

ユーザ・マニュアル

**Tektronix**

TPS2PWR1

電源解析アプリケーション

071-1457-01

<http://www.tektronix.com>

Copyright © Tektronix, Inc. All rights reserved. 使用許諾ソフトウェア製品は、Tektronix またはその供給者が所有するもので、米国著作権法および国際条約の規定によって保護されています。

お客様が政府機関である場合、使用、複製、または開示の際には、DFARS 252.227-7013 「Rights in Technical Data and Computer Software」条項の (c) (1) (ii) または FAR 52.227-19 「Commercial Computer Software - Restricted Rights」条項の (c) (1) および (2) が適用されるものとして定められている制限を受けます。

Tektronix 製品は、認定済みおよび申請中の米国およびその他の国の特許により保護されています。本書の内容は、すでに発行されている他の資料の内容に代わるものです。仕様および価格は予告なしに変更することがあります。

Tektronix, Inc., P.O. Box 500, Beaverton, OR 97077

TEKTRONIX、TEK、および TEKPROBE は Tektronix, Inc. の登録商標です。

## 保証

### TPS2PWR1 アプリケーション

Tektronix では、以下の一覧に示す製品において、認定された当社代理店から購入した日から 1 年間、材料およびその仕上がりについて欠陥がないことを保証します。この保証期間中に製品に欠陥があることが判明した場合、Tektronix では、当社の裁量に基づき、部品および作業の費用を請求せずに当該欠陥製品を修理するか、あるいは当該欠陥製品の交換品を提供します。バッテリーにつきましては、保証対象外となります。保証時に Tektronix が使用する部品、モジュール、および交換する製品は、新しいパフォーマンスに適応するために、新品の場合、または再生品の場合もあります。交換したすべての部品、モジュール、および製品は Tektronix で所有されます。

お客様が本保証に基づいてサービスを受けるには、保証期間が満了する前に、当該欠陥について Tektronix に通知し、サービス実施に関する適切な手配を行う必要があります。お客様は、当該欠陥製品を梱包し、購入証明書のコピーと共に発送費用前払いで指定の当社サービス・センタに発送する責任があります。Tektronix では、製品をお客様に返送する際、返送先が当社サービス・センタが置かれている国と同一の国にある場合には、その返送費用を支払うものとします。上記以外の場所に返送される製品については、お客様にすべての発送費用、関税、税、その他の費用を支払う責任があります。

本保証は、不正な使用、あるいは不正または不適切な保守および取り扱いに起因するいかなる欠陥、故障、または損傷にも適用されないものとします。当社では、以下の場合、本保証書に基づくサービスを提供する義務はないものとします。a) 当社の担当者以外の者による、当該製品のインストール、修理、または保守点検の試行の結果生じた損傷に対する修理、b) 不正な使用、または互換性のない機器への不正な接続の結果生じた損傷に対する修理、c) 当社以外のサプライ用品の使用によって生じたすべての損傷または機能不全に対する修理、d) 製品が改造または他の製品と統合されていて、その改造または統合によって当該製品の保守点検の時間や困難さが増す場合の当該製品に対する保守点検。

保証（続き）  
**TPS2PWR1** アプリケーション

この保証は、明示的または黙示的な他のあらゆる保証の代わりに、製品に関して Tektronix がお客様に対して提供するものです。Tektronix およびそのベンダは、商品性または特定目的に対する適合性のいかなる暗黙の保証も拒否します。欠陥製品を修理または交換するという Tektronix の責任行為は、本保証の不履行に対してお客様に提供される唯一の排他的な救済措置です。Tektronix およびそのベンダは、Tektronix またはベンダにそうした損害の可能性が前もって通知されていたかどうかにかかわらず、いかなる間接的損害、特別な損害、付随的損害、または結果的損害に対しても責任を負いません。

# 目次

安全にご使用いただくために .....	ii
Tektronix の連絡先 .....	vi

## はじめに

はじめに .....	1-1
基本操作 .....	1-2
定格 .....	1-2
起動 .....	1-4
モジュール・インストールの確認 .....	1-8
モジュール・インストールのトラブルシューティング ...	1-9

## リファレンス

電源解析 .....	2-1
波形解析 .....	2-9
位相角度 .....	2-15
高調波 .....	2-21
スイッチング・ロス .....	2-29
dY/dt 測定値 .....	2-41
P5120 の仕様 .....	2-43



# 安全にご使用いただくために

怪我を避け、本製品やこれに接続されている製品への損傷を防止するために、以下の安全性に関する注意をよく読んでください。

安全にご使用いただくために、本書の指示に従って本製品をご使用ください。

保守点検手順を実行できるのは、資格のあるサービス担当者のみです。

## 火災や怪我を避けるには

**適切な電源コードを使用してください。**本製品用に指定され、使用国で認定された電源コードのみを使用してください。

**接続と切断は正しく行ってください。**プローブと検査リードは、電圧ソースに接続されている間は接続または切断しないでください。

**接続と切断は正しく行ってください。**プローブ出力を測定機器に接続してから、プローブを被測定回路に接続してください。プローブ入力とプローブの基準リードを被測定回路から切断した後、プローブを測定機器から切断してください。

**すべての端子の定格に従ってください。**火災や感電の危険を避けるために、本製品のすべての定格と表示に従ってください。本製品に電源を接続する前に、定格の詳細について、製品マニュアルを参照してください。

**適切なプローブを使用してください。**感電の危険を避けるために、測定には適切な定格のプローブを使用してください。

**フローティングについて。**P2220 プローブ基準リードが  $30V_{RMS}$  を超えてフローティングしないようにしてください。基準リードが  $30V_{RMS}$  を超えてフローティングする場合は、高電圧プローブの定格に基づいて、P5120 ( $600V_{RMS}$  CAT II または  $300V_{RMS}$  CAT III までフローティング可能) または同様の定格の受動高電圧プローブか、あるいは適切な定格の高電圧差動プローブを使用します。

**電源オフ。**電源コードを抜くと、主電源は切断されます。

**適切なバッテリーと交換してください。**指定された正しいタイプおよび定格のバッテリーと交換してください。

**バッテリーに正しく充電してください。**バッテリーは、推奨された充電サイクルでのみ充電してください。

**適切な AC アダプタを使用してください。**この製品に指定された AC アダプタのみを使用してください。

**カバーを外した状態で動作させないでください。**カバーやパネルを外した状態で本製品を動作させないでください。

**回路の露出を避けてください。**電源がオンのときに、露出した接続部分やコンポーネントに触れないでください。

**障害の疑いがあるときは動作させないでください。**本製品に故障の疑いがある場合は、資格のあるサービス担当者に検査を依頼してください。

**動作環境について。**汚染度 2 (IEC61010 - 1 : 2001 で定義)。導電性の汚染物質が存在する環境では動作させないでください。環境特性については、『TPS2000 オシロスコープ・ユーザ・マニュアル』の付録 A を参照してください。

**湿気の多いところで動作させないでください。**

**爆発しやすい環境で動作させないでください。**

**製品表面を清潔で乾燥した状態に保ってください。**

**適切に通気してください。**適切な通気が得られるような製品の取り付け方法の詳細については、マニュアルの取り付け方法を参照してください。

**電氣的な過負荷を避けてください。**怪我や火災を避けるために、あらゆる入力（基準入力を含む）に、グラウンドからの差がその入力の最大定格を超えるような電位をかけないでください。

**回路の露出を避けてください。**電源がオンのときに、露出した接地部分やコンポーネントに触れないでください。

**感電を避けてください。**怪我や死亡事故を避けるために、プローブと検査リードが電圧ソースに接続されたままの状態、それらの接続や切断を行わないでください。

**製品表面を清潔で乾燥した状態に保ってください。**感電や測定値が不正確になることを避けるために、プローブの表面は清潔で乾燥した状態に保ってください。

**基準リードを正しく取り付けてください。**複数のオシロスコープ・チャンネルを使用する場合は、各チャンネル用のプローブ基準リードを測定対象とする回路コモン基準に直接接続する必要があります。このような接続が必要なのは、オシロスコープの各チャンネルが絶縁されているからです。これらのチャンネルは、共通のシャーシ接続を共有していません。信号の正確さを適切に維持するため、各プローブではできるだけ短い基準リードを使用します。

**疑問符 (?) が表示された場合。**測定値の後ろに疑問符 (?) が表示された場合、および値の代わりに疑問符が表示された場合は、値が範囲を超えているか、その他のエラーが発生しており、表示されている測定値が無効で、危険な電圧が発生している可能性があります。垂直スケールまたは垂直位置を再調整するか、または前面パネルの **AUTOSET** (オートセット) ボタンを押してください。

## 記号と用語

**本マニュアル内の用語。**本マニュアルでは、次の用語を使用します。



**警告:**では、怪我や死亡の原因となる状態や行為を示します。



**注意:**では、本製品やその他の施設や機材に損害を与える状態や行為を示します。

**本製品に関する用語。**本製品では、次の用語を使用します。

「危険」のマーキングが表示されている場合、怪我をする危険が切迫していることを示します。

「警告」のマーキングが表示されている場合、怪我をする可能性があることを示します。

「注意」のマーキングが表示されている場合、本製品を含む資産に損害が生じる可能性があることを示します。

**本製品に関する記号。**本製品では、次の記号を使用します。



**注意**  
マニュアルを参照



**スタンバイ**



**シャーシの  
グラウンド**

# Tektronix の連絡先

## 住所

Tektronix, Inc.  
部署名または個人名（わかる場合）  
14200 SW Karl Braun Drive  
P.O. Box 500  
Beaverton, OR 97077  
USA

## ホーム ページ

[www.tektronix.com](http://www.tektronix.com)

## テクニカル サポート

電子メール：[techsupport@tektronix.com](mailto:techsupport@tektronix.com)  
午前 6:00 ～ 午後 5:00（太平洋岸標準時）





はじめに



# はじめに

TPS2PWR1 電源解析アプリケーション・ソフトウェアは、TPS2000 シリーズのオシロスコープに電力測定機能を追加します。

追加される機能は次のとおりです。

- 電源解析 – 一对の電圧波形と電流波形の有効電力、無効電力、力率、および位相角度を計算します。
- 波形解析 – 波形の RMS 値、波高率、および周波数を計算します。
- 位相角度 – 3つの電圧波形または電流波形の各組み合わせ間の位相角度を計算します。
- 高調波 – 最大 50 の高調波を計算し、各高調波の基本周波数に対する位相角度、基本周波数の割合、および波形全体の THD/TDD 値を表示できます。
- スイッチング・ロス – 一对の電圧波形と電流波形のターン・オン・スイッチング・ロス、ターン・オフ・スイッチング・ロス、伝導損失、およびトータル・スイッチング・ロスを計算します。
- $dV/dt$  カーソルおよび  $di/dt$  カーソル – 1つの波形上の2つのカーソル間の  $dv/dt$  または  $di/dt$  を計算します。

## 基本操作

定格および基本操作については、『TPS2000 ユーザ・マニュアル』、『P2220 取扱説明書』、および『P5120 取扱説明書』を参照してください。安全性、設置、基本チェック、プローブ減衰/スケーリング設定、自己校正などの説明もあります。

## 定格

### TPS2000

TPS2000 のオシロスコープの定格は、コモンへの信号は 300V CAT II で、グラウンド基準を基準とするフローティングは 600V CAT II です。

### P2220

P2220 受動プローブの定格は次のとおりです。

X10の場合:アースに接続された $300V_{RMS}$  CAT IIプローブ・チップ

X1の場合:アースに接続された $150V_{RMS}$  CAT IIプローブ・チップ

プローブ基準リードのアースに対するフローティング電圧の定格は、最大 30V です。

### P5120

P5120 受動高電圧プローブの定格は次のとおりです。

アースに接続された $1000V_{RMS}$  CAT IIプローブ・チップ。

プローブ参照リードのアースに対するフローティング電圧の定格は、 $600V_{RMS}$  CAT II です。

## 過電圧カテゴリ

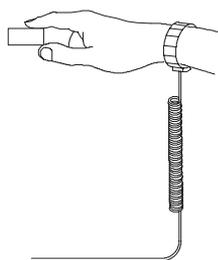
過電圧カテゴリは、次のように定義されています。

- CAT III : 配電レベルの本線、固定設置
- CAT II : 局所レベルの本線、各種器具、携帯用機器
- CAT I : 信号レベル、特別な機器または機器の部品、遠隔通信、電子機器

より詳細な製品仕様は、TPS2000 のユーザ・マニュアルおよび各プローブのユーザ・マニュアルに記載されています。

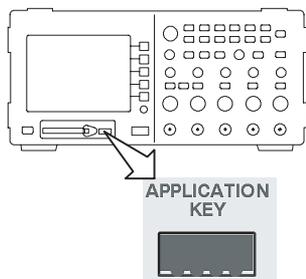
## 起動

TPS2000 シリーズのオシロスコープに TPS2PWR1 アプリケーション・モジュールをインストールするには、次の手順を実行します。



### ESD の予防措置に従います。

オシロスコープやアプリケーション・モジュールの損傷を回避するために、静電気放電 (ESD) 予防法を遵守してください。ESD ストラップを使用します。

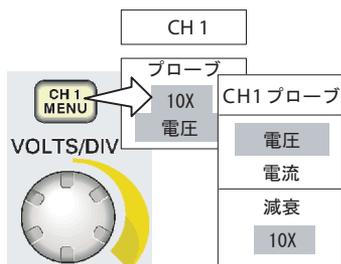


### アプリケーション・キーを挿入します。

オシロスコープの電源をオフにした状態で、ディスプレイの下、右端付近のスロットに電源解析アプリケーション・キーを挿入します。キーのラベルが上に向くようにしてください。

### オシロスコープの電源をオンにします。

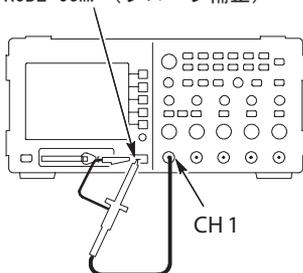
ディスプレイの表示が現れるまで待ちます。サイド・メニューの **OK** ボタンを押して、次に進みます。



**オシロスコープにプローブを取り付け、プローブをセットアップします。**

フロント・パネルで、**CH 1 MENU**、**CH 2 MENU**、**CH 3 MENU**、**CH 4 MENU** のいずれか適切なボタンを押し、サイド・メニューから **Voltage** (電圧) または **Current** (電流) のうちの適切な方を選択して、サイド・メニューで **Attenuation** (減衰) を選択します。

PROBE COMP (プローブ補正)

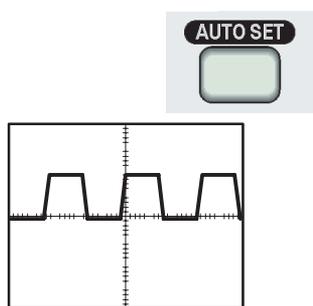


**電圧プローブを補正します。**

P5120 プローブの場合は、プローブをオシロスコープのチャンネル 1 に接続します。これを行うには、プローブのコネクタのスロットと CH1 BNC のキーを揃えて押し込み、右に回して固定します。

プローブ・チップと基準リードを PROBE COMP 端子に接続します。各プローブに対して、この操作を繰り返します。

必要に応じて、電流プローブを消磁します。

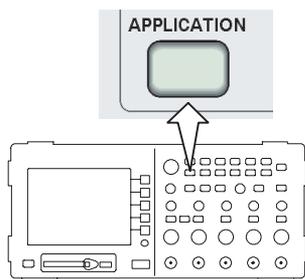


回路へのプローブ接続の例については、このマニュアルの「リファレンス」にあるアプリケーション例を参照してください。

画面に疑問符 (?) が表示されている場合、フロント・パネルの **AUTOSET** (オートセット) ボタンを押すか、以下で説明する手順でオシロスコープを調整します。

電源解析メニュー、波形解析メニュー、および位相角度メニューでの自動計測を最適化するには、オシロスコープを以下のように調整します。

- ・ TPS2000 に少なくとも 1 サイクル分の波形が完全に表示される
- ・ 各波形の振幅が 2 目盛より大きくなる
- ・ すべての波形データ・ポイントが画面に表示される
- ・ 各サイクルが水平方向に少なくとも 1 目盛分は広がる



## アプリケーションを起動します。

フロント・パネルの **APPLICATION** (アプリケーション) ボタンを押して、電源アプリケーション機能にアクセスします。オシロスコープの右側のサイド・メニューに、電源アプリケーション・メニューが表示されます。ここでは、以下に挙げるような電源測定メニュー項目が表示されます。

電源アプリケーション	説明
Power Analysis (電源解析)	有効電力、無効電力、力率、位相角度
Waveform Analysis (波形解析)	サイクル RMS、波高率、周波数
Phase Angles (位相角度)	CH1、CH2 の間の、あるいは 4 チャンネル・モデルの場合は、CH1、CH2、CH3 それぞれの間の度単位での位相角度
Harmonics (高調波)	基本 RMS、高調波の位相、周波数、RMS
Switching Loss (スイッチング・ロス)	ターン・オン・ロス、ターン・オフ・ロス、伝導損失、および全損失

オシロスコープの基本的なセットアップの詳細については、『TPS2000 ユーザ・マニュアル』を参照してください。

## モジュール・インストールの確認

以下の表で、アプリケーション・モジュールが正常にインストールされていることを確認してください。オシロスコープにアプリケーション・モジュールのメニュー項目が表示されない場合は、1-9 ページのモジュール・インストールのトラブルシューティングの手順を実行します。

確認対象モジュール	使用するフロント・パネル ボタン	確認内容
TPS2PWR1	APPLICATION	画面の右側に、 <b>Power</b> というタイトル・ラベルの付いたメニューが表示されます。

## モジュール インストールのトラブルシューティング

電源投入時にオシロスコープがアプリケーション・モジュールを認識しない場合は、以下の手順を実行します。

1. オシロスコープの電源をオフにします。
2. 前述の ESD の予防措置に従います。
3. アプリケーション・モジュールを取り外します。
4. アプリケーション・モジュールのコンタクトが破損していないかどうか調べます。
5. アプリケーション・モジュールをオシロスコープに挿入し直します。
6. オシロスコープの電源をオンにします。それでもオシロスコープにアプリケーション・メニュー項目が表示されない場合は、アプリケーション・モジュールかモジュール・スロットに問題があります。お近くの Tektronix サービス・センターに連絡して、問題を解決してください。





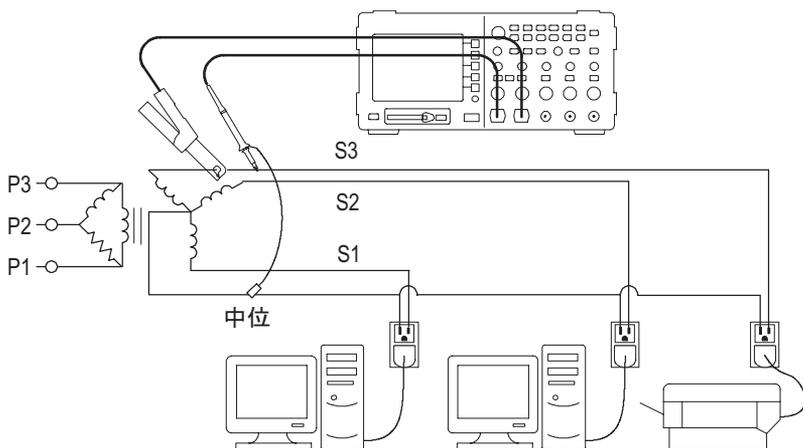
# リファレンス



# 電源解析

電源解析メニューの機能を使用すると、営業所や工場などの場所での全般的な電源品質を調べることができます。お使いの設備の電力の使用効率を調べたり、異常のある装置のトラブルシューティングを行うことができます。

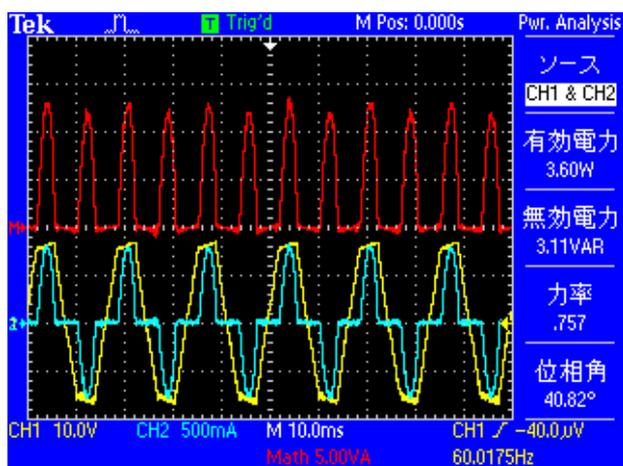
開始するには、以下の図に示すように、TPS2000 と適切な受動電圧プローブ (P5120 など) および電流プローブ (A622、TCP305 など) を配電システムのテストしたい場所に接続します。試験する回路によっては、これとは異なるプローブが必要になる場合もあります。



**警告：** P2220 プローブ基準リードが  $30V_{RMS}$  を超えてフローティングしないようにしてください。基準リードが  $30V_{RMS}$  を超えてフローティングする場合は、高電圧プローブの定格に基づいて、P5120 ( $600V_{RMS}$  CAT II または  $300V_{RMS}$  CAT III までフローティング可能) または同様の定格の受動高電圧プローブか、あるいは適切な定格の高電圧差動プローブを使用します。

**Power Analysis** (電源解析) ボタンを押して、電源解析メニューを表示します。電圧と電流のソース波形および関連測定値が、オシロスコープに表示されます。また、瞬間的な電力関数 ( $V * A$ ) の演算波形も自動的にセットアップおよび表示されます。

これらの電源解析機能は、ソース電流波形とソース電圧波形の相互作用を解析します。この操作では、電圧プローブと電流プローブの両方を使用する必要があります。



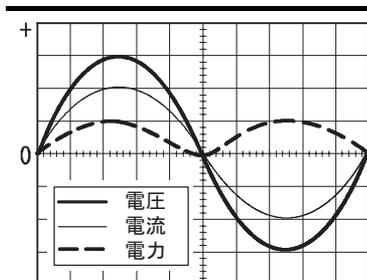
このメニューには、以下のメニュー項目と値が入っています。

メニュー項目	説明
Sources	<p>チャンネルの組み合わせを選択します。4 チャンネルのオシロスコープでは、CH1 と CH2、または CH3 と CH4 のいずれかを選択します。</p> <p>2 チャンネルのオシロスコープでは、ソースは CH1 と CH2 に固定されています。</p> <p>CH1 と CH2、および CH3 と CH4 は、電圧波形と電流波形の組み合わせになっている必要があります。演算乗算波形は、常に、選択されているソースを使用するように設定されます。</p>
True Power	<p>有効電力が表示されます。演算による <math>V \cdot A</math> 波形の平均値を取り込むことにより計算されます。</p>
Reactive Power	<p>無効電力 (VAR) が表示されます。電圧波形の RMS 値と電流波形の RMS 値、および位相角度の正弦を掛け合わせることで算出されます。位相角度の計算については、このマニュアルの位相角度の説明を参照してください。</p>

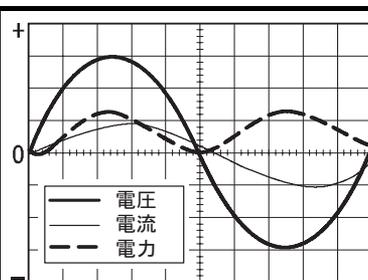
メニュー項目	説明
True Power Factor	<p>有効電力の皮相電力に対する比率（0～1）が表示されます。皮相電力は、電圧波形のRMS値と電流波形のRMS値を掛けることで算出されます。</p> <p>一般的には、力率が高いほどエネルギーの使用効率がよいことを意味します。</p> <p>純粋な抵抗回路は、1.0の力率を持ちます。純粋な誘導性回路は、0.0の力率を持ちます。</p>
Phase Angle	<p>余弦が力率となる角度（<math>-90^{\circ}</math>～<math>+90^{\circ}</math>）が表示されます。正弦波形では、この値は位相角度メニューで測定される位相角度と同じですが、非正弦波形では、これら2つの位相角度の測定値は異なる場合があります。</p> <p>CH1の波形（通常は電圧）がCH2の波形（通常は電流）より先行している場合、この角度は正になります。CH1の波形がCH2の波形より遅れている場合は、角度が負になります。</p>

## サンプル結果

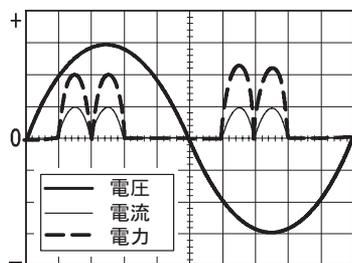
次に、結果を解析します。以下の図で、図式化した例を示します。



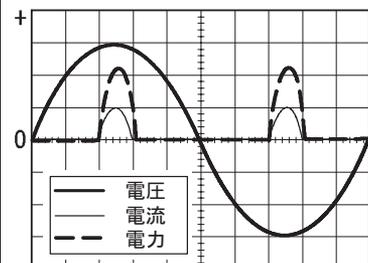
力率 = 1  
 位相角度 =  $0^\circ$   
 電圧と電流が同調している。  
 抵抗回路。



力率 = 0.707  
 位相角度 =  $45^\circ$   
 電流が電圧より  $45^\circ$  遅れている。  
 回路は部分的に誘導性である。



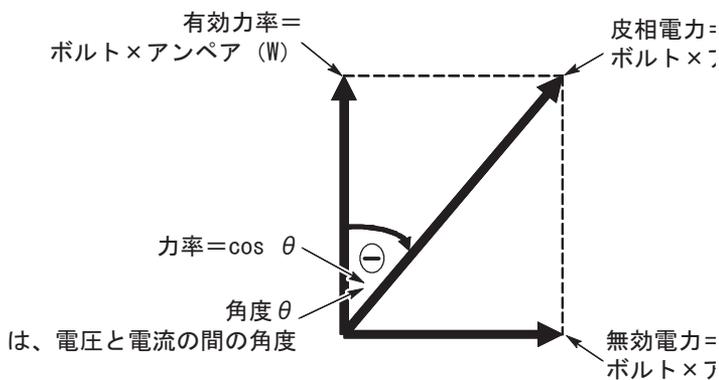
力率 = 0.9  
 位相角度 =  $0^\circ$   
 電圧と電流が同調している。  
 可変速モーター・ドライブ特有の不平衡電流。



力率 = 0.9  
 位相角度 =  $0^\circ$   
 電圧と電流が同調している。  
 スイッチング電源特有の不平衡電流。

### 操作上のヒント

- 電源解析メニューに入ると、オシロスコープにより、ソースとして選択されているチャンネルが自動的にオンにされます。さらに、演算乗算電力波形 ( $V * A$ ) もオンになります。セットアップにその他の変更が加えられることはありません。
- このメニューでの電力測定は、電圧波形レコードの中で検出されたすべての完全なサイクルに基づいて行われます。
- このメニューで使用される値を、以下の図に詳しく示します。



- 測定値の後ろに疑問符 (?) が表示された場合、および値の代わりに疑問符が表示された場合は、値が範囲を超えているか、その他のエラーが発生しており、表示されている測定値が無効で、危険な電圧が発生している可能性があります。垂直スケールまたは垂直位置を再調整するか、または前面パネルの **AUTOSET** (オートセット) ボタンを押してください。

---

**注:** どの電源アプリケーション測定を行うにも、TPS2PWR1 アプリケーション・キーがインストールされている必要があります。

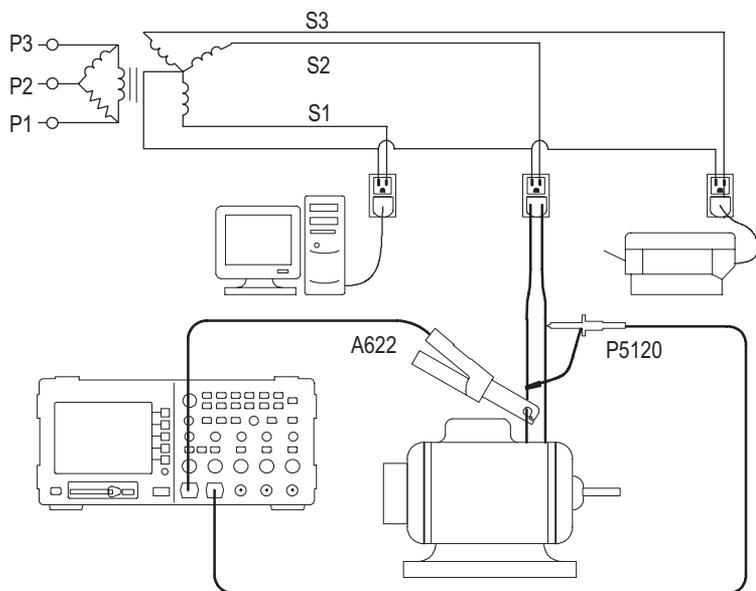
---



# 波形解析

波形解析メニューの機能を使用すると、波高率を測定して、電源品質の状態をより詳しく評価することができます。この機能は、オフィスや工場など、特定の分岐にかかる負荷が変化して、接続された負荷への電源品質に影響を及ぼすような場合に便利です。

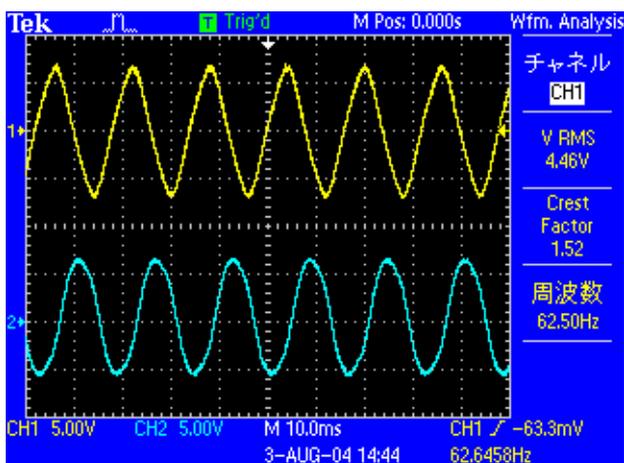
電圧または電流のいずれかの波高率を測定するためのセットアップの例を、以下の図に示します。



**警告:** P2220 プローブ基準リードが  $30V_{RMS}$  を超えてフローティングしないようにしてください。コモン・リードが  $30V_{RMS}$  を超えてフローティングする場合は、高電圧プローブの定格に基づいて、P5120 ( $600V_{RMS}$  CAT II または  $300V_{RMS}$  CAT III までフローティング可能) または同様の定格の受動高電圧プローブか、あるいは適切な定格の高電圧差動プローブを使用します。

**Waveform Analysis**（波形解析）ボタンを押すと、画面の右側に波形解析メニューが表示され、ソース電圧またはソース電流の波形がメニューの左側に表示されます。オシロスコープの画面には、ソース波形と測定値が表示されます。

これらの波形解析機能により、個々の波形の解析に役立つ測定値が得られます。これらの操作には、個別の電圧プローブまたは電流プローブを使用する必要があります。

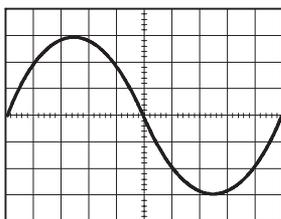


メニューには、以下のメニュー項目と値が入っています。

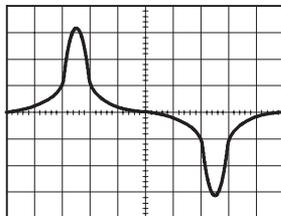
メニュー項目	説明
Source	チャンネルを選択します。CH1、CH2、または MATH のいずれかを選択します。 4 チャンネル・モデルでは、CH3 または CH4 も選択できます。
Cyc RMS	選択した波形の最初の完全なサイクルの RMS 値が表示されます。
Crest Factor	最初の完全なサイクルの RMS 値に対する波形全体の最大値の比率が表示されます。 これは、信号のピーク値と RMS 値の比です。 純粋な正弦波の場合は 1.414 となり、50% のデューティ・サイクルの方形波の場合は 1.0 となります。 電圧の波高率は、間接的に AC 電源の純粋さを示します。 電流の波高率は、間接的に高い AC ピーク電流を描く負荷の能力を示します。
Freq	周波数（最初の完全なサイクルの周期の逆数）が表示されます。

## サンプル結果

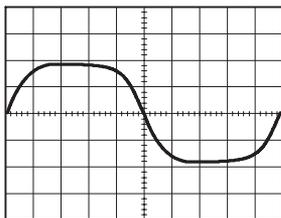
次に、結果を解析します。以下の図で、図式化した例を示します。



波高率 = 1.41  
純粋な正弦波です。



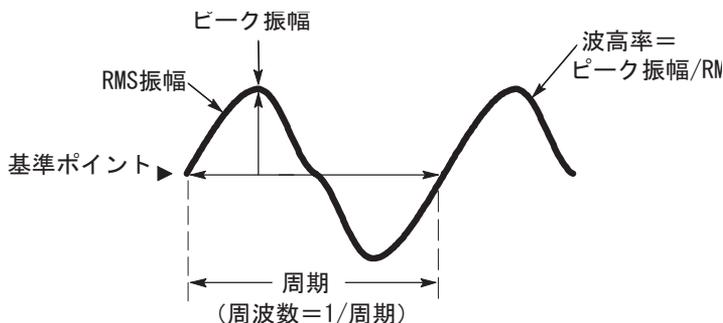
波高率 > 1.41  
電流スパイクです。  
スイッチング電源のような典型的な非線形負荷です。



波高率 < 1.41  
トップが平坦な電圧波形です。  
非線形負荷の典型的な電源です。

### 操作上のヒント

- 波形解析メニューは、TPS2PWR1 電源アプリケーションの他のメニューと異なり、メニューに入っても、メニューからチャンネルをオンまたはオフにしたり、セットアップを変更したりすることはありません。
- このメニューで使用される値を、以下の図に詳しく示します。



- 測定値の後ろに疑問符 (?) が表示された場合、おおよび値の代わりに疑問符が表示された場合は、値が範囲を超えているか、その他のエラーが発生しており、表示されている測定値が無効で、危険な電圧が発生している可能性があります。垂直スケールまたは垂直位置を再調整するか、または前面パネルの **AUTOSET** (オートセット) ボタンを押してください。

---

**注:** どの電源アプリケーション測定を行うにも、TPS2PWR1 アプリケーション・キーがインストールされている必要があります。

---

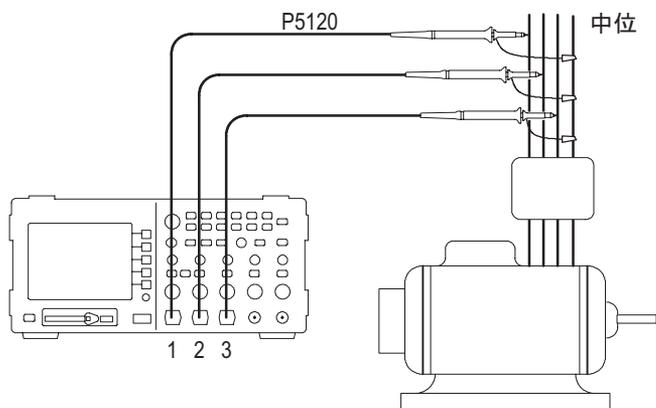
# 位相角度

位相角度メニューの機能は、三相の工業アプリケーションでの送電など、アプリケーションの効率を調べるのに役立ちます。

たとえば、これらの機能は、異相電圧が三相モーターでのオーバーヒートの一因となっているかどうかの調査などに使用できます。

チャンネルはそれぞれ独立して絶縁されているため、各プローブの基準リードは、被試験回路の基準ポイントに、個別に接続する必要があります。

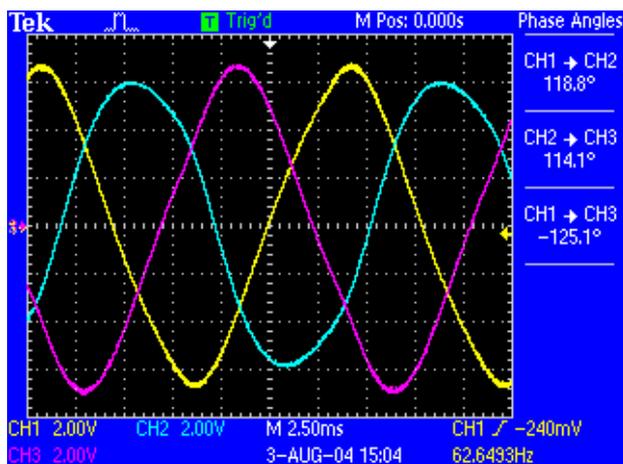
モーターの可変速ドライブの入力電圧の位相角度を測定するためのオシロスコープの配線方法の一例を、以下の図に示します。



**警告：** P2220 プローブ基準リードが、 $30V_{RMS}$  を超えてフローティングしないようにしてください。コモン・リードが  $30V_{RMS}$  を超えてフローティングする場合は、高電圧プローブの定格に基づいて、P5120 ( $600V_{RMS}$  CAT II または  $300V_{RMS}$  CAT III までフローティング可能) または同様の定格の受動高電圧プローブか、あるいは適切な定格の高電圧差動プローブを使用します。

**Phase Angles** を押して、位相角度メニューを表示します。このメニューでは、三相電気システムの3つのチャンネルのうちの任意の2つのチャンネル間の位相角度が表示されます。

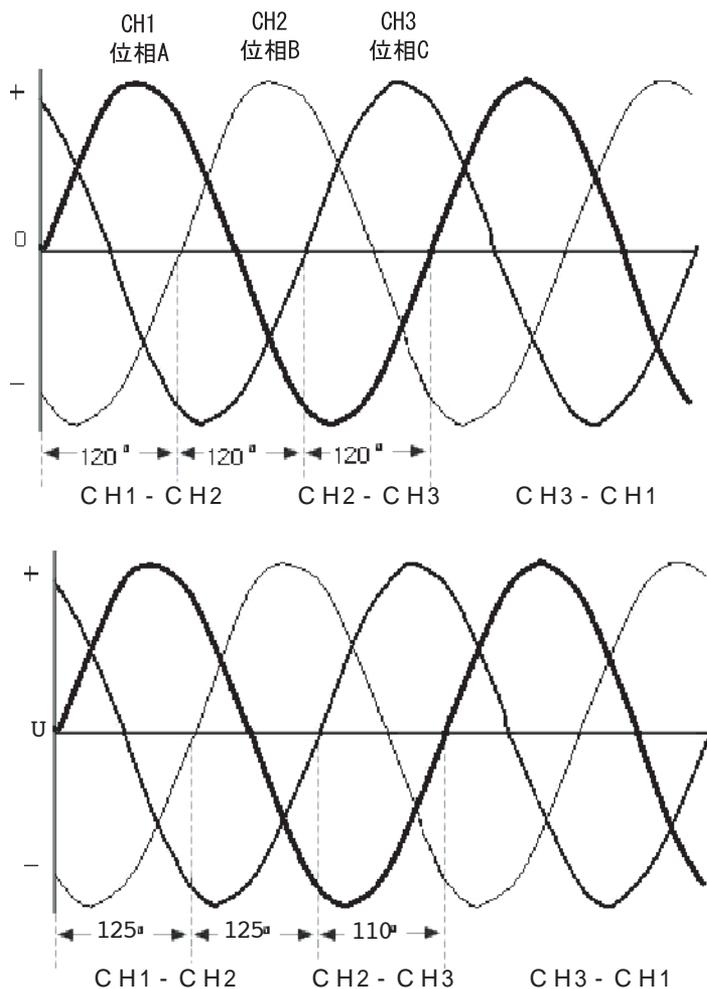
3つの電圧プローブまたは電流プローブと4チャンネルのTPS2000を使用すると、測定が簡単になります。プローブを逐一移動すると、2チャンネルの機器を使用して測定を行うことも可能です。



以下の測定結果が表示されます。

メニュー項目	説明
Source	<p>CH1 → CH2、 CH2 → CH3、 CH1 → CH3</p> <p>2チャンネルのオシロスコープを使用する場合、チャンネル1と2の間の位相の違いしか表示されません。三相測定を行うには、プローブを移動する必要があります。</p> <p>角度は、度単位で、<math>-180^{\circ} \sim +180^{\circ}</math>です。</p> <p>番号の小さいチャンネルの波形が番号の大きいチャンネルの波形より先行している場合は、角度が正の値になります。番号の小さいチャンネルの波形が先行しているのではなく遅れている場合は、負の値になります。たとえば、CH1の波形がCH2の波形より先行している場合は、角度が正になります。CH1の波形がCH2の波形より遅れている場合は、角度が負になります。</p>

以下の図は、各位相が完全に 120 度分離している場合と、分離が不完全な場合の結果の例を図式化したものです。

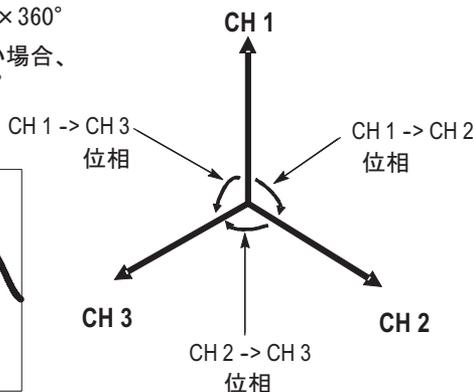
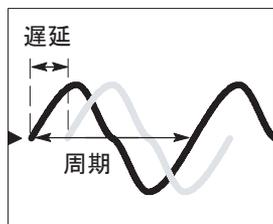


### 操作上のヒント

- このメニューは、位相角度を計算します。位相角度を余弦が力率となる角度として測定するには、電源解析メニューを使用します。
- このメニューで使用される値を、以下の図に詳しく示します。

$$\text{位相} = (\text{遅延} / \text{周期}) \times 360^\circ$$

位相が $180^\circ$ より大きい場合、  
位相 = 位相 -  $360^\circ$



- 測定値の後ろに疑問符 (?) が表示された場合、おおよび値の代わりに疑問符が表示された場合は、値が範囲を超えているか、その他のエラーが発生しており、表示されている測定値が無効で、危険な電圧が発生している可能性があります。垂直スケールまたは垂直位置を再調整するか、または前面パネルの **AUTOSET** (オートセット) ボタンを押してください。

---

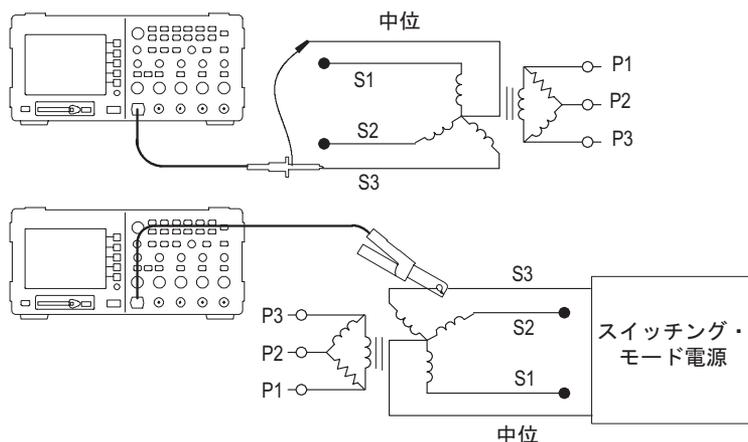
**注:** どの電源アプリケーション測定を行うにも、TPS2PWR1 アプリケーション・キーがインストールされている必要があります。

---

# 高調波

高調波メニュー機能を使用すると、ソース波形の周波数スペクトラムと関連測定値を表示したり、電源品質の問題について突っ込んだトラブルシューティングを行ったりすることができます。

屋内配線内の電圧または電流の高調波を測定するためのセットアップ例を、以下の図に示します。



**警告：** P2220 プローブ基準リードが  $30V_{RMS}$  を超えてフローティングしないようにしてください。コモン・リードが  $30V_{RMS}$  を超えてフローティングする場合は、高電圧プローブの定格に基づいて、P5120 ( $600V_{RMS}$  CAT II または  $300V_{RMS}$  CAT III までフローティング可能) または同様の定格の受動高電圧プローブか、あるいは適切な定格の高電圧差動プローブを使用します。

**Harmonics** (高調波) ボタンを押して、高調波メニューを表示します。オシロスコープに、ソース波形の周波数スペクトラムと関連測定値が表示されます。



このメニューには、以下のメニュー項目と値が入っています。

メニュー項目	説明
Source	測定するチャンネルを選択します。 CH1 または CH2 を選択できます。4 チャンネルのオシロスコープの場合は、CH1、CH2、CH3、CH4 のいずれかを選択できます。 電圧波形または電流波形を使用します。
Setup	Automatic (自動、デフォルト値) または Manual (手動) を選択します。
Show < 値 >	表示する高調波を選択します。 < 値 > は、All Harmonics (全高調波)、Odd Harmonics (奇数高調波)、Even Harmonics (偶数高調波) のいずれかです。
Save Harmonics	高調波データをコンパクトフラッシュ・カード上のファイルに保存します。 ファイルの名前は、HM1234.csv という形式を使用して自動的に割り振られます。ファイルは、コンパクトフラッシュ・カード上の現在のフォルダ内に保存されます。 このファイルには、50 以上のそれぞれの高調波に関する以下の情報が格納されます。 振幅 基本高調波の比率 周波数 位相角度 保存を実行すると、高調波の波形と基本タイム・ドメイン波形が保存されます。 高調波の .CSV ファイルは、通常、パーソナル・コンピュータ上で参照することになります。このファイルの内容をオシロスコープに呼び出すことはできません。

自動セットアップ制御は、高調波メニューに入ったときにはそれまでの設定を保存し、高調波メニューから抜けたときに設定を元に戻すようにオシロスコープに指示します。

自動セットアップは、以下のことを行います。

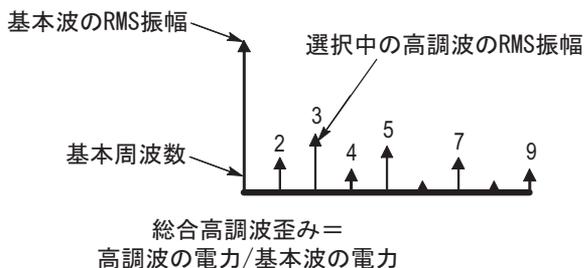
- ソース・チャンネルの垂直位置を 0 に設定します。
- ソース・チャンネルの垂直カップリングを DC に設定し、帯域制限をオンにします。
- ソース・チャンネルの垂直スケールを信号振幅が少なくとも 2 目盛になるように調整します。
- トリガ・ソースをソース・チャンネルに設定します。
- トリガ・タイプをエッジに、スロープを立上りに、カップリングを DC に設定します。
- トリガ・レベルをソース・チャンネル信号の中間レベルに調整します。
- 水平スケールをソース・チャンネルの 3 ～ 5 サイクル分を取り込めるように調整します。
- アクイジション・モードを平均に設定し、平均ごとに 16 波形とします。

## 操作上のヒント

- All Harmonics（全高調波）を選択した場合は最初の 50 個の高調波が計算され、それ以外の場合は最初の 25 個の奇数番目または偶数番目の高調波が計算されます。
- オシロスコープには、以下の値が表示されます。
  - 選択された高調波の数
  - 選択された個々の高調波の周波数
  - 選択された高調波の基本波の振幅と比率
  - 選択した個々の高調波の基本波に対する相対的な位相角度
- 個々の高調波の詳細情報を表示するには、オシロスコープの汎用ノブを回転させます。ノブを時計回りに回すと選択されている高調波の番号（1、2、3、4 など）が大きくなり、反時計回りに回すと小さくなります。
- オシロスコープには、同時に 13 個の連続する高調波が表示されます。現在表示されていない高調波を表示するには、表示されている最初の波を越えて時計回りに汎用ノブを回し、そのとき表示されていた最後の高調波に続く高調波を画面に表示するか、または表示されている最初の波を越えて反時計回りに回し、そのとき表示されていた最初の高調波より前の高調波を画面に表示します。

- 高調波アプリケーションが表示するのは、40Hz ~ 450Hz の周波数を持つ信号の高調波データだけです。この範囲外の基本周波数を持つ信号の高調波を表示したり、基本波の高調波ではない周波数のスペクトラム情報を表示するには、演算メニューの FFT 機能を使用してください。FFT 機能では、高調波アプリケーションと同じ表示は得られません。
- 高調波メニューのセットアップ制御が Automatic (自動) に設定されている場合は、高調波メニューに入ると、さまざまな設定値が高調波の表示に最適になるように調整されます。メニューを終了すると、オシロスコープは以前の設定に戻ります。
- 手動セットアップ: 高調波機能用の波形を手動でセットアップするように選択した場合は、高調波メニューから抜けてもオシロスコープが以前のセットアップに戻ることはありません。

- このメニューで使用される値を、以下の図に詳しく示します。



- 測定値の後ろに疑問符 (?) が表示されている場合、および値の代わりに疑問符が表示されている場合は、値が範囲を超えていて、測定値が無効で、危険な電圧が発生している可能性があります。垂直スケールを再調整するか、または前面パネルの **AUTOSET** (オートセット) ボタンを押してください。

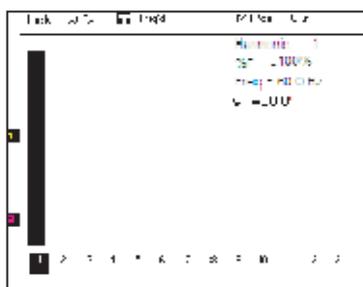
---

**注:** どの電源アプリケーション測定を行うにも、TPS2PWR1 アプリケーション・キーがインストールされている必要があります。

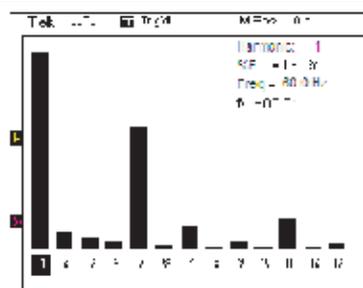
---

## サンプル結果

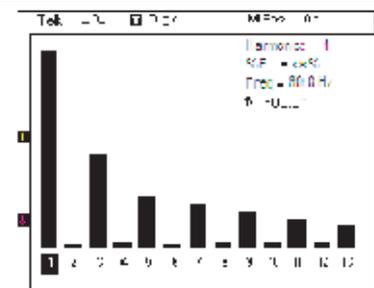
次に、結果を解析します。以下の図で、例をいくつか示します。



二次高調波や負荷のない電源  
電圧信号のクリーンな高調波  
V(RMS) = 120 V  
THD = 0



6つの整流器を持つモーター  
の可変速ドライブの電圧の第  
5次、第7次、第11次、およ  
び第13次高調波  
V(RMS) = 120 V  
THD = 135%



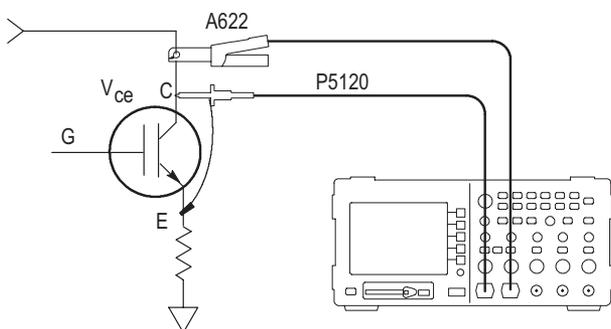
スイッチング電源の電圧の奇  
数高調波（第3次、第5次、  
第7次、第9次、第13次）  
V(RMS) = 120 V  
THD = 90%

## スイッチング・ロス

スイッチング・ロス機能を使用すると、IGBT スwitching 電源やそれと同様の回路でのオン/オフ切り替え時の電力損失の特性を評価することができます。スイッチング・ロスの機能を使用するには、電圧プローブと電流プローブが必要です。

スイッチング・ロス測定では、可変速ドライブの効率を評価できます。

スイッチング・ロスを測定するためのセットアップの一例を、以下の図に示します。絶縁されたフローティング電圧プローブ (P5120 など) または 1103 電源を必要とする電圧差動プローブ (P5205 など) で、デバイスのコレクタとエミッタを接続します。コレクタ電流を測定するには、A622 のような電流プローブを使用します。

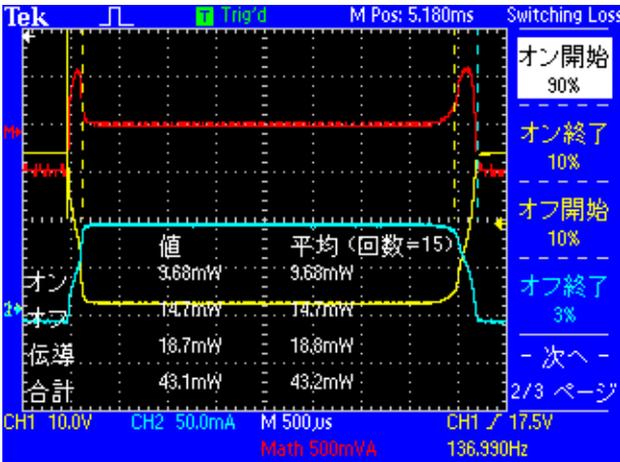


**警告:** P2220 プローブ基準リードが  $>30V_{RMS}$  を超えてフローティングしないようにしてください。コモン・リードが  $30V_{RMS}$  を超えてフローティングする場合は、高電圧プローブの定格に基づいて、P5120 ( $600V_{RMS}$  CAT II または  $300V_{RMS}$  CAT III までフローティング可能) または同様の定格の受動高電圧プローブか、あるいは適切な定格の高電圧差動プローブを使用します。



**警告:** 感電を防止するために、Tektronix P5200 高電圧差動プローブなどのグランド接続を必要とするプローブを、TPS2000 シリーズ・オシロスコープで使用しないでください。P5200 高電圧差動プローブは、グランドされた入力を備えたオシロスコープを必要としますが、TPS2000 シリーズ・オシロスコープにはフローティング入力（絶縁入力）しか備えられていません。

**Switching Loss** (スイッチング・ロス) ボタンを押して、スイッチング・ロス・メニューを表示します。オシロスコープには、電圧および電流のソース波形と関連測定値が表示され、瞬間的な電力関数 ( $V \cdot A$ ) による演算波形も自動的にセットアップされて、表示されます。



スイッチング・ロス・メニューのページ1には、以下のようなメニュー項目が表示されます。

メニュー項目	説明
ソース	CH1 と CH2 または CH3 と CH4 のどちらかの組み合わせを選択します（それぞれに電圧波形と電流波形が入ります）。2チャンネルのオシロスコープでは、CH1 と CH2 の選択肢しかメニューに表示されません。
V SAT	被測定デバイス（DUT）がオンになったときのスイッチ間の飽和電圧を入力します。この値は、DUT のデータ・シートなどに含まれています。 この値は、前面パネルの汎用ノブを使用して入力します。
デフォルトレベル使用	このボタンを押すと、ターン・オン、伝導、およびターン・オフの範囲の決定にデフォルトのレベルが使用されるようになります。
保存測量	このボタンを押すと、スイッチング・ロスの測定値がコンパクトフラッシュ・カード上の CSV ファイルに保存されます。

スイッチング・ロス・メニューのページ 2 には、以下のようなメニュー項目が表示されます。

メニュー項目	説明
オン開始	このボタンを押してから汎用ノブを使用すると、カーソルが移動し、電圧波形エッジのパーセンテージ・レベルにデフォルトの 90% 以外のレベルを選択できます。
オン終了	このボタンを押してから汎用ノブを使用すると、カーソルが移動し、電圧波形エッジのパーセンテージ・レベルにデフォルトの 10% 以外のレベルを選択できます。
オフ開始	このボタンを押してから汎用ノブを使用すると、カーソルが移動し、電圧波形エッジのパーセンテージ・レベルにデフォルトの 10% 以外のレベルを選択できます。
オフ終了	このボタンを押してから汎用ノブを使用すると、カーソルが移動し、電流波形エッジのパーセンテージ・レベルにデフォルトの 10% 以外のレベルを選択できます。

スイッチング・ロス・メニューのページ 3 には、以下のようなメニュー項目が表示されます。

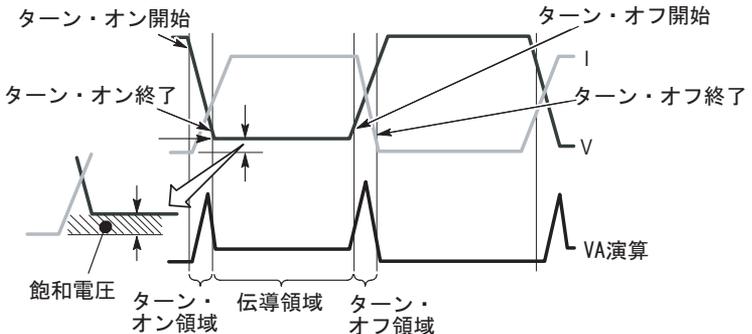
メニュー項目	説明
連続 取込	このボタンを押すと、オシロスコープに波形が継続的に取り込まれ、測定値が計算されて、画面に表示されます。
取込 N 回 後に停止	このボタンを押してから汎用ノブを使用すると、測定回数を設定できます。このモードでは、オシロスコープは N 回の異なるアキュジションに対して測定を実行した後、測定を停止します。測定値は内部的に保存されます。画面上には測定値の平均が表示されます。スイッチング・ロス・メニューのページ 1 の Save Meas. (測定結果の保存) を押すことにより、N 回の測定それぞれの詳細データをファイルに保存できます。
ユニット	測定結果をワット単位とジュール単位のどちらで表示するかを選択できます。被測定デバイスがどのくらいの電力を消費しているかを調べるにはワットを選択し、被測定デバイスとその仕様を比較するにはジュールを選択するとよいでしょう。

以下のスイッチング・ロス測定値は、目盛上に表示されます。

メニュー項目	説明
オン損失	<p>デバイスがオフ状態からオン状態に遷移するときのデバイスの電力損失が、ワット単位またはジュール単位で表示されます。</p> <p>ターン・オン・ロスは、ターン・オン開始からターン・オン終了までの期間の VA 波形の下の面積です。</p>
オフ損失	<p>デバイスがオン状態からオフ状態に遷移するときのデバイスの電力損失が、ワット単位またはジュール単位で表示されます。</p> <p>ターン・オフ・ロスは、ターン・オフ開始からターン・オフ終了までの期間の VA 波形の下の面積です。</p>
伝導損	<p>オン状態で伝導中のデバイスの電力損失が、ワット単位またはジュール単位で表示されます。</p> <p>伝導損失は、電流波形にデバイスの飽和電圧を掛け、エッジ・レベルにより定義された期間でそれを積分することにより算出されます。電圧波形のレベルは、伝導期間中に測定するには一般的に低すぎるため、このアルゴリズムでは、電圧波形ではなくユーザーが入力した飽和電圧が使用されます。</p>
総損失	<p>ターン・オン・ロス、ターン・オフ・ロス、および伝導損失の合計が表示されます。</p>

### 操作上のヒント

- スwitching・ロスのアルゴリズムでは、ターン・オン、伝導、ターン・オフの3つの期間の電力が測定されます。このアルゴリズムは、この3つの期間の境界となる次の4つのタイミングを検出することにより、3つの期間を決定します。
  - 電圧波形の立下りエッジの特定のレベル（デフォルトは90%）をターン・オンの開始とします。
  - 電圧波形の立下りエッジの特定のレベル（デフォルトは10%）をターン・オンの終了とします。
  - 電圧波形の最初の立上がりエッジの特定のレベル（デフォルトは10%）をターン・オフの開始とします。
  - ターン・オフの開始後に初めて発生する電流波形の立下りエッジの特定レベル（デフォルトは10%）をターン・オフの終了とします。電圧波形により決定される他のタイミングと違って、このタイミングは電流波形により決定されます。
- このメニューで使用される値を、以下の図に詳しく示します。



- このメニューのページ 2 を使用すると、波形のパーセンテージ・レベルの立下り箇所を示すカーソルをオンにすることができます。汎用ノブを使用してカーソルを動かし、パーセンテージ・レベルを変更します。

#### **ワット単位とジュール単位：**

1 スwitching・サイクルでの損失は、ジュール単位で計算されます。1 ジュールは、1 ボルト×1 アンペア×1 秒です。デフォルトでは、損失はワット単位で表示されます。この値がジュール単位で表示されるように設定することも可能です。ワット値は、ジュール値にトリガ周波数（これがスイッチング周波数になると想定）を掛けることにより計算されます。

**セットアップ手順：**

まず、1 スwitching・サイクルが表示されるようにオシロスコープをセットアップすることから開始します。一般的なセットアップ手順は、以下のとおりです。

1. チャンネル 1 を電圧プローブでセットアップします。チャンネル・メニューを使用して、電圧プローブ減衰を設定します。電圧プローブ・チップを IGBT コレクタに接続します。基準リードをエミッタに接続します。
2. チャンネル 2 を電流プローブでセットアップします。チャンネル・メニューを使用して、電流プローブ・スケール・ファクタを設定します。電流プローブをコレクタの脚部に接続しますまたは、電流プローブをエミッタの脚部に接続してもかまいません。ただし、エミッタ電流にはゲート駆動電流も含まれますが、これがかなりの量になる場合もあります。
3. トリガ・ソースをチャンネル 1 に設定します。
4. **AUTOSET** (オートセット) ボタンを押して、基本的なセットアップを行います。
5. トリガ・スロープを **Falling** (立下り) に設定します。
6. ノイズの多い信号がある場合は、前面パネルの **ACQUIRE** (取込み) ボタンを押してから、サイド・メニューの **Average** (平均) メニュー項目を押すとよいでしょう。
7. 前面パネルの **APPLICATION** (アプリケーション) ボタンを押してから、サイド・メニューの **Switching Loss** (スイッチング・ロス) メニュー項目を押します。
8. 電圧波形の 1 つの立下りエッジと 1 つの立上りエッジが見えるように水平スケールと水平位置を調整します。
9. チャンネル 1 とチャンネル 2 の演算垂直スケールと垂直位置を調整して、各波形の振幅が 2 目盛りより大きくなり、なおかつクリップされないようにします。

オシロスコープの目盛領域の下側の部分に、損失測定値が表示されます。測定に必要な波形情報が画面に表示されない場合は、計測値の代わりに疑問符 (?) がオシロスコープの画面に表示されます。

### **測定戦略：**

電源ごとに異なる測定戦略が必要です。

測定する電源のスイッチング周波数とデューティ・サイクルが一定で、伝導時間が比較的短い場合は、前述のセットアップで良好な結果が得られます。

信号のスイッチング周波数とデューティ・サイクルは一定で、伝導時間がターン・オフやターン・オンの時間に比べて長い場合は、3つの期間すべてを同時に正確に測定することができない可能性があります。この場合は、水平位置コントロールと水平スケール・コントロールを使用して位置とスケールをターン・オンの範囲に合わせてから、ターン・オン・ロスを測定します。次に、位置とスケールをターン・オフの範囲に合わせてから、ターン・オフ・ロスを測定します。最後に、フル・サイクルが表示されるようにセットアップを変更してから、伝導損失を測定します。

信号のスイッチング周波数は一定で、デューティ・サイクルにばらつきがある場合は、Stop After N Measurements (N回測定後停止) 機能を使用すると良好な測定結果が得られる場合があります。その場合は、以下の手順を実行します。

1. 最も長いデューティ・サイクルでのイベントを1つのアクイジションでカバーできるようにオシロスコープをセットアップします。
2. スwitching・ロス・メニューのページ 3 に移動し、**Stop After N Measurements** (N回測定後停止) モードを選択します。
3. ばらつきのあるデューティ・サイクルを伴う測定から良質なサンプルが収集できるように、汎用ノブを回転させてNを十分大きい値に設定します。適切な値を設定するには、何度か試験を必要とする場合があります。
4. **RUN** (実行) ボタンを押します。
5. オシロスコープが指定した回数の測定を完了したら、画面に平均値が表示されます。個々のアクイジションの結果を確認するには、スイッチング・ロス・メニューのページ 1 に移動し、**Save Meas** (測定結果を保存) ボタンを押します。これにより、コンパクトフラッシュ・カードの .CSV ファイルに詳細データが保存されます。

- 測定値の後ろに疑問符 (?) が表示された場合、および値の代わりに疑問符が表示された場合は、値が範囲を超えているか、その他のエラーが発生しており、表示されている測定値が無効で、危険な電圧が発生している可能性があります。垂直スケールまたは垂直位置を再調整するか、または前面パネルの **AUTOSET** (オートセット) ボタンを押してください。

---

**注:** どの電源アプリケーション測定を行うにも、TPS2PWR1 アプリケーション・キーがインストールされている必要があります。

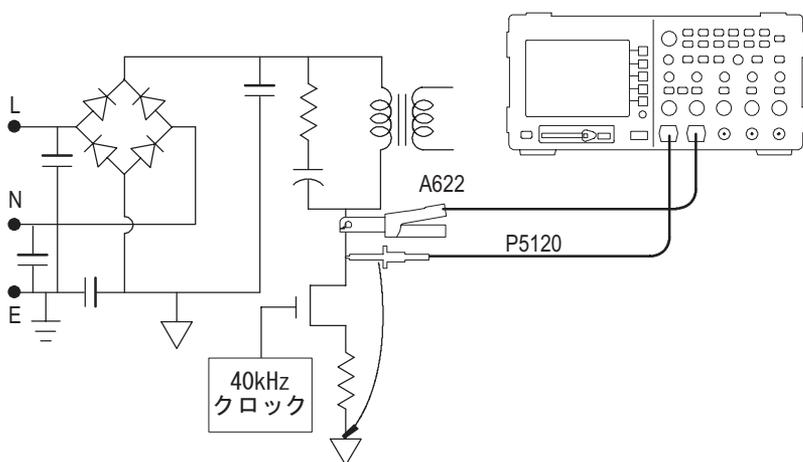
---

## dY/dt 測定値

このメニューは、信号のスロープ（変化率）を測定する場合に使用します。

Yは電圧、電流、または電圧と電流の積を表します。

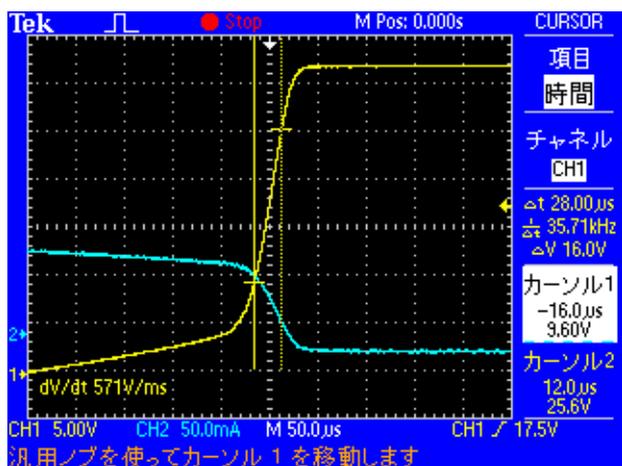
dY/dt 値を測定するためのセットアップの一例を、以下の図に示します。



**警告：** P2220 プローブ基準リードが  $30V_{RMS}$  を超えてフローティングしないようにしてください。コモン・リードが  $30V_{RMS}$  を超えてフローティングする場合は、高電圧プローブの定格に基づいて、P5120 ( $600V_{RMS}$  CAT II または  $300V_{RMS}$  CAT III までフローティング可能) または同様の定格の受動高電圧プローブか、あるいは適切な定格の高電圧差動プローブを使用します。

前面パネルの **Cursor** (カーソル) ボタンを押し、それによって表示されたカーソル・サイド・メニューの **Type** (タイプ) ボタンを押して、dY/dt 測定値を選択します。左下の目盛の近くに測定値が表示されます。

カーソルを調整して、波形の測定する部分を変更します。dY/dt 測定値は、電源アプリケーション・キーがインストールされている場合にのみ表示可能です。



# P5120 の仕様

表 2-1: 内で太字になっている P5120 の保証仕様は、『P5120 高電圧受動プローブ取扱説明書』(Tektronix 部品番号 071-1463-00) の「性能検査」で確認済みの仕様です。未保証の仕様は代表値であり (表 2-2 および 2-3)、参考用の一般情報としてご提供しています。

この仕様は、Tektronix TPS2000 シリーズのオシロスコープにインストールされた P5120 プローブに適用されます。機器は、表 2-4 に記載されている制限値を超えない環境に設置し、少なくとも 20 分間はウォーム・アップしておく必要があります。

**表 2-1: 保証電気仕様**

減衰 (DC カップリング・システム)	20X、±2%	
周波数帯域 (-3 dB、DC カップリング・システム)	<b>DC から 200MHz</b> (TPS2024) DC から 100MHz (TPS2012、TPS2014)	
最大定格入力電圧	IEC 1010-1 インストール・カテゴリ	
	II	III
	プローブ・チップとプローブ基準の間 またはプローブ・チップとアースの間 (図 2-1 を参照)	1000
プローブ基準とアースの間 (図 2-2 を参照)	600	300
安全性	UL61010B-2-031; 2003 CSA22.2 No. 1010.2-031, 1994 EN61010-031 2002	
IEC インストール・カテゴリ	カテゴリ II	
IEC 汚染度	2	

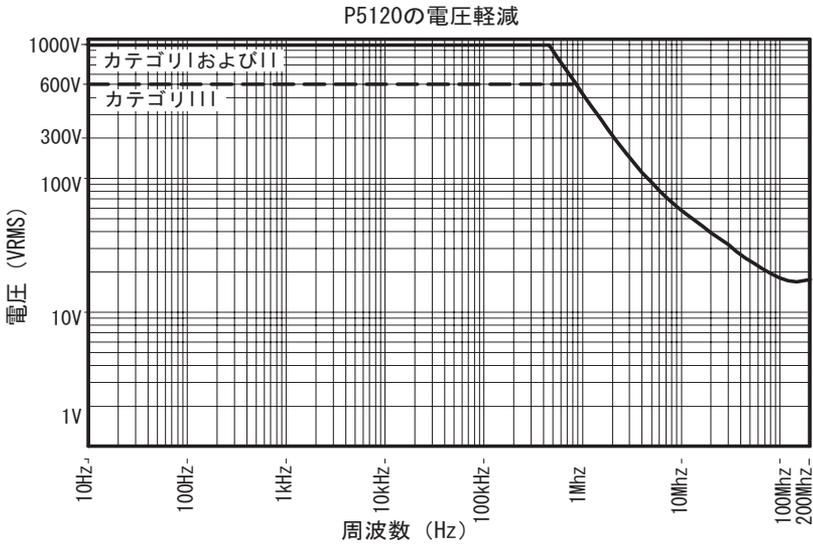


図 2-1: 最大電圧軽減曲線 ( $V_{RMS}$ 、DC カップリング)、基準またはアースへのプローブ・チップ

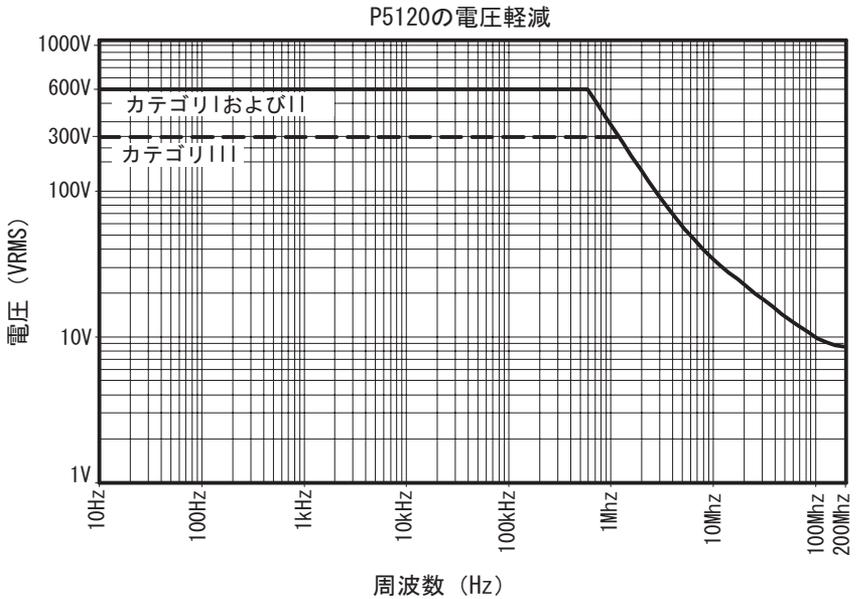


図 2-2: 最大電圧軽減曲線 ( $V_{RMS}$ 、DC カップリング)、アースへのブロープ基準

表 2-2: 一般的な電気特性

立ち上がり時間 (システム) オプションの BNC アダプタを使用し て確認	< 3.6ns (TPS2012、2014) < 2.2ns (TPS2024) 代表値
入力抵抗 (システム) 図 2-3 を参照	5M $\Omega$
入力位相 (システム)	(図 2-4 を参照)
補正範囲	15pF ~ 25pF
入力キャパシタンス (システム) 機器に接続し、正しく補正したプロ ンプ。1MHz で確認	11.2pF

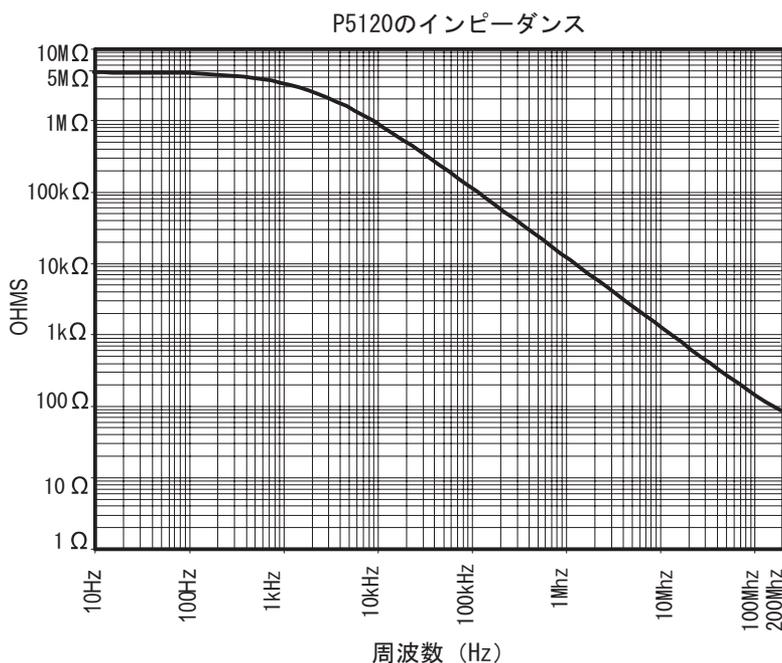


図 2-3: 代表的な入力インピーダンス

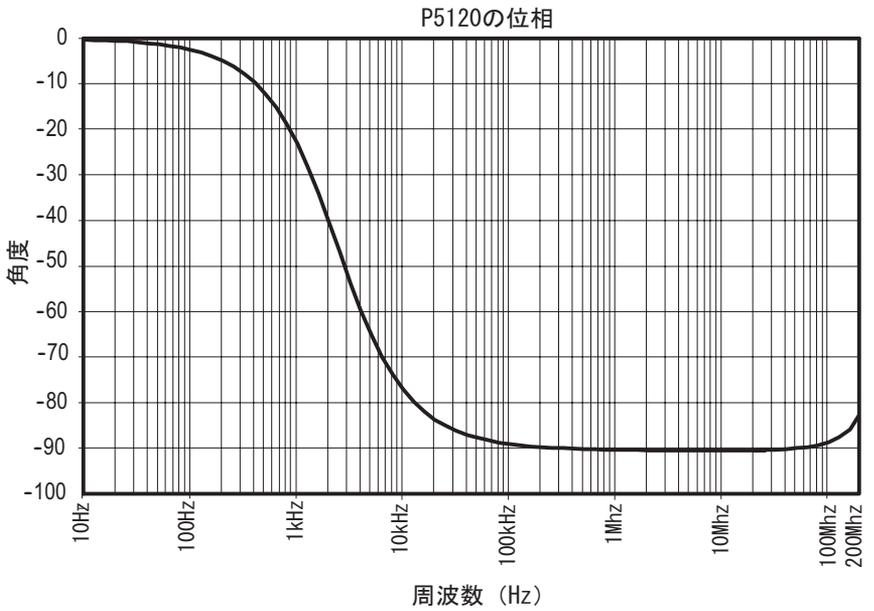


図 2-4: 代表的な入力位相

**表 2-3: 代表的な機械特性**

重量 (アクセサリを含む)	0.26kg (0.57lb)
ケーブル長	3m (+ - 3cm) (9.84ft)

**表 2-4: 環境仕様**

温度	動作時 : 0 °C ~ +50 °C (+32 °F ~ +122 °F)  非動作時 : -40 °C ~ +71 °C (-40 °F ~ +159 °F)
湿度	動作時 : 最高 : 50 °C (122 °F) / 60%RH 最低 : 30 °C (86 °F) / 60%RH 非動作時 : 最高 : 55 °C ~ 71 °C (131 °F ~ 160 °F)、 60%RH 最低 : 0 °C ~ 30 °C (32 °F ~ 86 °F)、 ≤ 90%RH
輸送	Tektronix規格062-0937-00リビジョンC
使用可能高度	動作時 : 4,600m (15,092ft) 非動作時 : 12,192m (40,000ft)