

SmartSpiceRFによる トランシーバ・ブロックのシミュレーション

はじめに

トランシーバの設計において特に重要なコンポーネントとして、ミキサあるいはバランスド・モジュレータ、検波器などがあります。これらのコンポーネントは、2つの周波数を合わせて第3の周波数を生成するように動作し、各回路は、高ダイナミック・レンジ、低ノイズ・フィギュア、最小限の歪み、および各ポート間の良好な抑制(分離)の実現を目指して設計されます。このようにさまざまな回路構成を持つ能動回路や受動回路に対して、正確なシミュレーション結果を得るには、高精度な非線形デバイス・モデルが不可欠です。

本アプリケーション・ノートでは、標準的な通信回路のコンポーネントで特に重要な特性を、SmartSpiceRFを使用してシミュレート、測定する方法を紹介します。

アクティブ・ダブルバランスド・ミキサのシミュレーション

以下に述べるシミュレーションは、図1に示すアクティブ・ダブルバランスド・ミキサに適用されます。このアクティブ・ダブルバランスド・ミキサの基本的な特性は、図2に示すテストベンチに基づいて考えるものとします。

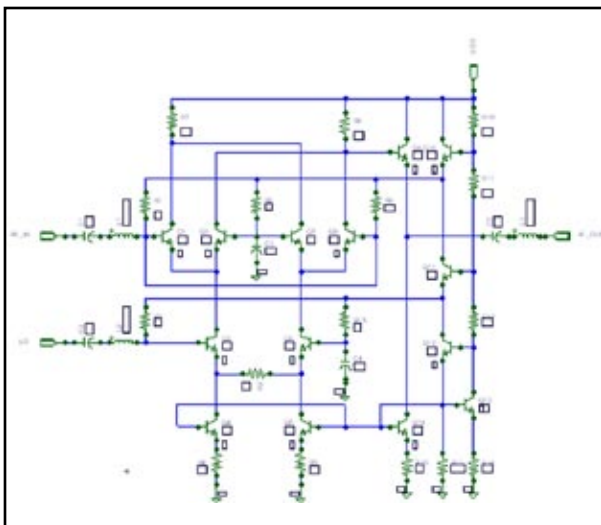


図1. ダブルバランスド・ミキサの回路図

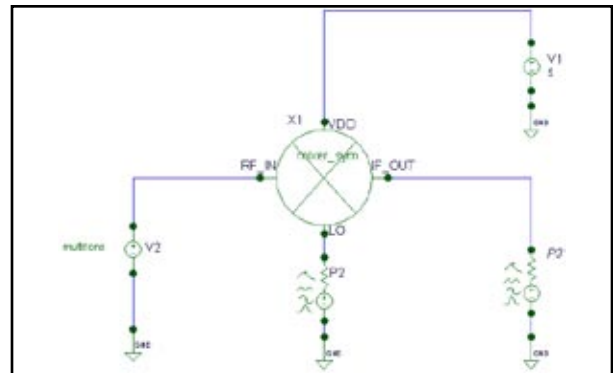


図2. ダブルバランスド・ミキサのシミュレーション設定

変換利得

電圧変換利得は、IF信号およびRF信号におけるRMS電圧の比です。電圧変換利得の測定を行うには、以下のように記述します。

```
.HTF v(out,gnd)
+ LIN 21 50Meg 500Meg
+ FUND=1750meGHz nharm=10
+ SB= (-1,1)
.let HTF Conversion_Gain=' db(tfh1_V2)'
```

以上のシミュレーション結果を、図3に示します。

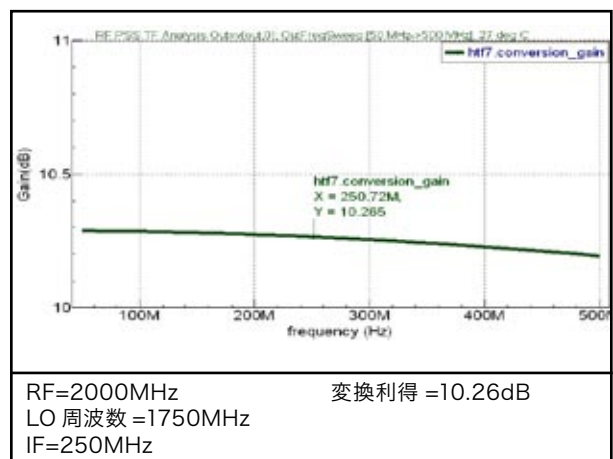


図3. 変換利得のプロット

変換利得 VS LOパワー

本シミュレーションは、ミキサの変換利得のLOパワーへの依存度を示します。この測定を行うには、以下のように記述します。

```
.HTF v(out,gnd)
+ LIN 1 250Meg 250Meg
+ FUND=1750meGHz nharm=10
+ SB=(-1,1)
+ sweep lo -30dBm 5dBm 1dBm
.let HTF Conversion_Gain='db(tfh1_V2)'
.measure htf Con_Gain find Conversion_Gain at='abs(fc)'
```

以上のシミュレーション結果を、図4に示します。

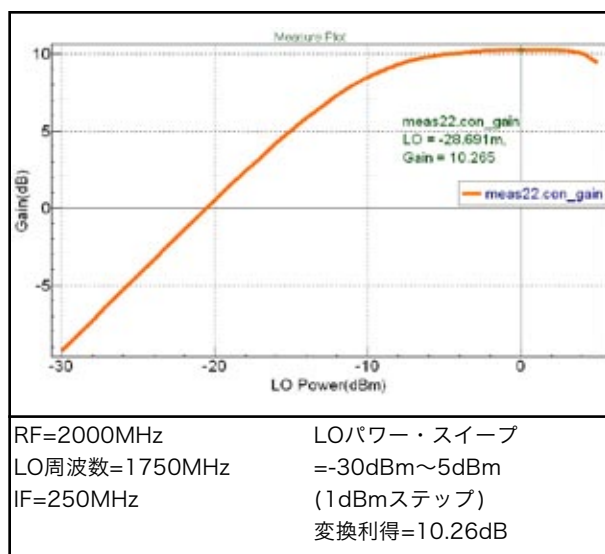


図4. 変換利得 VS LO パワーのプロット

1db圧縮ポイント

RF入力信号のレベルを上げていくと、線形領域ではその分増加していきませんが、非線形領域に至るとミキサの出力が1dbだけ低下する点が現れます。1db圧縮ポイントは、その低下した点を表します。

この測定を行うには、以下のように記述します。

```
.param f1=250meghz
.SPECTRAL
+ FUND1=1750MegHz nharm1=5
+ FUND2=2000Meghz nharm2=5
+ ORDER=4 waves
+ SWEEP prf -30dBm -5dBm 1dBm
.let spect_sp pout=r(@P3[pout])
.MEASURE SPECT_SP dBm find pout at='abs(f1)'
.MEASURE MEAS r_1dbCompression COMPR1DB
dBm EP=-28
```

以上のシミュレーション結果を、図5に示します。

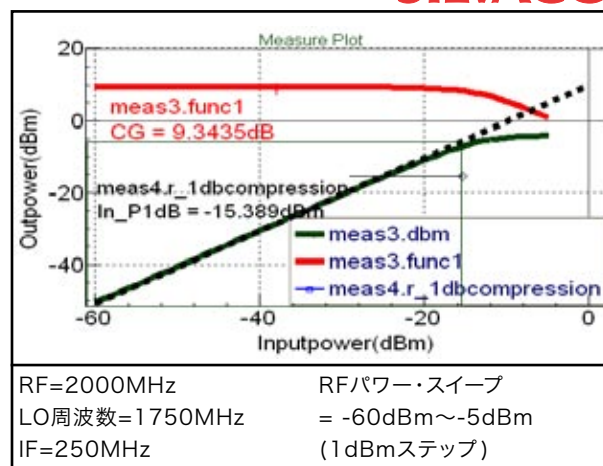


図5. 1db 圧縮ポイントのプロット

3次インターセプト・ポイント

3次インターセプト・ポイント(IP3)とは、入力信号に対する第3次の歪み成分の曲線との理論上の交点であり、その大きさは絶対値で表します。IP3の値が大きいと、ミキサのダイナミック・レンジは高くなります。この測定を行うには、以下のように記述します。

```
.param f1=250meghz f3=254meghz
.SPECTRAL
+ FUND1=1750MegHz nharm1=5
+ FUND2=2000Meghz nharm2=5
+ FUND3=2002Meghz nharm3=5
+ ORDER=4
+ Solver=matrix_free_gmres
+ SWEEP prf -30dBm 0dBm 2dBm
.let spect_sp pout=r(@P3[pout])
.MEASURE SPECT_SP POUT_1 find pout at=' abs(f1)'
.MEASURE SPECT_SP POUT_3 find pout at=' abs(f3)'
.MEASURE MEAS IP3 IP3 POUT_1 POUT_3 EP=-11 gain=7
```

以上のシミュレーション結果を、図6に示します。

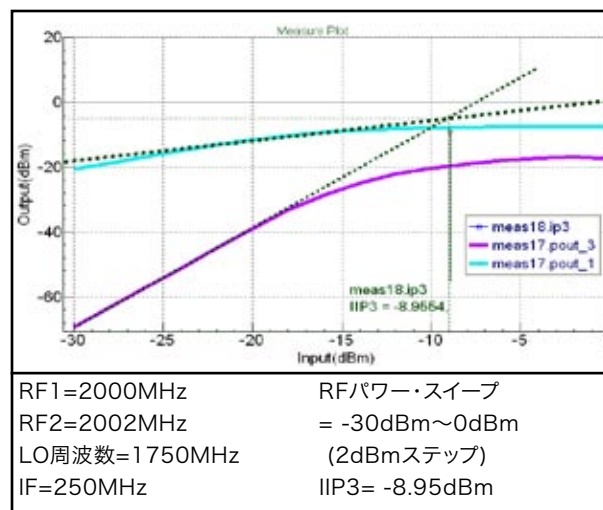


図6. 3次インターセプト・ポイントのプロット

相互変調歪み

信号の通過帯域内において、帯域内信号と急な強い信号との変調により、不要な信号が発生することがあります。相互変調歪み (IMD) は、その発生した信号との相対的な値を表します。

IMD成分の測定を行うには、以下のように記述します。

```
.param f1=250meghz f3=254meghz
.SPECTRAL
+ FUND1=1750MegHz nharm1=5
+ FUND2=2000Meghz nharm2=5
+ FUND3=2002Meghz nharm3=5
+ ORDER=4
+ Solver=matrix_free_gmres
.LET SPECT_SP
+Pout_dBm
=' (30.0+10.0*log10(0.5*mag(v(out))*mag(v(out))/100))'
```

以上のシミュレーション結果を、図7に示します。

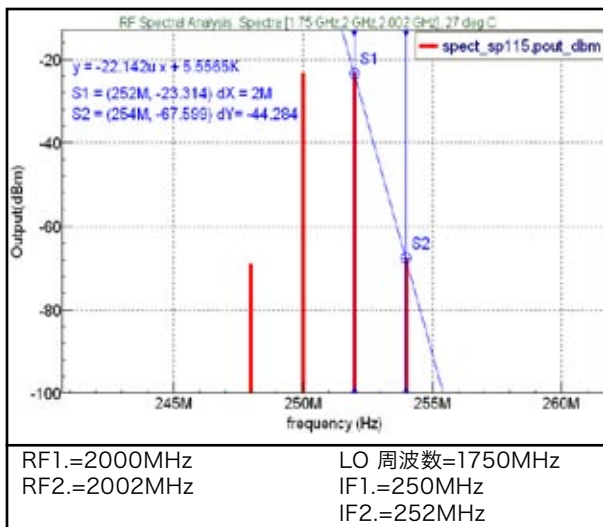


図7. 相互変調歪みのプロット

ポート間信号分離

ポート間信号分離は、ミキサのミクシング動作によってRFまたはIFポートにLOエネルギーが生じるとき、LO成分に対するRFまたはIFポートでの相対的な値を表します。この相対値が小さいと、各信号成分との混変調により新たに不要な周波数が生成されます。また、ポート間信号分離は、ミキサの構造にも依存します。

この測定を行うには、以下のように記述します。

```
.param prf=-30_dBm lo=0_dBm
.param f1=250meghz f3=254meghz
.SPECTRAL
+ FUND1=1750MegHz nharm1=5
+ FUND2=2000Meghz nharm2=5
+ ORDER=4
```

```
+ Solver=matrix_free_gmres
+ annotate=3
.LET SPECT_SP
+Pout_dBm
=' (30.0+10.0*log10(0.5*mag(v(out))*mag(v(out))/100))'
```

以上のシミュレーション結果を、図8に示します。

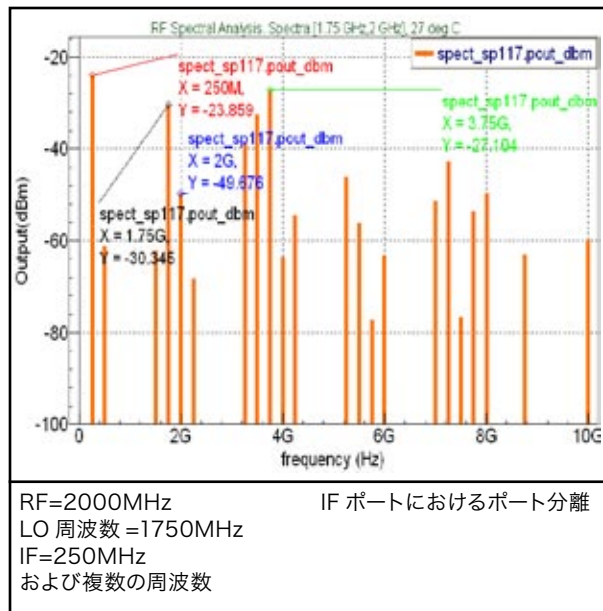


図8. ポート間分離のプロット

IFロー・パス・フィルタをともなう過渡解析

IFロー・パス・フィルタを持つミキサのブロック図を、図9に示します。

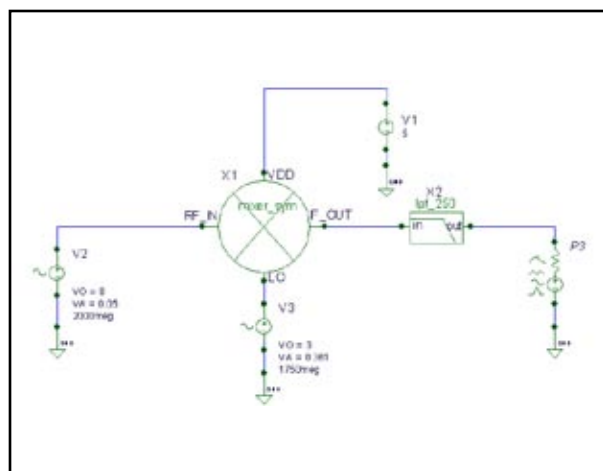


図9. ロー・パス・フィルタを持つミキサのシミュレーション設定

変換利得の測定を行うには、以下のように記述します。

```
.LET con_gain = db(rms(tran2.v(out))/rms(tran2.v(rf)))
```

以上のシミュレーション結果を、図 10 と図 11 に示します。

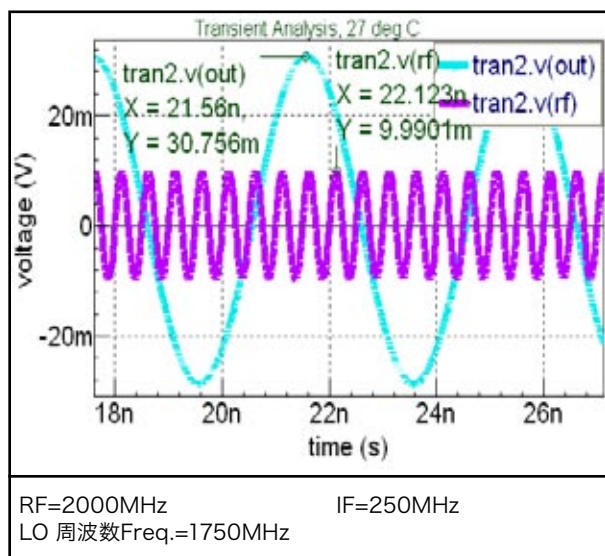


図 10. 入力 - 出力波形のプロット

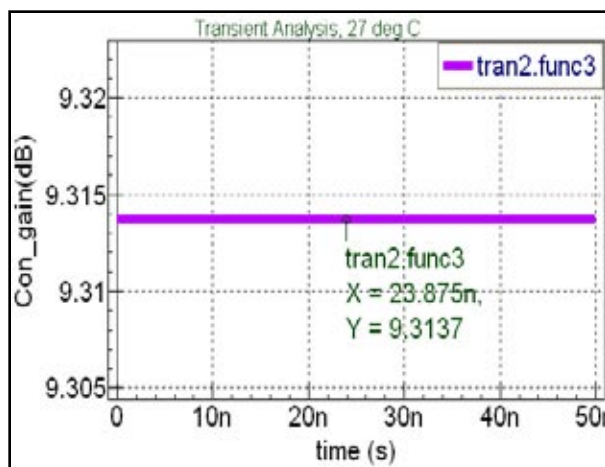


図 11. 変換利得の時間領域プロット

まとめ

本稿では、トランシーバの設計において重要なコンポーネントを、SmartSpiceRFによってシミュレーション、測定するための基本的な設定を紹介しました。