

DPOPWR、TDSPWR3アプリケーション・ソフトウェアを使用したパワー測定／解析

はじめに

電源の設計エンジニアは、80%あるいはそれ以上の電力変換効率の達成というプレッシャーに直面しています。この傾向は、携帯機器のバッテリーの長寿命化、グリーン製品による低消費電力化といった要求からきています。

設計エンジニアにとっては、電源の特性評価、問題のトラブルシュートのためには数多くの特殊なパワー測定が必要になることを意味しています。従来、このような測定は、定常的な電流と電圧をデジタル・マルチメータで測定し、電卓やコンピュータで計算し、評価してきました。現在では、多くのエンジニアが、電源（パワー）測定をオシロスコープで行うようになりました。

このアプリケーション・ノートでは、テクトロニクス社のDPO7000シリーズ、DPO/DSA70000/BシリーズとDPOPWRパワー解析ソフトウェアを使用した、代表的なパワー測定について説明します。TDS5000Bシリーズ・オシロスコープで使用するTDSPWR3ソフトウェアについても説明します。このオシロスコープ、ソフトウェアを使用することで、自動パワー測定による迅速なパワー解析や簡単なプローブ・デスクューなど、優れた測定精度の自動パワー測定を実現できます。



図1. 2本のプローブ間の静的スキュー補正前の様子

パワー測定の準備

解析やトラブルシュートにおいて正確に測定するためには、パワー測定システムを正しくセットアップし、正確な波形を取込む必要があります。考慮すべき項目を以下に示します。

- 電圧プローブ、電流プローブ間のスキュー調整
- プローブ・オフセットの除去
- 電流プローブのデガウス（消磁）

電圧プローブ、電流プローブ間のスキュー調整

オシロスコープでパワー測定を行う場合、DUT（Device Under Test、被測定デバイス）にかかる電圧と電流を測定する必要があります。この測定には、電圧プローブ（多くの場合、高電圧差動プローブが必要になります）と電流プローブが必要です。電圧プローブと電流プローブには固有の伝播遅延時間があるため、表示されるそれぞれの波形エッジが自動的に揃うということはありません。電流プローブと電圧プローブ間にあるこの遅延の差は「スキュー」と呼ばれ、電力振幅とタイミング測定の誤差の原因となります。

例えば、電圧プローブのケーブル長が1.5m、電流プローブのケーブル長が1mの場合、測定システムのコンパレータには、同時に波形が到達しません。これは、プローブのケーブル長の違いが大きな原因です。スキューのその他の原因としては、信号パスの長さの違い、オシロスコープ内部における回路遅延の違いなどがあります。

スキューはタイミング遅延の原因となるため、信号間の時間差の測定、位相測定、力率測定において誤差となります。製品内部の遅延を自動校正する測定システムがありますが、プローブをシステムに接続すると新たな変数が加わることになり、その補正が必要になります。

図1は、2本の電圧プローブを2つの入力チャンネルに接続したときのスキューを示しています。同じ信号ソースに接続しているのにタイミングが一致していません。2つの波形の間には約10nsの遅延がありますが、これは主にプローブ・ケーブル長の違いからきています。

DPO7000シリーズ、DPO/DSA70000/Bシリーズ、TDS5000Bシリーズは、プローブ先端から測定システムまでの遅延を補正することができるため、正確なタイミング測定が可能になります。このデスクュー手順では、プローブを同じ波形ソースに接続し、速い信号に遅延を加えます。こうすることで、短い方のプローブに物理的なケーブルを追加することなく時間を合わせることができます。オシロスコープ内部のパスしかデスクューできず、プローブのケーブル長を補正できないようなオシロスコープは測定誤差の大きな要因となってしまいます。



図2. 2本のプローブ間の静的スキュー補正後の様子



図3. デガウス／オートゼロ機能を備えた当社TCP0030型AC/DC電流プローブ

DPOPWRによる自動デスクュー

DPO/DSA70000/Bシリーズ・オシロスコープ用のDPOPWRアプリケーション・ソフトウェアでは、プローブをデスクュー・フィクスチャに接続すると自動デスクューの実行が可能になります。自動デスクューは数秒で完了するため、複数のプローブ、チャンネルによる面倒な手作業のデスクューが不要になります。

図2は、図1と同じテスト・セットアップでDPOPWRのデスクュー機能を実行した後の例です。DPOPWRソフトウェアのSingleボタンを押すと、2つの信号が自動的に揃えられ、2つのパスのタイミング遅延の差が補正されます。結果として、2つの波形は時間的に重なります。

プローブ・オフセットの除去

差動プローブは、わずかですが電圧オフセットを持つことがあります。このオフセットは精度に影響することがあるため、測定前にキャンセルしておく必要があります。ほとんどの差動電圧プローブにはDCオフセットの調整機能が内蔵されており、簡単な手順でオフセットをキャンセルすることができます。

同様に、測定前に電流プローブのオフセット調整が必要になる場合があります。電流プローブのオフセット調整は、DCバランスを調整して電流の平均値を0A（アンペア）または0Aに近づけることで行います。図3に示すTCP0030型AC/DC電流プローブなどのようなTekVPI対応プローブには、自動デガウス／オートゼロ機能が備わっており、プローブの補正ボックスにあるボタンを押すだけで実行することができます。

電流プローブのデガウス（消磁）

電流プローブには、操作が簡単なデガウス（消磁）機能も備わっている必要があります。デガウスでは、大きな入力電流によって発生する内蔵変圧器コアの残留DC磁束を除去します。この残留磁束は出力オフセット・エラーの原因となるため、測定精度を上げるために測定前にデガウスによって除去する必要があります。

TekVPIインタフェース対応電流プローブにはデガウス警告用インジケータがあり、デガウスを実行するように促してくれます。電流プローブは時間と共に無視できないようなドリフトが発生することがあり、測定に大きな影響を及ぼすことから、パワー測定ではこの警告インジケータ機能は非常に重要になります。

電源の特性評価

磁気特性

どのような電源システムでも、磁気コンポーネントは非常に重要です。インダクタ（コイル）、変圧器は、スイッチング電源、リニア電源においてエネルギーの蓄積デバイスとして使用されます。電源によっては、出力のフィルタにインダクタを使用するものもあります。システムにおけるその重要性から、磁気コンポーネントの特性評価は電源の安定性、全体の効率を知る上で重要となります。

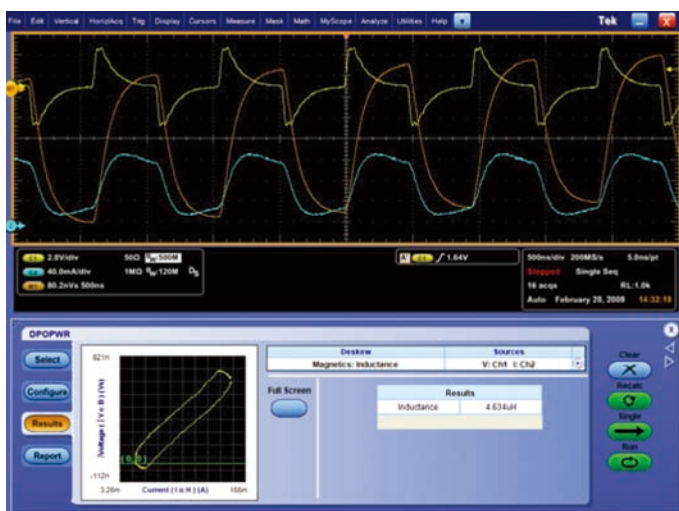


図4. DPOPWRによる磁気特性表示

インダクタンス

インダクタのインピーダンスは、周波数が増えると増加し、低い周波数より高い周波数が通りにくくなります。この特性はインダクタンスと呼ばれ、H（ヘンリ）の単位で測定されます。インダクタ、変圧器などのインダクタンスのパラメータは、オシロスコープで自動測定できます。

測定方法：

DPOPWRとTDSPWR3アプリケーションは、時間と共に変化する電圧、電流を測定し、インダクタンスを算出します。測定は簡単で、磁気コンポーネントに電圧プローブと電流プローブを接続します。Runボタンを押すと、インダクタンスの測定結果が図4のように表示されます。黄色（Ch1）の波形が電圧、青（Ch2）の波形が電流波形であり、インダクタンスを算出するための演算波形がオレンジ（M1）の波形です。B-H曲線も表示されます。

Resultsタブに表示される結果：

- Inductance：デバイスまたは回路のインダクタンスの値です。

磁気電力損失

磁気電力損失の解析は、スイッチング電源の効率、信頼性、性能を正確に評価する上で重要です。主な磁気損失は、コア損失（鉄損）と銅損です。電源内で使用されている銅の巻線抵抗が銅損となります。コア損失（鉄損）は、磁性コア内の渦電流損失とヒステリシス損失の関数となります。コア損失は直流磁束とは無関係ですが、交流磁束スウィングと動作周波数の影響を受けます。

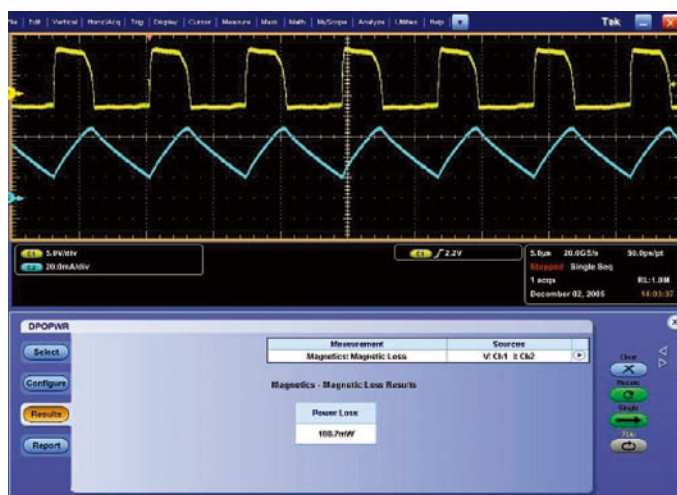


図5. DPOPWRによる磁気電力損失測定の結果

実際の回路では、銅損からコア損失を分離することはかなり困難です。解決方法の一つは、測定したトータルの磁気電力損失から、磁気コンポーネントのデータ・シートに記載されているコア損失の値を引き算して求める方法です。こうすることで、非常に正確な銅損を求めることができます。

測定方法：

DPOPWRとTDSPWR3はいずれも、単巻のインダクタ（コイル）やトランスのように二次巻線のある複巻インダクタであっても磁気電力損失を算出することができます。

複巻線の変圧器では、差動プローブを接続して一次巻線の電圧を測定します。変圧器の電流測定には、電流プローブを使用します。オシロスコープとパワー測定ソフトウェアは、磁気電力損失を自動的に計算します。

Runボタンを押すと、磁気電力損失の測定結果が図5のように表示されます。

Resultsタブに表示される結果：

- Power Loss：磁気コンポーネントのトータル電力損失です。

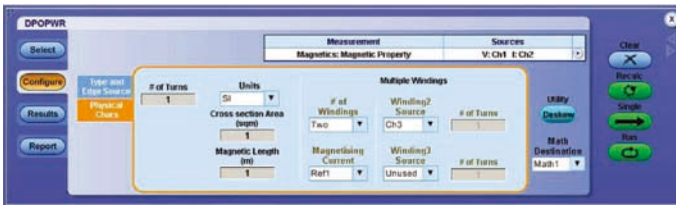


図6. DPOPWRのB-H曲線設定タブ

B-H曲線

磁気特性を表すのに、 B 、 H 、 μ が使用されます。 B は磁気誘導または磁束密度であり、磁界の大きさを表し、単位はテスラ (T) です。磁界中を移動する電荷に働く電磁的力を、その点における磁束密度と定義しています。 H は磁界強度または磁場の強さであり、単位はA/mです。 μ は透磁率であり、単位はH/m(ヘンリ・パーメータ)です。磁界における磁性体の磁化の程度を表します。

磁性体の長さ(磁路長)、コアの巻数などの物理特性により磁性材料の B と H がわかります。 B - H 曲線は、スイッチング電源の磁気部品の飽和(または非飽和)を検証するために使用され、またコア材料の単位体積あたりの1サイクルごとのエネルギー損失を示します。この曲線は、磁気誘導(磁束密度) B と磁場の強さ(磁界強度) H で表されます。 B と H は、磁性体の長さ(磁路長)、コアへの巻数など、磁気コンポーネントの物理特性によって異なるため、 B - H 曲線は磁気コンポーネントのコア材料の部品としての性能を表します。

測定方法：

B - H 曲線をプロットするためには、磁気無村の両端の電圧と、磁気部品に流れる電流を測定します。トランスの場合は、二次側巻線の電流と同様に一次側巻線の電流も測定します。

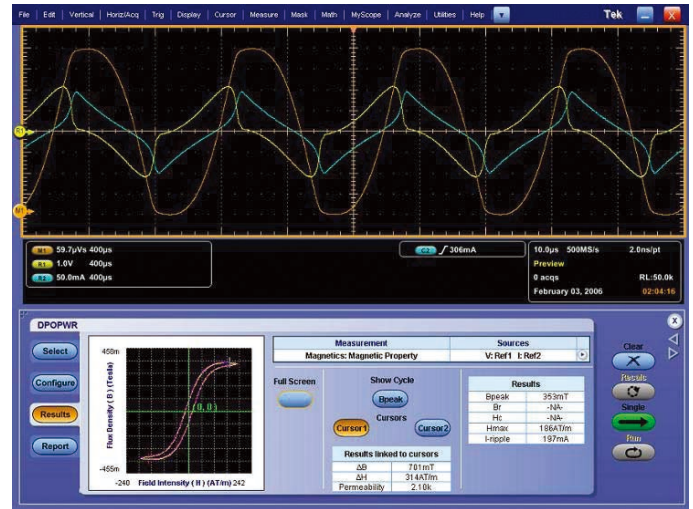


図7. DPOPWRによるB-H曲線

オシロスコープのCh1に高電圧差動プローブを接続し、トランスの一次巻線の両端にプロービングします。測定される電圧は、磁気コンポーネントの磁気誘導 B を表します。Ch2では、電流プローブで一次電流を測定します。電流プローブを使用して二次巻線の電流をCh3で測定し、必要に応じてCh4でも電流を測定します。パワー測定／解析ソフトウェアは、オシロスコープのCh2、Ch3、Ch4からのデータを使用して磁化電流を計算します。磁化電流の値は、 H 成分を算出するために使用されます。

パワー測定／解析ソフトウェアで B - H 曲線を計算するには、コイルの巻数(ターン数、 N)、磁路長(l)、コアの断面積(Ae)を入力する必要があります(図6を参照)。

Runボタンを押すと、磁気特性が図7のように表示されます。



図8. DPOWPRによるスイッチング損失測定

Resultsタブに表示される結果：

- ΔB ：磁束密度の変化
- ΔH ：磁界強度の変化
- Permeability：透磁率
- Bpeak：磁気コンポーネントにおける（測定時の）最大磁束密度
- Br：残留磁束密度（残留磁気）。 $H=0$ に戻ってもBが正で残る値です。（ヒステリシス・カーブとY軸（ $H=0$ ）の交点の値。）残留磁気とも呼ばれ、残留磁束密度を表します。残留磁束密度が大きいほど、磁性材の磁化力は残ります。
- Hc：保磁力（抗磁力）。磁束密度Bを0に戻すのに必要な逆方向の外部磁界強度（負のH）を表します。ヒステリシス・カーブとX軸（ $B=0$ ）の交点の値。保磁力が弱いことは、簡単に消磁することを意味します。
- Hmax：ヒステリシス・ループにおけるHの最大値です。
- I-ripple：電流のピーク・トゥ・ピーク値です。

電気特性

より高い変換効率が求められる中、スイッチング電源のエネルギー損失の正確な算出と検証はさらに重要になっています。電源のすべてのコンポーネントは、なんらかのかたちでエネルギー損失を持っています。スイッチング電源の場合、エネルギー損失の大半はスイッチング・トランジスタがオフからオンに切り替わる際の損失（ターンオン損失）と、その反対のターンオフ損失からなります。スイッチングの導通損失とエネルギー放射も、システムにおけるエネルギー損失になります。

規定された性能範囲内でシステム・コンポーネントが動作している場合、損失は最小になります。スイッチング・トランジスタの安全動作領域（SOA）を観測することにより、デバイスにストレスがかかっていないこと、また適正動作条件で動作していることを確認することができます。

スイッチング損失測定

スイッチング損失は、スイッチング回路がオンになるとき、およびオフになるときに発生します。ターンオン損失は、さまざまな物理的容量、寄生容量がチャージされ、インダクタによって磁界が発生し、関連する過渡的抵抗損失が発生することによって生じます。同様に、ターンオフになる場合、放電されるエネルギーがまだ残っていて、メイン・パワーが切り離されてもさまざまなコンポーネントとの関係で損失が発生します。

測定方法：

DPOWPRまたはTDSPWR3によるスイッチング損失測定も、スイッチング・トランジスタの電圧、電流にプロービングすることで実行できます。Runボタンを押すと、スイッチング損失が図8のように表示されます。

Resultsタブに表示される結果：

- Ton：ターンオンの電力損失とエネルギー損失の計算結果です。
- Toff：ターンオフの電力損失とエネルギー損失の計算結果です。
- Total Avg：トータルの平均電力損失と平均エネルギーの計算結果です。



図9. DPOPWRによるHi Power Finderの測定結果

Hi Power Finder

スイッチング電源の負荷の大きな変化は、スイッチング・デバイス全体の電力損失に大きく影響します。これは、電圧、電流の動作リミットを超え、さらには電力定格を超える可能性もあります。したがって、設計エンジニアはスイッチング・コンポーネントの電力損失を解析し、瞬時電力が許容電力損失内に入っていることを確認する必要があります。

Hi Power FinderはDPOPWR、TDSPWR3独自の解析機能であり、スイッチング波形から瞬時ピーク・パワーを求めることができます。すべてのピーク・パワーのデータ・ポイントを計算し、ピークを特定し、ピーク・パワー・イベントをまとめます。わずか数秒で自動的に実行されるため、ユーザは面倒なデータ解析から解放されます。

システムの瞬時ピーク・パワーの解析だけでなく、任意のピーク・パワーにおけるエネルギー損失を計算することもできます。結果は、ResultsウィンドウのSwitch Finderタブを選択することで表示されます。

測定方法：

Hi Power Finderで瞬時電力を求める接続は、スイッチング損失の測定と同じです。差動電圧プローブでスイッチング・トランジスタの電圧を測定し、電流プローブでトランジスタを流れる電流を測定します。正確に測定するためには、波形の縦方向の大きさが最低でも2~4div以上になるようにオシロスコープを調整します。

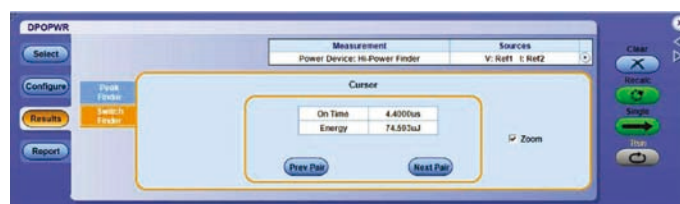


図10. Switch Finderタブによるエネルギー損失

予測されるTon、Toffレベルなどを入力してRunボタンを押すと、Hi Power Finderによる結果が図9のように表示されます。

Resultsタブに表示される結果：

- Summary Table：この表には最大値、最小値、サイクル数が表示されます。
 - － Maximum：データ・サンプルにおけるピーク電力波形の最大パワーです。
 - － Minimum：データ・サンプルにおけるピーク電力波形の最小パワーです。
 - － # Cycles：データ・サンプルにおけるオンとオフのピーク数です。
- Range Panel：データ・レンジの開始、終了リミットが表示されます。値を入力し、Updateボタンを押すことで、解析のためのリミット値を変更できます。
- Peak Value Panel：EndとStartのリミット間にあるピーク値が大きい順に表示されます。
- Link Button：カーソルを使用して電圧／電流波形のピーク位置が特定されます。
- Prev：カーソルを前のピークに移動します。
- Next：カーソルを次のピークに移動します。
- Zoom：このボックスを選択すると選択されている電力ピーク箇所のズーム・ウィンドウが作成され、カーソルによる詳細な波形解析を行えます。
- Switch Finder Tab：カーソルの位置におけるエネルギー損失が表示されます（図10を参照）。

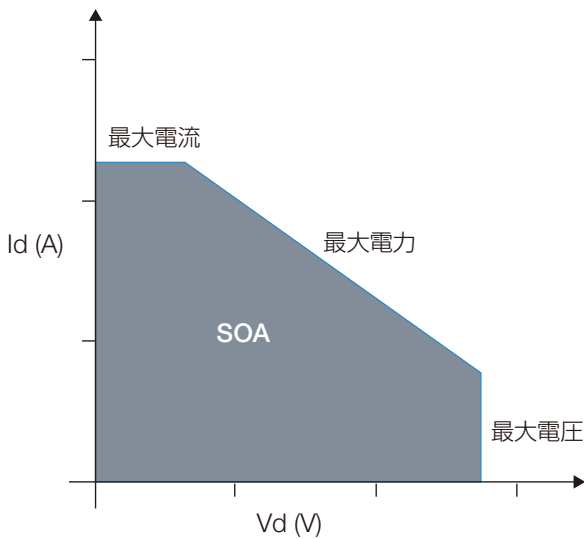


図11. トランジスタのSOA (安全動作領域)

SOA (安全動作領域)

スイッチング電源のスイッチング・トランジスタのSOA (安全動作領域) は、特定の電圧条件で流すことのできる電流を規定しています。トランジスタがオン (飽和) とオフ (遮断) を繰り返すとき、デバイスがダメージを受けることなく動作するための電圧、電流の条件を理解することは重要です。このリミットを超えてしまうとトランジスタがダメージを受ける可能性があるため、SOAを理解することは電源を正確かつ安全に動作させるために重要です。トランジスタがオンになるか、オフになるかによって、SOAはそれぞれ順バイアス、逆バイアスになります。

トランジスタのデータ・シートには、図11に示すような V_{CE} (FETでは V_{DS}) と I_{CE} (FETでは I_{DS}) のグラフが付いています。SOAはこの曲線の内側です。最大電圧、最大電流、電力、二次降伏 (Secondary Breakdown)、接合温度などのリミット値は、このグラフから推定します。これらの情報が一つの曲線で示されるため、スイッチング電源の設計エンジニアはSOA測定の情報をもとに、さまざまな条件におけるスイッチング・トランジスタのテストに使用できます。これにより、保護回路の設計作業がシンプルになります。

測定方法：

動作中のトランジスタのSOA測定で難しいのは、さまざまな負荷条件、温度変化、商用電圧の変動などにおいて電圧、電流のデータを正確に取込むことです。DPOPWR、TDSPWR3は、DUT (被測定デバイス) への接続が最小限で済み、データの入込み、解析が自動的に実行できるため、この作業が大幅に簡素化できます。測定はスイッチング・トランジスタに電圧プローブと電流プローブを接続することで行え、いたって簡単です。

DPOPWR、TDSPWR3パワー測定/解析ソフトウェアは、2種類の作図が行えます。

SOA (安全動作領域)

- SOA/ SOA Normal : 通常のSOAグラフであり、1回のレコードからXYモードで電圧、電流波形をプロットします。結果はResultsタブに表示され、全画面に拡大することもできます。このグラフは、1回の取込みサイクルをもとに作成されます。
- SOA X-Y/SOA : オシロスコープのX-Y表示モードを使用して電圧波形、電流波形をプロットします。同じ波形を何回もリアルタイムで取込むテストで使用します。
- SOA Gated Plots : SOA/SOA Normalに似ていますが、使用されるデータを選択、あるいはカーソルでゲート指定することができます。特定のイベントの観測に適しています。

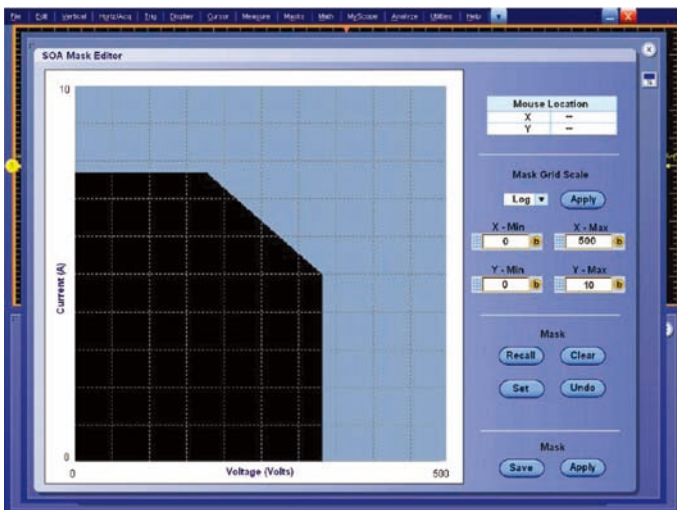


図12. DPOPWRによるSOAマスク・エディタ・ウィンドウ。XとYの最大値、最小値を設定できる

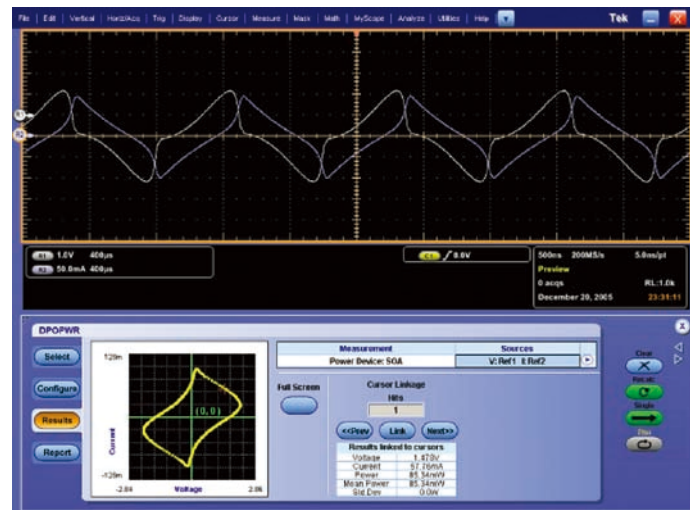


図13. DPOPWRによるSOA

SOAマスク・エディタ

- SOAのマスク・エディタは、トランジスタのデータ・シートに記載されている電圧、電流の最大値、最小値および最大許容損失をもとにセットアップされます（図12を参照）。測定されたSOAと、トランジスタ製造メーカーからの最大リミット値を検証、比較することができます。データ・ポイントがマスク領域内にある場合は緑で“Pass”が表示されて合格と見なすことができます。マスク領域外に出ると赤で“Fail”と表示され、不合格と見なすことができます。

設定してからRunボタンを押すと、SOAが図13のように表示されます。

Resultsタブに表示される結果：

- Results Table：カーソル・ポジションに対応したデータが表示されます。選択されたポイントの電圧、電流、電力、平均電力、標準偏差が表示されます。
- Full Screen：SOAのグラフが拡大され、オシロスコープの画面と同じサイズで表示されます。

入力解析

電気をエンド・ユーザまで届けるのは非常に複雑なシステムであり、発電、伝送、分電を含みます。発電量、電源需要の変化、天候、電源ライン品質、エンド・ユーザの配線の違いなど、すべては最終的に負荷に到達する電源品質全体に影響します。

スイッチング電源は電源ラインに対してノンリニア負荷であるため、入力の電圧、電流波形は同じになりません。電流は、入力サイクルの一部のみに流れるため、入力電流波形では高調波が発生します。商用ラインにおける電源の影響を解析するためには、電源品質、トータルの電源品質、電流の高調波の測定が一般に行われます。

電源品質

電源品質は、電力が、供給される先の負荷で正しく機能するかを示すものです。これを測定することで、ノンリニア負荷（非線形負荷）が原因の歪みの影響を理解することができます。例えば、スイッチング電源はノンリニア負荷であるため、電力システム全体に追加されると、それが伝送される商用電源の品質に影響します。スイッチング電源の入力端で電源品質を測定すると、供給されている商用電源の品質のもとでスイッチング電源がいかにかうまく機能しているかを理解することができます。

測定方法：

差動プローブでシステムのライン電圧を、電流プローブでシステムのライン電流を測定することで、電源品質を簡単に測定できます。同じプロービングで電流高調波とトータルの電源品質を測定できます。



図14. DPOPWRによる電源品質測定の結果

DPOPWRとTDSPWR3ソフトウェアにはデスクュー機能があり、電流波形と電圧波形を揃えることで各プローブの伝播遅延の差異の影響を除くことができます。

Runボタンを押すと電源品質が解析され、図14のように表示されます。

Resultsタブに表示される結果：

- Vrms：表示された電圧波形の二乗平均平方根（Root-Mean-Square）。
- True Power：システムの真の電力、単位はワット（W）
- VcrestFactor：電圧のピーク振幅を電圧の実効値で割った値です。
- 周波数：電圧波形の周波数、単位はヘルツ（Hz）
- Irms：表示された電流波形の二乗平均平方根（Root-Mean-Square）
- ApparentPower：皮相電力。電圧の実効値×電流の実効値。単位はVA
- ICrestFactor：電流のピーク振幅を電流の実効値で割った値
- PowerFactor：実効電力（真の電力）と皮相電力の比

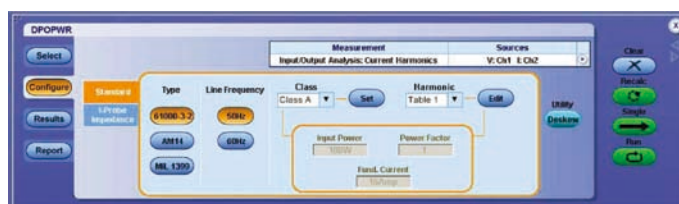


図15. 電流高調波測定のためのDPOPWRの設定タブ

電流高調波

現実の電源はノンリニア負荷（非線形負荷）であり、ユーザが操作を変更したり、デバイスの温度が上下することによって負荷が増減することを意味します。このような負荷変動により、電圧波形、電流波形に歪みが生じます。電源がターンオン、ターンオフするときに、入力電源ラインの抵抗負荷、容量負荷、誘導負荷が発生するサージ電流によってノンリニアとなります。また、ソース電圧が変化することでも、電源機能がノンリニアになります。DPOPWRとTDSPWR3は、このような負荷変動に対する入力電源の変化を迅速にレポートします。

測定方法：

機器のセットアップ方法は、「電源品質測定」の場合と同じです。差動電圧プローブでライン電圧を測定し、電流プローブでライン電流を測定します。Configurationタブで、電流高調波の規格、ライン周波数、規格のクラス（A、B、C、またはD）を設定します（図15を参照）。クラス、規格によっては、さらに入力電力、力率、基本波電流なども表示されます。

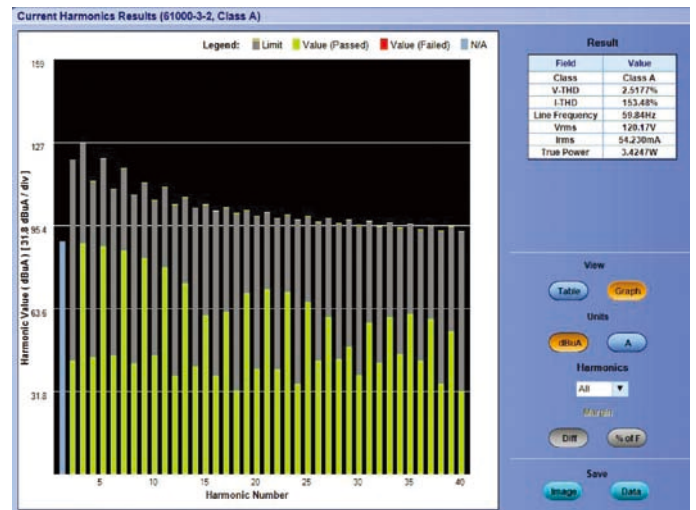
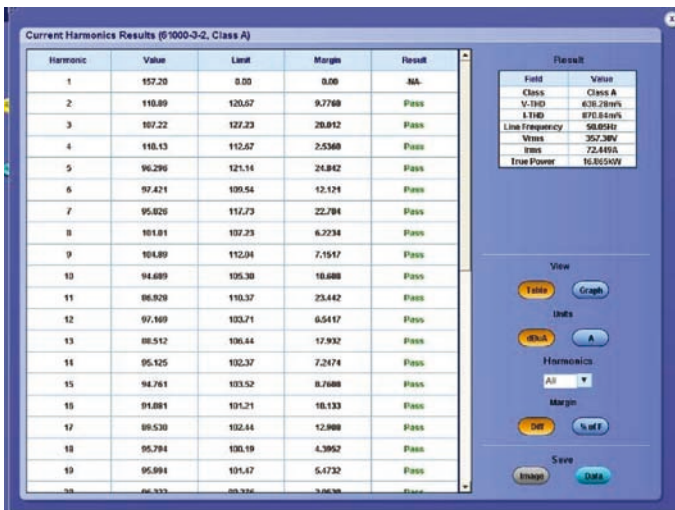


図16a. DPOPWRによる電流高調波の測定結果

図16b. グラフ形式で表示された電流高調波の測定結果

Runボタンを押すと、電流高調波の測定結果が表示されます（図16a、16bを参照）。

Resultsタブに表示される結果：

- 高調波一覧：高調波、値、リミット、マージン、結果が表示されます。
 - － Harmonic：高調波の次数
 - － Value：測定された電流高調波、単位は $\text{dB}\mu\text{A}$
 - － Limit：選択されたIEC規格の高調波リミット、単位は $\text{dB}\mu\text{A}$
 - － Margin：ValueとLimitの差分
 - － Results：高調波ごとにPass（緑）またはFail（赤）の結果を識別表示（色で表示されるのはDPOPWRのみ）
- Result Table：この表には、以下の情報が表示されます。
 - － Class：Configurationタブで選択されたクラス。選択できるクラスはA、B、C、Dであり、DUTあるいは電流波形の形状によって異なります。
 - － V-THD：電圧の全高調波歪み、単位は%

- － I-THD：電流の全高調波歪み、単位は%
- － Line Frequency：ライン周波数、単位はHz。Configurationタブで選択されます。
- － Vrms：ライン電圧、単位はV
- － Irms：ライン電流、単位はA
- － True Power：真の電力、単位はW
- View：高調波測定結果表示を表形式またはグラフのいずれかから選択します。棒グラフ形式では、緑のバーは合格、赤のバーは不合格を意味します。
- Units：表形式で表示されるデータの単位を、 $\text{dB}\mu\text{A}$ またはAから選択します。
- Harmonics：ドロップ・ダウン・メニューにより、All（全高調波）、Even（偶数次）、Odd（奇数次）を選択します。
- Margin：マージンの計算方法を、測定値とリミット値の差分、または基本波に対するパーセントから選択します。
- Amendment 14 Table：この表には、POHC（Partial Odd Harmonic Current）の値、リミット値、結果が含まれます。

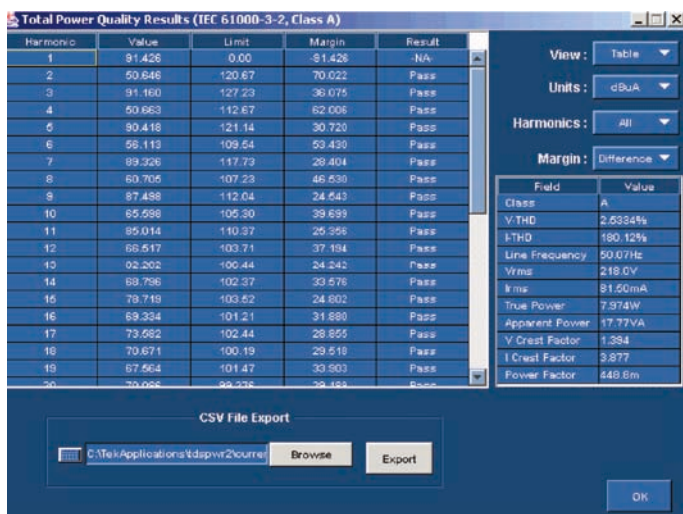


図17. TDSPWR3によるトータル電源品質の結果。電流高調波、電源品質がまとめて表示される

トータル電源品質

DPOPWRとTDSPWR3はトータル電源品質を解析でき、電源品質と電流高調波がまとめて表示されます。

トータル電源品質の解析の測定セットアップは、電源品質解析の場合と同じです。条件設定は、先に説明した「電流高調波」と同様です。

トータル電源品質の結果を図17に示します。電源品質と電流高調波の結果が含まれています。

出力解析

スイッチング電源で特に重要な出力測定項目に、ライン・リップル、スイッチング・リップル、スペクトラム解析、ターンオン時間があります。

ライン・リップル、スイッチング・リップル

電源のDC出力品質は、クリーンで、ノイズ、リップルが小さくなければなりません。簡単に言うと、リップルは電源のDC出力に重畳するAC電圧であり、通常出力電圧に対する比、またはピーク・トゥ・ピーク電圧で表されます。

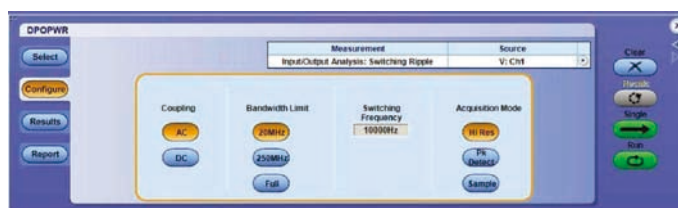


図18. DPOPWRのライン・リップルのConfigureタブ

電源の出力リップルは2種類あります。ライン・リップルでは、ライン周波数に関連するリップルの量を測定します。一方、スイッチング・リップルでは、スイッチング電源の出力から検出されるスイッチング周波数に関連するリップルの量を測定します。

出力ライン・リップルは、通常、ライン電源の2倍の周波数であり、スイッチング・リップルはkHz以上の周波数レンジで、ノイズも結合しています。スイッチング・リップルからライン・リップルを分離することは、電源の出力特性評価で最も難しい課題です。パワー測定/解析ソフトウェアは、この作業を大幅に軽減します。

測定方法：

システム・リップルは、電圧プローブがあれば測定できます。差動電圧プローブをシステムの出力に接続し、出力ライン・リップル電圧とスイッチング・リップル電圧を測定します。

ライン・リップルとスイッチング・リップルのConfigureタブは、非常によく似ています(図18を参照)。どちらのリップル測定でも、カップリング (ACまたはDC)、帯域制限 (20MHz、150/250 MHz、Full)、オシロスコープのアクイジション・モード (サンプル、ピーク・ディテクト、ハイレゾ) を設定します。ライン・リップル測定では、システムのライン周波数 (50Hz、60Hz、400Hz) も設定する必要があります。スイッチング・リップル測定では、スイッチング・トランジスタのおよそのスイッチング周波数の設定が必要になります。

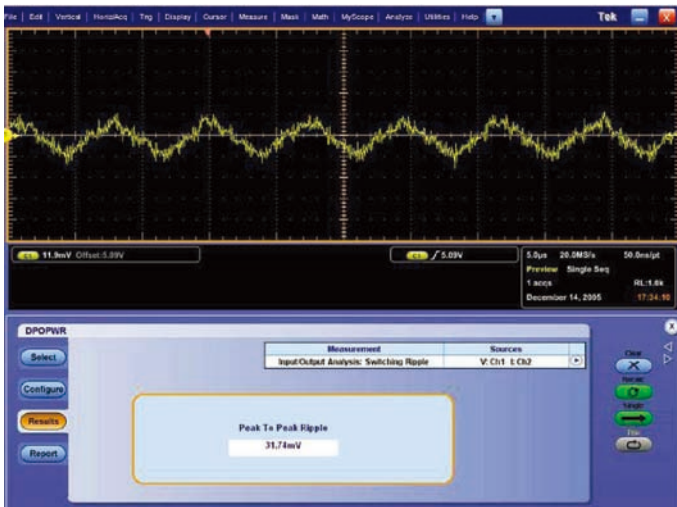


図19. DPOPWRによるスイッチング・リップルの測定結果

設定した後、Runボタンを押すと、図19のような測定結果が表示されます。

Resultsタブに表示される結果：

- Peak to Peak Ripple：システムのライン・リップルまたはスイッチング・リップルのピーク・トゥ・ピーク電圧が表示されます。

スペクトラム解析

スペクトラム解析機能を使用して、システムの電磁妨害（EMI）に影響を及ぼす周波数成分を解析します。また、出力DC電圧の周波数領域におけるノイズ／リップルを測定します。この解析により、被測定電源にフィルタリングの課題があるか確認することができます。

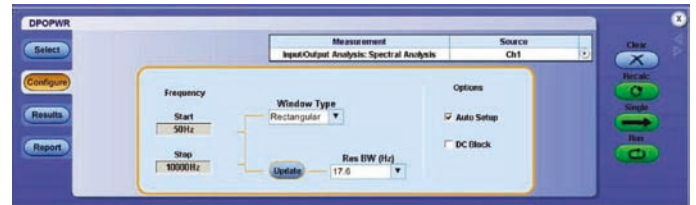


図20. DPOPWRのスペクトラム解析のConfigureタブ

測定方法：

これまでの測定と違い、プローブは必ずしも必要としません。測定する電源の出力をオシロスコープのチャンネルに接続します。

DPOPWRまたはTDSPWR3の設定では、周波数レンジを設定します（図20を参照）。スタート周波数は0Hz～499MHzで設定でき、ストップ周波数は50Hz～500MHzで設定します。次に、ウィンドウ・タイプを選択します。これにより、スペクトラムのリークを軽減します。選択できるウィンドウのタイプは、方形波、ハミング、ハニング、ブラックハリス、ガウシャン、フラットトップ2、カイザーベッセル、TekExpです。

Optionの欄でAuto Setupにチェックが入っている場合は、パワー測定／解析ソフトウェアは選択されたウィンドウ・タイプから、適切なレコード長、時間軸を自動的に選択します。チェックが入っていない場合は、既存の時間軸、レコード長で解析します。

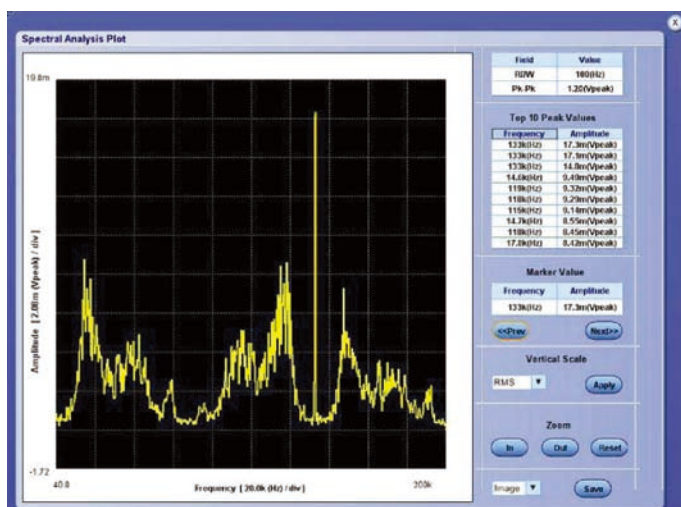


図21. DPOPWRによるスペクトラム解析結果のフル・スクリーン表示

解析結果の例を、図21に示します。縦軸は振幅、横軸は周波数(Hz)です。

Resultsタブに表示される結果：

- グラフ：縦軸に振幅、横軸に周波数が表示されます。スタート周波数、ストップ周波数も表示されます。
- Top 10 Peak Values：上から10番目までのピーク値とその周波数が表示されます。
- マーカの値：マーカの位置におけるピーク値が表示されます。
- Prev：前のピーク値を選択します。
- Next：次のピーク値を選択します。
- Vertical Scale：垂直軸の単位を、dB、dBm、RMS、Peakから選択します。
- Zoom：グラフを拡大／縮小表示します。

ターンオン時間

ターンオン時間は、電源がオンになってから有効になる、つまり出力が利用できるようになるまでの時間です。別の言い方をすると、電源がオンになってからの遅延時間と出力電圧の立ち上がり時間の合計した値になります。電源のターンオン時間を理解し、ラインと負荷の変動率を最小にするためには、電源のターンオン時間を知ることが重要です。

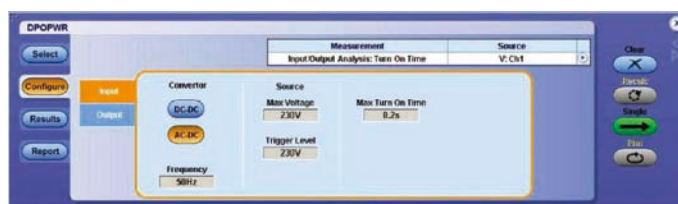


図22. DPOPWRのターンオン時間のConfigureタブ

従来、ターンオン時間は面倒な計算から求めるか、SPICEなどのシミュレーションから求めていました。従来の方法ではターンオン時間の測定は難しく、特に入力と出力の電圧の相対スケールが大きく異なる場合、問題となります。出力が複数ある電源では、解析はさらに難しくなります。

DPOPWRとTDSPWR3は、オシロスコープのスケールを自動的に調整してターンオン時間を測定し、結果を表示します。さらに、3つまでの出力を同時に解析することができます。

測定方法：

ターンオン時間測定のセットアップは至って簡単で、電圧プローブを2本使用するだけです。1本は入力に、もう1本は出力に接続します。この測定には差動プローブの使用をお勧めします。

DPOPWRとTDSPWR3のConfigureタブでは、電源の出力情報だけでなく、入力情報も設定します(図22を参照)。入力の欄では、ターンオン時間をAC/DCコンバータで測定するのか、DC/DCコンバータで測定するのかを設定します。AC/DCコンバータの場合は、AC入力のライン周波数を設定します。次に、ソースの最大電圧と、想定される最大のターンオン時間を設定します。ソフトウェアは、この値から測定のスケールとタイミング・ウィンドウを設定します。

DPOPWRとTDSPWR3では、3つまでの出力のターンオン時間を同時に測定することができます。出力を設定すると、テストする出力チャンネルの番号が選択され、出力電圧を測定するオシロスコープのチャンネルが設定されます。最大出力電圧を設定すれば、セットアップは完了です。

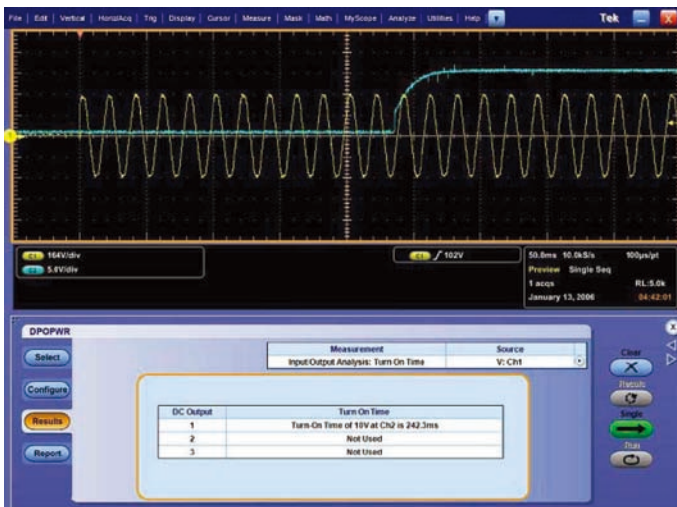


図23. DPOPWRのターンオン時間測定結果

Runボタンを押すと、測定結果が表示されます（図23を参照）。

Resultsタブに表示される結果：

- ターンオン時間：設定した出力のターンオン時間

電源のプリコンプライアンス・テスト

産業、民生用でのエネルギー消費が増加している現在、電力システムの品質はさらに重要度を増しています。スイッチング電源の奇数次の高調波は、電力網に戻ることがあります。また、電力網に接続されるスイッチング電源の数が増えると、電力網に戻る高調波歪みのトータル・パーセンテージも増えます。これにより、電力網のケーブル、変圧器の過熱の原因となり、機器などの損傷の原因となります。したがって、電力システムの高調波低減が重要になります。

このためには、まず電力システムがIECが規定しているIEC 61000-3-2 Class A、B、C、D、IEC61000-3-2 AMD14 Class C、D、MIL-STD-1399などの規格に適合しているかをテストします。これは、非線形負荷による電源品質を確認するものです。IEC61000-3-2は一般的な電力網の適合性規格ですが、MIL-1399は防衛用の電力システムの規格です。

IEC61000-3-2規格は、公共の基幹電力システムに入る電流高調波を規制しています。各位相につき最大16Aの入力電流までのすべての電気／電子機器で、公共の低電圧配電システム（100V AC、230V ACまたは200V AC三相、415V AC三相など）に接続されるものに適用されます。この規格はさらに、Class A（平衡三相機器）、Class B（携帯機器）、Class C（照明器具、調光機器）、Class D（特殊な電流波形要件を持つ機器）に分かれています。

一方、MIL-STD-1399は軍艦に搭載されるコンピュータ、エアコン、通信機器など、さまざまなアプリケーションで使用される機器の電力変換システムに適用され、電力変換で生ずる電流高調波をチェックします。電源盤に接続される電力変換システムは、さらに配電盤を経由して中央発電システムに接続されます。

設計したデバイスがこれらの適合性規格に適合することを確認するのは時間や費用のかかる作業ですが、DPOPWR、TDSPWR3を使用することで、この検証作業がすばやく行えます。設計、検証作業が簡単になるだけでなく、製品出荷までの時間を短縮することも可能になります。

測定方法：

差動電圧プローブでライン電圧を測定します。電流プローブでライン電流を測定します。

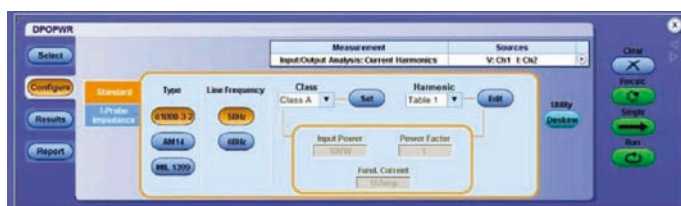


図24. DPOPWRのプリコンプライアンス・テストの設定

この測定で当社の電圧、電流プローブを使用すると、両方の測定の周波数応答の同期が自動的にとれます。このためには、使用するプローブをドロップ・ダウン・メニューから選択し、Deskewボタンを選択します。こうすることで、正確な電流高調波が測定できます。当社のプローブでない場合は、電流測定の周波数レンジを設定し、電圧波形と電流波形のデスキューと電流プローブの設定をマニュアルで実行する必要があります。

プローブを設定したならば、IEC規格とライン周波数を選択します(図24を参照)。最後に、Classを選択し、Setボタンを押すと、あらかじめ設定されているリミット・テーブルが読み込まれ、比較表が作成されます。Class C、Dでは、さらに入力電力、力率、基本波電流を入力します。Runボタンを押すと、プリコンプライアンスの測定結果が図25のように表示されます。

Resultsタブに表示される結果：

- 高調波一覧：高調波次数、測定値、リミット、マージン、Pass/Fail結果が表示されます。
 - － Harmonic：高調波の次数
 - － Value：電流高調波の測定値、単位はdB μ A
 - － Limit：設定されたIEC規格の高調波リミット
 - － Margin：ValueとLimitの差分
 - － Results：高調波の次数ごとにPass（緑）またはFail（赤）の結果を表示（色で表示されるのはDPOPWRのみ）
- Result一覧：この表には、以下の情報が表示されます。
 - － Class：Configureタブで選択されたクラス。選択できるクラスはA、B、C、Dであり、DUT（被測定物）あるいは電流波形の形状によって異なります。

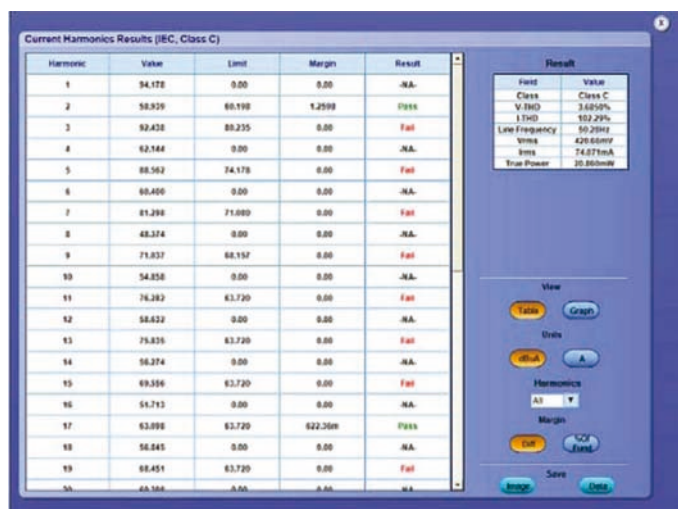


図25. DPOPWRのプリコンプライアンス・テストの結果一覧

- － V-THD：電圧の全高調波歪み、単位は%
- － I-THD：電流の全高調波歪み、単位は%
- － Line Frequency：ライン周波数、単位はHz。Configureタブで選択されます。
- － Vrms：ライン電圧、単位はV
- － Irms：ライン電流、単位はA
- － True Power：実効電力（真の電力）、単位はW
- View：高調波測定結果表示について表形式かグラフ形式かを選択します。バー・グラフ形式では、緑のバーは合格、赤のバーは不合格を意味します。
- Units：表形式で表示されるデータの単位を、dB μ AまたはAから選択します。
- Harmonics：ドロップ・ダウン・メニューにより、All（全高調波）、Even（偶数次）、Odd（奇数次）を選択します。
- Margin：マージンの計算方法を、測定値とリミット値の差分、または基本波に対するパーセントから選択します。

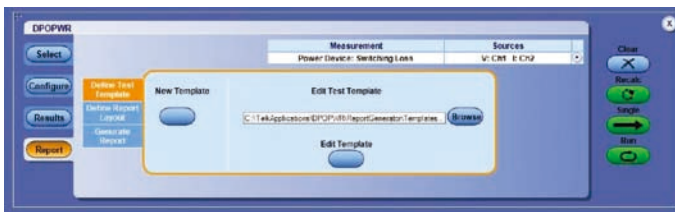


図26. DPOPWRのDefine Test Templateタブ

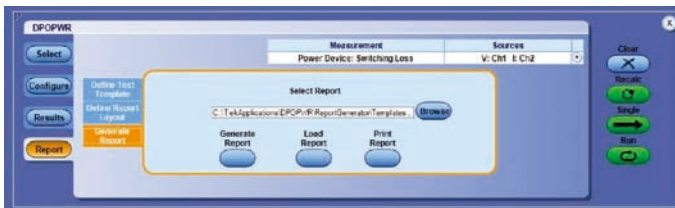


図27. DPOPWRのGenerate Reportタブ

レポート作成

設計、開発プロセスでは、データ収集、保存、文書化という作業は、時間がかかりますが、必要な作業です。DPOPWRとTDSPWR3にはレポート自動生成機能が備わっており、測定結果を簡単に文書化することができます。

DPOPWRには、Power Analysisウィンドウの一部として図26に示すようなReportタブがあります。TDSPWR3ではドロップ・ダウン形式のReportメニューがあり、同様のタブが表示されます。

全測定の簡単なレポートではなく、DPOPWRもTDSPWR3もレポートのテンプレートとレイアウトをカスタマイズすることができます。図26に示すDefine Test Templateタブでは、Edit Templateボタンを押すことで独自の測定に応じて標準のテンプレートを編集することができます。New Templateボタンを押すことで、まったく新しいテンプレートを作成することもできます。同様に、Define Report Layoutタブを選択することでレポートのレイアウトを編集することができます。編集したテンプレート、レイアウトは任意の場所に保存することができます。

図27に示すGenerate Reportボタンを押すと、設定したテンプレートとレイアウトで最終のレポートが作成され、ディスプレイに表示されます。Print Reportボタンを押すと、レポートが印刷されます。

まとめ


DPO7000シリーズ、DPO/DSA70000/Bシリーズ・オシロスコープとDPOPWRソフトウェア、TDS5000Bシリーズ・オシロスコープとTDSPWR3ソフトウェアを使用することで、わずかなセットアップ時間ですばやく、正確な測定を行うことができます。手作業による計算も不要になります。オシロスコープ上のアプリケーション・ソフトウェアにより、測定スクリーン、機器のセットアップ、測定波形やグラフを含む文書として測定結果をファイルに保存することができます。

オシロスコープの比較表


	TDS5000Bシリーズ	DPO7000シリーズ	DPO/DSA70000Bシリーズ
周波数帯域	350MHz~1GHz	500MHz~3.5GHz	4~20GHz
レコード長	最大16Mポイント	最大400Mポイント	最大250Mポイント
サンプル・レート	最高5GS/s	最高40GS/s	最高50GS/s
カラー・ディスプレイ	10.4型 VGA	12.1型 XGA	12.1型 XGA
パワー測定／ 解析ソフトウェア	TDSPWR3	DPOPWR	DPOPWR
プローブ・インタフェース	TekPROBE™	TekVPI®	TekConnect®

DPO/DSA70000BシリーズとTDS5000Bシリーズ・オシロスコープは、以下のプローブと組み合わせることで優れた測定性能を発揮します。

高電圧差動プローブ

	特長	型名
	<ul style="list-style-type: none"> ・フローティング回路または電位を持つ回路の安全な測定（オシロスコープ・グラウンドをアース・グラウンドに接続したまま測定可能） ・ mVからkVまでの広い電圧レンジ 	<ul style="list-style-type: none"> – P5205型*1 (最大1000V_{rms} CAT II) – P5210型*1 (最大4400V_{rms}) – P6205/51型*2

電流プローブ

	特長	型名
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 変圧器とホール効果を利用したAC/DC測定機能 ■ mAからkAまでの広い電流レンジ 	<ul style="list-style-type: none"> – TCP202型*2 – TCPA300型*2とTCP303型 – TCP305型、TCP312型


*1 DSA/DPO70000BシリーズではTCA-1 MEG型変換アダプタが必要。

*2 DSA/DPO70000BシリーズではTCA-BNC型変換アダプタが必要。


DPOPWR、TDSPWR3アプリケーション・ソフトウェアを使用したパワー測定／解析

MSO/DPOシリーズ・オシロスコープには、使いやすく、機能豊富なTekVPI（Tektronix Versatile Probe Interface）プローブ・インタフェースが装備されています。

TekVPI高電圧差動プローブ

	特長	型名
	<ul style="list-style-type: none">■ GHzの周波数帯域によるスイッチング電源の解析■ DUTへのさまざまな接続方法と使いやすさ	<ul style="list-style-type: none">– TDP1000型– TDP0500型

TekVPI電流プローブ

	特長	型名
	<ul style="list-style-type: none">■ 広帯域（DC～120MHz）と広いダイナミック・レンジ（mA～数百A）■ スプリット・コア構造により、DUTにすばやく、簡単に接続可能	<ul style="list-style-type: none">– TCP0030型– TCP0150型

Tektronix お問い合わせ先：

日本
お客様コールセンター
0120-441-046

地域拠点

米国 1-800-426-2200
中南米 52-55-54247900
東南アジア諸国／豪州 65-6356-3900
中国 86-10-6235-1230
インド 91-80-42922600
欧州／中近東／北アフリカ 41-52-675-3777
他 30 カ国

Updated 9 October 2009

詳細について

当社は、最先端テクノロジーに携わるエンジニアのために、資料を用意しています。当社ホームページ (www.tektronix.com/ja) をご参照ください。



TEKTRONIX および TEK は、Tektronix, Inc. の登録商標です。記載された商品名はすべて各社の商標あるいは登録商標です。

06/10

54Z-23880-0



日本テクトロニクス株式会社

www.tektronix.com/ja

〒108-6106 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティ B棟6階
ヨッ!良い オシロ
お客様コールセンター TEL:0120-441-046
電話受付時間／9:00～12:00・13:00～19:00 (土・日・祝・弊社休業日を除く)

■ 記載内容は予告なく変更することがありますので、あらかじめご了承ください。

© Tektronix