

IMT-2000용 기지국용 대전력 증폭기의 설계 및 제작

이재윤, 정성찬, 박천석
성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 초고주파 및 안테나 연구실
Tel : 0331)290-7203, Fax : 0331)290-7191

Design and Fabrication of High Power Amplifiers for IMT-2000

Jae-Yoon Yi, Sung-Chan Jung, Cheon-Seok Park
Microwave and Antenna Lab. Dept. of ECE. SungKyunKwan Univ.
(E-mail : glorian@mwlabskku.ac.kr)

Abstract

본 논문은 전력증폭기 정합회로 설계시 주어진 임피던스를 가지고 Ansoft사의 Ensemble을 이용해 기본적인 정합회로를 설계하였다. MHL21336, MRF21030, MRF21125로 대전력 증폭기를 설계 및 제작하여 측정해본 결과 전체 이득이 52dB, 대역폭 안에서 이득편차는 ± 0.37 dB 정도, 출력이 PEP 51dBm에서 -30dBc의 결과를 얻었다. Bias 전류에 대한 5MHz Tone-space IMD 특성곡선을 측정해 본 결과 기지국용 대전력 증폭기로 사용할 수 있음을 보였다.

I. 서론

제 3세대 이동통신, IMT-2000은 고품질의 멀티미디어 이동 통신의 시대를 사람들에게 제공하게 될 것이다. 멀티미디어 이동 통신을 가능하게 하는 것은 디지털 통신 시스템의 발달에 기인하며, 이러한 디지털 신호의 송수신을 위한 RF 시스템들은 보다 많은 선형성을 요구하게 된다. 따라서 RF 송수신을 위한 기지국용 대전력 증폭기도 보다 큰 전력과 큰 선형성을 요구하게 되어 전력증폭기의 제작 기술이 IMT-2000 서비스를

위한 제반 기술 중에서 부가가치가 큰 기술로 자리잡게 될 것이다.

큰 선형성을 지닌 전력증폭기를 제작하기 위해서 선형화 기법들이 사용되어 지지만, 기본적으로 전력을 증폭하는 증폭기의 선형성이 가장 중요한 기술이 된다.

본 논문에서는 IMT-2000 기지국용 대전력증폭기를 설계하기 위해서 일반적인 대전력 증폭기의 설계 방법인 source-load pull 방법 대신 증폭기 제작사가 제공하는 입력력 임피던스를 주파수에 따라 black box로 설정한 후 수동회로용 simulator를 통해 설계 및 제작하였다. 사용한 전력증폭기는 Ericsson사의 PTF10119와 Motorola사의 MRF21030, MRF21060, MRF21125로 모두 AB급 증폭기다.

II. Passive Matching

본 논문에서는 주어진 각 대전력 증폭기의 주파수에 따른 입력력 impedance와 series capacitor의 값을 각각 black box로 만든 후 Ensemble simulation을 통해 입력력 단자의 impedance가 50Ω 이 되도록 각 전력 증폭기의 크기를 고려하여 shunt stub를 이용하여

matching network를 설계하였다. 그림 1은 Ericsson사의 PTF10119의 Output matching network를 설계한 서로 다른 모습을 보여주며, 그림 2는 각각의 matching network 대해 smith chart 상의 이동 경로를 보여주고 있다.

표 1. PTF10119의 임피던스

f (MHz)	Input Impedance	Output Impedance
2110	16.4 + j19.50	3.55 - j0.92
2140	21.7 + j15.93	3.87 - j0.70
2150	22.8 + j14.14	3.75 - j0.62
2200	28.6 + j9.28	3.32 - j0.38

그림 1의 (A)와 (B)의 경로를 비교해 보면 (A)가 보다 큰 Q값을 따라 이동을 하게 되는 것을 알 수 있다. 이런 설계 방법을 통해 설계한 AMP를 직접 제작하여 측정된 결과 (B)의 matching network이 (A)보다 대역폭 내에서 평탄한 이득을 얻을 수 있었고, fine tuning을 거치지 않고 바로 원하는 성능을 얻을 수 있었다.

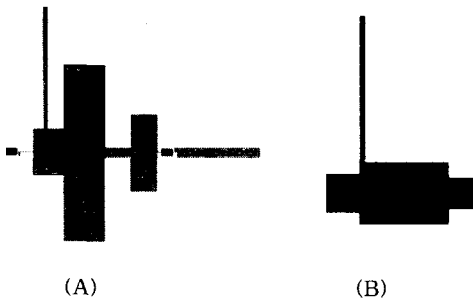


그림 1. PTF10119의 Output Impedance Matching Network Ensemble Simulation

이와 같은 트랜지스터 정합회로의 설계방법을 통해 MRF21030, MRF21060 및 MRF21125의 입출력 임피던스에 대한 정합회로를 설계 및 제작하였다.

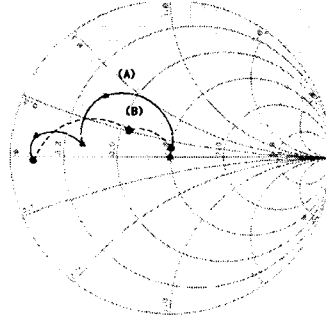


그림 2. PTF10119 정합회로의 임피던스 변화

III. 제작 및 측정

1. BIAS 회로

일반적으로 LDMOS는 A급으로 동작시켰을 때와 비교해 보아 AB급으로 동작시켰을 경우 높은 출력에서 IMD 특성이 좋아 일반적인 대전력용 LDMOS는 AB급으로 Bias를 정해서 사용한다.

전압제어 소자인 LDMOS는 동작전압 이상에서 Gate 전압에 상당히 민감하게 Drain 전류가 흐른다. 전력 증폭기 특성상 동작중인 증폭기는 많은 열을 발생하는데, 열이 발생하면 Drain 전류는 초기의 Bias와 다르게 어느 정도의 온도까지는 조금씩 증가하다 다시 감소하는 특성을 보인다. 일반적으로 상온에서 설정한 LDMOS 전력 증폭기 Gate Bias는 80°C 정도에서 1% 정도의 변화를 보인다. [3]

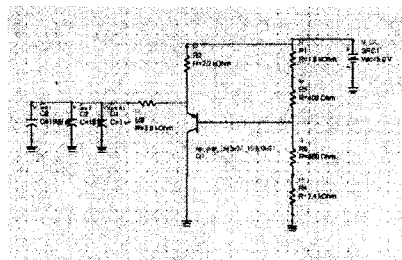


그림 3. Gate 전압제어 및 온도보상회로

그림 3은 그런 온도에 따른 전압의 변화를 보상하기 위해서 간단한 온도보상 회로를 HP ADS를 이용해서 설계한 회로도이다. 설계는 MRF21125의 Bias 조건인 $V_{ds} = 28\text{ V}$, $I_{ds} = 1.6\text{ A}$ 를 기준으로 Gate Bias가 상에서 90°C 까지 3% 이내에서 변화도록 하였다.

2. 증폭기의 설계 및 구성

증폭기의 최종 출력은 MRF21125를 사용하여 PEP (Peak Envelop Power) 125W로 하였으며, 이 증폭기를 구동시키기 위해서 PEP 30W인 MRF21030 과 PEP 3W인 MHL21336으로 증폭기를 구성하였다.

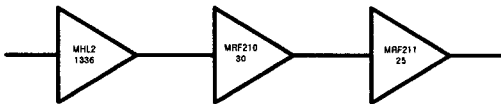


그림 4. 증폭기 Line-up

MHL21226은 MMIC로 제작된 트랜지스터라 특별히 설계에 고려할 사항은 없었으며, MRF21030 과 MRF 21125는 앞서 설명한 대로 Motorola사에서 제공한 트랜지스터의 임피던스를 기준으로 임피던스 정합회로를 Ansoft사의 Ensemble Passive Simulator를 사용하여 설계하였다. 정합회로의 설계는 MRF21030 과 MRF21 125를 각각 따로 설계하여 최종적으로 하나로 통합하였다.

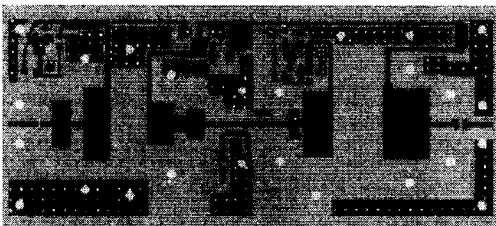


그림 5. MRF21030 과 MRF21125 Layout (134 mm × 55 mm)

그림 5는 MRF21125와 MRF21030이 결합된 layout을 보여주고 있다. 왼쪽이 MRF21030이고 오른쪽이 MRF 21125이다. 각각 Gate Bias 쪽에 온도 보상 회로를 넣었으며, 전체 Bias는 28 V 입력이고, 온도 보상회로는 Motorola사의 LM7805를 사용해 28V를 5V로 낮추어 사용하였다. 제작에 사용한 기판은 비유전율 3.5, 두께 0.5mm, copper 1/2 oz 의 RF35를 사용하였다.

3. 측정 및 결과

제작된 증폭기는 그림 6. 과 같은 계측 장비를 이용해서 정합회로의 tuning과 측정을 하였다.

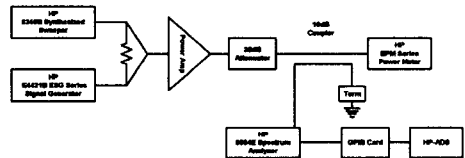


그림 6. 계측 장비 구성도

Passive Simulator로 제작된 정합회로의 전력 증폭기는 그 출력 전력이 커질수록 내부 임피던스가 작은 값을 갖게 되어 임피던스가 부정합을 이룬다. 증폭기의 입력력 임피던스의 부정합은 증폭기의 이득, 출력, 효율 및 IMD 특성을 나쁘게 만든다. 이점을 개선하기 위해서 정합회로를 tuning 및 측정을 반복하여 원하는 성능을 보일 때까지 작업을 반복하였다.

전체 증폭기의 이득은 56.5dB이다. 처음 증폭기를 설계하여 tuning을 하기 전의 이득은 48dB였고, 이득 평탄도는 $\pm 3.5\text{ dB}$ 를 보였다. 증폭기를 제작할 때 우려하는 저주파 발진은 발생하지 않았다.

그림 7. 은 tuning을 반복하여 얻은 증폭기의 최종 출력을 나타내고 있고, 이 때 전체 전류는 6.98 A였고 증폭기 전체의 이득은 52.3dB 이었다.

그림 8.은 IMT-2000 Down-Link 인 2110 ~ 2170 Mhz 대역 안에서 이득 평탄도를 측정한 것으로 $\pm 0.37\text{ dB}$ 를 나타내고 있다.

그림 9.는 Bias에 따른 I_{ds} 전류에 대해서 Tone space

5 MHz (2.1375 GHz ~2.1425 GHz)로 본 3차 IMD 곡선이
다.

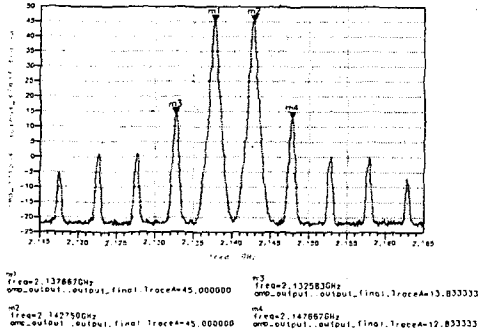


그림7. MRF21125 출력 스펙트럼

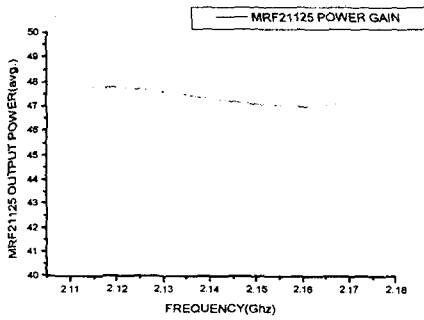


그림 8. 이득 평탄도

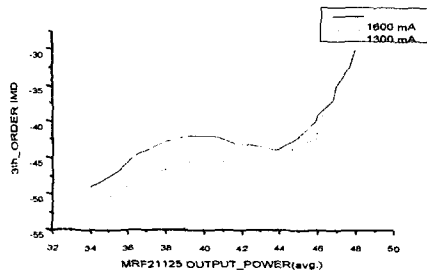


그림 9. 3차 IMD 특성곡선

IV. 결론

본 논문은 IMT-2000 기지국용 전력증폭기 설계를 일반적인 대전력 증폭기의 설계 방법인 source-load pull 방법 대신 증폭기 제작사가 제공하는 입출력 임피던스를 주파수에 따라 black box로 설정한 후 수동 정합회로용 simulator를 통해 설계 및 제작하였다. 이와 같은 방법으로 PTF10119, MRF21030, MRF21060, MRF21125등 4개의 증폭기를 설계 및 제작하였는데, 여기에는 정합회로에 연결된 series 또는 parallel의 모든 Lumped 소자를 고려하지 못한 단점 및 충분한 성능을 만들 때까지 정합회로에 대한 반복적인 tuning 과정을 거쳐야만 했다.

앞으로 제작된 전력증폭기의 3차 IM 신호를 줄이기 위한 fine tuning을 추가로 더 한다면 충분히 IMT-2000 기지국용 대전력 증폭기로 사용할 수 있을 것이며, 앞으로도 보다 큰 전력을 요구하는 증폭기의 설계에 본 논문을 자료로 사용할 수 있을 것이라 여겨진다.

참고문헌

- [1] 정성찬, " IMT-2000 기지국용 60W AB급 전력 증폭기의 설계 및 제작 ", 성균관대학교 석사 졸업 논문, 2000
- [2] N.B. Carvalho, J.C. Pedro, " Two-tone IMD asymmetry in microwave power amplifiers ", IEEE MTT-S Digest, 2000
- [3] Cindy Blair " Biasing LDMOS FETs for Linear Operation ", Applied Microwave & Wireless, January 2000, pp 90-94
- [4] Alan Wood, "Hot Carrier Injection Effects in RF LDMOS Transistors designed for Class AB RF Base Station Transmitter Power Amplifiers", 1997
- [5] Steve C. Cripps, " RF Power Amplifiers for Wireless Communications", Artech House, 1999.
- [6] Peter B. Kenington, " High-Linearity RF Amplifier Design ", Artech House, 2000