TPS4H160-Q1 40V、160mΩ 汽车级四通道智能高侧开关

1 特性

- 符合汽车应用要求
- 具有符合 AEC-Q100 标准的下列特性：
  - 器件温度等级 1：–40°C 至 125°C 环境工作温度范围
  - 器件 HBM ESD 分类等级 H3A
  - 器件 CDM ESD 分类等级 C4B
- 功能安全型
  - 可提供用于功能安全系统设计的文档
- 具有全面诊断功能的四通道 160mΩ 智能高侧开关
  - 版本 A：开漏数字输出
  - 版本 B：电流检测模拟输出
- 宽工作电压范围：3.4V 至 40V
- 超低待机电流：<500nA
- 高精度电流检测：负载高于 25mA 时为 ±15%
- 可通过外部电阻器调节电流限制，负载高于 500mA 时为 ±15%
- 保护
  - 通过限制电流实现 GND 短路保护（内部或外部）
  - 具有锁闭选项的热关断以及热调节
  - 转换率经过优化的电阻负载负电压钳位
  - 接地失效保护和电池损耗保护
- 诊断
  - 过流和接地短路检测
  - 开路负载和电池短路检测
  - 用于实现快速中断的全局故障报告
- 28 引脚热增强型 PWP 封装

2 应用

- ADAS 模块
- 汽车显示模块
- 车身控制模块

3 说明

TPS4H160-Q1 器件是一款受到全面保护的四通道智能高端开关，具有四个集成的 160mΩ NMOS 功率 FET。

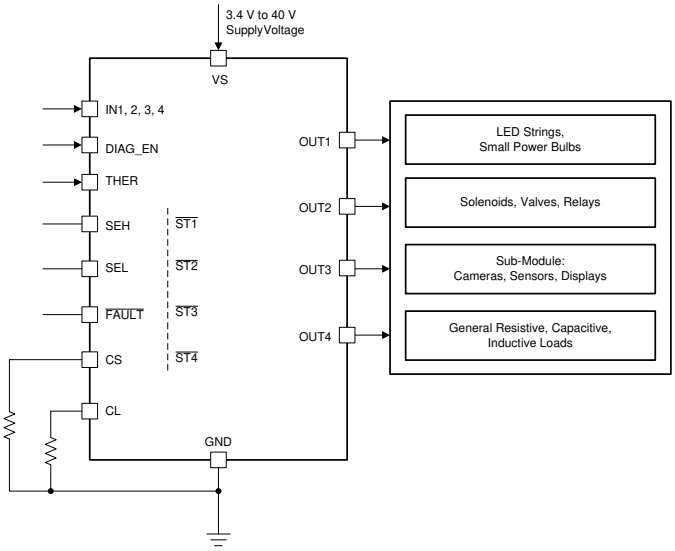
该器件具有丰富的诊断功能以及高精度电流检测功能，能够对负载实施智能控制。

该器件可从外部调节电流限值以限制浪涌或过载电流，从而提升整个系统的可靠性。

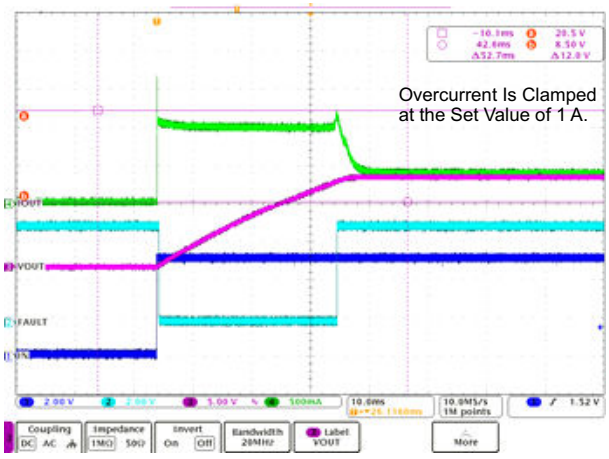
封装信息

器件型号	封装(1)	通道数
TPS4H160-Q1 版本 A	PWP (HTSSOP，28)	4
TPS4H160-Q1 版本 B		

(1) 如需了解所有可用封装，请参阅数据表末尾的可订购产品附录。



典型应用原理图



驱动具有可调节电流限制的电容负载

内容

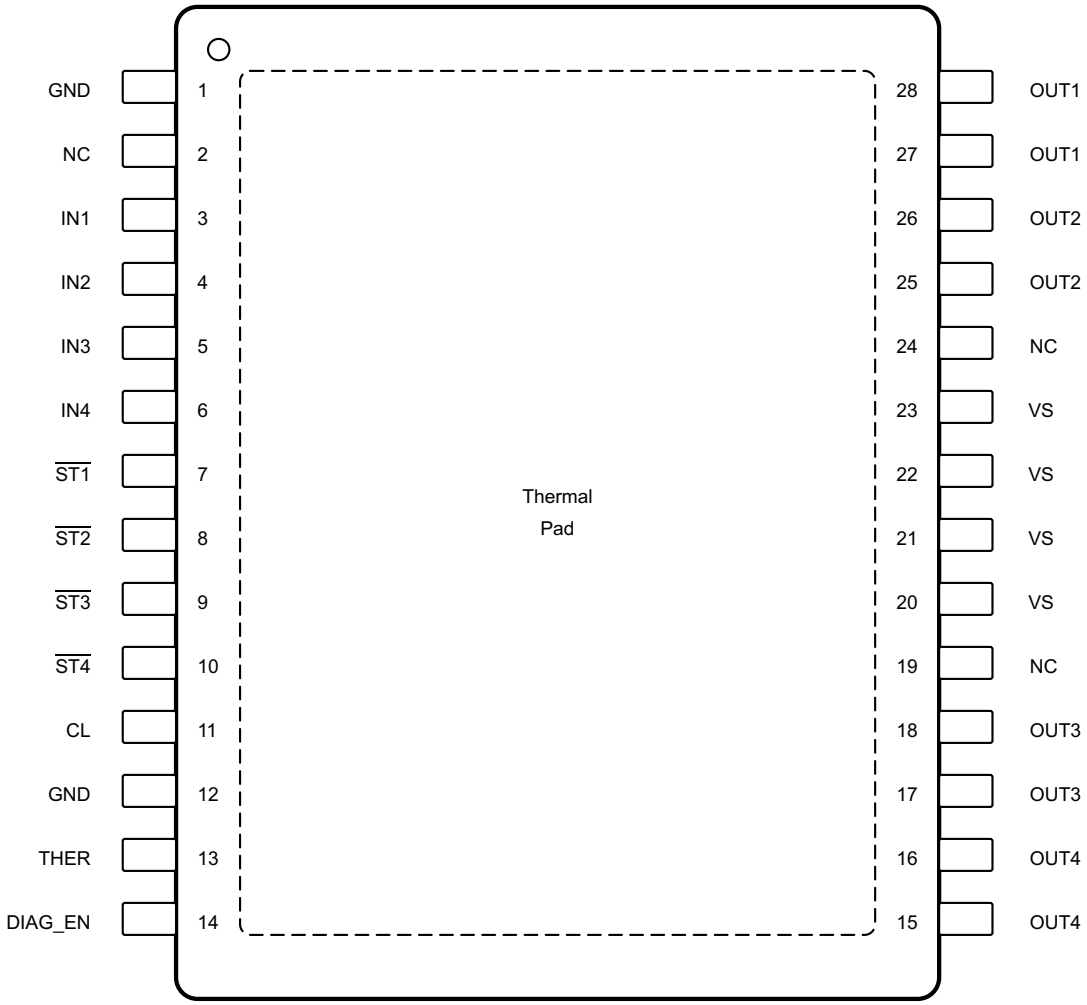
1 特性.....1
2 应用.....1
3 说明.....1
4 器件比较表.....3
5 引脚配置和功能.....3
6 规格.....6
6.1 绝对最大额定值.....6
6.2 ESD 等级.....6
6.3 建议运行条件.....7
6.4 热性能信息.....7
6.5 电气特性.....7
6.6 开关特性.....10
6.7 典型特性.....12
7 详细说明.....15
7.1 概述.....15
7.2 功能方框图.....16
7.3 特性说明.....16
7.4 器件功能模式.....28
8 应用和实施.....29
8.1 应用信息.....29
8.2 典型应用.....29
8.3 电源相关建议.....31
8.4 布局.....31
9 器件和文档支持.....34
9.1 接收文档更新通知.....34
9.2 支持资源.....34
9.3 商标.....34
9.4 静电放电警告.....34
9.5 术语表.....34
10 修订历史记录.....34
11 机械、封装和可订购信息.....34

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

4 器件比较表

器件型号	故障报告模式
TPS4H160-Q1 版本 A	开漏数字输出
TPS4H160-Q1 版本 B	电流检测模拟输出

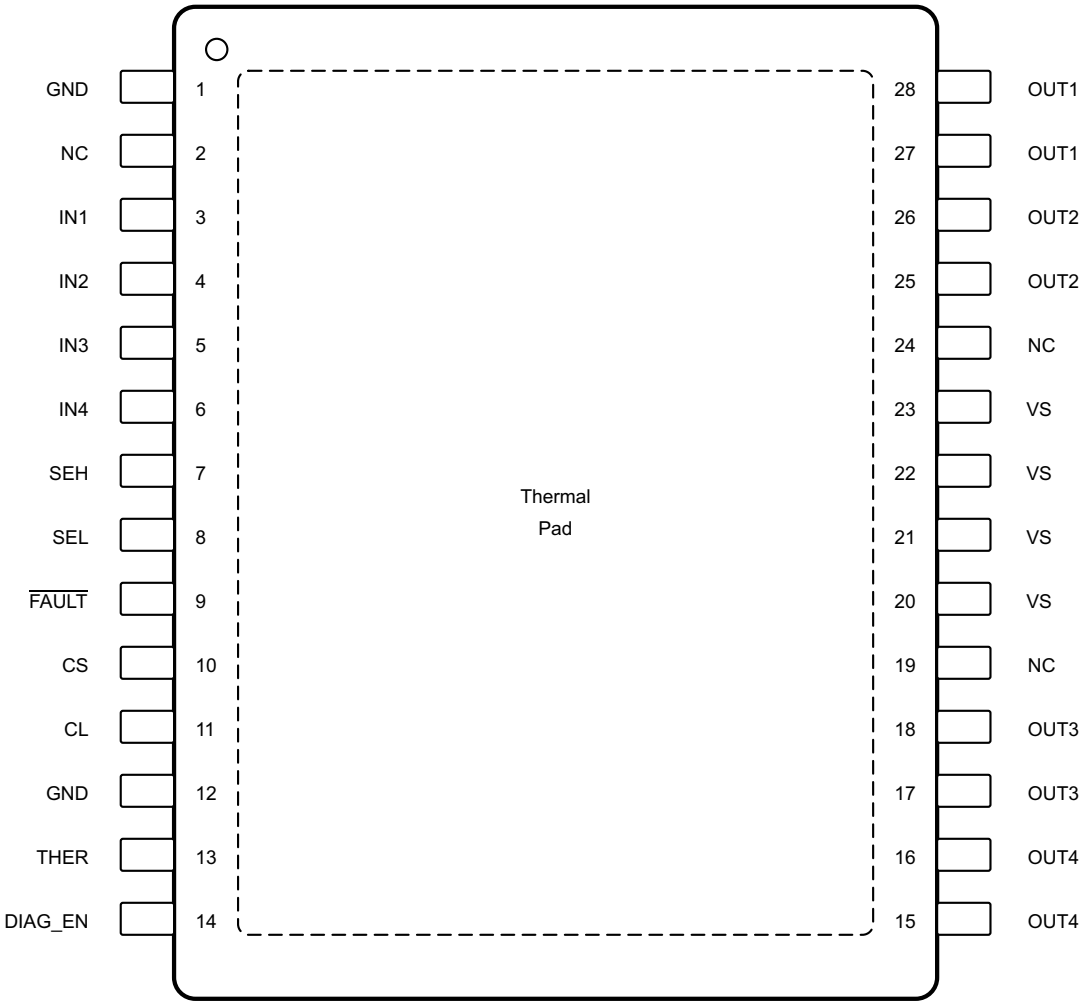
5 引脚配置和功能



NC – 无内部连接

图 5-1. PWP 封装，28 引脚 HTSSOP（带外露散热焊盘）— 版本 A（顶视图）

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated



NC – 无内部连接

图 5-2. PWP 封装，28 引脚 HTSSOP（带外露散热焊盘）— 版本 B（顶视图）

表 5-1. 引脚功能

引脚			I/O	说明
名称	编号			
	版本 A	版本 B		
CL	11	11	O	可调节电流限制。如果未使用外部电流限制，则连接到器件 GND 引脚。
CS	—	10	O	电流检测输出
DIAG_EN	14	14	I	用于诊断的启用/禁用引脚；内部下拉
$\overline{\text{FAULT}}$	—	9	O	具有开漏结构的全局故障报告，用于四通道故障条件的逻辑或运算
GND	1、12	1、12	—	接地引脚
IN1	3	3	I	用于激活通道 1 的输入控制；内部下拉
IN2	4	4	I	用于激活通道 2 的输入控制；内部下拉
IN3	5	5	I	用于激活通道 3 的输入控制；内部下拉
IN4	6	6	I	用于激活通道 4 的输入控制；内部下拉
NC	2、19、24	2、19、24	—	无内部连接
$\overline{\text{ST1}}$	7	—	O	通道 1 的开漏诊断状态输出

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 5-1. 引脚功能（续）

引脚			I/O	说明
名称	编号			
	版本 A	版本 B		
$\overline{ST2}$	8	—	O	通道 2 的开漏诊断状态输出
$\overline{ST3}$	9	—	O	通道 3 的开漏诊断状态输出
$\overline{ST4}$	10	—	O	通道 4 的开漏诊断状态输出
SEH	—	7	I	CS 通道选择高位；内部下拉
SEL	—	8	I	CS 通道选择低位；内部下拉
THER	13	13	I	热关断行为控制，闭锁或自动重试；内部下拉
OUT1	27、28	27、28	O	通道 1 高侧开关的输出、连接到负载
OUT2	25、26	25、26	O	通道 2 高侧开关的输出、连接到负载
OUT3	17、18	17、18	O	通道 3 高侧开关的输出、连接到负载
OUT4	15、16	15、16	O	通道 4 高侧开关的输出、连接到负载
VS	20、21、22、23	20、21、22、23	I	电源
散热焊盘	—	—	—	连接至器件 GND 引脚或保持悬空

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6 规格

6.1 绝对最大额定值

在工作环境温度范围内测得（除非另有说明）(1) (2)

		最小值	最大值	单位
电源电压	t < 400 ms		48	V
反极性电压(3)		-36		V
GND 引脚上的电流	t < 2 分钟	-100	250	mA
INx、DIAG_EN、SEL、SEH 和 THER 引脚上的电压		-0.3	7	V
INx、DIAG_EN、SEL、SEH 和 THER 引脚上的电流		-10	—	mA
$\overline{STx}$ 或 $\overline{FAULT}$ 引脚上的电压		-0.3	7	V
$\overline{STx}$ 或 $\overline{FAULT}$ 引脚上的电流		-30	10	mA
CS 引脚上的电压		-2.7	7	V
CS 引脚上的电流		—	30	mA
CL 引脚上的电压		-0.3	7	V
CL 引脚上的电流		—	6	mA
电感负载关断时的单脉冲、单通道能量耗散(4)		—	40	mJ
工作结温		-40	150	°C
贮存温度，T_{stg}		-65	150	°C

(1) 应力超出*绝对最大额定值*下面列出的值时可能会对器件造成永久损坏。这些列出的值仅仅是应力等级，并不表示器件在这些条件下以及在 *建议工作条件* 以外的任何其他条件下能够正常运行。长时间处于绝对最大额定条件下可能会影响器件的可靠性。
(2) 所有电压值都是以接地平面为基准。
(3) 反极性条件：t < 60s、反向电流< $I_{R(2)}$、V_{INx} = 0V、所有通道反向、GND 引脚 1kΩ 电阻器与二极管并联。
(4) 测试条件：V_{VS} = 13.5V，L = 8mH，R = 0Ω，T_J = 150°C，采用 FR4 2s2p 板材（2 × 70 µm 铜箔和 2 × 35 µm 铜箔）。热焊盘铜箔面积为 600mm^2。

6.2 ESD 等级

			值	单位
$V_{(ESD)}$ 静电放电	人体放电模型 (HBM)，符合 AEC Q100-002 标准(1)	除 VS、OUTx、GND 外的所有引脚	±4000	V
		VS、OUTx、GND 引脚	±5000	
	充电器件模型 (CDM)，符合 AEC Q100-011 标准	所有引脚	±750	
		转角引脚（1、14、15 和 28）	±750	

(1) AEC Q100-002 指示应当按照 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 规范执行 HBM 应力测试。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6.3 建议运行条件

在工作环境温度范围内测得（除非另有说明）

		最小值	最大值	单位
V_{VS}	电源工作电压	4	40	V
	INx、DIAG EN、SEL、SEH 和 THER 引脚上的电压	0	5	V
	$\overline{STx}$ 和 $\overline{FAULT}$ 引脚上的电压	0	5	V
	标称直流负载电流	0	2.5	A
T_A	工作环境温度范围	-40	125	°C

6.4 热性能信息

热指标(1)		TPS4H160-Q1 PWP (HTSSOP) 28 引脚	单位
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻	32.7	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳（顶部）热阻	17.1	°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	14.4	°C/W
ψ_{JT}	结至顶部特征参数	0.5	°C/W
ψ_{JB}	结至电路板特征参数	14.3	°C/W
$R_{\theta JC(bot)}$	结至外壳（底部）热阻	2.1	°C/W

(1) 有关新旧热指标的更多信息，请参阅 *IC 封装热指标* 应用报告 SPRA953。

6.5 电气特性

5V < V_{VS} < 40V；−40°C < T_J < 150°C，除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
工作电压						
$V_{VS(nom)}$	标称工作电压		4		40	V
$V_{VS(uvr)}$	欠压导通	V_{VS} 上升	3.5	3.7	4	V
$V_{VS(uvf)}$	欠压关断	V_{VS} 下降	3	3.2	3.4	V
$V_{(uv,hys)}$	欠压关断迟滞			0.5		V
工作电流						
$I_{(op)}$	标称工作电流(1)	V_{VS} = 13.5V、V_{INx} = 5V、V_{DIAG_EN} = 0V、I_{OUTx} = 0.5A、电流限制= 2A、所有通道都开启			8	mA
$I_{(off)}$	待机电流	V_{VS} = 13.5V、V_{INx} = V_{DIAG_EN} = V_{CS} = V_{CL} = V_{OUTx} = THER = 0V、T_J = 25°C			0.5	μA
		V_{VS} = 13.5V、V_{INx} = V_{DIAG_EN} = V_{CS} = V_{CL} = V_{OUTx} = THER = 0V、T_J = 125°C			5	
$I_{(off,diag)}$	启用诊断时的待机电流	V_{VS} = 13.5V、V_{INx} = 0V、V_{DIAG_EN} = 5V、V_{VS} – V_{OUTx} > $V_{(ol,off)}$、不处于开路负载模式			5	mA
$t_{(off,diag)}$	待机模式抗尖峰脉冲时间(1)	IN 从高电平转换到低电平的过程中，如果抗尖峰脉冲时间 > $t_{(off,deg)}$，则器件将进入待机模式。	10	12.5	15	ms
$I_{lkg(out)}$	关断状态下的输出漏电流	V_{VS} = 13.5V、V_{INx} = V_{DIAG_EN} = V_{OUTx} = 0			3	μA
功率级						
$r_{DS(on)}$	导通状态电阻(1)	V_{VS} ≥ 3.5V，T_J = 25°C		165		mΩ
		V_{VS} ≥ 3.5V，T_J = 150°C			280	
$I_{CL(int)}$	内部电流限制	内部电流限制值、CL 引脚连接到 GND	8		14	A

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6.5 电气特性（续）

5V < V_{VS} < 40V；−40°C < T_J < 150°C，除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$I_{CL(TSD)}$	热关断期间的电流限(1)	热关断时的内部电流限制值		6.5		A
		热关断时的外部电流限制值。外部电流限制设定值的百分比		70%		
$V_{DS(clamp)}$	漏极-源极内部钳位电压		50		70	V

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6.5 电气特性（续）

5V < V_{VS} < 40V；−40°C < T_J < 150°C，除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
输出二极管特性						
V_F	漏极到源极二极管电压	IN = 0、I_{OUTx} =−0.15A。	0.3	0.7	0.9	V
$I_{R(1)}$、$I_{R(2)}$	从源极到漏极的持续反向电流(1)	t < 60s、V_{INx} = 0V、T_J = 25°C、单通道反转、电池短路情况		2.5		A
		t < 60s、V_{INx} = 0V、GND 引脚 1-kΩ 电阻器与二极管并联。T_J = 25°C。反极性条件、所有通道反转		2		
LOGIC INPUT (INx、DIAG_EN、SEL、SEH、THER)						
V_{IH}	逻辑高电平电压		2			V
V_{IL}	逻辑低电平电压				0.8	V
$R_{(logic,pd)}$	逻辑引脚下拉电阻	INx、SEL、SEH、THER、V_{INx} = V_{SEL} = V_{SEH} = V_{THER} = 5V	100	175	250	kΩ
		DIAG_EN.V_{VS} = V_{DIAG_EN} = 5V	200	275	350	
诊断						
$I_{lkg(GND_loss)}$	GND 损耗条件下的输出漏电流				100	µA
$V_{(ol,off)}$	开路负载检测阈值	IN = 0V、当 V_{VS} – V_{OUTx} < $t_{(ol,off)}$，持续时间长于 $t_{(ol,off)}$，然后检测到开路负载，关闭状态	1.6		2.6	V
$t_{d(ol,off)}$	开路负载检测阈值抗尖峰脉冲时间（参见 图 6-3）	IN = 0V、当 V_{VS} – V_{OUTx} < $V_{(ol,off)}$，持续时间长于 $t_{(ol,off)}$，然后检测到开路负载，关闭状态	300	550	800	µs
$I_{(ol,off)}$	关断状态下的输出灌电流	V_{INx} = 0V、V_{DIAG_EN} = 5V、V_{VS} = V_{OUTx} = 13.5V、T_J = 125°C、开路负载	-75			µA
$V_{OL(STx)}$	状态低输出电压	I_{STx} = 2mA，仅限版本 A			0.2	V
$V_{OL(FAULT)}$	故障低输出电压	I_{FAULT} = 2mA，仅限版本 B			0.2	V
$t_{CL(deg)}$	发生电流限制时的抗尖峰脉冲时间(1)	V_{INx} = V_{DIAG_EN} = 5V，从电流限制切换至 $\overline{FAULT}$、$\overline{STx}$、CS 报告的抗尖峰脉冲时间。	80		180	µs
$T_{(SD)}$	热关断阈值(1)		160	175		°C
$T_{(SD,rst)}$	热关断状态复位阈值(1)			155		°C
$T_{(SW)}$	热振荡关断阈值(1)			60		°C
$T_{(hys)}$	复位热关断或热振荡时的迟滞(1)			10		°C
电流检测（版本 B）和电流限制						
$K_{(CS)}$	电流检测比			300		
$K_{(CL)}$	电流限制比			2500		
$V_{CL(th)}$	电流限制内部阈值(1)			0.8		V
$dK_{(CS)}/K_{(CS)}$	电流检测精度，(I_{CS} × $K_{(CS)}$ – I_{OUTx}) / I_{OUTx} × 100	V_{VS} = 13.5V，I_{OUTx} ≥ 5mA	-65%		65%	
		V_{VS} = 13.5V，I_{OUTx} ≥ 25mA	-15%		15%	
		V_{VS} = 13.5V，I_{OUTx} ≥ 50mA	-8%		8%	
		V_{VS} = 13.5V，I_{OUTx} ≥ 100mA	-4%		4%	
		V_{VS} = 13.5V，I_{OUTx} ≥ 0.5A	-3%		3%	
$dK_{(CL)}/K_{(CL)}$	外部电流限制精度(2) (I_{OUTx} – I_{CL} × $K_{(CL)}$) × 100 / (I_{CL} × $K_{(CL)}$)	V_{VS} = 13.5V，$I_{(limit)}$ ≥ 0.25A	-20%		20%	
		V_{VS} = 13.5V，0.5A ≤ $I_{(limit)}$ ≤ 7A	-15%		15%	
$V_{CS(lin)}$	电流检测电压线性范围(1)	V_{VS} ≥ 6.5V	0		4	V
		5V ≤ V_{VS} < 6.5V	0		V_{VS} – 2.5	
$I_{OUTx(lin)}$	输出电流线性范围(1)	V_{VS} ≥ 6.5V，$V_{CS(lin)}$ ≤ 4V	0		2.5	A
		5V ≤ V_{VS} < 6.5V，$V_{CS(lin)}$ ≤ V_{VS} – 2.5V	0		2.5	
$V_{CS(H)}$	电流检测引脚输出电压	V_{VS} ≥ 7V，故障模式	4.5		6.5	V
		5V ≤ V_{VS} < 7V，故障模式	最小值(V_{VS} – 2、4.5)		6.5	V
$I_{CS(H)}$	电流检测引脚输出电流	V_{CS} = 4.5V，V_{VS} = 13.5V	15			mA

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6.5 电气特性（续）

5V < V_{VS} < 40V；−40°C < T_J < 150°C，除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$I_{lkg(CS)}$	禁用模式下的电流检测漏电流	V_{DIAG_EN} = 0V，T_J =125°C			0.5	μA

(1) 值由设计指定，无需进行生产测试
(2) 外部电流限制精度仅适用于超过电流限制设置 1.5 倍的过载情况

6.6 开关特性

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$t_{d(on)}$	延迟时间，V_{INx} ↑ 后 V_{OUTx} 10%（请参阅 图 6-1。）	V_{VS} = 13.5V、V_{DIAG_EN} = 5V、I_{OUTx} = 0.5A、IN 上升沿至 V_{OUTx} 的 10%	20	50	90	μs
$t_{d(off)}$	延迟时间、V_{INx} ↓ 后 V_{OUTx} 90%（请参阅 图 6-1。）	V_{VS} = 13.5V、V_{DIAG_EN} = 5V、I_{OUTx} = 0.5A、IN 下降沿至 V_{OUTx} 的 90%	20	50	90	μs
dV/dt(on)	开启压摆率	V_{VS} = 13.5V、V_{DIAG_EN} = 5V、I_{OUTx} = 0.5A、V_{OUTx} 从 10% 至 90%	0.1	0.3	0.55	V/μs
dV/dt(off)	关断压摆率	V_{VS} = 13.5V、V_{DIAG_EN} = 5V、I_{OUTx} = 0.5A、V_{OUTx} 从 90% 至 10%	0.1	0.3	0.55	V/μs
$t_{d(match)}$	$t_{d(rise)}$ – $t_{d(fall)}$（参见 图 6-1。）	V_{VS} = 13.5V、I_L = 0.5A。$t_{d,\ rise}$ 是 IN 上升沿至 V_{OUTx} = 90%。$t_{d(fall)}$ 是 IN 下降沿至 V_{OUTx} = 10%。	-50		50	μs
电流检测特性（参见 图 6-2。）						
$t_{CS(off1)}$	禁用 DIAG_EN 之后的 CS 趋稳时间(1)	V_{VS} = 13.5V、V_{INx} = 5V、I_{OUTx} = 0.5A。电流限值= 2A。DIAG_EN 下降沿至 V_{CS} 的 10%。			20	μs
$t_{CS(on1)}$	启用 DIAG_EN 之后的 CS 趋稳时间(1)	V_{VS} = 13.5V、V_{INx} = 5V、I_{OUTx} = 0.5A。电流限值为 2A。DIAG_EN 上升沿至 V_{CS} 的 90%。			20	μs
$t_{CS(off2)}$	从 IN 下降沿开始的 CS 趋稳时间	V_{VS} = 13.5V、V_{DIAG_EN} = 5V、I_{OUTx} = 0.5A。电流限值= 2A。IN 下降沿至 V_{CS} 的 10%	30		100	μs
$t_{CS(on2)}$	从 IN 上升沿开始的 CS 趋稳时间	V_{VS} = 13.5V、V_{DIAG_EN} = 5V、I_{OUTx} = 0.5A。电流限值为 2A。IN 上升沿至 V_{CS} 的 90%	50		150	μs
t_{SEx}	通道间的多重检测转换延迟	V_{DIAG_EN} = 5V，多检测引脚 SEL 和 SEH 从在通道之间转换时的电流检测输出延迟			50	μs

(1) 值由设计指定，无需进行生产测试

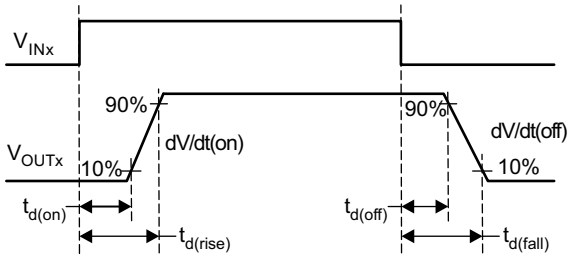


图 6-1. 输出延迟特性

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

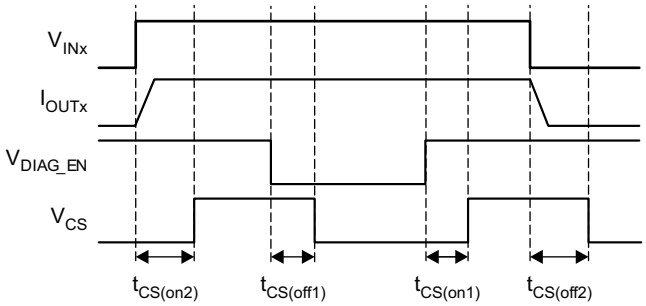


图 6-2. CS 延迟特性

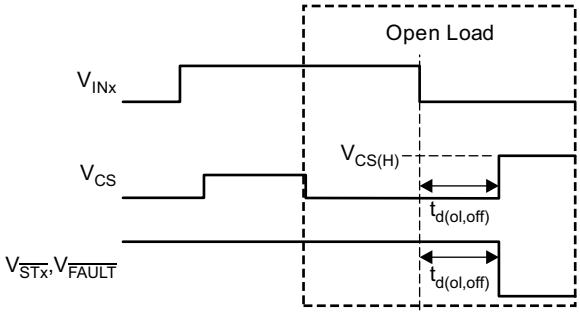


图 6-3. 开路负载消隐时间特性

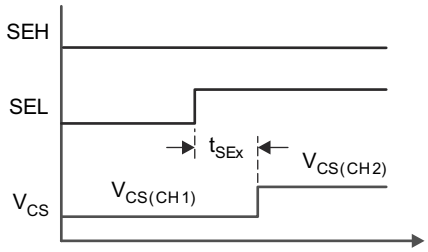


图 6-4. 多感应转换延迟

6.7 典型特性

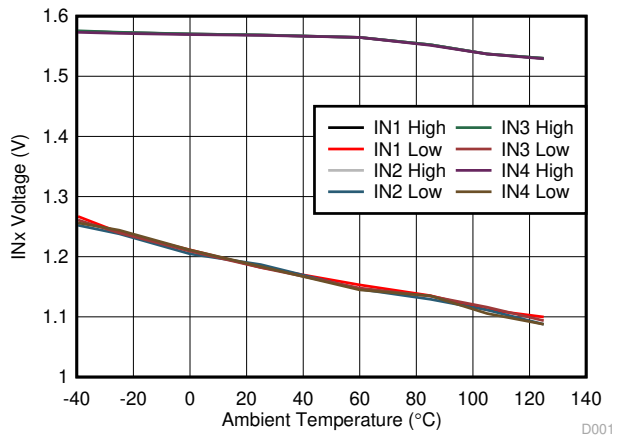


图 6-5. INx 电压阈值

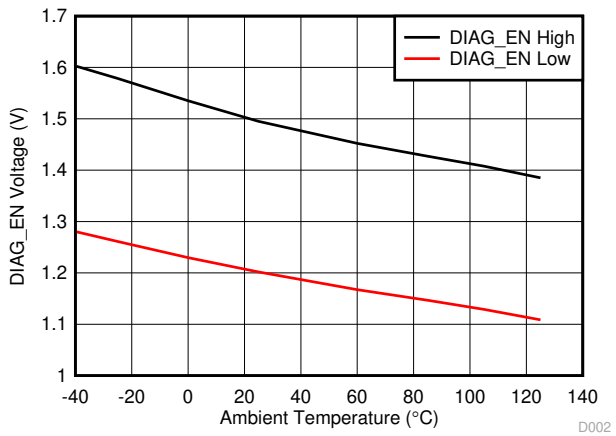


图 6-6. DIAG_EN 电压阈值

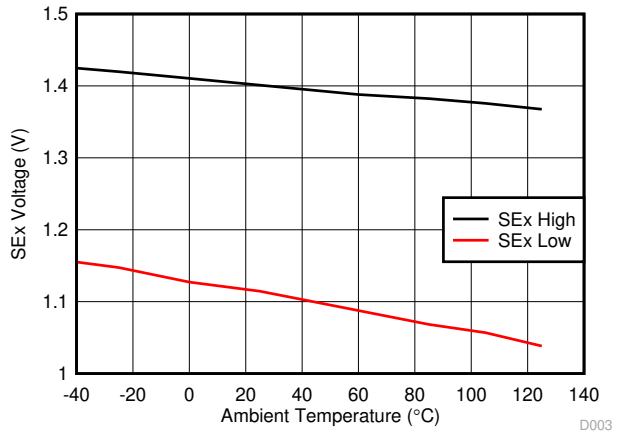


图 6-7. SEx 电压阈值

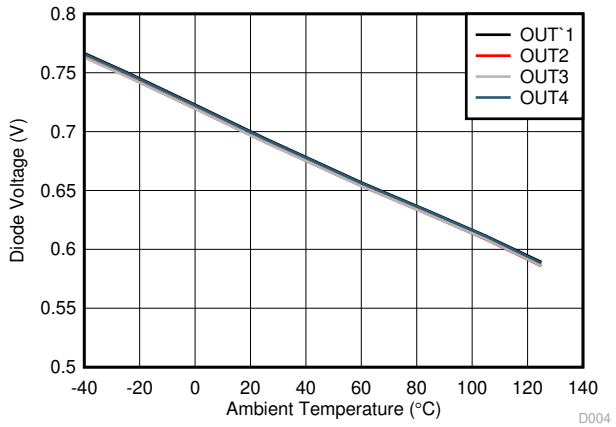


图 6-8. 体二极管正向电压

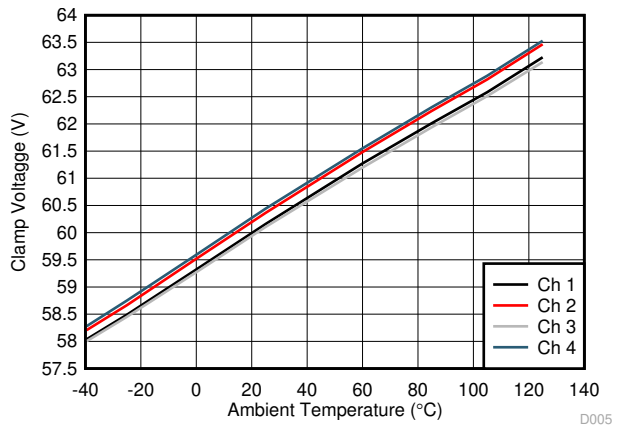


图 6-9. 漏源钳位电压

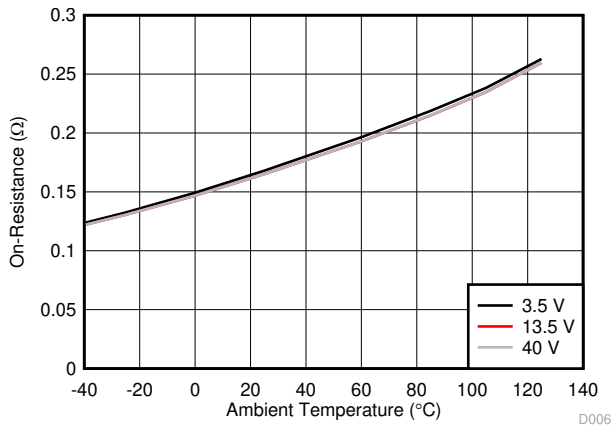


图 6-10. 通道 1 FET 导通电阻

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6.7 典型特性（续）

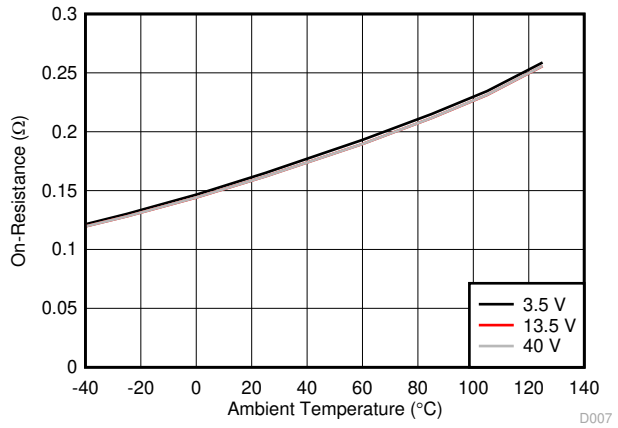


图 6-11. 通道 2 FET 导通电阻

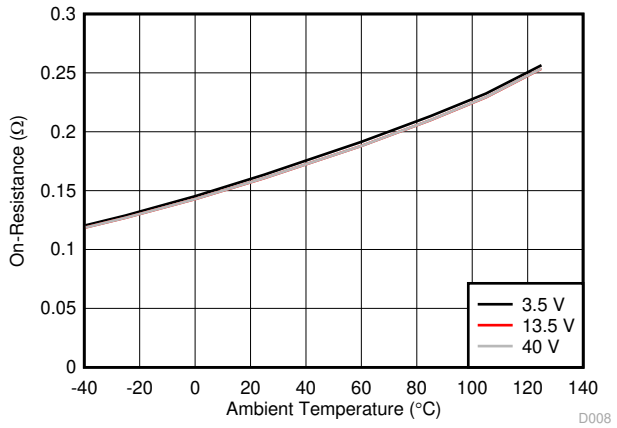


图 6-12. 通道 3 FET 导通电阻

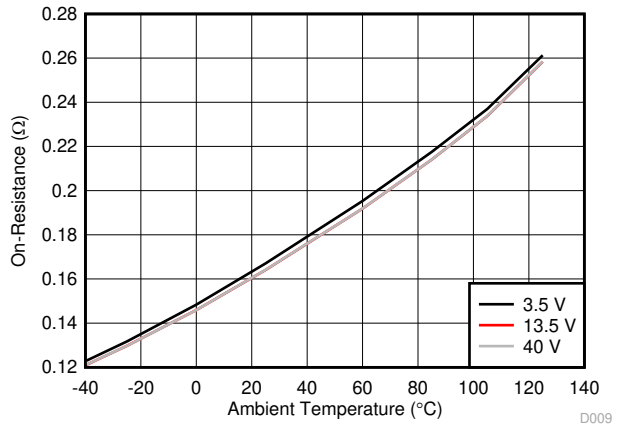


图 6-13. 通道 4 FET 导通电阻

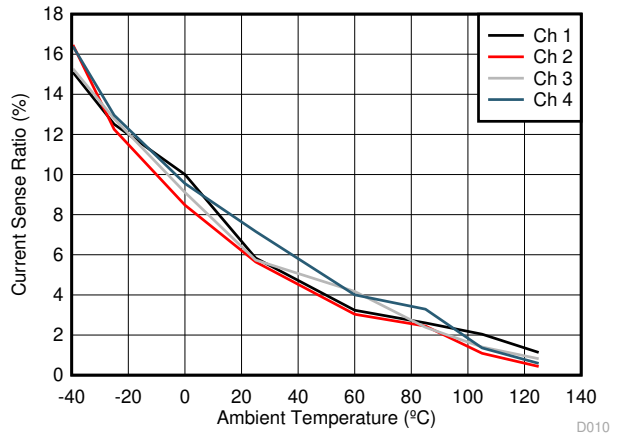


图 6-14. 5mA 时的电流检测比

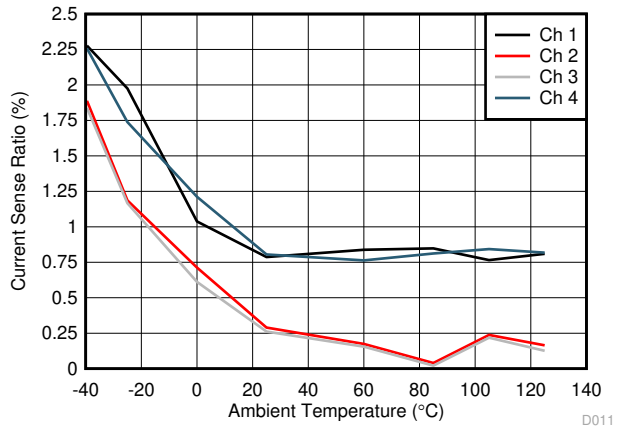


图 6-15. 25mA 时的电流检测比

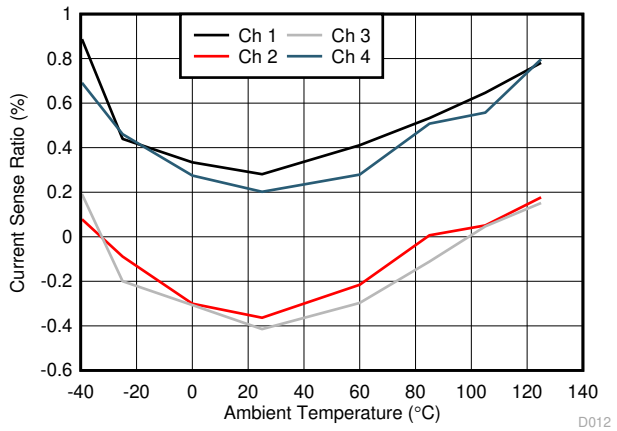


图 6-16. 50mA 时的电流检测比

6.7 典型特性（续）

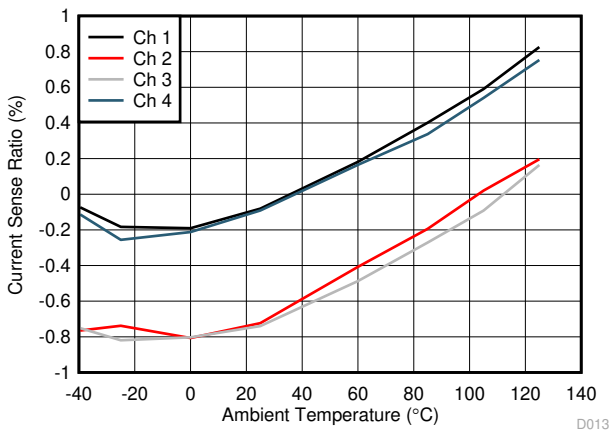


图 6-17. 100mA 时的电流检测比

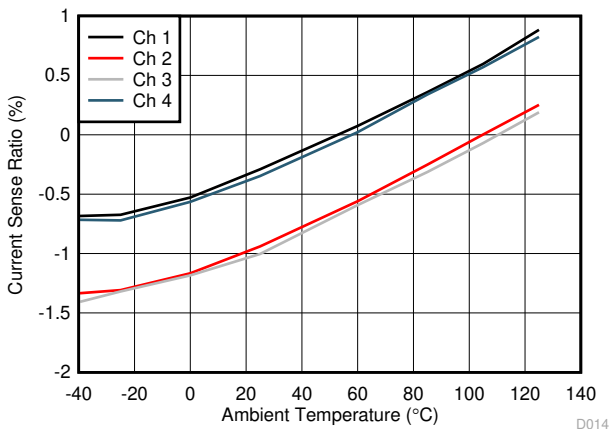


图 6-18. 500mA 时的电流检测比

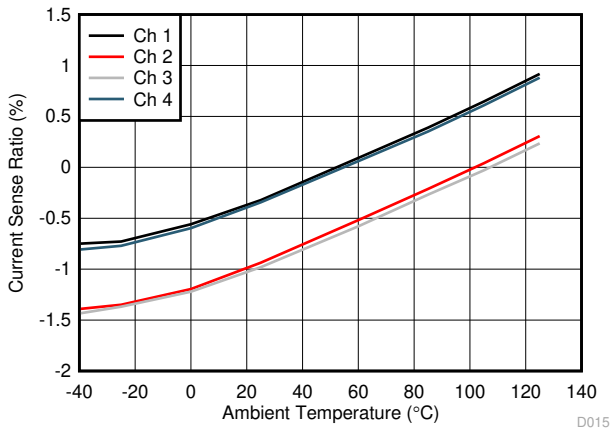


图 6-19. 1A 时的电流检测比

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7 详细说明

7.1 概述

TPS4H160-Q1 器件是一款具有内部电荷泵和四通道集成式 NMOS 功率 FET 的智能高侧开关。该器件具有丰富的诊断功能以及高精度电流检测特性，能够对负载实施智能控制。可调节电流限制功能能够极大地提高整个系统的可靠性。该器件的两个版本具有不同诊断报告方式，即开漏数字输出（版本 A）和电流检测模拟输出（版本 B）。

对于版本 A，该器件以开漏结构实现数字故障报告。当故障发生情况时，该器件将 $\overline{\text{STx}}$ 下拉至 GND。需要使用一个 3.3V 或 5V 的外部上拉电阻来匹配微控制器的电源电平。每个通道的数字状态可以单独报告，也可以通过将 $\overline{\text{STx}}$ 引脚连接在一起进行全局报告。

对于版本 B，高精度电流检测可使诊断更加准确，无需进一步校准。一个集成的电流镜可以提供 $1/K_{(CS)}$ 的负载电流。镜像电流流入 CS 引脚电阻器，成为电压信号。$K_{(CS)}$ 在整个温度和电源电压范围内是一个恒定值。0V 至 4V 的宽线性区域可实现更好的实时负载电流监测。CS 引脚还可以报告 $V_{CS(H)}$ 上拉电压的故障。

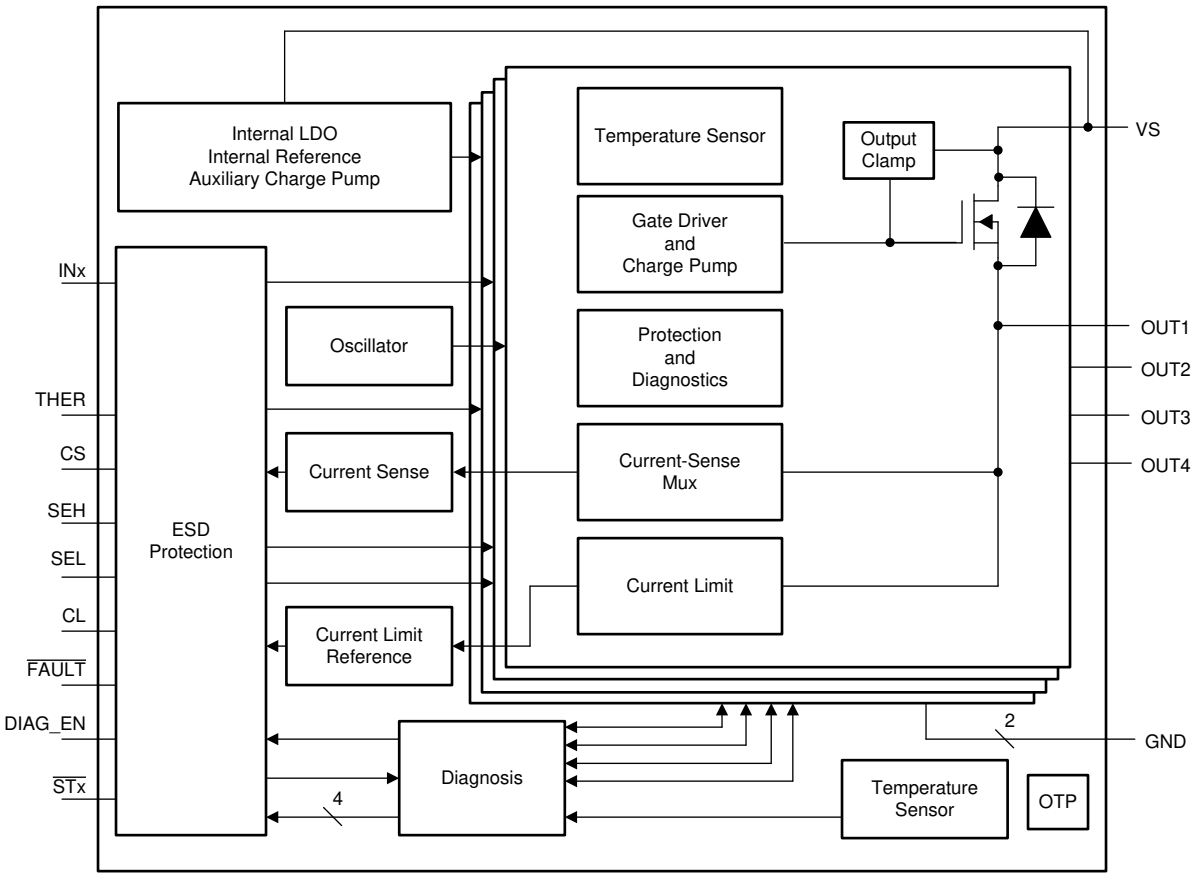
外部高精度电流限制功能允许根据应用设置电流限制值。当发生过流时，该器件通过有效钳制浪涌电流来提高系统可靠性。此外，该器件还可以通过减少 PCB 布线、连接器尺寸和前一个功率级的容量来节省系统成本。此外，该器件还实现了具有固定值的内部电流限制。

对于电感负载（继电器、螺线管、阀），该器件在漏极和源极之间实现了有源钳位，以保护自身。在电感关断周期期间，电源和负载的能量都耗散在高侧电源开关上。该器件还会在钳位处于工作状态时优化开关压摆率，通过尽可能降低瞬态功率和 EMI 的影响，来帮助进行系统设计。

TPS4H160-Q1 器件是一款智能高侧开关，适用于各种电阻负载、电感负载和容性负载，包括低瓦数灯泡、LED、继电器、螺线管、加热器和子模块。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.2 功能方框图



7.3 特性说明

7.3.1 引脚电流和电压约定

在整个数据表中，各引脚上的电流方向如图 7-1 中的箭头所示，以供参考。所有电压均以接地平面为基准进行测量。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

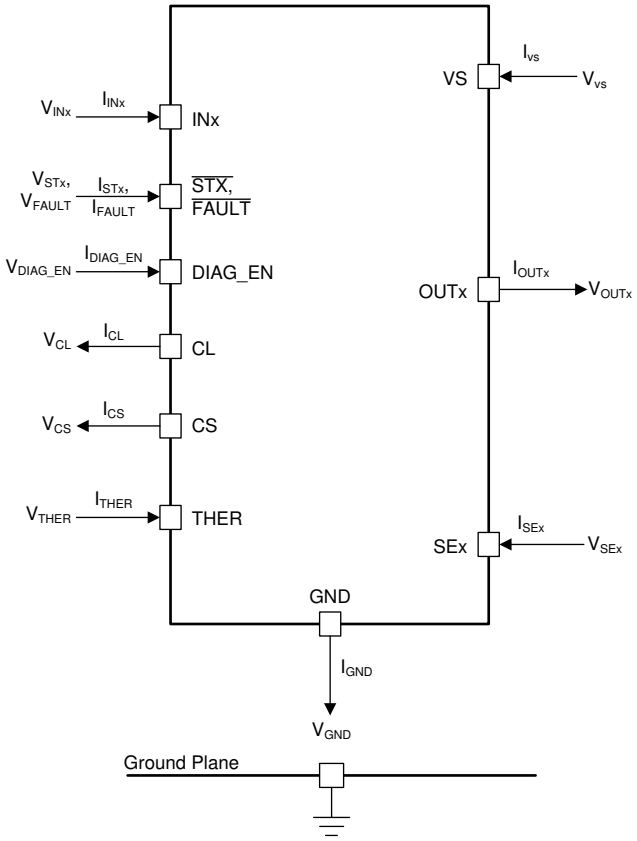


图 7-1. 电压和电流约定

7.3.2 精确的电流检测

B 版本器件中实现了高精度电流检测。它可实现更好的实时监测效果和更准确的诊断，无需进一步校准。

一块集成电流镜可以提供 $1/K_{(CS)}$ 的负载电流，并且镜像电流流入外部电流检测电阻器，变成电压信号。电流镜由四个通道共享。$K_{(CS)}$ 为输出电流与检测电流之比。它在整个温度和电源电压范围内是一个恒定值。每个器件在生产过程中都会进行精确校准，因此无需后校准。有关更多详细信息，请参阅图 7-2。

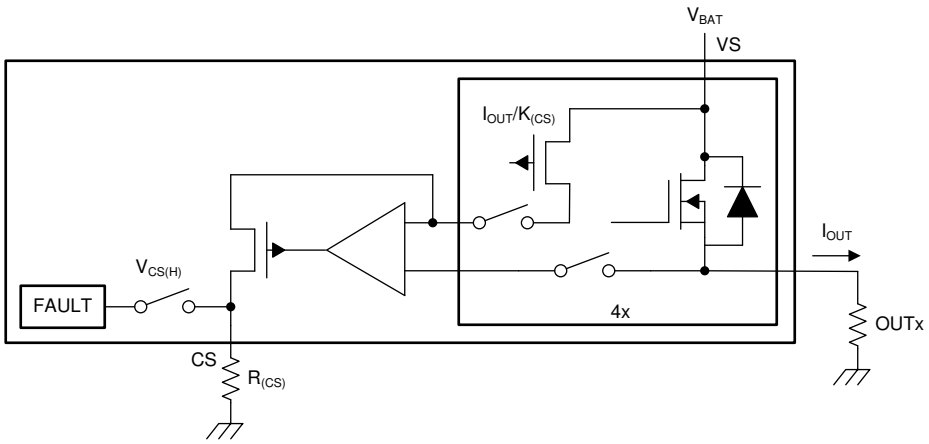


图 7-2. 电流检测方框图

当发生故障时，CS 引脚也会使用上拉电压 $V_{CS(H)}$ 作为故障报告。有关更多详细信息，请参阅图 7-3。

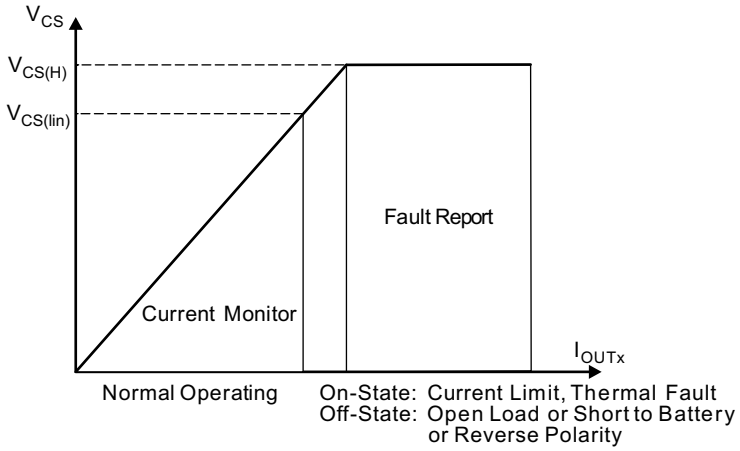


图 7-3. 电流检测输出电压曲线

使用方程式 1 计算 $R_{(CS)}$。

$$R_{(CS)} = \frac{V_{CS}}{I_{CS}} = \frac{V_{CS} \times K_{(CS)}}{I_{OUTx}} \quad (1)$$

计算 $R_{(CS)}$ 时请考虑以下几点。

- 确保 V_{CS} 在整个负载电流范围内位于电流检测线性区域内（V_{CS}、$I_{OUTx(lin)}$）。使用 方程式 2 检查 $R_{(CS)}$。

$$R_{(CS)} = \frac{V_{CS}}{I_{CS}} \leq \frac{V_{CS(lin)}}{I_{CS}} \quad (2)$$

- 在故障模式下，确保 I_{CS} 在 CS 引脚的拉电流能力范围内 ($I_{CS(H)}$)。使用 方程式 3 检查 $R_{(CS)}$。

$$R_{(CS)} = \frac{V_{CS}}{I_{CS}} \geq \frac{V_{CS(H,min)}}{I_{CS(H,min)}} \quad (3)$$

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.3.3 可调节限流

高精度电流限制提升了设计的可靠性。它可在接地短路或上电条件下保护负载和电源，避免遭受过应力损坏。此外，此项功能还可以通过减少 PCB 走线、连接器尺寸和前一个功率级的容量来节省系统成本。

当达到电流限制阈值时，闭环立即激活。输出电流被钳位在设定值，同时报告故障。由于功率 FET 上的高功耗，器件温度会升高。如果发生热关断，电流限制将设置为 $I_{CL(TSD)}$，以降低功率 FET 上的功率耗散。有关更多详细信息，请参阅图 7-4。

该器件具有两个电流限制阈值。

- 内部电流限制：内部电流限制固定为 $I_{CL(int)}$。对于大瞬态电流应用，将 CL 引脚直接连接到器件 GND。
- 外部可调节电流限制：通过外部电阻器设置电流限制阈值。使用 方程式 4 计算 $R_{(CL)}$ 的值。$V_{CL(th)}$ 是内部带隙电压。$K_{(CL)}$ 是输出电流与电流限制设定值之比。其在整个温度和电源电压范围内是恒定的。外部可调节电流限制允许根据应用灵活设置电流限制值。

$$I_{CL} = \frac{V_{CL(th)}}{R_{(CL)}} = \frac{I_{OUT}}{K_{(CL)}}$$

$$R_{(CL)} = \frac{V_{CL(th)} \times K_{(CL)}}{I_{OUT}} \quad (4)$$

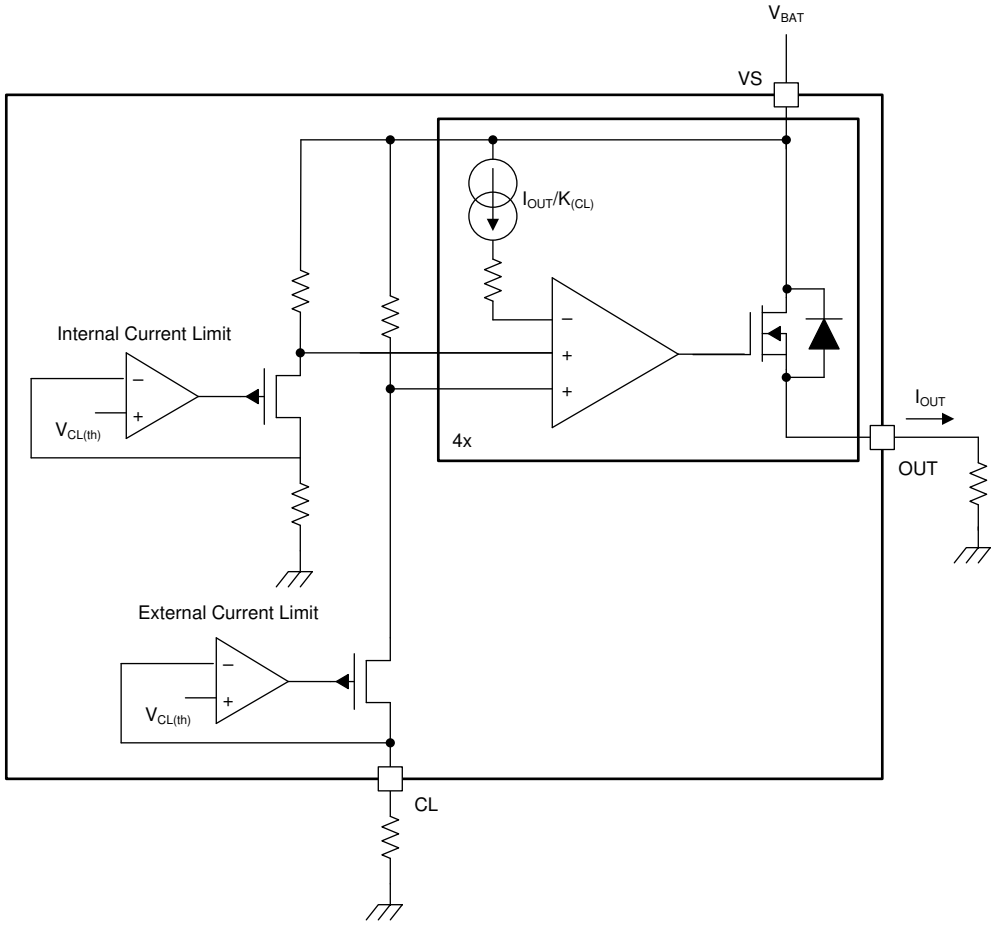


图 7-4. 限流方框图

请注意，如果使用接地网络，则会导致器件 GND 引脚和电路板 GND 之间发生电平转换，因此，CL 引脚必须与器件 GND 引脚连接。

为了更好地防止出现硬接地短路情况（当 INx 引脚启用，且突然发生 GND 短路时），器件会实施快速跳变保护，在设置电流限制闭环之前关断相关通道。快速跳变的响应时间一般不到 1µs。凭借这种快速响应能力，器件可以实现更佳的浪涌电流抑制性能。

7.3.4 电感负载关断钳位

断开电感负载时，电感电抗会导致输出电压趋于负值。过高的负电压可能导致功率 FET 损坏。为了保护功率 FET，器件在漏极和源极之间实现了内部钳位功能，即 $V_{DS(clamp)}$。

$$V_{DS(clamp)} = V_{VS} - V_{OUT} \quad (5)$$

在消磁期间 (t_{decay})，功率 FET 导通以进行电感能量耗散。总能量在高侧开关中耗散。总能量包括电源的能量 ($E_{(VS)}$) 和负载的能量 ($E_{(load)}$)。如果电阻与电感串联，则部分负载能量会在电阻中耗散。

$$E_{(HSS)} = E_{(VS)} + E_{(load)} = E_{(VS)} + E_{(L)} - E_{(R)} \quad (6)$$

当电感负载关断时，$E_{(HSS)}$ 会在器件上引起高热应力。功率耗散的上限取决于器件的固有容量、环境温度和电路板耗散条件。

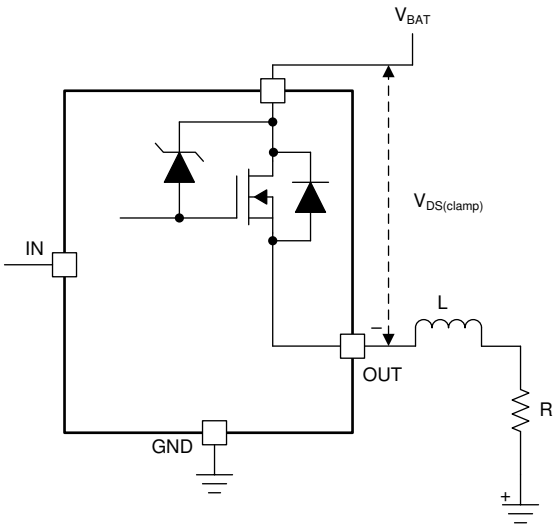


图 7-5. 漏源钳位结构

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

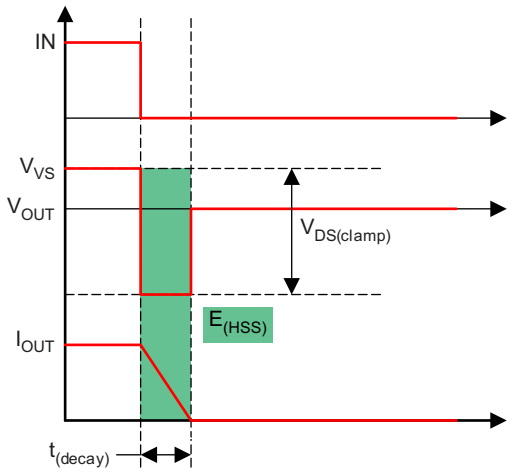


图 7-6. 电感负载关断图

从高侧开关的角度来看，$E_{(HSS)}$ 等于消磁期间的积分值。

$$E_{(HSS)} = \int_0^{t_{(decay)}} V_{DS(clamp)} \times I_{OUT}(t)dt$$

$$t_{(decay)} = \frac{L}{R} \times \ln\left(\frac{R \times I_{OUT(max)} + |V_{OUT}|}{|V_{OUT}|}\right)$$

$$E_{(HSS)} = L \times \frac{V_{VS} + |V_{OUT}|}{R^2} \times \left[R \times I_{OUT(max)} - |V_{OUT}| \ln\left(\frac{R \times I_{OUT(max)} + |V_{OUT}|}{|V_{OUT}|}\right)\right] \quad (7)$$

当 R 大概等于 0 时，$E_{(HSD)}$ 可以简单地表示为：

$$E_{(HSS)} = \frac{1}{2} \times L \times I_{OUT(max)}^2 \frac{V_{VS} + |V_{OUT}|}{|V_{OUT}|} \quad (8)$$

图 7-7 是器件驱动电感负载的波形，图 7-8 是具有展开时间刻度的波形。通道 1 是输入信号，通道 2 是电源电压 V_{VS}，通道 3 是输出电压 V_{OUT}，通道 4 是输出电流 I_{OUT}，通道 M 是测得的功率耗散 $E_{(HSS)}$。

在波形中，V_{OUT} 从 V_{VS} 到 (V_{VS} – $V_{DS(clamp)}$) 的持续时间大约为 120µs。当钳位处于活动状态时，该器件还会优化关断转换率。这种优化可以通过将瞬态功率和 EMI 的影响保持在最低水平，来帮助进行系统设计。如 图 7-7 和 图 7-8 所示，受控转换率约为 0.5V/µs。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

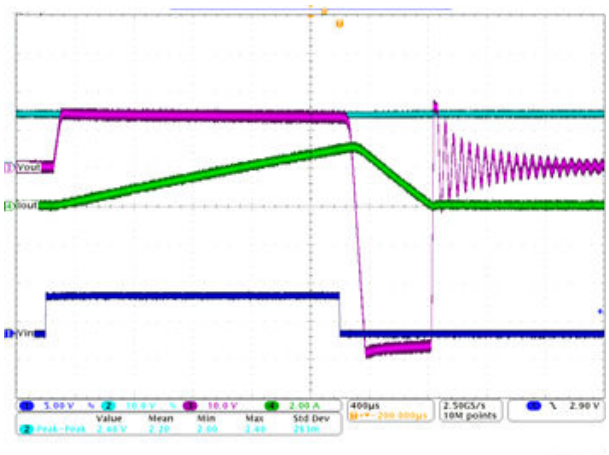


图 7-7. 电阻负载关断波形

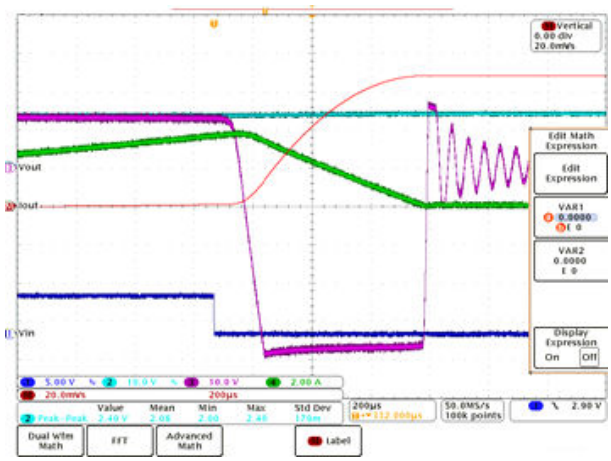


图 7-8. 电阻负载关断展开波形

请注意，对于 PWM 控制的电感负载，建议添加如图 7-9 所示的外部续流电路，以保护器件免受重复性功率应力的影响。TVS 用于实现快速衰减。有关更多详细信息，请参阅图 7-9。

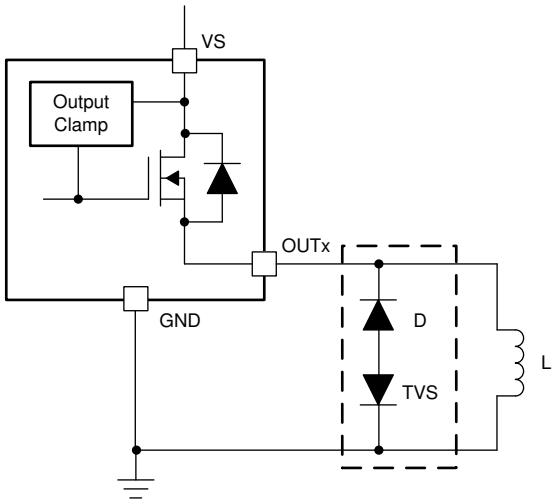


图 7-9. 通过外部电路提供保护

7.3.5 故障检测和报告

7.3.5.1 诊断使能功能

DIAG_EN 引脚用于启用或禁用诊断功能。如果使用了多个器件，但微控制器中的 ADC 资源有限，MCU 可以使用 GPIO 将 DIAG_EN 设置为高电平，以启用某一器件的诊断功能，同时通过将其他器件的 DIAG_EN 设置为低电平来禁用它们的诊断功能。此外，通过将 DIAG_EN 和 INx 设置为低电平，可以将器件的功耗降至最低。

7.3.5.2 电流检测的多路复用

对于版本 B，SEL 和 SEH 是两个引脚，用于在四个通道之间复用共享电流检测功能。有关更多详细信息，请参阅表 7-1。

表 7-1. 诊断配置表

DIAG_EN	INx	SEH	SEL	CS 激活的通道	CS、$\overline{\text{FAULT}}$、$\overline{\text{STx}}$	保护和诊断
L	H	—	—	—	高阻抗	诊断功能禁用，启用全面保护
	L					诊断功能禁用，无保护功能

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 7-1. 诊断配置表（续）

DIAG_EN	INx	SEH	SEL	CS 激活的通道	CS、$\overline{\text{FAULT}}$、$\overline{\text{STx}}$	保护和诊断
H	—	0	0	通道 1	请参阅 表 7-2	请参阅 表 7-2
		0	1	通道 2		
		1	0	通道 3		
		1	1	通道 4		

7.3.5.3 故障表

当 DIAG_EN 引脚启用时，表 7-2 适用。

表 7-2. 故障表

条件	INx	OUTx	THER	标准	$\overline{\text{STx}}$（版本 A）	CS（版本 B）	$\overline{\text{FAULT}}$（版本 B）	故障恢复
正常	L	L	—	—	H	0	H	—
	H	H	—	—	H	在线性区域中	H	—
过载，接地短路	H	L	—	触发电流限制	L	$V_{CS(H)}$	L	自动
开路负载(1)、电池短路、反极性	L	H	—	$V_{VS} - V_{OUTx} < V_{(ol,off)}$	L	$V_{CS(H)}$	L	自动
热关断	H	—	L	触发 T_{SD}	L	$V_{CS(H)}$	L	输出自动重试。故障在 $T_J < T_{(SD,rst)}$ 或 INx 切换时恢复。
			H					输出锁闭。故障在 INx 切换时恢复。
热振荡	H	—	—	触发 T_{SW}	L	$V_{CS(H)}$	L	自动

(1) 需要外部上拉电阻用于开路负载检测。

7.3.5.4 $\overline{\text{STx}}$ 和 $\overline{\text{FAULT}}$ 报告

对于版本 A，四个单独的 $\overline{\text{STx}}$ 引脚报告故障情况，每个引脚负责相应的通道。当发生故障情况时，该引脚将 $\overline{\text{STx}}$ 下拉至 GND。需要一个 3.3V 或 5V 的外部上拉电阻来匹配微控制器的电源电平。每个通道的数字状态可以单独报告，也可以通过将所有 $\overline{\text{STx}}$ 引脚连接在一起进行全局报告。

对于版本 B，全局 $\overline{\text{FAULT}}$ 引脚用于监测所有通道之间的全局故障情况。当任何通道上出现故障条件时，$\overline{\text{FAULT}}$ 引脚下拉至 GND。需要一个 3.3V 或 5V 的外部上拉电阻来匹配微控制器的电源电平。

在$\overline{\text{故障}}$报告之后，微控制器可以通过多路复用电流检测来检查和识别处于故障状态的通道。CS 引脚也用作故障报告，具有内部上拉电压 $V_{CS(H)}$。

7.3.6 全面诊断

7.3.6.1 接地短路和过载检测

当通道导通时，接地短路或过载状况会造成过流。如果过流触发内部或外部电流限制阈值，将报告故障条件。微控制器可通过关闭开关来处理过流情况。如果未采取任何措施，器件将发热。如果发生热关断，电流限制为 $I_{CL(TSD)}$，以将功率 FET 上的功率应力保持在最低水平。故障条件消除后，器件将自动恢复。

7.3.6.2 开路负载检测

7.3.6.2.1 通道导通

当通道处于导通状态时，得益于小电流范围内的高精度电流检测功能，如果发生开路负载事件，可将其检测为超低 V_{CS}，并由微控制器进行处理。请注意，不会报告 $\overline{\text{STx}}$ 或 $\overline{\text{FAULT}}$ 引脚上的检测结果。微控制器必须对 SEL 和 SEH 引脚进行多路复用，以便主动检测通道开路负载故障。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.3.6.2.2 通道关断

当通道关闭时，如果连接了负载，则输出下拉至 GND。但如果发生开路负载，则输出电压接近电源电压 (V_{VS} – V_{OUTx} < $V_{(ol,off)}$)，并报告故障。

由于内部逻辑控制路径或外部湿度、腐蚀等原因，输出端始终存在漏电流 $I_{(ol,off)}$。因此，TI 建议使用外部上拉电阻器来偏移检测到开路负载时的漏电流。建议的上拉电阻为 20kΩ。

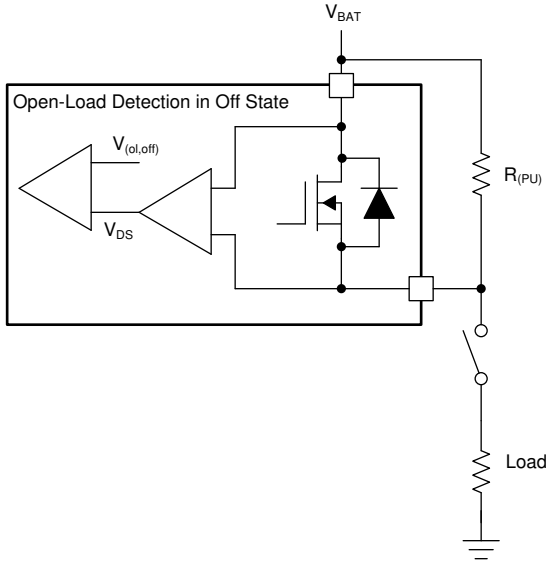


图 7-10. 关断状态下提供开路负载检测

7.3.6.3 电池短路检测

在导通和关断状态下，电池短路检测具有与开路负载检测相同的检测机制和行为。有关更多详细信息，请参阅表 7-2。

在导通状态下，反向电流流过 FET（而不是体二极管），从而降低功率耗散。因此，最坏的情况发生在关断状态。

- 如果 V_{OUTx} – V_{VS} < $V_{(F)}$（体二极管正向电压），则不会产生反向电流。
- 如果 V_{OUTx} – V_{VS} > $V_{(F)}$，则会产生反向电流。电流必须限制在小于 $I_{R(1)}$。将 INx 引脚设置为高电平可以更大限度地减小其通道上的功率应力。此外，有关外部反向保护的更多详细信息，请参阅反向电流保护。

7.3.6.4 反极性检测

在导通和关断状态下，反极性检测具有与开路负载检测相同的检测机制和行为。有关更多详细信息，请参阅表 7-2。

在导通状态下，反向电流流过 FET（而不是体二极管），从而降低功率耗散。因此，最坏的情况发生在关断状态。反向电流必须限制在小于 $I_{R(2)}$。将相关的 INx 引脚设置为高电平，以将功率耗散保持在最低水平。有关外部反向阻断电路，请参阅反向电流保护了解更多详细信息。

7.3.6.5 热故障检测

为了在高功率应力条件下保护器件，器件实施了两种热故障检测机制：绝对温度保护（热关断）和动态温度保护（热振荡）。各个温度传感器集成在每个功率 FET 附近，因此每个通道都会报告热故障。当某些通道处于热故障状态时，这种布置有助于器件更大限度降低跨通道效应。

7.3.6.5.1 热关断

当绝对温度 T_J > $T_{(SD)}$ 时，会激活热关断。如果发生热关断，相应的输出将关断。THER 引脚用于配置发生热关断后的行为。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

- 当 THER 引脚处于低电平时，热关断功能以自动重试模式运行。当 $T_J < T_{(SD)} - T_{(hys)}$ 时，输出会自动恢复，但电流限制在 $I_{CL(TSD)}$ 以避免反复热关断。当 $T_J < T_{(SD,rst)}$ 或切换相关 INx 引脚后，热关断故障信号将被清除。
- 当 THER 引脚处于高电平时，热关断功能以锁存模式运行。当发生热关断时，输出会锁存。当 THER 引脚从高电平变为低电平时，热关断将更改为自动重试模式。切换相关 INx 引脚后，热关断故障信号将被清除。

当功率 FET 的温度急速上升（即 $\Delta T = T_{(FET)} - T_{(Logic)} > T_{(sw)}$）时，会激活热振荡。当 $\Delta T = T_{(FET)} - T_{(Logic)} < T_{(sw)} - T_{(hys)}$.时，输出会自动恢复，且系统会将故障信号清除。热振荡功能提高了器件在重复快速热变化情况下的稳定性。如 图 7-11 所示，在发生热关断之前会触发多个热摆动。

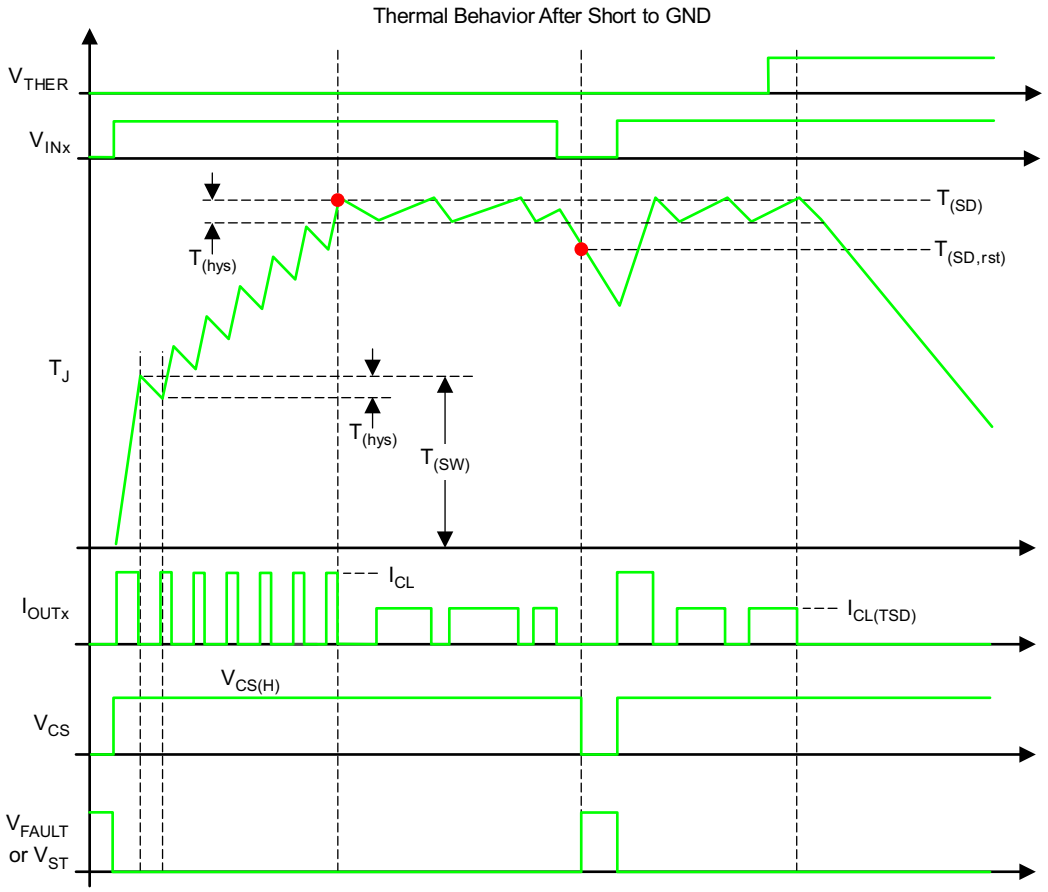


图 7-11. 热行为图

7.3.7 全面保护

7.3.7.1 UVLO 保护

该器件可监控电源电压 V_{VS}，以防止 V_{VS} 过低时出现意外行为。当 V_{VS} 下降至低于 $V_{VS(uvf)}$ 时，器件会关断。当 V_{VS} 上升至 $V_{VS(uvr)}$ 时，器件会导通。

7.3.7.2 接地失效保护

发生 GND 失效时，无论 INx 引脚是高电平还是低电平，输出都将关断。器件可以针对以下两种失去地情况提供保护：器件 GND 失效和模块 GND 失效。如果 GND 网络中反向电流保护二极管的正向电压超过建议的 0.6V，则器件可能指示假的 GND 失效检测结果。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.3.7.3 电源失效保护

发生电源失效时，无论 INx 引脚的电平是高还是低，输出都将关断。对于电阻负载和容性负载，电源丢失没有风险。但对于已充电的电感负载，为维持电感电流，所有 I/O 引脚都会被驱动。为了在这种情况下保护系统，TI 建议采取两种类型的外部保护：GND 网络或外部续流二极管。

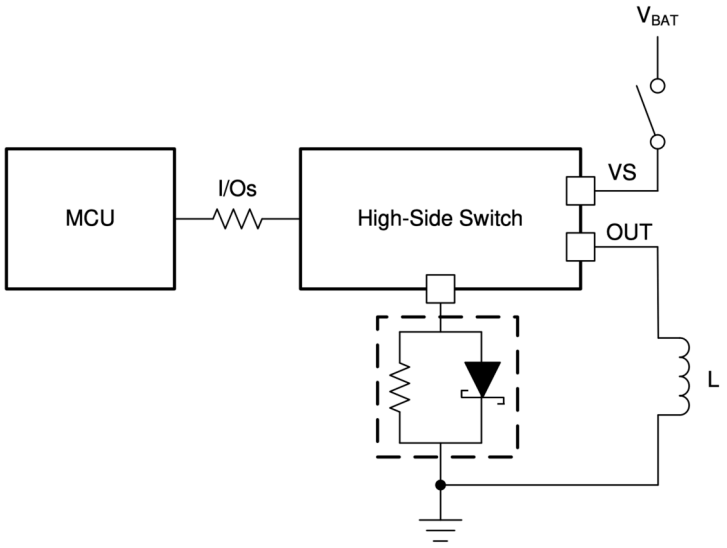


图 7-12. 电源失效保护方法 1

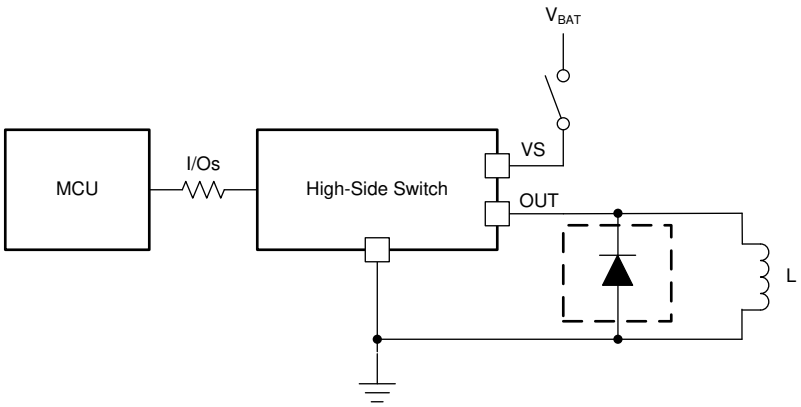


图 7-13. 电源失效保护方法 2

7.3.7.4 反向电流保护

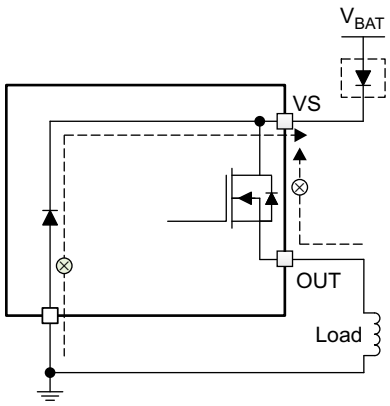
反向电流在两种情况下发生：电池短路和反极性。

- 当发生电池短路时，只有体二极管会产生反向电流。$I_{R(1)}$ 指定反向电流的限制。
- 在反极性条件下，体二极管和器件 GND 引脚均会产生反向电流。$I_{R(2)}$ 指定反向电流的限制。GND 引脚的最大电流在绝对最大额定值中指定。

为保护器件，德州仪器 (TI) 建议使用两种类型的外部电路。

- 添加阻断二极管。极性相反时，IC 和负载均受到保护。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

图 7-14. 反向电流外部保护方法 1

- 添加 GND 网络。阻断器件 GND 引脚的反向电流。限制通过 FET 的反向电流：由负载本身限制。德州仪器 (TI) 建议并联一个电阻器与二极管构成接地网络。建议选择与大于 100mA 的二极管并联的 1kΩ 电阻器。如果使用多个高侧开关，则可以在器件间共享电阻器和二极管。在任何情况下，接地网络中反向电流保护二极管的正向压降应小于 0.6V。此外，建议 I/O 引脚上使用最小 4.7kΩ 的电阻。

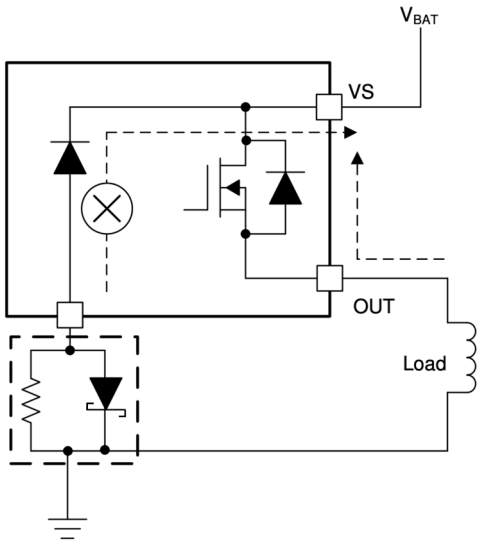


图 7-15. 反向电流外部保护方法 2

7.3.7.5 MCU I/O 保护

在一些恶劣条件下，例如 ISO7637-2 测试或电感负载导致的电池损失，GND 引脚上会出现负脉冲。该脉冲可能会导致连接的微控制器受损。TI 建议使用串联电阻来保护微控制器，例如在使用 3.3V 微控制器时使用 4.7kΩ，使用 5V 微控制器时使用 10kΩ。

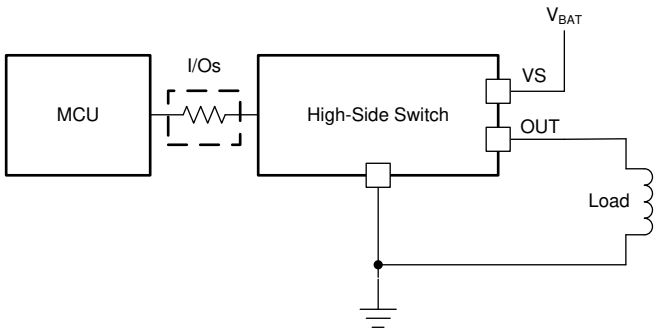


图 7-16. MCU I/O 外部保护

7.4 器件功能模式

7.4.1 工作模式

器件有三种工作模式：正常模式、待机模式和具有诊断功能的待机模式。

请注意，IN 必须为低电平，$t > t_{(off,deg)}$ 才能进入待机模式，在该模式下，$t_{(off,deg)}$ 是用于避免误触发的待机模式抗尖峰脉冲时间。图 7-17 显示了工作模式图。

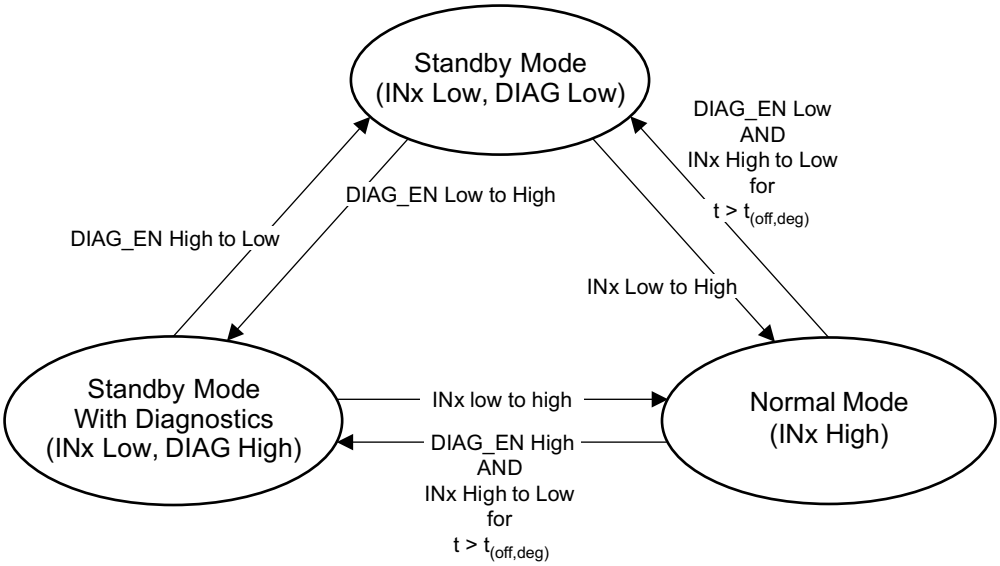


图 7-17. 工作模式

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

8 应用和实施

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 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。

8.1 应用信息

TPS4H160-Q1 器件能够驱动各种电阻负载、电感负载和容性负载，包括低瓦数灯泡、LED、继电器、螺线管、加热器和子模块。该器件具有丰富的诊断功能以及高精度电流检测特性，能够对负载实施智能控制。该器件可从外部调节电流限值以钳制浪涌或过载电流，从而提升整个系统的可靠性。

8.2 典型应用

下图展示了基于版本 B 器件的外部电路连接的示例。

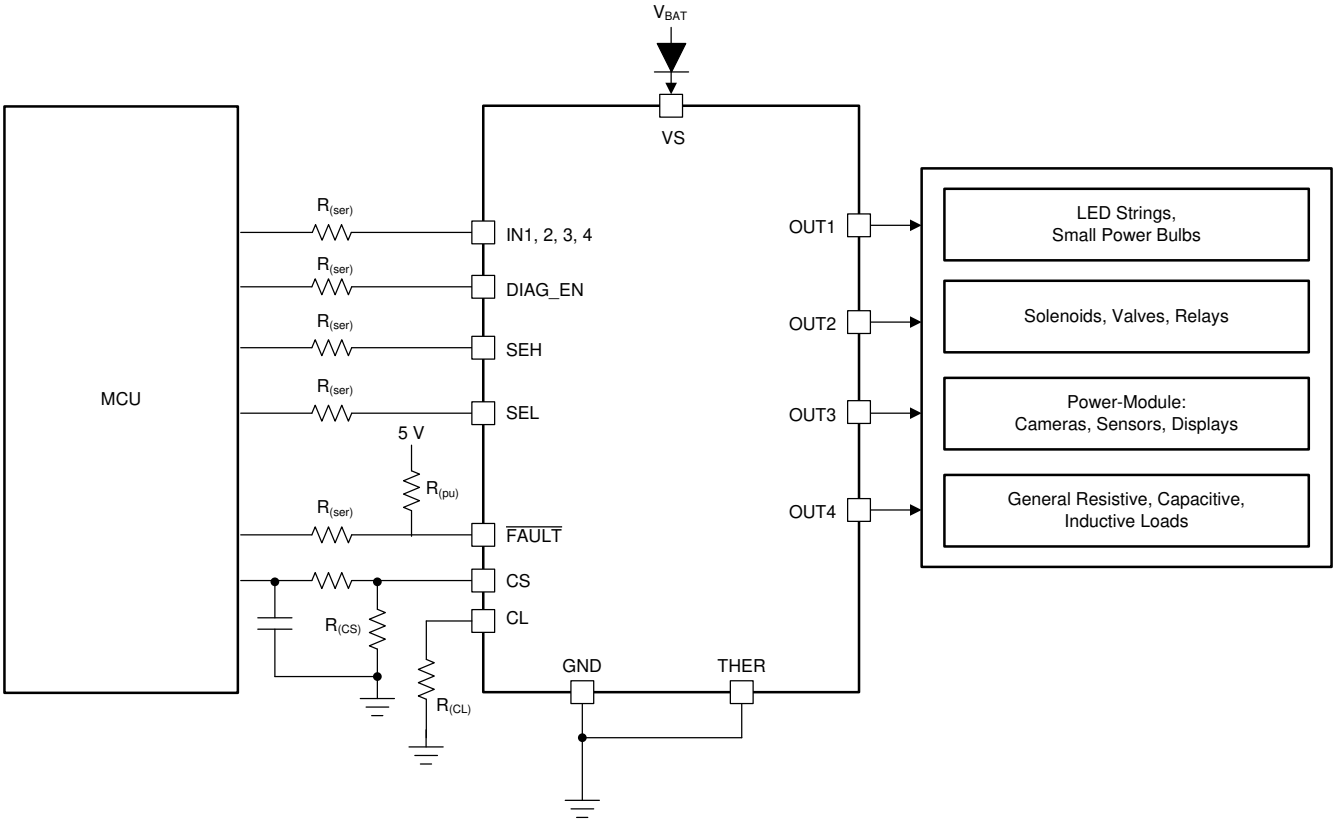


图 8-1. 典型应用图

8.2.1 设计要求

- V_{VS} 范围为 9V 至 16V
- 每个通道的负载范围为 0.1A 至 1A
- 用于故障监测的电流检测
- 预期电流限制值为 2.5A
- 发生热关断时进入自动恢复模式
- 通过 5V MCU 实现全面诊断
- 通过电源线中的阻断二极管实现反向电压保护

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

8.2.2 详细设计过程

要使 1A 标称电流保持在 0V 到 4V 电流检测范围内，请使用 方程式 9 计算 $R_{(CS)}$ 电阻。若要实现更高的电流检测精度，建议首选具有 1% 或更佳容差的电阻器。

$$R_{(CS)} = \frac{V_{CS}}{I_{CS}} = \frac{V_{CS} \times K_{(CS)}}{I_{OUT}} = \frac{4 \times 300}{1} = 1200\ \Omega \tag{9}$$

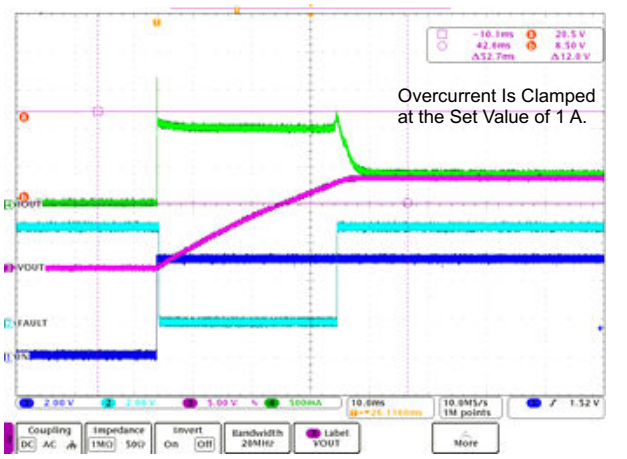
要将可调电流限值设置为 2.5A，可使用 方程式 10 计算 $R_{(CL)}$。

$$R_{(CL)} = \frac{V_{CL(th)} \times K_{(CL)}}{I_{OUT}} = \frac{0.8 \times 2500}{2.5} = 800\ \Omega \tag{10}$$

德州仪器 (TI) 推荐将 $R_{(ser)}$= 10kΩ 用于 5V MCU，$R_{(pu)}$ = 10kΩ 作为上拉电阻。

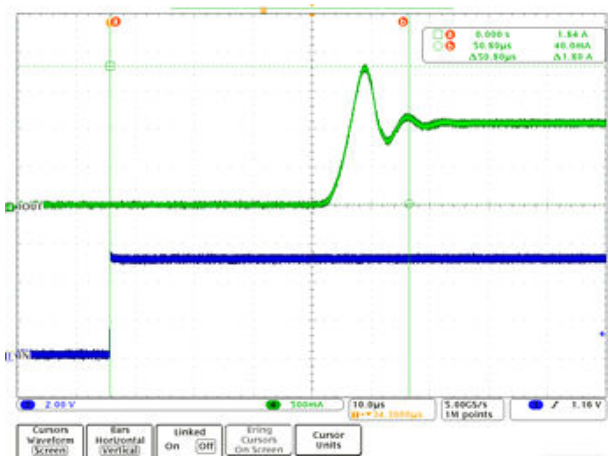
8.2.3 应用曲线

图 8-2 展示了驱动大容性负载时的软启动测试示例。图 8-3 显示了输出电流的展开波形。



V_S = 12V　　INx = ↑　　电流限值 = 1A
负载电流 = 0.4A　　C_L = 2.3mF　　CH1 = INx
CH2 = $\overline{\text{FAULT}}$　　CH3 = 输出电压　　CH4 = 输出电流

图 8-2. 驱动具有可调节电流限制的电容负载

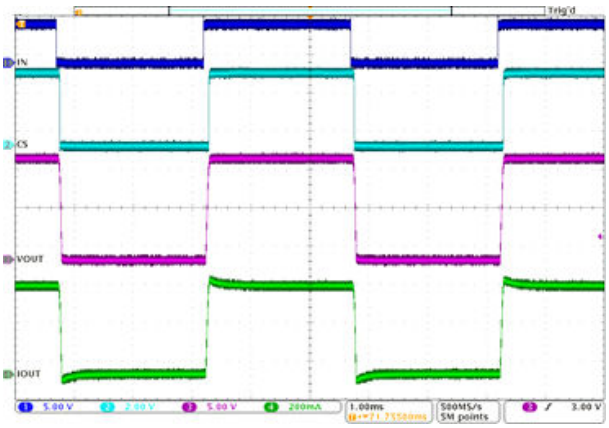


V_{VS} = 12V　　INx = ↑　　电流限值 = 1A
负载电流 = 0.4A　　C_L = 2.3mF　　CH1 = INx
CH2 = $\overline{\text{FAULT}}$　　CH3 = 输出电压　　CH4 = 输出电流

图 8-3. 驱动电容负载，展开波形

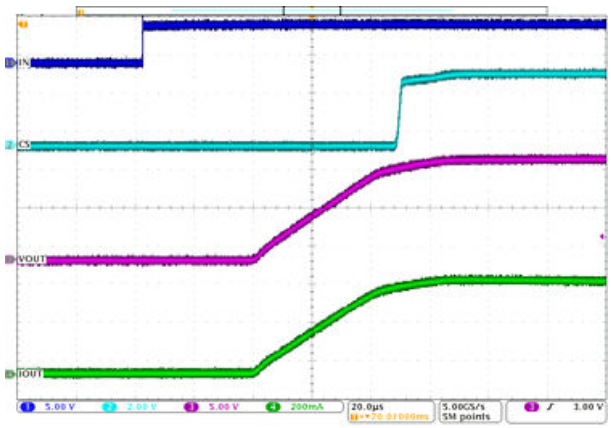
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

图 8-4 显示了 PWM 模式驱动的测试示例。图 8-5 显示了上升沿的展开波形。图 8-6 显示了下降沿的展开波形。



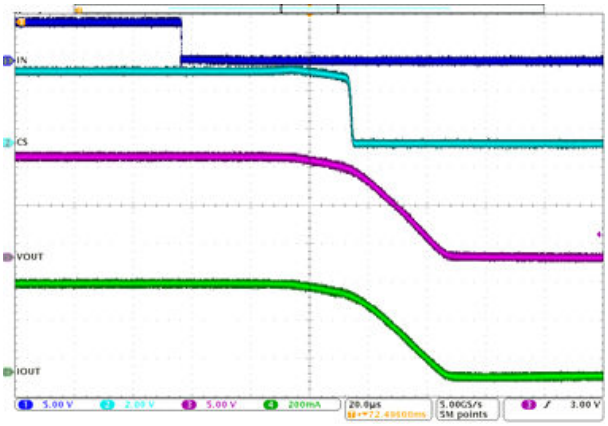
V_{VS} = 13.5V　INx = 50% 占空比时 200Hz PWM　CH1 = INx 信号
CH2 = CS 电压　CH3 = 输出电压　CH4 = 输出电流

图 8-4. PWM 信号驱动



V_{VS} = 13.5V　INx = 50% 占空比时 200Hz PWM　CH1 = INx 信号
CH2 = CS 电压　CH3 = 输出电压　CH4 = 输出电流

图 8-5. 上升沿的展开波形



V_{VS} = 13.5V　INx = 50% 占空比时 200Hz PWM　CH1 = INx 信号
CH2 = CS 电压　CH3 = 输出电压　CH4 = 输出电流

图 8-6. 下降沿的展开波形

8.3 电源相关建议

该器件符合汽车和工业应用标准。正常的电源连接采用 12V 汽车级系统或 24V 工业级系统。详细的电源电压应在*建议运行条件*中指定的范围内。

8.4 布局

8.4.1 布局指南

为了防止热关断，T_J 必须小于 150°C。HTSSOP 封装具有良好的热阻抗。然而，PCB 布局非常重要。良好的 PCB 设计可以优化热传递，这对于器件的长期可靠性至关重要。

- 尽可能地增大 PCB 上的覆铜，以提高电路板的导热性。从封装到环境的主要热流路径会通过 PCB 上的覆铜。当封装另一侧的 PCB 上没有连接任何散热器时，尽可能地增加覆铜面积极其重要。
- 在封装接地焊盘正下方添加尽可能多的散热过孔，以优化电路板的导热性。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

- 所有散热过孔都应在电路板的两侧进行电镀闭合或者堵塞并加盖，以防止出现焊料空洞。为了确保可靠性和性能，焊接覆盖面积应至少为 85%。

8.4.2 布局示例

8.4.2.1 无接地网络

在不采用接地网络的情况下，将散热焊盘直接连接到电路板上的 GND 覆铜区，以获得更好的热性能。

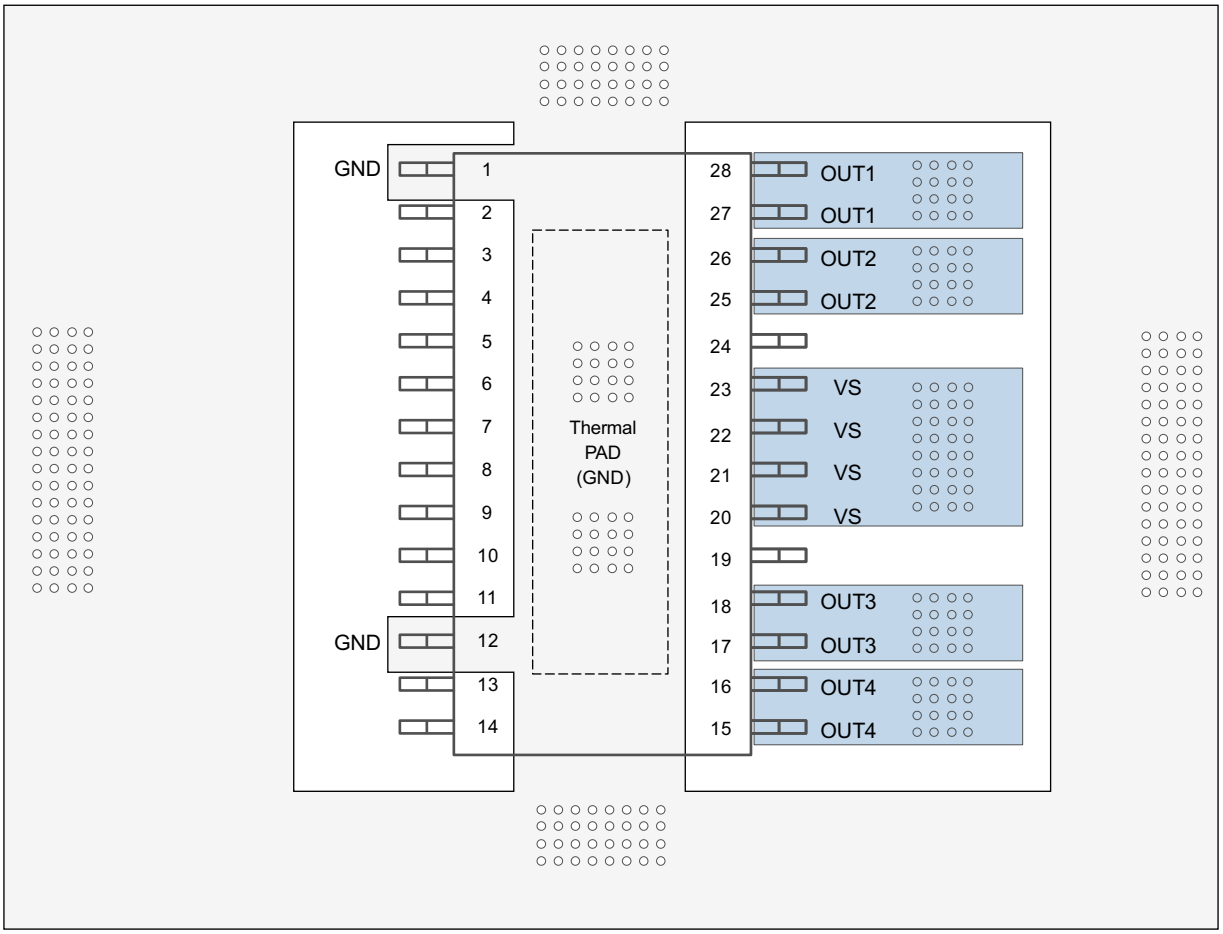


图 8-7. 无接地网络的布局示例

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

8.4.2.2 有接地网络

使用 GND 网络，将散热焊盘作为一条走线连接到电路板 GND 铜线。

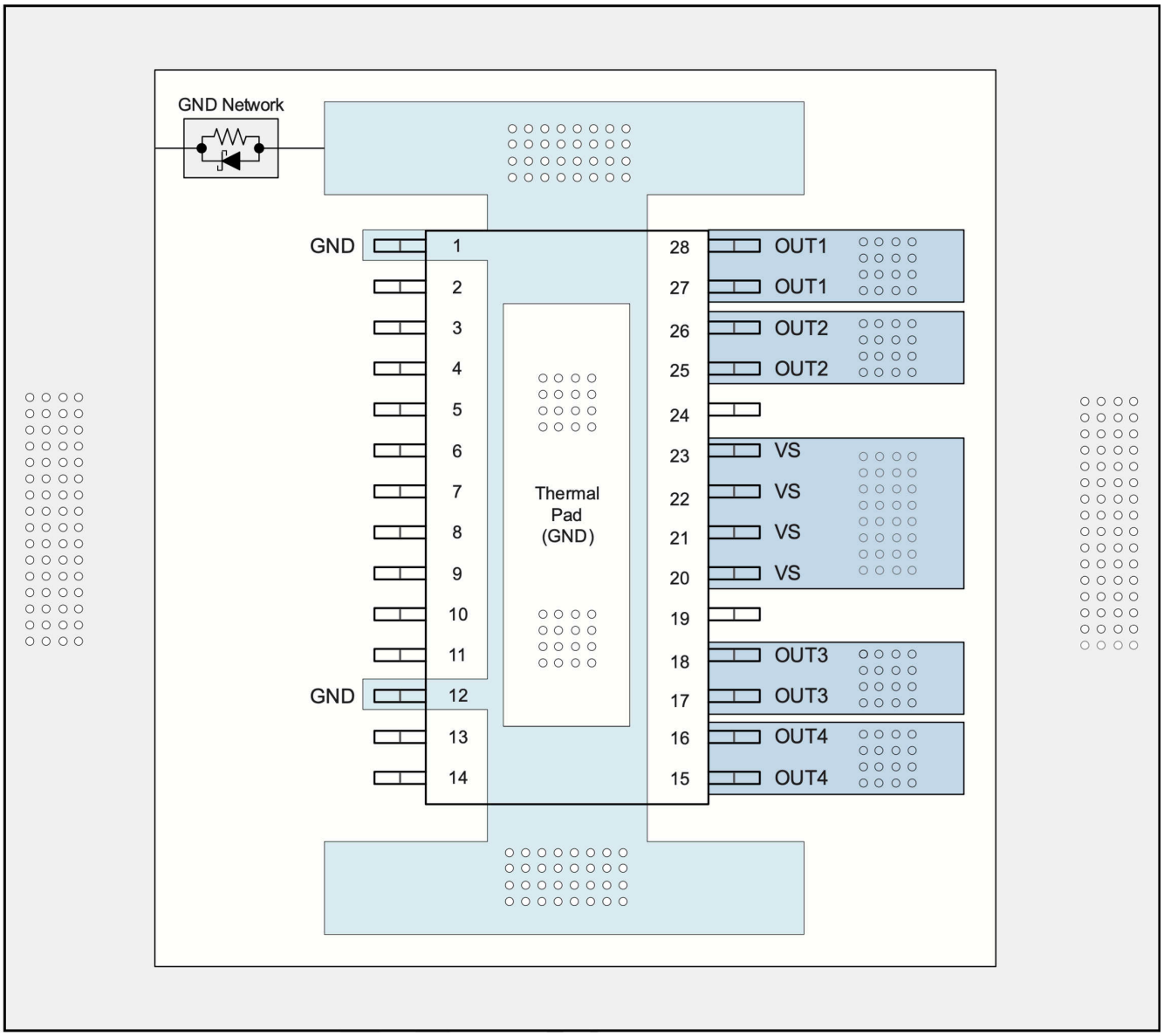


图 8-8. 有接地网络的布局示例

9 器件和文档支持

9.1 接收文档更新通知

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

9.2 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。

9.3 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。

9.4 静电放电警告

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

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

9.5 术语表

TI 术语表	本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

10 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision D (December 2019) to Revision E (June 2025)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图片以及交叉引用的编号格式	1
• 在 *GND 失效保护* 部分中添加了对反向电流保护二极管阐述	25
• 在*电源失效保护*部分的“电源失效保护方法 1” 和“电源失效保护方法 2” 图中，将标准二极管更换为肖特基 (Schottky) 二极管。	26
• 在*带 GND 网络*部分的“带 GND 网络布局示例”图中，将标准二极管更改为肖特基 (Schottky) 二极管	33

Changes from Revision C (March 2018) to Revision D (December 2019)	Page
• 向*特性* 部分添加了“提供功能安全”链接	1

11 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。如需获取此数据表的浏览器版本，请查看左侧的导航窗格。

Copyright © 2025 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)
TPS4H160AQPWPRQ1	Active	Production	HTSSOP (PWP) | 28	2000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	4H160AQ
TPS4H160AQPWPRQ1.A	Active	Production	HTSSOP (PWP) | 28	2000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	4H160AQ
TPS4H160BQPWPRQ1	Active	Production	HTSSOP (PWP) | 28	2000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	4H160BQ
TPS4H160BQPWPRQ1.A	Active	Production	HTSSOP (PWP) | 28	2000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	4H160BQ

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

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

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

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

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

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

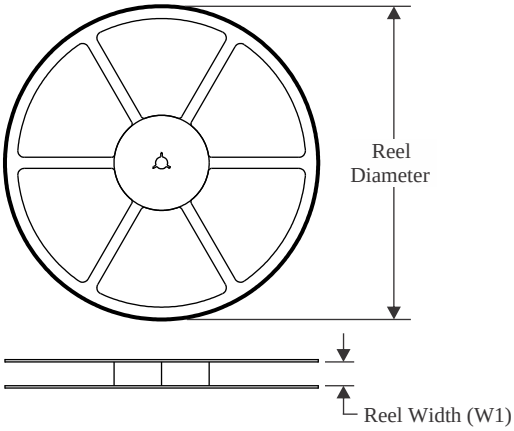
Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

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

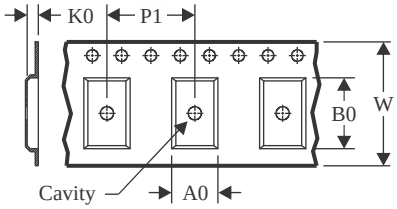
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

TAPE AND REEL INFORMATION

REEL DIMENSIONS

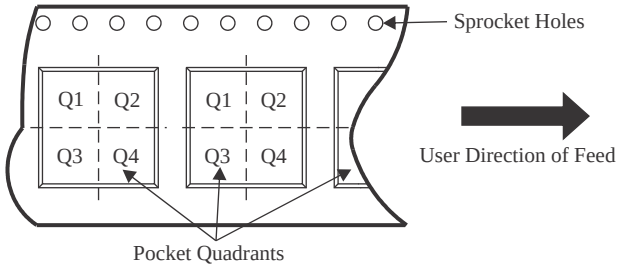


TAPE DIMENSIONS



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

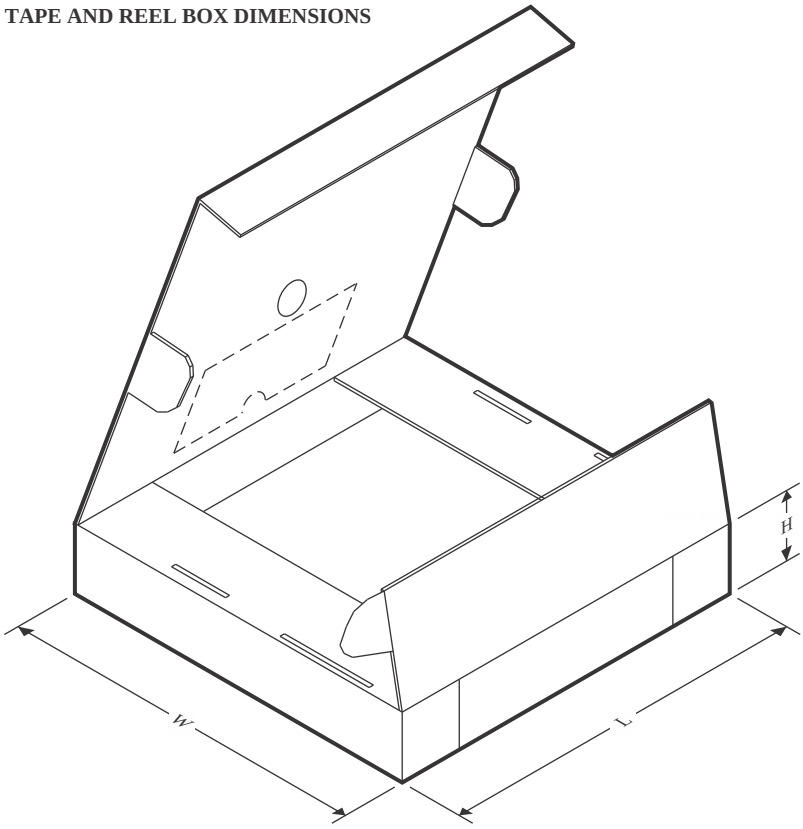
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*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
TPS4H160AQPWPRQ1	HTSSOP	PWP	28	2000	330.0	16.4	6.9	10.2	1.8	12.0	16.0	Q1
TPS4H160BQPWPRQ1	HTSSOP	PWP	28	2000	330.0	16.4	6.9	10.2	1.8	12.0	16.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
TPS4H160AQPWPRQ1	HTSSOP	PWP	28	2000	350.0	350.0	43.0
TPS4H160BQPWPRQ1	HTSSOP	PWP	28	2000	350.0	350.0	43.0

GENERIC PACKAGE VIEW

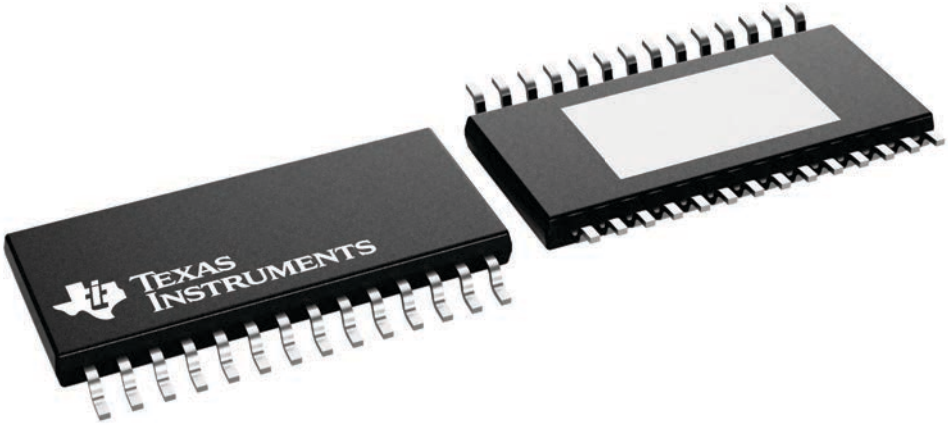
PWP 28

PowerPAD™ TSSOP - 1.2 mm max height

4.4 x 9.7, 0.65 mm pitch

SMALL OUTLINE PACKAGE

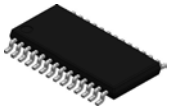
This image is a representation of the package family, actual package may vary.
Refer to the product data sheet for package details.



4224765/B

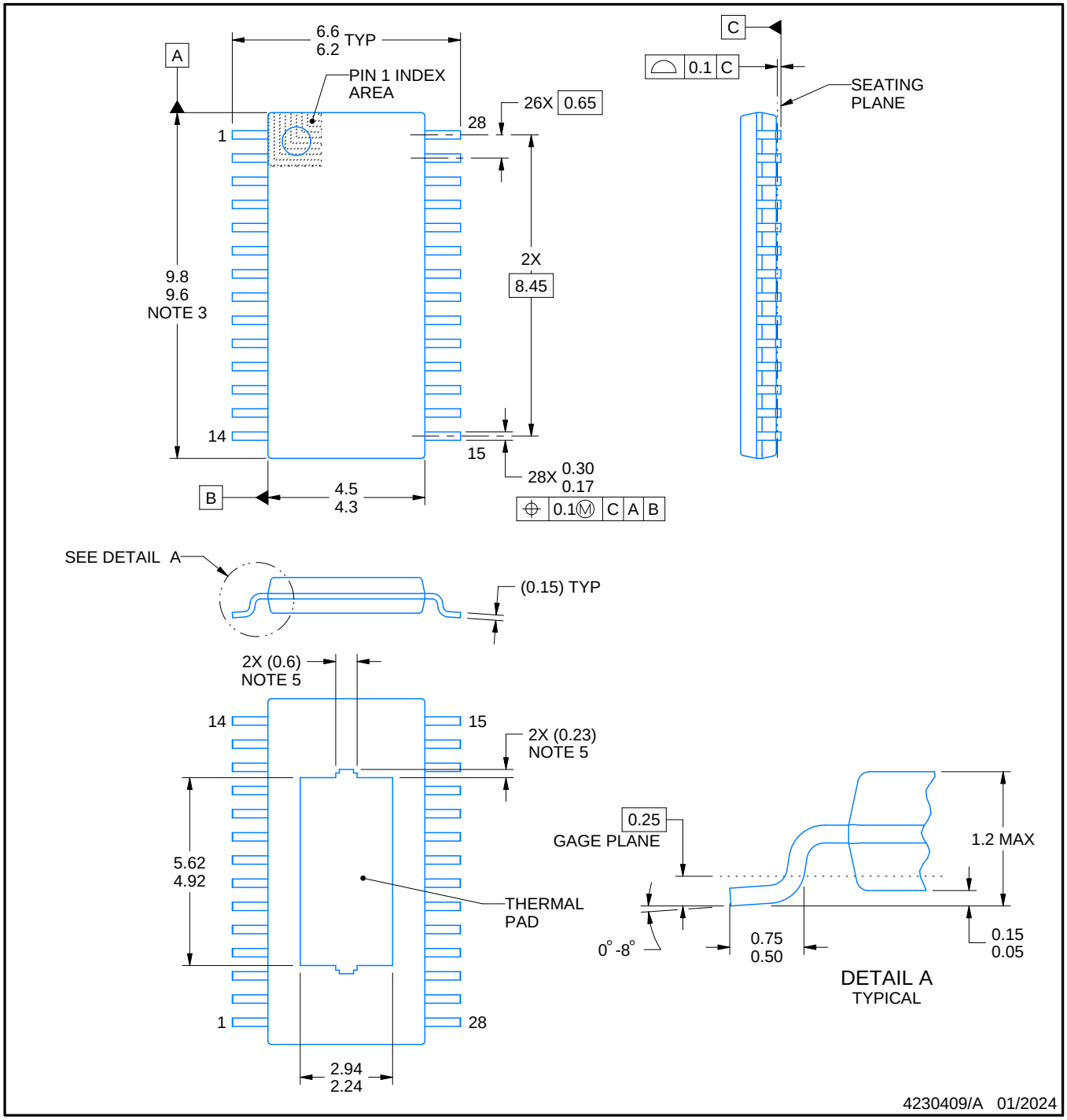
PACKAGE OUTLINE

PWP0028V



PowerPAD™ TSSOP - 1.2 mm max height

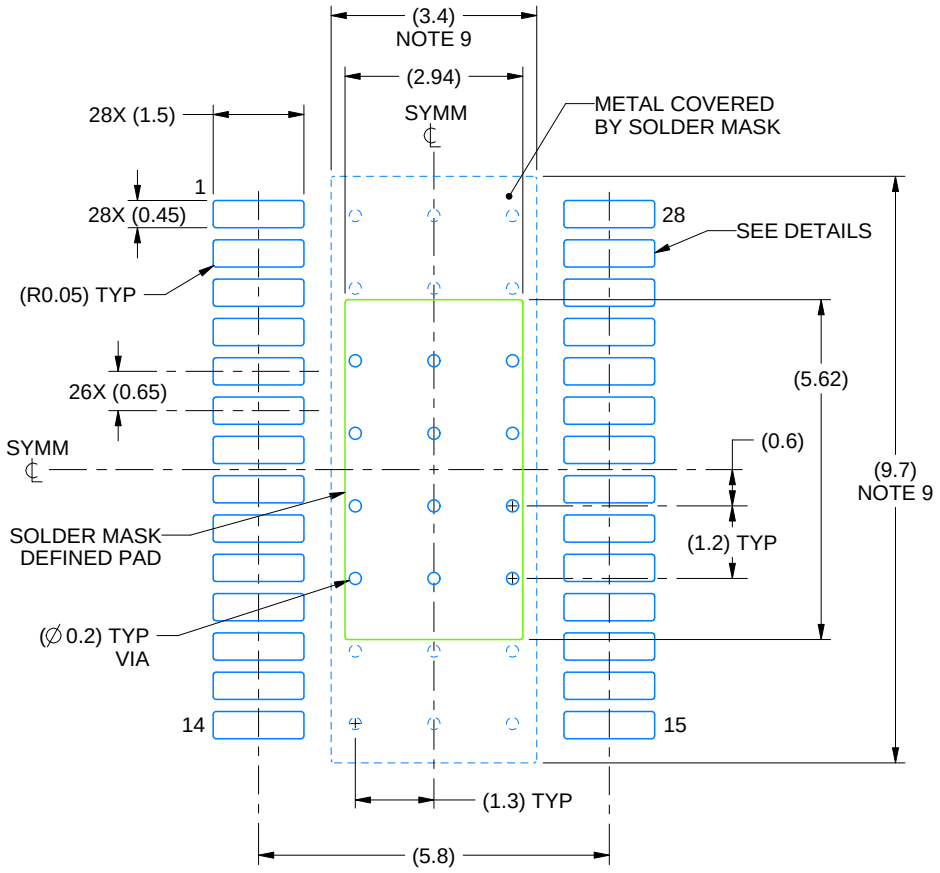
SMALL OUTLINE PACKAGE



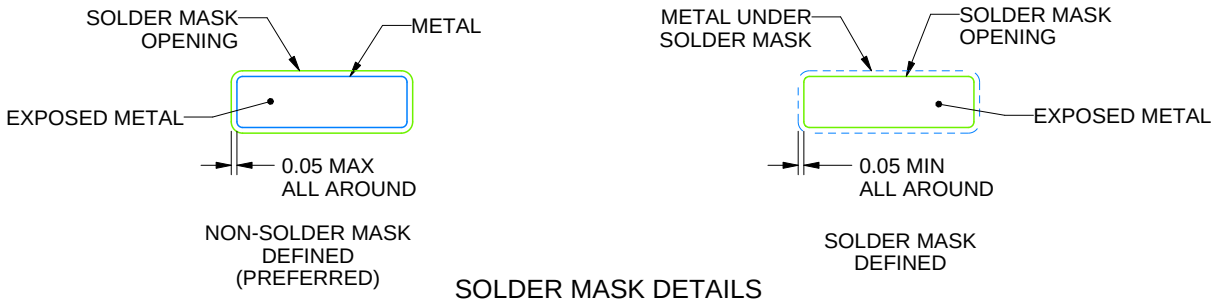
PowerPAD is a trademark of Texas Instruments.

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 dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.15 mm per side.
4. Reference JEDEC registration MO-153.
5. Features may differ or may not be present.



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE: 8X

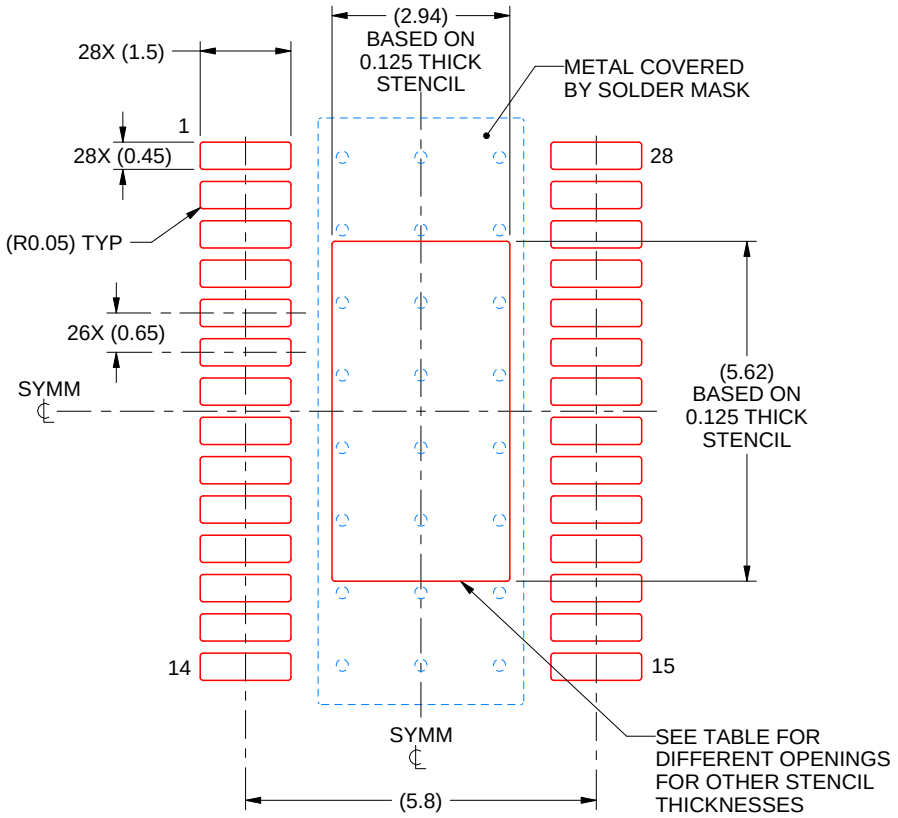


SOLDER MASK DETAILS

4230409/A 01/2024

NOTES: (continued)

6. Publication IPC-7351 may have alternate designs.
7. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.
8. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature numbers SLMA002 (www.ti.com/lit/slma002) and SLMA004 (www.ti.com/lit/slma004).
9. Size of metal pad may vary due to creepage requirement.
10. Vias are optional depending on application, refer to device data sheet. It is recommended that vias under paste be filled, plugged or tented.



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL
SCALE: 8X

STENCIL THICKNESS	SOLDER STENCIL OPENING
0.1	3.29 X 6.28
0.125	2.94 X 5.62 (SHOWN)
0.15	2.68 X 5.13
0.175	2.48 X 4.75

4230409/A 01/2024

NOTES: (continued)

11. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.
12. Board assembly site may have different recommendations for stencil design.

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