Keysight Technologies

電源制御ループ応答（ボード線図）測定

Keysight InfiniiVision Xシリーズ オシロスコープを使用

Application Note

KEYSIGHT TECHNOLOGIES

はじめに

電源のテスト／特性評価には、主にオシロスコープが測定ツールとして使用されています。Keysight InfiniiVision Xシリーズなどの今日のオシロスコープの多くでは、専用の電源測定オプションによって、最も重要な測定の多くを容易に自動化できます。図1に、電源測定オプション(DSOX3PWR、DSOX4PWR、DSOX6PWR)を搭載したKeysight InfiniiVision 3000T、4000、6000 Xシリーズ オシロスコープで使用可能な電源の特性評価測定の一覧を示します。キーサイト独自の測定ラインナップに、制御ループ応答(ボード線図)や電源電圧変動除去比(PSRR)などの周波数応答測定です。これらのスティミュラス・レスポンス・タイプの測定には、通常、低周波ネットワーク・アナライザを使用しますが、Keysight InfiniiVision Xシリーズ オシロスコープはファンクション／任意波形発生器を内蔵しているので、これを使用して測定を行うこともできます。

図1.　Keysight InfiniiVision Xシリーズ オシロスコープで使用可能な電源の特性評価測定。

制御ループ応答(ボード線図)

図2に示すように、電源は実は負のフィードバック制御ループを持つ増幅器です。つまり、電源をDC増幅器と考えることも可能ですが、実際には交流も増幅され、負荷変動などの出力条件の変化に影響を及ぼします。

制御ループ応答テストを実行するには、ある周波数帯域の誤差信号を制御ループのフィードバック経路に注入する必要があります。R1とR2の抵抗ディバイダー回路がこの図のフィードバック経路です。誤差信号を注入するために、小さな抵抗をフィードバックループに挿入する必要があります。R1とR2の直列抵抗値と比べれば、この回路図の注入抵抗の5 Ωは無視できる程度のものです。このため、テスト用のこのような低抵抗値の注入抵抗(Rinj)がデザインに組み込まれることがあります。AC妨害信号をアイソレートして、DCバイアスが含まれないようにするために、Picotest社のJ2101Aなどの注入トランスも必要です。

測定システム(この場合は、WaveGenファンクション/任意波形発生器内蔵のInfiniiVision Xシリーズ オシロスコープ)は、フィードバック回路の一番上(Vin)や電源の安定化DC出力(Vout)のAC電圧レベルを測定します。オシロスコープは、掃引帯域内の各周波数の利得を20Log(Vout/Vin)として計算します。同時に、VinとVoutの位相差も測定されます。

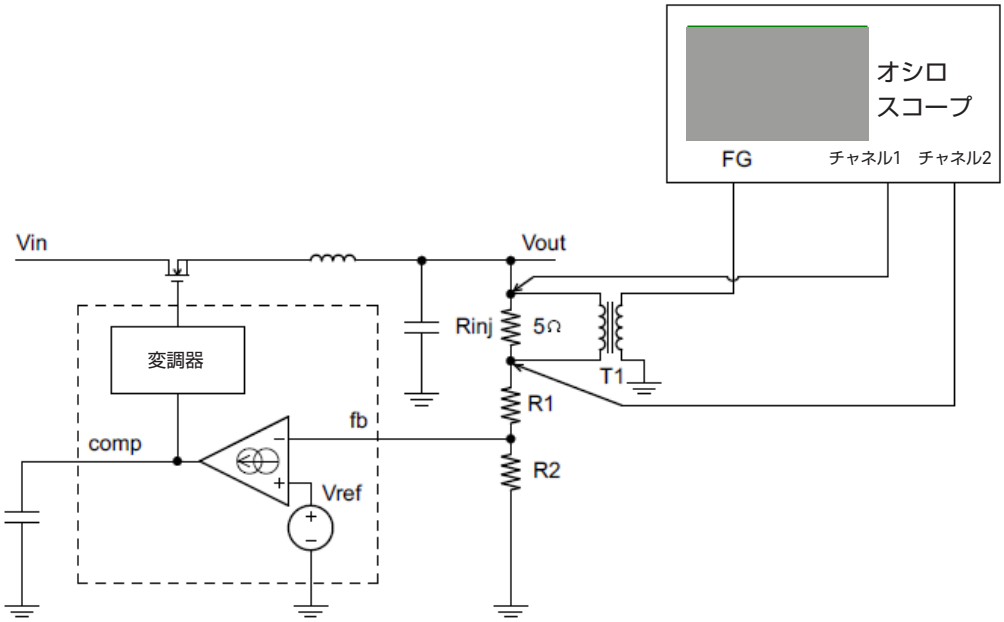


図2.　制御ループ応答テスト用の電源の閉ループフィードバック回路とオシロスコープの接続。

入力と出力の接続

多くの場合、制御ループ応答測定には優れたプロービング手法が必要です。VinとVoutの両方のピークツーピーク振幅が一部のテスト周波数で非常に小さくなると、オシロスコープのノイズフロアに埋もれてしまったり、DUT自体のスイッチングノイズに埋もれてしまったりすることがよくあります。測定のS/N比を高めると、周波数応答測定のダイナミックレンジが向上します。ほとんどのオシロスコープに10:1パッシブプローブが標準で付属していますが、1:1パッシブプローブを使用すれば、スイッチングノイズの影響が減少してS/N比が向上します。N2870A 35 MHz帯域幅の1:1パッシブプローブを使用することをお勧めします。

プローブのグランド接続の長さを短くすることも有効です。プローブに標準で付属しているグランドリードがスイッチングノイズの近くにある場合は、アンテナとして動作する可能性があります。VinやVoutテストポイント近くにグランドポストがある場合は、長いグランドリードやプローブ・グラバー・アセンブリーを取り外し、プローブのバレル(グランド)をグランドポストに直接接続することができます(図3を参照)。近くにグランドポストはないが、PCB上に近接するグランドポイントがあるという場合は、通常、パッシブプローブに付属しているばね式グランド・クリップ・アセンブリーを使用して、短いグランド接続を実現することができます。もう1つ、PCBのデザインにプローブソケットを組み込む方法があります。これにより、低雑音の最高のグランド接続とハンズフリーのプロービングが実現します。

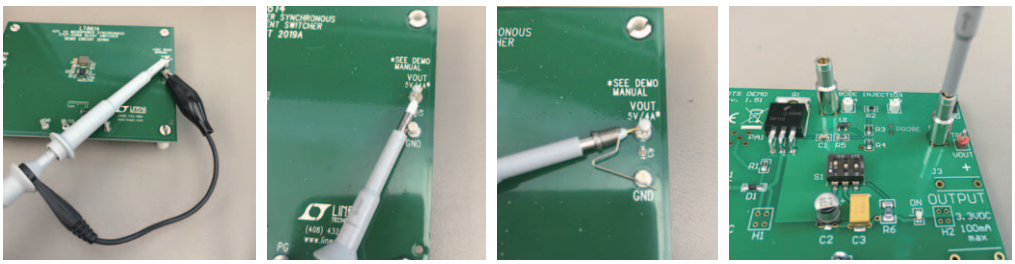


図3.　短いグランドリードを使用してDUTを接続すれば、最高のS/N比の制御ループ応答測定を実現できます。

制御ループ応答測定の実行

図4は、1:1パッシブプローブと標準のグランドリードを使用して、Picotestスイッチングモード電源(SMPS)評価ボードの閉ループ応答テストを実行するセットアップを示しています。このテストには、Picotest N2101A注入トランスを絶縁トランスとして使用しています。このSMPSのデザインでは、制御ループのフィードバック経路に5 Ωシャント／注入抵抗が組み込まれています。

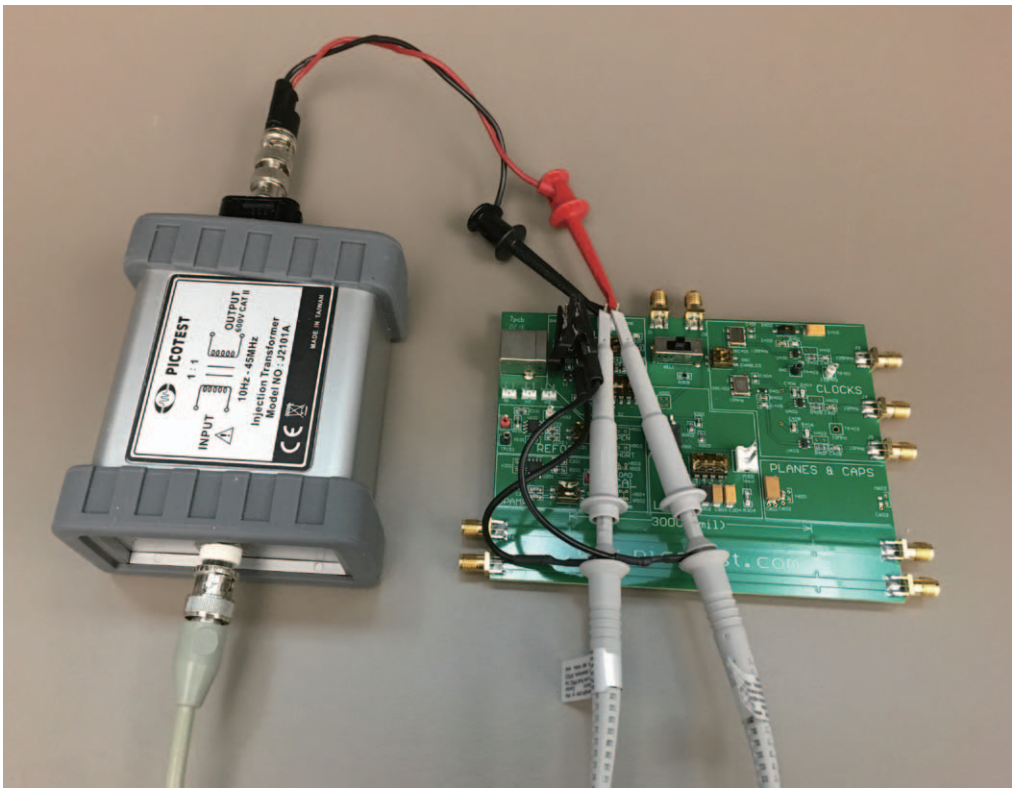


図4.　Picotest J2101A注入トランスを使用した制御ループ応答テストのセットアップ。

制御ループ応答測定の実行(続き)

この制御ループ応答テストを電源測定オプションを搭載したInfiniiVision Xシリーズ オシロスコープを使用して実行するには、実行可能な電源関連の測定のリストから制御ループ応答測定を選択し、[Setup & Apply]を選択します(図5を参照)。図5の測定開始時には、デフォルト設定をすべてそのまま使用し、例えば、50 Ω終端に対して、すべての周波数で200 mVpp固定のテスト振幅を使用しています。1:1の絶縁トランスは5 Ωで終端されているので、シャント抵抗の両端の実際の差動テスト電圧は36 mVpp(～ 13 mVrms)に近くなります。

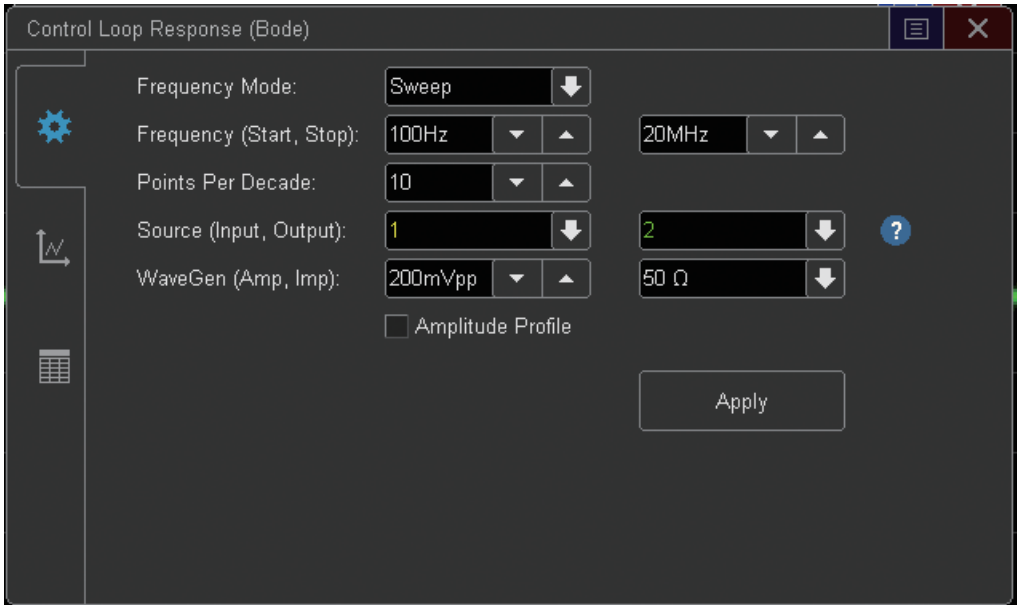


図5.　制御ループ応答のテストパラメータの設定。

ほとんどのスタンドアロン型の周波数応答アナライザ(FRA)やベクトル・ネットワーク・アナライザ(VNA)は、テスト振幅を50 Ω終端に対してVrmsまたはdBmで設定します。複数の測定器(オシロスコープ、FRA、VNA)のテスト結果を比較する場合は、設定可能な単位が異なる(Vpp、Vrms、dBm)場合でもテスト振幅が同じであることを確認してください。

セットアップメニューでテストパラメータを設定したら、[Apply]を押します。図6は、100 Hz ～ 20 MHzの掃引テストを実行した時の、利得(青緑色のトレース)および位相(オレンジ色のトレース)のプロットです。オシロスコープは、位相マージン(PM)と利得マージン(GM)も自動的に測定してディスプレイの下部に表示します。

制御ループ応答測定の実行(続き)

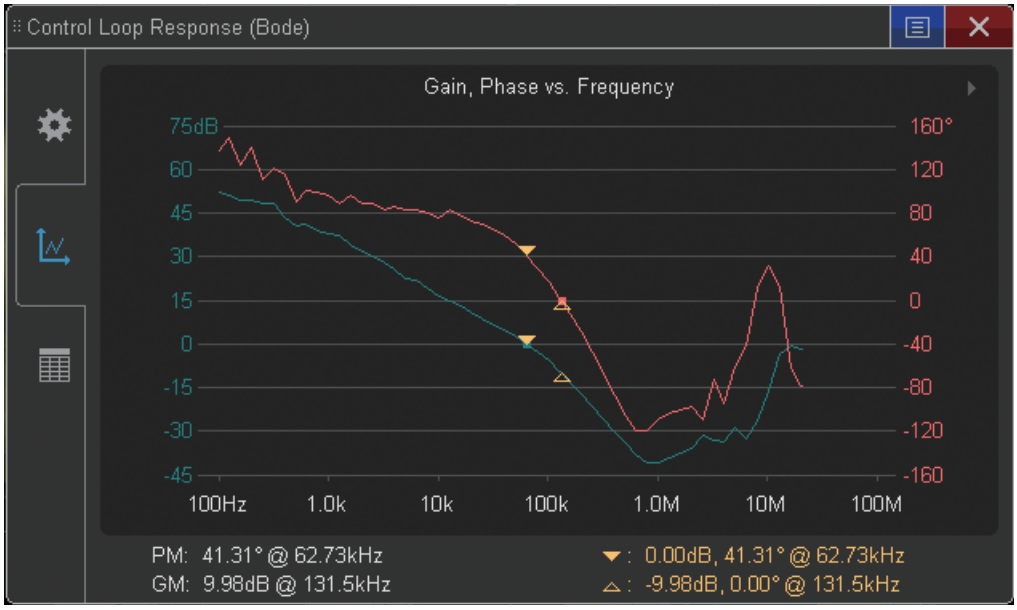


図6. 固定のテスト振幅を使用した場合の制御ループ応答の利得プロット/位相プロット。

このテストでは、低い周波数で「チャタリング」と思われる現象が発生していることがわかります。このチャタリングは、S/N比が一部のテスト周波数では低すぎる可能性があることを示しています。S/N比を向上させる手段として、単純にすべての周波数のテスト振幅を大きくする方法がありますが、これによって歪みが発生して、利得が0 dBになるクロスオーバー周波数で位相マージン測定が不正確になる可能性があります。

より適切な方法でS/N比を向上させるために、この測定ツールの振幅プロファイル機能を使用してテスト振幅をカスタマイズできます(図7を参照)。振幅プロファイリングを使用すれば、DUTの感度が高い周波数では小さい振幅を、歪みに対する感度が低い周波数では大きい振幅を使用してテストできます。電源のフィードバック回路は一般に、利得が0 dBになるクロスオーバー周波数(このDUTの場合は60 kHz)近傍が最も感度が高くなります。

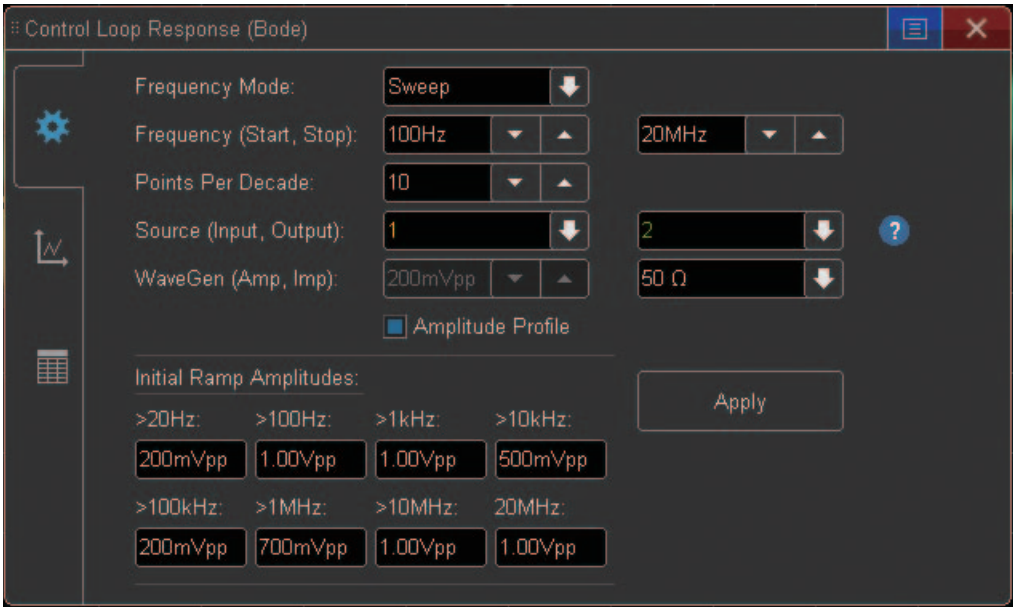


図7. 振幅プロファイリングを使用したS/N比の最適化。

制御ループ応答測定の実行(続き)

図8は、カスタマイズされたテスト振幅を使用した制御ループ応答の利得/位相測定を示しています。S/N比が不十分なために生じたチャタリングが最小限に抑えられていることがわかります。

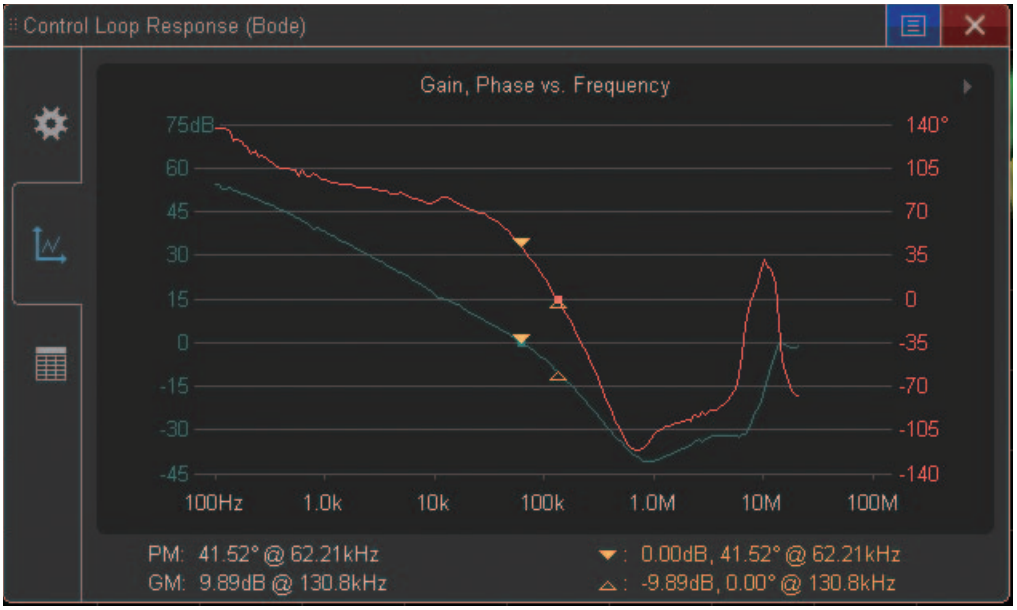


図8. 最適化されたテスト振幅を使用した利得/位相測定。

それでは、最適なテスト振幅を決定するにはどうすればよいでしょうか?比較的大きいテスト振幅から始めて、利得が0 dBになるクロスオーバー周波数の測定値が安定したポイントにセトリングするまで、何度もテストを実行しながら振幅を徐々に小さくしていく方法が推奨されることがあります。

キーサイトのオシロスコープをベースとしたソリューションの利点の1つは、テストしながら頻繁に歪みをモニターできることです。入力したテスト正弦波がいびつになったり、クリップしたり、少し三角形状(非正弦波)になり始めた場合は、DUTのオーバードライブによって歪みが発生している可能性があります。テスト振幅を最適化して最高のダイナミックレンジ測定を実現するには、通常、周波数応答測定を複数回繰り返して実行します。キーサイトのオシロスコープをベースとした周波数応答測定では、測定回数を低減することができます。

キーサイトのオシロスコープをベースとしたソリューションでは、1つの周波数で位相/利得測定を実行できるため、1つの周波数、例えば利得が0 dBになることが期待されるクロスオーバー周波数近傍の周波数でテストを実行して、オシロスコープのWaveGenセットアップメニューで振幅と周波数を手動調整しながら、オシロスコープのディスプレイ上に繰り返し表示されるタイムドメイン波形をモニターすることができます。

例えば、図6に示すように50 Ω終端に対して200 mVpp固定という小さいテスト振幅(5 Ωシャント/注入抵抗によって約13 mVrmsに変換される)でフル掃引テストを実行して、利得が0 dBになるクロスオーバー周波数の近似値を決定することから始めます。例では、利得が0 dBになるクロスオーバー周波数が約62 kHzであることがわかりました。次に、62 kHzで1回テストを実行し、歪みが現れるまで、テスト振幅を大きくしていきます。利得が0 dBになるクロスオーバー周波数近傍の最大テスト振幅を確認したら、そのテスト振幅をすべての周波数で使用することができます。さらにより低い/高い周波数におけるテスト振幅を最適化したい場合は、さまざまな周波数で何度かテストを実行して、最適化振幅プロファイルを決定することができます。

まとめ

今日では、オシロスコープが電源設計のテスト／特性評価用の測定ツールとして主に使用されています。しかし、制御ループ応答などの周波数応答測定を実行する場合は、ほとんどのオシロスコープにかなりの制約があります。Keysight InfiniiVision Xシリーズ オシロスコープは、制御ループ応答測定を自動的に実行できる、業界初のオシロスコープです。キーサイトのネットワーク・アナライザと比較したテストで、InfiniiVision Xシリーズ オシロスコープの利得／位相測定は、非常に近い値をトラッキングすることができました。

システム要件

Keysight InfiniiVision 3000T、4000、6000 Xシリーズ オシロスコープで制御ループ応答テストを行うには、オシロスコープに電源測定オプション(DSOX3PWR、DSOX4PWR、DSOX6PWR)のライセンスが必要です。WaveGenオプションは不要です。1回の制御ループ応答測定ごとに、オシロスコープのWaveGenが自動的にオンになります。低レベルの入力信号や出力信号のプロービングには、N2870Aなどの1:1パッシブプローブを2本使用することをお勧めします。オシロスコープのWaveGen出力から電源のフィードバック回路に入力される妨害信号を結合してアイソレートするには、Picotest社製のJ2101A注入トランスなどの絶縁トランスが必要です。この製品の詳細については、Picotest社にお問い合わせください(www.picotest.com)。

上にリストされている最小システム要件に加えて、3000T/4000 Xシリーズ オシロスコープではファームウェアバージョン4.08以上、6000 Xシリーズ オシロスコープではファームウェアバージョン6.10以上が必要です。

関連カタログ

タイトル	カタログ番号
『InfiniiVision 3000T X-シリーズ オシロスコープ』- Data Sheet	5992-0140JAJP
『InfiniiVision 4000 Xシリーズ オシロスコープ』- Data Sheet	5991-1103JAJP
『InfiniiVision 6000 Xシリーズ オシロスコープ』- Data Sheet	5991-4087JAJP
『DSOX3PWR/DSOX4PWR/DSOX6PWR Power Measurement Options』- Data Sheet	5990-8869EN
『InfiniiVisionオシロスコーププローブ／アクセサリ』- Selection Guide	5968-8153JA
『電源電圧変動除去比(PSRR)測定』- Application Note	5992-0594JAJP
『スイッチング電源の測定』- Application Note	5991-1117JAJP
『Making Your Best Power Integrity Measurements』- Application Note	5992-0493EN
『Tips and Techniques for Making Power Supply Noise Measurements with an Oscilloscope』- Application Note	5989-6755EN
『Evaluating Oscilloscopes for Low-Power Measurements』- Application Note	5991-4268EN
『New Probing Technology Enables High Sensitivity, Wide Dynamic Range Current Measurement』– Application Note	5991-1951EN

www.axiestandard.org

AXIe（AdvancedTCA® Extensions for Instrumentation and Test）は、AdvancedTCA®を汎用テストおよび半導体テスト向けに拡張したオープン規格です。Keysightは、AXIeコンソーシアムの設立メンバーです。

www.lxistandard.org

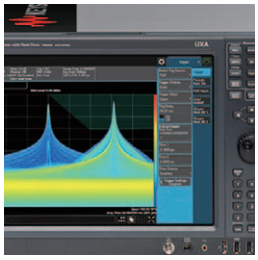
LXIは、ウェブへのアクセスを可能にするイーサネットベースのテストシステム用インタフェースです。Keysightは、LXIコンソーシアムの設立メンバーです。

www.pxisa.org

PXI（PCI eXtensions for Instrumentation）モジュラー測定システムは、PCベースの堅牢な高性能測定／自動化システムを実現します。

進化

キーサイト独自のハードウェア、ソフトウェア、スペシャリストが、お客様の次のブレークスルーを実現します。キーサイトが未来のテクノロジーを解明します。



ヒューレット・パッカードからアジレント、そしてキーサイトへ

myKeysight

www.keysight.co.jp/find/mykeysight
ご使用製品の管理に必要な情報を即座に手に入れることができます。

www.keysight.com/go/quality

Keysight Technologies, Inc.
DEKRA Certified ISO 9001:2015
Quality Management System

Keysight Infoline

www.keysight.com/find/service
測定器を効率よく管理するためのオンラインサービスです。無料登録により、保有製品リストや修理・校正の作業履歴、校正証明書などをオンラインで確認できます。

Keysight Services

www.keysight.co.jp/find/service
私達は、計測器業界をリードする専門エンジニア、プロセス、ツールにて、設計、試験、計測サービスにおける様々な提案をし、新しいテクノロジーの導入やプロセス改善によるコスト削減をお手伝いします。

Keysight Assurance Plans

www.keysight.com/find/AssurancePlans
Up to ten years of protection and no budgetary surprises to ensure your instruments are operating to specification, so you can rely on accurate measurements.

契約販売店

www.keysight.co.jp/find/channelpartners
キーサイト契約販売店からもご購入頂けます。
お気軽にお問い合わせください。

www.keysight.co.jp/find/scopes-power

キーサイト・テクノロジー合同会社
本社 〒192-8550 東京都八王子市高倉町9-1

計測お客様窓口
受付時間 9:00-18:00 (土・日・祭日を除く)
TEL 0120-421-345 (042-656-7832)
FAX 0120-421-678 (042-656-7840)
Email contact_japan@keysight.com
ホームページ www.keysight.co.jp

記載事項は変更になる場合があります。
ご発注の際はご確認ください。

© Keysight Technologies, 2015 - 2016
Published in Japan, July 15, 2016
5992-0593JAJP
0000-00DEP
www.keysight.co.jp