

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

류병하, 장중호*, 김성민*, 최현철*

경북대학교 전자전기 공학부

Tel : 053)940-8652, FAX : 053)940-8852

(E-mail : bhryu@palgong.knu.ac.kr)

Design and Fabrication of 10W Feedforward Linear Power Amplifier adding Feedback Loop for IMT-2000

"Byung-Ha Ryu", Jung-Ho Jang*, Sung-Min Kim*, Hyun-Chul Choi"

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

(E-mail : bhryu@palgong.knu.ac.kr)

Abstract

In this paper, A Feedforward Linear Power Amplifier which is appended a feedback loop for IMT-2000 was designed and fabricated. Feedback loop was used to improve the IMD(Inter-Modulation Distortion) characteristic of the main amplifier. And it is easy to cancel IMD on the main path and control IMD cancellation loop, compared with basic Feedforward Linear Power Amplifier. This feedback loop has the same effect of the Predistorter. So, This power amplifier was improved in IMD characteristics to add the effect of Predistorter to basic Feedforward amplifier. And the designed power amplifier in this paper represented the 40dBm(10W) output power and -55dBc 3rd IMD at center frequency 2.14GHz (@10MHz).

I. 서론

IMT-2000과 같이 차세대 이동통신 서비스에서는 많은 량의 데이터 전송을 위해서 넓은 대역을 가지는 송수신 시스템이 필요하다.^[1] 이에 따라서 RF 송, 수신 시스템에서 보다 광대역의 특성과 선형성을 요구하게 되었다. 특히 RF 송신 시스템에 있어서 전력 증폭기의 제작에 대한 기술은 부가가치가 높은 핵심 기술로 가장 구현이 어려운 분야로 다루어지고 있다.

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]

본 논문에서는 이들 선형화 기술 중에서 IMD 특

성 및 자동 조정이 가능한 Feedforward 방식^[3,4]을 기본으로 하고 주증폭기 앞단에 순수 IMD만을 결합(Coupling), 궤환하는 궤환루프를 첨가시킴으로 비선형성 때문에 나타나는 주증폭기 자체의 IMD를 줄일 수 있고 이로 인해서 주경로 상에서의 IMD가 감소하므로 Feedforward에서 사용되어지는 IMD 결합이나 최종단의 IMD 제거를 보다 쉽게 할 수 있다. 그리고 IMD를 제거하는데 사용되는 Error 증폭기의 출력을 낮추었기 때문에 설계가 더 쉬워 질 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.

II. 주증폭기 설계 및 제작

1. 주증폭기 제작 및 측정

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. 그림 1은 주증폭기를 나타내는 블록도이다.

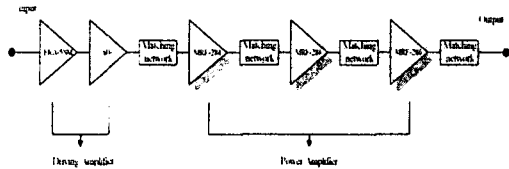


그림 1. 주증폭기 블록도

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 2는 본 논문에서 제작된 주증폭기의 layout을 나타내고 있다

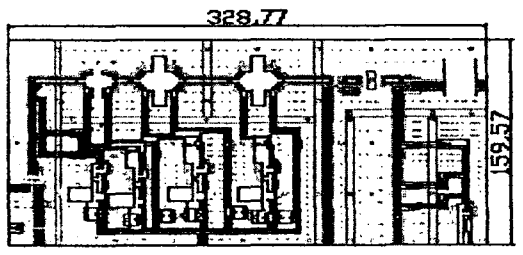


그림 2. 주증폭기 layout

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.

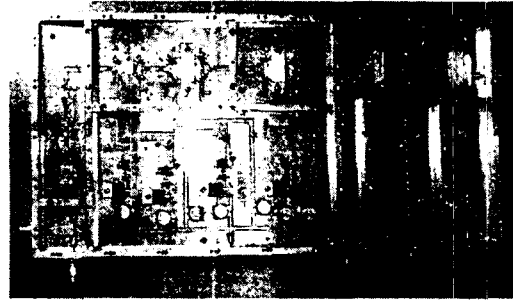
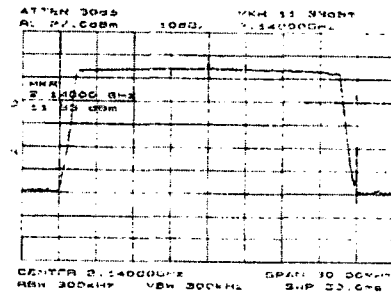
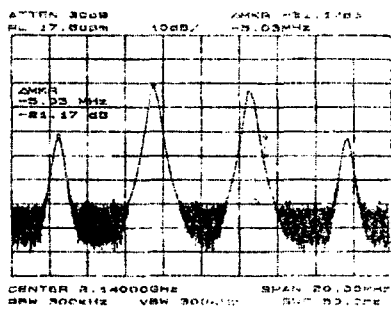


그림 3. 제작된 주증폭기

주증폭기의 특성에 따라 주변 회로의 구현이 각각 달라지는데 출력 전력과 IMD 특성이 선형 전력 증폭기에 가장 큰 영향을 미친다. 그림 4는 주증폭기의 측정결과를 나타낸 것이다.



(a) 주증폭기 이득 및 이득 평탄도

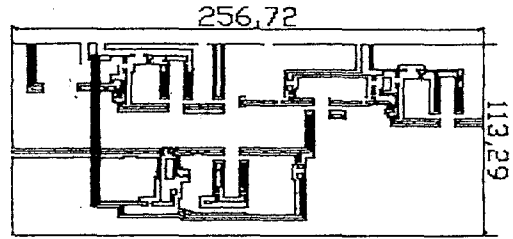


(b) 주증폭기 two tone test

그림 4. 주증폭기 측정결과

그림 4에서 나타난 것과 같이 제작된 주증폭기는 Anritsu사의 68147B를 RF 소스로 사용하고 출력 파형은 Agilent사의 스펙트럼 분석기인 8563E를 사용

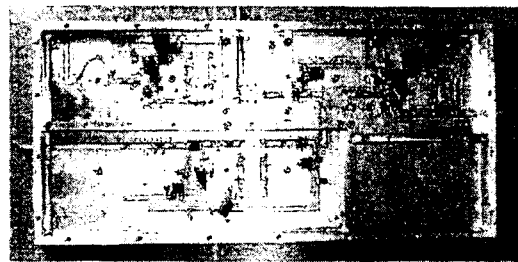
하여 측정하였다. 주증폭기의 출력 전력은 측정 케이블의 손실(8dB)과 종단에 사용된 감쇠기(30dB)의 손실을 고려해서 약 10W(40dBm)이고 IMD 특성은 -21.17dBc이다. 이득 평탄도는 20MHz에서 1.5dB이 내를 나타내었다. 그림 4의 (a)는 주증폭기의 출력과 이득 평탄도를 나타내고 있고, (b)는 두 개의 다른 주파수를 입력해서 비선형특성인 주증폭기의 IMD 특성을 나타내고 있다.



(a) 루프회로 layout

III. 선형화 회로의 설계 및 제작

선형화 기법 중에서 Feedforward 방식을 사용했으므로 carrier 신호와 IMD 제거루프가 필수적으로 필요하다. 그림 5는 본 논문에서 설계 제작된 선형 전력 증폭기의 블록도를 나타낸 것이다.



(b) 제작된 루프회로

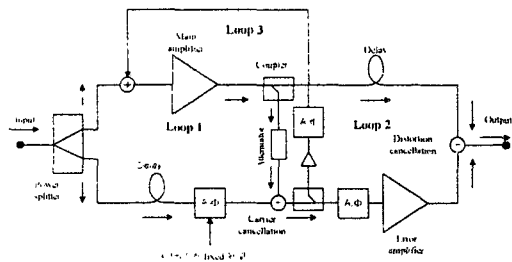


그림 5. 제작된 선형 전력 증폭기의 블록도

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 케환시킴으로 주증폭기의 IMD 특성을 개선시킬 수 있었다. 그림 5에 나타난 것과 같이, Carrier 성분을 제거하는 루프 1과 IMD 성분을 추출하여 제거하는 루프2, 루프 3에는 신호의 크기와 위상을 제어하는 가변 감쇠기와 가변 위상 천이기가 필수적으로 요구된다. 가변 감쇠기는 MA-COM사의 AT-108을 사용하였고 가변 위상 천이기는 3dB Hybrid coupler와 varactor diode를 사용해서 설계, 제작하였다. 가변 감쇠기는 전압을 제어함으로써 30dB까지 감쇠가 가능하며 가변 위상 천이기는 100도까지 신호의 위상을 변화시킬 수 있도록 설계하였다. 그림 6은 루프 회로의 layout과 제작된 루프회로를 나타낸 것이다.

그림 6. 루프회로의 layout과 제작된 루프회로

Error 증폭기는 IMD를 제거하는 데 있어서 그림 4에 나타난 루프 2에 위치하게 되며 주증폭기를 통해서 발생되는 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-5SM1과 Watkin & Johnson사의 AH-1을 사용하였다. 그림 7은 케환 루프를 포함한 주증폭기의 IMD 특성을 나타낸 것이다.

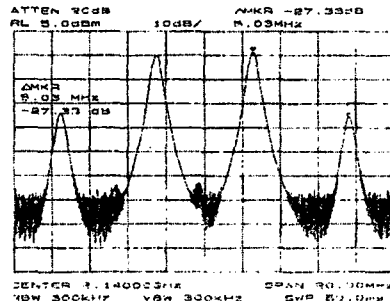


그림 7. 케환회로를 포함한 주증폭기 IMD 특성

그림 7에서 나타난 것과 같이 주증폭기가 루프 3에

의해서 제한된 IMD 신호의 위상과 크기를 제어함으로써 제한루프가 없는 주증폭기의 IMD 특성보다 5dBc가 개선되어 나타났다.

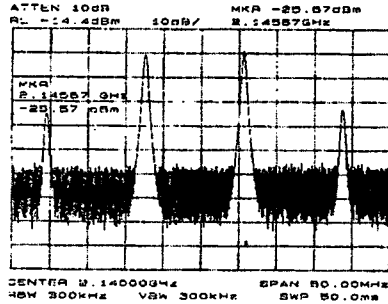


그림 8. Error 증폭기의 IMD 특성

그림 8은 Error 증폭기의 IMD 특성을 나타낸 것이다. 구현된 Error 증폭기는 53dB이상의 전력이득과, 2125~2155MHz의 주파수 대역에서 0.2dB이내의 뛰어난 평탄도를 나타내고 그림 8에서는 주증폭기의 IMD 주파수에서 two tone으로 측정된 결과이다. 그리고 출력은 13dBm 이상을 출력하도록 설계하였다.

IV. 제한 회로가 첨가된 선형 전력 증폭기의 제작 및 측정

제작된 선형 전력 증폭기의 Feedforward 선형화 방법에 제한루프를 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.

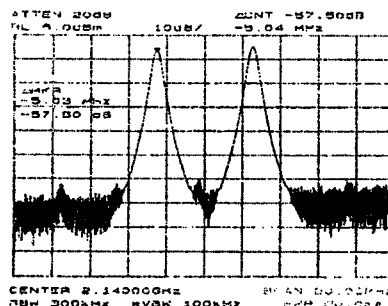


그림 9. 선형 전력증폭기의 IMD 특성

V. 결론

본 논문에서는 IMT-2000과 같은 차세대 이동통신 기지국이나 중계기에서 요구되는 광대역 특성을 갖는 선형 전력 증폭기를 제한 루프를 첨가시킨 Feedforward 방식을 이용하여 설계, 제작하였다. 본 논문에서 제시된 전력 증폭기는 기존의 Feedforward 방식에 주증폭기에서 출력되는 순수 IMD 성분만을 추출하여 주증폭기 입력단으로 제한하는 제한루프를 첨가시켜, 한층 개선된 주증폭기의 IMD 특성을 얻을 수 있었다. 본 논문에서 제시된 바와 같이 Feedforward 방식의 전력 증폭기는 주증폭기의 IMD 특성을 개선함으로써 최종 IMD 제거루프의 제어를 원활히 할 수 있고, Error 증폭기의 출력전력을 낮출 수 있어 보다 안정된 동작특성을 나타내도록 할 수 있다.

현재 이동통신용 시스템에 사용되는 전력 증폭기는 전치 왜곡기의 선형화 방법을 사용하고 각 채널당 전력 증폭기를 두고 있으며 수동으로 IMD를 최적화를 시키는데 비해서 Feedforward 방식은 디지털 기술을 접목해서 auto-control이 가능한 형태로 제어할 수 있다. 향후 선형 전력 증폭기에는 선형성을 다대화 시키고 특히 온도 및 외부환경에 대해서 안정된 출력 전력을 유지할 수 있는 형태로 발전 할 것으로 예상되며 DSP기술의 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