

TPS7H1301-SP 和 TPS7H1302-SP 带集成低压降稳压器的 3V 至 6.3V 输入、400mA 耐辐射电荷泵电压逆变器

1 特性

- 电离辐射总剂量 (TID) 特性
 - 提供的耐辐射保障高达 100krad(Si)
- 确定了单粒子效应 (SEE)
 - 单粒子锁定 (SEL)、单粒子烧毁 (SEB) 和单粒子栅穿 (SEGR) 对于线性能量传递 (LET) 的抗扰度高达 75MeV cm²/mg
 - 单粒子功能中断 (SEFI) 和单粒子瞬变 (SET) 对于 LET 的额定值高达 75MeV cm²/mg
- 将正输入电压反相并调节负电源
- 输出电流高达 400mA
- 2.5Ω (典型值) 逆变器输出阻抗, V_{IN} = 5V
- ±1.5% 调节输出精度
- 500kHz (典型值) 固定频率, 可调负输出电压运行 (TPS7H1301)
- 1MHz (典型值) 固定频率, 固定 -1.8V 输出 (TPS7H1302)
- 在 100kHz 处, 100mA 负载电流下为 45dB (典型值) LDO PSRR
- 通过符合 ASTM E595 标准的塑料封装废气测试
- 可用于军用温度范围 (-55°C 至 125°C)

2 应用

- 卫星电力系统 (EPS)
- 命令和数据处理 (C&DH)
- 光学成像有效载荷
- 雷达成像有效载荷
- 模拟电路电源
 - 数据转换器: ADC 和 DAC (模数转换器和数模转换器)
 - 运算放大器
 - 图像传感器

3 说明

TPS7H1301 和 TPS7H1302 是具有集成式负低压降稳压器 (LDO) 的电荷泵正负电压逆变器。两款器件都接受 3V 至 6.3V 的正输入电源电压范围, 并提供高达 400mA 的输出电流, 同时具有集成的使能和电源正常功能。

TPS7H1301 具有 500kHz (典型值) 电荷泵开关频率, 并提供可调的输出电压。其 STAB 引脚支持直接访问负 LDO 误差放大器以进行外部补偿, 为实现优化的瞬态响应提供了设计灵活性。

TPS7H1302 提供固定的 -1.8V 输出电压, 电荷泵开关频率为 1MHz (典型值)。通过省去外部反馈电阻器, TPS7H1302 减少了外部元件数量并减小了整体解决方案尺寸。

器件信息

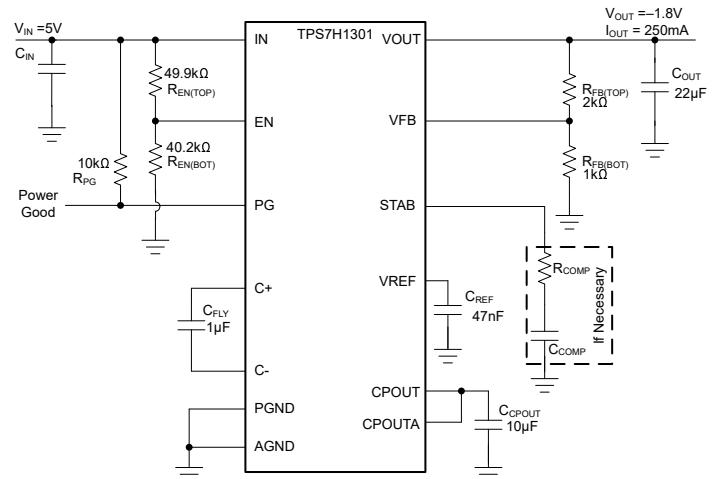
器件型号 (1)	等级	封装 (2)
5962R2421501VXC	QMLV-RHA	14 引脚陶瓷 8.03mm × 9.12mm 质量 = 1.22g
5962R2421502VXC (4)		
TPS7H1301HBL/EM	工程样片	
TPS7H1302HBL/EM (4)		
5962R2421501PYE (3)	QMLP-RHA	28 引脚塑料 4.40mm × 9.70mm 质量 = 198mg
5962R2421502PYE (3)		
TPS7H1301MPWPTSEP (3)	SEP	
TPS7H1302MPWPTSEP (3)		

(1) 有关更多信息, 请参阅器件选项表

(2) 尺寸和质量值为标称值。

(3) 产品预发布。

(4) 高级信息



典型应用电路 TPS7H1301



内容

1 特性	1	10 应用和实施	31
2 应用	1	10.1 应用信息.....	31
3 说明	1	10.2 典型应用 TPS7H1301.....	31
4 器件选项表	3	10.3 TPS7H1301 并联运行的典型应用.....	38
5 器件比较表	4	10.4 典型应用 TPS7H1302.....	42
6 引脚配置和功能	5	10.5 TPS7H1302 低噪声配置.....	45
7 规格	8	10.6 电源相关建议.....	46
7.1 绝对最大额定值.....	8	10.7 布局.....	46
7.2 ESD 等级.....	8	11 器件和文档支持	51
7.3 建议运行条件.....	9	11.1 器件支持.....	51
7.4 热性能信息.....	9	11.2 文档支持.....	51
7.5 电气特性.....	10	11.3 接收文档更新通知.....	51
7.6 质量合格检验.....	14	11.4 支持资源.....	51
7.7 典型特性.....	15	11.5 商标.....	51
8 参数测量信息	20	11.6 静电放电警告.....	51
9 详细说明	22	11.7 术语表.....	51
9.1 概述.....	22	12 修订历史记录	51
9.2 功能方框图.....	23	13 机械、封装和可订购信息	52
9.3 特性说明.....	24	13.1 Tube Information.....	54
9.4 器件功能模式.....	30		

4 器件选项表

通用器件型号	辐射等级 ⁽¹⁾	等级	封装	可订购器件型号
TPS7H1301-SP	TID 特征值高达 100krad(Si), 无 DSEE , 最高 LET = 75MeV·cm ² /mg	QMLV-RHA	14 引脚陶瓷扁平封装 (CFP) HBL	5962R2421501VXC
		QMLP-RHA	28 引脚塑料 HTSSOP (PWP)	5962R2421501PYE ⁽³⁾
	无	工程样品 ⁽²⁾	14 引脚陶瓷扁平封装 (CFP) HBL	TPS7H1301HBL/EM
TPS7H1302-SP	TID 特征值高达 100krad(Si), 无 DSEE , 最高 LET = 75MeV·cm ² /mg	QMLV-RHA	14 引脚陶瓷扁平封装 (CFP) HBL	5962R2421502VXC ⁽⁴⁾
		QMLP-RHA	28 引脚塑料 HTSSOP (PWP)	5962R2421502PYE ⁽³⁾
	无	工程样品 ⁽²⁾	14 引脚陶瓷扁平封装 (CFP) HBL	TPS7H1302HBL/EM ⁽⁴⁾
TPS7H1301-SEP	TID 为 50krad(Si) RLAT , 无 DSEE (43MeV cm ² /mg)	增强型航天塑料	28 引脚塑料 HTSSOP (PWP)	TPS7H1301MPWPTSEP ⁽³⁾
TPS7H1302-SEP	TID 为 50krad(Si) RLAT , 无 DSEE (43MeV cm ² /mg)	增强型航天塑料	28 引脚塑料 HTSSOP (PWP)	TPS7H1302MPWPTSEP ⁽³⁾

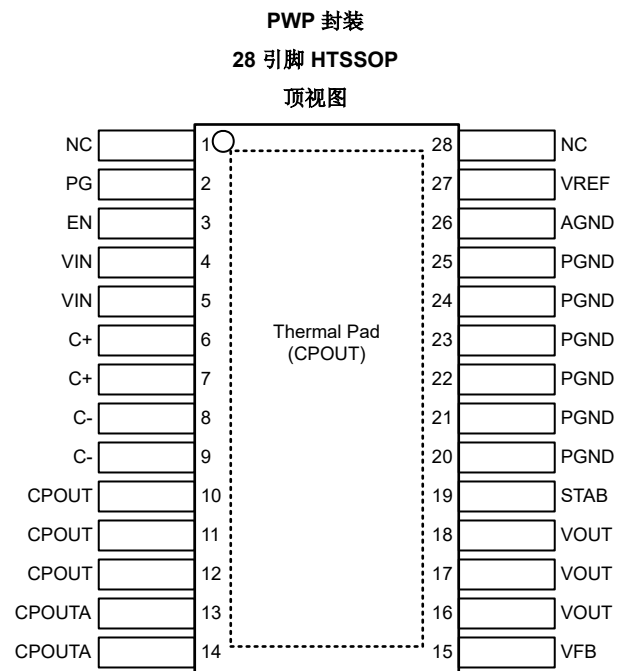
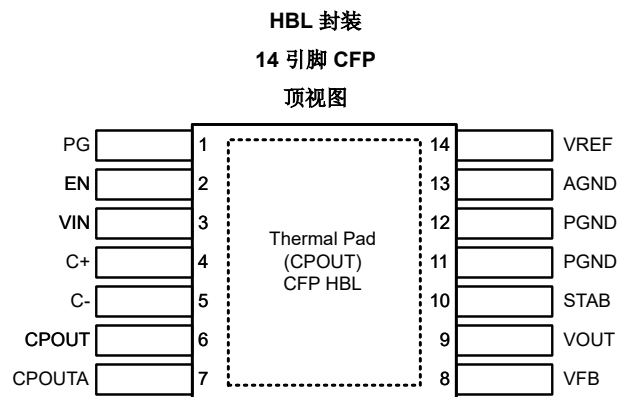
- (1) TID 是总电离剂量, RLAT 是辐射批次验收测试, DSEE 是破坏性单粒子效应。每个产品的关联 TID 报告和 SEE 报告中提供了额外信息。
- (2) 这些器件仅适用于工程评估。器件是按照非合规流程处理的 (例如: 未进行老化处理, 仅在 25°C 下测试)。该等器件并非设计用于鉴定、量产、辐射测试或飞行。器件在温度范围以外或超过使用寿命时的性能不受保证。
- (3) 产品预发布
- (4) 高级信息

5 器件比较表

通用器件型号	电荷泵 F_{SW}	输出电压范围	外部补偿
TPS7H1301	500kHz	-6V 至 -0.6V	是
TPS7H1302	1000kHz	-1.8V (固定)	否

6 引脚配置和功能

TPS7H1301



TPS7H1302

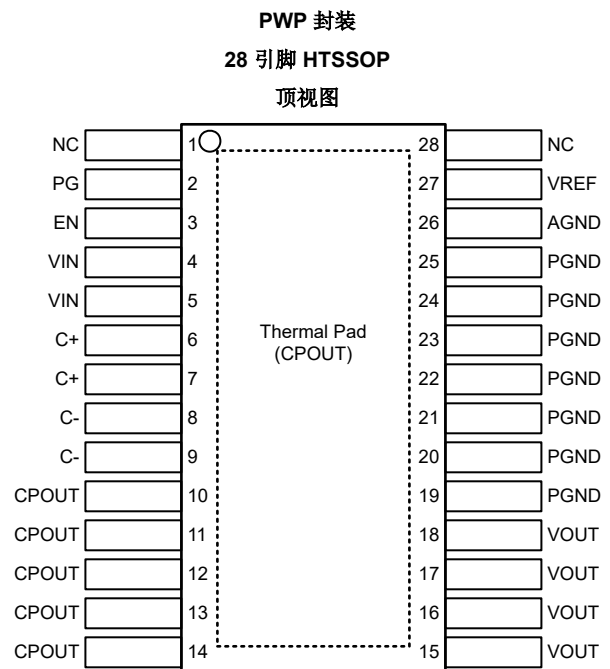
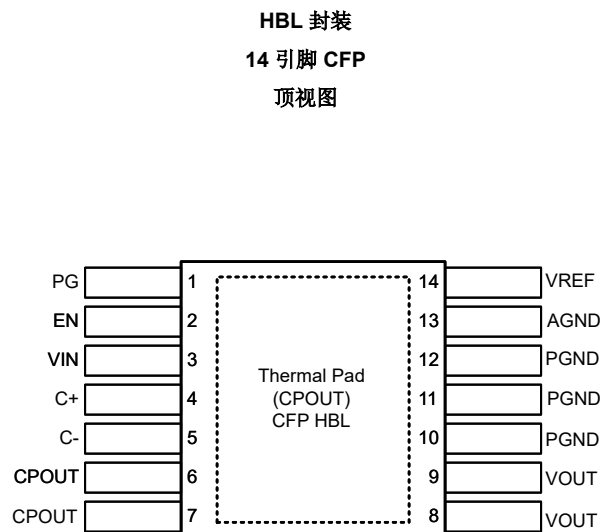


表 6-1. TPS7H1301 引脚功能表

引脚			类型 ⁽¹⁾	说明
名称	HBL (14) 编号	PWP (28) 编号		
PG	1	2	O	电源正常状态指示器。PG 引脚连接至内部 MOSFET 的漏极端子，当不满足电源正常指示的标准时，该引脚会将施加的外部电压拉至 GND。使用上拉电阻器将此引脚上拉至 VIN 或期望的逻辑电平。未使用时，建议将 PG 短接至 PGND，PG 引脚可以保持悬空状态。
EN	2	3	I	使能。将此引脚驱动为逻辑高电平可启用器件；将引脚驱动为逻辑低电平可禁用器件。如果不需要启用功能，则将此引脚连接至 VIN。请勿将该引脚悬空。
VIN	3	4.5	P	正电源输入；将 10 μ F 低 ESR 陶瓷电容器连接至 VIN 和 PGND。大于 10 μ F 的输入电容可用于减少电荷泵引起的纹波。
C+	4	6.7	P	飞跨电容器的正极端子，将 1 μ F 低 ESR 陶瓷电容器连接到 C+ 和 C-。
C-	5	8.9	P	飞跨电容器的负极端子，将 1 μ F 低 ESR 陶瓷电容器连接到 C+ 和 C-。
CPOUT	6	10 至 12	P	负非稳压电荷泵输出电压，从外部连接到 CPOUTA。将 10 μ F 低 ESR 陶瓷电容器连接至 CPOUT - CPOUTA 节点和 PGND
CPOUTA	7	13, 14	P	集成 LDO 的负电压输入，从外部连接到 CPOUT。将 10 μ F 低 ESR 陶瓷电容器连接至 CPOUT-CPOUTA 节点和 PGND
VREF	14	27	O	基准引脚，输出额定电压 -0.6V。在 VREF 和 AGND 之间连接一个 47nF 陶瓷电容器。
AGND	13	26	P	模拟接地 (0V) 连接。
PGND	11, 12	20 至 25	P	电荷泵电源接地 (0V) 连接。
STAB	10	19	O	STAB 引脚直接连接到内部 OTA (运算跨导) 误差放大器的输出，有助于测量或优化控制环路。标准补偿网络可应用于 STAB (请参阅节 10.2.2.6)；但是，22 μ F 的输出电容通常可以实现高稳定性裕度，无需外部补偿网络。
VOUT	9	16 至 18	P	输出功率引脚。稳定输出电压。建议使用单个 22 μ F 或两个 10 μ F 陶瓷电容器。通常支持 10 μ F 至 100 μ F 之间的电容值；根据输出电容器、输入电压、输出电压设置和负载电流，使用 STAB 引脚可以进一步提升稳定性。
VFB	8	15	I	通过分压器连接输出电压反馈输入。有关如何调节 LDO 输出的指南，请参阅节 9.3.5。
NC	不适用	1, 28	—	无连接。这些引脚未在内部连接。建议将这些引脚连接至 PGND 以防止电荷积聚；但是，这些引脚也可以保持断开或连接至 CPOUT 和 VIN 之间的任何电压。
散热焊盘	—	—	—	到 CPOUT 的低电阻抗路径。建议将散热焊盘连接到一个较大的平面，以便实现有效散热。这种连接可以是与 CPOUT 的电气连接，也可以是电气隔离。散热焊盘内部连接到 CPOUT。
金属盖	Lid	不适用	—	盖子从内部通过密封圈连接到散热焊盘和 CPOUT。

(1) I = 输入，O = 输出，P = 电源，I/O = 输入或输出，- = 其他

表 6-2. TPS7H1302 引脚功能表

引脚			类型 ⁽¹⁾	说明
名称	HBL (14) 编号	PWP (28) 编号		
PG	1	2	O	电源正常状态指示器。PG 引脚连接至内部 MOSFET 的漏极端子，当不满足电源正常指示的标准时，该引脚会将施加的外部电压拉至 GND。使用上拉电阻器将此引脚上拉至 VIN 或期望的逻辑电平。未使用时，建议将 PG 短接至 PGND，PG 引脚可以保持悬空状态。
EN	2	3	I	使能。将此引脚驱动为逻辑高电平可启用器件；将引脚驱动为逻辑低电平可禁用器件。如果不需要启用功能，则将此引脚连接至 VIN。请勿将该引脚悬空。
VIN	3	4.5	P	正电源输入；将 10 μ F 低 ESR 陶瓷电容器连接至 VIN 和 PGND。大于 10 μ F 的输入电容可用于减少电荷泵引起的纹波。
C+	4	6.7	P	飞跨电容器的正极端子，将一个 470nF 或两个 220nF 低 ESR 陶瓷电容器连接到 C+ 和 C-。
C-	5	8.9	P	飞跨电容器的负极端子。
CPOUT	6	10 至 12	P	负非稳压电荷泵输出电压，从外部连接到 CPOUTA。将 4.7 μ F 或两个 2.2 μ F 低 ESR 陶瓷电容器连接到 CPOUT-CPOUTA 节点和 PGND
CPOUTA	7	13, 14	P	集成 LDO 的负电压输入，从外部连接到 CPOUT。将一个 4.7 μ F 或两个 2.2 μ F 低 ESR 陶瓷电容器连接到 CPOUT-CPOUTA 节点和 PGND
VREF	14	27	O	基准引脚，输出额定电压 -0.6V。在 VREF 和 AGND 之间连接一个 47nF 陶瓷电容器。
AGND	13	26	P	模拟接地 (0V) 连接。
PGND	10 至 12	19 至 25	P	电荷泵的电源接地 (0V) 连接。
VOOUT	8, 9	15 至 18	P	输出电源引脚；稳压输出电压为 -1.8V (典型值)。建议使用一个 22 μ F 或两个 10 μ F 陶瓷电容器。通常支持 10 μ F 至 100 μ F 之间的电容值。
NC	不适用	1, 28	—	无连接。这些引脚未在内部连接。建议将这些引脚连接至 PGND 以防止电荷积聚；但是，这些引脚也可以保持断开或连接至 CPOUT 和 VIN 之间的任何电压。
散热焊盘	—	—	—	在内部连接到 CPOUT。建议将散热焊盘连接到一个较大的平面，以便实现有效散热。这种连接可以是与 CPOUT 的电气连接，也可以是电气隔离。散热焊盘内部连接到 CPOUT。
金属盖	Lid	不适用	—	盖子从内部通过密封圈连接到散热焊盘和 CPOUT。

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
输入电压	VIN	-0.3	7.5	V
	EN	-0.3	7.5	
	PG	-0.3	7.5	
	VFB (仅限 TPS7H1301)	-7.5	0.3	
	CPOUTA	-6.8	0.3	
输出电压	VREF	-3.6	0.3	V
	STAB (仅限 TPS7H1301)	CPOUT	CPOUT +7.5	
	C+	GND-0.3	VIN	
	C-	CPOUT	GND+0.3	
	CPOUT	-6.8	0.3	
	VOUT	-6.8	0.3	
输入电流	IN	0	600	mA
输出电流	OUT	0	600	mA
T _{STG}	贮存温度	-65	150	°C
T _J	结温	-55	150	°C

- (1) 超出“绝对最大额定值”运行可能会对器件造成永久损坏。“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。

7.2 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⁾	±1000	V
		充电器件模型 (CDM), 符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-002 标准 ⁽²⁾	±250	

- (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
输入电压	VIN	3		6.3	V
	EN	0		7	
	PG	0		7	
	CPOUTA ^{(1) (3)}	-6.3		-2	
输出电压	VOUT (TPS7H1301)	-6		-0.6	V
	CPOUT ^{(1) (3)}	-6.3		-2	
	VOUT (TPS7H1302) ⁽²⁾		-1.8		
I _{OUT}	输出电流	0		400	mA
T _J	结温	-55		125	°C

- (1) CFLY 和 CPOUT 的电容器选择会影响 CPOUT 上的总电荷泵电阻、压降和总体电压；有关压降电压计算公式，请参阅“应用”部分。
(2) 请参阅电气特性表中的精度规格，以了解 TPS7H1302 的 V_{OUT} 工作范围。
(3) V_{CPOUT(min)} 表示在 75mA 负载电流下保持 -1.8V 输出电压稳压所需的最小电荷泵输出电压幅度。

7.4 热性能信息

热指标 ⁽¹⁾		TPS7H1301-SP TPS7H1302-SP	TPS7H1301-SP、SEP TPS7H1302-SP、SEP	单位
		CFP HBL	PWP (HTSSOP)	
		14	28	
R _{θJA}	结至环境热阻	25.1	24.4	°C/W
R _{θJC(top)}	结至外壳（顶部）热阻	6.3	15.8	°C/W
R _{θJB}	结至电路板热阻	9.3	6.4	°C/W
Ψ _{JT}	结至顶部特征参数	1.4	0.2	°C/W
Ψ _{JB}	结至电路板特征参数	9.1	6.4	°C/W
R _{θJC(bot)}	结至外壳（底部）热阻	0.5	0.7	°C/W

- (1) 有关新旧热指标的更多信息，请参阅半导体和 IC 封装热指标应用手册。

7.5 电气特性

在 $3V \leq V_{IN} \leq 6.3V$ 、 $V_{OUT(SET)} = -1.8V$ (TPS7H1302 为固定输出；TPS7H1301 通过 $R_{FB(TOP)} = 2k\Omega$ 、 $R_{FB(BOT)} = 1k\Omega$ 设定)、 $I_{OUT} = 10mA$ 、 $C_{REF} = 47nF$ 条件下，以及工作温度范围 ($T_A = -55^\circ C$ 至 $125^\circ C$) 内。典型值为 $T_A = 25^\circ C$ (除非另有说明)；如果 QML RHA 和 SEP 器件存在子组编号，则包括 $T_A = 25^\circ C$ 时的 RLAT⁽¹⁾。

参数		测试条件	子组	最小值	典型值	最大值	单位
电源和电流							
V_{UVLOR}	输入电源 UVLO 上升			2.7			V
V_{UVLOF}	输入电源 UVLO 下降			2.53			
$V_{UVLO(HYS)}$	输入电源 UVLO 磁滞			220			mV
I_Q	静态电流	TPS7H1301 $I_{OUT} = 0A$, $V_{EN} = 7V$	1、2、3	15	45		mA
		TPS7H1302 ⁽²⁾ $I_{OUT} = 0A$, $V_{EN} = 7V$	1、2、3	12	45		
I_{SHDN}	关断电流	$V_{EN} = 0V$, $I_{OUT} = 0A$	1、2、3	0.8	1.5		mA
I_{FB}	反馈漏电流	TPS7H1301 $V_{FB} = -0.6V$	1、2、3	25	100		nA
ENABLE							
$V_{EN(rising)}$	使能上升阈值 (导通)		1、2、3	0.57	0.6	0.625	V
$V_{EN(falling)}$	使能下降阈值 (关断)		1、2、3	0.445	0.5	0.555	V
$t_{EN(delay)}$	EN 传播延迟	$V_{IN} = 5V$, $V_{OUT} = -1.8V$ 时 EN 高电平至 PG 高电平	1、2、3		14	18	ms
$I_{EN(LKG)}$	使能漏电流	$V_{EN} = 7V$	1、2、3	25	330		nA
$T_{SD(enter)}$	热关断进入温度			160			$^\circ C$
$T_{SD(exit)}$	热关断退出温度			130			$^\circ C$
电源正常							
$V_{PG(rise)}$	电源正常上升阈值占 V_{OUT} 的百分比	转换率 $V_{OUT} = 10V/s$	1、2、3	91.8%	94.8%	98.05%	
$V_{PG(fall)}$	电源正常下降阈值占 V_{OUT} 的百分比	转换率 $V_{OUT} = 10V/s$	1、2、3	86.25%	90%	94.1%	
$V_{PG(OL)}$	电源正常状态输出低电平	$I_{PG(SINK)} = 2mA$	1、2、3	90	190		mV
$V_{IN(MIN_PG)}$	有效 PG ($V_{PG} = 0.5V$) 的最小 V_{IN}	$I_{PG(sink)} = 0.5mA$	1、2、3	0.8	1		V
$I_{PG(LKG)}$	电源正常状态泄漏	TPS7H1301 $V_{PG} = 7V$, $V_{FB} = -0.6V$ TPS7H1302 $V_{PG} = 7V$, $V_{OUT} = -1.8V$	1、2、3	0.05	2		μA

7.5 电气特性 (续)

在 $3V \leq V_{IN} \leq 6.3V$ 、 $V_{OUT(SET)} = -1.8V$ (TPS7H1302 为固定输出；TPS7H1301 通过 $R_{FB(TOP)} = 2k\Omega$ 、 $R_{FB(BOT)} = 1k\Omega$ 设定)、 $I_{OUT} = 10mA$ 、 $C_{REF} = 47nF$ 条件下，以及工作温度范围 ($T_A = -55^\circ C$ 至 $125^\circ C$) 内。典型值为 $T_A = 25^\circ C$ (除非另有说明)；如果 QML RHA 和 SEP 器件存在子组编号，则包括 $T_A = 25^\circ C$ 时的 RLAT⁽¹⁾。

参数		测试条件			子组	最小值	典型值	最大值	单位
电荷泵									
R _{DISCHARGE}	C _{POUT} 放电电阻	C _{CPOUT} = 10μF	V _{CPOUT} = - 0.3V			75			Ω
t _{DISCHARGE}	C _{POUT} 放电时间 (C _{POUT} = - 0.3V) 至 GND	C _{CPOUT} = 10μF				6.5			ms
f _{SW}	开关频率 (TPS7H1301)				9、10、11	400	500	600	kHz
f _{SW}	开关频率 (TPS7H1302) ⁽²⁾				9、10、11	800	1000	1200	kHz
f _{SW(FB)}	折返模式开关频率 (TPS7H1301)					125			kHz
f _{SW(FB)}	折返模式开关频率 (TPS7H1302) ⁽²⁾					250			kHz
R _{DS(ON1)}	开关阵列 MOSFET1 漏源电阻	I _{RDS(ON)} = 100mA V _{IN} = 5V			1、2、3	300		480	mΩ
R _{DS(ON2)}	开关阵列 MOSFET2 漏源电阻					175		345	
R _{DS(ON3)}	开关阵列 MOSFET3 漏源电阻					235		300	
R _{DS(ON4)}	开关阵列 MOSFET4 漏源电阻					220		370	
R _{CP(OUT)}	至 C _{POUT} 的输出电阻 (TPS7H1301)	C _{FLY} = 1μF , C _{CPOUT} = 10μF , C _{OUT} = 22μF	I _L = 150mA	V _{IN} = 3V		4.5		Ω	
			I _L = 250mA	V _{IN} = 5V		3.5			
				V _{IN} = 6.3V		3.1			
R _{CP(OUT)}	至 C _{POUT} 的输出电阻 (TPS7H1302) ⁽²⁾	C _{FLY} = 0.47μF , C _{CPOUT} = 4.7μF , C _{OUT} = 22μF	I _L = 150mA	V _{IN} = 3V		4.8		Ω	
			I _L = 250mA	V _{IN} = 5V		3.7			
				V _{IN} = 6.3V		3.3			
V _{DROOP}	压降电压 V _{DROOP} = V _{IN} - V _{CPOUT} (TPS7H1301)	C _{FLY} = 1μF , C _{CPOUT} = 10μF , C _{OUT} = 22μF	V _{IN} = 3V ⁽⁴⁾	I _{OUT} = 10mA		135		mV	
				I _{OUT} = 250mA		1260			
			V _{IN} = 5V	I _{OUT} = 10mA		105			
				I _{OUT} = 400mA		1400			
			V _{IN} = 6.3V	I _{OUT} = 10mA		93			
				I _{OUT} = 400mA		1240			
V _{DROOP}	压降电压 V _{DROOP} = V _{IN} - V _{CPOUT} (TPS7H1302) ⁽²⁾	C _{FLY} = 0.47μF , C _{CPOUT} = 4.7μF , C _{OUT} = 22μF	V _{IN} = 3V ⁽⁴⁾	I _{OUT} = 10mA		144		mV	
				I _{OUT} = 250mA		1344			
			V _{IN} = 5V	I _{OUT} = 10mA		111			
				I _{OUT} = 400mA		1591			
			V _{IN} = 6.3V	I _{OUT} = 10mA		100			
				I _{OUT} = 400mA		1420			

7.5 电气特性 (续)

在 $3V \leq V_{IN} \leq 6.3V$ 、 $V_{OUT(set)} = -1.8V$ (TPS7H1302 为固定输出；TPS7H1301 通过 $R_{FB(TOP)} = 2k\Omega$ 、 $R_{FB(BOT)} = 1k\Omega$ 设定)、 $I_{OUT} = 10mA$ 、 $C_{REF} = 47nF$ 条件下，以及工作温度范围 ($T_A = -55^\circ C$ 至 $125^\circ C$) 内。典型值为 $T_A = 25^\circ C$ (除非另有说明)；如果 QML RHA 和 SEP 器件存在子组编号，则包括 $T_A = 25^\circ C$ 时的 RLAT⁽¹⁾。

参数		测试条件		子组	最小值	典型值	最大值	单位
压降								
I _{DO}	压降电流 (TPS7H1301) ⁽³⁾	V _{OUT(set)} = - 1.8V I _{OUT(meas.)} = 98% × V _{OUT(NOM)}	V _{IN} = 3V	1、 2、 3	75	125		mA
			V _{IN} = 3.3V	1、 2、 3	100	150		
			V _{IN} = 4V	1、 2、 3	200	300		
			V _{IN} = 5V	1、 2、 3	400			
			V _{IN} = 6V	1、 2、 3	400			
	V _{OUT(set)} = - 5V I _{OUT(meas.)} = 98% × V _{OUT(NOM)}	V _{IN} = 5.5V	1、 2、 3	40	50			
		V _{IN} = 6.3V	1、 2、 3	250	300			
	压降电流 (TPS7H1302) ⁽³⁾ ⁽²⁾	V _{OUT(set)} = - 1.8V I _{OUT(meas.)} = 98% × V _{OUT(NOM)}	V _{IN} = 3V	1、 2、 3	75	125		
			V _{IN} = 3.3V	1、 2、 3	100	150		
			V _{IN} = 4V	1、 2、 3	200	300		
		V _{OUT(set)} = - 1.8V I _{OUT(meas.)} = 97% × V _{OUT(NOM)}	V _{IN} = 5V	1、 2、 3	400			
			V _{IN} = 6V	1、 2、 3	400			
	精度							
V _{ACC}	输出电压精度 (TPS7H1301)	- 5V ≤ V _{OUT} ≤ V _{CP(OUT)} - V _{DO} 1mA ≤ I _{OUT} ≤ 400mA		1、 2、 3	-1.5%		1.5%	
V _{ACC}	输出电压精度 (TPS7H1302) ⁽²⁾	1mA ≤ I _{OUT} ≤ 250mA		1、 2、 3	-1.5%		1.5%	
		400mA		1、 2、 3	-1.5%		2%	
Δ V _{OUT} / Δ V _{IN}	线路调整	3.3V ≤ V _{IN} ≤ 6.3V	Δ V = 3V I _{OUT} = 150mA	1、 2、 3		100	1300	μV/V
Δ V _{OUT} / Δ I _{OUT}	负载调整 (TPS7H1301)	10mA ≤ I _{OUT} ≤ 400mA V _{IN} = 5V , V _{OUT} = -1.8V		1、 2、 3		8	35	mV/A
	负载调整 (TPS7H1302) ⁽²⁾	10mA ≤ I _{OUT} ≤ 400mA V _{IN} = 5V , V _{OUT} = -1.8V		1、 2、 3		24	90	mV/A
V _{REF}	内部基准电压	(TPS7H1301)		1、 2、 3	-0.609	-0.600	-0.591	V
		(TPS7H1302)		1、 2、 3	-0.610	-0.600	-0.593	
稳定性								
GM	增益裕度 (TPS7H1301)	V _{IN} = 5V , V _{OUT} = - 1.8V , I _{OUT} = 250mA , C _{OUT} = 22μF , C _{FLY} = 1μF , C _{P(OUT)} = 10μF T _A = 25℃ , 无外部补偿				31		dB
PM	相位裕度 (TPS7H1301)	V _{IN} = 5V , V _{OUT} = - 1.8V , I _{OUT} = 250mA , C _{OUT} = 22μF , C _{FLY} = 1μF , C _{P(OUT)} = 10μF T _A = 25℃ , 无外部补偿				58		°

7.5 电气特性 (续)

在 $3V \leq V_{IN} \leq 6.3V$ 、 $V_{OUT(SET)} = -1.8V$ (TPS7H1302 为固定输出；TPS7H1301 通过 $R_{FB(TOP)} = 2k\Omega$ 、 $R_{FB(BOT)} = 1k\Omega$ 设定)、 $I_{OUT} = 10mA$ 、 $C_{REF} = 47nF$ 条件下，以及工作温度范围 ($T_A = -55^\circ C$ 至 $125^\circ C$) 内。典型值为 $T_A = 25^\circ C$ (除非另有说明)；如果 QML RHA 和 SEP 器件存在子组编号，则包括 $T_A = 25^\circ C$ 时的 RLAT⁽¹⁾。

参数	测试条件	子组	最小值	典型值	最大值	单位
纹波、噪声和 PSRR						
PSRR _{LDO}	LDO 电源抑制比	$V_{CPOUT} = -5V$, $V_{OUT} = -1.8V$, $I_{OUT} = 250mA$	$f_{ripple} = 100Hz$		60	dB
			$f_{ripple} = 1kHz$		58	dB
			$f_{ripple} = 10kHz$		47	dB
			$f_{ripple} = 100kHz$		45	dB
			$f_{ripple} = 500kHz$		26	dB
			$f_{ripple} = 1MHz$		26	dB
$V_{RIP(CP)}$	电荷泵处的电压纹波 (BW < 2Mhz)	$I_{OUT} = 400mA$ $V_{IN} = 5V$ $V_{OUT} = -1.8V$		120		mV _{PP}
$V_{RIP(OUT)}$	器件输出端的电压纹波 (BW < 2Mhz)	$I_{OUT} = 400mA$ $V_{IN} = 5V$ $V_{OUT} = -1.8V$		3		mV _{PP}
V_{N_OUT}	输出噪声电压 (带宽为 10Hz 至 100kHz)	$V_{IN} = 5V$, $V_{OUT} = -1.8V$, $I_{OUT} = 250mA$		20		μV_{RMS}

- (1) 有关 QML RHA 器件的额外信息，请参阅 5962R2421501 SMD，有关 SEP 器件的额外信息，请参阅 VID。
- (2) 预告信息
- (3) 请参阅[参数测量信息](#)
- (4) $V_{IN} = 3V$ 时没有固有的电荷泵电流限制，输出电流以 250mA 为特征以适应 -1.8V 时的 LDO 余量。

7.6 质量合格检验

MIL-STD-883, 方法 5005 - 组 A

子组	说明	温度 (°C)
1	静态测试	25
2	静态测试	125
3	静态测试	-55
4	动态测试	25
5	动态测试	125
6	动态测试	-55
7	功能测试	25
8A	功能测试	125
8B	功能测试	-55
9	开关测试	25
10	开关测试	125
11	开关测试	-55

7.7 典型特性

$V_{IN} = 5V$, $V_{OUT} = -1.8V$, $T_A = 25^\circ C$, $C_{REF} = 47nF$, $C_{FLY} = 1\mu F$, $C_{CPOUT} = 10\mu F$ 且 $C_{OUT} = 22\mu F$, 无 R_{COMP} , 无 C_{COMP} , 除非另有说明。

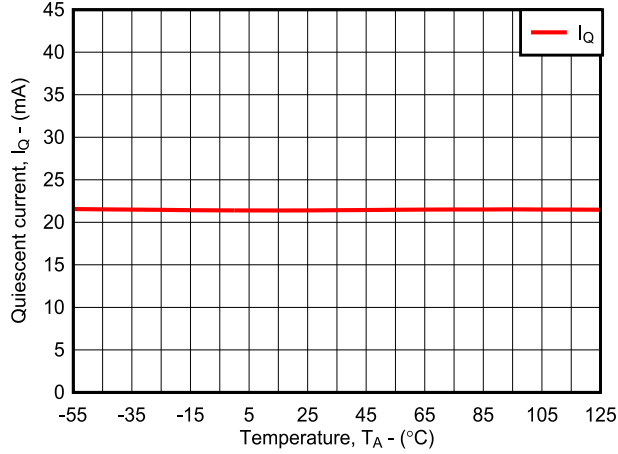


图 7-1. 静态电流与温度之间的关系 - TPS7H1301

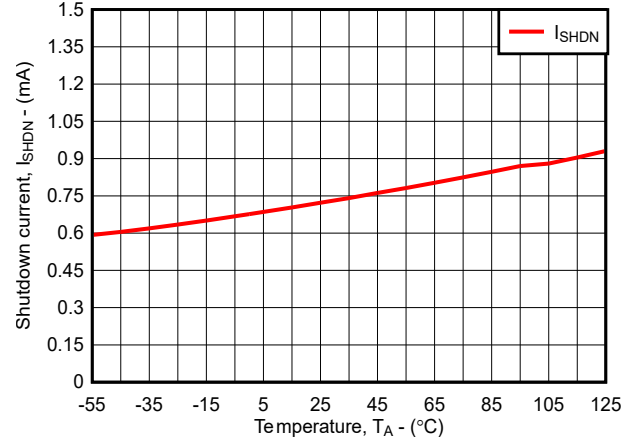


图 7-2. 关断电流与温度间的关系 - TPS7H1301

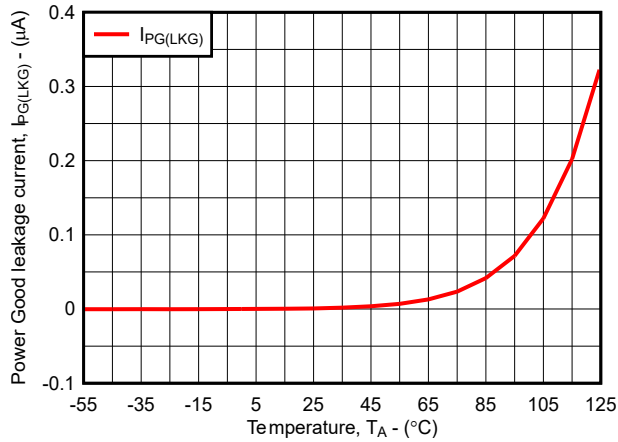


图 7-3. 电源正常泄漏电流与温度间的关系

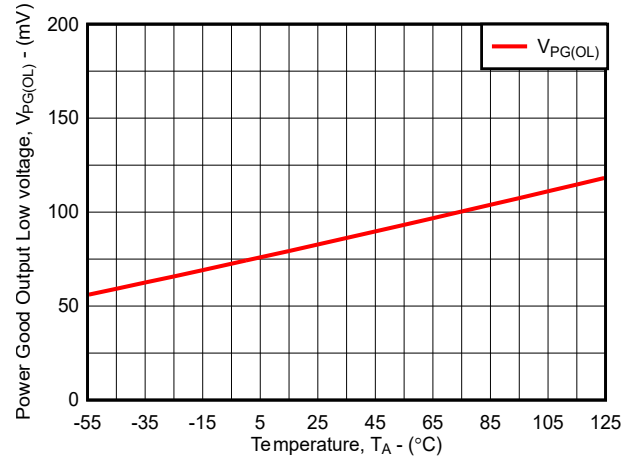


图 7-4. 电源正常输出低电平与温度间的关系

7.7 典型特性 (续)

$V_{IN} = 5V$, $V_{OUT} = -1.8V$, $T_A = 25^\circ C$, $C_{REF} = 47nF$, $C_{FLY} = 1\mu F$, $C_{CPOUT} = 10\mu F$ 且 $C_{OUT} = 22\mu F$, 无 R_{COMP} , 无 C_{COMP} , 除非另有说明。

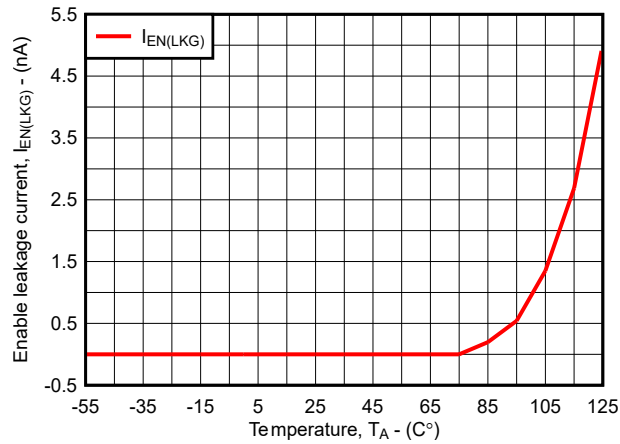


图 7-5. 使能漏电流与温度间的关系

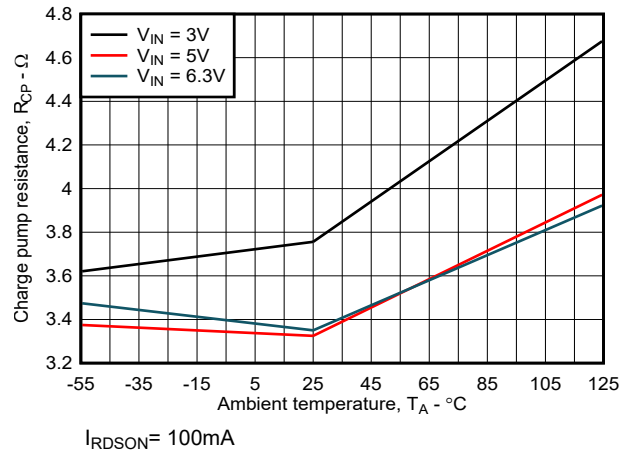


图 7-6. 电荷泵电阻 R_{CP} 与温度间的关系

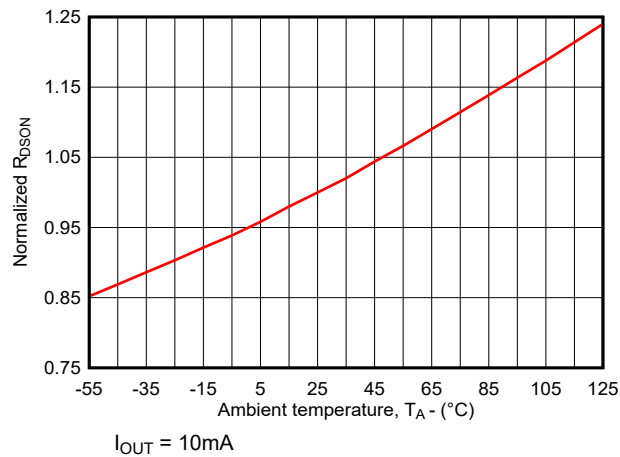


图 7-7. 标准化 $R_{DS(on)}$ 与温度间的关系

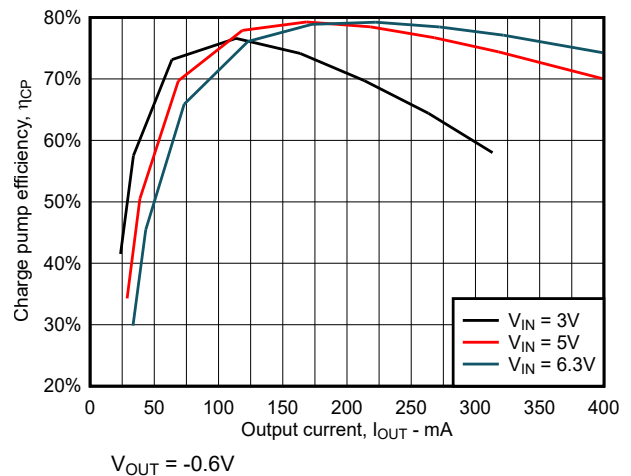


图 7-8. 电荷泵效率 (TPS7H1301)

7.7 典型特性 (续)

$V_{IN} = 5V$, $V_{OUT} = -1.8V$, $T_A = 25^\circ C$, $C_{REF} = 47nF$, $C_{FLY} = 1\mu F$, $C_{CPOUT} = 10\mu F$ 且 $C_{OUT} = 22\mu F$, 无 R_{COMP} , 无 C_{COMP} , 除非另有说明。

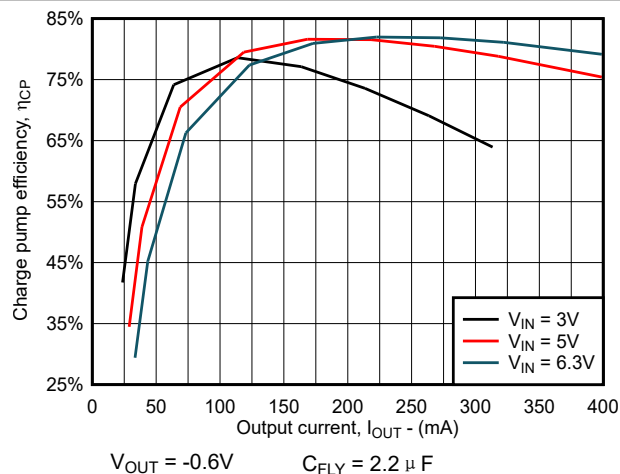


图 7-9. 电荷泵效率 (TPS7H1301)

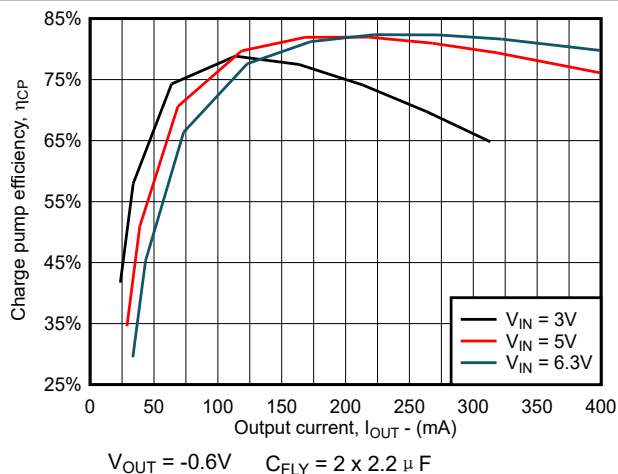


图 7-10. 电荷泵效率 (TPS7H1301)

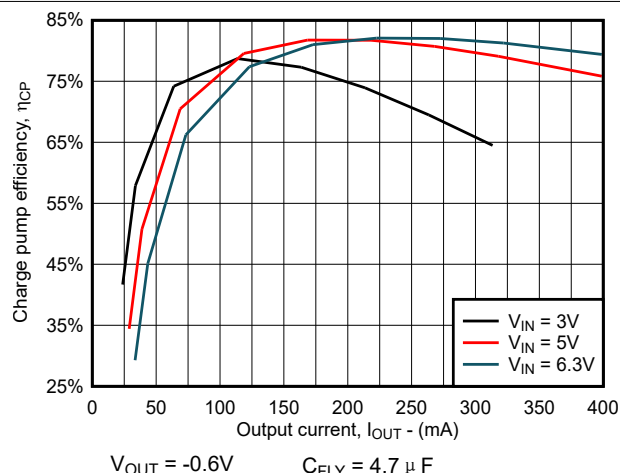


图 7-11. 电荷泵效率 (TPS7H1301)

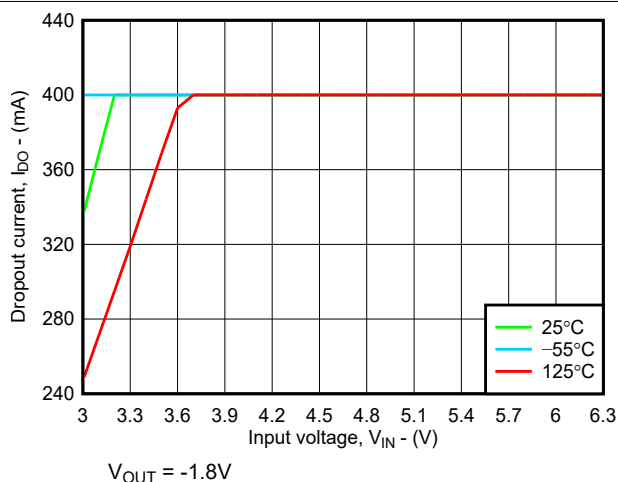


图 7-12. 压降电流与输入电压间的关系 (TPS7H1301)

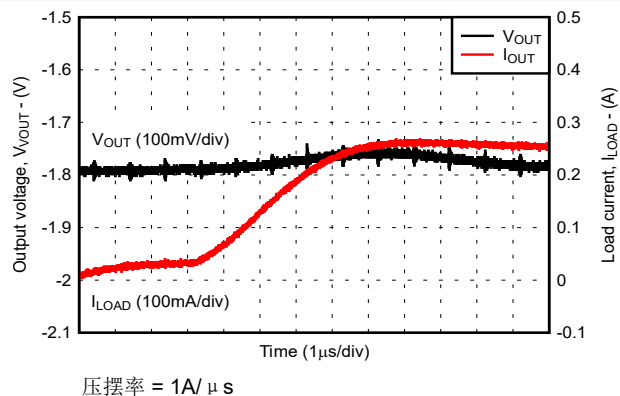


图 7-13. 负载阶跃上升 - TPS7H1301

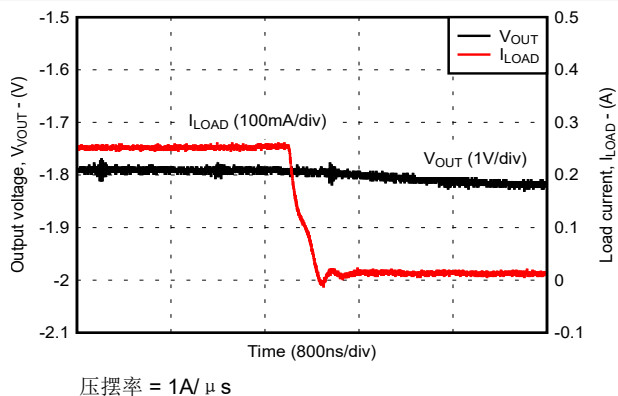


图 7-14. 负载阶跃下降 - TPS7H1301

7.7 典型特性 (续)

$V_{IN} = 5V$, $V_{OUT} = -1.8V$, $T_A = 25^\circ C$, $C_{REF} = 47nF$, $C_{FLY} = 1\mu F$, $C_{CPOUT} = 10\mu F$ 且 $C_{OUT} = 22\mu F$, 无 R_{COMP} , 无 C_{COMP} , 除非另有说明。

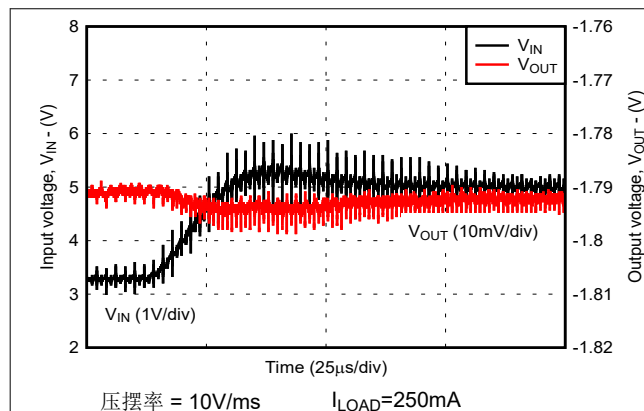


图 7-15. 线路阶跃上升 - TPS7H1301

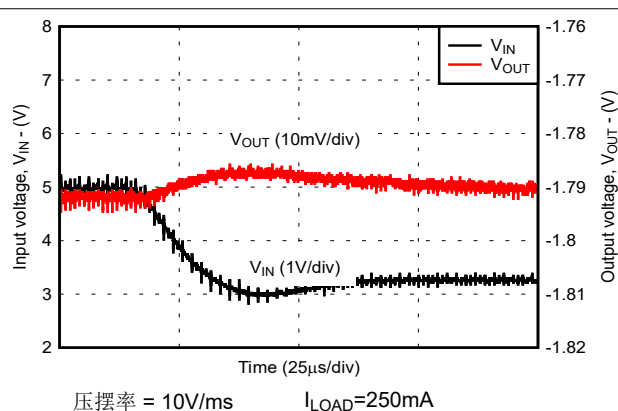


图 7-16. 线路阶跃下降 - TPS7H1301

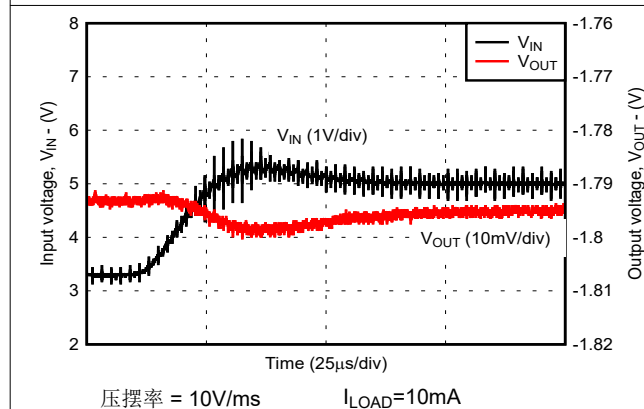


图 7-17. 线路阶跃上升 - TPS7H1301

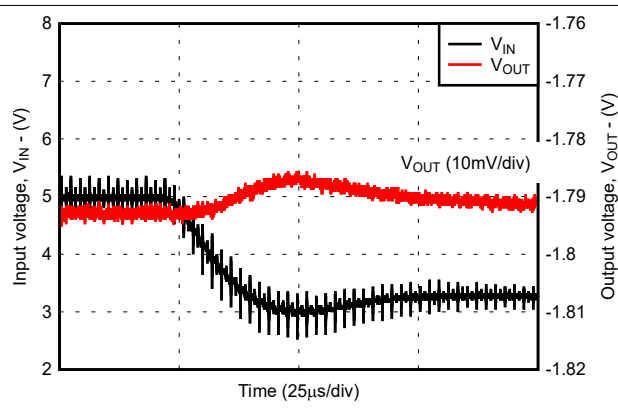


图 7-18. 线路阶跃下降 - TPS7H1301

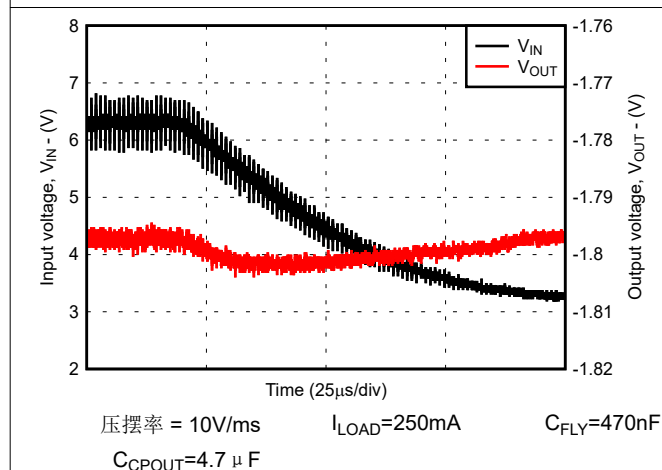


图 7-19. 线路阶跃下降 - TPS7H1302

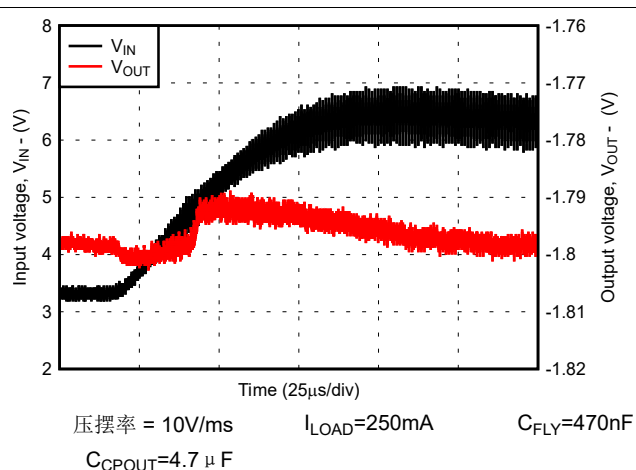


图 7-20. 线路阶跃上升 - TPS7H1302

7.7 典型特性 (续)

$V_{IN} = 5V$, $V_{OUT} = -1.8V$, $T_A = 25^\circ C$, $C_{REF} = 47nF$, $C_{FLY} = 1\mu F$, $C_{CPOUT} = 10\mu F$ 且 $C_{OUT} = 22\mu F$, 无 R_{COMP} , 无 C_{COMP} , 除非另有说明。

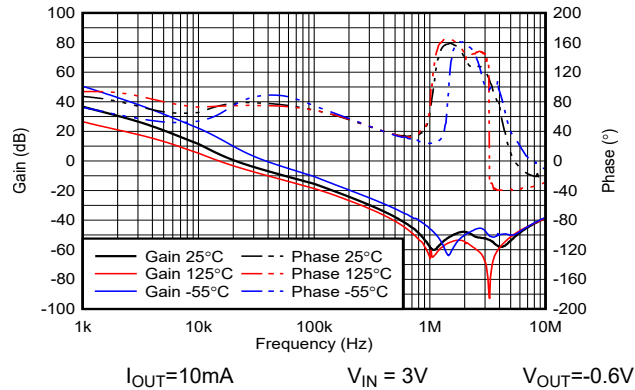


图 7-21. 增益和相位与频率间的关系 (波特图) - TPS7H1301

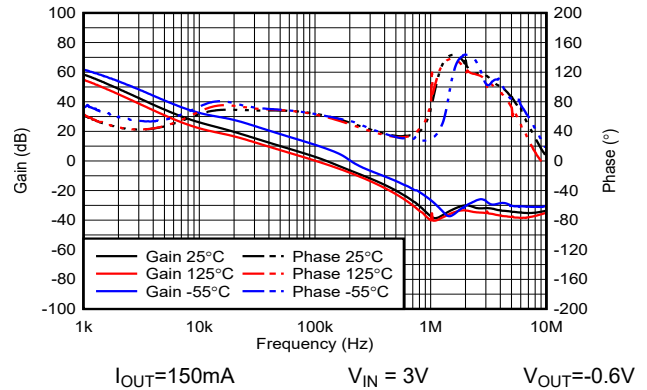


图 7-22. 增益和相位与频率间的关系 (波特图) - TPS7H1301

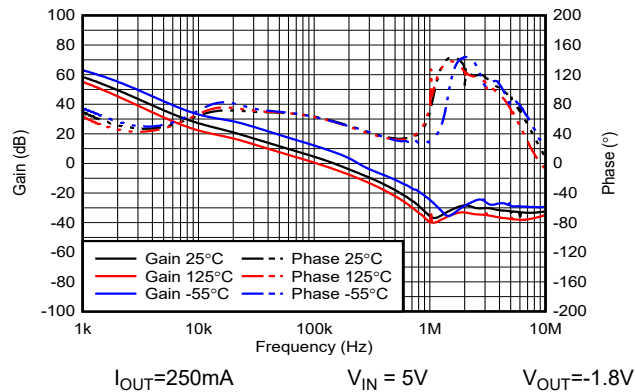


图 7-23. 增益和相位与频率间的关系 (波特图) - TPS7H1301

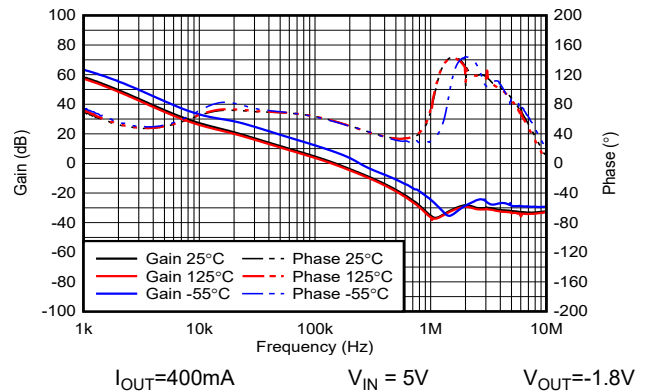


图 7-24. 增益和相位与频率间的关系 (波特图) - TPS7H1301

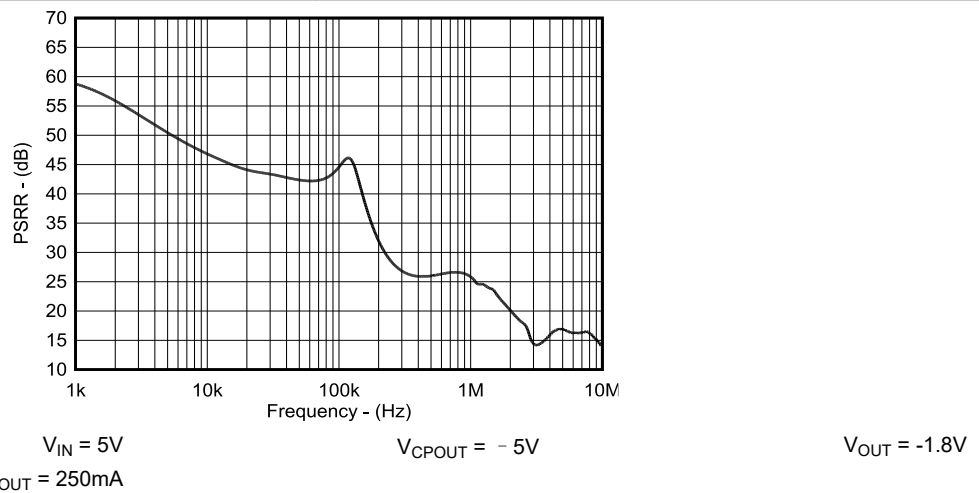
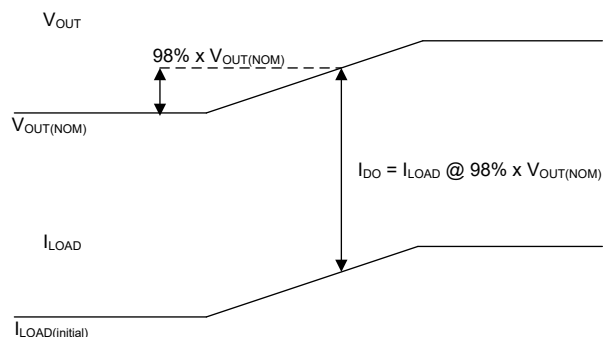


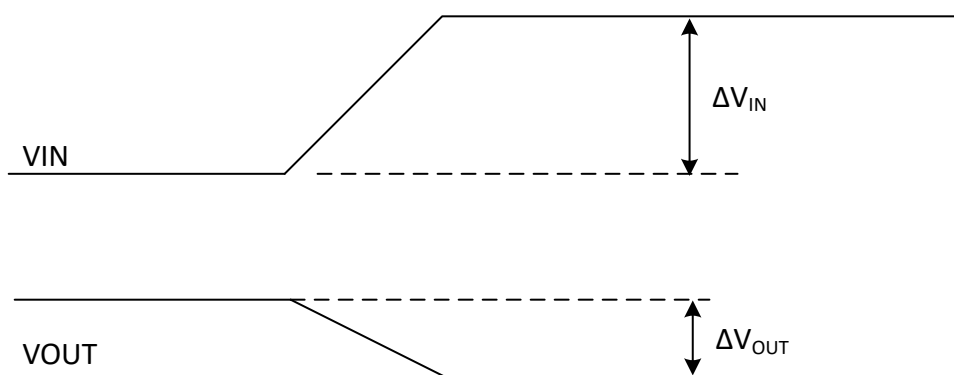
图 7-25. PSRR 与频率间的关系

8 参数测量信息



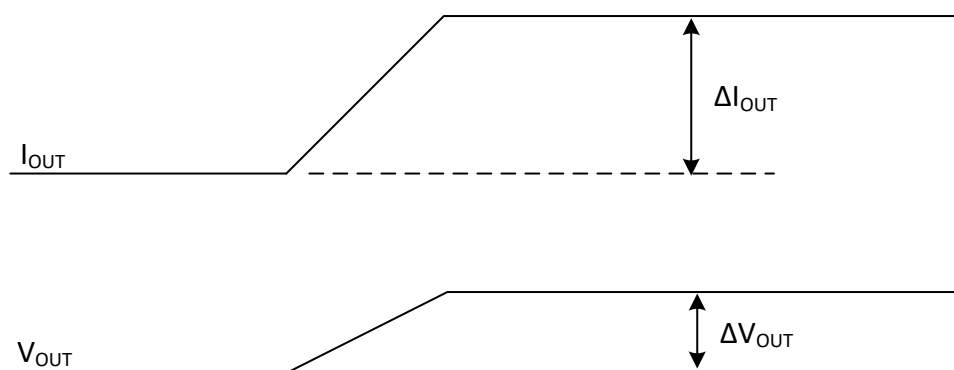
- A. $V_{OUT(NOM)}$ 是测量的输出电压。 V_{LIM} 是允许上升到高于指定 $V_{OUT(NOM)}$ 的输出电压的指定百分比。 I_{LOAD} 是施加到 V_{OUT} 上的负载电流。当 V_{OUT} 降至标称值 ($V_{OUT(NOM)}$) 的 98% 时，将会记录压降电流。

图 8-1. 压降电流测量



- A. 线性调整率 $\Delta V_{OUT} / \Delta V_{IN} = 100\mu V/V$ (典型值)。例如，如果 V_{IN} 发生 1V 的变化 ($\Delta V_{IN} = 1V$)，则 V_{OUT} 会发生 100 μV 的变化 ($\Delta V_{OUT} = 100\mu V$)。线性调整率是一个直流参数；因此，仅在瞬态消失后或 V_{IN} 压摆率较慢时，此波形才视为有效。

图 8-2. 线性调整率测量



- A. 负载调整率： $\Delta V_{OUT} / \Delta I_{OUT} = 8mV/A$ (典型值)。例如，如果 I_{OUT} 发生 100mA 的变化 ($\Delta I_{OUT} = 100mA$)，则 V_{OUT} 会发生 0.8mV (TPS7H1301 的典型值) 的变化 ($\Delta V_{OUT} = 0.8mV$)。负载调整率是一个直流参数；因此，仅在瞬态消失后或 I_{OUT} 压摆率较慢时，此波形才视为有效。

图 8-3. 负载调整率测量

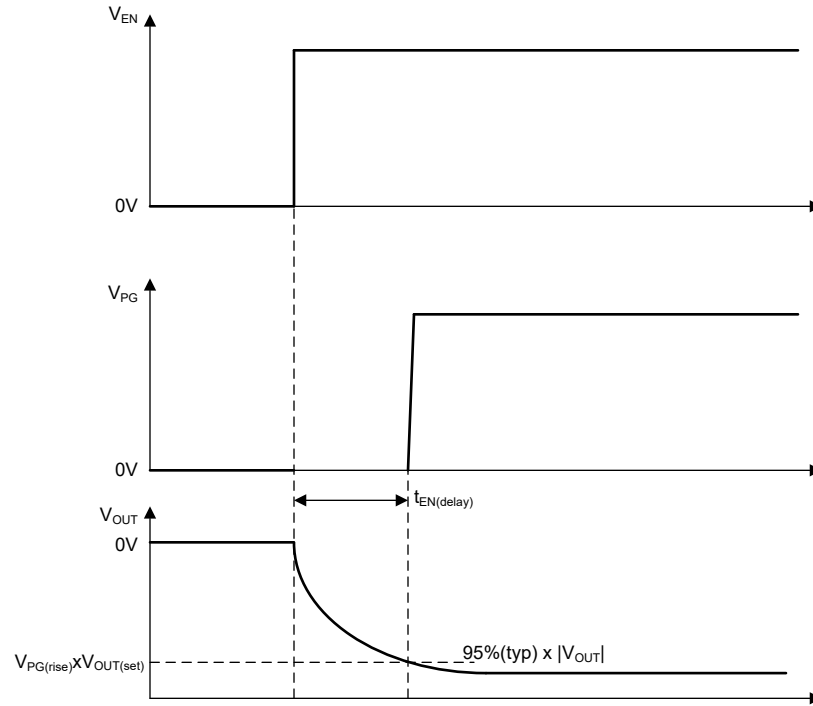


图 8-4. 使能电源正常时序测量

9 详细说明

9.1 概述

TPS7H1301 (可调输出) 和 TPS7H1302 (固定输出) 通过将低压降 (LDO) 稳压器与反相电荷泵相集成来生成精密的负稳压电压。此架构支持原位产生负电压, 无需来自卫星总线的辅助负电源或笨重的反相降压/升压转换器, 使得 TPS7H1301 和 TPS7H1302 非常适合需要高达 400mA 负载电流的负电压应用。电荷泵输出 ($V_{CP\text{OUT}}$) 的 LDO 调节可在输入电压 (V_{IN} 大于 5V) 下实现无压降运行, 同时降低输出电压纹波。

TPS7H1301 (可调输出) TPS7H1301 支持通过 STAB 引脚访问误差放大器输出, 以便在需要进行外部补偿。该器件已在内部进行了补偿, 无需外部补偿即可实现至少 6dB 的增益裕度和 50° 的相位裕度。电荷泵工作频率为 500kHz, 并针对使用 1 μF 陶瓷飞跨电容器 (C_{FLY}) 和 10 μF 电荷泵输出电容器 ($C_{\text{CP\text{OUT}}}$) 进行了优化。输出电压可通过连接至 VFB 引脚的外部反馈电阻器, 在 -6V 至 -0.6V 范围内以 $\pm 1.5\%$ 的精度轻松进行编程。

TPS7H1302 (固定输出) TPS7H1302 利用内部反馈电阻器提供固定的 -1.8V 输出, 精度为 $\pm 1.5\%$, 无需外部电压设置电阻器, 减少了元件数量。电荷泵工作频率为 1MHz, 支持容值更小的更紧凑实现方案: C_{FLY} 为 0.47 μF , $C_{\text{CP\text{OUT}}}$ 为 4.7 μF 。更高的开关频率与集成的反馈网络相结合, 实现了节省空间且具有强大稳定性的实现方案。

9.2 功能方框图

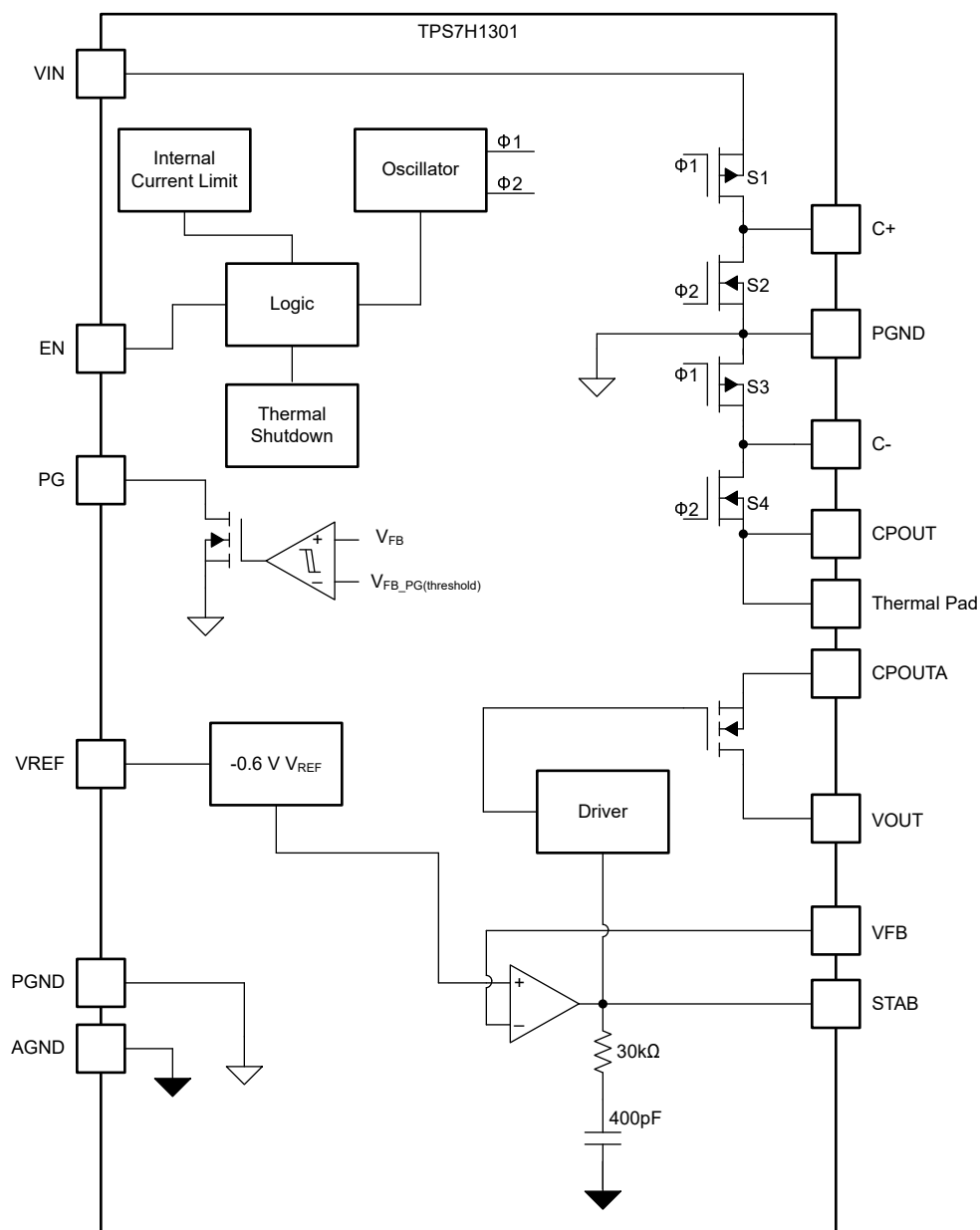


图 9-1. TPS7H1301 功能框图

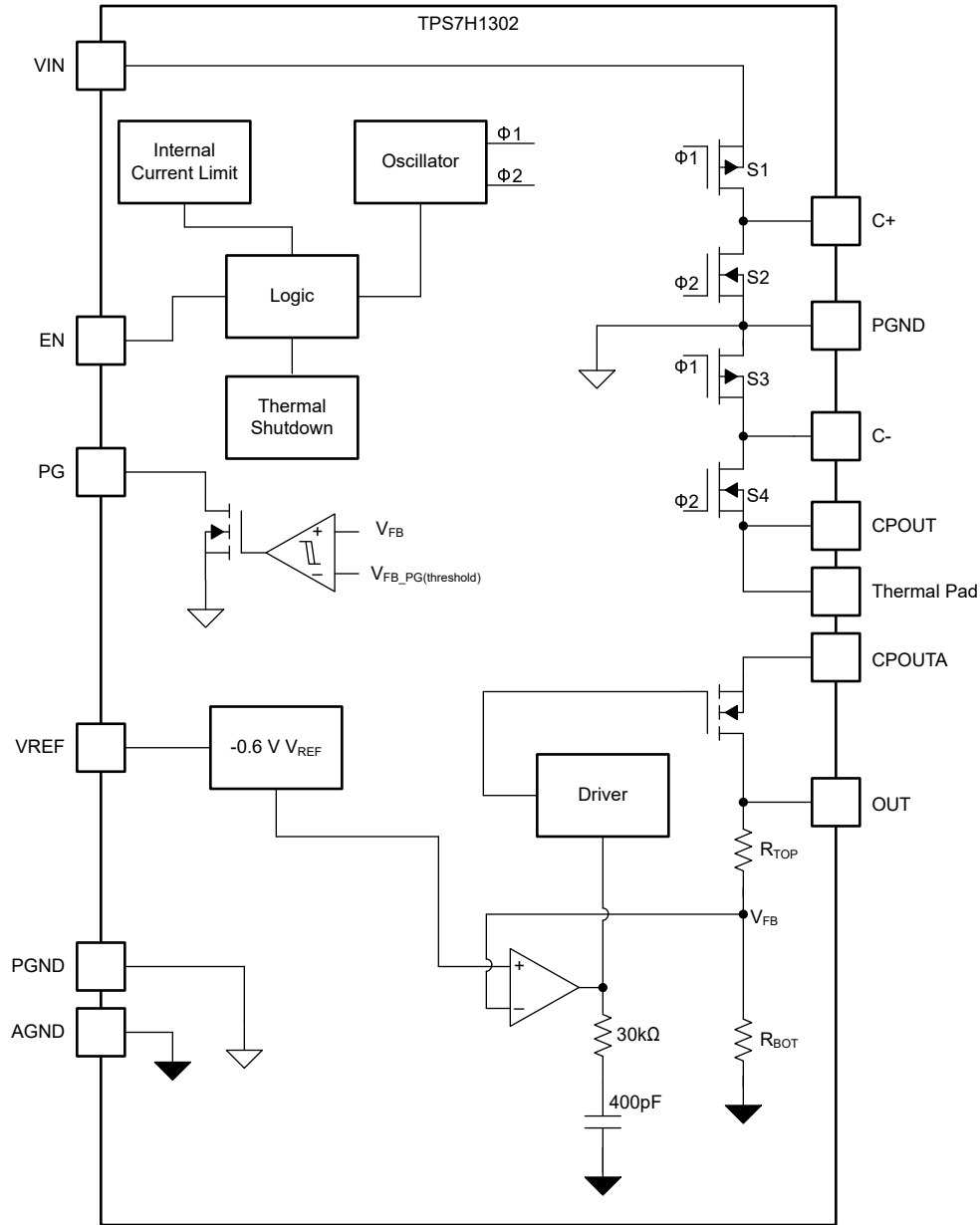


图 9-2. TPS7H1302 功能框图

9.3 特性说明

9.3.1 启用

当使能引脚处于低电平时，器件将进入关断模式，而不会调节输出电压。通常，从 VIN 到 GND 使用一个外部电阻分压器来驱动 EN 引脚。

输入电压的典型 UVLO 上升电压为 2.7V，UVLO 下降电压为 2.53V。

可以将使能引脚直接连接到 VIN；请参阅 [方程式 1](#)，了解所需导通电压下的电阻大小指南。

$$V_{IN(rising)} = V_{EN(rising)} \times (R_{EN(TOP)} + R_{EN(BOT)}) / R_{EN(BOT)} \quad (1)$$

同样，也可以使用 [方程式 2](#) 计算 $V_{IN(falling)}$ 电压。 $V_{IN(rising)}$ 和 $V_{IN(falling)}$ 可被看作可配置的 UVLO (欠压锁定) 阈值。

$$V_{IN(falling)} = V_{EN(falling)} \times (R_{EN(TOP)} + R_{EN(BOT)}) / R_{EN(BOT)} \quad (2)$$

虽然 TPS7H1301 和 TPS7H1302 在 V_{EN} 电压为 0.6V (典型值) 时开始接通，但 TI 建议最终值高于 0.8V。超过 0.8V 的最终导通值可在正常运行期间在使能阈值上方提供适当裕度，从而防止在重离子辐照下发生 SEFI。满足 [方程式 3](#) 即可实现这项建议。

$$V_{IN(final)} \times R_{EN(BOT)} / (R_{EN(TOP)} + R_{EN(BOT)}) = V_{EN(final)} > 0.8V \quad (3)$$

也可以通过微控制器或 FPGA 直接驱动 EN 引脚。使能引脚的低电压阈值有助于支持 1.1V、1.8V、2.5V 和 3.3V 逻辑电平。同样，建议使用高于 0.8V 的最终 V_{EN} 进行直接逻辑电平驱动 (可通过标准逻辑电平实现)。

9.3.2 电荷泵

该电荷泵实现为反相电荷泵，可将 V_{IN} 转换为负电压 (以 PGND 为基准)。

9.3.2.1 电荷泵运行情况

TPS7H1301 和 TPS7H1302 的电压逆变器部分包含四个 CMOS 开关，这些开关按顺序开关，从而实现输入电源电压的逆变。能量的传输与储存则由外部电容器完成。[图 9-3](#) 展示了这些电压开关：S1 和 S2 处于 $\Phi 1$ ，而 S3 和 S4 处于 $\Phi 2$ 。

- CFLY 充电
 - $\Phi 1$ 将开关 S1 连接至 C_{FLY} 的正极端子至 V_{IN} ，开关 S3 将 CFLY 的负极端子连接至 PGND
 - $\Phi 2$ 断开开关 S2 和 S4
- CFLY 反转
 - $\Phi 2$ 将开关 S2 连接至 C_{FLY} 的正极端子至 PGND，开关 S4 将 CFLY 的负极端子连接至 CPOUT
 - $\Phi 1$ 断开开关 S1 和 S3
 - CPOUT 上的结果电压为 $-V_{IN} - R_{CP} \times I_{OUT}$

当接入负载时，输出压降 (V_{DROOP}) 取决于寄生电阻 (MOSFET 开关的 $R_{DS(on)}$ 以及 C_{FLY} 和 C_{CPOUT} 电容器的等效串联电阻 (ESR)) 与电容器之间的电荷传输损耗 (可参阅 [方程式 4](#) 来计算 V_{DROOP} ，电荷泵 R_{CP} 可以使用 [方程式 5](#) 来计算，典型电荷泵值如 [电荷泵电阻](#) 和 [方程式 6](#) 中所示)。

$$V_{DROOP} = I_{LOAD} \times R_{CP} \quad (4)$$

$$R_{CP} = \frac{1}{(f_{SW} \times C_{FLY})} + 2 \times R_{DS(ON_Total)} + 4 \times R_{ESR(CFLY)} + R_{ESR(CPOUT)} \quad (5)$$

$$R_{DS(ON_Total)} = \sum_{i=1}^4 R_{DS(ONi)} \quad (6)$$

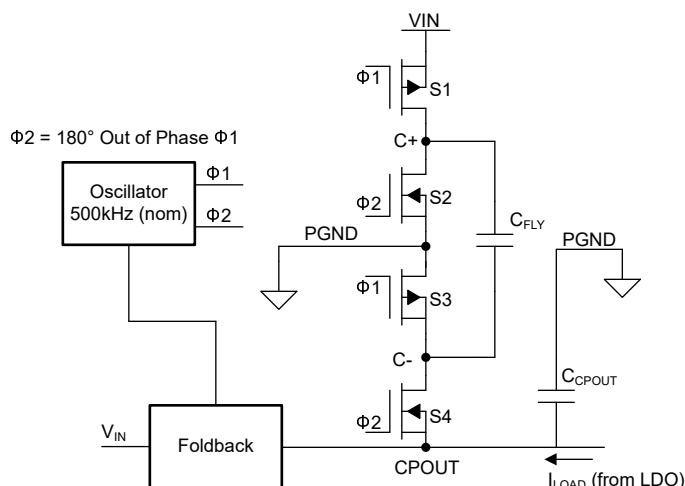


图 9-3. 反相电荷泵

9.3.2.2 折返开关

当 CPOUT (V_{CPOUT}) 上的电压降至输入电压幅度 (V_{IN}) 的 60% 至 80% 以下时, 振荡器开关频率降至标称开关频率的 25%。该频率折返通常在器件启动和短路事件期间发生, 此时 V_{CPOUT} 降至 V_{IN} 幅值的 70% 以下。

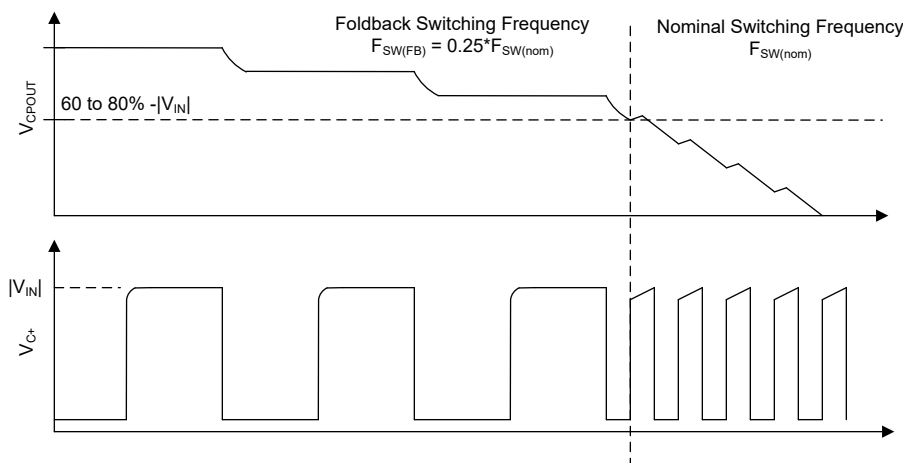


图 9-4. 折返频率

9.3.3 启动

在启动期间, TPS7H1301 和 TPS7H1302 电荷泵开始以频率折返模式进行开关。与此同时, 负压 LDO 进入准软启动模式, 该模式会限制负载电流, 直到频率折返序列退出 (当 $|V_{CPOUT}| > 60\% \text{ 至 } 80\% |V_{IN}|$ 时)。

在频率折返期间, V_{CPOUT} 继续向 V_{IN} 的负幅值逼近, 而 V_{OUT} 电压则保持在初始状态。退出频率折返后, 负压 LDO 的 OTA 激活, 负载电流开始流动, 并启动电源正常条件评估。

9.3.4 电源正常

电源正常端子采用漏极开路配置, 可用于对多个 LDO 进行排序。PG 端子保持下拉, 直到输出电压达到其最终稳压电平的 95% (典型值)。达到该阈值后, PG 引脚将会释放并通过外部上拉电阻器拉至高电平。

由于 PG 引脚采用漏极开路架构, 因此 PG 引脚可以上拉至建议最大值 7V 内的任何电压, 从而为系统级电源时序应用提供灵活的接口选项。

9.3.5 输出电压

TPS7H1301 输出电压可由用户在 -6V 至 -0.6V 范围内进行编程。编程使用具有以下特性的外部电阻分压器网络完成：

- R_{TOP} ：连接在 V_{OUT} 与 V_{FB} 之间
- R_{BOTTOM} ：连接在 V_{FB} 与 GND 之间

根据方程式 7 可确定 V_{OUT} 。

$$V_{OUT} = \frac{(R_{FB(TOP)} + R_{FB(BOT)}) \times V_{FB}}{R_{FB(BOT)}} \quad (7)$$

其中

- $V_{FB} = -0.6V$ (典型值)

TPS7H1302 具有 -1.8V 的固定输出电压，用户不可配置。

9.3.6 压降

对于 -1.8V 的标准输出电压、超过 5V 的输入电压以及低于 200mA 的负载电流，TPS7H1301 和 TPS7H1302 均不会进入压降状态，因为最小输入电压 (V_{IN}) 和压降电压 (V_{Droop}) 提供了足够的余量。

TPS7H1301 和 TPS7H1302 集成了电荷泵和 LDO，这在 LDO 压降方面带来了独特的考量。首先，当 V_{OUT} 远低于 V_{IN} 的幅值时，电荷泵的输出足够大，能够在负载电流范围内提供足够的输入电压余量。通常，输入电压为 5V，输出电压为 -1.8V 或更高，即可满足这一无压降状态。

其次，当 V_{IN} 与 V_{OUT} 的幅值相对接近时，负载电流决定了 LDO 何时进入压降状态。

TPS7H1301 的压降电流 I_{DO} 定义为输出电压下降至所配置输出电压初始值的 98% 时的负载电流。对于 TPS7H1302，压降电流输出电压标准需要适应负载调节；因此，对于低于 200mA 的负载电流，允许上升至高于 (V_{LIM}) 的 V_{OUT} 百分比为 98%。当 TPS7H1302 上施加的负载电流为 400mA 时， V_{LIM} 调整为 V_{OUT} 的 97%；这是适应 TPS7H1302 负载电流所必需的。请参阅[压降电流测量](#)，了解用于测量压降的测试波形。

在压降状态期间，传输晶体管工作于欧姆（三极管）区，起到电阻性开关的作用。压降电压规格定义了维持输出稳压所需的高于标称编程输出电压的最小输入电压裕度。当输入电压降至低于此最小阈值 ($V_{IN} < V_{OUT} + V_{DO}$) 时，输出电压会按比例降低，从而超出稳压范围。

9.3.7 输出电压精度

电压基准和输出精度

TPS7H1301 和 TPS7H1302 均具有精确的电压基准，这对于尽可能减少 LDO 的固有误差至关重要。

输出电压精度规格

输出电压精度定义了相对于预期标称输出电压的最小和最大输出电压误差。[节 7.5](#) 表中的精度规格适用于 $3V \leq V_{IN} \leq 6.3V$ 的运行区域。

TPS7H1301 精度：

- **±1.5% 规格适用于：**
 - 完整温度范围：-55°C 至 125°C
 - 全输入电压范围：3V 至 6.3V
 - 输出电压范围：-5V 至 -0.6V
 - 全负载范围： $10mA \leq I_{OUT} \leq 400mA$
- 对于 -6V 和 -5V 之间的输出电压，输出精度通常为 ±3%

TPS7H1302 精度：

- **±1.5% 规格适用于：**
 - 完整温度范围：-55°C 至 125°C
 - 输出电流范围：10mA ≤ I_{OUT} ≤ 250mA
 - 输入电压范围：3V 至 6.3V

TPS7H1302 的内部反馈网络测量输出电压 V_{OUT}；TPS7H1302 经过修整可提供 - 1.8V 的固定输出。TPS7H1302 和输出负载之间的外部电阻会引入一个与施加的负载和 PCB 的布线电阻成正比的压降（电压上升到接地端）。通过将 TPS7H1302 尽可能靠近负载放置并使 PCB 布线不会太窄。从而尽可能减小 PCB 布线电阻；考虑使用较厚的铜布线层 (2oz.)。

重要测量详细信息：

下面指出了有关测量的一些额外详细信息：

- **全面测试：**通过对覆盖各种工艺角的多种偏置条件进行测试，验证了 V_{IN}、I_{OUT} 和温度范围内的规格适用于所有负载和温度组合。
- **最小负载电流：**测试条件指定最小值为 10mA（而不是 0mA），以便实现可靠的精度测量。但在正常应用中，为实现稳定性，TPS7H1301 和 TPS7H1302 都没有最小负载电流要求。
- **包含的误差项：**TI 不建议在 V_{ACC} 规格中添加以下误差项，因为 V_{ACC} 参数自身已涵盖以下特性：
 - V_{FB} 精度（仅 TPS7H1301）
 - 应用 1kΩ R_{TOP} 电阻器时的反馈引脚泄漏电流 (I_{FB(LKG)})
 - ΔV_{OUT}/ΔV_{IN}（线性调整率）
 - ΔV_{OUT}/ΔI_{OUT}（负载调整率）
 - V_{OUT} 温度系数
- **其他误差来源：**反馈电阻器容差产生的误差可以添加到 V_{ACC} 规格中。
- **其他资源：**有关确定精度的更多信息，请参阅相应的详细设计过程：
 - [TPS7H1301](#)
 - [TPS7H1302](#)

9.3.8 输出噪声

输出噪声

LDO 输出噪声定义为稳压器内部半导体电路产生的内部固有噪声。在 10Hz 至 100kHz 的带宽下，测得 TPS7H1301 和 TPS7H1302 器件的典型输出噪声为 20 μVRMS。

外部补偿的影响（仅适用于 TPS7H1301）

当外部补偿网络连接到 STAB 引脚时，所接入的网络会降低控制环路带宽。这种环路带宽的降低可能会削弱内部电路抑制内部产生的噪声的能力，与标准配置相比，可能导致输出噪声水平升高。

9.3.9 电源抑制比

TPS7H1301 和 TPS7H1302 的电源抑制比 (PSRR) 量化了器件减弱 V_{CPOUT} 上的输入噪声，使其不出现在稳压输出 V_{OUT} 上的能力。PSRR 从数学角度定义为输入电压变化与相应输出电压变化之比，抑制输入纹波通常表示为正值，以分贝 (dB) 为单位。[方程式 8](#) 中以数学方式定义了 PSRR。

$$PSRR = 20 \times \log_{10} \left(\frac{V_{CPOUT(AC)}}{V_{OUT(AC)}} \right) \quad (8)$$

PSRR 值越高，噪声抑制效果越好。

噪声源特性

这些器件中输入噪声的主要来源是内部反相电荷泵电路产生的开关纹波。这种开关噪声出现在基波开关频率及其相关开关频率谐波处：

- TPS7H1301：500kHz（典型值）开关频率

- TPS7H1302 : 1000kHz (典型值) 开关频率

外部补偿的影响 (仅适用于 TPS7H1301)

当实施外部补偿网络时, 导致的控制环路带宽减少会直接影响 PSRR 性能。较窄的环路带宽限制了稳压器抑制输入干扰 (尤其是在较高频率下) 的能力, 与标准配置相比, 会导致整体 PSRR 性能下降。

9.3.10 稳定性

9.3.10.1 TPS7H1301 的稳定性

稳定性裕度与设计要求

与工业和消费类电子产品应用相比, 航天级集成电路的传统稳定性裕度通常要求更严格。标准准则包括 6dB 最小增益裕度和 50° 相位裕度。TPS7H1301 包含内部补偿电路, 旨在在以下运行条件下保持保守的稳定性裕度:

- $3V \leq V_{IN} \leq 6.3V$
- $-5V \leq V_{OUT} \leq -0.6V$
- $3mA \leq I_{OUT} \leq 400mA$
- $C_{OUT} = 22 \mu F$
- $-55^{\circ}C \leq T_A \leq 125^{\circ}C$

通常, 在上述条件下运行时, 不需要外部补偿来补充。当应用需要增强的稳定性能或使用特定输出电容器类型 (例如钽电容器) 或输出电容器网络时, 可选的 STAB 引脚可用于进行外部补偿网络调节, 以优化环路稳定性。

固有稳定性

TPS7H1301 具有宽固有稳定性裕度, 可在不同的负载条件、温度范围和输入电压变化下提供强大的性能。这种固有的稳定性降低了设计复杂性并减少了元件数量, 同时有助于在要求严苛的航天应用中可靠运行。图 9-5 展示了使用 R_{COMP} 和 C_{COMP} 的内部补偿; 这些值的设计规格分别为 30k Ω 和 400pF。

外部补偿能力

对于需要增强的稳定性裕度或在极端条件下运行的应用, STAB 引脚可用于访问外部 RC 补偿网络。该补偿架构 (如图 9-5 所示) 直接连接到误差放大器的输出级, 将外部网络战略性地置于传输元件的缓冲级之前。

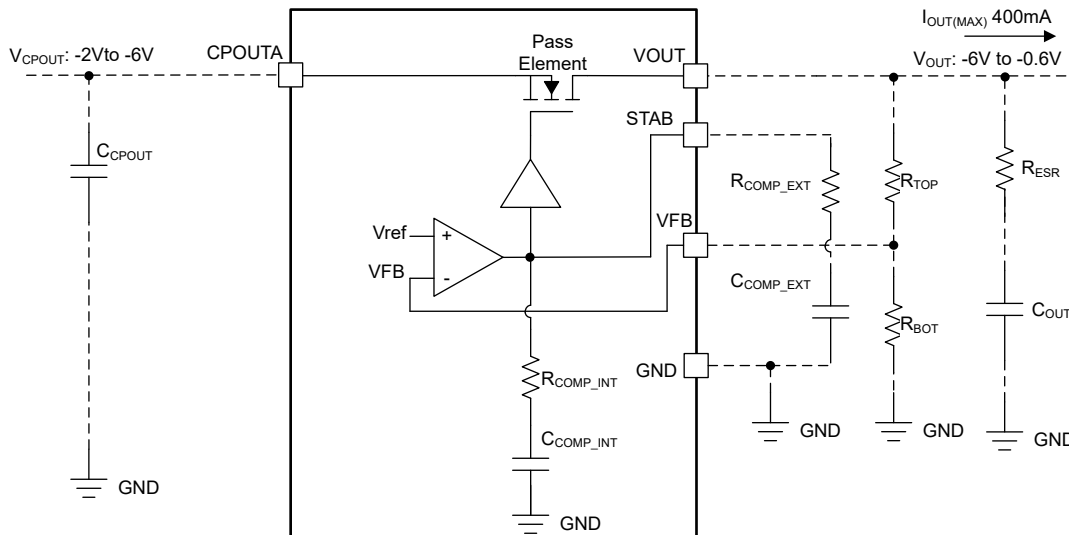


图 9-5. 简化补偿原理图

9.3.10.2 TPS7H1302 的稳定性

固有稳定性

TPS7H1302 设计了与 TPS7H1301 相同的宽固有稳定性裕度，可在不同的负载条件、温度范围和输入电压变化下提供强大的性能。这种固有的稳定性降低了设计复杂性，同时集成反馈电阻器网络进一步减少了元件数量，有助于在要求严苛的航天应用中可靠运行。图 9-6 展示了内部补偿，其 R_{COMP} 和 C_{COMP} 的设计规格分别为 $30k\Omega$ 和 $400pF$ 。

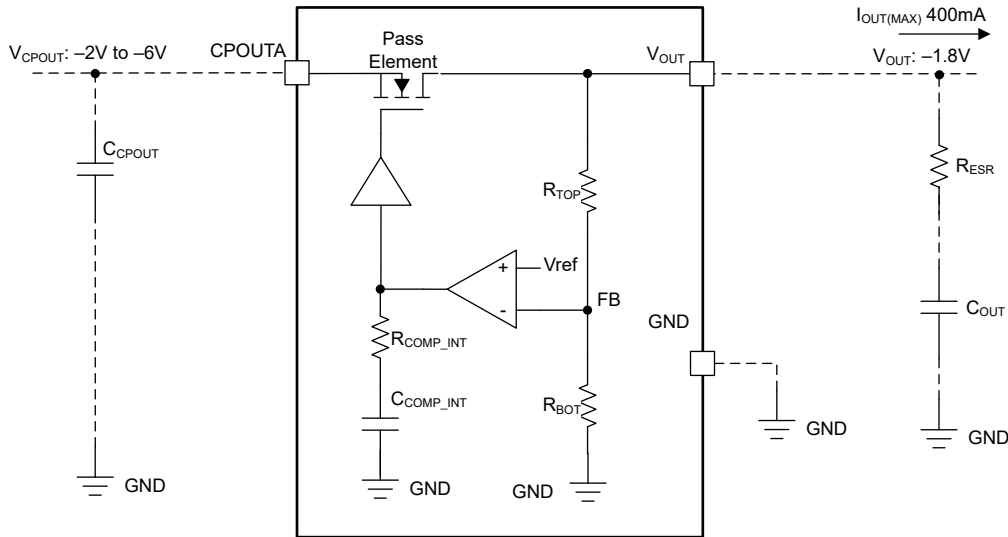


图 9-6. TPS7H1302 简化版补偿原理图

9.3.11 热关断

一旦超过 TPS7H1301 和 TPS7H1302 热关断温度限值，集成热关断电路就会激活，从而在芯片温度超过 $T_{SD(enter)}$ 时关断器件。当芯片冷却至 $T_{SD(exit)}$ 以下时，器件会恢复调节。典型的 $160^{\circ}C$ $T_{SD(enter)}$ 和 $130^{\circ}C$ $T_{SD(exit)}$ 可提供较大的迟滞（典型值为 $30^{\circ}C$ ）。较大迟滞旨在使器件在尝试恢复调节之前充分冷却。

9.4 器件功能模式

9.4.1 启用、禁用

下表显示了器件功能模式：

表 9-1. 器件功能模式

EN 引脚	器件状态
高	调节模式
低	关断模式

10 应用和实施

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。

10.1 应用信息

TPS7H1301 和 TPS7H1302 有各种用例；本节将讨论以下用例：

1. - 1.8V LDO 通过 TPS7H1301 实现可配置的导通、电荷泵配置和可调输出配置
2. 使用两个并联的 TPS7H1301 实现扩展电流运行
3. - 1.8V LDO，使用 TPS7H1302 并具有固定输出
4. 改善 TPS7H1302 的噪声性能

10.2 典型应用 TPS7H1301

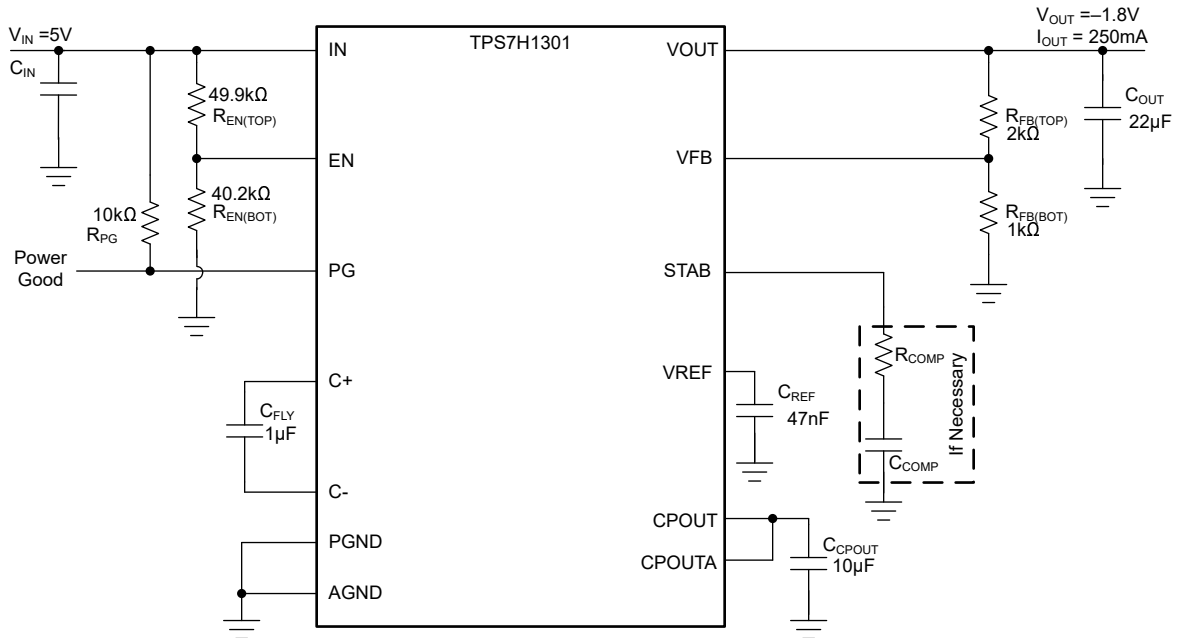


图 10-1. 典型应用电路 TPS7H1301

10.2.1 TPS7H1301 的设计要求

此示例重点介绍了一种使用 TPS7H1301EVM 评估模块 (EVM) 的设计。有关更多详细信息，请参阅 EVM 用户指南：TPS7H1301EVM-CVAL 评估模块 (EVM) 用户指南 (SNVU944)。在开始该设计过程之前，必须先了解一些参数。这些参数通常在系统层面确定。在该示例中，我们先从下列已知参数入手：

表 10-1. 设计参数

参数	值
V_{IN}	5V
V_{OUT}	-1.8V
I_{OUT}	250mA
V_{EN}	1.6V

10.2.2 TPS7H1301 的详细设计过程

10.2.2.1 电容器选型

电容器选型对于 TPS7H1301 和 TPS7H1302 (统称为 TPS7H130x) 的运行至关重要。一般来说，TI 建议 C_{FLY} 和 C_{CPOUT} 选用额定电压不低于 16V 的陶瓷电容；优先选择低 ESR 值，并将所有电容放置在尽可能靠近 TPS7H130x 的位置。

10.2.2.1.1 输入电容器 (C_{IN}) 选择

TI 建议将一个 10 μ F 25V (或更高) 的陶瓷电容器尽可能靠近 TPS7H130x 的输入引脚放置；额外的电容和旁路电容可视为可选方案。

输入电容器 (C_{IN}) 用作电荷库，有助于在充电阶段将电荷从电源快速传输到飞跨电容器。当飞跨电容器连接到输入端时，该电容器可防止每个充电阶段开始时输入电压骤降。此外，输入电容器可滤除输入噪声，保护从输入线路获取偏置的敏感内部模拟电路。

对输入纹波的影响

输入电容与输入电压纹波存在直接的比例关系：

- 增加输入电容 → 按比例减少输入电压纹波
- 降低输入电容 → 按比例增加输入电压纹波

10.2.2.1.2 C_{FLY} TPS7H1301

C_{FLY} 是电荷泵电容器，负责将电荷从输入端传输至电荷泵输出端 ($CPOUT$ 引脚)。

对于典型的高电流应用，TI 建议使用标称值为 1 μ F 的陶瓷输出电容器，以实现稳定工作。极化电容器 (钽、铝、电解质电容器等) 不得用于飞跨电容器，因为极化电容器可能会在运行期间反向偏置。

如果 C_{FLY} 取值过小，电荷泵将无法支持高电流应用；反之，如果 C_{FLY} 取值过大，则电荷泵电流对开关管而言会过大，并导致输入和输出电压纹波增大。

确定 C_{FLY} 的大小

将 C_{FLY} 调整为电荷泵输出电容 C_{CPOUT} 的 1:10 至 1:2 的标称比率。

使用 [方程式 9](#) 确定 C_{FLY} 的大小， f_{SW} 为 500kHz (典型值)， ΔV_{CFLY} 考虑了 C_{FLY} 电容器节点的电压过冲。对于标称 V_{IN} 为 5V 或更低且输出电流低于 250mA 的应用，在 [方程式 10](#) 中使用 0.2 的系数即可；当 V_{IN} 和 I_{OUT} 超过 5V 或 250mA 时， ΔV_{CFLY} 需调低 (采用 0.1 的系数)，这有助于防止 C+ 和 C- 引脚上出现过大的过冲。

$$C_{FLY} = \frac{I_{OUT}}{f_{SW} \times \Delta V_{CFLY}} \quad (9)$$

$$\Delta V_{CFLY} = (0.1 \text{ to } 0.2) \times V_{IN} \quad (10)$$

应用方程式 9 可得到以下结果：

$$C_{FLY} = \frac{250mA}{500kHz \times 0.2} = 2.5\mu F \quad (11)$$

方程式 11 计算结果为 2.5 μF ，满足 C_{FLY} 与 C_{CPOUT} 的比值要求。在本详细设计过程示例中，选用 1 μF 以与节 7.5 表中的特征数据对齐，该配置更为严苛，因为与采用 2.5 μF 的 C_{FLY} 相比，1 μF 会降低 LDO 的余量。

C_{FLY} 的影响

压降电流和电荷泵的工作效率取决于电荷泵电阻和压降，而这两者直接受 C_{FLY} 选值的影响；选用容值过小或 ESR 过高的电容会增大电荷泵输出电阻，导致压降加剧，从而降低集成 LDO 的可用余量，并使电荷泵的整体效率下降；关于 C_{FLY} 选值如何影响电荷泵效率，请参阅图 7-8 至图 7-12。

在评估电容器对电荷泵电阻的贡献时，必须考虑 C_{FLY} 电容器的特性，如直流偏置、温度系数等；方程式 12 计算飞跨电容器对总电荷泵输出电阻和 V_{DROOP} 的贡献。请注意，电气特性表中的最小开关频率 (f_{SW}) 是更保守的估计参数；因为最小 f_{SW} 会导致更高的电荷泵电阻。

$$R_{CFLY} = \frac{1}{f_{SW} \times C_{CFLY(min)}} + 4 \times R_{ESR(CFLY)} \quad (12)$$

如方程式 12 所示，由于直流偏置和温度的影响，输出电容的典型降额通常会使总 C_{FLY} 电容减少 15% 至 25%，从而增大电荷泵输出电阻。

要计算 $C_{FLY(min)}$ ，请查阅电容器制造商的数据，并综合考虑总容差、直流偏置和温度降额：例如，一款 25V、1 μF X7R 电容器，其参数如下：

- 外壳尺寸：0805
- 容差：-5%
- 5V 时的直流偏置：-4.56%
- 125°C 下的温度降额：-14.56%
- 400kHz 下的 R_{ESR} ：10m Ω

表 10-2 是一个关于选择单个 1 μF (标称值) 电容器还是一个 2.2 μF (标称值) 电容器的选型权衡示例； C_{FLY} 对电荷泵电阻的总体贡献与整体电荷泵效率进行了对比。

表 10-2. C_{FLY} 比较

属性	1 μF	2.2 μF
器件型号	KGM21AR71C105JL	KGM21AR71C225KL
数量	1	1
外壳尺寸	0805	0805
电压额定值	16V	16V
电介质	X7R	X7R
降额参数		
容差	-5%	-10%
5V 时的直流偏置	-4.56%	-10.3%
125°C 下的温度系数	-14.56%	-15%
结果		
有效电容	0.775 μF	1.51 μF
ESR	10m Ω	10m Ω (有效分辨率)
R_{CFLY}	3.45 Ω	1.69 Ω
峰值电荷泵效率， $V_{IN} = 5V$	79%	83.5%

若要计算 C_{FLY} 的最小电容，请使用：

$$C_{FLY(min)} = C_{FLY(nom)} \times (Tol.) \times (DC\ Bias) \times (Temp) \quad (13)$$

对 $1\mu F$ (标称值) 电容器应用 [方程式 13](#)：

$$C_{FLY(min)} = 1\mu F \times (1 - 0.05) \times (1 - 0.0456) \times (1 - 0.1456) = 0.775\mu F \quad (14)$$

应用 [方程式 12](#) 来计算 C_{FLY} 的最坏情况贡献 (例如 $1\mu F$ (标称值))

$$R_{CFLY} = \frac{1}{400kHz \times 0.775\mu F} + 4 \times 10m\Omega = 3.45\Omega \quad (15)$$

[表 10-2](#) 显示，通过使用两个 $0.68\mu F$ 电容器增加元件数量， C_{FLY} 对总电荷泵输出电阻的贡献显著降低。对于工作温度较高、工作电流较大或 V_{IN} 较低的应用，整体较低的电荷泵输出电阻将带来更大优势。本设计示例采用 $5V$ 的 V_{IN} 、 $250mA$ 的 I_{LOAD} ，使用 $1\mu F$ 的 C_{FLY} 电容器即可充分满足要求。

C_{FLY} 的总体选择值会影响电荷泵电阻和电荷泵效率；请参阅图 [图 7-8](#) 至 [图 7-11](#) 以了解 C_{FLY} 的选择如何影响整体电荷泵效率。

10.2.2.1.3 CPOUT 电容器 TPS7H1301

建议使用 ESR 值较低的 $10\mu F$ $16V$ (或更高电压额定值) 陶瓷电容器来配置电荷泵输出电容器 (C_{CPOUT})。 C_{CPOUT} 的 ESR 确实会对电荷泵的输出电阻产生影响，可将其与电荷泵 FET 的 $R_{DS(ON)}$ 、 C_{FLY} ESR 以及 $C+$ 和 $C-$ 引脚上的走线电阻的影响相叠加。

CPOUT 对电荷泵输出纹波的影响

电荷泵输出电容 (C_{CPOUT}) 和开关频率与电荷泵输出电压纹波有直接且成比例的关系。TPS7H1301 以 $500kHz$ 的固定频率运行；因此：

- 增大 CPOUT 电容 → 可成比例地减少电荷泵输出纹波
- 减小 CPOUT 电容 → 可成比例地增加电荷泵输出纹波

$$V_{Ripple_CPOUT(LF)} = \frac{I_{OUT}}{C_{CPOUT}} \times \frac{0.5}{f_{sw}} \quad (16)$$

计算电荷泵输出纹波

低频电荷泵输出纹波可用于 [方程式 16](#) 计算输出纹波。使用 TPS7H1301 的开关频率 $f_{sw} = 500kHz$ (典型值) 和负载电流 $250mA$ ；计算出电荷泵输出纹波为：

$$V_{Ripple_CPOUT(LF)} = \frac{250mA}{10\mu F} \times \frac{0.5}{500kHz} = 25mV_{pp} \quad (17)$$

电荷泵输出纹波与电路中寄生元件引起的高频纹波是分开的。

C_{CPOUT} 的大小也会影响输出纹波。使用 $10\mu F$ 以外的值时，TI 建议调整 C_{FLY} 和 C_{IN} 的大小，以进一步优化性能。

10.2.2.1.4 旁路电容器

TPS7H130x 不需要使用旁路电容器；但是，鉴于电荷泵电压逆变器部分的硬开关性质，在 $CPOUT$ 和 $VOUT$ 处使用 $100nF$ 或更小旁路电容器可降低高频噪声。 C_{FLY} 上的较小陶瓷电容器 (连接到 $C+$ 和 $C-$) 可用作旁路电容器，作为进一步降低电荷泵中高频噪声的一种方法，但不允许使用极化电容器。

10.2.2.1.5 输出电容器

TI 建议在 VOUT 端使用一个 22 μF、25V 且具有低 ESR (<50mΩ) 的陶瓷电容器；该电容器用作负压 LDO 的输出。输出电容器的 ESR 过高会影响整体 LDO 稳定性。

10.2.2.2 电荷泵输出电阻

重述节 9.3.2.1 中的方程式 5，可得出总电荷泵输出电阻，为方便起见，在本节中将其引用为方程式 18；该公式考虑了 C_{FLY}、集成 FET 以及 C_{CPOUT} 的 ESR 对总电荷泵输出电阻的贡献。

$$R_{CP} = \frac{1}{(f_{SW} \times C_{FLY})} + 2 \times R_{DS(ON_Total)} + 4 \times R_{ESR(CFLY)} + R_{ESR(CPOUT)} \quad (18)$$

使用方程式 18：

$$R_{DS(ON_Total)} = 300m\Omega + 175m\Omega + 235m\Omega + 220m\Omega = 935m\Omega \text{ (typ)} \quad (19)$$

为开关采用最大 R_{DS(ON)} 值是一种保守的做法，可防止低估电荷泵输出电阻以及在负载电流下产生的压降 (V_{DROOP})。

10.2.2.3 配置 LDO 输出

重新排列方程式 7 并选择 R_{FB(top)} 的值 2kΩ，可以得到以下结果：

$$R_{FB(BOT)} = \frac{R_{FB(TOP)}}{\left(\frac{V_{OUT}}{V_{FB}} - 1\right)} \quad (20)$$

方程式 21 中显示了使用方程式 20 的过程，这会产生 1kΩ 的 R_{FB(BOT)} 值。TI 建议对反馈电阻器网络使用精度为 0.1% 的电阻器。

$$R_{FB(BOT)} = \frac{2k\Omega}{\left(\frac{-1.8V}{-0.6V} - 1\right)} = 1k\Omega \quad (21)$$

10.2.2.4 输出噪声

要在噪声敏感型应用中实现优异性能，需要注意以下几点：

- 采用适当的旁路电容器和滤波元件，以抑制高频噪声
- 当使用外部 STAB 引脚网络时，需评估稳定性补偿与噪声性能之间的取舍

10.2.2.5 PSRR 设计影响

对于需要高 PSRR 性能的应用：

- 在评估系统性能时，请考虑 PSRR 的频率相关性
- 考虑稳定性裕度（通过外部补偿）与 PSRR 功能之间的权衡
- 考虑 C_{OUT} 的影响（频率响应）
- 考虑应用负载和产生的 LDO 余量
- 特别注意开关频率和谐波下的噪声抑制
- 有关整个工作带宽范围内的详细性能特性，请参阅 PSRR 与频率间关系图

10.2.2.6 稳定性设计注意事项

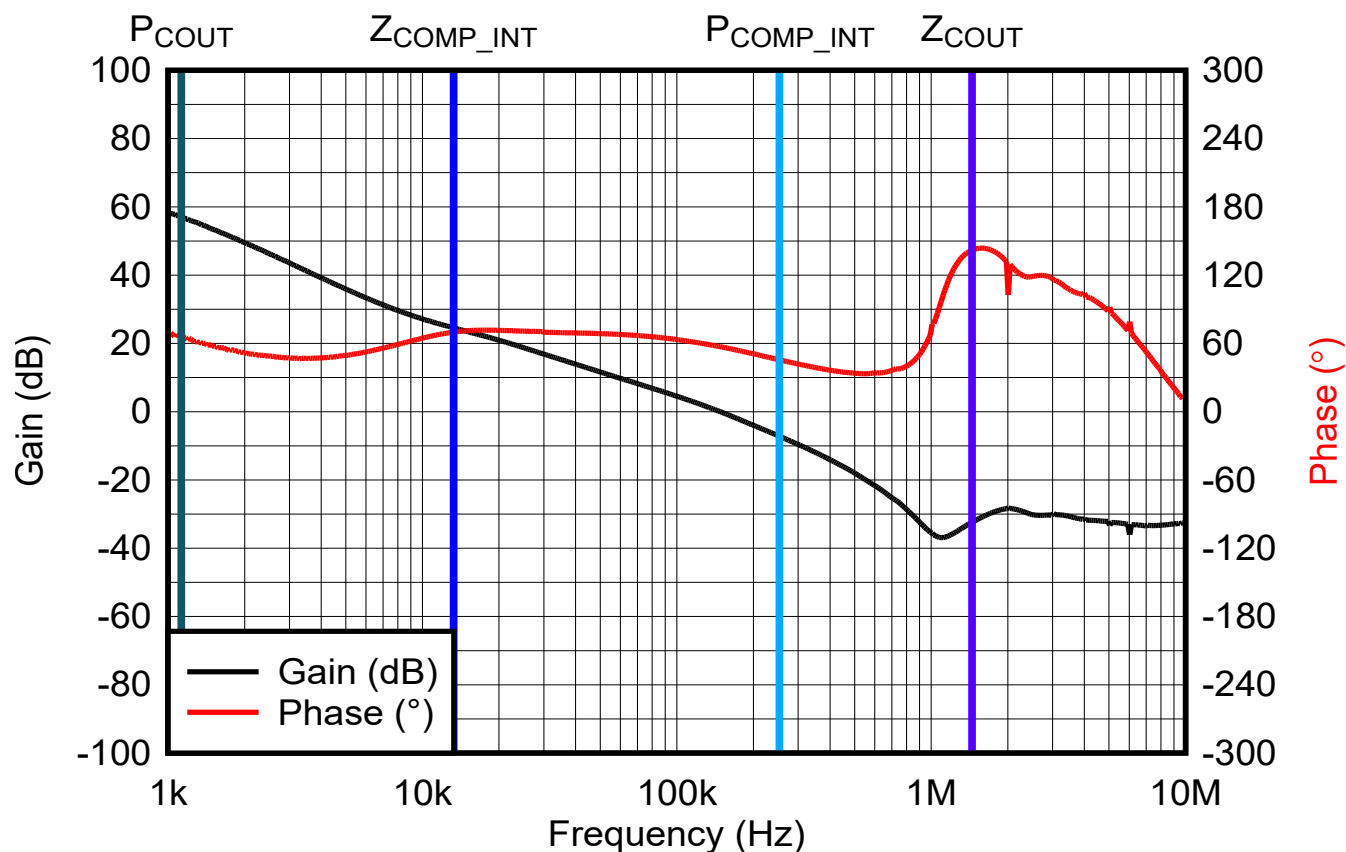


图 10-2. 简化的极点零点分析

LDO 的稳定性主要受输出电容器 (P_{COUT} 、 Z_{COUT}) 的主导负载极点和零点以及内部补偿网络 (P_{COMP_INT} 、 Z_{COMP_INT}) 的影响。图 10-2 展示了输出电容器的极点和零点以及 LDO 的内部补偿极点和零点的位置。

使用方程式 22 和方程式 23 来计算输出电容器的极点和零点：

$$P_{COUT} = \frac{1}{2\pi \times R_{LOAD} \times C_{OUT}} \quad (22)$$

$$Z_{COUT} = \frac{1}{2\pi \times ESR_{COUT} \times C_{OUT}} \quad (23)$$

应用方程式 22 和方程式 23 可得出相应极点和零点的以下位置：

$$P_{COUT} = \frac{1}{2\pi \times 7.2\Omega \times 22\mu F} = 1003Hz \quad (24)$$

$$Z_{COUT} = \frac{1}{2\pi \times 5m\Omega \times 22\mu F} = 1.446MHz \quad (25)$$

使用方程式 26 和方程式 27 计算内部补偿网络的极点和零点：

$$P_{COMP_INT} = \frac{C_{COMP_INT} + C_{OTA}}{2\pi \times R_{COMP} \times C_{COMP_INT} \times C_{OTA}} \quad (26)$$

$$Z_{COMP_INT} = \frac{1}{2\pi \times R_{COMP} \times C_{COMP_INT}} \quad (27)$$

C_{OTA} 是误差放大器的输出电容；根据设计，该电容额定值为 20pf。

应用 [方程式 26](#) 和 [方程式 27](#) 可得出相应极点和零点的以下位置：

$$P_{COMP_INT} = \frac{400pF + 20pF}{2\pi \times 30k\Omega \times 400pF \times 20pF} = 253kHz \quad (28)$$

$$Z_{COMP_INT} = \frac{1}{2\pi \times 30k\Omega \times 400pF} = 13.3kHz \quad (29)$$

利用 STAB 引脚来应用外部补偿网络时，可使用 [方程式 30](#) 和 [方程式 31](#)：

$$P_{COMP_EXT} = \frac{(C_{COMP_INT} \parallel C_{COMP_EXT}) + C_{OTA}}{2\pi \times (R_{COMP_INT} \parallel R_{COMP_EXT}) \times (C_{COMP_INT} \parallel C_{COMP_EXT}) \times C_g} \quad (30)$$

$$Z_{COMP_EXT} = \frac{1}{2\pi \times (R_{COMP_INT} \parallel R_{COMP_EXT}) \times (C_{COMP_INT} \parallel C_{COMP_EXT})} \quad (31)$$

10.2.3 应用曲线

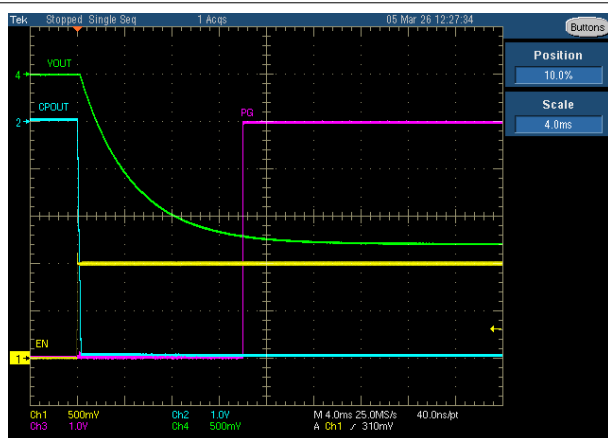


图 10-3. 启动

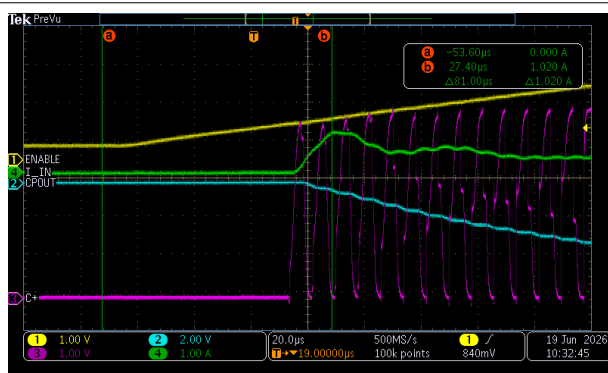


图 10-4. 启动浪涌电流

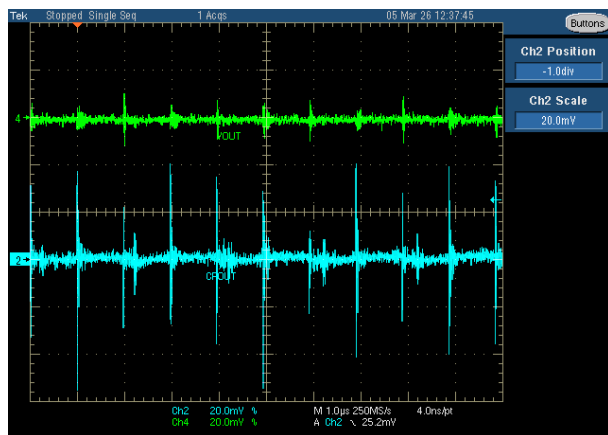


图 10-5. 电荷泵输出 V_{CP_OUT} 和输出电压 V_{OUT}

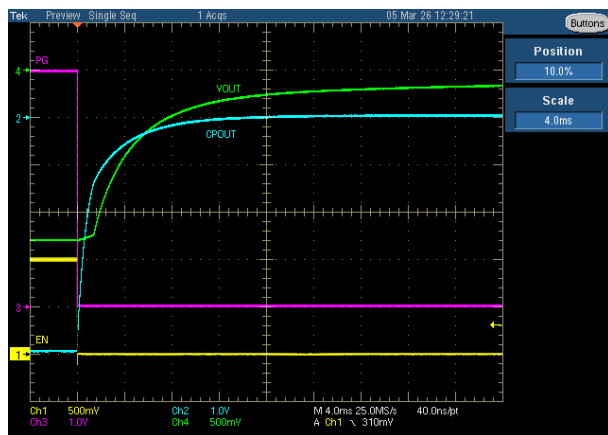


图 10-6. 关断

10.3 TPS7H1301 并联运行的典型应用

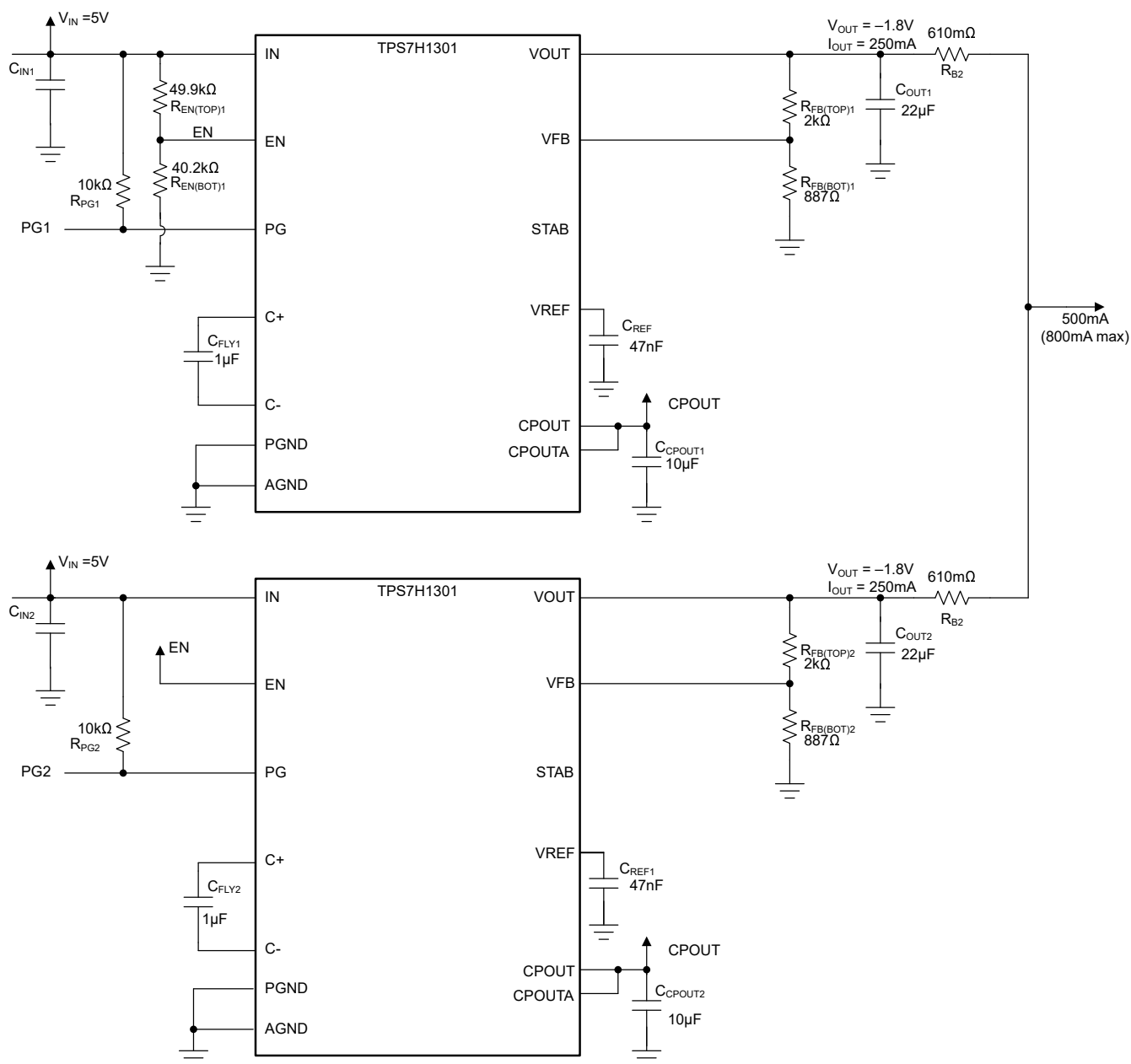


图 10-7. TPS7H1301 并联配置的典型应用

10.3.1 设计要求

图 10-7 展示了两个配置为并联运行以为 500mA 负载供电的 TPS7H1301。

表 10-3. 设计参数

参数	值
V_{IN}	5V±10%
V_{OUT}	-1.8V
I_{OUT}	500mA

并联配置可以促进高达 800mA 的负载电流。

10.3.2 详细设计过程 (并联 TPS7H1301)

将两个 TPS7H1301 并联运行的总体连接方法是将电荷泵输出 (CPOUT) 连接在一起，并将稳压输出与镇流电阻器连接。每个器件的基准电压 (VREF)、反馈 (FB)、电源正常状态 (PG) 和外部补偿 (STAB) 是分开的。两个器件的启用 (EN) 功能有助于同时和单独控制。

表 10-4 中进一步介绍了两个 TPS7H1301 并联的配置：

表 10-4. 并联配置说明

器件	引脚	连接	注释
1	V_{IN}	连接到正输入电源和 10 μ F	与器件 2 的共享节点。
	EN	连接到逻辑电平控制引脚或外部分压器	与器件 2 的共享节点。
	PG	将 10k Ω 连接至 V_{IN} 和 PG	器件 2 PG 引脚具有单独节点，器件 2 可共用一个单独的上拉电阻器 (R_{PG})。
	CFLY+	将一个 1 μ F 陶瓷电容器连接至 CFLY+ 和 CFLY-	将飞跨电容器与器件 2 分离。
	CFLY-		
	PGND	在 PCB 中连接至 GND 平面	具有所有 AGND 和 PGND 引脚的共享节点。
	AGND		
	VOUT	连接 22 μ F 陶瓷电容器	在连接到负载之前，需要一个镇流电阻器。
	VFB		不与两个器件共享反馈网络。
	STAB		外部补偿网络独立于器件 2 的外部补偿。
	VREF	连接 47nF 电容器。	VREF 电容器与器件 2 的 VREF 分开。
	CPOUT	连接 10 μ F 陶瓷电容器	两个器件的 CPOUT 和 CPOUTA 位于同一个节点上。这两种器件都需要为每个器件分配一个 10 μ F。
	CPOUTA		
2	V_{IN}	连接到正输入电源和 10 μ F	与器件 1 的共享节点
	EN	连接到逻辑电平控制引脚或外部分压器。	与器件 1 的共享节点
	PG	将 10k Ω 连接至 V_{IN} 和 PG	器件 1 PG 引脚具有单独节点，器件 1 可共用一个单独的上拉电阻器 (R_{PG})。
	CFLY+	将一个 1 μ F 陶瓷电容器连接至 CFLY+ 和 CFLY-	将飞跨电容器与器件 1 分离。
	CFLY-		
	PGND	在 PCB 中连接至 GND 平面	具有所有 AGND 和 PGND 引脚的共享节点。
	AGND		
	VOUT	连接 22 μ F 陶瓷电容器	在连接到负载之前，需要一个镇流电阻器。
	VFB		不与两个器件共享反馈网络。
	STAB		外部补偿网络独立于器件 1 的外部补偿。
	VREF	连接 47nF 电容器。	VREF 电容器与器件 1 的 VREF 分开。
	CPOUT	连接 10 μ F 陶瓷电容器。	两个器件的 CPOUT 和 CPOUTA 位于同一个节点上。这两种器件都需要为每个器件分配一个 10 μ F。
	CPOUTA		

10.3.2.1 并联镇流电阻器

要计算镇流电阻器阻值，请进行以下方面的计算：

1. 最坏情况下的输出电压失配， ΔV_{max}
2. 镇流电阻值 ($R_{Ballast}$) 和额定功率
3. 镇流电阻器的压降， $V_{DROOP(Ballast)}$
4. 配置反馈电阻网络以考虑 $R_{Ballast}$ 运行

最坏情况下的输出电压失配 ΔV_{max}

ΔV_{OUT} 由 LDO 输出精度 (V_{ACC}) 和反馈电阻精度 (R_{tol}) 共同决定。TPS7H1301 在全电压、全电流、全温度以及 TID 范围内的输出精度 (V_{ACC}) 为 $\pm 1.5\%$ ；其电压基准 (V_{ref}) 的典型值为 $600mV \pm 9mV$ (最小值/最大值)。

TI 建议使用精密的 0.1% 反馈电阻器；允许较低的容差值；但是，在并联应用中，较低的反馈电阻器容差会直接降低并联配置性能。

方程式 32 用于计算在考虑 LDO 和反馈电阻器容差的综合精度时可能出现的最大电压差；方程式 33 是一个使用 0.1% 反馈电阻器容差的数字示例。

$$\Delta V_{max} = 2 \times (V_{ACC}\% + 2 \times R_{tol}\%) \times |V_{OUT}| \quad (32)$$

$$\Delta V_{max} = 2 \times (1.5\% + 2 \times 0.1\%) \times |-1.8V| = 61mV \quad (33)$$

计算所需的镇流器电阻

均流电阻要求设计人员在 LDO 之间选择一个最大电流差值；对于本应用中两个 LDO 并联实现 500mA 的组合，单个 LDO 的典型负载为 250mA，选择 20% 的较大失配容差 (ΔI_{max}) 已足够。

对于各 LDO 负载电流更接近推荐工作条件 (ROC) 最大额定电流 (每路 400mA) 的应用，TI 建议选择更严格的 ΔI_{max} 值 (例如 10% 或更低)。此外，需要从最大并联输出中减去电流失配，这满足 400mA 的各个 LDO $I_{OUT(max)}$ 额定值。

$$\Delta I_{max} = \frac{\Delta V_{max}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{\Delta V_{max}}{2 \times R_B}, R_{B1} = R_{B2} \quad (34)$$

求解方程式 34 中的 R_B 可得到方程式 35，然后在方程式 36 中应用。

$$R_B = \frac{\Delta V_{max}}{2 \times \Delta I_{max}} \quad (35)$$

$$R_B = \frac{61mV}{2 \times 50mA} = 610m\Omega \quad (36)$$

选择最接近的 E192 (0.1% 容差) 阻值， $R_B = 612m\Omega$ ，对于 E96 (1% 容差)，则可选择 $604m\Omega$ 。

镇流电阻器压降电压和功率

方程式 37 确定 $V_{DROOP(Ballast)}$ 是每个 R_B 引入的压降：

$$V_{DROOP(Ballast)} = 0.5 \times I_{OUT} \times R_B \quad (37)$$

如方程式 38 所示使用方程式 37：

$$V_{DROOP(Ballast)} = 0.5 \times 500mA \times 612m\Omega = 153mV \quad (38)$$

使用方程式 39 确定 R_B 中耗散的功率；如方程式 40 所示。

$$P_{Ballast} = (0.5 \times I_{OUT})^2 \times R_B \quad (39)$$

$$P_{Ballast} = (0.5 \times 500mA)^2 \times 612m\Omega = 38.3mW \quad (40)$$

R_B 上耗散的功率为 **38.3mW**，可采用 **1/8W** 电阻；这得益于精密反馈电阻的使用。使用精度较低的反馈电阻会导致 ΔV_{max} 增大； ΔV_{max} 的显著增大会使 R_B 阻值、功耗和 $V_{DROOP(Ballast)}$ 均相应增加。反馈电阻 (R_{FB}) 精度的选择会在 ΔI_{max} 、总输出电流和最小输入电压 $V_{IN(min)}$ 之间引入折中关系。

配置 LDO 输出

LDO 输出电压现在必须更新反馈网络以输出考虑 $V_{DROOP(Ballast)}$ 的稳定电压；使用 [方程式 41](#) 计算更新后的输出电压设置 $V_{OUT(Parallel)}$ ：

$$V_{OUT(Parallel)} = V_{OUT} - V_{DROOP(Ballast)} \quad (41)$$

$$V_{OUT(Parallel)} = -1.8V - 152.5mV = -1.9525V \quad (42)$$

[方程式 41](#) 得出新的输出电压设定值为 **-1.9525V**；应用 [方程式 20](#) 的过程如公式 [方程式 43](#) 所示。

$$R_{FB(BOT)_Parallel} = \frac{2000k\Omega}{\left(\frac{-1.9525V}{-0.6V} - 1\right)} = 887\Omega \quad (43)$$

最小输入电压

TPS7H1301 和 TPS7H1302 并联运行的最小输入电压需要考虑以下因素：

1. V_{DROOP} ，使用 C_{FLY} 和 C_{CPOUT} 配置的电荷泵压降。
2. $V_{DROOP(Ballast)}$ ， R_B 的压降
3. $V_{OUT(Parallel)}$ ，在 R_B 之前配置 LDO 的输出电压
4. V_{DO} ，LDO 在每个 LDO 施加的电流下的压降电压。

$$V_{IN(min)} \geq V_{DROOP} + V_{OUT(Parallel)} + V_{DO} \quad (44)$$

10.3.3 应用性能曲线图

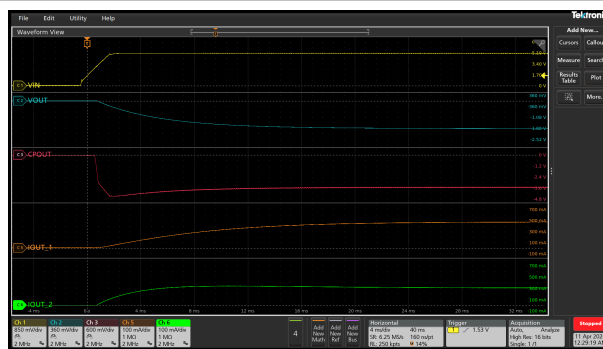


图 10-8. 并联配置 TPS7H1301 启动波形

10.4 典型应用 TPS7H1302

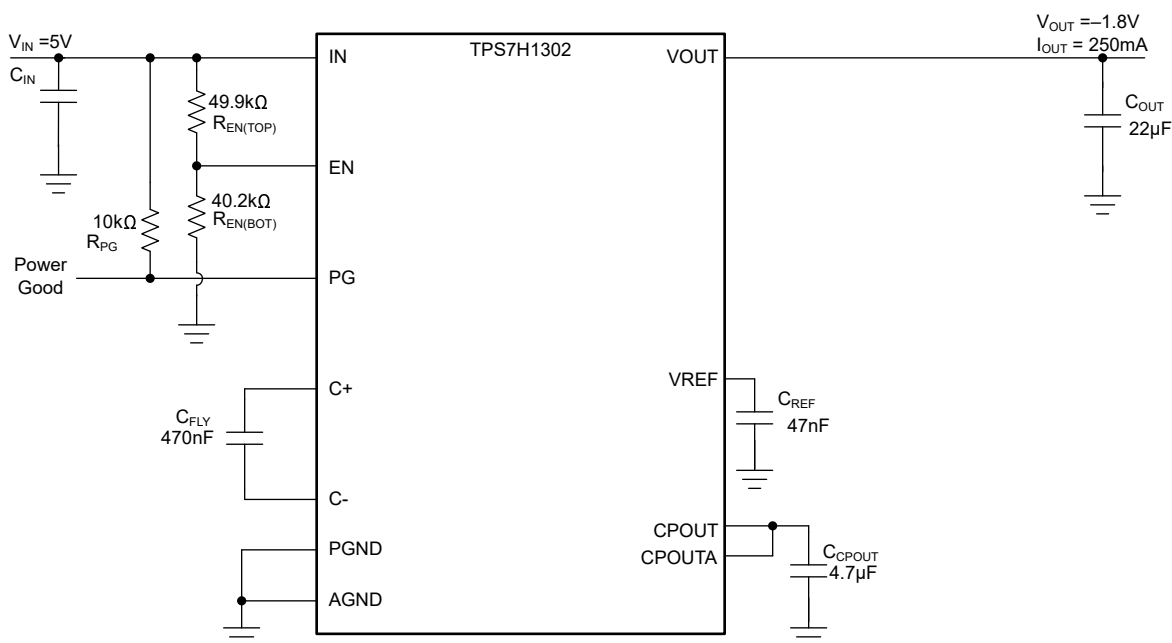


图 10-9. 典型应用 TPS7H1302

10.4.1 TPS7H1302 的设计要求

TPS7H1302 提供 -1.8V 的固定输出，同时无需反馈电阻和外部补偿网络。此应用示例展示了如何为 DAC39RF22-SEP 等器件供电。

表 10-5. 设计参数

参数	值
V_{IN}	$5\text{V} \pm 10\%$
V_{OUT}	$-1.8\text{V} \pm 1.5\%$
高频纹波, $V_{\text{RIP(HF)}}$	$\pm 25\text{mV}$
I_{OUT}	250mA

10.4.2 TPS7H1302 的详细设计过程

此示例重点介绍了使用 TPS7H1302 的 -1.8V 固定输出的设计。TPS7H1302 有助于去除反馈电阻器和外部补偿；此外，电荷泵的 1MHz 开关频率可降低电容器 C_{FLY} 和 C_{CPOUT} 所需的电容。TPS7H1302EVM 包括位于 C_{IN} 、 C_{FLY} 、 C_{CPOUT} 和 C_{OUT} 位置的未填充焊盘，以便于实现不同的电容器网络。有关更多详细信息，请参阅 EVM 用户指南 TPS7H1302EVM-CVAL 评估模块 (EVM) 用户指南 (SLVUE11)。此示例使用了以下已知参数来开始设计：

表 10-6. 设计参数

参数	值
V_{IN}	$5\text{V} \pm 10\%$
V_{OUT}	-1.8V
I_{OUT}	250mA
V_{EN}	1.6V

10.4.2.1 TPS7H1302 的电容器选型

有关 C_{IN} 和 C_{OUT} 电容器选择的选型与 TPS7H1301 相同；请参阅节 10.2.2.1.1 和节 10.2.2.1.5 部分。TPS7H1302 的电荷泵在 1MHz 的 f_{SW} 下工作，这需要不同的 C_{FLY} 和 C_{CPOUT} 值。

10.4.2.2 C_{FLY} 电容器 TPS7H1302

TI 建议 C_{FLY} 电容值取 470nF；根据方程式 12 计算，其对电荷泵电阻的标称贡献为：

$$R_{CFLY} = \frac{1}{1000kHz \times 470nF} + 4 \times 10m\Omega = 2.17\Omega (nom) \quad (45)$$

使用最小 f_{SW} 和降额后的 C_{FLY} 值，以确定以下电阻：

$$R_{CFLY} = \frac{1}{800kHz \times 364nF} + 4 \times 10m\Omega = 3.47\Omega (max) \quad (46)$$

10.4.2.3 C_{POUT} 电容器 TPS7H1302

TI 建议将 CPOUT 电容器用于 TPS7H1302，并使用具有低 ESR 值的 4.7 μF 16V (或更高电压) 陶瓷电容器。使用方程式 16：

$$V_{Ripple_CPOUT(LF)} = \frac{250mA}{4.7\mu F} \times \frac{0.5}{1000kHz} = 26.6mV_{pp} \quad (47)$$

10.4.2.4 稳定性 TPS7H1302

TPS7H1302 旨在与 22 μF 陶瓷输出电容器一起实现稳定运行；TPS7H1302 没有用于外部补偿的外部反馈引脚和 STAB 引脚；但是，TPS7H1302 与 TPS7H1301 具有相同的误差放大器架构。对于不需要 22 μF 的应用，通过在目标压摆率下执行负载阶跃测试，确认新配置是稳定的，然后验证不存在过多的振铃。

10.4.3 TPS7H1302 应用性能曲线图

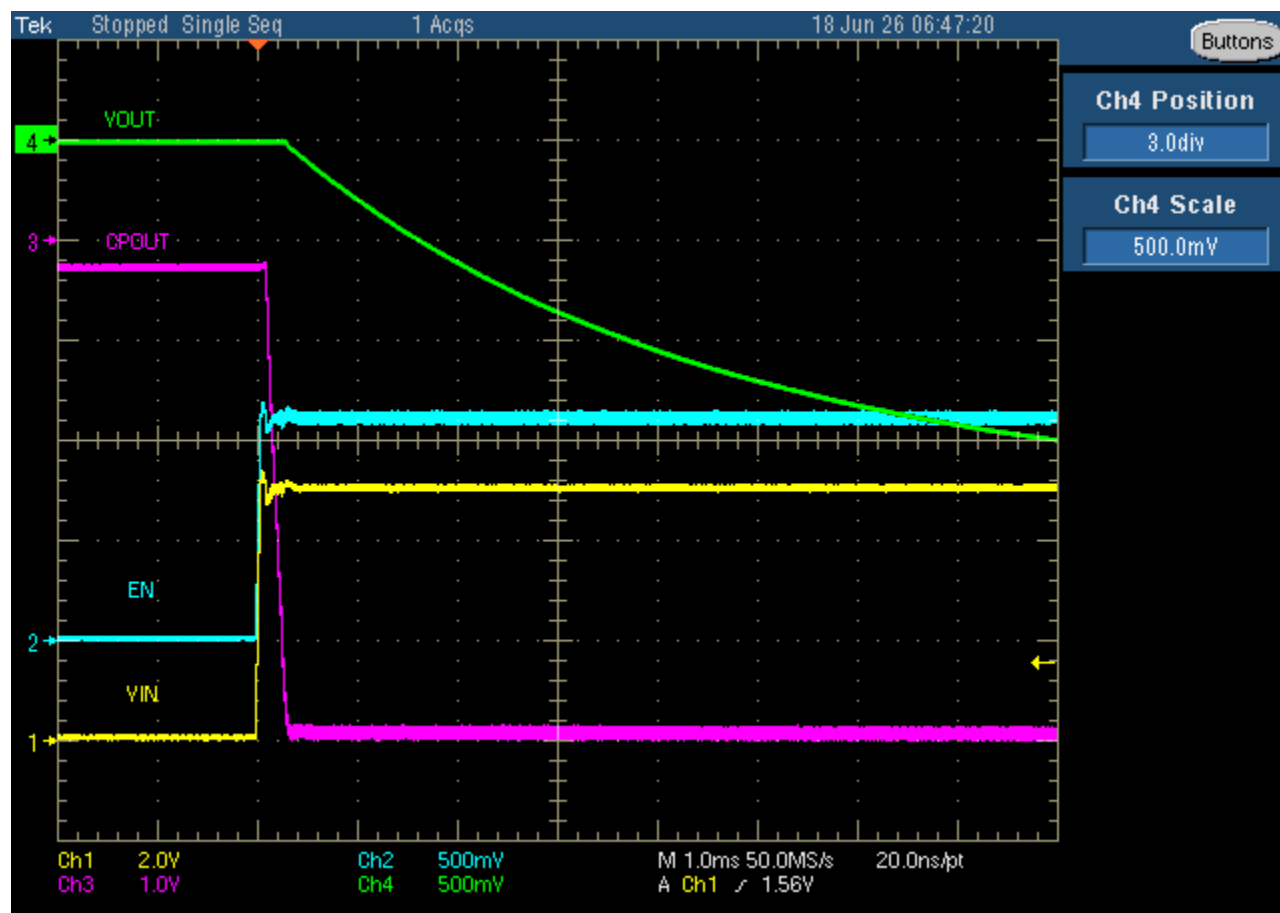


图 10-10. TPS7H1302 启动

10.5 TPS7H1302 低噪声配置

TPS7H1301 和 TPS7H1302 都分别具有用于电荷泵输出和负 LDO 输入的指定引脚以及 CPOUT 和 CPOUTA 引脚。对于希望尽可能降低电荷泵噪声的应用。在 CPOUT 和 CPOUTA 之间放置滤波器会显著提高噪声性能。

图 10-11 显示了为 10MHz 截止频率配置的滤波器的位置。

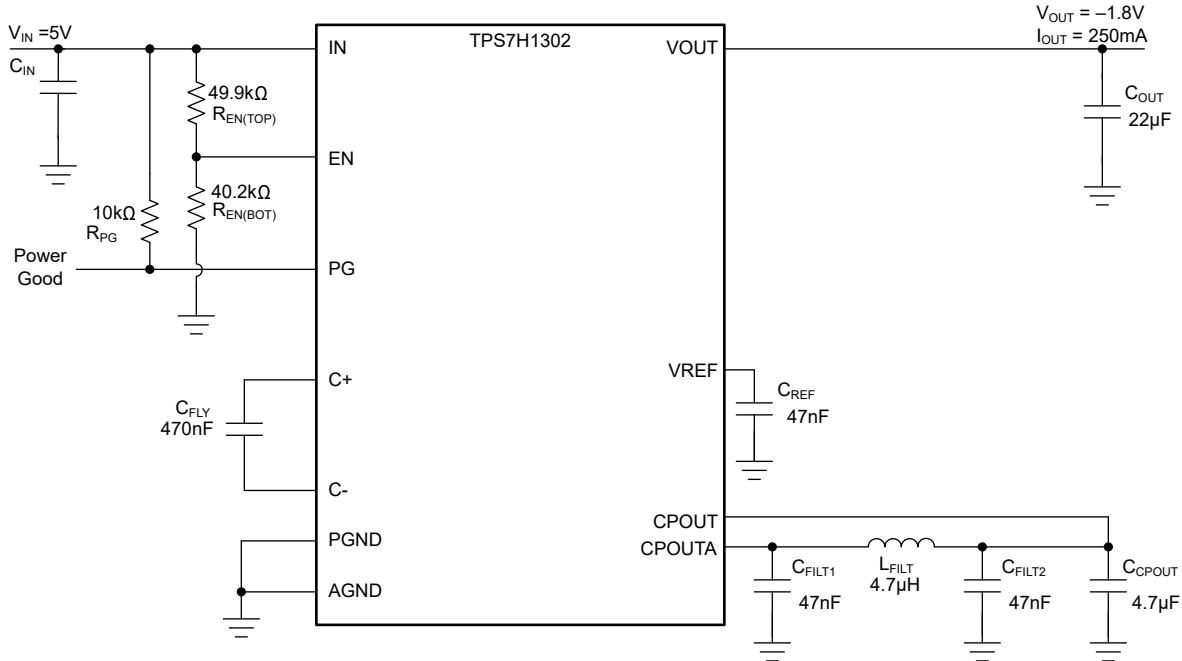


图 10-11. 典型应用低噪声配置

10.5.1 TPS7H1302 低噪声的设计要求

此示例重点介绍了在 CPOUT 至 CPOUTA 节点实现滤波器的方式，在电荷泵输出和负 LDO 输入之间加入滤波器可显著降低 LDO 需要衰减的噪声量。对于为 DAC39RF22-SEP 供电的应用，基本配置 (图 10-9) 不会对 DAC 功能产生任何不利影响；但进一步降低电源噪声会提高 DAC 性能。

图 10-12 显示了 V_{CPOUT} 和 V_{OUT} 的交流耦合测量；图 10-13 显示了 V_{CPOUT} 和 V_{OUT} 的 FFT 测量。在图 10-13 中可以看到 1MHz 处的开关频率尖峰，然后在 V_{CPOUT} 和 V_{OUT} 上都有几个偶次谐波。

表 10-7. 设计参数

参数	值
V_{IN}	5V±10%
V_{OUT}	-1.8V
I_{OUT}	250mA
V_{EN}	1.6V

10.5.2 应用性能曲线图

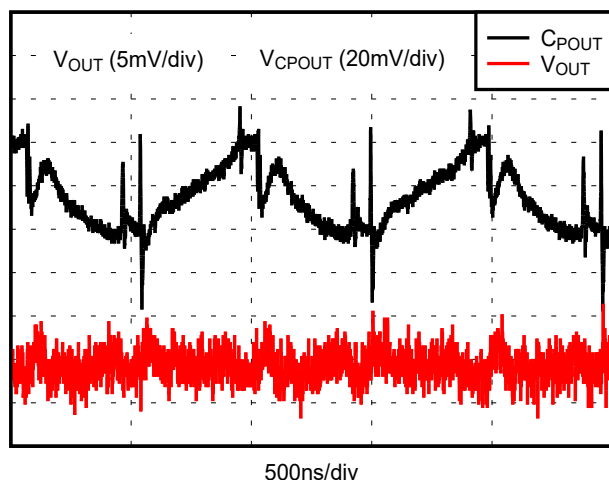


图 10-12. TPS7H1302 输出基值配置

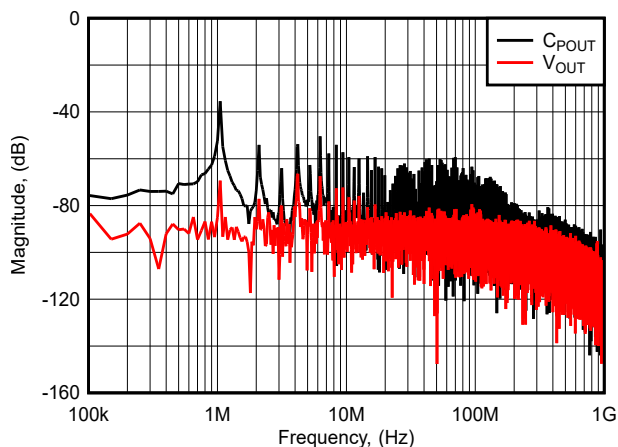


图 10-13. TPS7H1302 FFT 基值配置

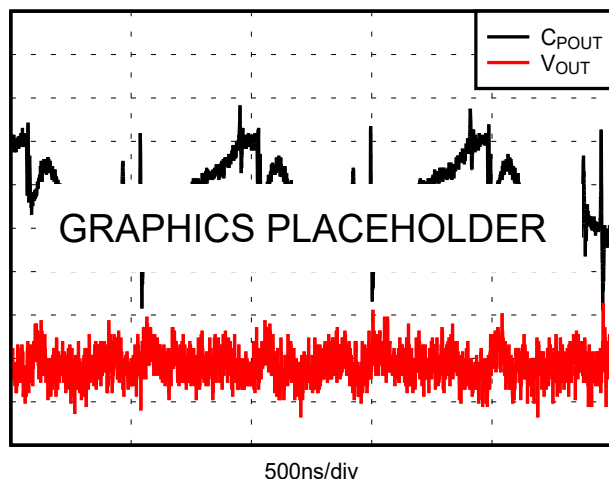


图 10-14. TPS7H1302 VCP0UT 和 VOUT 时间域

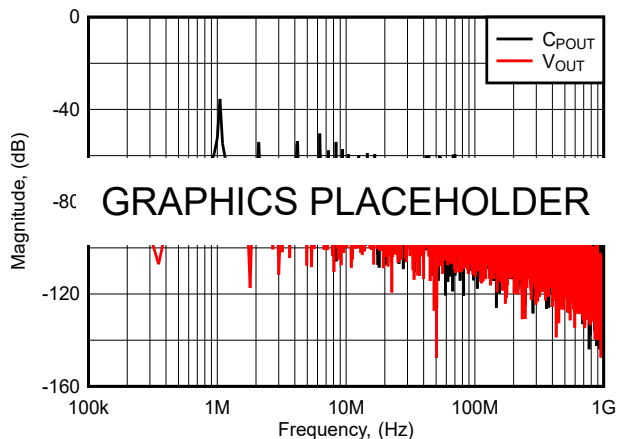


图 10-15. TPS7H1302 FFT 低噪声配置

10.6 电源相关建议

TPS7H1301 和 TPS7H1302 设计为在 3V 至 6.3V 的输入电源电压范围内运行。此输入电源必须经过良好稳压，能够提供所需的输入电流。如果输入电源距离 TPS7H1301/2 较远，可能还需要额外的大容量电容。

10.7 布局

10.7.1 布局指南

对 TPS7H1301 和 TPS7H1302 应用以下 PCB 布局实践：

- 将 C_{IN} 放置在顶层（与 TPS7H130x 同层）并尽可能靠近器件。通过短而宽的走线将输入电容连接至 VIN 引脚和 GND 引脚，可减小开关过程中产生的感性电压尖峰——这些尖峰会在 VIN 线上引起电压过冲。
- 将 C_{CPOUT} 放置在顶层（与 TPS7H130x 同层）并尽可能靠近 VOUT 和 GND 引脚。 C_{IN} 和 C_{CPOUT} 的回路必须汇于同一点，并且该点尽可能靠近 GND 引脚。通过短而宽的布线连接 C_{CPOUT} 可减小 CPOUT、CPOUTA 和 GND 引脚上的串联电感，从而导致 CPOUT 和 GND 线路上出现额外的噪声和电压尖峰。为了获得最佳性能， C_{CPOUT} 必须重新连接到器件的散热焊盘。允许将 CPOUT 和 CPOUTA 与散热焊盘隔离；但是，这种做法会引入额外的噪声。

- 将 C_{FLY} 放置在顶层 (与 TPS7H130x 同层) 并尽可能靠近器件。通过短而宽的布线将飞跨电容器连接到 C+ 和 C- 引脚。
- 将 C_{OUT} 放置在顶层 (与 TPS7H130x 同层) 并尽可能靠近 VOUT 引脚。
- 将输出电压反馈电阻器放置在顶层 (与 TPS7H1301 同层) 并尽可能靠近相应 VFB 引脚。 R_{BOT} 的接地连接必须重新连接到器件散热焊盘处的 GND 连接。
- 必须避免使用长布线长度、窄布线宽度的连接, 或通过过孔连接 VIN、CPOUT、 C_{FLY} 和 VOUT。这些因素会增加寄生电感和电阻, 导致性能下降, 尤其是在瞬态条件下。

10.7.2 布局示例

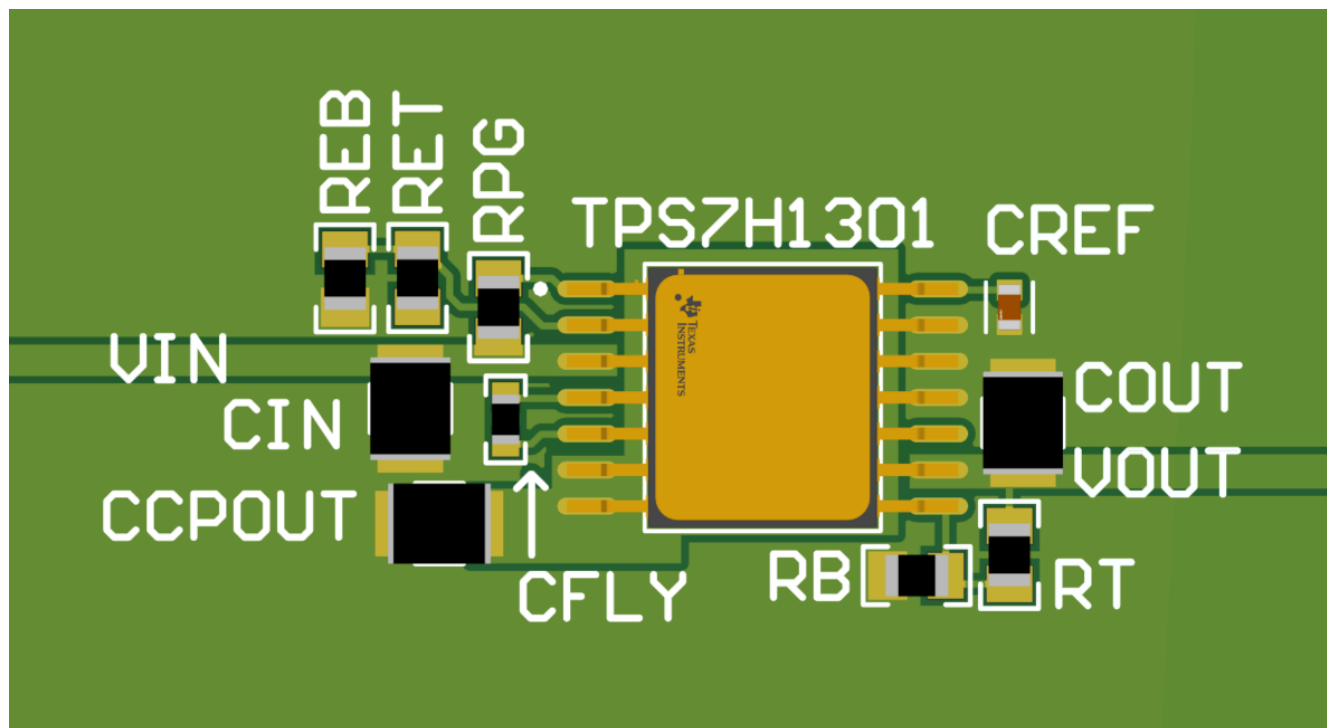


图 10-16. TPS7H1301 布局示例

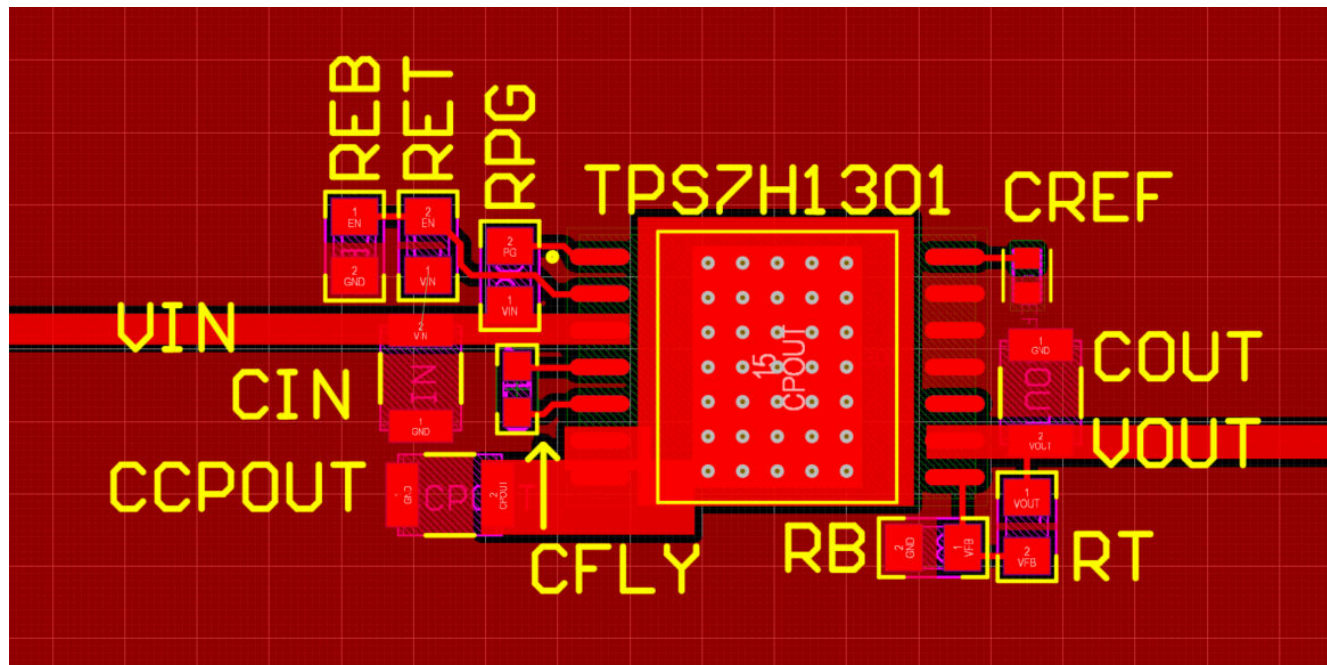


图 10-17. TPS7H1301 布局示例

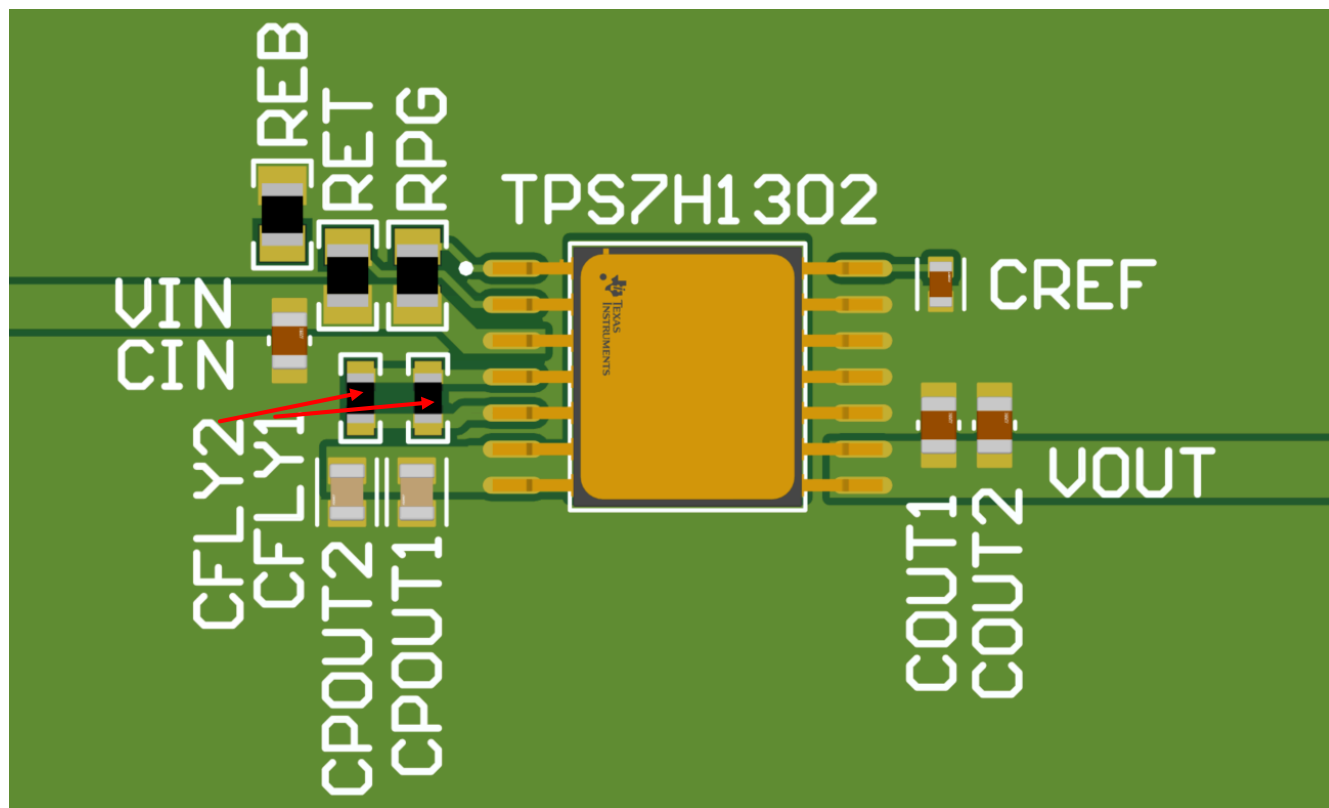


图 10-18. TPS7H1302 布局示例

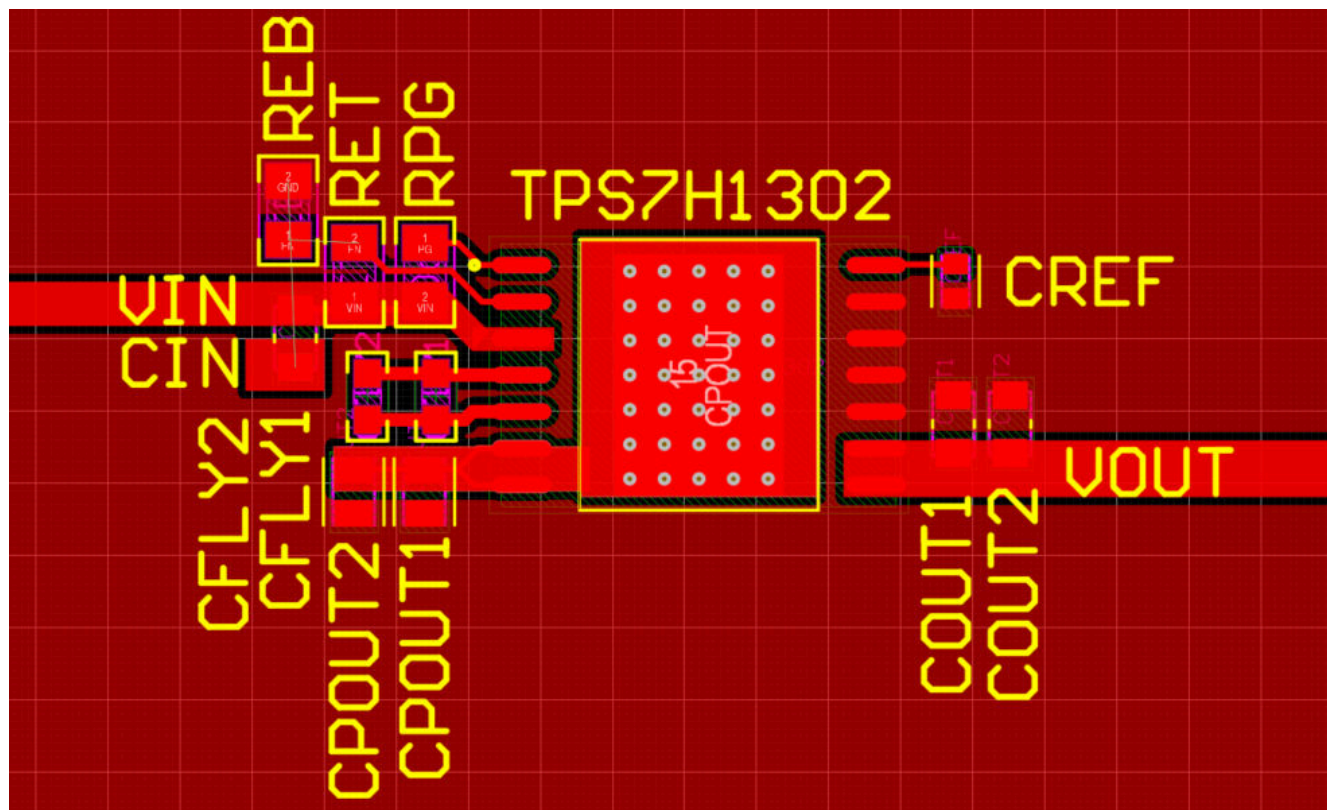


图 10-19. TPS7H1302 布局示例

11 器件和文档支持

11.1 器件支持

11.2 文档支持

11.2.1 相关文档

请参阅以下相关文档：

- 德州仪器 (TI), [TPS7H1301EVM-CVAL 评估模块 \(EVM\)](#)
- 德州仪器 (TI), [TPS7H1302EVM-CVAL 评估模块 \(EVM\)](#)
- 德州仪器 (TI), [TPS7H1301 电离辐射总剂量 \(TID\) 辐射报告](#)
- 德州仪器 (TI), [TPS7H1301 单粒子效应 \(SEE\) 辐射报告](#)
- 德州仪器 (TI), [TPS7H1301 中子位移损伤 \(NDD\) 辐射报告](#)
- 国防后勤局 (DLA), [标准微电路图, 5962R24215](#)

11.3 接收文档更新通知

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

11.4 支持资源

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

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

11.5 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

11.6 静电放电警告



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

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

11.7 术语表

[TI 术语表](#) 本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

12 修订历史记录

Changes from Revision * (March 2026) to Revision A (August 2026)	Page
• 将可订购器件型号 5962R2421501VXC 和 TPS7H1301HBL/EM 从“预告信息”更新为“量产数据”	1
• 为清晰起见更新了典型应用原理图	1
• 将 TPS7H1301-SP 从“预告信息”更新为“量产数据”	3
• 将 TPS7H1302 从“产品预发布”更新为“预告信息”	3
• 更新了 TPS7H1301 和 TPS7H1302 引脚图图像布局，以便于比较	5
• 更新了引脚 7 (HBL 封装) 以及引脚 13 和 14 (PWP 封装) TPS7H1301 和 TPS7H1302 的相关图和引脚说明中的引脚别名	5
• 将相应的引脚别名从“CPOUT”更改为“CPOUTA”	5
• 将连接到 VREF 的电容器更新为 47nF	5

• 将引脚别名从“IN”更改为“VIN”	8
• 将引脚别名从“FB”更改为“VFB”。将引脚别名“VFB”移至“输入电压”部分	8
• 将引脚别名从“C1+”和“C1-”更改为“C”和“C-”	8
• 向输入电压添加了引脚别名 CPOUTA	8
• 将引脚别名从“OUT”更改为“VOUT”	8
• 将充电器件型号额定值更新为 $\pm 250V$	8
• 将引脚别名从“IN”更改为“VIN”	9
• 向输入电压添加了引脚别名 CPOUTA	9
• 添加了脚注	9
• 将引脚别名从“OUT”更改为“VOUT”	9
• 更新了各种电气规格和测试条件，以便与 TPS7H1301 的量产数据和 TPS7H1302 的预告信息保持一致	10
• 添加了效率图	15
• 更新了以修改后的范围和间隔重新绘制的图，以使图数据更加清晰	15
• 将 C_{REF} 的值从 470nF 更改为 47nF	15
• 更新了 压降电流测量 I_{DO} 测量图	20
• 更新了负载调整率测量说明，以在示例计算中包含典型负载调整率性能	20
• 更新了详细说明概述，以使 TPS7H1301 和 TPS7H1302 更加清晰	22
• 更新了 TPS7H1301 和 TPS7H1302 的功能方框图 (FBD)	23
• 添加了散热焊盘和新引脚别名“CPOUTA”以显示负 LDO 输入	23
• 更新了详细说明，使内部电荷泵运行更加清晰	25
• 更新了 TPS7H1302 的节 9.3.6 说明	27
• 为清晰起见更新了格式	27
• 更新了 TPS7H1302 精度说明	27
• 为清晰起见更新了格式	27
• 为了清晰起见，更新了文本	28
• 更新了 TPS7H1301 和 TPS7H1302 的简化补偿原理图以包含更新后的引脚别名	29
• 为了清晰起见，更新了文本	29
• 添加了并联 TPS7H1301、典型配置 TPS7H1302 和低噪声 TPS7H1302 的其他应用示例	31
• 更新了电容器选型指南图 10-1	31
• 更新了图 10-1 以反映引脚别名更改	31
• 添加了额外的 CFLY 尺寸指导	32
• 删除了 CFLY 与接地端之间的旁路电容器；将小旁路从 C+ 连接到 C-	34
• 添加了节 10.3	38
• 添加了新的典型应用部分，以支持 TPS7H1302 的预告信息发布	42
• 添加了新的设计要求部分以支持 TPS7H1302 的预告信息	45
• 添加了 TPS7H1301 和 TPS7H1302 的布局指南和新布局示例	46
• 添加了 PCB 布局指南	46
• 添加了 TPS7H1302 示例布局	46
• 添加了 TPS7H1302EVM-CVAL 的相关文档链接	51

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。

PACKAGE OPTION ADDENDUM

PACKAGING INFORMATION

Orderable part number	Status	Material type	Package Pins	Package qty Carrier	RoHS	Lead finish/Ball material	MSL rating/Peak reflow	Op temp (°C)	Part marking
5962R2421501VXC	Active	Production	CFP (HBL) 16	1 Tube	RoHS Exempt	NIAU	N/A for Pkg Type	- 55 to 125	5962R2421501VXC
5962R2421502VXC	Preview	Preproduction	CFP (HBL) 16	1 Tube	RoHS Exempt	NIAU	N/A for Pkg Type	- 55 to 125	5962R2421502VXC
TPS7H1301HBL/EM	Active	Production	CFP (HBL) 16	1 Tube	RoHS Exempt	NIAU	N/A for Pkg Type	- 55 to 125	TPS7H1301HBL/EM EVAL ONLY
TPS7H1302HBL/EM	Preview	Preproduction	CFP (HBL) 16	1 Tube	RoHS Exempt	NIAU	N/A for Pkg Type	- 55 to 125	TPS7H1302HBL/EM EVAL ONLY

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.

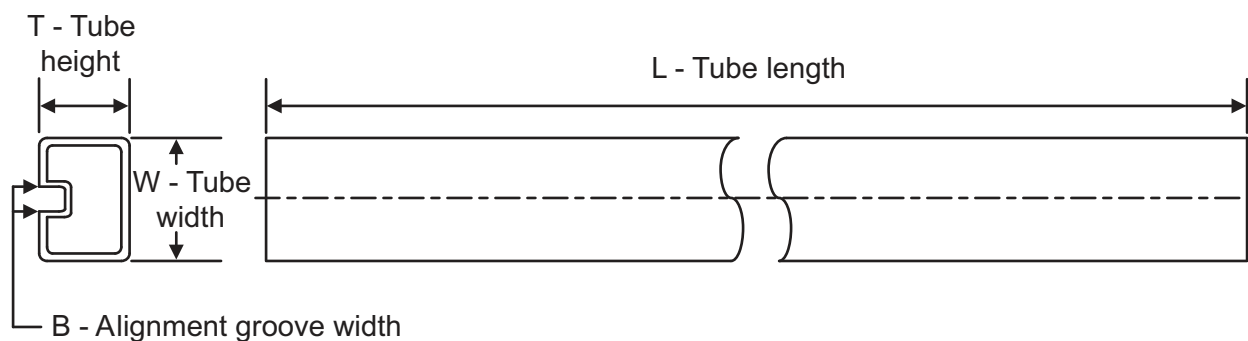
OTHER QUALIFIED VERSION OF TPS7H1301-SP, TPS7H1302-SP:

- Space: [TPS7H1301-SP](#), [TPS7H1302-SP](#)

NOTE: Qualified Version Definitions:

- Catalog - TI's standard catalog product
- Space - Radiation tolerant, ceramic packaging and qualified for use in Space-based application

13.1 Tube Information



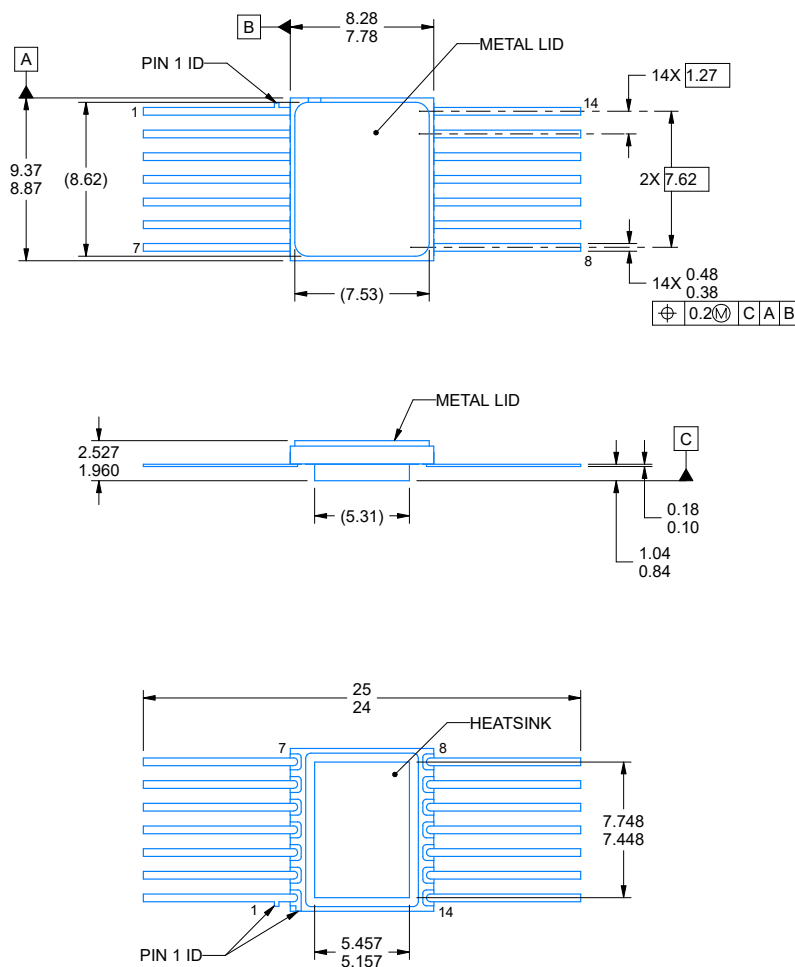
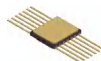
Device	Package Type	Package Name	Pins	SPQ	L (mm)	W (mm)	T (mm)	B (mm)
5962R2421501VXC	CFP	HBL	14	25	506.98	26.16	6220	NA
5962R2421502VXC	CFP	HBL	14	25	506.98	26.16	6220	NA
TPS7H1301HBL/EM	CFP	HBL	14	25	506.98	26.16	6220	NA
TPS7H1302HBL/EM	CFP	HBL	14	25	506.98	26.16	6220	NA

PACKAGE OUTLINE

HBL0014A

CFP - 2.527 mm max height

CERAMIC DUAL FLATPACK



4226657/A 03/2021

NOTES:

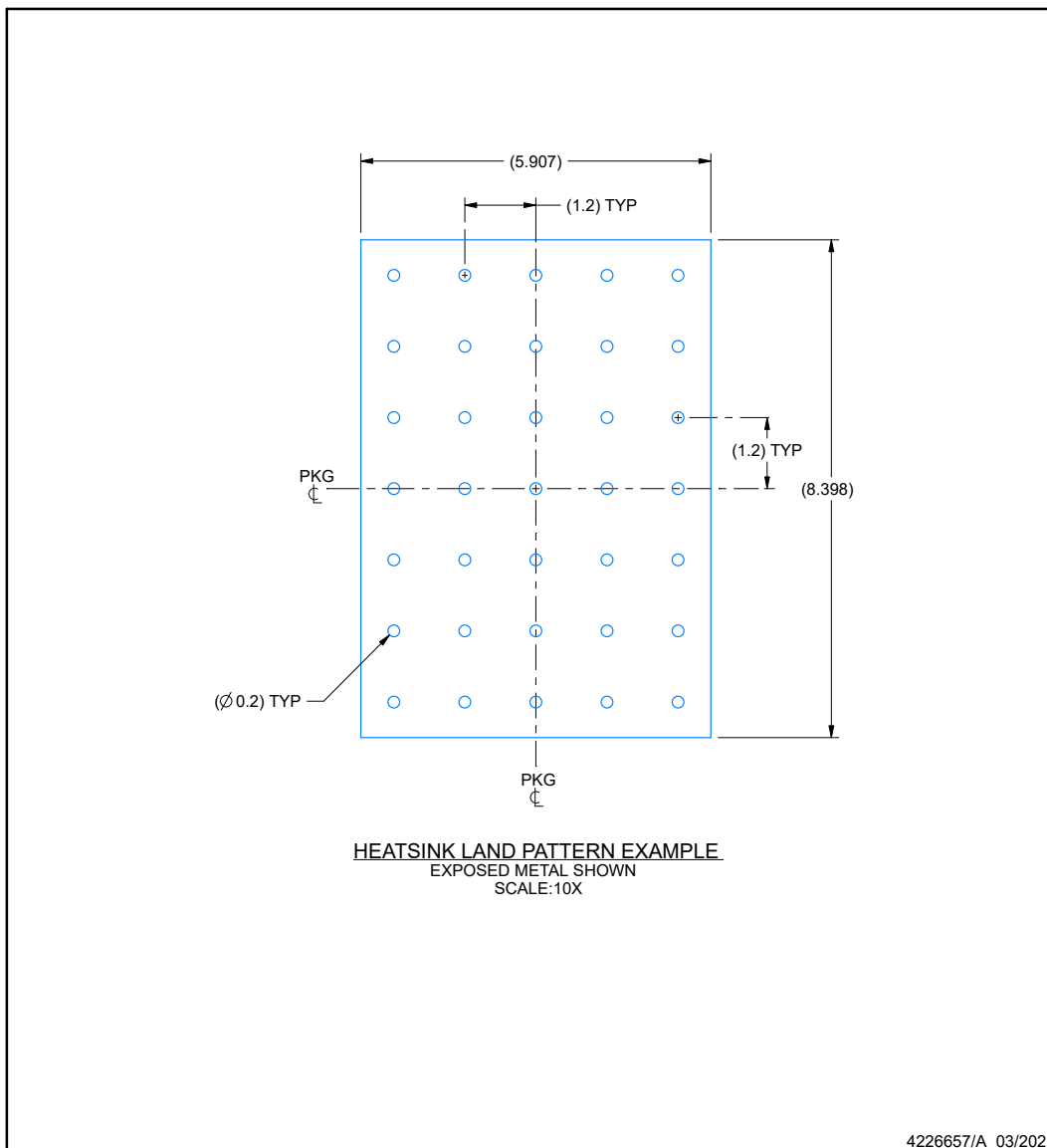
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. This package is hermetically sealed with a metal lid. Lid is connected to Heatsink and pin 6
4. The terminals are gold plated.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

HBL0014A

CFP - 2.527 mm max height

CERAMIC DUAL FLATPACK



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 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月