

周波数範囲拡張のための 外部ハーモニック・ ミキサの使用 アプリケーションノート

製品

R&S®FSV	R&S®FSU
R&S®FSVR	R&S®FSP
R&S®FSQ	R&S®FSE

このアプリケーションノートでは、ローデ・シュワルツのシグナル／スペクトラム・アナライザと共に用いるハーモニック・ミキサの使用方法について説明します。このアプリケーションノートでは、ローデ・シュワルツの各アナライザに付属している変換損失テーブルの使用を重点的に説明します。また、変換損失テーブルのフォーマットを変換するツールについても説明します。

目次

1	周波数範囲拡張のためのハーモニック・ミキサの使用	3
1.1	ハーモニック・ミキサとスペクトラム・アナライザの操作	4
1.1.1	局部発振器と各種スペクトラム・アナライザ・ファミリの IF 周波数	4
1.1.2	3ポートミキサと2ポートミキサのサポート	5
1.1.3	信号の識別（イメージの抑圧）	5
2	外部ミキサの特性：変換損失	6
2.1	概要	6
2.2	変換損失の定義	6
2.3	ミキサの変換損失の測定方法	7
3	ローデ・シュワルツのアナライザに変換損失テーブルを使用する	8
3.1	ローデ・シュワルツ製のスペクトラム・アナライザに使用するフォーマット	8
3.1.1	ASCII フォーマット	8
3.1.2	バイナリ・フォーマット	8
3.2	外部ミキサの動作に必要なスペクトラム・アナライザのセットアップ	9
3.2.1	R&S FSV	9
3.2.2	R&S FSU	11
3.3	変換損失テーブルのサンプル	13
3.4	変換ツール	14
4	参考文献	15
5	オーダー情報	16

1 周波数範囲拡張のためのハーモニック・ミキサの使用

スペクトラム・アナライザはハーモニック・ミキサを使って、その周波数範囲を拡張します。各ハーモニック・ミキサは仕様化された周波数帯をカバーし、その周波数範囲は DUT との接続に使われる導波管の寸法によって決まります。そのため、一般的な周波数範囲は 40~60 GHz (U バンド)、50~75 GHz (V バンド)、60~90 GHz (E バンド)、75~110 GHz (W バンド) となります。ローデ・シュワルツから入手可能なハーモニック・ミキサのリストは、“オーダー情報”に掲載します。

ハーモニック・ミキサは、DUT とスペクトラム・アナライザの RF フロントエンドとの間の信号経路内に配置します。このミキサはその指定周波数帯域をアナライザの中間周波数 (IF) の 1 つへダウンコンバートし、専用の入力コネクタを介して使用できるようにします。周波数変換を行うためには、ハーモニック・ミキサにいわゆる局部発振器信号 (LO) が必要です。局部発振器信号は、スペクトラム・アナライザより出力信号されます。

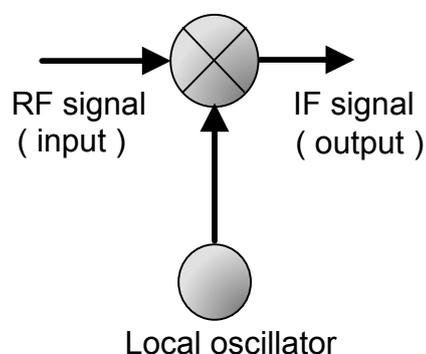


図1 外部ミキサのブロック回路

周波数変換は、以下の式によって表されます。

$$f_{IF} = |f_{RF} - n \cdot f_{LO}|, \quad (1)$$

ここで、n は使われている局部発振器の高調波の次数を示します。

周波数帯域のすべてをカバーするということは、アナライザが LO 信号の掃引を行って、選択した帯域の各周波数において RF を固定された中間周波数へ変換する必要があることを意味します。

IF 信号を直接作り出すことで、ハーモニック・ミキサはスペクトラム・アナライザの内蔵マイクロ波モジュールをバイパスします。これが、外部ミキシングソリューションに可変フィルタがなく、イメージ信号が生じてしまう理由です。イメージ信号から真の信号を区別するために、最新のスペクトラム・アナライザは、測定された曲線を画面上に描く前にイメージ信号を検出して消去するソフトウェア・アルゴリズム (ソフトウェア・プリセクタ) を使います。

ハーモニック・ミキシングの詳細については、参考文献 [1] と [2] のアプリケーションノート 1EF43_0E および 1GP65_0E をご覧ください。

1.1 ハーモニック・ミキサとスペクトラム・アナライザの操作

1.1.1 局部発振器と各種スペクトラム・アナライザ・ファミリの IF 周波数

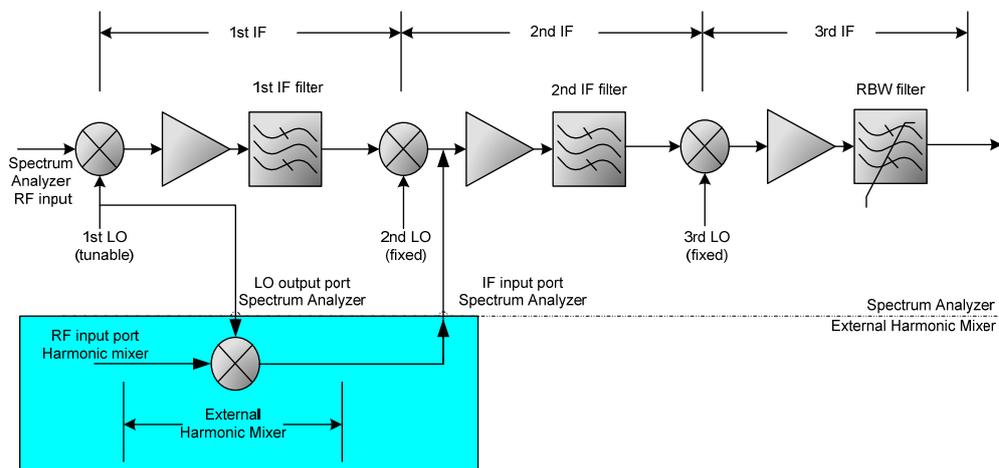


図2 スペクトラム・アナライザのブロック線図 (ハーモニック・ミキサ使用時)

図 2 は、ハーモニック・ミキサと共に使用される最新のスペクトラム・アナライザのブロック線図を示したものです。コンセプトに応じて、IF ステージは様々な周波数に配置されます。そのため、局部発振器のチューニングレンジも異なったものとなります。

R&S スペクトラム・アナライザに対応する局部発振器の周波数範囲は以下となります。

- R&S FSV および R&S FSVR : 7.73~15.23 GHz
- R&S FSU/FSQ ファミリ : 7.00~15.50 GHz
- R&S FSP ファミリ : 7.00~13.20 GHz

局部発振器の基本周波数は低すぎるため、40 GHz 以上の周波数を直接ダウンコンバートすることができません。そのため、変換には LO 周波数の n 次高調波を使用します。ここで、 n は希望の周波数範囲へ達するために必要となる次数を表します。たとえば、R&S FSV は E バンド (60~90 GHz) のダウンコンバートをするために 6 次の高調波を使用します。

LO 周波数範囲によっては、単一の高調波ではマイクロ波帯の周波数範囲の全域をカバーするのに不十分な場合があります。そのため、R&S FSV のような最新のスペクトラム・アナライザでは、マイクロ波帯内のハーモニック・ナンバーを切り替える機能を備えています。

必要となる IF 周波数は、スペクトラム・アナライザの周波数コンセプトによって決まります。R&S スペクトラム・アナライザでは、次のようになります。

- R&S FSV および FSVR : 729.9 MHz
- R&S FSU/FSQ および FSP ファミリ : 404.4 MHz

各種 LO 周波数範囲とこれらの計測器モデルで使用できる各種 IF から、マイクロ波帯のダウンコンバートに使用する LO 高調波の次数は、スペクトラム・アナライザのファミリごとに異なったものとなります。

外部ハーモニック・ミキサを使用するためには、スペクトラム・アナライザの局部発振器（LO）と中間周波数（IF）信号へアクセスする必要があります。そのため、オプションである R&S FSP-B21、R&S FSU-B21、R&S FSV-B21 は、2 つの SMA（オス）コネクタを使って第 1 LO と第 2 IF へアクセスします。

1.1.2 3ポートミキサと2ポートミキサのサポート

図 1 に示すように、ハーモニック・ミキサは基本的に 3 つのポート（RF 入力、LO 入力、IF 出力）を備えています。LO 周波数範囲は、使用する IF 周波数よりはるかに高いので、外部ミキサの中にはこれらの 2 つの信号を 1 つのポートにまとめているものがあります。そのため、これらのミキサは 2 つのポートのみ（RF 入力ポートと LO 入力/IF 出力複合ポート）を備えています。

両タイプのミキサをサポートするために、すべての B21 オプションの LO 出力ポートは LO 出力/IF 入力複合ポートとして使用することができます。これは、すべての B21 オプションが 3 ポートミキサだけではなく 2 ポートミキサにも適していることを意味しています。

1.1.3 信号の識別（イメージの抑圧）

(1)式の絶対値関数は、2 つの RF 周波数（真の周波数とそのイメージ周波数）が常に存在し、共に同じ IF 周波数へ変換されることを示しています。真の信号とそのイメージを区別するために、最新のスペクトラム・アナライザは信号識別と呼ばれるメカニズム（アプリケーションノート 1EF43_0E 参照）を使用します。

信号識別アルゴリズムの原理は単純です。(2)式に従い、IF 周波数の 2 倍離れた 2 つの LO 周波数を使って同じ RF 周波数を特定の IF 周波数へ変換します。

$$f_{RF} = n \cdot f_{LO} \pm f_{IF}, \quad (2)$$

スペクトラム・アナライザが IF 周波数の 2 倍離れた LO 周波数を使って 2 つの掃引を行うと、結果として生じたトレースの中の同じ場所に必要な RF 信号が残り、イメージ信号の周波数がシフトされます。これを使えば、表示されたトレースからイメージ信号を消すことは容易です。さらに詳しい説明は、参考文献 [1] に記載されています。

2 外部ミキサの特性：変換損失

2.1 概要

ミキサの変換損失は、ミキサが信号エネルギーをいかに効率的に入力周波数（RF）から出力周波数（IF）へ変換できるかを示すものです。変換損失は、入力パワーと 1 つの側波帯の出力パワーの比として定義されます。なお、いずれのパワーも特定の LO レベルにおいて dB で測定された値で表されます。ミキサの変換損失は周波数に依存するので、周波数のリストと対応する変換損失を載せた表形式で示されます。変換損失をスペクトラム・アナライザへロードすると、アナライザはハーモニック・ミキサの周波数特性を考慮するため、ミキサから得られる結果のレベルの精度が向上します。

2.2 変換損失の定義

固有変換損失はミキシングの原理から得られ、各側波帯に対して 3dB となります。ダイオードから構成されるパッシブミキサは、入力信号パワーをさらに減衰させます。結果として生じる変換損失は、加えられる LO パワーとともに変わります。ある特定の LO レベルではこの変換損失が最小になるため、ミキサをこの最適パワーレベルで運用されます。

1 章で説明したように IF 信号の周波数（ミキサの出力）と RF 信号の周波数（ミキサの入力）は異なるので、変換損失の定義では両方の周波数が現れます。変換損失は、以下の式で表されます。

$$K(f_{RF}) = -10 \log_{10} \left(\frac{P_{RF}(f_{RF})}{P_{IF}(f_{IF})} \right) \Bigg|_{P_{LO}}, \quad (3)$$

K が変換損失で、入力周波数によって変わります。

この式は中間周波数への依存性も示していますが、局部発振器の特性がわかっていれば、RF 信号から IF 信号を求めることができます。変換損失は、LO 信号の特定パワーレベル（ドライブレベル）で表されます。これは、このパワーレベルによってミキサの動作点が決まることによるものです。

ハーモニック・ミキサの製作時に、ミキサの全周波数範囲に対して変換損失の測定を行います。測定結果から作成したテーブルには、ミキサの周波数応答特性が含まれます。

変換損失テーブルを使わずに済むように、外部ミキサ・オプションを備えたスペクトラム・アナライザは、平均変換損失（全周波数範囲にわたって一定の値を示す変換損失値）も使えるようになっています。平均変換損失値を使用することで、取り扱いが容易になります。ただし、入力する値は 1 つだけになりますが、レベル測定精度の低下というトレードオフを伴います。

2.3 ミキサの変換損失の測定方法

ミキサの特性を示すには、固有の変換損失を測定する必要があります。変換損失の測定では、ミキサの入力側に周波数に対するパワーレベルが既知の正弦波入力信号が必要となります。さらに、この測定では、変換損失テーブルに固有の環境で使用する、パワーレベルで動作する局部発振器が必要となります。これらの必須条件の下で、周波数帯域の全範囲にわたって k 離散ステップを使って RF 信号を調整します。ステップごとにミキサの出力側の IF パワーを測定し、RF 入力パワーへ正規化します。その結果として、たとえば下記のような U バンド (40~60 GHz) に対応する変換損失テーブルが得られます。

RF 周波数	変換損失
40 GHz	17.4 dB
...	...
60 GHz	18.6 dB

3 ローデ・シュワルツのアナライザに変換損失テーブルを使用する

3.1 ローデ・シュワルツ製のスペクトラム・アナライザに使用するフォーマット

3.1.1 ASCII フォーマット

ローデ・シュワルツ製スペクトラム・アナライザ（R&S FSP、FSU、FSV、FSVR）には、外部ミキサ動作モードのために ASCII フォーマットの変換損失テーブルが必要となります。テーブルはテキストエディタを使って読み込むことができ、編集も可能ですが、3.2 に説明されているアナライザ・ファームウェアの編集機能を使うことを強くお勧めします。

3.1.2 バイナリ・フォーマット

変換損失テーブルのバイナリ・フォーマットは、R&S FSE ファミリのスペクトラム・アナライザで使われていました。FSE ファミリのスペクトラム・アナライザの付属品として販売されている外部ミキサは、バイナリ・フォーマットの変換損失テーブルを備えて納入されていました。ASCII フォーマットのテーブルを必要とする新しい R&S スペクトラム・アナライザに対してこれらのテーブルを使用できるようにするため、このアプリケーションノートでは変換ツールについて説明します。3.4 章を参照してください。

3.2 外部ミキサの動作に必要なスペクトラム・アナライザのセットアップ

3.2.1 R&S FSV

FSV-B21 オプションを備えた R&S FSV で構成ダイアログを開くには、以下のボタンを押します。

- FREQ
- External Mixer
- External Mixer Config

これで、構成ダイアログが開きます。

ミキサの設計対象となっている帯域を選択します。表示されている帯域に適合するものがない場合には、“USER” を選択します。

周波数帯域を選択することでも RF のスタート周波数とストップ周波数が決まります。既定の帯域に対しては、これらは当該帯域の限界値となり、ユーザ定義の帯域に対しては、選択した高調波と組み合わせた場合の R&S FSV の LO 範囲を使ってカバーできる最大範囲となります。

RF Overrange チェックボックスで、選択した帯域の周波数限界を超えてミキサを使用することができます。この場合、設定可能な RF 周波数は LO 範囲と選択した高調波によって制限されます。これは、“USER” の帯域の場合も同様です。

さらなる構成に対しては、Harmonic Type を選択します。一般的に、R&S FS-Z60、Z75、Z90、Z110 などのダブル・ダイオードのミキサに対しては偶数高調波のみとなります。Even を選択します。

最終的に、単一の範囲に対して変換損失を設定することができます。帯域をカバーするのに 2 種類の高調波を使用する場合には、使用中の他の高調波の場合と同じ方法で Range 2 を設定します。

LO の 6 次高調波を有する外部ミキサと “table.cvl” という名の変換損失テーブルを使用するには、以下の操作を行います。

- Range 1 にチェックマークを入れます。
- Harmonic Type を Even にセットします。
- Harmonic Number を 6 にセットします。
- Table ボタンを押します。
- ドロップダウンボックスから IMPORT TABLE を選択します。
- “table.cvl” のディレクトリへ進み、ファイルを選択します。
- Select を押します。
- ドロップダウンボックスから “table.cvl” を選択します。

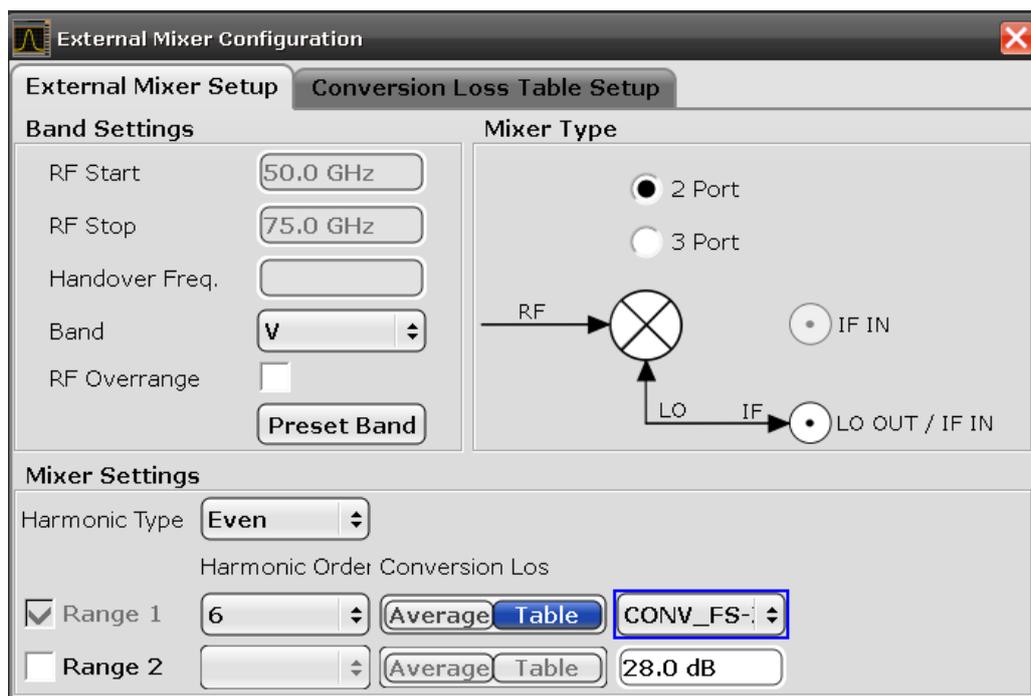


図3 R&S FSV 外部ミキサの構成ダイアログ

あるいは、変換損失テーブルを“Conversion Loss Table Setup”タブへインポートすることもできます。変換損失値がわかっている場合には、インポートの代わりに変換損失テーブルを作成することもできます。

- “Conversion Loss Table Setup”タブへ切り替えます。
- New Table を押します。
- File Name、Band、Harmonic Order、Bias、Mixer Type（2 Port または 3 Port）に必要な入力を行います。任意で、追加データに対して Fields Comment、Mixer Name、Mixer S/N を適用することができます。
- 変換損失値ごとに、以下の操作を行います。
 - Insert Value を押します。
 - Position (frequency) へ入力を行います。
 - Value (conversion loss) へ入力を行います。
- Save を押します。

Save を押すと、作成された変換損失テーブルが Conversion Loss ドロップダウン・ボックスの中で選択項目として使用可能となります。

2.2 章で説明したように、帯域全体に対する平均変換損失を使うことができます。“Table”の代わりに“Average”を選択することと変換損失ファイルの代わりに単一値を指定すること以外、セットアップの方法は上記と同じです。

3.2.2 R&S FSU

FSU-B21 オプションを備えた R&S FSU や R&S FSQ で外部ミキサを動作させるための構成の設定を開くには、以下のボタンを押します。

- FREQ
- EXTERNAL MIXER
- EXT MIXER ON
- SELECT BAND

これで、帯域選択ダイアログが開きます。帯域全体に対する平均変換損失を用いて外部ミキサを使用するには、以下の操作を行います。

- 対応する帯域にチェックマークを入れます。
- 高調波、ポート数、バイアスなどのミキサに固有の値をそれぞれのフィールドで指定します。
- AVG CONV LOSS/dB フィールドの値を修正します。

図 4 に示すように変換損失テーブルを使って外部ミキサのセットアップを構成するには、最初にこのテーブルをインポートしなければなりません。

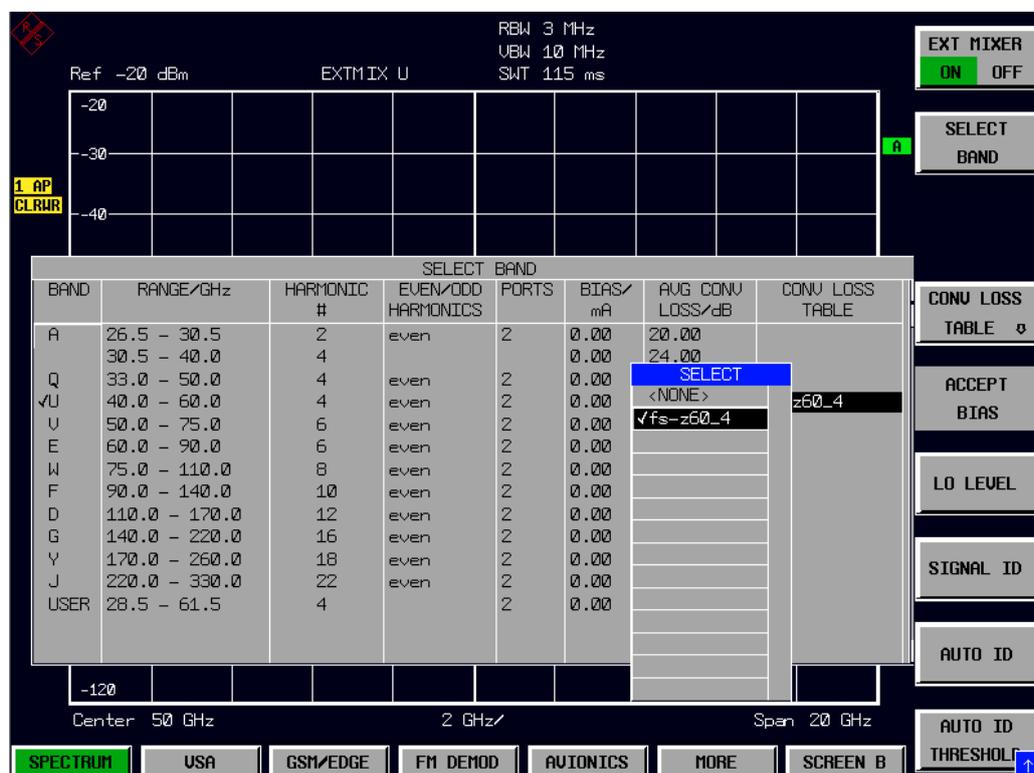


図 4 U バンド外部ミキサおよび対応の変換損失テーブルの選択

テーブルが“acl” ASCII フォーマットで使用可能な場合は、USB メモリなどの記憶媒体から R&S FSU ヘテーブルをインポートすることができます。テーブルのインポートは、以下の操作で行います。

- 外部ミキサ・ソフトキーメニューの中にある CONV LOSS TABLE を押します。
- LOAD TABLE を押します。
- 開いているダイアログでそれぞれのファイルを選択します。
- Open を押します。

これで、テーブルが選択可能となります。あるいは、新しいテーブルを作成することができます。新しいテーブルを作成するには、変換損失テーブルダイアログで以下の操作を行います。

- NEW TABLE を押します。
- 適切な名前を入力します。
- 各々の変換損失値に対して、以下の操作を行います。
 - INSERT LINE を押します。
 - Position (frequency) へ入力を行います。
 - Value (conversion loss) へ入力を行います。
- SAVE を押します。

注意：変換損失テーブルの名前の後には“_4”のように下線と整数値が自動的に付け加えられます。この整数値は使用している LO 信号の高調波の次数を表します。この拡張子が付いていないファイルは、後で選択することができません。また、変換損失テーブルの最初の値として帯域のスタート周波数を、変換損失テーブルの最後の値として帯域のストップ周波数を正確に与えておくことが重要です。これらの基準を満たしていないと、テーブルを選択できません。図 5 に、“_4”の拡張子を持つファイル名と 40 GHz をテーブルの最初の値（帯域のスタート周波数）とした変換損失テーブル編集ダイアログを示します。

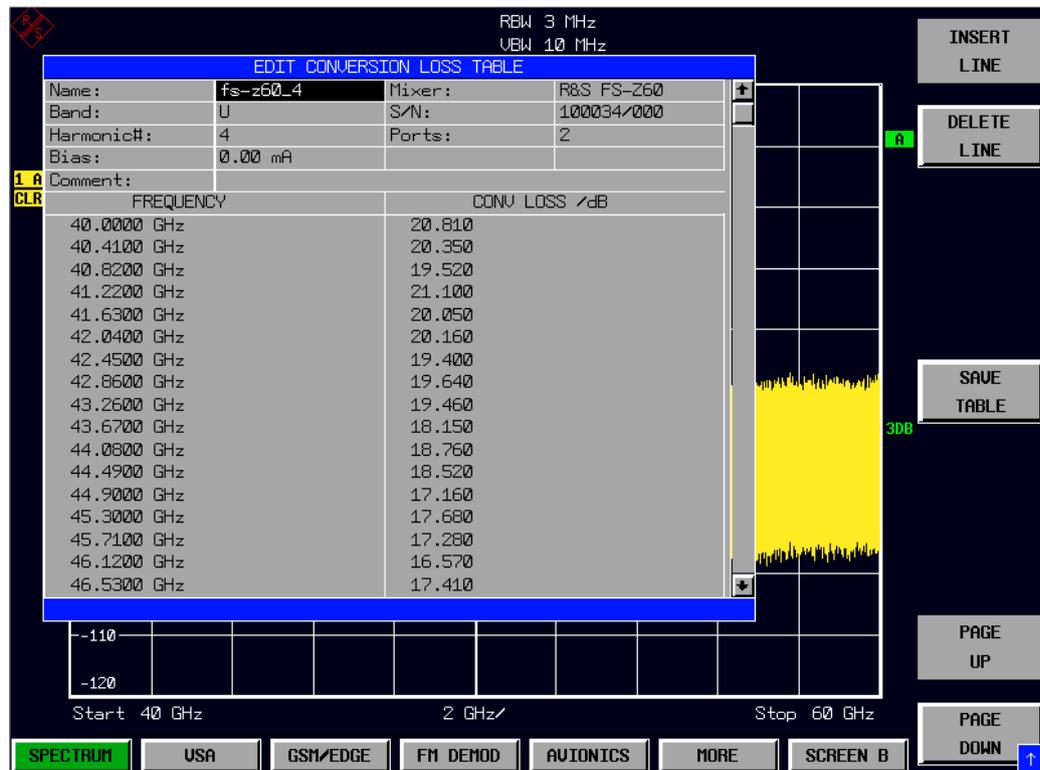


図 5 R&S FSU での変換損失テーブルの編集

これで、帯域選択ダイアログへ戻り、以下の操作で新しく作成またはロードしたテーブルを選択することができます。

- CONV LOSS TABLE フィールドの対応するラインにある Enter を押します。
- 図 4 に示すように、使用可能なテーブルのリストから対応する変換損失テーブルを選択します。

注意：CONV LOSS TABLE フィールド内の Enter を押すと、上述の条件に適合したテーブルが選択対象としてリストアップされます。そのテーブルとは以下のものをいいます。

- ファイル名に高調波の次数を持つテーブル
- 最初の値として帯域のスタート周波数を、そして最後の周波数値として帯域のストップ周波数を持つテーブル

3.3 変換損失テーブルのサンプル

テーブルを手動で編集することはお勧めしませんが、ASCII フォーマットで作られたサンプルの変換損失テーブルを紹介します。以下のテーブルは、Uバンドミキサ用として R&S FSV 上で作成された 6 つのエントリを含んだテーブルです。

```
# Mixer Name
My U band mixer
# Serial Number
123456
# Band
U
# Number of Harmonic
4
# Bias
0.000000
# Ports
2
# Comment

# Date
1.JUN.10
# Calibration data
(40000000000.000000, 18.000000)
(45000000000.000000, 19.000000)
(50000000000.000000, 20.000000)
(55000000000.000000, 21.000000)
(59000000000.000000, 22.000000)
(60000000000.000000, 23.000000)
```

3.4 変換ツール

このアプリケーション・ツールには、R&S FSE ファミリのバイナリ変換損失テーブルから R&S FSP、R&S FSU、R&S FSV ファミリの ASCII 変換損失テーブルへの変換ツールが付属しています。このプログラムはバイナリデータを ASCII データへ変換するだけでなく、特定のミキサおよびスペクトラム・アナライザに対して適切な高調波の次数を計算することもできます。このプログラムは、以下の 2 つのパラメータで呼び出します。

`ConversionTool -TargetFamily FileName`

ここで、*TargetFamily* は `-fsp`、`-fsu`、`-fsv` のいずれか 1 つになります。このパラメータは、対象となるスペクトラム・アナライザを指定します。*FileName* はオリジナルファイルのファイル名です。ファイル拡張子は、バイナリまたはテキストのどちらの形式でファイルを読み出すかをプログラムへ伝えるパラメータです。“`cl`” の拡張子の付いたファイルはリードバイナリで、その他はすべて ASCII ファイルとなります。

4 参考文献

- [1] ローデ・シュワルツ アプリケーションノート 1EF43_0E、Rauscher, Christoph. Frequency Range Extension of Spectrum Analyzers with Harmonic Mixers.
- [2] ローデ・シュワルツ アプリケーションノート 1GP65_0E、Tröster, C., Thümmler, F., and Röder, T. Upconverting Modulated Signals to Microwave with an External Mixer and the R&S SMF100A Microwave Signal Generator

5 オーダー情報

R&S FS-Z60	ハーモニック・ミキサ 40~60 GHz	1089.0799.02
R&S FS-Z75	ハーモニック・ミキサ 50~75 GHz	1089.0847.02
R&S FS-Z90	ハーモニック・ミキサ 60~90 GHz	1089.0899.02
R&S FS-Z110	ハーモニック・ミキサ 75~110 GHz	1089.0947.04
R&S FSV30	シグナル/スペクトラム・アナライザ 9 kHz~30 GHz	1307.9002.30
R&S FSV40	スペクトラム・アナライザ 9 kHz~40 GHz	1307.9002.40
R&S FSV-B21	R&S FSV および FSVR の外部ミキサ用 LO/IF コネクタ	1310.9597.02
R&S FSVR30	リアルタイム・スペクトラム・アナライザ 10 Hz~30 GHz	1311.0006.30
R&S FSU26	スペクトラム・アナライザ 20 Hz~26.5 GHz	1166.1660.26
R&S FSU46	スペクトラム・アナライザ 20 Hz~46 GHz	1166.1660.46
R&S FSU50	スペクトラム・アナライザ 20 Hz~50 GHz	1166.1660.50
R&S FSU67	スペクトラム・アナライザ 20 Hz~67 GHz	1166.1660.67
R&S FSQ26	スペクトラム・アナライザ 20 Hz~26.5 GHz	1166.1660.26
R&S FSQ40	スペクトラム・アナライザ 20 Hz~40 GHz	1166.1660.40
R&S FSU-B21	R&S FSU および FSQ の外部ミキサ用 LO/IF コネクタ	1157.1090.02

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