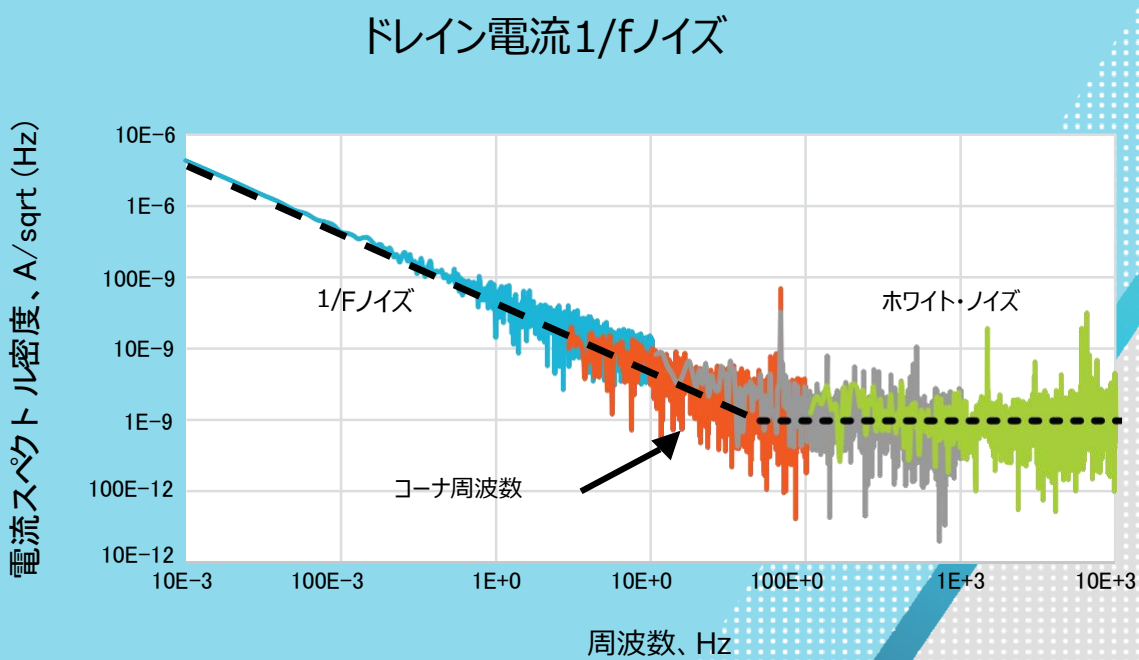


# 4200A-SCSパラメータ・アナライザを用いた 1/f電流ノイズ測定

アプリケーション・ノート



KEITHLEY  
A Tektronix Company

Tektronix®

## はじめに

電子デバイスは、本質的に、熱(ジョンソン)ノイズ、ショットノイズ、ホワイト(広帯域)ノイズ、および1/f (フリッカ)ノイズを含む異なるタイプのノイズ源を持ちます。1/fノイズは、電流(ISD)またはパワー(PSD)スペクトル密度が周波数に反比例する低周波電子ノイズです。半導体デバイス、ある種の抵抗器、グラフェンのような2D材料、さらには化学電池を含む多くの種類の電子部品は1/fノイズを示します。多くの場合、デバイスの1/fノイズは、電流を時間の関数として測定し、そのデータを周波数ドメインに変換することによって決定されます。高速フーリエ変換(FFT)は、時間ドメインのデータを周波数ドメインのデータに変換するための一般的な方法です。

測定セットアップのノイズ源は、異なるノイズ源から発生しますが、その1つが測定機器そのものです。被測定デバイス(DUT)のノイズ特性を抽出するには、測定器のノイズをDUTのノイズより小さくする必要があります。

ソース・メジャー・ユニット(SMU)とパルス・メジャー・ユニット(PMU)は、Keithley 4200A-SCSパラメータアナライザのモジュールで、時間ドメインで電流と電圧を測定することができます。SMUおよびPMUは、ClariusソフトウェアのFormulatorに内蔵されたFFT関数を使用して、周波数ドメインのパラメータに変換することができます。4200A-SCSの広範なテスト・ライブラリには、1/fノイズ、電流スペクトル密度、およびその他のACベースの測定パラメータ・アナライザがパラメータ計算によるサンプル・テストが含まれています。

このアプリケーション・ノートでは、SMUとPMUの両方を使用して4200A-SCSで1/fノイズ測定を行う方法を解説します。特に、次節では、1/fノイズの基本について説明し、特定のレンジで電流スペクトル密度(ISD)を導出することによって機器のノイズフロアを決定、MOSFETのドレイン電流1/fノイズを測定、2端子デバイスで1/fノイズ測定を構成、さらには内蔵FFT機能について説明します。

## 1/fノイズ

フリッカ、あるいは1/fのノイズは、多くの周波数にわたって広がりますが、多くの場合、 $<100\text{Hz}$ で観測されます。デバイスの代表的なノイズ電流スペクトルを図1に示します。1/fノイズの場合、スペクトル密度は周波数に反比例します。しかし、対数目盛では、スペクトル密度と周波数は線形的に関連しているように見えます。熱ノイズ、あるいはホワイトノイズは、周波数の関数として一定のままです。コーナ周波数は、1/fノイズ・カーブがグラフ上の熱ノイズと交差する部分です。

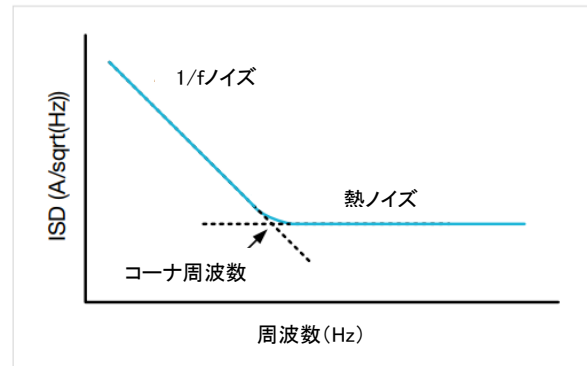


図1 デバイスの典型的な電流ノイズ・スペクトル

## デバイスの1/fノイズの測定

1/fノイズを求めには多くの方法がありますが、図2で示しているのがDC測定器を使う方法です。この例では、MOSFETのゲートとドレイン両方に電圧をかけて、一定のサンプル・レートでドレイン電流を測定します。電流計で取得した時間ベースの電流測定値は、FFT計算を行うことで電流ノイズ・スペクトル密度(ISD)と周波数に変換されます。FFT機能を使用するには、電流測定と時間測定が等間隔になることが必要になります。

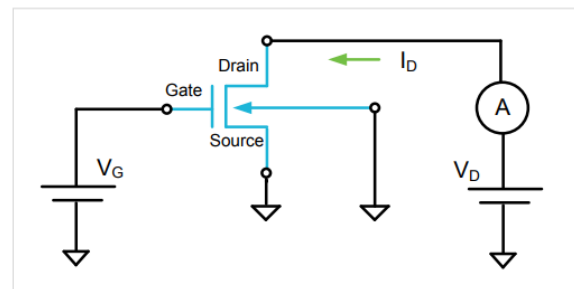


図2 MOSFETの1/fドレイン電流ノイズを測定するための回路

図3に示すように、回路内の2つの電源は、ソース電圧と電流の測定が可能な2つのSMU(またはPMUチャネル)に置き換えることができ、MOSFETのI-V特性の測定にも使用できます。この例では、SMU1は、ゲート端子に接続され、ゲート電圧を印加し、SMU2は、ドレイン端子に接続され、ドレイン電圧を印加しドレイン電流を測定します。

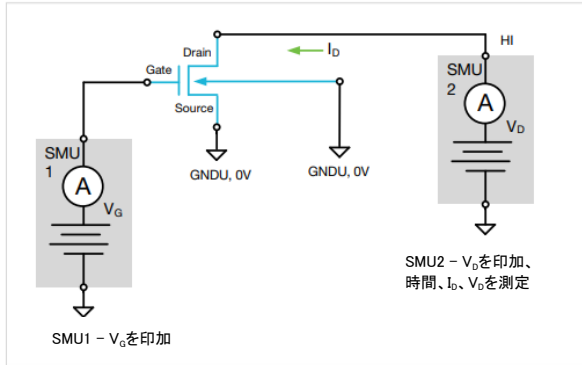


図3 2つのSMUを使用した1/fドレイン電流ノイズの測定

4200AのSMUは、 $6^{1/2}$ 桁の分解能を持ち、通常、PMUよりも低いDCノイズを持ちますが、電流測定速度は、PMUよりも遅く、帯域幅は低くなります。

PMUはノイズを犠牲にして高速電流測定を行うことが可能です。使用する機器のノイズは、期待されるデバイス・ノイズよりも十分に低いノイズ・レベルである必要があります。これは、次のセクションで説明するように、オープン回路で測定器のノイズ・レベルを導出することによって特定することができます。

## オープン回路によるSMUおよびPMUノイズの決定

SMUまたはPMUの機器ノイズは、オープン回路で導出されます。それらのノイズを判断するには、Force Hi 端子とSense HI 端子の両方に金属キャップをかぶせ、機器を1時間ウォームアップします。機器がプローバに接続されている場合は、テストを開始する前にプローブを上げます。

Clariusソフトウェアは、ノイズ試験において機器を制御するために使用されます。次節では、そのソフトウェアでSMUとPMUの両方のISDテストを設定する方法について説明します。

## SMU電流スペクトル密度 vs 周波数

Clariusライブラリにおける“*SMU current Spectral Density (smu-isd) test*”は、SMUによって取得された電流測定値および時間測定値から、周波数の関数としてISDを算出します。

Function	1	2	3	4	5
AI	4	5	6	*	EE
AV	1	2	3	-	(
IIM	.	0	F=	+	)
IR				^	,
PWR					
FREQ					
PTS					
T					

図4 *smu-isd* testの式

このテストをプロジェクト・ツリーに追加するには、Test Libraryで**smu-isd**を検索し、プロジェクト・ツリーに追加します。このテストでは、ノーマル・スピード・モードを使用して3つの異なる電流レンジでオープン回路電流を測定します。Formulatorでは、FFT方程式によって、図4の画面キャプチャに示すように、電流、電力、周波数、帯域幅、およびISDの実数成分と虚数成分が導出されます。FormulatorでのFFT関数の詳細は付録Aに記載されています。

電流はオープン回路で測定されるため、SMUのノイズ・フロアはこのテストで決定されます。周波数はタイミング設定によって変化します。

計算により、 $A/\sqrt{\text{Hz}}$ で測定される電流ノイズ密度が導出されます。これは、アンペアで測定される単なるDC測定のノイズと同じではありません。FFTで表される電流スペクトル密度はここでは次のように定義されます：

$$\text{ISD} = \sqrt{(2 * \text{PWR}) / (\text{PTS} * \text{BW})}$$

ここで、PWR は電流振幅二乗、または $\text{PWR} = \text{Im}(I)^2 + \text{Re}(I)^2$

IIM = FFT で計算された電流のフーリエ成分の虚数成分

IR = FFTで計算された電流のフーリエ成分の実数成分

BWは時間サンプリングの帯域幅

PTSはポイントの数であり、2のべき乗

帯域幅(BW)は、 $1/dt$ として定義され、dtは、2つの測定間の時間間隔であり、すべての測定間の時間間隔が一定値であると仮定します。

この試験から、パワースペクトル密度(PSD)は、以下の式を加えることによって導出することも可能です：

$$\text{PSD} = (2 * \text{PWR}) / (\text{PTS} * \text{BW})$$

図5は、このテストを使用して生成されたグラフで、4つの異なるレンジで0Vのオープン回路電流ノイズを測定したものです：

100mA、1mA、1 $\mu$ A、および1nA。このテストでは、デフォルトで使用される標準速度モードの代わりに、カスタム速度モードが使用されています。カスタム速度モードでは、タイミング・パラメータをさらに定義することができます。

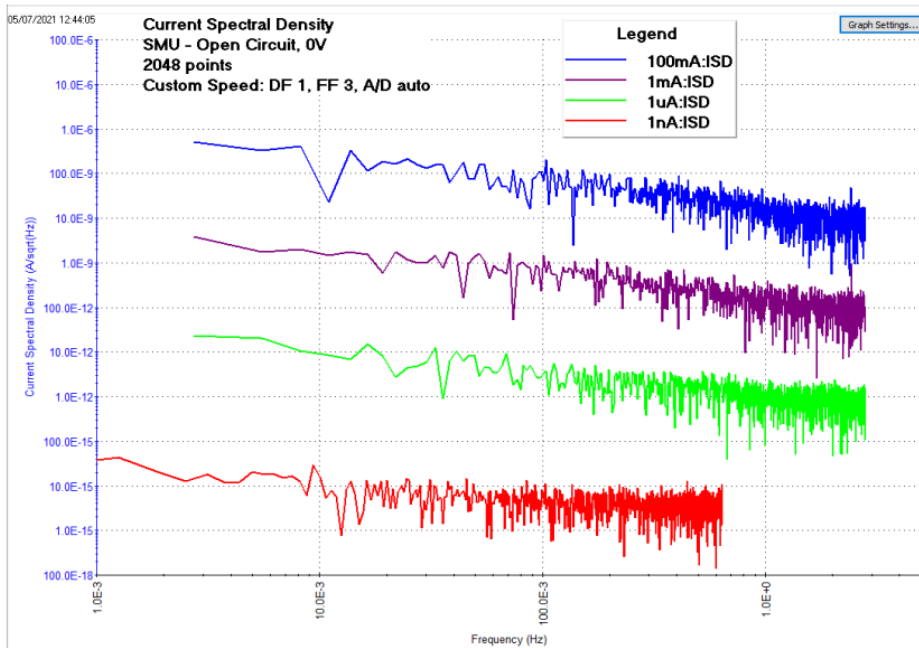


図5 SMUからのオープン回路電流データの電流スペクトル密度 vs. 周波数

SMUの測定速度は、Test Settings(テスト設定)ウィンドウで制御します。Custom Speedモードでパラメータを調整すると、帯域幅を定義するサンプリング・レートが変わります。SMUに対し直接測定時間を設定できない場合でも、時間、帯域幅、試験周波数を測定し、計算してSheetに戻すことができます。サンプリング・レートを上げると、ノイズはほぼ一定に保たれますが、ISDカーブは、サンプリング・レートの上げ下げによって、Frequency 軸上で左右にずれます。通常、速度モードを設定する場合、各測定の色度とノイズの間にはトレードオフが存在します。測定速度が速いほど、ノイズが高くなり、サンプル・レートを遅くして測定すると、帯域幅が小さくなり、ノイズが低くなります。この試験における読み取り値は、固定電流レンジで得られています。自動レンジではなく固定レンジを使用することは、FFT 計算に必要な各読み取り値の測定時間を一定に維持するために重要です。サンプリング・テスト・モードは、一定のバイアスを印加するため使用されます。このモードでは、読み値の数を入力する必要があります。FFT計算を行う場合に、たとえば多数の読み取り値が望ましいとしても、実用的ではありません。この例では、2048が2の累乗であるため、2048の読み取り値が取られています。FFT を使用すると、読み取り回数が自動的に2の次に低いべき乗に減少します。表1に *smu-isd* Testで使用される式をリストします。

表1 *smu-isd* Testの式

式	解説
IIM	虚数電流アレー: $IIM=FFT\_I(AI,0)$
IR	実数電流アレー: $IR=FFT\_R(AI,0)$
PWR	電力: $PWR=IIM^2 + IR^2$
FREQ	周波数アレー: $FREQ=FFT\_FREQ(TIME, 5)$
PTS	(FFT計算データの)総点数: $PTS=LASTPOS(IIM)$
T	(FFT計算データの) 総試験時間: $T=AT(TIME, LASTPOS(IIM))-AT(TIME, FIRSTPOS(IIM))$
BW	帯域幅: $BW=(PTS-1)/T$
ISD	電流スペクトル密度: $ISD=SQRT((2*PWR)/(PTS*BW))$

### PMU電流スペクトル密度 vs. 周波数

SMUと同様に、PMUのISDは、電流および時間の測定値とFFT計算から求めることができます。オープン回路でPMU 電流スペクトル密度を計算するテスト *pmu-isd* は、Test Library に存在し、プロジェクト・ツリーに追加することができます。このテストは、*PMU\_freq\_time\_ulib* ユーザ・ライブラリの *PMU\_sampleRate* ユーザ・モジュールを使用して生成できますが、同じユーザ・ライブラリ内の *PMU\_SMU\_sampleRate* ユーザ・モジュールをこのテストに使用することもできます。このテストでは、ユーザはCH1とCH2の両方の電圧バイアスを入力し、CH2の電流レンジを選択し、トータル・テスト時間とサンプル・レートを指定できます。*pmu-isd*テストのConfigureビューの画面キャプチャを図6に示します。

The screenshot shows the configuration interface for the *pmu-isd#1* test. It is divided into three main sections:

- Instrument Configuration:**
  - PMU\_ID: PMU1
  - primary\_SMU: SMU1
  - secondary\_SMU: SMU2
  - SMUs bias 0V only
- Test Setup:**
  - ch1\_V: 0 V
  - ch2\_V: 0 V
  - ch2\_IRange: 10 mA
- Timing Setup:**
  - SampTime: 1 s
  - SampRate: 2048 samp/s
  - Total Samples = SampTime \* SampRate
  - Total Samples must be less than 30000

図6 *pmu-isd* TestのConfigureビュー

SMU電流スペクトル密度測定と同様に、Formulatorには、テスト電流、電力、周波数、および電流スペクトル密度の帯域幅、実数および虚数成分を導出するためのいくつかの式があります。**pmu-isd** Testのこれらの式を表2に示します。タイミング、レンジ、点数、および他の設定に関する情報は、SMU電流スペクトル密度を導出するために説明されたものと同様です。

PMUの100 nA、100  $\mu$ A、10mAレンジでの電流スペクトル密度対周波数のグラフを示す画面キャプチャを図7に示します。データはオープン回路で取得されたため、これは、特定のサンプル・レート(SampRate)と総測定時間(SampTime)で取得された固定電流レンジでのPMUノイズの計算値を示しています。

表2:PMUスペクトル密度試験のFormulator

式	解説
IIM	CH2 の虚数電流アレー: $IIM=FFT\_I(MEASI\_CH2,0)$
IR	CH2 の実数電流アレー: $IR=FFT\_R(MEASI\_CH2,0)$
PWR	電力: $PWR=IIM^2+ IR^2$
FREQ	周波数アレー: $FREQ=FFT\_FREQ(TIMEOUTPUT, 20)$
PTS	(FFT計算データの)総点数: $PTS=LASTPOS(IIM)$
T	(FFT計算データの)総測定時間: $T=AT(TIMEOUTPUT, LASTPOS(IIM)) AT(TIMEOUTPUT, FIRSTPOS(IIM))$
BW	帯域幅: $BW=(PTS-1)/T$
ISD	電流スペクトル密度: $ISD=SQRT(2*PWR/(PTS*BW))$

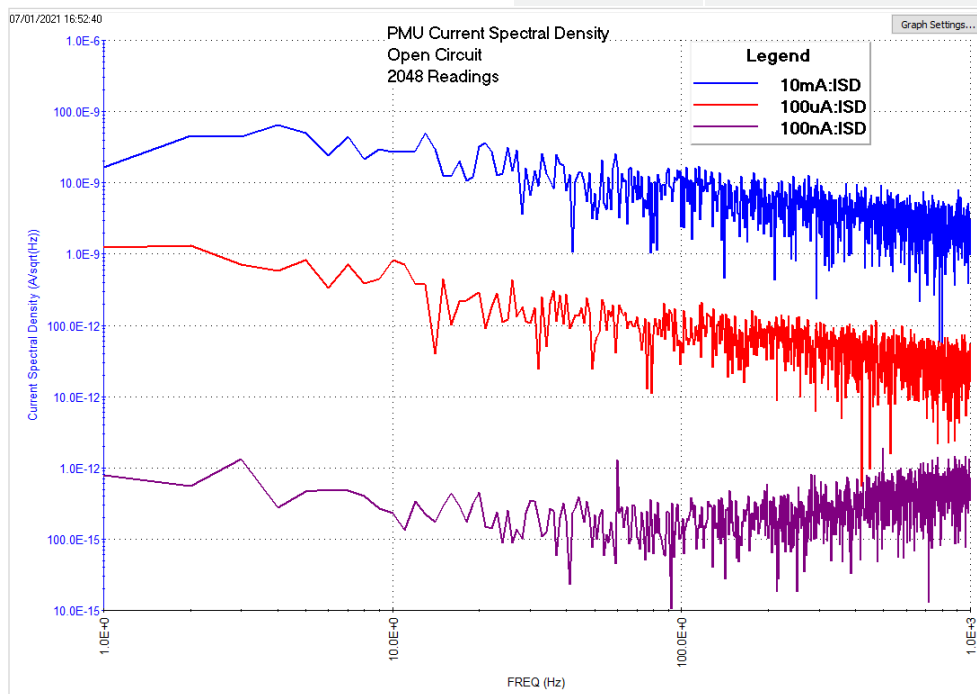


図7 PMU電流スペクトル密度

**pmu-isd** Testでは、CH1 とCH2 の電圧は両方とも0Vに設定されています。Configureビューで、総測定時間とサンプリング・レートを入力する。ポイント数は、サンプル・レート×総測定時間に等しくなります。FFT計算がデータに対して実行されるので、ポイントの総数が2の累乗となるように入力パラメータを選択します。

最良の結果を得るには、最小512ポイントと最大4096ポイントが最適です。実施例で生成されたカーブは、1秒のサンプル時間および2048サンプル/秒のサンプル・レートを使用しました。これらの数値は、次章で説明するように、周波数を変更するために調整可能です。

#### 最小および最大テスト周波数の設定

**PMU\_sampleRate** または**PMU\_SMU\_sampleRate** ユーザ・モジュールを使用してテストを作成すると、総測定時間と総点数の合計数から最小および最大の測定周波数を決定できます。

最小測定周波数は、最大総測定時間(SampTime)の逆数で算出されます：

$$\text{Freqmin} = 1/\text{SampTime}$$

例えば、総測定時間が100秒である場合、最小周波数=

$$\text{Freqmin} = 1/100 = 10 \text{ mHz}$$

最大測定周波数は、サンプル・レートまたは1秒あたりのサンプル数から算出される。ナイキスト定理によれば、特定のサンプル・レートから得ることができる最も高い周波数は、そのサンプル・レートを2で割ることによって導出されます。例えば、サンプル・レートが1024サンプル/秒である場合、最大周波数は512Hzになります。

#### サンプル・レートとテスト時間の調整による周波数範囲の拡大

**PMU\_sampleRate** または**PMU\_SMU\_sampleRate** ユーザ・モジュールを使用する場合、複数のテストを実行してグラフ上の周波数レンジを拡張できます。これは、各テストに独自のサンプル・レートがあるためです。例えば、図8にグラフ化されたデータは、100 nA PMUレンジで行われたオープン回路測定の5種類のテストのデータを結合したものです。各試験は1024ポイントですが、異なる測定時間およびサンプル・レートで実施しています。表3に、グラフの各測定毎の色、合計測定時間、サンプル・レート、および測定周波数レンジを示します。タイミング・パラメータを調整し、実行履歴で複数の測定にチェックを入れることで、グラフ上の周波数レンジを拡大できます。

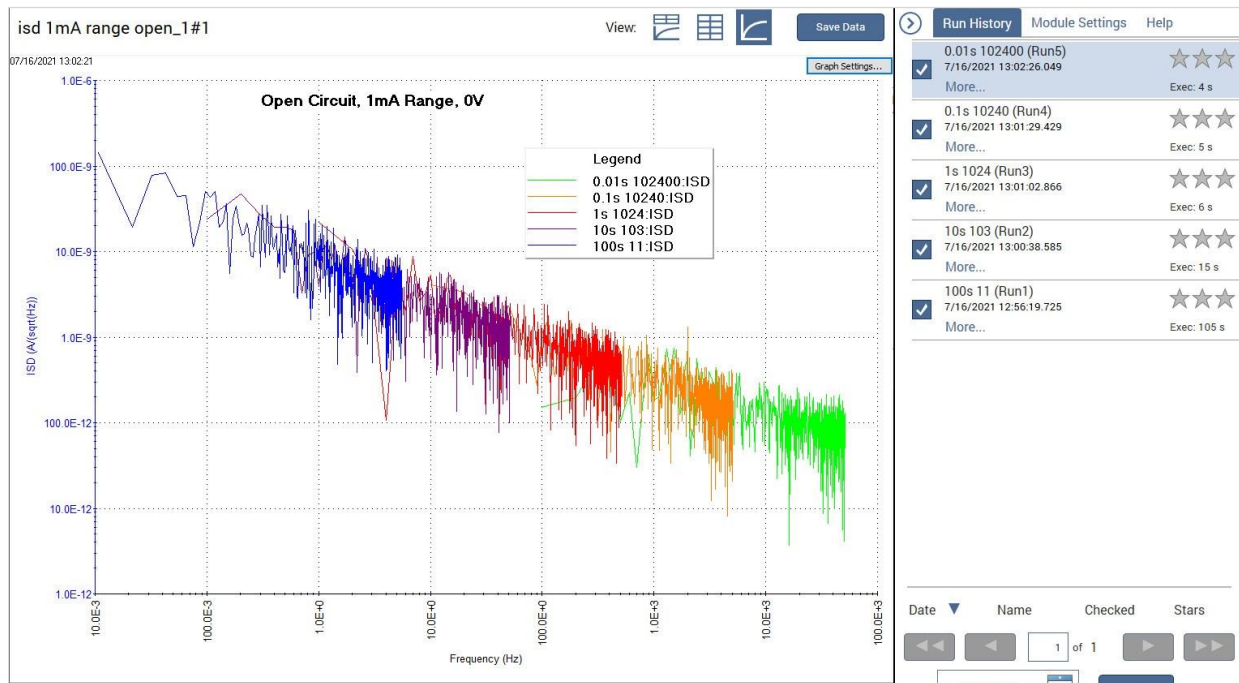


図8 複数の測定履歴をチェックして、グラフ上で周波数を拡張

表3 図8 のグラフのタイミング・パラメータ

Run #	グラフの色	総試験時間 (s)	サンプル・レート (samples/s)	周波数レンジ (Hz)
Run1	青	100	11	0.01-5.5
Run2	紫	10	103	0.1-51
Run3	赤	1	1024	1-512
Run4	オレンジ	0.1	10240	10-5120
Run5	緑	0.01	102400	100-51200

**MOSFETのドレイン電流の1/fノイズの決定**

Clariusライブラリには、MOSFETのドレイン電流の1/fノイズを決定するテストが存在します。そのテスト、*mosfet-isd*は、SMUを使用してゲートをバイアスし、PMUを使用してドレインをバイアスし、結果として生じるドレイン電流を測定します。SMUの電圧源はPMUよりもノイズは低くなりますが、PMUはSMUよりも速く電流を測定できます。ゲートのノイズは増幅され、ドレインに接続された電流計によって測定されることに注意してください。

*mosfet-isd* Testを使用するための回路図を図9に示します。

SMUをゲートに接続し、PMUをドレインに接続します。ソース端子とバルク端子は、0Vを出力するGNDUに接続されています。

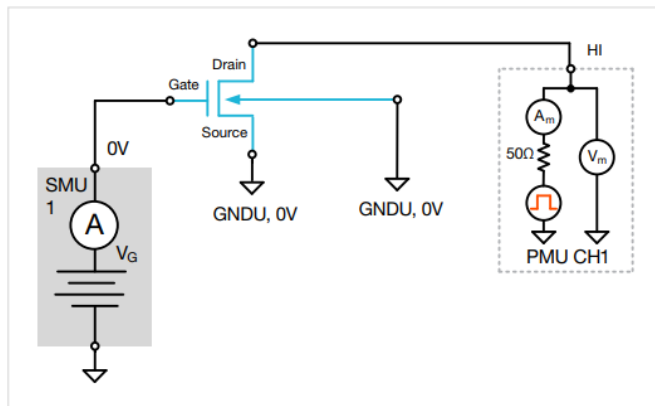


図9 SMUでゲート電圧を印加し、PMUでドレイン電流を測定

これらの測定を有効にするには、*mosfet-isd* Testをテスト・ライブラリからプロジェクト・ツリーにコピーします。このテストは、

*PMU\_freq\_time\_ulib* ユーザ・ライブラリの

*PMU\_SMU\_sampRate* ユーザ・モジュールを使用して作成されました。このテストのConfigurationビューを図10に示します。このテストでは、ユーザがPMUチャンネル、SMU番号、PMUおよびSMU電圧出力、PMU電流レンジ、総測定時間、サンプリング・レートを設定します。

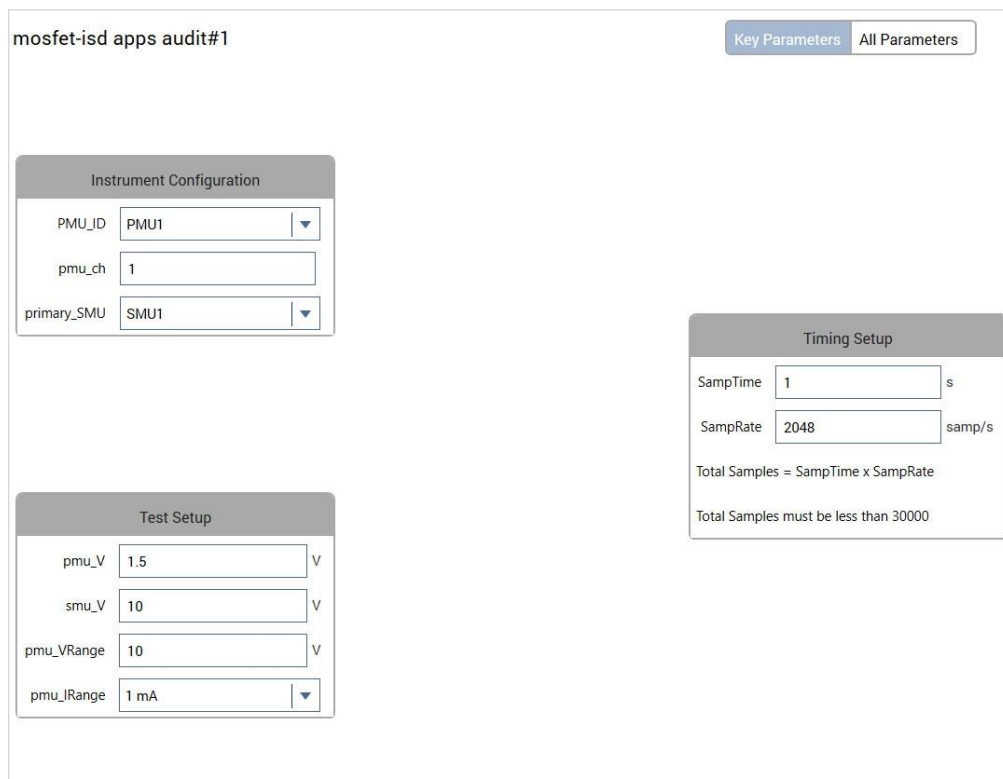


図10 *mosfet-isd* テストのConfigureビュー



このテストでは、SMU と PMU の両方が一定の電圧を出力し、一方、PMU は設定されたサンプリング・レートの電流を指定された時間周期で測定します。結果の電流と時間は、シートに返され、FFT方程式を使用して、時間ベースの測定値を周波数ベースの測定値に変換します。特に、電流スペクトル密度(ISD)と周波数が計算されます。MOSFET上のドレイン電流ノイズを測定した結果を図11に示します。

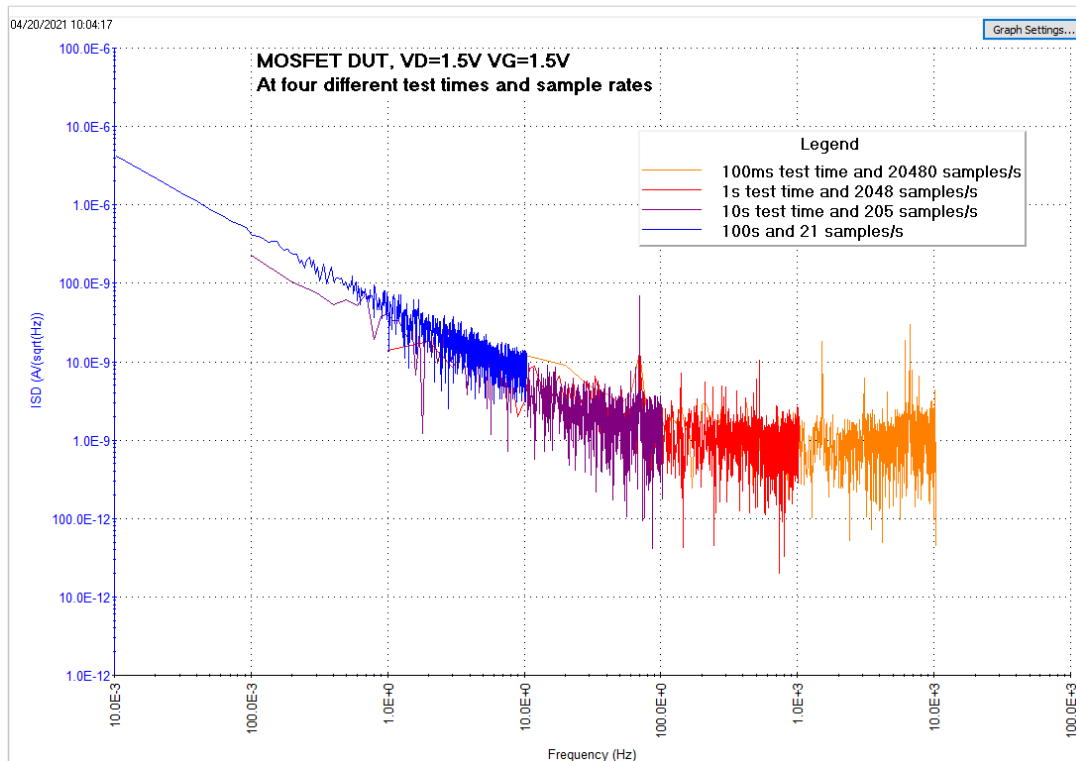


図11 MOSFETドレイン電流ISD vs. 周波数

この代わりに、図12の構成に示すように、SMUを使用してゲートにバイアスを与え、ドレイン電流を測定することが可能です。ソース端子とバルク端子は、GNDUに接続されています。タイミング設定と電流レンジに応じて、帯域幅は約1mHzから<math>50\text{Hz}</math>の範囲内にすることができます。SMUの分解能は6 1/2桁です。この試験は、SMUを使用し、FFTの式を追加して電流測定値を周波数ドメインに変換する新しいITMを使用して容易に生成することができます。

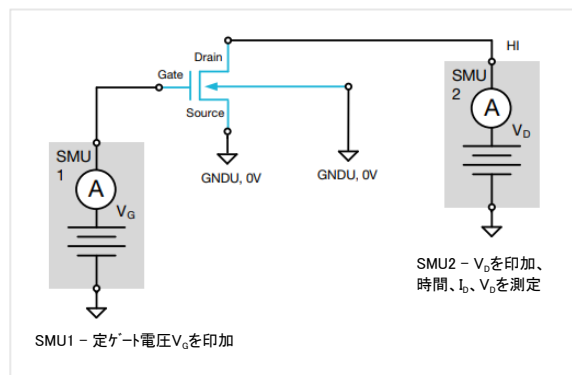


図12 2台のSMUをMOSFETのゲートとドレインに接続

より高い帯域幅に対する代替案として、図13の例に示すように、2つのPMUチャネルを使用して1/fドレイン電流ノイズを測定します。PMU CH1はゲートに電圧バイアスを印加し、PMU CH2はドレイン電圧を印加し、ドレイン電流と時間を測定します。

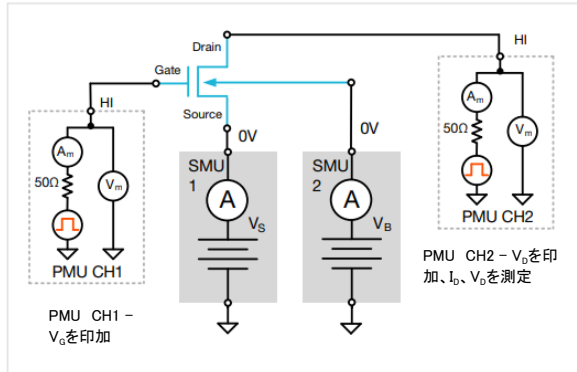


図13 2つのPMUチャネルを使用してGate電圧を印加し、ドレイン電流と時間を測定

### 2端子デバイスでの1/fノイズ測定の設定

1/fノイズは2端子デバイスでも導出可能です。以下の節では、ダイオード上でこれらの測定を設定する方法について説明します。

図14に示すように、2端子デバイスのテストには1つのSMUを使用します。この例では、SMUをダイオードのアノードに接続し、グラウンド・ユニット(GNDU)をカソードに接続しています。SMUは、ダイオードをバイアスし、結果として生じる電流および時間を測定します。ISDを導出するために、ライブラリからの**smu-isd** Testを使用します。

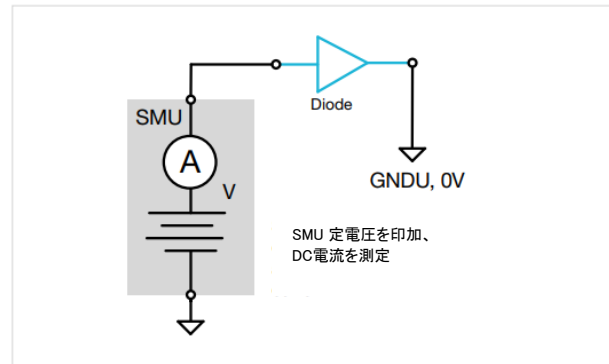


図14 単一のSMUを使用して定電圧を印加し、DC電流とDC時間を測定

別の方法は、SMUを使用して電圧を印加し、PMUを使用して結果として生じる電流を測定することです。その場合、SMUの電圧源はPMUのそれよりノイズが低いが、SMUより高速に測定が可能で、より高い周波数を得ることが可能です。

図15の例では、SMUはダイオードのアノードに接続され、電圧を供給します。PMU CH1はカソードに接続され、結果として生じる電流と時間を測定します。この設定を使用するには、新しいカスタム・テスト(UTM)を作成します。Configureビューにおいて、**PMU\_freq\_time\_ulib**のユーザ・ライブラリにおける、**PMU\_SMU\_sampleRate**のユーザ・モジュールを選択します。

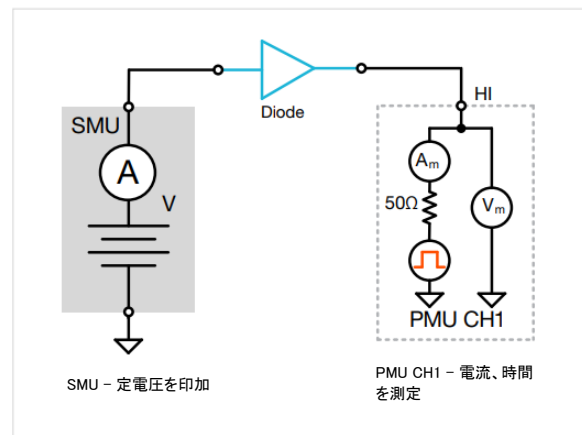


図15 ダイオードへのSMUでの電圧バイアスおよびPMUでの電流測定

最後に、3番目の方法として、2つのPMUチャンネルを使用して電圧を供給し、電流を測定します。この方法は、最も高い帯域幅を持ちますが、ノイズ量も最も高くなります。

図16は、ダイオードの両側に接続された2つのPMUチャンネルを示しています。PMU CH1は定電圧を印加し、PMU CH2で結果として生じる電流と時間を測定します。ライブラリの`pmu-isd` Testを使用して、この設定を実行することができます。

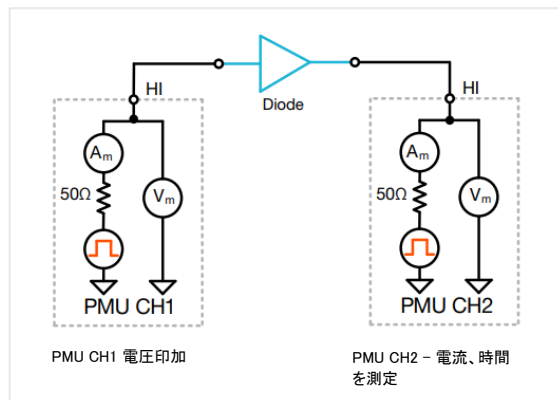


図16 2つのPMUチャンネルを使用してダイオード電流を測定

### まとめ

必要なノイズ・レベルと周波数に応じて、PMU とSMU の両方を使用して、デバイスの1/f ノイズ測定を行うことが可能です。ユーザは、オープン回路と付属のライブラリ・テストを使用して、特定のテスト構成のノイズ・フロアを検証できます。ビルドインされているテストおよびFFT関数は、時間ドメインの測定値を周波数ドメインに変換するために使用されます。

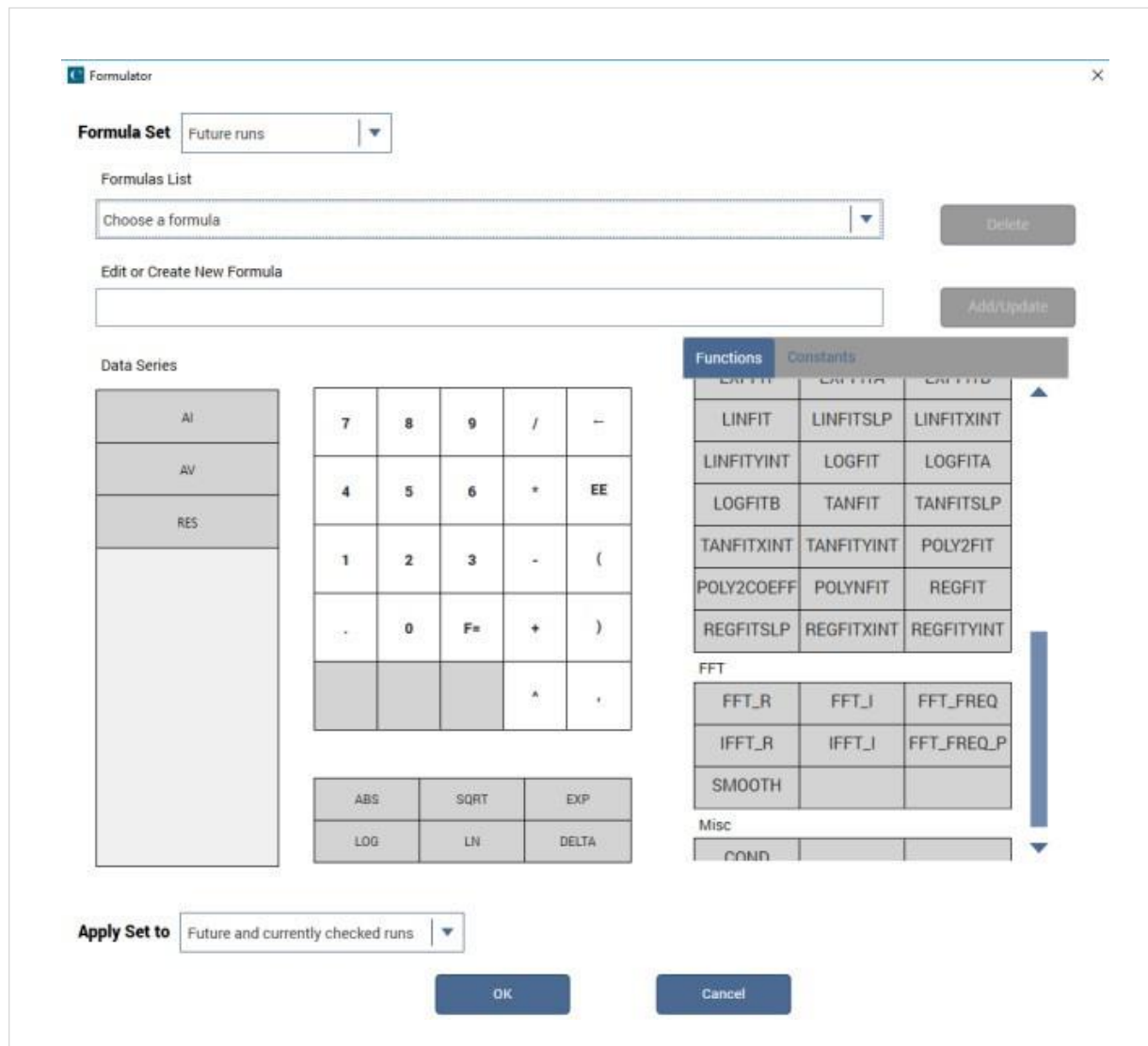
これにより、データを別のツールでダウンロードして分析する必要がなくなるため、ユーザは重要なテスト結果をはるかに高速に取得することが可能です。

## 付録A

## Clarius FormulatorにおけるFFTに関連する関数

Clarius ソフトウェアには、テストデータや他の関数式計算を行えるFormulatorが内蔵されている。Formulatorは、さまざまな計算機能、一般的な数学演算子、および一般的な定数を提供する。Clarius V1.9リリース以降、FFT式がFormulator に追加された。FFT関数を使用したFormulatorのスクリーンキャプチャを図17 に示す。

図17 FFTはClarius ソフトウェアのFormulatorで機能する



組み込みのFFT関数とその説明を表4に示す。これらの方程式は、実数および虚数入力アレーに対してFFTまたは逆FFTを実行し、次いで実数または虚数成分を出力することができる。2つの式は、入力時間アレーから周波数のアレーを返す。スムーズ関数は、高周波成分をゼロにすることによって、入力アレー上でデジタルフィルタリングを使用できる。

表4 FFTの式と解説

式	解説
FFT_R(実数、虚数)	与えられた実数と虚数入力アレーに対してFFTを行い、計算されたFFTの実数成分を出力する。
FFT_I(実数、虚数)	与えられた実数と虚数入力アレーに対しFFTを行い、計算されたFFTの虚数成分を出力する。
IFFT_R(実数、虚数)	与えられた入力アレーに対して逆FFTを行い、1/Nでスケールされた実数部分を返す。Nはサンプル数。
IFFT_I(実数、虚数)	与えられた入力アレーに対して逆FFTを行い、1/Nでスケールされた虚数部分を返す。Nはサンプル数。
FFT_FREQ(時間、許容値)	入力時間アレーから、FFT出力の周波数に対応する周波数の配列を返す
FFT_FREQ_P(時間、許容差)	入力時間アレーから、FFT出力の周波数に対応する正の周波数のみの配列を返す
Smooth(X、パーセント)	高周波成分をゼロにすることで、入力アレーに対してデジタルフィルタリングを実行する。

FFT式を使用する場合は、等間隔の時間間隔でデータを取得するのが最適である。時間配列を周波数の配列に変換する場合、FFT\_FREQ関数を使用すると、許容値パラメータを入力して、連続して間隔を空けられた時間データが均等に間隔を空けられているかどうかを判断できる。入力時間配列の2点間の、パーセンテージで表されるデルタが許容値より大きい場合、#REFがシートに返される。

計算された実数および虚数データアレーの出力サイズは、2の累乗となる。結果として、取得されるデータ点の理想的な数は、64、128、256、512、1024などの2のべき乗である。データポイントの数が2の累乗でない場合、返されるポイントの数は、次に低い2の累乗に減少する。

連絡先情報:

オーストラリア1 800 709 465  
オーストリア\* 00800 2255 4835  
バルカン半島、イスラエル、南アフリカ、その他の伊勢諸国 +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 +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  
Japan 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、中南米、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800 800 238  
ノルウェー800 16098  
中華人民共和国 400 820 5835  
フィピン1 800 1601 0077  
ポーランド+41 52 675 3777  
ポルトガル80 08 12370  
韓国+82 2 565 1455  
ロシア/ CIS +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  
英国 / アイルランド\* 00800 2255 4835  
USA 1 800 833 9200  
ベトナム12060128

\* ヨーロッパのフリーダイヤルアクセスできない場合、電  
話: +41 52 675 3777

Rev. 02/2018



TEK.COM ([Link](#))でより貴重な資料を見つける

著作権© Tektronix. 無断転載を禁じます。Tektronix 製品は、米国および外国の特許の対象となり、発行済みであり、係属中です。

本書の情報は、以前に公開されたすべての資料の情報に取って代わるものです。仕様および価格変更権限が予約されています。TEKTRONIXおよびTEKIは、Tektronix, Inc.の登録商標です。その他のすべての商号は、各社のサービスマーク、商標または登録商標です。

083021 SBG 1KZ-73835-0

