

## Spectre RF Option

Golden reference for phase noise, foundry certified

Cadence® Spectre® RF オプションは、オシレータの位相ノイズ解析の「ゴールデン・リファレンス」です。Spectre RF Option は、RF や mmWave 回路の周期定常状態解析 (PSS) を実行するときは周波数ドメインで動作する Harmonic Balance 法を使用し、アナログ回路の周期定常状態を解析するときは時間ドメインで動作する Shooting Newton 法を使用することができます。変調信号のシミュレーションではトランジエント解析とこれらの解析を組み合わせた Envelope Following 解析の実行が可能です。

### Overview

Spectre RF Option は、ハイパフォーマンス RF 回路のシミュレーションに対応するために開発され、優れた精度とパフォーマンスを提供します。しかし、設計者の要求はさらに高くなります。Spectre RF Option の精度とパフォーマンスは、Spectre Accelerated Parallel Simulator (Spectre APS) のテクノロジーを組み込み、今日の RFIC 設計に対応するように拡張されています。

Spectre RF Option には PSS (周期定常状態) を解析する二つの解析エンジンが備わっています。Harmonic Balance 解析は、周波数ドメインから PSS を計算し、Shooting Newton 解析は、タイムドメインから PSS を計算します。これら二つの解析エンジンは互いに補完し合っています。以下は、それぞれの解析がどのような設計に適しているかを示しています。

**Harmonic Balance 解析** は、以下のような高周波システムの回路の解析に有効です。

- Low-noise amplifiers (LNA)
- Mixers
- Voltage-controlled oscillators (VCO)
- Power amplifiers (PA)
- rfTline や mtline の伝送線路コンポーネントを含む回路
- シミュレーションされたまたは測定された S-パラメータでモデル化されたコンポーネントを含む回路

**Shooting Newton 解析** は、以下のような項目をもった回路の解析に有効です。

- 時間変化の速い波形
- 離散時間サンプリング・ミキサー
- ダイナミック・コンパレータ
- リング・オシレータ

回路のシングルトーン、もしくは、マルチトーンの PSS 大信号応答から、インターセプト・ポイント (IIP3) や抑圧ポイント (P1dB) などの歪に関する重要なパラメータを測定することができます。さらに、外部駆動回路 (LAN など) や自励回路 (オシレータ) の両方の PSS を計算することができます。Spectre RF Option は、PSS の動作点から種々の小信号解析を計算することができます。例えば、周期 AC 解析、周期ノイズ解析、周期伝達関数解析、周期 S-パラメータ解析、周期安定性解析です。これらの解析は、通常の小信号解析と同じ方法で、利得やノイズの計算、電源過渡現象からの感度等の計算に使用することができます。しかし、周期的動作点を使用されることから、周波数変換の効果も解析に含まれます。

RF 信号をベースバンド周波数に変換するミキサーを考えてみます。ミキサーは、高周波ノイズ、RF 周波数のノイズ、およびローカル・オシレータの周波数のノイズも、ベースバンド周波数のノイズに変換します。この影響は、従来の小信号解析では無視されますが、周期ノイズ解析を用いれば、適切に考慮されます。

Spectre RF Option には Envelope Following 解析も含まれています。Envelope Following は、PSS 解析とトランジエント解析を統合し、変調信号をもった回路のトランジスタレベルのシミュレーションを可能にします。Fast Envelope Following 解析と呼ばれる高速な Envelope Following 解析が開発され、Spectre RF の Wireless Testbench と統合されています。これにより、Bluetooth Low Energy などワイヤレス規格に回路が準拠していることの検証が可能です。

### Spectre RF Analyses

Spectre RF Option は、ブロックレベルの特性検証からフルチップの検証まで、RF シミュレーションの課題に対する包括的なソリューションを提供します。サポートされている解析は以下のとおりです。

| 解析                | 周波数ドメイン            | 時間ドメイン |
|-------------------|--------------------|--------|
| Operating Point   | hb                 | pss    |
| ac                | hbas               | pac    |
| noise             | hbnoise            | pnoise |
| xf                | hbxf               | pxf    |
| stability         | hbstb              | pstb   |
| S-parameters      | hbsp               | psp    |
| Modulated Signals | Envelope Following |        |

## Simulating Oscillators

オシレータは自励回路です。ツールは周期とPSS応答を同時に見つける必要があるため、困難なシミュレーションです。さらに、オシレータは、直交信号を生成するための出力の分周期や、安定した電源電圧を生成するための LDO や Voltage Reference などの補助回路と一緒に解析する必要があります。Spectre RF Option は、PSS 計算にそれらを含めることができるパフォーマンスとキャパシティを有しています。オシレータ・ノイズ解析はオシレータの位相ノイズ全体へのそれらの影響を考慮するように改善されています。

## Simulating Modulated Signals

実際のシステムでは、レシーバとトランスミッタは正弦波ではなく変調信号を処理します。そのため、設計者は、それらのデザインのダイナミック・レンジで変調信号の影響を解析する必要があります。Spectre RF Option の Envelope Following 解析は、それらのデザインで動作する振幅変調、周波数変調、位相変調の信号の影響をシミュレーションすることが可能です。Envelope Following 解析は、多くの一般的なワイヤレス規格にデザインが準拠することを検証するために Wireless Testbench と合わせて使用されます。

## Easier to Use

RF 解析を使用するときの一つの課題は、解析の設定方法について知ることです。シミュレーションが流れるまで、安定させるための過渡応答の方法や Harmonic Balance 解析から精度の良い結果を得るために必要な高調波の数を知ることは簡単ではありません。

Spectre RF Option はシミュレーションを自動化する機能が備わっています。ユーザーが Spectre RF Option の自動化オプションを設定すると、Spectre RF Option がシミュレーションをモニターして解析を設定します。

## RF Testbench Components

Spectre RF Option は、バイアス素子や DC ブロックなどの簡単なテストベンチ用の素子から、RF 設計用の特別なコンポーネント群を備えています。rfTline は、オンチップのインターコネクタのコンポーネントの影響をモデリングするマイクロストリップ・ラインやバンドなどの分布定数コンポーネントのライブラリです。

## Simulating with S-Parameters

Spectre nport を使用して、測定データからの S-パラメータデータをシミュレーションに取り込むことが可能です。S-パラ

メータを使用すると、データの受動性 (passivity) や因果律 (causality) の問題に起因して、収束の問題が生じる可能性があります。Cadence の Broadband SPICE®テクノロジーが Spectre RF Option に組み込まれています。Broadband SPICE は、収束の問題を排除し、より大きな nport、つまり、多数のポートを持った S-パラメータのシミュレーションを可能にします。Broadband SPICE は、Harmonic Balance と Shooting Newton エンジンの両方との互換性があります。Spectre RF Option の nport は、コンポリューション・ベースの S-パラメータ・シミュレーションに対応しています。

## ADE Integration

Spectre RF Option は、Virtuoso® Analog Design Environment (ADE) と密接に統合されているため、ユーザーは、設計に集中でき、シミュレーションや結果のデバッグに時間を追加することがありません。Virtuoso ADE は Spectre RF Option に直接アクセスすることで、シミュレーションのオーバーヘッドを排除し、シミュレーションの実行を短縮します。

## ノイズと歪の解析サマリー

シミュレーションの実行後、Virtuoso ADE は周期ノイズ解析や周期 AC 歪解析の結果のサマリーを生成します。これらのサマリーから、回路性能の問題の根本原因を特定し、それらの問題を修正することができます。フラット・モードを使用すると、結果はデバイスごとに表示されます。階層モードでは、ボトルネックの部分を簡単に視覚化するために、ブロックで表示されます。

## ダイレクト・プロット

設計者が直面する大きな課題の一つは、シミュレーション結果を理解することです。波形データを見ているだけでは、回路動作について、ほとんど分かりません。Virtuoso ADE には Direct Plot 解析機能が備わっています。設計者は所望の特性を簡単に測定することができ、設計に集中することができます。その測定結果は、Virtuoso ADE に保存されます。したがって、一度だけ実行すればよく、その後は、シミュレーションが完了すると自動的に結果が表示されます。

## 再利用可能なテストベンチ

設計者が直面する課題の一つは、テストベンチの設定とデバッグです。Virtuoso ADE では、再利用可能なテストベンチを作ることが可能です。Virtuoso ADE はデザイン変数 (例えば fin などの変数の使用) をサポートしています。デザイン変数をコンポーネントのパラメータとして使用し、パラメータの値をスweepすることができます。この機能はデザイン空間を探索するためには重要な機能です。IC61 では、デザイン変数は、コンポーネントの値や、解析、出力として使用できます。例えば、LNA を測定するテストベンチを作成し、それを三つの異なる LNA デザインのシミュレーションに使うことができます。900MHz の ISM バンド設計、2.4GHz の ISM バンド設計、5GHz の ISM バンド設計と、fin のデザイン変数を変更することで対応します。この結果、生産性を上げることができます。シミュレーションやデバッグの時間を減らし、設計により時間をかけることができます。

## Real Time Tuning 機能

IC617 の Virtuoso ADE Explorer から、real-time tuning 機能が追加されました。この機能により、手動で回路図の値を調節して回路性能を最適にすることができます。

real-time tuning 機能は、小規模な線形回路、例えば、インプット・マッチング・ネットワークやインピーダンス・トランスフォーマーなどの性能のチューニングに使用できます。

## Advanced Analyses

Spectre RF Option には、設計者の生産性を向上し高機能な RFIC デザインの複雑なシミュレーションの課題に対処するための特別な解析機能が備わっています。

### 歪解析の Perturbation 解析

Perturbation (摂動) 解析は、歪解析を行う AC 小信号解析の拡張機能です。Perturbation 解析は線形回路 (LNA など) の DC 動作点の計算、または、非線形回路 (ミキサなど) の周期動作点の計算の後に、実行できます。Perturbation 解析は回路の抑圧歪や相互変調歪を計算できます。

Perturbation 解析は、Virtuoso ADE サマリー・テーブルに対応しています。設計者は歪の原因となるコンポーネントを特定することができます。また、Perturbation 解析はトリプルビート解析をサポートし、混変調 (cross-modulation) 歪を効果的に解析することができます。

### Multi-Divider Harmonic Balance 解析

今日のモバイル機器向けの高機能な RFIC は複数のレシーバ搭載されているため、LO のリークに起因した問題が生じる可能性があります。複数の LO 信号を持った回路のシミュレーションの課題に加えて、これらのシミュレーションはポストレイアウトの寄生情報によるリークの影響を考慮する必要があります。さらに困難な状況となります。

伝統的に、シミュレータは複数周波数で動作する分周期を持ったデザインを扱うことができません。Spectre RF Option の Harmonic Balance 解析は、複数の周波数で動作する分周期のシミュレーションに対応するように改善されています。

### Large-Signal S-Parameter 解析

パワー・アンプ・デザインの課題の一つは、小信号解析からデザイン・マッチング・ネットワークまで S-パラメータを使用することです。パワー・アンプの場合、信号レベルが回路のバイアス・ポイントに影響を与えるため、小信号 S-パラメータは適切ではありません。Spectre RF Option の Harmonic Balance 解析を使用して、デザインの大きな信号 S-パラメータを測定するために解析を簡単に設定することができます。

### Voltage-Controlled Oscillator Tuning Mode

一般に、VCO は入力電圧を指定することでユーザーが指定した周波数の特性が測定されます。入力電圧のレベルは各シミュレーションで調整する必要があるため、モンテカルロ解析やコーナー解析など回路のばらつきの影響を測定する場合は、このアプローチを使うことができません。Spectre RF Option の Voltage-Controlled Oscillator Tuning モードは、VCO

の特性の測定を周波数を指定して実行が可能です。この場合、チューニング・モードは、目標の周波数で VCO が発振するように入力電圧を調節します。これにより、デザインのプロセスばらつきの影響の測定を簡単にします。

### nDB Compression Point 解析

Spectre RF Option の Harmonic Balance 解析は、抑圧点の解析の実行速度が速くなるように改善されています。入力電力レベルの固定ステップを使用する代わりに、Spectre RF Option は nDB 抑圧点解析を使用して抑圧点を探索します。結果として、抑圧点のシミュレーションの実行時間は、固定された入力電力ステップ・サイズを使ったシミュレーションと比較して、大幅に短縮されます。

### ジッター解析

多くの通信システムの設計では、回路のジッターを知ることに興味があります。Spectre RF Option の pnoise 解析と hnoise 解析は、発振器のノイズ解析の結果からジッターを計算する機能が備わっています。

### Semi-Autonomous Harmonic Balance 解析

以前から、外部駆動回路 (LNA など) や自励回路 (オシレーターなど) の応答を解析することは可能です。さらに、自励動作と外部駆動の入力の両方を持ったシステムを解析したい場合があります。Spectre RF Option Harmonic Balance 解析は Semi-Autonomous (準自励) Harmonic Balance 解析の機能が備わっています。Semi-Autonomous Harmonic Balance 解析は、オシレータと外部駆動の入力を持った回路のシミュレーションが可能です。

### Wireless Testbench

従来、RF 設計者はブロック・レベルの設計に集中し、システムのインテグレーションおよび検証は、システム設計者に任せられました。しかし、集積度が上がるにつれ、現在、RF 設計者は統合されたトランシーバを設計しています。結果として、RF 設計者はデザインがワイヤレス規格に準拠していること確認する責任があります。この検証は、特に、正確な結果を得るためにシミュレーションを適切に設定する方法など、多くの課題があります。その一つのソリューションは、Spectre RF Option の Wireless Testbench を適用することです。Wireless Testbench を使用することで、回路図に信号源と信号プローブを追加して、実行したい測定を定義することができます。そこから、Spectre RF Option は測定するためにシミュレーションを自動的に設定します。

Virtuoso 波形ブラウザは ACPR にスペクトル・マスクを与えるように改善されています。Wireless Testbench を使用することで、RF 設計者がシステム設計者にならなくても規格に準拠しているかの検証を可能にします。Wireless Testbench では、以下の規格がサポートされています。

- Zigbee
- IEEE 802.11a
- IEEE 802.11b
- IEEE 802.11n
- IEEE 802.11ac

- IEEE 802.11af
- IEEE 802.11p
- Bluetooth (LE and HS)
- Smart meter
- LTE

## Foundry Support

Spectre RF Option は、全ての大手ファウンドリにサポートされています。カスタマーは要求に応じてファウンドリから認定されたデバイス・モデルを受け取ることが可能です。

## Device Models

Spectre RF Option は 600V の GaN トランジスタから 10nm の FinFET まで、さまざまなデバイス・モデルをサポートしています。Cadence は Compact Modeling Council (コンパクト・モデリング協議会) のメンバーです。オープン・モデルのサポートや開発に多くの努力を注ぎ、以下のモデルをサポートしています。

- 最新版を含む次の MOSFET モデル:  
BSIM3、BSIM4、BSIM6、PSP102、PSP103、HISIM、MOS9、MOS11、EKV
- FinFET: BSIMCMG
- 最新版を含む次の SOI (Silicon-On-Insulator) モデル:  
BSIMSOI、SSIMSOI、BTASOI、HiSIM SOI
- FDSOI: BSIM-IMG、UTSOI
- 最新版を含む次の高耐圧 MOSFET モデル:  
HVMOS、HiSIM HV
- PSpice® IGBT および HiSIM IGBT モデル
- TSMC からの TMI モデル
- 最新版を含むバイポーラ・ジャンクショントランジスタ (BJT) モデル: VBIC、HICUM L0、HICUM L2、Mextram、HBT、Gummel-Poon モデル
- 最新版を含む GaAs MESFET モデル:  
GaAs、TOM2、TOM3、Angelov モデル

- Rensselaer Polytechnic Institute (RPI) の P-Si、a-Si、Thin-Film トランジスタ・モデル
- Diode、JFET、FinFET、フラッシュ・セル・モデル
- 独自のカスタム・デバイス・モデルや Verilog-A コンパクト・デバイス・モデリングを使用して変更した既存のデバイス・モデル
- AgeMOS (HCI や NBTI の解析のための特別な信頼性モデル)

## Supported Platforms (update for 18.1)

x86 32-bit and 64-bit: Redhat RHEL Linux V6.5, V7,  
SUSE Linux 11(64bit のみ), SUSE Linux 12.0, Ubuntu 14.04

## Licensing

Spectre RF Option は、Spectre Classic ライセンスと RF Option ライセンス、もしくは、Multi-Mode Simulation [MMSIM] ライセンスで動作します。

## Cadence Services and Support

- Cadence のアプリケーションエンジニアは、技術問い合わせに回答いたします。Cadence では、テクニカルな支援や個別のトレーニングコースも用意しています。
- Internet Learning Series (iLS) のオンラインコースでは、インターネット経由で、自身のコンピュータ環境でトレーニングを自由に受講することができます。
- Cadence Online Support では、沢山の最新のソリューションや技術資料の参照や、ソフトウェアのダウンロードが可能です。
- サポートについての詳細は、以下をご覧ください:  
<https://www.cadence.com/support>
- トレーニングについての詳細は、以下をご覧ください:  
<https://www.cadence.com/training>

cadence®

### 日本ケイデンス・デザイン・システムズ社

本社 / 〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜 2-100-45  
営業本部  
TEL.(045)475-8410 FAX.(045)475-8415  
〒541-0054 大阪府大阪市中央区南本町 2-6-12 サンマリオン NBF タワー16F  
TEL.(06)6121-8095 FAX.(06)6121-7510  
URL <https://www.cadence.com/jp>



### 販売代理店 イノテック株式会社 IC ソリューション本部

〒222-8580 神奈川県横浜市港北区新横浜 3-17-6  
TEL.(045)474-2290,2291,2293(営) FAX.(045)474-2395  
〒541-0054 大阪府大阪市中央区南本町 2-6-12 サンマリオン NBF タワー16F  
TEL. (06)6121-7703(営) FAX. (06)6121-7720  
URL <http://www.innotech.co.jp/>