

## Application Note

## 关于自动双向 LSF 系列转换器的主要问题



Jack Guan

## 摘要

LSF 型转换器利用无源开关对电压进行电平转换，使器件能够支持开漏和推挽接口信号。电路板设计人员可通过外部元件自由调整器件行为，以满足特定的系统需求。因此，根据特定的偏置要求、外部 RC 元件指南和其他设计注意事项，使用 LSF 系列进行设计时需要额外注意。

本应用手册深入探讨了有关该器件的一些常见问题，对介绍 LSF 系列器件运行的现有应用手册进行了补充。请参阅[使用 LSF 系列进行电压转换](#)，了解 LSF 系列器件如何在示例应用中运行。

## 内容

1 LSF000x 与 LSF010x 在设置过程中有何区别？	2
2 如何配置 LSF NMOS 的内部体二极管？	3
3 在推挽应用中使用 LSF 时是否需要上拉电阻器？	4
4 如何计算 LSF 器件的功耗？	7
5 能否使用 LDO 作为电源？	8
6 如果 I/O 运行电压低于 $V_{REFA}$ ，该怎么办？	9
7 总结	10
8 参考资料	11

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 LSF000x 与 LSF010x 在设置过程中有何区别？

这两个 LSF 器件型号的架构相似，但 LSF000x 设计要求不如 LSF010x 严格。LSF000x 仅使用一个电源直接偏置通道 FET 的栅极以执行转换，因此在运行时无需使用两个电源。由于 LSF000x 使用单个电源即可运行，因此该器件无需将  $V_{REFB}$  短接至 EN，也无需使用外部  $200k\Omega$  偏置电阻器。LSF000x 的关键注意事项是 VBIAS 必须以  $V_{EXT,A}$  和  $V_{EXT,B}$  中的较低电压为基准。图 1-1 展示了设置差异：

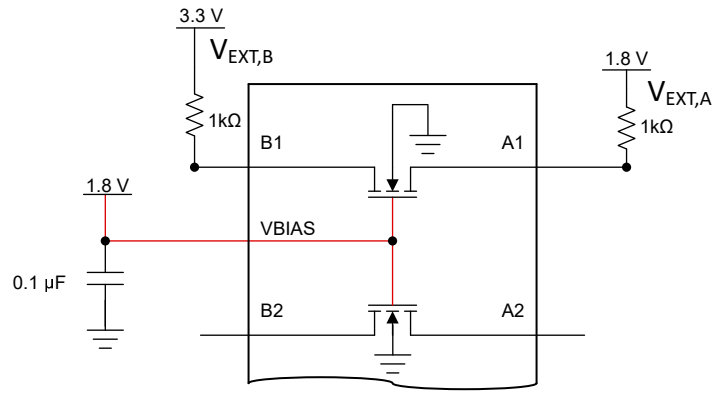


图 1-1. LSF000x 设置

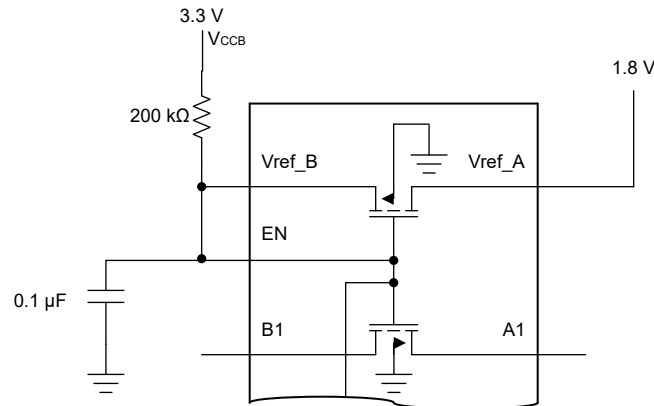


图 1-2. LSF010x 设置

## 2 如何配置 LSF NMOS 的内部体二极管？

与具有单体二极管 (图 1-1) 的传统 FET 不同, LSF 系列转换器使用具有两个固有体二极管的 N 沟道 MOSFET, 如图 1-2 所示 (一个从本体连接到源极, 一个从本体连接到漏极)。该配置可更大限度地减少在电平转换操作期间 (当器件处于截止模式时) 以及器件处于禁用状态时从源极流向漏极的漏电流。

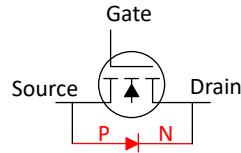


图 2-1. 3 端子 NMOS

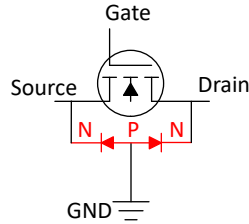


图 2-2. 4 端子 NMOS

此外, 通过对内部沟道 FET 采用该结构, 源极和漏极将可互换, 从而实现双向通信。

### 3 在推挽应用中使用 LSF 时是否需要上拉电阻器？

由于开漏驱动器只能将总线拉至低电平，因此当与开漏接口配合使用时，需要使用上拉电阻器将总线驱动至逻辑高电平状态。但是，当 LSF 与推挽驱动器一起使用时，这项要求就不那么明确了。

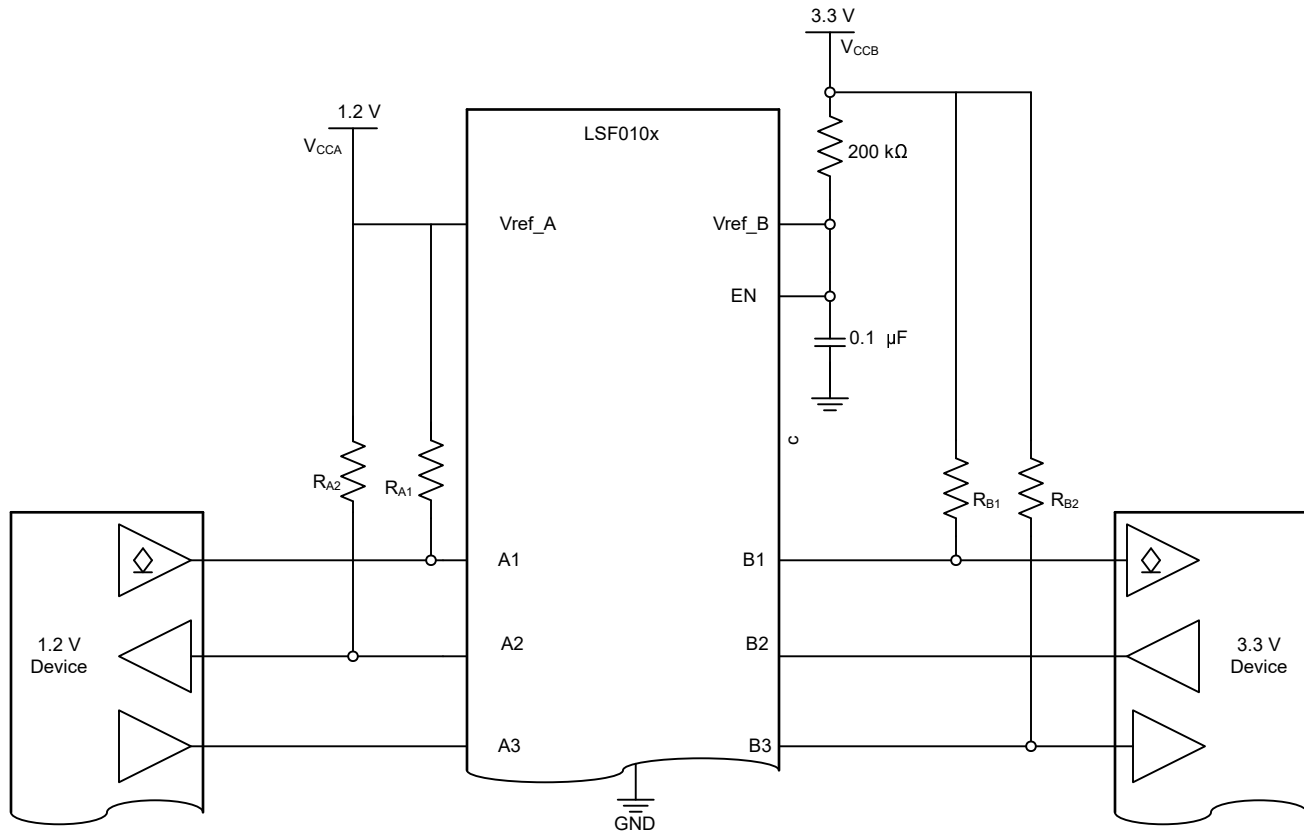


图 3-1. 推挽和开漏配置中均使用 LSF 的示例原理图

表 3-1. 推挽驱动器的上拉电阻器要求

	升压转换 (1.2V) → (3.3V)		降压转换 (3.3V) → (1.2V)	
输入/输出 (I/O)	A3 (I)	B3 (O)	B2 (I)	A2 (O)
是否需要上拉电阻器？	否	推荐	否	如果输出侧的漏电流过大，或者要转换为另一个非 V <sub>REFA</sub> 的电压，则建议使用上拉电阻器

以降压转换用例（上面原理图中的 A2/B2）为例，如果观察到过大的漏电流，则建议在输出侧（A 侧）使用上拉电阻器。当接收器尝试消耗的电流大于内部 FET 在逻辑高电平状态期间可提供的电流时，就会发生这种情况。发生这种情况时，随着源极和栅极电压差变得更大 ( $V_{GS} > V_{TH}$ )，输出侧的电压会由于内部 FET 导通（转换到线性区域）而下降。这进而将总线拉至低电平，导致器件返回上游出现错误的逻辑低电平信号。为了解决这个问题，我们使用外部上拉电阻器来偏移漏电流，以便 FET 可以在发送逻辑高电平信号期间保持在截止状态 ( $V_{GS} < V_{TH}$ )。在下面的降压转换仿真中，我们模拟了输出侧的漏电流，测量了 VOH 电平并将其与使用上拉电阻器时的 VOH 电平进行了比较。

仿真 1：降压转换期间接收器侧漏电流过大的影响。

在图 3-2 中，我们使用输出侧的电流源 (IG1) 来仿真接收器侧的漏电路径。IG1 处电流的阶跃函数以线性方式增加，于是测量输出侧的电压。

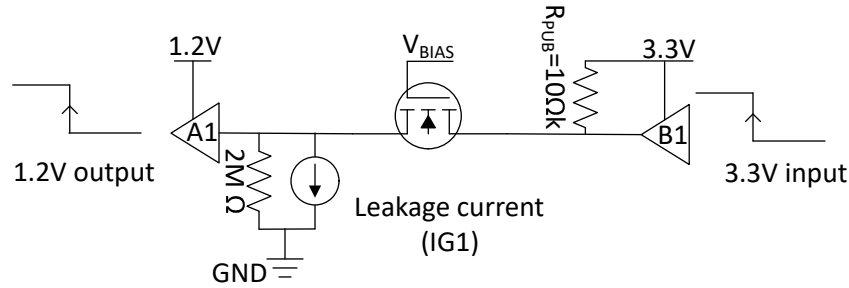


图 3-2. 接收器侧漏电流过大的仿真设置

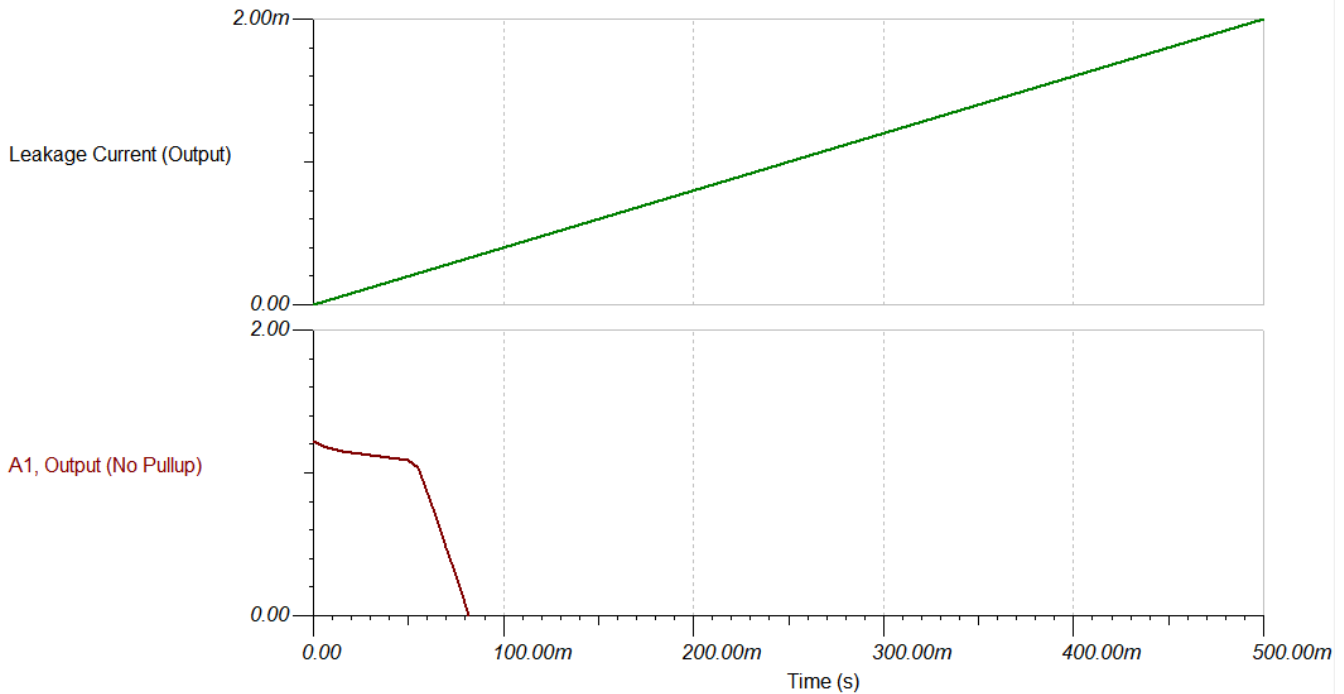


图 3-3. 接收器侧漏电流过大的仿真结果

随着输出漏电流 ( $IG1$ ) 的增大，观察到的输出电压开始进一步下降，直到输出电压漂移至阈值电压以下。到目前为止，输出电压与栅极电压的差值变得足够大，使得低侧 (A 侧) 成为源极，因此 FET 转换回线性区域。一旦 FET 在线性区域运行，B 侧 (输入侧) 的上拉电阻器便开始将电流拉入 A 侧，其中的向下斜率可以建模为  $V_G - V_{TH} / R_{PUB}$ 。请注意，仿真中显示的数据仅用于演示器件在此环境中的行为。器件的实际行为取决于多种因素 (工艺、变化、温度等)，因此不能保证各项漏电流参数下的电压骤降会有这么小。

仿真 2：在接收器侧安装上拉电阻器 ( $2.2k\Omega$ ) 并在接收器侧产生过大漏电流的好处：

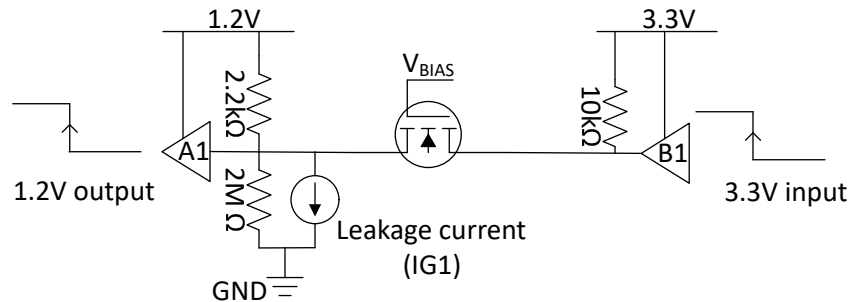


图 3-4. 接收器侧安装上拉电阻器和漏电流过大的仿真设置

仿真 2：A 侧安装外部上拉电阻器 ( $2.2k\Omega$ ) 时的低侧输出电平

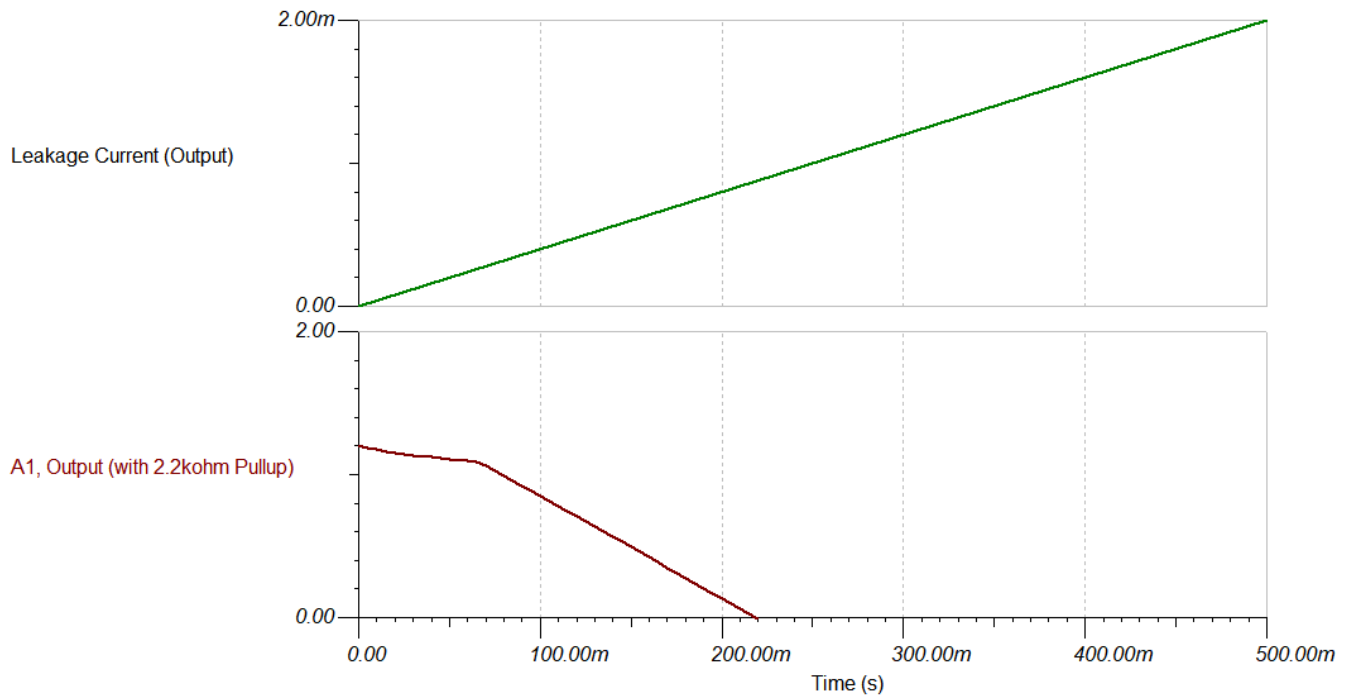


图 3-5. 仿真 2 结果

表 3-2. 仿真结果

输出侧仿真的漏电流 IG1 ( $\mu$ A)	输出电压 (V), A1 无外部上拉电阻器	输出电压 (V), A1 带外部上拉电阻器
10	1.19	1.2
100	1.13	1.14
200	1.09	1.11
250	1.01	1.09
275	0.53	1.07
300	0.28	1.03

注意：从仿真中获取的值仅用于演示在输出侧使用和不使用上拉电阻器情况下漏电流的行为以及对输出电压的影响。

在第二个原理图/仿真中，可以使用 A 侧的外部上拉电阻器 ( $R_{PUA}$ )，通过拉取 A 侧器件能够灌入/拉出的电流来帮助调节电压。

## 4 如何计算 LSF 器件的功耗？

LSF 系列转换器使用无源元件来执行电平转换，因此这些器件本身不会消耗太多功率，而是在其他方面会耗散功率。其中一个方面是流经器件内部偏置 FET 的小电流。在正常运行期间 (LSF010x、LSF0204)，从  $V_{REFB}$  到  $V_{REFA}$  存在漏电流，如图 4-1 所示。该电流的计算公式为  $I_{CC} = (V_{REFB} - V_{REFA} - V_{TH}) / 200k\Omega$ ，其中建议  $R_{BIAS}$  的值为  $200k\Omega$ ，以尽可能减小流回到  $V_{CCA}$  的漏电流。

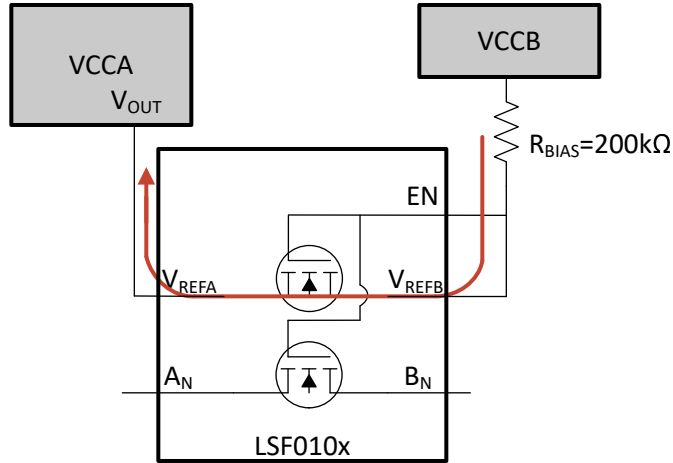


图 4-1. 从高侧电源到低侧电源的漏电流

只要通过器件传播输入低电平信号，第二个漏电流就会灌入驱动器侧。在逻辑低电平期间，由于  $V_{GS} > V_{TH}$  导致 FET 源极（驱动器）和栅极之间存在电压差，因此 FET 导通。FET 的运行原理与小电阻类似，直接将输入侧连接到输出侧。在此期间，有电流从 B 侧的  $R_{B1}$  流经 FET，与流经上拉电阻器  $R_{A1}$  结合，然后灌入驱动器 ( $A_N$ ) 侧。

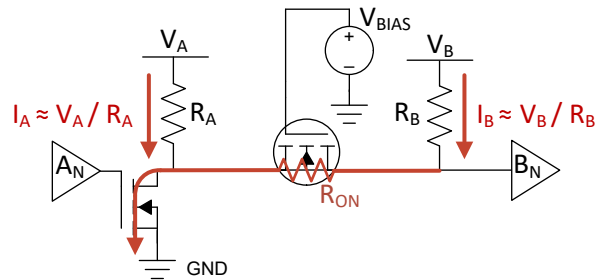


图 4-2. 输入逻辑低电平期间流入驱动器侧的漏电流

最坏的情况是 LSF 器件内部 FET 的所有通道都导通，其中功率耗散  $P_D = N \times I_{CH}^2 \times R_{ON}$ ，这里的  $I_{CH}$  为  $I_B$ ，即流经 FET 的电流（等于  $V_B / R_B$ ），而  $N$  是有效开关的通道数。 $R_{ON}$  值可参见数据表值。

当逻辑高电平传播时，FET 转换到截止模式，此时输入侧和输出侧彼此分离，这意味着流回驱动器侧 ( $A_N$ ) 的灌电流数量可以忽略不计。计算出的该漏电流微不足道，在功耗计算期间可以忽略不计。

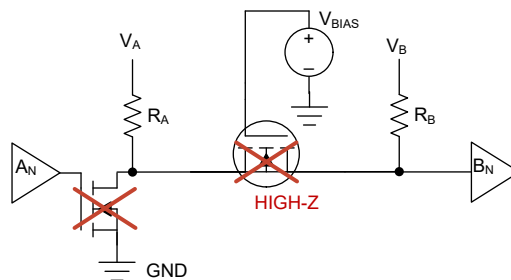


图 4-3. 输入逻辑高电平期间的漏电流

## 5 能否使用 LDO 作为电源？

正常运行期间存在漏电流，该电流流入高侧电源（典型基准电压为  $V_{REFB}$ ）并流出低侧电源（典型基准电压为  $V_{REFA}$ ）。流经器件的电流受到  $200k\Omega$  偏置电阻器的限制，以限制流经内部 FET 的电流，并防止低侧电源过度暴露于大电流下，这可通过  $V_{REFB}-V_{REFA}-V_{TH}/200k$  来呈现。

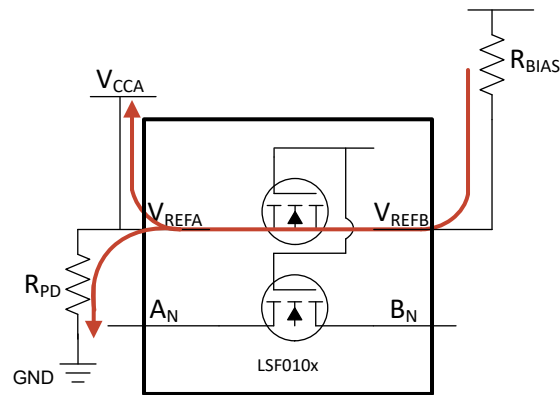


图 5-1. 对 LSF 使用 LDO 电源

并非所有电源都能灌入这种反向电流，使用低压降稳压器 (LDO) 作为电源时更不能。如果 LDO 不能灌入这种电流，则 LDO 会导致电源电压上浮至高于之前预期的电平。对于 I/O 也上拉至 LDO 的情况，其电压电平也会上升，可能会损坏信令器件和电源。为了适应低侧电源不能接受的这种电流，我们建议在该节点处添加一个相对较弱的下拉电阻器，以便创建一条路径来灌入电流。



## 6 如果 I/O 运行电压低于 $V_{REFA}$ ，该怎么办？

为了保持 LSF 内部 FET 正常运行， $V_{REFA}$  节点处偏置的电压应为 A 侧和 B 侧 I/O 上所看到的最低电压。但在某些情况下，其中一个 I/O 的运行电压低于  $V_{CCA}$ ，那么该电压轨也不可用。例如，当 I/O 通道处的输入电压  $V_{OH,min}$  在最坏情况下远低于  $V_{CCA}$  时。为了保持 FET 在正确状态下运行， $V_{REFA}$  需要偏置到与  $V_{OH,min}$  类似的电压，以实现信号完整性。一种解决方法是创建一个具有  $V_{CCA}$  轨的分压器网络，以在  $V_{REFA}$  节点处保持正确的电压。有关仅具有  $V_{REFB}$  轨的单电源运行，请参阅器件数据表。

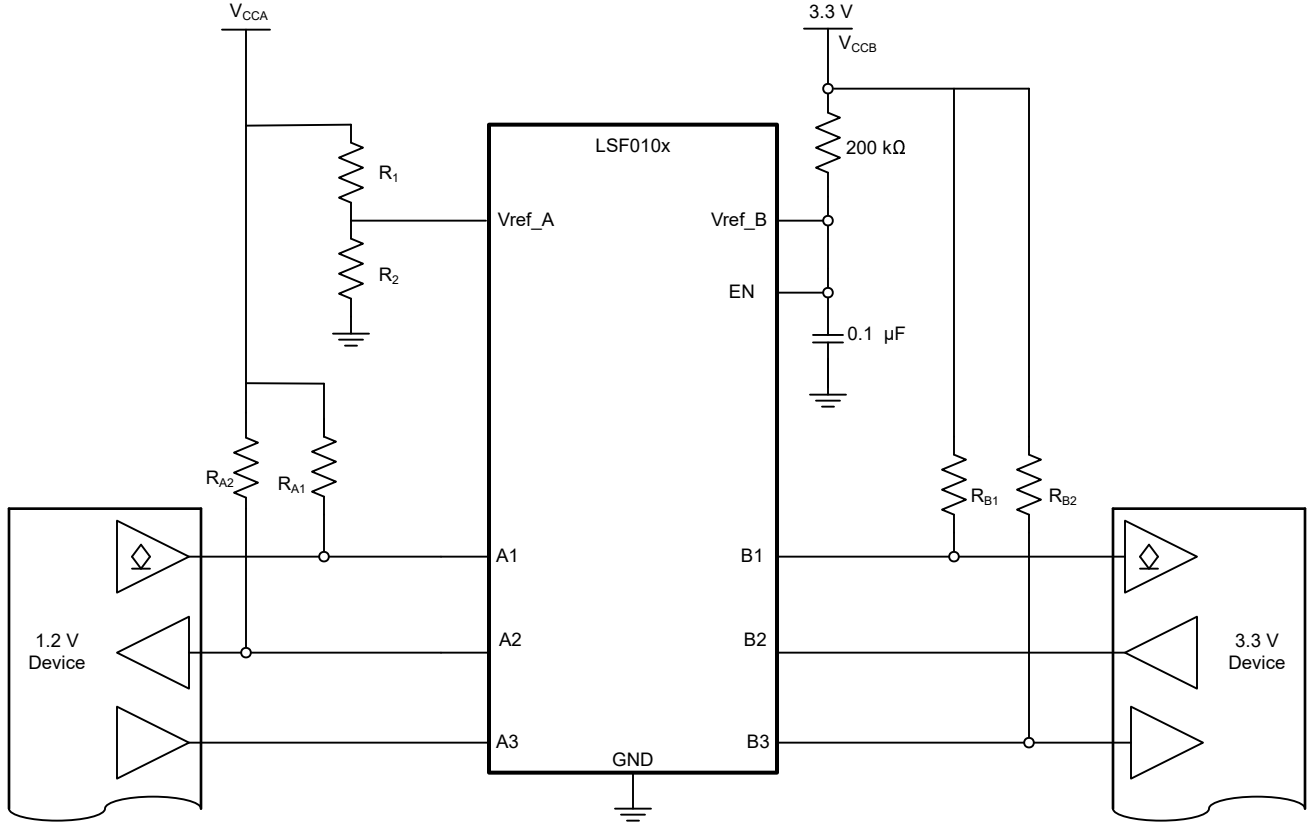


图 6-1.  $V_{REFA}$  上的分压器网络

使用  $1M\Omega$  的  $R_1$  以减小漏电流。

假定存在以下变量：

- $V_x = V_{REFA}$  轨所需的电压
- $V_{CCA} = A$  侧电源处的电压
- $V_{TH} = 0.8V$  (典型阈值)
- $R_{BIAS} = 200k\Omega$  (外部)
- $R_1 = A$  侧电源上的外部上拉电阻
- $R_2 = A$  侧电源上的外部下拉电阻
- $V_{REFB} = B$  侧电源

然后，可以使用以下公式求解  $R_2$  (如果已知  $V_x$ )：

$$R_2 = \frac{V_x \times R_1 \times R_{BIAS}}{R_{BIAS}(V_A - V_x) + R_1(V_{REFB} - (V_x + V_{TH}))} \quad (1)$$

例如， $V_{REFA}$  所需的电压为  $1.4V$ ，但仅有  $1.8V$  电源可用。在这种情况下，我们使用  $1M\Omega$  的  $R_1$  来减少漏电流， $V_x$  将为  $1.4V$ ，因为这是所需的电压。然后，可通过以下公式计算出下拉电阻  $R_2$ ：

$$R_2 = \frac{1.4V \times 1M\Omega \times 200k\Omega}{200k\Omega(1.8V - 1.4V) + 1M\Omega(3.3V - (1.4V + 0.7V))} \quad (2)$$

$$R_2 = 237k\Omega \quad (3)$$

## 7 总结

由于 LSF 系列转换器具有不同于其他转换器的独特架构，因此可用于多种电平转换应用，包括开漏和推挽接口。本应用手册收集了关于 LSF 系列的常见问题，以帮助设计人员充分利用 LSF 系列的优势并根据系统要求定制性能。

## 8 参考资料

- 德州仪器 (TI), [使用 LSF 系列进行电压电平转换](#) 应用手册
- 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), [TXS 和 LSF 自动双向转换器件的 VOL 影响因素](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI), [LSF0108 适用于开漏的通道自动双向多电压电平转换器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [LSF0204 适用于开漏的通道自动双向多电压电平转换器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [LSF0102 适用于开漏的通道自动双向多电压电平转换器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [LSF0002 适用于开漏的通道自动双向多电压电平转换器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [LSF0101 适用于开漏的通道自动双向多电压电平转换器](#) 数据表

## 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、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

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

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

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司