

TMCS1133 具有 $\pm 1100V$ 增强型隔离工作电压、过流检测和环境磁场抑制功能的精密 1MHz 霍尔效应电流传感器

1 特性

- 高持续电流能力：75 A_{RMS}
- 可靠的增强型隔离
 - 可承受的隔离电压：5000V_{RMS}
 - 增强型工作电压：1100V_{DC}
- 高精度
 - 灵敏度误差： $\pm 0.3\%$
 - 灵敏度漂移： $\pm 20 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$
 - 失调电压误差： $\pm 1 \text{ mV}$
 - 温漂 $\pm 20 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
 - 非线性： $\pm 0.1\%$
- 在产品使用寿命期间具有低漂移： $\pm 0.5\%$ (最大值)
- 对外部磁场具有高抗扰度
- 电源抑制比低：60dB
- 信号带宽：1MHz
- 低传播延迟：80ns
- 快速过流检测响应：500ns
- 工作电源电压范围：3V 至 5.5V
- 双向和单向电流感应
- 多个灵敏度选项：
 - TMCS1133x1A：25 mV/A
 - TMCS1133B8A：33 mV/A
 - TMCS1133x2A：50mV/A
 - TMCS1133x3A：75 mV/A
 - TMCS1133x4A：100mV/A
 - TMCS1133x5A：150 mV/A
- 安全相关认证 (计划)
 - UL 1577 组件认证计划
 - IEC/CB 62368-1

2 应用

- 太阳能
- 电动汽车充电
- 电源
- 工业交流/直流电源
- 过流保护

3 说明

TMCS1133 是一款电隔离霍尔效应电流传感器，具有业界出色的隔离功能和精度。该器件还提供与输入电流成正比的输出电压，且在所有灵敏度选项下均具有出色的线性度和低漂移。具有内置漂移补偿功能的精密信号调节电路能够在没有系统级校准的情况下，在温度和寿命范围内的最大总误差小于 2.5%，或在一次性室温校准 (同时包括寿命和温度漂移) 的情况下的最大总误差小于 1.5%。

交流或直流输入电流流经内部导体，所产生的磁场可由集成式片上霍尔效应传感器进行测量。无磁芯结构消除了对磁集中器的需求。差分霍尔传感器可抑制外部杂散磁场产生的干扰。低导体电阻将可测量电流范围提高至 $\pm 96A$ ，同时更大程度地降低功率损耗并降低散热要求。绝缘能够承受 5000V_{RMS}，加上最小 8.1mm 的爬电距离和间隙，可提供高达 1100V_{DC} 的可靠寿命增强型工作电压。集成式屏蔽可提供出色的共模抑制和瞬态抗扰度。

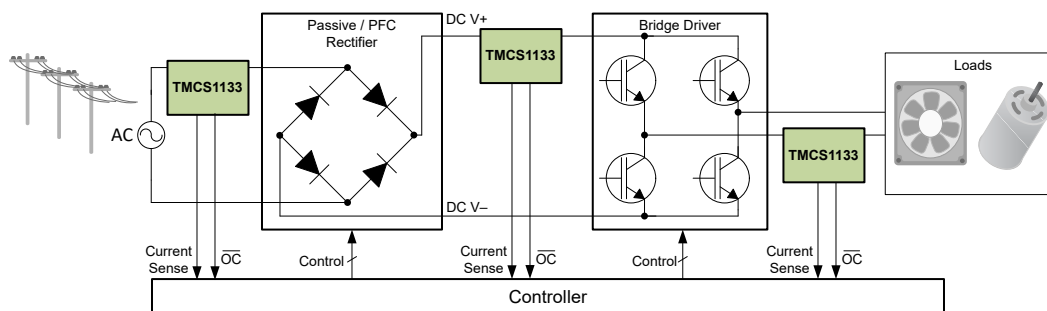
固定的灵敏度允许 TMCS1133 使用单个 3V 至 5.5V 的电源运行，因此消除了比例式误差并提高了电源噪声抑制能力。

封装信息⁽¹⁾

器件型号	封装	封装尺寸 ⁽²⁾
TMCS1133	DVG (SOIC, 10)	10.3mm × 10.3mm

- (1) 如需了解所有可用封装，请参阅数据表末尾的封装选项附录。
 (2) 封装尺寸 (长 × 宽) 为标称值，并包括引脚 (如适用)。





典型应用

内容

1 特性	1	8.3 特性说明	15
2 应用	1	8.4 器件功能模式	20
3 说明	1	9 应用和实施	21
4 器件比较	4	9.1 应用信息	21
5 引脚配置和功能	5	9.2 典型应用	23
6 规格	6	9.3 电源相关建议	25
6.1 绝对最大额定值.....	6	9.4 布局	25
6.2 ESD 等级.....	6	10 器件和文档支持	27
6.3 建议运行条件.....	6	10.1 器件支持.....	27
6.4 热性能信息.....	6	10.2 文档支持.....	27
6.5 绝缘规格.....	7	10.3 接收文档更新通知.....	27
6.6 电气特性.....	8	10.4 支持资源.....	27
7 参数测量信息	10	10.5 商标.....	27
7.1 精度参数.....	10	10.6 静电放电警告.....	27
7.2 瞬态响应参数.....	13	10.7 术语表.....	27
7.3 安全工作区.....	14	11 修订历史记录	28
8 详细说明	15	12 机械、封装和可订购信息	28
8.1 概述.....	15	12.1 封装选项附录.....	32
8.2 功能方框图.....	15	12.2 卷带封装信息.....	33

4 器件比较

表 4-1. 器件比较

产品	灵敏度	零电流输出电压	I _{IN} 线性测量范围 ⁽¹⁾	
			V _S = 5V	V _S = 3.3V
TMCS1133A1A	25 mV/A	2.5V	±96A ⁽²⁾	-96A 至 28A ⁽²⁾
TMCS1133A2A	50mV/A		±48A ⁽²⁾	-48A 至 14A ⁽²⁾
TMCS1133A3A	75 mV/A		±32A	-32A 至 9.3A
TMCS1133A4A	100mV/A		±24A	-24A 至 7A
TMCS1133A5A	150 mV/A		±16A	-16A 至 4.7A
TMCS1133B1A	25 mV/A	1.65V	-62A 至 130A ⁽²⁾	±62A ⁽²⁾
TMCS1133B8A	33 mV/A		-47 A 至 98.5 A ⁽²⁾	±47A ⁽²⁾
TMCS1133B2A	50mV/A		-31A 至 65A ⁽²⁾	±31A
TMCS1133B3A	75 mV/A		-20.7A 至 43.3A ⁽²⁾	±20.7A
TMCS1133B4A	100mV/A		-15.5A 至 32.5A	±15.5A
TMCS1133B5A	150 mV/A		-10.3A 至 21.7A	±10.3A
TMCS1133C1A	25 mV/A	0.33V	-9.2A 至 183A ⁽²⁾	-9.2A 至 115A ⁽²⁾
TMCS1133C2A	50mV/A		-4.6A 至 91.4A ⁽²⁾	-4.6A 至 57.4A ⁽²⁾
TMCS1133C3A	75 mV/A		-3.1A 至 60.9A ⁽²⁾	-3.1A 至 38.3A ⁽²⁾
TMCS1133C4A	100mV/A		-2.3A 至 45.7A ⁽²⁾	-2.3A 至 28.7A
TMCS1133C5A	150 mV/A		-1.5A 至 30.5A	-1.5A 至 19.1A

- (1) 线性范围受电源 (3V 至 5.5V) 和接地的最大输出摆幅限制，而不受热限制。
 (2) 电流电平必须保持低于允许的持续直流/RMS 电流和瞬态峰值电流的安全工作区，以便不会超过器件热限值。请参阅 [安全工作区](#) 部分。

5 引脚配置和功能

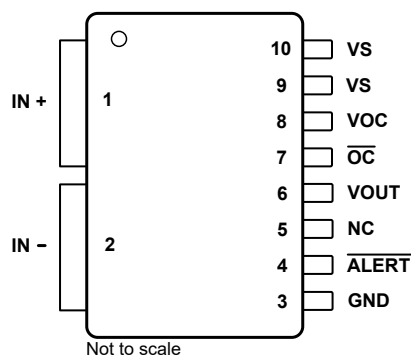


图 5-1. DVG 封装 10 引脚 SOIC 顶视图

表 5-1. 引脚功能

引脚		类型	说明
编号	名称		
1	IN+	模拟输入	输入电流正引脚
2	IN-	模拟输入	输入电流负引脚
3	GND	模拟	接地
4	ALERT	数字输出	传感器诊断 PWM 输出，开漏低电平有效。引脚不使用时连接至 GND。
5	NC	-	保留。引脚可连接至 GND、VS，或保持悬空。
6	VOUT	模拟输出	输出电压
7	OC	数字输出	过流输出，开漏低电平有效。引脚不使用时连接至 GND。
8	VOC	模拟输入	过流阈值。设置过流阈值。引脚不使用时连接至 VS。
9	VS	模拟	电源
10	VS	模拟	电源

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
V _S	电源电压	GND - 0.3	6	V
	模拟输入	VOC	GND - 0.3 (V _S) + 0.3	V
	模拟输出	VOUT		
	数字输出	ALERT、 $\overline{\text{OC}}$		
	无连接	NC		
T _J	结温	-65	165	°C
T _{stg}	贮存温度	-65	165	°C

- (1) 超出绝对最大额定值运行可能会对器件造成损坏。绝对最大额定值并不表示器件在这些条件下或在建议运行条件以外的任何其他条件下能够正常运行。如果超出建议工作条件但在绝对最大额定值范围内使用，器件可能不会完全正常运行，这可能影响器件的可靠性、功能和性能，并缩短器件寿命。

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 标准 ⁽¹⁾	±2000
		充电器件模型 (CDM)，符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-002 ⁽²⁾	±1000

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

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）

		最小值	标称值	最大值	单位
V _S	运行电源电压	3	5	5.5	V
T _A ⁽¹⁾	自然通风工作温度	-40		125	°C

- (1) 输入电流安全工作区受结温的限制。使用 [TMCS1133xEVM](#) 时的建议条件。输入电流额定值会因环境温度升高而降低。

6.4 热性能信息

热指标 ⁽¹⁾		TMCS1133 ⁽²⁾	单位
		DVG (SOIC-W-10)	
		10 引脚	
R _{θJA}	结至环境热阻	27.9	°C/W
R _{θJC(top)}	结至外壳（顶部）热阻	26.8	
R _{θJB}	结至电路板热阻	10.1	
Ψ _{JT}	结至顶部特征参数	4.4	
Ψ _{JB}	结至电路板特性参数	8.3	

- (1) 有关新旧热性能指标的更多信息，请参阅 [半导体和 IC 封装热指标](#) 应用报告。
 (2) 当器件安装在 [TMCS1133xEVM](#) 上时适用。更多详细信息，请参阅 [安全工作区](#) 部分。

6.5 绝缘规格

参数		测试条件	值	单位
常规				
CLR	外部间隙 ⁽¹⁾	端子间的最短空间距离	8.1	mm
CPG	外部爬电距离 ⁽¹⁾	端子间的最短封装表面距离	8.1	mm
CTI	相对漏电起痕指数	DIN EN 60112 ; IEC 60112	600	V
	材料组别	符合 IEC 60664-1	I	
	过压类别 (符合 IEC 60664-1)	额定市电电压 $\leq 150V_{RMS}$	I-IV	
		额定市电电压 $\leq 300V_{RMS}$	I-IV	
		额定市电电压 $\leq 600V_{RMS}$	I-IV	
V_{IORM}	最大重复峰值隔离电压	交流电压 (双极), 基本隔离	2070	V_{PK}
		交流电压 (双极), 增强型隔离	1100	
V_{IOWM}	最大基本隔离工作电压	交流电压 (正弦波)	1464	V_{RMS}
		直流电压	2070	V_{DC}
	最大增强型隔离工作电压	交流电压 (正弦波)	778	V_{RMS}
		直流电压	1100	V_{DC}
V_{IOTM}	最大瞬态隔离电压	$V_{TEST} = \sqrt{2} \times V_{ISO}$, $t = 60s$ (鉴定测试) ; $V_{TEST} = 1.2 \times V_{IOTM}$, $t = 1s$ (100% 生产测试)	7071	V_{PK}
V_{IOSM}	最大浪涌隔离电压 ⁽²⁾	测试方法符合 IEC 62368-1, 1.2/50 μs 波形, $V_{TEST} = 1.3 \times V_{IOSM}$ (鉴定测试)	10000	V_{PK}
q_{pd}	视在电荷 ⁽³⁾	方法 a : I/O 安全测试子组 2/3 后, $V_{ini} = V_{IOTM}$, $t_{ini} = 60s$; $V_{pd(m)} = 1.2 \times V_{IORM}$, $t_m = 10s$	≤ 5	pC
		方法 a : 环境测试子组 1 后, $V_{ini} = V_{IOTM}$, $t_{ini} = 60s$; $V_{pd(m)} = 1.2 \times V_{IORM}$, $t_m = 10s$	≤ 5	
		方法 b3 : 常规测试 (100% 生产测试) 和预处理 (类型测试) $V_{ini} = 1.2 \times V_{IOTM}$, $t_{ini} = 1s$; $V_{pd(m)} = 1.2 \times V_{IOTM}$, $t_m = 1s$	≤ 5	
C_{IO}	势垒电容, 输入至输出 ⁽⁴⁾	$V_{IO} = 0.4 \sin(2\pi ft)$, $f = 1MHz$	0.6	pF
R_{IO}	隔离电阻, 输入至输出 ⁽⁴⁾	$V_{IO} = 500V$, $T_A = 25^\circ C$	$>10^{12}$	Ω
		$V_{IO} = 500V$, $100^\circ C \leq T_A \leq 125^\circ C$	$>10^{11}$	Ω
		$V_{IO} = 500V$, $T_S = 150^\circ C$	$>10^9$	Ω
	污染等级		2	
UL 1577				
V_{ISO}	可承受的隔离电压	$V_{TEST} = V_{ISO}$, $t = 60s$ (鉴定测试) ; $V_{TEST} = 1.2 \times V_{ISO}$, $t = 1s$ (100% 生产测试)	5000	V_{RMS}

- 根据应用特定的设备隔离标准应用爬电距离和电气间隙要求。请注意保持电路板设计的爬电距离和间隙, 从而确保印刷电路板上隔离器的安装焊盘不会导致此距离缩短。在特定的情况下, 印刷电路板上的爬电距离和间隙相等。在印刷电路板上插入坡口或肋或同时应用这两项技术可帮助提高这些规格。
- 在空气或油中进行测试, 以确定隔离栅的固有浪涌抗扰度。
- 视在电荷是局部放电 (pd) 引起的电气放电。
- 将隔离栅每一侧的所有引脚都连在一起, 构成了一个双端子器件。

6.6 电气特性

$T_A = 25^\circ\text{C}$ ，TMCS1133AxA 上的 $V_S = 5\text{V}$ ，TMCS1133BxA 和 TMCS1133Cx A 上的 $V_S = 3.3\text{V}$ (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
输入						
R _{IN}	输入导体电阻	IN+ 至 IN-		0.7		m Ω
R _{IN}	输入导体电阻温度漂移	T _A = -40°C 至 +125°C		2.1		μ Ω/°C
I _{IN,MAX}	最大连续输入电流 ⁽¹⁾	T _A = 25°C		82		A _{RMS}
		T _A = 125°C		44		
输出						
S	灵敏度	TMCS1133x1A		25		mV/A
		TMCS1133x8A		33		
		TMCS1133x2A		50		
		TMCS1133x3A		75		
		TMCS1133x4A		100		
		TMCS1133x5A		150		
e _S	灵敏度误差	0.05V ≤ V _{OUT} ≤ V _S - 0.2V		±0.3%	±0.75%	
S _{drift,therm}	灵敏度热漂移	0.05V ≤ V _{OUT} ≤ V _S - 0.2V, T _A = -40°C 至 125°C		±20	±50	ppm/ °C
S _{drift,life}	灵敏度寿命漂移	0.05V ≤ V _{OUT} ≤ V _S - 0.2V		±0.2%	±0.5%	
e _{NL}	非线性误差	V _{OUT} = 0.1 V 至 V _S - 0.1 V		±0.1%		
V _{OUT,0A}	零电流输出电压	TMCS1133Ax A, I _{IN} = 0A		2.5		V
		TMCS1133Bx A, I _{IN} = 0A		1.65		
		TMCS1133Cx A, I _{IN} = 0A		0.33		
V _{OE}	输出电压偏移量误差	TMCS1133x1A, I _{IN} = 0A		±1	±5	mV
		TMCS1133x8A, I _{IN} = 0A		±1.2	±6	
		TMCS1133x2A, I _{IN} = 0A		±1.5	±8	
		TMCS1133x3A, I _{IN} = 0A		±2	±10	
		TMCS1133x4A, I _{IN} = 0A		±3	±15	
		TMCS1133x5A, I _{IN} = 0A		±4	±20	
V _{OE,drift}	输出电压温漂	TMCS1133x1A, I _{IN} = 0A, T _A = - 40°C 至 125°C		±20	±50	μV/°C
		TMCS1133x8A, I _{IN} = 0A, T _A = - 40°C 至 125°C		±22	±60	
		TMCS1133x2A, I _{IN} = 0A, T _A = - 40°C 至 125°C		±25	±70	
		TMCS1133x3A, I _{IN} = 0A, T _A = - 40°C 至 125°C		±30	±100	
		TMCS1133x4A, I _{IN} = 0A, T _A = - 40°C 至 125°C		±40	±115	
		TMCS1133x5A, I _{IN} = 0A, T _A = - 40°C 至 125°C		±50	±130	
PSRR	电源抑制比	以输入为基准, V _S = 3V 至 5.5V, T _A = - 40°C 至 125°C		±40	±80	mA/V
CMTI	共模瞬态抗扰度	V _{CM} = 1000V, Δ V _{OUT} < 200mV, 1μs	75	150		kV/μs
CMRR	共模抑制比	以输入为基准, 直流至 60Hz		5		μA/V
CMFR	共模场抑制	均匀外部磁场, 以输入为基准, 直流至 1kHz			10	mA/mT
	输入噪声密度	以输入为基准, 全带宽		150		μ A/ √ Hz
C _{L,MAX}	最大容性负载	V _{OUT} 至 GND		4.7		nF
	短路输出电流	V _{OUT} 接地短路, 对 V _S 短路		90		mA
Swing _{V_S}	相对于 V _S 电源轨的摆幅	R _L = 10k Ω 至 GND, T _A = - 40°C 至 125°C		V _S - 0.02	V _S - 0.1	V
摆幅 _{GND}	到 GND 的摆幅			V _{GND} + 5	V _{GND} + 10	mV

$T_A = 25^\circ\text{C}$ ，TMCS1133AxA 上的 $V_S = 5\text{V}$ ，TMCS1133BxA 和 TMCS1133CxX 上的 $V_S = 3.3\text{V}$ （除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
带宽和响应						
BW	模拟带宽	- 3dB 增益	1			MHz
SR	压摆率 ⁽²⁾	达到最终值的 10% 和 90% 之间的输出变化率，如图 8-2 所示，输入步长为 100ns。	4			V/μs
t _r	响应时间 ⁽²⁾	输入和输出达到最终值的 90% 之间的时间，如图 8-2 所示，输入步长为 100ns，输出转换为 1V。	300			ns
t _r	传播延迟 ⁽²⁾	输入和输出达到最终值的 10% 之间的时间，如图 8-2 所示，输入步长为 100ns，输出转换为 1V。	80			ns
	电流过载恢复时间		300			ns
过流检测						
V _{OC}	过流检测阈值电压	V _{OC} = S x I _{OC} /2.5	0.3		V _S	V
	过流迟滞	TMCS1133x1A	5			A
		TMCS1133x8A	5			
		TMCS1133x2A	3.5			
		TMCS1133x3A	3.5			
		TMCS1133x4A	2.5			
		TMCS1133x5A	2.5			
	I _{OC} 误差	T _A = 25°C	±5%	±10%		
		T _A = -40°C 至 125°C	±7%	±15%		
	过流检测响应时间	I _{IN} 步进 = 120% 的 I _{OC}	200	500		ns
诊断						
ALERT	输出频率		8			kHz
	输出占空比，低电平有效	热警报	80			%
		传感器警报	50			
		热警报和传感器警报	20			
电源						
V _S	电源电压	T _A = -40°C 至 +125°C	3.0		5.5	V
I _Q	静态电流	T _A = 25°C		11	14	mA
		T _A = -40°C 至 +125°C			14.5	mA
	上电时间	从 V _S > 3V 到有效输出的时间	27.5			ms

- (1) 受结温热限制。当器件安装在 [TMCS1133xEVM](#) 上时适用。更多信息，请参阅[安全工作区](#)部分。
- (2) 有关器件的瞬态响应的详细信息，请参阅[瞬态响应](#)部分。

7 参数测量信息

7.1 精度参数

方程式 1 给出了 TMCS1133 的理想一阶传递函数，其中输出电压是输入电流的线性函数。器件的精度通过传递函数参数中的误差项以及引入简化线性模型中未包含的额外误差项的非理想性来量化。有关总误差的示例计算（包括所有器件误差项），请参阅[总误差计算示例](#)。

$$V_{OUT} = (I_{IN} \times S) + V_{REF} \quad (1)$$

其中

- V_{OUT} 为模拟输出电压。
- I_{IN} 为隔离的输入电流。
- S 为器件的灵敏度。
- V_{REF} 为器件型号的零电流基准输出电压。

7.1.1 灵敏度误差

灵敏度是输入导体电流的变化引起的传感器输出电压的成比例变化。该灵敏度是传感器一阶传递函数的斜率（请参阅图 7-1）。TMCS1133 的灵敏度在出厂时经过测试和校准，确保达到高精度。

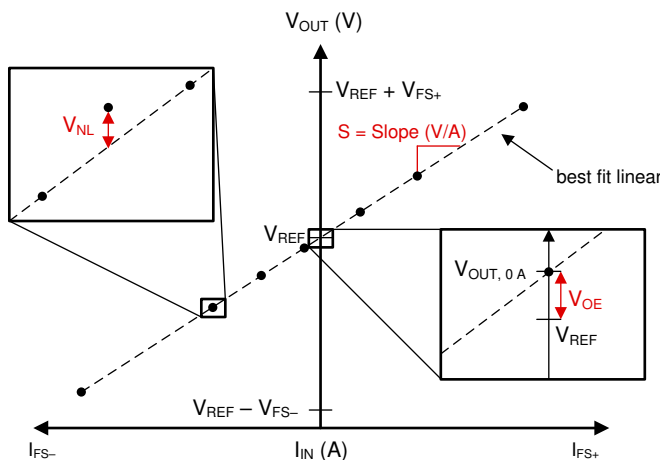


图 7-1. 灵敏度、失调电压和非线性误差

相对于理想灵敏度的偏差可通过灵敏度误差进行量化，在方程式 2 中定义为最佳拟合测量灵敏度相对于理想灵敏度的变化百分比。

$$e_S = \frac{(S_{fit} - S_{ideal})}{S_{ideal}} \quad (2)$$

其中

- e_S 是灵敏度误差。
- S_{fit} 是最佳拟合灵敏度。
- S_{ideal} 是理想灵敏度。

灵敏度热漂移 $S_{drift, therm}$ 是灵敏度随温度而发生的变化，以 ppm/°C 为单位。要计算任何给定温度 T 下的灵敏度误差，请使用方程式 3 将灵敏度热漂移乘以相对于 25°C 的温度变化，并将其与 25°C 时的灵敏度误差相加。

$$e_{S, \Delta T} = e_{S, 25^\circ C} + (S_{drift, therm} \times \Delta T) \quad (3)$$

其中

- $S_{\text{drift,therm}}$ 是以 ppm/°C 为单位的灵敏度温漂。
- ΔT 是相对于 25°C 的器件温度变化。

灵敏度寿命漂移 $S_{\text{drift,life}}$ 是指在器件的整个寿命内，由于运行和环境应力而导致的灵敏度变化，报告为 25°C 下灵敏度在寿命内的最坏情况百分比变化。

7.1.2 偏移量误差和偏移量误差漂移

偏移量误差是指在零输入电流流过电流传感器的情况下与理想输出的偏差，并且通常会限制低输入电流水平下的测量精度。偏移量误差既可以输出为基准（作为失调电压误差），也可以输入为基准（作为失调电流误差）。当除以器件灵敏度 S 时，输出电压偏移量误差 V_{OE} 以输入为基准，作为输入电流偏移量误差 I_{OS} （请参阅方程式 4）。以输入为基准 (RTI) 的偏移量误差 (RTI) 允许与输入电流进行更直接的比较，或使输入电流产生偏移量误差。无论偏移量误差是以输入为基准（作为电流偏移量误差 I_{OS} ），还是以输出为基准（作为电压偏移量误差 V_{OE} ），偏移量误差都是单个误差源，并且在以输入为基准或以输出为基准的误差计算中只应包括一次。

$$I_{\text{OS}} = \frac{V_{\text{OE}}}{S} \quad (4)$$

TMCS1133 的输出电压偏移量误差 V_{OE} 是零电流输出电压 $V_{\text{OUT,0A}}$ 和零电流输出基准电压 V_{REF} 之间的差（请参阅方程式 5）。

$$V_{\text{OE}} = V_{\text{OUT,0A}} - V_{\text{REF}} \quad (5)$$

输出偏移量误差 V_{OE} 包括霍尔传感器中的磁性偏移量误差、信号链中的失调电压误差以及内部零电流输出基准电压 V_{REF} 中的偏移量误差。

温漂是偏移量随温度 T 而发生的变化。输出温漂以 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 为单位。要计算任何给定温度下的偏移量误差，请将温漂乘以温度变化，并将其与 25°C 时的偏移量误差相加（请参阅方程式 6）。

$$V_{\text{OE}, \Delta T} = V_{\text{OE}, 25^\circ\text{C}} + (V_{\text{OE}, \text{drift}} \times \Delta T) \quad (6)$$

其中

- $V_{\text{OE}, \text{drift}}$ 是以 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 为单位的输出电压温漂。
- ΔT 是相对于 25°C 的器件温度变化。

7.1.3 非线性误差

非线性是指输出电压相对于与输入电流的线性关系的偏差。如图 7-1 所示，非线性电压是指基于测量参数的相对于最佳拟合线的最大电压偏差（请参阅方程式 7）。

$$V_{\text{NL}} = V_{\text{OUT, meas}} - [(I_{\text{meas}} \times S_{\text{fit}}) + V_{\text{OUT, 0A}}] \quad (7)$$

其中

- $V_{\text{OUT, meas}}$ 为相对于最佳拟合的最大偏差处的电压输出。
- I_{meas} 为相对于最佳拟合的最大偏差处的输入电流。
- S_{fit} 为器件的最佳拟合灵敏度。
- $V_{\text{OUT, 0A}}$ 为器件的零电流输出电压。

TMCS1133 的非线性误差指定为满量程输出范围 V_{FS} 的百分比（请参阅方程式 8）。

$$e_{\text{NL}} = \frac{V_{\text{NL}}}{V_{\text{FS}}} \quad (8)$$

7.1.4 电源抑制比

电源抑制比 (PSRR) 是电源电压变化导致的器件失调电压变化。使用 [方程式 9](#) 可以计算由 TMCS1133AxA 器件上的电源变化引起的以输入为基准的失调电压误差，而使用 [方程式 10](#) 可以计算由 TMCS1133BxA 和 TMCS1133Cx A 器件上的电源变化引起的以输入为基准的失调电压误差。

$$e_{\text{PSRR}} = \frac{\text{PSRR} \times (V_S - 5)}{I_{\text{IN}}} \quad (9)$$

$$e_{\text{PSRR}} = \frac{\text{PSRR} \times (V_S - 3.3)}{I_{\text{IN}}} \quad (10)$$

其中

- V_S 是工作电源电压。
- S 是器件灵敏度。

7.1.5 共模抑制比

共模抑制比 (CMRR) 量化了器件隔离输入电压变化导致的有效输入电流误差。由于电流信号存在磁耦合和电隔离，TMCS1133 对输入共模电压具有非常高的抑制能力。使用 [方程式 11](#) 计算输入共模变化的误差百分比贡献。

$$e_{\text{CMRR}} = \frac{\text{CMRR} \times V_{\text{CM}}}{I_{\text{IN}}} \quad (11)$$

其中

- CMRR 是以输入为基准的共模抑制，单位为 $\mu\text{A/V}$ 。
- V_{CM} 是器件输入端的交流或直流工作电压。

7.1.6 外部磁场误差

TMCS1133 具有杂散磁场抑制功能，可抑制由相邻大电流承载导体、附近电机、磁体或任何其他杂散磁场源产生的外部磁场的干扰。共模场抑制 (CMFR) 可以量化杂散磁场引起的以输入为基准的有效误差。使用 [方程式 12](#) 可计算外部杂散磁场 B_{EXT} 的百分比误差贡献。

$$e_{\text{Bext}} = \frac{B_{\text{EXT}} \times \text{CMFR}}{I_{\text{IN}}} \quad (12)$$

其中

- B_{EXT} 是以 mT 为单位的外部磁场强度。
- CMRF 是以 mA/mT 为单位的共模磁场抑制。

7.2 瞬态响应参数

图 7-2 显示了关键的 TMCS1133 瞬态阶跃响应参数。传播延迟 t_{pd} 是输入电流波形达到其最终值的 10% 与输出电压 V_{OUT} 达到其最终值的 10% 之间的时长。响应时间 t_r 是输入电流达到其最终值的 90% 与输出电压达到其最终值的 90% 之间的时长，这使输入电流阶跃足以让输出电压引起 1V 变化。压摆率 SR 定义为在足够快的输入电流阶跃期间输出电压的最大变化率。

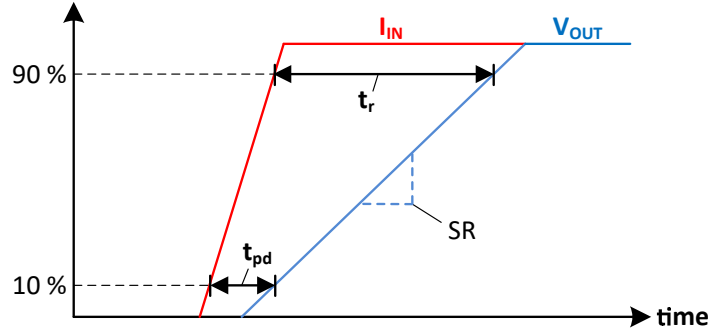


图 7-2. 瞬态阶跃响应

7.2.1 CMTI，共模瞬态抗扰度

CMTI 是指器件在不干扰输出信号的情况下承受输入电压上升或下降阶跃的能力。该器件规定了最大共模转换速率，在该速率下，输出信号不会受到持续时间超过 $1\mu s$ 的大于 200mV 电压的干扰。在共模转换之后，通过足够的滤波或消隐时间，可以支持比指定 CMTI 更高的边沿速率。

7.3 安全工作区

TMCS1133 的隔离式输入电流安全工作区 (SOA) 受到输入导体中功率耗散导致的自发热的限制。根据使用案例, SOA 受到诸多条件的限制, 包括超过最大结温、引线框中的焦耳加热或在极高电流下的引线框熔断。这些机制取决于脉冲持续时间、振幅和器件热状态。

当前的 SOA 在很大程度上取决于系统级板的热环境和设计。多个热变量控制着热量从器件到周围环境的传递, 包括空气流量、环境温度以及印刷电路板 (PCB) 结构和设计。所有额定值均适用于 [TMCS1133xEVM](#) 上安装的单个 TMCS1133 器件, 在指定的环境温度条件下没有空气流量。器件使用配置文件必须满足针对系统运行而计划的热环境的连续电流传导 SOA 能力。

7.3.1 持续直流或正弦交流电流

器件封装和 PCB 的最大热时间常数为秒级; 因此, 对于任何频率高于 1Hz 的持续直流或正弦交流周期波形, 都可以根据 RMS 持续电流电平进行评估。连续电流能力强烈依赖于运行时的预期工作环境温度范围。图 7-3 显示了 [TMCS1133xEVM](#) 上器件的最大持续电流处理能力。由于从结到环境的热传递减少以及引线框中的功率耗散增加, 在较高的环境温度下电流能力会下降。通过改进应用的热设计, SOA 可以在更高的温度下支持更大的电流。使用更大更重的铜电源平面、在电路板上提供气流或在器件区域添加散热结构都有助于提高热性能。

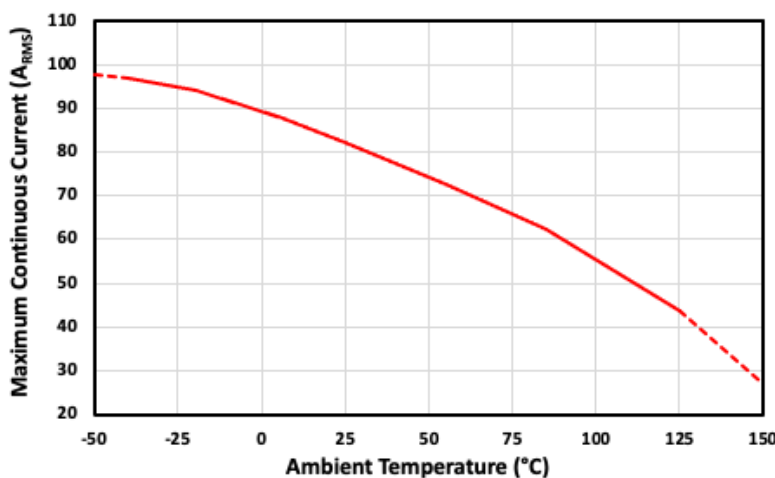


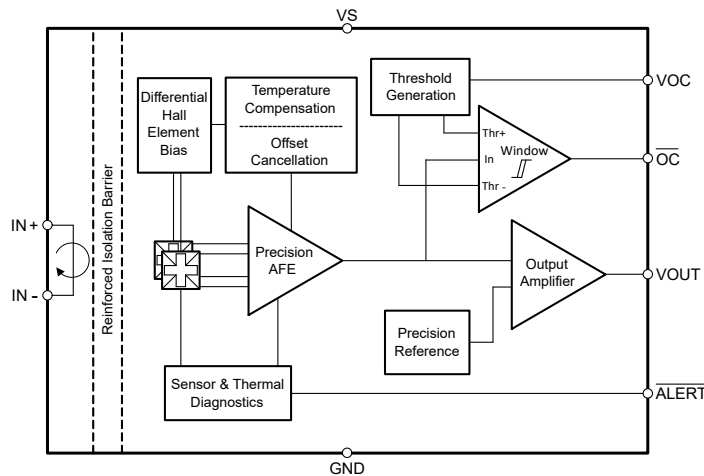
图 7-3. 最大连续 RMS 电流与环境温度间的关系

8 详细说明

8.1 概述

TMCS1133 是一款精密霍尔效应电流传感器，具有高达 1100V 的增强型隔离工作电压、环境磁场抑制功能、高载流能力，在无系统级校准的情况下，最大总寿命误差小于 2.5%，或在一次性室温校准（包括温度和寿命漂移）的情况下，最大总误差小于 1.5%。该器件提供了多种器件选项，可用于单向和双向电流测量。输入电流流过隔离式输入电流引脚之间的导体。该导体在室温下具有 $0.67\text{m}\Omega$ 的电阻，当与 TMCS1133xEVM 热设计类似的印刷电路板一起使用时，在 125°C 的环境温度下可提供高达 40A_{RMS} 的持续电流。与其他可行的电流测量方法相比，低欧姆值引线框路径降低了功耗，并且在高压侧不需要任何外部无源器件、隔离式电源或控制信号。输入电流产生的磁场由霍尔传感器检测到并由精密信号链放大。该器件可用于交流和直流电流测量，其带宽为 1MHz。有多种双向和单向固定灵敏度器件型号可供选择，以提供广泛的线性检测范围选项（从 $\pm 10\text{A}$ 到 $\pm 96\text{A}$ ），TMCS1133 可以在 3V 至 5.5V 的低压电源下运行。TMCS1133 针对高精度和温度稳定性进行了优化，在整个工作温度范围内对失调电压和灵敏度进行了补偿。

8.2 功能方框图



8.3 特性说明

8.3.1 电流输入

TMCS1133 的输入电流通过封装引线框的隔离高压侧流入和流出 IN+ 和 IN- 引脚。流经封装的电流会产生与输入电流成正比的磁场，该磁场可由集成式片上电隔离的精密霍尔传感器进行测量。由于霍尔传感器芯片上的静电屏蔽，仅测量由输入电流产生的磁场，从而限制输入电压开关直通至电路。该配置支持直接测量具有高压瞬变的电流，而不会在电流传感器输出上产生信号失真。引线框导体在 25°C 时的标称电阻为 $0.67\text{m}\Omega$ ，并具有电气特性中定义的典型正温度系数。

8.3.2 输入隔离

由于 TMCS1133 结构，输入导体和霍尔传感器芯片之间的分离在高压输入侧的封装引脚 1 和 2 与低压输出侧的封装引脚 3 至 10 之间提供了固有的电隔离。绝缘能力是根据认证机构的定义，使用绝缘规格中定义的业界通用测试方法定义的。器件寿命工作电压评估遵循增强型绝缘的 VDE 0884-11 标准，要求时间依赖型电介质击穿 (TDDb) 数据预测故障率低于 1ppm，并且绝缘寿命至少为 30 年。VDE 标准还要求工作电压有 20% 的额外安全裕度，绝缘寿命有 30% 的裕度，这意味着 TMCS1133 在 900V_{RMS} 下的最短要求寿命为 39 年。

8.3.3 环境磁场抑制

TMCS1133 设计用于在恶劣环境中提供高水平的电流测量精度。由于不受杂散磁场干扰，因此可以在高载流布线、电机绕组、电感器或任何其他错误的杂散磁场源附近使用。TMCS1133 包含差分霍尔传感器，这些传感器的位置很重要，且配置为可抑制来自外部杂散磁场的干扰。仅受霍尔元件匹配和封装引线框耦合限制的环境磁场抑制 (AFR) 功能可减少杂散磁场产生的误差。

8.3.4 高精度信号链

TMCS1133 使用具有专有传感器线性化技术的精密、低漂移信号链，可在器件的整个温度范围和寿命内提供高度精确和稳定的电流测量。该器件在工厂经过全面测试和校准，解决了器件的硅制程、组装或封装中的任何偏差。完整的信号链可提供固定灵敏度电压输出，该输出与流经隔离输入引线框的电流成正比。

8.3.4.1 温度稳定性

TMCS1133 包含专有的温度补偿技术，可显著改善整个温度范围内的参数漂移。该补偿技术考虑了环境温度、自发热和封装应力的变化。零漂移信号链架构以及霍尔传感器温度补偿方法可实现稳定的灵敏度，同时更最大限度地减小整个温度范围内的偏移量误差。在所需的运行条件下，系统级性能得到了显著提高。

8.3.4.2 寿命和环境稳定性

除了较大的热漂移之外，典型的磁性电流传感器由于在器件的寿命内老化，其灵敏度还会出现 2% 到 3% 的额外漂移。TMCS1133 中用于降低温度漂移的相同专有补偿技术也用于大大降低由于应力和环境条件（尤其是在较高的运行温度下）引起的老化而导致的寿命漂移。如 [电气特性](#) 所示，TMCS1133 具有行业出色的寿命灵敏度漂移，这是在标准三批 AEC-Q100 认证期间，在 130°C 和 85% 相对湿度 (RH) 下进行高加速应力测试 (HAST) 后实现的。在按照 AEC-Q100 认证规定进行 1000 小时、125°C 高温工作寿命应力测试后，还观察到 [电气特性](#) 中规定的界限内的低灵敏度和温漂。这些测试模拟了典型的器件寿命操作，表明与典型的磁性电流传感器相比，老化导致的器件性能变化得到了极大改善。

8.3.5 内部基准电压

TMCS1133 具有精确的内部基准，此基准可确定零电流输出电压 $V_{OUT,0A}$ 。通过选择 [器件比较](#) 表中列出的三个不同零电流输出电压选项中的任何一个，可以优化总体电流检测动态范围。[方程式 13](#)、[方程式 14](#) 和 [方程式 15](#) 中列出的这些极低漂移精密零电流基准选项提供了使用 3.0V 至 5.5V 之间的各种电源电压进行精确双向或单向电流测量的功能。

- TMCS1133AxX → $V_{OUT,0A} = V_{REF} = 2.5V$ (13)
- TMCS1133BxX → $V_{OUT,0A} = V_{REF} = 1.65V$ (14)
- TMCS1133CxX → $V_{OUT,0A} = V_{REF} = 0.33V$ (15)

8.3.6 电流检测可测量范围

零电流基准电压 V_{REF} 以及器件灵敏度 S 和电源电压 V_S 决定了器件的线性输入电流测量范围，如 [器件比较](#) 表中所列。最大线性输出电压 $V_{OUT,max}$ 受 TMCS1133 的异常近电源输出电压摆幅 $Swing_{VS}$ 的限制，如 [电气特性](#) 表中所定义并如 [方程式 16](#) 所示。

$$V_{OUT,max} = V_S - S \cdot Swing_{VS} \quad (16)$$

最小线性输出电压 $V_{OUT,min}$ 受异常近地线性输出摆幅 $Swing_{GND}$ 的限制，这也如 [电气特性](#) 表所定义并如 [方程式 17](#) 所示。

$$V_{OUT,min} = S \cdot Swing_{GND} \quad (17)$$

在适当地选择器件之后，通过将输出电压除以灵敏度 S （请参阅 [方程式 18](#) 和 [方程式 19](#)），将最小和最大线性输出电压摆幅以最小和最大的线性输入电流范围为基准，可以优化总体最大动态范围。

$$I_{IN,max+} = \frac{(V_{OUT,max} - V_{OUT,0A})}{S} \quad (18)$$

$$I_{IN,max-} = \frac{(V_{OUT,0A} - V_{OUT,min})}{S} \quad (19)$$

其中

- $I_{IN,max+}$ 是最大线性可测量正输入电流。
- $I_{IN,max-}$ 是最大线性可测量负输入电流。
- S 是器件型号的灵敏度。
- $V_{OUT,0A}$ 是相应的零电流输出电压。

要确定线性输入电流测量范围，比如 TMCS1133A2A、TMCS1133B2A 和 TMCS1133C2A 等器件，它们均具有 50mV/A 的灵敏度，如 [器件比较](#) 表中所示。使用 5V 电源时，TMCS1133A2A 具有平衡的 $\pm 48A$ 双向线性电流测量范围，零电流输出基准电压 V_{REF} 大约为 2.5V，如 [图 8-1](#) 所示。使用 3.3V 电源时，TMCS1133B2A 具有平衡的 $\pm 31A$ 双向线性电流测量范围，零电流输出基准电压约为 1.65V。如果使用 5V 电源，TMCS1133B2A 的线性电流测量范围可以扩展到 -31A 至 +65A，如 [图 8-1](#) 所示。TMCS1133C2A 具有 0.33V 零电流基准电压，可用于测量单向电流。使用 3.3V 电源时，TMCS1133C2A 具有 -5A 至 +57A 的单向线性电流测量范围；使用 5V 电源时，该范围扩展为 -5A 至 +91.4A。

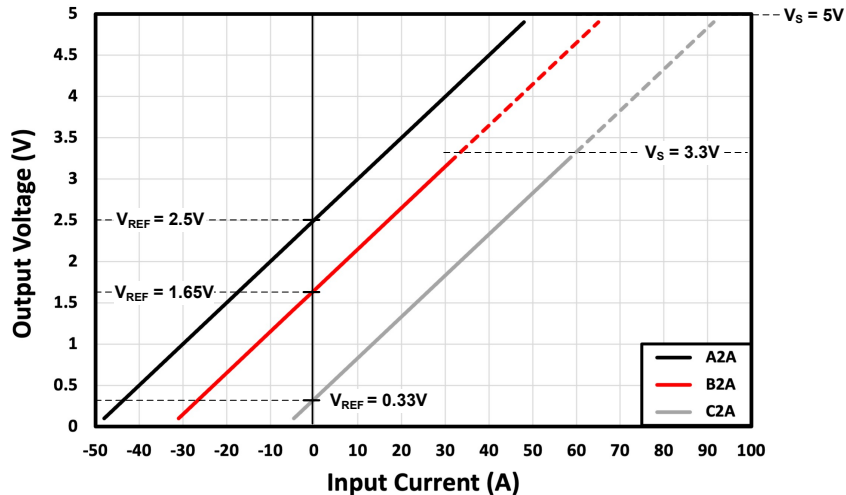


图 8-1. TMCS1133x2A 的输出电压与输入电流之间的关系

8.3.7 过流检测

除了快速精密模拟信号响应之外，TMCS1133 还提供快速的数字过流响应。过流检测 (OCD) 电路提供一个比较器输出，可用于触发警告或系统关断，以防止由短路、电机停转或其他系统状况引起的电流过大而可能造成的损坏。该快速数字响应可以在双向和单向器件上配置为在模拟测量范围内或模拟测量范围外跳闸。当设置为在模拟测量范围外触发时，该快速数字过流输出 $\overline{OC}$ 以及精密模拟输出 $VOUT$ 允许用户优化控制环路动态范围。

根据方程式 20 将外部电压 V_{OC} 施加到 VOC 引脚，可以设置期望的过电流阈值 I_{OC} 。

$$V_{OC} = \frac{S \times I_{OC}}{2.5} \quad (20)$$

其中

- S 是以 mV/A 为单位的器件灵敏度。
- I_{OC} 是所需的过流阈值。
- V_{OC} 是为设置过流阈值而施加的电压。

可以使用数模转换器 (DAC) 设置所需的过流阈值 I_{OC} ，也可以使用简单的外部电阻分压器电路（如图 8-2 所示）进行此设置。例如，要在双向 TMCS1133A3A 或 TMCS1133B3A 器件上将所需过流阈值设置为 $I_{OC} = \pm 50A$ ，或者在单向 TMCS1133C3A 器件上设置为 $I_{OC} = 50A$ ，应根据方程式 20 调整电阻 $R1$ 和 $R2$ 的大小以便向 VOC 引脚施加电压 $V_{OC} = 1.5V$ 。

其中

- TMCS1133A3A、TMCS1133B3A 和 TMCS1133C3A 器件灵敏度 $S = 75mV/A$ 。
- 所需过流阈值 $I_{OC} = 50A$ 。
- 施加的过流阈值电压 $V_{OC} = 1.5V$ 。

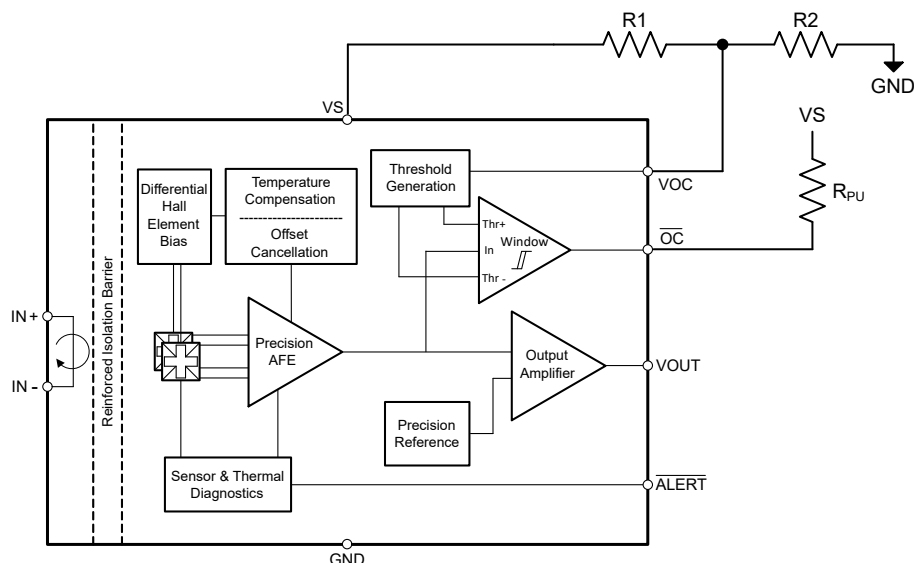


图 8-2. 用户可配置的过流阈值

图 8-3 将过流数字输出 $\overline{OC}$ 响应显示为低电平有效。当双向器件上的输入电流超过 $\pm I_{OC}$ 时，快速 $\overline{OC}$ 引脚会下拉至低电平。在 $\overline{OC}$ 引脚复位回到正常高电平状态之前，输入电流必须返回到 $\pm I_{OC}$ 范围内且超过滞后电流 I_{Hys} 。

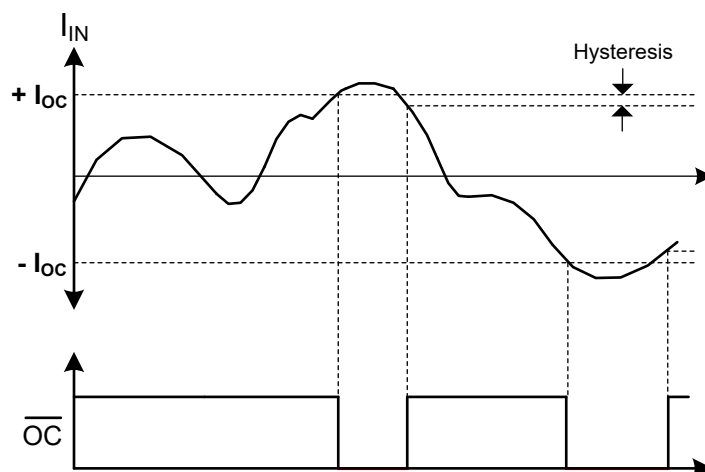


图 8-3. 过流检测图

8.3.8 传感器诊断

TMCS1133 中加入了内置自诊断功能，以便在运行条件可能使电流传感器测量无效时发出警告。受监控的两个关键条件是传感器温度和灵敏度。

热警报

高水平的输入电流会在 TMCS1133 内部产生过多的热量。当内部温度接近或超过允许的最大结温 165°C 时，就会出现热警报。

传感器警报

除了温度之外，还会在 TMCS1133 内部不断地监控传感器灵敏度和偏移量。如果霍尔传感器灵敏度或偏移量超出工厂设置的限制范围（这种情况不太可能发生），则会出现传感器警报。

可以对图 8-4 中所示的低电平有效 10kHz PWM 输出信号进行解码，以指示过热运行条件警告和传感器运行条件警告哪一个存在、两者都不存在或者两者都存在。

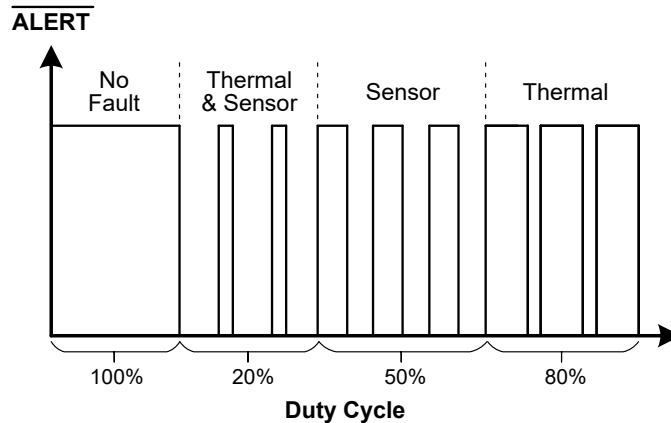


图 8-4. 传感器诊断波形

8.4 器件功能模式

8.4.1 断电行为

由于器件固有的电隔离，只要任何引脚都不超过[绝对最大额定值](#)表中的限值，几乎就不必考虑将器件断电。隔离电流输入和低压信号链可以在操作行为中解耦，因为只要不超过隔离栅能力，其中的任何一者都可以在另一者关闭的情况下通电。可以在隔离式输入仍连接到有源高压信号或系统时关闭低压电源。

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

TMCS1133 的主要特性集可在任何需要隔离式电流测量的应用中提供显著的优势。

- 电隔离提供高隔离工作电压和出色的输入电压瞬变抗扰度。
- 基于霍尔效应的测量简化了系统级解决方案，无需高压 (HV) 侧电源。
- 通过低阻抗导体的输入电流路径将功耗降至最低。
- 出色的精度和低温度漂移消除了对多点校准的需求，并且不会牺牲系统性能。
- 宽工作电源电压范围使单个器件能够在很宽的电压电平范围内工作。

这些优势提高了系统级性能，同时最大限度地降低了任何必须对隔离电流进行精密电流测量的应用的复杂性。以下部分详细说明了具体示例和设计要。

9.1.1 总误差计算示例

可以针对任意器件条件和电流电平计算总误差。考虑的误差源应包括以输入为基准的失调电流、电源抑制、输入共模抑制、灵敏度误差、非线性、以及任何外部场引起的误差。有些误差源是误差的重要驱动因素，而有些则对当前误差的影响不大，因此应以百分比形式比较每一个误差源。失调电压 ([方程式 21](#))、CMRR ([方程式 22](#))、PSRR ([方程式 23](#))，和外部场误差 ([方程式 24](#)) 均以输入为基准，因此将其除以实际输入电流 I_{IN} 即可计算出百分比误差。对于灵敏度误差和非线性误差的计算，可以使用 [电气特性](#) 表中明确指定的百分比限值。

$$e_{I_{OS}} = \frac{I_{OS}}{I_{IN}} = \frac{V_{OE}}{S \times I_{IN}} \quad (21)$$

$$e_{CMRR} = \frac{CMRR \times V_{CM}}{I_{IN}} \quad (22)$$

$$e_{PSRR} = \frac{PSRR \times (V_S - 3.3)}{I_{IN}} \quad (23)$$

$$e_{B_{EXT}} = \frac{B_{EXT} \times CMFR}{I_{IN}} \quad (24)$$

在计算整个温度范围内的误差贡献时，只有偏移量误差和灵敏度误差贡献显著变化。要确定整个温度范围内的偏移量误差，可以使用 [方程式 25](#) 来计算任何环境温度 T_A 下以输入为基准的总偏移量误差电流 I_{OS} 。

$$e_{I_{OS}, \Delta T} = \frac{V_{OE, 25^\circ C} + (V_{OE, drift} \times \Delta T)}{S \times I_{IN}} \quad (25)$$

其中

- $V_{OE, 25^\circ C}$ 是 $25^\circ C$ 时以输出为基准的偏移量误差。
- $V_{OE, drift}$ 是以输出为基准的温漂，以 $\mu V/^\circ C$ 为单位。
- ΔT 是相对于 $25^\circ C$ 的温度变化。
- S 是器件型号的灵敏度。

[电气特性](#) 表中规定了 $25^\circ C$ 时的灵敏度误差 ($e_{S, 25^\circ C}$)，以及灵敏度随温度变化的灵敏度热漂移 ($S_{drift, therm}$)，单位为 $ppm/^\circ C$ 。为了确定整个温度范围的灵敏度误差，可使用 [方程式 26](#) 来计算在 $-40^\circ C$ 和 $125^\circ C$ 之间的给定应用工作环境温度范围内任何环境温度 (T_A) 下的灵敏度误差。

$$e_{S, \Delta T} = e_{S, 25^{\circ}\text{C}} + (S_{\text{drift, therm}} \times \Delta T) \quad (26)$$

为了准确计算器件的总预期误差，必须参考工作条件来理解上述每个单独分量的贡献。为了考虑统计上不相关的各个误差源，请使用平方和根 (RSS) 误差计算公式来计算总误差。对于 TMCS1133，只有以输入为基准的失调电流 (I_{OS})、CMRR 和 PSRR 具有统计相关性。这些误差项合并到 RSS 计算公式中以反映该性质，如 [方程式 27](#) (对于室温) 和 [方程式 28](#) (对于给定的温度范围) 所示。通过使用适当的误差项规范，可以应用相同的方法来计算总误差的典型值。

$$e_{\text{RSS}} = \sqrt{(|e_{I_{OS}}| + |e_{\text{PSRR}}| + |e_{\text{CMRR}}|)^2 + e_{\text{Bext}}^2 + e_S^2 + e_{\text{NL}}^2} \quad (27)$$

$$e_{\text{RSS}, \Delta T} = \sqrt{(|e_{I_{OS}, \Delta T}| + |e_{\text{PSRR}}| + |e_{\text{CMRR}}|)^2 + e_{\text{Bext}}^2 + e_{S, \Delta T}^2 + e_{\text{NL}}^2} \quad (28)$$

总误差计算公式对实际输入电流有很强的依赖性；因此，应始终计算所需动态范围内的总误差。这些曲线在高电流电平下逐渐接近灵敏度和非线性误差，而在低电流电平下由于失调误差项与分母中的输入电流而接近无穷大。任何电流测量系统的关键品质因数都包括满量程电流下的总误差百分比，以及误差保持在某个关键水平以下的输入电流动态范围。[图 9-1](#) 显示了当 V_S 为 5V 时，在室温下和整个温度范围内，TMCS1133A2A 的 RSS 最大总误差为输入电流的函数。

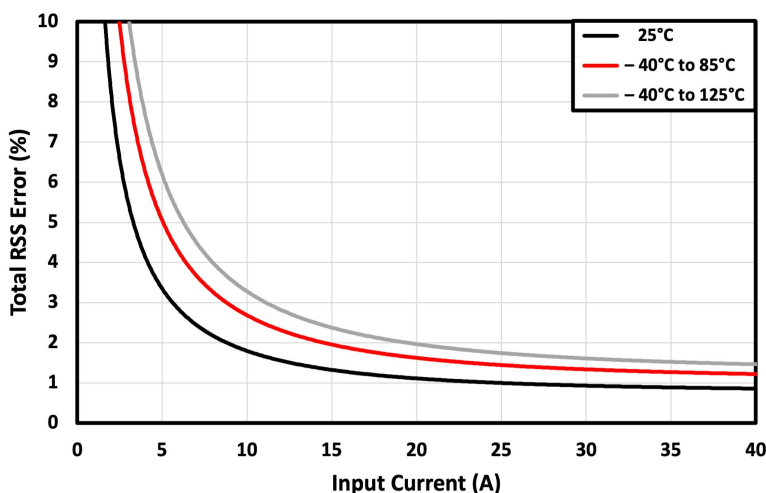


图 9-1. RSS 误差与输入电流间的关系

9.1.1.1 室温误差计算

对于室温总误差计算，应忽略温度和漂移规格。例如，假设有一个 TMCS1133B2A，其电源电压 (V_S) 为 3.1V，最坏情况共模偏移为 600V，可计算特定于工作点的参数。考虑由于 20A_{DC} 电流流经 10mm 外的相邻布线或导体而产生的外部 400μT 磁场导致的测量误差。器件在规定条件下的满量程电流范围略大于 ±31A，如 [器件比较](#) 表所示；因此，计算 25A 和 12.5A 时的误差会突出误差对输入电流电平的依赖性。[表 9-1](#) 展示了在指定的条件以及室温下的各个误差分量和 RSS 最大总误差计算。相对于其他误差，来自 CMRR、外部环境磁场 B_{EXT} 和非线性的额外误差可以忽略不计，通常可以从总误差计算中排除。

表 9-1. 总误差计算：室温示例

误差分量	符号	等式	误差， $I_{IN} = 25 \text{ A}$	误差， $I_{IN} = 12.5 \text{ A}$
输入失调电压误差	$e_{I_{OS}}$	$e_{I_{OS}} = \frac{I_{OS}}{I_{IN}} = \frac{V_{OE}}{S \times I_{IN}}$	0.64%	1.28%
PSRR 误差	e_{PSRR}	$e_{\text{PSRR}} = \frac{\text{PSRR} \times (V_S - 3.3)}{I_{IN}}$	0.06%	0.13%

表 9-1. 总误差计算：室温示例（续）

误差分量	符号	等式	误差， $I_{IN} = 25\text{ A}$	误差， $I_{IN} = 12.5\text{ A}$
CMRR 误差	e_{CMRR}	$e_{CMRR} = \frac{CMRR \times V_{CM}}{I_{IN}}$	0.01%	0.02%
外部磁场误差	e_{Bext}	$e_{Bext} = \frac{B_{EXT} \times CMFR}{I_{IN}}$	0.02%	0.03%
灵敏度误差	e_S	在 电气特性 中指定	0.75%	0.75%
非线性误差	e_{NL}	在 电气特性 中指定	0.10%	0.10%
RSS 总误差	e_{RSS}	$e_{RSS} = \sqrt{(e_{Ios} + e_{PSRR} + e_{CMRR})^2 + e_{Bext}^2 + e_S^2 + e_{NL}^2}$	1.04%	1.62%

9.1.1.2 整个温度范围内的误差计算

要计算任何特定温度范围内的总误差，应使用 [方程式 27](#) 和 [方程式 28](#) 来计算 RSS 最大总误差，这与室温示例类似。[室温误差计算](#) 中示例的条件已替换为下面的 [表 9-2](#) 中 -40°C 至 85°C 温度范围的相应公式和误差分量。

表 9-2. 总误差计算： -40°C 至 85°C 示例

误差分量	符号	等式	误差， $I_{IN} = 25\text{ A}$	误差， $I_{IN} = 12.5\text{ A}$
输入失调电压误差	$e_{Ios, \Delta T}$	$e_{Ios, \Delta T} = \frac{V_{OE, 25^{\circ}\text{C}} + (V_{OE, drift} \times \Delta T)}{S \times I_{IN}}$	0.98%	1.95%
PSRR 误差	e_{PSRR}	$e_{PSRR} = \frac{PSRR \times (V_S - 3.3)}{I_{IN}}$	0.06%	0.13%
CMRR 误差	e_{CMRR}	$e_{CMRR} = \frac{CMRR \times V_{CM}}{I_{IN}}$	0.01%	0.02%
外部磁场误差	e_{Bext}	$e_{Bext} = \frac{B_{EXT} \times CMFR}{I_{IN}}$	0.02%	0.03%
灵敏度误差	$e_{S, \Delta T}$	$e_{S, \Delta T} = e_{S, 25^{\circ}\text{C}} + (S_{drift, therm} \times \Delta T)$	1.05%	1.05%
非线性误差	e_{NL}	在 电气特性 中指定	0.10%	0.10%
RSS 总误差	$e_{RSS, \Delta T}$	$e_{RSS, \Delta T} = \sqrt{(e_{Ios, \Delta T} + e_{PSRR} + e_{CMRR})^2 + e_{Bext}^2 + e_{S, \Delta T}^2 + e_{NL}^2}$	1.49%	2.35%

9.2 典型应用

在许多应用中，电源必须从交流转换为直流后用于电路。为了提高功率传输效率，通常需要某种类型的受控功率因数校正 (PFC) 级。现代 PFC 级正在使用越来越快的电源开关，以减小总体尺寸并提高功率传输效率。通常，交流/直流转换器的 PFC 级直接连接到交流电网。PFC 级检测面临的一个主要挑战是，在电荷传输期间，电流传感器会遇到来自高压 (HV) 电网的大电压尖峰以及来自高速电源开关的高瞬态能量。TMCS1133 结构中固有的隔离功能可在 HV 电流检测节点和低压控制电路之间提供高级别的隔离，并具有高共模瞬态抗扰度 (CMTI)，因此有助于应对这些挑战。[图 9-2](#) 显示了 TMCS1133 在常见交流/直流转换器级中测量相电流的使用方法。

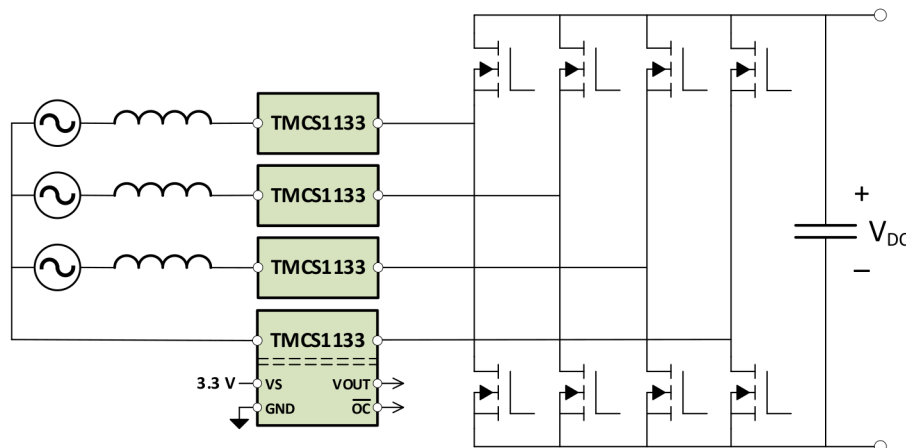


图 9-2. 交流/直流转换器电流检测

9.2.1 设计要求

对于三相电流检测应用，要确保在预期电流范围内提供线性检测，并确保器件处于工作热约束范围内。如有必要，可以使用单个 TMCS1133 来测量每个相位的电流。对于该示例，考虑 5V 的标称电源，但对于某些电源变化，至少要包含 4.9V。最大输出摆幅根据 TMCS1133 规格定义，并且需要 $\pm 20A$ 的满量程电流测量。

表 9-3. 示例应用设计要求

设计参数	示例值
$V_{S,nom}$	5V
$V_{S,min}$	4.9V
$I_{IN,FS}$	$\pm 20A$

9.2.2 详细设计过程

根据所需的测量电流电平和所选电源电压，使用 TMCS1133 的主要设计参数可实现出色的灵敏度。由于此内嵌式相电流应用示例中测量了正电流和负电流，因此请选择双向型号。TMCS1133 具有精密的内部基准电压，此电压可确定零电流输出电压 $V_{OUT,0A}$ 。TMCS1133AxX 型号的内部基准电压（零电流输出电压 $V_{OUT,0A} = 2.5V$ ）用于 5V 电源条件下的双向电流测量。TMCS1133BxX 型号的内部基准电压（零电流输出电压 $V_{OUT,0A} = 1.65V$ ）用于 3.3V 电源条件下的双向电流测量。可以进一步考虑噪声和与 ADC 的集成，但这超出了本应用设计示例的范围。TMCS1133 输出电压 V_{OUT} 与输入电流 I_{IN} 成正比，如方程式 29 所定义，输出失调电压由 $V_{OUT,0A}$ 设置。

$$V_{OUT} = (I_{IN} \times S) + V_{OUT,0A} \quad (29)$$

检测解决方案的设计侧重于最大限度地提高器件的灵敏度，同时在预期的电流输入范围内保持线性测量。TMCS1133 相对于电源的线性输出范围略小于相对于接地的线性输出范围；因此，可测量的电流范围始终受到相对于电源的正摆幅 $Swing_{VS}$ 的限制。若要弄清工作裕度，请考虑可能的最小电源电压 $V_{S,min}$ 。使用上述参数，最大线性输出电压 $V_{OUT,max}$ 由方程式 30 定义。

$$V_{OUT,max} = V_{S,min} - Swing_{VS} \quad (30)$$

表 9-4 显示了该示例应用的设计参数以及计算得出的输出范围。

表 9-4. 示例应用设计参数

设计参数	示例值
$Swing_{VS}$	0.1V
$V_{OUT,max}$	4.8V
$V_{OUT,0A}$	2.5V

表 9-4. 示例应用设计参数 (续)

设计参数	示例值
$V_{OUT,max} - V_{OUT,0A}$	2.3V

这些设计参数可产生 $\pm 2.3V$ ($V_{OUT,0A} = 2.5V$) 的最大正线性输出电压摆幅。要确定 TMCS1133 的哪个灵敏度型号能够更充分地利用该线性范围，请通过 [方程式 31](#) 计算双向电流 ($\pm I_{IN,max}$) 的最大电流范围。

$$I_{IN,max} = \frac{(V_{OUT,max} - V_{OUT,0A})}{S} \quad (31)$$

其中

- S 是相关 AxA 型号的灵敏度。

表 9-5 显示了具有相应灵敏度的 TMCS1133 的每个增益型号的此类计算。

表 9-5. 具有 2.3V 正输出摆幅的最大满量程电流范围

变体	灵敏度	$I_{IN,max}$
TMCS1133A1A	25 mV/A	$\pm 92A$
TMCS1133A2A	50mV/A	$\pm 46A$
TMCS1133A3A	75 mV/A	$\pm 30.6A$
TMCS1133A4A	100mV/A	$\pm 23A$
TMCS1133A5A	150 mV/A	$\pm 15.3A$

通常，选择可提供所需满量程电流范围的最高灵敏度型号。对于本示例中的设计参数，适合选择灵敏度为 0.1V/A 的 TMCS1133A4A，因为计算得出的最大线性可测量范围 $\pm 23A$ 足以满足所需的 $\pm 20A$ 满量程电流范围要求。

9.3 电源相关建议

TMCS1133 仅在低压隔离侧需要一个电源 (V_S)，该电源独立于隔离式电流输入来为模拟电路供电。 V_S 决定了模拟输出 V_{OUT} 的满量程输出范围，可以提供在 3V 和 5.5V 之间的任何电压。为了滤除电源路径中的噪声，应在 V_S 和 GND 引脚之间放置一个容值为 0.1 μF 的低 ESR 去耦电容器，其位置应尽可能靠近器件的电源和接地引脚。为了补偿高噪声或高阻抗电源，应增加更多去耦电容。

TMCS1133 电源 V_S 可以独立于流过输入的电流进行定序。然而，在 V_S 达到建议的工作电压与模拟输出有效之间存在 25ms 延迟 (典型值)。在该延迟内， V_{OUT} 从高阻抗状态转换为主动驱动状态，在此期间，输出电压可在 GND 和 V_S 之间转换。如果必须避免这种行为，则应在施加输入电流之前为 V_S 提供超过 25ms 的稳定电源电压。

9.4 布局

9.4.1 布局指南

TMCS1133 可以在 [TMCS1133xEVM](#) 上提供持续电流处理能力，该评估模块使用 4oz 覆铜平面。这种电流能力从根本上受到最大器件结温和热环境的限制，主要是 PCB 布局和设计。为了最大限度地提高器件的电流处理能力和热稳定性，请注意 PCB 布局 and 结构以优化热性能。在 [TMCS1133xEVM](#) 的设计和构造之外，因为到周围环境的热传递更高，所以努力提升热性能可以提高持续电流能力。提高 PCB 热性能的要点包括：

- 针对输入电流路径以及隔离的电源平面和信号使用大型铜平面。
- 使用较重的铜 PCB 结构。
- 通过分布在隔开的电流输入周围的散热过孔进行散热。
- 在 PCB 表面提供气流。

9.4.2 布局示例

图 9-3 中显示的示例布局来自 [TMCS1133xEVM 用户指南](#)。器件性能针对该布局的热和磁特性，提供从终端连接器到器件输入引脚的最佳电流，同时大型铜平面增强了热性能。

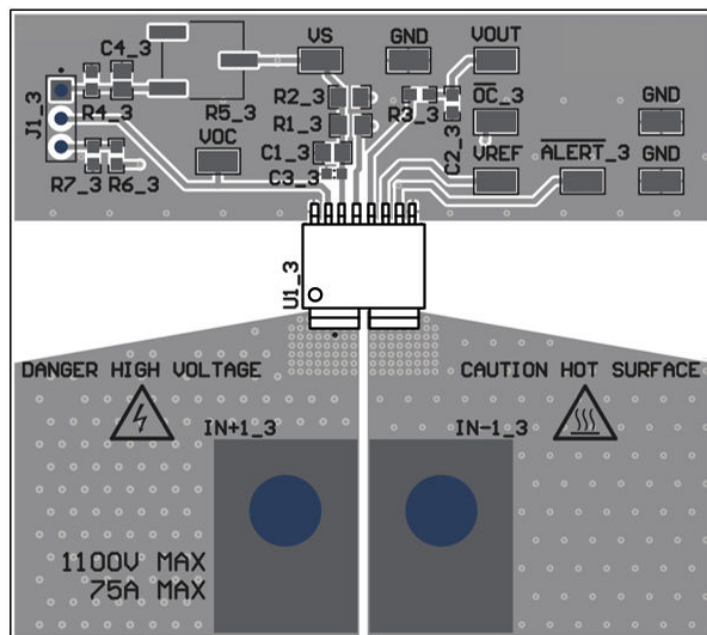


图 9-3. 建议的电路板布局布线

10 器件和文档支持

10.1 器件支持

10.1.1 开发支持

要获得开发工具支持，请参阅以下文档：

- [TMCS1133xEVM](#)

10.2 文档支持

10.2.1 相关文档

相关文档如下：

- 德州仪器 (TI)，[TMCS1133xEVM 用户指南](#)
- 德州仪器 (TI)，[隔离相关术语](#)

10.3 接收文档更新通知

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

10.4 支持资源

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

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

10.5 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

10.6 静电放电警告



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

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

10.7 术语表

TI 术语表

本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

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

日期	修订版本	说明
October 2023	*	初始发行版

12 机械、封装和可订购信息

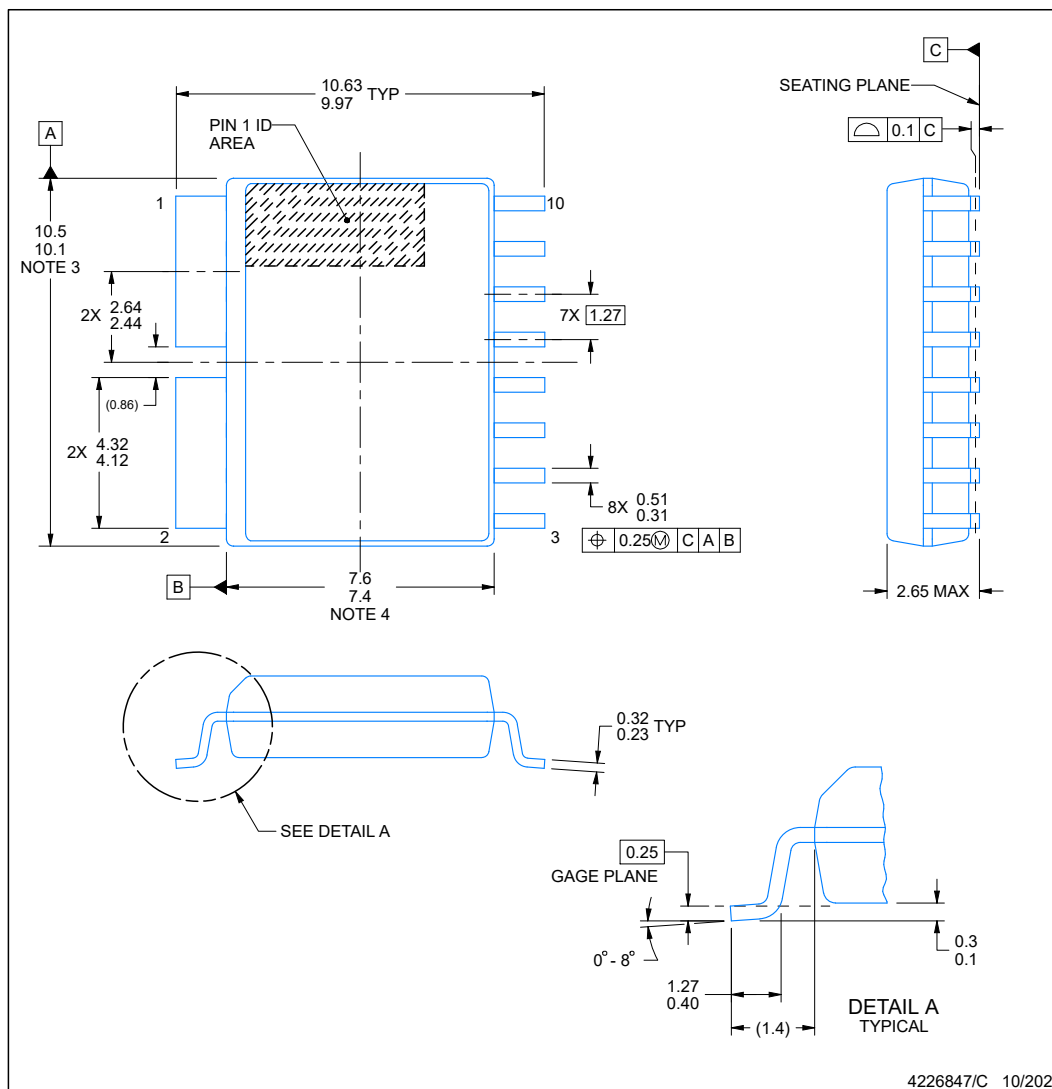
下述页面包含机械、封装和订购信息。这些信息是指定器件可用的最新数据。数据如有变更，恕不另行通知，且不会对此文档进行修订。有关此数据表的浏览器版本，请查阅左侧的导航栏。

PACKAGE OUTLINE

DVG0010A

SOIC - 2.65 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



NOTES:

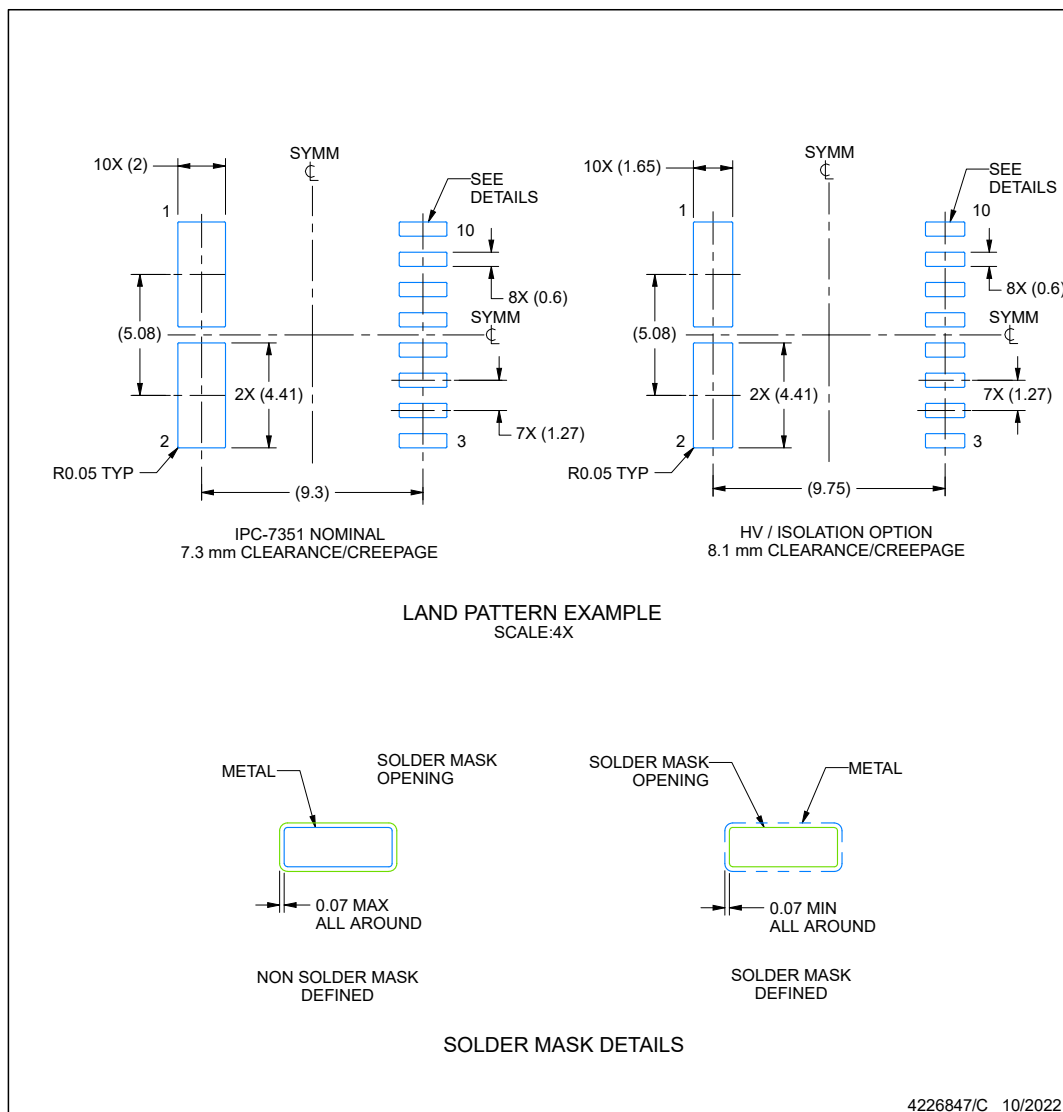
1. All linear dimensions are in millimeters. Dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. This dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.15 mm, per side.
4. This dimension does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.25 mm, per side.
5. Reference JEDEC registration MS-013.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

DVG0010A

SOIC - 2.65 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



NOTES: (continued)

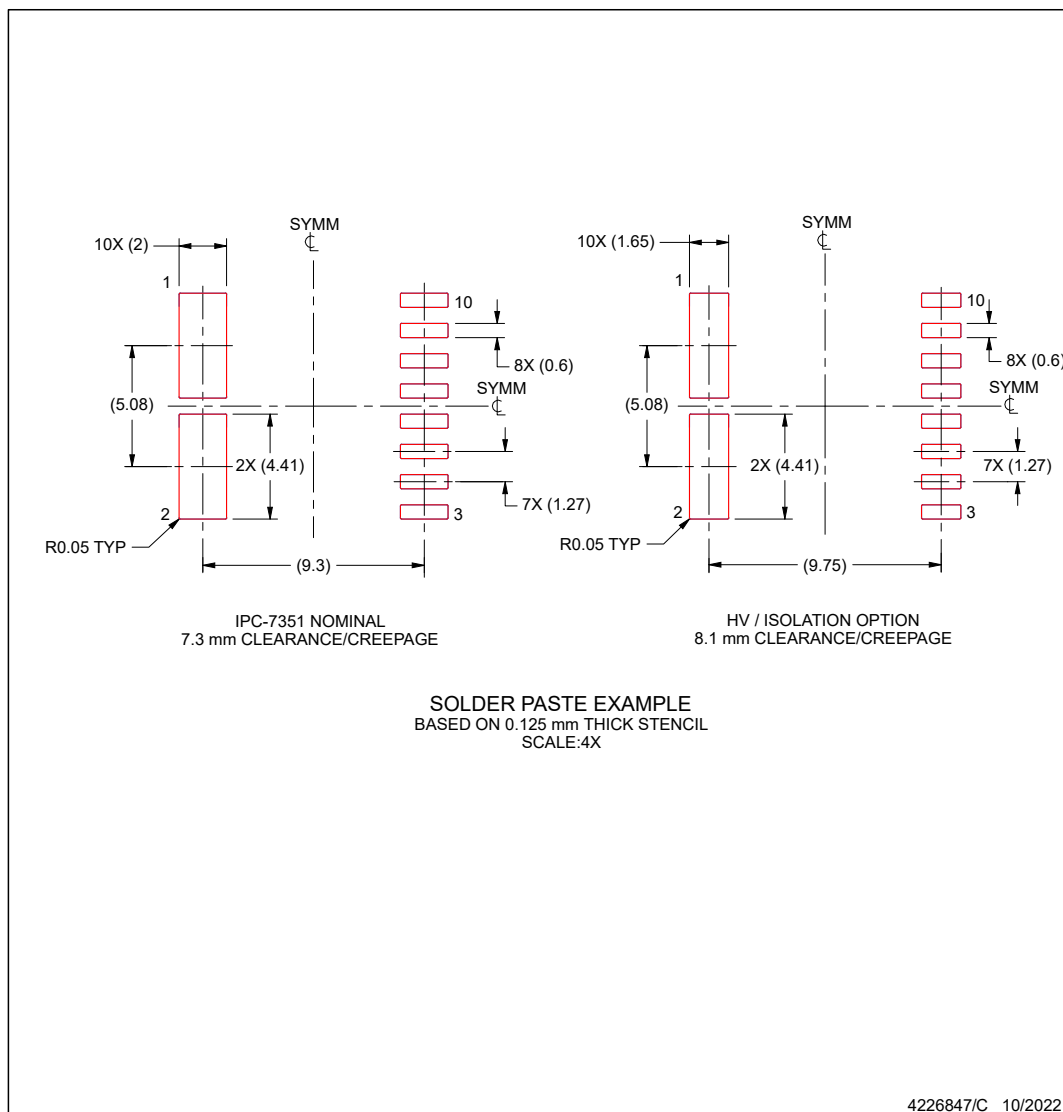
6. Publication IPC-7351 may have alternate designs.
7. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.

EXAMPLE STENCIL DESIGN

DVG0010A

SOIC - 2.65 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



NOTES: (continued)

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

12.1 封装选项附录

封装信息

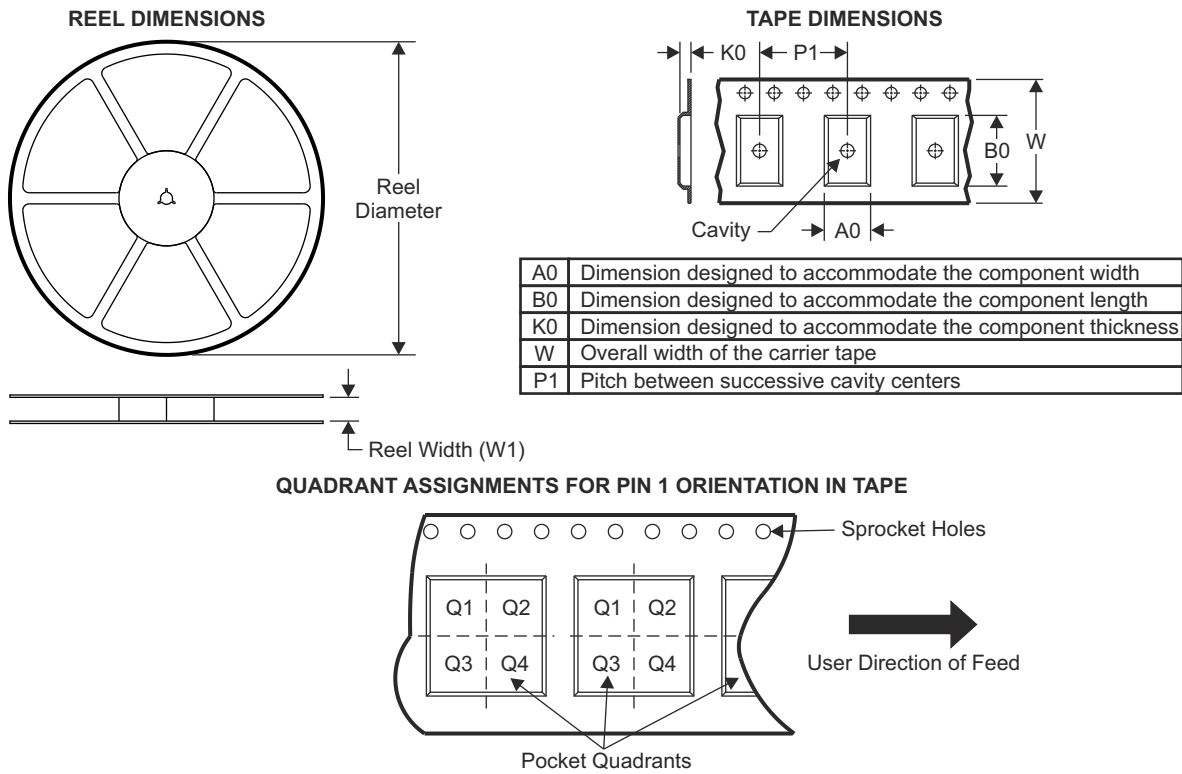
可订购器件	状态 ⁽¹⁾	封装类型	封装图	引脚	包装数量	环保计划 ⁽²⁾	铅/焊球涂层 ⁽⁶⁾	MSL 峰值温度 ⁽³⁾	工作温度 (°C)	器件标记 ^{(4) (5)}
PMCS1133A1A QDVGR	正在供货	SOIC	DVG	10	2000	RoHS 和绿色环保	SN	Level-2-260C-1 YEAR	-40 至 125	PMCS1133A1
PMCS1133A2A QDVGR	正在供货	SOIC	DVG	10	2000	RoHS 和绿色环保	SN	Level-2-260C-1 YEAR	-40 至 125	PMCS1133A2
PMCS1133B1A QDVGR	正在供货	SOIC	DVG	10	2000	RoHS 和绿色环保	SN	Level-2-260C-1 YEAR	-40 至 125	PMCS1133B1
PMCS1133B2A QDVGR	正在供货	SOIC	DVG	10	2000	RoHS 和绿色环保	SN	Level-2-260C-1 YEAR	-40 至 125	PMCS1133B2

- (1) 销售状态值定义如下：
正在供货：建议用于新设计的产品器件。
限期购买：TI 已宣布器件即将停产，但仍在购买期限内。
NRND：不建议用于新设计。为支持现有客户，器件仍在生产，但 TI 不建议在新设计中使用此器件。
PRE_PROD：未发布的器件，尚未投产，未向大众市场供货，也未在网络上供应，样片不可用。
预发布：器件已发布，但未投产。可能提供样片，也可能无法提供样片。
已停产：TI 已停止生产该器件。
- (2) 环保计划 - 规划的环保分级包括：无铅 (RoHS)，无铅 (RoHS 豁免) 或绿色 (RoHS，无镉/溴) - 如需了解最新供货信息及更多产品内容详情，请访问 www.ti.com.cn/productcontent。
待定：无铅/绿色转换计划尚未确定。
无铅 (RoHS)：TI 所说的“无铅”或“无 Pb”是指半导体产品符合针对所有 6 种物质的现行 RoHS 要求，包括要求铅的重量不超过同质材料总重量的 0.1%。因在设计时就考虑到了高温焊接要求，因此 TI 的无铅产品适用于指定的无铅作业。
无铅 (RoHS 豁免)：该元件在以下两种情况下可享受 RoHS 豁免：1) 芯片和封装之间使用铅基倒装芯片焊接凸点；2) 芯片和引线框之间使用铅基芯片粘合剂。否则，元件将根据上述规定视为无铅 (符合 RoHS)。
绿色 (RoHS，无镉/溴)：TI 将“绿色”定义为无铅 (符合 RoHS 标准)、无镉 (Cd) 和无镉 (Sb) 阻燃剂 (Br 或 Sb 在均质材料中的质量不超过总质量的 0.1%)。
- (3) MSL，峰值温度-- 湿敏等级额定值 (符合 JEDEC 工业标准分级) 和峰值焊接温度。
- (4) 器件上可能还有与徽标、批次跟踪代码信息或环境分类相关的其他标志。
- (5) 括号内将包含多个器件标识。不过，器件上仅显示括号中以“~”隔开的其中一个器件标识。如果某一行缩进，说明该行续接上一行，这两行合在一起表示该器件的完整器件标识。
- (6) 铅/焊球涂层 - 可订购器件可能有多种镀层材料选项。各镀层选项用垂直线隔开。如果铅/焊球镀层值超出最大列宽，则会折为两行。

重要信息和免责声明：本页面上提供的信息代表 TI 在提供该信息之日的认知和观点。TI 的认知和观点基于第三方提供的信息，TI 不对此类信息的正确性做任何声明或保证。TI 正在致力于更好地整合第三方信息。TI 已经并将继续采取合理的措施来提供有代表性且准确的信息，但是可能尚未对引入的原料和化学制品进行破坏性测试或化学分析。TI 和 TI 供应商认为某些信息属于专有信息，因此可能不会公布其 CAS 编号及其它受限制的信息。

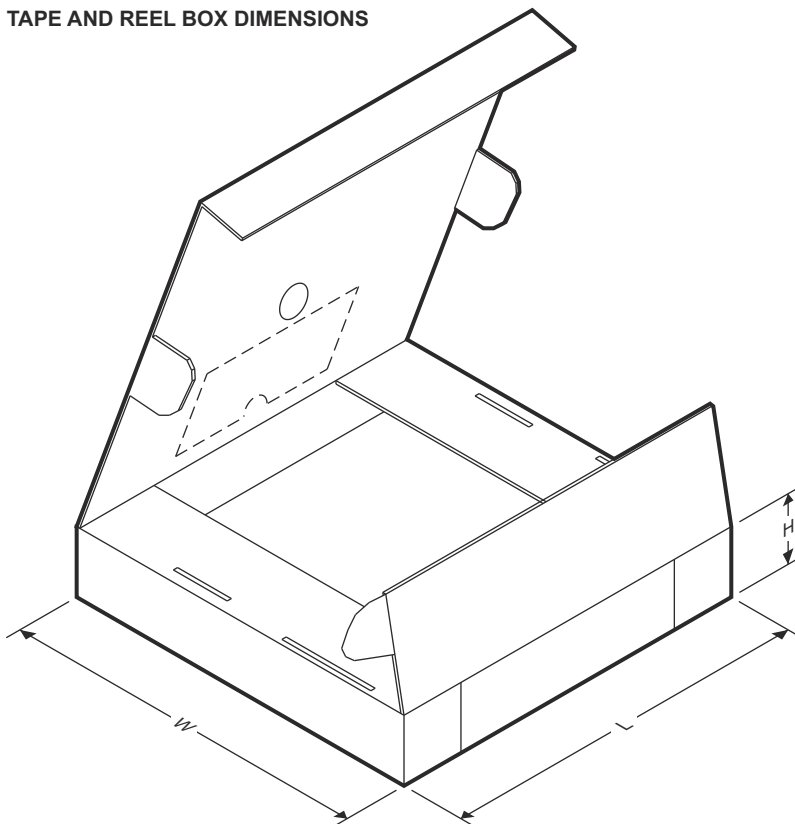
在任何情况下，TI 对由此类信息产生的责任决不超过本文件中发布的 TI 每年销售给客户的 TI 器件总购买价。

12.2 卷带封装信息



器件	封装类型	封装图	引脚	SPQ	卷带直径 (mm)	卷带宽度 W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 象限
PMCS1133A1AQDVGR	SOIC	DVG	10	2000	330	16.4	10.75	10.7	2.7	12	16	Q1
PMCS1133A2AQDVGR	SOIC	DVG	10	2000	330	16.4	10.75	10.7	2.7	12	16	Q1
PMCS1133B1AQDVGR	SOIC	DVG	10	2000	330	16.4	10.75	10.7	2.7	12	16	Q1
PMCS1133B2AQDVGR	SOIC	DVG	10	2000	330	16.4	10.75	10.7	2.7	12	16	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



器件	封装类型	封装图	引脚	SPQ	长度 (mm)	宽度 (mm)	高度 (mm)
PMCS1133A1AQDVGR	SOIC	DVG	10	2000	350	350	43
PMCS1133A2AQDVGR	SOIC	DVG	10	2000	350	350	43
PMCS1133B1AQDVGR	SOIC	DVG	10	2000	350	350	43
PMCS1133B2AQDVGR	SOIC	DVG	10	2000	350	350	43

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead finish/ Ball material (6)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4/5)	Samples
PMCS1133A1AQDVGR	ACTIVE	SOIC	DVG	10	2000	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125		Samples
PMCS1133A2AQDVGR	ACTIVE	SOIC	DVG	10	2000	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125		Samples
PMCS1133B1AQDVGR	ACTIVE	SOIC	DVG	10	2000	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125		Samples
PMCS1133B2AQDVGR	ACTIVE	SOIC	DVG	10	2000	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125		Samples

⁽¹⁾ The marketing status values are defined as follows:

ACTIVE: Product device recommended for new designs.

LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

OBSELETE: TI has discontinued the production of the device.

⁽²⁾ **RoHS:** TI defines "RoHS" to mean semiconductor products that are compliant with the current EU RoHS requirements for all 10 RoHS substances, including the requirement that RoHS substance do not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, "RoHS" products are suitable for use in specified lead-free processes. TI may reference these types of products as "Pb-Free".

RoHS Exempt: TI defines "RoHS Exempt" to mean products that contain lead but are compliant with EU RoHS pursuant to a specific EU RoHS exemption.

Green: TI defines "Green" to mean the content of Chlorine (Cl) and Bromine (Br) based flame retardants meet JS709B low halogen requirements of <=1000ppm threshold. Antimony trioxide based flame retardants must also meet the <=1000ppm threshold requirement.

⁽³⁾ MSL, Peak Temp. - The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

⁽⁴⁾ There may be additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category on the device.

⁽⁵⁾ Multiple Device Markings will be inside parentheses. Only one Device Marking contained in parentheses and separated by a "--" will appear on a device. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire Device Marking for that device.

⁽⁶⁾ Lead finish/Ball material - Orderable Devices 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.

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.

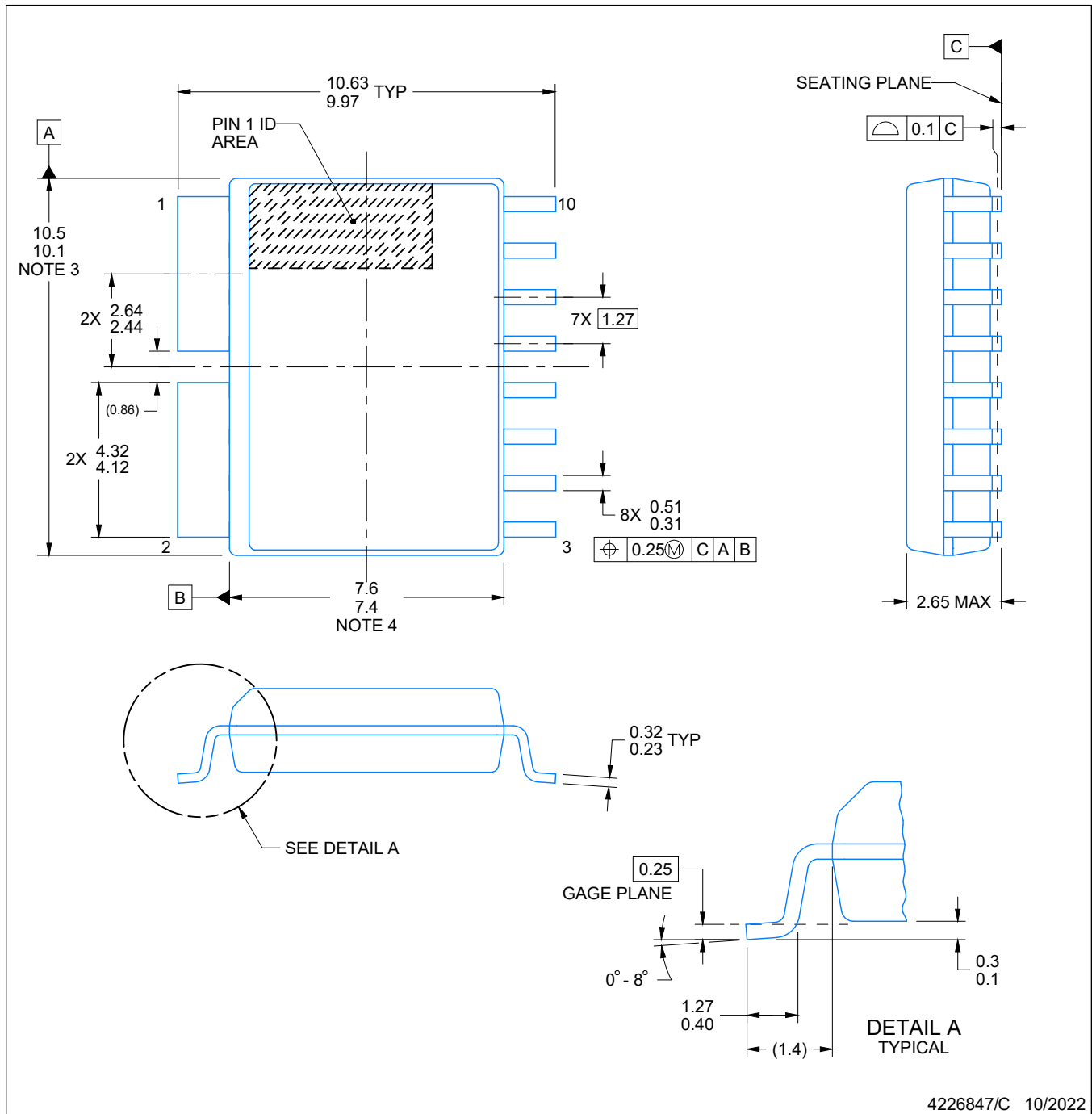
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

PACKAGE OUTLINE

DVG0010A

SOIC - 2.65 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



4226847/C 10/2022

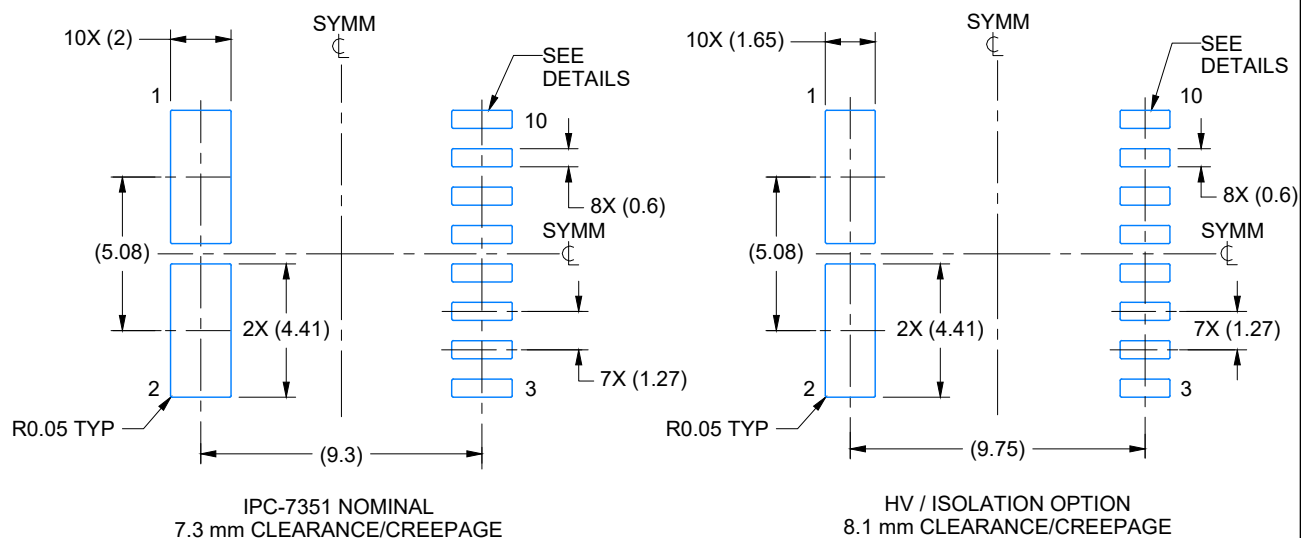
NOTES:

1. All linear dimensions are in millimeters. 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. This dimension does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.25 mm, per side.
5. Reference JEDEC registration MS-013.

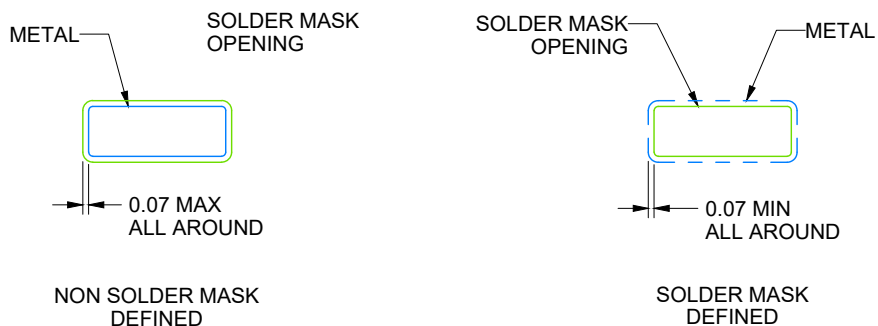
DVG0010A

SOIC - 2.65 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



LAND PATTERN EXAMPLE
SCALE:4X



SOLDER MASK DETAILS

4226847/C 10/2022

NOTES: (continued)

6. Publication IPC-7351 may have alternate designs.

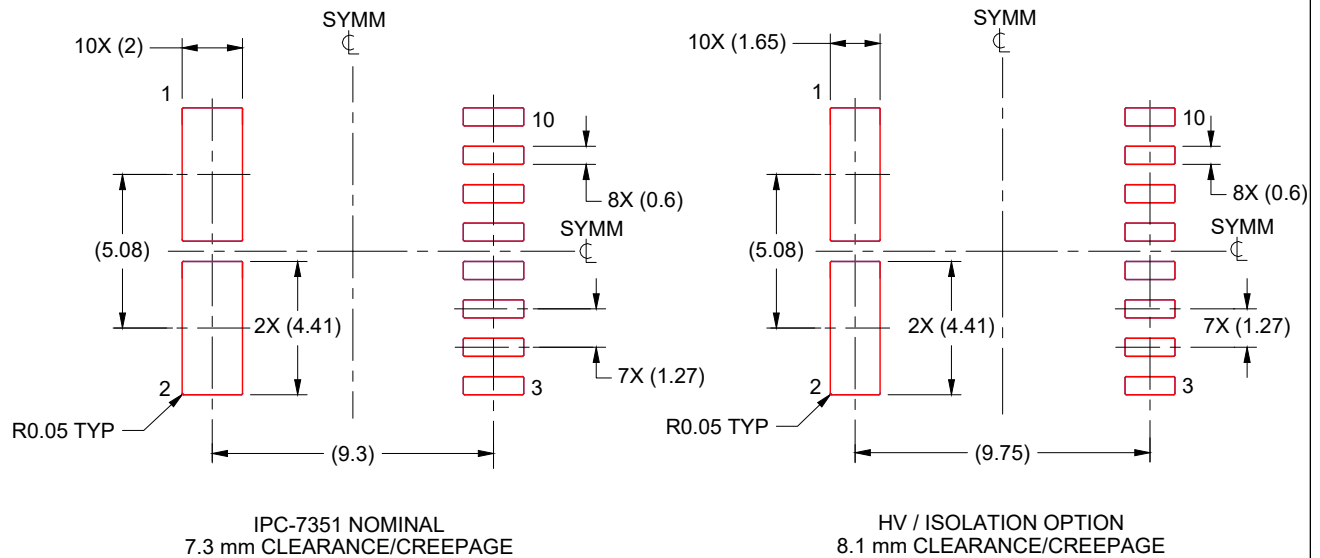
7. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.

EXAMPLE STENCIL DESIGN

DVG0010A

SOIC - 2.65 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL
SCALE:4X

4226847/C 10/2022

NOTES: (continued)

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

重要声明和免责声明

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

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司