

다중 바이어스 추출 기법을 이용한 HEMT 소신호 파라미터 추출

강 보 술, *전 만 영, 정 윤 하
 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부, *삼성종합기술원
 전화 : 054-279-2897 / 핸드폰 : 016-412-2690

Parameter Extraction of HEMT Small-Signal Equivalent Circuits Using Multi-Bias Extraction Technique

Bo-Sool Kang, Man-Young Jeon, Yoon-Ha Jeong
 Dept. of Electronic and Electrical Engineering, POSTECH
 E-mail : kangboss@postech.ac.kr

Abstract

Multi-bias parameter extraction technique for HEMT small signal equivalent circuits is presented in this paper. The technique in this paper uses S-parameters measured at various bias points in the active region to construct one optimization problem, of which the vector of unknowns contains only a set of bias-independent elements. Tests are performed on measured S-parameters of a pHEMT at 30 bias points. Results indicate that the calculated S-parameters is similar to the measured data.

I. 서론

현재, 전력 증폭기와 같은 비선형 초고주파 회로의 발전은 대신호 모델링에 앞서서 정확한 소신호 등가회로를 필요로 하고 있다[1]. 또한, 소신호 등가회로는 잡음 모델링을 가능케 하고 소자의 특성을 정확히 알려준다. 그림 1은 HEMT 소신호 등가회로를 나타내고 있다. 이 소신호 등가회로 파라미터를 추출하는 방법은 Cold-FET($V_{ds} = 0 V$)을 이용한 직접적인 방법(direct method)과 최적화 방법(optimizer-based tech-

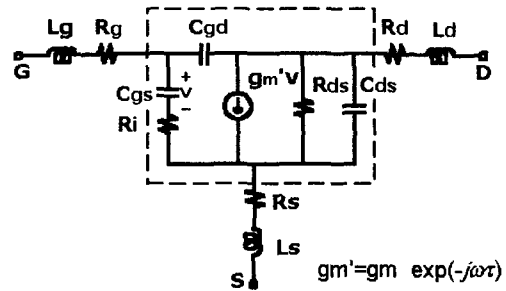


그림 1. HEMT 소신호 등가회로

nique)으로 나눌 수 있다[2]. 그런데, Cold-FET을 이용한 직접적인 방법은 실제 동작 바이어스를 벗어난 두 개의 Cold-FET에서의 S-파라미터(scattering parameter)를 필요로 하기 때문에 측정 오차를 크게 만들 수 있다. 그리고, 높은 순방향 바이어스로 인한 게이트 손상을 유발할 수 있다[3][4]. 한편, 최적화 방법은 실제 동작 바이어스에서의 S-파라미터를 이용하기 때문에 측정 오차를 줄일 수 있고, 정확한 파라미터 추출을 가능케 한다.

본 연구에서는 HEMT 소신호 등가회로 파라미터 추출 방법을 수행하였으며, 다중 바이어스에서 측정된 여러 개의 S-파라미터를 최적화 기법을 통하여 HEMT 소신호 등가회로 파라미터를 추출하였다. 하나의 HEMT 소자에서 여러 개의 동작 바이어스에 대해 측정된 S-파라미터가 주어졌을 때, 이 각각의 S-파라

미터로부터 바이어스에 의존하지 않는 HEMT 소신호 등가회로의 외인성 파라미터만을 변수로 하여, 측정된 S-파라미터와 모델된 S-파라미터의 차이를 오차 함수로 두어 이 오차 함수의 자승의 합을 최소로 하는 최적화 방법을 통하여 HEMT 소신호 등가회로 파라미터를 추출하고자 한다[5].

II. 다중 바이어스 추출 기법을 이용한 파라미터 추출

단일 바이어스에서 측정된 S-파라미터를 이용해서 소신호 등가회로를 추출할 때에는 소신호 모델의 모든 성분을 정확히 결정하기 어렵다[2]. 이러한 사실은 기생 저항인 R_g, R_d, R_s 의 경우를 보면 알 수 있다. 즉, 기생저항 성분들의 변화에 S-파라미터가 민감하지 못하여 정확한 기생저항 성분을 추출하기가 어렵다. 한편, 다중 바이어스에서 측정된 S-파라미터를 이용해서 소신호 등가회로를 추출할 때에는, 소신호 등가회로의 외인성 성분이 바이어스에 무관하게 항상 일정하기 때문에 측정된 모든 바이어스에서의 S-파라미터를 이용하면 모든 바이어스에 맞는 정확한 외인성 파라미터를 추출할 수 있다[5].

2.1 다중 바이어스 추출 기법의 알고리즘

본 연구에서 수행한 다중 바이어스 추출 기법의 알고리즘은 다음과 같다. 최적화 방법을 위한 변수를 오직 HEMT 소자의 외인성 파라미터($R_s, R_g, R_d, L_s, L_g, L_d$) P 벡터로 두어 다음과 같이

$$P = [R_s \ R_g \ R_d \ L_s \ L_g \ L_d] \quad (1)$$

일 때, 다중 바이어스 추출 기법을 위한 목적 함수 $F(P)$ 는

$$F(P) = \sum_{i=1}^N e_i(P)^2 \quad (2)$$

이고, 이 때의 오차 함수 $e_i(P)$ 는

$$e_i(P) = \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^2 \frac{1}{\sigma_{jk}(t)} |S_{jk}^m(t, w_i) - S_{jk}^c(P, w_i)| \quad (3)$$

$$\sigma_{jk}(t) = |S_{jk}^m(t, w_i)|_{MAX} \quad (4)$$

이다. 여기에서 N 은 측정된 주파수의 총 수를 나타내

고, M 은 다중 바이어스 추출 기법에 사용되는 바이어스의 총 수를 나타낸다. j 와 k 는 S-파라미터의 첨자를 나타낸다. 그리고, S_{jk}^m 은 바이어스 t 에서 측정된 S-파라미터이고, S_{jk}^c 은 모델된 S-파라미터이다. 본 연구에서 수행한 방법은 수식 (2)의 목적함수를 최소로 하도록 벡터 P 를 최적화 과정을 통해서 구하는 것이다.

2.2 다중 바이어스 기법을 이용한 파라미터 추출

본 연구에서 제작된 $1.0\mu m \times 85\mu m$ pHEMT (pseudomorphic HEMT)를 30개의 바이어스에 대해서 40GHz까지 측정된 S-파라미터를 이용하였다. 그림 1에 보여진 것과 같이, 직렬 인덕턴스 L_g 와 L_d 의 아주 작은 값으로 인하여, 가장 높은 주파수에서도 내인성 정전용량 C_{gs} 와 C_{ds} 의 값에 못 미치는 소오스와 드레인의 기생 정전용량 C_{pg} 와 C_{pd} 는 소신호 등가회로에서 제외되었다.

표 1은 30개의 바이어스에서 측정되어진 pHEMT의 S-파라미터를 다중 바이어스 추출 기법을 이용해 최적화 과정을 통해 추출한 외인성 파라미터이다.

$R_s(\Omega)$	$R_g(\Omega)$	$R_d(\Omega)$	$L_s(pH)$	$L_g(pH)$	$L_d(pH)$
10.01	7.44	9.27	9.63	9.70	9.51

표 1. 추출된 외인성 파라미터

아래 그림 2와 그림 4는 표 1의 추출된 외인성 파라미터의 값들을 이용해서 40GHz까지 추출된 내인성 파라미터의 한 예를 보여주고 있다. 이 그림에서 보면, 추출된 내인성 파라미터의 값은 비교적 주파수에 무관하게 일정한 값을 가지는 것을 알 수 있다. 그림 3과 그림 5는 추출된 내인성 파라미터와 외인성 파라미터를 이용해서 모델링한 S-파라미터와 측정된 S-파라미터를 나타낸다.

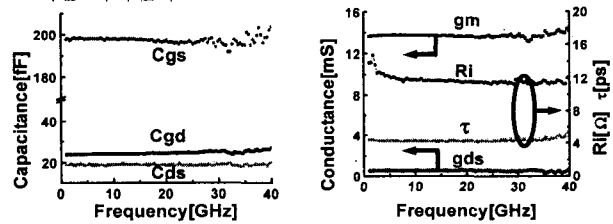


그림 2. $V_{gs} = -1.5 V, V_{ds} = 3.6 V$ 에서의 주파수에 따른 내인성 파라미터

$gm[mS]$	$Ri[\Omega]$	$\tau [ps]$	$gds[mS]$	$Cgs[fF]$	$Cgd[fF]$	$Cds[fF]$
13.71	11.65	3.42	0.62	197.5	24.45	18.90

표 2. $V_{gs} = -1.5 V, V_{ds} = 3.6 V$ 에서의 추출된 내인성 파라미터의 중간값

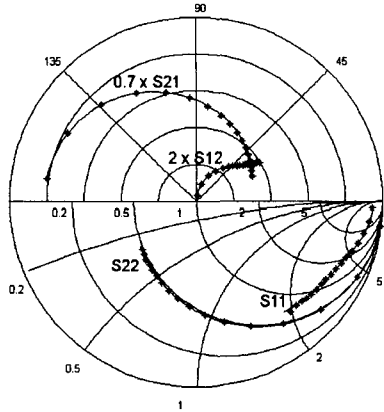


그림 3. $V_{gs} = -1.5\text{ V}$, $V_{ds} = 3.6\text{ V}$ 에서의 S-파라미터 비교 (* : 측정값, — : 계산값)

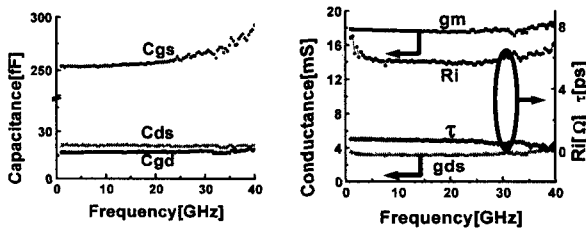


그림 4. $V_{gs} = -0.6\text{ V}$, $V_{ds} = 3.6\text{ V}$ 에서의 주파수에 따른 내인성 파라미터

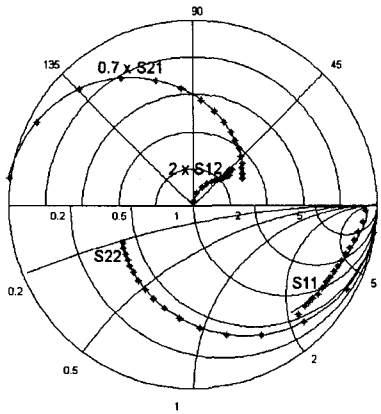


그림 5. $V_{gs} = -0.6\text{ V}$, $V_{ds} = 3.6\text{ V}$ 에서의 S-파라미터 비교(* : 측정값, — : 계산값)

표 2와 표 3은 각각의 바이어스에서 추출된 내인성 파라미터의 중간 값을 나타낸다. 그림 3과 그림 5를 보면, 각각의 바이어스에서 추출한 내인성 파라미터와 최적화 과정을 통해 추출한 외인성 파라미터를 이용해

$g_m[mS]$	$R_i[\Omega]$	$\tau[ps]$	$g_d[mS]$	$C_{gs}[fF]$	$C_{gd}[fF]$	$C_{ds}[fF]$
13.71	11.65	3.42	0.62	197.5	24.45	18.90

표 3. $V_{gs} = -0.6\text{ V}$, $V_{ds} = 3.6\text{ V}$ 에서의 추출된 내인성 파라미터의 중간값

서 모델링한 S-파라미터(-)는 측정된 S-파라미터(*)와 비교적 일치함을 알 수 있다.

아래 표 4는 그림 3에 보여진 S-파라미터의 측정값과 모델된 값의 비교 수치를 나타내는 것으로, 크기와 위상의 평균 오차가 상당히 낮은 값을 보여주고 있다.

	평균크기 오차	평균위상 오차	최대크기 오차	최대위상 오차
S11	0.0017	0.2239 °	0.0121	1.5867 °
S12	0.1437	0.4491 °	0.1957	2.7367 °
S21	0.2117	1.0202 °	0.3419	4.3069 °
S22	0.0030	0.2492 °	0.0203	1.8404 °

표 4. $V_{gs} = -1.5\text{ V}$, $V_{ds} = 3.6\text{ V}$ 에서의 S-파라미터 크기와 위상 비교

III. 결론

외인성 파라미터만을 변수로 하여 다중 바이어스 추출 기법을 이용해서 HEMT 소신호 등가회로를 추출하였다. 본 연구에서 제작한 $1.0\mu\text{m} \times 85\mu\text{m}$ pHEMT를 40GHz까지 30개의 바이어스에 대해서 측정된 S-파라미터를 이용하였다. 소신호 등가회로는 13개의 요소로 모델링 되었다. 추출된 등가회로의 외인성 성분과 내인성 성분을 이용하여 모델링을 한 결과는 모든 바이어스에 대해서 측정된 S-파라미터와 모델된 S-파라미터가 거의 일치함을 볼 수 있다.

본 연구에서 수행되어진 알고리즘은 MATLAB으로 구현 되었다.

참고문헌

[1] K. Shirakawa, H. Oikawa, T. Shimura, Y. Kawasaki, Y. Ohashi, and T. Saito, "An approach to determining an equivalent circuit for HEMT's," IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol. 43, no. 3, pp. 499-503, Mar. 1995.
 [2] F. Lin and G. Kompf, "FET model parameter extraction based on optimization with multiple data-fitting and bidirectional search," IEEE Trans.

Microwave Theory and Tech., vol.42, no. 7, pp. 1114-1121, July 1994.

[3] R. Tayrani, J. E Gerber, T. Daniel, R. S. Pengelly, and U. L. Rhode, "A new and reliable direct parasitic extraction method for MESFET's and HEMT's," Proc. 23rd European Microwave Conf., pp 451-453, Madrid, 1993

[4] A. Miras and E. Legros, "Very high-frequency small-signal equivalent circuit for short gate-length InP HEMT's," IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol. 45, no. 7, pp. 1018-1026, July 1997

[5] C. van Niekerk, " A robust integrated multibias parameter-extraction method for MESFET and HEMT models," IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol.48, no. 5, pp. 777-786, May 2000.