



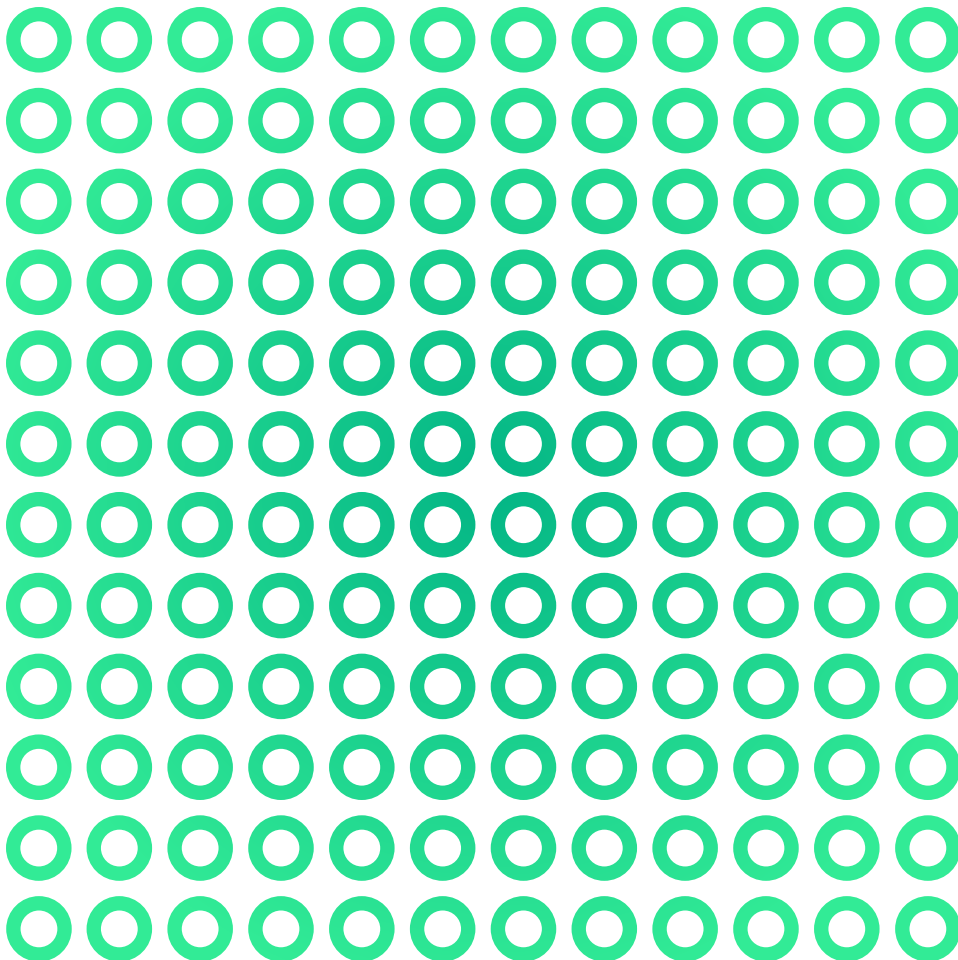
NI is now part of Emerson.



EMERSON™

アプリケーションノート

NI PXIシステムを使用した高電力 DC-DC変換器の測定





目次

03 概要

03 PMICの検証における課題

04 PMIC検証ソリューション

さまざまなテストのデバッグと自動化

計測器の同期

大量のデータの収集、測定効率とテスト時間の最適化

データ管理の改善

07 PMICテストのセットアップ

検査対象デバイス (DUT)

DUTと計測器との接続

09 テスト装置の選択

電源

電子負荷 (E負荷)

SourceAdaptテクノロジー

デジタルパターン計測器

スコープ/FGEN

11 測定パラメータ

電力効率

負荷変動

負荷過渡

14 複数チャンネルPMICのPXI構成の例

15 まとめ

概要

PMIC (電源管理集積回路) は、携帯電話、タブレット、自動車関連アプリケーション (インフォテインメント、ADAS (先進運転支援システム)、ECU (電子制御ユニット) など) を含むさまざまなシステムの内部で電源を管理または変換するために使用されます。

PMICは、特に占有面積の限られた小型携帯デバイスで使用される場合に、プリント基板 (PCB) に直接搭載され、デバイスの電源またはバッテリと複雑な電子機器との間の重要なインタフェースとして機能します。半導体の進歩や集積化が進むにつれて、デバイスでのPMICの使用が増えつつあり、電力密度と効率に対する要求が高まり続けています。急速充電は、私たちが日常的に利用しているモバイルデバイスの標準的な機能となり、自動車産業が電気自動車 (EV) へとシフトするのに伴い、充放電システムの効率が最重要の課題となっています。

DC-DC電源変換器はPMICの代表的な例であり、さまざまなアプリケーションで広く利用されています。DC-DC変換器は、直流電流をある電圧レベルから別の電圧レベルにアップコンバートまたはダウンコンバートする役割を果たします。DC-DC変換器を製造または評価する前に、製品に組み込む可能性について設計検証を行う際、再現可能で高精度なテストシーケンスを利用することが不可欠です。

DC-DC変換器の標準のテストシーケンスでは、電圧の確度、効率、負荷/電源変動、負荷/ラインの過渡応答、電源電圧変動除去比 (PSRR) の解析、遮断/静止電流、ノイズなどの性能基準を測定します。

モバイルデバイスの小型化のニーズや、安全なEVの採用増加が要因となって、エレクトロニクス産業が急激に拡大し、1個のPMIC内に、より多くの、より高電力なDC-DC変換器チャンネルを組み込みたいというニーズが生まれています。その結果、デジタル通信を介して検査対象デバイス (DUT) を繰り返し自動で制御することがテストシーケンスにおいて不可欠となってきています。加えて、計測器の効果的な同期や、複数チャンネル測定への規模拡大に関するさらなる課題が生じています。

このアプリケーションノートでは、優れた電源、精度、速度で知られるNI PXIシステム内でDC-DC変換器のテストを行う方法について説明します。テストでは、電源、デジタルパターン計測器、周波数発生器 (FGEN)、およびオシロスコープが必要になります。

PMICの検証における課題

PMICのテストを行うテストエンジニアは、以下のような固有の課題に直面する可能性があります。

- さまざまなテストのデバッグと自動化
- 計測器の同期
- 大量のデータの収集
- 測定効率とテスト時間の最適化
- データ管理の改善

また、PMICの検証を行う際に、さらに以下のような課題に直面することもあります。

- PMICの機能と性能を検証するテスト計画の策定
- 設計エンジニア、プロジェクトマネージャー、その他の関係者を含めた部門横断チームによる効果的なデータ相関
- 複雑な検証手順の管理

特に、PMIC内部の問題や欠陥を特定および診断する作業で困難が生じることがあります。彼らは、すべての問題の根本原因を明らかにする最終的な責任を負っています。

NIでは、テストエンジニアが直面するこれらの課題のすべてに応えるソリューションを提供しています。

PMIC検証ソリューション

NIは、前述の課題に応えるさまざまな計測器やソフトウェアを提供しています。NIの具体的なソリューションによって、それぞれの課題がどのように解決されるのかを見ていきましょう。

さまざまなテストのデバッグと自動化

NIソフトウェアによるソリューションは、インタラクティブテストと自動テストのどちらにも対応しています。**InstrumentStudio™**は、インタラクティブな計測器制御とラボ測定に対応したアプリケーションソフトウェアで (図1を参照)、問題の根本原因の特定、テストのセットアップの容易な再現、計測器へのリモートアクセスが可能です。

LabVIEWは、研究、検証、製造の自動テストシステムの開発に使用するエンジニア向けのグラフィカルプログラミング環境です (図2を参照)。LabVIEWで開発した既存のサンプルやソフトウェアをPMICのテストに利用することもできます。これらのソフトウェアソリューションはテストエンジニアによる効率的なデバッグを促進するため、設計エンジニアにもメリットをもたらします。

NI PXIシステムは、数々の充実したAC (スコープ、FGEN)、DC、およびデジタル計測器をサポートしています。この単一のプラットフォームで、電力の供給と測定、電力収集のトレース、ノイズ注入、DUT制御などの幅広いテストに対応できます。さらに、PXIシステムにより、チャンネルあたりのコストを適切に保ちながら、複数サイトまたは複数チャンネルの並列テストの実行プロセスを簡略化でき、必要に応じて計測器を柔軟に追加できます (図3を参照)。

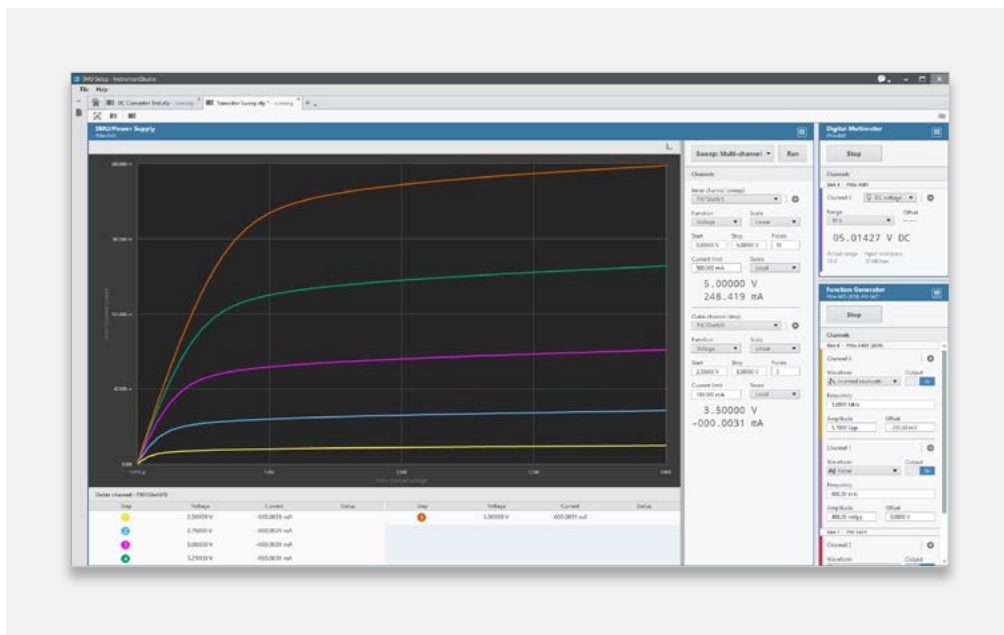


図1 NI SMUとInstrumentStudioを使用して測定したI/V曲線のプロット

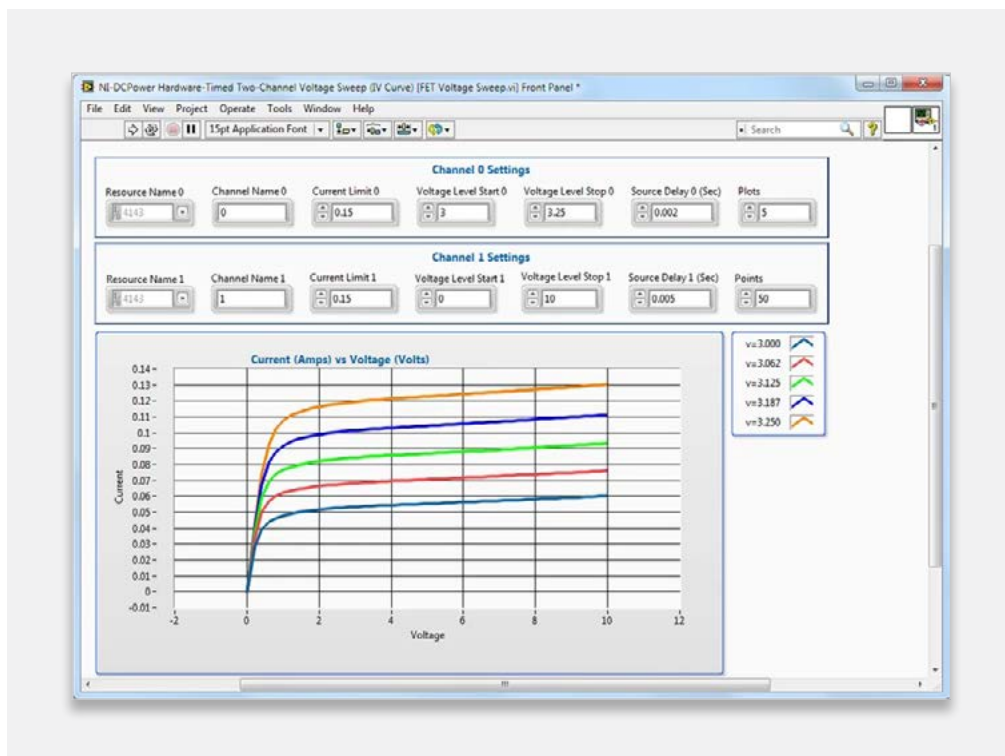


図2 NI SMUとLabVIEWを使用して測定したI/V曲線のプロット



図3 NIは信号の生成および測定を行うためのPXIモジュールを提供、シャーシのオプションは最大18スロットまで対応

計測器の同期

PXIおよびPXI Expressシャーシは内部のタイミング/同期機能を提供します。そのため、テストエンジニアは、計測器を同期させるために外部デバイスや外部ケーブルの接続について心配する必要はありません。これらのシャーシは、10 MHzのバックプレーンクロック、PXIトリガバス、PXI Startトリガ信号を維持しています (図4を参照)。さらに、PXI Expressシャーシでは100 MHzの差動クロックと差動Startトリガをバックプレーンに追加することで、耐ノイズ性の向上を図り、業界最高レベルの同期確度 (モジュール間スキューはそれぞれ250 psと500 ps) を実現することができます。タイミング/同期は計測器の同期の際に価値ある機能となり、特に、電源、E負荷、ソースメジャーユニット (SMU)、オシロスコープ、FGENなどの複数の計測器間で同期を必要とするPMIC検証システムのようなシナリオで価値を発揮します。

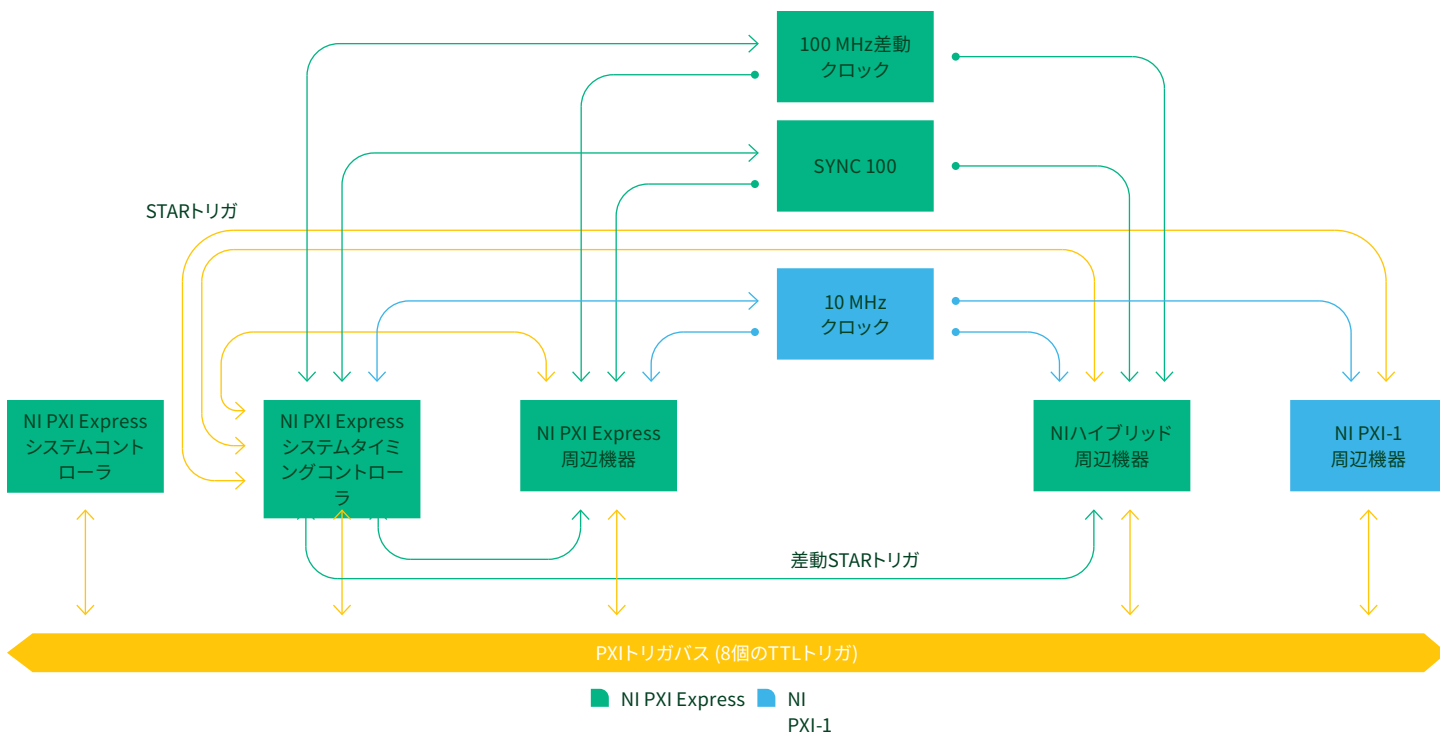


図4
PXIシャーシのタイミング/同期機能

大量のデータの収集、測定効率とテスト時間の最適化

最近リリースされたNI PXI製品にはPCI Gen3テクノロジーが組み込まれており、最大限のデータ帯域幅のメリットがNI PXIシステムにもたらされ、最高24 GB/sの速度に対応し、データレイテンシが他の通信プロトコルと比べて高速になります。これにより、オシロスコープの未処理データや画面キャプチャなどの大量のデータセットを高速で伝送できます。データを高速で伝送できるだけでなく、データレイテンシが減少するため、コマンドの反復的な実行が不可欠な自動テストや量産テストなどのシナリオにおいてテスト効率も向上します。

データ管理の改善

SystemLink内部の新機能として、データの取り込みやエンジニアリング解析の管理を目的としたWebベースのツールが提供されており、仕様の準拠が確保され、チームをまたぐコラボレーションが強化されます。テストエンジニアや設計エンジニアはSystemLinkを使用して、設計ツール、シミュレーションツール、測定ツールから得られるデータを効率的に管理および比較することができます。さらに、準拠レポートを生成して、指定されたパラメータから逸脱している測定値に注目することができます。

続いて、前述のNI PXIシステムとソフトウェアの機能を組み込んだPMICテストのセットアップの例を見てみましょう。

PMICテストのセットアップ

検査対象デバイス (DUT)

この例で使用する検査対象デバイス (DUT) は、LTM4676A降圧タイプレギュレータを搭載した評価ボード (EVB) DC1811B-Bです。4.5 V～26.5 Vの幅広い入力電圧レンジに対応でき、0.5 V～5.5 Vの広範な出力電圧レンジ (13 A、または単一の26 A) を供給できます (図5Aを参照)。

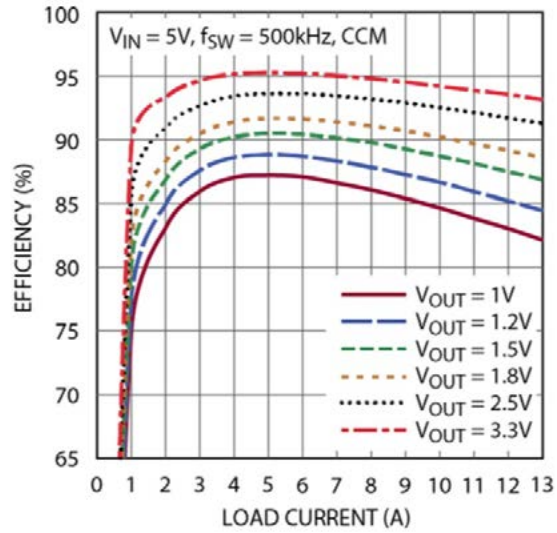
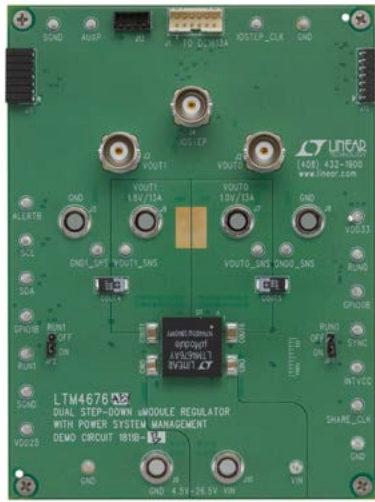


図5

A) LTM4676AリアニアICを使用したEVB (DC1811B-B)。 B) $V_{IN} = 5V$ (DC1811B-Bの仕様) における効率と負荷電流の関係

DUTと計測器との接続

図6は、DUTとNIの計測器とのケーブル接続を示しています。これは、DUTの特性を測定するデモンストレーションのサンプルとして利用できます。これらの計測器を使用して、DUTへの電源供給、I2Cによる制御、電流のシンクを行います。

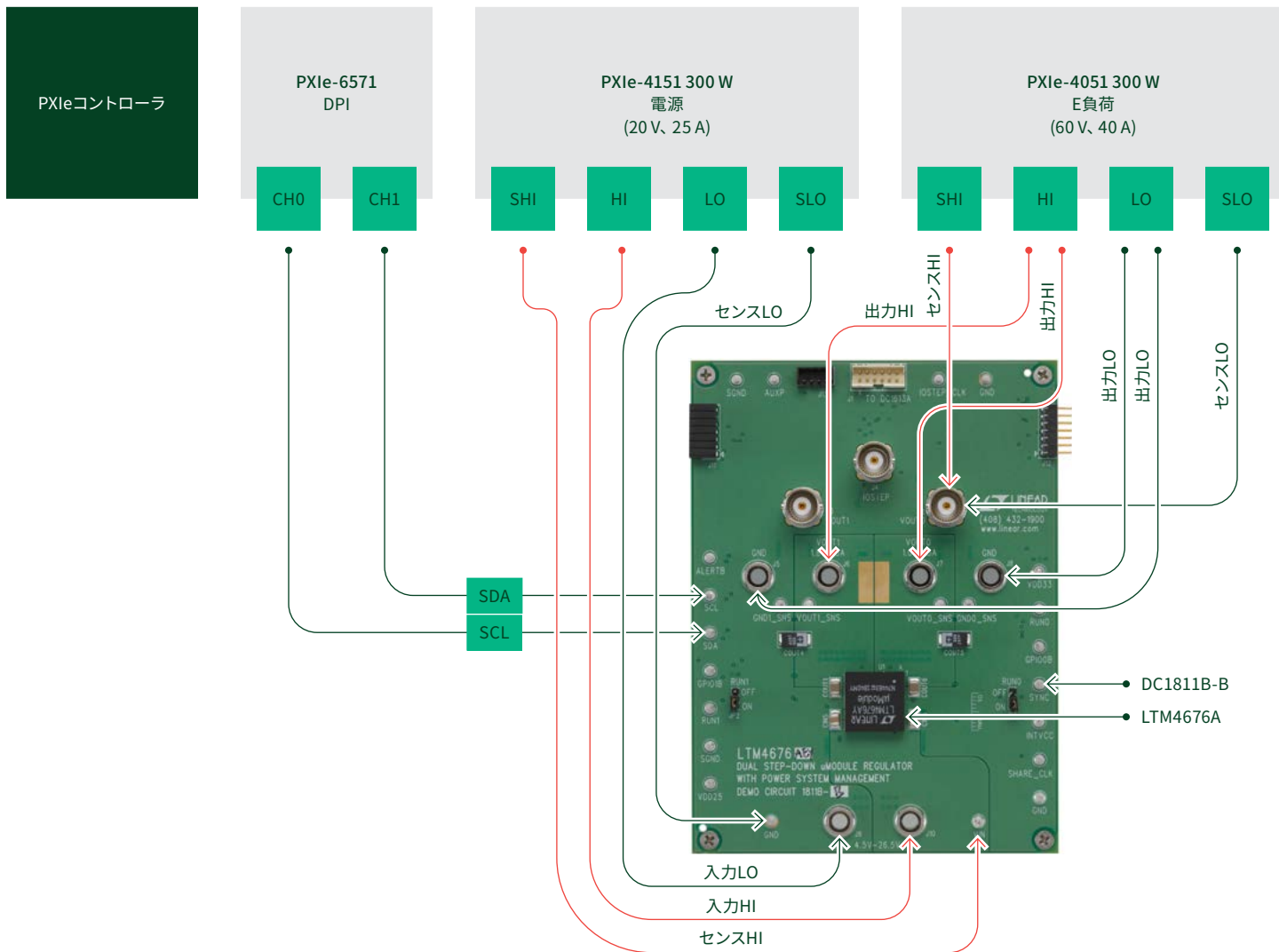


図6 デジタルパターン計測器、電源、およびDC1811B-B上のE負荷を接続するための配線図

図7に、NI PXIシステムを使用したDUTのテストの例を示します。このシナリオでは、NIの高電力電源 (PXIe-4151) と高電力E負荷 (PXIe-4051) を使用して、LTM4676Aレギュレータをテストしています。このレギュレータは、幅広い入力電圧レンジ (4.5 V~26.5 V) と広範な出力電圧レンジ (0.5 V~5.5 V) を、最大26 Aの電流容量で提供します。I2Cを介してレギュレータとの通信を確立するため、NIデジタルパターン計測器 (PXIe-6751) を使用しています。



図7

LTM4676AレギュレータをテストするためのNI PXIシステムのセットアップ。PXIe-6751デジタルパターン計測器、PXIe-4151 300 W電源、DC1811B-Bを搭載したPXIe-4051 300 W E負荷を含む

テスト装置の選択

電源

NIはPXIe-4151をはじめとする複数の電源を提供しています。この計測器は、モバイルの高速充電や自動車の電動化で求められる電源密度や効率の改善に対応できる能力を備えています。300 Wの電力を出力し、オプションで20 V、15 Aまたは12 V、25 Aなどを選択でき、すべてがDMMと同等の測定精度を備えます。特筆すべき機能の1つとして、過渡応答のチューニングを可能にするSourceAdaptの機能があります。これにより、測定速度を早めて検証効率を高めることができるため、NI SMU/電源の重要なメリットとなっています。この電源は、PXIのタイミング/同期テクノロジーおよびAPI、またはInstrumentStudioを使用して、他のNIモジュールとシームレスに統合できます。



図8 A) NI PXIe-4151 300 W電源および補助電源。 B) PXIe-4151の象限図

電子負荷 (E負荷)

NI PXIe-4051 E負荷は、PXIプラットフォーム専用として開発された初の電子負荷です。最大60 Vおよび最大40 Aまでシンクでき、DMMと同等の測定精度で300 Wの負荷電力容量を利用できます。この計測器は基本となるハードウェアおよびソフトウェアテクノロジーがNI SMU/電源と共通しているため、SourceAdaptやPXIタイミング/同期などの機能も含まれています。

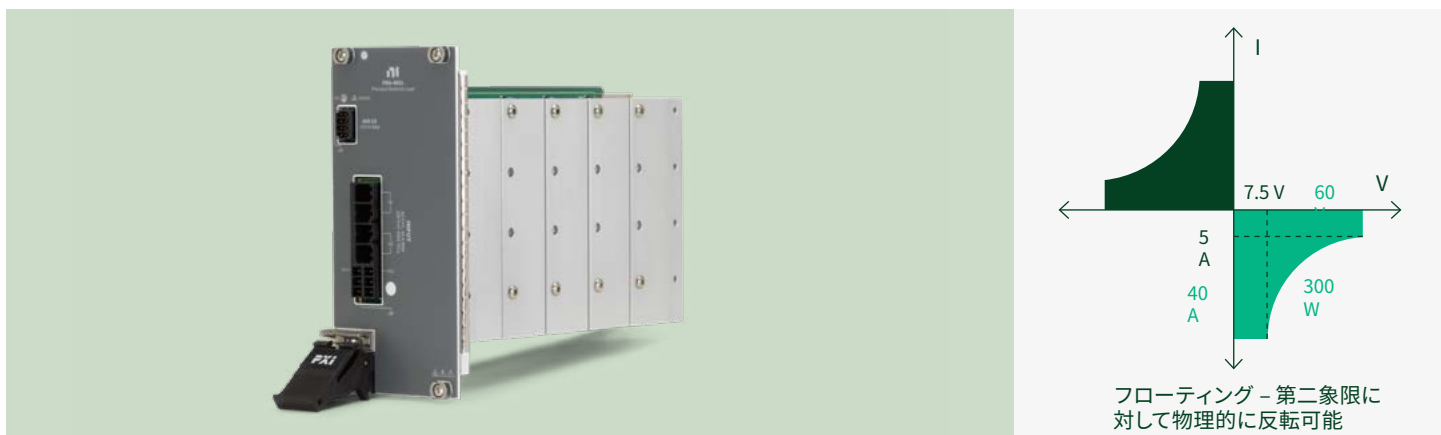


図9 A) NI PXIe-4051 300 W E負荷。 B) PXIe-4051の象限図

SourceAdaptテクノロジー

SourceAdaptテクノロジーを利用して、SMU、電源、E負荷の応答を、高誘導性または高容量性の負荷を含むさまざまな負荷に合わせて最適化できます。このテクノロジーでは、従来型のアナログ制御ループではなくデジタル制御ループが利用されています。そのため、ハードウェアの過渡応答を完全にカスタマイズすることができます。SourceAdaptテクノロジーの詳細については、[こちらのリンク](#)を参照してください。

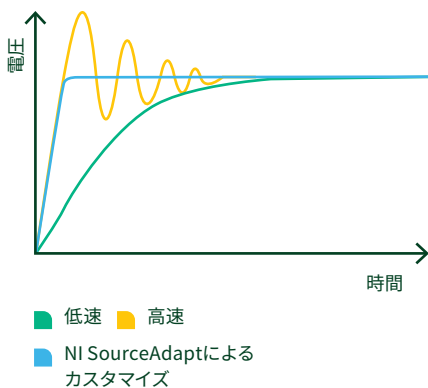


図10 SourceAdaptテクノロジーによって応答をカスタマイズし、最大の安定性と最小の立ち上がり時間を実現

デジタルパターン計測器

PXIe-6571は、100 Mベクトル/s、32チャンネルのデジタルパターン計測器で、デジタル通信およびプロトコルの検証に適した多用途ツールです。効率の良い反復的なテストの自動化に役立ち、テストエンジニアが抱える課題を軽減します。

スコープ/FGEN

PMICテストのACパラメータを特性評価できるように、NI PXIシステムにはスコープとFGENの両方を含めることができます。

計測器	説明
PXIe-4151	300 W電源、150 VのCAT I絶縁、1.8 MS/sのサンプリングレート、100 kS/sのアップデートレート。過渡応答のチューニング (SourceAdapt)。補助電源が必要 (2Uボックスまたは電源「ブリック」を使用)。
PXIe-4051	300 W電子負荷、150 VのCAT I絶縁、1.8 MS/sのサンプリングレート、100 kS/sのアップデートレート。過渡応答のチューニング (SourceAdapt)。プログラム可能なスルーレート (CV、CCモード)。
PXIe-6571	100 Mベクトル/s、32チャンネルPXIデジタルパターン計測器、128 Mベクトルのメモリ。能動負荷 (16 mA)、PPMU (-2 V~6 V、最大32 mA)。
PXIe-5433	2チャンネル、800 MS/s、80 MHz帯域幅、24 Vpk-pk任意波形発生器 (ユーザ定義の任意波形、および正弦波、方形波、三角波、ランプ波などの標準関数を生成)。
PXIe-5162	4チャンネル、1.5 GHz帯域幅オシロスコープ。最高5 GS/sでのサンプリング、柔軟なカップリング設定、電圧レンジ (最大50 Vpk-pk)、およびフィルタ処理 (20 MHz、175 MHz、全帯域幅)。

測定パラメータ

PMICのテストで対象となる代表的なパラメータには、入力電圧 (V_{in}) のソースおよび測定、入力電流 (I_{in}) の測定、出力電圧 (V_{out}) の測定、および負荷電流 (I_{out}) のシンクがあります。これらの測定値から電力効率を決定することができます。その他のパラメータとしては、確度、ライン/負荷変動、ライン/負荷過渡、ACリプル電圧、PSRR、遮断/静止/突入電流、過電圧保護 (OVP)、過電流保護 (OCP) があります。

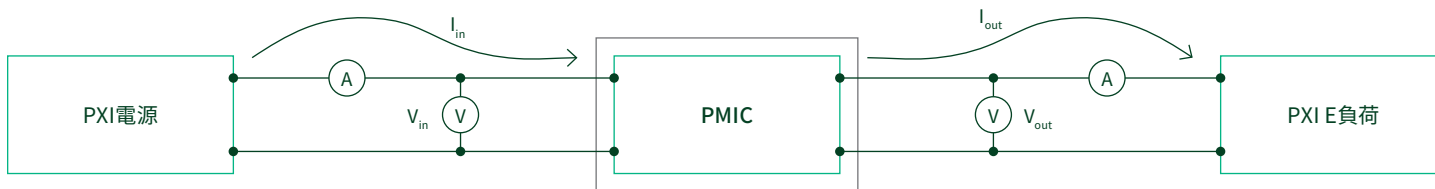


図11 PMICテストのセットアップの簡略図

電力効率

ほとんどの場合、電力効率を計算するためのテストのセットアップは、PMICの電流をシンクするために電源とE負荷の間に接続します。そして、電圧と電流を、電源から供給される入力 (V_{in} および I_{in}) と、E負荷で測定される出力 (V_{out} および I_{out}) について測定します (図6/図11を参照)。

電力効率は、供給された電力に対する消費された電力の比率として表され、一般にパーセントで表します ($(V_{out} * I_{out}) / (V_{in} * I_{in}) * 100$)。このメトリックはバッテリー駆動の製品において非常に重要であり、特にモバイルデバイスやEVなど、製品の利用可能な稼働時間に直接影響する場合に非常に重要となります。

図6は、PXIe-4151 (電源)/PXIe-4051 (E負荷) のチャンネルとPXIe-6571のチャンネルを使用した配線図を示しています。一般的なパラメータ (電力効率、負荷変動、負荷過渡) をテストするため、PXIe-4151 (電源) を入力電圧の供給と入力電流の測定に使用し、一方でPXIe-4051 (E負荷) を負荷として機能させて出力電流をシンクし、PMIC (LTM4676A) の出力で電流/電圧を測定します。PXI-6571のチャンネルをI2C通信用のクロックチャンネルおよびデータチャンネルとして利用し、EVB (DC1811B-B) のピンに接続して、PMICの構成状態を変化させます。

電力効率と負荷電流の関係を示す曲線を調べることで、負荷の増加とともにPMICの効率がどのように変化するかがわかります。1組の効率と負荷の曲線を、入力電圧ごとに1本ずつの曲線で表示できます。図12のグラフ結果では、PMICは一定の3.3 Vを生成するように構成し、9 V、12 V、18 V、20 Vの4つの異なる入力電圧値で電力効率を測定しました。PXIe-4051は0.1~24 Aまでの負荷電流を25のステップでスイープするように構成し、PMICからの出力電圧を測定しました。

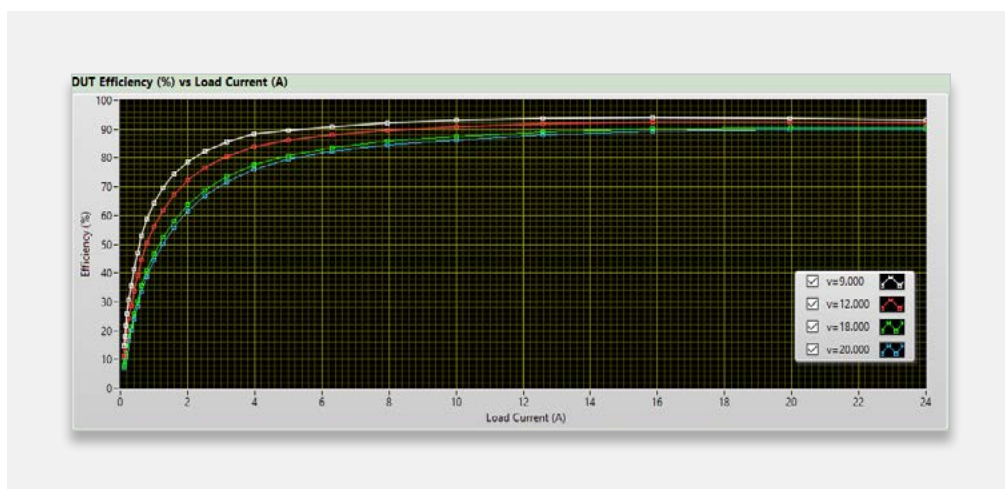


図12

PMIC (LTM4676A) からの出力電圧を一定の3.3 Vとしたときの電力効率のグラフ結果

例: NIハードウェアでのテスト手順

1. V_{in} をPXIe-4151から指定のレベル (9 V) に設定する。
2. I_{out} をPXIe-4051から目的の開始レベル (0.1 A) に設定する。
3. I_{out} を目的の終了レベル (24 A) までスイープし、PXIe-4051を使用してVおよびIのレベルをPMICの入力および出力として記録する。
4. すべての目的の V_{in} レベル (9 V、12 V、18 V、20 V) について手順1~3を繰り返す。

負荷変動

負荷変動テストでは、負荷電流を最小定格値から最大定格値までスイープしたときにPMICが出力電圧を維持できるかどうかを測定します。テスト中は、PXIe-4151からの入力電圧 (V_{in}) を一定に保ちます (通常は公称電圧に保ちます)。負荷変動の結果はmV/Aまたはパーセントで表します。測定される出力電圧の変化は、製品の技術仕様で定められた範囲内に収まる必要があります。なお、負荷変動テストで必要となる配線接続は、電力効率テストで使用した配線図 (図6) と同じです。

図6では、PXIe-4151とPXIe-4051はリモートセンス、つまり4線での接続 (ポート名: センスHIおよびセンスLO) を使用して構成しています。このセットアップにより、本来ならば測定精度に影響を与えるリード線抵抗がなくなります。リモートセンスによる接続方法も同様の効果があります。一対のテストリード線で入力 (出力) HIと入力 (出力) LOの間にソース出力 (負荷入力) を接続し、もう一対のリード線でセンスHIとセンスLO間の電圧降下を測定します。高精度な測定を確保するため、センスのリード線はできるだけPMICの近くに接続し、リード線抵抗が読み取り値に影響を与えないようにします。

図13は負荷変動のプロットです。PMICの出力電圧は一定の3.3 Vに構成し、PXIe-4051のチャンネルは負荷電流を0.1 mAから24 Aまでスイープするように構成しました。このテストを、PXIe-4151を使用して4つの異なる入力電圧条件 (9 V、12 V、18 V、20 V) で実行しました。

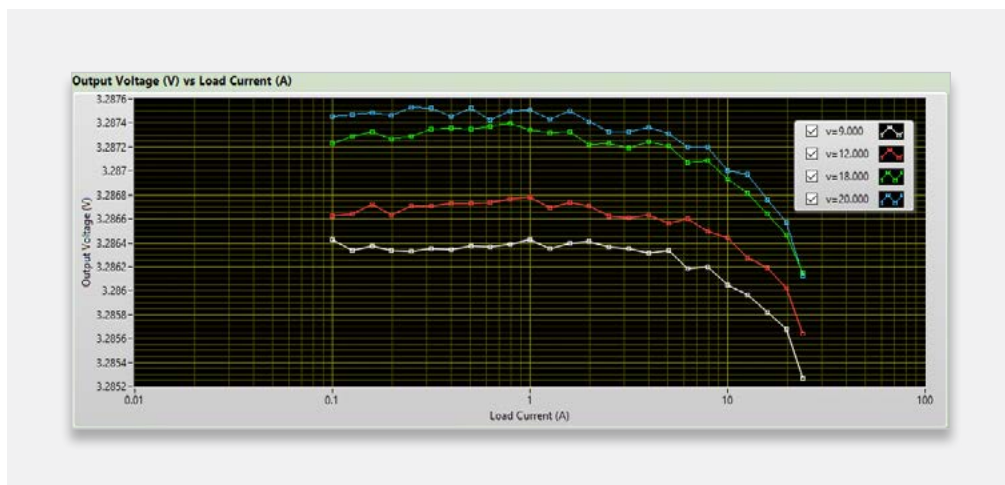


図13

PMIC (LTM4676A) からの出力電圧を一定の3.3 Vとしたときの出力電圧と負荷電流の関係を示すグラフ結果

例: NIハードウェアでのテスト手順

1. V_{in} をPXIe-4151から目的のレベル (9 V) に設定する。
2. I_{out} をPXIe-4051から最小レベル (0.1 A) に設定する。
3. I_{out} を最大レベル (24 A) までスイープし、PXIe-4051を使用してVおよびIのレベルをPMICの出力として記録する。
4. すべての目的の V_{in} レベル (9 V、12 V、18 V、20 V) について手順1~3を繰り返す。

負荷過渡

負荷過渡テストでは、出力電流の負荷が変化した後、PMICの出力電圧が指定の精度の範囲に整定するまでの時間を測定します。このテストは、PMICで電圧レギュレータの性能を調べる際に、最も簡単な診断ツールとして利用することもできます。

負荷電流の変化が緩やかな間は出力電圧を一定に保つことは容易ですが、負荷電流が急激に上昇すると出力電圧が変動を強いられる可能性があります。こうした電流および電圧の急激な変化を解析するには、外部オシロスコープを使用します。ただし、高速なサンプリングレートを備えるPXIe-4051では、オシロスコープがなくても負荷過渡のキャプチャが可能です。従来型のSMUではこうした過渡応答のキャプチャはできませんが、PXIe-4051 (E負荷) およびPXIe-4151 (電源) では最高1.8 MS/sのレートで電圧と電流の応答を同時にキャプチャでき、最高100 kS/sのアップデートレートを実現できます。

図14は、負荷電流を1 Aから20 Aまで増やしたとき、および20 Aから1 Aまで変化させたときの、PMICの出力電圧とPXIe-4051からの負荷電流を示しています。これらの測定はPXIe-4051で行ったものです。

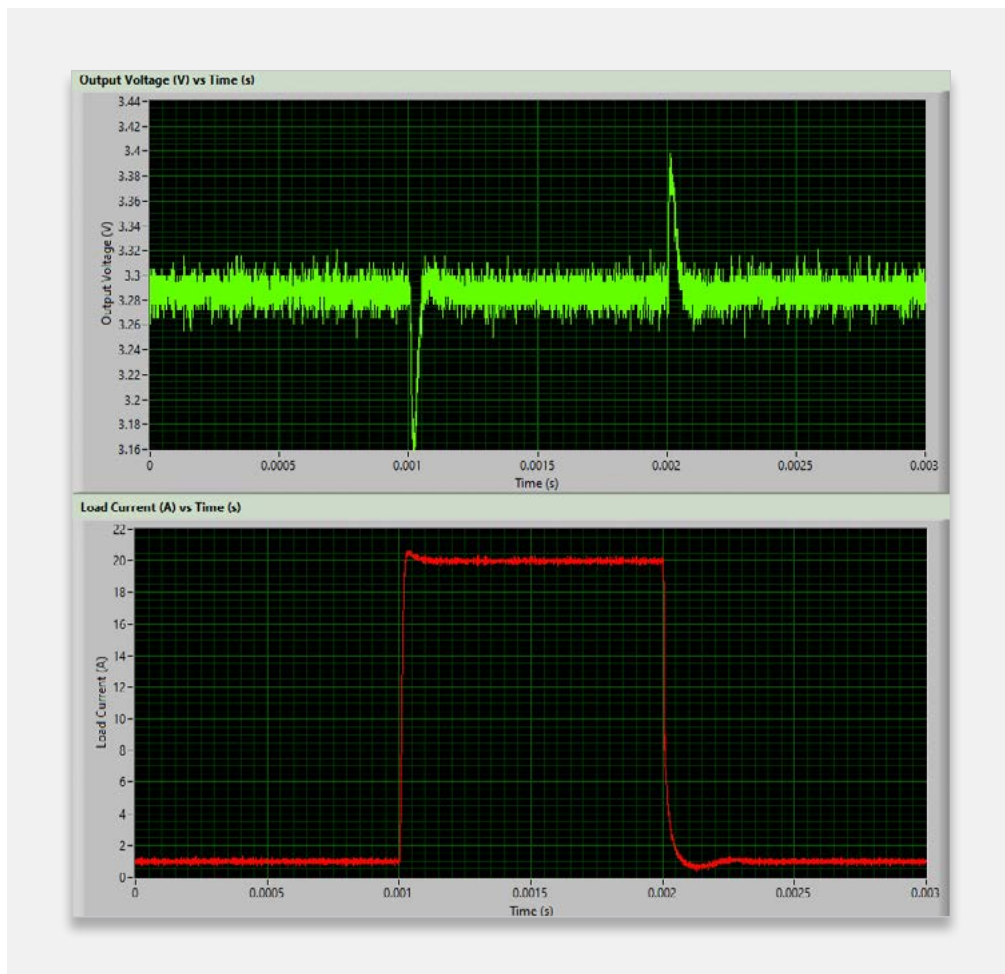


図14
PXIe-4051で測定した出力電圧と負荷電流のグラフ結果

例: NIハードウェアでのテスト手順

1. V_{in} をPXIe-4151から目的のレベル (12 V) に設定する。
2. I_{out} をPXIe-4051から目的のレベル (1 A) に設定する。
3. I_{out} を新しいレベル (20 A) に変更し、PXIe-4051を使用して V_{out} と I_{out} の応答を記録する。

複数チャンネルPMICのPXI構成の例

複数チャンネルPMICの性能を評価する場合、NI PXI SMU/電源およびNI PXI SMU/E負荷を、前述の1チャンネルPMICで使用したものと同一電源およびE負荷として接続することができます。さらに、PXIe-6571は、複数チャンネルPMICで構成を繰り返し変化させる場合に必要不可欠なデジタル通信ハードウェアとして機能します。

前の例と同様に、このセットアップでもNIハードウェア (NI SMU/電源/E負荷/6571) を使用して、入力電圧 (V_{in}) をソースおよび測定し、入力電流 (I_{in}) を測定し、出力電圧 (V_{out}) を測定し、負荷電流 (I_{out}) をシンクします。これらの測定は、ライン/負荷変動、効率、確度、および静止/遮断電流に関連する値を計算する上で非常に重要です。

NI PXIシステムを使用した高電力DC-DC変換器の測定

このハードウェアによる複数チャンネルPMICの性能評価に加えて、NI-FGEN/オシロスコープを使用して、PMICに要求されるACパラメータを評価することができます。NI-FGEN/オシロスコープとこのハードウェア (ACパラメータの評価に使用) を組み込んだテストには、ライン/負荷過渡、PSRR、ノイズ、OVP、OCP、起動/遮断シーケンスが含まれます。

図15は一般的なテスト構成を示したもので、複数チャンネルPMICの性能を測定する場合にNIの計測器をどのようにDUTに接続するのを示しています。

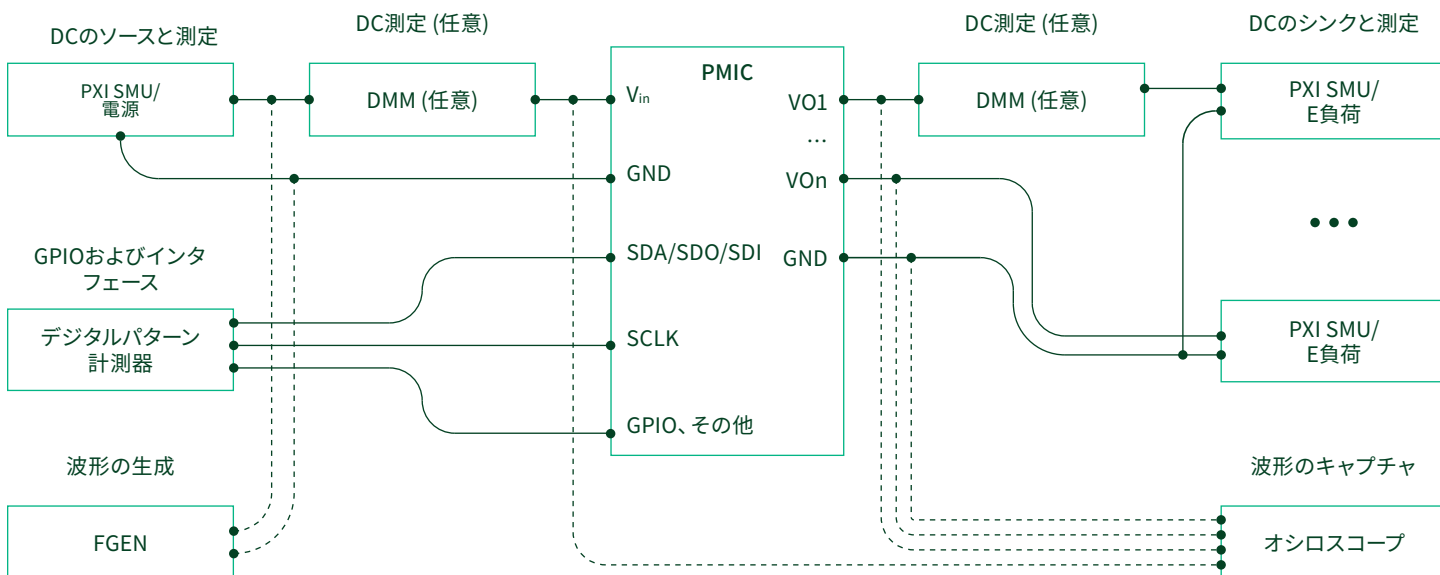


図15
複数チャンネルPMICのPXI構成の例

まとめ

PMICのテストにNI PXIシステムを採用することで、テストエンジニアは大量のデータの収集、計測器の同期、何千ものテストの自動化、テスト時間の最適化、および検証システムに関連する資本コストの削減を簡単に実現できるようになります。NI PXIシステムには、電源 (PXIe-4151 300 W電源など)、E負荷 (PXIe-4051 300 W E負荷など)、デジタル通信ハードウェア (PXIe-6571 100 Mベクトル/sデジタルパターン計測器など)、オシロスコープ (PXIe-5162 5 GS/sスコープなど)、FGEN (PXIe-5433 800 MS/s) といった、さまざまな計測器を取り入れることができます。

このアプリケーションノートでご紹介したNIハードウェアは、柔軟性のある電源管理、負荷処理、測定精度、高精度なタイミング/同期、広いデータ帯域幅、低いデータレイテンシ、さまざまなデジタル通信機能といった特長を備えています。このセットアップには、テストエンジニアがPMICのテストを行う際に必要となるものがすべて揃っており、LabVIEWのサンプルやInstrumentStudioを活用してさまざまな状況に対処し、測定の具体的な課題を解決するのに役立ちます。