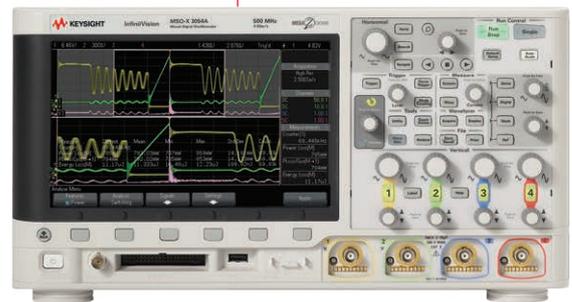


Keysight Technologies スイッチング電源の測定

Application Note



はじめに

パワー測定オプションを装備したKeysight InfiniiVision 3000T/4000 Xシリーズ オシロスコープの使用

Keysight 3000Tおよび4000 Xシリーズ オシロスコープとパワー測定オプションを組み合わせれば、スイッチング電源の信頼性と効率を容易に解析できます。このアプリケーションノートでは、スイッチング電源(Switching Mode Power Supply : 以下SMPS)に対するさまざまなパワー測定の手順と、被試験デバイス(DUT)としてキーサイトのSMPS測定トレーニングキットを用いた詳細な手順を説明します。Keysight InfiniiVision 3000Tまたは4000 Xシリーズ オシロスコープにパワー測定オプション(DSOX3PWRまたはDSOX4PWR)を追加すれば、以下のパワー測定が行えます。

入力解析

- パワー品質
- 高調波電流
- 突入電流

スイッチング／変調解析

- スwitching損失
- スルーレート
- 変調

出力解析

- 出力リップル
- ターンオン／ターンオフ
- 過渡応答
- 電源電圧変動除去比(Power Supply Rejection Ratio : 以下PSRR)
- 効率

目次

はじめに.....	2
プロービング.....	4
プローブのスキュー補正.....	6
パワー品質の解析.....	7
高調波電流の解析.....	8
突入電流の解析.....	9
スイッチング損失の解析.....	10
スルーレートの解析.....	14
変調解析.....	15
出力リップルの解析.....	16
ターンオン/ターンオフの解析.....	17
過渡応答の解析.....	19
電源電圧変動除去比(PSRR)の解析.....	21
効率の解析.....	22
関連カタログ.....	23

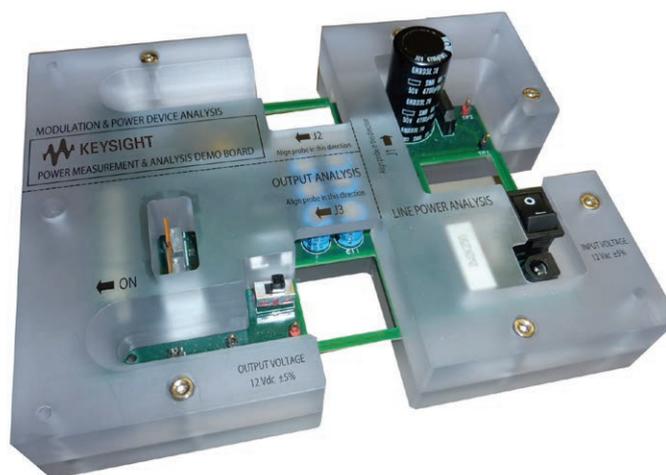


図1: キーサイトのスイッチング電源の測定トレーニングキット

必要な機器

- Keysight 3000Tまたは4000 Xシリーズ オシロスコープおよびパワー測定オプション (DSOX3PWRまたはDSOX4PWR)
- U1880A スキュー補正フィクスチャおよびUSB電源ケーブル
- N2790A 高電圧差動アクティブプローブ、または同等品
- 1147B 15 A電流プローブ、または同等品
- 10:1パッシブ電圧プローブ
- ユーザーのスイッチング電源(SMPS)またはキーサイトのSMPS測定トレーニングキット (図1)

プロービング

キーサイトのN2790A高電圧差動アクティブプローブ(図2)をパワー測定に使用する場合は、50:1の減衰比で最大140 V(DC+ピークAC)の測定用、または500:1の減衰比で最大1400 Vの測定用に設定することができます。キーサイトのSMPSトレーシングキットをDUTに使用する場合は、50:1の設定が適切です。一方、ユーザーが用意したスイッチング電源の測定で入力およびスイッチング電圧がもっと高い場合は、500:1の設定が必要になる可能性があります。

最初にN2790AプローブをKeysight 3000T/4000/6000 Xシリーズ オシロスコープの入力チャンネルに接続したときに、オシロスコープは自動的にプローブを検出し、そのチャンネルに対するプローブ減衰比を50:1に設定します。しかし、プローブで減衰比を手動で500:1に設定してある場合は、そのチャンネルに対してオシロスコープのプローブメニューで500:1の減衰比を手動で入力する必要があります。

1147BまたはN2893A電流プローブ(図3)は、0.1 V/Aのプローブ(10:1の減衰比)です。このプローブをKeysight 3000T/4000/6000 Xシリーズ オシロスコープの入力チャンネルに接続すると、オシロスコープは電流プローブが接続されたことを自動的に検出し、アンペア単位の測定を自動的に準備します。また、10:1のプローブ減衰比を自動的に検出して補正を行います。ユーザーが設定する必要はありません。

電流プローブを被試験デバイスの電流ループに接続する場合は、必ずプローブクランプを完全に閉じてロックしてください。ロックするには、ロック機構をカチッという音がするまで前方にスライドさせます。

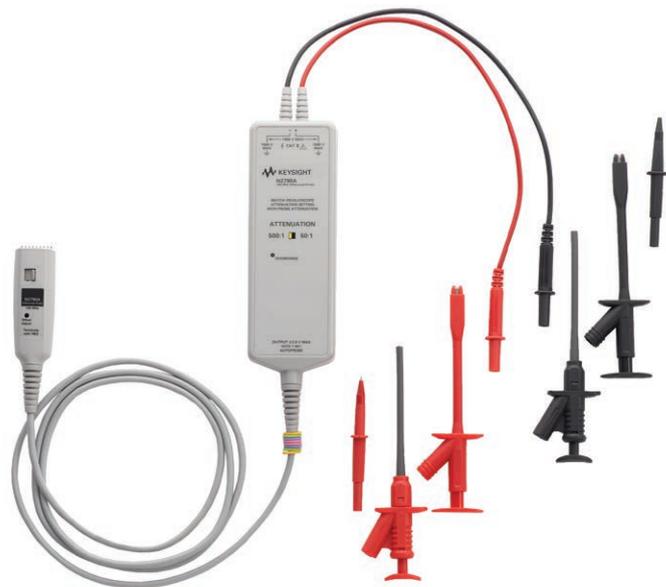


図2： キーサイトのN2790A 100 MHz高電圧差動アクティブプローブ



図3： キーサイトの1147B 50 MHz、15A AC/DC電流プローブ

プロービング(続き)

1147BまたはN2893A電流プローブを使用してキーサイトのSMPSトレーニングキットの電流測定を行なう場合は、プリント基板上に作成されているさまざまな電流ループに容易に接続できます。これに対して、ユーザーが用意したスイッチング電源を測定する場合は、電流ループがあらかじめ作成されていることはほとんどありません。この場合は、プロトタイプ電源の回路に、電流とパワーを測定するための一時的な電流ループの作成が必要になる場合があります。図4は、FETスイッチングデバイスのソース端子に直接に接続されたワイヤループの例であり、ドレイン-ソース間電流の測定に用いられます。AC電源ラインの電流を測定する場合に、エンジニアは単に電源コードの絶縁をはがして、電源ラインの電流ワイヤーにアクセスすることがあります。これは時間のかからない簡単な方法ですが、キーサイトは安全上の理由からこの方法をお勧めしません。

長時間使用すると、電流プローブには磁界が蓄積することがあります。電流プローブで電源測定を行う場合は、ときどきプローブを消磁(磁界を消すこと)する必要があります。消磁は、被試験デバイスから電流プローブを切り離し、電流プローブのクランプを閉じてロックし、プローブのベース近くのアシロスコープと接続する部分にあるDEMAGボタンを押します。同時に、ZERO ADJサムホイールを回して、アシロスコープ画面のベースライン電流波形をグランドインジケータと一致させることにより、プローブ(およびアシロスコープ)のオフセットも校正できます。



図4： 電流測定用電流ループの作成例

プローブのスキュー補正

電圧プローブと電流プローブなど、異なる種類のプローブを使用する場合は、プローブのスキュー補正を行なうことが重要です。推奨されるU1880Aスキュー補正フィクスチャ(図5)を使用したこの自動手順では、プローブ間の伝搬遅延の差を補正することにより、パワー測定の確度を向上します。これは特に、スイッチング損失測定の場合に重要です。トランジスタのスイッチングのターンオン/ターンオフ・フェーズでのパワー/エネルギー損失測定では、わずか数ナノ秒の違いが大きな差につながる可能性があるからです。

1. U1880AのUSBケーブルを、スキュー補正フィクスチャとオシロスコープ背面のUSBポートに接続します。
2. [Default Setup]フロントパネルキーを押します。
3. [Analyze]フロントパネルキーを押し、[Features]ソフトキーを押して、[Power Application]を選択します。
4. [Analysis]ソフトキーを押し、[Power Quality]を選択します。
5. [Signals]ソフトキーを押し、[Deskew]ソフトキーを押します。自動スキュー補正校正は、[Current Harmonics]および[Switching Loss]測定メニューでも使用できます。
6. スキュー補正フィクスチャ上のスイッチS1を、図6の画面上の図の"Small Loop"設定に合わせます。
7. N2790A高電圧差動アクティブプローブを、オシロスコープのチャンネル1入力と、U1880Aスキュー補正フィクスチャのJ6(赤のリードを赤のテストポイントへ)とJ7(黒のリードを黒のテストポイントへ)に接続します。
8. 電流プローブをオシロスコープのチャンネル2入力に接続し、スキュー補正フィクスチャに記載された方向で"Small Loop"に接続します(電流はボードの上部に向かって流れます)。
9. オシロスコープの[Auto Deskew]ソフトキーを押します。

自動スキュー補正校正が完了すれば、オシロスコープのディスプレイは図7のようになります。スキュー補正校正係数は、チャンネル2のプローブ設定メニューに残り、不揮発性メモリに記憶されます。なお、手動でスキュー補正係数を変更することもできます。また、オシロスコープの[Save/Recall]メニューで工場設定に戻すことにより、係数を0にリセットできます。標準のフロントパネルの[Default Setup]を実行しても、スキュー補正係数はリセットされません。

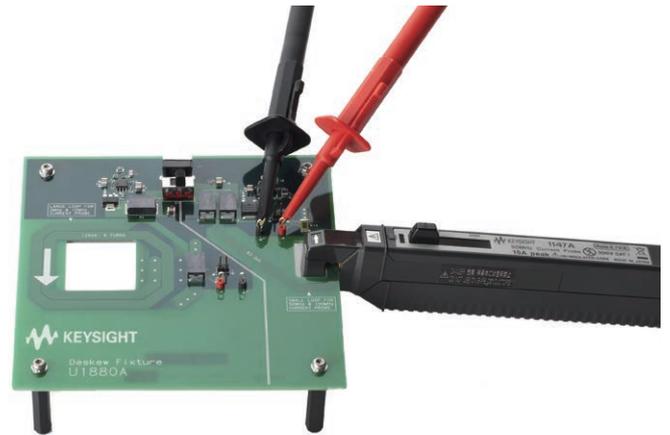


図5: キーサイトのU1880Aスキュー補正フィクスチャ

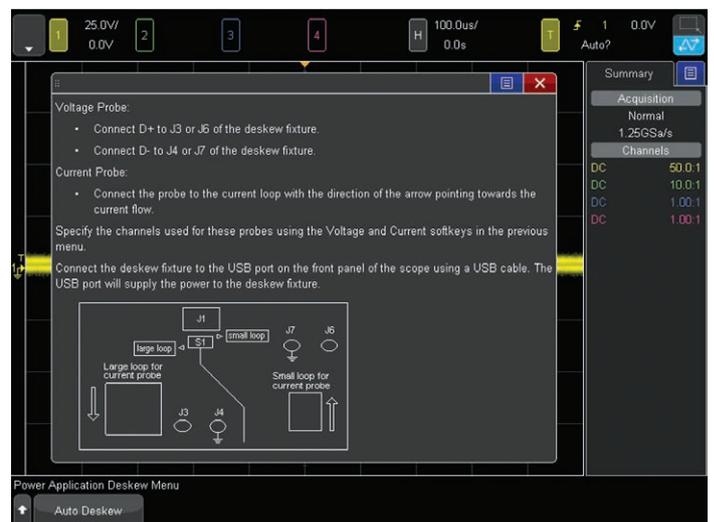


図6: スキュー補正時の接続図



図7: 自動スキュー補正実行後のスキュー補正画面

パワー品質の解析

パワー品質測定は、スイッチング電源に電力を供給するAC電源ラインの品質を測定します。この測定では、以下の入力信号品質パラメータが得られます。

- 有効電力(P =瞬時電圧×瞬時電流(Nサイクル平均))
- 皮相電力(S = V_{RMS} × I_{RMS} (Nサイクル平均))
- 無効電力(Q =皮相電力× $\sin(\phi)$)
- 力率(PF =有効電力/皮相電力)
- 電圧クレストファクター(波高率)(CF_V =ピーク電圧/実効値電圧)
- 電流クレストファクター(波高率)(CF_I =ピーク電流/実効値電流)
- 位相角(ϕ = $\text{ACOS}(PF)$)

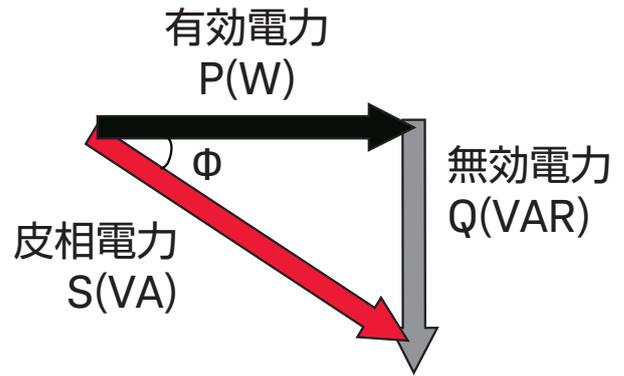


図7: 皮相電力/有効電力/無効電力の関係

1. キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、S2負荷スイッチをON位置(高負荷、最大電流)に設定します。
2. [Default Setup]フロントパネルキーを押します。
3. [Analyze]フロントパネルキーを押し、[Features]ソフトキーの下の[Power Application]を選択します。
4. [Analysis]ソフトキーを押し、[Power Quality]測定を選択します。
5. [Signals]ソフトキーを押します。
6. [Voltage]が1(チャンネル1)に、[Current]が2(チャンネル2)に設定されていることを確認します。
7. N2790A高電圧差動アクティブプローブを、図8の接続図に示すように、オシロスコープのチャンネル1入力から、Line(赤のリード)とNeutral(黒のリード)に接続します。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、プローブをTP2(赤のリード)とTP1(黒のリード)に接続します。
8. 電流プローブをオシロスコープのチャンネル2入力からAC電源入力ライン信号のワイヤループに接続します。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、電流プローブをJ1ループに、指示された方向で接続します。
9. [AutoSetup]ソフトキーを押し、[Apply]を押します。

AutoSetupを押すと、オシロスコープは、電圧(黄色のトレース)と電流(緑のトレース)に最適なスケールを選択し、波形演算パワー波形(紫のトレース)をオンにし、画面上に2つのサイクル(デフォルト設定)が表示されるようにタイムベースを設定します。電流波形(緑のトレース)と電圧波形(黄色のトレース)の位相が逆で、負のパワー波形パルス(紫のトレース)が表示される場合は、電流プローブが逆向きに接続されている可能性があります。

[Apply]を押すと、4000または6000 Xシリーズ オシロスコープは、図9に示すすべてのパワー品質パラメータを自動的に測定します。3000T Xシリーズ オシロスコープは、力率、有効電力、皮相電力、無効電力だけを測定します。電圧および電流波形のクレストファクター(波高率)を測定するには、[Type]を[Crest]に設定してから[Apply]を押します。電圧波形と電流波形の間の位相を測定するには、[Type]ソフトキーを押し、[Phase Angle]を選択し、[Apply]ソフトキーをもう一度押します。

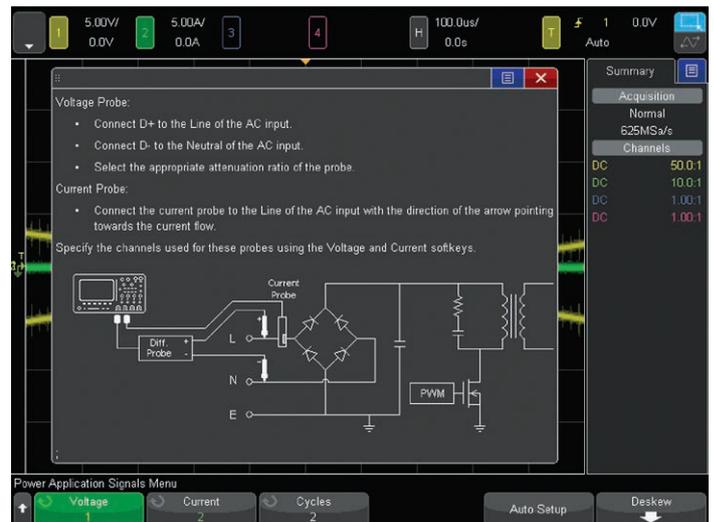


図8: パワー品質測定時の接続図



図9: AC電源ライン入力パワー品質の測定例

高調波電流の解析

高調波電流の解析では、AC電源ラインの周波数成分の振幅を測定します。最終製品は、AC電力系統に接続されている他の機器に影響を与えないように、特定のコンプライアンス規格に適合することが必要な場合があります。この測定は、電流波形に対してFFT測定を実行し、奇数次と偶数次の高調波の振幅をユーザーが選択したIEC規格と比較して、テスト対象の40次までの高調波周波数のそれぞれに対してカラーコード化された適合インジケータを表示します。

1. キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、S2負荷スイッチをON位置(高負荷、最大電流)に設定します。
2. [Analyze]フロントパネルキーを押し、[Features]ソフトキーの下の[Power Application]を選択します。
3. [Analysis]ソフトキーを押し、[Current Harmonics]測定を選択します。
4. [Signals]ソフトキーを押します。
5. N2790A電圧プローブを図10の接続図に示すように、オシロスコープのチャンネル1入力から、Line(赤のリード)とNeutral(黒のリード)に接続します。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、プローブをTP2(赤のリード)とTP1(黒のリード)に接続します。
6. 電流プローブをオシロスコープのチャンネル2入力と入力ライン信号のワイヤループの間に接続します。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、電流プローブをJ11ループに、指示された方向で接続します。
7. [Voltage]が1(チャンネル1)に、[Current]が2(チャンネル2)に設定されていることを確認します。
8. [AutoSetup]を押します。デフォルト設定を使用した場合、オシロスコープは入力ライン電圧(黄色のトレース)および電流(緑のトレース)波形の20サイクル分をオシロスコープ画面に表示します。
9. [Settings]ソフトキーを押し、[Line Freq]ソフトキーを押して、使用する地域またはアプリケーションに対応するように、周波数を50 Hz、60 Hz、400 Hzのいずれかに設定します。このメニューでは、テストに使用するIEC規格を選択することもできます。
10. [Back]ソフトキーを押して前のメニューに戻り、[Apply]ソフトキーを押して高調波電流測定を開始します。

[Apply]を押すと、オシロスコープは電流波形に対してFFT波形演算(紫のトレース)を実行し、結果がオシロスコープ画面の上半分に表形式で表示されます(図11)。オシロスコープは、40次までの高調波を測定し、選択したIEC規格と比較します。さらに高次の高調波を表示するには、[Scroll Harmonics]ソフトキーを押してから、ノブを回します。

11. 結果を棒グラフで表示するには、[Settings]ソフトキーを押してから、[Display]ソフトキーを押し、[Table]設定から[Bar Chart]設定に切り替えます(図12)。

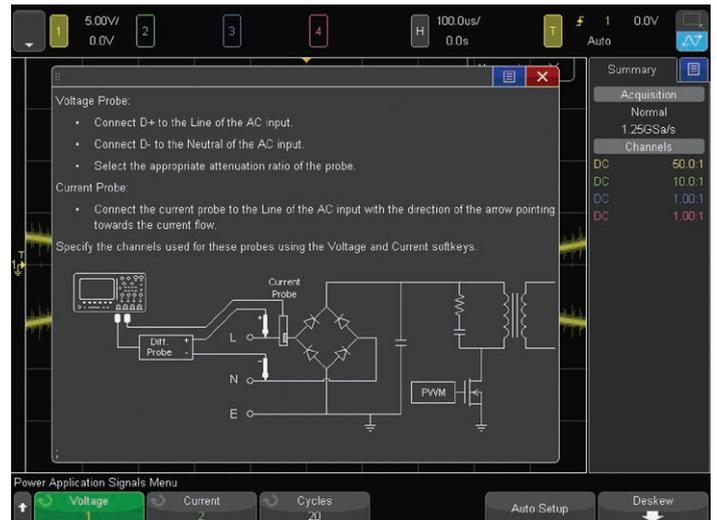


図10: 高調波電流測定時の接続図



図11: 高調波電流のリスト表示例

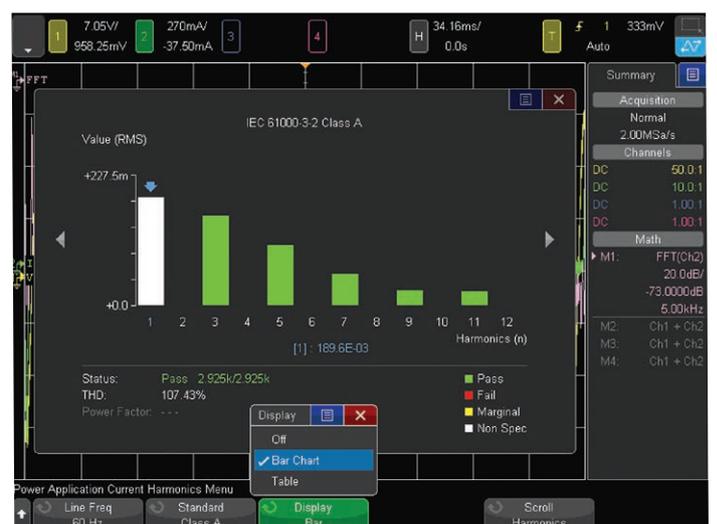


図12: 高調波電流のヒストグラム表示例

突入電流の解析

突入電流の解析では、電源を最初にオンにしたときのピーク入力電流(正または負)を測定します。この測定は単発現象を捕捉するため、この測定には[AutoSetup]の選択肢がありません(AutoSetupには繰り返し入力信号が必要です)。このため、オシロスコープが垂直軸を初期設定できるように、予想されるピーク電流サージと、定常状態のp-p電源ライン電圧を入力する必要があります。設定が終わると、このシングルショット測定の詳細な実行手順がオシロスコープに表示されます。

1. キーサイトのパワー測定トレーニングキットを使用する場合は、S2負荷スイッチをON位置(高負荷、最大電流)に設定します。
2. [Analyze]フロントパネルキーを押し、[Features]ソフトキーの下の[Power Application]を選択します。
3. [Analysis]ソフトキーを押し、[Inrush Current]測定を選択します。
4. [Signals]ソフトキーを押します。次に、N2790A電圧プローブを図13の接続図に示すように、オシロスコープのチャンネル1入力から、Line(赤のリード)とNeutral(黒のリード)に接続します。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、デモボード上のTP2(赤のリード)とTP1(黒のリード)に接続します。
5. 電流プローブをオシロスコープのチャンネル2入力と入力ライン信号のワイヤループの間に接続します。キーサイトのトレーニングキットを使用する場合は、電流プローブをJ1ループに、指示された方向で接続します。
6. [Voltage]が1(チャンネル1)に、[Current]が2(チャンネル2)に設定されていることを確認します。
7. 被試験デバイスに合わせて、[Max Vin]に最大入力電圧を、[Expected]に期待されるサージ電流を設定します。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、デフォルト設定がそのまま使用できます。

デフォルトの期待サージ電流と最大入力電圧設定は、キーサイトのSMPSトレーニングキットに合わせて最適化(デフォルトセットアップ)されています。デモボードの定常状態ピーク電流は約1 A(S2負荷スイッチがONに設定されている場合)ですが、ピーク突入電流はこれよりずっと大きく、±30 Aを超える場合があります。被試験デバイスの予想ピーク電流の決定には、試行錯誤が必要です。[Expected]に入力する値は、捕捉して測定される実際のピーク電流よりも大きいことが必要です。

8. [Signals]メニューの設定を確認するか変更した後、[Back]フロントパネルキー(オシロスコープの左側)を押して、前のメニューに戻ります。
9. [Apply]ソフトキーを押し、画面に表示される指示に従います。以下にその手順を示します。
10. パワーをオフにし、[Next]を押します。
11. パワーをオンにし、[Next]を押します。
12. ワorstケースのピーク突入電流を測定するために、何回か繰り返します(図14)。

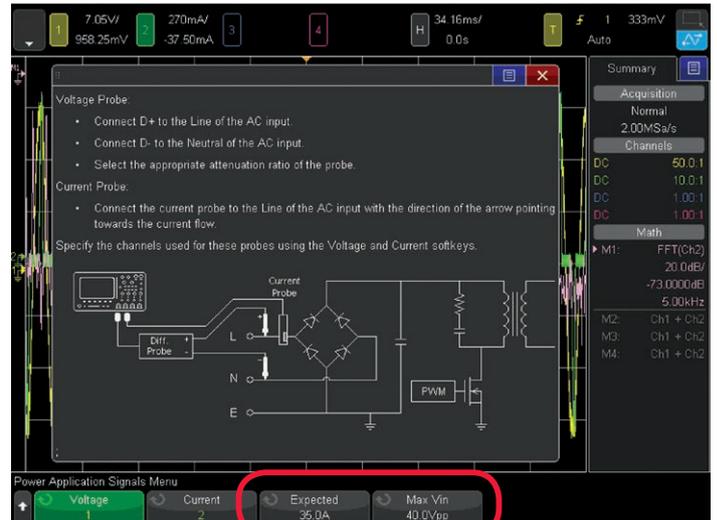


図13: シングルショット突入電流測定での予想突入電流とp-p電源ライン電圧測定時の接続図



図14: 突入電流の測定例

ピーク電流測定で">"または"<"が表示される場合は、電流波形がクリップされていることを示します。この場合、正確な測定を行うには、[Signals]メニューで[Expected]電流設定の値を大きくする必要があります。絶対ピーク突入電流が発生するのは、一般的に、入力ライン電圧が正または負の絶対ピーク値に達すると同時に電源スイッチをオンにした場合です。このため、ワーストケースの突入電流を測定するには、この測定を何回か繰り返す必要があります。

スイッチング損失の解析

スイッチング損失の解析では、スイッチングデバイス(FETなど)のパワー／エネルギー損失を測定します。スイッチング電源(SMPS)の場合、パワー／エネルギー損失のほとんどは、トランジスタのターンオン／ターンオフ時のスイッチングフェーズで生じます。これらのフェーズでは、スイッチングトランジスタが飽和領域に入ったり出たりするため、一時的にリニア領域で動作します。パワー／エネルギー損失は、スイッチングトランジスタの伝導フェーズでも生じます。これは、電圧がトランジスタの飽和最小値にあり、電流が流れる場合です。非伝導フェーズでの損失は通常は無視できる程度で、理論的には0です。スイッチング損失測定では、1スイッチングサイクルの損失を自動的に測定します。一方、オシロスコープの水平軸／垂直軸設定を最適化することにより、特定のスイッチングフェーズのパワー／エネルギー損失測定をより正確に実行できます。

1. キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、S2負荷スイッチをON位置(高負荷、最大電流)に設定します。
2. [Analyze]フロントパネルキーを押し、[Features]ソフトキーの下の[Power Application]を選択します。
3. [Analysis]ソフトキーを押し、[Switching Loss]測定を選択します。
4. [Signals]ソフトキーを押しします。
5. N2790A高電圧差動プローブを、図15の画面上の接続図に示すように、オシロスコープのチャンネル1入力から、スイッチングトランジスタのドレイン／コレクター(赤のリード)とソース／エミッター(黒のリード)に接続します。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、TP3(赤のリード)とTP4(黒のリード)に接続します。
6. 電流プローブを、オシロスコープのチャンネル2入力と、ソース／エミッタートレースからのワイヤループの間に接続します。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、電流プローブをJ2電流ループに、指示された方向で接続します。電流プローブを電流ループに接続する前に、電流プローブを消磁しておくといでしょう。
7. [Signals]メニューで、[Voltage]が1(チャンネル1)に、[Current]が2(チャンネル2)に割り当てられていることを確認します。
8. [AutoSetup]ソフトキーを押し、[Apply]を押しします。

[AutoSetup]を押すと、オシロスコープは、電圧(黄色のトレース)と電流(緑のトレース)に最適な垂直軸スケールを設定し、2つのスイッチングサイクルが表示されるようにメインタイムベース(上の表示)を設定し、1つのスイッチングサイクルが表示されるようにズームタイムベース(下のディスプレイ)を設定します。

ピーク電流測定で">"または"<"が表示される場合は、電流波形がクリップされていることを示しています。この場合、正確な測定を行うには、[Signals]メニューで[Expected]電流設定の値を大きくする必要があります。絶対ピーク突入電流が発生するのは、一般的に、入力ライン電圧が正または負の絶対ピーク値に達すると同時に電源スイッチをオンにした場合です。このため、ワーストケースの突入電流を測定するには、この測定を何回か繰り返す必要があります。

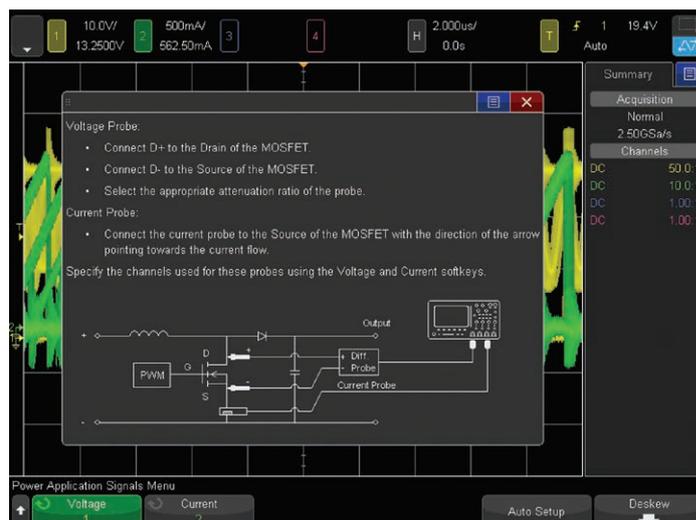


図15: スイッチング損失測定時の接続図

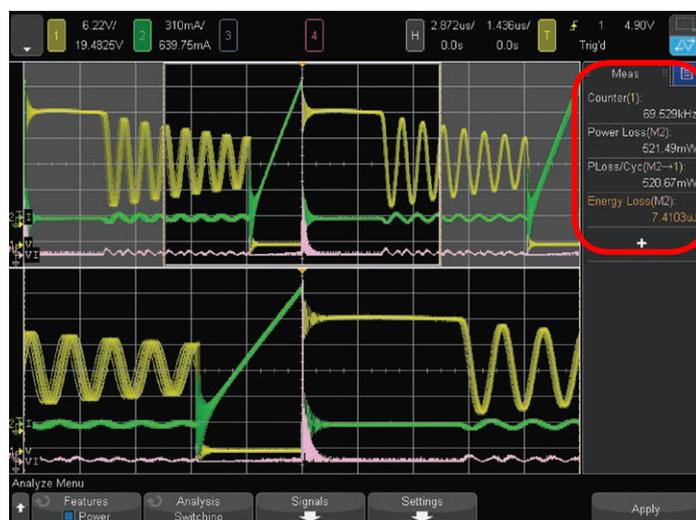


図16: パワー／エネルギー損失の測定例

[Apply]を押すと、オシロスコープは演算機能をオンにして、パワー波形(紫のトレース)を表示し、以下のパラメータを測定します(図16)。

- スイッチング周波数(カウンタ測定)
- パワー損失(ズームウィンドウ内の平均パワー)
- パワー損失／サイクル(初期設定でのパワー損失と同じ)
- エネルギー損失(パワー損失の積分)

スイッチング損失の解析(続き)

伝導フェーズと非伝導フェーズで電圧および電流波形(パワー=電圧×電流)に基づいて正確なパワー/エネルギー損失を測定するには、オシロスコープのダイナミックレンジと分解能では一般的に不十分です。電圧および電流波形の振幅が0に近づく、1目盛りの数分の1程度のオシロスコープまたはプローブのオフセット誤差が(たとえ仕様範囲内であっても)、大きな測定誤差につながります。パワー/エネルギー損失測定をさらに正確に行うには、伝導フェーズのパワーを、 $R_{ds(on)}$ または $V_{ce(sat)}$ の入力された仕様値に基づいて計算する方法があります。オシロスコープは、入力された定数を使用してパワーを計算することにより(パワー= $I^2R_{ds(on)}$ または $I \times V_{ce(sat)}$)、伝導フェーズだけの測定電流波形に基づいて、パワー波形を計算し、プロットします。ここで、 $R_{ds(on)}$ に基づいて1スイッチングサイクルのパワー/エネルギー損失を測定するように、オシロスコープを設定します。

- [Settings]ソフトキーを押します。
- [Conduction Waveform]ソフトキーを押し、[Voltage Waveform]設定から[Rds(on)]設定に切り替えます。
- [Rds(on)]ソフトキーを押し、DUTの[Rds(on)]の適切な値を入力します。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、200 mΩを入力します。

オシロスコープ画面が図17のようになり、 $R_{ds(on)}$ の入力値が被試験デバイスに対して正しければ、パワー/エネルギー損失測定のより正確な値が画面の右側に表示されます。 $R_{ds(on)}$ の入力値に基づいた1スイッチングサイクルのパワー/エネルギー測定の結果を、電圧および電流波形のデジタイズされた値に基づいた図16の結果と比較してください。

$R_{ds(on)}$ または $V_{ce(sat)}$ に基づくパワー/エネルギー損失測定を実行することを選択した場合は、オシロスコープは、[V Ref]および[I Ref]設定([Settings]メニュー)を使用して、各スイッチングフェーズのパワー波形を計算する適切な方法を判定します。

電圧波形(黄色のトレース)が[V Ref]設定(デフォルト=5%)よりも上にある場合、オシロスコープは電圧波形と電流波形の積($V \times I$)でパワー波形を計算します。これは通常、トランジスタのターンオンおよびターンオフフェーズでのみ生じます。画面中央近くに大きなパワースパイク(ターンオフ)が観察され、電圧波形が0 V付近まで落ちるところにもっと短いパワースパイク(ターンオン)が見られる場合があります。これらの比較的短い波形のフェーズでのみ、オシロスコープは瞬時電圧波形と電流波形の積に基づいてパワーを計算します。



図17: 入力された $R_{ds(on)}$ 値に基づきパワー/エネルギー損失の測定を行った例

電圧波形が[V Ref]設定より下にある場合は、オシロスコープは $I^2R_{ds(on)}$ または $I \times V_{ce(sat)}$ でパワー波形を計算します。これにより、伝導フェーズ中の損失をより正確に測定できます。次に、波形のこの部分を拡大してみます。

電流波形が[I Ref]設定(デフォルト=5%)より下にある場合、オシロスコープはパワー波形を $V \times 0$ Aで計算します。これは常に0 Wになります。オシロスコープはこの計算方法を、電流が(理論的に)0になるスイッチング波形の非伝導フェーズで使用します。

スイッチング損失の解析(続き)

スイッチング電源の効率を評価して最適化するには、各スイッチングフェーズのパワー／エネルギー損失を個別に分離して測定することが必要場合があります。また、各スイッチングフェーズで測定し、結果を合計して1サイクル全体の損失を計算することにより、1スイッチングサイクルのスイッチング損失測定の確度も向上します。このためには、各フェーズを画面に表示し、オシロスコープの垂直軸と水平軸の設定を手動で最適化する必要があります。それでは、トランジスタがオフのとき(TOFFフェーズと呼ばれることがあります)のパワー／エネルギー損失をより正確に測定してみましょう。これは画面のほぼ中央で生じます。オシロスコープの電流設定を使用して、以下の操作を行います。

12. ズームタイムベース設定(大きい水平ノブ)を小さくして、画面中央付近のパワー波形スパイクにズームインします。
13. 水平遅延／位置設定(小さい水平ノブ)を調整して、パワースパイクを下のズーム表示の中央に配置します(図18)。

ズームタイムベースと遅延設定をチューニングして、ターンオフ・パワー・スパイク部分だけを画面に表示するには、反復プロセスが必要です。

パワー損失測定は、ズームインした短いタイムスパンの間の平均パワーであり、この測定はあまり意味がありません。意味があるのはエネルギー損失で、ズームインして表示した期間のパワー損失の積分です。パワー損失／サイクルは、1スイッチングサイクル全体に対する損失パワーの割合です。

一部のスイッチング電源では、トランジスタのターンオンフェーズ(電圧が下がって電流が流れ始めるとき)の間にも損失が生じます。このような場合、上のメインタイムベース表示に2つのパワースパイクが見られます。キーサイトのSMPSトレーニングキットをDUTに使用する場合は、ターンオンフェーズのパワー／エネルギー損失は比較的わずかです。そのことは、図18に示すメインタイムベース表示の振幅が小さい方のパワースパイクを見ればわかります。ただし、2つめのパワースパイクがかなり大きい場合は、ターンオンフェーズ中の2つめのスパイク部分も画面に表示して、このフェーズの間の損失も測定する必要があります。

今度は、伝導フェーズ(電圧／黄色の波形が最小値付近にあるとき)の間のパワー／エネルギー損失を測定してみましょう。伝導フェーズのパワー／エネルギー損失は、Rds(on)の入力値に基づいたものです。

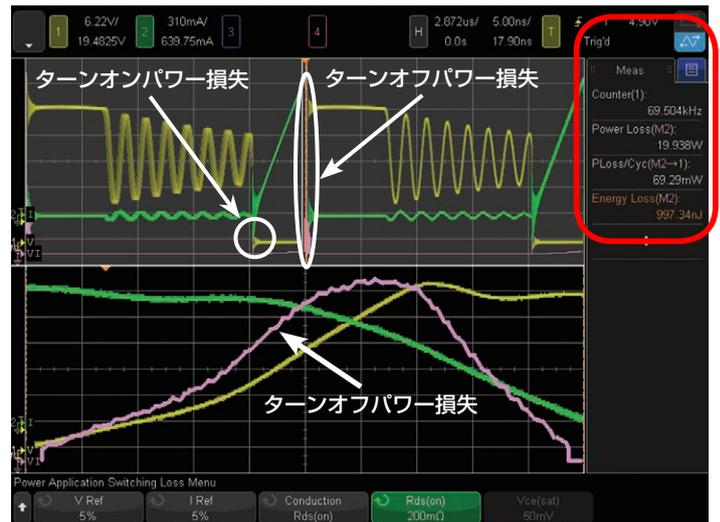


図18: 画面中央のパワースパイク部分を表示して、トランジスタのターンオフフェーズ部分のみのパワー／エネルギー損失測定を行った例

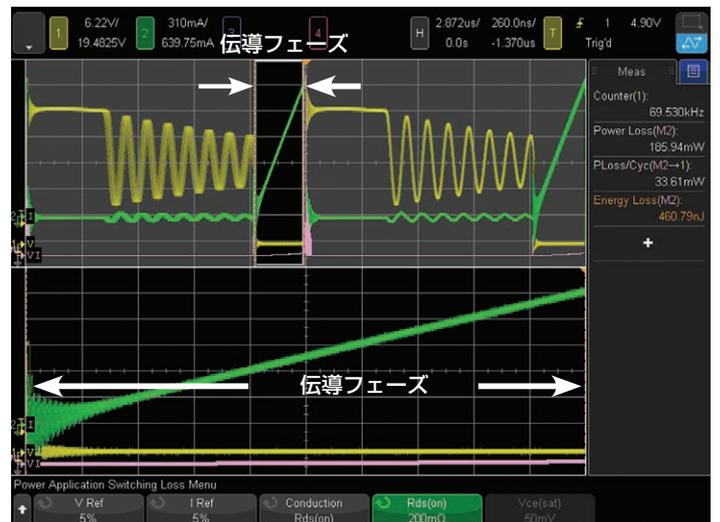


図19: ズームタイムベースを調整して伝導フェーズだけを画面に表示した例

14. キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、ズームタイムベース設定を約300 ns/divまで増やします。タイムベースノブ(大きい水平ノブ)を押すと、粗調整と微調整が切り替わります。
15. 水平遅延／位置設定(小さい水平ノブ)を調整して、電圧波形(黄色のトレース)の値が小さい波形の領域を画面に表示します。
16. ズームタイムベース設定を微調整して(水平タイムベースノブを押すと微調整と粗調整が切り替わります)、すべてのパワー波形スパイク(紫のトレース)が下のズーム表示で画面の左側または右側の外に出るようにします。

スイッチング損失の解析(続き)

水平遅延/位置設定の再調整が必要な場合もあります。これは反復プロセスであり、s/divと遅延を調整して、ズームウィンドウ設定が最適になるようにします。パワー/エネルギー損失測定はすべてゲーテッド測定であり、ズーム表示内でのみ実行されます。ズームタイムベース(s/div)および水平遅延/位置を適切に設定して、伝導フェーズだけを画面に表示すると、下のズーム表示の下部付近にフラットな直線に近いパワー波形(紫のトレース)が表示されるはずですが(図19)。この波形に対して正確なパワー/エネルギー損失測定を実行するには、パワー波形(紫のトレース)に垂直方向にズームインする必要があります。ただし、電圧波形(黄色のトレース)に垂直方向にズームインして、分解能と確度を高めようとしてもうまくいきません。電圧波形に垂直方向にズームインすると、オシロスコープの垂直軸増幅器が飽和し、オーバードライブ回復による波形の歪みが生じる可能性があります。

17. 波形演算垂直位置ノブを押して、パワー波形(紫のトレース)を中央付近に配置します。波形演算位置ノブは、オシロスコープのフロントパネルの右端付近にある[Math]キーの近くの下の方のノブです。
18. 波形演算垂直スケールノブ([Math]キーの近くの上の方のノブ)を時計回りに回して、パワー波形(紫のトレース)を垂直方向に拡大します。
19. 波形演算垂直位置ノブをもう一度調整して、パワー波形(紫のトレース)を画面中央に配置します。この際、パワー波形が上にも下にもクリップされないようにします(図20)。波形演算垂直位置/スケールノブの調整は反復プロセスであり、その目的は下のズーム表示内でクリッピングなしに最適なスケールを実現することです。

上のメインタイムベース表示では、パワー波形の何か所かが画面の上端を超えてクリッピングしていますが、これはオーバードライブを意味するわけではありません。その理由は、パワー波形は電流波形(緑のトレース)とRds(on)の入力値に基づいた波形演算だからです。したがって、電流波形にクリッピングやオーバードライブがなければ問題ありません。さらに、パワー損失/サイクルおよびエネルギー損失測定は、下のズーム表示内の計算データだけにに基づいています。この手順に記述されてい

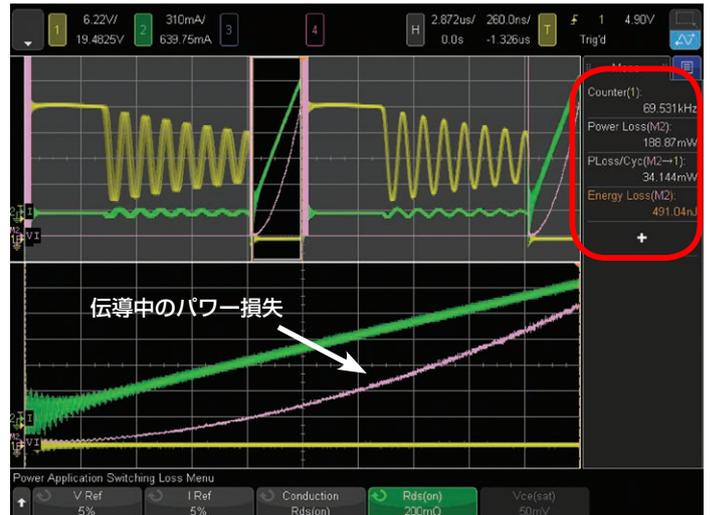


図20: 伝導フェーズ中のパワー波形部分の表示例

る測定では、キーサイトのSMPSトレーニングキットの測定結果は、伝導フェーズでのパワー損失/サイクルが約35 mW、エネルギー損失が約500 nJでした。図18のターンオフフェーズの損失測定を振り返ってみると、パワー損失/サイクルが約65 mW、エネルギー損失が約930 nJでした。1スイッチングサイクルの全損失は、ターンオフ、ターンオン(測定されましたが示されていません)、伝導フェーズにおけるパワー損失/サイクルとエネルギー損失の合計です。下の表にこれらをまとめます。

フェーズ	パワー損失/サイクル	エネルギー損失
ターンオン	2.6 mW	38 nJ
ターンオフ	69 mW	997 nJ
伝導	34 mW	491 nJ
非伝導	0 mW	0 nJ
全損失	106 mW	1.53 μ J

この合計されたより正確なパワー損失/サイクルおよびエネルギー損失の値を、1スイッチングサイクル全体の全損失を測定するようにオシロスコープをセットアップしたときの測定結果(図17)と比較してみてください。

スルーレートの解析

スルーレートの解析では、電源のスイッチングトランジスタのオンとオフが切り替わるときの電圧／電流波形の変化を測定します。

1. キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、S2負荷スイッチをON位置(高負荷、最大電流)に設定します。
2. [Analyze]フロントパネルキーを押し、[Features]ソフトキーの下の[Power Application]を選択します。
3. [Analysis]ソフトキーを押し、[Slew Rate]測定を選択します。
4. [Signals]ソフトキーを押し、N2790A電圧プローブを図21の画面上の接続図に示すように、オシロスコープのチャンネル1から、スイッチングトランジスタのドレイン／コレクター(赤のリード)とソース／エミッター(黒のリード)に接続します。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、TP3(赤のリード)とTP4(黒のリード)に接続します。
5. 電流プローブをソース／エミッタートレースのワイヤループに接続します。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、電流プローブをJ2電流ループに、指示された方向で接続します。
6. [Voltage]が1(チャンネル1)に、[Current]が2(チャンネル2)に設定されていることを確認します。
7. [AutoSetup]ソフトキーを押し、[Apply]を押します。

オシロスコープの表示は図22のようなはずです。[AutoSetup]により、電圧／電流波形のスケールが最適に設定され、メインタイムベース(上の表示)には1スイッチングサイクルが画面全体に表示され、ズームタイムベース(下の表示)にはスイッチング電圧／電流波形のターンオフフェーズの部分が表示されます。

[Apply]を押すと、オシロスコープは電圧波形に基づく微分(dv/dt)演算機能(紫のトレース)をオンにし、電圧波形のスルーレートを自動的にプロットします。また、[Apply]を押すと、最大値／最小値測定がオンになり、この波形の最大／最小スルーレートが自動的に測定されます。

電流波形の最大／最小スルーレートを測定するには、[Source]ソフトキーを押し、ソース設定を[Voltage]から[Current]に変更します。

トランジスタのターンオンフェーズでの電圧／電流波形のスルーレートを測定するには、水平遅延／位置ノブを調整して、ズームタイムベースにターンオンフェーズ(電圧が0に近づく部分)を表示します(図23)。ターンオンフェーズの表示を安定させるには、遅延設定を0にして、トリガエッジを立ち上がりから立ち下がりに変更するとよい場合があります。これにより、ズーム表示が画面の中央にあるときに、ターンオンフェーズでより安定したトリガが得られます。

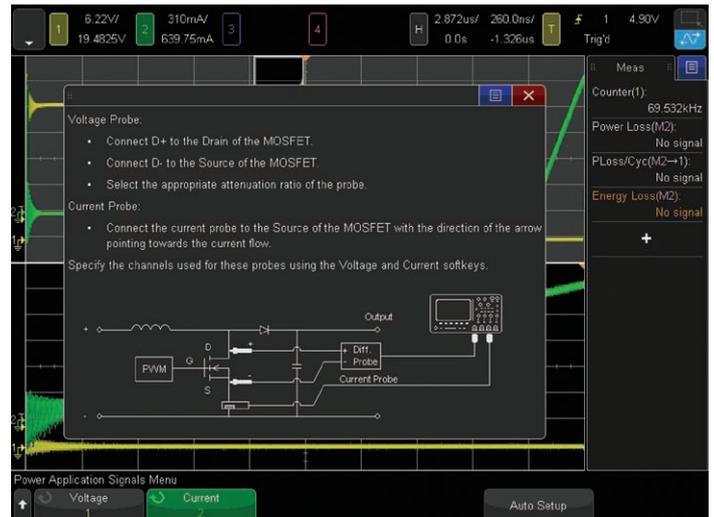


図21: スルーレート測定時の接続図

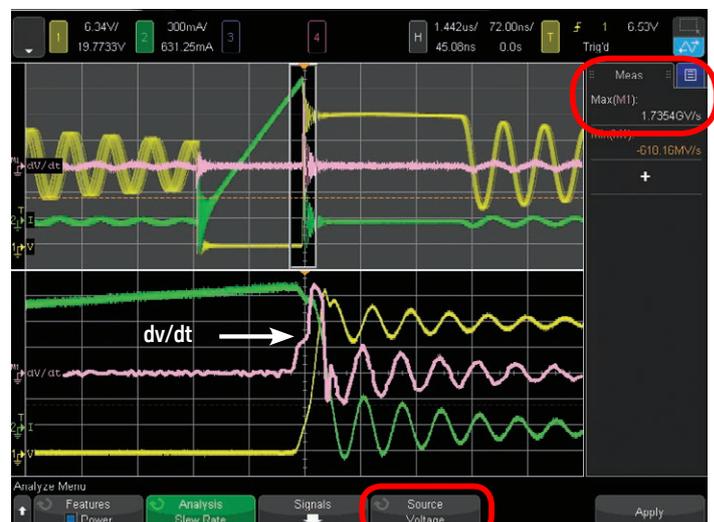


図22: トランジスタのターンオフフェーズの電圧波形のスルーレートの測定例



図23: トランジスタのターンオンフェーズの電流波形のスルーレートの測定例

変調解析

変調解析は、一般的に、動的負荷変動時においてスイッチング素子になるパワートランジスタのゲート端子に入力されるパルス幅変調(PWM)を評価するために使用されます。残念ながら、キーサイトのSMPSトレーニングキットでは、FETのゲート端子にプローブを接続できないため、この測定は行えません。

1. [Analyze]フロントパネルキーを押し、[Features]ソフトキーの下の[Power Application]を選択します。
2. [Analysis]ソフトキーを押し、[Modulation]測定を選択します。
3. [Signals]ソフトキーを押します。
4. N2790A電圧プローブを、図24の画面上の接続図に示すように、オシロスコープのチャンネル1から、スイッチングトランジスタのゲート/ベース(赤のリード)とソース/エミッター(黒のリード)に接続します。接続図ではドレインにも電流プローブが接続されていますが、この測定では不要です。
5. [Voltage]が1(チャンネル1)に接続されていることを確認します。
6. [AutoSetup]ソフトキーを押し、[Apply]を押します。

[AutoSetup]を押すと、オシロスコープは電圧波形(ゲート-ソース間信号)のスケールを最適に設定し、ユーザー定義の持続時間設定に基づいてタイムベースを設定します。

[Apply]を押すと、オシロスコープは、ゲート-ソース間信号(黄色のトレース)のオシロスコープ画面全体のシーケンシャルデューティサイクル測定に基づいて、測定トレンド波形演算機能(紫のトレース)をオンにします(図25)。これは基本的に、垂直軸がデューティサイクル、水平軸が時間のプロットです。

この例では、タイムベースを $200 \mu\text{s}/\text{div}$ (持続時間2 ms)に変更して、ゲート信号のデューティサイクル変調が最適に表示されるようにしています。このスイッチングデバイスのゲート信号のデューティサイクルは1 kHzの周波数で変調されているように見え、実測の最大デューティサイクルは約15%、最小デューティサイクルは約13%です。

変調測定は、スイッチング電源のターンオン特性を評価するためにも非常に有効です。図26は、電源を最初に投入したときのスイッチングトランジスタのゲート信号周波数のシングルショット測定です。この例では、測定タイプをデューティサイクルから周波数に変更し、シングルショットで捕捉するようにオシロスコープを手動で設定しています。この例では、ゲート-ソース信号(黄色のトレース)が定常状態に達するまで約1.8 msかかっています。画面全体のゲート信号のシーケンシャル周波数測定に基づく測定トレンド波形(紫のトレース)からは、トランジスタが定常状態のスイッチング周波数である69 kHzに達するまでに $600 \mu\text{s}$ しかかかっていないことがわかります。

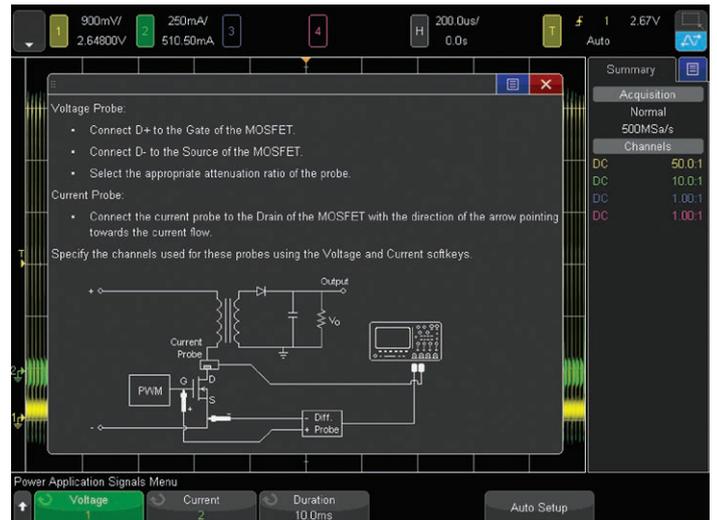


図24: 変調測定時の接続図



図25: スイッチングトランジスタのゲート入力信号のデューティサイクルの変調測定例



図26: 電源投入時におけるパワートランジスタのゲート入力信号周波数の変調測定例

出力リップルの解析

出力リップルの解析では、電源の出力DC信号のピークツーピーク値を測定します。さらに、出力DC信号のAC-RMSも測定します。AC-RMS測定は、標準偏差(σ)と同じであり、ランダムノイズの評価に広く用いられています。出力リップルは通常スイッチングノイズが支配的ですが、システム内のさまざまなソースからの他のランダムノイズや信号結合も含まれる場合があります。この測定は基本的に、スイッチングノイズやその他のノイズ/干渉源を除去するための電源の電圧レギュレーションおよびフィルタリングの品質を測定するものです。

1. キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、S2負荷スイッチをON位置(高負荷、最大電流)に設定します。
2. [Analyze]フロントパネルキーを押し、[Features]ソフトキーの下の[Power Application]を選択します。
3. [Analysis]ソフトキーを押し、[Output Ripple]測定を選択します。
4. [Signals]ソフトキーを押します
5. 標準の10:1パッシブ電圧プローブを図27の画面上の接続図に示すように、オシロスコープのチャンネル3入力とDC出力信号およびグラウンドの間に接続します。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、10:1のパッシブプローブをチャンネル3からTP5(プローブ・チップ・グラバー)およびTP6(グラウンド)に接続します。
6. [Voltage]ソフトキーを押し、設定を3に変更します(測定ソースがチャンネル3になります)。
7. [AutoSetup]ソフトキーを押し、[Apply]を押します。

オシロスコープの表示は図28のようになるはずですが、[AutoSetup]を押すと、オシロスコープは、選択したチャンネルの入力信号をAC結合にしてDC成分を除去し、DC出力信号の出力リップルだけが表示されるように、選択した入力チャンネルの垂直軸スケールを最適に設定します。

[Apply]を押すと、オシロスコープは、DC出力信号の出力リップルを、p-p電圧とAC-RMS(σ)で測定します。

出力リップルのレベルが非常に低い高品質の電源の場合は、キーサイトのN2870Aまたは100070Dなどの1:1のパッシブプローブがこの測定に必要な場合があります。

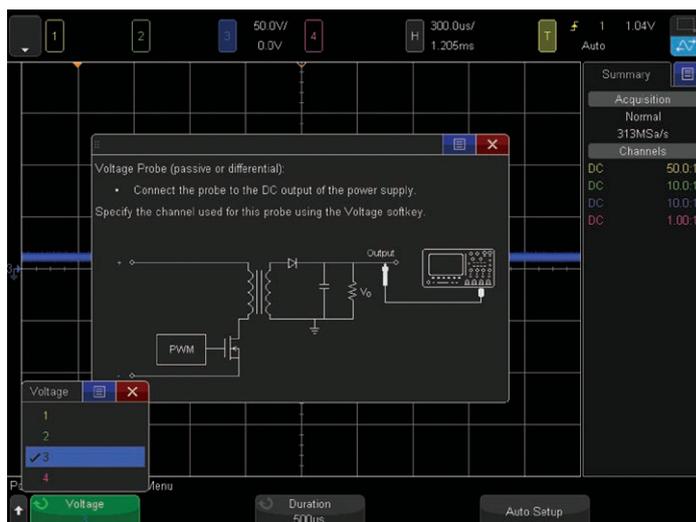


図27: 出力リップル測定時の接続図



図28: 出力信号のリップル測定例

ターンオン/ターンオフの解析

ターンオンの解析では、電源が最初にオンになってから、DC出力が定常状態の90%に達するまでの時間を測定します。ターンオフの解析では、電源がオフになってから、DC出力が定常状態オンレベルの10%に低下するまでの時間を測定します。

1. キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、S2負荷スイッチをON位置(高負荷、最大電流)に設定します。
2. [Analyze]フロントパネルキーを押し、[Features]ソフトキーの下の[Power Application]を選択します。
3. [Analysis]ソフトキーを押し、[Turn On/Turn Off]測定を選択します。
4. [Signals]ソフトキーを押します。
5. N2790A差動アクティブプローブを図29の画面内の接続図に示すように、オシロスコープのチャンネル1入力と、Line(赤のリード)およびNeutral(黒のリード)の間に接続します。キーサイトのパワー・トレーニング・キットを使用する場合は、TP2(赤のリード)とTP1(黒のリード)に接続します。
6. 標準の10:1パッシブ電圧プローブをオシロスコープのチャンネル3入力とDUTのDC出力の間に接続します。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、TP5(プローブ・チップ・グラバー)とTP6(グラウンド)に接続します。
7. [Input V]ソフトキーを押し、1(チャンネル1)に設定します。
8. [Output V]ソフトキーを押し、3(チャンネル3)に設定します。

デフォルトの持続時間、最大入力電圧、定常状態出力電圧設定は、キーサイトのSMPSトレーニングキットに合わせて最適化されています。別の電源をテストする場合は、[Max Vin](ピークツーピーク)と[Steady Vout]に適切な値を入力します。また、テストの開始時にはデフォルトの持続時間設定である500 msを使用するとよいでしょう。これにより、この測定に適したオシロスコープのタイムベース設定が決まります。

9. [Back]フロントパネルキーを押して、前のメニューに戻ります。
10. [Apply]ソフトキーを押してテストを開始し、画面に表示される指示に従います。以下にその手順を示します。
11. パワーをオフにし、[Next]を押します。
12. パワーをオンにし、[Next]を押します。

被試験デバイスのターンオン時間が400 msより短い場合、オシロスコープのディスプレイは図30のようになります。持続時間の初期設定が小さすぎると、測定が行えません。この場合、画面に表示されるメッセージに従って持続時間の値を大きくして、測定をやり直してください。あるいは、測定のタイミング分解能を改善するために、持続時間を小さくした方が良い場合もあります。この測定に最適な持続時間を判定した後、テストを何回か繰り返して、ベストケースとワーストケースのターンオン時間を判定します。図31に、同じテストで持続時間を50 msに設定した場合の例を示します。

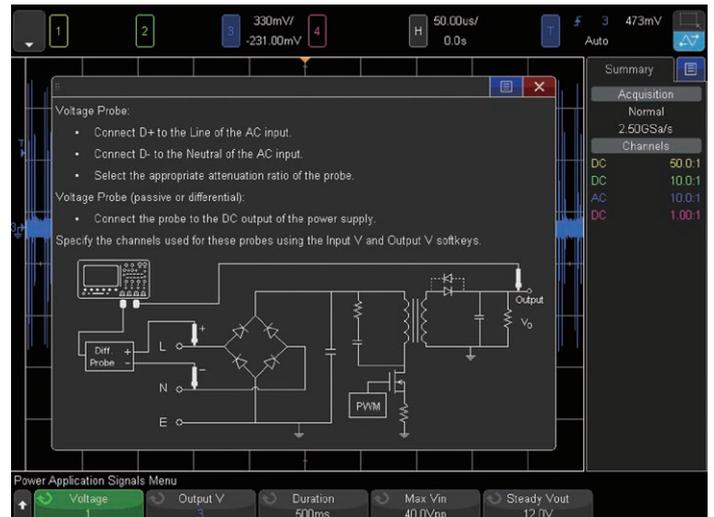


図29: [Signals]メニューのターンオン/ターンオフ測定時の接続図

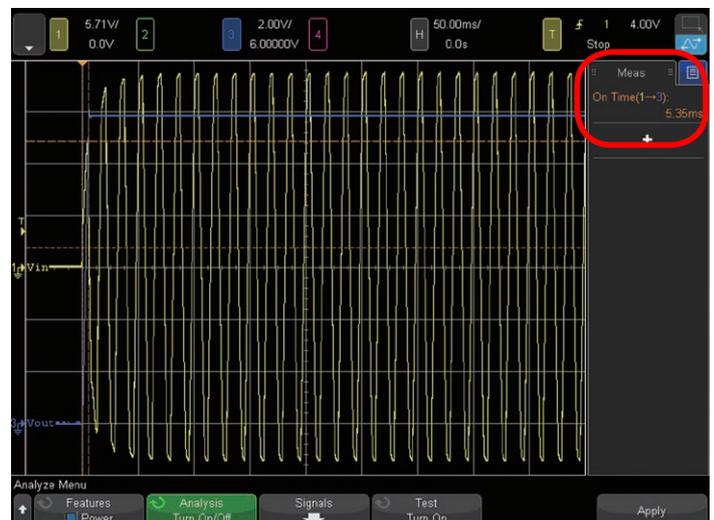


図30: デフォルトの持続時間設定である500 msを使用したターンオンテストの測定例

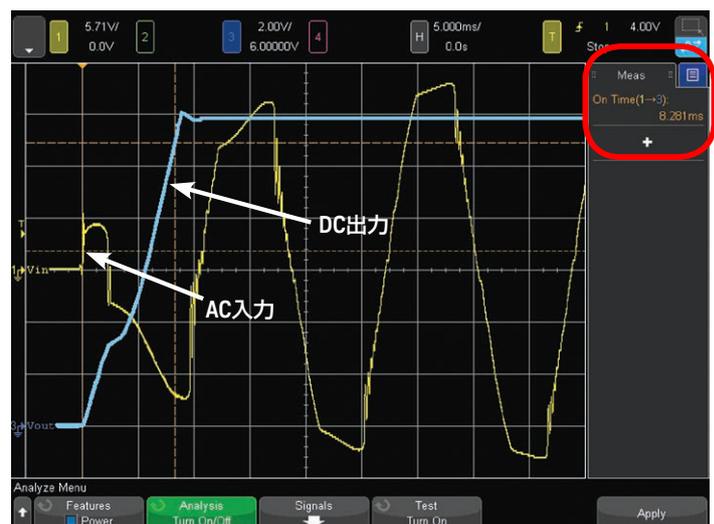


図31: 測定の分解能と精度を向上するために50 msの持続時間設定を使用したターンオン時間テストの測定例

ターンオン／ターンオフの解析(続き)

次に、ターンオフ時間を測定します。

13. 前のターンオン時間測定から続けて、[Test]ソフトキーを押し、[Turn On]から[Turn Off]に切り替えます。
14. [Signals]ソフトキーを押し、[Duration]、[Max Vin]、[Steady Vout]のデフォルト設定を確認します。これらの設定は、このデモ手順で使用しているキーサイトのSMPSトレーニングキットに最適化されています。別の電源をテストする場合、[Max Vin]と[Steady Vout]は、前のターンオンテストに基づいてすでに正しい値に設定されているはずですが、ただし、デフォルトの持続時間設定の1.00 sは、電源に対して有効な設定とは限りません。
15. [Back]フロントパネルキーを押して前のメニューに戻り、[Apply]ソフトキーを押して、画面に表示される指示に従います。以下にその手順を示します。
16. パワーをオンにし、[Next]を押します。
17. パワーをオフにし、[Next]を押します。

オシロスコープの表示は図32のようになるはずですが、この測定を何回か繰り返して、ベストケースとワーストケースのターンオフ時間を決定します。必要があれば、テストの持続時間を調整します。

キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用している場合、S2スイッチをOFF位置(低負荷、最小電流)に設定してから、ターンオフ時間測定を繰り返してみてください。S2負荷スイッチをOFF位置にした場合、持続時間を2.0 sに増やすことが必要な可能性があります。出力負荷が小さくなったため、電源をオフにしたときの出力の低下はよりゆっくりになります。

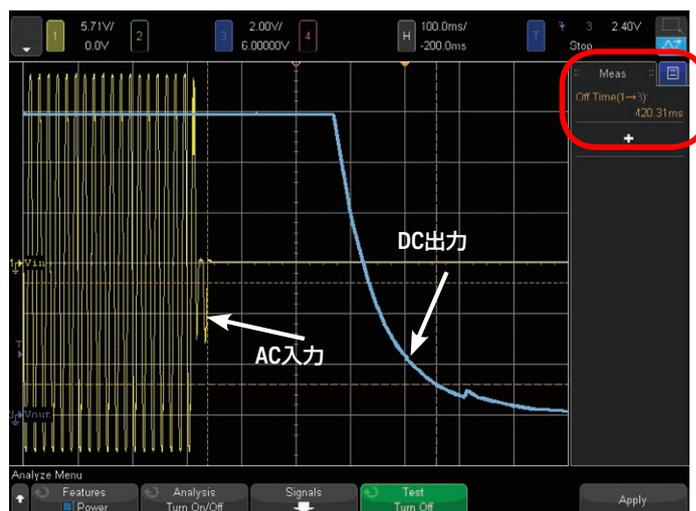


図32： ターンオフ時間テストの測定例

過渡応答の解析

過渡応答の解析では、出力負荷が突然変化(出力電流が増加または減少)した後で、出力DC電圧が期待出力レベルからユーザー設定のパーセント内にセトリングするまでの時間を測定します。この測定をセットアップする前に、さまざまな負荷条件での大まかな出力電流レベルを決定しておく必要があります。

1. キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、S2負荷スイッチをOFF位置(低負荷、最小電流)に設定します。
2. [Analyze]フロントパネルキーを押し、[Features]ソフトキーの下の[Power Application]を選択します。
3. [Analysis]ソフトキーを押し、[Transient Response]測定を選択します。
4. [Signals]ソフトキーを押します。
5. 電流プローブを、図33の画面内の接続図に示すように、オシロスコープのチャンネル2入力と、被試験デバイスの出力電流信号の間に接続します。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、デモボード上のJ3電流ループに、指示された方向で接続します。電流プローブの電流方向矢印は、ベンチに向かって下側に向いている必要があります。
6. 標準の10:1パッシブ電圧プローブを、オシロスコープのチャンネル3入力と出力DC電圧信号の間に接続します。キーサイトのパワー・デモ・ボードを使用する場合は、TP5(プローブ・チップ・グラバー)とTP6(グラウンド)に接続します。
7. [Voltage]ソフトキーを押し、3(チャンネル3)を選択します。
8. [Current]ソフトキーを押し、2(チャンネル2)を選択します。
9. [Steady Vout]をDUTに合わせて設定します。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、デフォルトレベルの12.0 Vが適切です。
10. [Back]フロントパネルキーを押して、前のメニューに戻ります。
11. [Settings]ソフトキーを押し、[Initial I]を低負荷出力電流レベルに大まかに設定します(S2負荷スイッチがOFF位置(低負荷/小電流)に設定されている場合)。また、[New I]を高負荷出力電流レベルに大まかに設定します。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、デフォルト設定の60 mAと215 mAが使用できます。
12. [Back]フロントパネルキーを押して、前のメニューに戻ります。
13. [Apply]ソフトキーを押し、画面に表示される指示に従います。以下にその手順を示します。
14. 出力負荷を大きくします(電流の増加)。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、S2負荷スイッチをON位置(J3電流ループから遠い位置)に動かします。
15. [Next]を押します。

オシロスコープの表示は図34のようになるはずですが、チャンネル2電流プローブの出力電流測定値(緑のトレース)が突然増加すると、出力電圧(青のトレース)が一時的に低下し、約12 nsで期待出力電圧レベルの10%以内に再びセトリングしています。

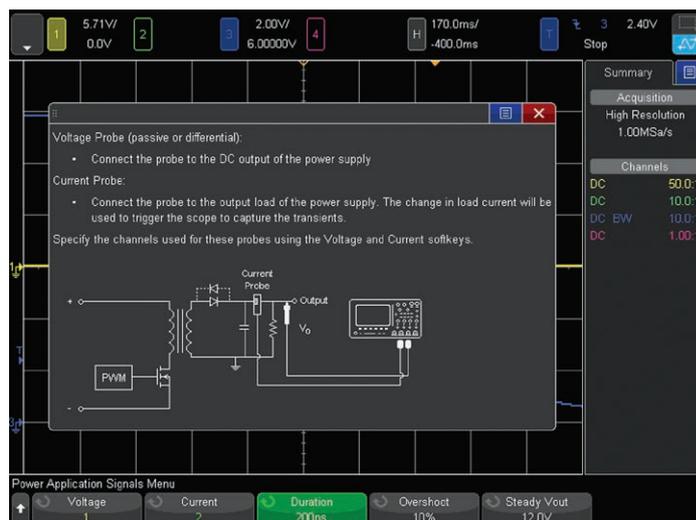


図33: [Signals]メニューの過渡応答測定時の接続図

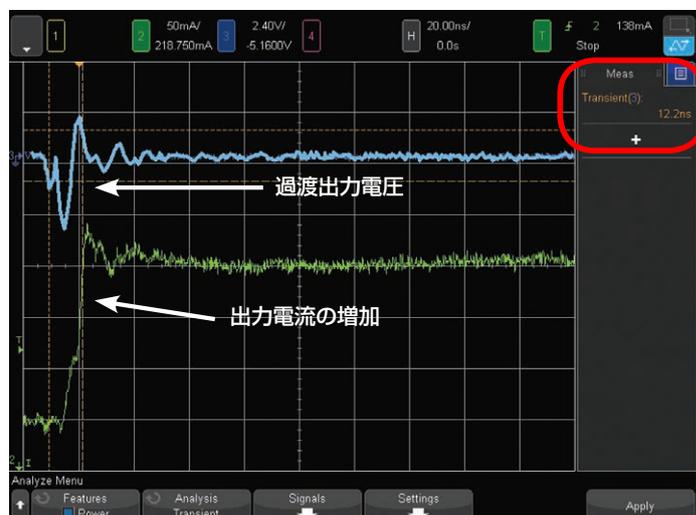


図34: 出力負荷が増加(出力電流が突然増加)したときの過渡応答セトリング時間の測定例

過渡応答の解析(続き)

次に、この過渡応答セトリング時間測定を出力負荷が小さくなる(出力電流が小さくなる)場合に実行してみます。

16. キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、S2負荷スイッチがON位置(J3電流ループから遠い位置)にあることを確認します。これにより、トレーニングキットは初期状態の高負荷(大出力電流)状態になります。
17. [Settings]ソフトキーを押します。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、[Initial I]を約200 mAに、[New I]を約60 mAに設定します。ユーザーの電源の過渡応答測定を行う場合は、適切な値を設定します。
18. [Back]フロントパネルキーを押して、前のメニューに戻ります。
19. [Apply]ソフトキーを押し、画面に表示される指示に従います。以下にその手順を示します。
20. 出力負荷を小さくします(電流の減少)。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、S2負荷スイッチをOFF位置(J3電流ループに近い位置)に動かします。
21. [Next]を押します。

オシロスコープの表示は図35のようになるはずですが、出力電流(緑のトレース)が突然減少すると、出力電圧(青のトレース)が一時的に上昇し、約21 nsで期待出力電圧レベルの10%以内に再びセトリングしています。

負荷が増加する場合でも減少する場合でも、過渡応答セトリング時間測定は、何度か繰り返してベストケースとワークとケースのセトリング時間を評価するようにしてください。



図35： 出力負荷が減少(出力電流が突然減少)したときの過渡応答セトリング時間の測定例

電源電圧変動除去比(PSRR)の解析

電源電圧変動除去比(電源リップル除去比とも呼ばれる)の解析では、電圧レギュレータがさまざまな掃引周波数での結合を除去する能力を測定します。この解析は、低ドロップアウト(LDO)レギュレータに対してネットワーク・アナライザを使用して行われることがよくあります。この測定では、オシロスコープのダイナミックレンジが約50 dBに制限されますが、キーサイトのInfiniiVision Xシリーズ オシロスコープでは、オシロスコープの内蔵波形発生器を使用してこの測定を自動的に実行できます。

この測定には、オシロスコープのWaveGen(4000または6000 XシリーズではGen Out 1のみ)の出力をLDOのDC入力に加算回路経由で接続する必要があります。WaveGen出力を加算回路なしでLDOの入口に直接接続した場合、被試験デバイスの入力DCソースはオシロスコープのWaveGenからは低インピーダンス負荷と見なされ、WaveGenのソースインピーダンスである50 ΩがDUTの入力DCソースに対する過大な負荷になる可能性もあります。既成のネットワーク解析用加算回路が入手できない場合は、入力DCソースと直列にインダクタを配置し、WaveGenの出力と直列にキャパシタを配置した単純な加算回路を自作することもできます。ただし、これらのコンポーネントのリアクタンスを、テストに必要な周波数バンドとの関連で考慮する必要があります。

PSRRは、周波数に対して $20\log(V_i/V_o)$ としてログプロットされます。これは標準のボード線図の逆です。V-inの測定には標準の10:1パッシブ電圧プローブが一般的に用いられますが、V-outの測定には、オシロスコープのダイナミックレンジの制限があるため、キーサイトのN2870Aまたは10070Dなどの1:1のパッシブ電圧プローブをお勧めします。

この測定は、キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用して行うことはできません。

1. [Analyze]フロントパネルキーを押し、[Features]ソフトキーの下[Power Application]を選択します。
2. [Analysis]ソフトキーを押し、[Power Supply Rejection Ratio (PSRR)]測定を選択します。
3. [Signals]ソフトキーを押します。
4. WaveGenの出力(Keysight 4000 Xシリーズ オシロスコープを使用している場合はGen Out 1のみ)を図36の画面の接続図に示すように、加算回路を通じてDUTのDC入力ソースに接続します。
5. 標準の10:1パッシブ電圧プローブをオシロスコープのチャンネル1入力からDUTのDC入力に接続します。
6. 1:1のパッシブ電圧プローブをオシロスコープのチャンネル3入力からDUTのDC出力に接続します。
7. [Input V]が1(チャンネル1)に、[Output V]が3(チャンネル3)に設定されていることを確認します。
8. [Back]フロントパネルキーを押し、前のメニューに戻ります。
9. [Settings]ソフトキーを押します。
10. テストする最小周波数と最大周波数を[Minimum]と[Maximum]に設定します。
11. 測定結果のプロットの最大比を[Max Ratio]に設定します。

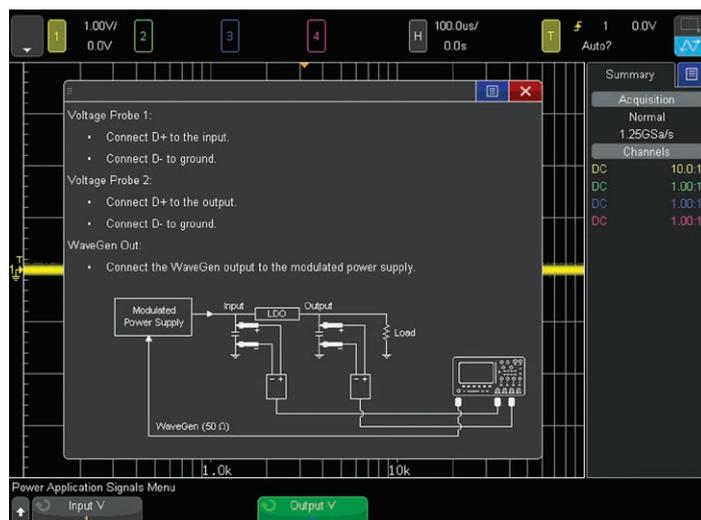


図36: [Signals]メニューのPSRR測定時の接続図

12. DUTの入力に加算される正弦波の出力振幅を[Amplitude]に設定します。一般的な設定は500 mVpp ~ 1.0 Vppです。
13. [Back]フロントパネルキーを押し、前のメニューに戻ります。
14. [Apply]ソフトキーを押し測定を開始します。

図37に、掃引テストが完了した後のPSRR測定を示します。この例では、100 Hzから20 MHzまでを1.0 Vppの入力正弦波でテストしました。黄色と青の正弦波は、最後にテストした周波数(20 MHz)の入力波形と出力波形です。紫のトレースは、dBでプロットされたPSRRです。測定が完了したら、オシロスコープのトラッキングマーカーを使用して、各周波数での除去比を測定することができます。このテストでは、低い周波数で約50 dB、テストした最高の周波数(20 MHz)で約8.4 dBの除去比が測定されています。

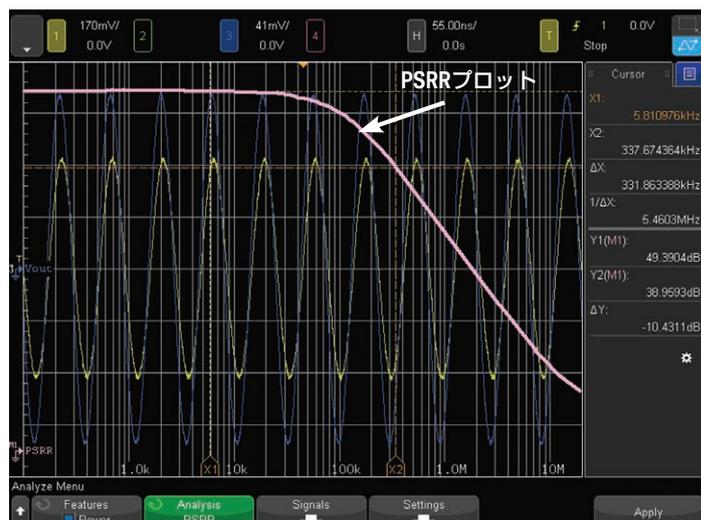


図37: オシロスコープの内蔵波形発生器を自動掃引ソースとして使用した電源電圧変動除去比(PSRR)の測定例

効率の解析

効率の解析では、入力有効電力と出力パワーを測定し、電源の効率を計算します(効率=Pwr(out)/Pwr(in)×100)。この測定には、電源が必要な3個のアクティブプローブ(高電圧差動アクティブプローブと2個のアクティブ電流プローブ)が必要です。2個の電流プローブが使用できない場合は、2ステップのプロセスで測定することもできます。最初に入力パワーを測定し、次に出力パワーを測定し、その後効率を計算します。ここでは、2個の電流プローブを使用して1ステップでの測定方法を紹介いたします。

1. キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、S2負荷スイッチをON位置(高負荷、最大電流)に設定します。
2. [Analyze]フロントパネルキーを押し、[Features]ソフトキーの下の[Power Application]を選択します。
3. [Analysis]ソフトキーを押し、[Efficiency]測定を選択します。
4. [Signals]ソフトキーを押し、接続図の下部までスクロールします。
5. N2790A高電圧差動アクティブプローブを図38の画面上の接続図に示すように、オシロスコープのチャンネル1入力と、Line(赤のリード)およびNeutral(黒のリード)の間に接続します。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、TP2(赤のリード)とTP1(黒のリード)に接続します。
6. 電流プローブをオシロスコープのチャンネル2入力と入力ライン信号の電流ループの間に接続します。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、J1電流ループに、指示された方向で接続します。
7. 標準の10:1パッシブ電圧プローブを、オシロスコープのチャンネル3入力とDC出力信号の間に接続します。キーサイトのパワー・デモ・ボードを使用する場合は、TP5(プローブ・チップ・グラバー)とTP6(グラウンド)に接続します。
8. Keysight 4000および6000 Xシリーズ オシロスコープを使用する場合、もう1個の電流プローブを、オシロスコープのチャンネル4入力と出力DC電流ループの間に接続します。キーサイトのSMPSトレーニングキットを使用する場合は、J3電流ループに、指示された方向で接続します。Keysight 3000T X-シリーズ オシロスコープを使用する場合、アクティブプローブ2個までしか電力を供給できないため、2個目の電流プローブには外部電源を使用する必要があります。
9. [Input V]ソフトキーを押し、1(チャンネル1)に設定します。
10. [Input I]ソフトキーを押し、2(チャンネル2)に設定します。
11. [Output V]ソフトキーを押し、3(チャンネル3)に設定します。
12. [Output I]ソフトキーを押し、4(チャンネル4)に設定します。
13. [AutoSetup]ソフトキーを押し、[Apply]を押します。

オシロスコープの表示は図39のようになるはずですが。この例では、キーサイトのSMPSトレーニングキットの電源の効率が約76%と測定されています。

この測定に2個の電流プローブが使用できない場合、上記の手順で、チャンネル2と入力電流ループの間に電流プローブを接続して、入力パワーを測定します。オシロスコープのチャンネル4入力には何も接続しません。

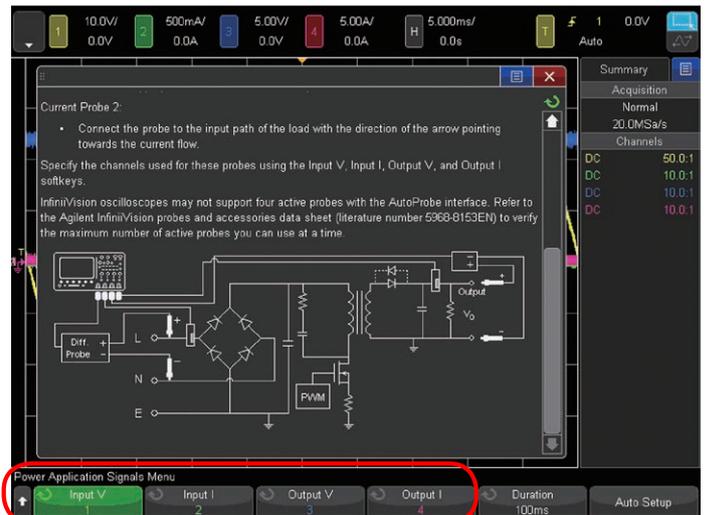


図38: [Signals]メニューの効率測定時の接続図



図39: パワー効率の測定例

上記の手順を実行した後、入力パワーの結果を記録します。出力パワーと効率の測定結果は無視します。

次に、オシロスコープのチャンネル2に接続されている電流プローブを、チャンネル4に移動します。このプローブを、出力DC電流ループ(キーサイトのSMPSトレーニングキットの場合はJ3)に接続します。チャンネル3(出力電圧)とチャンネル4の位置とスケールを手動で調整して、両方のDCトレースが画面に表示されるようにします。出力パワーの結果を記録します。効率は、出力パワー/入力パワー×100%で計算できます。

関連カタログ

カタログタイトル	カタログタイプ	カタログ番号
InfiniiVision 6000 Xシリーズ オシロスコープ	Data sheet	5991-4087JAJP
InfiniiVision 4000 Xシリーズ オシロスコープ	Data sheet	5991-1103JAJP
InfiniiVision 3000T X-シリーズ オシロスコープ	Data sheet	5992-0140JAJP
DSOX3PWR/DSPX4PWR/DSOX6PWR Power Measurements Option	Data sheet	5990-8869EN
InfiniiVisionオシロスコープ用プローブおよびアクセサリ	Data sheet	5968-8153JA
N2790A 100-MHz, N2791A 25-MHz, N2891A 70-MHz Differential Active Probes	Data sheet	5990-3780EN
N2870Aシリーズ パッシブプローブおよびアクセサリ	Data sheet	5990-3930JAJP

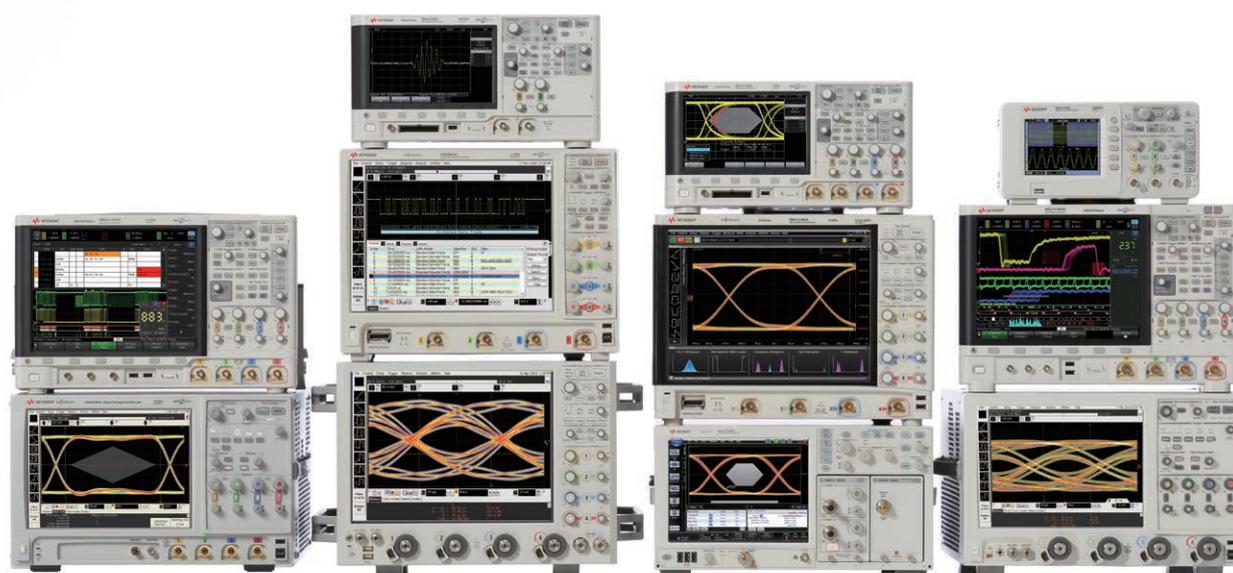
上記のドキュメントをダウンロードするには、以下のURLにカタログ番号を挿入してください。

<http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/xxxx-xxxx.pdf>

製品ウェブサイト

最新の詳細なアプリケーション／製品情報については、下記の製品ウェブサイトを参照してください。

<http://www.keysight.co.jp/find/InfiniiVision>



キーサイト・テクノロジー・オシロスコープ

20 MHz ~ 90 GHz以上でさまざまなサイズ、業界最高レベルの仕様と、幅広いアプリケーション

myKeysight

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。

AXIe

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。

LXI

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。

PXI

www.pxisa.org

PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) モジュール測定システムは、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。

DEKRA Certified
ISO 9001:2008
Quality Management System

www.keysight.com/go/quality

Keysight Electronic Measurement Group

DEKRA Certified ISO 9001:2008

Quality Management System

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.co.jp/find/4000X-series

www.keysight.co.jp/find/6000X-series

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。

ご注文の際はご確認ください。