

Technical Article

克服比较器的主要挑战：负输入和相位反转



Chi Nguyen

当比较器中的负输入电压较大、超出输入共模电压范围时，会出现不正确的输出行为。如果无法避免负输入电压，请务必保护比较器的输入引脚并防止发生相位反转现象，这一点非常重要。

在本文中，我将探讨比较器中出现负输入电压的原因和影响、相位反转行为以及如何保护输入免受负电压的影响。

负输入的原因和影响

负电压可能由许多意想不到和不可避免的原因引起，包括直流/直流转换器中的开关噪声、在输入端产生双极电压的交流耦合输入以及来自双极输出电感源的振铃。在汽车和工业应用等系统中，接地偏移或接地漂移（其中有两个位于不同电位的不同参考点）也可能产生较大的负输入；当存在分离的接地平面将模拟电路与大电流开关节点隔离时，就会发生这种情况。

制造商在制造比较器时没有专门的静电放电结构，而是采用结隔离式裸片工艺来免受较大负输入电压的影响，其中 P-N 结在连接到公共裸片基板的每个节点下起着二极管的作用。请务必保持与公共裸片基板的连接位于 GND 引脚的最低负电位处，这一点非常重要。如果输入引脚比 GND 引脚（以及基板）的负电压更低，那么过大的反向电流会导致寄生元件的出现，并开启内部寄生 NPN 晶体管，这些晶体管从其他内部节点和通道获取电流，这会导致相位反转。

相位反转

在相位反转条件下，输出的极性会错误地反转。图 1 显示了一个采用同相配置的比较器，其中 IN- 处的基准电压与 GND 处的 0V 相连。当输入电压低于 0V 时，输出电压就会按预期变为低电平。然而，当输入电压达到约 -570mV 时，输出电压会反转并变为高电平。

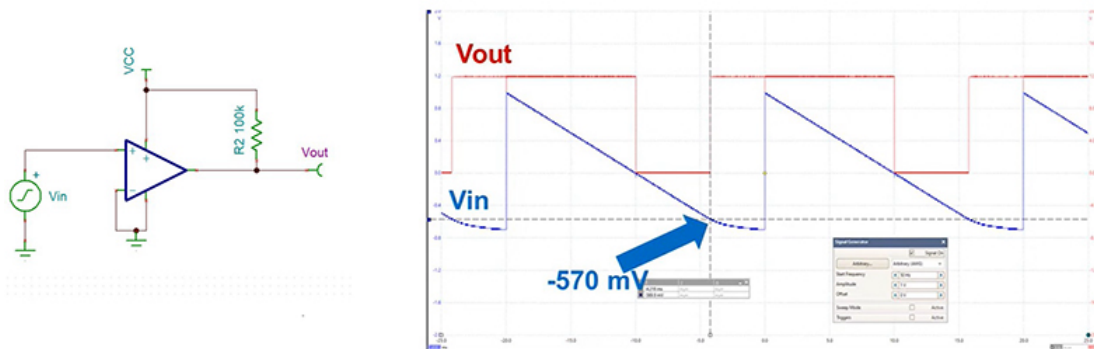


图 1. 比较器中的相位反转

图 2 显示了当输入低于 0V 时的比较器输入电流和电源电流。随着输入电压负向增加，反向电流也显著增加。由于额外的 P-N 结现已打开并导通，因此电源电流也会增加。

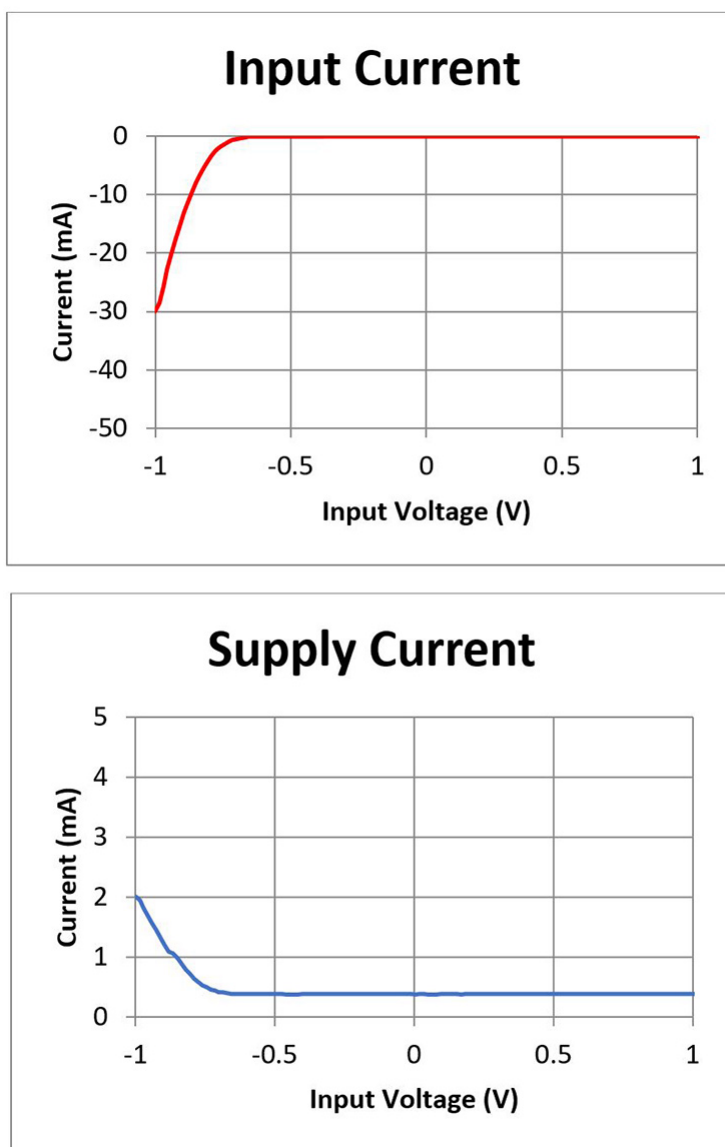


图 2. 负输入引起的输入电流和电源电流

如何保护输入免受负电压的影响

为了保护比较器的输入并防止相位反转，您必须首先分析器件的最小输入电压和最大输入电流。表 1 显示了 LM2903B 的绝对最大额定值表，其中规定最小输入电压为 -0.3V ，最大输入电流为 50mA 。这些规格导致无法定义负输入电压超过 0.3V 的操作，因为这不输入电压规格，不能确保正常运行。比较器可承受的最大电流为 50mA ：任何大于该值的电流都可能损坏器件。虽然将电流限制在 50mA 以下不会损坏器件，但仍可能发生相位反转，这意味着您必须将电流限制为一个远低于 50mA 的值，才能使比较器正常运行。

表 1. LM2903B 的绝对最大额定值表

		最小值	最大值	单位
V_{CC}	非 B 版本	-0.3	36	V
	仅限 B 版本	-36	38	
V_{ID}	非 B 版本	-38	36	V
	仅限 B 版本	-0.3	38	
V_I	非 B 版本		36	V
	仅限 B 版本		38	
I_{IK}			-50	mA
V_O	非 B 版本		36	V
	仅限 B 版本		38	
I_O	非 B 版本		20	mA
	仅限 B 版本		25	
I_{SC} 输出接地短路的持续时间		无限		
T_J 工作等效结温			150	°C
T_{stg} 贮存温度		-65	150	°C

不建议在绝对最大限值之外运行这些器件。如果无法避免这样做，请使用一个串联限流电阻和一个外部肖特基二极管，将其放置在输入引脚和 **GND** 之间，这有助于将电压和电流限制在安全水平，使体二极管不会开始导通，如图 3 所示。

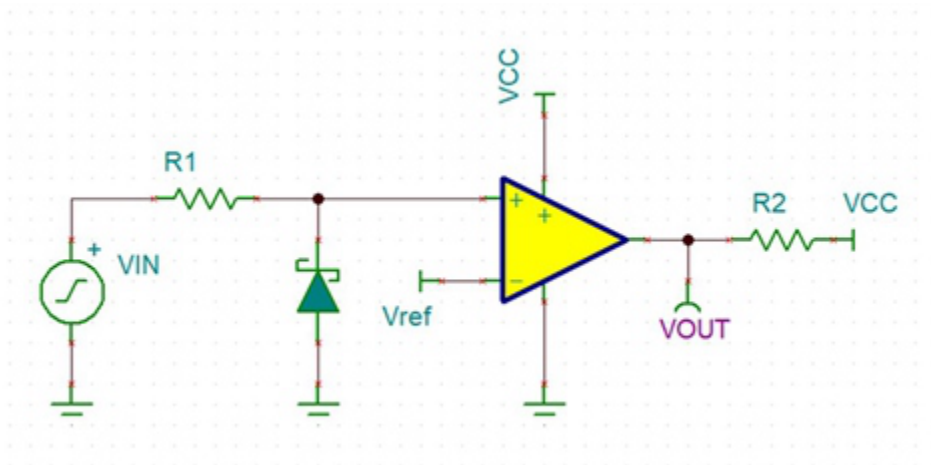


图 3. 比较器电路输入端带有肖特基二极管的限流电阻

一般经验法则是选择一个与最大负电压之比为每伏 $1k\Omega$ 的电阻，以便将电流限制在 $1mA$ 或以下。例如，如果最大负输入电压为 $-2V$ ，则电阻必须至少为 $2k\Omega$ 。遵循此规则将确保输入电流完全在绝对最大值规格范围内，防止损坏比较器。

肖特基二极管的正向电压比体二极管低；体二极管导通电压约为 $0.4V$ ，而肖特基二极管约为 $0.2V$ 。这个外部二极管（连同将电流保持在 $1mA$ 或更低的特性）将有助于确保负输入电压信号钳位在 $0.3V$ 以下，从而避免相位反转。

另一种方法是使用能够更好地防止相位反转的比较器，例如 **TLV1701** 高电压低功耗比较器。表 2 显示了其绝对最大额定值。最小输入电压比 V_S 低 $0.5V$ ，最大输入电流为 $10mA$ 。

表 2. TLV1701 的绝对最大额定值表

		最小值	最大值	单位
电源电压			+40 (±20)	V
信号输入引脚	电压	(VS-) - 0.5	(VS+) + 0.5	V
	电流		±10	mA
输出短路		持续		mA
工作温度范围		-55	+150	°C
结温, T_J			150	°C
贮存温度, T_{stg}		-65	+150	°C

图 4 显示了采用同相配置的 TLV1701，其反相输入与 GND 处的 0V 相连。当输入电压低于 0V 时，即使输入电压超出 -0.5V 限制，输出电压也不会反相。当输入负向增加时，输入电流将开始呈指数增长，并超过 10mA 的最大限制，这可能会损坏比较器。因此，在输入端串联一个 10k Ω 电阻有助于将电流降低到安全水平。

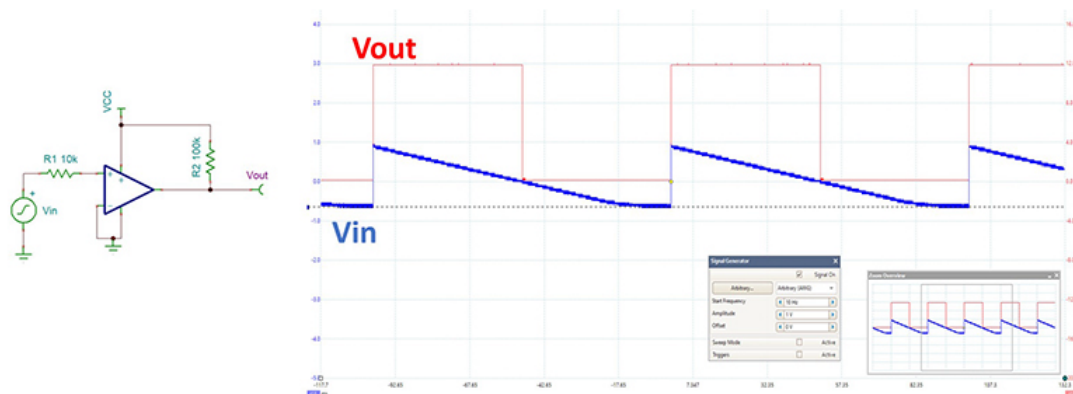


图 4. TLV1701 具有负输入的输出电压

结语

使用比较器进行设计时，务必要考虑负输入的影响以及它们如何导致输出发生相位反转。在汽车和工业应用等许多系统中，不可避免地会出现上述较大的负电压。运行超出推荐限值时没有安全保障，因此采取措施防止比较器损坏和相位反转至关重要。使用本文提到的方法有助于提高电路性能，并尽量减少可能导致系统下游器件出现问题的不必要输出行为。

其他资源

- 有关相位反转和负输入电压的更多信息，请参阅应用报告“[LM339、LM393、TL331 系列比较器 \(包括全新 B 版本\) 应用设计指南](#)”中的输入注意事项部分。

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