

スイッチング電源のノイズ評価



テクトロニクス・イノベーション・フォーラム2012

宮崎 強

www.tektronix.com/ja

伝導ノイズと放射ノイズ

- 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
 - 電源のリップル

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}

とすると

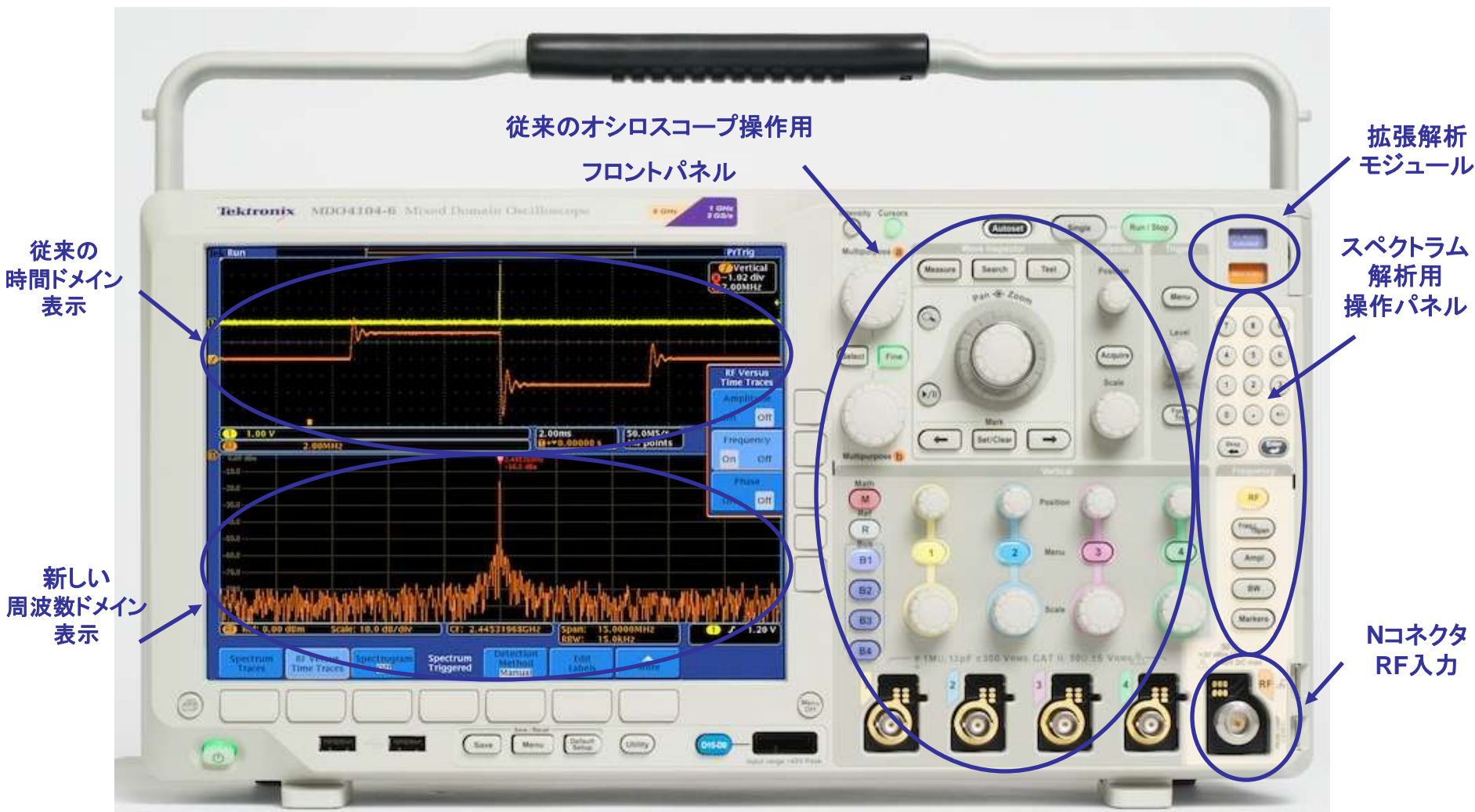
$$\Delta V_{rpl} = \Delta I \times Z_{pdn}$$

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

世界初のミックスド・ドメイン・オシロスコープ(MDO) MDO4000シリーズ

MDO = アナログ、デジタル そしてRF の時間相関をもった計測が可能な測定器



スペクトラム解析 専用のフロントパネル

数値キーパッドで詳細な
数値を素早く入力

専用フロントパネル・ボタンは
、頻繁に使用する機能に割り
当てられ、スムーズな操作性
を提供

Frequency & Span

Center Frequency
a 1.50GHz

Span
b 3.00GHz

Start
0.00 Hz

Stop
3.00GHz

To Center

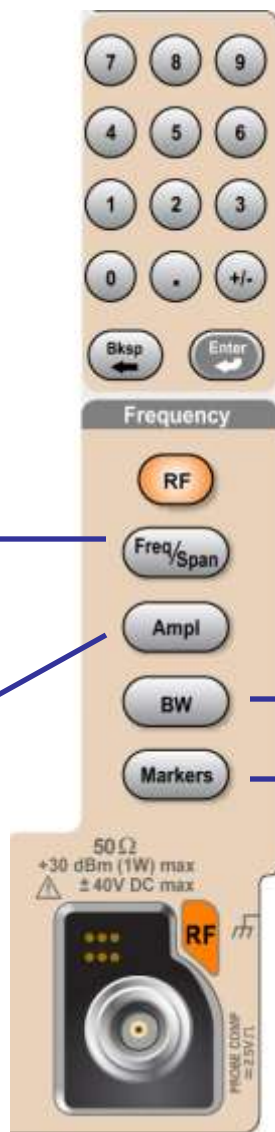
Amplitude

Ref Level
a 0.00 dBm

Vertical
0.00 div
10.0 dB/div

Vertical Units
dBm

Auto Level



Bandwidth

RBW Mode
Auto
Manual

RBW
a 3.00MHz
(Auto)

Span : RBW
1000 : 1

Window
Kaiser

Center Frequency
2.44536 GHz

Units

Hz

kHz

MHz

GHz

Markers

Peak Markers
5
On Off

To Center

Threshold
a -50.0 dBm
Excursion
b 30.0 dB

Manual Markers
On Off

Readout
Absolute
Delta

部品、配線パターン、レイアウト、実装、開口部のノイズ対策用 プローブとアンテナ

■ 近接界プローブ・セット

- 100kHz~1GHz
- 60mm,30mm,10mm 磁界ループ 3本
- 32mm球状、スタブ・チップ 電界 2本
- 200mm延長グリッパ

P/N :
119-4146-00
(BNCケーブルは別売りです)



近接界プローブ・セット



■ 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



TPA-N-VPI型アダプタ



1103型プローブ電源

■ 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



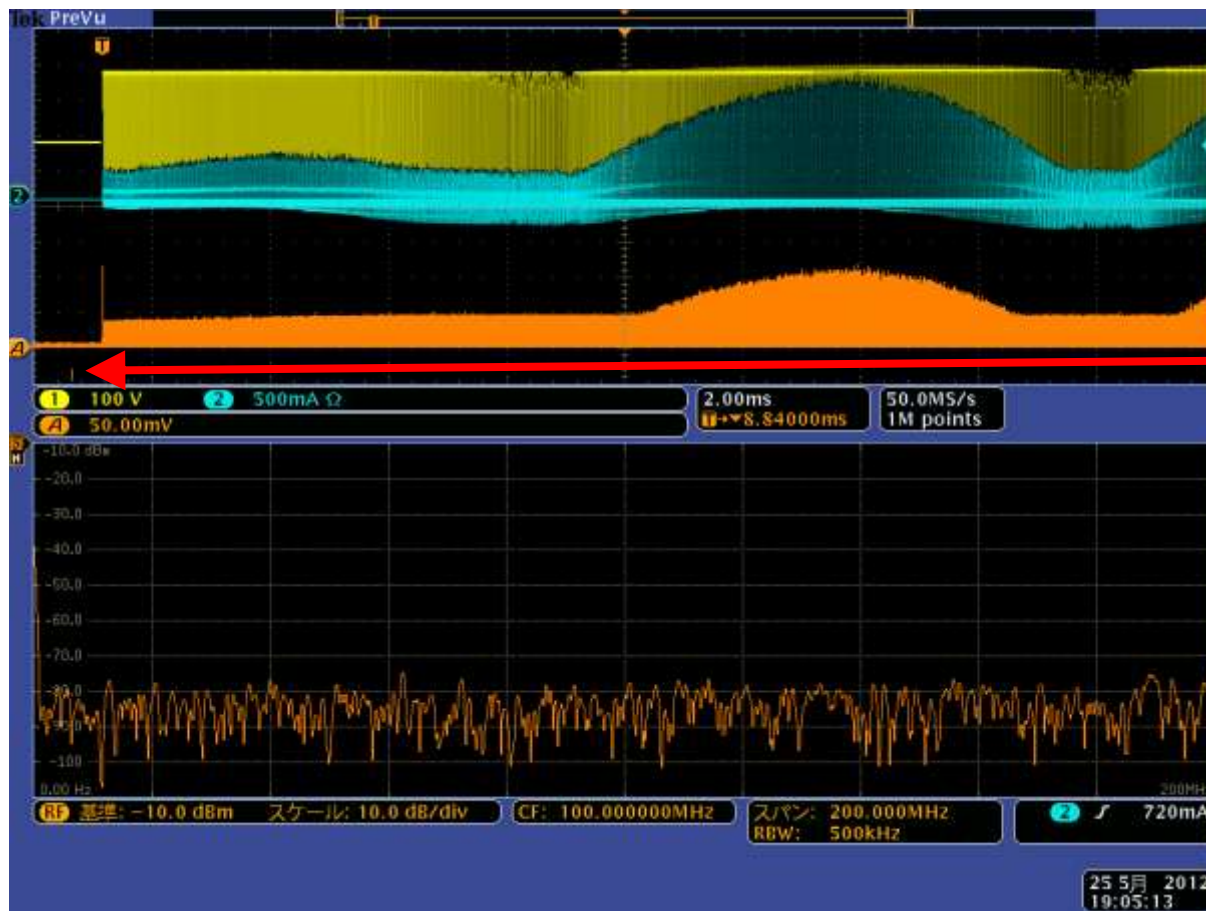
ビーム・アンテナ



RTPA2A型(50Ω出力)

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

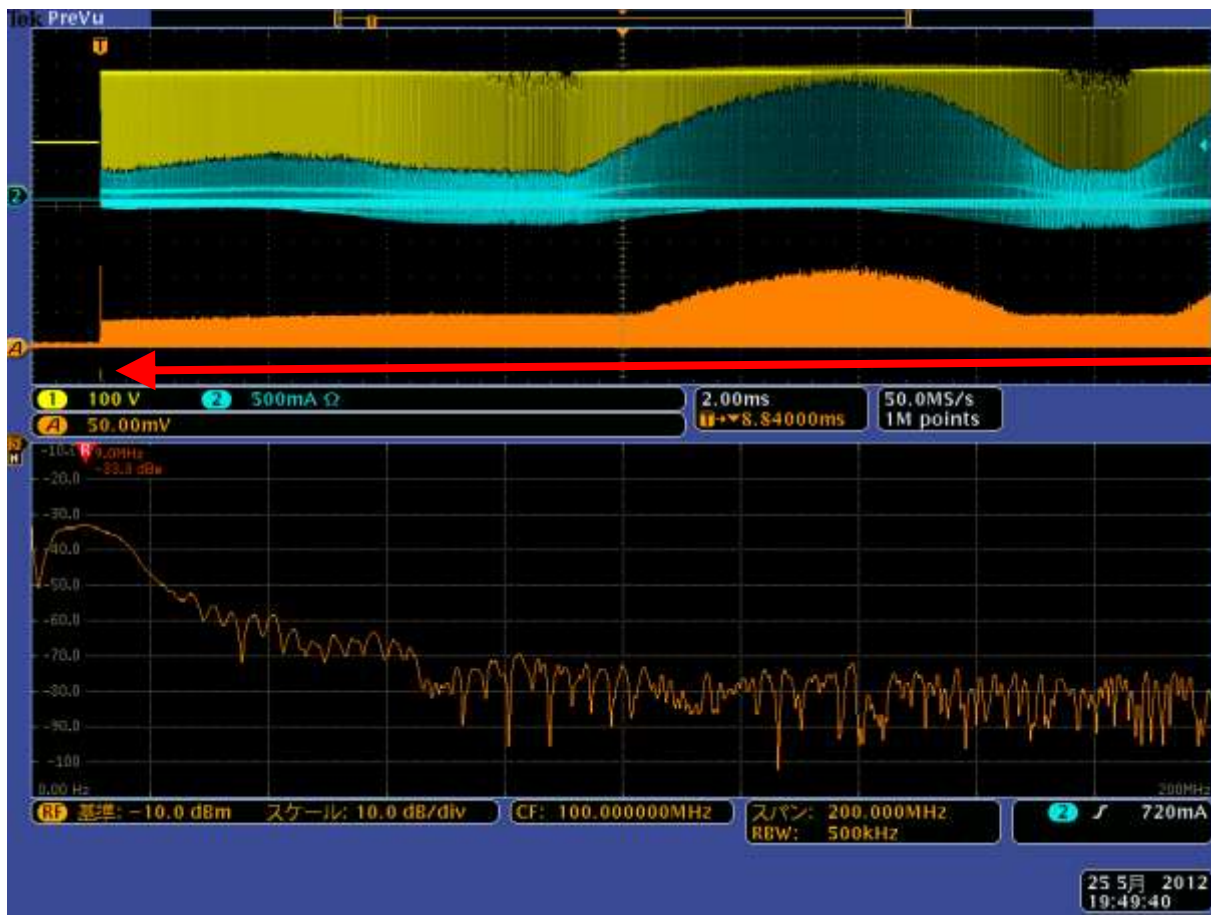
Panノブで自由に
時間を移動可能



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 1

- 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

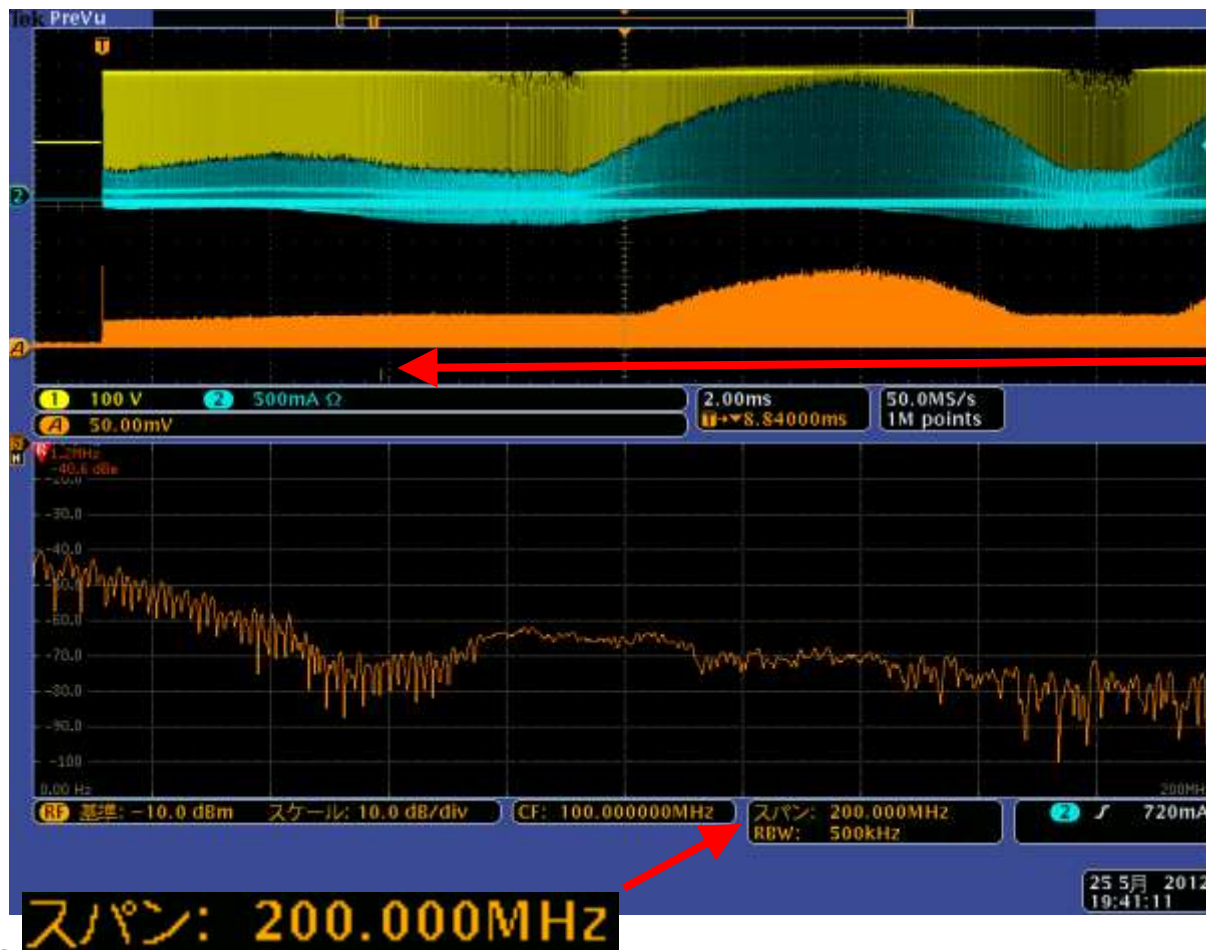
Panノブで自由に
時間を移動可能



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 1

- 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

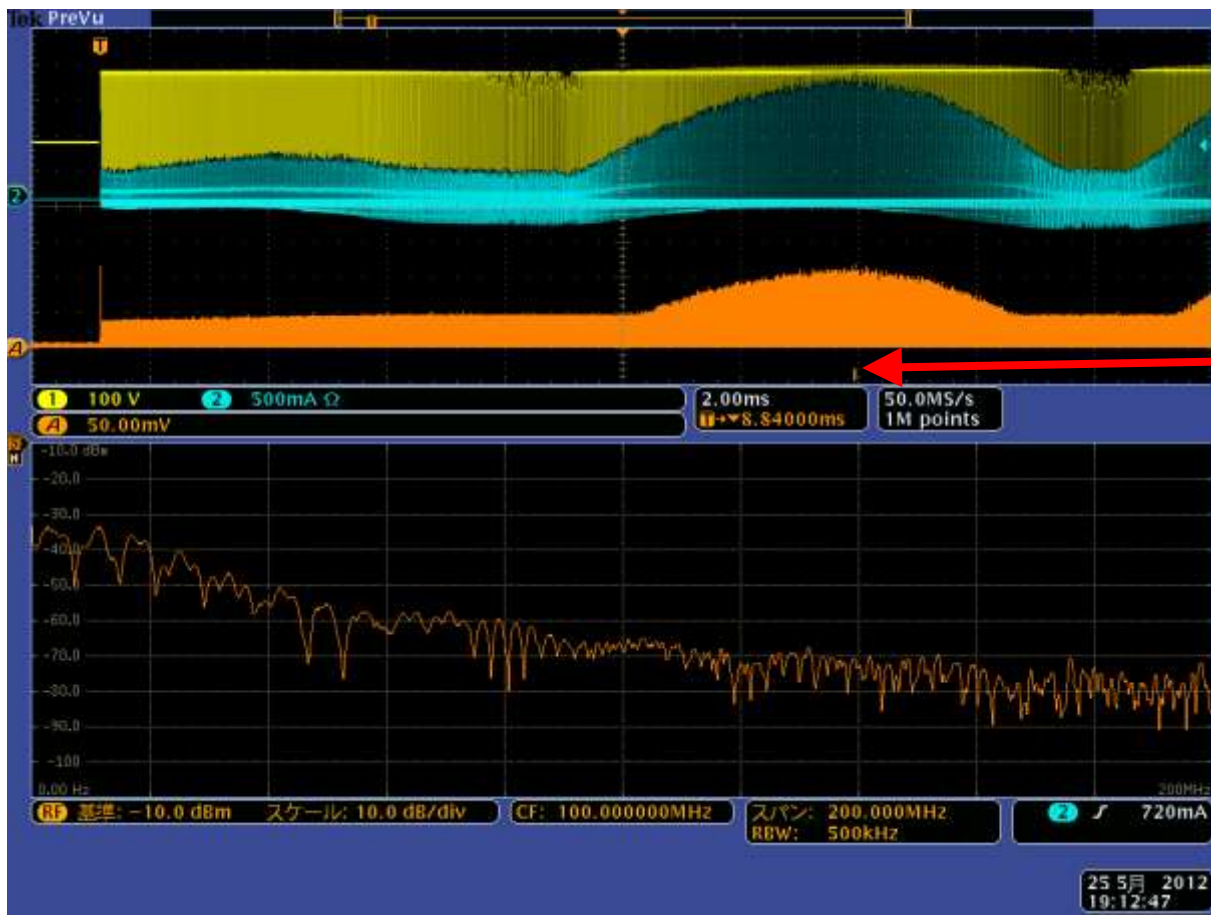
Panノブで自由に
時間を移動可能



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 1

- 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 1

- 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 1

- 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

Panノブでズームの位置を微調整



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 1

- 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
Panノブでズームの位置を変更

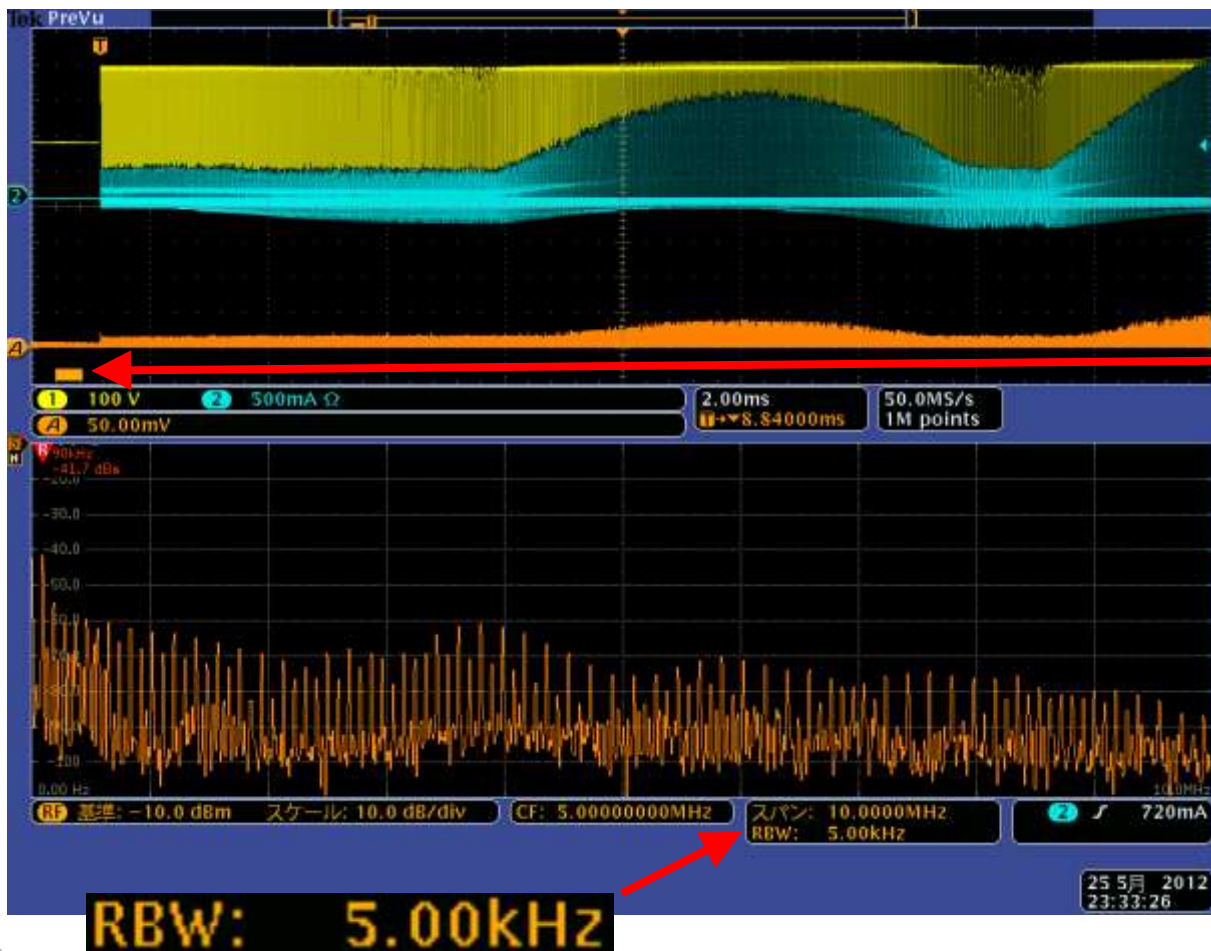


スペクトラム・タイム

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 1

- MDO4104-6型によりPFC電源を測定
 - RF入力に近接プローブを接続し、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

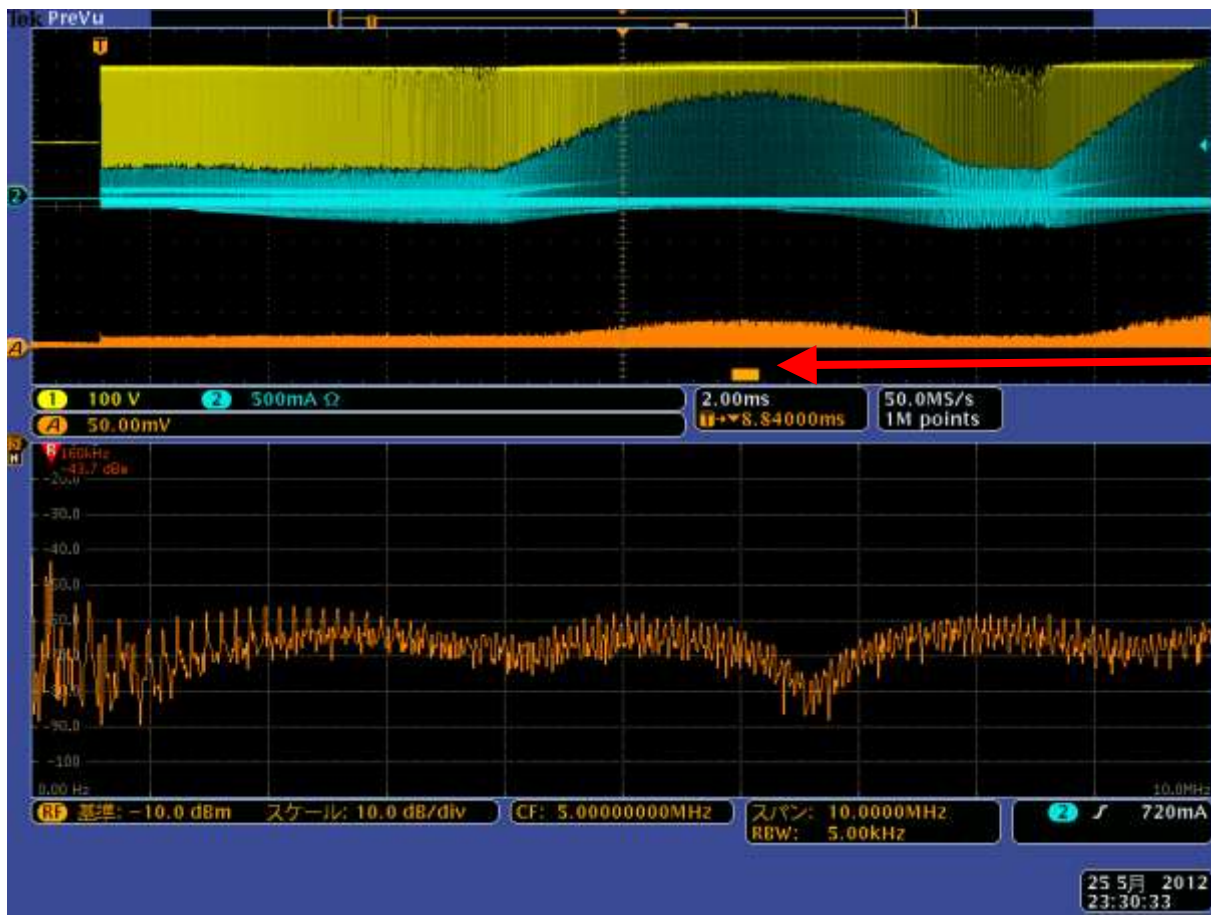
Panノブで自由に時間を移動可能



→ 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 1

- MDO4104-6型によりPFC電源を測定
 - RF入力に近接プローブを接続し、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

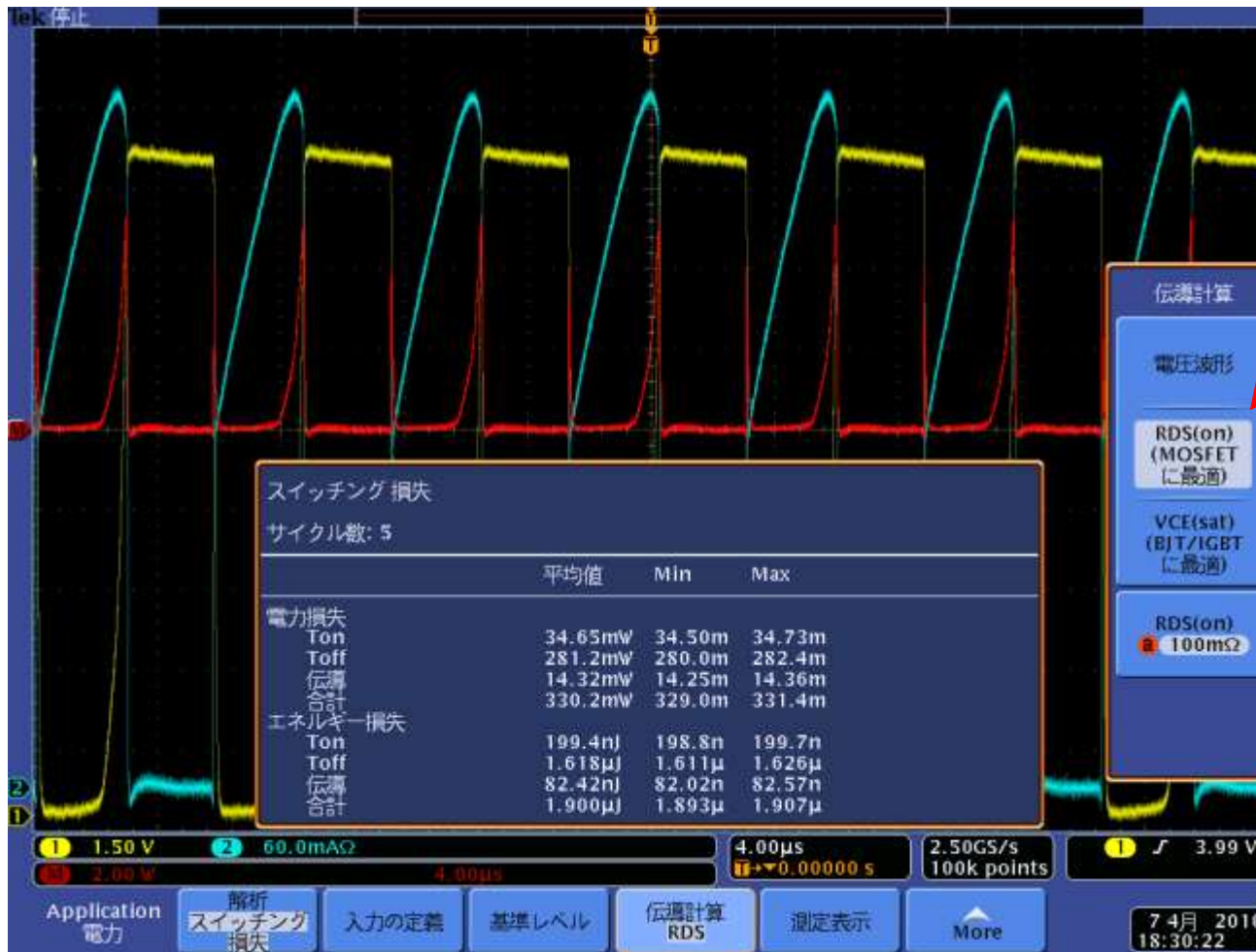
Panノブで自由に時間を移動可能



→ スペクトラム・タイムの瞬間のスペクトラム

参考: MDO4000シリーズによる電力損失測定

- パワー解析モジュールDPO4PWRによるスイッチング損失の自動測定



VCE(sat)またはRDS(on)を指定

Ch1: 電圧波形 (黄色)

Ch2: 電流波形 (青色)

Math: Ch1 × Ch2 (赤色)

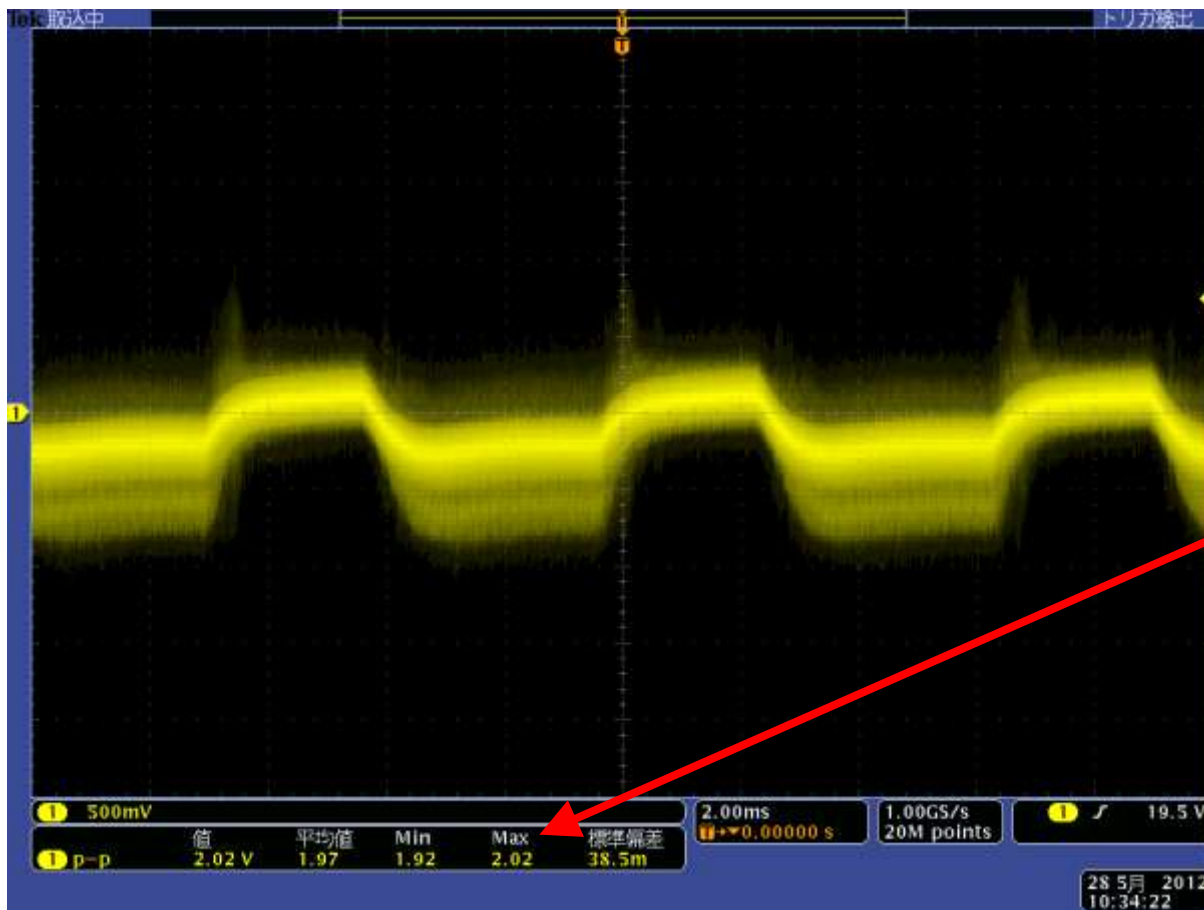
電源のリップルの測定例

- パワー解析モジュールDPO4PWRによるリップル測定
 - スイッチング周波数成分のリップルを測定



電源のリップルの測定例

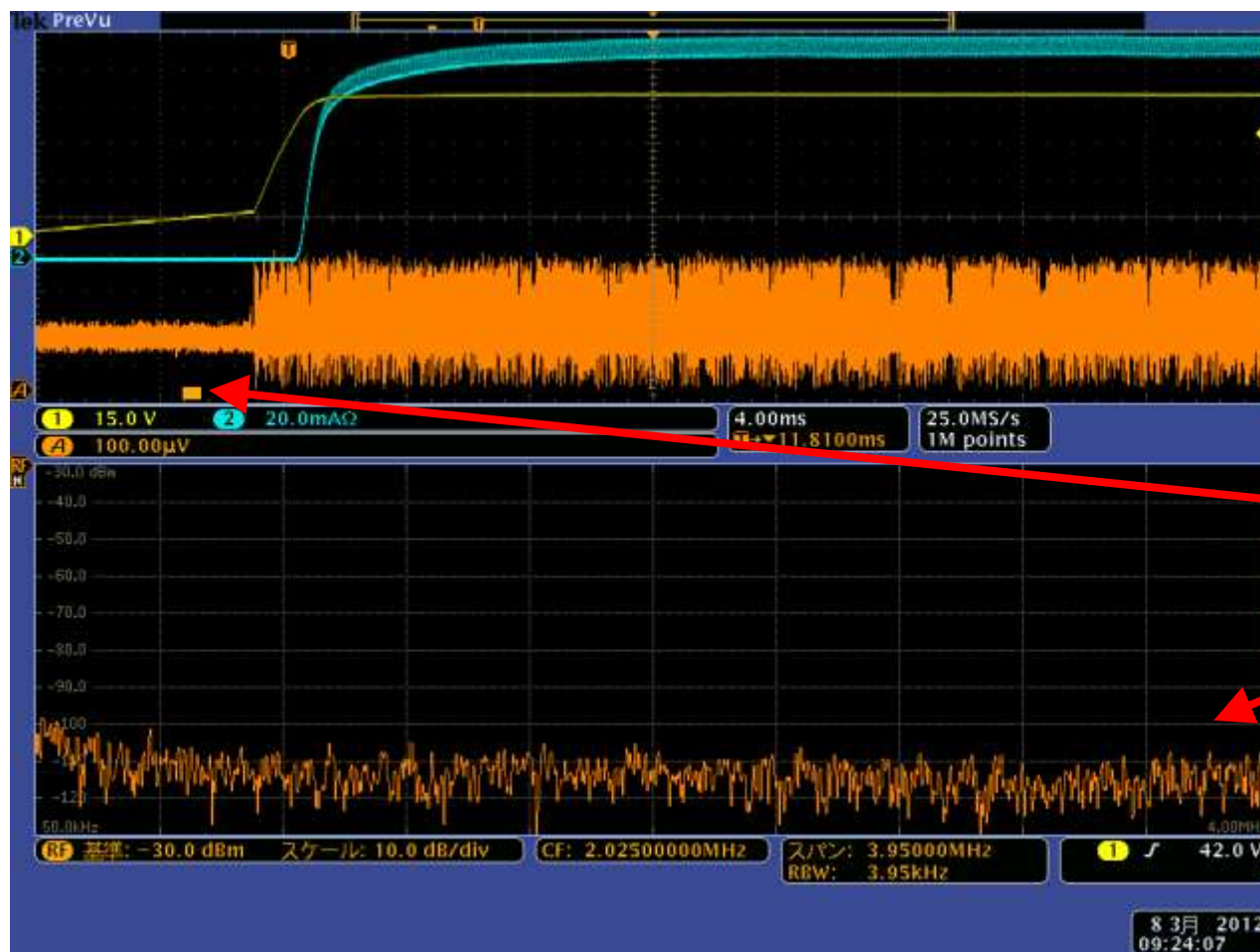
- 全リップル測定
 - オシロスコープのPeak to Peak測定を使用



リップルの測定結果

LED照明の放射ノイズ測定の実例 1

■ 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)

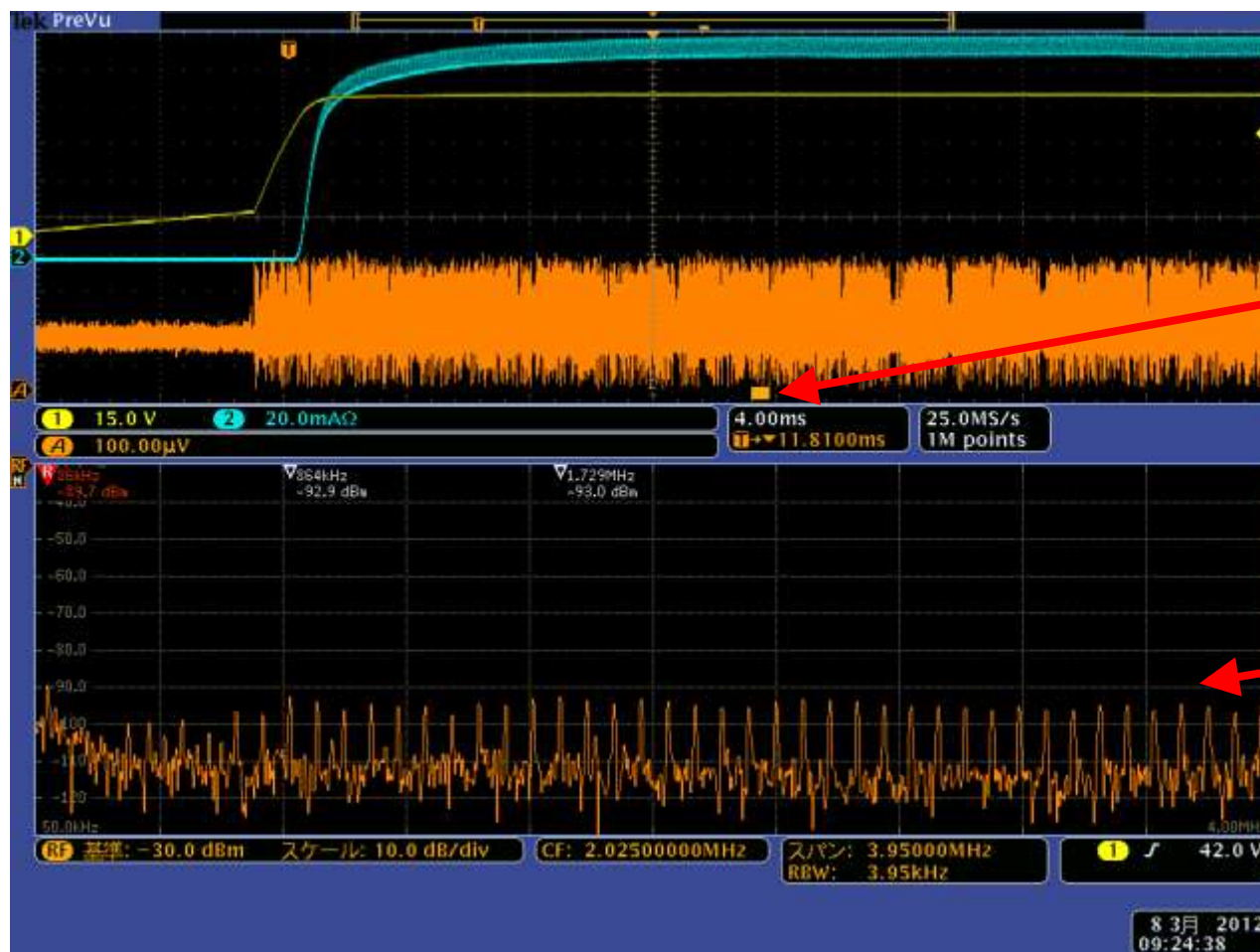
→ スペクトラム・パワー
の時間変動

→ 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 1

■ 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電球の放射ノイズ測定の実例 1

■ LED駆動電流のリップルと放射ノイズ



ズームの位置

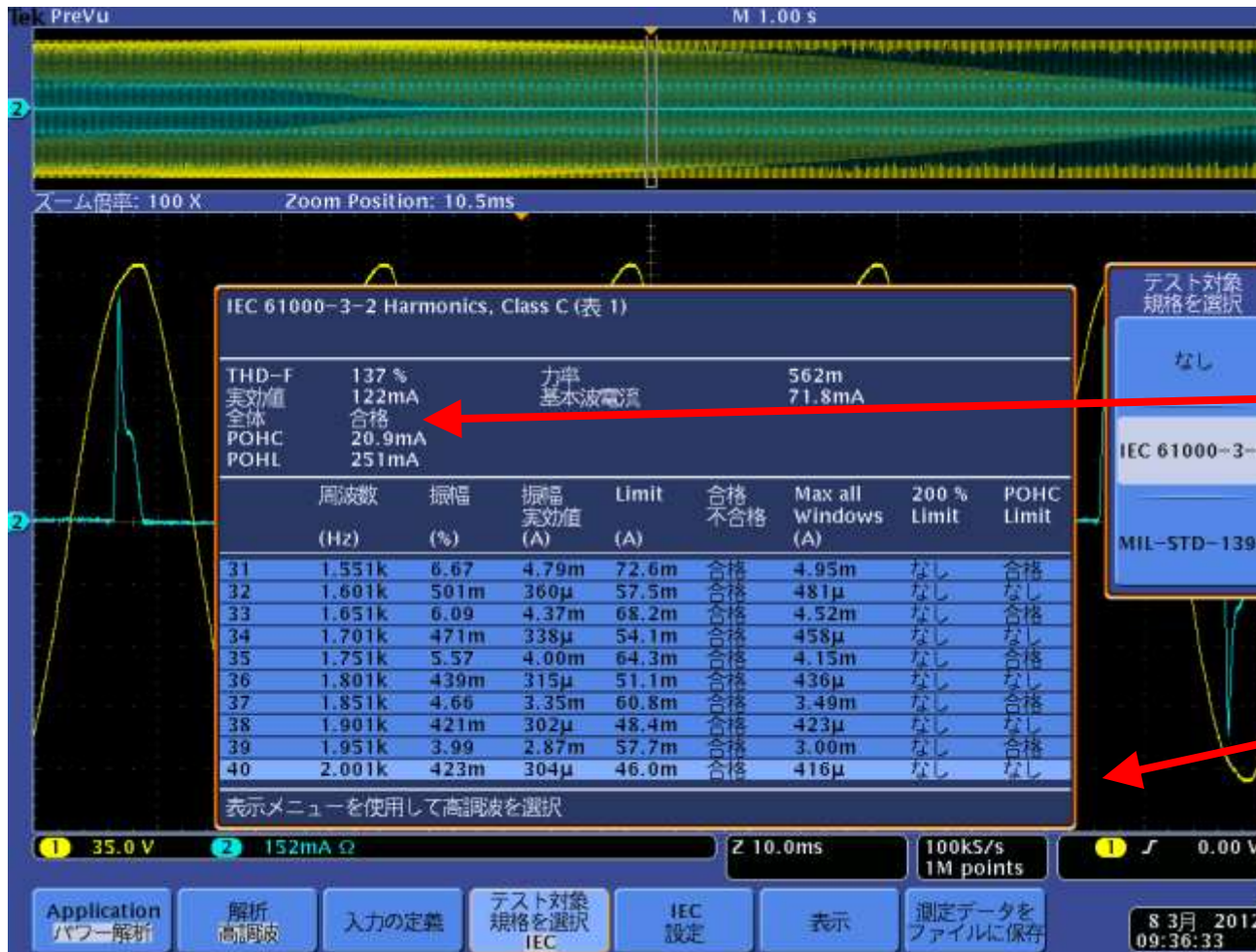
Panノブでズームの位置を調整



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)

MDO4000シリーズによるLED照明の電流高調波測定

- パワー解析モジュールDPO4PWRによる電流高調波の自動測定



Ch1: 電圧波形 (黄色)
Ch2: 電流波形 (青色)

電流高調波規格 IEC61000-3-2 規格適合性評価

40次までの高調波を測定

参考: LED照明の消費電力測定の実例

- MDO4104-6型によるLED電球のトータル消費電力測定
 - AC入力電流、電圧波形から測定



カーソルa、b間の平均消費電力は7.191W

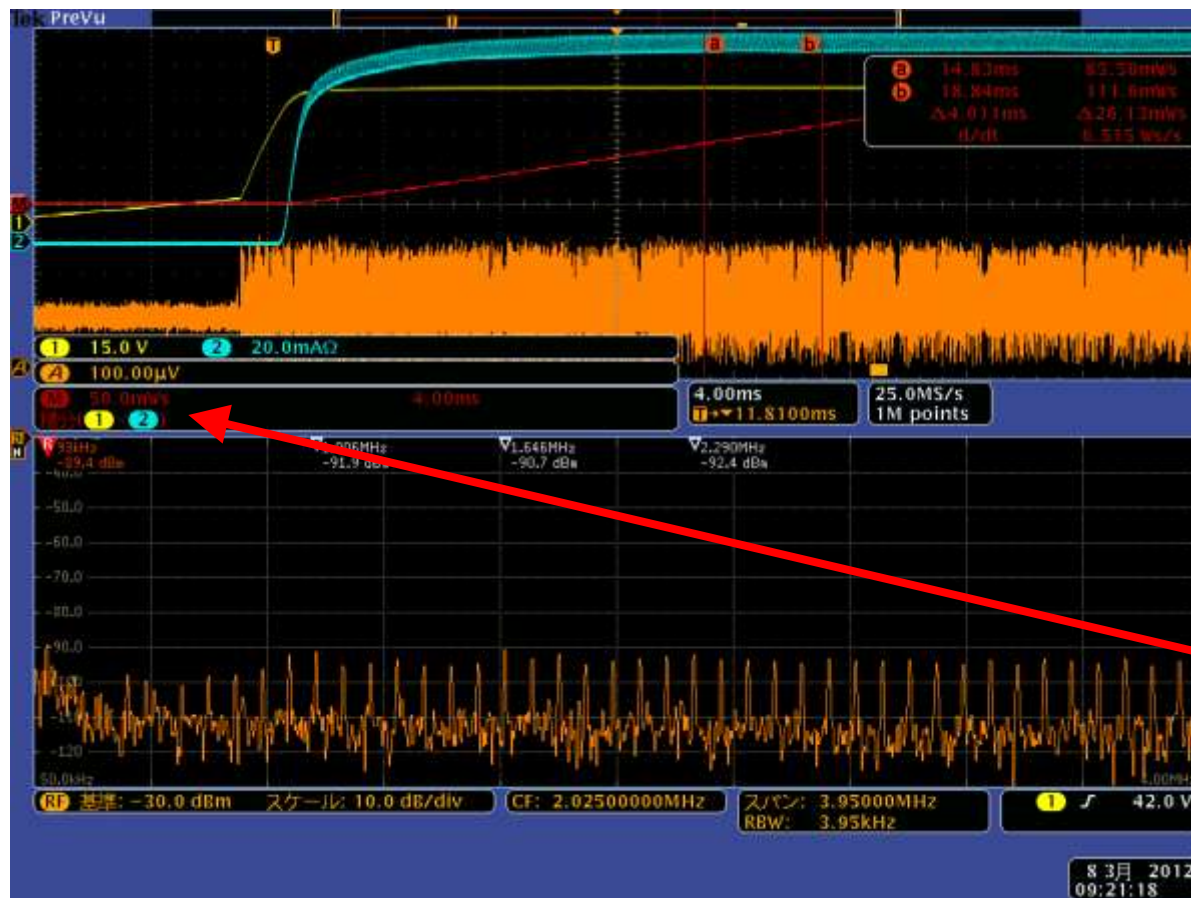


参考:LED照明の消費電力測定の実例 1

■ LEDの消費電力測定

Ch1: LED駆動電圧
(黄色)

Ch2: LED駆動電流
(青色)



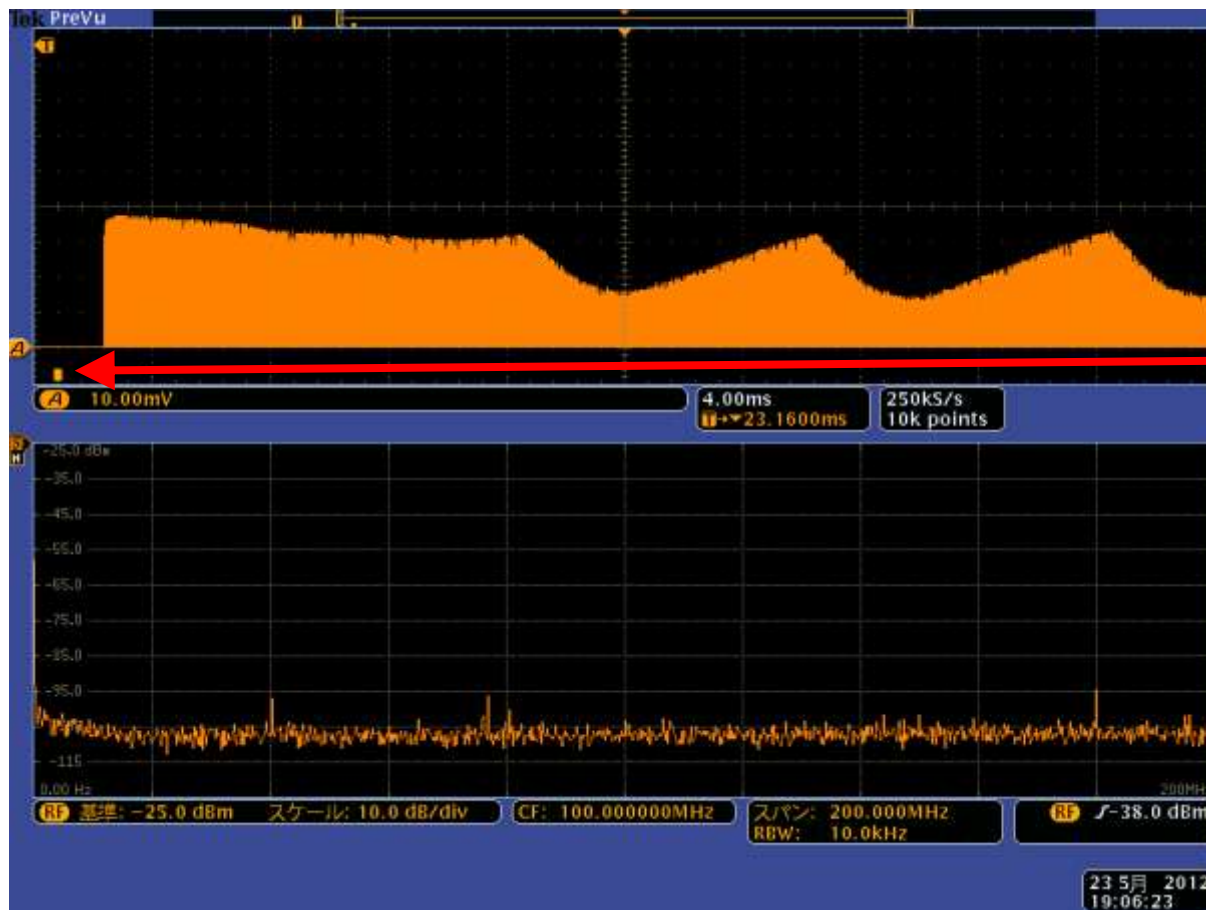
カーソルa、b間の平均消費電力は6.515W

M 50.0mW/s
積分(1 × 2)

スイッチング電源の電力損失は、 $7.191\text{W} - 6.515\text{W} = 0.636\text{W}$

LED照明の放射ノイズ測定の実例 2

- MDO4104-6型により放射ノイズを測定
 - RF入力に近接プローブを接続し、放射ノイズを測定



スペクトラム・パワーの時間変動

スペクトラム・タイム

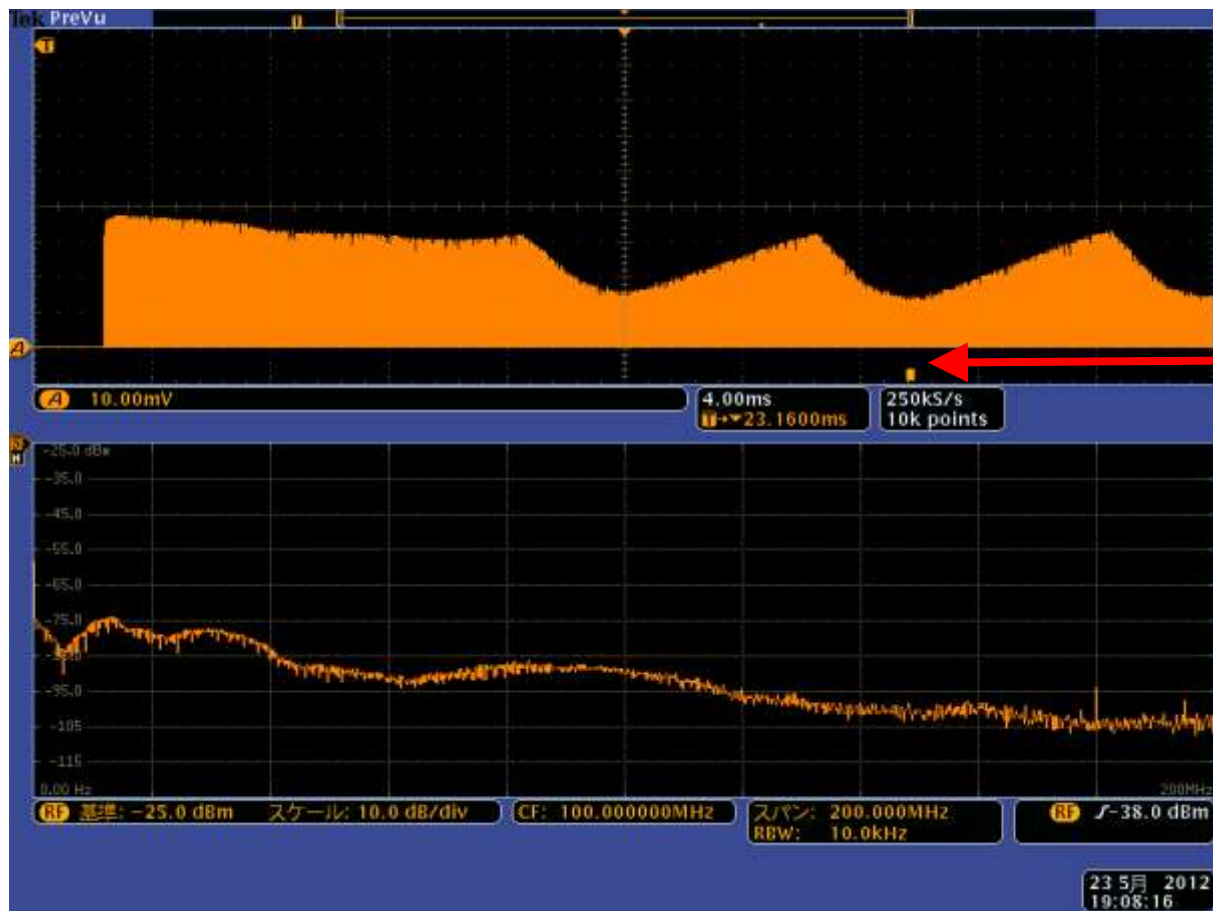
Panノブで自由に時間を移動可能



スペクトラム・タイムの瞬間のスペクトラム (OFF時のノイズ)

LED照明の放射ノイズ測定の例 2

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



スペクトラム・パワーの時間変動

スペクトラム・タイム

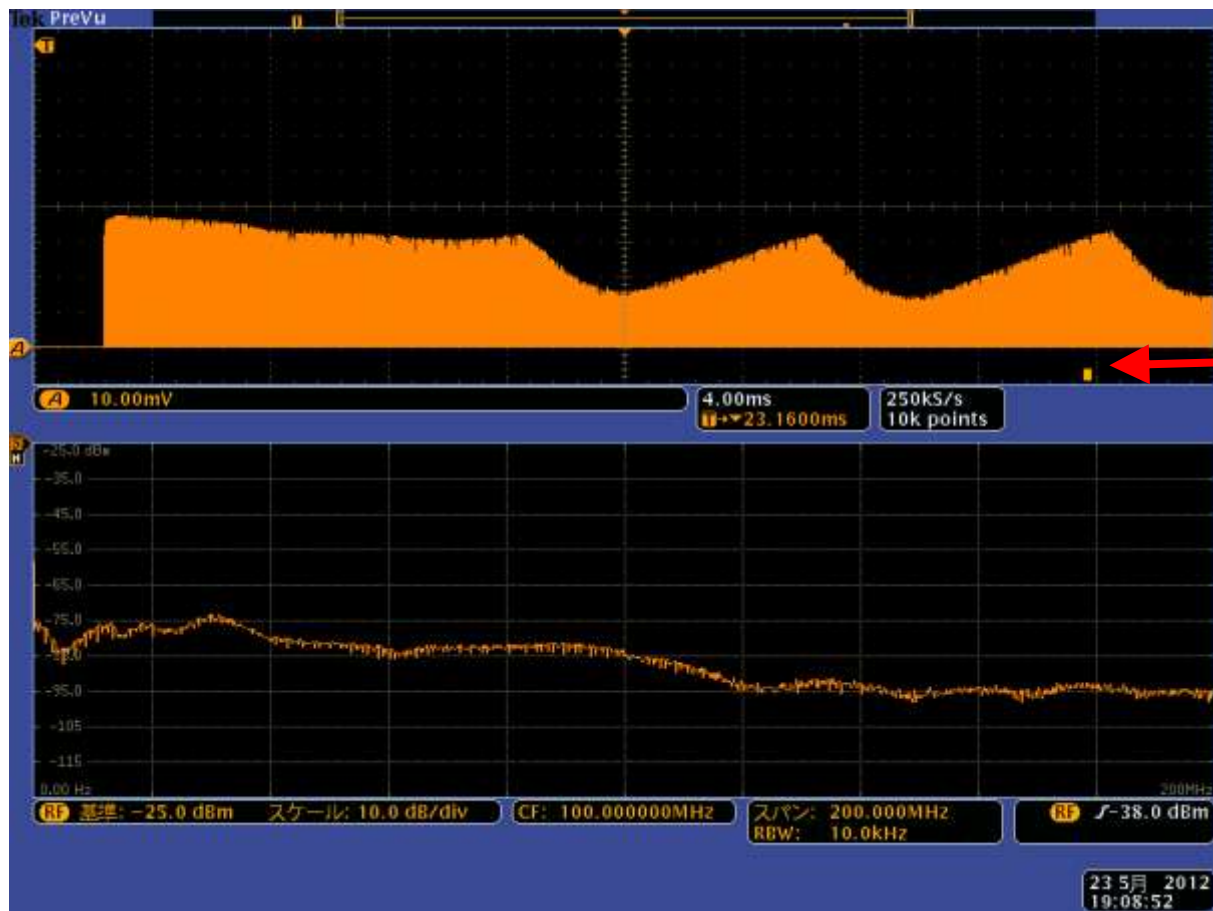
Panノブで自由に時間を移動可能



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 2

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



スペクトラム・パワー
の時間変動

スペクトラム・タイム

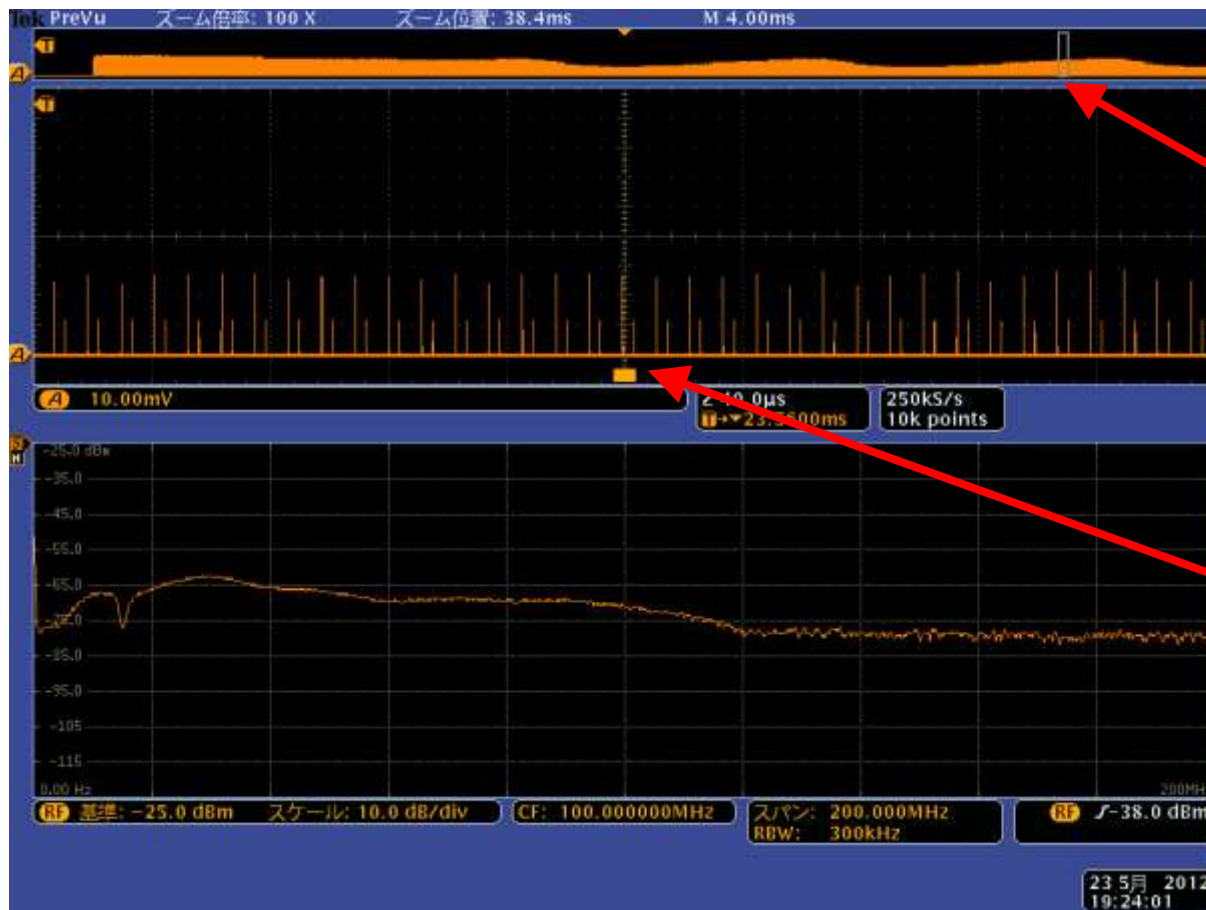
Panノブで自由に
時間を移動可能



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例 2

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



ズームの位置

Panノブでズームの位置を調整



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例 2

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



ズームの位置

Panノブでズームの位置を微調整

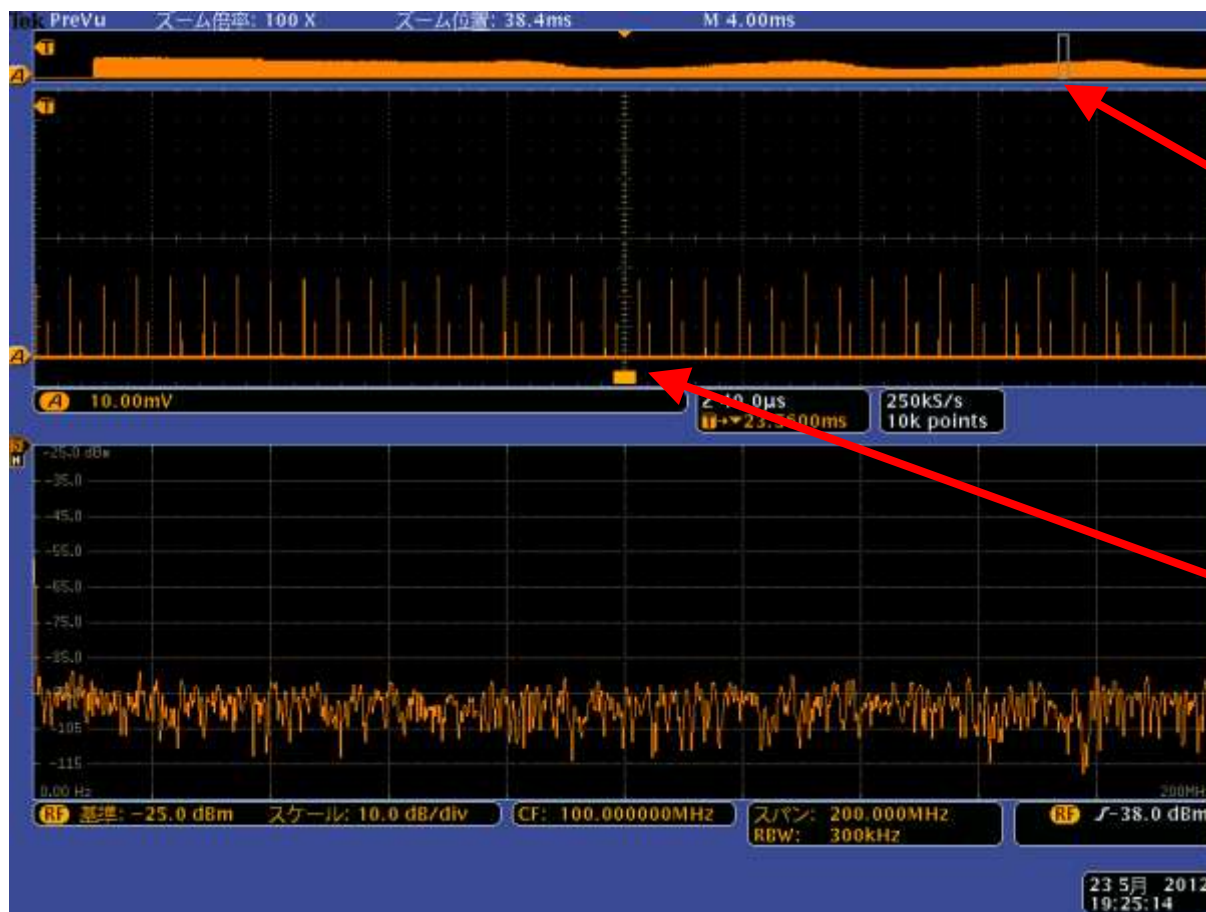


スペクトラム・タイム

スペクトラム・タイムの瞬間のスペクトラム

LED照明の放射ノイズ測定の実例 2

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



ズームの位置

Panノブでズームの位置を微調整

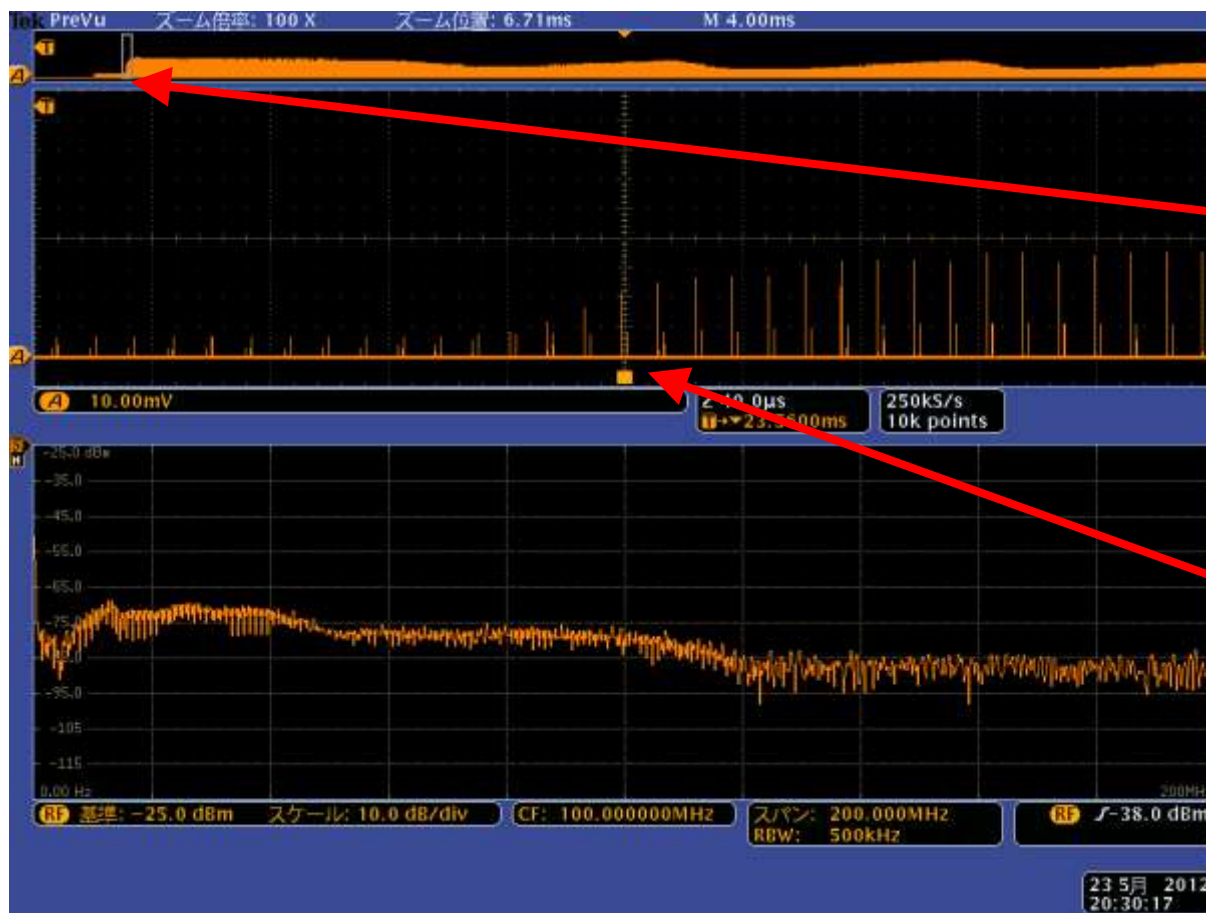


スペクトラム・タイム

スペクトラム・タイムの瞬間のスペクトラム

LED照明の放射ノイズ測定の例 2

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



ズームの位置

Panノブでズームの位置を調整

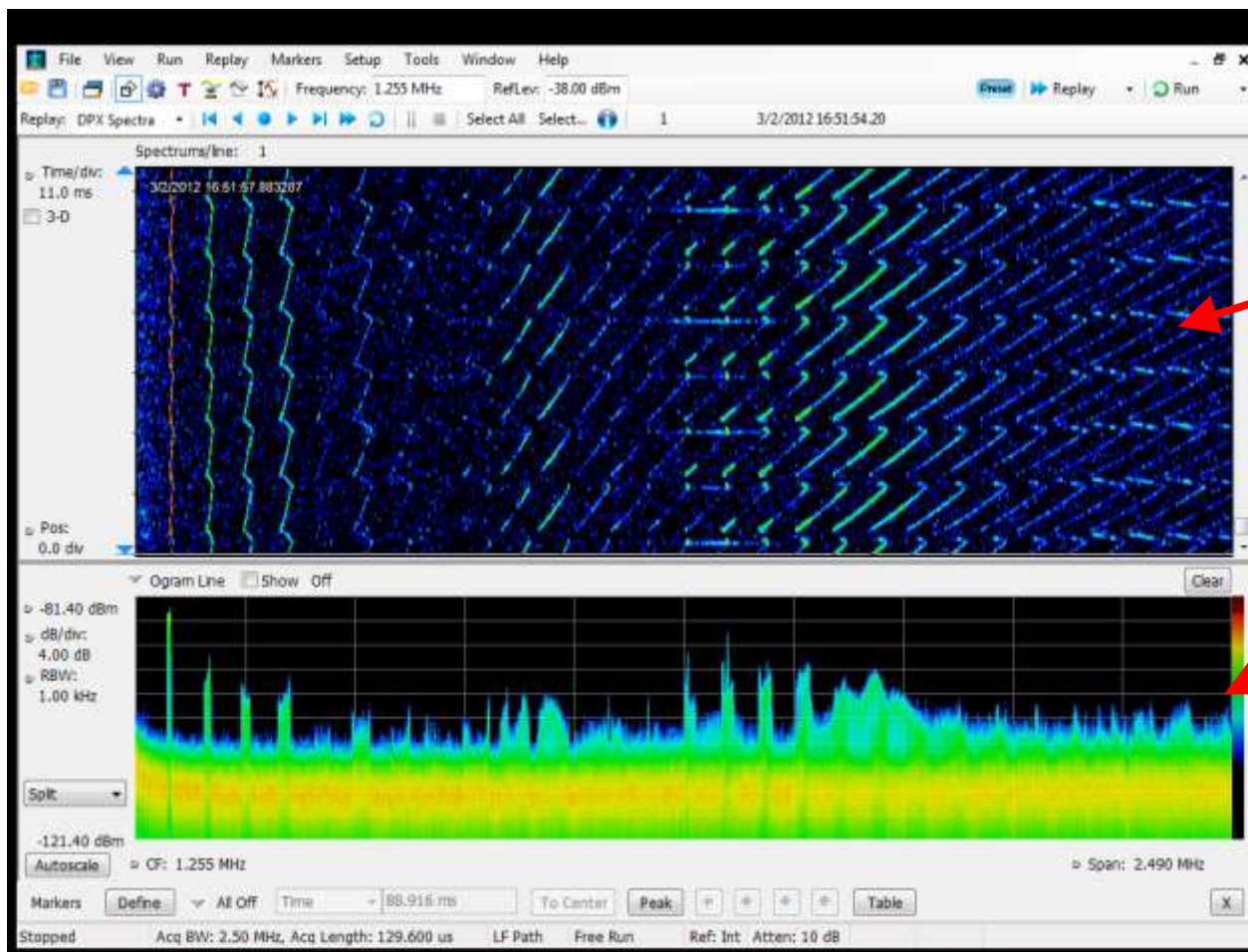


スペクトラム・タイム

スペクトラム・タイムの瞬間のスペクトラム

LED照明の放射ノイズ測定の実例 3

- 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

広帯域高電圧差動プローブ



周波数帯域が従来品の2倍

型名	周波数帯域 (-3dB)	減衰比	最大差動 入力電圧	入力抵抗／入力容量
TMDP0200型※3	200MHz	250:1/25:1	750V	5MΩ/2pF未満.
THDP0200型※3	200MHz	500:1/50:1	1.5kV	10MΩ/2pF未満
THDP0100型※3	100MHz	1000:1/100:1	6.0kV	40MΩ/2.5pF未満

※3: TekVPIプローブ・インターフェース用(DPO7000Cシリーズ、MSO/DPO5000シリーズ、MSO/DPO4000Bシリーズ、MSO/DPO3000シリーズなどに対応)



電源評価用プローブ



高電圧プローブ(シングルエンド)

型名	周波数帯域 (-3dB)	減衰比	最大入力電圧	入力抵抗/入力容量
P5100A型	500MHz	100:1	2.5kV	40MΩ/2.8pF
TPP0850型※1	800MHz	50:1	2.5kV	40MΩ/1.5pF

※1: MSO/DPO5000シリーズ、MSO/DPO4000Bシリーズ専用

高電圧差動プローブ

型名	周波数帯域 (-3dB)	減衰比	最大差動入力電圧	入力抵抗/入力容量
P5202A型※2	100MHz	200:1/20:1	640V	5MΩ/2pF未満.
P5205A型※2	100MHz	500:1/50:1	1.3kV	10MΩ/2pF未満
P5210A型※2	50MHz	1000:1/100:1	5.6kV	40MΩ/2.5pF未満
P5200A型	50MHz	500:1/50:1	1.3kV	10MΩ/2pF未満
TDP0500型※3	500MHz	50:1/5:1	42V	1MΩ/1pF未満

※2: DPO7000(C)シリーズ、MSO/DPO5000シリーズ、MSO/DPO4000(B)シリーズでは、TPA-BNC型
TekVPI-TekProbe BNCアダプタが必要 ※3: TekVPIプローブ・インタフェース用

広帯域電流プローブ

■ TekVPI対応電流プローブ

－ TCP0030型

- ・ 最高感度: 1 mA/div
- ・ 周波数帯域: DC~120 MHz
- ・ 最大測定電流: 30Arms AC/DC

－ TCP0150型

- ・ 最高感度: 5 mA/div
- ・ 周波数帯域: DC~20 MHz
- ・ 最大測定電流: 150Arms AC/DC



高感度
広帯域



大電流
高感度

■ TekProbe Level2対応電流プローブ

－ TCP300/400シリーズ

- ・ 周波数帯域: DC~100MHz
- ・ 最大連続電流: 30A(DC+peakAC)~750A(DC+peakAC)
- ・ TCPA300/400型アンプ使用
- ・ TEKPROBE® インタフェースにて電流値自動換算



測定前に、0Aの調整を実行してください。

世界初！ミックスド・ドメイン・オシロスコープ



唯一の

アナログ、デジタル、そしてRFの
時間相関による解析ができる
オシロスコープです

The
Tektronix
MDO4000 Series

ご清聴ありがとうございました。

本テキストの無断複製・転載を禁じますテクトロニクス社 Copyright Tektronix

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