

デジタル TV と LTE の共存 アプリケーションノート

製品：

R&S [®] SMU200A	R&S [®] SFU
R&S [®] SMJ100A	R&S [®] SFE
R&S [®] SMBV100A	R&S [®] SFE100
R&S [®] WinIQSIM2™	R&S [®] ETL
R&S [®] TS8980	

これまで TV 放送用に割り当てられていたスペクトラムは、LTE (Long Term Evolution) 規格で使用するために、再編されつつあります。その結果、さまざまな共存シナリオが想定されるようになりました。このため、移動無線分野と放送分野のネットワーク・オペレータやメーカーは、製品の干渉回避や詳細なテストに関心を寄せています。ローデ・シュワルツでは、このようなアプリケーション用に幅広い製品のポートフォリオを提供しています。

このアプリケーションノートでは、放送分野および移動無線分野用の測定器とテスト・セットアップについて説明します。

目次

1	はじめに.....	4
2	技術的概要.....	5
2.1	TV 規格.....	5
2.2	3GPP LTE.....	6
2.3	その他のアプリケーション.....	8
3	共存測定.....	9
3.1	スペクトラム割り当て.....	9
3.2	デジタル TV と LTE における共存シナリオの概要.....	9
3.3	出力 RF スペクトラム放射.....	11
3.4	ローデ・シュワルツの製品ポートフォリオ.....	12
3.4.1	SFU マルチスタンダード TV 信号発生器.....	13
3.4.2	ベクトル・シグナル・ジェネレータ.....	14
3.4.3	ETL TV アナライザ.....	15
3.4.4	TS8980 テスト・システム.....	16
3.5	テスト・セットアップ.....	17
3.5.1	移動無線に対するデジタル TV の影響 (LTE と WCDMA).....	17
3.5.2	デジタル TV に対する LTE の影響.....	18
3.5.2.1	地上波 TV のテスト・セットアップ：干渉源を RF 信号として設定.....	23
3.5.2.2	ケーブル TV のテスト・セットアップ：干渉源を RF 信号として設定.....	23
3.5.2.3	地上波 TV のテスト・セットアップ：干渉源を ベースバンド信号として設定 (WinIQSIM2 を使用).....	25
3.6	基本パラメータ.....	26
3.6.1	TV 放送信号 (SFx による設定).....	26
3.6.2	LTE 信号 (SMx による設定).....	29
4	付録.....	33
4.1	ダウンロード.....	33
4.2	参考文献.....	33
4.3	追加情報.....	33
5	オーダー情報.....	34

このアプリケーションノートでは、ローデ・シュワルツの測定器に以下の略語を使用します。

- R&S[®]SMJ100A ベクトル・シグナル・ジェネレータは SMJ と表記します。
 - R&S[®]SMATE200A ベクトル・シグナル・ジェネレータは SMATE と表記します。
 - R&S[®]SMU200A ベクトル・シグナル・ジェネレータは SMU と表記します。
 - R&S[®]AMU200A ベースバンド・シグナル・ジェネレータ／フェージング・シミュレータは AMU と表記します。
 - R&S[®]SMBV100A ベクトル・シグナル・ジェネレータは SMBV と表記します。
 - SMx と表記した場合は、SMJ、SMATE、SMBV、SMU を表します。
-
- R&S[®]SFU マルチスタンダード TV 信号発生器は SFU と表記します。
 - R&S[®]SFE コンパクト TV 信号発生器は SFE と表記します。
 - R&S[®]SFE100 TV 信号発生器は SFE と表記します。
 - SFx と表記した場合は SFU、SFE、SFE100 を表します。
-
- WinIQSIM2[™] ソフトウェアは WinIQSIM2 と表記します。

1 はじめに

これまでテレビ放送用に割り当てられていたスペクトラムは、LTE (Long Term Evolution) 規格で使用するために、世界中で再編されつつあります。さらに、LTE は、この周波数帯において放送アプリケーションと並行して導入されていくと見込まれています。その結果、さまざまな共存シナリオが想定されるようになりました。このため、移動無線分野と放送分野のネットワーク・オペレータやメーカーは、製品の干渉回避や詳細なテストに関心を寄せています。ローデ・シュワルツは、さまざまなデバイスやネットワークに適用される測定（たとえば端末やセットトップ・ボックスなどの耐干渉性）に使用する幅広い製品ポートフォリオを提供しています。

このアプリケーションノートでは、共存に関するトピックの概要を紹介し、放送分野および移動無線分野用の測定器とテスト・セットアップについて説明します。

2 技術的概要

2.1 TV 規格

デジタル TV 放送規格は、174MHz～230MHz（VHF）および 470MHz～862MHz（UHF）の周波数帯を占有し、これらは 3 つの分野に分類されます。

- モバイル放送
- 地上波放送
- ケーブル放送

表 1 にデジタル TV の周波数帯を示します。

デジタル TV 規格の概要						
技術規格		周波数帯				地域
		174MHz～ 230MHz VHF	470MHz～ 862MHz UHF	1452MHz～ 1492MHz Lバンド	Sバンド	
モバイル	DVB-H、DVB-SH	X	X		2170MHz～2220MHz	ヨーロッパ
	ISDB-T1 セグ	X	X			日本 南米
	MediaFLO™		X			米国
	T-DMB		X	X		韓国
	ATSC-M/H		X			米国
	CMMB	X	X		2635MHz～2660MHz	中国
地上波	ATSC		X			米国、韓国
	DVB-T/T2	X	X			ヨーロッパ
	DTMB	X	X			中国
	ISDB-T		X			日本 南米
ケーブル	DVB-C/C2	X	X			ヨーロッパ
	J.83/B	X	X			米国
	ISDB-C	X	X			日本

表 1: デジタル TV 規格の概要

高精細 (HD) TV に必要なデータレートを実現するため、直交周波数分割多重方式 (OFDM)、16QAM～256QAM の高次変調 (さらに高次の変調も計画されています)、最大 8MHz のチャンネル帯域幅、MPEG-4 や H.264 といったエンコーディング手法が使われています。

2.2 3GPP LTE

3GPP LTE (Long Term Evolution) あるいは E-UTRA (Evolved Universal Terrestrial Radio Access) は、HSPA (High Speed Packet Access) や HSPA+ に続いて展開される、第 3 世代 (3G) セルラー・システムの技術です。

LTE は、既存の 3G ネットワークで利用可能な周波数帯に使用することができます。さらに、2.5GHz～2.7GHz 帯 (ヨーロッパ/アジア) や 700MHz 帯 (米国) などの追加的な範囲も使用できるように割り当てられています。現時点で LTE に割り当てられている周波数帯を表 2 に示します。

LTE の周波数バンド					
E-UTRA バンド	アップリンク (UL) BS 受信 UE 送信		ダウンリンク (DL) BS 送信 UE 受信		多重 モード
	F_{UL_low}	F_{UL_high}	F_{DL_low}	F_{DL_high}	
1	1920MHz	~ 1980MHz	2110MHz	~ 2170MHz	FDD
2	1850MHz	~ 1910MHz	1930MHz	~ 1990MHz	FDD
3	1710MHz	~ 1785MHz	1805MHz	~ 1880MHz	FDD
4	1710MHz	~ 1755MHz	2110MHz	~ 2155MHz	FDD
5	824MHz	~ 849MHz	869MHz	~ 894MHz	FDD
6 ¹	830MHz	~ 840MHz	875MHz	~ 885MHz	FDD
7	2500MHz	~ 2570MHz	2620MHz	~ 2690MHz	FDD
8	880MHz	~ 915MHz	925MHz	~ 960MHz	FDD
9	1749.9MHz	~ 1784.9MHz	1844.9MHz	~ 1879.9MHz	FDD
10	1710MHz	~ 1770MHz	2110MHz	~ 2170MHz	FDD
11	1427.9MHz	~ 1447.9MHz	1475.9MHz	~ 1495.9MHz	FDD
12	698MHz	~ 716MHz	728MHz	~ 746MHz	FDD
13	777MHz	~ 787MHz	746MHz	~ 756MHz	FDD
14	788MHz	~ 798MHz	758MHz	~ 768MHz	FDD
15	予約		予約		FDD
16	予約		予約		FDD
17	704MHz	~ 716MHz	734MHz	~ 746MHz	FDD
18	815MHz	~ 830MHz	860MHz	~ 875MHz	FDD
19	830MHz	~ 845MHz	875MHz	~ 890MHz	FDD
20	832MHz	~ 862MHz	791MHz	~ 821MHz	FDD
21	1447.9MHz	~ 1462.9MHz	1495.9MHz	~ 1510.9MHz	FDD
...					
33	1900MHz	~ 1920MHz	1900MHz	~ 1920MHz	TDD
34	2010MHz	~ 2025MHz	2010MHz	~ 2025MHz	TDD
35	1850MHz	~ 1910MHz	1850MHz	~ 1910MHz	TDD
36	1930MHz	~ 1990MHz	1930MHz	~ 1990MHz	TDD
37	1910MHz	~ 1930MHz	1910MHz	~ 1930MHz	TDD
38	2570MHz	~ 2620MHz	2570MHz	~ 2620MHz	TDD
39	1880MHz	~ 1920MHz	1880MHz	~ 1920MHz	TDD
40	2300MHz	~ 2400MHz	2300MHz	~ 2400MHz	TDD

注 1 : バンド 6 は適用外

表 2 : LTE の周波数バンド (TS36.101 rel. 9 [3]、ハイライト行は TV 帯域内または TV 帯域に近いもの)

LTE は、1.4MHz~20MHz で可変なチャネル帯域幅、QPSK、16QAM、および 64QAM の高次変調フォーマットを使用します。また、ダウンリンク (DL) は直交周波数分割多元接続 (OFDMA) を使用し、アップリンク (UL) は単一キャリア周波数分割多重接続 (SC-FDMA) を使用します。

2.3 その他のアプリケーション

ワイヤレスマイクも TV 周波数を使用します。地域によっては、送信出力が制限された免許不要のチャンネルや、登録ユーザだけがアクセスできるチャンネルが存在します。一部の地域では、これらのマイクに対して新しい周波数帯が割り当てられていますが、移行期間中は旧帯域を引き続き使用することが認められています。このアプリケーションノートに示すテスト・セットアップは、ワイヤレスマイクの共存測定を行う場合にも使用できます。

3 共存測定

3.1 スペクトラム割り当て

第 2 項に述べたように、一部の LTE 周波数帯は TV の旧帯域内に置かれています。対象周波数帯における TV と LTE の周波数帯の割り当て状況を 図 1 に示します。他の移動無線技術同様、LTE はダウンリンク（DL）とアップリンク（UL）の両方を使用しますが、TV 放送はダウンリンク（DL）のみを使用します。

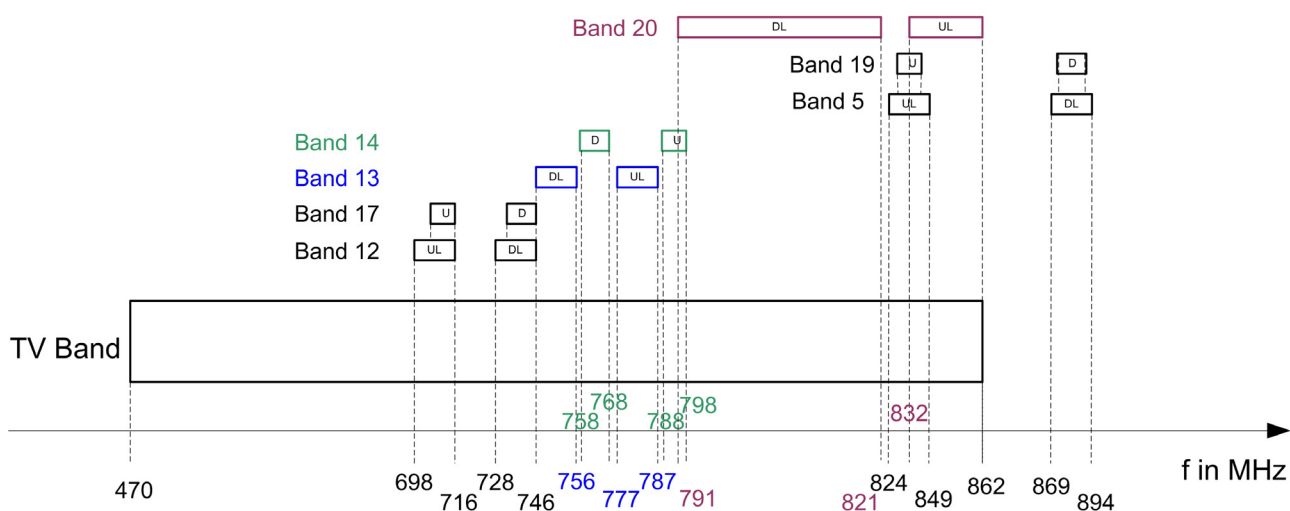


図 1：スペクトラム割り当て

3.2 デジタル TV と LTE における共存シナリオの概要

システム（デジタル TV や LTE）の受信機は必要な信号だけでなく、ノイズなどの不要な成分や、他の無線システムの信号も常に受信しています。先に述べたスペクトラムの状況に基づいてさまざまな共存シナリオが存在し、1つのシステムの信号が、他のシステムに対する不要（干渉）信号となってしまいます。干渉の度合いに応じて受信品質の低下をもたらす、デジタル TV 受信の場合はブロックノイズ、移動無線の場合はスループットの低下などを生じ、ひどい場合は受信機が必要な信号をまったく受信できなくなることもさへあります。この干渉の度合いは、希望信号に対する干渉源の周波数オフセットと不要信号のレベルによって変化するため、これら 2 つが重要な要素となります。

個々の規格のテスト仕様は、他の規格と共存できるように設計されています。異なる規格間では、隣接周波数帯および共存システムへの干渉を制限するために、送信機の出力 RF スペクトラムのリミット値が規定されます。つまり、仕様に合致する製品は共存に関わる問題を引き起こさないと見なされます。しかし、旧式製品が市場に普及している、地域による特別な展開シナリオが存在する、あるいはネットワーク・オペレータ固有の品質要求が存在するといった理由により、メーカーやネットワーク・オペレータが、共存に関する追加的な検討が必要となることも考えられます。

共存シナリオについて解析を行なう場合は、不要信号と希望信号の周波数が重要です。デジタル TV と LTE に対する現在の周波数割り当てでは、希望信号と干渉信号の両方が同じ周波数帯内に置かれているという同一チャンネル・シナリオが存在します。これは、ケーブル TV 規格の測定にあてはまりません。したがって、同一チャンネル上の RF 干渉信号に対するケーブル TV 受信機の感受性を評価し、適切なシールドングなどによってこれを保証する必要があります。ほとんどのケースは隣接チャンネル・シナリオであり、このシナリオでは、希望信号のチャンネルに対して間隔を持つ干渉源が不要信号を送信します。

デジタル TV と LTE における共存シナリオは、以下のようにまとめることができます。

- **移動無線に対するデジタル TV の影響**

この共存シナリオでは、デジタル TV の送信機が LTE に対する干渉源となります。スペクトラムの状況に応じて、LTE 基地局受信機または LTE 端末受信機が影響を受けます。LTE システムとデジタル TV システムは異なる周波数帯を使用するので、この共存シナリオは同一チャンネル・シナリオではありません。

- **デジタル TV に対する LTE の影響**

この共存シナリオでは、LTE 送信機がセットトップ・ボックスなどのデジタル TV 受信機の干渉源となります。LTE 送信機は、アップリンク信号を送信する LTE 端末 (UE) または、ダウンリンク信号を送信する LTE 基地局の送信機です。地上波 TV 信号の場合は、隣接チャンネル・シナリオとなる場合があります。ケーブル TV の場合は、ケーブル TV と LTE システムの動作周波数が同じ周波数帯に存在する、同一チャンネル・シナリオとなる可能性もあります。

適切な測定器を使用して、それぞれの共存シナリオの影響を評価するためのテスト・セットアップを 3.5 項に示します。

個々の規格のテスト仕様は、他の周波数帯に対する影響の最大許容限度を、最も重要な検討事項として定めています。以下の項では、LTE およびデジタル TV 規格における出力 RF スペクトラム放射について説明します。

3.3 出力 RF スペクトラム放射

出力 RF スペクトラム放射は規格信号の出力スペクトラムを示すもので、特に、占有チャンネル外への干渉による影響を制限します。

各規格には固有の要件が定められていますが、多くの規格では以下のように定められています。

- チャンネル帯域幅／占有帯域幅
チャンネル帯域幅と占有帯域幅に関する要件は希望信号によって占有される周波数帯を定義し、送信機による放射が帯域幅を過度に占有しないようにします。占有帯域幅は、指定されたチャンネルにおける送信スペクトラムの総積分平均電力の 99% を含む帯域幅として定義されます。
- スペクトラム・エミッション・マスク (SEM)
スペクトラム・エミッション・マスクは、送信機の変調プロセスおよび非線形性による公称チャンネル近傍の帯域外放射を制限しますが、スプリアス放射は含まれません（以下を参照）。SEM 要件は、送信チャンネルからの周波数オフセットに応じて、リミット値とその測定帯域幅を定めます。送信機の放射は、このリミット値を超えないようにする必要があります。
- 隣接チャンネル漏洩電力比 (ACLR)
隣接チャンネル漏洩電力比は、割り当てられたチャンネル周波数を中心とするフィルタリングされた平均電力と、隣接チャンネル周波数を中心とするフィルタリングされた平均電力の比として定義され、送信機が、隣接チャンネルに対して許容できない干渉を引き起こさないことを検証するために使われます。
- スプリアス放射
スプリアス放射は、高調波放射、寄生放射、相互変調成分、周波数変換成分など、送信機の望ましくない影響によって生じる放射です。スプリアス放射要件は、送信チャンネルから離れた周波数帯に適用されます（送信チャンネルに近い放射を制限する ACLR や SEM とは異なります）。

LTE の出力 RF スペクトラム

LTE UE（端末）送信機の RF スペクトラム放射は、[3] と [6] に定められています。出力 RF スペクトラムは、占有帯域幅（チャンネル帯域幅）、帯域外（OOB）放射、および帯域から離れたスプリアス放射領域の 3 つの成分で構成されます（図 2）。

- チャンネル帯域幅：LTE チャンネルによって占有される帯域
- 帯域外放射：公称チャンネル直近の帯域外不要放射で、ユーザ・チャンネル境界から Δf_{OOB} までの範囲です（チャンネル帯域幅により異なります。たとえば、チャンネル帯域幅が 10MHz の場合は $\Delta f_{\text{OOB}} = 15 \text{ MHz}$ ）。帯域外放射は、スペクトラム・エミッション・マスク（SEM）と隣接チャンネル漏洩比（ACLR）によって指定されます。ACLR 要件は、隣接 E-UTRA チャンネルの場合と隣接 UTRA チャンネルの場合に対して指定されます。
- スプリアス放射： Δf_{OOB} の外側におけるすべての放射。

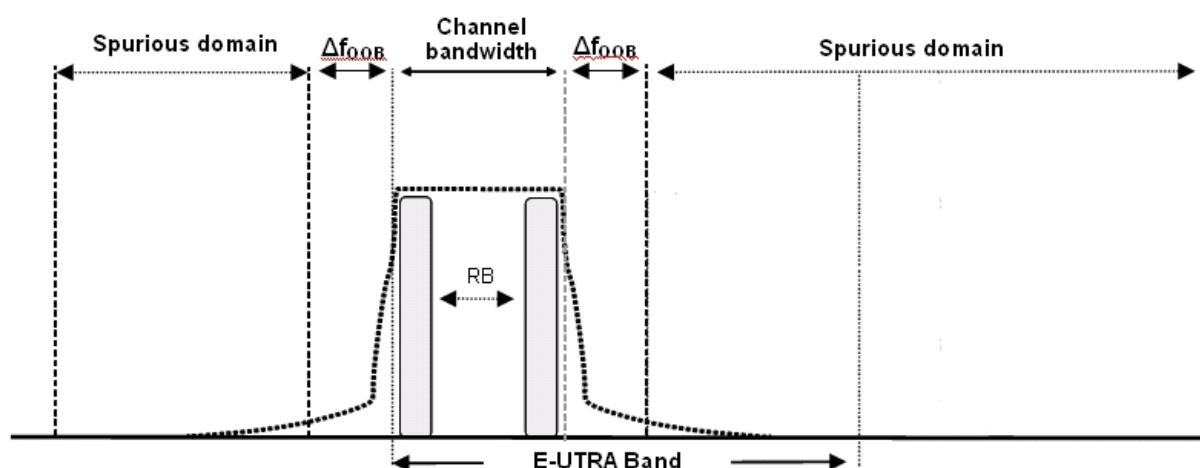


図2 : LTE 出力スペクトラム (アップリンク)

LTE BS (基地局) 送信機の不要放射は [4] と [7] に定義されています。不要放射は帯域外放射とスプリアス放射からなります。帯域外放射は、チャンネル帯域幅近傍の帯域外放射です。これらは、隣接チャンネル漏洩電力比 (ACLR) と動作周波数不要放射によって規定されます。動作周波数不要放射は、ダウンリンク動作周波数と、その上下 10MHz の周波数帯のすべての不要放射と定義されます。この周波数帯域外の不要放射は、スプリアス放射要件によって制限されます。

デジタル TV の出力 RF スペクトラム

世界中の放送規格にも同様の状況が存在します。帯域外放射による隣接チャンネルの影響も、スペクトラム・マスクを使用して国ごとに判断されています。これらは、隣接チャンネルの使用状況に応じて重要度が判断されます。初期予測には、帯域境界での電力減少に相当するショルダー・アッテネーションもよく使われます。隣接チャンネル外側の不要成分もチェックされます。これらの成分は、送信周波数の高調波として発生することがあります。

3.4 ローデ・シュワルツの製品ポートフォリオ

ローデ・シュワルツは、移動無線規格および放送規格に対応した信号生成と解析のための測定器や RF テスト・システムを用意しています。製品ポートフォリオの概要を以下の項に示します。

3.4.1 SFU マルチスタンダード TV 信号発生器

SFU は、100kHz~3GHz の周波数範囲の TV（アナログおよびデジタル）放送信号とラジオ放送信号を生成し、最大 +19dBm（PEP）、オーバーレンジ +26dBm の高い出力レベル（オプション）を備えた信号発生器です。本機は、DVB-H/T/C/C2/T2 などのさまざまなデジタル TV 規格をサポートしています。また、トランスポート・ストリーム信号の信号源としても使用でき、ノイズ（AWGN）やフェージングを付与して送信チャネルをシミュレートすることができます。さらに、WinIQSIM2 シミュレーション・ソフトウェアをサポートする ARB ジェネレータも組み込まれています。したがって、共存解析のための干渉信号を生成することができます。

WinIQSIM2 シミュレーション・ソフトウェアは、デジタル変調信号を簡単に生成することができるように開発されたものです。対応するすべての規格に適合した波形の生成や、マルチキャリア信号やマルチセグメント波形の作成に便利な機能を備えているため、WinIQSIM2 はさまざまな用途に利用することができます。

TV 用の部品や装置の開発、製造、評価に関わる用途には、適切な信号が必要です。このニーズに応えるために、ローデ・シュワルツではストリーム・ライブラリを提供しています。詳細は参考文献 [5] を参照してください。



図3 : SFU マルチスタンダード TV 信号発生器

ほかにも、2 種類の信号発生器（SFE コンパクト TV 信号発生器および SFE100 TV 信号発生器）があります。

3.4.2 ベクトル・シグナル・ジェネレータ

SMU200A ベクトル・シグナル・ジェネレータ

SMU は 2 つの独立したシグナル・ジェネレータを 1 つの筐体にまとめたもので、優れた RF 特性とベースバンド特性を備えています。この 2 パス・コンセプトは、希望信号と干渉信号の両方を 1 台で生成できるため、コンパクトなテスト・セットアップ（共存の評価など）を構築することができます。

SMU を使用すれば、ベースバンド・レベルで信号を加算することも、両方の信号を独立した RF 信号として提供することも可能です。これは、共存シナリオの解析時に非常に高い柔軟性を発揮します。

SMU の第 1RF パスは 100kHz~2.2GHz/3GHz/4GHz/6GHz の周波数オプションを備えており、オプションの第 2RF パスは最大 2.2GHz または 3GHz です。オーバーレンジ +26dBm、最大 +19dBm (PEP) の高出力レベル (オプション) を備えています。

SMU には、HSPA(+) や LTE (FDD/TDD) など、主要なデジタル規格オプションや、MIMO フェージング、白色ガウス雑音 (AWGN)、位相コヒーレンスなどの機能などの幅広いオプションを組み込むことができます。DVB-H/T や DAB/T-DMB 信号生成などのオプションもあります。

さらに、WinIQSIM2 シミュレーション・ソフトウェアで作成した ARB ファイルを再生することもできます。

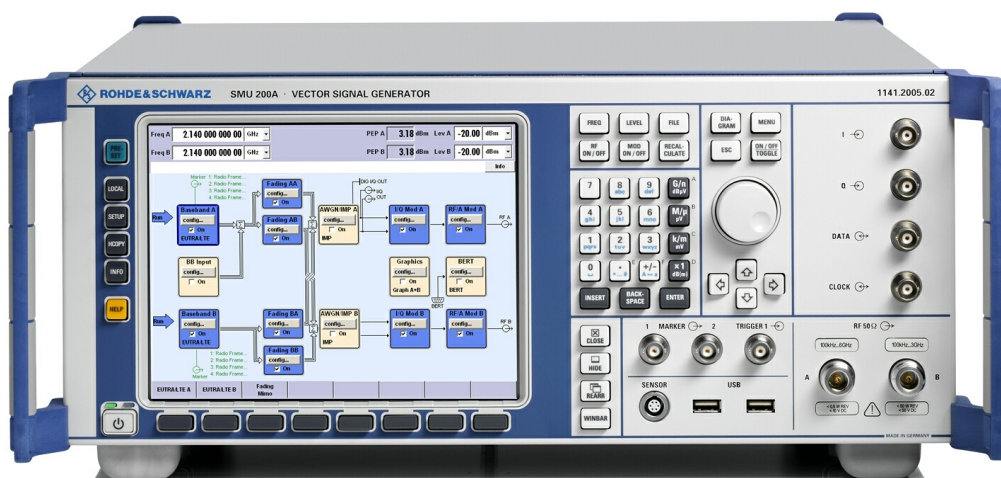


図 4 : SMU200A ベクトル・シグナル・ジェネレータ

SMBV100A ベクトル・シグナル・ジェネレータ

SMBV は優れた RF 性能を備えており、ミッドレンジ・クラスのベクトル・シグナル・ジェネレータとしては非常に高い出力レベル（最大 +18dBm、オーバーレンジ +24dBm）と短い設定時間を実現しています。SMBV は最大 6GHz の広い周波数範囲で使用できます。SMBV には優れた拡張性があり、ユーザの要件を満たすためにカスタマイズすることが容易です。製造ライン向けには、あらかじめ定義したテストシーケンスをオプションのベースバンド任意波形発生器（ARB）で再生する、費用対効果の高いソリューションを用意しています。オプションのベースバンドコーダは、優れたリアルタイム性能を備えています。SMU には、HSPA(+) や LTE（FDD/TDD）などの主要なあらゆるデジタル規格用オプションや、白色ガウス雑音（AWGN）、位相コヒーレンスなどのオプションを組み込むことができます。また、DVB-H/T および DAB/T-DMB 信号生成などのオプションもあります。

さらに、WinIQSIM2 シミュレーション・ソフトウェアで作成した ARB ファイルを再生することもできます。

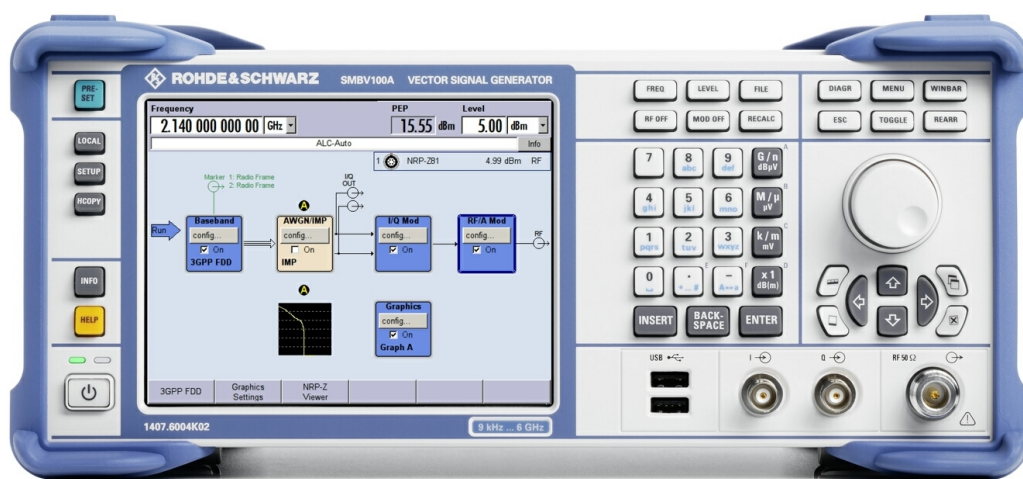


図 5 : SMBV100A ベクトル・シグナル・ジェネレータ

ローデ・シュワルツのベクトル・シグナル・ジェネレータ・ファミリーには、SMU と SMBV の他にも SMATE と SMJ があります。

3.4.3 ETL TV アナライザ

ETL TV アナライザは TV 信号解析用のマルチ規格プラットフォームで、TV テスト受信機とスペクトラム・アナライザの機能を 1 つの装置にまとめ、高い測定精度を実現しています。したがって、デジタル（DVB-T/H など）とアナログ TV 規格の解析機能を 1 つの測定器にまとめることができます。また、ETL は復調機能を備えているので、解析とともにリアルタイムで BER 測定を行うことが可能です。さらに、ETL には、MPEG トランスポート・ストリームに関する詳細情報を得るために、MPEG オプションを搭載することができます。

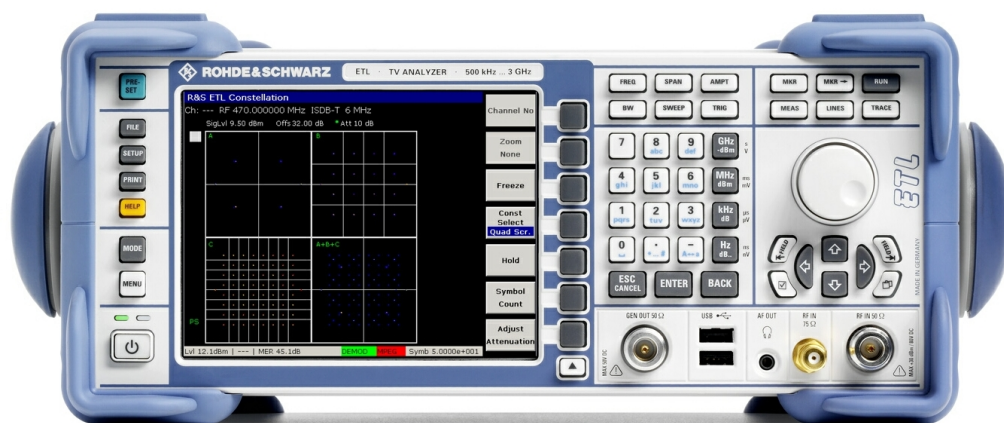


図6 : ETL TV アナライザ

3.4.4 TS8980 テスト・システム

TS8980 は、モジュール化されたモバイル端末用の完全自動 RF テスト・システムです。この拡張性の高いプラットフォームは、3GPP TS 36.521-1[5] および TS 34.121-1[6] 規格に従った LTE および WCDMA デバイス用のテスト・ソリューションを提供します。このテスト・システムは、一貫した研究開発や、3GPP テスト仕様に従った性能および適合テストを行うことのできる、効率的なツールを備えています。さらに、このプラットフォームは、モバイル端末の干渉耐性を確認するための TV 干渉源テストなど、ネットワーク・オペレータ固有のテストに使用することもできます。

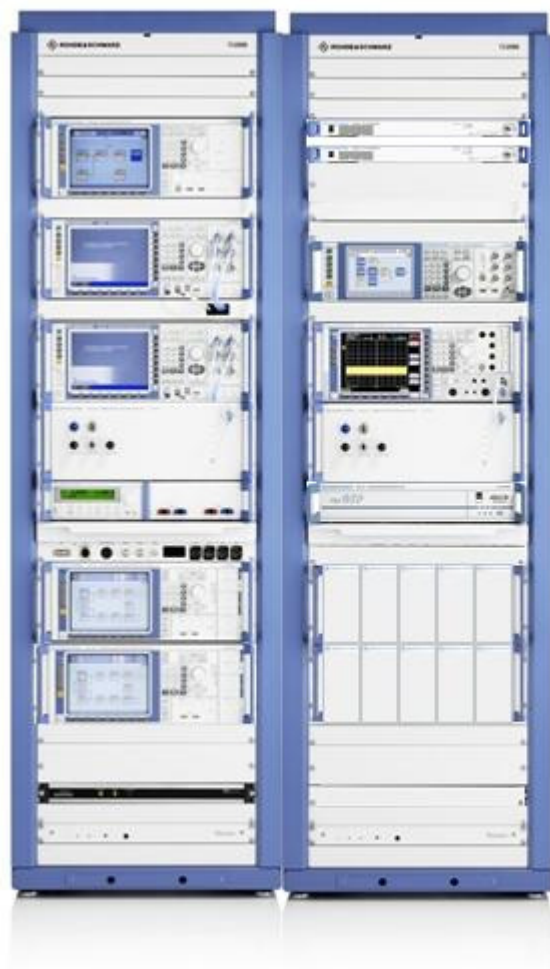


図7：すべてのオプションを組み込んだTS8980FTA コンフォーマンス試験システム

3.5 テスト・セットアップ

3.5.1 移動無線に対するデジタルTVの影響（LTEとWCDMA）

TS8980 テスト・システムは、デジタルTV信号がWCDMAやLTE端末に与える影響の解析に使用できません（前述の3.4.4項を参照）。この場合に最も重要なのは、端末（UE）の受信機に関するテストです。デジタルTV信号は、受信機のブロッキングや相互変調などによって、LTE信号に影響を与える可能性があります。TS8980 テスト・システムでは、無線機テスタ（CMW500）が基地局シミュレータとしての役割を果たします。UEは、CMW500からLTEダウンリンク信号（希望信号）を受信します。同時に、SFUがデジタルTV信号を生成しますが、これもUEのアンテナで受信されます。CMWは、受信品質低下を検出するために、ブロックエラー率（BLER）を測定します。

基地局受信機のテストにも同じ原則を当てはめることができます。テスト・セットアップの例を図 8 に示します。ここでは、SMU シグナル・ジェネレータを使用して LTE アップリンク信号（希望信号）を生成します。干渉信号は SFU で生成します。DVB-H/T や T-DMB の場合も、SMU の第 2 ジェネレータ・パスで干渉信号を生成することができます。さらに、SMU の第 2 ジェネレータ・パスで ARB ファイルを使用して干渉信号を生成する方法があります。SMU は、基地局性能のテストに最適なシグナル・ジェネレータです。SMU-K69 ソフトウェア・オプション（LTE Closed-Loop BS Test）をインストールすると、3GPP LTE 仕様 [4, 7] に定める HARQ（Hybrid Automatic Repeat Request）フィードバックを含む閉ループ基地局テストを行うことができます。

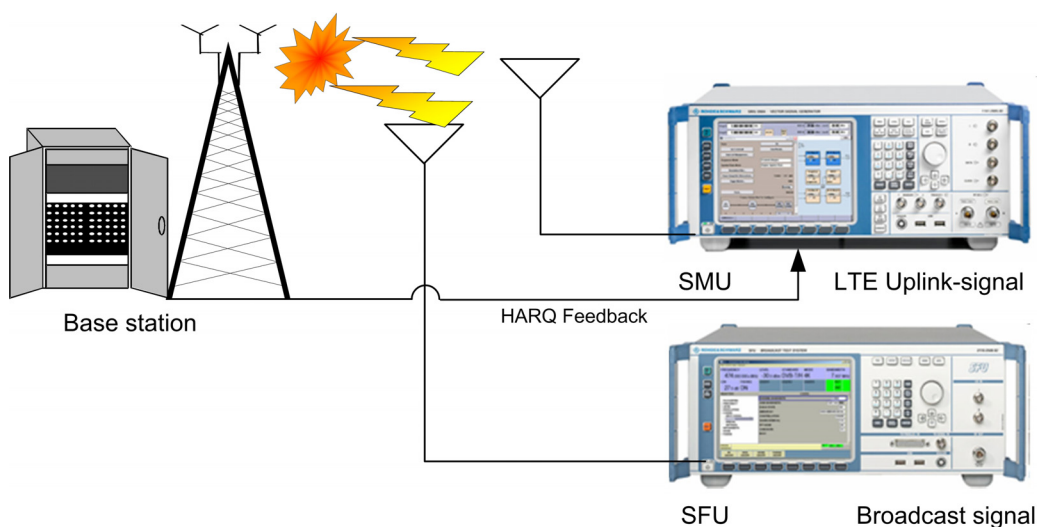


図 8：一般的なテスト・セットアップ、TV->LTE（基地局テスト）

3.5.2 デジタル TV に対する LTE の影響

LTE がデジタル TV に与える影響を評価するための基本的なテスト・セットアップを図 9 に示します。SFU は、セットトップ・ボックスで受信・復調し、TV モニタに表示される放送信号を生成します。SMU で生成される LTE 信号は、放送信号とともに受信アンテナで受信されます。受信 TV 信号について解析する場合は、信号を分岐して ETL に入力するためにスプリッタを使用する必要があります。セットトップ・ボックスの入カインピーダンスは 75Ωである点に注意してください。

このセットアップでは、SFU の代わりに SFE を使用することもできます。また、SMU の代わりに、SMBV などを使用することも可能です（特性については 3.4.2 項を参照）。

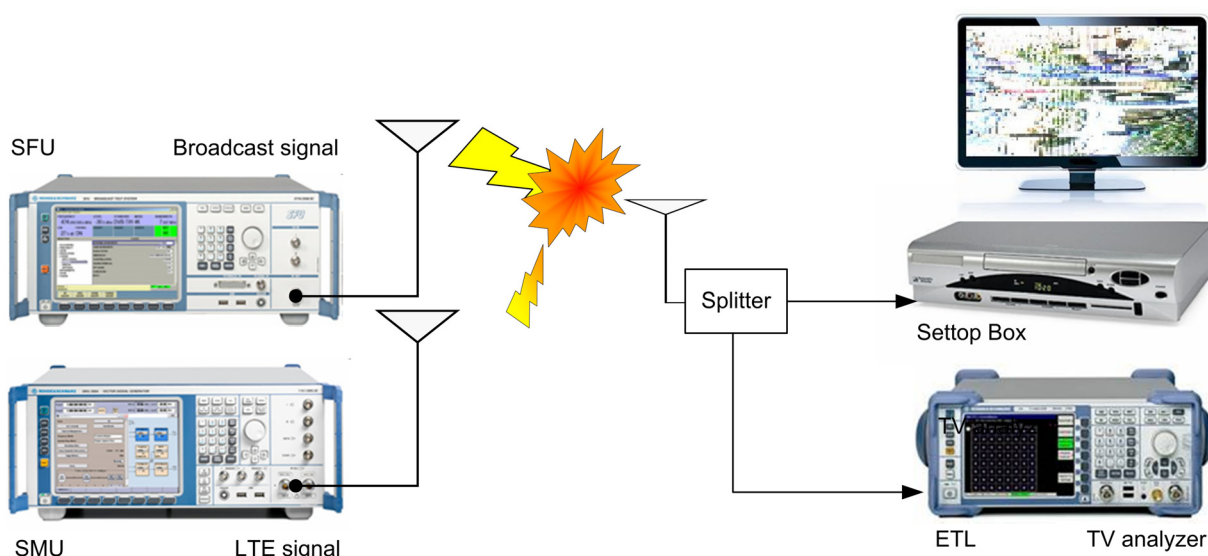


図9：一般的なテスト・セットアップ

ETL は、TV 信号用のさまざまなテスト機能を備えています。個々の測定の詳細については参考文献 [6] を参照してください。測定の例を図 10～図 13 に示します。

1 番目の図は、変調品質（変調エラー率（MER）、エラー・ベクトル振幅（EVM））などの主要な測定パラメータの概要を、ビットレートやパケットのエラー率とともに示したものです。EVM は、測定された波形と理論的な変調波形の差として定義されます。これは、理想シンボルと測定シンボルの差を示す尺度となります。この差はエラー・ベクトルと呼ばれ、dB または % で表されます。

MER は、デジタル TV 信号に影響するすべての干渉の合計を示す尺度です。これは、理想送信信号の RMS 値とエラー・ベクトルの RMS 電力の間の対数的関係として、dB で表されます。MER 値が大きい場合は信号品質が良好であることを示します。

2 番目の図は、DVB 信号（希望信号）と隣接チャネルの干渉源のスペクトラムです。干渉信号が希望信号に 1MHz オーバーラップしています。希望信号のレベルが高いため、この測定からオーバーラップを確認することはできません。

3 番目の図は、OFDM 副搬送波ごとの MER をプロットしたものです。この図では、オーバーラップしている干渉源の影響が確認でき、干渉源のオーバーラップのために MER が 45.7dB から 25dB へと大きく低下しているのがわかります。

4 番目の図も干渉信号の影響を表しています。これは DVB 信号のコンスタレーション・ダイアグラム（64QAM）を示しており、図では干渉源の影響で EVM（青の点で表されている）が低下しています。

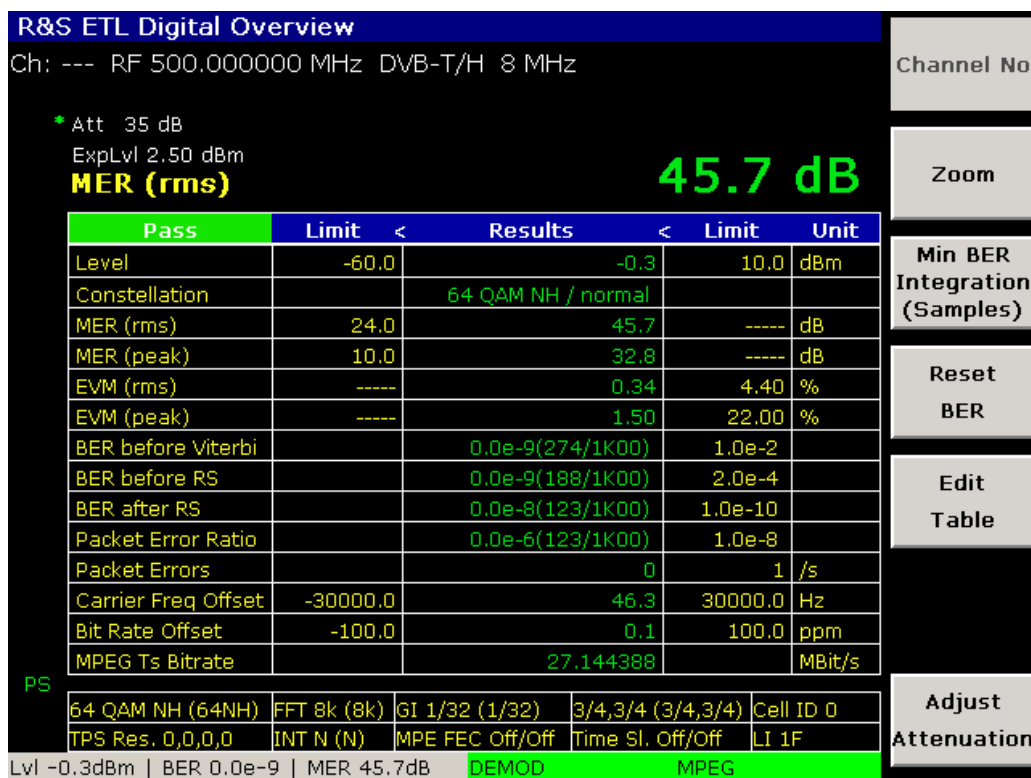


図 10 : ETL による測定概要と MER

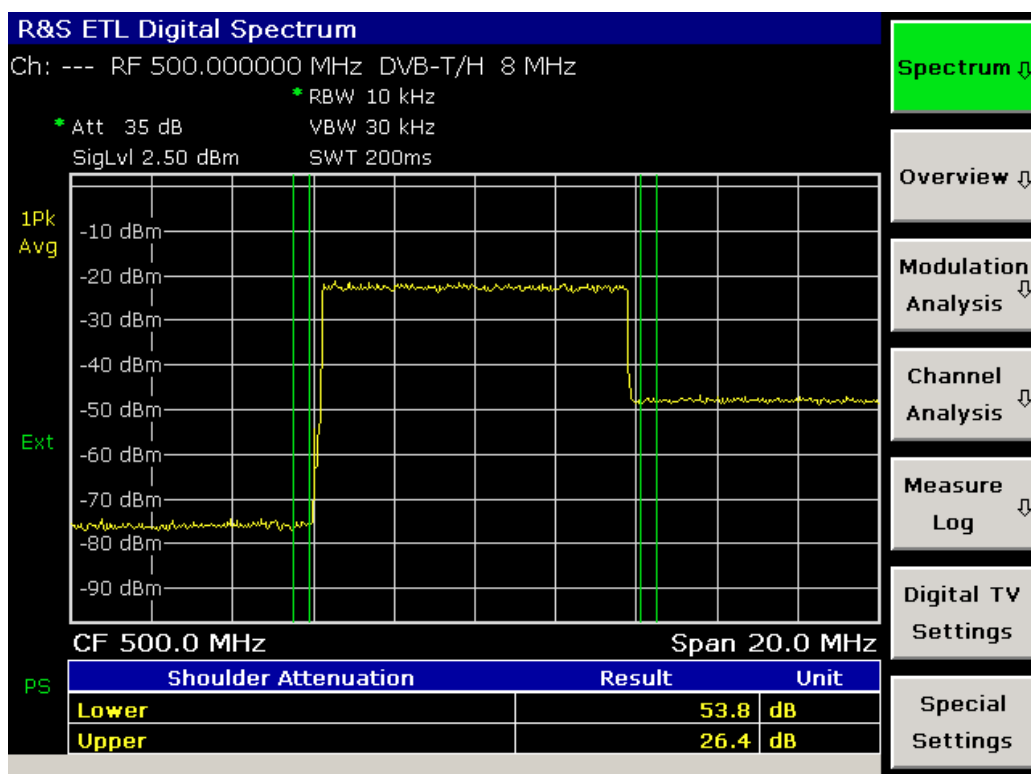


図 11 : 隣接チャネルの干渉源が -25dB のレベルで 1MHz オーバーラップした状態の DVB 信号スペクトラム。希望信号レベルが高いため、ここではオーバーラップは確認できません。

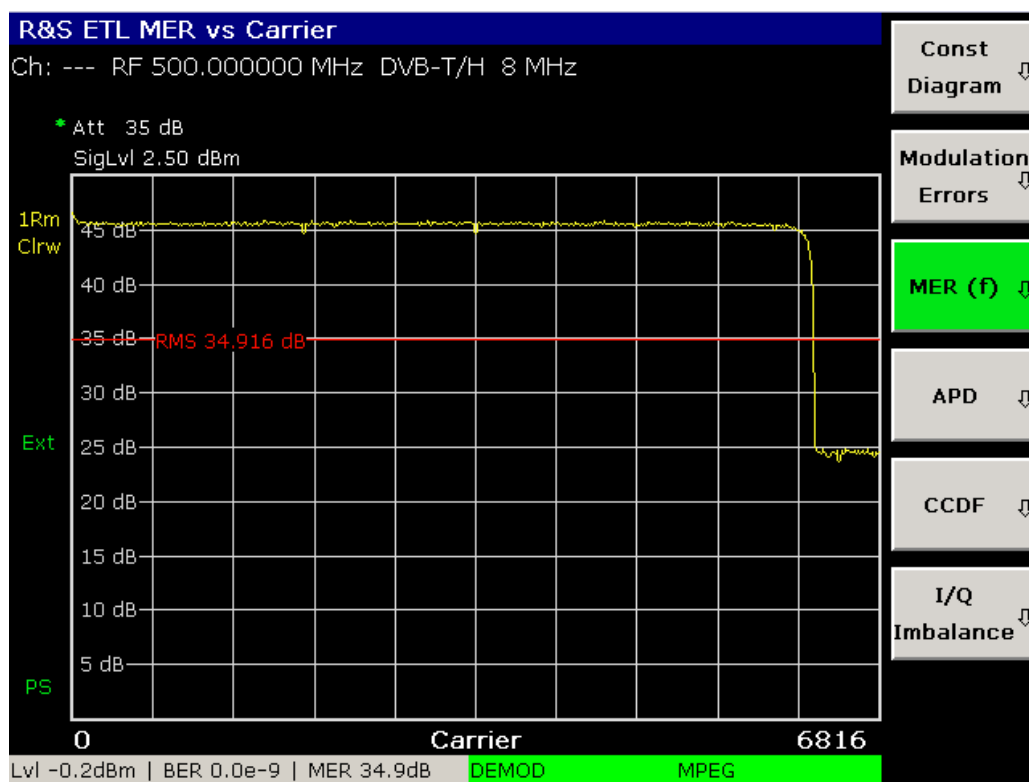


図 12 : MER と搬送波の測定 : 1MHz のオーバーラップ領域で干渉源の影響により MER が 25dB まで低下しています。

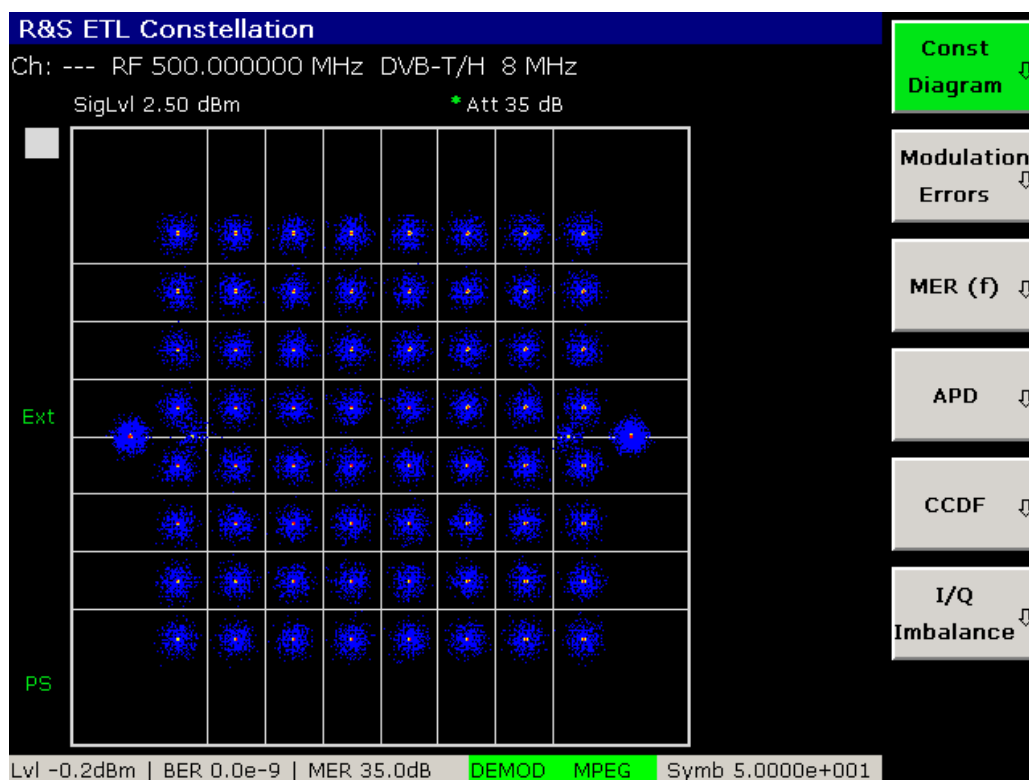


図 13 : 64QAM DVB 信号のコンスタレーション・ダイアグラム。この場合も干渉源のオーバーラップは 1MHz です。64 個の赤い点は理想的なコンスタレーションポイントを示しています。青い点は、干渉源によってオフセットが生じていることを示しており、EVM の悪化につながります。

以下の項では、各セットアップについて詳しく説明します。ここでは、地上波 TV とケーブル TV 向けのセットアップがそれぞれどのようなものかを示します。さらに、3.4.2 項に示すように、干渉源となる LTE 信号は必ずしも RF 経由で加える必要はなく、ベースバンド・レベルで希望信号に加えることも可能です。これについても以下で説明します。

3.5.2.1 地上波 TV のテスト・セットアップ：干渉源を RF 信号として設定

干渉信号を RF 信号として加える方法は、もっとも柔軟性が高い方法です。図 14 はテスト・セットアップ例のブロック図です。ここでは SFU が地上波 TV の放送信号を生成し、この信号に対して SMU が生成する LTE 信号による干渉が加わります。この構成では、SMU と SFU のベースバンドコーダを使用することができます。これらのコーダは、希望信号と干渉信号を直接生成するリアルタイム機能を備えています。必要に応じて、信号には AWGN とフェージングを加えることができます。このセットアップのもう 1 つの利点は、干渉信号に関して SMU が提供する高い出力レベル（最大 +19dBm、オーバーレンジ +26dBm）と、6GHz までの周波数範囲を使用できることです。

このセットアップでフェージング・シミュレーションが不要の場合には、SMU の代わりに SMBV を使用することもできます。

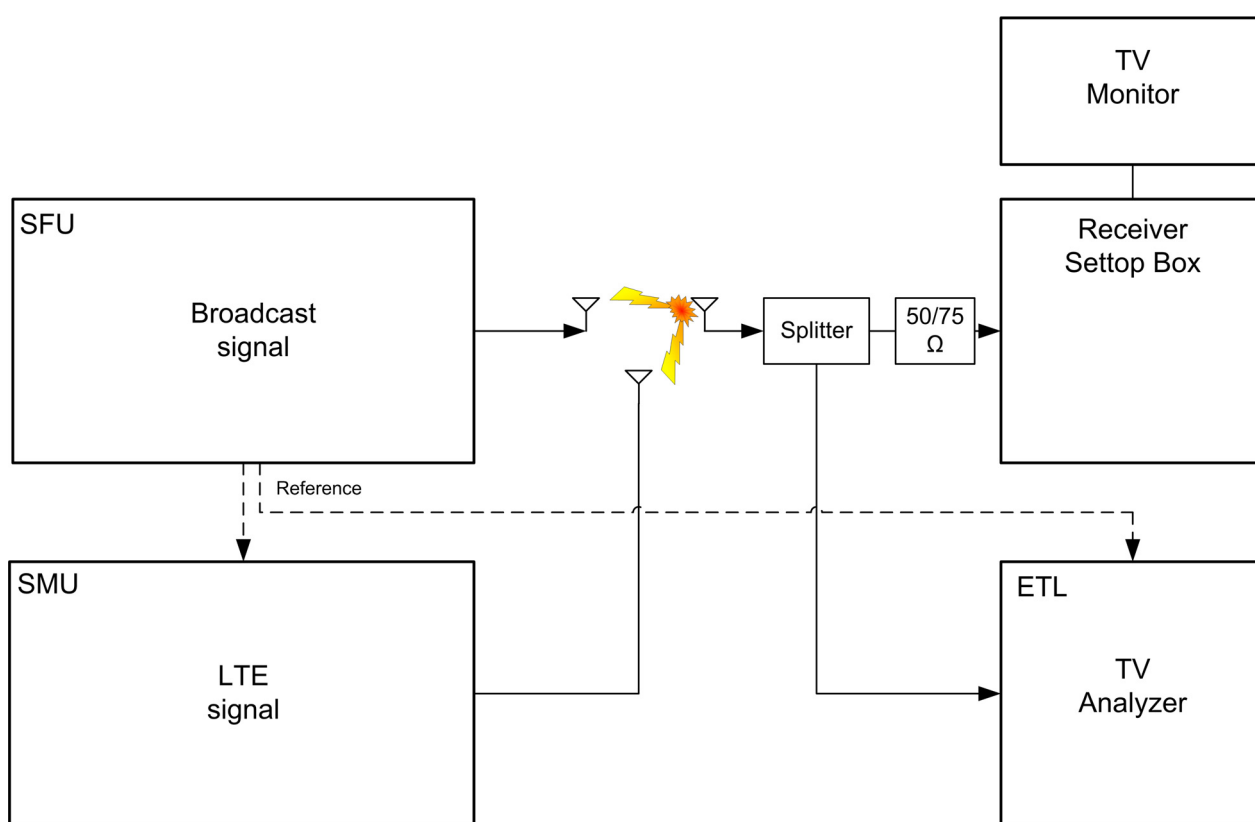


図 14：地上波 TV と RF 干渉源のテスト・セットアップ

3.5.2.2 ケーブル TV のテスト・セットアップ：干渉源を RF 信号として設定

ケーブル TV 規格について評価を行う場合は、図 15 のように RF 干渉源によるテスト・セットアップを使用する必要があります。この場合は、ケーブル TV 経路による接続の干渉耐性をテストします。ここでは SFU が放送信号を生成し、この信号に対して SMU が生成する LTE 信号による干渉が加わります。この構成では、SFU と SMU のリアルタイム機能を持ったベースバンド・ジェネレータを使用することができます。AWGN を追加することも可能です。このセットアップのもう 1 つの利点は、干渉信号に関して SMU が提供する高い出力レベル（最大 +19dBm、オーバーレンジ +26dBm）と、6GHz までの周波数範囲を使用できることです。

このセットアップでフェージング・シミュレーションが不要の場合は、SMU の代わりに SMBV を使用することもできます。

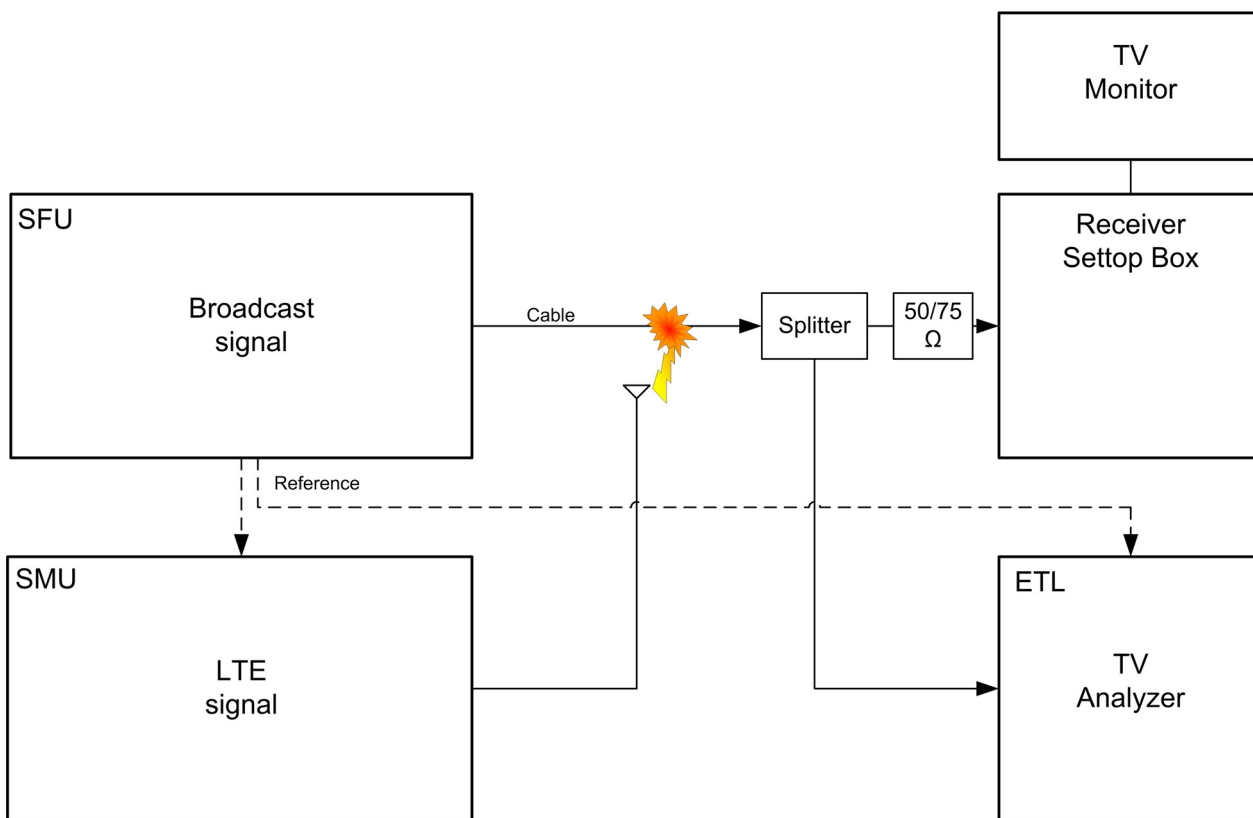


図 15 : ケーブル TV と RF 干渉源のテスト・セットアップ

3.5.2.3 地上波 TV のテスト・セットアップ：干渉源をベースバンド信号として設定（WinIQSIM2 を使用）

干渉信号は、ベースバンドとして加えることもできます。この場合は、希望信号と干渉信号を一台の信号発生器で生成できます。図 16 は、SFU の内部で生成された干渉源を含むブロック図です。ここでは、ベースバンド内の ARB ファイル（LTE 信号）が、干渉信号として使われます。ARB ファイルは、WinIQSIM2 シミュレーション・ソフトウェアなどを使用して生成できます。また、SMU でも ARB ファイルを使用できます。したがって、図 16 のセットアップでは、調査対象となるデジタル規格に応じて、SMU を使用することも可能です。

SFU/SMU の内部 IQ 変調器の帯域幅は 80MHz であるため、このセットアップでは、希望信号と干渉信号の間の周波数オフセットが制限されます。ベースバンド干渉源の場合は、±40MHz の最大周波数オフセットを選択できます。この値は、希望信号と干渉信号のチャンネル帯域幅に応じて、さらに減らすことも可能です。希望信号と干渉信号（一定のオフセットで分けられる）は、ともに 80MHz の全体帯域幅を超えてはなりません。

また、ダイナミックレンジは雑音レベルによって制限されます。信号をベースバンドに加えたときに、希望信号と干渉信号のレベルの差が 50dB を超えないようにする必要があります。

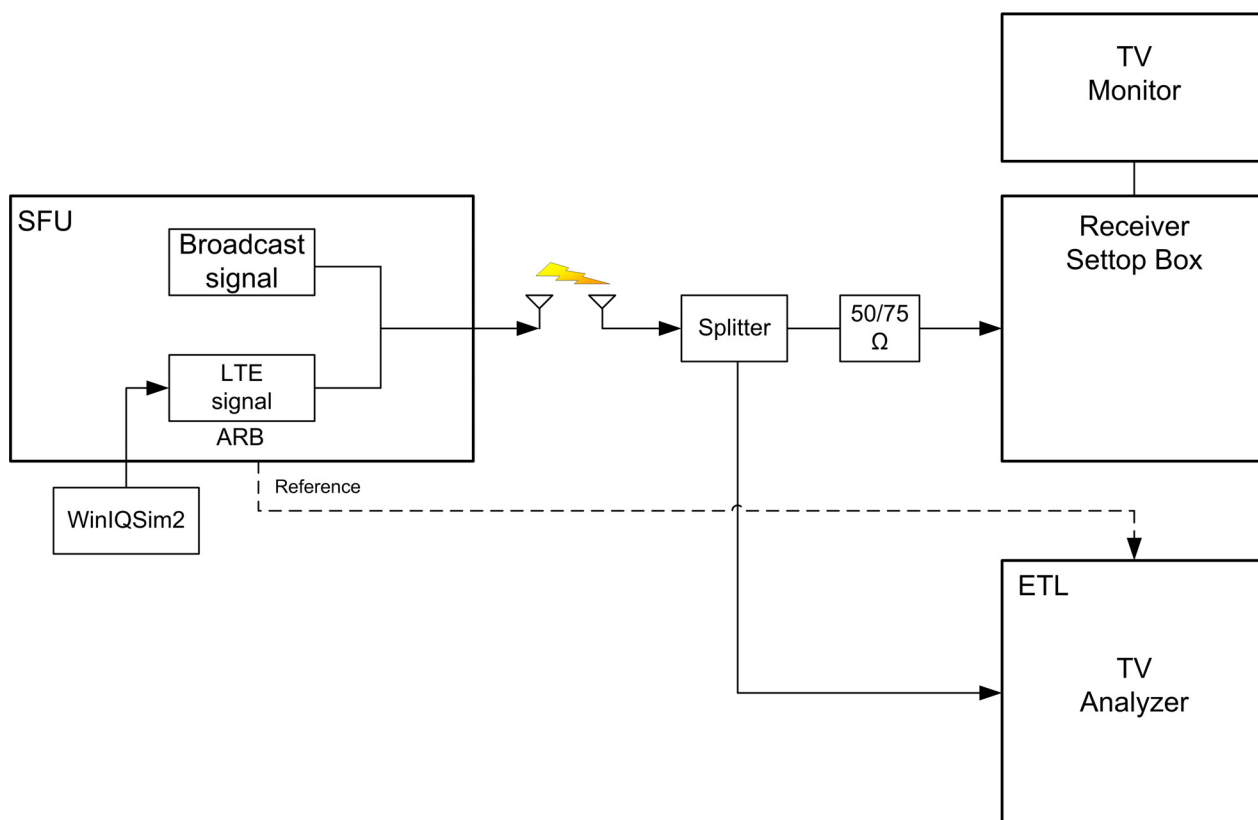


図 16：テスト・セットアップ：ベースバンド干渉源

SFU の場合は、シンプルな内部干渉源設定を使用することができます。

設定の概要を図 17 に示します。ARB ファイルは干渉源の信号として使用でき、そのレベルと周波数は希望信号に対する相対値で設定できます。SFU で可能な設定の詳細については、参考文献 [2] を参照してください。

FREQUENCY 650.000 000 0 MHz		LEVEL 0.00 dBm	STANDARD DVB-T/H	MODE 8K	BANDWIDTH 7.607 MHz	
NOISE OFF	FADING OFF	USER1	USER2	USER3	REF	INT
SELECTION		INTERFERER				
<ul style="list-style-type: none"> FAVORITES FREQUENCY LEVEL MODULATION DIGITAL TV ARB INTERFERER IMPAIRMENTS NOISE FADING 		INTERFERER SOURCE: ARB INTERFERER ADDITION: BEFORE NOISE INTERFERER REFERENCE: ATTENUATION INTERFERER ATTENUATION: 20.00 dB INTERFERER LEVEL: -20.00 dBm INTERFERER FREQUENCY OFFSET: -8.000 000 0 MHz SIGNAL FREQUENCY OFFSET: 4.000 000 0 MHz BACK				
				TX	BER	ARB
				PWMTR		TSGEN

図 17 : SFU での干渉源設定 : 干渉源信号は ARB ファイルで、周波数とレベルは希望信号に対する相対値で設定されます。

3.6 基本パラメータ

この項では、共存問題に関係する範囲で、放送および LTE 規格について SFx および SMx で設定可能なパラメータについて説明します。

3.6.1 TV 放送信号 (SFx による設定)

デジタル TV 規格

SFx は、さまざまな規格についてパラメータを適切に設定した信号生成に使用することができます (図 18)。最新の規格は直交周波数分割多重方式 (OFDM) を使用していますが、表 1 のすべての規格を生成することが可能です。

FREQUENCY		LEVEL	STANDARD	FFT SIZE	BANDWIDTH		
858.000 000 MHz		-32.0 dBm	DVB-T2	32K EXT	8 MHz		
NOISE	FADING	USER1	USER2	USER3		REF	
OFF	OFF					INT	

SELECTION	MODULATION
<ul style="list-style-type: none"> FAVORITES FREQUENCY LEVEL MODULATION <ul style="list-style-type: none"> MODULATION SETTINGS SIGNAL INFO/STAT. DIGITAL TV <ul style="list-style-type: none"> INPUT SIGNAL MODE + STREAM ADAPT. BICM FRAMING + OFDM T2 SYSTEM SETTINGS NOISE <ul style="list-style-type: none"> FADING <ul style="list-style-type: none"> FADING PROFILE SETTINGS 	MODULATION ON SIGNAL SOURCE DIGITAL TV TRANSMISSION STANDARD DVB-T2 SPECTRUM BACK

TX BER ARB TSGEN

図 18 : SFx を使用した設定 : 基本パラメータは一番上の行に表示されています。デジタル TV 規格は変調 (この例では送信規格) を基に選択します。

規格を選択したら、さらにパラメータを調整することが可能です (図 19)。

FREQUENCY		LEVEL	STANDARD	FFT SIZE	BANDWIDTH		
858.000 000 MHz		-32.0 dBm	DVB-T2	32K EXT	8 MHz		
NOISE	FADING	USER1	USER2	USER3		REF	
OFF	OFF					INT	

SELECTION	FRAMING + OFDM
<ul style="list-style-type: none"> FAVORITES FREQUENCY LEVEL MODULATION <ul style="list-style-type: none"> MODULATION SETTINGS SIGNAL INFO/STAT. DIGITAL TV <ul style="list-style-type: none"> INPUT SIGNAL MODE + STREAM ADAPT. BICM FRAMING + OFDM T2 SYSTEM SETTINGS NOISE <ul style="list-style-type: none"> FADING <ul style="list-style-type: none"> FADING PROFILE SETTINGS 	CHANNEL BANDWIDTH 8 MHz USED BANDWIDTH 7.767 857 MHz BANDWIDTH VARIATION 0 ppm FFT SIZE 32K EXT GUARD INTERVAL 1/128 PILOT PATTERN PP 7 T2 FRAMES PER SUPER FRAME (N_T2) 2 OFDM SYMBOLS PER T2 FRAME (L_F) 60 DATA SYMBOLS PER T2 FRAME (L_DATA) 59 SUBSLICES PER T2 FRAME (N_SUB) 1 BACK

TX BER ARB TSGEN

図 19 : その他のパラメータ設定 : 個々のニーズに合わせてデフォルトのパラメータを変更できます。

チャンネル帯域幅

チャンネル帯域幅は、共存測定において最も重要なパラメータの 1 つです。これは、受信機がチャンネル帯域幅内に存在するすべての不要信号を認識するためです。チャンネル帯域幅は規格に応じて異なり、標準的な値は 5MHz/6MHz/7MHz/8MHz/10MHz です（衛星規格ではさらに高い値もあります）。SFx はこれらすべてのチャンネル帯域幅に対応しています。最も一般的に使われているのは 6MHz と 8MHz です。

FFT（高速フーリエ変換）モード

FFT サイズ（または FFT モード）はサブキャリア同士の間隔を決定し、最終的には OFDM のシンボル長を決定します。この値が大きくなるとサブキャリア同士の間隔が狭くなり、シンボル長が長くなります。結果として、無線のセルサイズや実現可能な端末速度に影響を及ぼします。

規格に応じて、FFT モードの離散値は 2k/4k/～32k とすることができます。通常では、2k～8k の値が取られています。

ガードインターバル

ガードインターバルは、シンボル間干渉を防ぐために OFDM システムで使われます。FFT モードが大きいくほど、シンボル長が長くなります。たとえば、ガードインターバルを（シンボル長の）1/128 といった短い値にすれば、データ・スループットを向上させることもできますが、ガードインターバルは、FFT サイズに応じて 1/4～1/32 の値を取るのが一般的です。

変調

使われる変調方式は BPSK、QPSK、16QAM、および 64QAM から 256QAM までですが、最新の規格では、最大 4096QAM という変調方式を、コンスタレーションの回転と組み合わせて使用されます。

コードレート

コードレートは、エラー・エンコードの結果得られる総ビット数と正味ビット数の比を示します。標準的な値は 1/2～5/6 です。

テスト・トランスポート・ストリーム

ライブ信号を生成するために、ローデ・シュワルツは、サポートしているすべての規格のトランスポート・ストリームや HD 品質のトランスポート・ストリームのライブラリを揃えています。

レベルと周波数

レベルと周波数は、SFx を使用して柔軟に設定することができます（SFU：100kHz～3GHz、最大 +19dBm（PEP）、オーバーレンジ +26dBm の高出力オプション）。

3.6.2 LTE 信号 (SMx による設定)

LTE の詳細な説明は参考文献 [1] を参照してください。ここでは、使用される主要なパラメータといくつかのシナリオのみを説明します。関連する SMx の設定についても本文中で紹介します。

アップリンク/ダウンリンク

SMx は、ダウンリンク信号とアップリンク信号の生成に使用できます。ここでは、セットトップ・ボックスの近傍で使われる端末のレベル (UE アップリンク信号、LTE では最大 23dB) が、基地局のレベル (ダウンリンク信号) よりも高いものと仮定します。

FDD/TDD

LTE は、アップリンクとダウンリンクの周波数が異なる場合は周波数分割複信 (FDD) モードを、ダウンリンクとアップリンクの周波数が同じ場合は時分割複信 (TDD) モードをサポートします。SMx は、どちらのモードの信号でも生成できます。

チャンネル帯域幅

チャンネル帯域幅は、1.4MHz~20MHz の離散ステップで設定することができます。SMx はすべての帯域幅に対応しています。10MHz のシナリオは、最初の商用 LTE ネットワークと深い関連性があります。

Cyclic prefix

LTE におけるガードインターバルが Cyclic Prefix で、これは、シンボル間干渉を防ぐために、それぞれの OFDM (または SC-FDMA) シンボルに追加されます。通常の LTE 動作においては、異なるセルサイズに対応するために、2 つの異なる Cyclic Prefix 長 (約 5 μ s) と延長 Cyclic Prefix (約 16 μ s) が定義されます。使用する Cyclic Prefix は、SMx の LTE 設定で設定できます。

フレーム/リソース・ブロック (RB) の割り当て

LTE は、ダウンリンクとアップリンクのリソース割り当て方式に関して高い柔軟性があり、SMx はこれらすべてに対応しています。

LTE の無線フレームの持続時間は 10ms で、これは持続時間 1ms のサブフレーム 10 個で構成されています。サブフレーム内に割り当て可能な最小の単位がリソース・ブロック (RB) です。リソース・ブロックは、周波数領域では 15kHz 間隔の 12 個のサブキャリアで構成されており (180kHz に相当)、時間領域ではサブフレームの半分 (通常の Cyclic Prefix では 7 個の OFDM シンボルに相当) で構成されています。たとえば 10MHz のチャンネル帯域幅では、周波数領域での割り当てに 50 個のリソース・ブロックを使用することができます。

原則として、リソース・ブロックは時間領域と周波数領域のどちらでもダウンリンクに自由に配置できるので、どちらの場合もギャップが生じる可能性があります。アップリンクでは、1 つの端末に割り当てることができるのは固定的なリソース・ブロックですが、スロットからスロットへ、あるいはサブフレームからサブフレームへ周波数ホッピングを行うことが可能です。SMx は、ダウンリンクとアップリンクでこの柔軟な RB 割り当てに対応しています。最終的なフレーム設定は容易に表示できます。図 20 はアップリンクの例です。

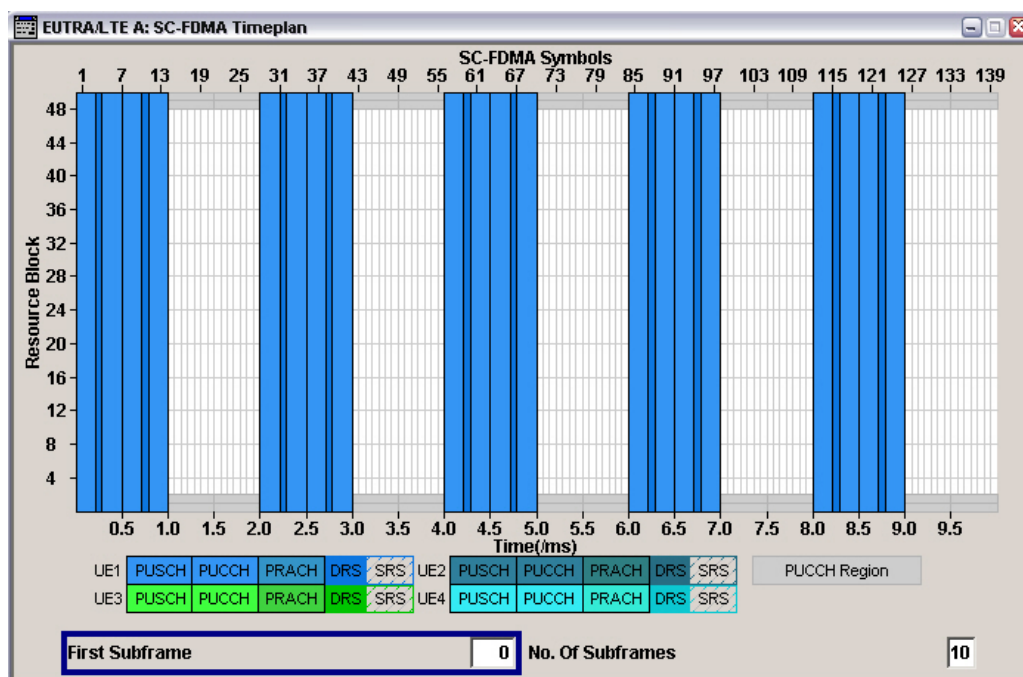


図 20 : SMx における柔軟な RB 配置 (アップリンク) : x 軸には 10 個のサブフレーム、y 軸には許容最大値である 50RB (10MHz チャンネル帯域幅) が表示されています。この例では、2 個のサブフレームごとに全帯域幅が割り当てられています。

フィルタ設定

3GPP LTE 仕様にはフィルタが定義されていないので、SMx ではさまざまなフィルタを設定することができます (図 21 と 図 22) :

- Best EVM (error vector magnitude)
- Best ACP (adjacent channel power)
- Balance EVM/ACP

これは、生成された信号のチャネル内性能とチャネル外性能のトレードオフを実現します。選択したフィルタは、生成されたダウンリンク信号またはアップリンク信号に適用されます。最適なチャネル内性能は "Best EVM" フィルタによって実現され、最適なチャネル外性能は "Best ACP" フィルタによって実現されます。特定のテスト要求を満たすために、たとえば "Best EVM" フィルタのカットオフ周波数シフトなど、選択パラメータを手動で調整することも可能です。

したがって SMx では、個々のニーズにテスト信号を適合させるために、さまざまなフィルタ設定を使用することができます。

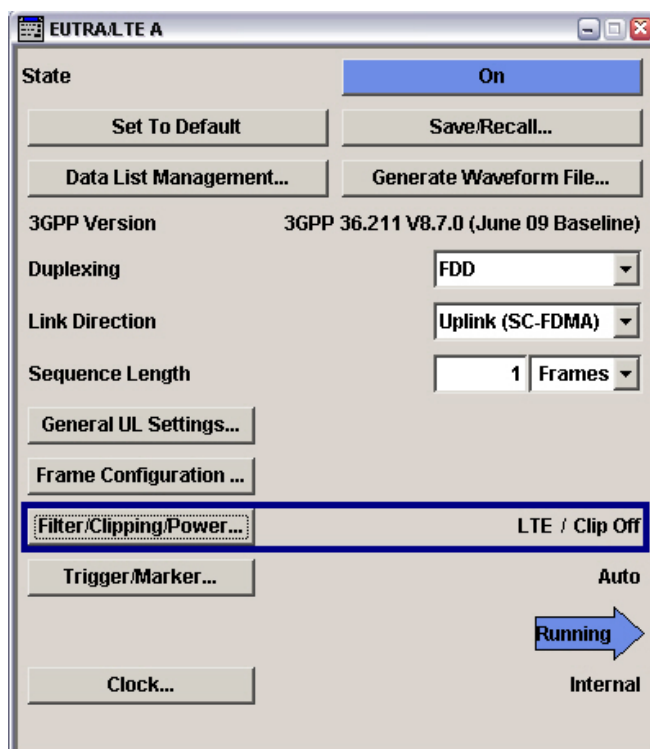


図 21 : SMx の LTE 設定 : フィルタ/クリッピング/電力

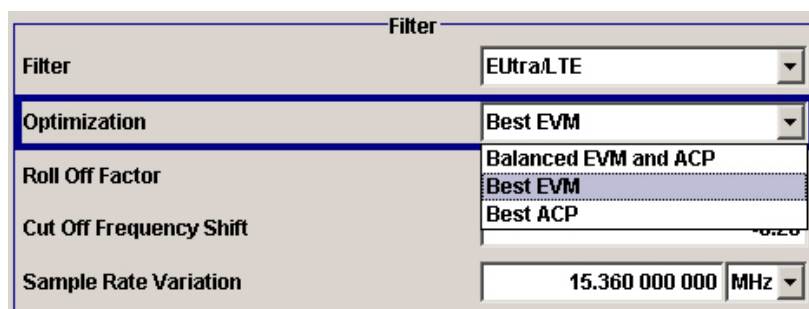


図 22 : SMx のフィルタ設定

レベル設定

アップリンクでは、SMx のレベル設定を比較できるようにすることが重要で、特に、すべてのサブフレームが時間領域内で均等に占有されていない場合は注意が必要です。SMx は、電力設定用の基準レベルを選択できる柔軟性を備えています。「UE Burst RMS Power」設定は、PUSCH に対して設定された電力が実際に占有 RB (図 23) を基準とするようにします。それ以外の場合、PUSCH 電力は合計信号の RMS 値を基準とするので、ピーク電力が高くなります。

Power	
Power Offset Relative to Level	0.000 dB
Level Reference	UE Burst RMS Power
Reference UE	UE1
Reference Subframe	0
Reference Channel	PUSCH w/o DRS

図 23 : SMU のアップリンク電力設定

AWGN

SMx では、AWGN オプション（ソフトウェア・オプション SMx-K62）を使用して LTE 信号にノイズを重畳することができます。これにより、実際のシステム運用時における隣接チャネルの LTE 信号スペクトラムをモデル化することが可能になります。

4 付録

4.1 ダウンロード

WinIQSIM2 は以下のサイトからダウンロードできます。

http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test_and_measurement/signal_generation/WinIQSIM2.html

4.2 参考文献

- [1] Rohde & Schwarz: **UMTS Long Term Evolution (LTE) Technology Introduction**, Application Note 1MA111, September 2008
- [2] Rohde & Schwarz: **Generating Interference Signals Using the R&S® SFU-K37 Option**, Application Note 7BM50, December 2006
- [3] Technical Specification Group Radio Access Network; **User Equipment (UE) radio transmission and reception**, Release 8; 3GPP TS 36.101 V 8.9.0, March 2010
- [4] Technical Specification Group Radio Access Network; **Base Station (BS) radio transmission and reception**, Release 8; 3GPP TS 36.104 V 8.9.0, March 2010
- [5] Rohde & Schwarz: **Broadcast Test System R&S® SFU**, V3.0, January 2008
- [6] Technical Specification Group Radio Access Network; **User Equipment (UE) conformance specification radio transmission and reception Part 1**, Release 8; 3GPP TS 36.521 V 8.5.0, March 2010
- [7] Technical Specification Group Radio Access Network; **Base Station (BS) conformance testing**, Release 8; 3GPP TS 36.141 V 8.6.0, March 2010

4.3 追加情報

このアプリケーションノートに関するご意見やご提案は次のアドレスまでお寄せください。

TM-Applications@rohde-schwarz.com

5 オーダー情報

オーダー情報		
ベクトル・シグナル・ジェネレータ		
SMU200A	ベクトル・シグナル・ジェネレータ	1141.2005.02
SMU-B9	ベースバンド・ジェネレータ (128MSa)	1161.0766.02
SMU-B10	ベースバンド・ジェネレータ (64MSa)	1141.7007.02
SMU-B11	ベースバンド・ジェネレータ (32MSa)	1159.8411.02
SMU-B13	ベースバンド・メイン・モジュール	1141.8003.04
SMU-B10x	第 1 RF パス	
SMU-B20x	第 2 RF パス	
SMU-K62	AWGN	1159.8511.02
SMU-K55	デジタル規格 LTE/EUTRA	1408.7310.02
SMU-K69	LTE Closed-Loop BS Test	1408.8117.02
SMU-K52	デジタル規格 DVB-H/DVB-T	1408.7010.02
SMU-K53	デジタル規格 DAB/T-DMB	1400.6209.02

オーダー情報		
TV 信号発生器		
SFU	マルチスタンダード TV 信号発生器	2110.2500.02
SFE	コンパクト TV 信号発生器	2112.4300.02
SFE100	TV 信号発生器	2112.4100.xx
SFx-K40	AWGN	
SFx-K1	DVB-T/H コーダ	
SFx-K2	DVB-C コーダ	
SFx-K3	DVB-S/DVB-DSNG コーダ	
SFx-K4	ATSC/8VSB コーダ	
SFx-K5	J.83/B コーダ	
SFx-K6	ISDB-T コーダ	
SFx-K10	MediaFLO™ コーダ	
SFx-K11	T-DMB/DAB コーダ	
SFx-K12	DTMB コーダ	
SFx-K15	CMMB コーダ	
SFx-K18	ATSC-M/H コーダ	
SFx-K35	ARB ジェネレータ	

オーダー情報		
TV アナライザ		
ETL	TV アナライザ	2112.0004.13
ETL-B210	単一搬送波用デジタル復調器	2112.0104.02
ETL-B215	DTMB 用デジタル復調器	2112.0156.02
ETL-B216	単一搬送波および DTMB 用デジタル復調器	2112.0162.02
ETL-K210	DVB-C ファームウェア	2112.0404.02
ETL-K213	J.83/B ファームウェア	2112.0504.02
ETL-K220	ATSC/8VSB ファームウェア	2112.0456.02
ETL-K240	DVB-T/H ファームウェア	2112.0556.02
ETL-K250	T-DMB/DAB ファームウェア	2112.0533.02
ETL-K260	ISDB-T ファームウェア	2112.0485.02
ETL-K340	DVB-T 2 ファームウェア	2112.0527.02

注：使用可能オプションの詳細は含まれていません。SMATE および SMBV ベクトル・ジェネレータも可能です（SMATE と SMBV はフェージングをサポートしていません）。

その他の詳細は最寄りのローデ・シュワルツ営業所までお問い合わせください。

ローデ・シュワルツについて

ローデ・シュワルツ・グループ（本社：ドイツ・ミュンヘン）は、エレクトロニクス分野に特化し、電子計測、放送、無線通信の監視・探知および高品質な通信システムなどで世界をリードしています。

75年以上前に創業し、世界70カ国以上で販売と保守・修理を展開している会社です。

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 大阪府吹田市江坂町 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/>

Certified Quality System
ISO 9001
DQS REG. NO 1954 QM

Certified Environmental System
ISO 14001
DQS REG. NO 1954 UM

このアプリケーションノートと付属のプログラムは、ローデ・シュワルツのウェブサイトのダウンロード・エリアに記載されている諸条件に従ってのみ使用することができます。

掲載されている記事・図表などの無断転載を禁止します。

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。

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