

はじめに

本書では、当社の AFG31000 シリーズ任意波形／ファンクション・ジェネレータを使用した、ダブル・パルス・アプリケーションについて説明します。

ダブル・パルス・アプリケーションはダウンロード可能なアプリケーションです。このアプリケーションは、パワー・デバイスのスイッチング・パラメータの測定および動的挙動の評価に使用されます。通常、ファンクション・ジェネレータはパルス幅を個別に制御することができないため、計測中にパルス幅を調整するのが困難な場合があります。ダブル・パルス・アプリケーションを使用すれば、ファンクション・ジェネレータを使用してダブル・パルス・テストを実行できるため、ファンクション・ジェネレータとダブル・パルス・テストの機能を組み合わせて使用できます。

このアプリケーションでは、以下のスイッチング・パラメータを測定できます。

- ターンオン・パラメータ：ターンオン遅延 ($t_{d(on)}$)、立上り時間 (t_r)、ターンオン時間 (t_{on})、 E_{on} 、 dv/dt 、および di/dt 。これにより、エネルギー損失が計測されます。
- ターンオフ・パラメータ：ターンオフ遅延 ($t_{d(off)}$)、立下り時間 (t_f)、ターンオフ時間 (t_{off})、 E_{off} 、 dv/dt 、および di/dt 。これにより、エネルギー損失が計測されます。
- 逆回復パラメータ：逆回復時間 (t_{rr})、逆回復電流 (I_{rr})、逆回復電荷 (Q_{rr})、逆回復エネルギー (E_{rr})、 di/dt 、および順方向電圧 (V_{sd})。

ダブル・パルス・テストは、以下のような目的で実施されます。

- パワー・デバイス・データ・シートの仕様値の保証
- パワー・デバイスまたはパワー・モジュールの実値または偏差の確認
- 電流値の条件や他のデバイスを使用したスイッチング・パラメータの測定

アプリケーションのインストール

USB フラッシュ・ドライブを使用したアプリケーションのインストール手順については、『AFG31000 シリーズ・ユーザ・マニュアル』（0771473）を参照してください。



アプリケーションの仕様

ダブル・パルス・アプリケーションの仕様を以下に示します。

パルス数：2～30 パルス。アプリケーションが生成する必要があるパルスの数を表します。

ハイ／ロー・レベル：

- 最小：-5V
- 最大：+5V

パルス幅：

- 最小：20ns
- 最大：150 μ S
- 分解能：1ns

トリガ：マニュアル、外部、タイマ

負荷インピーダンス：50 Ω および High Z

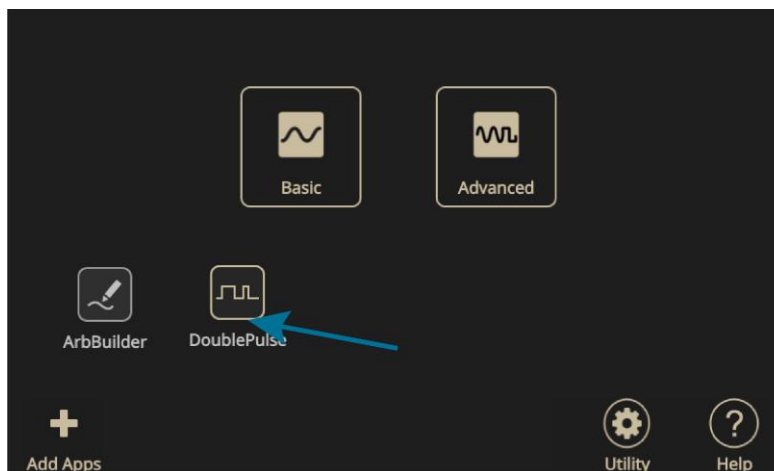
アプリの操作

以下のセクションでは、ダブル・パルス・アプリケーションの起動、操作、およびテストを実行する方法について説明します。

アプリの起動

ダブル・パルス・アプリケーションをインストールすると、AFG31000 シリーズのホーム画面にアプリケーションのアイコンが表示されます（基本／拡張ボタンのすぐ下の部分）。ダブル・パルスのアイコンを選択すると、アプリケーションが起動します。

図 1：AFG31000 シリーズのホーム画面



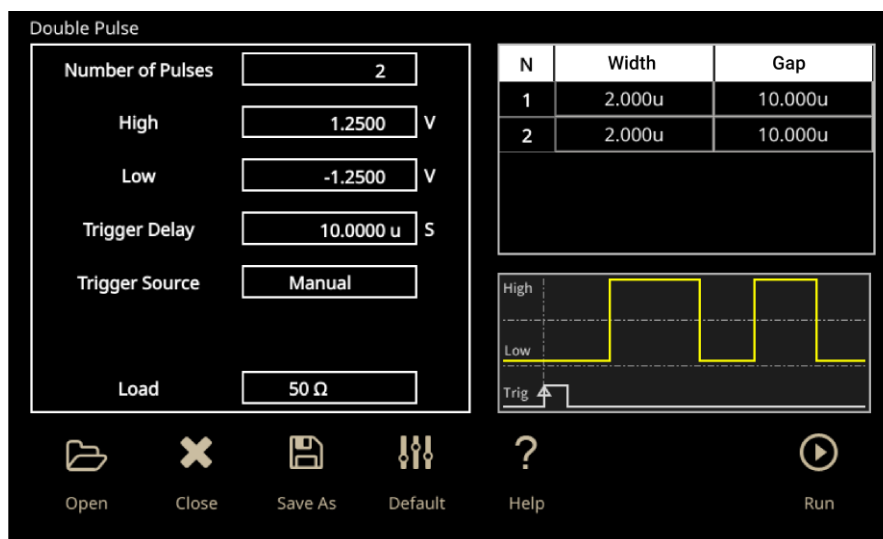
注： アプリケーションが表示されない場合は、『AFG31000 シリーズ・ユーザ・マニュアル』(0771473) を参照してください。

ダブル・パルスのセットアップ

ダブル・パルス・アプリケーションを起動したら、ダブル・パルス・テストのセットアップを行います。以下の図は、ダブル・パルス・テストの画面を示しています。ここでは、以下の項目を設定できます。

- パルス数(Number of Pulses)：2～30 の数字
- ハイ(High)／ロー(Low)電圧
- トリガ遅延(Trigger Delay)
- トリガソース(Trigger Source)：マニュアル、外部、タイマ
- 負荷(Load)：50Ω または High Z

図 2：ダブル・パルス・アプリケーションの画面



セットアップが終わったら、**実行(Run)**を選択して、テストを開始します。**停止(Stop)**を選択して、テストを終了します。

注： 閉じる(Close)を選択しても、アプリケーションの設定はリセットされません。初期設定(Default)を選択することで、デフォルト設定に復元されます。

データの保存と取得

ダブル・パルス・アプリケーションでは、テスト・データの保存および読み込みが行えます。AFG31000 シリーズの内部メモリのほか、USB も使用できます。

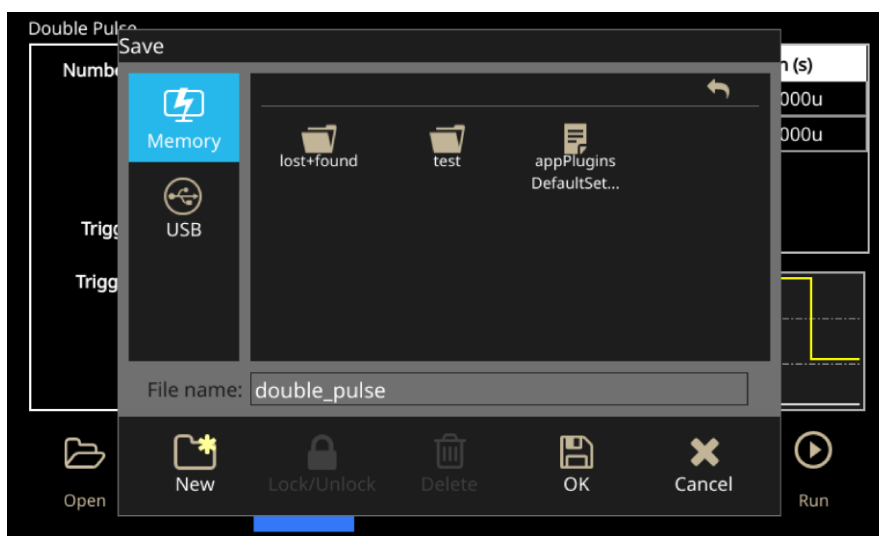
完了したテストの情報を保存するには、以下の手順を実行します。

1. ダブル・パルス・アプリケーション・ウィンドウで**新規保存(Save As)**を選択します。
2. 保存場所として、メモリ(**Memory**) (内部メモリ) または **USB** を選択します。
3. 右側のペインのフォルダに移動して、フォルダを選択します。または、フォルダを作成します。
4. **OK** を選択します。

注： ダブル・パルス・アプリケーションでは、テスト・ファイルは.json および.tfwx ファイル・フォーマットで保存されます。

以下の図は保存ウィンドウを示しています。

図 3：保存ウィンドウ

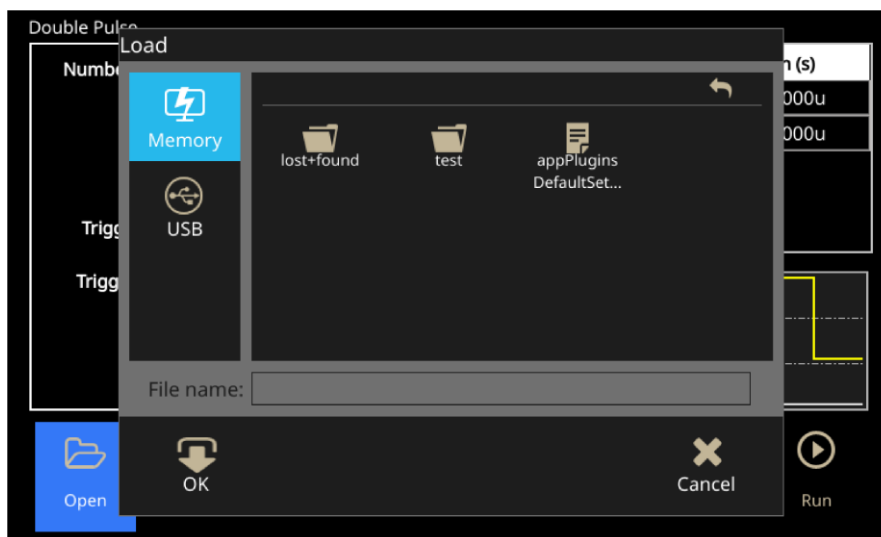


以前保存したデータを取り込むには、以下の手順を実行します。

1. ダブル・パルス・アプリケーション・ウィンドウで開く(Open)を選択します。
2. 左側のペインでデータの保存場所を選択します。
3. 右側のペインのフォルダに移動して、ファイルを選択します。
4. **OK** を選択します。

以下の図は開くウィンドウを示しています。

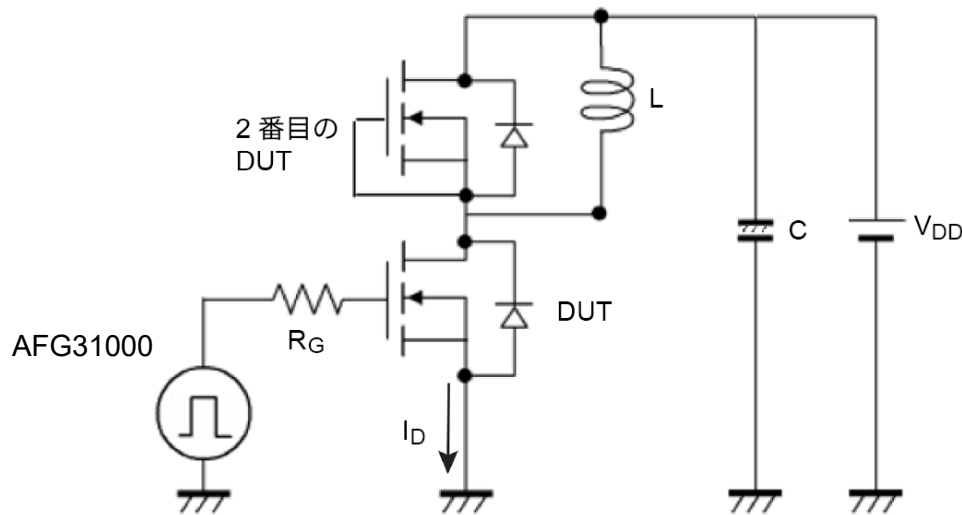
図 4：開く(Open)ウィンドウ



ダブル・パルス・アプリケーションの使用

このダブル・パルス・アプリケーションでは、誘導負荷と電源を使用します。当社の任意波形ジェネレータ（AFG31000 シリーズ）を使用して、出力パルスによって MOSFET のゲートをトリガして、電流誘導の駆動を開始します。以下の図は、パワー・デバイスのスイッチング・パラメータを測定するための一般的なセットアップを示しています。以下のセットアップでは、2 台のデバイスを使用して、スイッチのすべてのパラメータを測定します。

図 5：ダブル・パルス測定の設定アップ



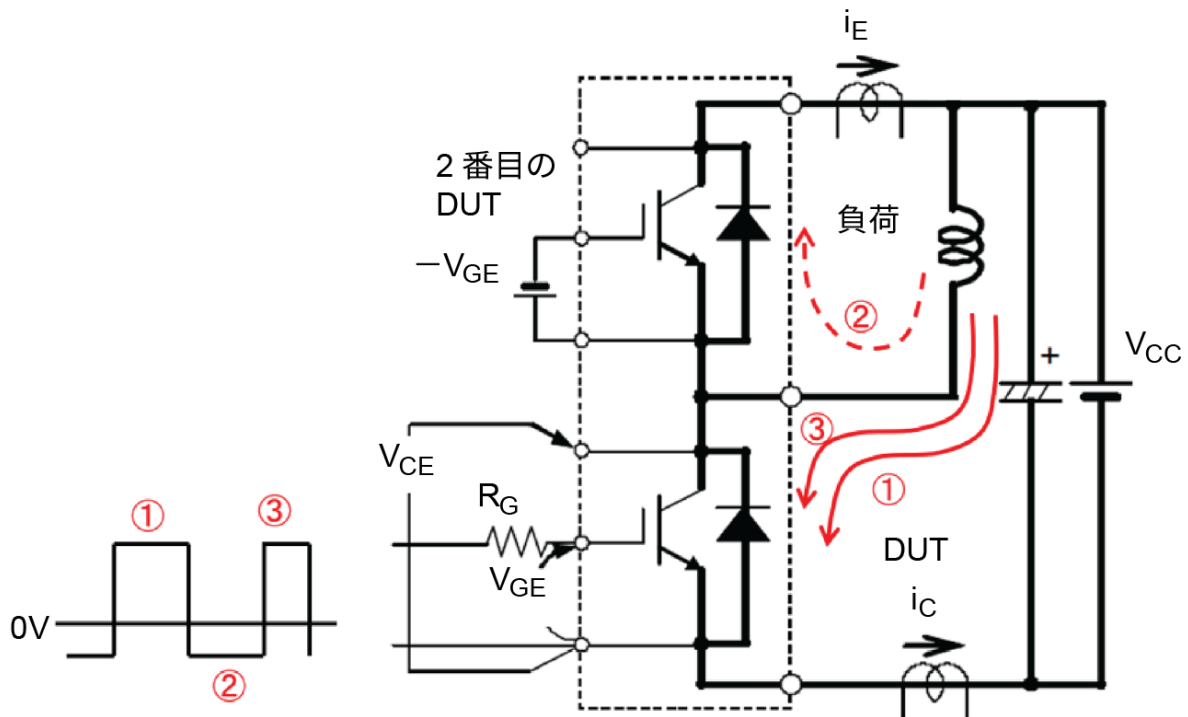
注： 正確なスイッチング電流値が得られるように、最初のパルス幅を調整する必要があります。DUT のオン時間が長いほど、その期間に増加する電流のレベルが高くなります。

ダブル・パルス・アプリケーションを使用すれば、さまざまなパルス幅を持つパルスを生成できます。最初のパルス幅を調整して、適切なスイッチング電流値が得られた後に、2 番目のパルス幅を独立して調整します。パワー・デバイスの損傷を避けるために、通常は 2 番目のパルス幅が最初のパルス幅より短くなるように調整します。それぞれのパルスの間の時間間隔も調整できます。

ダブル・パルス・テスト

以下の図は、ダブル・パルス・テストの回路図であり、ハイサイド・ダイオード・テストにおける挙動を示しています。吹き出しの番号（1、2、3）は操作のシーケンスにおけるステップを表しています。

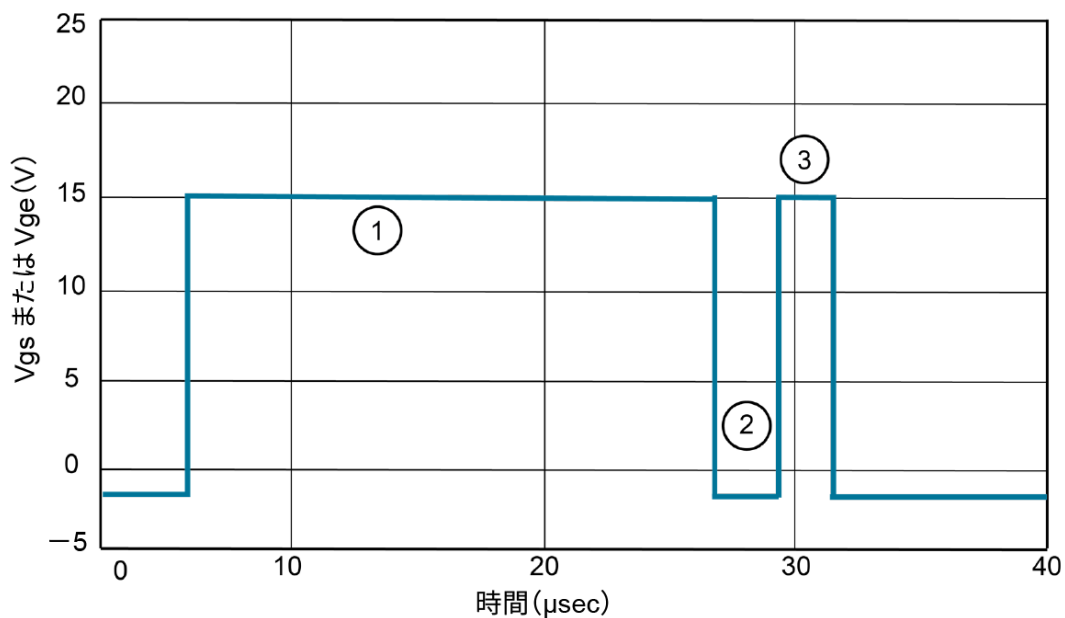
図 6：ダブル・パルス・テストのセットアップ



以下の 2 つの図は、ダブル・パルスの操作のシーケンスを示しています。最初の図では、操作のシーケンスがパルスで示されており、DUT 上でゲート電圧が測定されています。

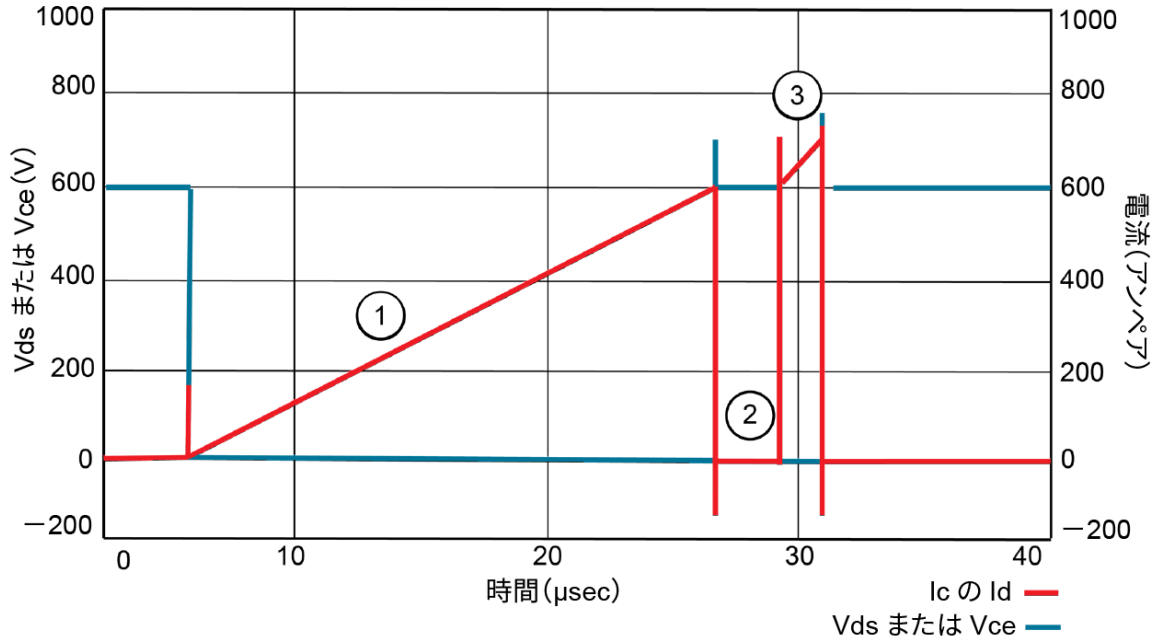
- シーケンスの最初のステップは、最初に調整されたパルス幅を表します。ここで誘導試験負荷の電流値が確立されています。
- 2 番目のステップはパルス間のオフ位相を表します。このステップでは電流負荷は常に一定です。
- 3 番目のステップはプリチャージ状態にある 2 番目のパルスを表します。

図 7：ダブル・パルス・テストのグラフ



2 番目のグラフは、テスト結果を示しており、ドレイン電流の波形とドレイン電圧が測定されています。このグラフでも、最初のグラフで使用されたのと同じシーケンスが使用されています。異なるのは、絶縁ゲート型バイポーラ・トランジスタ (IGBT) と MOSFET のパルスがグラフ上に表示されている点です。青い線はドレイン電圧を表します。赤い線はドレイン電流を表します。電流にリリングがある場合、オーバーシュートが発生します。

図 8 : MOSFET および IGBT のダブル・パルス・テスト



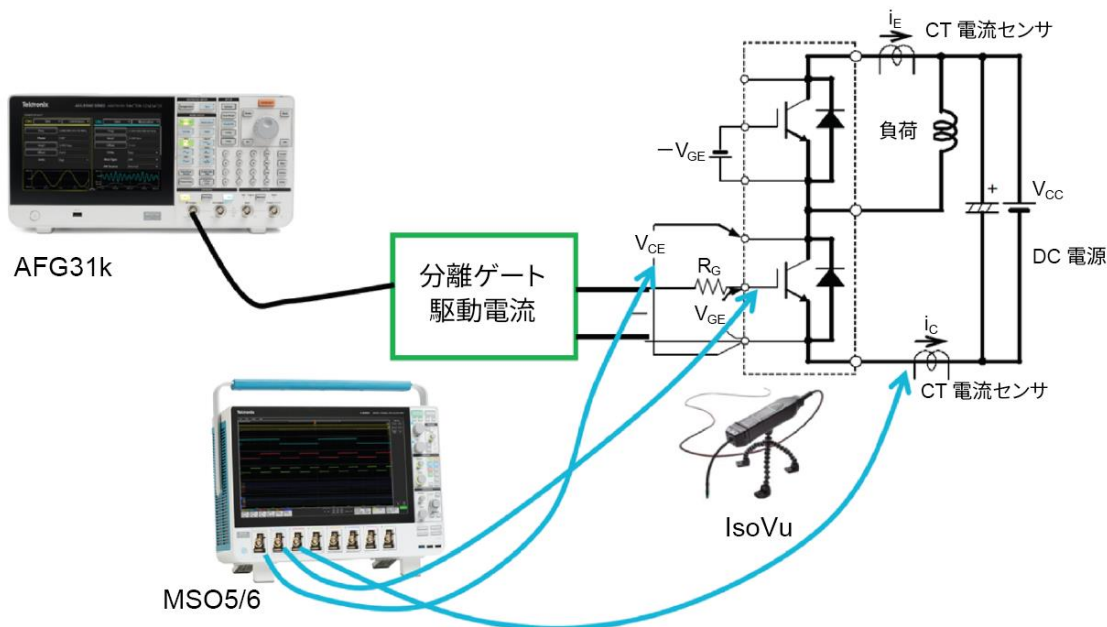
注： 回路図では IGBT が使用されていますが、MOSFET でも IGBT でも波形は同じです。ステップ 2 では 2 番目の DUT を流れる電流は測定されません。

ダブル・パルス・テストに使用する機器のセットアップ

以下の図は、ダブル・パルス・テストを実行するために使用する機器のセットアップを示しています。以下の機器が必要です。

- AFG31000 シリーズ：制御信号を生成します。
- オシロスコープ（ここでは MSO5/6 シリーズを使用）：制御信号（ドレインまたはコレクタ電圧）およびドレイン電流またはコレクタ電流（デバイスにより異なる）を測定します。
- IsoVu プロバ：コモンモード除去性能の優れたプローブ。オシロスコープをゲートに接続します。

図 9：ダブル・パルス測定のための機器のセットアップ



上図では、オシロスコープはチャンネル 3 で DUT を測定しています。前図に表記されていた 2 つ目の DUT はチャンネル 4 で測定されます。

注： ダブル・パルス・アプリケーションはシングル・チャンネル・アプリケーションであり、チャンネル 1 に出力されます。

上図のダブル・パルス・テストのセットアップでは、以下の検査が行えます。

- スイッチング過渡期およびパワー・ステージのスイッチング損失の解析
- 実環境とシミュレーション・ツールを使用した場合のスイッチング特性の比較
- (電流/電圧オーバーシュートやリングングなど) トランジスタへのスイッチング・ストレス増加の原因となるスイッチング時の高速遷移の予測
- ゲート・ドライバに実装されている短絡保護システムの検証 (短絡回路電流)

安全性に関する重要な情報

このマニュアルには、操作を行うユーザの安全を確保し、製品を安全な状態に保つために順守しなければならない情報および警告が記載されています。

このセクションの最後には、製品を安全に保守するために必要な追加情報が記載されています。[「安全に保守点検していただくために」](#)（ページ）を参照してください。

安全にご使用いただくために

製品は指定された方法でのみご使用ください。人体への損傷を避け、本製品や本製品に接続されている製品の破損を防止するために、安全性に関する次の注意事項をよくお読みください。すべての指示事項を注意深くお読みください。必要なときに参照できるように、説明書を安全な場所に保管しておいてください。

該当する地域および国の安全基準に従ってご使用ください。

本製品を正しく安全にご使用になるには、このマニュアルに記載された注意事項に従うだけでなく、一般に認められている安全対策を徹底しておく必要があります。

本製品は訓練を受けた専門知識のあるユーザによる使用を想定しています。

製品のカバーを取り外して修理や保守、または調整を実施できるのは、あらゆる危険性を認識した専門的知識のある適格者のみに限定する必要があります。

使用前に、既知の情報源と十分に照らし合わせて、製品が正しく動作していることを常にチェックしてください。

本製品は危険電圧の検出用にはご利用になれません。

危険な通電導体が露出している部分では、感電やアーク・フラッシュによってけがをするおそれがありますので、保護具を使用してください。

本製品をご使用の際に、より大きな他のシステムにアクセスしなければならない場合があります。他のシステムの操作に関する警告や注意事項については、その製品コンポーネントのマニュアルにある安全に関するセクションをお読みください。

本機器をシステムの一部としてご使用になる場合には、そのシステムの構築者が安全性に関する責任を果たさなければなりません。

火災や人体への損傷を避けるには

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、使用される国で認定された電源コードのみを使用してください。

他の製品の電源コードは使用しないでください。

電圧を正しく設定してください。 電源を適用する前に、AC 電源セレクタが使用する電源に合った適切な位置にあることを確認してください。または、ライン電圧が公表仕様に基づいて補正されていることを確認してください。

本製品を接地してください。 本製品は、電源コードのグラウンド線を使用して接地します。感電を避けるため、グラウンド線をアースに接続する必要があります。本製品の入出力端子に接続する前に、本製品が正しく接地されていることを確認してください。

電源コードのグラウンド接続を無効にしないでください。

電源を切断してください。 電源コードの取り外しによって主電源が遮断されます。スイッチの位置については、使用説明書を参照してください。電源コードの取り扱いが困難な場所には設置しないでください。必要に応じてすぐに電源を遮断できるように、ユーザが常にアクセスできる状態にしておく必要があります。

接続と切断は正しく行ってください。 機器が電圧源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。

コネクタおよびアダプタに関しては、製品同梱の物、または製品に合った当社既定の物のみをご使用ください。

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マーキングに従ってください。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。測定カテゴリ（CAT）の定格および電圧の最も低い定格の個々のコンポーネントの定格電流を超えないようにしてください。

コモン端子を含むいかなる端子にも、その端子の最大定格を超える電圧をかけないでください。

端子の定格電圧を超えてコモン端子をフローティングさせないでください。

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やケースを開いたまま動作させないでください。危険性の高い電圧に接触してしまう可能性があります。

露出した回路への接触は避けてください。 電源が投入されているときに、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。

故障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には、資格のあるサービス担当者に検査を依頼してください。

製品が故障している場合には、使用を停止してください。製品が故障している場合や正常に動作していない場合には、製品を使用しないでください。安全上の問題が疑われる場合には、電源を切って電源コードを取り外してください。誤って使用されることがないように、問題のある製品を区別しておいてください。

使用する前に、製品の外観に変化がないかよく注意してください。ひび割れや欠落した部品がないことを確認してください。

指定された交換部品のみを使用するようにしてください。

保護メガネを着用してください。 強力な光線またはレーザー照射にさらされる危険性がある場合は、保護メガネを着用してください。

湿気の多いところで動作させないでください。 機器を寒い場所から暖かい場所に移動する際には、結露にご注意ください。

爆発しやすい環境で動作させないでください。

適切に通気してください。 適切な通気が得られるように製品を設置できるように、マニュアルの設置手順を参照してください。

製品には通気用のスロットや開口部があります。その部分を覆ったり、通気が妨げられたりすることがないようにしてください。開口部には異物を入れないでください。

安全な作業環境を確保してください。 製品は常にディスプレイやインジケータがよく見える場所に設置してください。

キーボードやポインタ、ボタン・パッドを不適切に使用したり、長く押しすぎたりしないでください。キーボードやポインタの使用を誤ると、大けがにつながる可能性があります。

作業場が該当する人間工学規格を満たしていることを確認してください。ストレスに由来するけががないように、人間工学の専門家に助言を求めてください。

製品を持ち上げたり運んだりする作業は慎重に行ってください。本製品には持ち運び用のハンドルが取り付けられています。

本製品には指定された当社のラック取り付け金具のみを使用してください。

製品表面を清潔で乾燥した状態に保ってください。 製品の清掃を開始する前に、入力信号を取り外してください。動作状況に応じた頻度で製品を検査してください。外部表面の汚れを落とすには、次のようにします。

1. 無塵布で機器の表面についた塵を落とします。ガラスのディスプレイ・フィルタを傷つけないように注意してください。
2. 水で湿らせた柔らかい布を使用して機器を拭きます。75%イソプロピル・アルコール水溶剤を使用すると汚れがよく落ちます。



注意： 外面をクリーニングしているときにユニット内部が湿らないようにしてください。綿棒または布は、クリーニング溶液で十分に湿らせてから使用してください。本製品が損傷する可能性があるため、スプレー、液体、または溶剤等が付着することのないようにしてください。また、研磨剤や化学洗浄剤は使用しないでください。

本マニュアル内の用語

このマニュアルでは次の用語を使用します。



警告： 人体や生命に危害をおよぼすおそれのある状態や行為を示します。



注意： 本製品やその他の接続機器に損害を与えるおそれのある状態や行為を示します。

安全に保守点検していただくために

このセクションには、製品の保守点検を安全に行うために必要な詳細な情報が記載されています。資格のあるサービス担当者以外は、保守点検手順を実行しないでください。保守点検を行う前には、この「安全に保守点検していただくために」と「安全にご使用いただくために」を読んでください。

感電を避けてください。 露出した接続部には触れないでください。

保守点検は単独で行わないでください。 応急処置と救急蘇生ができる人の介在がない限り、本製品の内部点検や調整を行わないでください。

電源を切断してください。 感電を避けるため、保守点検の際には、製品の電源を切り、電源コードを電源コンセントから抜いてから、カバーやパネルを外したり、ケースを開いてください。

電源オン時の保守点検には十分注意してください。 本製品には、危険な電圧や電流が存在している可能性があります。電源の切断、バッテリーの取り外し（可能な場合）、テスト・リードの切断を行ってから、保護パネルの取り外し、はんだ付け、コンポーネントの交換を行ってください。

修理後は安全を確認してください。 修理を行った後には、常にグランド導通と電源の絶縁耐力を再チェックしてください。

本製品に使用される記号と用語

本製品では、次の用語を使用します。

- 危険： たちちに人体や生命に危険をおよぼす可能性があることを示します。
- 警告： 人体や生命に危険をおよぼす可能性があることを示します。
- 注意： 本製品を含む周辺機器に損傷を与える可能性があることを示します。



製品にこの記号が表記されているときは、マニュアルを参照して、想定される危険性とそれらを回避するために必要な行動について確認してください（マニュアルでは、この記号はユーザに定格を示すために使用される場合があります。）

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



アース端子



シャーシ・
グランド



保護接地
(アース)端子



主電源の切断
オフ(電源)



主電源の接続
オン(電源)



オフ



オン



警告
高電圧