

2차 혼변조 신호를 이용한 Predistortion 방식의 전력 증폭기 선형화기 설계

권영필, 이효아, 정용채, *김영, **김철동

전북대학교 전자.정보 공학부 및 정보통신 연구센터, *금오공과대학교 전자공학부, **세원 텔레텍

전화: (063) 270-2458 / 팩스: (063) 270-2461

The Design of Linear Power Amplifier of Predistortion Method using the 2nd intermodulation signal

Young Pil Kwon, Hyo A Lee, Yong Chae Jeong, *Young Kim, **Chul Dong Kim

Dept. of Electronics & Information Engineering, Chonbuk National Univ.,

*Dept. of Electronics, Kumoh Engineering Univ., **Sewon Teletech

E-mail : sagoman@mail.chonbuk.ac.kr

Abstract

We proposed a new predistortion technology which can design linear power amplifier for basestation of PCS(1855MHz) band. After detecting the 2nd low frequency intermodulation signal ($LFIM_2$) from the input signals, it is injected into the vector modulator with the input signals. Also, it is newly proposed method at this paper. If the input signal and $LFIM_2$ were injected on vector modulator, it creates 3rd IM and 5th IM signals. Then, we can suppress 3rd IM and 5th IM signals by adjusting V_I, V_Q . The input signals -center frequency- are 1855MHz, and tone space is 1Mhz. In result, we can cancel -29dBc and -6dBc of the distortion components 3rd IM and 5th IM, respectively. Also, when the CDMA IS-95 1FA and 3FA -input signals- were applied, the measured ACPR improvements were about -10dBc and -6dBc, respectively.

I. 서론

현재의 이동 통신 기술은 아날로그 방식에서 디지털 방식으로의 전환을 맞고 있다. 디지털 이동 통신은 스펙트럼의 효율을 높이기 위해서 CDMA, QAM, QPSK 같은 방식을 이용하게 된다. 하지만, 이러한 통신 환경에서 사용되는 전력 증폭기는 최대 효율을 얻기 위해서 포화 영역까지 증폭기를 동작시킨다. 이 경우, 포화 영역에서 나타나는 전력 증폭기의 비선형 특성으로 인한 IMD 신호가 발생하게 된다. 이 IMD 신호는 주 신호원에 근접해 있어서 매우 높은 Q 값을 갖는 필터를 요구하므로 필터로의 제거가 어렵게 된다. 제거되지 않은 IMD 신호들은 인접 채널에서 통신상의 혼신과 잡음원의 원인이 된다. 이러한 전력 증폭기의 비선형 특성으로 인한 왜곡을 보상하기 위해서 선형화기에 대한 기술이 계속해서 개발되고 있다[1],[2].

현재, 일반적으로 사용되는 선형화 기법으로는 Back-off, Feed-Forward, Predistortion 기법들이 있다[2], [3]. 이러한 기술들을 사용할 경우, 고출력 증폭기의 포화영역 부근에 대한 비선형 특성을 보상하여 포

화영역에서도 다수 반송파의 공동 증폭시 발생하는 혼신과 잡음을 대폭 감소시킬 수 있다.

본 논문은 Predistortion을 이용한 선형화기를 제안하였다. 트랜지스터의 비선형 특성을 이용하여 $LFIM_2$ 를 생성, 추출하였다. 이 추출된 신호는 벡터 모듈레이터에 주 신호와 같이 인가되어 혼변조 신호를 생성하게 되는데, 이렇게 생성된 혼변조 신호를 이용하면 전력증폭기에서 생성되는 혼변조 신호를 제어할 수 있게 된다 [4].

위에서 제안된 선형화기의 타당성을 검증하기 위해서 블럭도와 그에 따른 동작원리에 대해서 설명하고 셀룰라(PCS) 대역에서 기지국용으로 사용되는 모토로라사의 MHL19338로 제작된 전력 증폭기의 선형화에 중점을 두었다.

II. 선형화기의 동작 이론

일반적으로 비선형 소자의 전달 특성은 Power 시리즈로 표현이 가능하다. 입력신호가 v_i 이고, 출력 신호가 v_o 라고 할 경우, Power 시리즈를 식(1)과 같이 나타낼 수 있다[1].

$$v_o = a + bv_i + cv_i^2 + dv_i^3 + \dots \quad (1)$$

신호 $v_i(t) = v_m(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t)$ 가 전력 증폭기의 입력으로 인가될 때, 출력 신호는 DC와 기본 주파수인 ω_1, ω_2 가 나온다. 또한 출력 신호로는 전력 증폭기의 비선형성으로 발생하는 기본 주파수의 체배된 신호들도 나오게 된다. 그리고 CDMA와 TDMA 같은 디지털 통신 방식에서 인접 채널에 영향을 주어 통신의 잡음원이 되는 혼변조 신호인 3차의 $2\omega_1 \pm \omega_2, 2\omega_2 \pm \omega_1$ 와 5차의 $3\omega_1 \pm 2\omega_2, 3\omega_2 \pm 2\omega_1$ 신호들도 생성된다. 바로 이러한 3차와 5차의 혼변조 신호들을 제어하고자 하는데 본 논문의 목적이 있다. 앞에서 언급하였듯이, 위에서 나열한 성분 중에 주로 3차와 5차의 혼변조 신호가 인접 채널에 영향을 주어 통신상의 잡음원이 되므로 그림 1과 같은 Predistortion 블럭도를 제안하였다.

그림 1에서 볼 수 있듯이 3차와 5차의 혼변조 신호

를 제어하기 위한 $LFIM_2$ 신호를 power series의 두 번째 비선형 항을 이용해서 생성하고, 이 신호를 3dB 하이브리드 커플러의 전달 함수 특성을 이용해서 추출하였다. 이렇게 추출된 신호는 VGA에 의해서 그 크기를 제어 할 수 있다. 또한 추출된 신호는 3차의 혼변조 신호를 만들기 위해서 주신호와 같이 벡터 모듈레이터에 인가된다. 그 결과 벡터 모듈레이터에서는 주신호와 의 진폭(AM-to-AM) 변조를 일으켜 3차 혼변조 신호를 생성하였다.

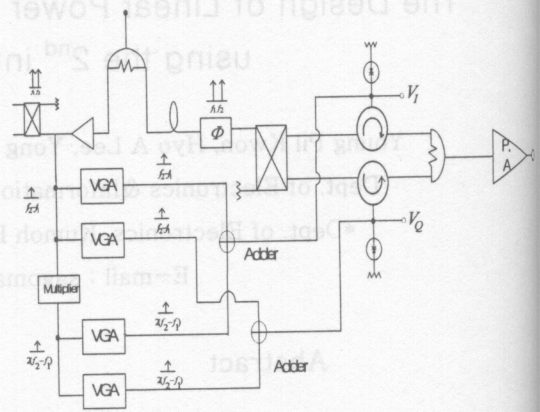


그림1. 전체 블럭도

그림 1에서 벡터 모듈레이터의 변조도를 조절하는 요소는 바랙터 다이오드의 조절 전압(V_1, V_2)이다. 그 결과 전력 결합기의 출력 신호는 주신호와 3차 혼변조 신호가 나오게 된다.

앞서 설명한 3차 혼변조 신호 생성 과정과 같이, 5차 혼변조 신호도 생성이 가능하다. 추출된 $LFIM_2$ 는 체배기를 이용하여 2체배 시킨후, VGA를 이용하여 $2 * LFIM_2$ 신호의 크기를 조절하였다. 이렇게 만들어진 $2 * LFIM_2$ 신호를 주신호와 벡터 모듈레이터에서 진폭 변조 시켜주면 5차 혼변조 신호를 제어할 수 있는 신호의 생성이 가능하다. 결국, 위의 블럭도를 이용하면, 본 논문에서 제안한 2차 혼변조 신호를 이용한 선형화기의 동작을 설명할 수 있다.

이렇게 생성된 3차의 혼변조 신호 생성 과정을 수식으로 표현하면, 다음과 같다. 이때, 동위상 성분과 직각 성분을 나타내 보면 :

$$\begin{aligned}
 V_I &= K_1(1+m_1 \cos \Delta \omega_1 t) \cdot (\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t) \\
 &= K_1 \cos \omega_1 t + \frac{m_1 K_1}{2} [\cos(\omega_1 + \Delta \omega)t + \cos(\omega_1 - \Delta \omega)t] \\
 &+ K_1 \cos \omega_2 t + \frac{m_1 K_1}{2} [\cos(\omega_2 + \Delta \omega)t + \cos(\omega_2 - \Delta \omega)t]
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 V_Q &= K_2(1+m_2 \cos \Delta \omega t) \cdot (\sin \omega_1 t + \sin \omega_2 t) \\
 &= K_2 \sin \omega_1 t + \frac{m_2 K_2}{2} [\sin(\omega_1 + \Delta \omega)t + \sin(\omega_1 - \Delta \omega)t] \\
 &+ K_2 \sin \omega_2 t + \frac{m_2 K_2}{2} [\sin(\omega_2 + \Delta \omega)t + \sin(\omega_2 - \Delta \omega)t]
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

여기서 $LFIM_2 = \Delta \omega = \omega_2 - \omega_1$ 는 2차 혼변조 신호를 나타낸다. 또한 m_a 는 변조도를 나타낸다. 이러한 과정은 5차의 경우도 같이 적용된다.

III. 실험 결과

그림 1 블록도에서 실제 사용된 전력 증폭기는 모토롤라사의 MHL 19338 2개를 케스케이드로 연결하여 그 선형성 정도를 확인하였다. 물론, 증폭기 중간에 반사계수를 좋게 하기 위해서 -9dB 감쇄기를 두었다. 위와 같이 연결된 증폭기의 이득과 P1dB 는 각각 49dB 와 26dBm/t이다. 또한 사용된 벡터 모듈레이터는 3dB 하이브리드 커플러와 서클레이터, 바랙터 다이오드, 윌킨슨 전력 결합기로 구성되었다. 그리고 신호 대역은 PCS 기지국 주파수 대역인 1855MHz를 사용하였다. 입력 신호의 주파수는 1854.5MHz와 1855.5MHz로 주파수 간격을 1MHz로 하였으며, 선형화 출력 신호 레벨은 25.2dBm/t으로 하여 측정하였다. 앞에서 설명했듯이 $LFIM_2$ 신호를 주신호와 같이 벡터 모듈레이터에 인가하면 변조가 일어나는데 이렇게 변조된 신호는 전력 증폭기의 전치 왜곡 신호로의 사용이 가능하다. 이때 변조된 3차와 5차 신호의 크기를 전력 증폭기의 주신호에 의한 혼변조 신호와 비교해 볼 때, 크기는 같고

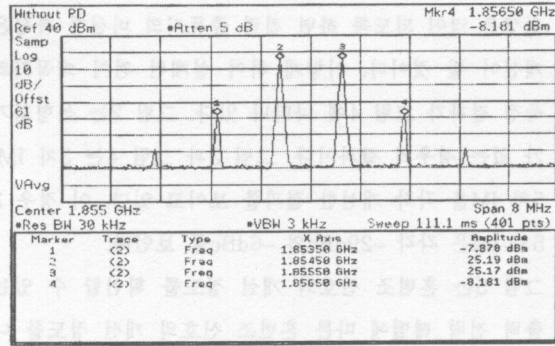


그림 2. 2_tone(1MHz space) 개선 전 결과

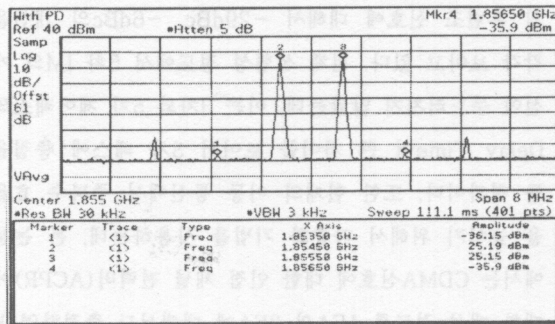


그림 3. IM3 개선 후 결과

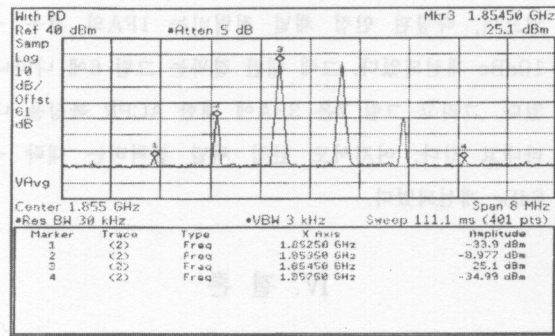


그림 4. IM5 개선 후 결과

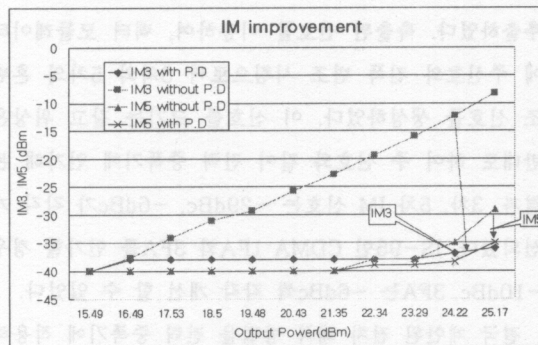


그림 5. IM 성분 개선 특성 그래프

위상은 역이 되도록 하면 전력 증폭기의 비선형 특성은 개선이 될 것이다. 이렇게 하여 설계된 전치 왜곡기의 측정 결과가 그림 4에 나타나 있다. 그림 2는 선형화가 없는 경우의 결과이다. 그림 3과 그림 4는 3차 IM, 5차 IM을 각각 개선한 결과를 보이고 있다. 이 경우 3, 5차 IM은 각각 -29dBc와 -6dBc를 보인다.

그림 5는 혼변조 신호의 개선 정도를 확인할 수 있는 출력 전력 레벨에 따른 혼변조 신호의 개선 정도를 나타내고 있으며, 대략 1dB 역압점 근처에서 3차와 5차의 혼변조 신호에 대해서 -29dBc, -6dBc의 개선을 각각 보이고 있다. 전체 선형성 정도에서 5차 IM의 개선이 두드러지지 않았는데, 이는 3차와 5차 제어패스의 Delay Time이 큰 차이를 보여서 3차 패스에 증점을 둔 결과이다. 또한 현재의 이동 통신에서 주파수 효율을 높이기 위해서 다중화 기법을 사용하는데, 본 논문에서는 CDMA신호에 대한 인접 채널 전력비(ACPR)에 대한 개선 정도를 1FA와 3FA에 대해서도 측정하였다. 이 경우 출력 전력 레벨은 25.2dBm 상태에서 측정하였으며, 측정된 인접 채널 전력비는 1FA의 경우 -10dBc 개선되었다. 그에 대한 결과는 그림 6에 나타나 있다. 그리고 그림 7은 3FA에 대한 ACPR 특성을 나타내고 있다. 여기서도 인접 채널 전력비는 대략 -6dBc 개선되었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 비선형 소자에서 생성되는 $LFIM_2$ 를 3dB 하이브리드 커플러의 전달함수 특성을 이용하여 추출하였다. 추출된 신호를 이용하여, 벡터 모듈레이터에 주신호와 진폭 변조 시킴으로써 3차와 5차의 혼변조 신호를 생성하였다. 이 신호를 크기는 같고 위상은 반대로 하여 주 신호와 같이 전력 증폭기에 인가해 본 결과, 3차, 5차 IM 신호는 -29dBc, -6dBc가 각각 개선되었다. IS-95인 CDMA 1FA와 3FA를 인가할 경우 -10dBc, 3FA는 -6dBc씩 각각 개선 할 수 있었다.

결국 제안된 전치 왜곡 방법을 전력 증폭기에 적용하여 본 논문의 타당성을 확인할 수 있었다.

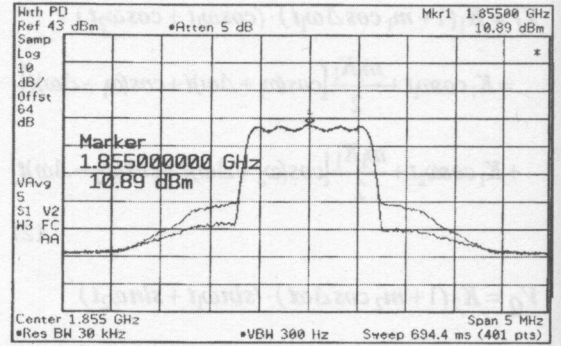


그림 6. 선형화가 있는 경우 1FA 결과(@ 25dBm)

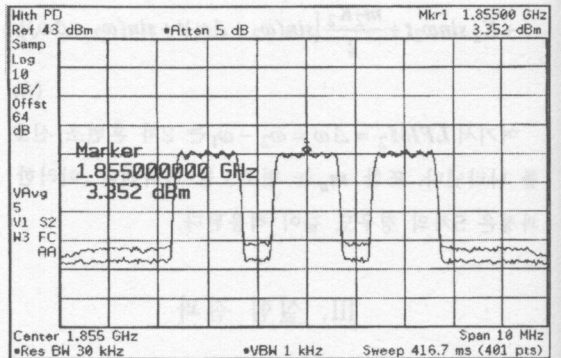


그림 7. 선형화가 있는 경우 3FA 결과(@ 25dBm)

참고문헌

- [1] Peter B. KENINGTON, "High Linearity RF Amplifier Design", Artech House Inc.
- [2] J.Yi, Y. Yang, M. Parkm W. Kand, ad B. Kim, "Analog predistortion linearizer for high power RF amplifier." *IEEE MTT-S. Dig.*, vol. 3, pp1511-1514, June 2000.
- [3] Young woo Yang, Young Yun Woo, Bumman Kim, "New predistortion Linearizer Using Low-Frequency Even-Order Intermodulation Components," *IEEE trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 50, no. 2, Feb. 2002.
- [4] Yong-Chae Jeong, "Design of a Novel Vector Modulator.," *Microwave Journal*, vol. 44, No. 10, pp. 156-162, October 2001.