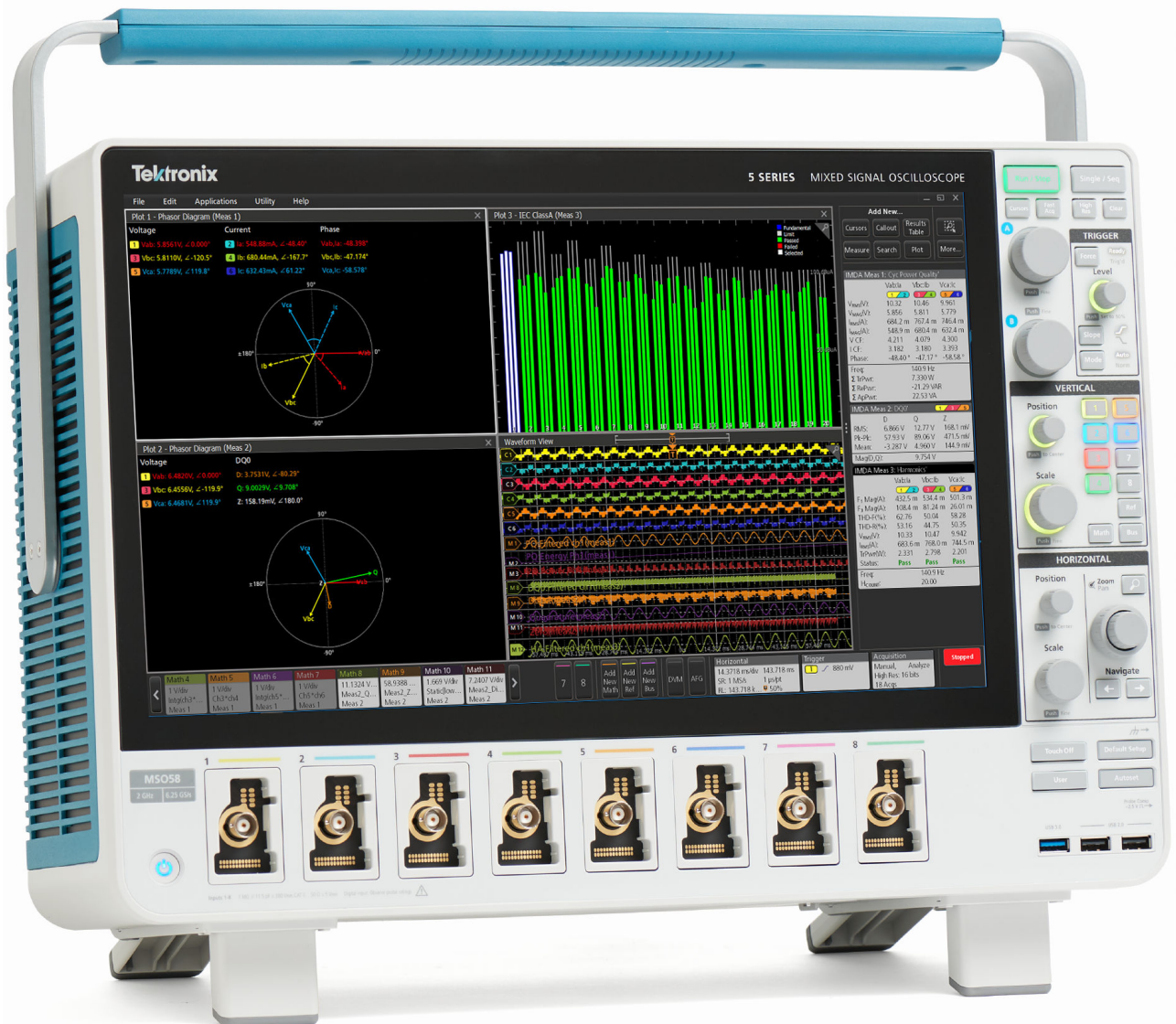


## 三相インバータ／モータ／ドライブ解析

5/6 シリーズ B MSO 用 Opt. 5-IMDA/6-IMDA アプリケーション データ・シート

*Get more visibility into your inverters, motors, and drive systems*



三相電力システムの測定と解析は、本質的に単相システムよりも複雑です。オシロスコープは、高いサンプル・レートで電圧、電流波形を取り込むことができますが、データから主要な電力測定値を生成するには再度計算が必要になります。オシロスコープベースの三相ソリューションでは、高いサンプル・レート、HiRes アクイジション・モードを使用したロング・メモリで三相の電圧、電流波形を取り込むため、分解能は最高で 16 ビットになり、自動測定機能によって主なパワー・テストの結果が得られます。可変周波数モータ・ドライブなどのパルス幅変調 (PWM) をベースにしたパワー・コンバータでは、PWM 信号の正確なゼロクロス・ポイントの検出が非常に重要となるため、測定は非常に複雑になります。このため、モータの設計エンジニアの検証、トラブルシュートでは、オシロスコープが推奨のテスト・ツールとなっています。インバータ、モータ、およびドライブのパワー解析を自動化するように設計された特別のソフトウェアは、PWM システムで三相電力測定を大幅に簡素化し、エンジニアは設計に関する詳細データを、より迅速に得ることができます。テクトロニクス社のインバータ／モータ／ドライブ解析 (IMDA) ソリューションは、5 シリーズ／5 シリーズ B／6 シリーズ B MSO の高度なユーザ・インタフェース、6 または 8 つのアナログ入力チャンネル、および 16 ビットの高垂直分解能 (HiRes) の特長を十分に生かし、エンジニアの三相モータ・ドライブ・システムのより良い、より効率的な設計を支援します。IMDA ソリューションは、産業用モータ、および AC 誘導モータ、永久磁石同期モータ (PMSM)、ブラシレス DC (BLDC) モータのドライブ・システムの電子測定に際し、正確で再現性に優れた測定結果を提供します。DC 測定から、電気自動車で使用される三相 AC コンバータなどの測定にも構成可能です。

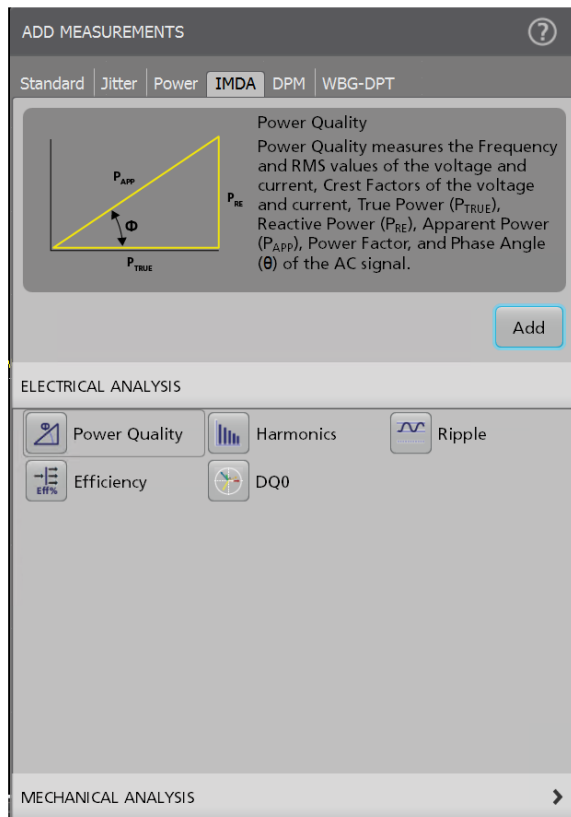
## 主な特長と仕様

- AC 誘導、BLDC、および PMSM モータに使用される三相 PWM 信号を正確に解析
- 画期的なオシロスコープベースのフェーザ図により、 $V_{RMS}$ 、 $I_{RMS}$ 、 $V_{MAG}$ 、 $I_{MAG}$  および設定された配線ペアの位相関係を表示
- フェーザ図と同時にドライブの入力／出力電圧と電流信号を時間軸で観測可能。モータ・ドライブ設計のデバッグに最適
- 三相オートセット機能により、オシロスコープの水平、垂直、トリガ、アクイジションの各パラメータを三相信号の取込みに最適化して自動設定
- IEC-61000-3-2、IEEE519-2014、IEEE519-2022 規格に従って、またはカスタムのリミット値を使用して三相の高調波を測定します。
- 選択した結線構成に基づくシステム効率の測定
- 5 シリーズ／5 シリーズ B／6 シリーズ B MSO の直感的なドラッグ・アンド・ドロップ・インタフェースを使用して、測定項目をすばやく追加、構成することが可能

- インバータ／車載三相設計解析：DC 入力／AC 出力結線構成に対応可能
- 解析において、PWM フィルタリングされるエッジ・クオリファイア波形を表示
- 特定の測定において、レコードごと、サイクルごとのモードによるテスト結果を表示
- 特定の測定において、時間トレンド、アクイジション・トレンドのプロットを表示
- 特定の結線構成におけるライン-ニュートラルへの演算変換をサポート
- オシロスコープ・カーソルを使用して、フェーザおよび結果のベクター・ナビゲーションによる DQ0 計測をサポート
- DQ0 測定に対する角測定オフセット構成をサポート
- レゾルバ、ホール・センサーおよび QEI (直交エンコーダ・インタフェース) 信号 (インデックス・パルスあり/なし) を使用した機械測定および DQ0 をサポート。
- トルク測定をサポート。
- 基本周波数およびフル・スペクトラムによるすべての測定の高調波ゲーティングをサポート。
- 機械電源およびシステム効率を計算します。

## 測定の概要

可変周波数ドライブなどの三相パワー・コンバータでは、設計プロセスにおいて数多くの測定が必要になります。5 シリーズ／5 シリーズ B／6 シリーズ B MSO 用のインバータ、モータ、ドライブ解析パッケージは、電気解析グループの主要な電気測定を自動化します。測定項目を設定することで、入力または出力結線構成を測定できます。



IMDA 測定（電気解析グループ）

1V1I（単相 2 線）、2V2I（単相 3 線）、2V2I（三相 3 線）、1V1I（単相 2 線 DC）、または 3V3I（三相 3 線）、3P4W（三相 4 線）などの測定を設定できるため、さまざまな電源構成やモータ構成に対応できます。さらに、線間（L-L）またはライン-ニュートラル（L-N）の測定も行えるため、デルタ結線や Y またはスター結線にも対応できます。

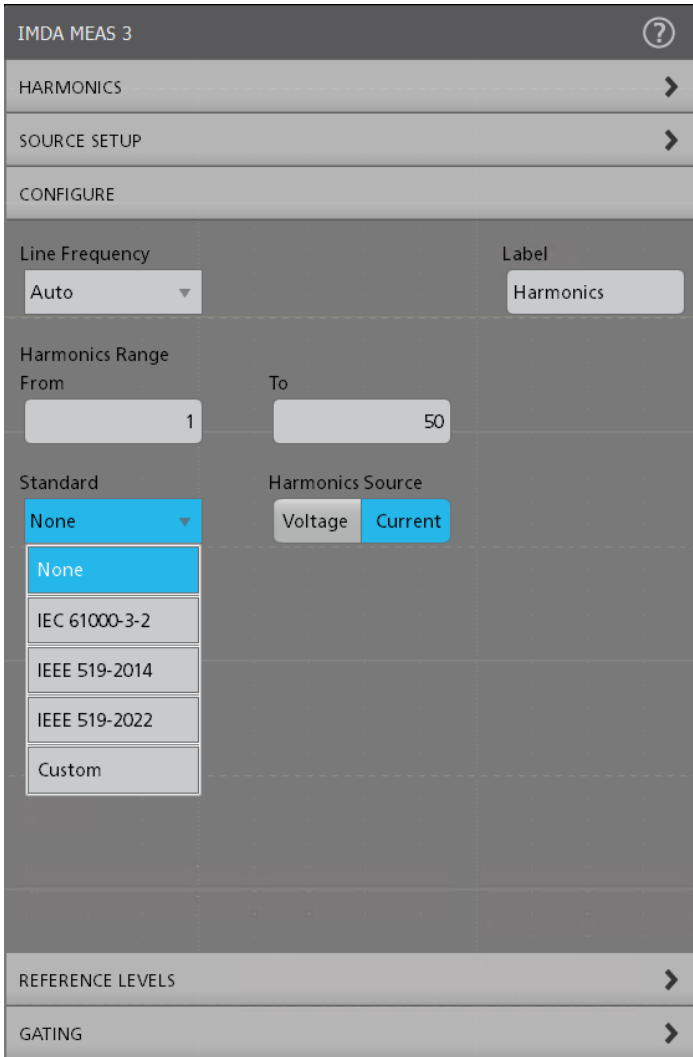


入力結線構成の設定画面

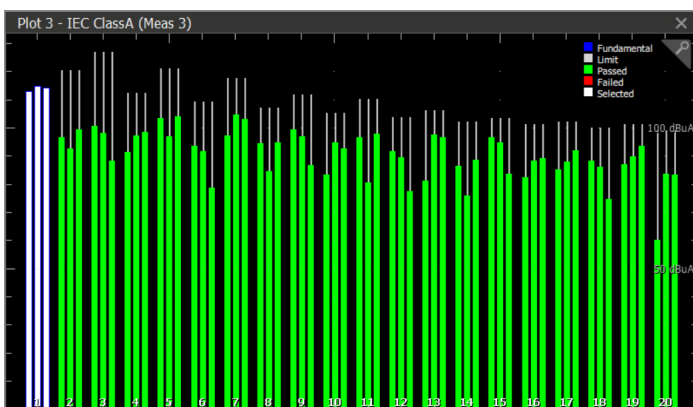
## 高調波

電力波形がきれいな正弦波ようになるのは稀です。高調波測定では、非正弦波の電圧または電流波形を、それぞれの周波数と振幅を示す正弦波成分に分解します。

高調波解析では、200 次の高調波まで実行できます。必要に応じて、測定構成画面で範囲を指定することで、最大高調波次数を設定することができます。THD-F、THD-R、TDD、基本波は各相について測定されます。測定値は、IEEE 519-2014、IEEE 519-2022 または IEC 61000-3-2 規格のほか、カスタム・リミットに対しても評価できます。テスト結果は、パス／フェイル結果を示す詳細レポートに記録できます。



高調波の測定値を業界規格またはカスタム・リミットと比較する



高調波のプロットに高調波試験の結果が合格であることが示されている例。それぞれのバーに相A、B、およびCの結果が示されており、相関関係を容易に把握できる

高調波プロットには、三相のすべての試験結果がグループ化されて表示されるため、ユーザはそれぞれの相の試験結

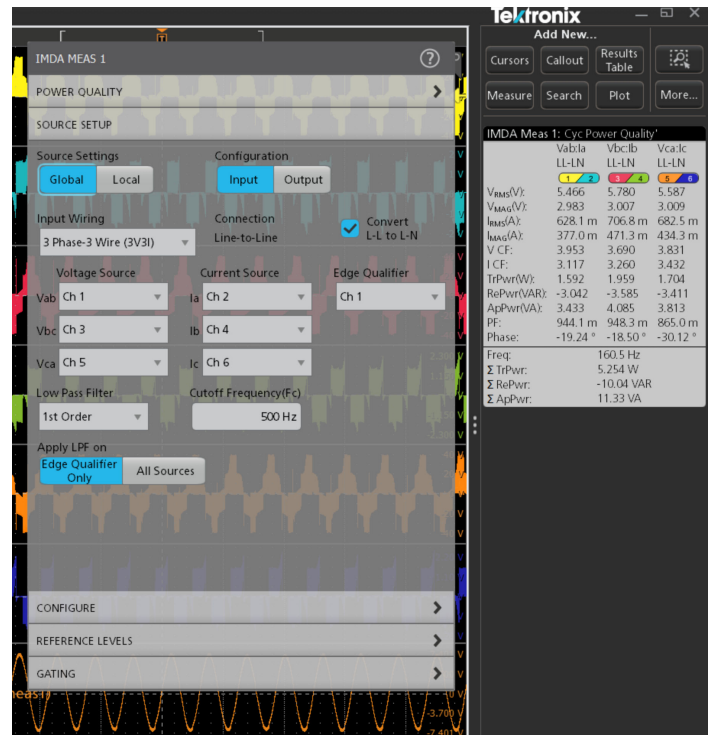
果を相関させることができます。また、プロットにはテスト結果が視覚的に示されます。合格条件を満たしていると高調波バーが緑色にハイライトされ、テスト・リミットを超過した場合は赤色にハイライトされます。これにより、高調波設計のデバッグを行う際に、効率的に解析を進めることができます。

### 電源品質

この測定では、電圧／電流の周波数と RMS 振幅、電圧／電流のクレスト・ファクタ、PWM の周波数、各相の位相角など、三相電力測定のための重要な測定を行うことができます。また、有効電力の合計、無効電力の合計、皮相電力の合計も表示されます。

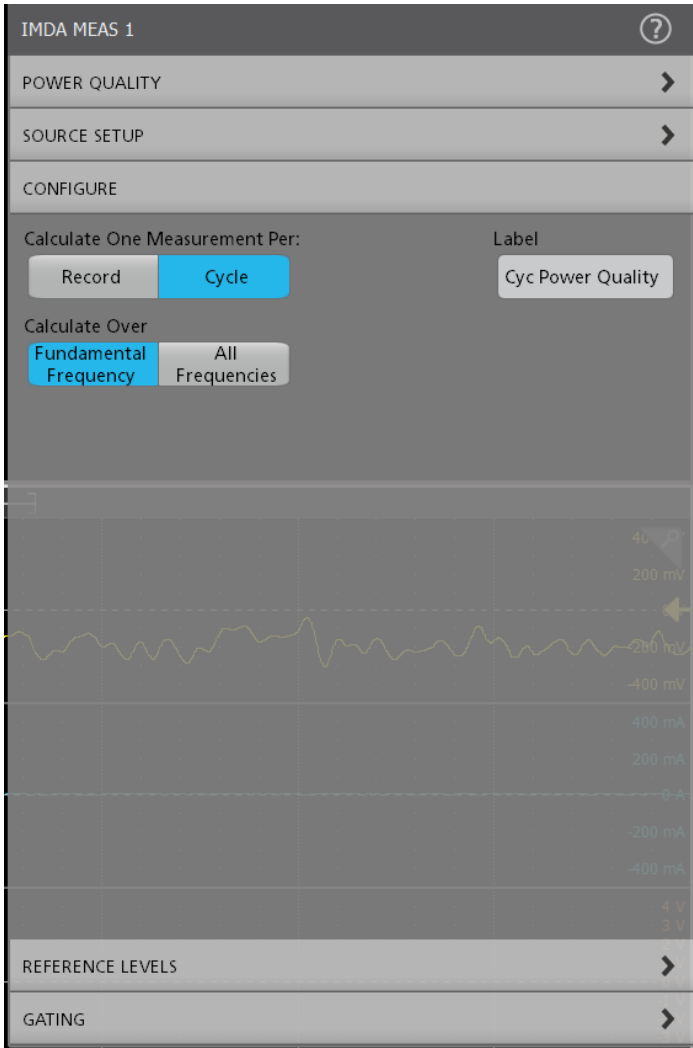
さらに、ライン-ニュートラル結線構成では、三相すべてについて、有効電力、無効電力、皮相電力の成分が表示されます。

フェーザ図に電圧と電流のベクトルを表示できるので、各相の位相シフトや相間のバランスをすばやく判断することができます。各ベクトルは RMS 値で表され、位相は離散フーリエ変換 (DFT) 法を用いて計算されます。



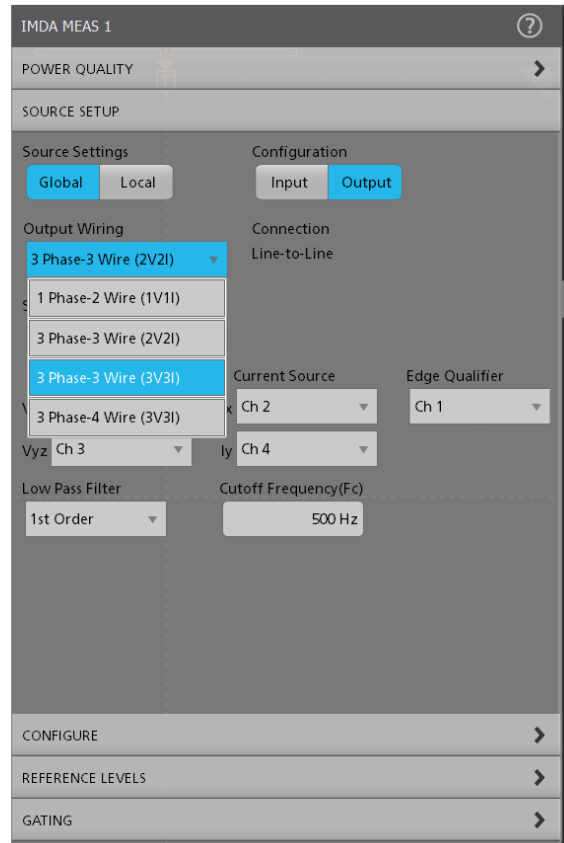
電源品質の測定に必要な項目も簡単に設定可能



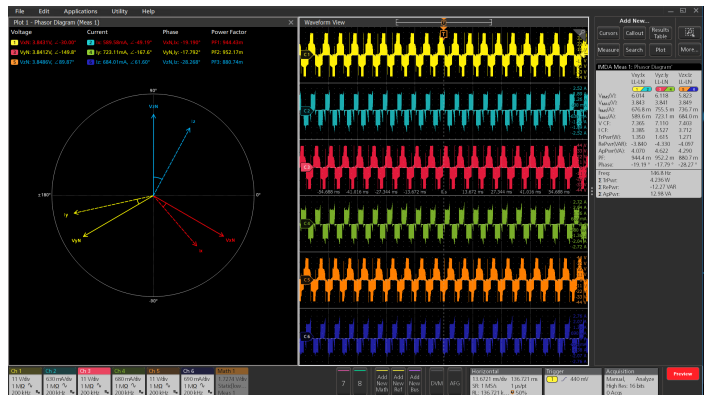


電源品質を計算する方法

電力品質測定では、電圧／電流の周波数および RMS 振幅、電圧／電流のクレスト・ファクタ、PWM 周波数、有効電力、無効電力、皮相電力、力率、および各相の位相角など、重要な三相電力測定を出力側で行えるようにも構成できます。



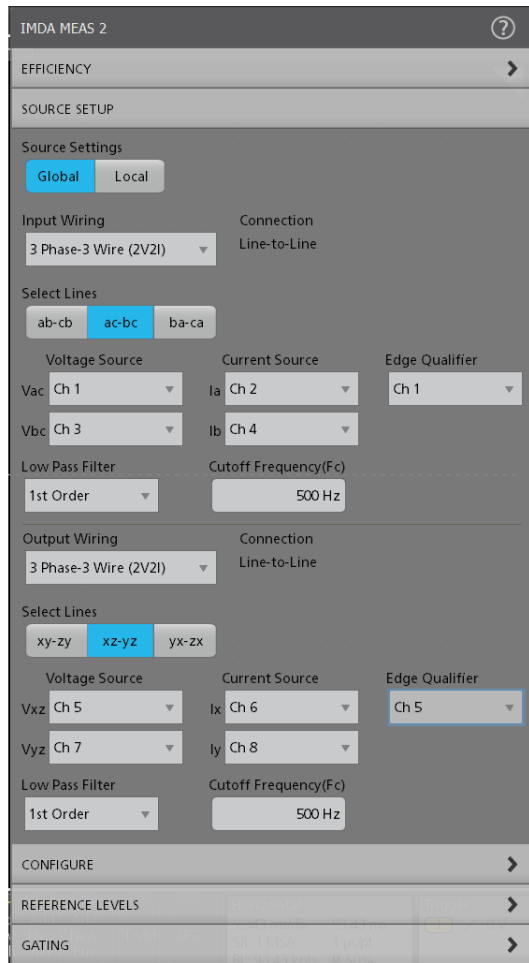
電源品質測定の電圧／電流入力を設定するだけで簡単にフェーザ図を表示できる



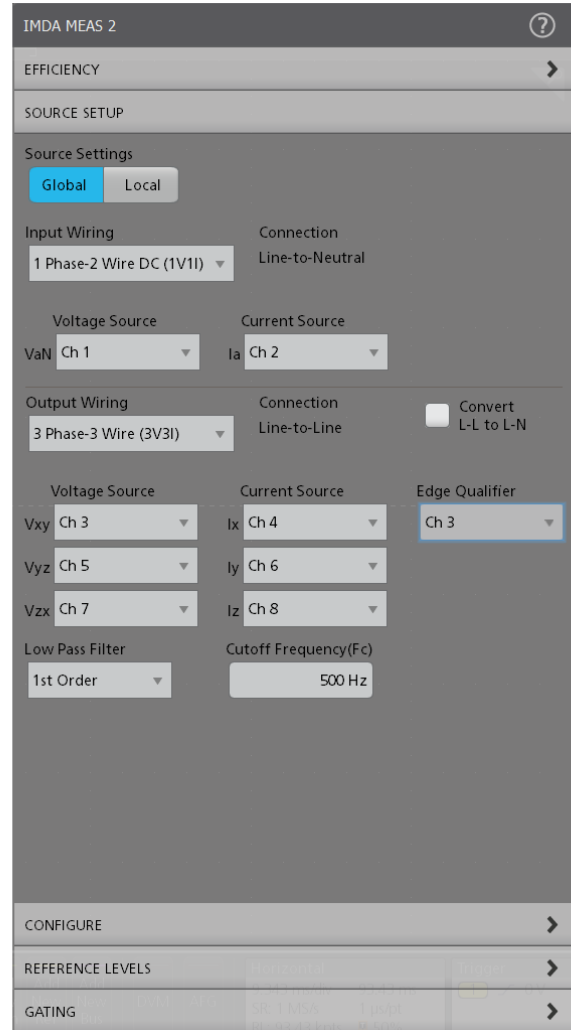
オシロスコープをベースにした独自のフェーザ図表示機能により、電圧および電流ベクトルの相関解析も容易に行える

## 効率

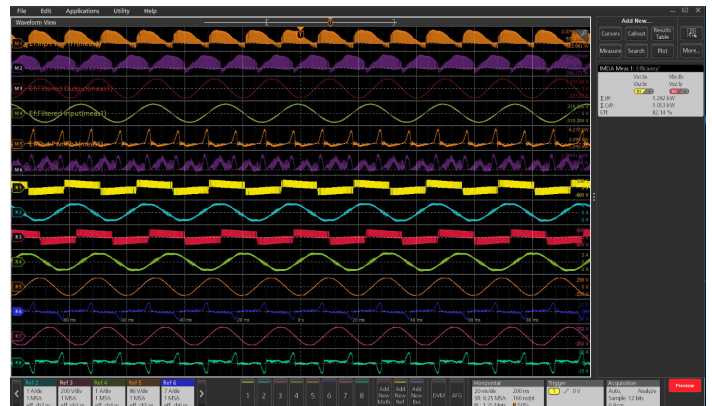
効率は、入力電力に対する出力電力の比率を測定します。IMDA ソリューションは、三相 AC およびインバータ構成の効率に対応しています。2V2I 法を使用すると、三相効率は 8 つのオシロスコープ・チャンネル（入力側の 2 つの電圧と 2 つの電流ソース、出力側の 2 つの電圧と 2 つの電流ソース）を使用して測定します。各相（3V3I 構成）における効率と、システムの合計（平均）効率を計算します。



産業用モータの効率測定：結線およびフィルタの構成



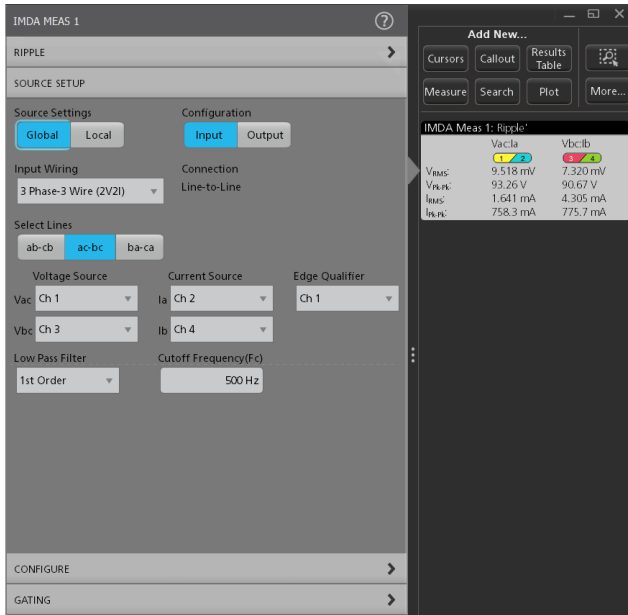
インバータ試験に最適な DC-AC トポロジの効率測定のための結線構成とフィルタの設定



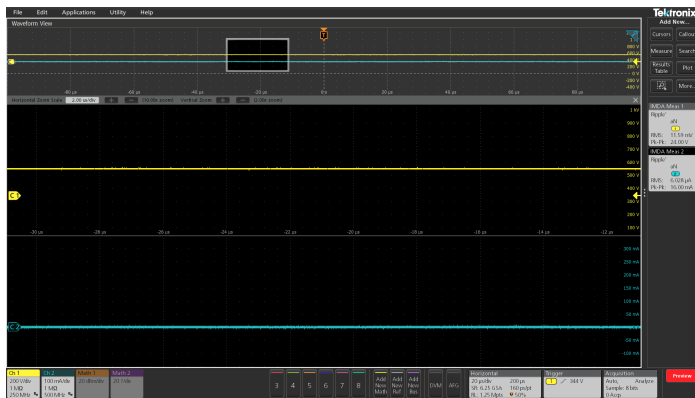
システム効率の全体像を詳細に把握できる

## リップル解析

リップルは、一定の DC 成分の残留または不要な AC 電圧として定義されます。通常は DC バス上で測定されます。この測定は、入力側の AC-DC からの信号効率、出力側の PWM 信号の不要な成分の影響を把握するのに役立ちます。



ラインとスイッチングのリップルを調査するためのリップル解析設定



インバータ・テストにおける DC 入力信号のライン・リップル測定

## 直接直交ゼロ (DQ0) 解析

三相 AC 機器の動作は、以下のように電圧方程式と電流方程式の順番を変えることで説明できます。

$$V_A = V_g \times \cos(w(t))$$

$$V_B = V_g \times \cos\left(\frac{w(t)-2\pi}{3}\right)$$

$$V_C = V_g \times \cos\left(\frac{w(t)-4\pi}{3}\right)$$

このとき、

A、B、および C は三相 AC 信号です。

Vg は対応するゲインです。

w(t) は  $2\pi \times f \times t$  です。

AC インターフェイスの電圧 (V) と電流 (I) は、通常、120 度位相がずれた状態で分離されます。これらの V および I 構成要素は時間に依存しないため、定常動作ポイントは表現されません。

一般的に、AC 信号は実際の信号ですが、DC に変換することで、直接直交変換を抽象的に表現できます。DQ0 はコントローラーのエミュレータをサポートします。この情報により、コントローラーが実行していることを理解して、コントローラーの設計を調整することができます。

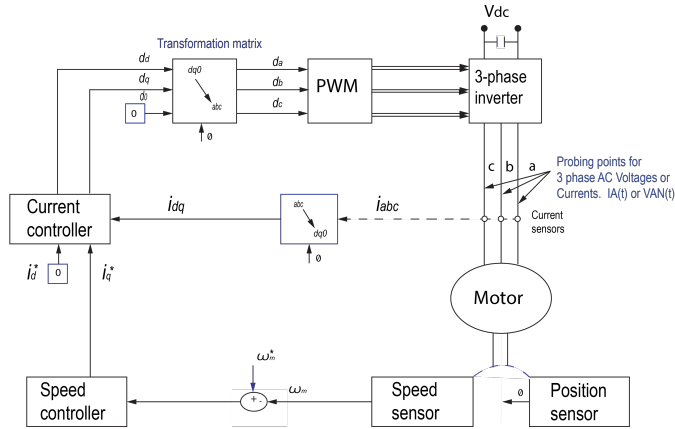
通常、DQ0 変換は AC 波形の基準フレームを回転させて DC 信号に変換します。これにより、逆変換を実行する前に DC 信号の計算を簡素化して、実際の三相 AC 結果を復元できます。

制御システムの出力を測定および監視するために、設計者は FPGA および ASIC ベースのハードウェアを使用してセンサーデータを処理し、DQ0 情報を取得してから、複数回反復して制御情報をチェックします。このソリューションは、複雑で時間がかかります。

D-Q-0 信号を測定または調査することは、実際には困難です。一般的なソリューションでは、コントローラーに外的刺激を提供して、コントローラー入力信号と AD コントローラー (ADC) 出力を DQ0 信号として再現します。

この課題に対処するために、ユーザーはソフトウェア・アプリケーション DQ0 ソリューションによって、電源制御システムの複雑な動的現象を認識できます。

IMDA ソリューションは、DQ0 変換を採用しており、三相波形の基準フレームを回転させて、DC 信号にします。これらの DC 量の計算は、反転して実際の三相 AC 結果を取得する前に簡略化できます。以下の図は、基本操作方法を示しています。



A basic control scheme for a permanent magnet synchronous motor

DQ0 測定を行うための一般的な接続設定とプローブ・ポイント

Tektronix は電気解析測定カテゴリの DQ0 と呼ばれる特許取得済みの測定を提供しています。これは、ク拉克とパークの変換マトリックスを使用した追加オプションとして提供されています。DQ0 の機能は、5 シリーズ、5 シリーズ B、6 シリーズ B MSO のオプションである 5-IMDA-DQ0/6-IMDA-DQ0 として利用可能です。

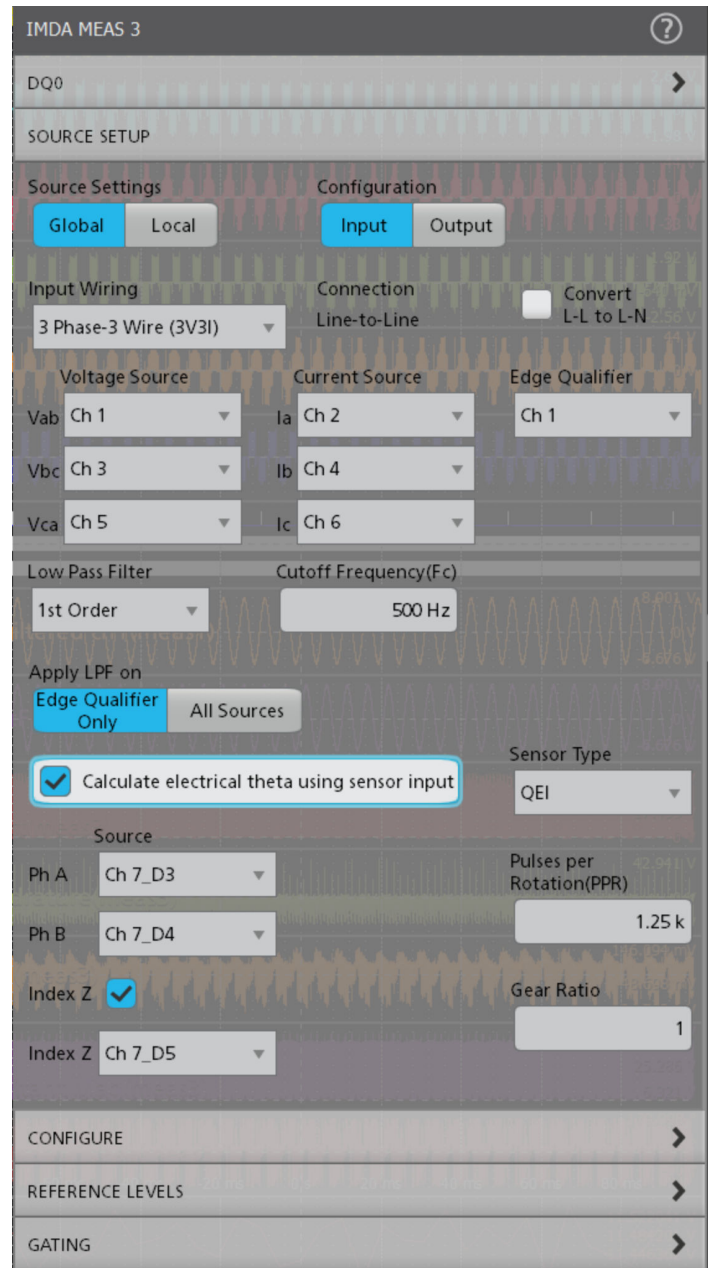
DQ0 メソッドは、角度  $\theta$  を  $2\pi ft$  として計算し、時間変化する信号が予測される場所に基づいて基準フレームを外挿します。DQ0 フレーム (位相図) は、適切な速度と周波数で回転し、必ずしもローターと位相が合っているわけではないため、モーターの瞬間的な状態を把握するのに役立ちます。

この測定は 3V3I 構成に対応しており、モーターから三相の電圧または電流信号を取り込み、D-Q-0 係数に変換します。これがモーター設計エンジニアの強力なデバッグ・ツールとして機能し、PWM 制御回路設計のチューニングが可能になります。

この測定では、三相ドライブ出力電圧または電流波形を変換することにより、リアルタイムで DQ0 変換を計算します。変換マトリックスは、時間変化する AC 信号を時間変化のない DC 成分に変換します。これにより、瞬時のモーター・トルクと回転数に関する制御システムの認識を再現することができます。DQ0 変換を使用すると、モーター設計者は三相電力部の性能を相関させて、ハードウェア・アルゴリズムおよびデザインのシステムを制御することができます。重複した DQ0 および三相 ABC ベクトルは、優れたデバッグ機能として動作し、設計者は同じプロット上で両方のベクトル軸を同時に観察できます。

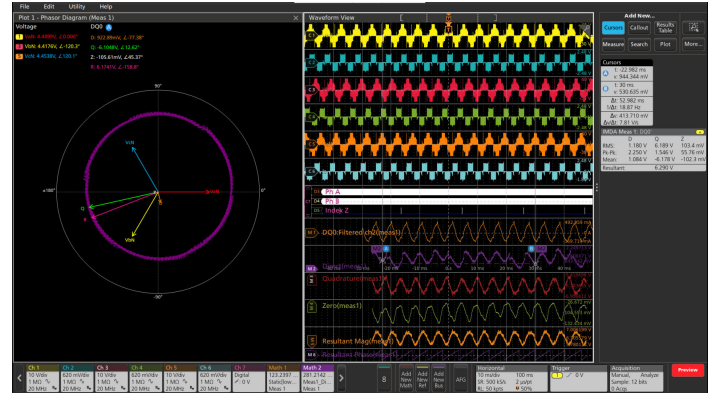
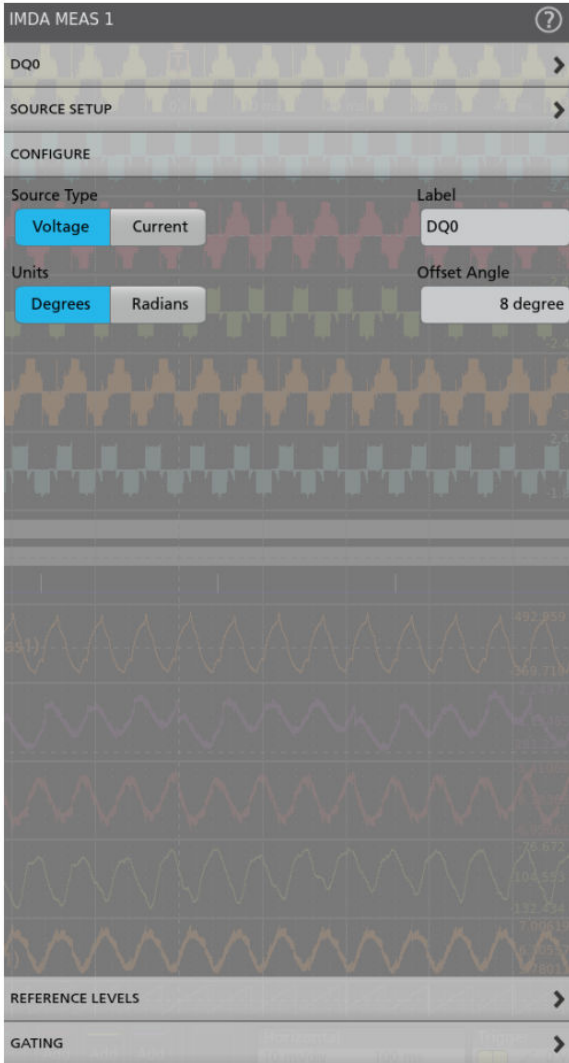
この測定には、D と Q の振幅を持つスカラ値、統計付き RMS 値、派生した演算波形、位相図など、さまざまな出力があります。演算波形は、DC 変換された波形を提供します。これにより、制御システム出力のさまざまなビューが 1 つの画面に表示されます。

DQ0 の結果を観察することで、RMS リップルを示す変動、ピーク・ツー・ピーク値、高次高調波など、いくつかの重要な推論を導き出すことができます。これらのパラメータは、制御システム内のアルゴリズムの動作を理解することに直接関係します。この情報がないと、モーター制御システムの性能を理解することが困難になります。



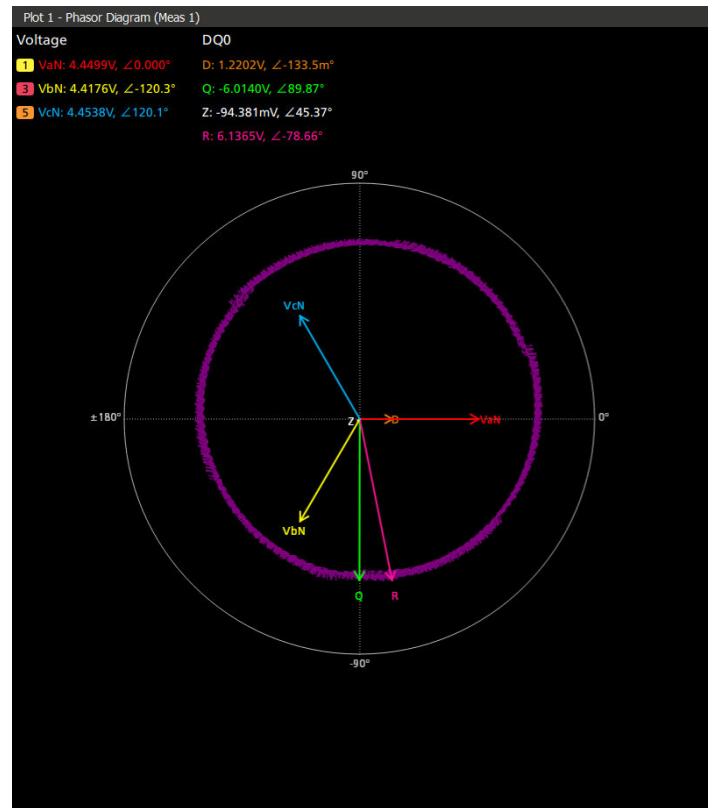
QEI 構成を使用した DQ0





5 シリーズMSO 上でDQ0 測定を実行した画面。Q (緑)、D (オレンジ)、Z (白) の各ベクトルが位相図に示されると同時に、そのスカラー値が右側の測定バッジに表示されます。DQ0 波形が、演算M1、直接(紫)、直交(紫)、およびゼロ(紫) として表示されます。

拡張DQ0 アルゴリズムは、D 成分とQ 成分から合成ベクトルを計算し、合力ベクトルをオーバーラップしたモーター回転として表示し、瞬時モーター角度(シータ)と統合します。



DQ0 プロットは、合力を回転パーシスタンス・プロットとして表示しません。

### DQ0 オフセット構成

オフセット (電気) 角の設定 :

- 搭載されているエンコーダ／センサの位置ずれがある場合に調整します。
- 電気信号にフィルタを適用した後にロー・パス・フィルタの遅延がある場合。

これはセンサ構成がある場合もない場合もサポートされます。アナログ・ソースが電氣的測定用に設定され、デジタル・ソースが機械的測定用に設定されている場合は、ロー・パス・フィルタの位相遅延と位置ずれをオフセット角として組み合わせて入力します。

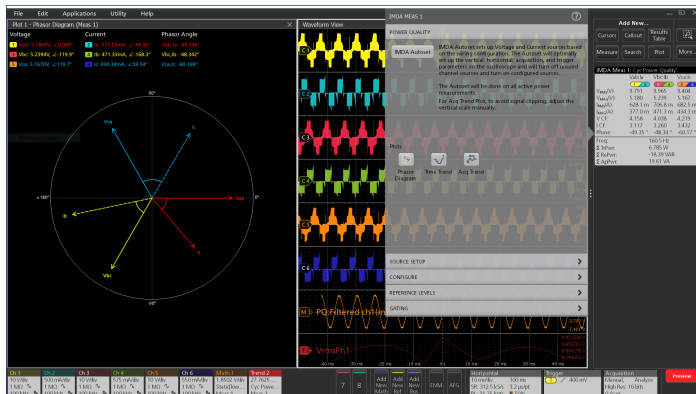
## トレンド解析によるダイナミック測定

モータ・ドライブ解析の一般的な要件は、さまざまな負荷条件下で DUT の動作を監視できるように、より長いテスト時間と記録長で、より多くの取込みを行いながら、モータの応答を観測できるようにすることです。このようなダイナミック測定は、最適な設計の理解に役立ちます。また、電圧、電流、電力、周波数などのパラメータ間の相互の関係、負荷条件におけるそれぞれのパラメータの変動の理解にも役立ちます。特定の領域をマニュアルでズーム、取込み、波形の特定の領域におけるテスト結果を見ることができます。

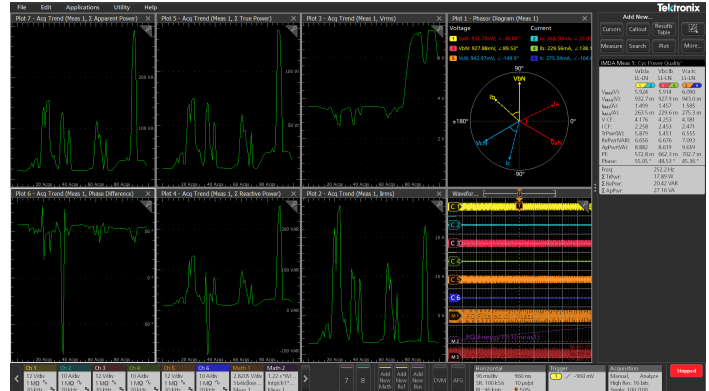
IMDA ソリューションには、電力品質測定において 2 種類のユニークなトレンド・プロットがあり、このような要件に対応します。

- ・ 時間トレンド・プロット
- ・ アクイジション・トレンド・プロット

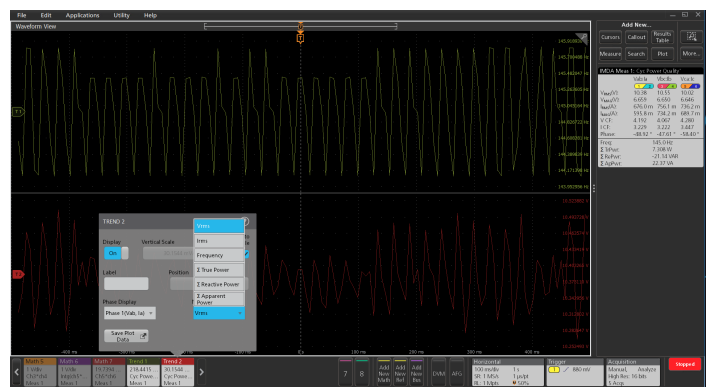
それぞれのプロットには特長があり、電力品質測定の下にある、対応するサブ測定のプロットで使用できます。時間トレンド・プロットは、サイクルごとの、または取り込んだ波形（レコード）ごとの測定値のトレンドを表示します。アクイジション・トレンドでは、レコードごと、アクイジションごとの測定値の平均値を表示します。アクイジション回数は、テスト設定時に設定可能です。そのため、ユーザーは長いデータ・レコードを取り込み、詳細なレコード解析を行うことでモーター応答のダイナミックな動作を把握することができます。プロットは CSV フォーマットで保存できるため、後処理が可能です。



時間トレンドでは、1 つのアクイジション・レコードにおける電力測定をグラフィカルに解析できる。アクイジション・トレンドは、長時間における数多くのアクイジションの電力測定をプロットできる。



Vrms、Irms、位相差、有効電力の合計、皮相電力、無効電力など、100 回のアクイジションの平均パワー測定のアクイジション・トレンド・プロットの例。

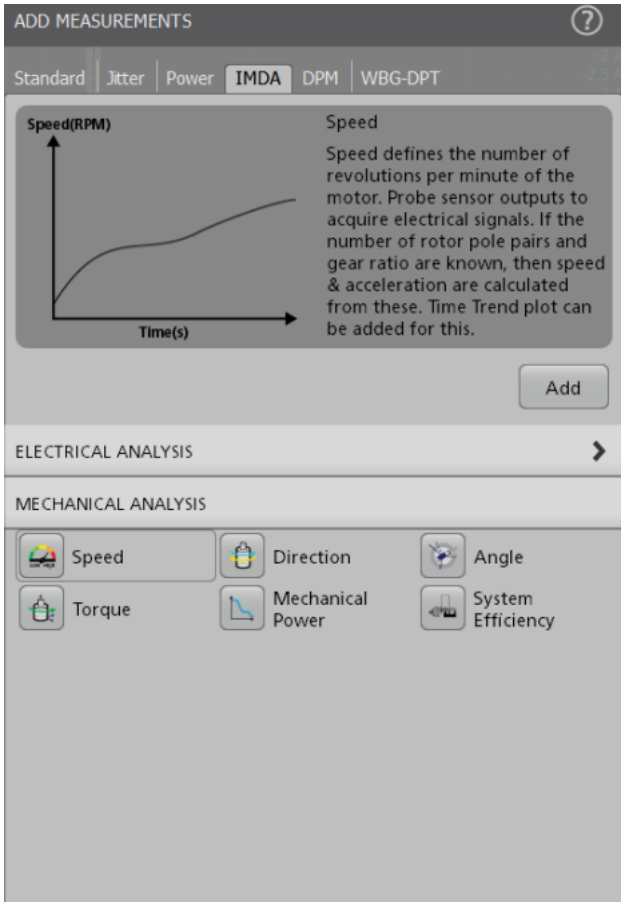


電力品質測定さまざまなサブ測定では、時間トレンド・プロットの追加と設定が可能。Vrms と周波数のパラメータを監視する 2 つの時間トレンド・プロットが表示されている。

## メカニカル解析

IMDA メカニカル解析グループ (オプションの IMA-MECH) は、ホール・センサー、レゾルバ、および QEI 出力信号をサポートして、速度、加速度、および方向情報を計算します。これらの測定に加えて、QEI 方式は角度測定もサポートしており、角度またはラジアンで表示されます。加速度の結果は、速度測定の一部として報告されます。測定には、主要なモーター・パラメータを測定するために、極ペアの数と対応するギア比が必要です。方向測定では、動作前に一連のホール・センサー立ち上がりエッジが設定され、動作中に検証されることを想定しています。QEI 方式では、測定には QEI 出力 (位相 A、位相 B、オプションの Z インデックス・パルス、一回転当たりのパルス (PPR)) に関する情報が必要です。

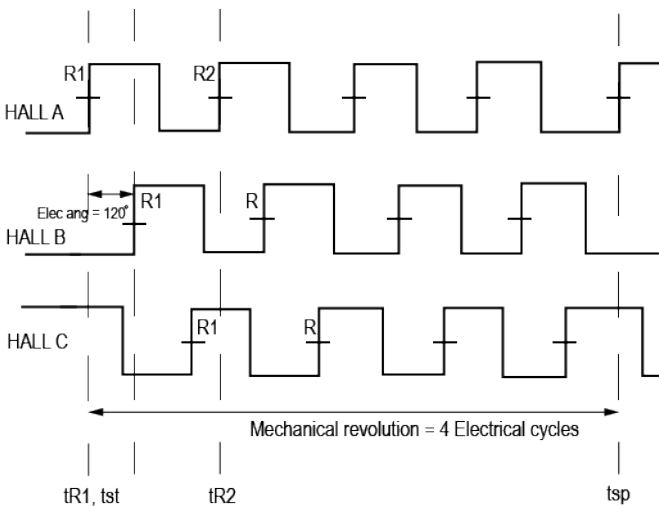
TPP1000 受動プローブまたは高電圧差 THDP0200/100 プローブを使用して、モーター出力電力およびノイズ・レベルに応じてセンサー出力を取り込むことができます。アナログの代わりに TLP ロジック・プローブを備えたデジタル・チャンネルを使用することを推奨します。ノイズが少なく、他のテスト操作でアナログ・チャンネルを節約し、測定に単一のフレックスチャンネルを使用することもできます。



IMDA メカニカル解析は、速度(アクセラレーションあり)と方向測定をサポート

### 速度測定

次の図にホール・センサー信号遷移を示します。



3つのホール・センサー遷移を使用した速度測定の計算

速度は次の式で定義されます。

$$Speed \text{ in RPM} = \left( \left( \frac{1}{T_{SP} - T_{ST}} \right) * 60 \right) * G$$

このとき、

$T_{SP}$  と  $T_{ST}$  の差は、極ペアの数によって定義されます。

$T_{ST}$  は電気パルスが以下に当てはまる時の開始です

$T_{SP}$  は電気パルスが以下に当てはまる時の停止です

60 は RPM (回転数/分) です。

G はギア比です。

速度測定は回転ごとまたは QEI センサ信号サイクルごとに計算することができます。

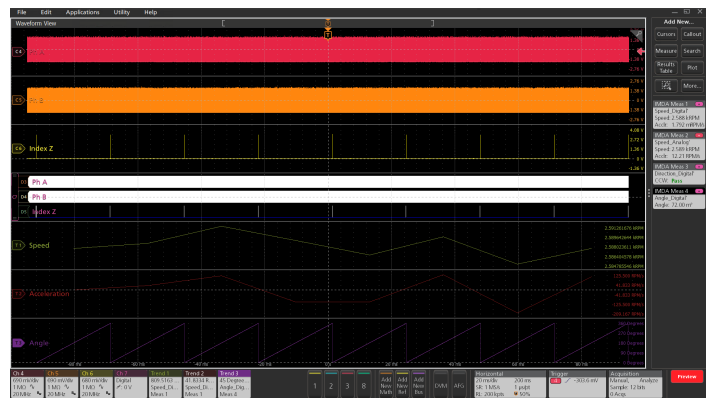
### 加速度測定

加速度は、単位時間あたりの速度変化率です。次のように定義されます

$$Acclr = \frac{Speed(t_{n+1}) - Speed(t_n)}{((t_{n+1}) - t_n)}$$

速度と方向は次のプロットをサポートします。

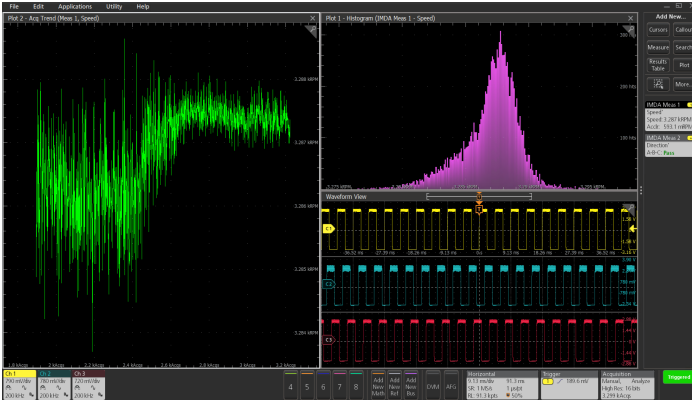
- ・ ヒストグラム
- ・ 時間トレンド
- ・ ACQトレンド



QEI 方式を使用したモーター速度と方向の測定。QEI 信号(位相 A、B、および Z インデックス)は、アナログ(TPP1000)プローブとデジタル(TLP058)プローブの両方を接続することで参照できるように表示されています。

### 速度 ACQトレンド・プロットの重要性

ACQトレンドとヒストグラム・プロットは、モーター速度のジッターを表示します。表示しない場合は、フラッター・メーターなどの専用機器を使用して測定する必要があります。このジッター情報(エッジのタイミングの変動)は、モーター速度の一貫性を測定します。

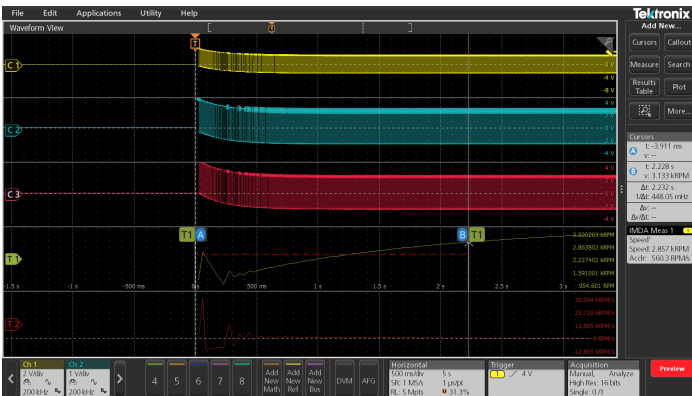


モーター速度(左)のジッターと速度分布を示すヒストグラム・プロット(右)を表示しているACQトレンド・プロット

### モーター始動プロファイル

モーター設計者は、設計段階でモーター始動プロファイルを調査することに関心があります。時間トレンドは、測定が困難なモーターの瞬間的な速度情報を提供します。

次の**モーターの始動シーケンスを示す時間トレンド・プロットの画像**では、オフからオン状態になるまでにモーターが要する始動時間は2.3秒であることを表しています。同様に、**停止状態に移行するモーターの減速を示す時間トレンド・プロットの画像**では、オンからオフ状態にすると、減速プロセスに関する情報が得られることが示されています。



モーター始動シーケンスを示す時間トレンド・プロット

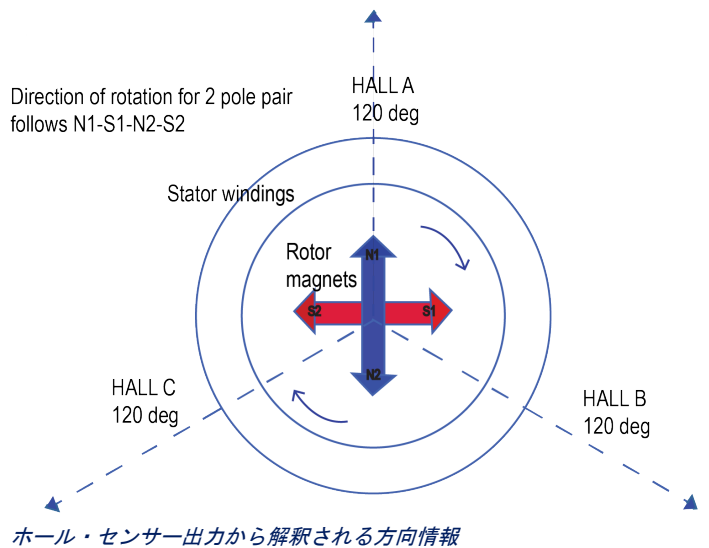


停止状態に移行するモーターの減速を示す時間トレンド・プロット

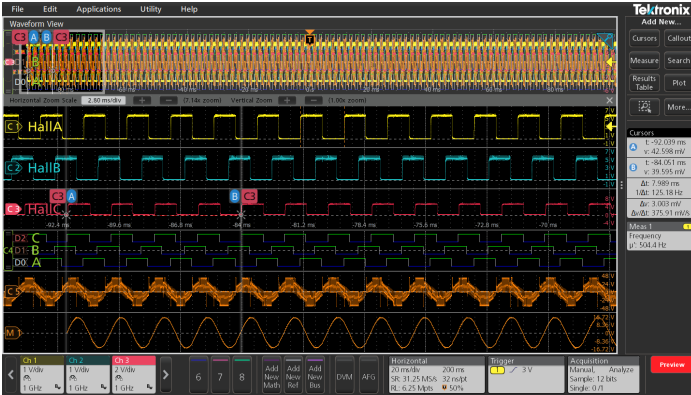
### 方向測定

ドリル、洗濯機、電動ポンプなどの用途では、モーターを作動させて方向をすばやく変える必要があります。方向測定は、この解析が役立ちます。ホール・センサー出力の立ち上がりエッジまたは立ち下がりエッジの順序によって、回転方向が決まります。方向測定には、3つすべてのホール信号が必要です。これらの信号は方向測定に設定可能なパラメーターとして使用でき、モーターの動作中に検証されます。一般に、A-B-Cシーケンスは時計回り(CW)と解釈され、A-C-Bシーケンスは反時計回り(CCW)として解釈されます。

たとえば、最初の立ち上がりエッジがHALL (ホール) Aからで、HALL (ホール) Bの立ち上がりエッジが120度の場合、ロータの回転シーケンスはA-B-Cになります。また、HALL (ホール) Cの2番目の立ち上がりエッジが120度で発生する場合、シーケンスはA-C-Bになります。







スコープで取得された方向情報は、ホール A、B、C の立ち上がりエッジ・シーケンスを示します(時計回り)。

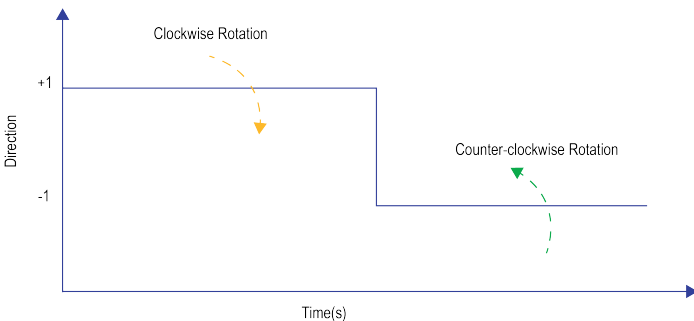
ここでは、方向情報の計算に使用される式を示します。

$$\text{位数 (時計回り)} = (A-B-C)$$

$$\text{位数 (反時計回り)} = (A-C-B)$$

ここで、位数関数は 3 つの HALL Sensor (ホール・センサ) 信号すべての立ち上がりエッジのシーケンスをチェックします。

モータがデバッグ中に方向を反転した場合、正確なタイムスタンプを視覚的に示すために、ACQトレンド・プロットとして方向を表示できます。これは、次の図にサンプル・プロットとして示されています。



ACQトレンド・プロットには、CW および CCW のモータ回転に基づいて +1 と -1 が表示されます。

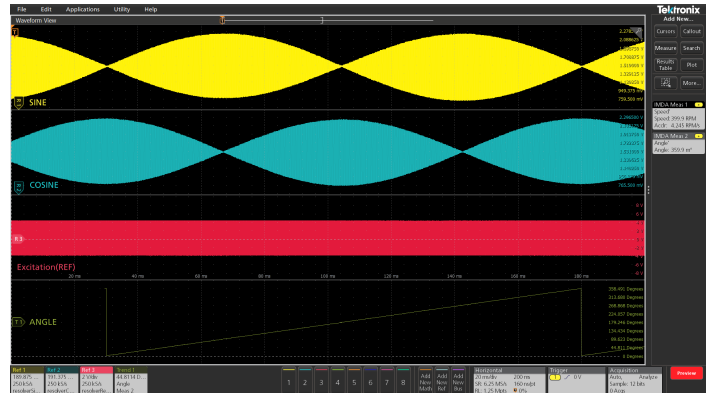
## レゾルバ

レゾルバは、ロータの角度位置を決定するためにモータに取り付けられたセンサの一種です。

レゾルバは 3 つの信号出力を生成します。リファレンスとして使用される励起、分析に使用されるサインおよびコサインです。サイン信号およびコサイン信号は互いに直交し、リファレンス信号により調整されます。サイン・エンベロープおよびコサイン・エンベロープは、さまざまなパラメータを計測する前に取得されます。

レゾルバのサポートにより以下の測定項目が利用可能です。

- 瞬間的な角度の測定 :  
角度 = 逆正接 (sin 値/cos 値)
- 速度の計算式は  
速度 = [周波数 (エンベロープ信号) / 極ペア] Hz  
ここで、エンベロープ信号はエンベロープ抽出の出力です。



## トルク測定

モータのトルクは出力シャフトで発生する回転力です。この力はニュートン・メートル (Nm) で測定されるねじれ力です。

IMDA は、トルク測定に適した次の 2 つの方式をサポートしています。

### 1. センサ方式 :

これは、トルク・センサーまたはロード・セル出力を使用する最も一般的なトルク測定方法です。モータが生成したトルクの測定は、回転トルク・センサーをモータ・シャフトに合わせてカップリングすることで行うことができます。ユーザーは受動電圧プローブを使用してトルク波形を補足できます。電圧波形は、測定したトルク値に比例します。

ユーザーは、トルク・センサーの上限値と下限値、および出力電圧の対応する上限値と下限値を設定する必要があります。測定は、取得した電圧波形をトルク値に再スケールします。

ロード・セルは力を生じさせます。トルク値は、力の積およびアームの長さ(距離)として計算されます。

$$\text{Torque Output} = \text{Voltage Input} \times \frac{\text{High Torque} - \text{Low Torque}}{\text{High Voltage} - \text{Low Voltage}}$$

### 2. 電流方式:

多くのモーターにはデータ仕様があり、トルク定数を使用して、適用した RMS 電流に比例してトルクを推定できます。これはトルク値の推定値です。

一般的に、DC モーターで発生するトルクは、電機子電流のトルク定数時間に比例します。直列モーターでは、フィールド電流は電機子電流に比例します。

ローターによって生成されるトルクは、電機子電流に正比例すると推定されます。ユーザーはモーターのトルク定数を設定する必要があります。

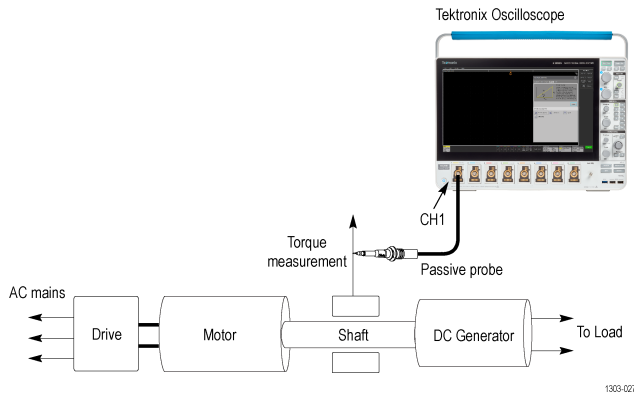
$$\text{トルク} = \text{トルク定数} \times \text{IRMS}$$

トルク測定では、次のプロットがサポートされます。

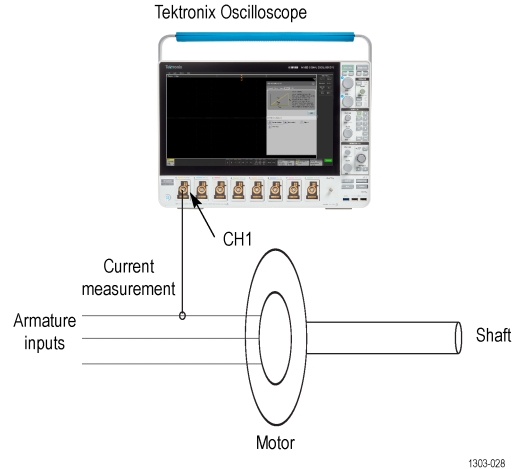
- ヒストグラム
- 時間トレンド
- ACQトレンド。

次のトルク単位が設定の一部になります。

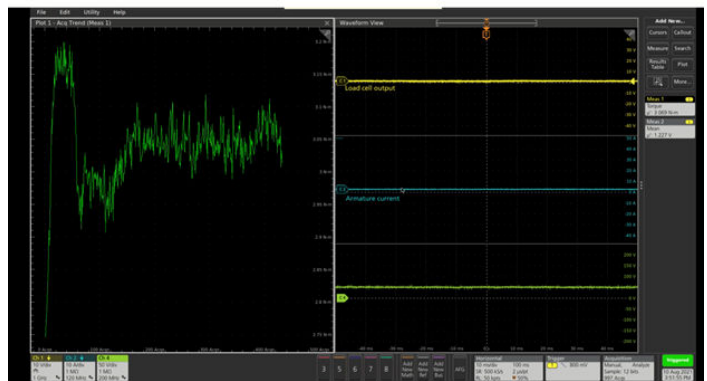
- ニュートン・メートル (N·m)
- フィート・ポンド (ft·lb)
- インチ・オンス (in·oz)
- インチ・ポンド (in·lb)



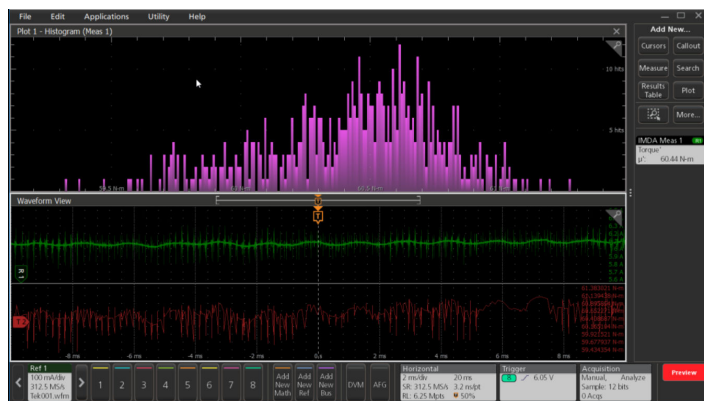
トルク・センサー方式を使用したトルク測定設定



電機子電流方式を使用したトルク測定設定



この画像は、ロード・セル出力を使用したACQトレンド・プロットとしてトルク結果を示しています。



この画像は、トルク定数と電機子電流出力を使用したヒストグラム・プロットとしてトルク結果を示しています

### 機械電力の測定

回転するシャフトの機械電力は、回転速度とシャフトが生み出すトルクにより定義されます。この計測はホール・センサと QEI エンコーダをサポートし、速度とトルクを計算します。

機械電力測定は、トルク・センサまたはアーマチュア電流入力を使用してトルクを計算し、ホール・センサまたは QEI センサの入力を使用して速度を計算します。これらの入力値を使用して計算された機械電力は、シャフトの速度とトルクの積に正比例します。

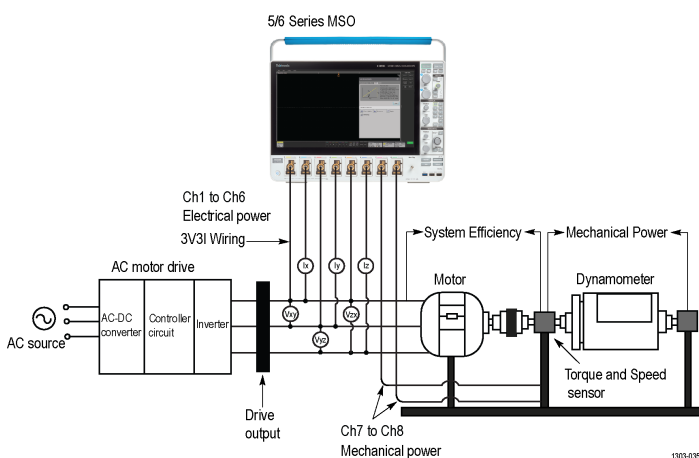
IMDA は、モータのトルク、速度、角度位置を測定するために、さまざまなセンサ・タイプをサポートしています。

機械電力 = (トルク \* マルチプライヤ) \* 速度

マルチプライヤがトルク・ユニットに基づき、104.7252 nm、0.739522 oz-inch、141.9883 ft-lb、または 11.83235897 inch-lb となる場合。

速度の単位は RPM です。

機械電力の単位はワットです。



システム効率および機械電力の計算のための代表的なモータ設定



機械電力測定のための構成オプション

### システム効率の測定

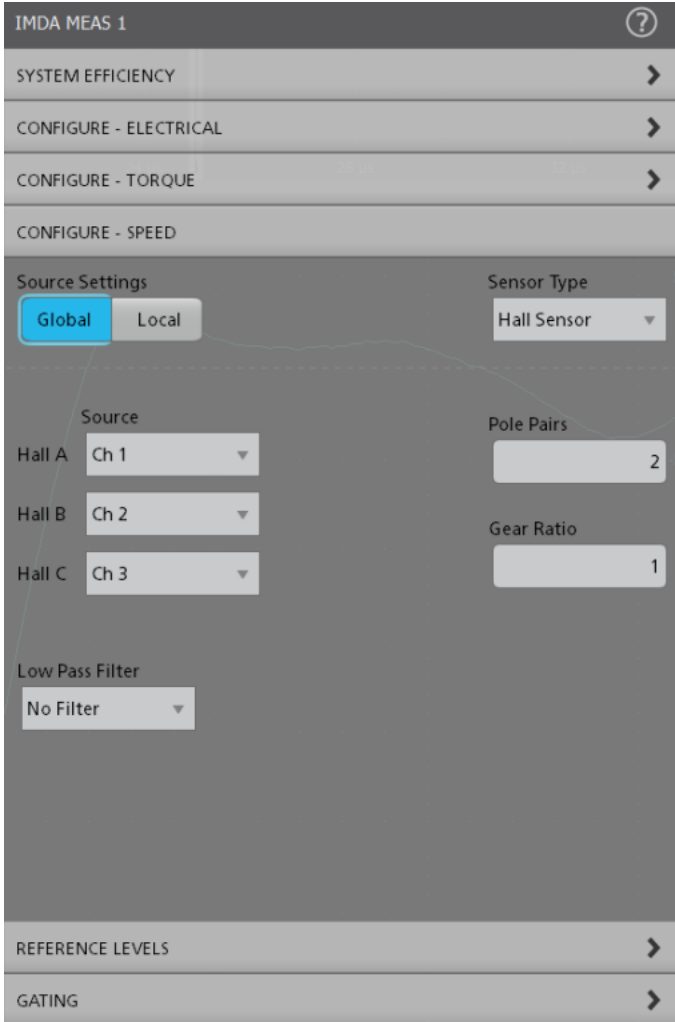
システム効率は、電気的エネルギーを機械的エネルギーに変換する効率を測る基準です。この計測は多くの場合、様々な速度で様々な負荷を掛けて実施され、通常速度トルク曲線として表示されます。

電力効率は、すべての電気機器を評価する基準であるため、動的に測定し、モータが目標の範囲で動作しているか確認することが重要です。

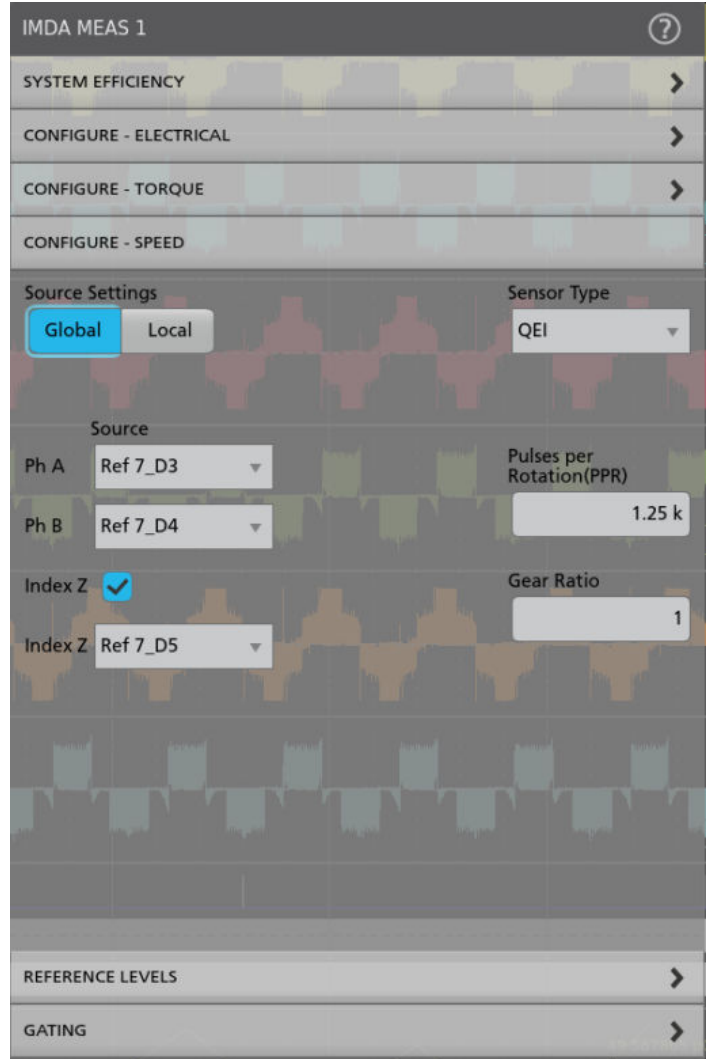
IMDA システム効率計測は電圧および電流入力を取り込み、入力電力と入力トルク、速度センサ信号を計算して、出力機械電力を計算します。これらのパラメータに基づき、システム効率が計算されます。電力は使用可能なオシロスコープチャンネルに基づき、2V2I または 3V3I 配線を用いて計算することができます。

電気的に駆動しているモータでは、出力電力は機械的であるものの、入力電力は電気的です。そのため、効率方程式は以下のように計算されます。

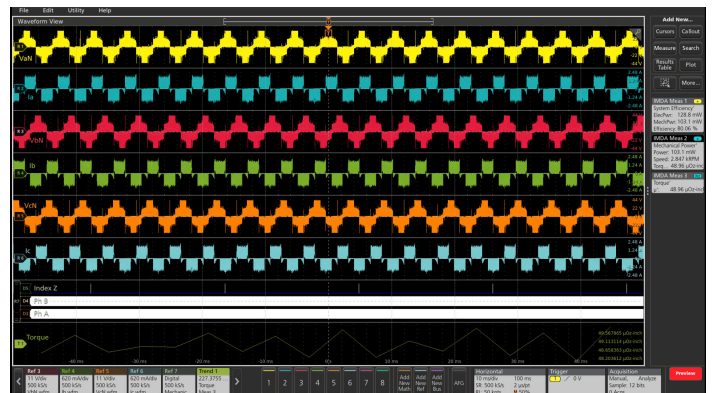
$$\text{システム効率} = ((\text{出力機械的電力}) / (\text{入力電気的電力})) \times 100\%$$



ホール・センサ方式を使用したシステム効率計算のための構成オプション



QEI 方式を使用したシステム効率計算のための構成オプション



図で、QEI 方式を使用したIMDA アプリケーション実行システム効率、機械的電力、トルク計測を示します。



## レポート生成

IMDA ソフトウェアは、データの収集、アーカイブ、設計の文書化、開発プロセスを簡素化します。MHT または PDF 形式のレポートを作成できるため、パス／ファイル結果の解析が容易になります。

### Measurement Report Teltronix

Monday February 3 2020 10:54:56

#### Setup Configuration

Scope Details			
Scope Model Number	Scope Serial Number	TekScope Version	Scope Calibration Status
MSO58	Q100118	1.24.0	Pass

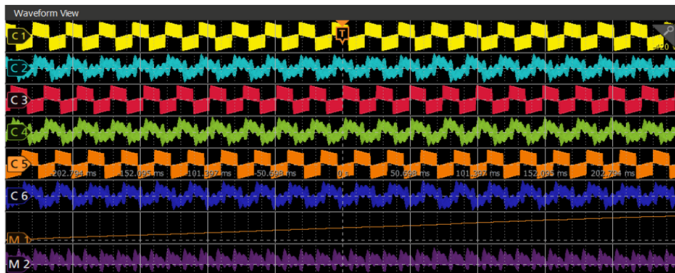
#### IMDA High Level Configuration

Measurement Type	Wiring	Connection	L-L to L-N
Industrial	3 Phase-3 Wire (3V3)	Line-to-Line	False

Name	Measurement Src(s)	Mean*	Min*	Max*	Pk-Pk*	Std Dev*	Population*	Accum Mean	Accum Min	Accum Max	Accum Pk-Pk	Accum Std Dev	Accum Pop
IMDA Meas 1, Power Quality	Ch 1, Ch 2 - Phase 1 (Vab, Ia)	375.12 V	375.12 V	375.12 V	0.0000 V	0.0000 V	1	375.12 V	375.12 V	375.12 V	0.0000 V	0.0000 V	1
RMS Voltage		330.21 mA	330.21 mA	330.21 mA	0.0000 A	0.0000 A	1	330.21 mA	330.21 mA	330.21 mA	0.0000 A	0.0000 A	1
Crest Factor		1.7386	1.7386	1.7386	0.0000	0.0000	1	1.7386	1.7386	1.7386	0.0000	0.0000	1
Current Crest Factor		3.0543	3.0543	3.0543	0.0000	0.0000	1	3.0543	3.0543	3.0543	0.0000	0.0000	1
Total Power		83.258 W	83.258 W	83.258 W	0.0000 W	0.0000 W	1	83.258 W	83.258 W	83.258 W	0.0000 W	0.0000 W	1
Reactive Power		-91.713 VAR	-91.713 VAR	-91.713 VAR	0.0000 VAR	0.0000 VAR	1	-91.713 VAR	-91.713 VAR	-91.713 VAR	0.0000 VAR	0.0000 VAR	1
Apparent Power		123.87 VA	123.87 VA	123.87 VA	0.0000 VA	0.0000 VA	1	123.87 VA	123.87 VA	123.87 VA	0.0000 VA	0.0000 VA	1
Power Factor		980.75 m	980.75 m	980.75 m	0.0000	0.0000	1	980.75 m	980.75 m	980.75 m	0.0000	0.0000	1
Phase Angle		-11.260 Degrees	-11.260 Degrees	-11.260 Degrees	0.0000 Degrees	0.0000 Degrees	1	-11.260 Degrees	-11.260 Degrees	-11.260 Degrees	0.0000 Degrees	0.0000 Degrees	1
V Phase		0.0000 Degrees	0.0000 Degrees	0.0000 Degrees	0.0000 Degrees	0.0000 Degrees	1	0.0000 Degrees	0.0000 Degrees	0.0000 Degrees	0.0000 Degrees	0.0000 Degrees	1
I Phase		-11.260 Degrees	-11.260 Degrees	-11.260 Degrees	0.0000 Degrees	0.0000 Degrees	1	-11.260 Degrees	-11.260 Degrees	-11.260 Degrees	0.0000 Degrees	0.0000 Degrees	1

#### Views

Time Domain View



#### Global Configuration

Setting	Jitter Separation Model	Dual Dirac Model	Display Unit Type	Standard Reference Levels	Jitter Reference Levels	Lock RJ
None	SpectralOnly	PCIEexpress	Seconds	Every Acquisition	First Acquisition	false

#### Reference Levels Configuration

Ref Levels	Ch1, Ch2, Ch3, Ch4, Ch5, Ch6
Ref Level Type	Global
Base Top Method	MinMax
RiseHigh	90%
RiseMid	50%
RiseLow	10%
FallHigh	90%
FallMid	50%
FallLow	10%
Hysteresis	10%

IMDA テスト・レポート・ファイルの例 (サマリ、詳細、および対応する画像)

## 仕様

結線の構成	1V1I (単相 2 線)、2V2I (単相 3 線)、2V2I (三相 3 線)、2V2I (DC 入力-AC 出力)、3V3I (DC 入力-AC 出力) または 3V3I (三相 3 線)、および 3P4W (三相 4 線)
L-L-L-N 変換	三相 3 線 (3V3I) で使用可能 <sup>1</sup>
電気解析	電源品質、高調波 <sup>2</sup> 、リップル、DQ0 <sup>3</sup> 、効率 <sup>4</sup>
サポートされているセンサー	ホール・センサー、リゾルバ、QEI (直交エンコーダ・インタフェース)
メカニカル解析	速度、加速度、角 (QEI 手法)、方向、トルク、機械出力、システム効率
高調波ゲーティング	基本的なスペクトルとフル・スペクトラム
三相オートセット	すべての測定項目に対応
プロット	時間トレンド・プロット、アクイジション・トレンド・プロット、フェーザ図、高調波バー・グラフ <sup>5</sup> 、DQ0 プロット、およびヒストグラム・プロット (速度分布)
レポート	MHT および PDF フォーマット、CSV フォーマットによるデータのエクスポートが可能
消磁／デスキュー (静的)	プローブの自動検出とオートゼロ機能。各チャンネルのメニューからデスキュー (電圧プローブと電流プローブ) や消磁 (電流プローブ) を実行できます。
測定ソース	ライブ信号 (アナログ)、リファレンス波形、演算波形

<sup>1</sup> 三相 4 線 (3V3I) の場合、接続は常に L-N であり、三相 3 線 (2V2I) の場合は L-L です。

<sup>2</sup> カスタム・リミットをサポート。

<sup>3</sup> 3V3I 結線でのみ使用可能。

<sup>4</sup> 2V2I 結線でのみ使用可能。

<sup>5</sup> 測定の構成の一部としてレンジ・フィルタを使用。

ご注文の際は以下の型名をご使用ください。

型名

製品名	Opt. <sup>6</sup>	対応機器	利用可能な周波数帯域
新規に機器購入時のオプション型名	5-IMDA	5 シリーズ MSO (MSO56 型、MSO58 型) 5 シリーズ B MSO (MSO56B 型、MSO58B 型) MSO58LP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 350MHz</li> <li>• 500MHz</li> <li>• 1GHz</li> <li>• 2GHz</li> </ul>
製品アップグレード時の型名	SUP5-IMDA		
フローティング・ライセンス	SUP5-IMDA-FL		
新規に機器購入時のオプション型名	5-IMDA-DQ0		
製品アップグレード時の型名	SUP5-IMDA-DQ0		
フローティング・ライセンス	SUP5-IMDA-DQ0-FL		
新規に機器購入時のオプション型名	5-IMDA-MECH		
製品アップグレード時の型名	SUP5-IMDA-MECH		
フローティング・ライセンス	SUP5-IMDA-MECH-FL		
新規に機器購入時のオプション型名	6-IMDA	6 シリーズ B MSO (MSO66B 型、MSO68B 型)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1GHz</li> <li>• 2.5GHz</li> <li>• 4GHz</li> <li>• 6GHz</li> <li>• 8GHz</li> <li>• 10GHz</li> </ul>
製品アップグレード時の型名	SUP6B-IMDA		
フローティング・ライセンス	SUP6B-IMDA-FL		
新規に機器購入時のオプション型名	6-IMDA-DQ0		
製品アップグレード時の型名	SUP6B-IMDA-DQ0		
フローティング・ライセンス	SUP6B-IMDA-DQ0-FL		
新規に機器購入時のオプション型名	6-IMDA-MECH		
製品アップグレード時の型名	SUP6B-IMDA-MECH		
フローティング・ライセンス	SUP6B-IMDA-MECH-FL		

<sup>6</sup> Opt. IMDA-DQ0 および IMDA-MECH には前提条件として Opt. IMDA が必要

## ソフトウェア・バンドル

サポートされる機器	バンドル・オプション	概要
5 シリーズ／5 シリーズ B MSO	5-PRO-POWER-1Y	Pro Power Bundle (1年更新ライセンス)
	5-PRO-POWER-PER	Pro Power Bundle (永続ライセンス)
	5-ULTIMATE-1Y	Ultimate Bundle (1年更新ライセンス)
	5-ULTIMATE-PER	Ultimate Bundle (永続ライセンス)
	5-PRO-AUTO-1Y	Pro Automotive Bundle (1年更新ライセンス)
	5-PRO-AUTO-PER	Pro Automotive Bundle (永続ライセンス)
6 シリーズ B MSO	6-PRO-POWER-1Y	Pro Power Bundle (1年更新ライセンス)
	6-PRO-POWER-PER	Pro Power Bundle (永続ライセンス)
	6-ULTIMATE-1Y	Ultimate Bundle (1年更新ライセンス)
	6-ULTIMATE-PER	Ultimate Bundle (永続ライセンス)
	6-PRO-AUTO-1Y	Pro Automotive Bundle (1年更新ライセンス)
	6-PRO-AUTO-PER	Pro Automotive Bundle (永続ライセンス)

## 推奨プローブ

プローブ・モデル	概要	数量
TCP0030A または TCP0150	電流プローブ	3本 (3V3I 結線の場合) <sup>7</sup>
THDP0200 または TMDP0200	高電圧差動プローブ	3本 (3V3I 結線) <sup>7</sup>



テクトロニクスは ISO 14001 : 2015 および ISO 9001 : 2015 (DEKRA 認証) を取得しています。

ASEAN / オーストラリア (65) 6356 3900

効率測定を行うためには、プローブが4本必要です。  
 ベルギー 00800 2255 4835\*  
 中東欧諸国およびバルト諸国 +41 52 675 3777  
 フィンランド +41 52 675 3777  
 香港 400 820 5835  
 日本 81 (120) 441 046  
 中東、アジア、および北アフリカ +41 52 675 3777  
 中華人民共和国 400 820 5835  
 韓国 +82 2 565 1455  
 スペイン 00800 2255 4835\*  
 台湾 : 886 (2) 2656 6688

オーストリア 00800 2255 4835\*

ブラジル +55 (11) 3759 7627  
 中央ヨーロッパおよびギリシャ +41 52 675 3777  
 フランス 00800 2255 4835\*  
 インド 000 800 650 1835  
 ルクセンブルク +41 52 675 3777  
 オランダ 00800 2255 4835\*  
 ポーランド +41 52 675 3777  
 ロシアおよび CIS 諸国 +7 (495) 6647564  
 スウェーデン 00800 2255 4835\*  
 イギリスおよびアイルランド 00800 2255 4835\*

バルカン半島諸国、イスラエル、南アフリカ、および他の ISE

諸国 +41 52 675 3777  
 カナダ 1 800 833 9200  
 デンマーク +45 80 88 1401  
 ドイツ 00800 2255 4835\*  
 イタリア 00800 2255 4835\*  
 メキシコ、中南米およびカリブ海地域 52 (55) 56 04 50 90  
 ノルウェー 800 16098  
 ポルトガル 80 08 12370  
 南アフリカ +41 52 675 3777  
 スイス 00800 2255 4835\*  
 米国 1 800 833 9200

\* 欧州のフリーダイヤル番号つながらない場合は次の番号におかけください : +41 52 675 3777

詳細情報 Tektronix は、総合的に継続してアプリケーション・ノート、テクニカル・ブリーフおよびその他のリソースのコレクションを発展させ、技術者が最先端で仕事ができるように手助けをします。Web サイト ([jp.tek.com](http://jp.tek.com)) をご参照ください。

Copyright © Tektronix, Inc. All rights reserved. テクトロニクス製品は、登録済および出願中の米国その他の国の特許等により保護されています。本書の内容は、既に発行されている他の資料の内容に代わるものではありません。また、本製品の仕様および価格は、予告なく変更させていただく場合がございますので、予めご了承ください。TEKTRONIX および TEK は Tektronix, Inc. の登録商標です。他の商品名全ては、各企業の商標および商標、登録商標です。