

SmartSpice RF를 활용한 위상 노이즈 시뮬레이션

소개

마이크로파 회로는 성능을 나타내는 세 가지 주요 파라미터가 있습니다: 동적 범위, 민감도, 선택도. 동적 범위와 민감도는 소자의 노이즈 지수 및 선형성에 의해 결정됩니다. 선택도는 주로 신호 발생기 또는 신호 처리기의 노이즈 기여도에 따라 달라집니다. 노이즈 기여도는 주로 반도체 물질, 소자 선택 기준 및 회로 설계 기술에 기인하는 위상 노이즈로 설명합니다. 따라서 매우 비선형적인 회로 유형의 경우, 위상 노이즈는 중요한 특성이며 정확한 예측이 중요합니다.

SmartSpice RF 기능

자율 회로의 위상 노이즈 시뮬레이션은 2단계 과정을 거칩니다:

- 1) 주기적 정상 상태 분석(PSS)을 제공하여, 생성된 신호 (반송파)의 진동 주파수, 진폭(전력) 및 형태를 확인
- 2) 주어진 주파수 측대역에 대한 노이즈 분석을 제공하여, 소자 노이즈에 의한 위상 노이즈를 시뮬레이션

SmartSpice RF는 high-Q LC (결정) 탱크 오실레이터 및 링 오실레이터와 같은 자율 회로의 다양한 토폴로지를 효과적으로 처리할 수 있는 두 가지 PSS 분석 방법을 구현했습니다.

- 주파수 영역 Harmonic Balance 최적화 기법 (.HOSCIL 분석 구문)
- 시간 영역 Shooting 기법은 모든 단일 톤 분석에서 사용할 수 있습니다 (.HARM, .HNOISE 등의 분석 구문)

시뮬레이션 예는 50개의 MOS 소자로 구성되어 PLL 회로 설계의 일부를 이루는 3GHz 범위의 전압 제어 링 오실레이터에 적용합니다. 이 프로젝트는 MOSFET, 바이폴라, 다이오드, 인터커넥트, 수동 소자의 모델을 제공하는 TSMC 90nm CMOS 로직 살리사이드 (1P9M 1.0V/3.3V) 공정을 사용합니다.

주기적 정상 상태 분석

batchprint 모드에 대한 PSS 분석을 설정하려면, 다음 Dot 구문을 입력 데크에 포함합니다.

a) Harmonic Balance 기법

```
.hoscil Probe(xi0feedback2) v(FOUT)
+ Fund_Osc=3GHz nharm=20
+ Newton_Accuracy=highest
+ UseTIG=3 TIGtstop=15n TIGtmax=0.1n
+ oscillator=RING
```

b) Shooting 기법

```
.harm v(FOUT)
+ Fund=3GHz nharm=20
+ method=shooting tstab=15n tstep=0.1n
+ oscillator=RING
```

FOUT은 출력 포트 이름입니다.

Probe(xi0.feedback2)는 주어진 노드에 연결된 프로브입니다.

Fund_Osc, Fund <=3GHz>는 예상 진동 주파수입니다.

그림 1~3은 PSS 분석을 설정하기 위한 GUI입니다

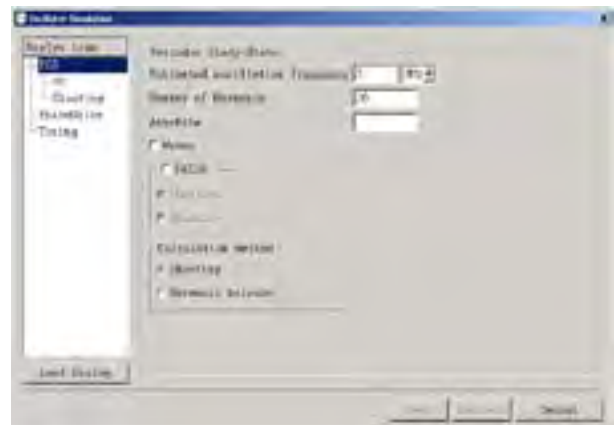


그림 1. PSS 분석 설정

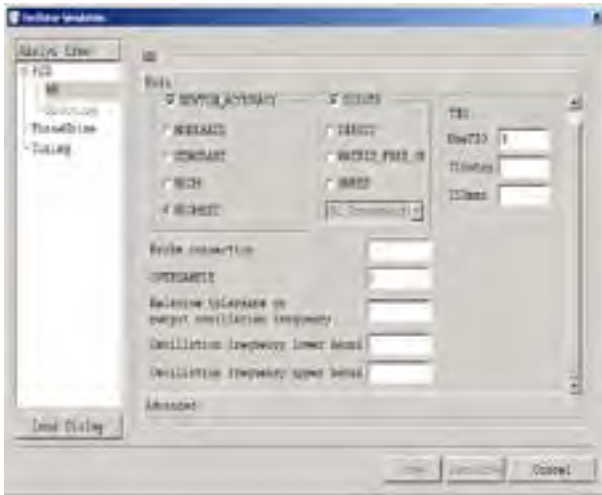


그림 2. .HOSCIL 분석 설정

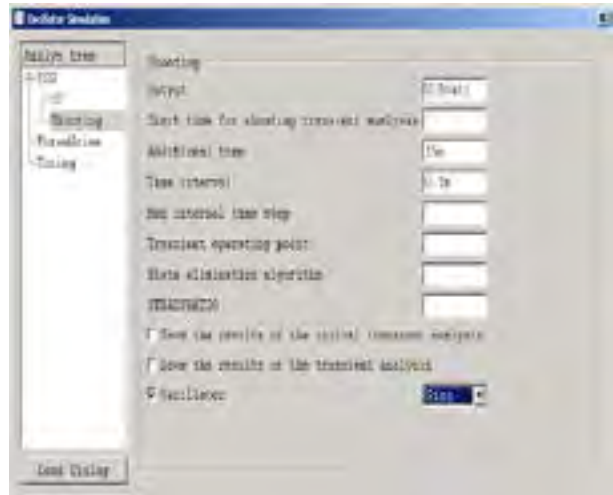


그림 3. Shooting 기법 설정

시뮬레이션 결과:

HOSCIL analysis: Oscillation Frequency = 3051397515.80643 Hz

Carrier: Power Psig = 2.221370e-01 Wt

Effective amplitude Ac = 6.665387e-01 V

Oscillator Analysis by Shooting method:

Frequency of Oscillation Fund = 3.035513e+09 Hz

Carrier: Power Psig = 2.215548e-01 Wt

Effective amplitude Ac = 6.656648e-01 V

그림 4는 출력 파형을 나타냅니다. 그림 5는 정규화된 출력 파형과 임펄스 민감도 함수 플롯을 나타냅니다.

그림 5는 비대칭 파형에 의해 출력 노이즈 레벨이 증가함을 나타냅니다.

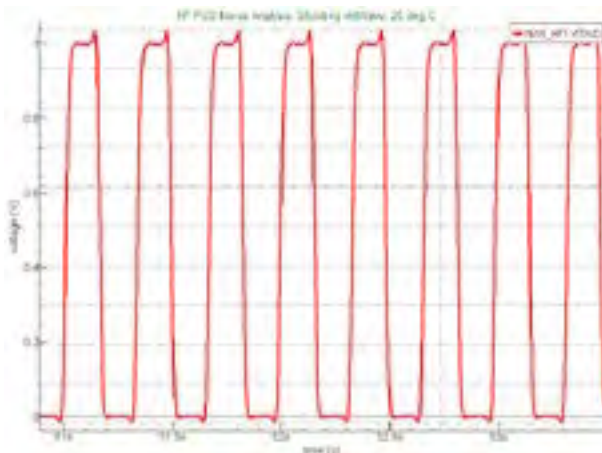


그림 4. 노드 FOUT의 파형

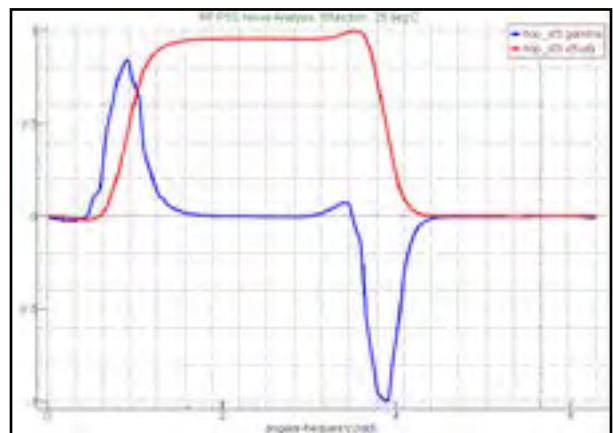


그림 5. 노드 FOUT에서 정규화된 파형 및 임펄스 민감도 함수

PSS 분석 문제 해결

SmartSpice RF는 최신 기법과 알고리즘을 사용하여 정확한 시뮬레이션 결과를 보장하지만, 수렴 문제를 해결하기 위해 추가로 정확도 파라미터를 정의할 수 있습니다. 그것은 다음과 같습니다:

1. "Newton_accuracy" = <moderate/standard/high/highest>
 "Moderate"는 일반 회로에 적합, "Highest"는 민감한 아날로그 회로에 적합
2. "MAXITER"는 Shooting 기법의 최대 반복 횟수를 정의
3. "abstol" "vntol" "reltol"

이 값은 노드 전류 및 전압의 공차 또는 상대 값을 제어하는 데 유용합니다. 일반적으로 값이 클수록 정확도가 높습니다.

시뮬레이션 중에 수렴 문제가 발생할 경우, SmartSpice RF는 해결에 도움이 되는 제안을 목록으로 출력합니다. 어떤 경우든, 경고 또는 오류 메시지에 대한 자세한 분석이 시작하는데 중요할 수 있습니다.

위상 노이즈 시뮬레이션

위상 노이즈 시뮬레이션을 설정하려면, Dot 구문 (측대역 주파수 스위프, 축의 유형, 출력 결과의 수준 등)에서 주파수 영역 시뮬레이션 파라미터를 정의합니다. 예를 들어 다음과 같습니다:

```
.hnoise v(FOUT)

+ DEC_ENG 10 10kHz 1GHz
+ Fund=3GHz nharm=20
+ method=shooting tstep=0.1n tstab=75n
+ Devpts = 1
+ DevCon = 5
+ PhaseNoise
+ oscillator=RING
```

또는 그림 6의 Phasenoise 설정을 사용하십시오.

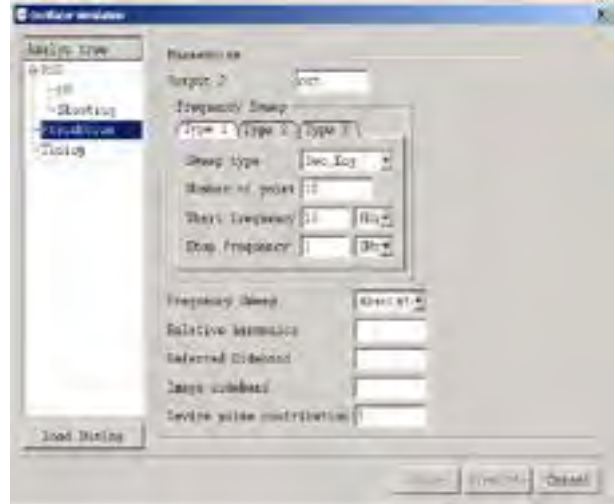


그림 6: Phasenoise 대화 창

다운로드, 수정 또는 반복 시뮬레이션을 위해 모든 시뮬레이션 설정을 저장할 수 있습니다. 그림 7은 저장된 구문의 예를 나타냅니다.

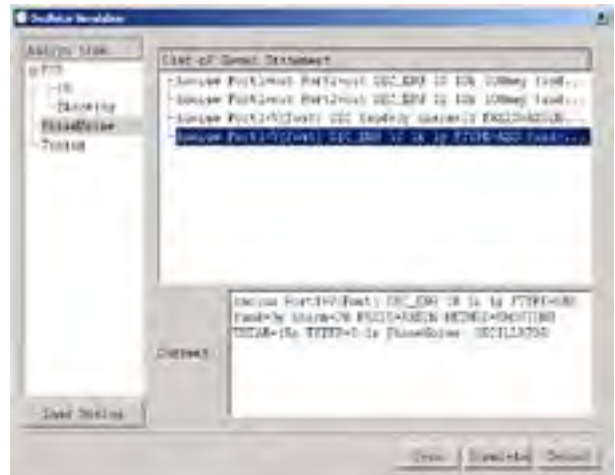


그림 7. 저장된 오실레이터 시뮬레이션 구문

SmartSpice RF는 출력에 대한 소자 노이즈의 영향과 통합 노이즈를 아래 형태로 생성합니다:

```
Spot Noise Summary (V^2/Hz) at 1 MHz Sorted by Noise Contributors
      Device      Noise Contribution      % Of Total
m.xi0.xi98.xi4.mm0      8.29033e-17      79.88
m.xi0.xi98.xi4.mm1      1.59017e-17      15.32
m.xi0.xi98.xi13.mmn1     1.78661e-18      1.72
Total Output Noise = 1.03781e-16 V^2/Hz

Integrated Output Noise (V^2) Sorted by Noise Contributors
      Device      Noise Contribution      % Of Total
m.xi0.xi98.xi4.mm0      3.26900e-09      58.256
m.xi0.xi98.xi4.mm1      2.15835e-09      38.463
m.xi0.xi98.xi13.mmn1     5.00422e-11      0.892
Total Integrated Output Noise = 5.61149e-09 V^2
```

그림 8의 위상 노이즈 플롯은 경쟁사의 벤치마크 결과 (그림 9)와 매우 유사합니다.

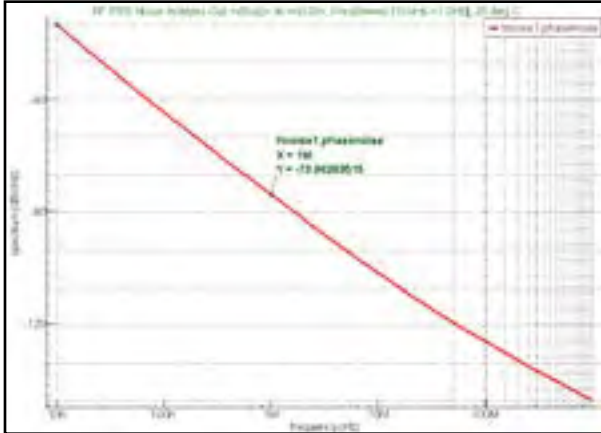


그림 8. SmartSpice RF 위상 노이즈 플롯

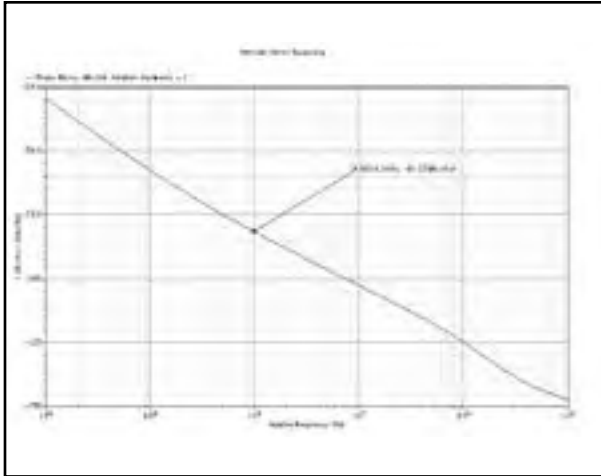


그림 9. 경쟁사 벤치마크의 위상 노이즈 플롯

결론

본 애플리케이션 노트는 오실레이터 시뮬레이션을 활용하여 SmartSpice RF의 기능에 대해 설명합니다. 시뮬레이션 결과에 따르면, SmartSpice RF는 높은 정확도로 수렴이 양호하며 타사 툴보다 실행 시간이 빠릅니다. 주어진 오프셋에서 시뮬레이션한 위상 노이즈는 측정 결과에 매우 가깝습니다. 회로 설계자는 출력 벡터와 플롯을 활용하여 원하는 파라미터까지 성능을 개선할 수 있습니다. SmartSpice RF는 자율 회로의 시뮬레이션에 널리 사용할 수 있습니다.