

Application Brief

半導体自動試験装置 (ATE) 用測定カード



Samiha Sharif and Josh Brown

はじめに

テスター業界の 1 つの課題は、テスターの時間、サイズ、コストを大幅に増加させずに、多数のテスト チャンネルの需要を満たすことです。自動試験装置 (ATE) と呼ばれる半導体テスターには複数のタイプがありますが、ほとんどのテスターには電圧または電流測定カード (V/I カード)、ピン電子カード (PE カード)、およびデバイス電源カード (DPS カード) の 3 つのメインカードがあります。このアプリケーション ブリーフでは、ATE システムにおけるこれら 3 つのカードのアーキテクチャと機能に焦点を当てます。

電圧または電流測定カード

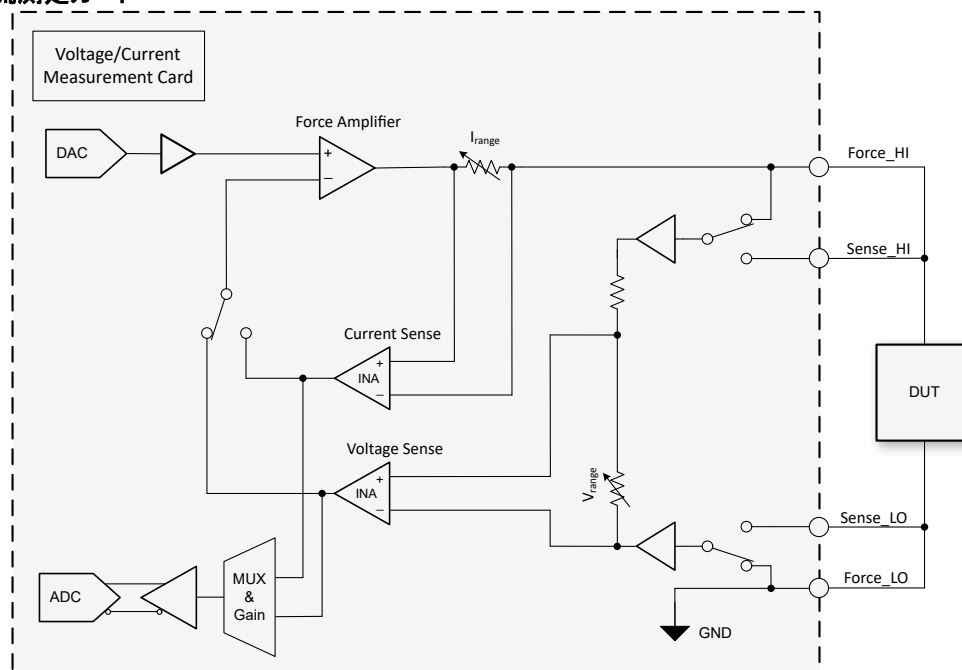


図 1. 電圧または電流 (V/I) 測定カードのブロック図

電圧または電流測定カードの機能:

電圧または電流 (V/I) 測定カードは通常、テスト上で最も正確なカードであり、テスト対象デバイス (DUT) ピンの正確な DC 特性を評価するために使用されます。カード上のすべてまたは一部の部品を 1 つのチップに統合することも、ディスクリット実装することもできます。統合チップは、8 チャンネル、18 ビット、30V、100mA 出力、大容量性の駆動が可能な PMU である TSMU818A030 などのパラメトリック測定ユニット (PMU) チップと呼ばれます。1 つの V/I カードは DUT のピンをテストするための多数のチャンネルを持つことができ、1 つのテスターは複数の V/I カードを持つことができます。V/I カードは安定した電圧または電流源を DUT に強制的に供給でき、高精度の信頼性を検証するため、適切なアンプを選択することが極めて重要です。カード上の ADC は、DUT からの電氣的応答を電流測定または電圧測定の形で感知し、DUT を評価および特性評価します。

PMU には一般に、次のような 4 つの象限があります。

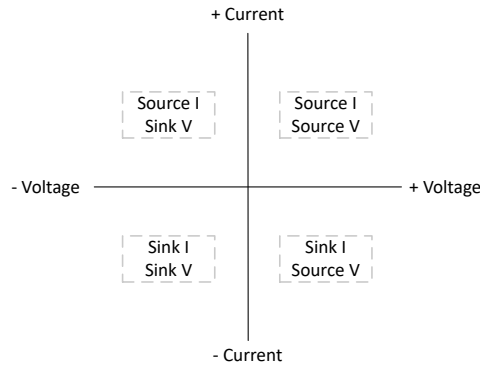


図 2. PMU の 4 象限動作

PMU は、力電圧 (FV)、力電流 (FI)、電圧 (MV)測定、電流 (MI) 測定の各モードに対応しています。強制的な電圧および電流レベルは、高精度 DAC およびレンジ設定抵抗により設定され、通常はデジタル インターフェイスで設定されます。DAC とレンジ設定抵抗を組み合わせて使用することで、V/I カードは電圧と電流の力を精密に制御できます。

高精度 ADC は、PMU のアナログ測定出力をデジタル化して、DUT が予期されるデバイスの DC 仕様を満たしていることを確認します。PMU のセンス出力を正しく測定するには、ADC が PMU と比較して同じかそれ以上の分解能や INL など、十分な入力範囲と性能を備えている必要があります。ADS9813 は 18 ビット、8 チャンネル、2MSPS/CH、同時サンプリング ADC で、0.001% の総合未調整誤差 (TUE) を持ち、このアプリケーションに適しています。『パラメトリック測定ユニット (PMU) のアナログ出力の測定用高精度 ADC』アプリケーション ブリーフを参照してください。

電圧または電流測定カードのアーキテクチャ:

アナログ制御ループは、高精度 DAC とフォース アンプを使用して、強制的な電圧または電流を確実に安定的かつ精度の高いものにします。電流が強制的に供給されると、プログラマブルな電圧クランプを使用して電圧過渡から保護し、強制的に電圧が設定された場合、プログラマブル電流クランプを使用して電流過渡から保護します。強制的に印加された電圧または電流は、可変範囲設定シャント抵抗の両端で測定されます。シャントの両端間での電圧降下が計測アンプ (INA) によって増幅され、このセンス出力を使用してアナログ制御ループを完成させます。高精度アンプの選択の詳細については、『半導体テスター用の高精度アンプの選択方法』アプリケーション・ブリーフを参照してください。

さらに監視を行うため、高精度 ADC は電圧または電流センス出力も測定します。電圧または電流センスの測定は、同じ ADC 入力チャンネルに多重化することも、測定値を個別の ADC 入力チャンネルにルーティングすることもできます。マルチプレクサを使用する場合、ADC は、マルチプレクサの出力スイッチとして PMU センス信号の変化を正確にキャプチャするのに十分な帯域幅を確保する必要があります。ADC の優れた選択肢の 1 つは ADS9813 であり、最大 400kHz の広帯域入力に対応しています。ADS9813 はチャンネル密度が高いため、より多くの PMU ユニートを並列動作させることができ、テスト時間とコストを削減できます。ADS9813 は入力信号を同時にサンプリングできるため、シーケンシャル サンプリングによる入力チャンネル間の位相遅延の影響を受ける測定に役立ちます。ADS9813 デバイスは、入力クランプ、1MΩ の入力インピーダンス、独立したプログラマブル ゲイン アンプ (PGA)、プログラム可能なローパス フィルタ (LPF)、および ADC 入力ドライバを持つ完全なアナログ フロントエンドを備えています。また、低ドリフトの高精度基準電圧と、外部基準電圧用の入力バッファも内蔵されています。これにより、V/I カードなどの半導体テスター カードの信号チェーン サイズが小さくなり、外部部品が不足することで、PMU 出力と ADC 入力の誤差寄与が低減されます。

精度を向上させるには、カードの PMU セクションと ADC セクションで、共通のリファレンス電圧を共有する必要があります。共有された基準電圧は、PMU のリファレンスパス内のノイズが ADC のリファレンス パスに反映されることを意味し、ノイズを打ち消します。DAC や ADC などのカード上のさまざまなコンポーネントの入力、出力、IO レベルは通常、FPGA または ASIC を使用して構成および評価されます。そのため、これらのコンポーネントのインターフェイスは FPGA または ASIC と互換性がある必要があります。

デバイス電源カード

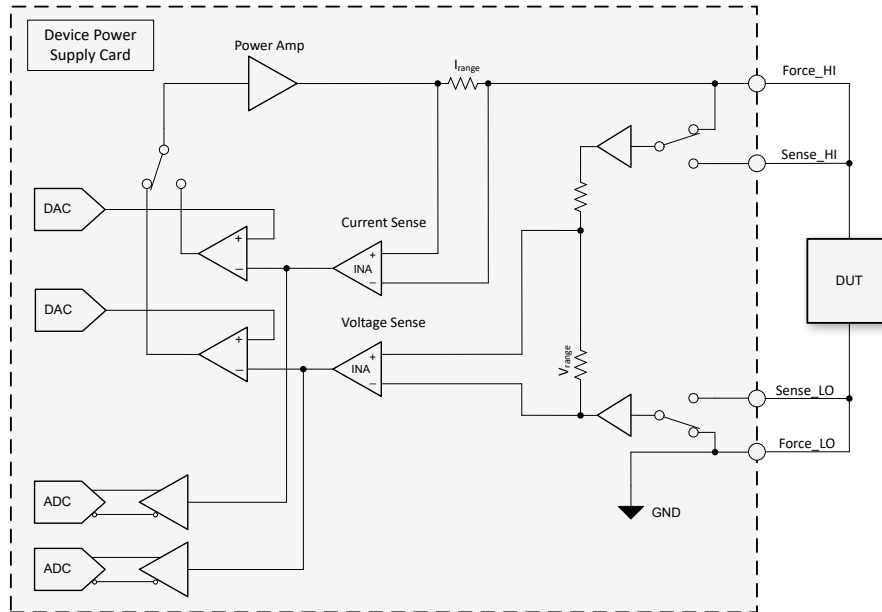


図 3. デバイス電源 (DPS) カードのブロック図

デバイス電源カード機能:

デバイス電源 (DPS) カードは V/I カードと同様ですが、DPS カードは $10\mu\text{F}$ 以上などの負荷容量が大きい DUT に対して、より大きな電流を駆動できます。DPS カードは、DUT 電源ピンに必要な電圧を供給する専用電源です。DPS カードには、DUT に接続する 2 本のラインがあります。1 本は電力を供給するフォースライン、もう 1 本は電力を供給するセンスラインです。DPS カードは、強制電圧 (FV) と強制電流 (FI) の 2 つのモードで動作できます。FI では、DPS は DUT の電流源として機能し、目的の電圧レベルに達するまで電流を供給します。通常、プログラム可能な安全限界値が組み込まれており、電圧が設定値を超えた場合に電圧をクランプすることができます。これにより、目的の電圧レベルに達しない場合でも DUT が損傷から保護されます。FV では、DPS は DUT の電圧源として機能します。FI と同様に、通常は、電流が特定の制限を超えないように、DUT に損傷を与える可能性があるように、プログラム可能な安全制限が DPS カードに組み込まれています。

デバイス電源カード アーキテクチャ:

現在使用されているほとんどの DPS カードは、電圧および電流を制御するためにアナログ制御ループを使用しています。ただし、アナログ制御ループは一般的に、信号の長いセトリング タイムまたはリングングの影響を受けます。これは、アナログ制御ループが幅広い複雑な負荷に対して補償されるためです。デジタル制御ループを使用すると、このような問題を緩和できます。デジタル制御ループの詳細については、『[ADS9219 を使用するデジタル制御ループのための低レイテンシの信号チェーン](#)』アプリケーション ブリーフを参照してください。

DPS カード内の一般的なアナログ制御ループには、**デバイス電源 (DPS) カードのブロック図** に示す部品が含まれています。高精度 DAC は、制御ループを駆動し、電流と電圧の DC レベルを強制的に生成します。ループの正確で高速な応答時間を維持するためには、DAC は低ノイズ、低ドリフト、高速なセトリング タイムを実現する必要があります。この用途では、テキサス インストルメンツの [DAC11001B](#) を一般的に使用します。ループ内には、FV から FI に変更できるスイッチがあります。システム内にアンプが存在し、電流と電圧を強制的に読み取ってから、ADC がその値を読み取っています。システムに存在する ADC はループ内ではなく、検出パスの高精度測定にのみ使用されます。ADC は、ループ外部からの電圧と電流を測定して、プロセッサへのステータスを報告します。ADC は、18 ビット、8 チャンネル、500kSPS/CH、 ± 2.0 LSB 標準 INL の同時サンプリング ADC である [ADS8598H](#) や次世代の [ADS9813](#) などのように、高解像度、高 DC 精度、低ドリフトを実現する必要があります。

ピン電子カード

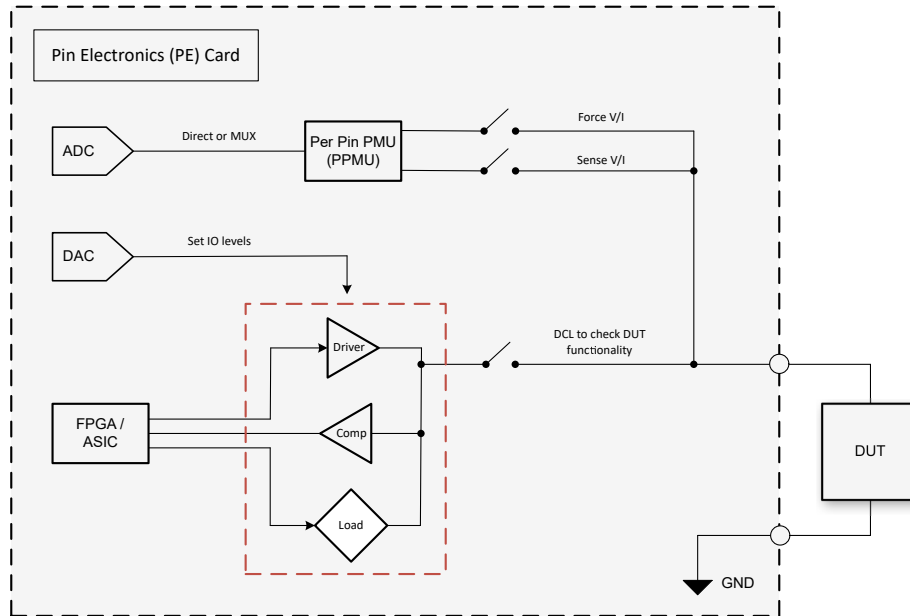


図 4. ピン電子 (PE) カードのブロック図

ピン電子カードの機能:

ピン電子 (PE) カードは、DUT のピンでさまざまな基本機能テストを実行します。3 枚のカードのうち、PE カードは通常テスター内で最も多く使用されます。PE カードは開放および短絡テストを実行して、DUT ピンの電圧および電流クランプが機能していることを確認します。たとえば、電源ピンにある ESD ダイオードもテストする必要があります。PE カードは、AC パラメトリック テストおよび DC パラメトリック テストも実行しますが、これらの DC テストは V/I カードで実行されるテストよりも精度が低くなります。AC パラメータテストには、セットアップ時間またはホールド時間、読み取りおよび書き込み時間などの DUT タイミング特性の測定が関係します。DC パラメータテストには、I/O ピン VOH、VOL、VIL、VIH、電源ピンの電流と電圧レベルなどの測定が含まれます。これらの試験はすべて、電子機器の包括的な評価と特性評価を確実にします。

ピン電子カード アーキテクチャ:

PE カードには、ドライバ、コンパレータ、負荷、ピンごとの PMU、DAC、および ADC などの多くのコンポーネントが搭載されています。これらの各コンポーネントは、さまざまな機能テストで役割を果たします。このドライバは、高精度の電圧信号と電流信号を DUT に配信することで、さまざまな条件の下で機能テストを可能にします。コンパレータは DUT の出力を基準電圧と比較し、不一致を検出して性能を評価します。このコンパレータは差動コンパレータまたはウィンドウコンパレータで使用できます。出力はロジック値であり、FPGA または ASIC に渡して評価を行います。負荷はアクティブまたはパッシブにすることができ、制御された負荷を DUT に適用することで実際の動作条件をシミュレートし、正確な性能評価を容易にします。通常、パッシブ負荷にはスイッチがあり、DUT に対して各種の抵抗終端を選択できます。アクティブ負荷はプログラム可能な負荷であり、カードに搭載された DAC を使用してシンク電流とソース電流を設定できます。PE カードには、PMU に類似したピンごとのパラメトリック測定ユニット (PPMU) も搭載されていますが、電圧や電流などの電気的パラメータを低い精度と分解能で測定できます。DAC はデジタル入力から正確なアナログ電圧を生成します。これは、リファレンスレベルの設定や PE カード内の他のコンポーネントの制御に不可欠です。ADC は、DUT (試験対象デバイス) から取得したアナログ信号をデジタル データに変換し、分析の目的で使用します。その結果、DUT (試験対象デバイス) のアナログ出力の高精度監視と評価を実施できます。

多くの場合、PE カードには多くの PPMU があり、これらの PPMU は V/I カードの PMU のように、電圧および電流測定についての高精度要件はありません。PE カードは基本テストのみを実行するためです。『[PMU のアナログ出力測定用高精度 ADC アプリケーション ブリーフ](#)』を参照するように、PE カード上の複数の PPMU は、測定間でセリングするのに十分な帯域幅を持つ単一のマルチ チャネル ADC を使用して多重化および監視できます。このような ADC の 1 つに、最高 400kHz の広帯域入力を備えた [ADS9813](#) があります。

まとめ

半導体の需要が増加し続けるのに伴い、信頼性と精度の高い試験装置の重要性が増しています。V/I カード、DPS カード、および PE カードは、試験装置において重要な役割を果たし、DUT ピンの正確かつ制御されたテストを提供します。しかし、メーカーが直面する課題の 1 つは、テスターの時間、サイズ、コストを増やすことなく、カードあたりのテスターチャンネル数を増やすことです。幸い、テキサス インストルメンツはこの課題に対して優れた設計を提供しており、メーカーはより効率的で効果的なテストソリューションを設計および開発できます。

表 1 は、関連デバイスを表示します。

表 1. 半導体テスター用デバイスの概要

デバイス	概要
ADS9813	18 ビット、8 チャンネル、2MSPS、チャンネル、同時サンプリング ADC
ADS8598H	単一電源電圧でバイポーラ入力に対応する 8 チャンネル同時サンプリング 18 ビット 500kSPS ADC
TSMU818A030	8 チャンネル、18 ビット、30V、100mA 出力、高容量ドライブ、PMU
DAC11001B	超低ノイズ、低グリッチ、優れた THD 特性、高グレード、20 ビット単調 DAC
OPA593	85V、100 μ V、広帯域幅 (10MHz)、大出力電流、高精度オペアンプ
PGA849	低ノイズ、広帯域、高精度、プログラマブル ゲイン アンプ
INA849	超低ノイズ (1nV/ \sqrt Hz)、高速 (28MHz、35V/ μ s)、高精度 (35 μ V) の計測アンプ

関連資料

資料番号	ドキュメントタイトル
SBAA572	ADS9219 を使用したデジタル制御ループ向けの低レイテンシのシグナル チェーン
SBAA578	パラメトリック測定ユニット (PMU) のアナログ出力測定用高精度 ADC
SBOA449	半導体テスター用の高精度アンプの選択方法

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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むいかなる保証も、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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むいかなる保証も、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、テキサス・インスツルメンツ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テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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、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テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかるテキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated