

マルチチャンネル&多機能測定システムのテスト

必然的に推進される電子テストと測定は、多チャンネルおよび多機能機器の方向に動き続けています。テスト対象の電子デバイスは、時間の一貫性を維持しながら、より高速でより多くの測定を行う必要がある並列およびアレイポートロジを使用して、複雑さを増し続けています。

PC ベースのテストおよび測定製品の大手サプライヤーである Spectrum Instrumentation は、PCIe カードの完全なラインナップを備えています。図 1 に示す M2p シリーズにより、経済的なマルチチャンネルテストシステムを作成できます。M2p シリーズは、アナログ信号取得用のデジタイザ、アナログ信号生成用の任意波形発生器

(AWG)、および高速デジタル信号の取得または生成の両方が可能なデジタル I/O カードの、3

つの異なる計装クラスで 39 の異なる製品を提供します。

この記事では、いくつかのテストアプリケーションのマルチチャンネル/多機能テストシステムで製品をどのように使用できるかを調査します。

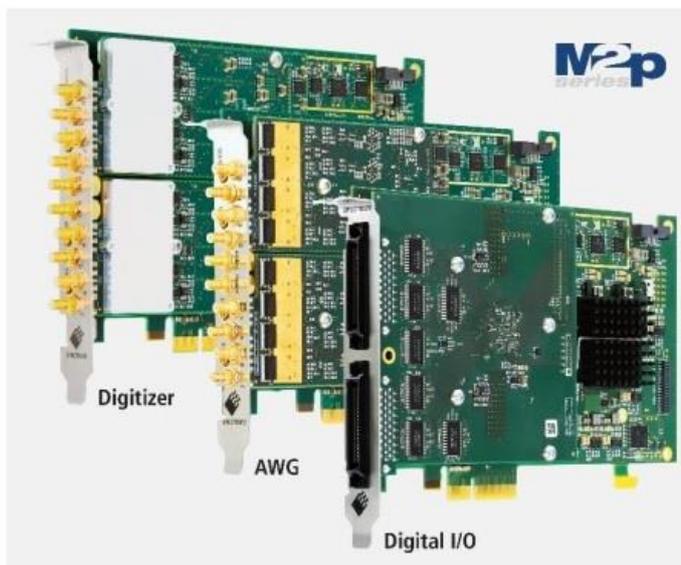


Figure 1: M2pシリーズのモジュラー機器には、デジタイザ、任意波形発生器、およびデジタルI/Oカードが含まれます

産業用モーター制御

電気モーターは、現代の電子機器がどのように変化したかを示す良い例です。1990年代以降、モーター、特に産業用モーターは、電力線駆動から電子ベースのモータードライブに移行しました。使用中のモーターの90%を占める750ワット未満のモーターのような小さなモーターでさえ、現在は電子モータードライブを使用しています。典型的なモーターコントローラーを見てみましょう (Figure 2)。

モーターコントローラーは、スイッチモード電源のように動作します。主電源を整

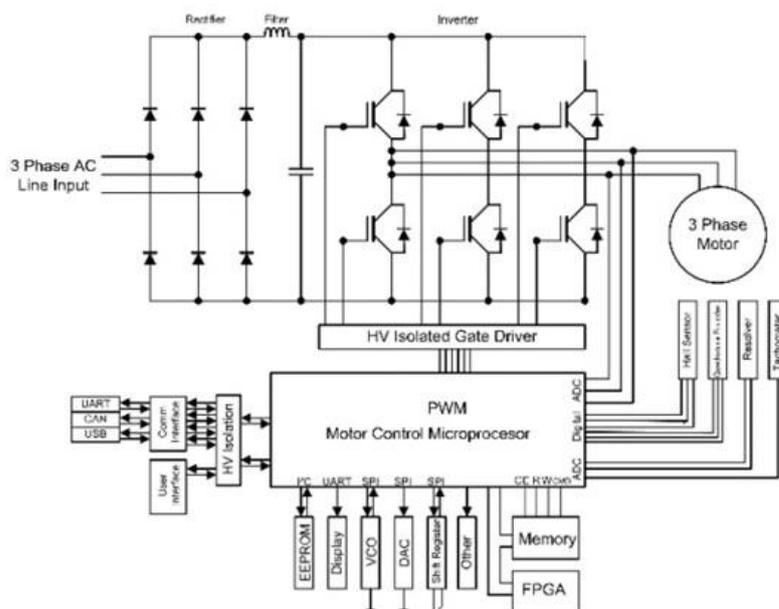


Figure 2: 一般的なモーター制御システムは、パルス幅変調を使用して3相モーターを制御します。制御システムは、アナログ信号とデジタル信号を使用するミックスドシグナルデバイスです。

流およびフィルタリングして、主電源 AC を DC バスに変換します。ポータブルデバイスモーターは、バッテリーを使用して DC バスに電力を供給します。この DC バスは、パルス幅変調 (PWM) 信号を使用してモーターを駆動するスイッチングインバーターに電力を供給します。DC モーターの場合、インバーターはモーターの整流にも使用されます。次に、速度センサーと角度位置センサーがモーターの速度とトルクをフィードバックして、フィードバック制御ループを完成させます。コントローラのマイクロプロセッサは、アナログ信号とデジタル信号の両方を備えたミックスドシグナルデバイスです。シリアルインターフェースは、マイクロプロセッサと、コントローラディスプレイ、EEPROM、VCO、DAC などの補助デバイスとの間で通信します。

この環境は、M2p シリーズのモジュラー機器に最適です。デジタイザは、アナログ信号を取得、表示、分析できます。デジタル I/O モジュールは、アドレスバスやデータバスで使用されるようなデジタル信号に対しても同じことができます。AWG は、取得した信号または数学的に作成された信号のいずれかに基づいてセンサー信号をシミュレートできます。実際の例として、ポータブルハンドツールで使用される 3 相ブラシレス DC (BLDC) モーターの電圧と電流を測定することを検討してください。相電圧と電流は、最大 125 MS/s でサンプリングする 16 ビット、8 チャンネルの M2p.5968-x4 デジタイザを使用して取得されました。デジタイザは、Figure 3 に示すように、測定からのデータの表示と分析にも使用される Spectrum Instrumentations SBench6 ソフトウェアによって制御されました。

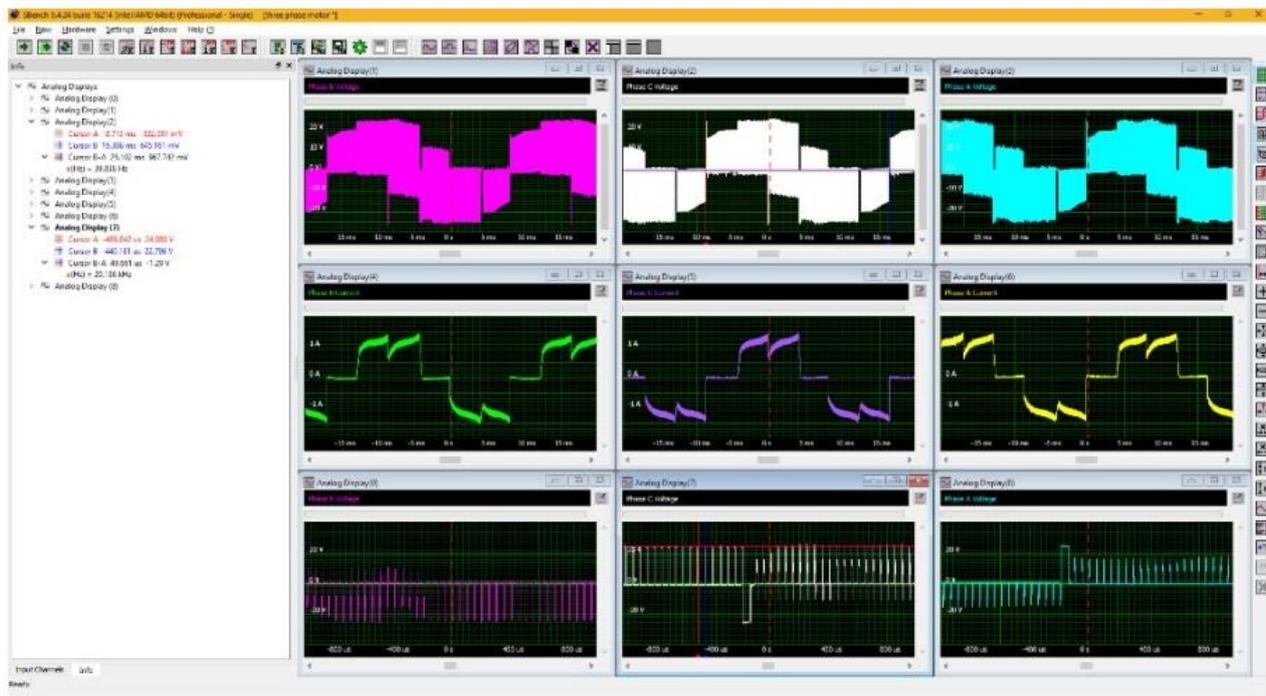


Figure 3: BLDCモーターからの3相電圧と電流。電圧波形は上の行に、電流は中央の行に、電圧波形のズームビューは下の行に示されています。

10 MS/s のサンプリングレートで 40ms の取得期間は、モーター回転の約 1.6 周期をキャプチャします。アナログディスプレイ 2 (中央上部) のカーソルは、左側の情報パネルに表示される 25 ミリ秒の回転周期を測定します。これは、40Hz または毎分 2400 回転の回転周波数に変換されます。電圧波形は、台形制御と呼ばれることもある 6 段階転流の特性を示しています。転流は、現在の波形でも 1 回転あたり 6 つの「パルス状」の波形セグメントとして観察されます。電圧波形は、PWM 電圧波形の切り替えられた性質を示しています。下の行の水平方向に拡大されたビューは、

個々のパルス波形を示しています。アナログディスプレイ 7（中央下）のカーソルは、スイッチング周波数を 20kHz として測定します。インバーターセクションはフローティングであり、アース（アース）を参照せず、3 相デルタ接続は 6 つの差動チャンネルを使用します。つまり、システムに 2 つのデジタイザカードを必要とする 12 のシングルエンドチャンネルです。

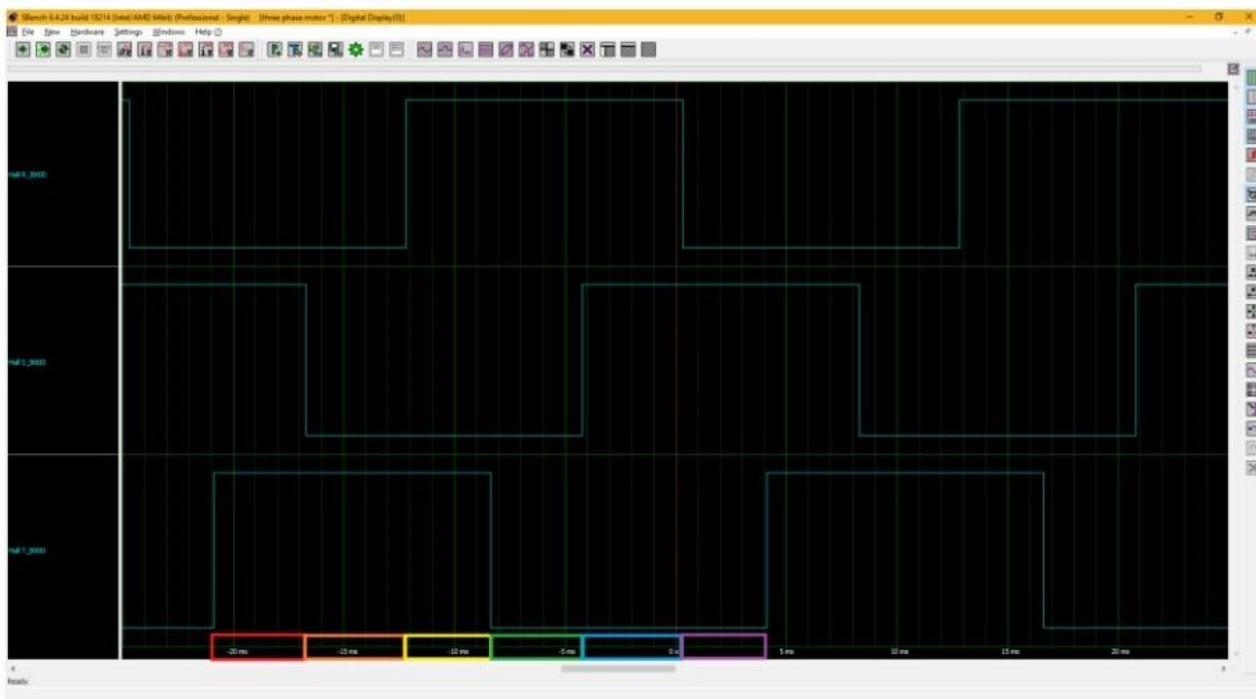


Figure 4: ホール効果センサーの3つのフェーズにより、コントローラーはモーターの回転速度とシャフトの角度位置を決定できます。

モーターコントローラーは、ホール効果センサーの出力を使用してモーター速度とシャフトの角度位置を決定します。センサーは、モーターハウジング内に 120°間隔で配置された 3 つのホール効果トランスデューサーで構成されています。センサーには、各ホール効果トランスデューサーからの 3 つのデジタル出力があります。Figure 4 に示すように、ホール効果センサーの 3 つのフェーズは、M2p.7515-x4 デジタル I/O カードを使用して取得できます。M2p7515-x4 は、最大 125 MS/s のサンプルレートで最大 32 のデジタルチャンネルを取得または出力できます。M2p シリーズには、最大 16 の異なるカード（デジタイザ、AWG、およびデジタル I/O モジュール）を混合および同期（共通のクロックおよびトリガー信号を共有）して時間相関測定システムを形成できる M2p-Star-Hub というオプションもあります。

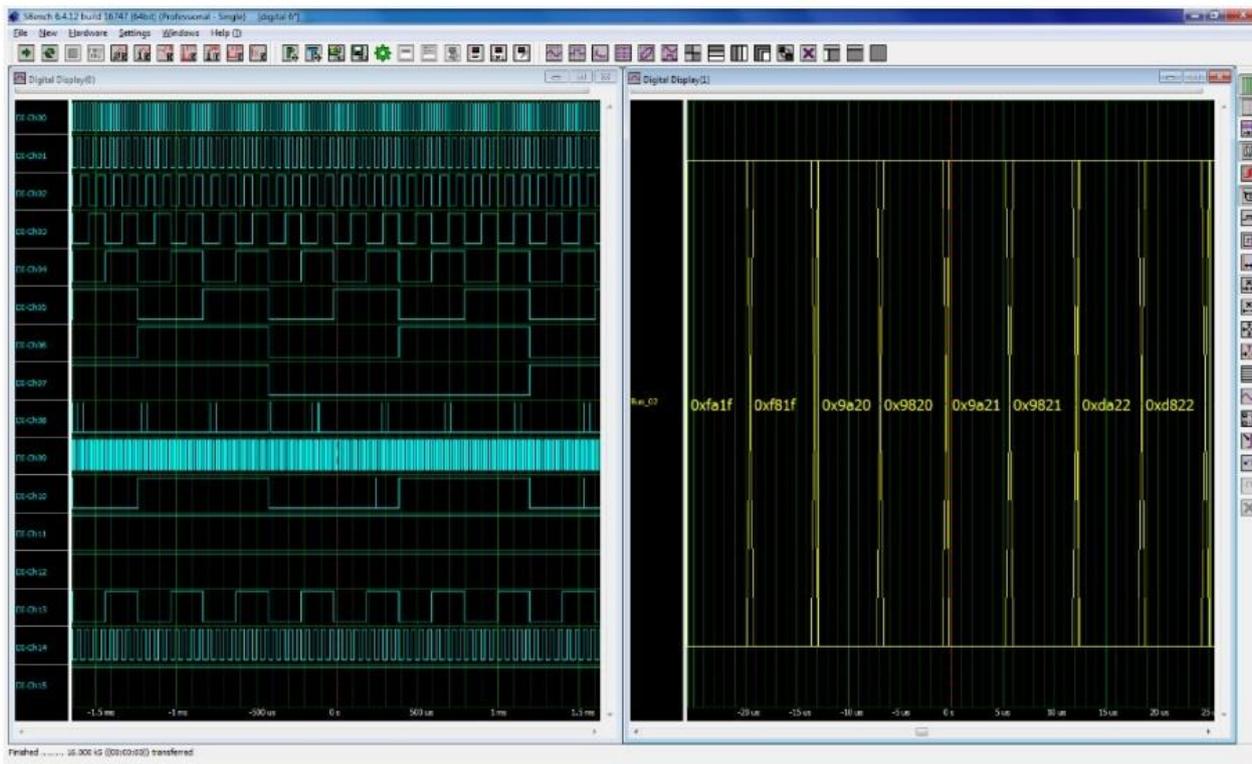


Figure 5: ビット単位とバスの両方のビューで表示される16ビット並列デジタルバス

3つのホール効果センサーのデジタル出力は、回転周期を6つのサブ周期に分割し、それぞれが60°の回転の範囲内にあります。図の下部にある色付きのボックスオーバーレイは、モーターアーマチュアの1回転中に発生する6つのセンサー出力状態を示しています。ホール効果センサーにより、モーターコントローラーはモーター速度と角度位置を決定できます。6つのセンサー状態を使用してモーター巻線を整流し、回転を維持します。32ビット幅のデジタルI/Oモジュールは、Figure 5に示すように、パラレルデジタルバスを調査することもできます。デジタル信号は、ビット単位またはバスビューのいずれかで表示できます。バスビューの注釈は、16進数、8進数、2進数、または符号付きまたは符号なしの10進数形式で表示できます。

ソース応答テスト

増幅器、フィルター、受信機、デジタルインターフェースなどの一部の電子機器は、テストのために外部から励起する必要があり、信号源と測定器が必要です。モジュラーデジタイザーとモジュラー任意波形発生器（AWG）は、帯域幅、サンプルレート、およびメモリで構成できる複数のソースチャンネルと測定チャンネルで利用できます。2つの製品を1つのシステムに組み合わせることで、広範囲のテスト要件を満たすための非常に費用効果が高く効率的な方法が提供されます。

この例では、Spectrum M2p.5968-x4 16ビットデジタイザーとM2p.6568-x4、8チャンネル125MHz、16ビット、任意波形発生器で構成される刺激応答テストシステムを使用します。位相余裕は重要な性能指数であり、閉ループ制御システムの安定性を示すのに役立ちます。これは、開発およびデバッグ中に電源で行われる最も一般的な設計検証測定の1つです。位相マージンの測定は、デジタイザーと信号ソースの両方を必要とするソース応答測定の一例です。

位相マージンは、ループがユニティゲインを持つ周波数での開回路制御ループの入力と出力の間の位相差です。360°の位相シフトを伴うユニティゲインは、不安定な振動状態です。

この測定はフィードバック制御ループの開ループ特性を特徴づけますが、ほとんどの場合、閉ループ構成で測定されます。Figure 6 のブロック図は、閉ループ構成を維持しながら、位相やゲインマージンなどの開ループ特性を測定するための一般的な手法を示しています。

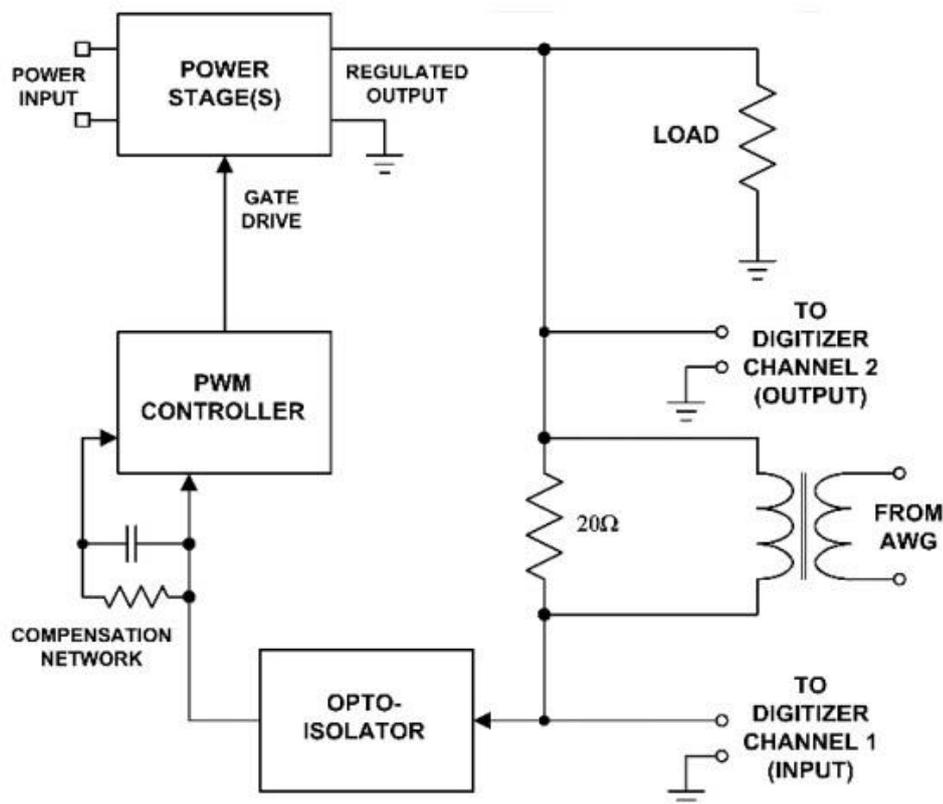


Figure 6: 電源制御ループの位相マージンを測定するための小さな摂動信号の導入を示すスイッチモード電源の機能ブロック図

この例では 20 オームの小さな拡散抵抗が、回路の通常の動作を妨げないポイントで制御ループに挿入されます。

AWG からの小さな正弦波信号がトランスを介して注入され、周波数が変化するにつれて、デジタイザで電圧を測定することにより、ループ周辺のゲインと位相差を決定できます。ループゲインは、チャンネル 2 で測定されたループ出力をチャンネル 1 で測定されたループ入力で割った比率です。

位相差もループ入力と出力の間で直接測定されます。正弦波の周波数は、入力波形と出力波形が等しくなるまで変化します (ユニティゲイン、0dB)。この周波数での位相差は、ループの位相マージンです。この測定で遭遇する最大の困難は、電源のスイッチングノイズの存在下で遭遇する小さな電圧を正確に決定することであることに注意してください。ノイズの影響は、平均化、正弦波励起との同期、または信号のフィルタリングによって大幅に減らすことができます。この例では、Spectrum SBench6 ソフトウェアは、Figure 7 に示すように、測定前に両方の信号に 20kHz のローパスフィルターを適用します。

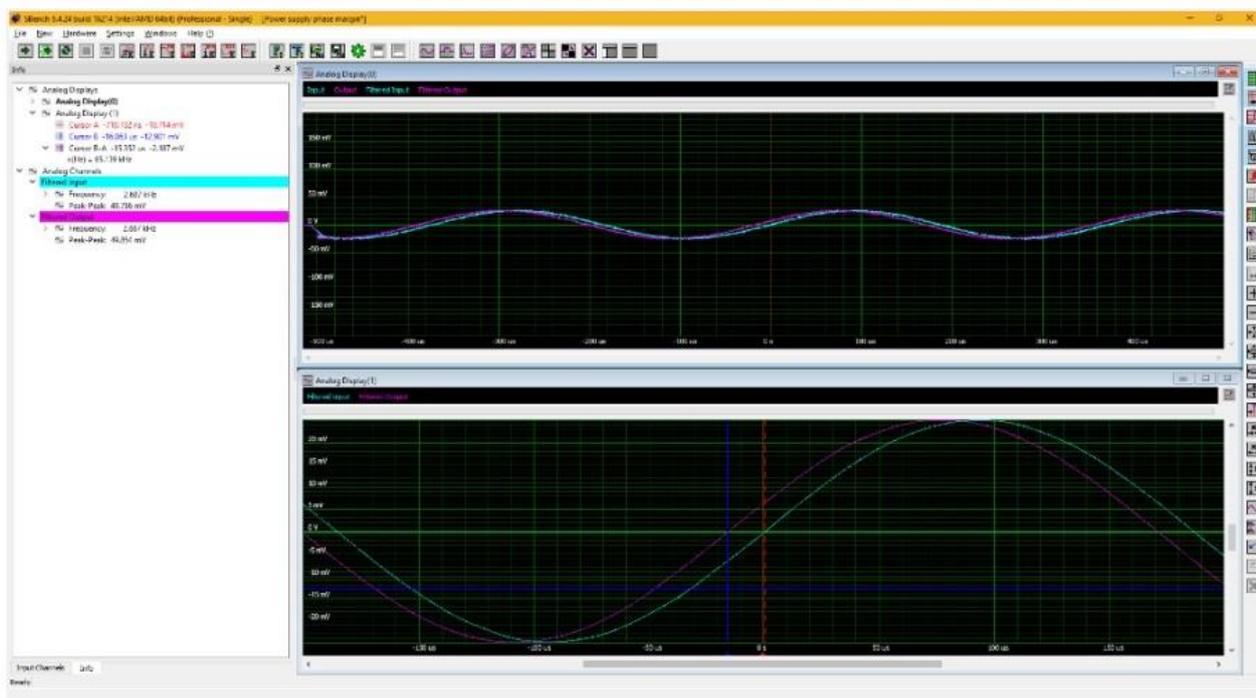


Figure 7: 小さな振動正弦波を使用して電源の位相マージンを測定します。ユニティゲインは2.687kHzの周波数で発生しました。波形間の時間差は $-15.352\mu\text{s}$ (-14.85°)です

位相差は、遅延にユニティゲイン周波数を掛けたものに 360° を掛けたものとして計算されます。また、入力波形と出力波形の形状は、ループが正弦波励起によってオーバードライブされていないことを示す良い指標であることに注意してください。オーバードライブは、非正弦波の波形として表示されます。

測定された位相マージン -14.85° は非常に低いです。PWM コントローラの補償ネットワークを調整することにより、位相マージンが増加しました。結果を Figure 8 に示します。位相マージンは -40.6° に増加しました。これにより、システムの安定性が大幅に向上します。

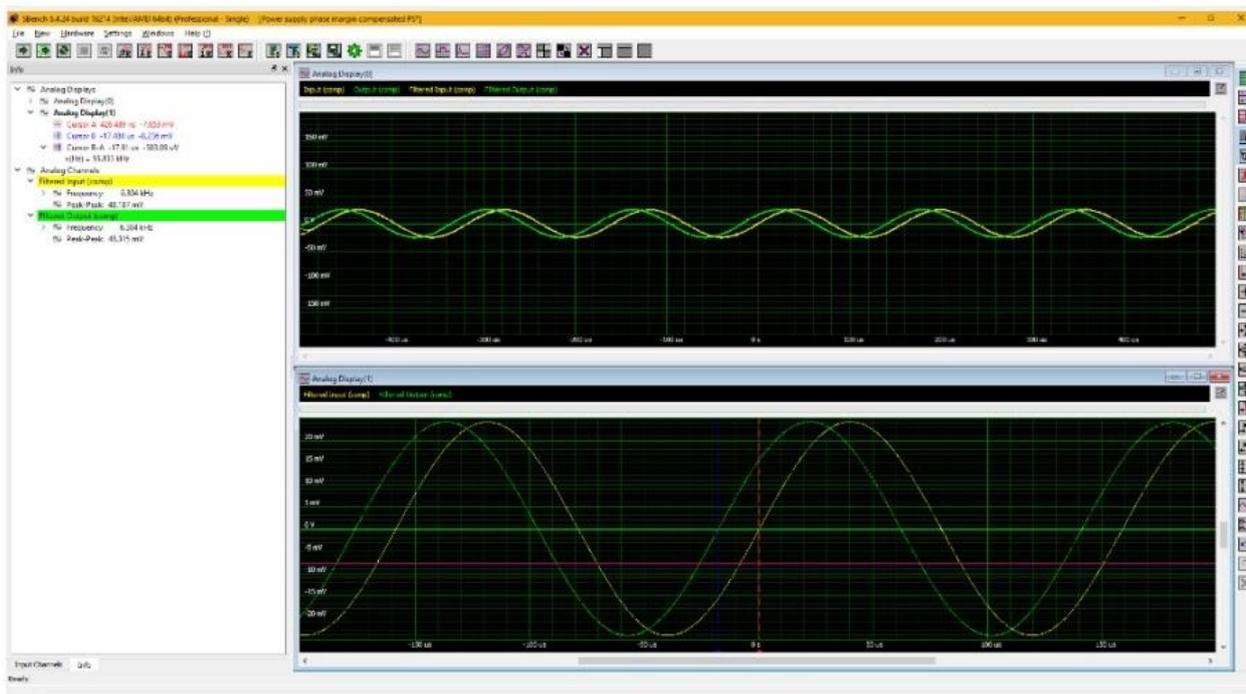


Figure 8: 補正ネットワーク値の変更による位相マージンの改善。遅延は-17.91usで、ユニティゲイン周波数は6.304 kHzにシフトし、位相マージンはより安定した -40.6° になりました

シミュレーション

一部の開発状況では、現在手元にないシステム要素が必要です。不足している部品が利用可能になるまで作業を停止するのではなく、AWGを使用して不足している要素をシミュレートすることができます。AWGは、分析的に、またはデジタイザやオシロスコープから波形をインポートすることにより、非常に多様な波形を生成できます。

例として、Figure 9に示す心電図(ECG)信号があります。波形が取得されると、振幅とオフセットを変更することで波形を変更できます。他の波形は、波形と算術的に組み合わせることができます。波形をフィルタリングすることもできます。これらの変更のいずれかを行った後、結果の出力をAWGにインポートできます。



Figure 9: デジタイザによってキャプチャされた32秒の長さのECG波形。波形はSBench6 Functionトレースに転送され、そこでAWGにインポートできます。下のズームトレースは、より馴染みのある洞調律を示しています

AWGは、出力される波形にリアルタイムの変化を生成することもできます。テスト手順に必要なすべての波形をすぐにロードし、AWGのシーケンスモードを使用して必要に応じて選択できます。これにより、複数のジェネレータを切り替える必要がなくなったり、新しい波形のロードにかかる時間がなくなったりするため、テスト速度が大幅に向上します。



Figure 10: AWG波形メモリに保存されているこれら4つの異なるマンチェスターエンコードシリアルデータパケットのいずれも、前のパケットが出力されている間、コンピュータ制御下で出力するように選択できます。選択したパケットは、現在のバックになるとすぐに出力されます。

波形セグメントのリアルタイム制御により、さまざまなテストニーズに適応した応答を簡単に提供できます。測定されたテスト結果はシーケンスの順序を変更する可能性があり、これはテスト手順を停止せずに発生する可能性があります。これは、測定されたパフォーマンスに基づいてテスト条件を変更できる適応型テストを可能にするため、最も強力な利点です。

RFID、イーサネット、または自動車タイプのアプリケーションで発生する可能性のあるマンチェスターエンコードのシリアルデータストリームを出力することを検討してください。メッセージの内容は、Figure 10 に示すように、AWG シーケンスモードを使用してオンザフライで変更できます。

この例では、データ内容が異なる 4 つのパケットがあります。波形の数は、AWG で使用可能な波形メモリによってのみ制限されます。1 つのパケットが出力されているときに、次に出力されるパケットがコンピュータ制御によって選択されます。選択されたパケットはキューに入れられ、現在のパケットが終了した後にシームレスに出力されます。したがって、この例では、テスト中に 4 つのパケットのいずれかをオンデマンドで出力できます。

まとめ

複数の M2p シリーズモジュラー機器、デジタイザ、AWG、またはデジタル I/O カードをテストシステムで使用して、インタラクティブに動作し、混合モードの信号取得とソースを提供できます。スターハブモジュールを使用して、3 つのモジュラー機器クラスすべてをリンクして、位相安定同期を実現できます。ハーフサイズの PCI Express x4 モジュールであるため、M2p カードは PC システムに直接インストールできます。PCIe バスを使用すると、CPU および GPU との間で、最大 700M バイト/秒の速度でデータを転送できます。モジュール設計、高速データ転送、高度な処理技術

へのアクセスの組み合わせにより、非常に強力なマルチチャネル、多機能のテストおよび測定システムを簡単に作成できます。M2p シリーズ製品は、Spectrum Instrumentation の SBench6 ソフトウェアでサポートされており、さまざまなサードパーティソフトウェアパッケージとプログラミング言語を使用してプログラミングできます。



Spectrum Instrumentation 社について

Spectrum 社は、Spectrum Systementwicklung Microelectronic GmbH として 1989 年に設立され、2017 年に Spectrum Instrumentation GmbH に改名されました。最も一般的な業界標準（PCIe、LXI、PXIe）で 500 を超えるデジタイザおよびジェネレータ製品を作成するモジュール設計のパイオニアです。これら高性能の PC ベースのテスト&メジャーメントデザインは、電子信号の取得・生成および解析に使用されます。同社はドイツの Grosshansdorf に本社を置き、幅広い販売ネットワークを通じて世界中に製品を販売し、設計エンジニアによる優れたサポートを提供しています。Spectrum 社の詳細については、www.spectrum-instrumentation.com を参照してください。