

Application Note

ATE システムでの信号検出



Jingquan Zhu

概要

この記事は、ATE システムで信号を検出する方法と、これらのアプリケーションに適した TI のリファレンス デザインを提示します。超高電圧検出向けに、精度と高速サンプリングの要件を解決する 2 つの設計を提案します。

目次

1 はじめに.....	2
2 詳細説明.....	2
2.1 ATE テスト カードと信号検出.....	2
2.2 信号検出要件.....	2
2.3 信号検出.....	2
2.4 汎用検出.....	3
2.5 高精度の信号検出.....	3
3 まとめ.....	11
4 参考資料.....	11

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 はじめに

ATE システムは半導体チップのテスト用です。各チップは、顧客または製品メーカー宛に出荷される前に、テスト ケースに合格する必要があります。したがって、ATE システムは半導体製造において重要な役割を果たします。高速化により、テスト時間が短縮され、低コスト化につながるため、数時間ではなく数秒で複雑なテストを完了する高速性が求められます。また、半導体技術の進歩に伴い、チップ信号の精度がますます高くなっており、ATE テストシステムには、より高い測定精度が必要とされています。最後に、ATE システムはスケーラブルである必要があります。ATE システム内の何百ものチップに対して同時に同じテスト ケースを実行するために、何千ものチャンネルがあります。つまり、これらのテスト チャンネルは同じ機能と性能を備えています。

2 詳細説明

2.1 ATE テスト カードと信号検出

ATE システムには、DPS、PE、PMU、HV PMU、デジタイザ、AWG、RF などの多くの機能カードがあります。各基板には特別なテスト機能があります。DPS は、DUT に電力を供給するためのものです。PE は、ピンドライバ、PPMU、およびアクティブ ロードを統合したもので、パターン テストや短絡開放試験など多くの機能をテストします。PMU は、電流や電圧などの DUT パラメータをテストするためのものです。AWG は、SNR、THD、オーディオ性能などを測定するための任意波形を生成します。

すべての機能カードでサンプリングおよび測定に必要な電流または電圧信号が多数あります。たとえば、DPS または PMU では、出力電圧と出力電流を測定する必要があります。PE では、キャリブレーションのために出力電圧を測定する必要があります。また、各機能基板には、監視が必要な汎用電源もいくつかあります。

2.2 信号検出要件

1 つ目は高速測定です。信号検出回路は、適切な帯域幅とスルーレートを備えている必要があります。一般的に、信号のセトリング タイムは数十 μs 未満である必要があります、時には 6 μs 未満など、数 μs 未満である必要があります。

2 つ目は精度です。ほとんどの ATE システムでは、測定精度が 500ppm から 10ppm である必要があるため、テスト用プローブ回路が DUT に与えるテスト影響をできるだけ小さくする必要があります。電流を測定する際は、プローブ回路の消費電流は、電流範囲よりも少なくとも 2 段階低い値である必要があります。たとえば、測定対象の最大電流が 10 μA の場合、電流検出回路のリーク電流は数 pA 未満でなければなりません最大電流が 100pA の場合、リーク電流は数 fA 未満である必要があります。

最後は拡張性です。検出回路はコピーして再利用できる必要があります。これは、回路が部品の許容差パラメータや PCB 基板の寄生パラメータによる影響をあまり受けない方がよいということを意味します。

2.3 信号検出

ほとんどの測定事例で、代表的な回路トポロジを図 2-1 に示します。このバッファは信号電圧を ADC の入力電圧範囲に変換します。場合によっては、8 つの電圧チャンネルと 8 つの電流チャンネルの ADC を備えた ADS9308V8I のように、AFE バッファを内蔵した ADC で信号電圧または信号電流を直接検出できます。

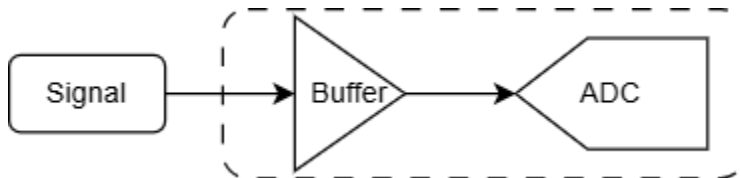


図 2-1. 信号検出の代表的なトポロジ

2.4 汎用検出

ATE システムの電源電圧または電流を監視するのは非常に一般的です。このような場合、バッファ電圧回路を 2 つの抵抗デバイダにして (図 2-2 を参照)、ADC の電圧範囲までスケールダウンできます。この場合、速度や高精度は必要ありません。最大分圧比と、抵抗の許容電力および定格電圧に注意してください。

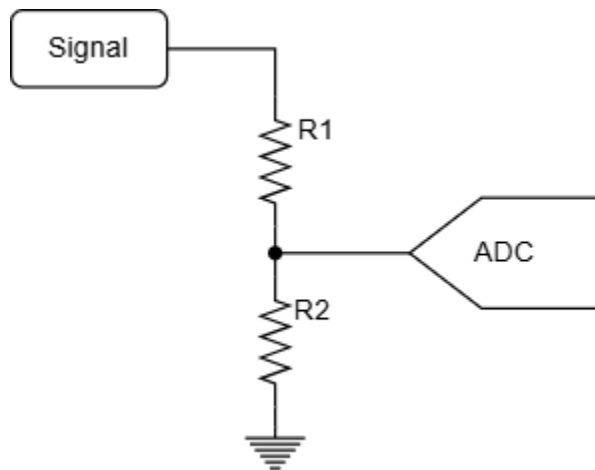


図 2-2. 汎用検出トポロジ

電流バッファ回路には、電流検出アンプを使用できます。

INA187、INA180、INA214 は、電流検出用の差動アンプです。INA751A、INA750A、INA791A は、電流検出抵抗が内蔵されている差動アンプです。INA2227、INA234、INA237 は、ADC 内蔵の電流検出差動アンプです。INA745A、INA701、INA740 は、ADC、差動アンプ、および電流検出抵抗を内蔵しています。

サンプリング ADC は、あまり高分解能、高速ではない場合があります。ADS8689W、ADS1015L、ADS1014L は、低コストの I2C ADC です。

2.5 高精度の信号検出

ATE システム内で測定する必要がある高精度信号が数多く存在します。図 2-3 は、標準的な高精度電圧検出回路です。低リークかつ高速なバッファ (図 2-3) を抵抗デバイダの前に配置します。場合によっては、PGA855 や PGA849 などの PGA が、低リーク電流と分圧 (スケールダウン) の要件に対応できます。

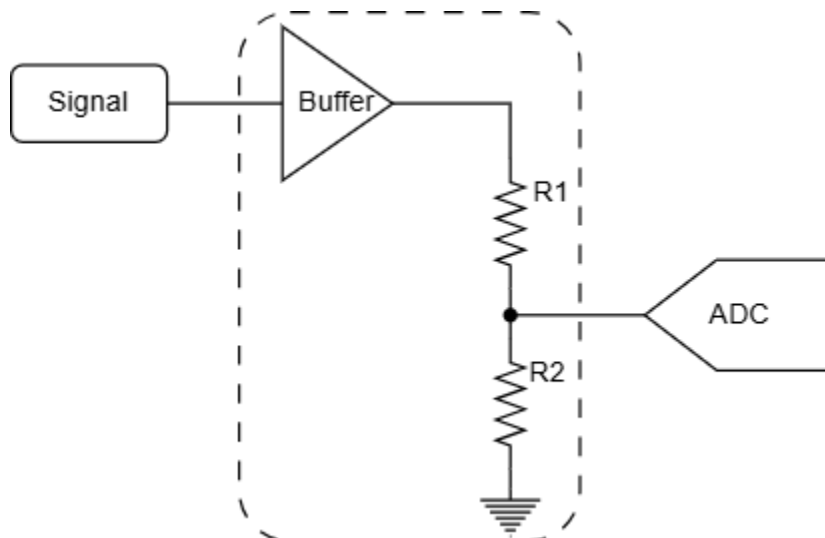


図 2-3. 高精度の信号検出トポロジ

次に、このドキュメントは、電圧と電流のリーケージと帯域幅のさまざまな要件に応じて、いくつかの代表的な検出方法について説明します。

2.5.1 中電圧および高電圧信号

PMU および DPS では高精度の中電圧検出が最も一般的な用途であり、電圧が 200V 未満の場合は表 2-1 OP バッファを使用できます。

表 2-1. 中電圧および高電圧のバッファ アンプ

PN	主な特長
OPA182	36V、5Mhz、10V/ μ s、I _b = 50pA (標準値)、CMRR = 168dB (標準値 $\pm$ 18V)、THD + N = 0.8ppm、En = 0.119 μ Vpp オフセットドリフト = 3nV/ $^{\circ}$ C
OPA196	36V、2.5Mhz、5.5V/ μ s、I _b = 5pA (標準値)、CMRR = 140dB (標準値 $\pm$ 18V)、THD + N = 12ppm、En = 7 μ Vpp オフセットドリフト = 0.5uV/ $^{\circ}$ C
OPA192	36V、10Mhz、20V/ μ s、I _b = 5pA (標準値)、CMRR = 140dB (標準値 $\pm$ 18V)、THD + N = 0.8ppm、En = 4 μ Vpp オフセットドリフト = 0.1uV/ $^{\circ}$ C
PGA849	36V、10Mhz、35V/ μ s、I _b = 500pA (標準値)、CMRR = 100dB (ゲイン = 1)、THD + N = 3.2ppm、En = 0.91 μ Vpp (ゲイン = 1) オフセットドリフト = 0.2 μ V/ $^{\circ}$ C、ゲインドリフト = 1ppm/ $^{\circ}$ C (最大値)
PGA854	36V、6.2Mhz、45V/ μ s、I _b = 500pA (標準値)、CMRR = 88dB (ゲイン = 1)、THD + N = 11ppm、En = 0.76 μ Vpp (ゲイン = 1) オフセットドリフト = 0.2 μ V/ $^{\circ}$ C、ゲインドリフト = 0.2ppm/ $^{\circ}$ C
PGA855	36V、10Mhz、35V/ μ s、I _b = 500pA (標準値)、CMRR = 88dB (ゲイン = 1)、THD + N = 3.2ppm、En = 0.8 μ Vpp (ゲイン = 1) オフセットドリフト = 0.3 μ V/ $^{\circ}$ C、ゲインドリフト = 1ppm/ $^{\circ}$ C (最大値)
OPA486	48V、5.6Mhz、15V/ μ s、I _b = 50pA (標準値)、CMRR = 160dB ($\pm$ 24V)、THD + N = 1.2ppm、En = 0.3 μ Vpp オフセットドリフト = 5nV/ $^{\circ}$ C
OPAx488	48V、14Mhz、40V/ μ s、I _b = 55pA (標準値)、CMRR = 150dB ($\pm$ 24V)、THD + N = 1.2ppm、En = 0.3 μ Vpp オフセットドリフト = 4nV/ $^{\circ}$ C
OPA596	85V、3.75Mhz、100V/ μ s、I _b = 5pA (標準値)、CMRR = 140dB、THD + N = 8ppm、En = 1.4 μ Vpp オフセットドリフト = 1uV/ $^{\circ}$ C
OPA591	85V、3.75Mhz、100V/ μ s、I _b = 5pA (標準値)、CMRR = 140dB、THD + N = 8ppm、En = 1.4 μ Vpp オフセットドリフト = 0.3uV/ $^{\circ}$ C
OPA454	100V、2.5Mhz、13V/ μ s、I _b = 1.4pA (標準値)、CMRR = 146dB、THD + N = 8ppm、En = 15 μ Vpp オフセットドリフト = 1.6uV/ $^{\circ}$ C
OPA455	150V、6.5Mhz、32V/ μ s、I _b = 30pA (標準値)、CMRR = 128dB、THD + N = 9ppm、En = 12 μ Vpp オフセットドリフト = 4uV/ $^{\circ}$ C
OPA462	180V、6.5Mhz、32V/ μ s、I _b = 30pA (標準値)、CMRR = 128dB、THD + N = 9ppm、En = 12 μ Vpp オフセットドリフト = 4uV/ $^{\circ}$ C

2.5.2 中電圧および高電圧の同相電圧を持つ電流信号

図 2-4 に、一般的な電流検出トポロジを示します。同相電圧の低い電流信号の場合、PGA または INA を直接使用して電流信号を検出できます。36V を超える同相電圧電流信号の場合、代わりにディスクリート バッファと差動オペアンプ (差動オペアンプ、INA、または PGA) が主に使用されます。

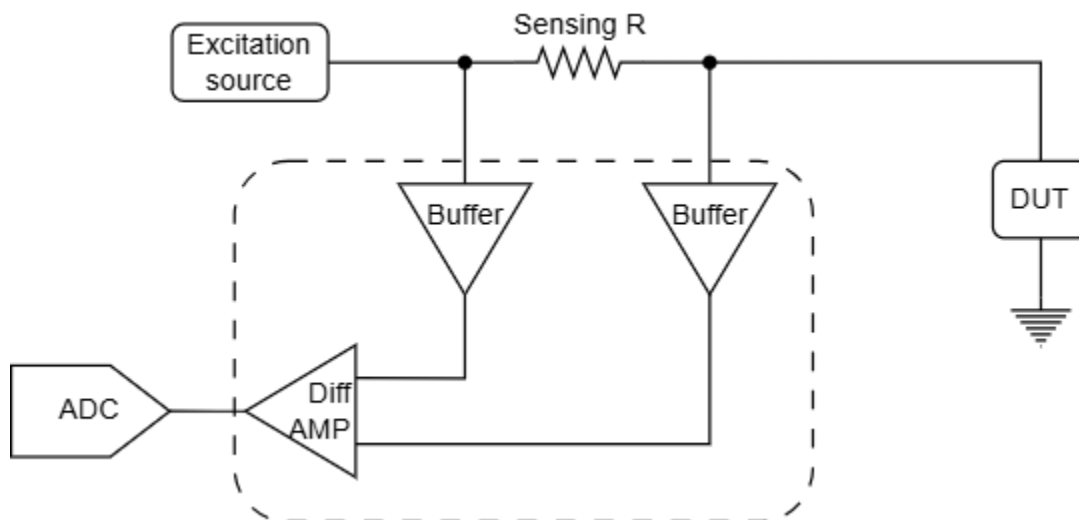


図 2-4. 一般的な電流検出トポロジ

バッファと PGA は上記と同じです。差動オペアンプと INA (表 2-2) は、表 2-2 に示すように選択できます。

表 2-2. 差動アンプ

PN	主な特長
INA597	入力電圧 $-54 \sim +54\text{V}$ 、 2MHz 、入力インピーダンス = $12\text{k}\Omega$ 、 $\text{CMRR} = 94\text{dB}$ 、 $\text{En} = 6\mu\text{Vpp}$ 、 $\text{THD} + \text{N} = 6.6\text{ppm}$ 、オフセットドリフト = $1.4\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 、ゲインドリフト = $0.25\text{ppm}/^\circ\text{C}$
INA592	入力電圧 $-54 \sim +54\text{V}$ 、 2MHz 、入力インピーダンス = $24\text{k}\Omega$ 、 $\text{CMRR} = 94\text{dB}$ 、 $\text{En} = 6\mu\text{Vpp}$ 、 $\text{THD} + \text{N} = 6.6\text{ppm}$ 、オフセットドリフト = $0.7\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 、ゲインドリフト = $0.2\text{ppm}/^\circ\text{C}$
INA149	入力電圧 $-275 \sim +275\text{V}$ 、 0.5MHz 、入力インピーダンス = $200\text{k}\Omega$ 、 $\text{CMRR} = 100\text{dB}$ 、 $\text{En} = 20\mu\text{Vpp}$ 、オフセットドリフト = $0.7\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 、ゲインドリフト = $0.2\text{ppm}/^\circ\text{C}$
INA851	36V 、 22MHz 、 $37\text{V}/\mu\text{s}$ 、 $\text{Ib} = 5\text{nA}$ (標準値)、 $\text{CMRR} = 96\text{dB}$ (ゲイン = 1)、 $\text{THD} + \text{N} = 3.5\text{ppm}$ 、 $\text{En} = 12\mu\text{Vpp}$ 入力オフセットドリフト = $5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 、出力オフセットドリフト = $5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 、ゲインドリフト = $35\text{ppm}/^\circ\text{C}$ (ゲイン > 1)
INA823	36V 、 1.9MHz 、 $32\text{V}/\mu\text{s}$ 、 $\text{Ib} = 1.2\text{nA}$ (標準値)、 $\text{CMRR} = 110\text{dB}$ (ゲイン = 1)、 $\text{En} = 0.4\mu\text{Vpp}$ 入力オフセットドリフト = $0.2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 、出力オフセットドリフト = $1\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 、ゲインドリフト = $12\text{ppm}/^\circ\text{C}$ (ゲイン > 1)
INA818	36V 、 2MHz 、 $0.9\text{V}/\mu\text{s}$ 、 $\text{Ib} = 0.15\text{nA}$ (標準値)、 $\text{CMRR} = 105\text{dB}$ (ゲイン = 1)、 $\text{En} = 2.6\mu\text{Vpp}$ 入力オフセットドリフト = $0.4\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 、出力オフセットドリフト = $5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 、ゲインドリフト = $35\text{ppm}/^\circ\text{C}$ (ゲイン > 1)
INA821	36V 、 4.7MHz 、 $2\text{V}/\mu\text{s}$ 、 $\text{Ib} = 0.15\text{nA}$ (標準値)、 $\text{CMRR} = 105\text{dB}$ (ゲイン = 1)、 $\text{En} = 2.5\mu\text{Vpp}$ 入力オフセットドリフト = $0.1\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 、出力オフセットドリフト = $5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 、ゲインドリフト = $35\text{ppm}/^\circ\text{C}$ (ゲイン > 1)

2.5.3 極めて低いリーク電流が要求される信号

電流信号範囲が nA または pA レベルの場合、センシング パス バッファのリーク電流は fA レベルにする必要があります。そうでない場合、測定精度に大きな影響を与えます。 fA リーク電流オペアンプには、表 2-3 を使用できます：

表 2-3. fA リーク電流バッファ アンプ

PN	主な特長
OPA928	36V 、 2.5MHz 、 $5\text{V}/\mu\text{s}$ 、 $\text{Ib} = 1\text{fA}$ (標準値)、 $\text{CMRR} = 120\text{dB}$ 、 $\text{THD} + \text{N} = 12\text{ppm}$ 、 $\text{En} = 1.4\mu\text{Vpp}$ オフセットドリフト = $0.1\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
LMP7721	5.5V 、 17MHz 、 $10\text{V}/\mu\text{s}$ 、 $\text{Ib} = 3\text{fA}$ (標準値)、 $\text{CMRR} = 100\text{dB}$ 、 $\text{THD} + \text{N} = 7\text{ppm}$ 、 オフセットドリフト = $1.5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
LMC608x	15.5V 、 1.3MHz 、 $1.5\text{V}/\mu\text{s}$ 、 $\text{Ib} = 10\text{fA}$ (標準値)、 $\text{CMRR} = 85\text{dB}$ 、 $\text{THD} + \text{N} = 2000\text{ppm}$ 、 オフセットドリフト = $1\mu\text{V}/^\circ\text{C}$

2.5.4 高速電圧信号

RF、C-phy、D-phy 信号などの場合、これらの周波数は Ghz に達します。

表 2-4. 高帯域バッファ アンプ

PN	主な特長
OPA892	±18V、2Ghz、700V/μs、200mA、I _b = -9μA (標準値)、CMRR = 104dB、THD + N = 2ppm (1Khz)、オフセットドリフト = 1μV/°C
OPA955	5.25V、11Ghz、3750V/μs、入力容量 = 0.9pF、I _b = -2μA (標準値)、CMRR = 86dB、HD2 = -62dBc (100Mhz)、HD3 = 74dBc (100Mhz)、オフセットドリフト = 1μV/°C
OPA855	5.25V、8Ghz、2750V/μs、入力容量 = 0.6pF、I _b = -12μA (標準値)、CMRR = 86dB、HD2 = -65dBc (100Mhz)、HD3 = 74dBc (100Mhz)、オフセットドリフト = 1μV/°C
BUF802	バッファ、±6.5V、3.1Ghz、7000V/μs、オフセットドリフト = 700μV/°C
TRF1218	25Ghz、シングルエンドから差動信号変換、50Ω 入出力、HD2 = -62dBc、HD3 = -50dBc、OP1dB = 13.1dBm (16G)

2.5.5 超高電圧信号

1. 抵抗デバイダとコンデンサのアプローチ

200V または 400V を超える信号電圧を使用する場合、高電圧で低リーケージ、広帯域幅の推奨バッファ アンプを見つけるのは困難です。多くの場合、並列コンデンサを使用した 2 つの抵抗デバイダは、ADC の入力範囲に合わせて高電圧を低電圧に変換するように設計されています。分圧抵抗とコンデンサの値がそれほど高くなく、かつ非常に正確であれば、この回路は非常に効果的で、リーク電流も比較的少なく、回路も単純で、レイアウト面積も小さくなります。以下の図 2-5 は、超高電圧検出に抵抗およびコンデンサ分圧器を使用するシミュレーションです。これは TI.com からダウンロードされる TINA-TI シミュレーション ツールで作成したものです。

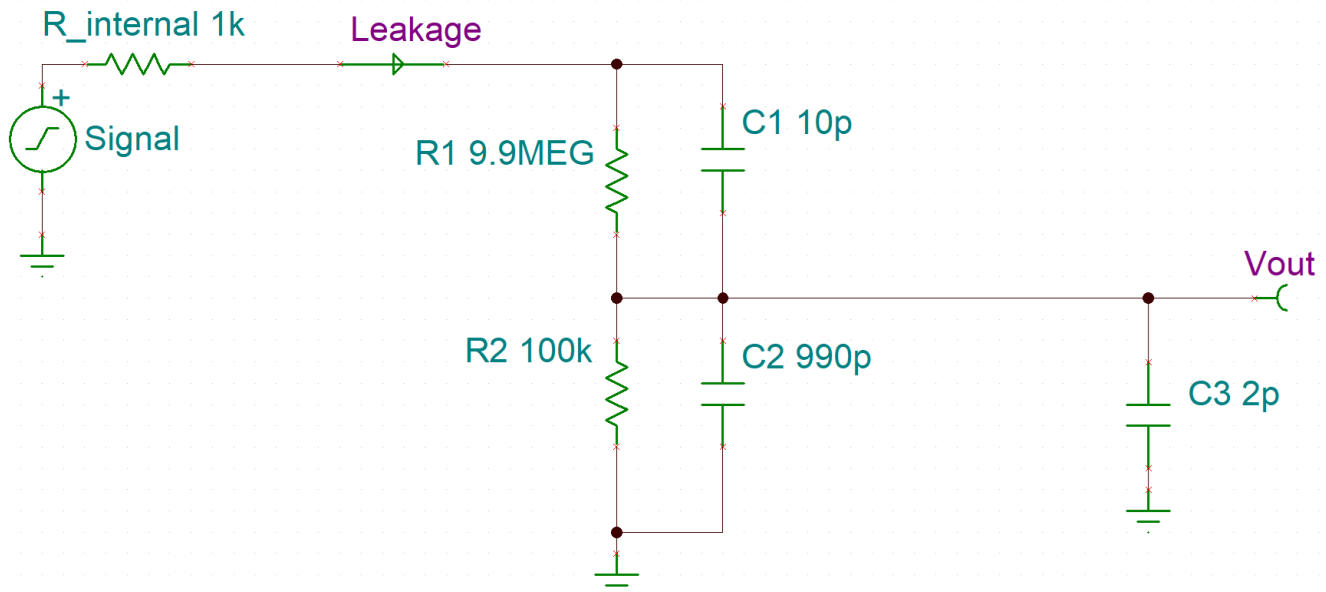


図 2-5. RC 分圧器検出シミュレーション回路

最大 200mA 出力能力 ($R_{\text{internal}} = 1\text{K}\Omega$) で入力 200V ステップを想定し、抵抗とコンデンサが理想的であり、レイアウトやパターンに寄生パラメータが存在しないとします。シミュレーション結果から、特に非常に短いセトリングタイム (図 2-6) ではすべてが最適ですが、リーク電流は $20\mu\text{A}$ であり、変換出力精度は良くありません。異なる信号源は内部抵抗が異なるためです。

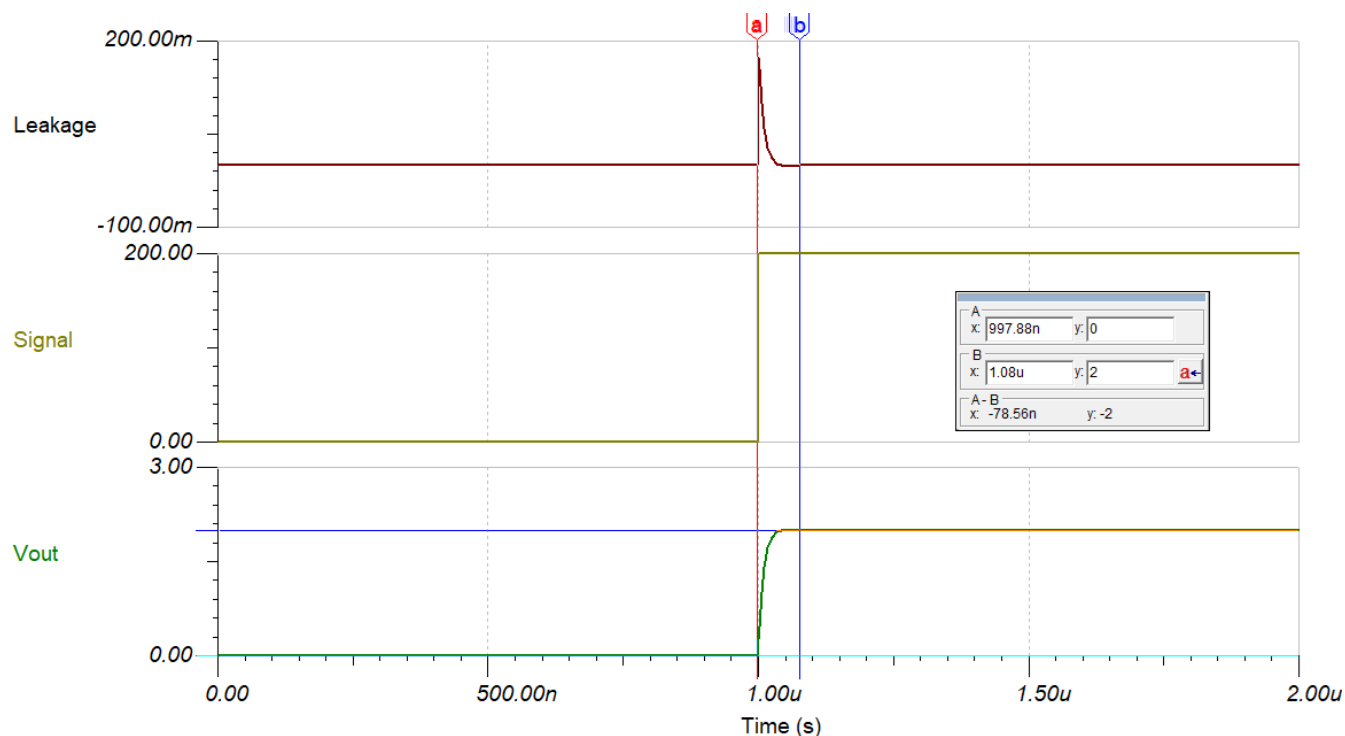


図 2-6. RC 分圧器のシミュレーション結果

コンデンサとレイアウトが理想的ではない場合、C1 の合計容量が 6pF ~ 14pF の範囲で変化すると、セトリング タイム (図 2-7) は異なり、最大値が 0.5ms 付近になることが観測されます。また、オーバーシュートが非常に大きい場合もあるため、ADC 用に十分な入力マージンを確保する必要があり、ADC の分解能は低下することになります。

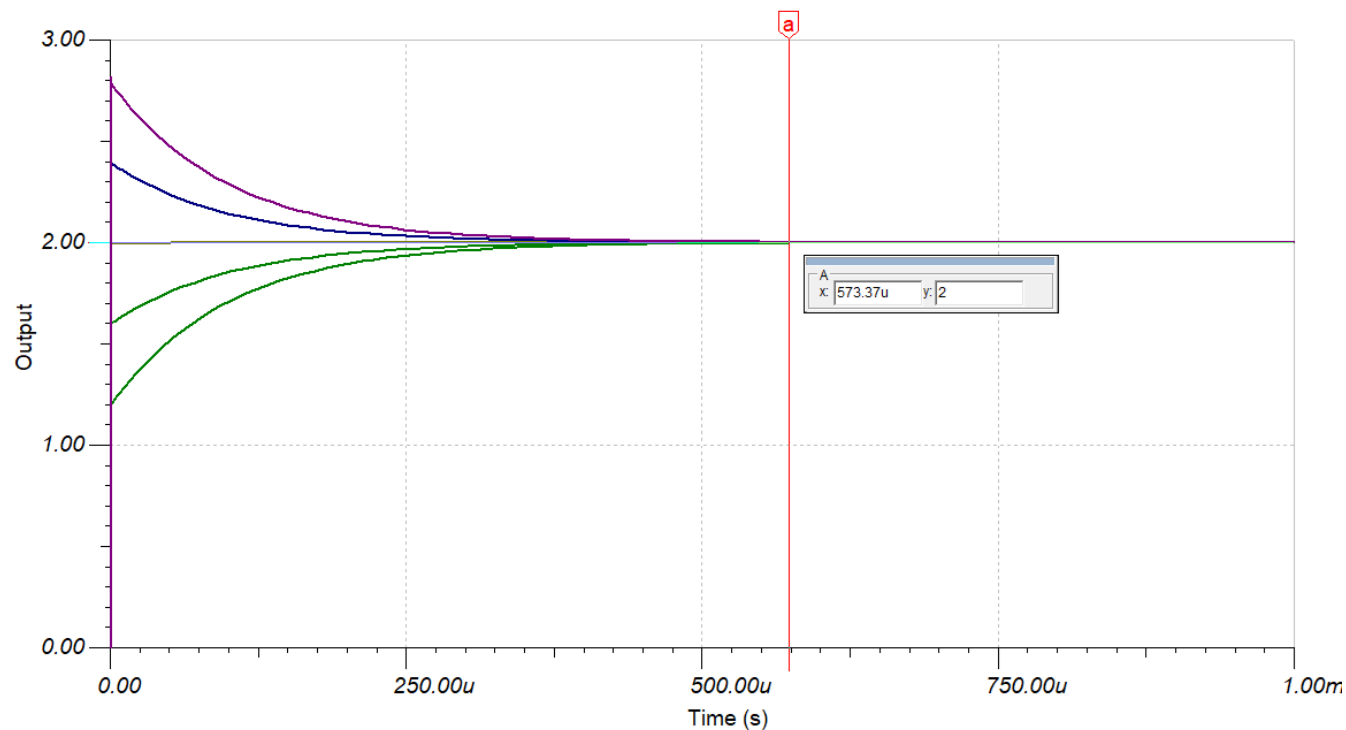


図 2-7. さまざまな C1 シミュレーション

C1 の値が小さすぎると、部品とレイアウトと空気の寄生パラメータの影響を大きく受けます。これらの影響を避けるために、C1 と C2 の値を比例して増やしてください。C1 = 100pF、C2 = 9.9nF と仮定します。C1 = 100pF と C2 = 9.9nF どちらの許容誤差も 5% です (部品の許容誤差とレイアウト寄生パラメータを含む)。C1 を 95pF ~ 105pF の範囲で変動させると、最大セトリング タイムは、図 2-8 に示すように約 5ms です。

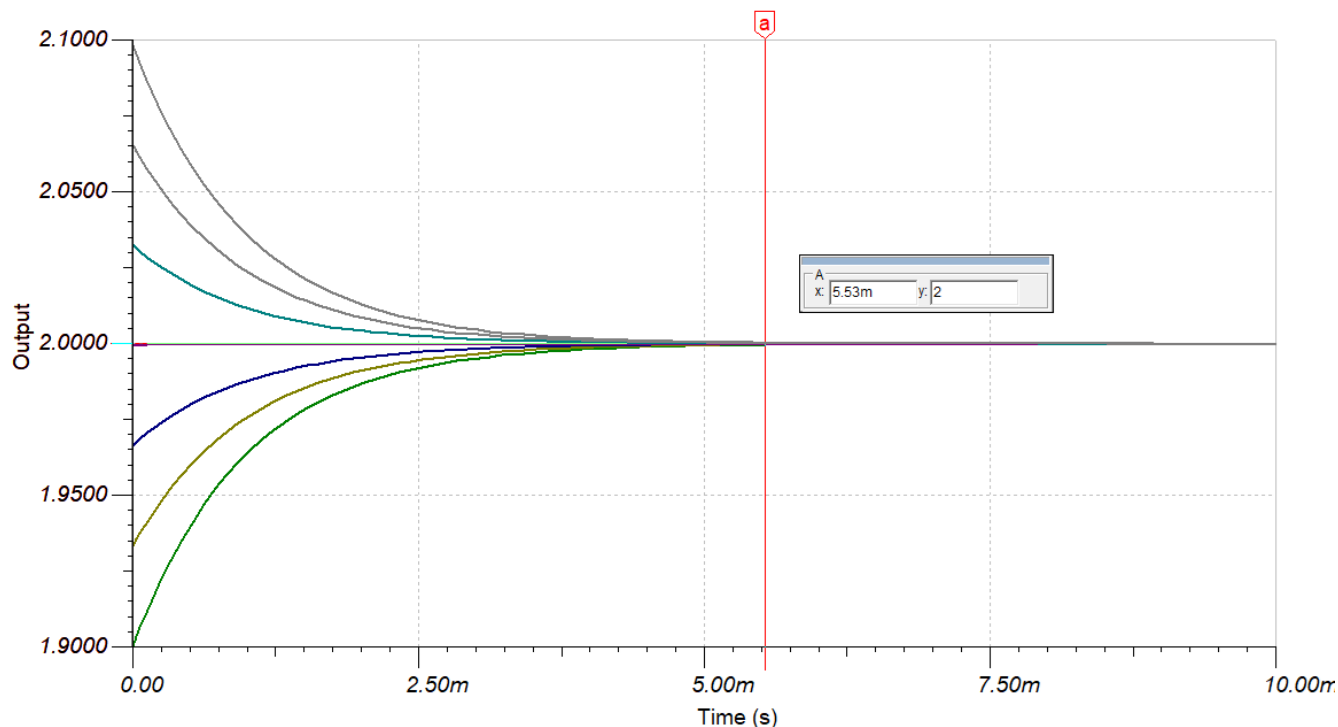


図 2-8. C1 C2 の増加および各種 C1 シミュレーション

これらのシミュレーションを使用すると、抵抗と容量分圧器の検出手法は、高精度の計測機器の開発に適している可能性があります。この場合、各チャネルは非常に注意深く微調整する必要があります。ATE システム用の何千ものチャネル設計には適していません。

2. 絶縁型バッファを用いた検出手法

図 2-9 は絶縁型検出トポロジであり、「バッファ」は絶縁型回路になります。

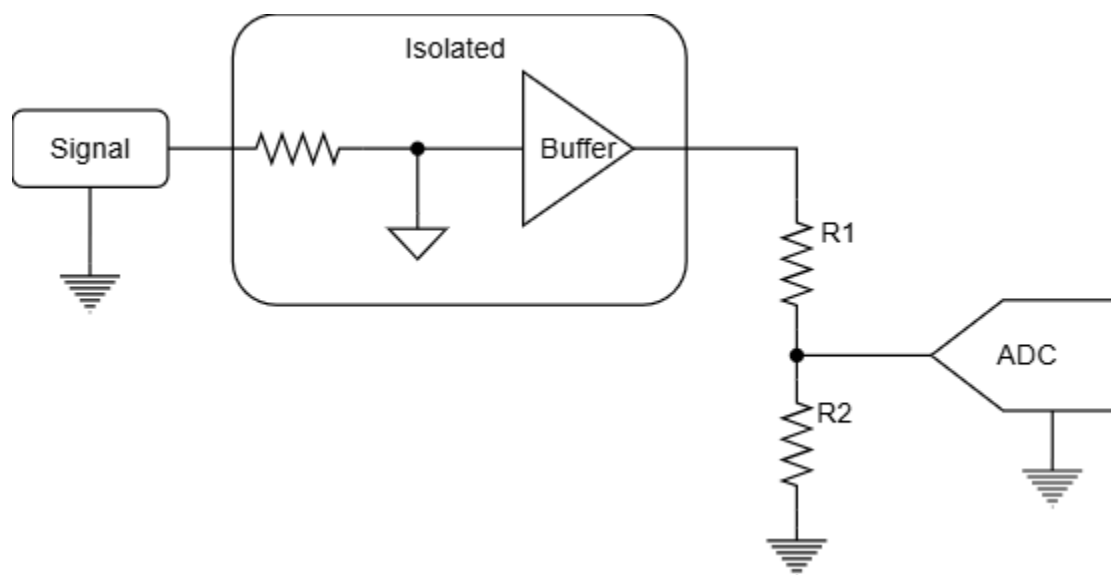


図 2-9. 絶縁型バッファの検出トポロジ

絶縁型バッファ回路は、リーク電流が非常に小さい入力信号を受け入れることができ、その出力は高電流駆動能力を備えています。これは、コンデンサやレイアウトの寄生パラメータの影響を受けません。唯一の懸念は、配置エリアが少し大きいことです。シミュレーション回路は、以下の図 2-10 のとおりです。この回路では、MOSFET は $\pm 245\text{V}$ や $-100\text{V} \sim 390\text{V}$ といった 490V の範囲の信号を変換できます。

シミュレーション結果図 2-11 から、安定した信号出力を得るために、 -100 から 390V 入力までのセトリング タイムは約 $5\mu\text{s}$ です。

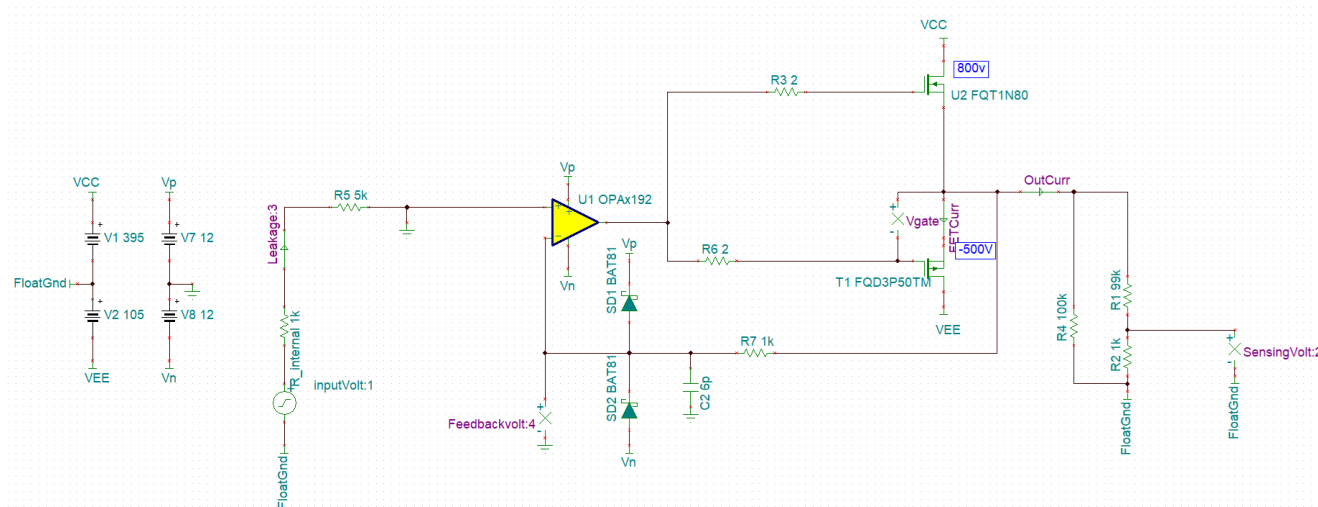


図 2-10. 絶縁型バッファのシミュレーション回路

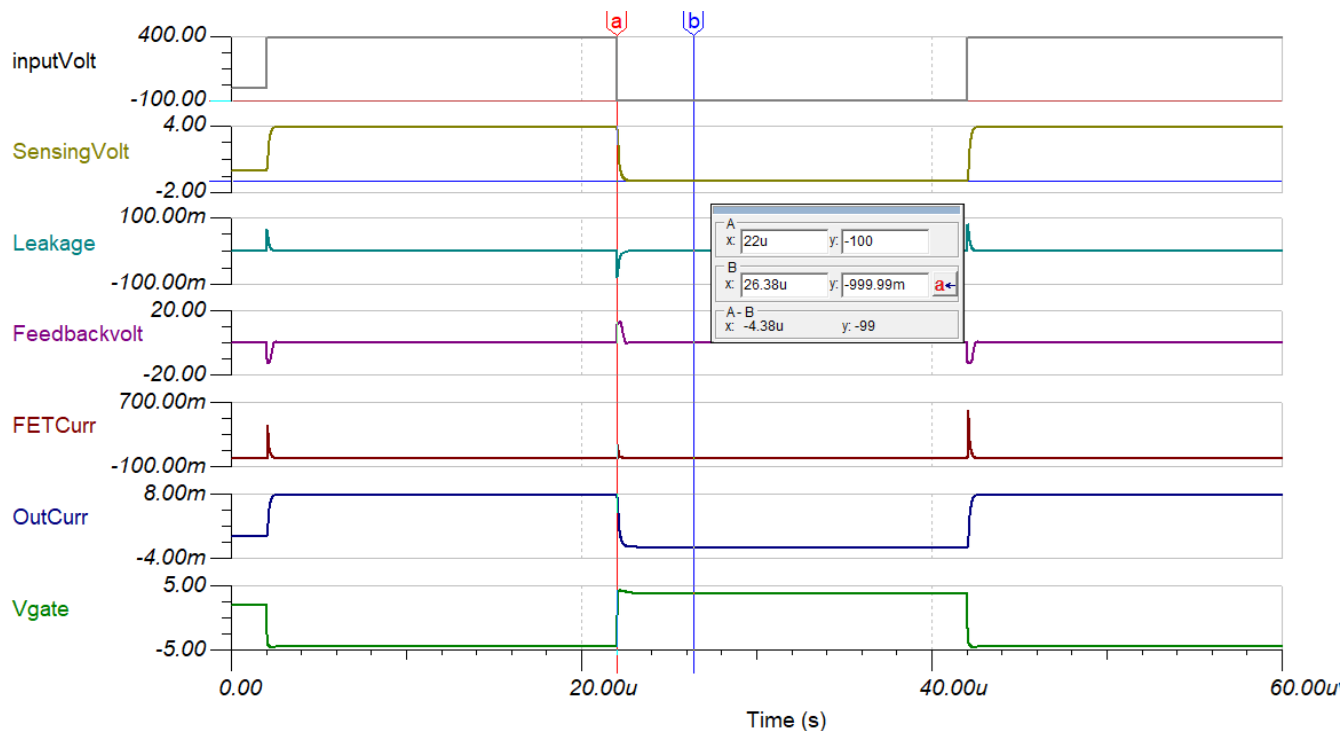


図 2-11. 絶縁型バッファのセトリング タイム

図 2-12 に示すように、開始信号が 0V の場合、リーク電流は約 2.5pA です。入力が 0V から 390V まで上昇した後、リーク電流が 10pA 未満になるまでには約 $10\mu\text{s}$ かかります。入力が 390V から -100V に降下した後、リーク電流が 10pA 未満になるまでには約 $12\mu\text{s}$ 要します。

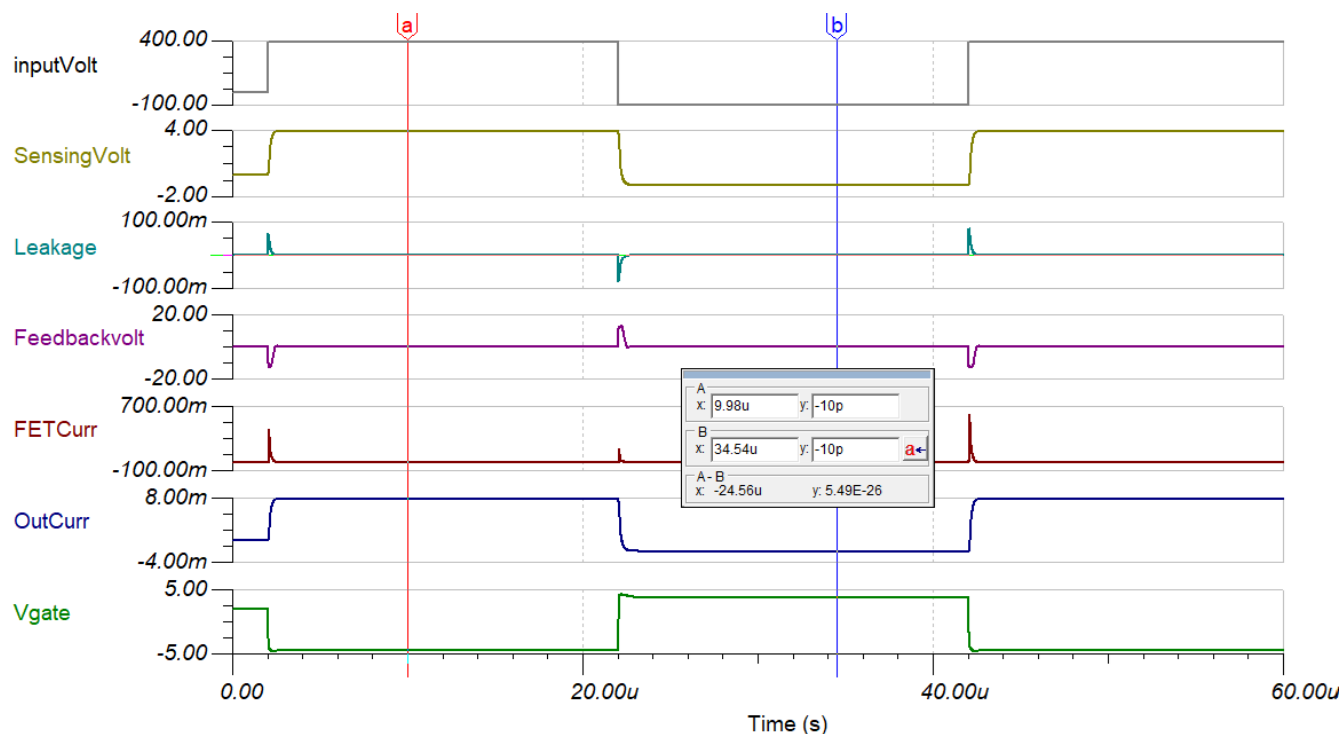


図 2-12. 絶縁バッファのリーク電流

3. フローティングシグナル チェーン アプローチ

絶縁型バッファを使用する検出アプローチで、高電圧変換タスクを実行することは問題ありません。ただし、高い同相電圧で微小電流を検出する場合、CMRR に起因するノイズによって電流検出精度が大幅に低下します。もう 1 つの問題は、非常に高電圧な P-MOSFET を見つけるのが困難であることです。そのため、電圧が 1000V または 3000V を超える場合は、フローティングトポロジが適しています。図 2-13 に、代表的なフローティングシグナルチェーントポロジを示します。

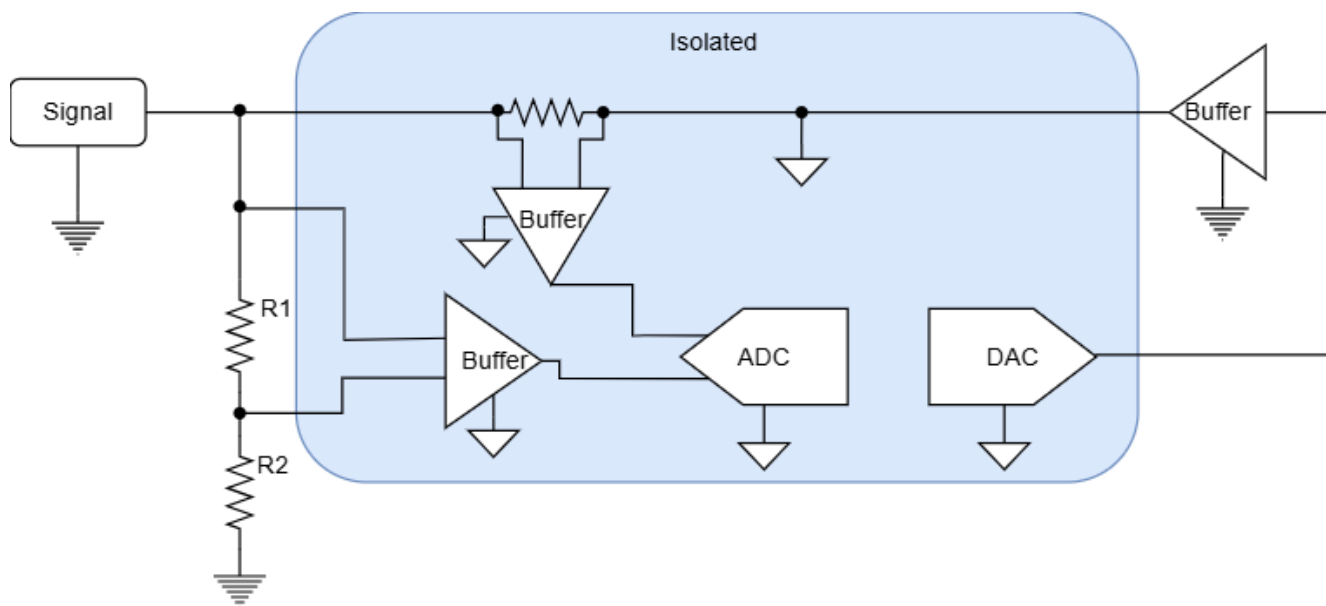


図 2-13. フローティングシグナルチェーン

フローティングシグナルチェーンのアプローチは、すべてのデジタル部品とシグナルチェーンを高電圧側に配置することです。その結果、電流検出の同相電圧は 0V 付近になります。低電圧高精度アンプを使用すると、高い出力電圧をバッ

ファできます。[TIDA-010962](#) は、このトポロジを使用して 4 象限 VI ソースを実装するように設計されています。このトポロジを使用して、20ppm 近い精度と高速な測定性能を実現しています。また、高電圧デジタル マルチメータなどの外部の高電圧を測定するためのバッファ モードもサポートしています。回路図と性能の詳細については、[TI.com](#) で [TIDA-010962](#) を検索してください

3 まとめ

この記事は、ATE システムでの信号検出のいくつかの手法について説明します。さまざまな使用事例に基づき、ATE の特殊なテスト要件を満たす TI のリファレンス デザインを提供しています。

4 参考資料

1. テキサス・インスツルメンツ、『[自動試験装置 \(ATE\) 80V ディスクリット フローティング VI のリファレンス デザイン](#)』、設計ガイド。
2. テキサス・インスツルメンツ、『[半導体自動試験装置 \(ATE\) 用測定カード](#)』アプリケーション ブリーフ。
3. テキサス・インスツルメンツ、『[自動テスト機器での信号測定精度の向上](#)』アプリケーション ブリーフ。
4. テキサス インスツルメンツ、[プレジジョン ラボ シリーズ: オペアンプに関する Web ページ](#)。
5. テキサス インスツルメンツ、[プレジジョン ラボ シリーズ: 「電流センス アンプ」、ビデオ シリーズ](#)。

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](https://www.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