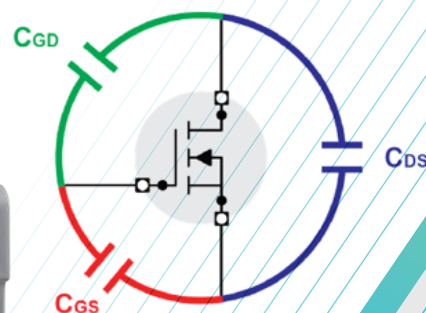


4200A-CVIV マルチスイッチ・ バイアスティー機能を用いた 3端子デバイスの高電圧CV測定

アプリケーション・ノート



はじめに

MOSFET、IGBT、およびBJTなどの半導体デバイスのスイッチング速度は、素子構造自体の容量によって影響を受ける。それらの回路を効率よく設計するためには、設計者はこれらのパラメータを知る必要がある。例えば、効率的なスイッチモード電源を設計するには、スイッチング速度、ひいては効率に影響するため、設計者はデバイスの容量特性を知っておく必要がある。通常、この情報はMOSFETのデータシートに提供されている。

3端子パワー半導体デバイスの容量は、コンポーネントレベルおよび回路レベルの2つの異なる方法で見ることができる。コンポーネントレベルでは、各デバイス端子間の容量特性評価が必要とされ、回路レベルでは、コンポーネントレベルの容量を組み合わせる必要がある。図1に、パワーMOSFETのコンポーネントレベルの容量を示す。

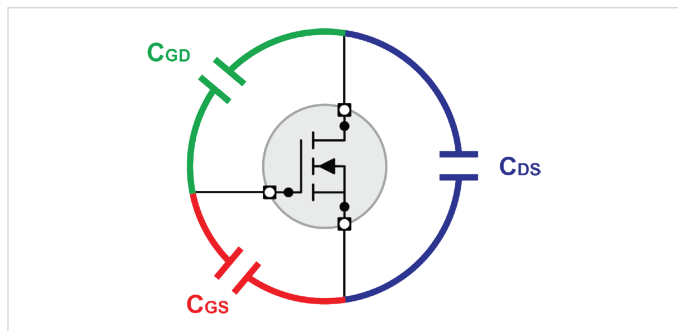


図1. パワーMOSFETのコンポーネントレベルの容量

図2から図4は、パワーMOSFETのコンポーネントレベルの容量と回路レベルの容量との間の関係を示す。BJTおよびIGBTデバイスについても同様の容量測定を行うことができる。

それらの関係は以下のように導出される。

- $C_{ISS} = C_{GS} + C_{GD} =$ 入力容量
- $C_{OSS} = C_{DS} + C_{GS} =$ 出力容量
- $C_{RSS} = C_{GD} =$ 逆伝達容量

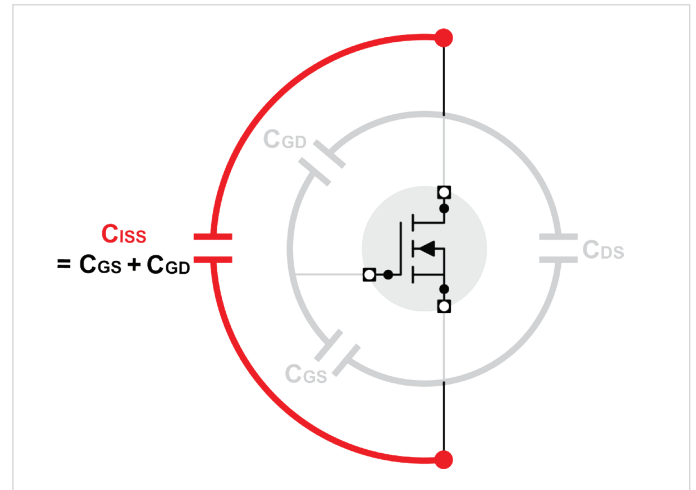


図2. パワーMOSFETの入力容量

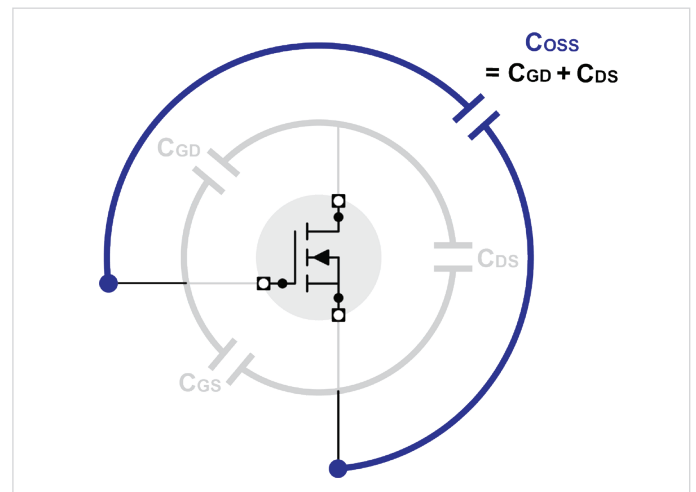


図3. パワーMOSFETの出力容量

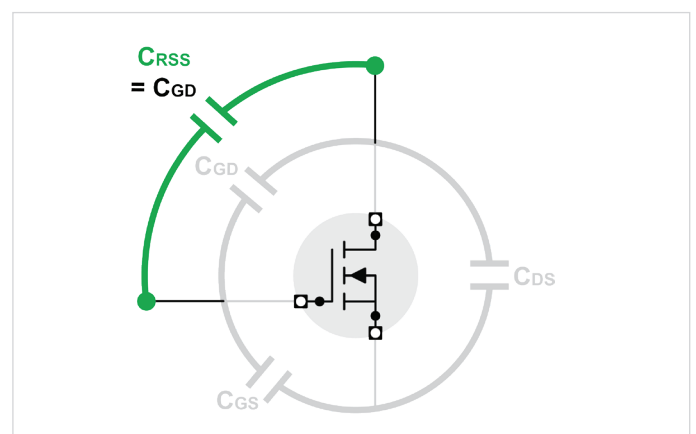


図4. パワーMOSFETの逆伝達容量

一般的に、デバイスの容量は印加電圧に応じて変化するため、正確な特性評価を行うためには、最大定格電圧における容量の知識を必要とする。このアプリケーションノートは、Clarius V1.4で追加された4200A-CVIVマルチスイッチによって提供されるバイアスティー機能を使用して、 C_{ISS} 、 C_{OSS} 、および C_{RSS} 測定がどのように行われるかを説明する。CVIVマルチスイッチは、I-V測定とC-V測定を配線のつなぎ替えなしに容易に切り替えることができる。また、プローバの針を一度も切り離すことなく、任意のデバイス端子間のC-V測定を行うことができる。

このアプリケーションノートでは、ドレインに200Vから400Vのこれまでの2倍のDC出力電圧を与える方法も示す。これはClarius V1.6に追加された機能で、GaNデバイスのような高出力の半導体の試験に有益である。本アプリケーションノートは、読者が4200A-CVIVを用いてKeithleyの4200A-SCSでC-V測定を行うことにある程度精通していることを前提としている。

バイアスティー機能の詳細については、次のKeithleyアプリケーションノートを参照。

- 4200A-CVIVマルチスイッチを使用した高電圧・高電流C-V測定
- 4200A-CVIVマルチスイッチと4200A-SCSパラメータアナライザを使用したC-V測定とI-V測定の切り替え

デバイスの接続

本アプリケーションノートに記載されているすべてのSMUおよびCVU接続は、4200A-CVIVを介して行われる。CVIVマルチスイッチには1つの4210-CVUと最大4つのSMUを接続することができる。詳細については、4200A-CVIV Multi-Switch User's Manualを参照。

4200A-CVIVは次のような利点を有する：

- 200Vおよび400Vまでの C_{ISS} 、 C_{RSS} および C_{OSS} を測定するためのユーザーレディ及びビルトインプロジェクト。
- 4200A-CVIVマルチスイッチでの自動測定。ケーブルの再接続不要。
- オープン、ショートC-V補正。

図5にCVIVへのMOSFETの接続を示す。このアプリケーションでは、少なくとも3つのSMUおよび1つのCVUが必要となる。

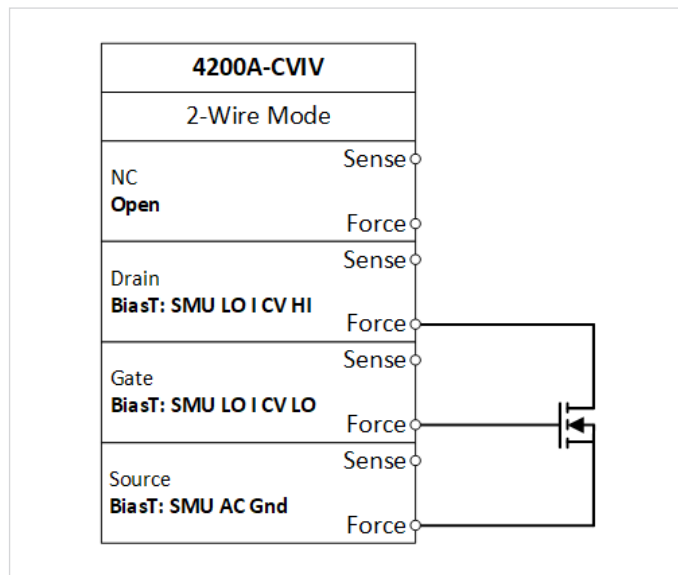


図5. 4200A-CVIVの出力端子へのMOSFETの接続

図6は、パッケージ化されたMOSFETへの実際のCVIV接続を示す。全てのチャンネルがCVIV上でOpenであることを留意されたい。4200A-CVIVの4つのチャンネルは、各テストの条件に基づいて構成されるので、テスト毎のケーブルの再接続は必要とされない。

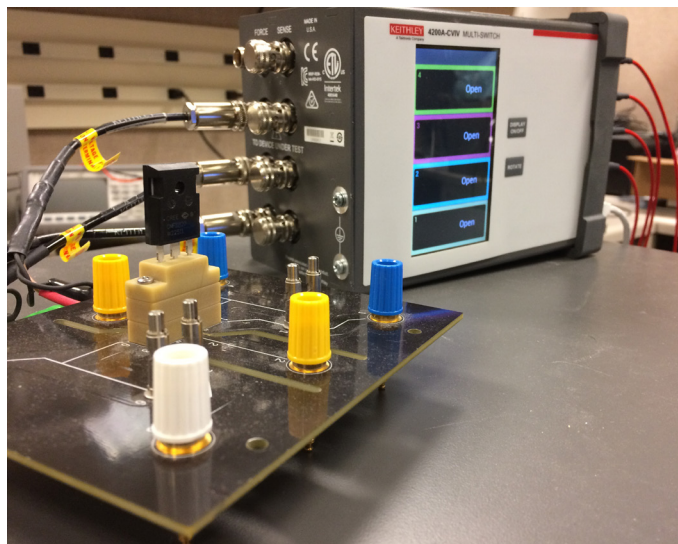


図6. 4200A-CVIVに接続したパッケージMOSFET

Clarius での測定の設定

Clariusのライブラリには、3端子容量測定を行う2つのプロジェクトが用意されている。どちらのプロジェクトも同様にClariusで構成されており、その違いは能力にある。1つのプロジェクト“MOSFET 3-terminal C-V Test Using 4200A-CVIV Bias Tees”は、0Vから200Vまでスイープする一つのSMUをドレインに使用し、もう一方のプロジェクト“MOSFET 3-terminal C-V tests up to 400V using 4200A-CVIV Bias Tee”は、電圧を2倍にする新しいアプローチを採用し、0~400Vの電圧印加を行う。このアプローチは、各端子に1つずつSMUを接続し、同時にスイープすることによりドレインに対し400VのDC差動電圧与える。

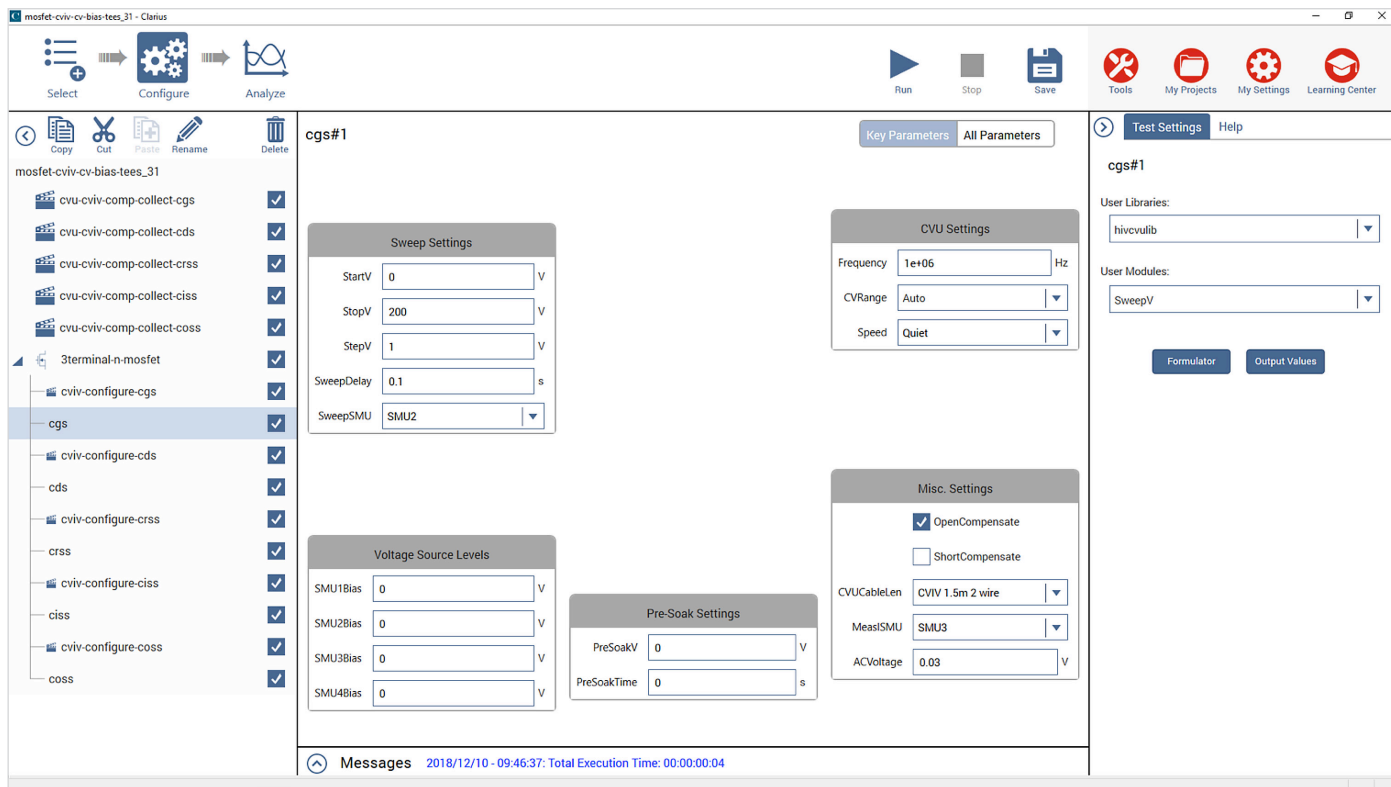


図7. SweepVユーザーモジュールを使用したMOSFET-CVIV-CV-Bias-Teesプロジェクト

図7は、hivcvulibのSweepVユーザーモジュールを使用する“MOSFET 3-terminal C-V Test Using 4200A-CVIV Bias Tees”プロジェクトを示す。

このユーザーモジュールでは、ドレインのSMUをスイープし、各端子において容量測定を行う。

まず、正確な測定を確保するために、オープンおよびショート補正を実行する。これらの補正を行うためには、特定の手順が必要である。

それらは補正データ収集アクションと呼び、プロジェクトツリーで提供されている。補正は、任意のテストが実行される前に各テスト構成に対して実行される。4200Aは、複数のテストが実行できるように、各構成に対する補正データをそれぞれ記憶することができる。

このプロジェクトでは、 C_{GS} 、 C_{DS} 、 C_{RSS} 、 C_{ISS} および C_{OSS} の5つの異なる構成を有する。

CVIVマルチスイッチの構成

CVIVマルチスイッチは、各試験に応じて構成されなければならない。

CVIVマルチスイッチには多くの出力モードがあり、それらはユーザーマニュアルに記載されている。表1に、種々の出力モードを列挙する。

表1. 4200A-CVIV出力モード

4200A-CVIV出力モード	適用及び説明
Open	デフォルト設定。チャンネルをデバイスから切り離す。
SMU	I-V測定に使用。Force HIとSense HIをデバイスに接続。
CV HI	C-V測定に使用。4210-CVU (HPOTおよびHCUR) をデバイスに接続。
CV LO	C-V測定に使用。4210-CVU (LPOTおよびLCUR) をデバイスに接続。
CV Guard	複数端子デバイスのC-V測定時の不要なインピーダンスのガードに使用。C-V測定に関与しない端子にCV Guardを適用。
Ground Unit	I-V測定に使用。Force LOとSense LOをデバイスに接続。
AC coupled AC ground	C-V測定に使用。DCパスを与えずに、ACパスをグラウンドに接続。
BiasT SMU CV HI and BiasT SMU CV LO	200V DCバイアスまでのC-V測定に使用。オン状態のデバイス測定に理想的な、最大1AのDC電流を可能にする。
BiasT SMU LO I CV HI and BiasT SMU LO I CV LO	200V DCバイアスまでのC-V測定に推奨。オフ状態のデバイス測定に理想的な100 μ AまでのDC電流を可能にする。
BiasT SMU AC Gnd	マルチターミナルデバイスでC-V測定を行う場合、不要なインピーダンスのガードに使用。200VまでのDCバイアスが可能。C-V測定に関与しない端子にBiasT SMU AC Gndを適用。

図8～12は、コンポーネントレベルおよび回路レベルの容量測定の各々に対する、CVIVマルチスイッチの各チャンネルの状態を示す。

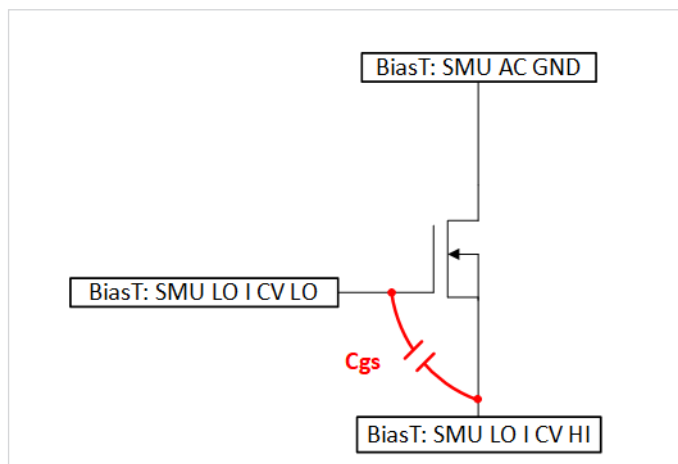


図8. C_{GS} の接続

図8は、 C_{GS} の接続を示す。このテストは、SMUでドレインのDC電圧をスイープする間、MOSFETのゲートとソース間の容量を測定する。

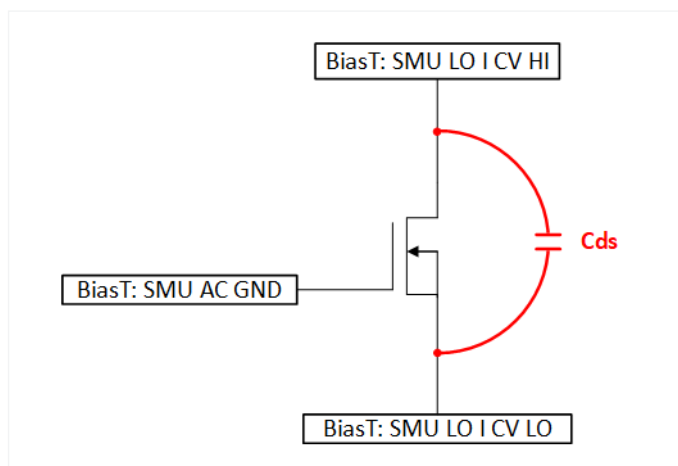


図9. C_{DS} の接続

図9は、 C_{DS} の接続を示す。このテストは、SMUでドレインのDC電圧をスイープする間、MOSFETのドレインとソース間の容量を測定する。

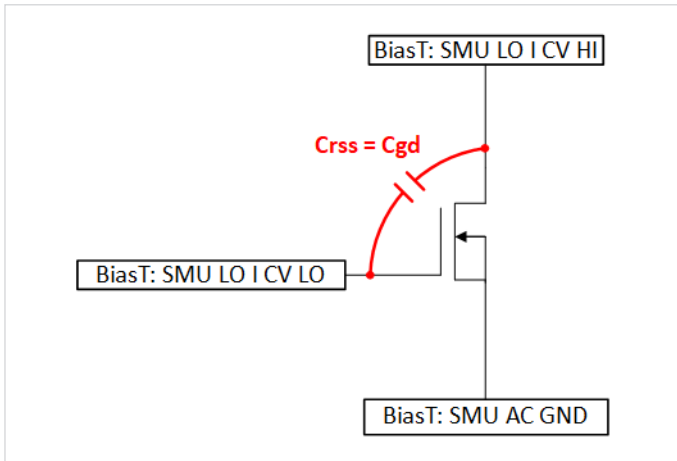


図10. C_{RSS} および C_{GD} の接続

図10は、 C_{RSS} の接続を示す。このテストは、SMUでドレインのDC電圧をスイープする間、MOSFETの逆伝達容量を測定する。

図11は、 C_{ISS} 構成を示す。このテストは、SMUでドレインのDC電圧をスイープする間、MOSFETの入力容量を測定する。

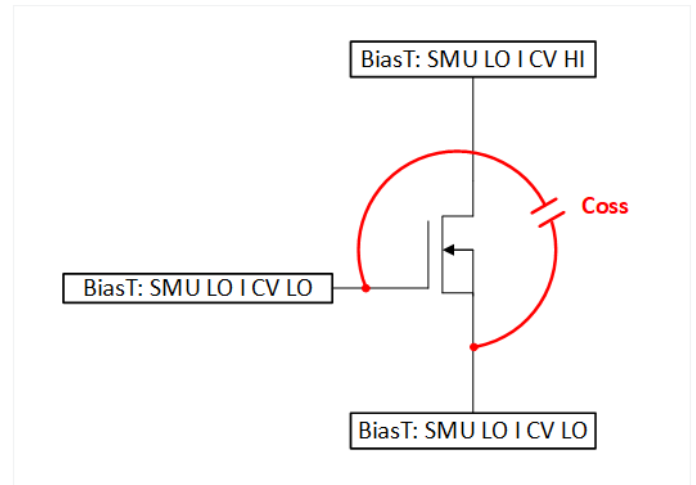


図12. C_{OSS} の接続

図12は、 C_{OSS} の接続を示す。このテストは、SMUでドレインのDC電圧をスイープする間、MOSFETの出力容量を測定する。

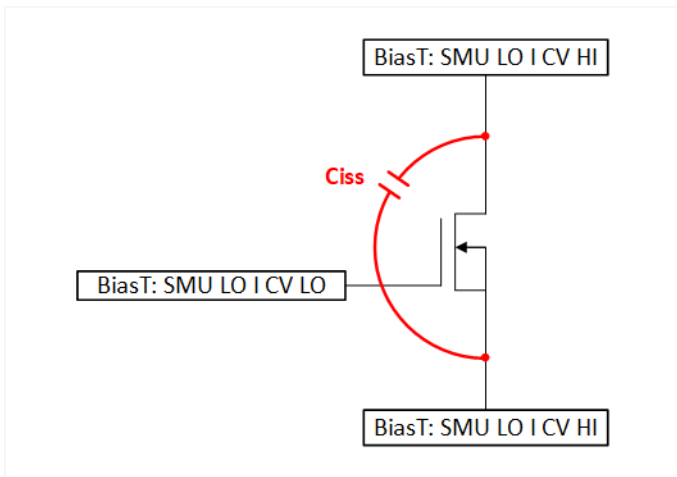


図11. C_{ISS} の接続

テストが実行されると、データがプロットされる。図13に、4200Aで求めたMOSFETの各容量特性データを示す。

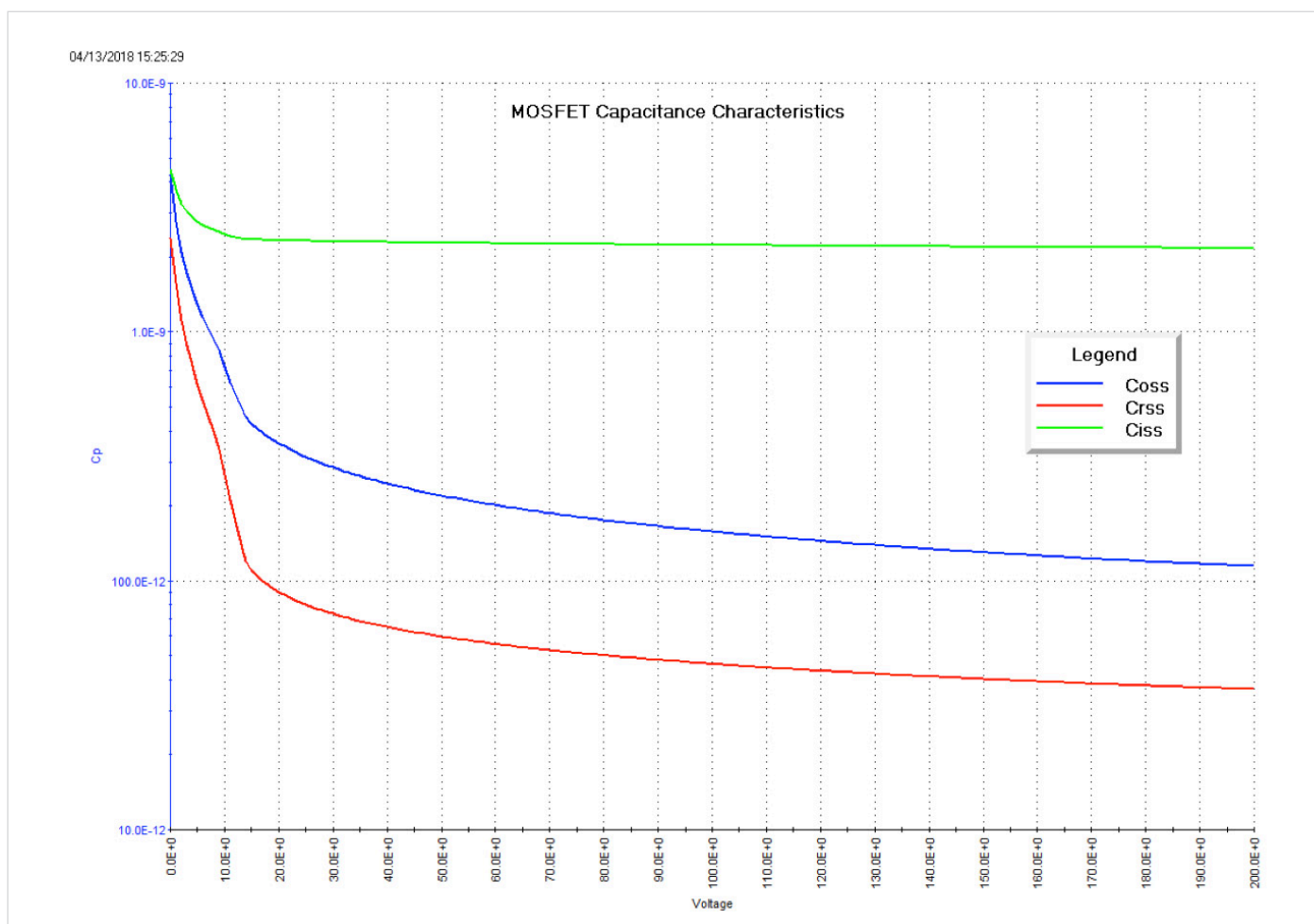


図13. 200VまでスイープしたMOSFETの容量特性

400V DC 電圧スイープ

4200A-CVIVマルチスイッチを利用し、複数のSMUを同時にスイープしてMOSFET端子で出力電圧を2倍の400Vにする新しい方法を提供する。これらの試験は、通常、OFF状態 ($V_{GS} = 0V$) で行われる。ドレインのSMUでスイープし、4200A - CVIVに組み込まれたバイアステーの機能を使用して、各端子間の容量が測定される。

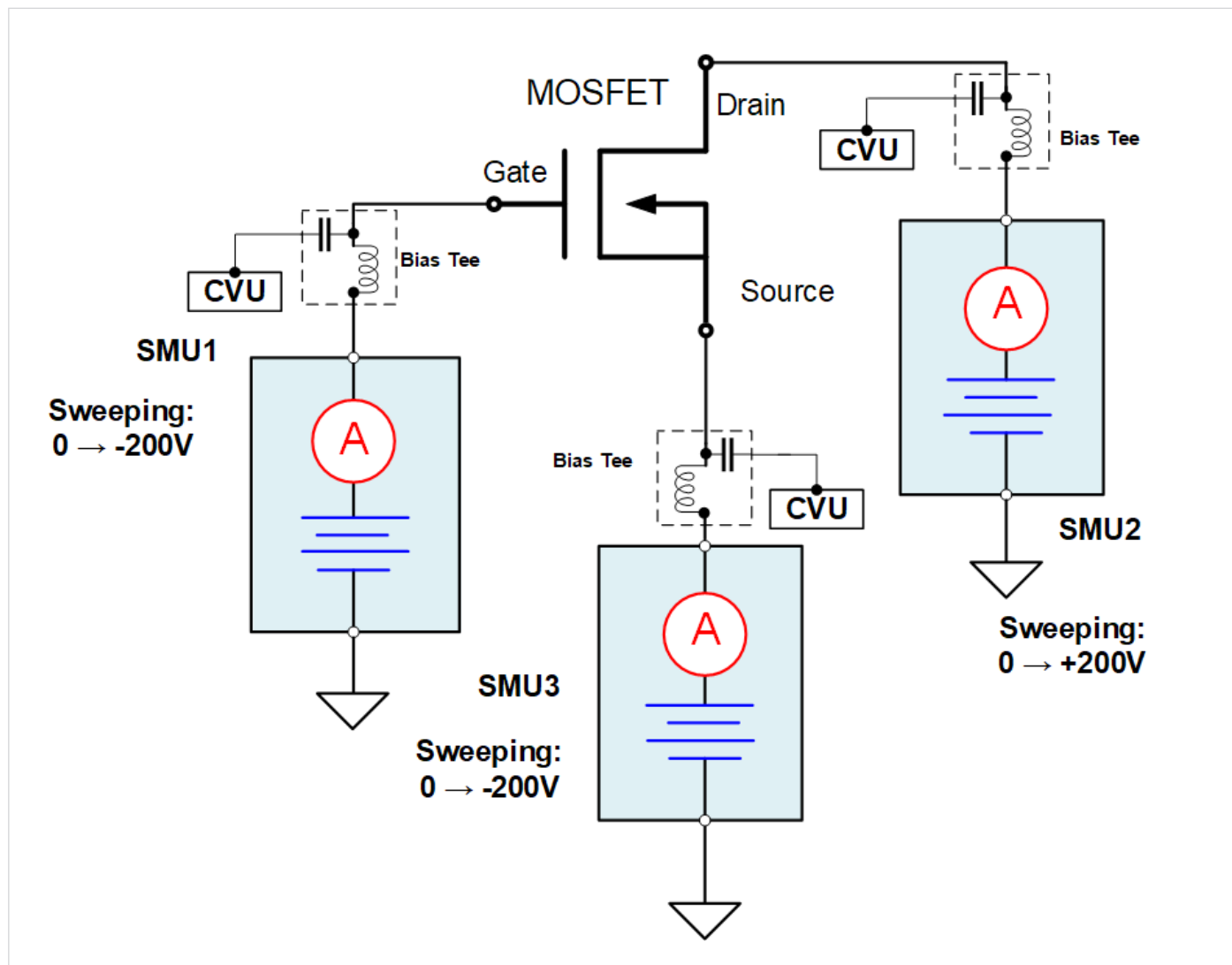


図14. 3つのSMUを同時にスイープする

図14は、MOSFETの各端子に接続された3つのスイープ用SMUを示す。SMU1およびSMU2は、400Vまでの差動電圧スイープを可能にする。SMU2およびSMU3は、ゲートで0Vの電圧降下を保つため同じ電圧で同時にスイープしなければならない。この方法を用いて、ドレインで400Vのスイープを実現できる。

注：この方法は、パッケージ化されたデバイスに対してのみ使用されるべきであり、ウエハレベルデバイスに対しては使用されない。

これらの測定は、hivcvulibユーザライブラリで利用可能な *multipleSMU_SweepV* ユーザモジュールを使用して実行される。

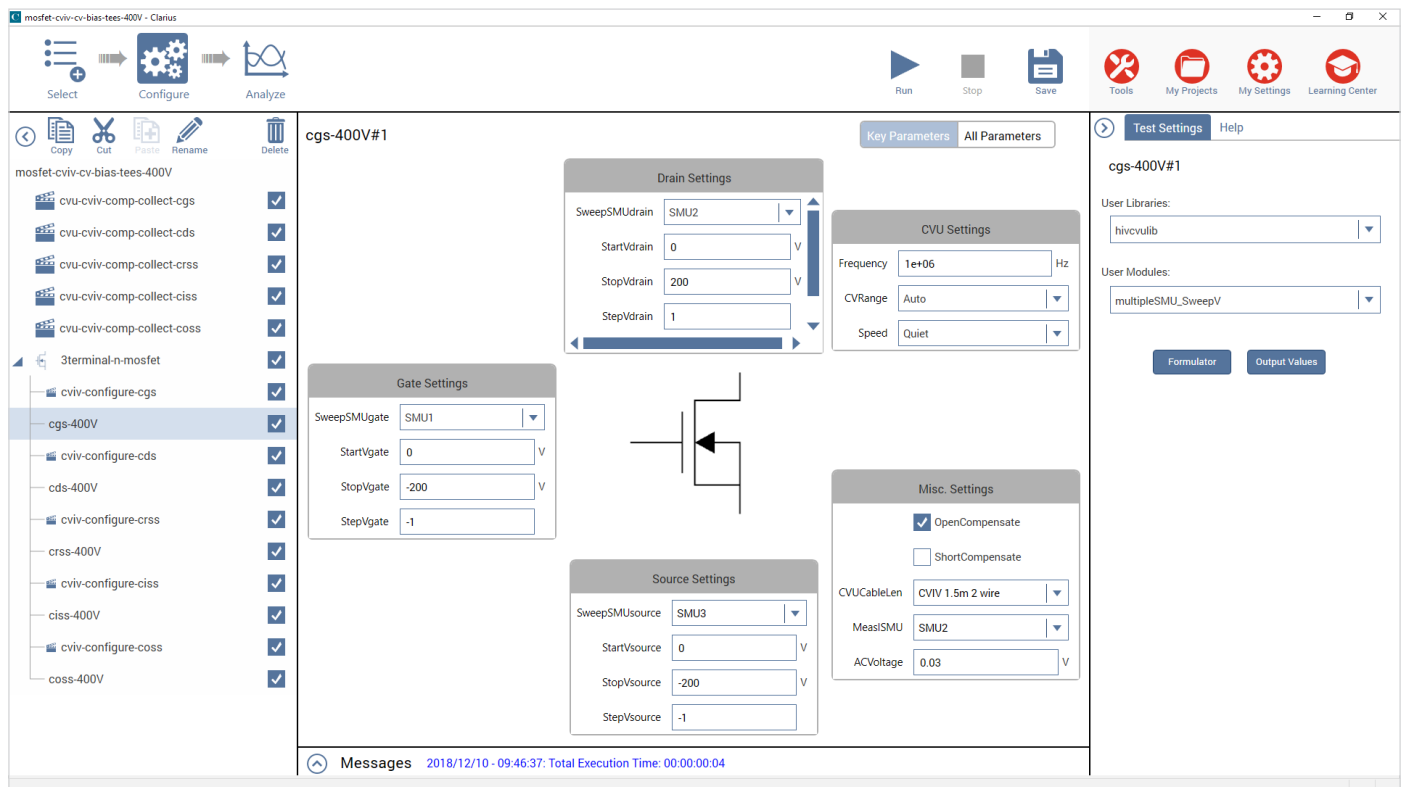


図15. 400V DC 差動電圧出力プロジェクト

図15は、*multipleSMU_SweepV*ユーザーモジュールを使用した“MOSFET 3-terminal C-V tests up to 400V using 4200A-CVIV Bias Tees”のプロジェクトを示す。

プロジェクトツリーは前のプロジェクトと同様に設定される。補正を含む全てのCVIV接続作業は、全く同じ方法で行われる。唯一の違いは、接続されるSMUがさらに2つあることである。デバイスとの接続はこれまでと同じである。

デフォルトでは、試験はドレインで0から400Vまでスイープされる。ゲートSMUおよびソースSMUの両方は、同時に同じ電圧でスイープされる。制限の範囲の中で端子の電圧の開始および停止を変更できる。ユーザは、ドレインの電流を測定して、デバイスの真のオフ状態を確認することができる。

ユーザはまた、試験されるデバイスのインピーダンスに基づいて、周波数、レンジ、および速度などのCVU設定を変更することができる。

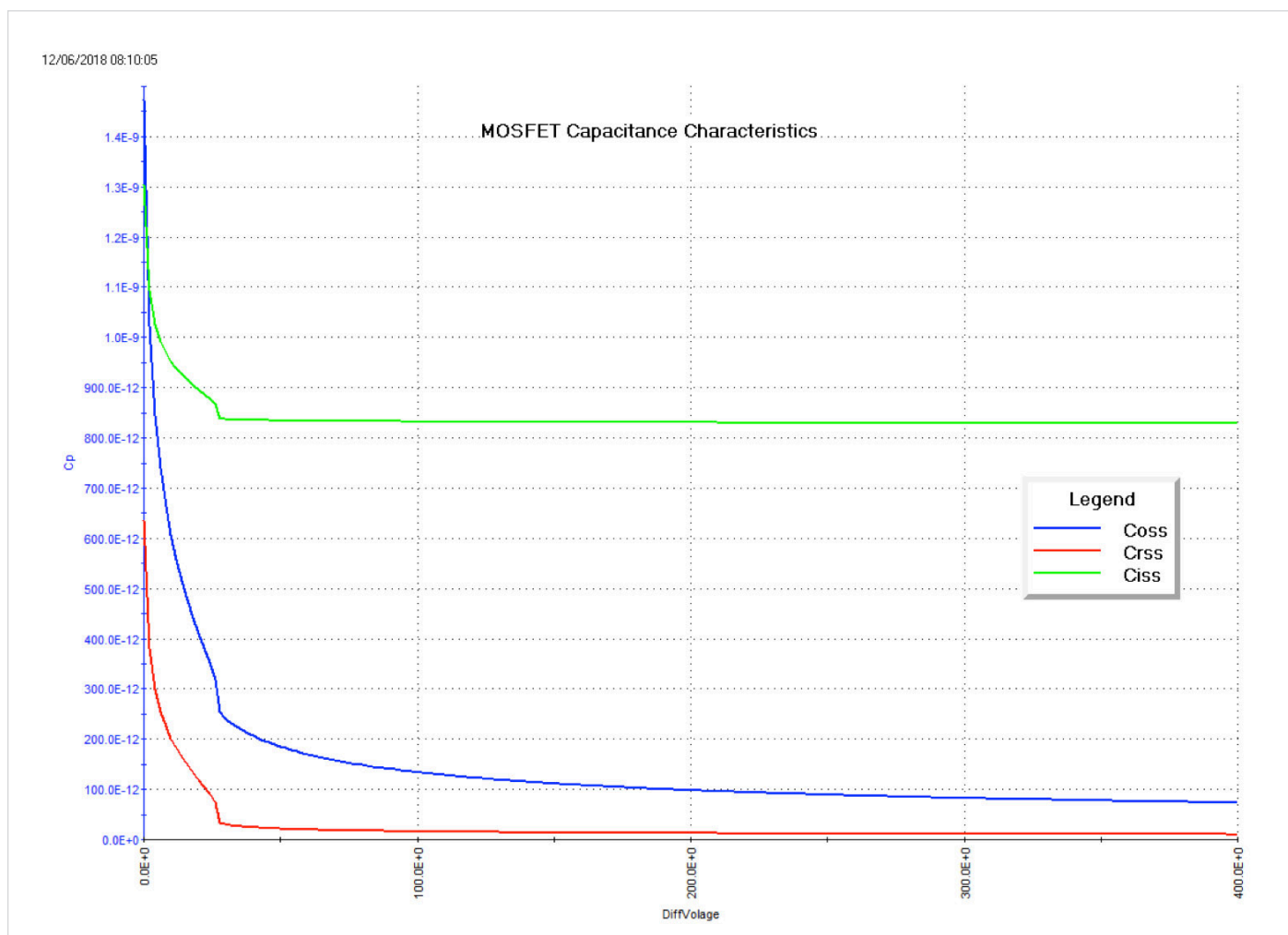


図16. 400VまでスイープしたMOSFETの容量特性

図16は、4200A-SCSによって得られたMOSFETの400VまでのC-Vスイープを示す。DiffVoltageはドレイン電圧とソース電圧との間の差動の計算値である。

Run1 Formulas List										Formulator
	multipleSMU_S	Cp	Gp	Time	DrainVoltage	GateVoltage	SourceVoltage	MeasI	DiffVolage	FrequencyVal
1	0	1.3037E-9	11.2557E-3	000.0000E-3	000.0000E-3	000.0000E-3	000.0000E-3	1.5468E-6	000.0000E-3	1.0000E+6
2		1.0939E-9	10.8516E-3	1.3285E+0	1.0000E+0	-1.0000E+0	-1.0000E+0	165.7910E-9	2.0000E+0	1.0000E+6
3		1.0244E-9	10.7304E-3	2.5955E+0	2.0000E+0	-2.0000E+0	-2.0000E+0	430.1978E-9	4.0000E+0	1.0000E+6
4		991.3063E-12	10.6786E-3	3.9039E+0	3.0000E+0	-3.0000E+0	-3.0000E+0	703.2899E-9	6.0000E+0	1.0000E+6
5		969.0827E-12	10.6460E-3	5.1781E+0	4.0000E+0	-4.0000E+0	-4.0000E+0	972.4629E-9	8.0000E+0	1.0000E+6
6		951.9173E-12	10.6212E-3	6.4864E+0	5.0000E+0	-5.0000E+0	-5.0000E+0	1.1461E-6	10.0000E+0	1.0000E+6
7		938.4560E-12	10.6025E-3	7.8504E+0	6.0000E+0	-6.0000E+0	-6.0000E+0	1.3592E-6	12.0000E+0	1.0000E+6
8		926.6890E-12	10.5869E-3	9.1532E+0	7.0000E+0	-7.0000E+0	-7.0000E+0	1.4985E-6	14.0000E+0	1.0000E+6
9		915.3213E-12	10.5715E-3	10.4870E+0	8.0000E+0	-8.0000E+0	-8.0000E+0	1.7249E-6	16.0000E+0	1.0000E+6
10		905.1579E-12	10.5584E-3	11.7982E+0	9.0000E+0	-9.0000E+0	-9.0000E+0	1.8845E-6	18.0000E+0	1.0000E+6
11		896.0003E-12	10.5453E-3	13.1446E+0	10.0000E+0	-10.0000E+0	-10.0000E+0	1.9416E-6	20.0000E+0	1.0000E+6

Run1 Run Settings

図17. 400V スイープの出力データ

図17は、3つの端子のスイープ電圧の出力データを示す。diffVoltageは、算出された差動電圧値である。

結論

MOSFET、IGBTおよびBJTのような半導体デバイスのスイッチング速度は、コンポーネント自体の容量に影響を受ける。本アプリケーションノートでは、4200A-CVIVを使用してケーブルの再接続無しに200V DCバイアスでの容量測定する方法を示した。これによりユーザエラーが低減され、自動試験も可能になる。また、コンポーネントレベルの容量を介さずに、回路レベルの容量を直接測定することが可能になり、回路レベルの設計者が所望のデータをより高速に得ることが可能になる。

さらに、3端子デバイス上の容量を測定する場合、端子のうちの1つは、通常、測定に含まれないが、その容量が測定全体に影響を及ぼす場合がある。各端子にバイアスティーを使用することにより、外部コンデンサまたは短絡の必要性がなくなる。

同時に3つのSMUをスイープすることによって、3端子デバイスにおいて4200AのDCバイアスを2倍にする新しい方法も示した。ゲートおよびソースSMUは、デバイスのオンステートを回避するために、同時に同じ極性でスイープする。ドレインSMUは、ソースとゲートの反対の極性をスイープし、その結果、差動電圧が2倍になる。これによりドレインで400Vまでの電圧スイープが行え、これは、GaNなどのより高出力の半導体を試験するのに有効である。

お問い合わせ先：

オーストラリア 1 800 709 465
オーストリア 00800 2255 4835
バルカン諸国、イスラエル、南アフリカ、その他ISE諸国 +41 52 675 3777
ベルギー 00800 2255 4835
ブラジル +55 (11) 3759 7627
カナダ 1 800 833 9200
中央／東ヨーロッパ、バルト海諸国 +41 52 675 3777
中央ヨーロッパ／ギリシャ +41 52 675 3777
デンマーク +45 80 88 1401
フィンランド +41 52 675 3777
フランス 00800 2255 4835
ドイツ 00800 2255 4835
香港 400 820 5835
インド 000 800 650 1835
インドネシア 007 803 601 5249
イタリア 00800 2255 4835
日本 81 (3) 6714 3086
ルクセンブルク +41 52 675 3777
マレーシア 1 800 22 55835
メキシコ、中央／南アメリカ、カリブ海諸国 52 (55) 56 04 50 90
中東、アジア、北アフリカ +41 52 675 3777
オランダ 00800 2255 4835
ニュージーランド 0800 800 238
ノルウェー 800 16098
中国 400 820 5835
フィリピン 1 800 1601 0077
ポーランド +41 52 675 3777
ポルトガル 80 08 12370
韓国 +82 2 6917 5000
ロシア +7 (495) 6647564
シンガポール 800 6011 473
南アフリカ +41 52 675 3777
スペイン 00800 2255 4835
スウェーデン 00800 2255 4835
スイス 00800 2255 4835
台湾 886 (2) 2656 6688
タイ 1 800 011 931
イギリス、アイルランド 00800 2255 4835
アメリカ 1 800 833 9200
ベトナム 12060128

2017年4月現在



jp.tek.com

テクトロニクス／ケースレーインズツルメンツ

お客様コールセンター：技術的な質問、製品の購入、価格・納期、営業への連絡

TEL: 0120-441-046 ヨク良い オシロ 営業時間／9:00～12:00・13:00～18:00
(土日祝日および当社休日を除く)

サービス・コールセンター：修理・校正の依頼

TEL: 0120-741-046 なんと良い オシロ 営業時間／9:00～12:00・13:00～17:30
(土日祝日および当社休日を除く)

〒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

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。

Copyright © 2019, Tektronix. All rights reserved. TEKTRONIX およびTEK はTektronix, Inc. の登録商標です。
記載された製品名はすべて各社の商標あるいは登録商標です。

2019年3月 1KZ-61529-0