

Transform Tomorrow. Today.

ROHDE & SCHWARZ TECHNOLOGY SYMPOSIUM 2024 JAPAN

オシロスコープによるノイズ測定： 取り逃しの無い効率的な測定のために

伊藤 卓

ローデ・シュワルツ・ジャパン株式会社
アプリケーション・エンジニア

ROHDE & SCHWARZ

Make ideas real



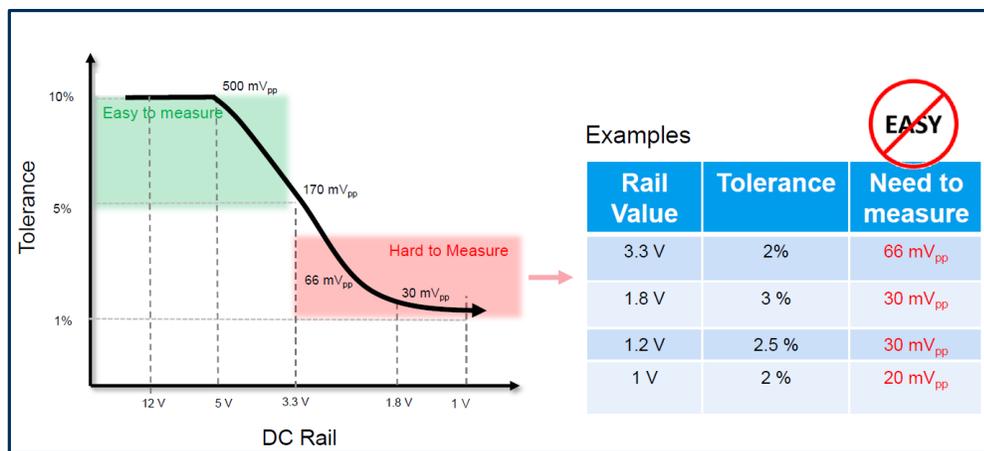
本日の内容

- ▶ 効率的なノイズデバッグのためにオシロを活用できないか？を念頭に置き、オシロスコープの測定について視点を変えながら検討していきます
 - ノイズ測定・デバッグに求められる機能・性能
 - ノイズ測定にオシロスコープの活用を検討する
 - オシロスコープの弱点を補う最新テクノロジーのご紹介：高速波形更新
 - オシロスコープの弱点を補う最新テクノロジーのご紹介：オーバーラップFFT
 - その他
 - まとめ

ノイズ測定・デバッグに求められる機能・性能

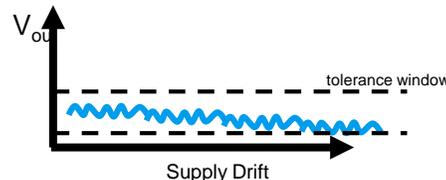
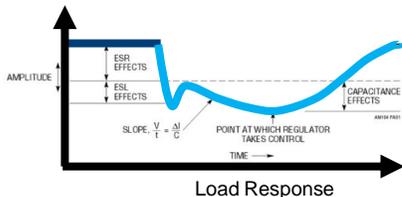
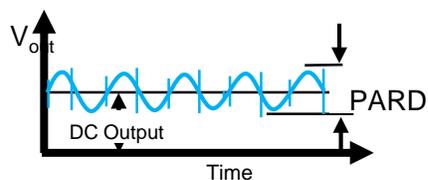
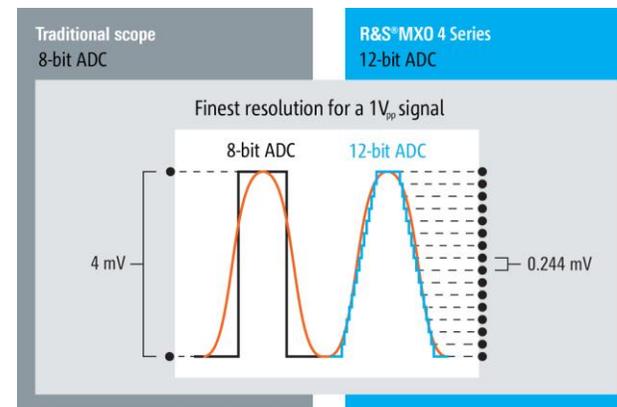
ノイズ測定への要求(1)

- ▶ 高速動作デバイスの増加と、
そのための電源電圧の低下に伴うノイズマージンの縮小



Examples

Rail Value	Tolerance	Need to measure
3.3 V	2%	66 mV _{pp}
1.8 V	3%	30 mV _{pp}
1.2 V	2.5%	30 mV _{pp}
1 V	2%	20 mV _{pp}



最新の高分解能オシロスコープと適切なプローブを組み合わせでの測定が有効です

プローブの影響：汎用性と特化性能のトレードオフ



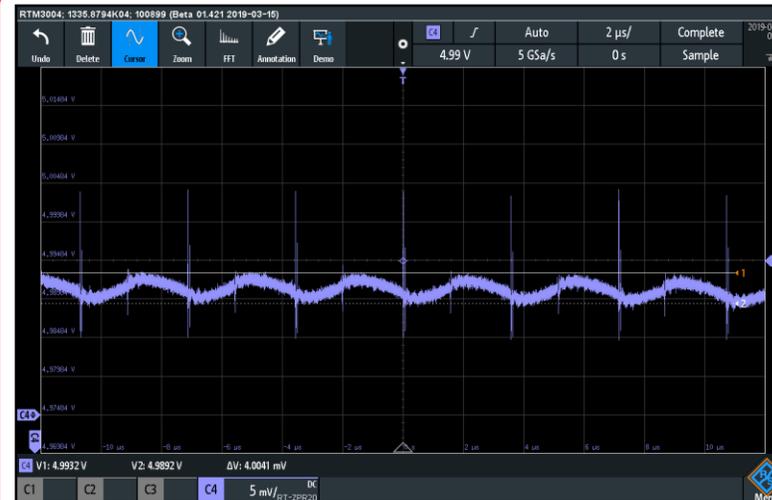
1:1 パッシブ
帯域：狭



DCブロック/
ACカップリング
負荷：大



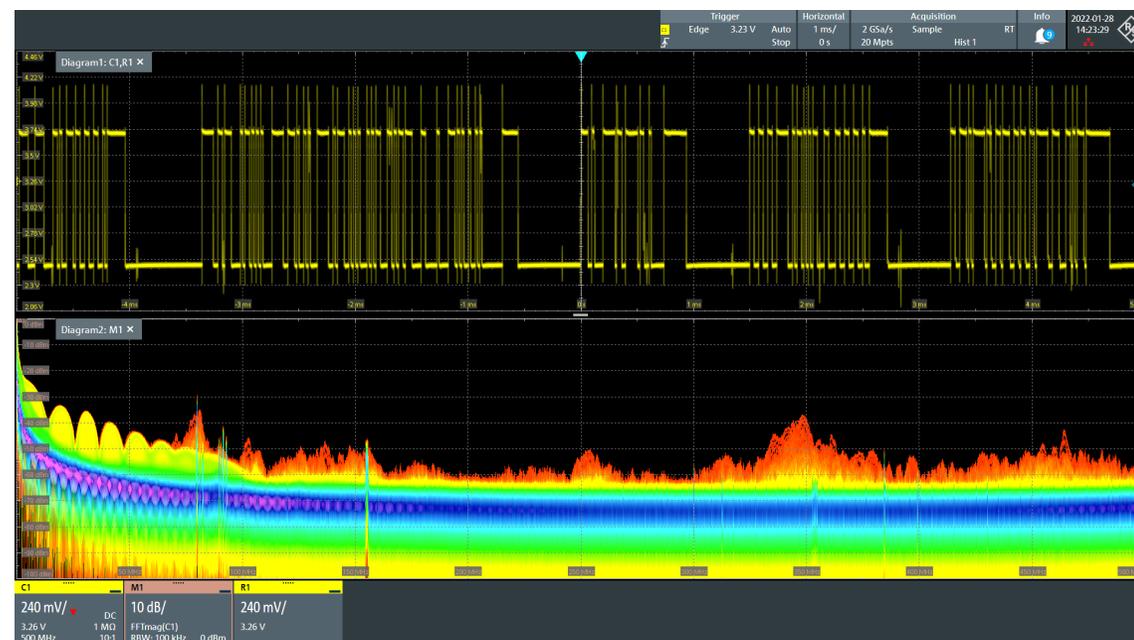
10:1 パッシブ
ノイズ：大



1:1 アクティブ
パワーレール
ダイナミックレンジ：狭
帯域：広
オフセット：大

ノイズ測定への要求(2)

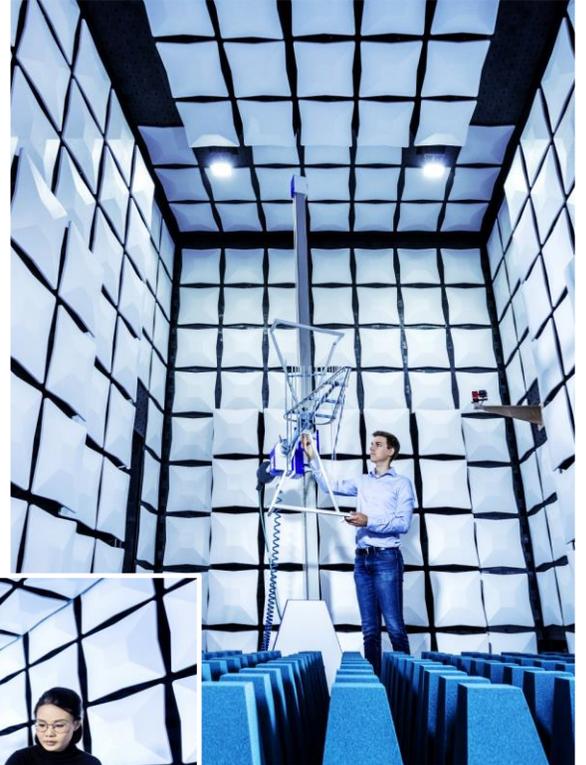
- ▶ スイッチング電源回路の増加、モーターのインテグレーションなどに伴うスイッチングノイズへの対応
 - 電源のスイッチング回路化
 - パルス性ノイズの増加
 - SiC / GaN / GaO など高性能デバイスの台頭
 - 電源の高効率化に伴う高精細測定
- ▶ 規格への対応
 - CISPRを始めとする国際規格への対応
- ▶ ノイズ周波数観測の必要性の増大
 - 対策部品・回路の適切な選択のため
 - フィルタ、CMC、シールドなど対策手法は対応できる周波数が限定的



本日のメインピックの題材：周波数軸での観測が問題点の発見と対策に有効です

ノイズの周波数測定を正確に行う環境： シールドルーム / 電波暗室

- ▶ 3m/10m 遠方界測定など規格への対応、測定に邪魔な外部環境ノイズの排除など最適な測定空間を提供可能
- ▶ その反面、この設備には以下のようなコスト要因があります
 - 巨大な部屋そのもののを設置する場所
 - 大空間でノイズの遮蔽と内部での散乱を抑える特殊部材
 - 測定に必要な大型アンテナなどの機材



- 自社内に大量に保有するのが難しい施設
 - ・デバッグで長時間占拠して使用するのが難しい
 - ・外部試験サイト → いつでも使用できるとは限らない

ベンチでの事前測定による特性把握が重要！

ノイズが信号と違うところ

▶ 意図して出していない

- 信号：いつ、どこに、どの様にでているかあらかじめわかっている
- ノイズ：いつ出ているか不確実
- ノイズ：どこに出ているか不確実
- ノイズ：常時出ているか低頻度で出ているか不確実

▶ 変動幅は決まっていない

- 信号：基本的には出るところがきまっていて、ものによっては狭帯域に押し込まれている
- ノイズ：特にパルス性ノイズの場合は周波数的には広帯域、かつパルスだと瞬間的にしか出ないことも

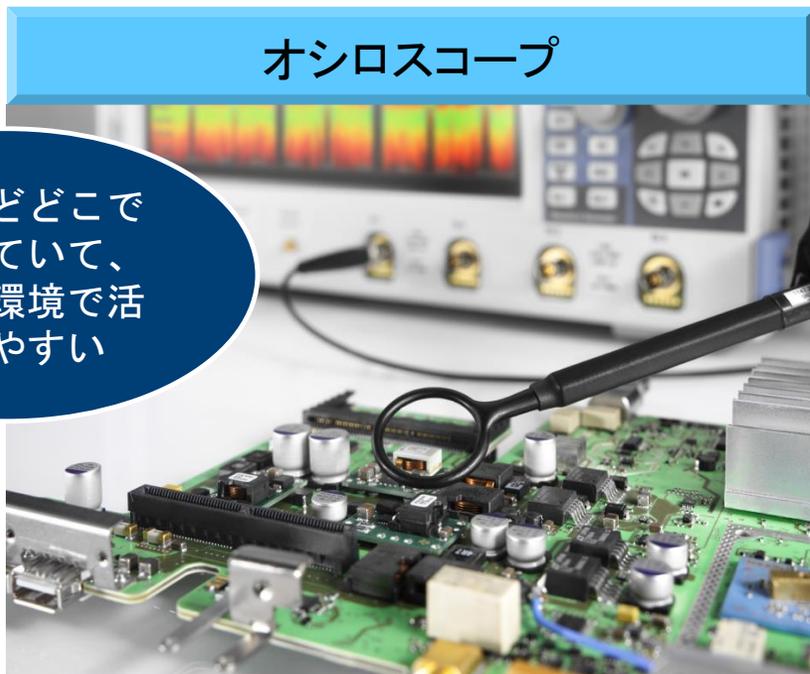
ノイズの測定の難しさはどの様に測定したら「確実に確認できる」かが事前に確定できないところ

ノイズ測定に向けた計測器

- ▶ 時間軸系 代表例：オシロスコープ
- ▶ 周波数軸系 代表例：スペアナ、レシーバ

オシロスコープ

ほとんどどこでも
もっていて、
ベンチ環境で活
用しやすい



主に開発ベンチなどでのデバッグに使用

スペクトラムアナライザ

レシーバ



デバッグにも使用されますが、シールドルームなどでの
最終的な規格適合試験にも使用

計測器の観測能力の把握

▶ データシートなどから得られる情報

何が見えるのか？

何が見えないのか？

Base unit		
Vertical system		
Input channels		4 channels
Input impedance		50 Ω ± 2.5 % 50 Ω ± 1.5 % (typ.) 1 MΩ ± 1 % 15 pF (meas.)
Analog bandwidth (-3 dB)	at 50 Ω input impedance	
	instrument bandwidth 600 MHz (R&S*RT06-B90 option)	≥ 600 MHz
	instrument bandwidth 1 GHz (R&S*RT06-B91 option)	≥ 1 GHz
	instrument bandwidth 2 GHz (R&S*RT06-B92 option)	≥ 2 GHz
	instrument bandwidth 3 GHz (R&S*RT06-B93 option)	≥ 3 GHz
	instrument bandwidth 4 GHz (R&S*RT06-B94 option)	≥ 4 GHz
	instrument bandwidth 6 GHz (R&S*RT06-B96 option)	≥ 6 GHz on 2 channels ¹ , ≥ 4 GHz on 4 channels
	at 1 MΩ input impedance	≥ 500 MHz (meas.)
Bandwidth limit filters	at 50 Ω input impedance	
	R&S*RT06-B90, R&S*RT06-B91, R&S*RT06-B92, R&S*RT06-B93, R&S*RT06-B94 options	brick wall (maximally flat), Gaussian (step-response optimized)
	R&S*RT06-B94 option	brick wall
	at 1 MΩ input impedance	brick wall
Analog bandwidth limits		200 MHz, 20 MHz
	max. -1.5 dB, min. -4 dB	
Rise/fall time	10 % to 90 % at 50 Ω, bandwidth limit Gaussian, except R&S*RT06-B94 option brick wall (meas.)	
	R&S*RT06-B90 option	528 ps
	R&S*RT06-B91 option	310 ps
	R&S*RT06-B92 option	188 ps
	R&S*RT06-B93 option	135 ps
	R&S*RT06-B94 option	104 ps
	R&S*RT06-B96 option	77 ps
Input VSWR	input frequency	R&S*RT06-B90, R&S*RT06-B91, R&S*RT06-B92, R&S*RT06-B93, R&S*RT06-B94 options
	≤ 2 GHz	1.23 (meas.)
	> 2 GHz	1.4 (meas.)
	input frequency	R&S*RT06-B96 option
	≤ 2 GHz	1.25 (meas.)
	> 2 GHz to ≤ 4 GHz	1.5 (meas.)
	> 4 GHz	2.0 (meas.)
Vertical resolution		16 bit system architecture

Level		
Level display (analyzer mode)		
Level display range		displayed noise floor up to +30 dBm
Logarithmic level axis		1 dB to 200 dB, in steps of 1/2/5
Linear level axis		10 % of reference level per level division, 10 divisions or logarithmic scaling
Number of traces		6
Trace detector		max. peak, min. peak, auto peak (normal), sample, RMS, average, quasi-peak, CISPR-average, RMS-average
Trace functions		clear/write, max. hold, min. hold, average, view
Setting range of reference level		-130 dBm to (-10 dBm + RF attenuation - preamplifier / LNA gain), in steps of 0.01 dB
Units of level axis	logarithmic level display	dBm, dBμV, dBmV, dBμA, dBpW
	linear level display	μV, mV, μA, mA, pW, nW
Level display (receiver mode)		
Level display	analog	bargraph display, separately for each detector
	digital	numeric; 0.01 dB resolution
Detectors	max. 4 selectable	max. peak, min. peak, RMS, average, quasi-peak, CISPR-average, RMS-average
Units of level axis		dBm, dBμV, dBmV, dBμA, dBpW, dBpT
RF spectrum		
Logarithmic level axis		10 dB to 200 dB, in steps of 10
Frequency axis		linear or logarithmic
Number of traces		6
Detectors	normal scan	max. peak, min. peak, RMS, average, quasi-peak, CISPR-average, RMS-average
	time domain scan	max. peak, min. peak, RMS, average, quasi-peak, CISPR-average, RMS-average



オシロスコープのデータシートの例 (一部抜粋)

ノイズレシーバのデータシートの例 (一部抜粋)

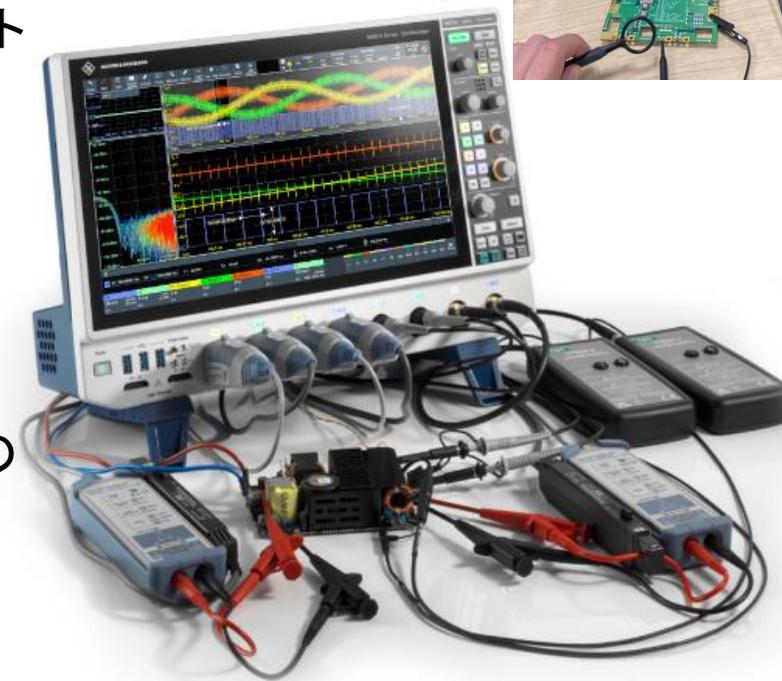
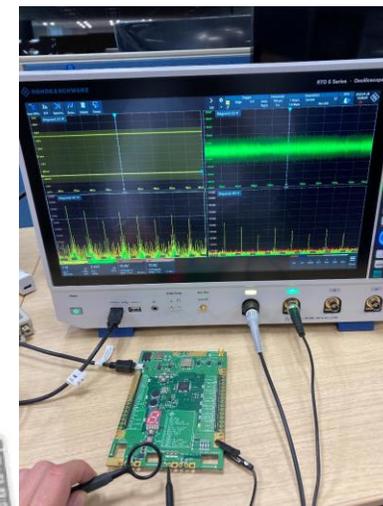
基本的には記述がありません

正しい計測にはどちらも理解することが重要

ノイズ測定にオシロスコープの活用を検討する

オシロスコープの基本特性から考えられるメリット

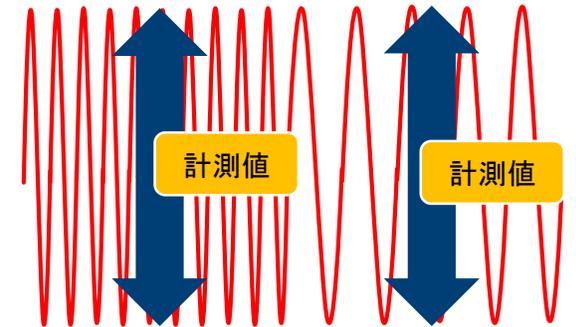
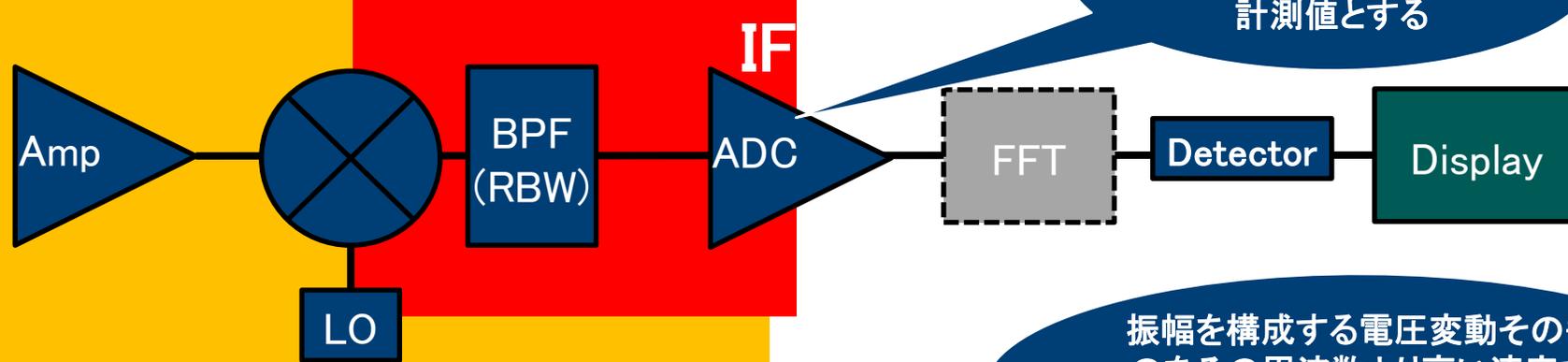
- ▶ 広帯域の情報をスイープなしに一度に取得可能
 - 高速サンプリングによって観測帯域内の全情報をリアルタイム取得
 - 観測したい帯域全体の周波数情報を欠けることなく観測可能
 - 昨今はパルス性ノイズも多く、オシロの方が向いているケースも多い
- ▶ 入力に50 Ω も高インピーダンスもどちらも使うこともでき、DCオフセットがあっても問題はなく基本的にどこにでも接続し、測定ができる
 - 信号、電源、放射など測定対象を選ばない
- ▶ 多チャンネルで同時に多点測定が可能
 - 複数個所のノイズの比較が可能
 - 時間相関がとれる(発生タイミングの同期の確認が可能)
 - ノイズ以外の信号情報との突合せが可能(信号変動や、デジタルのコントロール・プロトコルなど)
 - 長時間の変動履歴を残しやすい



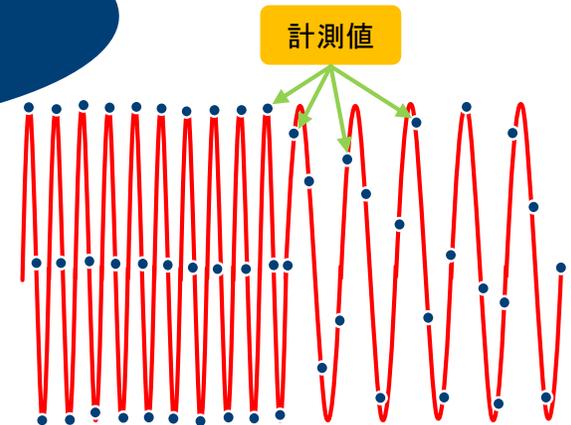
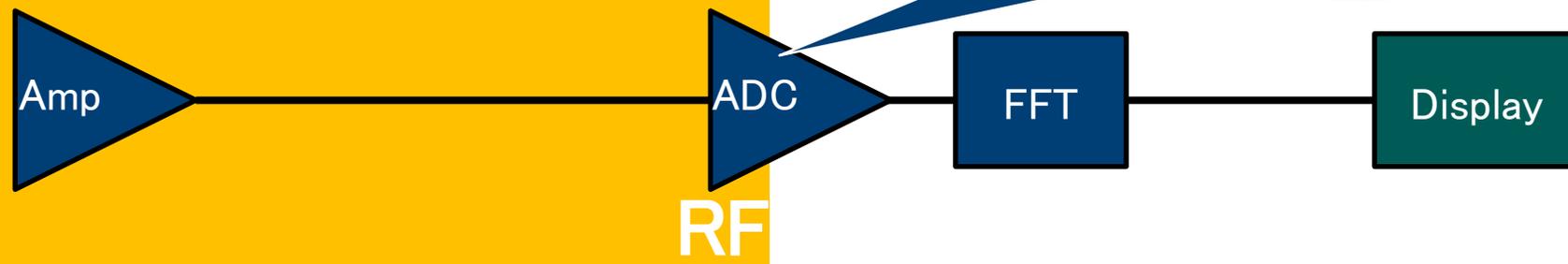
オシロ と スペアナ系 の原理的な違い (スペクトラム観測)

▶ (※ 一般的かつ主な部分のみ、周波数解析の場合)

▶ スペクトラムアナライザ



▶ オシロスコープ



オシロスコープとスペクトラムアナライザの違い

- ▶ ミキサと狭帯域フィルタによる周波数選択を行うか、行わないか

測定原理の概念的な違いから相補的な特徴をもっています

	オシロ		スペアナ
リアルタイム性	得意		不得意
解析帯域幅	広い		狭い
ダイナミックレンジ	狭い		広い

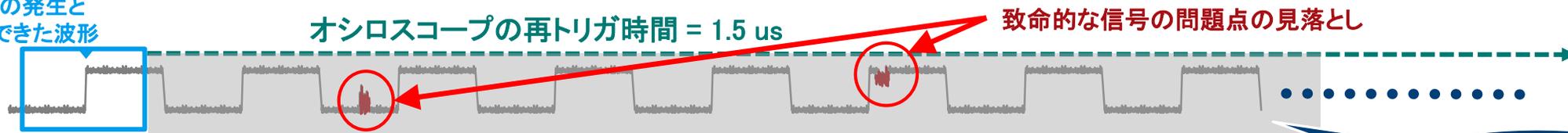
テクノロジーはトレードオフであり、万能にはなりません

重要な点：トレードオフを認識し適切な使用を心がけること

原理に依存した見えない所：オシロスコープの場合

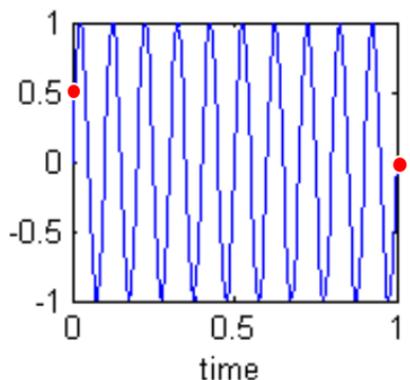
▶ 時間軸波形：デッドタイムによる捕捉

トリガの発生と
捕捉できた波形

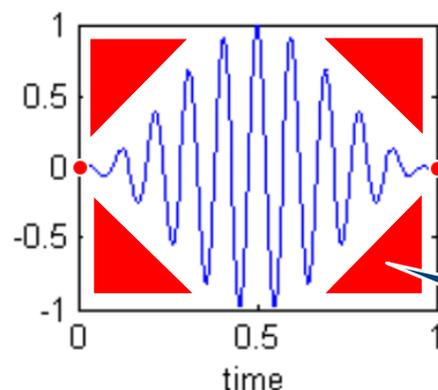
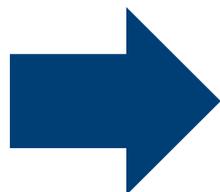


- ▶ トリガが再度掛けられるようになるまではオシロスコープは全く信号を見れていません
- ▶ このケースでは 60万 波形/秒を想定していますが、それでも見えない時間は 1.5 us にも達します

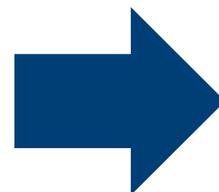
▶ そこからのFFT：窓関数



窓関数 適用「前」



窓関数 適用「後」



FFT

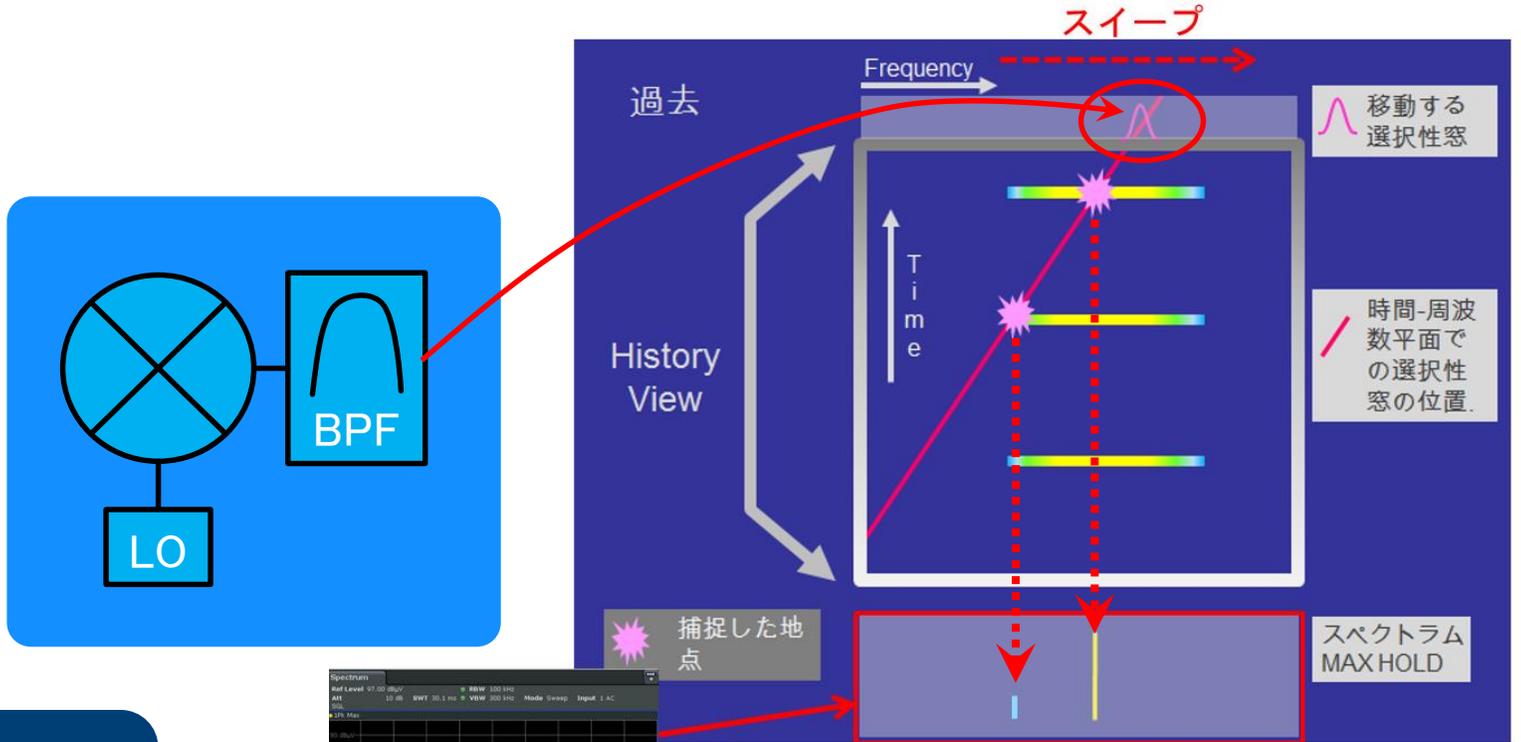
計算に費やす
時間でデッドタ
イムがさらに
増加

窓関数につぶされた部分は
結果に反映されない

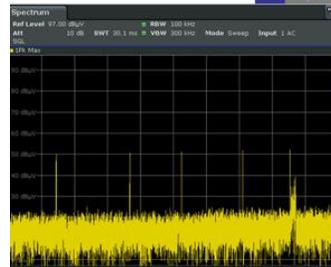
原理に依存した見えない所 : スペアナ系の場合

▶ ミキサによる周波数選択

- 選択された周波数のみを後段で観測・レベル測定を行うので観測帯域内のノイズも小さくダイナミックレンジを広く取れます
- 反面、特定周波数選択時は他の周波数は見えておらず、観測周波数の全域が同時に見えあるわけではありません (リアルタイム性には乏しい)



CISPR16 - FFTベースの受信機へと進化



スペクトラムアナライザの画面 (MAX Hold)

どの様に「見えない所」を埋めればよいのか？

- ▶ 既存の計測器をそのまま使用する場合
- ▶ オシロスコープ
 - デッドタイム：
 - トリガした波形にノイズが入るまで測定し続ける
 - FFTの窓関数で削られる：
 - 窓関数の中心にノイズが捉えられるまで測定し続ける
- ▶ スペクトラム アナライザ / ノイズレシーバ 系
 - ミキサによる周波数選択時の見逃し：
 - スweep速度を落とすことでパルス性ノイズを捕獲しやすくする

正攻法では「待つ」= 時間がかかることばかり

開発の効率化が課題なのに
真っ向から背反してしまう...

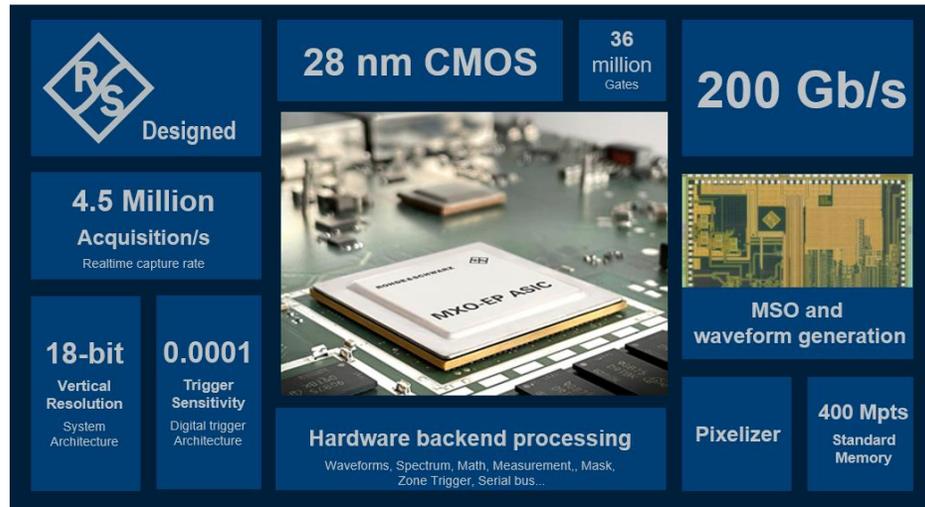
オシロスコープの弱点を補う
最新テクノロジーのご紹介：高速波形更新

高速波形更新：デッドタイムを短縮するには

▶ 大前提

- デジタル・オシロスコープは高速サンプリングで単位時間あたりに大量のデータを取得可能
- またそのデータを活かすには、捕ったデータをすべて処理する必要があります

つまり、力業ですべてを高速に処理する以外に方法はありません



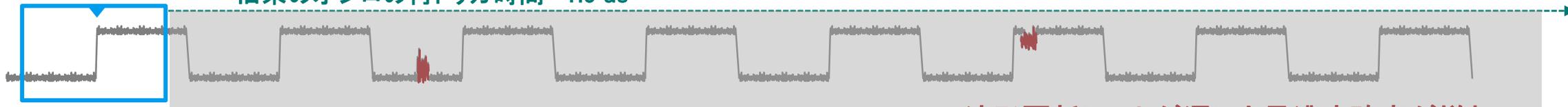
ローデ・シュワルツでは一般的な
FPGAでは追いつかないこの処理を
「オシロスコープのためだけの
専用大規模ロジックASIC」

を自社開発することで解決

専用ロジックASIC のパワーでデッドタイムを可能な限り短縮

最初のトリガ

旧来のオシロの再トリガ時間= 1.5 us

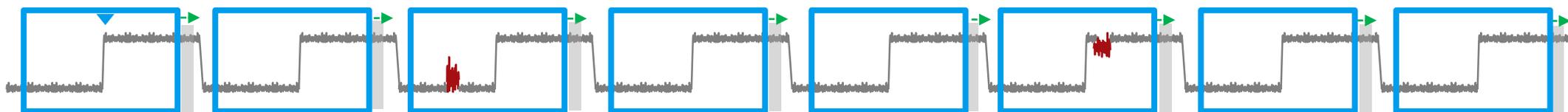


波形更新レートが遅いと見逃す確率が増加

- ▶ 再トリガ時間の間はオシロには何も見えません
- ▶ 60万波形/秒のオシロといえども デッドタイムは 1.5 us 以上あります

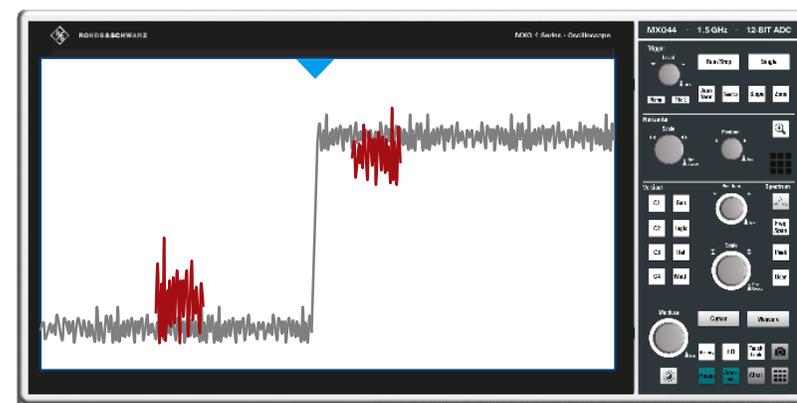
最初のトリガ

MXO の再トリガ時間 通常トリガモードで最短 = 21 ns



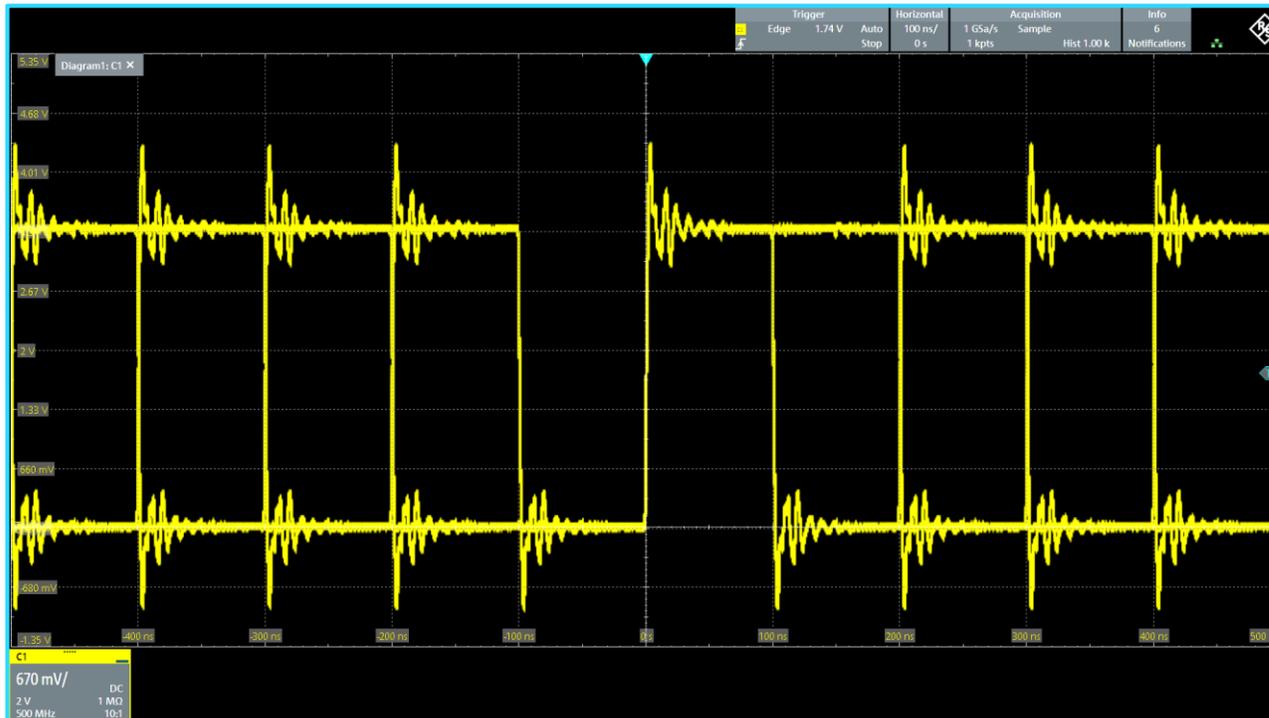
- ▶ MXO 4/5 は最小 21 ns で次の波形捕捉を開始可能なので見逃しを最小限にでき、この時の波形更新レートは 最大450万波形/秒、上位機種 of RTO6 の 最大100万波形/秒をも上回ります

高速信号捕捉 = 根本的に見逃さないオシロスコープ



波形更新速度の影響

- ▶ 波形更新速度の影響度：実測波形の違い
(10Mbpsのデジタルデータに1秒間に64回の不正波形が発生、それぞれの更新速度で1秒間捕捉)



波形更新速度：1,000 波形 / 秒

波形更新速度の影響

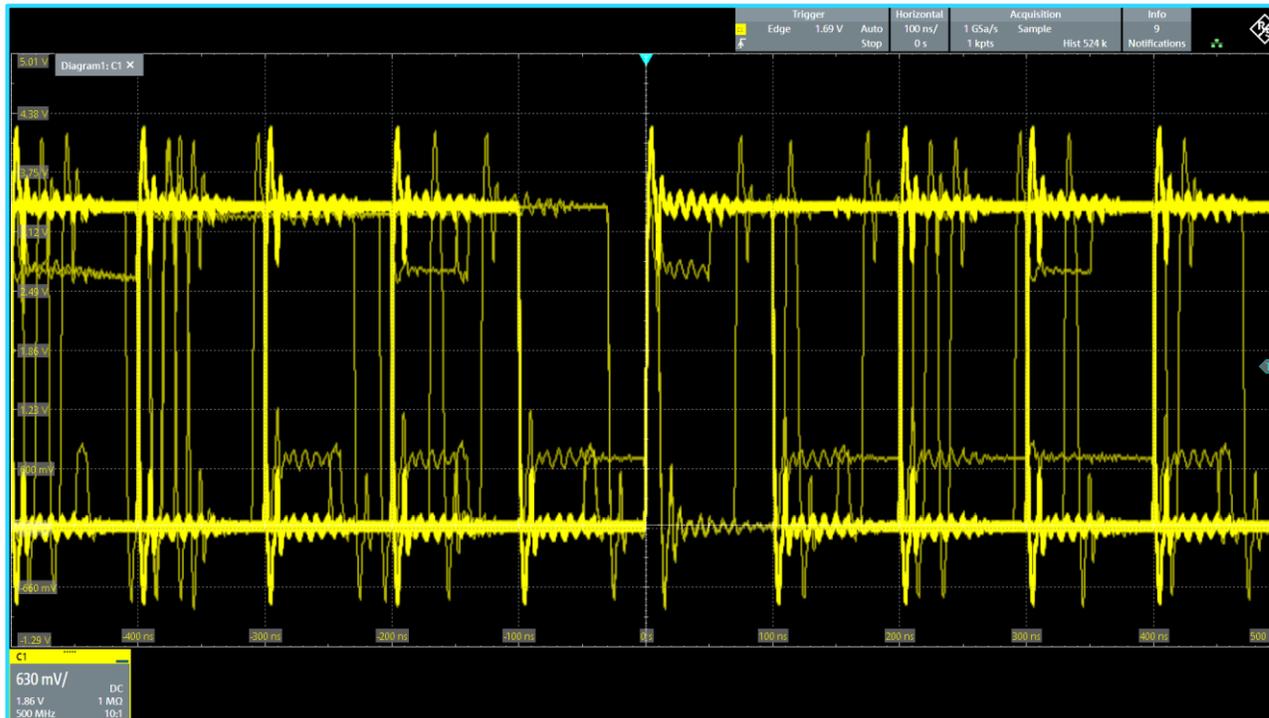
- ▶ 波形更新速度の影響度：実測波形の違い
(10Mbpsのデジタルデータに1秒間に64回の不正波形が発生、それぞれの更新速度で1秒間捕捉)



波形更新速度：10,000 波形 / 秒

RT06 : 第1世代 RTC ASIC 最大100万波形/秒 波形更新速度の影響

- ▶ 波形更新速度の影響度 : 実測波形の違い
(10Mbpsのデジタルデータに1秒間に64回の不正波形が発生、それぞれの更新速度で1秒間捕捉)

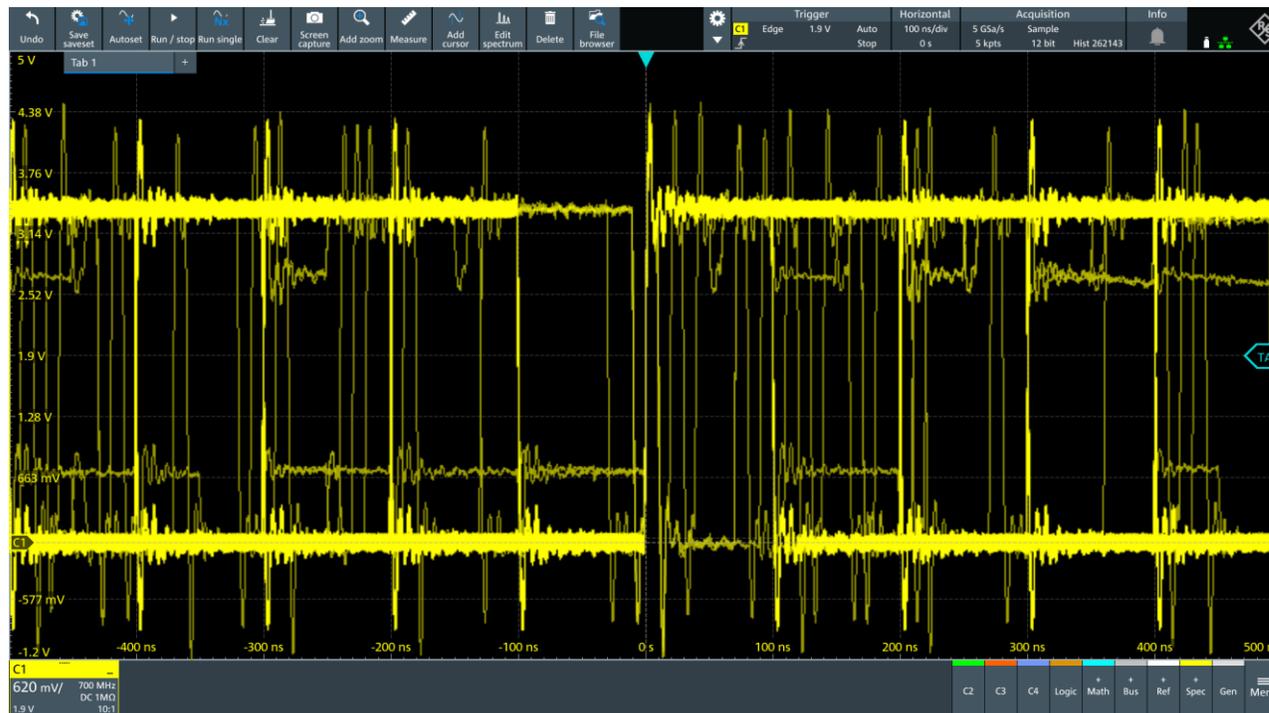


波形更新速度 : 最大1,000,000 波形 / 秒

MXO5 : 第2世代 MXO-EP ASIC 最大 450万波形/秒 波形更新速度の影響

▶ 波形更新速度の影響度 : 実測波形の違い

(10Mbpsのデジタルデータに1秒間に64回の不正波形が発生、それぞれの更新速度で1秒間捕捉)



波形更新速度 : 最大4,500,000 波形 / 秒

オシロスコープの弱点を補う
最新テクノロジーのご紹介：オーバーラップFFT

オーバーラップFFT 窓関数の影響軽減

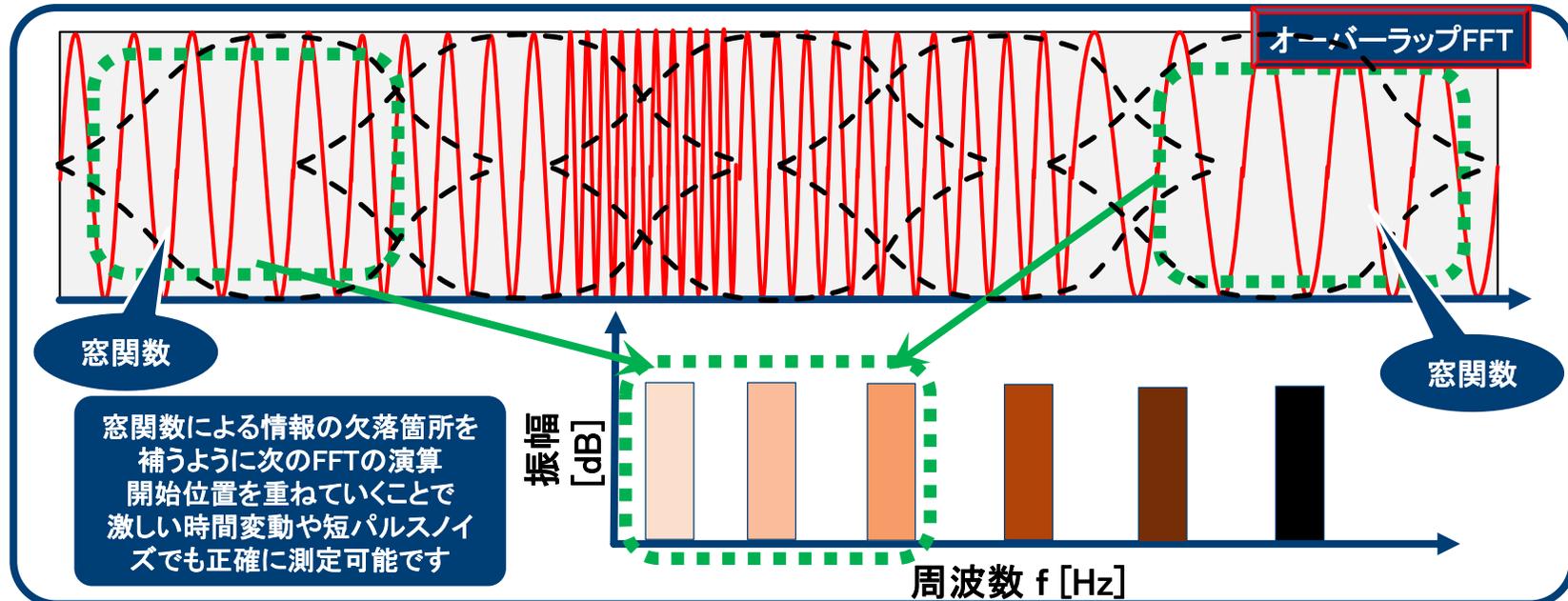
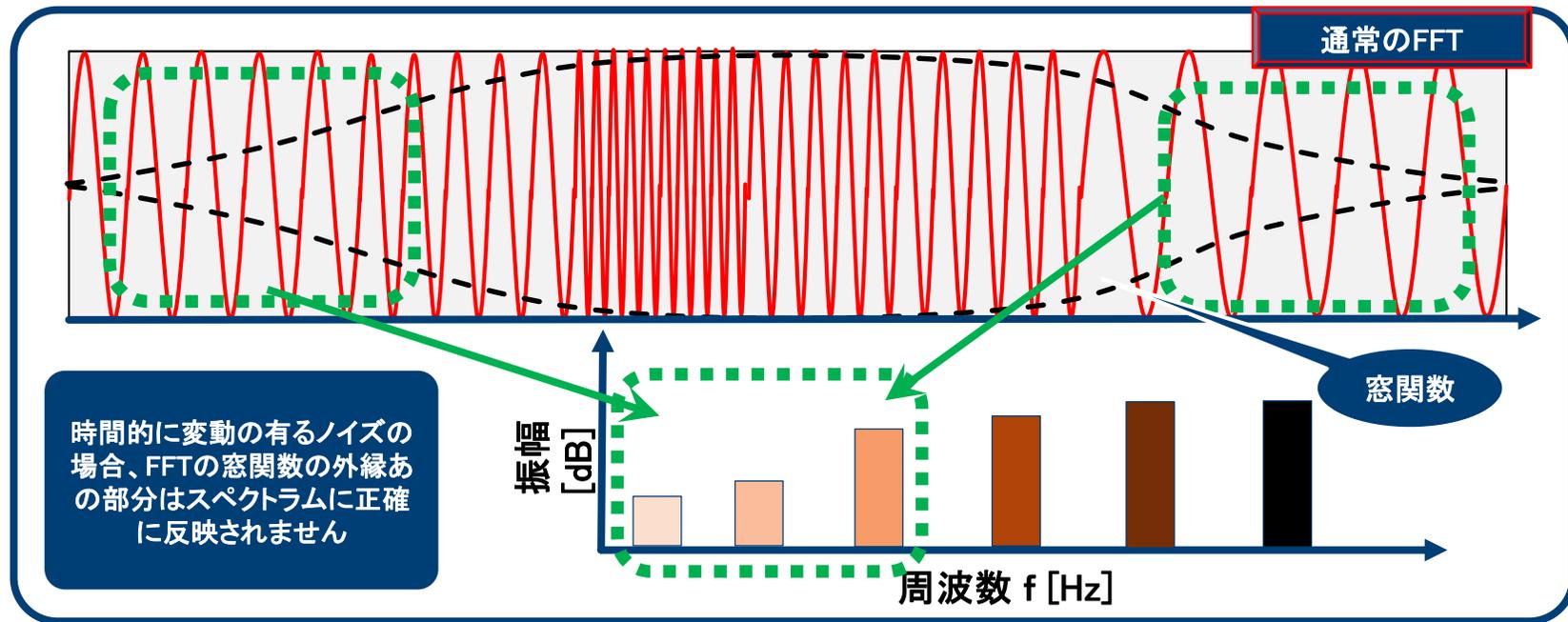
▶ 利点

- レベル確度の向上
- 単発パルスの正確な捕捉
- 時間分解能の獲得
- 観測時間とRBWの非連動化

▶ 欠点

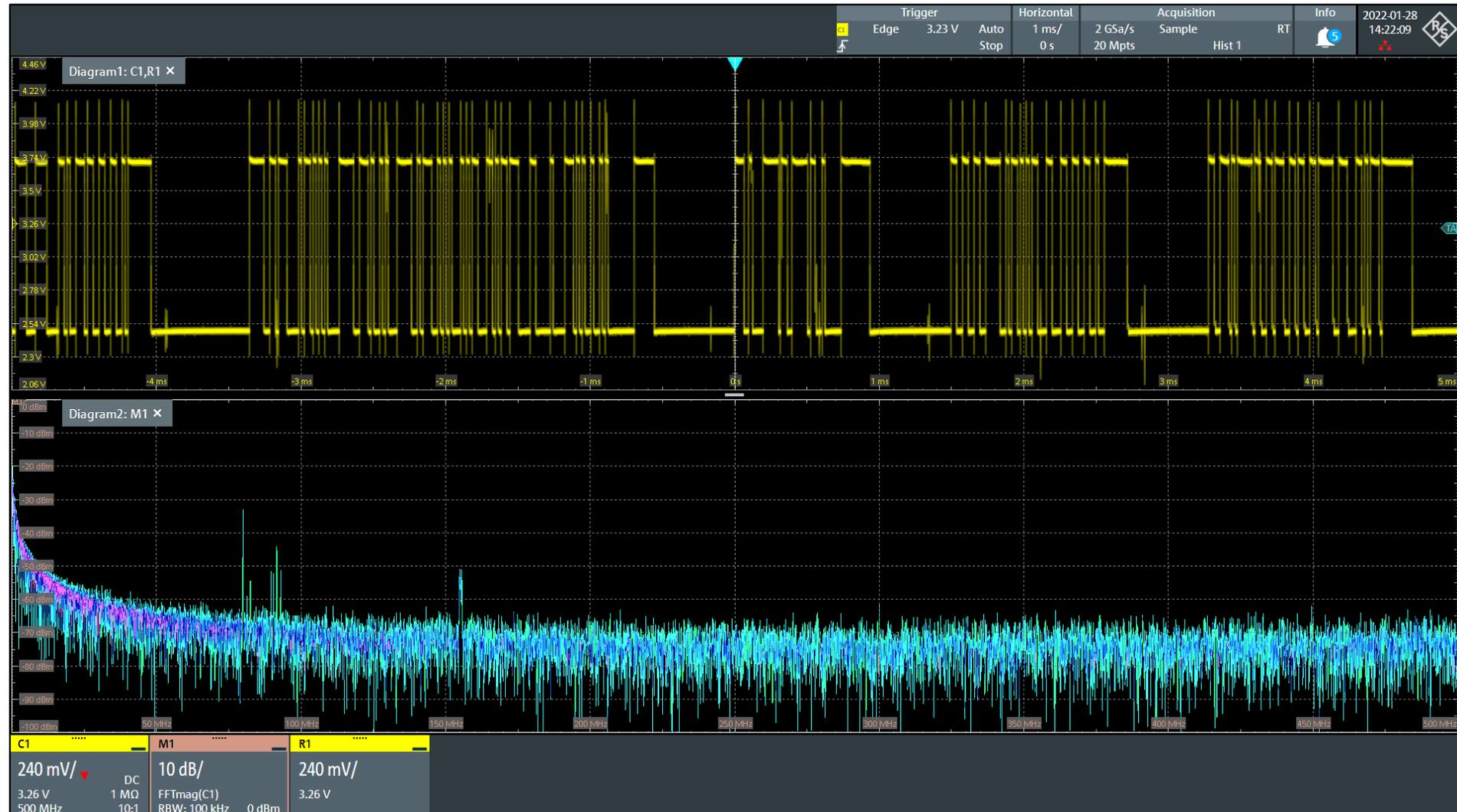
- 演算量の増大

RT06 では専用ASICを含む
高性能デジタル・バックエンドの
高い演算能力により力業で解決



RT06 : オーバーラップFFT : 同一時間波形に対して回数が違う場合の見え方の違い (1)

- ▶ RBW = 100kHz
- ▶ 90%
オーバーラップ
- ▶ 1回
(通常のFFT)



RT06 : オーバーラップFFT : 同一時間波形に対して回数が違う場合の見え方の違い (2)

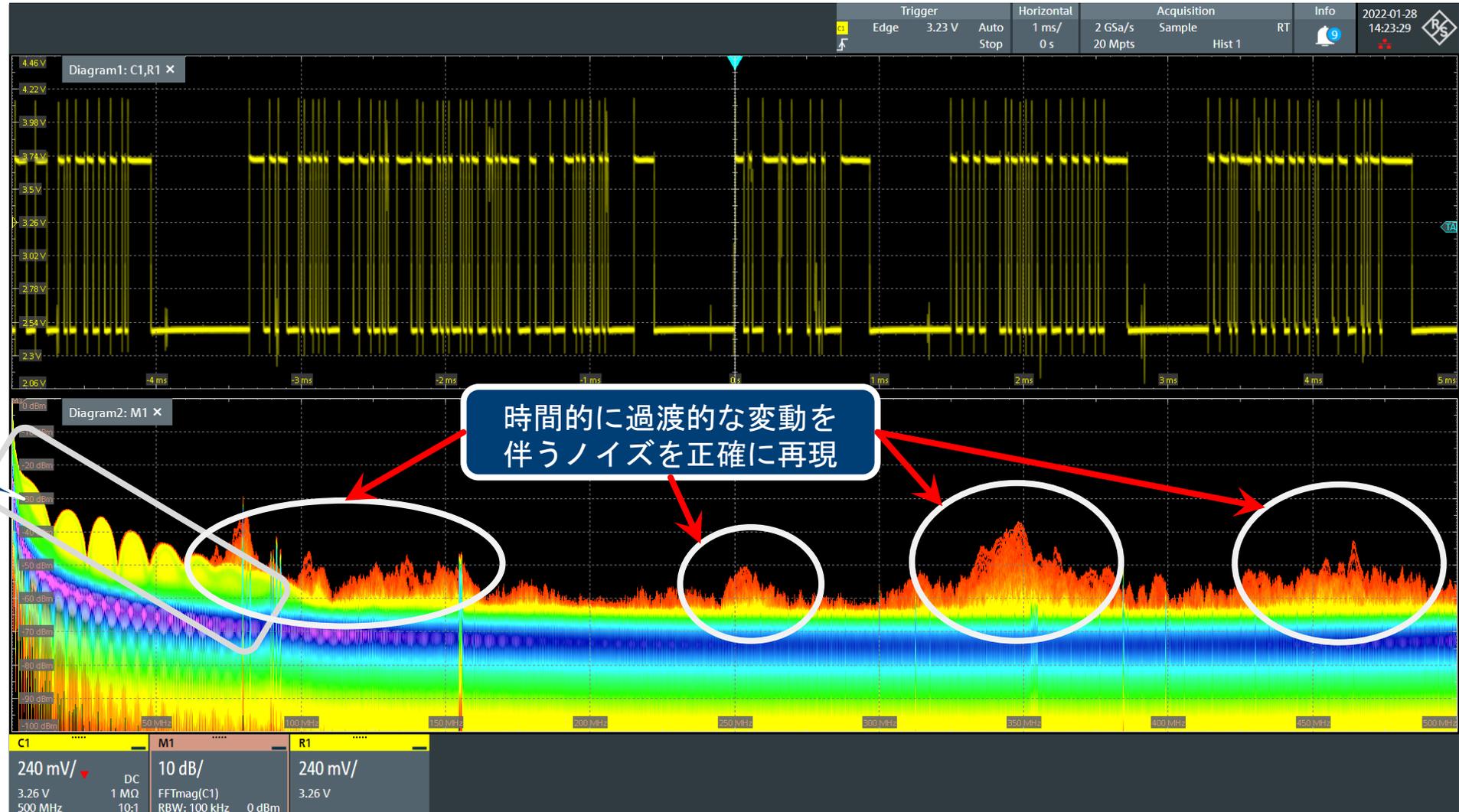
▶ RBW = 100kHz

▶ 90%
オーバーラップ

▶ 10000回

緻密で正確な
信号スペクトラム

時間的に過渡的な変動を
伴うノイズを正確に再現



RT06 : オーバーラップFFT : レシーバとの相関例

- ▶ 一般的なオシロ vs ESR(レシーバ) vs RTO : 近磁界プローブで部屋のノイズ測定 (同一プローブから分岐)
 - スペクトラムの傾向の比較: モーターノイズあり (広帯域ノイズ) DC~1GHz

デバッグ
が困難

ノイズフロアの高さは比較対象から除外し、スペクトラムの傾向を比較

明らかに高めの
ノイズレベル

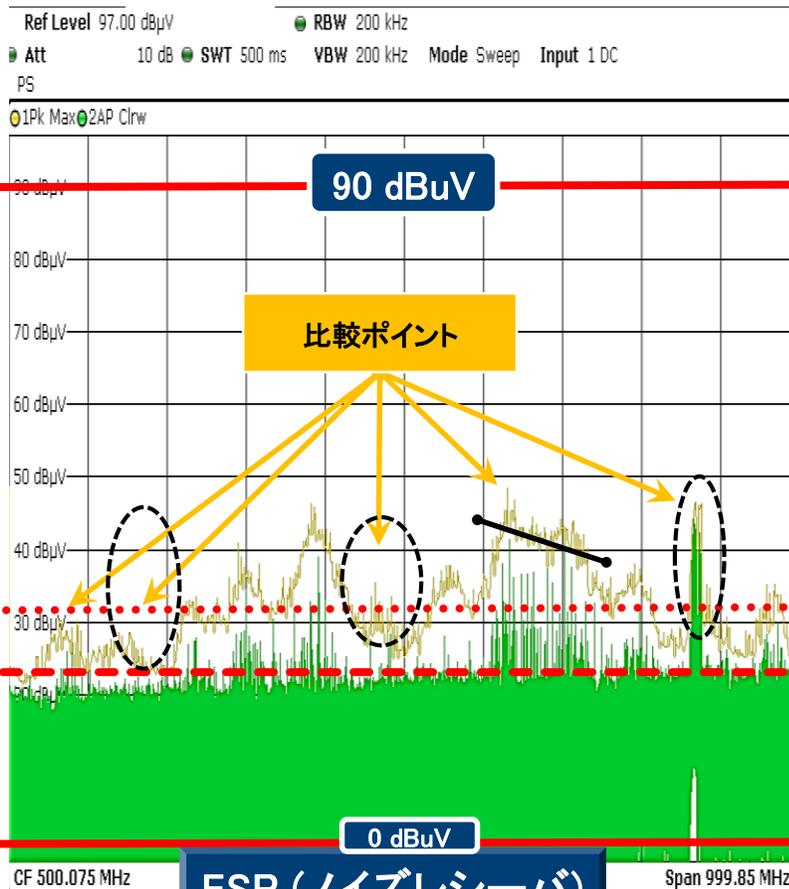
異なる傾向

見えない

不明なスペクトラム

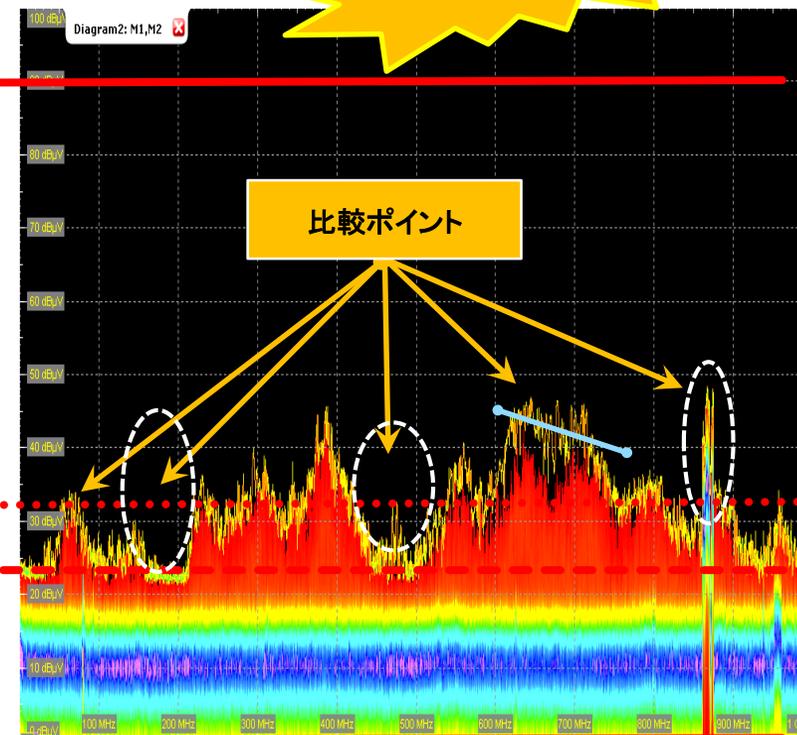
絶対値が
全般に高め

一般的なオシロ
(Overlap FFT 無し)



ESR (ノイズレシーバ)

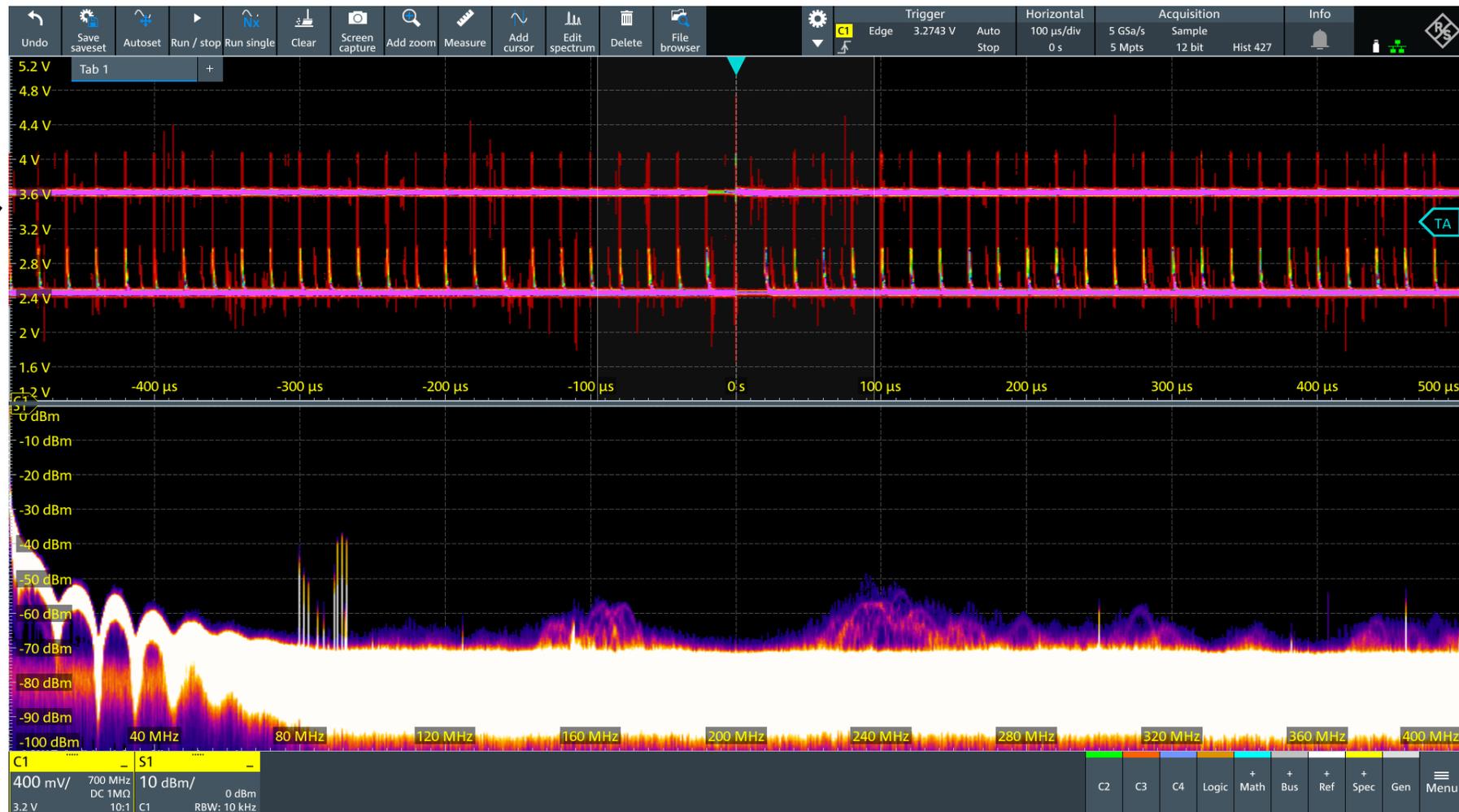
ベンチでも
デバッグ可能!



RTO (Overlap FFT 有り)

MXO5 : スペクトラム解析時 最大 4万波形/秒 (オーバーラップなし)

- ▶ スペクトラム解析時、RTO6 の最大 1000波形以上/秒 に対し、MXO5 では最大 4万波形/秒 以上の高速解析能力でノイズのような高頻度変動波形もより正確に解析可能



その他

MX05 : スペクトラム解析時の設定自由度 時間軸と周波数軸の同時観測時の問題

- ▶ FFTにおける周波数分解能は観測時間の逆数
 - 分解能 (RBW) が狭いと、観測時間は長くなります
- ▶ MX05では時間軸で画面に映っていない範囲も一時的に記憶しておき、FFT演算することが可能
 - 時間軸の観測範囲とFFTの解析設定のより自由なデカップリングが可能

この例では 1kHz の分解能を得るのに必要な 1us の観測時間に満たない 500ns でも画面外の波形情報を一時的に保持して正確に FFT できることが確認できています



その他、開発・デバッグ効率向上のための機能

▶ その他にも多数ご紹介したい機能はございますが、それはまたの機会に宜しくお願いいたします。

R&S®RTO6 シリーズ特長

卓越した基本性能

- ▶ 開発・デバッグを極限まで効率化する強力な基本性能
- ▶ さらに進化した操作性

歪やノイズを極限まで抑えた高品質信号

ゾーン・トリガ機能:

条件不明の散発的なノイズやスプリアスに直接トリガ可能

- ▶ 時間軸だけでなく、スペクトラムにもトリガを設定可能です
- ▶ 純粋なデジタル・データだけを使ったトリガ・システムなので、演算結果に対するトリガも可能にしました
- ▶ 規格値を直接つかったのノイズ・ハンティングも可能です

高度なスペクトラムによるノイズ解析例 (2)

▶ 電源やモータで発生するノイズを信号と電源と同時に周波数解析して原因を究明

微小な兆候も見逃さない強力なトリガ機能

4000 クラス超「真のデジタル・トリガ」

- ▶ 弊社だけが実現する「真のデジタル・トリガ」
- ▶ トリガ感度を自由に調整可能
- ▶ 最小のトリガ・ジッタ < 1ps
- ▶ 18 bit 対応設計 (18bitデータにデジタルトリガが掛かります)

R&S®MXO 4 機能

- ▶ 真のデジタル・トリガ
- ▶ トリガ感度を自由に調整可能
- ▶ 最小のトリガ・ジッタ < 1ps
- ▶ 18 bit 対応設計 (18bitデータにデジタルトリガが掛かります)

MXO 4 デジタル・トリガ

歪やノイズを極限まで抑えた高品質信号解析

- ▶ 8ビット分解能で ENOB 7以上を実現する自社開発シングル・コア A/Dコンバータ
- ▶ 信号再現性を極限まで高める低ノイズのアナログ・フロントエンド
 - スペアナに迫る -100dBm 以下のノイズフロア
 - スプリアスも無く 1/ノイズも非常に小さい非常にクリーンな信号環境

スペクトログラムで時間変動も容易に把握

▶ スペクトラムの時間変動を把握するスペクトログラム (オプション) を全チャンネル同時に使用できます

応用例: 瞬間的な周波数変動を捉える

スペクトラム解析にも高度な時間分解能

- ▶ オーバーラップFFTの各セグメントをスペクトログラムのラインに変換することで高速度かつリアルタイムな周波数の変動を正確にとらえることができます

EMC向けプローブ

▶ 電流測定・近傍界・近磁界

- 最大200MHz/300Aの電流測定
EZ-17
- ~ 8 GHzの放射ノイズ測定
電界・磁界のプローブセット
HZ-15



まとめ

まとめ

- ▶ 電子計測器は主に電気信号の可視化のためのものですが、測定原理や動作により「見えていない」ところがあります
- ▶ 意図して出している信号での観測の時はもちろん、意図せず出ているノイズなどの観測の際は見えていない所に嵌っていないか常に気を配って測定を行いましょう
- ▶ 特に低出現頻度のノイズなどの観測は計測原理上の見える範囲に入れる捕捉確率との闘いになるので、測定には周到な準備が必要です
- ▶ 捕捉困難な現象を観測するためには、高速信号処理能力を備えた計測器を使用することが効果的で、開発効率全体の向上に寄与します。
ローデ・シュワルツは常にそのような皆様のお役に立つ計測器のご提供に努めてまいります

最後にもう一つだけ →

お得なお知らせ： MXO5 TOUCH & TRY キャンペーンのご案内

▶ 人気の8チャンネル・オシロスコープ R&S MXO5 のデモ機を**2週間無料お貸出し!**

– 2024年6月末お申込みまで

– 先着50名様に **20% OFFクーポン** をご提供

※ 有効期間:2024年9月末ご発注分まで

–この機会をお見逃しなく!

「選んでいただける自信、あります。」
すべてを見せる 最高450万回波形更新

人気構成の

最新オシロスコープ

2週間、無料お貸出し

R&S®MXO5オシロスコープ
Touch & Try キャンペーン

ご好評により延長! 2024年6月末お申込みまで

先着50名様に、MXO5発売記念
20%OFFクーポンを進呈

技術談窓口を開設しています！

- ▶ 弊社のアプリケーションエンジニアが、お客様の計測に関する、困りごとを解決します。是非、この機会に技術相談窓口にお立ち寄りください！



Rohde & Schwarz Technology Symposium 2024
ローデ・シュワルツ・ジャパン
技術相談窓口

普段のお仕事でお困りのことや疑問点を
ぜひお気軽にご相談ください

ROHDE & SCHWARZ
Make it real



ご清聴ありがとうございました