

TXE81XX 16 ビットおよび 24 ビット SPI バス I/O エクスパンダ (割り込み出力、リセット入力、I/O 構成レジスタ付き)

1 特長

- 1.65V～5.5V の動作電源電圧範囲
- Low スタンバイ消費電流: 2.3μA (標準値)
- SPI SCLK 周波数
 - 10MHz (3.3V ~ 5.5V)
 - 5MHz (1.65V ~ 5.5V)
- アクティブ Low のリセット入力 ($\overline{\text{RESET}}$)
- 5V 許容の入力および出力ポート
- 組み込みフェイルセーフ I/O 機能
- オープンドレインのアクティブ Low 割り込み出力 (INT)
- GPIO のすべての入力で、個別の I/O 制御とグリッチフィルタをサポート
- SPI デイジー チェーンをサポート
- I/O 読み取りバースト モードをサポート
- I/O 極性反転をサポート
- 最後の I/O 状態を維持するためのバスホールド機能
- 大電流の駆動能力を持つラッチ付き出力により、LED を直接駆動
- JESD 78, Class II 準拠で 100mA 超のラッチアップ性能
- JESD 22 を上回る ESD 保護
 - 2000V、人体モデル (A114-A)
 - 荷電デバイス モデルで 1000V (C101)

2 アプリケーション

- 産業用輸送
- 産業用オートメーション
- 試験および測定機器
- ファクトリ オートメーション / 制御
- 医療 / ヘルスケア
- サーバー
- ルーター (テレコム スイッチング機器)
- GPIO が制限されたプロセッサを使用する製品

3 説明

TXE81XX デバイスは、4 線式シリアル ペリフェラル インターフェイス (SPI) プロトコル用の汎用パラレル入出力 (I/O) 拡張を提供し、1.65V ~ 5.5V V_{CC} 動作用に設計されています。

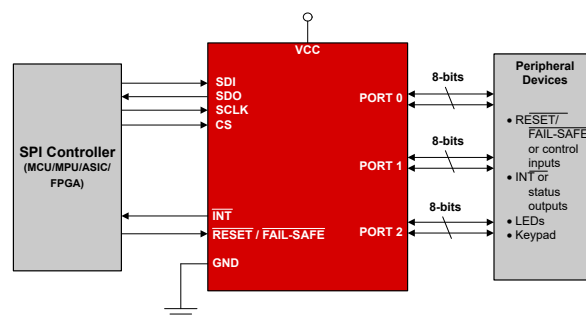
このデバイスは、3.3V ~ 5.5V で 10MHz、1.65V ~ 5.5V で 5MHz をサポートしています。TXE81XX をはじめとする I/O エクスパンダは、スイッチ、センサ、プッシュボタン、LED、ファンに I/O を追加する必要がある場合に、簡単なソリューションとして使用できます。

TXE81XX デバイスには、速度、消費電力、柔軟性の観点から I/O 性能を向上させるように設計された追加機能を備えた I/O ポートがあります。追加機能としては、イネーブル/ディセーブル プルアップ抵抗およびプルダウン抵抗、ラッチ可能な入力、マスク可能な割り込み、割り込みステータスレジスタ、プログラム可能なオープンドレインまたはプッシュプル出力、および $\overline{\text{FAIL-SAFE}}$ ピンでイネーブルになるフェイルセーフレジスタモードがあります。

パッケージ情報

部品番号 (1)	パッケージ (2)	パッケージ サイズ (3)
TXE8124	(VSSOP, 32)	8mm × 5mm
	(VQFN, , 32) (4)	5mm × 5mm
TXE8116	(VSSOP, 24)	6mm × 5mm
	(VQFN, , 24) (4)	4mm × 4mm

- (1) TXE8124 は I/O ポート 0、1、2 をサポートし、TXE8116 は I/O ポート 0 および 1 をサポートしています。
- (2) 詳細については、[セクション 11](#) を参照してください。
- (3) パッケージ サイズ (長さ × 幅) は公称値であり、該当する場合はピンも含まれます。
- (4) VQFN は開発中製品ステータスであり、変更される可能性があります。



概略回路図



目次

1 特長	1	7.3 機能説明.....	21
2 アプリケーション	1	7.4 デバイスの機能モード.....	28
3 説明	1	7.5 プログラミング.....	28
4 ピン構成および機能	3	7.6 レジスタ マップ.....	30
5 仕様	5	8 アプリケーションと実装	38
5.1 絶対最大定格.....	5	8.1 アプリケーション情報.....	38
5.2 ESD 定格.....	5	8.2 代表的なアプリケーション.....	38
5.3 推奨動作条件.....	5	8.3 電源に関する推奨事項.....	39
5.4 熱に関する情報.....	7	8.4 レイアウト.....	41
5.5 電気的特性.....	8	9 デバイスおよびドキュメントのサポート	42
5.6 タイミング要件.....	10	9.1 ドキュメントの更新通知を受け取る方法.....	42
5.7 SPI バスのタイミング要件.....	11	9.2 サポート・リソース.....	42
5.8 スイッチング特性.....	11	9.3 商標.....	42
5.9 代表的特性.....	12	9.4 静電気放電に関する注意事項.....	42
6 パラメータ測定情報	15	9.5 用語集.....	42
7 詳細説明	20	10 改訂履歴	42
7.1 概要.....	20	11 メカニカル、パッケージ、および注文情報	42
7.2 機能ブロック図.....	20		

4 ピン構成および機能

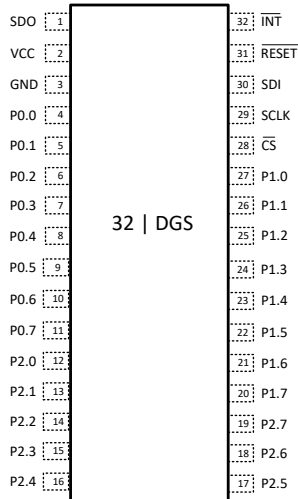


図 4-1. TXE8124 DGS (VSSOP) パッケージ、32 ピン (上面図)

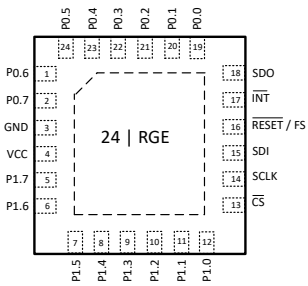


図 4-3. TXE8124 RHB (VQFN) パッケージ、32 ピン (上面図)

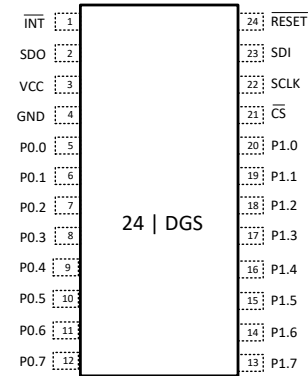


図 4-2. TXE8116 DGS (VSSOP) パッケージ、24 ピン (上面図)

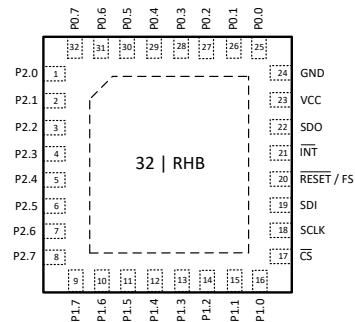


図 4-4. TXE8116 RGE (VQFN) パッケージ、24 ピン (上面図)

表 4-1. ピンの機能

名称	ピン				タイプ ⁽¹⁾	説明
	TXE8124 VSSOP3 2	TXE8116 VSSOP2 4	TXE8124 RHB32	TXE8116 RGE24		
P2.0	12	-	1	-	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 2 - IO #0 は入力として設定されます
P2.1	13	-	2	-	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 2 - IO #1 は入力として設定されます
P2.2	14	-	3	-	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 2 - IO #2 は入力として設定されます
P2.3	15	-	4	-	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 2 - IO #3 は入力として設定されます
P2.4	16	-	5	-	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 2 - IO #4 は入力として設定されます
P2.5	17	-	6	-	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 2 - IO #5 は入力として設定されます
P2.6	18	-	7	-	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 2 - IO #6 は入力として設定されます
P2.7	19	-	8	-	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 2 - IO #7 は入力として設定されます
P1.7	20	13	9	5	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 1 - IO #7 は入力として設定されます
P1.6	21	14	10	6	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 1 - IO #6 は入力として設定されます
P1.5	22	15	11	7	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 1 - IO #5 は入力として設定されます
P1.4	23	16	12	8	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 1 - IO #4 は入力として設定されます
P1.3	24	17	13	9	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 1 - IO #3 は入力として設定されます
P1.2	25	18	14	10	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 1 - IO #2 は入力として設定されます
P1.1	26	19	15	11	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 1 - IO #1 は入力として設定されます
P1.0	27	20	16	12	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 1 - IO #0 は入力として設定されます
CS	28	21	17	13	I	SPI チップ セレクト入力。内部プルアップ抵抗
SCLK	29	22	18	14	I	SPI シリアル クロック入力。内部プルダウン抵抗
SDI	30	23	19	15	I	SPI シリアル データ入力。
RESET/ FAIL- SAFE	31	24	20	16	I	アクティブ Low リセットまたはフェイルセーフ入力。外付けプルアップ抵抗が V _{CC} に接続します。
INT	32	1	21	17	O	オープンドレイン割り込み出力。外付けプルアップ抵抗が V _{CC} に接続します。
SDO	1	2	22	18	O	SPI シリアル データ出力。プッシュプル出力
VCC	2	3	23	4	P	電源電圧
GND	3	4	24	3	G	グラウンド
P0.0	4	5	25	19	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 0 - IO #0 は入力として設定されます
P0.1	5	6	26	20	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 0 - IO #1 は入力として設定されます
P0.2	6	7	27	21	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 0 - IO #2 は入力として設定されます
P0.3	7	8	28	22	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 0 - IO #3 は入力として設定されます
P0.4	8	9	29	23	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 0 - IO #4 は入力として設定されます
P0.5	9	10	30	24	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 0 - IO #5 は入力として設定されます
P0.6	10	11	31	1	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 0 - IO #6 は入力として設定されます
P0.7	11	12	32	2	I/O	P ポート入出力。電源投入時にポート 0 - IO #7 は入力として設定されます

(1) I = 入力、O = 出力、I/O = 入力または出力、G = グラウンド、P = 電源

5 仕様

5.1 絶対最大定格

自由気流での動作温度範囲内 (特に記述のない限り)⁽¹⁾

		最小値	最大値	単位
V _{CC}	電源電圧	-0.5	6.5	V
V _I	入力電圧 ⁽²⁾	-0.5	6.5	V
V _O	出力電圧 ⁽²⁾	-0.5	6.5	V
I _{IK}	入力クランプ電流	RESET、SCLK、SDI、CS V _I < 0		-20 mA
I _{OK}	出力クランプ電流	INT、SDO V _O < 0		-20 mA
I _{IOK}	入力 / 出力クランプ電流	P0.0~P2.7 V _O < 0 または V _O > V _{CC}		±20 mA
I _{OL}	連続出力 Low 電流	V _O = 0~V _{CC}		50 mA
I _{OH}	連続出力 High 電流	V _O = 0~V _{CC}		-50 mA
I _{CC}	GND を流れる連続電流 ⁽³⁾			-200 mA
I _{CC}	V _{CC} を流れる連続電流 ⁽³⁾			160 mA
T _J	接合部温度	-40	150	°C
T _{stg}	保存温度	-40	150	°C

- (1) 「絶対最大定格」の範囲外の動作は、デバイスの永続的な損傷の原因となる可能性があります。「絶対最大定格」は、これらの条件において、または「推奨動作条件」に示された値を超える他のいかなる条件でも、本製品が正しく動作することを意味するものではありません。「絶対最大定格」の範囲内であっても「推奨動作条件」の範囲外で使用すると、デバイスが完全に機能しない可能性があり、デバイスの信頼性、機能、性能に影響を及ぼし、デバイスの寿命を縮める可能性があります。
- (2) 入力と出力の電流の定格を順守しても、入力の負電圧と出力電圧の定格を超えることがあります。
- (3) 合計電流は、全負荷で実行できるチャンネルの数を制限します。

5.2 ESD 定格

		値	単位
V _(ESD)	静電放電	人体モデル (HBM)、ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 に準拠、すべてのピン ⁽¹⁾	±2000
		デバイス帯電モデル (CDM)、ANSI/ESDA/JEDEC 仕様 JS-002 に準拠、すべてのピン ⁽²⁾	±1000

- (1) JEDEC のドキュメント JEP155 に、500V HBM では標準の ESD 管理プロセスで安全な製造が可能であると規定されています。
- (2) JEDEC のドキュメント JEP157 に、250V CDM では標準の ESD 管理プロセスで安全な製造が可能であると規定されています。

5.3 推奨動作条件

自由気流での動作温度範囲内 (特に記述のない限り)

		最小値	最大値	単位
V _{CC}	電源電圧	1.65	5.5	V
V _{IH}	High レベル入力電圧	P0.0~P2.7	0.7 × V _{CC}	V _{CC}
		SCLK、SDI、CS、RESET、	0.7 × V _{CC}	V _{CC}
V _{IL}	Low レベル入力電圧	P0.0~P2.7	-0.5	0.3 × V _{CC}
		SCLK、SDI、CS、RESET、	-0.5	0.3 × V _{CC}
I _{OH}	High レベル出力電流 (V _{CC} ≥ 2.3V)	P0.0~P2.7		-10 mA
	High レベル出力電流 (V _{CC} < 2.3V)	P0.0~P2.7		-5 mA
I _{OL}	Low レベル出力電流	P0.0~P2.7		25 mA

自由気流での動作温度範囲内 (特に記述のない限り)

		最小値	最大値	単位
T _A	周囲温度	-40	130	°C
T _J	接合部温度	-40	150	°C

5.4 熱に関する情報

熱評価基準 ⁽¹⁾		パッケージ				単位
		DGS (VSSOP)		RHB (VQFN)		
		32 ピン	24 ピン	32 ピン	24 ピン	
$R_{\theta JA}$	接合部から周囲への熱抵抗	80.1	86.5	44.1	43.0	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	接合部からケース (上面) への熱抵抗	35.4	34.5	35.6	39.9	°C/W
$R_{\theta JB}$	接合部から基板への熱抵抗	44.1	48.2	25.0	21.0	°C/W
Ψ_{JT}	接合部から上面への特性パラメータ	2.0	1.4	2.7	2.2	°C/W
Ψ_{JB}	接合部から基板への特性パラメータ	43.7	47.8	24.9	21.0	°C/W
$R_{\theta JC(bot)}$	接合部からケース (底面) への熱抵抗	該当なし	該当なし	14.2	13.0	°C/W

(1) 従来および最新の熱評価基準の詳細については、『[半導体および IC パッケージの熱評価基準](#)』アプリケーション ノートを参照してください。

5.5 電気的特性

自由気流での動作温度範囲内 (特に記述のない限り)

パラメータ			テスト条件	V _{CC}	最小値	標準値	最大値	単位
V _{IK}	入力ダイオード クランプ電圧		I _I = -18mA	V _{CC}	-1.2			V
V _{PORR}	パワーオンリセット電圧、V _{CC} 立ち上がり		V _I = V _{CC} または GND、I _O = 0	V _{CC}			1.35	V
V _{PORF}	パワーオンリセット電圧、V _{CC} 立ち下がり						1.05	
V _{OH}	High レベル出力電圧 (1)	P ポート	I _{OH} = -4mA	1.65V			1.31	V
				2.3V			1.73	
			I _{OH} = -8mA	3V			2.4	
				4.5V			4.0	
				5.5V			4.95	
V _{OH}	High レベル出力電圧 (1)	P ポート	I _{OH} = -10mA	3.3V			2.53	V
				5V			4.3	V
				5.5V			4.85	V
V _{OH}	High レベル出力電圧 (1)	SDO	I _{OH} = -3mA	1.65V ~ 5.5V		V _{CC} - 0.4		V
V _{OL}	Low レベル出力電圧	P ポート	I _{OL} = 4mA	1.65V			0.22	V
				2.3V			0.36	
			I _{OL} = 8mA	3V			0.25	
				4.5V			0.17	
				5.5V			0.15	
V _{OL}	Low レベル出力電圧	P ポート	I _{OL} = 10mA	3.3V			0.40	V
				5V			0.33	V
				5.5V			0.32	V
V _{OL}	Low レベル出力電圧	SDO	I _{OL} = 3mA	1.65V ~ 5.5V			0.4	V
I _{OL}	Low レベル出力電流	INT	V _{OL} = 0.4 V	1.65V ~ 5.5V	4			mA
I _I	入力リーク電流	P ポート	V _I = V _{CC} または GND	1.65V ~ 5.5V			±1	μA
			V _I = 3.6V	0V			±1	
		SDI、RESET	V _I = V _{CC} または GND	1.65V ~ 5.5V			±1	
I _I	入力リーク電流	SCLK	V _I = GND	1.65V ~ 5.5V			±1	μA
I _I	入力リーク電流	SCLK	V _I = V _{CC}	1.65V ~ 5.5V			±65	μA
I _I	入力リーク電流	CS	V _I = V _{CC}	1.65V ~ 5.5V			±1	μA
I _I	入力リーク電流	CS	V _I = GND	1.65V ~ 5.5V			±65	μA
I _{CC}	静止時電流	スタンバイ モード	SDI、CS および RESET = V _{CC} , P ポート = V _{CC} または GND、 I/O = 入力、I _O = 0mA f _{SCLK} = 0MHz、 -40°C < T _A ≤ 85°C、I/O レジスタ無効	5.5V		2.3	8	μA
				3.6V		2	7.5	μA
				2.7V		1.8	7.2	μA
				1.65V ~ 1.95V		1.7	7	μA
			SDI、CS および RESET = V _{CC} , P ポート = V _{CC} または GND、 I/O = 入力、I _O = 0mA f _{SCLK} = 0MHz、 -40°C < T _A ≤ 125°C、I/O レジスタ無効	5.5V		2.3	26	μA
				3.6V		2	24	
				2.7V		1.8	23.6	
				1.65V ~ 1.95V		1.7	23.4	

自由気流での動作温度範囲内 (特に記述のない限り)

パラメータ		テスト条件	V _{CC}	最小値	標準値	最大値	単位
I _{CC}	アクティブ電流	アクティブ モード (5MHz) SDI、 \overline{CS} および $\overline{RESET} = V_{CC}$ 、 P ポート = V_{CC} または GND、 I/O = 入力、I _O = 0mA f _{SCLK} = 5MHz、SDO の 100pF 負荷 -40°C < T _A ≤ 125°C、I/O レジスタ無効	5.5V		150	170	μA
			3.6V		132	140	
			2.7V		127	135	
			1.65V ~ 1.95V		124	130	
	アクティブ電流	アクティブ モード (10MHz) SDI、 \overline{CS} および $\overline{RESET} = V_{CC}$ 、 P ポート = V_{CC} または GND、 I/O = 入力、I _O = 0mA f _{SCLK} = 10MHz、SDO の 100pF 負荷 -40°C < T _A ≤ 125°C、I/O レジスタ無効	5.5V		292	350	μA
			3.6V		257	285	
			2.7V		240	270	
			1.65V ~ 1.95V		242	260	
I _{BHL}	バス ホールド low 維持電流		V _I = 0.58	1.65V		35	μA
			V _I = 0.70	2.3V		50	
			V _I = 0.80	3V		60	
			V _I = 1.35	4.5V		105	
I _{BHH}	バス ホールド high 維持電流		V _I = 1.07	1.65V		-75	μA
			V _I = 1.70	2.3V		-85	
			V _I = 2.00	3V		-140	
			V _I = 3.15	4.5V		-180	
I _{BHLO}	バス ホールド low オーバードライブ電流	入力電圧を 0 から V _{CC} に上昇	1.95V		170	μA	
			2.7V		260		
			3.6V		340		
			5.5V		500		
I _{BHHO}	バス ホールド high オーバードライブ電流	入力電圧を V _{CC} から 0 に上昇	1.95V		-170	μA	
			2.7V		-260		
			3.6V		-340		
			5.5V		-500		
R _{pu(int)}	内部プルアップ抵抗	CS		70	100	140	kΩ
		P ポート		70	100	140	kΩ
R _{pd(int)}	内部プルダウン抵抗	P ポート		70	100	140	kΩ
		SCLK		70	100	140	kΩ
C _I	入力ピン容量	V _I = V _{CC} または GND	1.65V ~ 5.5V	SCLK		8	pF
				SDI		8	pF
				CS		8	pF
				RESET		8	pF
C _{IO}	入力 / 出力ピンの容量	P ポート	V _{IO} = V _{CC} または GND	1.65V ~ 5.5V		8.5	pF

(1) 各 I/O は、外部で最大 10mA に制限する必要があります

5.6 タイミング要件

自由気流での動作温度範囲内 (特に記述のない限り)

		最小値	最大値	単位
RESET				
t_w	リセットパルス幅、SDO $C_{LOAD} = 100\text{pF}$ (図 6-1)	100		ns
t_{REC}	リセット復帰時間、SDO $C_{LOAD} = 100\text{pF}$ (図 6-1)		100	ns
t_{RESET}	リセットまでの時間、SDO $C_{LOAD} = 100\text{pF}$ (図 6-1)		80	ns
パワーオンリセット				
t_{FT}	落下率 (図 8-3) (図 8-4)	0.1	2000	ms
t_{RT}	立ち上がりレート (図 8-3) (図 8-4)	0.1	2000	ms
t_{TRR_GND}	再ランプ時間 (V_{CC} が GND まで低下する場合) (図 8-3)	1		μs
t_{TRR_POR50}	再ランプ時間 (V_{CC} が $V_{POR_MIN} - 50\text{mV}$ まで低下する場合) (図 8-4)	40		μs
V_{CC_GH}	V_{CC} にグリッチが発生することはあるが、 $t_{VCC_GW} = 1\mu\text{s}$ のときに機能が途絶しないレベル (図 8-5)		1.2	V
t_{VCC_GW}	$V_{CC_GH} = 0.5 \times V_{CC}$ のときに、機能が途絶しないグリッチ幅 (図 8-5)		10	μs
フェイルセーフ IO				
f_{sEN}	フェイルセーフ IO 有効時間 (100pF 負荷) (図 6-2)	通常モードでは出力 High、フェイルセーフモードでは出力 Low	100	ns
		通常モードでは出力 Low、フェイルセーフモードでは出力 high	100	ns
		通常モードでは出力 high、フェイルセーフモードでは入力 (500 Ω のプルダウン負荷)	70	ns
		通常モードでは出力 low、フェイルセーフモードでは入力 (500 Ω のプルダウン負荷)	70	ns
f_{sDIS}	フェイルセーフ IO 無効時間 (100pF 負荷) (図 6-2)	通常モードでは出力 High、フェイルセーフモードでは出力 Low	100	ns
		通常モードでは出力 Low、フェイルセーフモードでは出力 high	100	ns
		通常モードでは入力、フェイルセーフモードでは出力 High (500 Ω プルダウン負荷)	110	ns
		通常モードでは入力、フェイルセーフモードでは出力 low (500 Ω プルダウン負荷)	90	ns
デジタル IO				
T_{GW}	デジタル グリッチ フィルタ幅	70	230	ns

5.7 SPI バスのタイミング要件

自由気流での動作温度範囲内、および SDO C_{LOAD} = 100pF (特に記述のない限り) (図 6-3 を参照)

		最小値	最大値	単位
SPI バス - 10MHz				
f _{SCLK}	SPI クロック周波数、3.3V < V _{CC} < 5.5V		10	MHz
t _{CSS}	\overline{CS} から SCLK 立ち上がりまでのセットアップ時間	50		ns
t _{CSH}	SCLK から \overline{CS} への立ち下がりデアサートホールド時間	50		ns
t _{CSD}	\overline{CS} ディセーブル時間	50		ns
t _{DS}	SDI から SCLK までのセットアップ時間	10		ns
t _{DH}	SDI から SCLK までのホールド時間	10		ns
t _{LOW}	SCLK Low 時間	45		ns
t _{HIGH}	SCLK High 時間	45		ns
t _{V(SDO)}	SDO の有効時間		27	ns
t _{DIS(SDO)}	SDO ディセーブル時間		50	ns
SPI バス - 5MHz				
f _{SCLK}	SPI クロック周波数、1.65V < V _{CC} < 5.5V		5	MHz
t _{CSS}	\overline{CS} から SCLK 立ち上がりまでのセットアップ時間	50		ns
t _{CSH}	SCLK から \overline{CS} への立ち下がりデアサートホールド時間	100		ns
t _{CSD}	\overline{CS} ディセーブル時間	100		ns
t _{DS}	SDI から SCLK までのセットアップ時間	10		ns
t _{DH}	SDI から SCLK までのホールド時間	10		ns
t _{LOW}	SCLK Low 時間	90		ns
t _{HIGH}	SCLK High 時間	90		ns
t _{V(SDO)}	SDO の有効時間		54	ns
t _{DIS(SDO)}	SDO ディセーブル時間		100	ns

5.8 スイッチング特性

自由気流での動作温度範囲内 (特に記述のない限り)

パラメータ	始点 (入力)	終点 (出力)	最小値	標準値	最大値	単位
t _{iv}	割り込み有効時間、INT C _{LOAD} = 100pF、R _{PU} = 4.7kΩ (図 6-4)	P ポート			0.2	μs
t _{ir}	割り込みリセット遅延有効時間、INT C _{LOAD} = 100pF、R _{PU} = 4.7kΩ (図 6-4)	SCLK			0.4	μs
t _{pv}	出力データ有効時間、SDO C _{LOAD} = 100pF (図 6-5)	SCLK			100	ns
t _{ps}	入力データセットアップ時間、SDO C _{LOAD} = 100pF (図 6-5)	P ポート	26			ns
t _{ph}	入力データホールド時間、SDO C _{LOAD} = 100pF (図 6-5)	SCLK	2.5			ns

5.9 代表的特性

$T_A = 25^\circ\text{C}$ (特に記述のない限り)

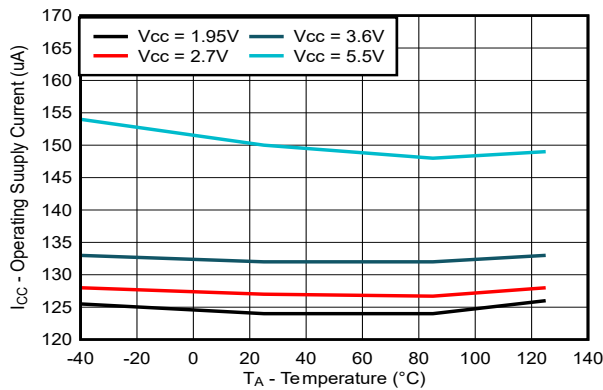


図 5-1. 動作電流と温度との関係 ($f_{SCLK} = 5\text{MHz}$)

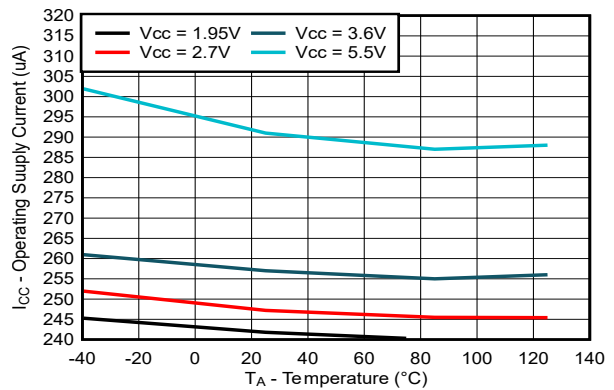


図 5-2. 動作電流と温度との関係 ($f_{SCLK} = 10\text{MHz}$)

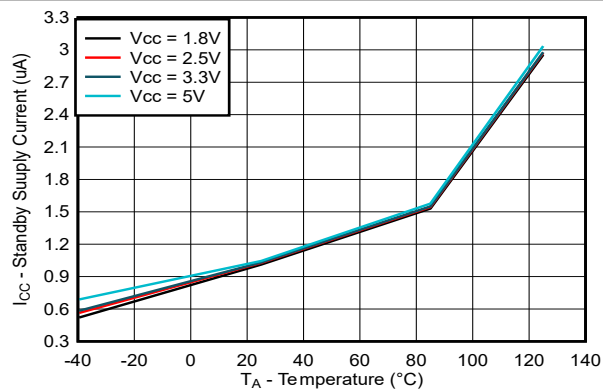


図 5-3. スタンバイ消費電流と温度との関係

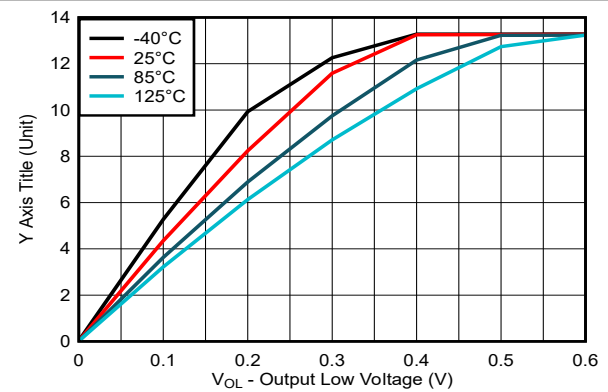


図 5-4. $V_{CC} = 1.8\text{V}$ での各種温度 (T_A) での I/O シンク電流と出力 Low 電圧との関係

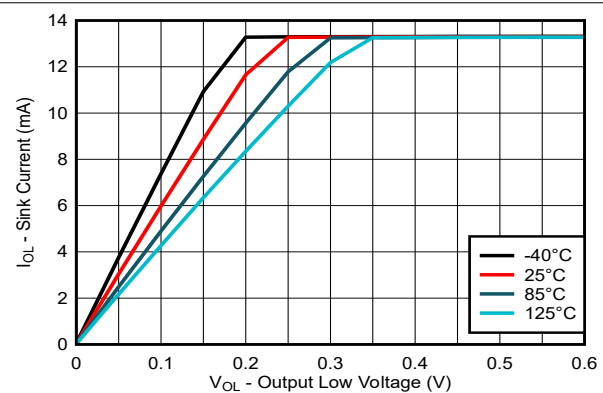


図 5-5. $V_{CC} = 2.5\text{V}$ での各種温度 (T_A) での I/O シンク電流と出力 Low 電圧との関係

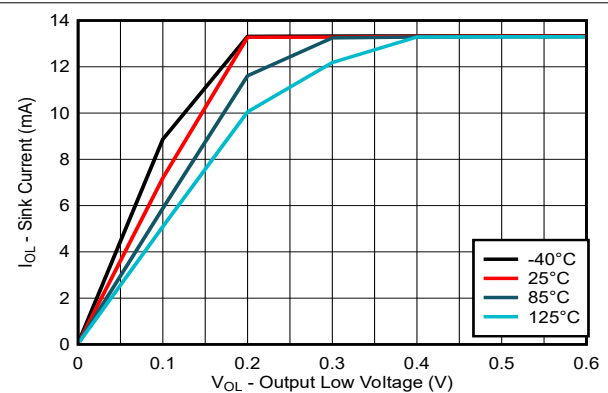


図 5-6. $V_{CC} = 3.3\text{V}$ での各種温度 (T_A) での I/O シンク電流と出力 Low 電圧との関係

5.9 代表的特性 (続き)

$T_A = 25^\circ\text{C}$ (特に記述のない限り)

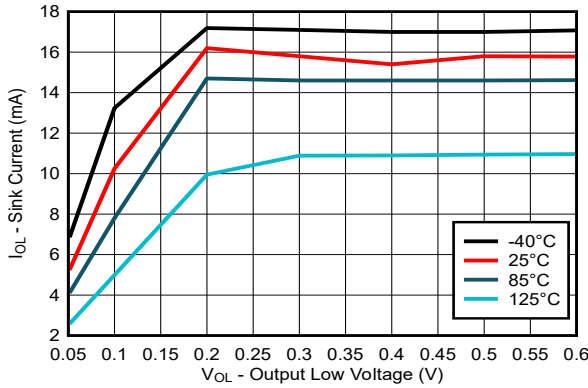


図 5-7. $V_{CC} = 5\text{V}$ での各種温度 (T_A) での I/O シンク電流と出力 Low 電圧との関係

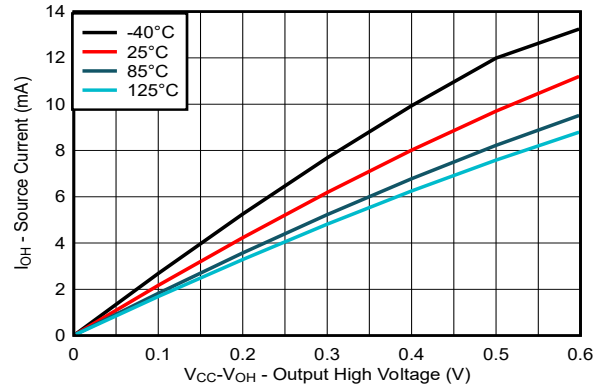


図 5-8. $V_{CC} = 1.8\text{V}$ での各種温度 (T_A) での I/O ソース電流と出力 High 電圧との関係

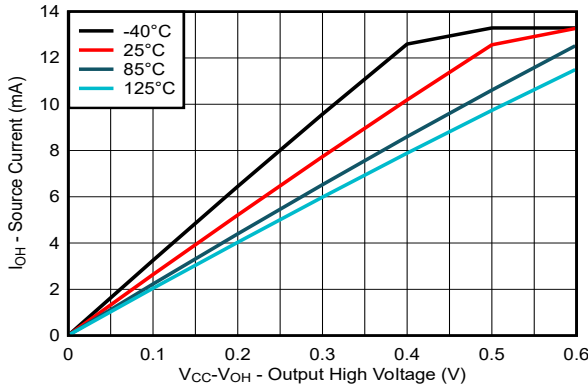


図 5-9. $V_{CC} = 2.5\text{V}$ での各種温度 (T_A) での I/O ソース電流と出力 High 電圧との関係

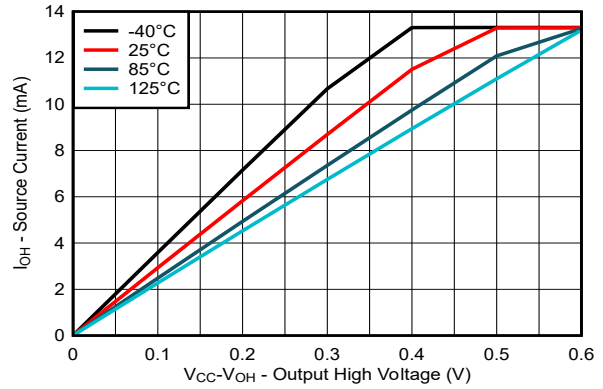


図 5-10. $V_{CC} = 3.3\text{V}$ での各種温度 (T_A) での I/O ソース電流と出力 High 電圧との関係

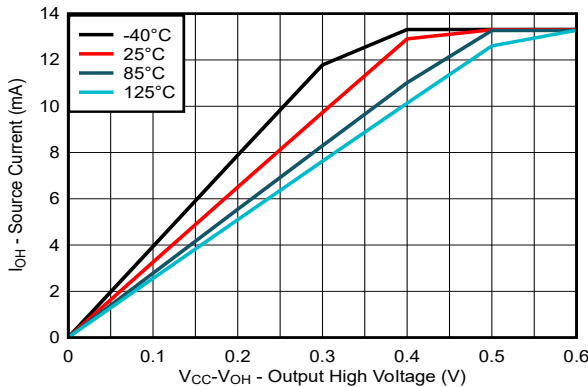


図 5-11. $V_{CC} = 5\text{V}$ での各種温度 (T_A) での I/O ソース電流と出力 High 電圧との関係

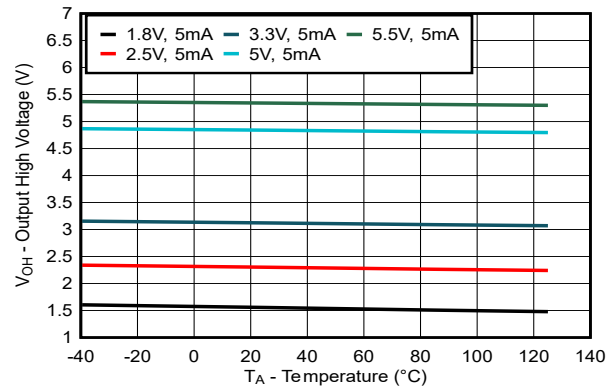


図 5-12. I/O High 電圧と温度との関係 - 5mA

5.9 代表的特性 (続き)

$T_A = 25^\circ\text{C}$ (特に記述のない限り)

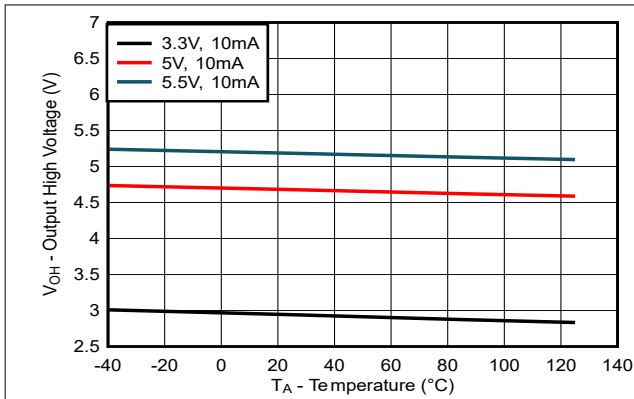


図 5-13. I/O High 電圧と温度との関係 - 10mA

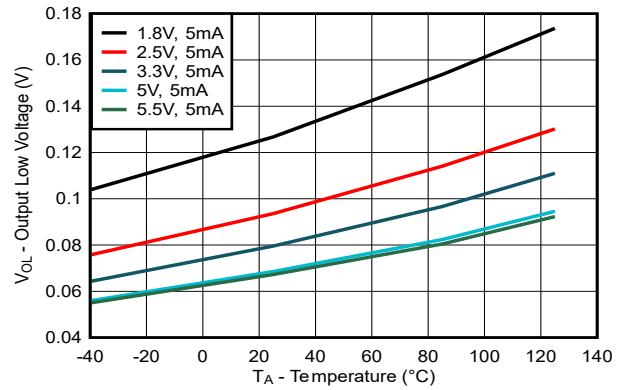


図 5-14. I/O Low 電圧と温度との関係 - 5mA

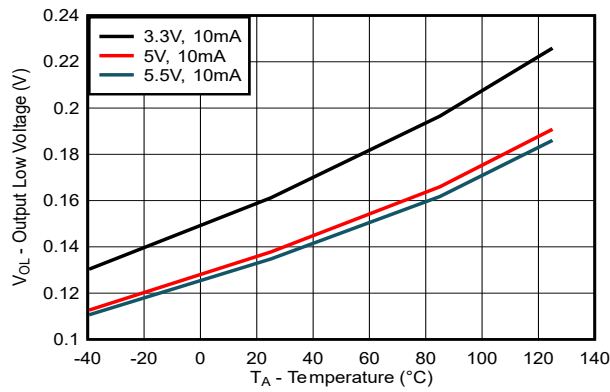


図 5-15. I/O Low 電圧と温度との関係 - 10mA

6 パラメータ測定情報

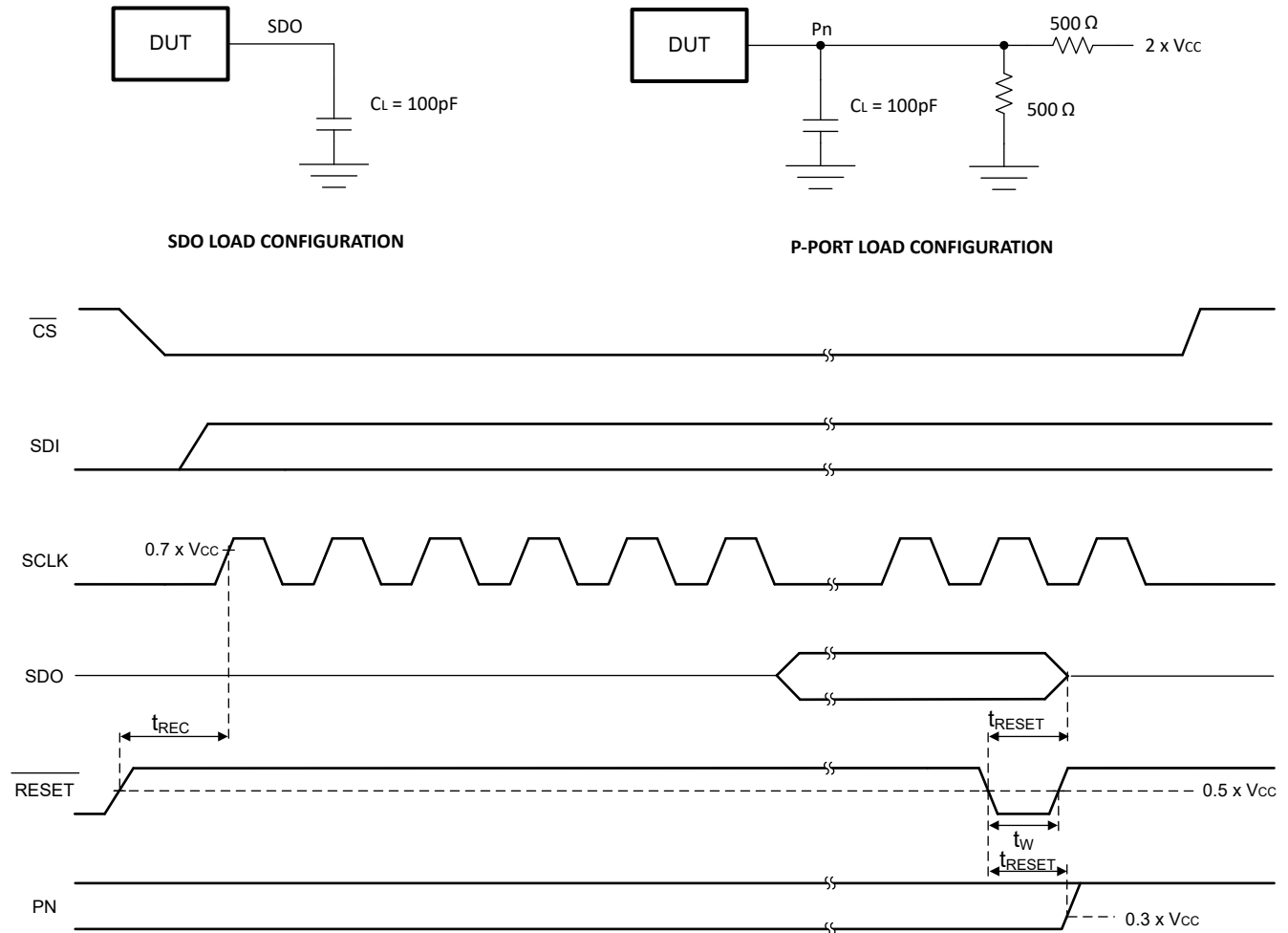


図 6-1. リセット負荷構成

- A.
1. C_L にはプローブと治具の容量が含まれます。
 2. すべての入力は、以下の特性を持つジェネレータから供給されます: $PRR \leq 10\text{MHz}$, $Z_o = 50\Omega$, $t_r/t_f \leq 10\text{ns}$.
 3. すべてのパラメータと波形が、すべてのデバイスに適用できるわけではありません。

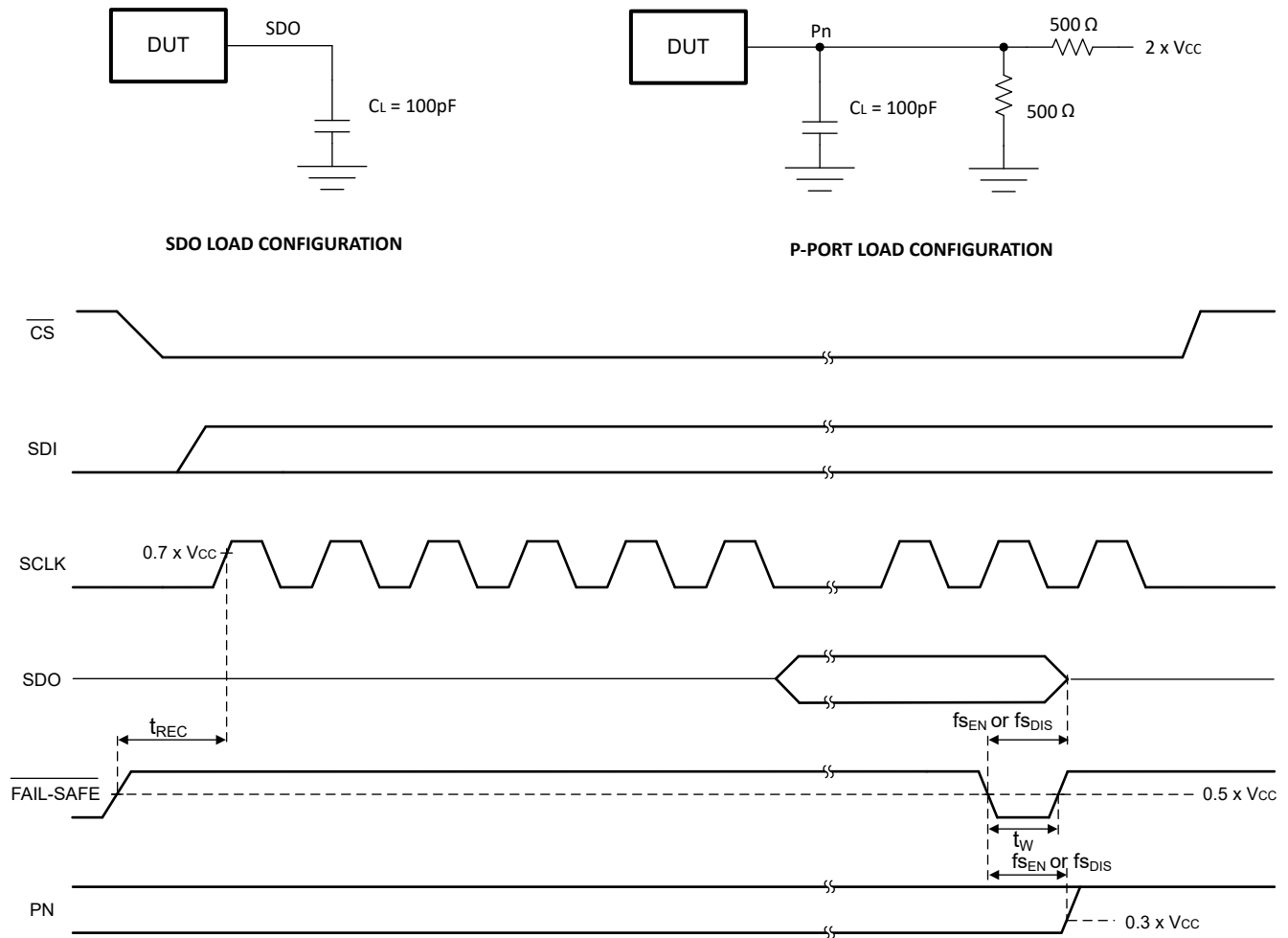
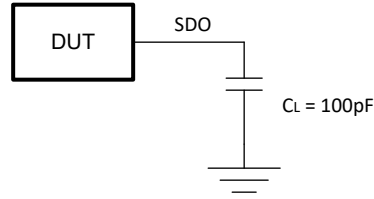


図 6-2. フェイルセーフ負荷構成

- A.
1. C_L にはプローブと治具の容量が含まれます。
 2. すべての入力、以下の特性を持つジェネレータから供給されます: $PRR \leq 10\text{MHz}$, $Z_o = 50\Omega$, $t_r/t_f \leq 10\text{ns}$ 。
 3. フェイルセーフピンは、RESETピンとの共有ピンです。
 4. すべてのパラメータと波形が、すべてのデバイスに適用できるわけではありません。



SDO LOAD CONFIGURATION

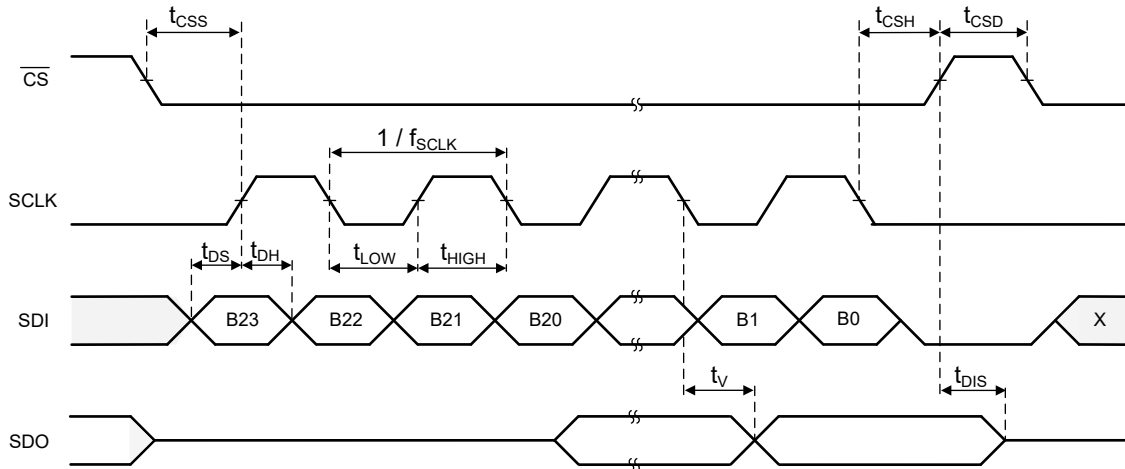


図 6-3. SPI タイミング図 - 入力

A. C_L にはプローブと治具の容量が含まれます。

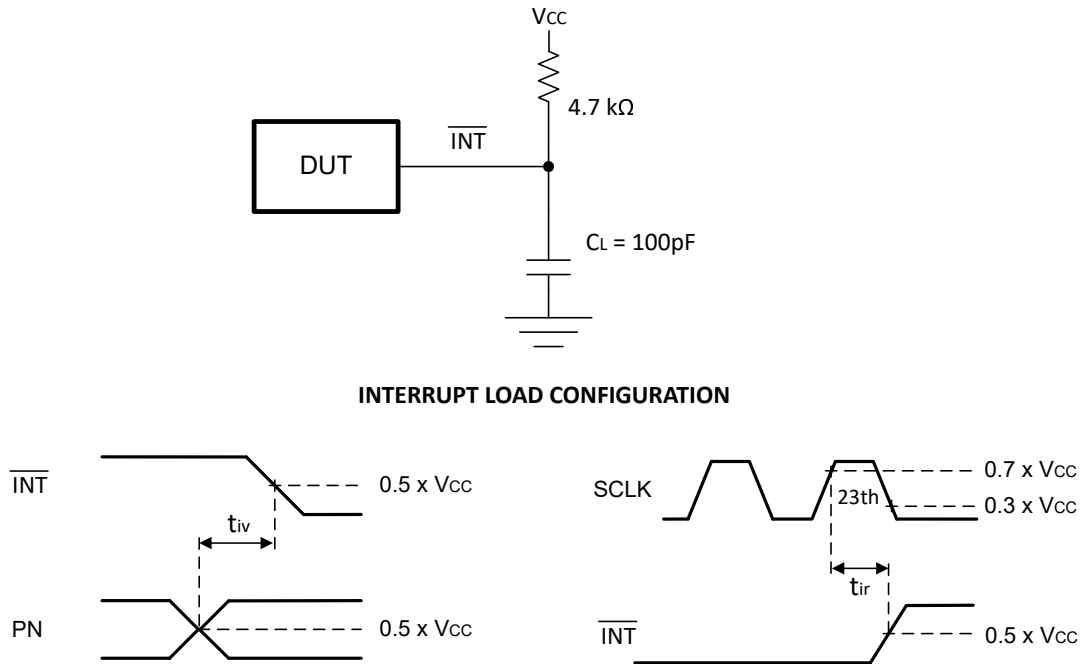
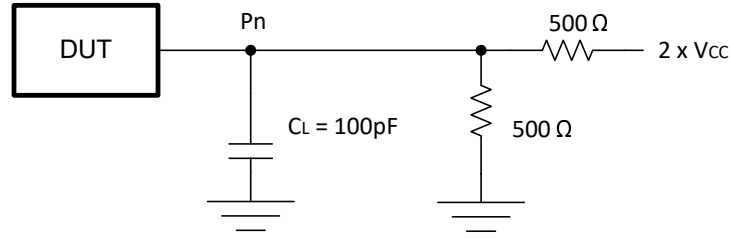
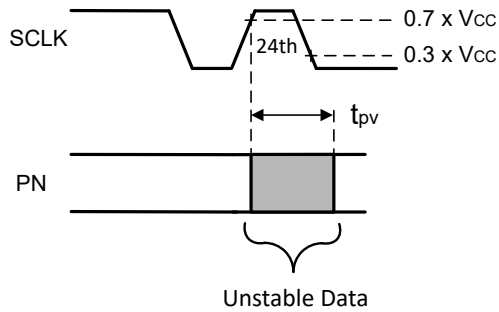


図 6-4. 割り込み負荷構成

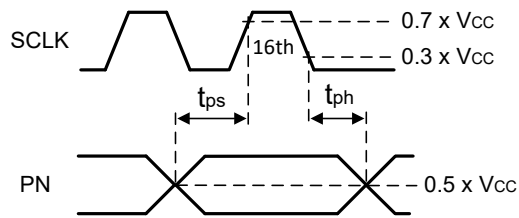
- A.
1. C_L にはプローブと治具の容量が含まれます。
 2. すべての入力は、以下の特性を持つジェネレータから供給されます: $\text{PRR} \leq 10\text{ MHz}$ 、 $Z_o = 50\Omega$ 、 $t_r/t_f \leq 10\text{ ns}$ 。



P-PORT LOAD CONFIGURATION



WRITE MODE ($\overline{R/W} = 0$)



READ MODE ($\overline{R/W} = 1$)

図 6-5. P ポートの負荷構成およびタイミング波形

- A.
1. C_L にはプローブと治具の容量が含まれます。
 2. t_{pv} は、SCLK で $0.7 \times V_{CC}$ から 50% の I/O (On) 出力まで測定されます。
 3. すべての入力は、以下の特性を持つジェネレータから供給されます: $PRR \leq 10\text{MHz}$, $Z_o = 50\Omega$, $tr/tf \leq 10\text{ns}$ 。

7 詳細説明

7.1 概要

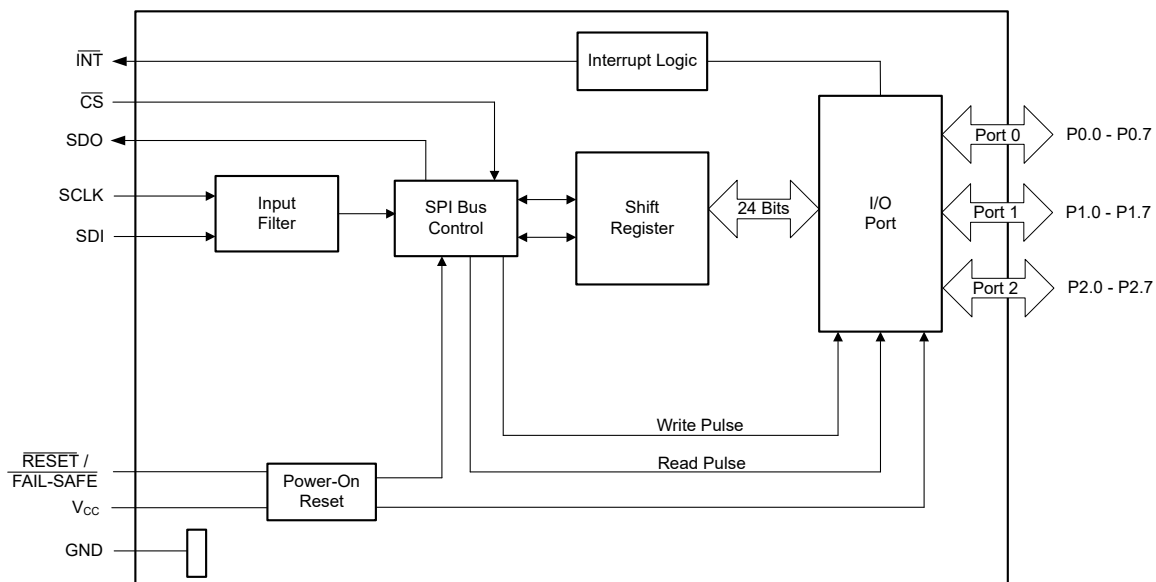
TXE81XX のデジタル コアは 24 ビットのレジスタで構成されており、ユーザーは I/O ポートの特定を構成することができます。電源オン時、またはリセット後に、I/O は入力として構成されます。ただし、方向構成レジスタに書き込むことにより、システム コントローラは I/O を入力または出力のどちらにも構成することが可能です。各入力または出力のデータは、対応する入力ポートレジスタまたは出力ポートレジスタに保持されます。入力ポートレジスタの極性は、極性反転レジスタで反転できます。ソフトウェア リセット レジスタを除くすべてのレジスタは、システム コントローラによって読み取り可能です。

TXE81XX には、I/O ポートの強化に特化した構成可能な I/O 機能が搭載されています。構成可能な I/O 機能とレジスタには、プルアップ抵抗とプルダウン抵抗のイネーブルとディセーブル、ラッチ可能な入力、マスク可能な割り込み、割り込みステータス レジスタ、個別のプログラム可能なオープンドレインまたはプッシュプル出力が含まれています。これらの構成レジスタにより柔軟性が向上するため、I/O は強化され、ユーザーは消費電力やスピードの設計を最適化できるようになります。

デバイスの他の機能には、入力ポートの状態が変化するたびに $\overline{\text{INT}}$ ピンで発生する割り込みがあります。デバイスをデフォルトの状態にリセットするには、 $\overline{\text{RESET}}$ ピンに Low 論理レベルを印加するか、ソフトウェア リセット コマンドを送信するか、またはデバイスの電源を一度切ってパワーオンリセットを行います。TXE81XX のオープンドレイン割り込み (INT) 出力は、いずれかの入力状態が対応する Input Port レジスタの状態と異なる場合にアクティブになって、入力状態が変化したことをシステム コントローラに示すために使用されます。 $\overline{\text{INT}}$ ピンは、プロセッサの割り込み入力に接続することができます。このラインで割り込み信号を送信することにより、デバイスは SPI バスで通信しなくても、リモート I/O ポートに受信データがあるかどうかをプロセッサに通知することができます。デバイスは、シンプルなターゲット デバイスとして機能します。

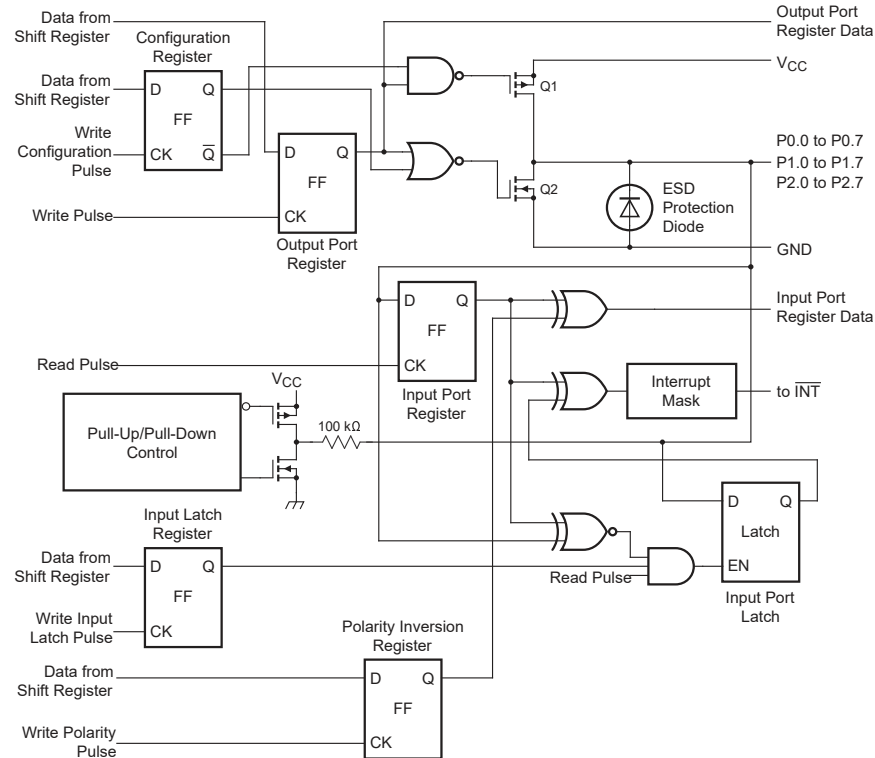
タイムアウト時またはその他の不正な動作時に、 $\overline{\text{RESET}}$ 入力ピンに low をアサートするか、または V_{CC} ピンへの電源を一度切ってパワーオンリセット (POR) することにより、システム コントローラはデバイスをリセットします。リセットによりレジスタはデフォルト状態に戻り、SPI ステート マシンが初期化されます。 $\overline{\text{RESET}}$ 機能でも POR でも、同じようにリセット / 初期化を行えますが、 $\overline{\text{RESET}}$ 機能はデバイスの電源をオフにする必要がありません。

7.2 機能ブロック図



A. すべての I/O は、リセット時に入力に設定されます。

図 7-1. ロジック図



A. 電源オンまたはリセット時に、すべてのレジスタがデフォルト値に戻ります。

図 7-2. P0.0 から P2.7 の概略回路図

7.3 機能説明

7.3.1 I/O ポート

I/O が入力として構成されている場合、FET Q1 と Q2 はオフになり (図 7-2 を参照)、高インピーダンス入力生成されません。

I/O が出力として構成されている場合、Q1 または Q2 は出力ポートレジスタの状態に応じてイネーブルになります。この場合、I/O ピンと電源または GND の間に低インピーダンスのパスがあります。この I/O ピンに印加される外部電圧は、適切に動作させるために推奨レベルを超えないようにする必要があります。

7.3.2 割り込み出力 (\overline{INT})

TXE81XX デバイスは、入力 I/O のいずれかの立ち上がりエッジまたは立ち下がりエッジで割り込みを生成します (その I/O の割り込みがマスクされていない場合)。入力状態が変化すると、対応する割り込みフラグビットが設定され、 \overline{INT} 出力がアサートされます。

そのポートのすべての割り込みフラグビットが 0 にクリアされるまで、割り込みはアクティブのまま維持されます。割り込みフラグステータスレジスタは、割り込みを自動的にクリアしません。

出力として構成された I/O は、割り込みを生成しません。実際のピンレベルが、保存されている入力ポートレジスタ値と一致しない場合、ピンを出力から入力に切り替えると、障害割り込みが発生する可能性があります。

I/O ポートがあらかじめ入力状態にあり、出力に切り替わる割り込みを検出しても、割り込みフラグはクリアされません。割り込みピンのみがマスクされます。ポートが入力として再構成されると、割り込みは元に戻ります。

\overline{INT} ピンはオープンドレインであり、割り込み機能を使用するには V_{CC} への外部プルアップ抵抗が必要です。それ以外の場合は、フローティングのままにできます。

以下の条件では、割り込みステータスビットがクリアされ、 \overline{INT} ピンがデアサートされます。

- **RESET** ピンからのハードウェアリセット- POR が割り込みをアサートする際、割り込みが一時的にデアサートされます
- フェイルセーフ モードに移行 - 割り込みは無効化およびデアサートされます
- 割り込みフラグ ステータス レジスタの読み取り
- 割り込みマスク レジスタで対応するビットを 1 に設定

TXE81XX には 4 種類の割り込みがあります。

1. **スマート割り込み** - スマート割り込みは、I/O ポートレベルでスマート割り込みレジスタの対応するポートビットを設定することでイネーブルまたはディセーブルになります。スマート割り込み (対応するレジスタ ビットを 0 とする) がイネーブルで、割り込みが生成されると、I/O 状態が初期ロジック状態に戻るか、割り込みフラグ ステータス レジスタを読み取った場合、割り込みがクリアされます。たとえば、入力ポート レジスタを読み取った場合や、I/O 状態が初期状態に戻った場合、割り込みフラグ ステータス レジスタで読み取り動作がない場合でも、割り込みはクリアされます。各種の割り込みクリア シナリオについては、表 7-1 を参照してください。スマート割り込みがイネーブルの場合、入力 IO トグル周波数は 50ns 超である必要があります。そうしないと、割り込みクリアが見逃される可能性があります。これを回避するには、入力グリッチ フィルタ イネーブル レジスタでデジタル グリッチ フィルタをイネーブルにします。

表 7-1. スマート割り込み用の割り込みフラグ クリア シナリオ

スマート割り込み	IO 入力に変化したときの CS 状態	割り込みフラグ クリア
無効	$\overline{CS} = \text{High}$	\overline{CS} を Low、SPI が割り込みフラグ ステータス レジスタを読み取り
無効	$\overline{CS} = \text{Low}$	割り込みフラグ ステータス レジスタの読み取り
イネーブル	$\overline{CS} = \text{High}$	<ol style="list-style-type: none"> \overline{CS} を Low、SPI が入力ポートレジスタを読み取り IO 状態が初期状態に戻ります \overline{CS} を Low、SPI が割り込みフラグ ステータス レジスタを読み取り
イネーブル	$\overline{CS} = \text{Low}$	<ol style="list-style-type: none"> 入力ポートレジスタ読み取りの場合または IO 状態が初期状態に戻った場合、割り込みフラグは直ちにクリアされません。\overline{CS} が High になり、30ns を超えて保持されると、割り込みフラグがクリアされます。 割り込みフラグ ステータス レジスタの読み取り

2. **通常の割り込み** - スマート割り込みがディセーブル (対応するレジスタ ビットが 1) の場合、I/O 状態を初期ロジック状態に戻すと、割り込みをクリアできず、割り込みフラグ ステータス レジスタを読み取る場合にのみ、割り込みがクリアされます。
3. **POR 割り込み** - 各 POR 回復のフォルト ステータス レジスタに POR フォルト ビットが設定され、割り込みも生成されます。割り込みは、フォルト ステータス レジスタが読み取られたときにのみクリアされます。
4. **フェイルセーフ冗長性障害割り込み** - フェイルセーフ冗長性チェックがイネーブルの場合、およびフェイルセーフ冗長性チェック エラーが発生した場合、フォルト ステータス レジスタでフェイルセーフ同期フォルト ビットが設定されます。これにより、割り込みも生成されます。割り込みは、フォルト ステータス レジスタが読み取られたときにのみクリアされます。

割り込みマスク

すべての入力 I/O からの割り込みは、デフォルトではマスクされていません。割り込みをマスクするには、割り込みマスク レジスタで対応する I/O ビットを設定する必要があります。POR 回復によって生成された割り込みはマスクできません。

入力 I/O の状態が変化し、割り込みマスクレジスタの対応ビットが 1 に設定されると、割り込みはマスクされ、 $\overline{\text{INT}}$ ピンはアサートされません。割り込みフラグ ステータスレジスタの対応ビットも 0 のままになり、割り込みマスクビットによってブロックされます。

フェイルセーフ冗長チェック イネーブル ビットが 0 の場合、フェイルセーフ冗長性チェックが失敗したことによって生成される割り込みはディセーブルになります。

マルチポートコマンドを使用すると、同時に複数のポートを割り込みマスク用に構成できます。

7.3.3 リセット入力 ($\overline{\text{RESET}}$)

$\overline{\text{RESET}}$ 入力をアサートして、 V_{CC} 電源を動作レベルに保持しながら、システムを初期化することができます。リセットを行うには、 t_{W} の最小時間の間、 $\overline{\text{RESET}}$ ピンを Low に保持します。TXE81XX のレジスタと SPI のステートマシンは、 $\overline{\text{RESET}}$ が Low に設定されると、デフォルト状態に変更されます。 $\overline{\text{RESET}}$ が High に設定されると、P ポートの I/O レベルは外部から、またはコントローラを使用して変更できます。アクティブ接続が使用されない場合、この入力には V_{CC} へのプルアップ抵抗が必要です。 $\overline{\text{RESET}}$ がトグル切り替えされると、Input Port レジスタは GPIO ピンの状態を反映して更新されます。

7.3.4 フェイルセーフモード

SPI コントローラは、この機能を有効にし、ピンの機能をリセットからフェイルセーフに変更するために、フェイルセーフ有効化レジスタをプログラムすることで、TXE81XX をフェイルセーフ状態に設定するオプションを持っています。

このレジスタは、POR イベントまたはその他の故障シナリオ中にクリアされる可能性があります。SPI コントローラへの割り込みを生成する故障シナリオがある場合、SPI コントローラは毎回このレジスタを書き換える必要があります。割り込みが生成されると、SPI コントローラは故障ステータスレジスタを読み取って割り込みの原因を把握できます。

TXE81XX をフェイルセーフモードに設定するには、フェイルセーフ イネーブル レジスタのビット 0 を 1 にする必要があります。

冗長性を確保するには、2 つのデバイス構成レジスタに書き込んで I/O 構成をプログラムする必要があります。これらのレジスタのいずれかが破損し、内容が一致しない場合は、割り込みが発生します。

たとえば、フェイルセーフモードで I/O ピン P0.1 を出力し、High に設定する場合、フェイルセーフモードを構成するシーケンスは次のようになります。

1. フェイルセーフ イネーブル レジスタ 1 のビット 0 (アドレス: 0x1200) を 1 として構成
2. フェイルセーフ イネーブル レジスタ 2 のビット 0 (アドレス: 0x1300) を 1 として構成
3. フェイルセーフ方向構成レジスタ 1 のポート 0 のビット 1 (P0.1) (アドレス: 0x1400) を 1 に設定
4. フェイルセーフ方向構成レジスタ 2 のポート 0 のビット 1 (P0.1) (アドレス: 0x1500) を 1 に設定
5. フェイルセーフ出力レジスタ 1 のポート 0 のビット 1 (P0.1) (アドレス: 0x1600) を 1 に設定
6. フェイルセーフ出力レジスタ 2 のポート 0 のビット 1 (P0.1) (アドレス: 0x1700) を 1 に設定
7. フェイルセーフ冗長性チェック レジスタのビット 0 (アドレス: 0x1800) を 1 に設定
8. $\overline{\text{RESET/FAIL-SAFE}}$ ピンをアサート

7.3.5 ソフトウェアリセット呼び出し

ソフトウェアリセット呼び出しは、SPI バス上のコントローラから送信されるコマンドであり、コマンドをサポートする SPI ターゲットデバイスに電源投入時のデフォルト状態にリセットするように指示します。

TXE8116/TXE8124 デバイスは、通信に 24 ビットの SPI フレームを使用します。たとえば、ソフトウェアリセットコマンドを介してレジスタリセットをトリガするには、コントローラは SPI フレームを次のように構成できます。

B23	B22	B21	B20	B19	B18	B17	B16	B15	B14	B13	B12	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

コントローラ側でのこのコマンドのサンプルコードは次のとおりです。

```

// SPI レジスタアドレスを定義する
#define REGISTER_CMD_BYTE 0x1A // リセットレジスタのレジスタコマンドバイト
#define DATA_BITS 0x2 // レジスタリセットをトリガするには、B1 を 1、B0 を 0 に設定します。
#define READ_WRITE_BIT 0 // 書き込み操作の場合は 0、読み取り操作の場合は 1

// 24 ビット SPI フレームを I/O エクスパンダに送信する関数(MSB ファースト)
void SPI_Send(uint32_t data) {
    // ハードウェア SPI ペリフェラルを使用して 24 ビット データをビットごとに送信 (MSB ファースト)
    for (int i = 23; i >= 0; i--) {
        SPI_Transmit((data >> i) & 0x01); // MSB を最初にシフトアウト
    }
}

// SPI I/O エクスパンダにソフトウェアリセット コマンドを送信する機能
void SPI_Software_Reset(void) {
    uint32_t frame = 0;

    // 読み取り書き込みビット (ビット 23) を設定する
    frame |= (READ_WRITE_BIT << 23);

    // レジスタアドレスを設定する (ビット 20~16)
    frame |= (REGISTER_CMD_BYTE << 16);

    // データビット (ビット 7-0) を設定
    frame |= (DATA_BITS & 0xFF); // 下位 8 ビットのみを使用するようにする

    // CS を low にプルするとターゲット デバイスが選択される
    CS_LOW();

    // 構築した SPI フレームを送信する (MSB ファースト)
    SPI_Send(frame);

    // 送信後にデバイスの選択を解除するには CS を High にプルする
    CS_HIGH();
}

```

7.3.6 バースト モード

バースト モード読み取りトランザクションでは、初期アドレスはコントローラ デバイスによって指定され、周辺装置に送信されます。後続のアクセスでは、アドレスは次のポートに対応する次の有効なアドレス (2 番目のアドレス バイト) に自動的にインクリメントされます。この自動アドレス インクリメントは、CS がアクティブ low のままで、SCLK パルスが周辺デバイスによって受信される限り継続されます。

バーストモードトランザクションは、指定された機能 (最初のアドレス バイト) の最後のポート アドレスに到達するまで、有効なポート アドレスごとにアドレスを自動的に進めながら順次続行されます。最後の有効なポート アドレスに到達すると、周辺機器は SDO からすべて 0 を出力し、有効なデータ シーケンスの終了を示します。

バーストモードでは、特定の機能の最後のポート アドレスに到達した後、新しい機能アドレスに自動的に増加しないことに注意することが重要です。さらなるトランザクションが必要な場合、コントローラは新しい機能アドレスを手動で指定する必要があります。

7.3.7 デイジー チェーン

複数の TXE81XX デバイスをデイジー チェーン構成で接続すると、サポートされる I/O ポートの数を拡張できます。コントローラはまず、チェーン内で最も遠いデバイス (コントローラの SDI から最も遠く、コントローラの SDO に最も近いデバイス) のレジスタ アドレスを送信します。ヘッダに続いて、このレジスタ アドレスが最初に送信され、最も遠いデバイスとの通信が開始されます。

通信がチェーンに沿って進むにつれて、後続の各デバイスのレジスタ アドレスが順番に送信されます。最後に、コントローラに最も近いデバイス (コントローラに最も近い SDI に接続されている) のレジスタ アドレスが最後に送信されます。これにより、データがチェーン内を順番に流れ、各デバイスがデータを受信して次のデバイスに転送するようになります。

各 SPI トランザクションは、次の 4 種類のセグメントで構成されます。ステータス、ヘッダ、アドレス (レジスタ アドレス)、およびデータは以下に示すとおりです。ヘッダはオプションのセグメントであり、デイジー チェーンが有効な場合にのみ存在します。

SDI 上の SPI データ入力データは、SCLK の low エッジから high エッジでサンプリングされます。SDO 上の SPI 出力データは、SCLK の high エッジから low エッジに変更されます。

デイジーチェーントランザクションのフレームについては、図 7-3 を参照してください。最終デバイスに到達するまで、同じシーケンスがチェーン全体にわたって繰り返されます。

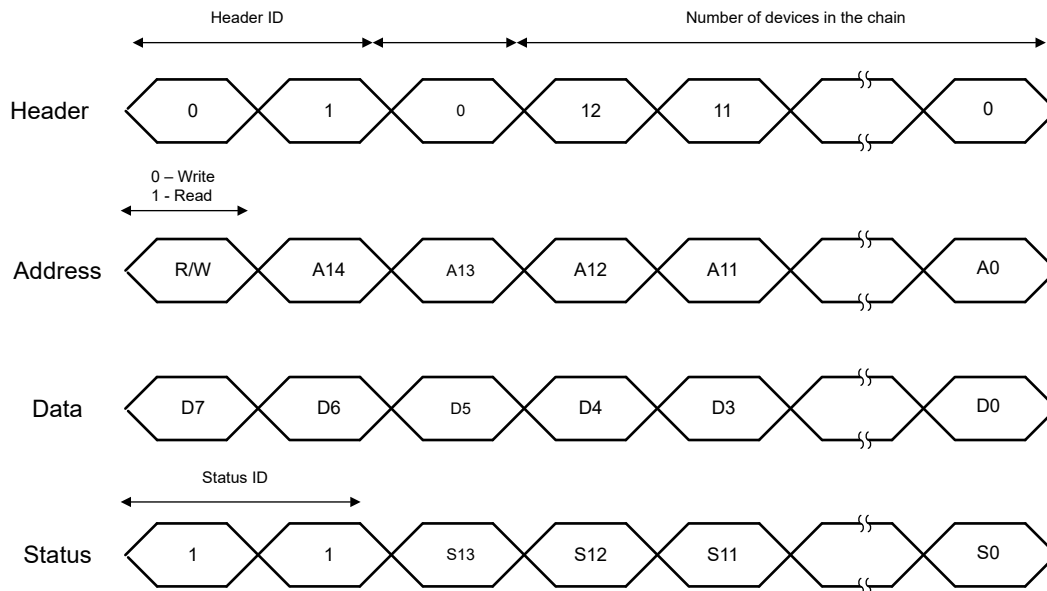


図 7-3. SPI デイジーチェーン データ フレーム

ヘッダ セグメント

ヘッダ セグメントのビット 15 と 14 はヘッダ ID です。これは、デバイス コントローラがヘッダ セグメントが受信されていることを検出するために使用されます。

ビット [15:14]: ヘッダ ID。0 と 1 はこれがヘッダ セグメントであることを示します。

ビット [13]: 予約済み。

ビット [12:0]: ヘッダ セグメントのビット 12 ~ 0 は、デイジー チェーン内のデバイスの数を決定します。

アドレス セグメント (レジスタ アドレス)

ビット 15 は SPI 動作モードを示します (1 = 読み取り操作、0 = 書き込み操作)。レジスタ アドレスについては、[図 7-5](#) の最初のバイトと 2 番目のバイトを参照してください。

ステータス セグメント

ステータス セグメントは 16 ビットで、データ形式は次のとおりです。

ビット [15:14]: ビット 15 と 14 は両方とも 1 であり、これがステータス セグメントであることを示します。

ビット [13:8]: 故障ステータスレジスタのビット 5 ~ 0 については、[故障ステータスレジスタ](#) を参照してください。

ビット [7:0]: ビット 7 ~ 0 は 0 です。

たとえば、MCU と 2 つの SPI 周辺デバイスに SPI デイジー チェーン トポロジがある場合、デバイス間の図とデータ形式については、[図 7-4](#) を参照してください。

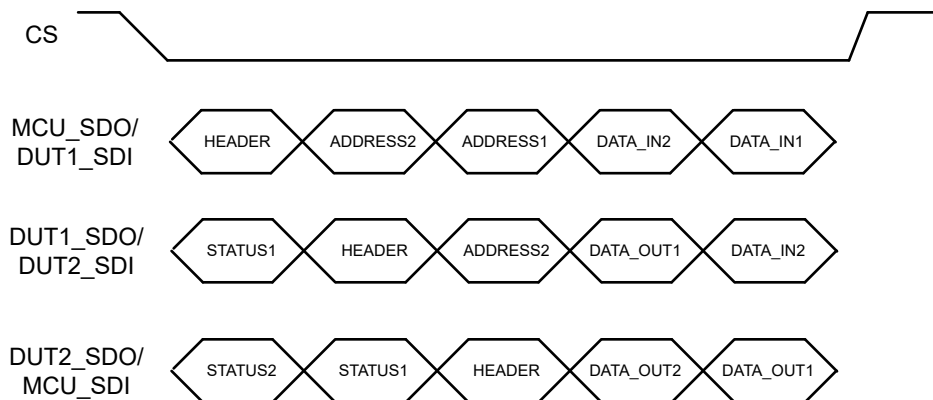
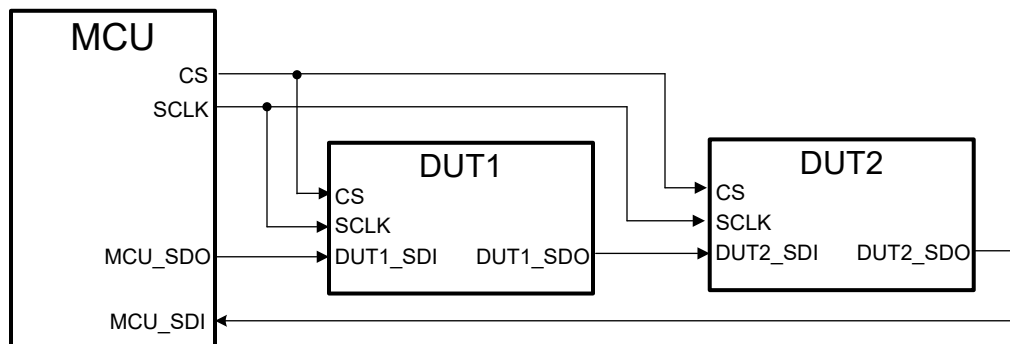


図 7-4. SPI デイジーチェーンの図

最も遠いデバイス (MCU の SDI から最も遠い/MCU の SDO に最も近い) のレジスタ アドレスは、ヘッダの後に MCU によって最初に送信され、最も近いデバイス (SDI に最も近い) のアドレスは MCU によって最後に送信されます。

7.3.8 マルチポート

2 番目のバイトの LSB はマルチポート機能を有効にします。このビットが 1 の場合、データバイトの各ビットは個別のポートを参照します。したがって、LSB ビット B0 は P0 ポート、B1 は P1 ポート、B2 は P2 ポートを参照します。マルチポートプログラミングを使用すると、特定のポートのすべての I/O は同じ構成になります。

たとえば、P1 のすべての I/O を 1 に設定するには、コントローラは GPIO 方向を出力として設定し、P1 ポートを設定します。

コントローラ側でのこのコマンドのサンプルコードは次のとおりです。

```
// SPI レジスタアドレスを定義する
#define REGISTER_CMD_BYTE 0x4 // 方向構成レジスタのレジスタ コマンド バイト
#define REGISTER_CMD_OUTPUT 0x3 // 出力ポートレジスタのレジスタ コマンド バイト
#define DATA_BITS 0x2 // B1 を 1, B0 を 0 に設定して P1 ポートを設定します
#define READ_WRITE_BIT 0 // 書き込み操作の場合は 0, 読み取り操作の場合は 1

// 24 ビット SPI フレームを I/O エクスパンダに送信する関数(MSB ファースト)
void SPI_Send(uint32_t data) {
    // ハードウェア SPI ペリフェラルを使用して 24 ビット データをビットごとに送信 (MSB ファースト)
    for (int i = 23; i >= 0; i--) {
        SPI_Transmit((data >> i) & 0x01); // MSB を最初にシフトアウト
    }
}

// SPI I/O エクスパンダにマルチポートコマンドを送信する機能
void SPI_Multi_Port_Dir(void) {
    uint32_t frame = 0;
    // 読み取り書き込みビット (ビット 23) を設定する
    frame |= (READ_WRITE_BIT << 23);
    // レジスタ アドレスを設定する (ビット 20~16)
    frame |= (REGISTER_CMD_BYTE << 16);
    // データビット (ビット 7-0) を設定
    frame |= (DATA_BITS & 0xFF); // 下位 8 ビットのみを使用するようにする
    // CS を low にプルするとターゲット デバイスが選択される
    CS_LOW();
    // 構築した SPI フレームを送信する (MSB ファースト)
    SPI_Send(frame);
    // 送信後にデバイスの選択を解除するには CS を High にプルする
    CS_HIGH();
}
```

```
void SPI_Multi_Port_Output(void) {
    uint32_t frame = 0;
    // 読み取り書き込みビット (ビット 23) を設定する
    frame |= (READ_WRITE_BIT << 23);
    // レジスタ アドレスを設定する (ビット 20~16)
    frame |= (REGISTER_CMD_OUTPUT << 16);
    // データビット (ビット 7-0) を設定
    frame |= (DATA_BITS & 0xFF); // 下位 8 ビットのみを使用するようにする
    // CS を low にプルするとターゲット デバイスが選択される
    CS_LOW();
    // 構築した SPI フレームを送信する (MSB ファースト)
    SPI_Send(frame);
    // 送信後にデバイスの選択を解除するには CS を High にプルする
    CS_HIGH();
}
```

7.4 デバイスの機能モード

7.4.1 パワーオンリセット

デバイスに 0V から電源が供給され、 V_{CC} に適用されるとき、内部パワーオンリセットにより、電源が V_{POR} に達するまで TXE81XX はリセット状態に保持されます。その時点でリセット状態が解除され、TXE81XX レジスタと SPI ステートマシンはデフォルト状態に初期化されます。パワーリセット サイクルを行うには、その後で V_{CC} を V_{PORF} 未満まで $t_{TRR_POR_50}$ の時間だけ下げた後、再び動作電圧まで戻す必要があります。

7.5 プログラミング

7.5.1 SPI インターフェイス

TXE81XX デバイスは、SPI インターフェイスを使用してデバイス構成、動作パラメータを設定し、診断情報を読み取ります。SPI プロトコルは、シリアル クロック (SCLK)、アクティブ LOW チップ セレクト (\overline{CS})、シリアル データ入力 (SDI)、シリアル データ出力 (SDO) の 3 つの入力と 1 つの出力を使用します。クロック パルスとデータがデバイスに入力される前に、 \overline{CS} を low に駆動する必要があります。 \overline{CS} が high の場合、デバイスは SCLK と SDI 上のすべてのアクティビティを無視します。

TXE81XX デバイスは、SPI モード 0 (CPOL = 0, CPHA = 0) をサポートしています。アイドル時、クロック (SCLK) は Low になります。データは SCLK の立ち上がりエッジでサンプリングされ、立ち下がりエッジで変更されます。

TXE81XX では、独立したチップセレクトを備えた SPI バスに加えて、デイジー チェーン構成もサポートされています。複数の周辺機器を直列に接続し、1 つのデバイスの出力を次のデバイスの入力に供給することができます。デイジー チェーンは、チェーン全体に必要な \overline{CS} ラインが 1 つだけなので、 \overline{CS} ラインの数を減らすのに役立ちます。データは、各クロック サイクル中にチェーン内のすべてのデバイスを介して移行されます。

7.5.2 SPI データ形式

TXE81XX のデータ形式を [図 7-5](#) に示します。

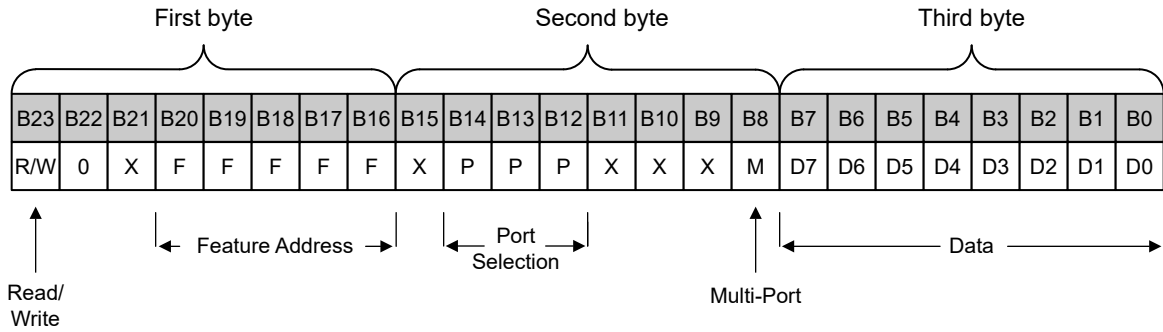


図 7-5. TXE81XX SPI ワード アドレス

TXE81XX SPI ワードの長さは 24 ビットで、24 ビットのデータを MSB ファースト方式でデバイスに移行します。SCLK の立ち上がりエッジの間、SPI データは安定している必要があります。

SDI データ長は少なくとも 24 ビットまたは $[16 + (N \cdot 8)]$ ビットである必要があります (N は書き込むデータバイト数、 $N \geq 1$)。SDO 経由でデータ出力を読み取る場合、最初の 16 アドレスビットの後にデータバイトの読み取りが開始されます。

7.5.3 書き込み

SPI 書き込み動作は、コントローラ デバイスから周辺デバイスにデータを送信するために使用されます。この動作は SPI バスを介して実行され、コントローラ デバイスがクロック (SCLK) を制御してデータを周辺装置に送信します。SPI 書き込みは、通常、周辺装置の構成、制御コマンドの送信、データの転送に使用されます。

SPI 書き込み手順

1. \overline{CS} を low に駆動します。これにより、内部シフトレジスタが有効になります。
2. 24 ビットのデータを MSB ファースト方式でデバイスに移行します (MSB ビット)。SCLK の立ち上がりエッジの間、データは安定している必要があります。
3. MSB ビットは、書き込み動作であることを示す「0」である必要があります。
4. 16 ビットのステータスが SDO で送信されます。最初の 2 ビットは 2'b11 です (ステータス セグメントであることを示します)。次の 6 ビットは、故障ステータスレジスタのビット 5 ~ 0 です。最後の 8 ビットはすべて 0 です。
5. 最後のデータビットが転送された後、転送するデータがない場合は SCLK を low に駆動します。
6. データバイトが SDI に送られると、レジスタの以前の内容が SDO に送られます。
7. 書き込みサイクルを終了するために \overline{CS} をデアサート (High に駆動) します。

7.5.4 読み取り

TXE81XX の SPI 読み取り動作は、特定のレジスタからデータを取得するために使用されます。

この動作では、レジスタにアクセスしてそのデータを読み取るコマンドを TXE81XX に送信します。

SPI 読み取り動作手順:

1. \overline{CS} を low に駆動します。これにより、内部シフトレジスタが有効になります。
2. 24 ビットのデータを MSB ファースト方式でデバイスに移行します。SCLK の立ち上がりエッジの間、データは安定している必要があります。
3. MSB ビットは、読み取り専用転送であることを示す「1」である必要があります。
4. 3 番目のデータ バイトは NOP (無動作) であり、ダミー データ バイトです。
5. 16 ビットのステータスが SDO で送信されます。最初の 2 ビットは 2'b11 です (ステータス セグメントであることを示します)。次の 6 ビットは、故障ステータスレジスタのビット 5 ~ 0 です。最後の 8 ビットはすべて 0 です。
6. 読み取りデータはステータス ビットに続いて SDO にシフト出力されます。
7. 最後のデータビットが転送された後、転送するデータがない場合は SCLK を low に駆動します。
8. 読み取りサイクルを終了するために \overline{CS} をデアサート (High に駆動) します。

7.6 レジスタ マップ

7.6.1 制御レジスタ：読み取り/書き込みおよび機能アドレス (B23-B16)

通信は、 \overline{CS} ピンを low にして SCLK ピンをクロックすることによって開始されます。通信の最初のバイトは、読み取り/書き込み構成とさまざまな機能設定です。コマンド アドレスは機能 (入力、出力、極性反転、フェイルセーフなど) を制御し、ポート アドレスは使用するポートを選択します。マルチポートの有効化/無効化ビットは、2 番目のバイト (B8) の LSB です。

新しいコマンドが送信されると、アドレス指定されたレジスタは、新しいコマンド バイトが送信されるまで、読み取りによってアクセスが継続されます。電源投入時、ハードウェア リセット時、またはソフトウェア リセット時に、制御レジスタはデフォルトで 0x0 に設定されます。

制御レジスタ (機能アドレス)					コマンド バイト (16 進数)	レジスタ	マル チ ポ ー ト	プロトコル	電源投入時 のデフォルト値
B20	B19	B18	B17	B16					
0	0	0	0	0	0x0	スクラッチ レジスタ	なし	バイトの読み取り / 書き 込み	0x0
0	0	0	0	1	0x1	Device_ID	なし	バイトの読み取り	0x0 - TXE8116 0x1 - TXE8124
0	0	0	1	0	0x2	入力ポートレジスタ	あり	バイトの読み取り	0x0
0	0	0	1	1	0x3	出力ポートレジスタ	あり	バイトの読み取り / 書き 込み	0x0
0	0	1	0	0	0x4	方向構成レジスタ	あり	バイトの読み取り / 書き 込み	0x0
0	0	1	0	1	0x5	極性反転レジスタ	あり	バイトの読み取り / 書き 込み	0x0
0	0	1	1	0	0x6	プッシュプル/オープンドレイン 選択レジスタ	あり	バイトの読み取り / 書き 込み	0x0
0	1	0	0	0	0x8	ブルアップまたはブルダウ有 効レジスタ	あり	バイトの読み取り / 書き 込み	0x0
0	1	0	0	1	0x9	ブルアップまたはブルダウ選 択レジスタ	あり	バイトの読み取り / 書き 込み	0x0
0	1	0	1	0	0xA	バス ホルダ レジスタ	あり	バイトの読み取り / 書き 込み	0x0
0	1	0	1	1	0xB	スマート割り込みレジスタ	なし	バイトの読み取り / 書き 込み	0x0
0	1	1	0	0	0xC	割り込みマスクレジスタ	あり	バイトの読み取り / 書き 込み	0xFF
0	1	1	0	1	0xD	入力グリッチ フィルタ有効レジ スタ	なし	バイトの読み取り / 書き 込み	0x0
0	1	1	1	0	0xE	割り込みフラグ ステータス レジ スタ	なし	バイトの読み取り	0x0
0	1	1	1	1	0xF	割り込みポート ステータス レジ スタ	なし	バイトの読み取り	0x0
1	0	0	1	0	0x12	フェイルセーフ有効レジスタ 1	なし	バイトの読み取り / 書き 込み	0x0
1	0	0	1	1	0x13	フェイルセーフ有効レジスタ 2	あり	バイトの読み取り / 書き 込み	0x0
1	0	1	0	0	0x14	フェイルセーフ方向構成レジス タ 1.	あり	バイトの読み取り / 書き 込み	0x0
1	0	1	0	1	0x15	フェイルセーフ方向構成レジス タ 2.	あり	バイトの読み取り / 書き 込み	0x0
1	0	1	1	0	0x16	フェイルセーフ出力レジスタ 1	あり	バイトの読み取り / 書き 込み	0x0
1	0	1	1	1	0x17	フェイルセーフ出力レジスタ 2	あり	バイトの読み取り / 書き 込み	0x0
1	1	0	0	0	0x18	フェイルセーフ冗長性チェック レジスタ	なし	バイトの読み取り / 書き 込み	0x0
1	1	0	0	1	0x19	フォルト ステータス レジスタ	なし	バイトの読み取り	0x1
1	1	0	1	0	0x1A	ソフトウェアリセットレジスタ	なし	書き込みバイト	0x0

7.6.2 制御レジスタ : ポート選択とマルチポート (B15-B8)

2 番目のバイトは、どの I/O ポートを構成するか、およびマルチポートの有効化/無効化を指定します。マルチポートビットにより、デバイスは複数のポートを並列に処理できるようになります。このビットが 1 に設定されている場合、データ バイト

(3 番目のバイト) の各ビットは個々のポートを参照します。たとえば、データ バイトのビット 0 は P0 ポート、ビット 1 は P1 ポート、ビット 2 は P2 ポートを参照します。マルチポートが有効になっている場合、特定のポートのすべての I/O は同じ構成になります。

制御レジスタ (ポート選択)			ポート
B14	B13	B12	
0	0	0	IO ポート 0
0	0	1	IO ポート 1
0	1	0	IO ポート 2 (TXE8116 では無効)

7.6.3 レジスタの説明

この章では各レジスタについて説明します。レジスタ アドレスは TXE8116/TXE8124 SPI ワードの 1 番目と 2 番目のバイトであり、デフォルト値は TXE8116/TXE8124 SPI ワードの 3 番目のバイトであるレジスタの電源投入時のデフォルト値です。

この章では、B23 (読み取り/書き込みビット) と B8 (マルチポートビット) は考慮していません。B23 が High (1) の場合は読み取り操作が選択され、B23 が low (0) の場合は書き込み操作が選択されます。マルチポートを有効にするには、B8 の High (1) を設定する必要があります。

スクラッチ レジスタ (レジスタ アドレス: 0x0、デフォルト値: 0x0)

スクラッチ レジスタは、ブランク レジスタとの間でコードを読み書きし、コーディングの問題を解決するためのテスト レジスタです。

デバイス ID レジスタ (レジスタ アドレス: 0x100、デフォルト値: 0x1)

デバイス ID レジスタは、デバイス ID を持つ読み取り専用レジスタです。

表 7-2. デバイス ID レジスタ

デバイス ID	デバイス
1	TXE8124
0	TXE8116

入力ポートレジスタ (レジスタ アドレス: 0x200 - 0x220、デフォルト値: 0x0)

入力ポート レジスタには、IO ピンに入ってくる ロジック レベルが反映されます。入力ポート レジスタは読み取り専用です。これらのレジスタに書き込みを行っても、影響はありません。

表 7-3. 入力ポート レジスタ 0、1、2

ポート ID	レジスタ・アドレス	ビット値
0	0x200	0 - Low, 1 - high
1	0x210	
2 (TXE8116 では無効)	0x220	

出力ポートレジスタ (レジスタ アドレス: 0x300 - 0x320、デフォルト値: 0x0)

出力ポート レジスタは、方向構成レジスタによって出力として定義された IO ピンの出力ロジック レベルを示します。これらのレジスタのビット値は、入力として定義された IO ピンには影響しません。

表 7-4. 出力ポートレジスタ 0、1、2

ポート ID	レジスタ・アドレス	ビット値
0	0x300	0 - Low, 1 - high
1	0x310	
2 (TXE8116 では無効)	0x320	

方向構成レジスタ (レジスタ アドレス: 0x400 - 0x420、デフォルト値: 0x0)

方向構成レジスタは、I/O ピンの方向を構成します。これらのレジスタのビットが 0 に設定されている場合、対応するポートピンはハイ インピーダンス入力として有効になります。これらのレジスタのビットを 1 に設定すると、対応するポートピンは出力として有効になります。

表 7-5. 方向構成レジスタ 0、1、2

ポート ID	レジスタ・アドレス	ビット値
0	0x400	0 - 入力、1 - 出力
1	0x410	
2 (TXE8116 では無効)	0x420	

極性反転レジスタ (レジスタ アドレス: 0x500 - 0x520、デフォルト値: 0x0)

極性反転レジスタは、方向構成レジスタによって入力または出力として定義された IO ピンの極性反転を可能にします。これらのレジスタのビットが 1 に設定されている場合、入力レジスタ内の対応するポートピンの極性が反転されます。このレジスタのビットが 0 に設定されている場合、対応するポートの極性は反転されません。

入力モード中に極性反転が有効になっていると、内部状態は切り替わりますが、割り込みは生成されません。

表 7-6. 極性反転レジスタ 0、1、2

ポート ID	レジスタ・アドレス	ビット値
0	0x500	0 - 非反転、1 - 反転
1	0x510	
2 (TXE8116 では無効)	0x520	

プッシュプル/オープンドレイン選択レジスタ (レジスタ アドレス: 0x600 - 0x620、デフォルト値: 0x0)

プッシュプル/オープンドレイン選択レジスタは、出力タイプを設定します。これらのレジスタのビットが 0 に設定されている場合、対応するポートピンはプッシュプル出力として有効になります。これらのレジスタのビットが 1 に設定されている場合、対応するポートピンはオープンドレイン出力として有効になります。

表 7-7. プッシュプル/オープンドレイン選択レジスタ 0、1、2

ポート ID	レジスタ・アドレス	ビット値
0	0x600	0 - プッシュプル、1 - オープンドレイン
1	0x610	
2 (TXE8116 では無効)	0x620	

プルアップまたはプルダウン有効レジスタ (レジスタ アドレス: 0x800 - 0x820、デフォルト値: 0x0)

プルアップまたはプルダウン有効レジスタを使用すると、ユーザーは I/O ピン上のプルアップ/プルダウン抵抗を有効または無効にすることができます。ビットを 1 にセットすると、プルアップ/プルダウン抵抗を選択することができます。ビットを 0 にセットすると、IO ピンからプルアップ/プルダウン抵抗が切断されます。

表 7-8. プルアップまたはプルダウン有効レジスタ 0、1、2

ポート ID	レジスタ・アドレス	ビット値
0	0x800	0 - 無効、1 - 有効
1	0x810	
2 (TXE8116 では無効)	0x820	

プルアップまたはプルダウン選択レジスタ (レジスタ アドレス: 0x900 - 0x920、デフォルト値: 0x0)

プルアップ/プルダウン選択レジスタをプログラムすることにより、I/O ポートをプルアップ抵抗またはプルダウン抵抗を持つように構成できます。ビットを 1 に設定すると、その I/O ピンに 100kΩ のプルアップ抵抗が選択されます。ビットを 0 に設定すると、その I/O ピンに 100kΩ のプルダウン抵抗が選択されます。プルアップ/プルダウン有効が 0 の場合、このレジスタに書き込んでも I/O ピンには影響しません。

表 7-9. プルアップまたはプルダウン選択レジスタ 0、1、2

ポート ID	レジスタ・アドレス	ビット値
0	0x900	0 - 100kΩ プルダウン、1 - 100kΩ プルアップ
1	0x910	
2 (TXE8116 では無効)	0x920	

バス ホルダ レジスタ (レジスタ アドレス: 0xA00 - 0xA20、デフォルト値: 0x0)

バス ホルダ レジスタは、I/O ピンの入力ラッチを有効または無効にします。これらのレジスタは、IO ピンが入力ピンとして構成されている場合にのみ有効です。バス ホルダ レジスタのビットが 0 の場合、対応する入力 IO ピンの状態はラッチされません。

表 7-10. バス ホルダ レジスタ レジスタ 0、1、2

ポート ID	レジスタ・アドレス	ビット値
0	0xA00	0 - 無効、1 - 有効
1	0xA10	
2 (TXE8116 では無効)	0xA20	

スマート割り込みレジスタ (レジスタ アドレス: 0xB00、デフォルト値: 0x0)

スマート割り込みレジスタ ビットが 0 (スマート割り込みが有効) に設定されている場合、任意の入力ピンの状態変化によって割り込みが生成され、入力が初期状態に戻ると割り込みはクリアされます。

スマート割り込みレジスタ ビットが 1 (スマート割り込み無効) に設定されている場合、任意の入力ピンの状態変化によって割り込みが生成され、入力が初期状態に戻っても割り込みはクリアされません。割り込みステータス フラグ レジスタを読み取ると、割り込みがクリアされます。

この機能はポート レベルで有効になっており、個々の I/O を構成することはできません。このデバイスには 3 つのポートがあるため、ビット 3 からビット 7 は予約されています。

表 7-11. スマート割り込みレジスタ

レジスタ・アドレス	ビット値			
	B3~B7	B2	B1	B0
0xB00	予約済み	0:ポート 2 有効、1:ポート 2 無効	0:ポート 1 有効、1:ポート 1 無効	0:ポート 0 有効、1:ポート 0 無効

割り込みマスク レジスタ (レジスタ アドレス: 0xC00 - 0xC20、デフォルト値: 0xFF)

割り込みマスク レジスタはデフォルトで 1 に設定されています。対応するマスク ビットを 0 に設定することで割り込みを有効にすることができます。

割り込みマスク レジスタの対応するビットが 1 に設定されている場合、割り込みはマスクされ、割り込みピンはアサートされません。割り込みマスク レジスタの対応ビットが 0 にセットされると、割り込みピンがアサートされます。このデバイスには 3 つの割り込みマスク レジスタがあります。

表 7-12. 割り込みマスク レジスタ 0、1、2

ポート ID	レジスタ・アドレス	ビット値
0	0xC00	0 - 無効、1 - 有効
1	0xC10	
2 (TXE8116 では無効)	0xC20	

入力グリッチ フィルタ有効化レジスタ (レジスタ アドレス: 0xD00 - 0xD20、デフォルト値: 0x0)

グリッチ フィルタは GPIO のすべての入力に存在します。これらのフィルタはデフォルトでは無効になっています。グリッチ フィルタを有効にするには、入力グリッチ フィルタ有効化レジスタの I/O ピンの対応するビットを 1 に設定する必要があります。このデバイスには 3 つの入力グリッチ フィルタ有効化レジスタがあります。

表 7-13. 入力グリッチフィルタ有効化レジスタ 0、1、2

ポート ID	レジスタ・アドレス	ビット値
0	0xD00	0 - 無効、1 - 有効
1	0xD10	
2 (TXE8116 では無効)	0xD20	

割り込みフラグステータス レジスタ (レジスタ アドレス: 0xE00 - 0xE20、デフォルト値: 0x0)

入力ピンの状態が変化すると割り込みが生成され、入力に対応する割り込みフラグ レジスタが設定されます。入力が初期状態に戻ると、割り込みフラグ レジスタは読み取られるまで 1 のままになり、その後割り込みがクリアされます。

読み取り専用の割り込みフラグ ステータス レジスタは、割り込みのソースを識別するために使用されます。値が 1 の場合、対応する入力ピンが割り込みのソースであることを示し、それ以外の場合は入力ピンが割り込みのソースではないことを示します。

割り込みマスク レジスタ内の対応するビットが 1 (マスク) に設定されている場合、割り込み ステータス ビットは 0 を返します。このデバイスには 3 つの割り込みフラグ ステータス レジスタがあります。

表 7-14. 割り込みフラグ ステータス レジスタ 0、1、2

ポート ID	レジスタ・アドレス	ビット値
0	0xE00	0 - なし、1 - 割り込みソース
1	0xE10	
2 (TXE8116 では無効)	0xE20	

割り込みポート ステータス レジスタ (レジスタ アドレス: 0xF00、デフォルト値: 0x0)

読み取り専用の割り込みポート ステータス レジスタは、割り込みソースの IO ポートを識別するために使用されます。値が 1 の場合、割り込みのソースが指定された IO ポートのピンからのものであることを示します。値が 0 の場合、IO ポートの入力ピンのいずれも割り込みのソースではないことを示します。

表 7-15. 割り込みポート ステータス レジスタ

レジスタ・アドレス	ビット値			
	B3~B7	B2	B1	B0
0xF00	予約済み	0 - なし、1 - ポート 2 割り込み	0 - なし、1 - ポート 1 割り込み	0 - なし、1 - ポート 0 割り込み

フェイルセーフ有効化レジスタ (レジスタ アドレス: 0x1200 - 0x1300、デフォルト値: 0x0)

リセット ピンをフェイルセーフ ピンとして設定することにより、デバイスはフェイルセーフ状態に入ることができます。フェイルセーフ有効 レジスタは、ピンの機能をリセットからフェイルセーフに変更するために使用されます。このレジスタの内容は、POR イベントまたはその他の故障シナリオ中にクリアされる可能性があり、故障シナリオがある場合、SPI コントローラは毎回このレジスタを書き換える必要があります (これにより、SPI コントローラへの割り込みが生成され、フェイルセーフ故障ステータスレジスタは割り込みのソースを示します)。

冗長性を確保するには、2 つのフェイルセーフ有効レジスタをプログラム I/O 構成に書き込む必要があります。これらのレジスタのいずれかが破損し、内容が一致しない場合は、割り込みが発生します。このデバイスには 2 つのフェイルセーフ有効レジスタがあります。

表 7-16. フェイルセーフ有効レジスタ 1、2

レジスタ・アドレス	ビット値	
	B1~B7	B0
0x1200	予約済み	0 - 無効、1 - 有効
0x1300	予約済み	

フェイルセーフ方向構成レジスタ (レジスタ アドレス: 0x1400 - 0x1520、デフォルト値: 0x0)

フェイルセーフ方向構成レジスタは、デバイスがフェイルセーフ状態になったときの I/O ピンの方向を構成します。これらのレジスタのビットが 0 に設定されている場合、対応する IO ピンはフェイルセーフ モード中にハイ インピーダンス入力として有効になります。これらのレジスタのビットが 1 に設定されている場合、対応する IO ピンはフェイルセーフ モード中に出力として有効になります。

冗長性を確保するには、2 つのフェイルセーフ方向構成レジスタに書き込んで I/O 構成をプログラムする必要があります。これらのレジスタのいずれかが破損し、内容が一致しない場合は、割り込みが発生します。

表 7-17. フェイルセーフ方向構成レジスタ

ポート ID	レジスタ・アドレス	ビット値
0	0x1400	0 - 入力、1 - 出力
	0x1500	
1	0x1410	
	0x1510	
2 (TXE8116 では無効)	0x1420	
	0x1520	

フェイルセーフ出力レジスタ (レジスタ アドレス: 0x1600 - 0x1720、デフォルト値: 0x0)

フェイルセーフ出力レジスタは、フェイルセーフ方向構成レジスタによって出力として定義されたピンの出力レベルを示します。これらのレジスタのビット値は、入力として定義された IO ピンには影響しません。

冗長性を確保するには、2 つのフェイルセーフ出力レジスタをプログラム I/O 構成に書き込む必要があります。これらのレジスタのいずれかが破損し、内容が一致しない場合は、割り込みが発生します。

表 7-18. フェイルセーフ出力レジスタ 0、1、2

ポート ID	レジスタ・アドレス	ビット値
0	0x1600	0 - Low、1 - high
	0x1700	
1	0x1610	
	0x1710	
2 (TXE8116 では無効)	0x1620	
	0x1720	

フェイルセーフ冗長性チェックレジスタ (レジスタ アドレス:0x1800、デフォルト値:0x0)

すべてのフェイルセーフ冗長レジスタ (フェイルセーフ構成 + フェイルセーフ出力 + 該当する場合はフェイルセーフ ピンのデバイス構成) に書き込んだ後、SPI コントローラはこれらのレジスタの冗長性チェックを有効にする必要があります。

表 7-19. フェイルセーフ冗長性チェック レジスタ

レジスタ・アドレス	ビット値	
0x1800	B1~B7	B0
	予約済み	0 - 無効、1 - 有効

故障ステータスレジスタ (レジスタ アドレス:0x1900、デフォルト値:0x1)

故障ステータスレジスタ内のビットは、故障状態中に設定されます。POR 回復の場合、B0 ビットは 1 に設定されます。フェイルセーフレジスタが同期しなくなると、B1 ビットが 1 に設定されます。デバイスがフェイルセーフモードのときに B2 ビットが設定されます。これらのフラグは、故障状態が解消されてもクリアされませんが、読み取り操作によってクリアされます。

表 7-20. フォルト ステータス レジスタ

レジスタ・アドレス	ビット値			
0x1900	B3~B7	B2	B1	B0
	予約済み	重複フェイルセーフモード設定	レジスタの不一致	POR

ソフトウェアリセットレジスタ (レジスタ アドレス:0x1A00、デフォルト値:0x0)

ソフトウェアリセットレジスタの B0 ビットはデバイスリセットをトリガするために使用され、B1 を 1 に、B0 を 0 にするとレジスタリセットがトリガされます。リセット状態に入ると、レジスタは自動的にクリアされます。

表 7-21. ソフトウェアリセットレジスタ

レジスタ・アドレス	リセットモード	ビット値		
0x1A00		B2~B7	B1	B0
	デバイスリセット	予約済み		1
	レジスタのリセット	予約済み	1	0

8 アプリケーションと実装

注

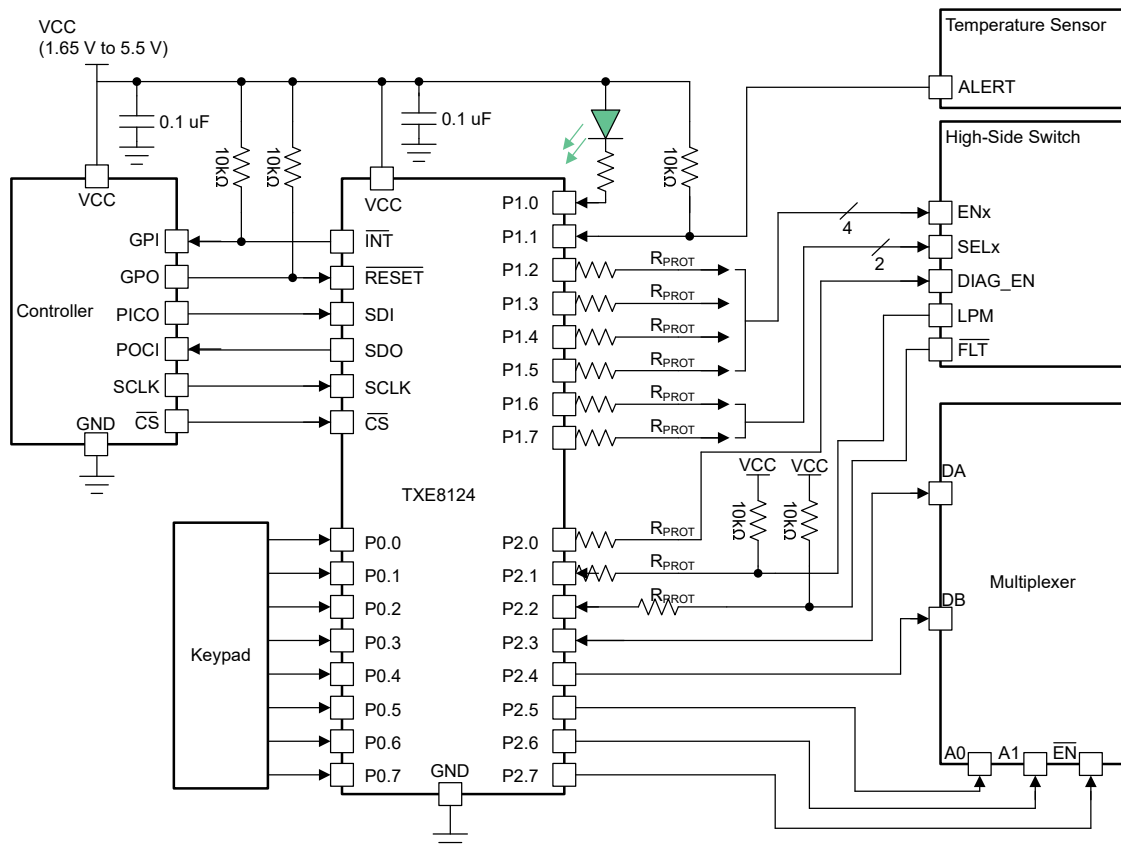
以下のアプリケーション情報は、テキサス・インスツルメンツの製品仕様に含まれるものではなく、テキサス・インスツルメンツはその正確性も完全性も保証いたしません。個々の目的に対する製品の適合性については、お客様の責任で判断していただくことになります。お客様は自身の設計実装を検証しテストすることで、システムの機能を確認する必要があります。

8.1 アプリケーション情報

TXE81XX のアプリケーションでは、このデバイスを SPI コントローラ (プロセッサ) へのターゲットとして接続して使用し、SPI バスには任意の数の他のターゲット デバイスを含めることができます。TXE81XX はコントローラから離れた場所で、コントローラが監視または制御する必要のある GPIO の近くに配置されます。

8.2 代表的なアプリケーション

図 8-1 は、TXE81XX デバイスを使用可能なアプリケーションを示します。



- P0.0～P0.7、P1.0、P1.1、P2.1～P2.3 は入力として構成されています。
- P1.2～P1.7、P2.0、P2.4～P2.7 は出力として構成されています。
- フローティングになる可能性のある (P ポート上の) 入力には抵抗が必要です。ドライバにより入力がフローティングにならないのであれば、抵抗は不要です。出力 (P ポート内) にプルアップ抵抗は不要です。

図 8-1. 代表的なアプリケーション回路図

8.2.1 設計要件

表 8-1. 設計パラメータ

設計パラメータ	数値の例
電源電圧 (V _{CC})	1.65V ~ 5.5V
出力電流定格, P ポートシンク (I _{OL})	25mA
出力電流定格, P ポートソース (I _{OH})	10mA
SPI バス クロック (SCLK) 速度	1.65V < V _{CC} < 5.5V, 5MHz
	3.3V < V _{CC} < 5.5V, 10MHz

8.2.2 SPI 波形

TXE81XX デバイスは 24 ビットの SPI ワード形式を使用し、シリアル データ入力 (SDI) とシリアル データ出力 (SDO) を同時に読み取ることができます。これは、レジスタ マップのアドレス 0x0400 にある方向構成レジスタへの書き込み例です。16 ビットのステータスが最初に SDO で送信されます。最初の 2 つのビットは両方とも 1 です。次の 6 ビットは、故障ステータスレジスタのビット 5 ~ 0 です。故障ステータスレジスタの LSB の「1」は、パワーオンリセット (POR) が発生したことを示します。ステータスの最後の 8 ビットはすべて 0 です。次の 8 ビットは、方向構成レジスタ内に以前に書き込まれたデータです。SDI の 24 ビットは以下のとおりです。最初のビットは読み取り書き込みビットです。書き込みビット = 0 のとき、読み取りビット = 1。この例では、書き込みビットが送信されます。次の 2 ビットは「ドント ケア」ビット (「x」でマーク) です。次の 5 ビットは機能アドレスを表し、この例では、書き込み先として方向構成レジスタが選択されています。ポートの選択は、次の上部ニプルによって決まります。この場合、ポート 2 は b010 で選択されます。バイト 2 の LSB が「0」であるため、マルチポートには false が指定されます。データ 0xAA は、最終バイトの方向構成レジスタに書き込まれます。この期間中、SCLK は 24 クロック サイクルが送信され、各立ち上がりエッジでサンプリングされます。24 ビットのトランザクション全体の間、チップ セレクト (CS) は LOW です。図 8-2 は、上記の例の波形を示しています。

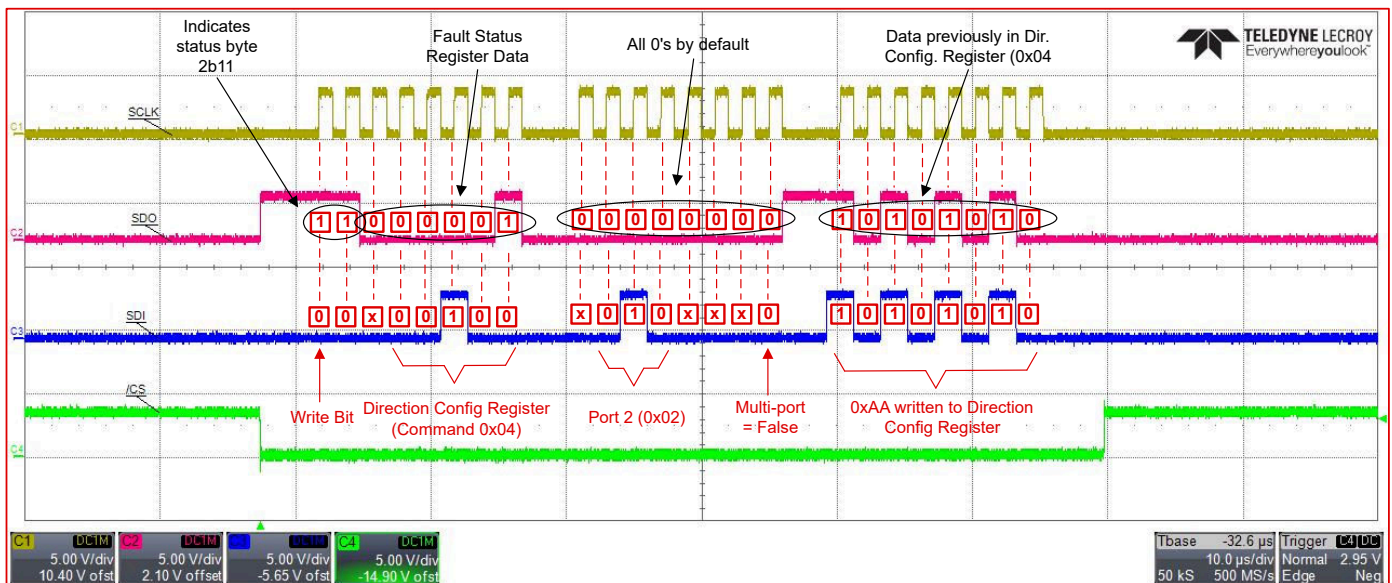


図 8-2. SPI の波形の例

8.3 電源に関する推奨事項

8.3.1 パワーオンリセットの要件

グリッチやデータ破損が発生した場合、パワーオンリセット機能を使用して TXE81XX をデフォルト状態にリセットできます。パワーオンリセットを実行するには、デバイスを完全にリセットするためにパワーサイクルを完了させる必要があります。このリセットは、アプリケーションでデバイスの電源を初めてオンにしたときにも発生します。

図 8-3 および 図 8-4 に、2 種類のパワーオンリセットを示します。

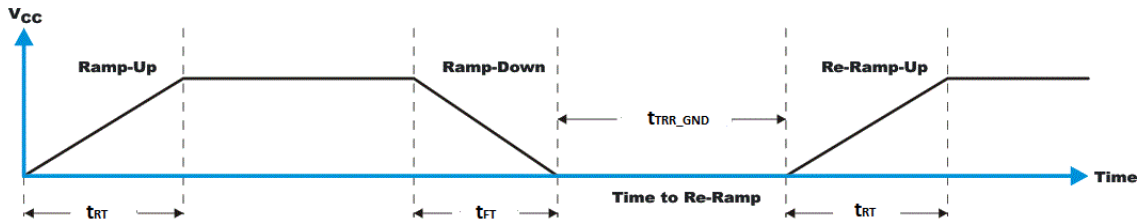


図 8-3. V_{CC} は 0V まで低下してから、再度上昇します

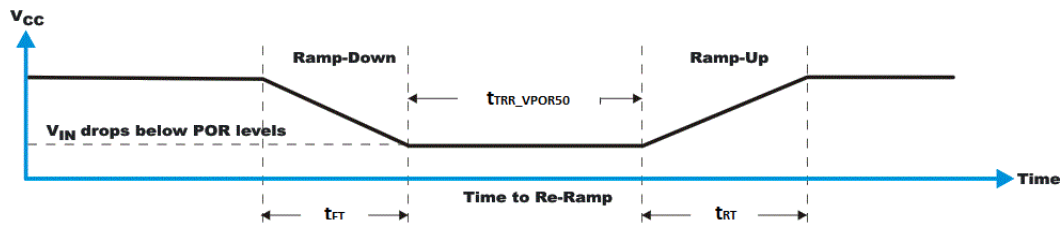


図 8-4. V_{CC} は POR スレッシュヨルド以下に低下し、その後再び上昇します

電源のグリッチは、このデバイスのパワーオンリセット性能にも影響を及ぼす可能性があります。グリッチ幅 (t_{VCC_GW}) と高さ (V_{CC_GH}) は互いに依存します。バイパス容量、ソースインピーダンス、デバイスインピーダンスは、パワーオンリセット性能に影響を及ぼす要因です。これらの仕様を測定する方法の詳細については、図 8-5 を参照してください。

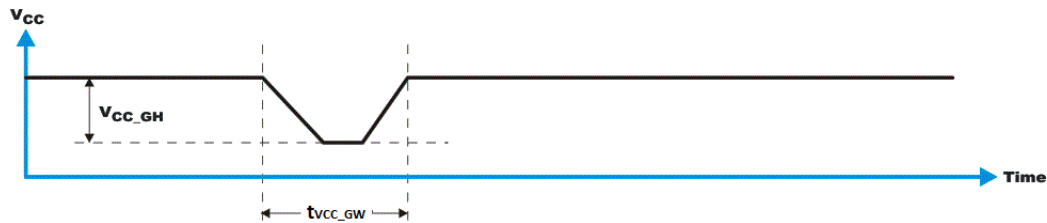


図 8-5. グリッチ幅とグリッチ高さ

V_{POR} は、パワーオンリセットに不可欠です。 V_{POR} は、リセット条件が解放され、すべてのレジスタと SPI ステートマシンがデフォルト状態に初期化される電圧レベルです。 V_{POR} の値は、0 に低下するか、または 0 から低下した V_{CC} に応じて変わります。図 8-6 で、この仕様の詳細について説明します。

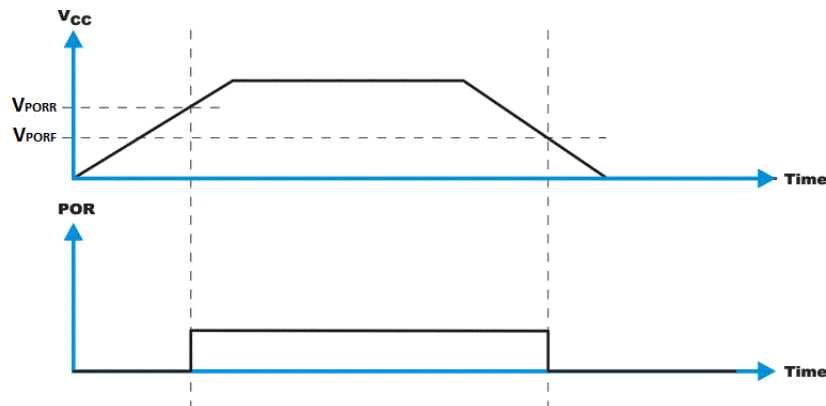


図 8-6. V_{POR}

8.4 レイアウト

8.4.1 レイアウトのガイドライン

TXE8116/TXE8124 のプリント回路基板 (PCB) レイアウトでは、一般的な PCB レイアウトの慣例に従う必要がありますが、適合したインピーダンスや差動ペアなどの高速データ転送は、SPI 信号速度では大きな問題にはなりません。

すべての PCB レイアウトにおける最善策は、信号トレースを直角に曲げないこと、集積回路 (IC) の近接部を離れるときに信号トレースが互いに離れていくように配置すること、トレース幅を太くして電源とグラウンドのトレースを通常時に大容量の電流が流れるようにすることです。バイパスコンデンサとデカップリングコンデンサは、一般的に電源ピンの電圧の制御に使用されます。大容量コンデンサを使用すると、短時間の電源グリッチ時に追加電力を供給し、容量の小さいコンデンサを使用すると、高周波リップルをフィルタリングできます。これらのコンデンサは、できる限り TXE8116/TXE8124 の近くに配置してください。理想的な配置を [図 8-7](#) に示します。

[図 8-7](#) に示すレイアウト例では、信号配線に最上層を使用し、電源とグラウンド (GND) に分割プレーンとして最下層を使用することで、2 層のみの PCB を製造することができます。ただし、信号配線密度の高い基板では、4 層基板が推奨されます。一般的に 4 層 PCB では、信号を最上層と最下層に配線し、内部の 1 層をグラウンドプレーン専用にして、もう 1 つの内部層を電源プレーン専用にします。電源とグラウンドにプレーンまたは分割プレーンを使用する基板レイアウトの場合は、電源または GND に接続する必要がある表面実装部品パッドのすぐ隣にビアを配置し、ビアを内部層または基板の反対側に電気的に接続します。ビアは、信号パターンを基板の反対側に配線する必要がある場合にも使用されますが、この方法は [図 8-7](#) には示されていません。

8.4.2 レイアウト例

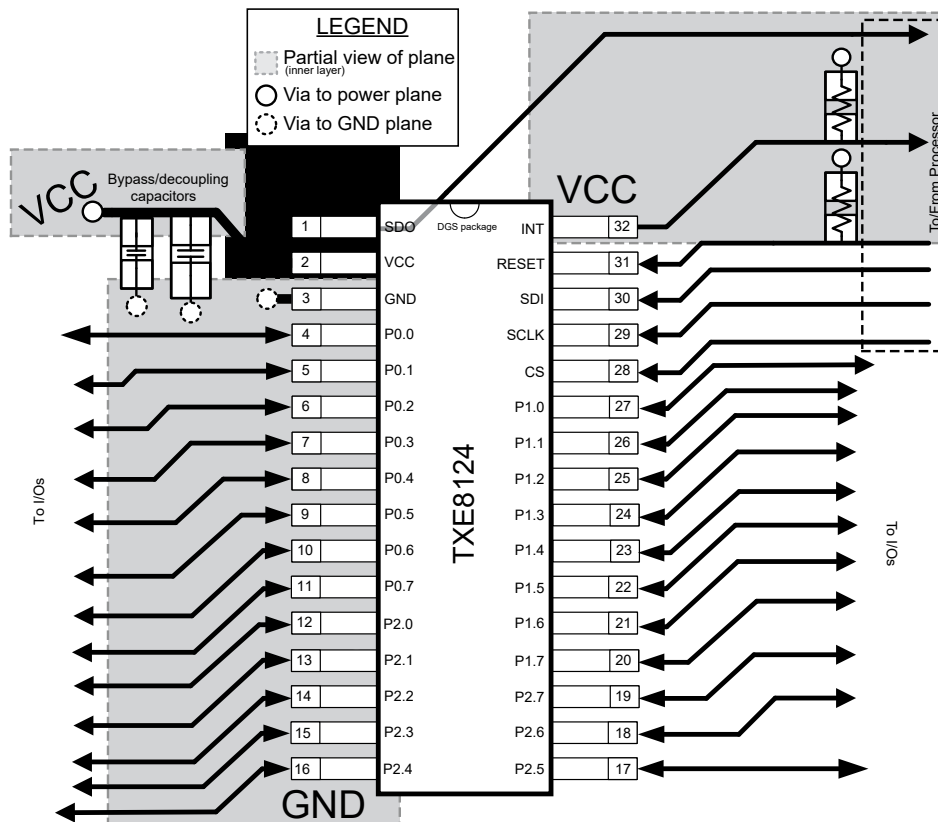


図 8-7. TXE8124 のレイアウト

9 デバイスおよびドキュメントのサポート

9.1 ドキュメントの更新通知を受け取る方法

ドキュメントの更新についての通知を受け取るには、www.tij.co.jp のデバイス製品フォルダを開いてください。[通知] をクリックして登録すると、変更されたすべての製品情報に関するダイジェストを毎週受け取ることができます。変更の詳細については、改訂されたドキュメントに含まれている改訂履歴をご覧ください。

9.2 サポート・リソース

テキサス・インスツルメンツ E2E™ サポート・フォーラムは、エンジニアが検証済みの回答と設計に関するヒントをエキスパートから迅速かつ直接得ることができる場所です。既存の回答を検索したり、独自の質問をしたりすることで、設計に必要な支援を迅速に得ることができます。

リンクされているコンテンツは、各寄稿者により「現状のまま」提供されるものです。これらはテキサス・インスツルメンツの仕様を構成するものではなく、必ずしもテキサス・インスツルメンツの見解を反映したものではありません。テキサス・インスツルメンツの[使用条件](#)を参照してください。

9.3 商標

テキサス・インスツルメンツ E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

9.4 静電気放電に関する注意事項



この IC は、ESD によって破損する可能性があります。テキサス・インスツルメンツは、IC を取り扱う際には常に適切な注意を払うことを推奨します。正しい取り扱いおよび設置手順に従わない場合、デバイスを破損するおそれがあります。

ESD による破損は、わずかな性能低下からデバイスの完全な故障まで多岐にわたります。精密な IC の場合、パラメータがわずかに変化するだけで公表されている仕様から外れる可能性があるため、破損が発生しやすくなっています。

9.5 用語集

[テキサス・インスツルメンツ用語集](#)

この用語集には、用語や略語の一覧および定義が記載されています。

10 改訂履歴

資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

Changes from Revision * (August 2025) to Revision A (October 2025)

Page

- ドキュメント全体を通して VQFN パッケージを追加..... 1

日付	改訂	注
August 2025	*	初版リリース

11 メカニカル、パッケージ、および注文情報

以降のページには、メカニカル、パッケージ、および注文に関する情報が記載されています。この情報は、指定のデバイスに使用できる最新のデータです。このデータは、予告なく、このドキュメントを改訂せずに変更される場合があります。本データシートのブラウザ版を使用されている場合は、画面左側の説明をご覧ください。

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)
TXE8116DGSR	Active	Production	VSSOP (DGS) 24	5000 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	TE8116
TXE8124DGSR	Active	Production	VSSOP (DGS) 32	5000 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	TE8124R

(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.

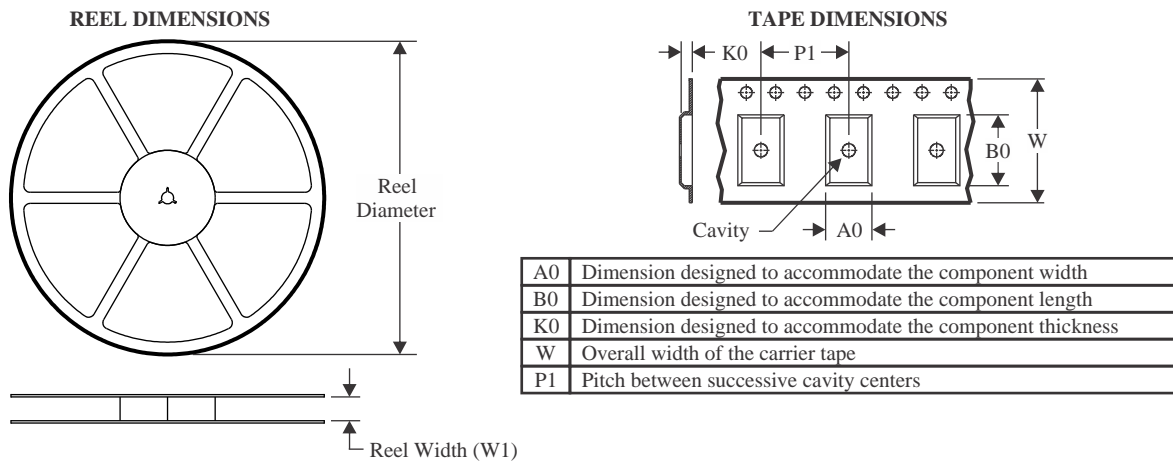
OTHER QUALIFIED VERSIONS OF TXE8116, TXE8124 :

- Automotive : [TXE8116-Q1](#), [TXE8124-Q1](#)

NOTE: Qualified Version Definitions:

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

TAPE AND REEL INFORMATION



QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



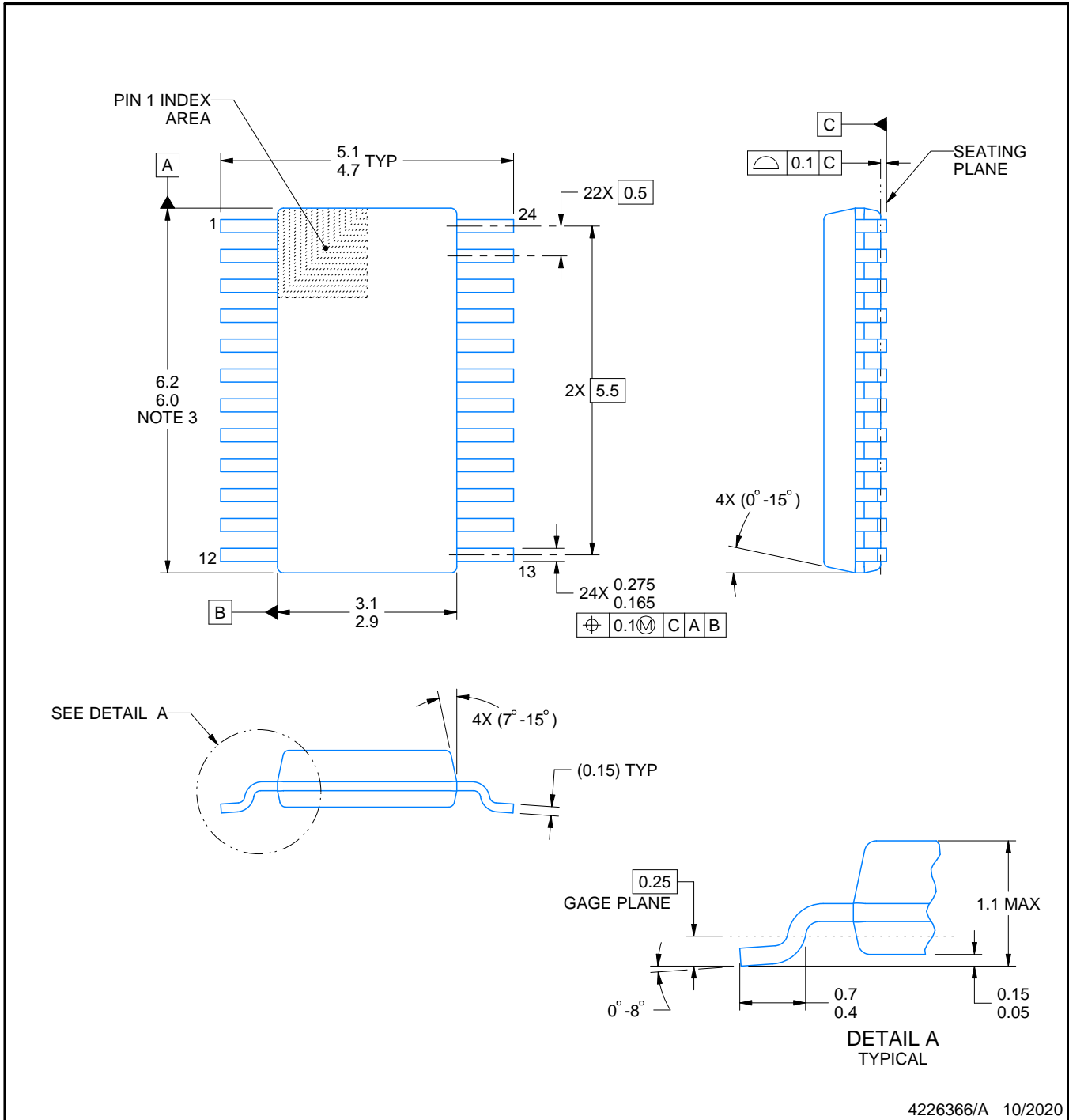
*All dimensions are nominal

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
TXE8116DGSR	VSSOP	DGS	24	5000	330.0	16.4	5.44	6.4	1.45	8.0	16.0	Q1
TXE8124DGSR	VSSOP	DGS	32	5000	330.0	16.4	5.65	8.4	1.45	8.0	16.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS


*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
TXE8116DGSR	VSSOP	DGS	24	5000	353.0	353.0	32.0
TXE8124DGSR	VSSOP	DGS	32	5000	353.0	353.0	32.0



4226366/A 10/2020

NOTES:

PowerPAD is a trademark of Texas Instruments.

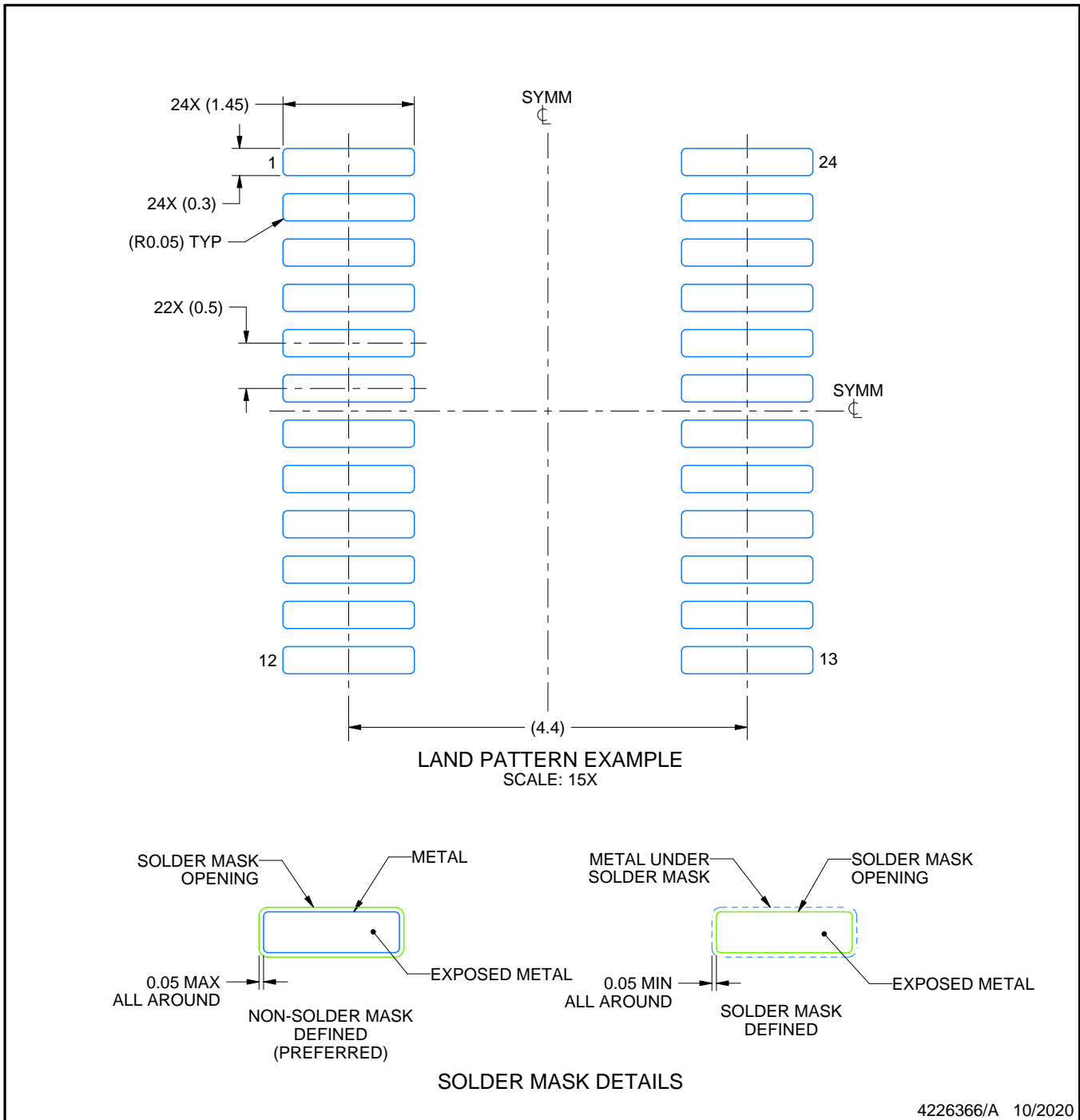
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. This dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.15 mm per side.
4. No JEDEC registration as of September 2020.
5. Features may differ or may not be present.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

DGS0024A

VSSOP - 1.1 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



NOTES: (continued)

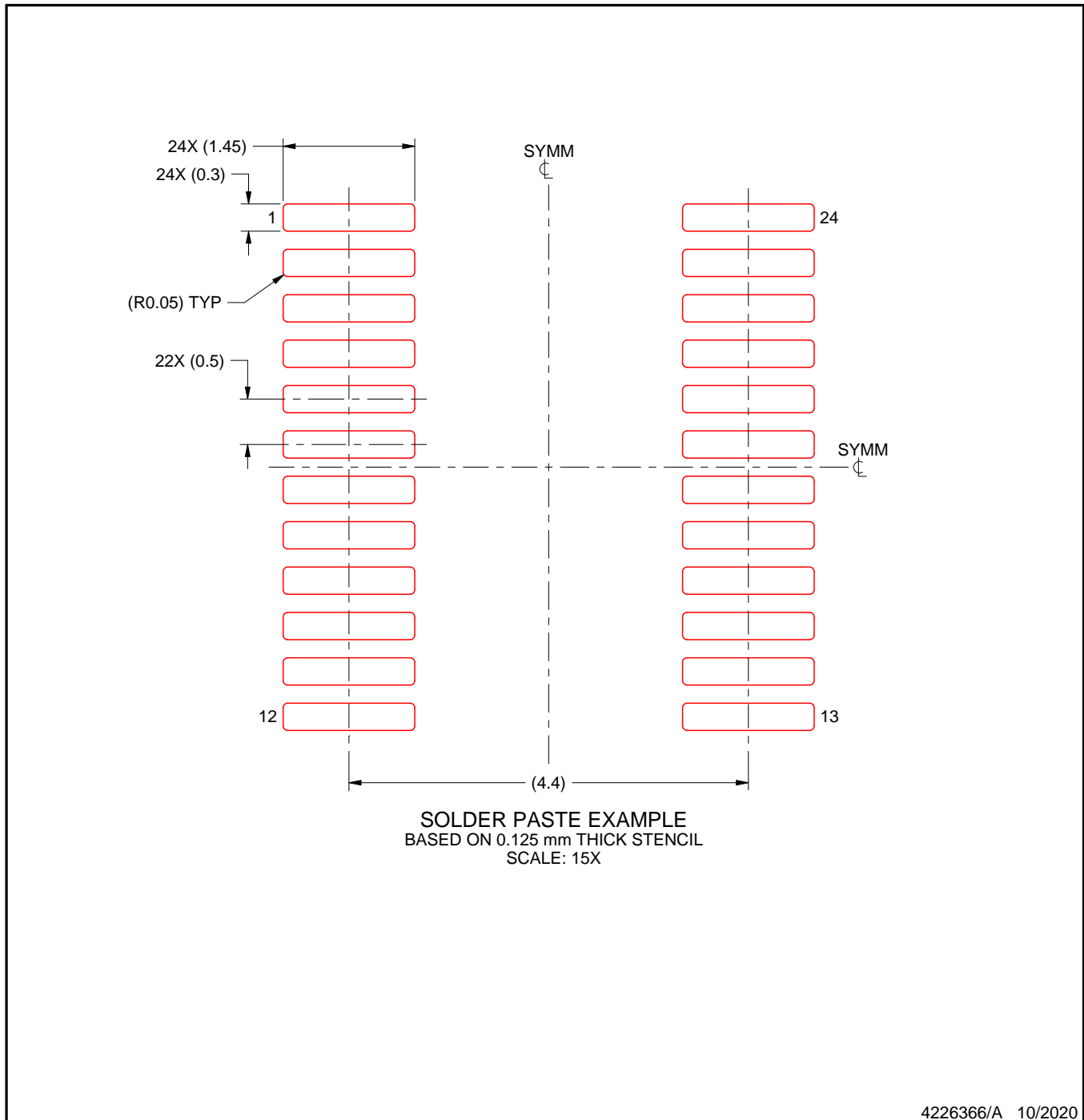
6. Publication IPC-7351 may have alternate designs.
7. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.
8. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature numbers SLMA002 (www.ti.com/lit/slma002)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

EXAMPLE STENCIL DESIGN

DGS0024A

VSSOP - 1.1 mm max height

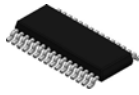
SMALL OUTLINE PACKAGE



NOTES: (continued)

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

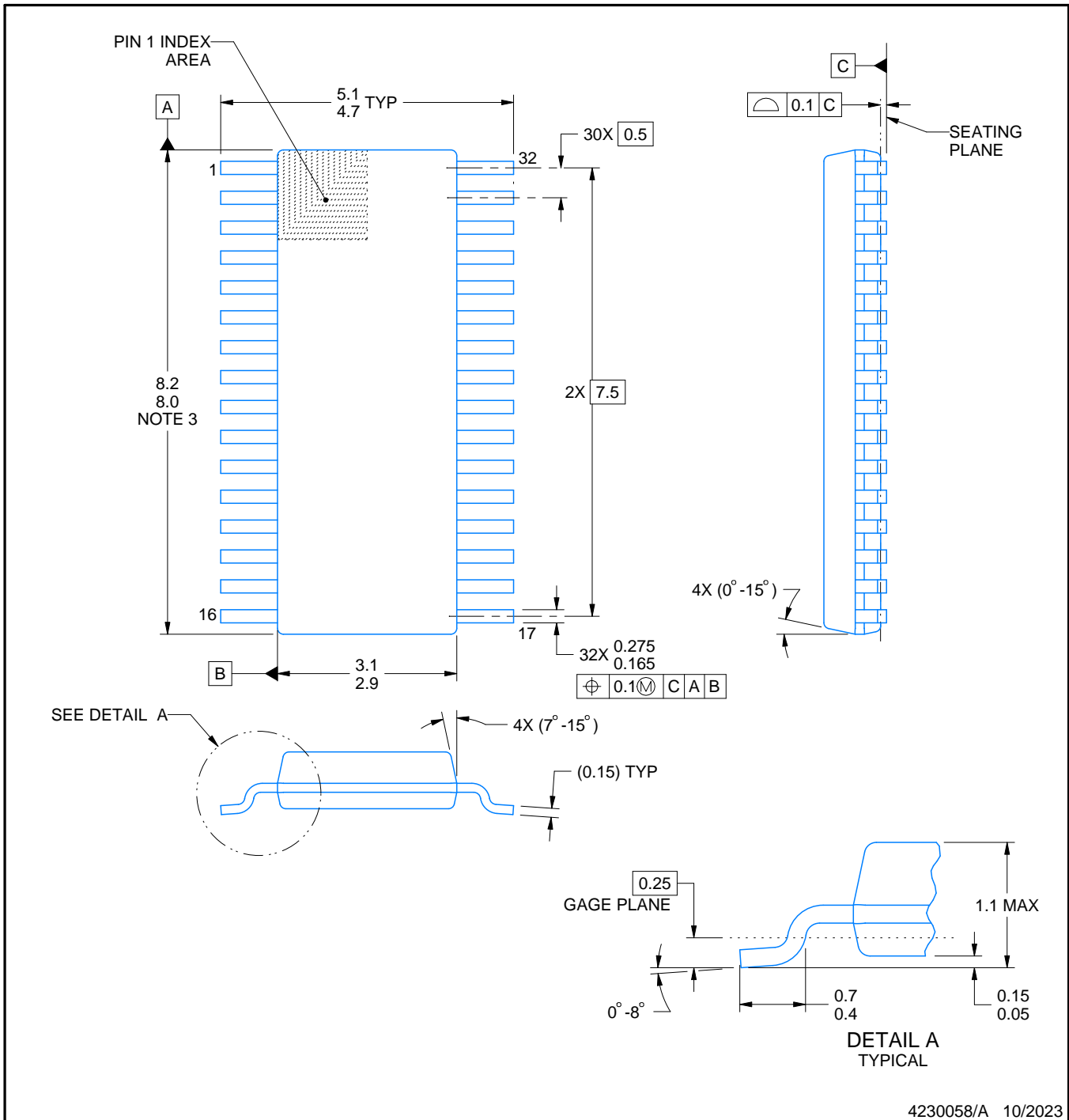
DGS0032A



PACKAGE OUTLINE

VSSOP - 1.1 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



4230058/A 10/2023

NOTES:

PowerPAD is a trademark of Texas Instruments.

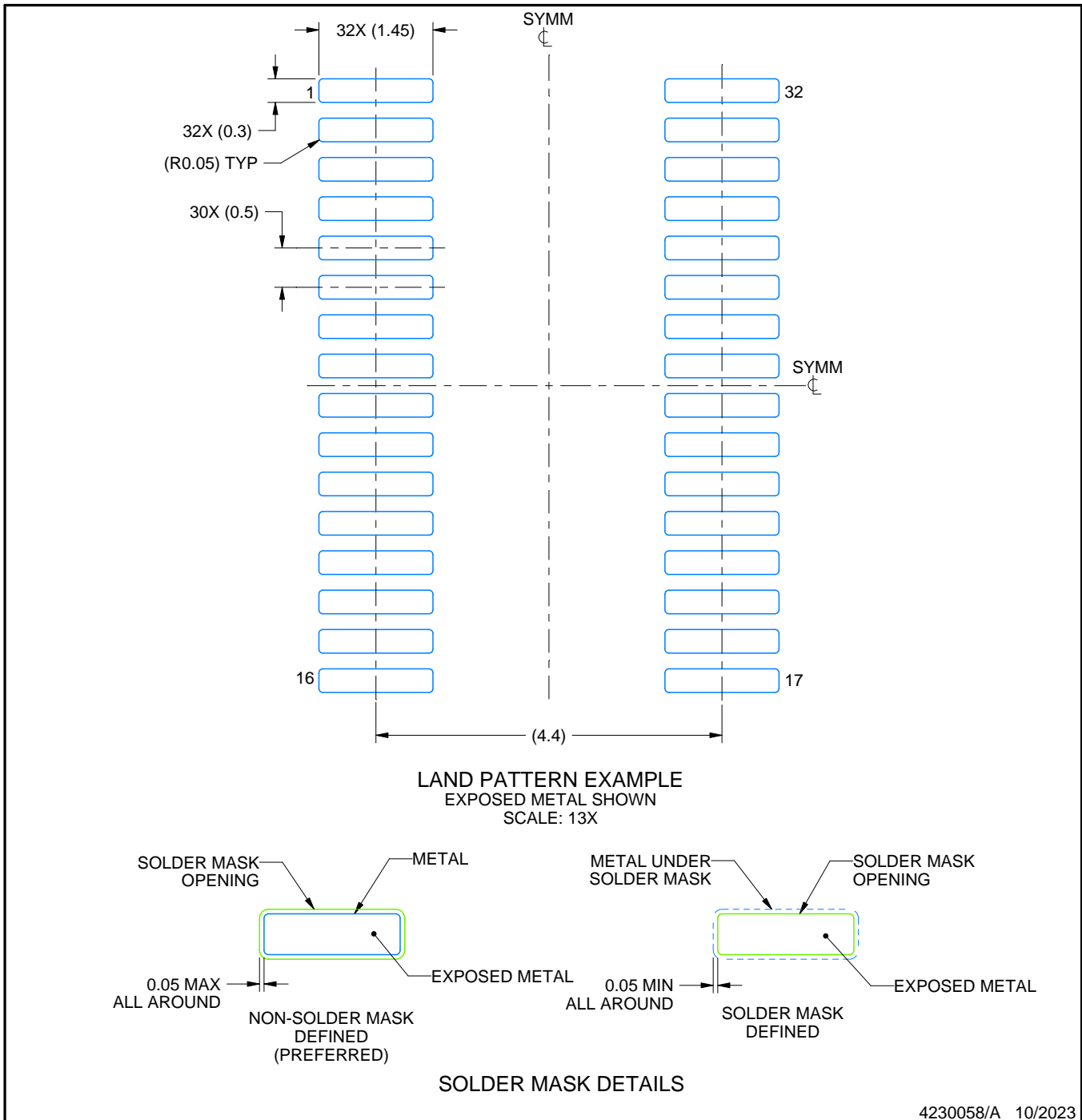
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. This dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.15 mm per side.
4. No JEDEC registration as of September 2020.
5. Features may differ or may not be present.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

DGS0032A

VSSOP - 1.1 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



NOTES: (continued)

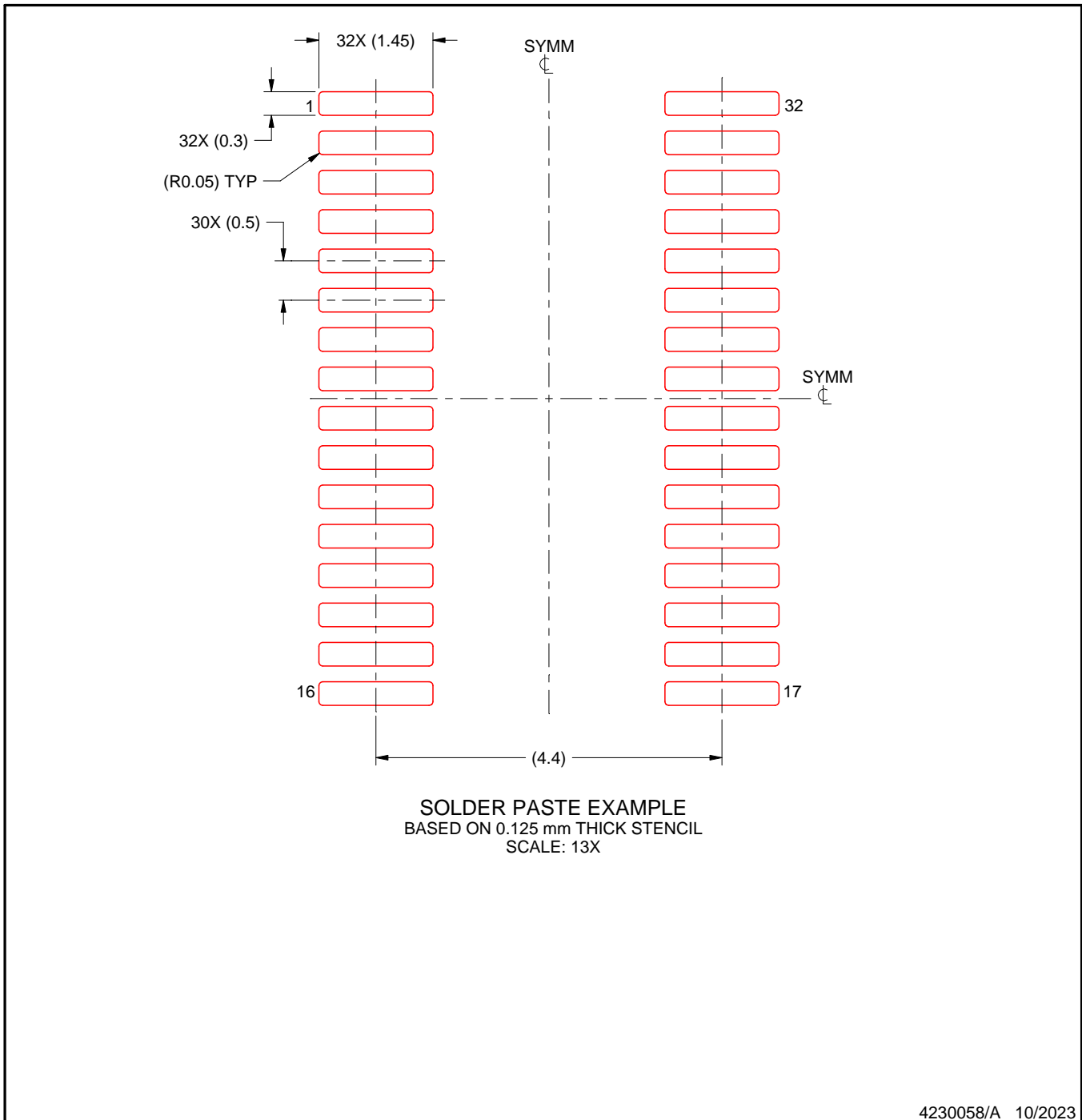
6. Publication IPC-7351 may have alternate designs.
7. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.
8. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature numbers SLMA002 (www.ti.com/lit/slma002)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

EXAMPLE STENCIL DESIGN

DGS0032A

VSSOP - 1.1 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



NOTES: (continued)

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

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日 : 2025 年 10 月