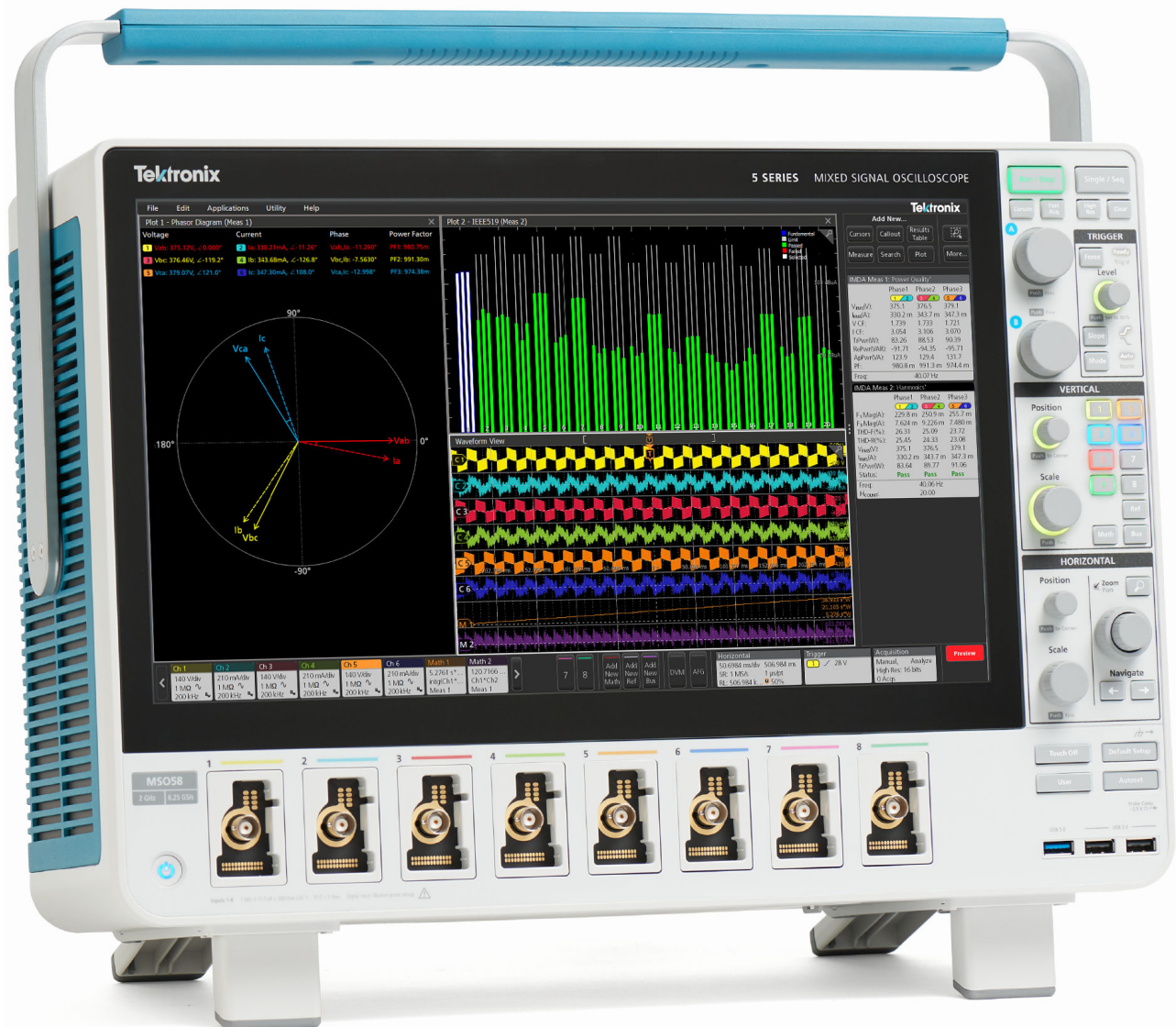


三相インバータ／モータ／ドライブ解析

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

三相インバータ／モータ／ドライブを詳細に解析



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/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) の特長を存分に生かし、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} 、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、IEEE-519 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
- 選択した結線構成に基づくシステム効率の測定
- 5/6 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
- 位相プロットによる DQ0 測定をサポート

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。5/6 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。

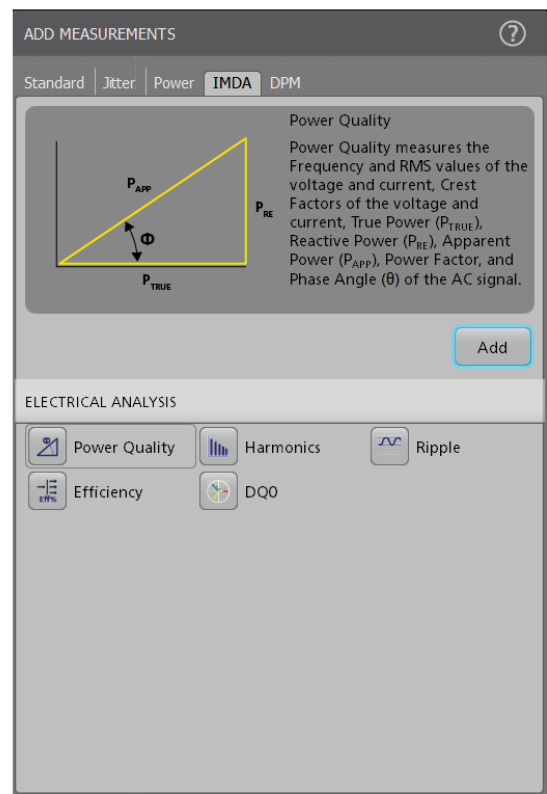


図1: IMDA 測定 (電気解析グループ)

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。



図2: 入力結線構成の設定画面

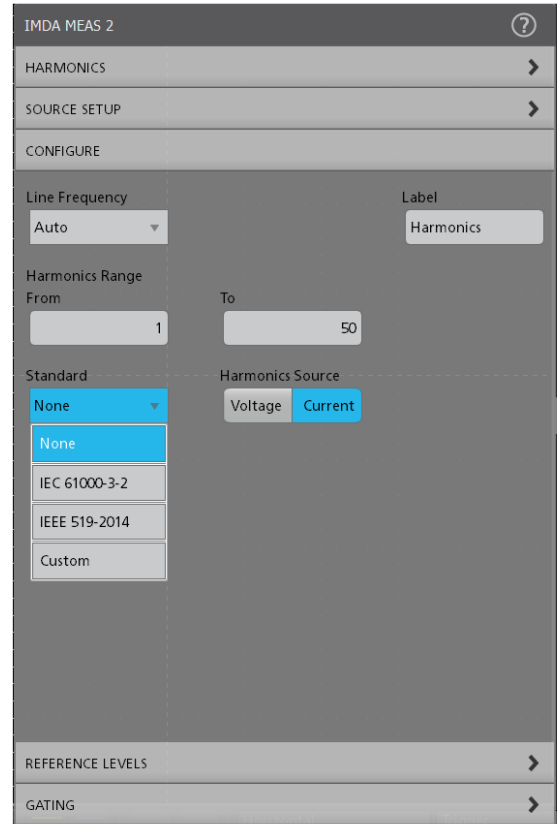


図3: 高調波の測定値を業界規格またはカスタム・リミットと比較する

高調波

電力波形がきれいな正弦波の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、基本波は各相で測定します。測定値は、IEEE-519 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。

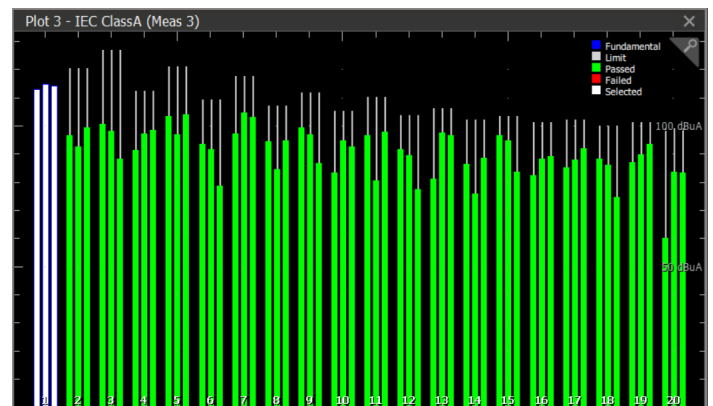


図4: 高調波のプロットに高調波試験の結果が合格であることが示されている例。それぞれのバーに相 A、B、および C の結果が示されており、相関関係を容易に把握できる

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、ユーザは効率的に解析を進めることができます。

電力品質

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。

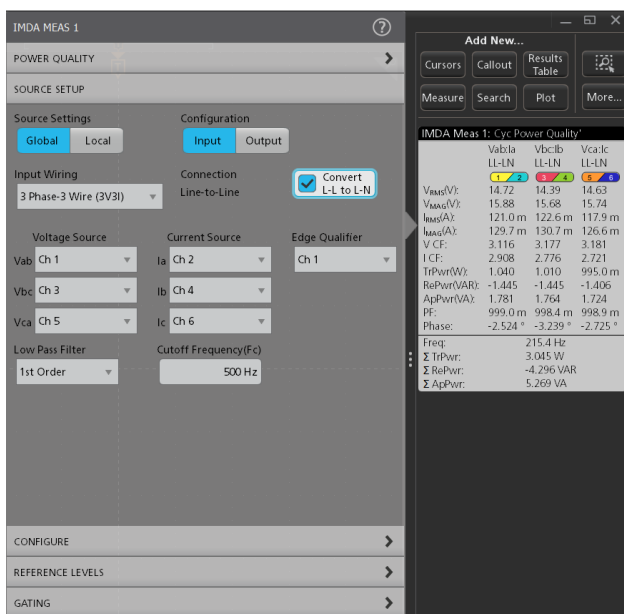


図5: 電源品質の測定に必要な項目も簡単に設定できる

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。

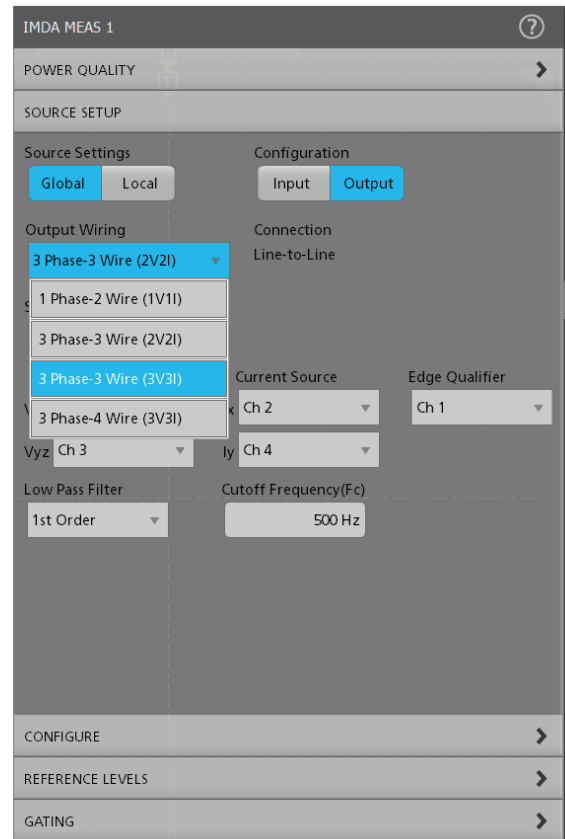


図6: 電源品質測定の電圧／電流入力を設定するだけで簡単にフェーザ図を表示できる

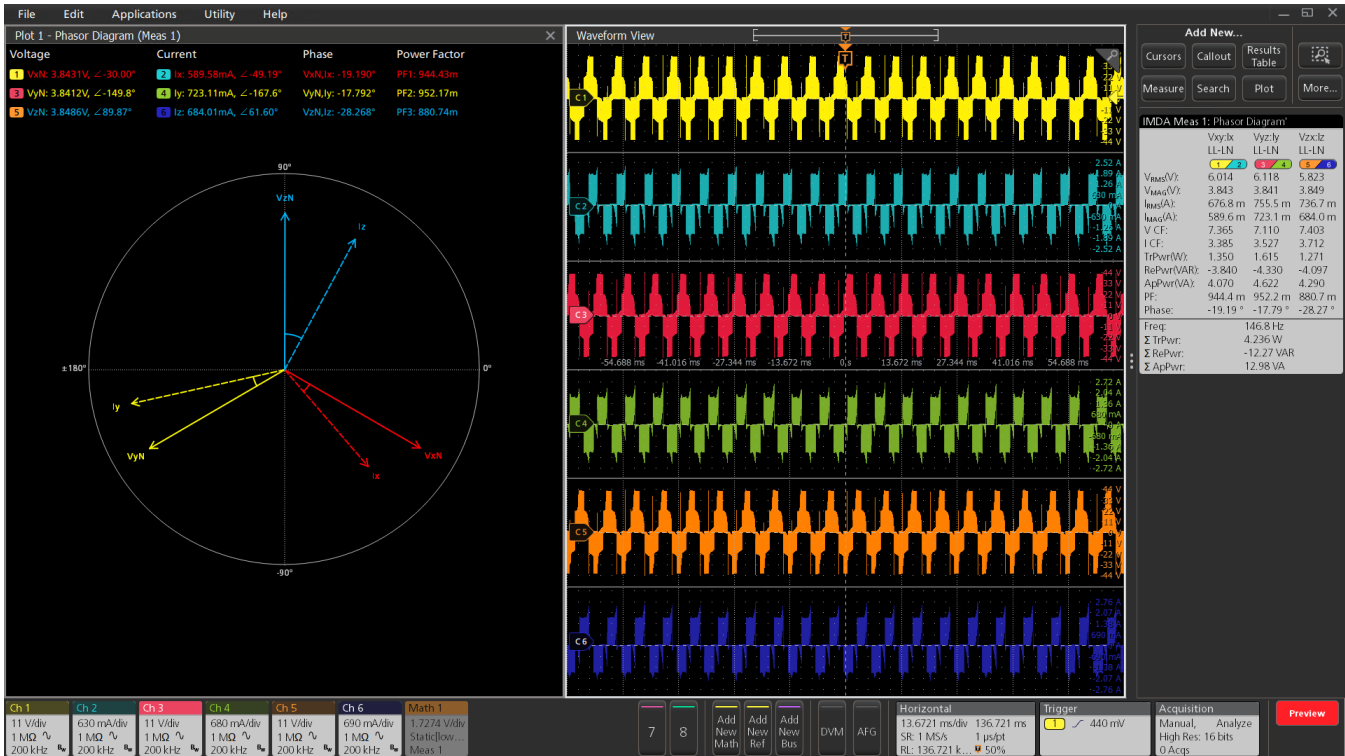


図7: オシロスコープをベースにした独自のフェーザ図表示機能により、電圧および電流ベクトルの相関解析も容易に行える

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。



図8: 産業用モータの効率測定: 結線およびフィルタの構成

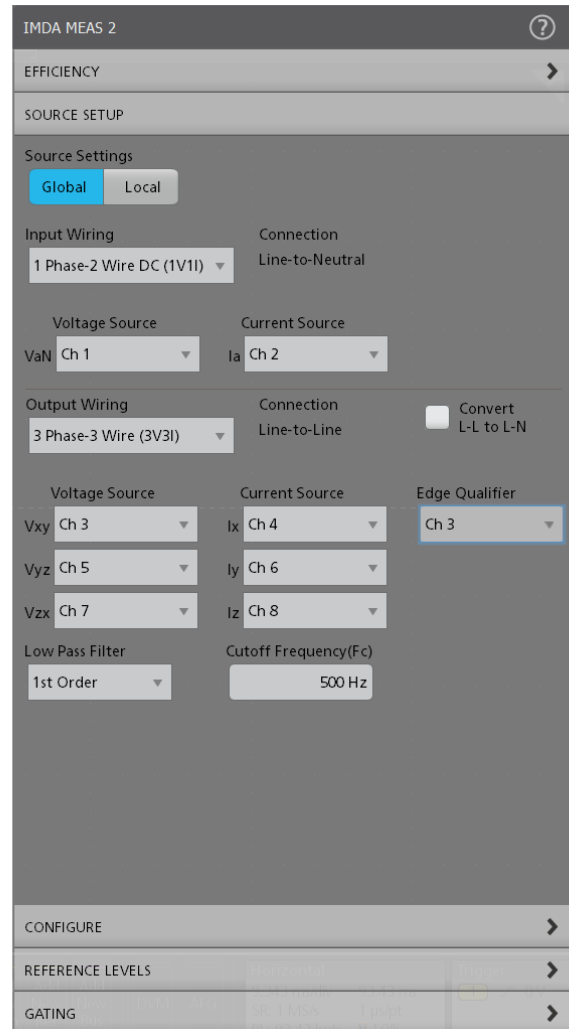


図9: インバータ試験に最適な DC-AC トポロジの効率測定のための結線構成とフィルタの設定

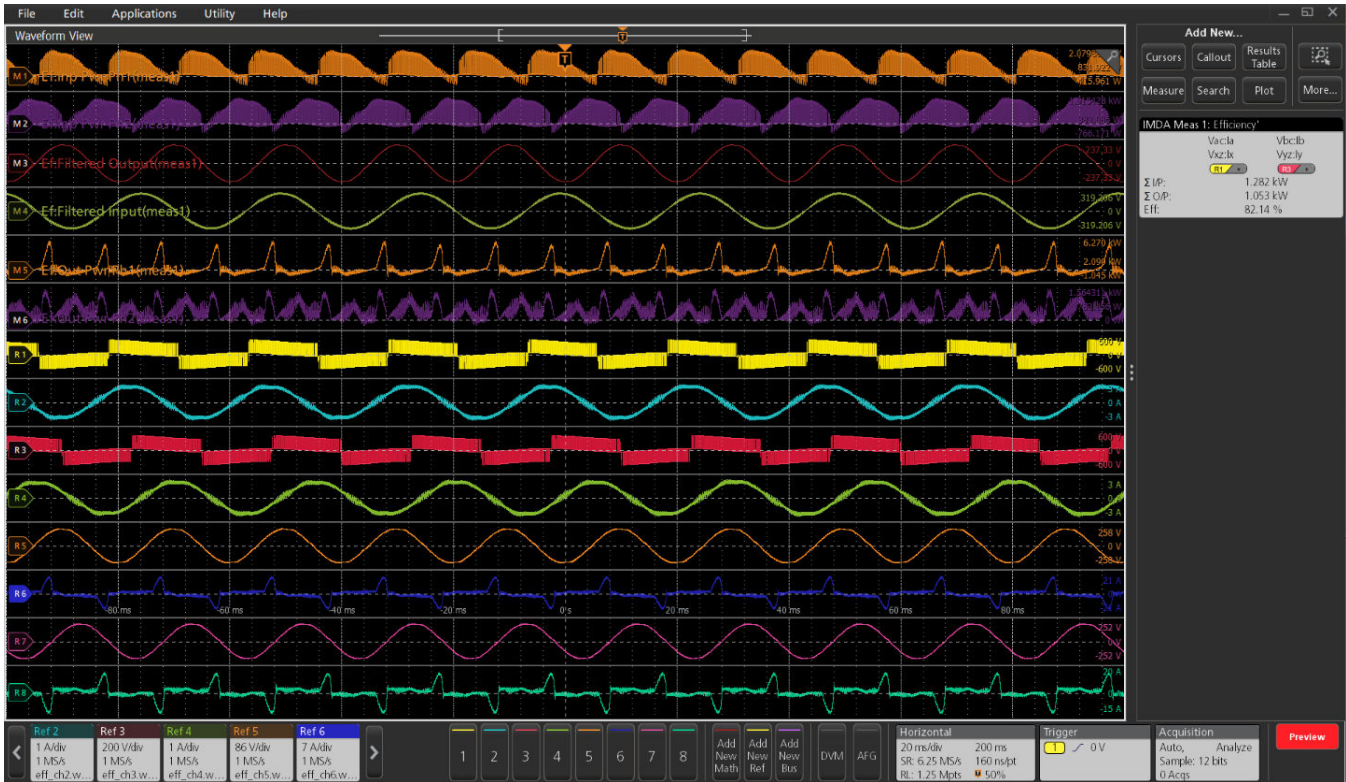


図10: システム効率の全体像を詳細に把握できる

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。

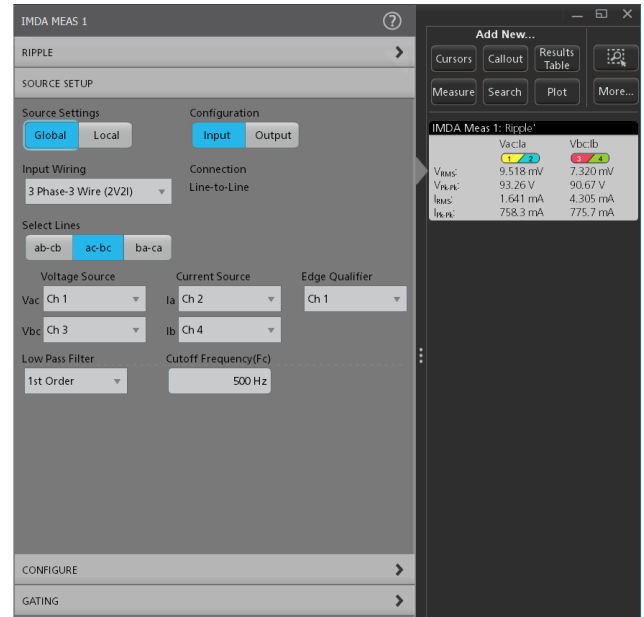


図11: ラインとスイッチングのリップルを調査するためのリップル解析設定

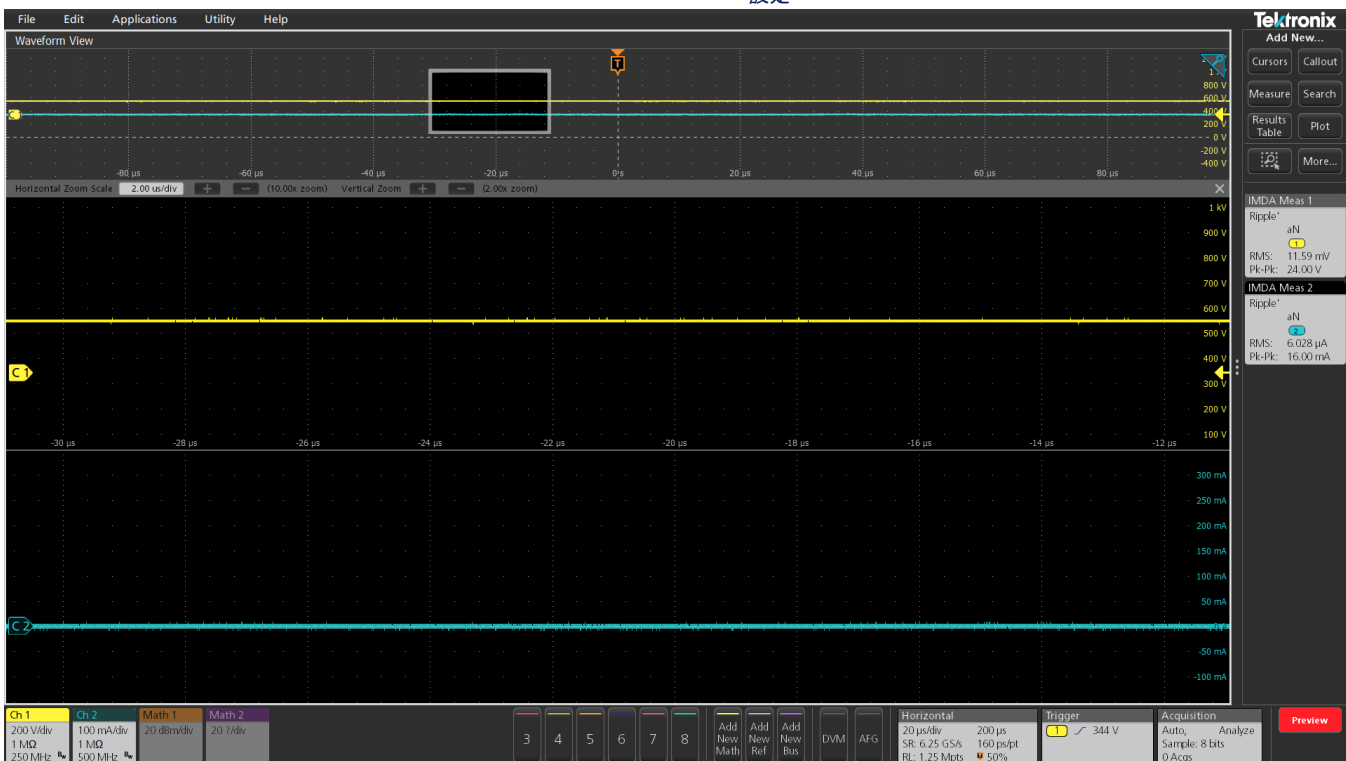


図12: インバータ・テストにおけるDC入力信号のライン・リップル測定

DQ0 解析

三相ドライブ・システムの最適化は、システム効率と安全性の向上に直結します。ここで重要となるのが、ドライブ・システムの制御ロジックを、三相 AC 信号をもとに最適に調整することです。AC から DC のドメインに変換することで、パラメータの観測が容易になり、測定が可能になります。DQZ または DA0 (Direct-Quadrature Zero、直接直交ゼロ) 変換は、解析を容易にするための、3 要素ベクトルの基準座標の回転テンソル、または 3 行 3 列のマトリクスです。この変換により、三相 AC 波形の基準座標を回転させることで、DC 信号にします。逆変換 (Inverse DQ0) 実行前にこの簡素化された DC 量で計算した後、実際の三相 AC の結果に戻します。

DQ0 変換の一般的なアプローチは、FPGA によるプログラミングと複雑な計算です。変換のための計算に加え、フィードバック信号のプロービングも非常に難しいことがあります。

テクトロニクスは、追加のオプションとして、DQ0 解析測定のカテゴリの中で特許取得済みのオンスコープによる DQ0 測定機能を提供しています。この測定 3V3I 結線構成に対応しており、モータ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。モータ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。

この機能には、大きな特長があります。まず、プロービングは、入力解析または出力解析と同じプロービング構成が DQ0 解析でも使用できるため、シンプルです。さらに、DQ0 の値はオシロスコープ画面の測定バッジにスカラ値として表示されると同時に、フェーザ図のベクトルとしても表示されるため、2つのプロット間の相関解析が容易になります。

DQ0 の機能は、5/6 シリーズ MSO のオプションである Opt. 5-IMDA-DQ0/6-IMDA-DQ0 として利用可能です。

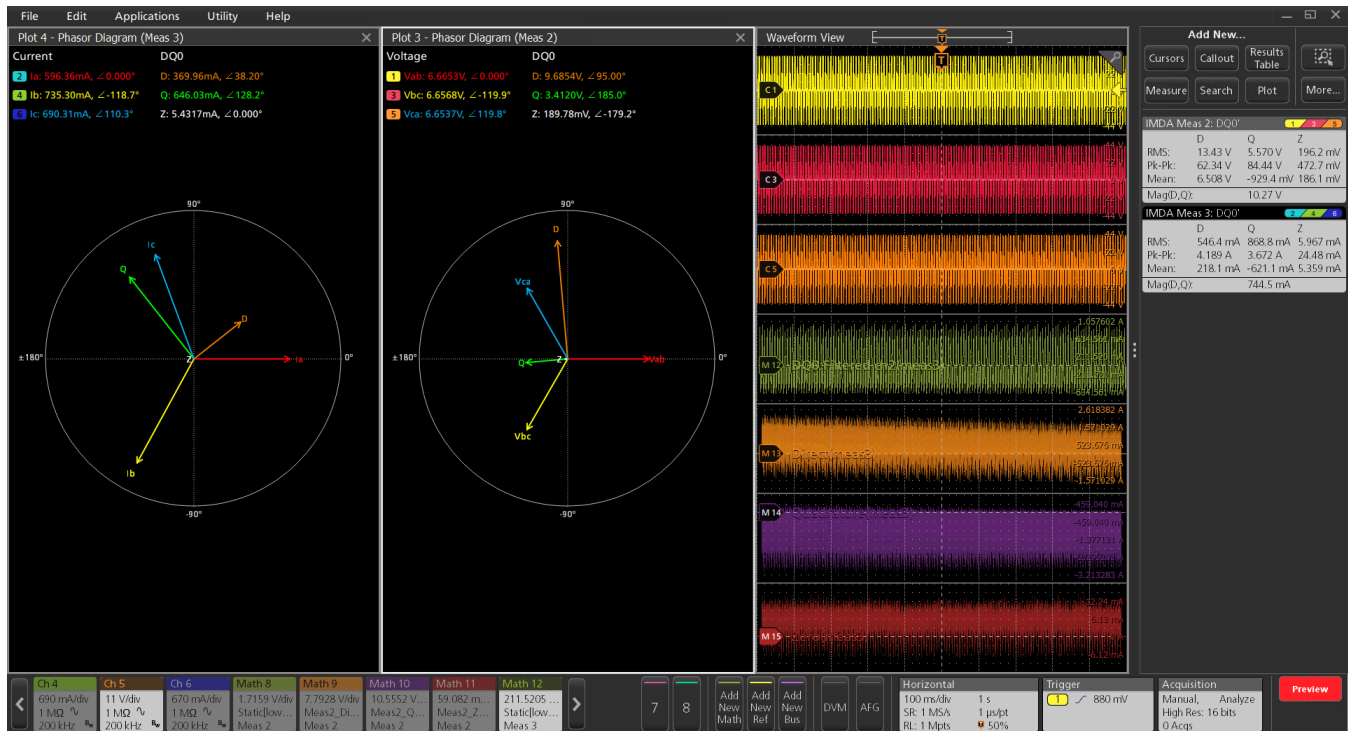


図 13: 5 シリーズ MSO 上で DQ0 測定を実行した画面。VQ (緑)、VD (オレンジ)、VZ (白) の各ベクトルがフェーザ図に示されると同時に、そのスカラ値が右側の測定バッジに表示される

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レコード長で、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、テスト設定時にユーザによって設定可能です。そのため、ユーザは長いデータ・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

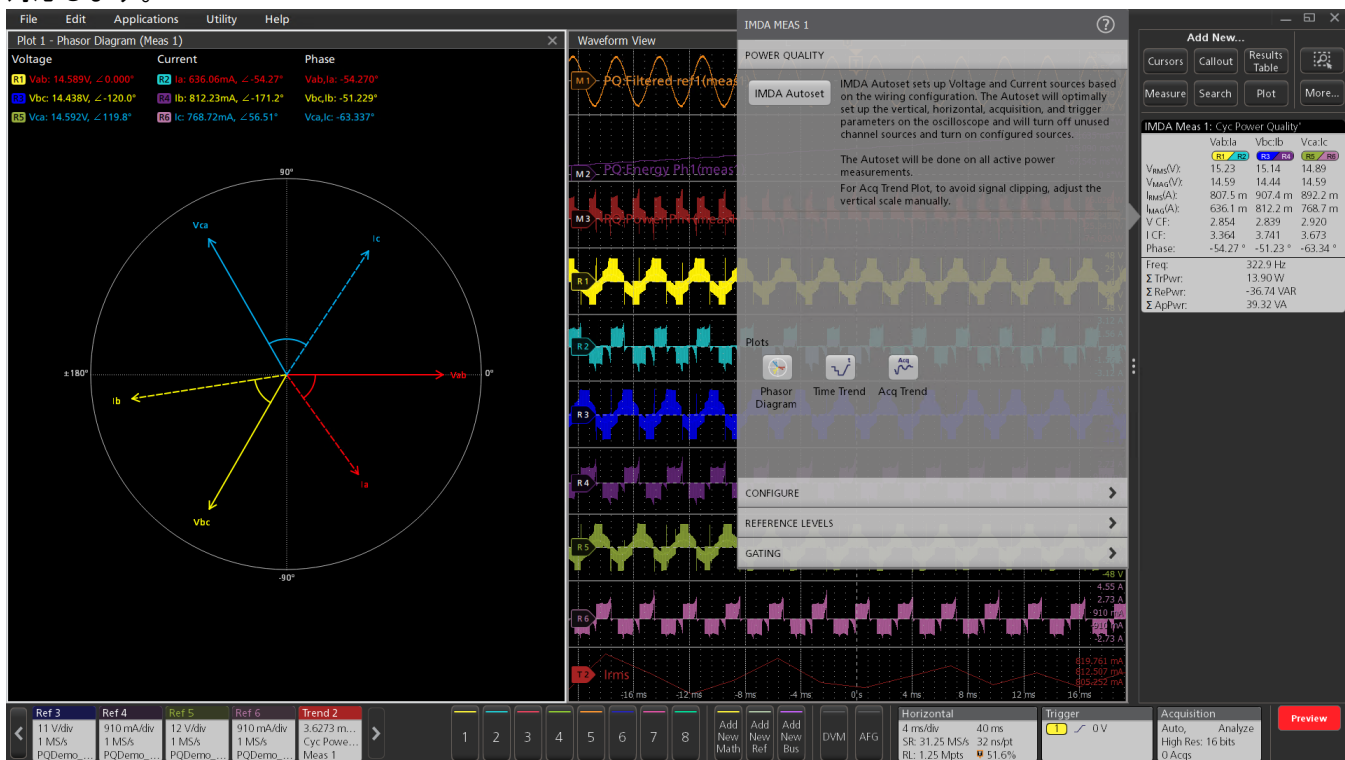


図14: 時間トレンドでは、1つのアクイジション・レコードにおける電力測定をグラフィカルに解析できる。アクイジション・トレンドは、長時間における数多くのアクイジションの電力測定をプロットできる

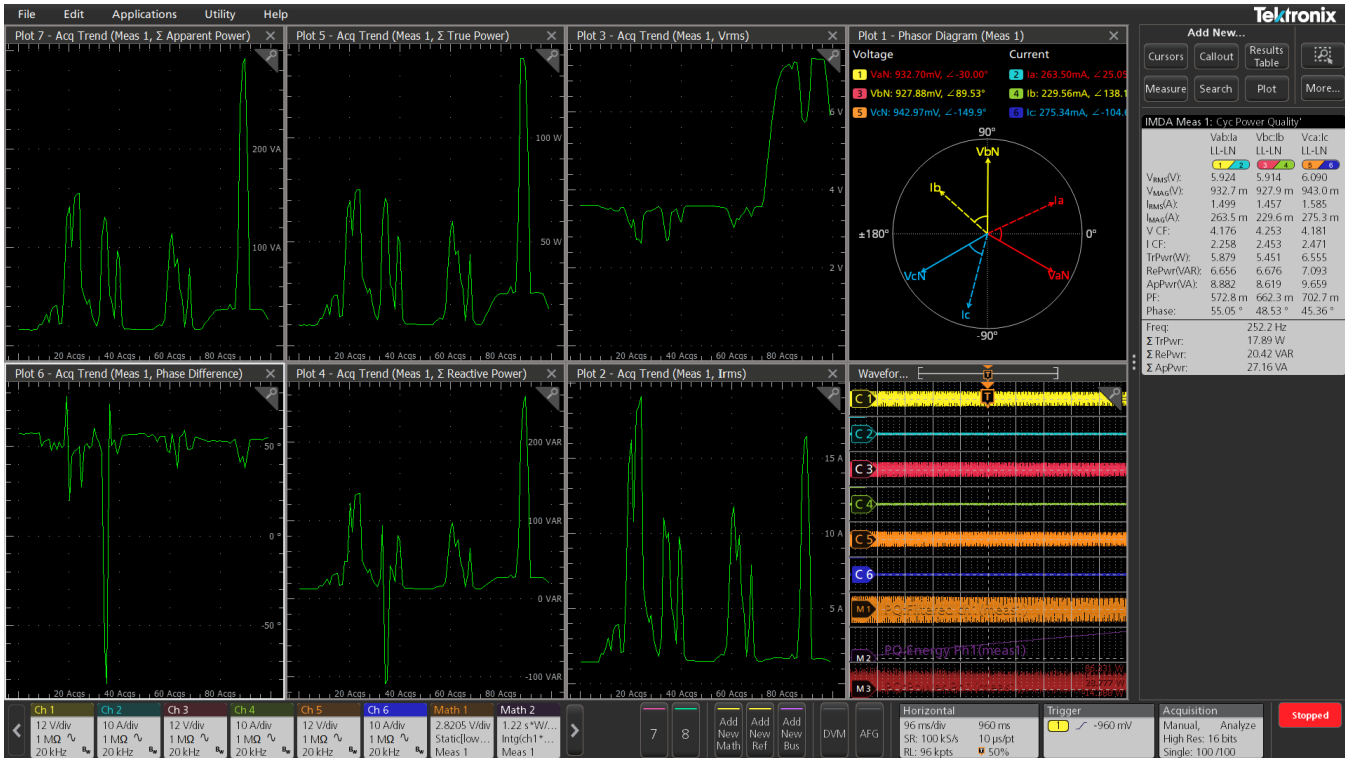


図15: Vrms、Irms、位相差、有効電力の合計、皮相電力、無効電力など、100回のアクイジションの平均パワー測定のアクイジション・トレンド・プロットの例

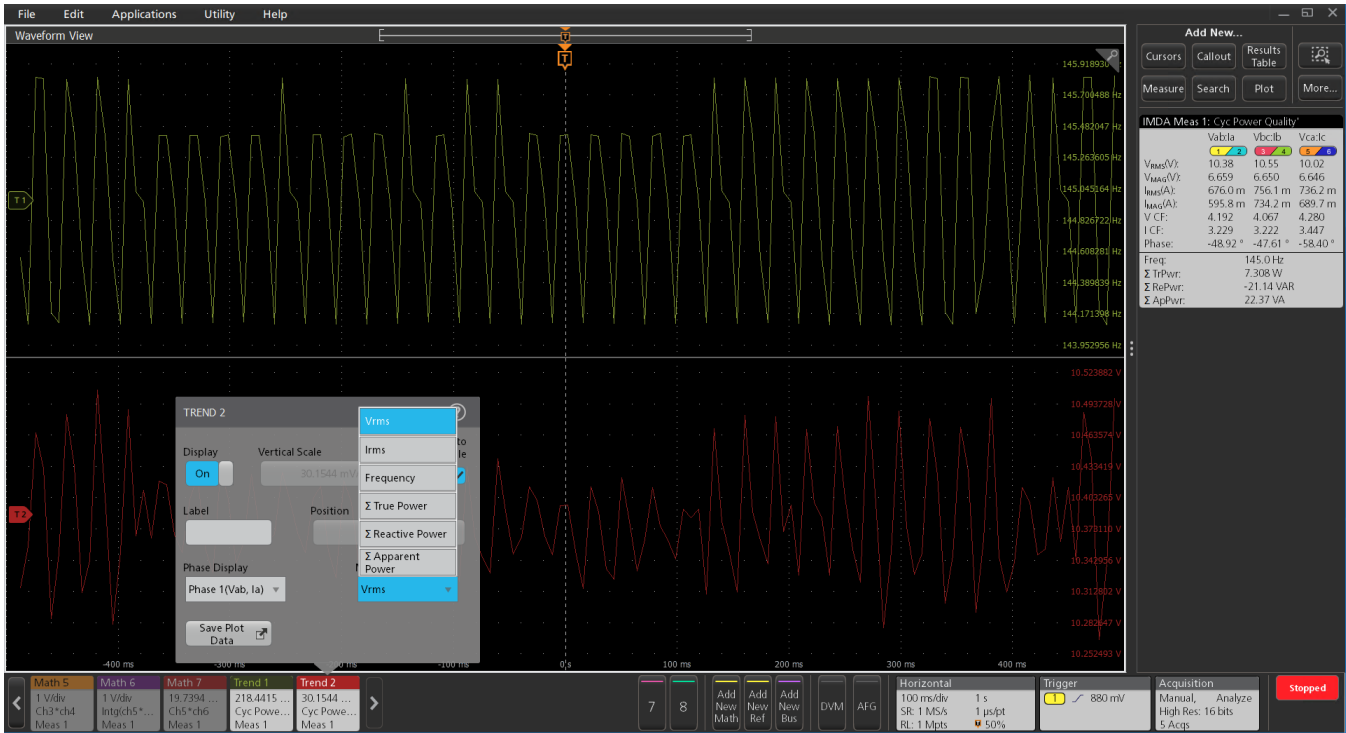


図16: 電力品質測定のためのさまざまなサブ測定では、時間トレンド・プロットの追加と設定が可能。Vrms と周波数のパラメータを監視する2つの時間トレンド・プロットが表示されている

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

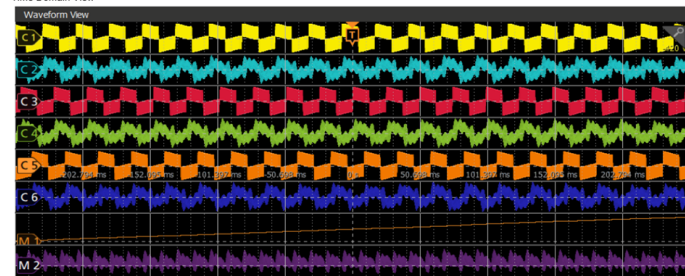
Scope Details			
Scope Model Number	Scope Serial Number	Yok Scope Version	Scope Calibration Status
MS205	Q100118	1.24.0	Pass

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 - VRMS (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
IRMS		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
Voltage 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
True 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



Global Configuration

Gating	Jitter Separation Model	Dual Dirac Model	Display Unit Type	Standard Reference Levels	Jitter Reference Levels	Lock RJ
None	SpectralOnly	PCIExpress	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	50%
RiseMid	50%
RiseLow	10%
FallHigh	50%
FallMid	50%
FallLow	10%
Hysteresis	10%

図 17: 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)

Specifications

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 ¹
電気解析	電源品質、高調波 ² 、リップル、DQ0 ³ 、効率 ⁴
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、アキュジション・トレンド・プロット、フェーザ図、高調波バー・グラフ ⁵
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

¹ 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。

² カスタム・リミットをサポート。

³ 3V3I 結線でのみ使用可能。

⁴ 2V2I 結線でのみ使用可能。

⁵ 測定の構成の一部としてレンジ・フィルタを使用。

Ordering information

型名

製品名	Opt.	対応機器	利用可能な周波数帯域
新規にオシロスコープをご発注の場合のオプション名	5-IMDA	5 シリーズ MSO (MSO56 型、MSO58 型)	<ul style="list-style-type: none"> 350MHz 500MHz 1GHz 2GHz
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		
製品名	Opt. ⁶	対応機器	利用可能な周波数帯域
新規にオシロスコープをご発注の場合のオプション名	5-IMDA-DQ0	5 シリーズ MSO (MSO56 型、MSO58 型)	<ul style="list-style-type: none"> 350MHz 500MHz 1GHz 2GHz
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		
製品名	型名	対応機器	利用可能な周波数帯域
新規にオシロスコープをご発注の場合のオプション名	6-IMDA	6 シリーズ B MSO (MSO66B 型、MSO68B 型)	<ul style="list-style-type: none"> 1GHz 2.5GHz 4GHz 6GHz 8GHz 10GHz
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		
製品名	Opt. ⁶	対応機器	利用可能な周波数帯域
新規にオシロスコープをご発注の場合のオプション名	6-IMDA-DQ0	6 シリーズ B MSO (MSO66B 型、MSO68B 型)	<ul style="list-style-type: none"> 1GHz 2.5GHz 4GHz 6GHz 8GHz 10GHz
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		

ソフトウェア・バンドル

バンドル・オプション	対応機器	概要
5-PRO-POWER-1Y	5 シリーズ MSO	Pro Power Bundle (1年更新ライセンス、5 シリーズ MSO 用)
5-PRO-POWER-PER	5 シリーズ MSO	Pro Power Bundle (永続ライセンス、5 シリーズ MSO 用)
5-ULTIMATE-1Y	5 シリーズ MSO	Ultimate Power Bundle (1年更新ライセンス、5 シリーズ MSO 用)
5-ULTIMATE-PER	5 シリーズ MSO	Ultimate Power Bundle (永続ライセンス、5 シリーズ MSO 用)
6-PRO-POWER-1Y	6 シリーズ MSO	Pro Power Bundle (1年更新ライセンス、6 シリーズ MSO 用)
6-PRO-POWER-PER	6 シリーズ MSO	Pro Power Bundle (永続ライセンス、6 シリーズ MSO 用)

#table-continued

⁶ Opt. DQ0 には前提条件として Opt. IMDA が必要

バンドル・オプション	対応機器	概要
6-ULTIMATE-1Y	6 シリーズ MSO	Ultimate Power Bundle (1年更新ライセンス、6シリーズMSO用)
6-ULTIMATE-PER	6 シリーズ MSO	Ultimate Power Bundle (永続ライセンス、6シリーズMSO用)

推奨プローブ

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



Tektronix is registered to ISO 9001 and ISO 14001 by SRI Quality System Registrar.



Product(s) complies with IEEE Standard 488.1-1987, RS-232-C, and with Tektronix Standard Codes and Formats.



Product Area Assessed: The planning, design/development and manufacture of electronic Test and Measurement instruments.

⁷ 効率測定を行うためには、プローブが4本必要です。

ASEAN / Australasia (65) 6356 3900
Belgium 00800 2255 4835*
Central East Europe and the Baltics +41 52 675 3777
Finland +41 52 675 3777
Hong Kong 400 820 5835
Japan 81 (3) 6714 3086
Middle East, Asia, and North Africa +41 52 675 3777
People's Republic of China 400 820 5835
Republic of Korea +822 6917 5084, 822 6917 5080
Spain 00800 2255 4835*
Taiwan 886 (2) 2656 6688

Austria 00800 2255 4835*
Brazil +55 (11) 3759 7627
Central Europe & Greece +41 52 675 3777
France 00800 2255 4835*
India 000 800 650 1835
Luxembourg +41 52 675 3777
The Netherlands 00800 2255 4835*
Poland +41 52 675 3777
Russia & CIS +7 (495) 6647564
Sweden 00800 2255 4835*
United Kingdom & Ireland 00800 2255 4835*

Balkans, Israel, South Africa and other ISE Countries +41 52 675 3777
Canada 1 800 833 9200
Denmark +45 80 88 1401
Germany 00800 2255 4835*
Italy 00800 2255 4835*
Mexico, Central/South America & Caribbean 52 (55) 56 04 50 90
Norway 800 16098
Portugal 80 08 12370
South Africa +41 52 675 3777
Switzerland 00800 2255 4835*
USA 1 800 833 9200

* European toll-free number. If not accessible, call: +41 52 675 3777

For Further Information. Tektronix maintains a comprehensive, constantly expanding collection of application notes, technical briefs and other resources to help engineers working on the cutting edge of technology. Please visit www.tek.com.

Copyright © Tektronix, Inc. All rights reserved. Tektronix products are covered by U.S. and foreign patents, issued and pending. Information in this publication supersedes that in all previously published material. Specification and price change privileges reserved. TEKTRONIX and TEK are registered trademarks of Tektronix, Inc. All other trade names referenced are the service marks, trademarks, or registered trademarks of their respective companies.