

전치왜곡 방식이 결합된 FeedForward 방식을 이용한 IMT-2000용 선형 전력 증폭기의 설계 및 제작

°김경호*, 정재호*, 김성민*, 최현철*

경북대학교 전자전기 공학부

Tel : 053) 940-8652

HP : 016-743-5289

Design and Fabrication of Linear Power Amplifier for IMT-2000 Using FeedForward Method Combined Predistorion Method

°Gyoung-Ho Kim*, Jae-Ho Jung*, Sung-Min Kim*, Hyun-Chul Choi*

Dep. of Electronic Engineering of Kyung-Pook National Univ.

(E-mail : idleman@hanmail.net)

Abstract

Advanced FeedForward method use Predistortion method and FeedForward method simultaneously. This method better than original Feedforward method in linearity and supply smaller power to pre-power amplifier than different methods, and then it has higher power efficiency and better linearity than original Feedforward method.

A linear power amplifier using Advanced feedforward method is designed and fabricated for IMT-2000 transmission system (2110MHz - 2170MHz). This amplifier's power gain is about 40dB and it's 3-rd IMD(Intermodulation distortion) are smaller than about -55dBc(@10MHz).

서론

무선 통신 시스템에서 전력 증폭기의 사용은 필수적

이고 IMT-2000과 같은 차세대 이동통신 방식에서는 보다 넓은 대역을 이용하여 보다 많은 양의 데이터를 처리할 수 있는 시스템을 필요로 하는데 기지국에서 다중 채널을 단일 전력 증폭기를 이용해 증폭할 경우 전력 증폭기의 비선형 특성으로 인해 발생하는 IMD(InterModulation Distortion) 성분들은 통신의 질을 크게 떨어뜨린다. 대전력 증폭기를 보다 선형적으로 동작시키고 동시에 전력효율을 높여 보다 안정적으로 동작시키기 위해 널리 사용되는 선형화 방식으로 FeedForward 방식, 전치왜곡 방식, 궤환 방식등이 있다.

본 논문에서는 선형화 방식중 동작 대역이 넓고 가장 특성이 좋은 FeedForward 방식에 전치왜곡 방식이 결합되어 전력 증폭기의 효율을 좋게 하면서 선형성을 더욱 향상시킬 수 있는 선형 전력 증폭기를 설계 및 제작하였다. 본 논문에서 설계 및 제작한 선형 전력 증폭기에서는 IMD 성분을 제거하기 위해 검출한 순수 IMD 성분을 주 전력 증폭기의 입력단에서 주 경로의 신호와 결합시켜 전치왜곡 방식의 원리에 의한 1차 선형화가 수행되고 주 전력 증폭기의 출력단에서 다시 한번 주 경로의 신호와 결합시켜 FeedForward 방식의

원리에 의한 2차 선형화가 수행되도록 하는 방법을 사용한다. 이 방법을 이용하면 전치왜곡 방식과 FeedForward 방식의 특성상 보다 넓은 대역에서 동작 하면서 2번에 걸친 선형화 과정으로 보다 높은 선형성을 기대할 수 있고 IMD 성분을 검출하기 위한 루프가 주 전력 증폭기의 입력단에 있으므로 전력 효율을 개선시킬 수 있으며 오차증폭기의 출력 전력이 높지 않으므로 회로 구현이 보다 용이해진다는 장점이 있다.

본 논문에서 설계 및 제작한 선형 전력 증폭기의 주 전력 증폭기에는 비교적 고효율에서 높은 이득과 양호한 선형성을 가지는 LDMOS를 이용하였고 전체 시스템은 비유전율(ϵ_r)이 3.25이고 높이가 30mil인 마이크로 스트립 선로상에 구현하였다.

본 론

1. 기본 모델 설계

전체 시스템은 아래의 그림 1.과 같이 입력 신호를 대전력으로 증폭시키기 위한 주 증폭 블록과 IMD 성분만을 검출한 후 주 경로에 적절한 전력과 위상으로 합쳐지도록 제어하는 선형화 제어 블록으로 나눌 수 있고 주 증폭 블록은 다시 주 전력 증폭기와 전치 증폭기로 나눌 수 있다.

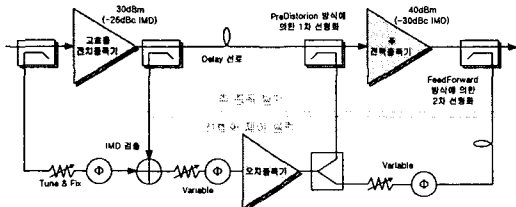


그림 1. 전체 시스템의 기본 모델

주 증폭 블록에서의 전력 레벨이 선형화 제어 블록에서의 전력 레벨에 비해 전체적으로 매우 크기 때문에 발생할 수 있는 Coupling이나 Radiation에 의한 악영향을 방지하기 위해서 두 개의 블록을 분리된 기판에 구현하여 개별적으로 측정 한 후 각 지점에서의 위상값을 고려하여 동축 케이블로 결합시키는 방법을 사용하였다.

2. 주 증폭 블록 설계 및 제작

주 증폭 블록은 큰 전력을 출력할 수 있어야 하고 전력 이득도 커야하는데 이를 만족시키기 위해 주 전력 증폭기와 전치 전력 증폭단의 마지막 두 단의 전력 증폭기는 전력 이득이 크면서도 비교적 효율이 높고 선형성이 좋은 LDMOS(Motorola사 MRF286, MRF284)를 사용하여 설계 및 제작하였고 전치 전력 증폭단의 처음 두 단의 증폭기는 큰 이득을 가지면서 내부적으로 정합이 되어 전체 시스템의 크기를 줄일 수 있도록 MMIC 증폭기를 사용하여 설계 및 제작하였다. 아래 그림 2.는 주 증폭 블록의 구성을 나타내는 블록도이다.

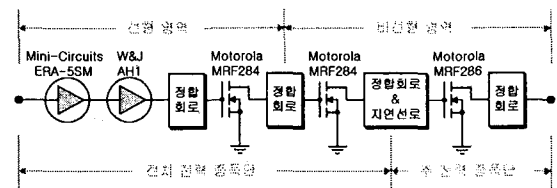


그림 2. 주 증폭 블록 구성

각 단의 LDMOS를 사용한 전력 증폭기는 제조회사의 DataSheet를 참조하여 마이크로 스트립 선로와 가변 용량을 사용하여 입력측에서는 완전 정합이 되도록 하고 출력측에서는 큰 출력 전력에서 좋은 선형성을 갖도록 하기 위해 전력 정합이 되도록 정합 회로를 설계 및 제작하였다. 전치 전력 증폭단의 출력에서 적절한 IMD 성분이 발생되어야 하므로 마지막 단의 증폭기는 바이어스 전류를 낮추어 고효율로 동작하게 하였고 전치 전력 증폭단과 주 전력 증폭단사이에는 선형화 제어 블록을 병행하여 설계하면서 산출해 낸 위상 지연 값을 바탕으로 적절한 지연 선로를 사용하여 보다 넓은 대역에서 전력 증폭기의 선형화가 균일하게 이루어 지도록 하였다. 아래의 그림 3.은 비유전율(ϵ_r)이 3.25이고 두께가 30mil인 마이크로 스트립 선로상에 구현한 주 증폭 블록 회로이다.

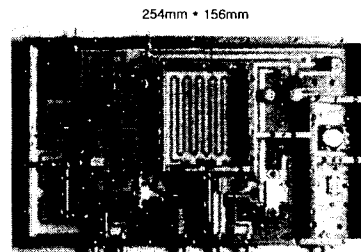


그림 3. 주 증폭 블록

위 그림 3.에서 주 증폭 블록을 실제 마이크로 스트

립 선로위에 구현했을 때 순수한 입력 신호만이 존재하는 선로가 있는 반면 IMD 성분이 주로 존재하는 선로, 혹은 기본 성분과 IMD 성분이 공존하는 선로도 있으므로 이들 선로간 Radiation에 의한 영향을 최소화하기 위해서는 각 선로에서의 주파수 성분을 고려하여 적절한 차폐벽을 설계하여 설치하였다.

선형 전력 증폭기가 광대역에서 균일한 전력이득과 선형성을 유지하도록 하기 위해 전치 전력 증폭단의 앞 3단의 증폭기는 이득 평탄도가 0.4dB이내가 되도록 하였고 전치 왜곡 방식이나 FeedForward 방식에 의한 선형성을 최대로 하기 위해 전치 전력 증폭단의 마지막 증폭기와 주 전력 증폭기는 거의 같은 이득 평탄도를 가지도록 조절하였다. 아래 그림 4는 주 증폭 블록을 제작한 후 2-tone 신호를 입력하여 전체 이득과 IMD 성분의 발생 정도를 측정한 결과이다.

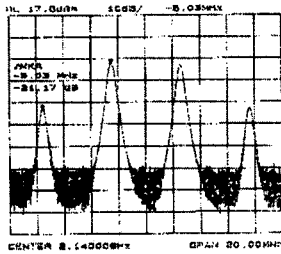


그림 4. 주 증폭 블록에 대한 2-tone 신호 응답

그림 4에서 2137.5MHz와 2142.5MHz의 2-tone 신호를 -3dBm으로 인가했을 때 전체 전력 이득은 약 41dB 가량 되었고 2110MHz-2170MHz의 전체 대역에서의 이득 평탄도는 0.9dB 이내를 유지하였으며 3차 IMD 성분은 기본 주파수 성분에 비해 약 -22dBc가 되었다.

3. 선형화 제어 블록의 설계 및 제작

선형화 제어 블록에서는 순수한 IMD 성분만을 검출한 후 주 전력 증폭기의 입력단과 출력단에 적절한 크기와 위상으로 합하여 선형성을 향상시켜 준다. 아래 그림 5는 선형화 제어 블록의 구성을 나타내고 있다.

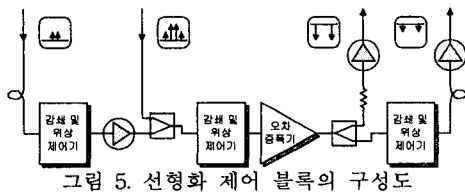


그림 5. 선형화 제어 블록의 구성도

순수한 IMD 성분을 검출하는 과정과 IMD 성분을 제거하는 과정에서 합하여지는 신호의 크기와 위상을 얼마나 정확하고 안정적으로 조절해 주느냐에 따라 선형성의 향상도에 큰 차이가 생기고 오차 증폭기의 선형성이 전체 선형 전력기의 선형성 향상에 직접적으로 영향을 끼치게 된다. 아래의 그림 6은 본 논문에서 설계 및 제작한 선형 전력 증폭기에 사용된 감쇄 및 위상 제어기를 나타낸다.

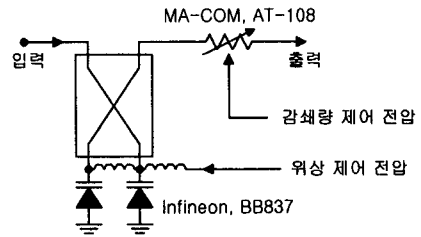


그림 6. 감쇄 및 위상 제어기

감쇄 및 위상 제어기는 Anaren사의 Hybrid Coupler인 A1305-03과 MA-Com사의 전압 제어 가변 감쇄기인 AT-108, 그리고 Infineon사의 Tuning Diode인 BB837등을 사용하여 설계 및 제작하였으며 약 25dB 정도의 감쇄량 가변 범위와 약 80° 정도의 위상 가변 범위를 가진다. 오차 증폭기는 MMIC 증폭기를 사용하여 3단으로 구성하였으며 약 43dB 정도의 전력 이득을 가진다. 아래 그림 7은 비유전율(ϵ_r)이 3.25이고 두께가 30mil인 마이크로 스트립 선로상에 구현한 선형화 제어 블록의 도면이다.

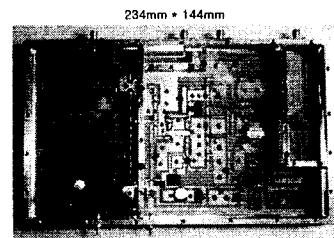


그림 7. 선형화 제어 블록 도면

전압을 제어하는 방법으로는 전압 분배회로와 안정적인 가변 저항을 사용하여 감쇄량과 위상을 섬세하게 조절할 수 있도록 하였고 주 증폭 블록과 병행 설계하여 산출해 낸 위상 지연값을 바탕으로 지연선로를 마이크로 스트립 선로로 구현하였다.

4. 각 블록 결합 및 Tuning

완성된 주 증폭 블록과 선형화 제어 블록을 동축 선로를 이용하여 결합시킨 후 기본 주파수 성분을 제거하고 순수한 IMD 성분만을 검출하는 지점, 전치 왜곡 방식에 의한 선형화를 수행하는 지점 그리고 FeedForward 방식에 의한 선형화를 수행하는 지점에 대해서 순차적으로 각각의 가변 감쇄기와 가변 위상 천이기를 이용하여 선형성이 최대가 되도록 조절하였다. 아래 그림 8.은 선형성이 최대가 되도록 하였을 때의 2-Tone 신호에 대한 응답 특성이다.

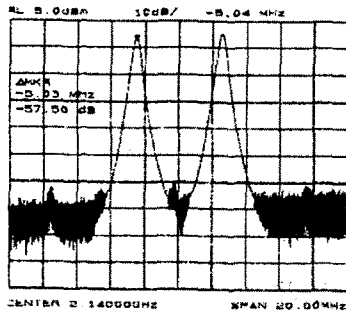


그림 8. Tuning으로 최적화한 후의 2-Tone 응답

그림 8.에서 2137.5MHz와 2142.5MHz의 2-Tone 신호를 각각 -3dBm으로 인가하였을 때 전력이득은 약 40dB가 되었고 출력 신호의 3차 IMD 성분은 기본 주파수 성분에 대해 약 -57.5dBc 정도가 되었으며 2110MHz - 2170MHz의 전체 대역에서의 이득 평탄도는 약 0.9dB 정도가 되었다.

결론

본 논문에서는 IMT-2000 시스템의 대역인 2110MHz - 2170MHz에서 동작하는 기지국 및 중계기용 선형 전력 증폭기를 기존의 FeedForward 방식에 전치 왜곡 방식이 결합된 방식을 이용하여 설계 및 제작하였다. 본 논문에서 설계 및 제작한 선형 전력 증폭기는 기존의 FeedForward 방식에서 가능한 선형성 향상도에 전치 왜곡 방식에 의한 -10dBc 정도의 추가적인 선형성 개선이 있었고 전치 전력 증폭단에 공급하는 전력을 크게 줄일 수 있어 시스템에서 발생하는 열을 줄이고 전체 시스템의 안정성을 향상시킬 수 있었다. 또 주 전력 증폭기의 입력측과 출력측 두 번에 걸쳐서 IMD 성분을 제거하기 때문에 오차 증폭기에서 출력해야 할 전력을 그만큼 낮출수 있어 제어루프의 설

계 및 제작이 훨씬 용이해지고 오차 증폭기 자체의 선형성을 더 좋게 할 수 있으며 동작특성이 보다 안정되도록 할 수 있었다.

본 논문에서 설계 및 제작한 선형 전력 증폭기에 온도 등의 주변 환경에 따른 증폭기의 동작 특성 변화를 자체적으로 보상해 줄 수 있도록 하는 디지털 기술을 도입할 경우 보다 나은 선형성을 가지고 주변 환경의 변화에도 안정적으로 동작할 수 있는 선형 전력 증폭기가 되도록 할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] Steve Cripps, "RF Power Amplifiers for Wireless Communications", Artech House Microwave Library., 1999
- [2] Nick Potheary "Feedforward Linear Power Amplifiers", Artechhouse, 1999
- [3] Shibhan K. Koul, Bharathi Bhat, "Microwave And Millimeterwave Phase Shifters", Artech House Inc., 1991
- [4] Inder Bahl, Prakash Bhartla, "Microwave Solid State Circuit Design", John Wiley & Sons Inc., 1988
- [5] Maas. S, "Nonlinear Microwave Circuits", Artech House Inc., 1988
- [6] Macchiarella. G. et al., "Design Criteria for Multistage Microwave Amplifiers With Match Requirements at Input and Output", IEEE Trans. Microwave Theory Tech, Vol MTT-41, August 1993, pp.1294-1298
- [7] Bradford L. Smith, Michel-Henri Carpentier., "The Microwave Engineering Handbook Volume.1", 1993