

Keysight Technologies

電力変換効率の測定方法

Application Note

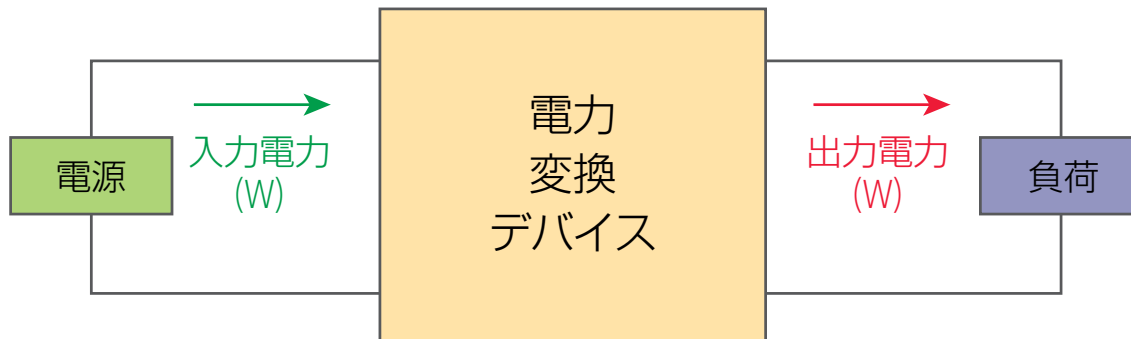
電力変換効率とは？

効率とは、特定の作業を行うために、どの程度有効に時間と力が使用されているかを評価したものです。例えば、その作業が1つの形態の電力から別の形態への変換の場合、変換の効率は電力変換がどの程度有効に行われたかを示します。電力変換プロセスでは、効率は、出力電力(W)を入力電力(W)で割り算し、パーセントで表します。パワーエレクトロニクスでは、ギリシャ文字のイータ(η)を使って効率を表します。図1を参照してください。

完全な電力変換プロセスの効率は100 %になりますが、現実にはすべてのエレクトロニクスでエネルギーの一部が熱として失われるため、100 %の効率を達成することは不可能です。入力電力の一部が電力変換プロセスそのものに使用されるので、出力にそのまま到達しません。そのため、効率は必ず100 %を下回ります。

電力変換効率が重要な理由

電力変換プロセスの効率が高いほど、浪費される電力が少なくなるのは明らかです。電力の浪費は多くのマイナス点をもたらします。まず、消費した電力に対して費やさなければならない経費、次に、バッテリー駆動デバイスをより頻繁に再充電する時間や、浪費電力から生じる熱を適切に放熱させるための製品のサイズ、そして、浪費電力を補うためにさらに発電が必要となることから起こる環境汚染などがあります。電力変換プロセスに関するコストを削減するために、エンジニアはこういったプロセスの効率を最大限に高めるよう努力しています。国際基準では、AC電源で動作する家庭電化製品の消費電力が制限されています。例えば、米国では、エネルギー省(DOE)により電力効率基準が確立されており、製品はその基準を満たしている必要があります。さらに、ENERGY STARプログラムでは、DOE基準よりも厳しい基準を自主的に順守することが奨励されています。このようなプログラムは、消費電力を削減して効率を最大化するために、電力変換プロセスを適切に設計することの重要性を強調しています。さらに、自動車の電化が進むにつれてHEVやEV(ハイブリッド車や電気自動車)市場が急速に発展しており、より効率の良い電力変換手法が必要となっています。このような開発のすべてが、デザインの消費電力を適切に測定/管理するというニーズの要因になっています。



$$\text{効率(\%)} = \eta = \frac{\text{出力電力(W)}}{\text{入力電力(W)}} \times 100$$

図1. 効率(η)は、出力電力(W)を入力電力で割り算したものです。

電力変換効率の測定方法

電力変換効率は2つの電力測定値の比なので、効率をどのように測定するかは、実際は電力をどのように測定するかということです。有効電力はワット単位で測定され、作業を行なったり熱を生成する電力です。電力は、単位時間当たりのエネルギーです。電力測定に使用する方法は、電力信号の形態によって異なります。時間が経過しても電圧と電流が一定している単純なDC信号の場合、有効電力(W)は単に測定したDC電圧とDC電流の積になります。この測定には標準のマルチメーターを使用することができます。ただし、時間の経過とともに電圧と電流が変化するAC信号の場合、有効電力の測定は困難で、専門的な測定器の使用が必要になります。

有効電力(W)を求めるには、ある時間の瞬間電圧 $v(t)$ とある時間の瞬間電流 $i(t)$ を掛け算して、ある時間の瞬間電力 $p(t)$ を計算します。この瞬間電力は時間とともに変化するため、周期の整数倍で電力を積分して、それを積分時間で割り算することで、平均値を計算する必要があります。この計算によって、回路に電圧 $V(t)$ が印加され電流 $i(t)$ が流れた時の、デバイスの消費電力(W)が計算されます。電圧と電流が両方とも周期 T の周期波形であると仮定すると、周期 T の周期波形の電力を計算する完全な数式は以下のようになります。

$$\text{平均電力(W)} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) * i(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$$

以下に、こういった測定と、測定を行うために使用する測定器の詳細について説明します。

マルチメーターによる電力と効率の測定

上記の平均電力(W)の式に関する特別なケースは、電圧と電流がDCの場合です。この場合、電圧と電流は時間の経過とともに一定しています。これは有効電力をワット単位で計算するためにマルチメーターを使って測定を行うことのできる唯一の状況です。マルチメーターは、特に、AC電圧またはDC電圧、AC電流またはDC電流、抵抗などの単純な1回の測定を行うために適していますが、マルチメーターに直接電力測定を行う機能はありません。電力の測定には同時に電圧と電流の両方を測定する必要があり、通常のマルチメーターでは一度に1つのパラメーターしか測定できません。そのため、マルチメーターを使って電力を測定するには、2台のマルチメーターを使って、1台で電圧を、もう1台で電流を測定するか、1台のマルチメーターで別々の時間に2つのパラメーターを測

定することになります。電圧と電流がどちらも純粋にDC(時間の経過とともに一定)の場合、電流と電圧を別々の時間に測定しても問題はありません。当然のこととして、電圧と電流は変化しないからです。これはまれなことです。そして、電力をワット単位で計算するためにマルチメーターで測定できる唯一の機会です。

ところが、電圧または電流のいずれかがAC(時間の経過とともに変化)の場合、電力をワット単位で計算するためにマルチメーターを使って測定することはできません。マルチメーターのAC電源/AC電流機能は、RMS値(実効値)を測定します。これらを掛け算すると、有効電力(W)ではなく、皮相電力(VA)が得られます。有効電力(W)は、効率の計算で使用する重要な電力測定値です。

オシロスコープによる電力と効率の測定

平均電力(W)の測定にはある時間内の電圧と電流を同時に測定することが必要とされ、オシロスコープはその作業に適した測定器です。適切な電圧/電流プローブを使用すれば、時間に対する電圧と電流の波形をオシロスコープで容易に捕捉することができます。ただし、この波形から電力(W)の測定値を得ることはかなり困難な作業です。機能に制限がある基本的なオシロスコープでは、この作業を行うことはできません。しかし、多くのオシロスコープには演算機能が搭載されており、波形を掛け算することができます。この機能を用いて、電圧波形と電流波形を掛け算すると、瞬間電力の波形が得られます。この波形は目的の電力(W)ではなく瞬時皮相電力(VA)なので、電力(W)を求めるのは別のオシロスコープ測定機能を使用する必要があります。例えば、オシロスコープに波形の平均値を計算する機能が内蔵されている場合、その測定機能を瞬間電力波形に適用して、電力(W)を計算することができます。正確な結果を得るには、必ず、周期の整数倍で平均値を計算する必要があります。電力変換機器の効率を得るには、4つのチャンネルを使って行う必要があります。入力電力の電圧と電流に2つ、出力電力の電圧と電流に2つ使用します。次に、出力電圧(W)を入力電圧(W)で割り算して、効率を計算できます。図2と図3は、マイクロインバーターの入力(約31 V、ほとんどDC)に太陽電池アレイシミュレーターを、出力(約240 Vac)にAC電源グリッドを接続してテストしたオシロスコープの電力測定の例を示しています。入力電力は238.245 W、出力電力は230.814 Wと測定され、これによって計算された効率は96.88%になります。

DUT :
 マイクロインバーター 2本の差動電圧
 プローブ 2本の電流
 プローブ オシロスコープ

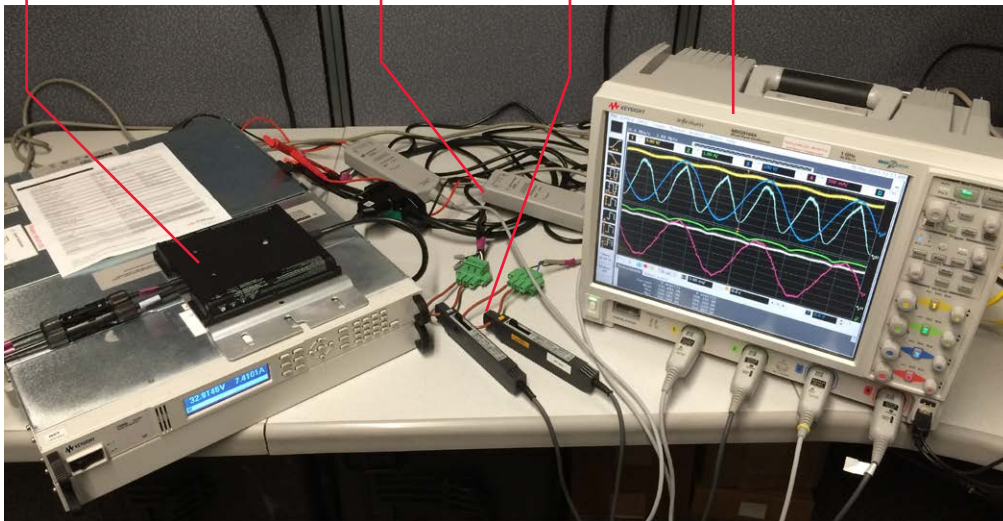


図2. キーサイトの4チャンネルオシロスコープで演算を使って、マイクロインバーターの電圧と電流の波形から入力電力と出力電力の波形を生成します。次に、電力波形の平均測定値により電力(W)が計算され、そこから効率が計算できます。

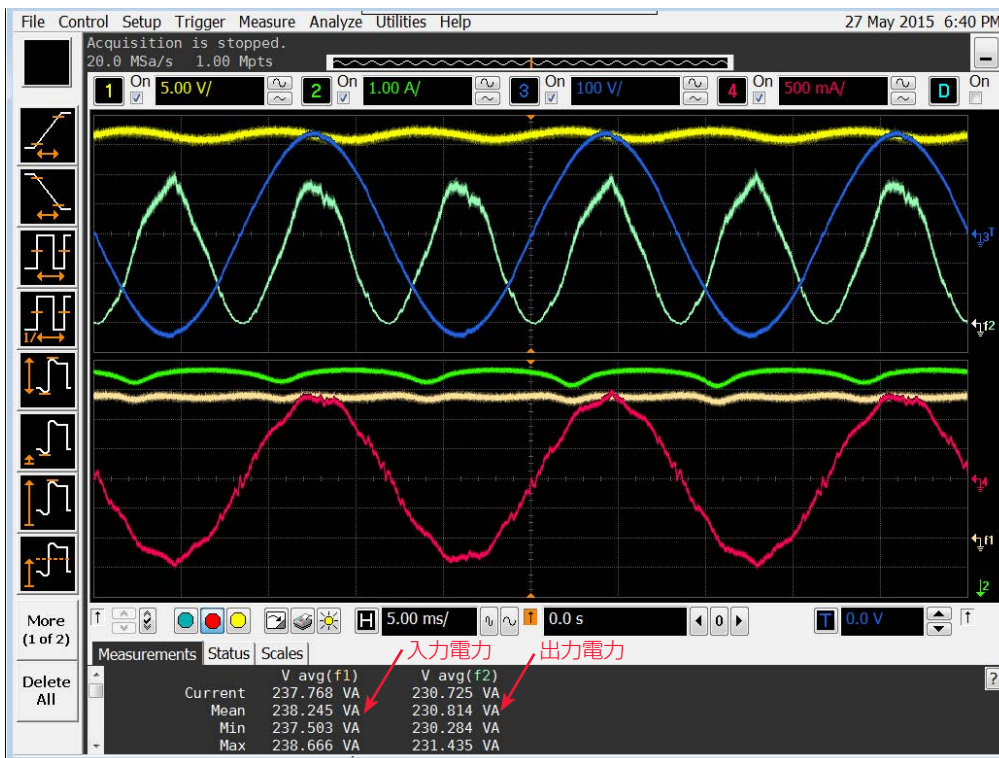


図3. 拡大されたオシロスコープのスクリーンショットが、電力の演算の結果を示しています。平均入力電力は238.245 W、平均出力電力は230.814 Wとなり、特定の作動状況の下でこのマイクロインバーターに対して計算された効率は96.88%になります。

一部のオシロスコープは、このような測定を大幅に簡素化できる非常に特殊な電力測定 オプションを備えています。例えば、Keysight InfiniiVision 4000/6000 Xシリーズ オシロスコープには、電力測定アプリケーション(DSOX4PWRおよびDSOX6PWR)があり、オシロスコープの4つのチャンネルをすべて使用し、オプションを使って電力と効率の計算を行うことで、直接効率を測定することができます。オシロスコープでは許容できる電力と効率の測定を電力変換機器に行えるものの、その電力測定の真の利点は、電力変換機器外部の端から端ではなく、機器内部の電力波形を観察するために使用するときに明らかになります。キーサイトのオシロスコープのパワーアプリケーションは、スイッチング電源およびリニア電源の信頼性、効率、性能を解析するときに便利で、特に、電力変換回路やコンポーネントで高周波スイッチングの損失を確認する場合に役立ちます。

オシロスコープの帯域幅性能は優れていますが、電圧測定の確度はあまり良いとは言えません。これは、通常の設計では8ビットの垂直分解能が使用されているためです。さらに、ほとんどのオシロスコープにはアースグラウンド基準の入力があるため、差動プローブを使用する必要があります。これにより、設定が複雑になり、測定誤差も増します。電流プローブの正確さは数パーセント内であり、ドリフトが生じることが知られています。そのため、頻繁に消磁しゼロ補正する必要があります。正確な電力測定値を得るためには、電圧と電流の波形を同時に取得しなければなりません。高周波波形が関わる場合、電圧と電流のプローブ測定経路で信号伝搬の遅延が発生し、伝搬遅延の差によって時間のずれが生じるため、その時間のずれを補正する必要があります。これは、AC電源電圧周波数など、低周波ではそれほど問題ではありません。

パワー・アナライザによる電力と効率の測定

多くのパワー・アナライザは、簡単で正確な効率測定ができるように設計されています。このような測定器は通常複数のアイソレート入力があり、電力変換機器の入出力で電圧と電流を同時に測定できるようになっています。アナライザでは、電圧と電流の信号を掛け算し、その結果として生じた電力波形の積分を行うと、正確な電力測定値(W)が得られます。次に、出力電力を入力電力で割り算することで、効率が直接表示されます。オシロスコープの帯域幅には及ばないものの、アナライザの帯域幅は、通常は、多くのアプリケーションで扱う波形を捕捉するには十分です。特に、高調波を含む50 Hzまたは60 Hzの回路を解析する場合などは問題ありません。オシロスコープの垂直分解能が8ビットであることに比べて、パワー・アナライザには最大16ビットの垂直分解能があるため、高い測定確度が可能になります。

例えば、Keysight PA2201A IntegraVisionパワー・アナライザには、正確で容易に効率測定を表示するために必要なすべての機能が搭載されています。2つのチャンネルのそれぞれで電圧、電流、電力の波形を捕捉し、6つの波形を同時に確認することができます。IntegraVisionの5 Mサンプル/秒、16ビットのデジタイズにより、最大2 MHzの帯域幅を使ってリアルタイムで波形が捕捉され、0.05 %の基本確度が可能になります。電圧/電流入力の基準はアースグラウンドで±1000 Vまでフローティングできます。差動電圧プローブを使用する必要がなくなり、それに関わる設定の複雑さや測定誤差も削減されます。各チャンネルには、電圧入力1つ、電流シャント入力2つ(2 Arms、50 Arms)、電流プローブ入力1つあり、正確で信頼性の高い電流測定のために望ましい方法を柔軟に選択できます。

図4と図5は、IntegraVisionパワー・アナライザを使って、前述のマイクロインバーターに対して行われた効率測定の例を示しています。入力がフローティングしているため、差動電圧プローブも電流プローブも必要がなく、このようなパワー・アナライザでは内部シャントにより直接電流を正確に測定できます。IntegraVisionのスクリーンショットは、マイクロインバーターの入出力の電圧、電流、電力波形を同時に表示しています。オシロスコープとは異なり、パワー・アナライザでは、波形演算機能を設定する必要はありません。これらの波形から、効率が直接計算され、ここでは96.05 %になっています。

DUT :
マイクロインバーター

IntegraVision
パワー・アナライザ

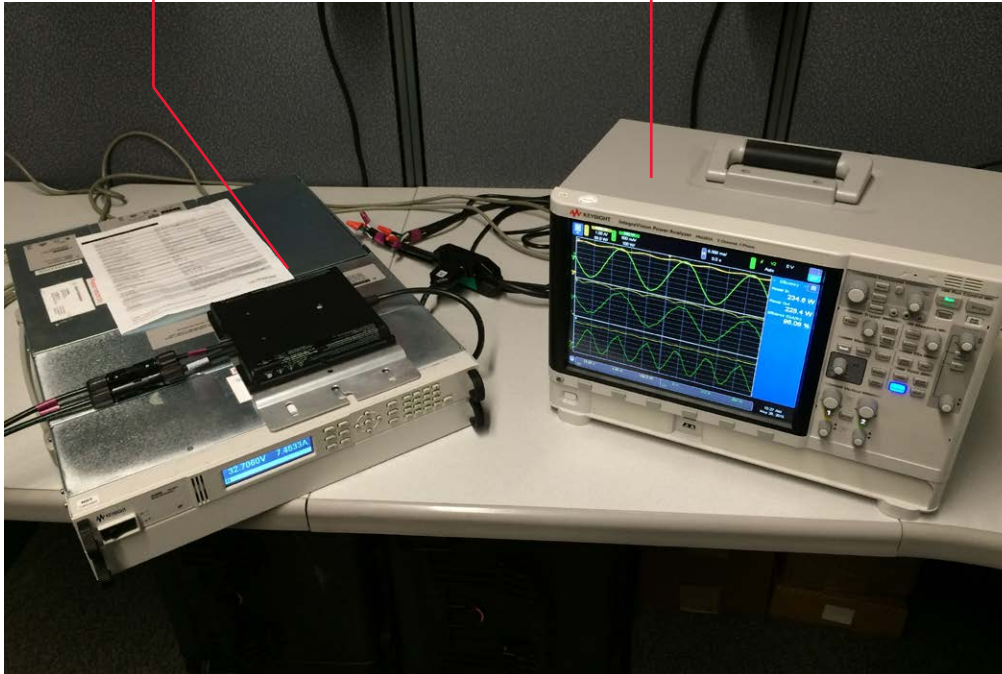
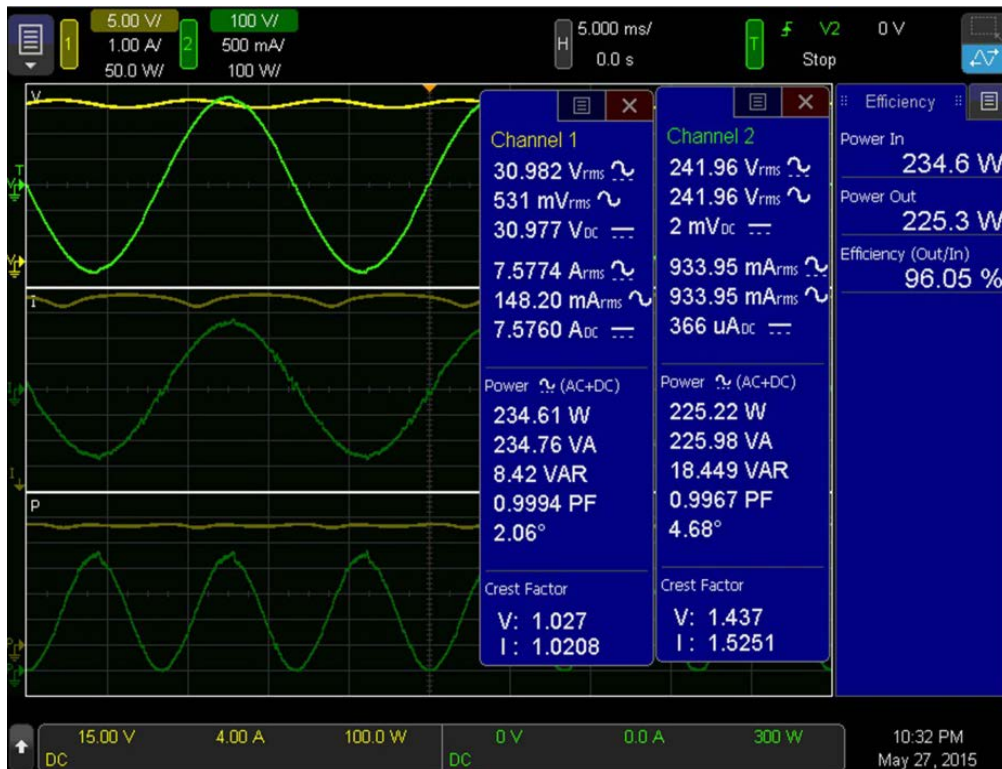


図4. Keysight PA2201A IntegraVision/パワー・アナライザが、2つのチャンネルで、マイクロインバーターの入力と出力の電圧、電流、電力波形を表示しています。各チャンネルで電圧と電流の両方が測定されます。内蔵された電力測定と効率測定も示しており、これらはオシロスコープで計算された場合よりも正確です。



P_{in}
P_{out}
効率

図5. 特定の作動状況におけるこのマイクロインバーターの6つの波形とその結果生じる電力測定・効率測定を示すIntegraVisionパワー・アナライザのスクリーンショット。その他多くの測定パラメーターを表示することもできます。

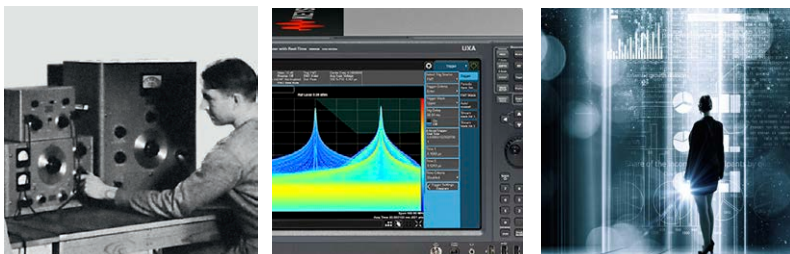
IntegraVisionパワー・アナライザでは、効率以外にも、ワット、VA、VAR、力率、クレストファクター、W対時間、A対時間、高調波を正確に測定できます。図5はこれらの測定の一部を示しています。パワー・アナライザには、電圧、電流、電力の波形をリアルタイムで直接表示するダイナミック測定機能も搭載されており、電力サージやサグ、サイクルドロップアウト、突入電流などのパワー変動波形を捕捉できます。

まとめ

エネルギー意識の高い今日の環境において、エンジニアは製品の消費電力を削減し、製品全体の電力効率を向上させる必要があります。これは、従来の家電にのみ当てはまることではなく、ソーラーグリッドや車載電化システムをサポートする高電力機器にも言えることです。電力変換効率を正確に測定することは、消費電力を削減するために最も重要なことです。さまざまな方法を使って電力効率を評価できますが、それぞれに長所と短所があります。マルチメーターが使用できるのはDC信号の場合のみで、この方法では直接的な電力測定ができません。オシロスコープは優れた帯域幅で波形を捕捉しますが、垂直精度に制限があり、アースグラウンドを基準としており、電流を直接測定する機能はありません。パワー・アナライザは効率測定機能を内蔵しており、消費電力を容易かつ正確に評価する最善の方法だと言えます。設計者は製品の消費電力を最小限に抑えることができるため、最終的には環境が向上します。Keysight PA2201A IntegraVisionなどのパワー・アナライザでは、電力変換効率を容易に測定できます。さらにダイナミック測定機能によって過渡電圧／電流／電力波形を捕捉でき、重要なあらゆる電力測定を1台の測定器で行うことができます。

1939年以来、進化し続けています

キーサイト独自のハードウェア、ソフトウェア、サービス、スペシャリストが、お客様の次のブレークスルー達成を支援します。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

myKeysight

www.keysight.com/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。

KEYSIGHT SERVICES

Accelerate Technology Adoption.
Lower costs.

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。

DEKRA Certified

ISO 9001 Quality Management System

www.keysight.com/go/quality

Keysight Technologies, Inc.

DEKRA Certified ISO 9001:2015

Quality Management System



キーサイト保証プラン

www.keysight.com/find/AssurancePlans

予想外のコストが発生せず、最長で10年間の保護があることから、測定器が仕様に従って動作することが保証され、正確な測定が確実に行えます。

契約販売店

www.keysight.co.jp/find/channelpartners

キーサイト契約販売店からご購入頂けます。

お気軽にお問い合わせください。

www.keysight.com/find/PA2201A

キーサイト・テクノロジー株式会社

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 9:00-12:00 / 13:00-18:00 (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。