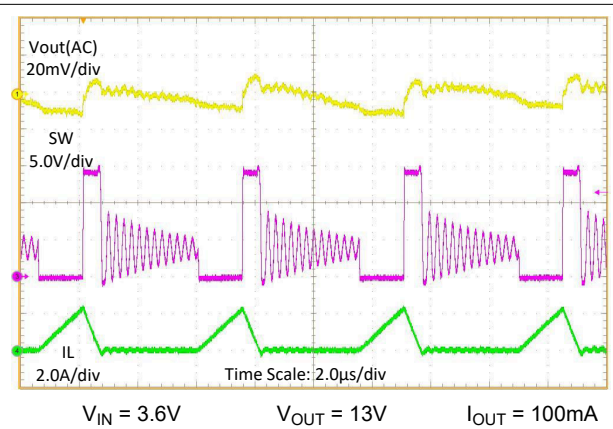


图 9-3. 100mA 负载时的开关波形

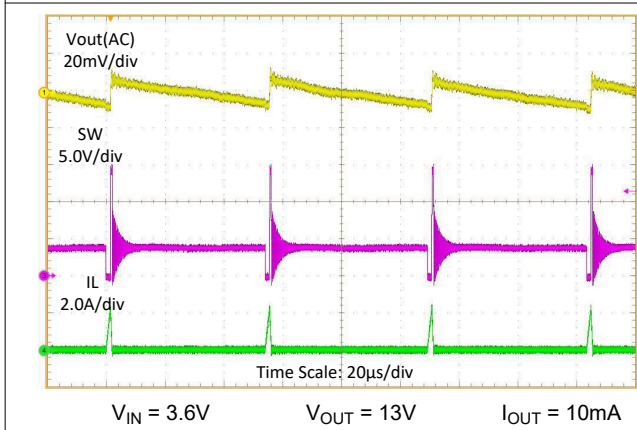


图 9-4. 10mA 负载时的开关波形

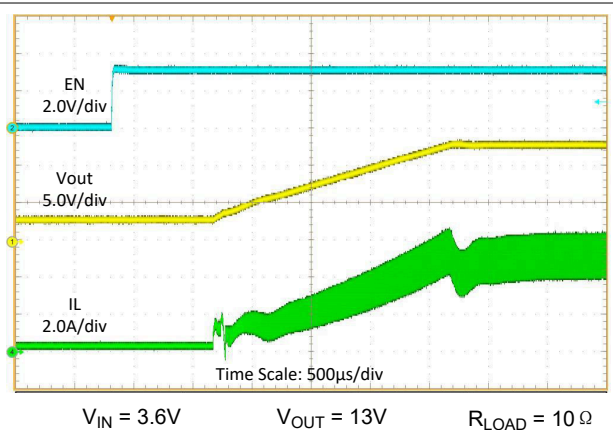


图 9-5. 启动波形

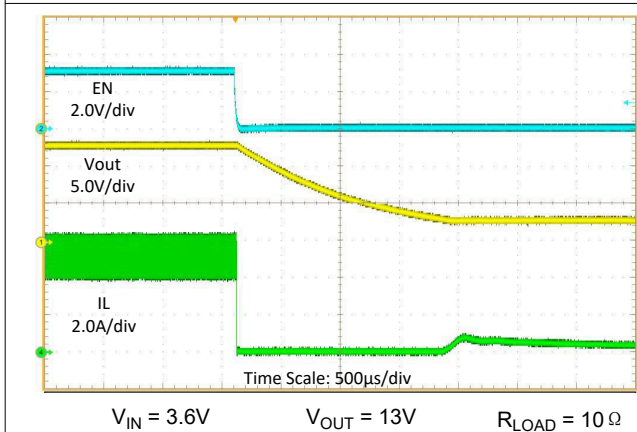


图 9-6. 关断波形

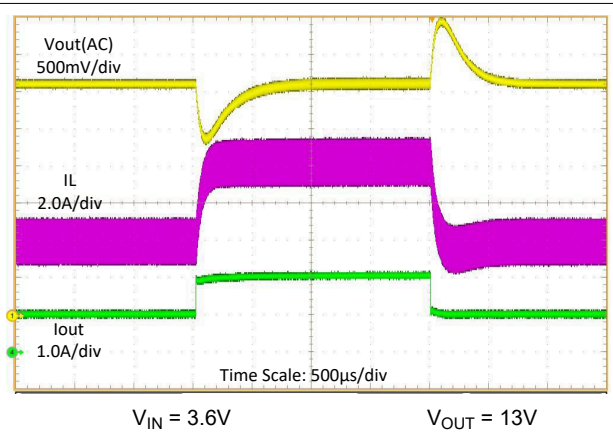
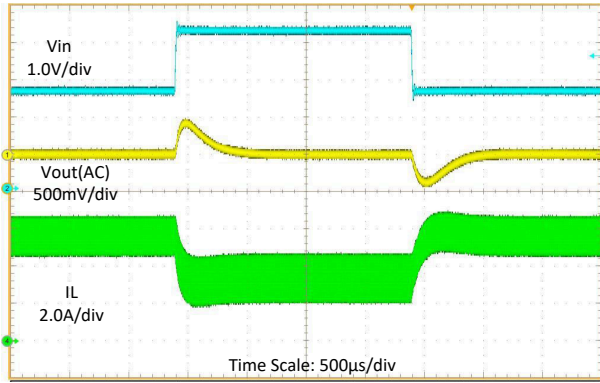
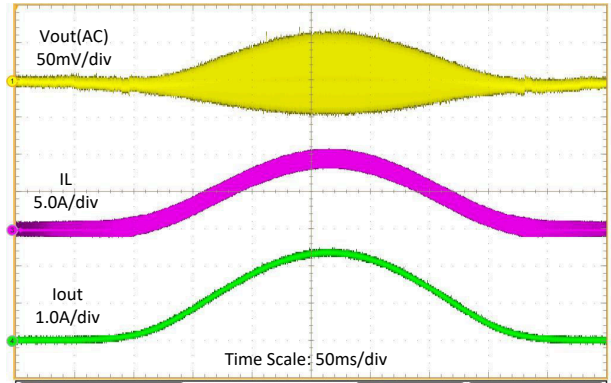


图 9-7. 负载瞬态 (IOUT = 1A 至 2A)



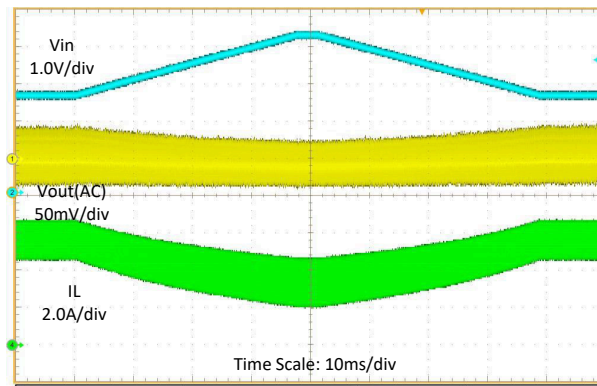
$V_{OUT} = 13V$ $I_{OUT} = 1A$

图 9-8. 线路瞬态 ($V_{IN} = 2.7V$ 至 $4.2V$)



$V_{IN} = 3.6V$ $V_{OUT} = 13V$

图 9-9. 负载扫描 ($I_{OUT} = 0A$ 至 $2A$)



$V_{OUT} = 13V$ $I_{OUT} = 1A$

图 9-10. 线路扫描 ($V_{IN} = 2.7V$ 至 $4.2V$)

10 电源相关建议

该器件可在 2.0 V 至 18 V 的输入电源电压范围内工作。该输入电源必须经过良好调节。如果输入电源距离转换器超过几英寸，那么除了陶瓷旁路电容器之外，还需要额外的大容量电容。通常，选择容值为 47 μ F 的电解电容器或钽电容器。

11 布局

11.1 布局指南

对于所有开关电源，尤其是以高开关频率和高电流运行的开关电源，布局设计是一个重要的设计步骤。如果未仔细布局，稳压器可能会出现不稳定和噪声问题。为了最大限度地提高效率，开关上升和下降时间非常短。为了防止高频噪声（例如 EMI）辐射，高频开关路径的正确布局至关重要。尽量减小连接到 SW 引脚的所有布线的长度和面积，并始终在开关稳压器下方使用接地平面，以最大限度地减少平面间耦合。

输入电容器需要靠近 VIN 引脚和 GND 引脚，以降低 I_{input} 电源纹波。

进行布局时还应充分考虑散热问题，因为这是一款高功率密度器件。改善封装散热能力的 SW、VOUT 和 PGND 引脚应与大多边形焊接，在 SW 引脚下使用散热过孔可以提高散热性能。

11.2 布局示例

底层是一个较大的接地平面，通过过孔连接到顶层的 PGND 平面和 AGND 平面。

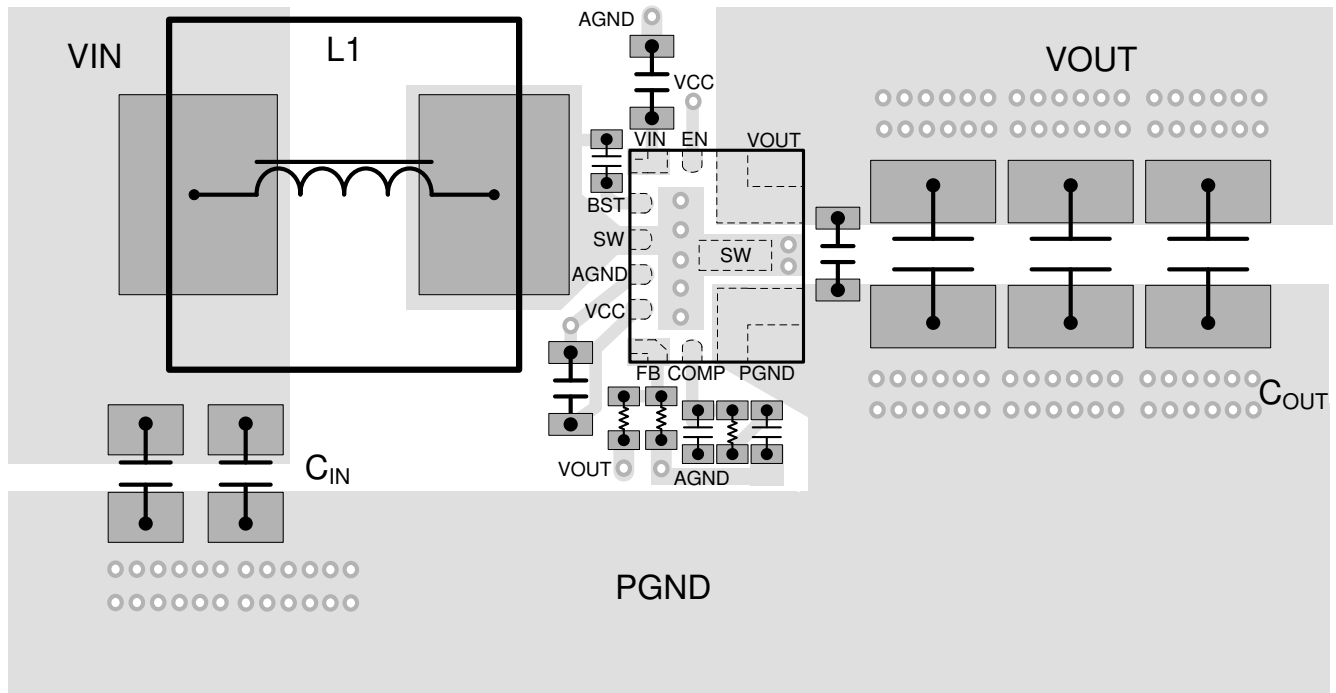


图 11-1. 布局示例

11.2.1 散热注意事项

在正常工作条件下，最大 IC 结温应限制为 125°C。计算允许的最大耗散 $P_{D(max)}$ ，并使实际功率损耗小于或等于 $P_{D(max)}$ 。最大功率耗散限值使用公式 15 确定：

$$P_{D(max)} = \frac{125 - T_A}{R_{\theta JA}} \quad (15)$$

其中

- T_A 是应用的最高环境温度。
- $R_{\theta JA}$ 是热性能信息表中给出的结至环境热阻。

TPS61288 采用耐热增强型 VQFN 封装。封装的实际结至环境热阻在很大程度上取决于 PCB 类型、布局 and 散热焊盘连接。使用厚 PCB 铜并将散热焊盘焊接到大接地平面可提高热性能。使用更多过孔将接地平面连接到 IC 的顶层和底层，而不使用阻焊层，这也可以提高热性能。

12 器件和文档支持

12.1 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。点击右上角的 *提醒我* 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。

12.2 支持资源

[TI E2E™ 支持论坛](#) 是工程师的重要参考资料，可直接从专家获得快速、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可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》](#)。

12.3 商标

HotRod™ and TI E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

Bluetooth™ is a trademark of Bluetooth SIG.

所有商标均为其各自所有者的财产。

12.4 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。

12.5 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。

13 机械、封装和可订购信息

以下页面包含机械、封装和可订购信息。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)
TPS61288LRQQR	Active	Production	VQFN-HR (RQQ) 11	3000 LARGE T&R	Yes	SN	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	61288L
TPS61288LRQQR.A	Active	Production	VQFN-HR (RQQ) 11	3000 LARGE T&R	Yes	SN	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	61288L
TPS61288RQQR	Active	Production	VQFN-HR (RQQ) 11	3000 LARGE T&R	Yes	SN	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	61288
TPS61288RQQR.A	Active	Production	VQFN-HR (RQQ) 11	3000 LARGE T&R	Yes	SN	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	61288

(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.

TAPE AND REEL INFORMATION



QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



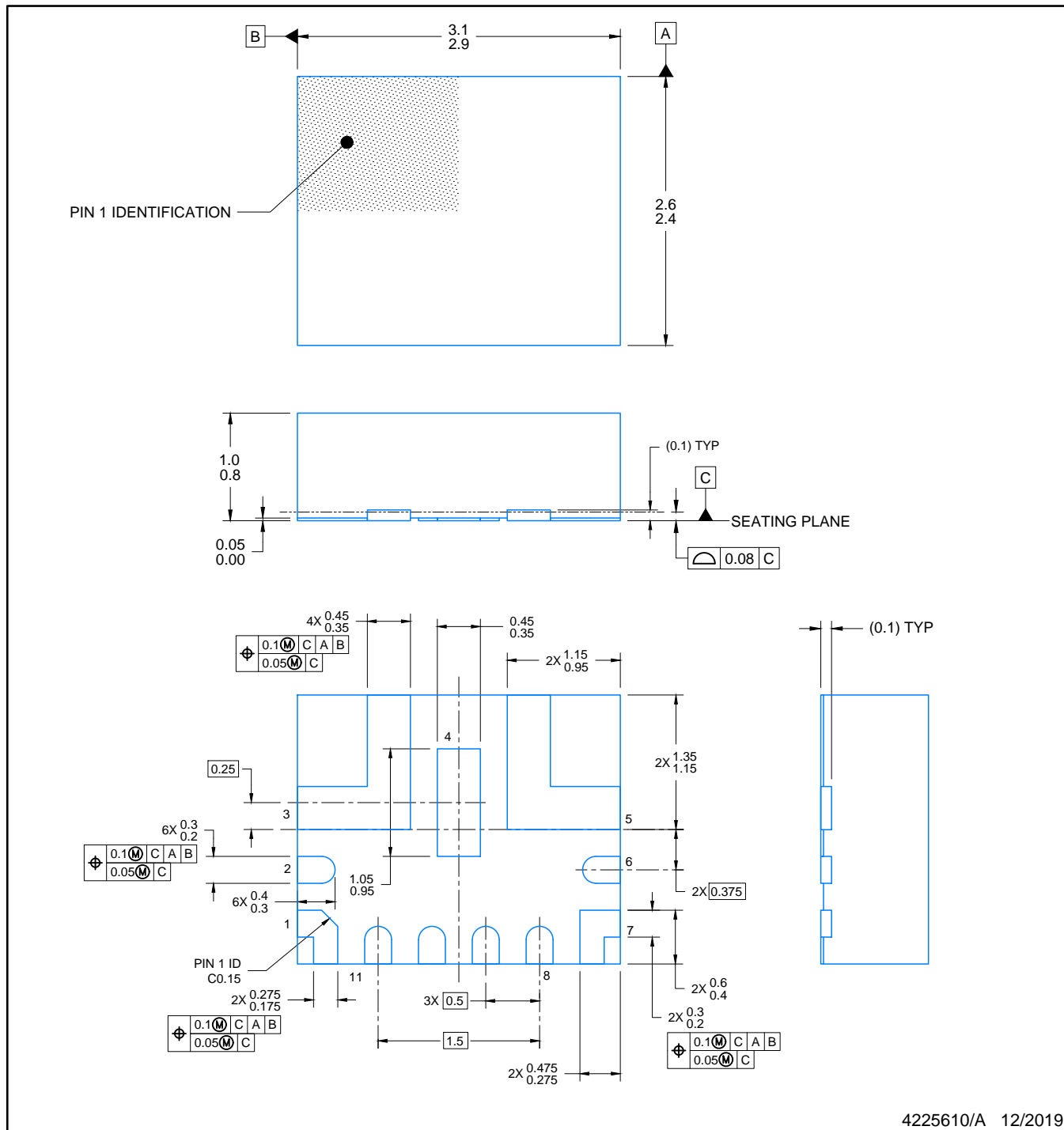
*All dimensions are nominal

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
TPS61288LRQQR	VQFN-HR	RQQ	11	3000	180.0	12.4	2.8	3.3	1.1	4.0	12.0	Q2
TPS61288RQQR	VQFN-HR	RQQ	11	3000	180.0	12.4	2.8	3.3	1.1	4.0	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)
TPS61288LRQQR	VQFN-HR	RQQ	11	3000	210.0	185.0	35.0
TPS61288RQQR	VQFN-HR	RQQ	11	3000	210.0	185.0	35.0



NOTES:

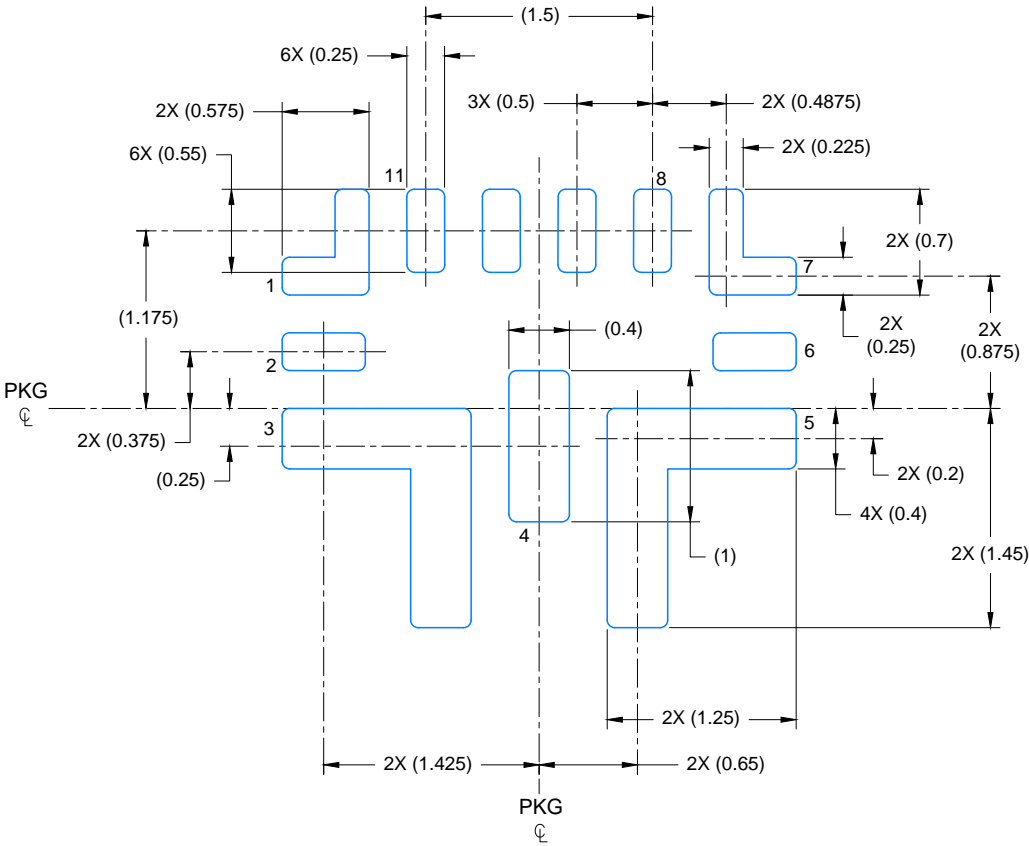
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

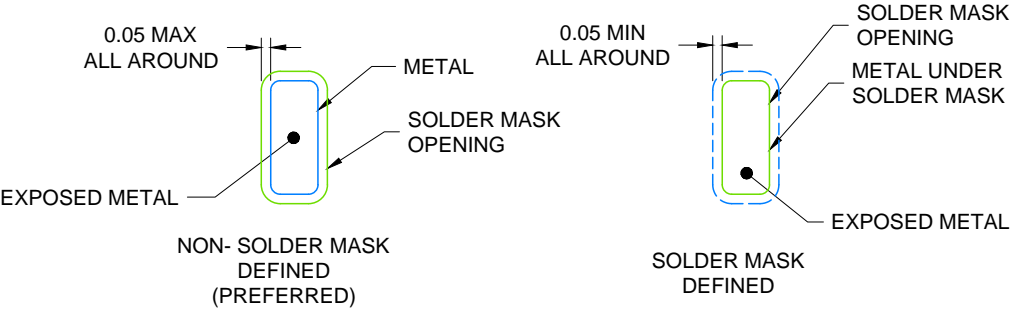
RQQ0011A

VQFN-HR - 1 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK-NO LEAD



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE: 20X

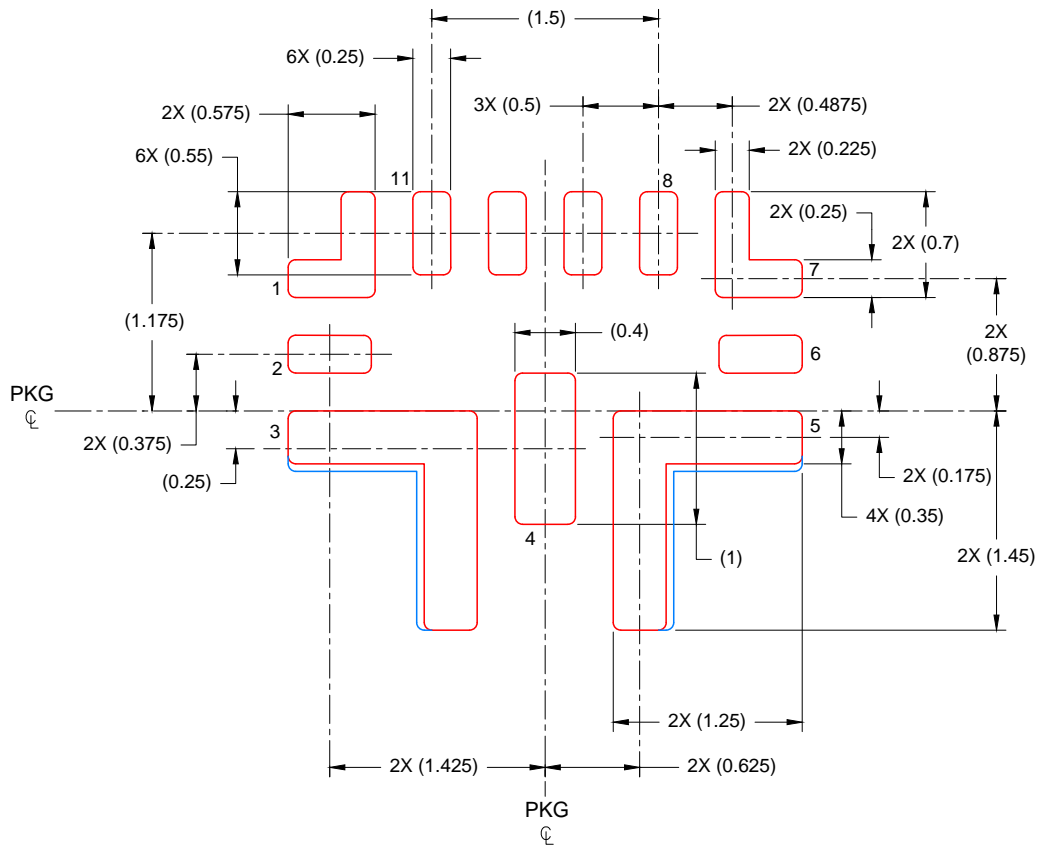


SOLDER MASK DETAILS
NOT TO SCALE

4225610/A 12/2019

NOTES: (continued)

- 3. For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 (www.ti.com/lit/slua271).
- 4. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.1 mm THICK STENCIL

PIN 3 & 5: 89%
SCALE: 20X

4225610/A 12/2019

NOTES: (continued)

5. 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任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月