TPS281C30x 60V 耐压、30mΩ 单通道智能高侧开关

1 特性

- 宽工作电压范围：6V 至 36V
- 64V 直流容差（禁用时）
- 低 R_{ON}：典型值 30mΩ，最大值 55mΩ
- 可通过可调电流限制提高系统级可靠性
  - 版本 A、C：1A 至 5A（固定 0.5A）
  - 版本 B、D、E：2A 至 10A（固定 0.5A）
- 精确的电流检测
  - 在标准检测模式下，电流为 1A 时 ±4%
  - 在高精度检测模式下，电流为 6mA 时 ±12.5%
- 集成式电感放电钳位 > 65V
- 小于 1μA 的低待机电流（仅版本 A、B、C、D 提供待机模式）
- 低静态电流 (Iq) < 1.5mA
- 功能安全型
- 工作结温范围：–40°C 至 125°C
- 输入控制：兼容 1.8V、3.3V 和 5V 逻辑电平
- 通过集成式故障检测电压调节功能实现 ADC 保护
- 关闭状态下提供开路负载检测
- 热关断和热振荡检测
- 14 引脚热增强型 TSSOP 封装
- 20 引脚热增强型 QFN 封装

2 应用

- 数字输出模块
- 安全转矩关闭 (STO)
- 制动闸
- 一般阻性、感性和容性负载

3 说明

TPS281C30x 是一款旨在满足工业控制系统要求的单通道智能高侧开关。低 R_{ON} (30mΩ) 可更大程度地降低器件功耗，驱动高达 6A 的宽输出直流负载电流范围，并且具有 64V 的直流容差，可提高系统稳健性。

该器件集成了多种保护功能，如热关断、输出钳位和电流限制。这些功能可在发生故障（如短路）时提高系统的稳健性。TPS281C30x 采用可调电流限制电路，可通过减小驱动大容性负载时的浪涌电流并尽可能降低过载电流来提高系统的可靠性。为了驱动高浪涌电流负载（如灯）或快速为容性负载充电，TPS281C30x 可实现具有较高电流的浪涌电流持续时间。该器件还可提供精确的负载电流检测，以提高负载诊断功能（如过载和开路负载检测），从而更好地进行预测性维护。

TPS281C30E 提供增强的电气快速瞬变 (EFT) 抗扰度，当在 VS 或 VOUT 处施加高达 2.5kV 的 EFT 脉冲，并在脉冲发生器和输出之间连接 10nF 输出电容器和 100pF 耦合电容器时，器件将保持关断状态。如果使用更大的输出电容器，则可以进一步提高 EFT 电平。增强的 EFT 抗扰度可提高系统稳健性，防止工业系统中出现意外耦合。

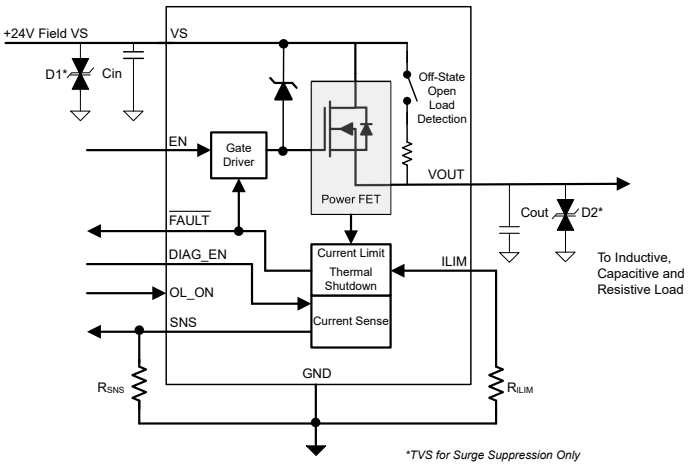
TPS281C30x 采用小型 14 引脚 4.4mm × 5mm HTSSOP 引线式封装（版本 A、B、C、D）（引脚间距为 0.65mm）以及 20 引脚 5mm × 5mm QFN（引脚间距为 0.65mm）（所有版本），可更大限度地减小 PCB 尺寸。

封装信息

器件型号	封装(1)	封装尺寸(2)
TPS281C30x	RGW（QFN，20）	5.00mm × 5.00mm

(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。版本 E 仅采用 QFN 封装。

(2) 封装尺寸（长 × 宽）为标称值，并包括引脚（如适用）。



典型应用原理图

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

内容

1 特性.....1
2 应用.....1
3 说明.....1
4 器件比较表.....3
5 引脚配置和功能.....4
5.1 未使用引脚的推荐连接.....4
6 规格.....5
6.1 绝对最大额定值.....5
6.2 ESD 等级.....5
6.3 建议运行条件.....5
6.4 热性能信息.....6
6.5 电气特性.....6
6.6 SNS 时序特性.....12
6.7 开关特性.....12
6.8 典型特性.....14
7 参数测量信息.....19
8 详细说明.....21
8.1 概述.....21
8.2 功能方框图.....22
8.3 器件功能模式.....23
8.4 特性说明.....23
9 应用和实施.....41
9.1 应用信息.....41
9.2 典型应用.....41
9.3 电源相关建议.....43
9.4 布局.....43
10 器件和文档支持.....46
10.1 接收文档更新通知.....46
10.2 支持资源.....46
10.3 商标.....46
10.4 静电放电警告.....46
10.5 术语表.....46
11 修订历史记录.....46
12 机械、封装和可订购信息.....46

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

4 器件比较表

表 4-1. 器件选项

器件版本	器件型号	电流限制范围	用于电感负载的集成式钳位	增强的 EFT 抗扰度	关断状态期间的待机模式	关断状态开路负载检测
A	TPS281C30A	1A 至 5A	是	否	是	是
B	TPS281C30B	2A 至 10A	是	否	是	是
C	TPS281C30C	1A 至 5A	否	否	是	是
D	TPS281C30D	2A 至 10A	否	否	是	是
E	TPS281C30E	2A 至 10A	否	是	否	否

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5 引脚配置和功能

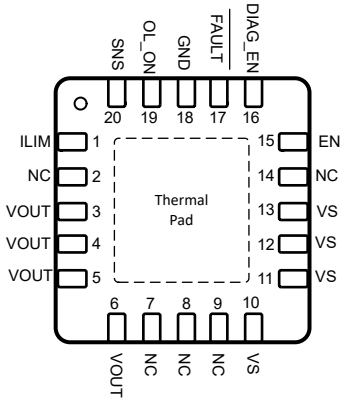


图 5-1. RGW 封装，20 引脚 QFN（顶视图）

表 5-1. 引脚功能

引脚		类型(1)	说明
名称	RGW		
GND	18	P	器件地。连接到电阻器-二极管接地网络，以提供反极性保护。
EN	15	I	通道激活的输入控制。内部下拉电阻。
DIAG_EN	16	I	用于诊断和电流检测的启用/禁用引脚。内部下拉电阻。
$\overline{\text{FAULT}}$	17	O	开漏全局故障输出。以 $\overline{\text{FLT}}$ 为基准，或故障引脚。
OL_ON	19	I	用于更高分辨率电流检测的启用-禁用引脚（仅当 $I_{OUT} < I_{Ksns2_EN}$ 时才可用）。内部下拉电阻。
SNS	20	O	与负载电流对应的模拟电流输出。将电阻器连接到 GND 以转换为电压。
ILIM	1	O	可调节电流限制。连接一个电阻器以设置电流限制。可选择接地短路或使引脚悬空，以将电流限制设置为默认内部电流限制。有关更多信息，请参阅电气特性。
NC	2、7、8、9、14	不适用	无内部连接。
VOUT	3、4、5、6	P	高侧开关的输出，连接至负载。
VS	10、11、12、13	P	电源输入。
焊盘	焊盘	—	散热焊盘，内部接地短路。

(1) I = 输入；O = 输出；P = 电源

5.1 未使用引脚的推荐连接

TPS281C30x 旨在提供一组增强的诊断和保护特性。然而，如果系统设计仅允许使用有限数量的 I/O 连接，则某些引脚会被视为可选引脚。

表 5-2. 可选引脚的连接

引脚名称	未使用时的连接	未使用时的影响
SNS	通过 10kΩ 电阻器接地	模拟检测不可用。
ILIM	浮点	如果 ILIM 引脚悬空，则器件被设置为默认的内部电流限制阈值。这被视为器件的故障状态。
$\overline{\text{FAULT}}$	浮点	如果 $\overline{\text{FAULT}}$ 引脚未使用，则系统无法从输出端读取故障。
DIAG_EN	悬空或通过 R_{PROT} 电阻器接地	如果 DIAG_EN 未使用，则模拟检测、开路负载和电源短路诊断不可用。
OL_ON	通过 R_{PROT} 电阻器接地	未使用 OL_ON 时，高精度检测模式不可用。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

6 规格

6.1 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
连续电源电压，V_S 以 IC GND 为基准：版本 A、B		-0.7	64	V
连续电源电压，V_{OUT} 以 IC GND 为基准：版本 A、B		-60	64	V
电源引脚上的瞬态 (< 100µs) 电压，V_S 以 IC GND 为基准：版本 A、B		-0.7	81	V
连续电源电压，V_S 以 IC GND 为基准：版本 C、D、E		-0.7	83	V
连续电源电压，V_{OUT} 以 IC GND 为基准：版本 C、D、E		-60	83	V
VS 和 VOUT 引脚上的连续电压 (V_S - V_{OUT})：版本 C、D、E		-0.7	83	V
使能引脚电压，V_{EN}		-1	6	V
OL_ON 引脚电压，V_{OL_ON}		-1	6	V
DIAG_EN 引脚电压，V_{DIAG_EN}		-1	6	V
检测引脚电压，V_{SNS}		-1	6	V
$\overline{FAULT}$ 引脚电压，$V_{\overline{FAULT}}$		-1	6	V
反向接地电流，I_{GND}	V_S < 0V		-50	mA
最大结温，T_J			150	°C
存储温度，T_{stg}		-65	150	°C

(1) 应力超出*绝对最大额定值*中列出的值时，可能会对器件造成永久损坏。这些值仅为应力额定值，并不意味着器件在这些条件下，或是在超出*建议运行条件*的任何其他条件下能够正常运行。长时间处于最大绝对额定情况下会影响器件的可靠性。

6.2 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(1)	除 VS 和 VOUT 外的所有引脚	±2000	V
		人体放电模型 (HBM)，符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001(1)	VS 和 VOUT，以 GND 为基准	±4000	V
		充电器件模型 (CDM)，符合 JEDEC 规范 JESD22-C101，所有引脚(2)	所有引脚	±750	V
$V_{(ESD4)}$	静电放电	接触放电，符合 IEC 61000-4-2 (4)	VS 和 VOUT	±8000	V
$V_{(EFT)}$	静电放电	电气快速瞬态，符合 IEC 61000-4-4 标准，版本 E (3)	VS 和 VOUT	±2500	V
$V_{(surge)}$	静电放电	使用 42Ω 实现浪涌保护，符合 IEC 61000-4-5；1.2/50 µ s (4)	VS 和 VOUT	±1000	V

(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。
(3) 使用应用电路和 24V 电源电压 (VS)、ENx 引脚高电平（输出启用）和 EN 引脚低电平（输出禁用）进行了测试。2.5kV 的额定值基于输出端存在 100pF 耦合电容器和 10nF 输出电容器的情况。最大 EFT 电压电平将随着所用的耦合电容器和输出电容器不同而变化。
(4) 使用应用电路和 24V 电源电压 (VS)、ENx 引脚高电平（输出启用）和 EN 引脚低电平（输出禁用）进行了测试。

6.3 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）(1)

		最小值	最大值	单位
$V_{S_OP_NOM}$	标称电源电压(1)	6.0	36	V
$V_{S_OP_MAX}$	扩展工作电压(2)	6.0	48	V
V_{EN}	启用电压	-1	5.5	V

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

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
V_{OL_ON}	OL_ON 引脚电压，V_{OL_ON}	-1	5.5	V
V_{DIAG_EN}	诊断使能电压	-1	5.5	V
V_{FAULT}	$\overline{FAULT}$ 引脚电压	-1	5.5	V
V_{SNS}	检测电压	-1	5.5	V
T_A	自然通风条件下的工作温度	-40	125	°C

(1) 所有工作电压条件均以器件 GND 为基准进行测量
(2) 器件将在更广的工作电压范围工作，但某些参数值可能不适用

6.4 热性能信息

热指标(1)(2)		TPS281C30x RGW (QFN) 20 引脚	单位
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻	28.9	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳（顶部）热阻	19.7	°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	7.5	°C/W
ψ_{JT}	结至顶部特征参数	0.2	°C/W
ψ_{JB}	结至电路板特征参数	7.5	°C/W
$R_{\theta JC(bot)}$	结至外壳（底部）热阻	0.8	°C/W

(1) 有关新旧热指标的更多信息，请参阅 SPRA953 应用报告。
(2) 热参数基于符合 JESD51-5 和 JESD51-7 标准的 4 层 PCB。

6.5 电气特性

V_S = 6V 至 36V，T_A = –40°C 至 125°C（除非另有说明）

参数		测试条件		最小值	典型值	最大值	单位
VS 电源电压和电流							
IL_{NOM}	持续负载电流	V_{EN} = HI	T_{AMB} = 85°C		6		A
$I_{STBY, VS}$	禁用诊断时的总器件待机电流（包括 MOSFET）（版本 A、B、C、D）	VS ≤ 36V，V_{EN} = V_{DIAG_EN} = LO，V_{OUT} = 0V	T_J = -40°C 至 85°C		0.25	0.7	µA
	禁用诊断时的总器件待机电流（包括 MOSFET）（版本 A、B、C、D）	VS ≤ 36V，V_{EN} = V_{DIAG_EN} = LO，V_{OUT} = 0V	T_J = 150°C		0.63	6	µA
I_{STBY, VS_DIAG}	启用诊断时的 V_S 待机电流（版本 A、B、C、D）	VS ≤ 36V，V_{EN} = LO，V_{DIAG_EN} = HI，V_{OUT} = 0V			1.2	1.5	mA
$I_{Q(OFF), VS}$	关断状态期间的 V_S 静态电流（版本 E）	VS ≤ 60V，V_{EN} = 0V，V_{OUT} = 24V，V_{DIAG} = 0V	T_J = -40°C 至 85°C			0.95	mA
			T_J = 125°C			0.98	mA
$I_{Q, VS}$	禁用诊断时的 V_S 静态电流	V_{EN} = HI，V_{DIAG_EN} = LO	I_{OUT} = 0A		0.98	1.3	mA
I_{Q, VS_DIAG}	启用诊断时的 V_S 静态电流	V_{ENx} = HI，V_{DIAG_EN} = HI	I_{OUT} = 0A		1.0	1.5	mA
t_{STBY}	待机模式延迟时间（版本 A、B、C、D）	V_{EN} = V_{DIAG_EN} = 0V 至待机			20		ms
$I_{OUT(OFF)}$	输出漏电流（版本 A、B、C、D）	VS ≤ 36V，V_{EN} = V_{DIAG_EN} = 0V，V_{OUT} = 0V	T_J = 85°C			0.4	µA
			T_J = 125°C		0.5	6	µA

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

6.5 电气特性（续）

V_S = 6V 至 36V，T_A = –40°C 至 125°C（除非另有说明）

参数		测试条件		最小值	典型值	最大值	单位
$I_{OUT(OFF)}$	输出漏电流（版本 E）	VS ≤ 36V，V_{EN} = V_{DIAG_EN} = 0V，V_{OUT} = 0V	T_J = -40°C 至 85°C			28	µA
			T_J = 125°C			28	µA
		VS ≤ 36V，V_{EN} = V_{DIAG_EN} = 0V，V_{OUT} = 10V	T_J = -40°C 至 85°C	-6		9	µA
			T_J = 125°C	-10		10	µA
t_{EFT_DELAY}	器件关断后 EFT 保护的延迟时间（版本 E）	VS ≤ 60V，V_{EN} = 0V，V_{OUT} 悬空，V_{DIAG} = 0V	T_J = -40°C 至 125°C			270	µs
VS 欠压锁定 (UVLO) 输入							
$V_{S,UVLOR}$	V_S 欠压锁定上升	以器件的 GND 引脚为基准测得		5.0	5.4	5.75	V
$V_{S,UVLOF}$	V_S 欠压锁定下降	以器件的 GND 引脚为基准测得		4.1	4.5	4.85	V
VS 过压锁定 (OVLO) 输入							
$V_{S,OVPR}$	V_S 过压保护上升（版本 A、B、C、D）	以器件的 GND 引脚为基准测得，V_{EN} = 5V		51	54	57	V
	V_S 过压保护上升（版本 E）	以器件的 GND 引脚为基准测得，V_{EN} = 5V		50	54	57	V
$V_{S,OVPF}$	V_S 过压保护恢复下降	以器件的 GND 引脚为基准测得，V_{EN} = 5V		49	52	56	V
$V_{S,OVPH}$	V_S 过压保护阈值迟滞	以器件的 GND 引脚为基准测得，V_{EN} = 5V			1.5		V
$t_{VS,OVP}$	V_S 过压保护抗尖峰脉冲时间	从触发 OVP 故障到 FET 关断的时间			110	160	µs
VDS 钳位							
$V_{DS,Clamp}$	V_{DS} 钳位电压	版本 A、B FET 电流 = 10mA	V_S = 24 V	65	72.5	80	V
			V_S = 6V	48	53	58	V
RON 特性							
R_{ON}	VS 到 VOUT 导通电阻	版本 B、D、E = 0.5A ≤ I_{OUT} ≤ 6A、A、C = 0.5A ≤ I_{OUT} ≤ 3A V_S = 24V	T_J = 25°C		29		mΩ
			T_J = 125°C			55	mΩ
$R_{ON(REV)}$	反极性期间的导通电阻	版本 B、D、E = 0.5A ≤ I_{OUT} ≤ 6A，A、C = 0.5A ≤ I_{OUT} ≤ 3A V_S = -24V	T_J = -40°C 至 125°C		30	60	mΩ
R_{ON_AUXFET}	VS 至 VOUT 导通电阻高精度检测模式	V_S = 24V，I_{OUT} = 40mA OL_ON=DIAG_EN=5V	T_J = -40°C 至 125°C		5.2	12	Ω
电流限制特性							
K_{CL}	电流限制比	器件版本 A、C	R_{ILIM} = 10kΩ 至 50kΩ	40	50	60	A * kΩ
		器件版本 B、D、E	R_{ILIM} = 10kΩ 至 50kΩ	80	100	120	A * kΩ
$I_{LIM_STARTUP}$	启用开关时调节前的峰值电流	器件版本 A、C	R_{ILIM} = 10kΩ 至 50kΩ		2x I_{CL}	6.5	A
		器件版本 B、D、E	R_{ILIM} = 10kΩ 至 50kΩ		2x I_{CL}	14	A
$t_{LIM_STARTUP_DELAY}$	启用开关时调节前的峰值电流延迟时间			7		12	ms

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

6.5 电气特性（续）

V_S = 6V 至 36V，T_A = –40°C 至 125°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}	电流限制电平	器件版本 A、C 短路条件	R_{ILIM} = 50kΩ	0.8	1	1.2	A
			R_{ILIM} = 25kΩ	1.8	2	2.2	A
			R_{ILIM} = 16.7kΩ	2.7	3	3.3	A
			R_{ILIM} = 12.5kΩ	3.6	4	4.4	A
			R_{ILIM} = 10kΩ	4.5	5	5.5	A
			R_{ILIM} = GND、开路或超出范围（< 9kΩ 和 > 100kΩ）		0.5	0.8	A
I_{CL}	电流限制电平	器件版本 B、D 短路条件	R_{ILIM} = 50kΩ	1.85	2	2.15	A
			R_{ILIM} = 25kΩ	3.7	4	4.3	A
			R_{ILIM} = 16.7kΩ	5.6	6	6.4	A
			R_{ILIM} = 12.5kΩ	7.2	8	8.6	A
			R_{ILIM} = 10kΩ	9	10	10.7	A
			R_{ILIM} = GND、开路或超出范围（< 9kΩ 和 > 100kΩ）	0.2	0.5	1	A
I_{CL}	电流限制电平	器件版本 E 短路条件	R_{ILIM} = 50kΩ	1.7	2	2.3	A
			R_{ILIM} = 25kΩ	3.6	4	4.4	A
			R_{ILIM} = 16.7kΩ	5.4	6	6.6	A
			R_{ILIM} = 12.5kΩ	7.1	8	8.9	A
			R_{ILIM} = 10kΩ	8.8	10	11.2	A
			R_{ILIM} = GND、开路或超出范围（< 9kΩ 和 > 100kΩ）	0.3	0.5	0.8	A
I_{CL_LINPK}	过流限制阈值(1)	过载条件	R_{ILIM} = 10kΩ 至 50kΩ			1.3x I_{CL}	A
I_{ILIM_ENPS}	峰值电流可导致永久短路		R_{ILIM} = 10kΩ			2x I_{CL}	A
I_{ILIM_ENPS2}	峰值电流可导致永久短路		R_{ILIM} = 10kΩ，t < $I_{LIM_STARTUP_DELAY}$			$I_{LIM_STARTUP}$	A
V_{ILIM_OVP}	过压期间的 I_{LIM} 切换阈值		上升	37	40	43	V
			迟滞		2		V
I_{ILIM_OVP}	过压期间的 I_{LIM} 电流限制阈值	过载条件	R_{ILIM} = X，V_{VS} ≥ V_{ILIM_OVP}	0	0.552	1.5	A
t_{IOS}	短路响应时间	VS = 24V			0.5		µs
$I_{ILIM_OVERVOLTAGE}$	过压期间的 I_{LIM} 电流限制阈值	VS > 36V 时的过载条件(1)	R_{ILIM} = X，48V ≥ V_{VS} ≥ 36V			5.25	A
热关断特性							
T_{ABS}	热关断			175	185	195	°C
T_{REL}	相对热关断				77		°C
t_{RETRY}	重试时间	从故障关断到开关重新启用的时间（热关断）。		1.4	2.1	3	ms
故障响应	针对热关断的故障响应				自动重试		
T_{HYS}	绝对热关断迟滞				10		°C

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

6.5 电气特性（续）

V_S = 6V 至 36V，T_A = –40°C 至 125°C（除非另有说明）

参数		测试条件		最小值	典型值	最大值	单位
故障引脚特性							
$I_{CL_FAULT_R}$ (2)	I_{CL} 电流限制故障置为有效阈值（版本 A、B、C、D）	V_{DIAG_EN} = 5V，V_{OL_ON} = 0V	上升	0.90xI_{CL}	0.95xI_{CL}		A
	I_{CL} 电流限制故障置为有效阈值（版本 E）	V_{DIAG_EN} = 5V，V_{OL_ON} = 0V	上升	0.77xI_{CL}	0.92xI_{CL}		A
$I_{CL_FAULT_F}$ (2)	I_{CL} 故障置为无效阈值（版本 A、B、C、D）	V_{DIAG_EN} = 5V，V_{OL_ON} = 0V	下降	0.85xI_{CL}	0.90xI_{CL}		A
	I_{CL} 故障置为无效阈值（版本 E）	V_{DIAG_EN} = 5V，V_{OL_ON} = 0V	下降	0.72xI_{CL}	0.86xI_{CL}		A
V_{FAULT}	$\overline{FAULT}$ 低输出电压	$I_{\overline{FAULT}}$ = 2.5mA				0.5	V
$t_{FAULT_BLANKING}$	启动期间的故障消隐时间		V_{DIAG_EN} = 5V，V_{EN} = 0V 至 5V			12	ms
t_{FAULT_FLT}	故障指示时间	故障和 $\overline{FAULT}$ 置为有效之间的时间				75	µs
t_{FAULT_SNS}	故障指示时间（版本 A、B、C、D）	V_{DIAG_EN} = 5V 故障与 I_{SNS} 稳定在 V_{SNSFH} 之间的时间	V_{DIAG_EN} = 5V 故障与 I_{SNS} 稳定在 V_{SNSFH} 之间的时间			95	µs
	故障指示时间（版本 E）	V_{DIAG_EN} = 5V 故障与 I_{SNS} 稳定在 V_{SNSFH} 之间的时间	V_{DIAG_EN} = 5V 故障与 I_{SNS} 稳定在 V_{SNSFH} 之间的时间			98	µs
电流检测特性							
I_{KSNS2_EN}	在 KSNS1 模式下时支持启用 KSNS2 的负载电流（版本 A、B、C、D）	V_{EN} = V_{DIAG_EN} = 5V，V_{OL_ON} = GND		42	50	70	mA
	在 KSNS1 模式下时支持启用 KSNS2 的负载电流（版本 E）	V_{EN} = V_{DIAG_EN} = 5V，V_{OL_ON} = GND		39	50	70	mA
I_{KSNS2_DIS}	在 KSNS2 模式下时用于禁用 KSNS2 的负载电流（版本 A、B、C、D）	V_{EN} = V_{DIAG_EN} = 5V，V_{OL_ON} = GND		75	85	105	mA
	在 KSNS2 模式下时用于禁用 KSNS2 的负载电流（版本 E）	V_{EN} = V_{DIAG_EN} = 5V，V_{OL_ON} = GND		74	85	96	mA
K_{SNS}	电流检测比 - 标准检测 I_{OUT}/I_{SNS}	I_{OUT} = 2A，V_{OL_ON} = GND			1300		A/A
K_{SNS2}	电流检测比 - 高精度检测 I_{OUT}/I_{SNS}	I_{OUT} = 30mA，V_{OL_ON} = 5V			24.6		A/A

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

6.5 电气特性（续）

V_S = 6V 至 36V，T_A = –40°C 至 125°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_{SNS}	电流检测电流和精度	V_{EN} = V_{DIAG_EN} = 5V，V_{OL_ON} = GND	I_{OUT} = 7A		5.38		mA
				-6		6	%
			I_{OUT} = 6A		4.61		mA
				-6		6	%
			I_{OUT} = 4A		3.0		mA
				-4		4	%
			I_{OUT} = 2A		1.533		mA
				-4		4	%
			I_{OUT} = 1A		0.764		mA
				-4		4	%
			I_{OUT} = 500mA		0.380		mA
				-6		6	%
			I_{OUT} = 200mA		0.150		mA
				-10		10	%
			I_{OUT} = 100mA		0.073		mA
				-15		15	%
			I_{OUT} = 50mA		0.034		mA
				-25		25	%
I_{SNS2}	高精度检测模式的电流检测电流和精度	V_{EN} = V_{DIAG_EN} = 5V，V_{OL_ON} = 5V	I_{OUT} = 40mA		1.62		mA
				-6		6	%
			I_{OUT} = 20mA		0.833		mA
				-6		6	%
			I_{OUT} = 10mA		0.404		mA
				-10		10	%
			I_{OUT} = 4mA		0.161		mA
				-12.5		12.5	%
			I_{OUT} = 2mA		0.0800		mA
				-15		15	%
			I_{OUT} = 1mA		0.0395		mA
				-20		20	%
SNS 引脚特性							
V_{SNSFH}	V_{SNS} 故障高电平	V_{DIAG_EN} = 5V		4.5	5	5.77	V
		V_{DIAG_EN} = 3.3V，R_{SNS}=开路		3.5	3.95	4.4	V
		V_{DIAG_EN} = V_{IH}		2.8	3.66	3.8	V
I_{SNSFLT}	I_{SNS} 故障高电平	V_{DIAG_EN} > $V_{IH,DIAG_EN}$		5.8	6.4		mA
I_{SNSFLT}	I_{SNS} 故障高电平（版本 E）	V_{DIAG_EN} > $V_{IH,DIAG_EN}$	V_{DIAG_EN} > $V_{IH,DIAG_EN}$	5.3	6.4		mA
$I_{SNSleak}$	I_{SNS} 漏电流	V_{DIAG_EN} = 5V，IL = 0mA				1.3	µA
V_{S_ISNS}	完整电流检测和故障功能所需的 V_S 余量（版本 A、B、C、D）	V_{DIAG_EN} = 3.3V		5.8			V
	完整的电流检测和故障功能所需的 V_S 余量	V_{DIAG_EN} = 5V		6.5			V

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

6.5 电气特性（续）

V_S = 6V 至 36V，T_A = –40°C 至 125°C（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{S_ISNS}	完整电流检测和故障功能所需的 V_S 余量（版本 E）	V_{DIAG_EN} = 3.3V	6			V
开路负载检测特性						
V_{OL_OFF}	关断状态开路负载 (OL) 检测电压	V_{EN} = 0V，V_{DIAG_EN} = 5V	1.5	2	2.5	V
R_{OL_OFF}	关断状态开路负载 (OL) 检测内部上拉电阻	V_{EN} = 0V，V_{DIAG_EN} = 5V	120	150	180	kΩ
t_{OL_OFF}	关断状态开路负载 (OL) 检测抗尖峰脉冲时间	V_{EN} = 0V，V_{DIAG_EN} = 5V，当 Vs – V_{OUT} < V_{OL} 时，持续时间长于 t_{OL}。检测到开路负载。		480	700	µs
$t_{OL_OFF_1}$	从 EN 下降开始的 OL_OFF 和 STB 指示时间	V_{EN} = 5V 至 0V，V_{DIAG_EN} = 5V I_{OUT} = 0mA，V_{OUT} = Vs - V_{OL}		310	700	µs
$t_{OL_OFF_2}$	从 DIA_EN 上升开始的 OL 和 STB 指示时间	V_{EN} = 0V，V_{DIAG_EN} = 0V 至 5V I_{OUT} = 0mA，V_{OUT} = V_S - V_{OL}			700	µs
OL_ON 引脚特性						
$V_{IL,\ OL_ON}$	输入电压低电平				0.8	V
$V_{IH,\ OL_ON}$	输入电压高电平		1.5			V
$V_{IHYS,\ OL_ON}$	输入电压迟滞			282		mV
R_{OL_ON}	内部下拉电阻器		0.7	1	1.3	MΩ
$I_{IL_OL_ON}$	输入电流低电平	V_{OL_ON} = -1V	-25		0	µA
$I_{IL,\ OL_ON}$	输入电流低电平	V_{OL_ON} = 0.8V	0.6	0.8	1.2	µA
$I_{IH,\ OL_ON}$	输入电流高电平	V_{OL_ON} = 5V	3	5	7	µA
DIAG_EN 引脚特性						
$V_{IL,\ DIAG_EN}$	输入电压低电平	无接地网络			0.8	V
$V_{IH,\ DIAG_EN}$	输入电压高电平	无接地网络	1.5			V
$V_{IHYS,\ DIAG_EN}$	输入电压迟滞			270		mV
R_{DIAG_EN}	内部下拉电阻器		200	350	500	kΩ
$I_{IL,\ DIAG_EN}$	输入电流低电平（A、B、C、D 版本）	V_{DIAG_EN} = 0.8V，V_{EN} = 0V		0.8		µA
	输入电流低电平（E 版本）	V_{DIAG_EN} = 0.8V，V_{EN} = 0V		2.9	3.8	µA
$I_{IH,\ DIAG_EN}$	输入电流高电平	V_{DIAG_EN} = 5V		14		µA
EN 引脚特性						
$V_{IL,\ EN}$	输入电压低电平	无接地网络			0.8	V
$V_{IH,\ EN}$	输入电压高电平	无接地网络	1.5			V
$V_{IHYS,\ EN}$	输入电压迟滞			280		mV
R_{EN}	内部下拉电阻器		200	350	500	kΩ
$I_{IL,\ EN}$	输入电流低电平	V_{EN} = 0.8V		2.2		µA
$I_{IH,\ EN}$	输入电流高电平	V_{EN} = 5V		14		µA

(1) 电流限制调节之前过载条件下的最大电流输出
(2) 未经量产测试。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

6.6 SNS 时序特性

V_S = 6V 至 36V，T_J = –40°C 至 125°C（除非另有说明）。未经量产测试的参数。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
SNS 时序 - 电流检测						
$t_{SNSION1}$	从 DIAG_EN 的上升沿开始的稳定时间 V_{DIAG_EN} 的 50% 到稳定 ISNS 的 90%	V_{EN}= 5V，V_{DIAG_EN} = 0V 至 5V，V_{OL_ON} = 0V，R_{SNS} = 1kΩ，I_L = 1A			15	µs
		V_{EN} = 5V，V_{DIAG_EN} = 0V 至 5V，V_{OL_ON} = 0V，R_{SNS} = 1kΩ，I_L = 50mA			80	µs
$t_{SNSION2}$	从 EN 和 DIAG_EN 的上升沿开始的稳定时间 V_{DIAG_EN} V_{EN} 的 50% 到稳定 ISNS 的 90%	V_{EN} = V_{DIAG_EN} = 0V 至 5V，V_S = 24V，R_{SNS} = 1kΩ，I_L = 1A			150	µs
$t_{SNSION3}$	从 EN 的上升沿开始的稳定时间 V_{EN} 的 50% 到稳定 ISNS 的 90%	V_{EN} = 0V 至 5V，V_{DIAG_EN} = 5V，R_{SNS} = 1kΩ，I_L = 1A			150	µs
$t_{SNSION4}$	从 OL_ON 的上升沿开始的稳定时间 V_{OL_ON} 的 50% 到稳定 ISNS 的 90%	V_{OL_ON} = 0 至 5V，V_{EN} = V_{DIAG_EN} = 5V，R_{SNS} = 1kΩ，I_L = 6mA			60	µs
$t_{SNSION5}$	从 I_L 的下降沿 (< I_{KSNS2_EN}) 到稳定 ISNS 的 90% 的稳定时间	V_{OL_ON} = V_{EN} = V_{DIAG_EN} = 5V，R_{SNS} = 1kΩ，I_L = 100mA 至 10mA			60	µs
$t_{SNSION6}$	从 I_L 的上升沿 (> I_{KSNS2_DIS}) 到稳定 ISNS 的 90% 的稳定时间	V_{OL_ON} = V_{EN} = V_{DIAG_EN} = 5V，R_{SNS} = 1kΩ，I_L = 10mA 至 100mA			60	µs
$t_{KSNS2_DIS_DGL}$	I_L (> I_{KSNS2_DIS}) 转换的抗尖峰脉冲时间。	V_{OL_ON} = V_{EN} = V_{DIAG_EN} = 5V，R_{SNS} = 1kΩ，I_L = 10mA 至 100mA			30	µs
$t_{SNSIOFF}$	从 DIAG_EN 的下降沿开始的稳定时间	V_{EN} = 5V，V_{DIAG_EN} = 5V 至 0V，R_{SNS} = 1kΩ，R_L = 48Ω			20	µs
$t_{SETTLEH}$	从负载阶跃的上升沿到电流检测输出设定值的 90% 的稳定时间	V_{EN} = V_{DIAG_EN} = 5V，R_{SNS} = 1kΩ，I_{OUT} = 0.5A 至 3A			20	µs
$t_{SETTLEL}$	从负载阶跃的输出边沿到电流检测输出设定值的 10% 的稳定时间	V_{EN} = V_{DIAG_EN} = 5V，R_{SNS} = 1kΩ，I_{OUT} = 3A 至 0.5A			20	µs
$t_{TIMEOUT}$	由于 VS-VOUT>2V 而指示 VSNSFH 的时间。从 EN、DIAG_EN 和 OL_ON 的上升沿 V_{DIA_EN} V_{EN} V_{OL_ON} 的 50% 到 VSNSFH 的上升沿的 50%	V_{DIAG_EN} = V_{EN} = V_{OL_ON} = 0V 至 5V，R_{SNS} = 1kΩ，I_{OUT} = 5mA C_{OUT} =50uF		245		µs

6.7 开关特性

V_S = 24V，T_J = –40°C 至 +125°C（除非另有说明），C_{OUT} = 22nF

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
t_{DR}	导通延迟时间（来自待机，版本 A、B、C、D）	V_S = 24V，R_L = 48Ω EN 的 50% 至 VOUT 的 20%		35	55	µs
	导通延迟时间（来自延迟或诊断，版本 A、B、C、D）	V_S = 24V，R_L = 48Ω EN 的 50% 至 VOUT 的 20%		25	45	µs
	导通延迟时间（来自延迟或诊断，版本 E）	V_S = 24V，R_L = 48Ω EN 的 50% 至 VOUT 的 20%		49	60	µs
t_{DF}	关断延迟时间（版本 A、B、C、D）	V_S = 24V，R_L = 48Ω EN 的 50% 至 VOUT 的 80%		35	50	µs
	关断延迟时间（版本 E）	V_S = 24V，R_L = 48Ω EN 的 50% 至 VOUT 的 80%		40	55	µs

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

6.7 开关特性（续）

V_S = 24V，T_J = –40°C 至 +125°C（除非另有说明），C_{OUT} = 22nF

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
SR_R	VOUT 上升转换率	V_S = 24V，V_{OUT} 的 20% 至 80%，R_L = 48Ω	0.4	0.7	0.95	V/µs
SR_F	VOUT 下降压摆率	V_S = 24V，V_{OUT} 的 80% 至 20%，R_L = 48Ω	0.4	0.8	1.2	V/µs
f_{max}	最大 PWM 频率				1	kHz
t_{ON}	导通时间（版本 A、B、C、D）	V_S = 24V，R_L = 48Ω，EN 的 50% 至 VOUT 的 80%		55	75	µs
	导通时间（版本 E）	V_S = 24V，R_L = 48Ω，EN 的 50% 至 VOUT 的 80%		69	96	µs
t_{OFF}	关断时间（版本 A、B、C、D）	V_S = 24V，R_L = 48Ω，EN 的 50% 至 VOUT 的 20%		60	70	µs
	关断时间（版本 E）	V_S = 24V，R_L = 48Ω，EN 的 50% 至 VOUT 的 20%		60	80	µs
t_{ON} - t_{OFF}	导通和关断匹配（版本 A、B、C、D）	1ms 导通时间开关使能脉冲 V_s = 24V，R_L = 48Ω	-25		45	µs
	导通和关断匹配（版本 E）	100µs 导通时间开关使能脉冲，V_S = 24V，R_L = 48Ω，F = f_{max}	5		68	µs
Δ_{PWM}	PWM 精度 - 平均负载电流	200µs 使能脉冲，V_S = 24V，R_L = 48Ω F = f_{max}	-15		15	%
E_{ON}	导通期间的开关能量损耗	V_S = 24V，R_L = 8Ω，1ms 脉冲，VOUT 从 VS 电压的 20% 至 80%		0.5		mJ
E_{OFF}	关断期间的开关能量损耗	V_S = 24V，R_L = 8Ω，1ms 脉冲，VOUT 从 VS 电压的 80% 至 20%		0.25		mJ

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

6.8 典型特性

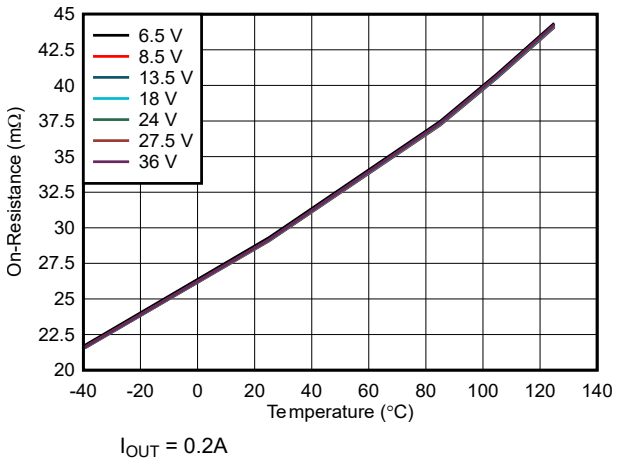


图 6-1. 导通电阻 (R_{ON}) 与温度与 VS 电源电压间的关系

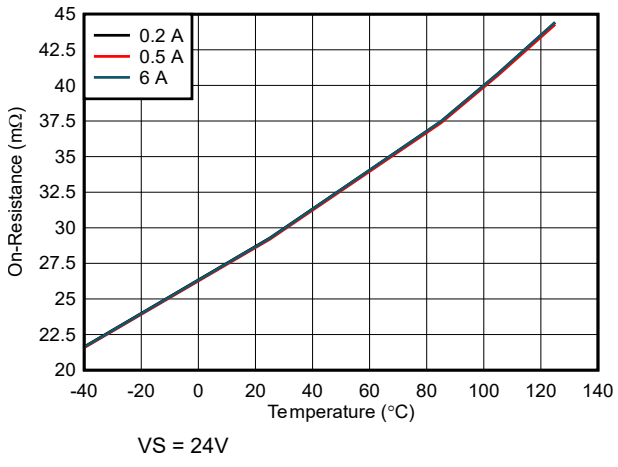


图 6-2. 导通电阻 (R_{ON}) 与温度和负载电流间的关系

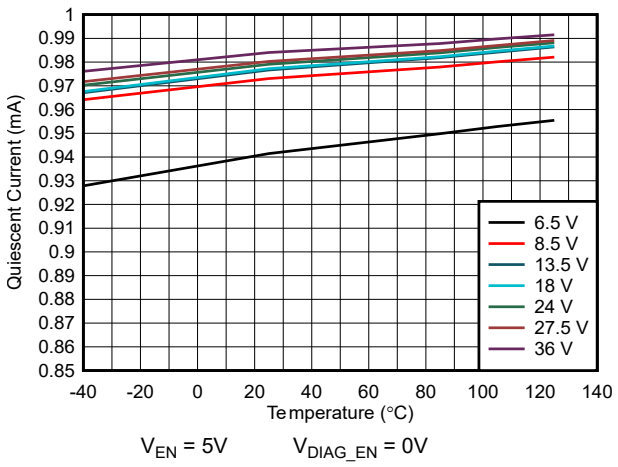


图 6-3. 来自 VS 输入电源的静态电流 ($I_{Q, VS}$) 与温度与 VS 电压间的关系

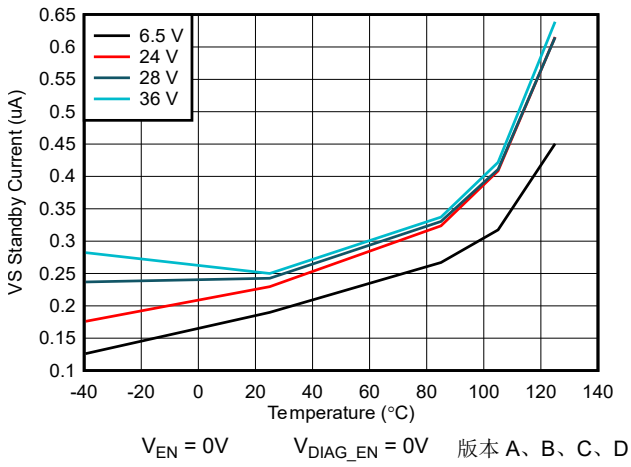
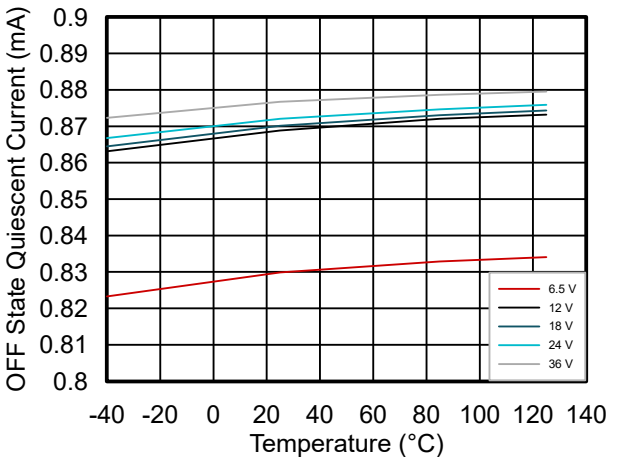


图 6-4. 来自 VS 输入电源的待机电流 ($I_{STBY, VS}$) 与温度与 VS 电压间的关系

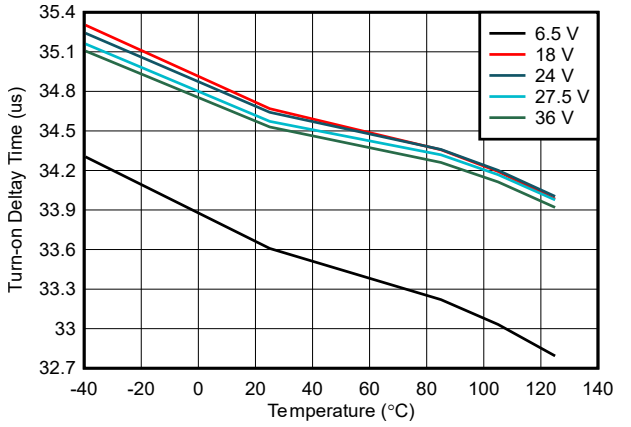
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

6.8 典型特性 (续)



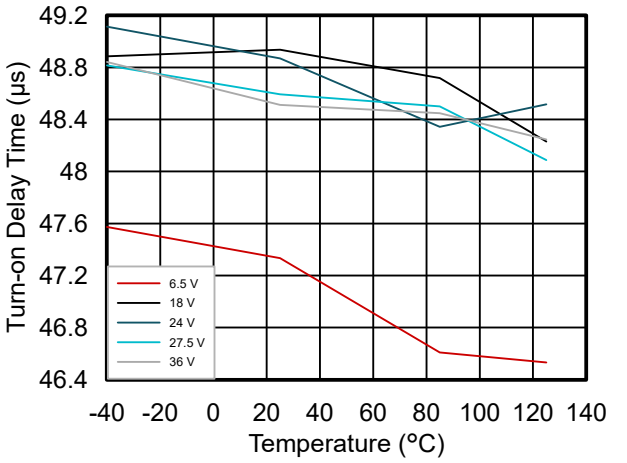
V_{EN} = 0V V_{DIAG_EN} = 0V 版本 E

图 6-5. 来自 VS 输入电源的关断状态静态电流 ($I_{Q(OFF)}$) 与温度和 VS 电压间的关系



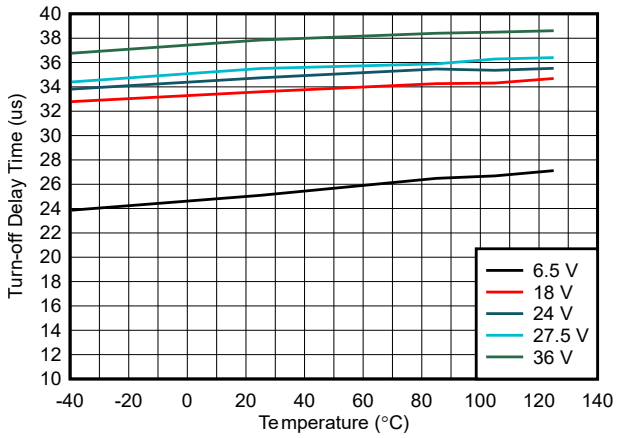
R_L = 48 Ω 版本 A、B、C、D

图 6-6. 导通延迟时间 (t_{DR}) 与温度与 VS 电压间的关系



R_L = 48 Ω 版本 E

图 6-7. 导通延迟时间 (t_{DR}) 与温度与 VS 电压间的关系

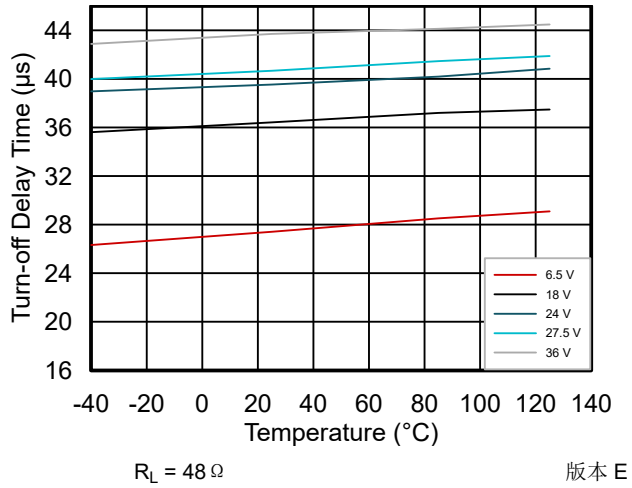


R_L = 48 Ω 版本 A、B、C、D

图 6-8. 关断延迟时间 (t_{DF}) 与温度与 VS 电压间的关系

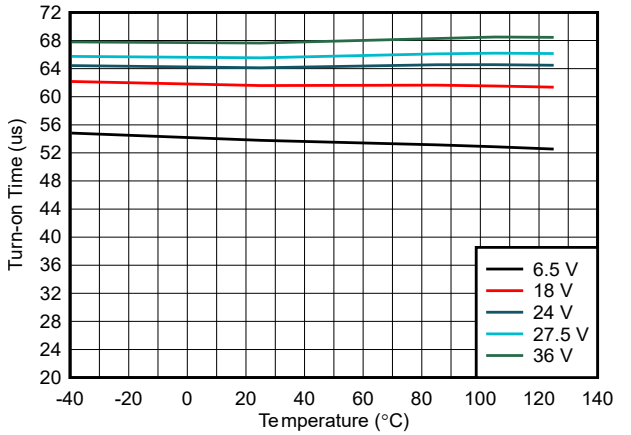
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

6.8 典型特性 (续)



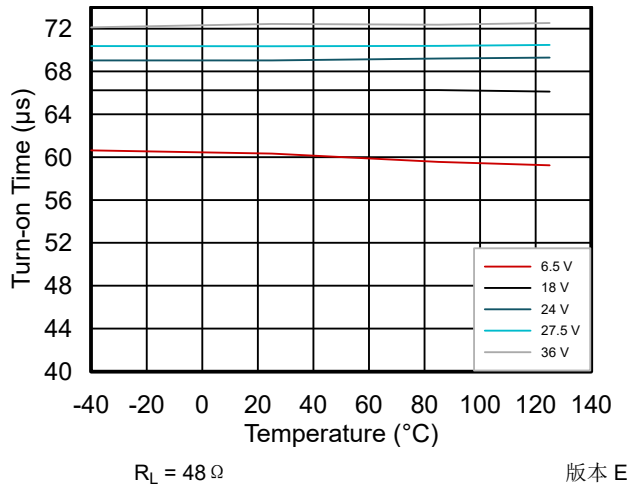
R_L = 48 Ω　　版本 E

图 6-9. 关断延迟时间 (t_{DF}) 与温度与 VS 电压间的关系



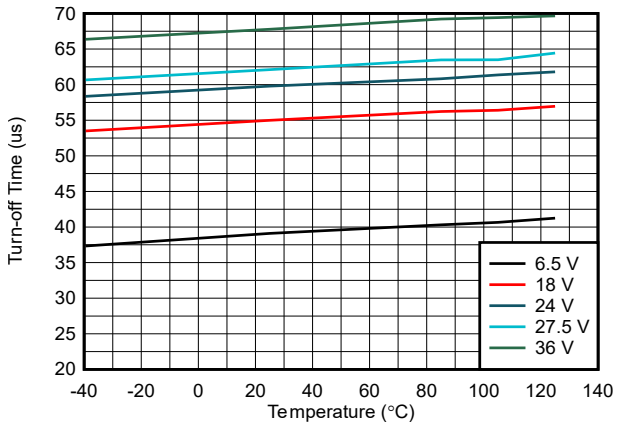
R_L = 48 Ω　　版本 A、B、C、D

图 6-10. 开通时间 (t_{ON}) 与温度与 VS 电压间的关系



R_L = 48 Ω　　版本 E

图 6-11. 开通时间 (t_{ON}) 与温度与 VS 电压间的关系



R_L = 48 Ω　　版本 A、B、C、D

图 6-12. 关断时间 (t_{OFF}) 与温度与 VS 电压间的关系

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

6.8 典型特性 (续)

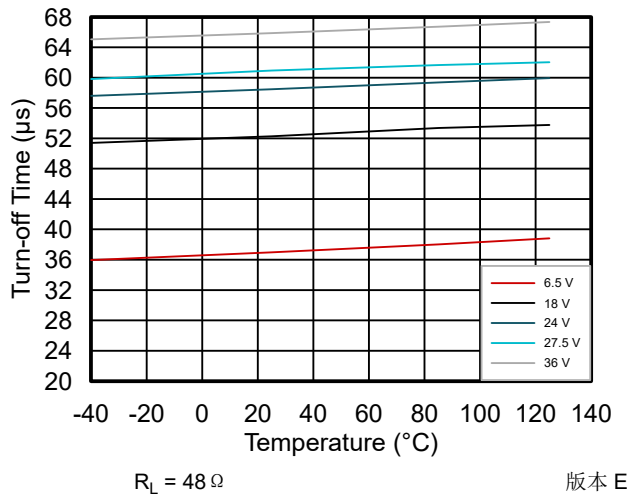


图 6-13. 关断时间 (t_{OFF}) 与温度与 VS 电压间的关系

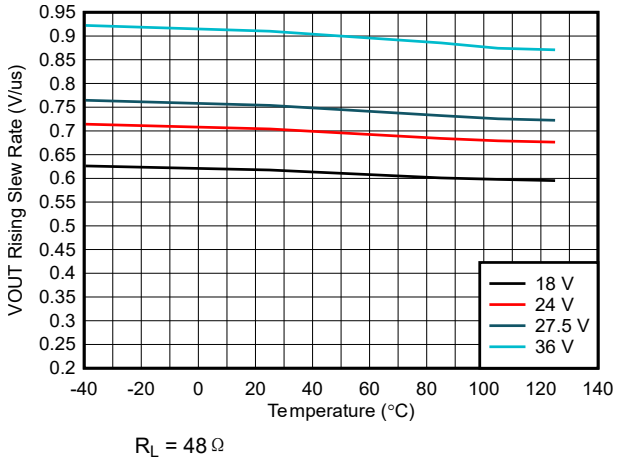


图 6-14. VOUT 上升压摆率 (SR_R) 与温度与 VS 电压间的关系

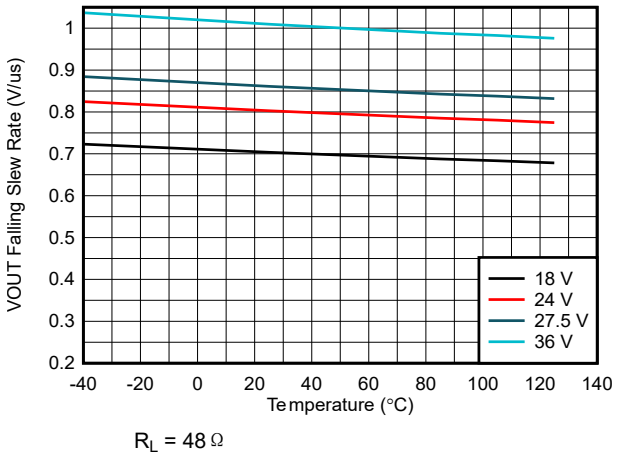


图 6-15. VOUT 下降压摆率 (SR_F) 与温度与 VS 电压间的关系

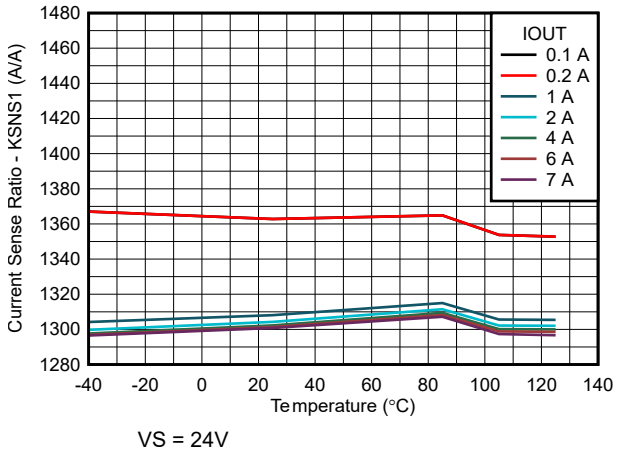


图 6-16. 电流检测比 ($KSNS_1$) 与温度与负载电流间的关系

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

6.8 典型特性 (续)

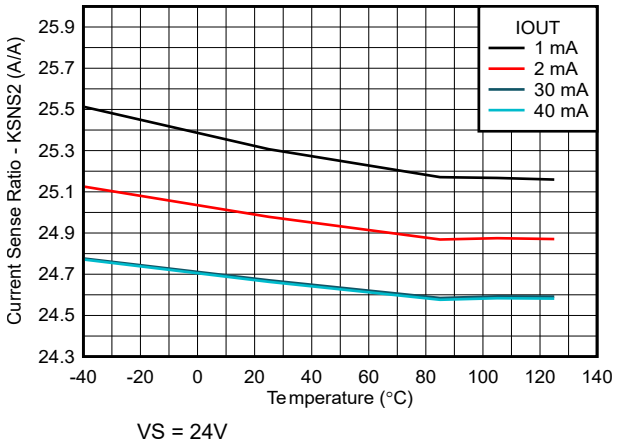


图 6-17. 电流检测比 ($KSNS_2$) 与温度与负载电流间的关系

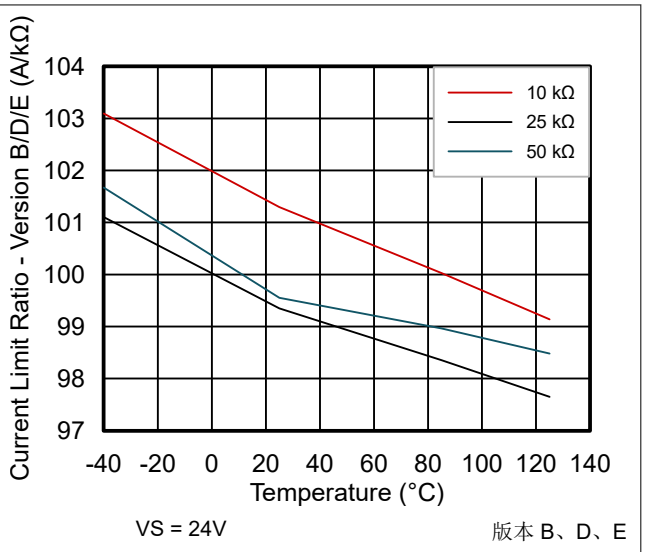
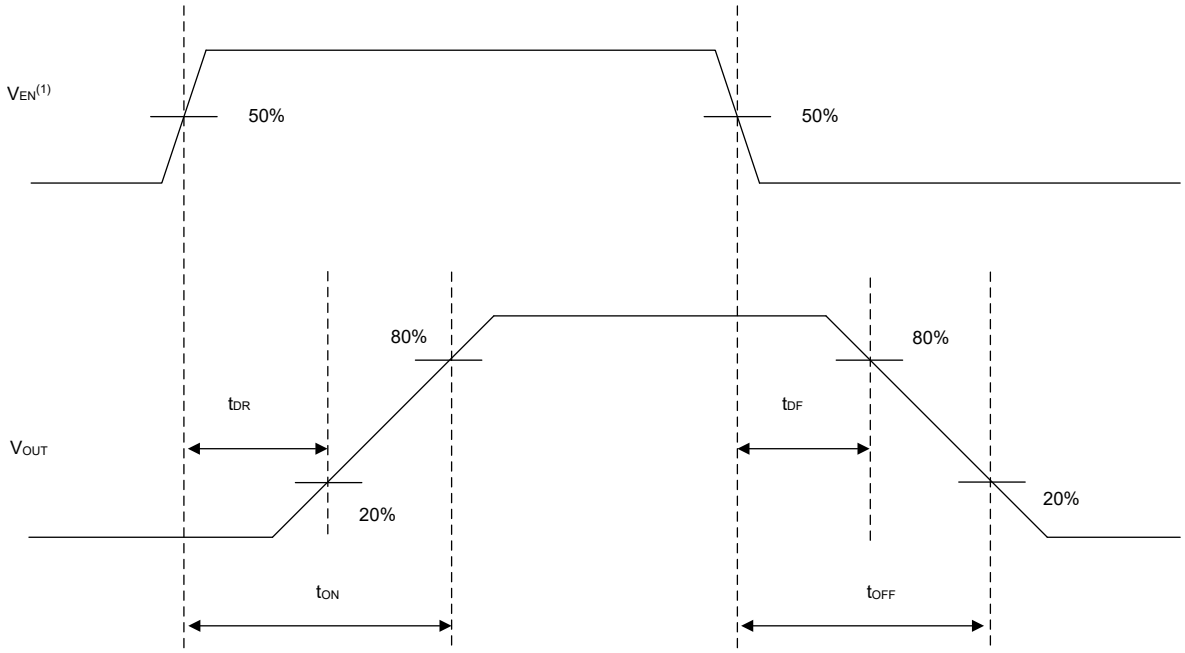


图 6-18. 电流限制比 (K_{CL}) 与温度与 R_{ILIM} 间的关系

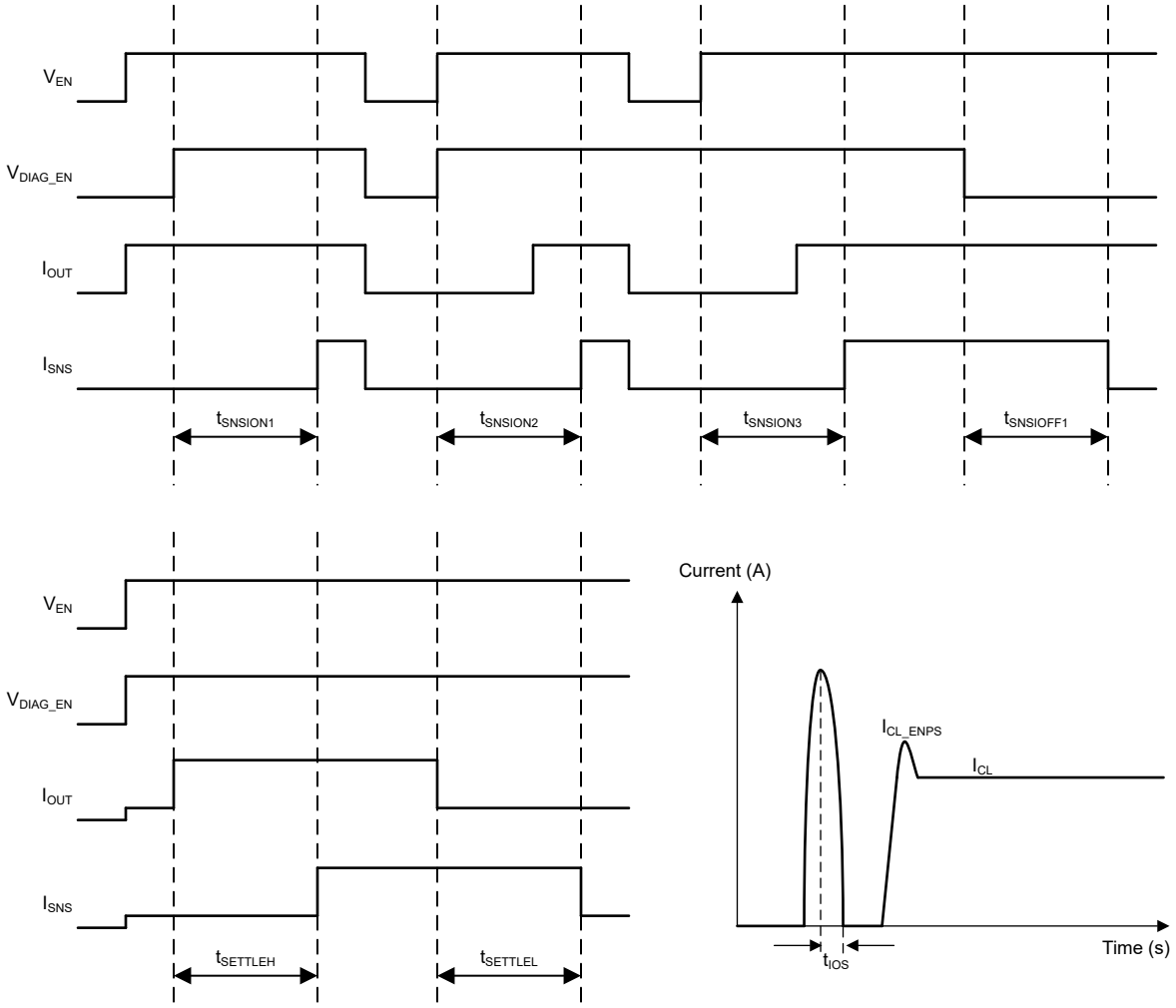
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

7 参数测量信息



V_{EN} 的上升和下降时间为 100ns。

图 7-1. 开关特性定义



控制信号的上升和下降时间为 100ns。控制信号包括：EN、DIAG_EN。

图 7-2. SNS 时序特性定义

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

8 详细说明

8.1 概述

TPS281C30 是一款受到全面保护的单通道高侧电源开关，具有集成式 NMOS 功率 FET 和电荷泵，直流容差为 60V。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。输入引脚上的 1.5V 低逻辑高电平阈值 V_{IH} 允许使用低至 1.8V 的 MCU。可编程的电流限制功能能够极大地提高整个系统的可靠性。器件诊断报告具有两个引脚，支持数字状态和模拟电流检测输出。

数字状态报告是在故障引脚上采用开漏结构实现的。当发生故障情况时，该引脚下拉至 GND。需要使用一个外部上拉电阻来匹配微控制器的电源电平。高精度电流检测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。电流镜用于提供 $1/K_{SNS}$ 的负载电流，等于 SNS 引脚上的电压。K_{SNS} 在整个温度和电源电压范围内是一个恒定值。SNS 引脚还可以通过强制 V_{SNSFH} 的电压来报告故障，该电压与诊断使能电压成比例，以便系统的 ADC 看到的最大电压在可接受的值内。这样，就无需在 SNS 引脚上使用外部齐纳二极管或电阻分压器。

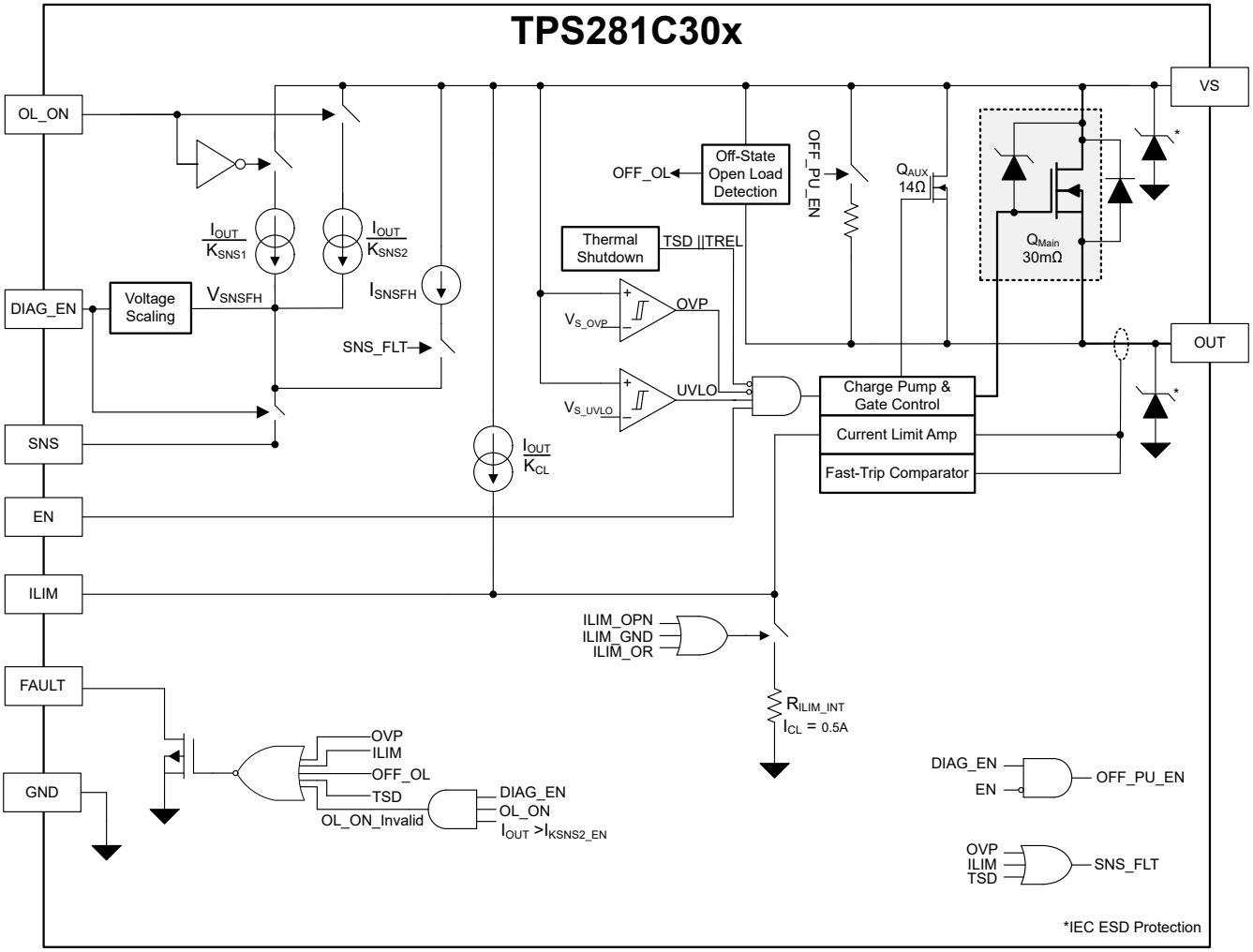
外部高精度电流限制功能允许根据应用设置电流限制值。此功能通过在启动或短路条件下有效地钳制浪涌电流，极大地提高了系统的可靠性。此外，它还可以通过减少 PCB 走线、连接器尺寸和前一个功率级容量来节省系统成本。此器件中还可以实现内部电流限制。施加外部或内部电流限制值的较低值。

内置的有源漏源电压钳位可解决如继电器、螺线管、泵、电机等电感负载能量的关断问题。在电感关断周期期间，电源 (E_{BAT}) 和负载 (E_{LOAD}) 的能量都消耗在高侧电源开关本身上。凭借工艺技术和出色的 IC 布局的优势，TPS281C30x 器件可以实现出色的能量耗散能力，这在大多数情况下有助于省去外部续流电路。

TPS281C30x 器件可用作各种电阻负载、电感负载和容性负载（包括低瓦数灯泡、LED、继电器、电磁阀和加热器）的高侧电源开关。请注意，对于驱动电感负载，没有内部 VDS 钳位的版本（版本 C、D、E）需要外部钳位来在关断时耗散电感能量。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

8.2 功能方框图



Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

8.3 器件功能模式

8.3.1 工作模式

该器件中的四种工作模式为正常模式、带诊断功能的正常模式、待机模式和带诊断功能的待机模式。待机模式和带诊断功能的待机模式仅适用于版本 A、B、C、D。如果系统中需要关断状态节能，则待机电流小于 500nA 且 EN 和 DIAG_EN 处于低电平。如果系统中需要关断状态诊断，则典型待机电流大约为 0.5mA，且 DIAG_EN 处于高电平。请注意，要进入待机模式，需要 IN 处于低电平且 $t > t_{STBY}$。t_{STBY} 是待机模式抗尖峰脉冲时间，用于避免误触发或干扰 PWM 开关。

对于 E 版本，当器件关断时不会进入待机模式，当 EN 为低电平时，电流消耗为 $I_{Q(OFF)}$。

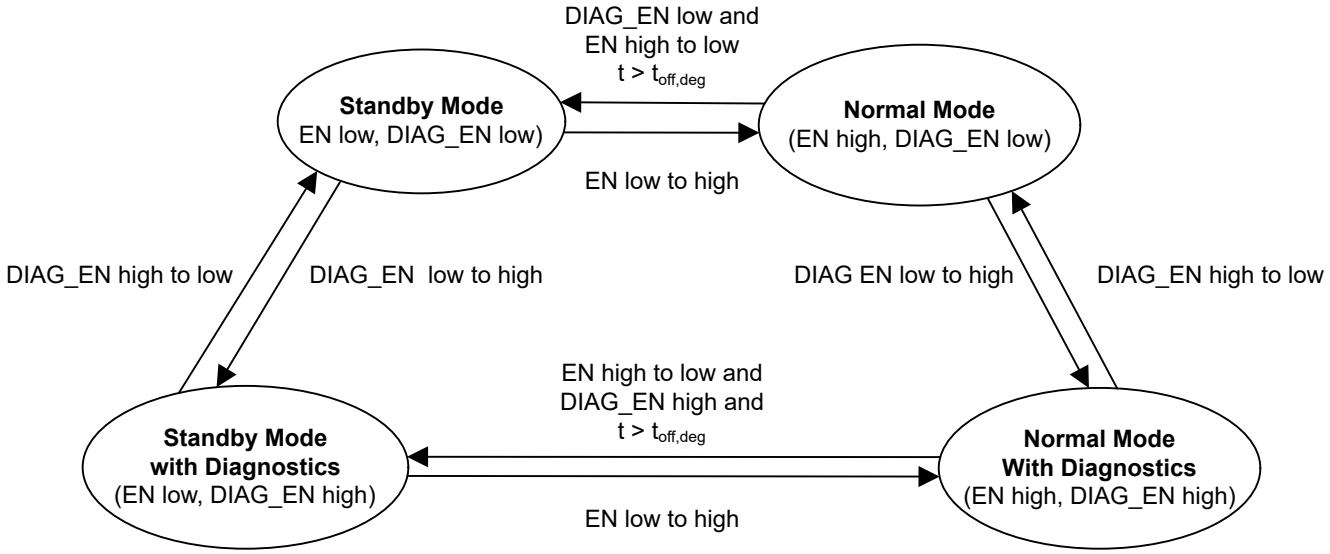


图 8-1. 工作模式状态机

8.4 特性说明

8.4.1 精确的电流检测

内部实现了电流检测功能，无需进一步校准，即可实现更好的实时监测效果和更准确的诊断。电流镜用于提供 1/K_{SNS} 的负载电流，流入 SNS 引脚和 GND 之间的外部电阻器，等于 SNS 引脚上的电压。

K_{SNS} 为输出电流与检测电流之比。电气特性中引用的 K_{SNS} 的精度值确实考虑了温度和电源电压。每个器件在生产时都经过内部校准，因此大多数情况下不需要用户进行后校准。

SNS 引脚上的最大输出电压被钳位至 V_{SNSFH}，即故障电压电平。为了确保该电压不高于系统可以承受的电压，TI 已将进入 DIAG_EN 引脚的电压与 SNS 引脚上的最大电压输出相关联。如果 DIAG_EN 介于 V_{IH} 和 3.3V 之间，则 SNS 引脚上的最大输出约为 3.3V。但是，如果 DIAG_EN 上的电压高于 3.3V，则故障 SNS 电压 V_{SNSFH} 会跟踪该电压（高达 5V）。由通过 DIAG_EN 为诊断供电的 GPIO 电压输出接近同一微控制器内的最大可接受 ADC 电压，因此进行了该操作。因此，可以选择检测电阻值 R_{SNS}，以尽可能地扩大系统所需测量的电流范围。根据应用需求选择 R_{SNS} 值。对于系统需要测量的最小负载电流 $I_{LOAD,min}$，最大可用 R_{SNS} 值受 ADC 最小可接受电压 $V_{ADC,min}$ 限制。可接受的最小 R_{SNS} 值必须确认 V_{SNS} 电压低于 V_{SNSFH} 值，以便系统可以确定故障。通过 SNS 引脚的最大可读电流 $I_{LOAD,max} \times R_{SNS}$ 与 V_{SNSFH} 之间的差值称为余量电压 V_{HR}。余量电压由系统确定，但很重要，以便最大可读电流不触发故障情况。因此，最小 RSNS 值必须是 V_{SNSFH} 与 V_{HR} 之差乘以检测电流比 K_{SNS}，然后除以系统必须测量的最大负载电流 $I_{LOAD,max}$。此边界公式如方程式 1 所示。

$$V_{ADC,min} \times K_{SNS} / I_{LOAD,min} \leqslant R_{SNS} \leqslant (V_{SNSFH} - V_{HR}) \times K_{SNS} / I_{LOAD,max} \quad (1)$$

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

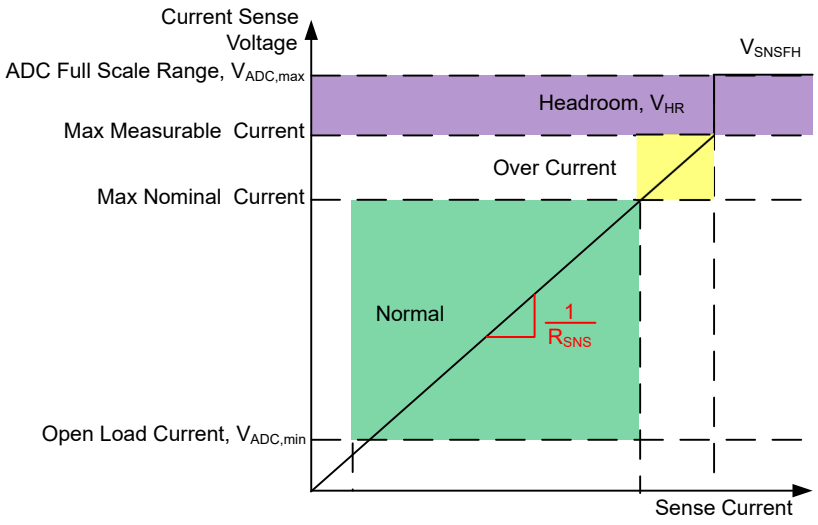


图 8-2. 电流检测引脚上的电压指示

系统要读取的最大电流 $I_{LOAD,max}$ 必须低于电流限制阈值，因为一旦电流限制阈值跳变，V_{SNS} 值会变为 V_{SNSFH}。此外，测量中的电流必须低于 7A，以确保电流检测输出不饱和。

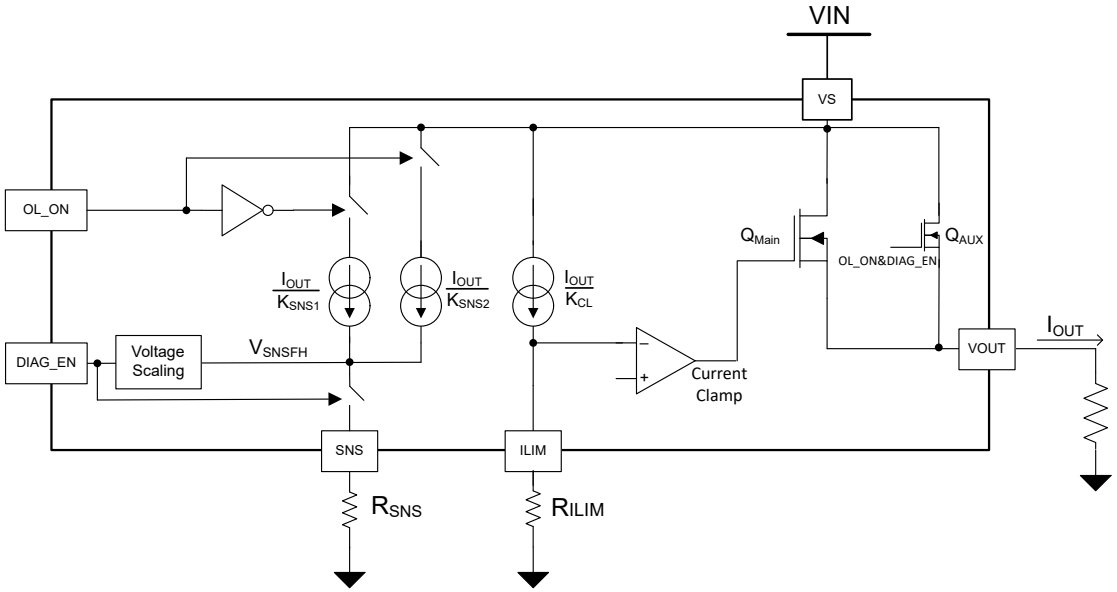


图 8-3. 电流检测和电流限制方框图

因为该方案会根据来自 MCU 的电压进行调整。无需在 SNS 引脚上使用齐纳二极管来防止高电压。

8.4.1.1 高精度检测模式

在某些应用中，在较低负载电流下进行精确的电流检测对于区分实际负载和故障场景（如开路负载条件（断线））至关重要。为应对这一挑战，TPS281C30x 实现了高精度检测模式，使客户能够在 6mA 负载下实现 ±30% 的精度。当启用诊断 (DIAG_EN =HI)、OL_ON = HI 且 $I_{Load}<I_{Ksns2_EN}$ 时，将激活此模式。为了实现这种高精度，该器件在高精度检测处于活动状态时，增加其主路径电阻，以提高其检测精度。如果负载开始增加超过 40mA，TI 建议用户通过设置 OL_ON = LO 来禁用此精度检测模式。这会主动防止任何更高的功率耗散状态。

在其他情况下，例如突然的负载阶跃，此时系统可能无法足够快来对 SNS 输出电流的变化做出反应。对于这种情况，需要防止因电阻增加而出现高功率耗散状态。TPS281C30x 检测流经 VS-VOUT 路径的负载保持小于

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

I_{Ksns2_DIS}。如果负载增加超过 I_{KSNS2_DIS}，FET 电阻恢复至其最低电阻，并且禁用高精度检测模式。这会导致 nFAULT 置为有效，以发出高精度检测模式已被禁用的信号。这验证了在驱动更高负载时具有更低的功率耗散。除此之外，用户还可以对 OL_ON 引脚进行 PWM，以禁用高电阻模式并进一步更大限度地降低功率损耗。

但是，即使器件达到了精度，根据电流检测比，由于 ADC 需要读取的电压较低，系统 ADC 也可能难以准确地测量较低的负载电流。例如，使用 RSNS = 1kΩ 且电流检测比为 1200 时，6mA I_{Load} 表示为约 5mV。对于 10 位 5V ADC，5mV 输出略高于 1LSB (4.88mV)。这无法为 ADC 提供足够的裕度来准确测量该电流，并且很可能需要使用更高的分辨率。

因此，为满足较低的 ADC 分辨率要求并在高精度检测模式下运行时准确地检测低负载电流，TPS281C30x 将其电流检测比降低至 24。如果检测比为 24 且在高精度检测模式下运行，则使用 RSNS = 1kΩ 时，6mA I_{Load} 表示为 250mV。对于相同的 10 位 ADC，这相当于 51LSB 的裕量，甚至对于 8 位 ADC，输出仍将提供 > 12LSB 的余量。

针对完整器件状态的全面保护和诊断。

表 8-1. 电流检测运行模式

条件	EN	VOUT	OL_ON	KSNS	SNS	FAULT	行为	恢复
正常 标准检测	L	L	L	1200	0	高阻态	正常	
	H	H	L	1200	I_{Load}/K_{sns1}	高阻态	正常	
高精度检测 正常运行	H	H	H	24	I_{Load}/K_{sns2}	高阻态	启用 x50 检测比以实现高精度检测，并且由于满足有效条件 $I_{Load}<I_{Ksns2_EN}$，因此 FAULT 保持高阻态。	
高精度检测 无效范围	H	H	H	1200	I_{Load}/K_{sns1}	L	FAULT 置为有效表明由于 $I_{Load}>I_{Ksns2_DIS}$ 而未启用高精度检测	当负载降至低于 IKSNS2_EN 或 OL_ON 复位至 LO 时清除。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

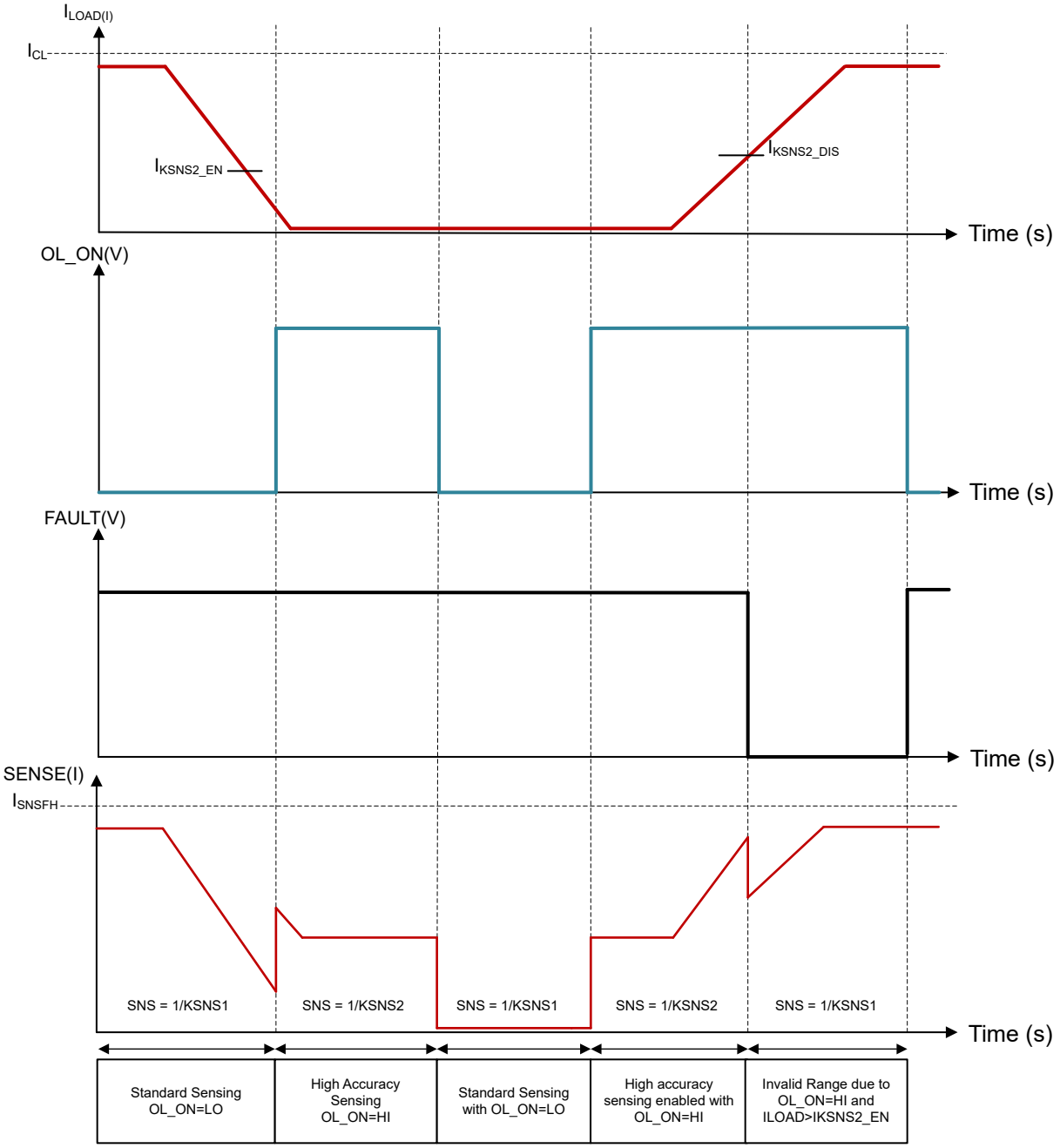


图 8-4. 高精度检测 FAULT 指示

8.4.2 可编程电流限制

高精度的电流限制可实现更高的可靠性，从而在短路或上电期间保护电源。此外，它还可以通过减少 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。

电流限制提供了保护功能，可防止负载和集成的功率 FET 出现过应力。电流限制将电流保持在设定值，将 SNS 引脚上拉至 V_{SNSFH}，并将 $\overline{FAULT}$ 引脚置为有效以作为诊断报告。两个电流限制阈值为：

- 外部可编程电流限制：一个外部电阻器 R_{ILIM} 用于设置通道电流限制。当流经器件的电流超过 I_{CL}（电流限制阈值）时，闭环立即介入。V_{GS} 电压相应地进行调节，从而实现 V_{DS} 电压调节。设置闭环后，电流被钳制于设定值。外部可编程电流限制提供了根据应用设置电流限制值的能力。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

此外，可以通过更改 ILIM 引脚上的电阻来动态更改该值，如节 9 所示。

- 内部电流限制：I_{LIM} 引脚开路或引脚接地短路。如果外部电流限制超出下限或 I_{LIM} 引脚接地短路，则内部电流限制是固定的，通常为 0.5A。在短路或开路连接以及 PCB 过应力故障期间，这可作为安全功率限制机制。

当 V_S 加电并且 EN 为高电平时，内部电流限制 ($I_{lim,nom}$) 和外部可编程电流限制都始终有效。（I_{LIM} 和外部可编程电流限制的）较低值用作实际电流限制。电流限制置为有效的典型抗尖峰脉冲时间为 2.5 µs。

请注意，如果使用接地网络（这会导致器件接地和电路板接地之间发生电平位移），则 ILIM 引脚必须与器件接地连接。使用 方程式 2 计算 R_{LIM}。

$$R_{ILIM} = K_{CL} / I_{CL} \quad (2)$$

为了更好地防止出现硬接地短路情况（当 V_S 和输入为高电平，并且突然发生接地短路时），开环快速响应行为设置为在设置电流限制闭环之前关闭通道。凭借这种快速响应能力，器件可以实现更佳的浪涌抑制性能。

8.4.2.1 短路和过载保护

TPS281C30 提供输出短路保护功能，可确保器件在接地路径阻抗较低时阻止电流流动，从而避免损坏或严重电源压降的风险。无论 ILIM 引脚的状态如何，该器件都能够在 125°C 下提供高达 36V 的电源，从而防止发生短路事件。

图 8-5 展示了 TPS281C30x 在发生短路且器件处于导通状态并已在输出电流时的行为。当内部导通 FET 完全启用时，电流钳位稳定时间变慢，因此，为确保过冲受到限制，该器件将快速跳变阈值设置为 I_{OVCR}。当达到此快速跳变阈值时，该器件会立即关闭一小段时间，然后快速重新启用，并在短暂的瞬态过冲至更高的峰值电流 (I_{CL_ENPS}) 电平后将电流钳位到 I_{CL} 电平。然后，该器件会将电流保持钳位在稳压电流限制，直到达到热关断温度，而器件将安全关断。

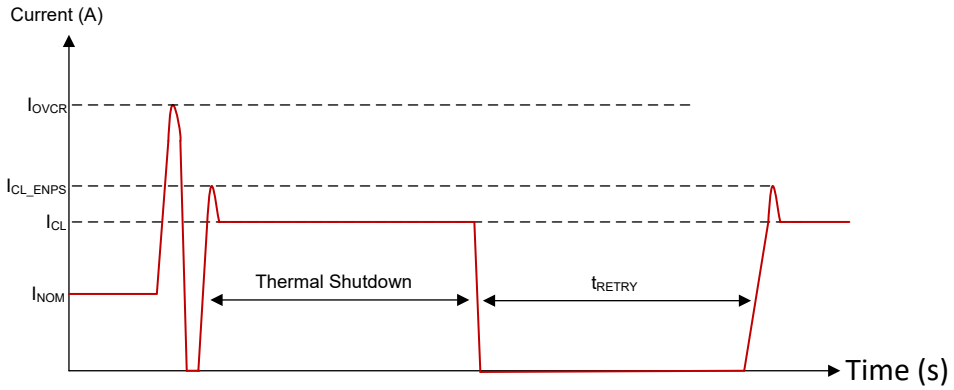


图 8-5. 导通状态短路行为

图 8-6 显示了当阻抗发生微小变化导致负载电流高于 I_{CL} 阈值时，TPS281C30x 的行为。电流升至高于调节电平的 I_{CL_LINPK}。然后，电流限制调节环路启动，电流降至 I_{CL} 值。

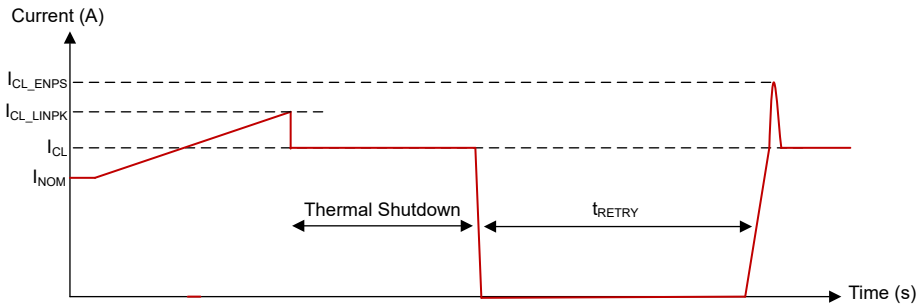


图 8-6. 过载行为

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

在所有这些情况下，内部热关断是安全的，可以重复执行。反复达到此热关断电平不会带来器件风险或寿命可靠性问题。

8.4.2.2 电容充电

图 8-7 显示了容性负载应用的典型设置，以及使用该器件时运行的内部块。请注意，所有容性负载都有一个与电容器并联的关联“负载”，该负载被描述为电阻负载，但实际上它可以是电感负载或电阻负载。

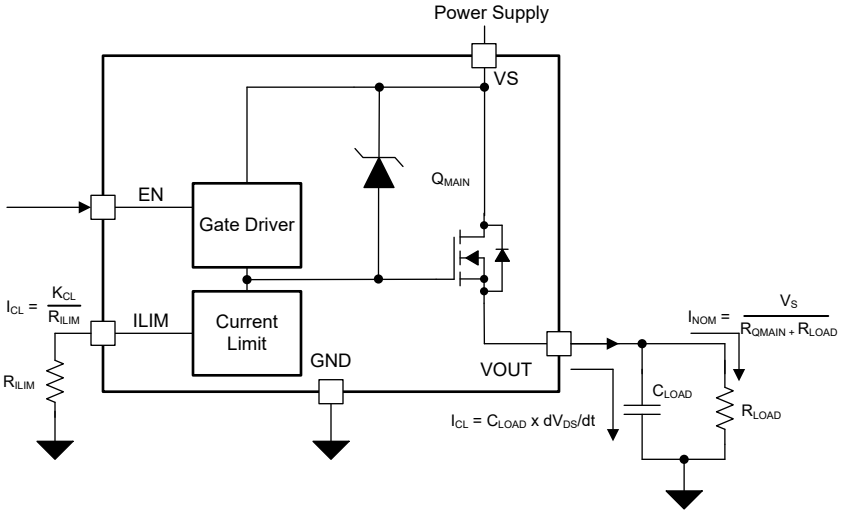


图 8-7. 电容充电电路

首先要检查的是 TPS281C30 器件可以接受标称直流电流 I_{NOM}。这可以通过从节 9.4.3 中获取 $R_{\theta JA}$ 并将其与 TPS281C30 的 RON 和 INOM 相乘来轻松完成。加上环境温度，如果该值低于热关断值，则器件可以在该负载电流下运行。有关此计算的示例，请参阅节 9。

此应用的第二个关键关注点是确保容性负载可以完全充电，而不会使器件发生热关断。这是因为，如果器件在充电期间发生热关断，则与电容器并联的负载的电阻性质会在 TPS281C30x 关断期间开始对电容器放电。请注意，有些应用具有足够高的负载阻抗，可以接受 TPS281C30 发生热关断并重试。然而，对于大多数应用，在设计系统时应确保 TPS281C30x 在为电容器充电时不会发生热关断。

借助 TPS281C30x 的电流钳位特性，与其他高电流限制开关相比，能够以更低的浪涌电流给电容器充电。这种较低的浪涌电流意味着电容器需要更长的时间才能完全充电。然而，为了更大限度地减少启动过程中这一较长的充电时间，TPS281C30 实现了导通状态短路行为中所述的浪涌电流处理特性。当 EN 引脚变为高电平以开启高侧开关时，器件会将其电流限制阈值默认为 $I_{LIM_STARTUP}$，持续时间为 $I_{LIM_STARTUP_DELAY}$。在此延迟期间，容性负载的充电速率可以高于 I_{CL} 典型值所允许的速率，并且屏蔽 FAULT 以防止不必要的故障触发。在 $I_{LIM_STARTUP_DELAY}$ 后，电流限制默认回到 I_{CL}，FAULT 正常工作。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

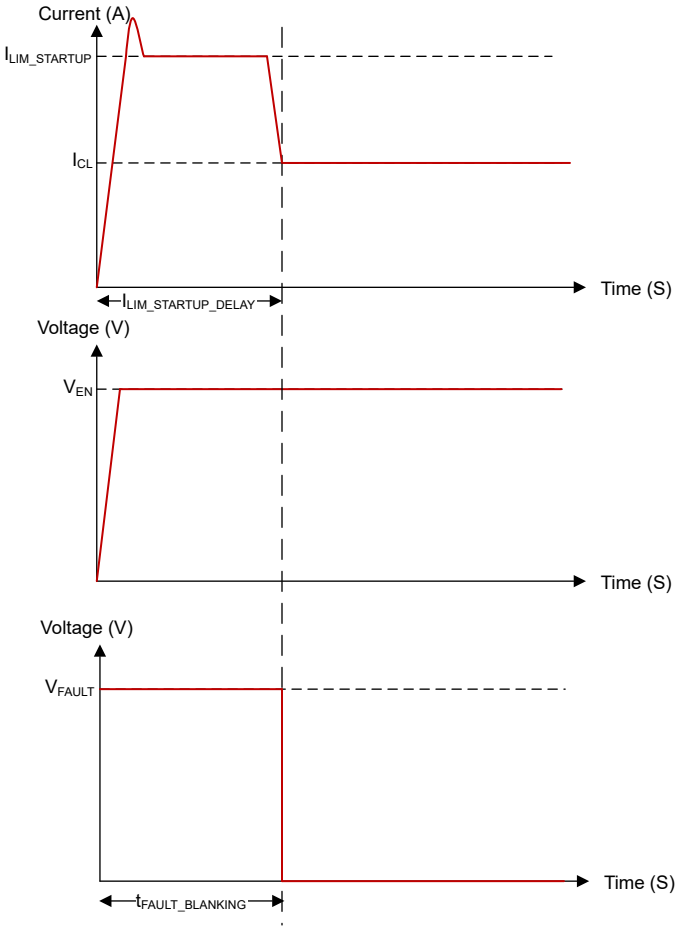


图 8-8. 浪涌电流处理

电流限制较高时的初始浪涌电流周期可在驱动负载时实现两种不同的系统优势：

- 能够在毫秒级的时间段内支持更高的负载电流，以驱动白炽灯泡负载等高浪涌电流负载。
- 能够实现快速容性负载充电。在某些情况下，最佳做法是以高于直流电流的电流为容性负载充电，以确保快速供电。该架构允许模块使用初始较高的浪涌电流限制快速为容性负载充电，然后使用较低的电流限制在过载或短路条件下可靠地保护模块。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

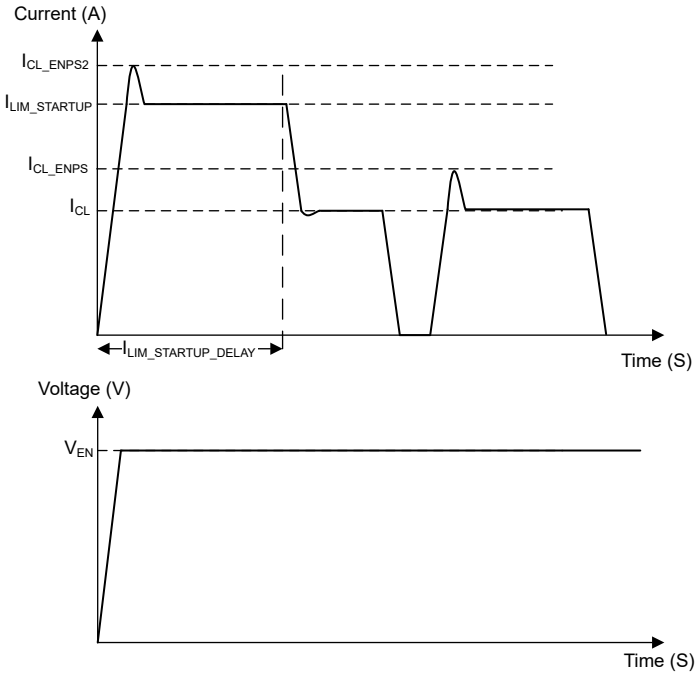


图 8-9. ILIM_STARTUP_DELAY 期间结束后的自动重试行为

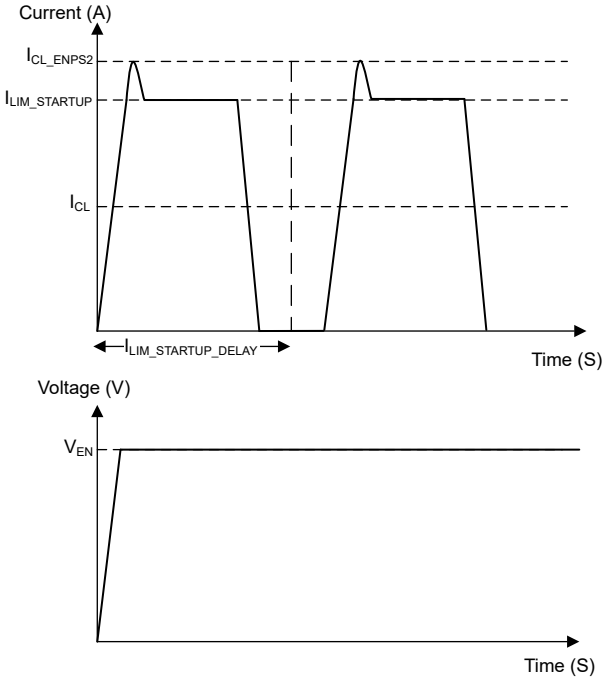


图 8-10. ILIM_STARTUP_DELAY 期间结束前的自动重试行为

在电流限制模式下，在任何电平下，器件都将具有较高的功率耗散。如果 FET 温度超过过热关断阈值，器件仅关闭过载的通道。冷却后，器件重试。如果器件在启动时过早关闭，建议改进 PCB 热布局、降低电流限制以降低功率耗散，或者减少浪涌电流（容性负载）。

有关使用高侧开关进行电容充电的更多信息，请参阅*如何驱动容性负载*应用手册。本应用手册包含有关可用热建模的信息，以及估算高侧开关是否能够将电容器充电至给定电压的快速方法。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

8.4.3 电感负载关断钳位

当关断电感负载时，由于电感特性，输出电压下拉至负值。如果在电流衰减期间没有对电压进行钳位，则功率 FET 可能会击穿。在这种情况下，为了保护功率 FET，请在内部钳制漏源电压，即 $V_{DS,clamp}$（漏极和栅极之间的钳位二极管）。请注意，仅版本 A、B 中提供内部 $V_{DS,clamp}$。对于版本 C、D、E，需要在 VDS 上或 VOUT 处提供外部钳位，以正确地消耗电感能量。

$$V_{DS,Clamp} = V_S - V_{OUT} \tag{3}$$

在电流衰减期间 (T_{DECAY})，功率 FET 导通以进行电感能量耗散。电源 (E_S) 和负载 (E_{LOAD}) 的能量都消耗在高侧电源开关本身上，称为 E_{HSD}。如果电阻与电感串联，则部分负载能量会在电阻中耗散。

$$E_{HSD} = E_S + E_{LOAD} = E_S + E_L - E_R \tag{4}$$

从高侧电源开关的角度来看，E_{HSD} 等于电流衰减期间的积分值。

$$E_{HSD} = \int_0^{T_{DECAY}} V_{DS,clamp} \times I_{OUT}(t)\, dt \tag{5}$$

$$T_{DECAY} = \frac{L}{R} \times \ln\left(\frac{R \times I_{OUT(MAX)} + |V_{OUT}|}{|V_{OUT}|}\right) \tag{6}$$

$$E_{HSD} = L \times \frac{V_{BAT} + |V_{OUT}|}{R^2} \times \left[R \times I_{OUT(MAX)} - |V_{OUT}| \ln\left(\frac{R \times I_{OUT(MAX)} + |V_{OUT}|}{|V_{OUT}|}\right)\right] \tag{7}$$

当 R 约等于 0 时，E_{HSD} 为：

$$E_{HSD} = \frac{1}{2} \times L \times I_{OUT(MAX)}^2 \frac{V_{BAT} + |V_{OUT}|}{R^2} \tag{8}$$

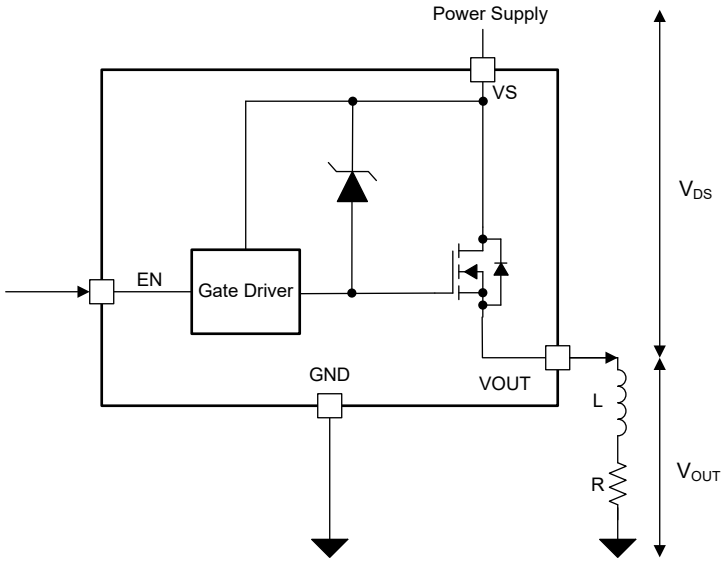


图 8-11. 驱动电感负载

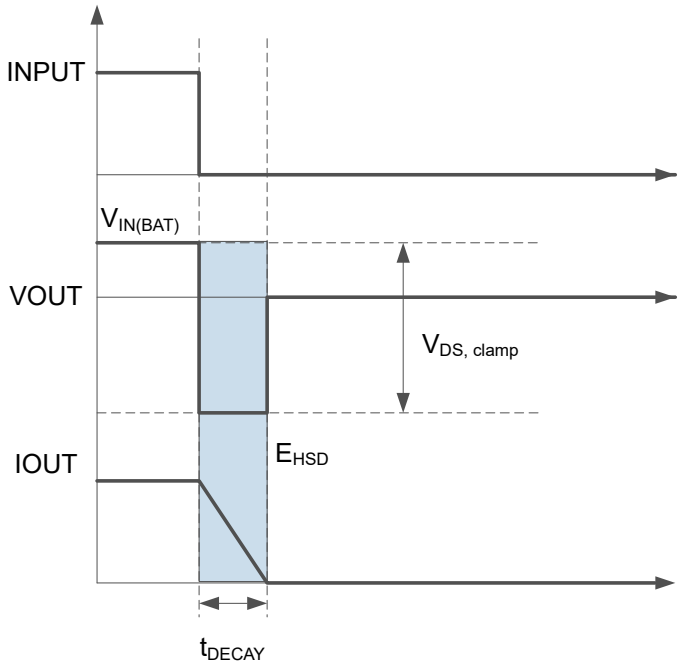


图 8-12. 电感负载关断图

如前所述，关断时，电池能量和负载能量会在高侧电源开关上耗散，这会导致热变化较大。对于每个高侧电源开关，最大安全功率耗散的上限取决于器件的固有容量、环境温度和电路板功耗条件。TI 提供了器件在以下测试条件下可承受的单脉冲能量上限：V_S = 24V、电感为 0.1mH 至 400mH、R = 0Ω、FR4 2s2p 电路板、2 × 70µm 铜、2 × 35µm 铜、散热焊盘铜面积为 600mm^2。

8.4.4 电感负载消磁

关闭电感负载时，电感器可以在开关的输出端施加负电压。该器件在 VS 和 VOUT 之间包含电压钳位，以限制 FET 两端的电压并对负载电感（如果有）进行消磁。施加在 OUT 引脚上的负电压驱动电感器电流的放电。图 8-13 展示了器件对 400mH 负载进行放电的情况。



图 8-13. TPS1HTC30 电感放电 (400mH)

可接受的最大负载电感是器件中耗散的能量的函数，因此也是负载电流和电感负载的函数。器件在 125°C 下对于一次脉冲电感耗散所能承受的最大能量和负载电感如图 8-14 所示。对于具有 >4Hz 重复脉冲的 100 万个电感重复脉冲，该器件可以承受该能量的 40%。如果应用参数超出该器件限制，请使用续流二极管之类的保护器件来耗散存储在电感器中的能量。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

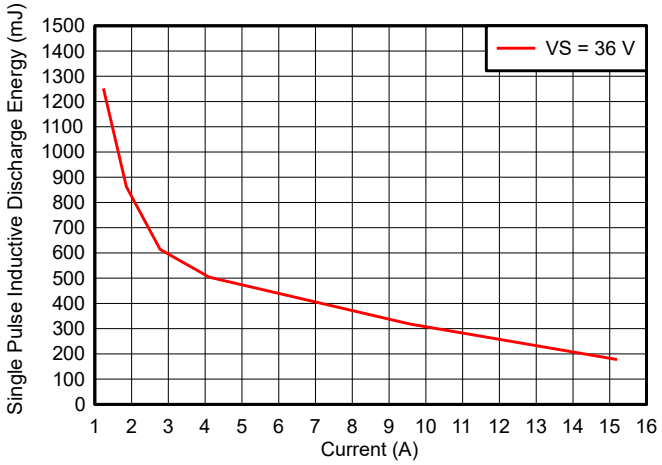


图 8-14. TPS1HTC30 在 125°C 下的电感负载放电能量能力

8.4.5 全面保护和诊断

当 DIAG_EN 启用时，电流检测处于活动状态。当 DIAG_EN 为低电平时，禁用电流检测。如果 SNS 引脚上存在外部电压，则 SNS 输出会在内部钳位到约 1V。

表 8-2. DIAG_EN 逻辑表

DIAG_EN	EN 条件	保护和诊断
高电平	高电平	请参阅 表 8-3
	低电平	
低电平	高电平	诊断已禁用且 SNS 输出在内部被钳位到约 1V。保护是正常的，$\overline{\text{FAULT}}$ 继续指示 TSD 或 ILIM。
	低电平	

表 8-3. 状态表（DIAG_EN = 高电平）

条件	EN	VOUT	OL_ON	$\overline{\text{FAULT}}$	SNS	行为	恢复
正常 标准检测	L	L	L	高阻态	0	正常	
	H	H	L	高阻态	I_{Load}/K_{sns1}	正常	
高精度检测 无效范围	H	H	H	L	I_{Load}/K_{sns1}	FAULT 置为有效表明由于 $I_{Load}>I_{Ksns2_EN}$ 而未启用高精度检测	当负载降至低于 IKSNS2_EN 或 OL_ON 复位至 LO 时清除。
高精度检测 正常运行	H	H	H	高阻态	I_{Load}/K_{sns2}	启用 x50 检测比以实现高精度检测，并且由于满足有效条件 $I_{Load}<I_{Ksns2_EN}$，因此 FAULT 保持高阻态。	
过流	H	$V_S - I_{LIM} \times R_{LOAD}$	x	L	V_{SNSFH}	将电流保持为电流限制，直至热关断	
STG、相对热关断、绝对热关断	H	高/低电平	x	L	V_{SNSFH}	当器件达到相对或绝对热关断时关断	当 T_{HYS} 得到满足且持续时间长于 t_{RETRY} 时间量时自动重试

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

表 8-3. 状态表（DIAG_EN = 高电平）（续）

条件	EN	VOUT	OL_ON	FAULT	SNS	行为	恢复
开路负载（不适用于版本 E）	H	H	L	高阻态	I_{Load} / K_{sns1} ≅ 0	正常行为，用户可以判断是否为开路负载	
	H	H	H	高阻态	I_{Load} / K_{sns2} ≅ 0	正常行为，用户可以判断是否为开路负载	
	L	H	L	L	V_{SNSFH}	内部上拉电阻有效。如果 V_S – V_{OUT} < V_{OL}，则故障激活	当故障消失时清除
反极性	x	x	x	x	x	通道将开启以降低功率耗散。流入接地引脚的电流受外部接地网络的限制	

8.4.5.1 开路负载检测

导通状态开路负载检测

当启用主通道时，通过读取 SNS 或 $\overline{FLT}$ 引脚上的电压来诊断故障，并由用户判断。高精度电流检测的一个好处是：该器件可以实现非常低的开路负载检测阈值，从而相应地扩大正常工作区域。如高精度检测模式部分所述，此模式可用于准确地检测 6mA 电流。

关断状态开路负载检测（支持版本 A、B、C 和 D）

在关断状态下，如果连接了负载，则输出电压拉至 0V。在开路负载的情况下，输出电压接近电源电压 V_S – V_{OUT} < $V_{ol,off}$。FLT 引脚变为低电平以向 MCU 指示故障，SNS 引脚上拉至 I_{SNSFH}。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 $I_{ol,off}$。这样，TI 实现了一个内部上拉电阻来抵消漏电流。此上拉电流必须小于输出负载电流，以避免在正常运行模式下产生误检测。为了降低待机电流，TI 实现了一个与由 DIAG_EN 引脚控制的上拉电阻串联的开关。上拉电阻器的阻值为 150kΩ。

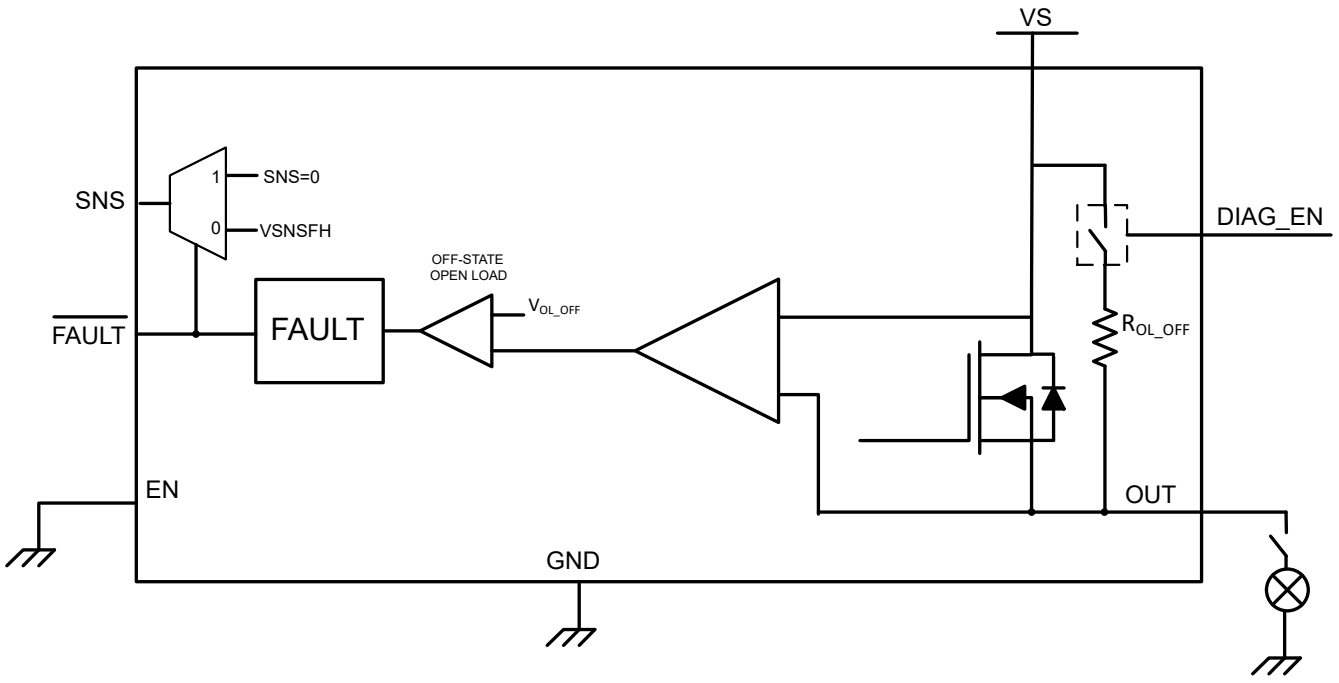


图 8-15. 关断状态开路负载检测电路

8.4.5.2 热保护行为

热保护行为可分为两类可能发生的事件。图 8-16 展示了每个类别。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

1. 相对热关断：启用该器件以进入过流事件。DIAG_EN 引脚处于高电平，以便可以在 SNS 和 FLT 上监控诊断。输出电流升至高达 I_{ILIM} 电平，FLT 变为低电平，同时 SNS 变为 V_{SNSFH}。随着这一大量电流流过，FET 的结温相对于控制器温度迅速升高。当功率 FET 温度升高的 T_{REL} 量超过控制器结温 $\Delta T = T_{FET} - T_{CON} > T_{REL}$ 时，器件关断。SNS 和 FLT 上会持续显示故障，而器件等待 tRETRY 计时器到期。当 t_{RETRY} 计时器到期时，由于 EN 仍然为高电平，器件重新进入此 I_{ILIM} 状况。
2. 绝对热关断：在这种情况下，环境温度现在比前一种情况要高得多。在 DIAG_EN 为高电平的过流事件中，器件仍处于启用状态。然而，在这种情况下，结温升高并达到绝对参考温度 TABS，然后关断。直到 $T_J < T_{ABS} - T_{hys}$ 且 t_{RETRY} 计时器到期，器件才会恢复。

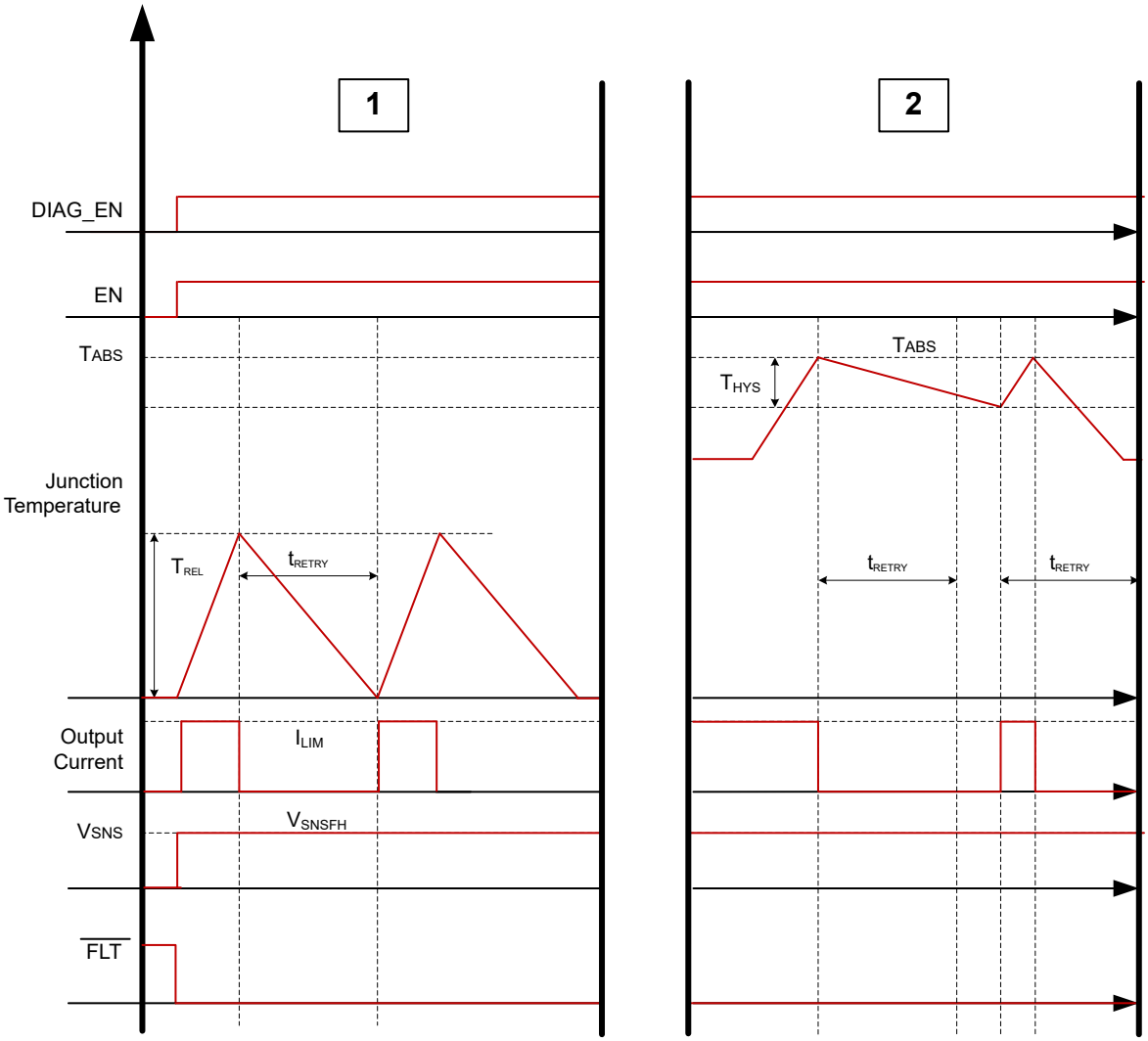


图 8-16. 热行为

8.4.5.3 欠压锁定 (UVLO) 保护

该器件可监控电源电压 V_S，以防止电源电压过低时出现意外行为。当电源电压降至 V_{UVLOF} 时，输出级自动关断。当电源电压升至 V_{UVLOR} 时，器件将导通。如果过流事件触发 UVLO 阈值，器件会关断并安全地恢复到电流限制状态。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

8.4.5.4 过压保护 (OVP)

该器件可监控电源电压 V_S，以防止电源电压过高时出现意外行为。当电源电压升至超过 $V_{S,OVPR}$ 时，输出级自动关断。当电源电压降至低于 $V_{S,OVPF}$ 时，器件导通。如果由于电感负载振荡导致过流事件触发 OVP 阈值，则器件集成的抗尖峰脉冲器可以避免输出由于短暂瞬态而立即关断。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

8.4.5.5 反极性保护

8.4.5.5.1 方法 1

阻断二极管与 VBB 相连。极性相反时，器件和负载均受到保护。在电池反向条件下，阻断二极管不允许任何电流流动。

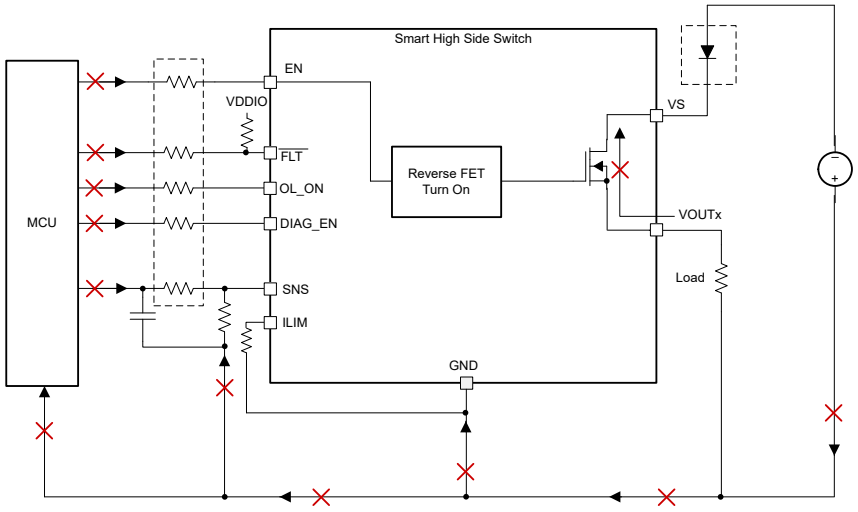


图 8-17. 采用阻断二极管实现反向保护

8.4.5.5.2 方法 2（接地网络保护）

在此连接下，只有高侧器件受到保护。负载反向环路受负载本身的限制。注意，当发生反极性时，通过功率 FET 的持续反向电流必须小于 I_{rev}。在这三种类型的接地引脚网络中，TI 强烈建议使用第三种（电阻器和二极管并联）。无论器件 GND 和电路板 GND 之间采用何种连接类型，如果发生 GND 电压偏移，请确认以下正确连接以便正常运行：

- 将 NC 引脚悬空或连接到器件 GND。TI 建议保持悬空。
- 将电流限制可编程电阻器连接到器件 GND。

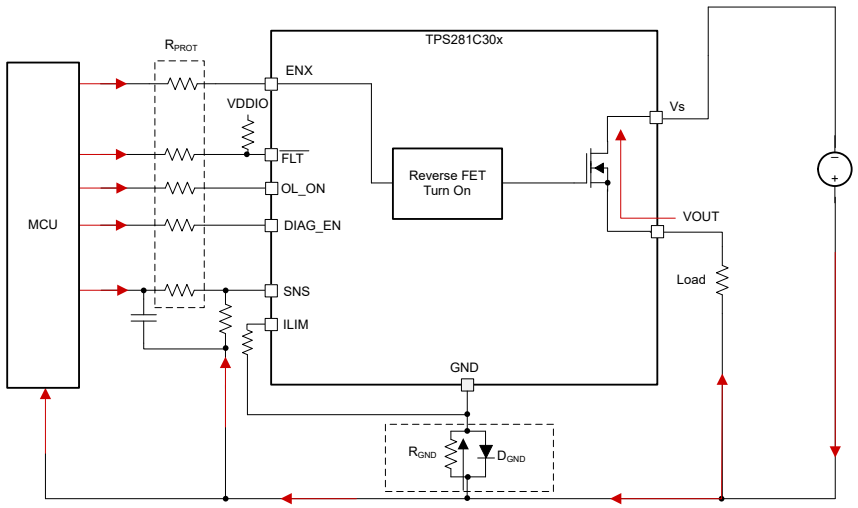


图 8-18. 通过接地网络实现反向保护

- 类型 1（电阻器）：当电池反向或 ISO 脉冲为负时，电阻器值越高，电流限制效果越好。然而，在正常操作模式期间，这会导致更高的 GND 偏移。另外，还要考虑电阻器的功率耗散。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

$$R_{GND} \leq \frac{V_{GNDshift}}{I_{nom}} \quad (9)$$

$$R_{GND} \geq \frac{(-V_{CC})}{(-I_{GND})} \quad (10)$$

其中

- $V_{GNDshift}$ 是 GND 偏移的最大值，由 HSS 和微控制器确定。TI 建议采用 ≤0.6V 的值。
- I_{nom} 是标称工作电流。
- $-V_{CC}$ 是电池线路上的最大反向电压。
- $-I_{GND}$ 是接地引脚可以承受的最大反向电流，可在节 6.1 中找到。

如果使用多个高侧电源开关，则可以在多个器件间共享电阻器。

- 类型 2（二极管）：需要一个二极管来阻止反向电压，这也会带来接地偏移（约 600mV）。然而，为了避免在关闭时出现异常状态，电感负载不可接受。
- 类型 3（电阻器和二极管并联 [推荐]）：当电感负载关断时，可能会出现峰值负尖峰，这可能会损坏 HSD 或二极管。因此，TI 建议在驱动电感负载时将电阻器与二极管并联。建议选择与 I_F > 100mA 的二极管并联的 1.5kΩ 电阻器。如果使用多个高侧开关，则在器件间共享电阻器和二极管。

8.4.5.6 MCU I/O 保护

在许多情况下，如负浪涌脉冲或电感负载导致的电池损失，器件 GND 引脚上的负电位可能会损坏 MCU I/O 引脚（更有可能损坏连接到引脚的内部电路）。因此，需要在 MCU 和 HSS 之间连接串联电阻。

此外，为了有效地防止 GND 丢失，TI 建议 RPROT 电阻器的阻值为 10kΩ。

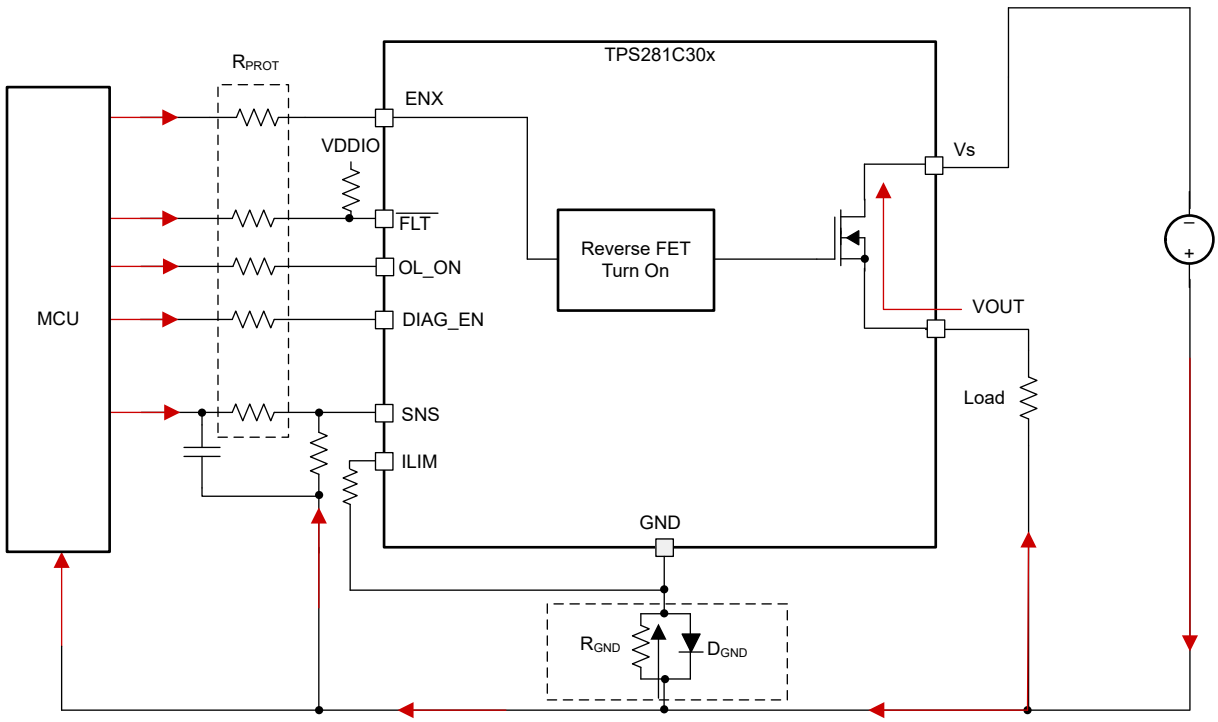


图 8-19. MCU IO 保护

8.4.5.7 诊断使能功能

诊断使能引脚 DIAG_EN 通过在多个器件间共享相同的检测电阻和 ADC 线路或 I/O 端口，为电流检测或数字状态提供微控制器诊断输入的多路复用。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

此外，该引脚可用于管理器件的功率耗散。在输出期间，如果不需要连续的检测输出诊断，则通过关闭诊断功能来降低工作电流。另一方面，在输出端关断期间，诊断禁用功能可降低待机条件下的电流消耗。

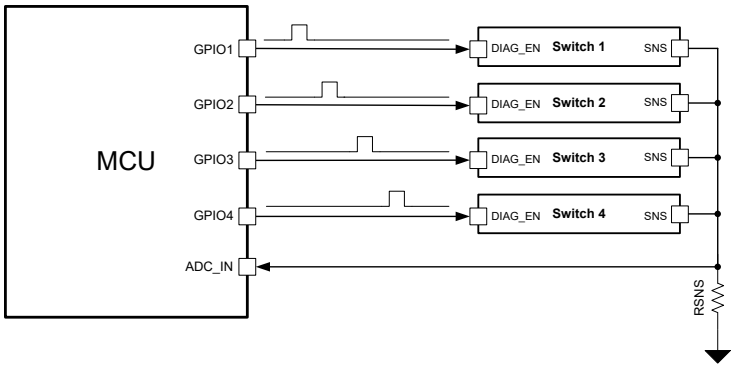


图 8-20. 电阻器共享

8.4.5.8 接地丢失

接地连接可能会在器件级或模块级丢失。如果接地连接丢失，则无论 EN 输入电平如何，通道输出都将被禁用。如果在接地连接丢失时开关已被禁用，则即使通道已启用，输出也将保持禁用状态。从输出端到保持连接到系统地的负载的稳态电流低于在本文档的*规格*部分中指定的电平。重新连接接地后，将恢复正常运行。

8.4.5.9 增强的 EFT 抗扰度

与其他型号相比，TPS281C30E 具有增强的 EFT 抗扰度。E 型号实现了更强的栅极下拉电路，这有助于在出现 EFT 脉冲时使处于关断状态的器件保持关断状态。由于该电路在关断状态下仍处于工作状态，因此与其他型号相比，E 型号在关断状态期间会从电源汲取更大的电流 $I_{Q(OFF)}$。E 版本器件在关断时输出端处于高阻态，且漏电流为 $I_{OUT(OFF)}$。

最大 EFT 电压电平 V_{EFT} 在很大程度上取决于测试电路中使用的元件。输出电容器越大，耦合电容器越小，可承受的 EFT 电压电平就越高。由于耦合电容值在大多数 EFT 标准中是固定的，因此增大输出电容值可能是提高最大 EFT 电压电平的有效方法。

图 8-21 显示了 EFT 测试装置。如图所示，TPS281C30E 在 10nF 输出电容和 100pF 耦合电容条件下，VS 和 VOUT 处通过了 ± 2.5kV 的 EFT 测试。如果需要通过更高的 EFT 等级测试，可以增大输出电容器。A、B、C、D 型号在 22nF 输出电容和 100pF 耦合电容条件下，VS 和 VOUT 处通过了 ± 2kV EFT 测试。在关断状态下，对于 A、B、C、D 版本，DIAG_EN 必须为高电平，才能不进入睡眠状态并具有上述的 EFT 抗扰度；而对于 E 版本，DIAG_EN 可以为高电平或低电平，因为 EFT 保护电路始终处于活动状态。测试条件在 EFT 测试条件中列出。

在关断状态 EFT 瞬态期间，通过强大的下拉电路确保功率 FET 保持关断状态。该电路在 EFT_{DELAY} 周期后激活，以免影响正常的关断压摆率。然而，该器件在 EFT_{DELAY} 期间不受保护，如图 8-22 所示。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

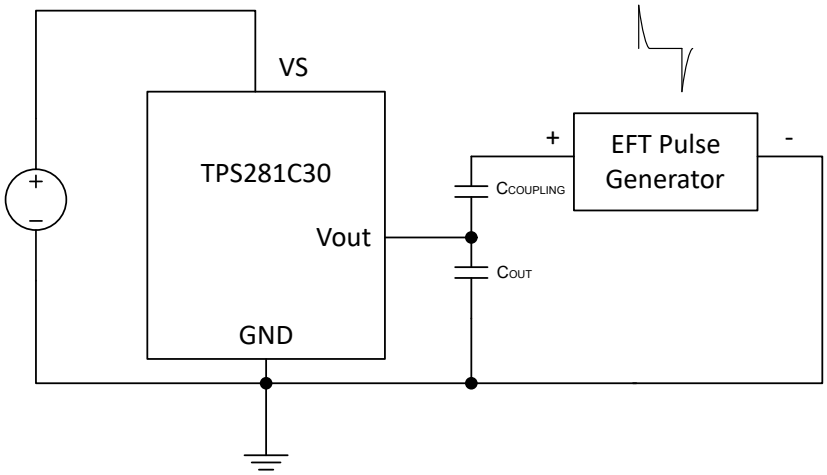


图 8-21. EFT 测试设置

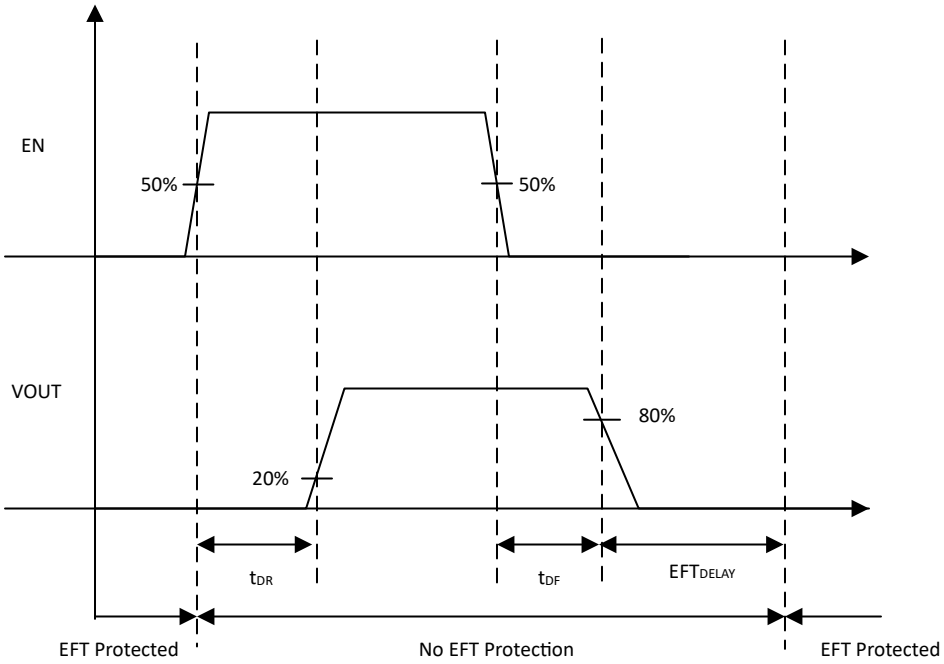


图 8-22. EFT 时序图

表 8-4. EFT 测试条件

器件版本	EFT 电平	C_{OUT}	$C_{COUPLING}$	DIAG_EN
A、B、C、D	±2kV	22nF	100pF	高
E	±2.5kV	10nF	100pF	高/低

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

9 应用和实施

备注

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

9.1 应用信息

9.2 典型应用

典型应用电路显示了一个有关如何设计外部电路参数的示例。

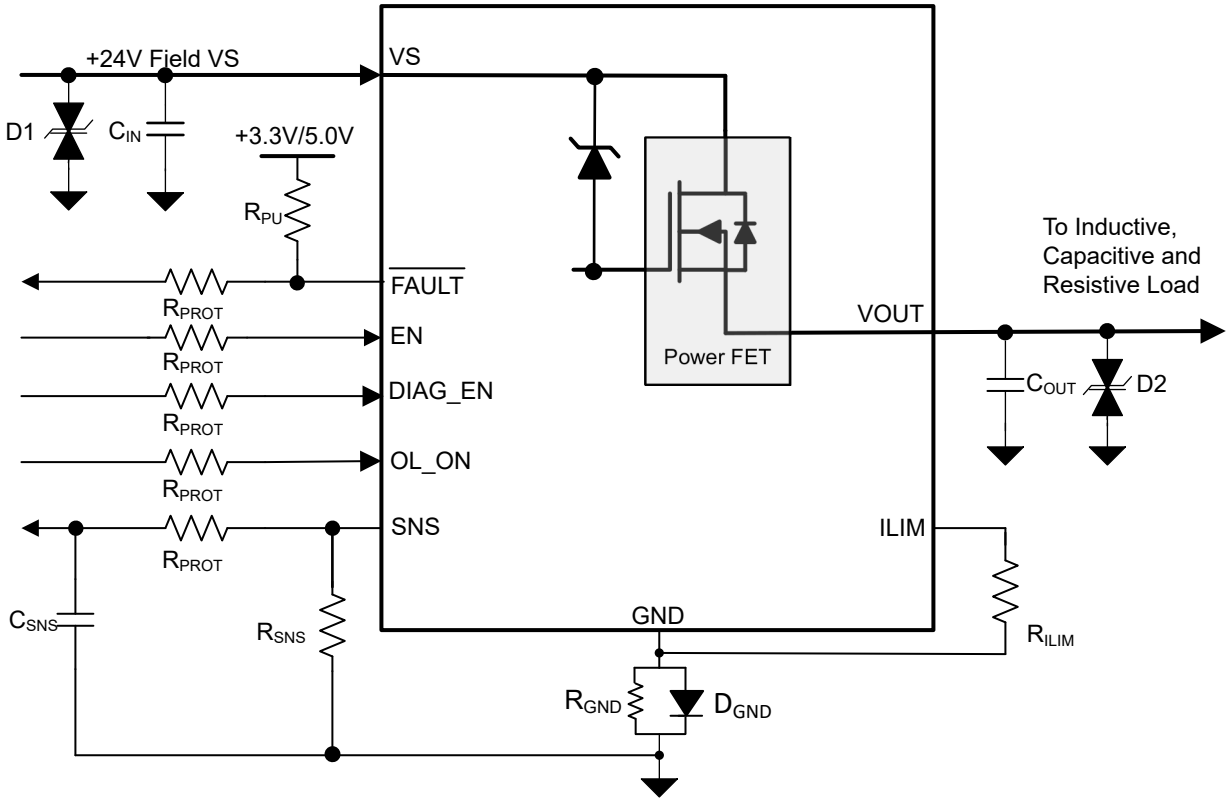


图 9-1. 典型应用电路

9.2.1 设计要求

元件	典型值	用途
D1	SMBJ60CA	钳制电源输入端的浪涌电压
D2	SMBJ36CA（版本 A、B 中为可选）	在关断时耗散电感能量。版本 C、D、E 需要钳位来驱动电感负载。
CIN1	100nF	稳定输入电源并滤除低频噪声。
CIN2	4.7nF	过滤电压瞬态（例如，ESD、IEC 61000-4-5）并改善辐射性能。
RPROT	10kΩ	微控制器和器件 I/O 引脚的保护电阻器 - 对于反极性保护为可选的
RILIM	7.5kΩ-50kΩ	设置电流限制阈值
RSNS	1kΩ	将检测电流转换为检测电压。
CSNS	100pF	与 SNS 线路上的 RPROT 耦合会生成一个低通滤波器，以滤除进入 MCU 的 ADC 的噪声。
CVOUT	22nF	改善 EMI 性能，过滤电压瞬态
RGND	1kΩ	稳定在关闭电感负载期间的 GND 电位 - 对于反极性保护为可选的
DGND	BAS21 二极管	在正常运行期间使 GND 保持接近系统地 - 对于反极性保护为可选的

9.2.1.1 IEC 61000-4-5 浪涌

TPS281C30 设计为使用外部 TVS 钳位来承受 IEC 61000-4-5 浪涌。该器件的额定电压为 64V，确保外部 TVS 二极管可以钳位到低于 TPS281C30x 的最大额定电压。当电压高于 64V 时，该器件内部的 VDS 钳位可以帮助分流电流，确保器件能够承受瞬态脉冲。根据输出类别，TI 建议系统在 VS 和模块 GND 之间使用 SMBJ36A 或 SMCJ36A。

9.2.2 详细设计过程

9.2.2.1 选择 RILIM

在该应用中，TPS281C30A 必须允许最大直流电流并留有余量，但在故障情况下，通过尽可能地减小电流限制，来更大限度地减少开关中的能量和输入电源上的负载。

设置标称电流限制时，应确保最坏情况（最低）电流限制高于最大负载电流 (4A)。由于下限比典型值低 10%，因此对于此应用，最佳 I_{LIM} 设定值约为 5.5A。以下公式可用于计算器件的 I_{LIMx} 引脚到 GND 引脚之间放置的 R_{ILIM} 值。R_{ILIM} 的单位为 kΩ。

$$R_{ILIM} = K_{CL} / I_{CL} \quad (11)$$

规格 部分中给出的 K_{CL} 值为 50A/kΩ。因此，R_{ILIM} 的计算值为 9.09kΩ，可作为标准 1% 电阻器。

9.2.2.2 选择 RSNS

表 9-1 展示了此应用中负载电流检测的要求。K_{SNS} 值是为器件指定的，可以在*规格* 部分中找到。

表 9-1. R_{SNS} 计算参数

参数	示例值
电流检测比 (K_{SNS1})	1300
电流检测比 (K_{SNS2})	24
最大可诊断负载电流	4.8A
最小可诊断负载电流	4mA
满量程 ADC 电压	5.0V

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

表 9-1. R_{SNS} 计算参数（续）

参数	示例值
ADC 分辨率	10 位

高达 4.8A 的负载电流测量可确保即使在发生过载但仍低于设定电流限制的情况下，MCU 也可以通过关断 FET 进行寄存和反应，同时 4mA 的低电平允许精确测量低负载电流，并能够将开路负载故障与支持的标称负载电流区分开来。对于负载电流 < 50mA，客户可以启用高精度检测，以将检测比从 KSNS1 更改为 KSNS2。这防止了对更高分辨率 ADC 的要求，并且还提高了检测精度。有关更多信息，请参阅高精度检测。

选择的 R_{SNS} 电阻值应使得最大可诊断负载电流将 SNS 引脚电压 (V_{SNS}) 置于大约为 ADC 满量程的 90%。对于此设计，任何高于满量程 (FS) 80% 的 ADC 值都可视为故障。此外，R_{SNS} 电阻值应确保最小可诊断负载电流不会导致 V_{SNS} 降至低于 ADC 的至少几个 LSB。

对于给定的示例值，1.0kΩ 感应电阻器可以满足这两个要求。

表 9-2. V_{SNS} 计算

检测模式	OL_ON	负载 (A)	检测比	I_{SNS} (mA)	R_{SNS} (Ω)	V_{SNS} (V)	占 5V ADC 的百分比
标准检测	LO	4.8A	1200	3.69	1000	3.69	73.8%
高精度检测	HI	0.004	24	0.166	1000	0.166	3.3%（约 34LSB）

9.3 电源相关建议

TPS281C30 器件设计为在 24V 工业系统中运行。允许的电源电压范围（VS 引脚）为 6V 至 36V（在 VS 引脚处以器件的 GND 引脚为基准测得）。在此范围内，该器件满足节 6.5 中列出的完整参数规格。该器件还设计为承受超出该范围的电压瞬态，例如 SELV 电源故障。

建议在 Vs 电源输入端放置一个 0.1µF 电容器，以稳定输入电源并滤除低频噪声。电源必须能够承受所有瞬态负载电流阶跃。在电源对大瞬态电流或大负载电流阶跃响应缓慢的情况下，输入端可能需要额外的大容量电容。

VS 输入电源电压范围	说明
6V 至 36V	标称电源电压，所有参数规格均适用。器件具有完整的短路保护功能。
36V > VS > $V_{S, OVPR}$	器件完全正常运行并受到保护，但时序参数可能会偏离规格。
VS > $V_{S, OVPR}$	SELV 电源电压。器件会禁用并在输入端长时间承受高达 64V 的电压。

9.4 布局

9.4.1 布局指南

为了防止热关断，T_J 必须低于 125°C。如果输出电流非常高，功率耗散可能会很大。HTSSOP 和 QFN 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。当与封装相对的电路板另一侧的 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。
- 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%。

9.4.1.1 EMC 注意事项

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

9.4.2 布局示例

9.4.2.1 采用接地网络的 RGW 布局

采用接地网络，用一条迹线将散热焊盘穿过接地网络连接到电路板的 GND 覆铜区。

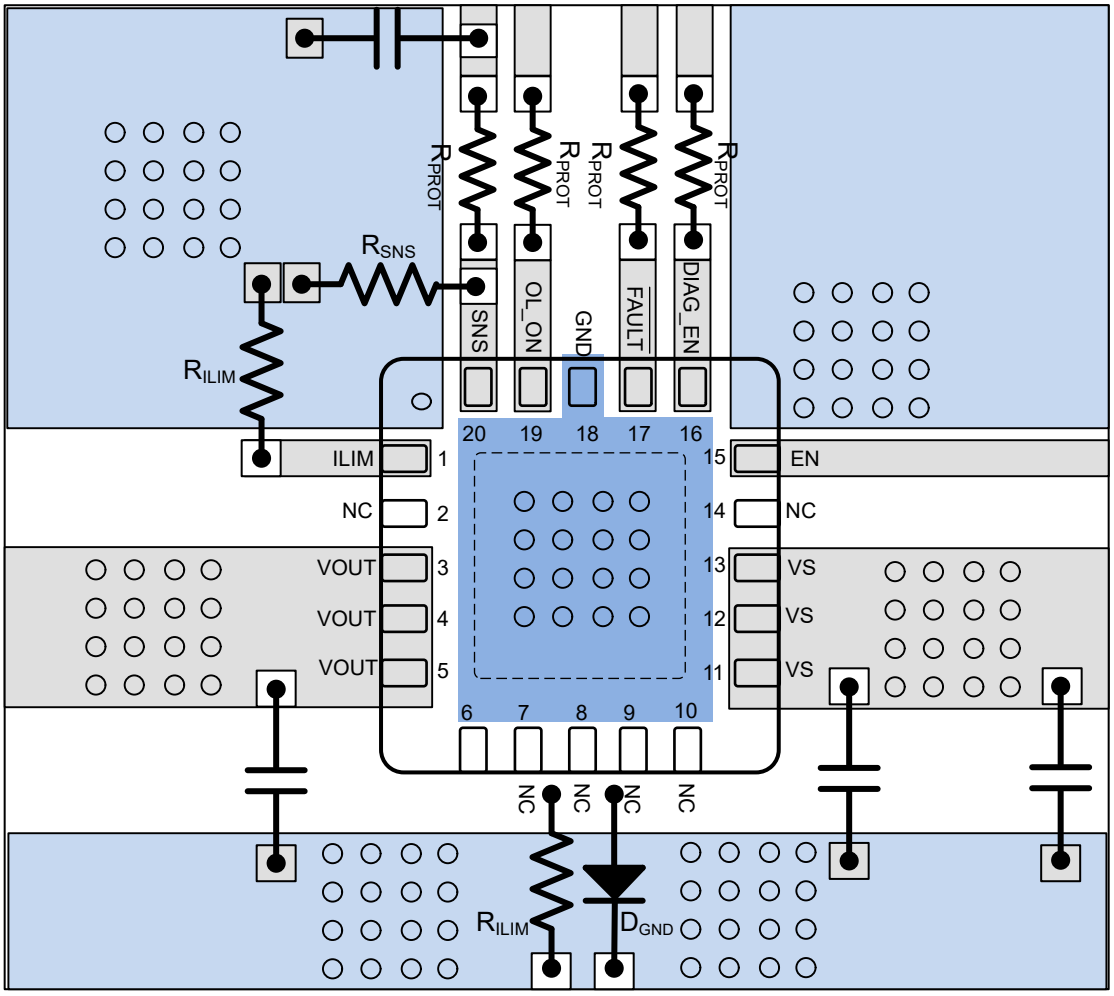


图 9-2. 采用接地网络的 RGW 布局

9.4.3 散热注意事项

该器件具有热关断 (TABS) 电路，可防止过热。为了实现持续正常运行，结温不得超过热关断跳变点。如果结温超过热关断跳变点，输出将关闭。当结温下降到低于热关断跳变点时，输出会再次导通。

器件耗散的功率根据方程式 12 进行计算。

$$P_T = I_{OUT}^2 \times R_{DSON} + V_S \times I_{Q,VS} \quad (12)$$

其中

- P_T = 器件的总功率耗散

在确定器件耗散的功率后，可根据环境温度和器件热阻抗计算结温。

$$T_J = T_A + R_{\theta JA} \times P_T \quad (13)$$

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

如需更多信息，请参阅如何驱动电阻、电感、容性和照明负载。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

10 器件和文档支持

10.1 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。

10.2 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。

10.3 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。

10.4 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。

10.5 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。

11 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision B (August 2024) to Revision C (October 2026)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式	1
• 删除了数据表中的 PWP 封装选项	1
• 更新了电气特性表中的电流限制规格	6
• 更新了节 8.4.3	31
• 将方程式 12 中的 I_{NOM} 更改为了 $I_{Q,VS}$	44

Changes from Revision A (June 2023) to Revision B (August 2024)	Page
• 在数据表中添加了 TPS281C30E 型号	1

12 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。

Copyright © 2026 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)
TPS281C30ARGWR	Active	Production	VQFN (RGW) | 20	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	28C30A
TPS281C30ARGWR.A	Active	Production	VQFN (RGW) | 20	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	28C30A
TPS281C30BRGWR	Active	Production	VQFN (RGW) | 20	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	28C30B
TPS281C30BRGWR.A	Active	Production	VQFN (RGW) | 20	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	28C30B
TPS281C30BRGWRG4	Active	Production	VQFN (RGW) | 20	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	28C30B
TPS281C30BRGWRG4.A	Active	Production	VQFN (RGW) | 20	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	28C30B
TPS281C30CRGWR	Active	Production	VQFN (RGW) | 20	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	28C30C
TPS281C30CRGWR.A	Active	Production	VQFN (RGW) | 20	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	28C30C
TPS281C30DRGWR	Active	Production	VQFN (RGW) | 20	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	28C30D
TPS281C30DRGWR.A	Active	Production	VQFN (RGW) | 20	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	28C30D
TPS281C30ERGWR	Active	Production	VQFN (RGW) | 20	5000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	28C30E
TPS281C30ERGWR.A	Active	Production	VQFN (RGW) | 20	5000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	28C30E

(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.

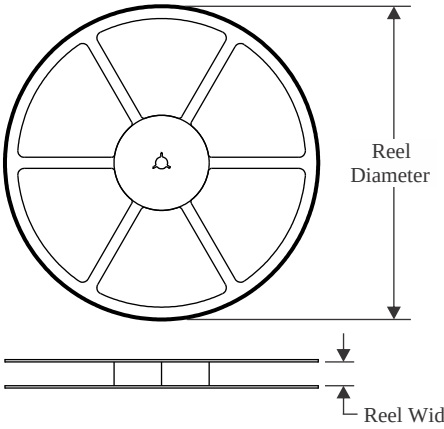
Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

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.

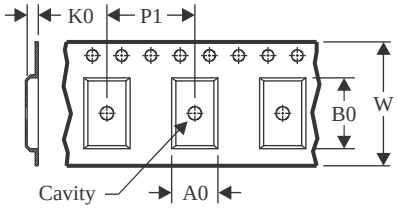
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

TAPE AND REEL INFORMATION

REEL DIMENSIONS

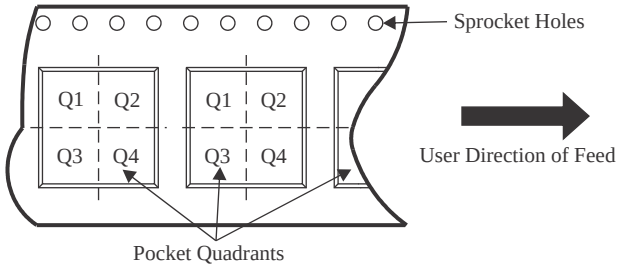


TAPE DIMENSIONS



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

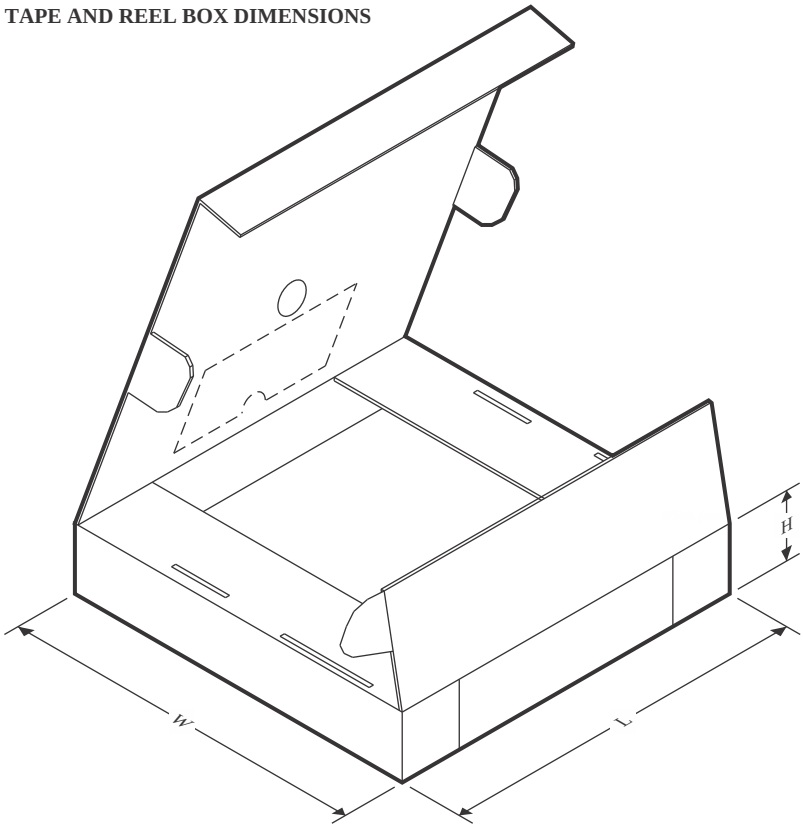
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*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
TPS281C30ARGWR	VQFN	RGW	20	3000	330.0	12.4	5.3	5.3	1.1	8.0	12.0	Q2
TPS281C30BRGWR	VQFN	RGW	20	3000	330.0	12.4	5.3	5.3	1.1	8.0	12.0	Q2
TPS281C30BRGWRG4	VQFN	RGW	20	3000	330.0	12.4	5.3	5.3	1.1	8.0	12.0	Q2
TPS281C30CRGWR	VQFN	RGW	20	3000	330.0	12.4	5.3	5.3	1.1	8.0	12.0	Q2
TPS281C30DRGWR	VQFN	RGW	20	3000	330.0	12.4	5.3	5.3	1.1	8.0	12.0	Q2
TPS281C30ERGWR	VQFN	RGW	20	5000	330.0	12.4	5.3	5.3	1.1	8.0	12.0	Q2

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
TPS281C30ARGWR	VQFN	RGW	20	3000	360.0	360.0	36.0
TPS281C30BRGWR	VQFN	RGW	20	3000	360.0	360.0	36.0
TPS281C30BRGWRG4	VQFN	RGW	20	3000	367.0	367.0	35.0
TPS281C30CRGWR	VQFN	RGW	20	3000	360.0	360.0	36.0
TPS281C30DRGWR	VQFN	RGW	20	3000	360.0	360.0	36.0
TPS281C30ERGWR	VQFN	RGW	20	5000	360.0	360.0	36.0

GENERIC PACKAGE VIEW

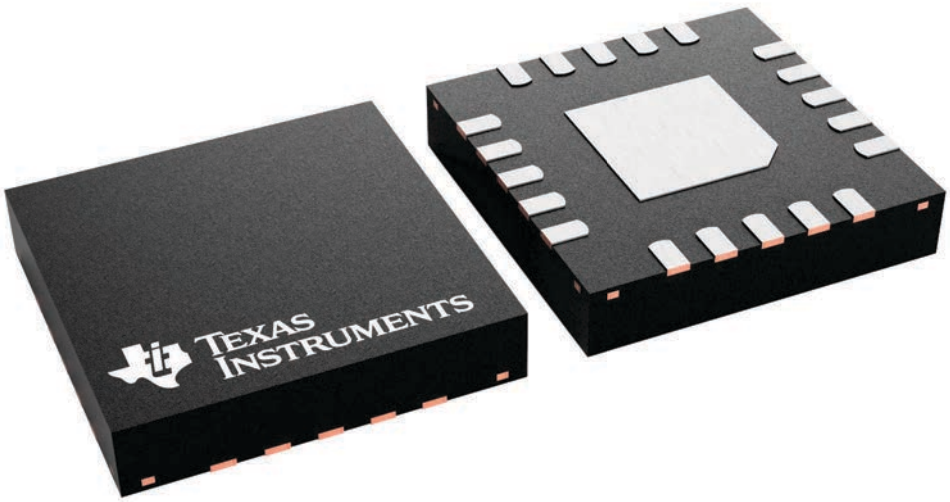
RGW 20

VQFN - 1 mm max height

5 x 5, 0.65 mm pitch

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD

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



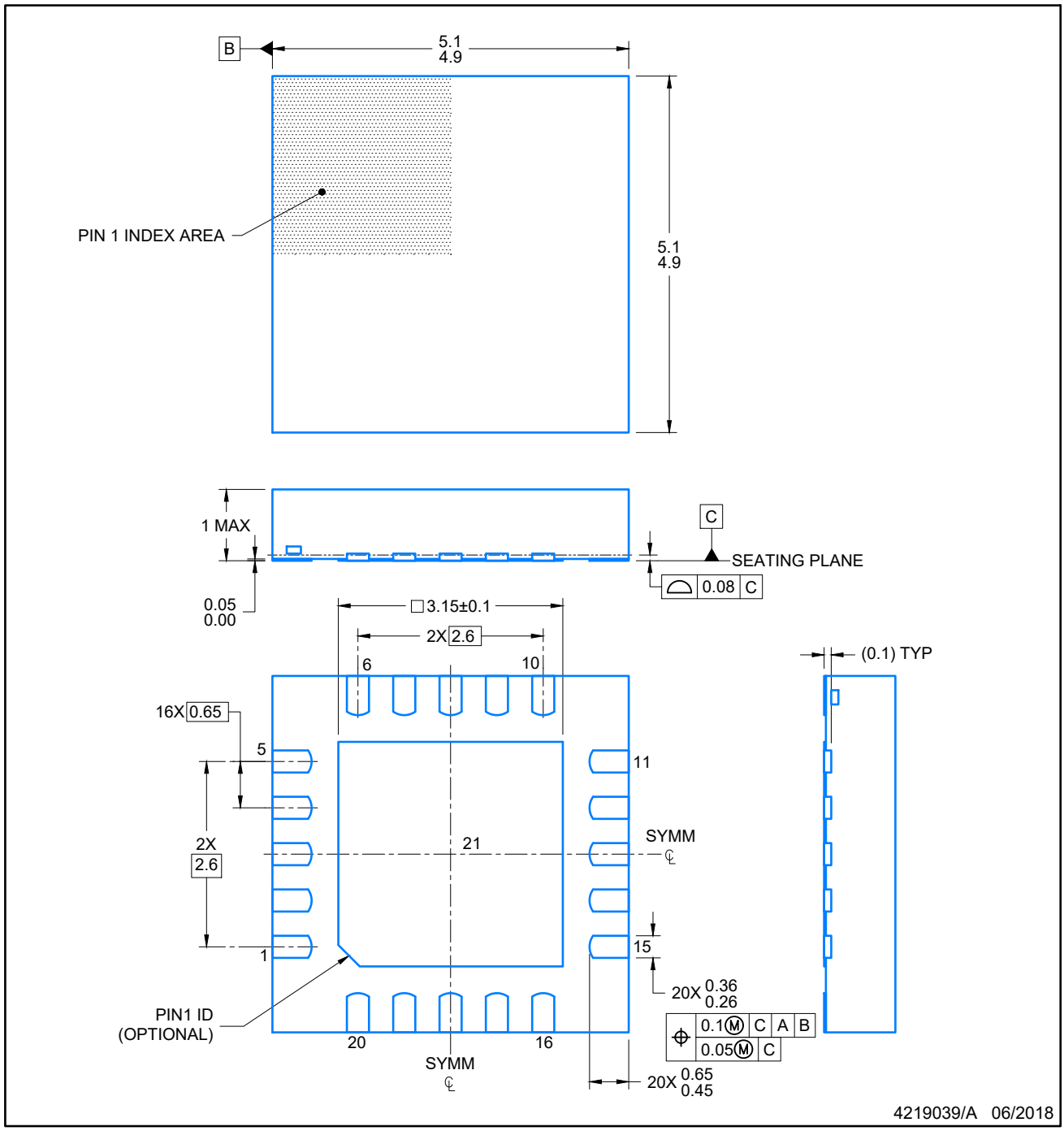
4227157/A

PACKAGE OUTLINE

RGW0020A

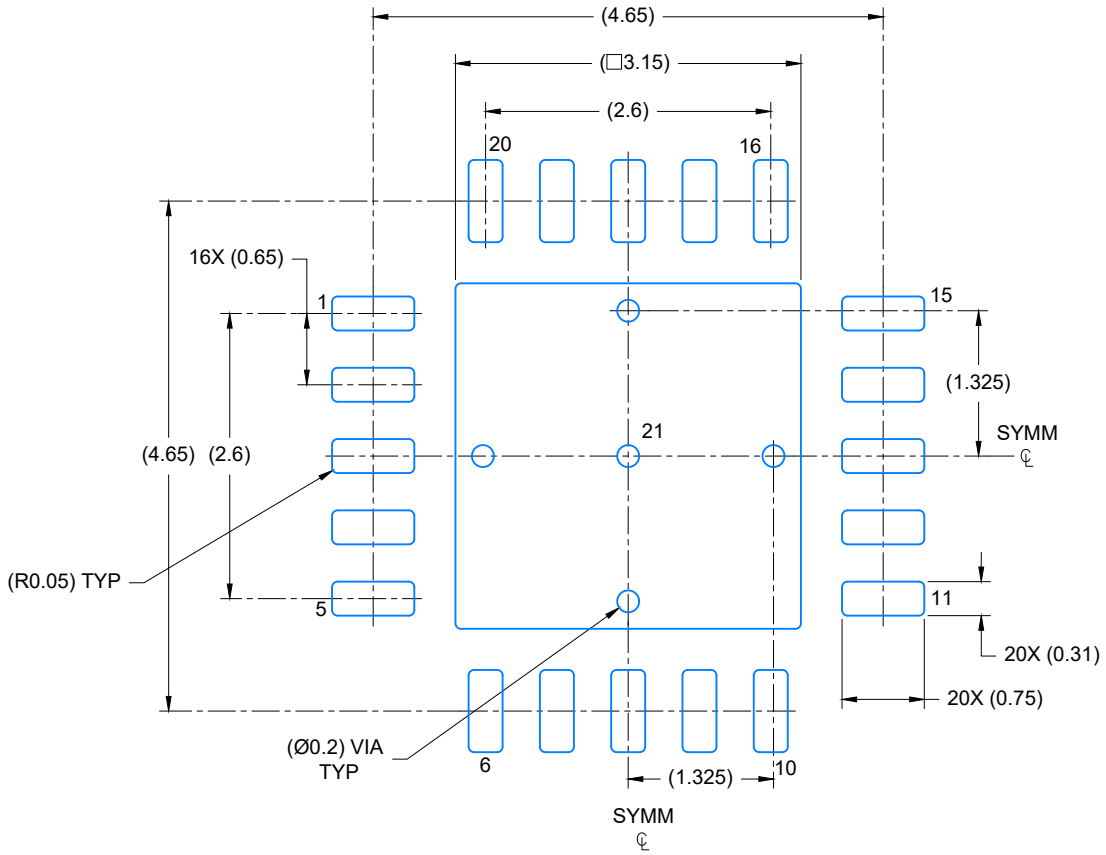
VQFN - 1 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK-NO LEAD



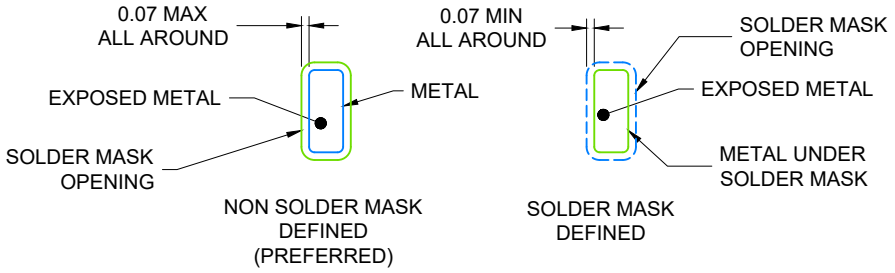
NOTES:

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



LAND PATTERN EXAMPLE

SCALE: 15X

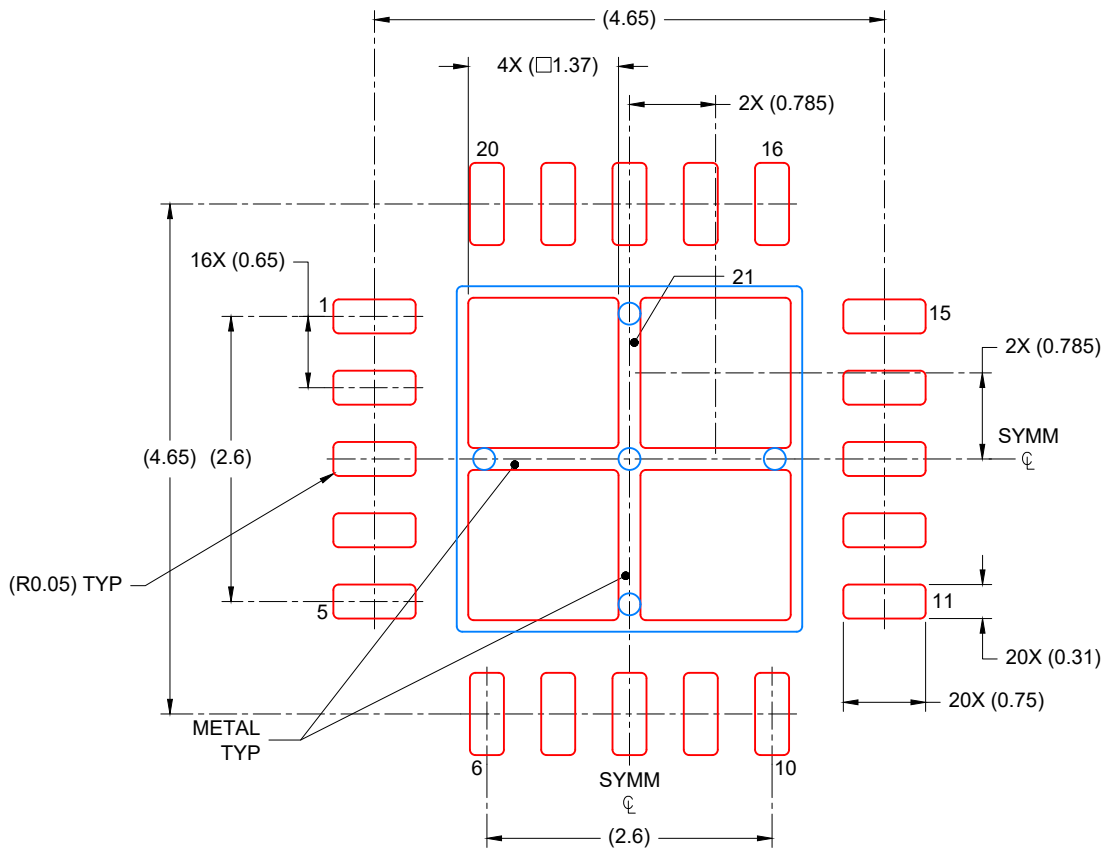


SOLDER MASK DETAILS

4219039/A 06/2018

NOTES: (continued)

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



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL

EXPOSED PAD
75% PRINTED COVERAGE BY AREA
SCALE: 15X

4219039/A 06/2018

NOTES: (continued)

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

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做出任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、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