

衛星ペイロードおよびコンポーネントに対するテスト

ローデ・シュワルツの測定器によるテスト

Application Brochure
Version 02.00

ROHDE & SCHWARZ

Make ideas real



ローデ・シュワルツは、衛星トランスポンダー、モジュール、コンポーネントの開発と評価を支援するために、衛星産業に必要な測定ソリューションを提供しています。



目次

テスト方針のパラダイム転換

▶ 4ページ

群遅延測定

▶ 6ページ

リニアリティーおよび利得伝達測定

▶ 10ページ

ノイズパワー比 (NPR)

▶ 12ページ

信号品質測定

▶ 14ページ

OFDM信号生成および解析

▶ 16ページ

スプリアス測定

▶ 18ページ

R&S®FS-SNSを使用した雑音指数および利得測定

▶ 20ページ

増幅器とミキサの雑音指数測定

▶ 21ページ

熱真空チャンバー内でのテスト

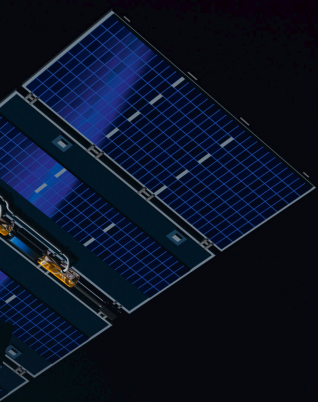
▶ 22ページ

デジタルインタフェースのテスト

▶ 24ページ

ペイロードコンポーネントのRF測定

▶ 26ページ



テスト方針のパラダイム転換

衛星通信システムは、民間と政府の両方のシステムの、直接放送、無線通信、リモートセンシングといったアプリケーションのさまざまなユーザー要件を満たす必要があります。これらのシステムは、何十年にもわたるシステム寿命の間、高い信頼性で24時間休みなく稼動する必要があります。衛星の全稼動期間にわたってサービスの品質を維持するには、徹底したテストが不可欠です。

今日の衛星システムは、将来を意識して、既存の携帯電話ネットワークだけでなく、今後の無線テクノロジーとも完全な互換性を持つ必要があります。システムの容量と柔軟性を高めるため、ペイロードのテクノロジーがベントパイプ型やデジタルトランスペアレント型からデジタル再生型に進化するのとともに、テストの複雑さも増加しています。再生型トランスポンダーは、デジタル信号復調、ベースバンド信号処理およびスイッチング、信号変調といった追加機能を備えています。

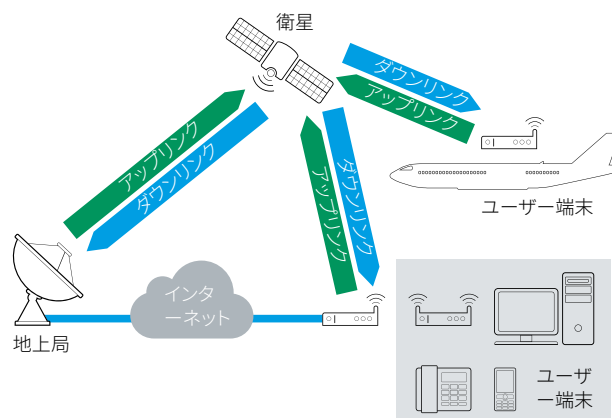
衛星製造企業は、24時間年中無休の動作と高品質のサービスを保証するため、RF通信システムを徹底的にテストする必要があります。一方、衛星機器メーカーは、アップリンクとダウンリンクのビーム数が増加する中で、テストの時間とコストを削減する必要に迫られています。アップリンク上の1つのデジタル・データ・ストリームは、ダウンリンク上の複数のストリームに対応します。

こういった課題に対処するために、高い測定性能と再現性を備え、わかりやすく高速で再現性の高い測定ソリューションが求められています。

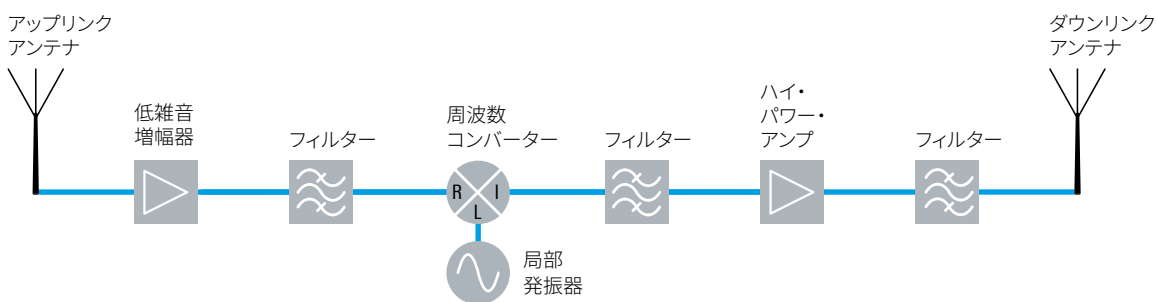


ローデ・シュワルツは、革新的なRF/ミリ波測定ソリューションを提供することで、衛星ペイロード、ペイロードサブシステム、コンポーネントの設計、開発、テストを支援します。これらのソリューションは、性能、コスト、スケジュールに関するお客様のニーズを満たします。以降のセクションでは、最も重要な衛星ペイロードおよびコンポーネント測定のためのRF測定ソリューションを紹介します。

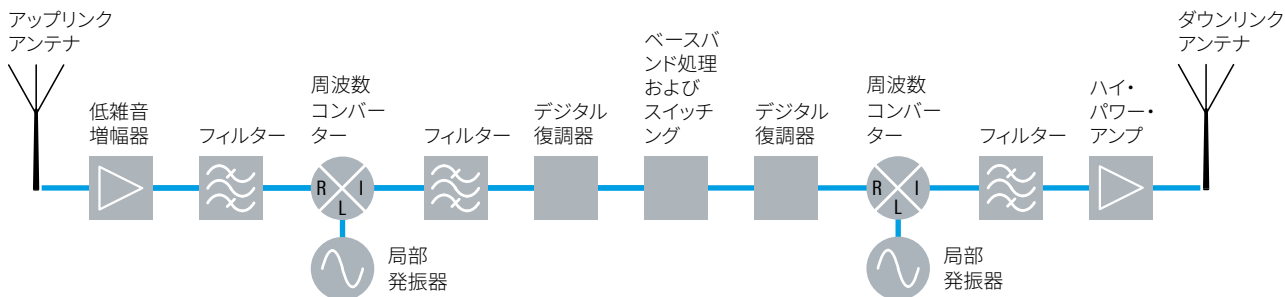
衛星通信ネットワークのコンポーネント



ベントパイプ型衛星ペイロードチャンネルの高レベル・システム・コンポーネント (例: フィルター、増幅器、周波数コンバーター)



再生型ペイロードチャンネルの高レベル・システム・コンポーネント



群遅延測定

衛星通信の伝送経路の品質を評価するには、群遅延測定によって位相ひずみを判定します。

スペクトラム・アナライザおよび信号発生器によるトランスポンダーモジュールおよび周波数コンバーター内の群遅延測定

R&S®FSW スペクトラム・アナライザとR&S®SMW200A ベクトル信号発生器は、衛星トランスポンダー、周波数コンバーター、およびその他のコンポーネントの絶対／相対群遅延測定を、わかりやすく高速に行うために使用できます。マルチキャリア群遅延測定法では、信号発生器がマルチキャリア連続波信号を入力信号として送出します。トーンの数と間隔（アパーチャー）は、被測定デバイスの要件に合わせて変更できます。R&S®FSW スペクトラム・アナライザは、これらの測定を2つのステップで実行します。

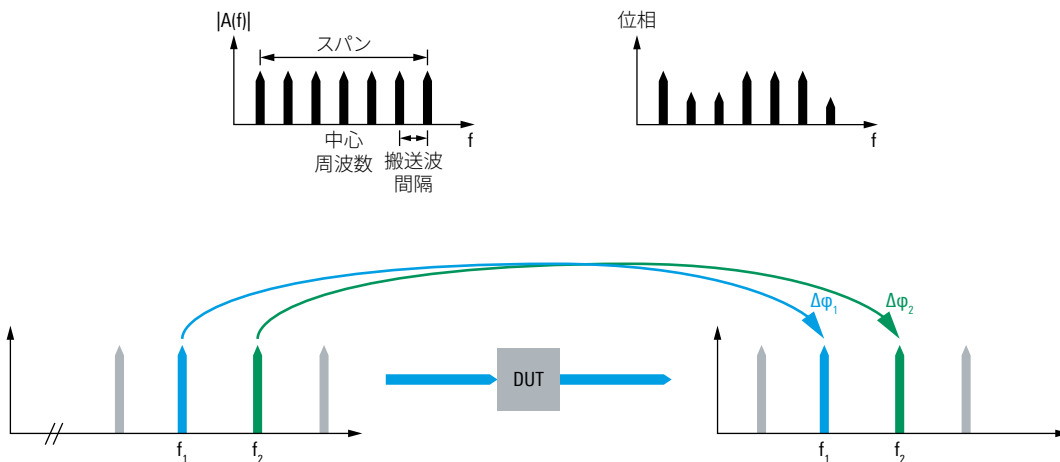
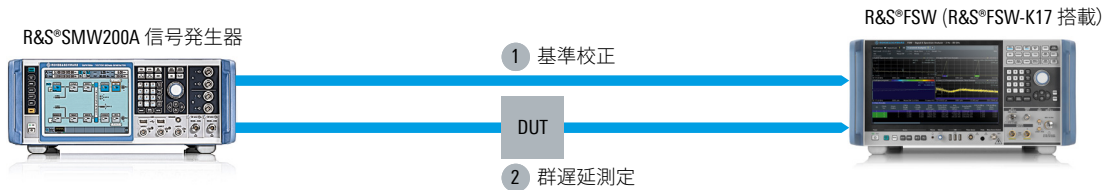
ステップ1 – 基準校正

信号発生器をアナライザに直接接続し、個々の搬送波の基準位相および振幅を測定します。

ステップ2 – 群遅延および利得測定

DUTをアナライザに接続し、基準信号と、DUTの出力で測定されたマルチキャリア信号の間の位相差から、群遅延を搬送波周波数レンジ全体にわたって精密に測定します。

R&S®SMW-K61およびR&S®FSW-K17 マルチキャリア群遅延測定アプリケーションによる群遅延測定



$$\text{グループ遅延 } \tau = \frac{-1}{360^\circ} \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta f}$$

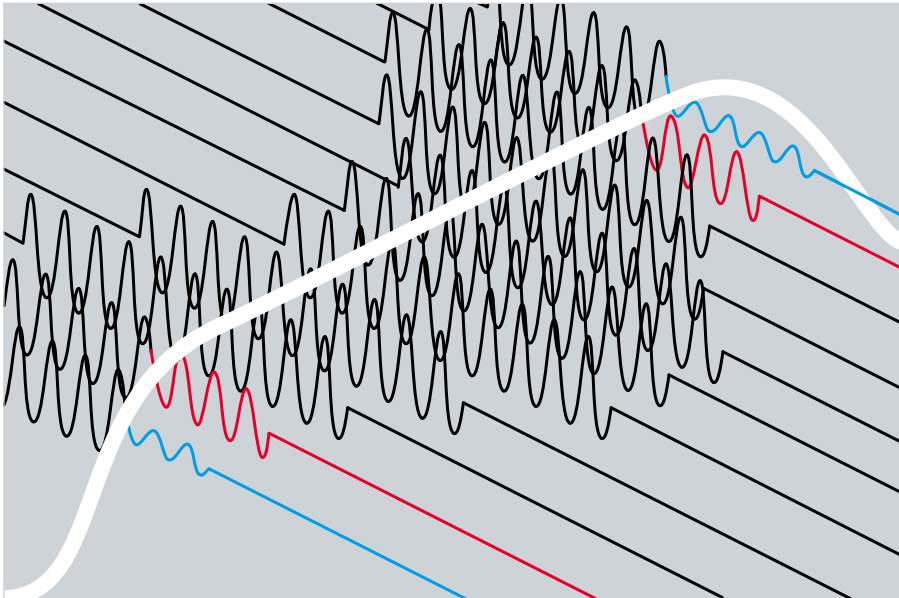
$$\text{周波数シフト } \Delta f = f_1 - f_2$$

$$\text{位相シフト } \Delta\phi = (\phi_{1\text{out}} - \phi_{2\text{out}}) - (\phi_{1\text{in}} - \phi_{2\text{in}})$$

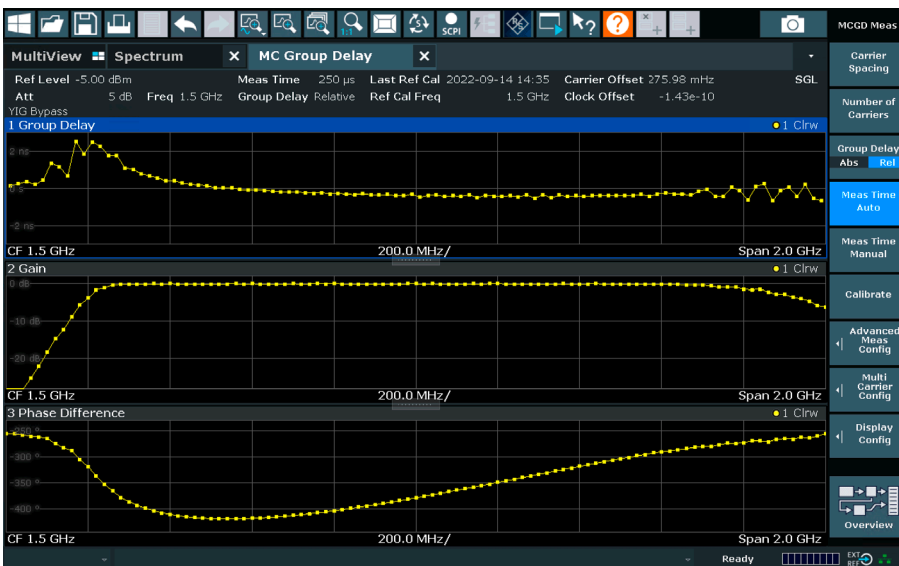
マルチキャリア法には、以下の利点があります。

- ▶ 広帯域信号の絶対／相対群遅延を数ミリ秒以内に測定可能
- ▶ 信号のアベレージングとスムージングにより、搬送波対ノイズ比が改善され、信号経路の損失が大きい場合でも有効な結果が得られる
- ▶ 軌道上測定でのドップラー効果の自動補正
- ▶ 周波数コンバーターの相対群遅延を1 nsの測定精度で評価可能で、基準ミキサーやゴールデンデバイスが不要
- ▶ 非周波数変換測定では相対群遅延に関して300 psの測定精度を実現可能

- ▶ マルチキャリア連続波 (MCCW) 信号および変調信号の発生に関する内部の柔軟性。R&S®SMW200A ベクトル信号発生器で搬送波の間隔と数を設定可能
- ▶ ディエンベディング機能により、測定セットアップ内のケーブルとフィクスチャの周波数応答を補正可能
- ▶ R&S®FSW-K17SオプションによりS/N比の低い広帯域信号を測定可能。信号全体のサブスパンの解析によりS/N比と測定速度を改善



バンドパスフィルターの群遅延。この図は、バンドパスフィルターによってバンドのエッジに群遅延が追加されることを示します。衛星通信システムでは、周波数コンバーターやトランスポンダーチャンネルの相対群遅延が、各チャンネルのバンドエッジでの歪みの大きさを求めるために重要です。



バンドパスフィルターの相対群遅延測定

ベクトル・ネットワーク・アナライザ (VNA) によるLOアクセスなしでの周波数コンバーターの群遅延測定

通常、LOにアクセスできない周波数変換デバイスで群遅延や相対位相の測定が可能なのは、DUTに安定度の高い内蔵LOが含まれている場合に限られています。ドリフトやノイズによる位相と周波数のずれにより、使用可能な方法の確度と適用可能性は大きく制限されます。ローデ・シュワルツの2トーン手法は、これらの制約をすべて解消します。

R&S®ZNA ベクトル・ネットワーク・アナライザでは、2トーン入力信号を使用することで、DUTの入力と出力の2つの信号の間の位相差を測定できます。一般的なSパラメータ手法と同様に、位相差と周波数オフセットから群遅延を計算します。2つの信号間の周波数オフセット Δf はアーチャーです。異なる複数の周波数を使用して2つの信号間の位相を測定するために、ローデ・シュワルツはR&S®ZNA用に独自のフロントエンドを開発し

ました。校正に必要なのは、未知スルーミキサーだけです。この方法は、LOが不安定な周波数変換DUTに最適です。DUTの内部LOの周波数および位相偏移は、IF帯域幅(最大数MHz)内に収まる可能性があるからです。

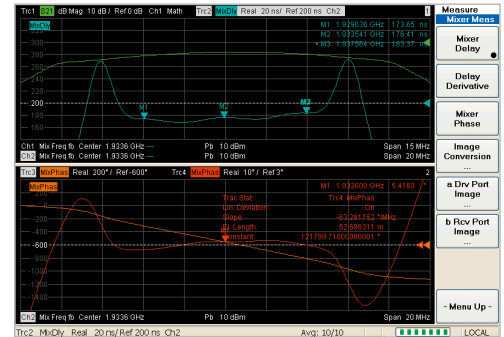
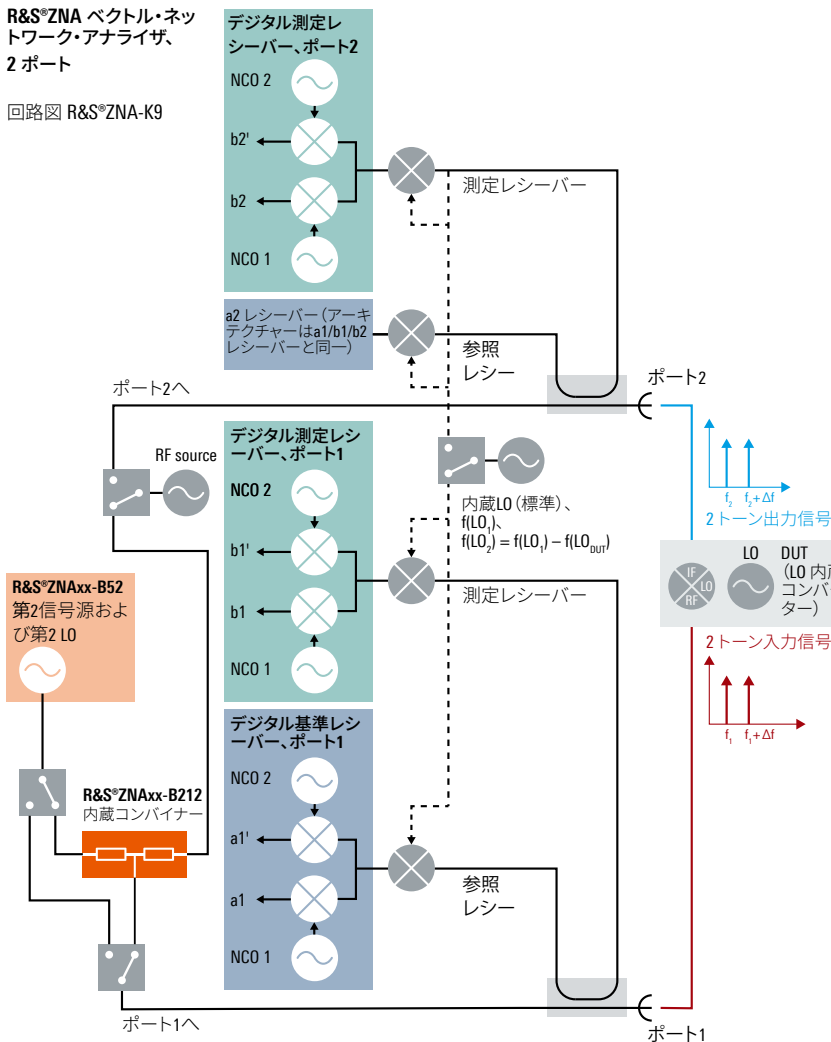
新しい内蔵コンパイナにより測定セットアップが簡素化され、2つの信号の外部接続が不要になります。オプションの第2信号源を使用することで、2ポートのR&S®ZNAでLO内蔵コンバーターの群遅延と相互変調を測定できるようになりました。内部レシーバーの2つの独立したLOにより、RF/IFをミキサーで同時に測定できます。変換損失と群遅延の測定で、LOが1つの場合に比べて測定速度が2倍になり、トレースノイズも減少します。

群遅延に加えて、R&S®ZNAでは、群遅延を積分して相対位相と線形位相からのずれが計算されます。

ネットワーク・アナライザを使用したテストセットアップ

R&S®ZNA ベクトル・ネットワーク・アナライザ、2ポート

回路図 R&S®ZNA-K9



測定結果の同時表示:

- ▶ 変換損失 (緑)
- ▶ 群遅延 (青)
- ▶ 相対位相 (オレンジ)
- ▶ 線形位相からのずれ (赤)



スペクトラム・アナライザとネットワーク・アナライザによる群遅延測定のテストセットアップの比較



| スペクトラム・アナライザと信号発生器 | ベクトル・ネットワーク・アナライザ |
|---|---|
| 測定器 | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▶ R&S®FSW シグナル・スペクトラム・アナライザと R&S®FSW-K17オプションの組み合わせ ▶ R&S®SMW200A ベクトル信号発生器と R&S®SMW-K61 オプションの組み合わせ | <ul style="list-style-type: none"> ▶ R&S®ZNA ベクトル・ネットワーク・アナライザと R&S®ZNA-K9、R&S®ZNA-K4、R&S®ZNAx-B52、R&S®ZNAx-B212オプションの組み合わせ (x=26/43/50/67) |
| 測定原理 | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▶ ベクトル信号発生器からのマルチキャリア信号 ▶ 搬送波間の位相シフト/位相差を測定し、その結果に基づいて群遅延を計算 | <ul style="list-style-type: none"> ▶ R&S®ZNAからの2トーン信号 ▶ 搬送波間の位相を基準レシーバーと測定レシーバーで測定 |
| 利点 | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▶ シングルショットの高速な測定 ▶ 軌道上測定のドップラー効果の補正 ▶ S/N比の低い広帯域信号の測定用のスペシャルオプション | <ul style="list-style-type: none"> ▶ 2トーン信号 (マルチキャリアCW入力信号に対して) による単一搬送波の高いパワーレベル ▶ 広いダイナミックレンジとパワーレンジ ▶ VNAの周波数レンジ全体が使用可能 ▶ 包括的なDUT特性評価 ▶ エンベディッドLOの顕著なドリフトがある場合でも信頼性の高い測定を実現 |
| 推奨用途 | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▶ ペイロード全体のテストに最適 | <ul style="list-style-type: none"> ▶ コンポーネントレベルでのテストに最適 |

リニアリティおよび利得伝達測定

衛星通信システムに取り組んでいるRFエンジニアは、衛星トランスポンダーや、パワーアンプ、周波数コンバーターといったコンポーネントの特性を評価する必要があります。代表的測定には、利得圧縮、AM/AM、AM/PM、歪みNPR/ACLRがあります。

ベクトル信号発生器とスペクトラム・アナライザによるリニアリティおよび利得伝達測定

R&S®SMW200A ベクトル信号発生器と、R&S®FSW-K18オプションを搭載したR&S®FSW ベクトル・シグナル・アナライザの組み合わせを使用すれば、実環境の変調および解析を使用してDUTの特性を評価できます。

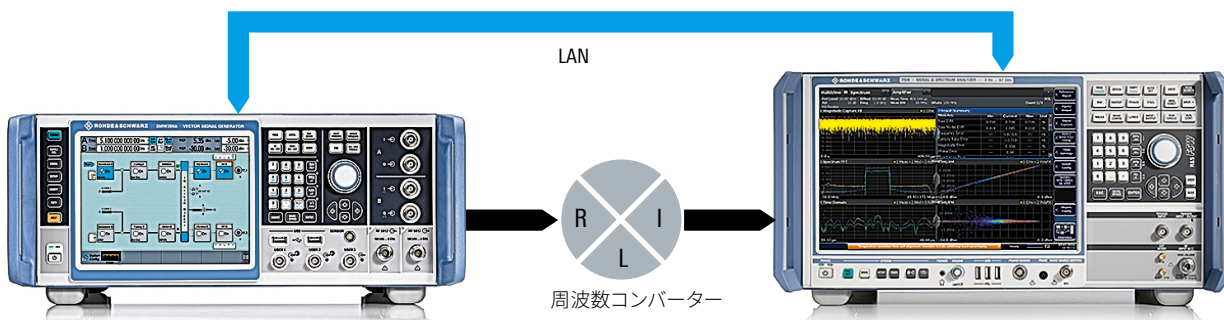
R&S®FSW-K18は、R&S®SMW200Aを制御するので、DUTに印加される基準信号を知っています。基準信号とDUTから送信される信号を同期して、一回の測定からDUTの通過特性を求めます。

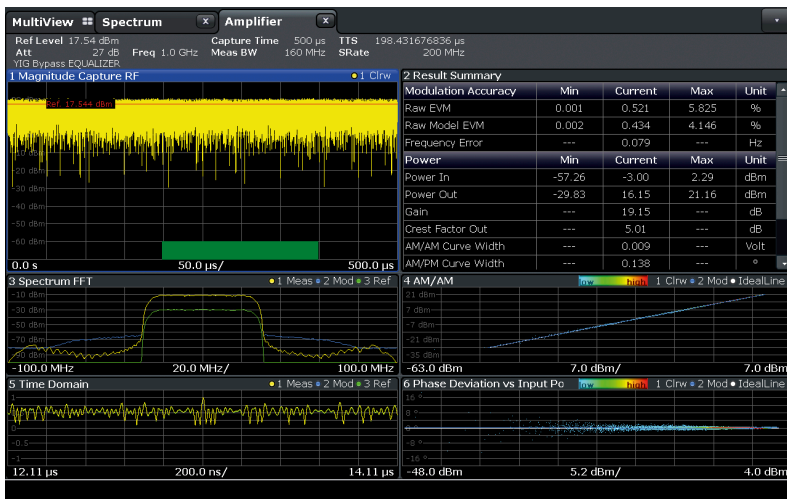
この測定方法の主な利点は、以下のとおりです。

- ▶ 基準信号としてのCWパワー掃引またはデジタル変調信号（想定されるアプリケーションの帯域幅とクレストファクターを持つもの）を使用してデバイスをテストすることで、DUTが実環境の条件でどのように振る舞うかを判定可能
- ▶ 最大8.3 GHzの解析帯域幅により、広い帯域幅を持つ増幅された信号の測定が可能

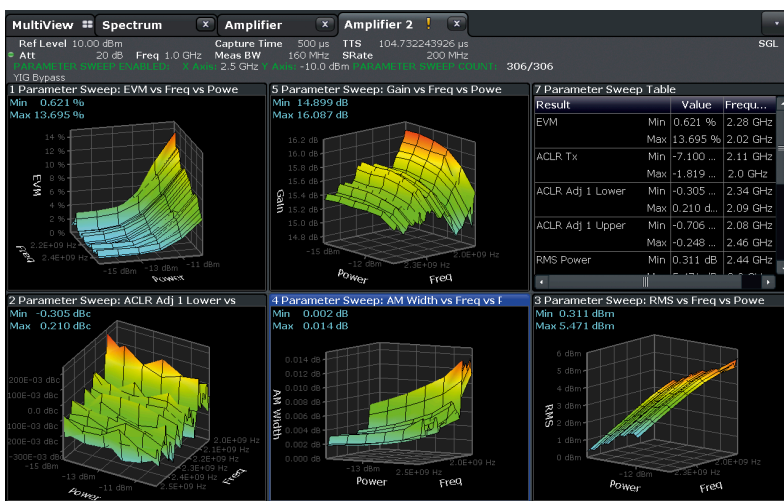
- ▶ ダイレクト・デジタル・プリディストーション（ダイレクトDPD）により、メモリ効果を補正して、DUTの最高の性能を引き出すことが可能（R&S®FSW-K18D オプション）
- ▶ R&S®FSW-K18Mを使えば、高性能DPDのメモリ多項式の係数を直接導出してエクスポート可能。R&S®FSW-K18Mは、ローデ・シュワルツの信号発生器によるリアルタイムメモリDPD向けのHammersteinモデルも装備
- ▶ R&S®FSW-K18およびR&S®SMW-K541では多項式／モデルベースのDPD方法をサポート
- ▶ パラメータ掃引により3Dプロットを作成することで、DUTの最適な動作点を短時間で発見可能

R&S®SMW-K541およびR&S®FSW-K18による、2ポートデバイス（増幅器、周波数コンバーター、トランスポンダーなど）の特性評価のためのコンパクトなセットアップ

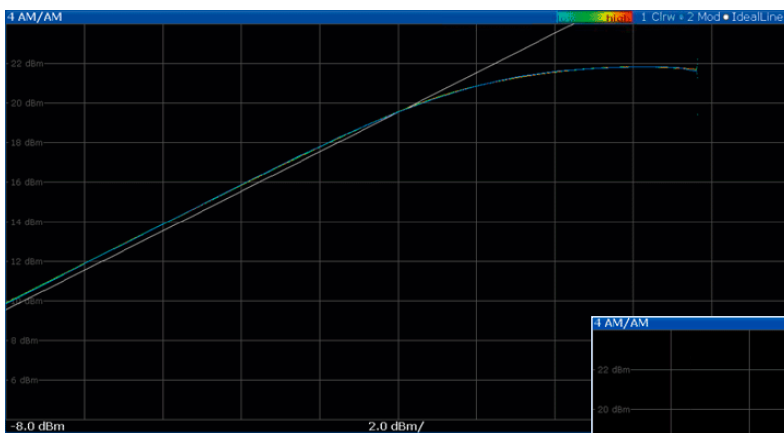




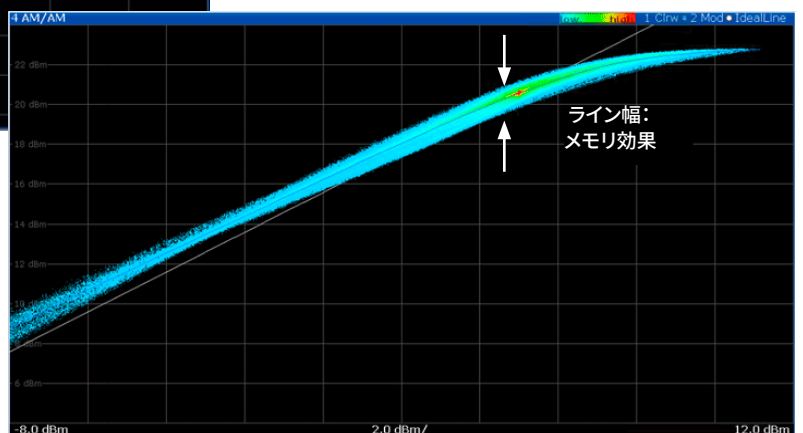
1回の測定で2ポートデバイスの完全な特性評価を実行。



3Dプロット (パワー/EVM/周波数) により、DUTの最適な動作点を短時間で特定可能。



増幅器の利得伝達曲線測定 (AM/AM)。上の曲線では、R&S®SMW200AのデジタルベースバンドのCWランプ掃引が入力信号として用いられています。予想されたように、AM/AM曲線は1本の線になります。右側の曲線は、R&S®SMW200Aから発生されたデジタル変調信号を使用して測定されています。AM/AMは、雲状の曲線になっています。ライン幅は、増幅器のメモリ効果に起因します。



ノイズパワー比 (NPR)

ノイズパワー比は、重要な標準RFペイロードテストです。NPR測定は、RFトランスポンダーのリニアリティをテストするために用いられ、マルチチャネル通信ペイロードのガウシアン雑音に近い分布をシミュレートします。

トランスポンダーおよびコンポーネントのNPR測定

NPRは、RF出力チェーンの相互変調およびノイズフロアの指標です。R&S®SMW200A 信号発生器から送信される入力信号は、ノッチを持つ複数のCW搬送波から構成することができます。トランスポンダーまたはコンポーネントの出力でのノッチが深いほど、DUTから発生する相互変調成分は少なくなります。

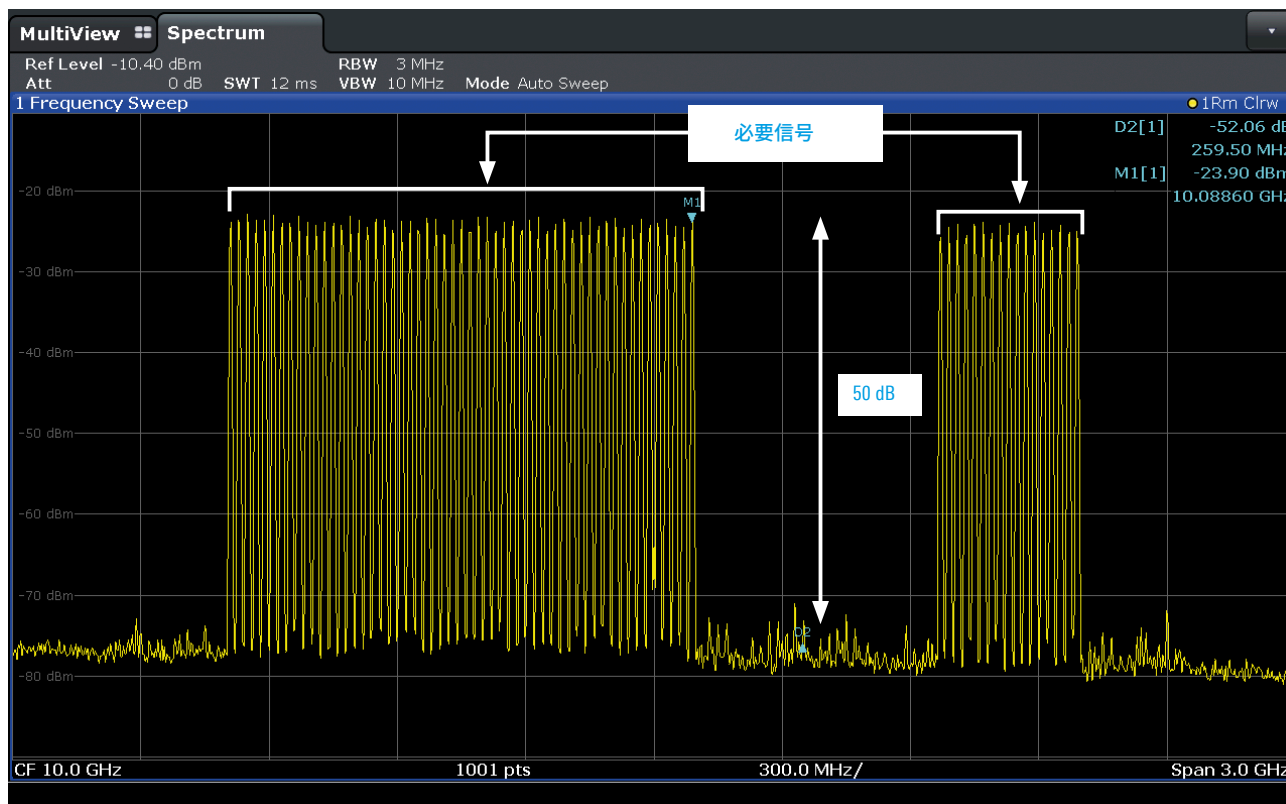
R&S®SMW200A ベクトル信号発生器とR&S®SMW-K61 オプションの組み合わせを使用すれば、広帯域信号をシミュレートするマルチキャリア連続波 (MCCW) 信号を発生できます。CWトーンのグループをオフにすることで、急峻なエッジを持ち、最大オン/オフ比が約50 dBのノッチを発生することができます。ユーザーは、制御メニューを使用して、ノッチの位置と幅を変化させることができます。R&S®FSW シグナル・スペクトラム・アナライザは、専用の測定機能により、DUTを通った後のノッチの深さを測定します。

R&S®SMW200Aでは、MCCW信号の代わりに、ノッチのあるAWGNまたは変調信号を発生することもできます。ノッチのある変調信号を使えば、DUTの実環境条件をシミュレートできます。

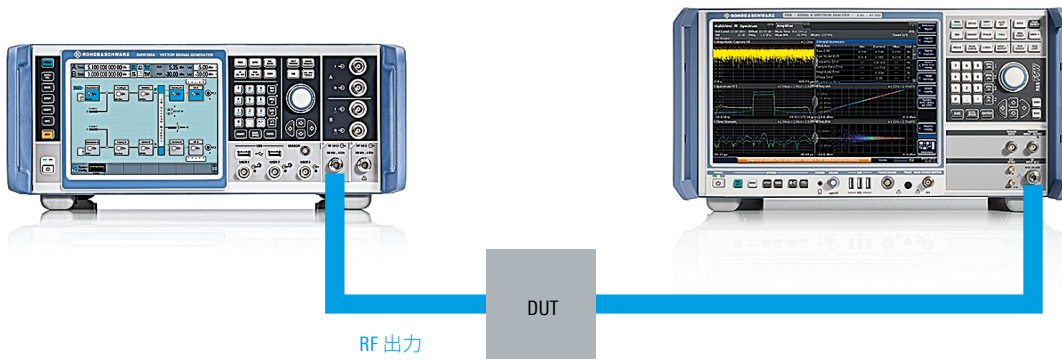
この測定方法の利点は、以下のとおりです。

- ▶ 事前の校正なしに、2 GHz帯域幅のフラット信号を使用し、最大50 dBの深さのNPRノッチを測定可能
- ▶ テスト信号の作成と変更が容易
- ▶ 結果はR&S®FSW アナライザで容易に取り取り可能

R&S®SMW200A ベクトル信号発生器で発生された2 GHz幅のマルチキャリア連続波 (MCCW) 信号。



SMW-K61およびFSWによるNPR測定



R&S®FSW シグナル・スペクトラム・アナライザによるNPR測定。

MultiView Spectrum

Ref Level -9.00 dBm Att 1 dB SWT 41.9 ms (~378 ms) RBW 2 kHz VBW 20 kHz Mode Auto FFT

1 NPR

ノッチ1 (Notch 1) ノッチ2 (Notch 2)

Channel BW

CF 500.0 MHz 1001 pts 7.5 MHz/ Span 75.0 MHz

| 2 Result Summary | | | | |
|------------------|--------------------------|--------------------|------------------------------|--------------|
| Channel 1 | Channel BW 72.000 MHz | Offset 0.000 Hz | Power Density -73.33 dBm/Hz | |
| Notch 1 | Integration BW 3.200 MHz | Offset -12.200 MHz | Power Density -139.27 dBm/Hz | NPR 65.93 dB |
| Notch 2 | Integration BW 3.200 MHz | Offset 12.200 MHz | Power Density -103.57 dBm/Hz | NPR 30.24 dB |

Measuring... 21.09.2017 08:07:25

信号品質測定

変調精度およびビット・エラー・レート (BER) 測定は、衛星の統合時と軌道上での動作時の衛星リンクの品質検証に必要です。

変調精度およびBER測定では、軌道上の衛星または地上局からさまざまな周波数で送信された搬送波のパワーとデジタル変調特性の解析が必要になることがあります。エラーベクトル振幅 (EVM) は、トランスポンダー内部で再生された信号の品質を判定するための主要パラメータです。

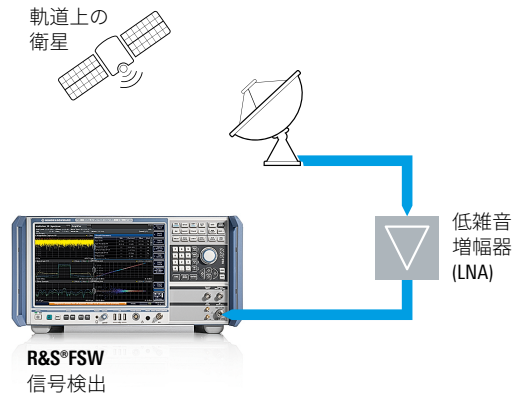
R&S®FSW-K70 ベクトル信号解析 (VSA) オプションを使用すれば、EVM、BER、信号振幅、位相などのパラメータを容易に監視できます。R&S®FSW-K70 VSA オプションでは、衛星から送受信される信号の品質を、理想的な基準信号と比較することによって判定します。R&S®FSW-K70 オプションでは、基準信号は、DUTから送信された信号と、変調方式やシンボルレートといったユーザー設定から計算されます。

R&S®FSW-K70 オプションのベクトル・シグナル・アナライザを使用すれば、以下のことが可能です。

- ▶ デジタル変調されたシングルキャリア信号の、最大8.3 GHzの信号解析帯域幅での解析
- ▶ 変調の解析
- ▶ DVB-S2 (X)、DVB-S2X Annex E、DVB-RCS2用の定義済みの規格に準拠した設定の使用
- ▶ BERの測定

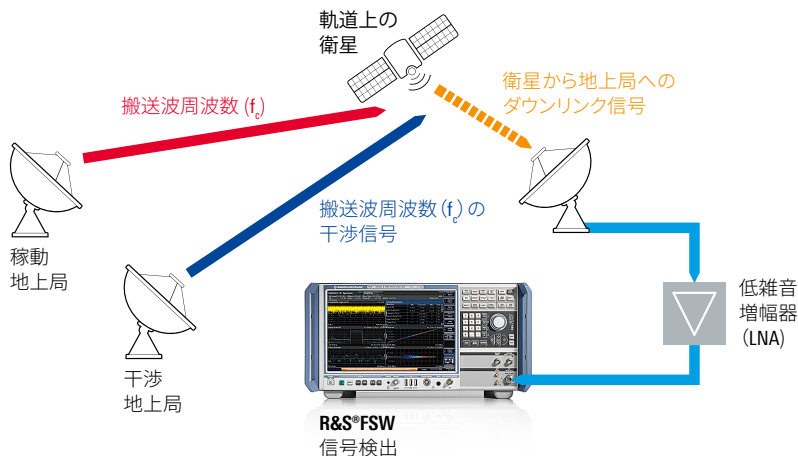
軌道上衛星の搬送波モニタリング

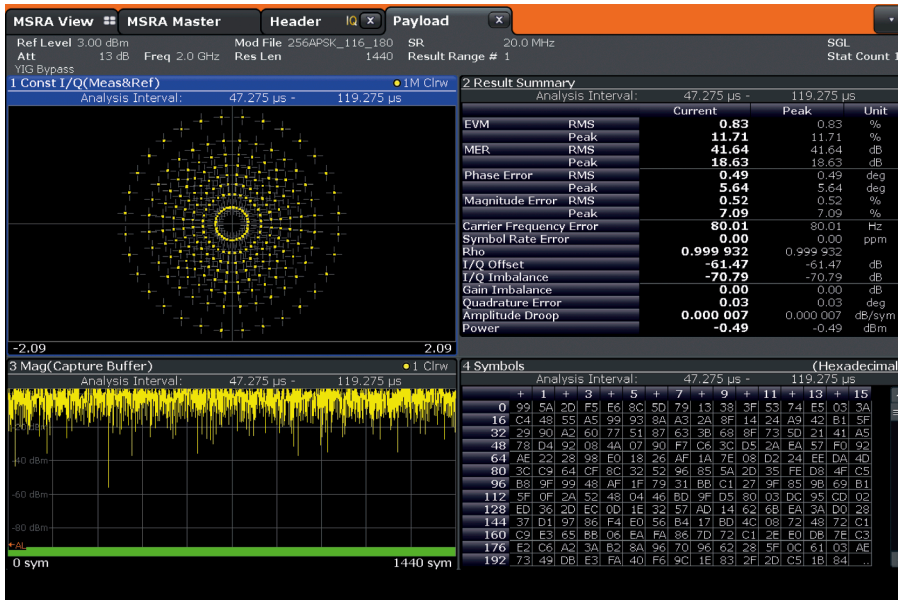
図に示すセットアップを使用して、衛星を短時間で正確に監視できます。地上局の構成と使用する周波数バンドに応じて、さまざまな周波数レンジのスペクトラム・アナライザが用意されています。



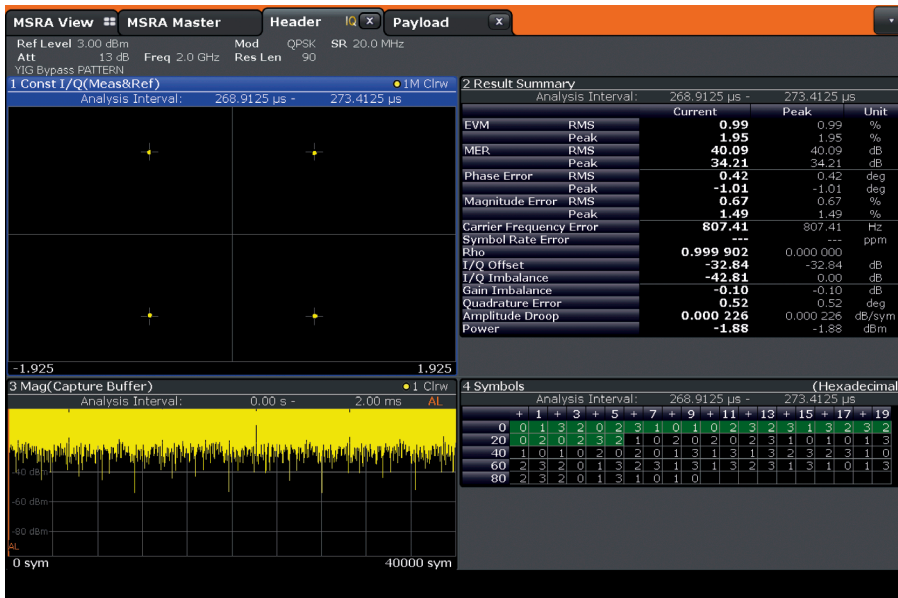
衛星リンクの干渉のトラブルシューティング: キャリア・イン・キャリア測定

キャリア・イン・キャリア測定は、衛星リンクの干渉の解析とトラブルシューティングにVSAアプリケーションが利用できる例の1つです。例えば、稼働中の地上局から送信される信号に無線通信信号が干渉する場合や、衛星地上局同士が干渉し合う場合などです。このような状況では、干渉源と影響を受ける側が、同じ周波数バンドで動作し、同じ変調特性を持っています。したがって、希望波の品質は低下しますが、スペクトラムを観察しても干渉源は直接には見つかりません。

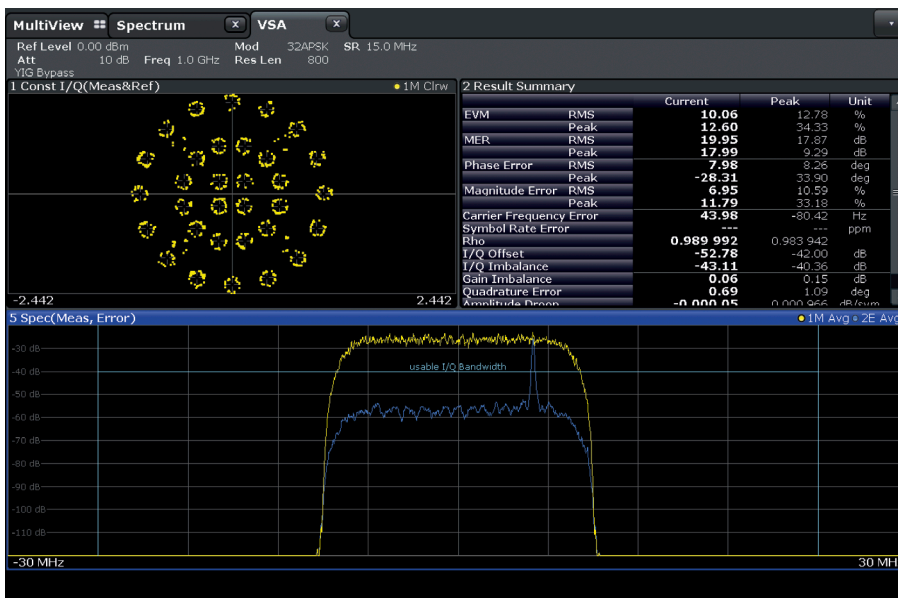




DVB-S2X信号では、フレームのペイロードセクションとヘッダーセクションで、変調方式が異なります。R&S®FSWのマルチスタンダード無線アナライザ (MSRA) モードとR&S®FSW-K70オプションを使用すれば、異なる変調の解析が可能です。この構成では、R&S®FSWは、DVB-S2X信号のヘッダーとペイロードデータを同じI/Qデータに基づいて復調し、性能パラメータやコンスタレーションダイアグラムなどを、個別のウィンドウに表示します。この場合、ペイロードには256APSK変調が使用されており、ヘッダーおよびパイロットセクションには、より信頼性の高いQPSK変調が使用されています。このスクリーンショットは、ペイロードのタブを示します。



シナリオは、上のスクリーンショットの場合と同じです。このスクリーンショットは、ヘッダーのタブを示します。



このスクリーンショットには、干渉シナリオの例が示されています。希望波はDVB-S2 32APSK変調信号で、サンプリングレートは15 Mシンボルスです。干渉源のGSM信号は、必要信号に対して-20 dB/5 MHzのレベル/周波数オフセットを持ちます。結果のサマリーには、必要信号のEVMが増加していることが示されています。エラースペクトラム (青) では、スペクトラム中で干渉源のGSM信号が存在する位置に、エラーレベルの上昇が示されています。

OFDM信号生成および解析

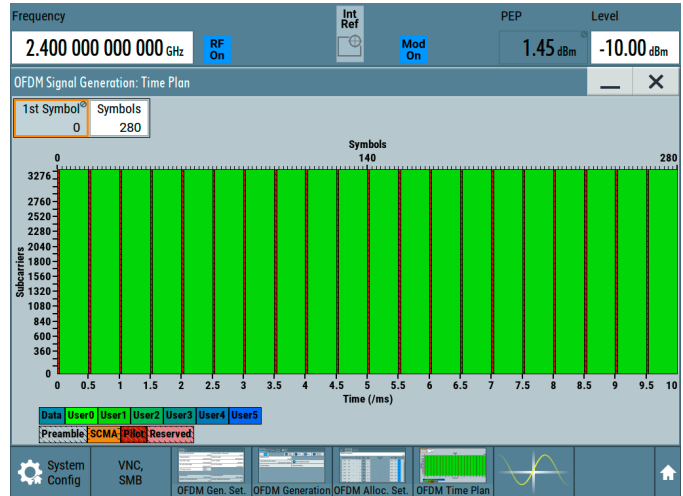
あらゆるアプリケーション要件に正確に適合するカスタムOFDM信号の開発、テスト、測定。

OFDM信号発生

今日の通信規格の多くには、変調方式として直交周波数分割多重化方式 (OFDM) が採用されています。R&S®SMW-K114 OFDM信号発生オプションは、カスタムOFDM波形の発生に最適です。

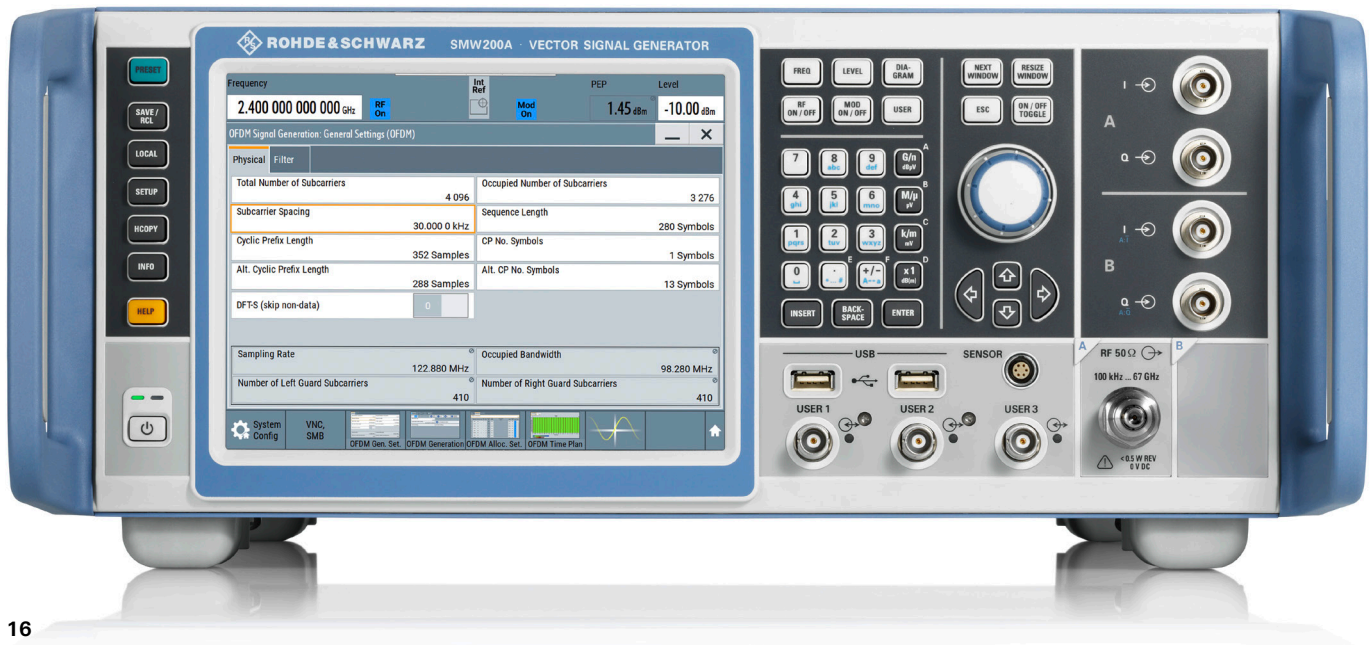
R&S®SMW-K114 OFDM信号発生オプションは、信号1つあたり最大2種類の異なる巡回プレフィックス (CP) 長と、データ割り当てでの離散フーリエ変換スプレッドOFDM (DFT-s OFDM) をサポートします。また、擬似ランダムノイズまたは定義済みデータシーケンスでの最大256のBPSK、QPSK、QAM変調を使用したパイロットとデータの完全に柔軟な割り当てと、ユーザー定義のカスタムI/Qシーケンスも使用できます。

さらに、R&S®SMW-K114は、f-OFDM (filtered OFDM)、UFMC (Universal Filtered Multi-Carrier)、FBMC (Filter Band Multi-Carrier)、GFDM (Generalized Frequency Division Multiplexing) 信号の発生もサポートします。このオプションではまた、カスタム信号フィルタリングと、NPR測定のためのOFDM信号へのノッチの付加も可能です。



割り当てタイムプランのプレビュー。

カスタムOFDM信号発生の一般設定。



OFDM信号解析

R&S®FSW-K96 OFDM信号解析オプションを使えば、R&S®FSW シグナル・スペクトラム・アナライザで、FFTサイズと巡回プレフィックス (CP) が知られているカスタムOFDMおよびDFT-s-OFDM (SC-FDMA) 信号を復調できます。CPまたはプリアンブルシーケンス (トレーニングシーケンス) による同期が可能です。

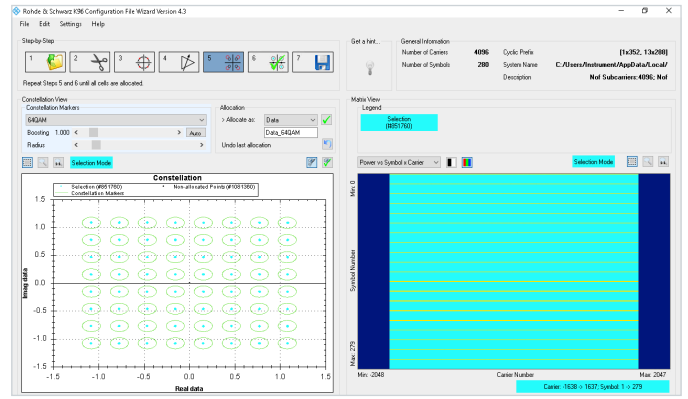
R&S®FSW-K96オプションを使えば、複雑なOFDMベースの通信規格も解析できます。ただし、このオプションの真の価値は、測定パラメータの構成と設定の自由度にあります。

信号と割り当ての構造を定義した構成ファイルを用いてR&S®SMW-K114 OFDM信号発生オプションから直接エクスポートできるので、すばやく簡単に始めることができます。

ユーザー定義可能なOFDMパラメータを以下に示します。

- ▶ サンプリングレート、FFTサイズ、捕捉時間、結果長
- ▶ 巡回プレフィックス長: 1つの信号構成あたり2種類の巡回プレフィックス長をサポート
- ▶ プリアンブル構造
- ▶ パイロット搬送波とデータ搬送波
- ▶ パイロットサンプルごとの固定コンスタレーションポイント
- ▶ データ搬送波用のさまざまな変調方式
- ▶ シンボルIDとビットストリーム結果
- ▶ バースト認識
- ▶ 位相/タイミング/レベルトラッキングを使用したチャネル予測/イコライゼーション
- ▶ 巡回遅延シフト
- ▶ FFTシフト
- ▶ トランスフォームプリコーディング

100 MHz占有帯域幅のカスタムOFDM信号の解析。



内蔵のファイルウィザードによる簡単な構成ファイル定義。

スプリアス測定

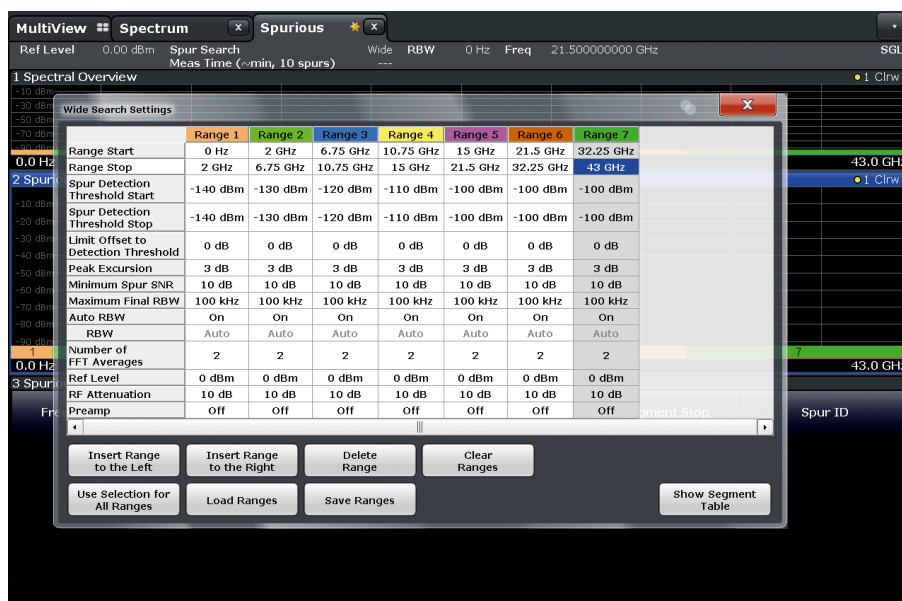
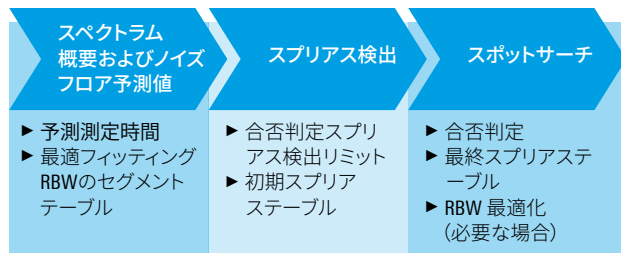
スペクトラム・アナライザによるスプリアスエミッションの探索は、RF/マイクロ波デバイスのデザイン、検証、製造の際に不可欠な測定です。

衛星アプリケーションのトランスミッターおよびレシーバーデバイスは、きわめて厳しいスプリアスエミッション制限を満たすことを要求されます。このため、きわめて低いレベルのスプリアスを広い周波数レンジで探索することが必要になります。一般的に、高感度の測定を行うには、分解能帯幅 (RBW) を狭くすることが必要です。この場合、トレードオフとして測定時間が非常に長くなります。FFTフィルターを装備した高速なスペクトラム・アナライザを使用しても、スプリアスサーチには数時間あるいは数日かかる場合があります。

R&S®FSW-K50 スプリアス測定アプリケーションは、革新的な3ステップの方法により、スプリアスを検出して特定します。最初に、高速掃引によって最適なRBWが求められます。次に、2回目の掃引によって、スプリアスが検出されます。最後に、得られた各スプリアス周波数の周辺で高速サーチが行われ、ピークが実際にスプリアスなのか、ノイズアーティファクトなのか、あるいはアナライザ内部のスプリアスなのか判定されます。最後の掃引では、RBWをさらに狭めることでS/N比を確保し、スプリアスレベルの測定確度を上げます。

新しいスプリアス・サーチ・アルゴリズムでは、スプリアス測定が自動化され、高速になります。

R&S®FSW-K50 スプリアス測定アプリケーションの測定プロセス

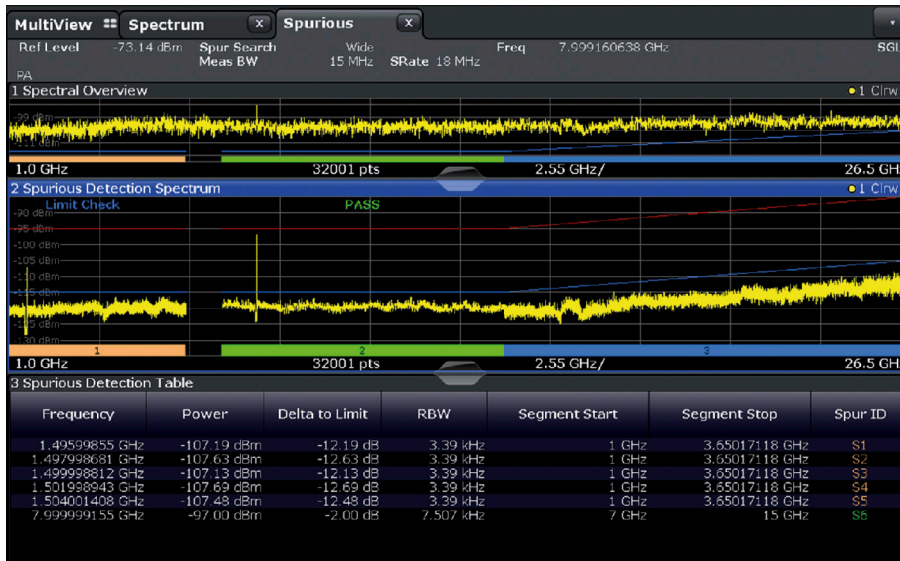


広範囲スプリアスサーチの測定設定。調査対象の各周波数レンジに対する設定可能パラメータ。

R&S®FSW-K50は、従来のスプリアス測定アプリケーションと比べて、以下のような利点があります。

- ▶ 既存のスペクトラム・アナライザのスプリアスサーチに比べて (特にRBWが小さい場合に) 約30倍高速なスプリアスサーチ
- ▶ 最大許容スプリアスレベルと必要なS/N比 (SNR) に基づくRBWの自動計算
- ▶ 2つの異なる測定モード: スプリアスが不明なシナリオでの広範囲サーチ測定と、特定周波数でのダイレクトサーチ測定

スプリアス測定アプリケーションの結果画面。



スポットサーチの拡大表示。ノイズフロアを下げ、ユーザーが設定したS/N比要件を満たすため、スプリアス周辺のRBWが狭められます。これにより、ピークが実際にスプリアスなのかどうか判定されます。



R&S®FS-SNSを使用した雑音指数および利得測定

R&S®FS-SNS スマート・ノイズソースでは、必要なセットアップパラメータを自動ロードし、環境温度を考慮することにより、雑音指数と利得を簡単かつ正確に測定することができます。測定の不確かさは自動的に計算され、結果画面に表示されます。

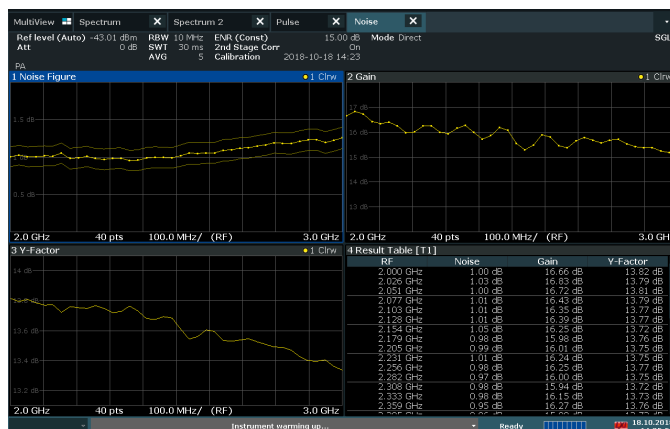
R&S®FS-SNS スマート・ノイズソースの主な特長

- ▶ 周波数レンジ：最大18 GHz、26.5 GHz、40 GHz、55 GHz、または67 GHz
- ▶ R&S®FSW、R&S®FSV3000、R&S®FSVA3000、R&S®FPL1000 シグナル・スペクトラム・アナライザ、R&S®FSWP 位相雑音アナライザ/VCOテスト、R&S®ZNL ベクトル・ネットワーク・アナライザでサポート
- ▶ ENRテーブルの自動ロード
- ▶ 自動不確かさ計算用のENR不確かさ/反射係数テーブル
- ▶ 確度向上のための自動温度表示

スペクトラム・アナライザによる雑音指数と利得の測定

スペクトラム・アナライザで雑音指数と利得を測定するには、明確な(白色)ノイズを発生できる過剰雑音比(ENR)ソースがDUT入力用に必要です。Yファクタは、この付加ノイズがあるときとないときのDUT出力のノイズパワーの比です。これは、DUTが寄与するノイズと、DUTの雑音指数および利得の計算に使用されます。

指定された周波数レンジ内でのノイズソースの出力信号特性は白色ノイズを近似していますが、わずかながら周波数応答と温度依存性があります。理想的動作からのこのずれを補正するため、ノイズソースには、周波数と温度に基づくノイズソースのENR挙動を記述する印刷された表が付属しています。補正值は、雑音指数測定ソフトウェアに手動で入力する必要があります。



R&S®FSx-K30 アプリケーションファームウェアによる雑音指数と利得の測定。結果テーブルと雑音指数トレースに加えて、利得の計算結果とYファクタの不確かさも表示できます。

この時間のかかる誤りの起きやすいステップを不要にするため、R&S®FS-SNS スマート・ノイズソースには、スペクトラム・アナライザでの計算に使用できる電子的なENRおよび環境温度テーブルが付属しています。

R&S®FS-SNS スマート・ノイズソースは、電源および制御インタフェースの役割を果たす7ピンケーブルによってアナライザに接続されます。必要なコネクタを備えていない測定器用に、アダプターケーブルが付属しています。R&S®FSx-K30 雑音指数測定ファームウェアを備えたスペクトラム・アナライザに接続した場合、測定器のすべてのパラメータが自動的に設定されます。



雑音指数および利得を簡単かつ正確に測定できるR&S®FS-SNS。

増幅器とミキサの雑音指数測定

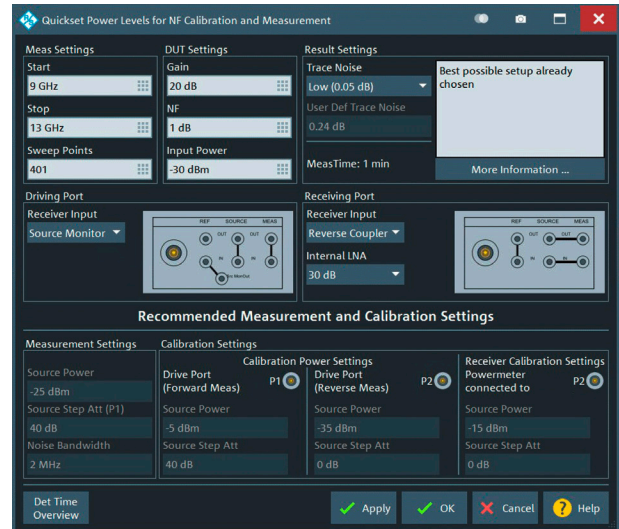
R&S®ZNA-K30オプションを使えば、増幅器、コンバーター、T/Rモジュールの雑音指数を解析できます。ハードウェアオプションを追加することで、この機能をさらに改善し、高利得の増幅器にきわめて低いレベルの信号を入力して、低利得／低雑音指数のLNAを正確に測定できます。

1回の接続でデバイス特性を評価

ノイズソースを使って雑音指数を求める代わりに、R&S®ZNAを使えば、ソース側とレシーバー側の絶対ノイズパワーを直接測定して、DUTの入力と出力のS/N比を知ることができます。絶対パワーレベルの校正とシステム誤差補正が適用されます。手動校正キット、校正ユニット、パワー・センサを使用した測定器校正は、その他の機器を必要とせず、外部ノイズソースは不要です。便利な全校正機能により、セットアップ全体を校正できます。DUT（増幅器、コンバーター、T/Rモジュール）を1回接続するだけで、(変換)利得／損失、相互変調歪み、圧縮、群遅延を含む完全なデバイス特性評価が可能です。GUI画面には測定経路内のハードウェアコンポーネントがグラフィック要素として表示され、細部を簡単に設定できます。関連するすべての設定を一目で確認できます。

校正機能と設定

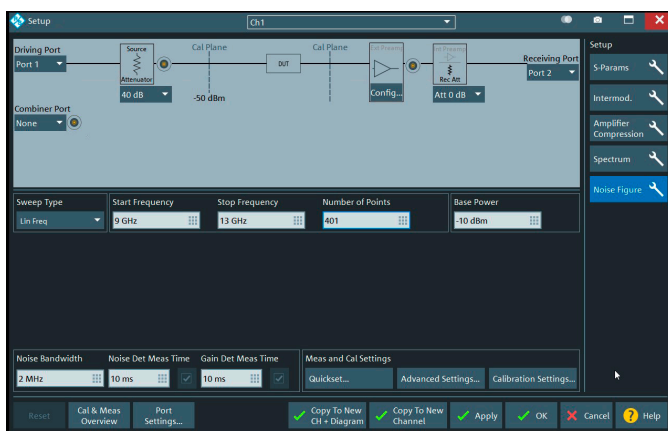
きわめて小さい入力信号パワーと大きい測定パワーから生じる不確かさの増加は、特に高利得コンバーターの場合、テスト精度の要件と衝突することがあります。メインGUIには基本的なパラメータが表示されるので、手動構成の際に最適な設定を容易に見つけることができます。システム誤差補正に用いられる補正アルゴリズムにより、正確で信頼性の高い結果が得られます。



Quicksetダイアログでの最適なテストパラメータとR&S®ZNAハードウェアの対話型／半自動構成

Quickset – 最適な設定のための高速でわかりやすい方法

強力なQuicksetダイアログは、メイン構成GUIの便利な追加機能です。雑音指数と利得の近似値などの予想されるDUT特性、および必要な雑音指数トレースノイズに基づいて、最適なセットアップを対話的にガイドします。R&S®ZNAは、測定時間や信号源出力といったパラメータを計算し、推奨される最適なハードウェア構成を表示します。



雑音指数測定を容易に構成できるGUI。

熱真空チャンバー内でのテスト

衛星ペイロードの品質保証には、宇宙の極端な環境および温度条件をシミュレートするために、熱真空チャンバー (TVAC) を使用した性能テストが必要です。

市販のテスト/測定機器は、TVAC条件での動作には適しません。スペクトラム・アナライザ、ベクトル・ネットワーク・アナライザ、信号発生器などは、TVACの外部に配置し、長いケーブルを使用してチャンバー内のDUTと接続する必要があります。

テストセットアップ内のケーブル、アダプター、スイッチの特性は、TVAC内の温度変化によって変化します。チャンバー内で異なる温度で実行された校正は、無効になります。正確な測定を保証するため、ケーブルが移動したり温度が変化したりするたびに、校正をやり直す必要があります。チャンバー内を真空にした後はオペレーターがチャンバー内にアクセスできないので、TVAC内部での校正手順はきわめて困難です。

ローデ・シュワルツでは、アップリンクとダウンリンクの基準面で正確な測定を維持するための校正アクセサリを開発しました。1つはインライン校正モジュールで、配線と温度が変化した場合にTVAC内で校正の更新を可能にします。もう1つはパワーメータで、アップリンクとダウンリンクのパワーをテストカップラーで監視する役割を果たします。

TVAC内でのベクトル・ネットワーク・アナライザのマルチポート校正

R&S®ZN-Z33 (モデル.03) 自動校正ユニットは、TVAC内部で動作するように設計されており、テスト・セットアップ・ケーブルとDUTの間に恒久的に接続されます。これにより、必要なときにいつでも再校正を実行できます。

スルー接続による基本 (マルチポート) 校正は、環境条件を補正するために1回だけ必要です。真空条件での温度校正のために、インライン校正ユニットはDUTを接続した状態でのリモート制御による再校正をサポートします。

R&S®ZN-Z33 インライン校正ユニットは、TVAC内部で動作するように設計されています。

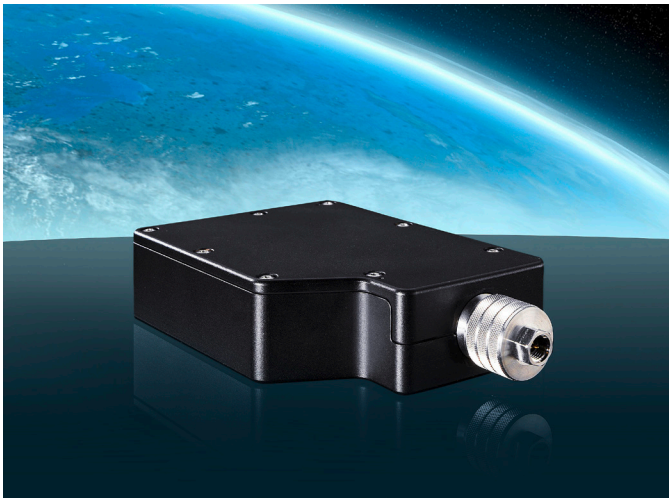


R&S®ZN-Z33 自動校正ユニットは、CANバスを通じてR&S®ZN-Z30 コントローラーに接続されます。R&S®ZN-Z30 CANバスネットワークおよびR&S®ZN-Z32/R&S®ZN-Z33校正ユニットの制御は、ファームウェアに組み込まれています。これらは自動的に検出され、ユーザーインターフェースに容易に統合されます。

測定の設定

R&S®ZN-Z30 CANバスネットワークとR&S®ZN-Z32/R&S®ZN-Z33 校正ユニットの制御は、R&S®ZNAのR&S®SMARTerCal方式に組み込まれており、シームレスなリモート制御校正と現場での再校正が可能です。オンラインR&S®ZN-Z33 校正ユニットは最大40 GHzで動作し、TVACにも対応しています。





TVAC環境で使用するための
特殊なR&S®NRP33SN-V/R&S®NRP67SN-V 3パス・ダイオード・パワー・センサ。

1台のコントローラーが最大48のインライン校正モジュールをサポートするため、マルチポートDUTに最適です。最大20 mの距離がサポートされます。セットアップは、プラグアンドプレイにより簡単に構成できます。拡張機能範囲を使用すれば、アダプターやスプリッターなどの補助コンポーネントの補正を実行でき、ミキサー測定が可能です。

このソリューションの主な利点は、以下のとおりです。

- ▶ R&S®ZN-Z33 自動校正ユニットは、工場で-30°C~+80°Cの範囲で特性評価され、真空条件で動作するように設計されています。
- ▶ R&S®ZN-Z33は挿入損失が小さく(1 GHzで代表値1.5 dB、40 GHzで5 dB)、実効方向性が高くなっています(700 MHz~20 GHzで代表値38 dB)。
- ▶ マルチポートテスト用のコンパクトなセットアップ: R&S®ZN-Z30 コントローラーは、最大48台の校正ユニットをサポートします。

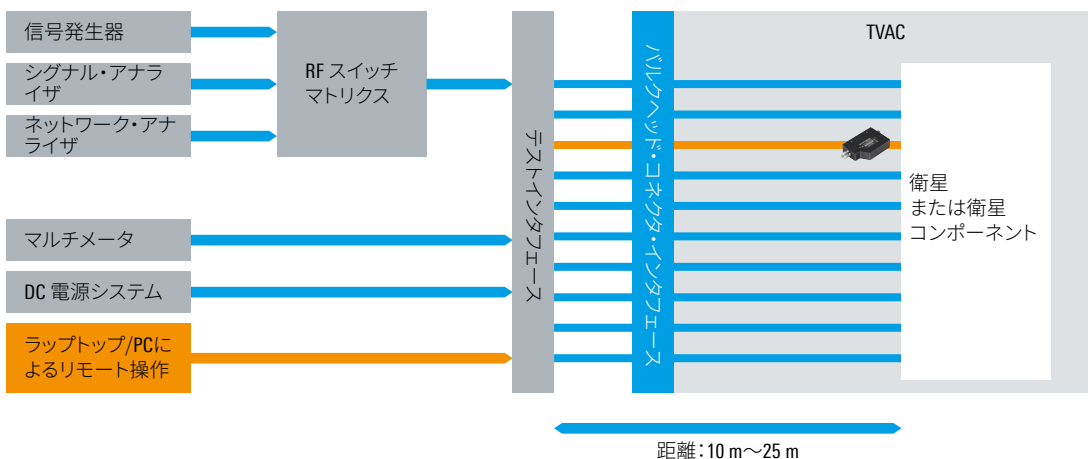
- ▶ ベース校正中にフラットネスパワー校正 (R&S®SMARTerCalに装備) が可能です。
- ▶ プラグアンドプレイ構成
- ▶ TVAC内でも正確なシミュレーションパワー
- ▶ 補助コンポーネントの補正と(ディ)エンベディング
- ▶ コンバーターのテスト

パワー測定

ローデ・シュワルツのTVACパワー・テスト・ヘッドを使用して、TVAC内で(TVAC条件下で)一般的なパワー測定を実行できます。R&S®NRP33SN-V/R&S®NRP67SN-V パワー・センサはTVAC向けに設計されており、欧州宇宙機関(ESA)の基準を満たします。R&S®NRP33SN-V/R&S®NRP67SN-V パワー・センサは、33 GHzおよび67 GHzまでの衛星通信周波数レンジをカバーし、信号帯域幅と変調タイプに関係なく、最大93 dBのダイナミックレンジで、高速で非常に正確なパワー測定を実行できます。パワー・センサは、チャンパー外部から、Power over Ethernet LAN接続を通じて容易に制御できます。

チャンパー内の衛星の入力または出力にセンサを直接接続することで、測定セットアップと校正手順を簡素化できます。長いRFケーブルを使用する必要がなく、DUTの近くで測定することで測定精度も向上します。ローデ・シュワルツのTVACケーブルは、チャンパー内部から外部への特殊なLANフィードスルーを実現するもので、VOCなどの汚染物質を除去するため十分長い時間加熱処理された真空対応の材料を使用しています。

TVAC内のペイロードに直接接続できるローデ・シュワルツの校正ユニットおよびパワーセンサ



デジタルインタフェースのテスト

衛星内のさまざまなシステムやコンポーネントの間のデータ通信は、ミッションにとって重要であり、あらゆる条件で保証される必要があります。

ペイロード内およびペイロードと衛星プラットフォームの間のさまざまな機器やモジュールは、デジタルデータ／通信バスシステムを通じて相互接続されています。最先端のシステムでは、このタスク用にSpaceWireなどのプロトコルが使用されています。

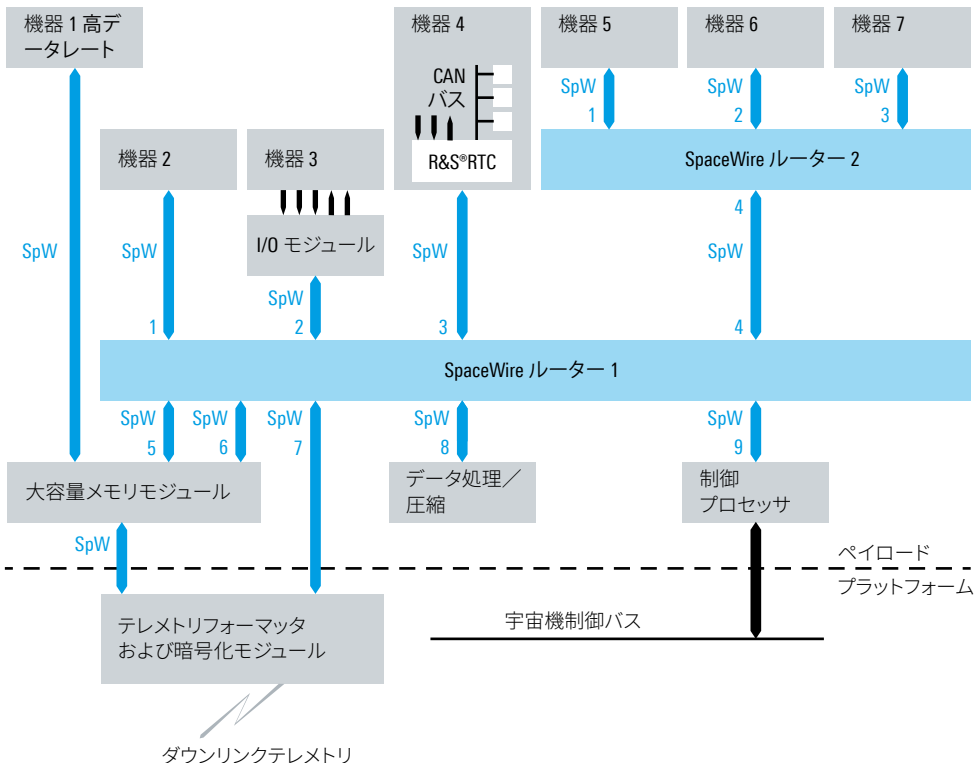
R&S®RTPおよびR&S®RTO6 オシロスコープは、さまざまなバス規格のデコードとデバッグを容易に行い、DUTの性能を検証するための広範囲の機能を提供します。

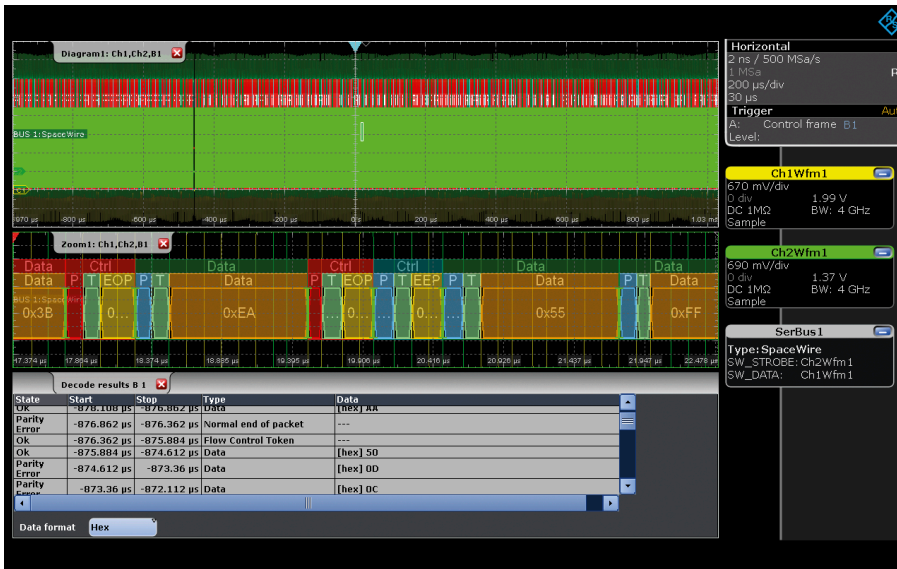
- ▶ SpaceWireや8b/10bベースのSpaceFibreなど、規格準拠または独自仕様のバスシステムに対するトリガ／デコードオプション
- ▶ 独自の時間／周波数ゾーントリガ

- ▶ さまざまなイベントの間の容易な相関により、システムのトラブルシューティングを簡素化
- ▶ 最大16ビットの垂直軸分解能による優れた信号忠実度
- ▶ 周波数解析機能、プロトコル解析機能、およびロジック解析機能を搭載したマルチドメイン・テスト・ソリューションを完全に統合したコンパクトなフォーマット
- ▶ デバイス制御と信号出力のための内蔵任意波形発生器／パターンジェネレーター

SpaceWireアーキテクチャー

2台のSpaceWireルーターを使用して、衛星内のさまざまな機器やモジュールの間の接続を実現します。



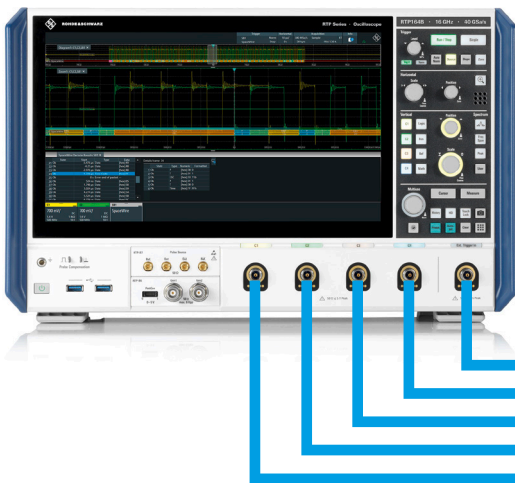


R&S®RTP-K65オプションを装備することで、R&S®RTPはSpaceWireシリアルプロトコルのデコードとデバッグを容易に実行できます。

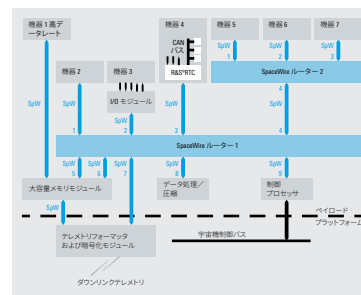
4チャンネルのR&S®RTP オシロスコープによるテストセットアップのデバッグ

R&S®RTPの各チャンネルで異なるドメイン(RFリンク、DC電源、データ通信バス)を測定し、測定結果を相関させます。

R&S®RTP オシロスコープ



衛星



- 以下の測定
- ▶ RFリンク
 - ▶ DC電源
 - ▶ データ通信バス1
 - ▶ データ通信バス2
- および結果の相関

衛星のデジタル・インタフェース・テスト用の一般的に使用されるトリガ/デコードオプションの選択肢

| オプション | シリアル規格 | アプリケーション | デコード | デコードテーブル | トリガ | ラベルのサ レポート | シンボリック T&D | 検索 |
|-------------|----------------------|----------|------|----------|-----|---------------|---------------|----|
| R&S®RTP-K1 | I ² C/SPI | 組み込み | ● | ● | ● | ● | | ● |
| R&S®RTP-K2 | UART/RS-232/422/485 | 組み込み | ● | ● | ● | | | |
| R&S®RTP-K3 | CAN/LIN (CAN-dbc) | 自動車、産業 | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| R&S®RTP-K6 | MIL-STD-1553 | 航空宇宙 | ● | ● | ● | ● | | ● |
| R&S®RTP-K7 | ARINC 429 | 航空宇宙 | ● | ● | ● | ● | | ● |
| R&S®RTP-K9 | CAN-FD (CAN-dbc) | 自動車 | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| R&S®RTP-K50 | マンチェスター、NRZ | 設定可能 | ● | ● | ● | | | |
| R&S®RTP-K52 | 8b10b | 組み込み | ● | ● | ● | | | ● |
| R&S®RTP-K65 | スペース・ワイヤー | 航空宇宙 | ● | ● | ● | ● | | ● |

ペイロードコンポーネントのRF測定

R&S®ZNA ベクトル・ネットワーク・アナライザを使用

R&S®ZNAの特長

- ▶ 超高感度
- ▶ 比類のない測定速度
- ▶ 周波数レンジ: 最大67 GHz
- ▶ 最大8つの独立したレーザバー
- ▶ 4つの位相コヒーレント内蔵信号源
- ▶ 2つの内蔵LO信号源
- ▶ 4つのパルスジェネレーターと4つのパルス変調器
- ▶ 内蔵コンバイナー
- ▶ 包括的なトリガ機能と同期機能

ミキサー/コンバーター測定

- ▶ 変換損失
- ▶ 入力/出力整合
- ▶ RF/LOクロストーク
- ▶ 圧縮/相互変調
- ▶ 群遅延
- ▶ 雑音指数
- ▶ 基準ミキサーを必要としない位相測定

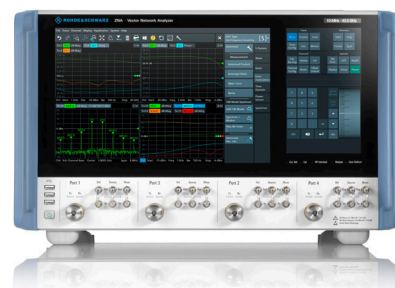
アンテナ測定

- ▶ 正の極性
- ▶ アンテナ特性評価
- ▶ RCS測定
- ▶ 1 GHz帯域幅でのダイレクトIFアクセス
- ▶ 包括的なトリガ機能と同期機能
- ▶ 1100 GHzまでのミリ波測定をサポート
- ▶ 逆方向周波数掃引



R&S®ZNA

ベクトル・ネットワーク・アナライザ



アンプ測定

- ▶ 遅延、利得
- ▶ 入力/出力整合
- ▶ 相互変調
- ▶ 利得圧縮
- ▶ 雑音指数
- ▶ 高調波歪み
- ▶ パルスド測定
- ▶ 絶対パワー

フィルター測定

- ▶ 通過帯域および阻止帯域減衰
- ▶ リップル
- ▶ 急峻さ
- ▶ 遅延
- ▶ 正の極性
- ▶ 帯域幅
- ▶ Q値
- ▶ TDRチューニング

R&S®SMW200A ベクトル信号発生器を使用

R&S®SMW200Aの特長

- ▶ 周波数レンジ：最大67 GHz
- ▶ 内部ベースバンドで最高2 GHzのI/Q変調帯域幅 (RF)
- ▶ R&S®SMW-K555 帯域幅拡張により4 GHzの信号帯域幅が使用可能
- ▶ オプションの第2 RF経路 (最大44 GHz)

R&S®FSW シグナル・スペクトラム・アナライザを使用

R&S®FSWの特長

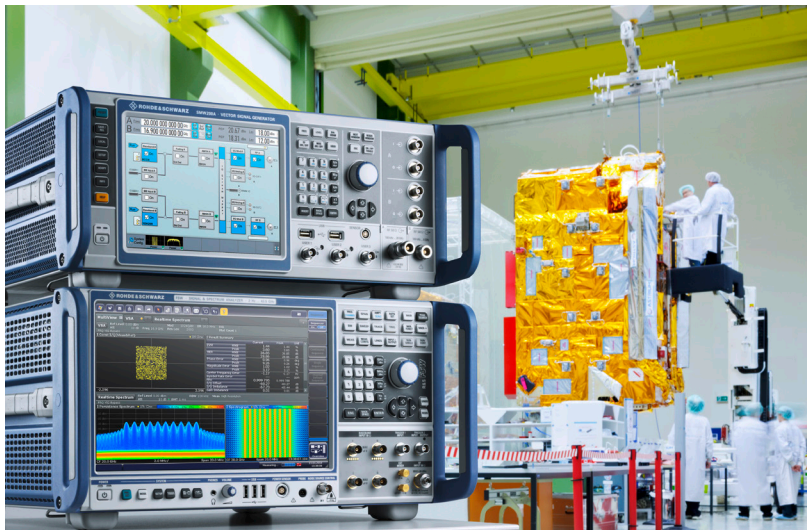
- ▶ 最高90 GHzの周波数レンジ (外部高調波ミキサーの使用により最高500 GHz)
- ▶ 内部解析帯域幅：最大8.3 GHz
- ▶ リアルタイム解析帯域幅：800 MHz

増幅器 (R&S®SMW200AおよびR&S®FSW)

- ▶ 利得および利得圧縮
- ▶ AM/AM、AM/PM、利得圧縮
- ▶ モデリングおよびデジタルプリディストーション
- ▶ EVM
- ▶ 入力/出力パワー、ACLR、NPR
- ▶ 雑音指数
- ▶ 周波数応答測定および補正
- ▶ 群遅延、相互変調

ミキサー／周波数コンバーター (R&S®SMW200AおよびR&S®FSW)

- ▶ 変換損失
- ▶ 利得圧縮
- ▶ AM/AM、AM/PM
- ▶ スプリアス
- ▶ 雑音指数
- ▶ 周波数応答測定および補正
- ▶ 群遅延



R&S®SMW200A

信号発生器

R&S®FSW

シグナル・スペクトラム・アナライザ



フィルター (R&S®SMW200AおよびR&S®FSW)

- ▶ 通過帯域および阻止帯域減衰
- ▶ 振幅と位相
- ▶ 周波数応答測定および補正
- ▶ 群遅延

発振器／シンセサイザー (R&S®FSW)

- ▶ 位相雑音
- ▶ スプリアス
- ▶ 出力パワー

高付加価値のサービス

- ▶ 世界に広がるサービス網
- ▶ 各地域に即した独自性
- ▶ 個別の要望に応える柔軟性
- ▶ 妥協のない品質
- ▶ 長期信頼性

ローデ・シュワルツ

ローデ・シュワルツはテクノロジーグループとして、電子計測、テクノロジーシステム、ネットワーク/サイバーセキュリティの分野の最先端ソリューションを提供することで、安全でつながり合った世界の実現を先導する役割を果たしています。創業から85年を超えるこのグループは、全世界の産業界と政府機関のお客様にとっての信頼できるパートナーです。本社をドイツのミュンヘンに構え、独立した企業として、70か国以上で独自の販売/サービスネットワークを展開しています。

www.rohde-schwarz.com/jp

永続性のある製品設計

- ▶ 環境適合性と環境負荷の低減
- ▶ 高エネルギー効率と低排出ガス
- ▶ 長寿命かつ所有コストの最適化

Certified Quality Management

ISO 9001

Certified Environmental Management

ISO 14001

ローデ・シュワルツトレーニング

www.training.rohde-schwarz.com

ローデ・シュワルツ カスタマーサポート

www.rohde-schwarz.com/support



R&S® は、ドイツRohde & Schwarz の商標または登録商標です。
掲載されている記事・図表などの無断転載を禁止します。
PD 5215.2120.96 | Version 02.00 | 11月 2022 (ch)
衛星ペイロードおよびコンポーネントに対するテスト
おことわりなしに掲載内容の一部を変更させていただくことがあります。
あらかじめご了承ください。

© 2017 - 2022 Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG | 81671 Munich, Germany