

## LSF0002 适用于开漏或推挽应用的超小型自动双向转换器

### 1 特性

- 无需方向引脚即可提供双向电压转换 ( 为了获得最佳的信号完整性,  $V_{EXTA}$  需要比  $V_{EXTB}$  小 0.8V )
- 在  $V_{EXTA} = V_{EXTB}$  时支持实现开关配置
- 容性负载  $\leq 30\text{pF}$  时, 支持高达 100MHz 的上行转换和 100MHz 以上的下行转换;  
容性负载为 50pF 时, 支持高达 40MHz 的上行/下行转换
- 可实现以下电压之间的双向电压电平转换
  - $0.95\text{V} \leftrightarrow 1.8\text{V}/2.5\text{V}/3.3\text{V}/5\text{V}$
  - $1.2\text{V} \leftrightarrow 1.8\text{V}/2.5\text{V}/3.3\text{V}/5\text{V}$
  - $1.8\text{V} \leftrightarrow 2.5\text{V}/3.3\text{V}/5\text{V}$
  - $2.5\text{V} \leftrightarrow 3.3\text{V}/5\text{V}$
  - $3.3\text{V} \leftrightarrow 5\text{V}$
- 低待机电流
- 支持 TTL 的 5V 耐受 I/O 端口
- 低  $R_{ON}$  可提供较少的信号失真
- 针对 EN 为低电平的高阻抗 I/O 引脚
- 采用直通引脚以简化 PCB 布线
- 闩锁性能  $>100\text{mA}$ , 符合 JESD 17 规范
- $-40^{\circ}\text{C}$  至  $125^{\circ}\text{C}$  工作温度范围

### 2 应用

- GPIO、MDIO、PMBus、SMBus、SDIO、UART、I<sup>2</sup>C 和电信基础设施中的其他接口
- [企业系统](#)
- [通信设备](#)
- [个人电子产品](#)
- [工业应用](#)

### 3 说明

LSF0002 器件支持双向电压转换, 而无需使用 DIR 引脚, 这更大幅度地降低了系统工作量 ( 对于 PMBus、I<sup>2</sup>C 和 SMBus 等 )。LSF 系列器件在容性负载  $\leq 30\text{pF}$  时支持高达 100MHz 的上行转换和 100MHz 以上的下行转换; 在容性负载为 50pF 时支持高达 40MHz 的上行或下行转换, 因此 LSF 系列可支持更多的消费类或电信接口 ( MDIO 或 SDIO )。

LSF 系列的 I/O 端口能够耐受 5V 电压, 因此与工业和电信应用中的 TTL 电平兼容。LSF 系列能够设置不同的电压转换电平, 因此较为灵活。

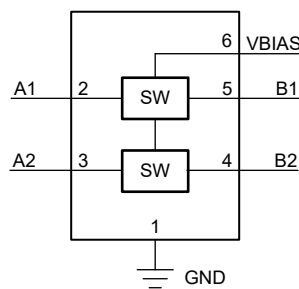
与 LSF0x0x 系列不同, LSF0002 不需要 VREF\_A 和 VREF\_B 电源以及  $200\text{k}\Omega$  偏置电阻器。LSF0002 利用  $V_{BIAS}$  引脚, 通过偏置到与 I/O 上要转换到和从中转换的较低电源相同的电压来实现转换。

#### 封装信息

| 器件型号    | 封装 <sup>(1)</sup> | 封装尺寸 <sup>(2)</sup> |
|---------|-------------------|---------------------|
| LSF0002 | DTQ ( X2SON , 6 ) | 1mm × 0.8mm         |

(1) 有关更多信息, 请参阅 节 11。

(2) 封装尺寸 ( 长 × 宽 ) 为标称值, 并包括引脚 ( 如适用 )。



功能方框图



## 内容

|                                      |          |                             |           |
|--------------------------------------|----------|-----------------------------|-----------|
| <b>1 特性</b> .....                    | <b>1</b> | <b>7.2 功能方框图</b> .....      | <b>9</b>  |
| <b>2 应用</b> .....                    | <b>1</b> | <b>7.3 特性说明</b> .....       | <b>9</b>  |
| <b>3 说明</b> .....                    | <b>1</b> | <b>7.4 器件功能模式</b> .....     | <b>10</b> |
| <b>4 引脚配置和功能</b> .....               | <b>3</b> | <b>8 应用和实施</b> .....        | <b>11</b> |
| <b>5 规格</b> .....                    | <b>4</b> | <b>8.1 应用信息</b> .....       | <b>11</b> |
| 5.1 绝对最大额定值.....                     | 4        | <b>8.2 典型应用</b> .....       | <b>11</b> |
| 5.2 ESD 等级.....                      | 4        | <b>8.3 电源相关建议</b> .....     | <b>15</b> |
| 5.3 建议运行条件.....                      | 4        | <b>8.4 布局</b> .....         | <b>15</b> |
| 5.4 热性能信息.....                       | 5        | <b>9 器件和文档支持</b> .....      | <b>16</b> |
| 5.5 电气特性.....                        | 5        | 9.1 相关文档.....               | 16        |
| 5.6 开关特性 (下行转换) : $B_N = 3.3V$ ..... | 6        | 9.2 接收文档更新通知.....           | 16        |
| 5.7 开关特性 (下行转换) : $B_N = 2.5V$ ..... | 6        | 9.3 支持资源.....               | 16        |
| 5.8 开关特性 (上行转换) : $B_N = 3.3V$ ..... | 6        | 9.4 商标.....                 | 16        |
| 5.9 开关特性 (上行转换) : $B_N = 2.5V$ ..... | 7        | 9.5 静电放电警告.....             | 16        |
| <b>6 参数测量信息</b> .....                | <b>8</b> | 9.6 术语表.....                | 16        |
| <b>7 详细说明</b> .....                  | <b>9</b> | <b>10 修订历史记录</b> .....      | <b>17</b> |
| 7.1 概述.....                          | 9        | <b>11 机械、封装和可订购信息</b> ..... | <b>17</b> |

## 4 引脚配置和功能

引脚排列图未按比例绘制

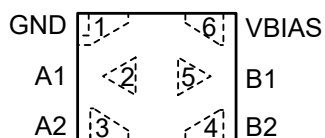


图 4-1. LSF0002 DTQ 封装，6 引脚 X2SON（顶视图）

表 4-1. 引脚功能

| 引脚    |    | 类型 <sup>(1)</sup> | 说明            |
|-------|----|-------------------|---------------|
| 名称    | 编号 |                   |               |
| A1    | 2  | I/O               | 自动双向数据端口      |
| A2    | 3  | I/O               |               |
| B1    | 5  | I/O               |               |
| B2    | 4  | I/O               |               |
| VBIAS | 6  | I                 | 使能输入/<br>电源电压 |
| GND   | 1  | —                 | 接地            |

(1) I = 输入，O = 输出

## 5 规格

### 5.1 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）<sup>(1)</sup>

|           |                        |           | 最小值  | 最大值 | 单位 |
|-----------|------------------------|-----------|------|-----|----|
| $V_I$     | 输入电压 <sup>(2)</sup>    |           | -0.5 | 7   | V  |
| $V_{I/O}$ | 输入/输出电压 <sup>(2)</sup> |           | -0.5 | 7   | V  |
|           | 连续通道电流                 |           |      | 128 | mA |
| $I_{IK}$  | 输入钳位电流                 | $V_I < 0$ |      | -50 | mA |
| $T_J$     | 结温                     |           |      | 150 | °C |
| $T_{stg}$ | 贮存温度                   |           | -65  | 150 | °C |

- (1) 超出绝对最大额定值的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。如果在建议运行条件之外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，这可能会影响器件的可靠性、功能性和性能，并缩短器件的寿命。
- (2) 如果遵守输入和输入/输出钳位电流额定值，则可能会超过输入和输入/输出电压额定值。

### 5.2 ESD 等级

|             |      |                                                          | 值     | 单位 |
|-------------|------|----------------------------------------------------------|-------|----|
| $V_{(ESD)}$ | 静电放电 | 人体放电模型 (HBM)，符合 AEC Q100-002 <sup>(3)</sup>              | ±2000 | V  |
| $V_{(ESD)}$ | 静电放电 | 充电器件模型 (CDM)，符合 AEC Q100-001 标准                          | ±1000 | V  |
| $V_{(ESD)}$ | 静电放电 | 人体放电模型 (HBM)，符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 标准 <sup>(1)</sup> | ±2000 | V  |
|             |      | 充电器件模式 (CDM)，符合 JEDEC 规范 JESD22-C101 <sup>(2)</sup>      | ±1000 |    |

- (1) JEDEC 文档 JEP155 规定：500V HBM 可实现在标准 ESD 控制流程下安全生产。
- (2) JEDEC 文档 JEP157 规定：250V CDM 可实现在标准 ESD 控制流程下安全生产。
- (3) AEC Q100-002 指示 HBM 应力测试应当符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 规范。

### 5.3 建议运行条件

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）

|            | 参数             |             | 最小值 | 最大值 | 单位 |
|------------|----------------|-------------|-----|-----|----|
| $V_{BIAS}$ | 基准电压           |             | 0   | 5.5 | V  |
| $V_{I/O}$  | 输入/输出电压        | A1、A2、B1、B2 | 0   | 5.5 | V  |
| $I_{PASS}$ | 导通开关电流         |             |     | 64  | mA |
| $T_A$      | 自然通风条件下的工作温度范围 |             | -40 | 125 | °C |

## 5.4 热性能信息

| 热指标 <sup>(1)</sup>   |                | LSF0002     | 单位   |
|----------------------|----------------|-------------|------|
|                      |                | DTQ (X2SON) |      |
|                      |                | 6 引脚        |      |
| $R_{\theta JA}$      | 结至环境热阻         | 294.4       | °C/W |
| $R_{\theta JC(top)}$ | 结至外壳 ( 顶部 ) 热阻 | 188.9       | °C/W |
| $R_{\theta JB}$      | 结至电路板热阻        | 216.8       | °C/W |
| $\Psi_{JT}$          | 结至顶部特征参数       | 26.5        | °C/W |
| $\Psi_{JB}$          | 结至电路板特征参数      | 216.0       | °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。

## 5.5 电气特性

在自然通风条件下的工作温度范围内测得 ( 除非另有说明 )

| 参数                      | 测试条件                                                                                    |                                                    |                                                  | 最小值 | 典型值 <sup>(1)</sup> | 最大值  | 单位 |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----|--------------------|------|----|
| $V_{IK}$                | $I_I = -18mA$                                                                           | $EN = 0V$                                          |                                                  |     |                    | -1.2 | V  |
| $I_{IH}$                | $V_I = 5V$                                                                              | $EN = 0V$                                          |                                                  |     |                    | 5.0  | μA |
| $I_{CCBA}$              | $V_{ref\_B} = V_{EN} = 5.5V$ , $V_{ref\_A} = 4.5V$ , $I_O = 0$ , $V_I = V_{CC}$ 或 $GND$ |                                                    |                                                  |     | 1                  |      | μA |
| $C_{I(ref\_A/B/EN)}$    | $V_I = 3V$ 或 $0V$                                                                       |                                                    |                                                  |     | 11                 |      | pF |
| $C_{io(off)}$           | $V_O = 3V$ 或 $0V$ ,<br>$V_{EN} = 0V$                                                    |                                                    |                                                  |     | 4.0                | 6.0  | pF |
| $C_{io(on)}$            | $V_O = 3V$ 或 $0V$ ,<br>$V_{EN} = 3V$                                                    |                                                    |                                                  |     | 10.5               | 12.5 | pF |
| $r_{ON}$ <sup>(2)</sup> | $V_I = 0$ ,<br>$I_O = 64mA$                                                             | $V_{ref\_A} = 3.3V$ ; $V_{ref\_B} = V_{EN} = 5V$   |                                                  |     | 8.0                |      | Ω  |
|                         |                                                                                         |                                                    | $V_{ref\_A} = 1.8V$ ; $V_{ref\_B} = V_{EN} = 5V$ |     | 9.0                |      |    |
|                         |                                                                                         |                                                    | $V_{ref\_A} = 1.0V$ ; $V_{ref\_B} = V_{EN} = 5V$ |     | 10                 |      |    |
|                         | $V_I = 0$ ,<br>$I_O = 32mA$                                                             | $V_{ref\_A} = 1.8V$ ; $V_{ref\_B} = V_{EN} = 5V$   |                                                  |     | 10                 |      | Ω  |
|                         |                                                                                         |                                                    | $V_{ref\_A} = 2.5V$ ; $V_{ref\_B} = V_{EN} = 5V$ |     | 15                 |      |    |
|                         | $V_I = 1.8V$ ,<br>$I_O = 15mA$                                                          | $V_{ref\_A} = 3.3V$ ; $V_{ref\_B} = V_{EN} = 5V$   |                                                  |     | 9.0                |      | Ω  |
|                         | $V_I = 1.0V$ ,<br>$I_O = 10mA$                                                          | $V_{ref\_A} = 1.8V$ ; $V_{ref\_B} = V_{EN} = 3.3V$ |                                                  |     | 18                 |      | Ω  |
|                         | $V_I = 0V$ ,<br>$I_O = 10mA$                                                            | $V_{ref\_A} = 1.0V$ ; $V_{ref\_B} = V_{EN} = 3.3V$ |                                                  |     | 20                 |      | Ω  |
|                         | $V_I = 0V$ ,<br>$I_O = 10mA$                                                            | $V_{ref\_A} = 1.0V$ ; $V_{ref\_B} = V_{EN} = 1.8V$ |                                                  |     | 30                 |      | Ω  |

(1) 所有典型值均在  $T_A=25^{\circ}C$  下测得。

(2) 在通过开关的指示电流下，由 A 和 B 引脚之间的电压降测量。最小导通状态电阻由两个引脚 ( A 或 B ) 的最低电压决定。

## 5.6 开关特性 (下行转换) : $B_N = 3.3V$

在建议的自然通风条件下的工作温度范围内测得,  $B_N = 3.3V$ ,  $B_N = V_{IH} = A_N + 1$ ,  $V_{IL} = 0$ , 和  $V_M = 0.5A_N$  (除非另有说明<sup>(1)</sup><sup>(2)</sup>) (参阅 节 6)

| 参数        | 测试条件        | 最小值                       | 典型值          | 最大值 | 单位 |
|-----------|-------------|---------------------------|--------------|-----|----|
| $T_{PLH}$ | 低电平到高电平传播延迟 | 从 (输入) A 或 B 到 (输出) B 或 A | $C_L = 15pF$ | 0.3 | ns |
|           |             |                           | $C_L = 30pF$ | 0.7 |    |
|           |             |                           | $C_L = 50pF$ | 1.1 |    |
| $T_{PHL}$ | 高电平到低电平传播延迟 | 从 (输入) A 或 B 到 (输出) B 或 A | $C_L = 15pF$ | 0.4 | ns |
|           |             |                           | $C_L = 30pF$ | 0.8 |    |
|           |             |                           | $C_L = 50pF$ | 1.2 |    |

(1) 通过模拟来确定, 未经生产环境测试。

(2) 下行转换: 高压侧向低压侧驱动。

## 5.7 开关特性 (下行转换) : $B_N = 2.5V$

在建议的自然通风条件下的工作温度范围内测得,  $B_N = 2.5V$ ,  $B_N = V_{IH} = A_N + 1$ ,  $V_{IL} = 0$ , 和  $V_M = 0.5A_N$  (除非另有说明<sup>(1)</sup><sup>(2)</sup>) (参阅 节 6)

| 参数        | 测试条件        | 最小值                       | 典型值          | 最大值  | 单位 |
|-----------|-------------|---------------------------|--------------|------|----|
| $T_{PLH}$ | 低电平到高电平传播延迟 | 从 (输入) A 或 B 到 (输出) B 或 A | $C_L = 15pF$ | 0.35 | ns |
|           |             |                           | $C_L = 30pF$ | 0.8  |    |
|           |             |                           | $C_L = 50pF$ | 1.2  |    |
| $T_{PHL}$ | 高电平到低电平传播延迟 | 从 (输入) A 或 B 到 (输出) B 或 A | $C_L = 15pF$ | 0.5  | ns |
|           |             |                           | $C_L = 30pF$ | 1    |    |
|           |             |                           | $C_L = 50pF$ | 1.3  |    |

(1) 通过模拟来确定, 未经生产环境测试。

(2) 下行转换: 高压侧向低压侧驱动。

## 5.8 开关特性 (上行转换) : $B_N = 3.3V$

在建议的自然通风条件下的工作温度范围内测得,  $B_N = 3.3V$ ,  $B_N = V_T = A_N + 1$ ,  $V_{ref\_A} = V_{IH}$ ,  $V_{IL} = 0$ ,  $V_M = 0.5A_N$  和  $R_L = 300$  (除非另有说明<sup>(1)</sup><sup>(2)</sup>) (参阅 节 6)

| 参数        | 测试条件        | 最小值                       | 典型值          | 最大值 | 单位 |
|-----------|-------------|---------------------------|--------------|-----|----|
| $T_{PLH}$ | 低电平到高电平传播延迟 | 从 (输入) A 或 B 到 (输出) B 或 A | $C_L = 15pF$ | 0.4 | ns |
|           |             |                           | $C_L = 30pF$ | 0.8 |    |
|           |             |                           | $C_L = 50pF$ | 1   |    |
| $T_{PHL}$ | 高电平到低电平传播延迟 | 从 (输入) A 或 B 到 (输出) B 或 A | $C_L = 15pF$ | 0.4 | ns |
|           |             |                           | $C_L = 30pF$ | 0.9 |    |
|           |             |                           | $C_L = 50pF$ | 1   |    |

(1) 通过模拟来确定, 未经生产环境测试。

(2) 下行转换: 高压侧向低压侧驱动。

## 5.9 开关特性 ( 上行转换 ) : $B_N = 2.5V$

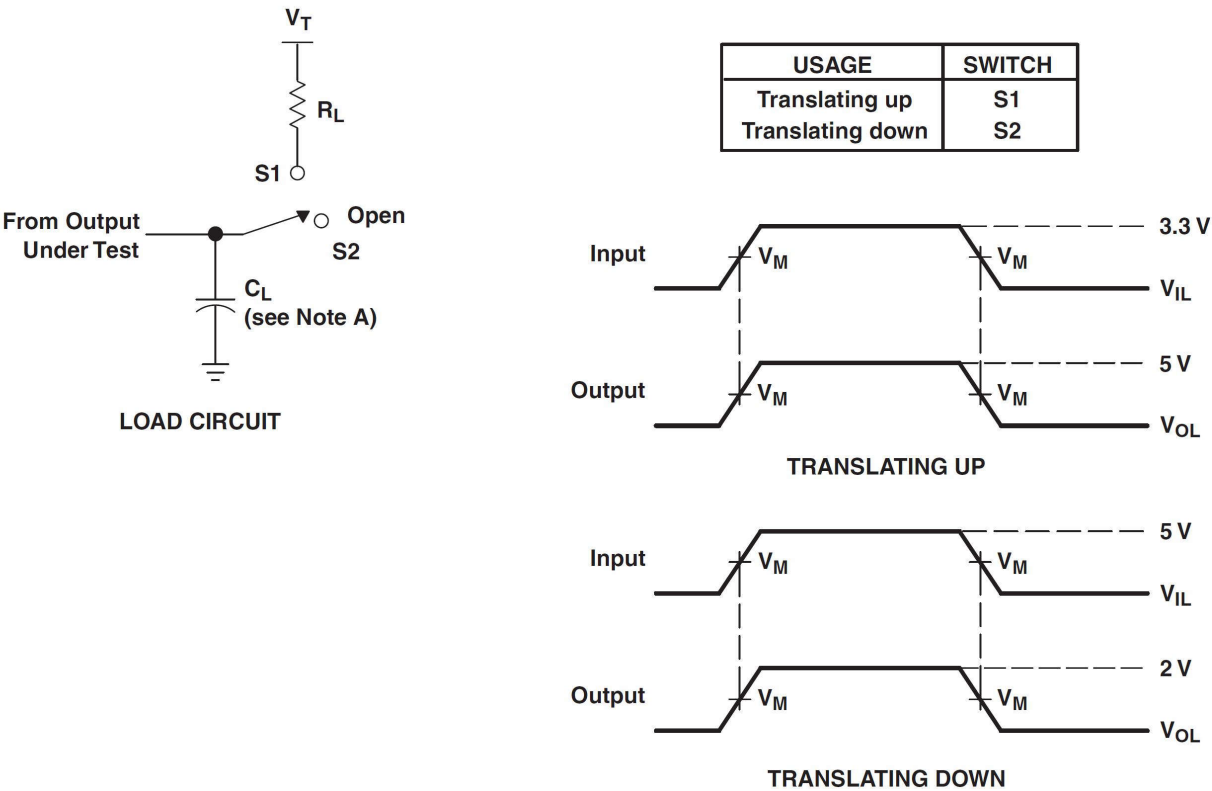
在建议的自然通风条件下的工作温度范围内测得,  $B_N = 2.5V$ ,  $B_N = V_T = A_N + 1$ ,  $A_N = V_{IH}$ ,  $V_{IL} = 0$ ,  $V_M = 0.5A_N$  和  $R_L = 300$  ( 除非另有说明 <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> ) ( 参阅 节 6 )

| 参数               |             | 测试条件                          |                       | 最小值  | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|------------------|-------------|-------------------------------|-----------------------|------|-----|-----|----|
| T <sub>PLH</sub> | 低电平到高电平传播延迟 | 从 ( 输入 ) A 或 B 到 ( 输出 ) B 或 A | C <sub>L</sub> = 15pF | 0.45 |     | ns  |    |
|                  |             |                               | C <sub>L</sub> = 30pF | 0.9  |     |     |    |
|                  |             |                               | C <sub>L</sub> = 50pF | 1.1  |     |     |    |
| T <sub>PHL</sub> | 高电平到低电平传播延迟 |                               | C <sub>L</sub> = 15pF | 0.6  |     | ns  |    |
|                  |             |                               | C <sub>L</sub> = 30pF | 1.1  |     |     |    |
|                  |             |                               | C <sub>L</sub> = 50pF | 1.3  |     |     |    |

(1) 通过模拟来确定, 未经生产环境测试。

(2) 下行转换: 高压侧向低压侧驱动。

6 参数测量信息



- A.  $C_L$  包括探头和夹具电容。
- B. 具有以下特性的发生器会生成所有输入脉冲： $PRR \leq 10\text{MHz}$ ， $Z_O = 50\ \Omega$ ， $t_r \leq 2\text{ns}$ ， $t_f \leq 2\text{ns}$ 。
- C. 每次测量这些输出中的一个，每次测量转换一次。

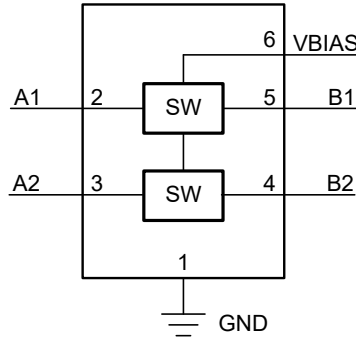
图 6-1. 输出负载电路

## 7 详细说明

### 7.1 概述

LSF0002 能用于电平转换中，将不同接口电压下运行的器件或系统连接在一起，并且在  $V_{EXTA} = V_{EXTB}$  时能够进行开关。当器件设置为启用/禁用时，LSF0002 的 I/O 可以置于 HIGH-Z 中。LSF 系列器件非常适合在开漏驱动器连接至数据 I/O 的应用中使用。如有适当的上拉电阻器和布局，LSF 可以达到 100MHz。LSF 系列也可用于将推挽驱动器连接到数据 I/O 的应用。有关器件设置和运行的概述，请参阅 [Logic Minute](#) 系列培训：[了解 LSF 系列双向多电压电平转换器](#)。

### 7.2 功能方框图



### 7.3 特性说明

#### 7.3.1 自动双向电压转换

LSF 系列是自动双向电压电平转换器，工作电压范围为 0.95V 至 5.5V。这样支持在 0.95V 至 5.5V 之间进行双向电压转换，在开漏或推挽应用中无需方向引脚。对于采用 30pF 电容和 250Ω 上拉电阻器的开漏系统，LSF 系列支持传输速度大于 100Mbps 的电平转换应用。控制器的输出驱动器和外设输出都可以是推挽或开漏（可能需要上拉电阻器）。在上行和下行转换中，B 侧通常指高侧，是指连接到 B 端口的器件。A 侧可称为低侧。

### 7.3.2 $V_{BIAS}$ /使能

要启用 I/O 引脚， $V_{BIAS}$  输入应在电压转换期间以较低电源为基准（下例中为  $V_{EXT,A}$ ）。要在上电、断电或运行期间处于高阻抗状态，必须将  $V_{BIAS}$  引脚拉至低电平并接地 (GND)，或者由不带上拉电阻器的开漏驱动器禁用。使用  $V_{BIAS}$  引脚适当地偏置 I/O 通道。另外建议在  $V_{BIAS}$  上使用滤波电容器，为器件提供稳定电源。

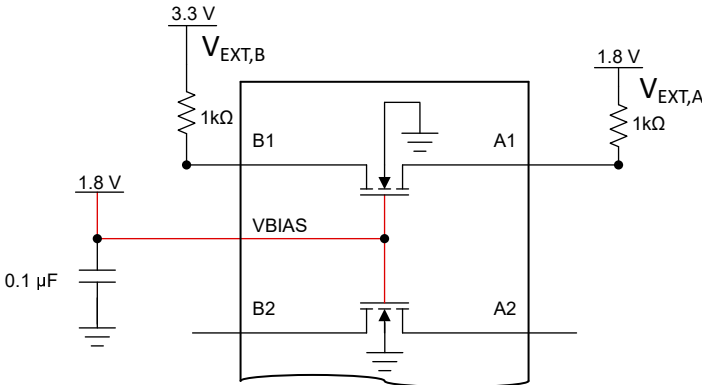


图 7-1.  $V_{BIAS}$  连接至较低的电源

开漏 I/O 器件的电源电压可能与 LSF 使用的电源完全不同，对运行没有影响。有关如何使用使能引脚的更多详细信息，请参阅 [针对 LSF 系列使用使能引脚](#) 视频。

表 7-1. 使能引脚功能表

| 输入 $V_{BIAS}$ 引脚 | 数据端口状态      |
|------------------|-------------|
| 直接连接 $V_{BIAS}$  | $A_n = B_n$ |
| L                | 高阻态         |

### 7.4 器件功能模式

对于每个通道 (n)，当  $A_n$  或  $B_n$  端口为低电平时，开关在  $A_n$  和  $B_n$  端口之间提供一个低阻抗路径；相应的  $B_n$  或  $A_n$  端口将被拉至低电平。开关的低  $R_{ON}$  可实现具有超小传播延迟和信号失真的连接。

表 7-1 汇总了器件运行相关信息。有关 LSF 系列器件正常运行的更多详细信息，请参阅 [使用 LSF 系列进行下行转换](#) 和 [使用 LSF 系列进行上行转换](#) 视频。

表 7-2. 器件功能

| 信号方向 <sup>(1)</sup> | 输入状态    | 开关状态        | 功能                                            |
|---------------------|---------|-------------|-----------------------------------------------|
| B 至 A (下行转换)        | B = 低电平 | 导通<br>(低阻抗) | A 侧电压通过开关被拉低至 B 侧电压                           |
|                     | B = 高电平 | 关闭<br>(高阻抗) | A 侧电压被钳制于 $V_{EXT,A}$ <sup>(2)</sup>          |
| A 至 B (上行转换)        | A = 低电平 | 导通<br>(低阻抗) | B 侧电压通过开关被拉低至 A 侧电压                           |
|                     | A = 高电平 | 关闭<br>(高阻抗) | B 侧电压被钳制在 $V_{EXT,A}$ ，然后上拉至 $V_{EXT,B}$ 电源电压 |

(1) 下游通道不应通过低阻抗驱动器主动驱动，否则可能会发生总线争用。

(2) A 侧可以上拉至  $V_{EXT,A}$ ，实现额外的电流驱动能力，或者也可使用一个上拉电阻器上拉至  $V_{EXT,A}$  之上。应始终遵循 [建议运行条件](#) 部分的规定。

## 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

LSF 器件可对开漏或推挽接口执行电压转换。表 8-1 提供了常见接口，以及 LSF 系列中的相应器件建议，该器件可支持相应位数。

表 8-1. 用于常见接口的电压转换器

| 器件名称    | 通道数量 | 接口                                       |
|---------|------|------------------------------------------|
| LSF0002 | 2    | GPIO、MDIO、SMBus、PMBus 和 I <sup>2</sup> C |

有关 LSF0002 的一些重要提示如下：

- LSF 器件基于开关，而不是基于缓冲器（有关基于缓冲器的器件的更多信息，请参阅 TXB 系列）。
- 不能使用  $1/T_{pd}$  计算具体的数据速率。
- $V_{EXT,A}/V_{EXT,B}$  以 I/O 上的外部电源为基准。
- $V_{BIAS}$  应连接到要在 I/O 处转换到的最低电压。

### 8.2 典型应用

#### 8.2.1 开漏接口 (I<sup>2</sup>C、PMBus、SMBus 和 GPIO)

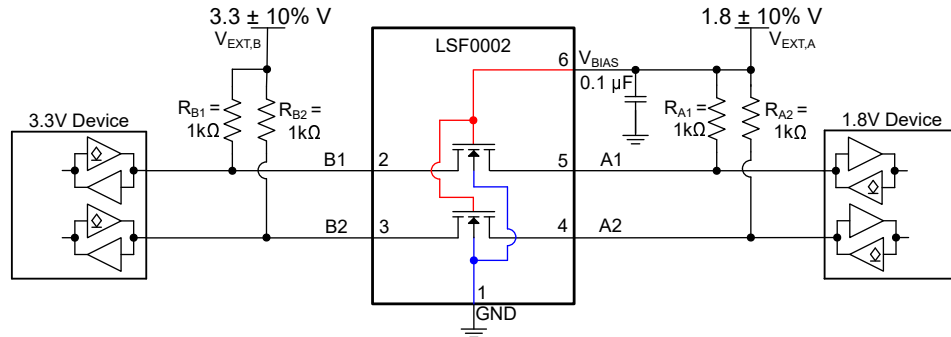


图 8-1. 用于开漏转换的典型应用电路（以 MDIO 为例）

### 8.2.1.1 设计要求

#### 8.2.1.1.1 启用和禁用指南

在上图中， $V_{BIAS}$  以 1.8V 电源的较低电源 ( $V_{EXT,A}$ ) 为基准， $V_{EXT,B}$  设置为 3.3V。A1 和 A2 通道的最大输出电压等于  $V_{EXT,A}$ ，B1 和 B2 通道的最大输出电压等于  $V_{EXT,B}$ 。

LSF0002 具有  $V_{BIAS}$  输入，通过将此节点拉低至 GND 可禁用器件，从而将所有 I/O 置于高阻态。LSF 系列器件是开关型电压转换器，因此功耗非常低。TI 建议始终启用 LSF 系列的双向应用 (I<sup>2</sup>C、SMBus、PMBus 或 MDIO)。

#### 备注

LSF0002 不需要 200k $\Omega$  偏置电阻器

**表 8-2. 应用运行条件 (电平位移配置,  $V_{EXT,A} \neq V_{EXT,B}$ )**

| 参数                                  | 最小值               | 典型值 | 最大值               | 单位 |
|-------------------------------------|-------------------|-----|-------------------|----|
| $V_{EXT,A}$ <sup>(1)</sup> 基准电压 (A) | 0.9               |     | 5.5               | V  |
| $V_{EXT,B}$ 基准电压 (B)                | $V_{EXT,A} + 0.8$ |     | 5.5               | V  |
| $V_{BIAS}$ $V_{BIAS}$ 引脚上的输入电压      | $V_{EXT,A}$       |     | $V_{EXT,A} + 0.8$ | V  |
| $V_{PU}$ 上拉电源电压                     | 0                 |     | $V_{EXT,B}$       | V  |

(1)  $V_{EXT,A}$  要求为所有输入和输出的最低电压电平。

**表 8-3. 应用运行条件 (开关配置,  $V_{EXT,A} = V_{EXT,B}$ )**

| 参数                                         | 最小值         | 典型值 | 最大值               | 单位 |
|--------------------------------------------|-------------|-----|-------------------|----|
| $V_{EXT,A}=V_{EXT,B}$ 基准电压 (A)<br>基准电压 (B) | 0.9         |     | 5.5               | V  |
| $V_{BIAS}$ $V_{BIAS}$ 引脚上的输入电压             | $V_{EXT,A}$ |     | $V_{EXT,A} + 0.8$ | V  |
| $V_{PU}$ 上拉电源电压                            | 0           |     | $V_{EXT,B}$       | V  |

### 8.2.1.2 详细设计过程

#### 8.2.1.2.1 双向转换

对于双向转换配置 (较高电压至较低电压或较低电压至较高电压)， $V_{BIAS}$  输入必须连接至  $V_{EXT,A}$ 。这样， $V_{BIAS}$  就能够调节 I/O 通道的偏置，以实现正确的转换。建议在  $V_{BIAS}$  上使用滤波电容器，为器件提供稳定电源。控制器输出驱动器可以是推挽式或开漏式 (可能需要上拉电阻器)，外设输出可以是推挽式或开漏式 (需要上拉电阻器将 Bn 输出拉至  $V_{PU}$ )。

#### 备注

如果任一输出为推挽式，则数据必须是单向的，或者输出必须为三态并由某种方向控制机制进行控制，以防止在任一方向上出现高电平到低电平的总线争用。如果两个输出均为开漏式，则无需方向控制。

#### 8.2.1.2.2 确定上拉电阻器的大小

上拉电阻值需要将传输晶体管处于导通状态时流经它的电流限制在大约 15mA。这样可使压降为 260mV 至 350mV，从而在下游通道上提供有效的低电平信号。如果流经传输晶体管的电流高于 15mA，导通状态下的压降也会更高。要将流经每个传输晶体管的电流设置为 15mA，请使用以下公式计算上拉电阻值：

$$R_{pu} = \frac{(V_{pu} - 0.35 V)}{0.015 A} \quad (1)$$

表 8-4 列出了电流为 8mA、5mA 和 3mA 时的电阻值和基准电压。应使用 +10% 列中显示的电阻值 (或更大的值)，以便晶体管上的压降为 350mV 或更小。外部驱动器必须能够以 0.175V 的电压从 LSF 系列器件两侧的电阻

器中吸收总电流，尽管 15mA 电流仅适用于流经 LSF 系列器件的电流。在 0.175V 时驱动低电平状态的器件必须从一个或多个上拉电阻器吸引电流，并保持  $V_{OL}$ 。电阻的减小将增大电流，从而增大  $V_{OL}$ 。

表 8-4. 上拉电阻器值

| $V_{PU}^{(1)(2)}$ | 8mA              |                                  | 5mA              |                                  | 3mA              |                                  |
|-------------------|------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------------|
|                   | 标称值 ( $\Omega$ ) | +10% <sup>(3)</sup> ( $\Omega$ ) | 标称值 ( $\Omega$ ) | +10% <sup>(3)</sup> ( $\Omega$ ) | 标称值 ( $\Omega$ ) | +10% <sup>(3)</sup> ( $\Omega$ ) |
| 5V                | 581              | 639                              | 930              | 1023                             | 1550             | 1705                             |
| 3.3V              | 369              | 406                              | 590              | 649                              | 983              | 1082                             |
| 2.5V              | 269              | 296                              | 430              | 473                              | 717              | 788                              |
| 1.8V              | 181              | 199                              | 290              | 319                              | 483              | 532                              |
| 1.5V              | 144              | 158                              | 230              | 253                              | 383              | 422                              |
| 1.2V              | 106              | 117                              | 170              | 187                              | 283              | 312                              |

(1)  $V_{OL} = 0.35V$  时计算得出

(2) 假设规定电流下输出驱动器  $V_{OL} = 0.175V$

(3) +10% 来补偿  $V_{DD}$  范围和电阻器容差

### 8.2.1.3 应用曲线

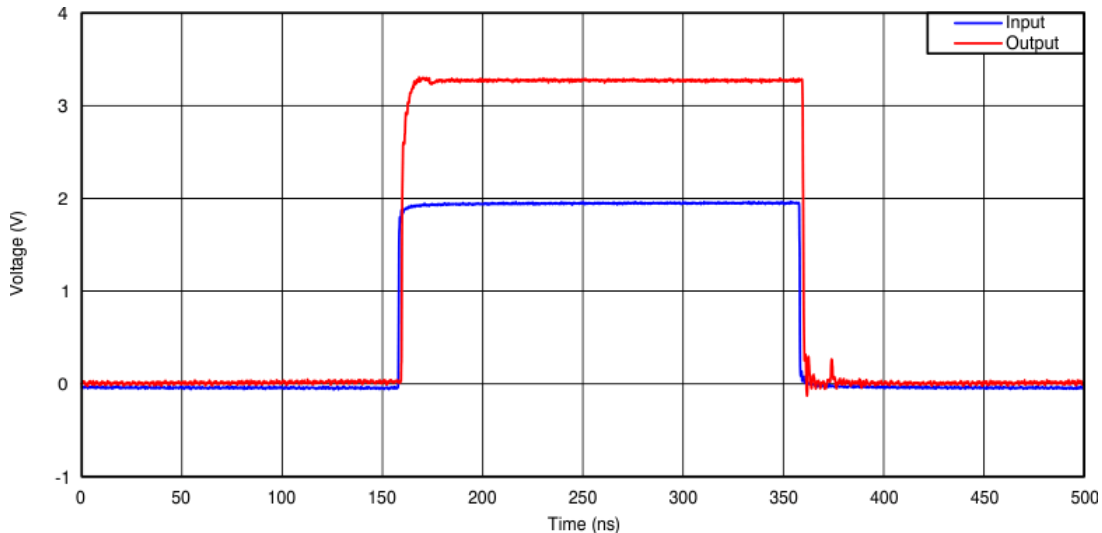


图 8-2. 开漏转换 (1.8V 至 3.3V , 2.5MHz )

### 8.2.2 混合模式电压转换

每个通道的电源电压 ( $V_{EXTA,B}$ ) 可由一个上拉电阻器单独设置。图 8-3 展示了这种混合模式多电压转换的示例。有关多电压转换的更多详细信息，请参阅 [使用 LSF 系列进行多电压转换](#) 视频。

在  $V_{EXTB}$  上拉至 5V 且  $V_{EXTA}$  连接至 1.2V 的情况下，所有通道将被钳制于 1.2V，此时可使用一个上拉电阻来定义给定通道的高电平电压。

- **推挽式下行转换 (5V 至 1.2V)：**通道 2 展示了此设置的一个示例。B2 为 5V (高) 时，A2 被钳制于 1.2V，B2 为 0V (低) 时，A2 通过开关驱动为低电平。
- **推挽式上行转换 (1.2V 至 3.3V)：**通道 1 展示了此设置的一个示例。A1 为 1.2V 时，开关为高阻抗，并且 B1 通道通过 RB1 被上拉至 3.3V。当 A1 为低电平时，B1 通过开关被驱动为低电平。
- **推挽式下行转换 (3.3V 至 1.2V)：**通道 1 展示了此设置的一个示例。B1 被驱动为 3.3V 时，A1 被钳制于 1.2V，B1 为低电平时，A1 通过开关驱动为低电平。

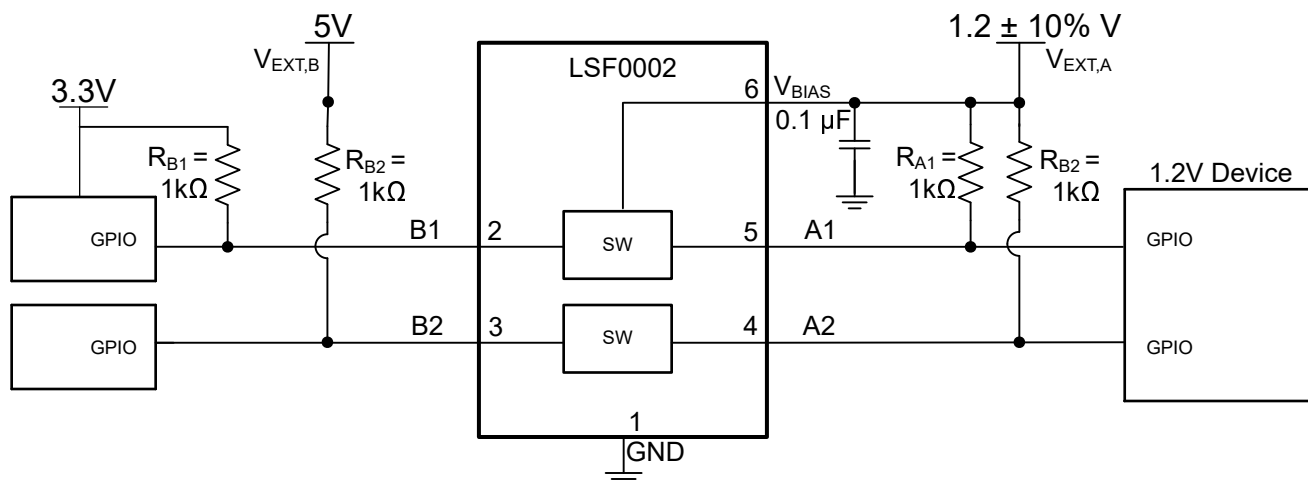


图 8-3. 使用 LSF 转换器进行多电压转换的示例

### 8.2.3 $V_{ref\_B} < V_{ref\_A} + 0.8V$ 时的电压转换

如启用和禁用指南部分所述，通常建议  $V_{EXT,B} > V_{EXT,A} + 0.8V$ ；但只要在设计时关注额外的注意事项，该器件仍可在  $V_{EXT,B} < V_{EXT,A} + 0.8V$  的条件下运行。

**典型工作模式 ( $V_{EXT,B} > V_{EXT,A} + 0.8V$ )：**在这种情况下，A 侧不需要上拉电阻器即可实现正确的降压转换。当由 B 到 A 进行降压转换时，A 侧 I/O 端口将钳制于  $V_{EXT,A}$ ，以便提供适当的电压转换。有关器件运行的更多说明，请参阅 [使用 LSF 系列进行下行转换](#) 视频。

**$V_{EXT,B} < V_{EXT,A} + 0.8V$  运行的要求：**在这种情况下， $V_{EXT,A}$  和  $V_{EXT,B}$  之间没有足够大的电压差，因此 A 侧 I/O 端口将被钳位在  $V_{EXT,A}$  电压处，而不是接近  $V_{EXT,B} - 0.8V$  的电压处。例如，如果  $V_{EXT,B} = 1.8V$  且  $V_{EXT,A} = 1.2V$ ，则 A 侧 I/O 将被钳位至大约 1.0V 的电压。因此，要在此类条件下运行，必须满足以下附加设计注意事项：

- 运行期间  $V_{EXT,B}$  必须大于  $V_{EXT,A}$  ( $V_{EXT,B} > V_{EXT,A}$ )
- 应在 A 侧 I/O 端口上安装上拉电阻器，以便将线路完全上拉至所需电压。

图 8-4 展示了此设置的示例，使用 LSF0002 实现了  $1.2V \leftrightarrow 1.8V$  转换。只要遵循了 [建议运行条件](#) 表，此类设置也适用于其他电压节点，例如  $1.8V \leftrightarrow 2.5V$ ， $1.05V \leftrightarrow 1.5V$  等。

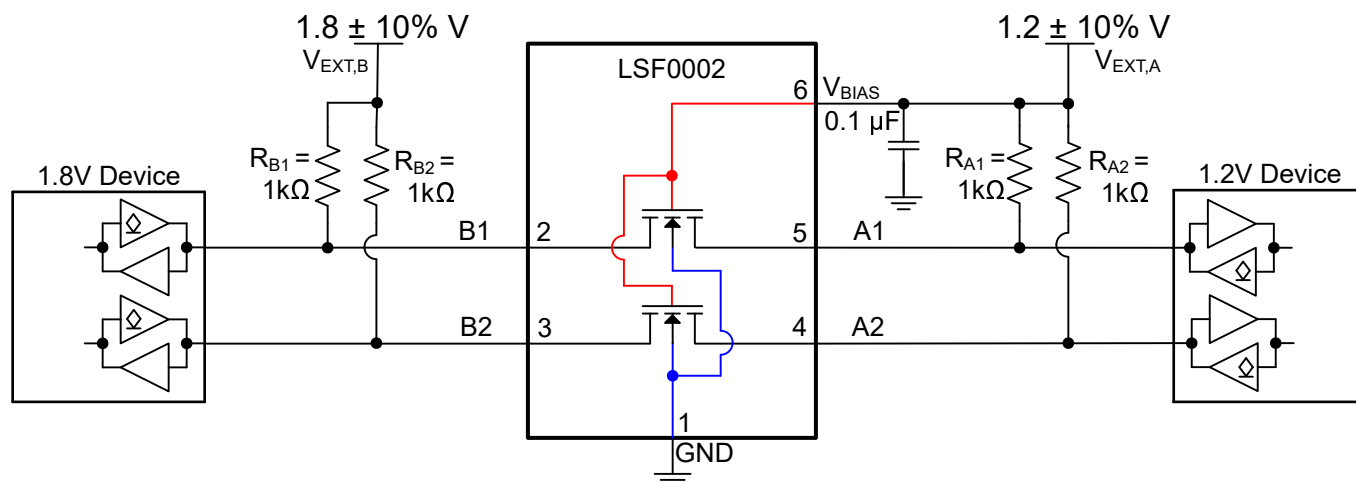


图 8-4. 使用 LSF0002 进行 1.2V 至 1.8V 电平转换

## 8.3 电源相关建议

LSF 系列没有电源序列要求。表 8-5 列出了所有电源和输入引脚的建议工作电压。

表 8-5. 建议工作电压

| 参数                         |             | 最小值               | 典型值 | 最大值               | 单位 |
|----------------------------|-------------|-------------------|-----|-------------------|----|
| $V_{EXT,A}$ <sup>(1)</sup> | 基准电压 (A)    | 0.9               |     | 5.5               | V  |
| $V_{EXT,B}$                | 基准电压 (B)    | $V_{EXT,A} + 0.8$ |     | 5.5               | V  |
| $V_{BIAS}$                 | EN 引脚上的输入电压 | $V_{EXT,A}$       |     | $V_{EXT,A} + 0.8$ | V  |
| $V_{PU}$                   | 上拉电源电压      | 0                 |     | $V_{EXT,B}$       | V  |

(1)  $V_{EXT,A}$  要求为所有输入和输出的最低电压电平。

## 8.4 布局

### 8.4.1 布局指南

由于 LSF 系列是开关型电平转换器，因此信号完整性与上拉电阻器和 PCB 电容条件高度相关。因此，请执行以下操作：

- 尽可能缩短信号布线，以减小电容并更大限度地减少上拉电阻器的残桩。
- 将 LSF 器件放置在尽可能靠近高压侧的位置。
- 选择适用于发送器转换电平和驱动能力的上拉电阻器。

### 8.4.2 布局示例

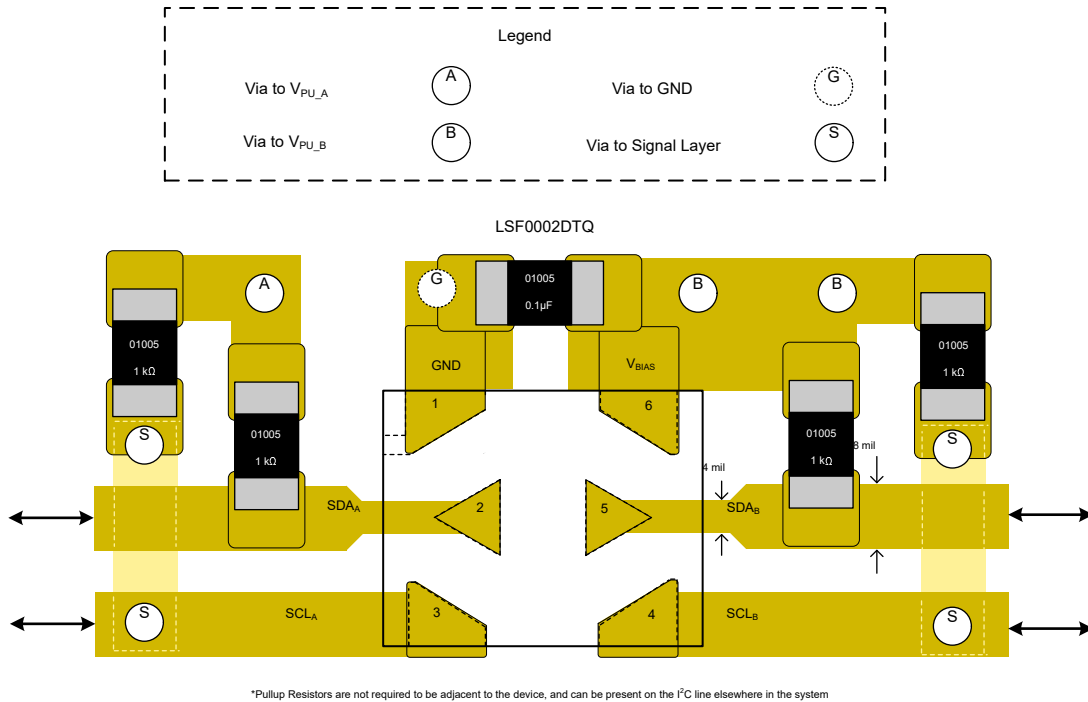


图 8-5. 短布线布局

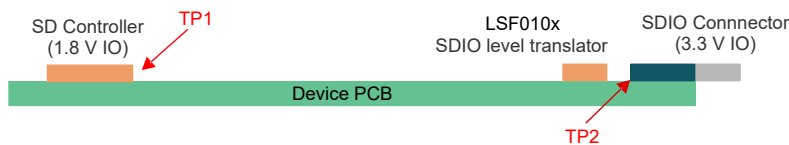


图 8-6. 器件放置

## 9 器件和文档支持

### 9.1 相关文档

请参阅以下相关文档：

- 德州仪器 (TI), [LSF 转换器系列评估模块 用户指南](#)
- 德州仪器 (TI), [TXS、TXB 和 LSF 自动双向转换器的偏置要求 应用手册](#)
- 德州仪器 (TI), [使用 LSF 系列进行电压电平转换 应用手册](#)
- 有关了解 LSF 系列器件的 Logic Minute 视频培训系列：
  - 德州仪器 (TI), [简介 - 使用 LSF 系列进行电压电平转换](#)
  - 德州仪器 (TI), [了解 LSF 系列的偏置电路](#)
  - 德州仪器 (TI), [针对 LSF 系列使用使能引脚](#)
  - 德州仪器 (TI), [LSF 系列的转换基础知识](#)
  - 德州仪器 (TI), [使用 LSF 系列进行下行转换](#)
  - 德州仪器 (TI), [使用 LSF 系列进行上行转换](#)
  - 德州仪器 (TI), [使用 LSF 系列进行多电压转换](#)
  - 德州仪器 (TI), [使用 LSF 系列进行单电源转换](#)

### 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

| Changes from Revision * (April 2024) to Revision A (September 2025) | Page |
|---------------------------------------------------------------------|------|
| • 更新了 <i>特性</i> 部分以包含开关配置.....                                      | 1    |
| • 将所有开关特性表表注中的“ <i>通过模拟来保证</i> ”更新为“ <i>通过模拟来确定</i> ”。.....         | 6    |
| • 更新了 <a href="#">图 8-1</a> .....                                   | 11   |
| • 添加了 <a href="#">表 8-3</a> .....                                   | 12   |
| • 更新了 <a href="#">图 8-3</a> .....                                   | 13   |
| • 更新了 <a href="#">图 8-4</a> .....                                   | 14   |

| 日期         | 修订版本 | 注释    |
|------------|------|-------|
| 2024 年 4 月 | *    | 初始发行版 |

## 11 机械、封装和可订购信息

下述页面包含机械、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。

## PACKAGING INFORMATION

| Orderable part number       | Status<br>(1) | Material type<br>(2) | Package   Pins  | Package qty   Carrier | RoHS<br>(3) | Lead finish/<br>Ball material<br>(4) | MSL rating/<br>Peak reflow<br>(5) | Op temp (°C) | Part marking<br>(6) |
|-----------------------------|---------------|----------------------|-----------------|-----------------------|-------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------|---------------------|
| <a href="#">LSF0002DTQR</a> | Active        | Production           | X2SON (DTQ)   6 | 12000   LARGE T&R     | Yes         | NIPDAU                               | Level-1-260C-UNLIM                | -40 to 125   | J                   |
| LSF0002DTQR.A               | Active        | Production           | X2SON (DTQ)   6 | 12000   LARGE T&R     | Yes         | NIPDAU                               | Level-1-260C-UNLIM                | -40 to 125   | J                   |

<sup>(1)</sup> **Status:** For more details on status, see our [product life cycle](#).

<sup>(2)</sup> **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.

<sup>(3)</sup> **RoHS values:** Yes, No, RoHS Exempt. See the [TI RoHS Statement](#) for additional information and value definition.

<sup>(4)</sup> **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.

<sup>(5)</sup> **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.

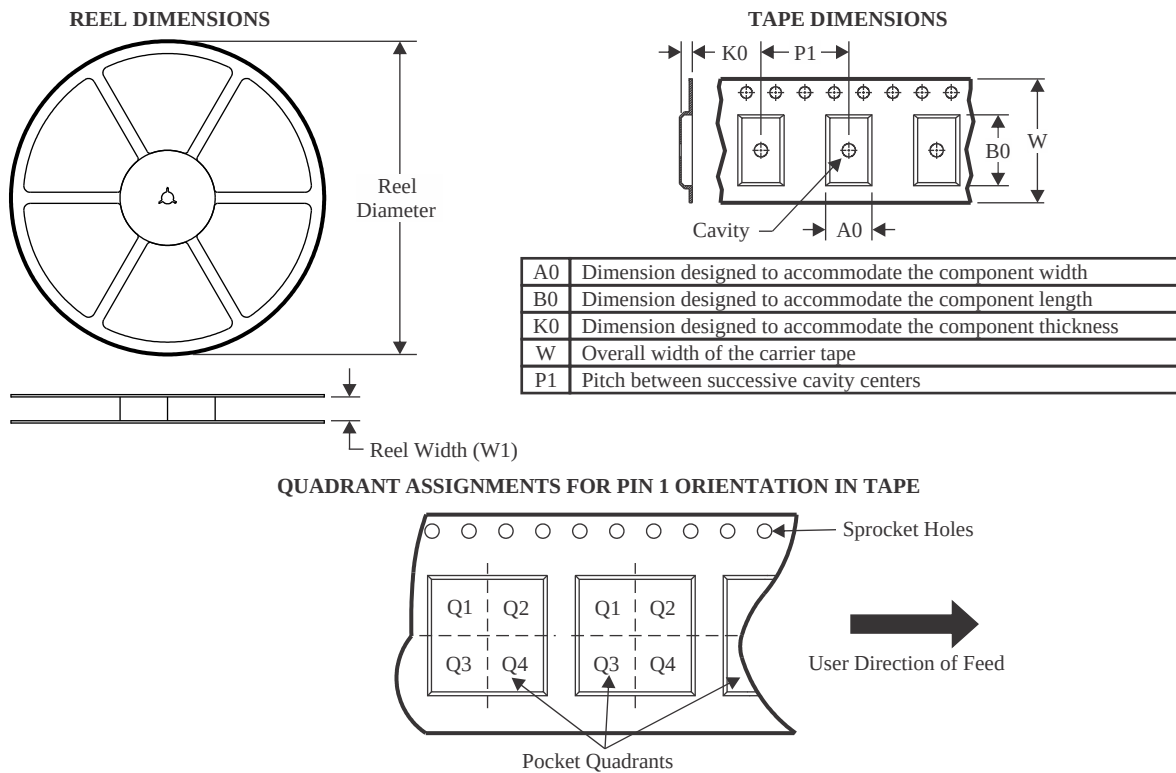
<sup>(6)</sup> **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

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

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

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

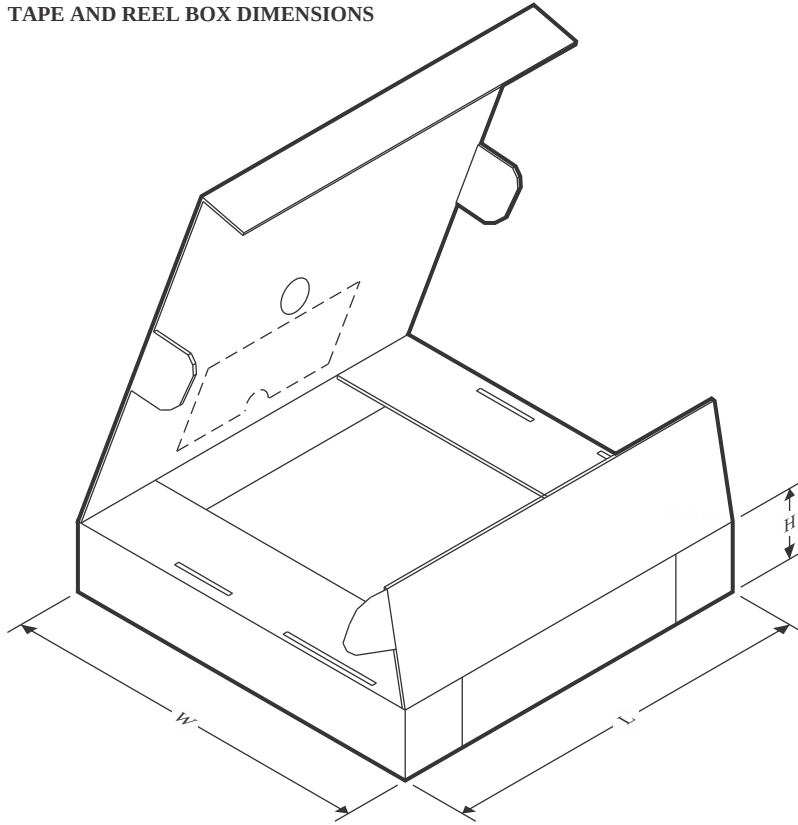
## TAPE AND REEL INFORMATION



\*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 |
|-------------|--------------|-----------------|------|-------|--------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|--------|---------------|
| LSF0002DTQR | X2SON        | DTQ             | 6    | 12000 | 180.0              | 8.4                | 0.92    | 1.12    | 0.47    | 2.0     | 8.1    | Q2            |

## TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



\*All dimensions are nominal

| Device      | Package Type | Package Drawing | Pins | SPQ   | Length (mm) | Width (mm) | Height (mm) |
|-------------|--------------|-----------------|------|-------|-------------|------------|-------------|
| LSF0002DTQR | X2SON        | DTQ             | 6    | 12000 | 182.0       | 182.0      | 20.0        |

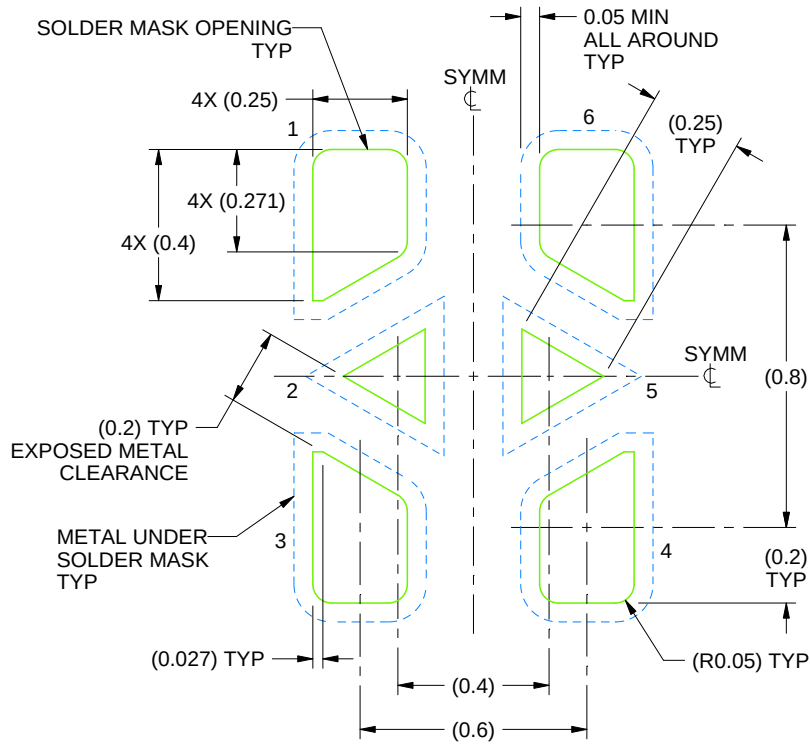


# EXAMPLE BOARD LAYOUT

DTQ0006A

X2SON - 0.4 mm max height

PLASTIC SMALL OUTLINE - NO LEAD



LAND PATTERN EXAMPLE  
SOLDER MASK DEFINED  
SCALE:50X

4224056/B 07/2024

NOTES: (continued)

6. This package is designed to be soldered to a thermal pads on the board. For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 ([www.ti.com/lit/sluea271](http://www.ti.com/lit/sluea271)).
7. Vias are optional depending on application, refer to device data sheet. If some or all are implemented, recommended via locations are shown.

## DTQ0006A

**X2SON - 0.4 mm max height**

PRINTED SOLDER COVERAGE BY AREA UNDER PACKAGE  
SCALE:50X

4224056/B 07/2024

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

## 重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月