

외부전압을 내부소자에 적용한 GaAs MESFET 대신호 모델

•조 동 준, 양 승 인, 전 용 구*
송실대학교 RF/MW 교육센터
송실대학교 정보통신전자공학부
* 단암전자통신 주식회사

GaAs MESFET large-signal model of applying external voltage to intrinsic elements

•Dong-Jun Cho, Seung-In Yang, Yong-Goo Jun*
School of Electronic Eng., Soongsil Univ.
Education Center for RF/MW
* DANAM Communication Inc.

E-mail : cellular@orgio.net, siyang@ieee.org, * ykjun@danam.co.kr

요 약

본 논문에서는 Excelics사의 EFA240D 모델을 이용하여 파라미터를 추출하였고, 파라미터 중 내부 소자들은 ADS(Advanced Design System)의 SDD(Symbolically Defined Device)를 이용하여 정의하였다. 또한 내부소자들을 내부전압이 아닌 외부전압으로 정의하는 방법과 채널 전류를 DC와 AC로 나누어 모델링하는 방법을 제시하였다.

I. 서론

파라미터 추출시 기본적으로 콜드 모델링(Cold modeling)을 사용하여 회로의 외부소자와 내부소자를 결정하였다. 상기 모델링시 외부소자 중 Cpd는 비대칭 등가회로 특성으로 인하여 그 값이 크게 나오며, 이를 개선하기 위하여 Cpd는 대칭 등가회로를 사용하였다. 외부소자 중 인덕터와 저항은 $V_{gs}=1.2V$ 의 바이어스 조건에서 측정된 S-parameter로부터 해석적으로 구하였다.

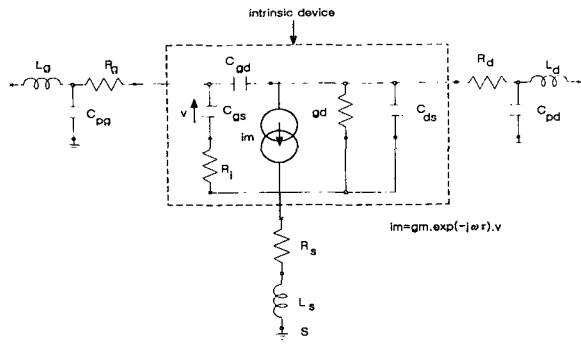
대신호 모델링은 내부 소자들이 바이어스에 종속적이므로 바이어스를 변화시키며 S-parameter를 구하고, 구한 S-parameter를 등가모델에 맞추었다. 그 특징을 새로운 함수(Cgs, Cgd, Cds, gd, lds)로 표현한 뒤에 SDD를 이용하여 내부 소자들을 정의하였다. 채널 전류

는 측정된 DC I-V curve를 fitting하여 DC-모델링을 하였고, S-parameter로부터 구한 gm으로부터 AC-모델링을 하였다.

본 논문에서는 바이어스에 따른 S-parameter를 구하기 위해 Excelics사의 EFA240D 모델로부터 파라미터를 추출하였다.

II. 외부소자를 구하는 방법

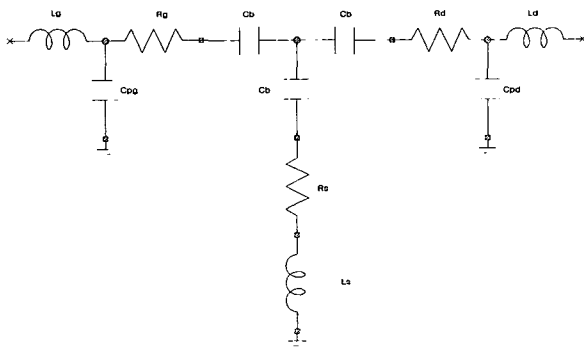
일반적으로 사용되는 MESFET 소신호 등가회로는 <그림 1>과 같고, 크게 내부 소자인 gm, gd, Cgs, Cgd, Cds, Ri, τ 와 외부 소자인 Lg, Rg, Cpg, Ls, Rs, Rd, Cpd, Ld로 구성되어 있다[1].



<그림1> FET 소신호 등가회로

1. Cpg와 Cpd의 추출

과거에 사용해온 콜드 모델($V_{ds}=0$)에서 핀치오프 (pinch-off) 게이트 전압이하에서는 비대칭적인 구조를 갖고 있으므로(2), C_{pd} 가 C_{pg} 보다 더 크게 되어서 $C_{pg} \cong C_{pd}$ 를 갖는 실제 값과의 차이가 나게 된다. 그러므로 대칭적인 등가회로<그림2>로 C_{pd} 와 C_{pg} 를 구한다 [3][표1].



<그림2> Improved Equivalent Circuit

2. 외부 인덕터 추출

$V_{ds}=0V$, $V_{gs}=1.2V$ 전압조건하에서 측정된 S-parameter로부터 Dambrine방법(2)을 이용하여 외부 인덕터를 결정하였다[표1].

3. 외부 저항 추출

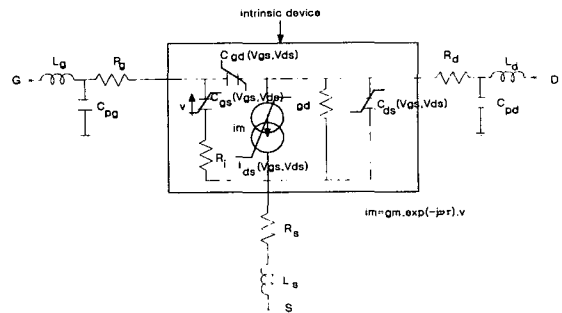
저항은 $V_{ds}=0V$, $V_{gs}=1.2V$ 바이어스 조건에서 측정된 S-parameter로부터 해석적으로 구하였으며(4), 이를 구하기 위해 콜드 모델에서 측정된 소자의 Z-parameter로부터 R_s 와 R_d 사이에 존재하는 일정한 관계를 구한 후, 이 결과와 $V_{ds}=0V$, $V_{gs}=1.2V$ 바이어스 조건에서 측정된 S-parameter로부터 세 가지 외부 저항 값들을 구하였다[표1].

[표 1] 외부 소자

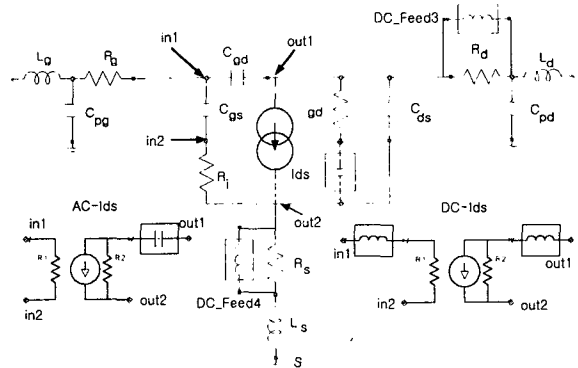
Ls [nH]	Lg [nH]	Ld [nH]	Cpg [pF]	Cpd [pF]
0.1613	1.659	1.526	0.07477	0.07477
Rs [ohm]	Rg [ohm]	Rd [ohm]	Rds [ohm]	
0.611	0.839	1.022	0.411	

III. 대신호 모델링

<그림3>은 일반적인 대신호 모델 등가회로이며, <그림4>는 본 논문에서의 대신호 모델 등가회로이다.



<그림3> MESFET의 대신호 등가회로



<그림4> 본 연구에서의 대신호 모델 등가회로

<그림4>에서 VCCS(Voltage-Controlled Current Source)는 S-parameter로부터 구한 $g_m(AC-I_{ds})$ 과 DC에서 구한 $g_m(DC-I_{ds})$ 을 나누어서 나타낸 것이며 AC, DC를 각각 더욱 정확히 맞추기 위함이다.

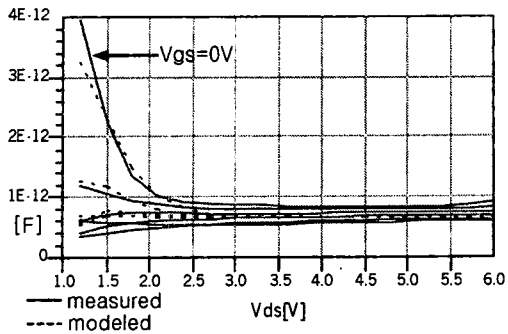
또한 <그림4>에서 DC_Feed를 사용한 이유는, 모든 내부 소자들은 외부 전압의 변화에 따라서 추출되어지지만 대신호 모델링을 하기 위해서는 내부전압으로 정의해야 되므로 DC_Feed를 사용하면 외부전압을 이용해 내부소자를 정의할 수 있기 때문이다.

1. 비선형 캐패시턴스 모델

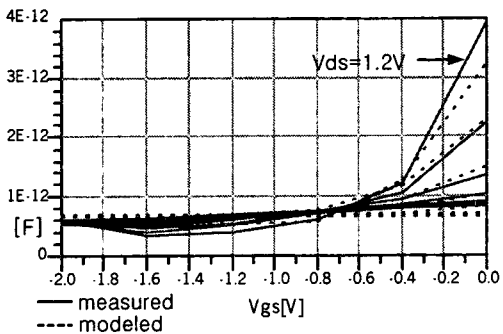
비선형 캐패시턴스는 V_{gs} , V_{ds} 에 관한 함수로 모델링

하였다.

1.1 Cds모델

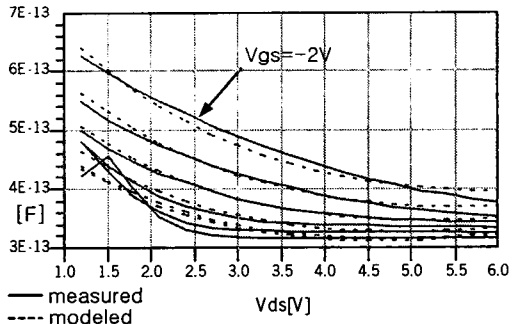


<그림5> Vds의 변화에 따른 Cds모델링 결과

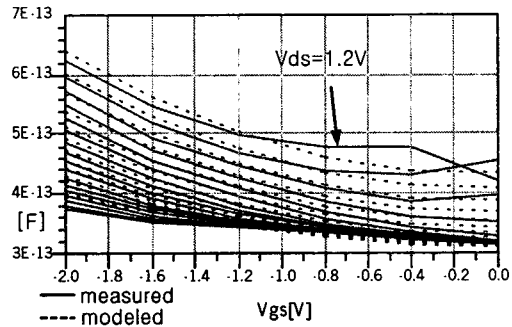


<그림6> Vgs의 변화에 따른 Cds모델링 결과

1.2 Cgd모델

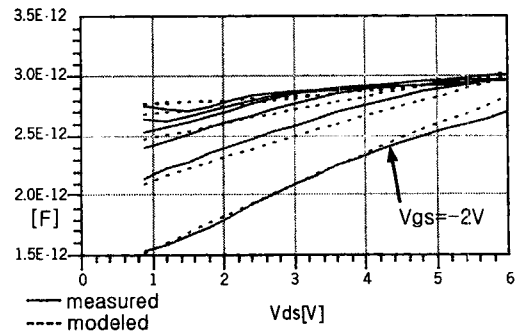


<그림7> Vds의 변화에 따른 Cgd모델링 결과

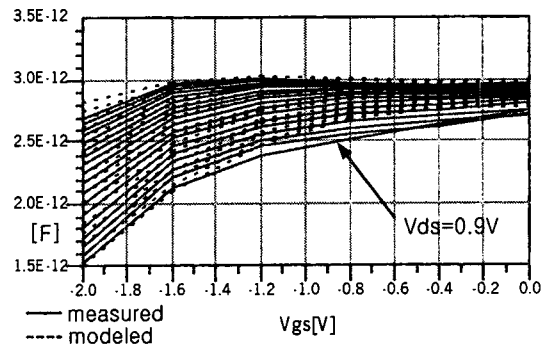


<그림8> Vgs의 변화에 따른 Cgd모델링 결과

1.3 Cgs모델



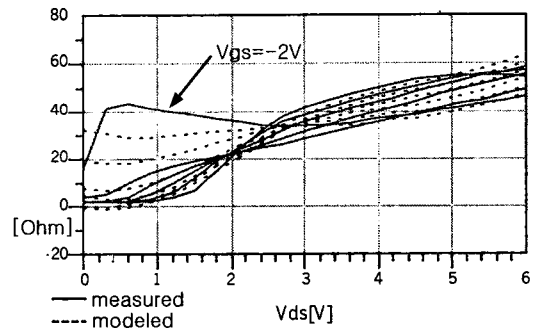
<그림9> Vds의 변화에 따른 Cgs모델링 결과



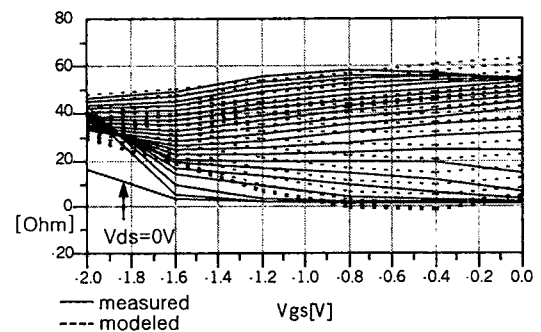
<그림10> Vgs의 변화에 따른 Cgs모델링 결과

2. Rds모델

Rds는 Vgs, Vds에 관한 함수로 모델링하였다.



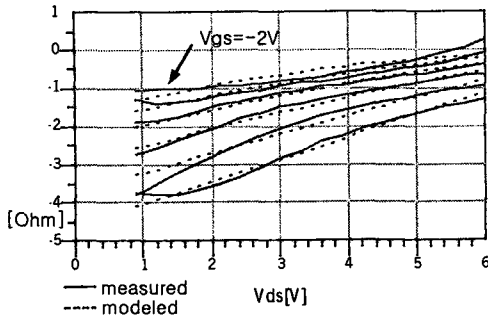
<그림11> Vds의 변화에 따른 Rds모델링 결과



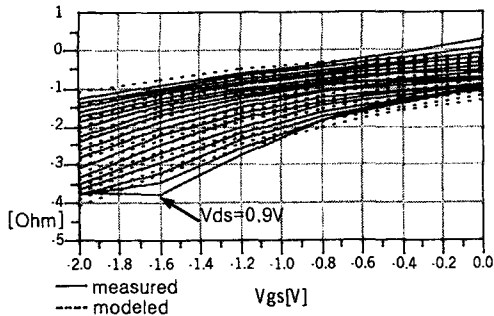
<그림12> Vgs의 변화에 따른 Rds모델링 결과

3. Ri모델

Ri는 Vgs, Vds에 관한 함수로 모델링하였다.



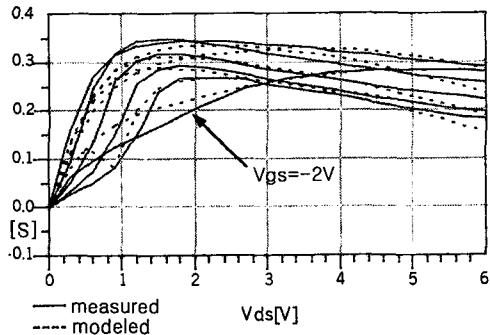
<그림13> Vds의 변화에 따른 Ri모델링 결과



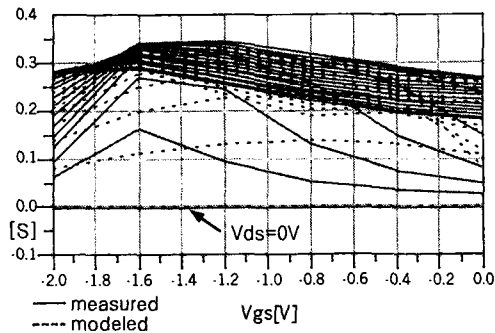
<그림14> Vgs의 변화에 따른 Ri모델링 결과

4. AC-gm모델

gm은 Vgs, Vds에 관한 함수로 모델링하였다.



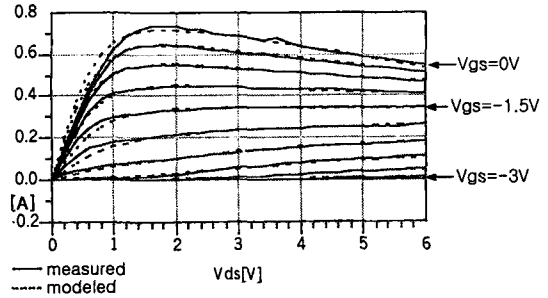
<그림15> Vds의 변화에 따른 gm모델링 결과



<그림16> Vgs의 변화에 따른 gm모델링 결과

5. DC I-V curve

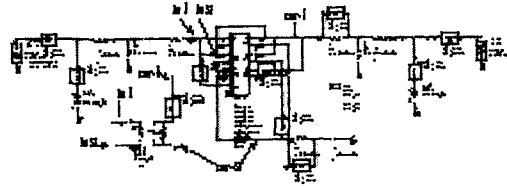
대신호 등가 모델에 있어서, 채널 전류 Ids는 소자의 주된 비선형 요소로서 매우 중요한 구성요소이다.



<그림17> DC-채널 전류 모델링 결과

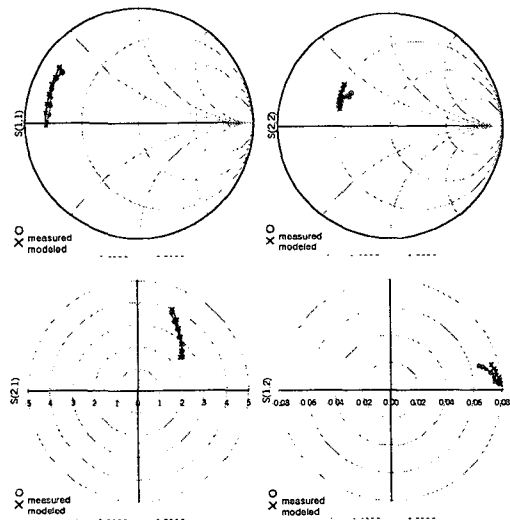
6. SDD를 이용한 대신호 모델 등가회로

<그림18>에서 SDD의 왼쪽 위부터 아래로 1, 3, 5, 7번 포트이며, 오른쪽 위에서 아래로 2, 4, 6번 포트이다. 1번 포트는 Cgd를 나타내며, 2번 포트는 Cds, 3번 포트는 Cgs, 4번 포트는 Rds, 5번 포트는 Ri, 6번 포트는 DC-Ids, 7번 포트는 DC-Ids에서 Vgs를 이용하기 위해 만들었다.

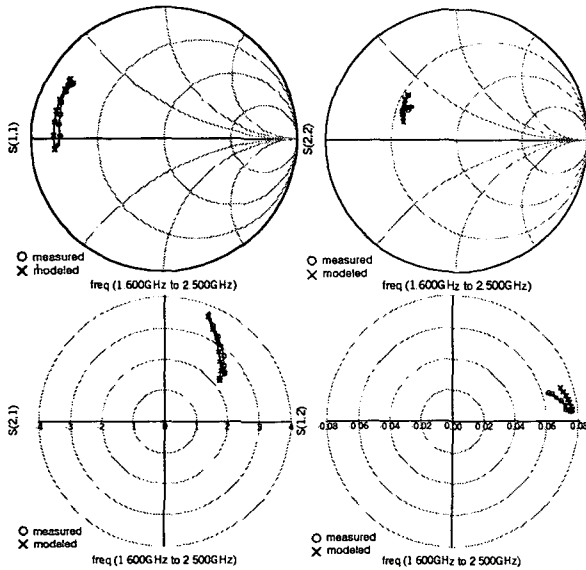


<그림18> SDD를 이용한 등가회로

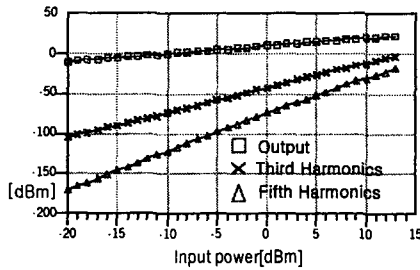
IV. 대신호 등가모델 검증



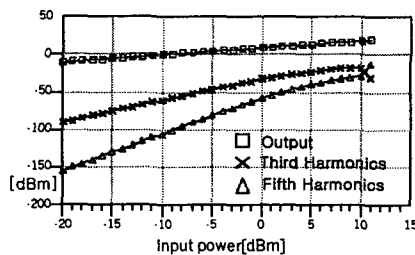
<그림19> Vgs=-1.2V, Vds=3.9V에서의 S-parameter



<그림20> $V_{gs}=-0.4V$, $V_{ds}=3V$ 에서의 S-parameter
<그림19>와 <그림20>에서와 같이 S-parameter가 잘 맞는 것을 볼 수 있다.



<그림21> $V_{gs}=-1.2V$, $V_{ds}=3.9V$ 에서의
입력파워 대 출력파워



<그림22> $V_{gs}=-0.4V$, $V_{ds}=3V$ 에서의
입력파워 대 출력파워

<그림21>과 <그림22>에서와 같이 비선형 특성을 볼 수 있다.

V. 결론

본 논문을 보면 실측한 S-parameter로부터 구한 내부 소자들의 값 중에 음수 값을 갖는 경우가 있는데 실제로는 존재할 수 없는 값이지만 전체적인 모델에 적용하여 전체 특성을 보았을 때는 잘 일치하였다.

라이브러리에 있는 소자를 이용하여 모델링을 하였을 경우에는(5) DC I-V curve가 DC와 AC를 모두 만족할 수가 있었지만, 실측했을 경우에는 AC와 DC를 하나의 함수로 모두 만족할 수 없었다. 위와 같은 이유로 인해 대신 모델링은 AC와 DC로 나누어 모델링하였다.

또 다른 특징으로, <그림4>에서 DC_Feed를 사용한 이유는, 모든 내부 소자들은 외부 전압의 변화에 따라서 추출되어지지만 대신 모델링을 하기 위해서는 내부 전압으로 정의해야 되므로 DC_Feed를 사용하면 외부 전압을 이용해 내부 소자를 정의할 수 있기 때문이다. 마찬가지로 DC-IV 곡선도 외부 전압으로 최적화를 할 수 있다.

대신 모델에서의 SDD(Symbolically Defined Device) 사용은 바이어스의 변화에 따라 변하는 소자들의 특성을 함수로 표현 가능하다는 장점과, 독립적인 바이어스 변수로 나타내야 하는 DAC(Data Access Component) 모델링과 달리 SDD 포트에 적용되는 바이어스를 사용할 수 있는 장점이 있어 회로 설계 시 한층 편리하다.

*본 연구는 단암전자통신 주식회사 지원으로 연구되었음.

참고문헌

[1] 김영훈, 조동준, 최민수, 양승인. "바이어스에 따른 MESFET의 소신호 등가화로 파라미터 변화", 2000년도 춘계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집, Vol. 23, No. 2, pp. 69-72, Sep. 2000.

[2] G. Dambrine, A. Cappy, F. Heliodore and E. Playez, "A New Method for Determining the FET Small-Signal Equivalent Circuit", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 36, No. 7, pp.1151-1159, Jul. 1990.

[3] Paul M. White and Richard M. Healy, "Improved Equivalent Circuit for Determination of MESFET and HEMT Parasitic Capacitances from 'Coldfet' Measurements", *IEEE Microwave & Guided Wave Letters*, Vol. 3, No. 12, pp. 453-454, Dec. 1993.

[4] 임종식, 김병성, 남상욱, "MESFET과 HEMT의 S-파라미터로부터 기생저항을 구하는 새로운 방법", 춘계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집, Vol. 23, No.1, pp.26-29, May. 2000.

[5] 조동준, 양승인, 전용구, "GaAs MESFET의 대신 모델링 파라미터 추출에 관한 연구", 2000년도 춘계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집, Vol. 24, pp. No. 1, pp. 15-18, May. 2001.