

Technical Article

よくあるコンパレータの課題を解決する: 負の入力と位相反転



Chi Nguyen (チ グエン)

コンパレータの大きな負の入力電圧が入力同相電圧範囲に違反すると、誤った出力挙動が発生する可能性があります。負の入力電圧を回避できない場合は、コンパレータの入力ピンを保護し、位相反転とも呼ばれる位相反転が発生するのを防ぐことが重要です。

この記事では、コンパレータの負の入力電圧の原因と影響、位相反転の動作、負の電圧から入力を保護する方法について説明します。

負の入力の原因と影響

負の電圧は、DC/DC コンバータのスイッチングノイズ、入力部に両極性電圧を生じさせる AC 結合入力、さらには両極性出力を伴う誘導性素子に起因するリングングなど、予期せぬ、かつ避けられない多くの発生源から生じることがあります。車載アプリケーションや産業用アプリケーションなどのシステムでは、異なる電位にある 2 つの異なる基準点があるグランドオフセットまたはグランドシフトによって大きな負入力が発生する可能性もあります。これは、グランドプレーンが分割され、アナログ回路を大電流スイッチングノードから絶縁するときに発生します。

メーカーは、接合分離型ダイプロセスを用いて、専用の静電気放電保護構造を持たないコンパレータを製造しています。このプロセスでは、共通のダイ基板に接続された各ノードの下で、P-N 接合がダイオードのように機能します。GND ピンに接続されている負の最大電位で、共通のダイサブストレートへの接続を維持することが重要です。入力ピンが GND ピンより負のほうが多い場合、したがってサブストレート-過剰な逆電流があると寄生素子が出現し、内部の寄生 N チャネル P チャネル N チャネルトランジスタがオンになり、他の内部ノードやチャネルから電流を受け取ります。これは位相反転につながる可能性があります。

位相反転

位相反転状況では、出力の極性が誤って反転します。図 1 に、IN- のリファレンス電圧を GND で 0V に接続する非反転構成のコンパレータを示します。入力電圧が 0V を下回ると、出力電圧は期待どおり低くなります。ただし、入力が -570mV 程度に達すると、出力電圧は反転して High になります。

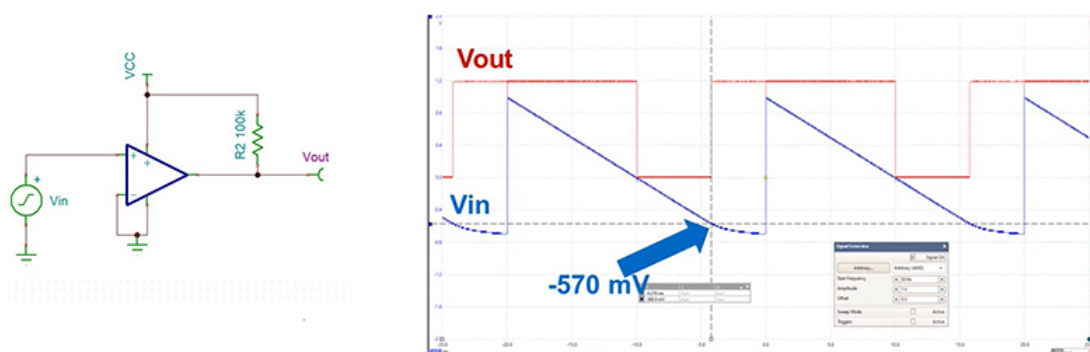


図 1. コンパレータの位相反転

図 2 に、入力が 0V を下回ったときのコンパレータの入力および電源電流を示します。入力電圧が負の方向に増加すると、逆電流は大幅に増加します。さらに、オンになって導通している P-N 接合部が増えるため、電源電流も増加します。

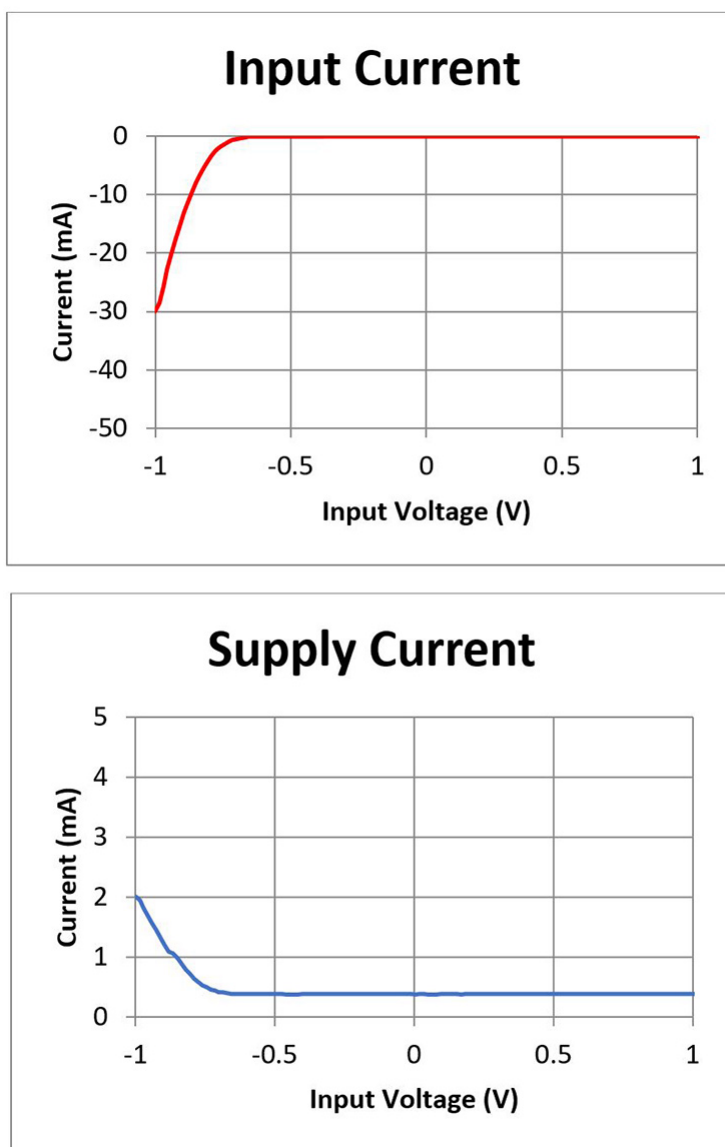


図 2. 負の入力によって発生する入力電流と電源電流

負の電圧から入力を保護する方法

コンパレータの入力を保護し、位相反転を防止するには、最初にデバイスの最小入力電圧と最大入力電流を分析する必要があります。表 1 に、LM2903B の絶対最大定格の表を示します。この表には、最小入力電圧は -0.3V 、最大入力電流は 50mA であると記載されています。これらの仕様により、 0.3V を超える負の入力電圧での動作は定義できません。これは、入力電圧仕様に違反し、正常な動作を保証するものではないためです。コンパレータが耐えることのできる最大電流は 50mA です。それを超える電流がデバイスに損傷を与える可能性があります。また、 50mA の直下の電流制限を行っても、デバイスは損傷しませんが、位相反転が発生する可能性があります。これは、コンパレータを適切に動作させるためには、電流を 50mA よりもはるかに低い値に制限する必要があることを意味します。

表 1. LM2903B の絶対最大定格

		最小値	最大値	単位
V_{CC}	B 以外のバージョン	-0.3	36	V
	B バージョンのみ	-36	38	
V_{ID}	B 以外のバージョン	-38	36	V
	B バージョンのみ	-0.3	38	
V_I	B 以外のバージョン		36	V
	B バージョンのみ		38	
I_{IK}			-50	mA
V_O	B 以外のバージョン		36	V
	B バージョンのみ		38	
I_O	B 以外のバージョン		20	mA
	B バージョンのみ		25	
I_{SC} 出力のグランドへの短絡継続時間		制限なし		
T_J 動作時の仮想接合部温度			150	°C
T_{stg} 保管温度		-65	150	°C

これらのデバイスを絶対最大定格の範囲外で動作させることは推奨しません。回避できない場合には、図 3 に示すように、入力ピンに外付けショットキーダイオードとともに直列電流制限抵抗を使用することで、電圧と電流を安全なレベルに制限して、ボディダイオードが導通し始めないようにするのに役立ちます。

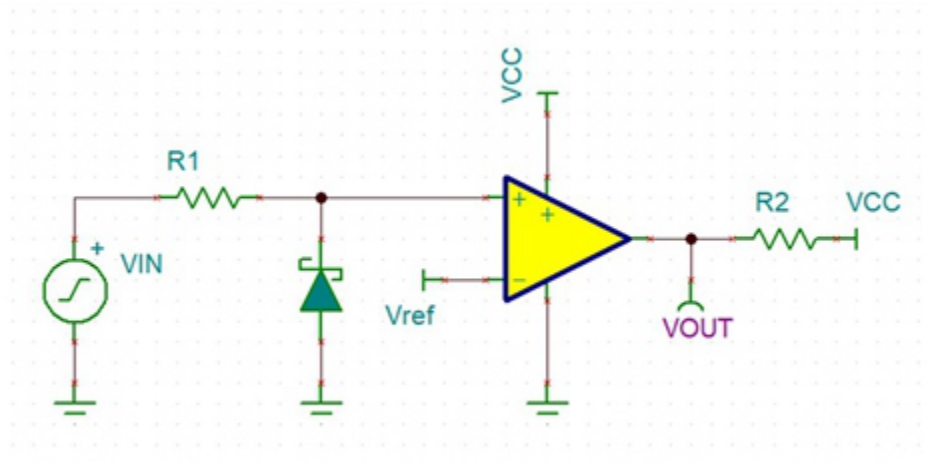


図 3. コンパレータ回路の入力にショットキーダイオードを使用した電流制限抵抗

目安として、最大負電圧の電圧ごとに $1k\Omega$ となる抵抗を選択し、電流を $1mA$ 以下に制限することが挙げられます。たとえば、最大の負入力電圧が $-2V$ の場合、抵抗は $2k\Omega$ 以上にする必要があります。このルールに従うと、入力電流が絶対最大定格範囲内に十分に収まり、コンパレータの損傷を防止できます。

ショットキーダイオードはボディダイオードより順方向電圧が低く、ボディダイオードが約 $0.4V$ まで導通し始める前に約 $0.2V$ の導通を開始します。この外部ダイオードは、電流を $1mA$ 以下に維持すると同時に、負の入力電圧信号が $0.3V$ 未満にクランプされるため、位相反転を回避できます。

もう一つのオプションは、TLV1701 高電圧マイクロパワーコンパレータなどの位相反転に対するより適切な保護を行うコンパレータを使用することです。表 2 に、その絶対最大定格を示します。最小入力電圧は V_S より $0.5V$ 低く、最大入力電流は $10mA$ です。

表 2. TLV1701 の絶対最大定格

		最小値	最大値	単位
電源電圧			+40 (±20)	V
信号入力ピン	電圧	(VS-) - 0.5	(VS+) + 0.5	V
	電流		±10	mA
出力短絡		連続		mA
動作温度範囲		-55	+150	°C
接合部温度、 T_J			150	°C
保管温度、 T_{stg}		-65	+150	°C

図 4 に、反転入力を GND で 0V に接続した非反転構成の TLV1701 を示します。入力電圧が 0V を下回ると、入力電圧が $-0.5V$ 制限値を超えても、出力電圧は反転しません。入力が増える方向にスweepすると、入力電流が指数関数的に増加し始め、最大 10mA を超えた値になるため、コンパレータが損傷する可能性があります。このため、入力と直列に 10kΩ 抵抗を追加すると、電流を安全なレベルに低減できます。

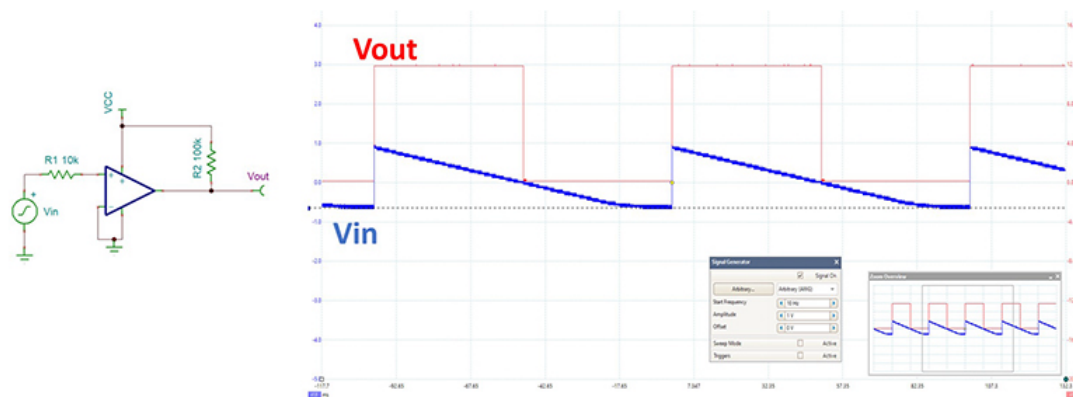


図 4. 負の入力での TLV1701 の出力電圧

まとめ

コンパレータを使用して設計する場合、負の入力が及ぼす影響と、その入力が出力で位相反転をどのように引き起こす可能性があるかを考慮することが重要です。車載アプリケーションや産業用アプリケーションなど多くのシステムでは、このような大きな負電圧を回避することはできません。推奨される制限値を超えた動作は保証されないため、コンパレータの損傷と位相反転の発生を防止するための対策を講じることが重要です。この記事で説明している方法を使用すると、回路の性能を向上させ、システム内のダウンストリームデバイスで問題を引き起こす可能性のある望ましくない出力動作を最小限に抑えることができます。

その他資料

- 位相反転と負の入力電圧の詳細については、アプリケーションレポート『[LM339、LM393、TL331 ファミリーコンパレータのアプリケーション設計ガイドライン \(新しい B バージョンを含む\)](#)』の「入力に関する考慮事項」セクションを参照してください。

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みいかなる保証も、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、TI は一切の責任を拒否します。

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