

摘要

本应用手册将讨论经典 NPN、PNP、ESD 钳位保护的“容错”、“失效防护”和“过轨”输入类型之间的差异。

内容

摘要.....	1
1 引言.....	1
2 输入类型.....	2
2.1 经典双极性输入.....	2
2.2 受 ESD 保护的输入.....	2
2.3 “失效防护”和“容错”输入.....	3
2.4 “过轨”输入.....	4
3 识别输入类型之间的差异.....	5
3.1 较旧的双极器件输入.....	5
3.2 识别 ESD 钳位输入.....	5
3.3 识别“失效防护”或“过轨”输入.....	6
4 针对“失效防护”和“过轨”输入的预防措施.....	6
5 负输入电压.....	7
6 输入类型比较表.....	8
7 总结.....	9
8 参考文献.....	10

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

比较器有多种输入类型，这可能会引起一些混淆。本应用手册将尝试解释和阐明这些类型之间的各种差异，以及这些类型所需的预防措施。

2 输入类型

2.1 经典双极性输入

较旧的双极器件（如 LM311 和 LM319 比较器系列）基于双极结隔离工艺而构建。这些较早的工艺具有较大的结点尺寸，并且足够稳健，无需专门的 ESD 保护。因此，这些较旧的器件不包含专用的 ESD 结构，也没有输入钳位，并且在输入高于电源时依赖器件击穿，在输入低于负电源时依赖固有体二极管。

由于这些较旧的器件没有 ESD 钳位结构，因此需要使用外部钳位来确保输入电压不超过输入规格。

这些器件还设计用于双电源电压（例如， $\pm 15\text{V}$ ）应用，其输入信号基准预计在 $1/2 V_s$ （例如， $\pm 1\text{V}$ ）左右。因此，有效输入范围可能低于电源轨 500mV 至 2V（不是“轨至轨”或“接地检测”），从而限制输入电压范围。

2.2 受 ESD 保护的输入

CMOS 和现代低电压双极器件将在输入端具有 ESD 钳位，以保护输入端免受 ESD 冲击和电压偏移的影响。轨至轨和非轨至轨输入端均存在这些 ESD 结构。

常见的 ESD 保护是在每个引脚与两个电源之间连接一个二极管。

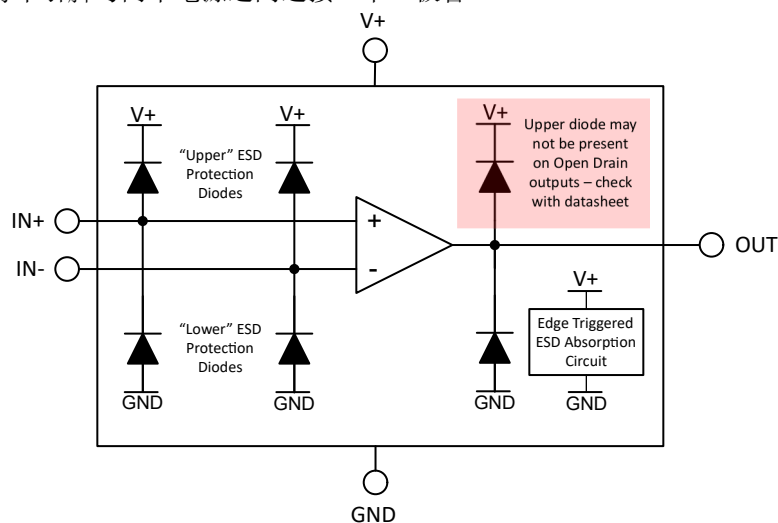


图 2-1. 典型的 ESD 保护方案

将“上部”ESD 二极管连接到正电源会将输入钳位到高于正电源的二极管压降。这限制了输入可以高于电源的电压量，通常仅比电源高 0.2V 至 0.5V。如果向输入端施加的信号高于电源电压并具有足够的可用电流（例如电池或其他电源线），则可通过 ESD 二极管对比较器 V+ 电源线进行反馈。始终建议将一个串联限流电阻器与输入端串联。

2.3 “失效防护”和“容错”输入

多个器件系列已经可以互换使用“容错”和“失效防护”。这些术语本质上相同，可在本文中互换使用。

“容错”和“失效防护”输入的定义是能够上拉至最大电压而不会损坏，并且即使在 V_{CC} 为零时也将保持高阻抗。

当两个输入都高于指定的有效输入范围时必须小心，因为输出可能不确定。有关输出行为的趋势的信息，请参阅数据表的 *详细说明* 或 *应用信息* 部分。

这些输入类型不存在连接到正电源的“上部”ESD 钳位二极管。如果提供了任何 ESD 保护，该保护通常仅作为负电源的“快速复位”型或齐纳型钳位。

2.3.1 LM339 系列 - 原始“失效防护”输入

LM339、LM393、LM290x 和 TL331 系列可视为最早的“失效防护”输入之一。这些器件采用非常稳健的结隔离双极工艺制造，PNP 具有较高的反向击穿电压。

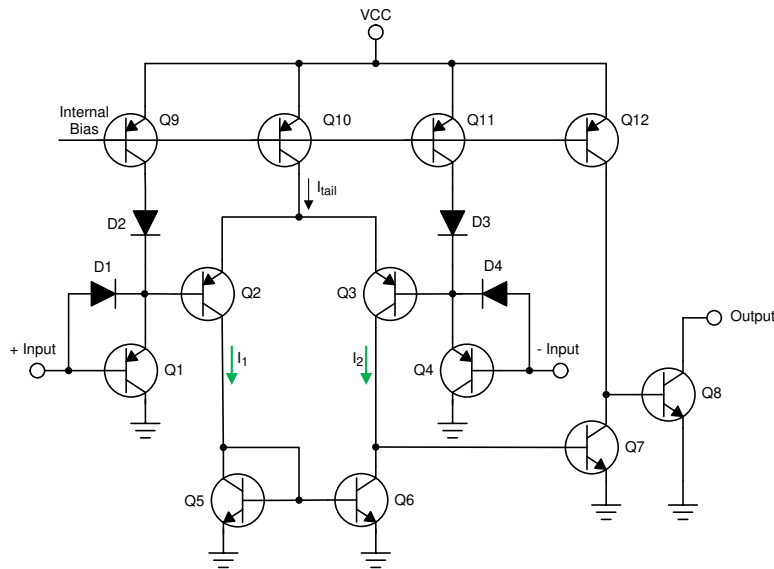


图 2-2. LM339 系列简化版原理图

在图 2-2 中，当输入从 $(V_{CC} - 2V)$ 一直到最高 36V 时，PNP 输入级器件 (Q1 或 Q4 ，以及 Q2 或 Q3) 的基极-发射极结会反向偏置并关断。D2 和 D3 阻断反向电流，以保护电流源晶体管 Q9 和 Q11。该状态会切断尾电流 (I1 和 I2) ，并且输出会降至已知状态。输入偏置电流处于亚纳安级，因为它现在只是晶体管和二极管结的反向漏电流。

LM339 系列的“特性”之一是：只要一个输入仍处于有效输入电压范围内，输出就会保持正确。这是因为仍在范围内的输入器件仍有尾电流流动，以向后续各级发出正确输出状态的信号。当两个输出都高于有效输入范围时，所有尾电流都会切断，输出默认为已知状态。更多相关信息，请参阅应用手册“[LM339、LM393、TL331 系列比较器应用设计指南](#)”的第 2 部分。

2.3.2 现代“失效防护”输入

现代设计利用先进的工艺特性和专有设计技术来实现与现代 CMOS 工艺中的 LM339 行为类似的功能。在许多情况下，还添加了轨至轨输入功能。

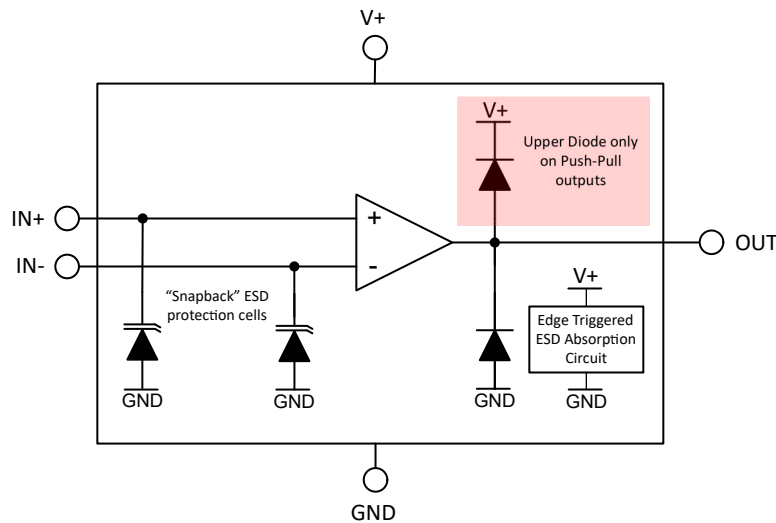


图 2-3. “失效防护” ESD 保护

“失效防护”输入没有“上部”ESD 二极管。由“快速复位”型钳位或其他基于接地的钳位提供 ESD 保护。由于缺少上部 ESD 钳位，无论电源电压如何，输入都可能高于电源电压，甚至高达额定最大电压。输入在这种状态下保持高阻抗而不会造成损坏。

对于“失效防护”输入，根据器件的不同，当两个输入都高于电源电压时，输出可能具有定义的行为。只要其中一个输入仍处于有效输入电压范围内，或默认为已知的高输出或低输出状态，某些器件就可以保持正确的输出。有关输入电压高于比较器电源电压时的输出行为的任何说明，请参阅该器件的数据表应用部分。TI 始终建议保持在指定的输入范围内。

由于这些输入缺少上部输入钳位，请参阅节 4 部分。

2.4 “过轨”输入

“过轨”输入类似于“失效防护”输入，区别在于其有效输入电压范围可扩展至额定最大输入电压（例如，5.5V），与电源电压无关，并且仍将保持适当的输出开关。即使移除比较器电源电压，输入也将保持高阻抗。

该功能确实需要付出一定代价。当输入电压大于电源电压时，输入偏置电流可能会反向并显著增加（100 至 1000 倍）。失调电压的值和/或极性也可能会改变。传播延迟也可能会有所不同。应参阅特定器件的各个数据表图和应用部分。

“过轨”输入非常适合高侧测量应用，例如在关断稳压处理器电源电压的情况下，无需分压器即可监测电池电压。一个例子是直接测量 4.2V 电池电源，而比较器由数字逻辑电源供电，以实现适当的输出逻辑电平。或者这种输入适合源输入电压连续且在移除比较器电源时无法降低负载的其他应用。

由于这些输入缺少上部输入钳位，请参阅针对“失效防护”和“过轨”输入的预防措施部分。

3 识别输入类型之间的差异

确定新款器件输入类型的一种非常直观方法是参阅数据表首页或“应用”部分。

在首页未提及输入类型的情况下，要确定输入类型，请参阅器件数据表中器件绝对最大值 (Abs Max) 和/或建议运行条件表上的“最大输入电压”。

请注意，绝对最大额定值表只是定义了一些限制以避免损坏。为确保正确运行，应指定“建议”（指定）限值和绝对最大额定值之间的值。

3.1 较旧的双极器件输入

较旧器件输入的输入电压限制通常等于或略低于电源电压。

6.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾

		MIN	MAX	UNIT
Supply voltage	V_{CC+} ⁽²⁾		18	V
	V_{CC-} ⁽²⁾		-18	
	$V_{CC+} - V_{CC-}$		36	
V_{ID}	Differential input voltage ⁽³⁾		±30	V
V_I	Input voltage (either input) ⁽²⁾⁽⁴⁾		±15	V

(2) All voltage values, unless otherwise noted, are with respect to the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} .

(3) Differential voltages are at $IN+$ with respect to $IN-$.

(4) The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or ±15 V, whichever is less.

图 3-1. LM311 绝对最大值表示例

需要特别注意任何脚注。请注意，上面的脚注 4 指出输入不得超过电源电压或 ±15V，以较小者为准。

3.2 识别 ESD 钳位输入

如果绝对最大额定值上限输入电压以电源为基准（例如“V+”或“ $V_{CC} + 0.2$ ”），则足以说明存在一个上部 ESD 钳位。需要限制偏离电源，以防止 ESD 二极管导通（通常约为 500mV 至 600mV，具体取决于工艺）。

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾

		MIN	MAX	UNIT
Supply voltage: $V_S = (V+) - (V-)$		-0.3	42	V
Input pins ($IN+$, $IN-$) from ($V-$), Rail-to-Rail Input ⁽²⁾		-0.3	$(V+) + 0.3$	V
Current into Input pins ($IN+$, $IN-$)		-10	10	mA

图 3-2. TLV1812 绝对最大值表 ESD 钳位输入示例

TLV1812 数据表绝对最大额定值表中的图 3-2 显示了 ESD 钳位输入的示例。请注意，突出显示的“输入引脚”行显示最大值为“ $(V+) + 0.3$ ”，这是指 $V+$ 电源轨。

3.3 识别“失效防护”或“过轨”输入

如果上限输入电压是绝对值（如“36V”或“6V”），则表明没有任何上部 ESD 钳位。

7.2 Absolute Maximum Ratings for Non-B Versions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾

		MIN	MAX	UNIT
V _{CC}	Supply voltage ⁽²⁾		36	V
V _{ID}	Differential input voltage ⁽³⁾		±36	V
V _I	Input voltage range (either input)	-0.3	36	V
I _K	Input current ⁽⁵⁾		-50	mA

图 3-3. LM339 绝对最大值表失效防护输入示例

LM339 数据表绝对最大额定值表中的上表显示了无上部 ESD 钳位的失效防护输入示例。请注意，“输入电压范围”行不以电源为基准，且包含 36V 的绝对值。

“过轨”输入不像“失效防护”输入那么常见（更难实现），数据表首页的“特性”部分、规格表脚注或“应用”部分着重提及了这些输入。

4 针对“失效防护”和“过轨”输入的预防措施

非 ESD 钳位输入没有用于限制正电压偏移的上限钳位，因此可将输入电压驱动至高于正最大额定输入电压，可能达到器件击穿电压（并可能造成损坏）。

许多客户设计只是将限流电阻器与输入串联，并依靠内部 ESD 钳位二极管将输入电压钳位到电源。

如果新的失效防护型输入器件在现有设计中将现有的传统 ESD 钳位比较器替换为串联电阻器，那么这可能会成为一个问题。

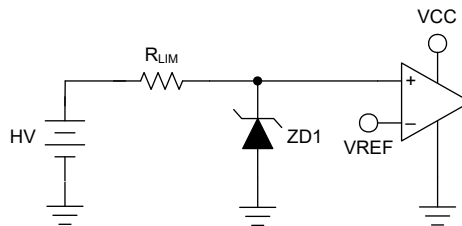


图 4-1. 建议的输入电压齐纳钳位

为了防止超过最大输入电压，需要使用外部钳位（例如齐纳二极管或 TVS 接地，或者肖特基二极管连接到正电源）。图 4-1 显示了添加齐纳二极管（或 TVS）以限制施加的最大输入电压。TI 建议钳位电流为 1mA 或更低。

5 负输入电压

所有输入类型都有一个从输入引脚到最大负电源 (V_{ee} 或 V_-) 的某种类型的二极管。这些二极管可以是实际的 ESD 结构，也可以是由半导体工艺形成的体二极管或结。负限值的绝对最大电压通常比负电源引脚低 $-0.2V$ 至 $-0.5V$ 。

对负电源引脚下方的任何引脚 (而不仅仅是输入引脚) 施加负电压都会对这些内部寄生结进行正向偏置，导致电流在不应该流动的地方流动。

这些电流会导致器件发生故障，例如反转、高电源电流或错误输出，甚至可能导致器件内的另一个通道发生故障。

在无法避免负输入电压的情况下，与输入串联的限流电阻器可将电流限制在安全的水平，如图 5-1 所示。二极管必须是肖特基型的，用以获得最低的正向电压。TI 始终建议使用外部钳位器件，而不依赖于器件内部钳位或 ESD 二极管。

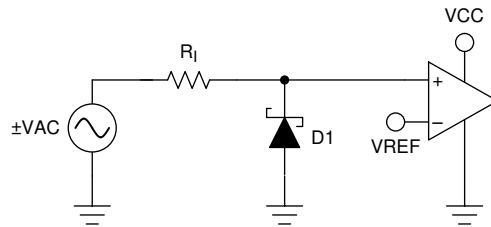


图 5-1. 负电压的建议钳位

必须计算电阻，将最高预期电压下的电流限制在 1 mA 或更低。经验法则是每伏预期过电压对应 $1\text{ k}\Omega$ 。该电阻可以是分压器或其他电阻输入网络的一部分。

更多有关保护输入的信息，请参阅“[LM339、LM393、TL331 系列比较器应用设计指南](#)”应用手册的第 2.9 节。

6 输入类型比较表

表 6-1 显示了不同比较器系列类型之间的差异。

表 6-1. 按系列比较输入类型

系列	上部 ESD 二极管？	是容错还是失效防护？	过轨？	指定的输入电压范围	绝对最大值输入电压范围	说明
LM111、 LM211、 LM311	否	否	否	V _{ee} +0.5V 至 V _{cc} -2V	V _{ee} 至 V _{cc} ， 或 ±15V， 以较小者 为准	有限输入范围
LM119、 LM219、 LM319	否	否	否	V _{ee} +2V 至 V _{cc} -2V	V _{ee} 至 V _{cc} ， 或 ±15V， 以较小者 为准	有限输入范围
LM339、 LM393、 TL331	否	是	否	V _{ee} 至 V _{cc} -2V	V _{ee} 至 36V	当高于 V _{cc} 时输入为高阻态，当一个输入在范围内时输出正确。当两个输出都高于 V _{cc} 时定义的输出状态。
TLV1701、 TLV1702、 TLV1704	是	否	否	V _{ee} 至 V _{cc}	V _{ee} -0.5V 至 V _{cc} +0.5V	高于 V _{cc} 的输入将钳位到 V _{cc}
TLV181x、 TLV182x、	是	否	否	V _{ee} -0.2V 至 V _{cc} +0.2V	V _{cc} + 0.2	高于 V _{cc} 的输入将钳位到 V _{cc}
TLV185x、 TLV186x、	否	否	是	V _{ee} 至 40V	V _{ee} 至 40V	即使两个输入电压均高达 40V，输出也正确，与 V _{cc} 无关。
TLV701x、 TLV702x、 TLV703x、 TLV704x、	否	是	否	V _{ee} -0.2V 至 V _{cc} +0.2V	V _{ee} 至 6V	当高于 V _{cc} 时输入为高阻态，当两个输入均高于 V _{cc} 时输出未定义。
TL331LV、 LM339LV、 LM393LV、 TLV90xx	否	是	否	V _{ee} -0.2V 至 V _{cc} +0.2V	V _{ee} 至 6V	当高于 V _{cc} 时输入为高阻态，只要一个输入在范围内，输出就正确。
TLV3011、 TLV3012	是	否	否	V _{ee} -0.2V 至 V _{cc} +0.2V	V _{ee} -0.5V 至 V _{cc} +0.5V	高于 V _{cc} 的输入将钳位到 V _{cc}
TLV3011B、 TLV3012B	否	是	否	V _{ee} -0.2V 至 V _{cc} +0.2V	V _{ee} 至 7V	当高于 V _{cc} 时输入为高阻态，当一个输入在范围内时输出正确。当两个输出都高于 V _{cc} 时定义的输出状态。

7 总结

- 没有专用 ESD 保护的旧器件需要外部钳位来避免超出输入范围。
- 传统的 ESD (CMOS 或低电压) 输入器件使用二极管将输入钳位到电源，并且输入电压不应超过电源电压。
- “容错”或“失效防护”输入允许输入电压超过电源电压 (甚至达到最大电压) 而不会造成损坏，但输出可能不正确。输入保持高阻抗。
- “过轨”输入可以超过电源电压，甚至在最大电压下仍然可以正常工作，而不管电源电压如何。当输入电压大于电源电压时，输入偏置电流可能会增加或反向。
- 允许电压高于电源电压的输入将需要外部钳位来避免超过最大输入电压。
- 避免任何引脚上出现负电压 (低于 V_-)。

8 参考文献

- [LM339、LM393、TL331 系列比较器应用设计指南](#)

重要声明和免责声明

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

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

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

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

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

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

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司