TPS62901 采用 1.5mm × 2mm QFN 封装的 3V 至 17V、高效率、低 I_Q 降压转换器

1 特性

- 在宽占空比和负载范围内可实现高效率
  - I_Q：4μA（典型值）
  - 2.5MHz 和 1.0MHz 的可选开关频率
  - $R_{DS(ON)}$：62mΩ 高侧、22mΩ 低侧
  - 自动效率增强 (AEE)
- 间距为 0.5mm 的小型 1.5mm × 2.0mm VQFN 封装
- 持续输出电流高达 1A
- 整个温度范围（-40°C 至 150°C）内的反馈电压精度达 ±0.9%
- 可配置的输出电压选项：
  - V_{FB} 外部分压器：0.6V 至 5.5V
  - V_{SET} 内部分压器：16 个电压选项（0.4V 至 5.5V）
- 带 100% 模式的 DCS-Control 拓扑
- 高度灵活且易于使用
  - 针对单层布线的引脚排列进行了优化
  - 精密使能输入
  - 强制 PWM 或自动省电模式
  - 电源正常状态输出
  - 可选有源输出放电
  - 可调软启动和跟踪
- 无需外部自举电容器
- 使用 TPS62901 并借助 WEBENCH® Power Designer 创建定制设计方案

2 应用

- 工厂自动化和控制
- 楼宇自动化
- 数据中心和企业级计算
- 电机驱动系统
- 电力输送
- PC 和笔记本电脑

3 说明

TPS62901 是一款高效、小巧、灵活且易用的同步直流/直流降压转换器。2.5MHz 或 1.0MHz 的可选开关频率支持使用小型电感器，并提供快速瞬态响应。该器件利用 DCS-Control 拓扑支持 ± 1% 的高 V_{OUT} 精度。3V 至 17V 的宽输入电压范围支持多种标称输入，例如 12V 电源轨、单节或多节锂离子电池以及 5V 或 3.3V 电源轨。

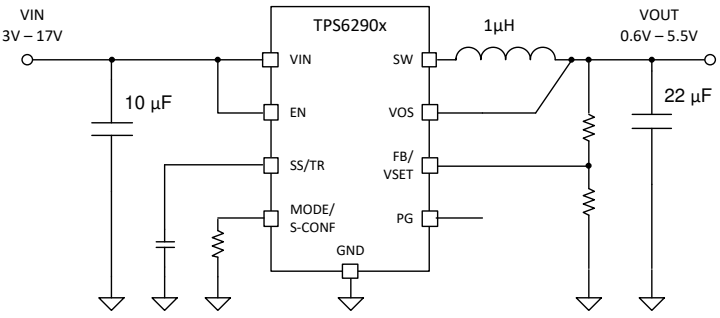
TPS62901 可在轻负载时自动进入省电模式（如果选择了自动 PFM/PWM）以保持高效率。此外，为了在非常小的负载下提供高效率，该器件具有 4μA 的低典型静态电流。AEE（如果启用）可在 V_{IN}、V_{OUT} 和负载电流范围内提供高效率。该器件包含一个 MODE/S-CONF 输入，用来设置内部和外部分压器、开关频率、输出电压放电和自动省电模式或强制 PWM 操作。

该器件采用小型 9 引脚 VQFN 封装，尺寸为 1.50mm × 2.00mm，间距为 0.5mm。

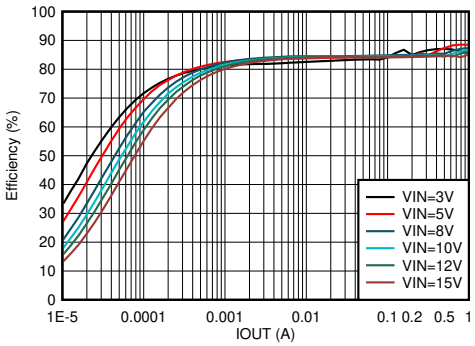
封装信息

器件型号	封装(1)	封装尺寸 2 (2)
TPS62901	RPJ（VQFN-HR，9）	1.50mm × 2.00mm

(1) 有关所有可选封装，请参阅 节 10。
(2) 封装尺寸（长 × 宽）为标称值，并包括引脚（如适用）。



简化版原理图



效率与输出电流间的关系（$1.2V_O$，2.5MHz-1 µH，自动 PFM/PWM）

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 引脚配置和功能.....3
5 规格.....4
5.1 绝对最大额定值.....4
5.2 ESD 等级.....4
5.3 建议运行条件.....4
5.4 热性能信息.....5
5.5 电气特性.....5
5.6 典型特性.....7
6 详细说明.....8
6.1 概述.....8
6.2 功能方框图.....8
6.3 特性说明.....9
6.4 器件功能模式.....14
7 应用和实施.....16
7.1 应用信息.....16
7.2 使用可调输出电压的典型应用.....16
7.3 系统示例.....36
7.4 电源相关建议.....38
7.5 布局.....39
8 器件和文档支持.....41
8.1 器件支持.....41
8.2 接收文档更新通知.....41
8.3 支持资源.....41
8.4 商标.....41
8.5 静电放电警告.....41
8.6 术语表.....41
9 修订历史记录.....42
10 机械、封装和可订购信息.....42

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

4 引脚配置和功能

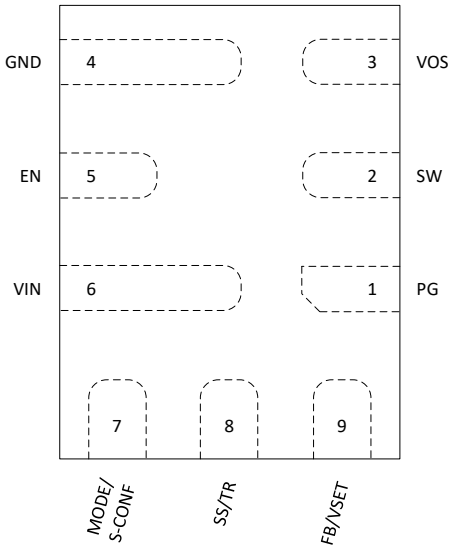


图 4-1. 9 引脚 RPJ VQFN 封装（顶视图，器件引脚朝下）

表 4-1. 引脚功能

引脚		类型	说明
编号	名称		
1	PG	O	开漏电源正常输出。高电平 = V_{OUT} 就绪。低电平 = V_{OUT} 低于标称调节值。该引脚需要一个上拉电阻器。
2	SW		转换器的开关引脚，并连接到内部电源开关。在 SW 和输出电容器之间连接电感器。
3	VOS	I	输出电压检测引脚。直接连接到输出电容器的正极引脚。
4	GND		接地引脚。该引脚必须直接连接到公共接地层。
5	EN	I	使能输入引脚。连接到逻辑低电平以禁用该器件。上拉可启用该器件。不要将这个引脚悬空。
6	VIN	I	电源输入引脚。确保输入电容器在 VIN 和 GND 引脚之间尽可能靠近连接。
7	MODE/ S-CONF	I	器件模式选择（自动 PFM/PWM 或强制 PWM 运行）和 SmartConfig™ 应用引脚。连接至高电平、低电平或电阻器，以便根据表 6-1 配置器件。不要将这个引脚悬空。
8	SS/TR	I	软启动/跟踪引脚。从该引脚连接到 GND 的外部电容器定义内部基准电压的上升时间。该引脚还可用作跟踪和时序控制的输入。该引脚可保持悬空以实现最快的斜升时间。
9	FB/ VSET	I	取决于器件配置（请参阅 *节 6.3.1*） • FB：电压反馈输入。将电阻式输出分压器连接到此引脚。 • VSET：输出电压设置引脚。将电阻器连接到 GND，以便根据表 6-2 选择输出电压。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

5 规格

5.1 绝对最大额定值

在工作温度范围内（除非另有说明）(1)

		最小值	最大值	单位
电压(2)	VIN、EN、PG、MODE/S-CONF	-0.3	18	V
	SW（直流）	-0.3	V_{IN} + 0.3	
	SW（交流，小于 10ns）(3)	-3.0	23	
	FB/VSET、SS/TR、VOS	-0.3	6	
T_J	结温	-40	150	°C
T_{stg}	贮存温度	-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。
(2) 所有电压值都是以网络接地端为基准。
(3) 打开开关时。

5.2 ESD 等级

			值	单位
$V_{(ESD)}$	静电放电	人体放电模型 (HBM)，符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 标准(1)	±2000	V
		充电器件模型 (CDM)，符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-002 标准(2)	±500	

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

5.3 建议运行条件

在工作结温范围内测得（除非另有说明）

		最小值	标称值	最大值	单位
V_I	输入电压范围	3.0		17	V
V_O	输出电压范围	0.4		5.5	V
C_I	有效输入电容	3	10		µF
C_O	有效输出电容（2.5MHz 选择）	10	22	100 (1)	µF
C_O	有效输出电容（1.0MHz 选择）	6	22	50 (1)	µF
I_{OUT}	输出电流	0		1	A
I_{SINK_PG}	PG 引脚上的灌电流			1	mA
T_J	结温(2)	-40		150	°C

(1) 这适用于直接位于器件输出端的电容器。如果有一个与电容器相关的串联电阻，则允许更多的电容。
(2) 在结温大于 125°C 时，工作寿命会降低。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

5.4 热性能信息

热指标(1)		TPS6290x		单位
		VQFN 9 引脚		
		JEDEC PCB	TPS6290xEVM-069	
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻	97.2	73.5	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳（顶部）热阻	74.4	不适用	°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	25	不适用	°C/W
Ψ_{JT}	结至顶部特征参数	2.7	4.3	°C/W
Ψ_{JB}	结至电路板特征参数	24.7	28	°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。

5.5 电气特性

V_I = 3V 至 17V、T_J = -40°C 至 +150°C、V_I = 12.0V 且 T_A = 25°C 时的典型值，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						
I_{Q_PSM}	静态工作电流（节能模式）	Iout = 0mA，器件未切换		4		μA
I_{Q_PWM}	工作静态电流（PWM 模式）	VIN=12V、VOUT=1.2V；Iout = 0mA，器件开关		8		mA
I_{SD}	流入 VIN 引脚的关断电流	EN = 0V		0.27	3.5	μA
V_{UVLO}	欠压锁定	V_{IN} 上升	2.85	2.925	3.0	V
	欠压锁定	V_{IN} 下降	2.7	2.775	2.85	V
V_{UVLO_HYS}	欠压锁定迟滞	迟滞		150		mV
控制和接口						
I_{LKG}	EN 输入漏电流	EN = 12V		10	300	nA
V_{IH_MODE}	MODE/S-CONF 引脚上的高电平输入电压		1.0			V
T_{SD}	热关断阈值	T_J 上升		170		°C
	热关断迟滞	迟滞		20		
V_{IH}	EN 引脚上的高电平输入电压		0.97	1.0	1.03	V
V_{IL}	EN 引脚上的低电平输入电压		0.87	0.9	0.93	V
R_{EN_PD}	智能使能内部下拉电阻器	EN = LOW		0.5		MΩ
V_{PG}	电源正常阈值	V_{FB} 上升，以 V_{FB} 标称值为基准	93.5%	96%	99%	
		V_{FB} 下降，以 V_{FB} 标称值为基准	88.5%	93%	96%	
		迟滞	1.5%	3.5%	6%	
V_{PG_OL}	PG 引脚上的低电平输出电压	I_{SINK} = 1mA			0.4	V
I_{PG_LKG}	流入 PG 引脚的输入漏电流	V_{PG} = 5V		15	550	nA
t_{PG_DLY}	电源正常延迟时间	V_{FB} 下降		32		μs
R_{SET}	S-CONF/VSET 电阻器容差		-4		+4	%
C_{SET}	连接至 S-CONF/VSET 引脚的最大电容				30	pF
电源开关						
I_{LKG_SW}	流入 SW 引脚的漏电流	V_{SW} = V_{OS} = 5.5V		2	7	μA
R_{DS_ON}	高侧 FET 导通电阻	V_{IN} > 4V，I_{SW} = 500mA		62	111	mΩ
	低侧 FET 导通电阻	V_{IN} > 4V，I_{SW} = 500mA		22	40	
I_{LIM}	高侧 FET 电流限制	TPS62901	1.5	1.8	2.3	A
	低侧 FET 电流限值	TPS62901	1.2	1.6	2.0	A)

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

5.5 电气特性（续）

V_I = 3V 至 17V、T_J = -40°C 至 +150°C、V_I = 12.0V 且 T_A = 25°C 时的典型值，除非另有说明

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
I_{LIM_SINK}	低侧 FET 灌电流限制		1.3	1.7	2.5	A
f_{SW}	开关频率	2.5MHz 选择		2.5		MHz
$T_{ON(MIN)}$	最短导通时间			50		ns
f_{SW}	开关频率	1.0MHz 选择		1.0		MHz
D	占空比				1	
输出						
V_{O_Reg1}	输出电压调节	已选择 VSET 配置。T_J = 25°C。	-0.9%		+0.9%	
V_{O_Reg2}	输出电压调节	已选择 VSET 配置。0°C< T_J <85°C	-1.1%		+1.1%	
V_{O_Reg3}	输出电压调节	已选择 VSET 配置。-40°C< T_J <150°C	-1.25%		+1.25%	
V_{FB}	反馈稳压电压	已选择可调配置		0.6		V
V_{FB_Reg1}	反馈电压调节	已选择 FB 选项。T_J = 25°C。	-0.6%		+0.6%	
V_{FB_Reg2}	反馈电压调节	已选择 FB 选项。0°C< T_J <85°C。	-0.65%		+0.65%	
V_{FB_Reg3}	反馈电压调节	已选择 FB 选项。-40°C< T_J <150°C	-0.9%		+0.9%	
I_{FB}	流入 FB 引脚的输入漏电流	可调配置，VFB = 0.6V		1	70	nA
T_{delay}	启动延迟时间	I_O = 0mA，从 EN=高电平到启动开关的时间，已选择可调配置		600	1400	µs
	启动延迟时间	I_O = 0mA，从 EN=HIGH 到开始切换的时间，已选择 VSET 配置。典型值基于 VSET 配置的第一个选项。		650	1850	µs
T_{SS}	软启动时间	在 T_{delay} 之后 I_O = 0mA，从第 1 次开关脉冲直到目标 V_O；TR/SS 引脚 = 打开		150	200	µs
I_{SS}	SS/TR 拉电流		2.3	2.5	2.7	µA
$V_{FB}/V_{SS/TR}$	跟踪增益，可调配置			0.75		
$V_{FB}/V_{SS/TR}$	跟踪增益容差			±8		mV
R_{DISCH}	有源放电电阻	已选择放电 = ON - 选项，EN = LOW，		7.5	20	Ω

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

5.6 典型特性

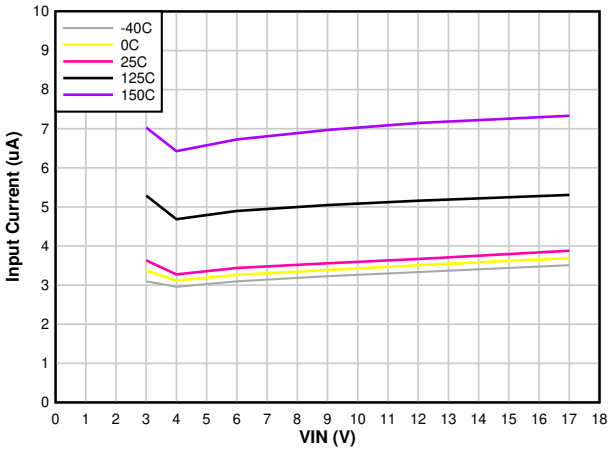


图 5-1. 典型静态电流与 V_{IN} 间的关系

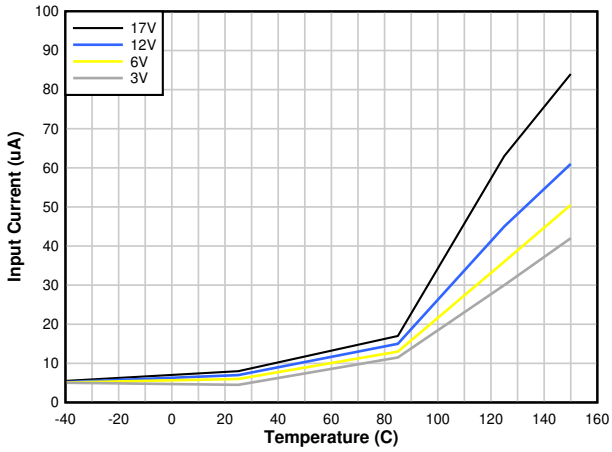


图 5-2. 最大静态电流与温度间的关系

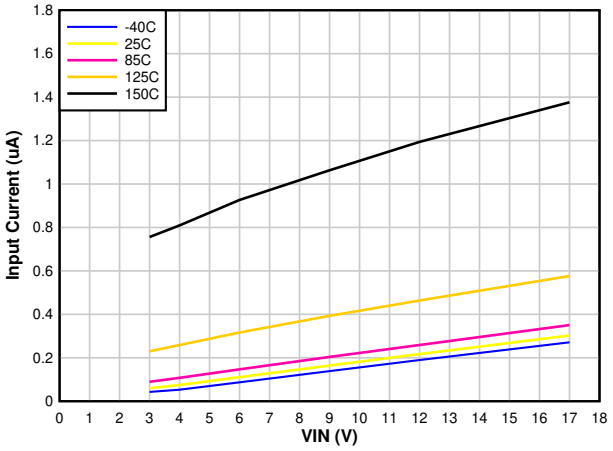


图 5-3. 典型关断电流

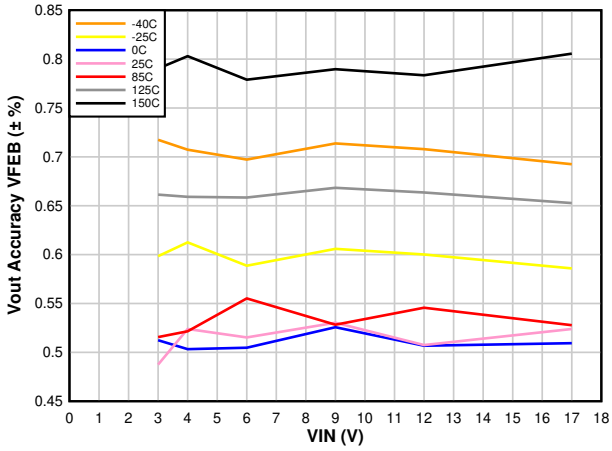


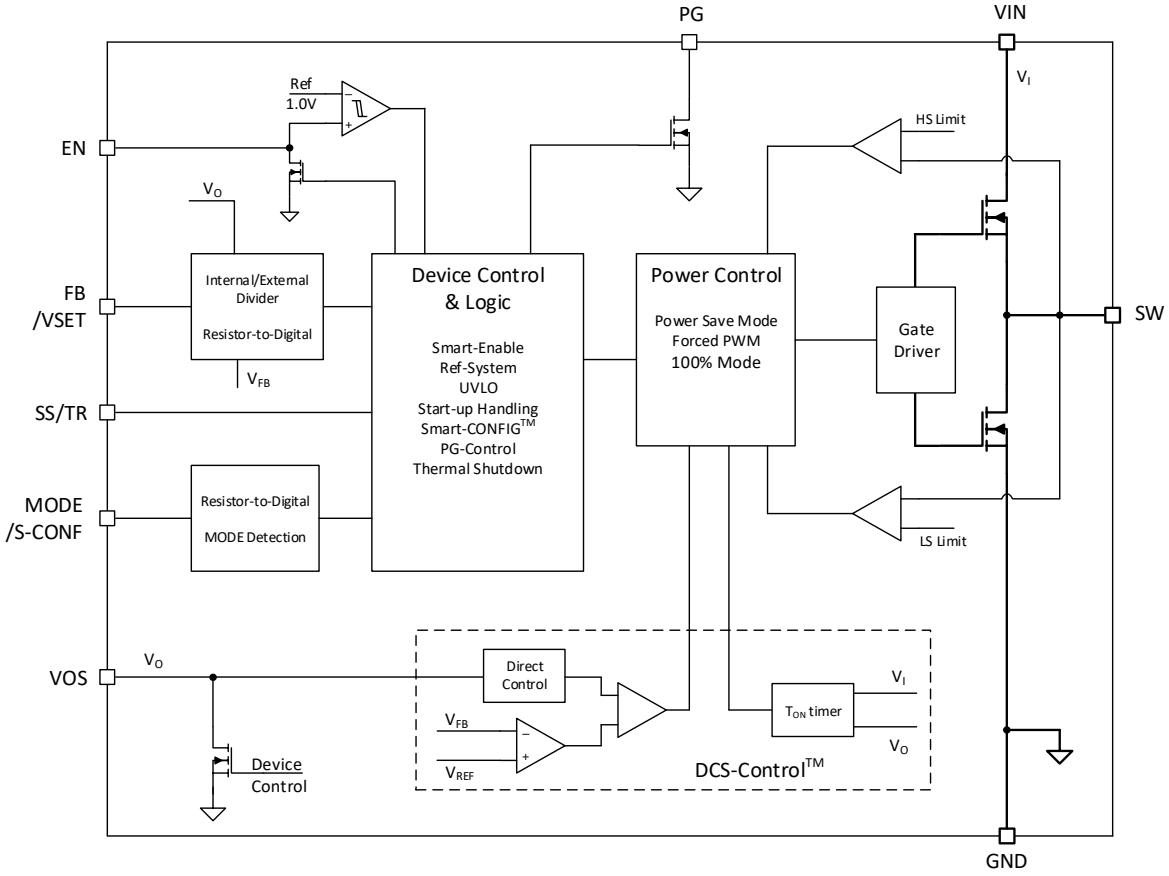
图 5-4. 输出电压精度 - 选择 VFEB

6 详细说明

6.1 概述

TPS62901 同步开关模式电源转换器基于 DCS-Control（可无缝转换到省电模式的直接控制）。DCS-Control 是一种高级调节拓扑，兼具迟滞、电压模式和电流模式控制的优势。该控制环路获取关于输出电压变化的信息并将该信息直接输送到快速比较器级。它会设置开关频率，该频率在稳态工作条件下是恒定的，并对动态负载变化提供即时响应。为了获得精确的直流负载调节，使用了电压反馈环路。内部补偿稳压网络使用小型外部元件和低 ESR 电容器实现快速稳定的运行。

6.2 功能方框图



Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.3 特性说明

6.3.1 模式选择和器件配置 MODE/S-CONF

通过 MODE/S-CONF（SmartConfig 应用），此器件具有一个包含两个功能的输入。它可用于通过两种方式自定义器件行为：

- 选择传统上具有高电平或低电平的器件模式（FPWM 或带 AEE 运行的自动 PFM/PWM）。
- 通过将单个电阻器连接到 MODE/S-CONF 引脚来选择器件配置（开关频率、内部/外部反馈、输出放电和 PFM/PWM 模式）。

在内部 OTP 读取之后以及在软启动中开始切换之前，器件会在启动序列期间对该引脚进行解释。如果器件读取的是高电平或低电平，动态模式更改将激活，并且在运行期间可以更改 PFM/PWM 模式。如果器件读取电阻器值，则在运行期间不会有进一步的解释，并且器件模式或其他配置不能在之后更改。

备注

MODE/S-CONF 引脚不得悬空。将引脚连接至高电平、低电平或电阻器，以便根据表 6-1 配置器件。

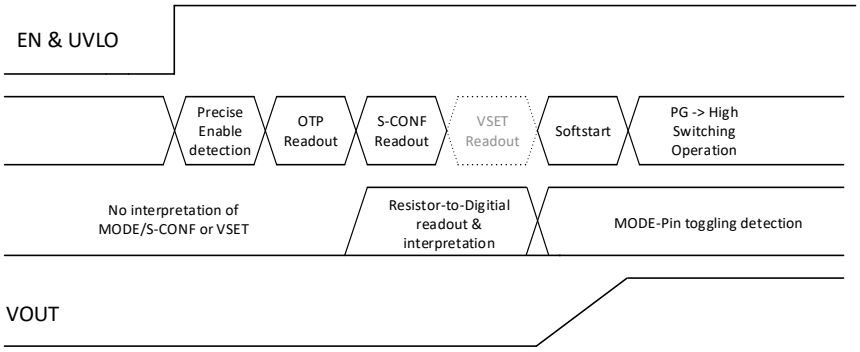


图 6-1. S-CONF 和 VSET 流程的解释

表 6-1. SmartConfig™ 应用设置表

#	电平或电阻值 [Ω] (1)	FB/VSET 引脚	F_{SW} (MHz)	输出放电	模式（自动或强制 PWM）	动态模式变化
	按级别设置选项					
1	GND	外部 FB	2.5	是	具有 AEE 的自动 PFM/PWM	闪烁
2	高电平 (>V_{IH_MODE})	外部 FB	2.5	是	强制 PWM	
	通过电阻设置选项					
3	7.15k	外部 FB	2.5	否	具有 AEE 的自动 PFM/PWM	未激活
4	8.87k	外部 FB	2.5	否	强制 PWM	
5	11.0k	外部 FB	1	是	自动 PFM/PWM	
6	13.7k	外部 FB	1	是	强制 PWM	
7	16.9kΩ	外部 FB	1	否	自动 PFM/PWM	
8	21.0k	外部 FB	1	否	强制 PWM	
9	26.1k	VSET	2.5	是	具有 AEE 的自动 PFM/PWM	
10	32.4k	VSET	2.5	是	强制 PWM	
11	40.2k	VSET	2.5	否	具有 AEE 的自动 PFM/PWM	
12	49.9k	VSET	2.5	否	强制 PWM	
13	61.9k	VSET	1	是	自动 PFM/PWM	
14	76.8k	VSET	1	是	强制 PWM	
15	95.3k	VSET	1	否	自动 PFM/PWM	
16	118k	VSET	1	否	强制 PWM	

(1) E96 电阻器系列，1% 精度，温度系数优于或等于 ±200ppm/°C

6.3.2 可调 V_O 运行（外部分压器）

TPS62901 可通过 MODE/S-CONF 引脚编程为任一经典配置，其中 FB/VSET 引脚用作反馈引脚，通过外部电阻分压器感测 V_O。TPS62901 还可编程为 16 种不同的固定输出电压。它们通过 FB/VSET 引脚和 GND 之间的外部电阻器进行设置。在此配置中，V_O 直接在器件的 VOS 端子上检测。

如果器件配置为以经典可调 V_O 工作电压运行，则 FB/VSET 引脚用作反馈引脚，需要通过外部分压网络检测 V_O。图 6-2 展示了此配置的典型原理图。

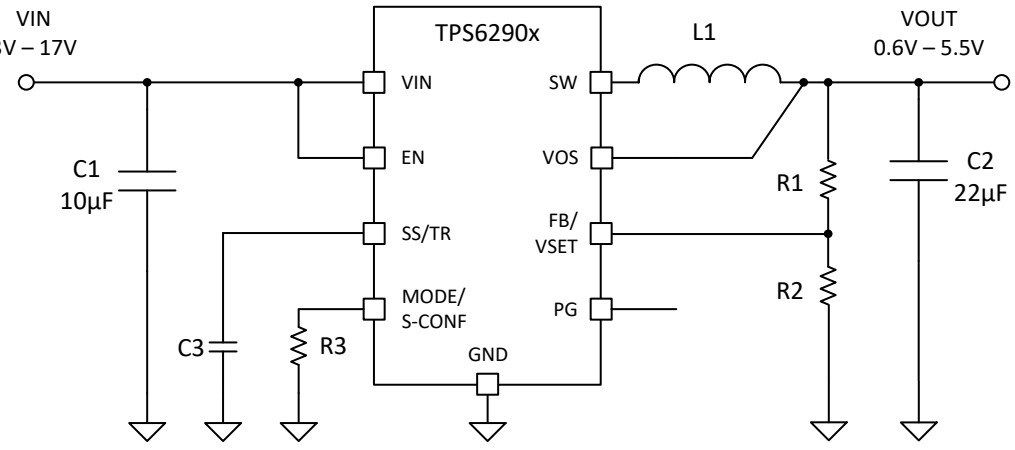


图 6-2. 可调 V_O 运行原理图

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.3.3 可设置 V_O 运行（VSET 和内部分压器）

如果将器件配置为 VSET 运行，内部电阻分压器仅通过 VOS 引脚检测 V_O。目标 V_O 由 VSET 引脚和 GND 之间连接的外部电阻器编程。图 6-3 展示了此配置的典型原理图。

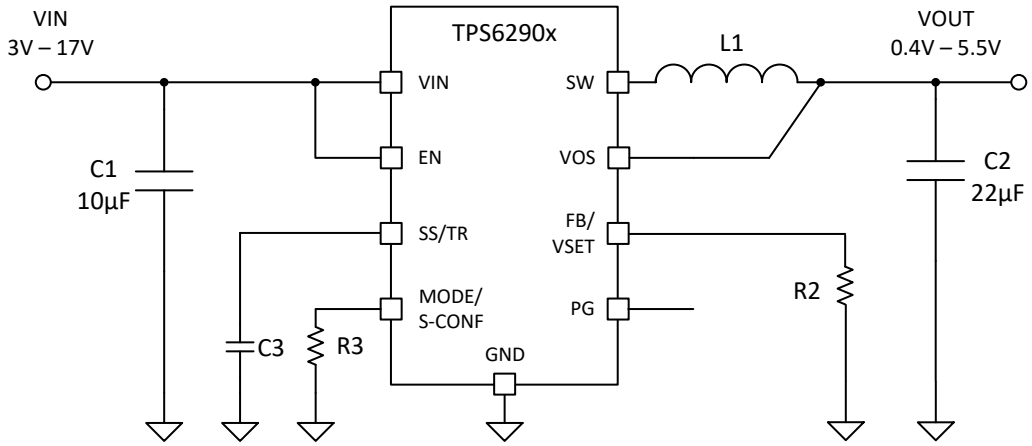


图 6-3. 可设置 V_O 运行原理图

表 6-2. VSET 选择表

#	电阻值 [Ω]	目标 V_O [V]
1	GND	1.2
2	4.64k	0.4
3	5.76k	0.6
4	7.15k	0.8
5	8.87k	1.0
6	11.0k	1.1
7	13.7kΩ	1.3
8	16.9k	1.35
9	21.0k	1.8
10	26.1k	1.9
11	40.2k	2.5
12	61.9k	3.8
13	76.8k	5.0
14	95.3k	5.1
15	118.0k	5.5
16	249.00k 或更大/开路	3.3

6.3.4 软启动/跟踪 (SS/TR)

借助 SS/TR 引脚，可以调整软启动行为并跟踪外部电压。更多详细信息，请参阅 *节 7.2.2.6*。

内部软启动电路控制启动期间的输出电压斜率。这可以避免过大的浪涌电流并确保受控的输出电压上升时间。它还可防止高阻抗电源或电池产生不必要的压降。当 EN 设置为高电平以开始运行时，器件在一段延迟后开始切换，然后内部基准 V_O 以通过连接至 SS/TR 引脚的外部电容器控制的斜率上升。

将 SS/TR 引脚保持未连接状态可提供更快的启动速度，在内部受限（不得从外部将该引脚拉至低电平）。

如果器件设置为关断 (EN = GND)、欠压锁定或热关断，则内部电阻器会下拉 SS/TR 引脚，以便确保处于适当的低电平。从这些状态返回会导致由 SS/TR 连接设置的新启动序列。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

提供给 SS/TR 的电压可用于跟踪主电压。在强制 PWM 模式下，输出电压跟随此电压上升和下降。在 PFM 模式下，输出电压随负载电流而降低。

6.3.5 具有精密阈值的智能使能端

在 TPS62901 的使能引脚处施加的电压与固定阈值上升电压进行比较。这使您能够通过缓慢变化的电压来驱动引脚，并允许使用外部 RC 网络来实现加电延迟。

精密使能输入允许用户通过在使能引脚的输入端添加电阻分压器来对欠压锁定进行编程。

下降沿的使能输入阈值低于上升沿阈值。当超过上升阈值时，TPS62901 开始运行。为了正常工作，EN 引脚必须端接并且不得悬空。将 EN 引脚拉低强制器件关断。在此模式下，内部高侧和低侧 MOSFET 关闭，整个内部控制电路关闭。

当器件被禁用时，一个内部电阻器将 EN 引脚拉至 GND 并避免引脚悬空（一旦器件被启用，下拉电阻器即被移除）。这可在 EN 引脚不能安全驱动至低电平的情况下防止器件不受控制的启动。当 EN 为低电平时，器件处于关断模式。器件在 EN 设置为高电平的情况下打开。一旦内部控制逻辑和基准电压被加电，下拉控制电路便会断开 EN 引脚上的下拉电阻。EN 设置为低电平后，器件进入关断模式，下拉电阻器再次激活。

6.3.6 电源正常 (PG)

TPS62901 具有内置电源正常 (PG) 功能，可指示输出电压是否已达到目标以及器件是否就绪。PG 信号可用于多个电源轨的启动排序。PG 引脚是一个开漏输出，需要一个上拉电阻器来连接到最高建议输入电压电平的任何电压。当器件由于 EN、UVLO（欠压锁定）或热关断而关断时，PG 为低电平。V_{IN} 必须保持存在以使 PG 引脚保持低电平。

如果不使用电源正常输出，TI 建议将其连接到 GND 或使其保持断开状态。

表 6-3. 电源正常状态指示器功能表

逻辑信号				PG 状态
V_I	EN-PIN	热关断	V_O	
V_I > UVLO	高电平	否	V_O = 目标	**高阻态**
			V_O < 目标	**低电平**
		是	x	**低电平**
	低电平	x	x	**低电平**
1.8V< V_I < UVLO	x	x	x	**低电平**
V_I < 1.8V	x	x	x	**未定义**

6.3.7 欠压闭锁 (UVLO)

如果输入电压下降，欠压锁定会通过关闭两个功率 FET 来防止器件误操作。当电压高于 UVLO 上升阈值时，该器件可完全正常工作，如果输入电压在电源电压下降时低于阈值，则会关闭该器件。

6.3.8 电流限制和短路保护

TPS62901 可防止过载和短路事件。如果电感器电流超过高侧 FET 电流限值 (I_{LIMH})，高侧开关将关闭，低侧开关将打开，以便降低电感器电流。仅当低侧 FET 中的电流降至低于低侧 FET 电流限制阈值时，高侧 FET 才会再次导通。

由于内部传播延迟，实际电流在此期间可能会超过静态电流限制。动态电流限值如方程式 1 所示：

$$I_{peak(typ)} = I_{LIMH} + \frac{V_L}{L} \times t_{PD} \quad (1)$$

其中

- I_{LIMH} 是*电气特性*中指定的静态高侧 FET 电流限制

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

- L 是峰值电流处的有效电感
- V_L 是电感器两端的电压 (V_{IN} – V_{OUT})
- t_{PD} 是内部传播延迟，典型值为 50ns

电流限制可能超过静态值，尤其是在输入电压较高且使用极小电感的情况下。动态高侧开关峰值电流的计算方法如下：

$$I_{peak(typ)} = I_{LIMH} + \frac{VIN - VOUT}{L} \times 50ns \quad (2)$$

6.3.9 热关断保护

器件的结温 T_J 由内部温度传感器监控。如果 T_J 上升并超过热关断阈值 T_{SD}，则器件会关断。高侧和低侧功率 FET 均关断，PG 变为低电平。当 T_J 降至迟滞以下时，转换器从软启动开始恢复正常运行。在 PFM 跳过暂停期间，热关断功能未激活。关断或重新启动仅在开关周期期间触发。请参阅 *节 6.4.3*

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.4 器件功能模式

6.4.1 脉宽调制 (PWM) 运行

TPS62901 有两种工作模式：本节讨论的强制 PWM 模式和 *节 6.4.3* 中讨论的 PWM/PFM 模式。

当 MODE/S-CONF 引脚配置为 PWM 模式时，TPS62901 在连续导通模式 (CCM) 下以 2.5/1.0MHz 的标称开关频率运行脉宽调制。PWM 中的频率变化受到控制，并取决于 V_{IN}、V_{OUT} 和电感。强制 PWM 模式下的导通时间由方程式 3 给出：

$$TON = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \times \frac{1}{f_{sw}} \tag{3}$$

6.4.2 AEE（自动效率增强）

MODE/S-CONF 引脚配置为 AEE 模式时，通过自动调整转换器的开关频率，TPS62901 在整个输入电压和输出电压范围内提供高效率。这是通过设置转换器的预测关闭时间来实现的。开关模式转换器的效率取决于转换期间的功率损耗。如果 V_{OUT} 降低和/或 V_{IN} 升高（如方程式 4 所示），效率会下降。为在整个占空比（V_{OUT}/V_{IN} 比）范围内保持高效率，调整开关频率时需维持纹波电流。

$$F_{sw}(MHz) = 10 \times V_{OUT} \times \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{V_{IN}^{\ 2}} \tag{4}$$

TPS62901 中的 AEE 功能可根据输入电压和输出电压调节省电模式下的导通时间 (TON)，从而保持非凡效率。稳态运行的导通时间可通过方程式 5 估算得出：

$$TON = 100 \times \frac{VIN}{VIN - VOUT}[ns] \tag{5}$$

方程式 6 展示了电感纹波电流、开关频率和占空比之间的关系。

$$\Delta I_L = V_{OUT} \times \left(\frac{1-D}{L \times f_{SW}}\right) = V_{OUT} \times \left(\frac{1 - \left(\frac{V_{OUT}}{V_{IN}}\right)}{L \times f_{SW}}\right) \tag{6}$$

通过以下方法提高了效率：降低开关损耗并在不同的占空比下保持高效率，同时纹波电流幅度保持足够低以提供完整的输出电流，而不会达到电流限制。AEE 功能可在各种占空比下提高效率，尤其适用于固定频率转换器效率大幅下降情况下 V_{OUT} 值较低时。此外，该功能可补偿高 V_{IN} 到低 V_{OUT} 转换的超小占空比，这可限制其他拓扑中的控制范围。

6.4.3 节能模式运行（自动 PFM/PWM）

MODE/S-CONF 引脚配置为节能模式（自动 PFM/PWM）。只要输出电流高于电感器纹波电流的一半，该器件就会以 PWM 模式运行。为了在轻负载时保持高效率，该器件会从断续导通模式 (DCM) 边界处进入节能模式。如果输出电流小于电感器纹波电流的一半，就会发生这种情况。负载电流降低时，该器件无缝进入节能模式，这确保了轻负载运行时的高效率。只要电感器电流不连续，该器件就会一直处于节能模式。

在节能模式，开关频率随负载电流线性降低，从而保持高效率。可在两个方向上无缝进入、退出节能模式。

除了调节开关之外，TPS62901 还会根据输入电压和输出电压在省电模式下调整导通时间 (TON)，以便在选择 2.5MHz 时使用 AEE 功能保持超高效率，如 *节 6.4.2* 所述。

在省电模式下，可使用方程式 3（对于 1MHz）和方程式 5（对于 2.5MHz）估算 TON 时间（假设 AEE 被启用为 2.5MHz）。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

对于非常小的输出电压，会保持大约 50ns 的绝对最小开通时间，以便限制开关损耗。工作频率因此低于标称值，从而保持高效率。使用 TON 时，省电模式下的典型峰值电感器电流根据方程式 7 近似得出：

$$ILPSM_{(peak)} = \frac{(VIN - VOUT)}{L} \times TON \tag{7}$$

最短关断时间限制了 TPS62901 的占空比。当 V_{IN} 降低至比 V_{OUT} 高 15%（典型值）时，无论负载电流如何，TPS62901 都无法进入省电模式。器件在 PWM 模式下保持输出稳压状态。

省电模式下的输出电压纹波由方程式 8 得出：

$$\Delta V = \frac{L \times VIN^2}{200 \times C}\left(\frac{1}{VIN - VOUT} + \frac{1}{VOUT}\right) \tag{8}$$

其中

- L 是有效电感
- C 为输出有效电容

6.4.4 100% 占空比运行

在 PWM 模式下运行的降压转换器的占空比为 D = V_{OUT}/V_{IN}。占空比随着输入电压接近输出电压而增加，关断时间变短。当达到典型值为 80ns 的最短关断时间时，TPS62901 会在接近 100% 模式时降低开关频率。在 100% 模式下，它会使高侧开关持续导通。只要输出电压低于内部设定点，高侧开关就会保持开启状态。这允许将小输入电压转换为输出电压差异（例如，电池供电应用的运行时间最长）。在 100% 占空比模式下，低侧 FET 被关闭。

保持稳压的最小输入电压取决于负载电流和输出电压电平，计算方法如下：

$$VIN_{(min)} = VOUT + IOUT\left(R_{DS(on)} + R_L\right) \tag{9}$$

其中

- IOUT 是输出电流
- $R_{DS(on)}$ 是高侧 FET 的导通状态电阻
- R_L 为所用电感的直流电阻

6.4.5 输出放电功能

放电功能的目的是在禁用器件时确保输出电压按照既定设置降低，还能将器件关闭时的输出电压维持至接近 0V。施加电源电压之后至少启用一次 TPS62901，输出放电功能才会激活。内部放电电阻连接到 VOS 引脚。一旦器件被停用、热关断或欠压锁定，放电功能就会启用。放电功能保持工作状态所需的最小电源电压通常为 2V。

6.4.6 启动至预偏置负载

TPS62901 能够启动至预偏置输出。仅当内部软启动斜坡等于或高于反馈电压时，器件才会开始切换。如果反馈引脚上的电压偏置到高于标称值的电压，则 TPS62901 不会开始切换，除非反馈引脚上的电压降至目标值。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7 应用和实施

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 元件规范，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客户应负责确定各元件是否适用于其应用。客户应验证并测试其设计实现，以确认系统功能。

7.1 应用信息

TPS62901 器件是高效、小巧、非常灵活且易用的同步降压直流/直流转换器。3V 至 17V 的宽输入电压范围支持多种输入，例如 12V 电源轨、单节或多节锂离子电池以及 5V 或 3.3V 电源轨。

7.2 使用可调输出电压的典型应用

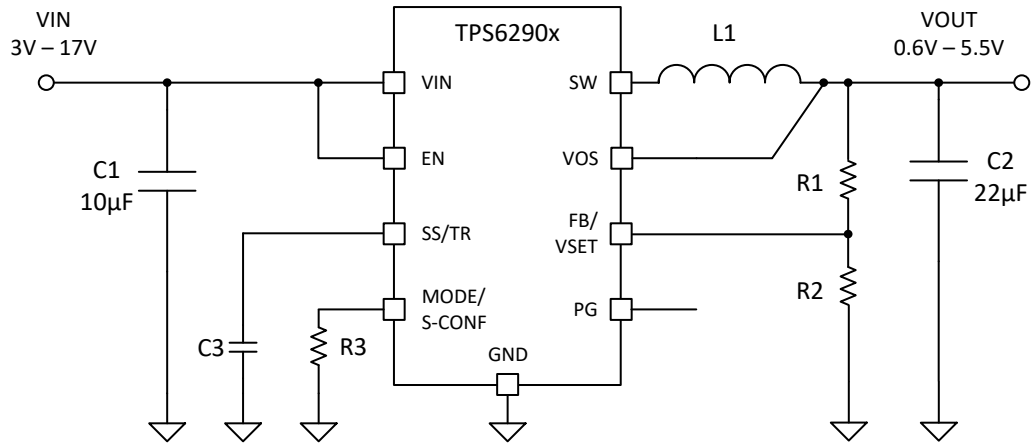


图 7-1. 典型应用电路

7.2.1 设计要求

表 7-1. 元件列表

参考	说明	制造商
IC	17V、3A 降压转换器	TPS6290x 系列；德州仪器 (TI)
L	1µH 电感器	XGL4020-102；Coilcraft
CIN	10 µ F，25V，陶瓷，0805	C3216X7R1E106M160AE，TDK
COUT	22 µ F，16V，陶瓷，0805	C2012X7S1A226M125AC，TDK
CSS	取决于软启动时间；请参阅 *节 7.2.2.5.3*	16V，陶瓷，X7R
R1	取决于 V_{OUT}；请参阅 *节 7.2.2.2*	标准 1% 金属膜
R2	取决于 V_{OUT}；请参阅 *节 7.2.2.2*	标准 1% 金属膜
R3	取决于器件设置，请参阅 *节 6.3.1*	标准 1% 金属膜

7.2.2 详细设计过程

7.2.2.1 使用 WEBENCH® 工具创建定制设计方案

点击此处，使用 TPS62901 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。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

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。

7.2.2.2 对输出电压进行编程

TPS62901 的输出电压可调节。可使用 V_{OUT} 至 GND 之间的电阻分压器对其进行编程，获得 0.6V 至 5.5V 的输出电压。FB 引脚上的电压被调节至 600mV。输出电压的值可根据方程式 10 由所选电阻分压器进行设置。建议选择允许至少 2μA 电流的电阻值，这意味着 R2 的值不得超过 400kΩ。建议使用较低的电阻器值，以便实现超高精度和可靠的设计。

$$R1 = R2 \times \left(\frac{VOUT}{VFB} - 1 \right) \tag{10}$$

当典型 VFB = 0.6V 时：

表 7-2. 设置输出电压

标称输出电压	R1	R2	确切输出电压
0.75V	24.9kΩ	100kΩ	0.749V
1.2V	100kΩ	100kΩ	1.2V
1.5V	150kΩ	100kΩ	1.5V
1.8V	200kΩ	100kΩ	1.8V
2.0V	49.9kΩ	21.5kΩ	1.992V
2.5V	100kΩ	31.6kΩ	2.498V
3.0V	100kΩ	24.9kΩ	3.009V
3.3V	113kΩ	24.9kΩ	3.322V
5.0V	182kΩ	24.9kΩ	4.985V

7.2.2.3 外部组件选择

外部元件必须满足应用的需求，而且还要满足器件控制环路的稳定性标准。TPS62901 经过优化，可在各种外部元件内工作。LC 输出滤波器的电感和电容形成双极点，决定着转换器的转角频率，必须同时考虑（请参阅节 7.2.2.7）。表 7-3 可以用来快速地选择输出滤波器组件。表 7-3 中的值为标称值。有效电容介于 +20% 和 -50% 之间。

表 7-3. 推荐的 LC 输出滤波器组合

	4.7μF	10μF	22μF	47μF	100μF	200μF
1μH		√	√ (1)	√	√	√ (3)
1.5μH		√	√	√	√ (3)	
2.2μH		√	√ (2)	√	√ (3)	

(1) 这种 LC 组合是标准值，推荐用于大多数开关频率为 2.5MHz 的应用。
(2) 这种 LC 组合是标准值，推荐用于大多数开关频率为 1MHz 的应用。
(3) 输出电容需要 ≥10mΩ 的 ESR 才能稳定运行，另请参阅节 7.3.2。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.2.2.4 电感器选型

TPS62901 专为标称 1μH 电感器而设计。电感值越大，实现的电感纹波电流越低，但可能会对效率和瞬态响应产生负面影响。小于 1 μ H 的值将导致较大的电感纹波电流，从而在低输出电流或无输出电流的强制 PWM 模式下产生较大的负电感电流。因此，不建议在电感器两端电压较高时使用它们，因为高输入电压和低输出电压是这种情况。强制 PWM 模式下的低输出电流会导致更大的负电感器电流峰值，从而超过负电流限值。在输出电流较低或无输出电流和电感器值较小的情况下，无法再调节输出电压。有关更多 LC 组合的更多详细信息，请参阅 SLVA463。

电感器选择受电感器纹波电流、输出纹波电压、PWM 到 PFM 转换点和效率等多个因素的影响。此外，所选的电感器必须具有适当的饱和电流和直流电阻 (DCR)。方程式 11 计算最大电感器电流。

$$I_{L(max)} = I_{OUT(max)} + \frac{\Delta I_{L(max)}}{2} \tag{11}$$

$$\Delta I_{L(max)} = V_{OUT} \times \left(\frac{1 - \frac{V_{OUT}}{V_{IN(max)}}}{L_{(min)} \times f_{sw}} \right) \tag{12}$$

其中

- $I_{L(max)}$ 是最大电感器电流
- $\Delta I_{L(max)}$ 是电感器纹波电流最大峰峰值
- $L_{(min)}$ 是最小有效电感值
- f_{sw} 是实际 PWM 开关频率
- V_{OUT} 是输出电压
- $V_{IN(max)}$ 是最大预期输出电压

使用实际运行条件计算最大电感器电流可得出所需的最小电感器饱和电流。建议增加大约 20% 的裕度。较大的电感器值对于获得较低的纹波电流也很有用，但也会增加瞬态响应时间和尺寸。以下电感器一直与 TPS62901 一起使用，建议使用：

表 7-4. 电感器列表

类型	电感 [μH]	电流 [A](1)	尺寸 [LxBxH] mm	制造商
XGL4020-102ME	1.0 μ H，±20%	8.8	4.0x4.0x2.1	Coilcraft
DFE252012F-1R0M	1.0 μ H，±20%	4.7	2.5x2.5x1.2	muRata
CIGT252010TM1R0MLE	1.0 μ H，±20%	5.3	2.5x2.5x1.0	Samsung（三星）
TFM252010ALM-1R0MTAA	1.0 μ H，±20%	4.7	2.5x2.0x1.0	TDK
XEL5030-222ME	2.2 μ H，±20%	9.7	5.3x5.5x3.1	Coilcraft
XGL4020-222ME	2.2 μ H，±20%	6.2	4.0x4.0x2.1	Coilcraft

(1) 下降 30% 时的 I_{SAT}

电感值还决定了进入省电模式的负载电流：

$$I_{load(PSM)} = \frac{1}{2} \Delta I_L \tag{13}$$

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.2.2.5 电容器选型

7.2.2.5.1 输出电容器

输出电容器的建议值为 22 µ F。TPS62901 的架构允许使用具有低等效串联电阻 (ESR) 的微型陶瓷输出电容器。这些电容器提供低输出电压纹波，推荐使用。为了在高频下保持低电阻并获得电容随温度的窄变化幅度，建议使用 X7R 或 X5R 电介质。在省电模式下，使用较高的值具有较小的电压纹波和较高的直流输出精度等优点（请参阅 SLVA463）。

在省电模式下，输出电压纹波取决于输出电容、ESR、ESL 和峰值电感器电流。使用陶瓷电容器可提供较小的 ESR、ESL 和低纹波。输出电容器必须尽可能接近器件。

对于大输出电压，陶瓷电容器的直流偏置效应很大，必须观测有效电容。

7.2.2.5.2 输入电容器

对于大多数应用，10µF 标称值已足够并被推荐使用，但更大的值会进一步降低输入电流纹波。输入电容器可缓冲瞬态事件的输入电压，并将转换器与电源去耦。建议使用低 ESR 多层陶瓷电容器 (MLCC) 以实现出色滤波效果，并必须将其放置在 VIN 和 GND 之间尽可能靠近这些引脚的位置。

表 7-5. 电容器列表

类型(1)	标称电容 [µF]	额定电压 [V]	尺寸	制造商
C3216X7R1E106K160AB	10	25	0805	TDK（东电化）
C2012X7S1A226M125AC	22	10	0805	TDK（东电化）

(1) 40°C 上升时 I_{RMS} 或 30% 下降时 I_{SAT} 的较低值。

7.2.2.5.3 软启动电容器

SS/TR 引脚和 GND 之间连接的电容可实现对输出电压的启动斜率进行用户可编程。

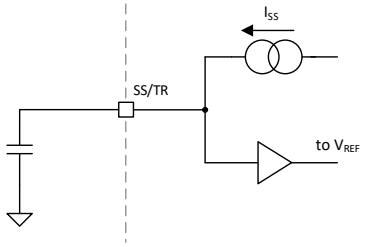


图 7-2. 软启动操作简化版原理图

提供了一个内部恒定电流源来为外部电容充电。典型软启动斜坡时间由下式给出：

$$T_{SS} = \frac{C_{SS}}{I_{SS}} \times V_{REF} + 55 \quad (14)$$

其中

- C_{SS} 是 SS/TR 引脚所需的电容，单位为 pF。
- T_{SS} 是所需的软启动斜坡时间，单位为 µs。
- I_{SS} 是 SS/TR 源电流，单位为 µA，请参阅*电气特性*
- V_{REF} 是反馈调节电压 (V_{FB} /0.75)，单位为 V，请参阅*电气特性*

可实现的最快典型斜坡时间为 150µs，即使外部 C_{ss} 电容低于 680pF 或引脚开路也是如此。一般情况下，对于低浪涌电流，TI 不建议将软启动时间设为低于 1ms。

软启动时间有变。为了获得更准确的配置，必须考虑以下最大值和最小值公式。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

$$T_{SS_max} = \frac{C_{SS_max}}{I_{SS_min}} \times V_{REF_max} + 160 \quad (15)$$

$$T_{SS_min} = \frac{C_{SS_min}}{I_{SS_max}} \times V_{REF_min} - K \quad (16)$$

其中 K 与 C_{SS} 的值相关，单位为 µs。图 7-3 和图 7-4 显示了关系曲线。

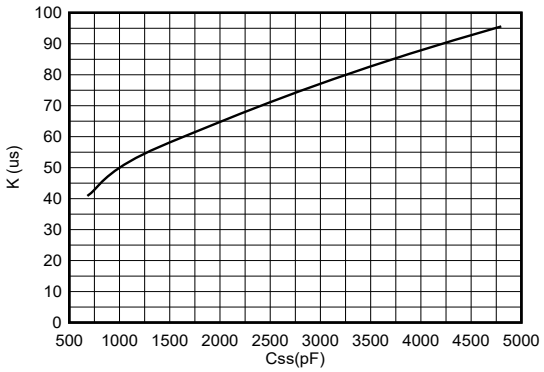


图 7-3. K 与 Css 关系曲线 (680pF-4800pF)

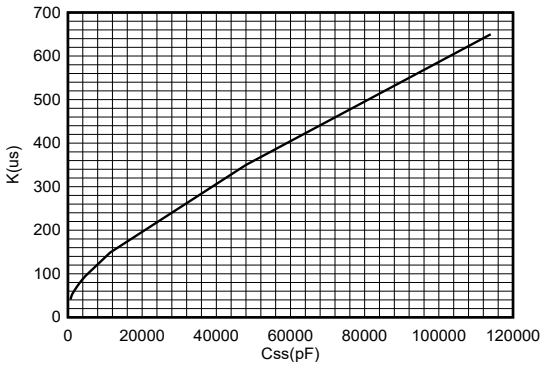


图 7-4. K 与 Css 关系曲线 (4800pF-114000pF)

7.2.2.6 跟踪功能

如果需要跟踪功能，可通过将 SS/TR 引脚连接到外部跟踪电压来实现此目的。输出电压使用*电气特性*中指定的典型增益和失调电压跟踪该电压。

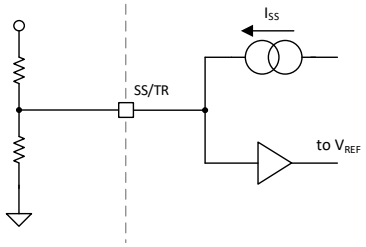


图 7-5. 跟踪操作简化版原理图

$$V_{FB} = 0.75 \times V_{SS/TR} \quad (17)$$

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

当 SS/TR 引脚电压高于 0.8V 时，内部电压被钳位，器件进入正常稳压状态。只要输入电压处于建议的工作条件内，这适用于具有相同行为的上升和下降跟踪电压。为了在 PFM 模式下降低 SS/TR 引脚电压，器件不会从输出端灌入电流。因此，如果负载较轻，输出电压的下降速度可能会慢于 SS/TR 引脚电压。在使用外部电压驱动 SS/TR 引脚时，不要超过 SS/TR 引脚的额定电压，即 6V。当 EN = 0 时，SS/TR 引脚通过一个电阻器在内部连接至 GND。

如果输入电压降至欠压锁定以下，输出电压会变为零，与跟踪电压无关。图 7-6 展示了如何连接器件以通过跟踪功能获得比例式和同步时序控制。请参阅系统示例中的 *节 7.3.3*。

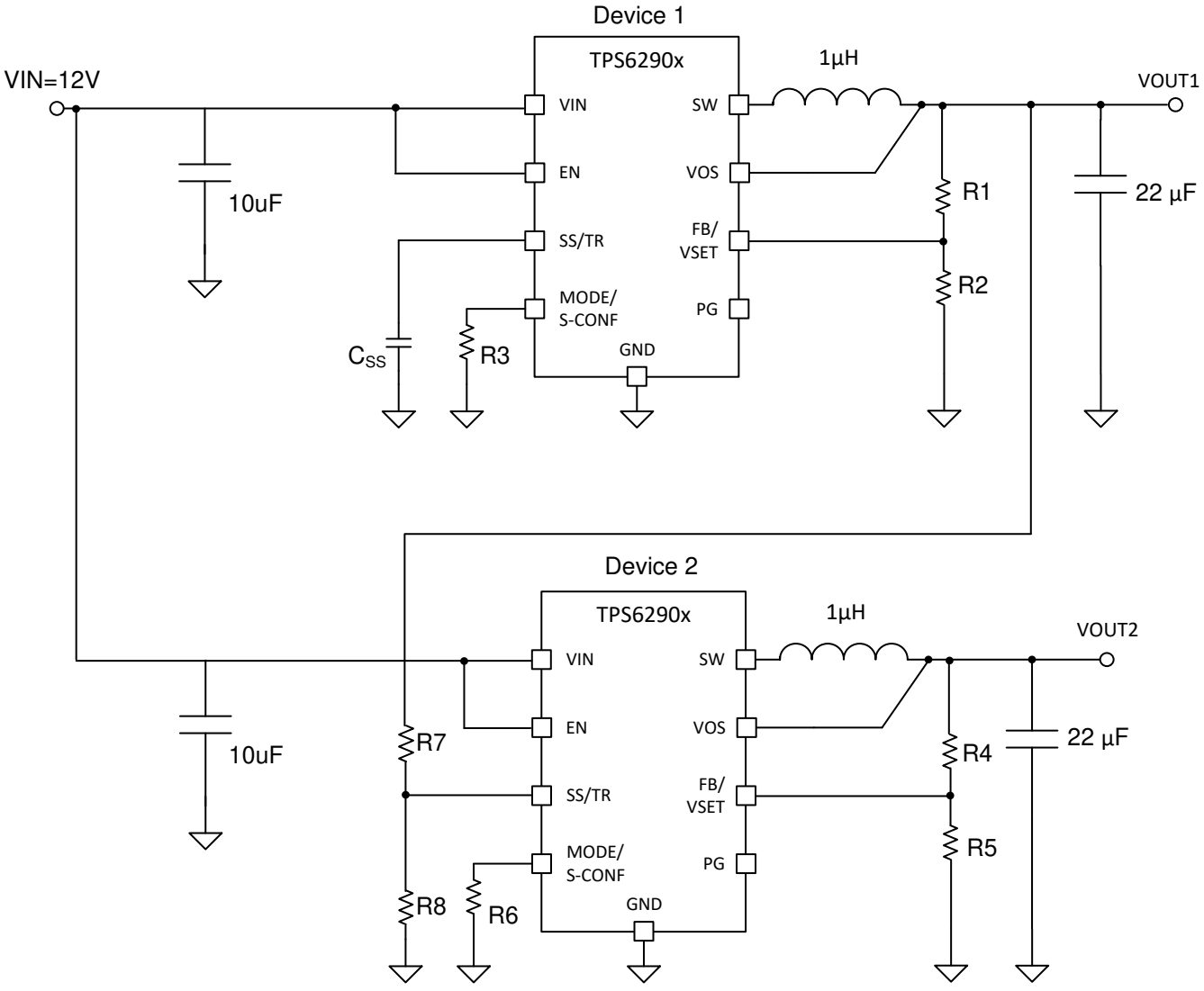


图 7-6. 比例式和同步启动原理图

R7 和 R8 的电阻分压器可用于将 VOUT2 的斜升速率更改为更快、更慢或与 VOUT1 相同。

通过将器件 1 的 VOUT 的 PG 引脚连接到器件 2 的 EN 引脚，可实现顺序启动。PG 需要上拉电阻。如果两个电源共享同一个软启动电容器，则会发生比例式启动序列。方程式 14 提供了软启动时间，但 SS/TR 电流必须加倍。有关这些电路以及其他跟踪和时序控制电路的详细信息，请参阅 SLVA470。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

备注

如果 FB 引脚上的电压低于 0.6V 的典型值，则输出电压精度可具有比额定电压更宽的容差。从 SS/TR 引脚流出的 2.5µA 电流也会对跟踪功能产生影响，尤其是对于 SS/TR 引脚上的高阻外部分压器。

7.2.2.7 输出滤波器和环路稳定性

TPS62901 系列器件采用内部补偿，可通过与要根据方程式 18 计算的转角频率相对应的 L-C 滤波器组合实现稳定：

$$f_{LC} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} \tag{18}$$

节 7.2.2.3 中给出了经证实的电感和陶瓷电容标称值，推荐使用。可以使用不同的值，但必须注意受影响的环路稳定性。更多信息（包括详细的 LC 稳定性矩阵），请参阅 SLVA463。

TPS62901 器件包含一个连接在 VOS 和 FB 引脚之间的内部 3pF 前馈电容器。该电容器会影响频率行为，并使用反馈分压器的电阻器在控制环路中设置极点和零点，如 方程式 19 和方程式 20 所示：

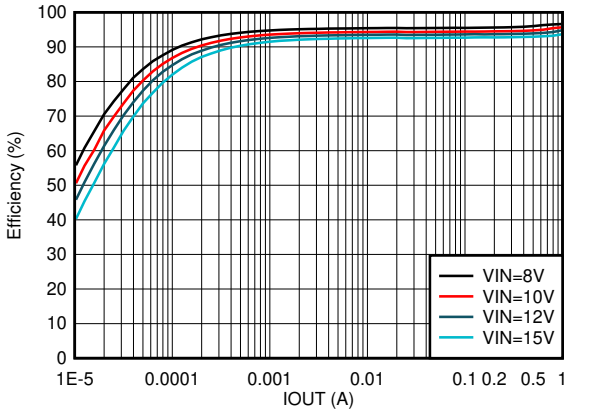
$$f_{zero} = \frac{1}{2\pi \times R_1 \times 3pF} \tag{19}$$

$$f_{pole} = \frac{1}{2\pi \times 3pF} \times \left(\frac{1}{R_1} \times \frac{1}{R_2} \right) \tag{20}$$

虽然 TPS62901 器件在没有极点和零点的特定位置时保持稳定，但根据应用的特定需求调整位置可以在省电模式下提供更好的性能并/或改善瞬态响应。还可以添加外部前馈电容器。有关稳定性与瞬态响应优化的详细讨论，请参阅 SLVA289 和 SLVA466。

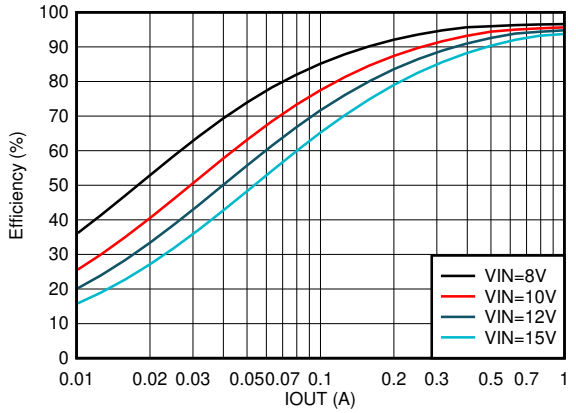
Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.2.3 应用曲线



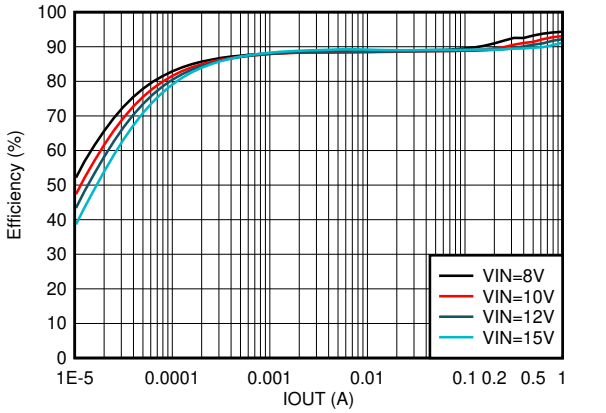
自动 PFM/PWM　　L = 2.2 µ H　　F_{sw} = 1MHz

图 7-7. 效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 5V



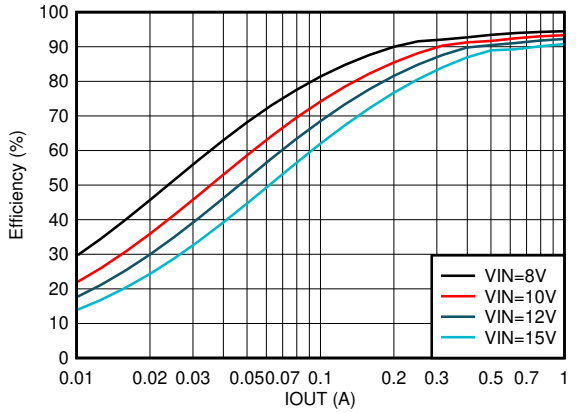
FPWM　　L = 2.2 µ H　　F_{sw} = 1MHz

图 7-8. 效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 5V



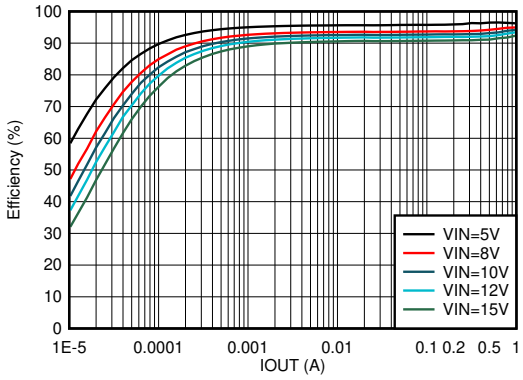
自动 PFM/PWM　　L = 1 µ H　　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-9. 效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 5V



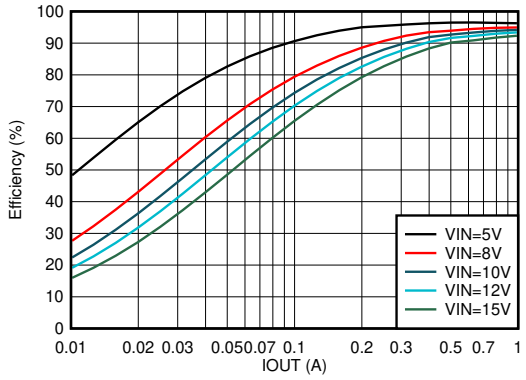
FPWM　　L = 1 µ H　　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-10. 效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 5V



自动 PFM/PWM　　L = 2.2 µ H　　F_{sw} = 1MHz

图 7-11. 效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 3.3V

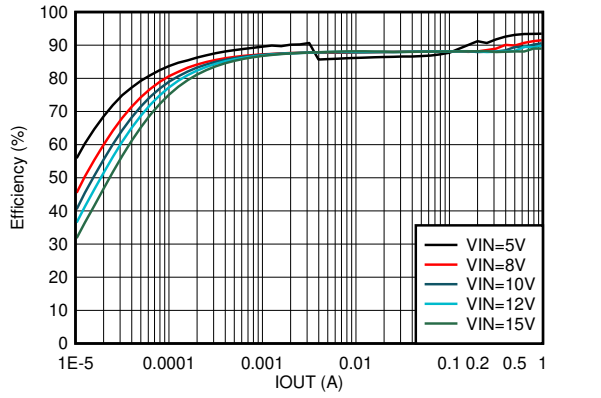


FPWM　　L = 2.2 µ H　　F_{sw} = 1MHz

图 7-12. 效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 3.3V

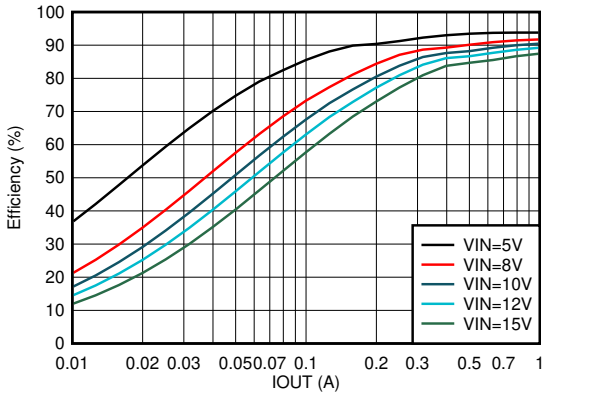
Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.2.3 应用曲线（续）



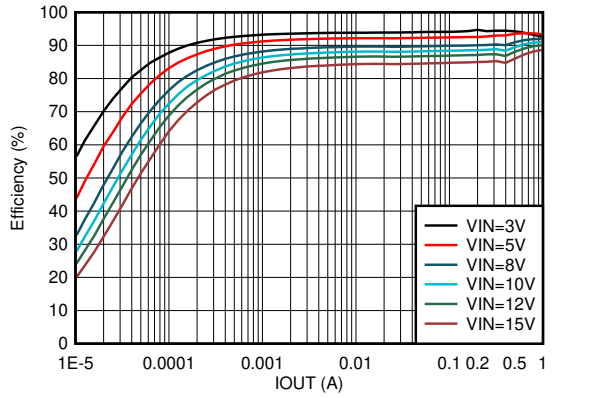
自动 PFM/PWM　　L = 1 µ H　　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-13. 效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 3.3V



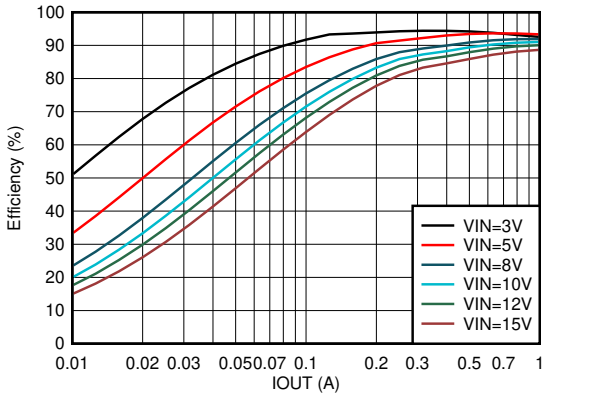
FPWM　　L = 1 µ H　　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-14. 效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 3.3V



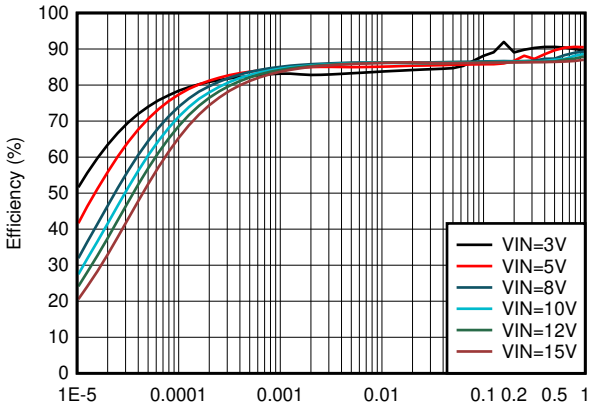
自动 PFM/PWM　　L = 2.2 µ H　　F_{sw} = 1MHz

图 7-15. 效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 1.8V



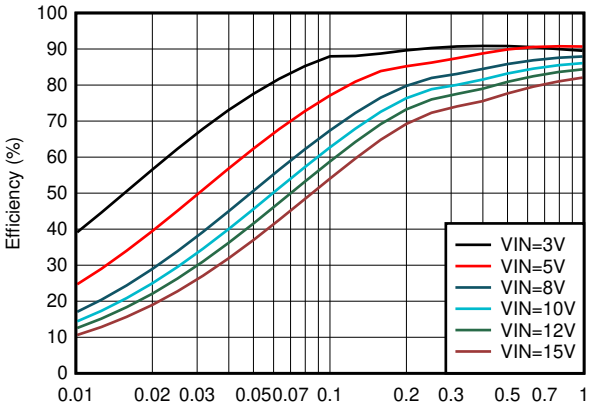
FPWM　　L = 2.2 µ H　　F_{sw} = 1MHz

图 7-16. 效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 1.8V



自动 PFM/PWM　　L = 1 µ H　　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-17. 效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 1.8V

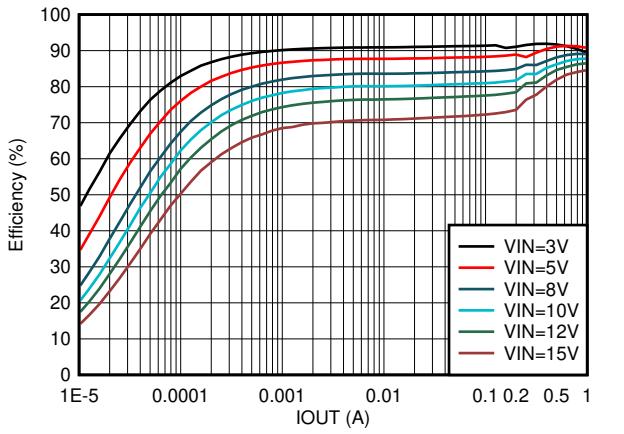


FPWM　　L = 1 µ H　　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-18. 效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 1.8V

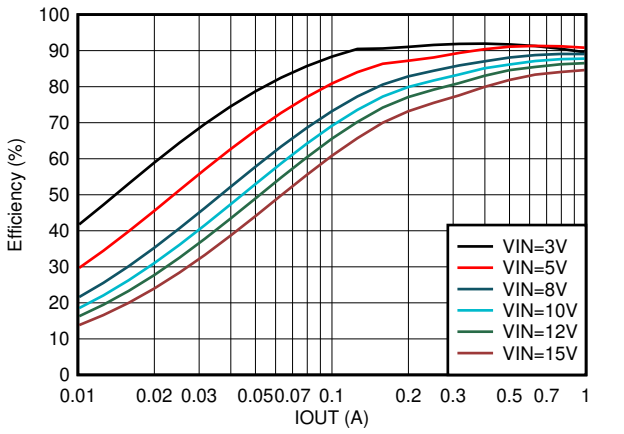
Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.2.3 应用曲线（续）



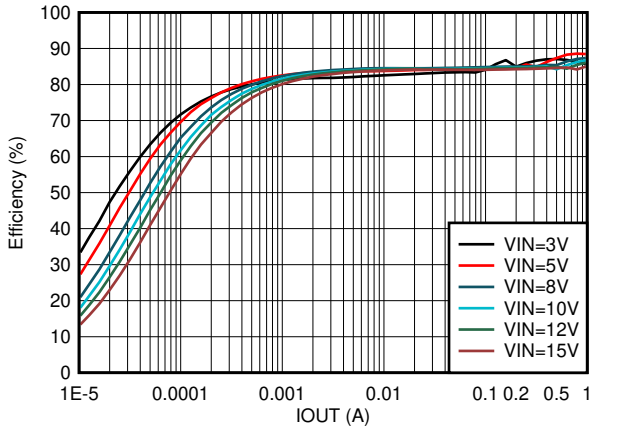
自动 PFM/PWM　　L = 2.2 µ H　　F_{sw} = 1MHz

图 7-19. 效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 1.2V



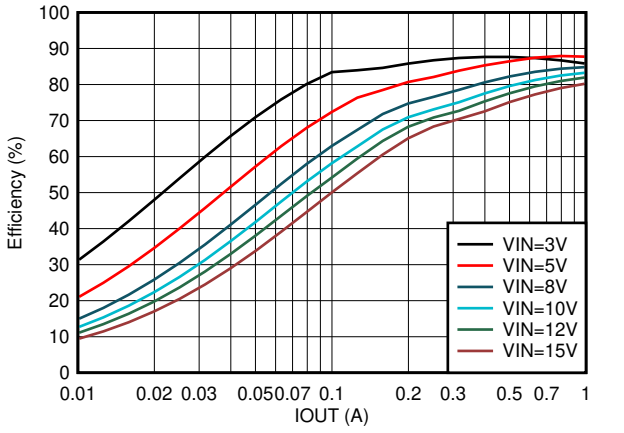
FPWM　　L = 2.2 µ H　　F_{sw} = 1MHz

图 7-20. 效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 1.2V



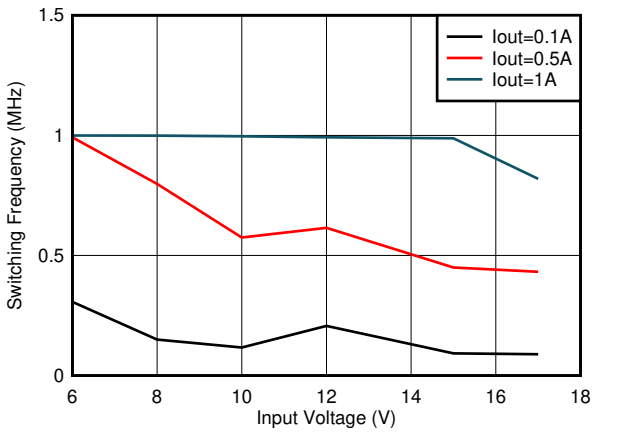
自动 PFM/PWM　　L = 1 µ H　　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-21. 效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 1.2V



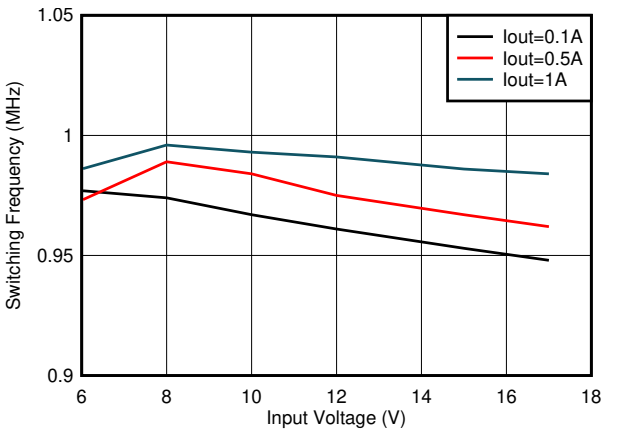
FPWM　　L = 1 µ H　　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-22. 效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 1.2V



自动 PFM/PWM　　L = 2.2 µ H　　F_{sw} = 1MHz

图 7-23. 开关频率与输入电压间的关系 V_{OUT} = 5V

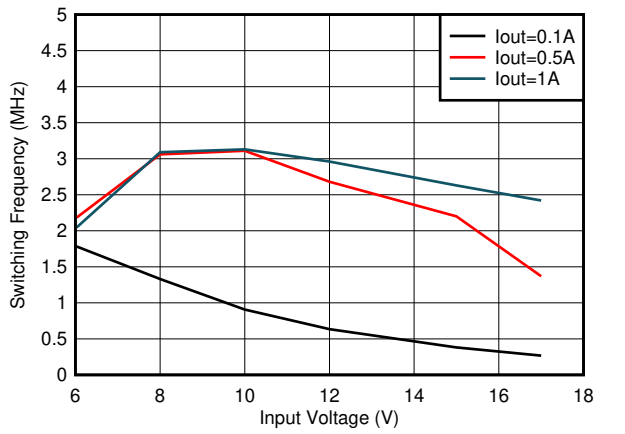


FPWM　　L = 2.2 µ H　　F_{sw} = 1MHz

图 7-24. 开关频率与输入电压间的关系 V_{OUT} = 5V

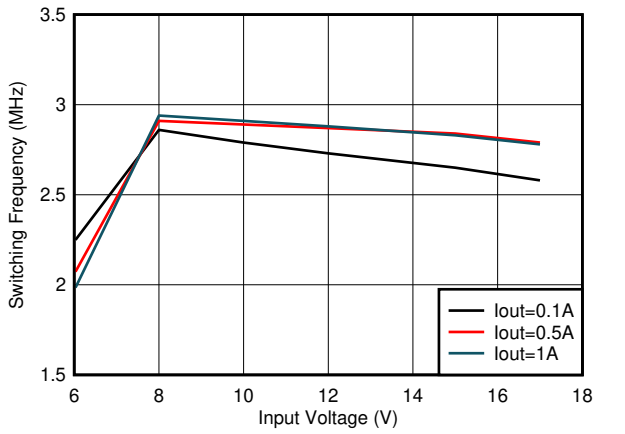
Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.2.3 应用曲线（续）



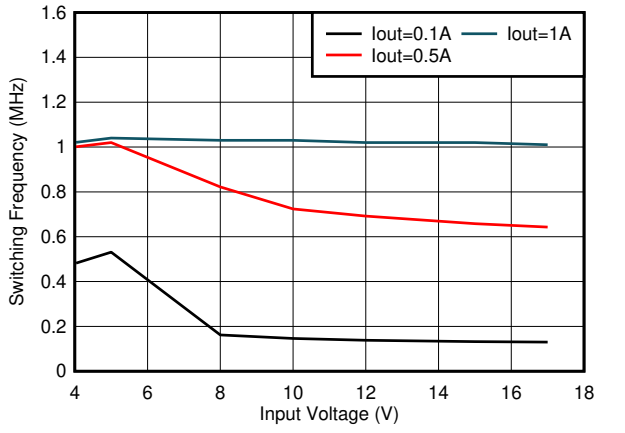
自动 PFM/PWM　　L = 1 µ H　　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-25. 开关频率与输入电压间的关系 V_{OUT} = 5V



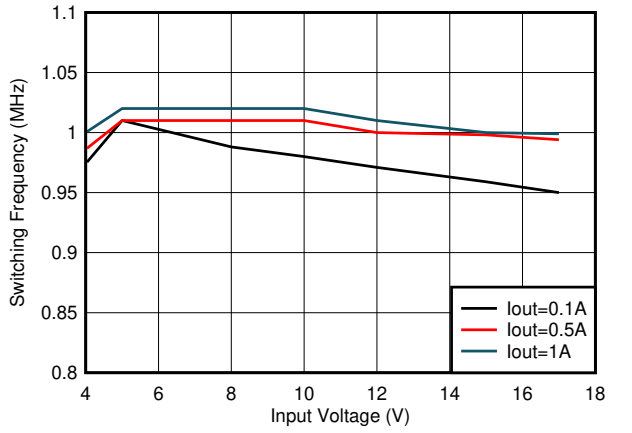
FPWM　　L = 1 µ H　　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-26. 开关频率与输入电压间的关系 V_{OUT} = 5V



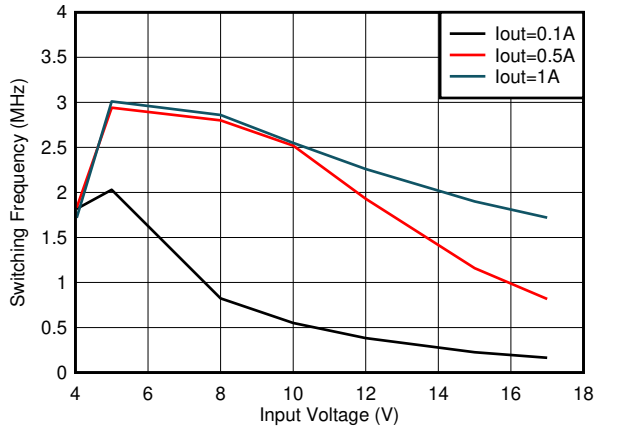
自动 PFM/PWM　　L = 2.2 µ H　　F_{sw} = 1MHz

图 7-27. 开关频率与输入电压间的关系 V_{OUT} = 3.3V



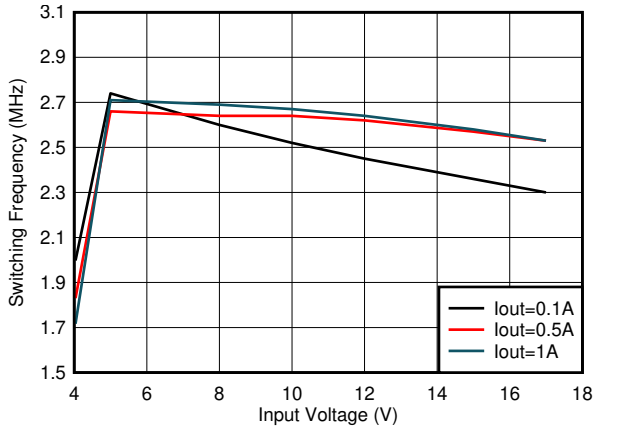
FPWM　　L = 2.2 µ H　　F_{sw} = 1MHz

图 7-28. 开关频率与输入电压间的关系 V_{OUT} = 3.3V



自动 PFM/PWM　　L = 1 µ H　　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-29. 开关频率与输入电压间的关系 V_{OUT} = 3.3V

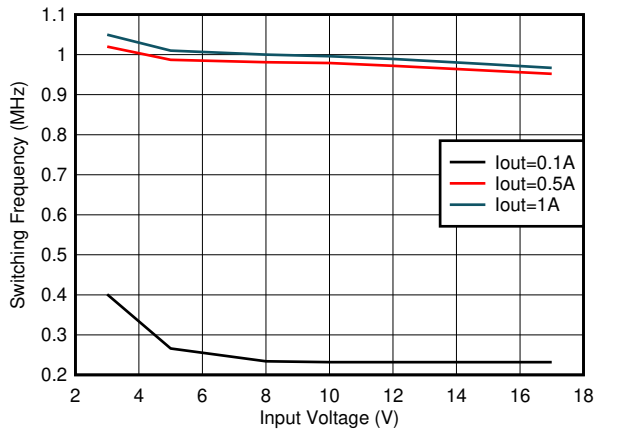


FPWM　　L = 1 µ H　　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-30. 开关频率与输入电压间的关系 V_{OUT} = 3.3V

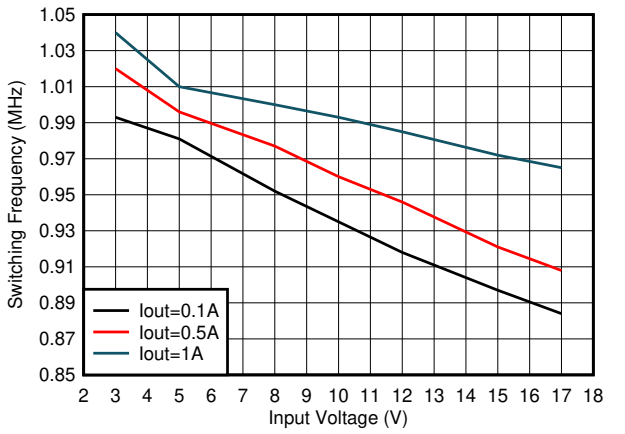
Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.2.3 应用曲线（续）



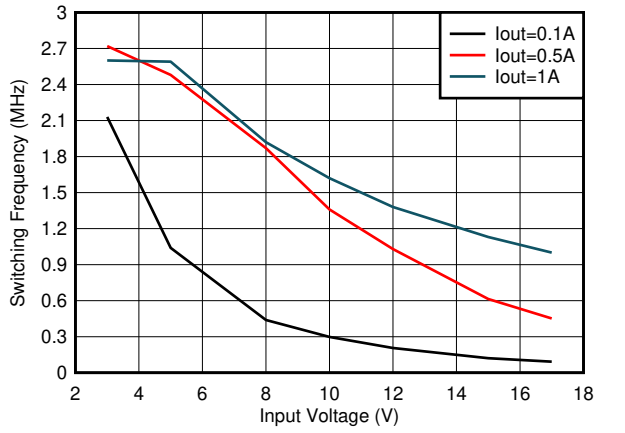
自动 PFM/PWM　　L = 2.2 µ H　　F_{sw} = 1MHz

图 7-31. 开关频率与输入电压间的关系 V_{OUT} = 1.8V



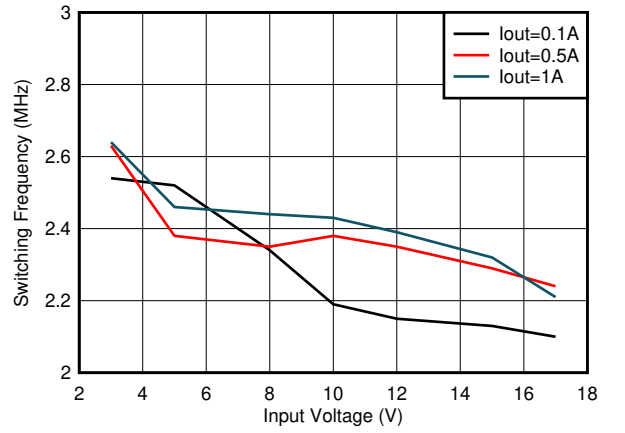
FPWM　　L = 2.2 µ H　　F_{sw} = 1MHz

图 7-32. 开关频率与输入电压间的关系 V_{OUT} = 1.8V



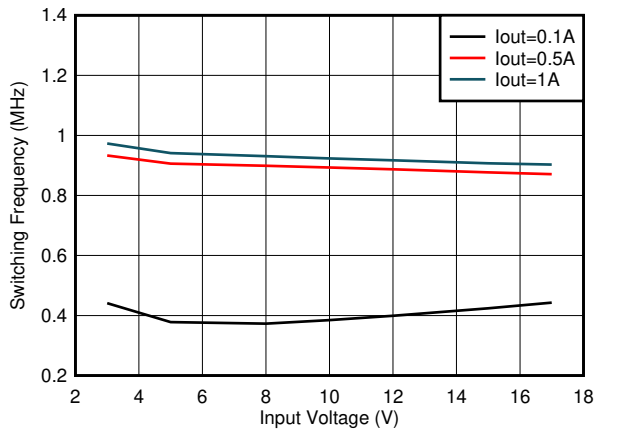
自动 PFM/PWM　　L = 1 µ H　　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-33. 开关频率与输入电压间的关系 V_{OUT} = 1.8V



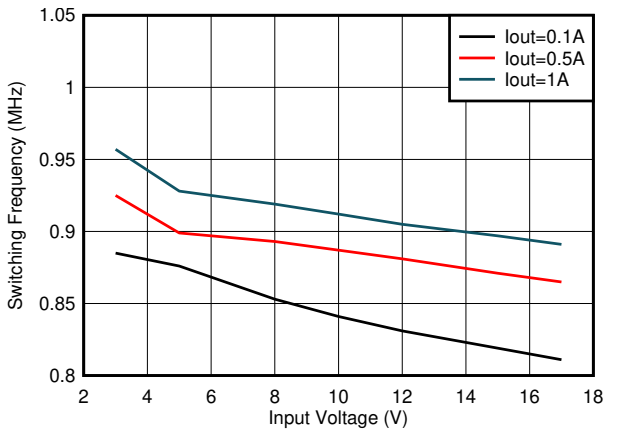
FPWM　　L = 1 µ H　　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-34. 开关频率与输入电压间的关系 V_{OUT} = 1.8V



自动 PFM/PWM　　L = 2.2 µ H　　F_{sw} = 1MHz

图 7-35. 开关频率与输入电压间的关系 V_{OUT} = 1.2V

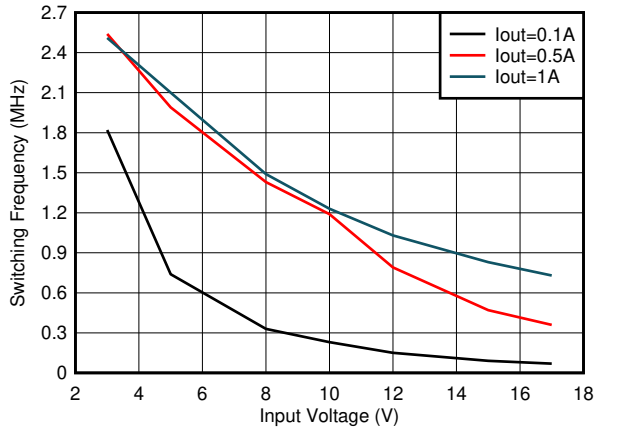


FPWM　　L = 2.2 µ H　　F_{sw} = 1MHz

图 7-36. 开关频率与输入电压间的关系 V_{OUT} = 1.2V

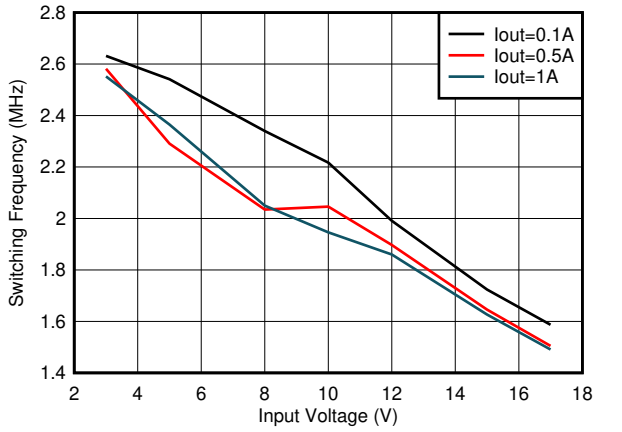
Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.2.3 应用曲线（续）



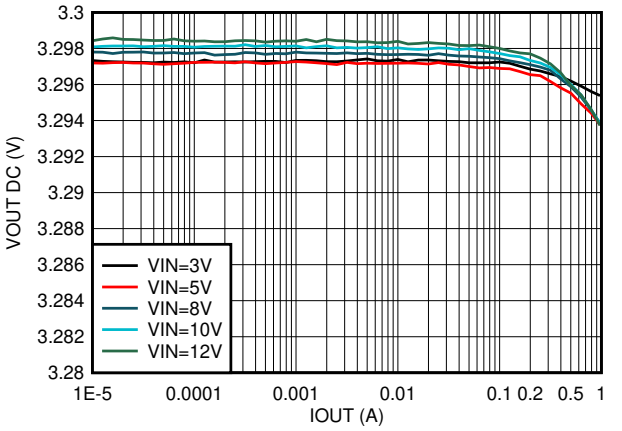
自动 PFM/PWM　　L = 1 µ H　　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-37. 开关频率与输入电压间的关系 V_{OUT} = 1.2V



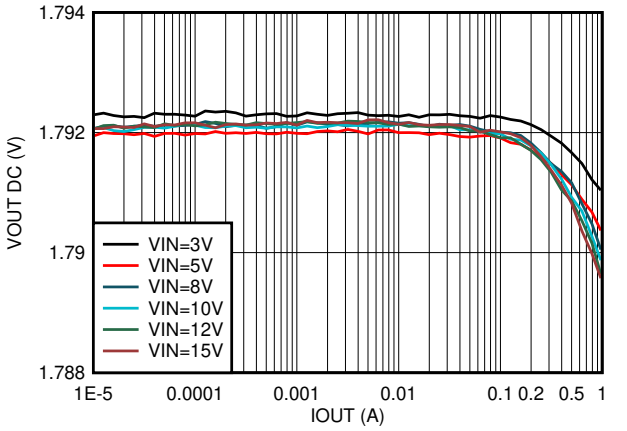
FPWM　　L = 1 µ H　　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-38. 开关频率与输入电压间的关系 V_{OUT} = 1.2V



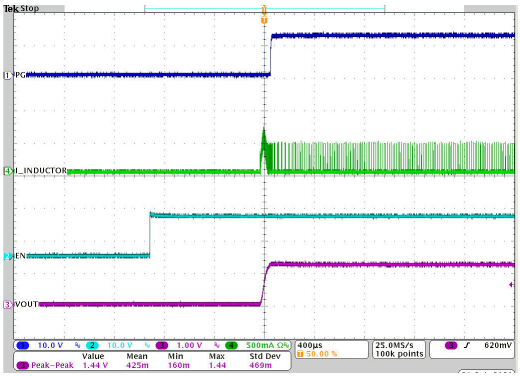
FPWM　　L = 1 µ H　　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-39. 输出电压与输出电流间的关系 V_{OUT} = 3.3V



FPWM　　L = 1 µ H　　F_{sw} = 2.5MHz

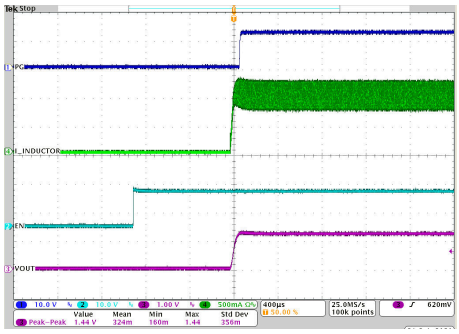
图 7-40. 输出电压与输出电流间的关系 V_{OUT} = 1.8V



V_{IN} = 12V　　1MHz 自动 PFM/PWM　　Io = 10mA

V_{OUT} = 1.2V　　T_A = 25°C

图 7-41. 启动时序



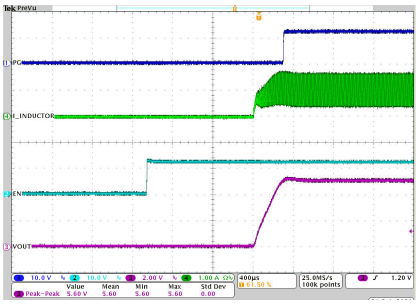
V_{IN} = 12V　　1MHz 自动 PFM/PWM　　Io = 1A

V_{OUT} = 1.2V　　T_A = 25°C

图 7-42. 启动时序

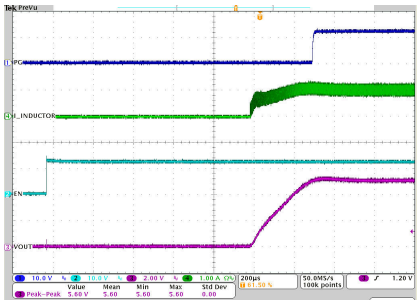
Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.2.3 应用曲线（续）



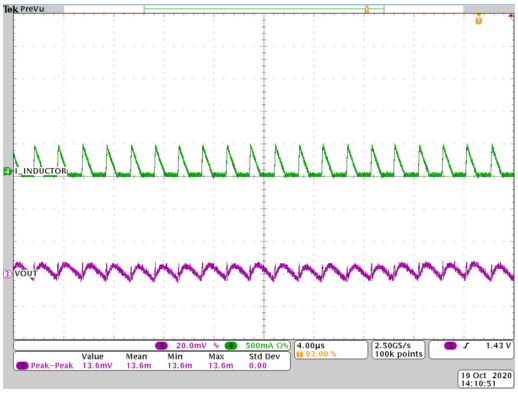
V_{IN} = 12V　1MHz 自动 PFM/PWM　Io = 1A
V_{OUT} = 5V　T_A = 25°C

图 7-43. 启动时序



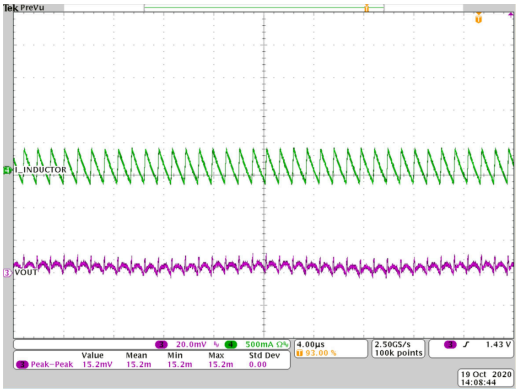
V_{IN} = 12V　2.5MHz 自动 PFM/PWM　Io = 1A
V_{OUT} = 5V　T_A = 25°C

图 7-44. 启动时序



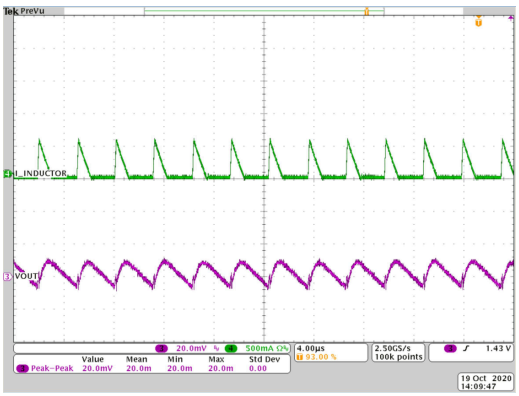
V_{IN} = 12V　1MHz 自动 PFM/PWM　Io = 0.1A
V_{OUT} = 1.2V　L = 2.2 µ H　T_A = 25°C

图 7-45. 输出电压纹波



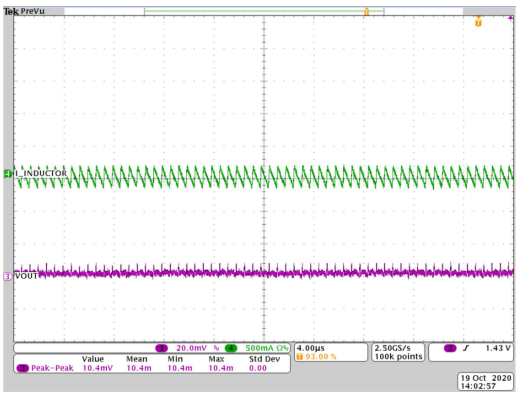
V_{IN} = 12V　1MHz FPWM　Io = 0.1A
V_{OUT} = 1.2V　L = 2.2 µ H　T_A = 25°C

图 7-46. 输出电压纹波



V_{IN} = 12V　2.5MHz 自动 PFM/PWM　Io = 0.1A
V_{OUT} = 1.2V　L = 2.2 µ H　T_A = 25°C

图 7-47. 输出电压纹波

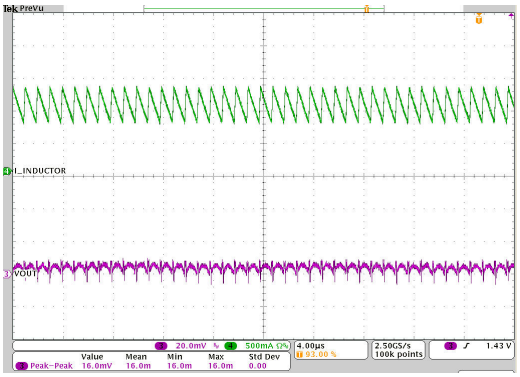


V_{IN} = 12V　2.5MHz FPWM　Io = 0.1A
V_{OUT} = 1.2V　L = 2.2 µ H　T_A = 25°C

图 7-48. 输出电压纹波

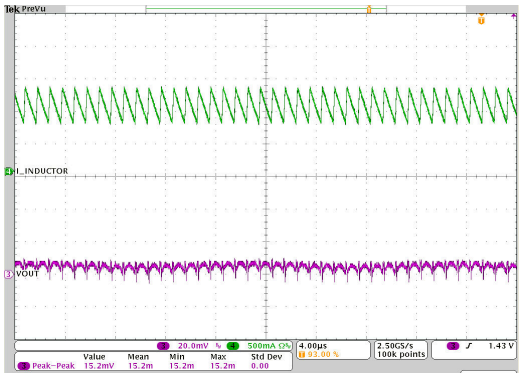
Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.2.3 应用曲线（续）



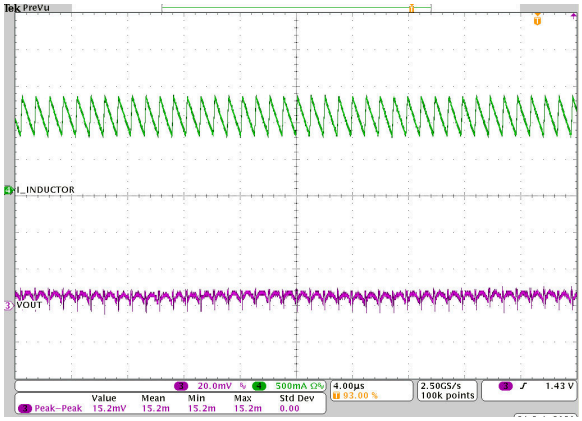
V_{IN} = 12V　1MHz 自动 PFM/PWM　Io = 1A
V_{OUT} = 1.2V　L = 2.2 µ H　T_A = 25°C

图 7-49. 输出电压纹波



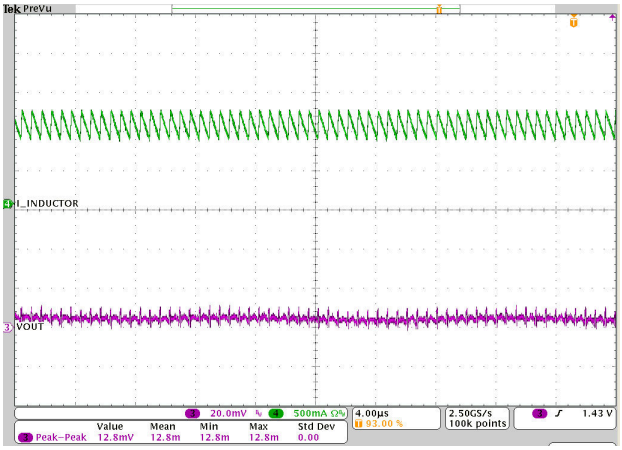
V_{IN} = 12V　1MHz FPWM　Io = 1A
V_{OUT} = 1.2V　L = 2.2 µ H　T_A = 25°C

图 7-50. 输出电压纹波



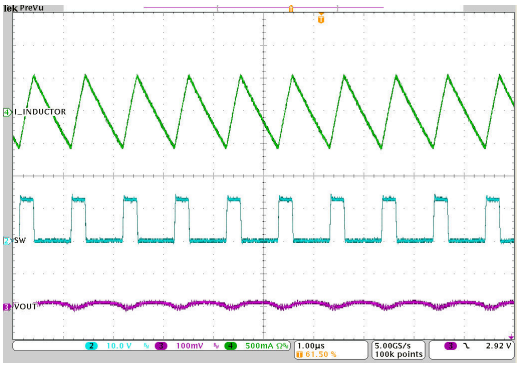
V_{IN} = 12V　2.5MHz 自动 PFM/PWM　Io = 1A
V_{OUT} = 1.2V　L = 2.2 µ H　T_A = 25°C

图 7-51. 输出电压纹波



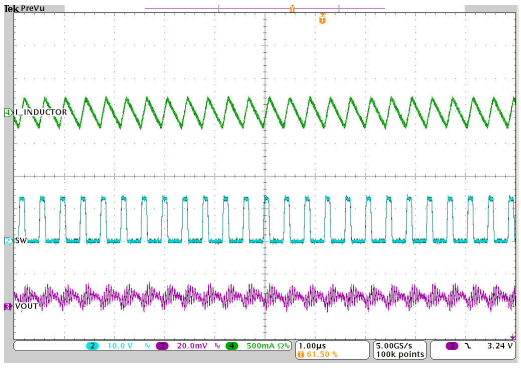
V_{IN} = 12V　2.5MHz FPWM　Io = 1A
V_{OUT} = 1.2V　L = 2.2 µ H　T_A = 25°C

图 7-52. 输出电压纹波



V_{IN} = 12V　1MHz FPWM　Io = 10mA
V_{OUT} = 3.0V　L = 2.2 µ H　T_A = 25°C

图 7-53. 典型操作

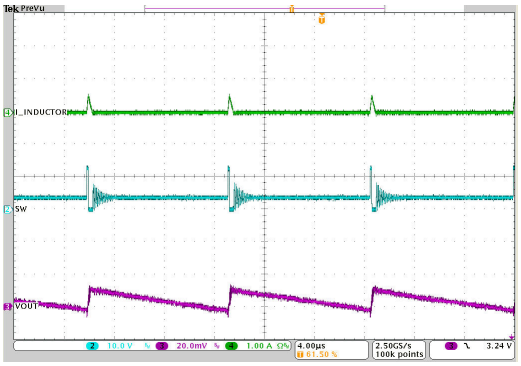


V_{IN} = 12V　2.5MHz FPWM　Io = 10mA
V_{OUT} = 3.0V　L = 2.2 µ H　T_A = 25°C

图 7-54. 典型操作

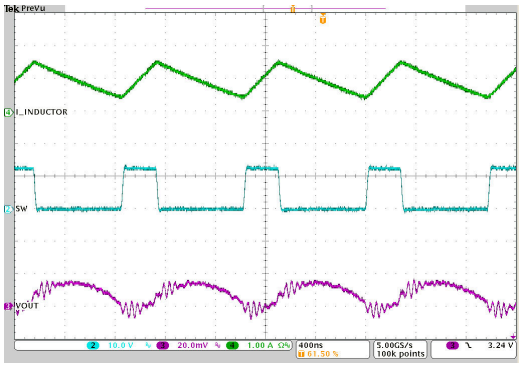
Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.2.3 应用曲线（续）



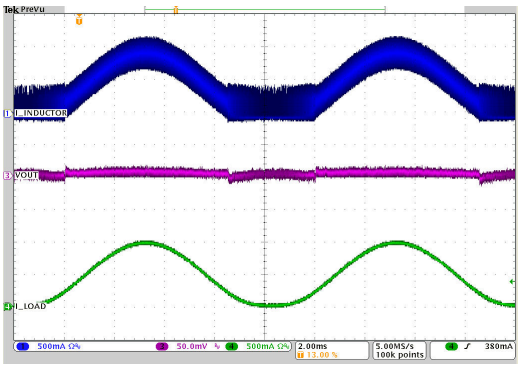
V_{IN} = 12V　2.5MHz 自动 PFM/PWM　Io = 10mA
V_{OUT} = 3.0V　L = 2.2 µ H　T_A = 25°C

图 7-55. 典型操作



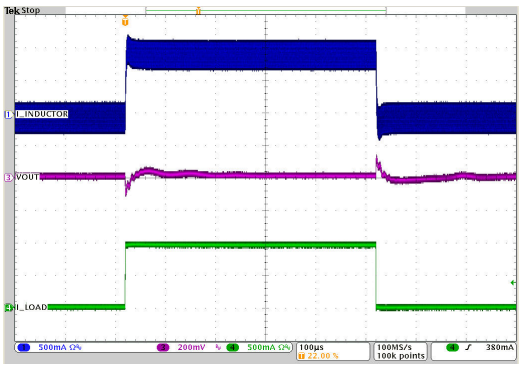
V_{IN} = 12V　1MHz 自动 PFM/PWM　Io = 1A
V_{OUT} = 3.0V　L = 2.2 µ H　T_A = 25°C

图 7-56. 典型操作



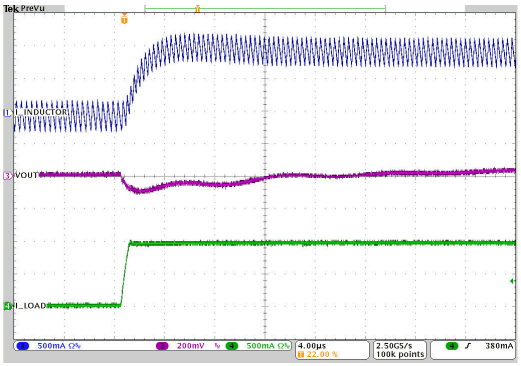
V_{IN} = 12V　1MHz 自动 PFM/PWM　Io = 0A 至 1A
V_{OUT} = 3.3V　L = 2.2 µ H　T_A = 25°C

图 7-57. PSM 至 PWM 转换



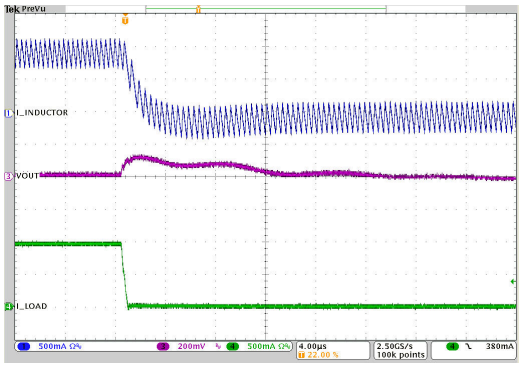
V_{IN} = 12V　2.5MHz FPWM　Io = 5mA 至 1A 至 5mA
V_{OUT} = 3.3V　T_A = 25°C

图 7-58. 负载瞬态响应



V_{IN} = 12V　2.5MHz FPWM　Io = 5mA 至 1A
V_{OUT} = 3.3V　T_A = 25°C

图 7-59. 负载瞬态响应 - 上升沿

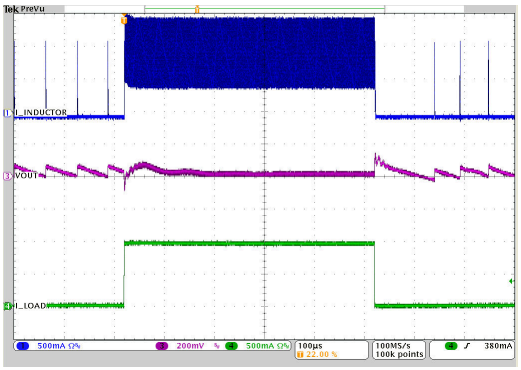


V_{IN} = 12V　2.5MHz FPWM　Io = 1A 至 5mA
V_{OUT} = 3.3V　T_A = 25°C

图 7-60. 负载瞬态响应 - 下降沿

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

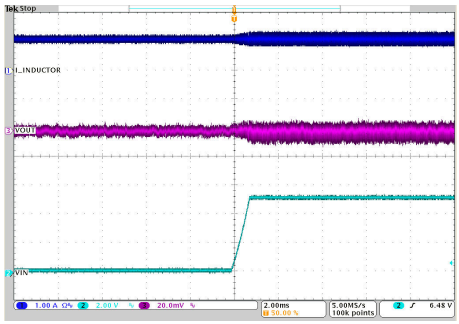
7.2.3 应用曲线（续）



V_{IN} = 12V　　1MHz 自动 PFM/PWM　　Io = 5mA 至 1A 至 5mA

V_{OUT} = 3.3V　　T_A = 25°C

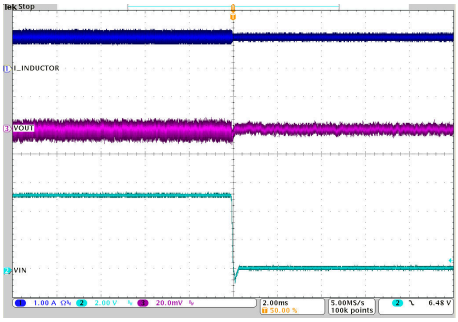
图 7-61. 负载瞬态响应



V_{IN} = 6V 至 11V　　2.5MHz 自动 PFM/PWM　　Io = 1A

V_{OUT} = 3.3V　　T_A = 25°C

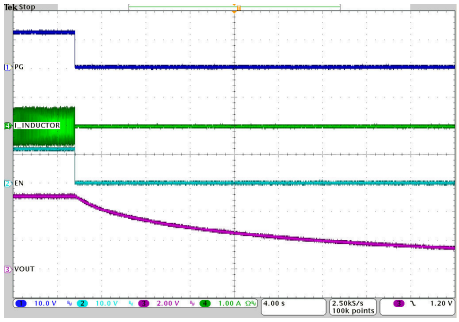
图 7-62. 线路瞬态响应 - 上升



V_{IN} = 11V 至 6V　　2.5MHz 自动 PFM/PWM　　Io = 1A

V_{OUT} = 3.3V　　T_A = 25°C

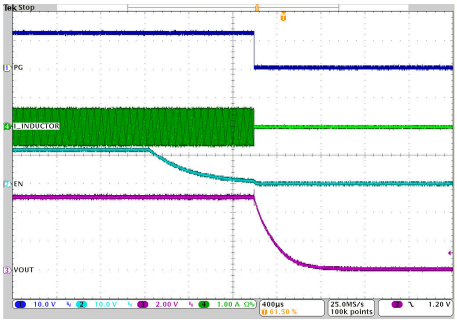
图 7-63. 线路瞬态响应 - 下降



V_{IN} = 12V　　输出放电 = 否

V_{OUT} = 5V　　T_A = 25°C

图 7-64. 输出放电功能 - 禁用



V_{IN} = 12V　　输出放电 = 是

V_{OUT} = 5V　　T_A = 25°C

图 7-65. 输出放电功能 - 启用

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.2.4 使用 VSET 的可设置 V_O 的典型应用

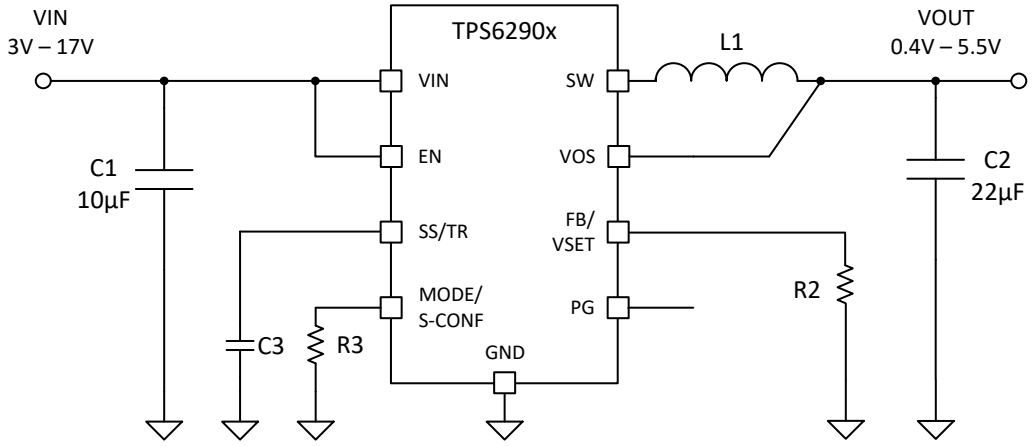


图 7-66. 典型应用电路 (VSET)

7.2.4.1 设计要求

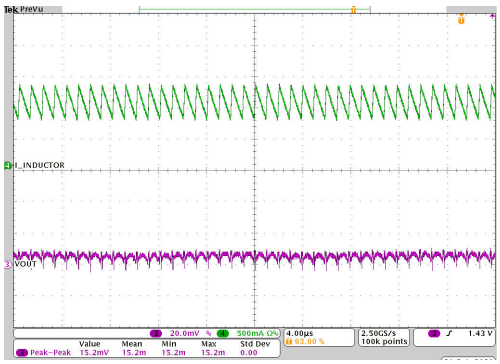
VSET 允许您仅使用一个电阻器在 FB/VSET 引脚上接地，来设置输出电压。表 6-2 展示了 16 个可用选项。

7.2.4.2 详细设计过程

需要使用 MODE/S-CONF 引脚来选择 VSET 选项。一旦将器件配置为 VSET 运行，内部电阻分压器仅通过 VOS 引脚检测 V_O。目标 V_O 由连接在 FB/VSET 和 GND 之间的外部电阻器 R2 进行编程。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

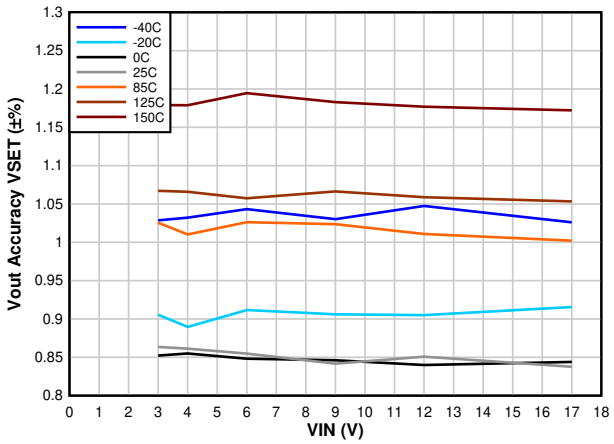
7.2.4.3 应用曲线



V_{IN} = 12V　2.5MHz 自动 PFM/PWM　Io = 1A

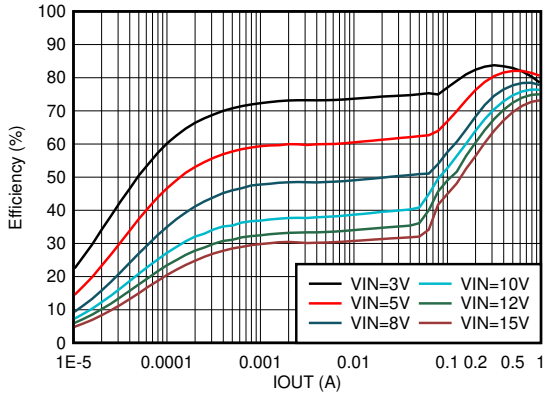
V_{OUT} = 1.2V　L = 2.2 µ H　T_A = 25°C

图 7-67. 输出电压纹波



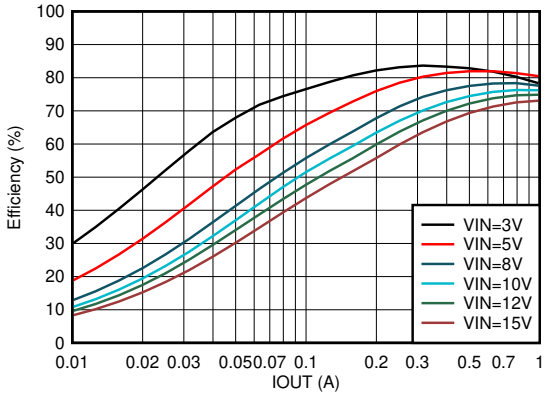
V_{IN} = 3V - 17V　温度 = - 40°C 至 150°C

图 7-68. 输出电压精度 - 选择 VSET



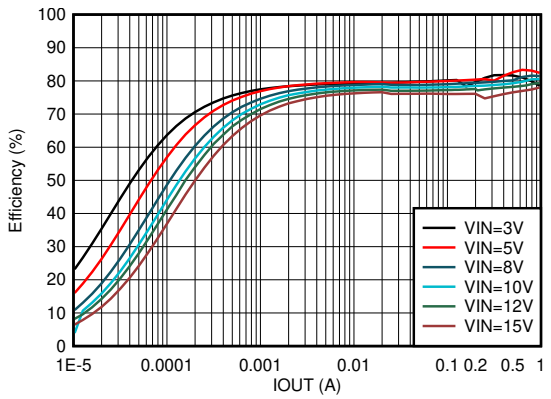
自动 PFM/PWM　L = 2.2 µ H　F_{sw} = 1MHz

图 7-69. 效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 0.4V



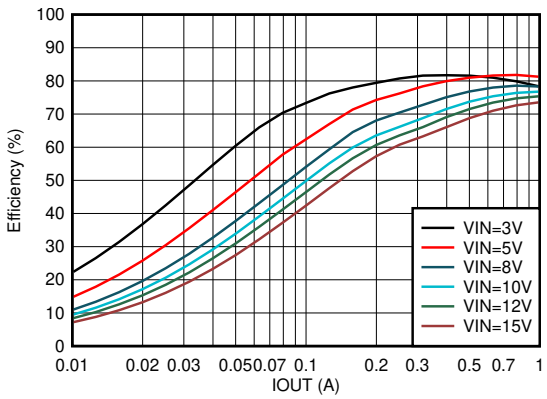
FPWM　L = 2.2 µ H　F_{sw} = 1MHz

图 7-70. 效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 0.4V



自动 PFM/PWM　L = 1 µ H　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-71. 效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 0.4V

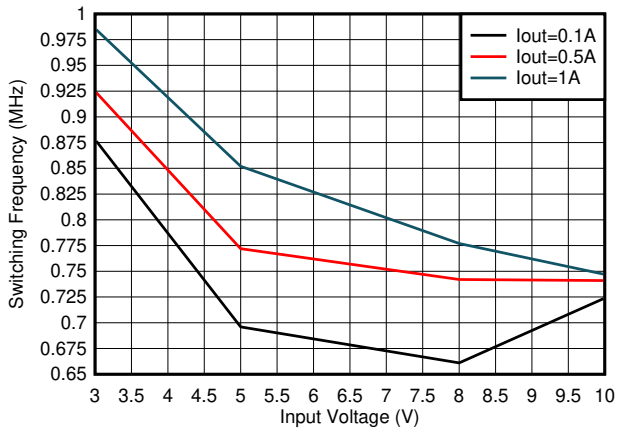


FPWM　L = 1 µ H　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-72. 效率与输出电流间的关系 V_{OUT} = 0.4V

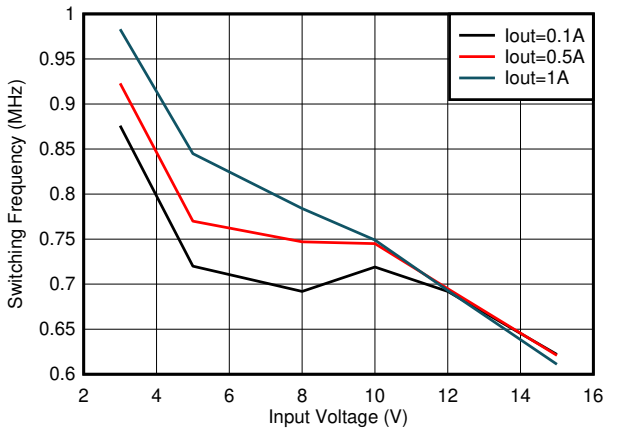
Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.2.4.3 应用曲线（续）



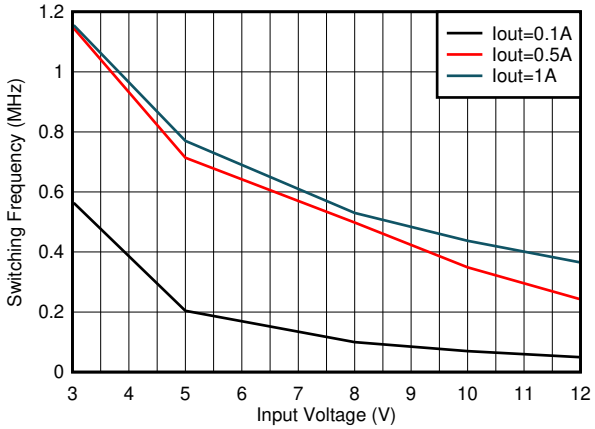
自动 PFM/PWM　　L = 2.2 µ H　　F_{sw} = 1MHz

图 7-73. 开关频率与输入电压间的关系 V_{OUT} = 0.4V



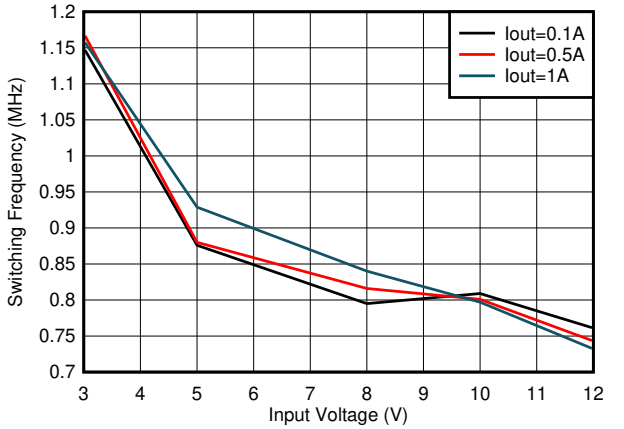
FPWM　　L = 2.2 µ H　　F_{sw} = 1MHz

图 7-74. 开关频率与输入电压间的关系 V_{OUT} = 0.4V



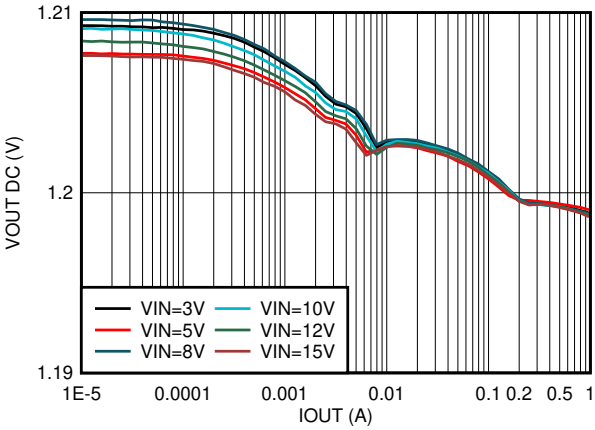
自动 PFM/PWM　　L = 1 µ H　　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-75. 开关频率与输入电压间的关系 V_{OUT} = 0.4V



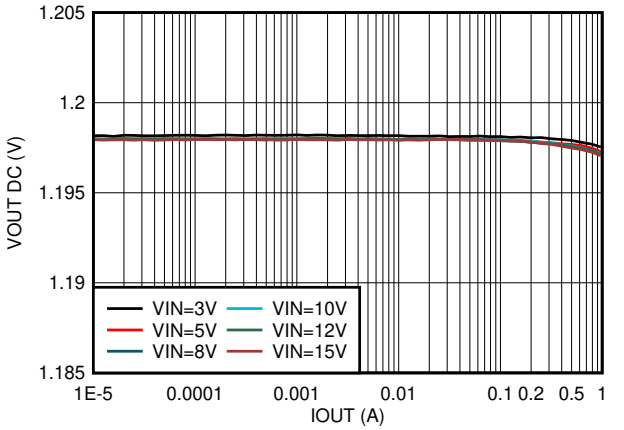
FPWM　　L = 1 µ H　　F_{sw} = 2.5MHz

图 7-76. 开关频率与输入电压间的关系 V_{OUT} = 0.4V



自动 PFM/PWM　　L = 2.2 µ H　　F_{sw} = 1MHz

图 7-77. 输出电压与输出电流间的关系 V_{OUT} = 1.2V



FPWM　　L = 2.2 µ H　　F_{sw} = 1MHz

图 7-78. 输出电压与输出电流间的关系 V_{OUT} = 1.2V

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.2.4.3 应用曲线（续）

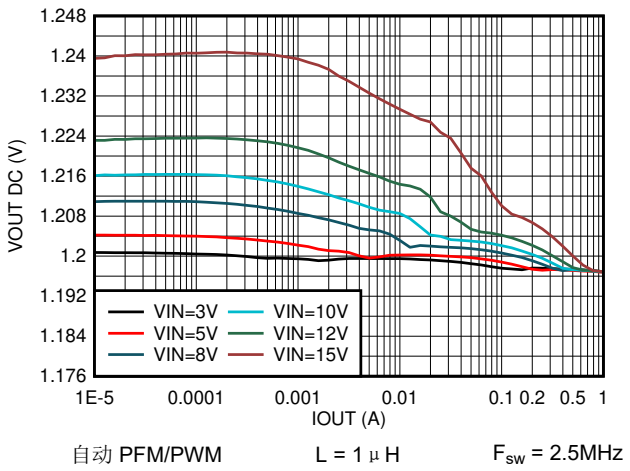


图 7-79. 输出电压与输出电流间的关系 V_{OUT} = 1.2V

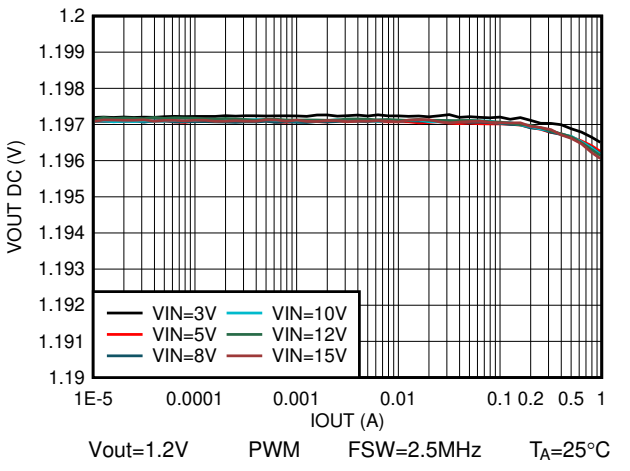


图 7-80. 输出电压与输出电流间的关系 V_{OUT} = 1.2V

7.3 系统示例

7.3.1 LED 电源

TPS62901 可用作功率 LED 的电源。通过使用 SS/TR 引脚，可轻松将 FB 引脚设置为低于标称值的值。这样，检测电阻上的压降很低，避免过多的功率损耗。由于此引脚提供 2.5µA 电阻，反馈引脚电压可根据方程式 21 通过外部电阻器进行调节。该压降与 LED 电流成正比，用于将输出电压（阳极电压）调节到适当的电平，以便驱动 LED。TPS62901 支持模拟和 PWM 调光。图 7-81 所示为经过模拟调光测试的应用电路。

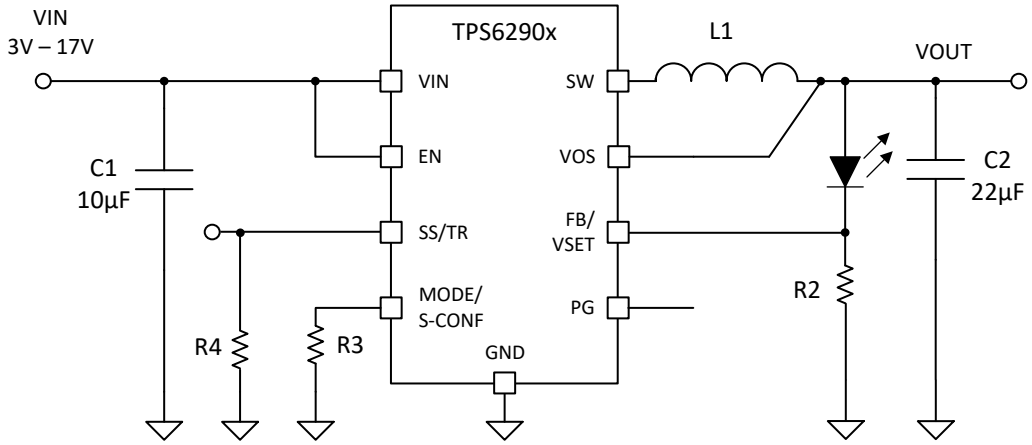


图 7-81. 单电源 LED 电源

SS/TR 处的电阻器定义了 FB 电压。使用方程式 21 通过 $R_{SS/TR}$ = R4 = 162kΩ 将其设置为 304mV。这可以将 R4 上的损耗从标称 0.6V 反馈电压削减一半，同时仍提供良好的精度。

$$V_{FB} = 0.75 \times 2.5uA \times R_{SS/TR} \quad (21)$$

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

该器件现在提供由电阻器 R2 设置的从 FB/VSET 到 GND 的恒定电流。必须根据所用 LED 所需的正向电压确定最小输入电压的额定值。SLVA451 中提供了更多信息。

7.3.2 为多个负载供电

在使用 TPS62901 为多负载电路供电的应用中，输出端的总电容可能非常大。为了正确调节输出电压，需要在 VOS 引脚上提供适当的交流信号电平。钽电容器具有足够大的 ESR，可使 VOS 引脚上的输出电压纹波保持足够高的水平。使用低 ESR 陶瓷电容器时，输出电压纹波可能会非常低，因此不建议直接在器件的输出端使用大电容。如果 PCB 上有多个负载电路及相关的输入电容器，则这些负载通常分布在电路板上。这会增加足够的布线电阻 (R_{trace})，以便在 VOS 引脚上保持足够大的交流信号，从而实现正确调节。

分布式负载上的最小总布线电阻为 10mΩ。以下用例中的总电容 n x CIN 为 32 × 47 µF（陶瓷 X7R 电容器）。

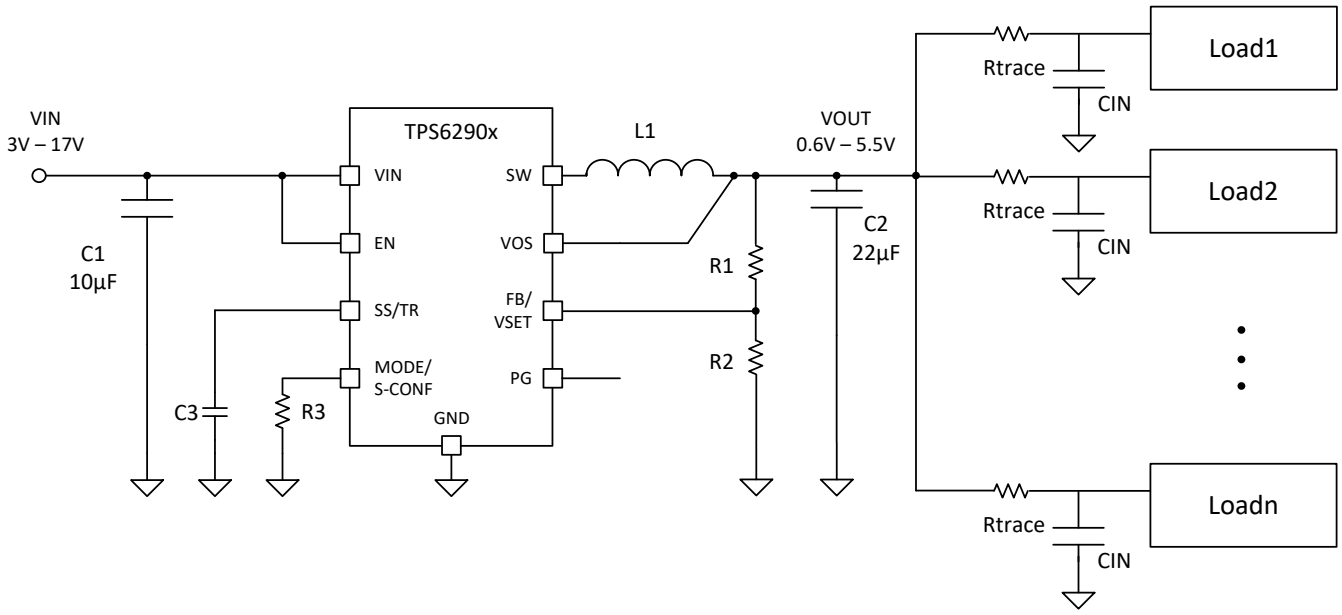


图 7-82. 多个负载

7.3.3 电压跟踪

器件 2 遵循施加到 SS/TR 引脚的电压。SS/TR 的斜坡电压达到 0.8V，可根据 V_{FB} 的 0.6V 基准电压对输出电压进行斜坡处理。

当器件 1 的输出分压器为 0.6V 时，跟踪器件 1 的 3.8V 需要器件 2 的 SS/TR 上的电阻分压器输出 0.8V。来自 SS/TR 引脚的 2.5µA 输出电流会在由 R7 和 R8 构成的电阻分压器上产生失调电压。因此，R7 // R8 的等效电阻必须保持在 15kΩ 以下。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

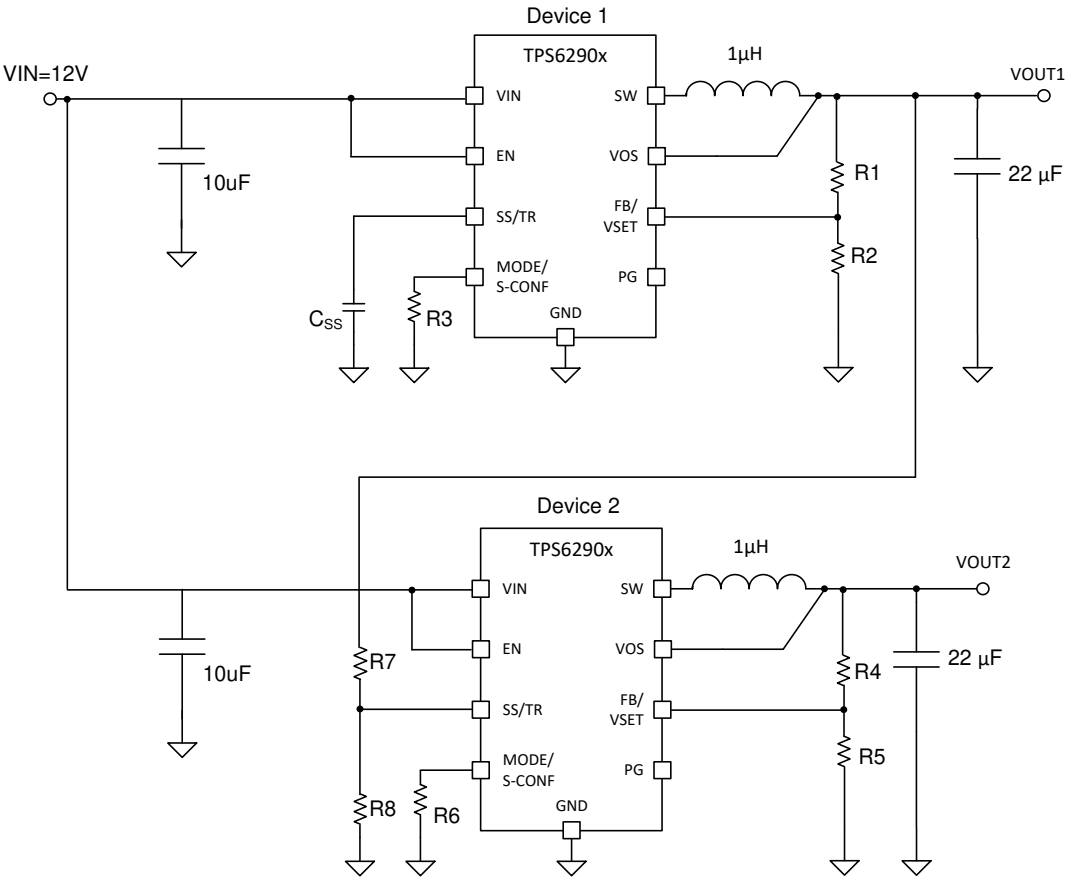


图 7-83. 跟踪示例

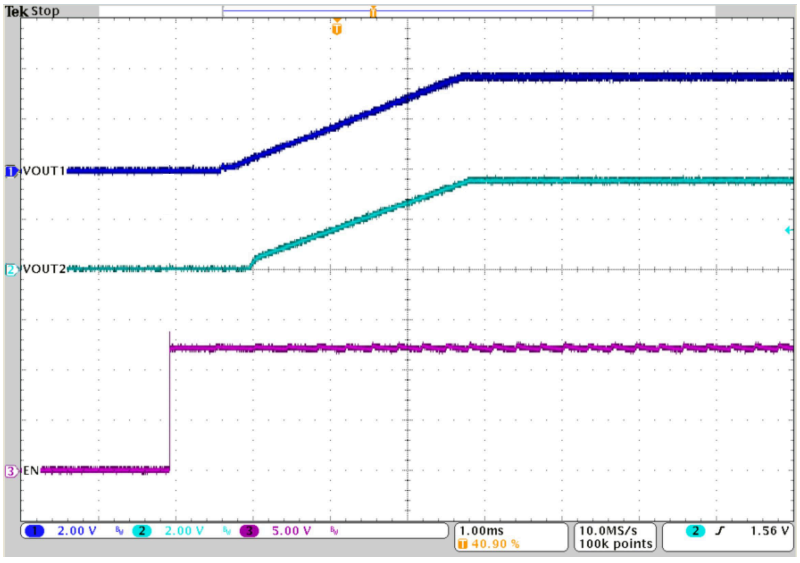


图 7-84. 跟踪

7.4 电源相关建议

TPS62901 的电源需要根据 TPS62901 的电源电压、输出电压和输出电流确定额定电流。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.5 布局

7.5.1 布局指南

正确的布局对于开关模式电源的运行至关重要，尤其是在高开关频率条件下。因此，TPS62901 的 PCB 布局需要特别注意，确保运行并获得指定的性能。布局不佳可能会导致（线路和负载）调节不良、不稳定和精度降低、EMI 辐射增加和噪声灵敏度等问题。

有关 TPS62901 的建议布局，请参阅图 7-85，该布局专为通用外部接地连接而设计。输入电容必须在 TPS62901 的 VIN 和 GND 引脚之间（尽可能靠近它们）放置。此外，以最短的方式将 VOS 引脚连接到输出电容器的 VOUT。

为具有高 di/dt 的环路提供低电感和电阻路径。因此，导通开关负载电流的路径必须尽可能短且宽。为具有高 dv/dt 的布线提供低电容路径（相对于所有其他节点）。因此，输入和输出电容应必须可能靠近 IC 引脚放置，并必须避免长距离并联接线以及窄布线。传导交流电的环路的轮廓必须尽可能小，因为该面积与辐射的能量成正比。

FB 和 VOS 等敏感节点需要用短线连接，而不是靠近高 dv/dt 信号（如 SW）。由于它们携带有关输出电压的信息，因此必须尽可能靠近实际输出电压（在输出电容器处）连接。SS/TR 引脚上的电容器以及 FB 电阻器 R1 和 R2 必须靠近 IC，并直接连接到这些引脚和系统接地层。如果使用 VSET 缩放输出电压，则 VSET 电阻器也是如此。

封装使用引脚来实现功率耗散。VIN 和 GND 引脚上的散热过孔有助于通过 PCB 散发热量。

如果需要将任何数字输入 EN 和 MODE/S-CONF 连接到 V_{IN} 处的输入电源电压，则必须直接在输入电容器上进行连接，如原理图所示。

建议的布局在 EVM 上实现，并显示在用户指南 SNVU745 中。

7.5.2 布局示例

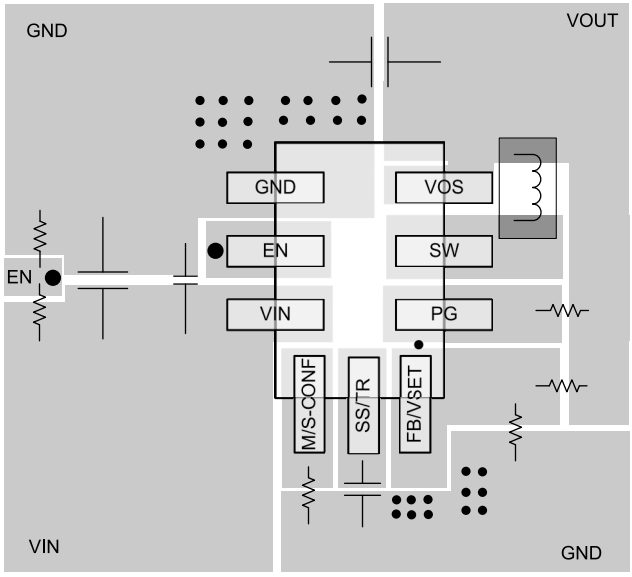


图 7-85. 布局

7.5.2.1 散热注意事项

在薄型和细间距表面贴装封装中实现集成电路通常需要特别注意功率耗散。许多取决于系统的问题（如热耦合、空气流量、添加的散热器和对流表面）以及其他发热元件的存在会影响给定元件的功率耗散限制。

下面列出了增强热性能的三种基本方法：

- 提高 PCB 设计的功率耗散能力，例如增加铜厚度、散热过孔和层数
- 在系统中引入空气流量

有关如何使用热参数的更多详细信息，请参阅应用手册：“散热特性数据应用手册”(SZZA017) 和 (SPRA953)。

TPS62901 的最高工作结温 (T_J) 设计为 150°C。因此，最大输出功率受封装和周围 PCB 结构给出的实际热阻上可耗散的功率损耗的限制。如果给出了封装的热阻，则周围铜面积的大小以及 IC 的适当热连接可以降低热阻。为改善热性能，建议使用顶层金属通过宽而粗的金属线连接器件。内部接地层可直接连接到 IC 下方的通孔，提高热性能。

如果存在短路或过载情况，请通过限制内部功耗来保护器件。

该器件符合 150°C 结温的长期鉴定要求。有关 HotRod 封装降额和使用寿命的更多详细信息，请参阅应用手册：SPRACS3。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8 器件和文档支持

8.1 器件支持

8.1.1 开发支持

8.1.1.1 使用 WEBENCH® 工具创建定制设计方案

点击此处以使用 TPS62901 器件与 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。

8.2 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。

8.3 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。

8.4 商标

SmartConfig™ and TI E2E™ are trademarks 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。

8.5 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。

8.6 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。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

9 修订历史记录

Changes from Revision * (March 2021) to Revision A (January 2024)	Page
• 更新了商标信息	1
• 更新了 ESD 等级以显示 CDM 测试符合 JS-002 标准	4
• 使用公式 14 更新了典型软启动时间	19
• 更新了 VREF 的定义	19
• 添加了“考虑到浪涌电流，TI 通常不建议将软启动时间配置为低于 1ms”声明	19
• 添加了使用公式 15、公式 16 计算最大和最小软启动时间。	19
• 删除了*精确软启动计时* 部分	37

10 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。

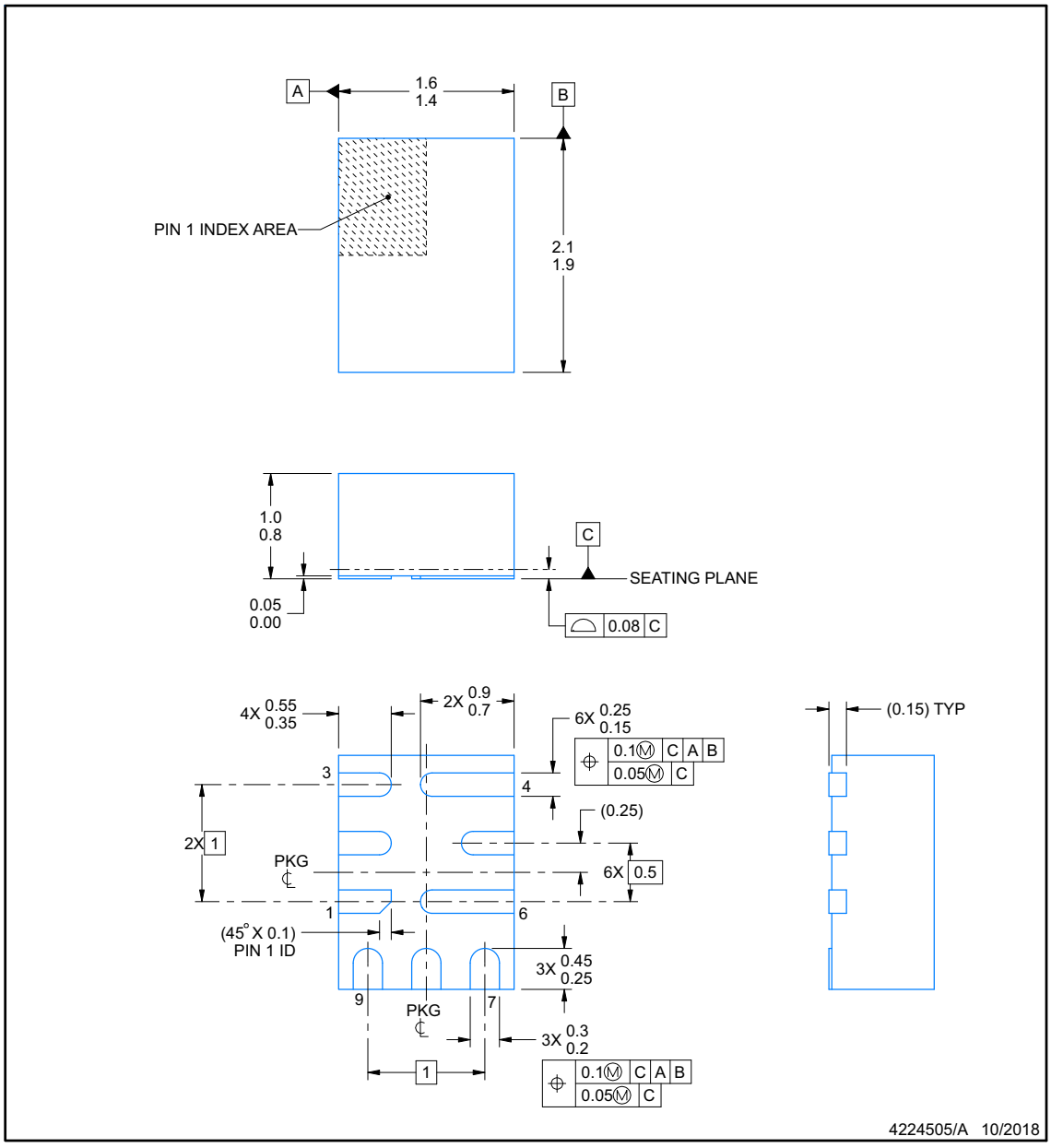
Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

PACKAGE OUTLINE

RPJ0009A

VQFN-HR - 1 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



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.

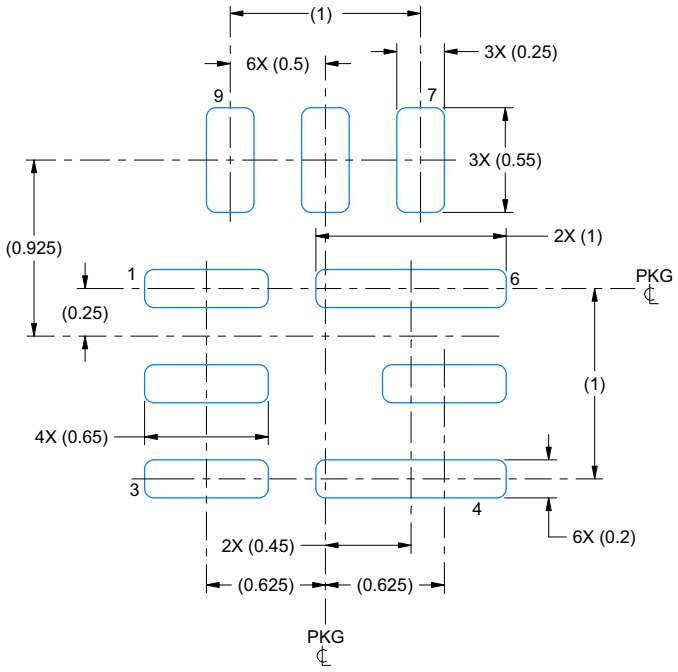
Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

EXAMPLE BOARD LAYOUT

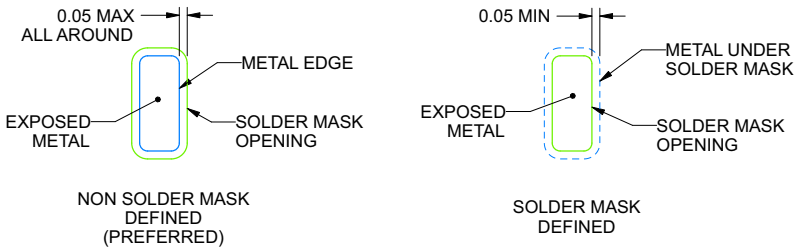
RPJ0009A

VQFN-HR - 1 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE:30X



SOLDER MASK DETAILS

4224505/A 10/2018

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.

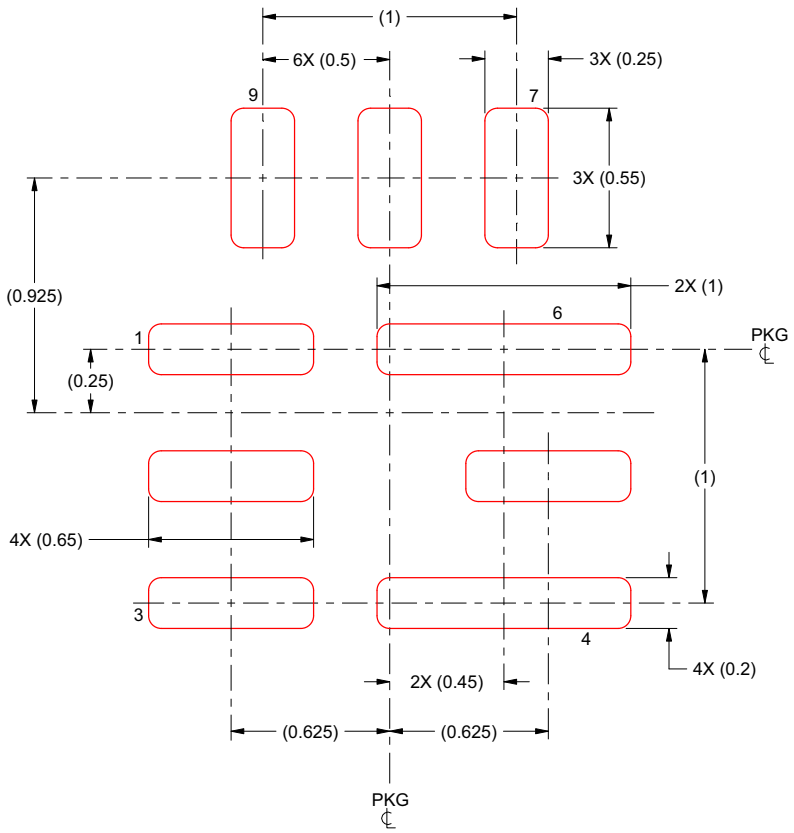
Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

EXAMPLE STENCIL DESIGN

RPJ0009A

VQFN-HR - 1 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL
SCALE:40X

4224505/A 10/2018

NOTES: (continued)

5. For alternate stencil design recommendations, see IPC-7525 or board assembly site preference.

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

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)
TPS62901RPJR	Active	Production	VQFN-HR (RPJ) | 9	3000 | LARGE T&R	Yes	SN	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 150	FQ8
TPS62901RPJR.A	Active	Production	VQFN-HR (RPJ) | 9	3000 | LARGE T&R	Yes	SN	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 150	FQ8

(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 TPS62901 :

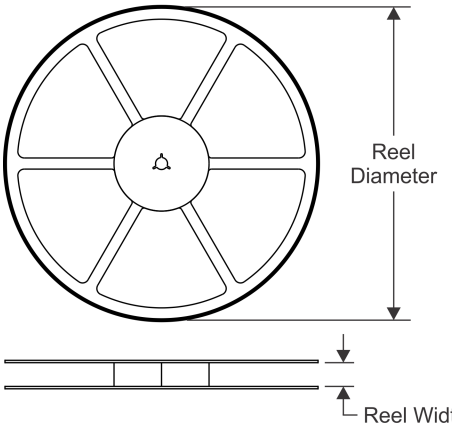
- Automotive : TPS62901-Q1

NOTE: Qualified Version Definitions:

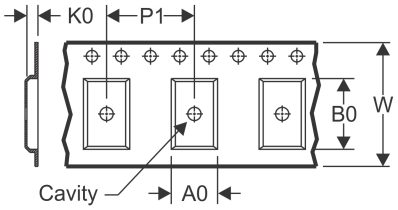
- Automotive - Q100 devices qualified for high-reliability automotive applications targeting zero defects

TAPE AND REEL INFORMATION

REEL DIMENSIONS

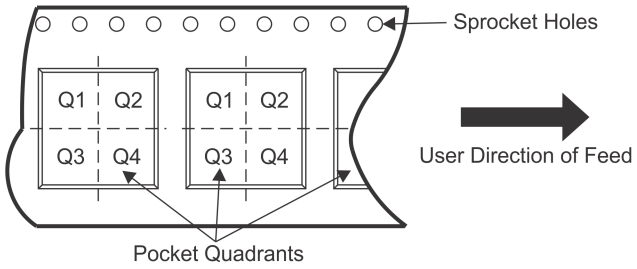


TAPE DIMENSIONS



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

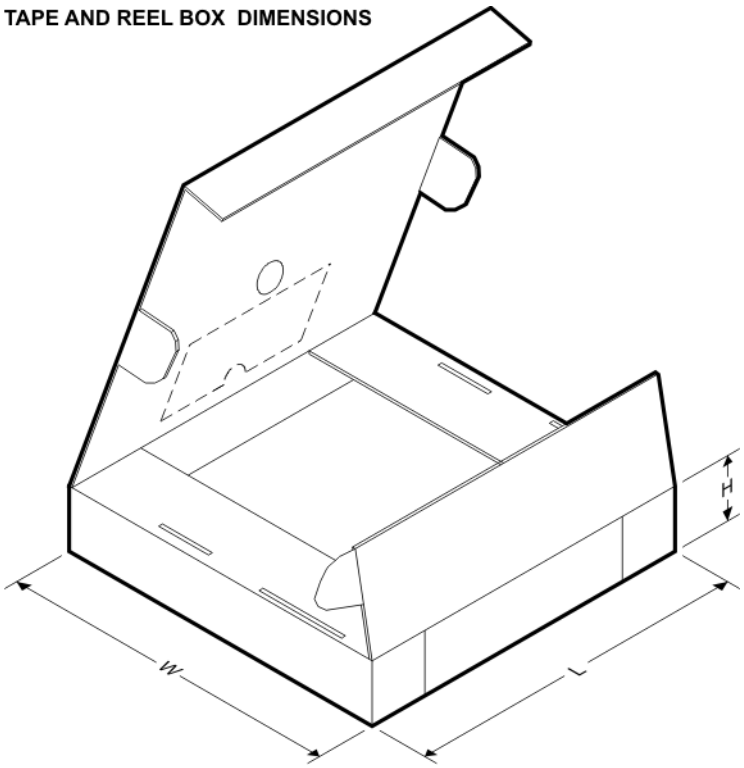
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*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
TPS62901RPJR	VQFN-HR	RPJ	9	3000	180.0	8.4	1.75	2.25	1.0	4.0	8.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
TPS62901RPJR	VQFN-HR	RPJ	9	3000	210.0	185.0	35.0

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、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