

Feedback을 첨가한 IMT-2000용 10W급 Feedforward 선형 전력 증폭기의 설계 및 제작

°류병하*, 장중호**, 김성민*, 최현철*
*경북대학교 전자전기 공학부, ** (주) 흥창
Tel : 053)940-8652, Mobile : 016-814-0503

Improvement of the Characteristics of Feedforward Power Amplifier using Negative Feedback method

°Byung-Ha Ryu*, Jung-Ho Jang**, Sung-Min Kim*, Hyun-Chul Choi*
*Dep. of Electronic Engineering of Kyung-Pook National Univ., **Hung Chang Co. Ltd

Abstract

In this paper, A Feedforward Linear Power Amplifier for IMT-2000 which IMD characteristics was improved was designed and fabricated. To improve the main power amplifier IMD characteristics, the Feedback loop was added to basic Feedforward Power Amplifier structure. Therefore, the output power of error amplifier can be reduced, and it is easy to control the linearization circuit to cancel total IMD. The designed power amplifier represented the 40dBm(10W) output power and -55dBc 3rd IMD at center frequency 2.14GHz (@5MHz).

서론

이동통신의 발달로 인해서 IMT-2000과 같이 차세대 이동통신에서는 많은 데이터의 송수신이 필요하다. 따라서 RF 송수신 시스템에서 보다 넓은 대역과 우수한 선형성을 요구하게 되었다^[1]. 기존의 이동통신용 기지국이나 중계기에 사용되는 전력 증폭기에서도 보다 높은 선형성과 대역을 가지도록 설계, 제작 되어져야 한다. 본 논문에서는 전력 증폭기의 선형화를 향상 시킬

수 있도록 설계 제작되었다.

전력 증폭기 제작에 있어서 가장 큰 문제가 되고 있는 IMD(Inter-Modulation Distortion)특성을 향상시키기 위한 기존의 선형화 기술들은 크게 Feedback, Predistortion, Feedforward 방식으로 나눌 수 있다.^[2]

전력 증폭기의 선형화 기술 중 가장 IMD특성이 뛰어난 Feedforward 방법^{[3][4]}의 선형 전력증폭기에 IMD 성분만을 추출(Coupling)해서 위상과 크기를 제어한 후 주증폭기의 입력단에 재환시킴으로써 주증폭기에서 나타나는 IMD 특성을 개선시킬 수 있다. 주증폭기의 IMD 특성이 향상됨으로 인해 주경로상의 IMD를 제거하는 선형화 회로 중 특히 Error 증폭기의 출력전력을 낮추어 설계할 수 있다. 그리고 최종 출력단에서 주증폭기의 비선형성 때문에 발생하는 IMD성분을 선형화 회로에서 보다 쉽게 제어 및 제거 할 수 있음으로 기존의 Feedforward 선형 전력 증폭기보다 선형성을 높일 수 있다.

본 논문에서 주증폭기에 사용하는 transistor는 IMD와 이득 평탄도(Gain flatness)가 뛰어난 LDMOS를 사용하였고 광대역 특성을 가지도록 정합을 하였다. 그리고 마이크로스트립 선로는 비유전율(ϵ_r)이 3.25이고 두께가 0.762mm인 마이크로웨이브 기판상에 구현하였다.

본론

본 논문에서는 선형화 기법 중에서 Feedforward 방식을 사용했으므로 carrier 신호와 IMD 제거루프가 필수적으로 필요하다. 그림 1은 본 논문에서 설계 제작된 선형 전력 증폭기의 블록도를 나타낸 것이다.

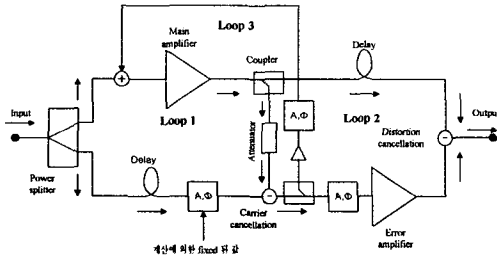


그림 1. 제작된 선형 전력 증폭기의 블록도

루프 1은 carrier 신호를 제거하고 루프 2는 IMD를 최종적으로 제거하는 회로들이다^[5]. 여기에 루프 3은 루프 1을 거친 순수 IMD신호를 위상과 크기를 제어해서 다시 주증폭기로 케환시킴으로써 주증폭기의 IMD 특성을 개선시킬 수 있다.

1. 주증폭기 제작 및 측정

그림 2는 주증폭기를 나타내는 블록도이다.

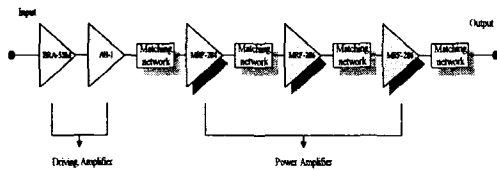


그림 2. 주증폭기 블록도

총 5단으로 설계 제작된 주증폭기는 비교적 작은 전력을 다루는 Driving 증폭기와 큰 전력을 다루는 대전력 증폭기로 나눌 수 있다. Driving 증폭기는 MMIC 형태의 광대역 정합이 되어 있는 소자를 사용하였고, 대전력 증폭기에는 Motorola사에서 생산되는 MRF 284, MRF 286의 LDMOS를 사용하였다. 각각의 LDMOS 사이에는 임피던스 정합을 하는 회로가 들어가 있다. 대부분의 power transistor의 경우에는 입력과 출력 임피던스가 매우 작은 특성을 가진다. 따라서

광대역 특성을 고려해서 작은 특성 임피던스를 가지는 마이크로스트립 선로와 capacitor를 이용해서 정합을 하였다. 그림 3은 본 논문에서 제작된 주증폭기를 나타내고 있다

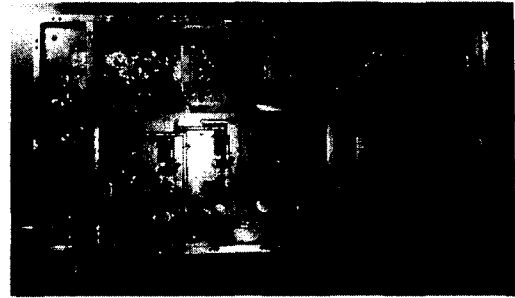
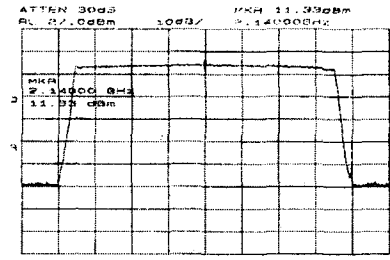
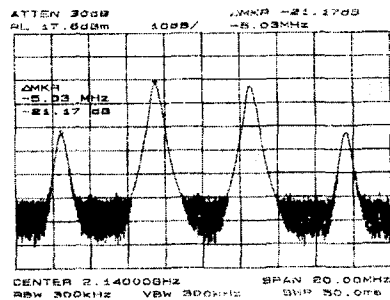


그림 3. 제작된 주증폭기

주증폭기의 소전력 증폭단 및 중간급 전력 증폭단과 대전력 증폭단 사이에는 불요파 및 noise 증폭을 막기 위해서 차폐 처리를 했다. 그림 3은 실제 제작된 주증폭기를 나타내고 있다. 그림 4는 주증폭기의 측정결과를 나타낸 것이다.



(a) 주증폭기 이득 및 이득 평탄도



(b) 주증폭기 two tone test

그림 4. 주증폭기 측정결과

그림 4에서 나타난 것과 같이 제작된 주증폭기는 Anritsu사의 68147B를 RF 소스로 사용하고 출력 파형은 Agilent사의 스펙트럼 분석기인 8563E를 사용하여 측정하였다. 주증폭기의 출력 전력은 측정 케이블의 손실(8dB)과 종단에 사용된 감쇠기(30dB)의 손실을 고려해서 약 10W(40dBm)이고 IMD 특성은 -21.17dBc이다. 이득 평탄도는 20MHz에서 1.5dB이내를 나타내었다. 그림 4의 (a)는 주증폭기의 출력과 이득 평탄도를 나타내고 있고, (b)는 두 개의 다른 주파수를 입력해서 비선형특성인 주증폭기의 IMD특성을 나타내고 있다.

2. 선형화 회로의 설계 및 제작

2-1. 가변 감쇠기 및 가변 위상 천이기 설계 및 제작

모든 루프회로에 가변 감쇠기와 가변 위상 천이기를 사용해서 각 성분들의 크기와 위상을 제어해야 한다. 가변 감쇠기는 MA-COM사의 AT-108을 사용하였고 가변 위상 천이기는 3dB Hybrid coupler와 varactor diode를 사용해서 설계, 제작하였다^[6]. 그림 5는 가변 위상 천이기의 블록도이다.

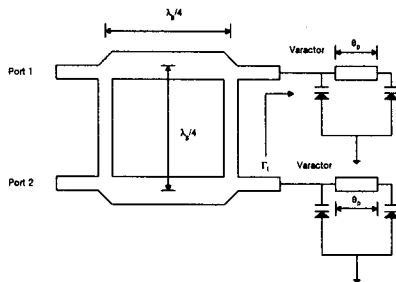


그림 5. 가변 위상 천이기 블록도

가변 감쇠기는 전압을 제어함으로써 30dB까지 감쇠가 가능하며 가변 위상 천이기는 70도까지 신호의 위상을 변화시킬 수 있도록 설계하였다.

2-2. Error 증폭기의 설계 및 제작

Error 증폭기는 IMD를 제거하는 데 있어서 그림 4에 나타난 루프 2에 위치하게 되며 주증폭기를 통해서 발생하는 IMD 성분을 제거하는데 사용된다. 특히 IMD 성분의 안정된 제거를 위해서는 큰 이득과 광대역의 신호에 대해 뛰어난 평탄도를 가져야 한다.

본 논문에서는 큰 전력이득과 뛰어난 평탄도를 갖는

Error 증폭기를 구현하기 위해 광대역 정합이 되어 있는 MMIC 증폭기인 Minicircuit사의 ERA-5SM과 Wattkin & Johnson사의 AH-1을 사용하였다. 그림 6은 Error 증폭기의 출력 및 IMD 특성을 나타낸 것이다.

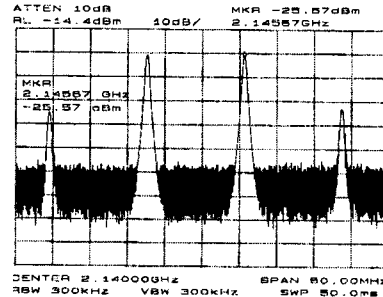


그림 6. Error 증폭기의 출력 및 IMD 특성

그림 6은 Error 증폭기의 IMD 특성을 나타낸 것이다. 구현된 Error 증폭기는 58dB이상의 전력이득과, 2125~2155MHz의 주파수 대역에서 0.2dB이내의 뛰어난 평탄도를 나타내고 그림 8에서는 주증폭기의 IMD 주파수에서 two tone으로 측정된 결과이다. 그리고 출력은 20dBm 이상을 출력하도록 설계하였다.

2-3. 선형화 회로의 설계 및 제작

본 논문에서는 선형화 회로가 케환루프, 주신호 제거루프, IMD 제거루프로 나뉜다. 케환루프는 IMD 신호만을 주증폭기의 입력단으로 케환하고, 주신호 제거루프나 IMD 제거 루프는 Feedforward 방법에서와 같이 사용되어 진다. 그림 7은 케환루프를 첨가한 주증폭기의 IMD 특성을 나타낸 것이다.

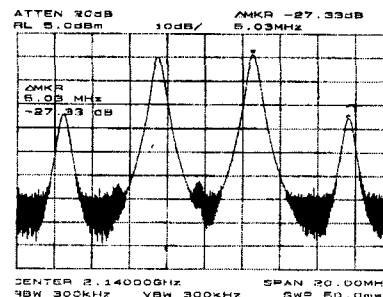


그림 7. 케환회로를 포함한 주증폭기 IMD 특성

그림 7에서 나타난 것과 같이 주증폭기가 루프 3에 의해서 케환된 IMD 신호의 위상과 크기를 제어함으로써 케환루프가 없는 주증폭기의 IMD 특성보다 5dBc

가 개선되어 나타났다. 그림 8은 제작된 선형화 회로를 나타낸 것이다.

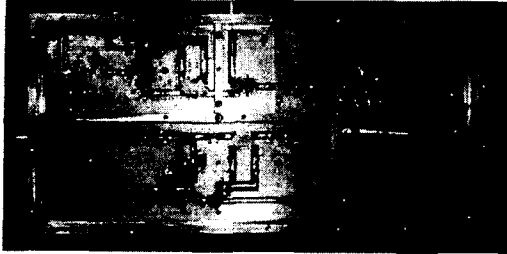


그림 8. 제작된 루프회로

2-4. 케환 회로가 첨가된 선형 전력 증폭기의 측정

제작된 선형 전력 증폭기의 Feedforward 선형화 방법에 케환루프를 첨가하여 주증폭기의 IMD 특성을 개선시켰다. 이로 인해서 선형화 회로내의 Error 증폭기의 출력이 기존 방식의 Error 증폭기 보다 작아도 되며 전체적인 IMD 특성도 개선 시킬 수 있었다. 본 논문에서 제작된 선형 전력 증폭기의 최종 IMD 특성은 주증폭기에서 IMD 특성을 개선 시켰으므로 Feedforward보다 4~5dBc 정도의 IMD 특성을 개선 시킬 수 있었다. 그림 9는 최종 제작된 선형 전력 증폭기의 IMD 특성을 나타낸 것이다.

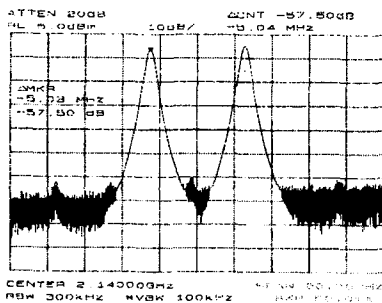


그림 9. 선형 전력증폭기의 IMD 특성

결론

본 논문에서 제작된 선형 전력 증폭기는 주증폭기 출력신호에서 주신호를 제거한 신호(IMD)만을 추출하여 주증폭기로 케환시켜 위상과 크기를 제어함으로 주증폭기의 IMD특성을 향상시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 케환루프에는 기존의 Feedforward 선형 전력 증폭기의 각 루프에 사용된 소자와 같이 결합기

(Coupler), 소신호 증폭기, 가변 감쇠기, 가변 위상 천이기로 구현 하였다.

본 논문에서 제시된 바와 같이 Feedforward 방식의 전력 증폭기는 주증폭기의 IMD 특성을 개선함으로써 최종 IMD 제거루프의 제어를 원활히 할 수 있고, Error증폭기의 출력전력을 낮출 수 있어 보다 안정된 동작특성을 나타내도록 할 수 있다. 그리고 주증폭기의 IMD 특성 향상으로 최종단에서 이루어지는 IMD 제거가 기존의 Feedforward 방식의 선형 전력 증폭기보다 4dBc 정도 개선되어 나타남을 알 수 있었다.

현재 이동 통신용 기지국이나 중계기에 사용되는 전력 증폭기는 구현이 어려운 Feedforward 선형 전력 증폭기보다 전치 왜곡기를 이용한 선형 전력 증폭기가 사용되고 있다. IMT-2000과 같이 차세대 이동통신 시스템에서는 광대역과 선형성 특성이 더욱 요구됨에 따라 본 논문에서 제시된 케환루프가 포함된 Feedforward 선형 전력 증폭기가 이동 통신용 중계기가 기지국에 사용되어 질 수 있다.

향후 선형 전력 증폭기에는 선형성을 극대화 시키고 특히 온도 및 외부환경에 대해서 안정된 출력 전력을 유지할 수 있는 형태로 발전 할 것으로 예상되며 DSP 기술의 도입을 통해서 보다 안정적이며 쉽게 제어할 수 있는 향상된 선형 전력 증폭기를 설계 제작 할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] 임선배, "ITU-T의 IMT2000 표준화 동향", 한국통신학회지 제 14권 제 11호 pp 29-41,1997
- [2] Steve C. Cripps "RF Power Amplifiers for Wireless Communications", Artechhouse, 1999
- [3] H. Seidel,"A microwave feedforward experiment," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 50, no. 9, pp2879-2918, Nov. 1971
- [4] S. Narahashi and T. Nojima, "Extremely low-distortion cancellation multi-carrier amplifier-Self adjusting feedforward(SAFF) amplifier", in *Proc, IEEE Int. Commun. Conf.*, 1991, pp1485-1490
- [5] Nick Potheary "Feedforward Linear Power Amplifiers", Artechhouse, 1999
- [6] Shiban K. Koul. Bharathi,"*Microwave And Millimeterwave Phase Shifters*", Artech Hous Inc.,1991