

衛星ペイロードの打ち上げ前テスト アプリケーションノート



製品:

- R&S®SMW200A
- R&S®FSW
- R&S®FSWP
- R&S®ZVA
- R&S®NRP
- R&S®NRP33SN-V
- R&S®RTO

衛星プロジェクトのミッションの成功は、テストと測定に大きく依存します。コンポーネントのデザインに始まり、最終的な統合と打ち上げに至る、製造のあらゆる段階で、ミッションクリティカルな部分で意図したとおりの性能が実現されているかどうかを確認するために、膨大な量のテストが実行されます。このため、衛星のテストキャンペーンには時間がかかるというのが常識です。

Rohde & Schwarz (R&S) では、テスト時間短縮のための解決策の1つとして、非常に高速なテスト/測定機器を提供しています。革新的な測定機能により、測定時間と校正作業を大幅に低減できます。この記事で解説しているR&S機器は、業界最高の確度により、テストの歩留まりを上げる効果があり、ペイロードテストのコスト効率と信頼性を向上させる手段となります。

このアプリケーションノートは、システムエンジニアと製造エンジニアを対象としています。本書では、コンポーネントおよび機能モジュールと、衛星通信ペイロード全体の、打ち上げ前レベルでのCCR/CATRおよびTVAC RFテストについて説明します。

本書を補完するアプリケーションノート(1MA263)では、R&S測定器を使用した打ち上げ後のRFテストおよび軌道上のメンテナンス測定について説明しています。

注記:

最新のドキュメントについては、当社ホームページをご覧ください。

<http://www.rohde-schwarz.com/appnote/1MA223>

アプリケーションノート:『Ground Station Testing On Satellites In Orbit(軌道上衛星に対する地上局テスト)』

<http://www.rohde-schwarz.com/appnote/1MA263>

アプリケーションノート

M.Naseef, R.Minihold
11.2016 – 1MA223_1e

目次

概要	3
1 通信衛星の構造.....	5
2 衛星ペイロードのアーキテクチャー.....	6
3 衛星テスト用のR&S測定器	7
4 R&Sのペイロードテスト用推奨製品	8
5 環境テスト.....	9
5.1 コンパクト・レンジ・テスト.....	9
5.2 熱真空チャンバー(TVAC)測定.....	10
6 衛星ペイロードの特性評価用のR&S機器	12
6.1 アクセサリの特性評価.....	12
6.2 信号発生セットアップ.....	13
6.2.1 外部任意波形発生器を使用した広帯域信号発生	15
6.2.2 R&S [®] SMW200Aの内蔵任意波形発生器を使用した信号発生	17
6.3 衛星アンテナの特性評価	19
6.3.1 等価等方放射電力(EIRP)	19
6.3.2 入力電力束密度(IPFD)	20
6.4 衛星ペイロードの特性評価.....	21
6.4.1 振幅周波数応答(AFR)	21
6.4.2 群遅延測定	23
6.4.3 利得対雑音温度(G/T)	28
6.4.4 パッシブ相互変調(PIM)	31
6.4.5 位相雑音	33
6.4.6 スプリアスエミッション	39
6.4.7 ノイズパワー比(NPR)	45
6.4.8 衛星ペイロードテストでのEVM測定	47
7 参考資料	50
8 オーダー情報	51

概要

2016年6月現在、宇宙空間で運用中の衛星は1419個に上ります。その半分が、民間の通信衛星として稼働しています。世界の衛星業界の成長は、世界経済の成長速度を上回っています。成長は着実に続いており、今後は新しい衛星の開発と製造の需要がますます高まると予想されます[2]。衛星のデザインを成功させるには、開発プロセスのすべての段階で、膨大な量のテストを行う必要があります。

衛星リンクは、音楽放送やテレビ放送、電話／インターネット／移動無線機による世界規模の通信に不可欠な役割を果たします。国家のシステムだけでなく民間のシステムでも、スムーズで信頼できる動作を24時間保証することが重要です。

衛星の製造にはいくつかの段階があり、各製造段階で得られるデータの相関に大きな努力が注がれます。要件が厳しいため、許容されるテストマージンはきわめて小さく、測定の不確かさと再現性が、製造プロセス全体を通して主要な関心事となります。このため、製造に携わる人々は、最高の性能を持つ機器と、被試験デバイスに至るまでのテスト環境の厳密な校正を求めます。このことから、校正がテスト時間を増やす大きな要因となり、テストのコストを押し上げることとなります。

打ち上げ後に衛星を修理するのは、通常は不可能です。信頼性とデザインマージンに関する考慮から、テストのコストが増加し、高性能のテスト機器が必要になります。

コンポーネントとサブシステムのテストが終わると、ペイロードと衛星の統合とテスト(PSIT)が行われます。このテストの段階では、近傍界レンジ、コンパクトレンジ、ペイロード統合、統合ペイロードテスト、ペイロード熱真空、統合宇宙機テスト、振動テスト／宇宙機熱真空テスト(SCTVあるいは"Shake & Bake")、最終統合宇宙機テスト(FIST)、および打ち上げ機に衛星を組み込んだ後の最終打ち上げ前テストがあります。

本書は、上記の製造シーケンスのRF関連の側面について説明するもので、テストと測定に加えて、広帯域マルチトーンテスト信号の発生についても詳細に解説しています。システムの最大リニア動作レンジを求めるために、最大2 GHzの帯域幅のテスト信号を使用して、あらゆる種類のトラフィックおよび干渉信号がエミュレートされます。信号の線形化／補正手法により、2 GHzの帯域幅全体にわたって、 ± 0.3 dBの振幅フラットネスを実現できます。

このアプリケーションノートの目的とする範囲は限定されているため、重要なテストをすべて解説することはできません。最も重要ないくつかの打ち上げ前ペイロードテストを中心に説明しています。軌道上のテストについては、本書の補完的なアプリケーションノート(1MA263)で解説しています[3]。

製品名の略称

このアプリケーションノートでは、ローデ・シュワルツの製品について、以下のように略称で記載しています。

- R&S[®] SMW200Aベクトル信号発生器: SMW
- R&S[®] SGT100A SGMAベクトルRF信号源: SGT
- R&S[®] SGS100A SGMAベクトルRF信号源: SGS
- R&S[®] SGU100A SGMAアップコンバーター: SGU
- R&S[®] SGMA-GUI PCソフトウェア: SGMA-GUI
- R&S[®] FSWシグナル／スペクトラム・アナライザ: FSW
- R&S[®] FSWP位相雑音アナライザ/VCOテスター: FSWP
- R&S[®] ZNBTベクトル・ネットワーク・アナライザ: ZNBT
- R&S[®] ZVTベクトル・ネットワーク・アナライザ: ZVT
- R&S[®] ZVAベクトル・ネットワーク・アナライザ: ZVA
- R&S[®] RTOデジタル・オシロスコープ: RTO
- R&S[®] TS6710自動TRMテストシステム: TS6710
- R&S[®] TSMWユニバーサル無線ネットワーク・アナライザ: TSMW
- R&S[®] AFQ100B UWB信号／I/Q変調発生器: AFQ
- R&S[®] NRPxxS/SN 3パス・ダイオード・パワー・センサ: NRPxxS/SN
- R&S[®] NRP2パワーメータ: NRP2
- R&S[®] NRP-Zxx 3パス・ダイオード・パワー・センサ: NRP

1 通信衛星の構造

通信衛星は一般的に、以下の2つの主要な機能ブロックから構成されています。

1. 宇宙機バスまたはサービスモジュール
2. 通信ペイロードモジュール

1. サービスモジュールは、以下のサブシステムから構成されています。

- **構造サブシステム**は、衛星(SAT)の機械的なベースです。このベースによって、衛星は打ち上げ中の応力や振動に耐え、構造の信頼性を維持し、宇宙空間で安定性を保つことができます。また、構造サブシステムは、温度の極端な変動や、軌道上の微細な宇宙ゴミや流星塵から衛星を保護する役割も果たします。
- **パワーサブシステム**には、太陽エネルギーを電力に変換する太陽電池パネルが搭載されています。このサブシステムは、電力のレギュレーションと分配の機能を果たします。パワーサブシステムには電力を蓄えるバッテリーが搭載され、地球の影を飛行しているときも衛星に電力が供給されるようにします。
- **温度制御サブシステム**は、衛星に搭載された電子機器を極端な温度変化から保護する役割を果たします。このような温度変化は、衛星が暗い位置から太陽光が当たる位置に移動したときに、あるいは衛星本体の片側に強い太陽光が当たり、反対側が完全な影になったときの温度勾配によって生じることがあります。
- **テレメトリーサブシステム**は、オンボード機器の動作をモニターする役割を果たします。さらに、このサブシステムは、機器の動作データを地上制御局に送信し、地上制御局からのコマンドを受信して機器動作の調整を行います。

姿勢／軌道制御サブシステムは、主にセンサを使用して、宇宙空間での宇宙機の向きを測定します。飛行ソフトウェアには、アクチュエーターおよびスラスターに方向制御信号を供給して、飛行中の衛星の姿勢を制御する機能があります。これにより、衛星は正しい軌道位置に留まることができます。さらに、衛星のアンテナも、正しい方向を指すように調整されます。

2. 通信ペイロード

通信ペイロードの主要なモジュールの1つは、トランスポンダーです。トランスポンダーは、以下の機能を果たすように設計されています。

- 地上衛星送信局からのアップリンク無線信号を受信します。
- 受信した無線周波数(RF)信号を増幅します。
- 衛星の受信アンテナで受信した入力信号を再編成し、入出力信号マルチプレクサー経由で出力信号を適切なダウンリンクアンテナに供給して、地上衛星受信局に再送信します。

2 衛星ペイロードのアーキテクチャー

ほとんどの通信衛星は、複数のトランスポンダーを備えた無線リレーとして動作します。そのチャネル帯域幅は、数10 MHzから数GHzに及びます。この章では、一般的に用いられている2種類のペイロード構造について説明します。

1. ベントパイプトランスポンダー

ほとんどのベントパイプトランスポンダーの設計は、地上局からの信号が衛星で増幅され、アップリンク周波数がダウンリンクRF周波数に変換されて、地上に送信されるという仕組みに基づいています。

図2-1に、衛星ペイロードに用いられるベントパイプトランスポンダーの構造を示します。

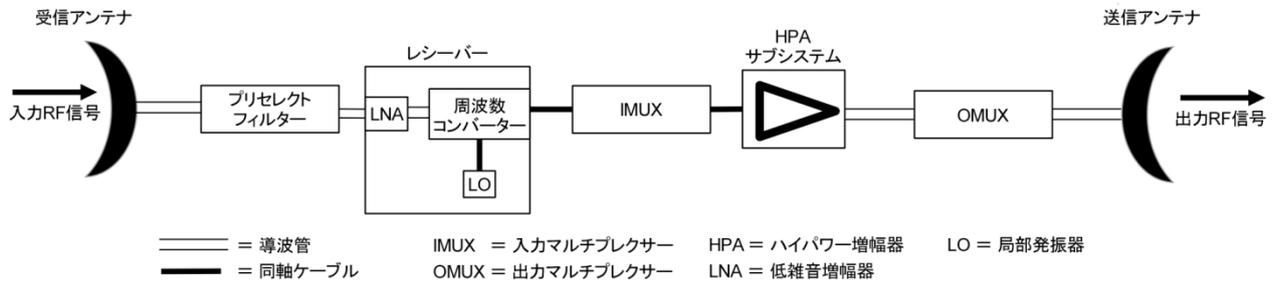


図2-1: ベントパイプ衛星ペイロードトランスポンダーの構造[2]

2. 再生中継型トランスポンダー

ベントパイプ型のペイロードとは別の方法として、再生型衛星では、オンボード処理の仕組みが用いられます。受信信号は衛星で復調され、デコードされて、場合によってはエラー訂正方式が適用され、再エンコードされ、変調されて、ダウンリンク搬送波周波数に変換されてから、地上に送信されます。この種類のトランスポンダーは、再生中継型衛星ペイロードトランスポンダーと呼ばれます。この型のシステムにはさまざまな利点がありますが、ベントパイプトランスポンダーよりも複雑になります。

図2-2に、今日の衛星に用いられる複雑な再生中継型衛星ペイロードトランスポンダーの構造を示します。

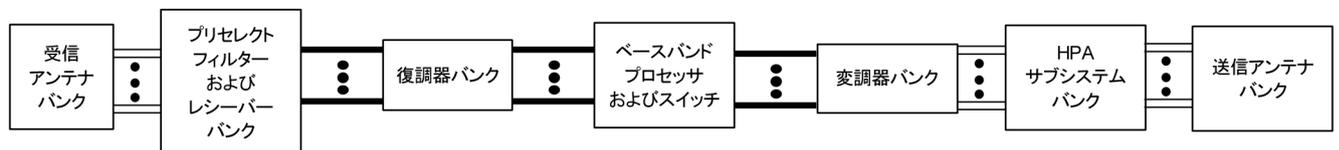
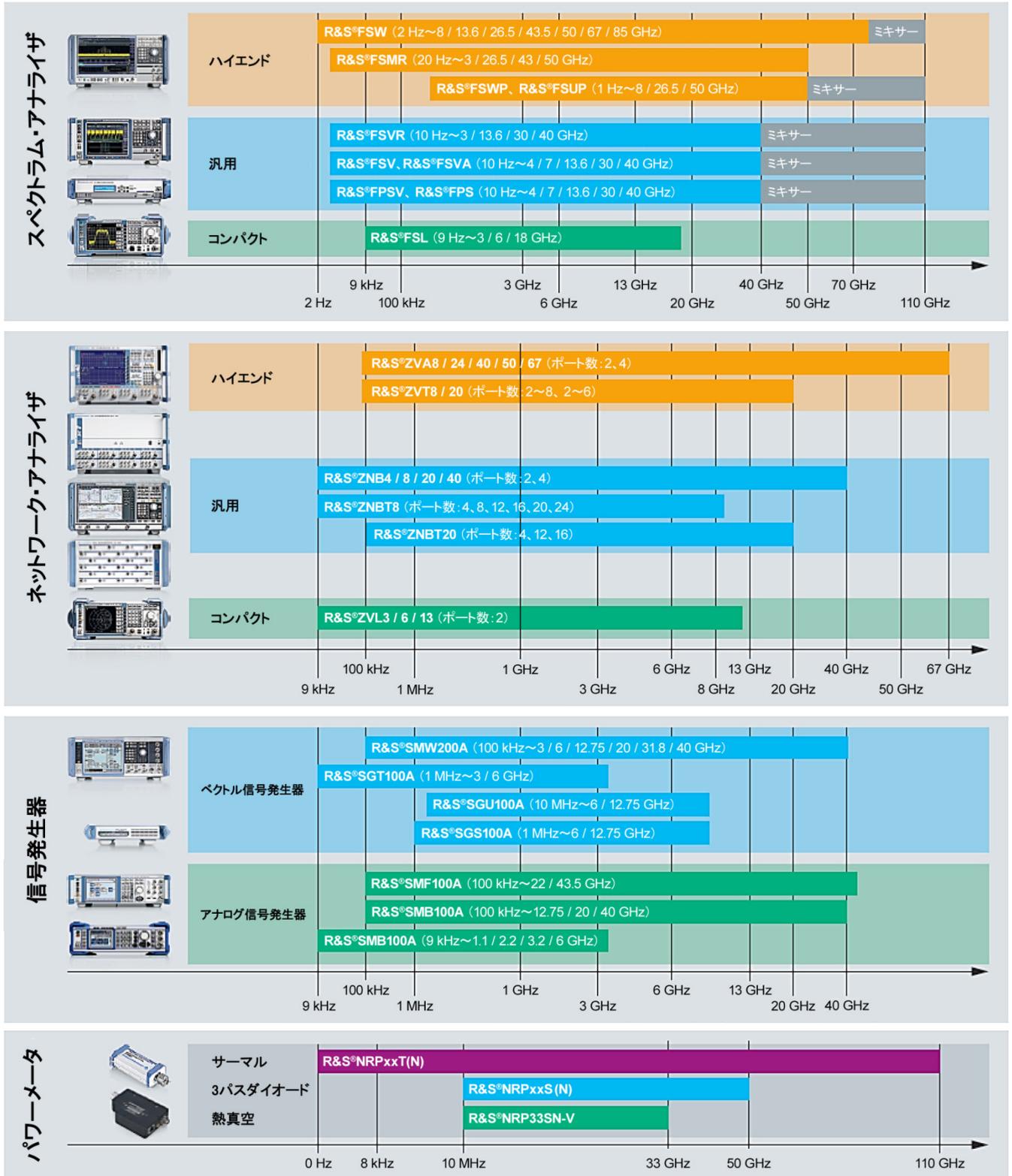


図2-2: 再生中継型衛星ペイロードトランスポンダーの構造[2]

3 衛星テスト用のR&S測定器



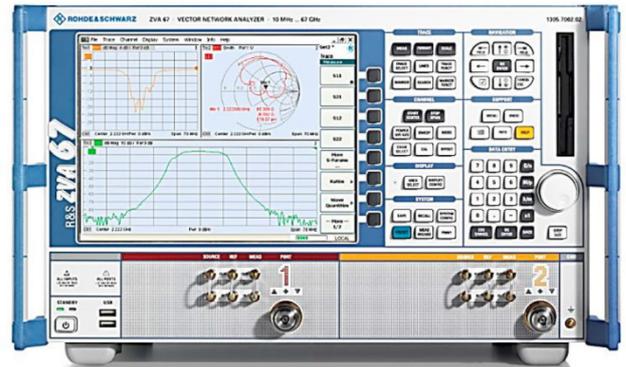
4 R&Sのペイロードテスト用推奨製品

このアプリケーションノートでは、以下の機器を用いて解説しています。



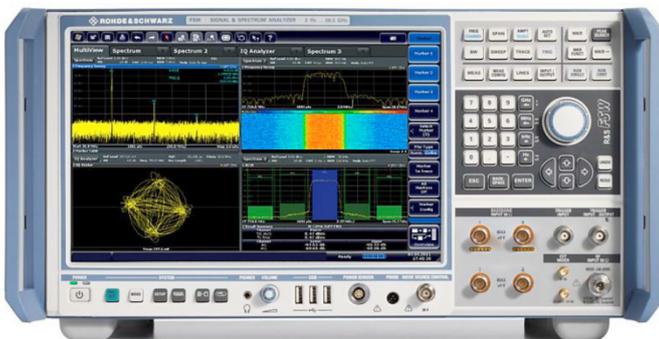
R&S®SMW200Aベクトル信号発生器

- 周波数レンジ: 100 kHz~3 GHz, 6 GHz, 12.75 GHz, 20 GHz, 31.8 GHzまたは40 GHz
- オプションの第2 RF経路(100 kHz~3 GHz, 6 GHz, 12.75 GHzまたは20 GHz)
- I/Q信号の容易な発生
- I/Q変調器(最大2 GHzのRF変調帯域幅)
- 単純な問題と複雑な問題の両方を表示できるアダプティブGUI
- SCPIマクロレコーダーおよびコードジェネレーターにより、手動操作ステップから実行可能なリモート制御コードを生成(MALAB®, CVI用など)
- 測定器のカスタマイズにより、ほぼあらゆるアプリケーションに対応可能
- ソフトウェアはいつでもアップグレード可能、キーコードを使用した簡単なアクティベーション



R&S®ZVAベクトル・ネットワーク・アナライザ

- 周波数レンジ: 300 kHz~8 GHz(R&S®ZVA8)、10 MHz~24/40/50/67/110 GHz(R&S®ZVA24/40/50/67/110)
- ミキサの位相/群遅延測定を、LOアクセスありまたはなしで実行
- 長距離群遅延測定
- リニア/ノンリニア増幅器/ミキサ測定
- 雑音指数測定
- 分解能12.5 nsのパルスプロファイル測定
- 平衡ポートを持つアクティブデバイスの信頼できる特性評価のための真の差動測定
- 高速センサイザー、広いIF帯域幅、広いダイナミックレンジによる短い測定時間
- ジェネレーター/レシーバーへのダイレクトアクセスによる30 dBmの出力パワーと150 dBのダイナミックレンジ
- 増幅器/ミキサのパルス測定のための、最大30 MHzのIF帯域幅を備えた初めてのVNA



R&S®FSWシグナル/スペクトラム・アナライザ

- 周波数レンジ: 2 Hz~8/13.6/26.5/43.5/50/67/85 GHz
- -137 dBc(1 Hz)の小さい位相雑音(10 kHzオフセット、1 GHz搬送波)
- -88 dBcのダイナミックレンジ(ノイズキャンセルあり)
- 最大2 GHzの解析帯域幅
- 最大160 MHz帯域幅のリアルタイム解析
- 複数の測定アプリケーションを並列実行して表示可能
- 分解能帯域幅: 1 Hz~10 MHz、80 MHz



R&S®NRP33S/SN

- 10 MHz~50 GHzの周波数レンジ
- 10,000回のトリガ測定
- 50,000回/sの測定
- LAN経由の任意の距離でのリモートモニタリング
- 93 dBのダイナミックレンジ
- 内蔵トリガI/Oポート
- 測定時間を最小化するインテリジェントなアレージング機能
- 測定の不確かさを最小化
- 3バス・ダイオード・パワー・センサ



R&S®NRP33SN-V

- 10 MHz~33GHzの周波数レンジ
- TVACアプリケーション専用のデザイン
- 測定範囲: 100 pW~200 mW
- 周波数レンジ: 10 MHz~33 GHz
- 3.5 mm(オス)コネクタ

5 環境テスト

衛星の特性評価テストのほとんどは、最初はコンポーネントおよびサブシステムレベルで実行されます。ミッションの成功を保証するために不可欠の要件として、衛星はさまざまな環境ストレステストに合格する必要があります。これらの環境テストは、test-like-you-fly(飛行中と同じ条件のテスト)とも呼ばれ、衛星の統合および組み立てプロセスの重要な一部です。

打ち上げ機とペイロードを含む宇宙機全体が、熱ストレステストに合格する必要があります。テストサイクルのある部分で、衛星は熱真空チャンバー(TVAC)内に置かれ、エミュレートされた極端な条件下で何週間もテストされます。これは、宇宙空間での衛星の動作と性能を実証するために役立ちます。

打ち上げに先だって、補正済みコンパクトレンジ(CCR)またはコンパクト・アンテナ・テスト・レンジ(CATR)テストが実行されます。CCR/CATRテストは、エンドツーエンドのリンク・マージン・テストの主要な基準あるいはベンチマークとなります。もちろん、その他の環境テスト(音響テスト、振動テスト、衝撃テストなど)の重要性も強調しすぎることはありません。ただし、このアプリケーションノートでは、RF以外の主題に関しては扱いません。

5.1 コンパクト・レンジ・テスト

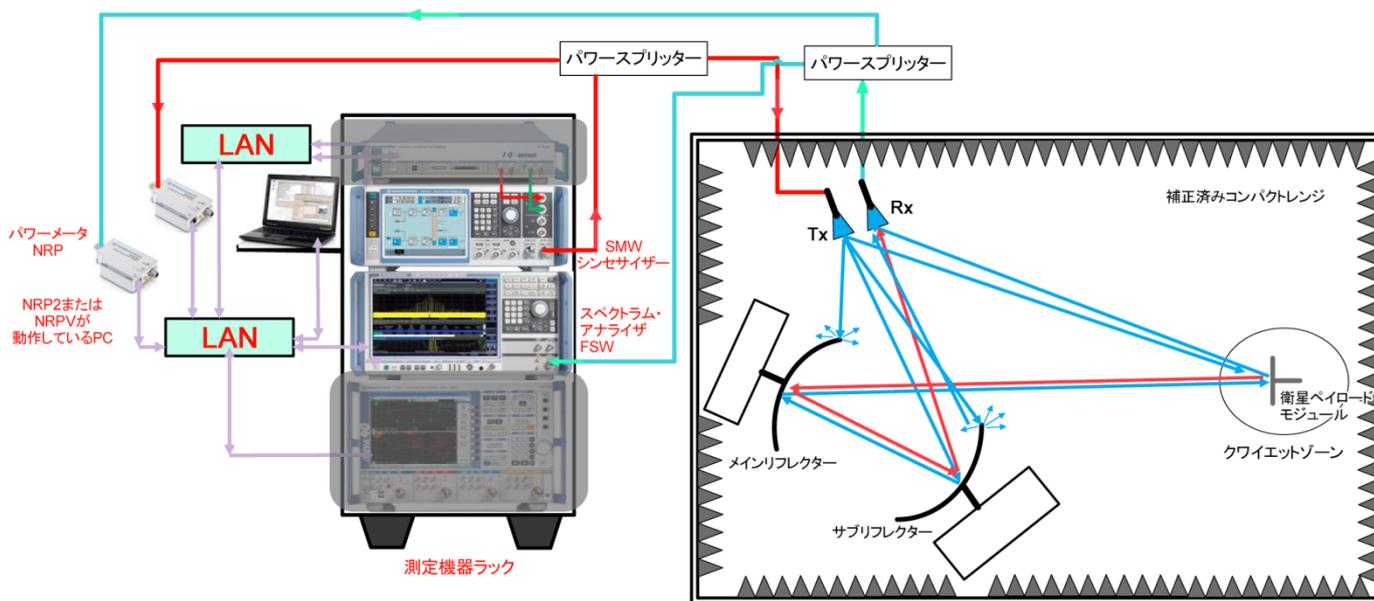


図5-1: ペイロードモジュールの放射テストのためのCCR/CATRコンパクト・レンジ・テスト。アプリケーションの要件に応じて、ベクトル・ネットワーク・アナライザを代わりに使用することもできます。リフレクターは、衛星の受信アンテナを短距離で完全に照射するために用いられます。グレー表示された機器は、必要なCCR/CATRテストの一部だけに用いられます。

実行されるテストは、アンテナパターン、EIRP(等価等方放射電力)、PIM(パッシブ相互変調、導波管とアンテナの接続の検証用)、利得伝達、NPR(ノイズパワー比)、搬送波対雑音または雑音温度、振幅周波数応答、群遅延です。

宇宙産業アプリケーション用のテスト／測定（T&M）機器は、通常、限界ぎりぎりで使用されます。大規模な空間レイアウトとテストセットアップの複雑さによりテストマージンが削られるため、T&M機器に許容される不確かさはきわめて小さくなります。CCR/CATRテストは、通信衛星の無線テストの業界標準となっています。リアルタイムの閉ループテストを容易に行う方法は、コンパクトレンジ以外にないからです。さらに、CCR/CATRを使えば、特に最先端のマルチビーム／マルチフィード衛星に対して、優れたテスト／測定確度が得られます。最近のレンジは、クワイエットゾーンの直径と深さが大きくなるように設計されています。

図5-1に、CCR/CATR内での放射衛星ペイロードテストのセットアップ例を示します。テストレンジは、メインフレクター、サブフレクター、送信（Tx）レンジ・フィード・アンテナ、受信（Rx）レンジアンテナから構成されています。入力信号の発生と受信信号の解析は、通常はチャンバー外部で行われます。個々のテスト要件に応じて、VNAか、ここに示した例のように、VSGとシグナル・アナライザの組み合わせが使用されます。

5.2 熱真空チャンバー（TVAC）測定

大気圏外の衛星や、ペイロードを搭載して宇宙に向かう宇宙機は、その環境に耐える必要があります。これにより、衛星に使用されるコンポーネントやサブシステムの品質保証と検証に必要なプロセスが決まります。宇宙空間での条件（真空や太陽光の照射）を再現するために、熱真空チャンバー（TVAC）が用いられます。このチャンバーは、高度（温度／圧力）テストのためのカスタマイズされた大気条件をシミュレートできるように設計されています。

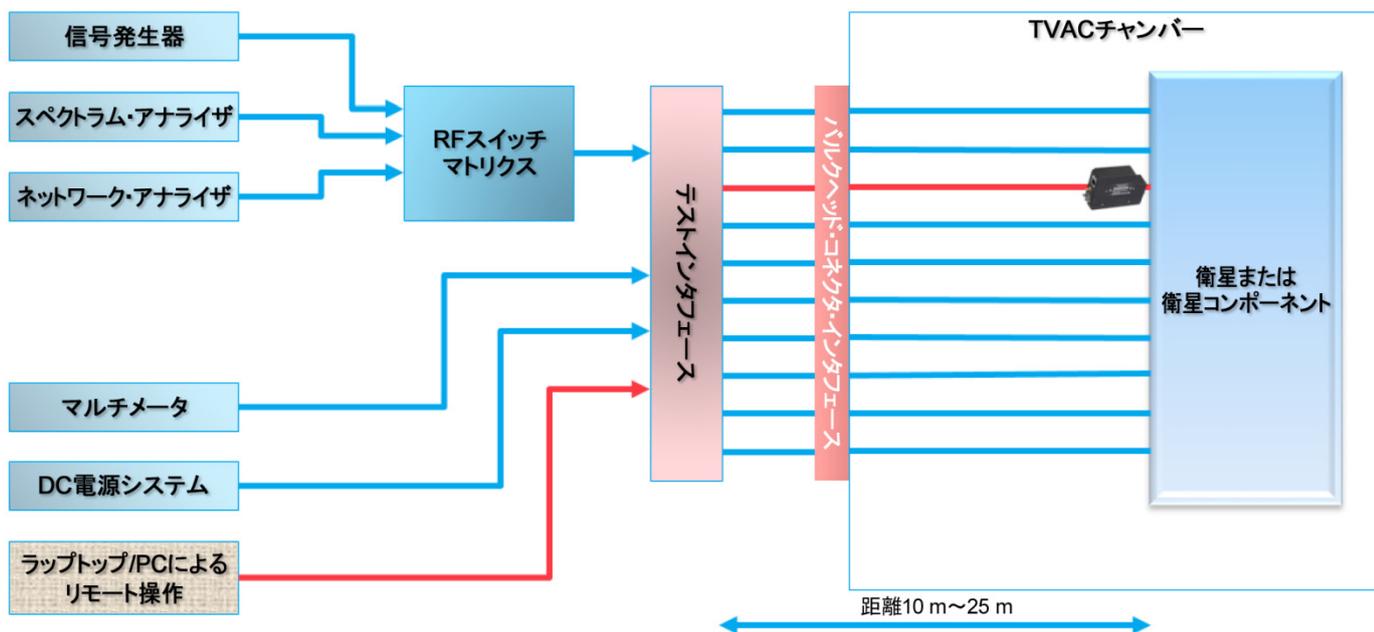


図5-2: TVACテスト構成の例: NRP33SN-Vパワーセンサをチャンバー内のテスト対象に直接接続

衛星は、自身の回転と軌道上の移動により、常に温度変化にさらされます。低軌道(LEO)衛星の場合、宇宙空間での衛星部品の温度変化は、約 $-170\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+123\text{ }^{\circ}\text{C}$ に達することが観測されています[12]。TVAC内で実施される熱サイクルテストは、材料とプロセスの選択を検証するために重要な役割を果たします。

熱サイクルテスト(飛行中と同じ条件のテスト)では、打ち上げ、巡航、ミッション中にペイロードがさらされる実際の条件が再現されます。温度は連続的に変更されるわけではありません。一般的には不連続なステップが用いられ、持続時間は数時間程度です。合計サイクル数は100に達することも珍しくありません。すなわち、最適な性能を保証するために、DUTはTVAC内に数週間置かれることがあります。

熱テストの目的により、テスト対象の熱特性評価に適した熱テストの種類(一般的なものは、熱サイクル、熱真空テスト、熱平衡テスト、熱バーンインテスト)の要件が決まります。

従来、パワーセンサはチャンバー内部で使用することができず、チャンバー外部でRFパワーを測定するために長いRFケーブルが必要でした。DUTに対して直接、すなわちTVACチャンバー内で、正確で信頼できるパワー測定を行うには、新しい手法が必要です。パワーセンサは、高真空内で動作するだけでなく、ある程度の温度変動に耐える必要があります。

NRP33SN-V TVAC対応パワーセンサは、TVACチャンバー内での動作を目的として設計されています。パワーセンサのすべての部品が、製造プロセス中にすでに真空チャンバー内でベーキング処理されているので、揮発性有機化合物(VOC)の放出は最小限に抑えられます。さらに、センサのハウジングに設けられた通気穴により、センサ内部と周囲の圧力が等しくなります。

6 衛星ペイロードの特性評価用のR&S機器

1957年に宇宙時代が始まってから、さまざまな種類の衛星が開発され、それに伴って数多くの製造プロジェクトが実施されてきました。時間とともに、テストや測定の実施戦略と手法は、大きく進化してきました。ミッションの(機会)コストが大きいため、テスト/測定のための技術や機器は、常に最新、最先端のものが使用されてきました。それでも、宇宙分野のすべての企業には、それぞれに固有の特徴があり、差別化要因となっています。当然ですが、各測定の実行には複数の方法があり、多くの衛星メーカーは、自身のニーズに最適な独自のT&M手法を開発してきました。このセクションの目的は、当社の優位を主張することではなく、ローデ・シュワルツ(R&S)のテスト機器を使用した最も一般的なT&Mセットアップを説明して、衛星ペイロードテスト用のR&S機器の運用上の利点を紹介することです。個別のテスト環境への統合方法については、営業担当者までお問い合わせください。

6.1 アクセサリの特性評価

テストセットアップへの影響を評価する必要があるアクセサリとしては、何種類かのアップリンク/ダウンリンクケーブル(TVACチャンバーのバルクヘッドと宇宙機テストカップラーを接続する、いわゆる「ビッグテール」)や、挿入損失、結合損失、方向性、ポート整合の評価用の宇宙機テストカップラーがあります。

これらのテストは、最適な不確かさと再現性を得るために、VNAを使用して行われます。ただし、これらのケーブルの評価は、パワーメータを基準として用いて信号発生器/スペクトラム・アナライザを使用することも可能です。

ケーブル損失の評価は、衛星ペイロードのテスト/測定の基本的な要素です。TVAC内部のペイロードとテスト機器を接続する非常に長い(30 m程度)高周波ケーブルの特性を評価するには、最初にシステム誤差補正(SEC)を実行する必要があります。

前提条件

- 周囲温度に3時間置いた後、30分のウォームアップ
- 指定された環境条件を満たすこと
- 推奨校正間隔を守る
- 関連するすべての機器で、可能な場合、内部自動調整を実行すること



図6-1: 4ポートZVAの周波数レンジは10 MHzから最高110 GHz

特に、ポート数の多いマルチポート測定の場合、時間を節約し、ミスを防ぐために、単独の校正基準ではなく、校正ユニットの使用を強く推奨します。ポート数が少ない校正ユニットでフルNポート校正を実行するには、校正ユニットをVNAの各物理ポートに接続する必要があることは明らかです。ベクトル・ネットワーク・アナライザでは最適化された接続方法があるので、THRU接続の数を減らすことができます。これにより、必要な再接続の回数も減らすことができます。各個別ポート間でTHRU接続を測定する代わりに、存在しない伝送の誤差補正データを、利用可能なシステム誤差補正データに基づいて計算することができます。

合計の接続回数は、使用するベクトル・ネットワーク・アナライザのポート数、校正ユニットのポート数、選択する校正タイプに関連しています。セグメント掃引の場合、Nポート校正手順には各セグメントが含まれます。セグメントを個別に校正する必要はありません。例えば、2ポート校正ユニットで校正できるポートの数は、ベクトル・ネットワーク・アナライザまたは接続するスイッチマトリクス of 物理ポートのみにより制限されます。システムティック校正手順の詳細は、アプリケーションノート1E270『Multi-port calibration by using a two port calibration unit(2ポート校正ユニットを使用したマルチポート校正)』[8]で説明されています。

6.2 信号発生セットアップ

信号発生器は、衛星ペイロードテストの最も重要な要素の1つです。今日の衛星信号には、I/Q変調方式が用いられています。このようなI/Q変調信号に必要な帯域幅(BW)は、一般的に40 MHz、80 MHz、160 MHz、320 MHz、500 MHz、1 GHz、2 GHzなどであり、中心周波数は最高40 GHz程度です。

SMW200A VSGの内蔵任意波形発生器を使用すれば、図6-2に示すように、最大2 GHzの帯域幅に対応できます。SMWの内蔵機能を使用すれば、マルチキャリア信号を容易に発生でき、クレストファクターが最小の入力信号を発生する機能もあります。

ただし、帯域幅が160 MHzを超える信号を発生するには、通常は外部の任意波形発生器が使用されます。例えば、AFQ100Bは最大528 MHzのI/Q信号を発生できます。このようなセットアップでは、入力信号の補正のために外部のソフトウェアが必要です。図6-3では、FSWを使用して、信号の振幅補正を行っています。

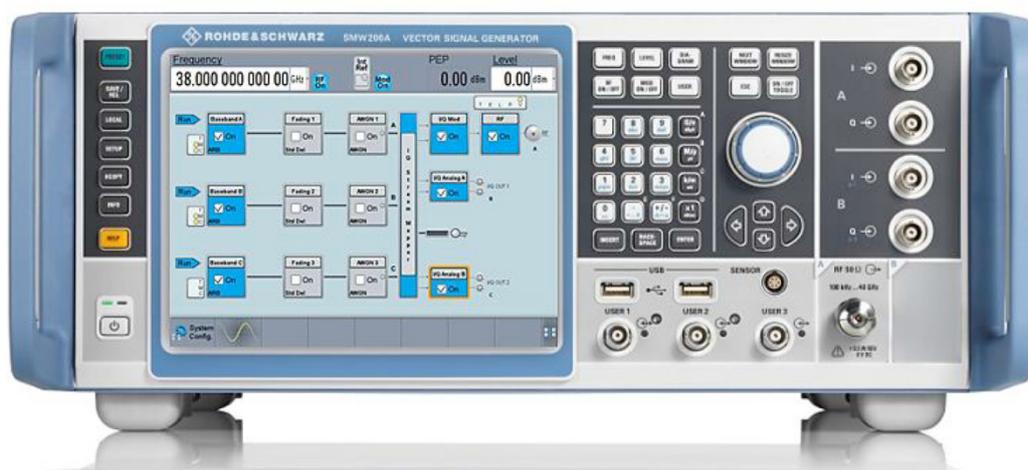


図6-2: 1つのRF経路のための40 GHz SMW200A。VGAは完全に補正されていて、追加の振幅補正は不要です。

外部任意波形発生器 (ARB) と NPR ソフトウェア を組み合わせると SMW を VSG として使用することにより、広帯域ベクトル変調信号 (最大帯域幅 2 GHz) を、Ka バンドの上限までの周波数で発生できます。また、SMW は、内蔵任意波形発生器を使用して、最大 2 GHz 帯域幅の広帯域ベクトル変調信号を発生することもできます。ただし、このアプリケーションノートでは、いくつかの測定で CW 信号を発生する場合も含めて、全体を通して図6-3の構成を使用しています。これは一貫性のためです。CW 信号を使用する場合は、SMW のアナログ I/Q 入力をオフにする必要があります。

任意波形発生器は LAN 経由で PC に接続され、PC 上では NPR ソフトウェア がバックグラウンドで動作しています。SMW の RF 出力は、信号補正と生成される信号の校正のために FSW に供給されるか、テスト用に DUT に供給されます。

NPR を使用してテスト信号を発生しているのは、単なるデモのためです。その目的は、このようなハイエンドのアプリケーション向けの R&S 機器の機能を示すことです。NPR は、プロジェクト固有の信号発生ソフトウェアの代わりになるものではありません。

前提条件

外部任意波形発生器の IQ 出力からベクトル信号発生器 (SMW) の IQ 入力までのケーブルは同じ長さである必要があります。ケーブルはできるだけ短くする必要があります。差動 IQ を使用する場合は、4 本のケーブルすべてが同じ長さである必要があります。発生する信号の帯域幅が 1 GHz を超える場合は、差動 IQ は選択できないので、外部任意波形発生器の未使用の I/Q 出力を 50 Ω 終端で適切に終端する必要があります。

SMWは、以下のようなさまざまな測定ケースで差動信号をサポートしています。

- マルチキャリアCW - 帯域外歪み、C3IM、群遅延測定、ペイロード・チャンネル・ローディング
- ノイズパワー比 - システムレベルの帯域内歪み
- ランプ掃引 - 利得伝達、AM/AM、AM/PM対ドライブ
- ユーザー定義カスタム変調 - QPSK、PSK、FSKによるチャンネル負荷のシミュレーション

6.2.1 外部任意波形発生器を使用した広帯域信号発生

発生する1 GHzまたは2 GHz帯域幅(BW)信号の振幅フラットネスを、40 GHzのRFスペクトラム全体で高いレベルに維持するために、信号の補正が必要です。ただし、信号のフラットネスは外部任意波形発生器の性能に依存します。図6-3に、2 GHz信号の発生と補正のためのセットアップを示します。

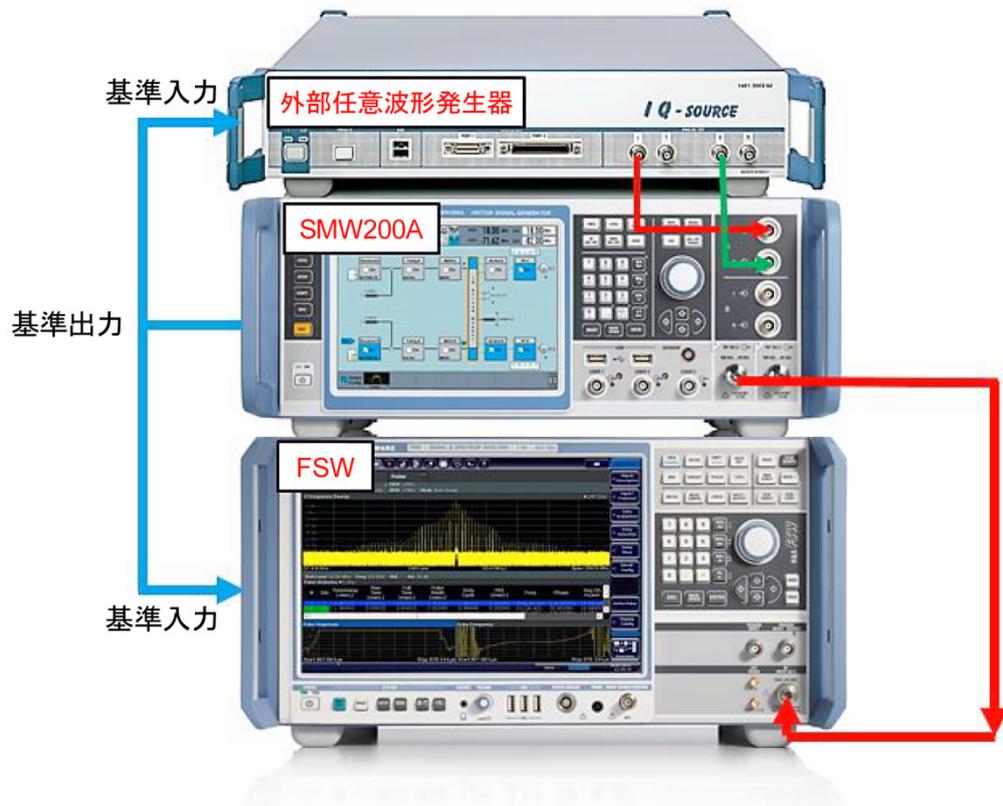


図6-3: テストステミュラス信号の信号補正のための測定器接続。この例では任意波形発生器を差動IQ信号出力に設定しています。

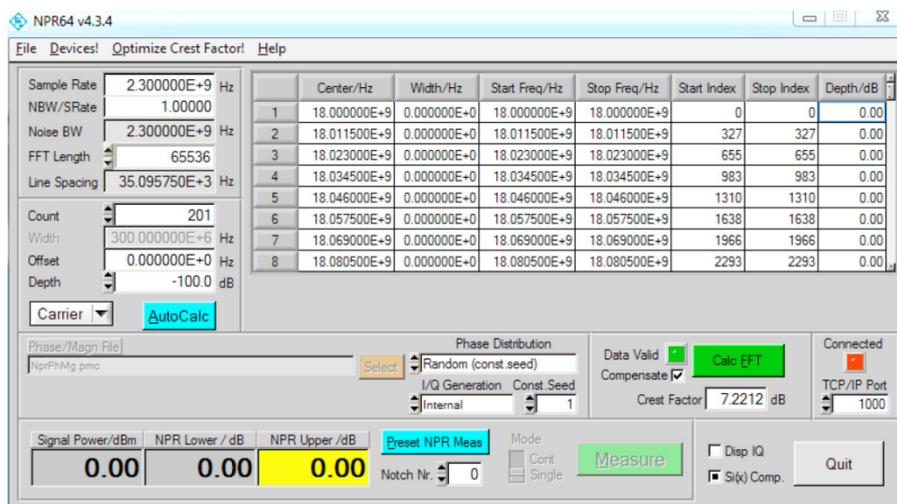


図6-4: NPRデモソフトウェアによるパラメータ設定

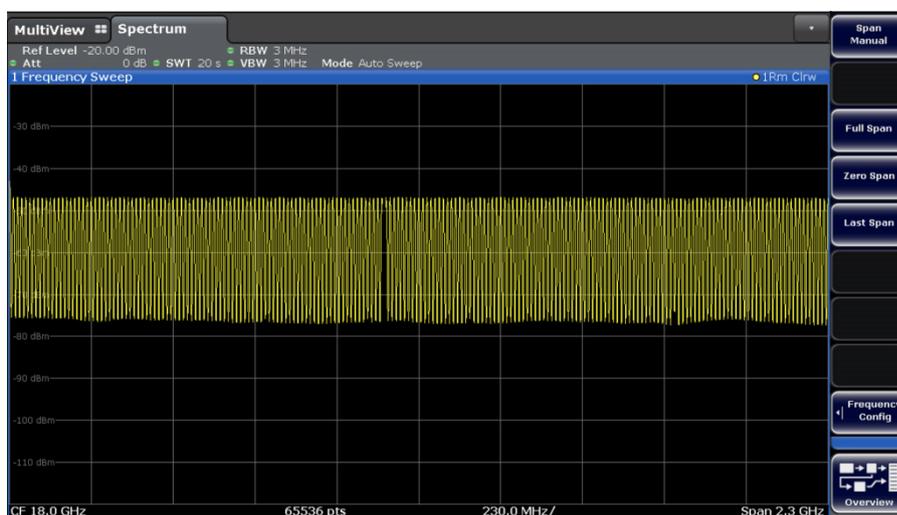


図6-5: 201個のトーンからなる2 GHz幅のマルチキャリア信号を18 GHzで振幅補正した結果

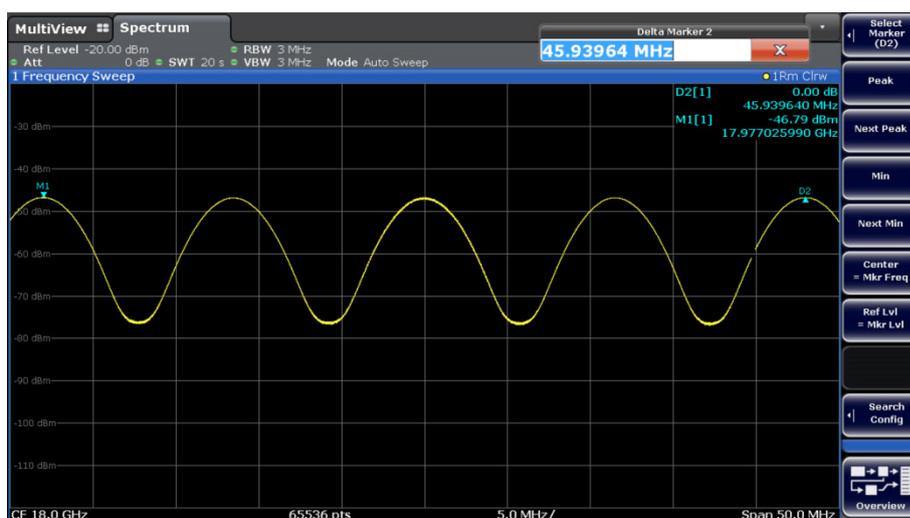


図6-6: 201個のトーンからなる2 GHz幅のマルチキャリア信号を振幅補正した結果(50 MHzスパン)。スパンが小さい場合、搬送波間の振幅変動は事実上ありません(D2[1]マーカーを参照)。

6.2.2 R&S[®] SMW200Aの内蔵任意波形発生器を使用した信号発生

- 2トーン信号の発生は、[図6-8](#)に示すように、SMWの内蔵任意波形発生器を使用して、ベースバンド・マルチキャリア・オプションから行うことができます。経路AのRF周波数を33 GHzに、パワーレベルを0 dBmに調整します。

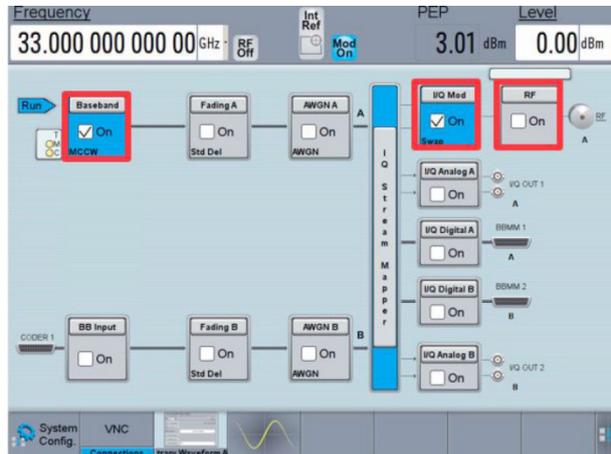


図6-7: R&S[®] SMW200Aでの2トーン信号発生

- 次に、[図6-8](#)のように調整を行います。

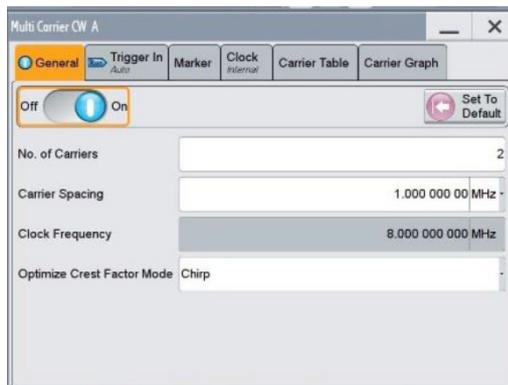


図6-8: R&S[®] SMW200Aでの2トーン信号設定

- 信号の発生後、中心周波数での搬送波フィードスルーが補正されます。搬送波フィードスルーは、I信号とQ信号が完全に直交していない場合に発生します。この問題を補正するには、[図6-9](#)のように、アナログ信号劣化メニューでIオフセットとQオフセットを調整します。

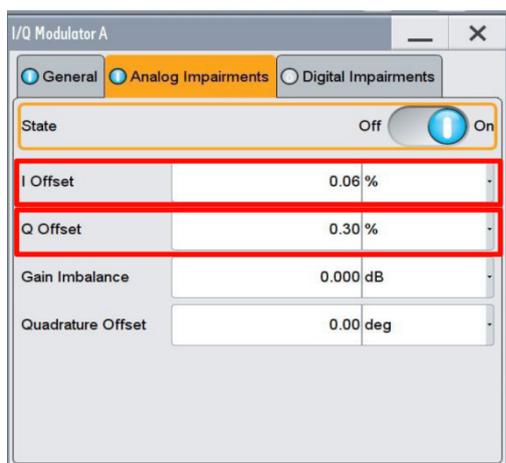


図6-9: 搬送波フィードスルーの補正のためのアナログ信号劣化

- [RF ON]を押します(図6-7)。

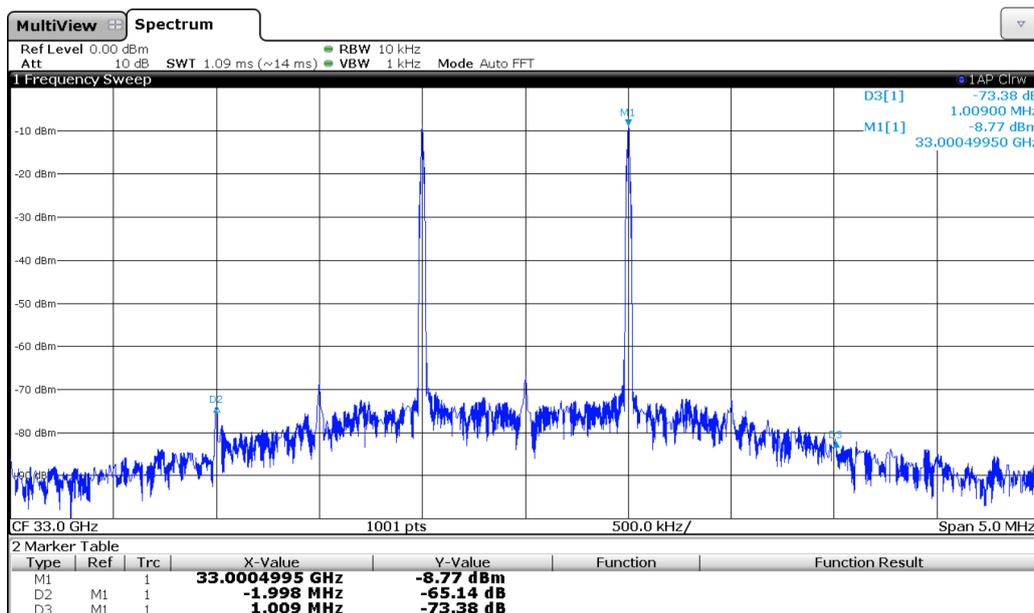


図6-10: SMWによる33 GHzでの2トーン信号発生

図6-10に示すのは、SMWの内蔵任意波形発生器で発生した2トーン信号とその相互変調成分です。

6.3 衛星アンテナの特性評価

6.3.1 等価等方放射電力(EIRP)

EIRPは、最大利得方向での送信アンテナの利得(G_T)と、入力送信パワー(P_T)の積で表されます[14]。このパラメータを定義するには、Friisの伝達公式を参照する必要があります。

$$EIRP = P_T G_T$$

この式は以下のように書き直すことができます。

$$EIRP = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 \left(\frac{P_R}{G_R} \right)$$

ここで、

P_R = 受信アンテナでの受信パワー

G_R = 受信アンテナの利得

R = 送信アンテナと受信アンテナの距離

λ = 放射信号の波長

EIRPの単位は通常はdBWです。

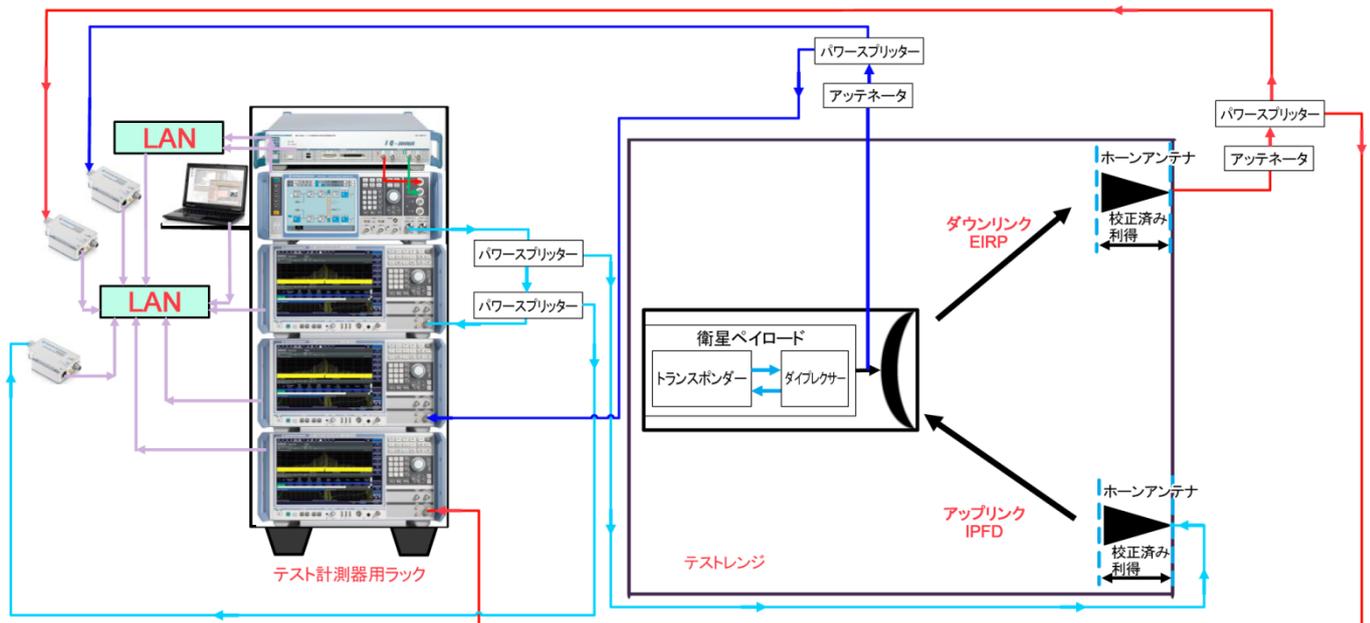


図6-11: EIRP/IPFD測定のためのテストセットアップ

図6-11に、EIRP測定のテストセットアップを示します。衛星の送信アンテナは、アンテナポアサイトの方向のテストアンテナに向けられています。合成されたAM変調信号は、衛星の送信アンテナから送信されます。この信号のパワーレベルは、トランスポンダの飽和を引き起こすのに十分な高さです。トランスポンダの各個別チャンネルと、ペイロードのチャンネル出力増幅器は、飽和ポイントまでドライブされます。この飽和ポイントはチャンネルごとに異なるため、個別に決める必要があります。そのための最善の

方法は、AM変調信号の最初の2つの側波帯でのAM抑圧が最大になるパワーレベルを、各チャンネルに対して求めることです。

EIRPを計算するには、レンジのRXフィードの利得と、レンジ距離Rを、あらかじめ定義する必要があります。受信信号のモニターには、FSWを使用します。SMWから、CCR/CATRのTxフィードのパワーレベルを、例えば0.5 dB刻みで増加させて、受信信号の側波帯でのAM抑圧が最大になる値を求めます。受信信号のパワーレベルを測定するには、NRPファミリーのパワーヘッドを、無料でダウンロードできる[NRPV仮想パワーメータ](#)をインストールしたPCか、NRP2パワーメータに接続して使用します。衛星でのパワーレベルのモニターには、FSWと、衛星ペイロードに接続されたNRPパワーヘッドを使用することもできます。

NRPxxS/SNパワーセンサは、33 GHzまでの周波数レンジをカバーします。衛星関連のさまざまなアプリケーションに特に適しています。33 GHzから67 GHzまでのアプリケーションには、NRP-Z55、NRP-Z56、NRP-Z57が推奨されます。

NRPxxS/SNセンサはすべて、既存の3パス・ダイオード・センサと同様に、測定モードとして、連続、平均、バースト平均、タイムスロット、トレースモードをサポートしていますが、性能は大幅に向上しています。

- ダイナミックレンジ: -70 dBm ~ +23 dBm
- 周波数レンジ: 10 MHz ~ 8 GHz, 18 GHz, 33 GHz
- 測定速度(トリガ): 10,000回/秒
- 測定速度(フリーラン): 50,000回/秒
- 低いパワーレベルでのきわめて高速で正確な測定
- WebクライアントによるLAN機能(NRPxxSNモデル)
- USBによるリモート制御

6.3.2 入力電力束密度(IPFD)

トランスポンダーを飽和させるために必要な入力パワーレベルのことを、IPFDと呼びます。これはEIRPに比例します。

$$IPFD = EIRP \left(\frac{1}{4\pi R^2} \right)$$

IPFDは通常、衛星トランスポンダーのハイ・パワー・アンプが飽和に達するポイントで測定されます。衛星が軌道上にある場合、地上局のアップリンクアンテナのEIRPを、衛星での許容されるIPFDの値近くに調整する必要があります。IPFDの単位はdBW/m²です。

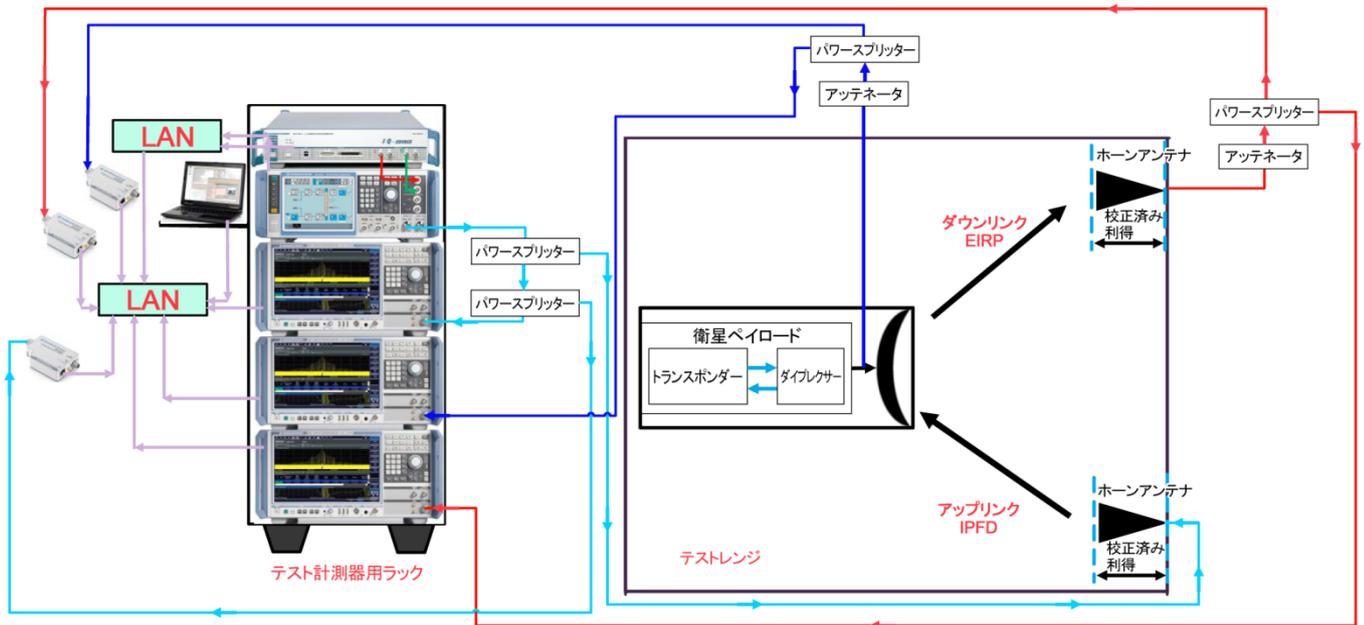


図6-12: IPFD測定のためのテストセットアップ

入力電力束密度 (IPFD) パラメータは、EIRPと同じ方法で測定されます。ペイロードのトランスポンダーは、飽和ポイントまでドライブされる必要があります。トランスポンダーが飽和ポイントに達するまで、レンジのTxアンテナの送信パワーを小刻みに上げていきます。IPFDは、上記の式を使用して計算されます。NRPxxS/SNパワーセンサの他に、NRP-Zxxパワーセンサも、IPFDの測定に適しています。

NRP-Zxxパワーセンサには、従来のテクノロジーに比べて明らかな利点があります。例えば、高いS/N比、小さい変調効果、信号経路の切り替え時の遅延と不連続性が無視できること、利用可能なビデオ帯域幅内でテスト信号のタイムドメイン解析が実行できることです。これらのセンサは、ピーク・パワー・メータの代わりに使用できるだけでなく、以下の2つの点で優れています。

- テスト信号のRF帯域幅に関する制限がない
- ダイナミックレンジが広い

このため、きわめて広帯域の信号の解析が可能です。

6.4 衛星ペイロードの特性評価

6.4.1 振幅周波数応答 (AFR)

振幅周波数応答は、信号が通信チャネルのチェーン増幅器とバンドパス・フィルター・チェーンを通過することによる影響を特性評価するための鍵となるパラメータです。増幅器とバンドパスフィルターは、送信地上局と受信地上局のすべてのトランスポンダーで用いられます。このため、これらのコンポーネントによる通信チャネルへの影響は重要であり、特定の通信リンクに必要な性能を実現するために評価する必要があります。理想的には、AFRは動作帯域幅全体でフラットであることが必要です。

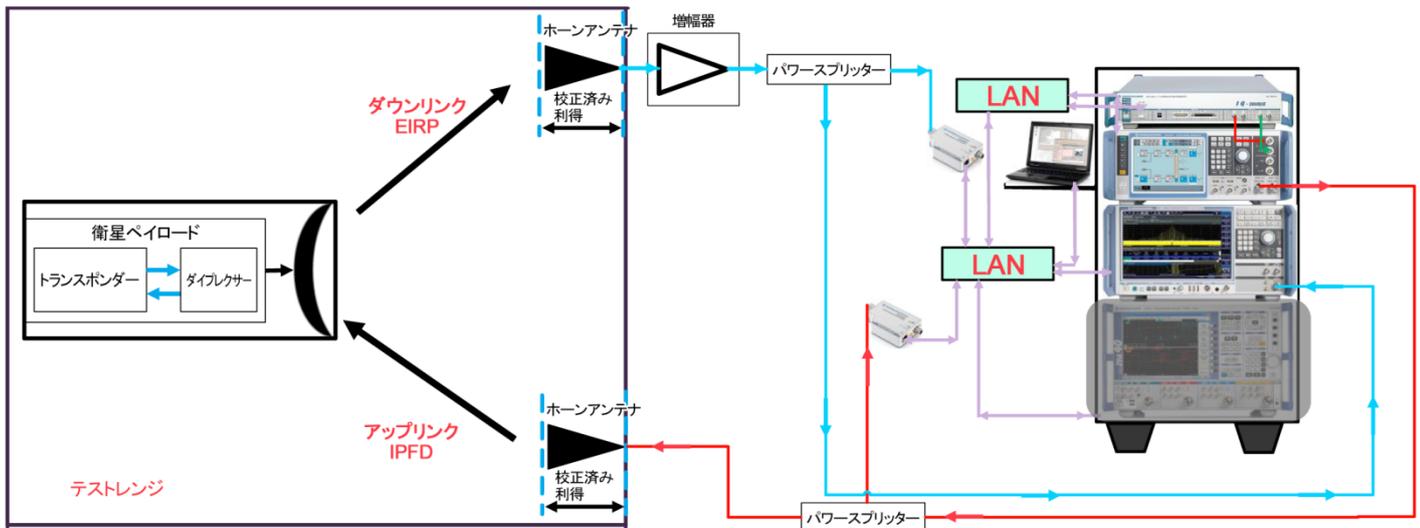


図6-13: AFR測定のためのテストセットアップ。スタック内のグレー表示された機器はこの測定では用いられませんが、セットアップの校正に使用される可能性があります。

図6-13に、振幅対周波数応答の測定のセットアップを示します。RF信号の帯域幅が160 MHzまでの場合は、SMWの内蔵任意波形発生器オプションを使用することにより、任意波形発生器を別途用意する必要がなくなります。

1. シングル・トーン・ステップAFR測定

この測定を実行するには、ペイロードのトランスポンダーが線形領域で動作している必要があります。CCR/CATRのTxフィードからの送信信号が、チャンネル帯域幅のスタート周波数からストップ周波数まで、5 MHzステップで掃引されます。各周波数ステップで、パワーヘッドを使用して信号のパワーレベルが測定されます。FSWを使用してスペクトラムがモニターされ、アップリンクフィードのパワーレベルの補正が同時に行われます。

2. マルチトーンAFR測定

広帯域マルチトーン信号がTxフィードで用いられる場合は、フラットな振幅対周波数スペクトラムを実現するためのアップリンク信号とダウンリンク信号の補正が、テスト前に行われます。セクション6.2.1の例では、ソフトウェアNPRを使用して、使用する帯域幅全体で自動振幅補正を行っています。SMWを使用してこの方法で実現されるAFRの33 GHzでのフラットネスは、約±0.3 dBです。衛星メーカーは、製造ソフトウェアに組み込まれた手順を使用して、同様の結果を実現できます。

6.4.2 群遅延測定

群遅延測定は、位相測定に基づいています。測定手順は、群遅延 τ_{gr} の定義、すなわち位相 φ (度単位)の周波数 f に対する導関数にマイナス符号を付けたものに対応します。

式6-1:

$$\tau_{gr} = -\frac{1}{360^\circ} \cdot \frac{d\varphi}{df}$$

実用上の理由で、ベクトル・ネットワーク・アナライザは、微分係数の代わりに、伝送パラメータ S_{21} の差分係数を測定します。これは、測定対象の周波数レンジ Δf (アパーチャーと呼ばれます)内での位相 φ の変化の非線形性が大きすぎなければ、必要な群遅延 τ_{gr} の良好な近似を与えます。

式6-2:

$$\tau_{gr} = -\frac{1}{360^\circ} \cdot \frac{\Delta\varphi}{\Delta f}$$

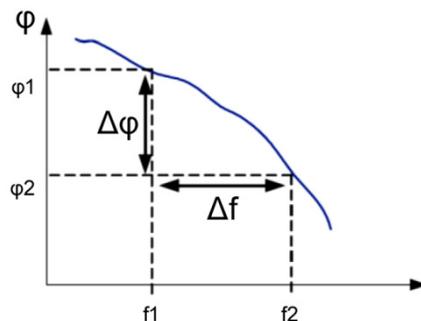


図6-14: 位相シフト $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ とアパーチャー $\Delta f = f_2 - f_1$ の定義

図6-14には、リニアに減少する位相応答(遅延ラインなど)の項 $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ および $\Delta f = f_2 - f_1$ が示されています。

最も一般的に用いられる群遅延測定は、相対群遅延と絶対群遅延です。相対群遅延測定は、DUTに起因する一定の遅延を無視します。この遅延は、すべての周波数成分に同じように作用するため、信号形状の変化の原因になりません。ただし、絶対群遅延が重要な場合もいくつかあります。例えば、2つの伝送チャンネルの相互の信号遅延を調整する場合などです。

6.4.2.1 R&S®FSWを使用した群遅延測定

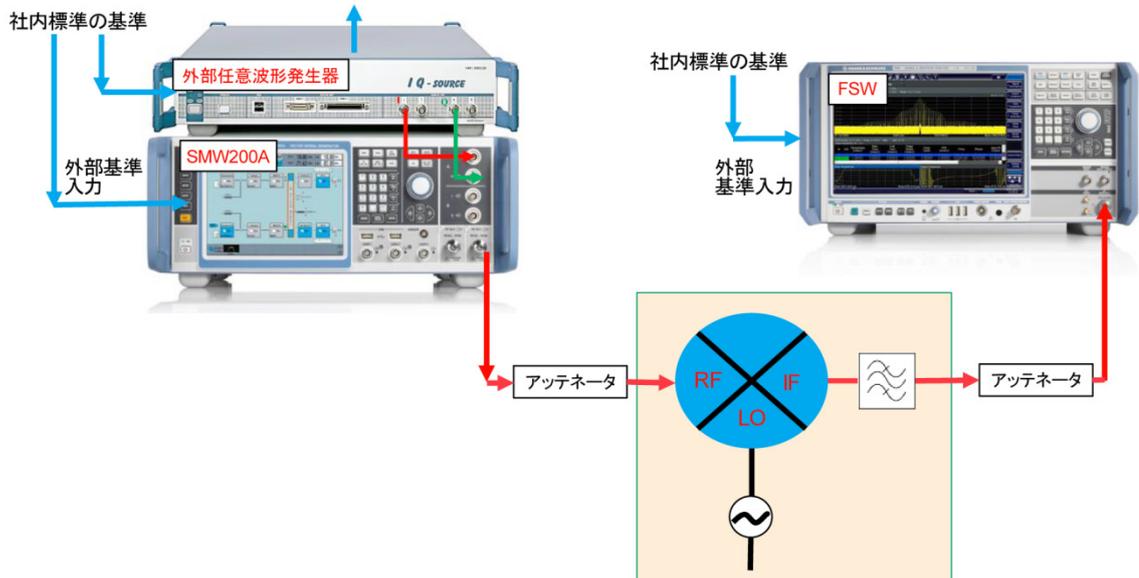


図6-15: 群遅延測定のテストセットアップ

図6-15に、衛星ミキサの群遅延測定のテストセットアップを示します。FSWオプションK17(マルチキャリア群遅延測定)とB500を組み合わせて使用すると、最大500 MHz帯域幅の群遅延の校正と測定を、FSWシグナル/スペクトラム・アナライザを使用して容易に行うことができます。

FSW-K17は、増幅器および周波数変換デバイスのマルチキャリア群遅延測定を実行します。オプションFSW-K17は、主にDUTのLOへのアクセスが不可能なシナリオで有用です。

このテストセットアップを使用すれば、SMWと外部任意波形発生器(AFQ100Bなど)を使用して、合計帯域幅500 MHz(50個の搬送波、搬送波間隔10 MHz)の信号を発生できます。FSWの校正は、最初のステップで実行されます。FSWのマルチキャリア群遅延モードを選択し、この例では図6-16のようにパラメータを設定します。

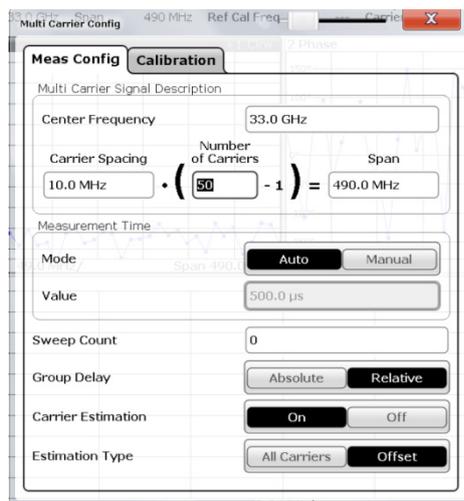


図6-16: マルチキャリアモードの設定

アナライザを正しく設定したら、MUTを取り外し、SMWのRFポートとFSWをTHROUGH接続します。FSWのタッチスクリーンでCALIBRATIONボタンを選択して、校正を実行します。次に、[図6-16](#)のようにMUTを接続して、群遅延測定を実行します。

測定速度は、ペイロードテストで重要な意味があります。この点でも、R&S®FSWとK17オプションの組み合わせは強みを発揮します。スパン160 MHz、搬送波間隔200 kHz(搬送波数800)の広帯域相対群遅延解析の場合、測定に必要な時間はわずか350 msであり、搬送波間隔が1 MHz(搬送波数160)の場合は一瞬(80 ms)です。この解析で重要なのは基準校正と測定のための位相関係だけなので、信号発生器でクレストファクターの最適化を行うことが可能です。クレストファクターが小さいマルチキャリア信号を使用すれば、群遅延解析のS/N比が改善され、高い平均パワーレベルでDUTを保護することもできます。

校正の容易さだけでなく、このセットアップの重要な特長は、測定の不確かさにあります。例えば、中心周波数が100 MHz~6 GHzの範囲にある場合、搬送波間隔が100 kHzで搬送波数が601(帯域幅60 MHz)の信号の群遅延測定の不確かさは、わずか±300 psです。

FSWによる群遅延測定の最大帯域幅は、500 MHzです。群遅延測定に必要な帯域幅が500 MHzを超える場合は、次のセクションで説明するように、ZVAベクトル・ネットワーク・アナライザを使用してこの測定を行うことができます。

6.4.2.2 R&S®ZVAを使用した群遅延測定

2トーン法のZVA-K9でさらに正確な群遅延測定を行う場合や、相互変調測定を行う場合は、正確で安定した周波数オフセットの2トーン信号を発生させることが必要です。ZVAは、4ポートモデルの2つの信号源を使用してこの信号を供給します。

上記のセクション6.4.2.1で説明したマルチトーン測定と比べた場合の副次的な利点は、2トーン・テスト・ステミュラス信号のクレストファクターを小さくできることです。これにより、少し高い入力信号レベルを使用して、S/N比をその分向上させることができます。

2つの信号を結合するには、外部コンバイナーを使用するか、ZVAの内蔵カップラーの1つをRFコンバイナーとして使用します。

このためには、以下の接続を行います。

- Src out(ポート1)→Meas out(ポート2)
- ポート2→Src in(ポート1)

Rohde & Schwarzでは、ZVAの各モデル用のケーブルセットをアクセサリZVA-B9で提供しています。この接続方法では、2トーン信号はポート1の基準レシーバー経由でDUTの入力に伝送されます。このセットアップは、使用するIFおよびRF周波数が700 MHzを超える場合に、すべてのZVAモデルに対して推奨されます。

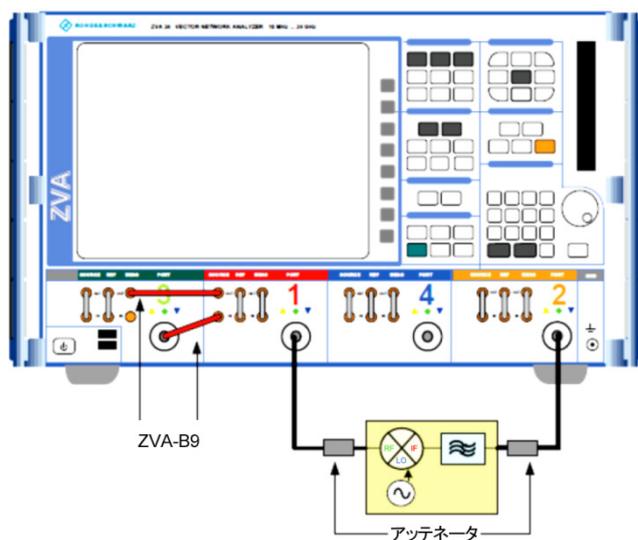


図6-17: ZVA-B9を使用したテストセットアップ

700 MHzより低い周波数でVNAタイプZVA8、ZVA24、ZVA40またはZVA50を使用する場合（例えば、IF入力周波数が70または140 MHzの衛星アップコンバーターの測定など）、内蔵カップラーの減衰によってトレースノイズが増加する可能性があります。

これに対処するための代替手法を以下に示します。確度を高めるために、十分にマッチングの取れた6 dBアッテネータを両方のポートに使用することを推奨します。理想的には、アッテネータを測定面に直接接続します。

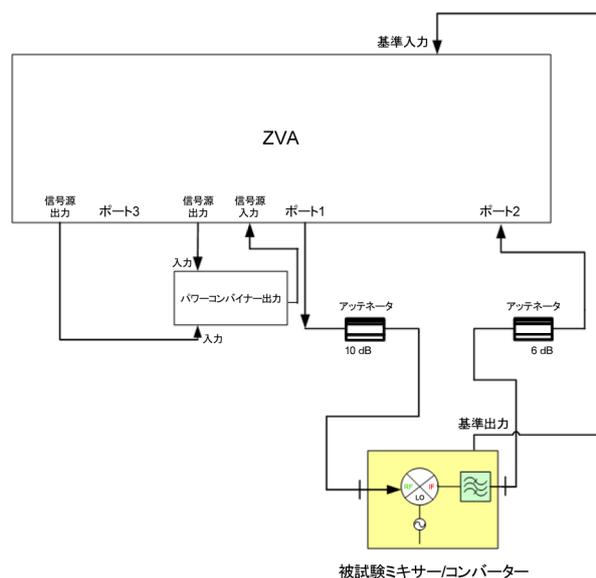


図6-18: ZVAを使用したコンバーター・テスト・セットアップ

ZVAのポート3とポート1信号源出力の信号をRFコンバイナー（抵抗性パワーディバイダーなど）で結合することにより、2トーン信号を発生します。パワーコンバイナーの和ポートの出力は、ポート1の信号源入りに接続されます。テスト対象の周波数アップコンバーターのIF入力に、6 dBアッテネータを経由して

接続します。アップコンバートされた信号は、6 dBアッテネータを経由してZVAのポート2に供給されます。このセットアップで使用される2つのアッテネータは、整合特性を改善する役割を果たします。

可能なら、テスト対象のコンバーターとテスト機器（ZVAなど）を、同じ基準を使用して同期することをお勧めします。これは、タイムベースが異なることによる周波数オフセットを避けるためです。同期の方法としては、テスト対象のコンバーターの基準出力をZVAの基準入力に接続することを推奨します（逆の方法、すなわちテスト対象のコンバーターを外部基準に同期する方法では、ループデザインへの負担のために問題が生じることがあります）。

テスト対象のコンバーターの内部タイムベース（基準周波数）にアクセスできない場合は、内部LOのドリフトと、内部LO信号に一定のオフセットが存在する可能性を考慮することが必要です。この種のデバイスに特化したオプションZVA-K9を使用すれば、DUTのLOドリフトから生じる課題に対処するための信頼できるソリューションを実現できます。DUTの内部LOに、テスト機器の基準周波数に対する一定のオフセットがある場合は、容易に評価して考慮することができます。このLOオフセットは、RFを固定し、DUTの予想されるIF出力の周波数レンジ内でIFを掃引しながら、簡単なスカラー周波数変換測定を行うことにより、容易に求めることができます。

前提条件

以下の測定を実行するには、DUTのLOのRFオフセットが、評価中に使用する測定帯域幅（1 kHz などの範囲内に収まる必要があります）。

図6-18のテストセットアップは、以下の測定に使用できます。

- 群遅延測定
- 変換損失測定
- 相互変調測定
- 1 dB圧縮ポイント測定

周波数コンバーターの群遅延測定に関するさらに体系的な説明については、アプリケーションノート [1MA224](#)『Characterization of Satellite Frequency Up-Converters (衛星周波数アップコンバーターの特性評価)』[6]を参照してください。

6.4.3 利得対雑音温度(G/T)

G/Tは受信感度とも呼ばれ、衛星ペイロードテストの最も重要なパラメータの1つです。これは、衛星システムの性能を評価するための指標です。G/Tは、アンテナとレシーバーの両方を含むレシーバーサブシステム全体の性能を定義します。

G/T測定は、衛星レシーバー性能の中心的な指標として広く認知されています。

式6-3:

$$\frac{G}{T} \Big|_{SAT} = \frac{kBLP_L}{P_T G_T} \frac{P_3 - P_2}{P_2 - P_1}$$

ここで、

k=ボルツマン定数

B=雑音帯域幅(BW)

LP_L=アップリンク信号の経路損失

P₁=RF機器のノイズ・パワー・レベル

P₂=ノイズ・パワー・レベル(衛星ノイズ+RF機器のノイズ)

P₃=アップリンクレベルがオンになったときのパワーレベル

この指標は、3ステップのパワーレベル測定によって求められます。G/T測定の合計リンクバジェットは、測定が実行される特定のCCRの等価遠方界距離に基づいて計算する必要があります。また、衛星のC/N₀とEIRPも既知である必要があります。

この測定のセットアップを図6-19に示します。

受信アンテナビームがアンテナボアサイトの方を向くように調整します。方向性アンテナのアンテナボアサイトは、与えられた周波数で最大のRFパワーが放射される(利得が最大になる)軸の方向と定義されます。

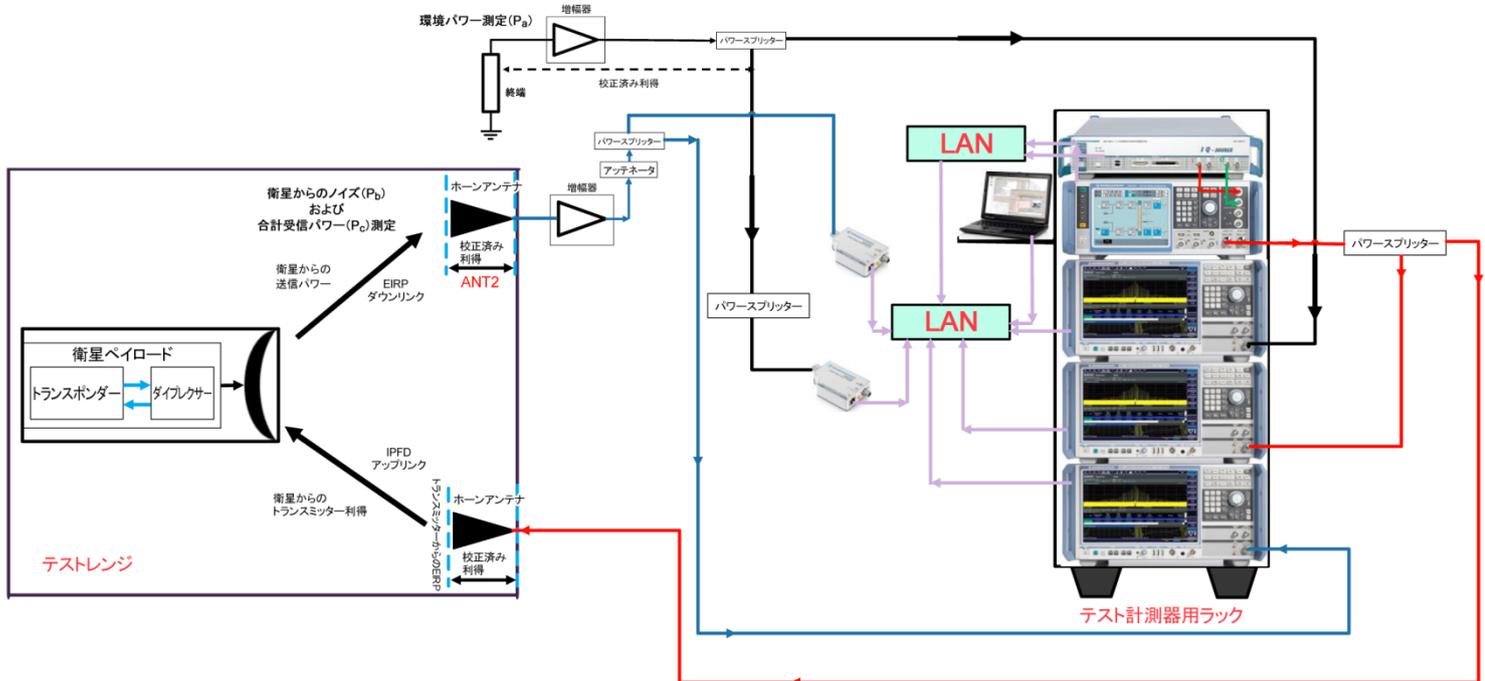


図6-19: レーザー指標(G/T)測定のテストセットアップ

雑音指数測定を行うには、オプションK30(雑音指数測定)を搭載したFSWを使用して、被試験デバイスの雑音特性を、入力でのノイズレベルを変化させながら測定し、入力でのソースの既知の雑音動作から、雑音指数、デバイスの利得、および許容値と不確かさの品質を計算します。

FSWでR&S®FSW-K30オプションを使用することで、G/T測定を便利に実行することができます。

- ステップ1: 受信局側
 - 最初に、Ant2を衛星と異なる方向に向けて、受信局+ P_a を帯域幅全体にわたって測定します。
 - 次に、アンテナを衛星の方向に向けて、全ノイズパワーを帯域幅全体にわたって測定します。これには、衛星からの雑音寄与(P_b)も含まれます。
- ステップ2: 送信局側
 - このケースでは、連続波(CW)信号が送信されます。その後、送信パワーレベル/利得を上げていって、合計受信パワー(P_c)と合計衛星雑音寄与(P_b)の比が2(+3 dB)以上になるポイントを探します。
 - このポイントで、トランスミッターのEIRPを測定します。
- ステップ3: 受信局側

- 前と同じ設定で合計受信パワー(P_o)を帯域幅全体にわたって測定しますが、今回は受信局からのノイズ+衛星からのノイズ+CW信号を含めます。

この段階で測定された値は、[式6-3](#)を使用してG/Tを計算するために用いられます。

6.4.4 パッシブ相互変調(PIM)

パッシブ相互変調(PIM)は、パワーレベルが高いときに、ケーブル、コネクタ、導波管フランジ、出力マルチプレクサー、(デュプレックス)フィルターなどのデバイスで発生します。最近の衛星通信トランスポンダーでは、効率の高いエネルギー源の利用が可能になったため、RF送信レベルが上昇し、PIMの影響が重大な問題になってきました。この問題は、PIM信号の周波数が、デュプレックスフィルターのレシーバー経路の周波数に一致する場合に起こります。PIMの影響の結果として、レシーバーのRF感度が低下します。

このため、製造時にデュプレックスフィルターのPIMをテストすることが重要になります。

ペイロード全体の測定では、2つのトーンを被試験衛星(SUT)に印加し、理想的には周波数とパワーを掃引します。

2トーン信号は、衛星トランスポンダーのすべての該当する受信チャンネルに対して、アップリンクで送信されます。2つのアップリンク搬送波F1とF2の振幅を調整して、衛星トランスポンダーから再生されたダウンリンク信号F1*とF2*のEIRPが等しくなるようにする必要があります。2つのトーンの搬送波間隔は、衛星の動作周波数計画を考慮して、ワーストケースの状況を調査できるように選択します。このワーストケースの状況をわかりやすく説明すると、以下のようになります。

$$F_{PIM} - frequency = \pm M * (F1^*) \pm N * (F2^*)$$

(M、Nは高調波の次数、和M+Nは奇数)

前提条件

- 環境内の外部電磁界による影響を防ぐために、電波暗室のドアは閉じておくこと
- 周囲に強磁性材料を置かないこと
- 電波暗室のTxフィード偏波とRxフィード偏波は互いに直交すること
(例、Txフィード=水平偏波、Rxフィード=垂直偏波)

R&S[®]SMW*

- 周波数レンジによっては(20 GHzまで)、1台の2パスR&S[®]SMWだけで、2トーン信号を発生できます。
- 搬送波周波数が20 GHz~40 GHzの場合は、2台のR&S[®]SMWが2トーン信号の発生に必要です。
- R&S[®]SMWのマルチトーン内部信号発生オプションは、PIMテストには使用できません。

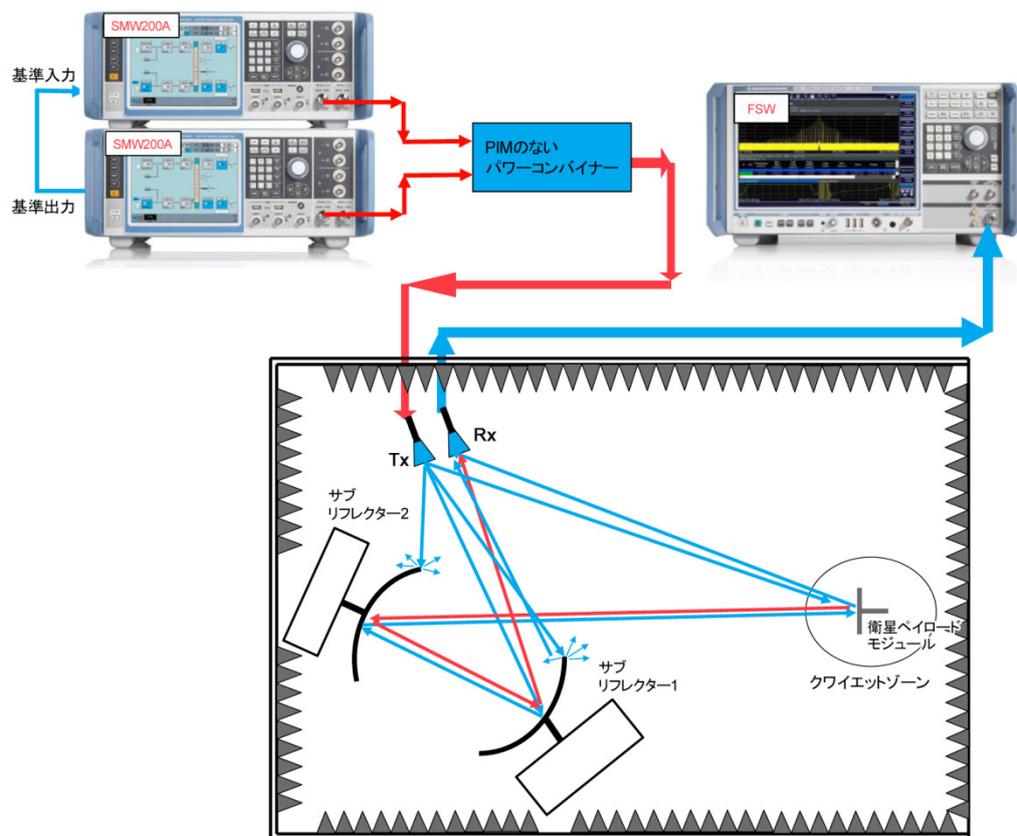


図6-20: PIM測定の設定セットアップ

衛星レベルでのPIMテストの測定セットアップを図6-20に示します。

PIMは主に、衛星の送信経路で発生します。PIM測定は2つのステップで実行されます。最初のステップでは、必要な周波数での電波暗室のPIMレベルを測定し、記録します。この値は、後で最終的なPIMレベルを計算する際に考慮されます。

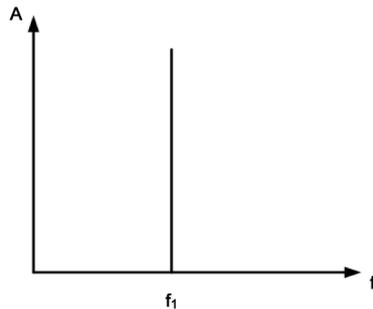
2番目のステップでは、SMWを使用して、必要な搬送波間隔の2つのCW信号を発生します。2つの信号はPIMのないパワーコンバイナーで結合され、レンジのホーンアンテナに供給されます。Txレンジのフィードはサブリフレクターの方向に向けられ、放射された信号は衛星ペイロードに向かって照射されます。2つの搬送波信号 (f_1 と f_2) のパワーレベルは、衛星のトランスポンダーが飽和するように調整されます。送信信号 (f_1 と f_2) のEIRPと、衛星で再生された信号 (f_1^* と f_2^*) のEIRPも、大きさが一致する必要があります。発生したPIM成分(通常は3次、5次、7次)を、ダウンリンクで衛星からFSWを使用してモニターします。FSWはダイナミックレンジが広いので、移相器の調整と、入力信号抑圧のためのレベル調整が不要になる場合もあります。

6.4.5 位相雑音

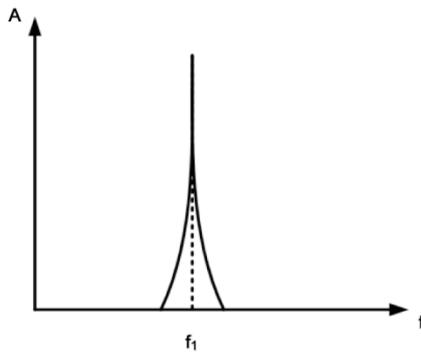
位相雑音は、「理想的」な搬送波に対するランダムな位相変動と考えることができます。理想的な搬送波は以下の式で記述されます。

式6-4:

$$s(t) = A \cdot \cos(2\pi \cdot f_1 \cdot t)$$



この種の位相変動 (ϕM) がかった搬送波は、周波数スペクトラムの幅が広がって見えます。



位相雑音を求めるには、以下の2つのパラメータが一般的に用いられます。

- ノイズパワー密度
- 単側波帯ノイズ

1. ノイズパワー密度

位相雑音の1つの指標は、位相変動 $\Delta\phi_{rms}$ の単側波帯ノイズパワー密度 (1 Hzの帯域幅が基準) です。

式6-5:

$$S_{\Delta\phi}(f) = \frac{\Delta\phi_{rms}^2}{1} \left[\frac{rad^2}{Hz} \right]$$

2. 単側波帯ノイズ

実際には、単側波帯(SSB)位相雑音 L が、発振器の位相雑音特性を記述するために一般的に用いられます。 L は、搬送波からの周波数オフセット f_m での、1つの側波帯のノイズパワー(1 Hzの帯域幅で測定) P_{SSB} と、信号パワー $P_{carrier}$ の比と定義されます。

式6-6:

$$L(f_m) = \frac{P_{SSB} [1\text{Hz}]}{P_{Carrier}}$$

雑音に起因する変調側波帯が非常に小さい場合、すなわち位相偏差が1 radよりはるかに小さい場合は、SSB位相雑音はノイズパワー密度から以下のように導くことができます。

式6-7:

$$L(f_m) = \frac{1}{2} S_{\Delta\phi}(f_m)$$

SSB位相雑音は、一般的にログスケール[dBc / Hz]で表されます。

式6-8:

$$L_c(f_m) = 10 \log (L(f_m))$$

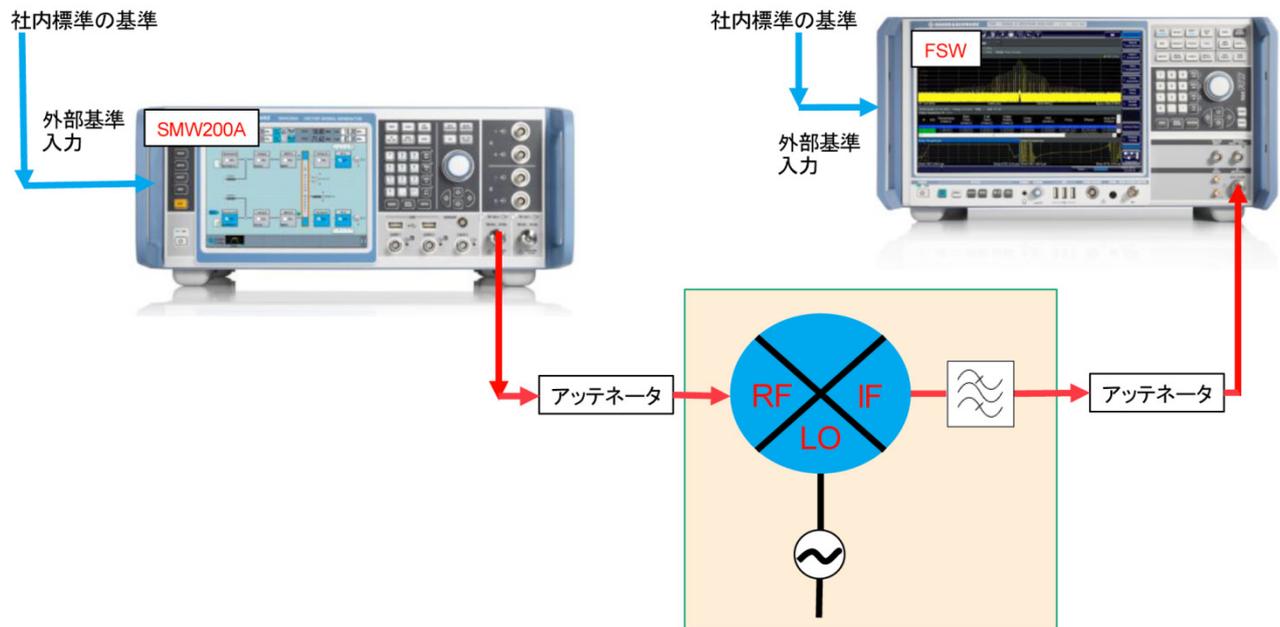


図6-21: 位相雑音測定の実験セットアップ

この測定はIF(この例では70 MHz)で実行されます。オプションK40(位相雑音測定)を搭載したFSWを使用すると、シグナル・アナライザ内部で簡単に結果を得ることができます。

LO、基準発振器、サンプリングクロックの特性評価を最高の精度で行う必要がある場合は、位相雑音

専用のテスターFSWPが使用できます。FSWP用に用意されているパーソナリティを使用すると、このアプリケーションノートに示されているほとんどのアプリケーションで、シグナル・アナライザFSWの代わりにFSWPが使用でき、ペイロードテストに必要な測定器の数を減らすことができます。

図6-21に示すように測定器を接続します。

R&Sテスト機器を被試験コンバーターの基準出力と同期する手順はオプションです。オプションSMW-B22を使用すると、信号発生器の固有位相雑音特性を改善できます。被試験ペイロードによっては、このオプションを使用した方がよい場合があります。

IFが70 MHzの場合の例:

- **SMW**(注記: オプションSMW-B22の使用が望ましい場合があります):
- プリセット
- 周波数: 70 MHz、レベル: -19 dBm (CW信号を使用)
- RFオン

FSW(注記: オプションFSW-K40が必要です):

- モード: 位相雑音
- 周波数: 5.98 GHz

FSW画面の右側で、Phase Noiseを押して、図6-22に示すように調整を行います。



図6-22: 位相雑音測定の実行のための設定

被試験コンバーターのRF出力で70 MHzのIFで測定されたFSWの位相雑音の代表値のプロットを、[図6-23](#)に示します。



Date: 29.AUG.2013 18:48:28

図6-23: 被試験コンバーターの70MHz IFでのFSWの位相雑音プロット

“CONVERTER1”というラベルのユーザー定義リミットラインをアクティブにして、合否情報を表示しています。画面下部のマーカーテーブルには、いくつかの一般的な周波数オフセットでの位相雑音の数値が示されています。

注記: SMWおよびFSWの仕様に記載されている位相雑音値は、被試験コンバーターの測定値よりもはるかに小さいため、無視できます。[図6-24](#)に、FSWシグナル/スペクトラム・アナライザの固有SSB位相雑音の代表値のプロットを、いくつかの異なるRF周波数に対して示します。アナライザの固有SSB位相雑音は、評価対象のDUTの位相雑音よりも10 dB程度小さいことが必要です。

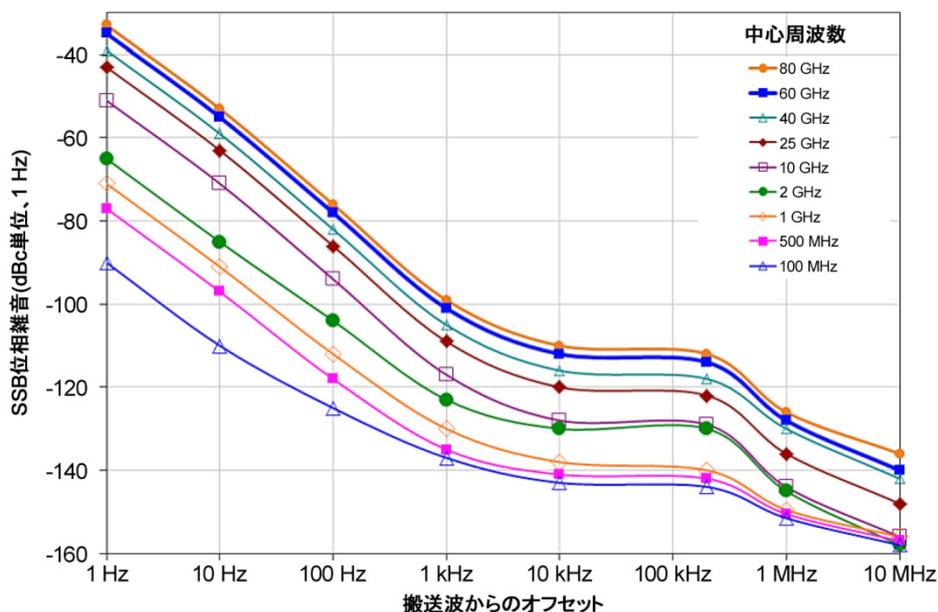


図6-24: FSWのさまざまなRF搬送波周波数での位相雑音の代表値(オフセット ≤ 10 HzではFSW-B4オプションを使用)

上記の性能が要件を満たさない場合は、FSWP位相雑音アナライザを使用することにより、条件の厳しい位相雑音測定ニーズに対応できます[13]。

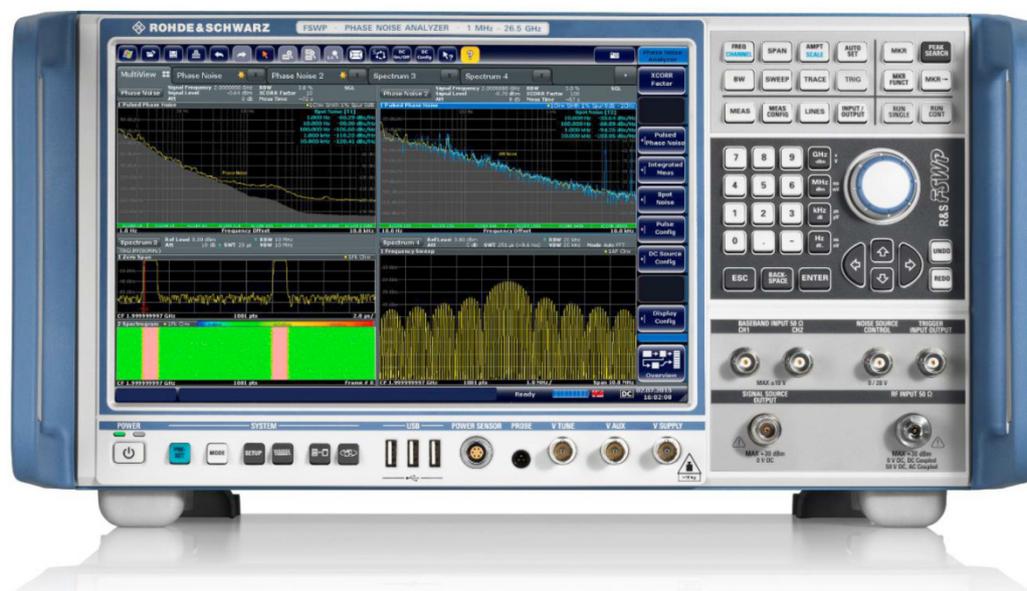


図6-25: FSWP位相雑音アナライザ/VCOテスター

このアプリケーションノートの説明では、ハイエンドの位相雑音測定に対して、外部信号発生器を基準信号源として使用しています。位相雑音測定の感度は、使用する信号発生器または外部信号源の品

質によって制限されます。FSWPIには外部基準信号源は不要です。内蔵局部発振器の位相雑音特性は、市販されているほとんどの信号発生器よりも優れています。

位相雑音がきわめて小さい信号源の測定には、非常に高い感度が必要です。FSWPIには、相互相関用に追加の局部発振器(FSWP-B60オプション)を装備することができます。これにより、感度が最大25 dB向上します。このアナライザの低雑音の内蔵信号源を使用すれば、多くの場合に、わずか数回の相関だけで、高品質の発振器を測定できます。これにより、信頼できる結果を迅速に入手できるので、開発や製造の時間を短縮できます。増幅器、通倍器、スプリッターなどの2ポートコンポーネントは、信号を発生しなくても、位相雑音の増加の原因になります。FSWPIには、このような追加の位相雑音寄与を測定するための内部信号源(FSWP-B64オプション)が用意されています。

FSWPの主な特長

- 1 MHz~26.5 GHzの周波数レンジ
- 相互相関と超低雑音の内蔵基準信号源による高感度の位相雑音測定
 - -172 dBc(1 Hz)、代表値(搬送波周波数1 GHz、オフセット10 kHz)
 - -153 dBc(1 Hz)、代表値(搬送波周波数10 GHz、オフセット10 kHz)
- 振幅雑音と位相雑音の同時測定
- パルスド信号源の位相雑音をボタン1つで測定
- 追加位相雑音の測定のための内蔵信号源(パルスド信号も対象)
- シグナル/スペクトラム・アナライザと位相雑音アナライザを1台で実現
 - ハイエンドのシグナル/スペクトラム・アナライザ、10 Hz~8 GHz/26.5 GHz
 - -156 dBm(1 Hz)(ノイズキャンセルなし)の低い表示平均雑音レベル(DANL)と、25 dBm(代表値)の大きいTOIによる、広いダイナミックレンジ
 - 80 MHzの信号解析帯域幅
 - 測定の全不確かさ: <0.2 dB(3.6 GHzまで)、<0.3 dB(8 GHzまで)
 - タッチスクリーン操作
 - 12.1インチの大型ディスプレイにより、複数の測定ウィンドウの同時表示が可能
 - ささまざまな測定アプリケーションを並列実行して表示可能
 - パルスド位相雑音測定、AM/FM/φMのアナログ変調解析、雑音指数測定、ベクトル信号解析
- 高速な測定
- VCOの特性評価のための低雑音内蔵DC電源

図6-26に、FSWシグナル/スペクトラム・アナライザの固有SSB位相雑音の代表値のプロットを、いくつかの異なるRF周波数に対して示します。

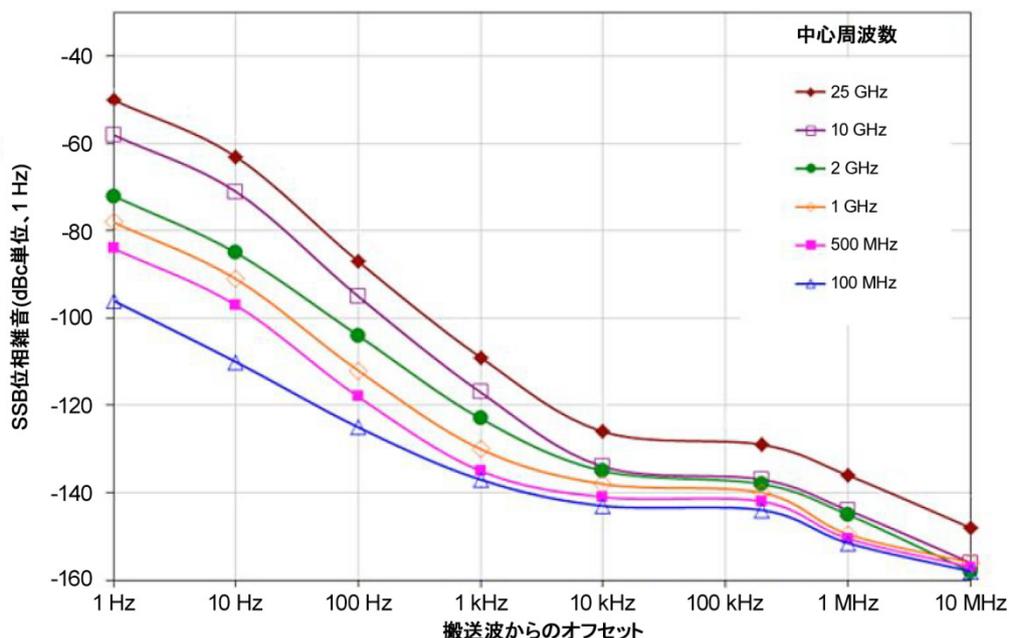


図6-26: さまざまな中心周波数でのFSWPのスペクトラム・アナライザ・モードでの位相雑音の代表値 (オフセット ≤ 10 Hzの場合はFSWP-B4オプションを使用)

6.4.6 スプリアスエミッション

理想的トランスミッターは、使用されている動作周波数の信号のみを送出し、それ以外の信号は送出しません。ただし、実際には、すべてのトランスミッターの出力スペクトラムに不要な信号が存在します。これは「不要エミッション」と呼ばれます。このアプリケーションノートでは、不要エミッションは通常RF出力ポートで測定されます。

「スプリアスエミッション」とは、機器から発生するすべての信号のうち、機器が動作するために必要なバンド内に入るものと定義されます。

スプリアスエミッションは、高調波エミッション、寄生エミッション、相互変調成分、周波数変換成分などの不要な副作用から生じますが、いわゆるバンド外エミッションは除かれます。

「バンド外エミッション」とは、必要なチャネル帯域幅に隣接するすぐ外側にある不要信号エミッションで、スプリアスエミッションで定義されるバンド範囲と重ならないものです。バンド外エミッションのテストは、モジュールレベルから最終製品までの製造プロセス全体を通して重要な役割を果たします。ペイロードからのスプリアスエミッションは、テレメトリ制御システム、ナビゲーション、クロスリンク通信システムに影響を与えないことが重要です。

バンド外エミッションは、変調プロセスと非線形性から生じます。

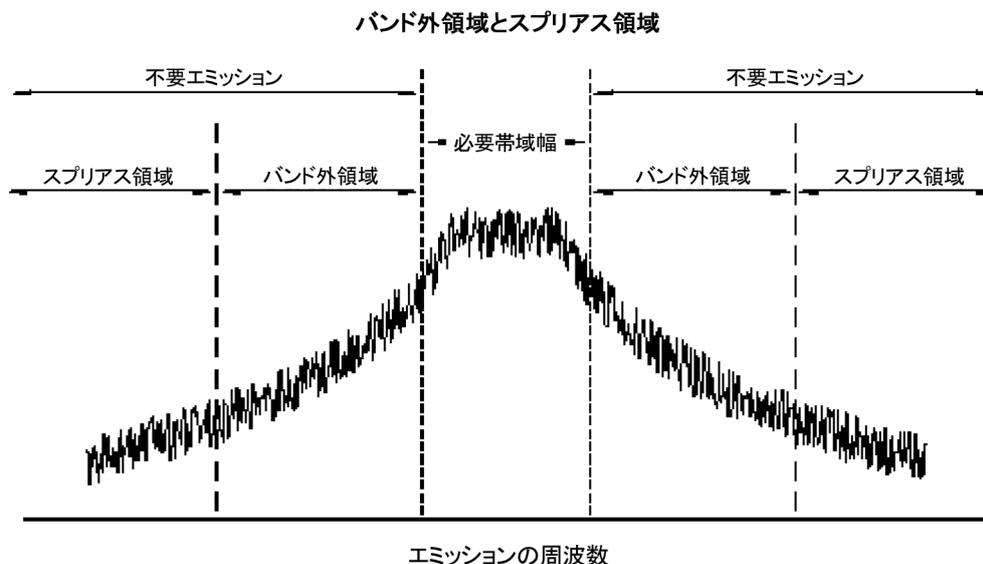


図6-27: 不要エミッションのバンド外領域とスプリアス領域

この不要エミッションの周波数バンド内で、測定用のスペクトラム・エミッション・マスクが定義されることがあります。

代表的なバンド外エミッション要件は、 -135 dBm (40 GHzまで)といった小さい値です。テストマージンを十分に取った場合 (最小6 dB)、アナログ・スペクトラム・アナライザでこの測定を行うと、掃引に数週間かかる場合がありますが、FSWステップFFTスペクトラム・アナライザを使用すれば、約1時間でこの測定を実行できます。

国際電気通信連合 (ITU) では、バンド外 (OoB) 領域を、必要帯域幅 (B_N) と、 B_N が下限しきい値 (B_L) よりも小さいか、 B_L と上限しきい値 (B_U) の間か、 B_U よりも大きいかに応じて定義しています。表6-1を参照してください。

表6-1

OoB領域の開始と終了

エミッションのタイプ	必要帯域幅	必要帯域幅の中心からOoB領域の開始までのオフセット(±)	中心周波数とスプリアス境界の間の周波数間隔
狭帯域	$< B_L$ (注記1を参照)	$0.5 B_N$	$2.5 B_L$
ノーマル	$B_L \sim B_U$	$0.5 B_N$	$2.5 B_N$
広帯域	$> B_U$	$0.5 B_N$	$B_U + (1.5 B_N)$

注記1: $B_N < B_L$ の場合、周波数間隔 $0.5 B_N \sim 0.6 B_L$ では、不要エミッションの減衰は推奨されません。

注記2: B_L と B_U は ITU-R SM.1539 勧告で指定されています。

表6-1: OoB領域の開始と終了 (ITU-R-REC-SM.1541-4およびITU-R-REC-SM.1539-1に基づく)

スプリアス出力を測定するには、[図6-21](#)のテストセットアップが使用されます(位相雑音測定のテストセットアップと同じ)。周波数アップコンバーターのスプリアス出力仕様には、一般的に以下の2種類の定義があります。

- 信号に関連するスプリアス(dBc単位、出力搬送波信号のレベルが基準)。測定のためには、スプリアスのない公称パワーのRF入力信号をアップコンバーターに供給します。
- 信号に無関係なスプリアス(dBm単位、絶対値)。この測定では、入力信号をオフにします。

被試験コンバーターに関しては、信号に関連するスプリアスの仕様は、周波数オフセット<1 MHzで-60 dBc、周波数オフセット \geq 1MHzで-70 dBcと指定されています。信号に無関係なスプリアスの仕様は、<-70 dBmと指定されています。スプリアス測定の最大オフセットは \pm 500 MHzと定義されています。

コンバーター仕様に基づくスプリアス測定には、FSWのスペクトラム・エミッション・マスク(SEM)機能を使用することを強く推奨します。SEMは、絶対リミットと相対リミットの両方に対して設定できます。

6.4.6.1 信号に関連するスプリアス出力

SMWの設定周波数: 70 MHz、レベル: -19 dBm

- RFオン

FSW設定:

- 周波数: 5.98 GHz
- スパン: 1 GHz
- 基準レベルオフセット: 6 dB (FSWのRF入力の前に6 dBアッテネータを使用)
- FSWの表示レベルが0 dBmになるようにSMWを調整
- 測定: スペクトラム・エミッション・マスク
- トレース: トレース1: デテクタータイプ: 正ピーク
- 基準レンジ: パワー基準のピークパワー (代表値)
- 測定設定: 掃引リスト
- 図6-28に示すように掃引リストを編集します (レンジを2つ挿入し、レンジのスタート周波数とストップ周波数を変更し、帯域幅を変更し、相対リミットを設定します)。

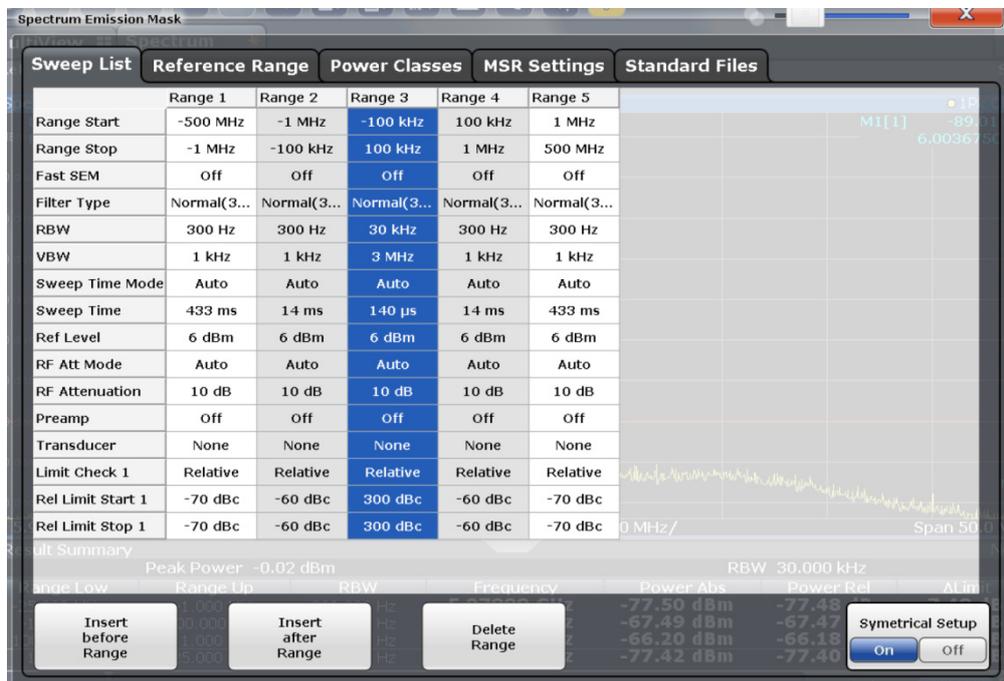


図6-28: コンバーター仕様に基づいた、信号に依存したスプリアス測定のためのスペクトラム・エミッション・マスクの掃引リスト

- スパン: 50 MHz

FSWは、中心周波数5.98 GHzで50 MHzスパンの掃引を行い、-60 dBcと-70 dBcの周波数依存の相対リミットに基づいて、搬送波近くのピークスプリアスをチェックします(図6-29を参照)。各レンジの最高のスプリアスレベルが結果サマリーに表示されます。さらに、マーカーを使ってスプリアスを指定することもできます。

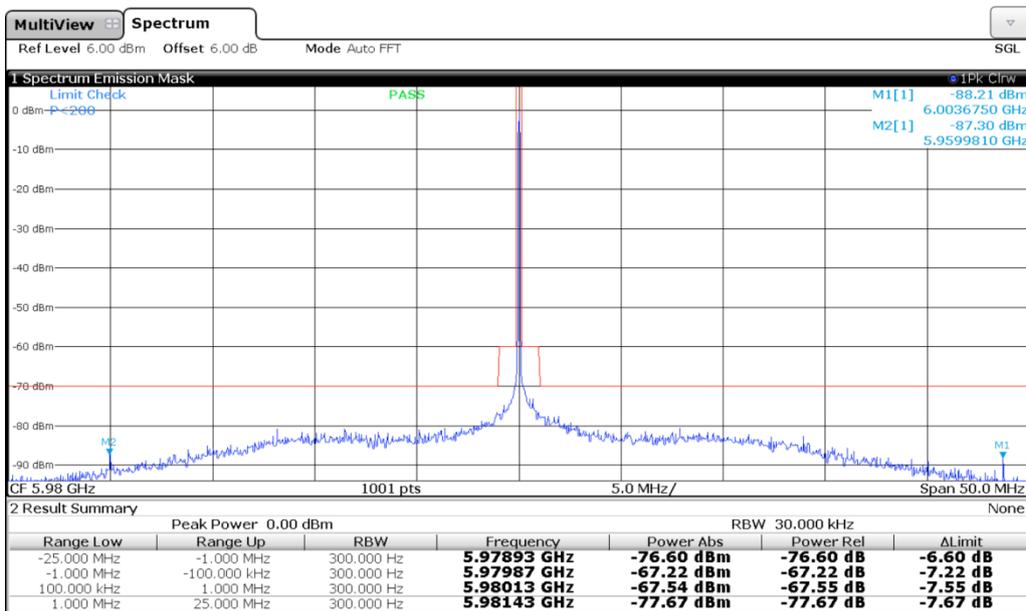


図6-29: FSWのスペクトラム・エミッション・マスク機能を使用した、コンバーター仕様に基づいた、信号に依存するスプリアス測定(スパン=50 MHz)

- スパン: 1 GHz

次に、FSWは1 GHzスパンで掃引を行い、搬送波から遠くのスプリアスをチェックします。図6-30を参照してください。

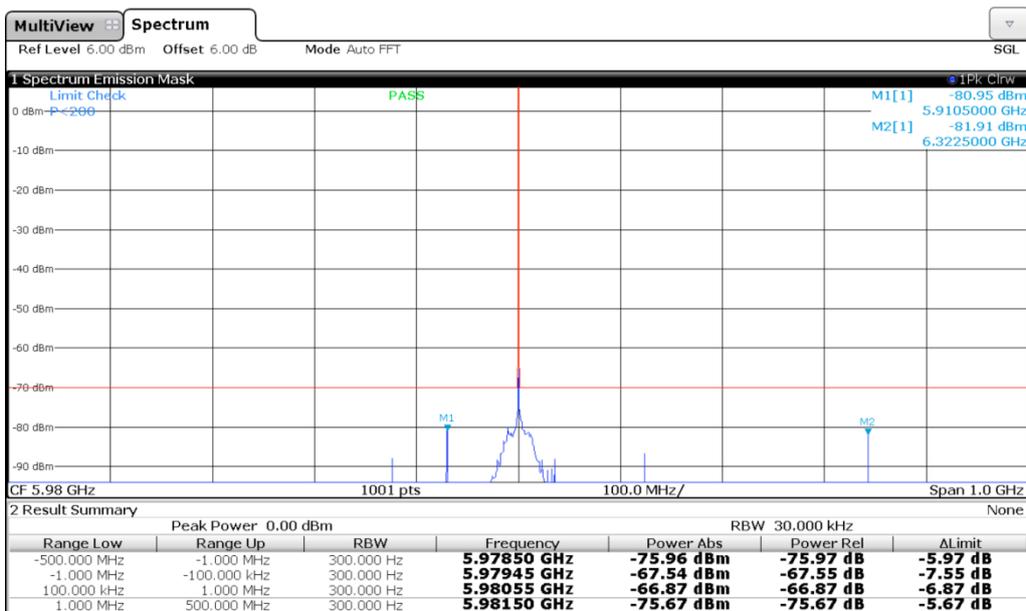


図6-30: FSWのスペクトラム・エミッション・マスク機能を使用した、コンバーター仕様に基づいた、信号に依存するスプリアス測定(スパン=1 GHz)

6.4.6.1 信号に無関係なスプリアス出力

測定器で次の設定を行います。

SMW:

- RFオフ

FSW:

- 測定設定: 掃引リスト
- 図6-31に基づいて掃引リストを編集します(レンジを削除し、リミットを絶対値に変更します)。

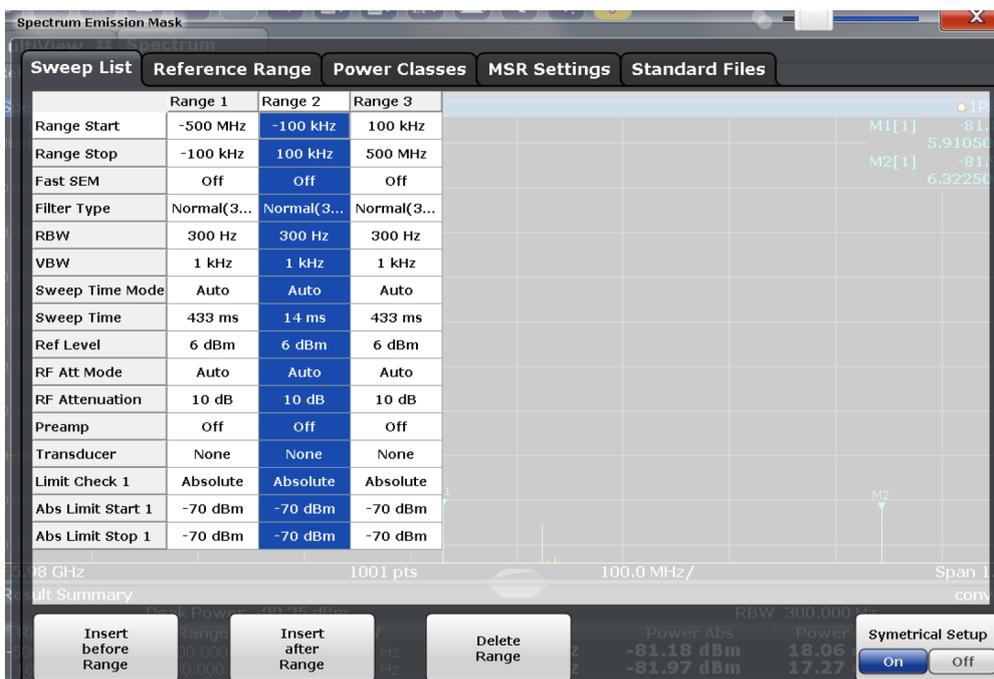
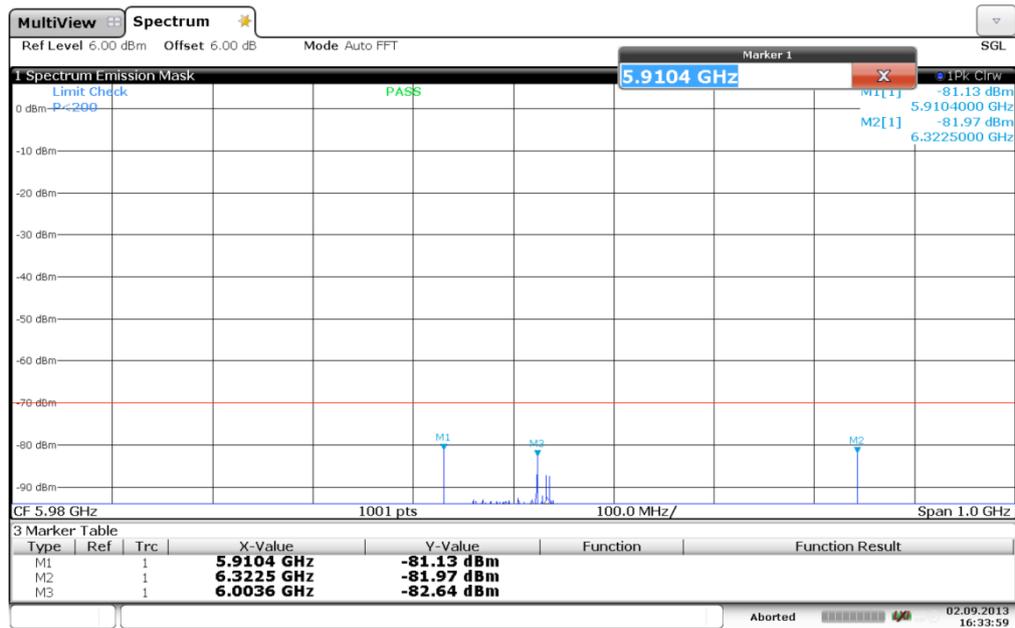


図6-31: コンバーター仕様に基づいた、信号に無関係なスプリアス測定のためのスペクトラム・エミッション・マスクの掃引リスト

図6-32に、 -70 dBmの絶対リミットを使用してチェックした被試験コンバーターの信号に無関係なスプリアスを示します。マーカーを使用して、1 GHzスパン内の最大のスプリアス信号を指定しています。

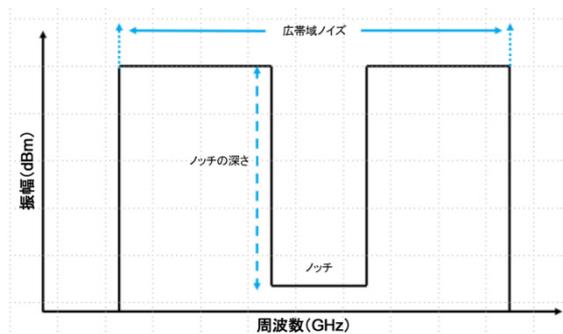


Date: 2.SEP.2013 16:33:59

図6-32: FSWのスペクトラム・エミッション・マスク機能を使用した、被試験コンバーターの信号に無関係なスプリアスの測定

6.4.7 ノイズパワー比(NPR)

ノイズパワー比は、チャンネルに存在するノイズと相互変調歪みの大きさを計算するために実行されるテストです。従来の方法では、ノイズソースと同調可能なノッチフィルターを使用します。NPR波形はこれよりはるかに柔軟性が高く、測定時間も短くなります。結果からは再現性が向上していることがわかり、このアプリケーションノートの他のテストですでに使用しているベクトル信号発生器を使用してNPRテストを行うことができます。この測定では、目的の帯域幅のノイズを含むテスト信号を発生します。次に、ノイズ信号の一部を削除することで、ノッチを形成します。このためには、ノッチフィルター／バンドストップフィルターを使用するか、ベースバンドでデジタル的にノッチを作成します。このテスト信号をDUTに供給し、DUTの出力を測定します。



ノイズパワー比(NPR)測定の手法を使用して、広帯域増幅器のカスタム周波数レンジでのリニアリティを評価できます。また、送信または受信チェーン全体を測定することもできます。ノッチの深さは、この動

作点でのDUTの予想される性能よりも10 dB程度低いことが必要です。NPRを使えば、従来の利得変動法に比べて測定時間を大幅に短縮できるので、特に製造用アプリケーションに有利です。

NPR測定の測定セットアップを図6-3に示します。図6-33に示すR&S®NPRのソフトウェア設定の詳細な説明は、1MA29(ノイズパワー比信号発生/測定)[10]に記述されています。

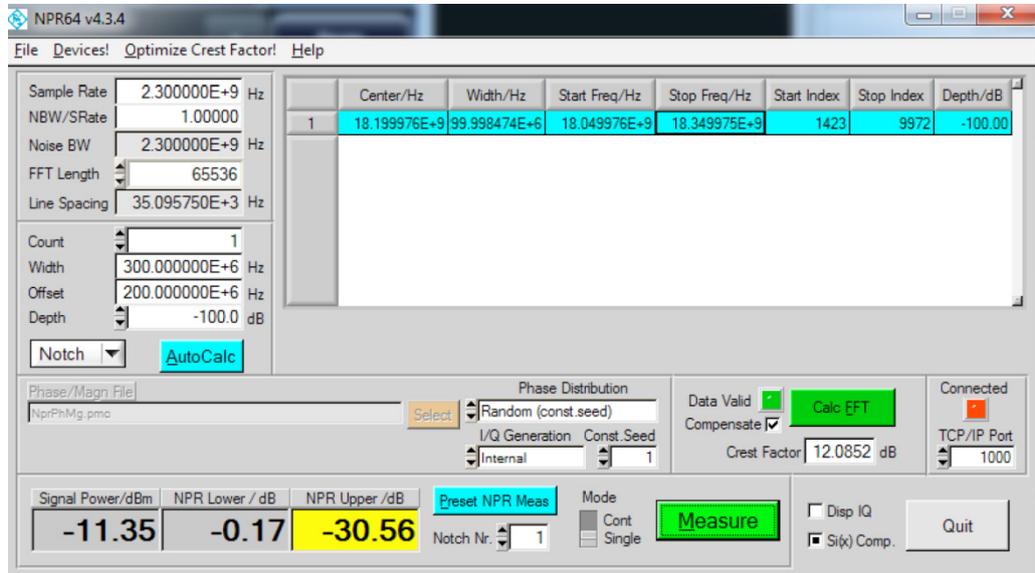


図6-33: R&S®NPRでのNPR測定用のパラメータ設定



図6-34: R&S®NPRでのノッチのある信号発生者のスペクトラム表示

図6-33と図6-34では、30 dBを超えるノッチの深さが実現されています。NPR測定の詳細な説明は、1MA29 [10]にあります。

6.4.8 衛星ペイロードテストでのEVM測定

1957年のスプートニク打ち上げから数十年の間に、衛星ペイロードの製造段階での性能検証のための測定技法と測定パラメータは、大きな進歩を遂げてきました。最近になって、衛星メーカーは、ペイロード・テスト・キャンペーンの一部のテストベンチに、ファンクションテストを導入し始めています。このアプリケーションノートで説明したような、現在でも一般的な測定に加えて、変調精度測定を実行することにより、衛星の統合時と軌道上での動作時の衛星RFリンクの品質を検証できます。エラーベクトル振幅 (EVM) は、移動体通信システムのテストに広く用いられている一般的な測定手法です。衛星のテストにおいても、EVM測定は、衛星ペイロードのシステムレベル性能をスペクトラム・アナライザで評価するために、すでに用いられています。場合によっては、EVM特性評価によってテスト時間を何週間も短縮できることがあります。特に、再生中継型ペイロードの場合、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なテストです。



図6-35: R&S®FSW-B2000Iによる2 GHzの広帯域ベクトル信号解析

信号が理想的なトランスミッターで送信されたり、理想的なレシーバーで受信される場合は、コンスタレーション全体が理想的な位置と正確に一致するはずですが、実際には、送信中のさまざまな不完全性（搬送波リーケージ、小さいイメージ除去比、位相雑音など）のために、コンスタレーションポイントは理想的な位置からずれることになります。図6-36に示すのは、16 QAM信号のコンスタレーションダイアグラムで、EVM性能が低いために理想的な位置からの大きなずれが見られます。

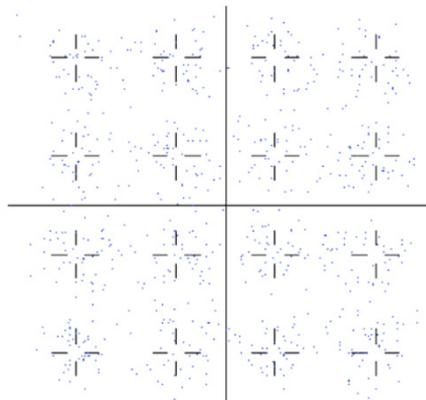


図6-36: 理想的な位置からのずれがある16QAM信号のコンスタレーションポイント

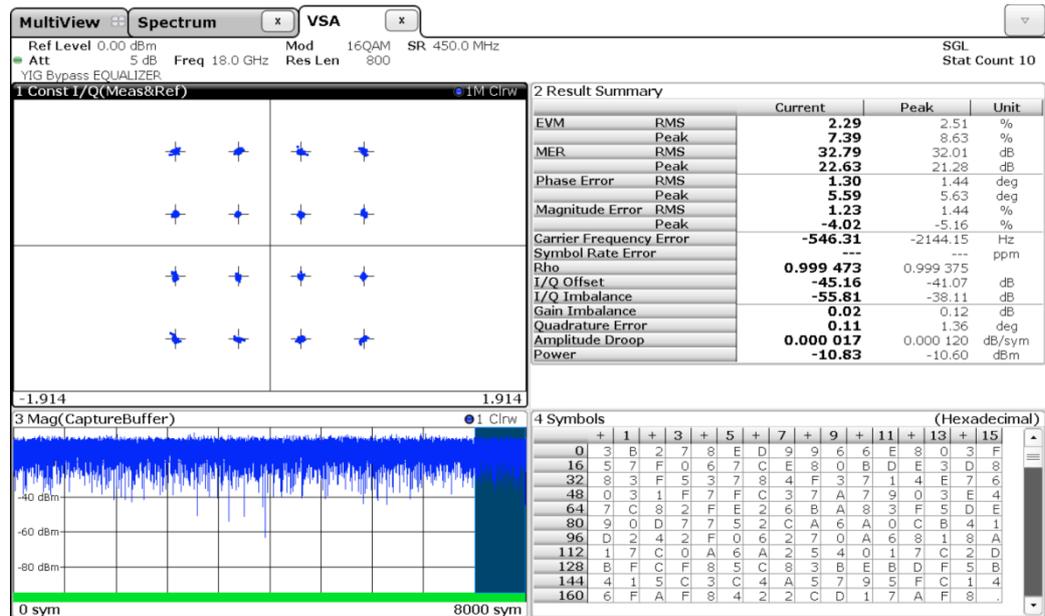


図6-37: VSAモードによる18 GHzでの16QAM信号の復調と測定

FSW-K70(ベクトル信号解析)オプションを搭載したFSWシグナル/スペクトラム・アナライザを使用すれば、最大2 GHzの帯域幅でEVM測定を実行できます。

FSW-K70オプションを使用すると、デジタル変調されたシングルキャリアに対するビットレベルまでの柔軟な解析が可能です。さまざまな解析ツールが使用できるにも関わらず、明確に構造化された操作コンセプトにより、簡単に測定を実行できます。

現時点で市販されているシグナル/スペクトラム・アナライザの中で、最高67 GHzおよび85 GHzの周波数での完全なプリセクション機能を伴う解析を、外部ダウンコンバーターを接続せずに実現できるのは、FSW67とFSW85だけです。別の方法として、オプションFSW-B21を使用すると、外部ミキサーを接続することにより、例えばFSW26をミリ波レンジにまで対応させることができます。

広帯域信号の測定/検証性能は非常に重要です。FSW機器には、最大2 GHzの解析帯域幅に対応するオプション機能が用意されています。FSW-B2000を使用すれば、中心周波数が8 GHzより高い広帯域信号を解析できます。

B2000をオンにした場合、R&S®FSWはRF信号を2 GHzのIFにダウンコンバートします。このIF信号は、RTO1044オシロスコープによってデジタル化されます。デジタルデータは、LAN経由で再びFSWに転送されます。B2000はこのデータのサンプリングとイコライゼーションを行ってから、デジタルベースバンドにダウンコンバートします。FSW上の測定アプリケーションは、イコライゼーション後のIQデータを受け取って、他の解析帯域幅またはデジタル・ベースバンド・オプションから得られるデータストリームと同様に解析します。

B2000をデータソースとして設定し、オシロスコープのIPアドレスをFSWのINPUTメニューに入力します。これにより、B2000はアナログIF信号をIF出力にルーティングし、オシロスコープを制御して、デジタルデータをFSWに転送し、イコライゼーションとサンプリングを行います。B2000をアクティブにすると、サポートされるオプションは通常の帯域幅オプションと同じ方法で使用可能になります。セットアップ全

体がワンボックス機器のように動作します。

イコライゼーションを行うには、FSWのRF入力からオシロスコープのADCまでのアナログ信号経路全体で、位相と振幅の周波数応答が調整されている必要があります。RTOをFSWの2 GHz IF出力に接続する前に、ユーザー調整を1回実行する必要があります。この調整の際には、FSWのリアパネルにあるコム信号(B2000オプションのハードウェアの一部)にRTOを接続します。必要な調整手順は、調整ウィザードによって示されます。これによって得られる振幅/位相応答データは、FSWとRTO(RTOのデジタイザを含む)の間の2 GHz IF接続のイコライゼーションに必要です。B2000は、工場調整データとユーザー調整データの両方を使用して、イコライゼーション後のIQデータをFSW測定アプリケーションに提供します。

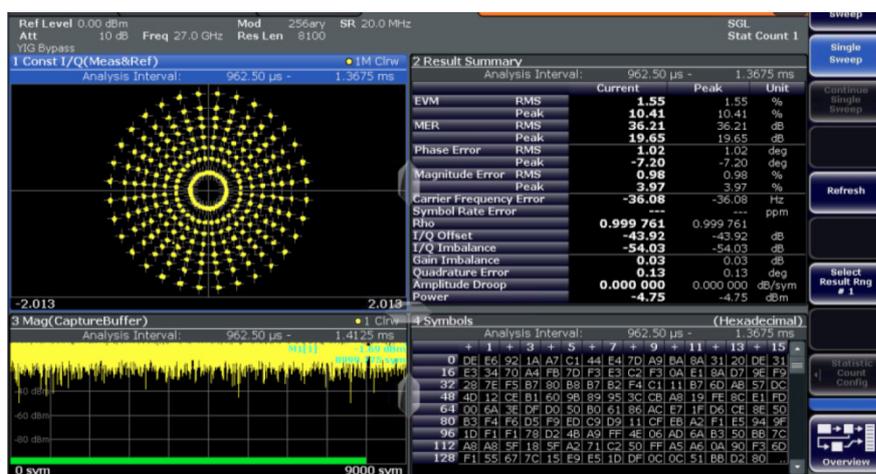


図6-38: FSWによる27 GHzでの256APSK変調されたDVB-S2X信号の測定

図6-38に示すのは、256APSK変調のDVB-S2X信号を、FSWのK70オプションを使用して27 GHzで解析した結果です。

ローデ・シュワルツの測定器を使用したKバンドのDVB-S2X信号の発生と解析については、アプリケーションノート1MA273 [15]で解説しています。

7 参考資料

- [1] UCS Satellite Database, http://www.ucsusa.org/nuclear_weapons_and_global_security/solutions/space-weapons/ucs-satellite-database.html#.VK0CAivF9WE
- [2] State of the Satellite Industry Report , May 2015, Satellite Industry Association (SIA),<http://www.sia.org/wp-content/uploads/2015/06/Mktg15-SSIR-2015-FINAL-Compressed.pdf>
- [3] [1MA263: On-orbit Satellite Payload Measurements](#), Application Note, Rohde and Schwarz
- [4] Satellite Communications Payload and System, - Teresa M. Braun
- [5] Space Antenna Handbook, - William A. Imbriale, Steven (Shichang) Gao, Luigi Boccia
- [6] [1MA224: Characterization of Satellite Frequency Up-converters](#), Application Note, Rohde and Schwarz
- [7] [Smart Solution for Satellite Level Monitoring](#), Application Card, Rohde and Schwarz
- [8] [1EZ70: Multi-port calibration by using a two port calibration unit](#), Application Note, Rohde and Schwarz
- [9] [1EF78: Measurement of Harmonics using Spectrum Analyzers](#), Application Note, Rohde and Schwarz
- [10] [1MA29: Noise Power Ratio Signal Generation and Measurement](#), Application Note, Rohde and Schwarz
- [11] [1GP104: Envelope Tracking and Digital Pre-Distortion Test Solution for RF Amplifiers](#), Application Note, Rohde and Schwarz
- [12] DIY satellite Platforms, <https://www.safaribooksonline.com/library/view/diy-satellite-platforms/9781449312756/ch01s05.html>
- [13] R&S®FSWP Phase Noise Analyzer and VCO Tester, Product Brochure, https://www.rohde-schwarz.com/en/product/fswp-options_63490-120512.html
- [14] Satellite Payload Parameter Measurements in a Compensated Compact Antenna Test Range, - Jürgen Habersack, Horst Kress, Willi Lindemer, Hans-Jürgen Steiner, Dornier Satellitensysteme GmbH (DSS)/ DaimlerChrysler-Aerospace
- [15] [1MA273: DVB-S2 & DVB-S2X signal generation in K-band and Analysis](#), <https://www.rohde-schwarz.com/appnote/1MA273>, Application Note, Rohde & Schwarz

8 オーダー情報

型番	名称/内容	オーダー番号
ベクトル・ネットワーク・アナライザ*		
R&S®ZVA40	Vector Network Analyzer, 10MHz to 40GHz, Four ports, four generators / sources	1145.1110.48
R&S®ZVA40-B16	Direct generator/receiver access for 4 port ZVA40	1164.0209.42
R&S®ZVA40-B9	Set of cables for the ZVA-K9	1305.6541.03
R&S®ZVA-K4	Frequency Conversion	1164.1863.02
R&S®VA-K9	Embedded LO Mixer Delay Measurements	1311.3128.02
R&S®ZVA-K10	Long Distance Group Delay Measurement	1164.1805.02
R&S®ZVA40-B31	Receiver Step Attenuator, Port 1	1302.5444.02
R&S®ZVA40-B32	Receiver Step Attenuator, Port 2	1302.5450.02
R&S®ZVA40-B33	Receiver Step Attenuator, Port 3	1302.5467.02
R&S®ZVA40-B34	Receiver Step Attenuator, Port 4	1302.5473.02
R&S®ZVA40-B21	Generator Step Attenuator, Port 1	1302.5409.02
R&S®ZVA40-B22	Generator Step Attenuator, Port 2	1302.5415.02
R&S®ZVA40-B23	Generator Step Attenuator, Port 3	1302.5421.02
R&S®ZVA40-B24	Generator Step Attenuator, Port 4	1302.5438.02
シグナル/スペクトラム・アナライザ*		
R&S®FSW43	Signal und spectrum analyzer 2 Hz to 43.5 GHz	1312.8000.43
R&S®FSW50	Signal und spectrum analyzer 2 Hz to 50 GHz	1312.8000.50
R&S®FSW67	Signal und spectrum analyzer 2 Hz to 67 GHz	1312.8000.67
R&S®FSW85	Signal und spectrum analyzer 2 Hz to 85 GHz	1312.8000.85
R&S®FSW -B24	RF preamplifier, 100 kHz to 43 GHz	1313.0832.43
R&S®FSW -B8	Resolution bandwidth > 10 MHz	1313.2464.02
R&S®FSW -B160	160 MHz Analysis Bandwidth	1313.1668.02

R&S®FSW -K160R	Real-Time Spectrum Analyzer	1313.5340.02
R R&S®FSW -K70	Vector Signal Analysis	1313.1416.02
R&S®FSW -K40	Phase Noise Measurements	1313.1397.02
R&S®FSW -K30	Noise Figure Measurements	1313.1380.02
R&S®FSW -B500	500 MHz Analysis Bandwidth	1313.4296.02
R&S®FSW -K17	Multicarrier Group Delay Measurements	1313.4150.02
R&S®FSW -B4	OCXO Precision Reference Frequency	1313.0703.02
R&S®FSW-B17	Digital Baseband Interface	1313.0784.02
R&S®FSW-B71	Analog Baseband Inputs	1313.1651.13
R&S®FSW-B25	Electronic Attenuator, 1 dB steps	1313.0990.02
R&S®FSWP26	Phase Noise Analyzer, 1 MHz to 26.5 GHz	1322.8003.26
R&S®FSWP-B60	Cross Correlation, 26 GHz	1322.9800.26
R&S®FSWP-B64	Additive Phase Noise Measurements	1322.9900.26
R&S®FSWP-B4	High Stability OCXO	1325.3890.02
R&S®FSWP-B1	Spectrum Analyzer, 10 Hz to 26 GHz	1322.9997.26
R&S®FSWP-B8	Resolution Bandwidth > 10 MHz	1313.2464.26
R&S®FSWP-B13	Highpass Filter for Harmonic Measurements	1325.4350.02
R&S®FSWP-B24	RF Preamplifier, 100 kHz to 26.5 GHz	1325.3725.26
R&S®FSWP-B80	80 MHz Analysis Bandwidth	1325.4338.02
R&S®FSWP-K4	Pulsed Phase Noise Measurements	1325.5043.02
R&S®FSWP-K7	Analog Modulation Analysis for AM/FM/φM	1325.4238.02
R&S®FSWP-K30	Noise Figure Measurements	1325.4244.02
R&S®FSWP-K70	Vector Signal Analysis	1325.4280.0
ベクトル信号発生器*		
R&S®SMW200A	Vector Signal Generator	1412.0000.02
R&S®SMW-B140	100 kHz to 40 GHz, RF Path A	1413.0604.02
R&S®SMW-B13	Signal Routing and Baseband Main Module, one I/Q path to RF	1413.2807.02
R&S®SMW-B10	Baseband Generator with ARB (64 Msample) and Digital	1413.1200.02

	Modulation (realtime), 120 MHz RF bandwidth	
R&S®SMW-B22	Enhanced Phase Noise Performance and FM/φM Modulator	1413.2207.02
R&S®SMW-K24	Multifunction Generator	1413.3332.02
R&S®SMW-K739	Differential Analog I/Q Inputs	1413.7167.02
R&S®SMW-K512	ARB Memory Extension to 1 Gsample	1413.6919.02
R&S®SMW-K61	Multicarrier CW Signal Generation	1413.4280.02
R&S®SMW-K522	Baseband Extension to 160 MHz RF bandwidth	1413.6960.02
パワーセンサ*		
R&S®NRP33S	100 pW to 200 mW, 10 MHz to 33 GHz three-path diode power sensors	1419.0064.02
R&S®NRP33SN	100 pW to 200 mW, 10 MHz to 33 GHz (LAN)	1419.0070.02
R&S®NRP33SN-V	10 MHz to 33 GHz, 100 pW to 200 mW, LAN, TVAC-Compliant	1419.0129.02
R&S®NRP-Z55	Thermal Power Sensor model .04, DC to 44 GHz	1138.2008.04
R&S®NRP-Z56	Thermal Power Sensor, DC to 50 GHz	1171.8201.02
R&S®NRP-Z57	Thermal Power Sensor, DC to 67 GHz	1171.8401.02
R&S®NRP-Z21	-67 dBm to +23 dBm, 10 MHz to 18 GHz, three-path diode power sensors	1137.6000.02

ローデ・シュワルツについて

Rohde & Schwarzエレクトロニクスグループは、試験／測定、放送／メディア、セキュアコミュニケーション、サイバーセキュリティ、無線信号の検出／位置特定の分野で革新的なソリューションを提供しています。設立から80年以上にわたり、独立したグローバル企業として70カ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。

エレクトロニクスグループは、確立されたビジネス分野における世界的なマーケットリーダーです。本社をドイツのミュンヘンに構え、シンガポールと米国メリーランド州コロンビアに地域統括会社を置き、これらの地域での事業運営を管理しています。

ローデ・シュワルツ・ジャパン株式会社

本社／東京オフィス

〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-20-1
住友不動産西新宿ビル27階
TEL:03-5925-1288/1287 FAX:03-5925-1290/1285

神奈川オフィス

〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜2-8-12
Attend on Tower 16階
TEL:045-477-3570 (代) FAX:045-471-7678

大阪オフィス

〒564-0063 大阪府吹田市江坂1-23-20
TEK第2ビル8階
TEL:06-6310-9651 (代) FAX:06-6330-9651

サービスセンター

〒330-0075 埼玉県さいたま市浦和区針ヶ谷4-2-11
さくら浦和ビル4階
TEL:048-829-8061 FAX:048-822-3156

E-mail: info.rsjp@rohde-schwarz.com
<http://www.rohde-schwarz.co.jp/>

本社(ドイツ)

Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
Mühldorfstraße 15 | D - 81671 München
TEL: + 49 89 4129 - 0 FAX: + 49 89 4129 - 13777
www.rohde-schwarz.com

持続可能な製品デザイン

- 環境適合性とエコロジカルフットプリント
- エネルギー効率と低エミッション
- 長寿命化と所有コストの最適化

Certified Quality Management

ISO 9001

Certified Environmental Management

ISO 14001

本アプリケーションノートと付属のプログラムの使用にあたっては、Rohde & Schwarz Webサイトのダウンロードエリアに記載されている条件に従ってください。

R&S®は、Rohde & Schwarz GmbH & Co. KGの登録商標です。
商品名は、各所有者の商標です。

ローデ・シュワルツ・ジャパン株式会社

〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-20-1
住友不動産西新宿ビル27階
TEL:03-5925-1288/1287 FAX:03-5925-1290/1285

www.rohde-schwarz.co.jp