

다이오드의 소신호 및 대신호 등가모델에 관한 연구

A Study on Small-signal and Large-signal Equivalent Model for Diodes

*최민수, 양승인, 전용구**

승실대학교 RF MW 교육센터

승실대학교 정보통신전자공학부

**단암전자통신 주식회사

E-mail : *square2000@hanmail.net, siyang@ieee.org

**ykjun@danam.co.kr

*Min-Soo Choi, Seung-In Yang

Yong-Goo Jun**

School of Electronics Eng., Soongsil Univ.

Education Center for RF/MW

**DANAM Communication Inc.

요 약

다이오드의 소신호 및 대신호 파라미터 추출은 DC 해석, 외부 기생 소자 추출, 마지막으로 S-파라미터에 의한 내부소자 추출로 이루어진다. DC IV-곡선과 S-파라미터의 curve-fitting으로 내부 파라미터를 구하였고 외부 기생소자는 바이어스에 따라 변하지 성질을 이용하였다. 사용된 소자는 Schottky diode는 SIEMENS사의 BAS125를, Varactor diode는 SONY사의 1t362를, PIN diode는 Hitachi사의 HVM14S를 모델로 사용하였다. 실측을 위해 사용된 소자는 각각 HP사의 HSMS-2822, SONY사의 1t362, HP사의 HSMP-3834를 이용하여 측정하였다.

I. 서 론

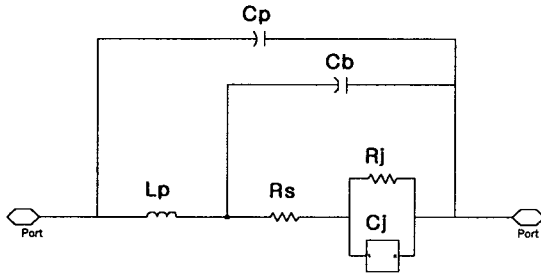
다이오드의 소신호 및 대신호 파라미터의 추출은 DC 해석, 외부 기생 소자 추출, 마지막으로 S-파라미터에 의한 내부 소자 추출로 이루어진다. 다이오드의 DC IV-곡선의 특성상 모두 같은식으로 표현되며 Varactor 다이오드의 경우 역바이어스에 의해서 전류와 전압의 비가 매우 커짐을 알 수 있다. 이를 이용해 등가의 저항으로 대체할 수 있으며 IV-곡선이 급격하게 변화하는 부분을 중점적으로 다루었다. 외부 기생소자의 경우에는 바이어스에 따라 변화하지 않는 성질을 이용해서 파라미터의 값을 추출할 수 있었다. DC와 외부 기생소자가 구해졌으므로 내부 기생소자를 S-파라미터를 이용하여 내부

캐패시턴스인 C_j 의 값을 추출하였다. Varactor 다이오드는 역바이어스를 인가하는 성질로 인해 접합 캐패시턴스만을 고려하였으며, PIN다이오드의 경우에는 감쇄기의 용도로 인해서 가변저항의 성질을 중점적으로 고려하여 내부 소자를 결정하였다. 소신호와 대신호 모두 공통적으로 먼저 DC IV-곡선에 의한 파라미터 추출을 하였고 S-파라미터에 의해 내부 파라미터를 추출하였다. 모델링에 사용된 소자는 라이브러리에서 구하였으며 Schottky 다이오드는 SIEMENS사의 BAS125를, Varacor 다이오드는 SONY사의 1t362를, PIN 다이오드는 Hitachi사의 HVM14S를 모델로 사용하였다. 실측을 위해 사용된 소자는 각각 HP사의 HSMS-2822, SONY사의 1t362, HP사의 HSMP-3834를 이용하여 측정하였다.[1]

II. 다이오드 등가 회로

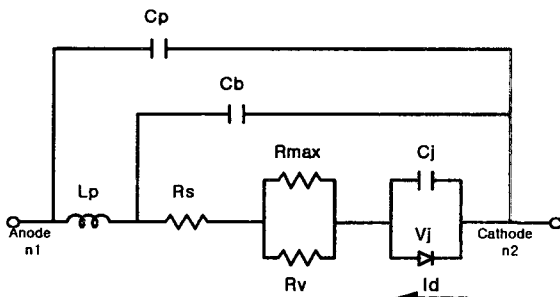
2.1 다이오드 기본 구조 및 내부 등가회로

(1) Schottky 및 Varactor 다이오드



<그림1> Schottky 및 Varactor 다이오드의 내부 등가회로

(2) PIN 다이오드



<그림2> PIN 다이오드의 내부 등가 회로

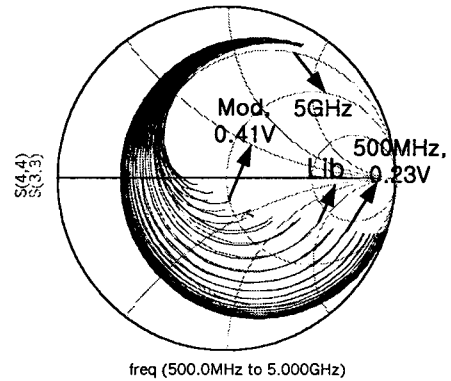
<그림1>은 Schottky Diode와 내부 등가회로를 나타낸 것이며, 등가회로의 소자는 외부 기생소자와 내부 소자로 나뉜다. 외부 기생소자는 C_p , C_b , L_p 로 구분되며, C_p 는 package parasitic capacitance를 C_b 는 beam-lead parasitic capacitance를 그리고 L_p 는 package parasitic inductance를 나타내고, 내부소자는 저항인 R_s , 내부 캐패시턴스 C_j , 내부 다이오드의 양단에 걸리는 전압에 따라 변하는 $I_d(V_j)$ 로 나타낸다. 또한 <그림1>은 Varactor Diode의 전체 등가회로를 나타낸 그림이며, 전체적으로 Schottky Diode와 동일한 회로로 구성된다. 외부 기생소자는 C_p , C_b , L_p 이며 내부 소자는 R_s , C_j , $I_d(V_j)$ 이다. DC로 해석할 때 내부 다이오드는 역방향 전압에 의한 저항으로 대체 할 수 있다.[2][3] <그림2>는 PIN Diode의 내부 등가회로를 나타낸 것이며 기본적인

구성은 위의 다이오드와 같이 외부 기생소자인 C_p , C_b , L_p 와 내부소자인 R_s , R_{max} , R_v , C_j 나뉘어 진다. 다이오드 특성상 I층의 첨가로 인해서 R_v 와 R_{max} 가 병렬로 첨가된 형태이며 R_v 는 전류에 의해서 변화되는 비선형 저항을 나타낸다.[4]

III. 소신호 모델 검증

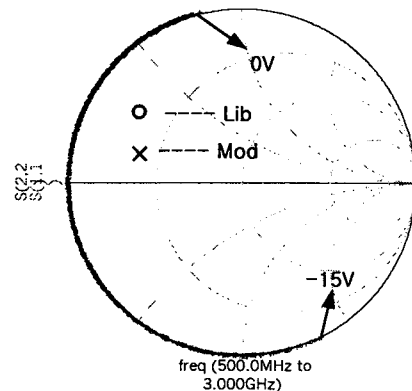
3.1 라이브러리와 모델링의 S-파라미터 비교

(1) Schottky 다이오드



<그림3>Schottky 다이오드의 주파수와 바이어스에 따른 S-파라미터

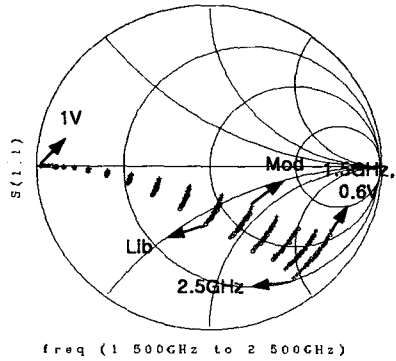
(2) Varactor 다이오드



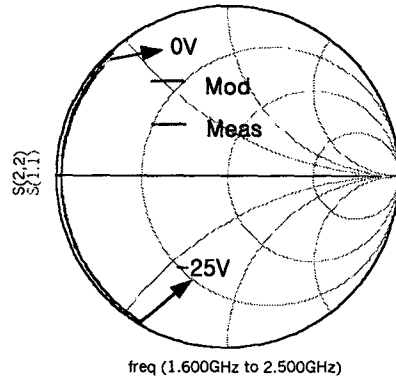
<그림4>Varactor 다이오드의 주파수와 바이어스에 따른 S-파라미터

(3) PIN Diode

(2) Varactor 다이오드



<그림5> PIN 다이오드의 주파수와 바이어스에 따른 S-파라미터



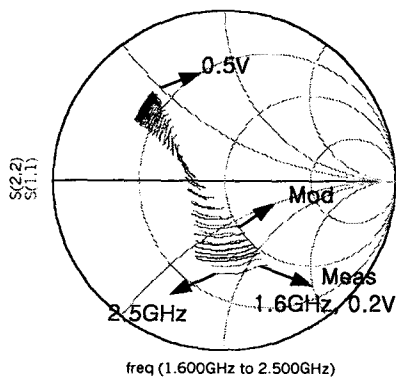
<그림7> Varactor 다이오드의 측정값과 모델링의 S-파라미터

<그림3>은 Schottky 다이오드의 S-파라미터의 변화를 살펴본 그림이다. 바이어스와 주파수를 변화시켜 가면서 S-파라미터를 fitting시켜 결과를 살펴보았다. <그림4>는 Varactor 다이오드의 결과이며 캐패시턴스값의 범위는 대체적으로 5pF ~ 25pF을 갖는다. <그림5>는 PIN 다이오드의 모델링과 라이브러리의 S파라미터를 비교한 그림이다.

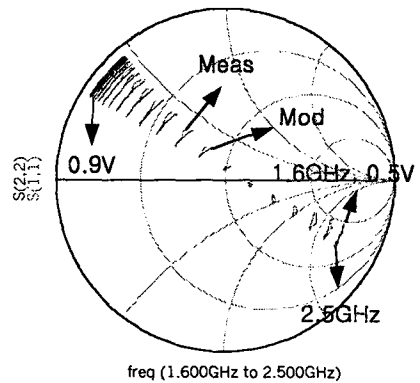
(3) PIN 다이오드

3.2 실측값과 모델링의 S-파라미터 비교

(1) Schottky 다이오드



<그림6> Schottky 다이오드의 측정값과 모델링의 S-파라미터

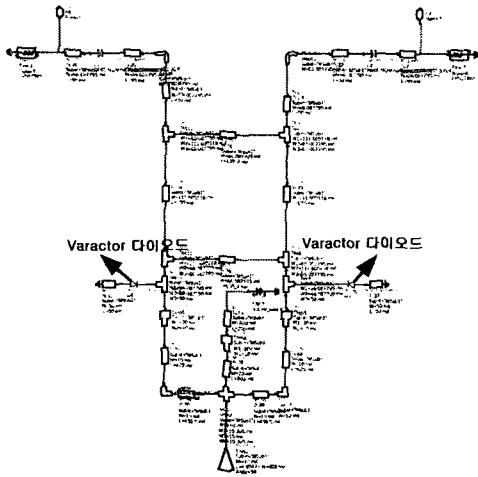


<그림8> PIN 다이오드의 측정값과 모델링의 S-파라미터

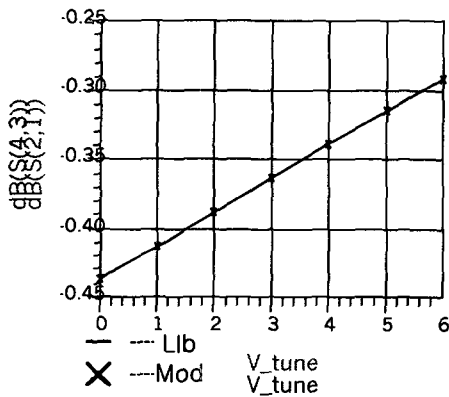
IV. 대신호 모델 검증

4.1 라이브러리와 모델링의 대신호 모델 검증

(1) Varactor 다이오드

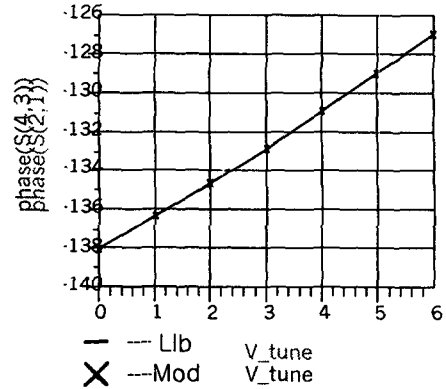


<그림9> 가변위상변환기 회로도



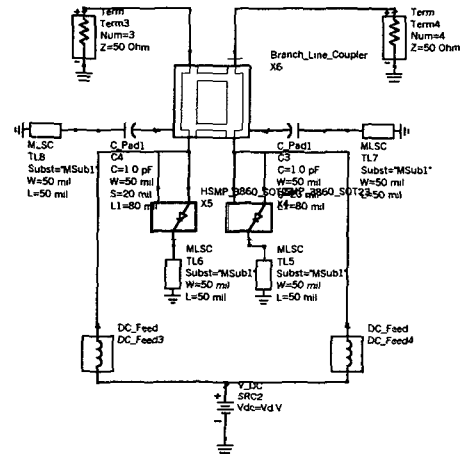
<그림10> 위상 변환기의 전압 변화에 따른 S21

<그림9>는 Varactor 다이오드를 이용하여 제작한 가변 위상 변환기이고 <그림10>과 <그림11>은 라이브러리와 모델링과의 전압변화에 따른 S21과 위상 변화의 비교를 나타낸다. <그림12>는 PIN다이오드를 가지고 제작한 가변 감쇄기를 나타낸다. <그림13>과 <그림14>는 마찬가지로 전압에 따른 S21과 위상 변화에 따른 변화를 나타낸 그림으로 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

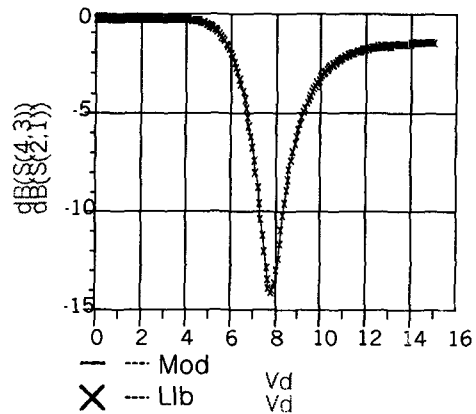


<그림11> 위상 변환기의 전압 변화에 따른 위상변화

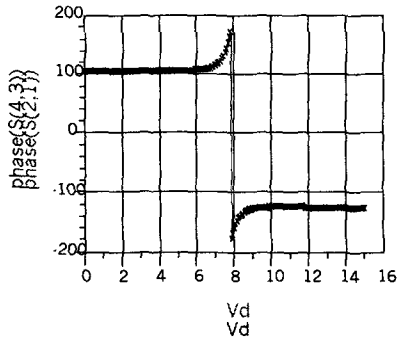
(2) PIN 다이오드



<그림12> 가변 감쇄기 회로도

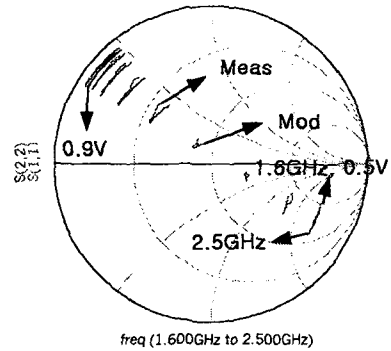


<그림13> 가변 감쇄기의 전압에 따른 S21의 결과



<그림14> 가변 감쇄기의 전압에 따른 위상변화 결과

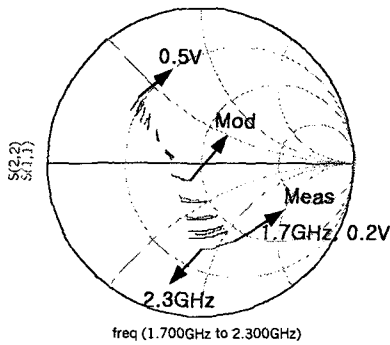
(3) PIN 다이오드



<그림17> PIN 다이오드의 대신호 모델 S파라미터 결과

3.2 실측값과 모델링의 S-파라미터 비교

(1) Schottky 다이오드

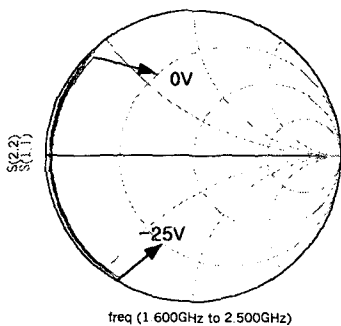


<그림15> Schottky 다이오드의 대신호 모델 S파라미터 결과

V. 결론

본 논문에서는 다이오드에 대한 파라미터의 추출을 살펴보았다. 기본 내부 등가회로는 구조의 특성상 차이점이 보였지만 전류식과 캐패시턴스를 구하기 위한 관계식은 유사함을 보였다. DC 특성 곡선과 S-파라미터를 curve-fitting하여 내부소자를 구했고, 이 결과를 가지고 라이브러리와 모델링, 그리고 모델링과 실측값과의 관계를 살펴보았다. 마지막으로 이를 토대로 소신호 및 대신호 등가모델을 구현하였다.

(2) Varactor 다이오드



<그림16> Varactor 다이오드의 대신호 모델 S파라미터 결과

참고문헌

[1] Sze, S. M., *Physics of Semiconductor Devices*, second edition, New York: John Wiley & Sons, 1981.
 [2] Application note, "Diode Model Parameter Extraction from Manufacturer's Data Sheets", Ansoft Corp, 1997.
 [3] Application note, "PIN Diode Model Parameter Extraction from Manufacturer's Data Sheets", Ansoft Corp, 1997.
 [4] Joe Walston, "SPICE Circuit Yields Recipe for PIN Diode", *Microwaves and RF*, pp.78-89, Nov.1992.