

SART용 X-밴드 전력증폭기의 설계와 제작에 관한 연구

김 철 수* · 김 미 숙** · 최 병 하*

A Study on the Design and Fabrication of X-band Power Amplifier for SART

Chul-soo Kim, Mi-suk Kim**, Byung-ha Choi**

〈목 차〉

Abstract

1. 서 론

2. 전력증폭기의 설계이론

3. 전력증폭기의 설계와 시뮬레이션

4. 제작과 특성측정

5. 결 론

참고문헌

Abstract

In this paper, an X-band power amplifier using GaAs FET was designed and fabricated, which is to be used as SART transmitter sweeping at the frequency range of 9.2 GHz~9.5 GHz. The amplifier is consist of two stages using ATF-46101 FET of Hewlett-Packard. Finally, the amplifier using microstrip line matching solution shows that MAG is 23 dB at the center frequency of 9.35 GHz.

1. 서 론

SART는 X-Band에서 작동하는 위치지시용 무선표지설비로서 해상조난·안전시스템(GMDSS)의 필수 기본설비이다. 이 설비는 선박의 조난시 해상에서 선박의 위치를 정확히 지시하고 수색·구조를 용이하게 하여 해상에 있어 인명과 재산의 확보를 위한 중요한 설비 로써 GMDSS의 의무장비로 탑재하도록 국제기구(ITU 및 IMO)에서 권고하고 있다[1]. 본 논문에서는 SART(수색 및 구조용 레

이다 트랜스폰더)의 초고주파 증폭부를 설계, 제작하여 특성을 측정하였다. 설계 목표는 무선설비규칙에서 정하는 기준에 맞추어 주파수 범위는 9,200 MHz ~ 9,500 MHz이고, EIRP는 400 mW(26 dBm)를목표로 하였다[2].

2. 전력증폭기의 설계이론

전력증폭기는 보통 비선형구간에서 동작하기 때문에 설계에서 소신호 S 파라미터가 유용하지 못하

* 목포해양대학교 해양전자·통신공학부 교수

** 목포해양대학교 대학원

다. 따라서 시뮬레이션 틀을 이용하여 TR 제작사에서 제공하는 선형 소신호 모델(S-파라미터)을. 비선형대신호 모델로 변환시켜서 설계를 하여야 하나, 본 논문에서는 여건상 선형 소신호 모델을 이용하였다. 보통 대개의 설계작업에 정확하고 간편한 S 파라미터를 사용하는데 M/W TR의 S 파라미터 값은 주파수에 따라 매우 완만하게 변화하기 때문에 초광대역만 생각하지 않는다면 별문제가 발생하지 않는다.

증폭기 설계시 증폭기의 동작주파수에서 최대 또는 원하는 이득을 얻기위해서 증폭기는 입출력 무손실정합회로를 포함하여 구성한다.

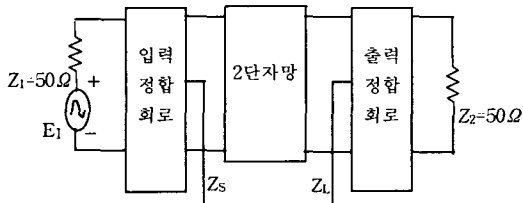


그림 1. 초고주파증폭기 블록도
Fig. 1. A microwave amplifier block diagram.

증폭용 소자로는 FET를 사용하고 source 접지 방식을 채택하였다. 증폭기 설계시에는 이득, 대역폭과 중심주파수, 잡음지수, 출력 전력, 입·출력반사계수, 바이어스 전압과 전류값을 먼저 규정해 주어야 한다. 그리고 이들을 근거로한 적절한 트랜지스터를 선택한 후, 1단 또는 2단 증폭기를 설계한다[3][4].

Power GaAs FET를 biasing 할 때 가장 기본적인 것 중 하나는 gate bias 회로의 임피던스를 증가시키는 것이 필요하다. power GaAs FET에 self-bias방식을 적용하는 것은 열적으로나 전기적으로 좋지못하다. 따라서 2개의 전원이 drain과 gate에 각각 공급하는 방식이 좋다. GaAs FET의 경우, gate 전압이 0일 때 최대전류가 흐른다. FET출력 레벨이 높아짐에 따라, Idss가 증가하고, gm이 매우 커지기 때문에, 발전하여 열적으로나 전기적으로 파괴될 것이다. 따라서 bias 방법은 "-" 전압을 먼저 gate에 걸어주고, 나중에 "+" 전압

을 drain에 걸어주어야 한다[5][6].

증폭기 설계에서 중요한 사항이 안정이다. 안정계수 $K > 1$ 이면 발전의 여지가 없으므로 어떠한 증폭기라도 설계가 가능하다.

3. 전력증폭기의 설계와 시뮬레이션

본 논문에서는 2단증폭기의 입력단과 중간단과 출력단에 대해 정합을 하지않고, 1단에 대해 입출력 정합을 시켜 2단 연결하였다. 또한, VSWR가 작은 증폭기를 위해 3-dB Lange coupler나 3-dB Wilkinson power divider, isolator 등을 사용하여야 하나, 실험적인 측면에서 출력 power에만 초점을 맞추어 설계하였다. 소자는 9 GHz X-밴드에 적합한 HP사의 ATF-46101 GaAs FET를 선택하여 설계하였다. ATF-46101은 2~10 GHz에서 선형증폭특성을 가지며, 8 GHz에서 26.5 dBm의 출력을 얻을 수 있으며, $V_{ds}=9$ V, $I_{ds}=125$ mA 조건에서의 S-파라미터는 표 1과 같다[7].

표 1. ATF-46101의 S-파라미터

Table 1. S-parameters of the ATF-46101.

Freq. [GHz]	S ₁₁		S ₂₁		S ₁₂		S ₂₂	
	mag.	ang.	mag.	ang.	mag.	ang.	mag.	ang.
2.0	.86	-101	3.41	98	.043	30	.64	-56
3.0	.82	-131	2.64	71	.045	18	.59	-79
4.0	.82	-152	2.16	48	.048	9	.58	-98
5.0	.80	-173	1.86	26	.050	-1	.62	-112
6.0	.79	165	1.64	5	.051	-12	.63	-126
7.0	.78	143	1.43	-18	.054	-24	.65	-145
8.0	.78	131	1.20	-36	.058	-37	.65	-166
9.0	.77	123	1.03	-55	.064	-40	.70	173
10.0	.76	118	.87	-72	.070	-52	.73	158

중심주파수인 9.35 GHz에서 안정계수는 $K=1.007$ (그림 2의 S1 원)로써 안정하고, 10 dB의 이득을 얻기 위하여 S 파라미터를 사용하면 그림 2의 G1과 같은 정이득원도(constant-gain circle)를 나타낸다.

Gain은 10 dB, $\Gamma_s = 0.87 \angle 118.0^\circ$, $\Gamma_L = 0.89$

$\angle 160.4^\circ$ 이다[8].

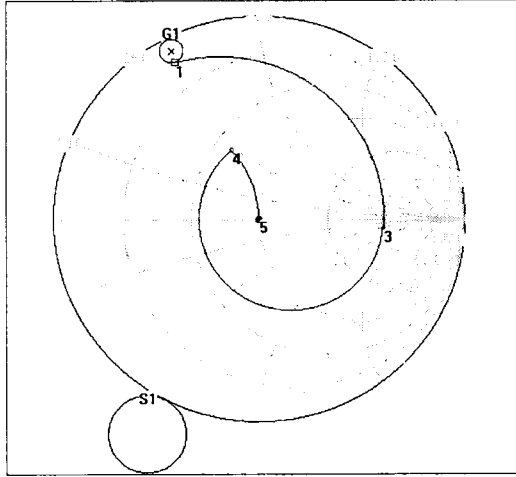


그림 2. 입력 안정원주선도와 입력정합
Fig. 2. Input stability circle and matching.

출력정합 또한 입력과 같은 방법으로 이루어낼 수 있다.

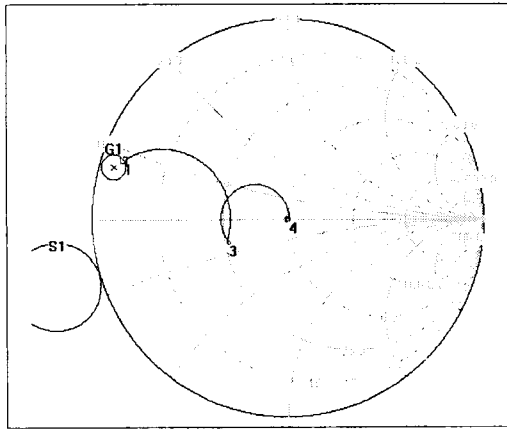
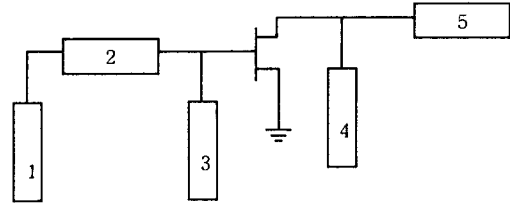


그림 3. 출력안정원주선도와 출력정합
Fig. 3. Output stability circle and matching.

증폭기의 1단에 대한 완성된 입출력 정합회로는 그림 4와 같다.

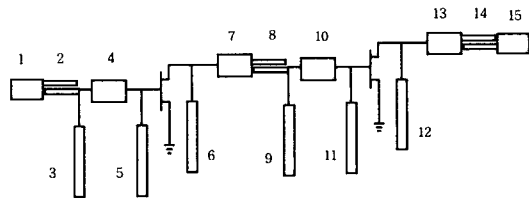


소자	$Z_0(\Omega)$	소자 길이
1	75	$0.139 \lambda_{eff}$
2	75	$0.285 \lambda_{eff}$
3	75	$0.19 \lambda_{eff}$
4	100	$0.236 \lambda_{eff}$
5	35	$0.3 \lambda_{eff}$

그림 4. 완성된 1단 정합회로

Fig. 4. One-stage matching network design.

본 논문에서는 ATF-46101 FET를 2단 연속 사용하므로써 SART용 증폭기를 구현하여 그림 5에 보였다.



소자	Z_0	길이	소자	Z_0	길이
1	50	$\lambda_{eff}/4$	9	75	$0.139 \lambda_{eff}$
2	마이크로스트립필터	10	10	75	$0.285 \lambda_{eff}$
3	75	$0.139 \lambda_{eff}$	11	75	$0.19 \lambda_{eff}$
4	75	$0.285 \lambda_{eff}$	12	100	$0.236 \lambda_{eff}$
5	75	$0.19 \lambda_{eff}$	13	135	$0.3 \lambda_{eff}$
6	100	$0.236 \lambda_{eff}$	14	마이크로스트립필터	
7	35	$0.3 \lambda_{eff}$	15	50	$\lambda_{eff}/4$
8	마이크로스트립필터				

그림 5. 완성된 2단 정합회로

Fig. 5. Two-stage matching network design.

단과 단사이에는 DC 차단용 커패시터를 사용하지 않고 특정주파수대역 선택도를 좋게 하기 위해 마이크로스트립 필터를 이용하여 이득과 신뢰도 면에서 유리하도록 하였다[9].

또한, 첫 번째단의 입력과 두 번째단의 출력에는 $\lambda/4$ 정합회로를 연결하여 50 Ω 임피던스 정합을 이루었다. 2단증폭회로의 각 단 입출력 정합소자에 대한 특성임피던스와 실효유전율, 실효파장, 선로의 폭에 대한 계산결과를 표 2에 보였다.

표 2. 정합 소자별 ϵ_{eff} , λ_{eff} , w 계산

Table 2. Calculation of element ϵ_{eff} , λ_{eff} , w

$Z_0[\Omega]$	ϵ_{eff}	$\lambda_{eff}[\text{mil}]$	$w[\text{mil}]$
35	2.245	842.53	153.7
50	2.154	860.06	91.6
75	2.043	883.13	45.5
100	1.963	900.94	24.2

```

! ATF-46101, Vds=9V, Ids=125mA
DIM
FREQ GHz
LNG MIL

CKT
MSUB ER=2.55 H=32 T=1.4 RHO=1 RGH=0
MLIN 1 2 W=92 L=215
MCFIL 2 3 W=20 S=15 L=210 W1=92 W2=46
MLOC 3 W=46 L=123
MLIN 3 4 W=46 L=252
MLOC 4 W=46 L=168
S2PA 4 5 0 c:\eesof\s2p\ATF46101.S2P
MLOC 5 W=25 L=209
MLIN 5 6 W=154 L=253
MCFIL 6 7 W=20 S=15 L=210 W1=154 W2=46
MLOC 7 W=46 L=123
MLIN 7 8 W=46 L=252
MLOC 8 W=46 L=168
S2PA 8 9 0 c:\eesof\s2p\ATF46101.S2P
MLOC 9 W=25 L=209
MLIN 9 10 W=154 L=253
MCFIL 10 11 W=20 S=15 L=210 W1=154 W2=46
MLIN 11 12 W=92 L=215
DEF2P 1 12 AMP
    
```

그림 6. ATF-46101을 이용한 2단 증폭기 시뮬레이션

Fig. 6. The simulation of two-stage amplifier using ATF-46101.

Hewlett Packard사의 EESOF 프로그램[10]을 이용하여 그림 6과 같이 컴퓨터 시뮬레이션한 결과 2단 전력증폭기의 이득(S_{21})이 중심주파수인 9.35 GHz에서 17.34 dBm인 것을 확인하였다. 확인 결과는 그림 7과 같다.

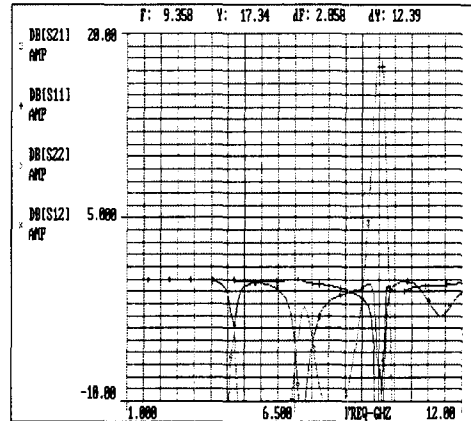


그림 7. ATF-46101을 이용한 2단 증폭기 시뮬레이션 결과

Fig. 7. The simulation result of two-stage amplifier using ATF-46101.

4. 제작과 특성 측정

최종적인 전력증폭기의 음화필름을 그림 8에 보였다.

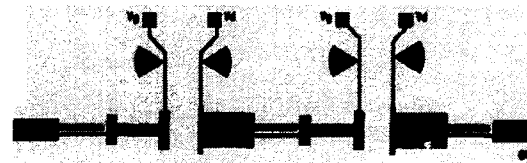
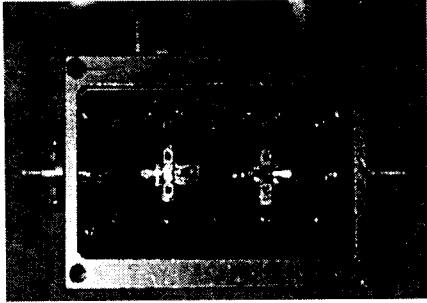


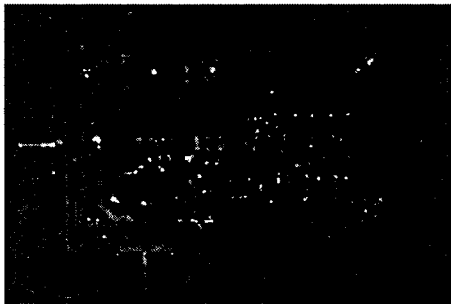
그림 8. 전력증폭기 제작을 위한 음화필름

Fig. 8. The power amplifier.

전력증폭기의 제작에 사용된 테프론 기판은 Taconic사의 TLX-9 Teflon으로써 유전체의 비유전율이 2.55, 유전체의 두께가 32 mil, 동박의 두께가 1.4 mil 이다.



(a) 제작된 증폭기의 실물사진 정면도
(a) Top view of the fabricated amplifier.



(b) 제작된 증폭기의 바이어스 회로
(b) Bias circuit of the fabricated amplifier.

그림 9. 실제 제작된 전력증폭기
Fig. 9. A photograph of the fabricated amplifier.

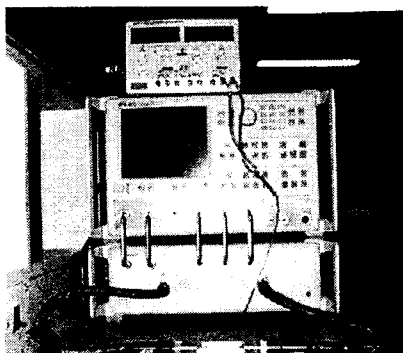
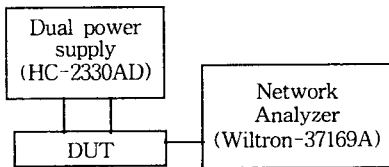
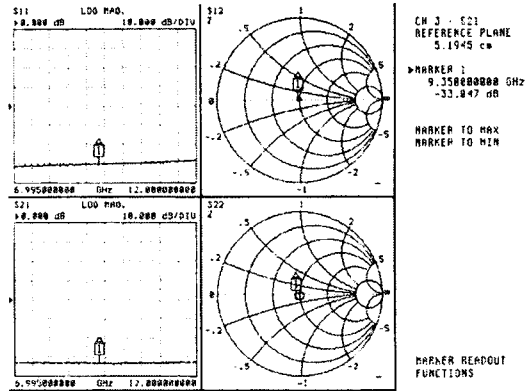
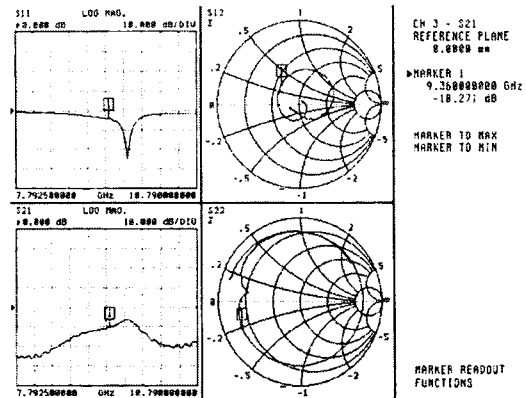


그림 10. 실험 및 측정
Fig. 10. Test and measurement diagram.



(a) 증폭기 입력 파형
(a) The measured input power



(b) 증폭기 출력 파형
(b) The measured output power.

그림 11. 전력증폭기 출력 측정결과
Fig. 11. The measured output power.

Taconic사의 TLX-9 Teflon기판상에 사진 부식법을 이용하여 그림 9와 같이 제작하였으며, 패턴의 정확도를 높이기 위하여 반도체 제작 공정인 UV lithography 기술을 이용하였다[11]. 또한 실장이 매우 중요하므로 FET의 source 접지가 확실히 이루어지도록 알미늄 접지체를 제작하여 측정하였다.

구현된 증폭기는 그림 10과 같이 실험 장치를 구성하여 주파수분석기로 출력파형을 측정하였다.

본 논문에서 구현한 초고주파 증폭부 측정결과, 그림 11의 S21 입력파형과 출력파형에서 약 23

d.B의 이득을 얻음을 알 수 있다

5. 결 론

본 논문에서는 9,200 MHz ~ 9,500 MHz에서 동작하는 SART(수색 및 구조용 레이다 트랜스폰더)의 초고주파 증폭부를 유전체의 비유전율이 2.55, 유전체 기판의 두께가 32 mil, 동박의 두께가 1.4 mil인 Taconic사의 TLX-9 테프론 기판을 사용하였다. 증폭용 소자로는 HP사의 ATF-46101 GaAs FET를 사용하여 설계, 제작하였다.

측정결과, 중심주파수 9,350 MHz에서 23 dB의 이득을 얻었으며, SART용 초고주파 증폭부로서 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

회로 제작상에 주의를 기울여야하는 점으로는 초고주파와 같은 UHF대 이상의 고주파 회로 설계는 회로동작을 정확하게 파악하려고 해도 눈에 보이지 않는 현상이 복잡하게 관련되어있어 회로를 실제 구성해서 시험 제작해 보기 전까지는 그 성능을 예측하기가 어렵다. 이것은 주파수가 높기 때문에 기판의 프린트 패턴간이나 부품간의 미결합 간섭, 방사, 반사파의 위상 영향 등 각종 요소가 복합적으로 영향을 미치기 때문이다.

참고문헌

- 1) 임종근, "수색·구조용 Radar Transponder 개발에 관한 연구", 석사학위논문, 한국해양대학교 대학원, pp.1-3, 1995.
- 2) 전파관계법령집, 무선설비규칙, 제2장, 제69조, 한국무선국 관리사업단, pp.464-9~10, 1995.

- 3) George D. Vendelin, Microwave Circuit Design, John Wiley & Sons, pp.212~219, 1990.
- 4) Masao Nishida, Shigeyuki Murai, Hisanori Uda, Hisaaki Tominaga, Tetsuro Sawai, Akira Ibaraki, "A High Efficiency GaAs Power Amplifier Module with a Single Voltage for Digital Cellular Phone Systems", 1998 IEEE MTT-S Digest, Vol. 2, pp.443~446, 1998.
- 5) AN82901-1 Application Note, California Eastern Laboratories, 1998.
- 6) R.Follmann, R.Tempel, T.Sporkmann, I.Wolff, "A new spline based FET model for MESFETs and HEMTs", 27th European Microwave 97 Meeting, pp.1360~1366, 1997.
- 7) ATF-46101 Technical Data sheet, Hewlett Packard, 1998.
- 8) Guillermo Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers, Prentice Hall, pp.212~260, 1997.
- 9) 장동필, 안동식, "23 GHz대 1단 저잡음 증폭기의 설계기술에 관한 연구", 통신학회논문지, 제22권 제5호, pp. 974~980, 1997.
- 10) Touchstone Reference, Hewlett Packard, 1991.
- 11) 윤관기, 이문규, 이진구, "M/W Link용 8 W X-band 전력모듈의 설계 및 제작 연구", 통신학회논문지, 제23권 제3호, pp. 657~663, 1998.