

E-5

スイッチング電源のノイズ評価



テクトロニクス/ケースレー
イノベーション・フォーラム 2013

鹿取 俊介

Tektronix[®]

KEITHLEY
A Tektronix Company



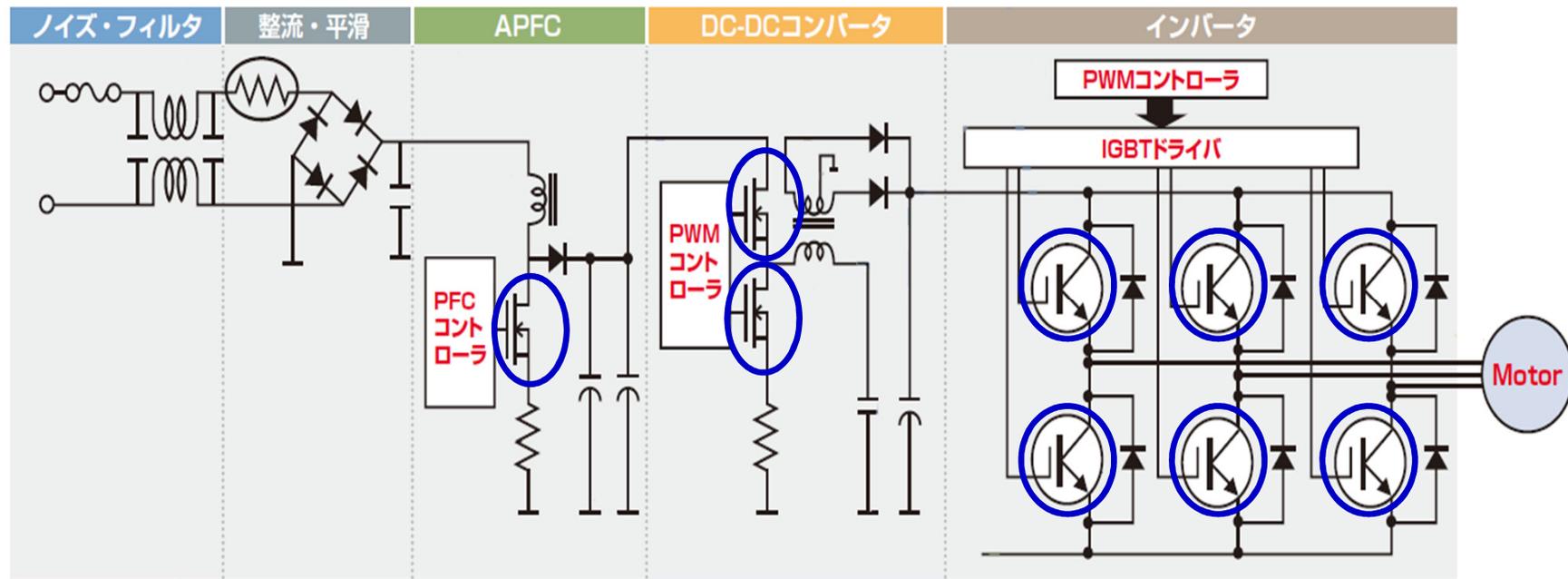
Agenda

- スイッチング電源とは
- ノイズの種類と対策
- ノイズ評価に適した計測器
- Tektronix MDO4000によるノイズ評価事例

スイッチング電源回路

- パワーMOSFETやIGBTなどの半導体スイッチング・デバイスを利用した、電力変換装置
- 高効率(低損失)化の為に→立上り・立下りの速いデバイスを用いる
- デバイスの小型化の為に→スイッチング周波数の増加

スイッチング電源の利用例:モータへの電力供給 (○:スイッチング・デバイス)



スイッチング電源回路に対する要求

- 高効率化(電力変換効率の改善)
 - － スwitching・デバイス損失の低減
 - ・ 低ON抵抗
 - － 磁気部品損失の低減
 - ・ 低コア損失
 - － システム効率向上
- 高信頼性
 - － 安全動作領域(SOA)の適正化
 - － 電圧、電流トランジェント応答と安全の確保
- 負荷変動応答性
 - － 制御ループの高速応答化
 - － PWM制御の適正化
- **低ノイズ、耐ノイズ化**
 - － **規格対応(電流高調波、EMI)**
 - － **低リップル、高電力品質**

主なノイズの種類

- 伝導ノイズ
 - ノーマルモード・ノイズ
 - 信号線とリターン(グランド線)に逆方向のノイズ電流が流れる
 - コモンモード・ノイズ
 - 信号線とリターン(グランド線)に同一方向のノイズ電流が流れる
- 放射ノイズ(の影響)
 - 電磁誘導ノイズ
 - ノイズ源と電磁結合し、 $e = L di(t)/dt$ の電圧が発生
 - 静電誘導ノイズ
 - ノイズ源と静電結合して、 $i = C dv(t)/dt$ の電流が流れる
- $\lambda/4$ のケーブルやトレースがアンテナとなり、ノイズを放射
- ノイズの主な原因
 - グランド・バウンス(同時スイッチングなどによる)
 - 電圧ドロップ(負荷電流の急激な変化による)
 - クロストーク、反射
 - 放射ノイズの影響
 - 電源のリプル

PDN (Power Distribution Network) インピーダンス Z_{pdn}

- グランド・プレーンやトレースのインピーダンスが高いとグランド・バウンスの要因に
 - － コストとのバランス
 - 最小限のグランド・プレーンで、いかにノイズを抑えるか
- 電源プレーンやトレースのインピーダンスが高いと電圧ドロップの要因に
 - － コストとのバランス
 - 最小限の電源プレーンで、いかにノイズを抑えるか

負荷電流の変化: ΔI

電圧リップル: ΔV_{rpl}

PDNインピーダンス: Z_{pdn}

Z_{pdn} が大きいほど、電圧リップルは増加する。

とすると

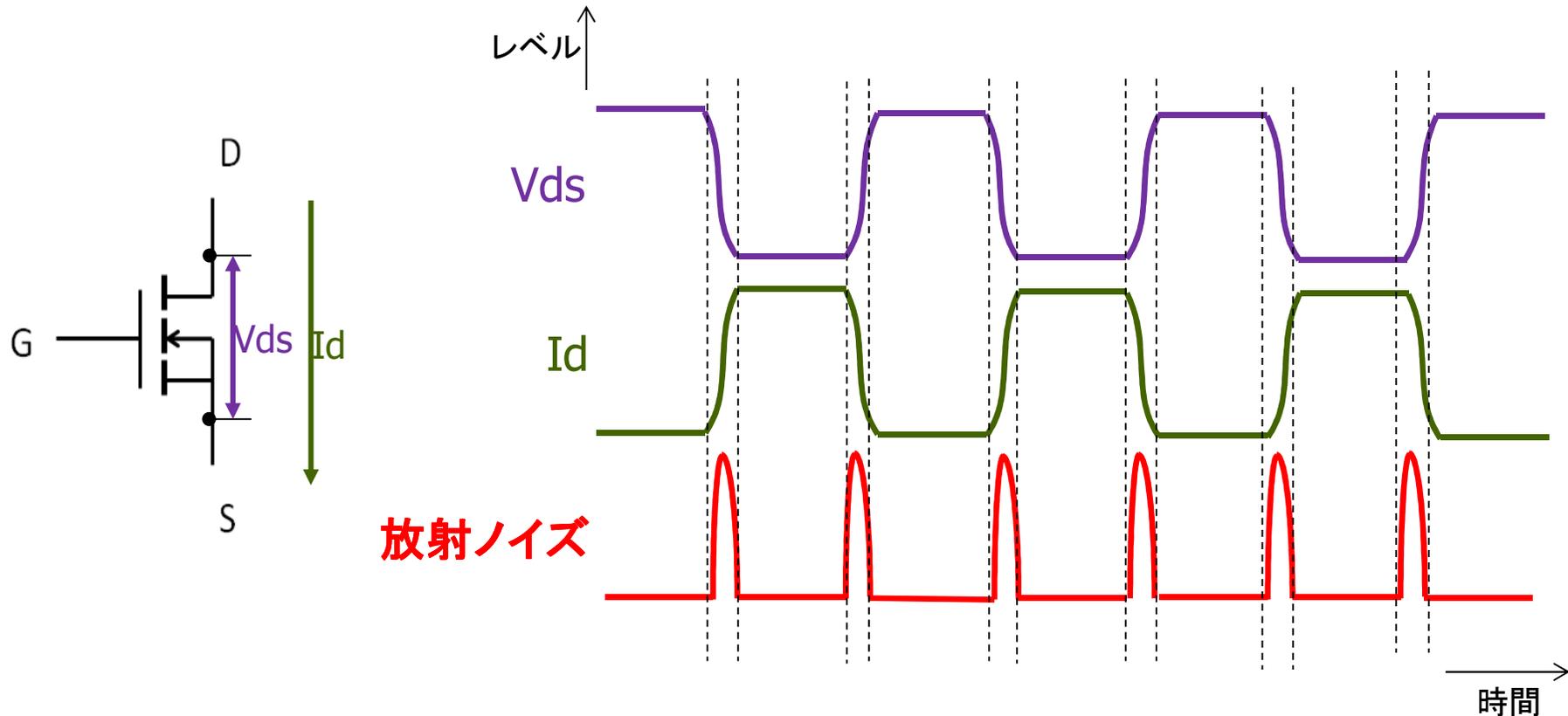
$$\Delta V_{rpl} = \Delta I \times Z_{pdn}$$

特に寄生インダクタンス L が支配的な場合 $\Delta V_{rpl} = L \times di/dt$

- Z_{pdn} を小さくすると同時に、共振による Z_{pdn} 増大を抑える

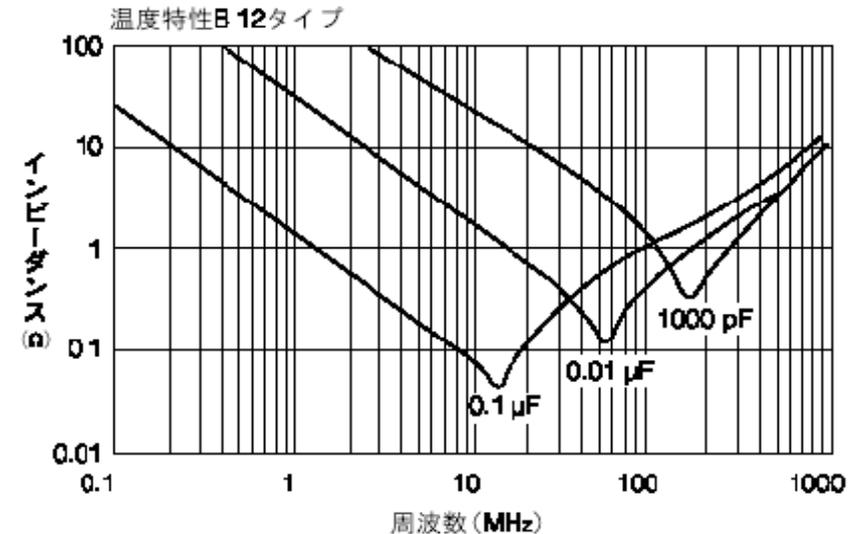
スイッチング・デバイスからの放射ノイズの特徴

- スwitching動作時(電圧・電流の変化時)に瞬間的に生じる
- スwitching(電圧・電流の変化)が高速・急峻になると、それに伴いノイズ・レベルが増加する
- スwitching周波数が上がると、それに伴いノイズの周波数も上がる



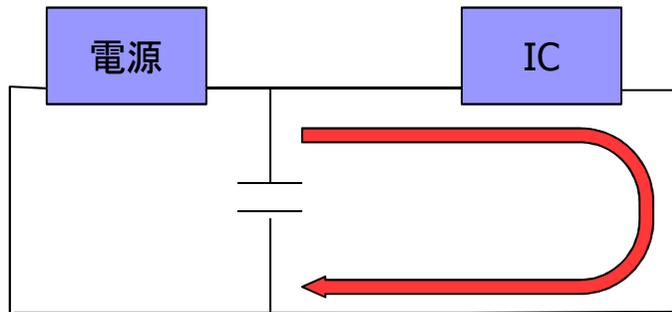
ノイズ対策方法

- パスコン(バイパスコンデンサ)
 - 電源電圧の変動を抑える
 - 低周波ノイズ
 - ⇒ 大容量電界コンデンサ 1-100 μ F
 - 高周波ノイズ
 - ⇒ セラミックコンデンサ 0.01-0.1 μ F
 - 自己直列共振周波数近辺が最も効果がある。
- 急峻な立上り・立下りをなまらせる
- フェライト・コア(コモンモード・ノイズ対策)
- シールド
- LC/RCフィルタ:LPF/HPF/BPF/BEF



ノイズ対策から見たパソコンの効果

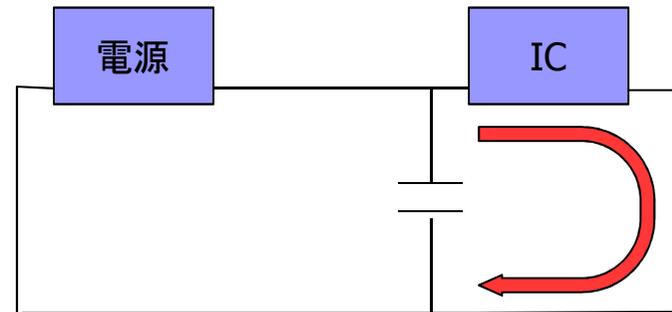
パソコンの役割: 電源の安定供給、ノイズの抑制



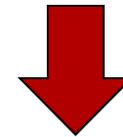
ICのスイッチングノイズは電源端子に流れる電流の変化がノイズ源となる



発生ノイズ 大



パソコンをICの電源端子の直近に配置することにより、高周波電流の流れるループが小さくなる



発生ノイズ 小

ノイズの発生箇所を特定し、適切な容量・自己共振周波数のパソコンを配置することが重要

ノイズ評価に適した計測器

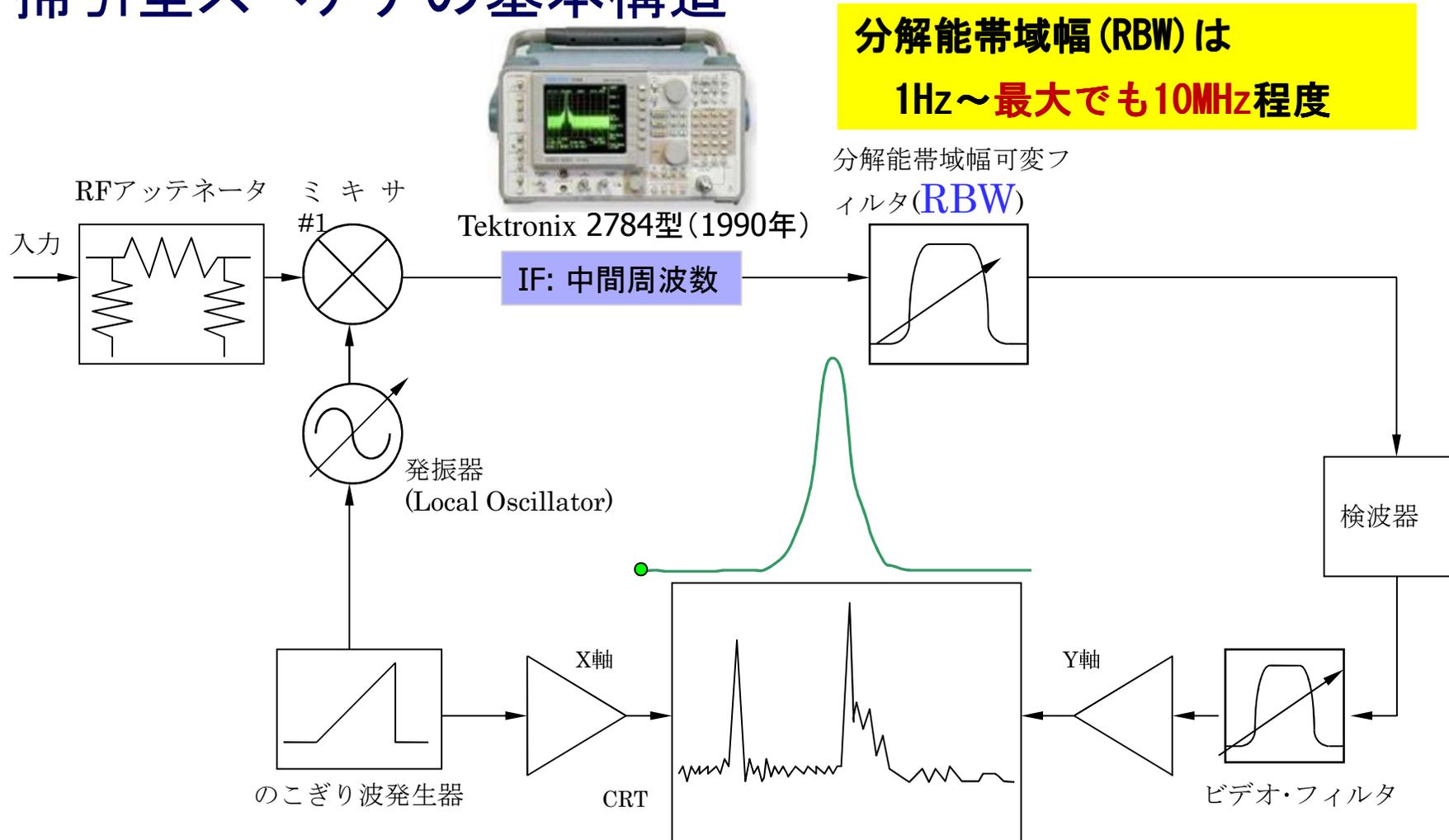
機器から発せられるノイズ(EMI)の測定では、スペクトラム・アナライザ(スペアナ)等の周波数計測器が広く利用される。スイッチング電源のノイズを測定するのに適したスペアナは、



スペクトラム・アナライザ

- 瞬時ノイズを捉えることができる
 - 高速なFFT方式のスペアナ
- 広い周波数帯域に広がるスイッチング・ノイズを捉えられる
 - 一度に広帯域な測定が可能なスペアナ

掃引型スペアナの基本構造

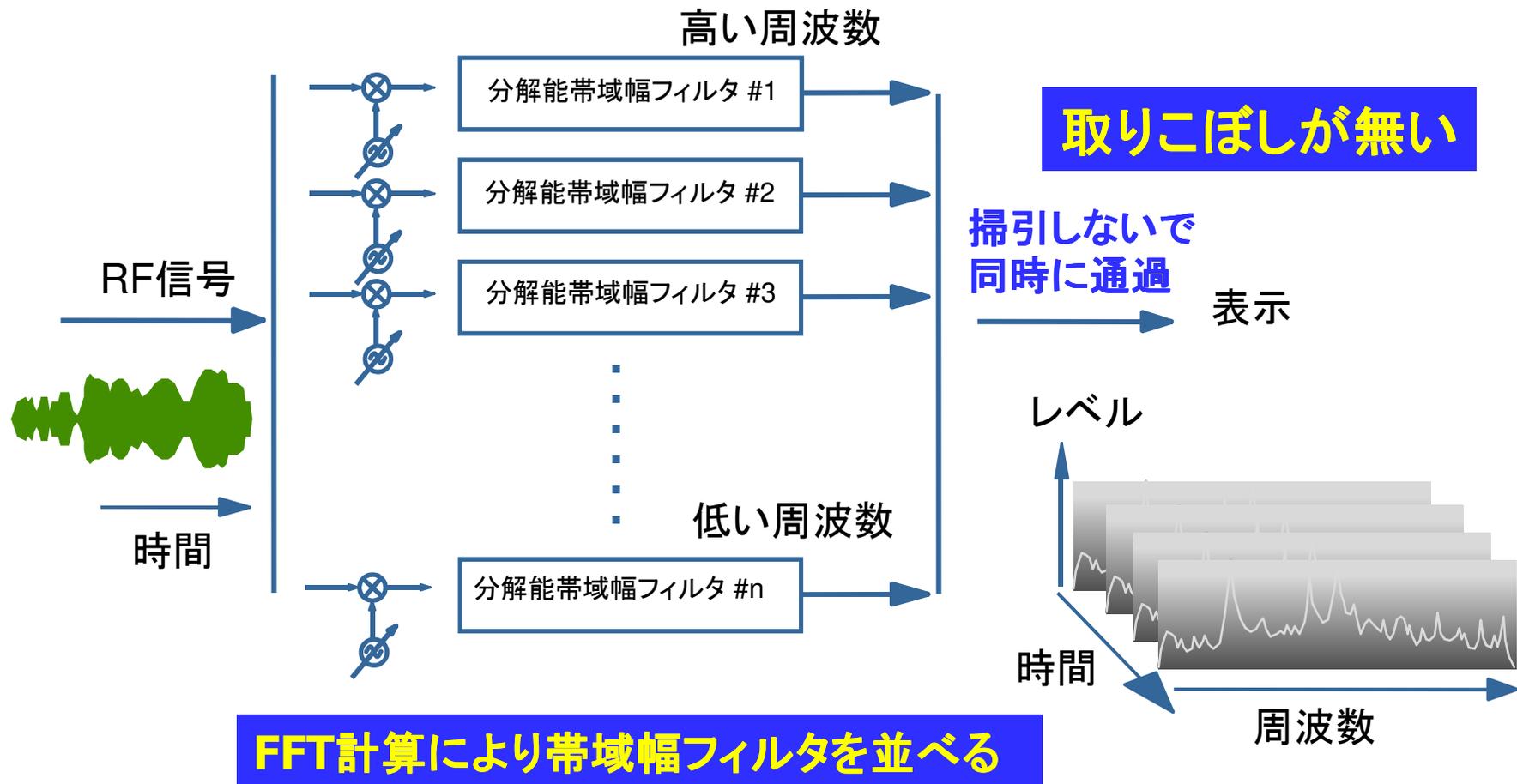


分解能帯域幅 (RBW) は
1Hz～最大でも10MHz程度

周波数掃引
掃引速度は
最速でも1ms/スイープ

分解能帯域幅 (RBW) を1/2に
すると、掃引時間は4倍必要

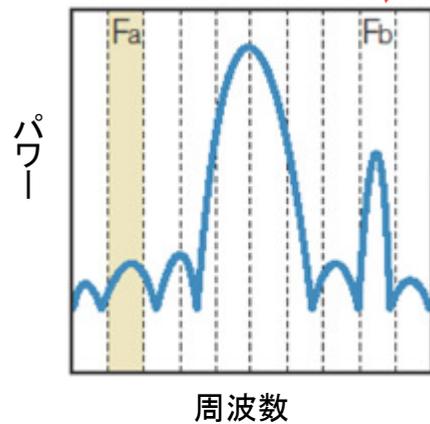
リアルタイム・シグナル・アナライザ(RTSA)の概念



FFT方式のスペアナは速い

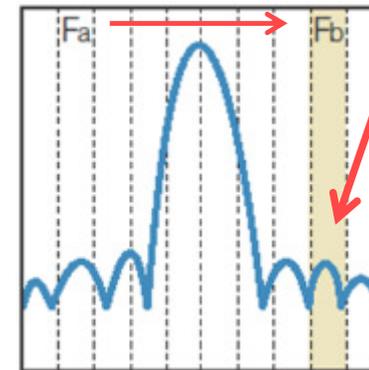
■ 掃引型スペアナ

- アナログ掃引方式



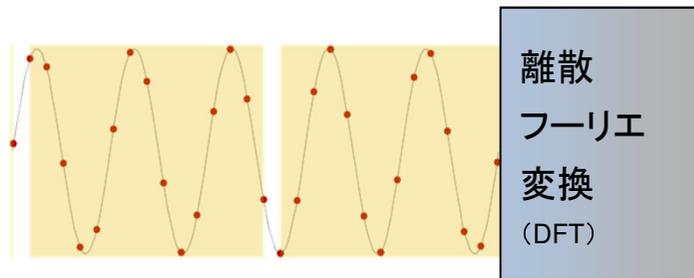
最速
1m秒
で掃引

FaからFbまで掃引した時には、Fbは消えている。



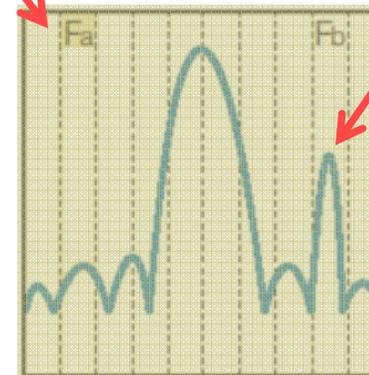
■ FFT方式のスペアナ

- デジタル計算方式



MDOは
最速
200n秒
でFFT

Faを見る時、Fbも同時に見えている。



周波数計測器の性能比較

ダイナミック・レンジと感度

掃引型 スペクトラム・アナライザ

アナログ時代

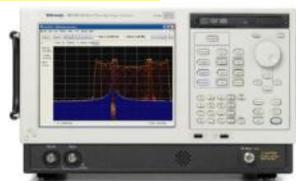


取込帯域幅 10 MHz

狭い ←
遅い ←

高い

FFT方式 リアルタイムSA



取込帯域幅 110 MHz
時間分解能 6.7ns=150Mps

デジタル広帯域時代

FFT方式 ミクスト・ドメイン・オシロスコープ

取込帯域幅

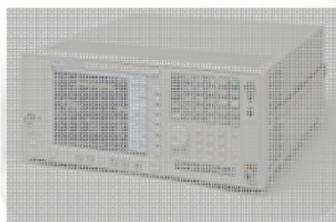
時間分解能



→ 広い
→ 速い

FFT方式 ベクトル・シグナル・アナライザ

デジタル時代



取込帯域幅 40 MHz

低い

FFT方式 オシロスコープ+SignalVu



取込帯域幅 33GHz
時間分解能 10ps=100Gsps

取込帯域幅 >1GHz

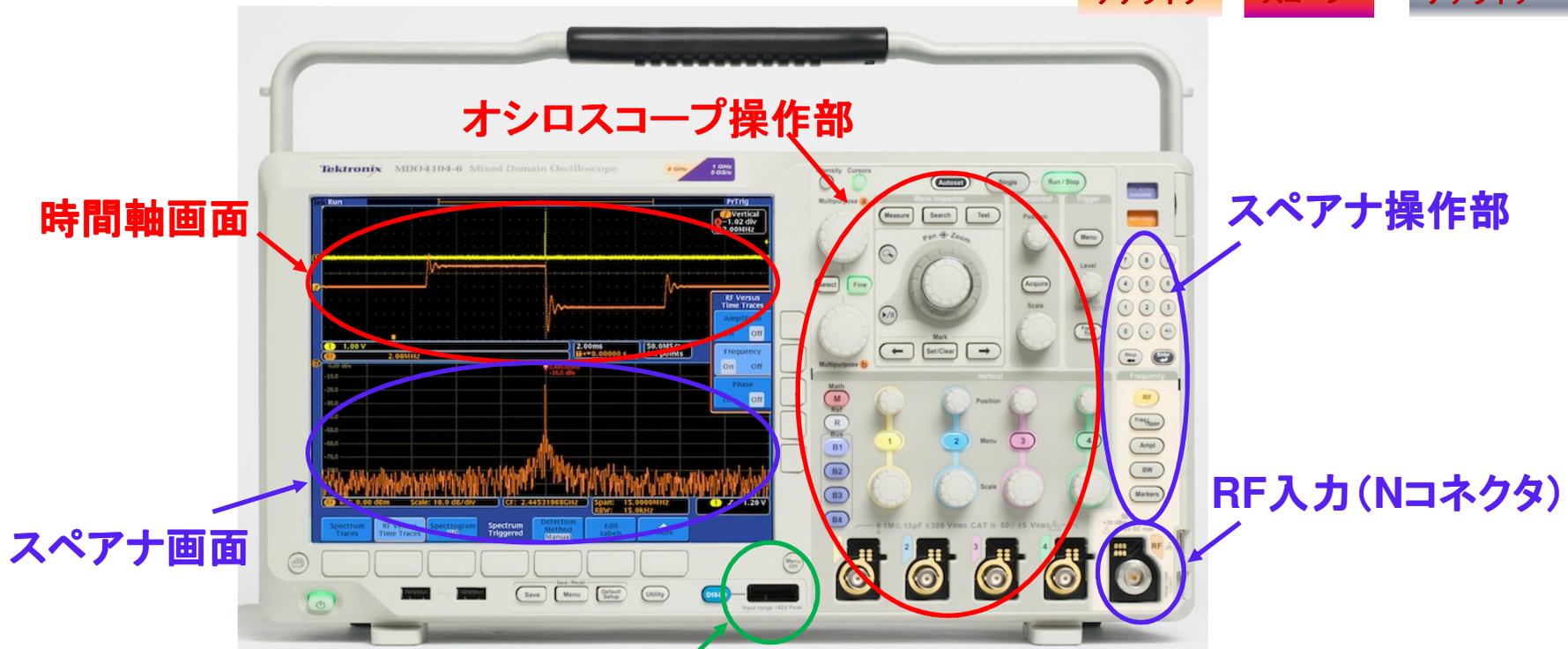
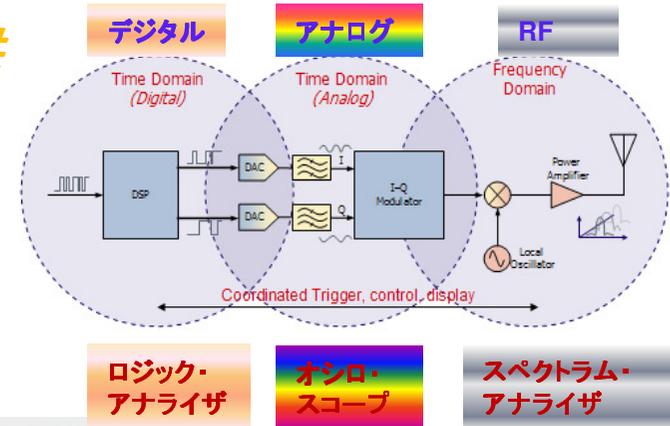
時間分解能 100ps=10Gsps

Tektronixの提案

MDO4000 ミックスド・ドメイン・オシロスコープ

アナログ／デジタル／RFの時間相関 測定を1台で提供

1GHz x 4ch のオシロ +
6GHz x 1ch のスペアナ +
ロジアナ x 16ch = 全21ch



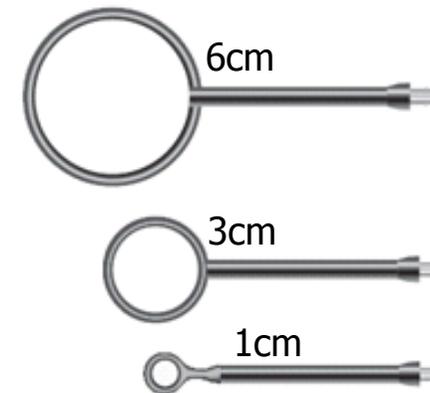
16ch ロジック・アナライザ

Tektronix MDO4104-6

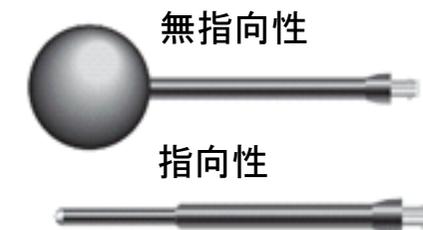
放射ノイズ測定におすすめ 近接界プローブによるノイズの発生箇所探索

- 近接界プローブを使用するメリット
 - コスト
 - 卓上で手軽に、PCB上の部品レベルでのノイズ対策が可能
 - 時間短縮
 - 電波暗室使用の順番待ちが不要
- 近接界プローブの種類と用途
 - 電界プローブは電圧、磁界プローブは電流検出
 - ノイズの発生源を探索する。
 - 磁界(H)プローブは径が大きいほど感度が良い

磁界(H)プローブ



電界(E)プローブ



P/N: 119-4146-00

周波数範囲: 100kHz~1GHz

インピーダンス: 50Ω

ノイズ対策用プローブとアンテナ

■ アクティブ・プローブ・アダプタ

- TPA-N-VPI型アダプタ
 - TekVPI インタフェース・プローブ用アダプタ
- 1103型プローブ用電源
 - Tek Probe Level2インタフェース対応
- RTPA2A型プローブ・アダプタ
 - プローブ型式を認識して自動電圧補正
 - P7000シリーズ用プローブ・アダプタ

■ 指向性ビームアンテナ

- P/N: 119-9594-xx 824~896MHz
- P/N: 119-9595-xx 896~960MHz
- P/N: 119-9596-xx 1710~1880MHz
- P/N: 119-9597-xx 1850~1990MHz



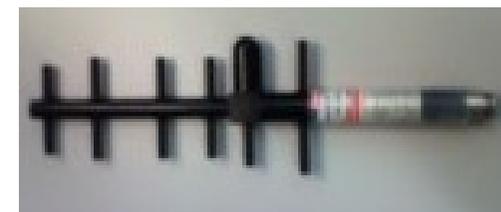
TPA-N-VPI型アダプタ



1103型プローブ電源



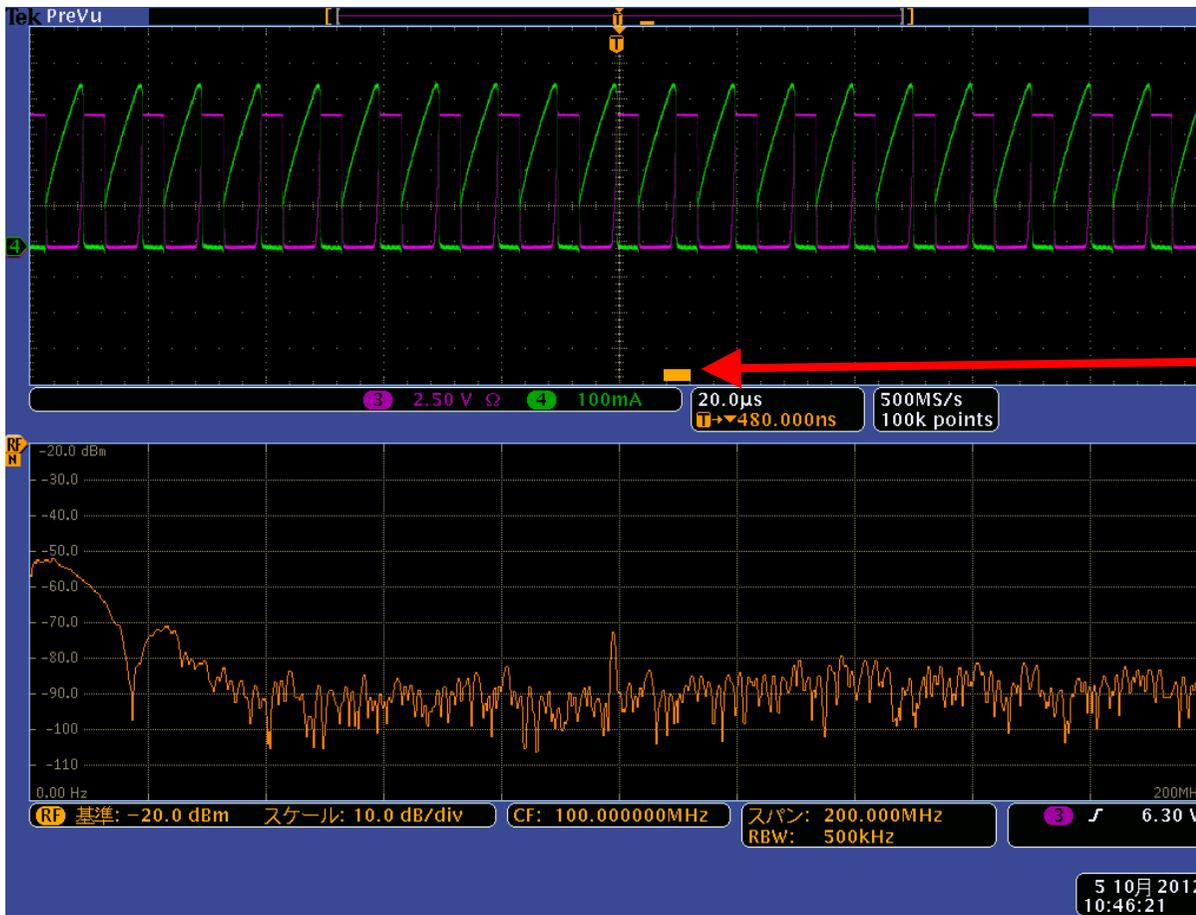
RTPA2A型(50Ω出力)



ビーム・アンテナ

スイッチング電源の放射ノイズ測定の例 1

- MDO4104-6型によりスイッチング電源を測定
 - RF入力に近接界プローブを接続し、放射ノイズを測定



Ch3: Vds (紫色)

Ch4: Id (緑色)

スペクトラム・タイム

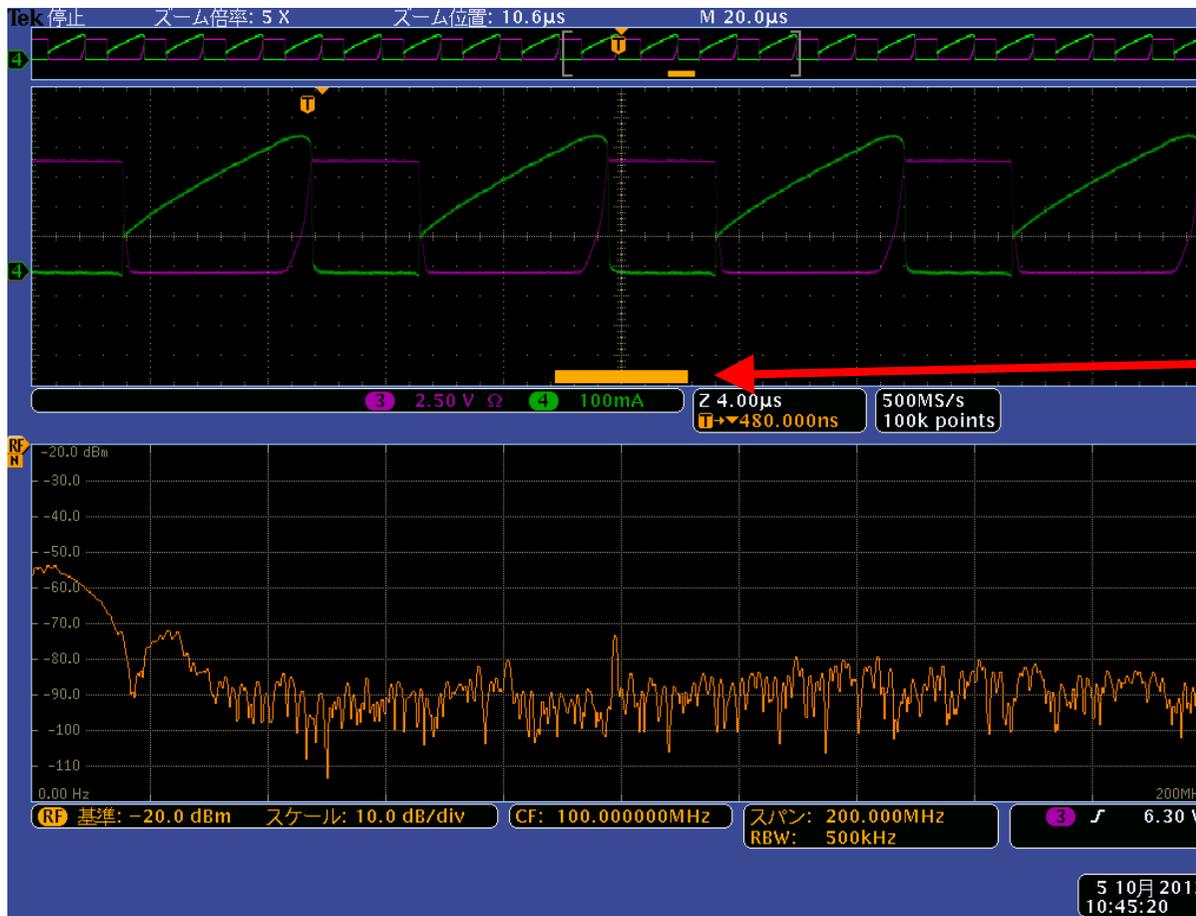
Panノブで自由に
時間を移動可能



スペクトラム・タイムの瞬間
のスペクトラム
(近接界プローブを使用)

スイッチング電源の放射ノイズ測定の例 1

- MDO4104-6型によりスイッチング電源を測定
 - この例では、ターン・オフの瞬間に10MHz付近で放射ノイズが発生



Ch3: Vds (紫色)

Ch4: Id (緑色)

スペクトラム・タイム

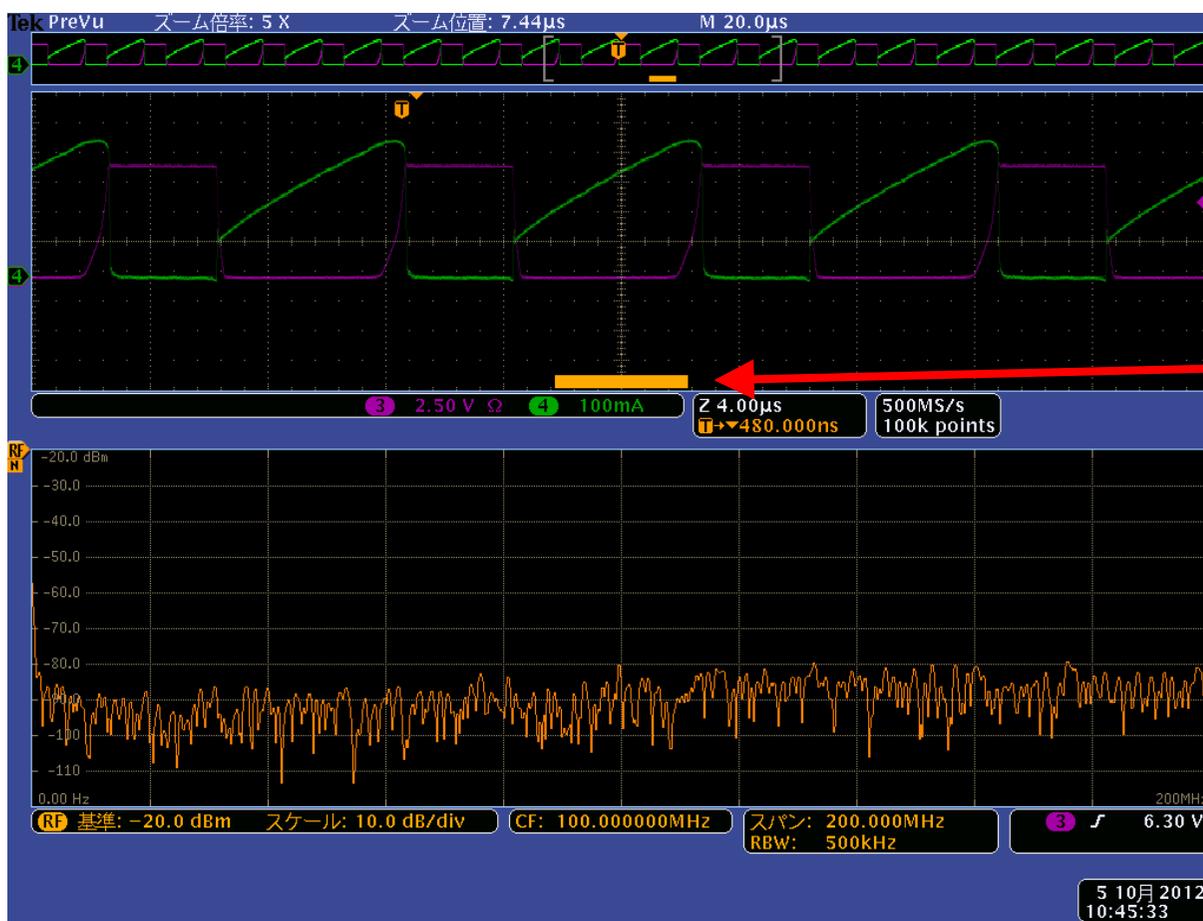
Panノブで自由に
ズーム位置を移動可能



スペクトラム・タイムの時間
のスペクトラム
(近接界プローブを使用)

スイッチング電源の放射ノイズ測定の実例 1

- MDO4104-6型によりスイッチング電源を測定
 - この例では、導通状態での放射ノイズは発生していない



Ch3: Vds (紫色)

Ch4: Id (緑色)

スペクトラム・タイム

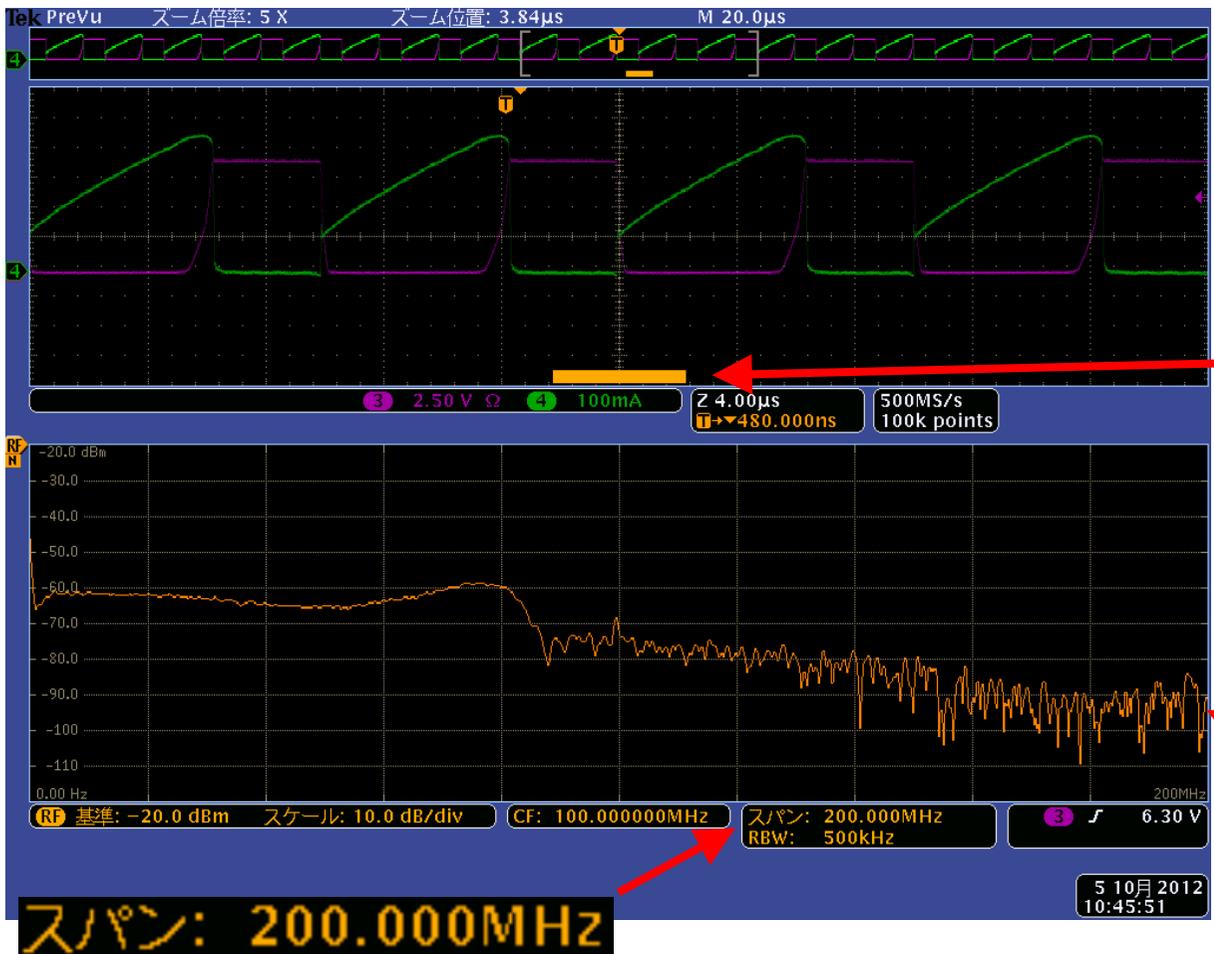
Panノブで自由に
ズーム位置を移動可能



スペクトラム・タイムの時間の
スペクトラム
(近接界プローブを使用)

スイッチング電源の放射ノイズ測定の例 1

- MDO4104-6型によりスイッチング電源を測定
 - この例では、ターン・オフの瞬間に広帯域の放射ノイズが発生



Ch3: Vds (紫色)

Ch4: Id (緑色)

スペクトラム・タイム

Panノブで自由に
ズーム位置を移動可能

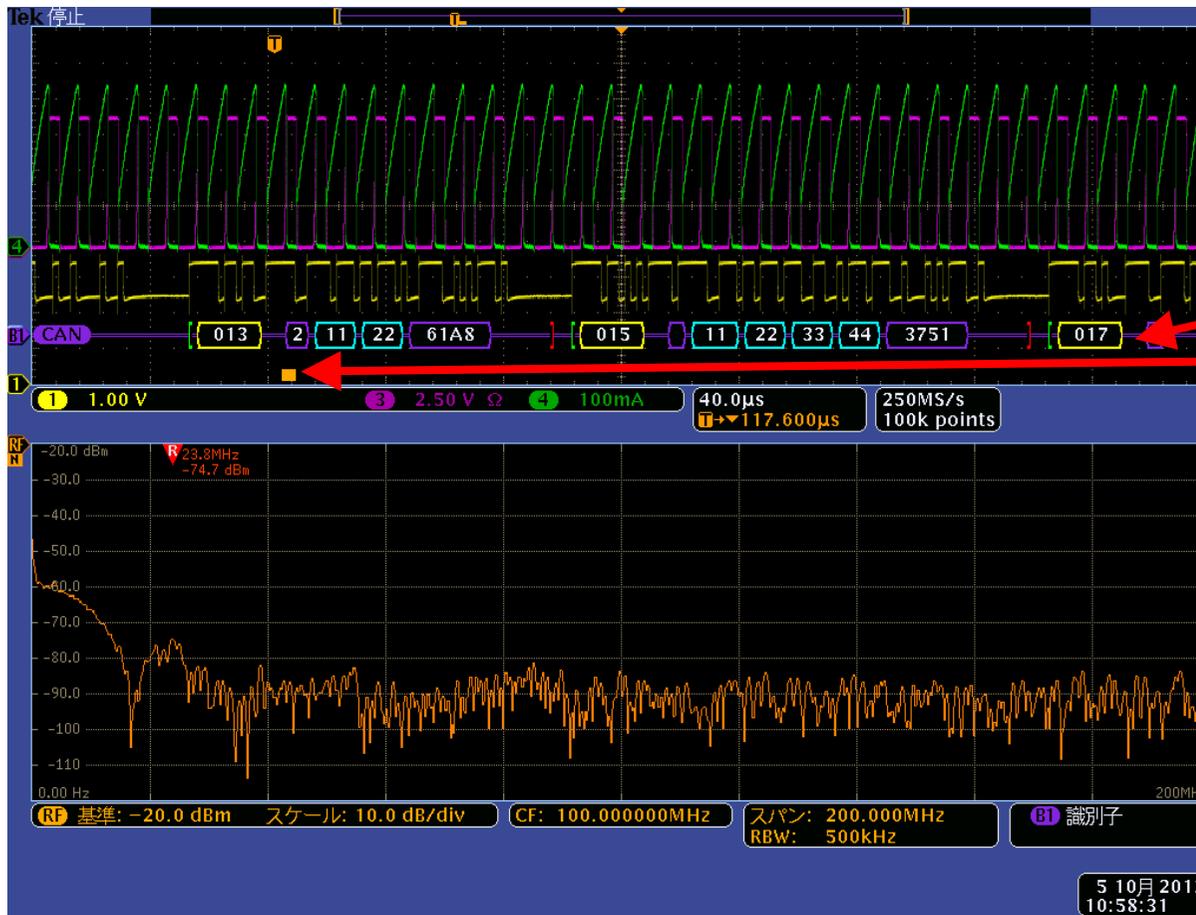


スペクトラム・タイムの時間の
スペクトラム
(近接界プローブを使用)

スパン: 200.000MHz

スイッチング電源の放射ノイズ測定の例 1

- MDO4104-6型によりスイッチング電源を測定
 - RF入力に近接界プローブを接続し、放射ノイズを測定



Ch3: Vds (紫色)
Ch4: Id (緑色)
Ch1: CAN-H(黄色)

CANバスのデコード表示
スペクトラム・タイム

Panノブで自由に
時間を移動可能



スペクトラム・タイムの瞬間
のスペクトラム
(近接界プローブを使用)

時間相関のとれたマルチ・ドメイン測定

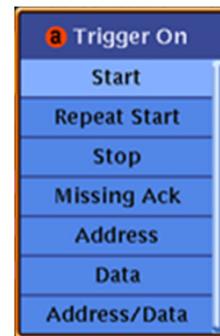
デコード可能なシリアル・バスとトリガ

- パケット内容にトリガ
 - パケットの開始
 - 特定のアドレス
 - 特定のデータ内容
 - ユニーク識別子
 - エラー
 - その他

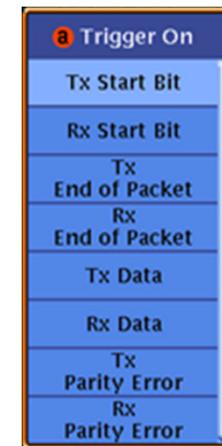
- パケット内容のデコードとバス表示が可能



I²S



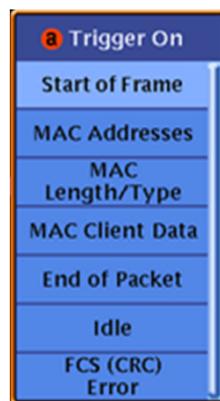
I²C



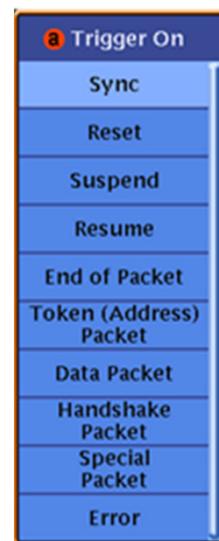
RS-232



SPI



Ethernet



USB



FlexRay



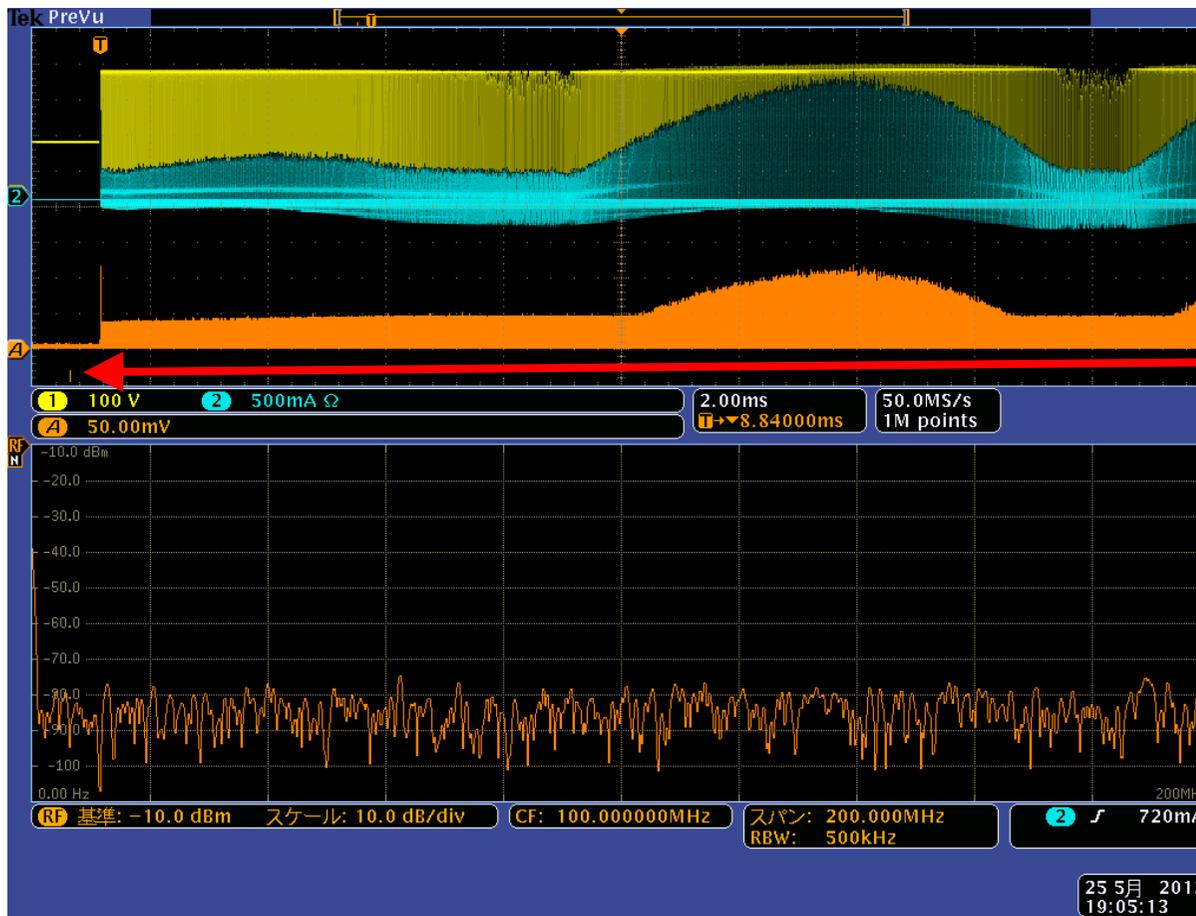
CAN



LIN

スイッチング電源の放射ノイズ測定の実例 2

- MDO4104-6型によりPFC電源を測定
 - RF入力に近接界プローブを接続し、放射ノイズを測定



Ch1: Vds (黄色)

Ch2: Id (青色)

→ スペクトラム・パワーの時間変動

→ スペクトラム・タイム

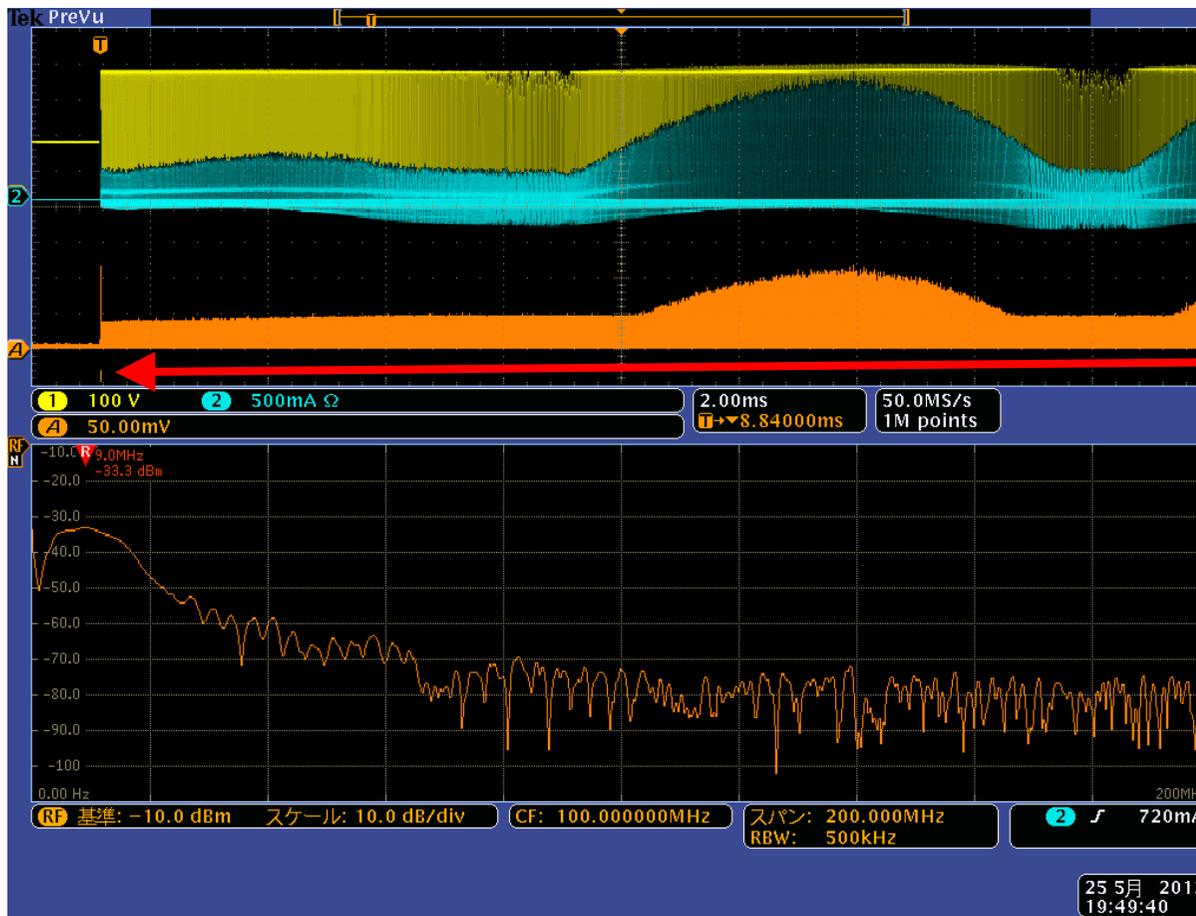
Panノブで自由に時間を移動可能



→ スペクトラム・タイムの瞬間のスペクトラム (近接界プローブを使用)

スイッチング電源の放射ノイズ測定の実例 2

- MDO4104-6型によりPFC電源を測定
 - RF入力に近接界プローブを接続し、放射ノイズを測定



Ch1: Vds (黄色)

Ch2: Id (青色)

スペクトラム・パワー
の時間変動

スペクトラム・タイム

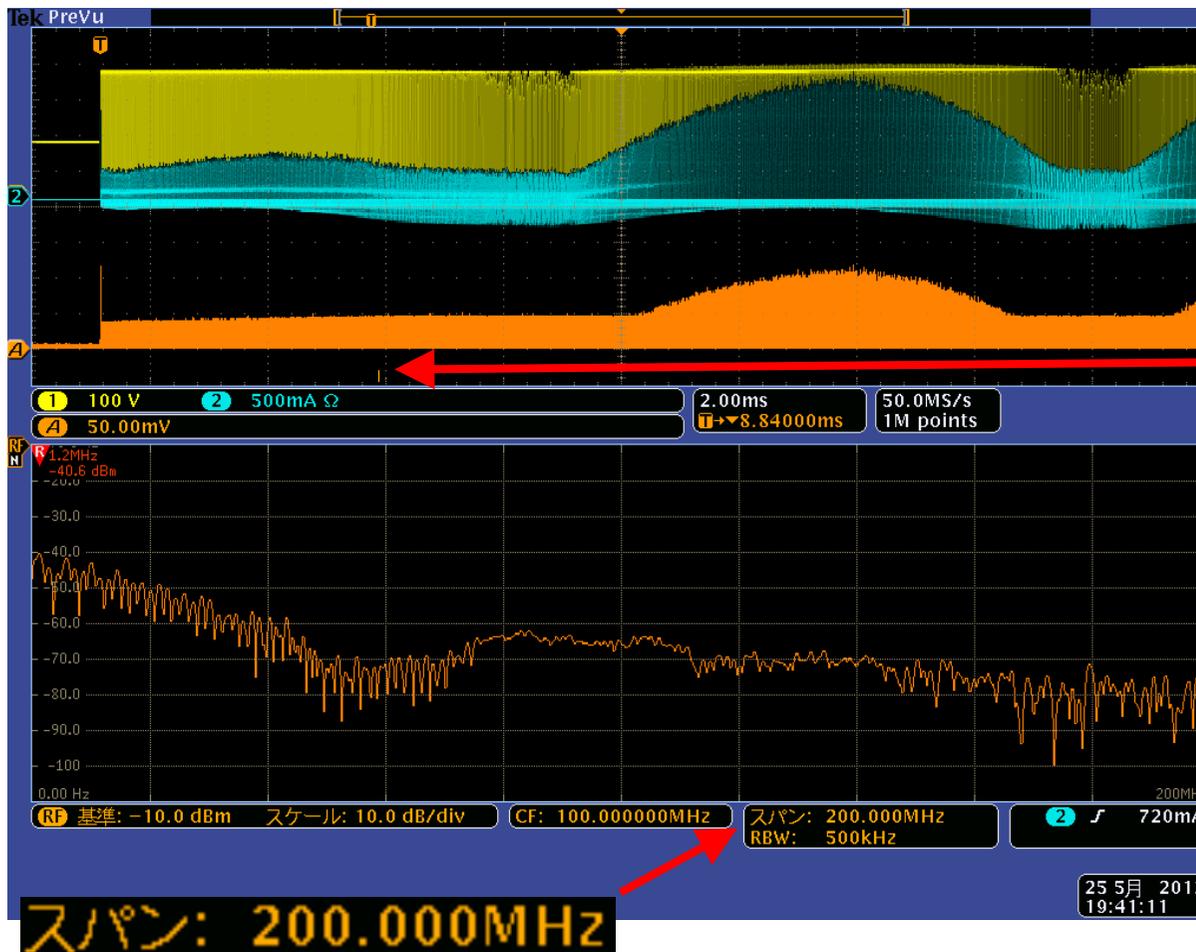
Panノブで自由に
時間を移動可能



スペクトラム・タイムの瞬間
のスペクトラム
(近接界プローブを使用)

スイッチング電源の放射ノイズ測定の実例 2

- MDO4104-6型によりPFC電源を測定
 - RF入力に近接界プローブを接続し、放射ノイズを測定



Ch1: Vds (黄色)

Ch2: Id (青色)

→ スペクトラム・パワーの時間変動

→ スペクトラム・タイム

Panノブで自由に時間を移動可能



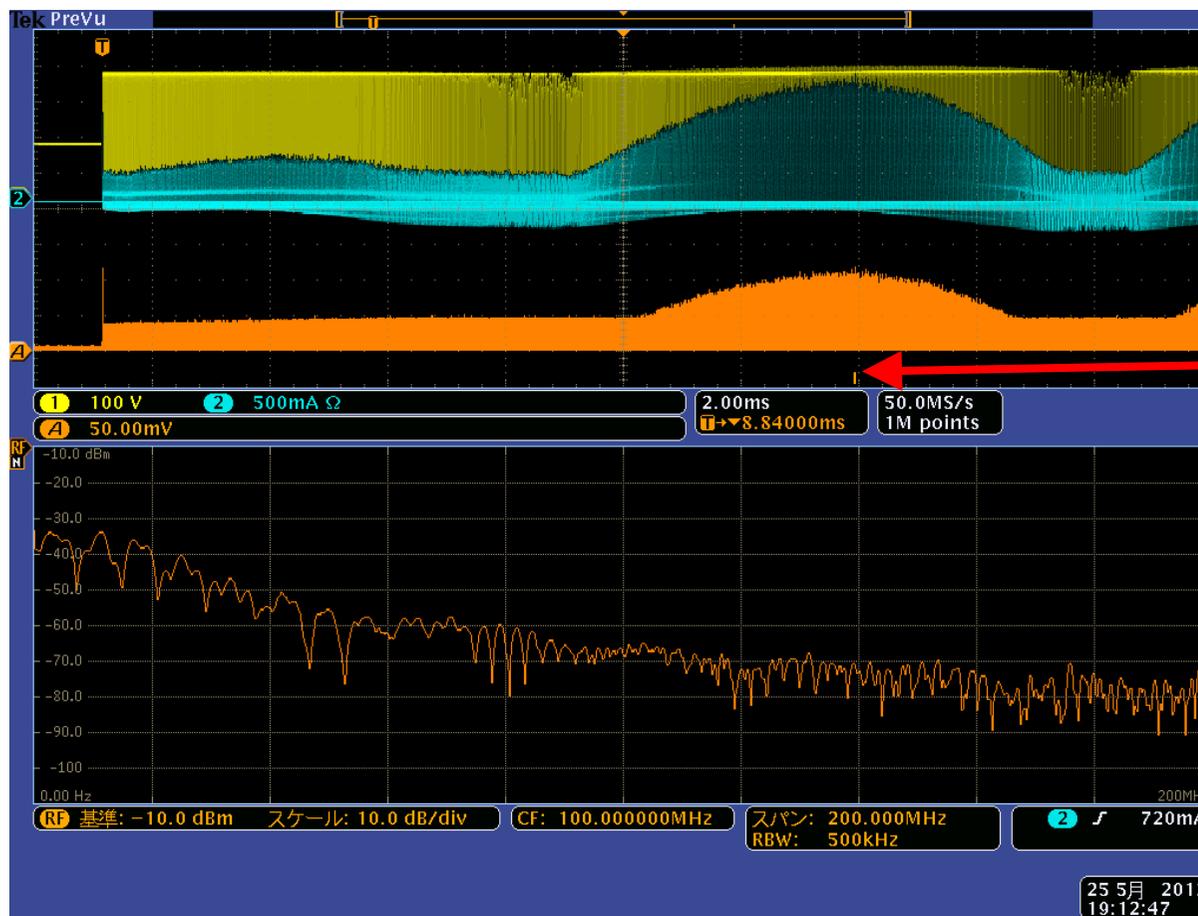
→ スペクトラム・タイムの瞬間のスペクトラム (近接界プローブを使用)

スパン: 200.000MHz

25 5月 2012 19:41:11

スイッチング電源の放射ノイズ測定の実例 2

- MDO4104-6型によりPFC電源を測定
 - RF入力に近接界プローブを接続し、放射ノイズを測定



Ch1: Vds (黄色)

Ch2: Id (青色)

→ スペクトラム・パワー
の時間変動

→ スペクトラム・タイム

Panノブで自由に
時間を移動可能



→ スペクトラム・タイムの瞬間
のスペクトラム
(近接界プローブを使用)

スイッチング電源の放射ノイズ測定の例 2

- MDO4104-6型によりPFC電源を測定
 - RF入力に近接界プローブを接続し、放射ノイズを測定



Ch1: Vds (黄色)

Ch2: Id (青色)

ズームの位置

Zoomノブで
時間軸を拡大

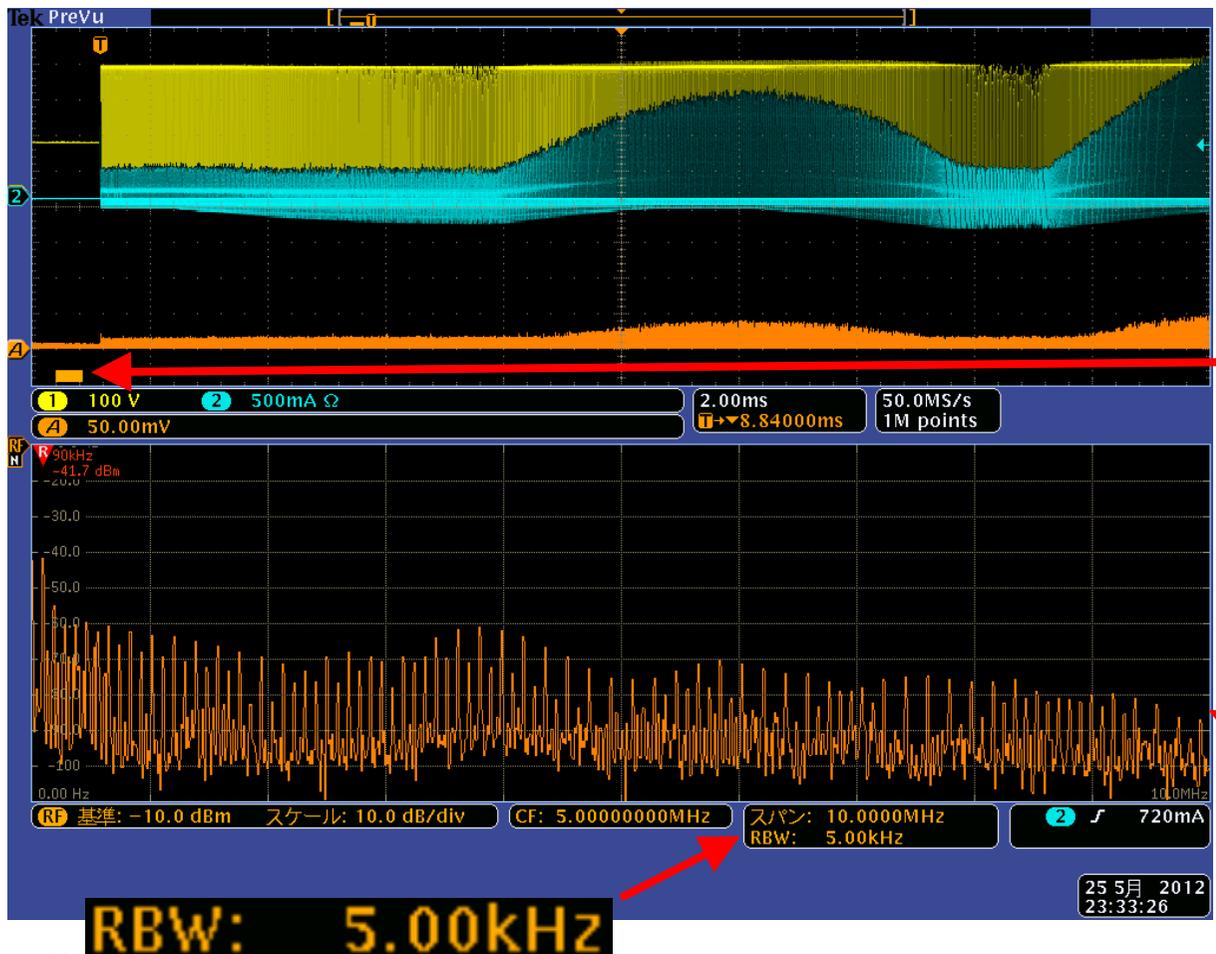


スペクトラム・タイム

スペクトラム・タイムの瞬間
のスペクトラム
(近接界プローブを使用)

スイッチング電源の放射ノイズ測定の実例 2

- MDO4104-6型によりPFC電源を測定
 - RF入力に近接界プローブを接続し、放射ノイズを測定



Ch1: Vds (黄色)

Ch2: Id (青色)

← スペクトラム・パワーの時間変動

← スペクトラム・タイム

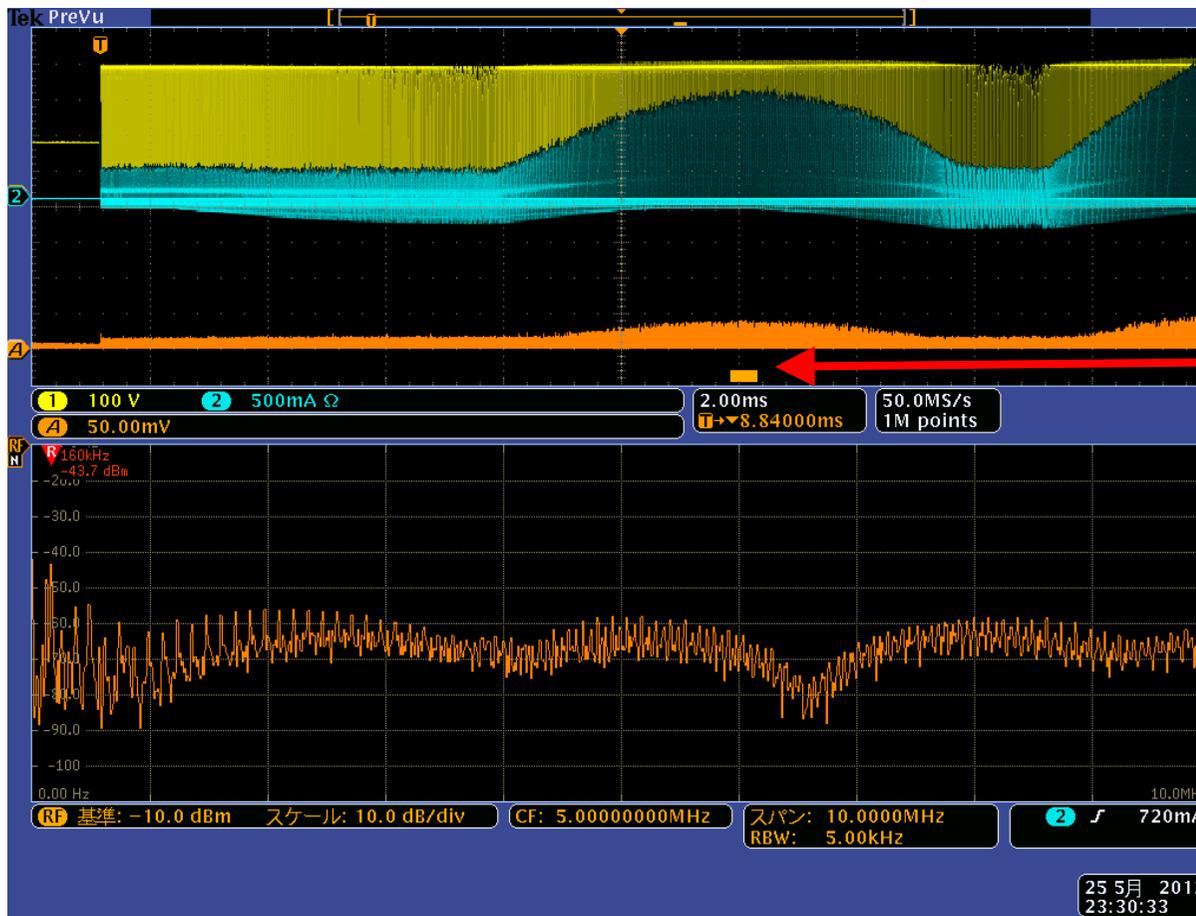
Panノブで自由に時間を移動可能



← スペクトラム・タイムの瞬間のスペクトラム (待機電力時のノイズ)

スイッチング電源の放射ノイズ測定の実例 2

- MDO4104-6型によりPFC電源を測定
 - RF入力に近接界プローブを接続し、放射ノイズを測定



Ch1: Vds (黄色)

Ch2: Id (青色)

スペクトラム・パワー
の時間変動

スペクトラム・タイム

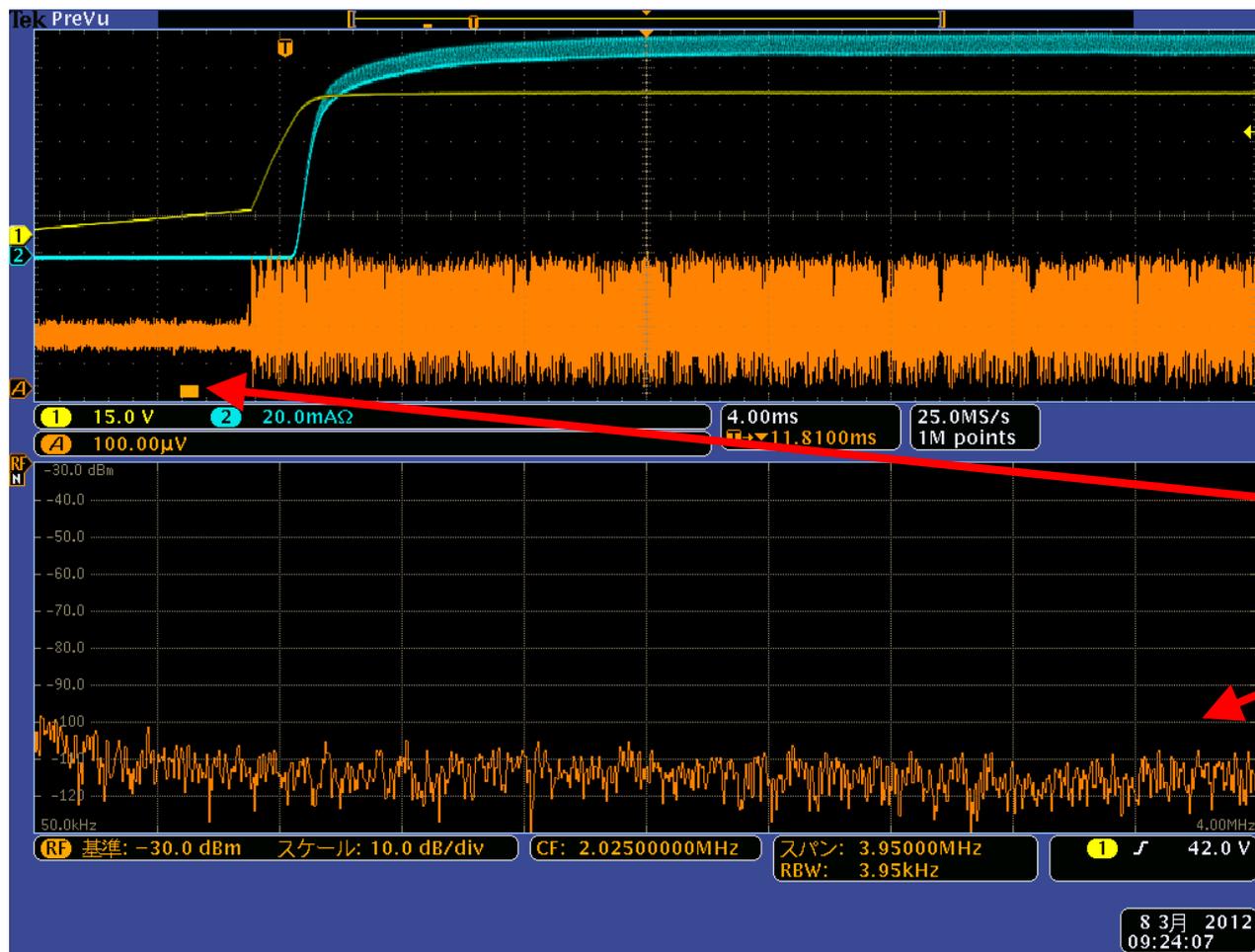
Panノブで自由に
時間を移動可能



スペクトラム・タイムの瞬間
のスペクトラム

LED照明の放射ノイズ測定の実例

■ MDO4104-6型によるLED駆動電圧と放射ノイズの測定



Ch1: LED駆動電圧
(黄色)

Ch2: LED駆動電流
(青色)

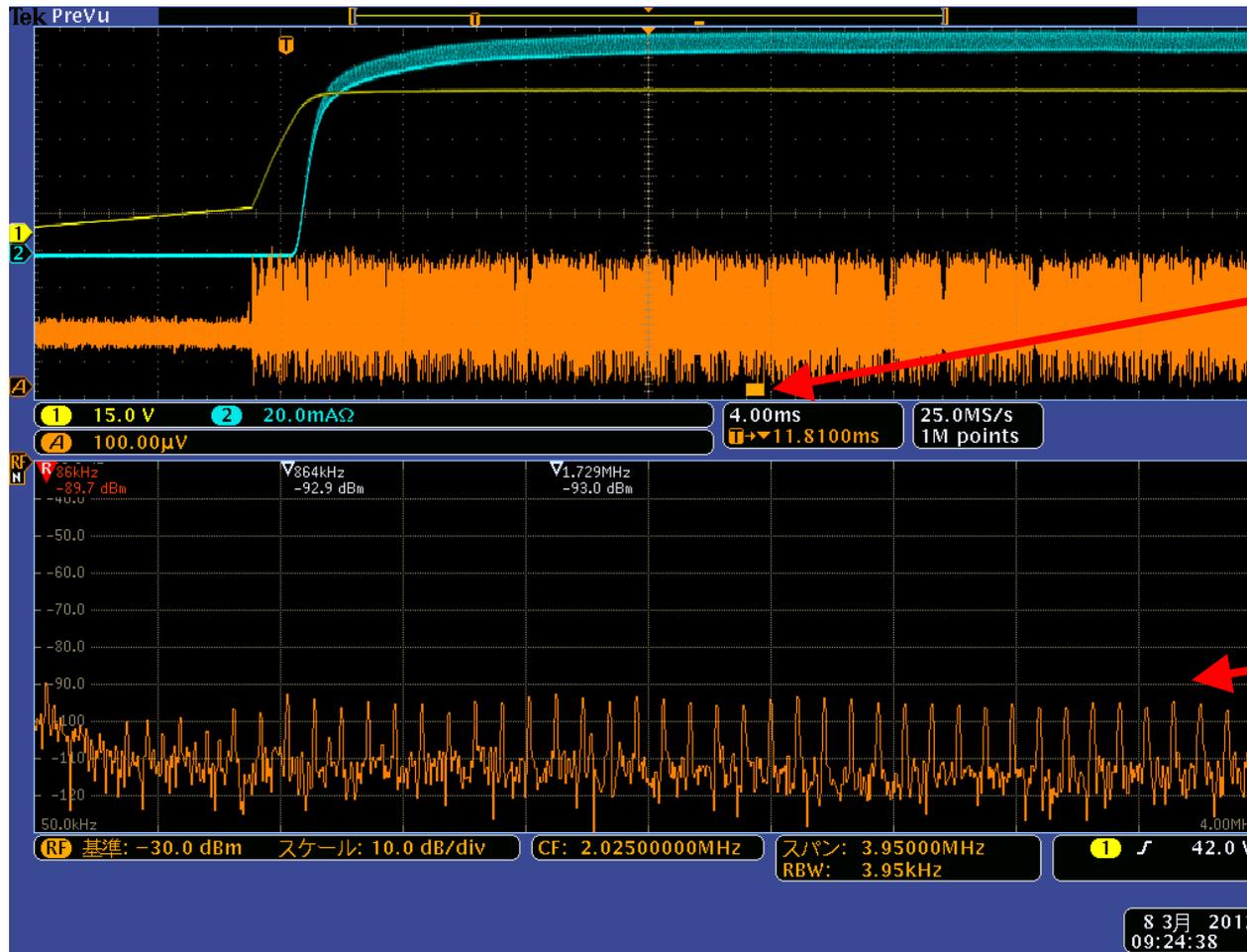
スペクトラム・パワー
の時間変動

スペクトラム・タイム

スペクトラム・タイムの
瞬間のスペクトラム
(近接界プローブを使用)

LED照明の放射ノイズ測定の実例

■ MDO4104-6型によるLED駆動電圧と放射ノイズの測定



Ch1: LED駆動電圧
(黄色)

Ch2: LED駆動電流
(青色)

スペクトラム・タイム

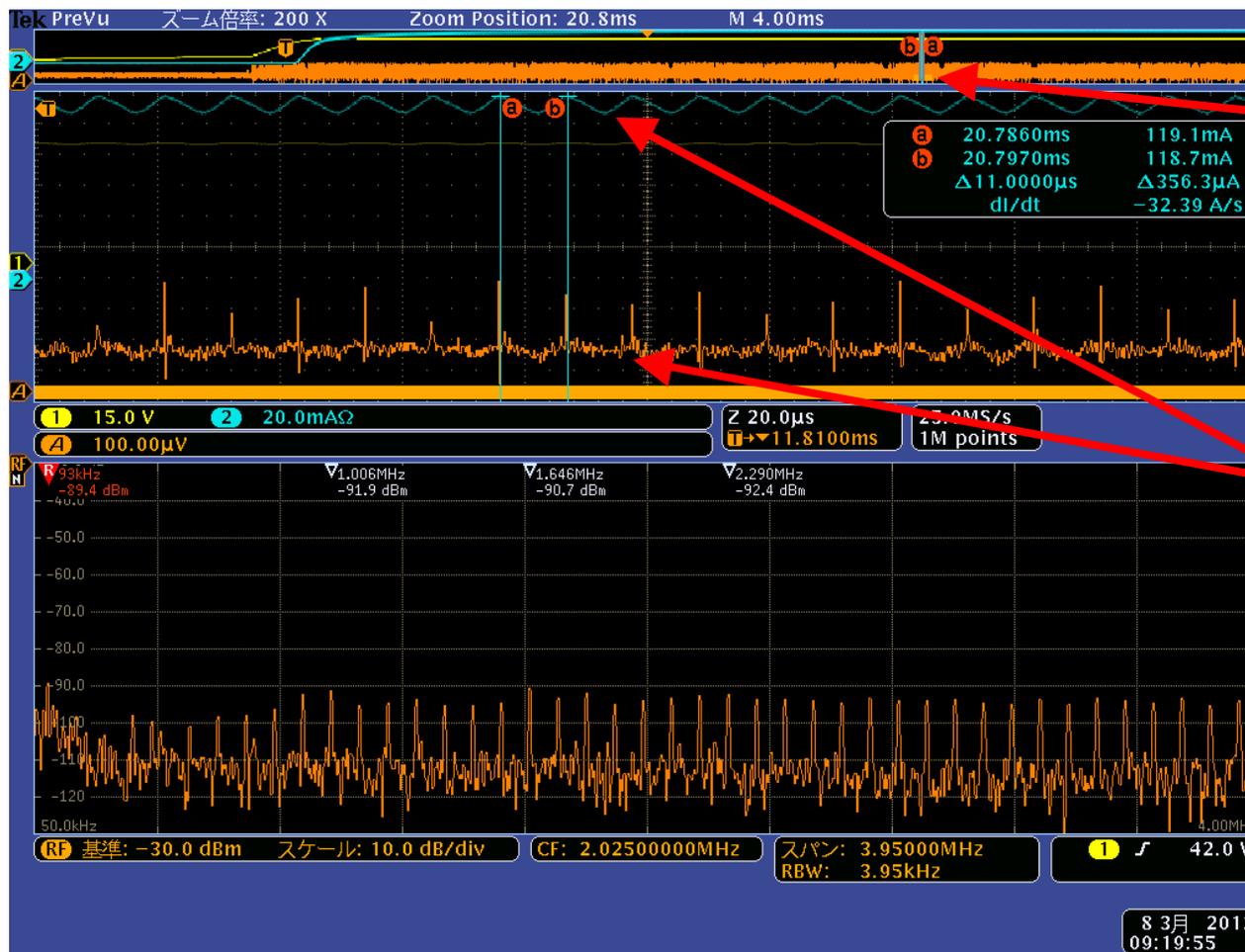
Panノブで自由に
時間を移動可能



スペクトラム・タイムの
瞬間のスペクトラム
(近接界プローブを使用)

LED照明の放射ノイズ測定の実例

LED駆動電流のリップルと放射ノイズ



ズームの位置

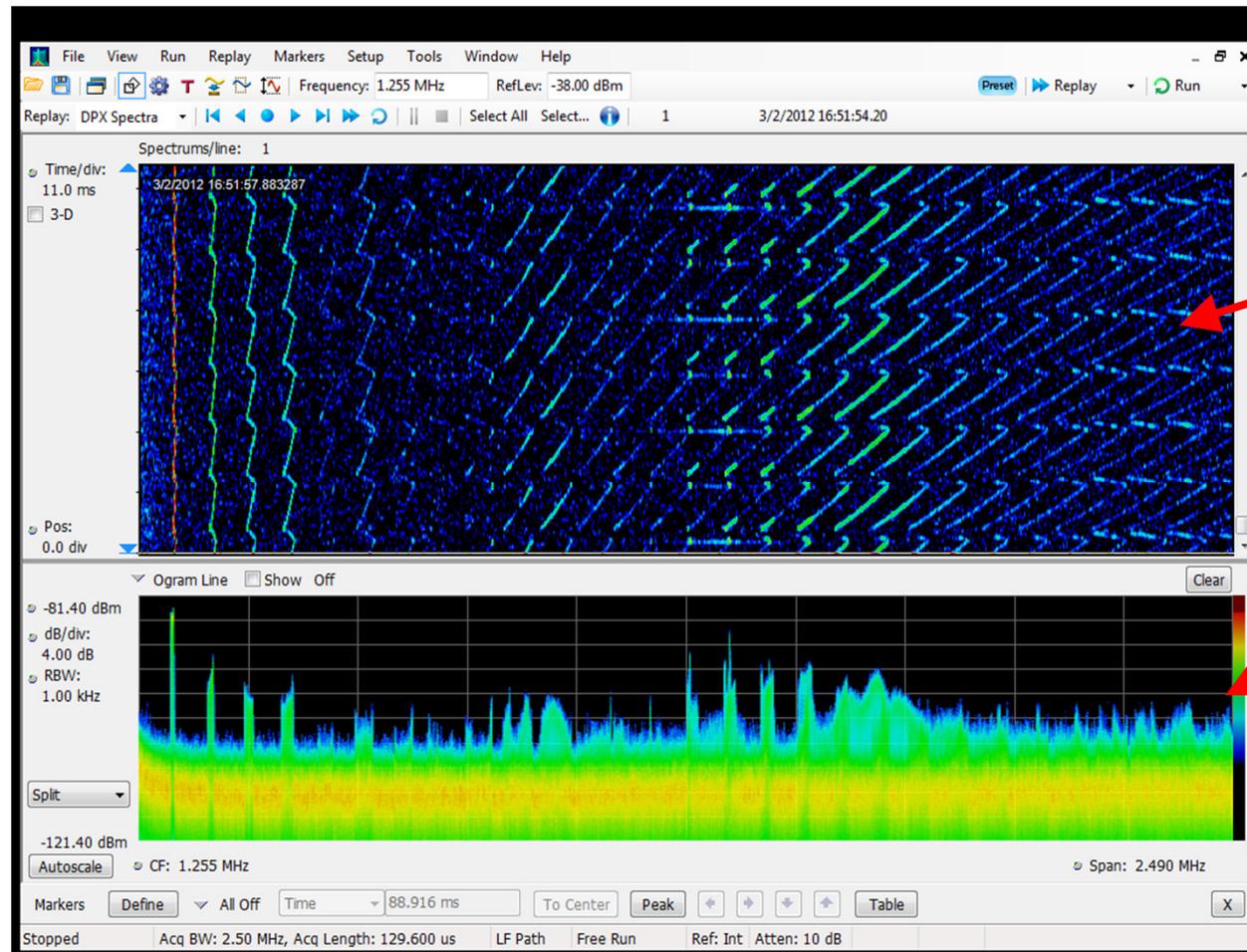
Panノブでズームの位置を調整



電流のリップルとノイズ・パワーの変動周期は相関がある(スイッチング電源のスイッチング周期)

参考:リアルタイム・スペアナを用いた LED照明の放射ノイズ測定例

- RSA5000AのDPX機能によるLED電球の放射ノイズ測定



スペクトログラム表示
縦軸:時間
横軸:周波数
レベルは、色表示

DPXによるスペクトラム画面
発生頻度は色表示

参考：微細ピッチの近接界プローブ

- 30MHz～6GHz
- 0.2mm 空間分解能
- 磁界プローブ(H)
- 電界プローブ(E)

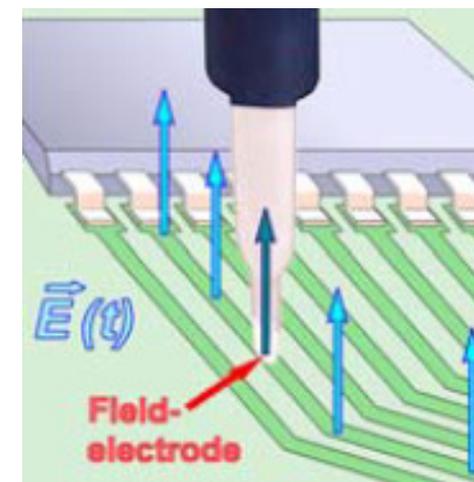
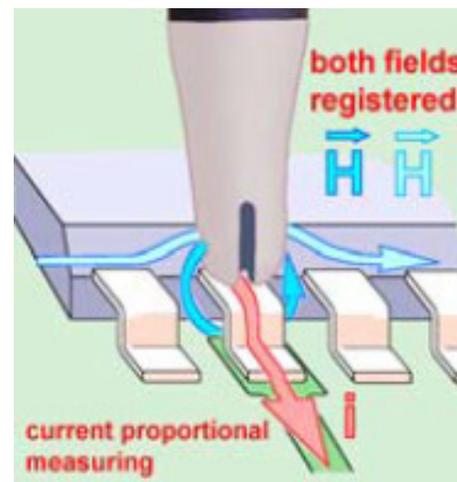


ドイツ LANGER社製

日本国内連絡先：
TSSジャパン

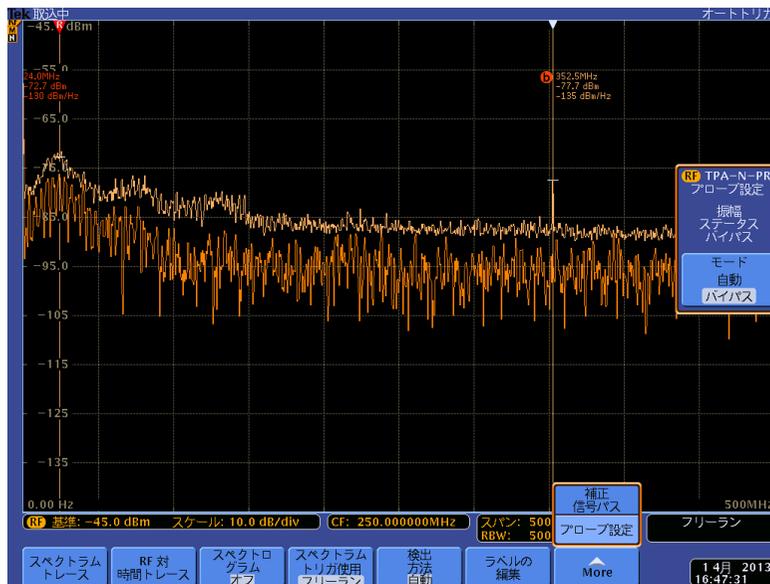
<http://www.tssj.co.jp/>

パソコンを付ける
端子を判別できる

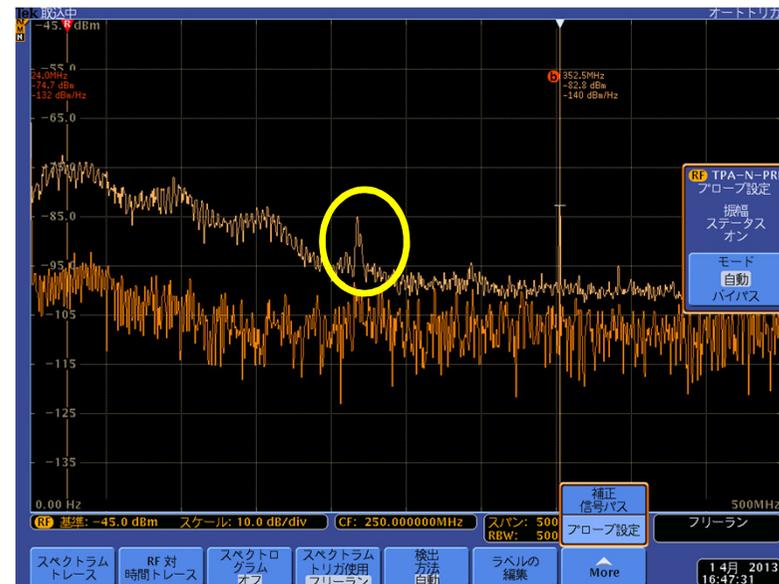


NEW! 低ノイズ・フロア測定に最適なプリアンプ

- MDO4000シリーズ用
TPA-N-PRE 型プリアンプ
 - ダイナミックレンジを減らさずに、
低ノイズ・フロアを実現
 - 特長
 - 周波数帯域: 9 kHz – 6 GHz
 - ゲイン: 12 dB
 - 表示平均ノイズレベルの改善(DANL)
: **10 dB**



TPA-N-PRE
使用



まとめ

- スイッチング電源からのノイズの評価には、次の要件を満たすスペクトラム・アナライザが有効
 - － 高速なスペクトラムの取り込みが可能
 - － 一度に広帯域にわたる取り込みが可能
- TektronixのMDO4000シリーズ ミックスド・ドメイン・オシロスコープ(スペアナ統合オシロスコープ)では、上記の条件を満たす上、スペクトラムの時間変化、および電圧・電流波形とノイズ発生タイミングの比較が可能のため、ノイズの発生源の特定が容易



本テキストの無断複製・転載を禁じます。テクトロニクス/ケースレーインストルメンツ
Copyright © Tektronix, Keithley Instruments. All rights reserved.

www.tektronix.com/ja
www.keithley.jp/

 **Twitter** [@tektronix_jp](https://twitter.com/tektronix_jp)
 **Facebook** <http://www.facebook.com/tektronix.jp>

Tektronix[®]

KEITHLEY
A Tektronix Company