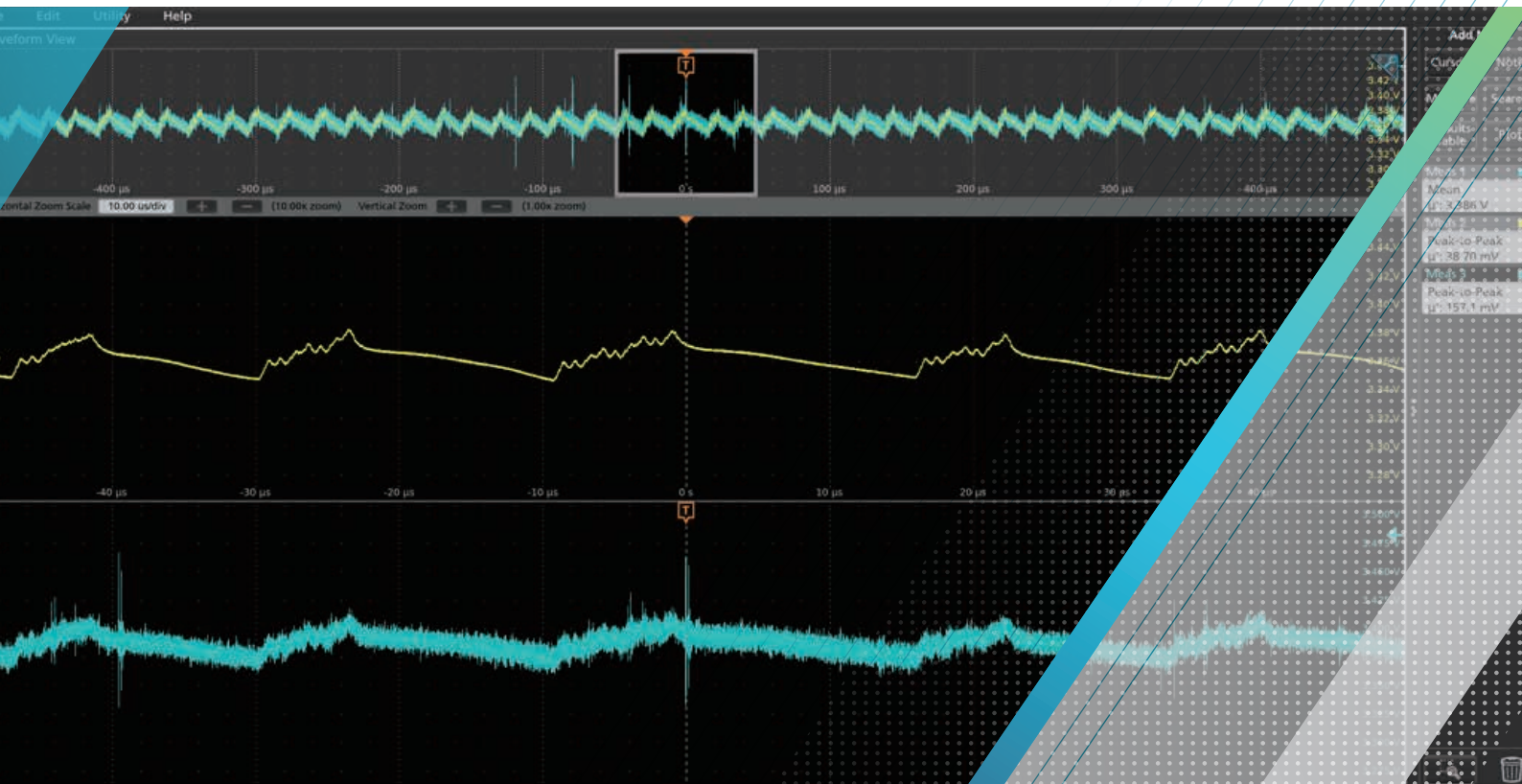


パワーレール測定入門

アプリケーション・ノート



今日、ほとんどの電子回路設計は、正しく機能するためにさまざまな電圧の電源が数多く必要になっています。実際、回路内にある多くの部品は複数の電圧を必要とします。複数のテクノロジーが搭載されたシステム・オン・チップやマイクロプロセッサを使った回路では特に顕著です。

DCのパワーレール測定は、以下のような要因によってますます難しくなっています。

- 電源効率を向上させるためのパワー・ゲーティングやDVFS (Dynamic Voltage and Frequency Scaling、動的電圧・周波数制御)
- 高速なトランジェントを持つ負荷変動
- 増加するクロストークとカップリング
- 高速な立上り時間を持つスイッチング・レギュレータ

このような課題に対し、システムの各要素で要求される正しい電源をどのように確保したらよいのでしょうか。

始めに、パワーレールおよびその特長の全体像を考察してみましょう。

各DCラインの電源が、ターゲット・システム/デバイスの許容範囲内にあることを確認することが重要です。これには、ラインの公称DC値、ACノイズまたはカップリングの有無が含まれます。パワーレール信号のACノイズは、広帯域ノイズ、周期性イベント、トランジェント・イベントに分解できます(図1)。

これらすべてのノイズ源は、デバイスに供給される電源品質に影響します。このノイズを適切に抑えることで、ターゲット・デバイスは正しく機能できるようになります。

このノイズを抑える前に、このノイズを観測し、正確に測定しなければなりません。しかし、パワーレール測定には以下のような独特の問題点があります。

- 周波数帯域
- システム・ノイズと、プローブによって付加されるノイズ
- ACカップリングとDCの入力カップリングのトレードオフ
- パワーレールの負荷問題

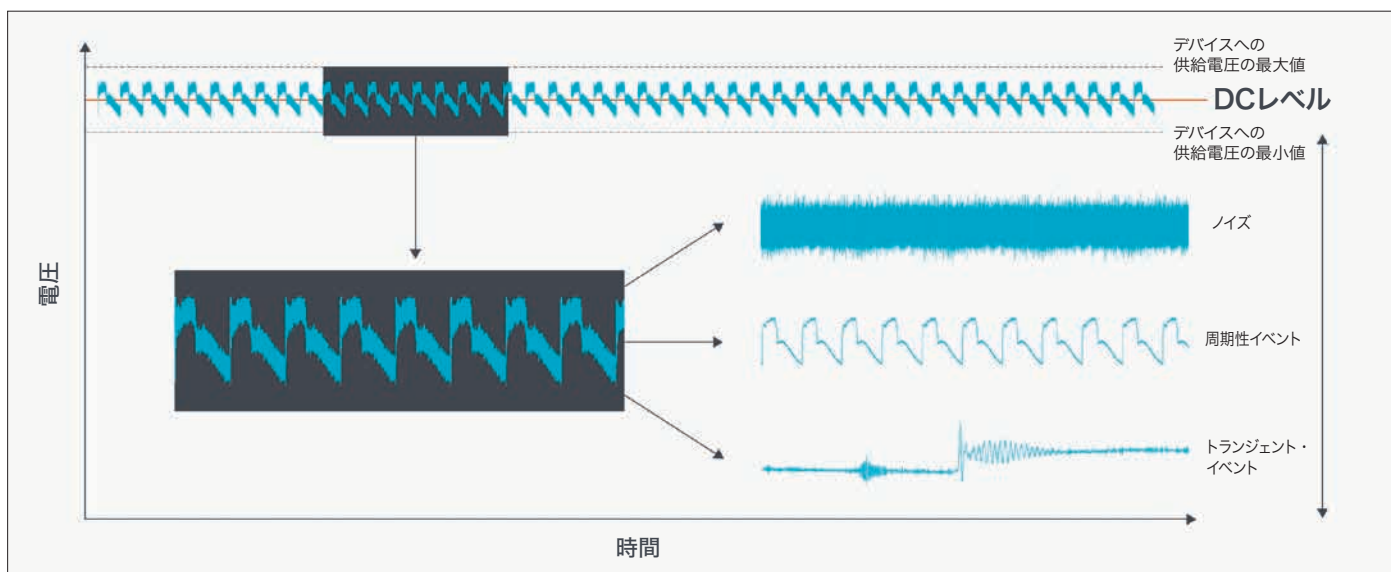


図1. DC電源ノイズの成分

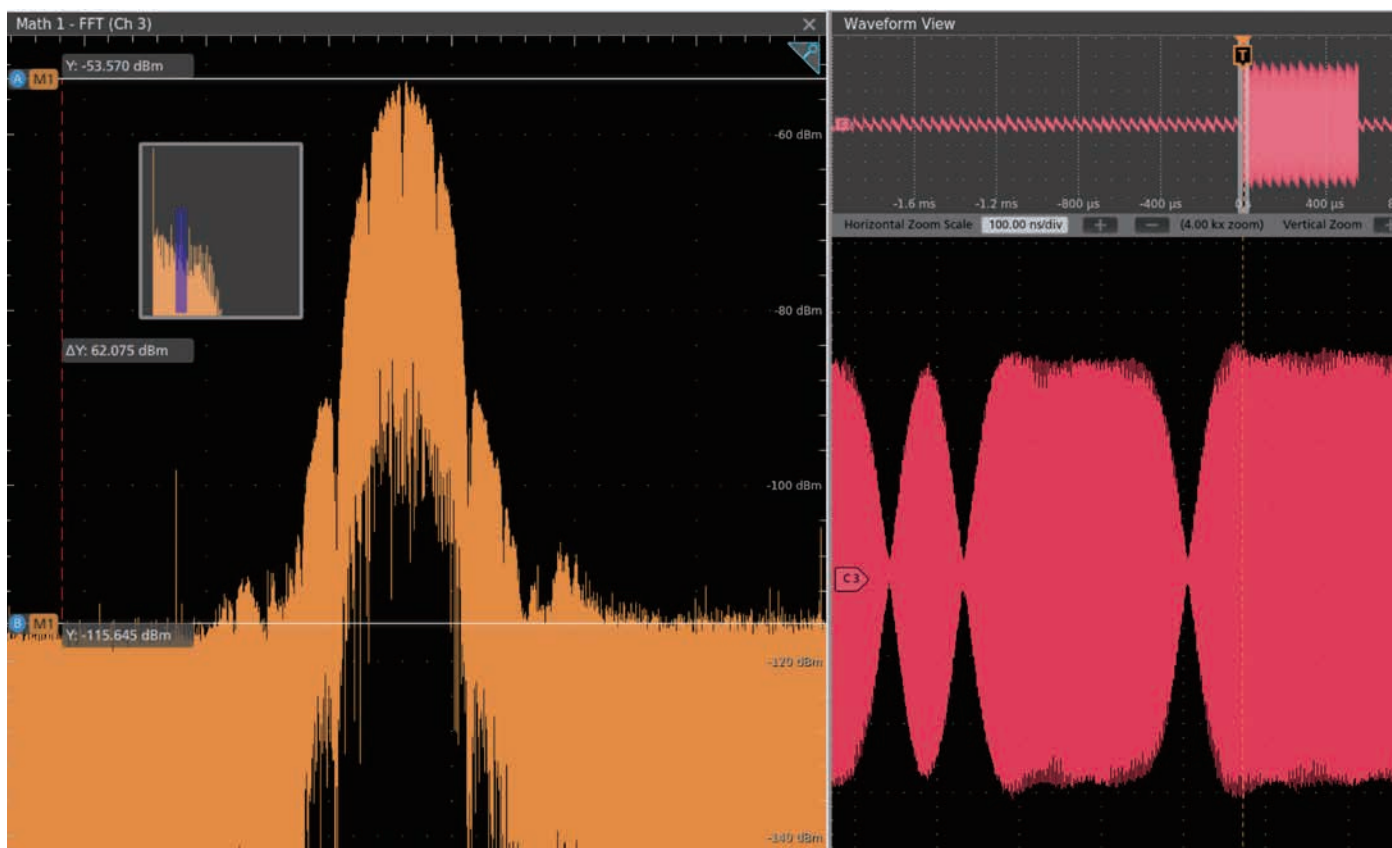


図2. Ch3 (赤の波形) はパワーレールの波形であり、ラインに結合した高周波信号の干渉が見られる。このエネルギーが大きいと、デバイス動作の妨げや、デバイス損傷の原因になる。

周波数帯域

多くの電源供給設計では、測定システム帯域は数十MHzあれば十分に思われます。ほとんどのスイッチング電源は、数百kHz～数MHzでスイッチングします。大型の装置や高い電圧で動作するデバイスでは、ノイズは大きな問題にはなりません。したがって、20MHz以上のノイズ成分はほとんど問題になりませんでした。

しかし、設計回路の寸法は小さくなり、供給電圧は下がり、電圧変動に対する耐性も下がってきています。電源の供給ネットワークは伝送線路と同様な解析が必要となり、クロス・カップリング、ライン・インピーダンス、共振周波数などを調べるようになっていきます(図2)。

また、重要なこととして、電力変換デバイスの基本スイッチング周波数は比較的ゆっくりですが、エッジの速度、立上り時間は一般的に高速であり、スイッチング損失を抑えるようになっています。このエッジと他の干渉により、電源供給ネットワークでは、より高い周波数でノイズ、高調波を発生することがあります。ターゲット・デバイス、回路の機能によっては、このような高次の高調波によって誤動作することがあります。高周波の干渉に関連する問題を診断するには、十分に広帯域のオシロスコープとプローブを選んでこのイベントを観測することが重要になります。テクトロニクスでは、このニーズに対応するための1GHzと4GHzのパワーレール・プローブを用意しています。

測定に適した接続方法の選択

パワーレールのプロービング・ソリューションを検証する場合、DUTへの接続が品質測定において最も重要なポイントになります。グラウンドに対して小さなインダクタンス、小さなキャパシタンスで接続できれば、リングングを抑えることができ、周波数帯域を有効に利用できます。このような接続は、実際にははんだ付けアダプタと高性能コネクタを使用することで実現できます。確定していないポイントで繰返しテストする場合、マイクロ同軸およびフレックスはんだ付けアダプタを使用することでDUTと半永久的に接続できます(図4)。MMCXケーブルなどの小型形状のRFコネクタと、テクトロクスのパワーレール・プローブを使用することで、テストする信号に対して繰返し、確実にアクセスできます。このような接続方法はシグナル・インテグリティに優れていますが、ターゲット・デバイスに修正を加えたり、システムを設計する際にテスト・ポイントを予定しておく必要があるため、どのような場合でも使いやすいとは言えません。すばやく、より簡単にプロービングするためには、ブラウザとアダプタを使用します。1GHz帯域までであれば、テクトロクスはTPRBRWSR1G型を用意しており、簡単にプロービングできます。小さなコンポーネント・クリップとスクエア・ピン・アダプタが付属しているため、テスト・ポイン

トに簡単に接続できます。小さなコンポーネント・クリップとスクエア・ピン・アダプタが付属しているため、テスト・ポイントに簡単に接続できます。

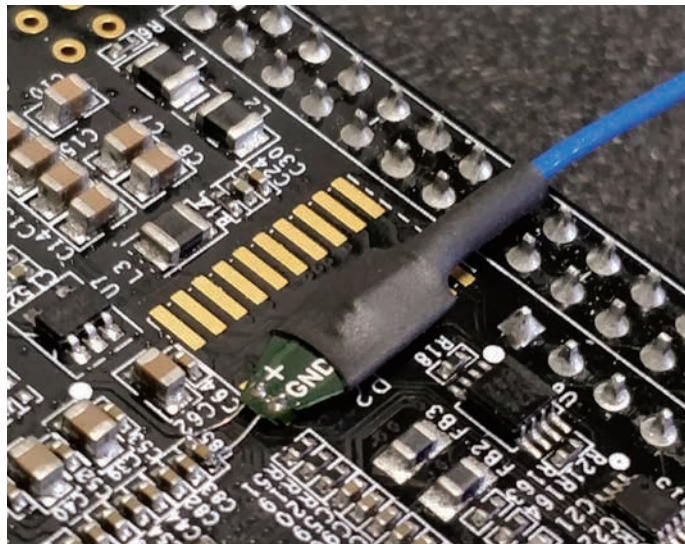


図4. 0402サイズのデカップリング・キャパシタに接続したTPR4SIAFLEX型はんだ付けアダプタ



図3. TPR4000型、TPR1000型用のモジュラ構造とはんだ付けアクセサリにより、どのような作業でも適切な接続方法が選べる。

重要なことですが、ほとんどのブラウザ・アクセサリは、使用することでシステムの周波数帯域を低下させます。例えば、フライング・リードのスクエア・ピン・アダプタには、通常は数百 MHz 以上の有効帯域はありません。クリップ、その他の接続アクセサリを使用すると、さらに帯域は低下します。

接続方法で最後に考慮しなければならないことに、テストを実行するときの周囲環境があります。システム検証では、過酷な温度環境下で設計をテストする必要があります。TPR4KITHT 型には、特別に設計された耐温度ケーブルとはんだ付けチップが含まれており、 $-55\sim+155^{\circ}\text{C}$ の温度範囲でデバイスをテストできます。

測定システムと周囲ノイズの対応

ベースラインの測定

半導体プロセスのジオメトリが小さくなって電源電圧が下がると、DC 電源にのった小さな変動を観測するために低ノイズ測定が必要になります。また、多くの設計では電源のインテグリティ (品位) に対してより厳密に焦点が当てられます。その影響が現れるものの一つが、電源ごとの厳しいトレランス (耐性) です。この測定では、オシロスコープが非常に小さなノイズ特性を持っているだけでなく、オシロスコープに接続するプローブのノイズも小さいことが必要になります。測定する機器に加わるノイズが小さいほど、観測される信号は実際のデバイスの動きに近くなります。

オシロスコープと、それに接続するプローブによるベースライン・ノイズを測定することで、システムのトータルノイズ性能が把握できます。信号がない状態における、入力電圧のピーク・トゥ・ピーク、実効値 (RMS) を測定するだけで、プローブ接続によって追加されるノイズの比較が可能になります (図5)。

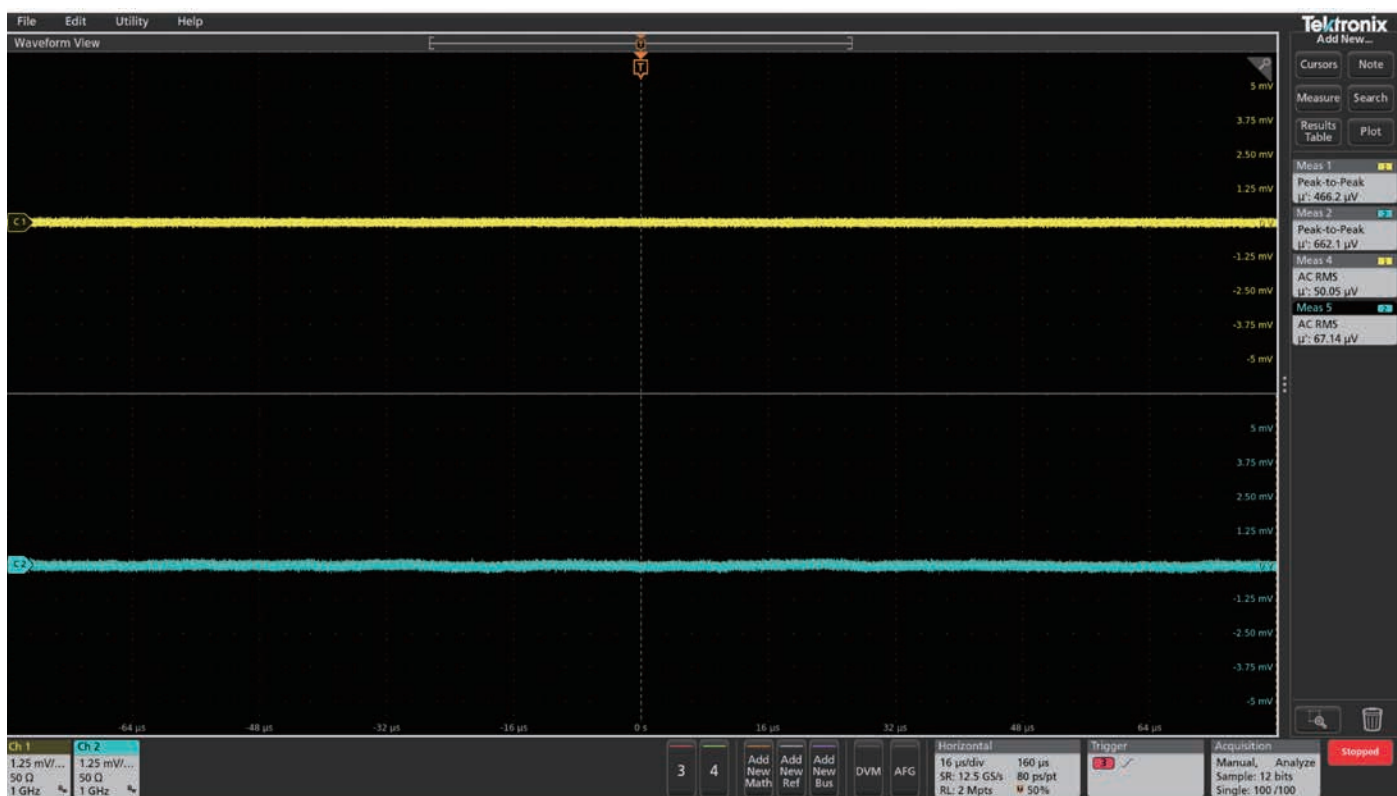


図5. Ch1 (黄の波形) は何も入力していないオシロスコープ・チャンネルであり、Ch2 (青の波形) は TPR1000 型を接続して入力を短絡したものである。1GHz 帯域では、プローブを接続したことでオシロスコープ入力にわずか $17\mu\text{V}$ のノイズしか加わっていないことがわかる。

パワーレール測定で10：1受動プローブを使用する場合の問題点

減衰比の大きなプローブは、大きく変化する信号を観測する場合に大きなダイナミック・レンジが得られる一方、減衰比の小さなプローブに比べると測定ノイズが大きくなります(図6)。これは、信号が減衰比で分割されることにより、測定システムのノイズ・フロアに近づいてしまうためです。これは、SNR (Signal-to-Noise、S/N比) を計算することで理解できます。

$$SNR = \frac{V_{in}}{(減衰比) \times (V_{noise})}$$

例えば、入力が10mV、ランダム・ノイズの仕様が200μV(この仕様は、オシロスコープのデータ・シートに記載されており、一般にVrmsの単位になっています)の場合、10：1のプローブのSNRは、次のようになります。

$$\frac{10mV}{(10) \times (200\mu V)} = 5:1$$

一方、減衰比の小さな、1.25：1のプローブのSNRは以下ようになります。

$$\frac{10mV}{(1.25) \times (200\mu V)} = 40:1$$

ノイズ性能における垂直軸スケール設定の影響

オシロスコープのノイズ性能は垂直軸感度の設定で決まり、高い感度では、低い感度に比べて優れたノイズ性能になります。画面いっぱいに表示させることでより高い分解能が得られ、オシロスコープによる正確な信号再生が可能になります。垂直軸感度が低いと、実際よりも大きなピーク・ノイズが表示されることがあります(図7)。

その他のノイズ抑制方法

テクトロニクスの4/5/6シリーズMSOにはハイレゾ (Hi Res) などの機能があり、より高いサンプル・レートによって分解能を上げ、さらにノイズを抑えることができます。これは、設定されたサンプル・レートに応じた、独自の無限インパルス応答 (FIR) ハードウェア・フィルタを適用することで実現しています。このFIRフィルタにより、設定されたサンプル・レートで測定可能な最高周波数帯域を維持しつつ、エイリアシングを防ぎます。ハイレゾ・モードはリアルタイムで機能するため、他の波形アベレージングと違い、トランジェント・イベントや単発取込みでも使用できます。

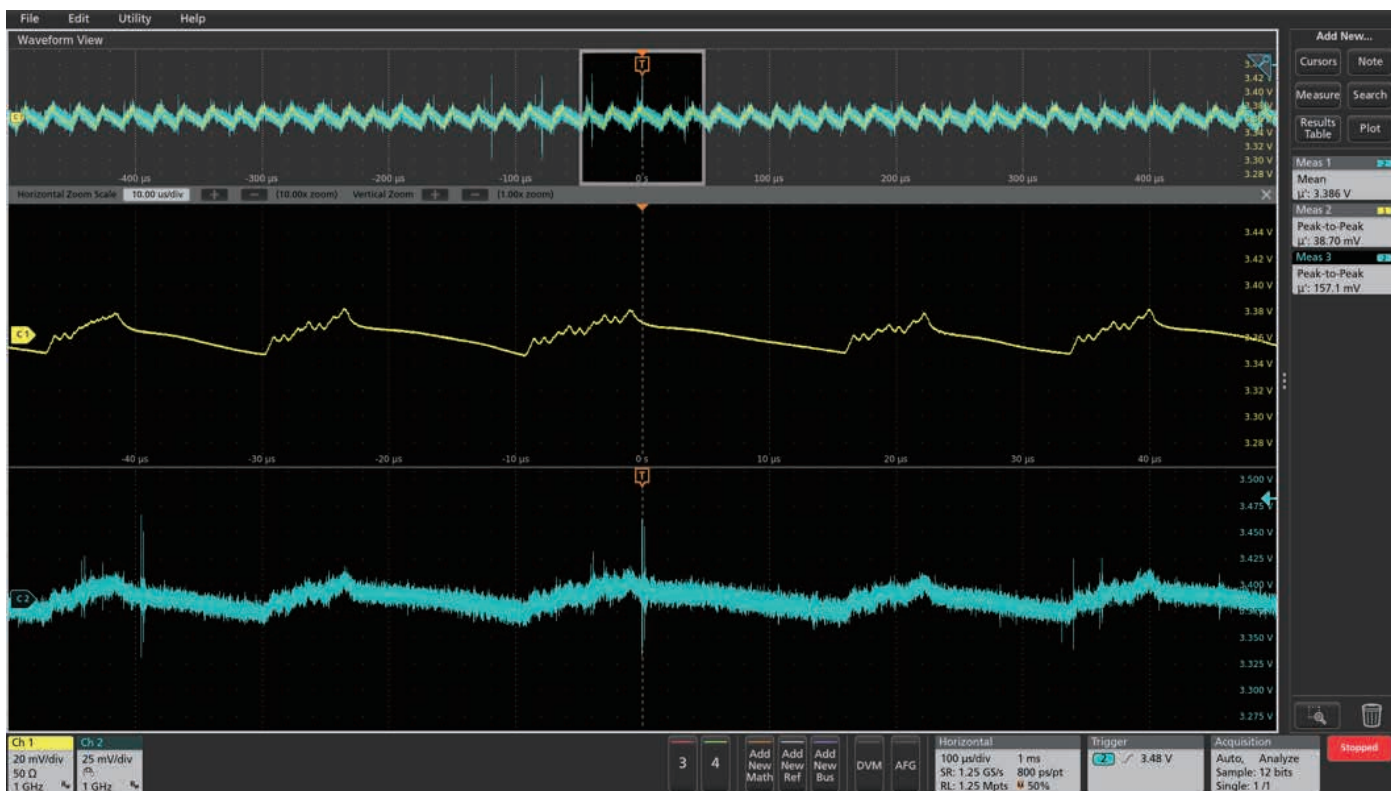


図6. Ch2 (青の波形) は従来の10：1受動プローブによる157.1mVのピーク・トゥ・ピーク・ノイズであり、Ch1 (黄の波形) はテクトロニクスのTPR1000型パワーレール・プローブを使用したものであり、ピーク・トゥ・ピーク・ノイズは38.7mVになっている。

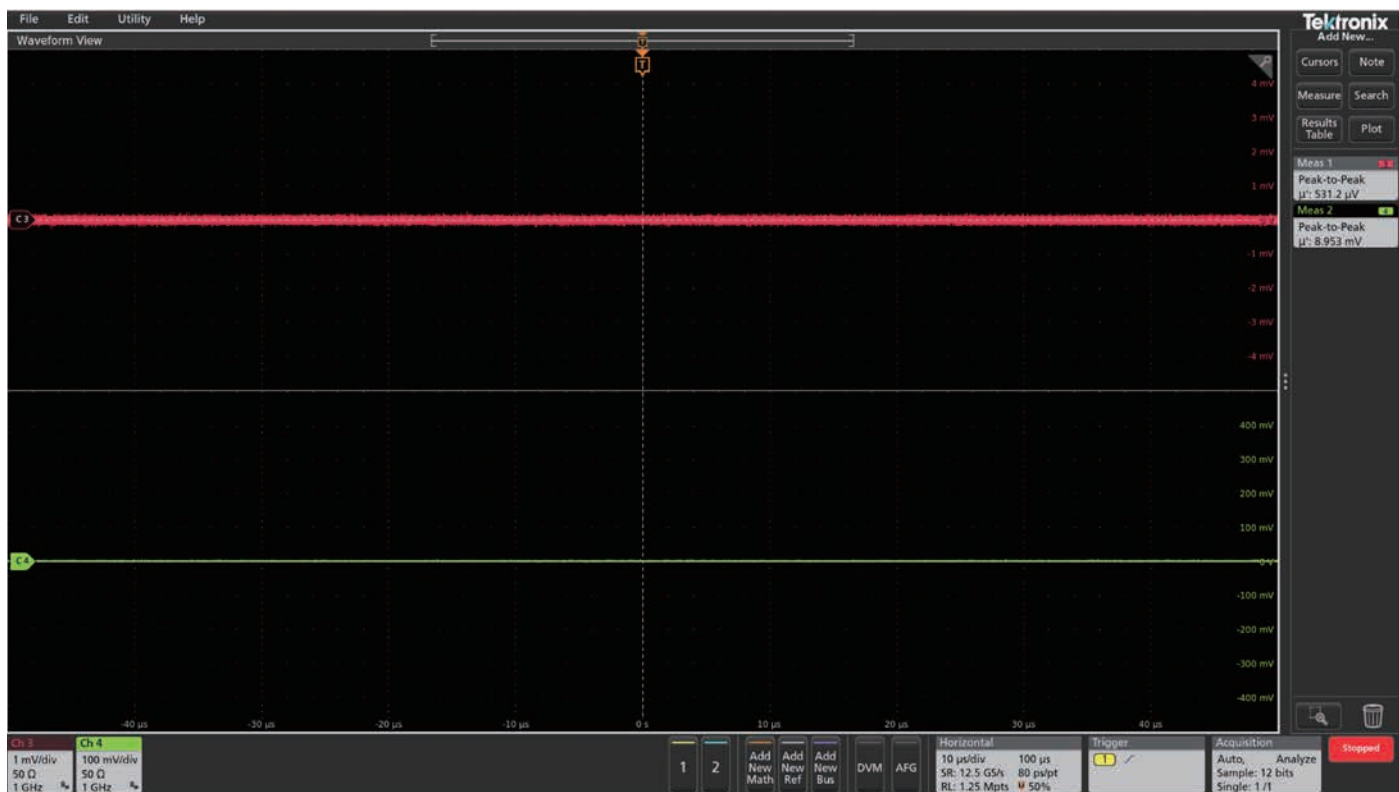


図7. ランダム・ノイズ測定における垂直軸スケールの影響の例。どちらのチャンネルも何も接続していない。Ch3のスケールは1mV/divであり、ピーク・トゥ・ピーク・ノイズは521.2 μV、Ch4のスケールは100mV/divであり、ピーク・トゥ・ピーク・ノイズは8.953mV。Ch4のノイズは約17倍になっている。Ch4の8.953mVは、フルスケール電圧の1%未満である。

オシロスコープの正しい入力カップリングの選び方

パワーレール測定におけるDCオフセットの問題点

多くの設計ではバルク電源を使用しており、この出力電圧からさまざまなDC/DCコンバータを経由して各ICやシステムに必要な電圧に変換されます。バルク電源の電圧は、ICに必要な電圧の何倍にもなることがあります。例えば、自動車では12VのDC電圧を1V未満の電圧に変換し、インフォテインメントや安全システムのプロセッサを動作させます (図8)。

また、データ・センタにおいても、12、24、48V DCでサーバに電源を供給するのはめずらしいことでなく、マザーボード上で必要な電源電圧に変換します。電源の出力からICのピンまでの電源供給チェーンの各パートで電源電圧が観測できれば、他の電圧ドメインから伝送されるノイズが特定できます (図9)。

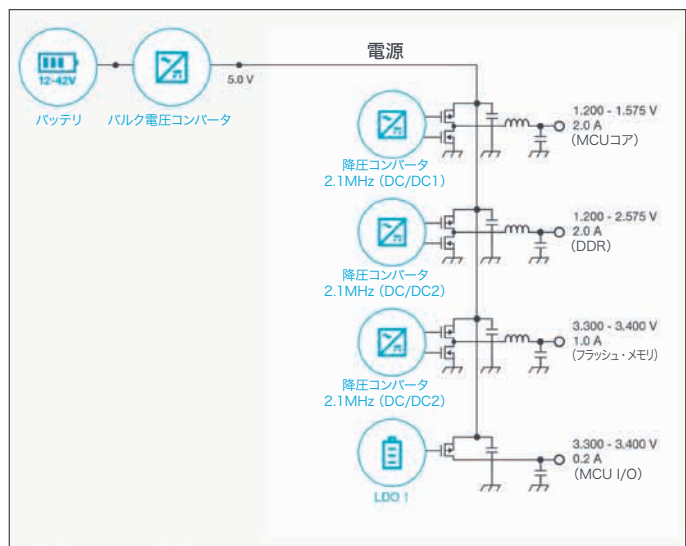


図8. 自動車のインフォテインメントの電源供給システム図

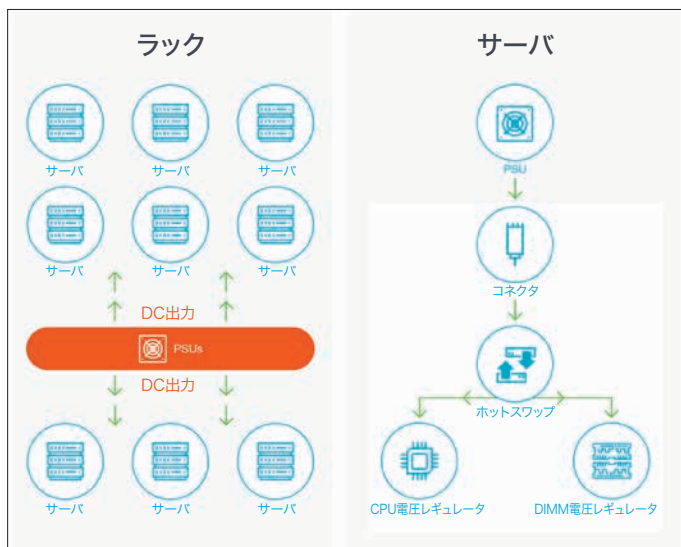


図9. サーバ電源供給のシステム図

このため、十分なオフセット機能を持ったプローブを選び、電源供給ネットワークのすべてのレールを観測することが重要になります。多くのオシロスコープのフロント・エンドは、選択した垂直軸感度によ

り、利用できるオフセットに制限があるため、これが困難です。つまり、小さなV/div設定では十分なオフセットが得られません（前のセクションでは、垂直軸感度を正しく設定することは測定結果に大きく影響することを説明しました。）。大きな減衰比のプローブには大きなオフセット機能がありますが、前のセクションでも説明したように、減衰比の小さなプローブに比べて一般的にノイズは大きくなります。

DCオフセットについては、オシロスコープのACカップリングを使うことで信号のDC成分を除去できますが、電圧ドループなど、突発的に発生する低周波のイベントを見逃すことがあります。

DCカップリング・モードによる低周波イベントの観測

ACカップリングでは、負荷変動に伴う電圧ライン・ドループ、またはクリープなどの低周波情報を見逃すことがあるため、入力信号に十分なDCオフセットを加え、DCカップリングを使用することでデバイスの動きがしっかりと観測できます（図10）。パワーレール・プローブは、オシロスコープ／プローブのシステムに十分なオフセット範囲を追加できるように設計されており、ほとんどのパワーレールのDCカップリングに対応しています。TPR4000型、TPR1000型には±60VのDCオフセット機能があり、自動車、産業機器、データ・センタのアプリケーションのほとんどの規格に対応します。

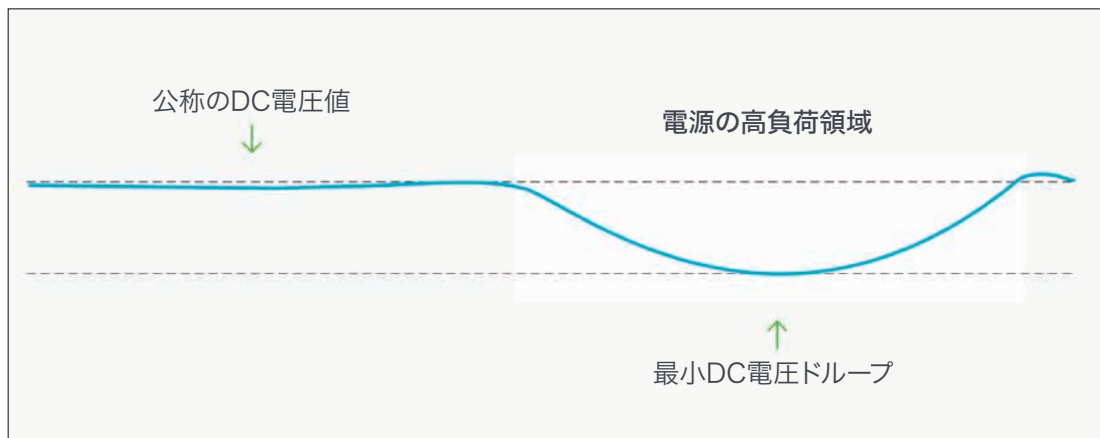


図10.



図11. 周波数が上がると、必要に応じて入力電圧が変化するデバイスの例。多くのACカップリング・フィルタでは、ステップ間の約2Hzの周波数成分が見落とされる。

マイクロプロセッサやパワー・マネージメントICの中には、ダイナミック周波数、電圧スケールなどのパワー・セーブ機能を持ったものがあり、負荷によってDC電圧を変化させます。ACカップリングのオシロスコープでは低周波の情報は表示されないため、このような機能の解析が困難です(図11)。

負荷の低減

パワーレール測定に影響するプローブのインピーダンス

電源のインテグリティ測定におけるパワーレールのプロービングで重要なことは、DC電源の高周波AC成分を観測するための正しいプロービング方法の選択であり、デバイスの動作が不正確になったり、動作の障害になるような大きなDC成分を加えないことです。ハイ・インピーダンス・プローブにはDCにおいて優れた負荷性能がありますが、ノイズが多かったり、信号のDCカップリングもする一方で高周波イベントの観測に必要な帯域がない場合があります。50Ωの伝送ラインには、パワーレールの高周波信号のための優れた負荷性能

がありますが、DC信号の低インピーダンス電圧デバイダとして振る舞います。

パワーレール測定で理想的なプローブは、DCで大きな入力抵抗と、ACで50Ωの伝送ラインとしての特性を持つものです。テクトロニクスのTPR4000型、TPR1000型パワーレール・プローブは、大きな50kΩ DC入力抵抗と、高周波での50Ω伝送を実現しています。これにより、DCとACで優れた性能を実現し、他のプロービング方法が持つ制約を回避しています。

まとめ

電源のインテグリティに関するニーズが高まっているため、パワーレールの解析は今後も重要になります。テクトロニクスのTPR4000型、TPR1000型は、DC電源の観測における高い測定性能と柔軟な接続性を実現しています。テクトロニクスのオシロスコープが持つ取込/測定機能と併用することで、優れたパワーレールの解析ツールになります。

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／ケースレーインストルメンツ

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7月 51Z-61562-0