

측정용 패드 De-embedding이 X-밴드 GaAs MMIC 증폭기 설계에 미치는 영향

정회원 장우진*, 황인갑**, 윤경식*

Probing Pad De-embedding Effects on X-band GaAs MMIC Amplifier Design

Woo-Jin Chang*, In-Gap Hwang**, Kyung-Sik Yoon* *Regular Members*

요약

GaAs MESFET의 측정용 패드 de-embedding이 MMIC 설계에 미치는 효과를 살펴보기 위해서 2단 X-밴드 증폭기를 설계 및 제작하였다. 설계에 사용한 GaAs MESFET은 크기가 $0.5\mu\text{m} \times 50\mu\text{m} \times 2$ 이며, X-밴드 GaAs MMIC 증폭기를 제작하여 측정된 결과는 설계에 사용한 GaAs MESFET의 패드 캐패시턴스를 de-embedding하고, 레이아웃에서 소자간의 연결에 사용된 전송선 효과와 수동소자의 공정변화를 고려하여 시뮬레이션한 결과와 유사하였다. 그리고, 서로 다른 크기를 갖는 GaAs MESFET을 이용하여 X-밴드 MMIC 증폭기를 설계하여 본 결과 패드 de-embedding 효과는 GaAs MESFET의 크기가 작을수록 중심 주파수가 많이 이동하며 최고 이득의 변화도 커짐을 알 수 있었다.

ABSTRACT

A 2-stage X-band amplifier was designed and fabricated to investigate pad de-embedding effects on GaAs MESFETs in MMIC design. The size of GaAs MESFETs in this design was $0.5\mu\text{m} \times 50\mu\text{m} \times 2$ and characteristics of the designed and fabricated MMIC were similar to the simulation results which were carried out to fit the measured characteristics of the X-band GaAs MMIC amplifier by taking account of the pad de-embedding, transmission lines of the layout, and process variations of inductances and capacitances. In addition, X-band MMIC amplifiers designed and simulated using different gate areas of GaAs MESFETs showed that the center frequency shift and the gain change due to the pad de-embedding increased as the gate area decreased.

I. 서론

GaAs MESFET을 이용한 MMIC 설계에서 GaAs MESFET의 정확한 모델링은 필수적이다. 일반적으로 GaAs MESFET은 VNA(Vector Network Analyzer)를 이용하여 측정하며 측정시 GaAs MESFET과 연결되어 있는 측정용 패드도 함께 측정되어 GaAs

MESFET을 측정한 S-파라메타에는 패드에 대한 S-파라메타도 포함되어 있다. 그러나, MMIC 제작시에는 측정용 패드가 없는 GaAs MESFET으로 제작하므로 측정용 패드에 의한 기생 캐패시턴스로 인하여 설계와 다른 결과로 나타난다. 특히, 측정용 패드의 기생 캐패시턴스에 대한 영향은 주파수가 높아질수록 더욱 커지게 된다.

*고려대학교 전자 및 정보공학부(ksyoon@tiger.korea.ac.kr)정회원, **전주대학교 전기전자공학부, 정회원
논문번호:98072-0219, 접수일자:1998년 2월 19일

*이 연구는 96년도 한국과학재단의 연구비 지원(과제번호: 961-0922-122-2)에 의한 결과임.

본 논문에서는 X-밴드 증폭기를 MMIC로 제작할 때 GaAs MESFET의 측정용 패드가 증폭기 설계에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 이를 위해서 먼저 측정용 패드를 한 개의 커패시턴스로 모델링한 후, GaAs MESFET의 측정 데이터로부터 패드의 기생 성분을 추출하였고, 패드의 기생성분을 de-embedding하여 증폭기를 설계한 것과 de-embedding하지 않고 설계한 것의 결과를 비교하였고, 제작된 MMIC 증폭기의 측정 결과를 설계치와 비교 분석하였다. 또한 GaAs MESFET의 크기와 패드 de-embedding과의 관계를 살펴보기 위하여 GaAs MESFET의 게이트 폭을 바꾸어 X-밴드 증폭기를 설계하여 de-embedding의 효과를 비교하여 보았다.

II. 측정용 패드의 기생성분 추출

그림 1은 X-밴드 MMIC 증폭기 제작에 사용된 측정용 패드를 포함한 GaAs MESFET 사진이다. GaAs MESFET의 크기는 게이트 길이 0.5 μm , 게이트 폭 50 μm , 게이트 가지가 2개이며, 게이트와 드레인의 측정용 패드의 크기는 각각 100 $\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ 이고, 패드사이의 간격은 50 μm 이다.

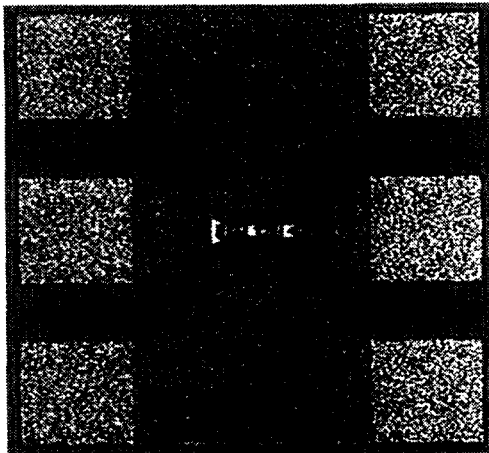


그림 1. 측정용 패드를 포함한 GaAs MESFET 사진

본 연구에서는 측정용 패드를 한 개의 커패시턴스로 모델링하였으며 패드 커패시턴스의 추출을 위하

여 GaAs MESFET의 pinched-off cold-FET 조건에서의 Dambrine 모델을 사용하였다. 그림 2는 pinched-off cold-FET조건에서의 Dambrine이 제안한 GaAs MESFET 소신호 등가회로^[1]를 보여주며 C_b 는 게이트 전압 V_{gs} 에 pinch-off이하의 전압을 인가하여 생기는 게이트-소오스와 게이트-드레인 간의 공핍영역에 의한 커패시턴스를 나타낸다. 게이트와 드레인 패드에 의한 기생 커패시턴스 C_{pg} 와 C_{pd} 는 pinched-off cold-FET 조건에서 측정한 GaAs MESFET의 S-파라메타를 Y-파라메타로 변환을 시킨 후, 식(1), (2), (3)을 이용하여 Y-파라메타의 허수부에서 주파수에 대한 기울기로부터 추출할 수 있다.

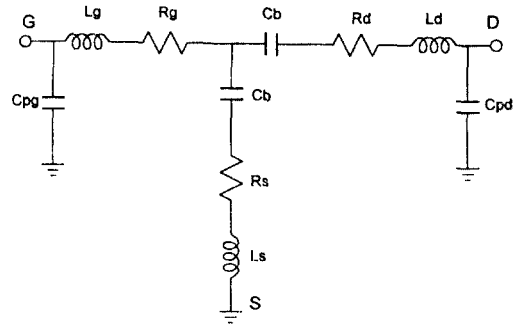


그림 2. pinched-off cold-FET 조건에서의 소신호 등가회로

$$\text{Im}(Y_{11}) = j\omega(C_{pg} + 2C_b) \quad (1)$$

$$\text{Im}(Y_{12}) = \text{Im}(Y_{21}) = -j\omega C_b \quad (2)$$

$$\text{Im}(Y_{22}) = j\omega(C_{pd} + C_b) \quad (3)$$

그림 3은 pinched-off cold-FET조건인 $V_{gs} = -3\text{V}$, $V_{ds} = 0\text{V}$ 에서 측정한 GaAs MESFET의 패드커패시턴스 C_{pg} 와 C_{pd} 를 추출한 결과이다. 추출된 C_{pg} 는 주파수에 따라 일정하나 C_{pd} 는 기생 인덕턴스의 영향으로 주파수가 높아질수록 감소하는 경향을 보였다.

게이트 패드 커패시턴스 C_{pg} 는 비교적 기생 인덕턴스의 영향을 덜 받는 주파수 영역(6GHz ~ 10GHz)에서 산술 평균으로 31.4fF를 얻었다. 추출된 드레인 패

드 캐패시턴스 C_{pd} 는 게이트 패드 캐패시턴스 C_{pg} 보다 큰 값을 가지나 이는 공핍 영역에 존재하는 드레인-소오스 캐패시턴스를 무시하였기 때문이며, 드레인 패드의 크기와 모양은 게이트 패드와 같으므로 드레인 패드 캐패시턴스 C_{pd} 는 게이트 패드 캐패시턴스 C_{pg} 와 같다고 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 게이트 패드에서 추출된 값을 패드 캐패시턴스로 사용하였다.

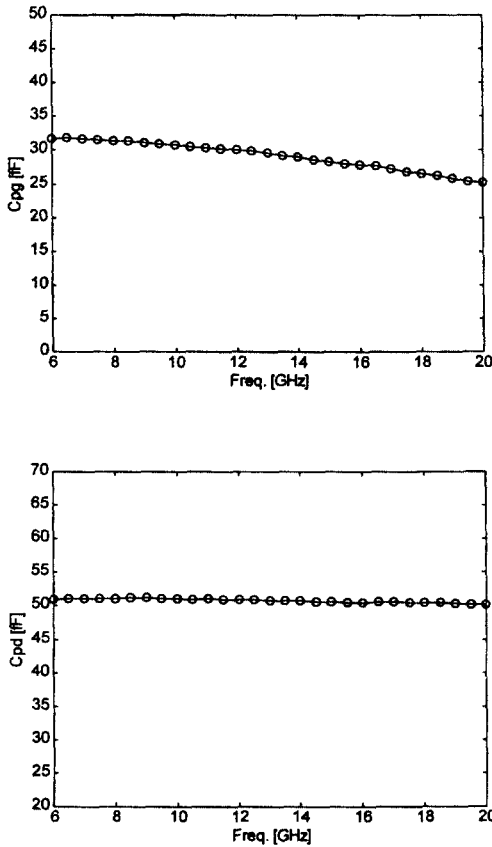


그림 3. 주파수에 대해 추출한 (a) C_{pg} 와 (b) C_{pd}

III. X-밴드 GaAs MMIC 증폭기의 설계

3.1 X-밴드 증폭기 설계 사양 및 설계

X-밴드 MMIC 증폭기의 설계목표는 제작 후에 측정용 패드의 de-embedding 효과를 살펴볼 수 있을 정

도로 결정하였으며, 따라서 중심 주파수가 10GHz, 대역폭이 1GHz, 이득(S_{21})이 8dB 이상, 입출력 반사 손실은 -10dB 이하로 설정하였다.

설계에 사용한 GaAs MESFET은 그림 1에 보이는 MESFET이며, $V_{gs}=2V$, $V_{ds}=-0.14V$, $I_{ds}=2.24mA$ (50% I_{ds})의 바이어스 조건에서 S-파라메타를 측정하여 패드 캐패시턴스를 de-embedding하지 않은 S-파라메타를 사용하여 증폭기를 설계하였다.

그림 4는 설계한 X-밴드 MMIC 증폭기의 회로도이다. 시뮬레이터는 Compact사의 Microwave Harmonica¹²¹를 사용하였으며 증폭기는 설계 사양을 만족시키기 위하여 2단 증폭기로 설계하였고 GaAs MESFET의 측정 조건과 같은 바이어스 조건을 만족시키기 위하여 소오스에 62.5Ω의 저항을 연결한 셸프 바이어스 구조로 하였다.

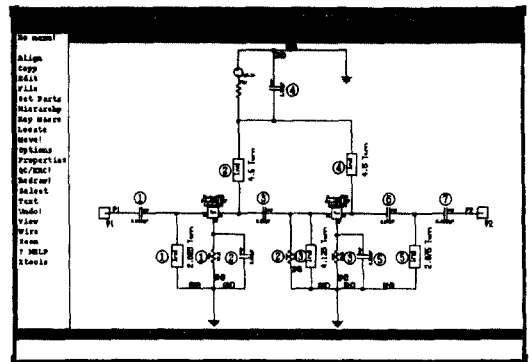
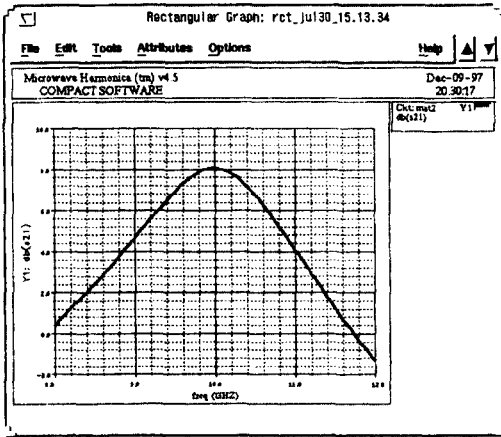


그림 4. X-밴드 GaAs MMIC 증폭기 회로도

설계 결과는 그림 5에 보이며 주파수 10GHz ± 0.5GHz에서 이득(S_{21})이 8.07dB, 입력 반사계수와 출력 반사계수는 10.00GHz와 10.15GHz에서 각각 -23.7dB와 -30.7dB로 설계 사양을 만족시켰다. 그림 6은 설계한 X-밴드 MMIC 증폭기의 안정도 K와 $B1^{13141}$ 을 나타낸 것으로 DC ~ 20GHz 영역에서 안정함을 알 수 있다.

3.2 설계된 X-밴드 증폭기의 패드 de-embedding 효과

설계된 X-밴드 증폭기의 패드 de-embedding 효과를 알아보기 위하여 증폭기의 설계에 사용된 GaAs



(a) S_{21} (dB)

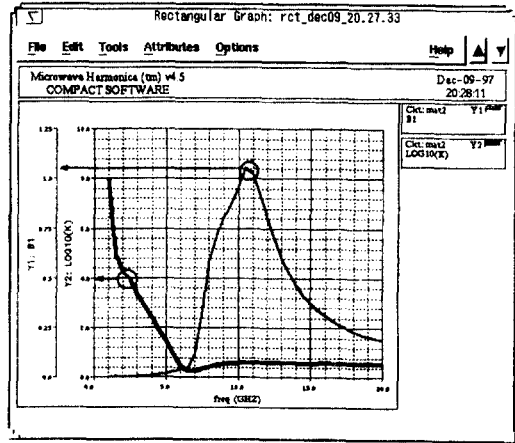
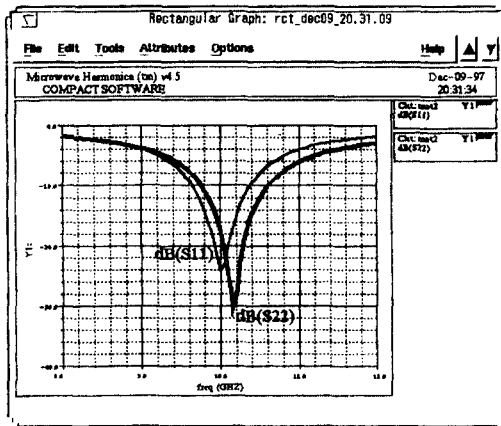
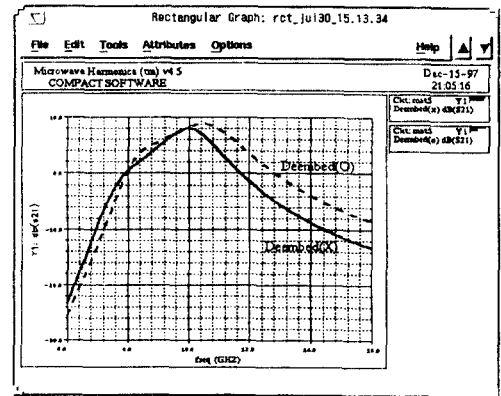


그림 6. X-밴드 GaAs MMIC 증폭기의 안정도 K와 B



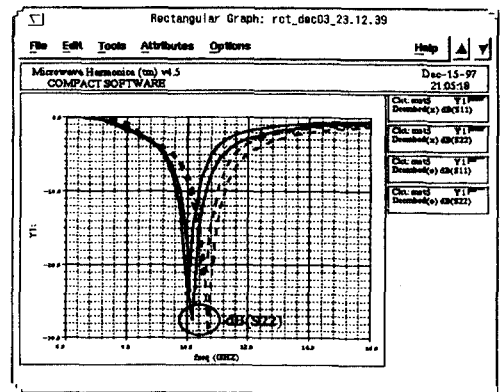
(b) S_{11} (dB)과 S_{22} (dB)



(a) S_{21} (dB)

그림 5. X-밴드 GaAs MMIC 증폭기 시뮬레이션 결과 MESFET의 S-파라메타를 측정용 패드를 한 개의 캐패시터로 모델링한 캐패시턴스값 $C_{ps}=C_{pd}=31.4\text{fF}$ 로 de-embedding 한 S-파라메타로 대체하여 증폭기의 이득(S_{21})과 대역폭의 변화를 통해서 패드 de-embedding 효과를 살펴보았다.

패드 캐패시턴스를 de-embedding 하였을 경우와 de-embedding 하지 않았을 경우의 설계 결과가 그림 7에 보인다. 실선으로 표시한 것이 패드 de-embedding 하지 않고 시뮬레이션한 결과이고, 점선으로 나타난 것이 패드 de-embedding 하여 시뮬레이션한 결과이다. 패드 캐패시턴스를 de-embedding 함에 따라 증폭기의



(b) S_{11} (dB)과 S_{22} (dB)

그림 7. $0.5\mu\text{m} \times 50\mu\text{m} \times 2\text{인}$ GaAs MESFET을 사용한 증폭기의 패드 de-embedding 효과

중심 주파수는 10.00GHz에서 10.45GHz로 450MHz 증가하였으며, 최대 이득도 8.07dB에서 8.87dB로 0.8dB 증가하였고 입출력 반사계수의 최소값도 중심 주파수와 같은 방향으로 증가하였다.

IV. 증폭기의 제작 및 측정 결과 검토

그림 8은 제작된 X-밴드 MMIC 증폭기(1mm×1mm)의 사진이고, 그림 9는 제작된 증폭기의 측정 결과를 보여준다. 그림 9에서 실선으로 표시한 것은 패드 캐패시턴스를 de-embedding한 GaAs MESFET의 S-파라메타를 이용한 증폭기의 설계 결과이고, 점선은 증폭기를 제작하여 측정한 결과이다. 측정된 증폭기의 최고 이득은 8.4GHz에서 9.63dB로 최고 이득 주파수가 설계치보다 2.05GHz 감소하였고, 최소 입력 반사계수와 최소 출력 반사계수 주파수는 각각 8.5GHz와 11.6GHz로 이동하여 증폭기의 대역폭이 설계 결과보다 넓게 측정되었다.

이와 같이 최고 이득이 얻어지는 중심 주파수와 입출력 반사계수가 이동한 원인을 분석하기 위해 두 가지 경우를 고려하였다. 첫번째는 공정상의 이유로 GaAs MESFET의 특성이 변화하였을 경우와 두번째는 수동소자의 특성이 변화하였을 경우이다.

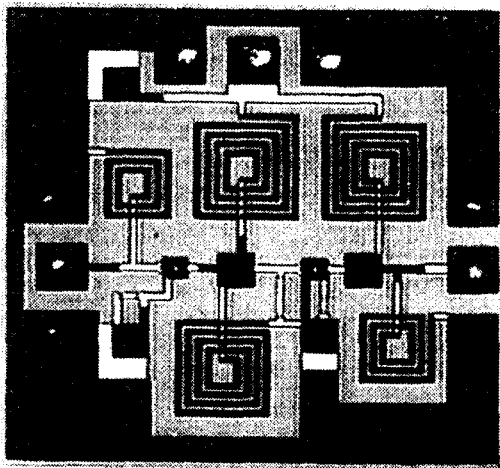
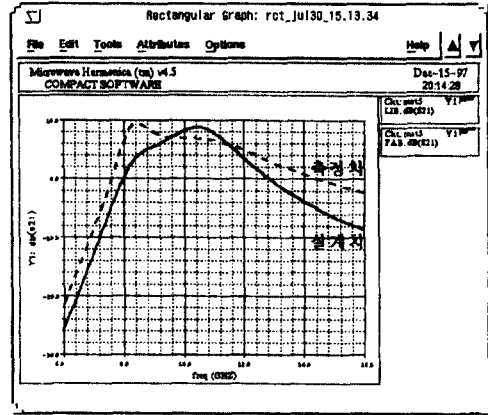
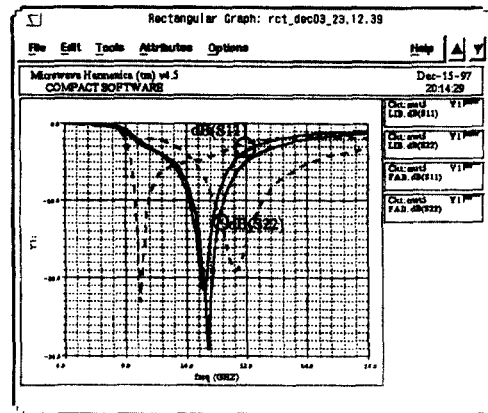


그림 8. 제작된 X-밴드 GaAs MMIC 증폭기 사진 (1mm×1mm)



(a) S_{21} (dB)

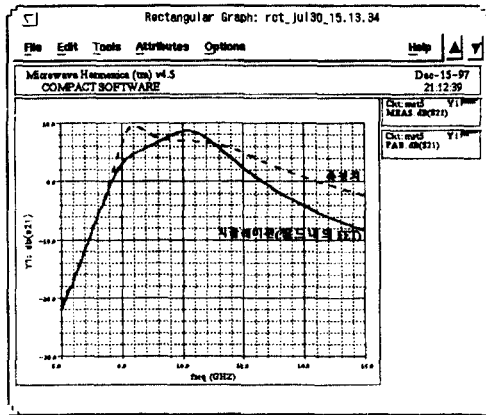


(b) S_{11} (dB)과 S_{22} (dB)

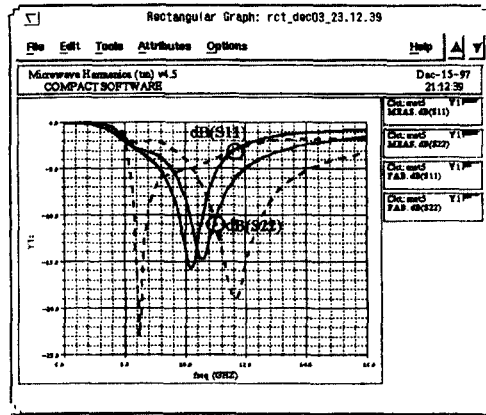
그림 9. 설계 결과(실선)와 측정값(점선)비교

4.1 GaAs MESFET의 특성이 변화하였을 경우

능동 소자인 GaAs MESFET의 특성이 변화하였을 경우를 알아보기 위하여 제작된 증폭기와 같은 필드 안에 있으며 증폭기 제작에 사용된 GaAs MESFET과 같은 크기의 GaAs MESFET의 S-파라메타를 측정하여 패드 캐패시턴스를 de-embedding한 후 설계된 회로의 GaAs MESFET을 대체하여 시뮬레이션하였다. 그림 10에서 실선으로 표시한 것이 시뮬레이션한 결과이고 점선으로 표시한 것이 측정결과이다. 시뮬레이션 결과는 최고 이득(S_{21})이 10.25GHz에서 8.68dB이고 입출력 반사계수는 각각 10.20GHz에서 -15.9dB이며 10.55GHz에서 -14.8dB로 측정 결과와는 많은 차이를



(a) S_{21} (dB)



(b) S_{11} (dB)과 S_{22} (dB)

그림 10. 제작된 증폭기와 같은 필드에 있는 MESFET으로 시뮬레이션한 결과

보이나 설계 결과와는 별 차이가 없으므로 GaAs MESFET의 공정변동으로 인한 특성변화는 거의 없었다고 판단된다.

4.2 수동소자의 특성이 변하였을 경우

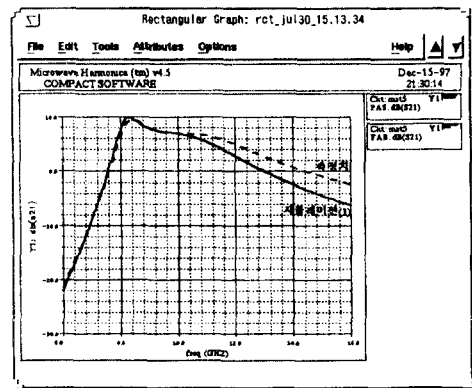
수동소자의 특성이 변하였을 경우를 알아보기 위하여 표 1과 같이 세가지 경우를 생각하여 시뮬레이션을 수행하였다.

표 1. 시뮬레이션 조건에 따른 시뮬레이션 경우

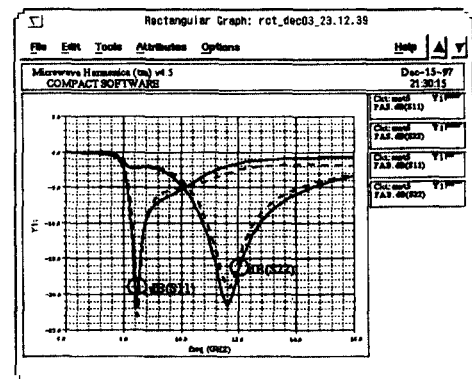
	GaAs MESFET 패드 de-embedding	전송선 시뮬레이션	결과
시뮬레이션 경우 A	O	X	수동소자의 변화량이 커 현실적으로 타당성이 없음
시뮬레이션 경우 B	X	O	측정치와 비슷한 결과를 얻을 수 없음
시뮬레이션 경우 C	O	O	공정 오차 내의 수동소자 변화로 측정치와 비슷한 결과를 얻을

4.2.1 시뮬레이션 경우 A

측정치와 일치하는 시뮬레이션 결과를 얻기 위하여 패드 캐패시턴스를 de-embedding 한 GaAs MESFET의 S-파라메타를 사용하고 증폭기에 사용된



(a) S_{21} (dB)



(b) S_{11} (dB)과 S_{22} (dB)

그림 11. 시뮬레이션 경우 A를 수행한 결과

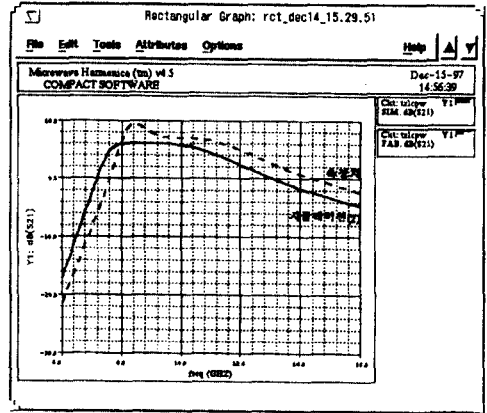
수동소자인 캐패시터와 인덕터의 값을 임의로 변화시켰다. 그림 11은 시뮬레이션 결과를 보여주며 실선으로 표시한 것이 시뮬레이션한 결과이고 점선으로 표시한 것이 측정결과이다. 수동소자의 캐패시터는 각각 0% ~ +39%, 인덕터는 각각 -13% ~ +7%로 변화시켰을 때 증폭기의 시뮬레이션 결과는 측정 결과와 비슷하게 되지만 대역폭보다 높은 주파수쪽에서는 잘 맞지 않는다. 또한, 증폭기에 사용된 캐패시터 중에서 0.103pF와 0.120pF는 각각 +2%, +39%로 증가하여야 하고 인덕터중에서는 0.898nH는 +7%, 1.089nH는 -13%로 변해야 하는 등 한 공정 내에서 비슷한 크기의 캐패시터 변화율이 크게 다르고 인덕터의 변화율이 증감의 반대 변화율로 나타나는 것은 현실적으로 타당성이 없기 때문에 시뮬레이션 결과가 측정치와 비슷하다 하더라도 의미가 없는 것으로 생각된다.

4.2.2 시뮬레이션 경우 B

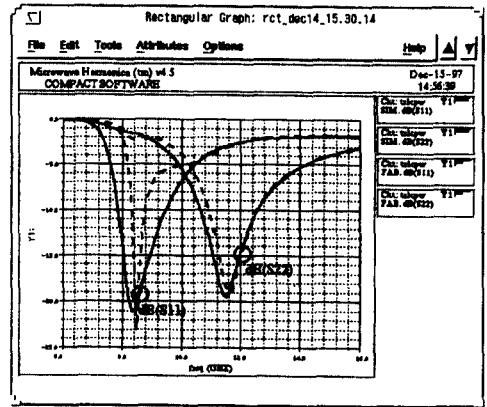
패드 캐패시턴스를 de-embedding하지 않은 GaAs MESFET의 S-파라메타를 사용하고 증폭기의 레이아웃에서 각 소자간의 연결선을 전송선(Transmission Line)으로 모델화시켜 전송선 효과를 포함한 시뮬레이션을 하였다. 그림 12는 시뮬레이션의 결과를 보여주며 실선으로 표시한 것이 시뮬레이션한 결과이고 점선으로 표시한 것이 측정결과이다. 측정치와 비슷한 시뮬레이션 결과를 얻기 위하여 캐패시턴스를 +20% ~ +60%, 인덕턴스를 -24% ~ -10%를 변화시켰으나 이득이 측정치만큼 크게 나오지 않아 측정치와 비슷한 결과를 얻을 수 없었다. 시뮬레이션 결과는 11GHz ~ 16GHz의 높은 주파수쪽에서 대역폭이 증가함으로써 앞의 경우에 비하여 전송선 모델의 첨가가 높은 주파수 쪽에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

4.2.3 시뮬레이션 경우 C

패드 캐패시턴스를 de-embedding한 GaAs MESFET의 S-파라메타를 사용하고 증폭기의 레이아웃에서 각 소자간의 연결선을 전송선으로 모델화시켜 전송선 효과를 포함한 시뮬레이션을 하였다. 이 경우는 캐패시턴스를 +10% ~ +35%, 인덕턴스를 -20% ~ -8%



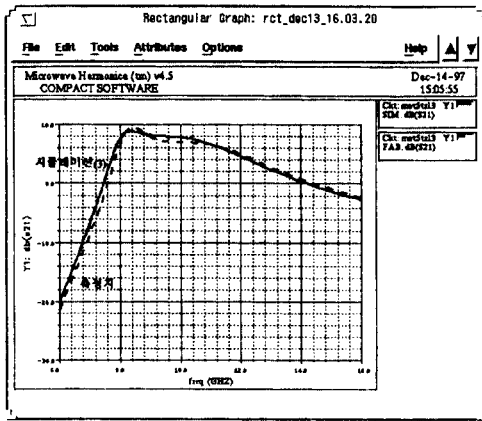
(a) S_{21} (dB)



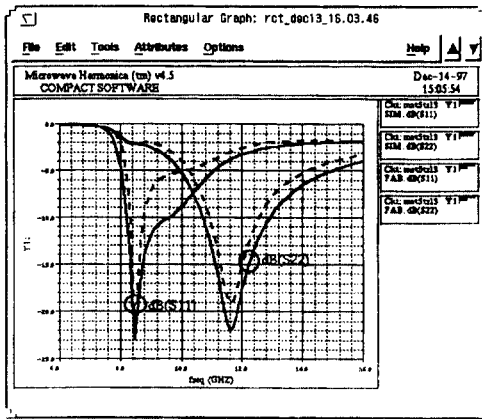
(b) S_{11} (dB)과 S_{22} (dB)

그림 12. 시뮬레이션 경우 B를 수행한 결과

로 변화시켜 그림 13에 보이는 바와 같이 모든 주파수 대역에서 측정치와 비슷한 시뮬레이션 결과를 얻었다. 그림에서 실선으로 표시한 것이 시뮬레이션한 결과이고 점선으로 표시한 것이 측정결과이다. 그리고, 수동소자 중에서 캐패시턴스의 변화율이 크게 나타났지만 0.103pF의 캐패시터와 0.120pF의 캐패시터의 변화율이 모두 +35%로 작은 캐패시터의 변화율이 크고 큰 캐패시터의 변화율은 10%로 작은 캐패시터의 변화율이 큰 캐패시터의 변화율에 비해 크게 변한 것은 예측과 일치한다. 또한, 인덕턴스 변화율도 모두 감소하는 한 방향으로 나타날 뿐 아니라 변화율의 양도 일반적으로 주어지는 공정 오차 범위 내에



(a) S_{21} (dB)



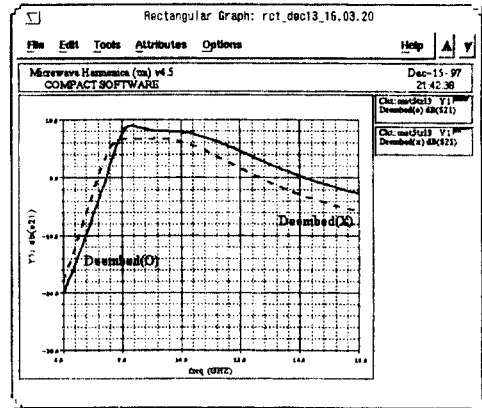
(b) S_{11} (dB)과 S_{22} (dB)

그림 13. 시뮬레이션 경우 C를 수행한 결과

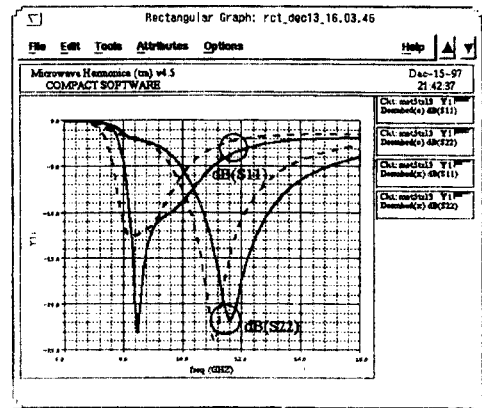
있어 비교적 현실성이 있는 타당한 결과로 생각된다.

시뮬레이션된 결과에서 패드 de-embedding 효과를 알아보기 위하여 GaAs MESFET을 패드 de-embedding 하지 않은 GaAs MESFET으로 대체하여 시뮬레이션 한 결과가 그림 14이다. 그림에서 실선으로 표시한 것이 de-embedding한 결과이고 점선으로 표시한 것이 하지 않은 결과이다. 그림에서 보이는 바와 같이 de-embedding하지 않은 결과는 de-embedding한 결과에 비하여 최고 이득 주파수가 감소하고 이득도 감소하여 GaAs MESFET의 측정용 패드의 영향을 보여준다. 최고 이득 주파수는 패드 de-embedding하기 전의 시뮬레이션 결과에 비하여 8.4GHz에서 8.1GHz로 감소

하고 최고 이득도 8.96dB에서 6.65dB로 감소하여 측정용 패드가 증폭기에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.



(a) S_{21} (dB)



(b) S_{11} (dB)과 S_{22} (dB)

그림 14. 제작된 증폭기에서 GaAs MESFET의 패드 de-embedding 효과

4.3 GaAs MESFET의 크기에 따른 패드 de-embedding 효과

앞 절에서 GaAs MESFET의 측정용 패드 de-embedding이 증폭기의 실제 결과에 영향을 미침을 보였다. 본 절에서는 GaAs MESFET의 크기에 대한 패드 de-embedding의 효과를 알아보기 위해서, 크기가 $0.5\mu\text{m} \times 100\mu\text{m} \times 2$ 인 GaAs MESFET과 $0.5\mu\text{m} \times 10\mu\text{m} \times 2$

인 GaAs MESFET을 사용하여 X-밴드 증폭기를 설계하였다.

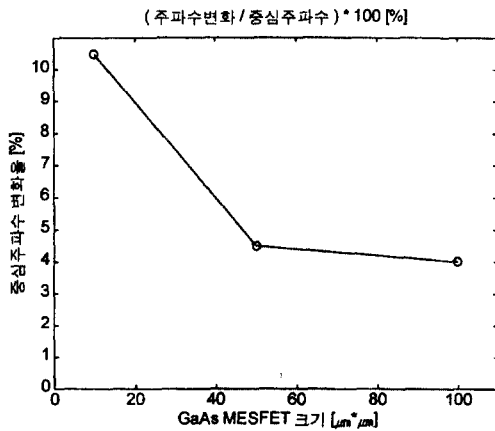
그림 15는 서로 다른 크기의 GaAs MESFET로 증폭기를 설계하였을 때 패드 캐패시턴스의 de-embedding 효과를 보여주는 그래프로써 최고 이득 주파수와 최고 이득의 변화를 GaAs MESFET의 게이트 폭의 함수로 나타내었다. 크기가 $0.5\mu\text{m} \times 100\mu\text{m} \times 2$ 인 GaAs MESFET의 패드 캐패시턴스를 de-embedding하지 않고 설계한 X-밴드 증폭기는 중심 주파수 10.00GHz에서 9.53dB 이득(S21)을 가지나, 패드 캐패시턴스를 de-embedding한 후의 설계에서는 중심주파수

10.40GHz에서 9.67dB의 이득(S21)을 가졌으며, 크기가 $0.5\mu\text{m} \times 10\mu\text{m} \times 2$ 인 GaAs MESFET으로 증폭기를 설계한 경우는 패드 de-embedding을 한 후는 하기전에 비하여 최고 이득의 주파수가 10.00GHz에서 11.05GHz로 증가하였으며, 이득도 7.75dB에서 9.10dB로 증가하였다. 따라서, 패드 캐패시턴스의 de-embedding효과는 GaAs MESFET의 크기가 작을수록 중심 주파수가 많이 이동하며 최고 이득의 변화도 큼을 알 수 있다.

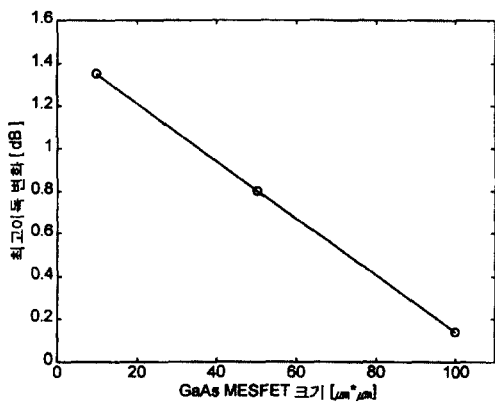
V. 결론

본 연구에서는 MMIC 제작시 사용되는 GaAs MESFET의 측정용 패드로 인한 캐패시턴스의 de-embedding 효과를 살펴보기 위하여 크기가 $0.5\mu\text{m} \times 50\mu\text{m} \times 2$ 인 GaAs MESFET으로 X-밴드 MMIC 증폭기를 설계하고 설계한 증폭기를 제작하여 측정용 패드 캐패시턴스의 de-embedding 효과를 분석하였다. 측정용 패드의 크기는 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ 이며 한 개의 캐패시턴스로 모델링하여 31.4fF를 얻었다. 패드 캐패시턴스를 de-embedding하지 않은 GaAs MESFET의 S-파라미터를 이용하여 설계한 MMIC 증폭기를 제작하여 설계 결과와 비교하였다. 제작된 증폭기의 측정 결과는 설계 결과와는 많은 차이를 보이나 이는 수동소자의 특성변화, 패드에 의한 기생 캐패시턴스와 증폭기 설계시 각 소자간의 연결선을 고려하지 않은 결과이며, 이들의 영향을 고려하여 다시 시뮬레이션을 수행하여 측정치와 비슷한 결과를 얻었다.

패드 캐패시턴스를 de-embedding하지 않고 설계한 경우와 de-embedding하고 설계한 경우의 설계된 MMIC 증폭기는 최고 이득 주파수가 10.00GHz에서 10.45GHz로 450 MHz 증가하였으며 최고 이득도 8.07dB에서 8.87dB로 0.8dB 증가하였다. 제작된 증폭기의 측정 결과와 같은 시뮬레이션 결과를 보여주는 설계에서 GaAs MESFET을 패드 de-embedding하지 않은 GaAs MESFET으로 대체하여 시뮬레이션 하면 8.4GHz에서 8.96dB의 최고 이득이 8.1GHz에서 6.65dB의 최고 이득으로 최고 이득 주파수가 300MHz 감소하고, 최고 이득이 2.31dB 감소한다. 따라서,



(a) 중심주파수의 변화율



(b) 최고 이득의 변화

그림 15. GaAs MESFET의 크기에 대한 패드 de-embedding 효과

GaAs MESFET의 측정용 패드가 최고 이득 주파수와 최고 이득에 관계함을 알 수 있으며 또한, GaAs MESFET의 크기와 측정용 패드와의 관계는 서로 다른 크기의 GaAs MESFET을 이용하여 X-밴드 MMIC 증폭기를 설계하여 본 결과 GaAs MESFET의 크기가 작을수록 측정용 패드의 영향이 커져서 최고 이득 주파수와 최고 이득의 차이가 컸다.

1984년~1986년 : 삼성전자연구소 주임연구원
1993년~1995년 : 한국전자통신연구소 선임연구원
1995년~현재 : 전주대 전기전자정보통신공학부
조교수

윤 경 식(Kyung-Sik Yoon)정회원
한국통신학회논문지 제21권4호 참조

참 고 문 헌

1. G. Dambrine, A. Cappy, F. Heliodore and E. Playez, "A New Method for Determining the FET Small-Signal Equivalent Circuit", IEEE Trans. on MTT, pp.1151-1159, Jul. 1988.
2. "Microwave Harmonica Users Guide", Compact Software, 1994.
3. Guillermo Gonzalez, "Microwave Transistor Amplifiers : Analysis and Design", Prentice-Hall, 2nd Edition, 1996.
4. Max W. Medley, "Microwave and RF Circuits : Analysis, Synthesis and Design", Artech House 1993.



장 우 진(Woo-Jin Chang)정회원
1996년 2월:고려대학교 정보공학과
공학사
1998년 2월:고려대학교 대학원 정보
공학과 공학석사
1998년 1월~현재:LG 전자부품연
구소 연구원

<연구분야> MMIC, 능동소자소신호모델링



황 인 갑(In-Gap Hwang)정회원
1959년 1월 9일생
1981년:연세대 전기공학과 졸업
1983년:동 대학원 전기공학과 졸
업(석사)
1992년:아리조나주립대 전기공학
과 졸업(공박)