

Utmost-IV 자동 최적화를 통하여 HiSIM_HV 단일 지오메트리 파라미터를 추출

소개

Utmost III에 의한 HiSIM_HV 모델 파라미터 추출은 다른 애플리케이션 노트 [1]에서 설명합니다. 본 애플리케이션 노트는 순차적인 플로우로서 HiSIM_HV 단일 지오메트리 파라미터를 자동으로 추출하기 위한 Utmost IV 최적화 설정에 대해 자세히 설명합니다.

Utmost IV 최적화 모듈은 강력하지만, HiSIM_HV 모델 개념에 따라야 합니다. 본 문서에서 드리프트 저항 모델 플래그는 `CORSRD = 3`입니다. HiSIM_HV v.1.1.1은 SmartSpice 3.11.30.C 이상 버전이 필요합니다.

측정 데이터 요구 사항

최적화의 효율과 품질에 큰 영향을 미치므로, 데이터 요구 사항에 대한 Utmost III 애플리케이션 노트[1]의 일부를 아래에서 발췌했습니다. Utmost IV 버전 1.4.13.R 이상 버전은 Utmost III AL_IDVGB 루틴 로그 파일에서 데이터 가져오기를 지원합니다. Utmost IV 네이티브 데이터 형식은 보편적이며 타사 툴의 사용자를 위해 데이터 변환 스크립트를 사용할 수 있습니다.

선형 및 포화 영역에서 I_{ds}/V_{ds} , I_{ds}/V_{gs} 의 일반적인 측정 데이터 외에, HiSIM_HV 모델 파라미터를 추출하려면 여러 드레인 전압에서의 I_{ds}/V_{gs} 커브를 추가하는 것이 좋습니다. HiSIM_HV 모델이 개발된 LDMOS 및 확장 드레인 MOS(XDMOS) 등의 고전압 응용 소자는 강력한 준 포화 효과, 높은 게이트 전압 영역에서의 트랜스 컨덕턴스 감소, 발열 같은 특성을 나타냅니다. I_{ds}/V_{gs} 에 대한 드레인 전압 조건은 이러한 영역을 포괄할 수 있도록 선택합니다.

이를 위해, Utmost III 25.1.1.C 이상 버전은 AL_IDVGB라는 새로운 추출 루틴으로 구현됩니다. AL_IDVGB 데이터는 주로 HiSIM_HV 파라미터 최적화에 사용됩니다. ALL_DC I_{ds}/V_{ds} 커브는 최적화의 최종 단계에서 사용됩니다.

LDMOS 데이터 세트는 채널 길이가 고정이고, 바디 컨택이 소스 터미널에 단락되므로 유연성이 떨어집니다. 정확한 기판 농도 파라미터가 필요한 HiSIM_HV 파라미터 추출에는 소스 및 바디 컨택이 분리된 테스트 구조가 바람직합니다.

XDMOS 데이터 세트는 분리된 소스 및 바디 터미널에서 대형 Larray and Warray 지오메트리 구조를 사용할 수 있으므로 적합합니다.

Utmost IV 최적화 과정: 단일 지오메트리

본 애플리케이션 노트에서는 Utmost IV 옵티마이저로 유전 알고리즘과 Levenberg-Marquardt 알고리즘을 혼합하여 사용합니다.

1. 선형 영역의 $I_{ds}/V_{gs}-V_{bs}$ 를 사용하여 HiSIM_HV 파라미터를 추출

데이터 부분 집합

기준 소자에 대해 선형 영역의 $I_{ds}/V_{gs}-V_{bs}$ 를 파라미터 최적화의 첫 단계에 사용합니다.

최적화 설정 속성: `idvg_large_1` (그림-1)

NSUBC(기판 불순물 농도), **VFBC**(플랫 밴드 전압)와 같은 HiSIM_HV 기본 소자 파라미터와 **MUECB0**, **MUECB1**(쿨롱 산란)의 로우 필드 모빌리티 파라미터를 먼저 최적화합니다. 또한, 유효 채널 길이를 결정하기 위해 **XLDLD** (드레인 측면의 게이트 중첩 길이) 파라미터를 최적화합니다. 고전압 소자의 경우, **NDEP** (유효 전기장에 대한 공핍 전하 기여)는 선택 사항입니다. 범위가 넓으면 유전자 알고리즘 최적화에 불필요한 검색이 발생할 수 있으므로, **NSUBC**의 최대값과 최소값은 프로세스 사양에 따라 정의합니다.

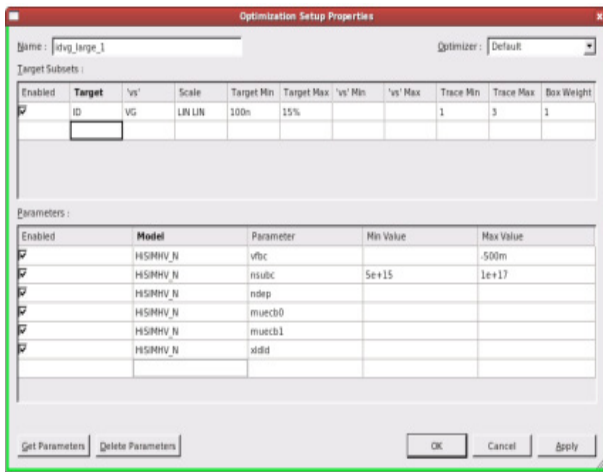


그림 - 1. idvg_large_1에 대한 Utmost IV 최적화 설정 속성

목표 드레인 전류 영역은 임계 전압의 설정값 근처이며, 목표 트레이스의 수는 최소 3입니다. HiSIM_HV 모델의 NSUBC는 Vbs (바다 바이어스 효과)로 인한 임계 전압과 전압 시프트를 모두 결정하는 실제 기판 농도입니다. 이 단계는 HiSIM_HV 모델 기반에서 가져온 파라미터로서 매우 중요합니다.

최적화 설정 속성: idvg_large_2 (그림-2)

다음 단계는 HiSIM_HV의 로우 필드 모빌리티 파라미터를 결정하는 것입니다. 고전압 소자의 드레인 전류가 드리프트 영역 저항의 영향을 받기 때문에 대상 드레인 전류 영역을 명확하게 정의하기는 어렵습니다. 분명한 것은 고전압 소자에 대한 로우 필드 모빌리티 파라미터 최적화를 위해 전체 전류 영역을 사용해서는 안 된다는 점입니다. 모빌리티 효과는 드리프트 영역 저항으로 인해 발생하는 전류 감소에 대해 과대 평가됩니다. 모빌리티 파라미터에 대한 대상 트레이스는 Vbs = 0입니다.

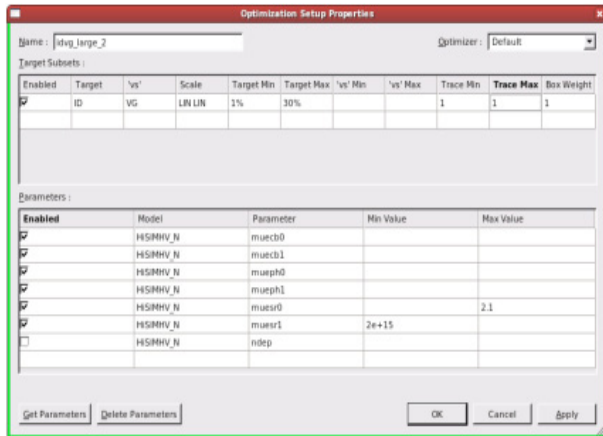


그림 2. idvg_large_2에 대한 Utmost IV 최적화 설정 속성

최적화 설정 속성: idvg_large_hisimhv (그림-3)

RDVG11, RDVG12 (RD의 Vgs 종속성)와 같은 여러가지 HiSIM_HV 드리프트 저항 파라미터는 해당 영역에 대한 저항 효과가 작더라도 초기 값을 얻을 수 있도록 선행 영역의 Ids/Vgs-Vbs에 최적화됩니다. 또한 RDVB (CORSRD=1,3에 대한 RD의 Vbs 의존성) 및 RD22 (CORSRD=2,3에 대한 RD의 Vbs 의존성) 파라미터는 드레인 전류에 대한 Vbs 영향력에 대해 최적화됩니다.

목표 드레인 전류는 복수의 트레이스가 있는 큰 전류 영역입니다.

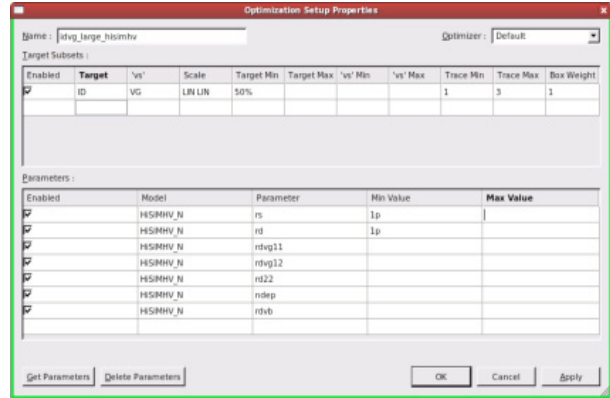


그림 - 3. idvg_large_hisimhv에 대한 Utmost IV 최적화 설정

최적화 설정 속성: idvg_large_hisimhv2 (그림-4)

이 설정은 로우 필드 모빌리티와 드리프트 저항 모델 파라미터의 조합입니다. 목표 드레인 전류는 Vbs 변동을 포함하여, 위의 임계 영역 전체에 대한 것입니다. 이는 초기값이 별도의 영역에 대해 독립적으로 최적화되는 두 모델 파라미터 집합의 균형을 맞추기 위한 것입니다.

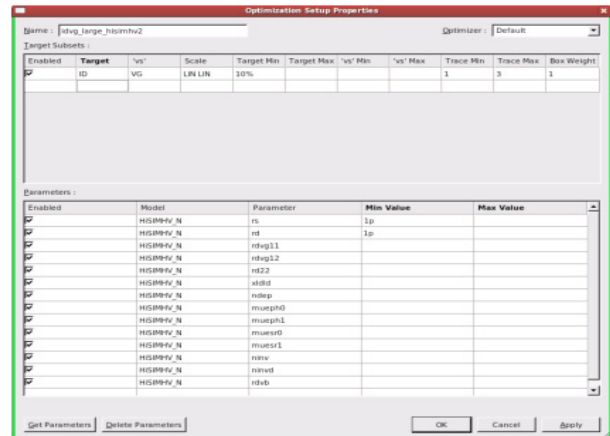


그림 - 4. idvg_large_hisimhv2에 대한 Utmost IV 최적화 설정

2. 여러 Vds 조건에서 Ids/Vgs를 사용하여 HiSIM_HV 파라미터를 추출

데이터 부분 집합

다음 단계는 HiSIM_HV 파라미터 추출의 주요 부분으로서, 드리프트 저항 파라미터에 대해 다양한 Vds 바이어스 조건에서 Ids/Vgs를 사용하는 것입니다. 이는 준 포화식, 높은 Vgs에서의 트랜스 컨덕턴스 감소, 고전압 소자의 발열 영향에 대해 우수한 모델을 얻기 위한 핵심 단계입니다. Ids/Vds-Vgs 식에서 이 단계를 완료한 특성이 없는 경우, 추가 측정과 함께 Ids/Vgs에 대한 Vds 바이어스 단계의 수를 늘려야 합니다. 그렇지 않으면, 이후의 Ids/Vds-Vgs 최적화는 시간도 오래 걸리고, 적합성이 낮을 것입니다.

최적화 설정 속성: idvg_hvds_hisimhv1 (그림-5)

VMAX, VOVER, VOVERP 같은 속도 파라미터는 상대적으로 작은 Vgs에 대해 높은 드레인 전압에서 ids/vgs가 필요합니다. 동시에 드레인 바이어스가 증가함에 따라 저항 효과가 두드러지기 때문에, 거의 모든 HiSIM_HV 드리프트 저항 모델 파라미터를 선택해야 합니다. HiSIM_HV 드리프트 저항 방정식이 상호 작용하므로 파라미터 분해는 비현실적입니다.

목표한 드레인 전류 영역은 적절한 초기 파라미터 값 (속도 파라미터 제외)을 추출하는 데 사용되며 중간 전류 영역에 비해 작습니다. 드리프트 저항에 대한 Vbs 효과가 관찰되면 목표한 트레이스의 수가 증가할 수 있습니다.

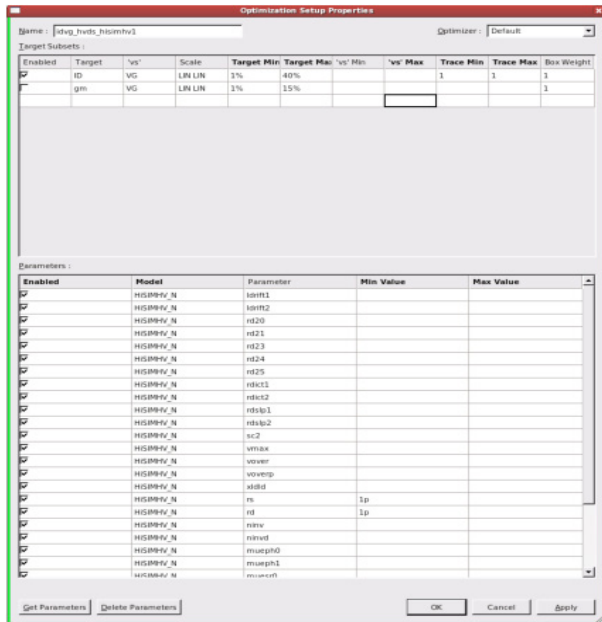


그림 - 5. idvg_hvds_hisimhv1에 대한 Utmost IV 최적화 설정

최적화 설정 속성: idvg_hvds_hisimhv2 (그림-6)

모델 파라미터는 이전 단계에서 사용한 것과 거의 같습니다. 차이점은 높은 Vgs 전압에 있는 목표 드레인 전류 영역입니다. 드레인 전류는 드레인 바이어스가 증가함에 따라 준 포화, 발열 및 충격 이온화와 같은 효과를 포함합니다. 발열의 영향이 Ids/Vds-Vgs에 나타나는 경우, **RTH0** (열 저항) 파라미터를 최적화합니다.

거의 최대 및 중간에서 최대 드레인 전류 영역을 사용하면, 높은 Vgs에서 트랜스 컨덕턴스 (gm) 저하의 모델링을 개선하는 데 도움이 됩니다.

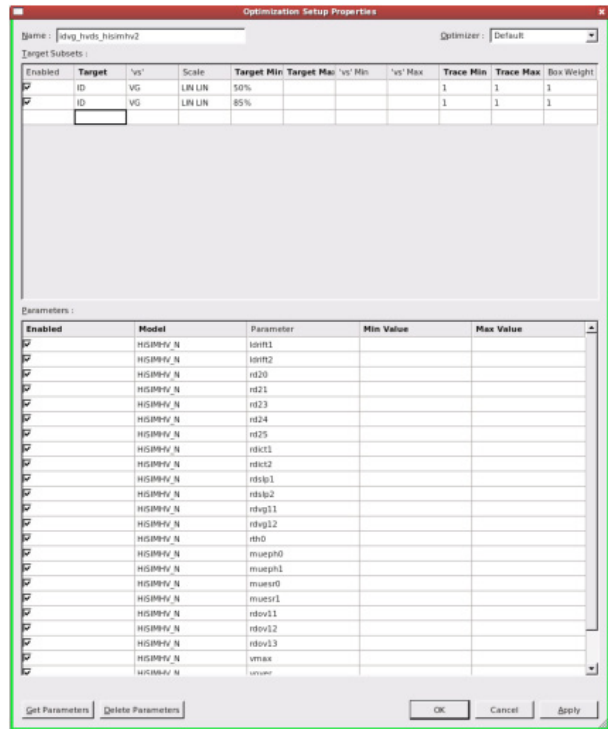


그림 - 6. idvg_hvds_hisimhv2에 대한 Utmost IV 최적화 설정

3. Ids/Vds-Vgs를 사용하여 HiSIM_HV 파라미터 추출

데이터 부분 집합

단일 지오메트리 HiSIM_HV 파라미터 추출의 마지막 단계는 Ids/Vds-Vgs를 사용하는 것입니다. 조건이 앞에서 언급한 고전압 소자 특유의 현상을 포괄하는 경우, 복수의 Vds 조건에서 Ids/Vgs-Vbs를 사용하는 이전 단계는 Ids/Vds-Vgs에 대해 합리적인 적합성을 제공해야 합니다. 결과가 뚜렷하지 못한 경우, 이전 단계를 확인해야 합니다.

최적화 설정 속성: idvd (그림-7)

거의 모든 HiSIM_HV 모델 파라미터를 사용합니다. 예외는 NSUBC, VFBC, 드리프트 저항의 바디 바이어스 효과 파라미터입니다. 이는 이전에 $I_{ds}/V_{gs}-V_{bs}$ 를 사용하여 최적화된 파라미터를 기반으로 $I_{ds}/V_{ds}-V_{gs}$ 특성에 맞게 모델 파라미터를 약간 조정하는 것입니다. 지금까지 최적화된 파라미터 값이 초기 세트로서 합리적이기 때문에 옵티마이저는 Levenberg-Marquardt를 선택할 수 있습니다. 목표 드레인 전류는 준 포화, 높은 V_{gs} 에서의 트랜스 컨덕턴스 (gm) 감소, 발열로 인한 음의 드레인 전류 기울기, 높은 V_{ds} 에서의 충격 이온화 전류의 증가 같은 관련 영역에 대해 분리할 수 있습니다.

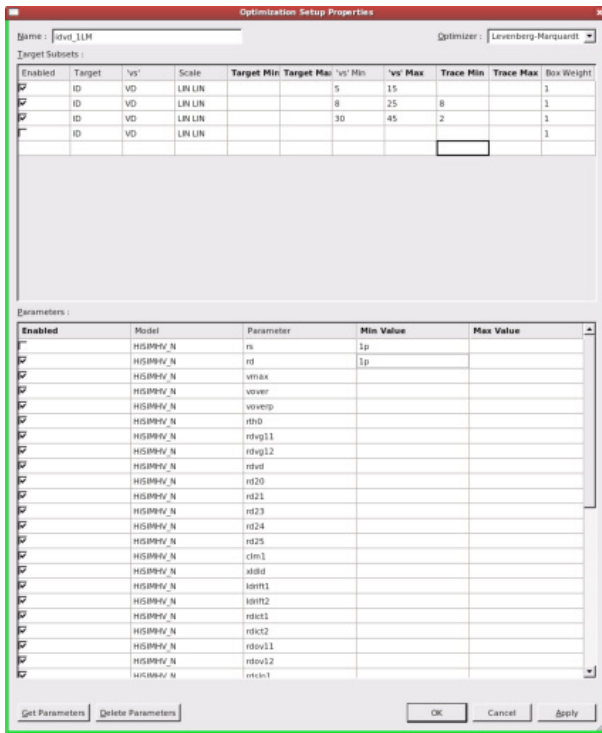


그림 - 7. I_{ds}/v_{ds} 에 대한 Utmost IV 최적화 설정

요약

HiSIM_HV 단일 지오메트리 파라미터 추출을 위한 Utmost IV 최적화 설정을 설명하였습니다. HiSIM_HV 파라미터 추출은 복잡할 수도 있지만, 효율적인 Levenberg-Marquardt 옵티마이저와 결합된 Utmost IV 유전 알고리즘을 사용하면 자동으로 추출할 수 있습니다. Utmost IV HiSIM_HV 파라미터 최적화의 초기 단계에서는 적절한 대상 영역과 함께 파라미터를 신중하게 선택해야 하지만, 나머지 프로세스는 집중해서 설정할 필요가 없습니다. Utmost IV 최적화 모듈에는 유전자 알고리즘 옵티마이저에 필요한 전역 파라미터 검색을 활성화하는 빠른 시뮬레이션 기능이 있습니다.

Reference

- [1] Silvaco application note 2009-038 HiSIM_HV Local Optimization Templates Prepared for Utmost III