

MIXER를 이용한 Predistortion 선형화기의 설계

윤상영, 이미영, 정용채, 안달*, 박규호**
전북대학교 정보통신공학과, * 순천향대학교, ** 전자부품연구원
E-mail: a987149@cbnu.chonbuk.ac.kr

Design of Predistortion Linearizer using Mixer

Sang Young Yun, Me Young Lee, Young Chae Jeong, Dal Ahn, Kyu Ho Park
Dept. of Information & Communication Engineering, Chonbuk National Univ.,
* Dept. of Electronic engineering, Soonchunghang Univ.,
** Korea Electronics Technology Institute

요약

비선형 전력 증폭기에서 발생하는 혼변조 왜곡신호(Intermodulation Distortion Signal)에 의한 채널 간의 혼신을 방지하기 위해서는 비선형 특성 보상회로가 필요하다. 본 논문에서는 증폭기의 비선형 특성을 보상하기 위해 증폭기의 입력 단에 주파수 변환시에 생기는 왜곡특성을 이용한 전치왜곡 회로를 부착하여 증폭기의 비선형 특성을 개선시키는 방법을 제안하였다. 이 제안된 방법으로 주파수 성분이 2139.985MHz와 2140.015MHz인 2-tone 입력 LO 신호와 30KHz인 IF 신호를 혼합기에 입력하여 혼합기의 출력단에서 혼변조 신호들을 만들어 내었고 이 신호들을 반송파 신호들과 함께 증폭기에 인가시킴으로 17 dB의 IMD 개선 특성을 얻었다.

1. 서론

이동 통신 기지국이나 위성 통신 기지국의 송신단에서는 안테나로 신호를 보낼 때 고출력 증폭기를 사용하게 되며 이러한 고출력 증폭기는 비선형 특성을 가지고 있어서 CDMA등과 같은 통신 방식은 다수에 반송파를 증폭하게 되므로 혼변조 왜곡이 발생하게 된다. 이러한 혼변조 왜곡을 제거하기 위해서는 선형화기의 장착이 반드시 필요하게 되며 본 논문에서는 혼변조 왜곡을 제거하기 위한 방법으로 전치에 혼변조 신호발생기를 두어서 선형화를 이루는 방법 중 새로운 혼변조 신호 발생기 설계 방법을 제시하였다. 지금까지의 혼변조 신호 발생기를 만드는 방법으로는 다이오드의 비선형 특성을 이용한 방법이 있으나 다이오드의 비선형 특성을 증가시키기 위해서 DC-bias를 사용하고 정합 특성을 보상하기 위해서 정합회로가 필요하는 등 여러가지의 부가회로가 필요하게 된다[1][2]. 본 논문에서는 이러한 복잡한 과정을 거치지 않고

2. 본론

능동회로의 비선형 특성은 입력 신호가 v_i 이고 출력 신호가 v_o 일 때 다음과 같은 Power Series로써 나타낼 수 있다.

$$v_o = a_1 v_i + a_2 v_i^2 + a_3 v_i^3 + \dots \quad (1)$$

이때 입력 신호가 $v_i = A[\cos(w_1 t) + \cos(w_2 t)]$ 이면 혼변조 왜곡성분이 발생된다. 혼변조 왜곡신호 성분들 중에서도 일반적으로 3차항에 의해서 발생하는 신호는 다른 신호 성분들에 비해 큰 신호이며 사용 채널에 인접해서 발생하므로 제거하기 어려운 혼신 잡음 신호가 된다. 특히 여러 송신채널을 가지는 통신 시스템의 경우 이러한 혼변조 왜곡신호들이 타채널에 혼신 잡음신호로서 작용한다. 이러한 비선형 특성을 보상하기 위한 회로로 Mixer를 이용한 혼변조 신호 발생기를 설계하였다.

RF 신호들을 증폭기로 증폭할 경우 트랜지스터의 비선형 특성으로 인하여 신호 증폭 이외에 혼변조 왜곡

신호 성분들이 발생되므로 증폭기에서 만들어질 왜곡성분을 고려하여 이것과 역의 왜곡 특성을 갖는 전치 왜곡 회로를 증폭기의 입력측에 부가하여 증폭기의 왜곡 성분을 상쇄시키는 것을 전치왜곡(predistortion) 선형화 방식이라고 한다. 그림 1은 RF 증폭기에 대한 전치왜곡 선형화 방식의 개념도이다. RF 증폭기는 입력전력이 증가함에 따라 1dB 압축점(1dB saturation point) 근처에서 이득이 감소하는 AM-to-AM 현상과 위상이 지연되는 AM-to-PM 현상이 일어나며 스펙트럼 측면에서는 혼변조 왜곡 주파수 성분이 많이 생기는 왜곡현상으로 설명할 수 있다. 이러한 증폭기 앞에 입력 전력의 증가함에 따라 이득이 증가하고 위상이 선형되며 스펙트럼 측면에서는 역시 혼변조 신호 성분을 발생하여 증폭기의 왜곡특성과는 다른 역왜곡 특성을 갖는 전치 왜곡기를 두면 전체적으로 진폭과 위상을 선형화 할 수 있을 것이다. 즉 스펙트럼 측면에서 설명하면 전치 왜곡기에서 만들어지는 혼변조 신호가 증폭기에서 증폭되어, 입력 반송파가 증폭기에서 증폭되면서 만들어지는 혼변조 왜곡 신호들과 서로 상쇄되게 하는 방식이다[1].

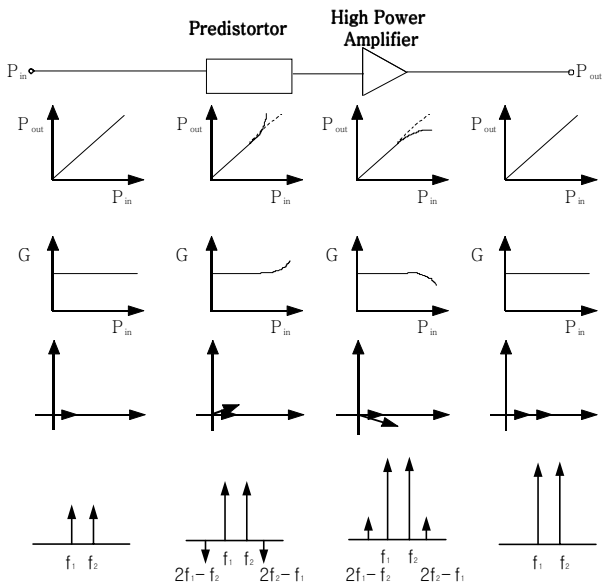
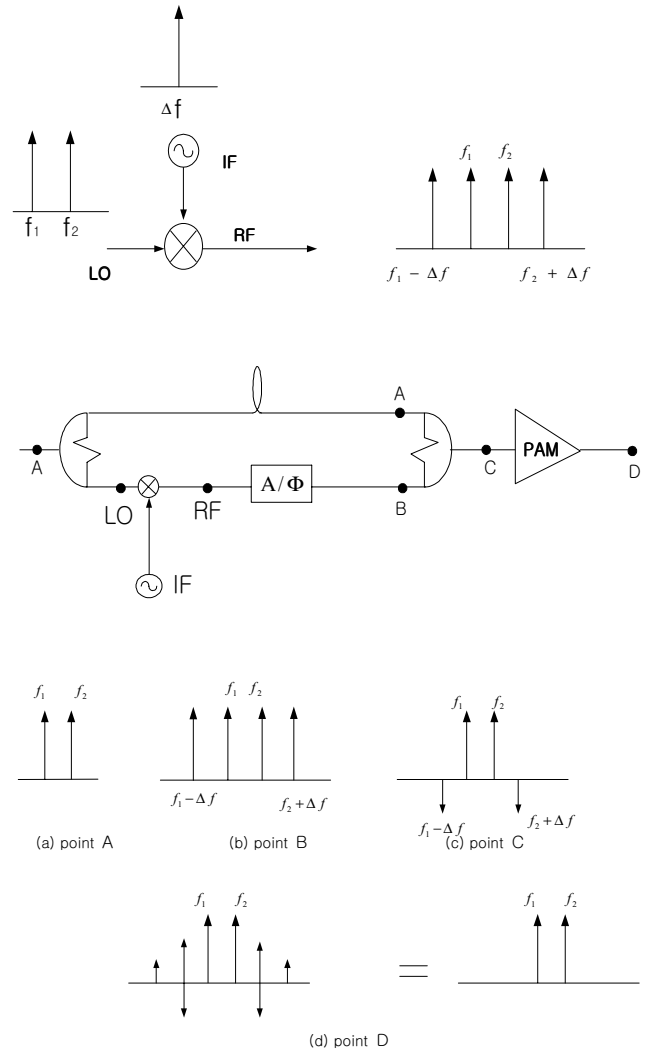


그림 1. 전치왜곡 선형화 방식의 개념도

그림 2는 일반적인 혼합기의 LO 단에 주파수가 f_1, f_2 인 반송파신호들을 입력하고 IF 단에는 ... 신호를 인가해서 상향 주파수 변환된 RF 출력 단에서는

$f_1, f_2, f_1 - \Delta f, f_2 + \Delta f$ 의 스펙트럼으로



A/Φ : Attenuator & Phase Shifter
PAM : Power Amplifier

나타난다[4].
본 논문에서 사용된 회로에 대해서 동작원리를 설명하면 입력에 인가된 반송파 2-tone signal은 주경로와 보조경로로 전력 분배기에 의해서 나누어진다. 주 경로에서는 보조경로에서 발생하는 지연시간 만큼의 Delay

그림 3. 전체 구성도

Line을 포함하고 있고 보조 경로로 분기된 신호는 Mixer의 LO 신호로 사용이 되고 IF단에서 또다른 신호원에 의해서 주파수 상향 변환을 하게 되며 출력단에서는 $f_1, f_2, f_1 - \Delta f, f_2 + \Delta f$ 의 스펙트럼으로 나타난다. 비선형 전력 증폭기의 3차 왜곡 신호성분과 보조 경로의 $f_1, \dots, f_1 - \Delta f, f_2 + \Delta f$ 주파수 성분이 동일하므로 보조 경로에 가변 감쇠기와 위상변환기를 사용해서 전력

증폭기의 출력에서 크기는 동일하고 위상이 180° 가 되도록 조정을 하면 전력 증폭기의 비선형 특성에 의해서 발생하는 3차 왜곡 성분들은 제거가 가능하다.

3. 제작 및 실험

본 실험에서 사용된 전력 증폭기는 자체 제작하여 사용을 하였고 Line-up을 보면 Watkin-Jonson 사에서 제공하는 AH1과 Fujitsu 사에서 제공하는 FLL171ME와 FLL105MK를 Series로 연결한 증폭기를 사용하였고 Gain은 34dB이고 P1dB는 39dBm의 전력 증폭기의 특성을 그림 4에 나타내고 있다.

선형화기의 제작 실험을 위해 사용된 혼합기는 Mini-Circuits사에서 제공하는 LRMS-30J를 사용하였고 반송파 신호 입력은 HP ESG-3000A Signal Generator 를 사용하였고 여기서 2-tone 주파수는 선택사항으로 되어있는 Multi-tone 발생기를 사용했고 주파수 각각은 2139.985MHz와 2140.015MHz이고 IF 신호는 두 주파수의 차인 30KHz로 설정을 하였다. 이 반송파 신호들과 IF신호 합성에 의한 혼합기의 상향변환 특성을 이용해서 혼변조 신호발생기를 만들어 내었다. 즉 Mixer의 RF단에서는 $f_1, f_2, f_1 - \Delta f, f_2 + \Delta f$ 와 같은 스펙트럼이 발생하게 된다.

한편 Mixer를 이용한 혼변조 신호 발생기의 출력 레벨은 수동으로 가변 감쇠기, 가변 위상변환기를 조정하여 위상과 진폭을 변화 시켰다. 이때 가변 감쇠기에 사용된 다이오드는 HP사의 HSMP-4810이고 가변 위상변환기에 사용된 다이오드는 Sony사의 1T362이다. 또한 가변 감쇠기와 가변 위상변환기 모두 반사 특성을 좋게 하기위해서 반사형 구조를 이용하였으며 사용된 3dB 하이브리드는 Anaren사의 1X603이다.

그림 5(a)를 보면 A-Point에서의 순수한 2-tone 입력 신호이다. 여기서 두 주파수 사이에 존재하는 또 다른 신호는 Multi-tone Generator를 사용할 때 소프트 웨어적으로 만들어 주는 2-tone 이기 때문에 발생하는 신호 성분이다. 그림 5(b) Mixer를 이용한 혼변조 신호 발생 스펙트럼이다.

그림 5의 (c)와 (d)를 비교하여 보면 그림 (c)는 주경로를 통과한 전력증폭기의 혼변조 특성을 나타내고 반송파와 3차 혼변조 신호의 비는 31.61dBc 이고 그림(d)는 전치왜곡 회로를 사용한 전력 증폭기의 특성을 나타내고 있으며 반송파와 3차 혼변조 신호의 비는 55.38dBc를 나타냄으로써 23.77dB의 개선 효과를 보이고 있으나 여기서 실질적인 개선효과는 그림 (c)의 반송파와 3차 비와 그림 (d)의 반송파와 5차의 비를 비교한 결과가 실질적인 개선 효과는 약 17dB 정도로 개선 정도를

보이고 있다.

본 논문에서 Mixer의 주파수 변환동작시 발생하는 비선형 특성을 이용한 혼변조 신호 발생기를 전치 왜곡기(Predistortor)로 이용해서 증폭기의 비선형 특성을 개선하는 방법을 제시하였다. 선형화방법의 타당성을 보이기 위해 IMT-2000 기지국용 출력 증폭기에 선형화기를 연동한 결과 17dB의 IMD 개선효과를 얻었다. 본 실험에서는 제시한 선형화기의 성능을 확인하기 위해 비교적 적은 대역폭으로 실험 및 결과를 보였으나 차후에 본 논문에서 제시한 방법으로 더 넓은 주파수 대역에서 개선 효과를 보인다면 간단한 추가회로로 기지국에서 사용되는 전력 증폭기의 선형화기를 구현하게 되리라 기대된다.

참고 문헌

- [1], 이 원우, 정 용채 박 광량, 윤 상원, 장익수. "다이오드를 이용한 Predistortion 선형화기의 설계", 대한전자공학회 추계 전파전파연구회 학술대회 논문집, Vol.15, No. 2, pp.141-143 92/10
- [2] 김 성욱, 장 익수, 강 인호, 정 옥현, 정 용채. "Tuner를 이용한 Harmonic Generator의 설계", 대한전자공학회 춘계 전파전파연구회 학술발표회 논문집. Vol 17, No. 1, pp.49-52, 94/5
- [3] 정 용채, 혼변조 신호의 개별 차수 조정 Predistortion 선형화기 설계, 박사학위 논문, 서강 대학교, 1996
- [4] Stephen A.Maas, Microwave Mixers, Artech House, 1993

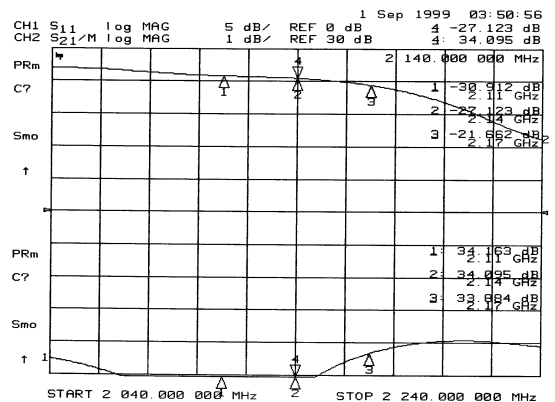
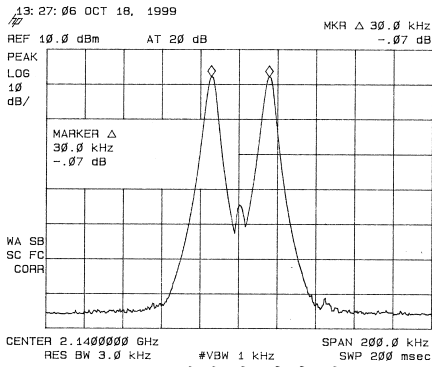
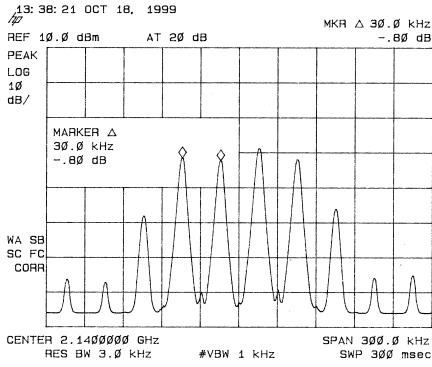


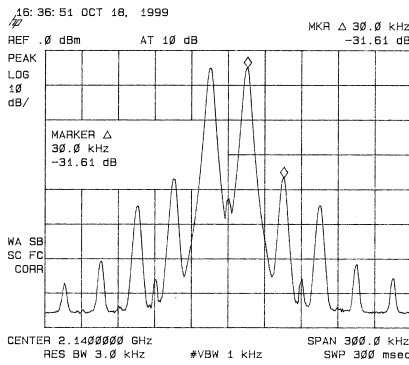
그림 5 전력 증폭기의 특성곡선



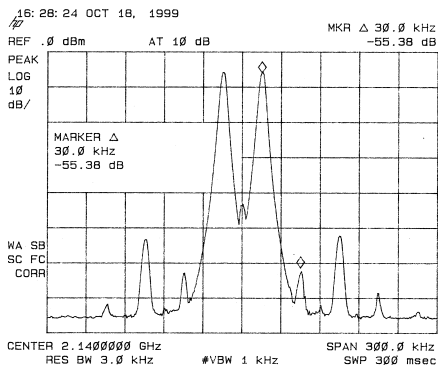
(a) 순수한 입력 신호



(b) 전치 왜곡 신호



(c) 전력 증폭기의 혼변조 성분



(d) 선형화기를 장착한 고출력 증폭기의 개선 효과

그림 5 부분별 출력 특성