■ 特輯 · 技術解說

Microwave Low Noise Amplifier 현황과 설계

秦政山*, 金泰會**, 田光一**
(非會員) (非會員) (非會員)
現代電子産業(株)研究所
M/W장비팀 部長*, 研究員**

Ⅰ. 머리말

지금 세계는 위성통신, 위성방송 시대를 맞고 있다. 적도 상공 35800Km에 떠 있는 위성으로부터 보내는 미약한 신호를 수신하게 되었으며 이는 과거의 첫단 소자로 diode mixer를 사용하던 것 보다 수신감도가 뛰어난 저잡음 증폭기(LNA)를 사용함으로써 가능하게 되었다. 앞으로 90년대에는 한국도 통신위성을 보유하고 국내외 통신·위성방송을 통하여 전국을 동시 생활권으로 만들어 나갈 것입니다. 현대전자는 앞으로 위성통신시대에 사용될 위성통신, 위성방송 장비를 국산화하여 국내의 위성통신 및 방송장비의 국산화를 촉진하며, 수출에 일익을 담당하기 위하여 위성관계 장비의 국산화에 착수하였다. 위성통신에서 중요한 비중을 차지하는 microwave low noise amplifier를 1985년 개발 시작하여 6개월 만에 개발을 완료하고 1985년 9월에 미국 지역에 15,000대를 수출하여 미개척 분야인 우주통신에 동참할 수 있다는 자신감을 얻었으며, 축적된 기술로 더욱 성능이 향상된 LNA를 계속 개발하여 개발 초기에 noise temperature가 75°K이었으나, 지금은 55°K LNA 개발이 완료되었고, 이어 low noise block converter(55~60°K)도 국내 최초 개발 수출 상담중에 있다. 현재 위성방송 수신에 사용되고 있는 저잡음 증폭기는 GaAs MES FET를 이용한 것으로 크기가 작고 가볍고 운영 비용이 저렴하여 일반 가정에서도 방송위성으로부터 선명한 화면을 수신할 수 있게 되었다. 현재 개발된 산업용 microwave low noise amplifier는 uncool FET LNA(70°K), thermoelectrically cooled FET LNA(55°K), uncool par-amp LNA(50°K), thermoelectrically cooled paramp(30°K), cryogenically cooled paramp(15°K)등이 위성통신 및 방송에 실용되고 있다.

Ⅱ. HLNA-200 Microwave Low Noise Amplifier

1. GaAs MES FET

실용소자로써 발전하지 못하던 GaAs MES FET는 1971년 제조기술의 발달로 microwave frequenncy에서 동작하는 GaAs MES FET가 만들어 졌으며 이로 인하여 GaAs MES FET를 이용한 저잡음 증폭기가 제작되기 시작했다. GaAs소자는 Si 소자에 비해서 전자 이동속도가 5~7배나 빠르고 microwave에서 제반특성(잡음지수, 이득 안정도)등이 월등하다. GaAs MES FET는 뛰어난 성능과 앞에서 언급한 것과 같이 크기와 무게 power supply 가격, reliabilty등 여러면에서 이점을 가지고 있어서 위성통신이나 우주용에 적합하고 산업용으로도 널리 사용되고 있다. GaAs MES FET의 성능은 gate length에 의해 개선 될 수 있다. 초기의 수십 μm의 gate length를 갖는 것에 비해서 오늘날에는 0.25 μm gate length를 갖는 GaAs MES FET가 나오고 있다. 이로 인해 GaAs MES FET의 잡음지수가 크게 개선 되었다(그림1 참조).

오늘날 GaAs MES FET는 C-BAND에서 0.4dB의 잡음지수와 13dB의 이득을 갖는 것도 개발되어 있다.

2. GaAs MES FET Amp. 설계

GaAs MES FET Amp.는 microstrip line과 GaAs MES FET로 구성되며 사용되는 substrate로는 Alumina ($\varepsilon_r=9.6$), Teflon ($\varepsilon_r=2.5$)등이 많이 사용되고 있다. HLNA-200은 두께 0.8㎜ 비유전율 $\varepsilon_r=2.5$인 Teflon 기판을 사용했다.

GaAs MES FET Amp. 설계과정은 다음과 같다. Amp.의 사양이 주어지면 사용 주파수 잡음지수 이득등 여러 요인을 고려하여 사양에 맞는 GaAs MES FET

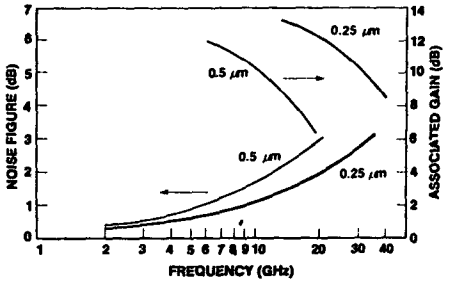

그림 1. 잡음지수와 이득에 대한 gate length의 영향

를 선정, S-parameter와 noise parameter를 측정하거나, maker의 data sheet로부터 얻는다. 실제의 S-parameter noise parameter를 표 1에 표시하였다. S-parameter로 부터 정이득원과 안정도원, 그리고 Linvill의 안정도 계수를 구할 수 있고 Linvill의 안정도 계수를 이용하여 선택한 GaAs MES FET의 unconditional stability와 conditional stability를 판정한다. 즉 입출력 반사계수 수가 1보다 작고 Linvill의 안정도계수 K가 1보다 클 경우 GaAs MES FET는 unconditionally stable하며 입출력 반사계수가 1보다 클 경우 부성저항을 나타내는 영역이 존재하고 K값이 1보다 작게 되므로 conditionally stable하다. 이 경우 smith chart 상에 입출력 안정도원을 그려 안정한영역에 존재하는 입출력 부하를 택해 설계하여야 한다. 또한 Noise parameter로부터 정잡음원을 얻을 수 있으며 증폭기가 최소잡음지수를 갖기 위해서는 입력측 반사계수를 최소잡음 입력반사계수로 하여 입출력 부하를 택해야 한다. 그림 2, 3, 4에는 안정도원과 정이득원 정잡음원의 보기가 주어져 있다. 주어진 증폭기 사양에 맞는 설계를 위해 앞에서 구한 정이득원과 정잡음원으로 원하는 이득원과 원하는 잡음지수의 잡음원이 일치하는 점으로 부하를 택하며 안정도원으로 안정한 영역에 존재하는가를 판단 안정한 영역에 있는 부하들을 택한다. 이들로 matching 회로를 구성 증폭기의 기본

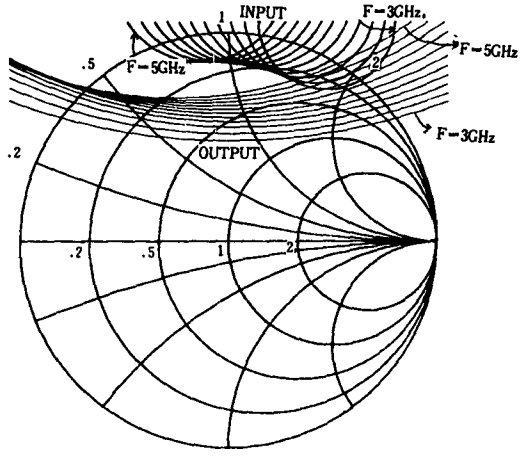

그림 2. MGF-1303의 입출력 안정도원

표 1. MGF-1303 Data Sheet

```
! MGF-1303
! VDS=3V  IDS=10MA
! SCATTERING PARAMETERS:
```

Frequency	S11		S21		S12		S22	
0.5	0.992	-10	3.217	170	0.009	84.5	0.708	-7
1	0.989	-19.8	3.199	161.5	0.018	77	0.704	-14.1
1.5	0.977	-29.5	3.115	152	0.027	68.5	0.697	-20.7
2	0.961	-37.6	3.034	142	0.036	62.5	0.688	-27
2.5	0.944	-47	2.951	134.5	0.046	56.3	0.676	-32.5
3	0.919	-55.1	2.851	127.2	0.052	50.8	0.665	-37.6
3.5	0.896	-63.3	2.754	120	0.057	45.3	0.652	-42.2
4	0.878	-71	2.676	113.7	0.061	40	0.644	-47
4.5	0.861	-77.5	2.591	107	0.065	35.3	0.634	-52.2
5	0.847	-84.3	2.512	100.2	0.068	30	0.629	-57
5.5	0.838	-91	2.441	92.9	0.071	24.7	0.624	-62.4

```
! NOISE PARAMETERS:
```

Frequency	NF	Γ_m		Rn
3	0.64	0.8	43.0	0.426
3.5	0.70	0.78	49.5	0.416
4.0	0.76	0.75	56.0	0.406

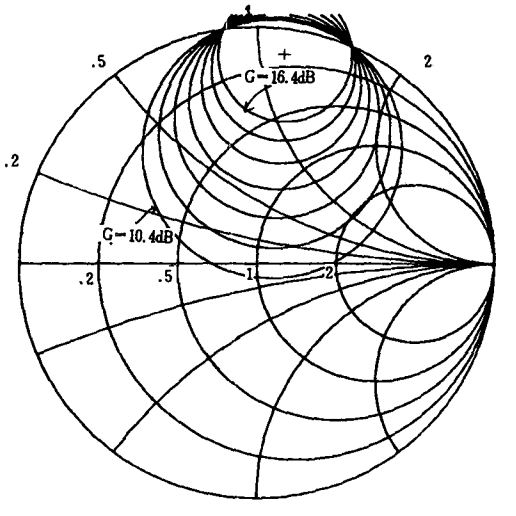

그림 3. F=4GHz에서 MGF-1303의 정이득원

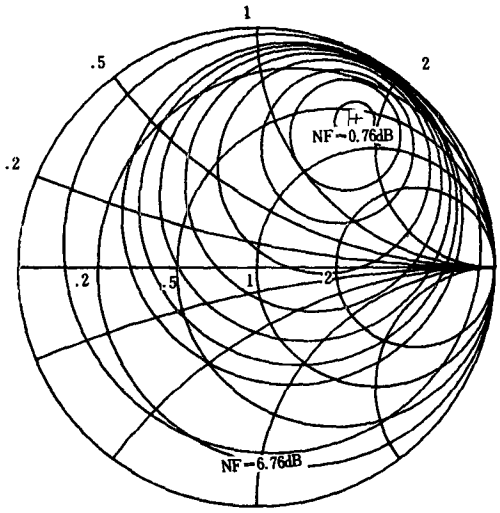

그림 4. F=4GHz에서 MGF-1303의 정잡음원

회로도를 얻고 이 기본 회로도를 computer program을 통해 simulation 및 optimization을 하여 재구성한다.

GaAs MES FET Amp.의 바이어스 회로에는 세심한 주의를 기울어야 한다. GaAs MES FET에 바이어스를 인가하는 방법은 passive bias와 active bias로 나눌 수 있고 active bias는 단일전원법과 2전원법이 있다.

Passive bias중 self bias는 한 전원으로 게이트 전위를 source에 대해 내려주는 방법으로 가장 일반적이다. Passive bias를 사용할 경우 전원의 on-off시 GaAs MES FET에 손상이 가지 않도록 주의 해야한다. GaAs MES FET의 동작점 선택은 용도에 따라 저잡음 저전력용 고전력용등 여러가지가 있을 수 있다. 이득과 잡음지수는 드레인과 소우스간의 전압 V_{DS} 보다 드레인과 소우스간의 전류 I_{DS}에 의한 영향이 크며 일반적으로 최소잡음지수를 얻기 위해 V_{DS}를 3V, I_{DS}를 0.1~0.15 I_{DSS}로 하고 단일전원법은 microstrip 상에 실현이 힘들므로 2전원법으로 bias회로를 설계한다

위에서 설명한 것과 같이 bias조건은 저잡음 증폭기의 성능에 중요한 요인이 된다.

3. HLNA-200의 제작

현대전자가 개발한 HLNA-200은 앞에서 언급한 GaAs MES FET Amp. 설계법으로 제작하여 자체 개발한 computer program으로 simulation과 optimization을 하였으며 실제 제작에 있어 모델의 변경에 따른 업무의 반복을 줄이고 크기 제한에 대한 고려를 computer program으로 하였다. HLNA-200의 block diagram이 그림 5에 나타나 있다.

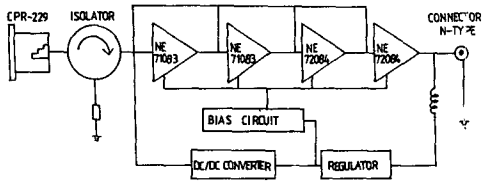

그림 5. HLNA-200 Block Diagram

전원공급을 위하여 high impedance inductor와 meander inductor를 사용하였으며 main line과의 연결점은 전원공급선의 영향을 줄이기 위해 low impedance점으로 택했으며 실제 optimization할 때 noise figure와 gain 입출력 VSWR등 여러조건을 동시에 만족시키기 위해 많은 노력이 필요 했으며 완성된 회로를 artwork할 때 발생하는 오차를 최대한 줄이기 위해 10배 확대 artwork하여 PCB제작용 필림을 얻었다.

HLNA-200의 사진과 technical specification은 그림6, 표2와 같다. 제작된 Amp.의 성능을 측정하여 보면 설계치와 실험치에는 약간의 오차가 있다. 이것은 기구적인 문제, 높은 이득과 밀집된 회로 구성으로 증폭된 신호의 feedback, 실제기판 제작상 오차등에 의한 것이다. 이 오차는 실험을 통해 보상해 줄 수 있는데 회로를 설계할 때 이러한 점을 고려하여 LNA의 성능을 조정할 수 있는 factor들을 만들어 주어야 한다. 이들 factor로는 GaAs MES FET gate 단자의 coil, capa-

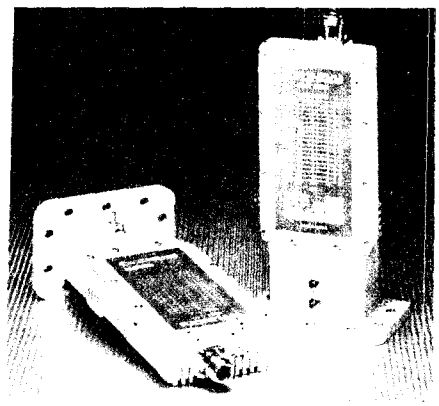

그림 6. HLNA-200

표 2. HLNA-200의 Technical specification

Technical Specifications

General Specifications

Dimension	4″(W)×8.3″ (D)×2.8″ (H)

Electrical Specifications

• Input Frequency Range	3.7—4.2GHz
• Noise Temperature	75°K—90°K 90°K—100°K 100°K—120°K
• Gain	50dB Min
• Gain Flatness	±0.5dB/500MHz
• Power Output (a) 1dB Gain Compression	0dBm Min.
• Input VSWR	1.3Max.
• Output VSWR	1.5Max.
• Input Power/Current	+15 to +24V DC 120mA Nominal
• Input Connector	CPR 229
• Output Connector	Type "N" Female

citor의 용량 등 여러가지가 있을 수 있다.

제작된 증폭기의 잡음지수를 측정할 때 많은 주의가 필요하게 된다. 특히 LNA의 동작주파수 3.7~4.2GHz를 noise figure meter의 입력주파수(10~1500MHz)로 변환이 필요하므로 mixer를 사용하게 된다. 이때 발생하는 image response 그리고 측정할 LNA와 noise source 사이의 전송손실, connector 손실등을 고려하여 측정시 보상을 해주어야 하며 주변온도의 변화도 고려해야 한다. 주변온도가 떨어짐에 따라 이득이 떨어지는 bipolar transistor와는 달리 GaAs MES FET는 주변온도의 하강에 대해 transconductor의 증가로 이득의 상승과 잡음지수의 개선을 가져온다. 또한 GaAs MES FET는 온도변화에 대해 입출력 임피이던스의 변화가 심하지 않으므로 상온에서 설계된 GaAs MES FET Amp.를 냉각하면 성능을 향상시킬 수 있다. 단 냉각으로 인한 변화를 gate bias 조절을 통하여 설계한 주파수대역에서 동작하는 Amp.의 성능을 얻을 수 있게 한다. 주변온도 변화에 따른 GaAs MES FET Amp.의 성능을 다음 그림7에 나타내었다.

GaAs MES FET Amp. 제작시 주의할 사항은 다음과 같다.

(1) GaAs MES FET를 납땜할 때 과도한 열 즉 250℃에서 8초 이내에 납땜

(2) 정전기 방지

(3) 바이어스시 순간적인 전류가 흐르지 않도록 하기 위해 active bias를 사용하며 passive bias시 게이트와 소우스간의 전압을 −1V로 서서히 조정한후 드레인과 소우스간의 전압을 0V에서 원하는 값까지 증가 시킨다. 또한 역순으로 전원을 차단한다. GaAs MES FET는 上記의 여러가지 조건을 만족하지 못하면 성능이 열화되어 만족한 성능을 얻지 못한다.

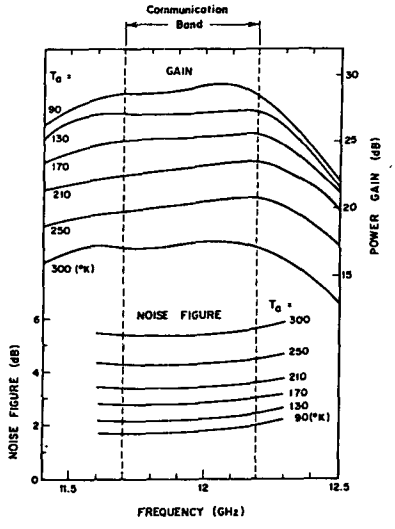

그림 7. 주변 온도변화에 따른 GaAs MES FET 성능 변화

Ⅲ. 맺음말

위성통신등 통신기술의 발달과 함께 LNA의 중요성이 인식되어 가면서 여러 종류의 LNA가 개발되었다.

오늘날 저잡음 증폭기는 소형화 사용주파수 대역의 확장 잡음지수의 개선등으로 더욱 발전할 것이며 최근에 개발된 소자인 HEMT(high electron mobility transistor)는 GaAs MES FET 보다 뛰어난 성능을 가지고 있으며 극저온으로 냉각한 HEMT는 maser와 같은 정도의 잡음지수를 가지고 있어 저잡음 증폭기의 중요한 소자가 될 것이다. 이로 인해 저잡음 증폭기의 잡음지수는 새로운 국면을 맞이 할 것으로 기대된다.

현대전자는 LNA를 자체 개발한 기술로써 위성통신 및 위성방송 장비를 개발중에 있으며 앞으로는 GaAs MES FET를 대신하여 성능이 뛰어난 HEMT를 이용한 산업용 저잡음 증폭기(50°K)와 parameteric amplifier(30°K)를 개발할 계획으로 있다. 산업용 microwave 장비 개발에 참여 함으로써 통신위성 개발과 지구국 장비 국산화등을 우리 기술로써 달성할 수 있을 것으로 기대된다. *