AMC0386 具有外部时钟的高压输入、隔离式精密 Δ-Σ 调制器

1 特性

- 集成高压电阻分压器，无需外部电阻器即可直接进行交流或直流电压检测
- 在整个温度和寿命范围内，无需系统级校准即可实现优于 1% 的精度
- 电源电压范围：
  - 高侧 (AVDD)：3.0V 至 5.5V
  - 低侧 (DVDD)：2.7V 至 5.5V
- 低直流误差：
  - 失调电压误差：±0.9mV（最大值）
  - 温漂：±7μV/°C（最大值）
  - 衰减误差：±0.25%（最大值）
  - 衰减漂移：±30ppm/°C（最大值）
- 高 CMTI：150V/ns（最小值）
- 高侧电源缺失检测
- 低 EMI：符合 CISPR-11 和 CISPR-25 的限值要求
- 可用的输入选项：
  - AMC0386M06：±600V，10MΩ
  - AMC0386M10：±1000V，12.5MΩ
- 安全相关认证：
  - 符合 DIN EN IEC 60747-17 (VDE 0884-17) 的 $7000V_{PK}$ 增强型隔离
  - $5000V_{RMS}$ 隔离，符合 UL1577 标准且持续时长为 1 分钟
- 可在更大的工业级温度范围内正常工作：-40°C 至 +125°C

2 应用

- 服务器电源单元 (PSU)
- 能量存储系统 (ESS)
- 光伏逆变器
- 电动汽车充电站

3 说明

AMC0386 是一款电隔离精密 Δ-Σ 调制器，具有 高压、高阻抗输入和外部时钟。输入专为直接连接到高压信号源而设计。

隔离栅将在不同共模电压电平下运行的系统器件隔开。该隔离栅抗电磁干扰性能极强，并经过认证，可提供高达 $5kV_{RMS}$ 的增强型隔离 (60s)。

AMC0386 的输出位流与外部时钟同步。结合 sinc3、OSR 256 滤波器，该器件可在 39kSPS 的采样率下实现 14.8 有效位分辨率或 89dB 的动态范围。

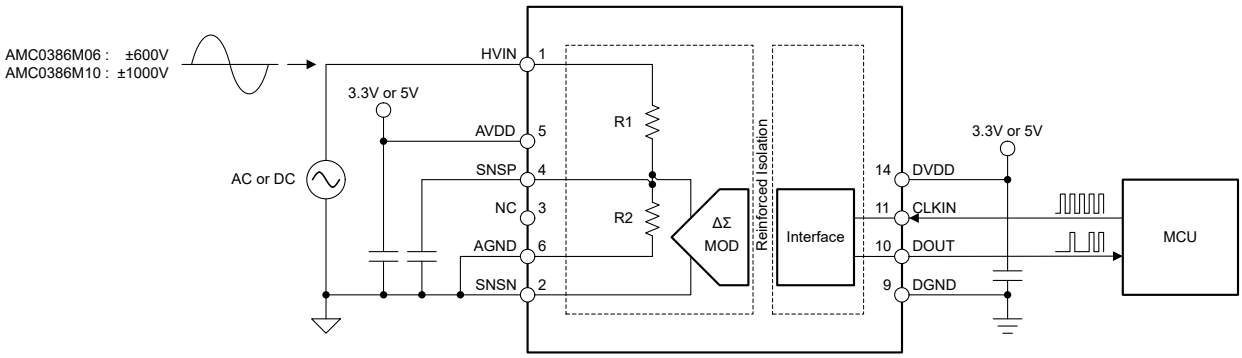
凭借集成电阻分压器、出色的直流精度、低温漂和高稳定性，AMC0386 无需系统级校准，即可在整个寿命和温度范围内实现优于 1% 的精度。

AMC0386 采用 15 引脚 0.65mm 间距的 SSOP 封装，其额定工作温度范围为 –40°C 至 +125°C。

封装信息

器件型号	封装(1)	封装尺寸(2)
AMC0386	DFX（SSOP，15）	12.8mm × 10.3mm

(1) 如需更多信息，请参阅*机械、封装和可订购信息*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

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
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.... 6
6.4 热性能信息.... 7
6.5 功率等级.... 7
6.6 绝缘规格.... 8
6.7 安全相关认证.... 9
6.8 安全限值.... 9
6.9 电气特性.... 10
6.10 开关特性.... 12
6.11 时序图.... 12
6.12 绝缘特性曲线.... 13
6.13 典型特性.... 14
7 详细说明.... 17
7.1 概述.... 17
7.2 功能方框图.... 17
7.3 特性说明.... 18
7.4 器件功能模式.... 22
8 应用和实施.... 23
8.1 应用信息.... 23
8.2 典型应用.... 23
8.3 最佳设计实践.... 26
8.4 电源相关建议.... 26
8.5 布局.... 27
9 器件和文档支持.... 28
9.1 文档支持.... 28
9.2 接收文档更新通知.... 28
9.3 支持资源.... 28
9.4 商标.... 28
9.5 静电放电警告.... 28
9.6 术语表.... 28
10 修订历史记录.... 28
11 机械、封装和可订购信息.... 28
11.1 机械数据.... 29

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

4 器件比较表

表 4-1. 器件比较

器件	R1[(1)]	R2[(1)]	分压器 分压比	线性输入 范围	削波 电压	绝对最大 输入电压
AMC0386M06[(2)]	10MΩ	16.6kΩ	601:1	±600V	±769V	±900V
AMC0386M10	12.5MΩ	12.5kΩ	1001:1	±1000V	±1281V	±1500V

(1) R1 和 R2 是近似的电阻值，不能准确反映分压器分压比。
(2) 产品预发布

5 引脚配置和功能

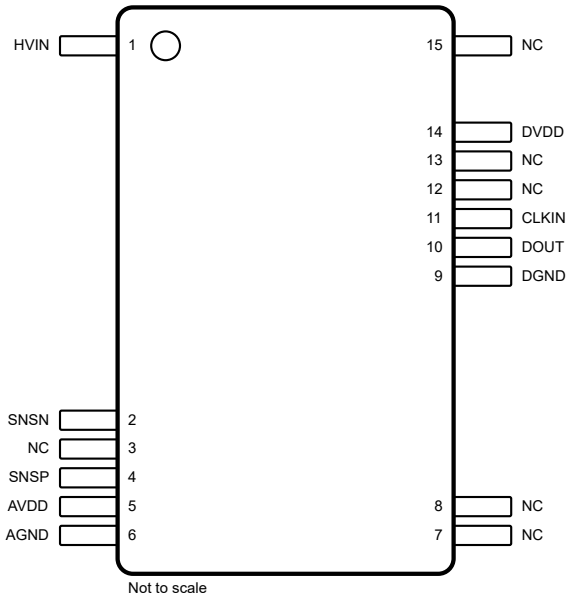


图 5-1. DWV 和 D 封装，15 引脚 SOIC（顶视图）

表 5-1. 引脚功能

引脚		类型	说明
编号	名称		
1	HVIN	模拟输入	高压输入
2	SNSN	模拟输入	调制器的接地检测引脚和反相模拟输入。连接至 AGND。
3、7、8、12、13、15	NC	不适用	无内部连接。引脚可连接至任何电势或保持悬空。
4	SNSP	模拟 I/O	调制器的电压检测引脚和同相模拟输入。连接到外部滤波电容器或保持悬空。
5	AVDD	高侧电源	模拟（高侧）电源[(1)]
6	AGND	高侧接地端	模拟（高侧）地
9	DGND	低侧接地端	数字（低侧）地
10	DOUT	数字输出	调制器数据输出
11	CLKIN	数字输入	具有内部 1.5MΩ 下拉电阻器的调制器时钟输入
14	DVDD	低侧电源	数字（低侧）电源[(1)]

(1) 有关电源去耦方面的建议，请参阅 *电源相关建议* 部分。

Copyright © 2025 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
电源电压	高侧，AVDD 至 AGND	-0.3	6.5	V
	低侧，DVDD 至 DGND	-0.3	6.5	
模拟输入电压	HVIN 至 AGND，AMC0386M06	-900	900	V
	HVIN 至 AGND，AMC0386M10	-1500	1500	
模拟输入电压	SNSP、SNSN	AGND – 1.5	AVDD + 0.5	V
数字输入电压	CLKIN	DGND – 0.5	DVDD + 0.5	V
数字输出电压	DOUT	DGND – 0.5	DVDD + 0.5	V
输入电流	连续，除电源和 HVIN 引脚外的任何引脚	-10	10	mA
温度	结温，T_J		150	°C
	贮存温度，T_{stg}	-65	150	

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

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	V
		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 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。

6.3 建议运行条件

在工作环境温度范围内测得（除非另有说明）

			最小值	标称值	最大值	单位
电源						
AVDD	高侧电源	AVDD 至 AGND	3	5.0	5.5	V
DVDD	低侧电源	DVDD 至 DGND	2.7	3.3	5.5	V
模拟输入						
$V_{Clipping}$	削波输出前的标称输入电压	以 SNSP 为基准	-1.25		1.25	V
		以 HVIN 为基准，AMC0386M06	-751		751	
		以 HVIN 为基准，AMC0386M10	-1251		1251	
V_{FSR}	额定线性输入电压	以 SNSP 为基准	-1		1	V
		以 HVIN 为基准，AMC0386M06	-600		600	
		以 HVIN 为基准，AMC0386M10	-1000		1000	
V_{IO}	数字输入/输出电压		0		DVDD	V
f_{CLKIN}	输入时钟频率		5	10	11	MHz
t_{HIGH}	输入时钟高电平时间		40	50	110	ns
t_{LOW}	输入时钟低电平时间		40	50	110	ns
温度范围						
T_A	额定环境温度		-40		125	°C

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6.4 热性能信息

热指标[1]		DFX (SSOP) 15 引脚	单位
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻	86.9	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳（顶部）热阻	36.7	°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	43.5	°C/W
Ψ_{JT}	结至顶部特征参数	17	°C/W
Ψ_{JB}	结至电路板特征参数	41.8	°C/W
$R_{\theta JC(bot)}$	结至外壳（底部）热阻	不适用	°C/W

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

6.5 功率等级

参数		测试条件	值	单位
P_D	最大功耗（两侧）	AVDD = DVDD = 5.5V，V_{HVIN} = $V_{Clipping}$ AMC0386M06	150	mW
		AVDD = DVDD = 5.5V，V_{HVIN} = $V_{Clipping}$ AMC0386M10	219	
P_{D1}	最大功耗（高侧）	AVDD = 5.5V，V_{HVIN} = $V_{Clipping}$ AMC0386M06	122	mW
		AVDD = 5.5V，V_{HVIN} = $V_{Clipping}$ AMC0386M10	191	
P_{D2}	最大功耗（低侧）	DVDD = 5.5V	28	mW

6.6 绝缘规格

在工作环境温度范围内测得（除非另有说明）

参数		测试条件	值	单位
通用				
CLR	外部间隙(1)	引脚间的最短空间距离	≥ 8	mm
CPG	外部爬电距离(1)	引脚间的最短封装表面距离	≥ 9.2	mm
DTI	绝缘穿透距离	双重绝缘层的最小内部缝隙（内部间隙）	≥ 15.4	μm
CTI	相对漏电起痕指数	DIN EN 60112 (VDE 0303-11)；IEC 60112	≥ 600	V
	材料组	符合 IEC 60664-1	I	
	过压类别（符合 IEC 60664-1）	额定市电电压 ≤ 600V_{RMS}	I-III	
		额定市电电压 ≤ 1000V_{RMS}	I-II	
DIN EN IEC 60747-17 (VDE 0884-17)(2)				
V_{IORM}	最大重复峰值隔离电压	在交流电压下	2120	V_{PK}
V_{IOWM}	最大额定隔离工作电压	在交流电压下（正弦波）	1500	V_{RMS}
		在直流电压下	2120	V_{DC}
V_{IOTM}	最大瞬态隔离电压	$V_{TEST} = V_{IOTM}$，t = 60s（鉴定测试）， $V_{TEST} = 1.2 \times V_{IOTM}$，t = 1s（100% 生产测试）	7000	V_{PK}
V_{IMP}	最大脉冲电压(3)	在空气中测试，符合 IEC 62368-1 标准的 1.2/50μs 波形	7700	V_{PK}
V_{IOSM}	最大浪涌隔离电压(4)	在油中进行测试（鉴定测试）， 符合 IEC 62368-1 的 1.2/50μs 波形	10000	V_{PK}
q_{pd}	视在电荷(5)	方法 a，输入/输出安全测试子组 2 和 3 后， $V_{pd(ini)} = V_{IOTM}$，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， $V_{pd(ini)} = V_{IOTM}$，t_{ini} = 60s，$V_{pd(m)} = 1.6 \times V_{IORM}$，$t_m$ = 10s	≤ 5	
		方法 b1，预处理（类型测试）和常规测试， $V_{pd(ini)} = 1.2 \times V_{IOTM}$，$t_{ini}$ = 1s，$V_{pd(m)} = 1.875 \times V_{IORM}$，$t_m$ = 1s	≤ 5	
		方法 b2，常规测试（100% 生产）(7) $V_{pd(ini)} = V_{pd(m)} = 1.2 \times V_{IOTM}$，$t_{ini} = t_m$ = 1s	≤ 5	
C_{IO}	势垒电容，输入至输出(6)	V_{IO} = 0.5V_{PP} (1MHz)	≅1.5	pF
R_{IO}	绝缘电阻，输入至输出(6)	V_{IO} = 500V (T_A = 25°C)	> 10^{12}	Ω
		V_{IO} = 500V (100°C ≤ T_A ≤ 125°C)	> 10^{11}	
		V_{IO} = 500V，T_S = 150°C	> 10^9	
	污染等级		2	
	气候类别		55/125/21	
UL1577				
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}

(1) 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。务必使爬电距离和电气间隙一直符合电路板设计的要求，以确保在印刷电路板 (PCB) 上安装的隔离器焊盘不会缩短这一距离。在某些情况下，PCB 上的爬电距离和电气间隙相等。在 PCB 上插入坡口、肋或两者等技术可帮助提高这些规格。
(2) 此耦合器仅适用于安全额定值范围内的*安全电气绝缘*。应借助合适的保护电路来确保符合安全等级。
(3) 在空气中进行测试，以确定封装的浪涌抗扰度。
(4) 在油中进行测试，以确定隔离栅的固有浪涌抗扰度。
(5) 视在电荷是局部放电 (pd) 引起的电气放电。
(6) 将隔离栅每一侧的所有引脚都连在一起，构成一个双引脚器件。
(7) 生产中使用方法 b1 或 b2。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6.7 安全相关认证

VDE	UL
DIN EN IEC 60747-17 (VDE 0884-17)、 EN IEC 60747-17、 DIN EN IEC 62368-1 (VDE 0868-1)、 EN IEC 62368-1、 IEC 62368-1 条款：5.4.3；5.4.4.4；5.4.9	根据 1577 元件认证和 CSA 元件验收第 5 号计划进行了认证
增强型绝缘	单一绝缘保护
证书编号：待定	文件编号：待定

6.8 安全限值

安全限制(1)旨在更大限度地减小在发生输入或输出电路故障时对隔离栅的潜在损害。I/O 发生故障时会导致低电阻接地或连接到电源，如果没有限流电路，则会因为功耗过大而导致芯片过热并损坏隔离栅，甚至可能导致辅助系统出现故障。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
I_S	安全输入、输出或电源电流	$R_{\theta JA}$ = 107°C/W、AVDD = DVDD = 5.5V、 V_{HVIN} = $V_{Clipping}$、T_J = 150°C、T_A = 25°C AMC0386M06			200	mA
		$R_{\theta JA}$ = 107°C/W、AVDD = DVDD = 5.5V、 V_{HVIN} = $V_{Clipping}$、T_J = 150°C、T_A = 25°C AMC0386M10			190	
P_S	安全输入、输出或总功率				1170	mW
T_S	最高安全温度				150	°C

(1) 最高安全温度 T_S 与器件指定的最大结温 T_J 的值相同。I_S 和 P_S 参数分别表示安全电流和安全功率。请勿超过 I_S 和 P_S 的最大限值。这些限值随着环境温度 T_A 的变化而变化。
“热性能信息”表中的结至空气热阻 $R_{\theta JA}$ 是安装在含引线的表面贴装封装的高 K 测试板上的器件的热阻。可使用以下公式来计算各个参数的值：
$T_J = T_A + R_{\theta JA} \times P$，其中，P 为器件上消耗的功率。
$T_{J(max)} = T_S = T_A + R_{\theta JA} \times P_S$，其中，$T_{J(max)}$ 为最大结温。
$P_S = I_S \times VDD_{max}$，其中 VDD_{max} 为最大低侧电压。

6.9 电气特性

最小值和最大值规格的适用条件为：T_A = -40°C 至 +125°C、AVDD = 3.0V 至 5.5V、DVDD = 2.7V 至 5.5V、V_{SNSP} = –1V 至 +1V，以及 V_{SNSN} = 0V；典型值规格的条件为：T_A = 25°C、AVDD = 5V、DVDD = 3.3V，以及 f_{CLKIN} = 10MHz（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
模拟输入						
R_{IN}	输入电阻	AMC0386M06		10		MΩ
		AMC0386M10		12.5		
	标称电阻分压器分压比	V_{HVIN}/V_{SNSP}，AMC0386M06		601		
		V_{HVIN}/V_{SNSP}，AMC0386M10		1001		
CMTI	共模瞬态抗扰度		150			V/ns
直流精度						
E_O	输入失调电压误差	以 SNSP 为基准，T_A = 25°C，HVIN = AGND	-0.9	±0.08	0.9	mV
		以 HVIN 为基准，T_A = 25°C，HVIN = AGND AMC0386M06	-540	±50	540	
		以 HVIN 为基准，T_A = 25°C，HVIN = AGND AMC0386M10	-900	±80	900	
TCE_O	失调电压误差温漂(3)	以 SNSP 为基准，T_A = 25°C，HVIN = AGND	-0.007	±0.0035	0.007	mV/°C
		以 HVIN 为基准，HVIN = AGND AMC0386M06	-4.2	±2.1	4.2	
		以 HVIN 为基准，HVIN = AGND AMC0386M10	-7	±3.5	7	
E_A	衰减误差(1) (5)	T_A = 25°C	-0.25	±0.02	0.25	%
TCE_A	衰减误差温漂(4)		-30	±8	30	ppm/°C
INL	积分非线性(2)	分辨率：16 位	-9	±1.9	9	LSB
DNL	微分非线性	分辨率：16 位	-0.99		0.99	LSB
PSRR	电源抑制比	AVDD 直流 PSRR，HVIN = AGND，AVDD 为 3.0V 至 5.5V		-83		dB
		AVDD 交流 PSRR，HVIN = AGND，AVDD 具有 10kHz/100mV 纹波		-63		
交流精度						
SNR	信噪比	V_{SNSP} = $2V_{PP}$，SNSN = AGND，f_{IN} = 1kHz	81	89		dB
SINAD	信噪比 + 失真	V_{SNSP} = $2V_{PP}$，SNSN = AGND，f_{IN} = 1kHz	76	86		dB
THD	总谐波失真	V_{SNSP} = $2V_{PP}$，SNSN = AGND，f_{IN} = 1kHz		-88	-77	dB
数字输入（具有施密特触发的 CMOS 逻辑）						
I_{IN}	输入电流	DGND ≤ V_{IN} ≤ DVDD			7	μA
C_{IN}	输入电容			4		pF
V_{IH}	高电平输入电压		0.7 x DVDD		DVDD + 0.3	V
V_{IL}	低电平输入电压		-0.3		0.3 x DVDD	V
数字输出 (CMOS)						
C_{LOAD}	输出负载电容	f_{CLKIN} = 10MHz		15	30	pF
V_{OH}	高电平输出电压	I_{OH} = -4mA	DVDD – 0.4			V
V_{OL}	低电平输出电压	I_{OL} = 4mA			0.4	V
电源						
I_{AVDD}	高侧电源电流			5.3	7	mA
I_{DVDD}	低侧电源电流	C_{LOAD} = 15pF		3.6	5	mA
$AVDD_{UV}$	高侧欠压检测阈值	AVDD 上升	2.4	2.6	2.7	V
		AVDD 下降	1.9	2.0	2.1	
$DVDD_{UV}$	低侧欠压检测阈值	DVDD 上升	2.3	2.5	2.7	V
		DVDD 下降	1.9	2.0	2.1	

(1) 典型值包括一个 Σ 统计变化。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

(2) 根据定义，积分非线性是指距离穿过理想 ADC 传递函数端点的直线之间的最大偏差，以 LSB 的数量表示，或以指定线性满标量程 FSR 的百分比表示。

(3) 使用框方法计算失调电压误差温漂，如以下公式所述：
$TCE_O = (value_{MAX} - value_{MIN}) / TempRange$

(4) 使用框方法计算衰减误差温漂，如以下公式所述：
$TCE_A\ (ppm) = ((value_{MAX} - value_{MIN}) / (value \times TempRange)) \times 10^6$

(5) 包括输入端电阻分压器产生的任何误差。

6.10 开关特性

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
t_H	CLKIN 上升沿之后的 DOUT 保持时间	C_{LOAD} = 15pF	10			ns
t_D	CLKIN 的上升沿至 DOUT 有效延迟	C_{LOAD} = 15pF			35	ns
t_r	DOUT 上升时间	10% 至 90%，2.7V ≤ DVDD ≤ 3.6V，C_{LOAD} = 15pF		2.5	6	ns
		10% 至 90%，4.5V ≤ DVDD ≤ 5.5V，C_{LOAD} = 15pF		3.2	6	
t_f	DOUT 下降时间	10% 至 90%，2.7V ≤ DVDD ≤ 3.6V，C_{LOAD} = 15pF		2.2	6	ns
		10% 至 90%，4.5V ≤ DVDD ≤ 5.5V，C_{LOAD} = 15pF		2.9	6	
t_{START}	器件启动时间	AVDD 从 0V 变化为 3.0V，AVDD ≥ 2.7V 时位流有效，0.1% 稳定时间		30		μs

6.11 时序图

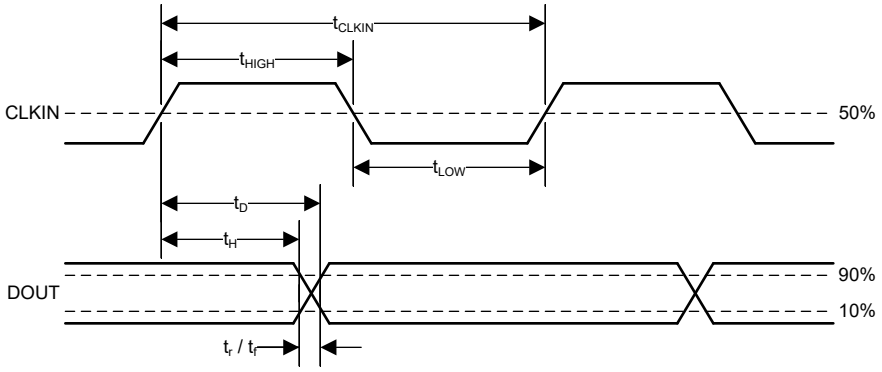


图 6-1. 数字接口时序

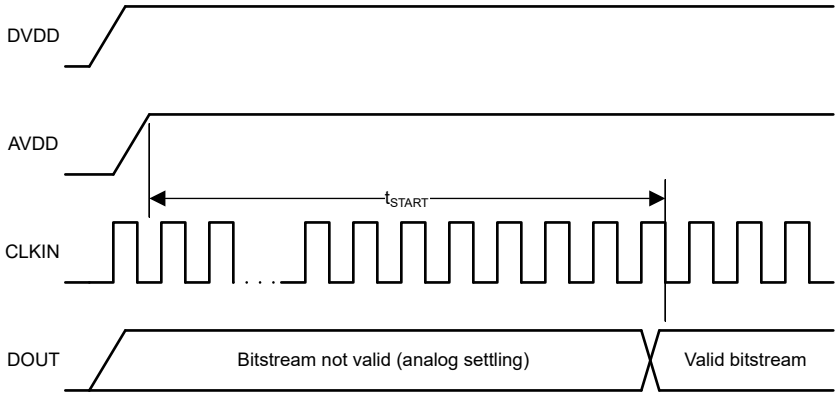


图 6-2. 器件启动时序

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6.12 绝缘特性曲线

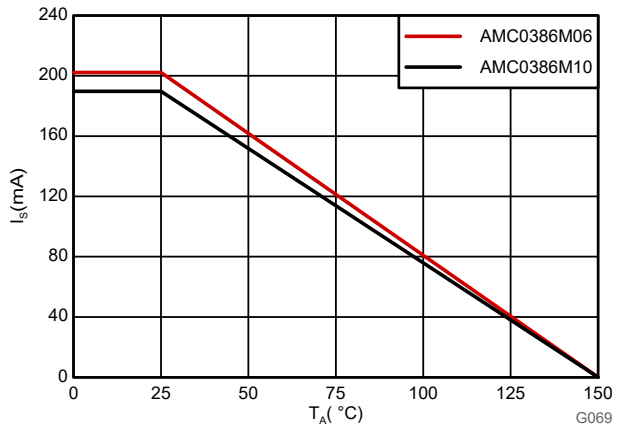


图 6-3. 安全限制电流的热降额曲线（符合 VDE）

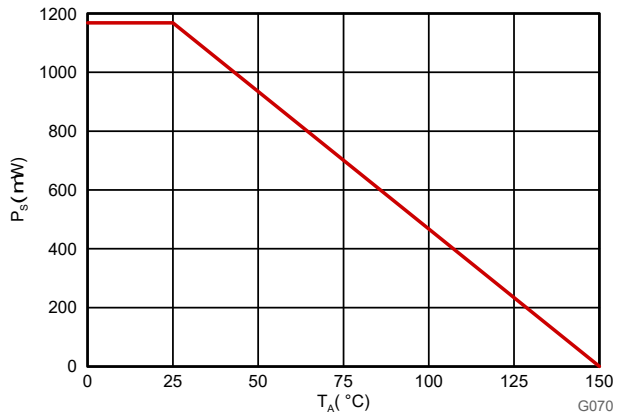
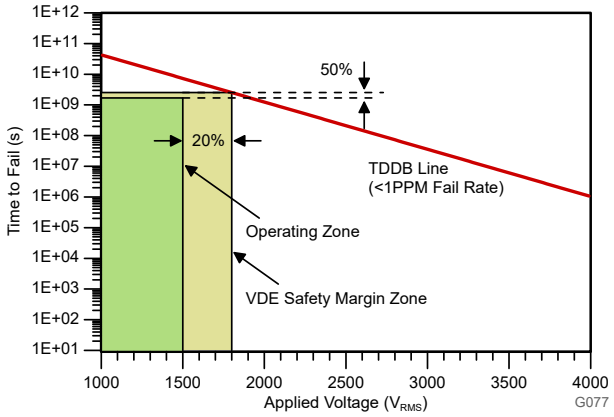


图 6-4. 安全限制功率的热降额曲线（符合 VDE）



T_A 最高 150°C，应力电压频率 = 60Hz，隔离工作电压 = 1500V_{RMS}，预计工作寿命 ≥ 50 年

图 6-5. 增强型隔离电容器寿命图

6.13 典型特性

适用条件为：AVDD = 5V，DVDD = 3.3V，V_{SNSP} = –1V 至 1V，SNSN = AGND，且 $sinc^3$ 滤波器的 OSR = 256（除非另有说明）

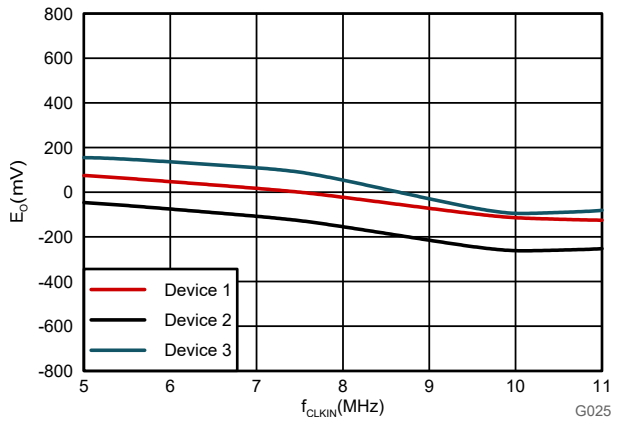


图 6-6. 失调电压误差与时钟频率间的关系

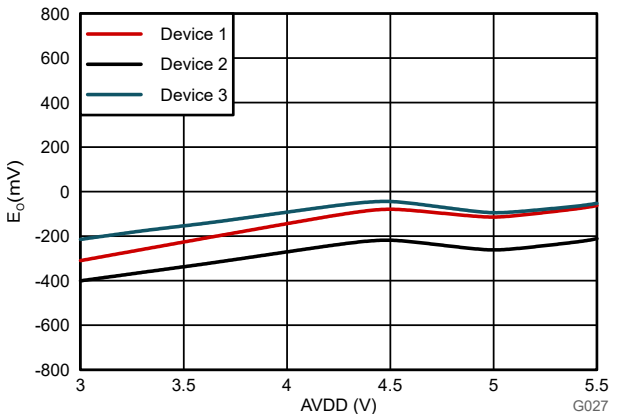


图 6-7. 失调电压误差与高侧电源电压间的关系

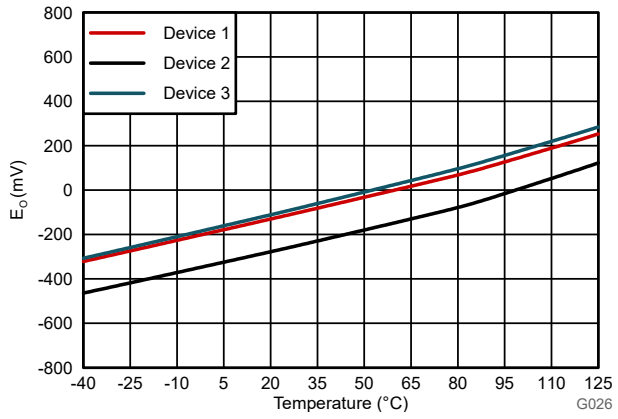


图 6-8. 偏移误差与温度间的关系

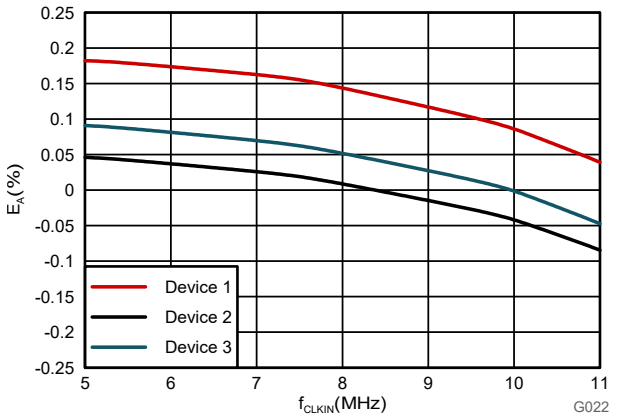


图 6-9. 衰减误差与时钟频率间的关系

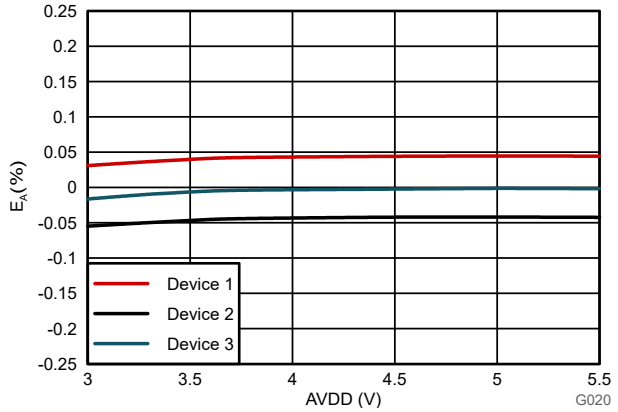


图 6-10. 衰减误差与高侧电源电压间的关系

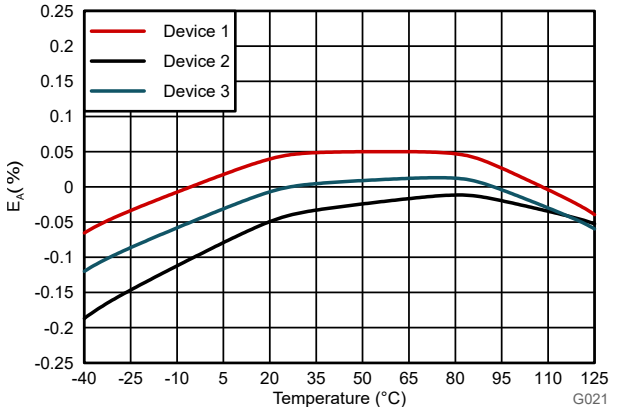
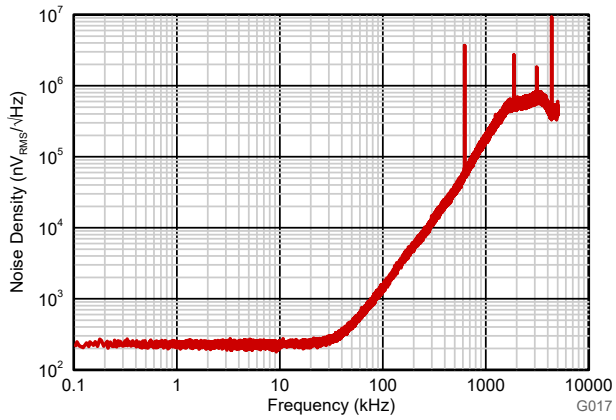


图 6-11. 衰减误差与温度间的关系

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

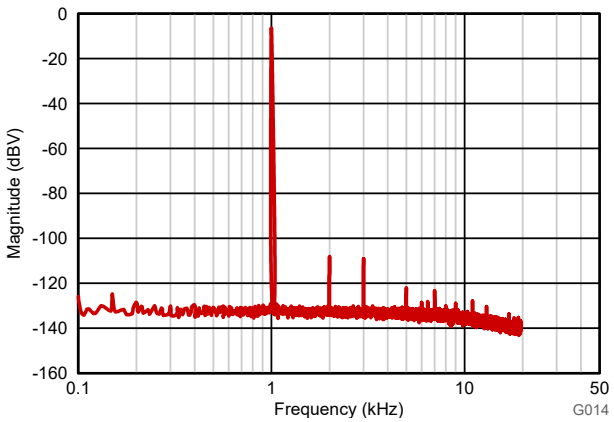
6.13 典型特性（续）

适用条件为：AVDD = 5V，DVDD = 3.3V，V_{SNSP} = –1V 至 1V，SNSN = AGND，且 $sinc^3$ 滤波器的 OSR = 256（除非另有说明）



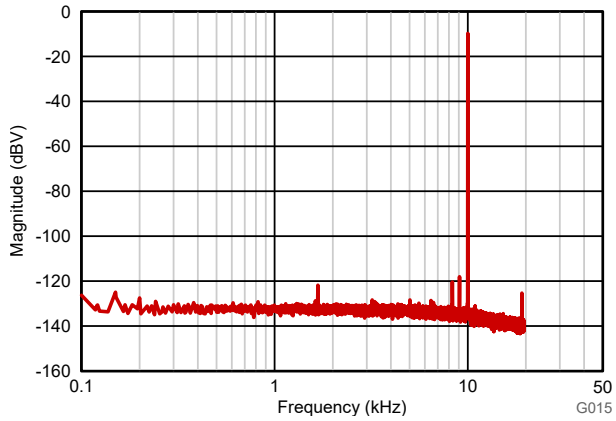
$sinc^3$，OSR = 1，频率段宽度等于 1Hz

图 6-12. 两个输入均短接至 AGND 时的频谱



$sinc^3$，OSR = 256，V_{SNSP} = $2V_{PP}$

图 6-13. 1kHz 输入信号时的频谱



$sinc^3$，OSR = 256，V_{SNSP} = $2V_{PP}$

图 6-14. 10kHz 输入信号时的频谱

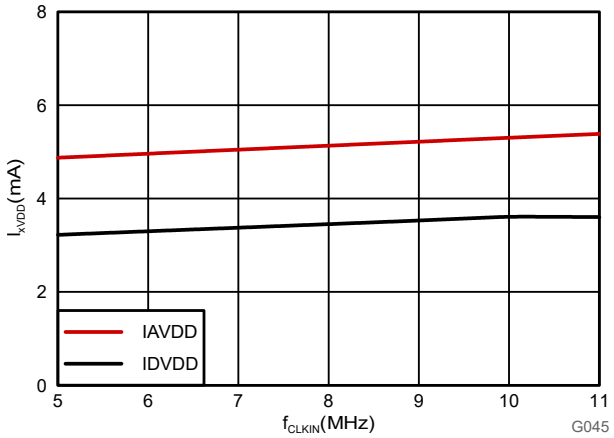


图 6-15. 电源电流与时钟频率间的关系

6.13 典型特性（续）

适用条件为：AVDD = 5V，DVDD = 3.3V，V_{SNSP} = –1V 至 1V，SNSN = AGND，且 $sinc^3$ 滤波器的 OSR = 256（除非另有说明）

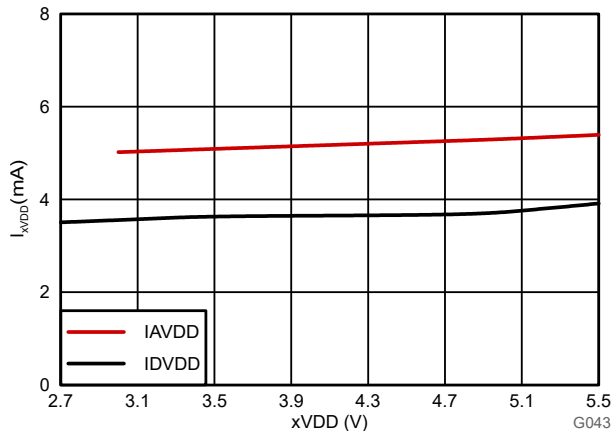


图 6-16. 电源电流与电源电压间的关系

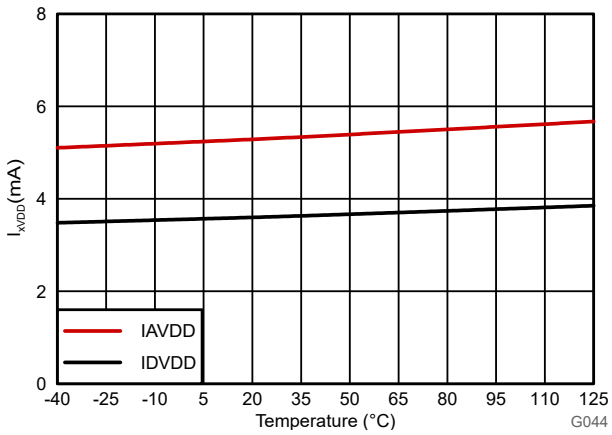


图 6-17. 电源电流与温度间的关系

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7 详细说明

7.1 概述

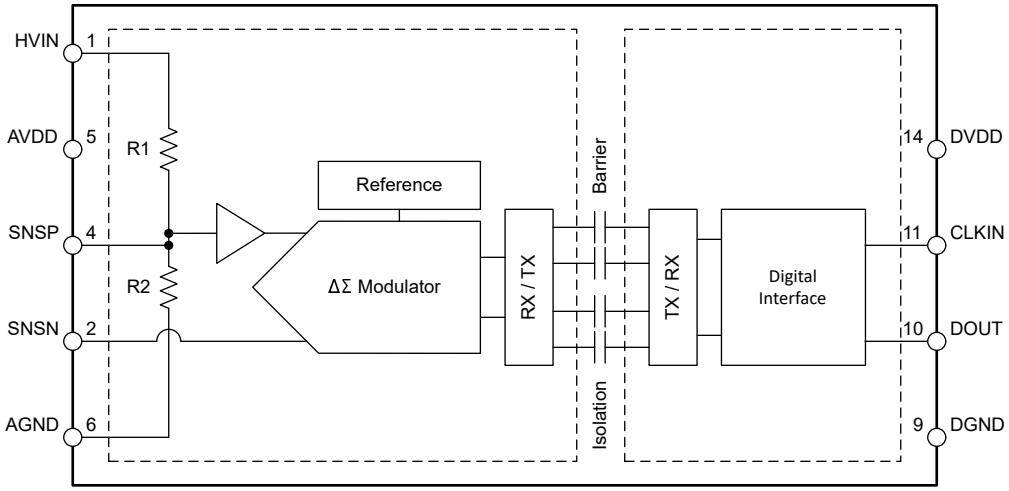
AMC0386 是一款单通道、二阶 CMOS Δ-Σ 调制器，具有高阻抗输入，专为高分辨率电压测量而设计。转换器的隔离式输出 (DOUT) 提供由数字 1 和 0 组成的位流，与施加于 CLKIN 引脚的外部时钟同步。此串行输出的平均时间与模拟输入电压成正比。

调制器将量化噪声转移到高频；因此，在器件输出端使用低通数字滤波器（如 Sinc 滤波器）来提高总体性能。该滤波器还可将较高采样率的 1 位数据流转换为较低速率（抽取）的较高位数据字。使用微控制器 (μC) 或现场可编程门阵列 (FPGA) 来实现滤波器。

整体性能（速度和分辨率）取决于所选的适当过采样率 (OSR) 和滤波器类型。OSR 越高，分辨率就越高，而运行时的刷新率越低。OSR 越低，分辨率就越低，但提供的数据刷新率越高。该系统支持灵活的数字滤波器设计，并且模数转换结果能够在 OSR = 256 的情况下实现超过 89dB 的动态范围。

基于二氧化硅 (SiO_2) 的电容隔离栅支持高水平的磁场抗扰度，请参阅 *ISO72x 数字隔离器磁场抗扰度 应用手册*。AMC0386 使用开关键控 (OOK) 调制方案，通过隔离栅传输数据。这种调制方案加上隔离栅的特性，可确保在嘈杂环境中实现高可靠性，并具有高共模瞬态抗扰度。

7.2 功能方框图



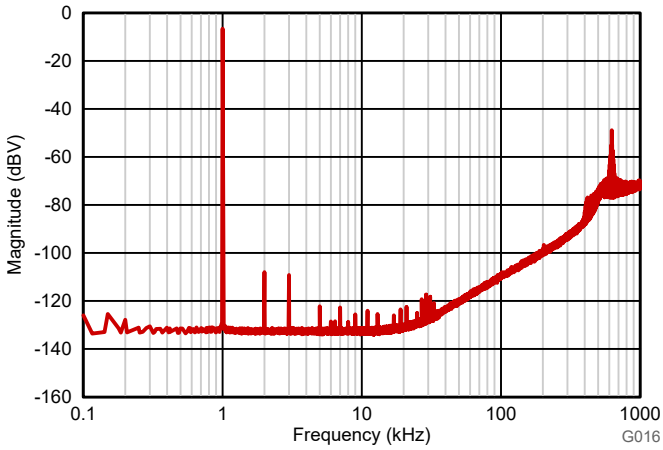
7.3 特性说明

7.3.1 模拟输入

AMC0386 输入端的电阻分压器将施加到 HVIN 引脚的电压降低至 ±1V 线性满标量程电平。此信号在 SNSP 引脚上提供，该引脚也是模拟信号链的输入端。

SNSP 引脚的高阻抗输入缓冲器为二阶开关电容器前馈 Δ-Σ 调制器供电。调制器将模拟信号转换为通过隔离栅传输的比特流，如 *隔离通道信号传输* 部分所述。

为了减少失调电压和温漂，输入缓冲器会以设置为 $f_{CLKIN}/16$ 的斩波频率进行斩波稳定。图 7-1 展示了由 10MHz 调制器时钟的斩波频率生成的 625kHz 杂散。



$sinc^3$ 滤波器，OSR = 1，f_{CLKIN} = 10MHz，f_{IN} = 1kHz

图 7-1. 量化噪声整形

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.3.2 调制器

图 7-2 概念化了 AMC0386 中实现的二阶开关电容器前馈 ΔΣ 调制器。从输入电压 V_{IN} = (V_{SNSP} – V_{SNSN}) 中减去 1 位数模转换器 (DAC) 的输出 V_5。该减法在第一积分器级的输入端提供模拟电压 V_1。第一个积分器的输出馈送第二积分器级的输入。结果或第二积分是输出电压 V_3 与输入信号 V_{IN} 和第一个积分器的输出 V_2 相加。根据所得电压 V_4 的值，比较器的输出将改变。在这种情况下，1 位 DAC 通过改变相关的模拟输出电压 V_5，对下一个时钟脉冲做出响应。因而会导致积分器向相反方向移动，并强制积分器输出值跟踪平均输入值。

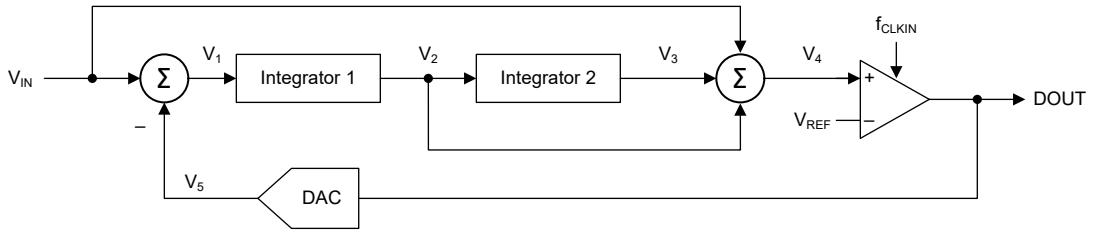


图 7-2. 二阶调制器的方框图

7.3.3 隔离通道信号传输

AMC0386 使用开关键控 (OOK) 调制方案（如图 7-3 所示），跨过基于 SiO_2 的隔离栅来传输调制器输出比特流。*功能方框图* 中所示的发送驱动器 (TX) 跨过隔离栅发送一个内部生成的高频载波来表示数字一，而 TX 不发送信号则表示数字零。AMC0386 内使用的载波标称频率为 480MHz。

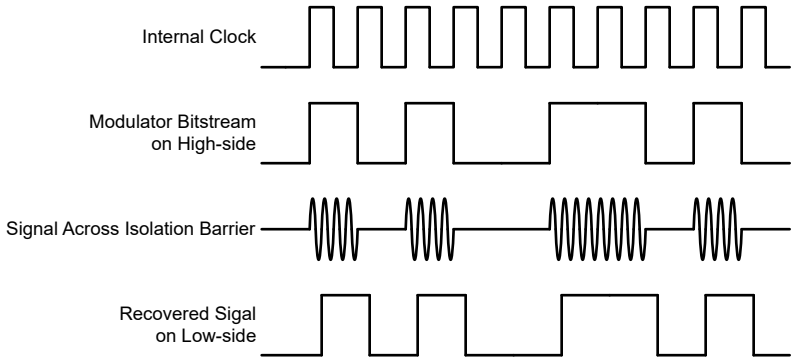


图 7-3. 基于 OOK 的调制方案

7.3.4 数字输出

0V 输入信号在理想状态下会生成 50% 时间处于高电平的位流（由 1 和 0 组成）。1V 输入会生成 90% 时间处于高电平的位流（由 1 和 0 组成）。当分辨率为 16 位时，该百分比在理想情况下对应于代码 58982。-1V 输入会生成 10% 时间处于高电平的位流（由 1 和 0 组成）。当分辨率为 16 位时，该百分比在理想情况下对应于代码 6554。这些输入电压也是 AMC0386 的指定线性范围。如果输入电压值超出该范围，则随着量化噪声的增大，调制器的输出会表现出越来越明显的非线性行为。调制器输出在输入 ≤-1.28V 时以恒定的 0 位流进行削波，或在输入 ≥1.28V 时以恒定的 1 位流进行削波。但是在这种情况下，AMC0386 每 128 个时钟周期生成一个 1 或 0，以指示器件工作正常。如果输入为负满标量程，则生成一个 1；如果输入为正满标量程，则生成一个 0。更多详细信息，请参阅 *满标量程输入情况下的输出行为* 部分。图 7-4 展示了输入电压与输出调制器信号间的关系。

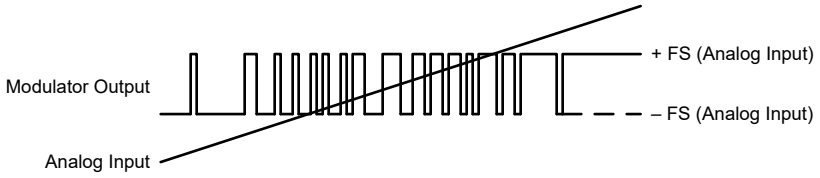


图 7-4. 调制器输出与模拟输入间的关系

对于任何输入电压 $V_{IN} = (V_{SNSP} - V_{SNSN})$ 值，可使用方程式 1 计算输出位流中 1 的密度。唯一的例外是满标量程输入信号。请参阅 *满标量程输入情况下的输出行为* 部分。

$$\rho = (|V_{Clipping}| + V_{IN}) / (2 \times V_{Clipping}) \quad (1)$$

7.3.4.1 满标量程输入情况下的输出行为

如果向 AMC0386 施加满标量程输入信号，则该器件会每经过 128 位在 DOUT 生成一个 1 或 0。图 7-5 展示了此过程的时序图。根据所检测信号的实际极性，生成一个 1 或 0。满标量程信号定义为 $|V_{SNSP} - V_{SNSN}| \geq |V_{Clipping}|$。通过这种方式，可以在系统级对缺少 AVDD 和满标量程输入信号进行区分。有关诊断数字位流的代码示例，请参阅 *使用 C2000™ 可配置逻辑块 (CLB) 诊断 Δ-Σ 调制器位流* 应用手册。

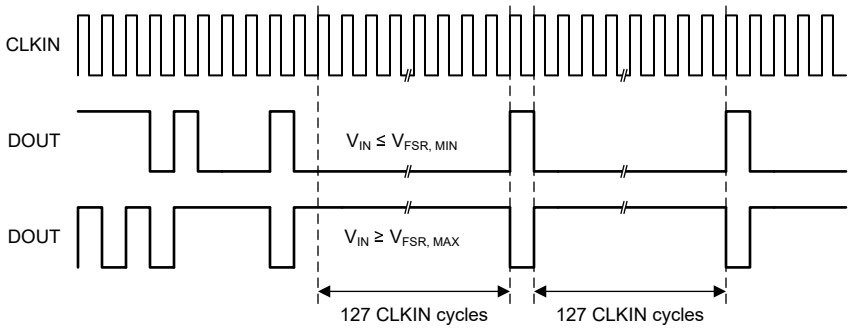


图 7-5. AMC0386 的满标量程输出

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.3.4.2 高侧电源缺失情况下的输出行为

如果缺少高侧电源 (AVDD)，则器件在输出端提供恒定的逻辑 0 位流，DOUT 始终为低电平。图 7-6 展示了此过程的时序图。每 128 个时钟脉冲不会生成 1，从而将此条件与有效的负满标量程输入区分开来。该特性有助于识别电路板上的高侧电源问题。有关诊断数字位流的代码示例，请参阅*使用 C2000™ 可配置逻辑块 (CLB) 诊断 Δ-Σ 调制器位流*应用手册。

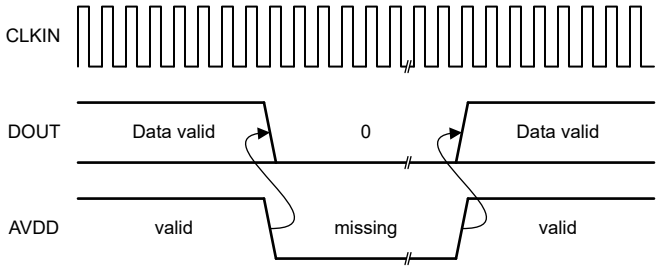


图 7-6. 高侧电源缺失情况下 AMC0386 的输出

7.4 器件功能模式

AMC0386 在以下其中一种状态下运行：

- 关断状态：器件的低侧 (DVDD) 低于 $DVDD_{UV}$ 阈值。器件无响应。OUT 处于高阻态状态。在内部，OUT 和 CLKIN 由 ESD 保护二极管钳位到 DVDD 和 DGND。
- 高侧电源缺失：器件的低侧 (DVDD) 已供电并在 *建议运行条件* 下。高侧电源 (AVDD) 低于 $AVDD_{UV}$ 阈值。该器件输出一个逻辑 0 的恒定位流，如 部分所述。
- 模拟输入超范围（正满标量程输入）：AVDD 和 DVDD 处于建议运行条件下，但模拟输入电压 $V_{IN} = (V_{SNSP} – V_{SNSN})$ 高于最大削波电压 ($V_{Clipping, MAX}$)。该器件每隔 128 个时钟周期输出一个逻辑 0 的恒定位流，如 *满标量程输入情况下的输出行为* 部分所述。
- 模拟输入欠范围（负满标量程输入）：AVDD 和 DVDD 处于建议运行条件下，但模拟输入电压 $V_{IN} = (V_{SNSP} – V_{SNSN})$ 低于最小削波电压 ($V_{Clipping, MIN}$)。该器件每隔 128 个时钟周期输出一个逻辑 1 的恒定位流，如 *满标量程输入情况下的输出行为* 部分所述。
- 正常运行：AVDD、DVDD 和 V_{IN} 处于建议运行条件内。该器件输出一个数字位流，如 *数字输出* 部分所述。

表 7-1 列出了运行模式。

表 7-1. 器件运行模式

工作模式	AVDD	DVDD	V_{IN}	器件响应
关断	无关	$V_{DVDD} < DVDD_{UV}$	无关	OUT 处于高阻态状态。在内部，OUT 和 CLKIN 由 ESD 保护二极管钳位到 DVDD 和 DGND。
高侧电源缺失	$V_{AVDD} < AVDD_{UV}$	有效(1)	无关	该器件输出一个逻辑 0 的恒定位流，如 部分所述。
输入超范围	有效(1)	有效(1)	$V_{IN} > V_{Clipping, MAX}$	该器件每隔 128 个时钟周期输出一个逻辑 0 的恒定位流，如 *满标量程输入情况下的输出行为* 部分所述。
输入欠范围	有效(1)	有效(1)	$V_{IN} < V_{Clipping, MIN}$	该器件每隔 128 个时钟周期输出一个逻辑 1 的恒定位流，如 *满标量程输入情况下的输出行为* 部分所述。
正常运行	有效(1)	有效(1)	有效(1)	正常运行

(1) “有效”表示在建议运行条件内。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

8 应用和实施

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 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。

8.1 应用信息

交流线路供电电源分为两个或更多个彼此电隔离的电压域。例如，高压域包括交流电网、直流链路和用于功率因数校正 (PFC) 的功率级。低压域包括系统控制器和人机界面。出于安全原因，PFC 控制器必须测量交流线路电压值，同时保持与交流电源的电隔离。凭借高阻抗输入和电隔离输出，AMC0386 可实现此测量。

8.2 典型应用

三个 AMC0386 器件（*器件 1*、*器件 2* 和 *器件 3*）分别直接连接到相位 L1、L2 和 L3。在隔离栅的另一侧，每个器件输出一个表示相对中性点电压的串行比特流。隔离式直流/直流转换器电路从低压侧生成通用 AVDD 电源。一种低成本的解决方案基于推挽式驱动器 SN6501 和支持所需隔离电压额定值的变压器。

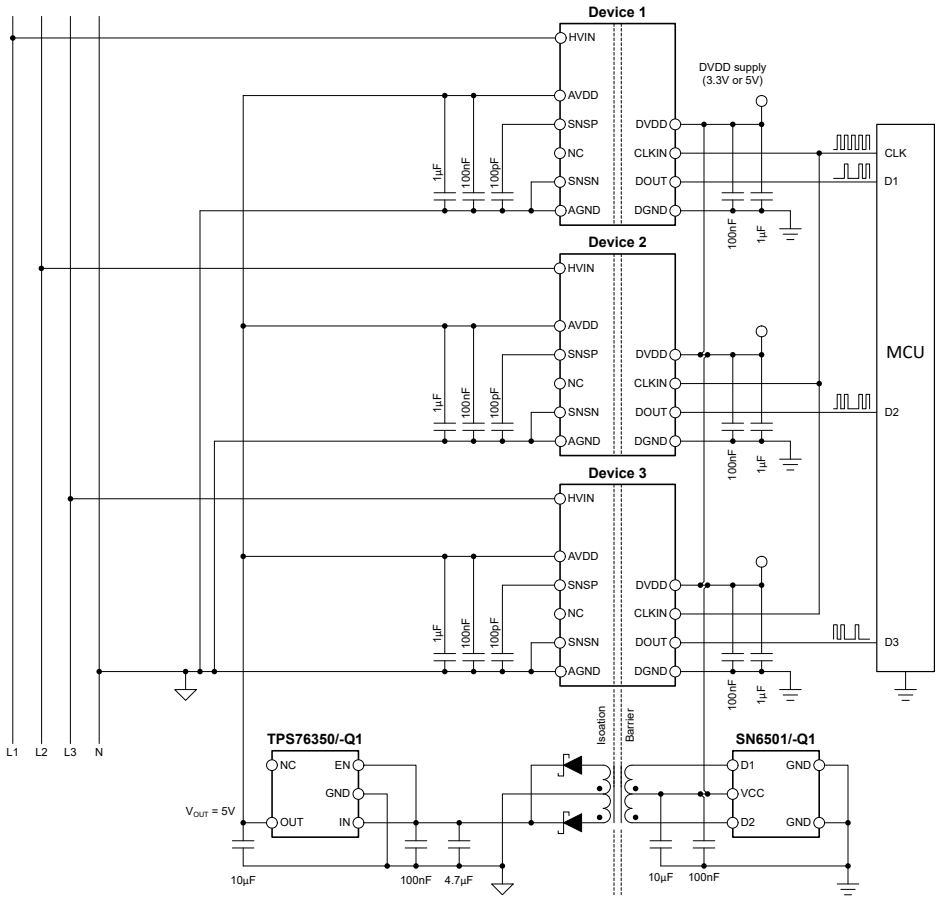


图 8-1. 在典型应用中使用 AMC0386

8.2.1 设计要求

表 8-1 列出了此典型应用的参数。

表 8-1. 设计要求

参数	值
系统输入电压（相对中性点）	$230V_{RMS}$ ±10%，50Hz
高侧电源电压	5V
低侧电源电压	3.3V

8.2.2 详细设计过程

本例中的相对中性点电压峰值为 230V x √2 x 1.1 = 360V。为获得出色的测量分辨率，请从 AMC0386M 系列中选择器件，该系列具有与峰值输入电压最匹配的线性输入范围。AMC0386M06 支持 ±600V 的线性输入范围，非常适合该应用。将 HVIN 直接连接到相电压，将 GND1 连接到中性点，如 图 8-1 所示

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

8.2.2.1 输入滤波器设计

将一个滤波电容器连接到 SNSP 引脚可提高信号路径的信噪比性能。当频率接近 Δ-Σ 调制器采样频率（通常为 10MHz）时，调制器会将输入噪声折返至低频范围内。使用 RC 滤波器的目的是将高频噪声衰减至低于测量所需的噪声水平。在实践中，比调制器频率低两个数量级的截止频率可以产生良好的效果。

输入滤波器的截止频率由内部检测电阻器 R2 和外部滤波器电容器 C5 决定。截止频率的计算结果为 1 / (2 x π x R2 x C5)。例如，R2 =12.5kΩ 且 C5 = 100pF 时，截止频率为 127kHz。

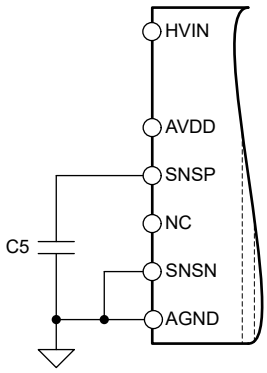


图 8-2. 输入滤波器

8.2.2.2 位流滤波

调制器产生一个位流供数字滤波器处理，从而获得类似于常规模数转换器 (ADC) 转换结果的数字字。方程式 2 展示了 $sinc^3$ 型滤波器，该滤波器非常简单，构建这个滤波器所需的工作量和硬件资源都非常少。

$$H(z) = \left(\frac{1 - z^{-OSR}}{1 - z^{-1}}\right)^3 \tag{2}$$

这种滤波器采用二阶调制器的最小硬件量（数字选通器数）提供出色的输出性能。本文档中的所有特性描述也都是基于具有 256 过采样率 (OSR) 和 16 位输出字宽的 $sinc^3$ 滤波器。

使用 ADS1202 与 FPGA 数字滤波器组合在电机控制应用中测量电流 应用手册（可从 www.ti.com 下载）中提供了一个在 FPGA 中实现 $sinc^3$ 滤波器的示例代码。

对于调制器输出位流滤波，建议使用 TI 的 C2000 或 Sitara 微控制器系列中的器件。这些系列支持多通道专用硬接线滤波器结构，这种结构通过为每个通道提供两条滤波路径来显著简化系统级设计：一条路径为控制环路提供高精度结果，另一条路径为过流检测提供快速响应。

Δ-Σ 调制器滤波器计算器 可从 www.ti.com 下载，该计算器有助于进行滤波器设计以及选择正确的 OSR 和滤波器阶数，从而实现所需的输出分辨率和滤波器响应时间。

8.2.2.3 应用曲线

通常使用有效位数 (ENOB) 来比较 ADC 和 ΔΣ 调制器的性能。图 8-3 展示了 AMC0386 在不同过采样率下的 ENOB。

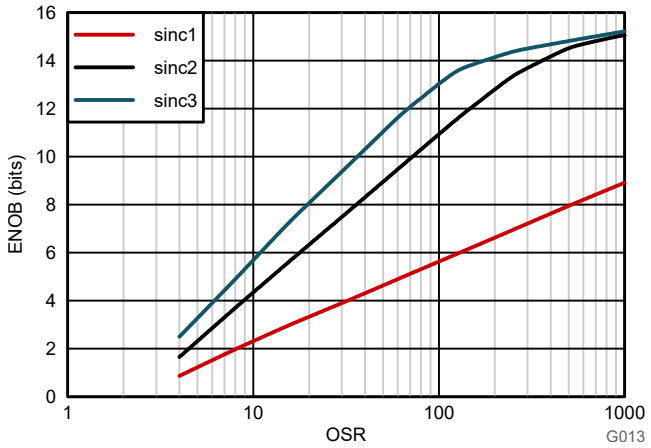


图 8-3. 测得的有效位数与过采样率间的关系

8.3 最佳设计实践

避免 HVIN 和 SNSP 引脚之间出现任何形式的漏电流。漏电流可能会引入显著的测量误差。请参阅 *布局示例* 了解布局建议。

8.4 电源相关建议

在典型应用中，AMC0386 的高侧电源 () 由隔离式直流/直流转换器从低侧电源 () 生成。一种低成本的方案基于推挽式驱动器 SN6501 和支持所需隔离电压额定值的变压器。

AMC0386 无需任何特定的上电时序。高侧电源 () 通过与低 ESR、1μF 电容器 (C2) 并联的低 ESR、100nF 电容器 (C1) 进行去耦。低侧电源 () 同样通过与低 ESR、1μF 电容器 (C4) 并联的低 ESR、100nF 电容器 (C3) 进行去耦。将所有四个电容器（C1、C2、C3 和 C4）尽可能靠近器件放置。图 8-4 展示了 AMC0386 的去耦图。

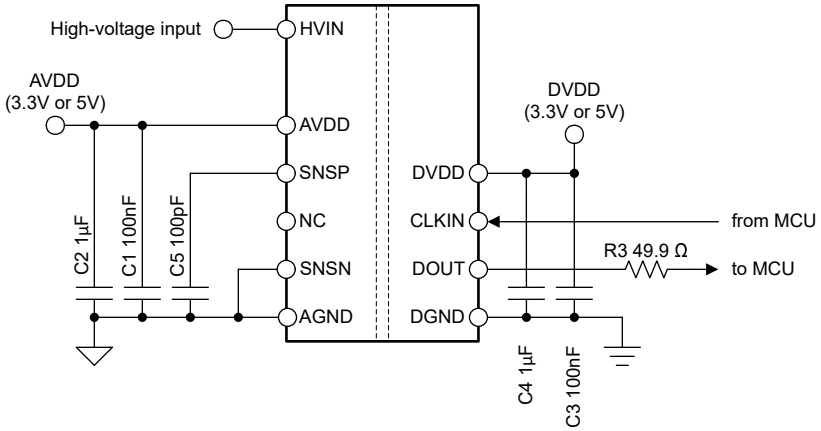


图 8-4. AMC0386 去耦

在应用中出现的适用直流偏置条件下，电容器必须能够提供足够的*有效* 电容。在实际条件下，通常仅使用多层陶瓷电容器 (MLCC) 标称电容的一小部分。在选择这些电容器时，应考虑到这个因素。此问题在低厚度电容器中尤为严重，在该类电容器中，电容器越薄，电介质电场强度越大。知名电容器制造商提供了电容与直流偏置关系曲线，这大大简化了元件的选型。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

8.5 布局

8.5.1 布局指南

布局示例 部分提供了布局建议，其中显示了关键去耦和滤波电容器的放置。去耦电容和滤波电容应尽可能靠近 AMC0386 输入引脚放置。

TI 建议在 SNSP 引脚周围放置一个防护环，并将屏蔽环连接到 AGND。防护环可防止漏电流在 HVIN 和 SNSP 之间形成并联电流路径。防护环部分布置在器件下方，从而减小了高压侧和低压侧之间的间隙距离。在引脚 7 和 8 周围放置一个禁止区域（这两个引脚都没有内部连接），以恢复超过 8mm 的完整间隙距离。

为了尽可能地增加高压侧与低压侧之间的爬电距离，TI 建议在引脚 15 周围放置另一个禁止区域，如建议布局所示。

8.5.2 布局示例

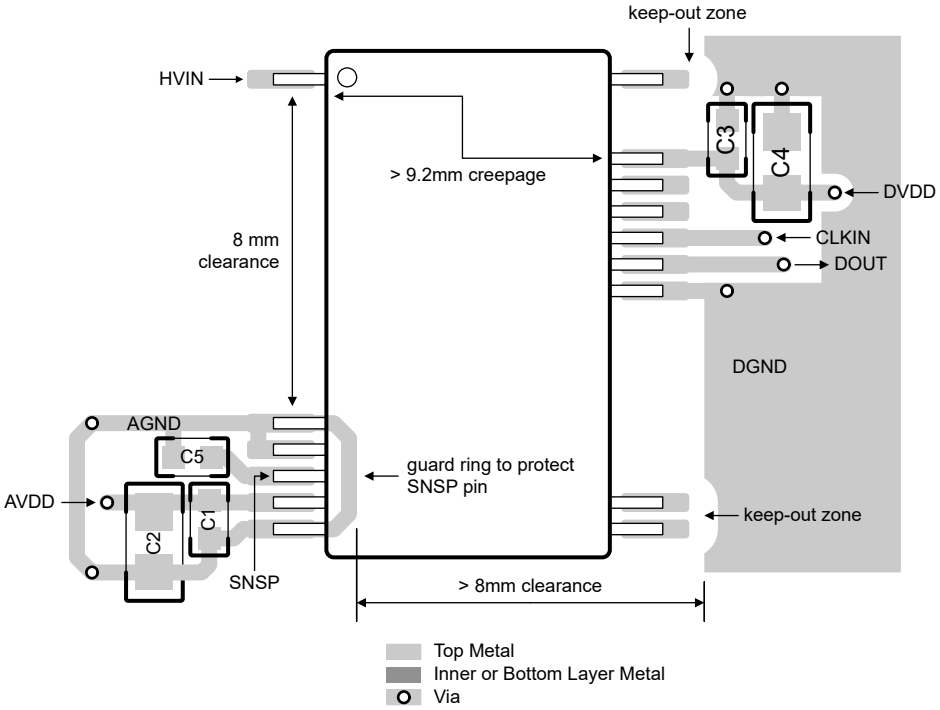


图 8-5. AMC0386 的建议布局

9 器件和文档支持

9.1 文档支持

9.1.1 相关文档

请参阅以下相关文档：

- 德州仪器 (TI)，*隔离相关术语*应用报告
- 德州仪器 (TI)，*半导体和 IC 封装热指标* 应用报告
- 德州仪器 (TI)，*ISO72x 数字隔离器磁场抗扰度*应用报告
- 德州仪器 (TI)，*ISO72x 数字隔离器磁场抗扰度*
- 德州仪器 (TI)，*使用 ADS1202 与 FPGA 数字滤波器组合在电机控制应用中测量电流* 应用报告
- 德州仪器 (TI)，*Δ-Σ 调制器滤波器计算器* 设计工具

9.2 接收文档更新通知

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

9.3 支持资源

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

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

9.4 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.
所有商标均为其各自所有者的财产。

9.5 静电放电警告

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

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

9.6 术语表

TI 术语表	本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

10 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

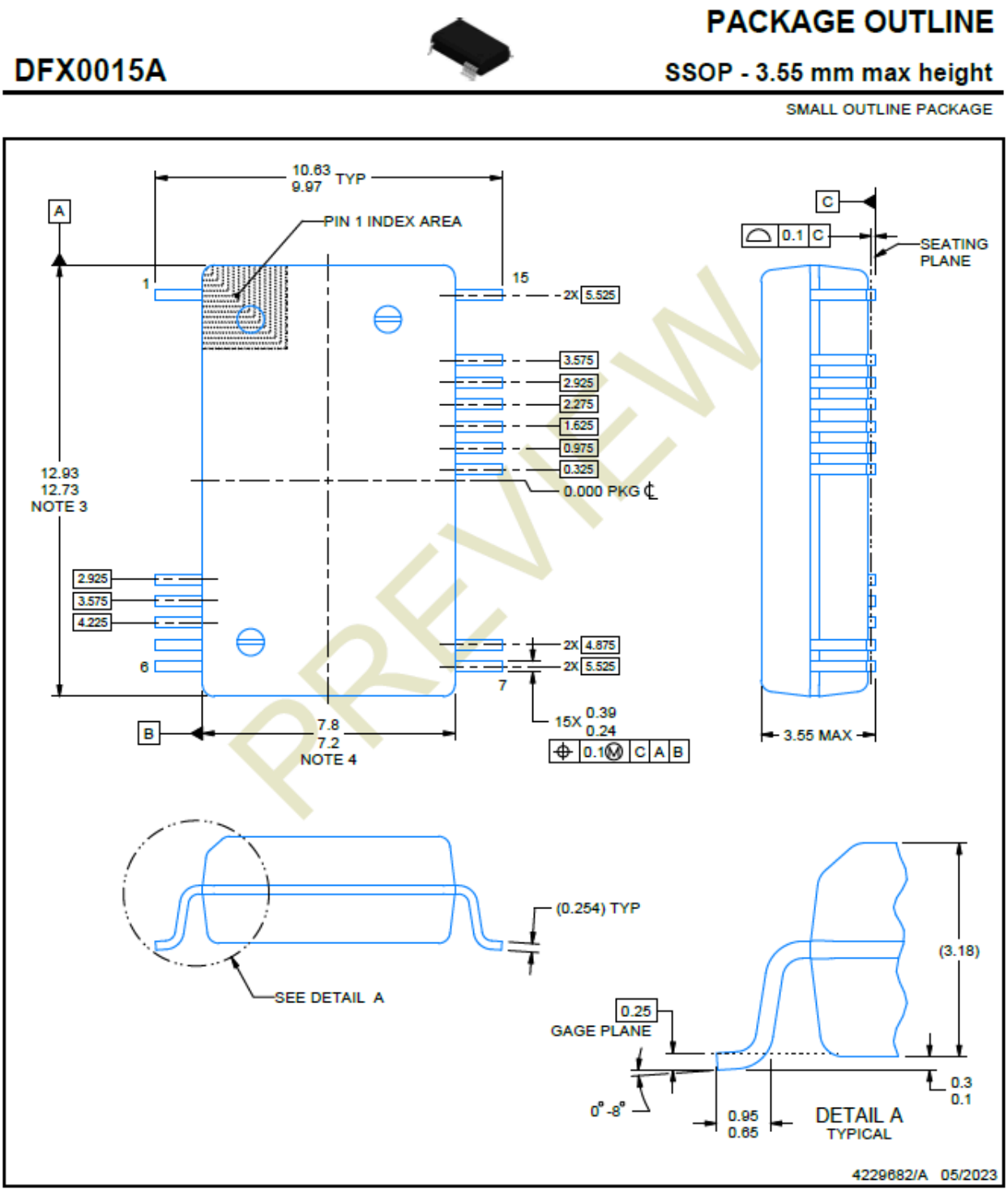
日期	修订版本	注释
December 2024	*	初始发行版

11 机械、封装和可订购信息

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

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

11.1 机械数据



NOTES:

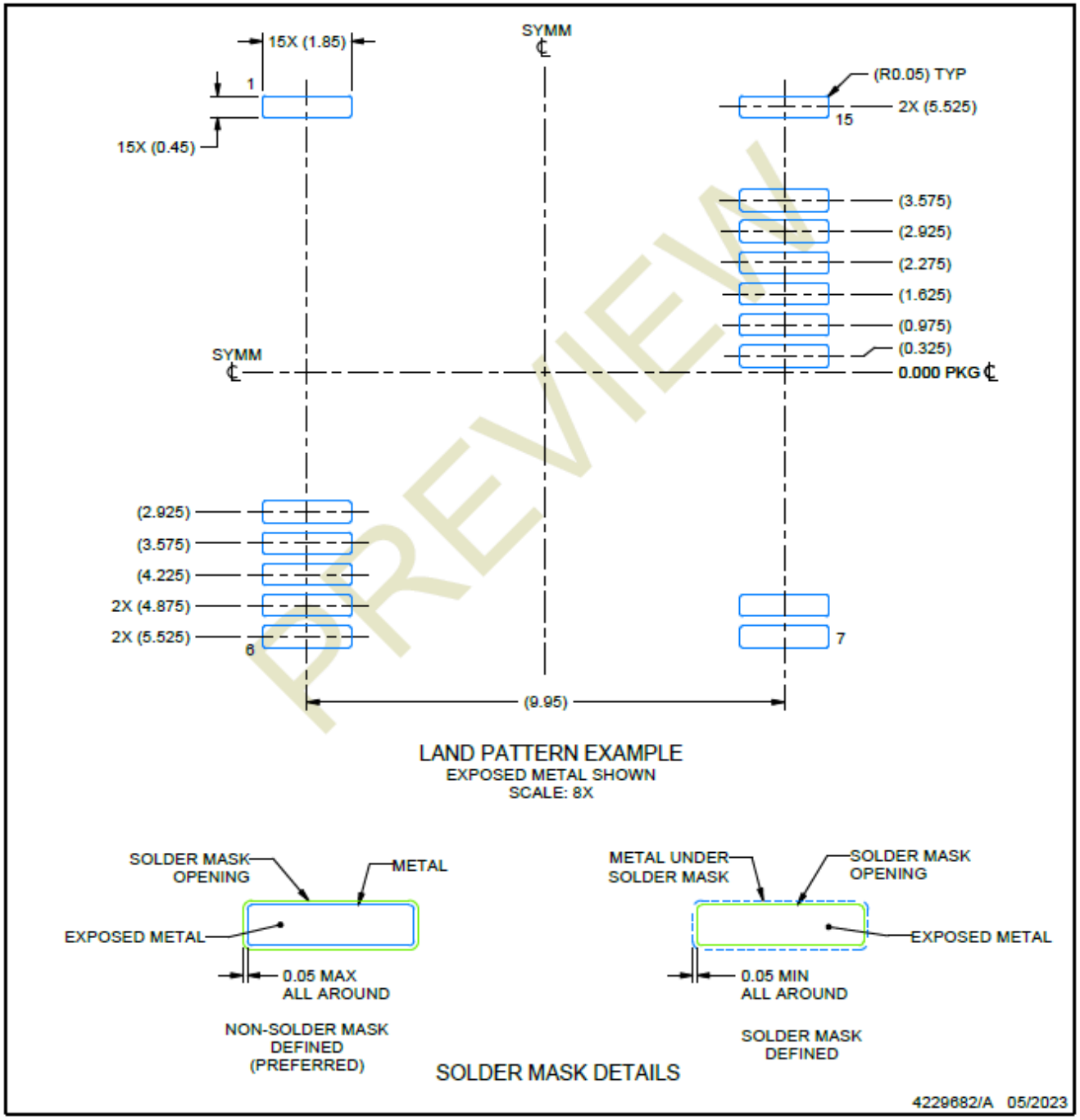
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. This dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or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

EXAMPLE BOARD LAYOUT

DFX0015A

SSOP - 3.55 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



NOTES: (continued)

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

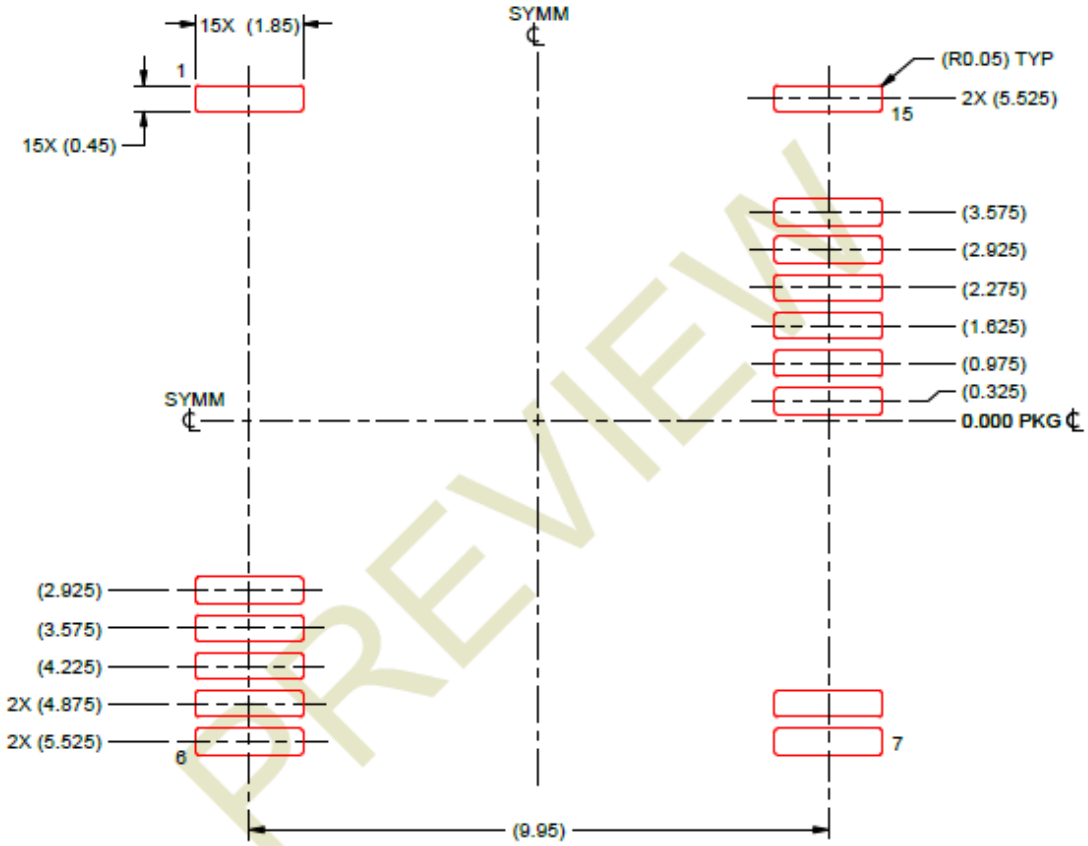
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

EXAMPLE STENCIL DESIGN

DFX0015A

SSOP - 3.55 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



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

4229682/A 05/2023

NOTES: (continued)

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

PREVIEW

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)
AMC0386M10DFXR	Active	Production	SSOP (DFX) | 15	750 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	AMC0386M10
AMC0386M10DFXR.A	Active	Production	SSOP (DFX) | 15	750 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	AMC0386M10
AMC0386M10DFXR.B	Active	Production	SSOP (DFX) | 15	750 | LARGE T&R	-	Call TI	Call TI	-40 to 125	

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

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

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

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

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

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

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

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

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

OTHER QUALIFIED VERSIONS OF AMC0386 :

- Automotive : AMC0386-Q1

NOTE: Qualified Version Definitions:

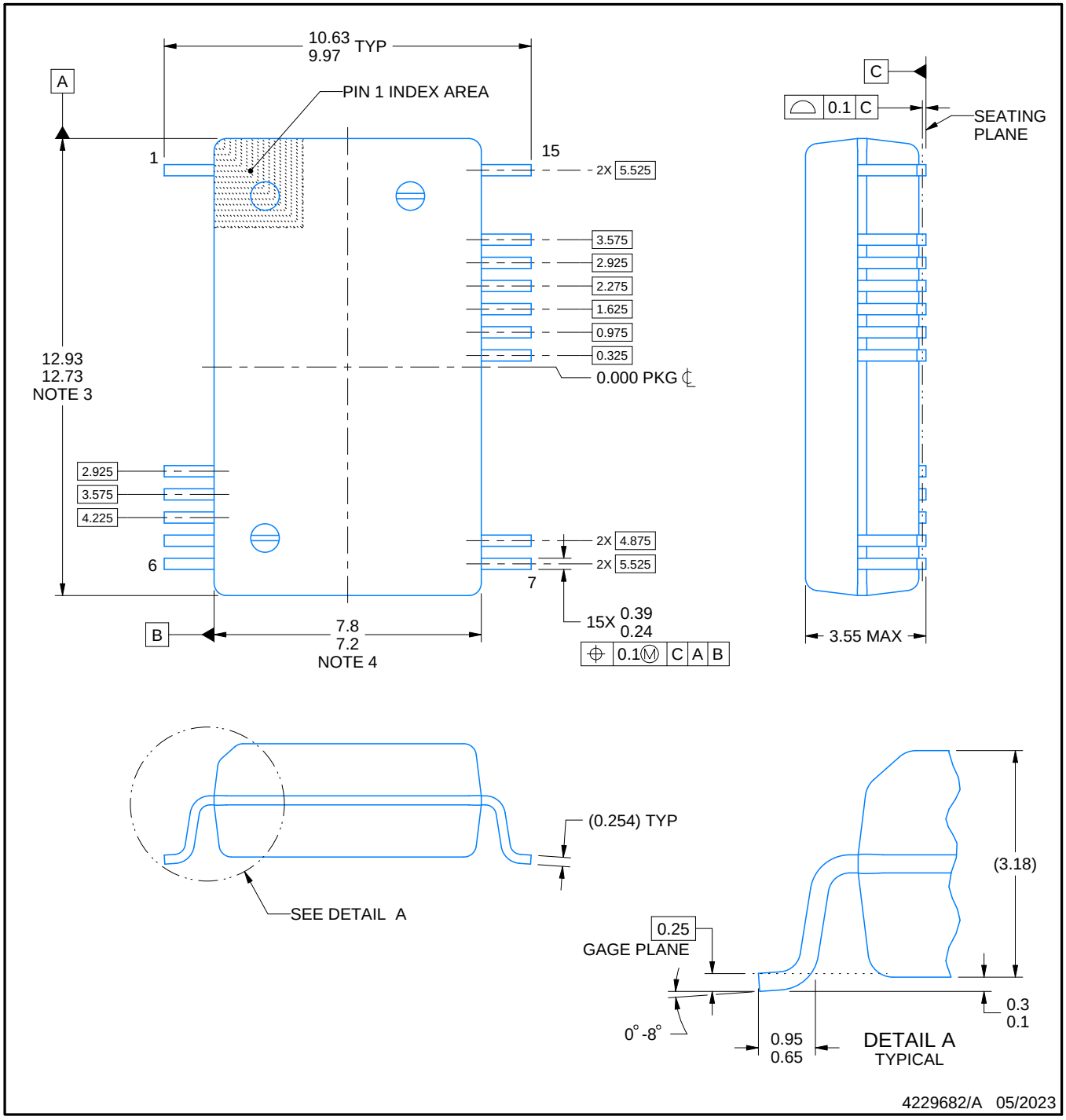
- Automotive - Q100 devices qualified for high-reliability automotive applications targeting zero defects

PACKAGE OUTLINE

DFX0015A

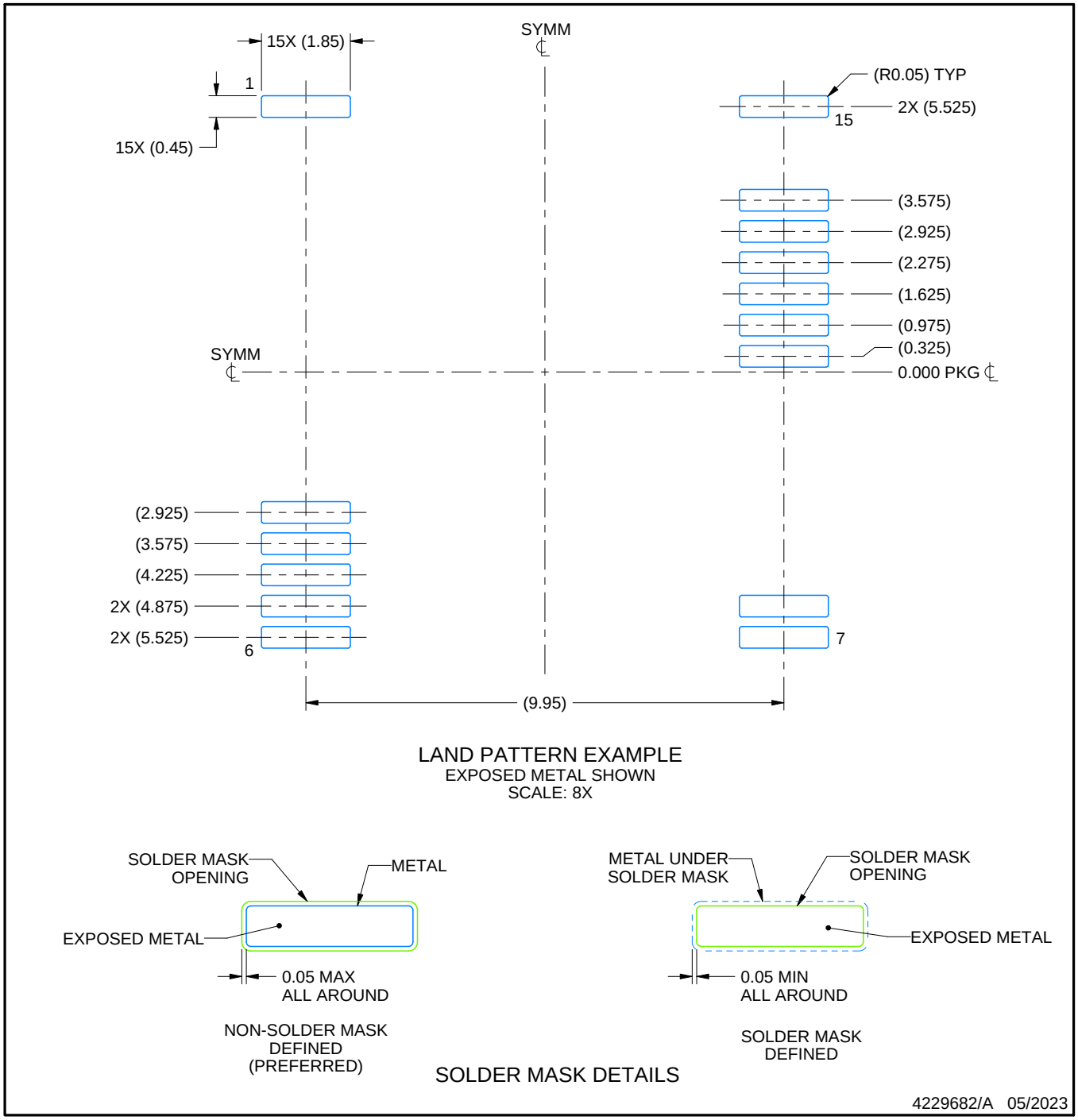
SSOP - 3.55 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



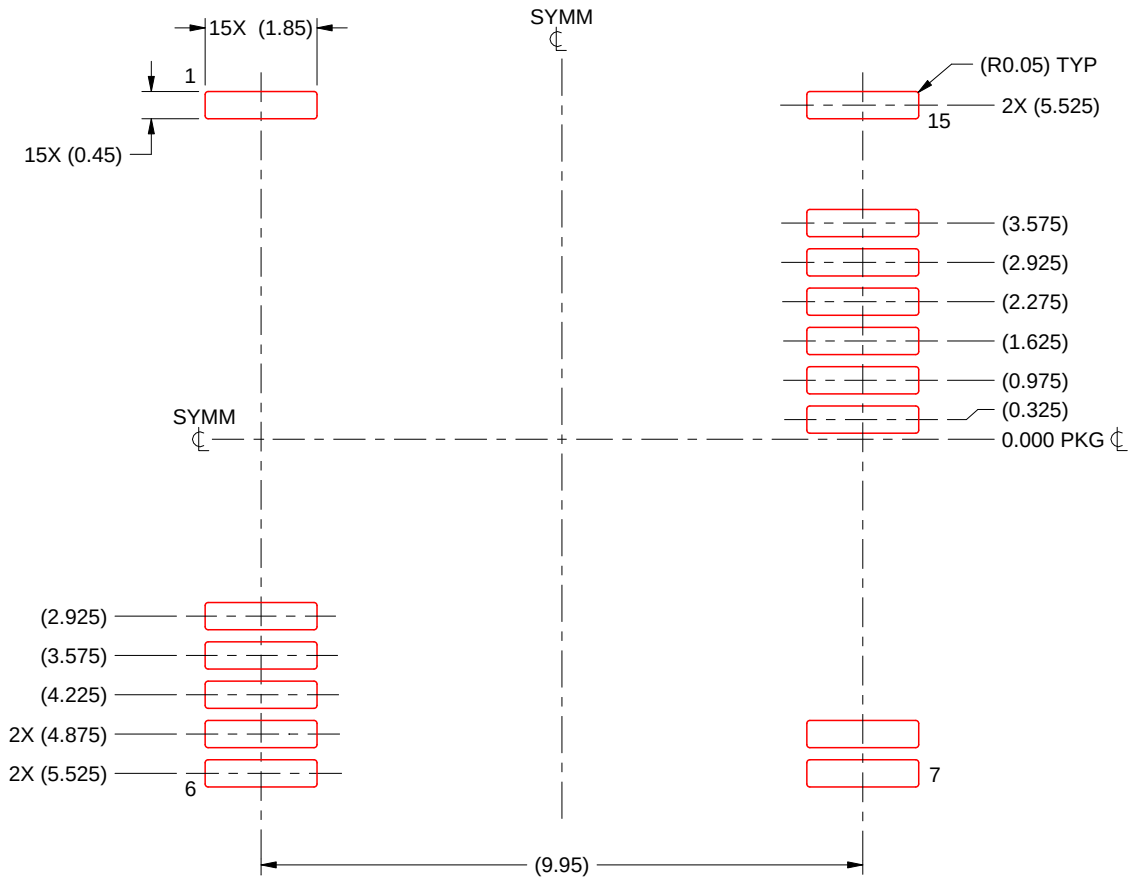
NOTES:

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



NOTES: (continued)

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



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

4229682/A 05/2023

NOTES: (continued)

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

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做出任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、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。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司